甘肃岩金矿床地质

殷先明　编著

甘肃科学技术出版社

书　名:甘肃岩金矿床地质
作　者:殷先明
出版社: 甘肃科学技术出版社 , 2000
ISBN 7-5424-0732-5 / P618.510.2
原书定价: CNY60.00

前　　言

从 20 世纪 80 年代开始到 90 年代,金矿就成为甘肃矿产资源的一大优势之一。

甘肃的黄金矿产对振兴经济,人民脱贫致富作出了不可磨灭的贡献。自 1989 年发现大水金矿并开发后,甘肃金矿地质勘查与开发迅猛发展,探明了一批独立岩金矿床,使甘肃省的黄金产量挤身于全国第六位,为地处中国西北边缘贫困地区的甘肃摆脱贫穷的境域奠定了良好的基础。甘肃的金矿资源十分丰富,分布广泛,储量大。已发现金矿产地 243 处,其中独立岩金 133 处,大中型金矿床 20 处,小型矿床 32 处。20 世纪 90 年代以来,每年新发现金矿产地以 8 处～10 处的数量增加。控制储量和远景储量已达 1080 吨之多。

甘肃在 80 年代中期之前,独立金矿(包扩砂金)产地只有 51 处,小型金矿床只有 3 处,其中岩金 2 处(金窝子、老金厂),砂金 1 处(洪水坝河上游)。矿点 15 处,其余为矿化点。金矿储量基本上只有有色金属矿床中的伴生金。如白家咀子铜镍矿床中的伴生金储量达超大型,白银矿田的小铁山多金属矿床伴生金储量达大型。空间分布上,独立岩金矿产地主要分布于北山地区,如金窝子、老金厂、460 等金矿,储量很小,绝大多数为矿(化)点,研究程度低。祁连地区伴生金储量占全省金储量的 95%以上。西秦岭地区独立岩金矿矿点少,在摩天岭南部扬坝—碧口一带有金矿(化)点的分布,北部夏河—厂坝有色金属矿床和铁铜矿床中也有伴生金存在,但储量很有限。独立金矿类型只有石英脉型和砂矿两种,高—中温及中温热液石英脉型金矿分布于北山地区,产于晚古生代地层中,中低温热液石英脉型主要在西秦岭地区分布,金矿体赋存裂隙之中。

20 世纪 80 年代～90 年代,甘肃金矿地质勘查取得了突破性的进展。大中型金矿床都是在这期间发现和探明的,尤其是 80 年代成绩更为突出。80 年代初期,据化探提供地找矿信息,发现了南金山、马庄山中型独立岩金矿床,结束了甘肃中型以上无独立岩金矿床的历史。继之,在 80 年代中期,祁连西段又发现了曹家口、青分岭独立岩金矿床,填补了祁连区只有伴生金矿床无独立岩金矿的空白。西秦岭地区包容了省内四个大型独立岩金矿床的全部。四个大型金矿床——大水金矿田、鹿儿坝金矿床、拉尔玛金矿床、李坝金矿床均在 1989 年至 90 年代初期新发现和探明的独立大型金矿之列。中型金矿床达 16 处之多,即小西弓金矿、坪定金矿、石鸡坝金矿、柴家庄金矿、南金山金矿、党河南山金矿、寒山金矿、金山金矿、花崖沟金矿、西安河金矿、马庄山金矿、石金坡金矿、新金厂金矿、老金厂金矿、马泉金矿、鹰咀山金矿等。其中老金厂金矿由 80 年代前的小型矿床经进一步勘查后上升到中型矿床,其余的 15 个中型金矿床均为 80、90 年代新发现并探明的独立岩金矿床,而且大部分已被开发利用,获得了极好的经济效益和社会效益。小型矿床数增加了 16 倍,从以前的 2 处上升到 32 处,加上矿点矿化点,甘肃岩金矿产地在空间分布上真是星罗棋布。

矿床类型以前只发现有石英脉型,现在全省金矿类型有四大系统,10 个成因类型,9 个成

因亚类型,9 个矿床自然类型。矿床自然类型增多了。

成矿时期也不止晚古生代才发现有独立岩金,从最新的喜山期至燕山期、印支中晚期、海西中晚期,至到加里东中晚期都有独立岩金矿床的产出。

省内各个构造单元:地轴、基底地块、优地槽褶皱带、冒地槽褶皱带、准地槽褶皱带等均发现了岩金矿床的存在。浅变质岩系带,中低变质带、炭硅泥质岩系、碎屑岩建造、火山岩、火山碎屑岩建造等都赋存有金矿床。

甘肃省黄金生产历史悠久,历代金银采矿遗址数以千计,最早可追溯到清朝,开采的对象是祁连山和西秦岭地区的砂金,北山地区岩金矿用手掘开采,规模小,落后。1949 年至 20 世纪 80 年代中期,甘肃的黄金产量只限在白银、金川有色金属矿冶炼过程中作为伴生元素回收的产量,几十年中回收生产的黄金大约才 15 吨。没有独立的岩金矿床建立的黄金生产企业。80 年代中期至 1992 年,地方黄金企业开始起步。“七五”后期和“八五”期间,国家加大了黄金地质勘查工作的投入。4 个大型金矿床,16 个中型矿床,32 个小型矿床相继勘查评价,探明了储量,有了独立的岩金矿床的储备;加之国家对开发的重视和加大投入,新建了一批黄金生产企业。至 1997 年,甘肃的黄金开发进入有计划有规模的发展,如大水、寒山、李坝、小西弓等金矿床相继建立了一批稳定的黄金生产矿山。黄金产量逐年增加,1996 年产量达 2685 千克,1997 年上升到 3815 千克,1998 年甘肃黄金产量列全国排名第六。产金量达 500 千克的县有:玛曲县 2195.7 千克,安西县 2043.2 千克,礼县 848 千克,肃北县 675.2 千克,等等。这些县由原为榜上有名的贫穷县,现今走上了富裕的道路。

甘肃的金矿地质勘查工作有了突破性的进展,也就积类了大量的丰富的地质科技成果。现在的甘肃省已跨进中国重要的金矿资源分布区的队列,这是地质科技工作者们勤奋工作,不辞艰辛劳动得来的丰硕成果。为将这些成果系统地深入地公布发表出来,以填补甘肃岩金矿床地质特征和勘查方法论著的空白,确定甘肃金矿资源大省的地位,满足日益发展的金矿事业,更进一步推动甘肃金矿勘查工作的发展,我们以专著的形式编著了《甘肃岩金矿床地质》一书。

专著涉及的金矿床覆盖了甘肃省三大分区的大部分,即西秦岭地区、祁连西段、北山地区的独立岩金产地。

本岩金专著第一次系统地划分了甘肃省内的主要的含金岩性建造。划分了 5 个省内一级含金岩相建造,8 个省内二级含金岩相建造;第一次系统地划分了以金矿为主的资源区域成矿带。全省共划分了 4 个一级成矿区带,20 个次级区域成矿区带;用板块构造理论,第一次系统地总结了全省大地构造相基本特征。全省共划分了 5 个省内一级大地构造相,19 个省内二级构造相;第一次对岩金金矿类型进行了系统分类;第一次系统地总结了甘肃岩金矿床的区域成矿规律;系统地总结了地球化学勘查方法在金矿勘查工作中的应用与发展及取得的世人瞩目的成果;第一次系统全面地总结了 80 年代以来黄金开发的开展与发展,特别是伴随 1×10^{-6} 以下低品位金的堆浸获得成功,同时获得了丰富的技术资料及成果经验。

本书重点总结省内近年新发现的重要的有代表性的岩金矿床的地质特征、勘查方法、有特色的开发利用技术。内容偏重矿床的区域地质特征、矿床地质特征、矿床的岩石化学地球化学特征、矿床成因认识、成矿模式的建立以及地质地球化学勘查方法。

本书的写作于 1997 年 7 月开始,历经了两年的时间。

以甘肃省地质矿产勘查开发局副局长、局总工程师、教授级高级工程师殷先明为主编,地

矿科技处负责组稿。整个书稿是几十个地质科技工作者集体创作的成果。专著分两大部分，第一部分为地质篇，第二部分为勘查开发篇。地质篇的第一章和勘查开发篇由甘肃省地质矿产局有关人员承担编写，第一篇的第二章西秦岭地区金矿，第三章祁连西段金矿，第四章北山地区金矿等三个章节 21 个典型矿床由甘肃省地质矿产局下属野外队第一线的有关地质科技工作者编著，其中第二章西秦岭地区金矿内的李坝金矿床和金山金矿床特邀甘肃省有色勘查局编著。各章节编著人员如下：第一篇第一章第一节区域矿产地质，朱伟元；第二节岩金矿床主要类型，第三节岩金矿的成矿规律及成矿特征，第四节独立岩金矿床的区域模式，任丰寿、杜玉良。第二章，大水金矿田，邵卫声、胡开荣、王佩富；石鸡坝金矿田，靳平；鹿儿坝金矿床，司国强；坪定金矿床，赵彦庆、吴秀荣、燕堆金、马延红；拉尔玛金矿床，王世武、李永琴；花崖沟金矿床，李新生；柴家庄金矿床，段永民；李坝金矿床，高兆奎、陈源、王祥文；金山金矿床，杨云松、周俊烈。第三章，寒山金矿床，杨兴吉、王兴明、陈百磊；鹰咀山金矿床，丁启福；童子坝金矿床，李通国；曹家口金银矿床，陈耀宇；青分岭金矿床，张本旗；党河南山金矿床和车路沟金矿床，芦青山；第四章，南金山金矿床，王方成；马庄山金矿床，庄子安；小西弓金矿床，刘佰崇；金场沟金矿床，李金春；金庙沟金矿床，俞伯达。第二篇第一章，徐家乐；第二章至第五章张新虎。前言和结语及摘要，王之珩。

目　　录

第一篇　地　质　篇

第一章　概论……（1）
　第一节　区域成矿地质背景……（1）
　第二节　岩金矿床主要类型……（24）
　第三节　岩金矿的成矿规律及成矿特点……（41）
　第四节　独立岩金矿床的区域分布模式……（47）
第二章　西秦岭地区金矿……（51）
　第一节　大水金矿田……（51）
　第二节　文县石鸡坝金矿田……（79）
　第三节　鹿儿坝金矿床……（99）
　第四节　坪定砷金矿床……（114）
　第五节　拉尔玛金矿床……（140）
　第六节　花崖沟金矿床……（160）
　第七节　柴家庄金矿床……（169）
　第八节　李坝金矿床……（177）
　第九节　金山金矿床……（201）
第三章　祁连西段金矿……（213）
　第一节　寒山金矿床……（213）
　第二节　鹰咀山金矿床……（224）
　第三节　童子坝金矿床……（234）
　第四节　曹家口金银矿床……（246）
　第五节　青分岭金矿床……（255）
　第六节　党河南山金矿床……（265）
　第七节　车路沟金矿床……（285）
第四章　北山地区金矿……（290）
　第一节　南金山金矿床……（290）
　第二节　马庄山金矿床……（301）
　第三节　小西弓金矿床……（314）
　第四节　金场沟金矿床……（325）

第五节　金庙沟金矿床…… (336)

第二篇　勘查开发篇

第一章　金矿地球化学勘查及其应用效果…… (345)
第二章　甘肃省黄金资源开发概况…… (360)
第三章　堆浸法提金…… (362)
第四章　选矿法提金…… (367)
第五章　典型金矿开发研究…… (370)

第一篇

地　　质　　篇

第一章　概　　论

第一节　区域成矿地质背景

一、区域地质背景

甘肃省位于青藏高原东北缘及其以北、以东地区。该区地处哈萨克斯坦板块、阿拉善—华北板块、塔里木地块、柴达木—西秦岭地块和巴颜喀拉—扬子板块结合部,构造十分复杂。特定的大地构造位置、类型多样的含矿岩相建造和强烈的构造—岩浆作用造就了得天独厚的岩金成矿地质条件。

甘肃金矿资源丰富。目前已有规模型工业金矿床52个。控制金储量和远景储量达1080t,黄金产量居全国第六位。

甘肃金矿资源主要分布于北山中部、祁连山西段和西秦岭地区。金成矿带多沿造山带、陆内地幔活化裂谷带及其构造转换部位展布。

(一)大地构造单元划分

甘肃大地构造单元自北而南划分为:

Ⅰ哈萨克斯坦板块

①康古尔塔格—红石山缝合线

Ⅱ巴伦台—旱山地块

②南天山—库米什—红柳河—月牙山缝合线

Ⅲ塔里木地块

③阿尔金走滑构造带

Ⅳ阿拉善—华北板块

④鱼儿红—肃南—老虎山—海源—平凉—宝鸡缝合线

Ⅴ柴达木—西秦岭地块

⑤布尔汗布达—碧口—勉略缝合线

Ⅵ巴颜喀拉—扬子板块(见图1—1—1)

(二)大地构造相基本特征

1.北山区大地构造相特征

北山区泛指阿尔金走滑构造带以北的甘肃境内地区。该区横跨哈萨克斯坦板块南缘、巴伦台—旱山地块东段、塔里木地块东北端及其分割它们的康古尔塔格—红石山缝合线、南天山—库米什—红柳河—月牙山缝合线。

1)康古尔塔格—红石山缝合线

自新疆艾比湖经康古尔塔格,向东延入北山区的红石山—六驼山一线。该缝合线为一深断裂带。沿此深断裂带分布中泥盆世和晚石炭世早期就位的蛇绿混杂岩。甘肃红石山蛇绿岩

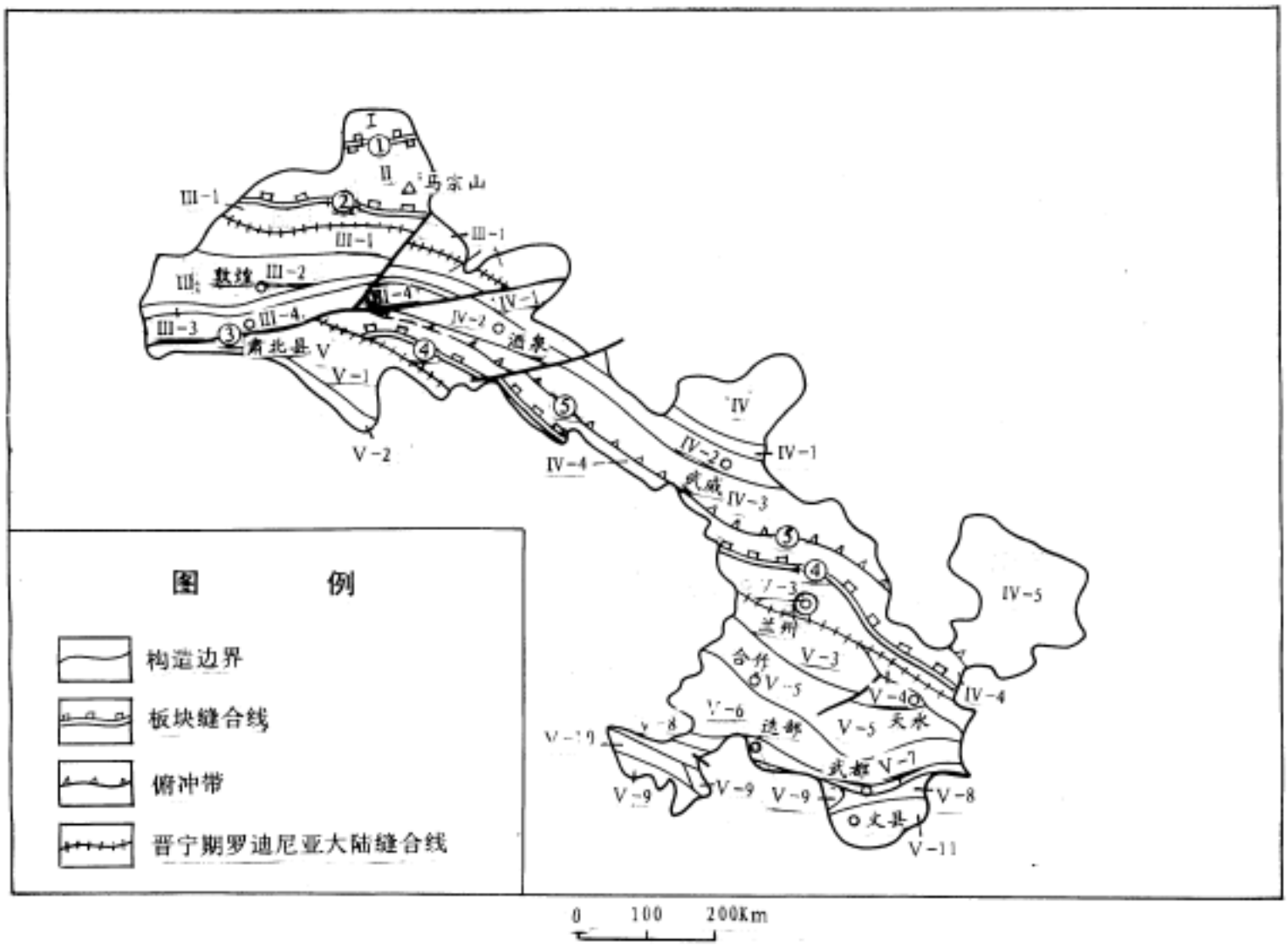


图 1—1—1　甘肃省大地构造纲要图

①—康古尔塔格—红石山缝合线(华力西期);②—南天山—库米什—红柳河—月牙山缝合线(加里东期);③—阿尔金走滑构造带;④—北祁连寒武—奥陶纪聚敛带;⑤—北祁连奥陶纪俯冲带;Ⅰ—哈萨克期坦板块;Ⅱ—巴伦台—旱山地块;Ⅲ—塔里木地块;Ⅲ—1—大泉—天仓被动陆缘断隆带;Ⅲ—2—玉门关—安西断陷盆地;Ⅲ—3—多坝沟—三危山断隆带;Ⅲ—4—红柳沟—玉门镇断陷盆地;Ⅳ—阿拉普—华北板块;Ⅳ—1—龙首山逆冲断隆带;Ⅳ—2—走廊断陷带;Ⅳ—3—走廊南山岩浆弧(O)及残留盆地带(S);Ⅳ—4 北祁连岩浆弧带(∈—O);Ⅳ—5—西秦岭北部褶断带;Ⅴ—柴达木—西秦岭地块;Ⅴ—1—中祁连被动陆缘断隆带;Ⅴ—2—南祁连裂谷带(O—S);Ⅴ—3—马衔山—通渭被动陆缘断隆带;Ⅴ—4—娘娘坝—利桥早古生代裂谷带;Ⅴ—5—西秦岭北部褶断带;Ⅴ—6—西秦岭中部三叠纪裂陷槽;Ⅴ—7—西倾山—迭山逆冲褶断带;Ⅴ—8—文康断裂构造带;Ⅴ—9—西秦岭南部三叠纪前陆盆地;Ⅴ—10—积石山地体;Ⅴ—11—摩天岭地体

拟层序剖面最为完整,由斜辉橄榄岩、二辉橄榄岩、堆晶橄榄岩、蛇纹岩、二辉岩、辉长岩、枕状玄武岩(大洋拉斑玄武岩)和放射虫硅质岩组成。

泥盆纪和石炭纪二条蛇绿岩带及其普遍发育的向南、北逆掩推覆断层的出现,表明沿缝合线曾有两次向南、北双向俯冲活动。

2) 南天山—库米什—红柳河—月牙山缝合线

自新疆汗腾格里峰向东,经库米什延入北山区的红柳河—六角井—月牙山一带。沿缝合线分布有哈里克套—拉那特蛇绿岩带、玉石山—红柳河蛇绿岩带和白云山—月牙山—洗肠井蛇绿岩带。蛇绿岩由超镁铁质镁铁质岩和放射虫硅质岩组成构造混杂岩。

月牙山硅质岩中发现奥陶纪深海硅质放射虫,哈里克一套硅质岩中发现奥陶—志留纪硅

质放射虫,表明沿该缝合线曾有早古生代洋盆存在。

3)哈萨克斯坦板块

位于康古尔塔格—红石山缝合线以北的北山区最北部。它是哈萨克斯坦板块(准葛尔地块)向东部的延伸。

哈萨克斯坦板块(准葛尔地块)东北部以克拉美丽—莫钦乌拉缝合线为界。该地块曾经历泥盆纪—早石炭世向北的哈尔力克—扫子山—芦草井岛弧增生。岛弧带的基本要素由早—中泥盆纪和石炭纪两期岛弧型中酸性火山—沉积建造及复理石建造组成,并发育华力西期中酸性深成岩。这些岩浆弧建造均系西伯利亚板块沿克拉美丽—莫钦乌拉海沟向南俯冲的产物。

4)巴伦台—旱山地块

介于康古尔塔格—红石山缝合线与南天山—库米什—红柳河—六角井—月牙山缝合线之间。该地块由太古代—早中元古代中深级变质岩系构成地壳结晶基底(2800Ma)。

由于南侧的塔里木地块于加里东期向北俯冲,在巴伦台—旱山地块南缘形成库鲁克塔格—小泉井—石板墩早古生代岛弧带,分布大面积早古生代岛弧型火山—沉积建造,并与加里东期中酸性深成岩一起构成岩浆弧带。具有与祁连山区走廊南山岩浆弧带相似的构造特征。地层中产浮游相三叶虫和笔石动物群。在红石山—六驼山一带残留有泥盆纪山前磨拉石粗碎屑建造。该磨拉石建造可与北祁连老君山砾岩对比,同属加里东末期造山运动产物。

该地块北部,由于哈萨克斯坦板块于早石炭世向南俯冲,形成伊犁—觉罗塔格—梭梭泉晚古生代岩浆弧带,出露早石炭世岛弧型火山—沉积建造和华力西中晚期中酸性深成岩。

旱山地块中部,星星峡—明水—石板井一带出现弧后小洋盆。该小洋盆以石板井—小黄山蛇绿岩及早石炭世弧沟沉积为特征。

5)塔里木地块

甘肃境内,该构造单元位于南天山—库米什—红柳河—六角井—月牙山缝合线以南,阿尔金走滑构造带以北。由北至南可划分为:大泉—天仓被动陆缘断隆带、玉门关—安西断陷盆地、多坝沟—三危山断隆带和红柳沟—玉门镇断陷盆地等 4 个次级单元。其中,在大泉—天仓被动陆缘断隆带上,分别发育有柳园—旧寺墩早古生代裂谷带和红柳园—音凹峡石炭—二叠纪裂谷带。在北山区,塔里木地块由上、中、下三个构造层次构成。下部构造层为前震旦纪敦煌群结晶基底岩系,主要由各种结晶片岩、片麻岩、斜长角闪岩及混合岩组成。中部构造层为早古生代浅变质岩系,主要由早古生代地幔活化裂谷型复理式碎屑岩、中基性及中酸性火山岩、硅质岩及碳酸盐岩组成,经加里东构造运动后成为本区褶皱基底。上部构造层为晚古生代地台型碳酸盐岩及碎屑岩沉积,以及经埋深变质作用形成的浅变质—未变质裂谷型火山—沉积建造。此外,区内广泛发育中新生代断陷上叠盆地,大量分布中新生代壳表地层。

北山区的海相沉积可延续到晚二叠世早期。金塔组中产有以 *Pseudogastrioceras* 为代表的晚二叠世早期菊石群化石。而陆相地层的出现则始于泥盆纪。其中晚二叠世晚期产有大量安哥拉—华夏混生植物群。海相二叠纪动物群具有北极海冷水型分子与特提斯海暖水型分子混生特点。

2 .阿尔金走滑构造带大地构造相特征

阿尔金走滑构造带,大致由 2 条～3 条近于平行的平推断层组成。该走滑构造沿阿尔金山—鹰咀山呈狭窄带状向北东延伸,经天仓—巴丹吉林沙漠南缘呈向南突出的弧型弯曲后,再转向北东伸延至阴山山脉。

走滑构造带发育众多的走向分支断裂和近东西向次级断裂。这些断裂交织成网络状断裂系。断裂网络挟持大量前震旦纪结晶基底岩片、早古生代褶断叠置岩片、加里东期中酸性深成岩及超基性基性岩岩块。

阿尔金走滑构造具有长期活动和漫长演化历史。加里东末期,该构造表现为右行走滑,将南天山—库米什—红柳河—月牙山加里东缝合线及其南、北两侧的巴伦台—旱山地块和塔里木地块的东端,从祁连造山带的鱼儿红—肃南—老虎山—海源—平凉—宝鸡加里东缝合线及其南、北两侧的阿拉善—华北板块和柴达木—西秦岭地块的西端错开。天山造山带东端自祁连造山带西端向北东横推约 300km。在右行走滑机制下,阿尔金走滑带西侧的天山造山带及其南、北地块的东部(北山区)形成了一系列向北突出的弧形构造;阿尔金走滑带东侧,来自北祁连构造混杂岩带和岩浆弧带的寒武奥陶纪火山—沉积岩岩片和超基性基性岩块体迁就走滑带而向西南逸脱,直至阿克塞以西均有断续分布。喜马拉雅后构造期(西瓦里克—挽近期),阿尔金构造带转变为左行走滑。在左行机制下,走滑带西侧紧邻地带出现向南西突出的弧形构造,并与加里东向北突出的弧形构造复合成反“S”形构造;走滑带东南侧,祁连造山带发生右旋。其西端形成一系列向北突出的弧形构造带,并向山前第三系逆掩。中寒武世和早奥陶世构造块体沿走滑带逸脱挤入走廊断陷带内,直至嘉峪关西北的黑山一带皆有分布。

3 .河西走廊—龙首山区大地构造相特征

本区包括祁连山山前主断裂以北,阿尔金走滑构造带以南的甘肃河西地区。该区位于北祁连岩浆弧北侧,系阿拉善—华北板块西南活动边缘的弧后逆冲带。该构造带形成于加里东晚期主造山运动。其基本要素由一系列向南逆冲叠置的前震旦纪结晶基底变质岩片和早古生代浅变质叠置岩片构成。在加里东后构造伸展机制下,古老的前震旦纪基底岩系沿着龙首山北坡主伸展断层滑脱而出露地表;与此同时,介于龙首山南坡主断裂与祁连山前断裂之间的块体发生张性断陷,形成带状走廊盆地。

依上所述,根据构造属性可将本区划分为龙首山断隆带和走廊断陷带等 2 个次级构造单元。

1) 龙首山断隆带

由太古代—早元古代龙首山岩群伸展地体和震旦纪盖层滑覆体构成。龙首山岩群为结晶基底变质岩系,主要为结晶片岩、片麻岩、变粒岩、斜长角闪岩、片麻状花岗岩及混合岩;年龄值可达 3100Ma。震旦系为基底盖层,表现为地台型建造,含有冰水—冰碛相沉积。区内发育陆内裂谷型中酸性侵入岩和地幔活化型超基性基性岩。局部出现石炭纪和二叠纪山间盆地陆相沉积。

2) 走廊断陷带

带状断陷盆地,长约 1000km。除山丹—永昌一带出露中寒武世和石炭二叠纪地层外,广泛分布中—新生代地层。

4 .祁连山区大地构造相特征

祁连山脉始于阿尔金走滑构造带,向东南延伸,经白银—张家川至宝鸡,与秦岭造山带连接。根据大地构造相特征,自北而南,可将祁连山区划分为北祁连岩浆弧带、鱼儿红—肃南—老虎山—海源—平凉—宝鸡缝合线、中祁连被动陆缘断隆带和南祁连克拉通裂谷带等 4 个单元。

1) 鱼儿红—肃南—老虎山—海源—平凉—宝鸡缝合线

该缝合线为一深断裂带。西段由鱼儿红—俄堡断裂、黑河—祁连县断裂和石包城—托赖—默勒断裂等 3 条主断裂及若干次级断裂所组成。东段因第四纪沉积物覆盖,准确走向和位置不是十分清楚,大致沿景泰老虎山—海源—平凉—宝鸡一线向东南延伸,与北秦岭造山带加里东缝合线相连。深断裂带西段挟持前寒武纪和早古生代构造碎片地层和蛇绿岩块,构成蛇绿混杂岩带。其中,鱼儿红—托赖—肃南—祁连县蛇绿岩带和走廊南山—老虎山蛇绿岩带分别代表南、北 2 条俯冲带。南俯冲带活动于中寒武世—早奥陶世,向北俯冲。在其北侧形成中寒武世—早奥陶世岛弧型火山—沉积建造。北俯冲带系南俯冲带派生出的弧后盆地拉张—聚敛带。该北俯冲带于中—晚奥陶世向北俯冲。在其北侧形成同期岛弧型火山—沉积建造。最后于志留纪出现残留盆地及其碎屑岩沉积。深断裂带东段,除老虎山保存较完整的蛇绿岩拟层序剖面外,在海源—平凉—宝鸡一线断续出露寒武—奥陶纪火山—沉积岩岩片,其中部分属于弧沟沉积岩块体。

由于祁青—元山子—平川左行走滑构造作用,其东侧的构造地体发生右旋。缝合线已向北东横推错位达 50km 以上。

肃南白泉门剖面和肃北鱼儿红剖面可作为蛇绿混杂岩拟层序代表。二剖面分别由斜辉橄榄岩、堆晶橄榄岩、橄榄辉石岩、辉石岩、辉绿辉长岩墙、枕状玄武岩及放射虫硅质岩组成。

南俯冲带的石居里—北拉洞、居里达坂、清水沟、香子沟和百经寺等地出露长达数百千米,宽约 2km 的蓝片岩带。沿黑河—祁连一线分布有榴辉岩和含蓝闪石榴辉岩。北俯冲带的二道沟等地亦有蓝片岩带分布。此外,在祁连山前还出露巨厚的泥盆纪老君山砾岩磨拉石建造。它们均被认为是加里东陆—陆碰撞造山的产物和证据。

2) 北祁连岩浆弧带

位于鱼儿红—肃南—老虎山—海源—平凉—宝鸡缝合线北侧。该构造带系阿拉善—华北板块西南缘岛弧增生带,由中奥陶—早志留世岛弧型火山—沉积建造构成。其上分布有中—晚志留纪残留盆地沉积和泥盆纪老君山砾岩磨拉石建造。

3) 中祁连被动陆缘断隆带

介于鱼儿红—肃南—老虎山—海源—平凉—宝鸡缝合线与党河断裂之间。属柴达木—西秦岭地块北部西段构造单元。该单元主要由前长城纪结晶基底和长城纪、蓟县纪及清白口纪褶皱变质岩系构成。大雪山和野马南山分布有 2 条加里东期陆内裂谷带,出露有张性环境产生的超基性基性岩和中酸性侵入岩。

4) 南祁连克拉通裂谷带

位于党河南山及其以南的柴达木盆地以北地区。该区主要由中奥陶—中志留世陆内裂谷型玄武岩、中基性火山岩及具双层式结构的碎屑岩沉积组成。

5 .西秦岭区大地构造相特征

柴达木—西秦岭地块是介于祁连造山带与东昆仑造山带之间的一个中间地块。该地块可以温泉断裂作为柴达木盆地与西秦岭褶皱带 2 个次级单元的内部界线。西秦岭褶皱带呈三角形,由西向东逐渐收敛,尖灭于祁秦昆三叉构造制体的三联点(太白—终南山)地区。它是一个形成于晚古生代—三叠纪的拉分断陷地块。断陷盆地内广泛沉积了上古生界和三叠系地层,以此与柴达木地块相区别。因西秦岭东端跨越陕西省、甘肃省和四川省毗邻地区,蕴藏丰富的金、铜、铅、和锌等多金属矿产资源,故俗称为‘ 陕甘川金三角 ”。

甘肃境内, 西秦岭地块以鱼儿红—肃南—老虎山—海源—平凉—宝鸡缝合线东段 (老虎

山—海源—平凉—宝鸡深断裂)为北界,于加里东晚期与华北地块拼接;以布尔汗布达—碧口—勉略缝合线为南界,于华力西晚期与巴颜喀拉 - 扬子板块拼接。鱼儿红—肃南—老虎山—海源—平凉—宝鸡缝合线与北秦岭南缘加里东缝合线相连。布尔汗布达—碧口—勉略缝合线与秦岭商丹构造带南界相连。构造十分复杂。

根据大地构造相特征,甘肃西秦岭可划分如下构造单元:

1) 马衔山—通渭被动陆缘断隆带

位于鱼儿红—肃南—老虎山—海源—平凉—宝鸡缝合线南侧,系中祁连被动陆缘断隆带向东的延伸。该断隆带由前震旦纪结晶基底岩系构成,其上分布中新生代陆相地层。

2) 娘娘坝—利桥早古生代裂谷带

该构造带是在马衔山—通渭被动陆缘断隆带上发育起来的早古生代地幔活化型裂谷带,可与中祁连被动陆缘断隆带内的大雪山和野马南山裂谷带对比。娘娘坝—利桥裂谷带以李子园群(或称丹风群;Z-O)陆内裂谷型基性火山岩及双峰值火山—沉积建造为特征。碎屑岩建造具双层式结构。裂谷于早古生代晚期关闭,并为加里东末期花岗质岩浆所焊接。区内主构造线呈北西—南东向反“ S ”形弯曲延伸。华力西—印支期构造—岩浆活动强烈,中酸性深成岩沿断裂侵入。

3) 西秦岭北部褶断带

位于马衔山—通渭被动陆缘断隆带南侧,以临夏—武山—娘娘坝—李子园大断裂为北界;以合作—岷县—宕昌—两当大断裂为南界,与南侧的西秦岭中部裂陷槽毗邻。该构造带总体呈一向南突出的弧形构造。

洛门—马坞—闾井左行走滑断裂呈北东向横切该构造带,将其分割为东、西两部分。东部区,出露元古代基底岩系吴家山岩群(1249Ma)。盖层表现为右旋推覆构造,由泥盆纪西汉水群莱茵相沉积和少量石炭纪裂陷槽沉积组成;区域上呈南西—北东向展布的隆起与断陷相间的构造格局。酸性侵入岩发育。闾井—礼县、四门和高桥等地区广泛出露花岗岩基。平南—礼县—西和为次级拉分断陷盆地,位于该东部区的中部,广泛分布中新生代地层;盆地两侧隆起带发育印支期中酸性深成侵入岩。西部区,洛门—马坞—闾井走滑断裂以西表现为左旋。总体呈一背形构造。轴部由泥盆纪大草滩群海陆交互相沉积构成;两翼为石炭—二叠纪海相及海陆交互相碎屑岩、碳酸盐岩沉积。主构造线呈近东 - 西向。美武等花岗岩体侵入背形构造轴部。在羊沙附近发现深度变形变质的片麻岩和条带状混合岩,推测该区已有古老基底岩系出露。

4) 西秦岭中部裂陷槽

介于合作—岷县—宕昌—两当大断裂与腊子口—成县大断裂之间。为一近东西向三叠纪裂陷槽。该裂陷槽,西部宽,向东逐渐收敛变窄,呈一反“ S ”形展布。岩浆岩不甚发育。裂陷槽内充填巨厚的早—中三叠世浊流沉积。

5) 西倾山—迭山冲断带(白龙江复式背形构造)

夹持于腊子口—成县断裂与玛曲—略阳断裂之间。酷似一背形构造。其轴部为下古生界双向逆冲岩片叠置在两侧晚古生代地层之上。而上古生界则又逆冲在外侧三叠纪地层之上,呈一扇形状。该构造形成于印支期南—北挤压动力学机制。早古生代地层以砂板岩夹碳酸岩为主;晚古生代地层以碳酸岩夹碎屑岩沉积。除出露小型岩体及岩脉外,侵入岩不发育。

6) 西秦岭南部前陆盆地

位于玛曲—文县断裂以南,呈南倾的铲形盆地。该盆地形成于华力西期柴达木—西秦岭地块南缘压性环境。盆地内沉积二叠—三叠纪地层。南部为巨厚的斜坡相复理石沉积,向北逐渐变为碳酸岩台地边缘相沉积。甘肃境内主要由石灰岩夹碎屑岩组成。岩浆岩不甚发育。

7)积石山地体

位于甘肃西秦岭最南部西端。一个由断层围限的独立地层体。该地体由二叠纪地层构成,系印支期后挤入本区的外来地质体。

8)摩天岭地体

位于甘肃西秦岭最南部东端。一个由断层围限的元古界独立地层体。元古代地层统称为碧口群,为一套火山—沉积建造。该地体于华力西期后来自勉略地区的元古代地层。

二、甘肃主要金属矿产资源与区域成矿带展布

甘肃金属矿产资源丰富。其分布受控于特定的大地构造部位、含矿岩相建造和多期次构造—岩浆活动等地质条件。甘肃省位于祁秦昆中央造山系成矿域。分别属于天山—北山成矿区、祁连山成矿区、龙首山成矿区和西秦岭成矿区。

(一)天山—北山成矿区

1.扫子山—红石山区域成矿带

位于康古尔塔格—红石山缝合线北侧,哈萨克斯坦板块南缘。该成矿带形成于巴伦台—旱山地块向北俯冲所产生的泥盆—石炭纪哈尔力克—扫子山—芦草井岩浆弧带中。含矿岩系是早—中泥盆世和早石炭世中基性—中酸性岛弧型火山—沉积建造及复理石建造。

该带赋存以铜、金和铁等为主的多金属矿产。目前已有扫子山火山—热液型铁矿床和霍勒扎德盖石英脉型金矿床等。此外,沿康古尔塔格—红石山缝合线蛇绿混杂岩带分布有超镁铁镁铁质岩石,具有良好的镍、铬和铁找矿前景。已探明有四顶黑山镍矿等。

2.白山—狼娃山区域成矿带

位于巴伦台—旱山地块中部的星星峡—明水—石板井—小黄山石炭纪弧后盆地带。早石炭世白山组火山岩系及其次生石英脉体是与成矿关系最密切的岩相建造。

该带是一个重要多金属成矿带。业已查明此成矿带赋存金、银、铜、铁、锡、砷、铀、冰洲石、叶腊石和透闪石等多金属矿产资源。代表性矿床有马庄山金矿、南金山金矿和狼娃山铁(金)矿等。

3.花牛山—小西弓区域成矿带

位于南天山—库米什—红柳河—月牙山缝合线以南的柳园—老君庙被动陆缘断隆带。前震旦纪结晶基底变质岩系是该带的主要成矿岩相建造。岩石强烈变质变形,糜棱岩带发育。该带赋存金、钨、钼、铅、铜、铁和铀等矿产。已探明矿床有金庙沟金矿、金庙井金矿、小西弓金矿、新月山钨钼矿、红山井钼矿和红柳疙瘩钛磁铁矿等。

4.红柳园—金场沟区域成矿带

位于柳园—老君庙被动陆缘断隆带西段的一条石炭二叠纪裂谷带。该带主要由前长城纪纪结晶基底变质岩系、中泥盆纪三个井组、早石炭世红柳园组和二叠纪方山口组构成。裂谷带中发育加里东晚期二长花岗岩和华力西中晚期超基性、基性及中酸性深成侵入岩。

石炭—二叠纪基性中基性—中酸性酸性大陆裂谷型火山岩呈带状分布,是该区域成矿带的主要赋矿地层。已探明的多金属矿产有金长沟小型金铅矿床,以及磁铁矿和铜铁矿等矿点

多处。此外,该带发育的超基性基性岩具有良好的铁、铬和镍找矿前景。

(二)龙首山—走廊成矿区

1.龙首山区域成矿带

位于阿拉善地块南缘的龙首山弧后逆冲断隆带。前长城纪龙首山岩群、中晚元古代变质岩系和大陆边缘地幔活化裂谷型超基性基性岩是主要含矿建造。

该成矿带主要矿产有铜、铁、镍、磁铁石英、磷和稀土等。已探明矿床有金川铜镍矿床、东大山沉积变质型铁矿和芨岭沉积变质型铁矿等。

2.走廊区域成矿带

走廊断陷带西部和东部各有一个黑山隆起和大黄山—永昌隆起。该二隆起出露有中寒武世—早奥陶世地层岩片和加里东中期中酸性深成岩侵入体。中寒武统—下奥陶统为含矿岩系。已查明有曹家口金银矿和嘉峪关黑山铜、金及铂族元素矿点等。

(三)祁连山成矿区

1.照壁山—冷龙岭区域成矿带

展布于北祁连奥陶—志留纪岩浆弧带。奥陶纪岛弧型火山—沉积建造和志留纪残留盆地碎屑建造是主要含矿地层。

该带为一重要区域成矿带。主要矿产有铁、铜、金、锰和铅锌等。已探明有寒山大型蚀变型金矿、妖魔山金矿、童子坝金矿、青分岭金矿、双龙沟金矿、东路沟铜金矿、红口子—八个峡铜矿和黑峡口锰矿等。

2.鹰咀山—白银厂区域成矿带

位于北祁连岩浆弧带与中祁连被动陆缘断隆带之间的寒武纪蛇绿混杂岩带。主要赋矿岩系为前震旦纪基底岩片、寒武纪基性中基性火山—沉积岩岩片和超基性基性岩块体。

该构造混杂岩带是祁连山区最重要的区域成矿带之一。主要矿床有鹰咀山金矿床、镜铁山铁铜(金)矿床、白银厂铜金(多金属)矿床和獭儿沟钨矿床等。此外,超基性基性岩中具有良好的铁、铬和镍找矿前景。

3.野马南山—大雪山区域成矿带

存在于中祁连被动陆缘断隆带西端的南、北二条加里东期地幔活化裂谷带。沿裂谷带发育加里东期超基性基性和中酸性深成岩。中元古界具有变质热液型铁铜组合矿化、蚀变岩型金矿化;并有达道尔吉铬矿床等。该区具有良好的找矿前景。

4.党河南山区域成矿带

位于党河南山克拉通裂谷带。该裂谷带主要由奥陶—志留纪偏硷性基性中基性火山—碎屑沉积建造构成。其上为海陆交互相石炭—二叠纪及中新生代地层。

该区域成矿带赋存铜、金和铅锌等矿产。已探明有白石头沟、小黑刺沟、半截沟、钓鱼沟、黑刺沟、东洞沟、狼岔沟等金矿床和贾公台金铜矿床。

(四)西秦岭成矿区

1.通渭—秦安区域成矿带

位于鱼儿红—肃南—老虎山—海源—平凉—宝鸡缝合线南侧,马衔山—通渭被动陆缘断隆带北缘。该断隆带是中祁连被动陆缘断隆带向东部的延伸,由前震旦纪基底岩系构成。通渭北发育早古生代蛟龙掌裂谷带。断隆带及其裂谷带多被中新生代陇西上叠盆地陆相地层覆盖。

裂谷带主体由早古生代陆内裂谷型中基性—中酸性火山—沉积建造构成。区内发育加里东晚期和印支—燕山期等多期侵入的花岗岩。主构造线呈北西—南东向“S”形弯曲延伸。在弯曲转换部位常发育近南北向和北东向次级断裂。早古生代火山—沉积建造是主要赋矿地层。重要矿产有铜和金等。已探明有蛟龙掌铜金矿床等。

2.娘娘坝—柴家庄区域成矿带

位于一条呈反“S”形展布的早古生代裂谷带。此裂谷带地处马衔山—通渭被动陆缘断隆带东端,以临夏—武山—娘娘坝大断裂为南界。

裂谷带主体由早古生代李子园群(或称丹凤群)中基性中酸性火山—沉积建造构成。其上常为泥盆纪大草滩群类磨拉石建造和中新生代陆相地层覆盖。区内广泛分布加里东晚期和印支—燕山期花岗岩侵入体,主要为二长花岗岩。反“S”构造转换部发育近南北向和北东向断裂。

早古生代李子园群与成矿关系最为密切。区域矿产有金、铅、锌、银、铜和铁等多金属及非金属资源。重要矿床有柴家庄金矿和吊把子金矿等。

3.甘加—美武—太皇山区域成矿带

位于洛门—马坞—闾井走滑断裂以西的西秦岭北部褶断带西段。

该成矿带可分为三个亚带:

中部为完尕滩—大草滩亚带。展布于背形构造轴部。中酸性岩体与泥盆纪地层接触带是成矿有利部位。已查明有老豆金矿。

北部为甘加—冶力关亚带,位于背形构造北翼。矿产赋存于二叠纪地层中,如麻尕金矿和多楞沟金矿等。

南部为下卡加—太皇山亚带,位于背形构造南翼。矿产赋存于二叠纪地层,如青崖沟金矿床等。

4.礼县—凤县区域成矿带

位于洛门—马坞—闾井走滑断裂以东的西秦岭北部褶断带东段。

该成矿带以礼县—高桥大断裂为界分为二个亚带:

北部为马坞—娘娘坝亚带。该带以晚古生代深海—半深海浊积相碎屑岩建造为主;印支期花岗岩发育。岩体附近的中泥盆世地层是主要赋矿部位。李坝金矿和金山金矿产于其中。

南部为兴化—花崖沟亚带:主要由泥盆纪浅海陆棚相碎屑岩夹碳酸岩盐构成。中酸性侵入岩较发育。岩体附近的泥盆纪地层赋存铅锌矿和金矿。著名的西成铅锌矿床及花崖沟金矿、西安河金矿和麻沿河金矿产于其中。

5.碌曲—宕昌—成县—徽县区域成矿带

位于西秦岭中部三叠纪裂陷槽内。下三叠统和中三叠统为碎屑岩夹少量碳酸盐岩浊流沉积,构成一个带状向形构造。基本查明该带轴部中三叠世地层中产金矿。鹿儿坝金矿床是重要代表。向形构造北翼西段夏河—合作一带的早三叠世地层中发育大量中酸性小型岩体群,具有良好的金成矿条件及其找矿前景。已探明的金矿床有枣子沟金矿和将其拉梁金矿等。

6.玛曲—迭部—武都区域成矿带

分布于西倾山—迭山冲断带(白龙江复式背形构造)内。该成矿带可分为二个亚带。

北部为亚尔玛—舟曲金(砷)铁(铜)磷成矿亚带:位于白龙江断裂以北。产低温热液—层控型多金属矿床。金属矿赋存于中泥盆世下吾拉组或古道岭组的碳酸盐岩夹碎屑岩建造中,

容矿岩石为泥质灰岩夹粉砂质板岩、炭质板岩及闪长岩脉。已知有坪定中型砷金矿床,以及九源、黑多寺、查布、卡玛、亚尔玛和青稞崖等金(砷锑)矿点。此外,尚有洛大、亚尔玛赤铁矿和菱铁矿点及翠古山、益哇沟铜矿床(点)等。

南部为波海—白依铀、金成矿亚带:金矿主要产于早寒武世太阳顶群的炭硅质泥岩建造中,容矿岩石为含炭硅质岩与粉砂质板岩互层及含硅质结核、纹层、团块和条带的炭质粉砂质板岩和闪长岩脉。已知有拉尔玛中型金(铀汞)矿床、邛莫中型金(铀)矿床、牙相金矿点及温泉沟、益哇南铀(钼矾)矿床(点)等。

7 .大水—达拉—南坪东区域成矿带

位于西秦岭南部二叠—三叠纪前陆盆地。二叠—三叠纪碳酸盐岩及碎屑岩为赋矿地层。容矿岩石为灰岩、白云质灰岩、灰质砾岩夹粉砂质板岩,以及辉长岩脉等。已知矿产有大水大型金矿、忠曲、辛曲、贡北和格尔托小型金矿、尼玛汞(砷)矿化点等。

8 .石鸡坝—康县区域成矿带

位于摩天岭地体北缘的文康断裂北侧。文康断裂是一个长期活动而复杂的断裂带。其中北西—南东向和近东西向两组断裂具有重要控矿及其找矿意义。石鸡坝—康县区域成矿带主要赋矿地层为下泥盆统,中三叠统,石炭系。已探明矿产有泥盆纪岷堡沟组关牛湾、草坡和半山金矿床,屯寨组高家山和观音坝金矿(化)点,石炭系联合村、后斗湾金矿床及石山沟、马家湾金矿(化)点等。

9 .文县—碧口区域成矿带

位于摩天岭地体西南部白龙江流域。前寒武纪碧口群火山—沉积岩系是以铜金为主的多金属矿产赋矿地层。已知矿床有筏子坝铜矿和阳坝铜矿、众多的岩金矿点和白龙江沙金矿床等。

10 积石山区域成矿带

位于积石山地体。该地体位于玛曲—南坪区域成矿带中。广泛出露二叠—三叠纪含矿岩系。四川境内分布有玛瑙壳金矿和东北寨金矿,以及巴西、团结村、七里村和甲勿池等金矿点。因此积石山地区是金成矿有利地带,具有潜在的矿产资源勘查前景。

三、甘肃主要含金岩相建造与地层控矿作用

甘肃省的岩金矿主要产于太古—元古代、中元古代长城纪、寒武纪、奥陶纪、志留纪、泥盆纪、石炭纪、二叠纪和三叠纪等地层中。这些含矿岩系均为海相沉积建造,成矿类型复杂,沉积相型多样。

(一)太古—早元古代含金岩相建造

太古—早元古代结晶基底变质岩系是全球重要的含金建造。特别是太古代绿岩带常常既是金的矿源层,又可成为金的赋矿层。但是,甘肃省有关太古—早元古代金矿资源研究尚处于起步阶段。

甘肃太古—早元古代含金建造主要分布于北山区敦煌岩群。已探明金矿床有小西弓金矿等。北山区敦煌岩群原划归在“北山杂岩”中。该“北山杂岩”岩石组合十分复杂。近年已将其中一套强烈变质变形的结晶基底岩层解体出来,命名为敦煌岩群。北山区敦煌岩群的同位素年龄值逾1190Ma～2949Ma,相当于太古代—早元古代地层。

1 .地层序列

敦煌岩群为一套强烈变形的无序岩层。根据地层空间分布和所表现的构造层次特征可将其划分为四个岩组:

敦煌岩群(Ar-Pt*dh*)

西尖山南岩组(D 组)(Ar-Ptn)

流纹岩、中性火山岩、石英岩、变砂岩、大理岩和云母石英片岩等。

视厚度为 257～500m

西尖山北岩组(C 组)(Ar-Pt*b*)

角闪斜长片岩、石英片岩、变粒岩、斜长角闪岩、石英岩、片麻岩、条带状混合岩、长英质糜棱岩夹少量大理岩。 视厚度 1112～5391m

黄尖丘岩组(B 组)(Ar-Pt*h*)

片麻岩、花岗片麻岩、斜长角闪片岩、二云石英片岩、石英片岩夹石英岩及大理岩。岩石多糜棱岩化。 视厚度 1050～2783m

老君庙岩组(A 组)(Ar-Pt*l*)

黑云斜长片麻岩、黑云角闪变粒岩、眼球状混合岩、长英质糜棱岩、二云石英片岩、黑云斜长石英片岩、黑云石英片岩夹大理岩等。 视厚度 458～2780m

2 .岩相建造特征

1)老君庙岩组(A 组)岩相建造特征

老君庙岩组为一套结晶基底变质岩系,由各种结晶片岩、片麻岩和混合岩组成,夹有少量大理岩。原岩恢复为大陆边缘裂谷型基性、中基性火山—泥砂质碎屑沉积夹少量碳酸盐岩增生体;混合岩多为古老花岗岩变质而成的 TTG 岩系。岩石经多期强烈变质和退变质,表现为低角闪岩相—高绿片岩相变质程度。岩层强烈变形,原生层理几乎不复存在,变形面理形成褶叠层和顶厚褶皱等塑性流变特点。糜棱岩化发育,普遍见有长英质旋转残碎斑及眼球体。具中深构造层次特征。

2)黄尖丘岩组(B 组)岩相建造特征

黄尖丘岩组系老君庙岩组相变,以片麻岩、花岗片麻岩和片麻状花岗岩为主。这些岩石的原岩多为变质的花岗岩,是构成结晶基底的主要成分。其中的斜长角闪岩类多系基性火山岩变质产物,多构成金属矿的矿源层。

3)西尖山北岩组(C 组)岩相建造特征

西尖山北岩组出露于小西弓—乌龙泉—狼柴沟一线以北,系大陆边缘再次向北基底增生产物。由一套结晶基底变质岩系构成,与黄尖丘岩组呈局部角度不整合接触。该岩组原岩由边缘裂谷型基性、中基性火山—泥砂质碎屑沉积建造、变质中酸性深成岩等组成。变质程度达高绿片岩相—低角闪岩相。

4)西尖山南岩组(D 组)岩相建造特征

一套中浅层次构造层,表现为叠加在北西尖山岩组之上的准该层建造。该组由各种片岩、变砂岩、石英岩、变火山岩及大理岩组成。变质程度达低绿片岩相。原岩为中酸性火山—泥砂质沉积建造。

3 .地层含金性及其控矿条件

敦煌岩群中的基性、中基性岩是初始含金矿源层。西尖山南岩组(D 组)上部是金矿的主要围岩。其中二云片岩及绢云石英片岩含金性相对较高,分别为 54.63×10^{-9} 和 $50.25\times$

10^{-9},超出地壳克拉可质 14.6 倍和 13.6 倍,构成金矿的主要矿源层。

西尖山南岩组(D 组)上部是重要的金赋矿层位。金矿多沿该地层与断裂构造带和加里东期和华力西期构造—岩浆活动带相毗邻的接触带附近。小西弓金矿床是此类矿床的主要代表。

(二)中元古代含金岩相建造

已知中元古代长城纪金矿床产于北山区花牛山—小西弓区域成矿带。含金建造分布于红柳井南山北坡断层以北和中新生代断陷盆地以南的韧性剪切变质变形带中,矿带直接赋存于金庙沟—红柳泉南山次级脆—韧性断裂带中的长城纪黑色板岩及其糜棱岩带内。该矿带南侧出露前长城纪敦煌群基底结晶变质岩系;北侧出露中侏罗世金庙沟组、沙枣泉组煤系地层和早白垩世新民堡群砾岩及泥砂质沉积陆相地层。重要矿床(点)有金庙沟金矿床、金庙井金矿床及咸水井金矿点等。该含金建造位于敦煌岩群之上,属中浅层次变质岩系。

1.地层序列

北山区长城纪地层划分为古洞井群(或称白湖群)和铅炉子沟群(或称咸水井群)。

铅炉子沟群(Ch*ql*)

中基性火山岩及火山碎屑岩,夹绢云千枚岩。 厚度 735m

古洞井群(Ch*gd*)

变砂岩、二云石英片岩、千枚状板岩和千枚岩。 厚度 1195m

2.岩相建造特征

1)古洞井群岩相建造特征

分布于额济纳旗南部月牙山—古洞井一带。古洞井群为一套浅海相碎屑岩沉积,主要由紫红色、灰绿色变砂岩、千枚状板岩、千枚岩、石英岩、二云母石英片岩和绢云母石英片岩夹大理岩组成。地层中发育波痕、雨痕及交错层理。经区域埋深变质及退变质,变质程度达板岩—千枚岩级低绿片岩相。

古洞井群与下伏地层前长城系为不整合或断层接触;与上覆地层铅炉子沟群为整合接触。

2)铅炉子沟群岩相建造特征

铅炉子沟群为一套海相火山—沉积地层。可分为二个岩组。下组以变质火山碎屑岩、中—基性火山岩夹变质碎屑岩及泥质岩为主,夹火山碎屑岩和绢云千枚岩;上组以浅变质粉细砂岩、板岩和泥质岩为主,具韵律构造。咸水井东南,测得下组变玄武岩 Sm-Nd 同位素等时线年龄值 1622Ma～1624Ma,锆石 U-Pb 同位素年龄值 1229Ma,地质年代为长城纪。

3.地层含金性及其控矿条件

前寒武纪基性、中基性火山—沉积建造是金的初始矿源层。只有在多期构造—岩浆活动作用下,一方面岩浆沿断裂带供给热液和矿源;另一方面热液将地层金聚集成为载金活性团,沿着热液通道进入构造糜棱岩带及次生石英脉中富集形成矿带。地层基性、中基性火山—沉积含金岩相建造、多期构造—岩浆活动及韧性、脆—韧性断裂构造作用是前寒武纪地层金成矿的必要条件。

(三)早古生代含金岩相建造

早古生代地层是祁连造山带重要含金岩系。寒武纪和奥陶纪火山—沉积建造中赋存着寒山金矿、鹰咀山金矿和镜铁山铜金矿等一批中大型矿床。此外,西秦岭北部未分震旦—奥陶纪地层和南部迭山背形构造轴部的寒武系亦是重要含金层位。

1 .震旦—奥陶纪含金岩相建造

震旦—奥陶纪含金建造分布于马衔山—通渭被动陆缘断隆带东端裂谷带的娘娘坝—柴家庄成矿带内。震旦—奥陶纪李子园群是主要含金地层。

1)地层序列

李子园群为一套变质火山—沉积岩系。根据构造—地层组合特征可分为三个岩组。

李子园群(Z - Olz)

C 组(Z - Olz^{c}):变质碎屑岩夹结晶灰岩。

B 组(Z - Olz^{b}):变酸性、中酸性火山岩夹碎屑岩及结晶灰岩。

A 组(Z - Olz^{a}):中基性火山岩夹碎屑岩为主,少量中酸性火山岩及大理岩。

2)岩相建造特征

(1)李子园群 A 组岩相建造特征。由变质中基性火山岩夹碎屑岩、少量中酸性火山岩及大理岩组成。该组为一套陆内裂谷型火山—沉积建造,偶有碳酸盐岩沉积。经区域低温动力变质作用,岩石呈低绿片岩相变质。

(2)李子园群 B 组岩相建造特征。李子园群 B 组由变酸性、中酸性火山岩夹碎屑岩及碳酸盐岩组成。为一套陆内裂谷火山—沉积建造。酸性、中酸性火山岩属裂谷早期火山喷溢产物,并与李子园群 A 组中基性火山岩构成双峰值火山岩套。地堑火山喷溢期间,来自相邻地垒的陆源碎屑物作为火山岩系的夹层产出。该组经区域低温动力变质作用后已达低绿片岩相变质程度。

(3)李子园群 C 组岩相建造特征。该组为一套浅变质的陆源碎屑岩夹碳酸盐岩沉积,系裂谷晚期产物。区域变质程度达低绿片岩相。

3)地层含金性及其控矿条件

李子园群 A 组是娘娘坝—柴家庄成矿带的主要含金层位。该组基性火山岩既是矿源层,又是含矿层。柴家庄等金矿床资料表明,李子园群 A 组的金须经受多期构造—岩浆活动及变质作用方能富集成矿。

需要着重指出,武山—天水一带和中祁连野马南山、大雪山等地存在寄寓于同一被动陆缘断隆带的早古生代裂谷带,出露有相似的含金岩相建造,具有潜在的找矿前景,有必要加强这些地区的找矿力度。

2 .寒武纪含金岩相建造

已查明的寒武纪含金建造主要分布于北祁连西段蛇绿混杂岩带、走廊断陷盆地山丹—永昌隆起曹家口地区和西秦岭南部西倾山—叠山冲断带背形构造核部。

1)北祁连西段寒武纪含金岩相建造

(1)地层序列。北祁连西段出露中寒武世黑茨沟组和晚寒武世香毛山组。其中黑茨沟组与金矿关系最为密切。鹰咀山—香毛山地区地层序列如下:

上覆地层:早奥陶世阴沟群($O_1 yg$)

——————————— 不明 ———————————

香毛山组($\in_3 x$)

千枚岩、板岩夹长石砂岩及少量结晶灰岩;产丰富三叶虫化石。　　出露厚度 1111m

黑茨沟组($\in_2 h$)

上部:灰绿色夹紫红色中酸性凝灰岩,夹有凝灰质板岩及少量结晶灰岩。灰岩中产三叶虫化石。　　出露厚度 2233m

下部:凝灰质砂岩(断层截切,未见底)

(2)岩相建造特征。

①黑茨沟组岩相建造特征。黑茨沟组由总体无序局部有序的基性—中基性火山岩、火山碎屑岩及少量结晶灰岩组成叠置岩片,并夹有超基性基性岩块体,构成蛇绿岩带。该带主体为板块汇聚边界构造混杂岩带。主体由洋壳残片及部分大陆边缘增生的岛弧型火山—沉积建造构成。偶夹碳酸盐沉积。火山—沉积岩为深海次深海沉积,产三叶虫等浮游相动物群。

②香毛山组岩相建造特征。香毛山组为一套滨海—浅海相碎屑建造,由千枚岩、板岩夹长石砂岩及少量结晶灰岩组成,产三叶虫化石,系晚寒武世前陆盆地近源沉积。

(3)地层含矿性及其控矿条件。北祁连西段寒武纪地层金矿(化)产于黑茨沟组。该组所产金矿床主要赋存在蚀变火山岩内。鹰咀山地区已发现不同规模金矿化 9 处,延伸达 150km,宽 30km。金品位可达 0.2×10^{-6}～1.5×10^{-6}。含矿岩性为凝灰岩、含砾凝灰岩和安山岩等。黑茨沟岩组控矿条件极为复杂。构造位置、地层含金岩相建造和多期构造—岩浆活动是控制成矿三位一体的必备要素。以玉门—鹰咀山金矿为例,矿床多产于阿尔金断裂与近东西向次级断裂交汇部的构造破碎带内;矿体附近或底部存在超基性基性岩体、岩株或岩脉。这些超基性基性岩是金元素主要载体。其次,黑茨沟组的基性、中基性火山岩系亦提供了部分金物质来源。金矿产于那些与超基性基性岩有关的地层断裂破碎蚀变带中。

2)走廊断陷盆地隆起区寒武纪含金岩相建造

(1)地层序列。山丹—永昌一带出露早寒武世泥砂质夹少量碳酸盐岩沉积地层,称为大黄山组。该组可分为上、中和下等三个岩段,其基本层序如下:

大黄山组($\in_1 d$)　　(1598～2302m)

上段($\in_1 d^3$):灰绿色杂砂岩夹板岩(未见顶)。

中段($\in_1 d^2$):杂砂岩。

下段($\in_1 d^1$):灰绿色夹紫红色或杂色变细砂岩与板岩、粉砂质板岩互层,具韵律结构,常见底面构造,夹有少量硅质岩 薄层及灰岩透镜体。近底部紫红色板岩夹层中产原始海绵骨针 *Protospongia* 化石。(未见底)

(2)岩相建造特征。山丹—永昌隆起出露的寒武纪地层为一套泥砂质复理石沉积,系大陆边缘前陆盆地沉积产物。

(3)地层含金性及其控矿条件。山丹—永昌隆起区寒武纪地层中产金银矿床。矿体赋存于断裂破碎带的次生石英脉中。在强矿化地段,石英脉即为矿体。在弱矿化段,矿化仅出现于石英脉体近中部。近脉围岩破碎带内发育的强硅化细网状石英脉只形成小而贫的矿体。以曹家口矿区为例,已圈出金银矿体 4 个,长度均在 600m±范围内。主矿体表内平均品位 Au 达 5.24×10^{-6},最高 33.1×10^{-6},Ag 204.51×10^{-6},最高 840×10^{-6}。非矿化石英脉中,金和银含量分别是黎彤值(1976 年)的 12.5 倍和 40 倍,明显高于克拉克值;而长石石英杂砂岩及矿区外围的似斑状二长花岗岩微量元素值则低于或接近黎彤值。这一信息表明地层金业已耗

尽,随热液进入次生石英脉中产生矿化。因此认为地层所含金元素是形成矿化的部分矿源层。断裂破碎作用及其热液蚀变作用是产出含矿石英脉的基本条件。

3)西秦岭西倾山—迭山寒武纪含金岩相建造

(1)地层序列。西倾山—迭山逆冲断隆带背形构造核部的早寒武世黑色岩系为金矿化地层。该地层为:

太阳顶群($\in_1 ty$)

一套黑色岩系。由薄层含炭硅质岩与粉砂质板岩互层构成,内夹硅质条带、结核、团块、纹层和薄层炭质粉砂质板岩。

(2)岩相建造特征。早寒武世太阳顶群黑色岩系为一套含炭硅质的泥砂质深海次深海盆地沉积。

(3)地层含金性及其控矿条件。太阳顶群金矿床产于黑色炭硅质碎屑岩系中。自然金以微细粒浸染状分布于地层中。寒武纪地层金对数平均背景值为 8.74×10^{-9},而太阳顶群实测(1193 个样)平均丰度为 30.7×10^{-9}。由此可见,该地层是一套富金岩系,具有良好找金前景。现已探明一批中大型金矿床及矿点,如拉尔玛(铀汞)金矿床、邛莫(铀)金矿床及牙相金矿点等。黑色岩系中,构造应力所产生的变形带有利于含矿热液充填交代,是成矿最有利部位。

3 .奥陶纪含金岩相建造

奥陶纪含金地层主要分布于北祁连山西段,位于寒武纪金矿带北侧。走廊南山北坡的寒山—童子坝一线为奥陶纪主成矿带。金赋存于奥陶纪蛇绿混杂岩和岛弧型火山—沉积建造中。

1)地层序列。北祁连奥陶纪地层自下而上划分为阴沟群、中堡群、妖魔山组、南石门子组和扣门子组。其中,阴沟群、妖魔山组和扣门子组分别属于奥陶纪下统、中统和上统主体层位;中堡群和南石门子组是穿时性地层单位。

上覆地层　肮脏沟组($S_1 a$):下部为绿色、灰绿色页岩、砂岩及砂砾岩;上部为灰绿色、蓝灰色砂岩、粉砂岩、板岩和页岩互层,产笔石。

整合

扣门子组($O_3 k$)

安山质及英安质熔岩、凝灰岩和集块岩为主,夹有少量玄武岩、安山玄武岩、碳酸盐岩及碎屑岩。由西向东逐渐变厚。　厚度 501～2170m

南石门子组($O_{2-3} n$)

硅泥质板岩、泥质板岩、变质粉砂岩、砂岩夹厚层灰岩及泥灰岩透镜体。由西向东增厚。　厚度 70～969m

妖魔山组($O_2 y$)

厚层灰岩。祁连山东部称为“古浪灰岩”或“乱石堆灰岩”。　厚度大于 180m

中堡群($O_{1-2} zp$)

一套火山碎屑岩和碎屑岩沉积。碎屑岩以砂岩和板岩为主,偶夹砾岩、砂砾岩、厚层灰岩、硅质岩及火山岩透镜体。板岩与砂岩常呈互层出现。火山岩类型复杂。主要为火山熔岩、火山碎屑岩夹碱性火山岩。厚度变化大,玉门南厚 100m,肃南厚 352m,古浪厚 1380m,中堡厚 1058m,靖远厚 3300m,由西向东逐渐增厚,层位逐渐变高。

阴沟群($O_1 yg$)

玄武岩、安山玄武岩、安山岩、英安岩及各种集块—角砾岩、角砾凝灰岩、凝灰岩、岩屑砂岩、层状硅质岩、板岩及灰岩。出露厚度变化大,最厚可达 5000m;而阴沟一带仅 1000m。

不明

下伏地层　香毛山组($\in_3 — O_1 x$):浅变质泥砂质碎屑岩,夹结晶灰岩及火山碎屑岩。

2)岩相建造特征

(1)阴沟群岩相建造特征。阴沟群为一套海底火山 - 沉积建造。碎屑岩系深海、次深海泥砂质复理石沉积。以深灰色、灰绿色和灰黑色页岩为主,夹有细粒杂砂岩、硅质岩及碳酸盐岩。火山岩以间歇性喷溢相为主,局部出现爆发相喷发。常见块状和枕状熔岩、火山集块岩、角砾岩、角砾凝灰岩及凝灰岩等。

(2)中堡群岩相建造特征。中堡群由碎屑岩、中酸性火山岩、火山碎屑岩夹硅质岩、中基性火山岩及灰岩组成,局部出现碱性火山岩。具有钙碱系列橄榄安粗岩亚系特点。该岩群当属弧后拉张条件下沉积产物。板岩及深水灰岩中产丰富的浮游相笔石和三叶虫生物群化石,指示此地层形成于深海、次深海及局部隆起环境。

(3)妖魔山组岩相建造特征。妖魔山组底部常有砂砾岩层不整合在中堡群之上。该不整合界面当属祁连西段于早—中奥陶世弧后盆地汇聚造山记录。砂砾岩具有山前磨拉石建造特点。在后构造调整机制下,出现中奥陶世残留盆地。妖魔山组下部形成深水相薄层致密灰岩、板岩和页岩沉积,向上过渡为陆棚浅海相碳酸盐岩地层,进入稳定沉积环境。

(4)南石门子组岩相建造特征。进入中—晚奥陶世过渡期,走廊南山西部玉门南石门子—肃南大海子一带发生裂陷,沉积了较厚的硅泥质板岩、泥质板岩、粉砂岩夹厚层灰岩及泥灰岩透镜体组成的裂陷槽沉积地层。厚度变化大。总体由西向东逐渐增厚。玉门一带仅 70m,大海子一带达 969m。

(5)扣门子组岩相建造特征。扣门子组为一套成因复杂的火山—沉积岩系,以玄武岩—安山岩—流纹岩及同质凝灰岩、集块岩组合为主,夹有泥砂质、硅质和碳酸盐岩沉积。由地球化学数据分析与图解可知,火山岩系多属钙碱系列岩石,产于奥陶纪晚期弧后盆地构造—岩浆活动环境。亦有人认为,枕状熔岩系弧后盆地型蛇绿岩。

3)地层含金性及其控矿条件

北祁连西段金矿主要赋存于早奥陶世阴沟群中。阴沟群在区域上分布稳定。地球化学分析表明,该群含金量普遍较高。其丰度值高出地壳克拉克值数倍至数十倍,是特有的高金背景层位,金矿化普遍发育。其中火山碎屑岩副矿物内自然金出现率为 33%;而熔岩自然金出现率为零,多已析出。由此认为阴沟群火山岩是金的矿源层,火山碎屑岩是金的主要赋矿层。一般说来,金丰度达 5×10^{-9},可出现矿致异常;金丰度达 12×10^{-9} 以上,则形成矿化蚀变带;金丰度超过 80×10^{-9},则有矿体产出。

地层赋矿性与构造—岩浆活动密切相关。近东西向韧性剪切带及其毗邻的加里东期中酸性侵入岩是金矿床在地层中定位的直接要素。如寒山金矿区,阴沟群中岩组与南侧加里东期石英闪长岩呈断层接触,火山碎屑岩及碎屑岩产生褐铁矿化蚀变带,金含量可达 $0.1\times10^{-6}\sim0.2\times10^{-6}$。在断层以北,离开岩体一定距离,阴沟群上岩组下部(段)经韧性变形的安山质角

砾岩、片理化安山质凝灰岩、片理化英安质凝灰岩成为金矿(化)体的主要部位。而该群上岩组上部(段)为一套酸性火山岩为主的岩石组合,韧性变形较弱,因而赋存矿体少,规模小,质量不如下部(段)。

(四)晚古生代含金岩相建造

晚古生代地层是甘肃金矿重要层位。含矿建造分布广泛,岩相类型多样。已探明的岩金矿床主要分布在北山和西秦岭地区。

1.泥盆纪含金岩相建造

泥盆纪含金建造分布于西秦岭地区。可分为李坝型建造、坪定型建造和石鸡坝型建造等三类型。

1)石鸡坝型含金岩相建造

石鸡坝型含金建造出露于西秦岭东南部的摩天岭地体北侧文康断裂带。金矿赋存于早泥盆世前陆盆地沉积地层屯寨组和岷堡沟组中。此外,中泥盆世地层亦有零星矿化现象。

(1)地层序列。早泥盆世地层分为屯寨组、石坊群和岷堡沟组等三个岩石地层单位。其层序如下:

岷堡沟组(D_1 *m*)

砂岩、板岩和灰岩夹粉砂岩、粉砂质板岩。

石坊群(D_1 *sf*)

黑灰色砂质板岩夹板状细砂岩为主。中上部夹有数层黑灰色砾状硅质岩或硅质砾岩、硅质岩屑含砾粗砂岩及细砾岩;中下部常夹劣质无烟煤层。在岷堡沟一带,上部及顶部夹有薄层状或瘤状泥质灰岩,并产丰富的珊瑚及腕足类化石。

厚度 928～1616m

屯寨组(D_1 *t*)

灰岩、绢云千枚岩与绢云片岩互层(未见底)。

(2)岩相建造特征。屯寨组由泥砂质沉积为主,夹碳酸盐岩或呈互层,属浅海陆棚相沉积。砂泥质与碳酸盐岩韵律层表现上斜坡退积型沉积特点。石坊群由多个亚层序组成。下部为低水位域海陆交互相沉积,其底部不整合在临江组暴露面之上,黑色砂板岩常夹有煤层。中部为砂板岩互层,夹有泥质灰岩,属海侵域。中上部超覆于中下部地层之上,由黑色砂岩和板岩夹多层砾岩构成进积型高水位体系域。岷堡沟组由进积型砂岩为主,并有板岩和灰岩,组成海退型浅海相沉积地层。

(3)地层含金性及其控矿条件。金矿主要产于早泥盆世屯寨组和岷堡沟组中。前者以高家山和观音坝金矿为代表,后者以关牛湾、草坡和半山金矿为代表,矿石金品位一般在 1.39×10^{-6}～7.0×10^{-6} 之间。金元素受控于地层断裂破碎带,经热液矿化蚀变而富集成矿。

2)坪定型含金岩相建造

坪定型含金建造分布于西倾山—迭山逆冲带背形构造北翼。金矿赋存在中泥盆世下吾那组(或称古道岭组)碳酸盐岩及碎屑岩地层中。容矿岩石为泥质灰岩夹粉砂质板岩和炭质板岩。

(1)地层序列。

下吾那组(D_{2-3} *x*)

上段($D_{2-3}x^3$):灰色、灰黑色薄—中厚层状微晶砂屑灰岩、砾屑灰岩、泥质粉晶灰岩、

微晶砂屑藻灰岩、弱白云石化微晶砾屑灰岩和砂状微晶凝块灰岩与钙质粉砂质页岩、钙质粉砂岩、灰泥质粉砂岩、泥质粉砂岩和灰质页岩互层。产丰富的牙形石、竹节石及少量腕足类、珊瑚、介形虫、三叶虫及古孢子化石。　　厚度 594.9m

中段(蒲莱段)($D_{2-3}x^2$):黑色含粉砂质页岩和含炭灰质页岩为主,夹薄—中厚层微晶灰岩、巨厚层亮晶含藻砂屑生物灰岩及少量薄层或透镜状砂屑微晶灰岩、泥质微晶灰岩。产丰富的竹节石、牙形石、珊瑚、腕足类及少量介形虫、双壳类、头足类、腹足类和古孢子化石。　　厚度 267.5m

下段($D_{2-3}x^1$):上部自下而上由灰色、浅褐灰色中—厚层石英砂岩、泥质粉砂岩、砂质页岩、页岩、灰色中—巨厚层微晶灰岩、微晶生物碎屑灰岩、泥质微晶生物碎屑灰岩、砂屑藻灰岩和层状生物礁灰岩构成二个较大沉积旋回。灰岩中富产珊瑚、腕足类及少量介形类、腹足类、苔藓虫、牙形石、鹦鹉螺、竹节石和古孢子化石。厚度大于 322.9m。下部为灰色、深灰色微晶生物碎屑灰岩、砂屑微晶灰岩、微白云石化微晶生物碎屑灰岩、夹页岩、钙质页岩、含粉砂页岩、含钙质砂质页岩和含钙质粉砂岩,并出现多层层状生物礁灰岩。生物极为繁盛,富产珊瑚、腕足类及少量介类、双壳类、牙形石、三叶虫、鹦鹉螺、竹节石和古孢子等化石。

厚度大于 238.6m

(2)岩相建造特征。下吾那组为一套碳酸盐岩台地壳滩相及礁相沉积。后者具生物抗浪结构,是典型台地边缘沉积产物。

(3)地层含金性及其控矿条件。金矿产于中泥盆世下吾那组碳酸盐岩夹碎屑岩中。以坪定中型金砷矿为代表,矿体定位于泥质灰岩夹粉砂质板岩及炭质板岩,具有明显层控特点。矿体中 Au、As、Sb 共生,含量较高,表现为低温—中低温浅成矿化特征。

3)李坝型含金岩相建造

李坝型含金建造分布在西秦岭北部褶断带高桥—礼县—桃坪大断裂以北地区。金成矿作用与中泥盆世浊流沉积地层的关系最为密切。李坝金矿和金山金矿可作为该类型金矿代表。

(1)地层序列。矿区泥盆纪地层三统齐全,地层序列如下:

大草滩群(D-C *dc*)

上部:灰绿色、暗灰色砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩夹薄层泥质粉砂岩,产腕足类、珊瑚及少量植物化石。

中下部:灰绿色、紫红色及暗灰色砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩夹含砾粗砂岩及砂砾岩,产植物和少量鱼类化石。(未见底)

李坝群(狭义舒家坝群)($D_{2-3}lb$)

上部:灰绿色板岩、含粉砂质条带状板岩和粉砂质板岩夹砂岩、粉砂岩、粉砂质泥灰岩、泥质灰岩、泥晶灰岩、粒屑灰岩及微晶灰岩。砂岩及灰岩呈中厚层状,具水平层理、微波状层理和沙纹斜层理,发育鸟眼构造、叠层石构造及藻席构造,可见石盐假晶。粉砂岩及板岩多为薄层板状,二者常互为夹层或条带,具沙纹斜层理、波状层理和透镜状层理,发育各类波痕。　　厚度大于 3000～3800m

下部:由灰绿色板岩、钙质板岩、绢云板岩、粉沙质板岩、粉砂岩、砂岩及钙质砂岩组成韵律性互层,夹有少量灰岩、泥灰岩及砂质泥灰岩。岩石已强烈变形,但原生层理依然保存。常见平行层理、交错层理、脉状层理及透镜状层理,可见爬升波状

层理,偶见重荷模、波痕及沙球构造。粉砂岩和板岩中见有雨痕、干裂迹和虫迹等。产珊瑚及少量腕足类、植物化石。　　厚度大于 4445m

吴家山组(狭义)(D_1w)

变质砾岩、变质砂岩、粉砂岩,向上出现白色、粉红色厚层中粗粒结晶大理岩及炭质千枚岩。

(2)岩相建造特征。

①吴家山组岩相建造特征。原‘吴家山组’由两部分组成。下部为一套结晶片岩系,其同位素年龄值达 1448Ma,属中晚元古代变质地层。上部为一套浅(未)变质沉积岩系,由变质砾岩、变质砂岩、粉砂岩、炭质千枚岩和大理岩组成,产有早泥盆世珊瑚及腕足类化石,属滨海 - 浅海相沉积建造。后者即是狭义的吴家山组。该组下部为进积型滨浅海相陆缘碎屑沉积;上部为退积型碳酸盐台地相 - 硅质碎屑岩陆棚相建造。

②李坝群岩相建造特征。中泥盆世李坝群由泥砂质碎屑岩构成韵律层,具重力流及塑性流沉积特征,是一套典型浊积岩相沉积建造。

③大草滩群岩相建造特征。大草滩群系一套海陆交互相类磨拉石建造。该群大致由二个不完整沉积旋回构成。每一旋回自下而上,粒度由粗变细。下部旋回以暗紫红色—紫红色、灰绿色、褐黄色和深灰色陆相碎屑岩沉积为主,产植物群及鱼类化石;上部旋回以灰色浅海相碎屑岩沉积为主,并有陆相沉积夹层,产珊瑚、腕足类及植物化石。动物化石组合面貌表明,大草滩群为一个穿时性地层单位,沉积时代为晚泥盆世—早石炭世。

(3)地层含金性及其控矿条件。李坝型金矿化赋存于中泥盆世李坝群浊积岩系中。经测试,地层金丰度达 5.5×10^{-9},是地壳金丰度的 5 倍。表明金在地层中已经原始富集。区域上,金矿化与岩浆活动关系密切,金矿床多分布在距岩体外接触带约 1～5km 范围内的地层中。

2 .石炭纪含金岩相建造

甘肃石炭纪含金岩相建造分布于北山地区。金矿主要产于早石炭世火山—沉积岩系中。北山区早石炭世含金建造可分为两种类型:白山组为岛弧型火山—沉积建造;红柳园组为裂谷型火山—沉积建造。

1)白山组含金岩相建造

(1)地层序列。白山组分布于北山北带红石山以南地区,呈宽约 40km 带状分别向东西两端延入新疆和内蒙境内。甘肃明水地区白山组序列如下:

上覆地层　扫子山组($C_{1-2}s$):板岩、石英长石砂岩,夹泥灰岩及中酸性火山岩

——————————　断层　——————————

白山组(C_1b)

上段:中酸性及酸性火山岩、火山碎屑岩、千枚岩夹含铁石英砂岩、砂岩及大理岩。

下段:巨厚的酸性及中酸性火山岩夹千枚岩、砂岩及大理岩,大理岩中产珊瑚 *Thysanophyllum* cf . *Grabaui* 及腕足类、三叶虫等。

——————————　连续沉积　——————————

下伏地层　绿条山组(C_1^1l):灰黄色长石砂岩、杂砂岩、灰黑色千枚岩和硅质板岩,偶夹

灰岩及火山岩。

白山组产 *Thysanophyllum* cf .*Grabaui* 和 *Siphonophyllia* cf . *Cylindrica* 等化石,定时代为早石炭世维宪期。

(2)岩相建造特征。白山组为一套岛弧型火山—沉积建造,由中酸性火山岩及泥砂质碎屑岩构成。早期为间隙性强喷溢期,形成了下段巨厚的海相酸性、中酸性火山岩系,主要为安山岩、英安岩、流纹岩、千枚岩及砂岩。晚期以泥砂质碎屑岩沉积和中基性、中酸性喷发相火山碎屑岩及次火山岩为主,其上段由千枚岩、砂岩夹玄武岩、安山岩、安山角砾凝灰岩、英安岩、英安质凝灰岩、流纹岩、次火山岩及灰岩组成。该火山 - 沉积岩系是哈萨克斯坦板块沿康古尔塔格—红石山缝合线向南俯冲形成的岩浆弧产物。

(3)地层含金性及其控矿条件。白山组是甘肃重要含金地层,著名的南金山金矿床和马庄山金矿床均产于其中。金矿主要赋存于白山组上岩段中性火山碎屑岩和次生石英岩内,具有明显层控特征。火山—沉积地层是金的主要矿源层。在断裂构造作用下,地层中的金元素随热液活性团交代析出,富集在次生石英岩中。次生石英岩是主要载金地层体。

2)红柳园组含金岩相建造

(1)地层序列。红柳园组分布于北山南带。自红柳园向东断续延伸至金塔县溺水一带,向西延入新疆境内。甘肃红柳园组序列如下:

上覆地层　石板山组($C_{1-2}s$):砂岩、板岩和灰岩,底部为砾岩及含砾砂岩。

——————————　不整合　——————————

红柳园组(C_1h)

上段(C_1h^2):砾岩、石英砂岩、长石石英砂岩、中酸性火山岩。

下段(C_1h^1):砾岩、砂岩夹灰岩,偶见中酸性火山岩。

——————————　不整合　——————————

下伏地层　墩墩山群(D_3dd):红色斜长流纹岩、流纹英安岩、英安岩、石英安山岩及其同质火山碎屑岩,底部为巨砾岩或凝灰质巨砾岩。凝灰岩中产植物化石碎片。

红柳园组灰岩中产丰富的珊瑚和腕足类等海相动物群化石。地质时代为早石炭世。

(2)岩相建造特征。红柳园组为一套碎屑岩夹灰岩及火山岩组合。下部以粗碎屑岩为主,夹有灰岩及火山岩;上部以细碎屑岩为主,中酸性火山岩发育,灰岩含量亦较多。该火山—沉积岩系是在塔里木板块东北部被动陆缘上发展起来的红柳园—音凹峡石炭—二叠纪裂谷带的下部火山—沉积建造。

(3)地层含金性及其控矿条件。红柳园组是北山南带重要含金建造。该建造形成以金场沟为代表的一批金矿床和金矿(化)点。红柳园组所产金矿赋存于中酸性火山岩、火山碎屑岩及次生石英岩中,看起来与白山组所产金矿有类似之处。不同之处在于前者属裂谷型火山—沉积含金建造,后者属岛弧型火山—沉积含金建造。红柳园—音凹峡裂谷带构造—岩浆活动强烈。张性环境下侵入和喷溢的超基性、基性和中酸性火山岩是金的重要矿源层。断裂带及其附近的红柳园组中酸性火山岩、火山碎屑岩和次生石英岩是主要成矿部位。

3 .二叠纪含金岩相建造

二叠纪含金建造分布于北山南部红柳园—音凹峡石炭—二叠纪裂谷带和西秦岭南部西倾山—迭山冲断带的玛曲尼玛地区。

1)北山区二叠纪含金岩相建造

(1)地层序列。北山区二叠纪含金地层为方山口群。该地层为一套巨厚的陆相火山—沉积建造。基本层序如下:

方山口群(P_2)

(未见顶)

上部:中酸性火山熔岩和火山碎屑岩,局部见基性火山岩。

下部:中酸性火山岩、火山碎屑岩夹碎屑岩和粉砂质灰岩,底部为一层复杂成分砾岩。凝灰质细砂岩中产丰富的以 *Callipteris* 为代表的安哥拉植物群化石。

不整合

下伏地层　石板山组($C_{1-2}c$):砂岩、泥岩和灰岩,产丰富的动物化石。

(2)岩相建造特征。方山口群为一套中酸性火山岩及碎屑岩,夹有基性火山岩,属红柳园—音凹峡裂谷晚期火山建造。该岩群自浅海相石板山组演化形成裂谷晚期进积型层序。此层序与裂谷早期红柳园组海侵层序构成双层式结构。方山口群产有大量安哥拉植物群,指示寒带气候环境。地质时代为晚二叠晚期。

(3)地层含金性及其控矿条件。方山口群金矿化赋存于中酸性火山岩、火山碎屑岩及次生石英岩中,产有金场沟等一批金矿床及金矿点。方山口群含金建造与红柳园组含金建造的金矿化作用具有相同特征。事实上他们是在同一裂谷环境下产生的地层矿化作用。地层含金性及其控矿条件具有明显相似性。红柳园组火山岩系属裂谷早期矿化,方山口群火山岩系属裂谷晚期矿化。在构造—岩浆活动作用下,矿床形成于同一成矿时期。

2)西秦岭二叠纪含金岩相建造

(1)地层序列。金矿赋存于迭山组内。该组为一套 P_2-T 穿时性碳酸盐相地层。

上覆地层　扎里山组(T_1z):鲕状微晶灰岩、微晶鲕粒灰岩,局部夹泥晶灰岩,顶部见有钙质砾岩楔。

整合

迭山组(P_2-Td)　　厚度 312～1460m

上部:浅灰色—灰色中厚层状鲕状灰岩、灰岩及角砾状灰岩。产珊瑚等化石

中部:深灰色薄层灰岩、含燧石灰岩及钙质泥岩。

下部:黑色含炭钙质页岩夹薄层灰岩。产丰富动物化石。

整合

下伏地层　大关山组(C_2-P_1d):灰白色厚层灰岩和生物碎屑灰岩。

(2)岩相建造特征。迭山组以浅海相碳酸盐沉积为主,并夹有泥质岩,浅海动物十分繁盛,表现为碳酸盐台地边缘相沉积特征。

(3)地层含金性及其控矿条件。二叠系金的对数平均背景值为 2.13×10^{-9};迭山组实测(45 个样)平均丰度值为 2.17×10^{-9}。二数据极为接近。表明金并非来自迭山组正常沉积物。

根据岩浆岩丰度值的测定,花岗闪长岩丰度值为 17.6×10^{-9},花岗闪长斑岩丰度值为 3×10^{-9},远远高于地壳金背景值。由此可以看出,迭山组的金矿化源于岩浆热液,与构造—岩浆活动关系密切。地层中,来自深源浅成的花岗闪长岩和花岗闪长斑岩的金随热液沿着近东西向断裂带入地层,并受控于南北向断裂,在两组断裂交汇部富集定位。因此认为,在 I 型中酸性小岩体或岩枝、岩株发育地区,两组正交断裂交汇处出现的矿化蚀变带是成矿最有利地段。

(五)中生代含金岩相建造

甘肃境内中生代含金地层主要分布于西秦岭南部三叠纪前陆盆地和西秦岭中部裂陷槽沉积区。此外,该区侏罗纪山间盆地湖沼相地层中亦有局部矿化。现将三叠纪含金建造简述如下:

1.西秦岭南部前陆盆地型三叠纪含金建造

西秦岭南部含金建造赋存于早三叠世晚期地层马热松多组中。该地层是甘肃最重要的含金层位。著名的大水金矿和忠曲金矿均产于此层位。

1)地层序列

西秦岭南部前陆盆地地层沉积于早—中三叠世。自下而上可划分为扎里山组和马热松多组。

上覆地层　郭家山组(T_2g):泥晶灰岩、鲕粒灰岩及灰质砾岩。

整合

马热松多组(T_1m)

4.灰色中厚层状夹薄层状泥晶白云岩,产双壳类化石。　>414m

3.浅灰色薄层状微晶灰岩局部层面见波痕构造。　27m

2.浅灰色、灰白色中薄层状细晶白云岩,发育水平纹层及缝合线构造;白云岩的局部层面见有厚约 1cm 的紫红色碎屑岩,含双壳类化石碎片。　95m

1.灰白色中厚层状细晶白云岩,产双壳类化石。　194m

断层

扎里山组(T_1z)

12.褐红色灰质砾岩。　113m

11.浅灰色、灰色中层状鲕粒灰岩,产双壳类化石。　109m

10.浅灰色、淡红色厚层状内碎屑鲕状灰岩。　78m

9.灰色中薄层状泥晶灰岩,水平纹层发育,产双壳类和腹足类化石。　187m

8.灰色中厚层状微晶灰岩。　150m

7.灰色薄层状微晶灰岩夹中厚层状细晶灰岩。　24m

6.灰色中厚层状细晶灰岩,层面见波痕构造。　75m

5.灰色、浅灰色厚层状鲕粒细晶灰岩,见波痕构造。　29m

4.浅灰色、淡红色厚层状鲕粒微晶灰岩。　75m

3.浅灰色夹淡红色块状鲕粒灰岩。　93m

2.浅灰色、淡红色块状鲕粒微细晶灰岩。　73m

1.灰色、浅灰色厚层状微晶鲕粒灰岩,产有孔虫化石。

整合

下伏地层　迭山组(P_2):灰色中薄层状微晶灰岩。

2)岩相建造特征

(1)扎里山组岩相建造特征。扎里山组总体为一套碳酸盐台地沉积。其下部和上部以鲕粒灰岩为主,多为厚层块状层理,系鲕粒滩相沉积产物。中部以泥晶灰岩及微晶灰岩为主,层理变薄,多为中薄层状,底栖生物繁盛,表现下潮坪沉积相特点。

(2)马热松多组岩相建造特征。马热松多组为一套泥晶白云岩和微晶白云岩组合地层。近下部常有紫红色碎屑岩夹层和暴露性冲刷面,具明显的潮上带沉积特征。中上部岩层面多有波痕构造,产双壳类动物群,属潮间带沉积产物。

3)地层含金性及其控矿条件

马热松多组为主要赋矿地层。大水和忠曲等大型金矿床均产于该地层中。然而从沉积岩相建造分析,马热松多组本身并非是金的矿源层。根据 301 个样品分析,地层实测金平均丰度值仅为 1.9×10^{-9},与地壳金丰度值十分接近。由此亦表明,金矿田的金不是来源于地层。大水等金矿床多沿西倾山—迭山逆冲带南缘近东西向的玛曲—略阳大断裂分布,受控于北西、北东和南北向断裂与近东西向主断裂的叠加或交汇部,定位于马热松多组碳酸岩盐及白云质岩石中。成矿作用经历了漫长的过程。多期次构造—岩浆活动及其中低温热液作用将金物质带入地层,充填和聚集于地层裂隙等容矿部位。经成矿年龄测试,认为燕山期是大水金矿等的主成矿期,喜马拉雅期是金矿化叠加富集再造期。根据岩石金丰度值分析,金主要来源于深源浅成岩浆及西倾山—迭山逆冲带的早古生代基性岩。

2.西秦岭中部裂陷槽型三叠纪含金岩相建造

西秦岭裂陷槽含金建造赋存于早—中三叠世隆务河群内。该地层具有良好的金、砷、汞和锑等多金属成矿条件,鹿儿坝大型金矿床等即产于其中。

1)地层序列

隆务河群可分为下部隆务寺组和上部古浪堤组。后者是金赋矿地层。

隆务河群($T_{1-2}lw$)

古浪堤组(T_2g)

(未见顶)

第三岩段:褐灰色厚层中粗粒长石砂岩、长石石英砂岩夹少量粉砂质泥质板岩,顶部为粉砂质板岩与薄层灰岩互层,砂岩中见板岩质同生角砾和植物化石碎片。　厚度 1495.4m

第二岩段:上部为深灰色含炭泥质板岩、粉砂质板岩夹中细粒长石砂岩、长石石英砂岩和钙质粉砂岩;下部为浅灰色、褐灰色厚层 - 中厚层状细粒长石石英砂岩、细砂岩、粉砂岩夹粉砂质泥质板岩、钙泥质板岩。主要含矿层之一。　厚度 1692.9m

第一岩段:褐红色、紫红色薄层钙质粉砂岩、粉砂质板岩夹中厚层细砂岩、长石石英砂岩。顶部为数十米厚的薄层状泥灰岩。主要含矿层之一。　厚度 729.4m

整合

隆务寺组(T_1l)

灰色、灰绿色和深灰色钙质细砂岩、细粒岩屑砂岩、细粒杂砂岩、粉砂岩、粉砂质板岩夹薄层灰岩及砾状灰岩,呈类复理石式韵律。产菊石、双壳类和植物化石。

厚度逾万米

整合

下伏地层　石关组(P_2s):砂岩、页岩夹灰岩及少量砾岩,或为互层,产腕足类和珊瑚化石。

2)岩相建造特征

隆务寺组与古浪堤组统称为隆务河群。它们在岩性组合特征方面并无太大差别,均系一套砂板岩及灰岩构成的类复理石序列,属断槽型斜坡浊流相沉积。隆务寺组由砂岩、粉砂岩、粉砂质板岩及薄层灰岩构成正粒序层,显示重力流为主的沉积层序;下部砂板岩及灰岩中常出现砾状灰岩或钙质砾岩碎块,表现具有塑性流沉积物存在。该组构成裂陷槽早期沉积旋回。古浪堤组为一套正粒序韵律层序组,具有槽模、工具模和包卷层理等构造,碳酸盐岩中含有大量杂基,是一套典型浊积岩沉积。该组构成裂陷槽晚期沉积旋回。古浪堤组薄层灰岩夹层内产牙形石 *Neogondonella* spp.,地质时代为中三叠世。

3)地层含金性及其控矿条件

西秦岭中部裂陷槽金矿赋存于中三叠世古浪堤组砂岩和板岩内。已探明的鹿儿坝等金矿田可以形成大型金矿床。金矿源主要来自浊积岩地层本身,部分来源于深源浅成中酸性侵入岩浆。矿(化)体主要分布在切穿地层的近东西向断裂破碎带中,并在该近东西断裂与其次级断裂及后期北西向断裂的交汇部位出现膨大和富集。岩浆侵入活动在地层中表现较弱,只出露岩株状印支期石英闪长岩、花岗闪长斑岩及岩脉状闪长玢岩等。构造—岩浆活动为金元素在地层中富集提供热液及部分矿源。金成矿时代大致与北西向断裂及花岗岩侵入的时代相当。断裂带是地层含矿的必要条件之一。

第二节　岩金矿床主要类型

据统计,全省共发现金矿产地 243 处。其中:独立岩金矿 133 处,共伴生岩金矿 20 处、砂金矿 90 处。独立岩金矿中,大型矿床 4 处、中型 16 处、小型(大于或等于 2.0t)32 处;伴生金矿达特大型规模者 1 处(金川),中型规模 3 处(白银矿田)。

金矿床分类的目的在于正确反映矿床形成的客观规律,体现金矿床间的差别标志,进而正确评价和开发矿床。

在近 10 多年来甘肃省金矿地质勘查所积累的丰富资料基础上,对甘肃金矿床进行分类。这一分类,强调了金矿形成过程,热源对成矿过程的主导作用,并注意到金矿建造在分类中应有地位。

一、矿床分类系统

甘肃岩金矿床分类系统见表 1—2—1。该分类系统,除常用的矿床成因类型外,还以金矿含矿围岩及矿物组合划分了矿床的自然类型。

表 1—2—1　甘肃省岩金矿床分类系统

系　统	矿床成因类型		矿床自然类型	矿床实例
	类	亚　类		
A 岩浆系列	A_1 超镁铁质岩浆熔离型		1 .铜镍硫化物伴生金矿	金川
B 岩浆热液系列	B_1 岩浆期后热液型		2 .石英脉型	460
	B_2 接触交代型		3 .矽卡岩型铜伴生金矿	德乌鲁
	B_3 火山次火山热液型	1 . 次火山热液亚类 2 . 喷气沉积亚类	4 .黄铁矿型多金属伴生金矿 5 .蚀变岩型 6 .次生石英岩型	白银折腰山火焰山伴生金矿 银硐沟
	B_4 斑岩型		7 .石英网脉型	早仁道
C 复合热液热水溶滤系列	C_1 火山沉积—热液再造型	3 .绿色岩系亚类 4 .酸性火山碎屑建造亚类	8 .构造蚀变岩型 9 .交代岩型	曹家沟 南金山
	C_2 热晕型		10 .蚀变岩型	李坝、马泉
	C_3 复合热液型	5 .低角闪岩相—高绿片岩相建造亚类 6 .低绿片岩相建造亚类	11 .石英脉型 12 .构造蚀变岩型	柴家庄 金厂沟
	C_4 热水溶滤型	7 .碎屑岩容矿建造亚类 8 .碳酸盐岩容矿建造亚类 9 .碳质泥岩容矿建造亚类	13 .石英脉型 14 .蚀变岩型 15 .交代岩型	石鸡坝 大水 拉尔玛
D 沉积系列	D_1 沉积型		16 .砂砾岩型	西湾

二、各类岩金矿床主要地质特征

(一)伴生金矿床

伴生金矿床占甘肃省内岩金详查以上储量的三分之一左右。主要为岩浆型铜镍硫化物矿床(金川)和次火山热液型黄铁矿型矿床(白银)中的伴生金,次为喷气沉积一热液再造型多金属矿(靖远银硐沟、肃南错沟、九个泉、文县筏子坝)、夕卡岩型和斑岩型铜矿(德乌鲁等)中的伴生金。其共同点是金与主元素矿产绝大多数情况下共存于同一矿体中,以铁、铜硫化物为主要载金矿物,少数也可有独立金矿体,但仍共存于同一矿床中。因此其成矿地质环境、控矿因素与主矿种一致。这一点对找矿很有利。

超镁铁质岩浆熔离型(A—1)

主要为铜镍硫化物伴生金矿床,仅见于甘肃中部华北板块南缘龙首山陆缘裂谷中。含矿超镁铁杂岩体呈北西向分布,长 6km,厚数十米至 300 余米,延深可达千米,出露面积为 1.3km^2。岩体为一复式侵入体,具多期侵入特征。岩体类型属纯橄岩—二辉橄榄岩—斜长二辉橄榄岩型。矿体规模大小不等,长数米至数百米,厚 1m 至百余米。矿体呈层状、透镜状。主要金属矿物为磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿及自然金、银金矿。金矿物主要呈包裹体产于金属硫化物中,但无明显富集规律。金品位 0.01×10^{-6}～0.61×10^{-6},个别可达 9.48×10^{-6}。由于铜镍等主金属储量特大,伴生金储量可达大型,占全省伴生金储量 70%以上。

(二)独立岩金矿床

1.岩浆期后热液型金矿(B—1)

本类金矿床主要分布在北山和西秦岭地区,祁连区已知矿点较少。矿床所在构造单元多样,但主要是冒地槽中的花岗岩浆带,少量见于老地块的花岗岩活化区和优地槽区。

金矿化的成矿母岩以海西中晚期—印支期的花岗岩类为主,少量为燕山期和加里东期。岩性以花岗闪长岩、石英闪长岩、斜长花岗岩为主,少量闪长岩,多呈岩株状、复合岩基状产出(北山北带),成因类型以S型和S-I型为主,少量为I型(如白银斜长花岗岩)。含矿母岩含金较高,一般达维氏值的2倍以上。本类金矿化的产出地质环境和成矿母岩与含金夕卡岩型、斑岩型铜、多金属矿产有颇多相似之处,因此空间关系密切,常共存于同一成矿带,甚至同一矿区中,这一点在西秦岭最为明显。

金矿化为中温热液含金石英脉型,主要产于含矿母岩的构造裂隙中,少量亦分布于外接触带围岩中,受次级断裂、节理裂隙的控制。含金石英脉呈单脉、透镜状,部分呈复脉和脉带。单脉厚数厘米至数米(一般数十厘米至2米)、长数十米至数百米,延深数十米至百余米。有尖灭、再现、分枝复合现象。矿带长度由数百米至数千米,矿脉数十至数百条。围岩蚀变以硅化、绢云母化、黄铁矿化、黄铁长英岩化为普遍,如围岩为中基性火山岩则有青盘岩化、绿泥石化、高岭土化等。近矿围岩多有含金、银明显升高现象,局部可达工业品位。

金以自然金、金银互化物和载体金形式赋存。前二者呈粒状、片状、枝状、发丝状,以粗粒为主(粒径达0.3～0.5mm),后者赋存状态无资料。伴生金属矿物主要为黄铁矿、黄铜矿,有的还有铅锌硫化物、黝铜矿、辉银矿、碘银矿、毒砂、磁铁矿、菱铁矿。地表多有铜、铁硫化物的氧化矿物。伴生矿物除黄铁矿、黄铜矿外,其种类组合多有地域性特点。脉石矿物以石英为主,次为绢云母、方解石、绿泥石等。矿石构造较单一,以浸染状为主。

金品位变化较大,一般1×10^{-6}～5×10^{-6},最高达103×10^{-6},矿床平均品位9.74×10^{-6}～12.8×10^{-6}。银品位一般3×10^{-6}～5×10^{-6},最高81×10^{-6},最低0.1×10^{-6}。

金的富集部位为:蚀变组合复杂、强度较大处;金属硫化物含量增高处;网状细脉,矿脉分支、复合处、膨缩处、交叉处、拐湾处;矿脉下盘与围岩接触处;裂隙发育,并含围岩夹的矿脉。

本类矿床规模为中、小型,但已知矿床以小型为多,应有扩大远景的可能。除前面介绍过的地质环境和岩体特点外,我们认为选择剥蚀浅的中深成岩体,寻找本类矿床或扩大已知矿床、点的远景(深部为主),是发现中、大型矿床的途径,特别对已知夕卡岩型铜、多金属矿床、发育有接触—交代晕的岩株更应重视。

代表性矿床有:安西县金窝子中型金矿、肃北县460、霍勒扎德盖小型金矿、和政县多椤沟小型金矿等。

2.火山沉积—热液再造型金矿(C—1)

矿产地13个,其中3个为中型矿床,其余匀为矿点,储量占全省9%。

矿床分布于元古代和早古生代和华力西期地槽的火山活动带中,具鲜明的建造控矿特征。但成矿作用晚于火山活动期,多在褶皱期甚至更晚,与火山—次火山活动无直接联系,与花岗岩类侵入体也无固定联系。这类矿床可分两类,一类为产于地槽区的矿床,金矿化受特定岩性层和断裂控制,成矿过程相对简单;另一类为产于加里东、元古界火山建造和火山碎屑岩建造中的矿床,主要受韧性剪切带控制,特征类似于绿岩型金矿,成矿历史较复杂。产于冒地槽中的矿床与热水溶滤型矿矿床有相似之处,但本类矿床与火山岩关系十分密切,以火山岩和火山

碎屑岩为容矿岩相为主。产于加里东、元古界火山岩、火山碎屑岩中的矿床与多阶段复合热液矿床在很多方面相似,但本类矿床产于浅变质地层内,而且与具 S 型特征的花岗岩类关系不明显。

代表性矿床有北山地区的南金山、新金厂、老金厂三个中型矿床和北祁连地区的朵家滩、小人熊沟、碧口隆起曹家沟等金矿点。

1)成矿地质环境

(1)构造位置。矿床分布于北山马莲井和柳园两个华力西坳陷褶带及北祁连和碧口隆起的岛弧和弧后盆地建造层中,这些地区火山活动强烈,后期褶皱、断裂发育。

(2)容矿建造。容矿建造的共同点是以火山岩为主,或者为夹有火山岩的碎屑建造,经低绿片岩相区域变质,容矿地层含金丰度较高,是金的矿源层。

①细碧角斑岩建造和玄武岩建造。本建造中的金矿与绿岩型金矿相似。主要分布在岛弧带、弧后扩张带、微洋盆区的后期剪切—断裂带中。细碧角斑岩建造主要由角斑岩、石英角斑岩、细碧岩及火山碎屑岩、硅质岩、千枚岩、硬砂岩等组成,玄武岩建造大致类似,其火山岩以玄武岩、英安岩、安山岩类为主。赋矿岩性以经剪切变形的绿岩化火山岩(绿片岩、糜棱岩)、火山碎屑岩、沉凝灰质碎屑岩为主,含金层 Au 含量较高,可达 $10n\times10^{-6}$ 以上。

②火山碎屑岩。分布弧后盆地中,以千枚岩为主,夹硬砂岩、中基性火山岩、火山碎屑岩。

③火山—陆屑—碳酸盐建造。分布于北山华力西坳陷带中,主要由安山岩、玄武岩、英安岩、流纹岩等火山岩及其火山碎屑岩和砂岩、板岩、凝灰质砂砾岩、灰岩等组成,如北山下石炭统白山组、下二叠统双堡塘组。容矿岩性层为熔岩、凝灰质砂砾岩、凝灰岩(英安质)等。

矿区外围常有花岗岩体分布,但矿区一般少见侵入岩,即使有也是中一酸性脉岩。但前二类建造中有 I 型花岗岩类、次火山岩分布。

(3)控矿构造。矿床以断裂和裂隙带或区域性剪切带及发育于其中的各级断裂、片理化带为控矿构造。

(4)区域矿化。产于优地槽褶皱带的矿床与海相火山—次火山型及喷气沉积型铜及多金属矿有密切空间关系,尤其与浸染性多金属矿化关系密切,甚至同处于一个矿床中(但矿体不一致),组成复合式矿床,如石青硐。

2)金矿化特征

(1)矿岩关系。

①接触关系。为非整合脉状矿体。石英脉型矿体与围岩界线清晰,蚀变岩型矿体在强硅化时界线清晰,其他情况下呈渐变。

②围岩蚀变。主要是硅化(交代石英岩化)、黄铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化(铁白云石化、方解石化)、黄铁绢英岩化。某些矿床尚有明矾石化、叶腊石化、萤石化。围岩蚀变强度较大,但范围较小,多与矿体、矿化体一致或略大。表生带都具有褐铁矿化。

(2)矿化带与矿体。矿化带规模不等,大者可长 2.8km、宽 0.1～0.5km。

矿体形态以脉状为主,次为条带状,具膨缩和分支复合现象,单矿体规模较小,一般长50～150m,宽数十厘米至 10m,延深不大,一般仅数米至数十米。

按矿石类型矿体种类有石英脉型和蚀变岩型两类。

(3)矿石建造与类型。

①矿石建造。主要有三类:

金银—石英—硫化物建造。仅见于“年轻”矿床中(南金山等)。矿物组合为:银金矿—角银矿—自然银—碘银矿—铁铜硫化物—氧化铁矿物—铅锌硫化物—辉锑矿—辰砂—自然铅—白钨矿—石英—绢云母—碳酸盐—白云母—绿泥石—(明矾石—叶腊石—萤石—电气石—重晶石)等,表生带尚有褐铁矿、黄钾铁矾。本建造以高银含量和富挥发份矿物的出现为特征,平均品位 Au 1×10^{-6}～6.6×10^{-6},Ag 8×10^{-6}～130×10^{-6},Au/Ag(品位)小于或等于 1,并可出现独立银矿体。

金—石英—硫化物建造。组合为自然金—铁、铜硫化物—铅锌硫化物—(毒砂、辉钴矿、辉碲铋矿、白钨矿、辰砂)—石英—方解石—铁白云石—重晶石等,多见产于加里东和元古界矿床中。

金—硫化物建造。主要为蚀变岩型矿石,组合为自然金—铁铜硫化物—铁铜氧化物—辰砂—绢云母—铁白云石—石英—绿泥石—方解石等。

②矿石类型。有次生石英岩型、蚀变岩型、石英脉型三种主要的自然类型。

(4)金的赋存状态。矿床金矿物以银金矿为主,粒度以微细粒为主。产于加里东及元古界的矿床以自然金为主,粒度以粗粒为主,次为细粒。金的赋存形式以包体金为主,次为裂隙金、晶间金、少量吸附金。载体矿物主要有石英、褐铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿。

(5)矿床规模及品位。已知有三个中型金矿(见前),余为矿点、矿化点。

矿床平均品位一般 4×10^{-6}～7×10^{-6},但内部变化甚大,可从 1×10^{-6} 到 20×10^{-6}～30×10^{-6},甚至高达 100×10^{-6}。

北山地区矿床的 Au/Ag 较低,南金山小于 0.2。加里东及元古界矿床可能较高,如曹家沟矿点 Au/Ag 品位比达 9.4～35.6。

金—银建造中 Ag 可综合利用

(6)成矿时代。据地质环境判断北山区的矿床为海西中期成矿,北祁连区为加里东晚期成矿,而碧口区的矿床则为海西早期成矿。

矿床主要经历了与火山作用有关的初始富集(矿源层)期和后期的热液成矿期两个阶段。

(7)成矿理化条件。从矿物组合看,成矿热液是由偏酸性向弱碱性方向演化的,溶液性质、成分不明,南金山矿床以卤族元素为主的挥发份较多。从金属矿物组合分析成矿阶段为弱氧化—弱还原环境,温度中、低温(南金山)—中温。

(8)稳定同位素资料。仅南金山有硫同位素资料:南矿带矿石和围岩中的 $\delta^{34}S$ 十分接近,分别为 +0.3‰和 +1.6‰接近陨石硫数值;北矿带围岩黄铁矿 -23.04‰,矿石黄铁矿 +4.40‰～6.63‰,差别甚大,研究者认为系褐铁矿化过程中硫同位素的交换反应所致,不具代表性。

3)成因讨论

对于这类矿床,多数工作者认为系火山沉积—热液再造型矿床,但从矿床的成矿特征和地质环境的差异来看,起着关键作用的热液来源可能是多种多样的,成矿的温度和深度也不尽相同,均有待进一步研究。

3.热晕型金矿(C—2)

是甘肃省近年发现的金矿新类型。矿床呈弧带型集中分布,品位低、储量可观,找矿前景大。目前发现的矿床,集中分布在礼县中川花岗岩体周围,有大型金矿 1 个(李坝)、中—小型矿床 4 个(金山、马泉、三人沟、崖湾里),矿点 23 个。

1)成矿地质环境

(1)构造位置。已知成矿区位于西秦岭礼县—柞水华力西冒地槽褶皱带,礼县—西和早华力西褶隆与中部花岗岩带的复合部位。

(2)地层与构造。容矿地层主要为中泥盆统古道岭组中上部之陆屑—碳酸盐岩建造(南相,称西汉水组)、细屑建造(北相,称舒家坝组),次为中石炭统草凉驿组陆屑建造,容矿岩性以细屑岩为主(变泥质岩—粉砂岩),灰岩不含矿。

控矿构造为区域性断裂的分支断裂和派生断裂、裂隙、层间破碎带。褶皱构造无明显控矿作用。

(3)侵入岩与接触带。为量最重要的控矿因素。

①花岗岩基与接触变质晕。具 I-S 混合型成因特征的华力西—印支—燕山期复合岩基状中深浸入体与金矿有密切成因联系。岩基主体为印支期黑云母花岗岩(中川岩体黑云母钾—氩年龄 210Ma～227Ma),补体为燕山期细粒黑云母花岗岩(黑云母钾—氩年龄 177Ma～181Ma),分布于岩基中央,华力西晚期闪长岩仅局部残存于岩基边缘。岩体呈圆状,具气球膨胀式侵位特点。岩石化学特点为钙碱—碱性花岗岩过渡类型,$Na_2O + K_2O = 7.5\% \sim 9.2\%$,($Na/K = 0.65 \sim 0.88$)。在(Al-K-Na)-Ca-(Fe + Mg)三角图上投影于黑云母—斜长石—角闪石区,具 I-S 混合型特征(见图 1 - 4 - 1)。岩石微量元素以富铀为特征(中川岩体 $U\ 12\times10^{-9} \sim 29\times10^{-9}$,维氏值 4.5×10^{-6}),Ag、As、Sb、Pb、Zn 亦高于维氏值;但 Au、Cu 则低于维氏值。

岩体接触变质晕发育,迭加于区域低绿片岩相之上。由岩体向外可分三带:Ⅲ红柱石堇青石带,分红柱石内亚带(距岩体 < 1000m)、堇青石外亚带(距岩体 1000～2000m);Ⅱ黑云母带(距岩体 2000～4500m);Ⅰ绿泥绢云母带(距岩体 > 4500m)。其中黑云母带是主要含矿部位。

斑点构造是含矿带岩石最具特征的标志。形态为椭圆形、圆形、六边形、菱形等,组成复杂,出现的矿物主要为黑云母、堇青石、石英、绿泥石、绢云母、黄铁矿、褐铁矿,通常斑点由其中的 2 种～4 种矿物组成。斑点构造出现于黑云母带和堇青石亚带中,但斑点特征不同;黑云母带斑点大小为 0.2～0.8mm,暗褐色矿物组合为石英 + 黑云母 + 黄铁矿,含量平均 5%;堇青石亚带中斑点大小为 0.5～3mm,深灰色,矿物组合为堇青石 + 黑云母,并与堇青石变斑伴生。黑云母带中斑点板岩是含矿带的重要标志,而其褪色带(黑云母由红褐色→绿褐色→绢云母)则指示含矿蚀变带、矿床的存在,斑点中的黄铁矿是重要载金矿物。堇青石亚带中的斑点构造一般无矿化指示意义。

②脉岩。金矿床中煌斑岩、闪长岩、花岗岩脉发育,部分具金矿化,尤以煌斑岩与金矿化关系密切。

(4)区域矿化特征。区内分布的矿化主要是与花岗岩有关的铀、金、热液铜、多金属。除金外,多为矿点、矿化点,偶为小型矿床。上述矿产以岩体为中心,形成分带现象:岩体及近岩接触带见铀矿化,其外侧在距岩体 1.5～4.5km 范围内为热晕型金矿,外圈为热液型铜矿多金属矿。

2)金矿化特征

(1)容矿岩性和空间。容矿岩性以具斑点构造的粉砂质千枚岩(板岩)、千枚岩为主(占矿体数之 75%左右),次为变粉砂岩(25%)。有机炭含量 0.1%左右。

容矿空间以次级断裂系统为主,包括断裂密集带、层间破碎带、节理裂隙带、剪切断层、断层夹石、断层泥等,断裂密集带是形成一定规模矿床必备的条件。一般断裂规模小而显封闭特

征者矿化较富集,断裂上盘较下盘富集,断裂间的岩石破碎较弱者比强烈破碎者富集。

(2)矿岩关系。矿体多与控矿断裂带产状一致,常切层产出。

围岩蚀变宽度不大(一般 < 100m),主要发育在矿化部位。蚀变带呈浅灰—灰白色的褪色带,分带性明显,由矿体向外依次为:Ⅰ黄铁绢云化带(赋矿部位)→Ⅱ绢云母化带(矿化带)→绿泥石化带(一般无矿)。蚀变种类主要为绢云母化、黄铁矿化、毒砂化、黑云母褪色化。与成矿关系密切,当绢云母化强烈,并发育一套黄铁矿—毒砂—磁黄铁矿—闪锌矿—方铅矿—硫梯铅矿—斜硫锑铅矿—银锑黝铜矿等中温金属矿物组合时,多构成工业矿体。此外尚有弱硅化、碳酸盐化等蚀变。表生带近矿蚀变带(含矿带)经褐铁矿化、黄钾铁矾化、高岭土化、伊利石化形成黄褐—红褐色铁染带,标志鲜明。

(3)矿体。形态较复杂,呈似层状、透镜状、脉状、囊状、楔状等,分枝复合、膨缩常见。矿体数较多,规模悬殊、长数十米至千余米,厚数米至 30m,斜深大于 250～300m。深部多有变薄、变贫趋势,但亦有延深稳定、品位变富的。

(4)矿石及组分。矿石属微粒浸染型构造,次为脉状,斑点状、角砾状、条带浸染状等。结构有自—它形粒状、包含、嵌晶、镶边、交代溶蚀、环带、压碎等。矿石属自然金—(毒砂)—黄铁矿—磁黄铁矿建造,并含黄铜矿、方铅矿、褐铁矿等,脉石为石英、绢云母、碳酸盐等。矿石中仅银可综合利用。

(5)金的赋存状态。以独立金矿物为主(95%),类质同象金极少(< 5%)。金矿物以含银自然金为主,次为银金矿,少量自然金。以裂隙金、晶间金形式存在者达 87.6%,包体金 11%左右。金矿物以粒状为主,粒度以微细粒为主(< 0.037mm 者占 91.2%),表生带中有加大趋势。

主要载金矿物有黄铁矿(含 $Au7.78\times10^{-6}$～112×10^{-6}、$Ag3.5\times10^{-6}$～17.8×10^{-6})、毒砂($Au7.75\times10^{-6}$～24×10^{-6}、$Ag6.1\times10^{-6}$～7.6×10^{-6})、磁黄铁矿、褐铁矿。上述金属硫化物占金分布量的 75%左右,次为绢云母、碳酸盐,占金分布量 25%左右。

(6)金的储量、品位和成色。本类金矿床大、中、小型规模均有,大型者储量可近 50t(李坝)。

品位较低,一般平均品位仅 3×10^{-6}～5×10^{-6}。

(7)金矿物平均成色 834‰,Au/ Ag > 1,一般 3～5。

成矿期与成矿时代。根据李坝矿床铅同位素和铷—锶同位素的年龄测定,成矿年龄分别为 173.4Ma～171.6Ma(侏罗纪)。可分热液期和表生期。前者分为四个阶段:Ⅰ黄铁矿—石英;Ⅱ黄铁矿—金银系列矿物—绢云母;Ⅲ多金属—金银系列—石英碳酸盐;Ⅳ黄铁矿(细脉)。其中Ⅱ、Ⅲ为主阶段。表生期为褐铁矿—自然金阶段,形成氧化次生富集。

(8)成矿理化条件。

温度:中温(210℃～219℃左右)

深度:1.8km 左右;

热液盐度:6.9～11.6wt% NaCl;

热液 pH:酸性。

(9)同位素特征。热液期 $\delta^{34}S$ 集中分布于 + 4‰～ + 10‰,具岩浆地层混合硫特征:矿体、载金黄铁矿、岩体(脉)Sm/ Nd 接近,均小于 0.26(0.175～0.209);矿体方解石 $\delta^{13}C$‰关系图上投点位于大气降水与岩浆水间,但偏于大气降水一侧;热液黄铁矿稀土分配与围岩相似。

3)成因讨论

多数工作者和研究者都认为是复合成因热液矿床,但对花岗岩体在成矿中的作用的看法差别很大。一种意见认为花岗岩体不仅是热能的提供者,也是部分成矿物质(金为主)和热液水的直接提供者;另一种意见认为金主要来自容矿地层(舒家坝组),次为基底构造层,热液水以天水为主,次为变质水。花岗岩浆无提供金的能力,提供热液水的能力也不大,主要起了热泵的作用。极端的意见认为本类矿床属浊积岩型金矿,突出强调地层和岩相的控矿作用。根据金矿化与花岗岩体接触变质晕的从属关系这一客观事实,从预测和找矿的需要出发,赋予其不具严格成因意义的类型名称——“热晕型”,归并入复合热液系列。

4.复合热液型金矿(C—3)

本类型矿床主要赋存于老地块的多旋回构造—花岗岩带中,部分亦在早古生代地槽的多旋回构造—花岗岩带中产出(北秦岭)。其形成与原岩的含金性、低角闪岩—高绿片岩相区域动力热变质和混合岩化作用、韧性剪切带扩容作用、多旋回花岗岩侵入活动和断裂都有密切关系,而最终的成矿多与印支—燕山期花岗岩类有关。本类矿床的矿体大多赋存在低中级变质地区之中,与花岗岩的关系不如热晕型、岩浆热液型直接,是区别它们的主要根据。

已知矿床主要分布于北山地区和北秦岭地区,以石英脉型为主,规模中—小型,矿床平均品位变化较大(3×10^{-6}～45×10^{-6})。代表性矿床有天水柴家庄、北山小西弓,均属中型金矿。从成矿环境和矿床地质特征对比,本类型矿床与小秦岭金矿有相似之处。因此有可能在甘肃省找到大型矿床,如北秦岭地区。

1)成矿地质环境

(1)构造位置。矿床分布于前长城基底区和早古生代加里东褶皱带的多旋回花岗岩带内。前者如北山华力西褶皱带之安北隆起、敦煌地轴之三危山隆断带,后者为北秦岭加里东褶皱带。甘肃省内北秦岭褶皱带与陕西小秦岭地区同属一个构造单元,而且在构造位置上具有对称性:均位于鄂尔多斯地块与场子地块两个“挤压头”间高应力部位的外侧,并对称地分列在鄂尔多斯地块南端的两侧(图 1-2-1)。在变质、岩浆建造等方面亦有很多相似处,是应重视的地区。

(2)地质建造。容矿地层建造为前长城系之火山—复理石、陆屑—碳酸盐、细碧—角斑岩建造(敦煌岩群、北山群、秦岭岩群)和早古生界基性火山-火山碎屑岩建造(本省称丹凤群)。

变质建造颇具特色,都以低角闪岩相—高绿片岩相的区域动力热变质类型为主,常见有递增变质带(安北隆起、北秦岭)和层带状或边缘混合岩化。岩石类型以含铁镁矿物的正、副片岩为主,如黑云石英片岩,斜长角闪片岩、片麻岩,石英(片)岩、大理岩、变粒岩等。变质相系为低中—中压,温度 480℃～570℃。变质带为铝榴石带(高绿片岩相)→十字石带(低角闪岩相)→十字石—兰晶石带

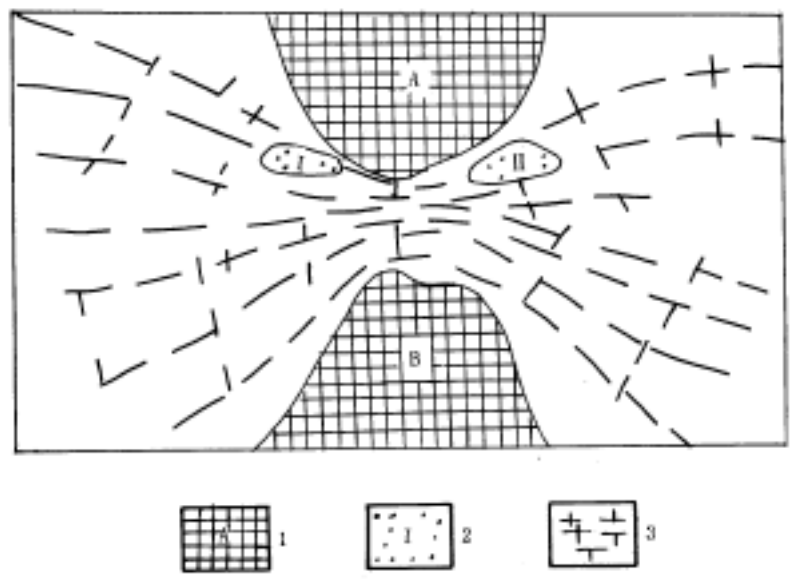


图 1-2-1 甘肃北秦岭地区构造位置示意图

1—地台地块;A—鄂尔多斯;B—杨子地台;

2—Ⅰ甘肃北秦岭地区、Ⅱ小秦岭;3—应力轨迹线(示意)

(低角闪岩相),常见递增变质现象。甘肃省内长城纪后的地层一般多为低绿片岩相,在北秦岭早古生界为高绿片岩相,这与该区高压应力、高热流的环境是一致的。赋矿部位多位于低角闪岩相及混合岩化带外侧之绿片岩相带(有时由退变作用形成)。

侵入岩建造以多旋回的花岗岩类为主,与金矿化密切相关的主要有二长花岗岩、斜长花岗岩,次为石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩。岩石碱度和 Na/ K 值存在地区性差异,如北山安北隆起中 $N_2O + K_2O$ 5%～7.9%,多在 6.8～7.9 之间,除石英闪长岩外($Na_2O/ K_2O = 1.08$～2.21),Na_2O 小于 K_2O($Na_2O/ K_2O = 0.56$～0.8);北秦岭地区碱度高(一般 $Na_2O + K_2O$ 8%～9%左右),Na_2O 小于或等于 K_2O(一般在 1%左右)。岩石成因类型为 S 型和 I-S 混合型,部分具交代成因。

含矿的花岗岩在甘肃西部为晚加里东期—印支期。(东部)为加里东晚期—喜山期。由多期岩基、岩株状花岗岩类组成。但金矿化主要与剪切—断裂带中的小岩株、岩脉有关。甘肃西部地区(北山、敦煌地区)以海西中晚期侵入活动最强烈,但主成矿期却与印支期小岩株有关,甘肃东部地区以印支—燕山期侵入活动最强,成矿作用与此有关。矿床内脉岩发育,由酸—基性均有,北秦岭区煌斑岩脉部分具金矿化。

成矿作用中金的来源和富集过程与上述建造和形成过程有关,据研究较详细的小西弓矿床资料:具有固定的含金层位,表明地层和原岩岩性与金矿化的关系;矿化带位于低角闪岩相外侧的低绿片岩相岩石中,混合岩化弱,该部位含 Au 平均 50.25×10^{-9}～54.65×10^{-9}(石英片岩、二云片岩)和 17.1×10^{-9}(斜长角闪片岩),远高于其他地段(1.43×10^{-9})和混合岩化地段(2.6×10^{-9}),表明变质作用对金的迁移和富集有重要作用,迁移方向为由混合岩化强或变质强的地带向弱的地带迁移并富集;与成矿有关的印支花岗岩类含金平均 6.3×10^{-9}～6.9×10^{-9},远高于加里东—海西期的花岗岩类(Au0.35×10^{-9}～0.66×10^{-9}),表明印支期岩体可能提供部分 Au 源。印支期前的岩体金含量普遍低于维氏值,可能说明它们在金的富集历史中,主要只起了能源和部分热液的作用,“为渊驱鱼”促使围岩中的金向岩浆带方向移动。

(3)控矿构造。区域性或有一定规模的剪切—断裂带为典型的区域控矿构造,它往往与矿带(V 级)是一致的。其次级断裂(与主断裂带平行或斜交)及低序次断裂、裂隙带、糜棱岩片理带、破碎带可能成为容矿空间。

(4)区域伴生矿化组合。

2)金矿特征

(1)容矿岩性与空间。容矿岩为各类片岩(二云石英片岩、斜长角闪片岩)、糜棱岩、碎裂岩,部分为花岗岩类。少数产于变质穹窿外围的复合热液金矿床,亦有以低绿片岩相粉砂质板岩、变粉砂岩为容矿岩性的。近矿围岩多具碎裂和蚀变,含金量明显升高。

容矿空间以断裂破碎带、剪切带为主,一般容矿断裂产状变化处,两组断裂交汇处,多期活动、迭加拉张地段,有岩脉穿切、形成屏蔽处,构造透镜体发育处等均为矿化有利部位。

(2)矿岩关系。矿体受构造控制,与围岩层位无固定关系。矿岩界线视矿体类型而异,石英脉型清晰,蚀变岩型多为渐变。围岩蚀变以绢云母化、硅化、绿泥石化、黄铁矿化普遍,有时有黄铁绢云岩化,表生带尚有褐铁矿化、高岭土化。蚀变强度,尤其是黄铁矿化强度与金矿化有密切关系。蚀变带宽度不大,一般数倍于矿体或仅宽数米,硅化带多位于蚀变带内带。

(3)矿体。多分段集中分布,呈脉状、透镜状、似层状,具分枝复合、膨缩等现象。矿体数、厚度变化幅度、矿化连续性等各矿床有较大差别。矿带规模一般长 1km 至数千米,宽 100m～

200m,单个矿体长 10 余米～400 余米,厚数厘米至 10m,一般大于 0.5～7m。延深数十米至 250m,一般百米之内,深部变化稳定或有变富现象。

(4)矿石及组分。多数矿床以石英脉型为主,蚀变岩型次为;但有的矿床主要为蚀变岩型(微细粒浸染型)矿石。

矿石的金属矿物组合除金矿物以外,普遍见有黄铁矿—毒砂—磁铁矿,次为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辰砂、方黄铜矿等。表生带则常见上述矿物的氧化产物。金属矿物一般小于 10% 黄铁矿占主要。

脉石矿物视矿石类型而异,石英脉型以石英为主,次为绢云母、绿泥石。蚀变岩型矿石则因含矿岩性、蚀变种类不同而不同,有时尚见有一些非金属挥发性热液矿物,如电气石、萤石等。

石英脉型矿石构造以块状、细脉状、浸染状为主,结构以粒状,碎裂和交代溶蚀等为多见。蚀变岩型矿石构造为角砾状、条带状、条纹状、片状,浸染状结构为碎斑—糜棱结构和各类变晶结构。

(5)金的赋存状态和特征。金以独立矿物为主。主要为自然金、银金矿、含银自然金,有时见有铋金矿。金的形态,以角粒状、板片状、树枝状、滴状、丝状为主,表面粗糙,边缘不齐。石英脉型矿石中,金的粒度依矿床而异变化甚大,如小西弓以粗粒为主,平均粒度小于 0.3mm×0.25mm,最大达 1.25mm×0.65mm;柴家庄则以细粒金为主,平均粒径 0.023mm,最大仅 0.18～0.25mm,最小 0.005mm。蚀变岩型矿石多以中—微粒为主,0.005～0.05mm,亦因矿床而异。

金矿物多为粒间金、裂隙金,包体金少。载体矿物主要为黄铁矿、黄铜矿、褐铁矿,次为其他硫化物。

金矿物成分主要为 Au、Ag,有时含少量 Pb、Zn、Fe、Bi、Cu、As。金矿物的成色,小西弓为 527～915(以 622～696 为主);柴家庄较高,为 770～922。

(6)储量与品位。本类矿床已知的均为中、小型。以石英脉型为主的矿床品位较高(8×10^{-6}～22×10^{-6}),蚀变岩型为主的品位较低(3×10^{-6}～5×10^{-6} 左右)。

矿床 Au/Ag=0.72～1.75,小西弓较低(0.72),柴家庄较高(1.55)。矿石多属易选矿石,伴生银、铜可综合利用。

(7)成矿时代。主要为印支—燕山期成矿,但整个金的富集过程漫长(自早元古代始),经历变质—构造—岩浆活动等多期富集过程。

(8)成矿理化条件。据小西弓矿床资料:

成矿温度　中温(200℃～300℃,最佳 250℃)

热液盐度　中—高盐度(6.7wt% NaCl～19.52wt% NaCl,以 17wt% NaCl～17.4wt% NaCl 为主)

热液 pH　6.7～7

热液 Eh　359.3mv～422.5mv,还原性(还原参数 > 1.31 为主,最高 6.48)

(9)稳定同位素特征。据小西弓资料(详见典型矿床):

①氢氧同位素组成变化较大。$\delta^{18}O$(石英)10.42‰～17.39‰),$\delta D_{(水)}$ -135.5～ -50.2。在 $\delta D-\delta^{18}O$ 图上主要位于花岗岩初始水和变质水范围内。少数位于降水线附近,与胶东金矿类似。

②碳同位素变化甚大,$\delta^{13}C(CO_2)$—0.71‰～22.01‰。

③硫同位素 $\delta^{13}S$ = 1.22‰～8.39‰。

④铅同位素以混合异常铅为主,部分铅为 18 亿年。

3)成因讨论

通常将本类矿床归入重熔岩浆热液型金矿。但根据其产出地质背景、成矿作用的多阶段富集特点、金的来源和热液来源等,我们认为称之为多旋回复合热液成因。

5 .热水溶滤型金矿(D - 1)

本类型是甘肃省内最重要的金矿类型,分布于西秦岭南带。矿床规模大、数量较多,而且成群、成带分布。省内产有大型矿床三处,大中—中型矿床二处,储量占全省独立岩金的 53%。代表性矿床有玛曲县大水大型金矿、岷县鹿儿坝和文县新关石鸡坝以及迭部县拉尔玛中型硒金矿和舟曲县坪定砷金矿。

1)成矿地质环境

(1)构造位置。本类矿床产于冒地槽褶皱带。位于区域性深断裂带和穿单元花岗岩带的复合部位。控矿的区域性深断裂带多为Ⅱ、Ⅲ级乃至Ⅰ级构造单元的分界断裂。西秦岭南带由南向北依次有:文—康断裂带为碧口隆起的边缘断裂带,界分关家沟复背斜和碧口隆起;玛沁—略阳深断裂带是秦岭褶皱系西段与松潘—甘孜褶皱系的界断裂;迭山—成县断裂带临潭—商城断裂带南支和临潭—两当断裂带分别为碌曲两当复向斜(裂陷槽)的南、北界断裂。这些深断裂带延伸数百千米以上,由多条断裂组成,宽数千米至 10 余千米。带内次级断裂、小断裂和顺层的裂隙带均发育,成为高渗透地带。

穿单元花岗岩带即前述之东、中、西三条构造—岩浆带。在西秦岭南带未出露岩基和较大的岩株,而表现为小侵入体发育的特点。尽管花岗岩类的侵位活动较北部地区大为减弱,但由其分段集中的特点可看出仍是相应岩带的南延。小侵入体多为深源浅成相,其Ⅰ型特征为明显。它与热水溶滤型矿床的分布有密切的成因和空间关系。

区域性断裂带与穿单元花岗岩带的联合控制,使西秦岭南带的热水溶滤型金矿具有成带、分段分布特征。

(2)容矿地质建造。浅变质沉积建造 + 小侵入体是甘肃省热水溶滤金矿的典型容矿建造组合。

①沉积建造。

容矿地层:已知的容矿地层有上震旦统太阳顶群—下寒武统俄都组(分别相当于灯影、水沟口组,分布于白龙江复背斜核部)、中泥盆统下吾那组(分布于白龙江复背斜北翼)、中三叠统中巴颜喀拉群(相当于闹仓坚沟组,分布于白龙江复背斜西端)和团结沟组(相当于杂谷脑组,分布于关家沟复背斜西端)、下石炭统巴都组(分布区同团结沟组)、中三叠古浪堤组(分布碌曲—两当复向斜中),以及下白垩统东河群(分布于白龙江复背斜西端)。

西秦岭地区地层金丰度是随年代变新而降低的。碧口隆起的前寒武系最高(9×10^{-9}),次为前泥盆系(4.4×10^{-9}左右)、泥盆系(3.3×10^{-9}～4.5×10^{-9}),后泥盆地层一般均低于维氏值(3×10^{-9})。因此早期华力西构造层及其以前的基底层系作为金矿源层的作用是应重视的。

容矿沉积建造:热水溶滤型金矿的容矿沉积建造有三类。a .炭硅泥质岩建造即多元素黑色岩系,为金可能的矿源层之一。分布在白龙江复背斜核部($Z\text{-}S_1$)、关家沟复背斜(D_1),为一套夹火山碎屑岩、富有机质的硅质板岩、千枚岩、变粉砂岩系,是次活动型局限性海盆沉积。地

层 Au 丰度较高(区域平均 4.4×10^{-9}),且 Mo、Cd、Ag、Ba、Sb、As、Hg、Zn、Cu、V、U、Cr、Ni、Co 等元素亦有较高丰度,形成多元素含金建造。拉尔玛金矿即赋存于该套建造之中(Z_2-$\in_1$),以碳质板岩夹硅质团块和条带的粉砂质板岩为容矿岩相。b.碎屑岩含金建造,为浊积岩系建造,分布于碌曲—两当印支裂陷槽中。系一套砂岩、粉砂岩、板岩为主的沉积,夹有灰岩(T_2)。产有鹿儿坝金矿,容矿岩相为砂—板岩互层地段。c.陆屑—碳酸盐建造,为滨—浅海相沉积。由板岩、千枚岩、砂岩、灰岩组成,夹有中基—中酸性火山岩、火山碎屑岩(少量),碳酸盐岩可局部集中,如中泥盆统下吾那组、中三叠统中巴颜喀拉群和团结沟组等均属此建造。容矿岩相为粉砂质板岩—火山岩、板岩—粉砂质板岩和板岩—灰岩,如九源、坪定(D_2)、石鸡坝(T_2);另一类以厚大的灰岩、白云质灰岩、白云岩为容矿层(T_2),如大水及其邻近的贡北等一系列矿床。在第 a、c 两个含金建造中发现有火山岩类夹层,这可能说明地层金的来源与其有关。

②小侵入体含金建造。小侵入体是矿床的特征标志,而且本身往往是金矿(化)体,甚至为主要金矿体(石鸡坝金矿后斗湾矿段)。小侵入体多为印支、燕山期产物,以花岗岩类为主。主要有石英闪长岩、花岗闪长岩,次为花岗岩、二长花岗岩、花岗斑岩(脉)、花岗细晶岩(脉)、二长岩脉,局部见有次安山岩、次英安岩、次流纹岩。多呈浅成相小岩体、岩脉产出。

对小侵入体在成矿中的作用大致有以下几种认识:a.小侵入体为成矿期前侵位,与金矿化无直接的成因关系仅作为容矿岩石或者作为容矿断裂中的屏蔽体起阻挡含矿热液导致矿化富集的作用。b.小侵入体为地热带(田)的标志,可能表明有隐伏岩体存在。c.可能为矿化提供一部分金。我们认为各矿床中小侵入体普遍具金矿化,而且岩体金含量较高或很高(大水花岗闪长岩 5.8×10^{-9}～34×10^{-9},石鸡坝二长斑岩平均 626.27×10^{-9}、花岗细晶岩 416.8×10^{-9})表明小侵入体与本类矿床是有直接成因联系的,实际上形成了一个类似斑岩(或岩浆热液)—热水溶滤型金矿的复式成矿系统。

(3)控矿构造。断裂及其破碎岩带为控矿构造。前已述及区域性断裂带为区域控矿构造。而次级断裂为导矿构造,与主干断裂平行或斜交的次级断裂为容矿空间。含矿断裂一般倾角较陡,有长期、多次活动性,早期为压扭性,后期多为张扭性。

容矿构造均为低序次断裂和破碎带、裂隙带,大水金矿并见有热液爆裂角砾岩容矿。

(4)区域矿化组合。主要为浅成低温热液型汞、锑、砷(雌黄、雄黄)、银铀、硒。金砷、金锑、金硒有时成共(伴)生矿床。区域矿化组合与西秦岭金属矿化分区特点是一致的。

2)金矿特征

(1)矿岩关系。

①接触关系。本类矿床为不整合脉状矿体。矿岩界线多清晰,少数呈渐变过渡。

②围岩蚀变。普遍发育低温型蚀变。主要有硅化、黄铁矿化、碳酸盐化、绢云母化、粘土化和赤铁矿化。其中硅化有交代石英岩化、脉状石英化、玉髓化、碧玉化等。较次要的蚀变有重晶石化、硫化物或砷化物化(辰砂、辉锑矿、雄黄、雌黄等)、绿泥石化,多因矿床而异。蚀变具有分带性。垂向分带明显者为大水金矿,自上而下为玉髓化→碧玉和块状硅化→赤铁矿化→褐铁矿化(黄铁矿化)→碳酸盐化→绿泥、绢云母化。以矿体为中心的侧分带是粘土化→硅化→黄铁矿化。蚀变带范围一般略大于矿体。地表金矿体因金属硫化物氧化而具鲜明的褐铁矿化氧化带。

(2)矿体。矿化带长度 300～2000m 左右,宽数十米至 700m 左右,大—中型矿床一般有

10 个～20 个矿体。单矿体规模不等,长数米至 500 余米,厚 1～10m(2～7m 为主),延深一般为百余米(最小仅 18m,最大达 330m)。

矿体形态呈似层状、透镜状、脉状、板状、囊状,矿体常有膨缩、分支复合、尖灭再现等特征。

据大水金矿资料,矿体类型存在分带现象:上部为热泉型金矿体,中部为岩溶型金矿,下部为蚀变岩型金矿和爆破角砾岩型金矿。以蚀变花岗岩型矿体为主的金矿化位于垂向序列的下部,可能具有模式意义。

(3)矿石

①矿石建造。金—多金属硫化物建造。其特征是普遍含有汞、锑、砷硫化物和铁氧化物,有如下组合。

金—石英—氧化铁型:金矿物—赤铁矿—褐铁矿—(磁铁矿、硬锰矿)—黄铁矿—毒砂—辉锑矿—黄铜矿—方铅矿—雄、雌黄—石英(玉髓)—方解石—白云石—重晶石—高岭石。金属矿物约 14%,赤铁矿占绝大多数,脉石以石英为主(70%以上)。代表性矿床如大水。

金—多元素组合:金矿物—磁铁矿—褐铁矿—辉锑矿—黄铁矿—白铁矿—雄黄、沥青铀矿、晶质铀矿—硒矿物—闪锌矿—黄铜矿—方铅矿—含 Zn、Se、As 的黝铜矿—辉钼矿—锑锗石—黄(红)锑矿—硫镍矿—绢云母—地开石—绿泥石—黑云母—碳酸盐—石英(玉髓)—萤石—重晶石—有机炭。上述组合反映了多元素建造的特点,有的硒矿物可达到工业富集,形成硒金矿床,如拉尔玛矿床。

金—砷—锑—黄铁矿组合:有三种亚组织:a.金矿物—雄、雌黄—毒砂—白铁矿—含 Hg、As、Ag 的黝铜矿—辉锑矿—锑汞矿—辰砂—铅锌硫化物—石英—粘土矿物—碳酸盐—氧化砷矿物—绿泥石—蛋白石—萤石—石膏—叶腊石,本类低温砷矿物达 1%～60%。代表性矿床为坪定砷金矿。b.金—黄铁矿—辉锑矿—毒砂—石英—方解石—铁白云石—高岭石,金—锑矿物组合为特征,如鹿儿坝锑金矿床。c.少硫化物型的金—黄铁矿—辉锑矿—磁铁矿—黄铜矿—方铅矿—雄黄—石英—重晶石—方解石—绢云母—白云母,金属矿物一般小于 5%,如石鸡坝金矿。

②矿石类型与组构。本类矿床以微细粒浸染蚀变岩型及交代岩型矿石为主。各矿床从矿石构造、含矿岩性、金属矿物组合等特征出发,分为若干种自然类型。但基本可归纳为三种,即蚀变的花岗岩类矿石、蚀变的沉积岩类矿石和交代岩型矿石。

矿石构造以块状、碎裂—角砾状、浸染状、细脉状、网脉状、条带状为主,次为晶洞状、皮壳状、斑点状。

矿石结构以各类交代结构、残余结构、碎裂结构、胶凝结构、包含结构、粒状结构为多见。次为莓状、砂状、固熔体分离、镶嵌、糜棱结构等。

氧化矿石常占较大比重,具褐铁矿化和次生残余结构、疏松状、土状、蜂窝状等构造。

③金的赋存状态。金矿物以自然金为主,次为银金矿、金银矿,拉尔玛还有硒金矿。粒度以微细粒—超微粒为主,但大水、拉尔玛以细粒为主,并可见有明金。金的赋存形式以裂隙金、粒间金、包体金为主,超微粒者呈晶格金。自然金多呈圆粒状、角粒状、麦粒状,次为针棒状、片状、树枝状等。成色较高(963～999)。载金矿物以褐铁矿、黄铁矿、石英、长石为主,次为炭质、方解石、毒砂。非金属矿物作为主要(或重要)载金矿物,是本类矿床的一个特点。

④矿床规模和品位。已发现的本类矿床约 17 个,总储量 105.19 吨,占甘肃省岩金储量的 31%。其中,大型矿床 3 个,中型矿床 2 个,小型矿床 1 个。中、大型矿床占矿产地总数的

35%,储量总数的 88%,而且规模还在扩大。由此可见,本类金矿的储量分布是比较集中的,找到中型以上矿床的概率较高。

矿床平均品位 1×10^{-6}～15×10^{-6},以大于 5×10^{-6} 为主,品位变化系数 38%～116%左右。

金—多元素建造和金—砷—锑(汞)—黄铁矿型建造中的伴生元素,如 Se、As、Sb、Hg 可达到工业品位,综合利用价值较高。

3)成矿作用

(1)成矿时代与成矿期次。主成矿期为印支晚期—燕山期,喜山期仍有延续。

矿床的生成经历了漫长的过程,可分为矿源层形成期—热液期—表生期三个成矿期。热液期为主要成矿期,有 3 个～4 个成矿阶段。一般早期阶段为石英—少硫化物阶段;中期为石英—金—硫化物阶段,系主要的金矿成矿阶段;晚期则为碳酸盐、粘土矿物阶段。

(2)成矿理化条件。据拉尔玛、坪定等资料成矿理化条件大体如下。

成矿温度以中—低温为主。大水为 70℃～150℃,其余矿床略高,如拉尔玛主成矿阶段为 240℃左右,坪定 112℃～248℃。

成矿压力 80Pa～200Pa,埋深小于 1km,属浅成。

热液酸碱性以中—弱碱性为主,弱还原。溶液属盐水—卤水,富 Na^{+},阴离子以 Cl^{-}、F^{-} 为主,次为 SO_4^{-2}。盐度和矿化度有由早期热液向主成矿阶段递增的趋势。

(3)矿床的稳定同位素特征。矿床的硫同位素组成因矿床不同而差异极大。坪定金矿 $\delta^{34}S$分布较集中,且以重硫为主($\delta^{34}S$ 1.80‰～9.6‰,多数在 5.09‰～6.90‰);拉尔玛则离散极大,$\delta^{34}S$ -25.2‰～+28.5‰,极差近 60‰,说明各矿床在硫源及形成机制上有较大差别。拉尔马矿床铅同位素组成表明热液成矿期以正常铅为主(上地壳与造山带来源),而地层铅则以异常铅为主。拉尔玛矿床的氢氧同位素研究表明,热液中的水多来自降水。大水矿床 $\delta^{34}S$ 在黄铁矿、方铅矿中分别为 6.26 及 1.98,均为正值,硫源于上地壳。

(4)成因讨论。多数研究者认为,本类矿床是以大气降水为主的地下热水在地热的驱动下对流循环,萃取围岩和基底地层中的金和其他物质,形成含金热卤水,并在近地表浅部开放空间中受地化屏障的控制,通过交代、充填方式卸载成矿。小侵入体可能提供了部分成矿物质。我们据此将它们归为热水溶滤型金矿。

4)地化异常特征

化探是重要的找矿手段,Au 及其综合异常为主标志。

区域化探(水系沉积物)异常为 Au - As - Hg - Sb 为基干的组合异常,其他元素组合随地区而异,如拉尔玛等多表现出多元素组合特征。

土壤异常组合与上述组合类似,但 Au 与 As、Hg、Sb、Ag 等异常的套合程度各矿不一,大水矿床套合不明显,其他矿床套合明显。异常的分带情况类似。矿致异常具金的明显浓集中心,浓集值 24×10^{-9}～72×10^{-9}。

原生晕特征表明近矿围岩多有 Au 和伴生元素浓度升高的现象(几倍或几十倍于背景值)。矿体晕分带性一般为:前缘晕(或上部晕)以 Hg、Sb、As 为主,下部 W、Mo、Cr、Ni 及 Cu、Pb、Zn、Ag 增加。

6.斑岩型金矿(B—4)

目前归于这一类的矿产地仅 3 个,(夏河阿芒沙吉、老豆、早仁道),均分布在西秦岭西部花

岗岩带的北段和南段,产于燕山期花岗闪长斑岩和花岗斑岩、石英闪长岩体中。含矿斑岩体的一个特点是具有强烈的 I 型色彩(I 型、I-S 型)。金矿化多与热液型、斑岩型铜砷、钼矿化伴生(北段),或产于热水溶滤型金砷汞矿带之中(南段)。金矿体为石英脉型、微细粒浸染型,受岩体内的构造破碎带控制,规模不大(一般宽数米至 10 余米,长 50～100m 左右),但厚度和品位变化较小。与金矿化关系密切的围岩蚀变以硅化、强绢云母化、黄铁矿化、毒砂化等为主,多呈线、带状。矿石建造为金—多金属硫化物和金—石英—硫化物类型。矿物组合有自然金—黄铁矿—磁黄铁矿—毒砂—黄铜矿—辉锑矿—黝铜矿—方铅矿—闪锌矿—白铁矿—石英—绢云母—高岭石—碳酸盐、绿泥石—电气石—长石等。矿石构造有浸染状、细脉浸染状、斑状、团块状、角砾状、块状等,结构有粒状、交代残余、碎裂结构等。

金矿物多为微细粒自然金,以包体金为主,少量为吸附金、晶格金。品位在 1×10^{-6} ～ 23×10^{-6} 左右。载金矿物以黄铁矿、毒砂为主,次为粘土矿物、褐铁矿等。矿石类型基本可分两大类,一为微细粒浸染型矿石,一为石英脉型矿石。此外,根据含矿岩性、金属矿物组合、氧化程度等亦可分为若干类型。

本类矿床与浅成花岗岩类小岩体有密切空间关系，以岩体为容矿岩石，矿石以微细粒浸染型矿为主，我们将其归之于斑岩型金矿。从矿物组合判断成矿温度为中—低温。一般有早期高—中温，晚期中—低温两个成矿阶段，金矿化与后—阶段有关。

省内已知的斑岩型金矿规模不大,它们与热水溶滤型金矿可能存在成因系列关系。因此在本类矿床围岩中寻找热水型金矿是扩大找矿远景的可能途径。

7 .火山—次火山热液型金矿(B—3)

除伴生金矿床以外,尚未发现独立的矿床。但有线索提示该类金矿存在的可能性:北祁连岛弧带白银矿田见有含金 1×10^{-6} 的次石英角斑岩体;在矿田酸性火山穹窿的围岩中(基性火山岩和中酸性火山岩为主)发育碳酸盐绢云母化、硅化、浸染状黄铁矿化带、剪切带,于其中随机取样的 Au 达数百 $\times10^{-6}$ 的样品。此外,矿田外围局部地段斑点构造很发育,曾作为预测隐伏酸性次火山杂岩体的重要标志,其特征与李坝式矿床的斑点构造类似。因此,以前述地段为重点(特点是浸染状、石英脉状金属硫化带),在白银地区寻找次火山岩型(独立)金矿是有一定远景的。

8 .砾岩型金矿(E—1)

砾岩型金矿见于下白垩统河口群(甘肃东部)和上侏罗统赤金堡群之底砾岩层中(北山)。已知矿床很少,且仅河口群的一处达矿点规模。金呈自然状态存在于砾石之胶结物中,与磁铁矿、黄铁矿、锆石、柘榴子石、电气石、钛矿物、重晶石、磷灰石等重砂矿物伴生。西湾矿点金品位为 0.3～1g/ m^3 ,最高 3.34g/ m^3 。

三、各类型独立岩金矿床地质特征的简要对比

见表 1—2—2。

第三节　岩金矿的成矿规律及成矿特点

金虽是地球上丰度最低的元素之一,但其地质时空分布却很广泛,成因类型多样。就省内

表 1 - 2 - 2　甘肃省主要独立岩金矿类型对比表

金矿类型	成矿地质环境					特征围岩蚀变	矿石建造特征			成矿特征	成矿物理条件		最大规模
	构造位置	容矿地层建造	变质建造	花岗岩类	控矿构造		金矿物	主要伴生金属矿物	主要非金属矿物		温度	深度	
C - 1　火山沉积—热液再造 1.蚀变岩型(主) 2.石英脉型	优地槽、火山岩带	$\in_2$ - O、C_1 细碧—角斑岩系火山—碎屑岩系(容矿 = 含矿)	低绿片岩相	矿区一般少见,外围有岩基	1.断裂、破碎带 2. 剪切—断裂带	次生石英岩化、碳酸盐化、年轻矿床有明矾石化、叶腊石化	自然金、银金矿,年轻矿床以微细粒为主,其余矿以细—粗粒为主	1.银矿物—Fe、Cu、Pb、Zn、Sb 硫化物—Fe 氧化物; 2. Fe、Cu、Pb、Zn 硫化物—Fe 氧化物	石英—绢云母—铁白云石—方解石—绿泥石—重晶石	1.加里东晚期 2.海西期	中|低	浅	中
D - 1　热水溶滤型 1.蚀变岩型(主) 2.石英脉型 3.硅岩型	冒地槽褶皱带、多旋回花岗岩带	Z_2 - $\in_1$、D_2、C_1、P_1、T_2、K_1 1.炭硅泥质岩 2.碎屑岩 3.陆屑—碳酸盐 (容矿—含矿)	低绿片岩相	印支、燕山期小侵入体发育且多具矿化,I - S 型(主)	断裂,破碎带	硅化、石英岩化、碳酸盐化、黄铁矿化、赤褐铁矿化、粘土化、叶腊石化	自然金(主),银金矿、金银矿、硒金矿。成色 963 ～ 999 粒度。 1.细粒为主 2.微 - 超微粒为主	1.黄铁矿—磁铁矿—黄铜矿; 2.铁、锰氧化物—Fe、Cu、Pb 硫化物—毒砂—雌、雄黄; 3.雌、雄黄—汞、锑硫化物; 4.Se、U 矿物—Sb、As、Mo、Ni 硫化物	石英—方解石—白云石—玉髓—碧玉—绢云母—叶腊石—莹石—粘土矿物—重晶石	1.印支晚期(主) 2.燕山期(主) 3.喜山期(次)	中|低	浅 < 1km	大
B - 4　斑岩型 1.蚀变岩型 2.石英脉型	冒地槽褶皱带、多旋回花岗岩带		低绿片岩相	燕山期斑岩、小侵入体,I - S 型(主)(容矿 = 含矿 = 生矿)	岩体内断裂,裂隙带	线状、带状硅化绢云母化,金属硫化物化	自然金,微细粒为主	Fe 硫化物—毒砂—Cu、Pb、Zn 硫化物—辉锑矿—黝铜矿	石英—绢云母—高岭石—碳酸盐—电气石—绿泥石	燕山期	中|低	浅 < 1.5km	小

续表 1-2-2

金矿类型	成矿地质环境					特征围岩蚀变	矿石建造特征			成矿特征	成矿物理条件		最大规模
	构造位置	容矿地层建造	变质建造	花岗岩类	控矿构造		金矿物	主要伴生金属矿物	主要非金属矿物		温度	深度	
C-2 热晕型 1.蚀变岩型	同上	D_2、C_2 细屑建造、陆屑—碳酸盐建造(容矿)	1.区域:低绿片岩相 2 热变质 a 角岩带(无矿) b 斑点带(容矿)		断裂(剪切带)、层间破碎带、裂隙	斑点构造(特征)、退色(特征):绢云母化(主)、绿泥石化、弱硅化、金属硫化物化	含银自然金(主)、银金矿、自然金,成色 834,Au/Ag > 1,粒度微细粒为主	黄铁矿—毒砂—磁黄铁矿—Cu、Pb硫化物	石英—绢云母—碳酸盐—绿泥石	印支—燕山	中	中浅 1.8km±	大
C-3 多旋回复合热液型 1.石英脉型 2.蚀变岩型	1.地台及老基底块多旋回岩浆活化区 2.优地槽褶皱带造山期后多旋回花岗岩带	1.AuCh、Ch,细碧角斑岩系含铁细屑—碳酸盐建造(部分生矿) 2.Z-Pz,中基性火山岩—火山碎屑岩	区域:高绿片岩相—低角闪岩相,混合岩化	海西晚期—印支(主)—燕山(主)复合岩基岩株、S型、I-S型、交代型(造矿、部分生矿),煌斑岩脉常见	剪切—断裂带、(区域控矿);断裂、破碎带、糜棱岩面理(片理带)(布矿、容矿)	绢云母化、硅化、绿泥石化、黄铁矿化、黄铁绢英岩化	自然金,银金矿、含银自然金,有时有铋金矿。成色 662～698,770～922,Au/Ag0.7～166±,粒度:粗、中—微细粒	黄铁矿—毒砂—磁铁矿—Cu、Pb、Zn硫化物—辰砂	石英—绢云母—绿泥石—(电气石、宝石)	印支—燕山	中	中浅 ≥2km	中
B-1 岩浆期后热液型 2.石英脉型	1.冒地槽地槽多旋回花岗岩带(主); 2.优地槽褶皱带,地台、老地块花岗岩活化区(少)	多样,但以海西期及前海西构造层为主	低绿片岩相为主(部分容矿)	1.海西中晚期—印支期(主);2.加里东、燕山期(少)以复合岩基、岩株为主。属S型、S-I型少量I型(容矿=含矿=生矿=造矿)	1.岩体内断裂,裂隙带(主);2.近岩围岩中的断裂、裂隙带	硅化、绢云母化、黄铁矿化,黄铁长英岩化(主)	自然金,金银互化物。粒度以粗粒为主,伴生银	黄铁矿—黄铜矿—(银矿物)—PbZn硫化物—毒砂—磁铁矿—(菱铁矿)	石英(主)—绢云母—方解石—(绿泥石)	海西中晚—印支(主)加里东、燕山(次)	中	中	大—中

而言,地台和地槽褶皱带均有金矿分布,元古代—现代也都有金矿形成,其富集成矿作用几乎遍及沉积、变质、岩浆、热水四大成矿系统。另一方面,在不同的成矿地质环境中所形成的金矿类型却有明显的区别,显示了成矿条件对特定类型金成矿的制约。

一、各类金矿的时空分布规律及特点

(一)各构造单元中金矿类型的分布

为叙述方便,我们按成矿作用中金的来源,将各类金矿床分成深源金和壳源金两大组合。

1.深源金矿床

金来自于上地幔和下部地壳,通过地台的大陆裂谷超镁铁岩和优地槽火山作用成矿,分布于地台裂谷带和优地槽的岛弧带、扩张海盆区。已知矿床均为伴生金矿床,包括超镁铁岩浆熔离型(A—1)、火山—次火山热液型(B—3)两类。本类金矿数量较少,但规模较大。

2.壳源金矿床

独立岩金矿床绝大多数属于该组合。金来自硅铝质地壳,其成矿作用与花岗岩类有密切的关系,但大多经历了多阶段的富集,包括初始矿源层形成和后期在变质—构造—热液多种作用下的成矿过程。因此,一方面受到多旋回花岗岩带的控制,可分布在多种构造单元之中;另一方面又因所处地质单元的特点发育不同的矿床类型。

1)地台岩浆活化区和地槽带基底地块

主要是多旋回复合热液型金矿(C—3)。

2)优地槽褶皱带(北祁连、北秦岭)

分布多旋回复合热液型金矿(C—3)和火山沉积—热液再造型金矿(C—1)。局部有岩浆期后热液型金矿(B—1)。

3)冒地槽和地槽褶皱带(西秦岭、北山)

本类单元为省内独立岩金矿的主要赋存区,无论矿床数和储量数均占绝对优势,而且大—特大型矿床也都赋存于本类单元中。金矿类型有:热水溶滤型金矿(D—1)、热晕型金矿(C—2)、火山沉积—热液再造型金矿(C—1)、岩浆期后热液型金矿(B—1)、斑岩型金矿(B—4)、接触交代型伴生金矿(B—2)。这些金矿类型形成了以中深成花岗岩体为中心的金矿系列(详后)。

(二)各类金矿的地史分布

地史时期有两个标度,一为时间标度,一为构造期标度。通常两者是一致的,但因地壳单元的发展历史特点在具体时间上亦有所差别。

1.长城—蓟县纪

主要形成超镁铁岩浆熔离型伴生金矿床、火山—次火山热液伴生金矿床。成矿环境为基底裂谷带(龙首山地区)和地台早期优地槽活动带(碧口地区)。

2.加里东期

震旦—奥陶纪为优地槽活动期,主要形成火山—次火山热液型伴生金矿,次为岩浆期后热液金矿和复合热液金矿,均位于北祁连。后者分部于地槽的基底地块中。志留纪为地槽的萎缩和褶皱期,主要发育火山沉积—热液再造矿床(北祁连)。优地槽期不仅发育了重要的伴生金矿床,而且通过火山活动、热卤水等形成了一些金的初始矿源层,为其后的各类再造型金矿提供了物源。

3 .华力西中期

是北山地槽和西秦岭早期冒地槽褶皱带的发育期,也是省内多旋回花岗岩带发育的第一个高峰期。与此有关的矿床与花岗岩有密切关系,包括岩浆期后热液型和火山沉积—热液再造型、多旋回复合热液型,主要分布在北山地区,与花岗岩侵入高峰期吻合(中晚石炭世—二叠世)。

4 .印支—燕山期

是西秦岭多旋回花岗岩带的活动强烈期,北山地区处于活动末期。本期是省内最主要的金成矿期,除岩浆熔离和火山—次火山热液伴生金矿以外的各型金矿均有发育,尤以热水溶滤型和热晕型为最重要。主要成矿时间为晚三叠世—侏罗纪,可延续至白垩纪甚至喜山期。

晚侏罗—早白垩世亦为砾岩型金矿(E—1)的主要成矿期,但经济意义不大。

二、金矿化与地层建造的关系——含金岩系

金矿的容矿地层建造多是金的部分或主要提供者,有的情况下是流体介质的部分提供者,因此金矿与容矿地层建造有的就是含矿建造。它们共同的特点是金矿化与火山岩、火山碎屑岩、细碎屑岩(泥质岩、粉砂岩)有密切关系,这些岩性多构成近矿围岩、甚至容矿岩相,可分以下五组。

(一)火山岩建造和火山—碎屑岩建造

(1)细碧角斑岩建造的玄武岩建造。产有火山—次火山热液型伴生金矿,而且是后期再造型矿床的矿源层。以酸性次火山岩、基性火山岩等为容矿岩相。产于优地槽环境。

(2)火山—火山碎屑建造。产于地槽环境和优地槽,由中基、中酸性火山岩及火山碎屑岩和细陆屑岩为主组成。主要起矿源层作用,产有多旋回复合热液型、热水溶滤型、火山沉积—热液再造型金矿。

(二)炭硅泥质建造

由富有机碳的炭质千枚岩夹硅质岩、硅质条带和团块、凝灰质板岩、凝灰岩、白云岩、灰岩等组成,为滞流海盆沉积。下部变质较深(高绿片岩相),有可能具热卤水盆地性质。本类建造不仅金丰度较高,而且具多元素建造特征,见于白龙江复背斜之震旦 - 下志留统,产富铀硒的热水溶滤型金矿。

(三)陆屑—碳酸盐建造组

本组合由泥质岩为主的陆屑岩和碳酸盐岩组成。多夹有火山岩和火山碎屑岩,但一般量较少。除一般的陆屑—碳酸盐建造外,本组尚包括含铁建造,其下部有时碳硅质增加,有向炭硅泥质岩建造过渡趋势。本组建造产有热水溶滤型金矿,多富砷、汞、锑。此外,元古界部分含金层亦属本组,产有多旋回复合热液金矿,多与铜、铁矿化(床)伴生。容矿岩相以细屑岩为主(包括其变质岩),少量为火山岩。

本组建造产于冒地槽带(如西秦岭中泥盆统)和元古界地槽褶皱带(北山群、北祁连党河群)。

(四)陆屑建造

本类包括复理石建造和火山碎屑建造、细屑岩建造。见于裂陷型冒地槽、次深海盆、优地槽弧后盆等坳陷环境,时代以早、中三叠、中泥盆统、下古生界为主。特点是以泥岩、砂岩、硬砂岩为主,组成互层,有时夹有碳酸盐岩。产有热水溶滤型、热晕型、复合热液型金矿,与汞锑或

多金属硫化物矿伴生。

(五)碳酸盐亚建造

如秦岭南带西倾山地区中三叠统下岩组的碳酸盐岩组,属陆屑—碳酸盐建造的一个亚建造。它是大水热水溶滤型金矿的主要容矿建造层,矿区地层含金较高,平均丰度达 8.7×10^{-6}～27.5×10^{-6},是金的矿源层之一。产出位置为白龙江复背斜之上构造层。由震旦—志留系、上古生界地层组成的“下垫层”是金的另一矿源层。

三、金矿与变质作用的关系——含金变质建造

变质作用在成矿中主要起使地层金活化并定向迁移的作用。含金变质建造以低绿片岩相为主,次为高绿片岩相—低角闪岩相(低中级变质)、接触变质及接触带相。

但低绿片岩相具普遍性,而后两者有明显的成矿专属性(就金矿类型而言)。

(一)高绿片岩相—低角闪岩相含金建造

本类建造发育于前长城基底建造中和局部高应力、高热流的加里东优地槽褶皱带地段,少数情况下华力西冒地槽褶皱带热卤水盆地区亦有分布。以各类片岩、变粒岩、片麻岩为主。原岩以泥质岩、碎屑岩、中基性火山岩为主。本类变质建造常发育递增变质带,并多伴有层带状和边缘混合岩化。主要赋存多旋回复合热液金矿,赋矿部位位于低角闪岩相或混合岩带外侧的绿片岩相带中、或退变低绿片岩相带中。西秦岭区早古生代低绿片岩相“变质穹窿”的盖层(中、上泥盆统)中见有复合热液金矿产出。由赋矿部位的特点看,在区域动热地质作用的条件下,金是由较高级的变质带向低级变质相带方向迁移的,从而导致地层金在绿片岩相带中的富集。这一点是和 B .A .布梁克的变质成矿作用模式吻合的。

(二)接触变质含金建造

见于西秦岭华力西褶皱带,发育于印支岩基外接触带的碎屑岩建造中。从内向外可分为角岩带、斑点板岩带,热晕型金矿即赋存外带之中。以岩基为中心,一方面金有由高能带向低能带外迁的动向;另一方面对周围的地层金来讲,又有向高熵值方向迁移的热力学趋向。斑点带可能正是这种动力和热力趋向的平衡地带。

四、控矿构造

断裂控矿是除砾岩型金矿以外所有岩金矿的特征。依断裂的性质和规模不同,在不同级次上控制了含矿单元的分布。

(一)区域控矿构造

区域性断裂构造控矿模式为断裂带和构造酸性岩浆带的叠加,控矿断裂有两种形式,即界断裂带和剪切—断裂带。

1 .界断裂带

界断裂带的一些特征已在“热水溶滤型金矿”的成矿地质环境中介绍。它在成矿中的作用可概括为两个方面:

(1)它们是长期活动的基底断裂带,因此在容矿建造形成中通过它们以热卤水等形式可将金等成矿物质由深部带入沉积盆地之中,形成地化富集层。

(2)在后期变形过程中,它们处于强应变部位,形成密集的次级长断裂和众多的小断裂、裂隙,组成地壳上部的高渗透性地带。一方面成为降水下渗的良好通道带。破碎的岩层、发育的

裂隙—断裂系为复合热液的循环、萃取围岩物质创造了良好的空间条件。因此,界断裂带成为控制金矿化区域分布的重要因素。

2.剪切—断裂带

区域性或规模较大的韧性剪切带,由于其扩容作用成为变质过程中含矿热液迁移、富集的地带。这一过程使剪切带成为低中级变质区中金的初始富集部位,局部(二级膨胀带)并可能有早期含金石英脉形成。当剪切带抬升至地壳浅部后期继承性的构造变形以断裂为主组成剪切带与断裂复合的形式,断裂系统控制了热液金的进一步富集,形成金矿体。因此,“剪切带上的叠加断裂”也是该类金矿区域预测的基本构造前提。在赋存于浅变质地层中的其他类型金矿(如热晕型、甚至热水溶滤型)也常发现剪切带的存在,它与岩金的关系值得进一步研究。

在古老隆起的边缘断裂带,正体现了刚性块体和其他形式构造单元的接合部,断裂具有明显的继承性和多期活动特点,是金矿床的重要赋存位置。

(二)局部控矿构造

与区域性控矿断裂带、长断裂伴生的次级断裂及分支断裂常起容矿作用。剪切带经后期多已转化为脆性变形,形成断层。容矿断裂多为压扭性、张扭性。

断裂长 1km 以上,宽数十米。沿其断续分布金矿化和蚀变,组成矿化带,常见有破碎的脉岩充填,表明断裂在成矿前期前已存在,成矿期又有活动,两组断裂交会的锐角部位是矿床赋存的有利部位。

容矿断裂是更次一级的断裂、裂隙带、层间破碎带。断裂交会处,断层面产状变化处断裂宽度加大处等均为有利富集容矿部位。

五、花岗岩带与金矿的关系

花岗岩带控制的石英闪长岩—花岗岩侵入体与独立岩金矿的关系十分密切。

(一)花岗岩带的区域控矿作用

前已述及金矿的区域分带是受区域断裂带和花岗岩带复合部位控制的。一方面金成矿区带沿控矿区域断裂带呈带状展布,另一方面又在花岗岩带内集中成段。这种由双要素控制的网络状分布是独立岩金矿带分布的基本模式(图 1—3—1)。例如,北山花牛山—音凹峡北剪切断裂带是马鬃山隆起与柳园坳陷带界断裂带的组成部分,其东西各有一条穿单元花岗岩带分布,金矿化即在其东西两端集中。西秦岭则更为清晰,如图 1—3—1 所示。

从时间角度看,岩金矿的成矿期多与花岗岩的造山期后活动高峰期一致。北山地区华力西褶皱为频繁的多幕活动,造山期、早褶皱幕和晚褶皱幕均有花岗岩的强烈活动,造山期后活动大为减弱,仅有少量印支小岩体分布。西秦岭褶皱期花岗岩活动较弱,华力西期岩体所占比重较小;但造山期后和后构造期侵入活动强烈,印支—燕山期岩体占最大比重。喜山期沿花岗岩带仍有火山及侵入活动,但无论范围或强度均大幅下降。祁连区花岗岩活动以同火山深源斜长花岗岩和造山期花岗岩为主,均系加里东中、晚期产物。

与之相应,北山金矿的主要成矿期为华力西中、晚期—印支期;西秦岭为印支—燕山期;祁连为加里东中、晚期。

以上是就主成矿期而言。我们认为在多旋回的花岗岩带中长期、多次的侵入活动所造成的地热和热液场在岩金矿形成的过程中起着系统迭加的作用,不能孤立地看待某一次花岗岩的成矿作用。首先多期活动的花岗岩浆混熔了相当多的地壳物质,使地层金在岩浆中得到相

对富集,而在后期岩浆中则更为富集,如西秦岭花岗岩类中金一般多达到Ⅰ～Ⅲ级集中(衬值大于1至大于2),这为形成含金热液提供了条件,并可能在复合岩体外围地层中形成多次迭加的含金热液晕。其次,每一次与花岗岩侵位有关的热事件都会造成相应的复合热液循环活动,形成金的"预富集"区,为最终的成矿准备了条件。

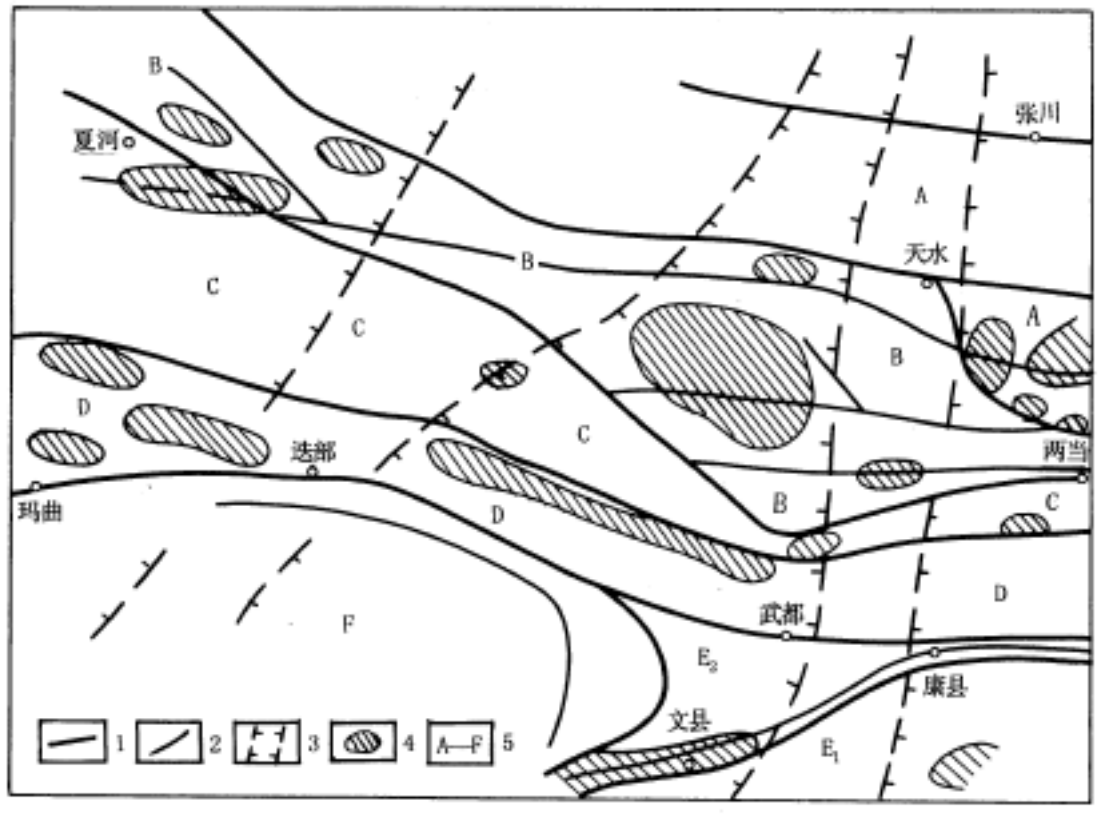


图1—3—1　西秦岭金矿集中区Au组合异常与界断裂,区域性深断裂关系示意图

1—构造单元界断裂;2—区域性深断裂;3—穿单元花岗岩带;4—构造单元代号;A—北秦岭;B—礼县—扎水;C—碌曲两当;D—白龙江复背斜;E_2—关家沟复背斜;E_1—碧口隆起;F—松潘—甘孜

西秦岭区花岗岩带的岩相构成具有南、北分区的差异:北区以中—中浅成相的岩基和大岩株为主,南区则以浅成—超浅成相小侵入体为主。这一差异也造成了金矿类型的分区差异:北区以热晕型、多旋回复合热液型、岩浆期后热液型金矿为主,南区以热水溶滤型金矿为主。

综上,可以认为独立岩金矿在时、空、类型三个方面都受到花岗岩带的明显控制,形成一个互有联系的系统。

(二)花岗岩类侵入体与金矿床的关系

1.与金矿有关的花岗岩矿床的关系

(1)岩性。以石英闪长岩、花岗闪长岩,二长花岗岩为主,次为花岗岩。

(2)成因类型。以S型和I-S型为主,其中二长花岗岩以S型为主,并见有交代成因的(如党川)。而石英闪长岩、花岗闪长岩则以I-S型居多。岩石化学特征以钙碱性铝过饱和系列为多,碱质总量因所处的构造单元和侵入时代有关:北山海西中晚期岩体总量高于中国花岗岩平均值,而印支岩体则近于或小于平均值;西秦岭区中、东部岩体碱质总量多大于中国花岗岩平均值,西部岩体则小于该平均值。因此,碱质总量与金的成矿关系不明显。Na_2O/K_2O亦无明显规律。

(3)产状。与金有关的花岗岩体以中浅成相为主,并有部分超浅成相(斑岩等小侵入体),前已述及它们分别形成不同类型的金矿。

(4)含金性。热晕型金矿有关的花岗岩基金含量接近或低于维氏值,而与其他各型金矿有关的花岗岩体丰度普遍较高,达维氏值的1.6倍～25倍。与热水溶滤型金矿有关的小侵入体常成为矿化岩石,含金丰度更遽升至维氏值的100倍至数百倍。

2.金矿化与花岗岩的空间关系

热晕型金矿体分布于花岗岩基2～4.5km外的接触带外带中,斑岩型、岩浆期后热液型则

主要分布岩体及内接触带内,少量分布于近岩的外接触带中。其他类型金矿以分布在围岩中为主,少量分布岩体中。但多与岩体有密切的空间关系。

3 .金矿区的脉岩特征

脉岩是种类型金矿区常见的小侵入体,其岩性以闪长岩—花岗岩为主,局部(西秦岭北带)则尚有煌斑岩、辉绿岩脉。这些基性度差别甚大的脉岩往往共存于同一矿区之中。其中,煌斑岩脉具有特殊意义,与金矿化关系更为密切(如西秦岭北带之热晕型、复合热液型金矿)。

六、金成矿的理化条件

(一)成矿深度和温度

省内岩金矿按成矿深度可分两类。

(1)中深中温热液组。包括岩浆期后热液矿床、热晕型矿床、多旋回复合热液矿床。形成深度大于 1. 5km(2km 左右),主要成矿期温度为 200℃左右。

(2)浅成中—低温热液组。包括热水溶滤型、斑岩型金矿。形成深度小于 1. 5km(1km 左右为主),温度小于或等于 200℃。

一般同一矿床均有较高温的早期成矿阶段和较低温的主成矿阶段,金的富集多在后一阶段。

(二)热液性质和来源

仅从小西弓(复合热液)、拉尔玛(热水溶滤)两矿床资料分析,有以下特点:

(1)共性。均为盐水—卤水,还原—弱还原,弱碱性,热液属 Na^{+} - K^{+} - F - Cl 或 Na^{+} - K^{+} - SO_4^{-2} 型, Na^{+} 大于 F/ Cl 小于 1。由早期阶段向主矿阶段,盐度有增加现象,酸碱性也由酸性演化为碱—弱碱性。

2 .差异。据包体和石英的氢氧同位素研究,热液水有多源特征,但小西弓矿床岩浆水、变质水占优,拉尔玛则以降水为主。显然,这反映了两者在成因类型及机理上的差异。而李坝矿床(热晕型)的热液亦以雨水为主,与拉尔玛相似。

七、区域伴生矿化特征

独立岩金矿多与花岗岩有成因联系的热液型、夕卡岩型、斑岩型金属硫化物矿化在区域上,甚至在矿床中伴生。伴生的矿种组合,多反映了区域地化场的特点。北山区区域性伴生矿种为铜、多金属、钨、锡、钼、铁。金在矿床中主要与铁铜硫化物、铅锌硫化物伴生。

西秦岭北带与北山类似,但普遍出现毒砂。局部伴有放射性矿产。

西秦岭南带无论在区域上还是矿床中都以伴生汞、锑、砷硫化物(雌、雄黄)为特征,砷含量由东而西,由南而北有逐渐增高趋势。早期阶段普遍见有铁、铜硫化物,铅锌硫化物、铁氧化物。赋存于多元素黑色岩系中的金矿常伴有多元素硫化物。

八、甘肃金矿成矿的若干特点

(1)金矿主要分布在Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级构造单元的交接部位及大型断裂带附近。如甘肃省最大铜镍矿化物伴生金矿,产于华北地台南缘与走廊过渡带的交切部位,即龙首山陆缘裂谷中。大水金矿则位于秦岭褶皱系与松潘甘孜褶皱系的边界断裂带上,李坝、马泉金矿产于高桥—洮坪大断裂带上。石鸡坝金矿位于文康断裂带附近。鹿儿坝于临潭—山阳大断裂带上。

(2)甘肃省金矿的分布没有明显的地层专属性,从前震系到白垩系都有岩金矿发现。相对而言,金的赋存与容矿岩性关系较密切。主要的容矿岩性有细碎屑岩、碳酸盐岩、碳硅泥质岩、火山岩类、花岗岩类和绿片岩相变质岩类。这一特点一方面反映了省内金矿主要受控于“构造+热流”的后成成矿特性,另一方面也反映了容矿地质建造是成矿中金的重要提供者。

(3)古隆起边缘是金矿成矿的重要地域。甘肃省金矿成矿的这一特点十分突出,如在碧口隆起的西北边缘,出现石鸡坝、娘娘坝等一系列金矿,白龙江复背斜(隆起以北)有坪定、九源等金矿。在祁连山的一些金矿,其分布亦反映出古隆起(基底高)边缘对成矿的控制。经深入研究,在一些被中新生代地层掩盖的古隆起边缘及一些水下隆起形成的斜坡带,发现了大型金矿。刚性隆起不仅为金矿形成提供了物质来源,隆起凹陷的不协和,也使地壳在应力作用下,通过一些断裂破碎带的长期活动,形成了良好的导矿、容矿空间。所有这些特点,似乎反映金矿成矿的古地理环境可与砂岩型铜矿的成矿模式相对比。

第四节　独立岩金矿床的区域分布模式

西秦岭(含北秦岭)是一个多旋回地槽褶皱带,包含有古老隆起、加里东地槽褶皱带、华力西和印支冒地槽褶皱带等多种构造单元(构造层)。多旋回花岗岩带很发育,活动期也较长,而且后构造活动强烈。这种复杂的地质演化史和多样的地质作用,造就了甘肃省内类型最齐全、远景大的金矿区。现以西秦岭地区为基础,初步归纳甘肃省内独立岩金矿的区域分布模式。

建模的中心思路是:第一,甘肃省内独立岩金矿床是一个以深部花岗岩浆源(或安山岩浆源?)为核心的成矿体系;第二,多旋回花岗岩带是最基本的区域成矿条件,断裂构造是成矿的必要条件,地质建造环境决定矿床类型。

表 1—4—1、图 1—4—1 反映了甘肃省内独立岩金矿的区域分布模式。图表中金矿类型以代号表示,其中 B—1 为岩浆期后热液矿床、B—3 为火山—次火山热液矿床、B—4 为斑岩型矿床、C—1 为火山沉积—热液矿床、C—2 为热晕型矿床、C—3 为多旋回复合热液型矿床、D—1 为热水溶滤型矿床。在图 1—4—2 中不再另外加注。

图 1—4—2 有如下说明:

(1)深部岩浆源。岩浆性质可能为安山质或花岗质。定位置可能在中地壳底部,据地震研究,西秦岭莫霍面北浅南深、东浅西深,卓尼、迭部间落差可达 5km;但上、下地壳厚度较为稳定(为 15km、20km)中地壳变化较大(8～20km)。由此推断,西秦岭南、北带花岗岩产状的不同主要是由于中地壳厚度差异所致,岩浆源应位于中地壳底部。岩浆由深部脉动式的上侵,导致多旋回岩浆活动的产生。可能携有深源金。

(2)中间贮浆房。由于深部岩浆上升过程中受到地壳物质的大量混染,岩浆性质向 S 型变化,金在岩浆中含量增加。

(3)基底构造层(地台及早期地槽构造层)因有较多中基性火山岩而偏基性、地层金丰度较高,并经变质富集。侵位于其中的复式岩基、岩株因混熔大量围岩导致金的富集,形成含金热液,由岩体向外运移,围岩金亦在热驱动下,发生循环流动。在适宜的条件下形成复合热液金矿和岩浆期后热液金矿。

(4)侵位于浅变质上部构造层中的花岗岩体,在深度 1.5km 以上主要是呈岩株、复式岩基

甘肃独立岩金矿区域成矿规律表(正交表)

主控矿因素组合 \ 构造单元 \ 地层建造		地轴及基底地块		优地槽褶皱带			准冒地槽褶皱带		
		低中级变质带	浅变质带	低中级变质带	浅变质带	冒建造带炭硅泥质岩系	碎屑岩建造	火山—碎屑岩建造	盖层
多旋回花岗岩带+区域性断裂带	中晚期加里东		C-3		? C-1 B-3				
	海西中晚期	C-3						C-1 B-1	
	印支中晚期	C-3		C-3			C-2 D-1 + (B-4)	D-1	
	燕山期	? C-3		C-3		D-1 + (B-4)			D-1 + (B-4)
	喜山期								
说明		已知可达到的矿床规模	小型		中型			大—特大型	?可能存在的类型

表 1—4—1　甘肃独立岩金矿区域成矿规律表(正交表)

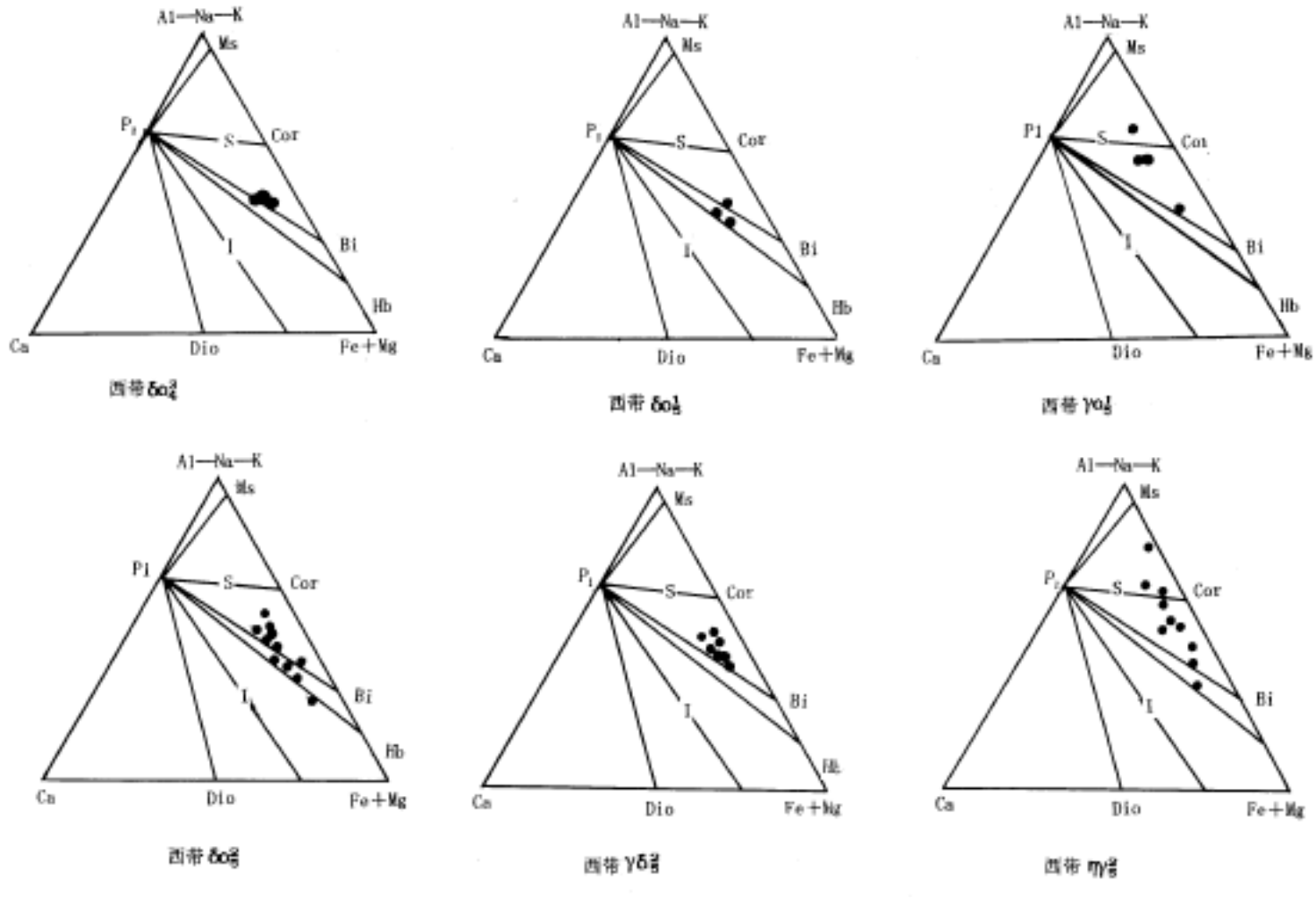


图 1—4—1　西秦岭北区西岩带花岗岩(Al - Na - K) - (Fe+ 2 + Mg)三角图投点图

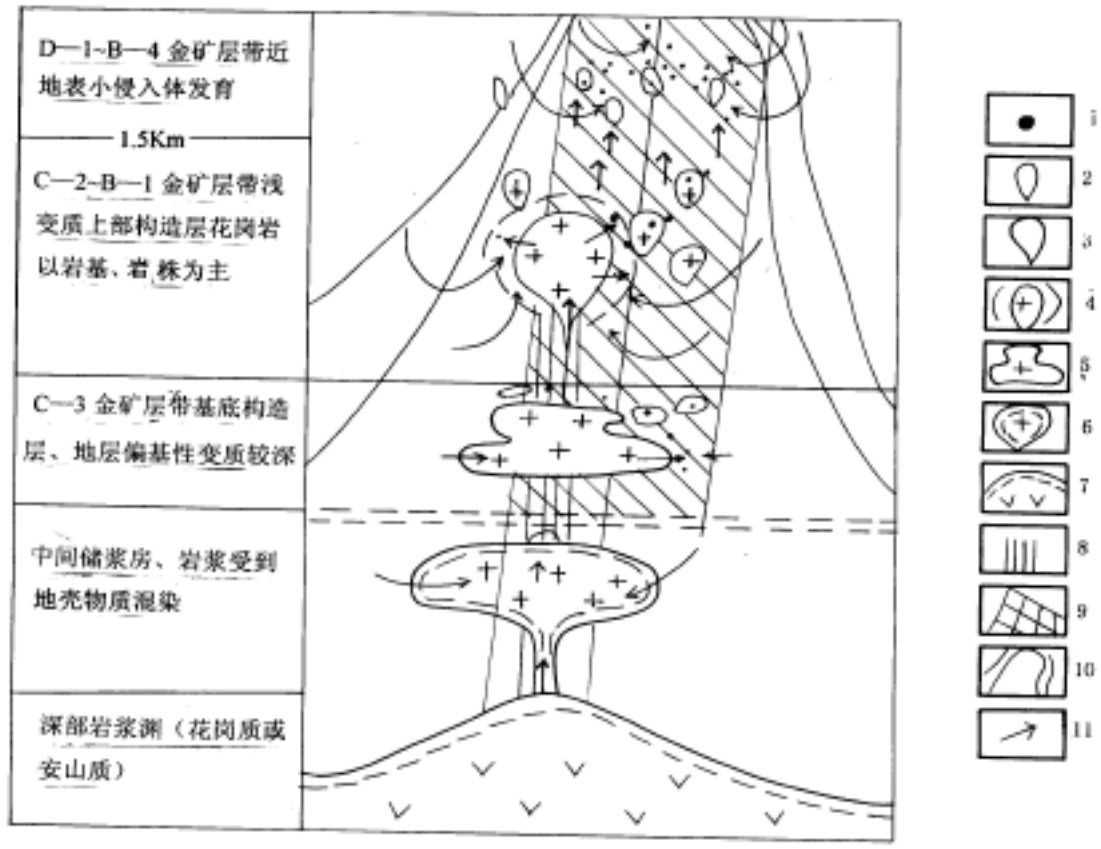


图 1—4—2　甘肃独立岩金矿地质分布模式图

1—金矿化部位;2—花岗岩类小侵入体、斑岩;3—花岗岩类岩株;4—花岗岩复合岩基及热变质晕;5—花岗岩复合岩基部分为交带成因;6—花岗质中间储浆房;7—花岗质或安山质深部岩浆渊;8—岩浆补给通道;9—以界断裂、剪切带为主的断裂带;10—地壳热流值线;11—Au 的运移方向

产出,通过与前述类似的机制在热变质晕外则和部分岩体中形成热晕型和岩浆期后热液型金

矿。

(5)在深度小于 1.5km 的浅部主要发育花岗岩类的小侵入体(含斑岩),鉴于小侵入体多为 I 型特征较明显的 I-S 混合型,推测为较深部来源,携有深源金,形成斑岩型金矿化,它们与地热带中热水溶滤的含金溶液形成的金矿床有密切的空间关系,组成复式类型。

(6)以构造单元界断裂、区域性深断裂、长大剪切—断裂带为主干的断裂带为多旋回花岗岩带热流、小侵入体等上升的有利通道,形成高热流地段。发育的次级断裂、裂隙系统亦为热水循环创造了条件,并成为富金热液运移、沉淀的场所。

第二章　西秦岭地区金矿

第一节　大水金矿田

大水金矿田是20世纪90年代初期在陕甘川“金三角”西缘地区发现的特大型金矿。该金矿田由大水金矿床和大水西金矿床两部分组成。矿田中金矿物以微细粒自然金为主,大多呈斑点状、浸染状分布;矿体主要受近东西向大断裂及北西、北东和南北向断裂构造及岩溶构造带的叠加控制;主要矿化蚀变类型有硅化、赤褐铁矿化、碳酸盐化(方解石化)和高岭土化等;中低温矿物组合及元素地球化学组合特征明显,为岩浆后期中低温热液和岩浆后期中低温热液再造裂隙充填形成的特大型金矿田。其成矿作用的特点是表现为多期次热液成矿活动的叠加。据同位素年龄样测定结果,其成矿年龄为41.81Ma～229.9Ma,说明成矿机制的孕育是漫长的。其中矿床年龄为182.8Ma～196.0Ma和41.81Ma～72.15Ma占绝对优势,表明成矿过程是相对短暂的。燕山早期是大水金矿田的主要成矿期,而喜山早期由于大规模推覆挤压活动所产生的部分热源,促使金矿化复合叠加,导致第二次金的矿化活动,使部分地段进一步富集,形成一些品位较高的矿体,此期为复合叠加期。因此,大水金矿田成矿经历了燕山早期—燕山晚期—喜山早期,这与白龙江地区金的成矿阶段大体相吻合。

一、区域地质背景

该区位于秦岭东西向造山褶皱带南亚带西段。大水金矿田则位于西秦岭南部印支冒地槽

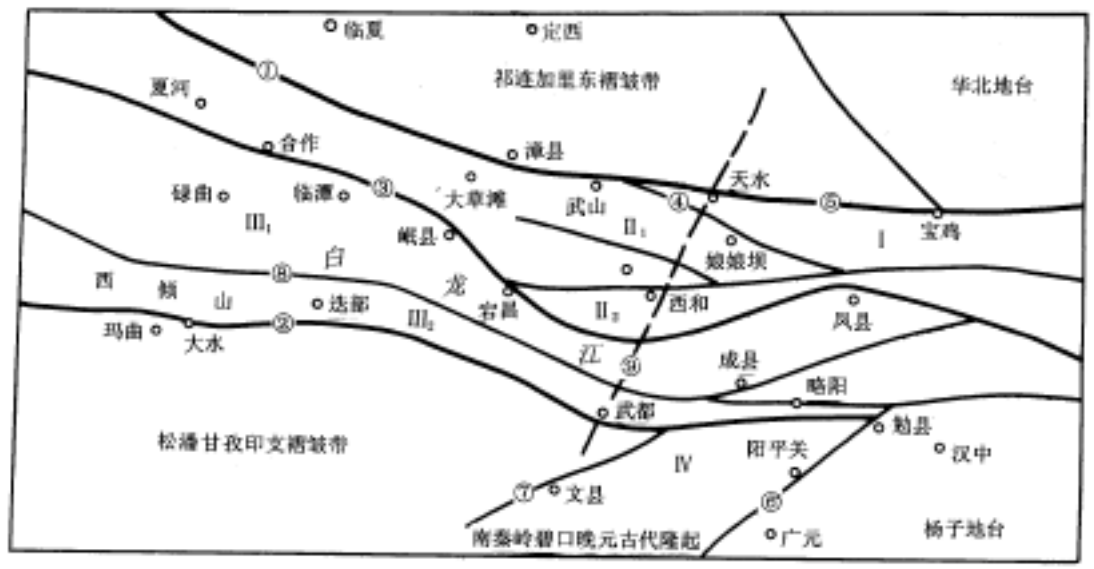


图2-1-1　西秦岭地区大地构造分区图

Ⅰ—北秦岭加里东褶皱带;Ⅱ—西秦岭北带:$Ⅱ_1$—北亚带;$Ⅱ_2$—南亚带;Ⅲ—西秦岭南带:$Ⅲ_1$—碌曲—成县褶皱带;$Ⅲ_2$—迭部—武都褶皱带;Ⅳ—南秦岭碧口晚元古代隆起;①—临夏—商县大断裂;②—玛沁—略阳大断裂;③—临潭—凤县大断裂;④—罗坎—高桥大断裂;⑤—天水—宝鸡大断裂;⑥—青川—阳平关大断裂;⑦—碧口西北断裂;⑧—光盖山—成县大断裂;⑨—天水—武都隐伏大断裂

褶皱带西南缘,其北和东北侧紧邻次级白龙江背斜和洮河复向斜;其南与松潘甘孜褶皱系巴颜喀拉褶皱带相接;以玛沁—略阳断裂(西段)为界,其北为西倾山隆起带,其南为巴西复向斜;大水金矿田分布在西倾山隆起带的西南缘(见图 2 - 1 - 1,图 2 - 1 - 2)。

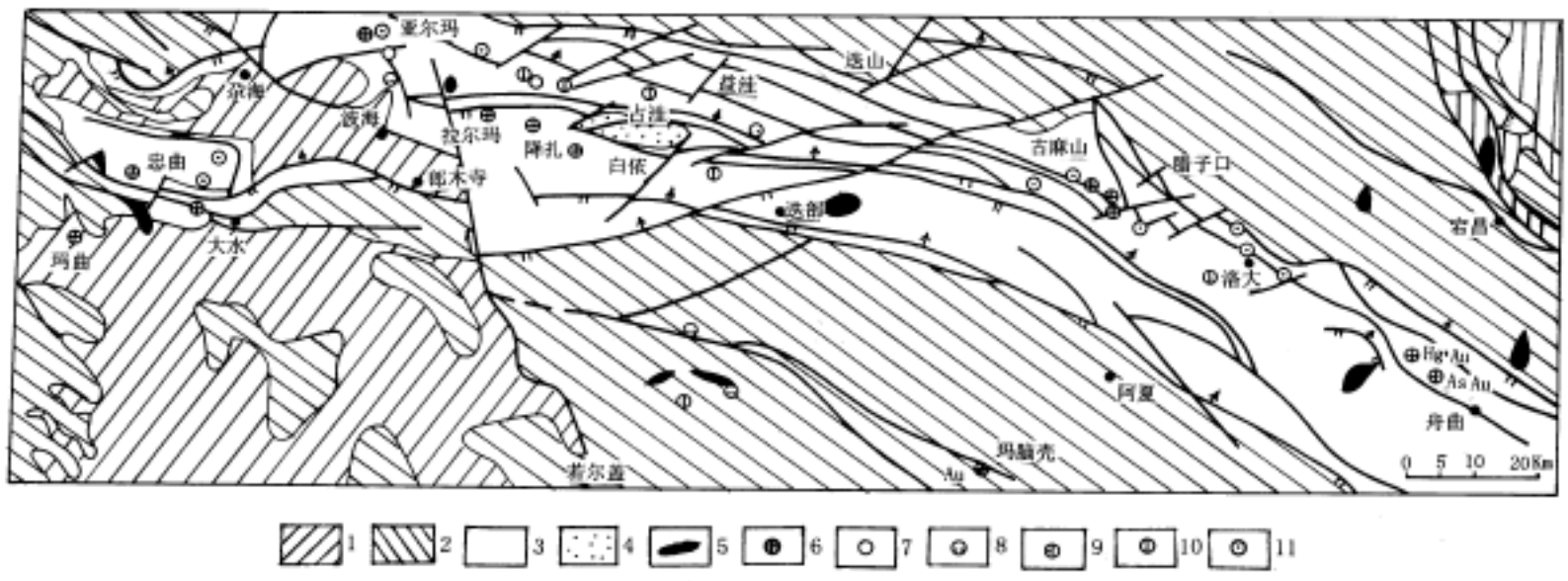


图 2 - 1 - 2　区域地质矿产图

1—新生界;2—中生界;3—古生界;4—元古界;5—矿体;6—金矿床(点);7—汞矿床(点);8—锑矿床(点);9—铜铁矿点;10—铀矿点;11—铁矿床(点)

(一)构造

区域地质构造以近东西向为主,次为近南北向的正断层。亚尔玛—洛大—舟曲断裂、波海—白依断裂、玛沁—略阳断裂等构成了白龙江地区之逆冲推覆构造带,在玛曲—郎木寺—迭部一带,为前缘挤压推覆带及后缘逆冲拉伸带(亚尔玛—洛大—舟曲一带以北),该逆冲构造走向北西西,犁式断层走向约 300°,倾向 30°倾角 50°～75°。逆冲构造由北向南以前展式、叠瓦状向前扩展,并发生多重式逆冲推覆。其中玛沁—略阳逆冲断裂控制了区域金成矿带的展布以及矿床分布定位(见图 2 - 1 - 3)。

印支运动是秦岭地区极为重要的地质事件。其结果导致了秦岭海槽的最终封闭、造山褶皱和初始滑脱断层、浅部的高角度逆冲断裂、邛莫倒转背斜等的形成,滑脱断层构造等成为侏罗纪火山喷发及次火山岩侵位的构造通道。

燕山运动初始深层滑脱 - 浅部逆冲断裂以前展式进一步向南扩展,冲断带逐渐向南推移,推测大水—郎木寺(即西倾山)推覆体至少向南推移了 20～100km。燕山运动晚期受南部扬子板块俯冲活动影响,引起西秦岭总体在浅层次上的向南推覆,形成盖层的薄皮式构造。

喜山运动期,该区域以不均衡隆起 - 坳陷为特点,产生盆—岭构造及其边缘拉伸断裂。

燕山期及喜山期为主要的金成矿活动时期及矿床形成时期。

该区以郎木寺西断裂为界,西倾山隆起带分为两个次级构造单元。断裂以西为嘎尔括合褶皱束,断裂以东为郎木寺褶皱束,这两个次级构造单元相互平行作带状延伸。

嘎尔括合褶皱束是大水地区主体褶皱,东起喀阿尔赛,西至杂尔加佐利一带,东西长 40km,南北宽 12km,由两个次级背斜和向斜相间平行排列组成,呈东西向展布。褶皱束东北侧被大片白垩系和第四系所掩盖。背斜褶皱枢扭向西倾伏,褶皱较紧闭,两翼对称,地层倾角

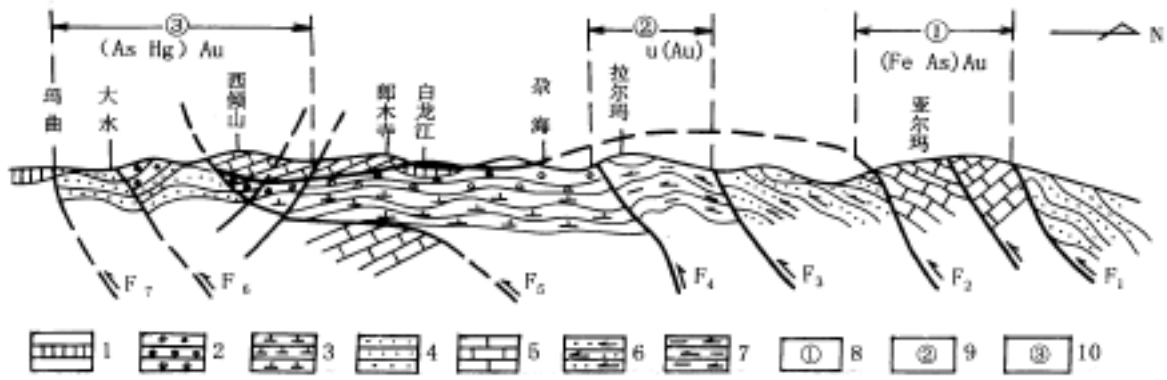


图 2 - 1 - 3　区域矿产分布规律示意剖面

1—第四系;2—白垩系;3—侏罗系;4—三叠系;5—泥盆 - 二叠系;6—志留系;7—寒武—奥陶系太阳顶群;8—亚尔玛—舟曲金砷铁(铜磷)中低温浅成系列成矿带;9—波海 - 白依中低温超浅成汞金矿系列成矿带;10—玛沁—南坪低温超浅成汞金矿系列成矿带;F_1—光盖山—迭山北缘断裂;F_2—亚尔玛—舟曲断裂;F_3—羊肠沟断裂;F_4—波海—白依断裂;F_5—玛曲—迭部断裂;F_6—玛沁—略阳断裂;F_7—玛曲—南坪断裂

均在 70°左右。在背斜倾伏端或向斜抬起端,地层倾角较平缓,平均约 30°左右。

区域断裂发育,以近东西向(或北西—南东向)和南北—北东向走向断裂为主,组成玛沁—略阳、多冬才—唐青括合、且加木—杂尔加卜盖等三组断裂,它们控制着大水地区地质构造的发展。其中玛沁—略阳逆冲断裂组是控制金矿带的一组主断裂,它包括一系列基本平行的逆冲断裂,玛沁—略阳断裂是该组断裂南缘的主断裂,大水—忠曲断裂是该组断裂北缘的主断裂,大水金矿田被局限在上述两条主断裂之间。而玛沁—略阳断裂组成一个向南东方向突出的弧形构造,弧形构造东翼,主体构造线方向呈北东向,与主应力方向相垂直,总体处在挤压状态形成一系列北东向紧闭褶皱。弧形构造西北翼,主体构造线方向近东西向,沿断裂发生走滑作用,形成一系列近东西向断裂破碎,对金矿起明显控制作用[①]。

(二)地层

该区出露最老地层为泥盆系,属浅海 - 潮坪相碎屑岩夹碳酸盐岩建造,生物化石以腕足类及珊瑚为主,分布在嘎尔括合褶皱束轴部,从轴部向南翼依次为石炭系、二叠系、三叠系和中下侏罗统,局部还见有白垩系地层。石炭系、二叠系属稳定型海相碳酸盐岩建造,生物化石有珊瑚、腕足类、蜓及植物化石;三叠系为海相海陆交互相碎屑岩碳酸盐岩建造,含头足类、双壳类、腕足类及植物化石;中下侏罗统为小型山间盆地相的碎屑岩建造,动、植物化石繁多;局部出现的白垩系地层为河湖相粗碎屑岩建造。

三叠纪末,受印支运动的影响,结束了大水地区地槽沉积史,并使三叠纪及以前地层呈紧闭褶皱。在侏罗纪时,区内表现为上隆和剥蚀,局部构造凹地接受湖沼相碎屑岩沉积,后受南北向拉张作用的影响沿玛沁—略阳断裂形成一系列断陷盆地,接受白垩系磨拉石及粗碎屑岩沉积。

据各时代地层中含金量的统计(表 2 - 1 - 1)表明,由老到新的地层中金的背景丰度值逐渐降低,且各层位含金量均接近或低于同类岩石的地壳丰度值,说明金不是来源于围岩。

① 叶发荣等,甘肃省玛曲县贡北地区金矿普查报告 . 1995,12

表 2 - 1 - 1　区域地层金含量特征表($\times10^{-9}$)

地　　层	样　数	对数平均背景($\times10^{-9}$)	实测平均丰度($\times10^{-9}$)
白垩系(K)	61	0.48	0.48
侏罗系(J)	168	2.01	2.06
三叠系(T)	301	1.91	1.95
二叠系(P)	45	2.13	2.17
石炭系(C)	150	2.18	2.38
泥盆系(D)	295	2.23	2.93

(三)岩浆岩

区内岩浆活动较微弱,在空间分布上明显受近东西向断裂控制,岩浆活动由中—中酸性演化,具中偏基又偏酸性特点,属正常系列和氧化铝过饱和系列。

区内以燕山早期岩浆活动形成的岩浆岩为主,主要分布在大水—忠曲断裂的北缘,有忠格扎拉、忠曲、3983.0m 高程点南和格尔括合等岩体;多为近圆状、凸镜状,面积分别为 4.8km^2、0.05km^2、0.014km^2 和 1.2km^2;呈岩株状、岩枝状产出。侵入在石炭系、二叠系和三叠系地层中;岩性以花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、闪长玢岩、正长斑岩为主;其中以忠格扎拉、格尔括合岩体规模较大,岩体分带明显,具有中心相和边缘相;围岩具大理岩化,岩体与围岩接触界面外倾。岩体属浅成相,剥蚀程度属浅—中等。

根据各岩体金的丰度值统计结果,花岗闪长岩丰度值 17.6×10^{-9},花岗闪长斑岩丰度值 3×10^{-9};表明花岗闪长岩成岩之后,遭受了多期次、多阶段叠加改造,使金产生逐步积累和成倍增长,这与蚀变岩浆岩含金量相同,是后期大量金带入的结果。

(四)火山岩

主要分布在白依以西及波海—郎木寺一带,该火山岩与晋宁运动及燕山运动有关。晋宁期下震旦统的火山岩为灰—灰褐色块状流纹质晶屑凝灰岩夹英安流纹质和流纹英安质凝灰岩及凝灰质砾岩。在下寒武统中见有凝灰质夹层或透镜体。燕山早期的侏罗系火山岩有二个旋回,岩性主要为灰—深灰色安山岩、辉石安山岩夹安山玄武岩、凝灰岩及火山角砾岩。

(五)区域矿产

根据该区域地质构造特征、矿床产出位置、矿床矿物组合及成矿规律,由北向南可划分出三个成矿亚带(李亚东等,1994 年)(见图 2 - 1 - 3)。

1. 亚尔玛 - 舟曲金(砷)、铁(铜磷)成矿亚带

位于白龙江逆冲推覆带的后缘,总体呈北西西向延伸。金矿化主要产于中泥盆统下吾那组(或古道岭组)碳酸盐岩夹碎屑岩建造中,容矿岩石为泥质灰岩夹粉砂质板岩及炭质板岩以及闪长岩脉等。金矿形成时代为燕山期,矿床为中 - 低温热液浅成微细浸染型金(砷、锑)矿床。已查明有坪定中型砷金矿床及九源、黑多寺、查布、卡玛、亚尔玛、青稞岩等(砷锑)金矿点,还有洛大、亚尔玛东等赤铁、菱铁矿点及翠古山、益哇等铜矿床(点)。

2. 波海—白依铀、金成矿亚带

呈北西西向展布,金矿化主要产在下寒武统太阳顶群碳硅泥岩 建造中,容矿岩石为薄层含碳硅质岩与粉砂板岩互层及含硅质结核、纹层、团块、条带、薄层的炭质粉砂板岩以及闪长岩脉等。金矿形成时代为喜山期,为热水动力隐爆 - 中低温热液结晶沉淀成因形成的含炭微细

浸染型金矿床。已查明有拉尔玛大型(铀汞)金矿床、邛莫小型(铀)金矿床、牙相金矿点及温泉沟、益哇南等(钼钒)铀矿床(点)。

3.玛曲尼玛—南坪马脑壳金(砷)、汞(锑)成矿亚带

位于白龙江逆冲推覆构造带的前缘(席体)带,呈北西西向展布。矿化赋存在二叠系、三叠系、侏罗系碳酸盐岩及碎屑岩之中,容矿岩石为灰岩、白云质灰岩、灰质砾岩夹粉砂质板岩及闪长岩脉等。主要成矿时代为燕山期和喜山期,为热水隐爆—中低温热液充填沉淀形成的微细浸染型金矿床。已查明有四川南坪玛脑壳金矿;文县石鸡坝中型金矿床;玛曲县大水大型金矿田、碌曲县忠曲、辛曲,玛曲县贡北、格尔托等小型金矿床及四川巴西、团结、七里村、甲勿池等金矿点以及玛曲县尼玛汞(砷)矿化点(见图 2 - 1 - 2)。

二、矿床地质特征

(一)控矿条件

1. 地层岩性条件

物性不同的岩层及其脆弱带,在应力作用下易产生揉皱、层间滑动与各种裂隙,利于含矿热液的充填交代①。

大水金矿田的矿体主要赋存于三叠系中统地层中,岩性为一套脆性的白云岩、粉晶质灰岩。

(1)白云岩。包括泥晶白云岩和隐晶质白云岩,多为褐黄、桔黄色及桔红色,中厚层—块状构造,微细粒镶嵌结构、隐晶质结构。矿物成份以白云石为主,含量达 95%以上。少量方解石和粘土矿物,呈自形—半自形,晶体呈板状、叶片状、弯曲状,粒度 0.05～0.1mm,晶体内有尘状赤铁矿析出;碎裂、碎斑状和角砾状方解石化强烈,方解石多呈星散状钙土斑点稀疏或密集分布在白云岩中。

(2)粉晶灰岩。包括生物碎屑粉晶灰岩,多呈桔黄色,厚层块状构造,粒屑结构、粒屑生物碎屑结构。矿物成分以方解石为主,含量达 98%以上,粘土矿物仅占 2.0%;方解石具菱形节理,方解石闪突起显著,干涉色为高级白,粒度0.025～0.05mm之间,局部出现方解石集合体团块,为不规则状,一般大小在0.25～1.5mm左右;生物碎屑由蜓科化石组成,多呈纺锤状,由于再结晶作用,化石内部构造不明显,蜓科化石大小在 0.5～1.5 mm 左右,生物碎屑颗粒之间方解石具有再生长现象。

(3)泥晶—细晶灰岩。多为深灰色,厚层块状构造,交代或交代残余结构。矿物成分以方解石为主,含量约在 95%以上,含少量白云石和粘土矿物,呈自形—半自形晶,粒度0.03～0.5 mm 之间,具水平层理和小型交错层理,局部岩石破碎呈角砾。硅化强烈地段变为次生石英岩、含灰岩碎屑石英岩、硅化白云岩。

该套地层岩性不稳定,沿走向变化大,尤其是白云岩与灰岩呈互变关系,岩石层理较发育,一般呈中厚层状。岩性较脆,易在应力作用下产生断裂破碎及层间破碎虚脱空间,在地下水作用下,顺构造裂隙易形成构造疏松带和构造岩溶带,加之富含镁质而化学性质活泼,有利于矿质热液充填交代形成厚大不规则矿体。

2. 构造条件

大水金矿田位于玛沁—略阳弧形断裂的北缘,大水 - 忠曲断裂的南缘;矿田内断裂构造发

---

① 肖和中等,甘肃省玛曲县大水金矿普查地质报告.1992,11

育,近东西向断裂构造贯穿整个矿田。根据本矿田的断裂构造组合和各种断裂构造形迹在空间上的分布特点,分为近东西向、北东向(或近南北向)两组断裂构造(见图 2 - 1 - 4)。

1) 近东西向(北西—南东向)断裂构造

由 F_3、F_4、F_5 及 F_{24} 等逆冲断裂组成,总体呈北西 - 南东向展布,它是一组互相平行的主断层,断层在平面上反映出向东撒开,向西略有收敛的特征。

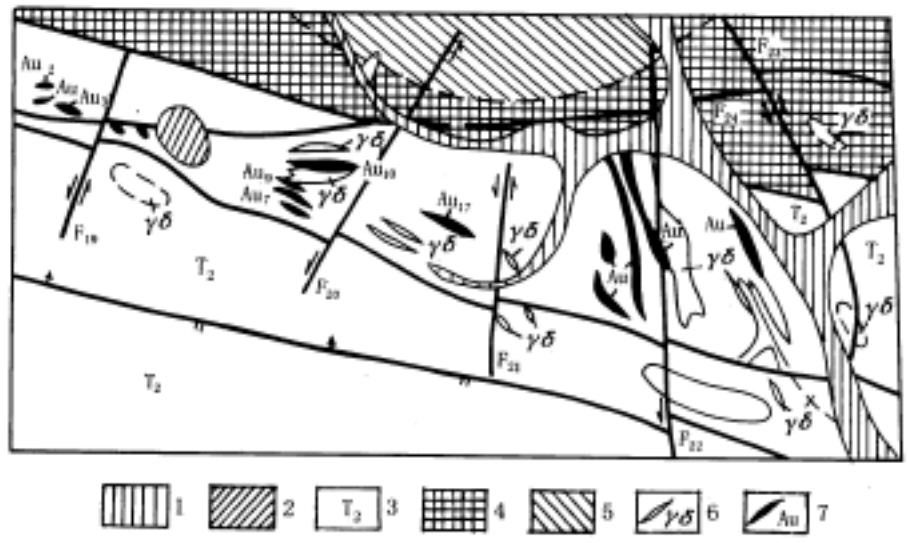


图 2 - 1 - 4 大水金矿田地质图

1—第四系冲洪积物;2—下白垩统;3—三叠系中统;4—三叠系下统;5—花岗闪长斑岩;6—花岗闪长岩脉;7—金矿体

近东西向断裂最大特点是具有很宽的断裂破碎带,从几米到几十米,破碎带破碎强烈,具有断层泥、断层角砾岩、构造透镜体和碎裂岩带。破碎带内断层角砾岩发育,由于岩性的差异,各种岩石的角砾大小不同,在同一岩性中,角砾大小较均匀,具有明显定向排列。但与主断层面相平行的角砾棱角已明显磨蚀,大都呈次棱角状、次圆状,有的砾石已被方解石、褐铁矿、赤铁矿及岩粉胶结成岩;有的角砾十分松散,未见胶结现象;有的断层角砾岩被再次破碎呈角砾,由此表明这类断层经受多期次构造运动。并沿断裂破碎带有规模较大方解石脉、花岗闪长岩脉充填,脉体常呈膨大、缩小、分枝、复合现象,此类断层力学性质为压扭性。

2) 北东向(或近南北向)构造

该组断裂构造为大水金矿田的主要构造之一。属 F_3～F_5 断裂间的次级低序次压剪性断裂,由 F_{18}～F_{23} 断层组成,总体走向呈 30°～40°(北东向)和 0°～10°(近南北向)方向展布,其断层规模不大,长 500～1300m,倾向北西或南东,倾角 60°～70°,该组断裂切割近东西向断裂。在断裂破碎带有大量花岗闪长岩脉和方解石脉充填,脉体有明显膨大、缩小现象,形成许多串珠状分布的局部低压张开空间,为热液活动和金的沉淀提供了良好的场所。尤其在大水 Au20 号矿体中表现最为突出,在南北向(0°～10°)方向断裂的旁侧,发育一组 100°～110°方向的羽状裂隙,与南北向断裂成锐角相交,呈边幕式递错排列,构成梯状控矿构造。特别是两组构造交汇处,是矿体最集中、最富集的部位。南北向断裂对区内的矿体起到了定位作用,控制了矿体的分布和产出。

另外在矿田外围还发育着一组北西向断裂,走向约 330°,断层面呈舒缓波状,断层破碎带内有构造透镜体,其长轴呈上下延伸,最大扁平面大致与主断面平行,在断层旁侧见有张扭性节理组合,此类断裂力学性质为扭性。

根据以上构造类型和构造应变特征,直接反映了大水地区的构造应力场,从与南北向压扭面相配套的剪切面滑动方向看,北东向断裂组具右旋滑动,北西向断裂组具左旋滑动,明显反映出本区近东西向(早期)构造主应力主要为南北向挤压,东西向不变,上下伸长,与区域应力场方向基本一致。

根据本区大量地质资料表明,近东西向构造主要定型时期为燕山早期,表现为近东西向的压性断裂内充填有花岗闪长岩、动力变质及玛沁—略阳、大水—忠曲断裂组的形成,这次运动

奠定了大水地区构造的基本格架,并对成矿起了一定控制作用。北东向构造切割东西向构造,定型时期是白垩纪末东西向挤压外力作用,是燕山晚期运动在大水地区的反映,主要表现为断块的升降运动。

从区域构造分析,玛沁—略阳弧形断裂规模大,具有长期性和继承性活动特点,切割深,它是一个导矿构造,控制了西倾山成矿带的分布;它的上盘 F_2、F_3、F_4、F_5 断裂为控矿构造,控制着大水金矿田及外围金矿床的分布;在 F_3～F_5 断裂间的次级北东向和南北向断裂和岩溶构造带是容矿构造,控制着矿区内的矿体分布;而细脉—网脉状金矿体充填在主断裂和旁侧羽状裂隙中。显而易见,控矿断裂不仅具有导矿作用,还具有容矿作用。

3)岩浆岩条件

区内岩浆活动较弱,仅在大水金矿田北侧见有规模较大的格尔括合花岗闪长斑岩体出露,面积为 1.2km^2,呈近圆状,长轴方向与大水 - 忠曲逆冲断裂 方向基本吻合,呈岩株状产出。其他地段仅见一些花岗闪长岩脉、闪长岩脉,规模均不大。

格尔括合花岗闪长斑岩体具明显分带现象,岩体中心相为花岗闪长斑岩,岩体边缘相为细粒辉石闪长岩,含大量捕虏体和异离体,其接触面与地层斜交,侵位于中三叠统和上二叠统地层中,围岩具明显大理岩化。

在花岗闪长斑岩体外侧,有大量脉岩相出现,脉岩主要为花岗闪长岩和辉石石英闪长玢岩,在脉岩相中心为辉石石英闪长玢岩、边缘为花岗闪长岩,具明显分带性。该脉岩沿南北向、北西向断裂破碎带或裂隙贯入,脉体呈 0°～10°、290°～310°方向展布,与南北向、北西向构造和金矿体展布方向大体相吻合。脉长 100～700m,宽 10～50m。在大水金矿床和大水西金矿床组成两个很大的脉岩群,脉体形态很复杂,多呈港湾状、长条状、凸镜状,脉体具膨大、缩小、分枝、复合特征。此外,在大水金矿田南的格尔托金矿见有两条花岗闪长岩脉,呈北东向展布,脉长 200～400m,宽 10～30m,脉体呈长条状,其他特征与大水金矿田的脉岩基本相似。在大水金矿田西及西北的贡北、忠曲金矿床亦有少量花岗闪长岩、闪长岩脉出露,但与矿化关系不很密切。

值得提出的是:在大水金矿田的花岗闪长岩脉顶盘或超覆部位见有隐爆角砾岩,呈似层状或不规则状,产状、形状变化较大,出露面积分别为 5860m^2、6870m^2。隐爆作用发生在花岗闪长岩与围岩接触带附近,其岩性变化以花岗闪长岩为中心,向外过渡为隐爆角砾岩和硅化白云岩或白云质灰岩。隐爆角砾岩的角砾成分多与围岩相同,并含有早期侵入岩及少量从深部带上来的异源物质。角砾形状大小不一,多呈尖棱角状、棱角状、次棱角状,砾径一般3～10cm,个别达 20～30cm 不等。胶结物为岩屑、岩粉、熔浆及气液物质,由内向外,次火山岩浆岩角砾成分递减,围岩角砾递增,反映出成岩作用是在次火山岩浆超浅成定位过程中,在其顶部和周围聚集了大量气液组份,其后在构造应力的诱发下,骤然减压,发生隐爆而成。

为系统了解大水金矿田侵入岩的化学成分和类型,对该区的岩体和脉岩进行了岩石化学全分析,其结果见表 2 - 1 - 2。

经岩石化学成分计算结果,投点于火山岩三轴投影图上,均落在英安岩上。经扎氏数据计算结果:Q 值均大于 20%～60%,属 SiO2 过饱和、强饱和;An = 90～100,为基性钙长石,属中偏基又偏酸性过渡性岩浆;氧化系数(F)为 2.57～5.86;组合指数 δ = 0.002;钙碱指数(CA) = 63 属钙性岩;a:c 均小,以钙长石为主。根据上述特征看,脉岩属贫碱富钙铝浅成岩,结合脉岩产出和岩石结构特点,将脉岩暂定为花岗闪长岩,很可能有英安岩、英安斑岩、安山岩、流纹岩

以及火山角砾岩的存在。

根据微量元素和人工重砂及光薄片鉴定结果,该岩体及脉岩微量元素和副矿物组合见表2-1-3和表2-1-4。

表2-1-2 岩体及脉岩化学全分析及查氏数据表

样号	岩石名称	分析结果(%)											
		SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	灼减
1	花岗闪长斑岩	62.31	0.51	15.92	0.84	2.85	0.07	2.60	3.31	2.72	4.0	0.17	4.10
2	花岗闪长岩	57.06	0.58	14.31	2.93	0.50	0.079	0.47	10.43	0.05	0.26	0.30	13.52
3	花岗闪长岩	64.54	0.48	15.22	1.08	0.42	0.066	0.00	7.75	0.06	0.06	0.25	10.63

样号	岩石名称	查氏指数特征											
		a	c	b	S	F′	m′	c′	a′	N	Q	a/c	长石排号
1	花岗闪长斑岩	11.98	4.10	9.56	74.33	37.00	47.20	/	15.80	51.27	20.70	2.90	An=40
2	花岗闪长岩	0.59	11.33	8.60	79.47	42.80	11.00	46.19		27.77	46.70	0.05	An=98.6
3	花岗闪长岩	0.001	10.16	4.65	85.00	33.60	0.00		66.60	0.00	60.0	0.001	An=100.0

表2-1-3 岩体及脉岩微量元素分析结果表

岩石名称	样品个数	分析结果($\times10^{-6}$)											
		Cu	Pb	Zn	B	Cr	Sn	Mn	Ti	Ni	Mo	Ag	Co
花岗闪长斑岩 花岗闪长岩	20	125.60	42.71	57.18	18.90	127.81	5.44	506.00	2203.17	7.03	1.01	0.13	7.40

表2-1-4 岩体及脉岩副矿物特征表

岩石名称	样品个数	副矿物组合及含量											
		一般矿物							硫化物				
		锆石(%)	磷灰石(%)	重晶石(%)	金红石(粒)	板钛矿(粒)	磁铁矿(粒)	赤铁矿(粒)	黄铁矿(粒)	毒砂(粒)	方铅矿(粒)	黄铜矿(粒)	雄黄(粒)
花岗闪长斑岩	1	2.025	10.00	1～3	微量	几粒	5～10	15	几粒	几粒	几粒	几粒	几粒
花岗闪长岩	4	10.20	40～70	1～5	微量	几粒	5	20	几粒	几粒	几粒	几粒	几粒

从表中可以明显看出:岩体中Cu、Cr、Mn含量很高,高出地壳克拉克值6倍和数十倍以上,与Au呈正相关,表明黄铜矿含金,富金矿包含丰富锰质均与花岗闪长岩浆有一定的亲缘关系;岩体和脉岩的副矿物锆石、磷灰石、磁铁矿、赤铁矿含量高,其中锆石多呈黄褐色,正方柱状、双锥柱晶形,属普通锆石和杂锆石,反映出岩体具有深源岩浆的特点。同时,岩体与脉岩副矿物组合和含量基本一致,表明属同一岩浆源,其岩浆性质具有一致性;但脉岩Na_2O、K_2O含量较低,而岩体Na_2O、K_2O含量较高,反映岩浆化学分异的特点,表明岩体与脉岩是同源异相的产物。

根据脉岩产出特征和侵入时代看,该脉岩为早期花岗闪长岩,蚀变很强,主要蚀变为碳酸盐化、绢云母化、赤铁矿化、硅化。在成矿期再次遭受构造和热液作用的迭加,部分脉岩已形成较富的金矿体,金矿体在空间分布上与花岗闪长岩脉基本一致。同时还发现成矿热液蚀变体(脉—网脉状)既穿插于矿体又穿切于脉岩,表明脉岩的形成时间应早于成矿时间。

根据格尔括合花岗闪长斑岩体 K-Ar 同位素年龄测定结果,其年龄为190.00Ma～190.50Ma,属燕山早期,可作为成矿期的下限。根据大水金矿田硅化赤铁矿化灰岩的 Rb-Sr 年龄测定为 41.81Ma～169.0Ma,若将其作为成矿时代,而花岗闪长斑岩体年龄作为成矿时代的下限,两者时差为 21.00Ma～150.00Ma,表明成矿时代晚于岩体形成时代。

脉岩中含有与矿床组份类似的自然金、辰砂、辉锑矿和雄黄等微量矿物,表明脉岩与成矿热液具有同源关系,为成矿活动提供了热源。部分脉岩还受到成矿期的热液蚀变及矿化影响。

4)变质作用条件

区内岩层经受了轻微的变质作用,变质作用类型以热变质为主,区域变质作用为辅。

(1)接触变质(热变质)。热变质主要发育在花岗闪长斑岩、花岗闪长岩与围岩接触带上,在岩体内接触带有轻微混染作用及碳酸盐化、绢云母化、高岭土化;在外接触带具有大理岩化,局部灰岩重结晶作用明显,形成晶体粗大的方解石;一般灰岩具重结晶现象,多呈微晶—细晶,具糖粒状结构、粒状变晶结构;变余层理构造和中厚层构造。

(2)动力变质。区内挤压构造和扭动构造发育地段,动力变质作用和变形现象强烈,片理化、构造透镜体化、碎裂岩化、角砾岩化和糜棱岩化很发育;脉岩受构造作用碾磨成断层泥,说明区内断裂构造具多期性活动的特点,动力变质作用是在多次断裂褶皱构造活动中完成的。

另外,矿田内还普遍发育有强烈的近矿围岩蚀变作用,它与成矿作用和矿体的产出空间关系密切。

5)矿化元素组合条件

区域内广泛分布着 Au、As、Hg、Sb、Ag、Ba、Pb、Zn、Mo、Mn、Cr、Ni、V 等异常元素,而且常以组合形式出现。尤以 Au、Hg、Sb、As 密切相关,往往形成重现性较好的综合异常,并有矿体产出。可见 Au、Hg、Sb、As 在热液中有一定丰盛程度,是成矿的有利条件。

(二)矿体特征

在大水金矿田内共圈出金矿体 46 个,矿体主要分布在 68～110 勘探线之间,并有分段集中的特点。矿体走向:近东西向、北西向、北北西向、北东向,矿体陡立,倾角 50°～70°,矿体形态复杂,呈不规则枝叉状(追踪几组断裂形成)、似层状、透镜状、囊状、筒状、脉状等,并具有膨大、缩小、分枝复合及尖灭再现等特征,矿体严格受断裂构造和古岩溶的控制。矿体延长 40～200m,最长达 470m,视厚度 1～20m 不等,个别厚达 55m,金品位一般为 1.0×10^{-6}～74.0×10^{-6},平均品位 6.0×10^{-6}～10.0×10^{-6},矿体分布标高 3342～3854m,在矿田内控制矿体延深 40～330m。

该金矿田的矿体主要集中分布在大水金矿床 98～106 勘探线、大水西金矿床 80～84 勘探线和 68～72 勘探线间,组成了 3 个较大的矿体群,矿体出露标高 3600～3800m。其中以大水的 Au20 号矿体、大水西的 Au7 号矿体和 Au8 号矿体规模最大,是目前大水金矿田开发的重点。大水 Au20 号矿体为大水金矿田中规模最大的金矿体,主要分布于大水金矿床 98～106 勘探线间,由多个分枝矿体组成。矿体产于花岗闪长岩与白云质灰岩、微晶灰岩的接触带及其隐爆角砾岩中。矿体展布方向近南北向,与区域构造线方向大致垂直,矿体具强烈的硅化和赤

(褐)铁矿化。矿体平面组合形态为枝叉状、帚状、囊状,向南东方向撒开,向北西方向收敛,其分枝矿体呈条带状及脉状,矿体交汇处呈掌形。矿体产于张扭性及压性断裂中,产状倾向西或南西,个别分枝矿体倾向北东,倾角 60°～75°。该矿体主枝延长 470m,厚 0.40～55.65m,延深 24.0～335.0m(见图 2-1-5 及图 2-1-6);矿体金品位大多为 1.07×10^{-6}～20.7×10^{-6},部分为 25×10^{-6}～50×10^{-6},个别地段高达 100.00×10^{-6}以上。该矿体主要由似碧玉硅质岩、角砾岩、赤(褐)铁矿化灰岩及硅化脉岩构成。矿体形态复杂,多呈串珠状的洞状体分布,并出现矿体包夹石现象。

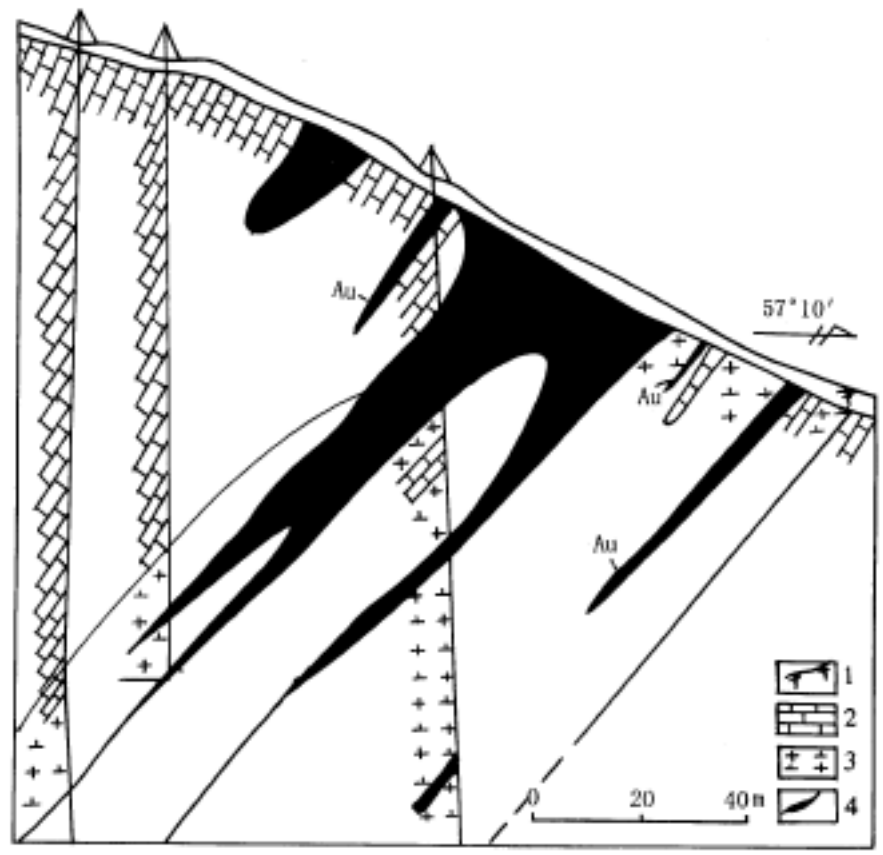


图 2-1-5　大水金矿田 100 勘探线剖面图

1—残破积物;2—灰岩;3—花岗闪长岩脉;4—金矿体

大水西 Au7、Au8 号矿体产于花岗闪长岩与白云质灰岩接触带或花岗闪长岩超覆部位及其隐爆角砾岩中,矿体展

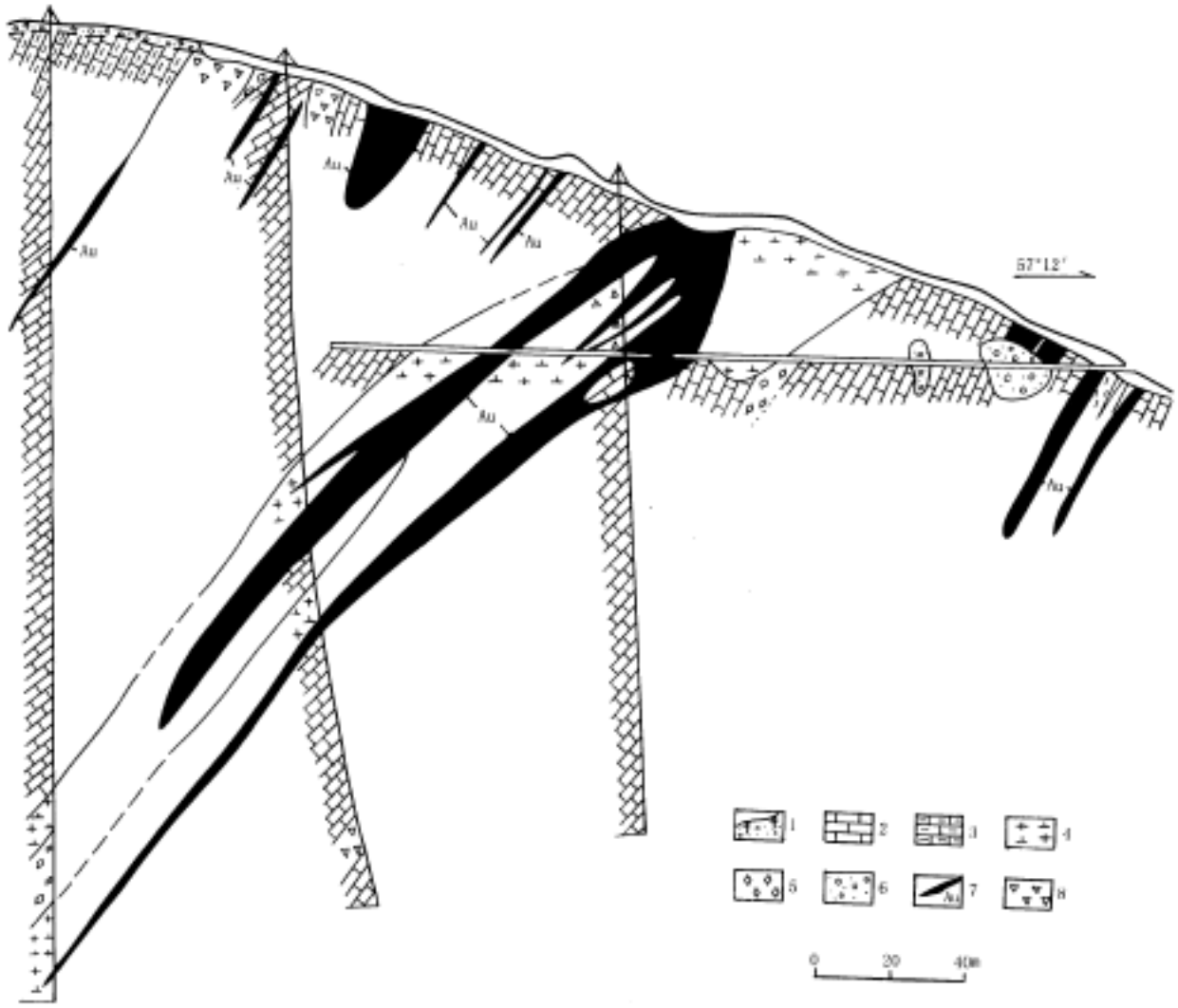


图 2-1-6　大水金矿田 102 勘探线剖面图

1—残破积;2—灰岩;3—泥质灰岩;4—花岗闪长岩脉;5—方解石脉;6—岩溶;7—金矿体

布方向近东西向,与区域构造线方向基本一致,矿体具强烈硅化、赤铁矿化,在硅化强烈地段,局部形成硅质岩或似碧玉硅质岩,具明显网脉状—角砾状构造,构成似碧玉硅质岩型金矿石、角砾岩型金矿石和硅化脉岩型金矿石。该矿体赤(褐)铁矿化、黄钾铁矾化很发育,氧化作用强烈,形成含金氧化带和次生富集带。金品位大多为 1.73×10^{-6} ～74.00×10^{-6},最高达 1000.00×10^{-6} 以上,是大水金矿田含金品位最高的矿体。该矿体延长 196～208m,视厚 1.67～37.32m,延深 40～70m;该矿体形态很复杂,纵横向变化很大,具明显的膨大、缩小,分枝、复合尖灭再现等古岩溶构造带特征(见图 2-1-7)。

(1)大水西 Au2 号矿体地表出露厚度 18.93m,金品位 10.2×10^{-6}。通过 CM701 平硐验证,该矿体往下部厚度变薄为 7.35m,金品位降低为 1.51×10^{-6};而 Au3 号矿体恰恰相反,地表出露厚度 0.9m,品位 1.34×10^{-6},往下部变为两个分枝矿体,厚度分别增大为 12.36m 和 3.63m,金品位增高为 12.12×10^{-6} 和 23.19×10^{-6}。该矿体通过硐采后,发现

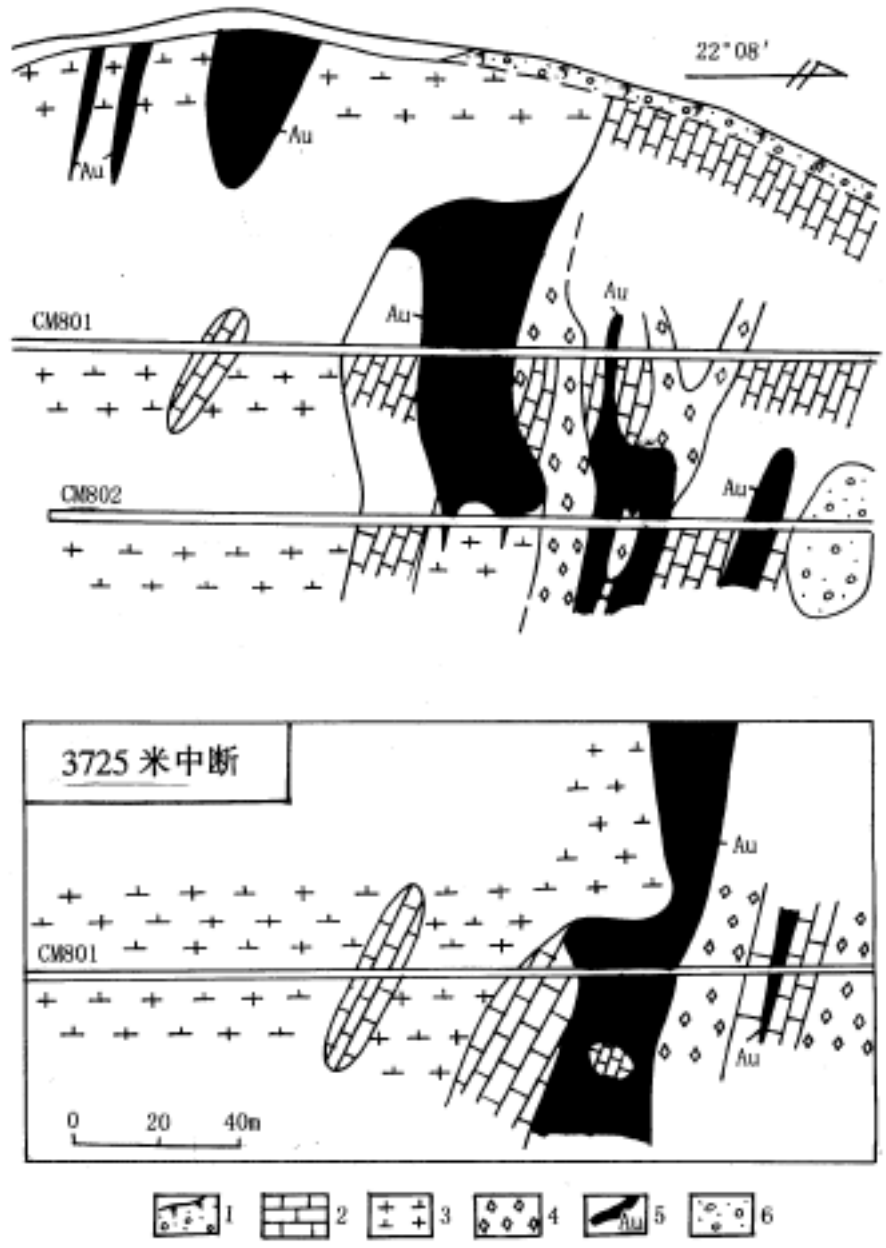


图 2-1-7　大水金矿田 80 勘探线剖面图

1—残破积;2—灰岩;3—花岗闪长岩;4—方解石脉;5—金矿体;6—岩溶

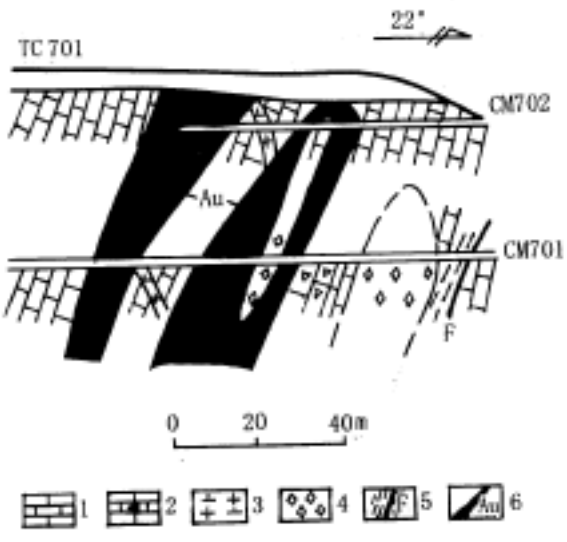


图 2-1-8　大水金矿田 70 勘探线剖面图

1—残坡积;2—灰岩;3—花岗闪长岩脉;4—方解石脉;5—断裂挤压带;6—金矿体

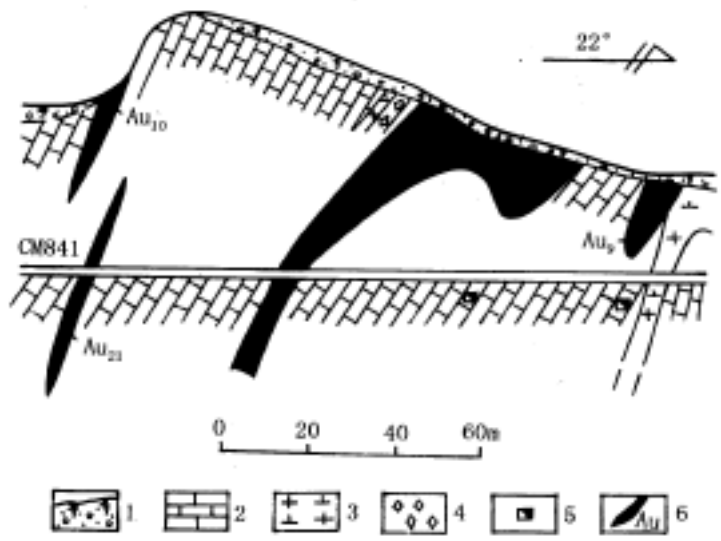


图 2-1-9　大水金矿田 84 勘探线剖面图

1—残坡积;2—灰岩;3—花岗闪长岩脉;4—方解石脉;5—赤铁矿化;6—金矿体

矿体沿走向东西两侧品位显著变低(见图 2 - 1 - 8)。

(2)大水西 Au7 号矿体地表出露厚度 14.5～22.4m,金品位 1.3×10^{-6}～74.0×10^{-6}。通过 ZK822 钻孔和 CM801 平硐验证该矿体往深部厚度变薄为 0.29m,金品位略有降低,通过 CM801 硐采后,发现矿体往西变厚达 40m,金品位增高为 30×10^{-6}～40×10^{-6}。矿体往东厚度变薄为 8.0 米。其品位变化不大。而 Au8 号矿体与 Au7 号矿体特征基本类似,通过 CM841 平硐验证,该矿体往下部厚度变薄为 1.76～3.57m,金品位降低为 4.22×10^{-6}～8.67×10^{-6};矿体延深 60～80m(见图 2 - 1 - 8、图 2 - 1 - 9)。

(3)大水 Au35 号矿体地表出露厚度 16.25m,金品位 8.47×10^{-6}。通过 ZK1101、ZK1102 钻孔验证,该矿体往深部厚度、品位变化不大。但新发现 4 个隐伏矿体,其中 Au37 号矿体在 ZK1101 孔中厚度 5.15m,金品位 3.79×10^{-6},该矿体往深部(ZK1102 孔中)厚度变为6.59m,金品位增高为 6.74×10^{-6},矿体延深达 120m 以上(见图 2 - 1 - 10)。

从氧化程度看,大水金矿田的氧化带很发育,地表几乎全部为氧化矿石,既使延深至地下 200～300m 处(钻孔、平硐中)的矿石,大多仍为氧化矿石,只有少数为半氧化矿石和原生矿石。

从见矿标高看,矿体由东向西见矿标高逐渐抬高,大水西金矿床见矿标高为 3800～3600m,大水金矿床见矿标高为 3600～3400m。矿体规模由东向西在地表逐渐缩小,显示出在大水金矿田的西侧,深部找矿前景良好。

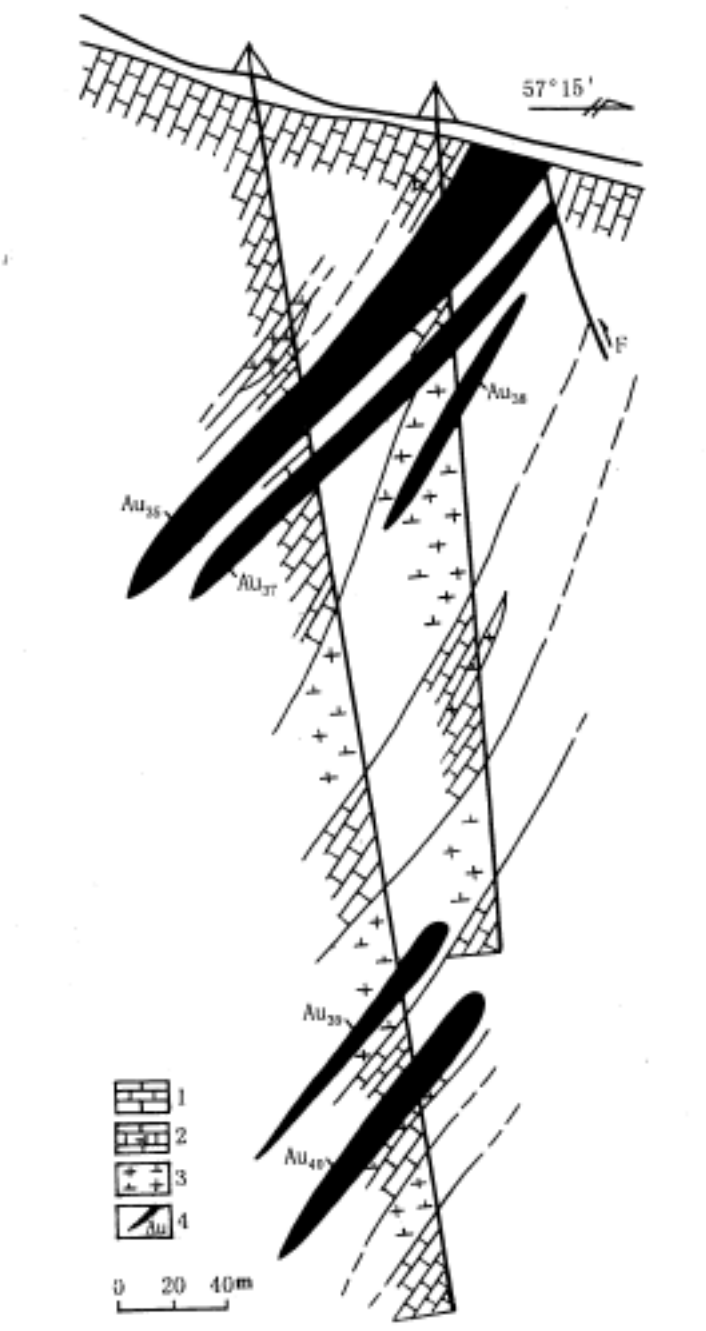


图 2 - 1 - 10　大水金矿田 110 勘探线剖面图

1—灰岩;2—碎裂灰岩;

3—花岗闪长岩脉;4—金矿体

(三)矿石特征及类型

1. 矿石特征

1)矿石氧化、淋滤、富集情况

矿石的氧化、淋滤特征:大水金矿田形成之后,受喜山早期运动的影响,地表进一步上升,绝大部分矿体裸露于地表,发生强烈剥蚀作用,尤其本区处在大水高温地热带的边部,热液不断上升,地下潜水面下降,促使该区物理化学作用强烈,矿石易于风化,使绝大部分矿石成为氧化矿石。其表现为:氧化作用强烈,主要表现为黄铁矿氧化分解为赤铁矿、褐铁矿,局部形成赤—褐铁矿带,并发育有黄钾铁矾。

金在断裂破碎带中发生活化、迁移和某些聚合过程,使金的粒度增大,从而形成少量可见金及膜状金、枝叉金等。

根据大水 ZK1023 孔岩心观察,在孔深 342.0m 的岩心裂隙面上仍见到赤铁矿化现象,因此推测大水金矿田的氧化深度大。

金的氧化带和次生富集带:大水金矿床的氧化带和次生富集带很发育,形成一些主要的

氧化矿石。从 ZK1002、ZK1021 孔看，孔深 127.0～181.0m，氧化率为 87%～99%，仍为氧化矿石，表明从地表到深部氧化程度均很高(详见表 2-1-5)。大水西金矿床地表氧化带较发育，往深部 40～80m，氧化作用逐渐减弱，氧化率变为 50%～70%，属于半氧化矿石，在褐铁矿中的金粒较粗，并沉淀在褐铁矿边缘处或空洞、裂隙处，氧化铁边缘处的金粒，显示出次生富集的特点，褐铁矿孔洞裂隙中的金是黄铁矿、毒砂等蚀变后，金残留原地富集而成的。现将大水金矿田的氧化带和次生富集带主要特征简介如下：

表 2-1-5　大水金矿田铁的物相分析结果表

样品数	工程号	矿石名称	氧化深度(m)	氧化铁平均值(%)			氧化率(%)	矿石类型	备　注
				TFe_2O_3	$SFeO_2$	$Fe_2O_3(FeO)$			
5	大水 TC1002	灰岩型金矿石	地表	3.983	3.762	0.924	81	氧化矿石	个别氧化率47%～59%
11	大水 TC991-1002	灰岩型金矿石	0～20	4.002	3.797	0.723	86		个别氧化率为 52%
11		脉岩型金矿石		6.604	6.384	0.308	98		
2	大水 TK1003	灰岩型金矿石	30～120	3.660	3.515	0.180	99		
6		脉岩型金矿石		2.945	2.751	0.320	95		
1	大水 ZK1002	脉岩型金矿石	127.0	6.680	6.430	0.180	100		
10	大水 TC1031	灰岩型金矿石	0～10	2.192	1.831	0.734	79		个别氧化率为37%～58%
4	大水 TM1021	灰岩型金矿石	60	2.680	2.360	0.625	87		
2		脉岩型金矿石		3.570	3.295	0.255	100		
2	大水 TK1022	灰岩型金矿石	17～63	3.130	2.920	0.320	96		
6		脉岩型金矿石		2.835	2.601	0.320	96		
7	大水 ZK1021	脉岩型金矿石	126～181	3.393	3.122	0.293	99		

据表生矿物组合特征研究，大水金矿石含金属硫化物少，仅见表生矿物赤铁矿、褐铁矿分布在断裂破碎带中，多呈疏松状、土状、蜂窝状，局部呈致密块状，表明金属硫化物经氧化作用变为含水的铁氧化物 - 赤铁矿和褐铁矿。

据人工重砂和光薄片成果看，在金矿石中，含有颗粒极细的黄铁矿，磁铁矿、黄铜矿、方铅矿等金属硫化物，这些金属硫化物在氧化带发展初期，已开始改变，它们在含氧水作用下氧化和溶解；在氧化带发展中期，大部分金属硫化物已氧化，产生较多的 H_2SO_4 和 $Fe_2(SO_4)_3$，它溶解原生金，溶解的金液被 $Fe_2(SO_4)_3$ 还原，产生次生金；在氧化带发展末期，金属硫化物几乎没有，硫酸盐也大大减少，而次生金经水解作用，金的活动能力很强，经活化迁移到铁帽胶结物中，金重新结晶，颗粒变大，并与赤铁矿、褐铁矿、黄钾铁钒、菱锰矿、碳酸盐、硅酸盐等密切混合，形成含金氧化带。含金氧化带主要矿物组合为赤铁矿、褐铁矿、黄钾铁矾、菱锰矿、硬锰矿、自然金、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、毒砂、辰砂、辉锑矿、雌黄、雄黄等。含金氧化带金含量 5.00×10^{-6}～10.00×10^{-6}，自然金多呈薄膜状，板状、树枝状、枝叉状、片状、细线状、雪花状附着在赤铁矿、褐铁矿表面上。氧化带深度 10～120m。局部具有垂直分带现象，在氧化带下部见有次生富集带，矿石矿物组合为赤铁矿、褐铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、硬锰矿、

自然金、银金矿、磁铁矿等,金含量在次富集带明显变富,金品位均在 30.00×10^{-6}～40.00×10^{-6} 左右,个别品位高达 75×10^{-6}～100.00×10^{-6}。

2)矿石品位、物质成分、结构构造

矿石矿物组成:通过宏观和微观鉴定结果看,大水金矿田矿石矿物共有 40 余种,按晶体化学分类见表 2-1-6。

表 2-1-6　大水金矿田矿石矿物组成表

分　类	矿　　物		
	主　　要	次要	微　　量
硅酸盐	石英、长石	玉髓	锆石、绢云母、高岭土、角闪石、辉石、黑云母、磷灰石
碳酸盐	方解石	白云石	铁方解石、铁白云石、孔雀石、兰铜矿、黄钾铁矾、菱锰矿
氧化物	磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿		金红石、硬锰矿、锰土
硫化物		黄铁矿	黄铜矿、磁黄铁矿、辉锑矿、辰砂、毒砂、白铁矿、雄黄、雌黄、白铅矿、闪锌矿
自然元素	自然金	银金矿	自然铅、自然锡
硫酸盐			重晶石
磷酸盐			磷灰石

(1)与金有关的主要矿物。

①黄铁矿。浅黄色、它形粒状、立方体自形晶和少量五角十二面体,粒度 0.01～0.04mm。黄铁矿大部分已氧化成褐铁矿,但仍保留黄铁矿假象。经电子探针分析,黄铁矿含 S = 53.07%,Fe = 46.4%,含 Au = 0.03%,Co/Ni = 2.6、Au/Ag = 0.5、S/Fe = 1.10,Cu = 0.02%,As = 0.1%,表明黄铁矿富铜、富砷、铁多硫亏,可能与火山岩有关。

②赤铁矿。呈三种形式产出,一是为土状非晶质体,分布在硅化灰岩中,充填在微粒方解石颗粒周围,为碳酸盐矿物硅化析出铁质;二是假象赤铁矿,呈它形—半自形微粒,磁性很强,为磁铁矿氧化而成;三是脉状赤铁矿,多以胶结物形式产出,充填于碎裂孔隙中。

③褐铁矿。也呈三种形式产出,一是呈浸染状分布,具黄铁矿假象;二是呈隐晶质土状嵌布于脉石裂隙中和粒间,与赤铁矿共生;三是呈胶状和块状集合体,主要分布在岩石孔隙和裂隙中,它是大水金矿田的主要载金矿物。

④辰砂。暗红色、紫红色,多呈隐晶质、半自形—它形粒状,分布在方解石细脉中或方解石充填的晶洞、裂隙中。

⑤雄黄、雌黄。多呈自形晶、尘状、微粒状,粒度 0.2～0.4mm,个别粒度达 1.0mm,分布在粘土化或蛋白石化的长石斑晶或晶屑中。

⑥方铅矿。铅灰色、它形粒状、颗粒细小、主要嵌布于石英粒间或石英包裹体中。

⑦硬锰矿。黑色,半金属光泽,呈不规则块状、肾状、葡萄状和细脉状,与赤铁矿、磁铁矿伴生,分布在裂隙和晶洞中。

⑧石英。呈四种形式产出,一是隐晶质石英—玉髓状石英,充填交代、溶解碳酸盐岩的裂

隙空间,形成交代石英或强硅化—硅化灰岩;二是为微—细粒状石英,粒度 0.05～0.1mm,呈细脉状、网状,伴有辰砂、辉锑矿等低温硫化物,为金的成矿期形成;三是次生石英,晶体混浊,粒度 0.01～0.05mm,晶粒内含云雾状泥质、铁质、钙质,是热液交代碳酸盐的产物,常与尘状铁质共生,为金的主要成矿期形成;四是自形晶粒状石英,晶粒粗大呈自形板状、六方双锥柱状等,此类石英与金无关。

⑨方解石。呈四种形式出现,一是隐晶、粉晶、微晶方解石,由于结晶作用和硅化作用排出泥质、铁质,因而在晶粒间隙分布有云雾状泥质和氧化铁;二是中—细粒方解石,粒度 0.05～0.5mm,与赤铁矿脉同期,互相切割,与赤铁矿共同组成角砾岩—碎裂岩的胶结物质;三是微细粒方解石,为方解石细脉的组成物质,粒度 0.05～0.1mm,与石英细脉和褐铁矿细脉同期;四是粗晶方解石,内有矿石碎块和角砾,此种方解石起了冲碎、贫化矿体的作用。

表 2-1-7　大水金矿田矿石全分析结果表

样　号		92Ⅱ$_2$HQ-1	92Ⅱ$_2$HQ-2	92Ⅱ$_2$HQ-3	92Ⅱ$_2$HQ-4	92Ⅱ$_2$HQ-5
采样地点		TC1031	CM1021	CM1021	TC991	TC701
矿石类型		脉岩型矿石	白云岩型矿石	脉岩型矿石	白云岩型矿石	白云岩型矿石
分析结果%	SiO_2	73.19	69.75	81.58	77.71	86.09
	TiO_2	0.63	0.12	0.56	0.30	0.033
	Al_2O_3	11.46	3.63	7.25	6.99	1.58
	TFe_2O_3	5.15	5.71	5.00	4.54	2.78
	FeO	0.40	1.22	1.34	0.92	1.22
	MnO	0.0099	0.02	0.0066	0.0066	0.0130
	CaO	1.75	10.32	0.65	3.60	4.89
	MgO	0.48	0.14	0.14	0.27	0.14
	K_2O	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00
	Na_2O	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
	H_2O^-	4.95	1.67	3.28	3.24	0.54
	P_2O_3	0.27	0.092	0.310	0.210	0.073
	灼减	6.31	9.61	3.91	5.70	4.33
	Au(n×10^{-6})	22.99	43.80	49.60	9.60	5.00
	Ag(n×10^{-6})	10.00	5.00	10.00	5.00	5.00
	Hg	0.0001	0.00015	0.00018	0.00005	0.00010
	As	0.093	0.120	0.150	0.083	0.037
	Sb	0.220	0.000	0.210	0.012	0.000

(2)矿石化学成分。大水金矿田矿石的主要化学成分见表 2-1-7。从表中可以看出:矿石中含 SiO_2 很高,均在 69.75%～86.09%,反映矿化与硅化作用强烈程度有明显关系;矿石

中含 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 较高,但 K_2O、Na_2O 含量很低,基本接近于零,这与花岗闪长斑岩体、花岗闪长岩脉特征相似,表明金矿物质来源与岩体和脉岩有密切关系。

根据西北矿冶研究院对大水金矿选矿大样的综合样进行矿石多元素分析,其结果见表 2 - 1 - 8。

表 2 - 1 - 8　多元素分析结果表

元素	Fe	Cu	Pb	Zn	As	S	Sb	Hg	Se	Te	炭质	Au ($n\times10^{-6}$)	Ag ($n\times10^{-6}$)
含量(%)	3.15	0.004	0.011	0.02	0.05	≤0.2	0.03	≤0.01	≤0.01	≤0.01	0.34	8.10	2.04

从表中可见,除主要组份 Au 外,其他元素含量很低,无法作综合利用评价,但在大水 ZK1101 钻孔的 Au35 号矿体中,局部 WO_3 含量为 0.96%～2.4%,个别高达 4.73%,而样品出露不连续,未能构成单独的钨矿体。

(3)矿石结构、构造。

①矿石结构。

a. 自形—半自形—他形结构:由自形—半自形辉锑矿、雄雌黄、黄铁矿呈星散状和浸染状嵌布在脉石中,其中黄铁矿以立方体和五角十二面体最发育;由自形—他形自然金、辰砂呈粒状嵌布于脉石中。

b. 假象交代结构:早期黄铁矿被褐铁矿交代,但黄铁矿的立方体、五角十二面体晶形保留假象,有时核心仍残留黄铁矿。

c. 草毒状结构:褐铁矿呈草莓状—球状体聚合在一起,球粒草莓粒径一般在 0.032mm,这种球粒有的有序、有的无序,其间有自然金分布,胶状褐铁矿碎块分布在草莓球粒的外层。

d. 胶状结构:褐铁矿呈胶状体,具褐—黄褐色条带,由于颜色深浅的差异而成弯曲状。

e. 隐晶 - 泥晶结构:矿石中的赤铁矿、褐铁矿、少量磁铁矿呈非晶质体或隐晶质块状体,部分辰砂、方铅矿呈土状体。

f. 不等粒结构:黄铁矿、方铅矿、自然金,粒度分别在 0.01～0.6mm 之间,呈不等粒状嵌布于脉石中。

g. 交代碎裂结构和交代残留结构:方解石、玉髓沿碎裂、裂隙充填交代或灰岩中的方解石被石英交代成不规则残余存在。

h. 交代角砾结构:方解石、玉髓、褐铁矿充填交代角砾和胶结物。

i. 碎裂 - 角砾状结构:矿石被压碎或碎裂后被赤铁矿、褐铁矿及热液石英、方解石充填—交代—胶结而成。

j. 交代结构:石英细脉成弧状交代方解石,在石英岩中有赤铁矿线状脉存在。

②矿石构造。

a. 稀疏浸染状构造:该构造在大水金矿田外围较发育,由黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、辰砂、自然金在矿石中呈浸染状或星散状分布。

b. 细脉—网脉状构造:热液方解石或赤铁矿呈细脉—网脉状分布在矿石中。

c. 角砾状构造:早期生成的矿物集合体经构造运动多次破碎成角砾,角砾大小较均匀,砾

径 1～3cm,后被热液方解石、赤铁矿或玉髓状石英胶结而成。

d. 碎裂状构造:矿石破碎或碎裂后又被含矿热液物质胶结或充填。

e. 块状构造:未破碎的赤铁～似碧玉硅质岩呈块状产出。

f. 纹层状构造:在似碧玉硅质岩型矿石中,由铁质和硅质交替形成细层韵律。

g. 条带状构造:由赤铁矿、石英等矿物集合体沿一定构造方向或沿层理作定向排列,呈条带 相间出现。

h. 碎裂—压碎构造:碎裂空隙充填热液物质和角砾状构造互相过渡或迭加。

i. 渲染—弥漫状构造:赤铁矿呈尘状质点,均匀弥漫浸染在矿石中。

j. 晶洞状构造:在似碧玉硅质岩中有完整的石英晶体或完整的方解石晶体充填于空洞中。

k. 晶簇构造:在碳酸盐岩中,发育自由生长的方解石晶簇。

2. 矿石类型

(1)矿石自然类型。经大量宏观,微观资料研究表明,该类型主要由白云岩、白云质灰岩、似碧玉硅质岩、角砾岩和花岗闪长岩在强烈的动力变质作用下,反复破坏和热液蚀变迭加而形成的。因此,对大水金矿田所拟定的矿石自然类型的基本原则是在划分构造岩类的基础上,重点突出热液蚀变矿物宏观标志,结合矿石结构构造和矿物共生组合特点予以命名的。大水金矿田主要矿石自然类型分为五大类:网脉状硅化赤铁矿化角砾岩型金矿石;细脉—网脉状硅化赤铁矿化碎裂岩型金矿石;细脉—网脉状硅化赤铁矿化似碧玉硅质岩型金矿石(致密块状硅化赤铁矿化似碧玉硅质岩型金矿石);碎裂—网脉状硅化赤铁矿化白云岩型金矿石;碎裂—细脉状硅化赤铁矿化花岗闪长岩型金矿石。其中以网脉状硅化赤铁矿化角砾岩型金矿石、细脉—网脉状硅化赤铁矿化碎裂岩型金矿石、细脉—网脉状硅化赤铁矿化似碧玉硅质岩型金矿石组成了大水金矿田的主要矿石,约占矿石总量的 3/ 4 以上,其他类型金矿石不足总量的 1/ 4,两者在空间分布上紧密共生,矿体界线明显。

(2)矿石工业类型。

①按矿石主要组份含量划分。金矿石的工业类型划分,主要参照《中华人民共和国地质矿产部行业标准岩金普查规范的岩金矿一般工业指标》的要求进行,按其工业指标分为表内矿石和表外矿石。

②按矿石主要物质成份划分。按矿石主要物质成份将大水金矿田的矿石划分为:自然金—褐铁矿—碳酸盐岩型金矿石、自然金—赤(褐)铁矿—石英—碳酸盐岩型金矿石、自然金—赤(褐)铁矿—似碧玉硅质岩型金矿石、自然金—方解石—石英花岗闪长岩型金矿石。

(3)矿石工艺类型。按矿石工艺类型可将大水金矿田的矿石划分为少(低)硫化物氧化自然金—赤(褐)铁矿型金矿石。

3. 金矿物主要特征

1)金的赋存状态

通过光薄片、人工重砂样和电子探针定量分析,查明了大水金矿田的金大多是以独立自然金的形式存在的,多呈金黄色,以不规则粒状为主,粒度细小,多呈微粒—细粒,最大粒度达 1.3mm,部分呈八面体和正细方柱自形晶粒以及凹凸状、丘疹状、麻点状等,维氏硬度为 VHN(kg/ mm^2)50～60,具擦痕;反射率高,兰光反射率为 36.5%,绿光反射率为 71%,密度(g/ cm^3)19～20;经电子探针分析(详见表 2 - 1 - 9),金的纯度很高。

表 2 - 1 - 9　大水金粒电子探针分析结果表

名称	Au	Ag	Cu	Fe	S	Co	Ni	As	Sb	总含量	备　注
自然金	99.51	0.03	0.08	0.89						100.51	
自然金	99.53	0.05	0.21	0.32						100.10	
自然金	98.85	0.09	0.08	0.38						99.39	
平　均	99.29	0.06	0.12	0.53						100.00	

2) 金的物相分析

中南冶金地质研究所对大水金矿石进行了物相分析,其结果见表 2 - 1 - 10。

表 2 - 1 - 10　大水金矿石物相分析结果表

状　态	游离自然金	连生金	硫化物包裹金	褐赤铁矿包裹金	石英硅酸盐包裹金	碳酸盐包裹金	重晶石包裹金	含　量
金品位(w/ 10^{-6})	7.75	3.90	0.05	0.14	0.08	0.16	0.10	12.18
占有率	63.60	32.00	0.40	1.40	0.60	1.30	0.70	100.00

经物相分析结果表明,大水金矿田矿石中的金主要是独立自然金,其中游离金和连生金占总量的 95.6%,包裹金仅占总量的 4.4%。

3) 磨细浸取试验

为进一步了解大水金矿田的金矿石中次显微金含量,对不同粒度的矿石进行了浸取试验,其结果见表 2 - 1 - 11。

从表中可见,矿石磨细程度愈高,金的浸出率明显增加,最高浸出率达 98.72%;金绝大部分呈可见自然金形式产出,并见少量明金;包裹金粒度在 30μ 以下,主要分布在赤铁矿、褐铁矿和方解石中;次显微金在矿石中存在很少,其他形式的金几乎不存在。

4) 载金矿物及金的工艺矿物特征

(1) 载金矿物。大水金矿田主要载金矿物为黄铁矿、黄铜矿和石英、褐铁矿、赤铁矿、方解石等。据分析,黄铁矿金含量 0.03%,黄铜矿金含量 0.13%。据光片样自然金的颗粒统计结果,石英含粒间金、裂隙金、包裹金 549 粒,占载金矿物的 55%;赤(褐)铁矿含裂隙金、包裹金 307 粒,占载金矿物的 32%;方解石含粒间金、裂隙金、包裹金 122 粒,约占载金矿物的 12%(见表 2 - 1 - 12)。尤其褐铁矿中金粒较粗,沉淀在褐铁矿边缘处或空洞裂隙处。

表 2 - 1 - 11　大水金矿石磨细浸取试验结果表

粒级(μ)	溶液含量(w/ 10^{-6})	残渣含量(w/ 10^{-6})	总含量(w/ 10^{-6})	浸出率(%)
70	11.74	1.17	12.51	90.65
50	11.73	0.78	12.51	93.76
30	11.99	0.55	12.54	95.61
10	12.25	0.31	12.56	97.50
5	12.38	0.16	12.54	98.72

(2) 金的工艺矿物特征。自然金化

学成分和成色。大水金矿田自然金含量最高 99.53%,最低为 98.85%,平均含量 99.29%,银平均含量 0.06%,杂质主要有铜、铁等;金的成色见表 2-1-13。

大水金矿田的自然金成色很高,平均为 999.4‰,可能与本区强烈的氧化作用有密切关系,在表生期,原生金溶解-迁移-沉淀富集,使金的成色进一步提高。

自然金的形态特征:大水金矿田自然金的形态很复杂,以微粒状、角粒状、麦粒状、圆粒状、瘤状为主,约占自然金总量的 73%,叶片状、伸长状、自形晶状约占自然金总量的 27%(见表 2-1-14)。

表 2-1-12　大水、大水西载金矿物含金统计表

载金矿物	赋存部位	统计粒数(粒)		百分含量(%)	
石　英	粒间金	264	549	27	55
	裂隙金	235		24	
	包裹金	50		4	
褐、赤铁矿	裂隙金	204	307	21	32
	包裹金	103		11	
方解石	粒间金	76	122	7	12
	裂隙金	29		3	
	包裹金	17		2	

表 2-1-13　自然金成色计算结果表

名　称	元　素　(%)					金成色(‰)
	Au	Ag	Cu	Fe	总　量	
自然金	99.51	0.03	0.08	0.89	100.51	999.70
自然金	99.53	0.05	0.21	0.32	100.10	999.50
自然金	98.85	0.09	0.08	0.38	99.39	999.10
平均值	99.29	0.06	0.12	0.53	100.00	999.40

表 2-1-14　大水、大水西自然金形态统计表

粒　数	分　类													
	等轴-近等轴					伸长状				叶片状		自形晶		
颗粒形态	微粒	麦粒圆粒	角粒	瘤状	球状	线针状	长角状	脉状	枝状	膜状	板片状	三角板状	四方柱状	八面体
颗粒数(粒)	460	97	87	68	几粒	29	87	9	50	78	几粒	几粒	几粒	几粒
颗粒百分数(%)	47	10	9	7	偶见	3	9	1	5	8	偶见	少	少	偶

自然金的粒度特征:大水金矿田的自然金平均粒度为 0.002mm,最大金粒度达 1.3mm。

以微细粒为主,约占自然金总量的 72.1%;中粗粒约占自然金总量的 27.9%。

5) 自然金的嵌布特征

对大水金矿田自然金的嵌布特征研究结果显示,自然金与褐铁矿关系密切,嵌布于草莓状褐铁矿、褐铁矿粒间、裂隙、孔洞间,褐铁矿化硅化灰岩的角砾间以及赤铁矿—似碧玉硅质岩中,约占自然金总量的 51.9%;嵌布于石英、长石裂隙(或碎裂花岗闪长岩裂隙)中的自然金约占自然金总量的 16%;嵌布于石英与碳酸盐矿物之间的自然金约占总量的 3.5%;嵌布于方解石脉粒间、解理、裂隙或碳酸盐矿物包裹体的自然金约占总量的 7.7%;嵌布于脉石矿物中的自然金颗粒细小,形态复杂,往往成群出现;银金矿主要嵌布于褐铁矿边缘处和细脉—网脉状石英脉中。

总体看来,大水金矿田自然金的嵌布形式以裂隙金为主,粒间金、包裹金次之。

4. 矿石加工技术性能

几年来,经西北矿冶研究院和吉林省黄金研究所通过各种试验方法证实,大水金矿田的矿石物质组份简单,含有害元素甚微,为少硫化物氧化自然金—赤(褐)铁矿型金矿石,属易选易浸金矿石。因而格尔轲黄金选矿厂采用全泥氰化炭浆吸附工艺流程,其效果良好,总回收率为 85.0%,解吸率达 99.0%,冶炼率达 98.5%。野外原地堆浸采用氰化法浸金的工艺流程,浸出率达 54.17%～61.67%。

总体看来,大水金矿田的矿石类型和工艺简单,回收率高、药品消耗少、成本低,矿床具有很高的开采利用价值。

(四) 蚀变类型及其分带

1. 蚀变类型

大水金矿田的围岩蚀变严格受断裂 破碎带的控制,以中低温热液蚀变为特征,蚀变具多阶段性,以裂隙充填脉状为主,多呈线状或带状蚀变。该矿田的蚀变类型很简单,常见的有方解石化、赤铁矿化、硅化、褐铁矿化、高岭土化、绢云母化、碳酸盐化、黄钾铁矾化等。而与金矿有密切关系的矿化蚀变有硅化、赤铁矿化、褐铁矿化和方解石化。

(1)硅化。分布最广且对成矿作用很有利的一种蚀变类型,呈三种形式产出。

石英化:此期硅化较早,受构造作用影响,具压性结构,含黄铜矿、黄铁矿等少量金属硫化物。石英粒度为 0.05～0.1mm,石英内多含杂质、尘状铁质及泥状物,在花岗闪长岩中具有脱玻化—次生石英化。

玉髓化:主要分布在碎屑基质中和角砾岩、碎裂岩胶结物或裂隙中,形成似碧玉硅质岩和隐晶质硅质岩,与中期方解石化并列充填在岩矿石裂隙中。

细脉—网脉状硅化:充填在微裂隙中,含低温金属硫化物,主要有雄雌黄、辰砂等。

(2)赤铁矿化。与金矿化有关的主要蚀变类型,可分为三期。

早期—隐晶质、非晶质赤铁矿,与磁铁矿共生或交生,呈非晶质、隐晶质尘状,均匀分散状分布在矿石中,并含丰富的铁白云石、铁方解石、菱铁矿等,经硅化、氧化和重结晶作用,析出铁质,形成土状、分散状赤铁矿。

中期—胶状、块状、肾状、结核状赤铁矿与硬锰矿共生,分布在空洞、裂隙或胶结角砾中,并与玉髓化石英伴生,局部形成赤铁矿化石英岩、赤铁矿化角砾岩,自然金成群出现。

晚期—赤铁矿化,分布在磁铁矿、褐铁矿、硬锰矿颗粒间和周围,赤铁矿呈细脉状或充填于微裂隙中。

(3)方解石化。分布极为广泛、发育,交代火山岩物质和白云岩,是大水金矿田的重要蚀变类型。划分为三个期次。

早期方解石化:以交代为主,方解石交代辉石和长石,使灰岩发生重结晶作用,析出尘状赤铁矿,在相同条件下,白云岩方解石化强烈,方解石呈粗晶状—伟晶状,局部成马蹄状、环状,此期方解石不含矿。

中期方解石化:方解石呈中—细粒,稍晚于赤铁矿化,为角砾岩、碎裂岩的胶结成分,为主要成矿期蚀变。

晚期方解石化:细—微粒方解石,呈细脉 - 网脉状,含辰砂、黄铁矿等少量金属硫化物,在晶洞或裂隙中见有自然金。

(4)褐铁矿化。含铁硫化物—黄铁矿、黄铜矿、毒砂经氧化成皮壳状、孔洞状及浸染状、斑点状、团块状等,与赤铁矿共生过渡,常见有自然金残留。

(5)高岭土化。花岗闪长岩中长石经蚀变成为高岭土,为次生石英化的同期产物,常被染成红黄色,呈粉沫状、土状。

2. 蚀变分带

根据蚀变类型在区内空间分布特征看,大水金矿田的蚀变分带明显。以矿体为中心,主要发育强烈的硅化、赤铁矿化和网脉状石英—方解石化;矿体两侧为黄钾铁矾化和方解石化;硅化、赤铁矿化强度随远离断裂破碎带而减弱,其间形成一个连续的岩石渐变过渡序列,硅化、赤铁矿化似碧玉硅质岩或硅化,赤铁矿化白云岩(细脉—网脉状)产在断裂破碎带附近→赤铁矿化、方解石化灰岩(稀疏细脉—单脉),产在断裂破碎带两侧→正常灰岩、白云质灰岩(沿裂隙面有铁染现象),远离断裂破碎带。

总体看来,蚀变对金矿起了明显的控制作用。大水金矿田内所有金矿体的产出部位是在具最强烈的硅化、赤铁矿化、方解石化、黄铁矿化范围内。由于硅化、赤铁矿化等蚀变作用贯穿整个热液期,金矿化是在早期硅化、赤铁矿化基础上的热液迭加,因此,硅化、赤铁矿化最强烈的地段,是金矿最富集的部位。这也是整个大水金矿田金矿的主要富集规律。

三、矿床地球化学

(一)成矿温压条件

(1)成矿温度条件。以大水金矿田的包裹体测温结果为基础,结合共生矿物组合和硫同位素平衡温度等综合分析,确定大水金矿田的成矿温度为 120℃～171℃,属于中低温至超低温。

(2)成矿压力条件。根据溶液密度法求得大水金矿田主成矿阶段(期)的压力 为 50 - 70 巴,属常压至低压,表明主成矿期的成矿作用发生在地壳的浅部(近地表),相当于地下 1 公里范围以内。

(二)成矿流体特征

大水金矿田主成矿期与金密切共生的石英、方解石,其包裹体化学成份分析结果显示,溶液中阴离子以 SO_4^{2-} 为主,Cl^- 次之;阳离子以 Ca^{2+} 为主,Na^+ 次之;主要矿石类型硅化赤铁矿化白云质灰岩型金矿石化学全分析结果为:CaO = 11.0%、K_2O = 0.188%、Na_2O = 0.86%、BaO = 0.026%、MgO = 2.92%。因此认为溶液主要为 $CaSO_4$ 型,次为 $MgSO_4$ 和 Na_2SO_4 型。Na/ K = 4.57、Na/ Ca + K = 0.076,表明成矿溶液属地下热卤水型。利用冷冻法测得大水金矿田主成矿期的成矿流体盐度为:2.9wt% NaCl～7.0wt% NaCl,根据包体均一温度和相应的盐

度(早、中、晚)分别为 0.8g/ cm^3、0.6g/ cm^3、0.9g/ cm^3,成矿期流体氧逸度为 - 43.71～ - 37.74,硫逸度平均值为 - 9.85(105Pa),成矿期流体 Eh 值为 - 0.432Vm～ - 0.097Vm(胡开荣等,1997)。成矿期流体方解石 PH 值 = 7.13～7.97,并伴随赤铁矿化,表明成矿期为开放氧化环境,碱性屏障,金是在溶液从酸性到弱碱性沉淀聚集的,最佳为碱性。

(三)稳定同位素地球化学(铅、硫、氢、氧等)

(1)硫同位素。大水金矿田中硫同位素为正值,变化范围很小,具上地壳硫同位素组成的基本特点(见表 2 - 1 - 15),表明矿床硫源来自岩浆岩,同时反映出开放环境金的成矿具有较高的氧逸度。

表 2 - 1 - 15　硫同位素测定结果表

样　号	样品名称	取样位置	δ^{34}S - CDT	测试单位
GD3 - 17	黄铁矿	大水金矿床	6.26	中国地科院
GD3 - 18	方铅矿	大水金矿床	1.98	

(2)碳氧同位素(见表 2 - 1 - 16)。从碳同位素 ^{13}C 组成看,主成矿期变化范围在 0.88‰～4.79‰,极差 3.91‰,均值 3.10‰,反映了岩浆成因特征;成矿迭加期变化范围在 - 7.07‰～0.22‰,极差在 - 7.29‰,均值 - 2.26‰;成矿晚期变化范围在 3.16‰～ - 2.28‰,极差 5.44‰,均值 2.15‰,反映出成矿热液体系同位素分馏的特征。

δ^{18}O 同位素组成:成矿过程中均为低值,变化范围在 - 23.88‰～ - 11.13‰,极差 - 12.75‰,均值 - 14.97‰,反映了金矿成矿期有关的热液体系。

(3)同位素演化特点。δ^{34}S 同位素为正值,变化范围小,反映金成矿过程中 δ^{34}S 主要是以硫酸盐和部分硫化物的形式沉淀的。硫源来自上地壳,花岗闪长(玢)岩,次火山岩为其载体。

δ^{13}C 同位素主成矿期为正值,迭加期成矿晚期为低值,反映热液体系有分馏作用,碳来源于岩浆岩。

δ^{18}O 同位素金成矿全过程均为负值,表明与金成矿有关的方解石(脉)、石英(硅化岩),在热液体系中产生较强烈的同位素分馏。从氢氧同位素的组成来看,大水金矿田的成矿流体(水)来源于大气降水和岩浆岩初生水。

(四)微量元素地球化学

1. 元素的分布、分配

大水金矿田及其外围的 Au、Ag、Hg、As、Sb 为高背景带,沿背斜、岩浆岩体(脉)成带(片)集中分布,呈现高值带,沿向斜、盆地则主要表现为低值带。东部震旦—寒武系(Z - ∈)黑色岩系为多元素聚集、浓集区。震旦系(Z)Au、Sb、Hg、Ag、Cu 聚集,寒武系(∈)Ag、Sb、Hg 浓集,Au、As、Zn、Cu 聚集。元素随地层时代从老到新含量变化总的趋势是降低,Au 从震旦系到白垩系(Z→K)含量递减,在第三系(N)稍有回升,Ag、Zn、Cu、Hg 等元素呈同样的变化趋势,其中 Hg 呈跳跃式降低,As、Sb 元素在志留系(S)地层中含量最高。

岩浆岩中元素集中程度为:对全球贫钙花岗岩类集中的元素有 As、Sb、Au、Ag,其中 As 强浓集,Sb 浓集,Au、Ag 聚集,Mg、Cu、Pb、Zn 元素为贫化;花岗闪长岩、石英闪长岩对全球岩浆岩:As、Cu 元素集中,Au、Hg 元素接近集中,其中 As 元素为浓集,Cu 元素为聚集。

表 2 - 1 - 16　碳、氧同位素测定结果表

样　号	样品名称	取样位置	$\delta^{13}C$ - PDB	$\delta^{18}O$ - PDB	测试单位
D1	白云质灰岩	100 线矿体顶板	1.29	- 11.18	贵阳地化所
D4	硅质岩型金矿石	100 线矿体	2.59	- 15.57	
D6	二期方解石脉	100 线矿体	4.79	- 16.76	
D8	灰岩型金矿石	100 线矿体	4.74	- 15.31	
D9	二期方解石脉	102 线矿体	2.60	- 20.10	
D11	三期方解石脉	102 线矿体	0.22	- 14.91	
GD3 - 1	成矿早期方解石脉	大水矿金区	0.88	- 14.54	中国地科院
GD3 - 2	成矿早期方解石脉	大水矿金区	3.17	- 22.13	
GD3 - 3	三期方解石脉	大水矿金区	- 1.09	- 15.55	
GD3 - 4	二期方解石脉	贡北金矿	2.65	- 12.02	
GD3 - 5	三期方解石脉	:	- 1.65	- 10.90	
GD3 - 6	三期方解石脉	:	- 1.81	- 11.19	
GD3 - 7	三期方解石脉	:	- 7.07	- 19.53	
GD3 - 8	成矿期方解石脉	:	2.36	- 12.30	
GD3 - 9	成矿期方解石	:	4.11	- 23.88	
GD3 - 10	三期方解石	大水金矿	- 2.69	- 11.58	
GD3 - 11	三期方解石	大水金矿	- 2.82	- 11.13	
GD3 - 12	三期方解石	贡北金矿	- 2.08	- 20.08	
95Ⅱ$_1$TW - 6	晚期方解石脉	大水 68 线矿体底板	2.02	- 13.46	
95Ⅱ$_1$TW - 7	晚期方解石脉	:	- 2.28	- 11.51	
95Ⅱ$_1$TW - 8	晚期方解石脉	大水 68 线矿体顶板	3.16	- 12.75	
95Ⅱ$_1$TW - 9	晚期方解石脉	:	2.25	- 12.89	

2. 元素分异、集中特点

元素集中与一定地质体存在对应依存关系,异常的出现和强弱与原始背景、后期叠加、聚集关系密切。

区域上元素分异集中、分布特征:

Au:岩体发育地段为高背景单点异常,地层中呈现弱聚集平缓中低单点弱异常。

As:区域中分异近富集,酸性岩体附近为浓集。

Sb:局部异常极度集中。

Hg:强分异聚集,个别地段从浓集到弱富集。

Ag:个别高背景,呈跳跃式局部聚集,点异常。

3. 异常特征

区域范围内通过 1∶200 000 区域化探工作圈出综合异常 10 个,其特征见表 2 - 1 - 17。

通过 1∶50 000 水系沉积物测量在该区域内圈出金异常 54 个,其中以 Au39 号异常规模最大,是大水金矿田的主体异常,异常呈东西向展布,长 2400 米,平均宽 500m 左右,异常面积 1.20km^2,峰值 2224.7×10^{-9},平均强度为 81.3×10^{-9},衬度 10.16,异常具内、中、外浓度带。经工程揭露、追索、控制,证实该异常中心部位与大水金矿田主矿体位置相对应,属矿致异常。另在大水金矿田内进行了 1∶20 000 土壤地球化学测量工作,以下限值 8.0×10^{-9} 圈出金异常 20 余处。其中强度较高,浓集中心明显的 Au1、Au7 号异常,分布在矿田中部至西部,与矿化带相吻合,并见金矿体产出。异常总的特点是:

表 2 - 1 - 17　1∶200 000 水系沉积物测量异常特征表

综合编号	元　素　组　合	异常特征	验证情况
HS_1	As、Hg、Su、Au	不规则状	未验证
HS_2	Ag、As、Au	椭圆状	金矿体引起
HS_3	Pb、Sb、As、Hg、Ag、Au、Cu	椭圆状	未验证
HS_4	Cd、As、Pb、Hg、Ag、Au、Zn	鞋底状	未验证
HS_5	Hg、As、Ag、Ni、Mo、Au、Ba、Cr、V、Sn、Sb、Mn、La	长条状	金矿(化)体引起
HS_6	Mo、Ag、Zn、Cu、Ni、Hg、As、Ni、U、Au、Ba、Cr、P、Mn、Sb、V	长条状	金矿(化)体引起
HS_7	Hg、Ag、Au		
HS_8	As、Mo、Zn、Ag、Ni、Hg、Mn、Au	椭圆状	金矿(化)体引起
HS_9	Cd、Ag、Pb、Sb、As、Au、Hg、Zn	椭圆状	金矿(化)体引起
HS_{10}	Mo、Ag、Zn、Cu、Ni、Hg、As、U、Au、P、Mn、V	长条状	金矿(化)体引起

(1)异常一般呈不规则状,少数为长条形或带状,伸展方向约 100°～110°,与地层走向及断裂展布方向基本一致。其异常的扩张部位与张扭性断裂部位大体吻合,可见异常严格受断裂制约。

(2)异常元素的离散程度或变异系数(95%)较大,含量不稳定,低值与高值多呈跳跃式出现,在直方图上呈对数正态分布。金矿化体的阀道为 72.0×10^{-9}。

(3)所圈异常主要分布在中三叠统下岩组地层上,其异常强度一般 15×10^{-9}～70×10^{-9},少数 90×10^{-9}～133×10^{-9},个别高值 500×10^{-9}～2200×10^{-9}。其中 Au_1、Au_7、Au_{13}、Au_{15} 号异常较好,分带全,浓集中心明显,尤以 Au_1 号异常规模最大、浓值最高。分布在白垩系地层的 Au_2、Au_4 号异常及分布在花岗闪长斑岩体上的 Au_5 号异常,虽含 Au 15×10^{-9}～68×10^{-9},但总的浓值较低,衬度值小(1.89～3.49),异常不清晰,可能为后期分散矿化引起。

(4)异常单一,主要是 Au 异常。而其他元素如 As、Sb、Pb、Ag、Hg 等,分析含量低或为常见值,未出现异常分布,但它们常出现在金异常区,可见与金仍存在组合关系,这与 1∶200 000 异常组合基本一致。

(5)从查证的 Au_1、Au_7 号等异常看,异常高值区一般位于断裂、脉岩部位,有矿体产出,并

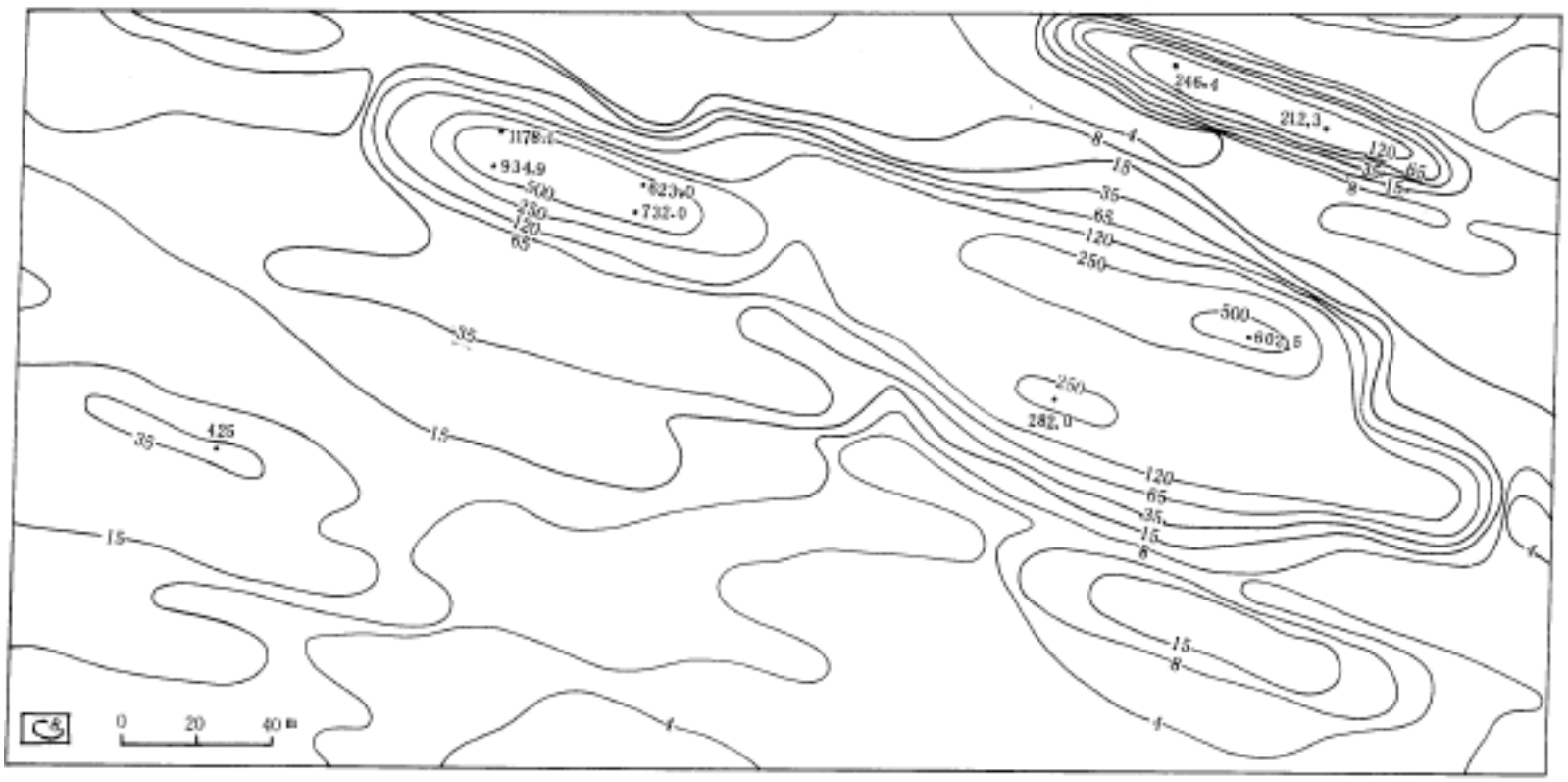


图 2 - 1 - 11　大水金矿田地球化学土壤测量 Au 元素地球化学图

反映了矿体的规模,矿化程度及分布状况。低值区(小于 60×10^{-9})仅见矿化或低品位金矿体(见图 2 - 1 - 11)。

从相关分析结果(表 2 - 1 - 18)可以看出:各元素对应的 r 值均小于 0.0n 左右,可见 Ag、As、Hg、Sb、Cu 元素含量微弱,在热液流体多次演化作用下不具分异富集特征,只是作为微量组份赋存于金矿体中。

表 2 - 1 - 18　相关分析结果表

样品位置	元　素　对　相　关　系(r)				
	Au - Ag	Au - Cu	Au - As	Au - Hg	Au - Sb
Tc1001	0.01786	—	0.01081	0.00022	0.00002
Tc1021	0.0059	- 0.00001	—	0.00033	—
Tc821	0.0014	0.00006	0.00019	0.00024	0.00007
Tc701	0.0019	- 0.00003	0.0018	0.0018	- 0.0005
置信限	r: 0.05 = 0.717；0.01 = 0.834				

四、成矿时代与矿床成因

(一)成矿时代及期次

通过对成矿物质来源和成矿地质条件的研究发现,本矿田经历了矿源层供矿—构造运

动—热动力驱动和沸腾—大气降水的热液对流循环过程而形成。据 Rb/ Sr 同位素样测定结果,矿田年龄为 182. 8Ma～196. 0Ma 和 41. 21Ma～72. 15Ma,说明燕山期与喜山早期是大水金矿田的主要成矿期。因此,在矿床成因分类上属岩浆后期中低温热液构造蚀变岩型金矿床和中低温热液再造裂隙充填型金矿床。

根据大水金矿田的地质发展史,结合矿床矿物共生组合关系,蚀变特征,脉体穿切关系等将该矿田金的成矿期分为热液期和表生期。热液期可进一步划分为三个成矿阶段,即金—碧玉—黄铁矿阶段、金—石英—方解石阶段、方解石阶段。

(二)控矿因素分析

1. 围岩因素

区内地层是一套巨厚的碳酸盐岩建造,亦是赋矿的岩层,由中 - 厚层灰岩、含白云质灰岩夹透镜状灰岩组成。其岩质脆弱,易产生断裂破碎,并在局部受水溶解而形成岩溶空间,加之灰岩的化学性质活泼,这些都有利于热液充填交代成矿。尤其是透镜体块状灰岩,不但牵制断裂构造绕道形成曲折空间,也是热液成矿的良好屏障层,如所见厚大矿体多分布在透镜体块状灰岩附近。再者是三叠系中统的灰岩,多为中厚层状,容易发生断裂破碎,因而矿体主要赋存于该地层内。

另是区内的不同灰岩,据化学光谱分析,Au 背景含量都比较高,除二叠系灰岩含 Au 6×10^{-9}～18×10^{-9}外,三叠系灰岩一般含量 Au 21×10^{-9}～50×10^{-9},个别高达 Au 77×10^{-9}～103×10^{-9},平均 30×10^{-9},比地壳克拉克值高出 6 倍～8 倍。可见该套地层在当时的沉积环境中有来自深部的含金热液物质参与了沉积,这表明该套灰岩是热液成矿的潜在标志,与矿质热液源有毗邻及时空关系。

2. 岩浆岩因素

区内岩浆岩不很发育,从其产出状态及岩性特点看,它们不但与成矿作用有内在联系,也是牵制矿体产出的外在因素。其表现:一是岩体(脉)内含微量自然金、辰砂、辉锑矿、雄雌黄等矿物及 Au 11×10^{-9}～33×10^{-9}和 As、Nb、Mo、Cu、Ba 等元素,与矿床中的组分类似,这反映了岩浆岩与成矿有矿源和热源关系,或是来自同一通道的同一母体。二是在空间分布上,岩体(脉)与矿床处同一构造带或与矿体赋存于同一断裂内,可见岩体(脉)的产出部位具有沿袭性,为成矿活动进一步创造了条件,从而牵制了矿体伴随分布。

3. 构造因素

区内的构造以断裂为主,较发育,具有继承、复合等特点,比较显著的为印支期 - 燕山期形成的断裂。其中燕山早期构造运动更为强烈,进一步发展了前期构造而形成为岩浆上侵和热液运移的通道。如区内的东西向断裂,是直接控制岩浆岩、矿床分布和产出的主要因素。与其配套的次级张扭性及张性断裂及其裂隙系统,是矿质热液交代沉淀的良好场所,尤其是两组(或多组)断裂相交部位和古岩溶中成矿条件更好,严格控制着矿体的产状、规模及形态,如厚度膨大而品位富的矿体多产生在这些部位。

另从遥感信息解释构造看,矿床濒邻大水弧形构造西翼,这正是挤压、扭动、张裂的强烈部位,为成矿活动创造了更佳的条件。

4. 成矿热液因素

从宏观及微观化学组分看,矿床热液属中、低温性质,其溶液组份以硅质为主,铁质、碳酸盐质次之,含较多的金质及微量的 Ag、As、Hg、Sb、S 等元素。可见矿质热液属于贫硫含金的

硅酸盐相,与硫化物相关系不明显,这表明大量的硅质溶液不是来自地层或岩浆,而是由壳幔提供了大量的矿质溶液;另是金在贫硫硅酸盐相中比较稳定,不易活化转移,加之 Au 和 SiO_2 有特殊的共存关系,其迁移与沉淀条件与 SiO_2 相同,在地质、环境条件适宜时,便可形成有规模的金矿体。

大水金矿田总的特点是:一是矿体主要赋存于三叠系中统灰岩断裂带和构造岩溶带中,主要在受燕山早期断裂构造控制,其矿化带的展布方向与总体构造线方向或地层走向基本一致;二是赋矿构造及成矿作用具有多期次,因而矿体亦为多次叠加成矿,其蚀变以强硅化、赤铁矿化、碳酸盐化为主;三是矿床组分简单,组合矿物、化学成分与微量元素具有一致性,同属中低温热液的产物;四是自然金粒度细,以浸染状、星点状的粒间金为主,与硅化作用关系密切;五是矿体多伴随花岗闪长岩脉分布,且部分花岗闪长岩因受成矿构造、热液作用的影响,而与硅化岩矿构成同一矿体。

依据上述特点和控矿因素,总结矿床成因为燕山期中低温热液热泉型金矿床,或为中低温热液热泉裂隙充填型金矿床。根据成矿热液性质及金的赋存状态,以可称为深源热液低流、富硅质细粒浸染型金矿床。

(三)成矿模式

根据区域地质特征和区域地球化学条件,将大水金矿田矿床形成过程,大致分为以下几个阶段(图 2 - 1 - 12):

(1)加里东期—海西期。加里东期该区处在扬子板块的西北缘,接受来自若尔盖古陆剥蚀分解的陆源物质的供给,在早寒武世和早泥盆世沉积时,海底火山喷发物和热水喷流进入

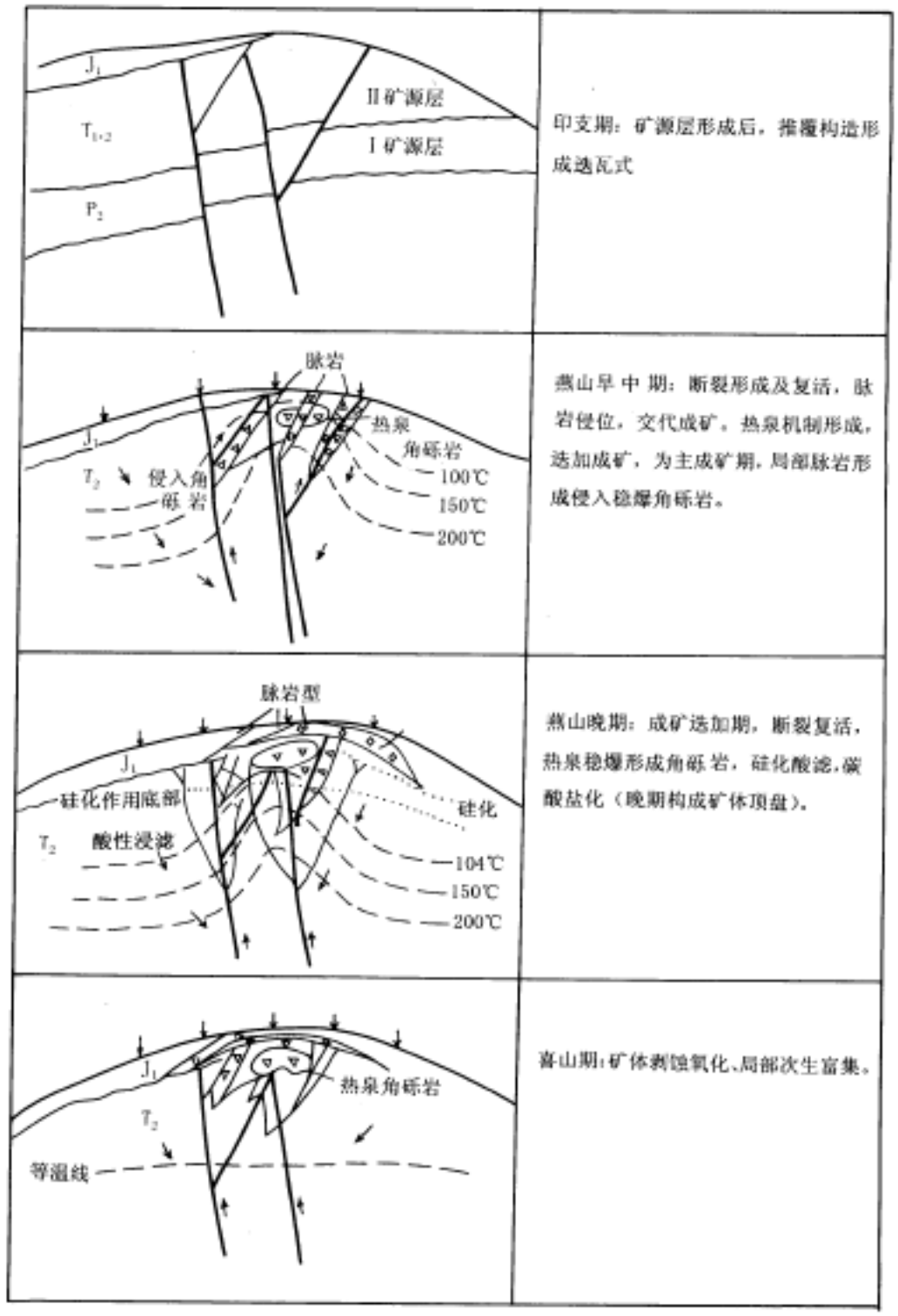


图 2 - 1 - 12　大水金矿成矿机制图

沉积物中，Au、Hg、Sb、Ag、As、Mo、V 等元素在沉积物形成初期富集，形成矿源层。

(2)印支期。地槽开始回返，整个白龙江成矿带褶皱成山，形成东西向白龙江复背斜、九源—坪定复向斜、西倾山隆起带和白龙江大断裂、温泉—益哇大断裂，同时或稍后，英安斑岩、闪长玢岩在主断裂及其旁侧次级构造侵入就位，由此产生部分热源和区域变质作用，使金元素改变赋存状态和活化迁移，使金再次浓集衍生，此期为金的浓集期。

(3)燕山早中期。在印支运动基础上，相继发生高角度的逆冲断裂活动，在区域上形成光盖山—迭山、玛曲—略阳、大水—忠曲等几条区域性大断裂。岩浆活动及地热活动所释放出来的热能，使断裂两侧地热流急剧上升，热对流速度显著增加，对岩石中物质溶滤能力加强，大气降水沿断裂破碎带和两侧地层中裂隙、层理、劈理、板理等下渗并淋滤岩石的矿质元素，到一定深度时，由于高热流的驱赶，热流体开始沿低压带返回上升，沿断裂空间逐渐向背斜和向斜轴部或近地表迁移，并与新下渗较冷的雨水混合交潜，引起硫活度的稀释，形成一个循环的热液系统。在加热雨水循环对流过程中，溶液不断溶滤围岩的有益组份，致使热流体转变为热卤水。当含矿热卤水上升进入断裂和背斜轴部虚脱部位及富含有机炭硅碎屑和碳酸盐系地层时，由于温度压力下降发生卸载沉淀其矿质，此期为大水金矿田的主要成矿期。

(4)燕山晚期—喜山早期。由于大规模推覆挤压活动和火山喷发作用，产生大量热源，促使金进一步活化迁移，在原矿体或矿化体重新复合叠加，形成规模大、品位较富的金矿体，此期为大水金矿田的复合叠加成矿期。

(5)喜山中晚期。受喜山运动的影响，地壳抬升加剧，发生强烈剥蚀作用，绝大部分矿体裸露于地表，由于潜水面下降，使矿体处在氧化带中，据氧化率测定结果，大水金矿田的氧化率达89％～99％，表明地表矿体遭受不同程度的氧化作用，形成氧化矿石和半氧化矿石，此期为大水金矿田的表生期。大水金矿田的成矿模式见图 2 - 1 - 13。

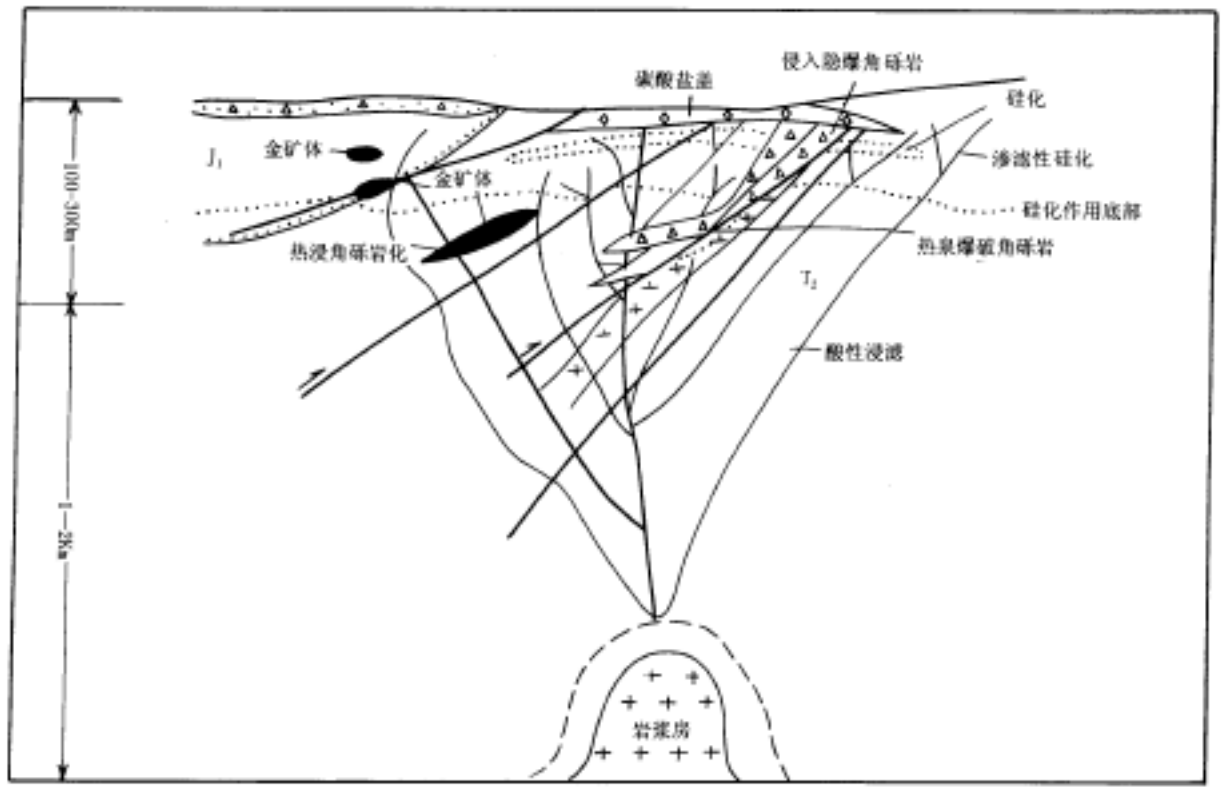


图 2 - 1 - 13　大水中低温热液型金矿床成矿模式图

第二节　文县石鸡坝金矿田

石鸡坝金矿田处于南秦岭陕、甘、川重点成矿区带“金三角”的中部,甘、川两省接壤部位的甘肃省文县境内,目前根据矿床的地理分布及成矿条件划分为新关金矿区和关牛湾金矿区。

新关金矿区是在20世纪80年代中期进行1∶200 000化探重新扫面工作中发现新关-高楼山金异常带的基础上,通过1∶50 000水系加密测量,1∶10 000土壤测量配合矿点检查、工程揭露工作发现并逐步扩大远景规模的。

90年代初期,经过系统的化探异常查证和地质普查工作,相继在新关金矿区外围发现了郭家坡、关牛湾、大湾岭、半山、陶家湾等金矿床(点),形成了关牛湾金矿区。

矿田内两矿区地质储量已达中型规模。

一、区域地质背景

(一)构造

矿田处于南秦岭地槽印支褶皱带、龙门山加里东褶皱带和松潘-甘孜褶皱带三者交汇部位,文县—康县大断裂带中,文县弧形构造的弧顶部位,摩天岭古陆北缘,受多期构造运动的改造,区域内褶皱、断裂构造相当发育(图2-2-1)。

1. 褶皱构造

文县弧弧顶部位是一系列褶皱构造的复合部位,区域内有近东西向、南北向两组褶皱。其中近东西向展布的有:罗依坝—金条山复向斜,上草地—东峪口复式背斜。轴向南北向展布的有:中寨—天干族复式向斜,南坪—青龙复式背斜。

这两个方向展布的褶皱构造之间,次一级褶皱构造相当发育,较具规模且对矿田影响大的有明顶山—安昌河复向斜,金子山复向斜和上草地复背斜及与之相配套的更次一级褶曲,使区内地层层间扭曲较为普遍。矿田则主要受上草地复背斜及南坪—安昌河褶皱带的双重控制。

2. 断裂构造

文县—康县断裂带是摩天岭古陆与南秦岭地槽的接壤地带,因长期的构造作用形成了以北西—北东向,近东西向和近南北向为主的三组构造组合,并以断裂构造最为明显,各组构造的有机结合形成文县弧形构造、白马弧形构造等且重要找矿意义的构造形迹,现将各组断裂特征简述如下。

(1)北西—北东向断裂。区域内有形成于加里东期的白马—临江断裂、印支期形成的松柏—黎坪断裂、燕山期形成的马家磨—范家坝断裂等三条主要断裂,其中以形成于印支期的松柏—黎坪断裂为区域内最主要的控矿构造。该断裂造成了区内三叠系地层与下伏地层的断层接触,该断裂带长数百千米,宽50～3000m,其中中段安昌河两侧破碎特别强烈,破碎带宽,一般可见角砾岩化、糜棱岩化、泥化等,断裂带整体倾向北,只在弧顶部位局部倾向南,断裂带倾角50°～60°间,沿断裂带多处被近南北向断裂破坏,且有后期形成的近东西向断裂对肠沟断裂,安昌河—观音坝断裂迭加,造成了多次构造活动。沿断裂带两侧形成了不同期次、不同方向的次级断裂。

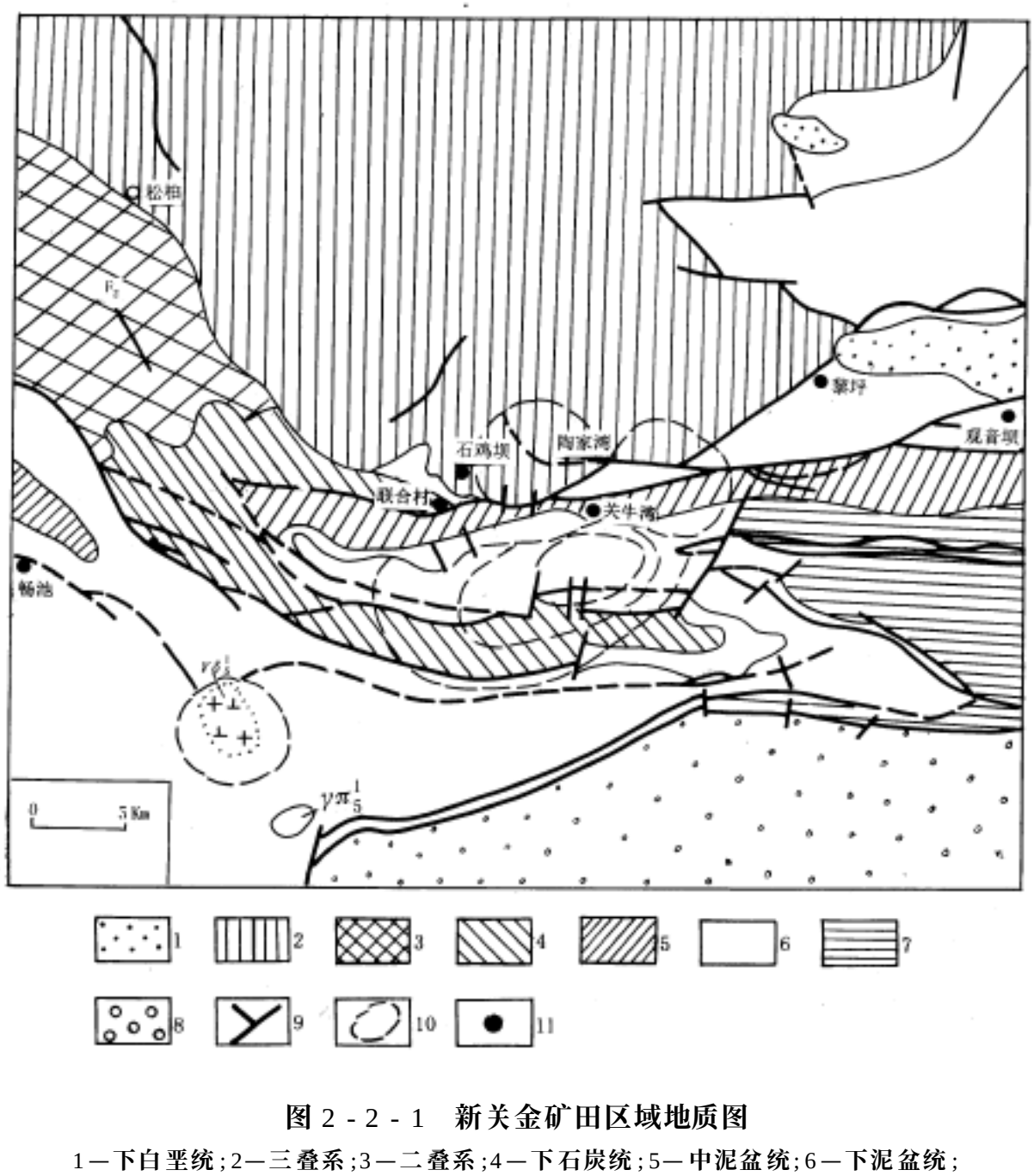


图 2-2-1　新关金矿田区域地质图

1—下白垩统;2—三叠系;3—二叠系;4—下石炭统;5—中泥盆统;6—下泥盆统;7—震旦系;8—青白口系;9—断裂构造;10—环形构造;11—金矿床(点)

(2)近东西向断裂:为区内控矿的主要断裂。主要有安昌河—观音坝、对肠沟等断裂,该组断裂迭加于松柏—黎坪断裂弧顶两侧,形成于燕山期却具多期活动特点,局部表现为分枝、复合现象。断裂性质为压扭性,且沿断裂两侧形成不同程度的糜棱岩化现象,两侧次级断裂发育。该组断裂在地表上呈波状起伏,形成较大的破碎蚀变带,长一般500～2000m,宽10～60m不等,是金的主要容矿构造。对肠沟断裂北侧产出联合村金矿床。安昌河—观音坝断裂带南侧(包括区域断裂次级构造)产出有关牛湾矿区各矿点及观音坝金矿点。

(3)近南北向断裂,多为后期形成的压扭性断裂,对前两组与成矿密切相关的断裂构造有破坏作用,同时对矿体也产生了不同程度的破坏。

3. 环形构造

区域内通过卫片解译出多个环形构造,主要分布于石鸡坝及向北东、南西方向,主要由断裂、岩体及二者复合作用的热液蚀变引起的单环、双环、多环构造。其中尤以石鸡坝周围最为集中,不同方向不同期次的断裂集中发育在环形构造中心部位,其外带则以发育的酸性岩脉为标志。岷堡沟多环构造,石鸡坝、泥山两个单环环形构造均处于线性构造迭加部位。

石鸡坝矿田正好处于三个环形构造的复合部位,结合区内断裂发育位置,所有矿床(点)不

仅发育在大断裂两侧的次级断裂中,而且也集中分布在环形构造的内部及边缘。

4. 各种构造的关系

区域内各种构造关系非常密切。首先断裂构造是地层强烈褶皱,变形作用下的产物并普遍发育在褶皱轴部及结合部位,通过构造的多期次活动,形成复合构造。其次由于断裂、褶皱构造的多期次、多方向发育和蚀变作用改造中酸性岩脉(体)的侵入,在空间上形成了环形构造。不同其次不同方向的各种构造构成了矿田区域内复杂的构造格局。

(二)地层

矿田区域内地层出露较齐全,自南向北发育有青白口系、震旦系、下寒武统(该区合称碧口群)、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、下白垩统及第四系地层。其中碧口群为本区构造基底。

(1)碧口群。为一套巨厚层正常沉积碎屑岩夹少量火山碎屑岩组成。主要岩性为变砂岩、千枚岩、凝灰岩、砂质板岩、硅质岩、变冰碛砾岩等,岩层粒级由粗—细—粗,明显反映出较完整的沉积旋迴,中部夹有火山岩地层,表明火山喷发沉积与正常沉积交替沉积特征。地层均经不同程度的变质作用。

总体来看,该基底地层为一套完整的类复理石建造,对沉积的火山岩经多年研究,证明其沉积环境为弧后盆地扩张—挤压阶段。

(2)泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、白垩系地层。为一套浅海相碳酸盐岩—碎屑岩建造,其岩性为灰岩、绢云母千枚岩、片岩、石英细砂岩、粉砂岩、变长石砂岩、板岩等,其沉积环境由较封闭海盆中动荡环境—滨海、浅海平静沉积环境—海进—逐渐趋于稳定环境的变化过程。这一沉积过程中经过多次构造运动,使各时代地层有正常沉积中形成的整合、不整合、断层接触关系,甚至还出现超覆沉积的特点。

(3)第四系。区域内分布面积广,主要为残坡积物、冲积物、洪积物,分布于各沟谷中,以砂土、砾石为主。

(三)岩浆岩

矿田区域内岩浆岩不甚发育,只是在南侧有摩天岭岩体规模较大。矿田及邻区零星出露一些印支、燕山期中、酸性岩脉,分布在构造带或各时代地层中,其中以花岗斑岩脉、二长斑岩脉、花岗细晶岩脉、石英闪长玢岩脉等脉体分布广泛。

(四)火山岩

区域内火山岩不发育。只在基底碧口群地层中有凝灰岩、安山凝灰岩多层夹层,加里东早期该区有过一次或数次火山喷发。该区火山喷发具脉动性。

在中三叠统地层中有火山岩碎屑,在碎屑间,还可见到充填在其中的具棱角状玻屑,偶夹凝灰岩透镜体,证明在印支早期至少经历过火山喷发活动。

(五)区域矿产

区域内有分布于上草地等地的雄黄矿点,辰砂锰、铁等矿产,而岩金分布最为广泛,目前仅金矿床(点)有 20 余处,其中以甲勿池—联合村—石鸡坝—观音坝一线分布最为密集。组成了沿松柏 - 梨坪断裂分布的金矿群。

二、矿田地质特征

石鸡坝矿田内两矿区东西长 7km,南北宽 1km。由于发现及工作时间不同,因而两矿区勘查程度不均衡。新关矿区勘查程度较高(后斗湾矿段达详查阶段,杏树坪—香椿沟矿段为普

查阶段),而关牛湾矿区开始进入初步普查阶段,工作程度相对较低。目前已从两矿区圈出金矿体 46 个。

(一)控矿条件

1. 地层

矿田内赋矿地层主要为下泥盆统、中三叠统地层。

1)下泥盆统

主要分布于矿田内新关矿区南侧及关牛湾矿区大部分。根据岩性特征,从下到上又分为屯寨组、石坊群、岷堡沟组。

(1)屯寨组。主要发育于关牛湾矿区汤卜沟以东,其岩性为灰岩、绢云石英千枚岩、绢云片岩互层。该组地层蚀变带中产有高家山、观音坝金矿(化)点。

(2)石坊群。分布于矿田南部岷堡沟—邓草坝一线。岩性为石英细砂岩、粉砂岩,含砾粗砾岩等一套碎屑岩沉积物。

(3)岷堡沟组。在矿田内出露范围最大,分布于新关矿区南部麻克里—石山沟一线,关牛湾矿区关牛湾—草坡一带,总体上构成上草地—范坝背斜北翼,其岩性为砂岩、板岩、灰岩夹粉砂岩、粉砂质板岩。在蚀变带中发育于关牛湾、草坡、半山等金矿床(点)。

2)中泥盆统

分布于新关矿区南部麻克里—马家湾—石山沟一线,关牛湾矿区关牛湾—泥山一带,组成了下草地—沙渠—吕家坝向斜核部,岩性为灰岩、页岩、粉砂岩、细粒石英砂岩、石英岩等。地层中构造发育部位形成蚀变破碎带,有零星矿化现象。

整个泥盆系地层与上伏地层石炭系、下伏地层震旦系呈断层接触。

3)石炭系:在矿田内呈楔形分布在新关矿区的银硐崖—徐家沟—石山沟一线,岩性为灰岩夹白云质灰岩、大理岩化灰岩及泥质板岩、粉砂岩、粉砂质板岩。在邻区四川省境内,该地层中产出有甲勿池、联合村金矿床,但石鸡坝矿田内由于石炭系地层出露范围小,岩性单一,基本没有矿化现象。只在该地层中侵位的花岗斑岩脉内侧及接触带上构造发育部位产出有石山沟、马家湾金矿(化)点。

4)中三叠统

分布于松柏—黎坪断裂北侧(矿田内 F_4),分布面积较大。尤以新关矿区内杏树坪—香椿沟、后斗湾一带,关牛湾矿区北部陶家湾一带均为中三叠统地层,在矿田内的中三叠统地层为浅海相碳酸盐岩—碎屑岩。按其岩性组合及分布,可分为两个岩组:

(1)下岩组(T_2^1)。位于香椿沟—徐家沟—石山沟—陶家湾以北一线,自下而上碎屑粒度变细,灰岩夹层和炭质含量增多,反映了沉积环境逐渐趋于稳定的变化过程。进一步分为四个岩性段:

①第一岩性段(T_2^{1-1})。中三叠统地层最底层,零星分布于徐家沟一带,岩性以细砂岩、杂砂岩、粉砂质板岩组成,局部夹薄层泥质灰岩及石英砂岩。

②第二岩性段(T_2^{1-2})。分布于杏树坪 F_3 断裂南盘—白崖子一线。岩性以薄—中层状泥质灰岩为主,局部夹细砂岩、板岩。岩层较破碎。与 T_2^{1-1} 呈整合接触。

③第三岩性段(T_2^{1-3})。分布于香椿沟—杏树坪 F_3 断裂北盘—陶家湾一带,是区内主要含矿地层。其上部由变长石砂岩、杂砂岩、板岩夹少量泥灰岩组成,其岩性为:

变长石砂岩:中层状,中细粒砂状结构,变余砂状结构,由长石、石英及少量云母矿物组成。

杂砂岩:褐灰色中—厚层状,细粒砂状结构,主要由石英、中酸性火山岩碎屑组成。

下部由板岩、含炭板岩、中厚层状铁质石英砂岩、石英砂质砾岩、石英细砾岩等组成。其板岩具变余泥质、粉砂质结构、薄板状构造,主要由泥质、粉砂质及少量云母类矿物组成,部分含炭、铁、硅质。石英砂岩为褐灰色、中厚层状,中细粒砂状结构,主要由石英(95%)组成,部分含岩屑、长石、云母等矿物,具石英岩化,局部受动力挤压破碎强烈,变为石英角砾岩,富含铁质。杏树坪、香椿沟、陶家湾矿体均赋于该岩段碎裂石英砂岩及砂板岩破碎带中。与下伏地层(T_2^{1-2})呈断层接触。

④第四岩性段(T_2^{1-4})。主要由黄褐色泥质灰岩、厚层状细晶灰岩夹薄层泥灰岩组成。

(2)上岩组(T_2^2)。分布于香椿沟—后斗湾之间,呈西宽东窄的楔状体展布,以灰岩为主,上部夹有变砂岩及板岩,反映了浅海低能环境向滨海高能环境过渡的沉积变化过程。可分为两个岩性段:

①第一岩性段(T_2^{2-1})。主要分布于后斗湾,由薄—中层状碎裂细晶灰岩组成,局部夹少量板岩、钙质砂岩。灰岩风化面颜色变浅,主要成分为方解石和白云石。该岩段内断裂构造及裂隙发育,沿断裂有花岗斑岩脉侵入,经多次构造运动,脉体被破坏,沿接触带及脉体内局部形成蚀变,产生金矿化,后斗湾矿体即赋存于其中。

②第二岩性段(T_2^{2-2})。该岩段与 T_2^{2-1} 以区内 F_2 断裂接触,主要为薄层状碎裂灰岩夹变细砂岩、钙质板岩。变细砂岩中可见火山碎屑。

2. 构造

矿田内根据矿床分布来看,构造控矿作用十分突出,其控矿构造主要为断裂构造。主要表现在:

(1)矿田内矿体均产出于构造两侧。

(2)在断裂构造走向、倾角变化处,由于构造性质改变,导致矿体重叠多次富集,矿体形成膨大现象。

该矿田由于处于文县弧顶部位,松柏—黎坪断裂横穿矿田(F_4),本身弧顶部位应力十分集中,再加上大断裂及后期构造叠加、破坏,从而形成了复杂的构造格局。

矿田内断裂构造主要有 6 条。分东西向及北西—北东向两组。

北西—北东向断裂,主要为松柏—黎坪断裂在区内部分即 F_4,为矿田内控矿断裂,分布于矿田内后斗湾—石山沟—郭家坡一线,断裂在矿田内出露长度近 10km,总体倾向北,倾角 60°左右,在矿田内形成沟谷蚀变带为特征。另外北西向断裂还有发育于新关矿区内 F_4 的次级羽状断裂 F_1、F_2,但地表延伸不大,一般小于 1km,断裂面倾向北东,属压扭性断裂,以地表岩层两侧产状的对顶、岩性差异为特征,且小褶皱及挤压破碎带发育。是区内运矿构造。

近东西向构造有 6 条,F_5 断裂分布于麻克里—石山沟一线,形成于海西期,是区内形成最早的构造。在矿田内出露长度约 3km,断裂面倾向南,倾角 40°~60°,地表以线状分布的陡坎、蚀变破碎带及岩脉发育为特征。

F_6 断裂为区域内安昌河—观音坝断裂西段部分,在矿田内破坏了 F_4 断裂,具分枝现象,形成较大的蚀变破碎带,是金的主要容矿构造,沿蚀变带产出有陶家湾金矿点。

F_3 断裂为成矿后断裂,是 F_4 多期活动的体现,主体分布于杏树坪一线,明显受 F_4 断裂控制,形态较规整,以破碎带发育及脉岩、地层岩性产状对顶为特征。对矿体及蚀变带有破坏作用。

F_7、F_8、F_9 均为 F_4 次级断裂，在矿田内为主要容矿构造，断裂在矿田内延伸不大，一般小于 3km，断面倾向北，地表上以明显发育的蚀变破碎带及脉岩为特征。沿断裂蚀变破碎带产出有关牛湾、郭家坡、半山等矿点。

综观矿田内构造，初步认为以 F_5 形成最早，其次为 F_4（包括 F_1、F_2），然后为 F_6（包括 F_7、F_8、F_9），以 F_3 形成为最晚。

3. 岩浆岩

矿田范围内均未见有较大岩体产出，但印支期以来的中、酸性岩脉发育。其主要类型有花岗斑岩脉、花岗细晶岩脉、二长斑岩脉、闪长玢岩脉等。另外岩层及裂隙中可见到石英及方解石脉。

(1)花岗斑岩脉。矿田内普遍发育，且多蚀变，走向东西向，与构造线方向一致，说明为构造期后产物，一般长 50～500m，宽 6～20m，产状近于直立，地表上往往呈波状分枝、复合。斑岩斑晶由斜长石、石英、白云母组成，基质成分相同，岩石普遍绢云母化、碳酸盐化、硅化、黄铁矿化。其中硅化、黄铁矿化强烈的地段金矿化较富集。地表褐铁矿化、泥化明显，在蚀变部位的剪切构造集中地段有金矿体产出(如后斗湾矿段)。

(2)花岗细晶岩脉。分布于新关矿区银硐崖—徐家沟，主要赋存于石炭系地层中，一般长 50～400m，宽 5～20m，多为近东西向，次为南北向。岩石多为灰白—白色，花岗细晶结构，主要成分为长石、石英、白云母，与花岗斑岩成分相同，反映了是同源物质，只是产出深度有异，但脉体矿化程度差。

(3)二长斑岩脉。赋存于矿田内中三叠统地层中，主要分布于马家湾—杏树坪一带，长 20～60m，宽 5～8m，普遍蚀变。地表走向近东西向。岩石为灰白色，二长结构，由斜长石、钾长石、白云母、石英构成，局部蚀变强烈部分有弱矿化现象。

(4)闪长玢岩脉。在关牛湾矿区零星发育，一般长 20～200m，宽 5～20m，与构造方向一致相伴产出，部分地段斜穿了花岗斑岩脉，说明形成晚于花岗斑岩脉，一般有弱矿化现象，但本身不形成矿体。

以上几种脉体，从形成期次分析，认为花岗斑岩、细晶岩脉为印支期产物。而二长斑岩及闪长玢岩脉为燕山期(主成矿期)产物，只促进了矿化的迁移富集，本身形不成金矿(化)体，仅部分花岗斑岩经改造成为储矿层。

(二)矿体特征及工业类型

新关矿区圈出矿体 26 个，其中后斗湾矿段有 2 个矿体，杏树坪—香椿沟矿段有 14 个矿体，麻克里—马家湾矿段有 5 个矿体，石山沟矿段有 5 个矿体。矿体分布具体位置见图 2-2-2。

(1)后斗湾矿段。位于矿区最西部，矿体均产于蚀变花岗斑岩脉的内接触带中，其中以Ⅰ号矿体为主，该矿体地表控制长度 210m，平均厚度 3.54m(最厚 11.42m)，矿体平均品位 5.19×10^{-6}(最高 11.52×10^{-6})，矿体品位变化较大，变化系数为 96%，厚度变化系数为 90.14 %，矿体在地表、深部均呈南倾的似层状、枝杈状。分支、复合现象明显。矿体受构造控制，在脉岩产状变化处，膨缩部位亦随之变化。矿体控制深度大于 153m，矿体沿垂向厚度、品位保持稳定，局部地段有明显的变化。见图 2-2-3、2-2-4。

Ⅱ号矿体地表控制长 120m，矿体平均厚度 1.88m，矿体平均品位 3.98×10^{-6}，矿体品位变化亦较大，变化系数为 94.23%，厚度变化系数为 58.14%，矿体呈似层状，矿体已控制深度

大于 133m,且向深部厚度变化不大,品位有增高趋势。

根据矿体特征,可确认为该矿段矿体为岩浆期后渗滤热液型金矿床。

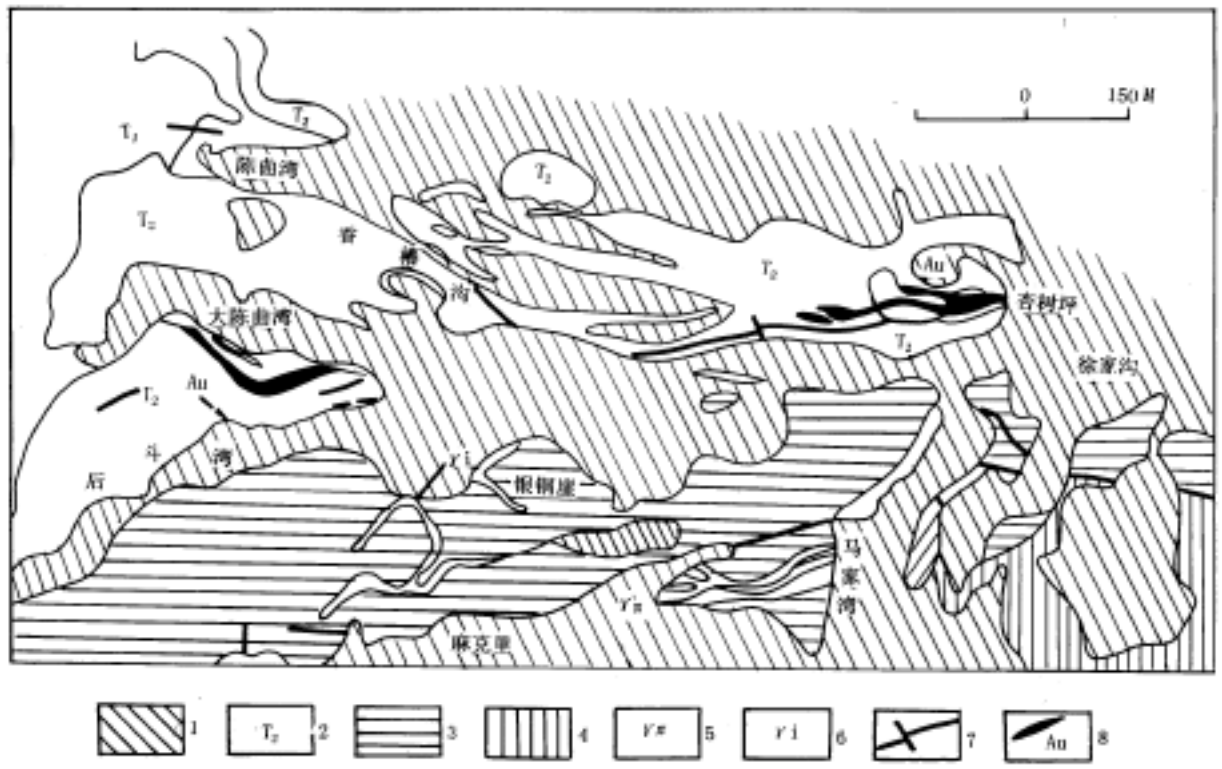


图 2 - 2 - 2　新关金矿区地质图

1—第四系残坡积;2—中三叠统砂板岩;3—石炭系灰岩;4—中泥盆统灰岩、碎屑岩;5—花岗斑岩脉;6—花岗细晶岩脉;7—断裂构造;8—金矿体

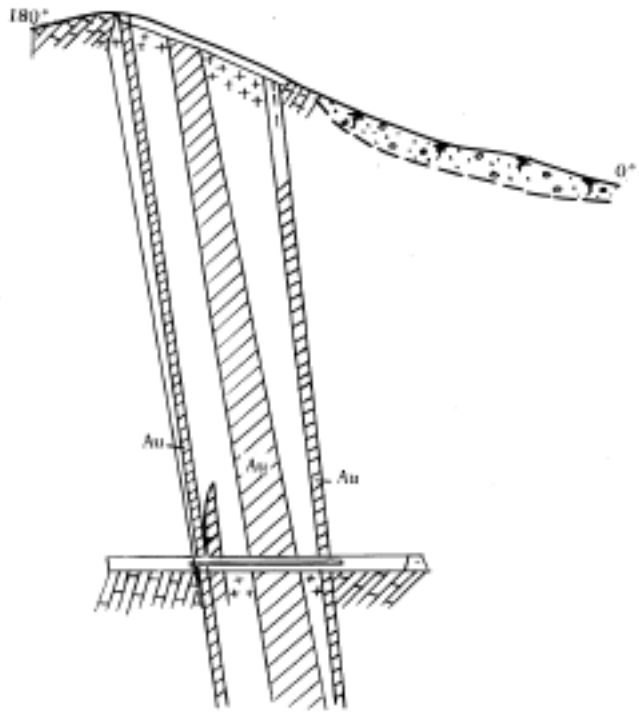


图 2 - 2 - 3　后斗湾矿段 3 勘探线剖面图

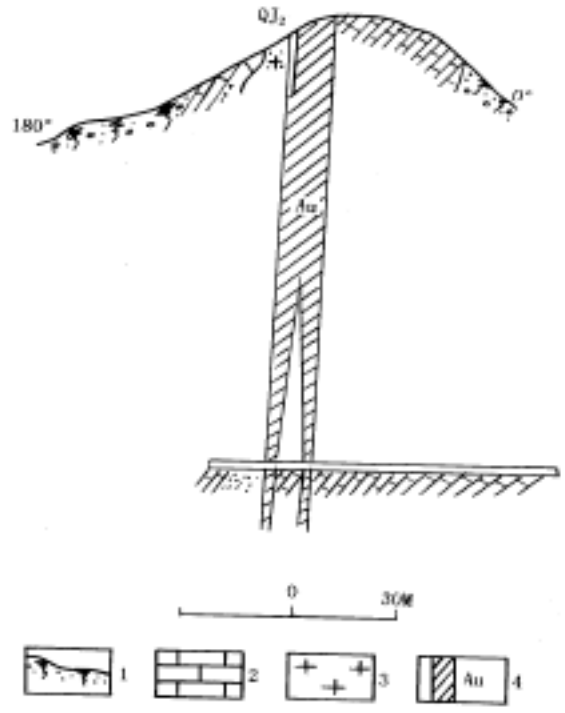


图 2 - 2 - 4　后斗湾矿段 7 勘探线剖面图

1—第四系残坡积;2—细晶灰岩;3—花岗斑岩;4—金矿体

(2)杏树坪—香椿沟矿段。位于新关矿区中部,已控制金矿体 13 个,矿体走向与控矿构造线方向一致。其中以东段杏树坪Ⅴ号矿体为主。该矿体已控制长度 350m,宽度 3.6～43.2m 不等,最大控制垂深已达 100m。由于受后期 F_3 断裂破坏矿体向深部延伸不祥,F_3 下盘矿体未控制。矿体平均品位 4.67×10^{-6},沿走向、倾向品位变化不大,品位变化系数为 25%～42%,总体呈一东部集中分布,向西明显分为两枝的分支复合矿体,其北分枝在 5 线附近尖灭,南分枝延至 11 线以西尖灭。东部 4 线附近被第四系覆盖,在各勘探线工程中,矿体地表向深部变化不一致,其中 0 线由地表厚 43.32m 到深部为 30.57m(1724 中段)和 7.81m,品位由地表 3.11×10^{-6} 深部变化为 2.84×10^{-6} (1724 中段)和 4.32×10^{-6}。在 3 线,矿体由地表厚度 7.6m 到深部为 32.51m(1769 中段)和 1.0m,品位由 6.96×10^{-6} (地表)到 7.03×10^{-6} (1769 中段)至 2.63×10^{-6},向西部,厚度、品位变化也不一致。矿体在空间上呈现分支、复合、膨大、收缩、尖灭再现的特点见图 2-2-5、2-2-6、2-2-7。

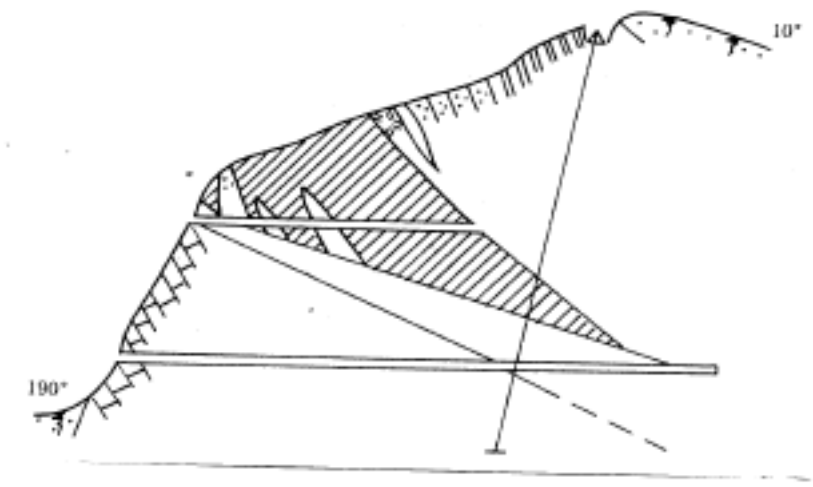


图 2-2-5　新关矿区杏树坪-香椿沟矿段 0 勘探线剖面图

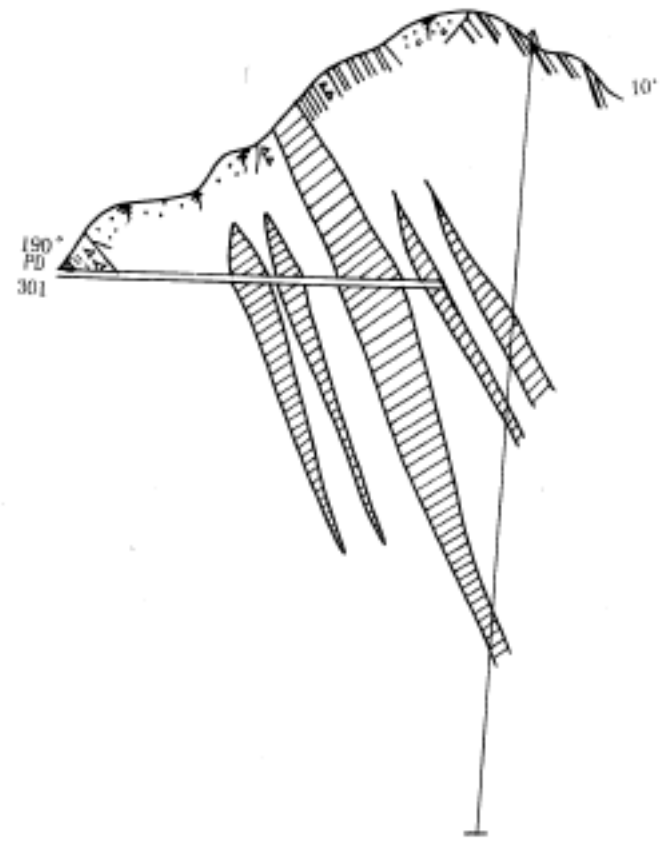


图 2-2-6　新关矿区杏树坪-香椿沟矿段 3 勘探线剖面图

该矿段含矿岩性为蚀变硅化石英砂岩及少量构造角砾岩。矿体整体产状为倾向 340°～354°倾角 40°～76°,向深部产状变陡,矿体内部小断裂、裂隙发育,金矿化富集程度与裂隙发育程度、硅化、褐铁矿化呈正相关系。

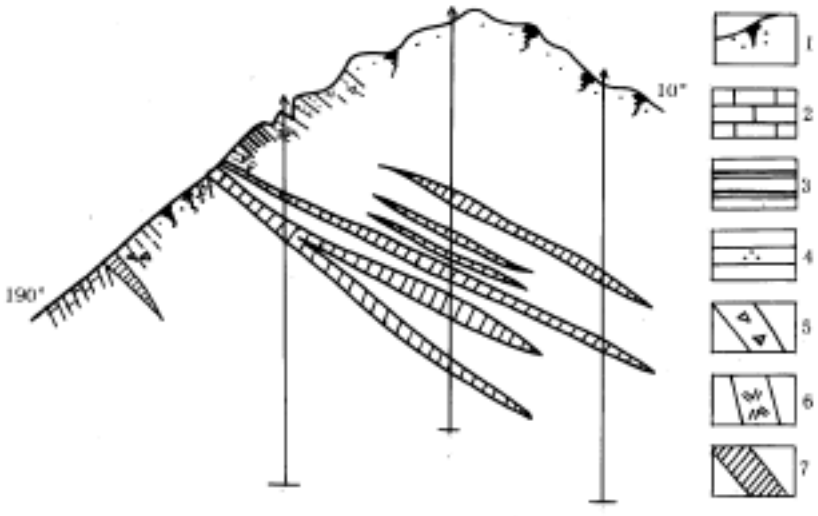


图 2-2-7　新关矿区杏树坪-香椿沟矿段 7 勘探线剖面图

1—第四系残坡积物;2—细晶灰岩;3—粉砂质、炭质板岩;4—石英砂岩;5—蚀变破碎带;6—二长斑岩脉;7—金矿体

其他矿段矿体特征见表 2-2-1。

关牛湾矿区共有矿体 20 个,矿体均赋存于下泥盆统砂岩、砂质板岩、含铁石英砂岩破碎带中,沿蚀变带伴有较多脉体(赋存于中三叠统地层中的陶家湾矿段除外)共

包括三个矿段(图 2 - 2 - 8)。

①关牛湾矿段。位于矿区北部,沿 F_7 断裂蚀变带平行分布,该矿段已控制长度大于 1km,宽 30～50m 不等,圈出 6 个矿体。其中Ⅰ号矿体控制长度已达 360m,矿体平均厚度 9.07m,矿体平均品位 2.58×10^{-6},矿体形态呈似层状,矿体倾向北,产状倾向 320°倾角 50°,含矿岩性为褐铁矿化硅化石英砂岩,但矿体破碎程度较低。其他 5 个矿体沿走向或主矿体侧旁产出具体特征见表 2 - 2 - 2。

②郭家坡矿段。位于关牛湾矿区中部,沿 F_8 断裂带展布,该矿带控制长度大于 500m,宽 20～30m,共圈出 7 个矿体。其中主矿体长 250m,厚 2～11m,平均品位 7.0×10^{-6},矿体形态呈似层状,矿体倾向北,产状倾向 10°倾角 60°,含矿岩性为褐铁矿化石英砂岩、钙质板岩、花岗斑岩脉。其他 6 个矿体长度为 40～100m 间,厚度为 1.0～4.70m,品位为 0.85×10^{-6}～5.21×10^{-6}。

表 2 - 2 - 1　其他矿段矿体特征表

矿　段	矿体编号	矿体规模(m)		平均品位 ($\times10^{-6}$)	矿体形态	矿体产 状	含矿岩性
		长	宽(厚)				
杏树坪—香椿沟矿段	Ⅰ	200	4.09	2.87	似层状	0°∠40°	褐铁矿化砂板岩破碎带
	Ⅱ	134	2.32	2.25	似层状	5°∠44°	
	Ⅲ	73	190	3.87	似层状	180°∠16°	
	Ⅳ	45	14.7	4.41	似层状	240°∠70°	
	Ⅴ	44	0.95	1.54	长扁豆状		
	Ⅵ	30	1.0	1.66	长扁豆状		
	Ⅶ	38	0.69	5.00	透镜状		
	Ⅷ	42	1.10	1.89	透镜状		
	Ⅸ	39.5	1.0	1.11	透镜状	27°∠68°	蚀变硅化石英砂岩
	Ⅹ	24.5	0.93	1.30	透镜状	27°∠68°	
	Ⅺ	25	0.93	1.03			
	Ⅻ	19.5	1.86	1.23			
石山沟矿段	Ⅰ	30	5.0	2.09	长扁豆状		蚀变砂板岩破碎带夹闪长玢岩脉
	Ⅱ	8	2.0	1.58			
	Ⅲ	25	4.0	8.04			
	Ⅳ	10	2.0	2.73			
	Ⅴ	310	2.0	1.52			
麻克里—马家湾矿段	Ⅰ	80	1.25	1.31	似层状		蚀变砂岩花岗斑岩
	Ⅱ	40	1.0	1.64	似层状		
	Ⅲ	12	1.0	1.22	透镜状		
	Ⅳ	30	4.0	4.03	透镜状	27°∠68°	
	Ⅴ	20	1.0	5.44	透镜状		

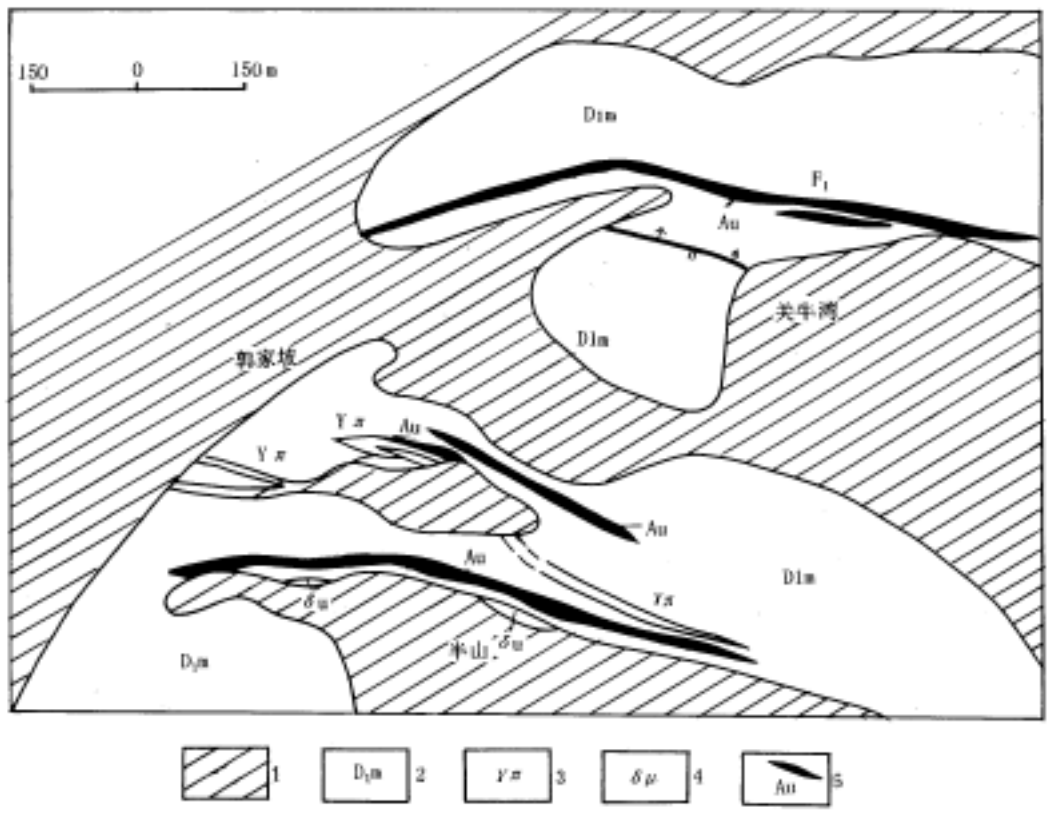


图 2-2-8　关牛湾矿区地质图

1—第四系残坡积物;2—下泥盆统岷堡沟组砂岩、板岩、灰岩夹粉砂质板岩;3—花岗斑岩脉;4—闪长玢岩脉;5—金矿体

表 2-2-2　关牛湾矿段金矿体特征表

矿　段	矿体编号	矿体规模(m)		平均品位 ($\times10^{-6}$)	矿体形态	矿体产 状	含矿岩性
		长度	宽(厚)度				
关牛湾矿段	Au-2	100	2.44	0.56	似层状	20°∠66°	蚀变碎裂板岩
	Au-3	40	1.30	2.00	透镜状	20°∠66°	蚀变硅化石英砂岩
	Au-4	40	0.90	0.50	透镜状	20°∠66°	
	Au-5	40	0.90	0.50	透镜状	20°∠66°	
	Au-6	40	0.90	0.50	透镜状	20°∠66°	

③大湾岭—半山矿段。位于关牛湾矿区南部,沿 F_9 断裂分布,长度大于 800m,宽 50～80m,已控制矿体 6 个,主矿体 Au_1 地表控制长 280m,平均厚度 21.91m,矿体平均品位 1.39×10^{-6},矿体呈似层状产于下泥盆统碎屑岩与脉岩(花岗斑岩、石英闪长玢岩)内、外接触带上,矿体倾向 15°～35°倾角 30°～66°,矿体具分枝、复合现象,含矿岩性为碎裂板岩、蚀变花岗斑岩等。其他 5 个矿体特征见表 2-2-3。

表 2-2-3　大湾岭—半山矿段矿体特征表

矿　段	矿体编号	矿体规模(m)		平均品位 ($\times10^{-6}$)	矿体形态	矿体产 状	含矿岩性
		长度	宽(厚)度				
大湾岭—半山矿段	Au-2	80	5.32	0.58	透镜状		
	Au-3	300	15.5	0.90	似层状		
	Au-4	80	3.3	1.59	透镜状		
	Au-5	80	3.27	1.60	透镜状	30°∠48°	

④陶家湾矿段。位于关牛湾矿区北部约 1km 处,处于松柏—黎坪断裂与安昌河—观音坝断裂迭加交汇部位西侧。该矿体产于断裂带近旁中三叠统破碎硅化石英砂岩中,矿体已控制长度 260m,宽 45～85m,矿体平均品位 1.07×10^{-6},矿体倾向 120°倾角 70°,矿体在地表及垂向上较稳定,可认为整个矿体为一断裂破碎所形成的断块。

(三)矿石特征

矿田内各矿区含矿岩性尽管各不相同,但矿石自然类型都属微细浸染型金矿石。在矿田内主要有花岗斑岩型、硅化石英砂岩型、砂、板岩破碎带型 3 种。

(1)花岗斑岩型。矿石中金属矿物为褐铁矿、少量黄钾铁钒、黄铁矿、磁铁矿、毒砂,偶见黄铜矿、蓝铜矿等。脉石矿物为石英、长石、少量云母、方解石、阳起石、绿泥石。金属矿物中以褐铁矿为主,呈不规则粒状星散分布,局部可见细脉、团块。其他金属矿物多呈自形、他形不规则状散布在矿石中,其中黄铁矿、黄钾铁钒、褐铁矿有时相互交代。金属矿物相对含量见表 2 - 2 - 4。

表 2 - 2 - 4　花岗斑岩型矿石金属矿物含量一览表

矿物种类	褐铁矿	黄钾铁钒	黄铁矿	磁铁矿	毒砂、铜矿物
相对含量(%)	68.96	18.68	8.24	3.17	0.93
合　　计(%)	100				

矿石通过微观观察研究,金多以自然金形式产出。金粒级微小是该矿石的主要特征之一。一般金粒在 1～10μm 间,占总量的 61.04%。10～33μm 间的占 34.27%,小于 1μm 的金粒含量不足 5%。

矿石中金粒形态以近等轴状的角砾状、浑圆状和尖角粒状为主,占 92.43%;长角粒状、叶片状占 7.57%。

矿石中金粒的赋存状态主要与脉石及褐铁矿关系密切,根据嵌布关系不同分为裂隙金、粒间金和包裹金。以前两者为主,具体含量见表 2 - 2 - 5。

矿石光谱分析结果见表 2 - 2 - 6。

矿石多元素分析结果见表 2 - 2 - 7。

表 2 - 2 - 5　金粒赋存状态一览表

赋存状态		相对含量	
裂隙金	褐铁矿	17.47	17.47
粒间金	褐铁矿与脉石	32.05	65.96
	脉石	33.91	
包裹金	褐铁矿	7.64	16.57
	脉石	8.93	
合　计	100		

表 2 - 2 - 6　矿石光谱分析结果

元素	As	Pb	Ni	Cu	Zn	Sn	Sb	Co	Be	Pt	Au	Mn	W	Ca
含量(%)	0.02	0.003	0.001	0.02	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000
元素	Cr	Bi	V	Mo	Ag	Ti	Pd	Kn	Ba	Ca	Si	Fe	Mg	Al
含量(%)	0.003	0.000	0.003	0.000	0.000	0.05	0.000	0.000	0.000	5	1	1	3	3

表 2 - 2 - 7　矿石多元素分析结果

元素	Au×10⁻⁶	Ag×10⁻⁶	Cu	Pb	Zn	S	As	TFe	Na	Mg	Ti
含量 (%)	5. 30	3. 54	0. 03	0. 08	0. 03	0. 24	0. 22	1. 18	0. 039	2. 05	0. 16
元素	Mn	Sb	Bi	Cr	Ni	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	CaO	C	烧失量
含量(%)	0. 055	0. 13	0. 01	0. 000	0. 006	66. 54	12. 34	3. 50	0. 93	0. 59	4. 01

从以上表中可看出,矿石化学成分以 SiO_2、Al_2O_3、K_2O、TFe 及 CaO 为主,矿石光谱分析元素以 Si、Fe 为主,Mg、Al 次之,矿石含砷、碳、硫。

矿石具自形—半自形粒状结构、显微细粒结构、包含结构、交代假象结构—交代残留结构、压碎结构。矿石构造为不均匀浸染状构造。具体表现为:

自形—半自形粒状结构:黄铁矿呈自形、半自形晶粒,以单晶或团块状存在矿石中。

显微细粒结构:自然金晶粒极细,不均匀浸染于矿石中。

包含结构:自然金呈细粒被包裹在长石,石英、褐铁矿中。

交代假象—残留结构:褐铁矿沿黄铁矿边缘或裂纹交代呈网络状,黄铁矿少量残留或被褐铁矿代替保留假象。

压碎结构:黄铁矿晶粒产生裂纹。

(2)硅化石英砂岩型。通过光电、薄片观察及重砂定量分析,已查明矿石中含有 20 多种矿物。金属矿物为硫化物毒砂、黄铁矿,氧化物褐铁矿、磁铁矿、黄钾铁钒、臭葱石及自然金。脉石矿物为石英、云母、石墨等。金属矿物相对含量见表 2 - 2 - 8。

褐铁矿:金的载体之一。在矿石中呈不规则粒状星散分布,少数呈细脉状,局部可见团块,有时与毒砂、黄铁矿、磁铁矿构成交代结构。黄铁矿氧化的假象也占其中一部分。

表 2 - 2 - 8　金属矿物相对含量

矿物名称	褐铁矿	毒砂	黄铁矿	黄钾铁钒	磁铁矿	臭葱石
相对含量	45. 17	21. 18	14. 19	6. 61	3. 22	9. 63
合计(%)	100					

毒砂:与砷黄铁矿一起嵌布于脉石矿物中,多呈半自形结构,也可与黄铁矿、褐铁矿、臭葱石呈交代结构,矿石中分布极不均匀。在表生作用下,部分被臭葱石、褐铁矿代替,残留或保留假象。

黄铁矿:重要载金矿物。呈不规则粒状分布,局部见团块、细脉,特别是脉石矿物的裂隙、颗粒、孔隙间分布较多。有时与毒砂、褐铁矿构成交代结构。表生作用下氧化不均匀。

臭葱石:为毒砂氧化产物,也是金的载体。

脉石矿物主要为石英,矿石中占 94. 12%,同时也是金的载体之一。自然金沿其裂纹充填,或边部被包围。

通过对矿石的微观研究,发现相当一部分金呈自然金形式产出,金粒极细小,多数小于 0. 053mm,占 94. 14%。

矿石中金粒形态以角粒状、长角粒状为主,占 64. 95%;次为枝叉状、针状,占 26. 22%;少量板状、片状,占 8. 83%。

矿石中金粒嵌布状态与脉石及黄铁矿、毒砂关系密切,次与褐铁矿有关。其赋存状态主要为碎屑(石英)粒间及压裂纹中。可分为包裹金、粒间金、裂隙金(见表 2 - 2 - 9)。

矿石光谱分析结果见表 2 - 2 - 10。

矿石多元素分析结果见表 2 - 2 - 11。

表 2 - 2 - 9　自然金嵌存关系相对含量结果

嵌存关系	粒间金		包　裹　金		裂系金	
	脉石	褐铁矿	脉石	黄铁矿毒砂	褐铁矿	脉石
相对关系	32.41	8.44	18.46	30.60	5.87	4.22
合计(%)	100					

表 2 - 2 - 10　矿石光谱分析结果

元素	Be	As	Ge	Pt	Au	Mn	Pb	Sn	Sb	W	Ga	Cr	Ni
含量(%)	0.00	>0.1	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
元素	Bi	V	Me	Cu	Ag	Zn	Rh	Pd	Co	Fe	Al	Ca	Si
含量(%)	0.001	0.003	0.00	0.004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	大量	微量	痕量	大量

表 2 - 2 - 11　矿石多元素分析结果

元素	Au×10^{-6}	Ag×10^{-6}	Cu	Pb	Zn	S	As	V	C	TFe	Na	MgO
含量(%)	7.20	3.14	0.03	0.04	0.02	1.33	1.68		0.88	8.03	0.26	0.87
元素	Ti	Mn	Sb	Bi	Cr	Ni	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	CaO	烧失量	
含量(%)	0.13	0.04	0.05	0.00	0.005	0.001	78.77	2.38	1.09	0.37	6.334	

从分析表中可看出,矿石中 Fe、C、As 含量较大,其中铁质中褐铁矿、菱铁矿、黄铁矿占全铁 97%以上。碳质主要为无机炭和有机炭,占炭质的 77.78%,游离炭占 22.22%。砷矿物以毒砂、臭葱石为主,占砷总量的 76.19%,氧化砷占 23.81%。

矿石具自形晶结构,半自形—他形结构、显微细粒结构、包含结构、压碎结构及交代假象结构。矿石构造为浸染状构造,脉状—网脉状构造及块状构造。

(3)褐铁矿化砂板岩破碎带型矿石。该类矿石金属矿物以金、褐铁矿、黄铁矿为主,次为磁铁矿、毒砂等,偶见蓝铜矿、孔雀石、闪锌矿、辉锑矿、软锰矿等。脉石矿物以长石、石英、云母类为主,次为重晶石,偶见白云石、磷灰石、绿帘石、绿泥石。根据光谱分析,矿石化学成分以 Si、Ca、Al、Fe、Mg、K 为主,矿石为显微细粒结构,不均匀浸染状构造。

该类矿石品位低(一般 1×10^{-6} ～2×10^{-6} - 6×10^{-6} 左右),质量亦较差。

综观以上几类矿石,由于氧化程度较大(普遍氧化深度达 100m 以上),工业开发利用状况也较好。通过选矿试验证明,选用氧化焙烧—全泥氰化法,金浸出率可达 80%以上,但矿石分析中,矿石含砷普遍达 0.7%～2%,碳(有机炭)达 0.29%～0.38%,硫达 0.78%,故对开发利用有一定影响。

(四)蚀变类型及其分带

矿田内见到的蚀变有 10 余种,具有普遍性、代表性与金矿化关系较密切的有褐铁矿化、硅

化、碳酸盐化、绢云母化、雌(雄)黄化、泥化等。

(1)褐铁矿化。在矿田内分布较广泛,具体表现为矿石中大量褐铁矿物的形成,交代黄铁矿晶粒而残留的假象及大量矿石的铁染现象。该蚀变常与绢云母化、硅化相伴发育,一般多明显出现在矿床氧化带中,矿田内在各矿床中、各种类型的矿石中都发育。

(2)硅化。矿田内各矿床最普遍、最广泛的热液蚀变。主要表现为各热液活动阶段 SiO_2 的增加,岩石变坚硬,SiO_2 分解游离出的石英脉发育,而且矿石中部分长石被石英交代。矿田内硅化有三期:早期与构造期的热液有关,形成了渗透交代长石等矿物,使矿石中硅质含量增高;中期在构造的间歇期以渗滤热液活动为主,在早期石英外缘形成了次生石英岩;晚期在再次构造中形成了沿裂隙充填的石英脉,部分石英脉交代了早期方解石脉。

硅化范围的大小,基本上决定了金矿化范围的大小。

(3)碳酸盐化。最普遍的蚀变,以广泛发育的方解石、铁白云石为特征,该矿田内碳酸盐化普遍发育,并与硅化、绢云母化相伴,但矿田内发育的方解石脉多次重结晶仍基本没有矿化现象,根据被石英脉穿插的现象可表明,该蚀变至少在硅化早期或同期,因而碳酸盐化与金矿化关系不大。

(4)绢云母化。矿田内蚀变范围较大的一种蚀变。至少有两期:第一期表现在构造蚀变带内,外侧普遍发育,岩脉、碎屑岩中长石大部分绢云母化;第二期表现为由于热液活动,绢云母呈细脉充填于其他矿物颗粒裂隙间。早期蚀变与金矿化有关系。

(5)雌(雄)黄化。矿田内基本较普遍。以局部的雄黄、雌黄矿物发育为特征,同时砷矿物毒砂、臭葱石广泛发育也证明该蚀变的发育。雌(雄)黄一般与金矿(化)体相伴产出,说明该蚀变时间与主成矿期一致。

(6)泥化。主要在后斗湾矿段花岗斑岩型矿床中发育。其特征是以脉体内、外蚀变带受剪切构造作用强烈的区段形成高岭土等粘土矿物为特征。一般与硅化、绢云母化、褐铁矿化相伴发育。

矿田内蚀变呈线状或带状沿含矿构造带分布,金矿体产出部位主要蚀变强烈叠加。

蚀变具水平分带,由矿体至围岩一般为硅化(石英粒、角砾、断层泥)→硫化物带(褐铁矿化、毒砂、黄铁矿、碳酸盐化及少量硅化)→绢云母化(碳酸盐化、少量硅化)→围岩(正常花岗斑岩或碎屑岩)。金主要富集于硅化带和硫化物带中,这一现象完全反映出构造、热液活动由中心向两侧逐渐变弱的情况。

三、矿田地球化学

矿田所处区域内金元素为强分异聚集元素,它们的含量随地质背景不同而变化,高背景带出现强异常,中低背景出现弱小异常,异常带或地球化学带与一定的矿带(床)相对应,几乎矿田内所有矿体都有异常显示。

矿田内泥盆系地层及中三叠统地层中形成高背景强异常,特别是以松柏—黎坪断裂带两侧金异常最为集中,该带异常以 Au、Hg、As、Sb 元素组合为主,显示了中—低温热液条件所具有的独特元素组合,表明该带具良好的地球化学条件。

(一)次生晕地球化学特征

矿田及外围 1∶200 000 化探工作查明区内金丰度值接近或高于黎彤值。尤以 Au、Hg 异常范围大,强度高,浓集中心明显,以 Hg 异常包络 Au、Sb、As 异常为特点,以 Au 为主的综合

异常集中分布于松柏—黎坪断裂带两侧,以矿田周围最为集中显示。

1∶50 000 化探工作成果以新关矿区为中心,关牛湾矿区以陶家湾、郭家坡为中心。异常仍为 Au、Hg、As、Sb 元素组合,异常与区域异常完全吻合,形态从属区域构造带。新关矿区内金异常值在 100×10^{-9}～200×10^{-9} 间,最高值达 500×10^{-9},异常面积 4.0km^2。关牛湾矿区内陶家湾金异常面积则达 11km^2,含量一般在 10×10^{-9}～100×10^{-9} 间。

1∶10 000 化探工作进一步对金异常浓缩剖析,其中新关矿区圈出金异常 5 个(见图 2-2-9),其中 Au_2、Au_3 金异常浓集中心清晰,分带明显,Au_2 峰值达 825×10^{-9},经工程验证揭露出后斗湾矿体,Au_3 异常也揭露出杏树坪金矿体,主要异常特征见表 2-2-12。

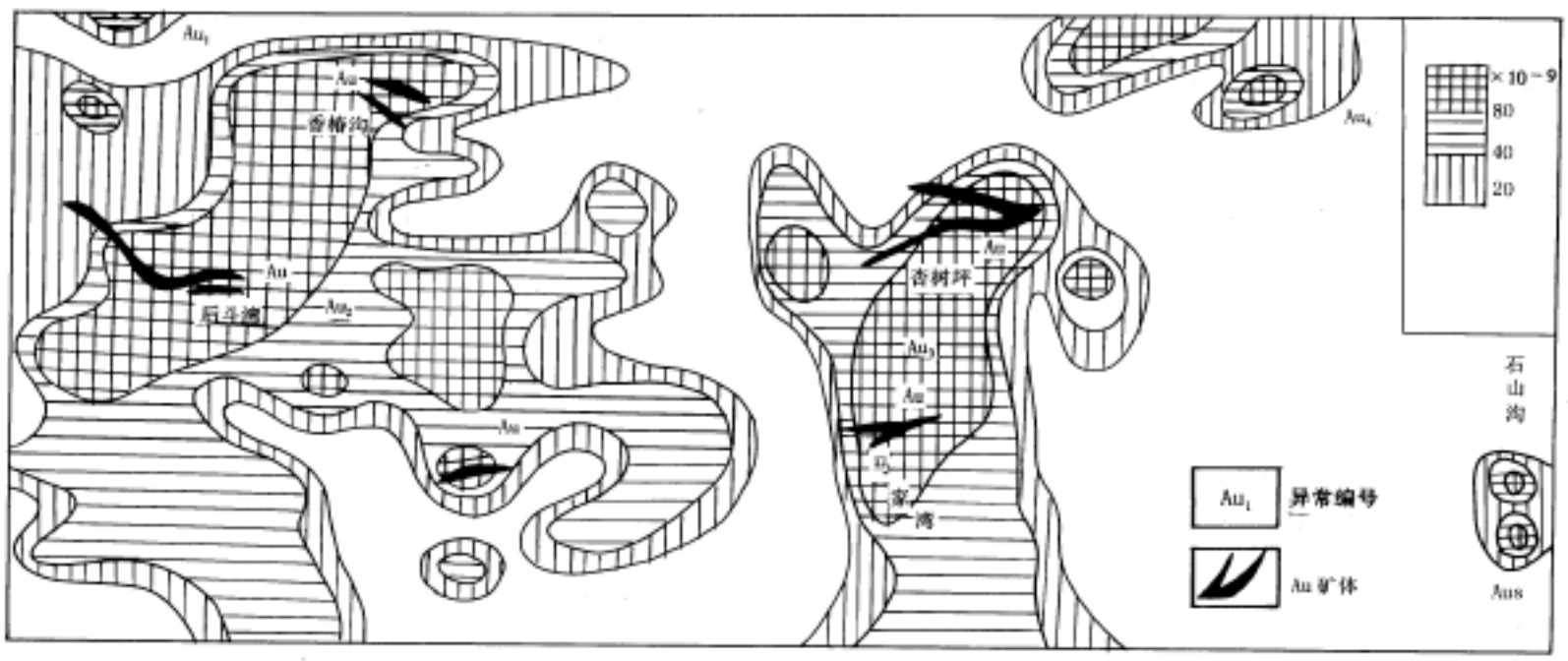


图 2-2-9　新关矿区土壤测量金异常与矿化分布关系图(10^{-9})

表 2-2-12　新关矿区异常特征表

异常编号	面　积	异　常　中　心	峰　值	衬　度	规　模
Au_2	1.01km^2	麻克里北、银硐崖、后斗湾	825×10^{-9}	5.053	5.104
Au_3	0.27km^2	马家湾、杏树坪	748×10^{-9}	7.15	1.93
Au_4	0.04km^2	杏树坪北(未圈闭)	$>80\times10^{-9}$		0.203

关牛湾矿区经 1∶10 000 化探工作,共圈出金异常 23 个,金异常普遍与 Sb、As、Hg 异常套合较好,但矿区内 Sb、Hg、As 等前缘元素异常普遍较弱,说明矿体剥蚀程度较大。金异常强度大,其中 16 号金异常面积 0.016km^2,峰值达 4800×10^{-9}。位于陶家湾的 4 号金异常面积近 1.0km^2,有 4 个峰值分别为 395×10^{-9}、145×10^{-9}、100×10^{-9}、1420×10^{-9} 的浓集中心,经对峰值为 395×10^{-9} 的浓集中心工程验证,发现了矿体,其他如 Au_{15}、Au_{16}、Au_{17}、Au_{18}、Au_{19} 等异常也都发现金矿体。矿区内异常与金矿体分布见图 2-2-10。

(二)原生晕地球化学特征

矿田内通过 1∶2000 岩石测量,各元素具有离差大,强浓集和偏度系数均大于 10 的特点,

显示了强烈的正偏分布形式(表 2 - 2 - 13),推断岩性对成矿有利。

但区内岩性在不同部位金元素含量差异较大(见表 2 - 2 - 14),表明岩性仅作为对成矿有影响的一个因素。

从以上表中可看出各种岩性金变异系数变化范围大。后斗湾、马家湾含矿花岗斑岩,杏树坪硅化石英砂岩中金变异系数均大于 1,说明其极强的分异性。

(三)微量元素地球化学

矿田内元素化学特征中,常量元素有其特殊特征,主要表现在:

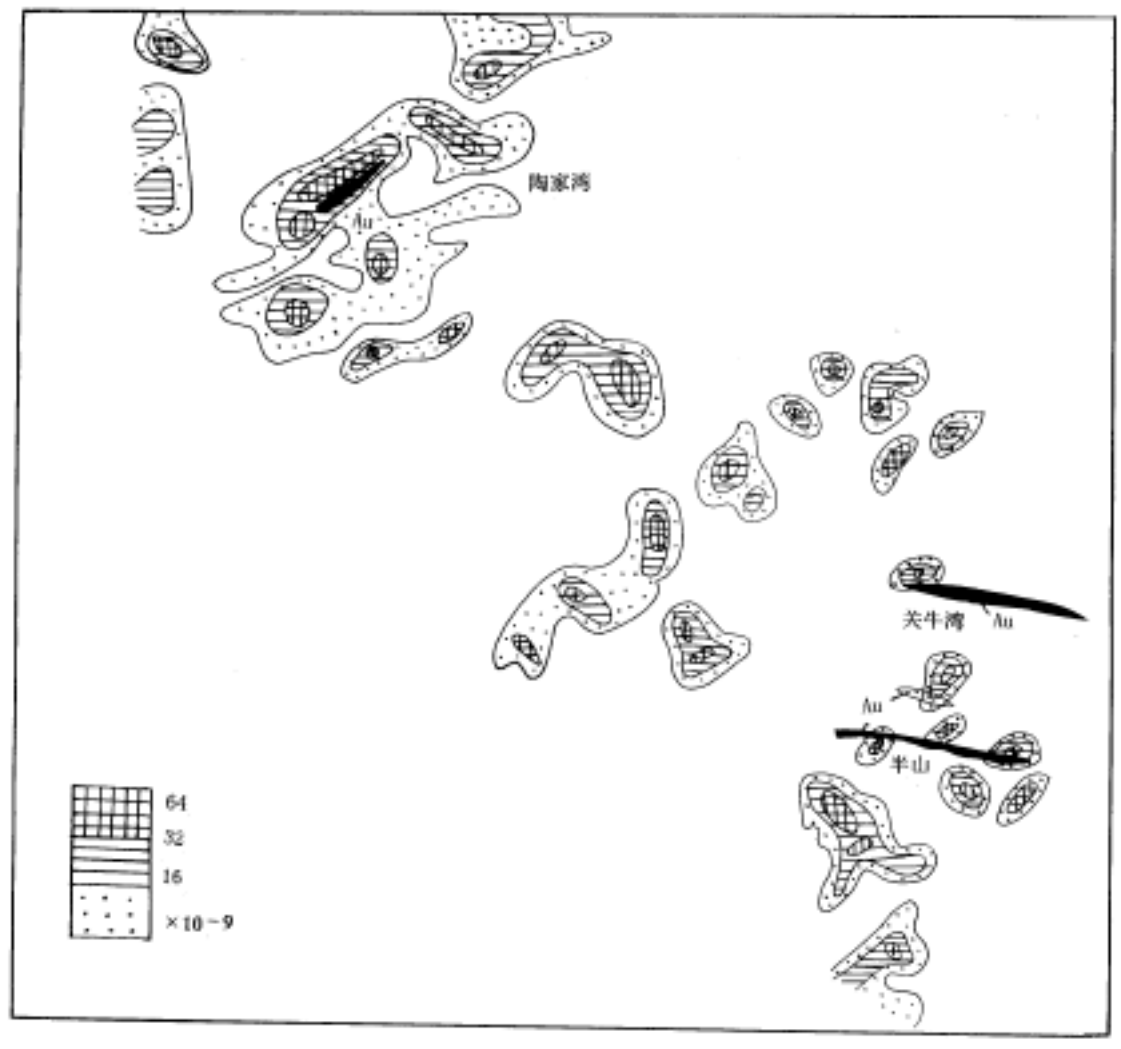


图 2 - 2 - 10　关牛湾矿区土壤测量金异常与矿体分布关系图

表 2 - 2 - 13　岩石测量元素分布特征表

元素	参数						
	背景值 C	平均值 X	离差 S	变异系数 Cv	浓集克拉克值 KK	偏度 R1	偏度系数 R1/ R(1)
Au	2.5881	33.9576	106.76	3.14	10.29	4.88	18.24
Hg	1959.08	2773.901	8457.10	3.05	26.27	9.65	38.64
As	36.39	667.9206	1811.623	2.67	40.98	3.78	13.69
Sb	29.53	39.9589	71.03	1.87	19.03	7.85	29.91

说明:参数 C、X、S 的单位均为 $\times 10^{-9}$。

表 2 - 2 - 14　新关矿区不同岩性含金量一览表($\times 10^{-9}$)

岩性	参数			
	最大值($\times 10^{-9}$)	最小值($\times 10^{-9}$)	平均值 X($\times 10^{-9}$)	变异系数 Cv
后斗湾含矿花岗斑岩	7349	30	1390.9	1.34
后斗湾不含矿花岗斑岩	6	2	2.38	0.47
马家湾花岗斑岩	1780	80	416.8	1.04
杏树坪硅化石英砂岩	14 600	30	1906.8	1.20
后斗湾硅化石英砂岩	2	2	2	0
后斗湾灰岩	13	2	2.54	0.86

(1)SiO_2 含量较地壳值增高,主要原因为构造带普遍硅化,引起地层中 SiO_2 普遍提高。

(2)由于蚀变原因,引起地层中 Fe、Ca 都有明显提高。

其他常量元素基本保持了地壳丰度值。

矿田微量元素也显示出了不同的地球化学特征,成矿主元素 Au 为强富集特征。Cr、Ni、Co、W、Pb、Cu、Zn 在矿田内含量与区域内丰度接近,反映了为区域地层及岩浆岩基本成分所在。而 As、Sb、Hg 元素的强异常特征,不仅反映它们是成矿的伴生指示元素,而且也是断裂活动的标志之一。

该区地层中微量元素明显继承了基底碧口群地层微量元素的特性,含量普遍偏高,其中亲铁元素 Ti、Ni、Co、Mn 及亲铜元素 Cu、Pb、Zn、Au、Ag、As、Sb、Hg 尤为明显,反映了矿田及邻区地层沉积的多源性及复杂性。微量元素在各蚀变带中含量基本稳定,并对矿化具有指示作用,根据矿田内不同高程矿段中微量元素分布所计算的面金属量值见表 2 - 2 - 15 所示,计算的变异性指数值如表 2 - 2 - 16。

表 2 - 2 - 15　石鸡坝金矿诸矿段金属量值表

矿段	元素系数														Σ
	Au	Hg	As	Sb	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Mo	Mn	Li	W	
	1	1/ 10	1/ 10	1	10	100	10	100	100	10	1000	10	10	1	
Ⅰ	5052	11 636	5528	364	67 .4	28 .75	78 .96	19 .56	20 .28	22 .68	2 .37	247	164	408	22 569
Ⅱ	3812	4995	19 074	135	64 .89	30 .48	125	24 .24	27 .47	174	6 .94	417	110	1424	31 852
Ⅲ	1964	2671	10 553	7988	35 .82	60 .84	123	33	59 .4	19 .26	7 .61	859	228	36 .45	46 890
Ⅳ	1752	30 .37	2675	9 .3	142	35 .42	184	62 .54	89 .1	454	6 .68	695	106	4475	46 501

表中:Ⅰ—后斗湾;Ⅱ—杏树坪;Ⅲ—石山沟;Ⅳ—陶家湾

表 2 - 2 - 16　石鸡坝金矿变异性指数值及序列表

矿段编号	变异指数梯度差	相对序列初排
Ⅰ	GHg(870.79)　Gli(6.86)	Hg - Au - Li
Ⅱ	△Gmo(- 0.817)　△GZn(- 1.387)　△Gas(- 10.88)	As - Zn - Mo
Ⅲ	△GMn(1.819)　△GPB(0.633)　△DSb(- 800.85)	Sb - Pb - Mn
Ⅳ	GCr(5.117)　Gcu(6.406)　GW(19.38)　Gni(20.07)　GCo(34.624)	Cr - Cu - W - Ni - Co
分带序列	(上)Hg - Au - Li - As - Zn - Mo - Sb - Pb - Mn - Cr - Cu - W - Ni - Co(下)	

从表中可看出其矿体各部位元素组合特征:前缘元素为 Hg、Li、As、Au(Sb),尾晕元素为 Mo、Mn、W、Cr、Co、Ni(Au),而矿体中部则为 As、Au、Cu、Pb、Zn 元素组合。

四、成矿时代与矿床成因

(一)成矿时代与期次

从矿田内各矿床含矿地层、岩浆岩等成矿母源形成的时代及构造形成的时代来看,矿田内各矿床形成的时代均在燕山期或更晚,其依据主要为:

(1)后斗湾矿段发育于花岗斑岩脉内,而花岗斑岩脉体本身为印支晚期—燕山期形成的,而且经受了后期多次构造运动的改造和热液蚀变才在接触带形成了金矿体。

(2)从区内构造期次分析,海西期形成的东西向断裂 F_5 被印支期形成的 F_4(松柏—黎坪断裂带)和复杂褶皱带(南坪—安昌河褶皱)进行了剧烈改造,在此之后的印支晚期—燕山期构造运动才形成了区域内三叠系、泥盆系地层中的褶皱构造和断裂(包括蚀变带),特别是此时才在脉岩及石英砂岩等脆性岩层中形成了构造裂隙带,成为有利的储矿构造空间,并形成了东西向展布,对区内矿体具明显控制作用的安昌河—观音坝断裂,由于沿储矿构造及后期东西向断裂带的成矿热液作用而形成金矿体。

矿床成矿期次根据各矿体脉体相互穿插关系和矿物颗粒接触边界等微观特征及变质作用,分为构造热液期和表生期。

构造热液期又分为三个阶段:

绢云母—黄铁矿—石英阶段:该阶段热液活动范围较大,在构造带及蚀变带内外侧绢云母化普遍发育,内部砂岩、脉岩中长石大部分绢云母化,构造裂隙中黄铁矿细脉发育,岩层初步发生硅化,石英含量明显增加,存在局部石英交代长石现象。

黄铁矿—自然金—方解石—石英阶段:这一时期在前一期热液活动的基础上,方解石局部交代早期石英,早期石英晶粒外形成了次生石英增生边,并在微裂隙中形成了细粒石英脉含金(裂隙金),此阶段形成的硫化物—黄铁矿则普遍含金,大部分黄铁矿被包裹在该阶段形成的次生石英岩中。该阶段是主成矿期。

方解石—绢云母—石英阶段:该阶段热液活动绢云母呈细脉充填于矿物颗粒裂隙中,方解石发生重结晶作用,晶粒明显增大,少数方解石呈脉状充填在其他晶粒之间,方解石脉中被石英脉穿插,局部方解石脉被石英交代,热液活动使金再次活化,导致金矿化复合迭加,金进一步富集。总之,因为热液活动的多期性,形成了硫化物、硅化蚀变、碳酸盐脉相互穿插和交代迭加的成矿特征。

表生期主要以褐铁矿—粘土—自然金为主。该阶段由于发生剥蚀作用,矿化体大部分处于氧化带中,浅部和地表遭受不同程度氧化和地表水淋滤作用,形成了褐铁矿、赤铁矿、粘土等矿物,从而使金也发生聚合、富集,形成少量可见金。

(二)控矿因素分析

矿田内控制矿体形成的因素主要为地层、构造、岩浆岩。

1. 地层岩性控矿作用

矿田内矿化富集受一定层位控性,主要为下泥盆统和中三叠统碎屑岩这样一套浊积岩建造。下泥盆统、中三叠统地层均为直接或间接地剥蚀的基底碧口群的沉积物,碧口群金丰度平均达 8.87×10^{-9},而区内泥盆系金丰度为 3.7×10^{-9}～4.5×10^{-9},中三叠统地层金丰度为 2.3×10^{-9},与目前采用的地壳和沉积岩金丰度值持平或略高,但远远高于中国大陆壳金丰度值 0.6×10^{-9}～0.7×10^{-9},且含矿地层多为碎屑岩,疏松多孔、有良好的热液运行通道,易形

成金的富集。再者该地层中含有机炭较高,对金有强烈的吸附作用,不但吸附本地层中金,而且也不断从基底碧口群中吸附金。在物理、化学条件改变时,有机炭进入热液中同时吸附热液中的金成为活性金或释放金,成为真正的矿源,然后矿源选择岩性,使金在地层中形成了第一次富集,从而使该地层成为矿源层。

2. 构造控矿因素

构造对成矿起明显的控制作用,尤其是断裂构造。该区由于多次断裂活动,为矿液提供了运移通道和储矿空间,从而使地层岩石化学组分发生分异,一方面在挤压应力作用下,使活性组分随热液迁移,惰性组分保留使原岩成分发生改变;另一方面,由于断裂构造作用,特别是早期形成的相对脆性岩石,如砂岩、砂板岩、花岗斑岩脉等经断裂破碎后形成具有高渗透质的薄弱带,并通过断裂构造与具导矿、运矿特征的前期断裂相连通构成储矿空间(化学活性较小的灰岩虽易碎裂,但易重结晶形成结晶灰岩,故不易形成容矿空间)。当已经溶解了地层中金等成矿元素的热液通过断裂等构造通道运移至破碎带中的条件有利部位,因其应力骤变,而使矿质沉淀(即物理、化学条件适宜于成矿),多次含矿热液的作用和迭加,最终在局部有利的破碎带中形成了矿体及其伴生的蚀变,在成矿过程中,其热源以地热和部分岩浆热能和构造能为主;热液来源以地层中成岩热液、变质热液、天水热液和部分岩浆期后热液为主要来源,驱动力则主要为构造应力以及断裂构造形成过程中形成的应力差和地压差为主。

3. 岩浆岩控制因素

矿体的形成,热液是其重要条件,区内岩浆活动以印支期—燕山期为主,并有大量晚期(燕山期)岩脉侵位于构造破碎带中,岩浆从较深部侵位时,一方面提供大量的热源,熔离活化了围岩的成矿物质,加上本身携带的成矿物质,使岩脉构成局部矿源体。同时部分早期成岩的岩脉(如花岗斑岩脉)由于受成岩后多次脆性形变作用,使成矿物质(金)在内接触带形成的构造破碎带内产生富集,形成金矿体(如后斗湾)。

(三)成矿模式

根据矿田所处的地质构造背景,矿床形成地质条件和地球化学特征,建立本矿田成矿模式(见表 2 - 2 - 17)。

根据各矿床地质特征及地化特征,将矿床形成过程大致分为四个阶段:

(1)海西晚期—印支早期。本区地壳抬升,古陆基层遭受剥蚀,基底(碧口群)被剥蚀的陆源物质沉积时,Au、Hg、As 等元素形成初始迁移,在特定层位(D_1、T_2 地层)被有机质吸附聚集构成矿源层,形成一套含 Au、Hg、As、Sb 等元素高出地壳克拉克值的碎屑岩、粘土岩为矿源层的初始期。由于区内褶皱、松柏—黎坪断裂形成,同时或稍后岩浆岩脉侵位,产生了区域变质作用,使金元素首次在矿源层中的构造部位和蚀变岩带中富集。

(2)燕山(或稍晚)主成矿期。在印支期构造运动延续性的基础上,相继沿松柏—黎坪断裂两侧形成了一组北西—东西向次级构造,构造带蚀变更强,后期的二长斑岩等侵位及热液活动,使构造发育部位(包括蚀变岩石带)热对流增强,再加上地表水沿裂隙渗入,使热流形成了循环,热液不断活化,溶滤围岩中有益组分,当进入到构造有利部位时因温度、压力产生剧变从而使矿质沉淀并产生蚀变(见图 2 - 2 - 11)。

(3)燕山晚期及以后构造复合迭加成矿。主成矿期后,由于构造、热液活动的延续,围岩及

表 2 - 2 - 17

	海西 - 印支期 金浓集期	燕山主成矿期	燕山晚期以后构造 运动金复合迭加	表生期
成矿机制	区域变质、岩浆活动,褶皱、断裂作用,金元素第一次活化迁移、浓集形成矿源层	岩浆作用、热液活动构造运动,含金中—低温热液成矿作用	多次构造、热液活动,金复合迭加成矿	金氧化作用
交代作用	区域变质作用	绢云母化、碳酸盐化(一) 硅化 黄铁矿、毒砂化 雌(雄)黄化	碳酸盐化(二)	黄铁矿化 粘土化

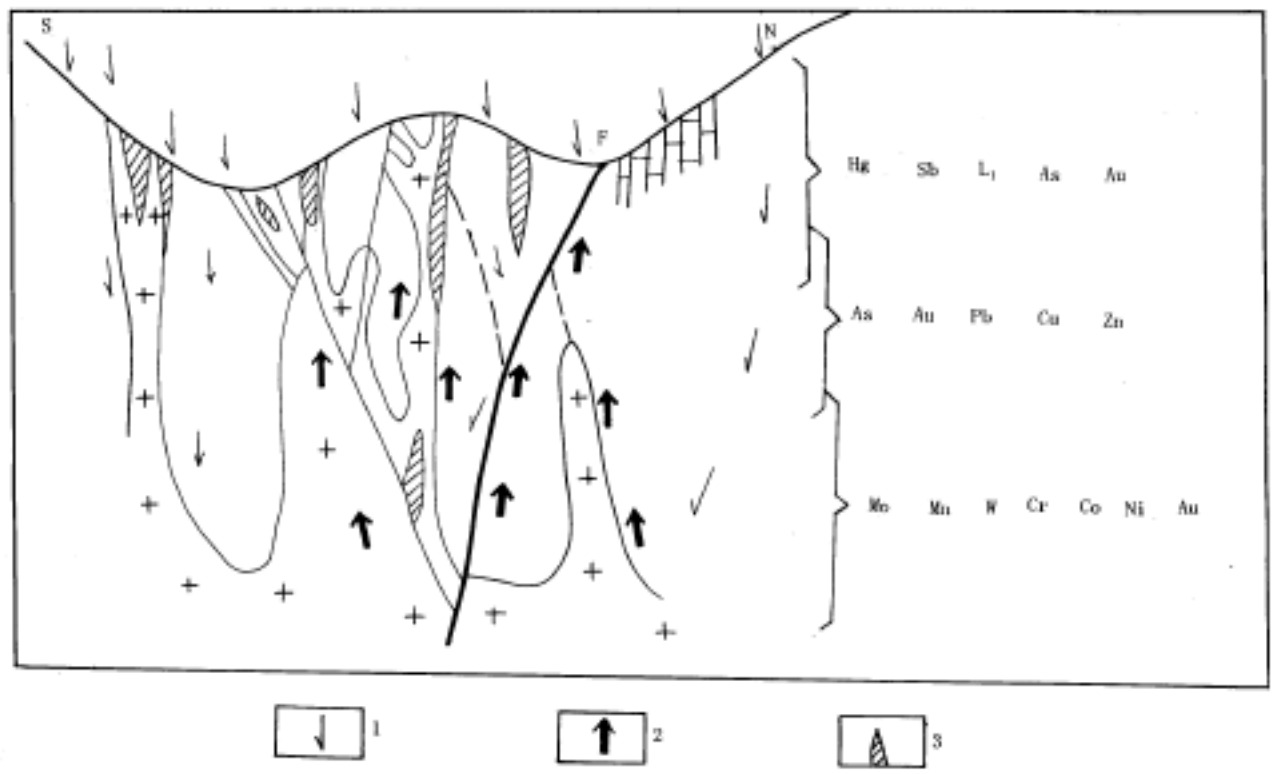


图 2 - 2 - 11　石鸡坝金矿田矿床地质地化模式图

1—天水渗滤循环方向;2—热液上浸方向;3—金矿体赋存部位

矿(化)体蚀变不断加强,所产生的热源使金矿化进一步活化,部分地段进一步富集,即金矿化的复合迭加。

(4)表生期。喜山期由于受新构造运动的进一步作用,地壳抬升,大部分矿体出露地表,使矿体地表遭受不同程度氧化,形成褐铁矿、高岭土等矿物,金也遭受淋滤,聚合形成再次富集。

第三节　鹿儿坝金矿床

鹿儿坝金矿床,是 1988 年利用化探发现的一处微细粒浸染型金矿,通过近几年来的地质勘查工作,矿床规模已达大型。矿区矿化带东西长 5km,南北宽 1.5km。由北向南分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三个矿带,从西向东划分为鹿儿坝和簸箕沟两个矿段。

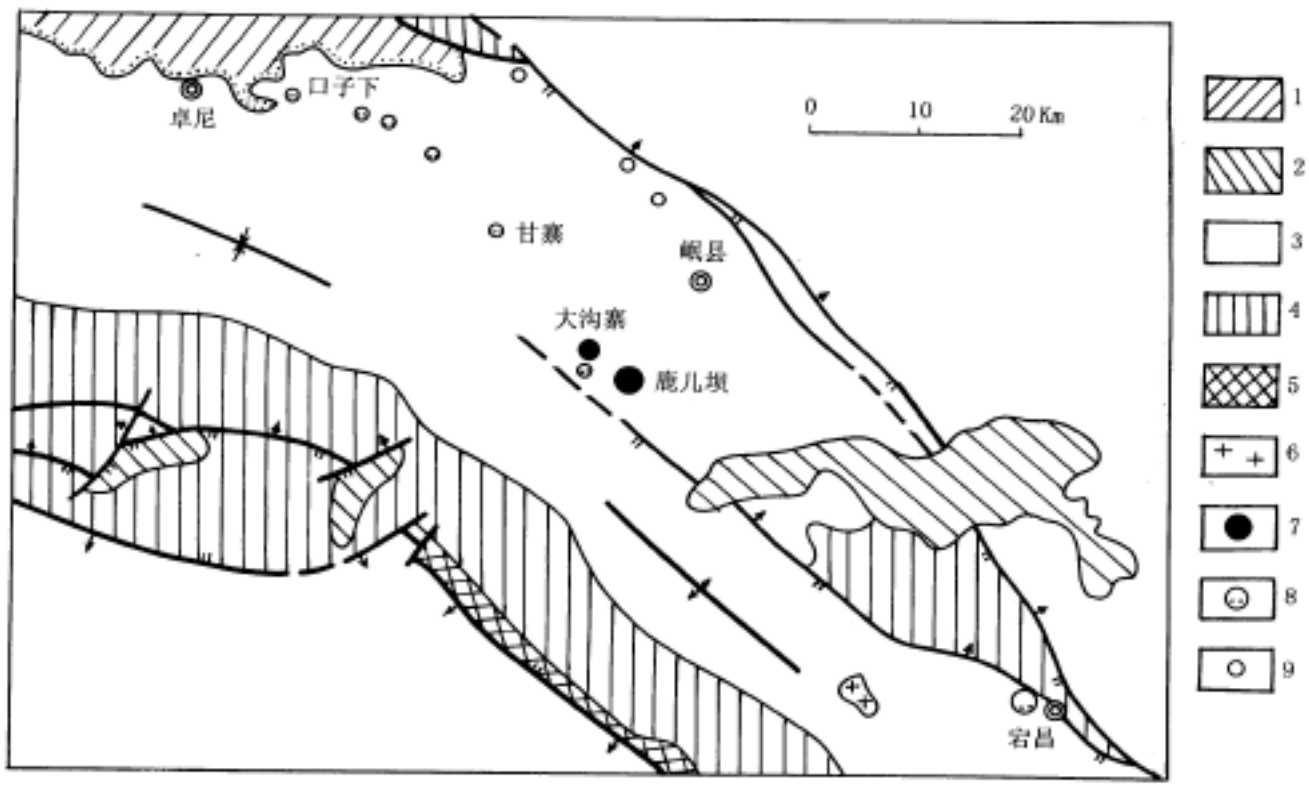


图 2 - 3 - 1　区域地质矿产图

1—第三系碎屑岩、泥岩; 2—白垩系砂砾岩;3—中三叠统砂岩、板岩 4—下三叠统板岩、砂岩;5—二叠系;6—印支期中酸性岩体;7—金矿床(点);8—锑矿床(点);9—汞矿点

一、区域地质背景

矿床位于西秦岭南带,洮河复式向斜之北翼(图 2—3—1)。

1 .构造

本区是自加里东运动期以来长期构造活动的东西向海槽,接受了一套浅海相碎屑沉积。三叠纪末的印支运动使本区地槽回返,地层发生了强烈褶皱,形成了巨大的北西西向的洮河复式向斜,构成了区内的主体构造。

区域内断裂构造不发育,主要为北西向压性断裂,次级构造为近东西向的压扭性断裂,是鹿儿坝矿区的主要含矿断裂构造。

燕山运动和喜山运动时期,使原地层褶皱进一步加剧,断裂构造复活,并产生了一组北东向断裂构造,切割了早期构造。同时在局部地区形成了内陆断陷盆地,接受了新的沉积物。

2 .地层

本区出露地层有二叠系、中下三叠统、下白垩统及第三系上新统,而以中下三叠统分布最广。其中二叠系和中下三叠统为一套浅海相沉积。属浅变质碎屑岩、碳酸盐岩建造;下白垩统及第三系上新统为红色河湖相砂岩建造。

3 .岩浆岩

区域岩浆岩不发育,仅为印支期石英闪长岩、花岗闪长斑岩等。岩体呈小岩株状侵入中三叠统,其分布上明显受断裂构造控制。

4 .区域矿产

区域矿产主要为金、汞、锑。矿床(点)均赋存于中三叠统,构成了一条以金为主的北西向中低温热液成矿带,显示了良好的成矿前景。

二、矿床地质特征

(一)控矿条件

鹿儿坝金矿的形成,除具明显的构造控制外,地层和岩性的选择性也很强,就目前所知,金矿(化)体均赋存于中三叠统第三岩组砂岩及板岩中。

1. 控矿构造

矿区构造和区域构造特征基本一致。矿区位于洮河复背斜北翼,总体地层为走向北西、倾向南西的单斜构造。在此基础上发育了次一级褶皱及断裂构造。

1)褶皱构造

褶皱构造尤以板岩及薄层状岩石中最为发育,其形态复杂多样,属一系列平行分布的小型紧闭褶曲和挠曲。褶皱轴面间距大到几十米至百余米,小到数米至几十厘米。轴向延伸几十米至几百米,与地层走向一致,为北西—北北西向。褶曲轴向北西倾伏,倾伏角 20°～30°。从而反映出该区受到强烈的北东—南西向构造挤压作用。

2)断裂构造

按规模可分为区域性构造和矿区构造。区域性断裂构造分布于矿区南沿,走向北西,倾向北东,属压性逆断层,是矿区含矿热液的输异构造。矿区构造按断裂走向进一步分为近东西向、北西向和北北东向三组。

近东西向构造在该区最发育,不但数量多,分布广,而且规模也较大。该组断裂走向 270°～280°,多数南倾,倾角 70°～80°。断面一般较平直,镜面、擦痕、阶步明显,属左型扭动的压扭性断裂。该组断裂往往结集成束,且常具分枝复合现象,构成了矿区的三条宽 100～300m,长度大于 4. 5km 的断裂带。沿断裂常形成 1～10m 的断裂破碎带,已知的几十个金矿(化)体均赋存于该组断裂破碎带中,是矿区最主要的控矿构造(图 2 - 3 - 2)。

北西向构造,该组构造走向 300°～320°,倾向北东或直立,主要发育于近东西向断裂构造的旁侧,规模一般不大,长度十几米至几十米,并形成宽约 1～2m 的蚀变破碎带,属近东西向断裂构造的次级派生断裂。在两组构造的交汇部位,往往是矿体膨大富集部位。

北北东向断裂构造,矿区仅见 F_2、F_{17} 两条,其中 F_{17} 规模较大,断层走向 20°～30°,倾向北西,倾角 60°左右,断层长度 500～600m,其断面不平整,偶见擦痕。沿断裂岩石较破碎,其力学性质属张扭性构造。该断裂将 F_{13}(Ⅱ矿带)、F_{16}(Ⅲ矿带)断层错断,其北西盘相对南移,水平断距 10～20m,属成矿后期构造,对矿体起到一定的破坏作用。

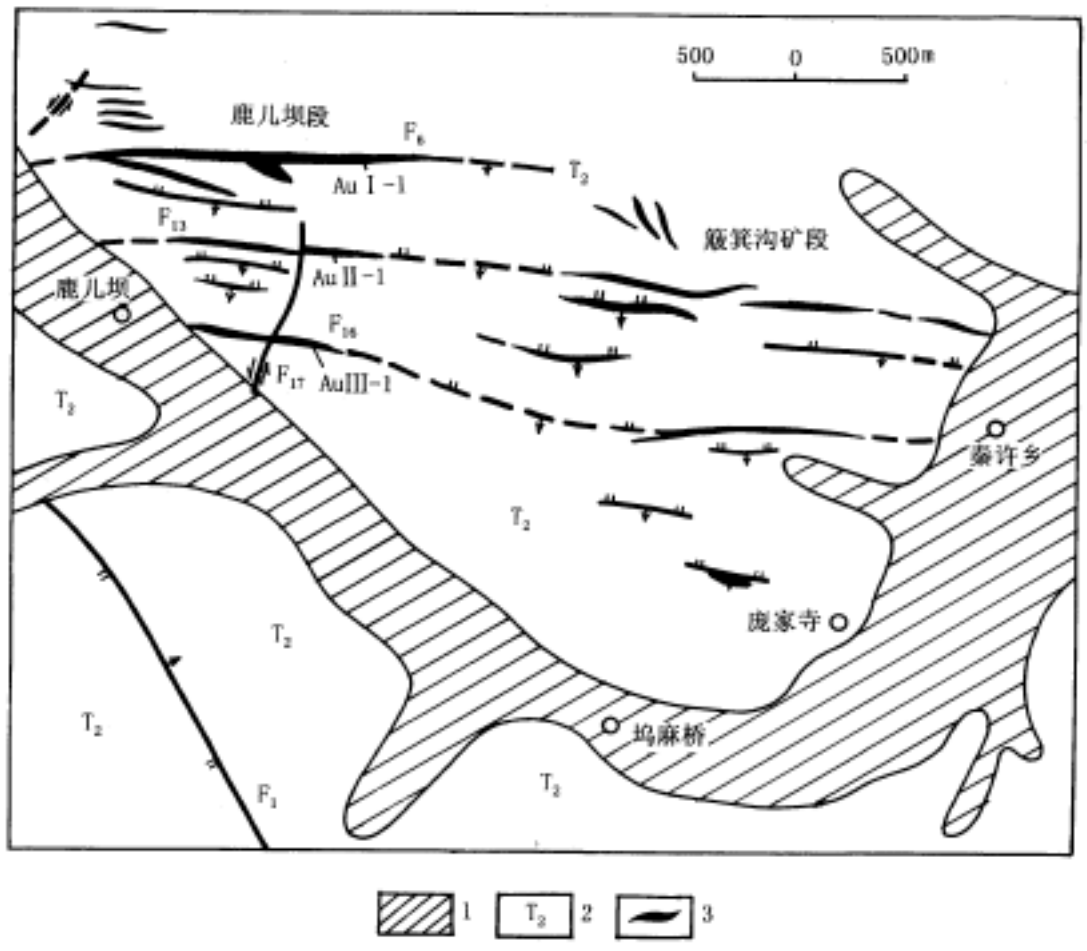


图 2-3-2 鹿儿坝矿区地质略图

1—第四系;2—中三叠统;3—金矿体;

2. 赋矿地层

矿区主要赋矿地层为中三叠统第三岩组,容矿岩石为长英砂岩、粉砂岩及粉砂质板岩等。

中三叠统第三岩组(T_2^c)主要为一套浅变质的浅海相中细粒碎屑岩夹碳酸盐岩沉积建造。岩石中原生沉积构造如斜层理、波状层理、微细层理、波痕等较发育,沉积韵律较明显,根据岩石组合特征和沉积韵律自下而上分为三个岩性段:

第一岩性段(T_2^{c-1}):褐红色、紫红色薄层灰质粉砂岩、粉砂质板岩夹中厚层状细砂岩、长石石英砂质,顶部为一套数十米厚的薄层状泥灰岩,总厚度 729.4m,为主要含矿层之一。

第二岩性段(T_2^{c-2}):下部为浅灰色—褐灰色厚层—中厚层状细粒长英砂岩、细砂岩、粉砂岩夹粉砂泥质板岩、钙泥质板岩。上部为深灰色含炭泥质板岩、粉砂质板岩夹中细粒长石砂岩、长英砂岩、灰质粉砂岩,厚度 1692.9m,为主要含矿层之一。

第三岩性段(T_2^{c-3}):褐灰色厚层状中粗粒长石砂岩,长英砂岩夹少量粉砂泥质板岩。顶部为粉砂质板岩与薄层灰岩互层。其砂岩中可见到板岩同生角砾和植物化石碎片,该岩性段厚度 1495.4 米。

3. 脉岩

矿区脉岩不发育,仅在鹿儿坝矿段Ⅲ矿带及簸箕沟矿段Ⅱ矿带,沿断裂构造带形成数条宽约 2～5m,长 20～200m 的蚀变闪长玢岩脉,脉体产状与近东西向断裂构造一致。脉岩多具分枝复合、尖灭再现特点,且向深部有变宽之趋势。其形成时代,属印支构造岩浆旋回的产物。

(二)矿体特征及工业类型

1. 矿体的形态、规模及产状

矿区经地质普查工作,目前共发现岩金矿体 22 个(其中鹿儿坝矿段 13 个,簸箕沟矿段 9 个),矿体严格受断裂构造控制,同时集中分布于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ矿带之近东西向 F_6、F_{13}、F_{16} 断裂破碎带中。矿体多呈似层状、透镜状及脉状,有膨大收缩、尖灭再现或侧现现象,矿体与围岩界线较清楚。

矿床中多数矿体总体走向 90°～100°,倾向南,倾角 75°～80°。矿体控制长度 40～1214 米 m,厚度 0.94～6.98m,倾斜延深 20m 至大于 300m,金平均品位 1.43×10^{-6}～11.07×10^{-6}。其中矿区最大的Ⅰ-1 金矿体呈似层状赋存于 F_6 断裂破碎带中。矿体走向 80°～100°,倾向南,倾角 70°～80°,矿体控制长度 1214m,厚度 1.58～4.74m,斜深大于 300m,矿体平均品位 4.25×10^{-6},Ⅱ-2 主矿体呈似层状赋存于 F_{13} 断裂破碎带西段,矿体走向 100°,倾向南,倾角 75°。矿体控制长度 340m,平均厚度 3.39m,平均品位 2.88×10^{-6},控制斜深大于 240m(图2-3-2、2-3-3)。

2. 矿体变化规律

由于矿体均受控于断裂构造,因而矿体也随断裂构造呈舒缓波状延伸,矿体之间大致呈近于平行且成群成带分布;断裂破碎带由窄变宽时,矿体也随之由薄变厚,金品位亦往往由贫变富;断裂由陡变缓及两组断裂交汇部位,往往是金的富集部位;当断裂蚀变带穿过脆性大、渗透性强的砂岩地层时,一般都形成较富的金矿体,而当断裂蚀变带穿过塑性岩石、渗透性较差的板岩地层时,其形成的金矿体一般较贫。

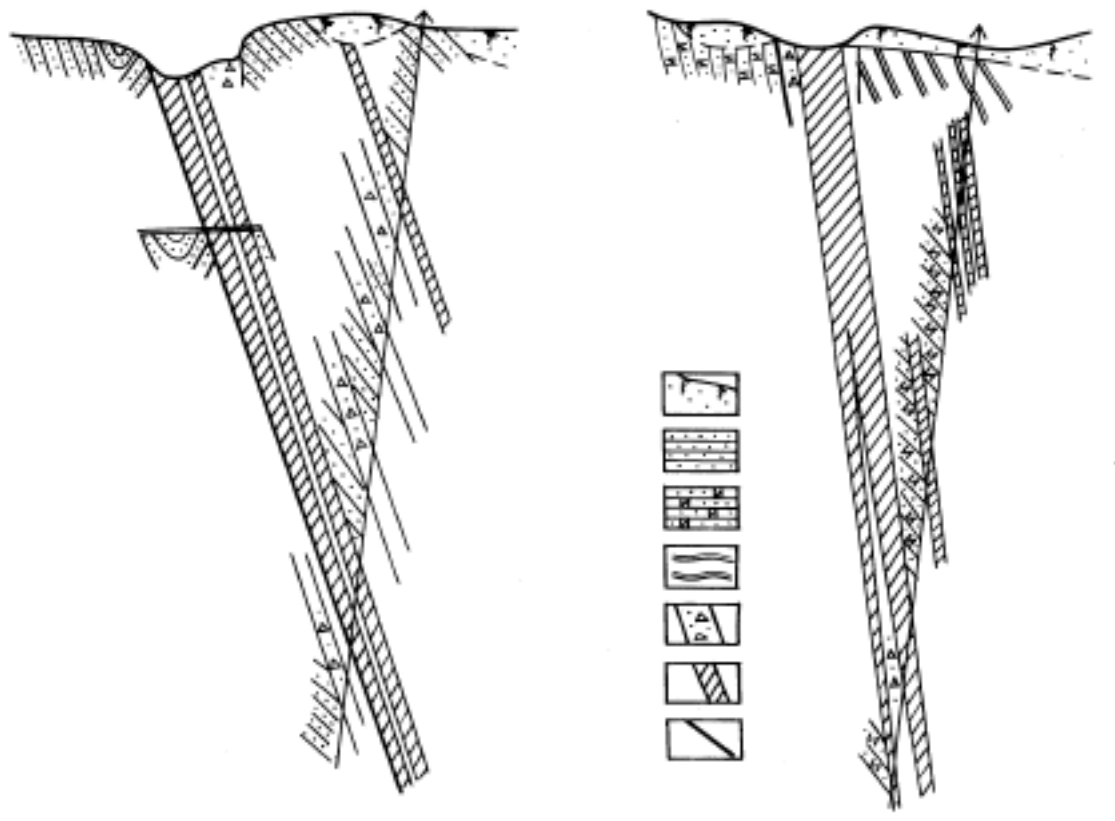


图 2-3-3　鹿儿坝矿段Ⅰ矿带 47 线、Ⅱ矿带 8 线剖面图

1—残坡积物;2—薄层砂岩;3—长英砂岩;4—粉砂质板岩;5—断裂破碎带;6—金矿体编号;7—断层编号

Ⅰ-1 金矿体中有四个富集中心,其厚度变化系数为 74.89%,品位变化系数为 67.68%。表明矿体厚度变化较稳定,金的品位变化较均匀,从Ⅰ矿带 47 勘探线剖面看,该矿体向深部品位有变富之趋势。

3. 矿石工业类型

通过对原生矿石的可选性和实验室扩大连续试验研究(由地质矿产部成都矿产综合利用研究所承担),认为矿石属含硫、砷、碳、微细粒难选金矿石。并提出了矿石采用浮选—固硫、固砷氧化焙烧—氰化浸出提金工艺流程。而矿床的氧化矿,其氧化程度较高,氧化深度 5～30m,经氰化堆浸试验,金浸取率 77%,回收率 68%,属易选矿石,适于氰化堆浸生产。

(三)矿石特征

1. 矿石的结构构造

主要有自形晶粒状结构、半自形—他形粒状结构,草莓状结构及浸染状构造、破裂状、角砾状构造等。

1)矿石的结构

自形晶粒状结构:主要为毒砂、次要为黄铁矿等呈自形晶粒状产出。

半自形—他形晶粒状结构:多数黄铁矿、少量毒砂、辉锑矿等,以半自形—他形晶粒,稀疏状、星散状和脉状浸染于矿石中。

交代残余结构:有少量黄铁矿被褐铁矿从边部及颗粒裂隙进行交代。

草莓状结构:部分黄铁矿呈细小粒状聚集成形似草莓状的球体。

显微晶粒结构:黄铁矿和毒砂晶体大多小于 0.076mm,在矿石中呈显微晶不均匀浸染。

包含结构或环边生长结构:毒砂包裹早期黄铁矿和沿黄铁矿(或集合体)周边生长。说明毒砂生成稍晚于黄铁矿。

显微压裂结构:较粗的黄铁矿和毒砂晶体,在压应力作用下,产生裂纹或沿裂纹产生位移。

2)矿石的构造

浸染状构造:主要是黄铁矿、毒砂、少量的辉锑矿、磁铁矿、辰砂等,呈单体或集合体、颗粒大小不等,不均匀浸染于石英等脉石矿物粒间。当这些矿物沿裂纹呈脉状、短脉状断续分布,则形成脉状浸染构造。浸染状构造是矿床中矿石的主要构造形式。

块状构造:辉锑矿呈致密块状产出。也是闪长玢岩型金矿石常见的构造特征。

碎裂状和角砾状构造:矿石受动力变质作用后,破碎成大小不等、形状不规则的角砾状碎块,或角砾状碎块又被晚期的碳酸盐矿物和石英混合物所胶结或者充填其裂纹。局部有迪开石脉充填。它是矿床中矿石的主要构造类型。

细脉状构造:脉石基质中,分布有方解石及石英细脉,这些细脉宽窄不一,分布无规律性。

2. 矿物成分及主要矿物的嵌布特征

矿石中矿物组成比较简单,金属矿物主要是黄铁矿、毒砂等硫化物;脉石矿物主要有石英、长石、方解石、白云石等。矿石矿物含量见表 2-3-1。

表 2-3-1　矿石矿物含量

矿物	黄铁矿(褐铁矿)	毒砂(臭葱石)	辉锑矿(锑华)	磁铁矿	石英 长石	方解石 白云石	黑云母　辰砂　方铅矿 闪锌矿　锆石	自然元素碳	合计
含量(%)	1.96	0.75	0.19	2.88	71.69	20.21	0.19	2.14	100.01

地质矿产部矿产综合利用研究所,1996 .

主要有用矿物的嵌布特征是:

黄铁矿:黄铁矿是矿石中最主要的硫化矿物,在矿石中占 1.96%,占总硫化物含量的 67.59%。多呈自形粒状结构、半自形—他形粒状结构产出。主要为立方体、五角十二面体或两者聚形,呈单体或集合体不均匀分布在脉石中。较粗的颗粒常有压碎现象。在矿石中多浸染于石英碎屑粒间,或沿压碎脉石裂纹充填,与脉石矿物接触界线平整。少数与毒砂矿物紧密

连生,极少量为石英所包裹。黄铁矿含金 11.50×10^{-6},是金的主要载体矿物。

黄铁矿的原生粒度测量结果见表 2 - 3 - 2 和图 2 - 3 - 4。粒度测量结果表明,黄铁矿粒度偏细,且不均匀,+0.075mm 以上者占 35.82%,-0.075mm 以下者占 64.18%。

表 2 - 3 - 2　黄铁矿原生粒度测量结果

粒　级 (mm)	颗粒 (a)	平均粒径平方 (b^2)	$a\times b^2$	%	累计 (%)
0.25～0.15	2	0.04	0.08	8.94	8.94
0.15～0.075	19	0.012 66	0.240 54	26.88	35.82
0.075～0.046	35	0.003 66	0.128 1	14.31	50.13
0.046～0.023	219	0.001 19	0.260 61	29.12	79.25
0.023～0.012	506	0.000 31	0.156 86	17.53	96.78
<0.012	722	0.000 04	0.028 88	3.23	100.01
合　计	1503		0.894 99	100.01	

资料来源同表 2 - 3 - 1。

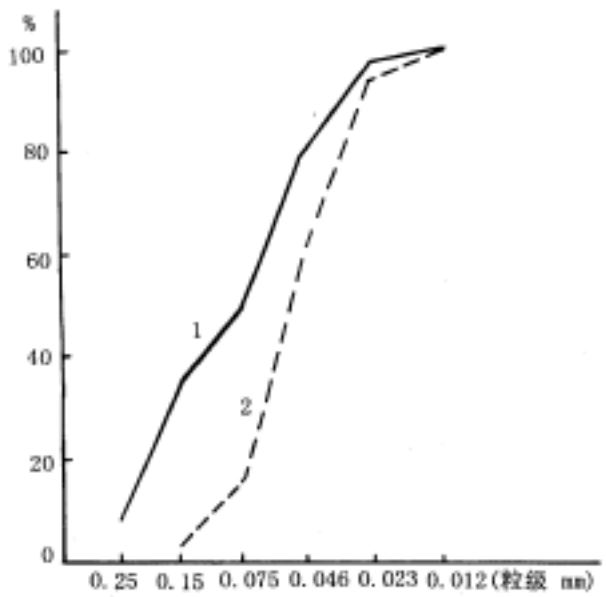


图 2 - 3 - 4　黄铁矿、毒砂的原生粒度累计曲线

1—黄铁矿(实线);2—毒砂(虚线)

毒砂:毒砂是占第二位的主要硫化矿物。占矿石中矿物含量的 0.75%,占总硫化物的 25.86%。多呈半自形—自形短柱状、针柱状,晶体两端具假双锥而呈矛状,偶见集合体呈交错状或放射状分布。集合体在矿石中呈密度不等的星散状浸染、脉状或短脉状、团块状浸染。在较粗大的晶体上可见到压裂纹和弯曲现象。在矿石中脉状浸染者与石英脉共生,且于脉石矿物接触界线平整。少数与黄铁矿紧密连生。

偶见沿早期黄铁矿(或集合体)周边环生,或粗大晶体包裹黄铁矿。毒砂在矿石中分布极不均匀,呈相对集中出现。毒砂含金 112.98×10^{-6},是金最主要的载体矿物。

毒砂的原生粒度测量结果见表 2 - 3 - 3 和图 2 - 3 - 4。从测量结果看出,毒砂粒度偏细,-0.075mm 以下者占 97.02%。

表 2 - 3 - 3　毒砂的原生粒度测量结果

粒　级 (mm)	颗粒 (a)	平均粒径平方 (b^2)	$a\times b^2$	%	累计 (%)
0.15-0.075	1	0.01266	0.01266	2.98	2.98
0.075-0.046	15	0.00366	0.0549	12.91	15.89
0.046-0.023	157	0.00119	0.18683	43.93	59.82
0.023-0.012	462	0.00031	0.14322	33.68	93.50
<0.012	691	0.00004	0.02764	6.50	100.00
合　计	1326		0.42525	100.00	

辉锑矿:在矿石中占矿物含量的 0.19%。多以半自形 - 他形板状、粒状,分布在石英脉及碳酸盐脉中,或充填在碳酸盐矿物粒间。故其形态特征决定于脉体矿物之粒间空隙之形态。辉锑矿物在矿石中局部出现。其粒度多小于 0.1mm。辉锑矿含金 1.16×10^{-6},是次要载金矿物。

3 .金的赋存状态

经矿石初步物质组成研究,查明矿石中的金主要是自然金,少数以不可见金形式存在。

1) 金矿物的种类及成色

据显微镜鉴定,也就是在高倍显微镜下全光片鉴定金矿物及电子探针测试等。初步认为矿石中金矿物主要是自然金,其金的成色为987‰,自然金中含有微量铁。未发现其它种类的金矿物。电子探针测试结果见表2-3-4。

2)金矿物的粒度及嵌布特征

金矿物的粒度是在高倍显微镜下,用机械台全光片测量及人工重砂样中获得的。发现的自然金为群体金,呈微细粒集合体产于脉石中,其粒度最大为0.25～0.3mm,一般均在0.002mm以下。

矿石中66.39%的金为自然金,均产于脉石中,即石英中。自然金呈微细粒状群体嵌布在石英粒间,呈枝叉状、不规则状、片状,颗粒界限清楚。剩余33.61%的金赋存在金属硫化物中,经显微镜鉴定及电子探针测试,未发现大于0.0005mm的可见金,因此,硫化物中的金为不可见金。其主要载体为毒砂和黄铁矿见表2-3-5、表2-3-6。

应说明的是,脉石矿物含金0.86×10^{-6},可能是在0.043mm以下的脉石中,有0.000n～0.00nmm的毒砂和黄铁矿因粒度微细,难以从脉石中分离出来所致。

表2-3-4　自然金电子探针测试结果

成　分	Au	Ag	Cu	Fe	总量	成色
含量%	98.68	0	0	1.31	99.99	987‰

资料来源同表2-3-1

4.矿床成矿阶段及矿物生成顺序

表2-3-5　单矿物试金分析结果

矿　物	毒砂	黄铁矿	辉锑矿	脉石
含金量($\times10^{-6}$)	112.98	11.50	1.16	0.86
密度(g/Cm^3)(实测)	5.73	4.84	4.45	2.65

表2-3-6　金元素在各矿物中的分布率

矿物名称	矿物含量重量(%)	矿物中金品位($\times10^{-6}$)	金属量($\times10^{-6}$)	分布律(%)	
				个别	累计
黄铁矿	1.96	11.50	0.2254	4.02	4.02
毒砂	0.75	112.98	0.84735	15.10	19.12
辉锑矿	0.19	1.16	0.002204	0.04	19.16
总脉石	94.22	0.86	0.810292	14.44	33.60
自然金			3.724754	66.39	99.99
合计			5.61	99.99	

注:磁铁矿未参加计算。资料来源同表2-3-1。

根据现有资料,经过矿物共生组合、嵌布特征及细脉穿插关系等综合分析,初步将矿床各期热液活动、矿物生成顺序归纳于图2-3-5。从图上可以看出,矿床热液活动过程划分为两期四个阶段。

(1)热液期。

①早期酸性还原矿化阶段,为石英、玉髓-硫化物阶段。矿物组合及生成顺序为:石英、玉髓→黄铁矿→毒砂→自然金,为矿床初始成金阶段。

②中期弱酸性弱还原矿化阶段,为自然金-多金属阶段。矿物组合及生成顺序为:石英→黄铁矿→毒砂→自然金→方解石(白云石)→磁铁矿等,为矿床的主要成金阶段。

③晚期碱性弱氧化矿化阶段,主要为碳酸盐化阶段。矿物组合及生成顺序为:石英→方解石→辉锑矿→辰砂→高岭石等。

(2)表生期。为氧化阶段,有金属硫化物在地表氧化生成的褐铁矿、锑华等。

总之,由于构造的间断性活动和脉动性上升,从而使热液成矿和蚀变作用具有多期多阶段以及物理环境多变的特点。而黄铁矿贯通生成于多个世代,自然金主要生成于酸性反向碱性转化的过渡阶段。

5.矿石化学组分

矿石化学组分见表2-3-7、2-3-8。

由此表可以看出,矿石中的有益组分主要为金,次为银和锑。金含量为 5.61×10^{-6},银含量 1.1×10^{-6},锑 0.171%。金已达到相应工业指标,供工业开采利用。银和锑作为伴生组分可供综合利用。其他组份如硫、砷等因含量低,一般不具工业意义。

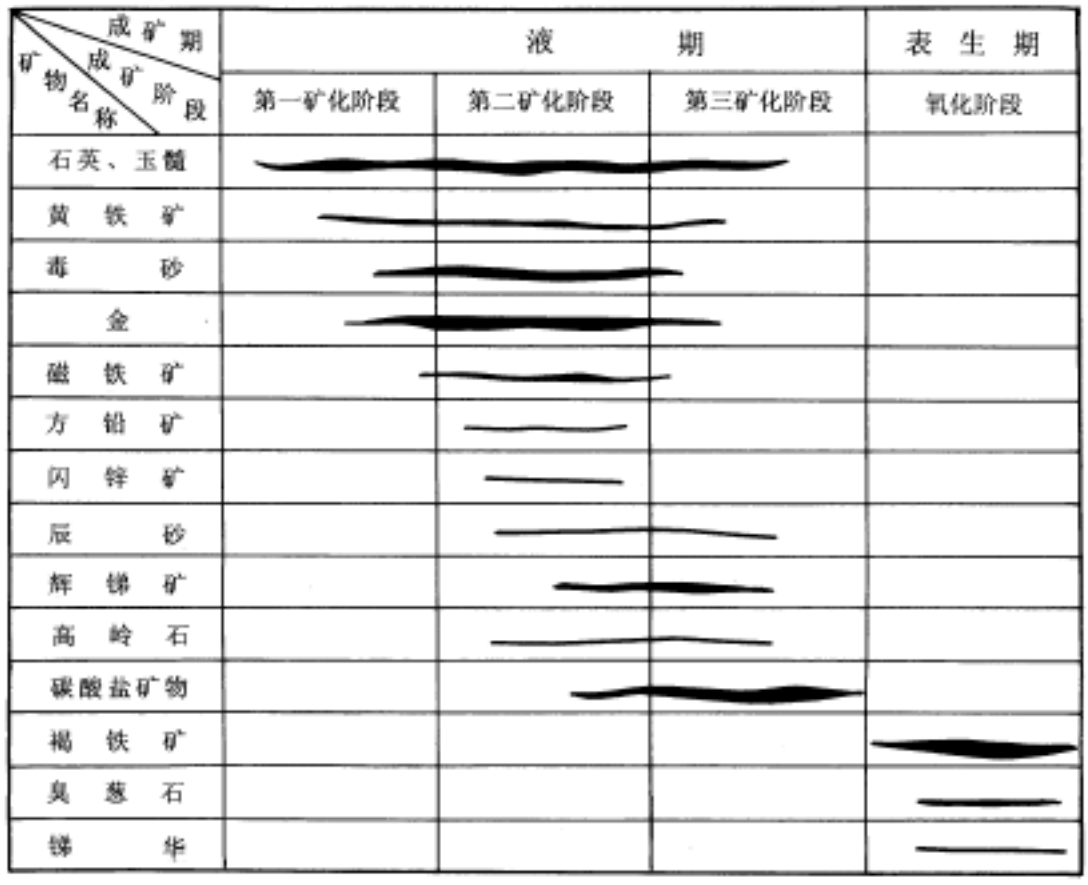


图 2-3-5 鹿儿坝金矿成矿阶段及矿物生成顺序

经对矿石中(30 个样品)成矿元素与伴生元素 Au、Hg、As、Sb、Pb、Zn、Cu、Mn、Ni、Co 等进行聚类多元统计分析(图 2-3-6),可以看出,Au 和 As 在相似性为 0.44 的水平上归为一类,两者又在 0.4 的水平上与 Hg 划为一群。Cu 和 Zn 在相似性为 0.61 的水平上归为一类,两者又在 0.32 和 0.27 的水平上与 Pb 和 Sb 划为一群。Ni 和 Co 在相似性为 0.45 的水平上归为一类,两者又在 0.34 的水平上与 Mn 划为一群。

表 2-3-7 矿石多元素化学分析结果

成分	Au	Ag	Fe	S	As	Sb	Cu	CaO	MgO	Al_2O_3	SiO_2	C 无	C 有
含量(%)	5.61	1.1	4.18	1.6	0.44	0.171	0.0	7.37	2.77	12.75	55.42	2.42	0.32

注:Au、Ag 含量单位为×10^{-6}。

表 2-3-8 矿石光谱分析结果

元 素	Be	Ba	Pb	Sn	Ti	Mn	Ga	Cr	Mi	V	Cu	Zr	Ag
含量(×10^{-6})	2	400	25	2	4000	500	10	60	40	60	50	100	0.2
元 素	Zn	Co	Sr	Mo	Sc	Y	La	Yb	Nb	As	Sb	Li	
含量(×10^{-6})	80	30	300	1	10	20	40	10	10	>1000	50	50	

(四)蚀变类型及其分带

1. 蚀变类型

围岩蚀变反映热液活动的规模和矿化特征,是一种很好的找矿标志。该区主要的围岩蚀变为硅化、毒砂黄铁矿化、碳酸盐化等。

(1)硅化。硅化是区内较普遍的岩石蚀变之一,表现形式有两种:一种是以石英细脉、网脉

及石英团块形式充填于构造裂隙中;另一种为硅质通过渗透交代围岩中原有的矿物,形成硅化蚀变岩石。硅化主要形成在砂岩型矿石的围岩中。

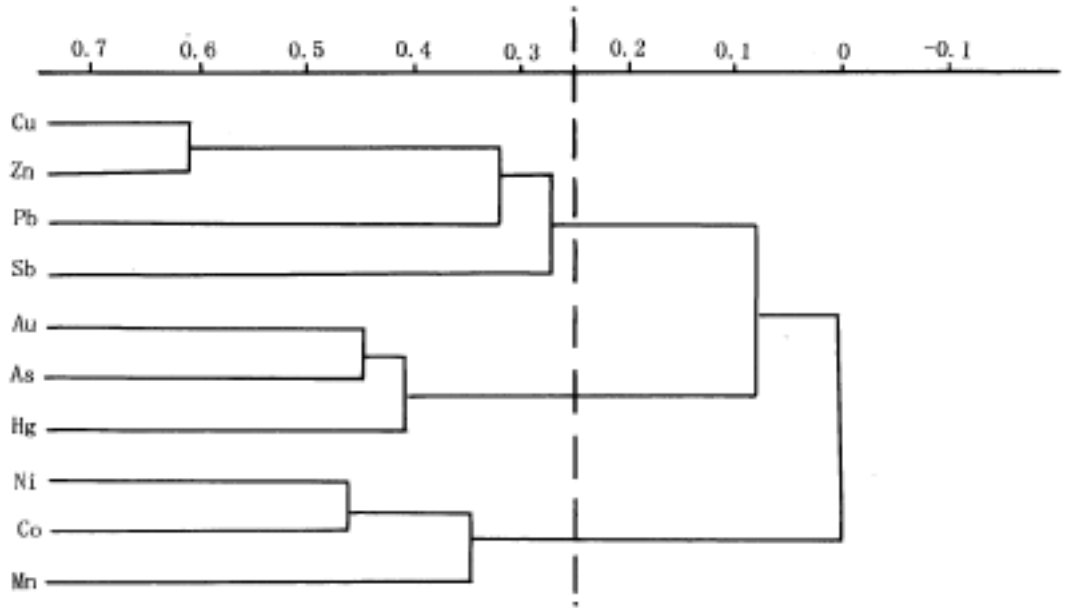


图 2-3-6　金矿石中元素 R 型聚类系图

(2)毒砂黄铁矿化。主要产在金矿(化)体及附近的围岩中,毒砂、黄铁矿以微细粒为主,呈星散状、团粒状及细脉状浸染于碎裂岩石和其他蚀变岩中。在表生氧化作用下,常表现为褐铁矿化。

(3)碳酸盐化。分布范围广泛,主要以方解石、铁白云石细脉及矿物集合体的形式出现,形成的颗粒较粗大,其次是以交代作用形成方解石,含铁白云石等新生矿物。方解石、铁白云石细脉往往与其他蚀变矿物(石英等)形成复合脉体,并拌有毒砂、黄铁矿化、辉锑矿化等。从脉体相互穿插关系看,方解石脉的形成至少有两期以上。

(4)绢云母化。绢云母化和其他蚀变矿物(高岭石、石英等)一起分布于蚀变碎裂岩中,野外难以观察。在镜下可见到绢云母呈鳞片状、团块状出现于其他蚀变中,尤其在金属硫化物边部有集中现象。

(5)高岭石化。白色、灰白色高岭石呈细脉状、皮壳状分布于碎裂岩石角砾间、断裂面及岩石节理裂隙中。脉体厚度一般为几毫米,最厚达 1cm。高岭石化形成于矿化晚期阶段,常以单脉形式出现,与金矿化作用关系不大。

2. 蚀变分带

该区围岩蚀变的水平分带大致为碎裂蚀变岩带及细脉状交代围岩带,其中以碎裂蚀变岩带为中心,细脉状交代围岩带比较对称的分布在其上下盘。

(1)蚀变岩带。由构造作用所形成的碎裂砂岩、粉砂质板岩等经强烈的热液交代作用,形成大量的新生矿物—铁白云石、石英、方解石、毒砂、黄铁矿等。蚀变带多具有承袭动力变质作用形成的碎裂结构条带状构造。常形成硅化、碳酸盐化、毒砂黄铁矿化碎裂岩和角砾岩。蚀变带宽度受早期构造破碎带的控制。一般为 1～7m,最宽可达 10m 以上。当断裂上下盘岩石完整,无破碎时该带消失。

(2)细脉状交代围岩带。紧紧围绕在蚀变岩带的外侧(局部可缺失),蚀变带宽度受围岩性质、层理及裂隙发育程度的控制,常表现为砂岩较宽、粉砂质板岩较窄,一般宽度 0.5～3m。蚀变强度由内向外逐渐减弱,直至正常区域变质岩类。其特点是蚀变程度低,原岩矿物组构基本保留,蚀变形式以细脉穿插为主要特征,细脉占 5%～20%,其中以碳酸岩脉为主,另有碳酸盐矿物与石英组成的复合脉,脉中常见黄铁矿。脉宽几厘米至 10cm。

上述两蚀变带,通过矿区勘探过程中大量样品分析,证实围岩蚀变强度与其含金性呈正相关关系,即由蚀变碎裂带向外金含量由高到低呈有规律的变化。

三、矿床地球化学特征

(一)水系沉积物异常

区域化探1:200 000成果反映出矿区具有Au、As、Sb、Hg、U的综合异常,面积达57km^2,其中Au异常面积39.6km^2,峰值为16×10^{-9}。后经1:50 000异常查证,异常沿北西向成矿带分解为5个含Au、As、Sb、Hg、Cu、Pb、Zn、Mn元素的综合异常。其中矿区金异常面积最大为6.25km^2,峰值165×10^{-9}。

(二)土壤异常

土壤异常的分布见图2-3-7。矿区共圈出金异常25个,以金为主的综合异常14个。异常元素组合为Au、Hg、As、Sb,尤以Au、As异常规模大、强度高、分带明显、套合最佳,反映了金、砷之间具有密切的成生联系。其中金异常均值最高为102.6×10^{-9},峰值最高为1380×10^{-9};砷异常均值最高为160×10^{-6},峰值最高为1000×10^{-6}。异常总体形态为条带状呈近东西向展布,与区内主要控矿构造方向一致。经矿区勘查绝大多数金异常均与含金断裂破碎带完全吻合,反映出化探找金的显著效果。

(三)岩石地球化学特征

对矿床中Ⅱ、Ⅲ矿带进行了小面积岩石测量,圈定出Au、Hg、As、Sb、Cu、Pb、Zn、Mn诸元素异常,其异常呈带状延伸,总体展布方向与矿区内近东西向断裂构造相一致。同时Au、As、Sb、Mn高值对应,套合性好。Hg异常多为串珠状零星分布。Cu、Pb、Zn则显示微弱。

从原生晕剖面来看(图2-3-8)异常倾斜延深大于200m。Au、As、Sb极为套合,且异常中心与金矿体相吻合。

微量元素在不同岩石中的分配特征[①]见图2-3-9,从图中可以看出,Au、Hg、As、Sb均值的高低变化趋势为:含金构造带大于近矿蚀变砂板岩,大于蚀变花岗闪长岩,大于长英质粉砂岩,大于正常钙泥质板岩。而Cu、Pb、Zn则表现为低离差。Zn元素δ值稳定在18.7～30间,对岩性变化无反映。Ni/Co比值在岩脉中最高达5.31。

(四)成矿矿物包裹体测温及同位素测定

本矿床目前尚无具体的包体测温和同位素测定资料,根据(洪嘉祥等,1989)在对鹿儿坝金矿所在的合作—岷县—崖湾金、汞、锑成矿带的初步研究中,通过对该带成矿矿物的包体测温及同位素测定资料统计整理,其爆裂测温样反映出锑矿的成矿温度在181℃～267℃。汞矿的成矿温度在220℃～300℃,与矿区很近的甘寨锑矿成矿温度为198℃～231℃。据此,推测鹿儿坝金矿的热液成矿温度可能在181℃～300℃左右,属中—低温热液型金矿床。

而该带的同位素资料,从δ^{34}S‰值对比图明显看出,锑矿硫同位素值落在-10～+10之间,汞矿的硫同位素值落在-5～+5之间,数值变化较大,说明硫的来源是多源的,有深源流,也有来自地层中的硫。

四、成矿时代与矿床成因

(一)成矿时代及期次

本矿床未进行同位素年龄样测定,但根据区域构造运动和岩浆活动主要发生在印支期,而

① 刘建宏等,西秦岭区金矿床地质—地球化学模式初步研究报告,1989.

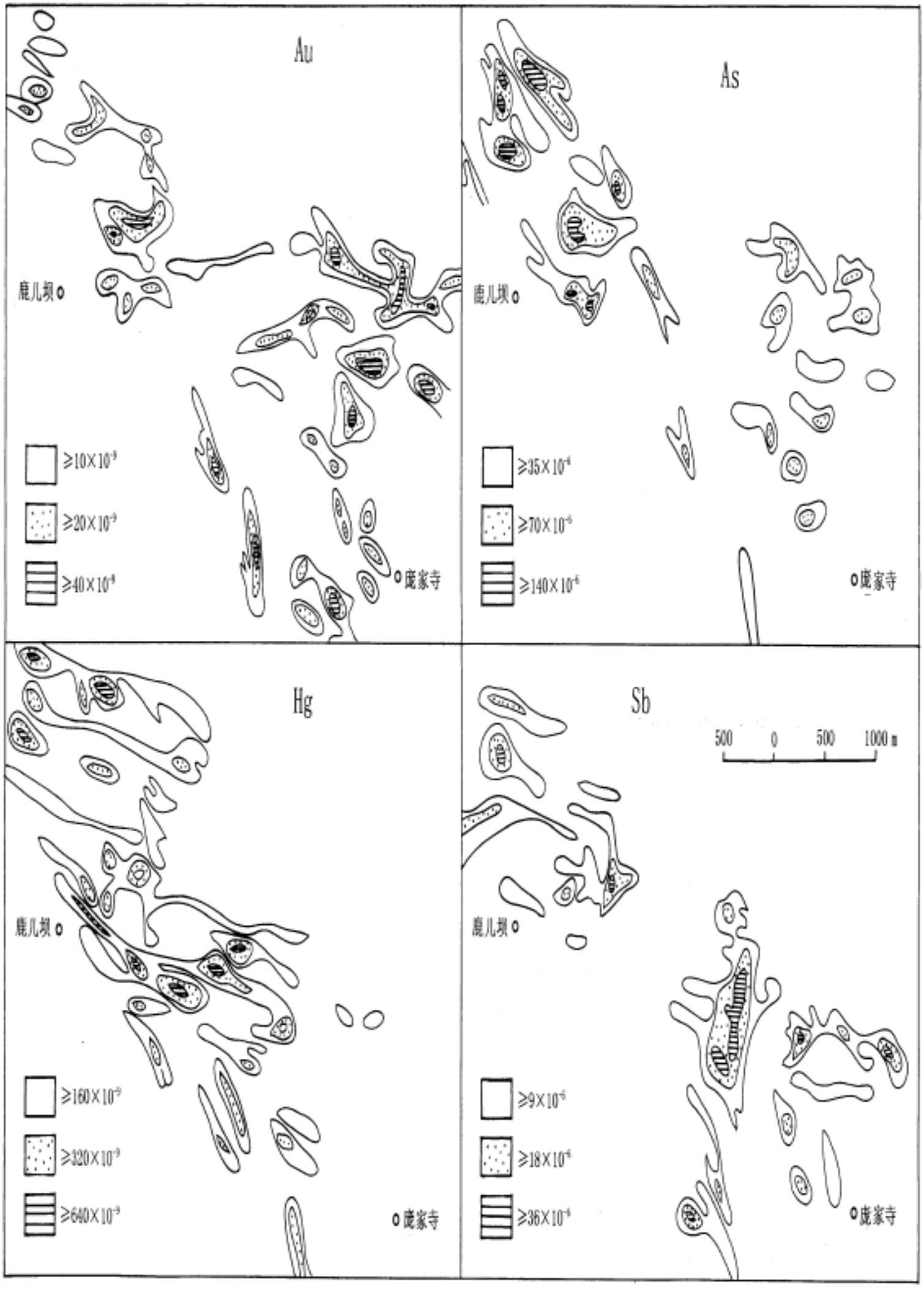


图 2 - 3 - 7　鹿儿坝矿区土壤地球化学异常图

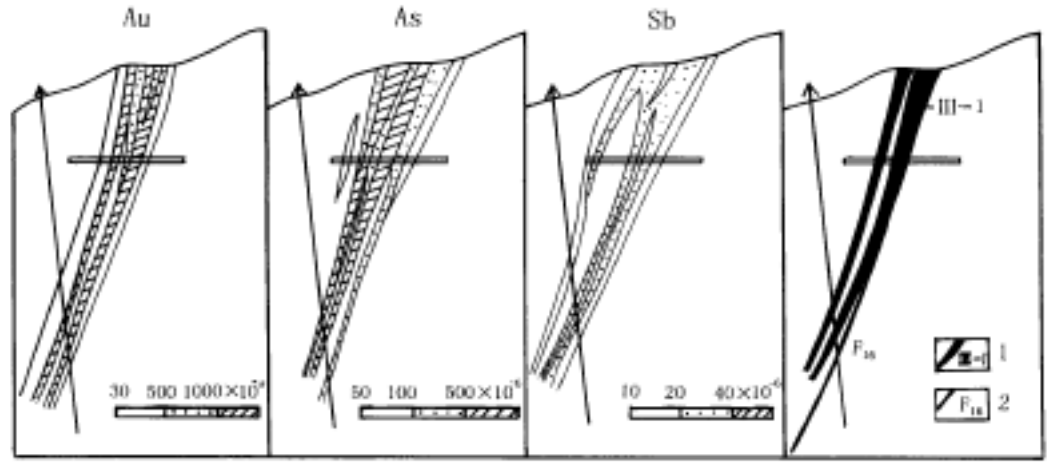


图 2 - 3 - 8　鹿儿坝矿段Ⅲ矿带 32 线岩石地球化学异常剖面图

1—金矿体;2—断层

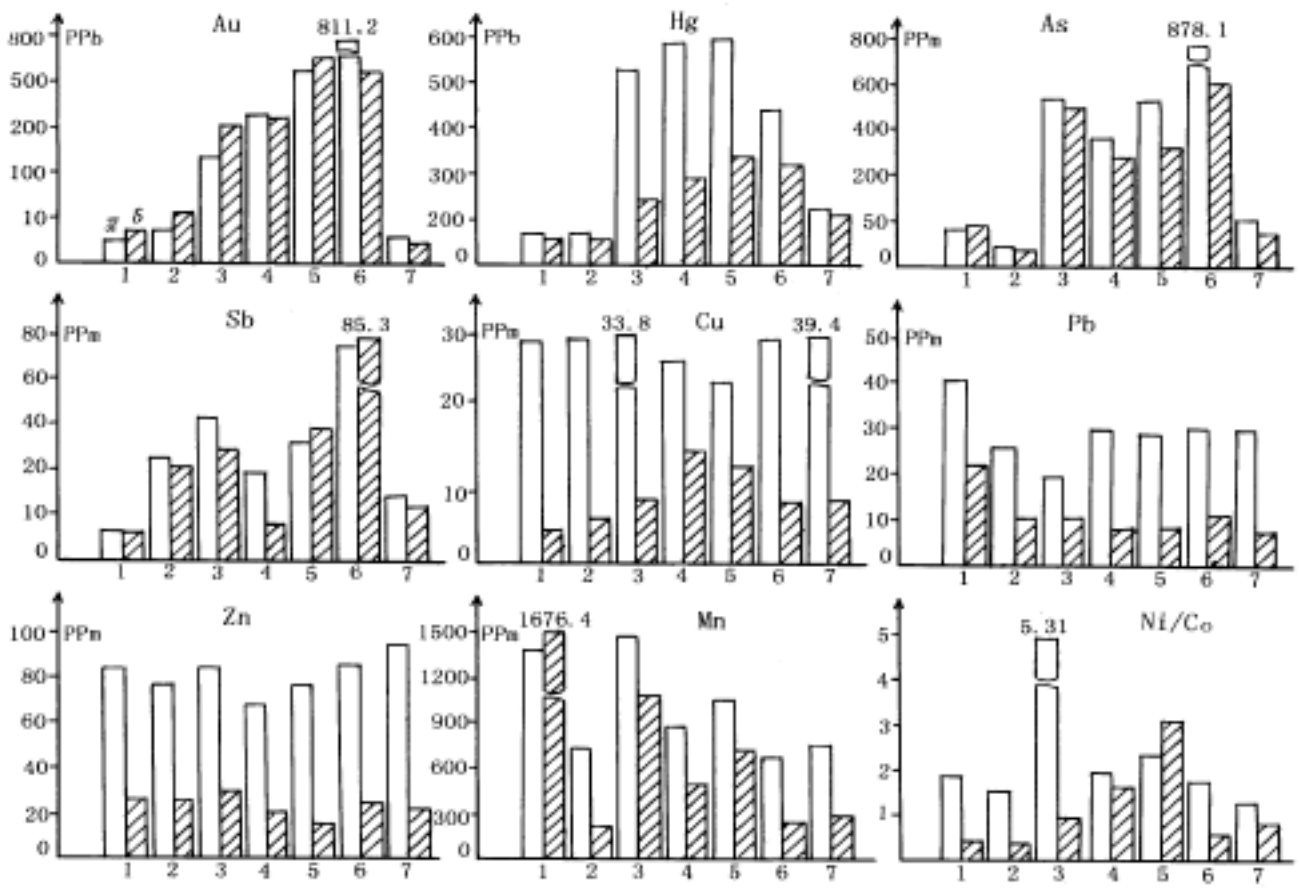


图 2 - 3 - 9　鹿儿坝金矿区不同岩石类型特征值对比图

1—地表正常泥钙质板岩类;2—地表正常长石、石英(粉砂)砂岩类;3—蚀变花岗闪长岩类;4—近矿蚀变破碎砂板岩类;5—2550m 中段含矿构造破碎带(构造岩);6—地表含矿构造破碎带;7—矿区背景样品(全岩样剔除高值)

脉岩又是本矿床内的容矿岩石之一,按照构造运动、岩浆活动和热液成矿作用往往是有机配合,在时间上同期发生,在时空上互相对应的一般情况分析,将矿床成矿时代初步推断为印支期末—燕山早期。

矿床成矿期次见图 2 - 3 - 5。根据矿石矿物共生组合、嵌布特征及细脉的穿插关系,将金的成矿期划分为热液期和表生期,其中热液期又进一步划分为早、中、晚三个成矿阶段,即:早期石英、玉髓—硫化物阶段、中期自然金—多金属阶段和晚期碳酸盐化阶段,中期成矿阶段是金的主要生成阶段。

通过对 32 个矿石样品,12 个指标数据,进行 R 型因子分析,正交旋转载荷矩阵见表 2 - 3 - 9,可以反映鹿儿坝金矿成矿元素在不同阶段的富集特征。F_1 因子反映石英、玉髓—硫化物阶段,成矿元素及伴生元素在含炭地层中活化迁移到热液中,同时还有毒砂等硫化物形成;自

然金—多金属硫化物阶段为金的主要成矿期,以 F_2 因子为代表,毒砂与金相伴而生;晚期碳酸盐化阶段,以 F_3、F_4 因子为代表,常形成辉锑矿、辰砂,往往沿方解石脉分布。

(二)控矿因素分析

鹿儿坝金矿床是由多种地质因素综合控制之下形成的浅成热液金矿,其主要控矿因素有构造、岩性和岩浆活动等。

1. 构造的控矿作用

断裂构造是矿床重要的控矿因素,它不仅是矿液运移的通道,而且为储矿提供了有利的空间。矿区内发现的所有金矿(化)体,均无一例外地赋存于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ矿带之断裂蚀变破碎带中,尤其是赋存于主断裂北侧的一组近东西向高角度压性、压扭性次级断裂构造带中,并受其断裂构造的严格控制,它是矿区的主要赋矿构造,而矿区南沿的鹿儿坝—宕昌区域断裂构造,是矿区的主要导矿构造。

表 2-3-9　金矿石 R 型因子分析正交旋转因子载荷矩阵

元素	因子			
	F_1	F_2	F_3	F_4
	载荷			
Au	-0.0511	-0.9569	-0.1265	-0.2553
As	0.5029	-0.7783	0.3007	0.1416
Sb	-0.0567	0.0224	0.9823	0.1333
Hg	0.1632	-0.072	0.1959	-0.0637
W	0.4502	-0.01784	0.1945	0.8638
Cr	0.9317	0.0239	0.0455	-0.0649
Mo	0.1499	0.0041	0.0746	-0.0803
Sn	0.4357	-0.6554	-0.0192	0.4659
Cu	0.9469	-0.2367	0.1279	-0.0894
Zn	0.1818	0.0035	0.9204	-0.2302
Ni	0.9497	-0.1500	0.1143	-0.2064
Co	0.9251	-0.0787	-0.1422	-0.3430

由于本区成矿具多期构造运动和热液活动的特点,因此,多期热液蚀变的迭加部位、断裂产状变化转折部位、不同断裂交汇处,以及断裂构造局部引张地段,往往是金的矿化富集部位。

2. 岩性的控矿作用

从矿区岩石性质的控矿作用来看,金矿(化)体对岩性的选择比较明显。矿区主要控矿构造与地层走向呈斜切关系,因此,当断裂穿过粒度相对较粗、脆性大、渗透性强的砂岩地层时,往往有利于含矿热液的充填交代,形成厚度较大的富矿体,如鹿儿坝矿段,大部分矿体的容矿岩石为砂岩,其金含量一般较高。而当断裂穿过板岩为主的泥质岩石时,由于矿物粒度细小、塑性强、渗透性差,因而形成的金矿(化)体相对厚度不大,金的富集程度不高,不易形成富矿体,如簸箕沟矿段,矿体容矿岩石以板岩为主,其金的含量一般较低。

3. 岩浆活动对成矿的控制作用

本区的中—酸性脉岩与金矿体同处于近东西向赋矿断裂中,而且脉岩也同样是容矿岩石之一,因此表明,成矿与脉岩的关系十分密切。岩浆活动为成矿作用提供了一部分热源和物源,并使热液上升的通道进一步贯通,另外脉岩本身的冷缩裂隙等又为金矿床形成提供了有利空间。而成矿与脉岩是否属同一时期形成尚无直接资料,但根据构造运动、岩浆活动和热液成矿作用往往在同一时期相继发生这一较普遍的规律推测,本区的脉岩和金等多金属矿化很可能同属印支—燕山构造运动期的产物,但成矿时间应略晚于脉岩的形成时期。

综上所述,在控矿的诸因素中,构造是最主要的因素(主导因素),而岩性及其他控矿因素在形成构造的前提下,才能起到相应的控制作用。

(三)成矿模式的初步探讨

1. 成矿物质来源

根据区域地质(硫同位素)资料分析,该区成矿矿质主要来源于三叠系及其深部的沉积层

(重点为志留系和泥盆系),分散于上述巨厚沉积层中的矿质,系在岩石变质过程中活化析出。其次岩浆岩也可为矿质提供部分来源。水质来源主要为地层水(沉积水、变质水)及混入部分岩浆水,同时也不排除天水加入的可能性。

2. 热源

本区经历了长期的地槽历史,沉积了巨厚沉积岩层,因而地热的增温是促进矿质从岩石中活化析出和促进地下水循环的一种重要因素。另外,在印支运动过程中,岩浆活动提供的热、构造运动中机械能的转化热以及放射性物质脱变过程中的转化热等均可提供大量热能,形成区域热力场。总之该区是由多种来源的热力迭加而形成了区域热力场。从区域热力分带特征分析,其热力中心明显受矿带北西部双朋喜—新堡复式背斜构造—岩浆所控制,并依此向南形成了高温 W、As、Cu 矿带—中温 Pb、Zn 矿带—洮河复向斜中、低温金汞、砷、锑矿带。

3. 含矿热液运移机制

地下水或含矿溶液在地静压力、构造应力和热力等因素的驱动下,其运移方向总是由高压区向低压区运动。印支运动使该区地槽回返,随之洮河复向斜、区域性逆断裂及次级断裂裂隙构造的形成,在空间上造成了负压地带,因而促使以孔隙水和裂隙水形式存在的地下水或含矿溶液断裂构造及层间裂隙向上迁移,构成了重要的古泄水带。

本矿床在区域上所处在合作—岷县—崖湾金、汞、砷、锑成矿带上,在该带已发现的汞、锑、金矿床(点)总数已达数十处。1∶200 000 化探扫面成果同样显示该带为 Au、Hg、As、Sb 组合异常带,说明该带是明显的低温泄水带。

4. 矿质沉淀积聚机制

1)容矿空间

矿区 F_1 主断裂北侧次级"入"字型断裂构造以及岩石孔隙、裂隙等是矿质沉淀有利空间。

2)地球物理、化学屏障

(1)根据 $[S_2]^{2-}$ 比 S^{2-} 的氧化程度高($[S_2]^{2-}$ 是形成黄铁矿的硫)和黄铁矿与毒砂共存这一情况分析,反映了本矿床热液已从深部还原环境转变为弱还原环境,从而破坏了某些含金属络合物的地化平衡,引起矿质沉淀,如:

$$[Sb_2S_4]^{2-} + 2O_2 \rightarrow Sb_2S_3 + SO_4$$ 生成辉锑矿

$$Na_2HgS_2 + H_2O + O_2 \rightarrow HgS + 2Na(OH) + (S)$$ 生成辰砂

因辉锑矿与碳酸盐矿物伴生,表明是碱性阶段生成的。

(2)热液的温度、压力下降。随着热液向上运移演化,其温度、压力随之降低,H_2S 溶解度加大,解离速度加快,S^{2-} 浓度增加,从而促进了金属硫化物的生成,如:

$$Pb(OH)_2 + H_2S \rightarrow PbS + 2H_2O$$

$$Zn(OH)_2 + H_2S \rightarrow ZnS + 2H_2O$$

(3)溶液的酸、碱度变化。由于本矿床的金多与石英、毒砂和黄铁矿相伴产出,表明 Au 主要是在酸性阶段沉淀的。例如:

在酸性溶液的氧化条件下:$3Au^{+} \quad Au^{3+}\ 2Au$

在酸性溶液的还原条件下:$Au + 4Cl^{-} \quad [AuCl_4]^{-} + 3e$

在后期当溶液中碱度降低情况下:$2[Au(S_2O_3)_2]^{3-} + 4H^{+} \rightarrow 2Au$

(4)由于本矿床 Au 与黄铁矿的关系密切,说明在成矿过程中有 Fe 参与,其反映式可能是:$2[AuS_3]^{3-} + 3Fe^{2+} \rightarrow 2Au + 3FeS_2$

总之本矿床矿质的积聚是在多种地球物理、化学条件控制之下,经过长期反复的富集而成。

5. 成矿模式(图 2 - 3 - 10)

综上所述,秦岭海槽自加里东期以来长期接受了一套浅海相的碎屑沉积,其中华里西晚期的构造运动,使该区北部及南部白龙江一带形成海底隆起,而本区继续接受来自南北隆起区的沉积物的堆积,形成了巨厚的海相碎屑岩、碳酸盐岩建造,这些巨厚沉积物特别是志留、泥盆系沉积层为成矿提供了丰富的物质来源。

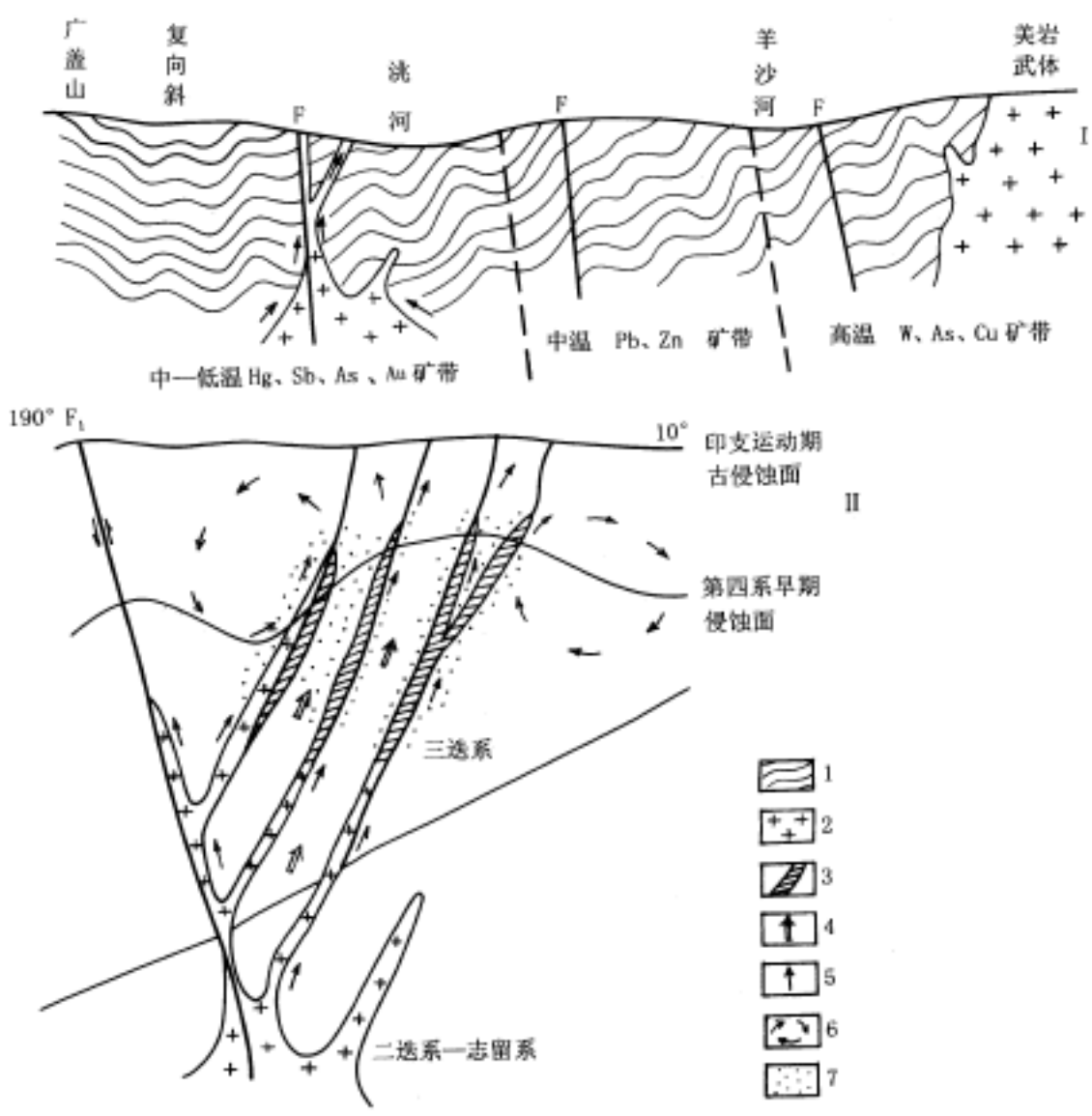


图 2 - 3 - 10 鹿儿坝金矿床成矿模式图

I —区域成矿模式剖面示意图;II —矿区成矿模式剖面示意图

1—沉积碎屑岩层; 2—花岗闪长岩;3—金矿体;4—地热运动方向;

5—气液运动方向;6—酸质氧化后随地下水下渗循环;

7—形成的硅化、碳酸盐化等多种迭加蚀变

印支期末的构造运动,使地槽全面迴返,整个成矿带褶皱成山,形成北西—南东向的洮河复式向斜,并使早期深部断裂切穿三叠系,形成宕昌—鹿儿坝之 F_1 大断裂。后期由于构造应力的持续作用,应力的边界条件也随之改变,相继发生近东西向高角度的逆冲断裂,使之形成断裂破碎带及次级构造,并与 F_1 断裂构通形成联系。于此同时,深部岩浆房分异、演化成中—酸性岩浆沿 F_1 主断裂及旁侧次级构造侵入,形成脉岩。由此,断裂活动使封存于地层中的各种水体(成岩水、变质水)的平衡系统被打破,从而在地热、构造运动、岩浆活动等多种地质作用下形成区域热力场,使 F_1 断裂两侧地热急剧上升,热对流速度明显增加的情况下,岩层中大量携带金等有益矿质的溶液以及富含 H_2O 和 CO_2 等组份的岩浆期后热液在地静压力、构造应力和热力等因素的驱动下,沿断裂构造向近地表减压带运移并与地层中下渗的雨水、地下水形成一个循环的热液系统,在加热地下水、雨水循环对流过程中,溶液不断溶滤围岩中的盐类矿物等有益组份,使流体转变为热卤水,从而促使金元素以硫化络合物和氯化络合物形式活化迁移。当含矿热卤水上升进入断裂破碎带及其他层间滑动和节理、裂隙部位时,由于各种物理化学条件的改变,使含矿介质与围岩发生选择性的充填和交代作用,伴随硅化、黄铁矿化、毒砂化蚀变,成矿溶液中含金络合物被还原

成独立金矿物,呈多阶段富集成矿。

当热水溶液接近地表时,流体开始沸腾,同时产生富含 H_2SO_4 的酸性溶液对围岩进行淋滤作用,形成晚期方解石细脉并有少量金质沉淀。

而燕山晚期,由于大规模推覆挤压作用,产生的大量热源,进一步促进了分散在岩石中的金活化、析出,并使热液活动的通道进一步勾通和矿质的再一次迭加富集,形成规模大、品位较富的金矿体。

喜山期构造运动,使地壳抬升加剧,形成一系列北东向断裂,并对早期形成的金矿(化)体起到一定程度的破坏作用,同时使本区发生强烈的剥蚀作用,从而使大多数矿(化)体暴露地表,并使地表矿体中的大部分硫化矿物遭受氧化作用。

总的来看,鹿儿坝金矿是在浅成中—低温热液作用下形成的微细粒浸染型金矿床。

第四节　坪定砷金矿床

坪定砷金矿床是 1985 年在陕甘川"金三角"区西段发现的一处中型微细粒浸染型金矿。1990 年完成对该矿床 95 - 109 线矿段的勘探评价。矿床产于中泥盆统下吾那组第二岩段浅海相碎屑岩、碳酸盐建造中。主要的含矿构造为走向北西的一组叠瓦式断裂的次级近东西向反冲断层。中—低温矿物组合明显,以雄黄、雌黄、黄铁矿为主要特征。主要载金矿物为黄铁矿,自然金粒度为 0.2～0.4μm,部分花岗闪长岩脉(214.1Ma)矿化构成工业矿体,推断成矿时代为燕山期。

一、区域地质背景

坪定砷金矿床位于西秦岭南带印支期冒地槽褶皱带西段,白龙江复式背斜之北翼。

(一)构造

强烈的印支运动,对本区古老隆起的地层形变起到了强化和破坏作用,地层强烈褶皱,大断裂复活并产生了一系列新断裂。褶皱、断裂构造十分发育,形成了以北西向展布的巨型白龙江复式背斜为主体,包括次级褶皱的一系列褶皱和平行区域构造线密集成带发育的以走向断裂为主的一系列断裂(图 2 - 4 - 1)。

1)褶皱构造

褶皱构造以白龙江复式背斜为主体,是经历了长期的地质构造演化的结果。展布方向平行区域构造线方向,为北西—北西西向,核部出露地层为志留系、震旦—奥陶系。两翼次级褶皱发育,自西向东有葱地—黑峪沟,九原—坪定和井坪—中牌三个右行斜列的向斜,展布方向 305°～315°,本矿床处于九原—坪定向斜北翼近核部。

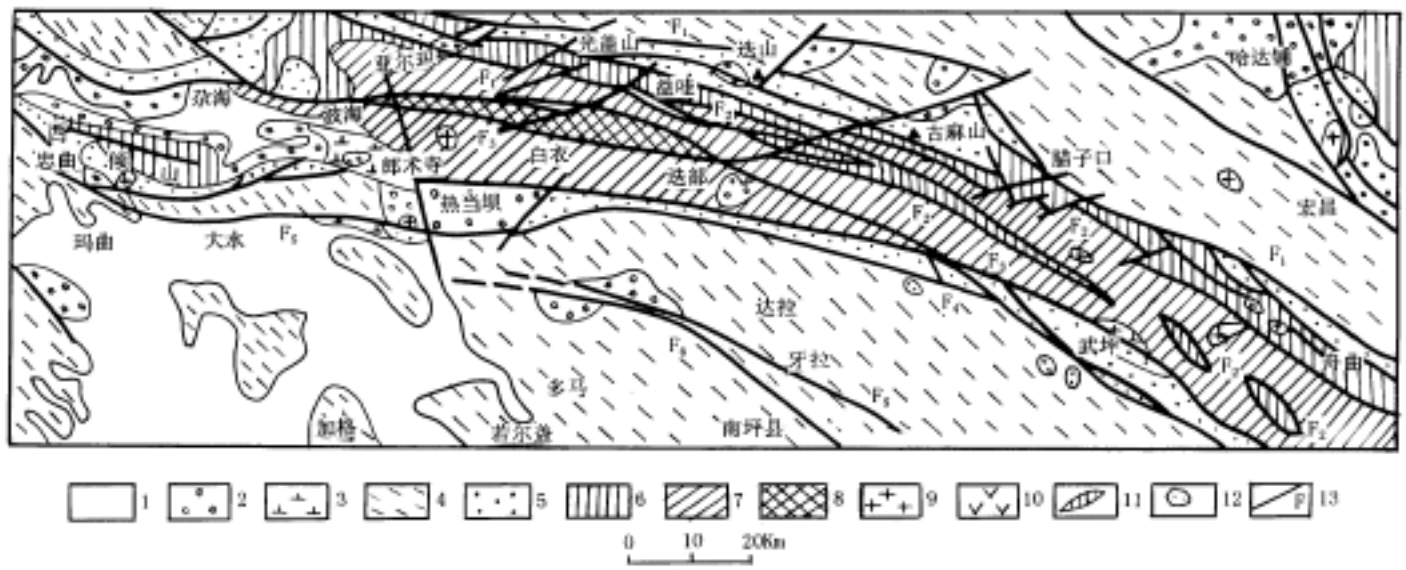


图 2 - 4 - 1　白龙江地区地质构造略图

1—第三系、第四系;2—白垩系;3—侏罗系;4—三叠系;5—石炭—二叠系;6—泥盆系;7—志留系;8—震旦—奥陶系;9—花岗闪长岩;10—辉绿岩;11—泥盆系飞来峰;12—石炭—二叠系飞来峰;13—断层

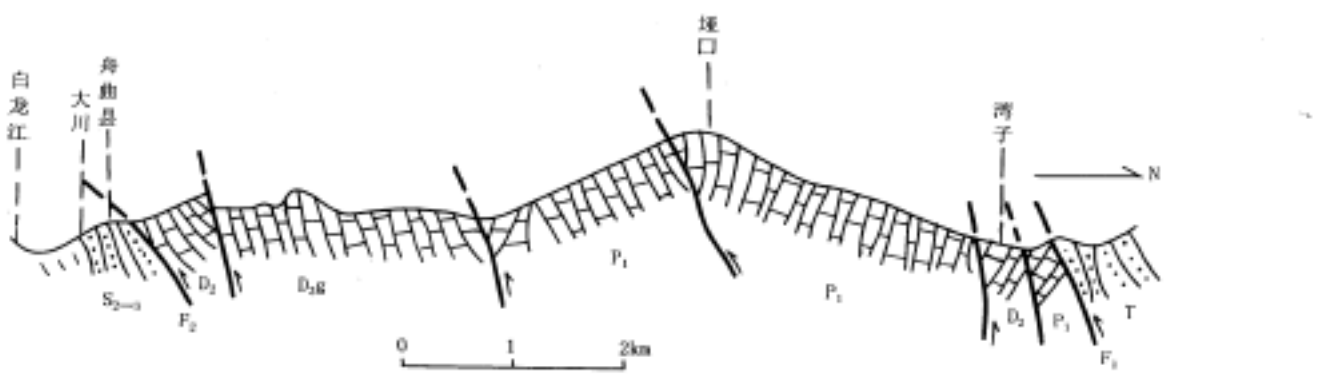


图 2 - 4 - 2　舟曲县大川—湾子叠瓦状逆冲构造剖面

2)断裂构造

坪定砷金矿床处于白龙江逆冲推覆构造(前展式)近主滑覆面部位,为一区域强应变带。断裂十分发育,主要有北西、北东及南北向3组,以北西向走向断层(逆断层)为主,密集成带发育,构成方向大致平行的断裂带。断裂面在剖面上呈上陡下缓"铲形",在基底趋于归并,这些力学性质相同、近于平行的断裂呈叠瓦状排列(图 2 - 4 - 2)。逆冲推覆的宏观标志是:上古生界地层推覆于志留系之上(图 2 - 4 - 3),局部形成"飞来峰"。

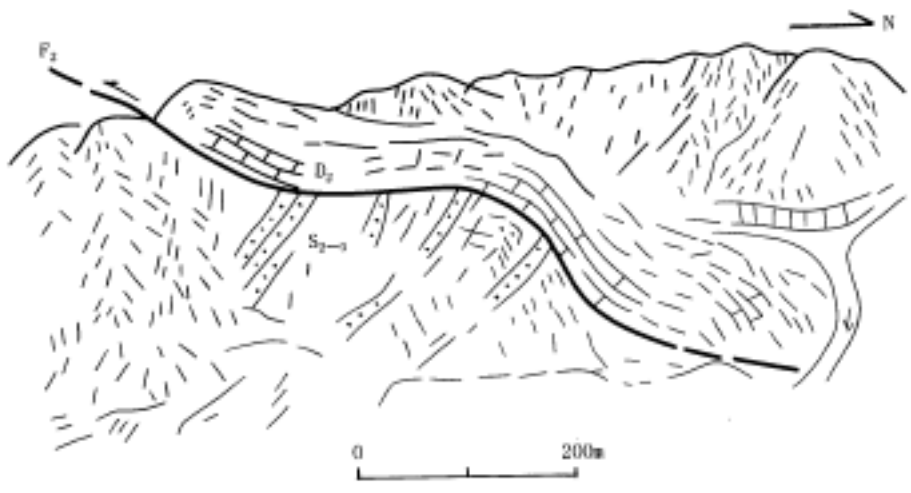


图 2 - 4 - 3　舟曲县西逆冲断层远景素描

(二)地层

区域地层属同德—武都小区,从志留系到第四系均有出露,而以志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系分布较广泛。三叠纪及其以前地层主要为一套浅至中深度变质的海相碎屑岩

和碳酸盐岩,而上古生代则以浅海至滨海相碳酸盐沉积为主;侏罗纪及其以后地层为断陷盆地陆相堆积的磨拉石建造(表 2 - 4 - 1)。

表 2 - 4 - 1　构造旋回与沉积建造、岩浆活动及矿产的关系

构造层			构造运动	沉积建造	岩浆活动	矿产	
						内生	外生
喜山构造层		第四系	喜山运动 第Ⅲ幕	含砾石黄土、粘土及砂砾石			砂金
		第三系 上第三系	第Ⅱ幕	红色砂质粘土夹砂砾岩、粉砂岩			
		第三系 下第三系	第Ⅰ幕		火山喷出岩		
				红色砂砾岩、砂岩、粉砂岩	中酸性岩脉不发育		
燕山构造层	第二亚构造层	白垩系	燕山运动	陆相磨拉石建造		铜、铁、铅、锌、锑、汞、金	煤 磷
	第一亚构造层	侏罗系					
印支运动		三叠系	印支运动	复理式建造	中酸性侵入体		
华力西构造层	第三亚构造层	上二叠统	华力西晚期运动	浅海相碳酸盐建造			
		下二叠统					
	第二亚构造层	中上石炭统		浅海相碳酸盐建造			
		下石炭统		碎屑岩及碳酸盐建造	超基性、中基性碱性侵入体不发育 局部海底火山喷发 中酸性侵入体局部海底火山喷发不发育		
	第一亚构造层	上泥盆统	华力西早期运动	浅海相碳酸盐建造		金、砷、汞	
		中泥盆统下吾那组		滨海相碳酸盐、碎屑岩建造			
加里东构造层		中上志留统下志留统	加里东运动	浅海相碎屑岩、硅质岩、碳酸盐建造			

(三)岩浆岩

区域上岩浆活动不强烈,岩浆岩也就不发育。各个地质历史时期由于构造运动的不均衡性,导致岩浆活动的差异。

加里东早期,在石门南侧中上志留统地层中,见有少量火山喷发岩夹层,晚期伴随地壳强烈褶皱上升,产生酸性侵入体,如斑状花岗岩体。

华力西期岩浆活动表现微弱,在尖藏、刀扎河坝,见有花岗闪长岩小岩株,另外还有一些超

基性—基性的小侵入体,如武坪尚家湾的变辉绿岩。

印支期构造运动十分强烈,大断裂的“复活”,新断裂的产生,为岩浆活动提供了场所,大量的中酸性岩体、碱性岩体形成及海底火山喷发,如黑峪沟、马圈沟的正长岩体、如树沟的花岗岩体,化马的黑云母花岗闪长岩体等。

燕山期及喜山期,此期岩浆活动不发育,仅有中酸性岩脉和局部的火山喷出岩(表 2 - 4 - 1)。

(四)区域矿产

根据区域成矿规律、矿床的产出部位、矿物的共生组合特征及控矿构造,由北向南可划分出 3 个成矿亚带。

(1)亚尔玛—舟曲金(砷、锑)、铁(铜、磷)成矿带,位于白龙江逆冲推覆带的后缘,总体呈北西向延伸。金矿(化)主要产于中泥盆统下吾那组(古道岭组)浅海相碎屑岩和碳酸岩建造中。含矿岩石为泥质灰岩夹粉砂质板岩、生物碎屑灰岩、炭质板岩及花岗闪长脉岩等。成矿时代为燕山期,为中—低温热液微细粒浸染型金(砷、锑)矿床。已查明的有亚尔玛、青稞崖、查布、卡玛、黑多寺、黑峪沟、九源、坪定中型砷金矿床,尖山梁等砷(锑)金矿床(点),另有亚尔玛东查布赤铁矿、菱铁矿点、翠古山铜铁矿点、益哇铜矿点。

(2)波海—白依铀、金成矿亚带,呈北西向展布,金矿床(点)主要产于下寒武统太阳顶群炭硅泥岩建造中,容矿岩石为薄层含炭硅质岩与粉砂板岩互层及含硅质结核、纹层、团块、条带薄层的炭质粉砂质板岩及闪长脉岩等,成矿时代为燕山期,为热水动力隐爆 - 中低温结晶沉淀成因形成的含炭微细粒浸染型金矿床,已发现评价的有拉尔玛大型(铀、汞)金矿床、邛莫小型(铀)金矿床、牙相金矿点及温泉沟、益哇南等(钼、钒)铀矿床(点)。

(3)玛曲尼玛—南坪马脑壳金(砷)、汞(锑)成矿亚带,位于北西西向展布的白龙江逆冲推覆构造带的前缘。矿床(点)赋存于二叠系、三叠系碳酸盐岩及碎屑岩之中,容矿岩石为粉砂质板岩夹白云质灰岩及闪长岩脉等。主成矿时代为燕山期,为热水隐爆 - 中低温热液沉淀形成的浸染型矿床,已查明的有四川南坪马脑壳、文县石鸡坝、四川若尔盖甲吉金矿、玛曲大水、忠曲等金矿床及四川巴西、团结、七里村、甲勿池等金矿点,以及玛曲县尼玛汞(砷)矿点,财宝山煤矿等。

二、矿床地质特征

坪定砷金矿床主要为 95～109 线矿段(勘探区),包括其东部的雄黄坡和尖山梁 2 个矿段。

(一)控矿条件

1 .地层

坪定砷金矿床矿区仅见有泥盆系中统下吾那组第二岩段,基岩零星出露,矿区为巨厚的第四系覆盖。从老到新叙述如下:

中泥盆统下吾那组第二岩段($D_2^3X^2$):按沉积旋回和岩石组合特征,分为 3 个亚岩段。由北向南,地层出露从老到新,矿区仅出露中、下亚岩段地层。

1)下亚岩段($D_2^3X^{2-1}$)

分为 3 个岩性层。

(1)第一岩性层($D_2^3X^{2-1a}$)。黄色千枚状板岩,含钙砂质板岩,钙质页岩夹黄褐色中厚层含

铁砂岩,中薄层泥砂质灰岩。后者富含腕足类和珊瑚类化石,厚度大于 55m,分布于矿区的北侧。

(2)第二岩性层($D_2^3X^{2-1b}$)。深灰色层状礁灰岩,偶见层理良好的砂屑灰岩,与外围地层产状不协调,走向上急剧相变为泥灰岩、砂质板岩,构成大小不等的礁灰岩群体,层状礁灰岩中富含球形藻(*Oncolite*)及腕足类、珊瑚、海百合茎化石(碎片),厚度 126m,分布于矿区北侧。

(3)第三岩性层($D_2^3X^{2-1c}$)。下部为灰色绢云母板岩、钙质板岩夹深灰色粉砂泥质灰岩;上部为深灰色凝灰质板岩、钙质粘土岩夹生物灰岩、钙质板岩、泥质白云岩、鲕粒灰岩、次生石英岩、含炭硅质岩等,沿走向相变剧烈,为本矿床容矿层位。生物灰岩和钙质板岩中盛产腕足类、珊瑚、藻类、苔藓虫、瓣腮类、海百合茎化石,厚度 253m。

2)中亚岩段($D_2^3X^{2-2}$)

岩性为深灰色绢云母板岩、粉砂质板岩、泥质板岩夹薄层泥质灰岩,为亚头村尖山梁金矿的容矿层,厚度大于 270m。

3)上亚岩段($D_2^3X^{2-3}$)

为一套浅色薄层灰岩、泥质灰岩和砾状灰岩,分布于矿区南侧,为本矿床北西向约 5km 处的九源汞金矿床的容矿层位,厚度大于 100m。

中泥盆统下吾那组总的特征是一套碳酸盐岩和碎屑岩沉积。剖面上总的趋势为自下而上粒度由粗变细,具海侵特征,加里东运动使地壳抬升,露出海面,至泥盆纪中世开始接受沉积,形成中泥盆统下吾那组,超覆于中上志留统不同层位之上,由于加里东运动的不均匀导致古地理环境的差异,横向相变剧烈。

表 2-4-2 中泥盆统下吾那组第二岩段沉积相划分表

相变	浅海棚碳酸盐相	浅海陆棚泥页岩相	滨海生物岩相	
			潮间及下浅水带	潮下带
地层时代划分	下吾那组第二岩段上亚岩段($D_2^3X^{2-3}$)	下吾那组第二岩段中亚岩段($D_2^3X^{2-2}$)	下吾那组第二岩段下亚岩段($D_2^3X^{2-1}$)	
			第三岩性层	第一、二岩性层
沉积物特征	薄层微晶灰岩	泥质岩、粉砂质泥岩、泥质灰岩(鲕状)、有机炭。	鲕粒灰岩、岩屑灰岩、薄层灰岩、泥晶灰岩、泥质白云岩、含炭钙质板岩、凝灰质板岩。	砂岩、含钙砂质板岩、泥砂质灰岩、礁灰岩、泥灰岩
层理类型	平行水平层理	水平层理	波状、交错层理	水平、透镜状层理
生物组合			腕足类、瓣腮类、珊瑚、聚环柱状藻、苔藓虫、海百合茎、莓球状黄铁矿。	球形藻、腕足类、珊瑚、海百合茎。
海侵方向	海侵 南 ←——————————→北			

从表 2-4-2 中看出,中泥盆统下吾那组第二岩段是海侵序列中陆棚相的滨海至浅海沉积,古地理环境制约明显。地壳不稳定,伴有中酸性火山岩喷发;有波浪式海侵特征,在下吾那组第二岩段下亚岩段上部地层沉积时海侵曾有过相对的间歇期。

第四系分为中更新统(Q_2^{gl})、上更新统(Q_3^{apl})、全新统(Q_4^{adl})及冲积层(Q_4^{apl})。

第四系中更新统(Q_2^{gl}):一般埋藏在残坡积层之下,为冰碛砾石和冰水湖相淤泥沉积。冰碛砾石呈灰白色,由大小不等、分选很差的灰岩角砾构成,角砾呈棱角状、次圆状,粒径一般2～7cm,大者可达2～3m,小者呈砂状,相互疏松粘结。砾石局部可见擦痕,成分单一。冰水淤泥呈灰、蓝、褐色,由粉砂、粘土及淤泥组成,含炭质,具微细水平层理,在勘探区分布广泛。厚度6～62m。

表2-4-3 矿石和围岩化学组分含量对照表

样品	组分								
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O
	含量(%)								
花岗闪长岩	67.37	0.50	17.41	0.40	3.26	0.06	1.73	6.23	0.54
板岩型砷金矿石	47.58	0.56	14.94	3.09	2.59	0.029	1.52	3.18	1.17
正常板岩(凝灰质板岩)	47.86	0.65	18.24	0.74	6.54	0.058	2.36	6.86	0.43
正常含钙板岩	39.18	0.545	14.66	0.655	4.745	0.057	2.935	15.435	0.41
次生石英岩型砷金矿石	80.98	0.36	1.50	3.32	1.56	0.0033	0.07	0.79	0.03
矿石物质组分研究样品①(50kg)	43.27	0.44	11.48	4.62	1.65	0.042	0.79	4.74	0.17
矿石选矿试验样品②(690kg)	53.20		9.12	Fe 2.88			0.36	4.48	
粘土岩(F·克拉克,1924)	58.10	0.65	15.40	4.02	2.45		2.44	3.11	1.30

样品	组分							
	K_2O	P_2O_5	SO_3	H_2O^+	H_2O^-	灼减	Au($\times10^{-6}$)	As
	含量(%)							
花岗闪长岩	2.34	0.16						
板岩型砷金矿	0.51	0.11	15.10	3.19	0.50	24.39	11.70	11.81
正常板岩(凝灰质板岩)	2.03	0.15	1.36	2.40	0.17	13.43	0.00	0.013
正常含钙板岩	2.25	0.135	0.86	2.61	0.50	19.09	0.07	0.0035
次生石英岩型砷金矿石	0.06	0.13	0.48	3.25	0.71	10.19	30.00	5.15
矿石物质组分研究样品①(50kg)	1.65	0.11	S 10.67	H_2O 0.26		29.43	12.08	15.00
矿石选矿试验样品②(690kg)			S 4.83			18.91	11.00	3.99
粘土岩(F·克拉克,1924)	3.24	0.17	0.64	5.00				

①由西北矿产冶金研究院测试;②由吉林冶金研究所测试。

第四系上更新统冲积黄土层(Q_3^{apl}):褐黄色,由黄土状亚砂土、亚粘土组成,底部含少量砾石,分布在阶地及沟谷斜坡,厚度6～30m。

第四系全新统(Q_4^{adl})坡残积层:棱角状砾石夹杂黄土状亚砂土,分布零星。厚度0.5～2.0m。

冲积层(Q_4^{apl})为河床砂砾层,不发育。厚度0～5.0m。

围岩化学组份含量见表 2 - 4 - 3。

2. 控矿构造

坪定砷金矿床处于白龙江逆冲推覆带亚尔玛—舟曲后缘挤压带,以 F_1 和 F_2 两个区域走向断裂面为边界(图 2 - 4 - 1)。区域上为一强应变带,在同层次的褶皱、断裂构造发育,对矿床乃至侵入岩的产出起到了不同的控制作用。

(1)褶皱构造。坪定砷金矿床位于九源 - 坪定向斜东端北翼,轴向北西,核部地层为下石炭统(C_1)含炭板岩,北翼为中泥盆统下吾那组(D_2^3X),南翼为中泥盆统鲁热组(D_2^2l)。北翼地层走向 305°～310°,倾向南西,倾角 55°～60°,勘探区(95～109 线)发生转折,呈近东西向,地层走向 260°左右,倾角南南东,倾角 60°左右,为一单斜岩层。在一些较大规模的断层附近常发育一些小型紧闭褶皱、层间拖曳褶曲、挠曲(图 2 - 4 - 4),是逆冲推覆构造作用造成地层断块的局部应力集中产生的形变,也是逆冲推覆构造作用的一种应变标志。

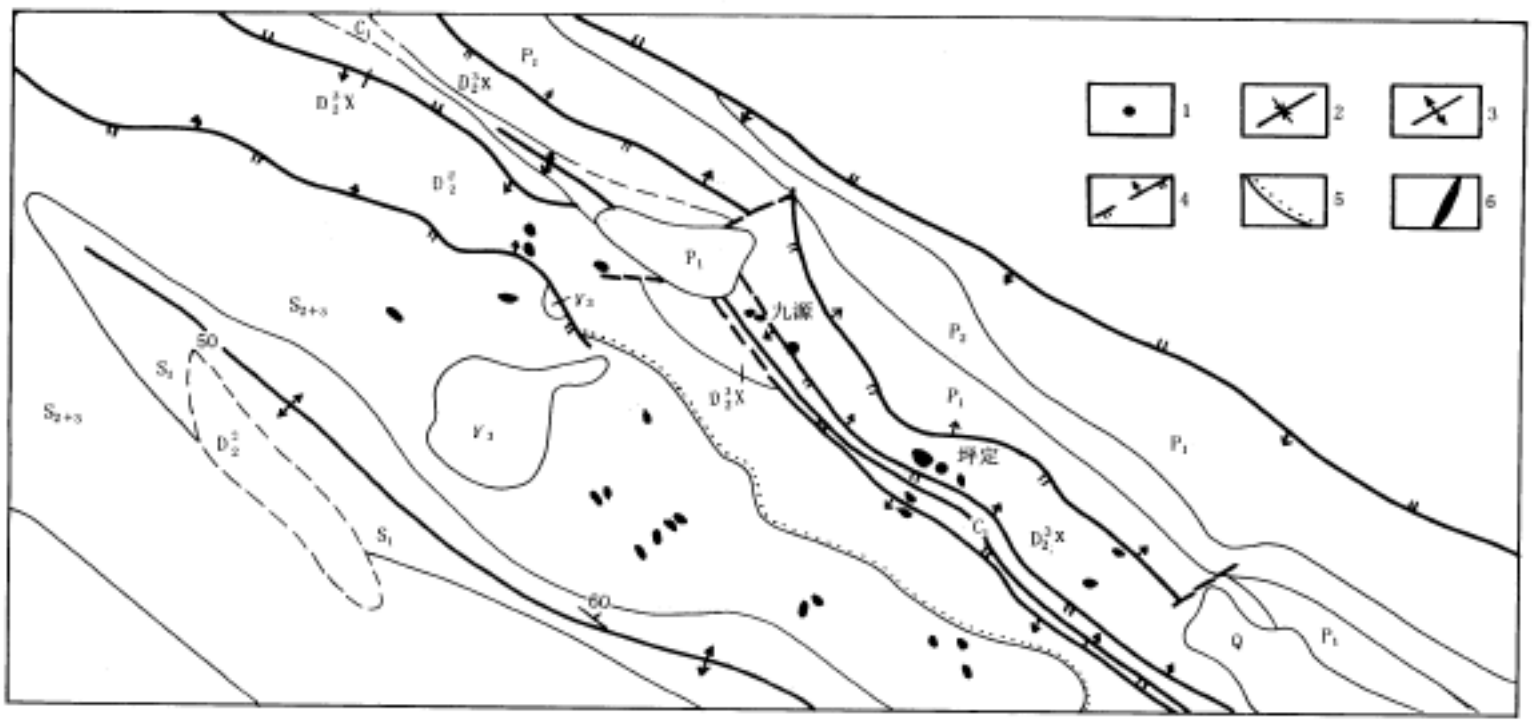


图 2 - 4 - 4　白龙江上游地区(东段)地质略图

Q—第四系; P_2—上二叠统; P_1—下二叠统; C_1—下石炭统; D_2^3x—中泥盆统下吾那组; D_2^2—中泥盆统鲁热组; S_{2+3}—志留系中上统白龙江群; S_1—志留系下统; r_3—加里东期花岗岩; 1—金矿体; 2—向斜轴; 3—背斜轴; 4—逆断层; 5—不整合界线; 6—花岗斑岩脉

(2)断裂构造。矿区构造以断裂为主,主干断裂 Fa、F_b 属于叠瓦式逆冲断层体系的组成部分走向 280°～295°,倾向北东,沿断裂形成了宽 20～150m 的构造破碎带,规模较大,延伸长 50km 左右,有断层角砾岩、泉水;顺走向缺失层位,沿断裂有小侵入体(岩体)分布,属于区域压性断裂,具长期多次活动的特征,两者相距离 1500m,根据断裂带的矿化显示,推测 Fa 为矿床成矿的运矿(布矿)构造,导矿构造为区域主干推覆断裂 F_2。容矿断裂主要有 F_{10}～F_{13} 等次一级压扭性断裂,这些容矿断裂在勘探区以 F_{10}、F_{11} 为主断裂面成带状展布,走向 85°。平面上具有向西收敛,向东撒开的趋势(图 2 - 4 - 5);剖面上上陡下缓显示出沿倾向向深部主干断裂 F_2 的归并趋势(图 2 - 4 - 6、2 - 4 - 7)。其他含矿断裂主要发育在 F_{10} 和 F_{11} 之间,与 F_{10}、F_{11} 呈锐角相交,显示出逆冲断裂带的逆冲方向为向北西方向的斜冲性质。上述含矿断裂为受逆冲

推覆的挤压作用形成了叠瓦式逆冲断层 Fa 和 F_b 之间的次级反冲断层。断层面平直光滑、呈舒缓波状，走向 75°～85°，倾向南南东，倾角 51°～64°，其走向与地层走向平行，倾向相同，但倾角小于地层倾角，上陡下缓，并显示出向深部和沿倾向的归并趋势。断裂具分枝复合、尖灭再现和侧现特征，断面发育的擦痕及断裂之间的空间关系，都反映出 F_{10}～F_{13} 等压性断裂带兼具顺时针方向的剪切特征(图 2-4-5)。这些次级反冲断层在成矿期具一定的张性特征，为矿质热液的聚集成矿提供了良好的场所。

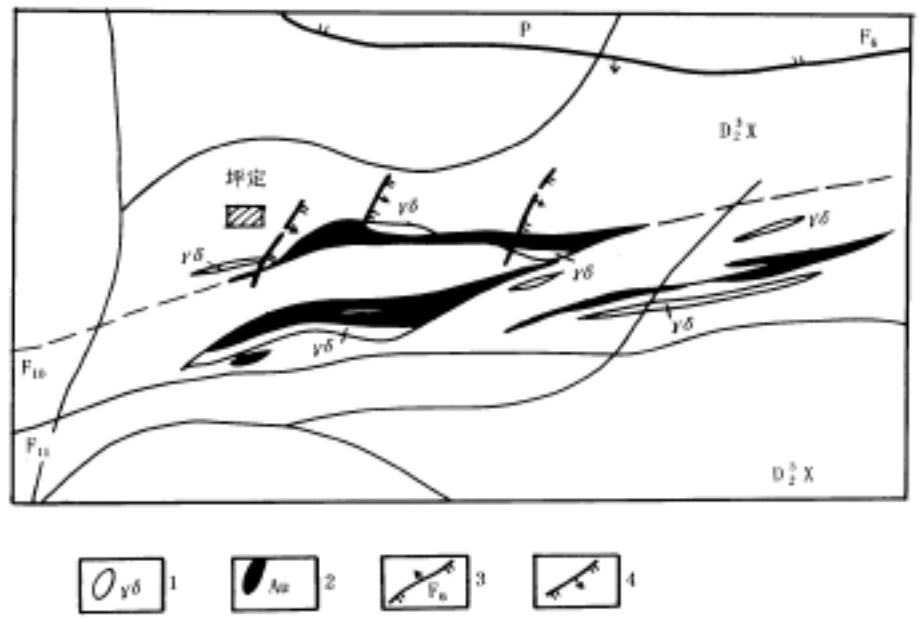


图 2-4-5　坪定矿区基岩地质图

P—二叠系；D_2^3x—中泥盆统下吾那组；1—花岗闪长岩；2—金砷矿体；3—区域性断裂；4—正断层

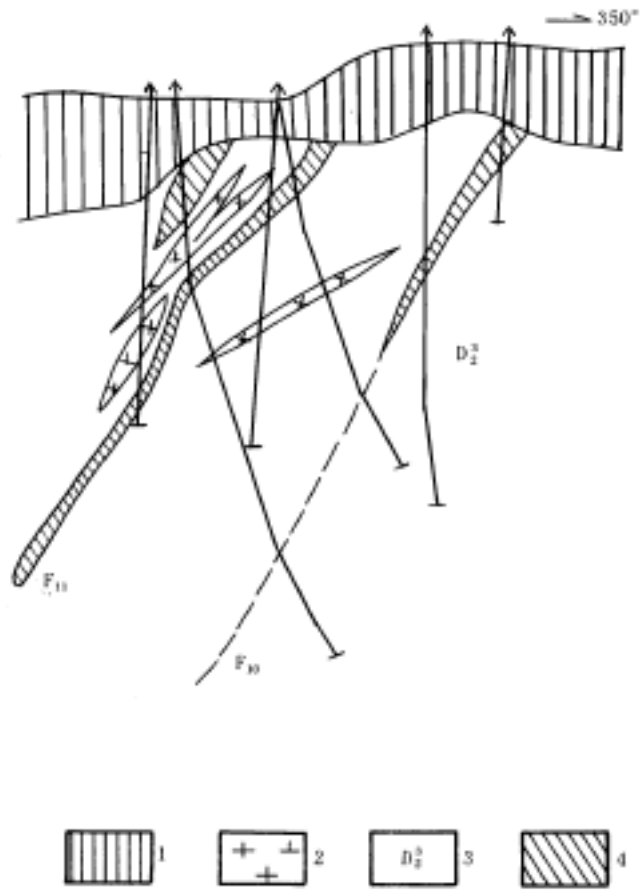


图 2-4-6　97 勘探线剖面示意图

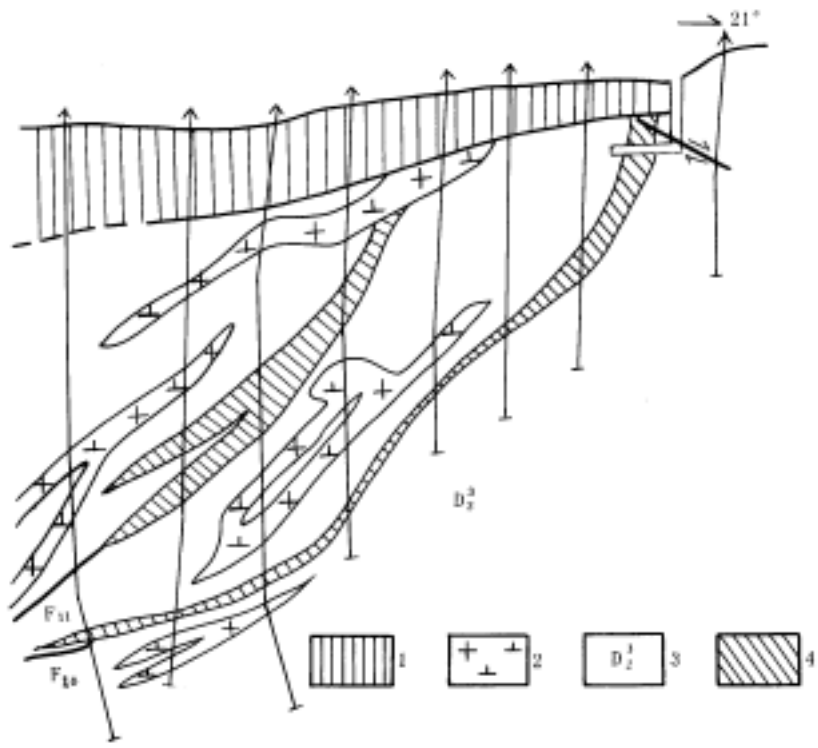


图 2-4-7　103 勘探线剖面示意图

1—第四系；2—花岗闪长岩；3—中泥盆统；4—金矿体

断裂的活动在同一应力场中，具阶段性和继承性，成矿期断裂追踪成矿前断裂，使成矿前断裂启开复活，并兼具一定的张性特征，构成了矿质热液聚集沉淀的良好空间。成矿后断裂除了追踪成矿期断裂沿矿体边界发育为主，另有两组剪切断层：一组走向 45°～70°，倾向北西，为剪切性质的平推断层；另一组为南北向，倾向东的左旋张性正断层。发育在矿区北侧，切割地层及早期断层和矿体，但对矿体破坏性很小。

3. 侵入岩

矿区岩浆活动不强烈，仅中—酸性岩浆沿泥盆系中统地层的断裂、裂隙贯入，形成脉岩，在

矿区及其东侧 300m 处的雄黄坡附近比较密集。通过全岩样钾—氩法测定年龄为 214.1Ma，属印支期构造—岩浆旋回的产物。生成于砷金成矿作用之前，系容矿岩石之一。

脉体多数呈脉状，少数呈瘤状，在挤压带中脉岩呈构造透镜体状，甚至呈角砾状，规模较小，长度一般为几十米，部分达 100～237m，向下延深到标高 1850m，宽度一般介于 0.4～14.0m。脉体产状分为两组，分别为倾向 160°～225°倾角 40°～60°及倾向 45°～50°倾角 55°～70°，以前者为主，与断裂或矿体产状一致(图 2-4-5、2-4-6、2-4-7)，并受断裂构造的严格控制。

岩石呈微晶半自形粒状结构、微粒变晶结构、变余斑状结构、花岗结构、变余残斑结构、交代残余结构、岩石呈块状构造及碎裂状构造。

岩石呈灰白色，原生矿物成分以长石为主，其次为石英、角闪石及黑云母。金属矿物有黄铁矿及微量磁铁矿，其他副矿物有磷灰石、电气石、锆石和屑石等。经过自变质作用和热液蚀变作用，原生矿物多已被相应的次生矿物所取代。

根据岩石化学组合含量计算(见表 2-4-3)，其 SiO_2 饱和度为 34.1～41.1；进一步计算酸度指数(AI 值)为 0.649～0.711；里特曼指数(δ)为 0.25～0.52，表明岩石属钙碱性至碱钙性之间的过渡系列，同时多数又属于铝过饱和岩石。在岩浆岩的酸度系列上属于中-酸性，偏酸性一端，岩石种属以花岗闪长岩为主。

4. 火山碎屑岩

凝灰质板岩为矿区中泥盆统下吾那组碳酸盐、碎屑岩建造中的一部分。部分为容矿岩石，为鳞片变晶结构、板状构造、局部有斑点构造及角砾状构造，成层明显，分选较好，一般呈细粒状，由凝灰质(30%～50%)、方解石(10%～15%)、白云石(10%～15%)、绢云母(20%)等组成。可见到中酸性凝灰质组分的岩屑和晶屑，岩屑外形不规则，近于等轴状、棱角状、鸡骨状。晶屑常见有石英、云母、长石等，裂纹发育，呈棱角状，有被溶蚀现象，断口沿解理呈阶梯状，弹性云母发生弯曲，大量属火山灰。由于玻屑不稳定，而以趋向于结晶(去玻化作用)，无标准的玻屑，见到少量圆孔洞轮廓的方解石，可能是交代玻屑所致，呈棒状、凹面棱角状、锥状，具强烈的碳酸盐化、硅化、粘土化、绢云母化、白云石化及黄铁矿化、雄雌黄矿化等，99 线以西具广泛的毒砂矿化。去玻化作用是常见的次生变化，值得注意的是：方解石被白云石交代的白云岩化，体积缩小 14%(原方解石含量为 10%～15%)，增加了岩石的孔隙度，给热液矿物质的交代沉淀提供了有利的场所。

(二)矿体特征及氧化淋滤特征

1.矿体特征

坪定砷金矿床共圈出大小 12 个砷金矿体，其中以 Au_1、Au_2 两个矿体规模最大，矿体形态呈透镜状，似层状。Au_1 矿体：倾向 173°～175°倾角 52°～65°(平均倾向 173°倾角 52°)，长 360m，斜深 40～243m，平均厚度 2.06m，最大厚度 9.69m，平均品位 Au 大于 10×10^{-6}，As 近于 10%。Au_2 矿体倾向 163°～168°倾角 64°(平均倾向 165°倾角 64°)，长大于 325m，斜深 40～227m，平均厚度 2.41m，最大厚度 4.52m，平均品位 Au 大于 10×10^{-6}，As 小于 5%。Au_1 矿体厚度变化系数为 83%，Au、As 品位变化系数分别为 101%和 22%，Au_2 矿体矿体厚度变化系数为 59%，Au、As 品位变化系数分别为 110%和 182%。表明矿体厚度变化不大，Au、As 品位很不均匀至极不均匀。其余矿体规模较小，形态呈透镜状，倾向 155°～214°倾角 33°～75°。矿体受叠瓦式断裂之次级反冲断裂的严格控制，矿体沿反冲断裂带产出，具膨大收缩、分

枝复合及尖灭再现、侧现特征,边界形态呈舒缓波状。矿体一般在走向转折部位及倾向上由陡变缓的部位,矿体厚度变大,品位变富(图 2 - 4 - 5、2 - 4 - 6、2 - 4 - 7),突出显示了压性断裂控矿的特征。Au、As 元素在 Au_1 矿体分别有 4 个和 3 个富集中心,在 Au_2 矿体分别有 4 个和 1 个富集中心,富集中心在空间上与矿体的变厚部位相吻合(图 2 - 4 - 8、2 - 4 - 9、2 - 4 - 10、2 - 4 - 11)。矿体沿反冲断裂带集中分布,表现出沿反冲断裂带主结构面 - F_{10}、F_{11} 及其 F_{10}、F_{11} 之间左行斜列的次级断裂产出(图2 - 4 - 5);剖面上显示出上陡下缓,向深部趋于归并的特征(图 2 - 4 - 6、2 - 4 - 7)表现出与含矿构造—反冲断裂一致的特征。

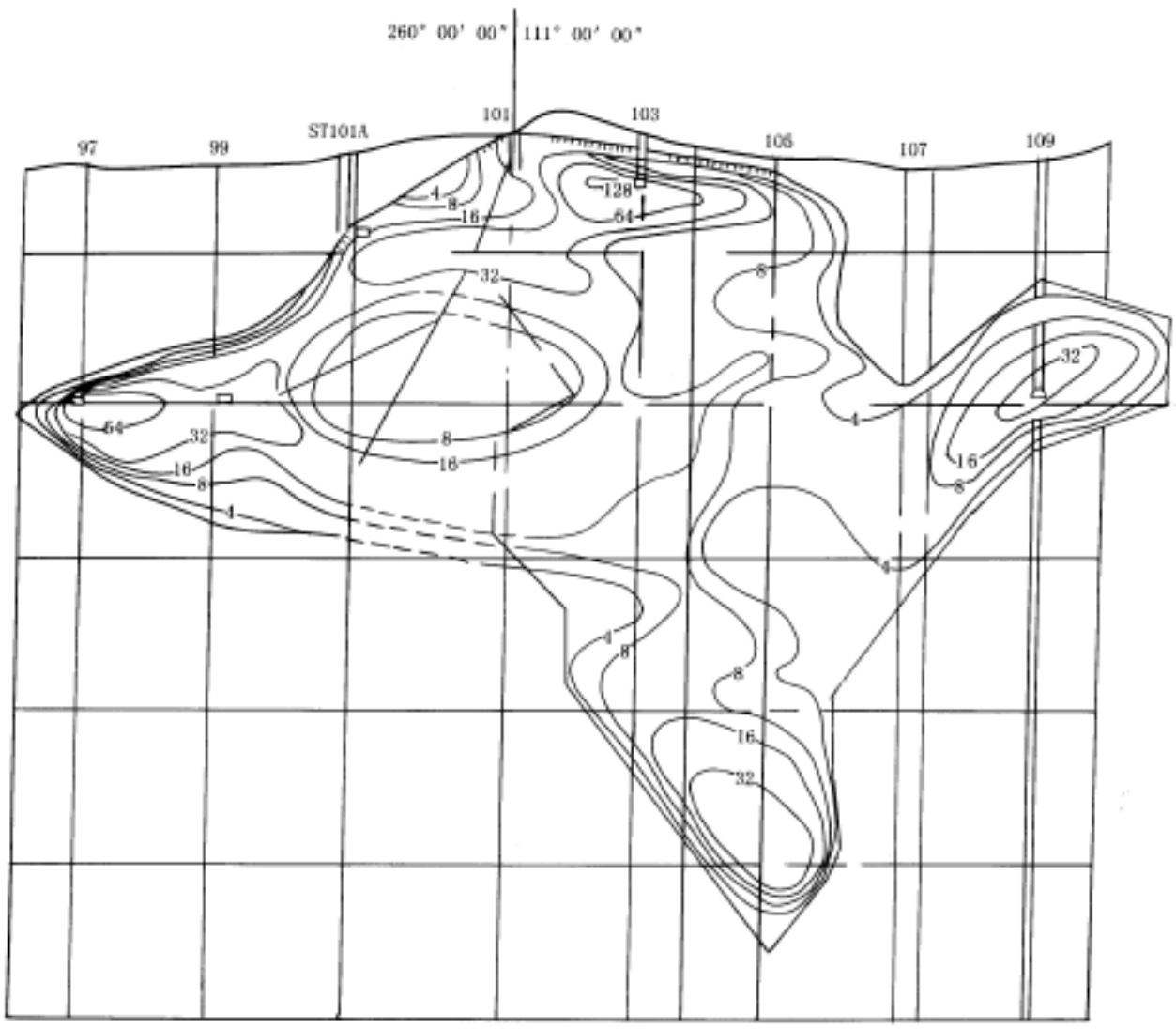


图 2 - 4 - 8　Au_1 矿体矿化强度、富集中心图

2. 矿体的氧化淋滤特征

本矿床地表或第四纪古侵蚀面的砷金矿体,长期以来经受了风化淋滤和次生富集两种互相矛盾、互为反向的表生作用。氧化淋滤带矿石既遭受了氧化淋滤作用,也产生了一定的次生富集现象。由于矿床处于区域侵蚀基准面以上,受上水动层含氧水的影响,因此,总体上淋失作用应强于淋集作用。由于本区地形切割剧烈,剥蚀速率较高,因此,现存矿体中的矿石所遭受到的氧化淋滤程度一般并不很高。

(三)矿石特征

1. 矿石的结构构造

本矿床的金属于不可见金,以次显微状金包裹体形式存在。矿石的结构有自形晶结构、半自形—他形晶结构、不等粒结构、草莓状结构、次生加大边结构、环边结构、交代残余结构、包含

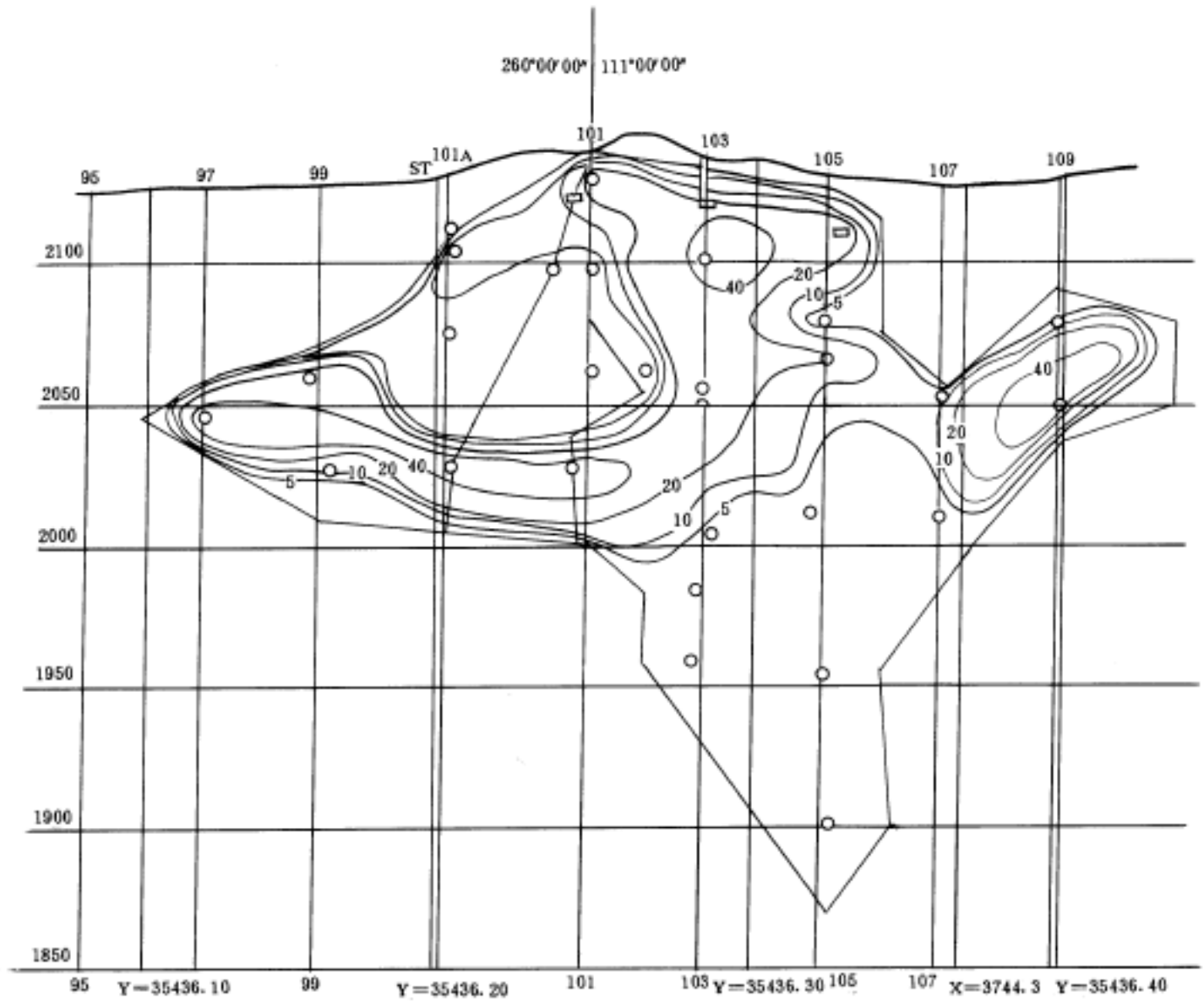


图 2-4-9　Au_1 矿体中 As 矿化强度、富集中心图

结构、穿插结构、环状充填结构、纤维状结构、板状结构、固溶体分离结构、碎裂结构、靡棱结构、放射状球粒结构、皮壳状结构、镶嵌结构、假象结构、疏松状结构等,其中以前 8 种最为常见。

矿石的构造主要有以下几种:

(1)块状构造。指矿物颗粒排列均匀,无显著聚集现象的构造特征。以次生石英岩、花岗闪长岩和灰岩型砷金矿石最为常见。雌黄和雄黄的矿物集合体也多呈致密块状或团块状产出。

(2)碎裂状构造和角砾状构造。其特征为容矿岩石碎裂成块被脉石矿物和矿石矿物所胶结。由于构造及成矿的多期性导致角砾中常有雌黄、雄黄及其他矿物质碎块存在,为板岩型砷金矿石最主要的构造特征,碎裂状构造受到再次的构造挤压作用改造为角砾状构造,两者的区别仅仅是构造改造的程度差异。

(3)脉状构造及网脉状构造。原矿石矿物和脉石矿物沿容矿岩石裂隙充填而成。这种构造在各类砷金矿石中普遍存在,其中以板岩型砷金矿石最常见。

(4)浸染状构造。矿石矿物黄铁矿、雌黄、雄黄、毒砂等以星散状或稠密状浸染容矿岩石形成浸染状构造,其中以黄铁矿最特征。这种构造多见于各类砷金矿石。

(5)条带状构造。局部次生石英岩与粘土岩矿石相间产生,呈条带状、莓球状黄铁矿沿变余层理发育,也形成了条带构造。

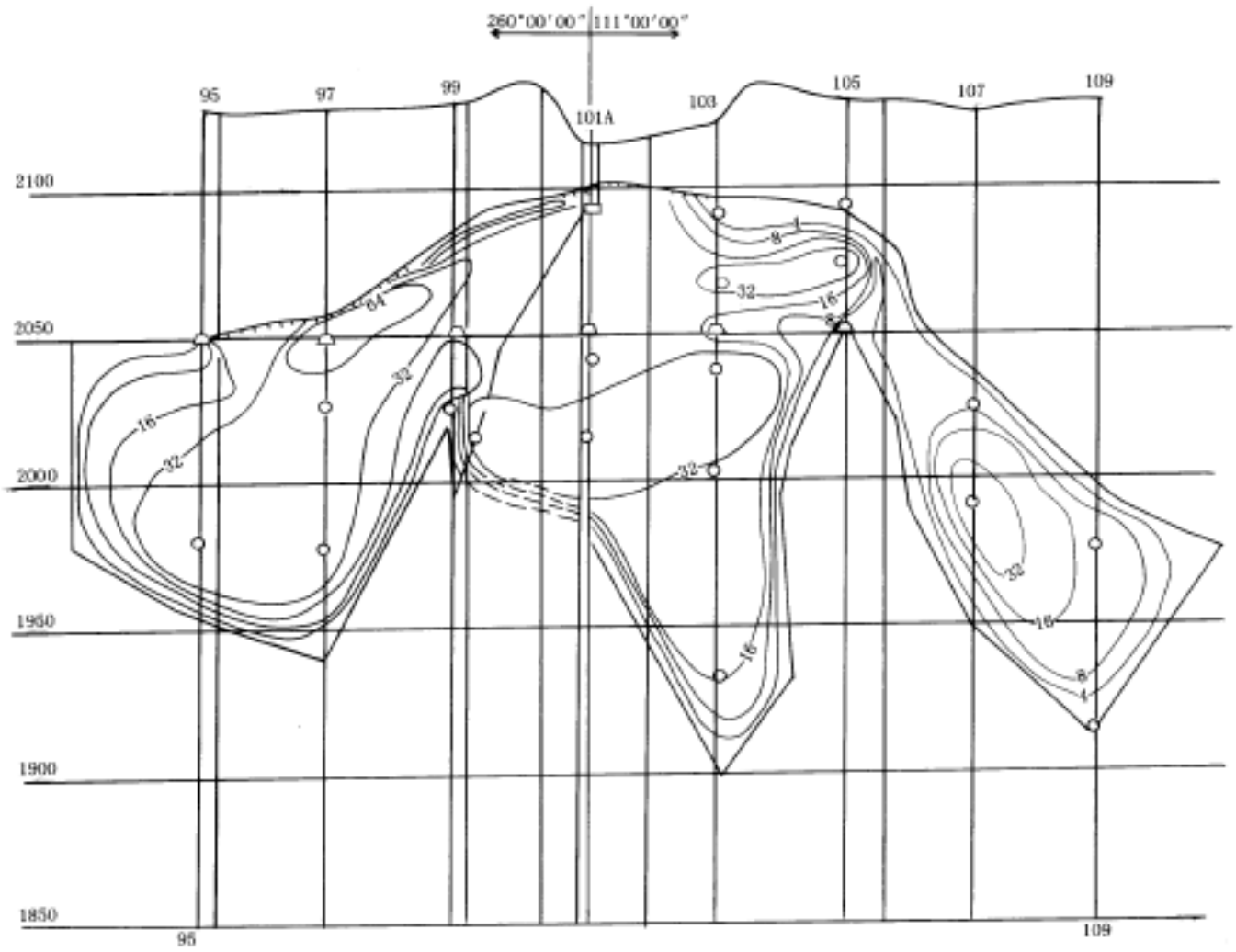


图 2 - 4 - 10　Au_2 矿体矿化强度、富集中心图

(6)斑点状构造。主要为雄黄、雌黄和雪花状高岭石及铁质和泥质吸附体,呈斑点状分布于矿石中,此类构造多见于花岗闪长岩型及粘土岩型的砷金矿石中。

此外,在矿石的氧化带中,常见晶洞构造和凝聚状构造。

2. 矿物成分

坪定砷金矿床矿石矿物主要有黄铁矿、雌黄、雄黄、毒砂等 16 种以上;脉石矿物有石英、高岭石、地开石、云母等 21 种以上(表 2 - 4 - 4)。

主要矿石矿物黄铁矿、雌黄、雄黄三者矿物含量较高,与金矿关系密切。由于矿物的不均匀性,其含量变化范围较大。黄铁矿含量变化范围为 0.5%～20%,一般为 2%～5%;雌黄和雄黄紧密共生,含量分别为 1%～60%和 1%～20%,一般含量变化范围分别为 10%～35%和 5%～18%。通常雌黄含量大于雄黄。其比例介于 10∶1～2∶1 之间。

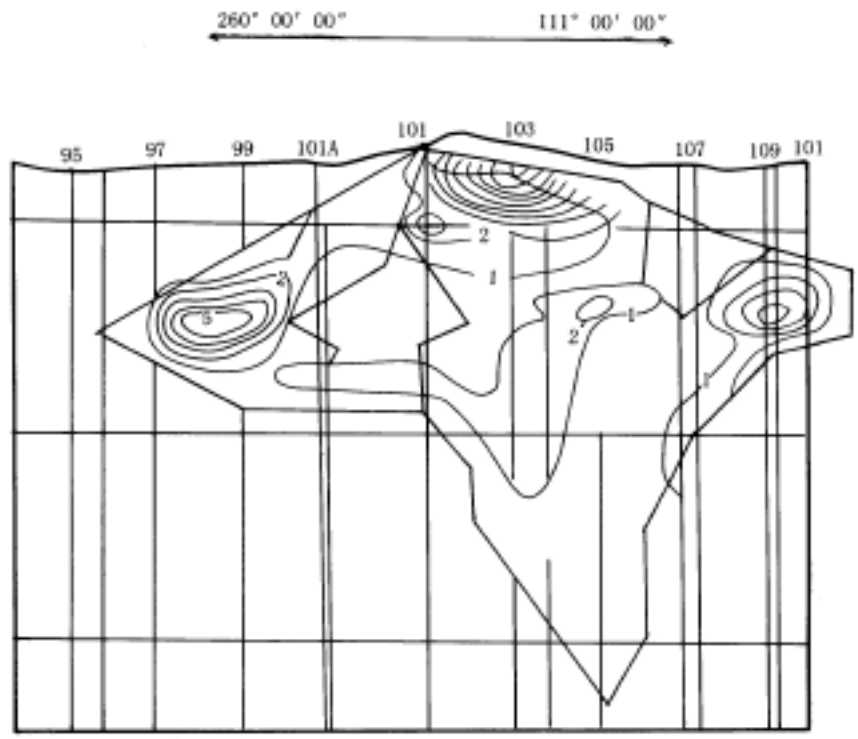


图 2 - 4 - 11　Au_1 矿体厚度等直线

表2-4-4　矿石矿物组成表

	矿　石　矿　物	脉　石　矿　物
主要矿物	黄铁矿、雌黄、雄黄	石英、方解石、地开石、高岭石、白云母、绢云母、白云石、砷铝石、臭葱石
次要矿物	毒砂、白铁矿、自然砷、自然硫、汞砷黝铜矿、褐铁矿	石膏、叶腊石、萤石、文石、伊利石、绿泥石、蛋白石、玉髓
少量矿物	辉锑矿、碲汞矿、方铅矿、闪锌矿、辰砂、银黝铜矿、特硫锑铅矿	长石、有机炭、石墨、金红石、锆石

主要有用矿物及其特征如下:

(1)黄铁矿。主要呈他形晶、自形晶-半自形晶和莓球体形式产出。黄铁矿的晶体主要呈立方体或五角十二面体,且常具环带结构。其环带是由黄铁矿中砷含量的差异所致。处于核心部位的黄铁矿含砷较低,外环带的黄铁矿含砷较高(一般大于2%)。有时可见几层环带产出。有些含砷黄铁矿围绕着莓球状黄铁矿颗粒生长,亦呈现出环带结构。另还可见到辉锑矿沿黄铁矿生长环带充填,使黄铁矿晶体受挤压而产生碎裂现象。

黄铁矿的粒度一般均小于0.1mm(占35%),呈分散状浸染于容矿岩石和嵌布于各种脉石矿物(主要是石英)的颗粒中间及裂隙、晶隙中。少部分呈细脉状或脉状嵌布。另有少量黄铁矿与雌黄和雄黄嵌生,有时可见到交代结构。

莓球状黄铁矿群体和单体多嵌布于石英裂隙和晶粒之间,在群体中间常充填有粘土质及极微量的其他金属矿物。

据西北矿产冶金研究院等单位研究成果,将黄铁矿大致分为三期:

早期成岩期生成微莓球状黄铁矿。

第二期为反射率稍高,不含或含砷很少的黄铁矿。这期黄铁矿多组成环带状黄铁矿颗粒的核部,化学成分接近于正常黄铁矿。

第三期为反射率稍低,呈浅棕黄白色黄铁矿,含砷较高(一般大于2%),多呈他形-半自形晶或嵌于前两期黄铁矿的边部组成环边。是金的最主要的载体矿物。

黄铁矿的Fe与S含量与其理论值相接近,据电子探针测试结果:平均含量Fe为45.602%,S为52.324%,As的含量变化为0.451%～4.914%,平均为1.556%。有的黄铁矿含As量可高达10%以上。

(2)雌黄。呈柠檬黄色,色泽鲜艳。晶体呈短柱状、板状、片状和梳状,叶片双晶发育,多集合成致密块状、斑点状分布。团块直径多在几至十余厘米之间。大者达30cm以上。在团块中,雌黄常与雄黄及少量黄铁矿、辉锑矿、辰砂等矿物紧密镶嵌,有的矿物相互之间具有交代关系。

(3)雄黄。呈桔红色,主要为不规则粒状、短柱状及针状,具完全的平行解理,与雌黄、辉锑矿、碲汞矿等一起嵌于脉石矿物颗粒间或裂隙中,多以直径为0.1～2cm的集合体(团块)形式产出。

(4)其他矿物。有粒状、长柱状、板状、针状辉锑矿;不规则粒状的砷黝铜矿、银黝铜矿,其间偶见辉锑矿的包体;它形不规则状的特硫锑铅矿和方铅矿;闪锌矿中见有汞砷黝铜矿、银黝铜矿的包裹体等。这些金属硫化物由于含量很少,不具有工业意义。

此外尚发现一种罕见的次生矿物——砷铝石,呈纤维状、皮壳状和多孔的块体,白 - 青灰色,玻璃光泽,属砷酸盐臭葱石族,斜方晶系。它的发现,对矿物学研究具有一定的意义。

3. 金的赋存状态

1)金在矿石不同粒级中的分布

将矿石破碎至 0.01～2.0mm 以后,筛选分级,分别测定金在不同粒级中的分布率,其结果见表 2 - 4 - 5。

从表 2 - 4 - 5 中可以看出,金在矿石不同粒度中的最佳富集区间为 - 0.9～ + 0.15mm,其分布大于 50%,统计分析表明,在各不同的矿石粒级中,Au 与 As、S 之间表现为正相关关系。Au 在黄铁矿中的含量与黄铁矿的粒级大小呈现负相关关系。当黄铁矿粒度由大于 0.03mm 至小于 0.015mm 变小时,金的含量由 120.7×10^{-6} 至 320.99×10^{-6} 增大。

表 2 - 4 - 5　金在矿石不同粒度间的品位和分布

粒级区间(mm)	Au 品位 ($\times10^{-6}$)	Au 分布率 (%)
+ 0.90	2.9	0.23
- 0.90～ + 0.154	12.3～12.4	57.12
- 0.154～ + 0.030	11.0～11.9	26.12
- 0.030～ + 0.020	20.2	6.43
- 0.020～ + 0.010	10.9～8.4	10.09

据晶胞参数测定结果,黄铁矿中金含量增加,晶胞参数有增大趋势。这是由于钴镍以类质同象置换了黄铁矿中的铁,砷置换了硫而使其晶胞棱长度膨胀之故。从而解释了一般情况下黄铁矿中 As、Au 含量正相关关系的内在原因。

2)金矿物的形状和成色

经研究绝大部分金矿物的颗粒小于 0.2μm,仅个别达 0.2～0.4μm。因此属次显微状金嵌布。

通过选矿和焙烧后,在残渣中见到呈单体状的自然金,形状为角砾状和针线状,表面洁净。

由西北矿产冶金研究院所做的黄铁矿单矿物的试金分析,含金为 258.65×10^{-6},银为 10×10^{-6},据此算得金矿物的成色为 962.80‰(电子探针直接测定的成色为 980‰以上)。

3)黄铁矿为主要载金矿物

(1)在黄铁矿溶解残渣中发现了自然金。含金量为 12.28×10^{-6} 的矿石样经大量的光薄片、人工重砂、扫描电镜及电子探针测定研究均未发现可见金,仅在用硝酸溶解黄铁矿以后的残渣中发现了次显微金及个别在显微镜下见 0.2～0.4μm 的金。

(2)金在黄铁矿中的含量和分布最高。在 - 150 网目矿样的单矿物中金的含量($\times10^{-6}$)是:黄铁矿为 258.65,地开石为 1.70,砷铝石为 0.5,而在雌黄、雄黄、石英、方解石及绢云母中均小于 0.05。金在黄铁矿中的分布率为 98.49%,而雌黄、雄黄以及综合脉石中的分布率只有 1.51%。

金在岩石中的含量($\times10^{-6}$)是:粘土岩为 0.80,次生石英岩为 0.56,凝灰质板岩小于 0.05。在粘土岩和次生石英岩中含量偏高。其原因是它们均含有微细粒黄铁矿。

(3)金在硫化物相中的分布率最高。金的化学物相分析表明,有 98% 以上的金赋存在硫化物中,氧化物、碳酸盐和硅酸盐中金的总和还不足 2%(表 2 - 4 - 6)。

表 2 - 4 - 6　金的化学物相分析结果

项　目	碳酸盐中包体金	硫化物中包体金	硅酸盐中包体金	总　金
含量($\times10^{-6}$)	0.11	11.45	0.05	11.61
分布率(%)	0.95	98.62	0.43	100.00

4. 矿物结晶世代、生成顺序和共生关系

在砷金成矿的热液演化过程中,由于构造活动的反复进行,热液亦随之上升,因而热液成矿和蚀变作用具有多期性和多阶段性的特点。经过对矿物共生组合和穿插等多种资料综合分析,将矿物结晶世代与生成顺序等归纳于图 2 - 4 - 12。从而将热液活动过程划分为三期七个阶段。

各个矿化阶段所对应的矿物种类就是相应的矿物共生组合,从图 2 - 4 - 12 可以看出矿物形成具有多世代和多种组合形式。从单阶段的矿物组合来看,4、5、6 三个阶段属于多硫化物型,矿物成分较复杂。

一般说来,在同一物理—化学条件下稳定共生的矿物应属于同一世代。基于这一定义,第一阶段为石英和玉髓及少量黄铁矿共属最早的结晶世代。

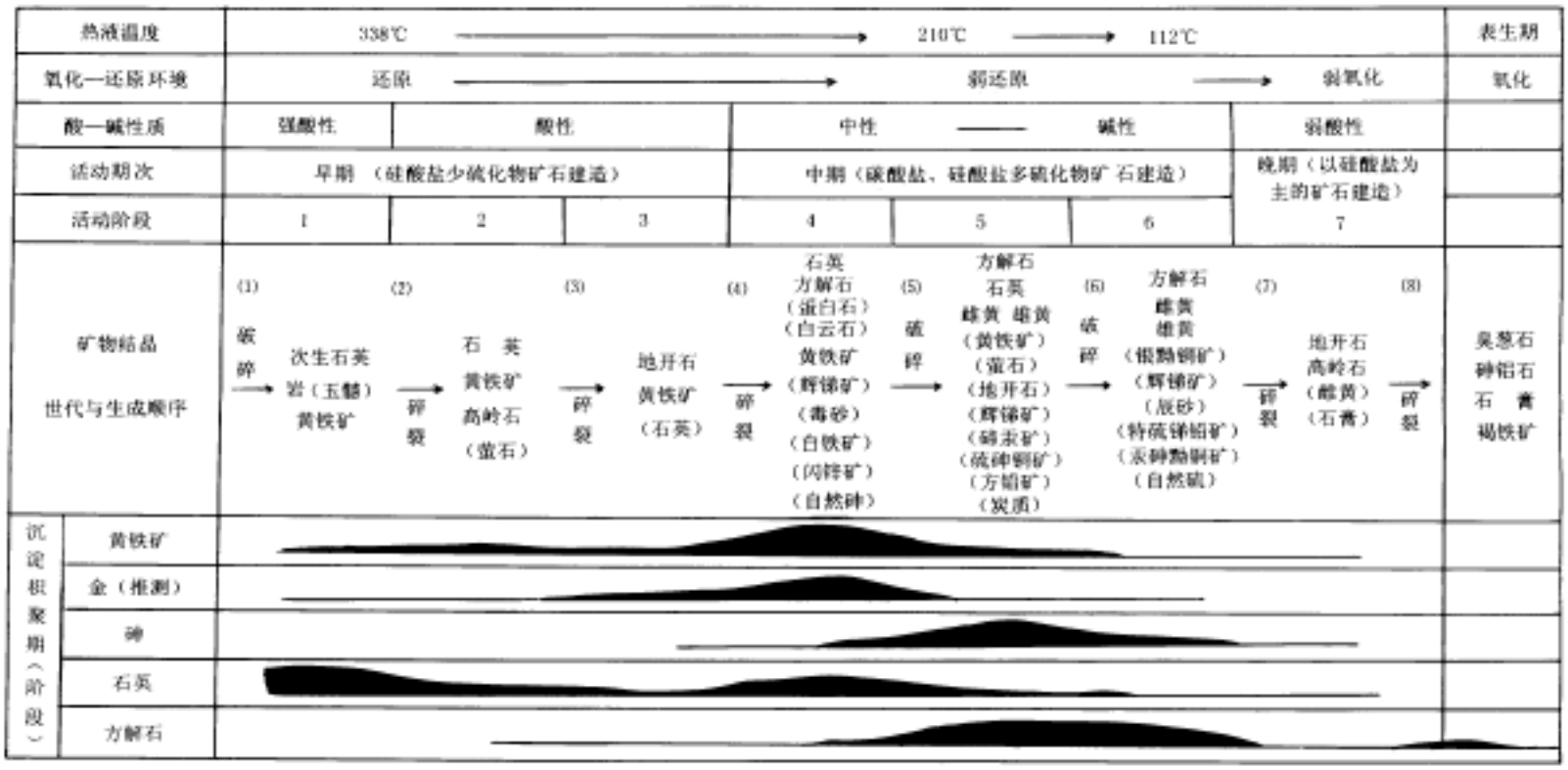


图 2 - 4 - 12　热液演化趋势与矿质沉淀阶段示意图

第二阶段:脉状石英和少量黄铁矿及萤石一起产出,与之相近的还有早期脉状高岭石形成。

第三阶段:生成脉状地开石,并有微细粒黄铁矿伴生。

第四阶段:有黄铁矿及少量毒砂、白铁矿、闪锌矿和自然砷等金属矿物,脉石矿物有石英、方解石及少量蛋白石、白云石等。可见到黄铁矿、毒砂、辉锑矿和白铁矿一起嵌生于脉石矿物颗粒之间,有些矿物还包裹、交代或者穿插先期生成的黄铁矿(和前述西北矿产冶金研究院对于黄铁矿生成期次的划分意见相对照,这里所指的第一至第三阶段相当于西北矿产冶金研究院划分的第二期,第三至第四阶段,以第四阶段为主,相当于他们所划分的第三期)。

第五阶段:有大量方解石及石英、雌黄和雄黄及少量辉锑矿、萤石、碲汞矿、硫砷铜矿和方铅矿等相伴产出。雌黄和雄黄呈大小不等的团块状集合体的形式产出,各种金属矿物嵌生于

脉石矿物颗粒之间或裂隙中,有些则在雌黄和雄黄块体中紧密相嵌。

第六阶段:有方解石、雌黄、雄黄及少量辉锑矿、银黝铜矿、辰砂、汞砷黝铜矿、特硫锑铅矿和自然硫等生成。可见到汞砷黝铜矿和银黝铜矿嵌于黄铁矿颗粒间或脉石矿物中;特硫锑铅矿与汞砷黝铜矿互相嵌连;辉锑矿包裹早期生成的雌黄、雄黄及黄铁矿等现象。

第七阶段:有地开石、高岭石、石膏和少量雌黄生成。此阶段的石膏被表生期的石膏所穿插。

总体看来,石英、方解石和黄铁矿生成于多个世代,都属于贯通性矿物,雌黄、雄黄、高岭石、地开石、萤石、辉锑矿各有 2 个～3 个世代。

5. 砷金矿石的化学组分

(1)常量组分特征。从表 2 - 4 - 3 可以看出,矿石类型不同和配矿情况不一样,其组分含量也随之有所差异。前面已经述及:正常凝灰质板岩的化学成分相当于中性火山岩,其酸度指数 AI = 0. 4467,相当于黎彤 - 饶纪龙标准中的辉石安山岩。岩石矿化后,常量组分的百分率发生了变化,总的趋势是酸度提高,AI 值增加到 0. 5963,超过了粗面岩(AI = 0. 5844),偏离正常板岩 28. 4%;次生石英岩型矿石的常量组分偏离最大,若把含钙板岩作为原岩来加以对比,偏离度高达 89. 9%(偏离度 = 1 - 隶属函数 μA(B));经过配矿以后的物质组分研究样品的 AI = 0. 5872,接近于板岩型矿石。

(2)有益组分。矿石中的有益组分主要有金,次为砷和硫。金的含量为 11×10^{-6} ～30×10^{-6},砷 3. 99%～15%(表 2 - 4 - 3)。金矿床平均品位,金大于 10×10^{-6},砷大于 6%,硫大于 4%,金和砷达到相应的工业指标。金具中型规模,砷、硫作为伴生组分可供综合利用。金和砷叠加富集的空间部位大体一致。砷主要赋存于雌黄及雄黄之中(分布率占 90. 32%);硫主要赋存于雌黄及雄黄和黄铁矿中。其他组分如 Ag、W、Mo、Sb、Hg 等因含量低,一般不具工业意义 。

(3)元素之间的相关性分析。将矿石中成矿元素与伴生元素 Au、Ag、Hg、As、Sb、W、Mo 等作了多元素统计分析,在回归分析中,呈显著正相关系的元素对有 Ag - Au、Ag - As、Ag - Hg 和 W - Mo,具一般正相关关系的元素对有 Au - As、Au - Hg(表 2 - 4 - 7)。

在聚类分析中,Ag 和 Au 在相似性为 0. 76 的水平上归为一类,两者又在 0. 58 和 0. 55 的水平上与 Hg 和 As 划为一群,Mo 和 W 在 0. 58 的水平上组成一类(图 2 - 4 - 13)。

在 R 型因子分析中取 4 个因子的情况下累积方差贡献已达到 85. 78%,它揭示了矿床在形成过程中,元素之间主要存在四组地质关联。各组地质关联的端元元素如表 2 - 4 - 8 所示。

表 2 - 4 - 7　砷金矿石中元素相关矩阵

Ag	Hg	As	Sb	W	Mo	Au	
	0.641**	0.615**	0.141	0.061	0.043	0.765**	Ag
		0.386*	0.202	0.190	0.332	0.434*	Hg
			-0.037	-0.024	-0.011	0.417*	As
				0.005	-0.128	0.087	Sb
					0.580**	0.041	W
						-0.037	Mo

临界值:γ = 0.349, γ = 0.449; * *　表示显著相关; *　表示一般相关。

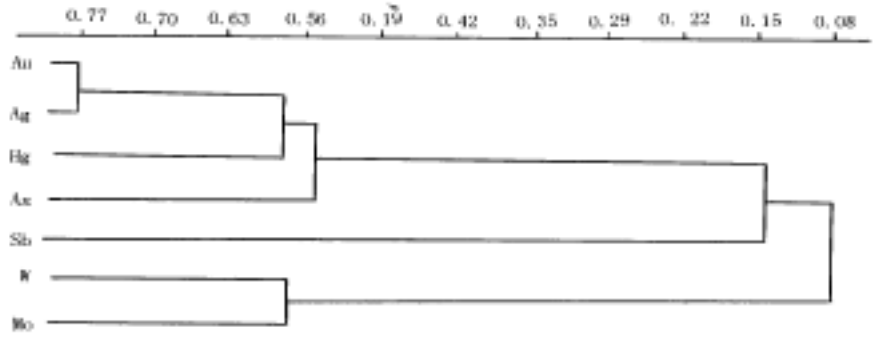


图 2 - 4 - 13　砷金矿石中元素聚类分析谱系图

表 2 - 4 - 8 中的 f_1 代表砷(汞)成矿因子,在因子载荷上突出了砷的成因概念,即在热液演化的相应阶段中砷的沉淀积聚作用居主导地位。其副端元素除了汞之外,和银之间也有一定的成因联系。

f_2 代表了钨钼富集因子。从斜因子相关矩阵(表 2 - 4 - 9)来看,它与其他因子之间相关程度较低,表明该因子独立性较强,与金、砷之间无明显的成因联系。相反,钨和钼在同迁移与共沉淀过程中存在密切联系。

f_3 代表了锑成矿因子。该因子在成因概念上独立性也较强,同那个元素都不那么密切。

表 2 - 4 - 8　砷金矿石 R 型因子分析斜因子载荷矩阵

	因子			
	f_1	f_2	f_3	f_4
元　素	载荷			
Au	-0.037	0.013	-0.051	-0.996**
Ag	0.455	-0.007	0.036	-0.604*
Hg	0.693*	0.253	0.264	-0.003
As	0.916**	0.212	-0.207	-0.012
Sb	-0.084	-0.114	1.001**	0.044
W	-0.304	0.921**	-0.020	-0.233
Mo	0.210	0.867*	-0.121	0.246

*　表示副端元素; * *　表示主端元素

f_4 代表了金(银)成矿因子。金是显著的主端元元素,银是副端元元素,银与金之间具有共消长之势,但又显得很次要。从表 2 - 4 - 9 可见,f_1 和 f_4 之间存在着明显的负相关关系,其相关系数高达 -0.563,表明样本中数据的方差贡献收敛缓慢,两个因子之间既

密切而又反向,都有各自独立一面,反映了金和砷的沉淀积聚作用均产于同一热液成矿大期之内,而又有阶段先后之分,在沉淀积聚过程中二者互为反消长关系。上述几种相关性统计分析揭示了元素之间的内在联系,与地质特征亦有一致性。

表 2-4-9　砷金矿石 R 型因子分析斜因子相关矩阵

f_1	1.00			
f_2	0.220	1.00		
f_3	0.207	0.115	1.00	
f_4	-0.563	-0.055	-0.233	1.00
	f_1	f_2	f_3	f_4

6. 矿石自然类型及工业类型的划分

近地表矿体曾遭受地下水等的淋滤作用,但根据矿床中 S、As、Fe 等 3 个元素的矿石矿物的物相分析和野外调查,近地表存在少量氧化矿石类型,主要以原生矿石类型存在,氧化程度很低。

根据矿石的主要结构、构造,容矿岩石的性质特征,将矿石自然类型划分为以下 5 类:

(1)次生石英岩型金矿石。容矿岩石主要由次生石英和粘土矿物组成,形成了以雌黄、雄黄、黄铁矿、方解石及石英细脉为主的成分较复杂的次生石英岩型金矿石。雌黄的含量约 2%～3%,其块度一般在几毫米至几十厘米之间;雄黄的含量一般较少;黄铁矿的含量为百分之几,粒径介于 0.034～0.12mm 之间;脉状方解石及石英粒度一般较粗。从总体上看,矿石呈疏松块状构造、角砾状构造及浸染状构造等。该类矿石多分布在 Au_1 矿体上部,往往具有较高的金品位。

(2)凝灰质板岩型金矿石。根据构造差异又可分为雄雌黄、黄铁矿碎裂板岩型金矿石和雄雌黄、黄铁矿角砾岩型金矿石两个亚类型。两者之间多呈过渡关系。

容矿岩石包括凝灰质板岩、含钙板岩和含炭板岩。在矿化中,成矿溶液沿构造裂隙及板理、岩石孔隙进行充填、渗透、交代,形成以块状、细脉状、网脉状构造为主,以方解石、石英、雌黄、雄黄 、黄铁矿及其他矿物为组合特点的金矿石。这类矿石是本矿床最主要的矿石,Au_1 和 Au_2 中、下部以及其他矿体大部分由这类矿石组成。

(3)地开石粘土型金矿石。岩石成分以地开石为主,次为高岭石、雌黄、雄黄、黄铁矿及石英、萤石、有机质等,质软。矿石矿物比较细小,多呈浸染状构造 。Au_2 矿体的上部多由该类矿石组成。

(4)花岗闪长岩型金矿石。容矿岩石多为蚀变花岗闪长岩。热液矿化的形式多为疏密不均的浸染状及细脉状、斑点状。矿石矿物主要为雌黄、雄黄和黄铁矿。脉石矿物主要为高岭石、石英和方解石。该类矿石所占比例极小,分布于有成矿前断裂通过的脉体部位,常和板岩型矿石一起共同组成矿体。

(5)生物灰岩型金矿石。容矿岩石为碳酸盐化及硅化碳酸盐岩,含有生物碎屑。矿化作用沿其裂隙进行,矿石矿物主要为雌黄、雄黄和黄铁矿。脉石矿物主要为方解石、次为石英、白云石等。矿石呈碎裂状—角砾状构造。该类矿石分布比较局限。

矿石工业类型通过对矿石的可选性和实验室选矿试验(分别由甘肃省地质矿产局中心实验室和吉林冶金研究院所做),认为矿床中的矿石属于以雌黄及雄黄为主的高砷型金矿石,金的粒度极其细小,是一种难选金矿。因此,尽管有关单位在选矿试验中从多方面进行了探索性研究,但仍未能获得符合生产需要的最佳工艺流程。

(四)蚀变类型及分带

坪定砷金矿床蚀变类型主要有硅化、碳酸盐化、粘土化和黄铁矿化,与金砷矿化关系密切。此外,还有较微弱的绢云母化、萤石化、滑石化、叶腊石化和绿泥石化等,蚀变程度弱。在空间上各种蚀变往往互相叠加于同一矿体围岩中,在时间上的成因联系如图 2 - 4 - 12 所示。

主要蚀变类型如下:

(1)硅化。分布范围较广,强度一般较强,特别是在 Au_1 号矿体的上部由于硅化强烈,使部分原岩变质成了次生石英岩,其特点是:

早期阶段,主要表现为灰色微细粒石英(及玉髓)在不同程度上交代了原岩,生成次生石英岩、硅化粘土岩及其过渡类型。早期硅化还形成了一些硅化碳酸盐岩。次生石英岩的渗透性较高,为后来的浸染矿化作用提供了良好的条件。

热液活动的第 2 至第 5 阶段的硅化,主要以脉状充填的形式出现,分布较广,部分与金砷矿化作用比较密切。

(2)碳酸盐化。分布范围广,强度强,有两种表现形式:一是新生方解石及含铁方解石、白云石等矿物出现;二是以脉状充填物及矿物集合体的形式出现,主要生成于第 5 和第 6 两个阶段,与砷矿化最为密切。其次在第 4 阶段生成,与金、砷矿化密切相关,并伴有黄铁矿等多种热液矿物生成。此外,在围岩中的碳酸盐细脉,推测是更晚期生成的。

(3)黄铁矿化。主要产在砷金矿(化)体及其邻近围岩中,黄铁矿以微细粒为主,呈稀疏浸染状及细脉状分布,它几乎出现在热液活动的各个阶段,属于一种贯通性矿物。其中第 4 阶段生成的黄铁矿是矿床中最主要的载金矿物。

(4)粘土化。包括高岭土化和地开石化,分布范围也很广,其蚀变强弱变化较大,甚至如在 Au_2 号矿体的一些部位已蚀变成地开石化,并成为容矿岩石之一。第 7 阶段的粘土化有地开石和高岭石两种粘土矿物出现,与矿化作用关系较小。

宏观上各种类型的蚀变是互相叠加的。但在空间上某一位置,由于蚀变作用发生时裂隙发育的程度不同,具有一定的选择性,往往只有部分蚀变类型产生,但硅化、碳酸盐化、粘土化和黄铁矿化等 4 种主要类型同时存在的现象是普遍的。总体看来,蚀变以矿体及其他主要断裂、裂隙或破碎带为中心,蚀变强度大,远离上述部位蚀变强度明显减弱或者产生突变,不具蚀变,蚀变强度分带显著。多重蚀变(尤其是其中 4 种主要蚀变)叠加,且蚀变作用强烈地段,与矿床的富集及构造活动强烈部位一致。

三、矿床地球化学

(一)成矿温压条件

用爆裂法对石英、雌黄及方解石进行测温,其温度变化范围及平均温度见表 2 - 4 - 10。

从表 2 - 4 - 10 中数据来看,矿床的成矿热液温度变化范围大致在 112℃～338℃左右,属于较典型的中低温(热液)成矿类型。

表 2 - 4 - 10　包裹体测温表

样　品	矿　物	变化范围(℃)	平均温度(℃)	方　法	测定单位
954	石英		288	爆裂法	沈阳地质矿产研究所
954	雌黄		165		
88KW - 2	雌黄		143		宜昌地质矿产研究所
89KW - 1	方解石	112～183	133		桂林矿产地质研究院
89KW - 2	石英	154～185	173		
89KW - 3	石英	303～338	317		
		166～240	207		

多种来源的热力叠加形成了区域热力场,据巨厚地层计算地热增温率,矿区前石炭纪地层在地槽回返以前,就处于超越百度的高温之下,这种热能是促进矿质从岩石活化析出和促进地下水循环的一种重要因素。在印支运动过程中,岩浆活动、构造运动以及放射性物质不断的进行蜕变反应等多种地质作用,均可提供大量的热量,形成了区域热力场。这为含矿热液形成与循环提供了热力条件。

压力是含矿溶(汽)液及地下水的活动驱动力,主要来自地层静压力、构造应力和热力等,它促使含矿流体从高压区向低压区(开放区)单向流动。印支运动,形成了白龙江复式背斜,含矿流体从背斜翼部(相对高压区)向轴部虚脱负压空间地带、近轴部各级断裂 、裂隙(相对低压区或负压空间)流动,形成主要的古泄水区(带),断裂构造的相对导通性较好,因此,在相对封闭的次级断裂部位易形成负压空间,也易于矿质的沉淀成矿。

(二)成矿流体特征

1. 关于运矿介质—水的来源问题

区域沉积地层巨厚,在经压实、变质过程中其间的层间水、裂隙水等被析出,其水量是相当巨大的,足以构成古地下水的主体。根据九源和坪定矿床的氢、氧同位素资料亦证明了这一结论。九源金汞矿床方解石的 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 值为 22.15‰～23.64‰,坪定砷金矿床石英的 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 值为 16.97‰,将其与泰勒资料再生水的 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 值为 + 5‰～ + 25‰对照,均属变质成因再生水的氧同位素组成范围内,表明成矿热液中的水介质主要来源于地层。唯其 δD 同位素组成略有偏离(表 2 - 4 - 13),落在再生水(- 65‰～ - 20‰)与初生水(- 80‰～ + 40‰)之间,偏离的原因尚待进一步探索。

至于其他水源,由于区域地质条件所限,不可能构成区域地下水的主体,只能是古地下水的一种补充来源。因此,矿床地下水的主体是地层水(沉积水和变质水),水中所溶解的矿质也主要由地层提供。

2 .热液的物理—化学作用机制

(1)热液演化趋势与矿产沉淀阶段。热液演化大致趋势是:温度从大于或等于 338℃降到小于或等于 112℃;环境从还原→弱还原→弱氧化;酸碱度从最初的弱酸性(估计 pH 小于 4)逐步演化到碱性,最后又转为弱酸性。之所以把最初阶段热液的 pH 值推测为 4,其依据是因为多数次生石英岩都比较纯洁,表明在产生次生石英岩时的酸滤过程中,即使是原岩的稳定组分—Al_2O_3 也产生了迁移。而 Al_2O_3 产生迁移的条件一般是 pH 值小于 4 时的情况下才能实

现。

在不断演化着的各种环境参数和质量作用效应等因素的综合控制下,而金主要沉淀积聚于热液演化的第 4 阶段,即硅酸盐 - 碳酸盐 - 多硫化物(种类较多而数量很少)阶段,其次是第 3 阶段的硅酸盐少硫化物阶段。从而可以看出,金沉淀积聚的环境是水介质从酸性转变为中性,从还原转为弱还原,爆裂温度大致在 338℃～140℃的范围内,而主要沉淀温度大约在 248℃左右。

(2)酸碱作用机制。在热液演化的第 1 阶段,有“前探酸性波”首先到达容矿场所,岩石经酸滤蚀变变成了次生石英岩。次生石英岩具有较强的渗透性和较高的有效孔隙度,为金和砷的矿化提供了有利条件。因此,矿区的次生石英岩都含金,而且往往构成富矿石。

矿床中富钙和含钙岩石占有较大的比例,它们对酸性溶液具有碱性地球化学元素屏障,即酸碱中和反应,溶液的 pH 值升高。促进了酸质的解离,产生的 S^{2-}、$[S_2]^{2-}$ 和 CO_3^{2-} 等沉淀剂与金属阳离子结合,形成难溶化合物而沉淀。

(3)氧化 - 还原作用机制。矿床在热液演化的早期和中期有少量硫和砷的单质矿物出现,而没有含氧的矿物生成,从而表明热液处于多硫少氧的还原和弱还原的环境中。据有关研究成果认为,在热液从还原向弱还原过渡的环境中,利于 $[AuCl]^-$ 和 $[Au(HS_2)]^-$ 等含金络合物的分解,并使金还原为自然金而沉淀。晚期在矿床上部形成的弱氧化和弱酸性环境,控制了硅酸盐—硫酸盐少硫化物的矿石建造的形成。

(4)溶液的盐度及其对矿质搬运的影响。据个别石英包裹体中溶液的盐度测定,其当量重量为 3.93%。这个数值反映出金是在盐度较低的富 CO_2 的水介质中搬运的。据有关研究成果(邱水泉,1991)认为,这种流体能携带一定数量的硫,这些硫足以使金形成络合物,但所携带的硫和氯不足以搬动贱金属。这大概也是矿床中各种贱金属富集程度很低的一个重要原因。贱金属元素的富集程度很低,又反映了矿床的成矿热液总体演化进程的最后阶段。因为在“后生热液矿床的典型分带序列”(Park,1995)和“硫氢化合物络离子的稳定性序列”(Barnes,1962)中,金、汞、锑都位居尾部。

3. 稳定同位素地球化学

(1)钾—氩法测定。原地矿部沈阳地质矿产研究所用钾 - 氩法测定了矿区脉岩和邻区九源金汞矿区内的中—酸性脉岩的形成时代,前者年龄为 214.1Ma,属三叠纪末期;后者为 200.7Ma,形成于晚三叠世。两者脉岩的年龄比较相近,可以互相对照和印证。但所测两个样品的年龄均已超过 2 亿年,故钾 - 氩法测定的年龄可能略有偏低,且坪定的岩石中 K_2O 的含量低于 1.5%,只有 0.94%,故所测数值可能要受到一定影响。

(2)铀钍铅同位素的测定。中国有色金属矿产地质研究院以雌黄和雄黄为样品测定了铀钍铅同位素组成(表 2 - 4 - 11),以了解矿床的形成时代。

表列所示,矿区的铅反映为异常铅是根据其他数据进行反算而获得的铀钍同位素组成数值,进而计算 $^{235}U/^{204}Pb$ 比值(未获得直接数据)为 0.0715～0.0726,超出了正常普通铅的 0.063～0.067 的数值范围;计算的 $^{235}U/^{204}Pb$ 比值为 9.85～10.00,超出了正常普通铅 8.68～9.238 的上限;计算的 $^{232}Th/^{204}Pb$ 比值为 38.525～40.00,超出了正常普通铅 35.55(±0.5)的范围。应用单阶段模式计算的成矿年龄明显地大于地质推断年龄,这种现象的出现似乎也是判别其为异常普通铅的标志之一。

表 2 - 4 - 11　铅同位素组成与一些同位素比值表

样号	矿物	铅同位素比值			铅同位素组成(%)				斯坦西两阶段模式		
		$\frac{^{208}Pb}{^{204}Pb}$	$\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}$	$\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}$	^{208}Pb	^{207}Pb	^{206}Pb	^{204}Pb	t ($\times 10^6$ a)	μ_2	Th/ U
D_2 - 1	雄黄	38.454 ±3	15,636 ±2	18.373 ±3	52.345	21.284	25.010	1.361	265	9.85	3.91
D_2 - 4	雄黄	38.495 ±4	15,643 ±1	18,373 ±1	52.366	21.280	24.994	1.360	279	9.88	3.93
D_2 - 2	雌黄	38.434 ±4	15.663 ±1	18.274 ±2	52.383	21.348	24.906	1.363	392	9.99	3.89
D_2 - 5	雌黄	39.512 ±8	15.666 ±1	18.296 ±3	52.416	21.322	24.901	1.361	381	10.00	4.00

反映为正常普通铅的迹象是:铅的 4 种同位素的数值变化幅度低于各地的一般变化范围 0.3%～1%,表明同位素组成相当稳定,其增长是遵循单阶段模式进行的;表 2 - 4 - 11 所示 Th/ U 比值未超出正常普通铅相应比值 2.9～4.84 的数值范围;^{204}Pb 的组成数值均大于 1.2%;^{206}Pb 的组成数值均小于 26%;$^{207}Pb/^{204}Pb$ 比值小于 16% ;经过在以^{206}Pb、^{207}Pb、^{208}Pb 为端元的三角图上投影,4 个样品均落在图内的小三角形区域内,上述种种现象又都有反映了本区的铅属于正常普通铅。

基于上述情况,有色金属矿产地质研究院应用斯坦西两阶段模式计算了成矿年龄,其数值介于(392Ma～265Ma 之间,属中泥盆世 - 早二叠世。此数据中有的同容矿地层的形成时间较接近。为了便于对照,我们按正常普通铅应用单阶段模式又进行了计算,结果为 337.5Ma～234.3Ma,属早石炭世—中三叠世。此计算结果,虽向实际成矿时间靠近了一些,但年龄仍然大得多。鉴于这种情况,根据本区构造运动和脉岩的生成主要发生在印支期,及脉岩也是容矿岩石这两点地质事实,应用构造运动、岩浆活动和热液成矿作用往往是有机配合、同期发生,在时空上互相对应的地质理论,把矿床的成矿时间初步推测在印支末期。而将上述计算的铀—铅年龄理解为矿质自源区逐步析出的时间。矿质析出后,在迁移与积聚过程中铀铅同位素组成没有发生明显变化。

(3)硫同位素的测定。从表 2 - 4 - 12 可见,矿床热液硫化物中的硫同位素组成的 $\delta^{34}S$ 值为 1.8‰～9.6‰,变化范围很小,且均为正值,平均值为 5.64‰。

(4)氧氢同位素测定。为便于对照,将坪定与九源所测定的数值进行对比,以作参考(表 2 - 4 - 13)。

4. 微量元素地球化学

九源—坪定一带 1∶10 000 地球化学土壤测量,圈出数 10 个 Au 及其相关的 Hg、As、Sb 异常,异常呈北西向展布,沿构造带分布,其中坪定以东的 Au_5 和 Au_6 两个土壤 Au 异常,面积较大,呈长条状分布,异常分带好,强度大,峰值分别为 500×10^{-9} 和 5000×10^{-9},在异常区分别发现了雄黄坡金矿和尖山梁金矿,与坪定砷金矿床成矿地质背景相似,矿石类型基本相同。但坪定矿区 1∶10 000 土壤 Au 异常显示很微弱,这是由于第四系覆盖所致。

表 2 - 4 - 14 所列数据是在 101 线通过原生晕研究初步摸索的一些地球化学找矿指标,从数值上看,各晕带的差异较大,规律性较强,可供今后进一步扩大矿床远景时预测深部矿体过

程中参考。

表 2 - 4 - 12　硫同位素($\delta^{34}S$)组成表

样　号	矿　物	$\delta^{34}S$(‰)	标　准	测　定　单　位
$88D_2$ - 1	黄铁矿	1.8	- CDT	宜昌地质矿产研究所
$88D_2$ - 2	黄铁矿	6.3		
$88D_2$ - 3	雄黄	9.6		
244 - 949	雌黄	5.09	- CDT	沈阳地质矿产研究所
$89D_2$ - 1	雄黄	6.9		桂林矿产地质研究院
$89D_2$ - 4	雄黄	5.1		
$89D_2$ - 2	雌黄	4.8		
$89D_2$ - 5	雌黄	5.5		

表 2 - 4 - 13　氧氢同位素组成(‰)

矿　区	样　品	矿　物	$\delta^{18}O_{SMOW}$	$\delta^{18}O_{PDB}$	δD_{SMOW}
坪　定	925	石英	16.966	(- 13.48)	- 74.892
九　源	952	方解石	(23.640)	- 7.004	(- 66.032)
	907	方解石	(22.545)	- 8.066	- 75.921
	932	方解石	(22.149)	- 8.450	(- 77.600)

注:氧氢同位素组成系由沈阳地质矿产研究所测定,表内带括号的数据为笔者根据有关公式进行换算的数值。

表 2 - 4 - 14　坪定砷金矿床 101 线各晕带地球化学找矿指标

原生晕带		找矿指标													
		累加带		累加指数					元素衬值(含量/丰度)						
		Au+As	L *	$\frac{L}{W}$	$\frac{L}{Mo}$	$\frac{Au+As}{W}$	$\frac{Au+As}{Mo}$	$\frac{Au}{W}$	Ag	W	Mo	Hg	As	Sb	Au
上盘晕带	远矿晕带:距矿体 80m	1.15	5.64	0.91	2.26	0.19	0.46	0.13	1.7	6.2	2.5	2.9	0.3	1.6	0.8
	中矿晕带:距矿体 40m	2.16	13.80	3.25	4.26	0.51	0.67	0.37	2.3	4.3	3.2	6.9	0.6	4.7	1.6
	近矿晕带	19.94	36.22	13.77	12.75	7.58	7.02	4.86	1.9	2.6	2.8	9.6	7.2	6.7	12.8
砷金矿体									6.2	16.3	3.5	74.3	2491	443	13×10^5
下盘晕带		51.29	180.21	4.88	9.30	1.39	2.65	0.07	25.2	37.0	19.4	123.6	25.3	5.6	25.7

注:L = Au + As + Hg + Sb。

四、成矿时代与矿床成因

(一)成矿时代及期次

成矿时代的确定:坪定砷金矿床,用中 - 酸性脉岩钾 - 氩法测定年龄为 214.1Ma;以雌黄和雄黄为样品测定的铀、钍、铅同位素组成,用斯坦西两阶段模式计算了成矿年龄,介于 392Ma～265Ma 之间,属于中泥盆世 - 早二叠世,与部分容矿地层形成时间较接近;按照正常普通铅应用单阶段模式计算成矿年龄为 337.5Ma～234.3Ma,属早石炭世 - 中三叠世。年龄均大于 2 亿年,结合本区构造运动和脉岩主要产出于印支期,及部分脉岩同时也是容矿岩石这两点地质事实,应用构造运动、岩浆活动和热液蚀变矿化作用往往是同期发生,在时空上互相对应的一般性规律,初步推测矿床的成矿时间为印支末期或燕山期。

坪定砷金矿床属较典型的中 - 低温热液微细粒浸染型金矿(卡林型金矿)热液作用初步划分为早、中、晚 3 期,7 个阶段,金的主成矿期为早期末 - 中期的第 3、4、5 阶段,其中主成矿阶段为第 4 阶段;砷主成矿期为中期,主成矿阶段为第 5 阶段(图 2 - 4 - 12)。

表 2 - 4 - 15　白龙江上游地区志留系岩石和土壤中元素的丰度($\times 10^{-6}$)

岩石、土壤		板岩	灰岩	含炭板岩	炭质板岩	炭硅质板岩	含粉砂板岩	粉(细)砂岩	土壤
Cu	平均值	39.63	18.67	39.67	43.08	31.68	31.38	28.64	35.69
	标准离差	14.95	2.66	23.54	20.69	13.51	9.20	13.15	7.97
	克拉克值	45	4(碳酸盐岩)					X	20
Pb	平均值	35.61	71.00	30.33	29.25	28.00	33.61	34.23	43.86
	标准离差	8.21	6.20	8.48	8.24	5.70	7.59	9.18	6.94
	克拉克值	20	9(碳酸盐岩)					7	10
Zn	平均值	113.80	59.00	116.09	107.08	106.25	94.44	104.87	123.4
	标准离差	51.35	53.51	79.19	33.72	62.75	28.16	53.05	26.87
	克拉克值	95	20(碳酸盐岩)					15	50
Mo	平均值	2.98	1.01	6.84	4.17	6.32	0.89	0.96	1.84
	标准离差	3.52	0.60	5.02	4.06	5.47	0.82	0.63	0.84
	克拉克值	2.6	0.4(碳酸盐岩)					0.2	3
As	平均值	11.26	20.83	20.60	12.50		9.00	12.08	
	标准离差	6.60	15.94	8.17	3.54		2.24	7.27	
	克拉克值	13	1(碳酸盐岩)					1	
Ag	平均值	0.09	0.09	0.84	0.37	0.36	0.10	0.09	0.15
	标准离差	0.06	0.06	0.69	0.31	0.25	0.04	0.04	0.07
	克拉克值	0.07	0.0x(碳酸盐岩)					0.X	
V	平均值	93.33	35.02	189.00	212.33	223.32	87.18	64.29	115.13
	标准离差	44.71	31.21	76.86	95.19	108.98	23.44	24.82	28.62
	克拉克值	130	20(碳酸盐岩)					20	100
Co	平均值	11.96		8.33	8.78	6.67	13.49	10.89	18.77
	标准离差	5.62		4.87	3.92	5.40	4.00	7.64	4.34
	克拉克值	19						0.3	8
Ni	平均值	36.36	7.42	37.33	32.13	24.37	38.88	25.72	46.26
	标准离差	13.00	4.08	11.14	13.97	16.50	13.30	13.35	9.44
	克拉克值	68	20(碳酸盐岩)					2	40

注:1. 岩石中元素的克拉克值,系根据 K.K.Turikian 和 K.H.Wedepohl(1996);土壤中元素克拉克值系根据 Vinogradov(1954)。

2. 表中数据根据甘肃省地质矿产局第三地质队化验室和甘肃省地质矿产局兰州中心实验室的定量分析成果计算求得。

3. 计算平均值的样品数:板岩 20～25;灰岩 6;土壤 51～58;其他岩石为 10～19;少数为 2～9。

表 2 - 4 - 16　白龙江上游地区主要岩系中金锑汞元素的丰度(×10⁻⁶,Au×10⁻⁹)③

岩　石		变火山岩	砂岩	粉砂岩	千枚岩	千枚状板岩	粉砂质板岩	粘土岩	泥板岩
克拉克值①	Au		x					x	x
	Sb		0.0x					1.00	1.50
	Hg		0.0x					0.x	0.40
石炭系	Au								8.42/1
	Sb								8.00/1
	Hg								
上泥盆统	Au								
	Sb								
	Hg								
中泥盆统	Au			2.70/1			0.70/1	1.35/1	3.66/8
	Sb			6.00/1			6.25/1	6.00/1	9.18/8
	Hg			0.11/1			0.97/1	0.15/1	0.25/6
中上志留统	Au		5.32/6	1.33/6		1.84/4	1.73/11		1.78/12
	Sb		2.70/6	308/6		2.40/4	3.12/11		5.87/12
	Hg		0.73/6	0.29/6		0.19/4	0.24/11		0.21/12
下志留统	Au				0.81/1	0.64/2	1.06/2		0.71/2
	Sb				0.17/1	1.25/2	1.03/2		1.25/2
	Hg				1.25/1	0.23/2	0.09/2		0.21/2
前志留统	Au	2.00/15							
	Sb	0.27/11							
	Hg	1.77/11							

岩　石		钙质板岩	硅质板岩	炭质板岩	砂质板岩	泥灰岩	灰岩②	生物灰岩	平均丰度
克拉克值①	Au						x		
	Sb						0.20		
	Hg						0.04		
石炭系	Au			0.66/1			1.00/1		3.36/3
	Sb			6025/1			1.00/1		5.25/3
	Hg			1.15/1			3.82/1		2.49/2
上泥盆统	Au						1.27/3		
	Sb						2.27/3		
	Hg						1.78/3		
中泥盆统	Au	1.09/2	0.56/1			1.90/2	0.89/22	0.51/1	1.54/39
	Sb	1.13/2	1.25/1			1.75/2	5.69/22		5.08/38
	Hg	0.10/2	0.77/1			0.09/1	0.19/16	11.00/1	0.23/30
中上志留统	Au	1.90/5		1.97/8	2.70/1				2.18/53
	Sb	2.3/5		11.4/8	1.50/1				4.78/53
	Hg	0.17/5		0.52/8	0.13/1				0.32/53
下志留统	Au		0.47/1						0.76/8
	Sb		1.25/1						1.06/8
	Hg		0.09/1						0.30/8
前志留统	Au								2.00/15
	Sb								0.27/11
	Hg								1.77/11

注:①根据 Turekian 和 Wedepohl,引自《Geochemical Tables》,H. J. Tosler/ H. Lange, 1972。②克拉克值,系指碳酸盐岩(Carbonates)的克拉克值。③分子为该元素丰度值,分母为样品数。

(二)控矿因素分析

(1)构造因素。在诸多控矿因素中,构造因素处于主导地位,尤以断裂构造最为显著,强烈的印支运动形成了本区的地质背景框架,产生了一系列不同级别的平行区域构造线方向(北西向)的断裂、裂隙,为矿质热液的运移和富集成矿提供了有利通道和相对封闭的沉积空间场所,对矿体的空间分布、产出状态、厚度及在断裂构造中赋存部位及矿化、蚀变范围等起到了严格的控制作用。

(2)作为“底垫”地层存在的厚度巨大的志留系、泥盆系,富含 Au、As、Cu、Sb 等成矿元素见表 2-4-15、2-4-16,为含矿热液将成矿元素从中活化析出提供了大量物质来源(硫源)。

(3)运矿介质—水的来源。主要是古地下水,主体是沉积水、变质水,是矿质热液迁移、聚集的载体[详见本节“三、2(1)”叙述]。

(4)温度和压力是含矿热液热力及驱动力的来源。热力来源于地层增温、岩浆热、构造运动以及放射性物质蜕变等多种途径。压力来自地层静压,构造应力和垫力等[详见本节“三、(一)”中叙述]。

(5)碱性地球化学屏障改变了由深部上升而来的酸性含矿热液性质,改变了热液原有的环境和各种平衡。新的平衡的形成,导致矿质的沉淀积聚。热液的这种涌动是具多次期性的,因此,显示出成矿的多期次性。

(三)成矿机制及成矿模式

印支运动使地层发生强烈褶皱,产生一系列不同级别的断裂裂隙,同时发生岩浆活动侵位,使古地下水,包括沉积水,变质水被挤压浸出,并折出生成矿物质。这种携带成矿物质的流体,经地热增温、岩浆活动等热力因素升温构成含矿热液,构造应力的持续作用产生层间滑动、断裂,构成热液的运行通道,含矿热液沿通道向层间滑动、断裂等降压、负压空间迁移聚集成流体。随着矿质的进一步饱和,热液向表层上升,环境由原较封闭状态转化为半封闭状态,温压陡减,物理—化学条件也随之改变,热液携带的物质按其特性在不同空间部位沉淀富集,从而出现了不同程度、不同组合类型的矿物及不同类型的蚀变与矿化,最终成矿。

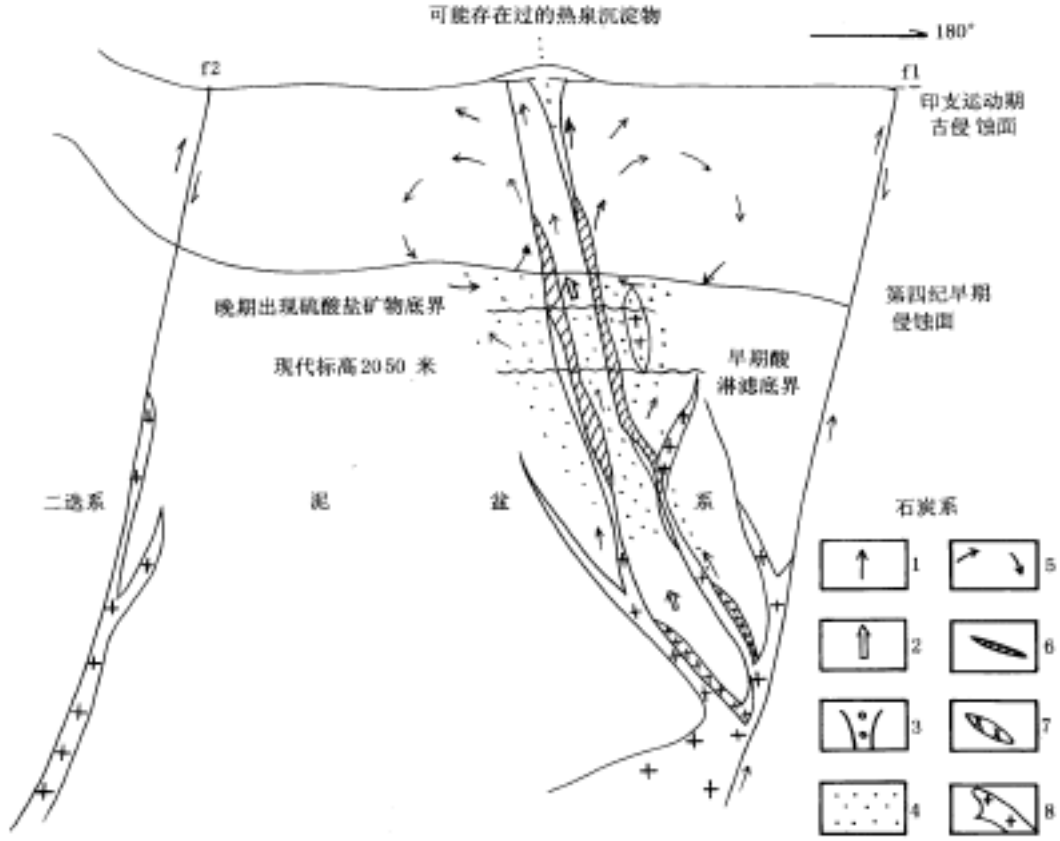


图 2-4-14 坪定砷金矿床成矿模式

1—气液运动方向;2—地热液运动方向;3—“酸脱”时气体爆破形成的角砾;4—形成的硅化、粘土化、碳酸盐化等多种叠加蚀变;5—酸性氧化后随地下水下渗循环;6—砷金矿体;7—在深部可能形成的其他重金属矿体;8—中酸性岩体

在流体活化、迁移、沉淀的全过程中,不断有新的物质加入,且与围岩发生物质和能量的交换,形成一个复杂的系统。因此,可认为金矿床矿物质来源主要是地层(也包括其他来源),区域构造应力使热液活化迁移富集,在较浅的构造部位形成的一种中低温微细粒浸染型高砷金矿床,其标志型特征是雄黄、雌黄矿化。成矿模式见图 2 - 4 - 14。

第五节　拉尔玛金矿床

地处陕甘川金三角西缘地带的碌曲县拉尔玛金矿床是 1985 年由甘肃省地质矿产局第三地质队首次在西秦岭地带发现,产于下寒武统一套黑色炭硅碎屑岩系的炭硅泥岩型金矿床。经详查评价,矿床规模达大型。矿床中金矿物以微细粒自然金为主,呈浸染状分布,矿体受背斜及近东西向断裂构造叠加控制,主要矿化蚀变有硅化、重晶石化、辉锑矿化、地开石化等。中—低温矿物组合及元素组合特征明显,元素分带性独特。矿床属层控—后期热液(热卤水)再造微细浸染型金矿床,具有一定的代表性和典型性。

一、区域地质背景

本区位于秦岭东西向褶皱带南亚带西段,其南侧紧邻杨子地块和松潘 - 甘孜褶皱带。次一级构造为洮河复向斜(褶皱冲断带)和白龙江复背斜(褶冲推覆带)。拉尔玛金矿床则位于西秦岭南亚带白龙江复背斜轴部之西端,玛曲—迭部(白龙江地区)逆冲推覆构造中段(图 2 - 5 - 1)。

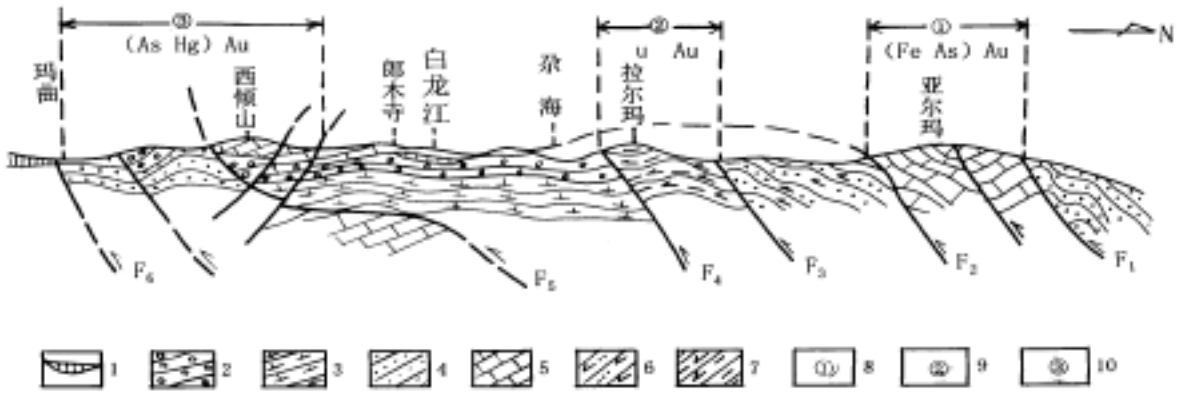


图 2 - 5 - 1　区域矿产分布规律示意剖面

1—第四系;2—白垩系;3—侏罗系;4—三叠系;5—泥盆—二叠系;6—志留系;7—寒武—奥陶系;8—亚尔玛—舟曲金砷铁铜磷中低温浅成系列成矿带;9—波海—白依中低温超浅成铀汞金矿系列成矿带;10—玛曲—南坪低温超浅成汞金矿系列成矿带;F_1—光盖山—迭山北缘断裂;F_2—亚尔玛—舟曲断裂;F3—羊肠沟断裂;F4—温泉—益哇断裂;F5—玛曲—迭部断裂;F6—玛曲—南坪断裂

(一)区域构造

西秦岭南亚带地处华南古陆边缘,自元古代中期裂陷以来经历了多次造山运动。晋宁运动时南北大陆发生拼接造山,并与北亚带一起进入陆棚边缘—裂陷海盆的古特提斯演化阶段,晚三叠纪印支运动时,由于杨子板块向华北板块俯冲,其结果导致海盆闭合,陆块碰撞缝合(玛曲—迭部—略阳缝合线),使本区褶皱造山并逆冲推覆,形成了白龙江复背斜褶冲推覆带。燕

山晚期—喜山中早期,杨子板块继续作陆内 A 型俯冲,引起了西秦岭总体在浅层次上的向南推移,使本区上古生代地层自西北向南东大面积逆掩推覆在二叠系、三叠系、白垩系之上。

白龙江褶冲推覆带北以则岔—光盖山—迭山走向大断裂为界,与洮河复向斜褶冲断带相接,南以玛曲—南坪走向大断裂为界与巴西复向斜相邻,被夹持于以上两条走向大断裂之间,以次级俄都—温泉—白依背斜为主体,组成白龙江褶冲推覆带西段,其间一系列平行的亚尔玛—舟曲断裂、羊肠—白云断裂、温泉—益哇断裂、玛曲—迭部断裂,构成了白龙江复背斜之逆冲推覆构造(带)体系的主体部分。在玛曲—郎木寺一带为前缘挤压带,在亚尔玛—洛大—舟曲一带为后缘逆冲拉伸带。该逆冲构造走向北西西,犁式断层走向 300°,倾向 30°,倾角 50°～75°。逆冲构造由北向南以前展式、叠瓦状向前扩展,并发生多重式逆冲推覆。推覆体中部南侧的温泉—盖哇断裂和北侧的羊肠沟—白云断裂带控制了区域铀金成矿带的空间展布及矿床的分布定位(图 2 - 5 - 1)。

(二)区域地层

区内主要出露下震旦统白依沟群、下寒武统太阳顶群以及奥陶系—第三系地层。

下震旦统白依沟群为陆相火山碎屑岩建造;下寒武统太阳顶群(呈超覆不整合接触)为非补偿局限性海盆相碳硅泥质岩建造;奥陶系—志留系为浅海陆棚夹潮坪礁相细碎屑岩夹硅、灰岩建造;泥盆系—二叠系为浅海—潮坪台地相碎屑岩及碳酸盐岩建造;三叠系为浅海相类复理石建造;侏罗系为陆相含煤碎屑岩及火山岩建造;白垩系及第三系为红色河湖相砂砾岩建造夹湖相亚煤质泥砂岩建造。

据各时代地层中含金量的统计(表 2 - 5 - 1)表明,由老到新地层中金的背景丰度值逐渐降低,以下寒武统太阳顶群中最高,其丰度值达 30.7×10^{-9},比其他地层要高出一个数量级,是本区最主要的富金岩系。

表 2 - 5 - 1　区域地层金含量特征表($\times10^{-9}$)

地　　层	样　数	对数平均背景($\times10^{-9}$)	实测平均丰度($\times10^{-9}$)
白垩系(K)	61	0 .48	0 .48
侏罗系(J)	168	2 .01	2 .06
三叠系(T)	301	1 .91	1 .95
石炭系(C)	45	2 .13	2 .17
二叠系(P)	150	2 .18	2 .38
泥盆系(D)	295	2 .23	2 .93
志留系(S)	666	3 .93	5 .34
奥陶系苏里木塘组(Osm)	145	7 .14	8 .59
下寒武统太阳顶群($\in_1$ ty)	1193	8 .74	30 .7
下震旦统白依沟群(Z_1 by)	206	1 .53	1 .78

(三)区域岩浆作用与岩浆岩

本区岩浆活动微弱,但具多期次、多旋回活动的特点,其岩浆岩的空间分布受区域性断裂和断陷控制。

(1)侵入岩。侵入岩分布上明显的受断裂控制,其岩性从老到新由基性岩(辉绿岩)向中酸性岩(闪长岩)演变,侵入时代为加里东期、海西期、印支期、燕山期,同位素年龄为 136.23 Ma～389.7Ma。其产出特征有两类,一类为脉状侵入岩,除加里东期的温泉沟辉绿岩规模较大外,一般为长数米至数十米,宽数米。岩性主要为石英闪长岩、花岗闪长岩。燕山期产于构造破碎带中的闪长岩类脉岩、英安斑岩脉规模较小,但其主要特点是普遍遭受构造破坏和后期蚀变,局部金矿化;另一类为燕山早期降扎花岗闪长岩体,呈岩株状,其中心部位为花岗闪长岩,边缘为闪长玢岩,面积 0.5km^2,呈小岩株状侵位于志留系砂板岩中,围岩角岩化。

(2)火山岩。主要分布在波海—郎木寺—财宝山一带,与晋宁运动及燕山运动有关。晋宁期下震旦统的火山岩为流纹质晶屑凝灰岩夹英安流纹质及凝灰质砾岩。在下寒武太阳顶群中见有凝灰质夹层。燕山早期的侏罗系火山岩受构造断陷盆地的控制,以安山质为主有辉石安山岩、安山玄武岩、火山角砾岩,不整合于前侏罗系地层之上。

为了解岩浆岩含金性,系统采集样品分析,经统计花岗岩类金的丰度值平均 2.94×10^{-9};燕山期的英安斑岩金的丰度值为 2×10^{-9}～4×10^{-9};加里东期辉绿岩金平均丰度值为 1.8×10^{-9};燕山早期安山岩丰度值为 1.8×10^{-9}～3.0×10^{-9}。其金的丰度值与下寒武统地层相比,几乎低了一个数量级,而与地壳平均值相接近。

(四)区域成矿规律及矿产

根据该区域地质构造特征、矿床产出位置、矿床矿物组合及成矿规律,由北而南可划分出 3 个成矿亚带(图 2-5-1)。

(1)亚尔玛—舟曲金(砷)、铁(铜磷)成矿亚带。位于白龙江逆冲推覆带的后缘,总体呈北西西向延伸。金矿化主要产于中泥盆统下吾那组(或古道岭组)碳酸盐岩夹碎屑岩建造中,容矿岩石为泥质灰岩夹粉砂质板岩及碳质板岩以及闪长岩脉等。金矿形成时代为燕山期,矿床为中—低温热液浅成微细浸染型金(砷、锑)矿床。已查明有坪定中型砷金矿床及九源、黑多寺、查布、卡玛、亚尔玛、青稞岩等(砷锑)金矿点,还有洛大、亚尔玛东等赤铁、菱铁矿点及翠古山、益哇等铜矿点(床)。

(2)波海—白依铀、金成矿亚带。呈北西西向展布,金矿化主要产在下寒武统太阳顶群碳硅泥岩建造中,容矿岩石为薄层含碳硅质岩与粉砂板岩互层及含硅质结核、纹层、团块、条带、薄层的碳质粉砂板岩,以及闪长岩脉等。金矿形成时代为喜山期,为层控—后期热液(热卤水)再造含碳微细浸染型金矿床。已查明有拉尔玛大型(铀汞)金矿床、邛莫小型(铀)金矿床、牙相金矿点及温泉沟、益哇南等(钼钒)铀矿床(点)。

(3)玛曲尼玛—南坪马脑壳金(砷)、汞(锑)成矿亚带。位于白龙江逆冲推覆构造带的前缘(席体)带,呈北西西向展布。矿化赋存在二叠系、三叠系碳酸盐岩及碎屑岩之中,容矿岩石为粉砂质板岩夹白云质灰岩及闪长岩脉等,主要成矿时代为燕山期—喜山期,为热泉—岩溶作用形成的微细浸染型矿床。已查明有四川南坪玛脑壳、文县石鸡坝、玛曲县大水、忠曲等金矿床及四川巴西、团结、七里村、甲勿池等金矿点以及玛曲县尼玛汞(砷)矿点。

二、矿床地质

(一)控矿条件

(1)含矿地层岩系。拉尔玛金矿床矿区主要地层为下寒武统太阳顶群($\in_1$ty),分布在俄都背斜的轴部,次为上奥陶统和下志留统,分布在背斜的两翼。其中下寒武统太阳顶群为一套

黑色炭硅碎屑岩系,富含有机质、莓状黄铁矿、粘土矿物组成,较强还原相沉积为特征,是矿床主要的赋矿层位。该套岩系在牙相东与下伏的下震旦统白依沟群($Z_1$by)呈超覆不整合接触,与上覆奥陶系苏里木塘组(Osm)及下志留统均为断层接触。

①含矿岩系的岩性及岩石特征。根据沉积特点、岩石岩性组合,该套含矿岩系划分为2个岩组及6个岩性段(表2-5-2)。

表2-5-2　下寒武统太阳顶群地层特征简表

统	群	组	段	厚度(m)	岩　性　描　述	沉积构造
下寒武统	太阳顶群	俄都组	($\in_1 e^3$)	>24	灰黑色含炭绢云母泥质板岩。该层被剥蚀出露不全	水平纹理上结晶有绢云母带
			($\in_1 e^2$)	48	灰黑色薄层状含炭硅岩与含炭粉砂质板岩互层	水平层理,底部微斜层理
			($\in_1 e^1$)	≈164	下部含纹层状硅质结核(燧石)、中部含硅质团块、上部夹硅质薄层透镜体的含炭粉砂质板岩	水平层(纹)理发育,含大量结核或似结核
		牙相组	($\in_1 y^3$)	≈58	黑色中薄层炭硅板岩夹泥质、粉砂质及赤铁矿纹层,赤铁矿表面具鳞片状波痕及似鲕状构造。产 *Hyolithellus qingheensis*(清河小软舌管)及 *Cylindrochites daizhuangziensis*(戴庄子筒管壳)	下部具赤铁矿结核及鳞片状波痕,上部水平层理
			($\in_1 y^2$)	>100	下部块状碳硅岩,上部含少量赤铁矿纹层的中厚层碳硅岩,偶见磷结核	似水平层理状排列的球粒等
			($\in_1 y^1$)	>100	灰黑色页片—中厚层状含黄铁矿含炭绢云母粉砂板岩,夹少量硅质团块,底部夹凝灰质板岩产 *Cylindrochites daizhuangziensis*(戴庄子筒管壳),炭质板岩 Rb-Sr 等时年龄 536×10^6 a	水平层纹层发育,超覆于下震旦统白依沟群之上

牙相组($\in_1$y)由下而上形成炭泥质板岩—中厚层状炭硅质岩—薄层硅质岩夹粉砂质及含赤铁矿纹层的沉积旋回;俄都组由下而上形成炭硅质结核、硅质条带、团块状炭质粉砂质板岩—炭硅质薄层与炭质粉砂质板岩互层—炭泥质板岩沉积旋回。

该套岩系主要岩石类型可分为硅质岩与泥质岩二大类。

炭硅质岩在牙相组多以中厚层、薄层状产出,而在俄都组多以结核状、团块状、条带状产出。炭硅质岩多为球粒硅岩,少量为泥晶及变晶硅岩。球粒硅岩球粒为黑色,均匀富含有机质,边缘清晰,似同心圆状构造,粒径0.50～3mm,形态多为椭球形,球粒隙间充填物为细晶石英集合体,一般形成于低能陆原物不足的局限性海盆或泻湖环境。

炭泥质岩多为薄层状、含粉砂质、富含有机质并受区域变质作用而形成的板岩。粘土矿物主要是绢云母,多以不同比例与硅质岩组成沉积韵律式构造。

主要的含矿岩性为含硅质团块、条带状粉砂质板岩、含炭绢云母粉砂质板岩、炭质板岩;另外由构造作用形成的角砾岩及碎裂岩等。

②含矿岩系的沉积环境与沉积相。曾允孚、尹海生等(1991年)认为该套硅质岩属局限性深海陆盆沉积,而化学沉积岩(硅质岩)的物质来源可能与海底或火山岛弧带的热喷流活动有

关。由于海盆下陷速度快、幅度大,陆源物质供应相对不足,因此出现巨厚或块状化学沉积—硅质岩以达到平衡补偿的条件。因此,硅质岩层的厚度及构造也说明了海盆的下陷幅度。总体上,牙相期以海盆的急剧下陷,晚期略有抬升为特征;俄都期则以缓慢的不断的下陷,晚期抬升为特征。

③含矿岩系的岩石地球化学特征。该套岩系中岩石的化学成分特点主要是,炭硅质岩类富含 SiO_2(SiO_2 大于 86%、Al_2O_3 为 1.37%、K_2O 为 0.09%、TiO_2 为 0.08%),而炭泥质岩类富含 Al_2O_3、K_2O、TiO_2(分别为 6.81%、1.13%和 0.4%)及 Zr。

岩系中富含有机质。一般含有机炭 0.66%～14.63%,平均 3.24%。炭硅质岩含有机炭 1.5%,炭质板岩含有机炭 4.98%,后者明显高于前者。

由表 2-5-3 看出,岩系中以大量不同属性的微量元素明显富集为特征,其中的 B、Ba、V、U、Cr、W 的背景丰度值一般为区域背景值(张本仁,1989)的 1.7 倍～6.5 倍,亲铜元素中 Au、As、Sb、Se、Bi、Hg、Ag、Mo、Cu 为背景值的 2.1 倍～25.5 倍,而 Pb、Zn 和亲铁元素 Ni 仅为背景值的 0.6 倍～0.7 倍。从分配特征看,炭泥质板岩中富 Ba(1400×10^{-6})、B(82.8×10^{-6})、Se(9.78×10^{-6})、As(69.1×10^{-6})、Pb(31.1×10^{-6}),炭质粉砂板岩中富 Au(17.1×10^{-9})、Ni(26.2×10^{-6})、Zn(93.4×10^{-6}),炭硅质岩中富 Hg(737.9×10^{-9}～1036.9×10^{-9})、U(7.03×10^{-6}～15.5×10^{-6})、V(573.9×10^{-6}～1949.2×10^{-6})、Cr(245.6×10^{-6}～348.9×10^{-6})。已有的资料还说明,含炭硅质的炭质粉砂板岩比不含炭硅质的粉砂板岩更富含金。

表 2-5-3　岩石中元素含量统计表

岩　性	元　素									
	Au	As	Sb	Bi	Hg	Se	Ag	U	B	Mo
炭硅质板岩	9.26	69.1	5.8	1.01	476.3	9.78	0.63	5.19	82.8	17.0
炭硅板岩	2.98	15.5	3.1	0.16	1036.9	2.69	0.80	7.03	16.8	15.3
块状硅岩	3.19	35.0	6.2	0.10	737.9	2.86	0.53	7.21	11.2	17.0
碎裂硅岩	4.12	57.0	16.3	0.17	961.8	4.38	3.36	15.5	14.1	27.6
含炭粉砂板岩	17.10	43.2	7.1	0.17	420.0	1.06	0.73	5.48	55.4	8.9
平均值	6.06	43.4	6.71	0.37	761.6	4.73	1.15	7.97	35.2	17.8
上地壳丰度①	1.3	1.7	0.5	0.17	83	0.5	0.07	2.5	12.0	1.1
浓集系数	4.7	25.5	13.4	2.2	9.2	9.5	16.4	3.2	2.9	16.2

岩　性	元　素									
	W	V	Ni	Cu	Pb	Zn	Cr	Ba	样品数	
炭硅质板岩	3.4	251.9	22.9	35.8	31.1	57.4	129.6	1400	16	
炭硅板岩	2.1	573.9	15.1	64.1	6.4	26.7	245.6	867	16	
块状硅岩	2.0	375.7	9.1	100.4	3.5	41.6	3489	354	14	
碎裂硅岩	2.1	1949.6	9.8	44.7	10.6	26.8	317.6	505	11	
含炭粉砂板岩	2.2	95.4	26.2	52.2	15.2	93.4	125.4	1145	5	
平均值	2.42	652.1	15.8	61.0	13.6	43.4	242.1	846.8	62	
上地壳丰度①	1.3	100.0*	25.0*	29.0*	23.0*	62.0*	61.0*	485.0		
浓集系数	1.9	6.5	0.6	2.1	0.6	0.7	4.0	1.7		

① 张本仁(1990),表中元素含量 Hg 和 Au×10^{-9},其余×10^{-6}

岩石化学组分的 R 型聚类分析结果说明:K-Rb-Cs-Na-Th-Ba-Zr-Ag 组合代表了陆源碎屑组分;Fe-Ni-Zn 组合代表了黄铁矿组分;As-U-Mo-Cr-Sb 组合可能反映

了水化学沉积组分。

据尹海生、曾允孚(1991)对该区域硅岩中稀土元素的研究认为,轻稀土元素除陆源输入海洋的以外,大部分可能是水化学沉淀的;重稀土元素则主要是水化学沉淀的,其来源为经分异了的热水 - 海底热喷流。

在该区域,早寒武世以前(Z_1)的火山(岩浆)活动携带了大量的深源组分(包括 Au),这些组分可通过菌藻等生物化学作用形成有机金属络合物而聚集[据 Bowen(1966)统计,菌藻类生物的元素富集程度可超过海水中元素浓度的 10 000 倍],因此,生物作用是太阳顶群岩石中多类元素富集的主要原因之一。

(2)矿床构造。拉尔玛金矿床位于白龙江复背斜轴部西段的二级褶皱 - 俄都背斜的北翼,矿区以近东西向构造为主,次为北东向构造(图 2 - 5 - 2)。

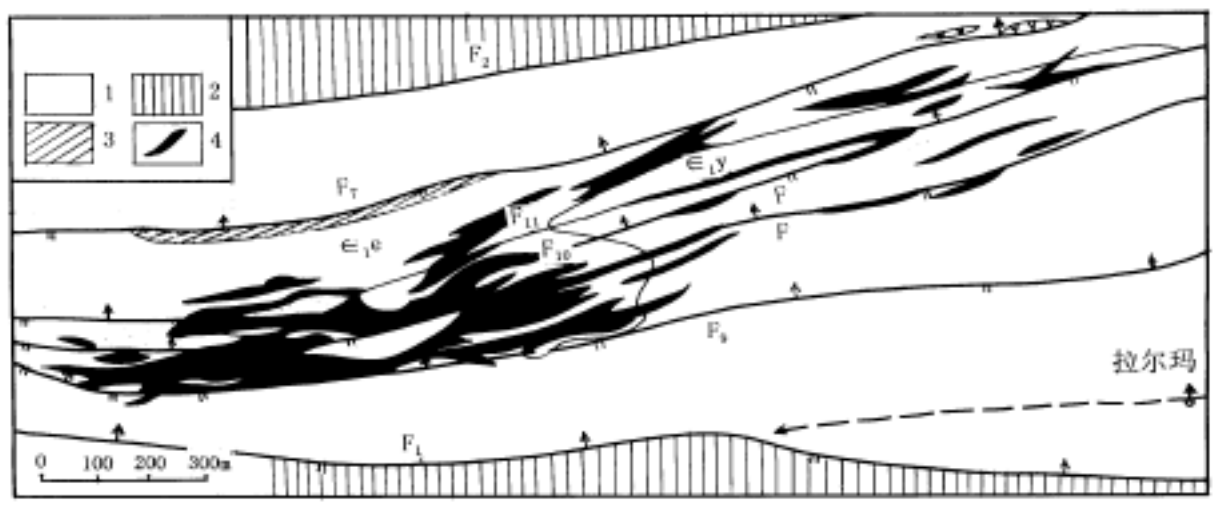


图 2 - 5 - 2 拉尔玛金矿床地质略图

1—下寒武统太阳顶群;2—上奥陶统苏里杜唐组;3—下志留统;4—金矿体

①褶皱构造。矿区为一向西侧伏的俄都破背斜,轴向近东西—北东东向,轴面倾向北,轴部地层平缓,北翼较陡,倾角 60°～65°,南翼被(F_9)断层所切割,构成一个不完整的箱状褶皱。该背斜向西倾伏,向东则扬起,轴部出露下寒武统含硅质团块、条带状粉砂质板岩,其轴部具层间滑动、虚脱现象,节理裂隙发育。

②断裂构造。矿床位于温泉—益哇逆冲大断裂(F_1)北侧(上盘),为区域性一级断裂构造,断裂走向 285°～290°,倾向 15°～20°倾角 70°～85°。该逆冲断裂与北侧的苏里木塘—羊棚沟—白云断裂组成白龙江褶冲推覆带中部,构成区域性逆冲断裂系统的一部分,严格控制了所夹持的区域铀金成矿带的空间展布,该带实质上是被两个主逆冲断裂面所限定而相对上升的一个次级构造岩片。温泉—益哇断裂为基底滑脱推覆深大断裂,具如下特征:该断裂使下寒武统地层推覆于下志留统及白垩系之上;断裂中有印支末期的辉绿岩脉产出;断层面锐面、逆冲擦痕明显,北盘向南西斜冲;沿该断裂带有温泉断续分布;有大量重晶石和石英脉贯入。

矿区近东西向断裂构造发育,为一系列近东西向相互平行的走向逆冲断裂,该组断裂属区域二级断裂构造,在平面上反映具向西收敛、向东撒开之特征,走向上具弯曲波状,沿其倾向,则以高角度北倾呈叠瓦状排列。该组断裂在矿区由于不同地层岩性在应力作用下表现不同的变形形式,因而在含硅质团块、条带状粉砂质板岩中常形成挤压破碎带,宽几十厘米到十几米,含角砾岩、挤压透镜体,岩石在破碎带中部强烈破碎而向两侧逐渐变弱;而在中—厚层硅岩地

段往往形成挤压结构面,其断层面平直,镜面发育,擦痕具逆冲特点。该组断裂是主要的导矿容矿构造。

北东东向断裂发育在近东西向断裂两侧,属区域三级断裂构造,断层走向 45°～70°之间,断层面呈舒缓波状,断层带内见构造透镜体,在断层旁侧压、张性和扭性节理发育,该组断裂及其与东西向断裂复合控制了矿体的就位。

北东向断裂不发育,主要呈压扭性平推断层。

(二)矿体特征

(1)矿体分布特征。该矿床中共圈出表内外金矿体 70 个,组成一个很大的矿体群,总体上近东西向展布,主要受断裂向西收敛,向东撒开及背斜向西倾伏部位控制,在收敛部位矿体集中,规模较大;而在向东撒开的部位矿体规模较小,且分散。矿床以表外贫矿体为主,表内矿体常赋存于表外矿体之中。

(2)矿体规模、形态及产状。表内矿体一般长 180～300m,平均厚度 2.0～6.3m,平均品位 3.36×10^{-6}～7.9×10^{-6};表外矿体一般长 180～466m,平均厚度 2.33～8.14m,金品位1.12×10^{-6}～1.89×10^{-6}。因受断裂控制,矿体形态复杂,时有膨大、收缩及分支、复合、尖灭再现的特征。矿体沿走向呈串珠状、透镜状、似层状、长条状;在垂直剖面上多呈漏斗状、脉状、似层状(图 2-5-3)。矿体在空间分布上彼此平行或大致平行于断层面,呈斜列式排列,矿体总体展布方向北东东向,倾向北西,倾角 60°～70°,矿体一般延深达 150 米。

(3)矿体厚度、品位变化情况。据矿体厚度、品位变化系数统计,表内金矿体厚度变化系数为 49.31%～129.2%,属于不稳定型到较稳定型;表外金矿体厚度变化系数一般为 80.1%～197.4%,属不稳定—极不稳定型。表内外金矿体品位变化系数一般为 20.2%～43.02%,矿化较均匀。

(三)矿石特征

(1)矿石的矿物成分。其特点是脉石矿物主要为石英和重晶石,金属矿物除自然金以外主要有辉锑矿、辰砂、黄铁矿、辉硒汞矿(表 2-5-4)。

(2)矿石的化学成分及微量元素。矿石化学成分平均含量(表 2-5-5)与相应类型的围岩比较,矿石中 SiO_2 含量增加 10%以上,Al_2O_3、MgO、K_2O、TiO_2、P_2O_5 则显著贫化。矿石中微量元素(见表 2-5-6)除 Au 较高外,Hg 在矿床中达到综合利用品位(0.01%),Sb、As、Mo、Se、Ba 富集系数高达数十倍以上,Ag、V、Ni、W、U 也一定程度富集。此外,矿石中 Pt 族元素含量较高,在碎裂状炭硅质板岩夹少量炭质粉砂板岩或泥质板岩条纹层的岩石及矿石中,含 $Pt0.01\times10^{-6}$～0.022×10^{-6}、$Os0.001\times10^{-6}$～0.005×10^{-6}、$Pd0.001\times10^{-6}$～0.024×10^{-6},有可能达到综合利用要求,局部可能圈出矿体。

(3)矿石的结构构造。矿石主要的结构具自形—半自形粒状结构、他形粒状结构、填隙—脉状结构、压碎结构、交代残留结构。矿石构造主要有角砾(复合角砾)状构造、角砾—碎斑状构造、浸染状构造、脉状—网脉状构造。

①角砾状构造。由不规则脉或细网脉石英及重晶石胶结碎裂角砾构成。部分早期形成的石英脉充填胶结角砾,经再破碎后又被晚期重晶石、方解石等矿物充填胶结,形成多次迭加的复合角砾状构造(图 2-5-4)。

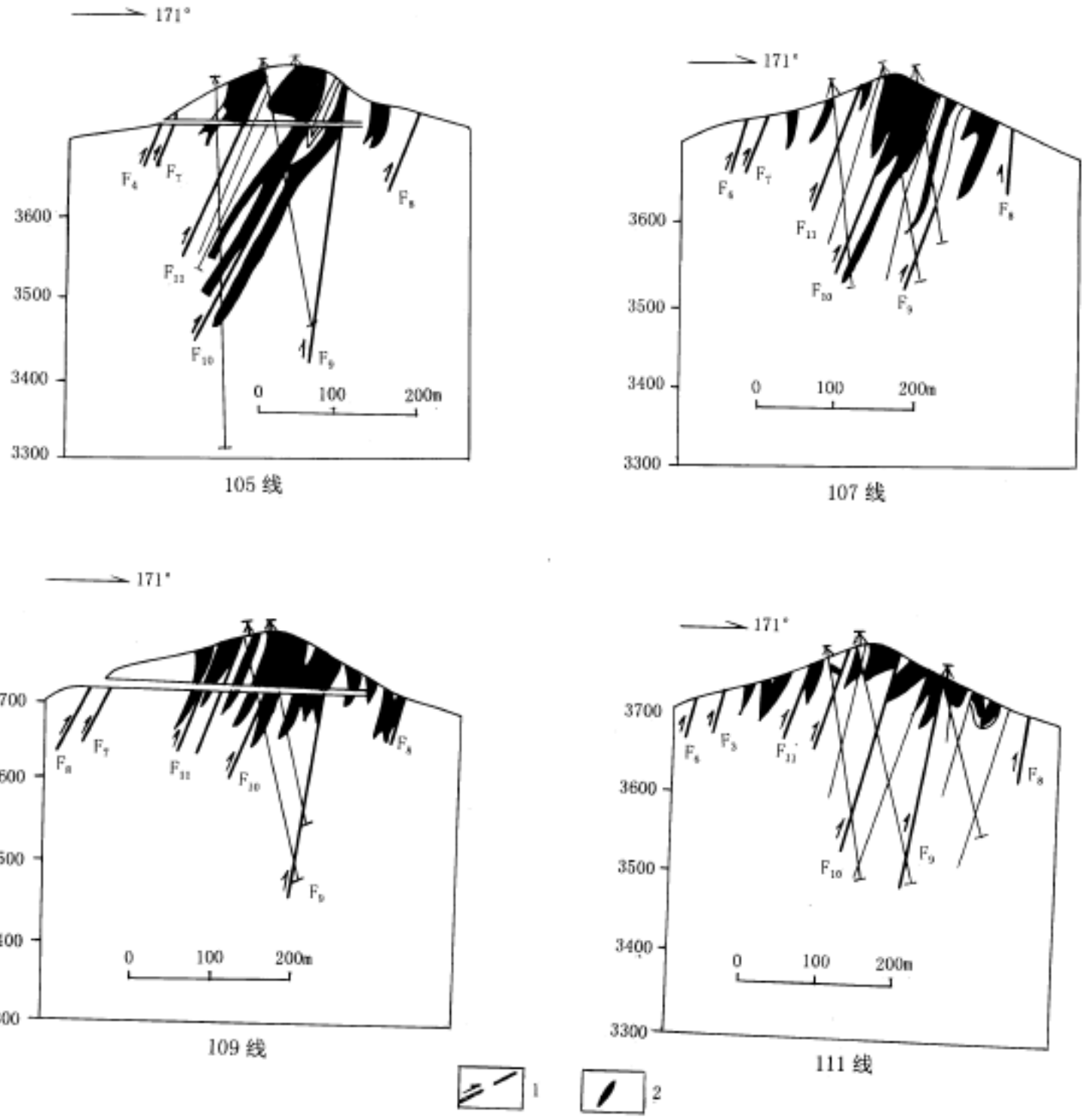


图 2 - 5 - 3　105、107、109、111 勘探线剖面图

1—逆断层；2—金矿体

表 2 - 5 - 4　矿石矿物成分一览表

类　　别	主要矿物	次要矿物	少量矿物
自然元素	自然金		
氧化物及氢氧化物	石英	沥青铀矿、铀黑、锑华、褐铁矿	金红石、钒钛矿(?)
硫化物	辉锑矿、黄铁矿	辰砂、闪锌矿、雄黄、雌黄	白铁矿、方铅矿、方硫镍矿、黄铜矿、铜蓝
硫盐	砷黝铜矿、锌砷锑黝铜矿		
硒化物	辉硒汞矿		
硫酸盐	重晶石		石膏
硅酸盐	绢云母、地开石	长石、绿泥石	水云母、蒙脱石
有机质	有机炭、沥青	类石墨	

表 2-5-5　矿石化学成份含量表

成　分	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	P_2O_5
平均含量%	92.35	2.03	1.89	1.43	0.23	0.14	0.37	0.03	0.11	0.02

表 2-5-6　矿石微量元素含量表

元　　素	Au	Ag	Hg	Sb	As	Se	Mo	V	Ni	Cu	Zn	U	W
平均含量($\times10^{-6}$)	2.64	4.93	325.1	872.4	305.1	50.72	135.3	933.9	79.7	188.2	278.8	28.41	8.1

②浸染状构造。由石英、黄铁矿、重晶石、辉锑矿、自然金等呈稀疏星散状分布在角砾状构造的角砾、脉石矿物中。

③脉状—网脉状构造。由辉锑矿、黄铁矿、雄黄、石英、方解石、地开石、重晶石等矿物集合体沿断裂裂隙分布而组成,沿多组裂隙发育分布时形成网脉状构造,脉体有细脉、网脉及复脉,与金生成关系密切的为微细脉。

(4)矿石类型。

①矿石自然类型。按矿石的化学组成可划分为碳硅质岩型(SiO_2 大于 86%)和碳泥质岩型。按矿石的结构构造可划分为细网脉型及微细浸染型。按矿石矿物组合可划分为重晶石金矿石、辉锑矿金矿石及辰砂雄黄雌黄金矿石。

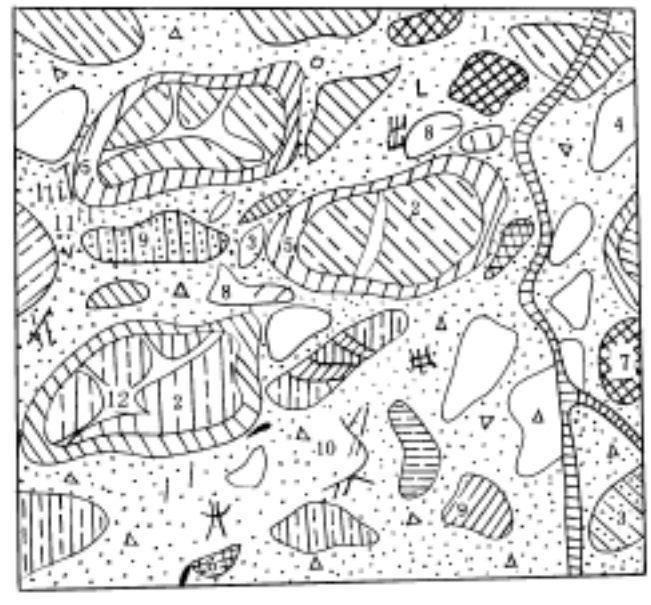


图 2-5-4　矿石的角砾状构造

1—硅质胶结物;2—含炭绢云母板岩;3—含炭粉砂板岩;4—碳硅岩;5—黄铁矿;6—碳质粉砂板岩;7—辉锑矿;8—含雄黄石英;9—雄黄;10—针状辉锑矿;11—地开石;12—烟灰色石英细脉

②矿石的工业类型。根据矿石化学成分,矿床中金属硫化物含量小于 5%,砷含量平均为 0.035%,炭质平均含量 1.1%～14%(有机炭占 85%),矿床的工业类型属低硫炭质微细粒金矿石。

(5)矿石中金矿物特征。金在矿石中呈自然金产出,矿石中金粒的嵌布以裂隙金为主(占 50.1%),次为包裹金(36.6%)和粒间金(占 13.6%)。裂隙金主要分布在石英、玉髓、少量的重晶石裂隙中,而包裹金主要嵌布于石英中,其次包裹于重晶石、辉硒汞矿或与辉硒汞矿连生的脉石英中,粒间金分布在硫化物和石英及重晶石界面上。经电子探针分析,在黄铁矿、辉硒汞矿中有次显微金存在。此外,矿石中有机炭含金 82.5×10^{-6}～175.2×10^{-6},属于胶体吸附金。

自然金中含 Ag 3.18%～5.35%,最高 9.18%,平均 4.21%,含 Cu 0%～0.82%、Fe 0.01%～0.19%、As 0%～0.2%、S 0%～0.08%。金成色平均达 951.33‰。

自然金主要呈不规则粒状,次为等轴状、条带状及枝叉状。其中微粒金占 49.8%,细粒金占 41.7%,中粒金占 3.5%、粗粒金占 5%。自然金以微细型为主(占 91.5%)。

(6)矿石技术加工性能。经甘肃省地质矿产局兰州中心试验室对该矿床矿区矿石(平均品位 5.7×10^{-6})的探索性选冶试验研究后,认为矿石直接氰化,金的浸出率很低(20%～45%);

采用原矿高温焙烧(-200目,650℃)氰化浸出,金的浸出率较高(95%),但其生产成本很高,在经济上不可行;采用原矿二段浮选金精矿焙烧—氰化浸出工艺,能获得较好的浸出率(93%),同时也降低了焙烧成本,经济上也较为可行。但是,该方案又经峨嵋矿产综合研究院试验,其金的浸出率又不高(小于80%)。因此,矿石的加工性能还有待进一步深入和扩大试验。

矿石难浸的原因主要是:含有机炭(0.2%～5.72%),形成"贵液浸吞";含有较多硫化物(1%～15%)大量消耗氰化液;金粒度细小(0.0055mm),包体金占金含量的31.2%～36.6%,如果不将原矿破磨至-200目以下,这部分金就很难与氰化液接触而不易回收。

(四)与金有关的主要矿物及特征

(1)石英。产于硅化"石英岩"、烟灰色石英细网脉及灰白色重晶石石英细网脉中的石英呈细粒状,具梳状构造及似斑状结构,呈灰白、烟灰、灰黑色,与重晶石及辰砂、辉锑矿、辉硒矿、黄铁矿等共生或含有大量杂质矿物颗粒的石英,一般含金或与金有一定成生联系。据测试(周德安等,1992),灰黑色石英含金113.1×10^{-6},灰白色石英含金39.401×10^{-6},粉红色石英含金116.925×10^{-6},白色半透明纯石英大脉中的石英含金仅67.1×10^{-9}。

脉石英中含Hg16.87×10^{-6}～34.87×10^{-6},且Hg和Au具有同步增长特征,其相关系数为0.8451。

石英中稀土元素随着金的富集略有增高,主要显轻稀土元素富集,而重稀土元素减少,稀土组成具LREE大于HREE,ΣLa-Nd>ΣSm-Ho>ΣEr-Lu,La/Yb比值较大,为9.27～90.67,Sm/Nd比值较小,为0.1～0.15,与区内硅质岩稀土组成一致、表明硅质源于硅质岩。

据张占鳌测定(1991)石英的热发光值,当石英含Au1×10^{-6}时,热发光值为6×10^{-6}～7×10^{-6}Lm,含Au3×10^{-6}时,为9×10^{-6}～10×10^{-6}Lm,含Au5×10^{-6}时,为12×10^{-6}～13×10^{-10}Lm。

(2)重晶石($BaSO_4$)。为成矿中、晚期主要的载金矿物,呈白、褐黄、褐红、黄、粉红、淡灰等色,晶形较好,多呈自形—半自形,团块状、脉状—网脉状,角砾状集合体,多与石英紧密共生,粒度变化大,一般0.1～5mm。重晶石中见雌黄和有机质包体,在粉红色重晶石中自然金呈包体和连生粒间金赋存。

据单矿物分析:含Au0.004×10^{-6}～512.9×10^{-6},平均为53.92×10^{-6}。随着金的富集,Ag、As、Ba、Se、Mo、Cu等都有增加,而Sb、Hg、Bi、B、U、Zn、Ni、Pb、REE等则降低。

(3)辉锑矿(Sb_2S_3)。分布较广,在俄都矿段相对集中。成矿中期呈细脉—网脉状、浸染状产出,由粒状、针状和片状辉锑矿组成,粒度一般0.01～0.1mm,解理发育,少数见叶片双晶。与金矿关系密切,其中自然金包体粒度一般在10μm以下,成群产出,每群十至数百粒不等,或呈连晶,滴状包体金。并与重晶石、石英和粘土矿物共生。成矿晚期呈粗大的脉状、团块状、角砾状产出,由柱状、板条状、放射状、菊花状集合体组成,一般金含量低,局部可构成规模较小的辉锑矿矿体。

矿物化学组成中,Sb和S的含量相对偏低,含Au0.32×10^{-6}～0.52×10^{-6}最高为223.4×10^{-6};伴生的Se、As、Hg、Bi、Mo等较高,部分含Se高达8.42%～27.50%,而成为含硒辉锑矿,或含As 2.799%～2.972%,Se 2.481%～6.684%,或Hg 0.283%～7.87%,构成含砷硒(汞)辉锑矿。

(4)黄铁矿。与脉石英或重晶石、辉锑矿等共生的黄铁矿,一般含Au6×10^{-9}～$189.5\times$

10^{-9},呈细脉状或浸染状,具自形、半自形粒状结构或胶状结构及环带结构的黄铁矿属热液期黄铁矿。而产出于围岩中,呈浸染状、团块状或条带状,具莓群生物结构的黄铁矿属沉积变质,与金矿化无关。

热液期黄铁矿含金 0.066×10^{-6}～51×10^{-6},黄铁矿含 Se 188×10^{-6}(7.5×10^{-6}～350×10^{-6}),S/Se 比值 0.1×10^{-6}～6.5×10^{-6}较小且变化大,矿化围岩平均含 Se 50.5×10^{-6},区域地层含 Se 4.73×10^{-6}。据徐国风(1980)总结部分国外资料(沉积黄铁矿 Se 0.5×10^{-6}～2×10^{-6},S/Se 25×10^{4}～50×10^{4};热液黄铁矿 Se 20×10^{-2}～50×10^{-2},S/Se 1.0×10^{4}～2.67×10^{4}经对比看出,本区黄铁矿不属典型热液或沉积型,其物质应来源于围岩,而在地下热卤水中形成。

黄铁矿中含 Co 53×10^{-6},Co/Ni=0.15(0.035～0.326),可与渗流热水型金矿床中黄铁矿组成类比(贵州板溪 Co/Ni≈0.41,美国卡林 Co/Ni≈0.37)。

(5)地开石。与金矿化有关的地开石为灰白色、松散或粉末状,主要产于石英、重晶石、石英细脉中。单纯的地开石细脉一般不含金。

地开石中汞含量愈高,则金矿化愈强。当含 Au 0.26×10^{-6}时,则含 Hg 7.07×10^{-6};当含 Au 173.6×10^{-6}时,含 Hg 300×10^{-6}。

(6)灰硒汞矿。呈浸染状或细脉状产出,多嵌布于石英或重晶石脉中,与自然金(连生或包体金),辉锑矿、含硒辉锑矿、含砷硒(汞)辉锑矿、黄铁矿、雄(雌)黄共生。

经电子探针分析:含 Au 1.27%,Hg 70.07%～77.20%(73.60%),Se 17.73%～26.09%(23.04%);含 S 0.53%～5.08(2.92%)和 Te 0.44%,S 呈类质同象替换 Se。

矿石中稀土元素的组成特征:据张占鳌(1991)研究总结,该矿区矿石中石英及重晶石的稀土元素具有轻稀土元素含量高的特征。ΣLREE/ΣREE 达 84.706%～89.42%,ΣHREE/ΣREE 为 15.295%～10.58%,ΣLREE/ΣHREE 为 5.85%～8.45%。其组成与地壳(比值分别为 74.02%、14.53%、2.84%)及矿区围岩(比值分别为 81.944%、18.056%、4.538%)的特征十分接近,且重晶石中轻稀土比石英中更加富集。表明该矿床中稀土元素主要来自于地壳或区域地层。

(五)蚀变类型及分带

(1)蚀变类型。矿床围岩蚀变受断裂构造控制,有交代作用形成的硅化和绢云母化,有充填作用形成的硅化石英脉、重晶石化、辉锑矿化等。伴随成矿热液活动,蚀变具多阶段性,早期蚀变为渗滤交代硅化,绢云母化;中期为充填硅化、重晶石化和硫化物化;晚期为充填重晶石化、地开石化和水铝英石化。其中硅化与金成矿关系最为密切,贯穿于热液活动全过程。

①硅化分布较广,大致分三期:早期以硅质热液渗透交代为主,形成他形微细粒石英,同时伴随脱碳褪色,以板岩为多;中期以充填方式形成石英脉或网脉,脉宽 0.5～2mm,白色为主,当含有碳质或硫化物时,则呈烟灰色、桔黄色等,与重晶石、辉锑矿、黄铁矿、雄(雌)黄、自然金等共生;晚期以脉状充填为主,多呈乳白色粗大石英脉,脉体中晶洞(簇)发育,含少量自形黄铁矿、闪锌矿、重晶石、地开石等。金矿化在渗透交代作用形成的"石英岩"最强,其次为烟灰色石英细网脉及杂色、灰白色重晶石石英细脉化岩石,在单质脉体(由单一矿物组成的大脉体)中金的矿化最低。

②重晶石化。主要发育在成矿中、晚期,呈脉状分布,常与石英组成石英—重晶石脉;多为白色、黄色板状或粒状集合体。与石英、辉锑矿、自然金共生。

③辉锑矿化。贯穿整个热液期,早期以浸染状、他形细粒为主;中期以针状、叶片状为主;晚期为粗大脉状体,脉宽 10cm 左右。与石英、重晶石、灰硒汞矿等硫化物共生。

④黄铁矿化。早期呈浸染状与硅化石英岩共生,含金低;主成矿期呈细网脉状或细脉浸染状,多与白铁矿伴生,或被交代,与重晶石、石英、辉锑矿共生,晚期以脉状为主。

⑤地开石化。见于成矿中晚期,呈白色、翠绿色,多为薄膜状,个别为脉状,主要分布在断裂破碎带两侧和重晶石—石英脉中,与黄铁矿、方铅矿及自然金共生。

⑥水铝英石化。主要发育在晚期矿化阶段,为白、黄、黄绿色,呈脉状或网脉状,局部呈粗脉状,主要分布在硅岩断裂破碎带中。

(2)蚀变分带。矿床中渗透交代作用形成的硅化“石英岩”及充填扩散作用形成的脉状蚀变岩,在由主控矿层与断裂交汇部位向外蚀变强度越来越低,组分愈来愈简单,蚀变脉体愈来愈少。在脉体形态上由不规则密集脉状、细网脉状、细(网)脉到单一平直的大脉状;在组分上由烟灰色石英脉、灰白色及杂色重晶石石英脉与硅化角砾岩及硅化“石英岩”叠加组合型,逐渐向外或向下演变为烟灰色石英细网脉型—灰白色重晶石石英细(网)脉型—杂色地开石石英重晶石细(网)脉型—辉锑矿大脉—重晶石大脉—石英大脉。

三、矿床地球化学

(一)成矿流体特征

据统计(34 件)矿物包裹体中,气相以 H_2O 为主,次为 CO_2,有少量 N_2、CO 和 CH_4。液相中含有 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+} 阳离子及 F^-、Cl^-、SO_4^{2-}、HCO_3^- 阴离子,其中阳离子成分 Na^+、Ca^{2+} 较高,K^+、Mg^{2+} 次之。阴离子成分 SO_4^{2-}、Cl^- 较高,F^-、HCO_3^- 次之。早期成矿阶段溶液中阴离子以 Cl^- 为主,SO_4^{2-} 次之,阳离子以(钠)Na^+ 为主,钙次之。晚期成矿阶段溶液中阴离子以 SO_4^{2-} 为主,Cl^- 次之,阳离子以 Ca^{2+} 为主,钠次之。矿液类型为卤化物 - 硫酸钙(钠)型,其矿化度为 63.01g/L(20.9～185.9g/L),F/Cl = 0.43～0.76 小于 1,据此成矿溶液应属地下热卤水。

根据矿物包裹体成分测定结果计算,矿物形成的 pH = 5.9(4.65～6.92);Eh = -0.54(-0.43～0.78),成矿溶液属弱酸性至近中性,弱还原环境。

用矿物包裹体中气相组分含量,进行了热力学计算,求得溶液的氧逸度 $Lgfo_2$ = -37.24(-45～-30),硫逸度 LgS_2 = -9.85(-9.86～-9.73),总体上氧逸度比硫逸度低。

(二)成矿温压条件

对矿床不同矿化阶段所形成的石英、黄铁矿、辉锑矿、重晶石等采用爆裂法作包裹体测温。从表 2-5-7 看出:早期矿化阶段(绢云母—石英阶段)爆裂温度为 264℃～308℃,平均 284.7℃;主成矿期(辉锑矿—黄铁矿—石英阶段和自然金—重晶石—辉锑矿阶段)爆裂温度为 141℃～288℃,平均 223.4℃;晚期矿化阶段(地开石—水铝英石—重晶石阶段)爆裂温度为 140℃～204℃,平均 177.3℃。尽管不同矿化阶段中的温度变化范围较大,但总的趋势是由早期到晚期温度逐渐降低,在主成矿阶段温度比较集中在 187.7℃～241.3℃之间。另对成矿期石英测得的均一温度值为 100℃～300℃,平均 235℃。包裹体测温表明成矿作用发生在中低温环境中,这与矿床矿物的自然金—辰砂—雄(雌)黄—辉锑矿—石英矿物组合和 Au-As-Sb-Hg 元素组合所反映的环境相一致。

据包裹体分析结果,采用 CO_2 浓度法确定的成矿压力值为 50×10^5 Pa～250×10^5 Pa(据张

占鳌,1991);采用溶液密度法换算的压力为 50×10^5 Pa～200×10^5 Pa。用温度、压力估算矿物的形成深度为 1～1.5km。说明成矿作用是发生在深度不大、压力较小的地壳浅部断裂破碎带扩容空间减压部位。

表 2-5-7　成矿温度测定结果表

成矿阶段	样　号	测定矿物	爆裂温度(℃)	平均爆裂温度(℃)
绢云母—石英阶段	K-91	石英	282°	284.67°
	L-51	石英	308°	
	L-16	石英	264°	
辉锑矿-黄铁矿—石英阶段	L-18	石英	215°	241.33°
	L-58	黄铁矿	266°	
	L-123	黄铁矿	250°	
	L-27	重晶石	215°	
	L-24	石英	288°	
	L-68	重晶石	214°	
自然金—重晶石—辉锑矿阶段	L-30	辉锑矿	184°	187.67°
	L-63	黄铁矿	238°	
	L-101	黄铁矿	141°	
地开石—水铝英石—重晶石阶段	L-20	重晶石	204°	177.33°
	L-30	石英	183°	
	L-100	石英	140°	

据沈阳地质矿产研究所资料。

(1)硫同位素组成。本矿床硫同位素组成极为分散,$\delta^{34}S$ 值变化范围较大,在 -28.30‰～+28.50‰之间,塔式效应不显著(图 2-5-5),极差高达 53.7‰,与陨石硫有很大的差别,表现为地壳硫同位素组分特征。

从不同类型的矿物来看,产于围岩地层中(沉积—变质期)的结核状、条带状黄铁矿,硫同位素 $\delta^{34}S$ 值变化于 -32.25‰～+24.6‰之间,平均为 +8.59‰,极差高达 56.85‰,变化范围大,最为离散。从它的分布区来看,主要集中在 +3.21‰～+15.55‰之间,集中区偏向正值方向延伸展布,与寒武纪同期海水硫同位素 $\delta^{34}S$(+25‰～+30‰, Holser, 1960)相比较,明显偏低,却同半封闭浅海环境下硫酸盐经细菌还原作用形成的硫化物分布特征、展布范围相类似,这同区内含矿地层中可见大量的有机质和莓群状黄铁矿反映的生成环境相一致。从图 2-5-5 看出,沉积成岩期黄铁矿变化范围大,但集中区在直方图上分布形式平缓,说明沉积环境以对 H_2S 开放,金属物质不断供给为主。围岩地层硫化物硫同位素组成的分布显示了沉积作用特征。

(三)稳定同位素地球化学特征

成矿期形成的浸染状、细脉状分布的热液黄铁矿,其 $\delta^{34}S$ 在 -25.2‰～+13.30‰之间,平均值为 +4.5‰,大部分样品为正值,主要分布在 +1.62‰～+13.60‰之间,总体变化范围略小于沉积成岩期黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值,主要分布区大部分重叠,形态相类似,只是众值有所偏低而已。另外从成矿早期辉锑矿-黄铁矿—石英阶段来看,矿石中未见有重晶石沉淀,成矿环境具较低的 pH(3.69～5.73)和 fO_2($10^{-37.74}$～$10^{-33.17}$),该阶段热液黄铁矿 $\delta^{34}S$ 集中在 +9.20‰～+11.52‰之间,基本上可代表成矿溶液总硫同位素组成,这个范围与沉积成岩期黄铁矿的硫同位素 $\delta^{34}S$ 平均值 +8.59‰相接近。由此表明成矿期黄铁矿硫主要来自围岩地层。此外,成矿阶段黄铁矿往往具有自形晶或半形晶粒状、环带状结构,而环带核心带见有莓群状黄铁矿,从另一个侧面揭示了硫来自于围岩地层。辉锑矿的硫同位素 $\delta^{34}S$ 变化于 -28.3‰～+1.89‰,平均值为 -6.02‰,极差 30.19‰,变化范围也较宽,大多数样品为负值,与热液黄铁矿相比较,相对贫 $\delta^{34}S$。据 Ohmoto 等人的实验,在同位素平衡交换条件下,与黄铁矿共生的辉锑矿,$\delta^{34}S$ 值前者一般比后者高出 +4.2‰～+7.0‰,表明在相同条件下不同矿

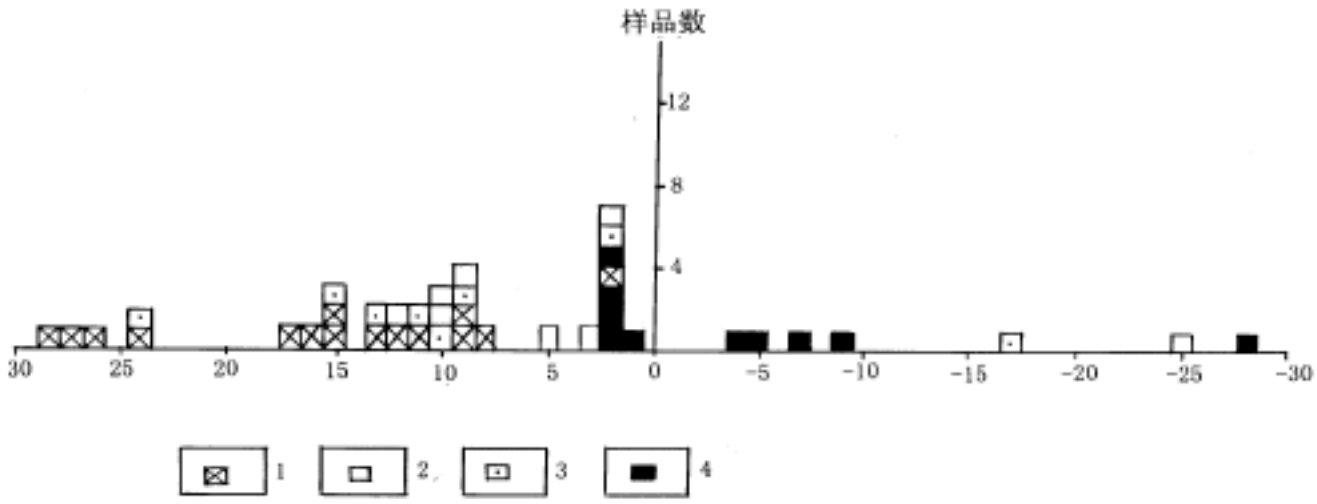


图 2 - 5 - 5　硫同位素组成直方图

1—重晶石;2—热液黄铁矿;3—沉积变质期黄铁矿;4—辉锑矿

物具不同的 $\delta^{34}S$ 富集性,故辉锑矿虽具较低的 $\delta^{34}S$ 值,也说明与热液黄铁矿属同一来源。

硫酸盐矿物重晶石主要在成矿中晚期产出,硫同位素 $\delta^{34}S$ 变化于 + 2.4‰～ + 2.85‰之间,且从早到晚略有富集之趋势,推测成矿晚期矿液来自相对较深的环境,并反映了成矿环境总体上向高 fO_2 方向演化。

成矿期热液黄铁矿所代表的成矿溶液总硫组成,与沉积成岩期黄铁矿的平均 $\delta^{34}S$ 相接近,热液硫化物及硫酸盐矿物硫同位素组成集中区与地层围岩中硫化物硫同位素组成总体上具一致性和相似性,表明成矿溶液中的硫(尽管在成矿过程中发生了一些变异)主要来自于地层本身。

(2)铅同位素。由表 2 - 5 - 8 所示的铅同位素组成,具有变化范围较大、数据分散和线性关系不明显等总体特征。相对而言,$^{207}Pb/^{204}Pb$、$^{208}Pb/^{204}Pb$ 的比值变化较小,而 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 比值的变化极大,表明较普遍存在有铀系成因的异常铅,钍系铅则基本属于正常范围。在 $^{207}Pb/^{204}Pb$—$^{206}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{208}Pb/^{204}Pb$—$^{206}Pb/^{204}Pb$ 图解中,部分或少量接近于正常壳幔体系的铅同位素变化范围;部分或多数富含放射性成因的异常铅,铅同位素比值处于造山带或稍高于上地壳铅同位素的演化线(图 2 - 5 - 6),总体显示了克拉通化地壳铅的基本特征。

表 2 - 5 - 8　岩石、矿石铅同位素组成表

岩矿石名称	件数	$^{206}Pb/^{204}Pb$		$^{207}Pb/^{204}Pb$		$^{208}Pb/^{204}Pb$	
石英	10	18.46-23.74	18.066-31.229 19.917	15.601-16.022	15.554-16.022 15.717	37.644-38.917	37.644-39.555 38.559
重晶石	8	18.343-29.254		15.554-16.018		38.111-39.555	
辉锑矿	7	18.066-31.229		15.604-15.569		38.323-38.570	
黄铁矿	2	18.680-19.134		15.257-15.689		38.437-38.007	
全　岩	10	16.532-36.691 24.346		15.257-16.775 15.947		36.703-39.224 38.595	

矿物和矿石的铅同位素组成,与赋矿岩石基本相似,表明矿石铅应主要来自地层岩石。

对全岩而言，其中既有矿化之前所积累的普通铅，又有铀矿化所形成的异常铅。对后生成矿溶液及其形成的新生矿物而言，则显然是多阶段形成的复杂的混合型铅，具有后生叠加改造型矿床的共同特征。

(3) 氢、氧同位素组成。统计（表2-5-9）成矿期石英的 $\delta^{18}O$ 值在 +13.2‰～ +24.2‰间，平均为 18.63‰，与赋矿硅岩 $\delta^{18}O$ +16.91‰～ +23.08‰(平均20‰) 最大值都很接近，最小值相差不到5‰，但成矿期石英总体偏低，两者都在沉积—变质区范围内。

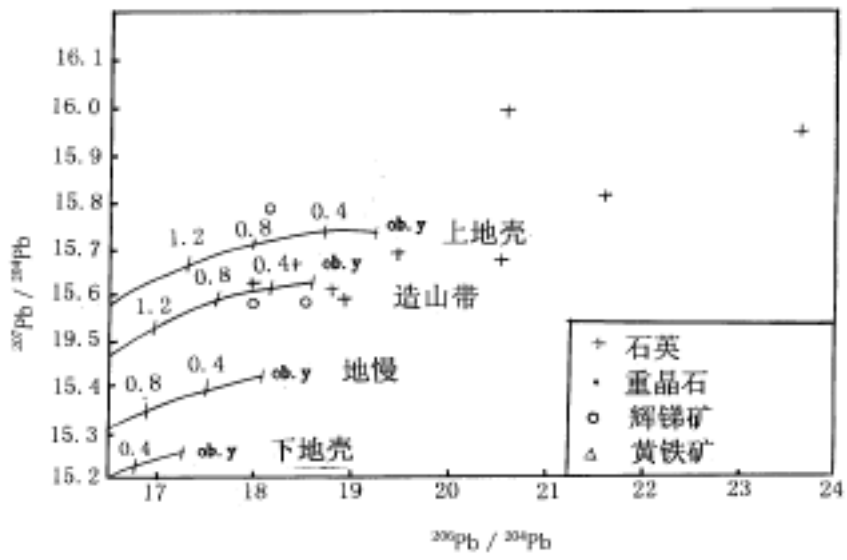


图 2-5-6 $^{206}Pb/^{204}Pb$

表 2-5-9 矿床矿物及区内岩石、温泉、雨水氢氧同位素组成表

样品及测定对象			$\delta^{18}O$‰（SMOW）	δD‰（SMOW）	$\delta^{18}O_{H_2O}$（SMOW）
成矿期	L17	石英	20.08	-98.40	11.97
	L38	石英	20.87	-106.00	13.34
	L76	石英	16.21	-97.40	8.31
	L78	石英	17.24	-111.90	11.41
	L91	石英	13.20	-102.60	-3.08
	K101	石英	24.20	-90.00	15.34
	T68	石英		-73.09	-4.03
	L98	桔红石英		-93.60	-11.07
	T103	重晶石		-93.20	-2.03
	T104-4	重晶石		-81.70	0.77
硅质岩中的石英			16.91-23.24① / 20.12 (18)		
降扎温泉泉华				-137.36	13.89
降扎温泉泉水				-92.43--117.27 / -108.05 (3)	-13.9--14.10 / -13.96 (3)
雨　　水				-99.49	-15.57

注：①范围 / 均值（样数）　据核工业部北京第三研究所。

含金矿石中重晶石、石英包裹体的氢同位素组成 δD 值变化于 -111.90‰～ -73.09‰之间，平均为 -95‰，明显低于变质水和岩浆水，而与区内现代温泉水和雨水的 δD（-117.25‰～ -92.43‰）基本一致。以氢同位素组成来看，成矿热液介质水具大气降水特征。根据矿物的 $\delta^{18}O$ 值，采用分馏方程计算得的矿物包裹体水的氧同位素值在 -11.07‰～ +15.34‰之间，变化范围较宽，将其对应的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值和 δD 值投影到 Shappord 的 δD—$\delta^{18}O_{H_2O}$ 关系图上（图2-5-7），可见这些投影点均落在原始岩浆水区与变质水区之外，δD 值基本稳定在 -95‰附近；部分样品 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值在 -11.07‰～ +0.77‰之间，在雨水热液区内

或向雨水线靠近，表明成矿热液与大气降水具一定的成因联系；部分点却远离大气降水线，个别 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值达 + 15.34‰，发生了明显的“漂移”，这与矿床围岩中含有粘土、硅酸盐矿物和部分地段夹有透镜状白云岩有关，因这些矿物和岩石一般富含 $\delta^{18}O$（达 15‰～23‰），这种现象也被泉华物 $\delta^{18}O$（13.89‰）所证实（表 2 - 5 - 9）。所以认为这种漂移现象是由大气降水在下渗循环及淋滤过程中与这种围岩和矿物发生氧同位素交换所致。

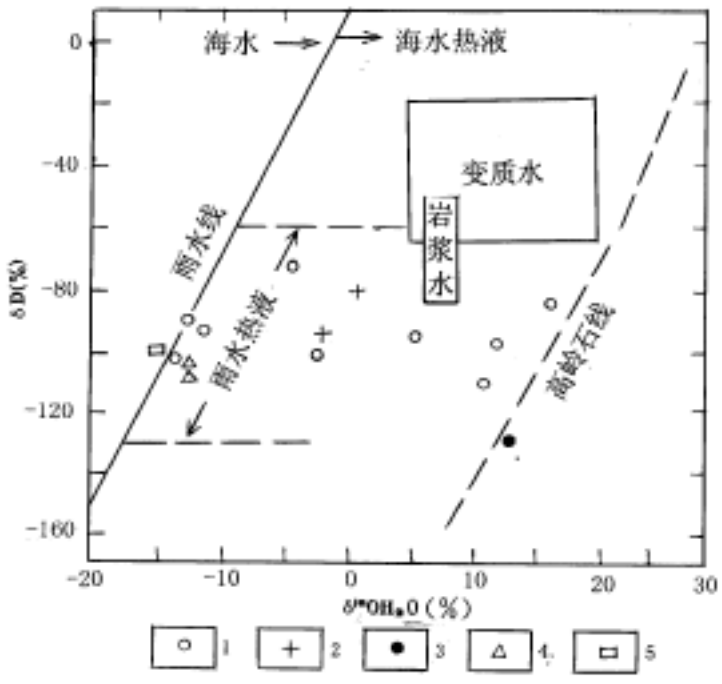


图 2 - 5 - 7　$\delta D - \delta^{18}O_{H_2O}$ 关系图

1—石英；2—重晶石；3—泉华物；4—热泉水；5—雨水

（4）碳同位素组成。本区地层硅质、炭质板岩中有机炭的 $\delta^{13}C$ 为 - 27.38‰～ - 26.63‰，平均值为 - 25.28‰，接近海相有机炭，含矿硅板岩和炭硅岩型金矿石的 $\delta^{13}C$ 为 - 23.93‰和 - 23.13‰，其组成较为均一。据测定，矿床内金矿化热液作用后的沥青铀矿碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 变化于 - 30.46‰～ - 10.27‰之间，平均值为 - 21.90‰，由此可见，矿床碳同位素组成 $\delta^{13}C$ 值与岩浆成因的碳酸盐和金刚石 $\delta^{13}C$（ - 7‰～ - 3‰）都完全不同，而与地层围岩 $\delta^{13}C$ 值基本接近，具海相沉积有机炭特征，说明成矿溶液作用于地层时部分富含 ^{12}C 的有机炭也进入到成矿溶液中。

上述特征分析说明，含矿热液属弱酸性、弱还原热卤水型；成矿介质水主要来源于大气降水，矿床中的硫、成矿金属物质来自于地层，而非岩浆物质。矿床形成的环境为浅成 - 超浅成环境，压力为 50Pa～250Pa，金矿化阶段的主要成矿温度 187.67℃～284.67℃。

（四）微量元素地球化学特征

（1）矿床微量元素的分配特征。区域地层中以下寒武统太阳顶群金的背景丰度值最高，同时该套地层岩系中也明显富集有 Hg、Sb、As、Mo、B、Se、Ba、V、U 等微量元素（表 2 - 5 - 3）。矿床中与 Au 伴生的主要微量元素与其围岩或相应的原岩相比均有不同程度聚集，元素组合也基本相似，在近矿围岩中 Au 的浓集程度为背景值的 83.5 倍，Sb 为 132.6 倍，As 为 21.6 倍，Mo 为 8.14 倍，Ag、W、Ba、V、U 为 2 倍～4.5 倍。相反，Ni、Cu、Pb、Zn 低於背景值为 0.5 倍～0.8 倍，反映出大部分微量元素向近矿围岩发生了迁移和聚集。在矿石及与成矿有关的蚀变岩中富集系数较大的元素有 Au、Sb、Hg、As、Se、Ba，而 Ag、U、Ni、W、Zn、Mo、V 次之。一般情况下 Au、Hg、Sb、Ag、Ba、U、Se、W 元素主要分布在蚀变岩内带，As、V、Mo 主要分布在蚀变岩外带，Cu、Pb、Zn、Cr、Ni 由蚀变岩外带迁出贫化并向蚀变岩内带聚集。总体上矿床中强烈富集的元素有 Au、Sb、Hg、As、Se、Ba，相对富集的有 Ag、Mo、U、Ni、W 等，略富集的元素 Zn、Pb。Se 的独特富集反映矿床具第三纪矿床特征。

（2）原生地球化学异常特征。选择与 Au 伴生的主要微量元素作为指示元素，圈定的原生地球化学异常主要分布在 F_1 断裂上盘，并紧密围绕金矿体并沿断裂破碎带走向呈条带状、透镜状、长条状近东西向展布，其长轴远远大于短轴（a:b 为 4:1）。异常与背斜及断裂构造反映形式一致（图 2 - 5 - 8），向西收缩封闭，向东放开，异常具不对称浓度分带（包括内、中、外三个

带),但各浓度级的宽度较大,梯度较低。主要指示元素 Au、Hg、As、Sb、Se、B 的异常组合好,内、中、外三带清楚,异常中心与断裂交汇部位(矿体)相吻合。Ba、As、U、Mo、Pb 等异常分布不连续,规模小,往往分布在 Au、Hg 异常中心边缘及下部(中外带),Cu、Ni、V、Zn、Cr、W 异常主要受近东西向断裂控制,成条带状分布,在地表异常强度低,向深部明显增高。

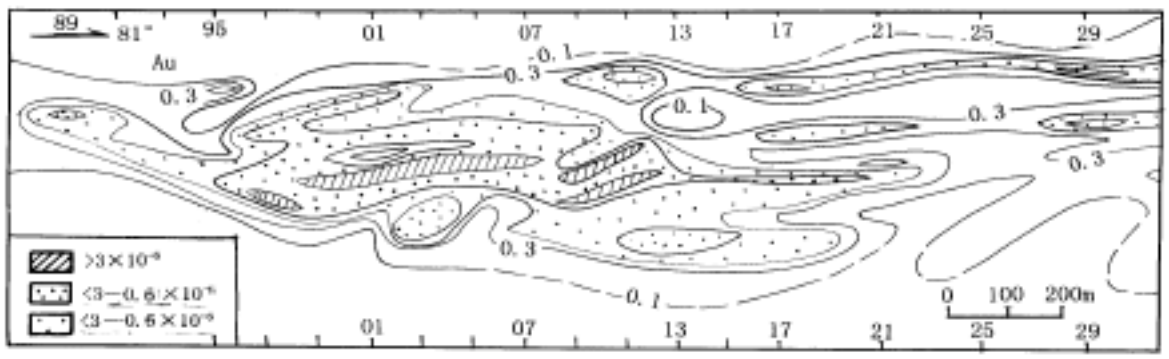


图 2-5-8　矿区金元素地球化学异常平面图

(3)矿床中原生地球化学异常元素分带特征。

①元素的水平分带特征。对主矿体中—上部元素含量在横向上的变化进行统计看出,Au、Ag、B 含量由矿体向两盘(侧)呈单调降低的趋势;Hg、Sb、Se 在矿体上、下盘 50～70m 外浓集,矿体上略低。As、Mo、Zn、Cu、U、W 在矿体上、下盘 10～50m 外浓集,矿体上含量低为“V”形异常。

根据 G.B 格里戈良法计算,矿体中—上部元素水平分带序列,北(上)盘:Au - Ag - Hg - B - Ba - Pb - Ni - Mo - V - As - Zn - Cu - Sb - Se - W;南(下)盘:Au - Ag - Ba - V - Hg - Sb - Se - Mo - Ni、Cu - Zn - B - V - W - Pb - As,两盘元素分带略具对称性。显示 Au、Ag、Hg、Ba、B 为水平内带元素;Sb、Mo、Ni、Cu、Zn、V、Pb 为矿体中带组份;W、As 为矿体外带组分。

②元素垂(倾)向分带特征。垂向上元素 Au、Ag、B 含量由矿体上部向尾部呈单调降低,向上部则急剧降低,As、U、Se、Mo、W、Ba、Zn、Cu 含量在矿体尾 - 尾下部最高。

在垂向上由矿体上部向尾部元素相关性的变化,Au 与 Ag、B 的相关降低;Au 与 Mo、W、Ni、Cu、Zn、As、Sb、Ba 的相关性逐渐增强,由负相关、不相关变为正相关;Au 与 Hg、Se 的相关性亦有增强趋势。利用元素在各矿体序列中的位置序数的概率统计法求得,矿体垂向上理想的分带序列为 Au - Ag - Bi - Pb - B - Sb - Hg - Ba - Mo - W - Se - V - As - U - Ba - Cr - Ni - Cu - Zn。元素的垂向分带性的总的特点是矿体前缘晕发育不全。

(4)土壤次生地球化学异常。在区域 22.5km^2 范围内,选择 Au、Hg、Sb、As、Ag、Mo、W、Ba、Cu、Zn、V、Ni 为指示元素,共圈出 5 个组合异常,其中 P_3 号异常规模最大、组合元素多、重合性好、异常强度高,已为工程揭露证实为本矿床矿致异常,其特征见表 2-5-10。土壤次生异常的主要特点是异常形态在剖面上呈马鞍形或‘V’形。

该组合异常其中 Au、Sb、Hg、Ag、Mo 异常形态十分相似,东西展布,与下寒武统太阳顶群地层岩性出露(展布)区吻合。Au、Sb、Hg 三元素异常组合好、形态完整、面积大、浓度值高、异常强度大、衬度大,与主矿化体赋存部位一致。其余元素异常规模小、强度低、较分散、无浓集中心。次生异常规模与金矿化具有明显的规律性。一般异常总规模 Σpi 小于 0 时,无矿化(表

2 - 5 - 11)；Σpi 大于 2 时为矿体；Σpi 大于或等于 28.86 时为工业矿体(参看表 2 - 5 - 11)。

表 2 - 5 - 10　P_3 号次生异常特征表

异常元素	走向	形态	长度 (m)	宽度 (m)	面积 (km^2)	一般含量 ($\times10^{-6}$)	峰值 ($\times10^{-6}$)	强度 ($\times10^{-6}$)	衬度 K	浓集中心及与金矿体关系
Au	EW	不规则长椭圆状	2110	120～950	1.39	10～310 ($\times10^{-9}$)	800 ($\times10^{-9}$)	100.23 ($\times10^{-9}$)	5.0	三个中心,与金矿体对应
Sb	EW	不规则长椭圆状	2000	800	1.60	5～300	4000	107.20	21.44	三个中心,与金矿体对应
Hg	EW	宽带状	2000	450	1.18	2～16	730	11.81	5.91	二个中心明显,与金对应
Ba	/	零星、分散、近圆状	750	50～200	0.10	1000～3000	6000	3500	3.5	无中心,与金略对应
Mo	EW	扁椭圆状	1500	500	0.75	3～60	254	6.85	2.28	无中心,与金对应
Cu	NNE	不规则近圆状	500	300	0.15	30～60	80	62	1.55	无中心,与金不对应
Ag	/	不规则近圆状	200	100	0.02	0.3～1.9	5.5	1.24	2.48	无中心,与金对应

表 2 - 5 - 11　次生异常规模与金矿化关系表

异常号	元素组合	元素异常规模(Pi = Ki · Si)							异常规模 ΣPi	矿化情况
		P - Au	P - Hg	P - Sb	P - Ba	P - Cu	P - As	P - Mo		
P_1	Au、Sb、Hg、As、Ba	0.06	0.056	2.17	0.012	0.04	0.008	/	2.25	矿化 ($Au > 1\times10^{-6}$)
P_2	Au、Sb、Hg、As、Ba、Mo	0.003	0.20	0.056	0.018	0.375	0.027	0.007	- 0.132	无矿化 ($Au < 0.25\times10^{-6}$)
P_3	Au、Sb、Hg、Ba、As、Cu、Ag	9.47	6.5	17.87	0.24	0.285	0.375	4.56	28.86	工业矿体
P_4	Au、Sb、Hg、Ba、Cu	0.28	0.52	0.63	0.24	0.06	/	/	1.61	弱矿化 ($Au0.5\times10^{-6}$)
P_5	Au、Sb、Hg、Ba、Cu	0.85	1.13	0.17	0.36	0.11	/	/	2.40	矿化 ($Au > 1\times10^{-6}$)

四、成矿时代与矿床成因

(一)成矿时代及期次

(1)成矿时代。矿床含矿地层太阳顶群在牙相一带逆掩推覆于白垩系地层之上,属燕山期—喜山期逆冲推覆,其矿体和矿化体均产于近东西向逆冲断裂的次级构造断裂带及节理裂隙中。在容矿岩石中常可见含金矿化物—石英细脉以贯入和侵入方式充填于岩石裂隙或角砾岩胶结物中,表现出金矿化活动与晚期的构造热液活动有关。经测定区内最新脉岩年龄值为 172Ma(J_2～J_3),而矿区燕山期英安斑岩、闪长玢岩经后期构造作用的部位见有金矿化,并

形成碎裂蚀变脉岩型金矿石,揭示金的成矿时代晚于脉岩(燕山期)形成之后。

经测定,金矿石的 U - Th - Pb 全岩年龄为 56.8Ma～117.5Ma,与其伴生的沉积变质、淋滤再造型铀矿石的 U - Pb 法年龄为 10Ma～46Ma;另对主成矿期的含金石英(Au:44×10^{6})在加热到 400℃～700℃时测定的^{39}Ar-^{40}Ar 得年龄为 47.3Ma～49.5Ma(周德安等,1991)。

以上几点说明本矿床的成岩和成矿之间存在着一个很大的时差,矿床是在早—晚白垩世(65Ma～172Ma)之后形成,成矿年龄大约 49.5Ma,即发生在新生代新老第三纪交替(喜山早期)时期。

(2)成矿期次。根据区域地质发展史,结合矿石组构、矿物共生组合特征,划分为四期,即沉积成岩期、变质期、热液成矿期、表生期。

①沉积成岩期。主要矿物是石英、粘土矿物、有机质和少量黄铁矿,为 Au 的初始沉积富集,矿源层形成期。

②变质期。包括埋藏变质和印支—燕山构造动力变质,新生矿物有绢云母、石英、类石墨、黄铁矿等。为金的释放活化期。

③热液成矿期。为金的富集成矿期,可进一步划分为 3 个成矿阶段。

成矿早期(绢云母—石英)阶段:硅化以渗透交代为主形成面状硅化带,绢云母化则表现为大面积弱钾化,有少量黄铁矿,新生矿物含金低。

成矿中期(辉锑矿—黄铁矿—石英和自然金—重晶石—辉锑矿)阶段:是金的主成矿阶段,早期的面状交代转为脉状充填,即以石英为主组成微细脉和网脉,伴随黄铁矿、辉锑矿、雄黄等呈浸染状散布在脉体及两侧,该阶段后期除出现大量的重晶石外,还有黄铜矿、方铅矿等出现。此阶段出现大量自然金。

成矿晚期(地开石—水铝英石—重晶石)阶段:是金的晚期矿化阶段,新生矿物以重晶石为主,次为地开石,出现独特的水铝英石,硫化矿物少,多属裂隙充填,脉体一般较粗。

④表生期。形成氧化矿物,如褐铁矿、水铝英石、硅华、锑华等。

(二)控矿因素分析

(1)地层因素。下寒武统太阳顶群为一套黑色碳硅碎屑岩系,该套地层中 Au、Hg、As、Sb、Mo、V、Ba 等元素初始丰度值高,尤其是 Au 的初始丰度值为 7.5×10^{-9}～12.5×10^{-9},高出地壳克拉克值的 3 倍～4 倍,是本区最主要的一个富金岩系,为矿床的形成奠定了物质基础。该套地层岩系中硅质岩为脆性,泥质岩为塑性,脆性与塑性岩不相间,在构造作用下易于形成破碎带、裂隙等容矿构造,有利于矿质集中沉淀。同时该套岩石有效孔隙度 2.48%～11.68%,对成矿流体运移起重要作用,在矿化作用中,具有不同孔隙度的岩石,矿化程度差别很大,粉砂质粘土岩渗透性较好,地下水流速较快,矿液向岩石粒间渗透时分散,导致有用组分部分贫化,形成品位低、面积大的贫矿体;而结核状硅岩和薄层炭硅质岩孔隙度较小,渗透率低,以分子扩散为主,使流体相对稳定,矿液集中,加上基质中有粘土矿物和碳质吸附,形成较均匀的富矿体。

(2)构造因素。构造对成矿起了重要控制作用,一方面形成了导矿、容矿空间,另一方面构成了热液循环系统。

①褶皱构造。复背斜轴部的次级俄都背斜向西倾伏,枢扭转折,是挤压应力集中和释放地带,发育大量的张节理、裂隙及自由空间,有利于矿液的运移和沉淀。受热动力驱使,含矿热液总是由下而上,向隆起方向迁移,轴部是矿质聚集的有利部位。

②断裂构造。区域性的深大断裂(F_1)控制了含矿层的分布及热液活动带的展布,是深部热液活动上升的主要通道。其上近东西向的高角度逆冲断裂与区域性大断裂构成了热液循环系统,该组断裂向西收敛,向东撒开,收敛夹持所形成的破碎带及与次级北东向断裂交汇部位形成的破碎带,构造应力集中,变形最强烈,分别控制了矿体(群)的集中和矿体的空间定位,近东西向断裂是有利的导矿、控矿构造。北东向断裂为主要的容矿断裂。

③裂隙。由背斜和断裂产生的层间裂隙、张节理、细小张性裂隙、剪切裂隙及交接复合部位是主要的容矿空间,联合控制了矿体的形态、规模与产状。

(3)岩浆岩控制因素。热源是金矿形成的重要条件,在下寒武统地层中,含铀较富,形成部分放射性热,给矿床形成提供了一定的热源。而区内岩浆活动和火山喷发较发育,表现在石英闪长岩、花岗闪长岩侵位于断裂破碎带中,还有燕山期陆相火山岩出露,这反映与地下隐伏岩体有联系,表明岩体提供部分热源,为金活化迁移提供了条件。

(三)成矿物质来源

①拉尔玛金矿含矿地层太阳顶群 Au 的初始值高,Hg、As、Sb、Ag、Mo、V、Ba、Se 等微量元素也相对富集。矿石中的元素组合及稀土元素组成特征与太阳顶群相似。说明该套地层为矿床的形成提供了金质来源。

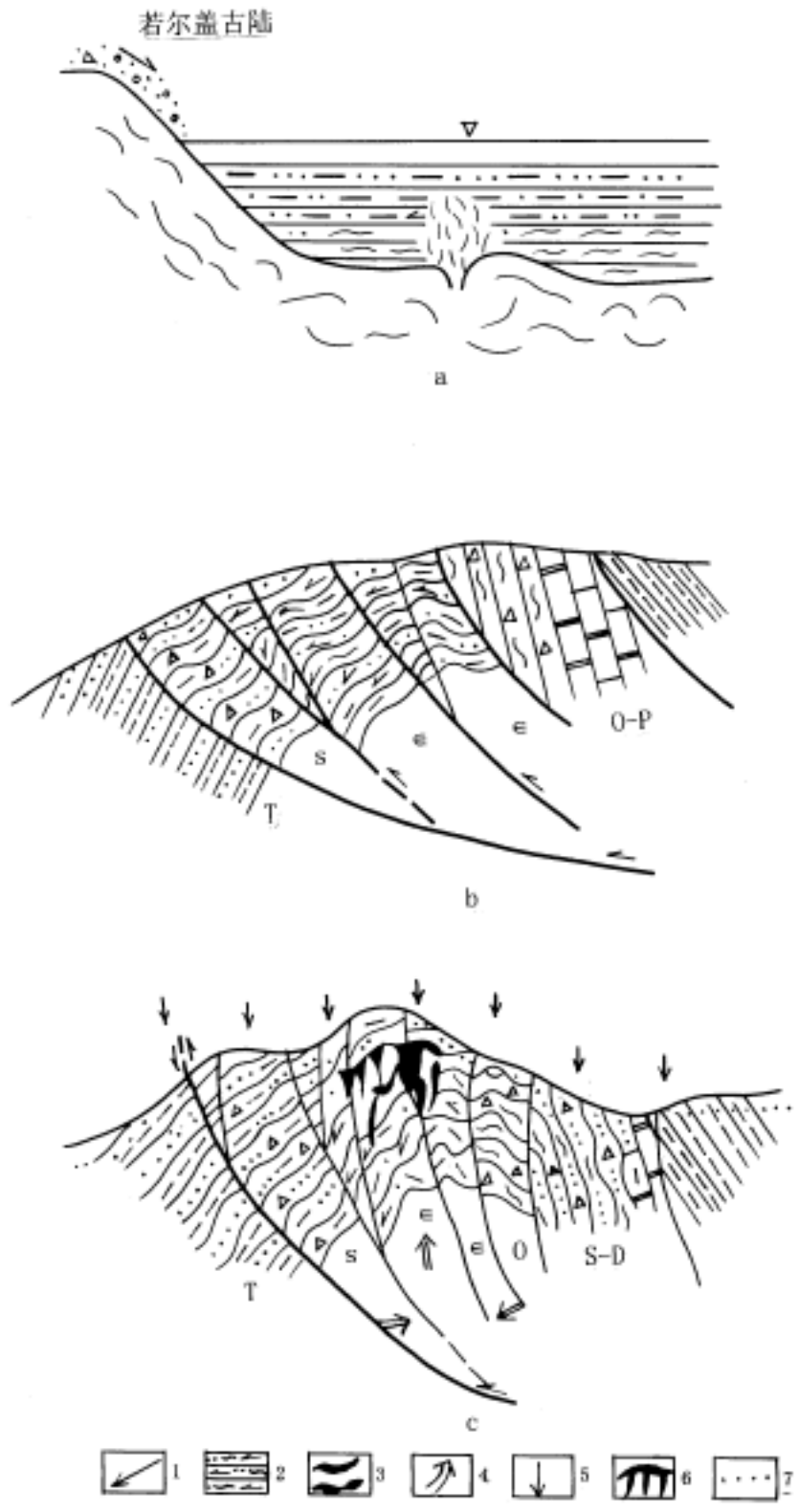


图 2-5-9 拉尔玛金矿成矿模式图

a—矿源层形成期;b—金元素活化(迁移)与富集阶段;c—地下热卤水改造富集阶段;1—大陆风化物质搬运方向;2—矿源层;3—硅质条带;4—含矿热卤水;5—下渗地表水;6—矿体;7—现代侵蚀面

②硫、铅、碳同位素组成特征表明,矿床中的硫、成矿金属物质及有机炭均来自于围岩地层,而非岩浆物质。

③矿物包裹体氢、氧同位素组成特征反映了成矿热液介质水主要来源于大气降水(雨水)。

(四)成矿模式

根据矿床所处地质构造背景、控矿条件和矿床地球化学特征,建立矿床成矿模式(图 2-5-9)。

(1)矿源层形成阶段。晚震旦世开始,本区处于扬子板块的西北缘,也是冒地槽发展初始期,发生裂陷而成为陆缘海,接受来自若尔盖古陆剥蚀分解的陆源物质的供给,其中包括大量

的成矿物质;在早寒武世沉积时,有海底火山喷发物和喷流物进入沉积物中,Au、Hg、Sb、Se、Ba、V、Mo 等元素在沉积物中开始富集,随着沉积物深埋和压力加大,温度升高,使岩石中孔隙水粒间流动,这些孔隙水溶有多种元素,在下寒武统被有机质等吸附聚集构成矿源层,形成一套含 Au、Hg、Sb、Ag、As、Mo、U、V、Ba 等丰度高出地壳克拉克值的硅质岩、炭质粘土岩及炭质粉砂质板岩等‘黑色岩系”,此期为矿源层的初始形成期。

(2)金的活化与富集阶段。印支中晚期,由于碰撞造山,整个西秦岭褶皱成山,形成白龙江复式背斜及区域性大断裂,同时或稍后,由石英闪长岩、花岗闪长岩、英安岩脉沿主断裂及其旁侧的次级构造侵入就位。由于区域热动力引起的区域变质作用及构造、岩浆热,促使地层中的部分 Au 元素由惰性金转化为活性金,改变了金的赋存形式,局部活化迁移。

燕山期本区在印支运动的基础上,相继发生高角度逆冲断裂活动、岩浆活动,早期处于韧性变形的断裂带,又多次叠加有脆性变形,进一步加剧岩石破碎程度,时断时续的岩浆喷发或呈脉状的侵入活动,引起地热产生异常增温。在多次构造应力和岩浆热等作用下,金元素再次大量释放活化与富集(但未能构成金的工业富集)。印支—燕山期属金的活化与富集阶段。

(3)地下热卤水改造富集阶段。中新生代交替时期,由于大规模的推覆挤压活动和火山喷发作用,浅部地壳发生范围广范和程度强烈的推覆。强烈的构造活动一方面为大气降水下渗循环和矿质的沉淀提供了通道和场所,另一方面区域性深大断裂与深部地热勾通,为大气降水热液的循环对流提供了热动力。当大气降水沿断裂、裂隙、节理从地表下渗至地下深处,由于高热流的驱赶,被加热对流上升,在对流循环过程中淋滤围岩,并从中汲取矿质,成为含矿热液(热卤水);当含矿热卤水多次循环对流,上升到近地表一系列东西向高角度逆冲断裂及次级断裂、裂隙和背斜轴部张节理、虚脱部位时,由于温度、压力急剧下降和其他(pH、fo_2、fs 等)物理化学条件的变化,导致金元素在合适的岩性和容矿空间聚积沉淀,形成本矿床。

拉尔玛金矿床与四川境内的邛莫金矿床,矿体在客观上是相连的,两矿床总储量达大型规模。

拉尔玛金矿的特点是矿床产于炭硅泥岩建造中,赋矿地层层位较老,容矿岩石主要为含炭硅岩及板岩,金矿石富硅贫钙镁,属酸性硅质矿石,矿床具标型特征的元素为 U、Se、Ba,金的主成矿温度较低,形成 Au - As - Hg - Sb - U(Ba)低温元素组合;成矿压力较小,成矿深度较浅,金主要呈显微形式产出,成矿介质为大气降水热液形成的地下热(卤)水;矿床产于古陆边缘坳陷带的浅海相地层中;金矿化受大(深)断裂旁侧的中低序次的断裂破碎带所控制,金的富集成矿与岩浆不具直接联系;矿床主成矿时代新。拉尔玛金矿床总体归属于微细浸染型金矿床,其成因属于层控—后期热液(热卤水)再造炭硅灰泥岩型金矿床。

第六节　花崖沟金矿床

一、区域地质背景

普查区属华南板块中秦岭华力西党川褶皱带,位于华南板块与华北板块缝合线附近之南侧。区内褶皱、断裂构造发育,印支、燕山期岩浆活动剧烈,成矿条件良好。

(一)构造

本区褶皱、断裂构造较发育,主体构造线呈近东西向。由于地质构造活动频繁,变质变形较强烈,不同类型、方向和不同层次的构造互相叠加,组合面貌较为复杂。

本区的褶皱构造既有较大规模的向背斜构造,也有连续出现的层间褶曲,多期褶皱构造叠加,使不同构造层的褶皱组合面貌不尽一致。

本区的断裂构造极为发育,按其性质可分为韧性断裂和脆性断裂两种,其中前者均属分界断裂并多在后期表构造层次变形时复活,因而叠加部分脆性断裂特征。

(1)东峪—太阳寺区域深大断裂,为舒家坝断裂的东延部分,在区域上与东秦岭商丹断裂连接。系北、中秦岭两个大地构造单元之分界,其北为震旦—奥陶系丹凤群分布区,南为泥盆系舒家坝群。呈近东西向沿郭家沟—东峪—太阳寺—石马池矿炉石一线横贯测区中部,宋家庄以西稍向北西偏转。总体断面倾向 5°～10°倾角 60°～65°,断裂宽 50～100m,断距较大。

该断裂为一长寿断裂,最早形成于加里东旋回,在以后的构造运动又多次复活,甚至在燕山期仍在活动,具有多期活动的特证,总体为一逆冲断层。

(2)范家院深沟韧性剪切带。出露于太阳寺幅东北部的深沟、范家院、庙儿梁沟一带,被北西向的断层所截成几段、向东延入陕西境内,为元古界秦岭岩群与震旦—奥陶系丹凤群之分界。

它在区内发育宽约 220m 的花岗质糜棱岩,从碎斑岩系指向等特征判断,该韧性断裂平面上表现为右行,剖面上具逆断层性质。

还有元家坪—董家院弧形深大断裂、牛圈湾—焦园断裂。上述断裂挤压作用明显,断裂两侧共同的特征是东西向、北西向断裂十分发育,并且有多期叠加之特点,且多发生韧性剪切,形成韧—脆性剪切带。韧性剪切带中的糜棱岩和千糜岩,宽数十米至数百米,多呈北东或近东西向延伸,其次这些韧—脆性剪切带往往为后期断裂所叠加,这些后期断裂中有金及多金属矿化分布,因此,韧—脆性剪切带是本区主要控矿构造。

(二)地层

本区位于秦岭西段,以东峪—太阳寺区域性大断裂为界,北属华北地层大区秦祁昆地层区祁连—北秦岭地层分区,南属华南地层大区秦岭大别山地层区中秦岭地层分区。出露地层从老到新有下元古界、震旦—奥陶系、泥盆系、第四系。

1. 下元古界

区内下元古界为一套由石英片岩、斜长角闪片岩、片麻岩及石墨大理岩组成的中深变质岩系,均划归秦岭岩群。它呈近东西向分布于东北部的深沟—溜沙沟一带,南与丹凤群、北与陈家河群所属岩层均为断层接触。

2. 震旦—奥陶系

本区震旦—奥陶系包括丹凤群及陈家河群两套地层。

1)丹凤群

丹凤群为一套以基性中酸性火山岩与正常沉积岩互夹的浅—中等程度变质的片岩岩系,主要分布于东峪—太阳寺区域大断裂以北地区。南与中上泥盆统舒家坝群以断裂为界。北东与秦岭岩群以范家院—深沟韧性剪切带为界。

丹凤群自下而上共分木其滩岩组(PZ_{1m})、黑湾里岩组(PZ_{h1})、大草坝岩组(PZ_{1d})及李家沟岩组(PZ_{1L})4 个组级单位。

2)陈家河群

主要为一套火山碎屑岩夹浅海相陆源碎屑沉积岩及碳酸盐岩。西南与秦岭岩群、丹凤群均为断裂接触。

3. 泥盆系

分布于东峪—太阳寺区域性断裂以南地区,北与丹凤群为断裂接触。该套地层按岩石组合等特征厘定为下部何家店组(Dh)、上部黑沟组(Ddg)。

1)何家店组

该组地层主要分布在太白幅何家店—寺合、云雾山—老洼沟一带,呈北西西—南东东向延伸。花崖沟金矿就产在该套地层中。

(1)第一岩性段(Dh_1)。为灰—深灰色绢云母板岩(千枚岩)、钙质粉砂岩夹石英杂砂岩及粉砂质灰岩,顶部为一套灰白色薄—中层状碎屑灰岩,厚度大于540m,中部为细砂岩—钙质粉砂岩—板岩(或千枚岩)组成的韵律,厚度大于1108m,属浅海陆棚沉积。

(2)第二岩性段(Dh_2)。灰白—灰绿色绢云母板岩、千枚岩夹发育水平层理的细粒石英砂岩及灰岩条带,应属浅海陆棚深水相的低速泥质沉积建造。

(3)第三岩性段(Dh_3)。灰—灰绿色薄—中层状变石英砂岩夹粉砂质绢云母板岩及薄层状灰岩。

2)黑沟组

黑沟组分两个岩性段。

第二岩性段(Dhg_2)。上部暗紫红色绢云板岩夹灰色薄层状粉砂岩及少量薄层状石英砂岩,下部暗紫红色绢云母板岩与灰色薄层状石英砂岩和灰色薄层粉砂岩。

第一岩性段(Dhg_1)。浅灰绿色—暗紫红色绢云母板岩与浅灰色薄层状泥质粉砂岩互层,灰色中层状角岩化长石石英砂岩、灰色薄层状粉砂岩、灰色中—厚层状石英砂岩与紫红色薄层状粉砂岩互层,并夹有少量暗紫红色绢云母板岩。

(三)侵入岩

区域上侵入岩分布广泛,从中性—酸性均有发育。岩石类型有石英二长闪长岩、黑云斜长花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩等,呈不规则的岩株状侵位于震旦—奥陶系和泥盆系中。距花崖沟金矿西侧约6km处,见有印支晚期侵入的二长花岗岩。寺和、火神庙等矿点均在岩体外围6km范围之内,侵入岩体也可能是该区成矿的有利条件之一。

该岩体出露面积9km^2,为印支晚期侵位的岩浆岩,岩性为浅灰白色中—粗粒似斑状二长花岗岩。结构为似斑状结构,块状构造,基质为中—粗粒花岗结构,主要矿物成分斑晶占10%～30%,为11×0.5cm的板状碱性长石和少量团块状石英。基质70%～90%,斜长石30%～40%,碱性长石30%～35%,石英20%～25%,黑云母3%～5%,微量锆石、榍石、磷灰石等。人工重砂鉴定出重矿物为磁铁矿、石榴子石、绿帘石、黝帘石、黄铁矿、锆石、白钨矿、独居石等。岩体呈不规则状椭球体,长约18km,宽约5km。

此外,区内还发育闪斜煌斑岩脉、细晶闪长岩脉,展布方向多与地层走向近于一致。闪斜煌斑岩与金矿化的关系比较密切。

闪斜煌斑岩脉的岩性特征为浅灰、浅灰绿色、基质具半自形粒状结构的斑状结构,块状构造。主要矿物为斜长石(绢云母)70%,角闪石(褐铁矿)20%～25%,石英1%～5%,少量金红石,暗色矿物多被褐铁矿和碳酸盐岩矿物所替代。

(四)火山岩

本区发育变质火山岩,分布层位广,类型多,按形成时代及变质变形程度可分为早元古代变质火山岩和震旦—奥陶纪变火山岩,分属秦岭群及丹凤群、陈家河群。岩石类型有:基性火山岩(变质岩为斜长角闪片岩、角闪透辉斜长片岩),根据 SiO_2 [Liwenyuan1] + K_2O + Na_2O 图解确定其为石英安山岩;中酸性火山岩(变质岩为黑云斜长片麻岩)、中酸性火山岩(变质岩为黑云斜长片麻岩、黑云二长片麻岩),根据岩石化学成分其原岩为石英安山岩。均属海相火山岩(图 2 - 6 - 1)。

(五)区域矿产

在区域范围内目前已查明有开采价值的金属矿种有金、铁,非金属矿产有电气石、大理岩、花岗岩。另有铜、铅、锌、钼矿点或矿化点多处。

1. 金矿

区内金矿(化)点多,分布范围广,计有东峪、黑水沟、金厂沟、花崖沟等小型岩金矿床 4 处,湘潭子、寺合、光王山、大水沟金矿点 4 处,高家庄、马鹿沟、母猪沟等金矿化点多处。

2. 铁矿

区内铁矿主要分布于东峪—太阳寺区域大断裂以南的舒家坝群地层分布区内,计有娘娘庙小型镜铁矿床 1 处,大水沟镜铁矿点 1 处,罗家沟镜铁矿化点 1 处。

二、矿床地质特征

(一)控矿条件

1. 地层条件

花崖沟金矿出露的地层为中泥盆统中秦岭分区舒家坝群何家店组。

舒家坝群为一套滨浅海相类复理石建造,基本上属连续沉积。

何家店组一、二、三、四的一段岩石系由灰—深灰色砂、板岩及灰岩组成的韵律层,以钙质含量高为特征,二、三岩性段则为灰—灰绿色砂岩—板岩韵律层,偶夹灰岩夹层,其岩相变化反映了海水由浅变深,即由浅海陆棚相变为陆棚深水相。

该组岩石中 Ag、Pb、Zn、Mo 高于维氏值,其余元素均低于维氏或与其相当(表 2 - 6 - 1)。

该组地层尤以变砂岩夹绿泥石英片岩段的变砂岩、变粉砂岩、板岩、千枚岩、及绿泥石英片岩为主,物性不同的岩层及其脆弱带,在构造应力作用下,易产生层间滑动、揉皱和各种裂隙,有利于含矿热液的充填交代,使地层中的金矿物质富集。

2. 构造条件

花崖沟金矿位于华南板块与华北板块缝合线附近,褶皱、断裂构造发育,东峪—太阳寺区域性大断裂、范家院—深沟韧性剪切带、牛圈湾—焦园断裂是区内的主要构造形迹,形成最早,活动频繁,活动时间长,控制了本区地层分布、构造岩浆活动,同时基本框定了区域金矿化的分布范围。受其制约的韧—脆性剪切带在主要成矿阶段经过多次叠加的强弱不等的构造活动,构成近东西向挤压破碎带,为含矿热液运移和沉淀提供了通道和赋存空间。再加上强烈的中、酸性岩浆活动,这些无疑为金矿的形成创造了良好的条件。

3. 岩浆岩条件

在区域上广泛分布着早华力西、印支期中—中酸性—酸性岩石,本区岩浆活动具有多期次特点,岩浆的分布与构造环境息息相关,明显受断裂控制,其边部往往具蚀变带,可见硅化、碳

酸盐化、绢云母化、绿泥石化,与花崖沟金矿成因最密切的是位于火神庙附近的二长花岗岩体、寺和、太阳寺等金矿点均在该岩体外围 6km 范围之内。岩浆期后的脉岩如煌斑岩脉,在脉的两侧蚀变强烈,金含量值较高,是金成矿的有利条件之一。说明其生成不仅受岩浆岩控制,而且还受构造及其他条件控制。

表 2 - 6 - 1　舒家坝群微量元素含量表

单元	样品数	参数	微量元素含量 (10^{-6})													
			Ba	Pb	Sn	Ti	Mn	Cr	Ni	V	Cu	Ag	Zn	Co	Sr	Mo
Dhg^{2}	10	X	380	44.5	3.00	3400.00	400.00	68.00	37.00	94.00	22.00	0.09	116.00	11.50	100.00	0.52
		kk	0.48	2.23	0.30	0.75	0.60	0.68	0.39	0.72	0.39	0.90	1.45	0.57	0.22	0.26
Dhg^{1}	35	X	382.8	21.4	3.06	2400.00	434.30	65.10	28.80	81.70	21.10	0.10	100.00	12.70	100.00	0.56
		kk	0.48	1.07	0.31	0.53	0.65	0.65	0.30	0.63	0.37	0.96	1.25	0.64	0.22	0.28
Dhj^{4}	8	X	462.5	26.88	3.00	2125.00	662.50	62.50	23.75	72.5	20.00	0.07	100.00	9.13	268.75	0.68
		kk	0.58	1.34	0.37	0.47	1.41	6.63	6.23	0.56	0.53	0.01	1.25	0.47	0.60	0.34
Dhj^{3}	84	X	441.67	52.32	3.00	3035.71	544.05	66.02	22.31	67.98	23.94	0.17	110.65	10.05	116.07	3.85
		kk	6.55	2.62	0.30	0.67	1.16	0.68	0.23	0.52	0.42	0.02	1.38	0.50	0.26	1.68
Dhj^{2}	34	X	411.76	32.68	3.09	3397.00	664.70	58.52	23.23	73.24	22.60	0.15	86.47	18.72	114.71	2.61
		kk	6.52	1.63	0.31	0.76	1.41	0.58	0.25	0.56	0.40	1.53	1.08	0.94	0.26	1.30
Dhj^{1}	108	X	479.63	23.38	2.76	2986.11	884.91	58.70	21.56	65.14	25.16	0.17	65.88	12.00	416.67	0.90
		kk	0.6	1.17	0.28	0.67	1.88	0.59	0.23	0.50	0.44	1.69	0.82	0.60	0.93	0.45

(二)矿体特征及工业类型

花崖沟金矿床现已圈定金矿体 4 个(图 2 - 6 - 1、2 - 6 - 2),属小型矿床。其中Ⅱ号矿体规模最大,占储量的 85%。矿体均呈近东西向条带状平行展布,处于同一韧—脆性剪切带中,产状较稳定,倾角较陡,多在 70°～80°。

(1)北部矿带Ⅰ号矿体。该带圈出两条矿体(I_1、I_2),两个矿体长度基本相同,长 200m 左右,两者平行产出,地表出露宽度分别为 I_1 号矿体 25m, I_2 号矿体 45m,向东变宽,矿体倾向 200°,倾角 60°～80°。矿体 Au 平均品位: I_1 Au 0.81×10^{-6}, I_2 Au 1.14×10^{-6}。

(2)中部Ⅱ号矿体。位于Ⅰ号矿带南,是本矿区的主要可采矿体,与Ⅰ号矿体间距约 40m,两者基本平行,呈近东西向带状分布,东端略向南偏转,工程控制长度 100m。地表控制最大厚度 30.57m,最小厚度 3m,平均厚 16.5m,厚度变化系数为 80%,属较稳定型。矿体产状:倾向 150°～180°、倾角 60°～80°。矿石平均品位 Au 1.06×10^{-6},最高 Au 品位 4.08×10^{-6},矿体自然地表出露高差约 150m,Au 品位由高向低逐渐变高。

(3)南部矿体Ⅲ号矿体。该矿体位于Ⅱ号矿体南侧。间距 6m 左右,长约 400m,平均厚度 19.87m,矿体两端较薄,中及东段偏厚,最厚处达 30m。该矿体与Ⅱ号矿体基本平行产出,向东渐与Ⅱ号矿体合为一体。矿体呈近东西向产出,倾向 150°～170°,倾角 60°～80°,Au 平均品

位为 0.80×10^{-6}。

(4)矿石工业类型主要为蚀变角砾岩型、碎裂硅质岩型。矿石硬度参数约 f = 10～15,松散系数 K = 1.8～2.2。

(三)矿石特征

目前测区的工作仅限于地表及浅部,所圈定的矿体多为氧化矿石,金矿体主要分布于破碎蚀变带中,从矿石的矿物成分、结构构造及特征来看本矿床矿石可分为 3 种类型。

(1)褐红色—黄褐色褐铁矿化角砾状矿石。主要由氧化碎裂—角砾状、斑杂状、片状的褐铁矿化绢云绿泥石英片岩组成,角砾大小一般为 2～10cm,矿石矿物成分:褐铁矿(5%～25%)黄铁矿(1%～5%)、脉石矿物斜长石(1%～5%)、钠长石(5%～10%)、石英(50%)、绢云母(1%～5%)、绿泥石(1%～5%)、方解石(10%),此外见有少量的金红石、磷灰石、电气石等。

褐铁矿化的黄铁矿呈星点状、斑点状分布,或沿裂隙分布,含矿角砾具明显的显微残斑结构,石英粒度为 0.046mm 左右,具细粒化现象,其集合体呈蠕虫状,定向构造明显。

金在矿体中的平均品位变化不大,分布较均匀。金矿物主要呈微粒状和吸附金状态。

矿石中含 As(0.21%～0.55%)、S(0.025%～0.125%),此外含 Sb、Bi、Hg、Pb、Zn、Co、Mo 均很低(表 2-6-2、表 2-6-3)。

表 2-6-2　矿石化学成分表

褐铁矿化角砾状矿石	组　分	SiO_2	MgO	CaO	Al_2O_3	FeO	Fe_2O_3	MnO_2
	含量%	62.8	1.34	3.83	15.91	1.06	4.14	0.023
	组　分	TiO_2	P_2O_5	Na_2O	K_2O	S	LOs	
	含量%	0.28	0.048	0.83	3.87	0.22	4.89	
褐铁矿化角砾状糜棱岩矿石	组　分	SiO_2	MgO	CaO	Al_2O_3	FeO	Fe_2O_3	MnO_2
	含量%	64.8	1.38	0.24	17.56	0.63	5.32	0.033
	组　分	TiO_2	P_2O_5	Na_2O	K_2O	S	LOs	
	含量%	0.30	0.134	0.94	4.30	0.32	3.13	
褐铁矿化碎裂硅质岩型矿石	组　分	SiO_2	MgO	CaO	Al_2O_3	FeO	Fe_2O_3	MnO_2
	含量%	70.78	1.11	0.52	14.66	1.54	3.54	0.054
	组　分	TiO_2	P_2O_5	Na_2O	K_2O	S	LOs	
	含量%	0.32	0.084	1.07	3.20	0.63	2.92	

(2)浅褐色褐铁矿化角砾状糜棱岩氧化矿石。特征基本同第一类型,但金含量相对较低,含砷较低 As(0.05%～0.12%),基本不含 Sb,见矿石化学成分表 2-6-3。

(3)褐铁矿化碎裂硅质岩型矿石。此岩石致密坚硬,较前两种矿石类型的硫化物相对高,氧化程度相对低,矿石致密坚硬,具碎裂结构,块状构造。矿石矿物成分,石英约占 65%,黄铁矿约 21%,褐铁矿占 5%,方解石及水云母占 5%。

(四)蚀变类型及其分带

矿床内主要蚀变有硅化、绢云母化、绿泥石化、褐铁矿化等,与矿化关系密切的为绿泥石化、褐铁矿化(黄铁矿化)及硅化。

上述蚀变以矿体为中心,主要蚀变分带有绿泥石—黄铁矿(褐铁矿)化带、绢云母—硅化带、石英—碳酸盐脉带(在南部发育,北部缺失)。

表 2-6-3　矿石有益有害元素一览表

矿体编号	样品编号	分析结果(%)										
		Ag×10⁻⁶	S	C	As	Sb	Bi	Hg	Pb	Zn	Cu	Mo
Ⅱ	96Zh-1	1.10	0.05		0.42	0.02	0.003	0.002	0.02	0	0	0.002
	2	1.80	0.05		0.21	0.02	0.004	0.00	0.00	0	0	0.002
	4	1.00	0.05		0.04	0.00	0.002	0.009	0.05	0	0.01	0.003
	6	0.20	0.025		0.03	0.00	0.002	0.00	0.01	0	0.01	0.002
	7	0.40	0.124		0.46	0.01	0.002	0.004	0.12	0	0	0.003
	8	0.10	0.075		0.45	0.02	0.002	0.00	0.03	0	0	0.002
	9	0.60	0.100		0.55	0.02	0.002	0.002	0.04	0	0	0.002
	10	0.40	0.05		0.26	0.02	0.002	0.007	0.05	0	0.01	0.003
	11	0.60	0.112		0.12	0.00	0.02	0.004	0.07	0	0	0.02
	12	0.70	0.05		0.23	0.00	0.002	0.005	0.04	0	0	0.003
Ⅲ	3	1.30	0.05		0.08	0.02	0.003	0.00	0.04	0	0	0.003
Ⅰ	5	0.75	0.05		0.13	0.02	0.003	0.009	0.02	0	0	0.003

三、矿床地球化学

以表 2-6-4 中元素含量衬度大于 1 为标准,矿床元素组合为 Au、Ag、As、Sb、Pb、Mo、Ni、Hg、Mn。

以各元素衬度大于 2 为标准,矿床的标型元素为 Au、Ag、As、Sb、Hg、Pb、Mo、Bi。它们的含量变化与岩性无相关性,主要在含矿断裂带富集。

表 2-6-4　金矿床中微量元素含量特征及其衬值(单位:10^{-6})

	样　数	Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Pb	Zn	V
矿石	12	1.09	0.75	2708.33	125.00	31.67	25.00	40.833	<0.01	
地层	108	<0.1	0.17	173.96	<50		25.16	23.38	65.88	
矿地层		>10	4.41	15.57	>2.5		0.99	17.46	<0.000	

	样数	Co	Ni	Mo	Ba	Cr	Ti	Mn	Bi
矿石	12	5.4	28.89	25.00	148.89	44.44	1677.78	1083.33	24.17
地层	108	12.00	21.56	0.90	479.63	58.70	2986.11	884.91	<2
矿地层		0.45	1.34	27.78	0.31	0.76	0.56	1.22	>12

(二)成矿温度

1. 花崖沟金矿为破碎带蚀变岩型金矿,其产出形态,矿石结构、矿物组合特征,元素组合特征,围岩蚀变种类及特征等与一般的中低温热液矿床相似。

花崖沟金矿与焦家金矿床的矿床标型元素组合是:

焦家金矿:Au、Ag、Pb、Zn、Mo、Bi;

花崖沟金矿:Au、Ag、As、Pb、Sb、Mo、Bi、Hg;

2. 矿石中主要组合为 Au,而 Ag、Cu、Pb、Zn、S 的含量较少。Au/ Ag 大致成 1∶1 的关系。

3. 矿石构造以角砾状构造为主,矿石结构有压碎结构,交代残余结构等。

4. 金的分布比较均匀,品位变化系数小。

5. 花崖沟金矿矿化富集在断裂破碎带中,最近的侵入岩体相距约 6km,矿体中缺少一般金矿床中常见的石英脉。

从以上 5 个方面来看,与中温热液成矿的焦家金矿有很多相似之处,本矿主要成矿阶段为中—中低温热液阶段。因此将其定为中—中低温热液矿床。

四、成矿时代及期次

(一)成矿时代

花崖沟金矿因工作程度所限,尚未采取同位素样、包体样。通过野外地质观察,结合与该矿成因有关的侵入岩体同位素地质年龄,依以下几个方面的穿切关系为依据来探讨花崖沟的成矿时代。

(1)含矿破碎带产生在泥盆系舒家坝群何家店组的第一岩性段。

(2)含矿破碎带与徐沟(Cx)似斑状二长花岗岩、翟家庄二长花岗岩同处于同一构造破碎带,花崖沟金矿的成矿热液就来源于该岩体,其中徐沟似斑状二长花岗岩体的 K-Ar 年龄为 347.9Ma。

(3)花崖沟含金破碎带被岩浆期后的闪斜煌斑岩脉、花岗闪长岩脉所切,同时,花岗闪长岩脉也将本区的天子山超单元的油家坪岩体二长花岗岩切穿。油家坪岩体的 K-Ar 法年龄为 218.1Ma。

(4)在顺金矿化带产出的闪斜煌斑岩脉、花岗闪长岩脉脉体两侧的金矿品位较高,即这些脉体也是金矿成矿的成因之一。

基于以上事实,我们认为花崖沟金矿的成矿时代应晚于三叠纪,大概在燕山构造—岩浆活动期的早期,即中生代的早白垩世,成矿年龄在 170Ma～200Ma 左右。

(二)成矿期次

依据矿体中矿物生成顺序、矿物共生组合特点及脉体间相互穿切关系等因素,将本区金矿化划分为 3 个阶段。

(1)黄铁矿—石英阶段。此阶段生成矿物以乳白色致密块状石英为主,构成石英脉主体,其中含有极少数粗晶、自形程度较好的星散状分布的黄铁矿。此阶段矿化不好,金含量很低,个别地段不含金。在矿区主要分布在矿体的南侧。矿体中个别出现的石英脉体均在后期构造成矿运动挤压成透镜体或角砾。

(2)石英—黄铁矿阶段。在此阶段是以黄铁矿为主,黄铁矿多呈浸染状产出。由于受构造

影响,石英、黄铁矿具碎裂现象,石英主要表现在硅化岩之中。此阶段金的含量较少,形成部分矿体。

(3)黄铁矿硫化物—煌斑岩脉阶段。在此阶段,是以黄铁矿、硫化物为主,由于煌斑岩脉的侵位,在矿化破碎带近煌斑岩脉的两侧,黄铁矿、硫化物大量沉淀,蚀变特别强烈,此阶段金矿化较好,是本区主要的成矿期。

(三)成矿模式

成矿模式是矿床形成的各种地质作用和矿质、矿液以及能量等来源的综合反映。

(1)矿源层的形成。晚古生代时期,花崖沟地区的主要的地质事件是一个完整的海进—海退的沉积旋回,形成一套滨浅海相类复理石建造,沉积了巨厚的砂岩、泥岩、粉砂岩及灰岩,该地层区(Au)、Ag、As、Sb、Pb、Mo、Bi 突出的低含量带,表明原岩通过迁移作用为矿体提供了重要的成矿物质。

(2)成矿溶液的形成。花崖沟金矿中的金和其他成矿元素从分散状态的源区到富集成矿,经历了长期的多种地质作用。

在古生代末和中生代早期,发生了区域性变质作用,金被活化,有一部分迁移,进入变质热液中。

在印支构造—岩浆活动晚期,处于上地壳深部含金丰度比较高的硅铝质岩石,由于能量的聚集而发生重熔,继而发生侵位,形成花岗岩基。在重熔花岗岩浆的生成和侵位的一系列演化过程中,将形成含矿流体,部分 H_2O、H_2S、CO_2 等挥发分不能溶解在重熔岩浆中,而聚集形成含矿流体,重熔"岩浆库"的热场,使其外围元素活化也进入含矿流体,岩浆成岩时,由于结晶分异和气液分离作用,形成含矿热水;岩浆侵位过程中,围绕岩体形成热场,熵梯度下降及元素活化带,围岩中的成矿元素也进入含矿流体,这些在地层变质、岩浆演化的不同阶段所形成的含矿热流体沿构造带运移上侵过程中掺入了地下含矿热水(是大气降水渗透入地下,经地热和岩浆加热了的萃取了围岩的成矿组分,提高了矿化度的地下水),构成混合的含矿热液。

(3)金矿床的形成。花崖沟金矿带的构造以东西向断裂构造为主体,组成控矿构造,在古生代晚期当东西向构造体系活动时,随着东西向构造体系形迹的出现和顺近东西向构造印支晚期花岗岩的侵位,使印支晚期及燕山早期以前的构造多次复活,并受到利用和改造。在大断裂西侧形成韧—脆性剪切带,不同地段出现了许多大小不等的引张空间。重熔岩浆热液沿比较深大的断裂上侵,并不断接纳含矿地下热水,贯入构造空间,进行充填和交代,形成破碎蚀变带矿体。

由于成矿空间离热液源距离的不同、渗入含矿地下水量大小的差异、含矿热液的不均匀性及成矿地段物理化学条件有别,因而构成了热液活动呈脉冲状态,也使矿带出现了不同的热液矿化阶段。

第七节　柴家庄金矿床

一、区域地质背景

(一)构造

矿区大地构造位置属北秦岭与祁连造山带接合部位,基本样式为一反S型构造,转折端即在柴家庄—李子园一带(图2-7-1)。

区域性断裂呈近南北向延伸至本区,西部发育有舒家坝—娘娘坝韧脆性断裂,东部有关子镇—张家庄韧性剪切带。前者向东延伸与商丹断裂相接,是北、中秦岭的分界断裂。后者则是秦岭群变质杂岩带与李子园群火山岩系的边界剪切带。二者均具多期活动性质,为反S型构造的主要组成断裂,亦控制了图区主要地质体和各种矿产的分布。

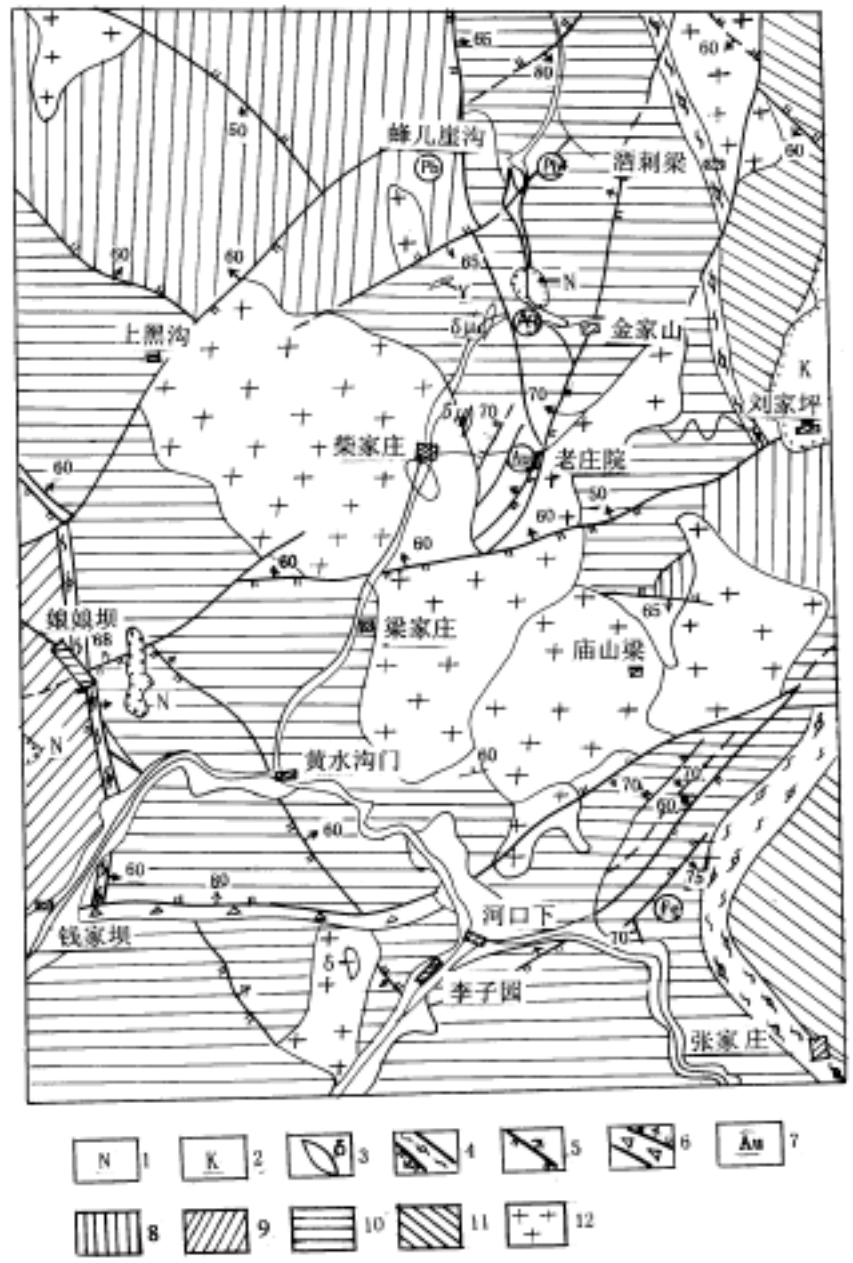


图2-7-1 甘肃省天水柴家庄金矿区域地质图

1—第三系;2—白垩系;3—大草滩群;4—舒家坝群;5—李子圆群;6—秦岭群;7—二长花岗岩;8—脉岩;9—韧性剪切带;10—断裂;11—断裂破碎带;12—矿体

脆性断裂主要有早期的蜂儿崖逆断层,呈北北西向展布,控制了泥盆纪沉积盆地的形成与发展;近东西向断裂(如梁家庄—刘家坪断裂)形成于燕山期,对中生代地层有重要影响;北北东—北东向断裂(如金家山—架岭山逆断层)为区内较发育的晚期断裂。

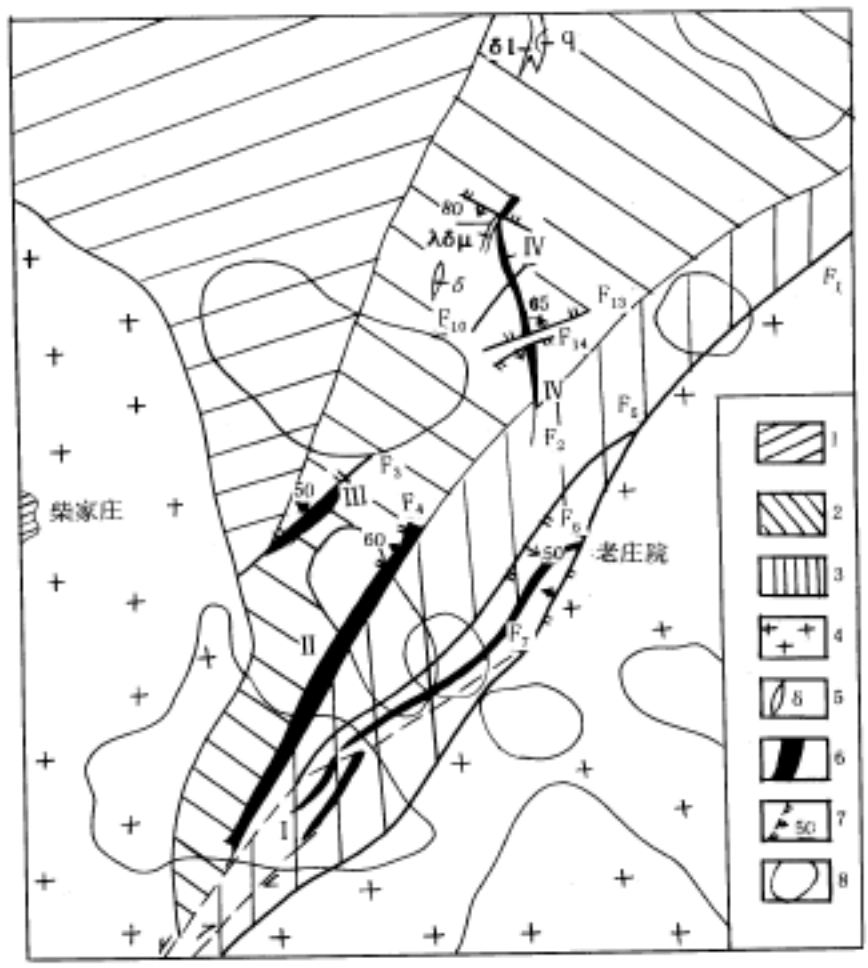
(二)地层

出露地层有下元古界秦岭群、下古生界李子园群、泥盆系、白垩系等。其中李子园群分布最广,与成矿关系最为密切。自下而上分为3个岩组。下岩组((Z-O)L^a)为变基性—中基性火山岩夹碎屑岩、少量中酸性火山岩及大理岩,为含矿层位;中岩组((Z-O)L^b)为变酸性—中酸性火山岩夹碎屑岩及结晶灰岩;上岩组((Z-O)L^c)为变质碎屑岩夹结晶灰岩。各组之间基本为整合接触。

(三)岩浆岩

火山活动主要发生于震旦纪—奥陶纪,这时秦岭海槽裂陷,伴随强烈的火山喷发,形成海相双峰式火山岩夹陆源碎屑和碳酸盐岩建造。

侵入活动主要在印支期—燕山期,形成柴家庄花岗岩体和各种脉岩。柴家庄岩体出露面积约45km^2,岩性为二长花岗岩。南部为中—粗粒花岗结构,北部为细粒花岗结构、似斑状结构。主要成分为斜长石(30%～35%)、钾长石(35%～40%)、石英(20%～25%),次为黑云母(<5%)、角闪石(2%)及黄铁矿,磁铁矿少量。加里东期侵入岩主要有庙山梁和酒剌梁等二长花岗岩体,分布范围较小。



2-7-2　柴家庄金矿地质(附土壤化探异常)图

1—李子圆群下岩组上层;2—李子圆群下岩组中层;3—李子圆群下岩组下层;4—二长花岗岩;5—岩脉;6—矿带;7—断层;8—综合异常

(四)区域矿产

区域矿产主要有金、铅、锌、银、铜、铁等多金属矿产,其产出多受断裂和岩体控制。另外还有一些水泥灰岩及煤等非金属矿点。

二、矿床地质特征

矿床地质特征如图2-7-2所示。

(一)控矿条件

(1)地层。矿区地层主要为李子园群下岩组,按其岩石组合可分3层:下层($(Z-O)La^1$)主要岩性为浅灰色—灰绿色碎裂状斜长角闪片岩,厚度大于133.80m;中层($(Z-O)La^2$)为石英片岩夹斜长角闪片岩,厚度大于257.36m;上层($(Z-O)La^3$)为斜长角闪片岩夹含柘榴石二云石英片岩及大理岩,厚度大于210.37m。各层间均为整合接触。矿区岩石均发生中级区域变质作用,靠近岩体部分发生接触变质。形成各种片岩和角岩。

(2)构造。总体构造形态为一倾向北东的复式背斜构造,其间发育一些次级小型褶皱。断裂构造较发育,大体可分为3组:一是北北西向断裂(F_2),表现出早期为张扭性质,晚期具压扭性质,为控矿构造。二是北北东—北东向断裂,主要有F_1、F_3～F_7等6条,一般早期为张扭性,

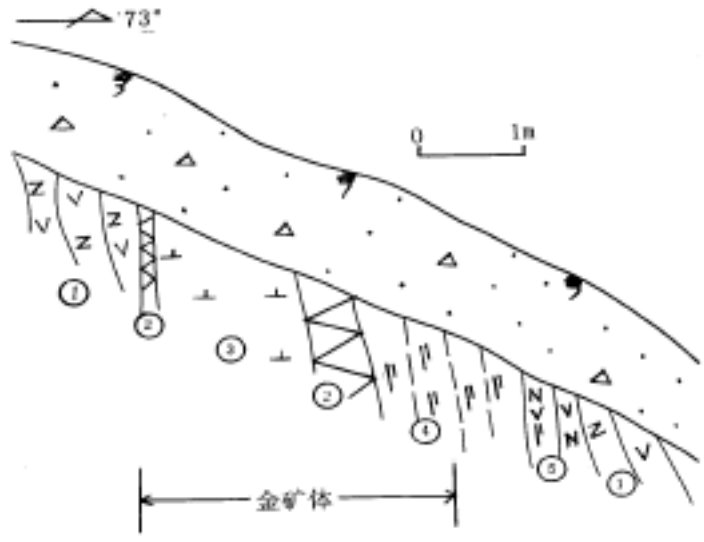


图 2 - 7 - 3　Ⅳ矿带 TC418 素描图

①—斜长角闪片岩;②—石英脉;③—细晶闪长岩脉;
④—绢云岩;⑤—绢云斜长角闪片岩

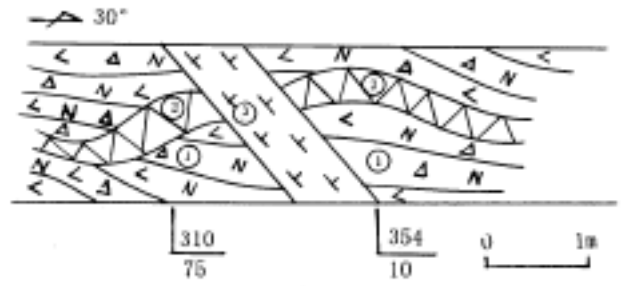


图 2 - 7 - 4　LD102 沿脉顶板素描图

①—碎裂斜长角闪片岩;
②—含金石英脉;③—闪长岩脉

晚期具压扭性质,具明显的多期活动性,常形成较为密集的断裂挤压带,带内岩石常具各种不同程度的蚀变,并发育有含金石英脉且多构成金矿体,是区内主要的控矿、容矿构造。三是近东西向的断裂,为一组成矿后的断裂,对矿体起破坏作用。

(3)岩浆岩。柴家庄花岗岩体与围岩为侵入接触,外接触带有不同程度的角岩化、硅化及混合岩化,含金石英脉多分布在外接触带 500m 范围之内。根据捕虏体及脉岩分布,接触变质晕较宽等特点认为,岩体剥蚀较浅。

各种脉岩中以闪长细晶岩脉与金矿化关系密切,在Ⅳ矿带见与含金石英脉密切伴生,蚀变强烈地段构成金矿体(图 2 - 7 - 3)。闪长岩脉有切穿含金石英脉的现象,对金矿体起破坏作用(图 2 - 7 - 4)。花岗伟晶岩脉、煌斑岩脉与金矿化无明显相关关系。

石英脉为最重要的含金脉体。区内已发现具有一定规模石英脉 27 条(表 2 - 7 - 1),按其特征和含金性大致可分为两类,即乳白色石英脉,其分布无明显规律,金矿化微弱;烟灰色碎裂状石英脉一般受断裂控制,多构成金矿体。

(二)矿体特征

柴家庄金矿分布于胡家沟—黑金子沟一带,矿带南北长 2400m,东西宽 100m。共划分为 4 个矿带,圈定金矿体 10 个。矿体厚度 0.27～5.07m,控制长度 30～380m,品位变化较大,最高为 208.64×10^{-6},最低为 1.02×10^{-6}。

各矿体特征详见表 2 - 7 - 2。矿体形态以脉状为主,次为透镜状,在平面上呈舒缓波状。厚度变化系数属较稳定—不稳定类型,品位变化大,属不均匀—很不均匀类型。为第Ⅳ勘探类型。

(1)I_1 矿体。分布于小院沟,由 5 个小矿体组成,呈北东向并列展布。矿体与围岩界线明显,直接顶、底板围岩及夹石均为碎裂状斜长角闪片岩(图 2 - 7 - 5)。

(2)III_1 矿体。矿体紧贴断层(F_3)下盘沿断裂面展布,直接顶、底板围岩为褐铁矿化碎裂状斜长角闪片岩,南部局部地段底板围岩为变长英砂岩。矿体与围岩界线清楚,夹石为碎裂状斜长角闪片岩。

表 2 - 7 - 1　柴家庄金矿石英脉特征

矿带编号	分布位置	石英脉编号	厚度 (m)	含金量 (10^{-6})	长度 (m)	形态	产状(度)	
							倾向	倾角
Ⅰ	IYM_1	q102	0. 75	35. 90	140	脉状	北西	62. 9
		q103	0. 27	29. 25	90			51. 5
		q104	0. 37	15. 25	80			61. 6
	TC_O - TYM_1	q105	0. 66	23. 61	140			67. 8
	CK_2 - TYM_1	q106	0. 42	6. 89	30			70. 5
	TC_{48}	q107	1. 00	0. 25	20	透镜状	南东	60
	TC_{84}	q108	0. 10	2. 27	30			30
	TC_{76}	q109	0. 50	6. 14	60			45
	TC_{95}	q110	2. 41	18. 51	55			59
		q111	1. 44	0. 77	20			60
Ⅱ	TC_{204}	q201	0. 40	微量	40		北西	77
	凉水泉	q202	0. 40		80			55
Ⅲ	CK_2 - LD_{301}	q301	0. 93	32. 67	260	脉状		
Ⅳ	水泉湾	q401	0. 25	1. 82	30	细脉状	南东	20
	TC_{504}	q402	0. 40	0. 59	30	透镜状	西	34
	TC_{505}	q403	0. 15	90. 08	40		北西	40
	CK_6	q404	0. 25	32. 22	20			75
	CK_{11}	q405	0. 30	46. 86	20		南东	60
	BT_3 南端	q406	0. 10	9. 30	90	脉状		85
	TC_{404} - CK_{10}	q407	2. 64	13. 44	380			67. 8
	TC_{404} - BT_2	q408	0. 94	1. 49	40			65 - 70
	TC_{418} - BT_6	q409	0. 18	26. 74	88			70
	TC_{422}	q410	0. 44	13. 79	27		南西	85
	TC_{422} - BT_6	q411	0. 67	2. 33	56			85
	CK_5	q412 - q413	2. 70	6. 24	48	透镜状	北西	70
	三条沟	q414	0. 75	11. 72	80	脉状	南东	70

(3)IV_1 矿体。矿体由 F_2 断层控制,呈北北西向展布,地表倾向南南东,下部倾向北北西。矿体直接围岩为碎裂状斜长角闪片岩。夹石以碎裂状斜长角闪片岩为主,局部为绢云岩。矿体与围岩界线明显。

表 2-7-2　柴家庄金矿矿体特征

矿带编号	矿体编号	见矿工程编号	矿体形态	矿体产状(度)		矿体长度(m)	平均厚度(m)	平均品位(10^{-6})	厚度变化系数(%)	品位变化系数(%)
				倾向	倾角					
Ⅰ	I_{1-1}	IYM_1	脉状	318	62.9	140	0.75	35.90	74	132
	I_{1-2}	IYM_1		315	51.5	90	0.27	29.31	91	108
	I_{1-3}	IYM_1		309	61.6	80	0.37	15.25	77	148
	I_{1-4}	IYM_1 - TCo		304	67.8	140	0.66	23.61	74	130
	I_{1-5}	IYM_1		295	70.5	15	0.45	3.91		
	I_2	TC_{96}	透镜状	126	59.0	55	2.41	18.51	87	158
	I_3	TC_{76}		121	60.0	60	0.50	6.41		
Ⅲ	III_1	CK_2 - LD_{301}	脉状	277	69.2	260	0.93	32.67	141	113
Ⅳ	IV_1	$TC_{404}CK_{10}$			67.8	380	2.64	13.44	78	164
	IV_2	CK_5	透镜状		70.0	48	2.70	6.24	66	84

(三)矿石特征

区内矿石自然类型简单,以石英脉型金矿石为主,次为蚀变岩型金矿石。主要矿石特征如下:

1. 矿石矿物特征

(1)矿物组成、结构构造。矿石中金属矿物主要以褐铁矿、黄铁矿为主,有少量的磁铁矿,次为黄铜矿、方铜矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂、辉铜矿、铜兰、孔雀石和银金矿、自然金等。脉石矿物以石英为主,次为绢云母、绿泥石、长石、高岭土、方解石等。矿石具自形、半自形和他形不等粒状,交代、穿插、溶蚀、包含及碎裂结构、鳞片变晶结构等;不均匀浸染状、细脉状、团块状及角砾状等构造,氧化矿石常见蜂窝状构造。

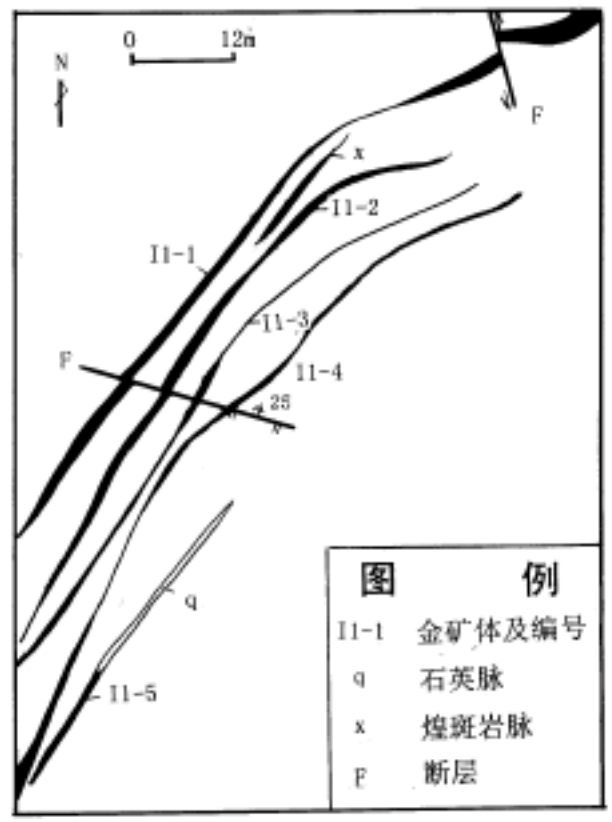


图 2-7-5　柴家庄金矿Ⅰ矿带 1755 米中段矿体分布示意图

(2)载金矿物。①黄铁矿(褐铁矿),为主要载金矿物。以半自形—他形晶为主,矿石中分布不均匀,局部成团块状、细脉状。②黄铜矿,次要载金矿物。呈他形粒状集合体或单体,常与黄铁矿伴生。③石英,浅灰色—烟灰色,他形粒状集合体,常具压碎结构。部分石英有包裹黄铁矿、黄铜矿的现象。单矿物分析含金 4.22×10^{-6},为载金矿物之一。

(3)金矿物。金黄色,以角砾状、板状为主,次为枝叉状、浑圆状、毛丝状等。银金矿为主自然金为次。粒径 0.005～0.25mm,平均 0.023mm。金矿物在矿石中以裂隙金和粒间金为主,次为包裹金,金成色 I_1 矿体为 89.81%～92.20%,Ⅳ1 矿体为 76.97%。

2. 主要成矿元素含量

经大量分析确定 Au 是成矿主元素。伴生元素为 Ag 和 Cu,一般含量 Ag8.12×10^{-6}～26.12×10^{-6},Cu0.22%～0.94%。

(四)蚀变类型

近矿围岩蚀变主要有黄铁矿化、黄铜矿化、硅化、绢云母化及碳酸盐化和绿泥石化等。其中金属硫化物矿化集中分布于矿体或矿化体中,蚀变强度与矿化程度成正消长关系。硅化和绢云母化主要分布在近矿围岩和矿体中,远离矿体则明显减弱(图 2-7-3)。碳酸盐化和绿泥石化比较普遍,但蚀变程度较弱。另外在氧化带还有褐铁矿化和黄钾铁钒化等。

围岩蚀变分带性不明显。

三、矿床地球化学

(一)成矿温压条件

经对Ⅳ矿带 2 个石英脉包裹体用均一法测温获得形成温度 172.2℃～181.5℃,显示成金温度较低。有关成矿压力方面目前尚无直接测试数据,但据矿体自地表向下延深情况及其他地质地化特征估计,成矿深度不会大于 2km,则成矿压力当在 500×10^5 Pa 以下。

(二)稳定同位素地球化学

1. 硫同位素

在Ⅰ、Ⅳ矿带含矿较好地段,共取硫稳定同素样 3 件,测定结果如表 2-7-3。$\delta^{34}S$ 变化范围为 +4.90‰～+7.82‰,平均 6.32‰。显示热液硫特点。

表 2-7-3 柴家庄金矿硫稳定同位素测定结果

样品编号	采样地点	样品名称	测定结果 $\delta^{34}S$ CDT
90—01	Ⅰ矿带	黄铁矿	+4.90
92—1115	Ⅳ矿带 TC404	黄铁矿	+6.25
92—1116	Ⅰ矿带 CK5	黄铁矿	+7.82

2. 氧同位素

在含金石英脉中共取氧同位素样 5 件,测定结果如表 2-7-4。$\delta^{18}O$ 变化范围 9.52‰～11.63‰,平均 10.38‰。说明成矿流体来源于岩浆水,也有部分大气降水的参预。

表 2-7-4 柴家庄金矿氧稳定同素测定结果

样品编号	采样地点	样品名称	测定结果 $\delta^{18}O$ SMOW‰	平均温度(℃)
92—1112	Ⅲ矿带 CK2	石英	10.69	
92—1114	Ⅰ矿带 CK4	石英	9.93	
92—1115	Ⅳ矿带 TC404	石英	10.13	172.2
92—1116	Ⅳ矿带 CK5	石英	11.63	181.5
92—1118	Ⅰ矿带 TC92	石英	9.52	

表 2 - 7 - 5　柴家庄金矿岩石微量元素含量

岩性单元	元　素　(1×10⁻⁶)					
	Cu	Pb	Zn	Ag	As	Mo
火山岩	50	35	80	0. 11	10	0. 70
构造角砾岩	37	29	104	0. 14	10	1. 8
石英脉	930	60	109	5	10	3
花岗岩	16	28	52	0. 07	10	0. 70

(三)微量元素地球化学

1. 微量元素分布特征

据基岩光谱分析统计,矿区微量元素含量如表 2 - 7 - 5。从中可以看出,各种岩石中微量元素含量基本接近或略高于克拉克值,但在石英脉中却明显富集,尤其是 Au、Cu、Mo 等,显示了它们与 Au 成矿的相关性。

另据 1∶10 000 土壤测量成果,柴家庄花岗岩体 Au 元素平均值为 56×10^{-9},为地壳丰度的 14 倍,地层 Au 元素平均值为 67×10^{-9},为地壳丰度的 17 倍。柴家庄金矿的形成,与 Au 的高背景值有关。

2. 土壤异常特征

矿区土壤测量共圈出综合异常 9 个,一般由 Au、Ag、Cu、Hg 等元素组成,异常套合较好,Au 元素一般为 36×10^{-9}～80×10^{-9},异常的空间分布特征见图 2 - 7 - 2。其中 AP - 4、AP - 5、AP - 6 三个综合异常与已知矿体对应较好。

(四)成矿流体特征

流体地质作用与成金关系极为密切,主要表现在:

(1)矿床位于花岗岩体外接触带热晕波及地带,围岩发生接触变质。

(2)矿体围岩蚀变发育;矿区脉岩分布广泛。

(3)大气水参与了成矿作用。

流体作用过程大体可分为早期原始矿液作用阶段,这时以岩浆流体和变质流体作用为主,形成各种脉岩和较弱矿化。晚期阶段主要是地表水大量下渗,与来自深部的含矿流体混合,组成新的成矿流体,形成含金矿体和其他金属硫化物,并发生各类围岩蚀变。

四、成矿时代与矿床成因

(一)成矿时代及成矿阶段划分

1. 成矿时代

柴家庄金矿的成矿时代,目前还没有同位素资料。但柴家庄花岗岩体同位素年龄为 198Ma～206Ma(K-Ar 法测定黑云母),成矿作用发生在其后;与矿体密切的北北东向断裂截穿花岗岩体及白垩纪以前的地层,断裂带内发育多期脉岩。由此推知柴家庄金矿成矿时代为印支期末—燕山期。

2. 成矿阶段的划分

按成矿作用及矿物组合与相互关系,可划分为 5 个成矿阶段。

(1)黄铁矿—石英阶段。主要由乳白色的石英组成,伴有少量黄铁矿及金矿物。黄铁矿以粗粒、自形晶、立方体为主,呈浸染状分布,金品位很低。本阶段形成少量金—黄铁矿—石英组合。

(2)金—石英—黄铁矿阶段。主要由粗粒黄铁矿和石英组成。黄铁矿多呈半自形粒状晶体,以脉状、团块状集合体叠加于(1)阶段之上,含一定数量的金。本阶段形成金—石英—黄铁矿组合,是金的次要成矿阶段。

(3)金—石英—多金属硫化物阶段。主要由中粒半自形—它形晶黄铁矿与烟灰色石英组成,呈细脉、网脉、团块状叠加于(1)、(2)阶段之上。黄铁矿多具压碎结构,含金性最好,与黄铜矿、毒砂、方铅矿、磁铁矿、自然金、银金矿等共生,是金的主要成矿阶段。主要矿物组合为:金—石英—黄铁矿—黄铜矿—方铅矿。

(4)碳酸盐—石英阶段。主要有纯白色的石英、方解石及少量的黄铁矿,一般含有少量的金。形成黄铁矿—石英—方解石组合。

(5)黄钾铁钒—褐铁矿阶段。为表生成矿阶段,形成次生金属硫化物,使矿石具蜂窝状构造。金也有一定的聚合,形成少量的明金。主要矿物组合为高岭石—黄钾铁钒—褐铁矿。

(二)控矿因素分析

1. 地层因素

矿区地层为李子园群下、中岩组,主要岩性为中级变质的酸—中基性火山岩,金的丰度值较高,为成矿提供了重要物质来源。

2. 岩浆活动因素

目前划分的 4 个矿(化)带,均产于柴家庄花岗岩体的港湾状外接触带内,矿带中分布有多种脉岩。前述表明岩浆流体确已参与了成矿作用。岩体内接触带含金平均高达 56×10^{-9},说明岩浆活动为成矿提供了热源和部分物源。

3. 构造因素

图区断裂构造为岩浆侵入和热液活动、矿液运移、富集提供了通道和空间。首先是张家庄—关子镇韧性剪切带和娘娘坝—舒家坝韧脆性剪切带,均为区域性的深大断裂。在地表以下较深层次上控制了本区的成岩和成矿作用。其次是蜂儿崖北北西向断裂,为重要的导矿构造。而晚期北东向断裂则与矿带分布相一致,属控矿和容矿构造。地层变形变质时产生的透入性片理等裂隙为成矿流体尤其是大气降水的运移提供了方便。

(三)矿床成因类型

综前所述,柴家庄金矿成因类型暂划分为中低温热液石英脉型金矿床。

第八节　李坝金矿床

一、区域地质背景

(一)构造

李坝金矿床产于中秦岭海西褶皱带北亚带西段。区内的主要构造为礼县—百云—山阳深

断裂及其分支断裂和石家河坝复向斜。

礼县—百云—山阳深断裂是区内的主要控岩、控矿断裂。该断裂在礼县以东将中秦岭海西褶皱带分为南北两个亚带。北亚带泥盆系为深水浊流沉积的李坝群,南亚带泥盆系为浅水碎屑岩夹碳酸盐岩建造。该断裂在礼县以西分成两支,北支沿礼县—罗坝—锁龙口呈北西向延伸,南支沿礼县—洮坪呈近东西向延伸,李坝金矿床产于北支断裂的次级断裂中。

北支断裂带宽 80～250m,主要由断层泥、糜棱岩、碎裂岩组成。通过脆性岩层时,多形成断层角砾岩,有时形成巨大的岩块夹于断裂带中,岩块边部形成金矿体或矿化体,如瓦苗沟金矿点。断裂带内岩石中成矿元素 Au、Ag 含量高,而 As、Sb、Hg 等含量较低,见表 2—8—1。

表 2 - 8 - 1　礼县—百云—山阳深断裂分支断裂中矿化元素含量($\times 10^6$)/ 方差

地质体	样品数	Au *	Ag	As	Sb	Hg
礼县—洮坪深断裂	9	8. 75	0. 19	69. 7	119. 7	0. 100
		5. 47	0. 22	49. 87	121. 98	0. 7
礼县—罗坝—锁龙口深断裂	4	5. 5	1. 10	11. 3	0. 8	0. 06
西汉水组	143	3. 5	0. 11	11. 5	1. 31	0. 065
李坝群	214	4. 9	0. 12	37. 9	1. 89	0. 08
地壳克拉克值(黎彤,1992)		2. 19	0. 075	2. 03	0. 507	0. 103
		1. 02	0. 0204	0. 129	0. 219	0. 05

* 单位: $\times 10^{-6}$

南支断裂带宽 50～100m,带内岩石特征与北支类似,但有机碳含量普遍较高,Au、As、Sb、Hg 等矿化元素含量明显高于围岩地层(表 2 - 8 - 1)。

次级断裂发育,按走向可分为四组:北西西向、北东东向、北西向及北北东向,不同方向断裂相互切割,形成若干“菱形”小块,其中以北西西向断裂最发育。

褶皱构造总体上呈北西西走向,石家河坝复式向斜由 3 个二级褶皱组成,北部为马坞背斜,主要由李坝群组成;中部为石家河坝向斜,主要由石炭系组成;南部为张凤坡背斜,主要由西汉水组地层组成。

(二)地层

区域地层以泥盆系、石炭系为主,二叠系、第三叠系和第四系零星分布于上述地层之上。李坝群自下而上分为 4 个岩组:

大山坝组:主要由灰绿色厚层状长石石英砂岩类,薄层细粒长石石英砂岩及少量灰绿色板岩构成,厚度大于 736m(未见底)。是典型的颗粒流沉积相。

贺家磨组:与大山坝组整合接触。主要由灰绿色、灰色薄层长石石英杂砂岩、粉砂岩、泥质板岩互层组成。鲍马层序发育,底模构造常见,含有丰富的深水遗迹化石,厚度 552～630m。是李坝金矿床的容矿地层。

徐家坝组:主要由灰绿色泥质板岩夹少量薄层细粒长石石英杂砂岩、粉砂岩组成。厚度 459～550m,是静水沉积产物,局部见陈发性浊流沉积。

山台坝组:主要由灰色、灰黑色厚层状薄层状纹层状泥岩夹少量钙质板岩组成,厚度大于

739m(未见顶)。

综上所述,李坝群的沉积层序为粗碎屑岩—细碎屑岩—不纯碳酸盐岩,构成了一个完整的沉积旋回。

李坝群元素组合分成为两大群(图 2 - 8 - 1)。第一群为 Au、As、Ag、Sb、Sr、Pb、Hg,属成矿元素组合。表明金矿化与 As 的关系最为密切,次为 Ag、Sb。第二群为 Cr、W、Ni、Cu、Co、Ti、Mn、Zn,属基性岩元素组合特征,说明李坝群可能由基性火山岩剥蚀,搬运沉积而成,在元素组合上具有一定继成性。

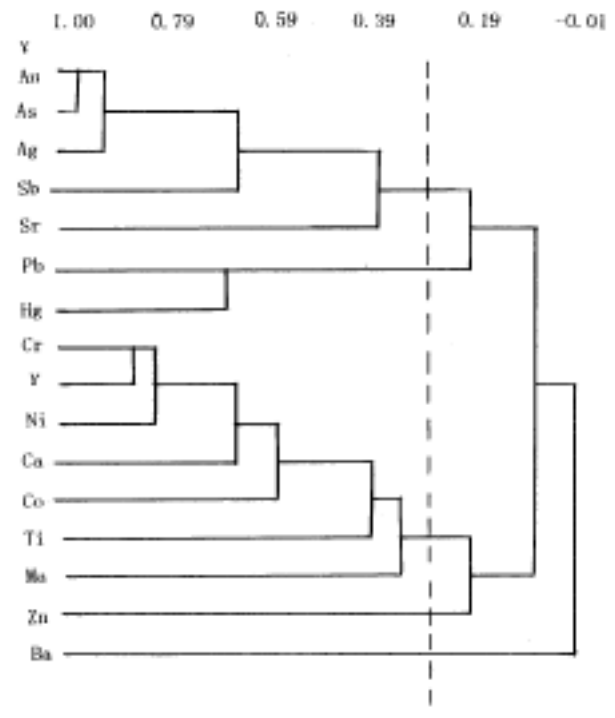


图 2 - 8 - 1　李坝群多元素谱系图

分布于礼县—百云—山阳深大断裂以南的中泥盆统西汉水组由浅变质的浅海碎屑岩类碳酸盐岩组成,厚度大于 920m。R 型聚类分析结果如图 2—8—2 所示,以 r = 0.36 分为两大群。第一群为 Pb、Zn、Au、Hg、Sb、Ag、As,金矿化与 Pb、Zn 矿化关系密切。在西成矿田中已找到与铅锌矿化关系密切的金矿,充分证明了这一点。另一群为 Co、Ti、Cr、Ni、Cu、Ba、V、Mn。Sr、Ba 与其他元素相关性不明显。

石炭系下部主要为灰—灰黑色含炭板岩、粉砂岩夹灰岩泥灰岩、角砾状灰岩、细砂岩、硅质岩等,厚

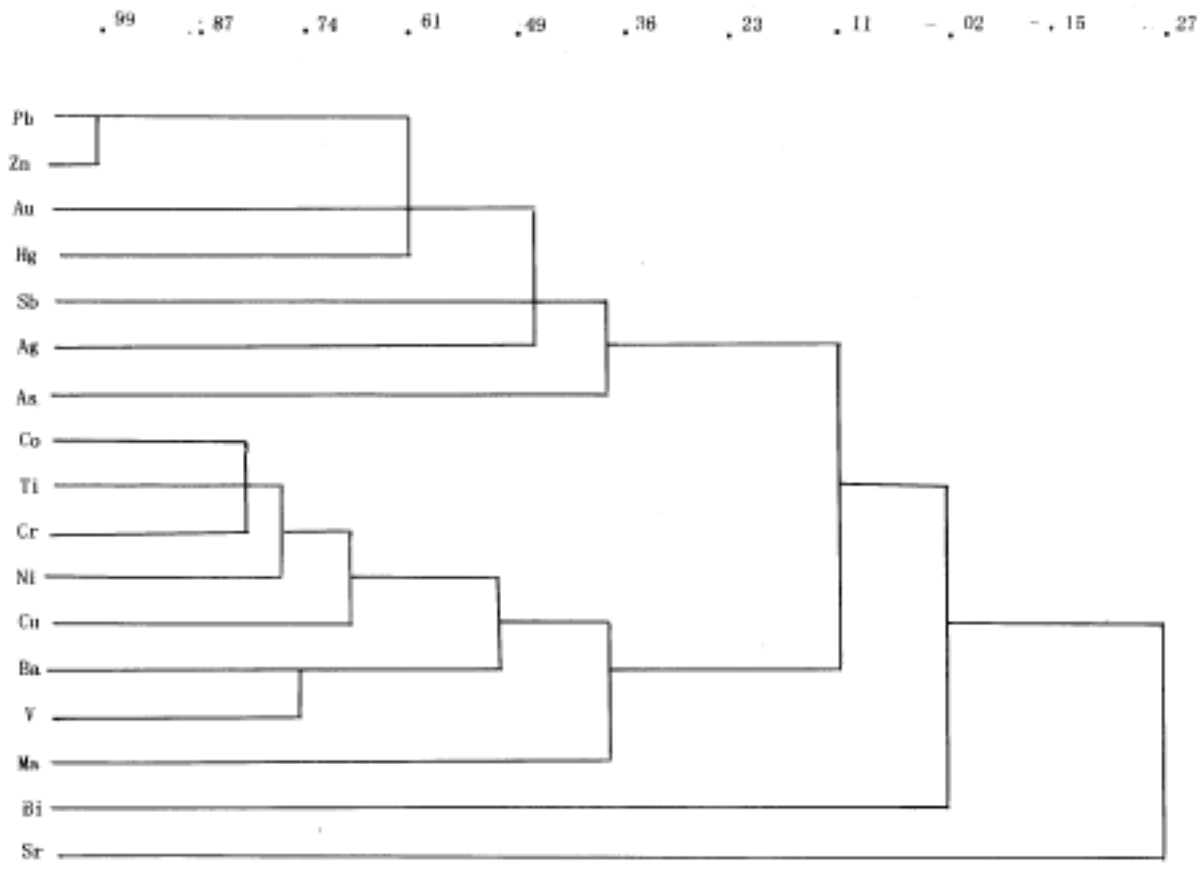


图 2 - 8 - 2　西汉水组多元素聚类谱系图

度约 1300m。上部主要由灰色变砂岩、含砾砂岩夹炭质板岩、粉砂岩及少量硅质岩组成，厚度 1980m。其矿化元素组合为 Au、Hg、As，其相关系数在 0.80 以上，Au、Ag、As、Sb、Hg 分别为地壳克拉克值的 1.8、1.3、15.7、3.5、0.8 倍。

二叠系分布于教场坝岩体及其外围，主要为浅海碎屑岩和碳酸盐岩建造。元素聚类分析结果表明，以 R = 0.25 分为两大群(图 2-8-3)，第一群为 Ag、Pb、Au、As、Sb、Hg、Bi，代表矿化元素组合，第二类为 Cr、V、Ti、Ni、Co、Ba、Cu、Mn。Zn、Sr 与其他元素相关性不明显。

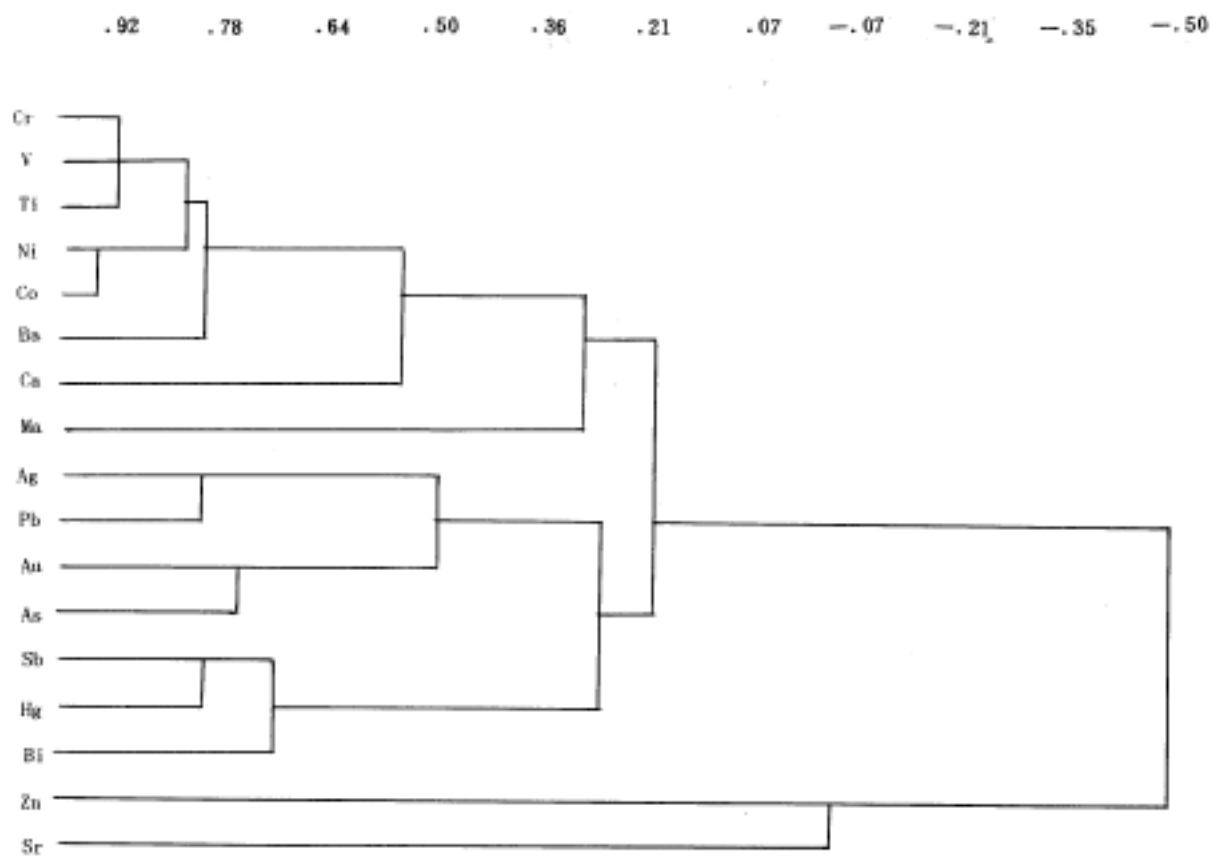


图 2-8-3　二叠系多元素聚类谱系图

第三系主要由紫红色砂岩及砂砾岩组成，局部见基性喷发岩。第四系为砂砾、黄土组成。该区区域地球化学特征为 As、V、Sb、Pb、Zn、Au 较富集，Co、Ni、Ti、Mn、Sr、Ba、Hg 等元素为较分散。该区各地层矿化元素含量见表 2—8—2。由表可知，该区各层位 Au、Ag、As、Sb 等矿化元素均较富集，对金矿找矿均有一定意义。

表 2-8-2　区域地层矿化元素含量($\times 10^{-6}$)

地层	样品数	Au*	Ag	As	Sb	Hg
二叠系	71	2.7	0.12	20.4	2.9	0.07
石炭系	91	4.0	0.10	31.8	1.8	0.08
泥盆系舒家坝组	214	4.9	0.12	37.9	1.9	0.08
泥盆系西汉水组	143	3.5	0.11	11.5	1.3	0.07
地壳克拉克值(黎彤 1992)		2.19	0.075	2.03	0.507	0.103

(三)岩浆岩

区内岩浆活动强烈，具多旋回多期次特点，可分为海西期、印支期和燕山期。以侵入岩为主，出露面积近 700km^2，以印支期岩浆活动最强烈，主要形成中川、柏家庄、闾井、碌础坝、教场坝五大花岗岩体，构成中川岩体群，与成矿关系较密切。

1. 侵入期次划分及时代

除柏家庄岩体外,中川、闾井、碌础坝、教场坝四大岩体均为复式岩体,侵入期次相似,其岩性和时代均可类比(表 2—8—3)。由早到晚均可分为 3 次:早期(Ⅰ)形成中粗粒似班黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩,中期(Ⅱ)形成粗粒含斑黑云母二长花岗岩,晚期(Ⅲ)形成中细粒黑云母二长花岗岩、二云母二长花岗岩。各岩体均由早到晚,由外而内呈同心环状分布,早期形成的中粗粒似斑状黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩构成主体相。柏家庄岩体以中细粒二云母二长花岗岩为主体相,其岩性和同位素年龄均相当于其他 4 个复式岩体的晚期(Ⅲ)侵入相。

表 2 - 8 - 3　中川岩体群侵入期次划分及时代(K-Ar 法)

期次	中川岩体	柏家庄岩体	闾井岩体	碌础坝岩体	教场坝岩体
Ⅲ	细粒黑云二长花岗岩(181.5Ma)	中细粒二云母花岗岩(196Ma)	细粒二云母花岗岩(179Ma)	中细粒黑云母二长花岗岩(185Ma)	中细粒黑云母二长花岗岩
Ⅱ	含斑黑云母二长花岗岩(196Ma)		含斑黑云母二长花岗岩(212Ma)	含斑黑云母二长花岗岩	含斑黑云母二长花岗岩
Ⅰ	似斑状黑云母二长花岗岩(219Ma)		似斑状黑云母二长花岗岩	似斑状黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩	似斑状黑云母二长花岗岩、花岗闪长岩

中川岩体群同位素年龄为 219Ma～179Ma,主体相当于印支期,局部为燕山期,属印支—燕山期构造岩浆活动的产物。

2. 岩石学特征

中川、闾井岩体形态近似等轴状分布,碌础坝、柏家庄、教场坝三岩体受北西和北东东向断裂制约而呈不规则状。围岩主要为中泥盆统李坝群、西汉水组及石炭系、二叠系。岩体与围岩有明显侵入接触关系,内接触带有大量围岩捕虏体,外接触带有明显接触热变质现象。有些岩体,如中川岩体群各岩体岩相分异均不明显,柏家庄岩体内局部分异的伟晶岩囊较发育,但不构成分相,早期侵入的似斑状黑云母二长花岗岩,以闾井岩体分异最好,可划分出边缘相,其他岩体均无明显边缘相。反映了印支期岩浆活动时,中川岩体群分布范围内存在一温度高的热场。中晚期侵入形成的含斑黑云母二长花岗岩和细粒黑云母二长花岗岩基本无分异现象。

中粗粒似斑状黑云母二长花岗岩(花岗闪长岩),粗粒含斑黑云母二长花岗岩和中细粒黑云母二长花岗岩的岩性相似,只是粒度和斑晶含量的不同,中粗粒似斑状黑云母二长花岗岩粒度一般 2～6mm,斑晶大小 d = 8～18mm,含量 5%～30%;粗粒含斑黑云母二长花岗岩粒度 2～4mm,斑晶大小 d = 5～12mm,含量 3%～20%;中细粒黑云母二长花岗岩粒度小于 2.5mm,斑晶很不发育。同一岩体中(除柏家庄岩体),由早到晚,由外而内,粒度减小,斑晶变小,斑晶含量减少之规律相当明显。

岩石通常呈灰白色,浅肉红色至红色,似斑状结构、含斑结构、花岗结构等,块状构造。斑晶以钾长石为主,少量斜长石和石英。矿物组成:钾长石(39%～40%),斜长石(25%～30%),石英(20%～30%),白云母(0.5%～5%),黑云母(3%～8%),碌础坝和教场坝岩体边部含角闪石(0.5%～5%)。副矿物有磷灰石、锆石、独居石、榍石、钛铁矿等。钾长石多半为自形—他形晶,成分主要为条纹长石,次有微斜长石和正长石。微斜长石具格状双晶,常见蠕英结构。

斜长石多呈半自形板柱状,部分为粒状,其成分以 An = 14～28 的更长石为主,部分为 An = 28～30 的中长石。斜长石环带不太发育。石英多呈他形粒状,黑云母有明显的多色性,石英、黑云母多沿晶间分布。

3. 岩石地球化学

中川岩体群各岩体以富 FeO、MgO、CaO、TiO、P_2O_5、SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3、Na_2O、K_2O 为特征,较秦巴印支期二长花岗岩相对基性(表 2—8—4)。比较各岩体岩石化学成分可以看出,中川、闾井岩体岩石化学成分相似,碌础坝、教场坝岩体岩石化学成分相似,以柏家庄岩体酸性程度最高,中川、闾井岩体其次,碌础坝、教场坝岩体最低。FeO、MgO、CaO、P_2O_5 等含量在碌础坝、教场坝岩体中相对富集,在中川、闾井岩体中相对贫化。K_2O/Na_2O 值,中川、闾井岩体最高,其他岩体相似。

表 2 - 8 - 4　中川岩体群各岩体二长花岗岩平均岩石化学成分(%)

岩体	样品数	SiO2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	烧失量
中川岩体	29	70.44	0.35	13.97	1.26	2.34	0.07	0.93	1.63	3.40	4.53	0.15	0.85
柏家庄岩体	9	73.59	0.14	3.44	0.78	1.48	0.03	0.32	0.65	4.15	4.38	0.11	0.79
闾井岩体	10	70.05	0.21	13.54	0.92	2.26	0.04	1.19	1.46	3.51	5.23	0.15	0.54
碌础坝岩体	3	69.62	0.39	14.04	0.34	2.53	0.05	4.89	2.46	3.81	4.18	0.17	0.41
教场坝岩体	1	69.36	0.28	14.30	0.95	2.34	0.08	1.02	1.97	3.73	4.25	0.19	1.56
秦巴印支期二长花岗岩①		72.02	0.25	14.12	1.04	1.49	0.05	0.63	1.40	3.83	4.53	0.09	—

① 尚瑞均等,1988。

表 2 - 8 - 5　中川岩体群各岩体成因判别

判　别　指　标	I 型	S 型	中川岩体	柏家庄岩体	闾井岩体	碌础坝岩体	教场坝岩体
$Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$	< 1.1	> 1.10	1.04	1.04	0.96	0.92	0.91
$Fe_2O_3/(Fe_2O_3+FeO)$	高(如 = 0.45)	低(如 = 0.21)	0.19	0.18	0.16	0.07	0.16
SiO_2	< 65%	> 65%	70.44%	78.59%	70.05%	69.62%	69.35%
C(标准矿物)	< 1%	> 1%	0.8%	0.3%			0.5%
δEu	> 0.7	< 0.7	0.538	0.392	0.764	0.733	0.616
Ld/Yb	> 5.0	> 5.0	19.17	21.82	10.60	13.05	18.37
角闪石	常见	缺失	缺失	缺失	少见	可见	可见
副矿物	富磁铁矿	富钛铁矿	磁铁矿少	磁铁矿少	磁铁矿少	磁铁矿少	磁铁矿少

中川岩体群各岩体综合指数 δ = 2.29～2.82,属典型的钙碱性花岗岩。CIPW 标准矿物中含石英(q),中川、柏家庄、教场坝岩体含刚玉(C),属 Si_2O 过饱和,Al_2O_3 过饱和型花岗岩,闾

井、碌础坝岩体不含刚玉(C),属 SiO_2 过饱和正常系列花岗岩。

各岩体样品在 Q—Ab—Or 三角图和 Na—K—Ca 三角图上均位于岩浆花岗岩区。各岩体矿物组成相当于 S 型 I 型混合型,并依中川、柏家庄、闾井、碌础坝岩体顺序,混合型中 S 型比例减少(表 2—8—5)。同一岩体,由早到晚,S 型比例增大。

各岩体矿化元素含量见表 2—8—6,由表可以看出各岩体 As、Sb 含量明显高于地壳克拉克值,Au 含量接近或略高于克拉克值,与区域地球化学特征相一致。中川和柏家庄岩体的 Au 含量接近,而闾井、碌础坝和教场坝三岩体的 Au、As 含量较接近。有趣的是,依中川、柏家庄、闾井、碌础坝、教场坝岩体顺序,随岩石基性程度增加和 I 型花岗岩比例增大,Au 丰度有增大现象。中川岩体多元素因子分析结果表明,主因子 F_1 中载荷较大的元素为 Au、Ag、As、Sb、Hg、Cr、Co、Ni,F_2 为 Pb、Zn,F_3 为 Au、As、Sb 三主因子贡献累积达 57%。可见 Au 及其伴生元素 Ag、As、Sb 等主要与铁族元素 Ti、Cr、Co、Ni 密切相关,Ti、Cr、Co、Ni 通常与镁铁矿物黑云母有关。Au、Ag、As、Sb 趋势面分析显示其与岩体无明显关系。各岩体中 Au、Ag、As、Sb 等元素
分散流异常亦很不发育。推测,中川岩体群各岩体很难提供含 Au 热液。

图 2—8—4 为中川岩体群各岩体稀土元素配分模式图。由图可以看出,五大岩体稀土配分模式相似:稀土配分曲线为轻稀土富集型,中等程度负 Eu 异常,Tm 正异常。Lu 负异常。& - Eu = 0.392～0.764, La/ YB = 10.60～21.92。由早到晚,δEu 值减少,稀土元素分异增强。稀土元素资料表明,五大岩体源岩相同,经历了相似的成岩过程。

表 2 - 8 - 6　中川岩体群各岩体矿化元素含量($\times 10^{-6}$)

岩体名称	样品数	Au *	Ag	As	Sb	Hg
中川岩体	58	2.0	0.06	3.8	0.80	0.10
柏家庄岩体	17	2.1	0.07	2.0	3.60	0.06
闾井岩体	8	3.4	0.06	19.6	0.91	0.06
碌础坝岩体	11	3.7	0.05	18.0	1.26	0.17
教场坝岩体	19	4.9	0.05	17.9	3.79	0.13
地壳克拉克值(黎彤 1992)		2.19	0.075	2.03	0.507	0.103

(四)区域矿产及分配

区内金属矿产种类有 Au、Sb、As、Hg、W、Sn、Fe、Cu、Pb、Zn、U 等,矿产类型与区域地球化学特征一致。Au 矿床(点)、矿化点发育,共 40 余处,主要受中川岩体群和断裂构造控制,96%矿床(点)分布于岩体周边部,91%矿床(点)沿礼县—洮坪深断裂和礼县—罗坝深断裂分布。金矿床(点)主要分布在西汉水组、李坝群、石炭系及二叠系中,其中,李坝群分布率为 42%,西汉水组为 27%,石炭系为 19%,二叠系为 12%。大中型矿床主要集中分布于李坝群中。W、Sn 矿点主要分布在柏家庄岩体中,Fe 矿主要受层位和断裂构造控制,70%分布在西汉水组,30%分布在李坝群中。Pb、Zn 矿点以西汉水组中最多,占 70%,另有 30%分布在李坝群中和二叠系中。Cu 或 Cu、Pb、Zn 矿点以二叠系最多,占 57%,西汉水组占 29%,李坝群占 14%。铀矿床(点)主要分布于中川岩体中,石炭系中有少量分布。从矿点之间的相关关系看,Au 矿化与 Sb、As、Hg、Pb、Zn 等矿化关系密切。其中,李坝群中,Au 与 Sb、As 关系密切,西汉水组中,Au 与 Pb、Zn、Sb、As 关系密切。

二、矿床地质特征

李坝金矿床位于中川岩体北东 2.5km 处,李县—罗坝—锁龙口深断裂从矿床南约 1km 处通过。矿床规模目前已达大型。

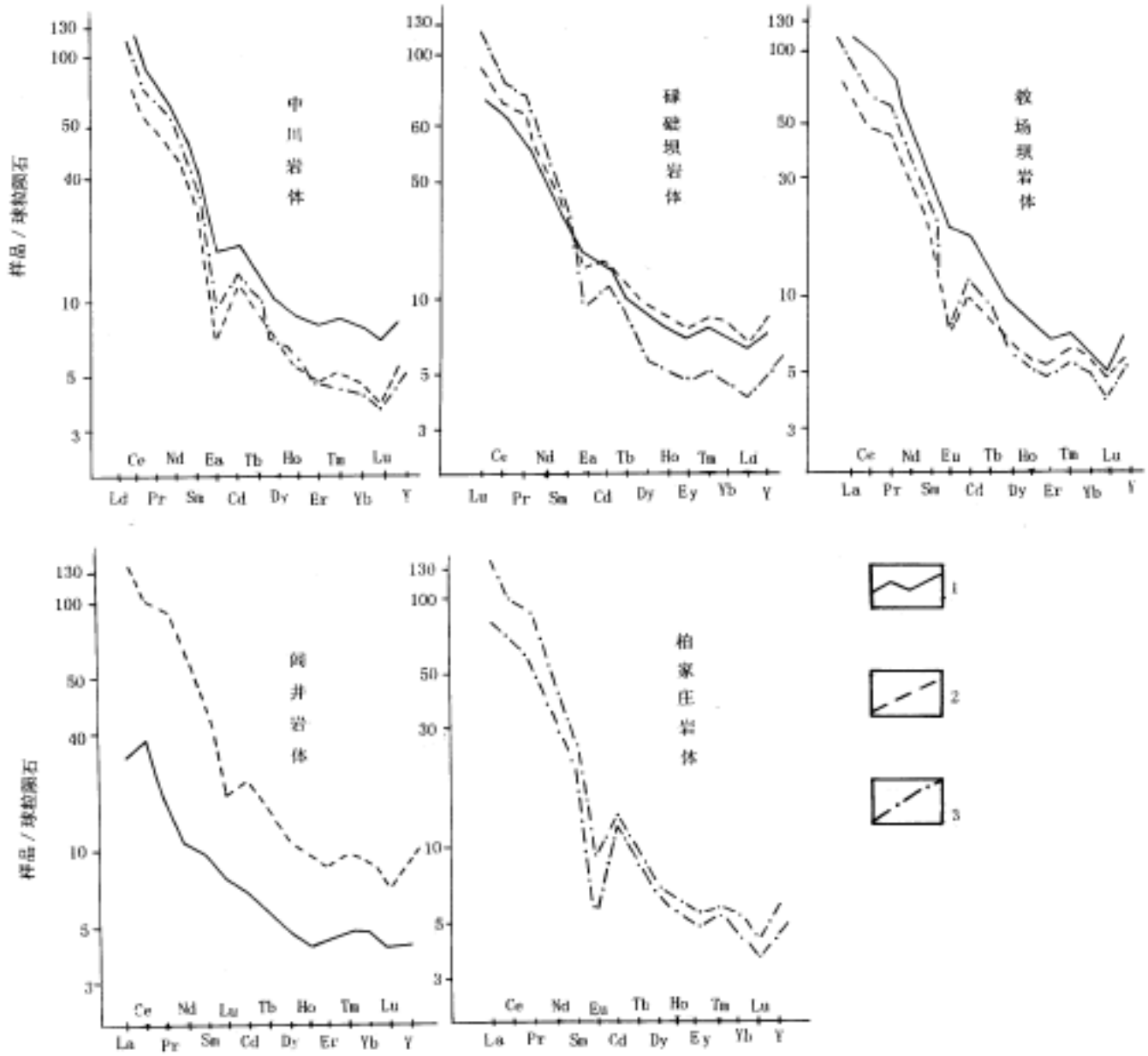


图 2-8-4　中川岩体群各岩体稀土配分模式

1—Ⅰ期粗粒似斑状黑云母二长花岗岩;2—Ⅱ期中粗粒含斑状黑云母二长花岗岩;3—Ⅲ中细粒黑云母二长花岗岩

(一)地层

矿区出露地层为泥盆系中统李坝群第二岩性段(贺家磨组),自下而上分为 4 层。

第 1 层($D_2L_2^1$):灰黑色薄层状粉砂质板岩夹灰绿色薄层变质杂砂岩,厚度大于 160m(未见底)。

第 2 层($D_2L_2^2$):灰色、灰绿色斑点状板岩夹薄层细砂岩,粉砂岩,厚度 330m。6 号矿带就赋存于此层中。

第 3 层($D_2L_2^3$):灰色、灰绿色、灰白色薄层状长石石英细砂岩夹斑点状粉砂质板岩,厚度 157m。含数条小矿体。

第 4 层($D_2L_2^4$):深灰斑点状粉砂质板岩夹少量薄层状细砂岩,厚度 459m。5 号矿带赋存于此层中。

(二)构造

矿区位于石家河坝复式向斜北翼马坞向斜南东倾伏端,总体上为向南西倾斜的一单斜构造。F_1、F_3 和 F_{12} 为矿区 3 条主断裂破碎带,分别由若干条断层组成。F_1 规模最大,F_3 和 F_{12} 分布于 F_1 左侧,为其派生构造。矿区六、五号两条主矿体分别赋存于 F_3 和 F_{12} 中,只有不足 4%的矿石赋存于 F_1 中。F_1 断裂为李县—罗坝—锁龙口深断裂之分断裂,走向北 20°～40°

西,向南西倾斜,倾角 65°～85°,破碎带宽 60～240m,长 3000m 左右,性质属压扭性,为矿区主要导矿构造。F_3 和 F_{12} 走向断裂,二者均选择不同岩性层界面附近生成。断裂破碎带宽 80～120m,长 1200～1800m,倾向南西,与地层同向倾斜,倾角 65°～78°,切割地层(图 2-8-5、2-8-6),力学性质属压性—压扭性。F_1、F_3 和 F_{12} 均经历了成矿前脆韧性变形和成矿期脆性变形两个阶段。脆韧性变形构造主要起容矿作用,脆性变形构造主要起导矿作用。成矿前脆韧性变形主要表现为,在断裂破碎带中形成若干雁行状小型开阔褶皱和广泛发育的 S_1 和 S_2 节理以及糜棱岩化岩石—片理化岩等构造岩。成矿期脆性变形主要表现为若干平行排列较密集分布的小断层的形成。成矿后构造活动趋于稳定,矿体无明显被断层错动现象。

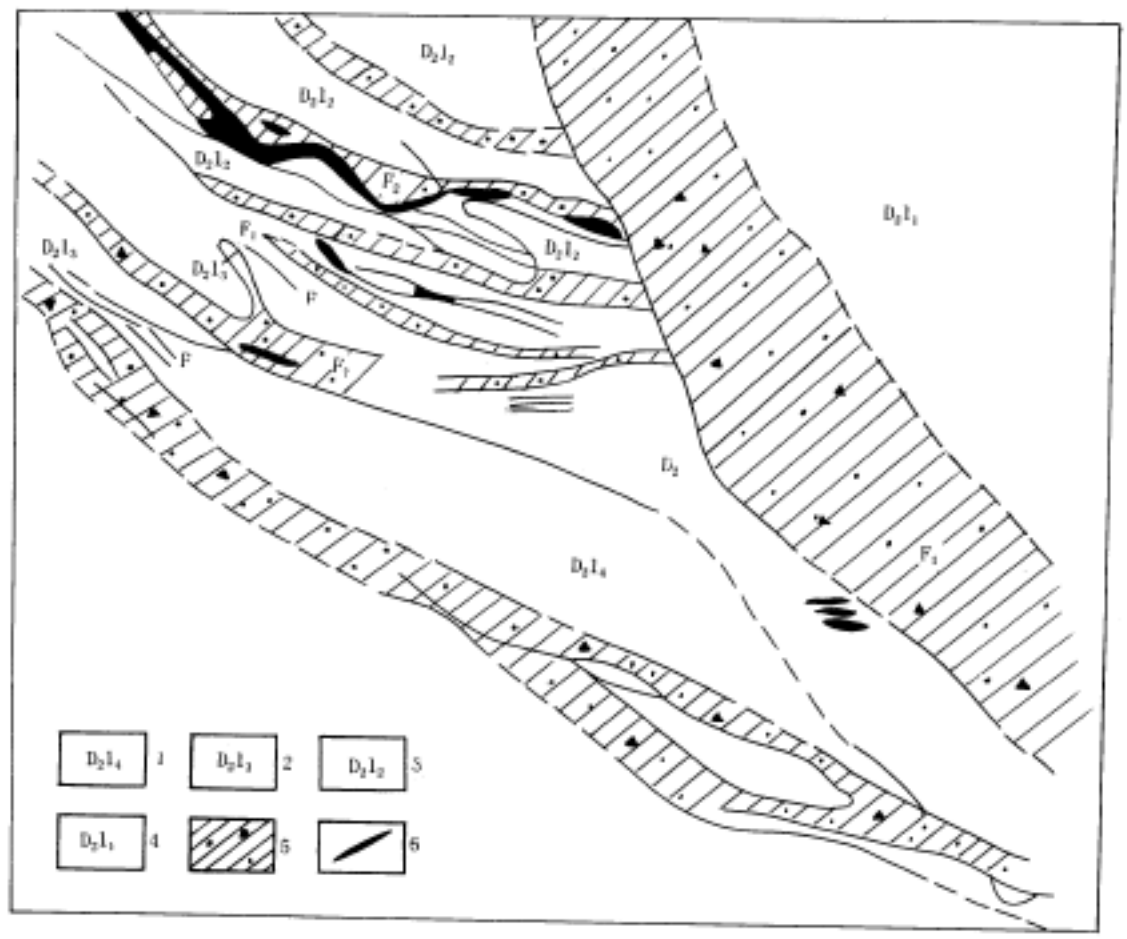


图 2-8-5　李坝金矿床地质简图

1—深灰色斑点状粉砂质板岩;2—灰色变质石英砂岩;3—灰色—灰绿色斑点状粉砂质板岩;4—暗灰色斑点状粉砂质板岩;5—断裂破碎带;6—矿体

(三)脉岩

脉岩与金矿化有密切的空间伴生关系,实质上,二者为"孪生姐妹"关系(陈源,1993),脉岩成岩物质与中川岩体同源,脉岩构成重要找矿标志之一。

按矿物组成可将矿区脉岩分成 4 种类型:斜闪煌斑岩、闪长细晶岩、斜长细晶岩和花岗细晶岩,其岩石学特征如表 2—8—7。从表可以看出,依斜闪煌斑岩、闪长细晶岩、斜长细晶岩和花岗细晶岩顺序,岩性由基性岩向酸性呈连续性变化:颜色由深变浅,斑晶矿物由角闪石,斜长石变为石英,钾长石,蚀变强度逐渐减弱。据脉岩的含矿性,可将其分成含矿脉岩(Au 大于 0.2×10^{-6})和不含矿脉岩(Au 小于或等于 0.2×10^{-6})。含矿脉岩与不含矿脉岩的岩石学特

征亦稍有差异。如斜闪煌斑岩,含矿脉岩的蚀变明显较强,并以角闪石蚀变为阳起石为特征;不含矿脉岩多蚀变较弱,角闪石多蚀变为黑云母和绿泥石。不同类型脉岩均不同程度表现有同化混染现象,当脉岩与矿体接壤时,脉岩中 Au 及其相关元素 Ag、As、Sb 含量明显增加。矿区脉岩形成时间上晚于矿化。

斜闪煌斑岩岩石化学成分变化较大,并以富 SiO_2、Al_2O_3、K_2O,贫 Fe_2O_3、FeO、CaO 为特征,属 SiO_2 过饱和的正常型—铝过饱和型。按 SiO_2 含量和矿物组成,相当于钙碱性闪长岩。含矿与不含矿斜闪煌斑岩岩石化学成分亦有较大差异,含矿斜闪煌斑岩以富 Fe_2O_3、K_2O、P_2O_5、H_2O,贫 FeO、Na_2O 为特征。闪长细晶岩与特吕格的微晶闪长岩比较,以富 SiO_2、MgO,贫 Fe_2O_3、FeO、CaO 为特征,属 SiO_2 过饱和的正常类型,钙碱性。

与维诺格拉多夫(1962)的闪长岩平均微量元素含量比较,区内斜闪煌斑岩以富 Au、Ag、As、Sb、Zn 为特征,V、Cr、Co、Ni 含量较高(表 2 - 8 - 8)。花岗细晶岩亦以富 Au、Ag、As、Sb、Zn 为特征,V、Cr、Co、Ni 与维诺格拉夫的花岗岩含量相近。斜闪煌斑岩与花岗细晶岩的矿化元素分布特征相似,显示二者与金矿化之间的内在联系。斜闪煌斑岩的 V、Cr、Co、Ni 含量较高可能与原岩浆基性组分较高有关系,花岗细晶岩可能为原始斜闪煌斑岩岩浆的演化产物,V、Cr、Co、Ni 含量相应降低。含矿斜闪煌斑岩较不含矿斜闪煌斑岩,更富矿化元素 Au、Ag、As、Sb、Cu、Zn 等。

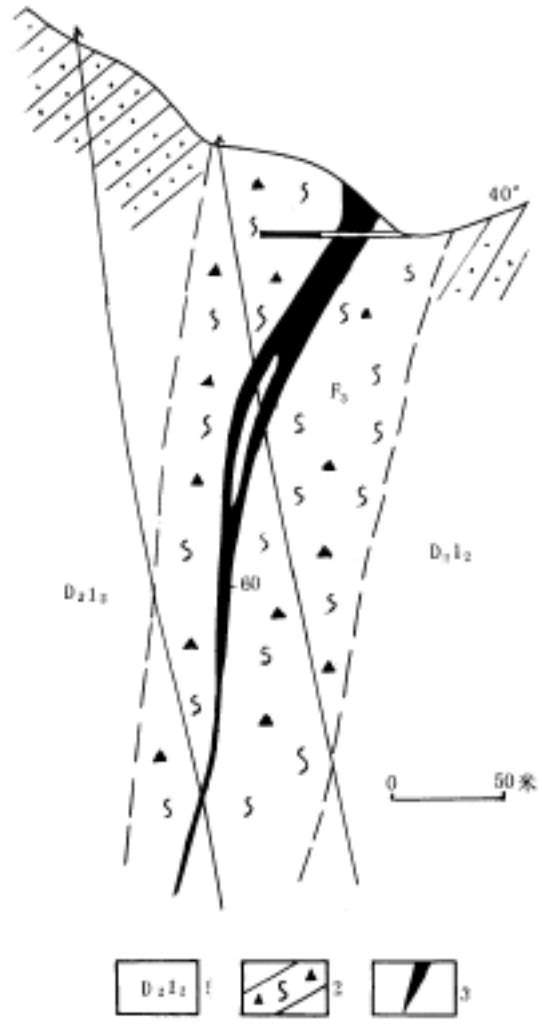


图 2 - 8 - 6　李坝金矿床 0 线剖面图

1—斑点状粉砂质板岩;
2—断层破碎带;3—矿体

表 2 - 8 - 7　脉岩岩石学特征表(单位:%)

类型	颜色	结构、构造	石英	钾长石	斜长石	白云母	角闪石	硫化物	蚀变
斜闪煌斑岩	深灰色	细晶结构,似斑状结构,块状构造	0.5～8		33～54		20～50	0.5～5	角闪石蚀变为阳起石或黑云母,绿泥石
闪长细晶岩	灰色	细晶结构,似斑状结构,斑晶角闪石斜长石,块状构造	3～5		59～75		15～20	少量	角闪石蚀变为黑云母或绿泥石
斜长细晶岩	浅灰色	细晶结构,似斑状结构,斑晶斜长石,块状构造	5～20		67～71	5～12	1～5	少量	角闪石蚀变为黑云母或绿泥石
花岗细晶岩	灰白色	细晶结构,似斑状结构,斑晶石英钾长石斜长石,块状构造	34～54	19～24	28～35	1～7		少量	弱,斜长石蚀变为绢云母

表 2 - 8 - 8　脉岩微量元素含量(单位:$\times 10^{-6}$)

脉岩名称	样品数	Au	Ag	As	Sb	Cu	Zn	Ba	Ti	V	Cr	Co	Ni
含矿斜闪煌斑岩	2	2.68	0.62	2770	14.8	68.4	150	682	4290	186	886	15.0	87.5
斜闪煌斑岩	4	0.068	0.36	473	14.4	38.4	110	546	3280	119	382	15.1	119.0
花岗细晶岩	1	0.100	0.35	860	8.0	12.8	62	333	455	20	26	3.5	10.0
闪长岩①			0.07	2.4	0.20	95	72	850	8000	100	50	10	55
花岗岩①		0.0045	0.05	1.6	0.28	20	60	830	2300	40	25	5	8

①　维诺格拉多夫:1962

(四)矿体特征及工业类性

目前共发现矿体 10 余条,其中 5 号矿体和 6 号矿体为主矿体,占已探明储量的 90%以上。矿体受断层破碎带控制,形态、产状复杂,膨大收缩、分支复合、尖灭再现现象普遍。形态以似板状、脉状、透镜状为主。产状多向南倾,局部向北倾斜。矿体长 150～1400m,厚度 1～15m,单工程量最厚可达 35m。延深 100～350m。品位 3×10^{-6}～5×10^{-6}。

矿体工业类型单一,目前所探明的矿体全为构造蚀变岩型。

(五)矿石特征

按氧化程度,矿石类型可划分为原生矿石和氧化矿石。氧化矿石除发育少量褐铁矿、伊利

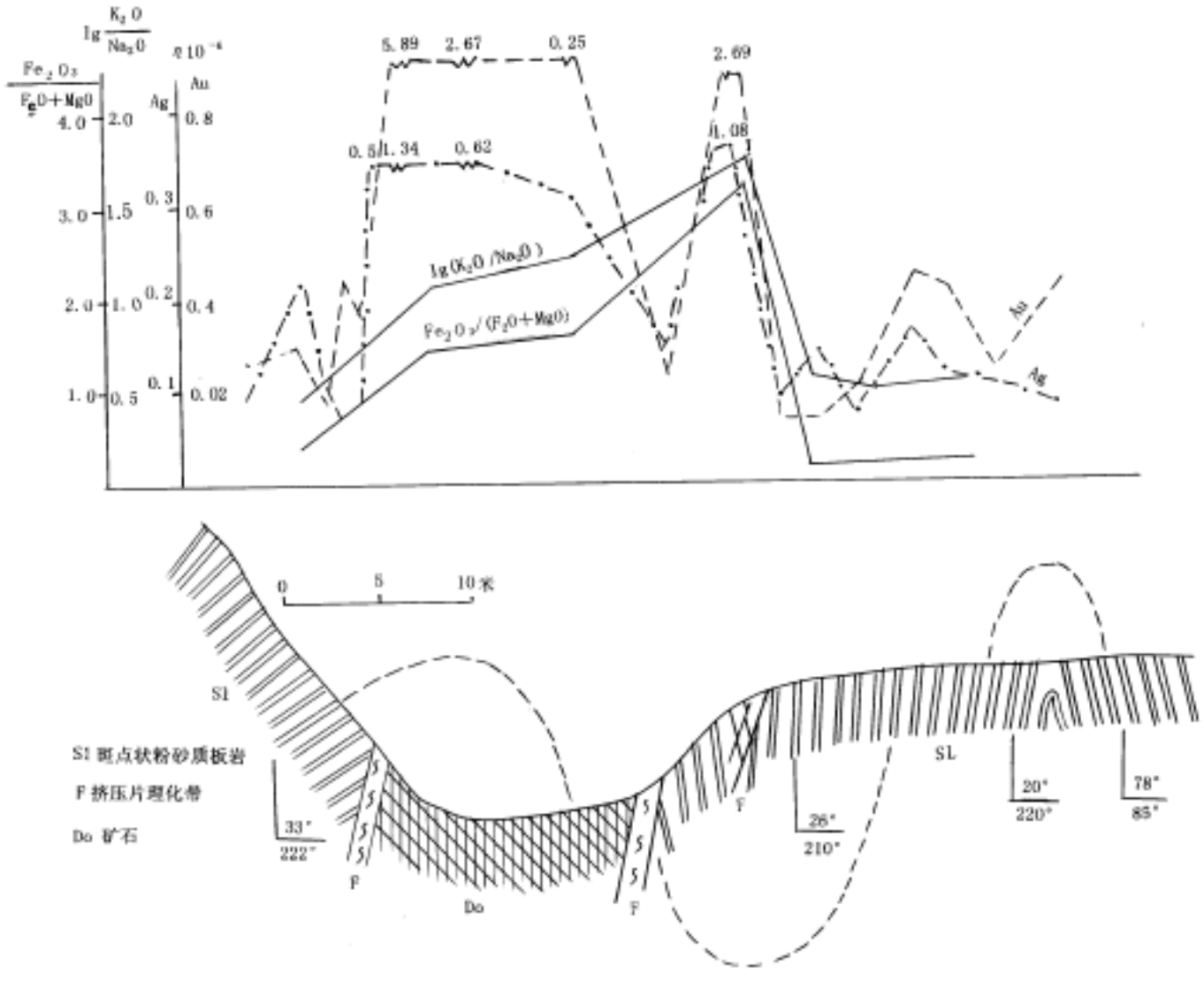


图 2 - 8 - 7　李坝金矿床 6 号矿体实测地质地化剖面

石、黄钾铁矾等矿物外，其他矿石特征基本相似。

与原岩相比，矿石中 SiO_2、FeO、MgO、Na_2O 等组分降低，Fe_2O_3、K_2O 等组分增高，Au、Ag、As、Pb、Ba、Sb 等元素含量明显增加(图 2—8—7、表 2—8—9)。

矿石矿物组合为自然金—黄铁矿型，含少量方铅矿、闪锌矿、毒砂、磁黄铁矿等，硫化物总量一般小于 10%。非金属矿物主要为绢云母、石英、少量碳酸盐、绿泥石(表 2 - 8 - 10)。

矿石结构有自形—半自形—他形粒状结构、嵌晶结构、交带结构、压碎结构等。矿石构造有浸染状、斑点状、条带状、角砾状、脉状等。矿石以稀少硫化物浸染型为主。

(六)金赋存状态及金矿物特征

金的载体矿物有黄铁矿、褐铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、绢云母、石英、碳酸盐等(表 2 - 8 - 11)，以黄铁矿和绢云母为主，载金分别占 34.8%和 37.0%。含 Au 黄铁矿有 4 种产出形式，即浸染状、斑点状、团块状和细脉状，浸染状黄铁矿分布率达 79.35%，团块状和细脉状黄铁矿金分布率仅 3.62%。其中，浸染状黄铁矿中又以半自形多晶黄铁矿集合体金分布率最高，占浸染状黄铁矿分布率 65%。金的赋存形式主要为晶间金和裂隙金，二者约占总含量 87.6%。晶间金主要分布于黄铁矿、石英、绢云母、褐铁矿中及金属硫化物与脉石矿物交接界面上；裂隙金主要分布于黄铁矿和石英中。金化学物相分析表明，97.3%的 Au 呈金银互化物形式产出，仅有 2.7%的金以晶格金或其他形式存在于硫化物的碳酸盐中。

表 2 - 8 - 9　李坝金矿床矿体与围岩化学成分对比表

样号	岩石名称	位置	分析结果(%)										$\frac{Fe_2O_3}{FeO}$	$\frac{K_2O}{Na_2O}$
			SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	MnO	K_2O	Na_2O	P_2O_5		
90l - 7	斑点粉砂质千枚岩	上盘	59.49	0.67	19.53	1.13	6.10	0.56	3.79	0.08	3.43	0.80	0.13	0.18	4.29
90l - 6			57.32	0.74	19.89	2.02	5.45	1.01	4.88	0.10	3.64	1.20	0.13	0.37	3.03
90l - 5			58.65	0.64	18.67	2.33	5.32	1.34	4.03	0.09	3.16	1.00	0.12	0.42	3.16
90l - 4			54.02	0.67	18.82	3.03	4.54	2.91	4.44	0.13	3.58	0.60	0.15	0.67	5.97
平均			57.37	0.68	19.23	2.25	5.35	1.46	4.29	0.10	3.45	0.90	0.13	0.42	3.83
90l - 3	黄铁矿斑点状砂质千枚岩	矿体	56.44	0.58	18.56	6.21	1.30	0.67	3.95	0.08	4.70	0.20	0.13	4.78	23.5
90l - 2			61.53	0.40	19.89	4.25	0.91	0.34	1.61	0.08	4.66	0.15	0.08	4.67	31.1
90l - 1			60.92	0.47	17.45	6.05	0.65	0.22	3.55	0.05	4.74	0.20	0.02	9.31	23.7
平均			59.63	0.48	18.80	5.50	0.95	0.41	3.04	0.07	4.70	0.18	0.08	5.79	26.1
90l - 8	斑点状砂质千枚岩	下盘	59.99	0.64	19.38	1.73	5.65	0.45	4.11	0.07	3.70	1.05	0.14	0.31	3.52
90l - 9			62.77	0.74	17.65	1.44	5.71	0.56	4.07	0.09	3.07	1.00	0.15	0.25	3.07
90l - 10			59.58	0.67	19.84	1.73	5.58	0.56	3.55	0.13	3.43	1.05	0.13	0.31	3.27
平均			60.78	0.68	18.96	1.63	56.65	0.52	3.91	0.10	3.0	1.03	0.14	0.29	3.30

注：据钱文广(1991)

表 2 - 8 - 10　李坝金矿床矿物组成及含量(%)

矿物含量级次	金银系列矿物	硫化物及盐类	氧化物及其它	非金属矿物
主要矿物	自然金	黄铁矿(2.13)	褐铁矿(4.35)	白云母绢云母 50.8、石英 34.14、绿泥石 1.3、碳酸盐 1.0
次要矿物	银金矿	黄铜矿 0.17、闪锌矿 0.14、毒砂 0.03、方铅矿 0.01、磁黄铁矿	金红石、黄钾铁矾、赤铁矿	石墨及有机碳 0.39 黑云母
微量矿物		斑铜矿、硫锑铅矿、斜硫锑铅矿、白铁矿、银锑黝铜矿、胶状黄铁矿、铜兰	孔雀石、铅矾、白铅矿、磁铁矿、基性磷酸铁锰、钨锰矿	电气石、锆石、磷灰石、伊利石、高岭石、沸石、黝帘石、石膏

表 2 - 8 - 11　李坝金矿床金与载体矿物镶嵌关系类型及分布率

序号	载金矿物	金粒累计面积百分比(%)				序号	载金矿物	金粒累计面积百分比(%)			
		包体金	晶间金	裂隙金	合计			包体金	晶间金	裂隙金	合计
1	黄铁矿	11	12.6	11.2	34.8	7	黄铁矿—石英		5		5
2	毒砂	0.1	0.3		0.4	8	黄铁矿—绢云母		0.6		0.6
3	褐铁矿		0.9		0.9	9	黄铁矿—黄铜矿		0.4		0.4
4	石英	0.5	15.8	1.4	17.7	10	石英—绢云母		1.9		1.9
5	绢云母		37		37	11	磁黄铁矿—石英		0.5		0.5
6	黄铜矿	0.8			0.8		总计	12.4	87.6		100

金银互化物中以含银自然金为主(53%),其次为银金矿(33%),少量自然金(14%)。金矿物以角粒状为主,占 72.8%,不规则状及其他形状占 27.2%。金矿物一般表面干净,无污染现象,与载体矿物界线清楚。金矿物粒度细小,细粒级及微粒级在原生矿石中占 91.2%。金平均成色为 834。

(七)围岩蚀变

李坝金矿床围岩蚀变简单,主要有黄铁矿化、绢云母化、硅化、碳酸盐化等。其中,黄铁矿化与金矿化关系最密切,其蚀变强度与矿化强度呈正比。黄铁矿化发育部位一般构成工业矿体。绢云母化与金矿化关系亦较密切,其分部范围略大于工业矿体。多数情况下,绢云母化分布范围与矿体边界一致。硅化较强,主要以细脉状或胶结物形式产出。碳酸盐化主要表现为方解石化,少量为白云石化,以细脉状胶结物形式产出,其分布明显与断裂构造相伴生。矿化较弱部位局部发育退色黑云母化和无色绿泥石化。

蚀变分带不明显。一般情况下,由矿体向外表现为黄铁矿化、绢云母化、退色黑云母化(无色绿泥石化)、硅化和碳酸盐化交织于其间。矿体边界大于黄铁矿化,小于绢云母化。

(八)成矿期次的划分

李坝金矿床由早到晚可分为热液成矿期和表生成矿期,其中,热液成矿期又可分为 3 个成矿阶段,由早到晚:

(1)黄铁矿—金银系列矿物—绢云母阶段。矿物组合:绢云母,黄铁矿,磁黄铁矿,毒砂,黄铜矿,团块状,细脉状,常交代黑云母,黑云母主要形成于接触热变质阶段,显示矿化蚀变略晚于接触热变质作用。绢云母中 SiO_2 含量 46.66%,属多硅绢云母。黄铁矿以浸染状、斑点状、条带状为主,晶形以立方体为主,次有五角十二面体,半自形,自形,粒度 d = 0.02～0.5mm。黄铁矿中 Co/ Ni = 3, S/ Se = 6.7×10^{-4}。黄铁矿常与磁黄铁矿、毒砂、黄铜矿伴生。该阶段金银系列矿物以包体金,晶间金为主。

早于该阶段有一期石英脉的形成。石英脉宽一般 4～15cm,最宽达 1m,长 1～15m。脉中矿物组合简单,以石英为主,含量大于 98%,含少量方解石、黄铁矿、毒砂、方铅矿等。金品位低,不构成独立矿体。石英脉与金矿受控于同一控矿构造,二者主要成脉(矿)物质来源相似,其成脉(矿)过程均受中川花岗岩岩浆热源制约。石英脉与金矿为同一岩浆—构造系统不同演化阶段的产物,二者在成因上亦系"孪生妹"关系,石英脉构成重要找矿标志(陈源,1993)。

(2)多金属矿物—金银系列矿物—石英碳酸盐阶段。矿物组合:石英,方解石(白云石),黄铁矿,磁黄铁矿,毒砂,闪锌矿,黄铜矿,方铅矿,银锑黝铜矿,金银系列矿物。石英、方解石主要呈胶结物形式产出。黄铁矿以浸染状和团块状为主,晶形以立方体为主,次有五角十二面体,自形,半自形,粒度 d = 0.05～0.5mm。该阶段金银系列矿物以晶间金、裂隙金、包体金为主。

(3)黄铁矿细脉阶段。矿物组合:黄铁矿,石英,方解石。他形,半自形粒状黄铁矿沿岩(矿)石裂隙充填形成交叉的细脉状,有时与石英、方解石一起组成细脉。该阶段矿化不好。

(4)表生成矿期矿物组合为:褐铁矿,自然金,黄钾铁矾,伊利石。褐铁矿他形粒状集合体,常呈皮壳状、网脉状、薄板状、鳞片状产出,主要由黄铁矿和毒砂氧化而成,为针铁矿、钎铁矿、水针铁矿等混合物。褐铁矿为主要载金矿物之一,金矿物在其内较黄铁矿更靠近边部分布,粒度加大,成色提高。表生期主要形成氧化矿石。

三、矿床地球化学特征

(一)成矿温压条件及成矿流体特征

流体包裹体形态特征。李坝金矿床Ⅱ、Ⅲ热液成矿阶段石英、方解石中流体包裹体发育不均匀,局部极为发育,类型以液相包裹体为主,少量气相包裹体。气液比为 5%～50%,Ⅲ热液成矿阶段气液比明显减小。包裹体形态多样,以椭圆形、负晶形为主。

根据矿物包裹体成分,采用 CO_2 —H_2O—NaCl 体系计算氢离子活度(αH^+)。当该体系平衡时有下列关系:

$$(\alpha H^+)^2 = \frac{2K_{H_2CO_2}K_{HCl}P_{CO_2}}{Kg\{(2K_{HCl}-k_{NaCl}+(K_{NaCl}^2+4k_{NaCl}\Sigma Na)^{1/2}} \times\left[1.0+\frac{-k_{NaCl}+(K_{NaCl}^2+4k_{NaCl}\Sigma Na)^{1/2}}{2K_{NaHCl}}\right]$$

式中,K 为衡常数,ΣNa 为 NaCl, Na^+ 摩尔浓度之和, P_{CO_2} 为逸度。计算结果,pH 值为 3.67～4.78,反映成矿流体呈偏酸性介质状态。

(二)同位素地球化学

(1)硫同位素。李坝金矿床硫同位素 $\delta^{34}S$ 变化于 +4.0‰～+10.6‰,18 件样品平均 +

8‰139‰,离差为6.6‰。硫同位素组成与邻区八卦庙以及黔西南微细浸染型金矿床硫同位素组成相似,八卦庙及黔西南微细浸染型金矿之矿区及矿区小外围均无岩浆岩产出,硫同位素组成反映地层硫特征。与同类矿床比较,李坝金矿床的$\delta^{34}S$变化范围小,均一性强,显示成矿溶液曾经过中高温均一化过程。推测这一均一化过程与中川花岗岩侵入活动有关。

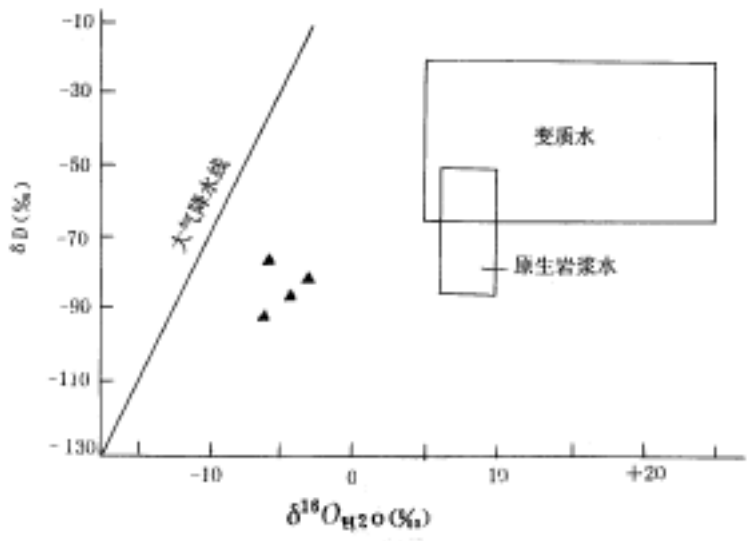


图2-8-8　李坝金矿床黄铁矿包裹体水δD-$\delta^{18}O$变化图

(2)氢氧碳同位素。李坝金矿床黄铁矿中流体包裹体溶液δD变化范围为-91.8‰～-75.1‰,4个样品平均为-83.78‰;$\delta^{18}O$变化范围为-6.66‰～2.67‰,4个样品平均为-4.89‰,在δD-$\delta^{18}D$图上投点落在变质水和大气降水之间(图2-8-8),说明成矿溶液主要为大气降水,次为变质水(地层水)。比较李坝金矿床、中川花岗岩杂岩体中含黄铁矿方解石石英脉和矿区外围地层中不规则石英囊中石英的流体包裹体溶液δD和石英$\delta^{18}O$,可以看出李坝金矿床与矿区外围地层中不规则石英囊的δD、$\delta^{18}D$值更接近,与中川花岗岩杂岩体中含黄铁矿方解石石英脉相差较大(表2-8-12),显示成矿溶液中变质水(地层水)的比例远远大于岩浆水。

表2-8-12　李坝金矿床及外围氢氧碳同位素

测定矿物	黄　铁　矿		石　　英		方　解　石	
测定同位素	SD‰(SMOW)	$\delta^{18}O$(SMOW)	δD‰(SMOW)	$\delta^{18}O$(SMOW)	$\delta^{13}C$‰(PDB)	$\delta^{18}O$(SMOW)
李坝金矿床	-91.8～-75.1 -83.78	-6.66～-2.87 -4.89	-84.0～-69.8 -79.33	-15.5～-13.43 14.91	-5.93～-1.71 -3.67	11.19～15.5 13.32
中川岩体含黄铁矿方解石石英脉			-98.54～-79.52 -39.08	2.27～5.0 3.63	-2.37	2.84
外围地层中石英囊			-72.15	19.95		

从同位素交换反映来看,变质水(地层水)与成矿溶液发生同位素交换反应后,δD,$\delta^{18}O$值降低,其平均值分别由-72.15‰、19.95‰降低至-79.33‰、14.91‰,而中川岩体中含黄铁矿方解石石英脉的δD、$\delta^{18}O$值甚至低于李坝金矿床黄铁矿的流体包裹体溶液,说明变质水(地层水)和成矿溶液之间的密切关系。方解石$\delta^{13}C$、$\delta^{18}O$测定结果也有类似结论,尤以$\delta^{18}O$值为明显,李坝金矿床方解石$\delta^{18}O$值平均为13.32‰中川岩体含黄铁矿方解石石英脉中$\delta^{18}O$值仅为2.84‰。

(3)铅同位素与铷锶同位素。李坝金矿黄铁矿$^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$、$^{208}Pb/^{204}Pb$变化范围分别为18.336～18.907、15.643～15.805、38.326～39.064,按正常铅计算,U1=9.492～9.617;用单阶段模式计算的年龄与真实年龄不符,甚至为负值;$^{208}Pb/(^{206}Pb+^{207}Pb)$小于1.13,属铀铅混染形成的异常铅。中川花岗岩杂岩体为一富铀岩体,说明成矿与中川岩体有一定成因关系,推测杂岩体在成岩晚期释放出部分富铀热液,参与到成矿热液中。黄铁矿铅同位素在$^{207}Pb/^{204}Pb-^{206}Pb/^{204}Pb$座标图上具线性关系,线性回归方程$Y=14.67+0.0529x$,铅同位素组成符合短期形成的异常铅模式$t=\frac{1}{\lambda^1-\lambda}Ln[\frac{137.8R\lambda}{\lambda^1}]$,将$R=0.0529$,$\lambda^1=0.9722\times10^{-9}$年$^{-1}$,$\lambda=0.1537\times10^{-9}$年$^{-1}$代入上式得$t=173.4$Ma。铅同位素成矿年龄为173.4Ma。

一般情况下,随着年龄变小,^{204}Pb、^{207}Pb值减小,^{206}Pb值增大。载金矿物黄铁矿^{204}Pb、^{206}Pb、^{207}Pb平均值分别为1.352%、25.240%和21.199%,容矿围岩平均值分别为1.339%、25.387%和20.960%,黄铁矿铅同位素年龄大于容矿围岩年龄,表明成矿过程中有部分老地层铅的混入。在$^{207}Pb/^{204}Pb-^{206}Pb/^{204}Pb$图上(图2-8-9)黄铁矿铅同位素投点主要分布在造山带与上地壳线之间,说明成矿物质主要为壳源。

用不同阶段石英、黄铁矿和毒砂的包裹体溶液进行Rb-Sr同位素测定,五件样品的线性回归方程为:$^{87}Sr/^{86}Sr=0.7148+0.00244^{87}Rb/^{86}Sr$,其中,$(^{87}Sr/^{86}Sr)0=0.7148$,在上地幔及大陆壳Sr同位素演化图上落在"玄武岩区"与"平均地壳Sr增长线"之间,且偏向后者,说明成矿物质主要来自上地壳,并混入少量下地壳Sr同位素组分。

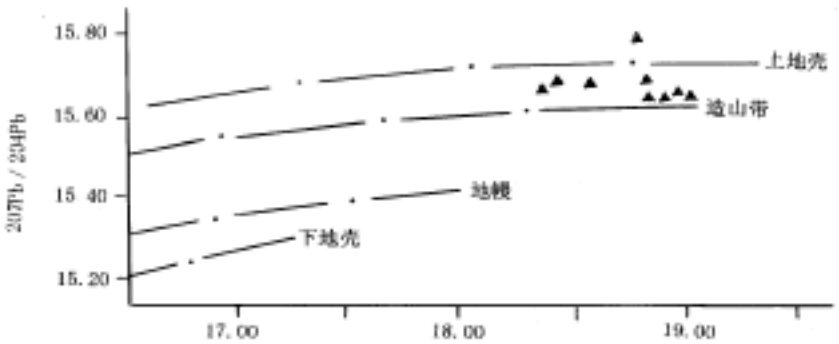


图2-8-9 李坝金矿床黄铁矿铅同位素组成

(三)稀土元素

李坝矿床含矿围岩粉砂质千枚岩和斑点粉砂质千枚岩稀土元素组成变化小,稀土总量为205.021×10^{-6}～212.443×10^{-6},平均为208.7×10^{-6},LREE/HREE为3.425～3.562,平均为3.494,δEu为0.706～0.728,平均为0.719,稀土分布曲线为轻稀土富集型,有一明显负Eu异常(图2-8-10)。经成矿作用后,蚀变矿(化)体稀土元素组成与含矿围岩基本相近,稀土总量为149.678×10^{-6}～177.256×10^{-6},平均为160.233×10^{-6},LREE/HREE为2.099～7.472,平均为4.362,δEu为0.623～0.686,平均为0.661。稀土分布曲线基本不变,只是ΣREE值降低,δEu值变小,稀土分布曲线相对趋于平缓。上述稀土元素组成特征表明,成矿溶液可能主要与受变质的沉积地层有关。

主要载金矿物黄铁矿稀土元素组成较稳定,ΣREE为11.8861×10^{-6}～165.004×10^{-6},平均141.933×10^{-6},LREE/HREE为3.919～4.777,平均4.348,δEu为0.626～0.655,平均0.641,稀土分布曲线与含矿围岩相似(图2-8-10)。

对比黄铁矿、容矿围岩和杂岩体的稀土元素组成特征,可以看出,黄铁矿的稀土元素组成特征更接近容矿围岩(表2-8-13),说明形成黄铁矿的热液组分(主要是Fe)与沉积地层关系更密切。

表 2 - 8 - 13　黄铁矿、容矿围岩及花岗岩稀土元素特征值

岩石矿物	样号	δEu	$(La/Sm)_N$	$(La/Yb)_N$	$(La/Lu)_N$	LREE/HREE	ΣREE ($\times 10^{-6}$)
黄铁矿	Y1	0.628	3.446	9.376	9.824	3.919	118.861
黄铁矿	PD3	0.655	3.567	13.013	14.093	4.777	165.004
粉砂质板岩	L10	0.706	3.302	8.767	10.216	3.425	212.443
粉砂质板岩	L13	0.728	3.330	8.776	9.936	3.582	205.021
似斑状黑云母二长花岗岩	533 - 534	0.625	3.853	16.346	18.563	5.715	166.286
含斑黑云母二长花岗岩	r25	0.425	3.283	16.108	19.250	5.315	121.666
中细粒黑云母二长花岗岩	rH	0.575	3.286	23.541	27.882	7.054	155.047

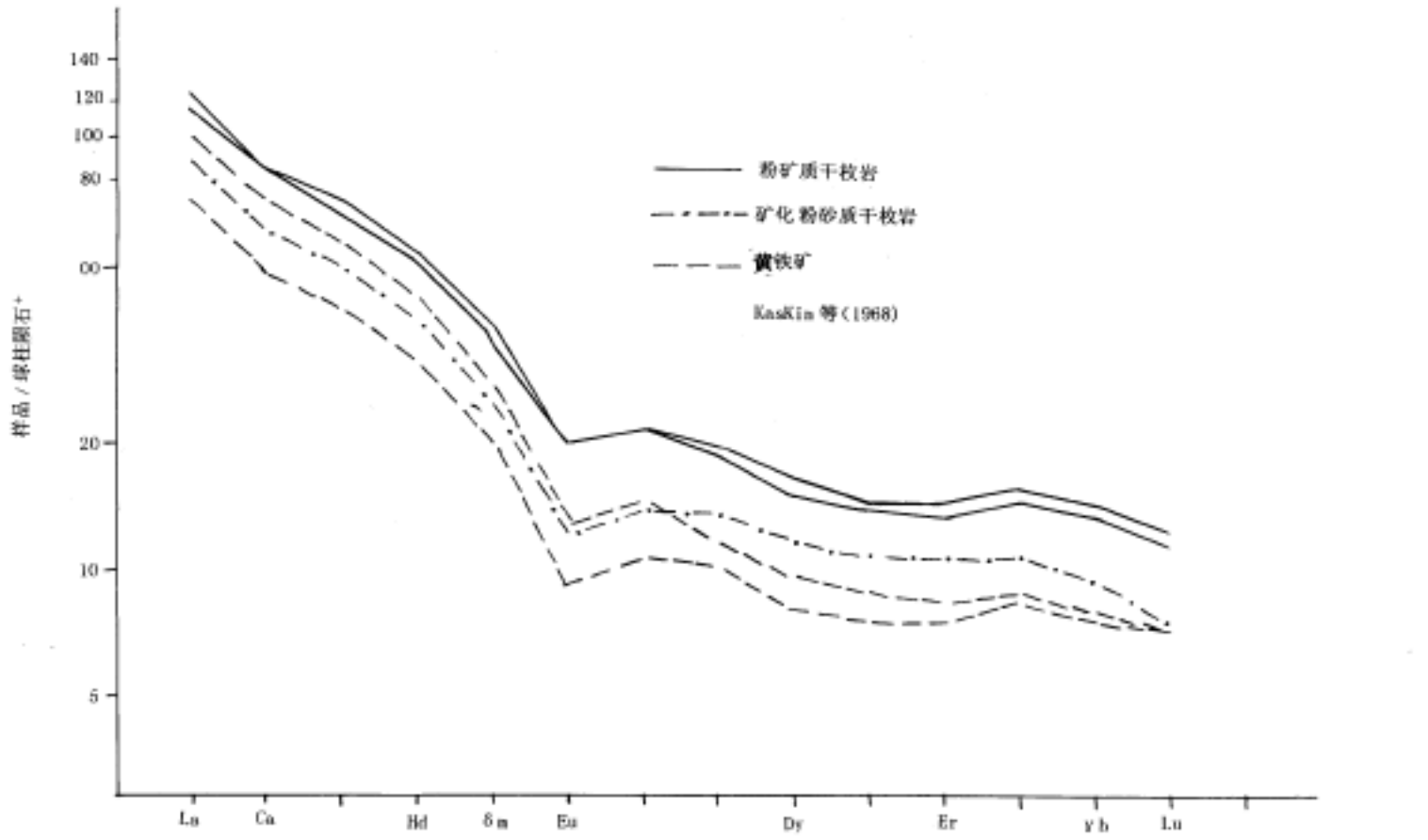


图 2 - 8 - 10　李坝式金矿含矿围岩、矿石及黄铁矿等稀土元素分布曲线

四、矿床成因及成矿模式

(一)成矿时代

根据铅同位素、锶同位素测年结果,李坝金矿床的主成矿期为燕山早期(171.6Ma～173.4Ma),与中川岩体的成岩年龄接近(181.5Ma～219Ma),与中川岩体中心的细粒黑云母二长花岗同属燕山期产物,这与地质观测的结果相吻合。在中川花岗岩体外圈,形成了广泛的接触,热变质晕圈从外向内可分为绿泥石带、黑云母带、董青石带。其中金矿化主要赋存在黑云母带中,该带岩石常见斑点状构造。斑点由黑云母 + 石英 + 黄铁矿组成,在许多地方都可以

见到金矿化改造热变质作用形成的斑点状构造。斑点中的黑云母被蚀变成绢云母,表明矿化明显晚于印支期的接触变质作用。结合同位素测年资料,我们认为,李坝金矿床主要形成于燕山早期。

(二)控矿因素分析

1. 断裂构造控矿作用

断裂控矿作用主要表现 3 个方面:导矿、容矿、破矿。李坝矿区由于成矿后断裂活动不强烈。因此,断裂控矿作用主要表现在前两个方面。

1)深断裂对区域金矿化的控制作用

礼县—白云—山阴深断裂是区内的重要控矿断裂。沿该断裂的旁侧分布着双王、二台子、八卦庙、庞家河、李坝、金山、马泉等一系列大型、特大型金矿床。同时该断裂亦是区内泥盆纪控相断裂。该断裂以北为李坝群浊积岩相,以南为浅海陆棚相。因此,该断裂在泥盆纪时为一生长断裂。为区内高位地化异常的形成,金矿的形成有着重要的控制作用。

深断裂虽然具有明显的控矿作用,但其本身容矿性较差,目前该断裂带中尚未发现成型矿床,但断层带中的岩石 Au 含量明显高于两侧地层 Au 元素含量。因此,该断裂主要作用是导矿。根据李坝及其外围资料统计情况,分布在深断裂附近及其分支断裂中的矿床、矿点约占整个区域上的 91%。因此,可以认为深断裂控制着该区金矿的分布。

2)三级断裂的控矿作用

如果把礼县—白云—山阴深断裂看作一级断裂,李坝矿床的 F_1 看成二级断裂,李坝矿床的金矿体全部赋存在三级断裂—F_1 的次级断裂中。根据断裂特征与矿化的关系可分为 6 种类型:

(1)断层密集带。由若干条近似平行的小断层及其之间具不同程度构造作用的碎裂岩组成,走向和倾向均与地层产状相同,倾角较大,陡于地层。小断层分为成矿前和成矿期两种。成矿前小断层延伸方向和断层密集带总体走向一致,延伸距离不大,断层面呈舒缓波状,为脆韧性小断层,主要起容矿作用,并控制了矿化分布范围;成矿期小断层通常与断层密集带总体产状小角度斜交,延伸距离亦不大,断层面呈舒缓波状为脆性小断层,主要起导矿和容矿作用,其内尤其是附近围岩中往往富集成矿。成矿期小断层发育程度直接影响断层密集带内的矿化强度,所赋存的矿体一般呈规模较大、形态较规整的似板状,且品位较高。区内规模较大的金矿床(点)主矿体主要分布在此类控矿构造中。

(2)节理密集带。主要由成矿前构造活动形成,发育于岩性较单一的岩性层中,当有断层密集带发育时,其内及旁侧节理密集带也是赋矿的有利场所。远离断层密集带,导矿性差,则不具矿化。赋存于节理密集带中的矿体多呈似板状、透境状。

(3)层间破碎带。受控于断层密集带并发育于其旁侧,尤其发育于板岩和变(粉)砂岩软硬岩性层接触部位。产于层间破碎带中的矿化从断层密集带向外很快呈楔形尖灭,造成受断层密集带控制呈似板状产出的矿化边界局部呈楔状突起。层间破碎带在各矿床(点)中均有不同程度发育,以李坝金矿床最发育。

(4)单一断层。常发育于含偏脆性变砂岩较多的断层密集带中,以断层面平直、延伸较远为特征,其本身含矿性不好,一般品位较低,但导矿性良好,被其穿切的节理密集带、成矿前小断层及上下盘岩石矿化相对富集。

(5)断裂残留体。呈透镜状残留在一组断裂组成的断裂破碎带中,多为岩性均一、质地较

硬的变砂岩,规模大者可达数十平方米,并受其节理、裂隙带控制。断裂残留体在断裂破碎带中明显易于矿化,但与其他构造控矿类型相比,其矿化强度较弱。

(6)断层泥。指规模相对较大的断裂破碎带中质地较软的板岩,断层泥呈灰—灰绿色、粉沫状。其矿化呈近似等距性分布的脉状,矿化规模相当有限。

比较 6 种类型的控矿构造类型(表 2 - 8 - 14),可以看出,含矿性由好到差依次为断层密集带、节理密集带、层间破碎带、单一断层、断裂残留体、断层泥。

表 2 - 8 - 14　李坝金矿床不同控矿构造中矿化元素含量($\times 10^{-6}$)

控矿构造	样品数	Au	Ag	As	Sb	Cu	Pb	Zn	Ba
断层密集带	16	3.279	1.15	1487	14.8	28.0	39.5	70.6	432
节理密集带	8	3.235	1.74	1271	18.1	32.3	76.4	122.3	337
层间破碎带	5	1.667	3.21	1688	26.4	37.2	28.8	79.2	530
单一断层	8	1.376	2.82	2279	53.3	23.5	46.1	67.0	510
断层残留体	15	0.661	1.26	2186	21.5	17.8	32.3	79.1	382
断层泥	13	0.548	0.61	358	31.3	26.4	26.5	109.7	366

3)断裂产状变化与金矿化

金矿化与容矿断裂产状变化关系密切。根据 5 号矿体和 6 号矿体控制情况来看,容矿断

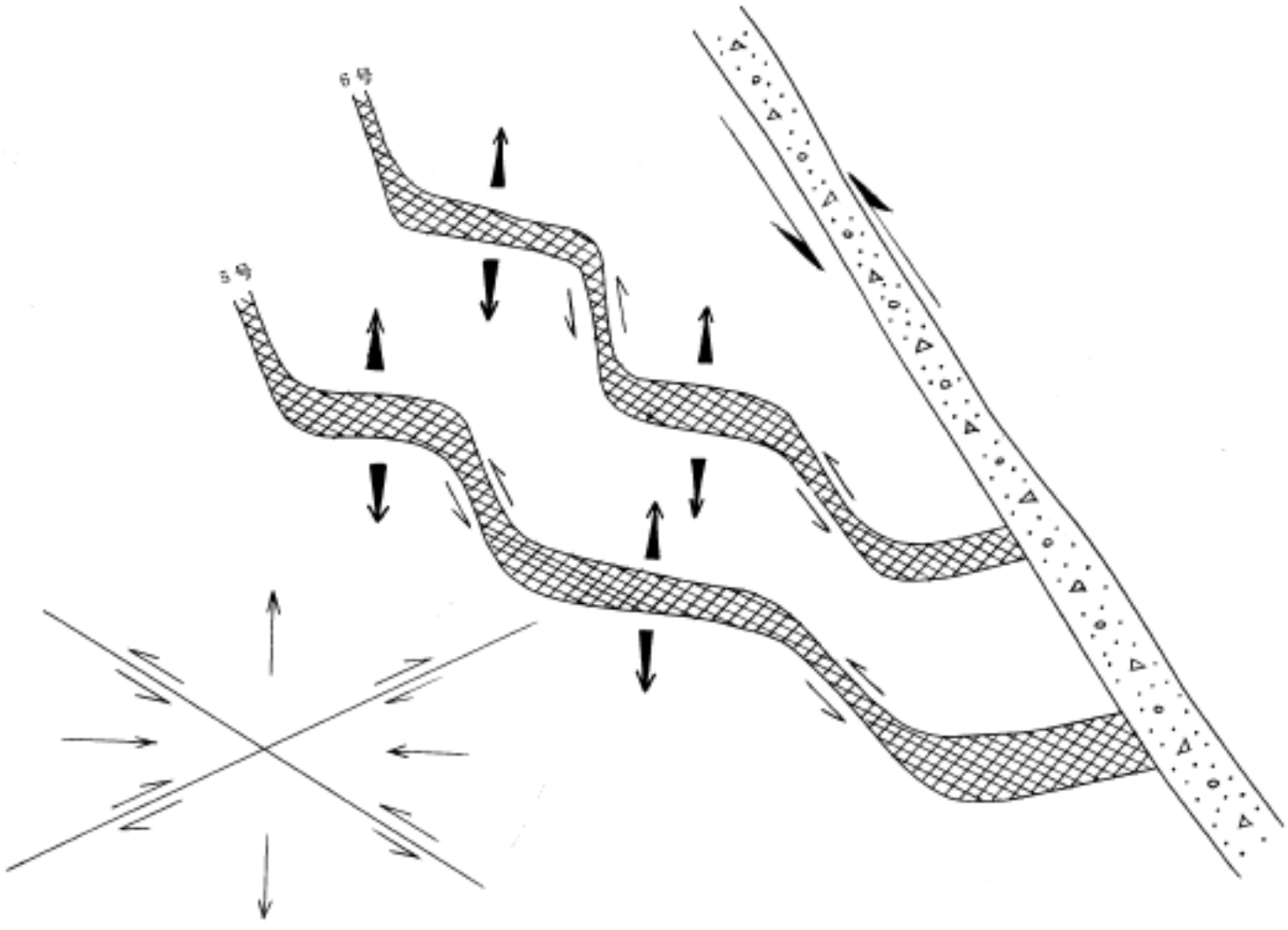


图 2 - 8 - 11　李坝金矿床控矿构造应力分布示意图

裂总体为北西向波状延伸,当断裂以东西向为主时,矿体变厚、变富。当断裂走向为北西向为主时,矿体变薄、变贫。这主要是印支末期—燕山早期,中川岩体就位后,冷却收缩,造成局部的南北控伸的张应力场。容矿断裂东西走向以张应力为主,北西走向以剪应力主为(图 2 - 8 - 11)。因此,东西走向的矿段变富、变厚,而北西走向矿体变薄、变贫,有时甚至尖灭。

2. 岩浆岩热动力控矿作用

1)中川岩体热力控矿作用

中川岩体围岩地层中有明显接触变质现象,其影响宽度为 2000～5000m(图 2 - 8 - 12),接触变质现象主要表现为:

①岩石中黑云母含量增加。岩浆就位前的区域变质作用形成以绿泥石 + 绢云母 + 石英为特征的矿物组合,接触变质作用叠加后形成黑云母 + 绢云母 + 石英的热变质矿物组合,绿泥石消失,代之以黑云母(图 2 - 8 - 13)。亦即围绕岩体形成一黑云母带,其宽度为 2000～5000m。

②岩石中形成斑点构造。依矿物组成可将斑点分为堇青石(少量红柱石)斑点和黑云石英斑点两种类型,两种成分的斑点围绕岩体分带分布。堇青石斑点形成内带,宽 350～1500m,黑云母石英斑点形成外带,宽 2000～5000m,其分布范围略小于黑云母带。堇青石斑点多见于泥质岩中,平行层理分布,热变质重结晶形成。黑云母石英斑点亦多见于泥质岩石,变砂岩和变粉砂岩

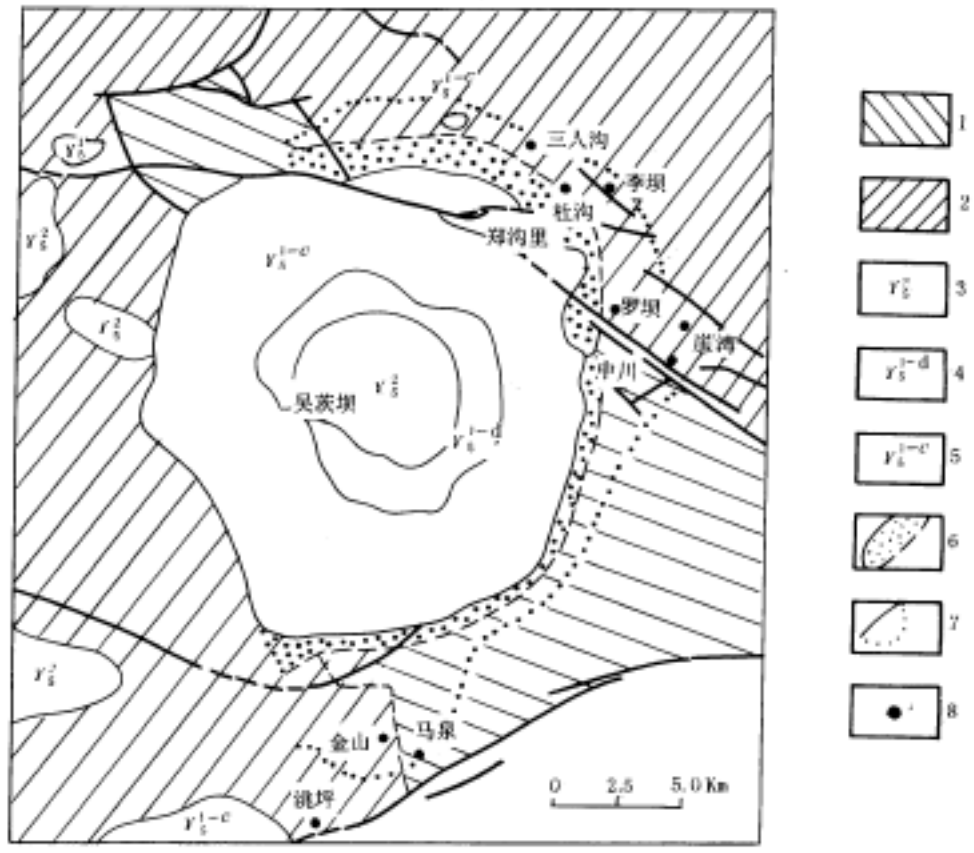


图 2 - 8 - 12　中川花岗岩体接触变质带与金矿分布简图

1—碳质粉砂质板岩含砾变石英砂岩;2—粉砂质板岩;3—中细粒黑云母二长花岗岩;4—中粒含斑黑云母二长花岗岩;5—中粗粒似斑状黑云母二长花岗岩;6—堇青石斑点带;7—黑云母石英斑点带;8—金矿床(点)

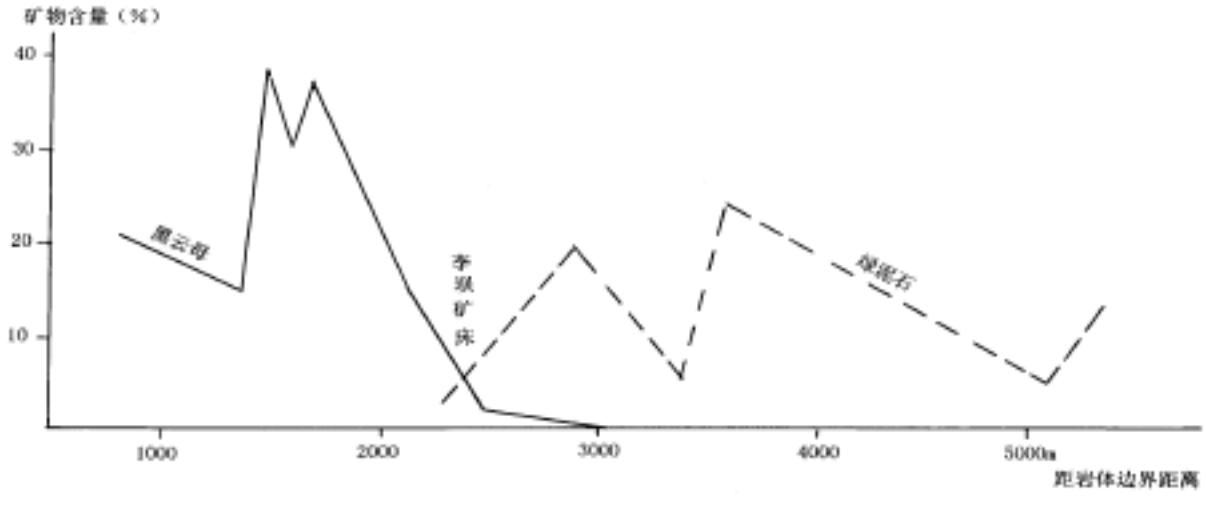


图 2 - 8 - 13　矿物含量与距岩体边界距离之间的关系

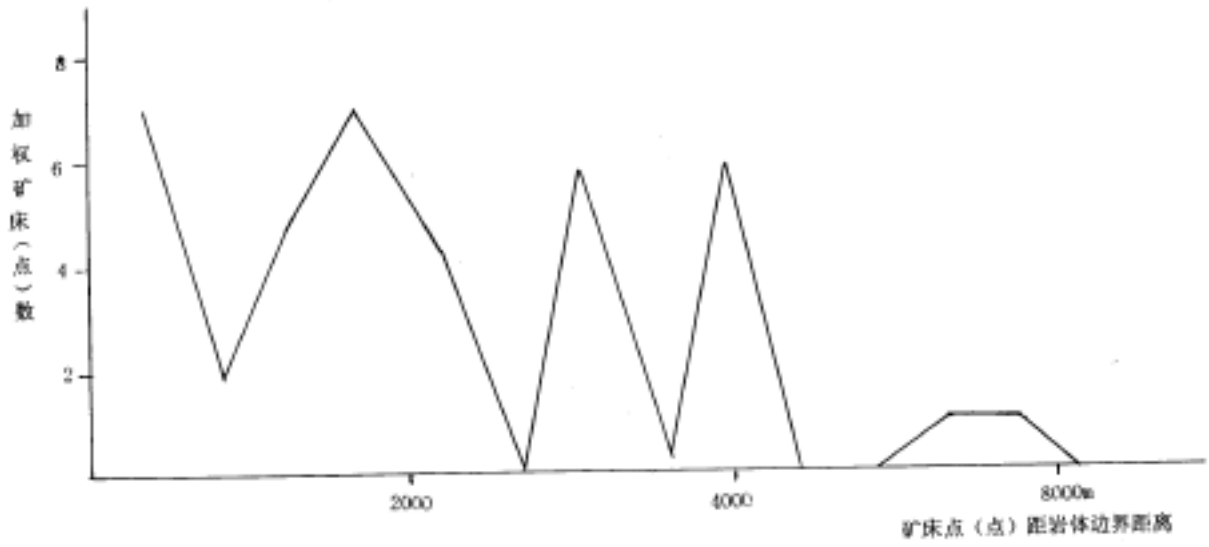


图 2 - 8 - 14　矿床(点)分布与岩体边界距离之间的关系

中局部可见,有时可见其交代堇青石斑点,为热变质作用引起的热液交代成因。

③矿床(点)分布及有关特征。金矿床(点)明显围绕中川岩体分布,矿床主要分布在黑云母石英斑点带或岩浆热晕的消失部位(图 2 - 8 - 13)。统计 26 处矿床(点)与离岩体边界距离之间的关系,可以看出,95%以上的矿床(点)分布在 5000m 距离内,由岩体向外,矿床(点)数逐渐减少(图 2 - 8 - 14)。

矿床(点)地质特征与矿床(点)距岩体边界距离亦有十分明显的关系,显示岩体热源对成矿的控制。这种关系主要表现在控矿构造、伴生岩脉、蚀变类型、矿化强度、金矿物粒度、成矿温度等方面(表 2 - 8 - 15)。蚀变强度相同的矿石,其品位明显随离岩体边界距离增大而增高,接触变质温度过高,对成矿作用不利。

李坝、金山、杜沟、三人沟、罗坝、崖湾等矿床(点)的 30 件黄铁矿 $\delta^{34}S$ 统计资料表明,$\delta^{34}S$ 值随成矿温度增高而降低,其回归方程为:

$$\delta^{34}S = 12.9 - 0.029t(℃)$$

成矿温度随距岩体边界距离增大而变小,$\delta^{34}S$ 值随距岩体边界距离增大而增大。杜沟、三人沟、李坝、崖湾等矿床(点)的 $\delta^{34}S$ 平均值分别为 3.42‰、8.44‰、8.14‰和 11.6‰。

岩体周边部不同矿床(点)硫同位素离差小、均一性强,显示成矿热液曾经历过中高温均一化过程。李坝 18 件样品 $\delta^{34}S$ 变化于 + 4.0‰～ + 10.6‰,金山 4 件样品 $\delta^{34}S$ 变化于 + 0.3‰～ + 6.6‰,离差 6.3‰,离岩体较近的杜沟、三人沟,其硫同位素离差更小,二者 $\delta^{34}S$ 分别变化于 + 0.6‰～ + 4.4‰、+ 7.7‰～ + 11.5‰,其离差均为 3.8‰。李坝、金山等矿床,其他氢、氧、碳、铅等同位素亦有较明显的均一性较强之特点。

2)中川岩体动力控矿作用

中川岩体侵位,自身即成为一巨大的热源体,其围岩发生广泛的接触变质作用,使相对塑性的泥质,半泥质岩更为塑性,从而在岩体周边部形成若干其枢纽平行岩体边界展布的褶皱,尤其是有一定规模的弧形褶皱。霍尔德(1979)曾描述过的阿尔达拉花岗质杂岩体,该岩体形态、出露面积、侵入期次、接触变质晕及围岩岩性均类似于中川岩体。研究表明,阿尔达拉杂岩体侵位后发生膨胀,至少现有体积的 72%是膨胀变形的产物。

构成中川岩体热晕的黑云母(带)和黑云母斑点均明显记录有关岩体侵位膨胀的痕迹。围绕岩体分布的黑云母带,其黑云母定向排列,多平行岩体边界。黑云母中 TiO_2 含量由

46.29%

增至 47.24%。一般认为,黑云母中 Ti 的含量随其形成温度增高而增高,而 Si 含量增高则有利于黑云母中 Ai 形成六次配位,亦即黑云母中六次配为 Ai 数量增加主要为压力增大引起。因此,由近岩体至远岩体,黑云母形成环境由高温向低温变化,压力亦相应降低。黑云母石英斑点,一般 d = 1.5～2.6mm,大小主要与应力有关,随应力增大斑点变小。由岩体边界向外,斑点由小变大,尔后骤然变小,消失。

有资料表明,中川岩体群成岩时区域上处于 44°方向挤压应力状态之中(尚瑞钧等,1988)。李坝、金山控矿构造主压应力(以主控矿构造中小型褶皱枢纽来确定)分布如图 2-8-15。非常明显,李坝、金山控矿构造形成与岩体侵位膨胀有关,为岩体侵位膨胀压力与深断裂活动共同作用的产物(图 2-8-15)。

表 2-8-15　矿床(点)地质特征与距岩体边界距离之间的关系

地质特征	岩体距离
	近→远
控矿构造	脆韧性→脆性
伴生岩脉	石英脉→石英脉闪长岩脉→闪斜煌斑岩脉
蚀变类型	绢云母化绿泥石化黄铁矿化→绢云母化黄铁矿化
矿化强度	弱→强
金矿物粒度	大→小
成矿温度	高→低

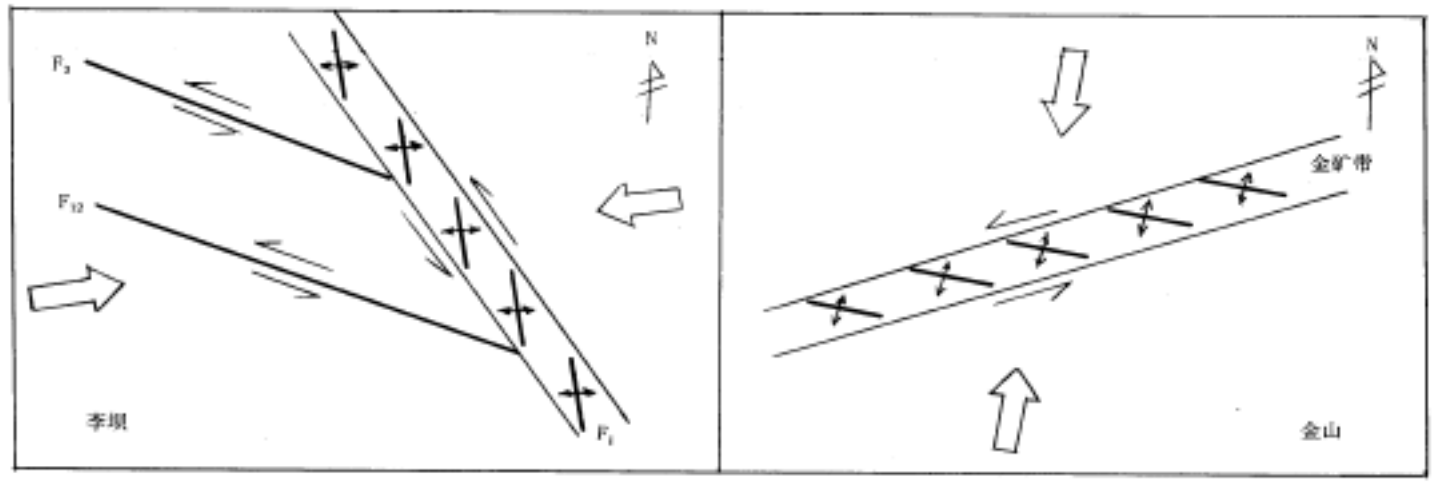


图 2-8-15　李坝、金山控矿构造应力分布简图

不同矿床(点)控矿构造平面主压应力方向有距岩体边界距离减少而趋向与岩体边界平行之规律(表 2-8-16),显示愈近岩体,岩体侵位膨胀应力愈大。

控矿构造经历了成矿前脆韧性变形和成矿期脆性变形两个阶段。在脆韧性变形阶段形成的构造岩相当于糜棱岩化岩石—片理化岩、绿泥石、绢云母和黑云母等片状矿物定向排列形成 C 面理,但 S 面理不发育,只是局部可见。显示控矿断裂构造剪切错动距离有限。部分黑云母石英斑点受层理和 C 面理影响,由原来的近似圆形变成不大特征的旋转碎斑压力影,石英为核,黑云母为拖尾,石英有碎裂或波状消光现象,黑云母局部绿泥石化(蔡蕴华等,1991),多数黑云母石英斑点受构造影响不明显,显示斑点与控矿构造显然为杂岩体热动力作用的产物。

礼岷金矿化集中区各地质成矿事件由早到晚为:中川岩体侵位与接触变质作用,控矿构造

成矿前脆韧性变形,控矿构造成矿期脆性变形,石英脉充填就位,主成矿阶段,各种脉岩就位。

各矿床脉石英流体包裹体均一测温和压力资料(压力未经校正)如图 2 - 8 - 16。由图可知,石英脉由岩体边界向外,温度降低,压力减少。亦即石英脉就位时控矿断裂构造仍受中川岩体热源和侧向挤压力影响。另一方面,成矿期后各类脉岩又与中川岩体源岩相同,脉岩与金矿化伴生。基于上述认识,不难看出,控矿构造的形成与中川岩体成岩为同一热动力系统的产物。

表 2 - 8 - 16　控矿断裂平面主压应力方向与离岩体边界距离关系

矿床	杜沟	三人沟西段	三人沟东段	李坝 F_2、F_{12}	李坝 F_1
平面主压应力方向	315°	300°	320°	322°	350°
与岩体边界角度差	5°	6°	26°	12°	45°
离岩体边界距离	1000m	1850m	2050m	2100m	2380m

3. 岩性与成矿关系

矿化对层位的选择性不明显,中川岩体群围岩主要为泥盆系中统李坝群、西汉水组以及石炭系、二叠系,其金矿床(点)分布率分别为 42%、27%、19%和 12%。表面上看,李坝群和西汉水组易于矿化,实际上这与断裂构造的分布有很大关系,礼县—洮坪深断裂主要分布在西汉水组中,礼县—罗坝—锁龙口深断裂主要分布在李坝群,从而造成矿化易于选择西汉水组和李坝群,尤其是李坝群发育的假象。或者可以认为,李坝群和西汉水组中矿化较好,其原因,一方面与深断裂构造有关,另一方面与地层本身岩石地球化学特征有关。

图 2 - 8 - 16　各矿床(点)脉石英包体温度与压力和离岩体边界距离之间关系

岩石中有机碳含量与金矿定位有一定关系,礼岷金矿化集中区以石炭系地层最富含有机炭,平均含量达 0.46%。礼县—洮坪断裂和礼县—罗坝—锁龙口断裂含有机炭,其平均含量大于 0.12%。李坝、金山两处矿化集中区容矿岩石中有机碳含量为 0.083%～0.105%,区域不含矿的西汉水组和李坝群中有机碳含量甚低,其中李坝群地层中平均 0.06%。不难看出,适量的有机碳有利于金矿化定位,有机碳含量太高或太低均不利于金矿化形成。石炭系中金矿化较弱可能与其有机炭含量过高有关。李坝金矿导矿断裂 F_1 中碎裂岩有机碳含量平均 0.18%,配矿断裂 F_{12} 中矿化岩石有机碳含量为 0.05%～0.07%,其下盘相邻围岩有机碳含量为 0.10%～0.11%。可以看出,有机碳可能起还原剂作用,成矿溶液具有一定氧逸度,与有机碳反应后,消耗部分有机碳,矿石中有机碳含量因此而大大降低。包裹体成分测定显示矿液中富含 CO_2,可能与导矿断裂带中部分有机碳被氧化有关。

矿化相对易于选择粉(砂)泥质岩石发育,李坝群、西汉水组以及石炭系、二叠系,其岩性可分为粉砂质板岩、变砂(粉砂)岩、灰(大理)岩三类,三者矿床(点)分布分别为 56%、26%和 18%。可见矿化易于选择粉砂(泥)质岩石发育,而灰(大理)岩相对不利于矿化发育。

西汉水组由中川岩体沿走向向西,灰(大理)岩比例逐渐增大,粉砂(泥)质岩石比例逐渐减小。舒家坝组由中川岩体沿走向向西,灰(大理)岩和砂岩比例逐渐增大,粉砂(泥)质岩石比例逐渐减少。所以,60%的金矿床(点)分布在中川岩体东北部至东南部位。中川岩体西部及西

南部金矿床(点)较少,除与接触热变质作用温度过高有关外,可能还与这些部位大理岩比例较大有关。

表 2 - 8 - 17 为李坝金矿床金矿物在各类岩石中的分布,不难看出,粉砂质板岩、板岩中金矿物分布率较高,而白云质板岩夹粉砂岩中金矿物分布率最低,矿化易于选择粉砂(泥)质岩石发育地段。

表 2 - 8 - 17　李坝金矿床金矿物在各类岩石中的分布

	金粒累计面积 um2	分布律 %
粉砂质板岩、板岩	13164.07	81.22
变石英细砂岩、变粉砂岩	1075.76	6.64
白云质板岩夹粉砂岩	211.37	1.30
脉岩	1756.29	10.84

李坝金矿床的深入研究表明,矿液沉淀有两种形式,一是降压作用,一是交代作用。靠近 F_1 断裂破碎带 5 号、6 号两条主矿体中,变砂岩明显较相邻板岩的的矿化好。这是因为,这些部位成矿期脆性断层发育,导矿性好,由 F_1 深部上升的成矿热液进入配矿构造后,压力减少明显。压力减少使得以络合物形式迁移金的平衡体系遭破坏,导致金的沉淀。变砂岩较粉砂质板岩导矿性好,因而易于矿化。远离 F_1 的 5 号、6 号矿体中粉砂质板岩明显较相邻变砂岩矿化好。这是因为,矿液经过一定迁移后由降压作用沉淀金转化为通过交代反应沉淀金。交代反应主要表现为接触变质作用形成的黑云母被绢云母交代,生成载金矿物黄铁矿。

$$3K(Mg、Fe)_3[AlSiO_{10}](OH)_{10}\text{(黑云母)} + 2OH^+ ====$$

$$KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2\text{(绢云母)} + 6SiO_2 + 12H_2O + 9(Mg、Fe)^{2+} + 2K^+$$

$$Fe^{2+} + H_2S + 1/2S_2 ==== FeS_2\text{(黄铁矿)} + 2H^+$$

粉砂质板岩较变砂岩易于被交代,相应地,矿化变好。由此可以看出,礼岷金矿化集中区金矿化以交代形式成矿为主。

与断裂构造和岩浆岩热动力作用对成矿影响比较,岩性对成矿的影响显得相对不重要。

五、成矿演化与定位机制

根据上述大量地质地球化学资料,礼岷金矿化集中区成矿演化与定位机制如下:

(1)显生宙初中国古大陆裂陷解体,形成华北和扬子板块,其间逐步演化为祁连、秦岭洋盆。泥盆纪中泥盆世形成广泛的海相沉积,李坝群相当于深水大陆斜坡浊积岩相沉积,西汉水组相当于陆棚海沉积环境,同生断裂礼县—白云—山阳深断裂控制了其南北两侧的西汉水组和李坝群的沉积及分布。沿同生断裂发育若干海底喷溢热卤水携带大量 Au 等成矿元素,由地壳深部进入海水,并参与到沉积成岩过程中,因而,李坝群和西汉水组在其沉积成岩过程中即形成 Au 的初始富集,尤其是李坝群中浊积岩。加里东运动后,杨子板块和华北板块沿祁连、秦岭洋碰撞造山,秦祁造山带进入大陆造山演化阶段,石炭—二叠纪形成上叠残留海盆地沉积。

(2)印支期礼县—白云—山阳同生断裂再度活化,导致深部地壳局部深融,伴随深断裂多次活动,中酸性岩浆多次侵入,形成中川岩体群五大岩体。同时,伴随强裂构造岩浆活动,形成大规模的逆冲推覆构造。

(3)大规模的中酸性岩浆侵入活动为金矿成矿提供了重要的热动力源。接触热变质作用形成围绕岩体分布的堇青石斑点带和黑云母石英斑点带,同时亦形成围绕岩浆热源分布的热卤水循环系统。岩浆经过冷凝、结晶、膨胀,形成巨大侧向挤压应力。这种侧向挤压应力与区域应力场(深断裂)共同作用形成控矿构造及相应的主成矿期前的脆韧性变形。稍后,岩浆源温度降低,控矿构造发生脆性变形,成矿构造中位移的含矿热液发生沉淀成矿,石英脉稍早于主成矿期定位。

(4)沿断裂下渗的大气降水与深部变质水(地层水)混合,向下遇热后转为沿深断裂上升,并构成一热水循环系统。这一热水循环系统不断萃取地层中成矿物质,从而最终形成富含成矿物质热卤水。地层深部部分成矿物质和岩浆演化过程中部分岩浆水可能参与到这种循环热卤水中。这种热卤水温度145℃～375℃,酸性,富含Ca^{2+}、Cl^{-}、CO_2及K^{+}、Na^{+}、Mg^{2+}、F^{-}等组分。这种含矿热液进入配矿构造后,温度、压力降低,围岩物质成分加入(如Ca^{2+}、Mg^{2+}、有机碳、水等),含金络合物平衡遭破坏,发生金矿物以多阶段形式沉淀富集成矿。含矿热液中金的沉淀有降压作用和交代作用两种形式,以交代作用为主。接触变质作用形成的黑云母被绢云母交代,生成载金矿物黄铁矿,从而形成绢云母化、黄铁矿化、硅化等矿化蚀变。含矿热液中金沉淀的最佳温度为中温(210℃～259℃),温度过高不利于金的沉淀。矿床距中川岩体均有一定距离,多分布于黑云母石英斑点带。在金的沉淀过程中,由主成矿期至成矿晚期,含矿溶液温度降低,盐度减小,K^{+}、Na^{+}、Cl^{-}、CO_2等组分含量减小,Ca^{2+}、Mg^{2+}、H_2O等组分增加,fo_2和fs_2均减小。上述金的的沉淀成矿过程仍受岩浆源制约,从而导致矿床(点)分布、地质特征等随距岩体边界距离变化而变化的现象。

(5)主成矿晚期,深部与中川岩体群同源的岩浆房底部相对基性的组分变得活跃起来,这种相对基性的组分可能为原始脉岩岩浆,原始脉岩岩浆易于沿先存矿液通道上侵,就位于矿体分布区。原始脉岩岩浆上侵时,一方面,岩浆自身随物化条件改变而演化,另一方面不断同化混染围岩组分,因此表现为不同类型脉岩的同源性成因特点,构成一脉岩演化序列。原始脉岩岩浆易于沿矿液活动通道上侵,因而,空间上,岩脉易于与矿体密切伴生,时间上略晚于金矿化,物质成分上表现与成矿之间的联系。分异演化岩浆的上侵过程中,因同化矿化组分的不同或自身分异而表现出含矿脉岩和不含矿脉岩之分。斜闪煌斑岩岩浆较花岗细晶岩岩浆,温度高、粘度小、穿透性强,更易于同化矿化组分,显示与金矿化之间的更密切的联系。

(6)主成矿期后,在表生氧化淋滤作用下,金属硫化物氧化成褐铁矿、黄钾铁钒等,其中的金矿物再次迁移,富集,粒度加大。

第九节　金山金矿床

一、区域地质背景

(一)大地构造位置及构造演化简史

金山金矿床为甘肃中型金矿床之一。位于秦岭造山带西段、中秦岭海西—印支冒地槽褶皱带中(图2-9-1)。中秦岭海西—印支褶皱带北以临夏—武山—娘娘坝深大断裂与北秦岭

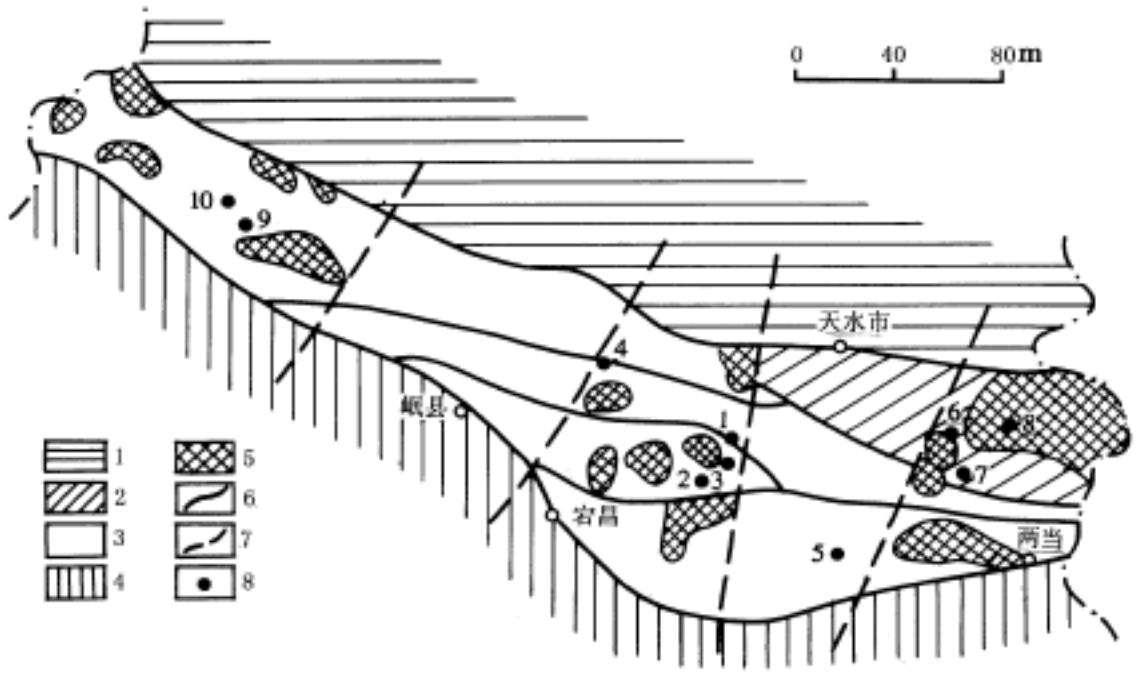


图 2-9-1　西秦岭大地构造及花岗岩分布略图

1—祁连褶皱带;2—北秦岭加里东褶皱带;3—中秦岭海西-印支褶皱带;4—南秦岭印支褶皱带;5—印支—燕山期花岗岩;6—深断裂;7—隐伏断裂;8—金矿体

加里东褶皱带为界,南以合作—岷县—两当深断裂与南秦岭相隔。中秦岭又以高桥—礼县大断裂为界分为南北两个亚带。北亚带在晚古生代属华北板块南侧陆缘海,沉积了一套以碎屑岩为主的深—次深海浊积岩系,李坝、金山等金矿床产于其中。南亚带属扬子板块北侧陆缘海,沉积了一套浅海陆棚碎屑岩夹碳酸岩建造,著名的西成铅锌矿田赋存其中。

作为秦岭造山带的一部分,西秦岭经历了长期复杂的构造演化。奚小双等[①]认为,新元古代早期(约 1000Ma)冈瓦纳古陆开始解体,扬子地台与澳大利亚古陆因拉张而分离,并以较快的速度向北迁移。进入早古生代,华北地台、扬子地台是作为两个独立陆块向北迁移的。在向北迁移过程中,华北南缘和扬子北缘分别发生了裂解,其重要表现是北秦岭从华北地台南缘分裂出来,中、南秦岭从扬子北缘分裂出来,初步奠定了秦岭构造带三分的基础。在共同向北俯冲、迁移的过程中,由于速度不同,在早古生代末期北秦岭与华北地台、中秦岭与北秦岭、南秦岭与中秦岭先后拼合,形成统一的中国大陆。此时主缝合带位于北秦岭北缘,构造变形主要发生在北秦岭,而中、南秦岭构造变形并不强烈。

进入晚古生代,北、中、南秦岭间因拉伸又出现新的裂陷槽(陆内裂谷)。尤其重要的是中泥盆世在中秦岭形成的裂谷。该裂谷位于岷县—礼县—成县一带,其中心部位与高桥—礼县同生断裂位置相当。该断裂控制了中秦岭南北两侧不同的沉积建造。

中秦岭晚古生代裂谷的发展一直持续到中生代早期。印支运动使裂谷封闭、挤压造山,海水从西秦岭全部退出。在晚三叠世,碰撞造山运动达到高潮,造成秦岭地区强烈的构造变形和大规模岩浆活动,并使古断裂复活,印支—燕山早期从而成为西秦岭最重要的成矿期,也基本形成现今秦岭的壮观地貌。其后的中—新生代,该区又进入新一轮以陆内断陷盆地为特征的构造运动时期。

① 奚小双等,甘肃礼岷金矿田控矿因素、控矿构造及找矿方向研究,1996。

由于该区经历了多次以近南北向为主的伸展裂陷、挤压造山运动,形成了以近东西向为主、东西与北东向构造并存的构造格架。在中秦岭形成了受东西向构造和北北东向构造联合控制的3个隆起区与岩浆活化区(热穹窿),自西向东分别是年木耳—冶力关、闾井—罗坝、娘娘坝—利桥岩浆活化区,分别控制了西秦岭3个金矿化集中区。其中近东西向武山—娘娘坝、礼县—高桥、合作—岷县—两当深(大)断裂与北北东向甘谷—武都、陇西—宕昌隐伏基底断裂交汇处控制了闾井—罗坝构造岩浆岩带和礼县、岷县、成县一带的金矿化集中区。

(二)地层

礼县、岷县、成县一带的中秦岭出露地层以晚古生界为主,其次有少量三叠系、中—下侏罗统、第三系、第四系。

泥盆系广布全区。下统分布于中秦岭南亚带吴家山地区,主要岩性为变质砾岩、变质砂岩、粉砂岩,上部出现大理岩及碳质千枚岩。

中统分布最广,与成矿关系也最密切。以高桥—礼县—洮坪同生断裂为界,南侧中泥盆统自下而上为安家岔组、西汉水组,为一套碎屑岩夹碳酸盐类复理石建造,是铅锌矿的主要赋矿层位。北侧中泥盆统称李坝群,为一套细碎屑岩为主的浊积岩系,是李坝、金山等主要金矿床的容矿围岩。与金矿关系密切的中泥盆统李坝群(D_2Lb)从上到下分为4层,互为整合接触。

第四岩性段(D_2Lb^4)下部为泥灰岩夹薄层钙质板岩,中部为条带状灰岩,上部为块状灰岩。

第三岩性段(D_2Lb^3)为灰绿色板岩、砂质板岩,向下砂质成分增多,单层变薄。

第二岩性段(D_2Lb^2)为主要含矿层。下部为灰绿色细砂岩,粉砂岩夹板岩、砂质板岩互层;上部为灰绿色板岩夹砂岩,含遗迹化石。

第一岩性段(D_2Lb^1)为灰岩夹板岩,具薄层—纹层构造。

上统大草滩群,其下部为海陆交互相沉积,上部为陆相磨拉石建造。

石炭系呈北西向断续分布于区域中部,以浅—滨海相含碳砾岩、砂岩、碳质板岩为主。

二叠系分布于西北部,以浅—滨海相含碳泥岩建造、碎屑岩建造、碳酸岩建造为主。

中、下侏罗统零星出露,主要岩性为一套陆相砾岩、砂砾岩、砂岩、粉砂岩、砂质泥岩。

有关资料表明,秦岭造山带地壳金的平均丰度为1.0×10^{-9}～1.1×10^{-9}。中秦岭由于沿高桥—礼县同生断裂的热水喷流及北秦岭优地槽火山—沉积建造的剥蚀带来丰富的成矿物质,使沉积岩金的丰度比秦岭造山带平均值高4倍～5倍。其中二叠系丰度值为4.3×10^{-9},石炭系为4.8×10^{-9},泥盆系为5.5×10^{-9},而且金矿化集中区地层含金性具有梯度变化大的特点,局部层位金含量达33×10^{-9},表明金已有原始富集。这些地层中金在一定条件下可被活化、迁移与富集,从而为成矿提供物质基础。

(三)构造

1. 断裂构造

区内断裂构造发育。北侧的临夏—武山—娘娘坝断裂和南侧的合作—岷县—两当断裂为区内主干断裂,某些学者认为这两条断裂为超岩石圈深断裂,同时又是中秦岭与北秦岭、南秦岭与中秦岭的俯冲碰撞带。

高桥—礼县大断裂是区内另一条重要断裂。该断裂南北两侧沉积相有显著差异,是一条同沉积期断裂,具有长期活动的历史。礼县以西,这条断裂分为南北两支,北支为礼县—罗坝—锁龙口断裂,南支为礼县—洮坪—　子坝断裂。礼县—罗坝—锁龙口断裂在罗坝以东呈

北西走向,断面北东或南西倾,切割中泥盆统和第三系。西段近东西向展布,断面南倾或直立,切割中泥盆统、中石炭统和中川花岗岩体。该断裂规模大,多次活动,控制了本区东部和北部李坝等金矿床的分布。礼县—洮坪— 子坝断裂带呈近东西向穿过本区南部,由两条近平行的主断裂组成,切割中泥盆统、中石炭统、中—下侏罗统和第三系,还控制了喜山期基性火山岩的产出,也是一条多期活动的深断裂带,它控制了区内南部金山等矿床的分布。

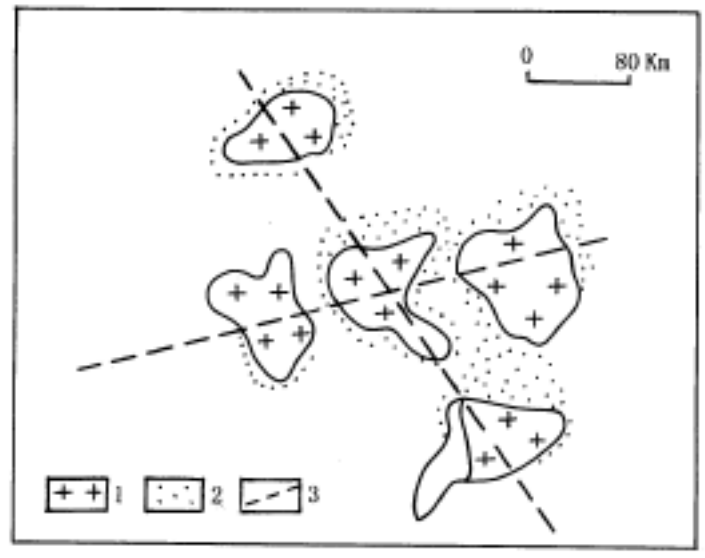


图 2 - 9 - 2 礼岷地区花岗岩分布的“X“型式

1—花岗岩;2—热变质带;3—共轭控岩断裂

值得提出的是,两大主干断裂间“X”型共轭走滑断裂,在造山后伸展运动中成为正平移断层,成为岩浆上升侵位通道,从而形成了礼岷地区花岗岩分布的“X”型式(图 2 - 9 - 2)。

总之,区内断裂构造规模大,期次多,活动时间长,控制了本区沉积相的分布和花岗岩的侵入,对金矿的形成也具有重要的控制作用。

2. 褶皱构造

区内Ⅰ级褶皱构造主要有中秦岭南亚带的吴家山背斜和北亚带的石家河坝复向斜。

吴家山背斜呈近东西向展布,向东西两端倾伏,核部地层为下泥盆统,翼部地层为中泥盆统。其次级褶皱对西成地区热水沉积—改造型铅锌矿床的定位有重要控制作用。

石家河坝复式向斜为礼岷地区的骨干褶皱构造。褶皱轴向近东西,总体向北西扬起。核部由中石碳统构成,翼部由中泥盆统组成。其Ⅱ级褶皱主要有北翼的马坞背斜和南翼的张凤坡背斜。马坞背斜的Ⅲ级褶皱有大沟门倒转背斜、姜家—杜家山向斜、中川背斜,张凤坡背斜的次级褶皱有沟门前倒转向斜、吴家庄倒转背斜、小峪河倒转向斜、张家庄背斜等。IV 级褶皱发育,其鞍部与断裂交汇处常是金矿的富集部位。

(四)岩浆岩

本区岩浆岩有中川、碌础坝、柏家庄、闾井、教场坝、温泉六大二长花岗岩体,岩体呈岩基状,单个出露面积 150～225km^2,形成时间 230Ma～194Ma。岩浆多期多次侵入,从海西期持续到燕山早期,主体为印支期。主侵入体二长花岗岩分三次侵入,从早到晚 SiO_2 含量增加,碱性组分及挥发分亦增加,铁镁矿物减少。在岩石化学上表现为高二氧化硅,低镁、铁的特征。副矿物以富含钛铁矿、挥发性矿物、放射性矿物为特征。在微量元素组合上以贫 Cr、Ti、Co、Ni 而富 Rb、Zr、Nb、W、Sn、F、Cl 为特征。在 ACF 图上落入 S 型花岗岩区。

此外,尚有少量海西晚期中—中酸性岩、基性岩及喜山期碱性玄武岩分布。

区内岩脉发育,常见于岩体及围岩中。岩脉类型有暗色岩脉(闪斜煌斑岩、辉绿岩、黑云闪长玢岩)和酸性岩脉(花岗斑岩、花岗闪长斑岩和石英闪长玢岩)。

区内金矿化与岩浆活动关系密切,在空间上主要金矿床多分布于岩体外接触带 1～5km 范围内。矿床内脉岩发育,部分岩脉切穿矿体,成矿时间应在主期岩浆侵入之后。

(五)区域矿产

区内矿产以铅锌、金为主。铅锌矿主要产于南亚带西成矿田内,金主要分布于北亚带礼

县、岷县地区，有李坝、金山、马泉、崖湾等大中型矿床。近年西成铅锌矿田内金矿找矿有所突破，发现了小沟里等金矿。

二、矿床地质特性

(一)地层

矿床内出露地层主要为中泥盆统李坝群第二岩性段(D_2Lb^2)和第三岩性段(D_2Lb^3)(图2-9-3)。

第二岩性段分布于矿床东南部，为一套浅变质碎屑岩夹少量碳酸盐岩，主要岩性为石英黑云母片岩、粉砂质绢云母千枚岩、钙质粉砂质绢云母千枚岩、绿泥绢云母千枚岩等。矿床主矿体即产于该段灰绿色绢云母千枚岩、灰色粉砂质绢云母千枚岩及钙质粉砂质绢云母千枚岩中。

第三岩性段由大理岩、结晶灰岩、钙质粉砂质绢云母千枚岩、粉砂质绢云母千枚岩、变砂岩等组成，分布于矿床西北部。从西向东，碳酸盐岩夹层变少。

李坝群第二、第三岩性段的金含量分别为6.7×10^{-9}和5.3×10^{-9}，不同岩性金含量有较大差异(表2-9-1)。含金较高的岩性主要为泥质岩、板岩，其他成矿元素铜、铅、锌、砷、锑等也较高。大理岩中成矿元素含量较低，碎屑岩中金含量随粒度减小而增加。

表2-9-1　礼岷地区不同岩性含金量

岩　　性	样数(件)	Au(10^{-9})
千枚状泥质板岩	16	17.0
灰绿色泥质板岩	15	12.0
斑点状板岩	10	16.7
砂岩、粉砂岩	12	3.3
泥钙质板岩	20	4.5
粉砂质板岩	9	16.9
钙质砂板岩	7	4.5
千枚岩	4	1.13
炭质板岩	4	1.47

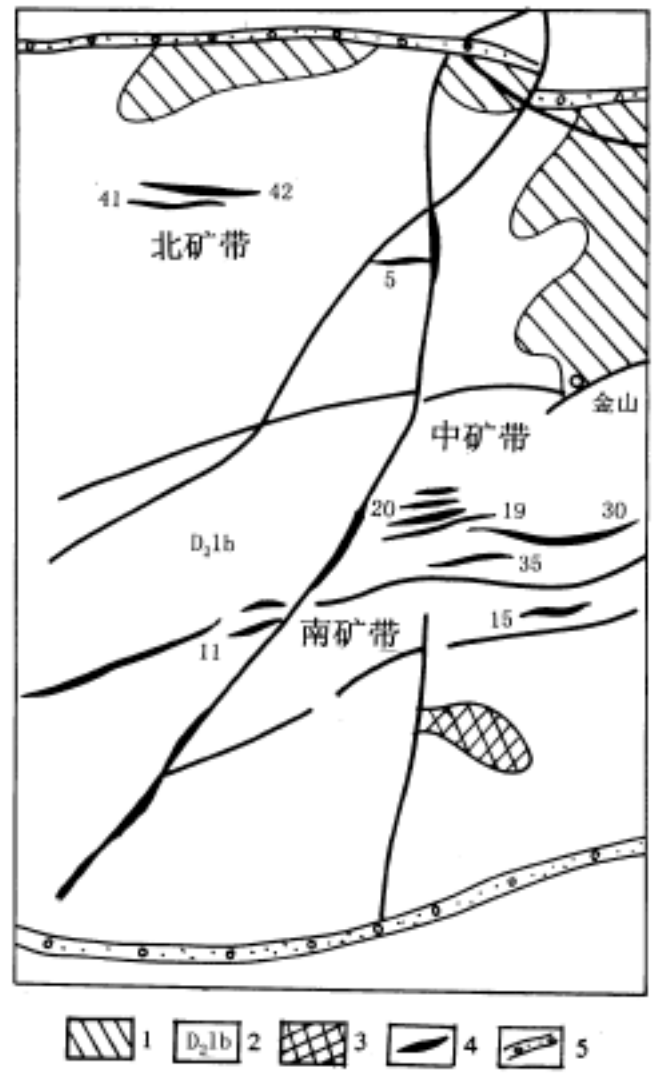


图2-9-3　金山金矿床地质简图

1—中石炭统；2—中泥盆统李坝群；3—第三纪减玄岩；4—金矿；5—断层破碎带

(二)构造

1. 褶皱

矿床位于张凤坡Ⅱ级背斜构造南翼，主要褶皱构造为沟门前Ⅲ级倒转向斜。向斜轴向大致为60°，核部由D_2Lb^3组成，两翼为D_2Lb^2。向斜北翼由于F_2断层的错动和不整合的存在，地层出露不全，南翼出露较宽。地层呈北东向或近东西向展布，F_3断裂北侧以南倾为主，南侧以北倾为主。该向斜向东倾伏于中泥盆统与中石炭统之间的不整合面之下。此外，向斜核部

及两翼小型紧密褶皱亦较发育。

2. 断裂

矿床北侧为正沟里—园咀大断裂(F_2),南侧为礼县—洮坪—子坝大断裂(F_1),两者均为高桥—礼县大断裂带南分支的组成部分,呈近东西向展布。由于受南北两大断裂的影响,矿床内断裂构造异常发育,按走向分为以下 4 组:

(1)近东西向组。与地层走向基本一致,但倾角较陡。该组断裂常成群出现,虽单条断裂规模并不大,但组合在一起常形成较宽的片理化、糜棱岩化带,是金山矿床最主要的控矿构造。

(2)北北东—北东向组。规模较大的如 F_3,走向 20°～40°,南东倾,倾角 68°～85°。规模较大,延展远,局部形成几十米宽的破碎带。本身虽不含矿,但起着重要的导矿作用,它与上述近东西向断裂共同起着控矿的配套作用。

(3)南北向组。这也是一组与金矿化关系密切的断裂。其与东西向含矿破碎带交汇迭加处,往往形成厚大矿体,品位亦明显变富。但其延展以不穿越出东西向主要控矿断裂带为特征。

(4)北西向组。亦常见,但规模较小,与成矿关系不密切。

3. 节理

金山矿床控矿断裂带的内外两侧具较发育的节理密集带,也是矿化的有利部位,主要分 3 组。其中近东西走向的两组分别倾向北、南,近南北走向一组倾向西,各组节理均为透入性构造。近南北向节理发育程度及密度远大于近东西向节理,其主要原因是南北向节理与层理或 S_1 面理垂直,在构造运动中不存在层理或 S_1 面理代替节理的作用。

(三)岩浆岩

金山金矿床位于中川二长花岗岩与碌础坝花岗岩之间,北距中川岩体 3.5km,南距碌础坝岩体 5km。中川岩体出露面积 210km^2,呈等轴状侵入于石家河坝复式向斜核部。岩体成分与中国黑云母花岗岩平均成分相似,属铝过饱和、二氧化硅过饱和型钙碱性花岗岩,并以富钾和挥发性组分为特征。成矿元素组分无明显富集,呈含金偏低,含 Sb、Pb、Zn 较高,贫稀土、富铀的花岗杂岩体。

矿床内脉岩发育,有闪长岩、闪长玢岩、煌斑岩等,规模较小,分布零乱。其稀土元素组成特征与中川岩体相似,可能为同源产物。脉体本身并不含矿,但在空间上与金矿密切伴生,矿体富、厚地段一般有煌斑岩出现。形成时间相近或略晚,常见岩脉切穿矿体的现象。

(四)矿体特征及工业类型

1. 矿体形态、规模及产状

金山矿床已发现矿体数十个,其中 $20^{\#}$、$19-1^{\#}$、$19-2^{\#}$、$30^{\#}$、$35^{\#}$ 等为主矿体。主矿体长数百至千余米,厚 1.37～8.18m,最大垂深 352 米,近东西走向,向北陡倾,倾角 50°～70°。

根据控矿构造的不同,分为 4 种矿体类型。其一为近东西向破碎带型矿体,是矿床中最重要的矿体,如 $30^{\#}$、$35^{\#}$ 等。第二为近东西向顺层滑动带型矿体,如北矿带 $5^{\#}$ 矿体。第三为近南北向节理脉型矿体,如 10# 矿体。第四为水平层理矿化,往往不构成工业矿体。

2. 矿石特征

(1)矿物成分。矿石中金属矿物主要有黄铁矿、毒砂、次为磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等。载金矿物主要为毒砂,金分配率近 55%,其次为黄铁矿、磁黄铁矿。

非金属矿物主要有绢云母、石英、黑云母、绿泥石,次为方解石、斜长石等。石墨及有机碳

含量不到 2%。非金属矿物中金的分配率达 20%以上,主要载金矿物为石英,次为方解石及绢云母、绿泥石等。

(2)矿石结构、构造及矿物生成顺序。矿石结构主要为自形晶结构、半自形—他形晶结构、包含结构,其次有骸晶结构、交代结构、碎裂结构、填隙结构,偶见黄铁矿的莓球结构。矿石构造主要为浸染状构造、斑点状构造及脉状构造。

根据矿石结构、构造、矿物共生组合及矿物间的关系确定矿物生成顺序为黄铁矿→磁黄铁矿→毒砂→多金属矿物→金银系列矿物。

(3)金的粒度、成色及赋存状态。矿石中金以微细粒级为主(占 64%),细粒金占 28%,中粒金小于 5%,尚有少量次显微金。金的平均成色为 827‰。矿石中金以金银互化物形式形成独立矿物存在,主要为自然金,次为银金矿。以间隙金、裂隙金为主,主要分布于毒砂集合体晶间及裂隙中,其次分布于毒砂与脉石、磁黄铁矿与脉石、黄铁矿与脉石矿物之间隙中。包裹金较少。

(4)矿石有益、有害组分

矿石主要有益组分为金,伴生少量银。有害元素主要为砷。

3. 矿石工业类型

根据氧化程度初步划分为氧化矿石和混合矿石、原生矿石。前者氰化浸出效果好,已被广泛利用。后两者浸出效果差,属难利用矿石。

原生矿石属微细粒浸染型金银系列矿物 - 毒砂 - 黄铁矿矿石。

(五)围岩蚀变

围岩蚀变以中—低温热液蚀变为特征,表现为明显的褪色化,蚀变强度与矿化强度正相关。蚀变类型主要有黄铁矿化、硅化、绢云母化、毒砂化,其次为绿泥石化、黑云母化、碳酸盐化。次生蚀变有褐铁矿化、高岭土化。蚀变具明显分带现象,矿体内部蚀变主要有硅化、毒砂化、黄铁矿化、绢云母化,上下盘近矿围岩主要为绿泥石化、黑云母化、碳酸盐化及弱黄铁矿化。

围岩具明显的斑点状构造是该矿床的重要特征。按照形成时间及矿物成分可分为两类斑点。第一种为热接触变质作用阶段形成,呈暗褐—深灰色,常见的矿物组合为堇青石 + 黑云母斑点和石英 + 黑云母 + 黄铁矿斑点。第二种为与成矿热液作用有关的斑点,其分布范围与褪色化蚀变范围一致。斑点受热液蚀变后表现为强烈的黄铁矿化、绢云母化和黑云母褪色化。黄铁矿化与金矿化关系最密切,有浸染状、斑点状及脉状 3 种,前两者与金伴生。斑点状黄铁矿系由黄铁矿部分或全部交代黑云母 - 石英斑点形成,是鲜明的直接找矿标志。从围岩至矿体,斑点中黑云母的变化由红褐色黑云母变为绿褐色、褐绿色黑云母,最后变为 ZM_1 型多硅绢云母。总之,斑点状构造是该类矿床重要的间接、直接找矿标志。

三、矿床地球化学特征

(一)稳定同位素特征

1. 硫同位素

毒砂中 $\delta^{34}S$‰为 5.5～7.7,平均值为 6.4;黄铁矿中 $\delta^{34}S$‰为 -0.9～3.5,平均值为 1.0(见表 2-9-2)。李坝矿床黄铁矿、毒砂中 $\delta^{34}S$‰为 0.6～10.6,平均为 7.5。两者均较富重硫,而金山矿床离差较小,表明可能因处于两岩体间均一化程度较高所致。两矿床硫同位素组成与沉积岩和花岗岩均有相似之处,而与成矿地质条件相似的双王金矿最相近,由此认为成矿

热液硫具混合硫特征,而主要来源于地层。

表 2 - 9 - 2　金山矿床硫同位素及爆裂温度

样品类别	矿化阶段		编号	分析矿物	$\delta^{34}S$ (‰)	变化范围 (‰)	极差 (‰)	平均值 (‰)	爆裂温度(℃) 分值	爆裂温度(℃) 平均值
矿体	热液成矿早期阶段	1	TC3001①	黄铁矿	+ 0. 3	- 0. 9～+ 3. 5	4. 4	+ 1. 0	140	140
			90 - 264	黄铁矿	+ 3. 5					
			90 - 265	黄铁矿	- 0. 9					
	热液主成矿阶段	2	STC75 - 1	毒砂	+ 7. 7	+ 5. 5～+ 7. 7	2. 2	+ 6. 4	250	228
		3	TC3001②	毒砂	+ 6. 6				200	
			ZK15 - 1	毒砂	+ 5. 6				280	
			ZK7 - 1	毒砂	+ 5. 5				180	

2. 氢、氧同位素

金山矿(化)体全岩 $\delta^{18}O$‰变化范围为 13. 67～17. 01,极差为 3. 34,平均值为 15. 89(表 2 - 9 - 3)。

上下盘未蚀变围岩 $\delta^{18}O$‰变化范围为 16. 19～17. 35,极差为 1. 16,平均值为 16. 89,相对矿(化)体变化较小。矿(化)体 $\delta^{18}O$‰值略低的原因可能是成矿溶液 $\delta^{18}O$‰值相对偏低,交代原岩形成矿体后使容矿岩石 $\delta^{18}O$‰值变低。

矿石中一个热液期石英样品 δD‰为 - 69. 8(表 2 - 9 - 4),$\delta^{18}O$‰为 15. 4,中川岩体脉石英 δD‰变化范围为 - 98. 54～ - 79. 52,平均值为 - 89. 03,$\delta^{18}O$‰变化范围为 2. 27～5. 09,平均为 3. 68。热液成矿期石英 $\delta^{18}O$‰与围岩相近,而与岩体中脉石英差异较大。结合成矿温度(假定 200℃)计算的与矿石中石英平衡水的 δD‰为 - 81. 5,$\delta^{18}O$‰值为 3. 78,在 δD‰ - $\delta^{18}O$‰投影图上落在岩浆水和大气降水之间,说明成矿溶液可能为渗入地层的大气降水与岩浆水混合来源,而以前者为主。

3. 碳同位素

表 2 - 9 - 3　金山矿床矿体及围岩全岩氧同位素数据

样品位置	样　号	$\delta^{18}O$ ‰ 分值	$\delta^{18}O$ ‰ 变化范围	$\delta^{18}O$ ‰ 平均值
矿(化)体	TC19 - 3	16. 49	13. 67～17. 01	15. 89
	TC19 - 4	16. 63		
	ZK15 - 2	13. 67		
	ZK15 - 3	17. 01		
	ZK15 - 4	15. 92		
	ZK19 - 1 - 1	15. 06		
	ZK19 - 1 - 2	16. 44		
围岩	TC19 - 1	16. 91	16. 19～17. 35	16. 89
	TC19 - 2	17. 09		
	TC19 - 6	17. 35		
	ZK15 - 1	16. 19		
	TC19 - 5	16. 92		

金山热液期方解石 $\delta^{13}C$‰值为 - 6. 21,与岩体中方解石 $\delta^{13}C$‰值 - 2. 37 有明显区别。

4. 铅同位素

两个黄铁矿样品中,铅同位素测定结果

Pb^{206}/Pb^{204}为 18.211～18.366，Pb^{207}/Pb^{204}为 15.603～15.663，Pb^{208}/Pb^{204}为 38.427～38.794，其模式年龄为 159Ma～194Ma，μ值为 8.65，其年龄相当于中川花岗岩体侵入晚期。

表 2-9-4　金山矿床矿石中氧、氢、碳同位素与中川岩体比较

地区	样号	测定矿物	δD‰(SMOW)		$\delta^{18}O$‰(SMOW)		$\delta^{13}C$‰(PDB)	
			分值	平均值	分值	平均值	分值	平均值
金山	91-2	石英	-69.8	-69.8	15.48	15.48		
中川花岗岩	A-109	石英	-98.54	-89.03	5.09	3.68		
	A-111	石英	-79.52		2.27			
金山	ZK7-1	方解石			15.73	15.88	-6.41	-6.21
	ZK16-1	方解石			16.03		-6.01	
中川花岗岩	ZC-γ	方解石			3.32	3.32	-2.37	-2.37

(二)成矿温度、压力

金山主要矿体的成矿温度为 140℃～280℃(见表 2-9-2)，属中低温热液矿床成矿温度。对矿石矿物进行包裹体 CO_2 流体压力测定，得压力值为 210atm～603atm，平均 448.6atm，推测成矿时上复地层厚度不超过 850～1800m。

(三)成矿流体特征

石英、方解石中所见包裹体多为液相包裹体，盐度为 6.9wt%NaCl～11.6wt%NaCl，平均为 8.4wt%NaCl，矿化度 13.80g/L～130.82g/L，平均为 76.27g/L，成矿溶液相当于卤水。

包裹体水溶液中含 SO_4^{2-}、Cl^-、F^- 等阴离子，且 SO_4^{2-} 大于 Cl^-、大于 F^-。阳离子有 Ca^{2+}、Na^+、K^+、Mg^{2+} 等，且 Ca^{2+} 大于 Na^+、大于 K^+、大于 Mg^{2+}。

(四)稀土元素特征

中川岩体与各类脉岩稀土元素组成特征十分相似，ΣREE 值为 116.597～174.472，变化小，说明岩体和岩脉为同源产物。金山蚀变矿化体 ΣREE 值为 283.29，与未蚀变围岩 ΣREE 值 213.49 相近，组成特征亦相似(表 2-9-5)。

表 2-9-5　金山矿床与中川岩体稀土元素数据($\times10^{-6}$)

样品名称	样品数	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Cd	Tb
中川花岗岩	5	33.684	61.07	6.260	24.258	4.784	0.749	3.316	0.485
煌斑岩	6	33.907	64.508	7.059	29.785	6.051	1.634	4.857	0.747
金山围岩	1	40.878	72.397	8.185	34.272	6.820	1.302	5.677	0.969
金山矿(化)体	2	56.676	103.722	106.615	44.113	8.151	1.523	5.963	1.020
样品名称	样品数	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE
中川花岗岩	5	2.460	0.445	1.141	0.175	1.093	0.160	12.240	152.320
煌斑岩	6	3.872	0.719	1.865	0.292	1.733	0.256	17.142	174.427
金山围岩	1	5.435	1.091	3.096	0.501	3.116	0.463	29.291	213.493
金山矿(化)体	2	5.994	1.329	3.789	0.619	3.727	0.579	35.461	283.29

(五)微量元素特征

单矿物化学分析结果见表 2 - 9 - 6。

表 2 - 9 - 6　单矿物化学分析结果

矿物名称	Au($\times10^{-6}$)	Ag($\times10^{-6}$)	As(%)	Fe(%)	S(%)	Co(%)	Ni(%)	Se(%)	Te(%)
毒砂	174	15.4	41.87	36.70	20.75				
黄铁矿	10.7	6.2	0.98	44.63	47.12	0.008	0.014	0.0023	< 0.001
综合脉石	0.7	1.5	0.033		0.28				

从表中可以看出,黄铁矿等矿物中 Co 为 0.008%, Ni 为 0.014%, Co/ Ni = 0.57; S 为 47.12%, Se 为 0.0023%, Te 为小于 0.001%, Se/ Te 大于 2, S/ Se = 20487。这些数据表明这些硫化物又具岩浆热液成因的特点。

四、控矿因素及成矿模式

(一)控矿因素分析

1. 地质背景对成矿的控制

金山矿床处于西秦岭 3 个构造岩浆活化区之一的闾井—罗坝区中。强烈的构造运动和大规模岩浆活动为成矿提供了强大热动力,使地层中金得到活化、迁移。同时,切穿地壳的深(大)断裂为深部成矿物质的带入创造了条件,部分岩浆热液也参与成矿作用,这就为成矿提供了丰富的物质来源。有利的地质背景从宏观上控制了礼县、岷县一带金矿化集中区的形成。

2. 含金建造与成矿关系

区内广泛出露的上古生界地层是一套以浊积相为主的高背景含金建造,且富含硫化物,有机质含量为 0.04%～0.18%,表明地层中金为易释放金。虽然地层、岩性没有直接控制作用,但从稳定同位素、成矿流体、稀土元素组成等研究成果看,这套地层是成矿流体和金的重要提供者。

3. 构造是成矿的主导因素

构造运动,尤其对该区影响最强烈的印支—燕山早期运动,自始至终主导了成矿作用的全过程。

褶皱构造对成矿控制作用不显著,而断裂构造对成矿具有明显的多级控制作用。如前所述,区域性近东西向、北北东向深大断裂的交汇处控制着岩浆活化区的位置,从而控制了金矿化集中区的形成。同时,深大断裂本身既是大气降水下渗的通道,又是深部成矿流体向上运移的导矿构造,而沿深大断裂带因强烈挤压、剪切产生的热动力使岩石发生变形、变质及次级构造,为含金热液的产生、转移提供了条件。

深大断裂的次级断裂,既控制着岩体的位置,也直接控制着矿床的分布。高桥—礼县断裂的北支控制着李坝等金矿床的展布,而南支则控制着金山等矿床的展布。南支断裂带由近东西向平行的两条主断裂构成,是矿床导矿构造,金山矿床的主矿体均赋存于两条断裂挟持的地段内。两条断裂间呈北北东—北东向的张皮沟、吴家庄—金洞沟断裂是其次级断裂,为重要的布矿构造,含矿较弱或不含矿。三级、四级断裂及片理化带、节理密集带则是矿体定位空间。如 30#、35# 等矿体赋存于近东西向破碎带型构造中,10# 矿体则赋存于南北向节理裂隙带中。

据观察,控制矿体产出的断裂破碎带的内部组成主要有以下几种形式(图 2-9-4)。

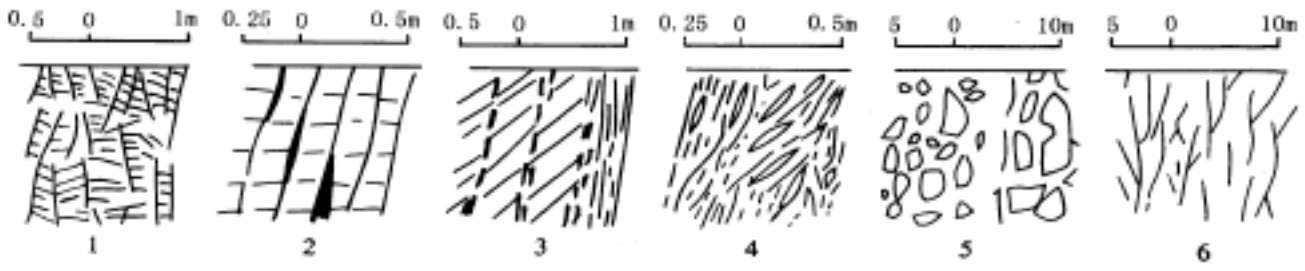


图 2-9-4 控矿断裂的构造类型素描图

1—裂隙带;2—节理带;3—劈理带;4—断裂破碎带;5—断层角砾带;6—树支状裂隙带

(1)裂隙带。由大量不连续的裂隙组成,裂隙的位移不大,但密集的裂隙使带内岩石切错强烈。

(2)节理带。由一组或几组节理组成,岩石被切割破碎。

(3)劈理及折劈理带。由近于平行的连续劈理组成,地层发生牵引时形成折劈理。

(4)断裂破碎带。带内岩石破碎疏松,没有明显的定向裂隙,由断层角砾不规则裂隙和细脉组成。

(5)断层角砾带。由棱角状角砾岩组成,有时呈拼接状,被石英脉、矿脉交结。

(6)树枝状裂隙。由不规则的张裂隙组成,具曲折分支形态。

受“X”型共轭断裂控制的岩体,在其侵入时形成环绕岩体的环状、锥状裂隙系统,常改造、迁就原有裂隙,倾向岩体,在岩体强力侵位后的晚期脆性变形阶段,形成具张剪性的正断层,容易成为岩浆和热液运移、充填的通道。因此,岩体侵位形成的裂隙也是矿床重要的控矿构造。

4. 岩浆岩对成矿的制约

岩浆岩对金矿的控制作用主要表现在:

(1)提供热源。使大气降水、地层建造水受热升温,在环流过程中溶滤地层中成矿元素,使之成为含矿热卤水。同时,使围岩发生热变质,围绕岩体形成红柱石—堇青石带、黑云母带、绿泥石—绢云母变质带,改变岩石结构及矿物成分,形成堇青石—黑云母斑点、黑云母—石英—黄铁矿斑点等各种斑点构造及变斑状构造,使矿物粒度及孔隙度增大,有利于热液充填、交代成矿。

(2)侵入构造是重要的控矿构造,不再赘述。

(3)提供流体和成矿物质。本区岩浆岩金丰度仅为 2×10^{-9}～3×10^{-9},比围岩低,但岩浆结晶分异作用可造成岩浆热液中金的富集,这些岩浆热液中金可参与成矿。对稳定同位素及包裹体的研究也表明成矿流体可能混入部分岩浆热液,为一种多来源混合流体。

(4)控制矿床定位。金山矿床为硫化物(砷化物)—金型,成矿元素组合为金—砷—锑型,成矿温度为 140℃～280℃。该类金矿不同于高温低硫化物石英脉型矿床,成矿流体中金主要以金硫络离子形式存在。金硫络合物在高温阶段稳定,中低温阶段及压力下降时易于离解。因此,在岩体逐渐冷却的岩浆期后阶段,其中低温梯度带内的断裂破碎带成为金矿定位的主要场所。

(二)成矿时代及期次

1. 成矿时代

根据铅同位素模式年龄计算,成矿时代为 159Ma～194Ma,为燕山期,与中川岩体晚期侵入相一致或略晚,而比脉岩的侵入略早,形成于大规模岩浆活动期之后。

2. 成矿期次

金山矿床成矿经历了成岩期、热液期、变质期、表生期。

(1)成岩期。沿礼县—高桥同生断裂的热水喷流及浊积岩的沉积,形成莓球状黄铁矿、浸染状及团粒状黄铁矿,并形成金的高背景值。

(2)热液成矿期。是矿床形成的主要成矿期。根据矿物组合、矿石结构构造特点至少分 3 个成矿阶段。

①早期石英—硫化物阶段。形成黄铁矿、毒砂、石英。黄铁矿为粗晶,石英呈白色,不具金矿化或仅弱矿化。

②中期硫化物阶段。形成黄铁矿—毒砂—磁黄铁矿组合,伴有金矿化。

③晚期碳酸岩—石英—多金属硫化物阶段。形成磁黄铁矿、毒砂、黄铁矿的同时,出现铜、铅锌、锑硫化物、复硫盐、碳酸盐等矿物,是金的主要成矿期。

(3)变质期。沿岩石裂隙形成变质白色石英脉或薄膜状黄铁矿,金矿化弱。

(4)表生期。硫化物被氧化,形成以褐铁矿为主的氧化矿石,伴随金的次生富集。

(三)成矿模式及矿床成因

对金山矿床的成矿模式可归纳为以下几点:

(1)晚古生界含金建造为成矿提供了主要矿源。

(2)印支—燕山运动早期,强烈的俯冲挤压造山运动,导致深部地层局部重熔,形成原始花岗岩浆。同时,地层发生固态塑性变形和韧性变形,伴随含水矿物脱水,并使建造水得到初步集中。

(3)中期,伴随深断裂的多次活动,岩浆多期侵入,形成中川复式岩体,并伴有热接触变质作用。沿断裂裂隙系统下渗的大气降水及建造水、变质水在岩浆热动力的驱动下,升温、运移,不断溶滤地层中成矿物质,并与岩浆水、深源水混合,形成多来源、富含成矿物质的热卤水。

(4)在岩浆主侵入期后岩体趋于冷却的伸展环境中,热卤水沿深断裂上升进入浅部次级断裂裂隙系统,由于物理、化学条件的改变,热液平衡系统受到破坏,成矿物质被卸载,主要以交代方式成矿,并伴有围岩的蚀变。由于成矿热液的脉动性及矿物生成顺序的不同,成矿显示出多阶段的特点。

综上所述,金山矿床受多因素控制,具物质多来源,成矿多阶段的特点,其成因类型属地下热(卤)水溶滤金矿床。

第三章　祁连西段金矿

第一节　寒山金矿床

一、区域地质背景

(一)构造

寒山金矿位于北祁连加里东褶皱带西段,朱家大山向斜的西部,紧邻阿尔金断裂东侧 5～10km 处。矿床受控于近东西向展布的韧性剪切带中,剪切带由二条近东西向的区域性大断裂控制,它们与北东向的阿尔金断裂组成“入”字型构造。矿区分布在“入”字型交汇的锐角部位。

(二)地层

区内出露地层有前长城系敦煌岩群、寒武纪地层、奥陶纪阴沟群、中堡群、妖魔山组、南石门子组、志留纪泉脑沟山组、旱峡组、石炭系羊虎沟组以及第四纪盖层(图 3 - 1 - 1)。

寒山金矿位于阴沟群地层中,该地层在青石峡 - 朱家大山一带较为发育。其下以火山熔岩为主,其上以火山碎屑岩为主。火山碎屑岩副矿物内自然金出现率为 33%,熔岩自然金出现率为零。阴沟群沉积夹层有复成分砾岩、岩屑长石砂岩、粉砂岩、灰岩。粉砂岩内有水平层理,在岩层内产笔石、腕足类化石。该群为海岸 - 陆棚火山岩夹碎屑岩建造。

(三)侵入岩

区内有吕梁期、加里东期、华力西期侵入岩(图 3 - 1 - 1)。呈近东西向带状分布。吕梁期侵入岩分布于鹰咀山西,加里东期侵入岩分布于矿区南侧及朱家大山南部,华力西期侵入岩分布于红口子—车路沟北山一带。

展布于区内的加里东期中粒斜长花岗岩($\gamma\sigma_3^{3b}$)为本区规模最大的岩体。分布于青山一带,长 28km,宽 0.4～4km。

区内脉岩有超基性岩脉、辉绿岩脉、伟晶岩脉、石英脉等。石英脉广布区内,其他脉岩集中于鹰咀山一带。

(四)火山岩

区内火山岩发育,含矿地层奥陶系阴沟群整体上是一套火山碎屑岩、火山熔岩夹碎屑岩建造。火山岩成分以中性为主,夹酸性火山岩。岩性为安山质凝灰岩、安山质凝灰熔岩、安山岩、英安质凝灰岩、英安质凝灰熔岩、英安岩。

(五)区域矿产

区内矿产主要有金、铜、锰、铁、煤五个矿种。金矿为区内的主要矿种。有砂金、脉金、蚀变岩型金矿。砂金主要分布在黑大板北坡和车路沟山南坡。脉金主要分布在车路沟山一带。蚀变岩型金矿有寒山金矿床和牛毛泉金矿点。除以上金矿外,还有与超基性岩有关的鹰咀山金矿。铜矿分布在红口子—巴个峡一带。锰矿主要分布在黑峡口。铁矿分布在西湖泉一带。煤

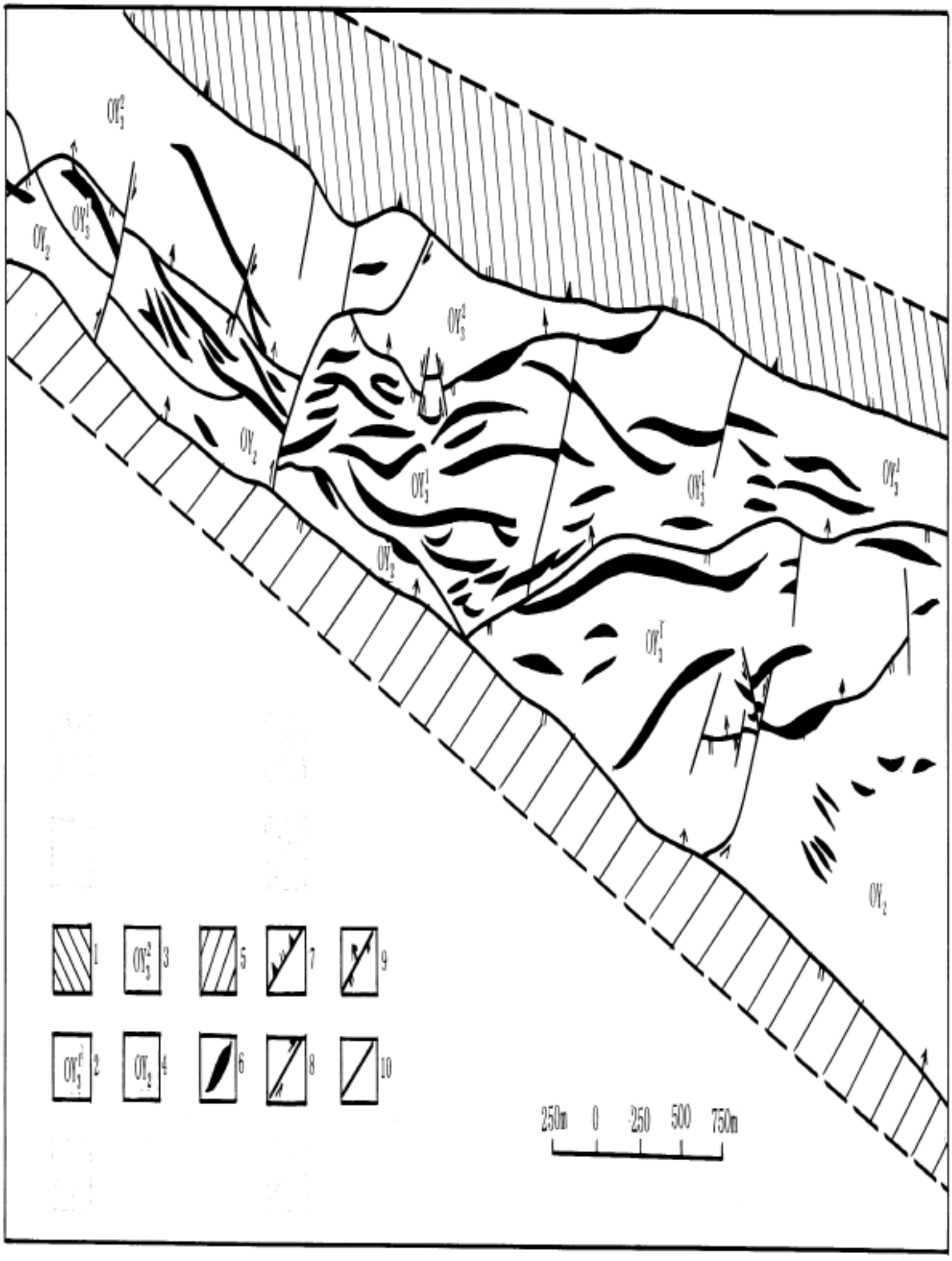

OV_3^2
OV_3^1
OV_2
OV_3^2
OV_2
OV_3^1
OV_3^1
OV_3^1
OV_2
OV_3^1
OV_2
1
OV_3^2 3
5
7
9
OV_3^1 2
OV_2 4
6
8
10
250m 0 250 500 750m

图 3 - 1 - 1

矿分布在红口子、巴个峡、结子沟一带。

二、矿床地质特征

(一)控矿条件及找矿标志

1. 控矿条件

寒山金矿的形成主要受含矿岩层和控矿构造两大因素控制。矿区内分布的奥陶系阴沟群是矿床形成的矿源层,近东西向展布的韧脆性剪切带构造是矿床形成的直接定位因素。

阴沟群地层:矿区内该地层呈东西向带状展布,南部与加里东石英闪长岩体呈断层(F_2)接触。北部与上奥陶统妖魔山灰岩呈推覆断裂接触(F_1)。南北平均宽度为 400m,东宽西窄。在矿区内自下而上分为中组、上组两部分。

中组:集中分布于矿区东南部,南与加里东石英闪长岩体呈断层接触,北与上组呈断层接触关系。其岩性主要为灰绿色凝灰质板岩、凝灰质千枚岩、变细砂岩、变质长石石英岩屑砂岩,局部地段夹安山质角砾岩。该岩组褐铁矿化明显,宏观上表现为一条条的褐色条带,并偶有一些小褐黄色的蚀变带,取样 Au 含量 0.1×10^{-6}～0.2×10^{-6}。岩层变形强烈,普遍发育片理构造,岩石露头上可见到原始层理(S_0)与后期面理(S_1)的相交现象。

上组:分布于矿区中部,是矿区主要的赋矿层位。南与中组及加里东石英闪长岩体呈断层接触,北与妖魔山组灰岩呈推覆断裂接触。根据岩石组合及含矿特征可进一步分上下二个岩段。一段主要为安山质角砾岩、片理化安山质凝灰岩、片理化英安质凝灰岩。各种岩石类型之间为渐变关系。该岩层内劈理片理极为发育,其产状与层理基本一致,倾向 340°～355°,倾角为 45°～50°。岩层具明显的韧脆性变形特征,表现为发育的石香肠、矿物拉伸线理、糜棱岩、“a”型小褶皱等构造变形体。大部分矿(化)体产于该岩段中。二段主要为一套以酸性火山岩为主的岩石组合,其类型有片理化英安岩、片理化英安质凝灰岩,夹少量的安山质岩石及变砂岩。该岩段内的韧脆性构造变形体不如一段发育,导致矿体分布少且规模以及矿石质量均不如一段内分布的矿体。

两岩段之间呈断层接触关系(F_3)。

阴沟群区域上分布较稳定,而且发育同岩层走向一致的区域性大断裂。岩层据地球化学特征反映普遍含金量较高,其丰度值高出地壳丰度值几倍至几十倍,是特有的高金背景区。金矿化发育,在矿区西部有牛毛泉金矿点、东部有阳凹大泉金矿化点分布。由此说明阴沟群地层与金元素关系密切,为金矿成矿准备了物质条件,可以说阴沟群就是寒山金矿形成的矿源层。

构造控矿。矿床产于东西向展布的韧脆性剪切带中,所有矿体无一例外的分布于剪切带内,剪切带受矿区南北 F_1 和 F_2 两大断裂的控制,可以说 F_1 和 F_2 断裂是矿床形成的导矿构造。受控于剪切带内的近东西向断层是矿体赋存的容矿构造。大多数蚀变带,矿体就沿断层分布。

2. 找矿标志

(1)蚀变标志。矿区内矿带在地表一般表现为褐黄色、黄白色相间的条带,容易识别及区分。石英脉型矿石,硫化物越多或细粒黄铁矿空洞越多,矿石质量就越好。蚀变岩型矿石必须强硅化,而且破碎要保留残余片理构造,矿化就好。绢云母化强烈,黄铁矿多或晶洞多,矿石质量就好。

(2)地球化学标志。金矿化有 Au、As、Sb、Hg、Ag 等元素组成的综合异常存在。一般 Au

含量达 5×10^{-9} 出现异常,在 12×10^{-9} 以上可以见到蚀变带,达到 80×10^{-9} 以上就有矿体存在。

(3)重砂异常标志。一般有金的自然重砂异常或金的高点,粒数多、且粒度大的情况下也是找矿的重要线索。

(二)矿体特征及工业类型

寒山金矿床金矿体严格受区内构造控制,呈北西向展布,矿带东西长约 6km,南北宽约 0.4～0.6km,金矿体均产在构造蚀变带中,经 1:2000 地质测量,共圈定构造蚀变带 65 条,其中宽度大于 1m 或长度大于 100m 的构造蚀变带有 33 条。现查明的矿体(即地表品位大于或等于 0.5×10^{-6})有 29 条,矿体基本呈平行带状排列(图 3-1-2)。

总的来说,矿床规模较大,但品位较低,就单个矿体而言,其内部结构标志的变化大于矿体外部形态的变化,在横向上,中部较宽,两边较窄,沿倾向呈波状延伸形态。

矿体中 8 号、11 号、6 号矿规模最大,为矿区的主矿体。

矿体顶底板围岩均为中酸性火山碎屑岩,见图 3-1-2。受热液蚀变,在矿体与围岩接触或矿体中夹石,均遭不同程度的绢云母化、碳酸盐化等,夹石呈透镜状,厚度 < 2m,其断续分布于矿体中,影响了矿石质量,降低了矿石品位。

1. 矿石的物质组成

矿石的矿物成分及主要金属矿物特征见表 3-1-1。

(1)自然元素。矿石中的自然元素有自然金、自然铅和自然铜。

自然金:多呈银金矿,晶体发育不全,多呈粒状、片状、板状、棒状、鳞片状、弯钩状、树枝状、蜂窝状、孤岛状等。在显微镜下观察自然金具极强延展性,强金属光泽,颜色多为金黄色,部分黄白色,有些因表面铁染呈红褐色,不透明,粒径 0.025～0.15mm,最大者 1.05mm,属微粒—中粒金。

自然铅与自然铜含量甚微,不再详述。

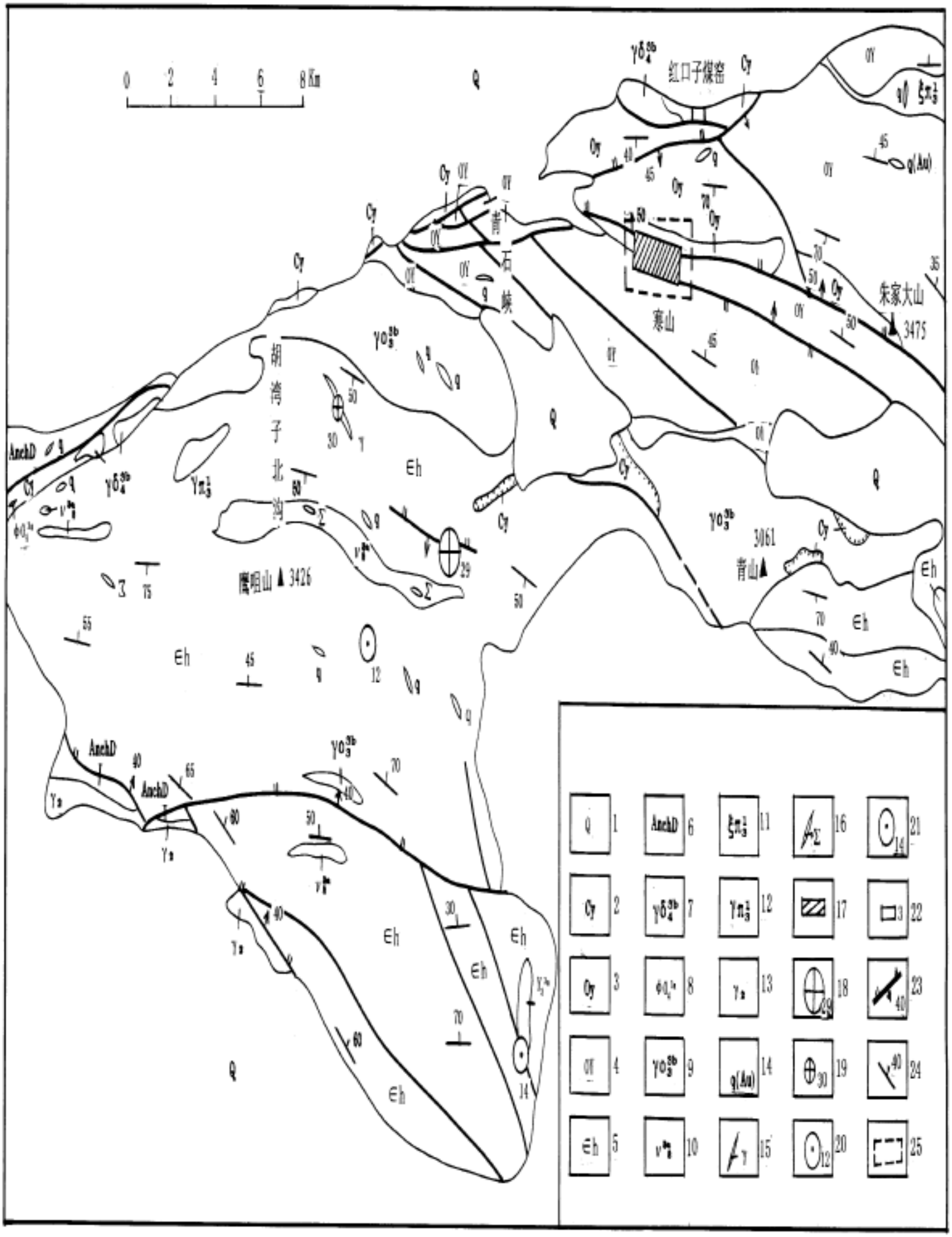
(2)硫化物。矿石所含硫化物种类较多,如表 3-1-1 所述。根据矿物在矿床中的作用和相对含量,仅对有重要意义的黄铁矿、方铅矿作详细描述。

黄铁矿。黄铁矿是寒山金矿床矿石中自然金的主要共生和伴生矿物,也是主要载金矿物。呈浸染状和细脉浸染状产于热液胶结物中,常以立方体和五角十二面体出现。分两期产出:在第二矿化阶段中,呈浸染状产出,自然金在黄铁矿中呈包裹金;在第三矿化阶段,呈细脉浸染状、脉状或团块状产出于热液胶结物中,自然金主要呈裂隙金、晶隙金、包裹金产出。

方铅矿。也是金矿床矿石中的自然金的共生和伴生矿物,也是主要载金矿物之一,主要在第三矿化阶段中,呈细脉浸染状或团块状产出于热液交代结构物中。镜下所见方铅矿多具交代残余结构,形态不规则,颗粒边部多见凹坑,周围被铅矾包围,自然金包于氧化物铅矾之中,呈片状。

(3)硅酸盐。由表 3-1-1 可见,矿石中硅酸盐矿物有绢云母、长石、直闪石、透闪石、阳起石、绿泥石等,此外,在氧化矿石中可见高岭石等矿物。

绢云母是最基本的脉石矿物之一,主要分布在矿体边部。矿物为鳞片状、片状或鳞片状集合体,发育有一组极完全解理,在其粒间或解理缝中可见黄铁矿等载金矿物。



注：图测文字说明见下页

图 3 - 1 - 2

表 3 - 1 - 1　矿石矿物成分及主要金属矿物

矿物类别	矿物及其含量			备注
	主量	少量	微量及个别	
自然元素		自然金 1～63 粒	铅、铜	自然金主要以银金矿产出
硫化物	黄铁矿 10%～20%;方铅矿 0%～10%;毒砂 0%～12%;	黄铜矿 0%～2%;闪锌矿 0%～1%;磁黄铁矿 0%～1%	铜蓝、斑铜矿、辉铜矿、辉钼矿	
硅酸盐	绢云母 10%～80%;高岭土 5%～60%	长石、透闪石、阳起石、直闪石	绿泥石	高岭石主要见于氧化带中
氧化物及氢氧化物	石英 > 30%	磁铁矿、褐铁矿、赤铁矿	铌钛矿、金红石、针铁矿、纤铁矿	
硫酸盐	黄钾铁矾	铅矾、胆矾	重晶石	氧化带中多见
碳酸盐	白云石 2%～10%;方解石 3%～10%	孔雀石 0%～3%	蓝铜矿、白铅矿、菱铁矿	
其　他	臭葱石 5%～20%		钼铅石、鳞灰石	臭葱石见于氧化矿中

(4)氧化物及氢氧化物。矿石中的氧化物及氢氧化物主要有石英、磁铁矿、褐铁矿、赤铁矿、金红石、铌钛矿、针铁矿、纤铁矿等。

石英含量(3%～95%),一般大于 30%,主要产于矿体中部带,常呈团块状、浸染状、脉状产出,为主要脉石矿物之一。

(5)硫酸盐。矿石中的硫酸盐主要有黄钾铁矾、铅钒、胆矾、重晶石等,其中黄钾铁矾、铅矾、胆矾主要见于氧化带矿石中,而黄钾铁矾广泛分布于构造蚀变带中,形成地表宏观上最重要的找矿标志。

胆矾断续分布于矿体中,呈不规则状、透镜状。严重影响矿石质量,对选矿不利。

(6)碳酸盐。矿石中的碳酸盐有白云石、方解石、孔雀石、蓝铜矿、菱铁矿、白铅矿等。其中白云石、方解石含量较高,可达 3%～10%之间,主要产在近矿围岩中或矿石夹石中,部分方解石呈细脉状产于矿体中。

此外,矿石中还有臭葱石、钼铅矿、磷灰石等矿物。臭葱石含量较高,达 1%～15%,主要见于氧化矿石中。钼铅矿、磷灰石含量甚微。

(7)矿石的化学成分。根据主要氧化物分析结果(表 3 - 1 - 2)和矿石多元素分析结果(表 3 - 1 - 3)及矿石微量元素分析(表 3 - 1 - 4),矿石均属硫化物含砷的金矿石。有用组分主要为 Au、As、Pb、Sb、Ag、Bi、Mo、Co 等,含量很高。矿石金含量一般为 0.5×10^{-6}～4.5×10^{-6},局部富集地段可达 5×10^{-6}～50×10^{-6},个别点高达 260×10^{-6}～280×10^{-6}。

2. 矿石的结构、构造

1)矿石结构

矿石由金属矿物及脉石矿物构成。根据矿石中主要矿物的镶嵌关系和交代现象,可分出以下几种矿石结构:

自形、半自形结构:黄铁矿呈自形五角二面体、立方体;毒砂呈菱面体,纺锤体自形存在;方铅矿呈立方体自形存在。

表 3 - 1 - 2　矿石主要氧化物组成表

样　号	氧　化　物　(%)								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	P_2O_5	TiO_2
D_3K_3YQ - 2	70.09	10.82	6.47	0.35	3.6	0.63	0.36	0.00	0.49
D_3K_3YQ - 3	57.04	15.04	2.18	1.30	2.8	5.69	2.72	0.13	0.56
D_3K_2YQ - 4	73.07	7.25	6.39	0.12	1.5	1.33	0.50	0.09	0.25
D_3YQ - 6	63.87	11.73	9.10	0.32	2.8	0.76	0.36	0.13	0.71

表 3 - 1 - 3　矿石组合分析结果表

样　号	分　析　结　果					备　注
	Au×10^{-6}	Ag×10^{-6}	Cu%	Pb%	Zn%	
D_3 H - 3	18.7	34	0.02	0.13	0.44	
Ⅲ PD1021YM_2 H - 14	4.6	10	0.02	0.19	0.11	
D_3TC124 - 2H - 11	2.7	5	0.01	0.04	0.02	
Ⅲ PD102YM_3 H - 17	547	112	0.60	7.00	2.76	
D_3TJ - 8	5.6	6	0.03	0.08	0.02	
D_3 H138 - 13	3.4	7	0.01	0.04	0.02	
Ⅲ PD1021YM_2 H - 6	33.4	62	0.54	0.90	5.36	

表 3 - 1 - 4　微量元素组合特征表

元素	平均值 1×10^{-6}	泰勒克拉克值 1×10^{-6}	倍数	元素	平均值 1×10^{-6}	泰勒克拉克值 1×10^{-6}	倍数
Ba	306	425	0.7	Mo	6.6	1.5	4.4
As	6000	1.8	3333	V	30	135	0.22
Sb	38	0.2	190	Cu	32.5	15.4	2.1
Pb	498	12.5	40	Zr	40	100	0.4
Mn	40	950	0.04	Y	30	33	1
W	5.25	1.5	3.5	Zn	85	70	1.2
Cr	224	100	2.24	Ag	5	0.07	71.4
Ni	12	25	0.48	Co	5.75	1.5	4
Bi	1	0.17	6	Li	20	20	1

放射结构:黄铁矿中心呈粒状或立方体,周围呈密集的放射状、针状黄铁矿构成。

他形粒状结构:黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿、闪锌矿呈他形粒状结构。

交代结构:毒砂交代黄铁矿。

次生加大边结构:自形晶黄铁矿周边有次生加大边,边宽有 1～5mm 不等。

包含结构:有部分毒砂被黄铁矿包含。

镶嵌结构:方铅矿呈不规则他形与黄铁矿、黄铜矿紧密镶嵌。

2)矿石的主要构造

脉状构造:硫化物呈粗细不等的脉状分布。

浸染状构造:硫化物以稀疏或稠密浸染状分布于脉石中。

网脉状构造:多金属硫化物呈网脉状充填于矿石中。

团块状构造:主要表现为多金属硫化物呈团块状产于热液胶结物中。

蜂窝状构造:主要见于氧化带矿石中,石英脉型金矿中硫化物经氧化淋滤后,留下许多空洞,状似蜂窝。

3)金矿物的嵌布关系与存在形式

金矿物主要嵌布在泥质成分和石英与泥质连接处;金矿物嵌布于石英或黄铁矿裂隙中;金矿物包于石英之中和黄铁矿中;金矿物与黄铁矿、毒砂连生。

经电子探针分析结果表明,金主要以银金矿形式存在。金主要分布于泥质、石英与泥质接触处,石英裂隙及硫化物裂隙中,这部分金占 90%左右,其余 10%的金以包裹体形式存在。金矿物的工艺粒度较细,小于 40μm 的金占 85%～90%,尽管粒度偏细,但包裹金是少数,属于较易选、较易浸矿石。

(三)矿石类型

矿石按成矿作用的不同,可分为氧化矿石和原生矿石两类。原生矿石是中 - 低温热液阶段的产物,氧化矿石是原生矿氧化而成的。

1)原生矿石

寒山金矿体具有明显的分带特征,由上至下,原生矿赋存于 15m 以下的原生带中。由外向内,绢云母含量降低,石英含量升高。原生矿石按矿物组合特征划分为:

(1)黄铁绢云片岩金矿石。该类原生矿石含量不高,约占总矿量的 5%左右。绢云母含量为 60%～80%,黄铁矿占 10%～15%,白云石占 5%左右,绿泥石占 3%左右。该类矿石品位较低,平均 1.2×10^{-6}。金的粒径小,约 0.025mm。

(2)黄铁石英绢云片岩金矿石。该类矿石约占总矿量的 20%。绢云母含量 50%左右,石英占 30%左右,黄铁矿占 10%～15%,另外还含少量白云石、绿泥石、透闪石、阳起石等矿物。

金的平均品位一般在 1×10^{-6}～3×10^{-6} 之间,平均 1.6×10^{-6} 左右,金的粒径在 0.03～0.15mm 之间。

(3)黄铁绢云石英片岩金矿石。是本区原生矿石的主体,约占总矿石量的 40%左右。主要脉石矿物有:石英占 50%左右,绢云母占 30%左右,还有少量透闪石,阳起石等。金属矿物见黄铁矿 15%,少量磁铁矿、方铅矿等。

矿石品位在 2×10^{-6}～10×10^{-6} 之间,平均 2.4×10^{-6},金的粒径在 0.1～0.4mm 之间。

(4)石英岩金矿石。该类矿石含量相对较低,约占总矿石量的 15%左右。脉石矿物有石英 75%～95%、绢云母 2%～10%、直闪石 3%左右。金属矿物是黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、毒砂等,含量变化较大。

矿石品位在 3×10^{-6}～20×10^{-6} 之间,平均 5×10^{-6}。金的粒径在 0.02～0.025mm 之间。

(5)多金属石英脉型金矿石。脉石矿物主要为石英。金属矿物有方铅矿、黄铁矿、磁铁矿、

黄铜矿、毒砂、磁黄铁矿、闪锌矿等。

矿石品位相对较高，在 3×10^{-6}～50×10^{-6} 之间，个别高达 280×10^{-6}，一般平均 6×10^{-6}～8×10^{-6}。金的粒径在 0.03～0.05mm 之间。

2)氧化矿石

由原生矿石强烈氧化而成，矿石因氧化淋滤而常具粉末状、多孔状构造。一般仅见于地表向下 15m 以内，相应的氧化矿石类型有：

(1)黄钾铁矾高岭土金矿石。主要由黄铁绢云片岩金矿石、黄铁石英绢云片岩金矿石氧化淋滤而成，矿石品位一般在 0.2×10^{-6}～2×10^{-6} 之间。

(2)黄钾铁矾高岭土石英岩金矿石。主要由黄铁绢云石英片岩金矿石和石英岩金矿石氧化淋滤而成，品位较高，一般在 2×10^{-6}～20×10^{-6} 之间，是本区氧化矿床的主体。

(3)蜂窝状石英脉型金矿石。由多金属石英脉型金矿石氧化淋滤而成，规模较小，但品位特高，个别样高达 260×10^{-6}，一般品位在 5×10^{-6}～50×10^{-6} 之间。

(四)蚀变类型及其分带

矿体产于蚀变带中，一般说蚀变带就是矿体。区内蚀变带极其发育，类型较多，分带明显且具明显的对称型特点。不同类型的蚀变带对矿石质量有着不同的影响。综合大多数蚀变带特征，蚀变带分带由矿体中心至外依次为硅化→黄铁绢英岩化、绢英岩化→高岭土(泥化)→铁染带(红带、褐带)→碳酸岩化。

(1)硅化带。为矿体中心，在一些矿体中硅化程度极高，已达到碎裂石英岩。含有细粒硫化物，主要为黄铁矿、毒砂，该带中有较多的石英脉穿插，品位较高。

(2)黄铁绢英岩化带。地表为黄土状，较疏松，可见片理残余及黄白相间的颜色条带，也可见少量石英碎块分布其中。品位次于硅化带。

(3)高岭土(泥化)带。有的矿体中可见，一般为土状粘土物质。它是由绢云母、长石类矿物进一步蚀变风化等因素造成。品位一般较低。

(4)铁染带(褐红带)。它为矿体直接接触的围岩，主要为黄铁矿化风化呈褐铁矿化，成为红带。

(5)碳酸盐化带。分布在未经全部蚀变的原岩中。根据对蚀变带含矿性的研究，蚀变带对金矿的富集产生有以下作用：多种热液蚀变叠加地段品位一般较富，特别是氧化矿中、绢云母化、黄铁绢英岩化叠加硅化金品位较富；原生矿中黄铁矿、毒砂等硫化物含量高，金品位高；蚀变带分布越宽，厚度越大，品位较高且中部比边部高。

三、矿床地球化学

(一)成矿温压条件

对矿区所采 3 个石英气液包裹体样品，用均一法测得成矿温度为 72℃～374℃。主要在 95℃～250℃之间，由此推算，成矿时压力为 400Pa 左右，属中低温矿床。

(二)成矿流体特征

据对 3 个石英包裹体研究发现，石英中包裹体较丰富，多为 2 相气液包裹体，少数 1 相液体包裹体，前者一般气液比为 10%～20%，少数达 35%，气相呈小点，常温下小气泡晃动，多呈不完全负晶状。包裹体大小为 3～10μm 左右，呈片密集分布，也常沿某方向呈线状或由平行线组成的带状分布。盐度 5.35wt% NaCl～6.57wt% NaCl。

(三)微量元素地球化学

矿区各主要岩石类型的微量元素平均含量见表 3 - 1 - 5。从表中可看出,在矿区褐铁矿化,构造蚀变破碎带中 Au、Ag、As、B、Pb、Sb、Mo 及 Ba、Li 等微量元素平均含量普遍高于克拉克值和区域背景值,其中以 Au、As、Sb、Ag、B、Pb 元素的含量值为最高,是克拉克值、区域背景值以及其他岩性含量的数倍至十数倍;Mo、Cu、Zn 等元素的平均含量低于克拉克值而接近或略高于区域背景值。

表 3 - 1 - 5　寒山金矿区主要岩石类型微量元素含量表(单位:$\times 10^{-6}$)

岩类类型	样品数	As	B	Sb	Pb	Ni	Mo	Cu	Zn	Ag	Co	Ba	Au	Li
凝灰质角砾熔岩	23	15	17.3	12	13	9.3	0.8	24.3	54.3	0.107	10.6	263	0.003	23.1
安山岩	8	15.6	15.5	10	15.8	8.9	0.79	28.1	46.3	0.1	7.9	303	0.003	20
含砾凝灰岩	8	15	20	10	11	12	0.73	41.7	53.3	0.12	9.3	440	0.004	22
褐铁矿化凝灰岩	8	40	31.3	16	30.8	22	1.0	43.8	96.3	0.3	10	305	0.0116	27.5
凝灰质砂岩	12	19.3	23.2	10	29	24.5	0.77	32.3	64.2	0.123	7.3	283	0.007	27.1
板岩	9	15	15	10	8.3	30	0.55	19.8	37.5	0.1	8	280	0.003	20
安山玢岩	15	15	15	10	27.2	10.8	0.78	33.8	56	0.26	8.2	270	0.005	20
蚀变—破碎带	6	>35	26.7	16.7	34.5	13.5	1.07	38	60	1.5	5.3	400	0.0147	28.3
区域背景值	102	15.3	17.8	10	11.7	16.4	0.64	29.2	79.1	0.12	8.8	250	0.004	20
克拉克值(黎彤)		2.2	13	0.6	12	89	1.3	63	94	0.08	25	390	0.004	21

从表 3 - 1 - 6 分析表明,Au 元素与 Au、Sb、Pb、Ag、B 及 Mo 呈显著正相关关系,并以 Au - As、Au - Pb、Au - Sb、Au - Ag 及 As - Sb、As - Mo、As - Ag、Ag - Pb、Ag - Mo 元素对相关程度高,呈极显著相关。这种 As、Pb、Sb、Ag、B、Mo 元素与 Au 的高度相关性,表明该元素组合是本矿区金矿化的主要指示元素组合。

据寒山金矿 132、146 勘探线剖面光谱结果研究 Au 矿化的异常组合元素变化的特点,表现为以 Au、Ag、Sb、Pb、B、Mo、Ba、Li 等元素组合为主,其异常强度在水平方向上都是以矿化带为中心,向外逐渐降低。在这种整体的变化趋势中,又出现间距较小的强度不等的以 Au、Ag、Pb、Sb、As 等元素组合为主的局部中高强度锯齿状组合异常,并且各单元素异常的峰谷大致相对应,这种峰值往往都与金矿化体或蚀变带相套合。

通过初步研究对比,总结出寒山金矿区的地球化学定量预测指标,凡有隐伏金矿化体的地段矿上晕指标参数 $B\times Ba\times Li/1000>300$,$As\times Sb\times Pb\times Ag/1000>300$,$Ag>300\times 10^{-6}$;矿头晕的矿化指标参数 $As\times Sb\times Pb\times Ag/1000>1000$,$Ag>>0.5\times 10^{-6}$,$Ag/Au>>1.0$;在矿体中部晕 $Au/Mo\approx 1.0$,$Ag/Au=1\sim 5$;近矿尾 $Ag/Au<1.0$,$Au/Mo<0.5$。

表 3 - 1 - 6　寒山金矿区微量元素相关系数矩阵表

	As	B	Sb	Pb	Ni	Mo	Cu	Zn	Ag	Co	Ba
As	1	0.5	0.898	0.605	-0.358	0.696	0.154	-0.122	0.683	-0.332	0.38
B		1	0.402	0.432	-0.485	0.629	0.251	-0.112	0.395	-0.247	0.457
Sb			1	0.612	-0.378	0.572	0.301	-0.07	0.462	-0.307	0.389
Pb				1	-0.105	0.679	0.27	0.123	0.606	-0.258	0.221
Ni					1	-0.203	0.368	0.303	-0.59	0.463	-0.003
Mo						1	0.324	0.125	0.698	-0.108	-0.125
Lu							1	0.308	0.38	0.003	-0.21
Zn								1	0.118	0.353	0.237
Ag									1	-0.092	0.343
Co										1	-0.235
Ba											1

四、成矿时代与矿床成因

(一)成矿时代及期次

1. 成矿时代

矿床的形成大致经历了三个大的构造事件:加里东运动使矿区发生火山喷发,形成以中酸性火山岩为主的奥陶系阴沟群地层,该地层中金元素含量较高,奠定了矿床形成的物源。华力西期受阿尔金大断裂的影响,成矿区产生东西向水平剪切应力,形成东西向韧脆性剪切带,使集中于层间裂隙及断层内的成矿溶液在剪切带控制内的小断层中富集成矿。到印支期矿区受再次活动的阿尔金大断裂的影响产生南北向挤压应力,发生推覆构造作用,使矿区北的晚奥陶世妖魔山组推覆于含矿地层早奥陶世阴沟群之上。这次推覆作用一方面使已经形成的矿体破碎,层间及断层内产生的热液带动金元素再次活动、蚀变带叠加、硅化增强,形成富矿柱。另一方面沿断层面形成大量的断层泥,影响矿石质量。

在矿体中采集的同位素,所测年值为 213.95Ma～224.44Ma,反映为印支时期,它应属于最后一次成矿时代。

2. 成矿期次

根据区域地质构造环境、矿床形成条件及矿床地质特征,将矿区金矿的形成分为三期。

(1)岩浆期。早奥陶世,随着岩浆的喷发,产生了以造岩矿物斜长石、角闪石、石英等微晶为主,并伴以成矿元素的岩浆活动,形成了含矿岩层阴沟群主体。

(2)热液期。成矿区经加里东、华力西、印支期多期构造活动,使成矿元素、伴生元素以及岩层内产生的硫酸盐热液不断运移活化,在有利部位富集成矿。

热液期是寒山金矿的主要成矿期,它包括以下几个阶段:

绢云母—石英阶段:富钾、铁的热液流体,在通道中运移时,首先对围岩进行不同程度的交代,形成一系列以绢云母、石英为主的蚀变岩石。由该阶段形成的岩石类型有绢云母片岩、石英绢云片岩、绢云石英片岩和石英岩。

黄铁矿—金矿化阶段:为矿区较主要的成矿阶段。这是黄铁矿化的主矿化阶段,伴生有金矿化,金在黄铁矿中呈包体产出。

石英—多金属—金矿化阶段:是矿区的主要矿化阶段。石英主要呈脉状产出,金属矿物有黄铁矿、方铅矿、磁铁矿、毒砂、黄铜矿、磁黄铁矿、闪锌矿等。金与多金属矿物一起以裂隙金产出,部分在黄铁矿、方铅矿、黄铜矿中呈包体,少数以晶隙金产出。

石英—方解石阶段:此阶段已进入成矿尾声,基本上没有金产出,矿化极不发育。主要表现为石英与方解石呈细脉产于矿石中。

(3)表生作用期。矿化体在物理、化学风化作用下,生成黄钾铁矾、孔雀石、胆矾、高岭石、褐铁矿、臭葱石等次生矿物。表生作用只发生在矿区的近地表,受剥蚀地形控制。表生氧化淋滤的结果,使得矿体中部品位相对较高,边部相对较低,甚至变为夹石。

(二)控矿因素分析

寒山金矿的形成主要受矿源层和控矿构造两大因素制约。

早奥陶世在地壳构造作用的影响下,包括成矿区在内的北祁连区发生火山喷发沉积作用,形成狭长带状展布的以中酸性火山岩为主的阴沟群地层,矿源层基本形成。到加里东期末,整个祁连山区发生强烈的褶皱构造运动,形成北祁连加里东褶皱带。在层间产生的热液参与下,成矿区形成了较高溶解能力的溶液,促使岩层中的硫酸盐、金、银、铜、铅、锌、硅质等活化,组成成矿热液,在层间裂隙及断层内集中形成金的矿化区。

华力西期末成矿区受北侧阿尔金大断裂活动的影响,产生东西水平剪切应力,形成南北受 F_1 和 F_2 两断裂限制的韧脆性剪切带。带内有数条与剪切带平行的小断层产生,集中于层间的成矿热液活动转移,赋存于断层之中形成矿体。同时产生大量的蚀变岩石及蚀变带组合。

印支期末阿尔金大断裂再次活动,使成矿区产生南北向挤压应力,F_1 断层再次活化运动,致使矿区北的晚奥陶世地层妖魔山组由北向南推覆于含矿岩层早奥陶世阴沟群之上。在推覆断裂的影响下,形成于剪切带内的断层、矿体的倾向均转向北倾,而且矿体大部分位移于断层下盘之中,同时在局部部位形成富矿柱。蚀变带产生叠加、硅化增加,矿石质量提高。

除以上成矿因素分析外,矿区内的找矿标志也是极好的成矿因素。

(三)矿床成因

综上所述,寒山金矿床的含矿岩层为阴沟群中酸性火山岩。控矿构造为韧脆性剪切带,矿体赋存在剪切带内的蚀变岩之中。根据以上成矿条件分析,将矿床成因划归为火山岩区剪切带型构造蚀变岩型金矿。

第二节　鹰咀山金矿床

一、区域地质背景

鹰咀山金矿床位于北祁连加里东褶皱带西段,阿尔金走滑大断裂南侧,鹰咀山向斜北翼。矿床赋存于鹰咀山超基性岩体北侧蚀变火山岩内的近东西向断裂中,并且处于该组断裂与阿尔金大断裂呈锐角交汇的部位。

(一)构造

区内加里东期构造变形强烈,褶皱、断裂构造发育,同时伴随着岩浆活动和区域变质作用,为该区主要成矿期。

区内断裂构造按其规模大小可分为四级。

(1)一级断裂为阿尔金走滑大断裂。该断裂走向为北东东,为左行平移性质断裂,系华北板块与塔里木板块的分界线,属陆内转换断层。沿该断裂分布有古老变质岩系,并有华力西中、酸性岩侵入(图 3 - 2 - 1)。

(2)二级断裂有二道沟、鹰咀山南断裂,控制了鹰咀山区地层的发展。

二道沟断裂为北西向,进入鹰咀山转变为北西西向。沿该断裂有花岗岩体侵入,青石峡花岗岩体受其控制,呈北西西向展布。

鹰咀山南断层为北西向的正断层,倾向北,倾角 45°,延伸 20km。沿该断裂有吕梁期花岗岩侵入。被北西向断裂所切割,并发生位移,断距为 400m 左右。

(3)三级断裂为一系列平行展布的断裂群组成,走向有北西向的,也有北西西向的,沿其有超基性、基性岩侵入。

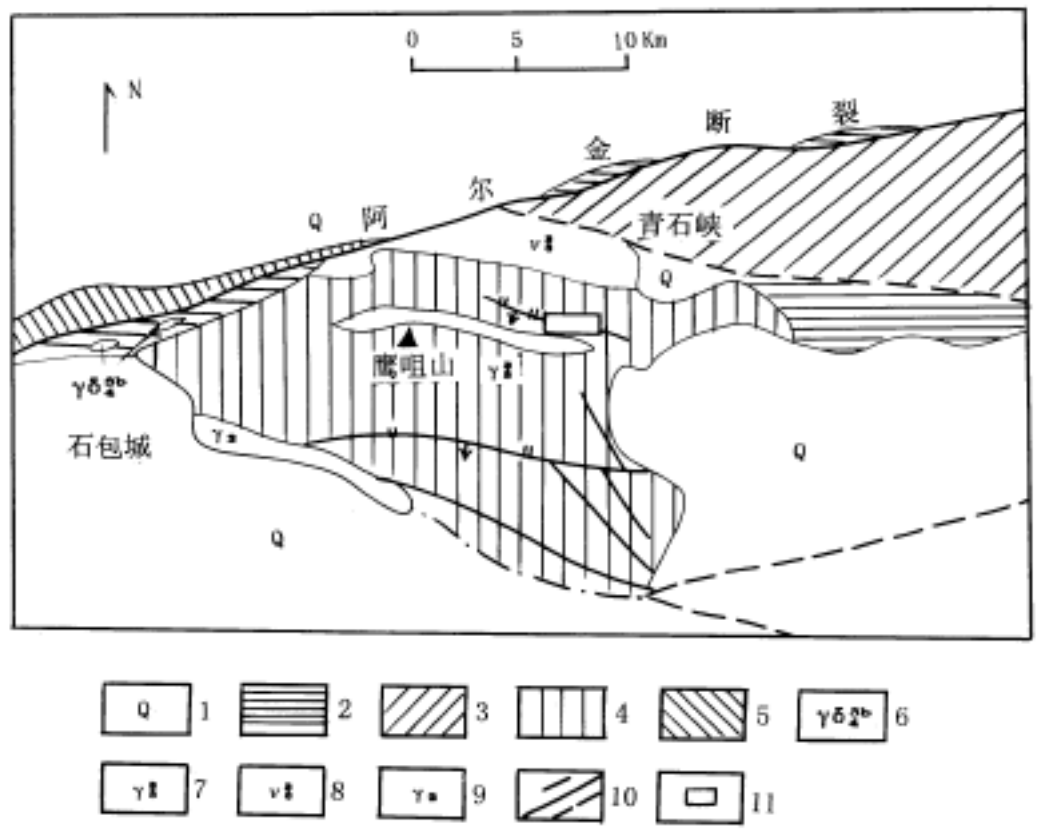


图 3 - 2 - 1 区域地质略图

1—第四系;2—石炭系;3—奥陶系;4—寒武系;5—前长城系;6—花岗闪长岩;7—斜长花岗岩;8—辉长岩;9—片麻状花岗岩;10—断层;11—矿区

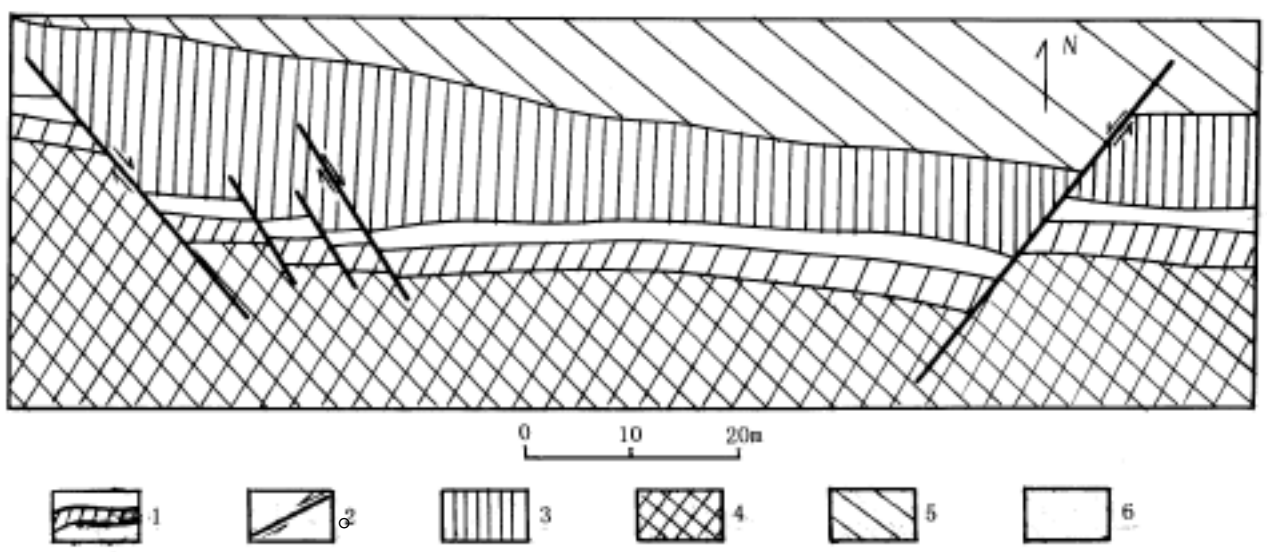


图 3 - 2 - 3 鹰咀山金矿区矿体位移示意图

1—矿体;2—断层;3—凝灰岩;4—板岩;5—硅质岩;6—蛇纹岩

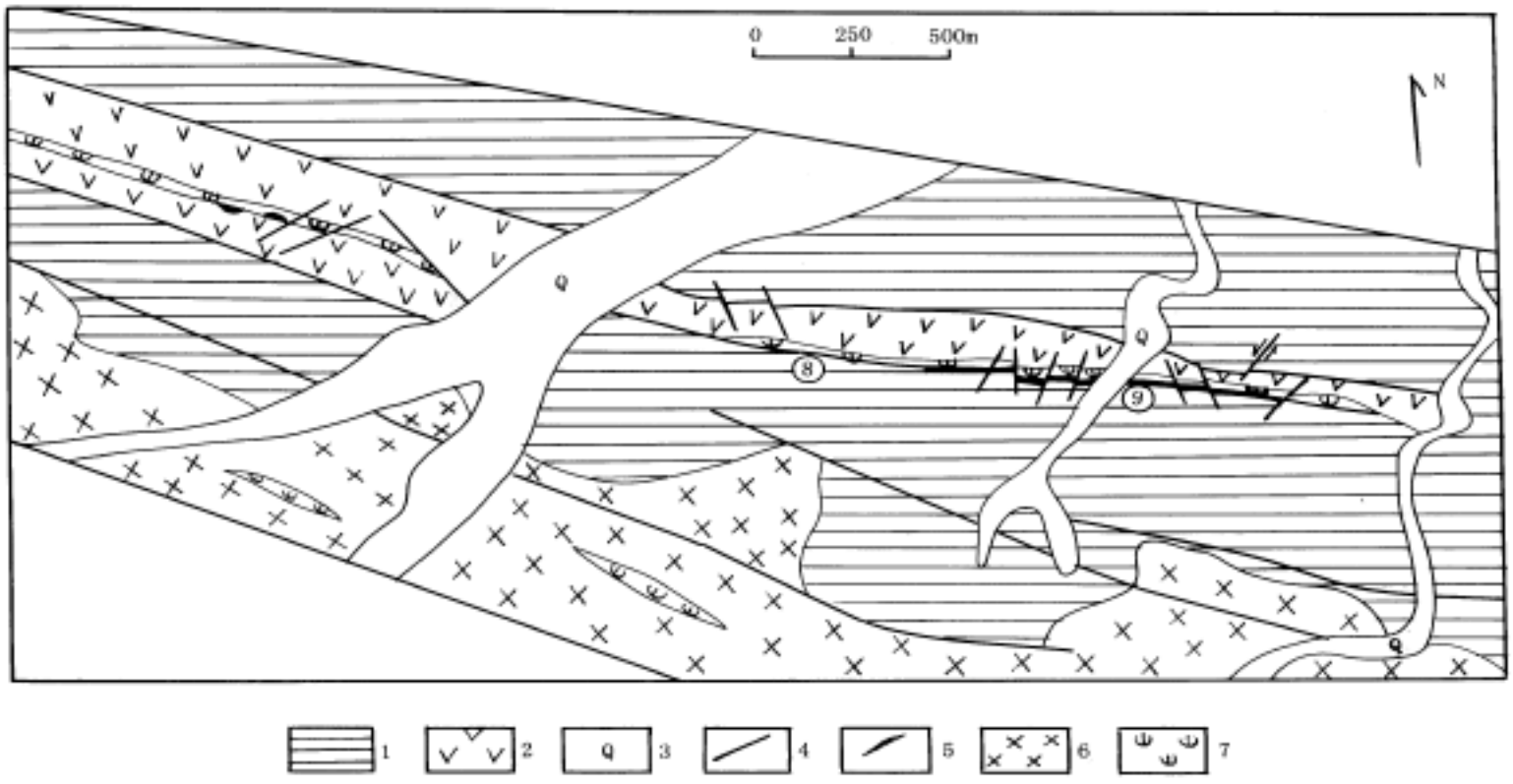


图 3 - 2 - 2　鹰咀山金矿矿区地质略图

1—板岩火山岩硅质岩;2—火山岩;3—第四系沉积物;4—断层;5—矿体;6—辉长岩;7—蛇纹岩

北西向断裂走向 320°～350°,倾向南西,使矿体产生位移,断距 1～20m。北东向断裂走向 15°～70°,倾向南东,倾角 40°～50°,使矿体发生位移,断距不等(图 3 - 2 - 3)。总之,该矿区构造十分复杂,关于断裂构造对矿体的作用诸方面的研究,还只是初步。

(二)地层

区内出露地层有前长城系、寒武系、奥陶系、石炭系及第四系。

前长城系敦煌岩群零星分布于鹰咀山南北边缘,与寒武系呈断层接触,为一套中、高级区域变质岩,主要岩性为片麻岩与大理岩。

寒武系黑茨沟组分布整个鹰咀山区,为碎屑岩—碳酸盐岩—海底喷发岩建造。岩性主要为板岩、砂岩、结晶灰岩、硅质岩、含锰硅质岩、中酸性火山岩。

矿区岩性主要为板岩、砂岩、结晶灰岩、硅质岩、凝灰岩、安山岩等(图 3 - 2 - 4)。

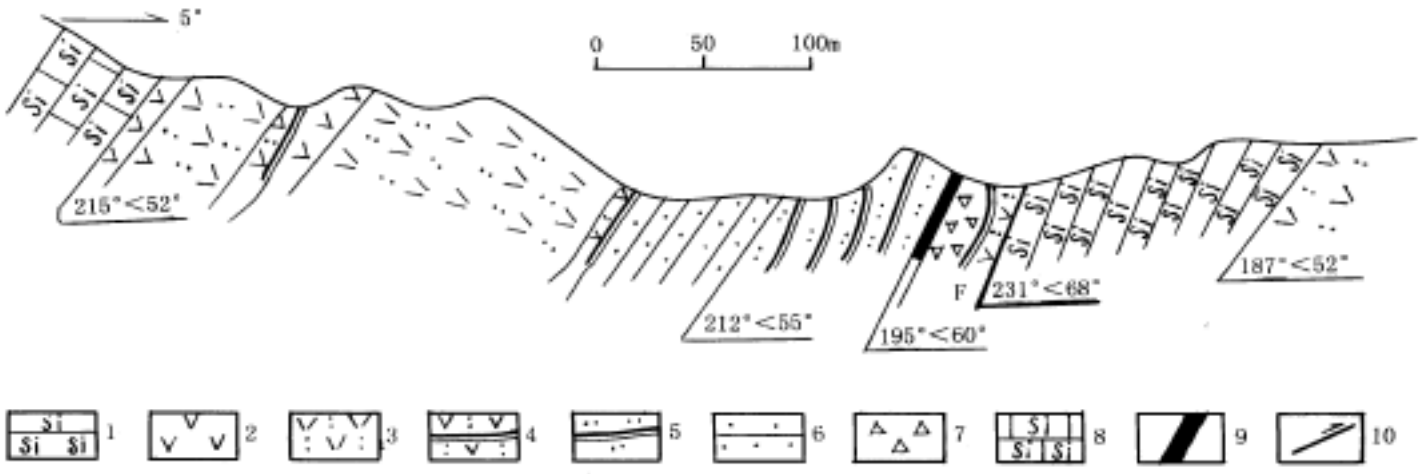


图 3 - 2 - 4　矿区 110 勘探线地质剖面图

1—硅质岩;2—安山岩;3—凝灰岩;4—凝灰质板岩;5—粉砂质板岩;6—砂岩;7—破碎带;8—硅质灰岩;9—矿体;10—断层

奥陶系分布在青石峡北,为海相碎屑岩、喷发岩—碳酸岩建造。岩性为板岩、火山岩及结晶灰岩。含矿层为火山岩,岩性为安山岩、凝灰岩等。

石炭系零星分布于青石峡以东,为一套含煤地层,不整合于老地层之上。

该区地层与构造线一致,走向北西向(270°～330°),鹰咀山金矿位于鹰咀山向斜北翼,矿区岩层向南倾,倾角 60°左右。

(三)侵入岩

区内岩浆岩为吕梁期、加里东期、华力西期产物。主要有中酸性岩、基性岩,其次为超基性岩、中性岩。吕梁期、华力西期岩浆岩为一些中酸性岩,分布零星。加里东期岩浆经多次喷发,分布较广,特别是加里东晚期有大量的岩浆侵入、喷发。该区出露面积较大的有青石峡花岗岩体和鹰咀山辉长岩体。

鹰咀山辉长岩体沿北西西向断裂侵位于寒武系黑茨沟组。岩体长 12km,宽 0.4～1km,为蚀变辉长岩,岩体内超基性岩脉发育,宽 5～40m,长几十米至 1km。已蚀变为蛇纹岩,与辉长岩体界线清晰,走向与辉长岩体走向一致。超基性岩普遍含铬铁矿与磁铁矿,含量较少,并含金几十至几百粒。

辉长岩体边缘碳酸盐化十分强烈,形成不同规模的菱镁岩带。滑石化分布在断裂构造破碎带,形成滑石片岩。

青石峡斜长花岗岩体出露在矿区北部,呈北西西向带状展布,长约 30km,宽约 0.5～5km。岩性主要为斜长花岗岩,局部相变为石英闪长岩。

矿区矿体底部出露有超基性脉岩,其产状与构造线方向一致。地表由于破碎蚀变及覆盖露头少见,工程揭露后,该脉岩稳定存在,宽 3m 左右,向地下深部厚度增大。岩石硅化、蛇纹石化、滑石化十分强烈。与金矿化关系紧密,是金质成分的主要载体。

(四)火山岩

该区发育加里东期火山岩,分布与构造线一致。岩性主要为中基性岩,有凝灰岩、安山岩、火山角砾岩、安山质晶屑凝灰岩、安山质角砾凝灰岩、英安质角砾凝灰岩、玄武岩等。

鹰咀山主峰北出露大面积火山角砾岩,向东在矿区北面积减小,凝灰岩增多。

含矿层岩性有凝灰岩、含砾凝灰岩、安山岩等。岩石受构造破碎,强烈蚀变。含砾凝灰岩中砾石的磨圆度较好,粒径 1～10cm,其蚀变后金品位较高,一般为 0.2×10^{-6}～1.5×10^{-6}。

(五)区域矿产

该区位于北祁连山加里东褶皱带西段。志留纪末加里东运动使整个祁连山地槽褶皱上升,同时伴随着强烈的断裂活动、岩浆活动及区域变质作用。为区域成矿提供了有利的条件,成为区域成矿有利地段。分布有多种矿产,从非金属、金属到贵金属都具不同程度的矿化。发现的矿产有金、铁、铜、锰、铬、磷等。其中金矿化分布广泛,从玉门市到鹰咀山已发现不同规模的金矿化九处,延伸 150km,宽 30km,为一个金矿化集中区。这些金矿床均为蚀变岩型金矿床,均受构造控制。且不受地层及时代的限制,与硅化紧密相关。

鹰咀山向斜控制的矿产就有金、铁、锰等矿产资源。均受中寒武统黑茨沟组火山岩系控制,说明火山活动为该区成矿提供了物质来源。

主要矿产类型特征见表 3-2-1。从表中可以看出,该区矿产均赋存于火山岩中。

表3-2-1　区域矿产一览表

矿种	产地	地　质　概　况	矿　床　特　征	成因类型
金	寒山	阴沟群火山角砾岩、安山质含砾凝灰岩	矿体存于火山角砾岩、安山含砾凝灰岩，受NW向断裂控制	中温热液矿床
	鹰咀山	黑茨沟组粉砂质板岩、安山质凝灰岩、安山岩	矿体存于安山岩、安山质凝灰岩，受NWW向构造控	中低温热液矿床
铁	鹰咀山	黑茨沟组安山质凝灰岩、石英变粒岩、细碧岩、角斑岩	矿体存于石英角岩、角斑岩、矿石细粒浸染状—致密块状构造磁铁矿赤铁矿	中温热液成因
锰	黑峡口	黑茨沟组硅质岩、千枚岩	矿体存于含锰硅质岩中，为水锰矿，块状、网脉状、蜂窝状构造	沉积变质成因

二、矿床地质特征

矿体赋存于寒武系黑茨沟组凝灰岩、安山岩等火山岩内的断裂中。火山岩发生不同程度的蚀变，为成矿提供了部分成矿物质，矿体底部超基性脉岩与成矿有直接关系。矿体围岩有顶板粉砂质板岩、底板石英岩、硅质岩、蛇纹岩及滑石片岩。矿化蚀变带总长约5km，宽约30m，走向北西西向(270°～290°)，与地层展布方向一致。

(一)矿体特征及工业类型

矿床以Au品位1×10^{-6}为边界品位共圈出5个矿体。矿体形态、产状受构造控制，以层状、透镜状产出。矿体长20～600m，地表厚度为0.5～7m，厚度变化系数为36%。矿体倾向南，倾角60°左右，沿走向及倾向具有波状弯曲、膨胀收缩、分枝等特点。连续性较好，仅局部出现小的夹石。金分布不均匀，金品位为1×10^{-6}～53×10^{-6}，最高达500×10^{-6}，品位变化系数为170%左右。

矿化最好地段分布在破碎带上部与板岩接触部位。在剖面上具分带性，从顶板依次为粉砂质板岩(顶板围岩)—硅质岩、石英岩(矿石)—硅化蛇纹岩(贫矿石)—滑石片岩(较深部为蛇纹岩)，如图3-2-5。滑石片岩局部地段金矿化较好。品位为2×10^{-6}左右。

上述分带从目前对⑨号矿体普查情况看总体上具微弱的分带，局部由于构造破坏较为紊乱，分带现象不明显。

该矿床根据地质特征、控矿条件初步认为其工业类型是与超基性岩有关的破碎带蚀变岩型金矿床。

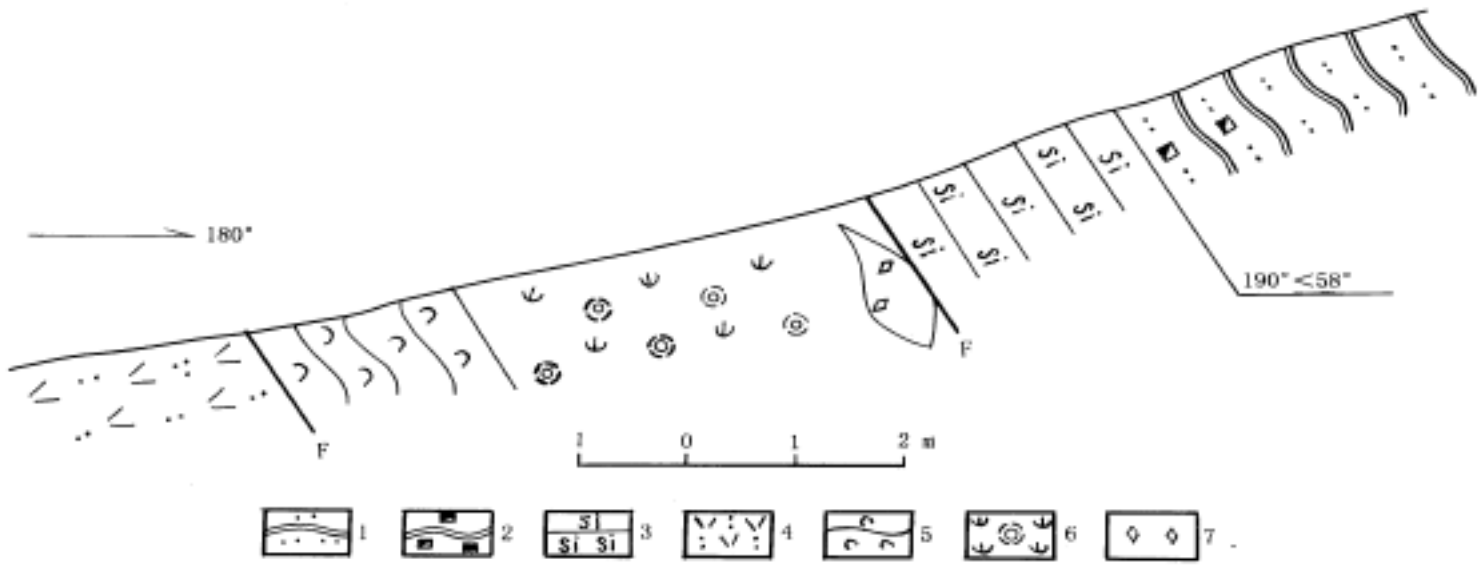


图 3 - 2 - 5　鹰咀山金矿区矿带剖面图

1—粉砂质板岩;2—褐铁矿化粉砂质板岩;3—硅质岩;4—凝灰岩;5—滑石片岩;6—硅化蛇纹岩;7—碳酸岩脉

(二)矿石特征

1. 矿石的物质组成

矿石的物质组成较为复杂,可从矿石的氧化物、微量元素、矿物组成等特点来分析矿石特征。

(1)矿石的氧化物

从矿石化学组成研究样的分析结果表中可以看出(表 3 - 2 - 2),矿石中除 SiO_2 含量较高外,其余均低于地壳平均值。氧化物含量没有规律性,说明首先不是沉积成因。

表 3 - 2 - 2　鹰咀山金矿矿石氧化物成分表

样品	氧化物														
	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3	FeO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	MnO	SO_3	CO_2	H_2O^+	H_2O^-
	含量 %														
1	92.82	1.87	0.08	0.00	0.37	0.40	1.86	0.75	0.12	0.07	0.01	1.34	0.00	0.16	0.04
2	85.87	3.02	0.12	0.38	2.32	2.44	2.02	0.30	0.15	0.09	0.13	0.87	0.10	2.06	0.21
3	85.72	1.04	0.02	0.00	1.20	0.18	1.62	0.22	0.05	0.02	0.02	3.30	0.00	0.88	0.10

(2)矿石的微量元素特征

矿区矿石主要有益组分为 Au,品位一般为 0.5×10^{-6}～53×10^{-6} 其次 Ag 含量为 6×10^{-6}～92×10^{-6},能够回收利用。其余元素均含量低,能否综合利用,尚须以后研究。Cu 小于 0.5%,Pb 最高为 1.28%(表 3 - 2 - 3)。

根据矿石光谱定量分析资料(表 3 - 2 - 4)可以看出,矿石中含量较高的元素除 As、S 外,Pb、Cu、Zn、Ag、Sr 均高于克拉克值几倍。它们大多为亲硫元素,Pb、Ag 更高,高出克拉克值上百倍,这与矿石中的矿物成分相符合。

表 3 - 2 - 3　鹰咀山金矿矿石多元素样分析结果表

样　号	分　析　项　目						
	ω(Ag)×10⁻⁶	ω(Cu)%	ω(Pb)%	ω(Zn)%	ω(WO_3)%	ω(Mo)%	ω(S)%
	分　析　结　果						
一号样	14	0.01	0.04	0.01	0	0	1.32
二号样	10	0.01	0.02	0.01	0.016	0.002	1.32
三号样	8	0.07	0.12	0.36	0.009	0.002	1.06
四号样	92	0.09	1.28	0.06	0	0.002	1.11

表 3 - 2 - 4　鹰咀山金矿矿石微量元素分析表

样　品	元　素													
	As	P	Pb	Ti	Mn	W	Cr	Ni	Cu	Zn	Ag	Co	Sr	Zr
	含　量　(10^{-6})													
一号样	200	300	1000	300	80	5	120	6	100	200	20	5	250	3
二号样	700	250	500	200	100	5	70	6	100	250	3	5	250	3
三号样	1000	500	2000	300	100	5	40	10	1000	400	20	5	250	3
四号样	4000	250	1×10^4	150	70	5	30	5	300	100	> 100	5	400	3
克拉克值	n	1200	20	5800	800	50	230	180	100	40	0.0n	10	170	23

(3)矿石矿物成分。矿石矿物种类繁多，初步查明的种类见表 3 - 2 - 5。主要金属矿物有黄铁矿、方铅矿等硫化物。金主要以单矿物出现，附着于石英、黄铁矿颗粒之上，其次为银金矿。金颗粒形态颇多，有孤岛状、肾状、树枝状、板状、水滴状、不规则状等。粒径一般为 1.5×0.65～0.225×0.125mm，最小 0.03×0.02mm，最大达 2mm。颜色以黄色为主，少数黄白色。自然银少量，呈浑圆、半浑圆粒状，亮灰色、灰黑色，多数表面不同程度氧化，一般粒径 0.04×0.35～0.02×0.02mm。

表 3 - 2 - 5　鹰咀山金矿矿石矿物种类表

矿物分类	矿　物　名　称
硫化物	黄铁矿、黄铜矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿、铜兰、辉铜矿
硅酸盐	绢云母、长石、锆石、榍石、绿帘石、高岭石
碳酸盐	方解石、白铅矿、孔雀石、兰铜矿
硫酸盐	黄钾铁矾、铝矾
氧化物	磁铁矿、褐铁矿、石英
自然元素	自然金、自然银

硫化物主要为黄铁矿，从标本中观察，其明显为三期次产物，即浸染状、块状、脉状，后期脉状黄铁矿伴随着方铅矿。

2. 矿石的结构

根据矿石中矿物的镶嵌关系和交代现象可分下列几种:

(1)自形—半自形晶结构。金属矿物黄铁矿、磁铁矿、方铅矿等呈自形、半自形晶。

(2)细粒结构。金属矿物黄铁矿等呈浸染状分布在矿石中。

(3)胶状结构。是针铁矿与纤铁矿组成胶状集合状。

(4)溶蚀结构。黄铁矿等早期生成的金属矿物被交代溶蚀,边部呈港湾状。

(5)假象结构。矿石中褐铁矿交代黄铁矿形成黄铁矿假象晶。

3. 矿石构造

根据矿石矿物集合体的分布特征,可划分如下几种矿石构造。

(1)浸染状构造。金属矿物黄铁矿、黄铜矿等呈浸染状分布在矿石中。

(2)细脉浸染状构造。金属矿物黄铁矿、方铅矿及其氧化物针铁矿与纤铁矿组成的胶状集合体沿构造裂隙充填成网脉状,黄铁矿等呈浸染状分布在矿石中,两者构成细脉浸染状构造。

(3)块状构造。金属硫化物均匀分布,含量在 40%以上,占矿石主要成分。

(4)蜂窝状构造。矿石中大量的硫化物被氧化淋滤流失,残留下硅质骨架,形成蜂窝状构造。

4. 矿石类型

根据含金岩石的不同,划分出 5 种矿石类型:①含金硅质岩型;②含金石英岩与石英脉组合型;③含金硅化蛇纹岩型;④含金碳酸盐脉型;⑤含金滑石片岩型。以①、②类最重要,次为③、④类,其中③类矿化不均匀,金品位高低变化较大,④类规模小,沿构造裂隙零星分布。

(三)控矿条件

金矿床的控矿条件主要有构造,其次有超基性岩及蚀变火山岩。

(四)蚀变类型及其分带

矿区围岩蚀变种类较多,主要有硅化、绢云母化、蛇纹石化、滑石化、碳酸盐化,其次有绿泥石化、高岭土化、石膏化等。在剖面上(矿带)具一定的分带性(图 3 - 2 - 6)。

(1)硅化经历了多期次,分布普遍,表现为大量的石英脉及石英矿物生成。矿带硅化尤为强烈,形成含金硅质岩、含金石英岩、含金硅化蛇纹岩等金矿石。与金的矿化关系十分紧密。

(2)蛇纹石化发育在超基性岩中,与成矿具一定的联系。

(3)碳酸盐化为较晚期蚀变,沿构造裂隙呈透镜状产出,零星分布。形成许多透镜状的碳酸盐脉,铜矿化与其相伴生,沿透镜体边缘及构造裂隙分布着孔雀石。

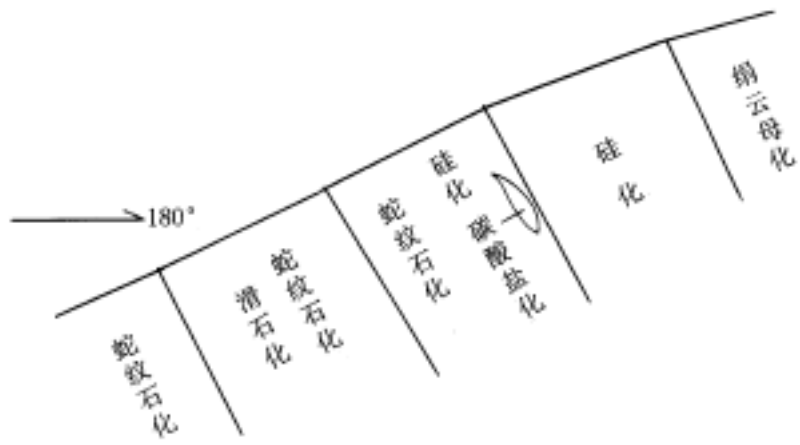


图 3 - 2 - 6　鹰咀山金矿区矿带蚀变分带示意图

(4)滑石化分布在超基性岩中,形成滑石片岩及滑石脉沿构造裂隙充填。与金矿化具一定的关系。蚀变较强烈地段,金矿化程度高。沿构造裂隙分布的滑石脉较为单一,未见有伴随的金属矿物生成。

(5)绢云母化主要分布在板岩中,可见大量绢云母矿物生成,矿带中蚀变很微弱。

高岭土化、绿泥石化、石膏化在矿带很弱,没有形成较大的蚀变带,只有零星分布的矿物。与金的矿化关系不太紧密。

该矿床的找矿标志较为明显,主要有硅化石英岩、超基性岩、蚀变火山岩、构造破碎带。

三、成矿时代与矿床成因

(一)成矿时代及期次

鹰咀山金矿赋存于寒武系黑茨沟组。区内超基性、基性侵入岩为加里东旋回晚期的产物。从鹰咀山辉长岩中的超基性岩取重砂分析,含金几十粒至近百粒,其为加里东晚期岩浆岩。矿区超基性岩产出特征与鹰咀山辉长岩体相似,产于同一组断裂内,属同一时代产物。因而该矿床成矿时代属加里东晚期。

矿床主要成矿期为多阶段热液作用期,表生作用对矿床的影响较小。热液成矿期为超基性岩及火山岩经多期构造作用发生蚀变,产生多阶段热液,生成大量的金属矿物(主要为硫化物)及脉石矿物(绿泥石、石英、方解石等),形成较为致密的块状、角砾状金矿石。以热液矿物的组合及其与金矿化的关系为划分基础,矿体中的石英脉体的相互穿插及其共生的矿物为依据,将成矿期划分为 5 个成矿阶段。

1. 石英—黄铁矿阶段(Ⅰ阶段)

本阶段热液活动主要表现为交代和充填两种作用方式。热液活动之前,地层在构造应力作用下产生裂隙,为含矿热流体提供了运移通道及沉淀空间。含矿层火山岩及矿体底部超基性岩蚀变放出大量的硅质与金质沿构造裂隙迁移至板岩处,由于板岩的连通性差,使运移的含矿热液受阻,在板岩底部富集沉淀,形成含金的硅质岩及含金石英岩。因而金矿化与硅化关系紧密。该阶段黄铁矿主要呈浸染状分布在矿石中。

2. 石英—黄铁矿阶段(Ⅱ阶段)

该成矿阶段为矿床主要成矿阶段。Ⅰ阶段形成的硅质岩受构造变动,破碎裂隙被本阶段硅质及金质成分充填。表现为沿构造裂隙充填的石英脉与早期阶段形成的含金矿石叠加,导致了大部分工业矿体的形成,并在局部地段构成品位较高的富矿段。矿化富集表现为沿石英脉与硅质岩接触部位有大量的自然金生成,颗粒较大,粒径为 0.028～0.975mm。该阶段黄铁矿呈粒状,颗粒表面附着有金颗粒,经风化黄铁矿氧化成褐铁矿,金更加明显地存在于褐铁矿中间。

3. 黄铁矿—方铅矿阶段(Ⅲ阶段)

本阶段与金矿化关系较为紧密。主要特征是黄铁矿沿构造裂隙充填呈脉状,黄铁矿、方铅矿结晶粒度为 1mm 左右,局部出现 1cm 左右的黄铁矿团块,呈四方形。脉状黄铁矿明显见有切穿前期石英脉。在地表矿石氧化淋滤成蜂窝状矿石,硫化物大量流失,残留下硅质骨架,含金量较高,说明金显惰性。

4. 方解石—石英—黄铜矿—黄铁矿—绿泥石阶段(Ⅳ阶段)

本阶段从宏观上表现为含铜的碳酸盐矿物沿构造裂隙充填呈透镜状,沿矿带零星分布,金矿化较强,矿石含金量为 4×10^{-6} 左右。

5. 滑石阶段(Ⅴ阶段)

本阶段热液活动局限于超基性岩地段,局部沿构造裂隙充填具超越现象。表现为滑石片岩的出现及滑石脉体沿构造裂隙分布,金矿化不均匀,金含量为 0.1×10^{-6}～2×10^{-6}。

根据矿区矿石类型及样品中金的含量，Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ为主要成矿阶段，构成矿床的主体。

另外，表生作用对金矿化及金的次生富集影响较小。含矿岩石虽较多地出露地表，但由于矿石致密，硫化物含量较低，在风化条件下不能形成大量溶金的铁盐、氢离子和硫代硫酸盐等，加之气候干燥，故表生带不很发育。氧化带一般为 20m，晚期构造发育地段可达 50m。表生带的岩石特征是褐铁矿矿染，褐铁矿为针状、球粒状，多具黄铁矿假象。局部地段硫化物含量较高的矿石，氧化淋滤较为彻底，构成蜂窝状矿石，110 线就出现此类矿石。但金的品位并未降低，说明金在氧化淋滤过程中显惰性。

总之，矿区总体上表生作用对金的富集只起微弱的作用。

(二)控矿因素分析

控矿因素主要有构造、蚀变火山岩及超基性岩。

北西西向构造控制了矿带的分布和延伸，以及矿体的产状、形态。该构造为该区较大断裂构造，活动强烈，切割较深，使地层岩石发生破碎蚀变，同时超基性岩浆由深部沿断裂上升，侵位于寒武系黑茨沟组火山岩中。

超基性岩浆的侵入活动，为地层中微量金的加剧活化提供了热力条件，同时它从地壳深部带来大量金质，为成矿提供部分物质来源。后期构造作用产生的热液和超基性岩蛇纹石化所产生的硅质、金质充填于构造裂隙富集成矿。

从含金石英脉分析，成矿经历了多期构造运动。第一次发生北西西方向的断裂构造，使岩石破碎，超基性岩浆侵入，发生蛇纹石化蚀变，同时释放出硅质、金质沿构造裂隙运移并沉淀富集，形成含金硅质岩。第二次断裂构造，使含金硅质岩局部破碎，也有含金石英脉充填。第三次断裂构造，使前两次石英脉破碎，并伴有新的石英脉充填，形成含金构造角砾岩，构成富矿。第四次构造活动破坏了矿化体，使矿化体发生位移，同时伴有石英细脉沿裂隙充填。矿化弱或无矿化。

从矿带特征看，北西西向断裂构造内的超基性岩多次被较晚期的闪长玢岩侵位于中，该次岩浆未发现与成矿的直接关系。成矿后期，北西西向断层表现为压扭性，碳酸盐脉被挤压呈透镜状，超基性岩发生滑石化，滑石片岩受构造挤压沿构造挤压面呈线状分布。

超基性岩为成矿提供了大量的物质来源，其蚀变可用下式表示：

$$3MgSiO_3 + 2H_2O \rightarrow H_4Mg_3Si_2O_9 + SiO_2$$

辉石　　蛇纹石　　石英

$$H_4Mg_3Si_2O_4 + 3CO_2 \rightarrow H_2Mg_3Si_4O_{12} + MgCO_3 + 3H_2O$$

蛇纹石　　滑石　　菱镁矿

$$Mg_2SiO_4 + MgSiO_3 + 2H_2O \rightarrow H_4Mg_3Si_2O_4$$

橄榄石　辉石　　蛇纹石

由此可见，超基性岩的蚀变过程中，放出硅质迁入地层，成为含金硅质岩、石英岩的主要硅质来源。

火山岩为一些中酸性的凝灰岩、安山岩等，受构造作用发生蚀变，使其所含金质活化迁移。由于其孔隙度较大，为成矿热液提供了渗透运移的通道，将地层岩石活化产生的含矿热液和超基性岩释放出的热液运移至顶板板岩处被阻挡沉淀下来富集成矿。

根据上述控矿因素的分析，鹰咀山金矿床是一个与超基性岩有成因联系的中低温热液叠生金矿床。

(三)成矿模式

矿床成因类型为构造控制的中低温热液叠生金矿床。成矿时代属加里东晚期,祁连地槽经加里东运动褶皱上升,也是祁连山的主要成矿期。

矿床具多期成矿、多期改造特点。为多期构造、热液叠加的矿床。根据矿床控矿因素、成因类型,鹰咀山金矿床具如下成矿模式特点:

(1)加里东期中酸性火山喷发含有微量金质成分,沉积后形成了一个矿源层,为成矿提供部分物质来源。

(2)断裂构造活动既控制了矿化蚀变带的延伸及超基性岩的展布,又为成矿物质提供了运移通道和沉淀富集场所。多期次的构造作用提供动力条件产生多期热液,为成矿物质的活化提供了热源。伴随着石英脉沿裂隙分布构成矿床富矿。

(3)加里东期侵入的超基性岩不仅为成矿提供了热力条件,而且从地壳深部带来大量的成矿物质。超基性岩经后期强烈蚀变放出大量的硅、金质,迁移至一定场所沉淀下来富集成矿。

第三节　童子坝金矿床

祁连山早古生代火山岩带,不仅是我国黄铁矿型铜矿床重要成矿带之一,也是金矿重要的成矿区。1949 年以来,在本带进行了大量的工作,取得了丰硕的地质矿产成果,发现了一大批铜、镍、铀矿床。但该带与世界同类矿带找矿效果相比,差距甚大,与区内成矿条件很不相称,这充分地表明,北祁连仍具较大的找矿潜力。特别是在找以金为主的贵金属方面。20 世纪 80 年代曾进行小范围内的砂金、砂铂矿、岩金矿等的找矿工作,且均未取得好的成果。进入 90 年代,随着地球化学找矿方法的不断应用及资料的综合研究,发现了童子坝金矿。本文就童子坝金矿地质成矿特征作一简单介绍。

一、区域地质背景

该区位于北祁连优地槽褶皱带西段,走廊南山南坡复向斜,岩层均强烈褶皱,呈紧密线状。复向斜由下古生界构成,核部为志留系,呈南东—北西向展布。各地层之间多以断裂接触,走向断裂成群出现,并具强烈挤压兼扭动特点。断裂带规模宏大,对矿产资源的形成与分布都具有显著控制作用(图 3 - 3 - 1)。

(一)构造

1. 褶皱构造

主要有走廊南山北坡复向斜及走廊南山南坡复背斜构造。

走廊南山北坡复向斜,由志留系组成,向东南有收敛之势,向西北端开阔,且走向断层成束出现,在复向斜核部以地堑形式出现中寒武统。

走廊南山南坡复背斜,轴部由寒武系组成,翼部为奥陶系,北翼奥陶系出露较完整,而南翼则因走向断层切割,只在西端出现,北翼奥陶系下统与志留系之间为横贯走廊南山主脊北侧的走向正断层,沿断线有泥盆—二叠系呈地堑式出露,轴部的寒武系和奥陶系间均为走向断层,并且向东南延伸相交。该背斜的东南端和南翼上叠有泥盆—三叠系的盖层,构成拉洞河至童子坝河脑的地堑式向斜构造。

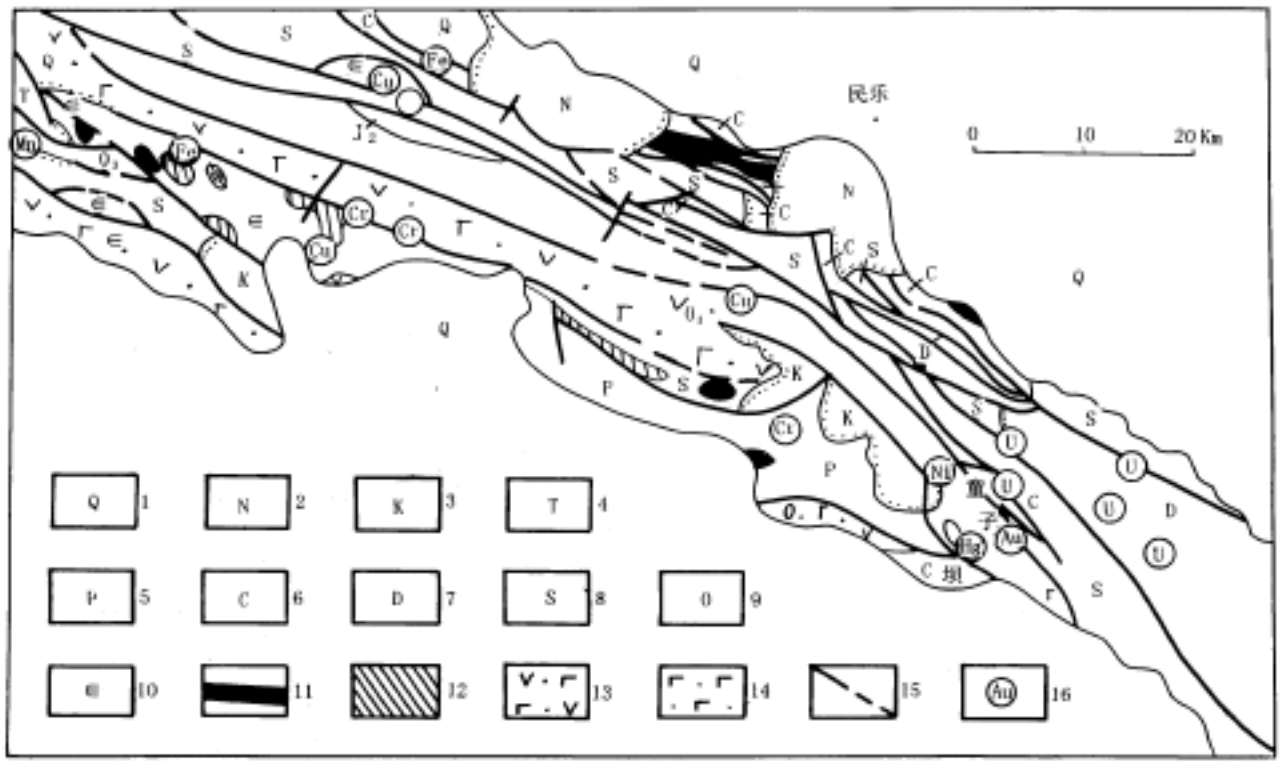


图 3-3-1　祁连西段区域地质图

1—第四系;2—上第三系;3—白垩系;4—三叠系;5—二叠系;6—石炭系;7—泥盆系;8—志留系;9—奥陶系;10—寒武系;11—加里东期中酸性岩体;12—加里东晚期超基性岩;13—中基性火山岩;14—基性火山岩;15—断层;16—矿种及矿点

2. 断裂构造

区域构造不仅表现在复杂的挤压褶皱带,而且表现为比褶皱带更引人注目的、规模巨大的北西西向断裂构造。次级的南北向及北东向压扭性断裂也颇为常见,它们相互交错,将北祁连山古生代地质体切割成许多菱形断块,形成复杂的“网格状”构造。早期一级构造控岩,而次级构造具有控矿意义。特别是分割各构造单元的深大断裂,其活动具有多旋回叠加性和继承性,每期构造活动都伴有不同程度的热液活动,对金矿的形成极为有利。

(二)地层

区内出露的主要地层为寒武系,下、上奥陶统,下、中、上志留统,泥盆系,石炭系,二叠系,三叠系,白垩系等。

寒武系:凝灰质砂岩,变砂岩,基性火山岩,硅质岩夹酸性火山岩,千枚岩,火山角砾岩,结晶灰岩。

下奥陶统:灰绿色基性、中性火山岩,灰绿色变砂岩,灰色千枚岩,硅质岩夹大理岩,火山角砾岩。

上奥陶统:灰绿色中、基性火山岩,火山角砾夹变砂岩,硅质岩,千枚岩及大理岩。

下志留统:紫及紫绿色变砂岩,灰绿色变砂岩,粉砂岩夹杂色千枚岩,安山质火山岩,变砾岩,灰色板岩及凝灰质砂岩。

中志留统:灰色板岩,千枚岩夹灰绿色变砂岩。

上志留统:紫红及灰绿色变砾岩,砂砾岩,灰绿色变砂岩,粉砂岩,紫红色变砂岩。

泥盆系:紫红色砂岩,紫红色砾岩夹砂岩,砂砾岩。

石炭系:灰色页岩,灰色砂岩,砾岩,灰岩夹煤线。

二叠系:紫红色砂岩,砾砂岩,灰白及灰绿色杂砂岩,砂质板岩夹砂质泥岩,粉砂岩。

三叠系:灰白色厚—巨厚层长石石英砂岩,石英质长石砂岩,含石英砾岩,中粗粒砂岩夹灰绿色砂岩。

白垩系:紫色砾岩,砂砾岩夹杂色砂岩,泥灰岩等。

(三)侵入岩

侵入岩有基性、超基性岩、中酸性岩等。

基性、超基性岩,均成群成带产出,构成祁连山基性、超基性岩带。岩体受北西向区域性断裂控制,多分布于不同构造单元接触带两侧之次级构造裂隙中,长轴与区域构造线基本一致。岩体规模大小不等,出露面积一般小于 $1km^2$,呈条带状、短脉状、透镜状产出,大多数与围岩走向基本平行,部分岩体斜切围岩。侵入寒武系、奥陶系和志留系。外接触蚀变带宽数十厘米到几米,以蛇纹石化为主,次为绿泥石化、硅化等微弱蚀变;内接触带宽数米,甚至达 20～25m,由蛇纹石片岩、滑石菱镁片岩构成,常发育碳酸盐化、滑石化、绿泥石化等蚀变,部分岩体可见有铬铁矿化。

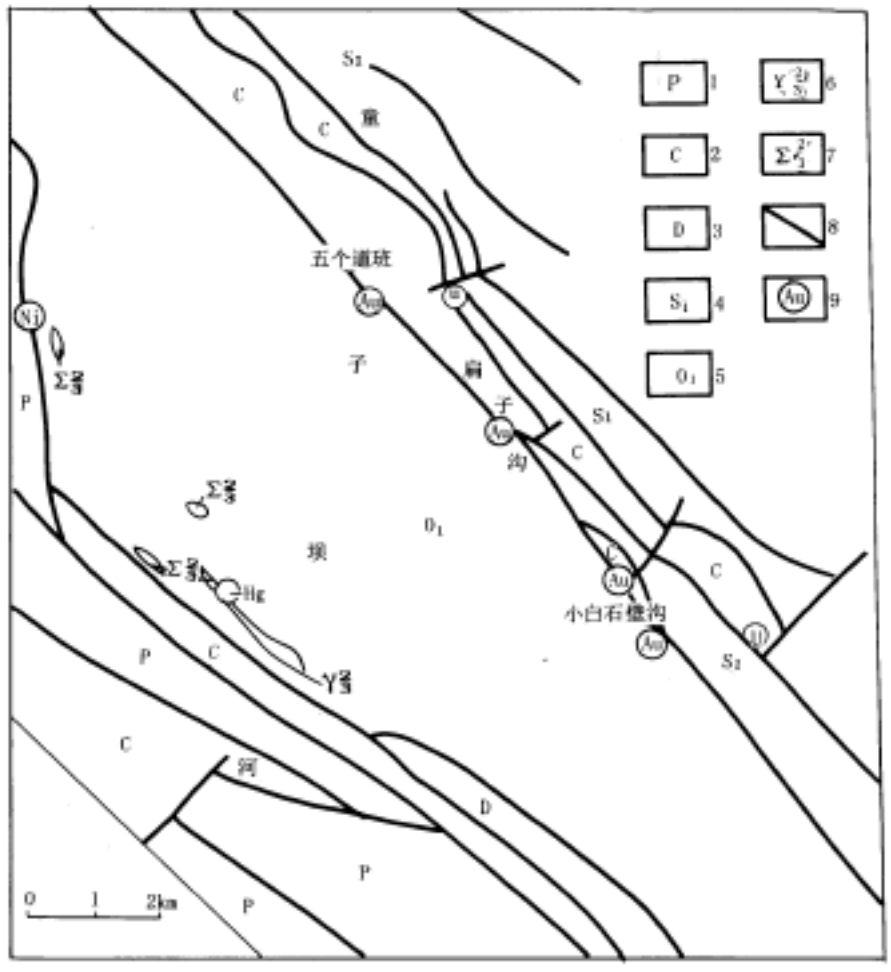


图 3-3-2　童子坝金矿地质图

1—二叠系砂岩、砂质板岩;2—石炭系灰岩夹煤层;3—泥盆系红色砾岩;4—下志留统变砂岩、砾岩夹板岩;5—下奥陶统;6—加里东中期花岗岩;7—加里东中期超基性岩;8—断层;9—矿种及矿点

中酸性岩体主要有闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩,形态均为不规则的岩枝或岩株。侵入上奥陶统中,围岩普遍产生角岩化。岩体流面产状与区域构造线方向一致。裂隙中常充填有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等矿脉,含矿岩体具 Cu、Pb、Zn、Sn 等微量元素异常。

(四)火山岩

各类火山岩也相当发育,形成一套沉积巨厚、分布广泛的浅变质绿色火山岩系。这套火山岩系形成于北祁连加里东地槽回返前的长期坳陷阶段,喷发活动受地壳软弱地带的深断裂控制,因此各类火山岩呈线(带)状分布,具有水下火山活动的典型特征。火山岩一般呈层状、似层状或透镜状产出,产状与所在地层产状一致。整个早古生代海相火山作用是一个喷发从强烈至微弱逐渐衰退的完整过程,火山活动最为剧烈的时期为中寒武世、早中奥陶世,从晚奥陶世开始逐渐减弱,至中志留世末古海相火山活动结束。火山作用与铜矿化关系密切。

中寒武世火山活动具有点状分部特征,形成一些不连续的喷发中心,火山岩集中发育在肃南—祁连一带,从祁连县向东火山岩层显著变薄,岩石中以基性熔岩及其碎屑岩为主。

早、中奥陶世是区内古海相火山作用最为强烈的时期,本期喷发的各类火山物质,不仅遍及全区,沉积厚度也极为巨大。喷出岩沿北西西向主干断裂成带展布,火山喷发以中基性为主,酸性次之,在冷龙岭一带伴有潜火山岩,且见铜矿化。

晚奥陶世至志留纪,各区火山活动减弱,范围缩小,仅形成一些中基性、中酸性的凝灰岩类。

(五)区域矿产

沿该带区域矿产种类较多,主要有铜、铁、铅、锰、铬、汞、铀、镍、砂金等。成因类型复杂,矿床(点)形成于构造运动频繁的海槽中。其中铜、铁、锰与海相火山作用有关,铬常与基性、超基性岩体密切相关。往西至昌马一带有蚀变岩型金矿产出,往东至冷龙岭一带有火山岩型、石英脉型、氧化铁型金矿产出。

该普查区南部,沿区域断裂带附近,有汞(金)、镍矿点及矿化点分布。汞矿产于酸性岩外接触带大理岩中,矿(化)体走向基本与地层产状及断裂带方向一致,向西北方向至二道沟超基性岩中有镍矿化点;普查区北部为铀、金(汞)矿分布区,铀矿产于石炭系与下志留统断裂接触带上,与构造关系密切,金矿(化)体产于下奥陶统与石炭系断裂接触带附近,位于铀矿南 500～1000m,展布方向与区域断裂及地层产状基本一致。

二、矿床地质特征

(一)控矿条件

目前发现的小白石壁沟、扁子沟、五个道班等几处矿化层位均沿区域性大断裂带分布(图 3-3-2)。但矿(化)体严格受次级断裂或裂隙的控制。大断裂区域上延长数百千米,是奥陶系与志留系及晚古生代地层的分界线。众多的铜、铀、金矿床(点)沿其断裂带分布。

1. 控矿构造

矿区已发现十余条含金矿构造带,走向 290°～300°,倾向北东,倾角 70°～85°,与大断裂(矿区一带走向 320°)小角度斜交。延长一般几十米至几百米,个别可达 3km,宽度 1～10m。次级断裂主要由层间破碎带、裂隙及片理化带组成。以挤压为特征,断层底板界面清楚,常形成光滑的镜面,可见 1cm 左右的一层松散状浅灰、灰黄色断层泥,这种断层泥将含金热液完全隔离到破碎带中,使矿化与非矿界线相当清晰。破碎带由砂岩、板岩及片岩组成,胶结物以云母质、泥质为主,可见石英脉沿片理化方向充填,具硅化、黄铁矿化、毒砂化等。断裂破碎初步划分为 4 种形式。

(1)原岩遭受较强烈的破碎后,形成碎斑岩,规模一般较小,延长数百米,宽度 1～5m。主要为砂岩破碎的产物,碎屑石英大颗粒呈强烈波状消光,脉体石英的波状消光更为强烈,出现消光带及亚颗粒化,部分斜长石的双晶有扭曲现象。金矿化均匀,含金一般 2.96×10^{-6}～9.8×10^{-6}。地表常氧化呈褐红色。

(2)岩石破碎大小不均匀,大者 10～30cm,小者 0.5～5cm,但主要以小者为主,为砂岩、砂板岩角砾及硅质石英、绢云母、铁白云石、方解石等的充填物,长数十米至数百米,宽度 2～9m。可见石英细脉及黄铁矿细脉,含金极不均匀,一般为 0.21×10^{-6}～2.82×10^{-6},个别可达 73×10^{-6}、168×10^{-6}。地表常氧化呈灰褐—灰黄色。

(3)岩石遭受挤压破碎,但原岩产状基本清楚。岩石多挤压成碎裂化、片理化,呈定向排列,一般规模较大,几百米至 3km,宽度 5～10m,主要为赤铁矿化硅质岩,含金 0.2×10^{-6}～0.8×10^{-6},少量可达 1.1×10^{-6}～1.82×10^{-6}。

(4)岩石呈块状,可见明显的断层面,发育有黄铁矿化、硅化、绢云母化、碳酸盐化等,片状矿物定向排列。延长百余米,宽度 10m,岩性为蚀变的玢岩脉。含金 0.2×10^{-6}～$1.25\times$

10^{-6}。

构造带对成矿起着明显的控制作用,断裂破碎越强烈,成矿愈好。

2. 含矿地层及岩性

区内金矿化层位主要集中在下奥陶统中,该套地层分为 3 个岩组,但在矿区仅出现中、上岩组。

(1)中岩组(O_1^b)。为碎屑岩组,与下岩组整合接触,局部呈断层接触,岩性可分为两组。

下部:灰绿色变砂岩和千枚岩,夹薄层硅质岩、硅质千枚岩,底部常见中基性火山岩及透镜状大理岩的夹层,厚 1868.33m。砂岩为凝灰质硬砂岩,胶结物中一般均含有 15%～20%的火山岩,岩屑含量高达 30%,向上火山灰及岩屑减少。

上部:灰绿色变砂岩为主,夹灰色千枚岩,厚 1824.65m。砂岩主要为细—中粒长石石英砂岩、粉砂岩,石英含量一般为 45%～50%,长石为 5%～15%,岩屑为 5%～10%,泥钙质胶结物为 15%～30%,比下部岩屑明显减少。底部砂岩中见有磷结核(P_2O_5 9.29%)及含磷千枚岩(P_2O_5 5.28%),为次要含矿层。

(2)上岩组(O_1^c)。为上火山岩组,与下伏碎屑岩组呈整合接触,北界下志留统呈断层接触,出露不全,在扁子沟以西尖灭,向东沿断裂带延伸 15km,主要为绿色片理化细碧岩,夹硅质岩、大理岩及少量的砂岩,砂板岩,出露厚 293.9m。细碧岩的岩石化学特征,SiO_2 57%～62%,硅酸微饱和,属富硷性岩石,钠高于钾,镁高于铁,青磐岩化强烈。为主要含矿层位。

矿化岩性多集中在砂岩、砂板岩、硅质板岩中,围岩普遍黄铁绢英岩化、碳酸盐化。矿化层位在奥陶系与志留系、石炭系接触带附近,但未离开奥陶纪地层。所以地层及岩性对金矿化有一定的制约作用。

(二)矿体特征及工业类型

1. 矿体特征

童子坝金矿产于北西西向次级断裂挤压破碎带中,现已圈出矿(化)体 11 个。长 46～175m,厚度 2.5～8.6m,一般含金 1×10^{-6}～3.68×10^{-6},单样最高 Au 品位 9.8×10^{-6}(个别岩样含金 > 100×10^{-6})。矿体呈脉状、透镜状,产状倾向 20°～45°倾角 70°～85°,呈陡倾斜,与断层产状一致,靠近底板界面附近矿化较好,矿体沿至区域断裂带附近变厚。沿走向可见膨胀狭缩、尖灭再现。经开采,矿体地表夹石较多,但向深部(5～10m)矿化均匀,品位有变富的趋势。

2. 工业类型

该矿石为低砷硫化物碎屑类型金矿石。地表氧化带矿石比较破碎,氧化强烈,没有干扰氰化提金的 Cu、Pb、Zn、Sb 等元素,含有微量的黄铁矿及毒砂,含 S(0.1%)、As(0.26%)低,对氰化提金影响不大。经试验,该矿石氧化程度高,属易浸矿石,浸出率 84.1%,通过野外实际堆淋,筑堆 5000t,浸出率大于 70%。取得了良好的效果。

(三)矿石特征

1. 矿石类型及矿物成分

矿石按物质组份划分为 3 种类型:蚀变砂岩型金矿石、赤铁矿化硅质岩型金矿石、闪长玢岩脉型金矿石。以前一种为主要矿石类型。成矿元素以 Au 为主,伴生有 As、Cu、Be 等可供综合回收利用(表 3-3-1、3-3-2)。金属矿物为黄铁矿、毒砂、赤铁矿;非金属矿物主要为石英(硅质石英),其次为绢云母、方解石、铁白云石、斜长石、钾长石,少量的白云石、玉髓;氧化

物为褐铁矿、臭葱石、黄钾铁矾、孔雀石、铜兰等。

表 3-3-1　砂岩型矿石微量元素

元素	Be	Ba	Pb	Sn	Ti	Mn	Ga	Cr	Ni	V	Cu	Au	Ag	Zn	Co	Sr	Mo	As	La	Tb	Nb	Y
含量 $\times10^{-6}$	3	700	20	2	4000	700	20	50	40	100	50	3.09	0.3	50	50	160	6	2600	30	3	10	20

表 3-3-2　玢岩脉型矿石微量元素

元　素	Be	Ba	Pb	Sn	Ti	Mn	Ni	Cu	Zn	Co	Mo	Sr	Cr	Ga	V
含量 $\times10^{-6}$	10000	200	20	2	1200	1000	3	300	70	7	1	200	50	20	50

2. 矿石结构、构造

(1)结构。矿石的主要结构有变余斑状结构、变余不等粒砂状结构、碎裂结构、交代残余结构、他形充填状结构、初糜棱结构、初碎裂结构、变余凝灰结构、微晶结构。

(2)构造。糜棱面理构造:碎基(30%～40%)白云石及较少的石英沿面理方向显示流动状态,片理清楚,石英亚颗粒集合体呈拉长状;碎斑(60%～65%)石英及白云石拉长方向与面理走向方向一致,石英强烈波状消光。

压碎构造:碎屑岩被压碎,压碎裂隙被绢云母、次生石英、碳酸盐及少量的黄铁矿、赤铁矿等强烈充填交代,形成较少的基质与大量的碎斑。

浸染状构造:黄铁矿、赤铁矿以结晶不一的粒状或集合体,星散浸染于或稠密浸染于岩石中。

片状构造:绢云母、方解石、石英片理清楚,整体呈定向排列,片状矿物定向性更明显。

(四)蚀变类型及其分带

常见的蚀变有绢云母、碳酸盐化、硅化、黄铁矿—毒砂化、赤铁矿化等,与金矿化关系密切。

(1)绢云母化。主要见于板岩类岩石及片岩类岩石中,岩石具显微粒状鳞片变晶结构、板状构造、千枚状构造、面状构造等。其组成主要由绢云母(40%～90%)和部分石英、碳酸盐及少量的铁质组成。矿物总体显示定向性,片状云母定向性更好。绢云母化是区内最常见的一种钾交代作用,形成含钾较多的矿化岩石,且在金矿脉中与金共生。

(2)碳酸盐化。是区内一种普遍的蚀变现象,大部分岩石都发生不同程度的碳酸盐化(碳酸盐 15%～90%),以方解石化为主,铁白云石化次之,还有少量的白云石化。碳酸盐化强烈地段,使某些凝灰质成分高的岩石已被方解石以及铁白云石、绢云母(石英)所取代,只能从整体形态辨别出原火山碎屑物。方解石达 60%～90%时,常形成方解石片岩、方解石千枚岩等,极细粒方解石组成线—面状微构造。但大多数围岩碳酸盐后,常形成稠密网状、定向岩脉状、散染状及眼球状斑点等。碳酸盐形成期较晚,时常交代石英、绢云母等矿物。

(3)硅化。是常见的蚀变类型,从野外及镜下观察,一种硅化比较普遍,形成时间较早,在各类岩石中均可见到,与方解石、绢云母一同交代其他矿物,形成显晶结构,部分硅化石英呈他形微粒状,出现分凝条带。同时在岩石裂纹中形成团块及网脉石英。与金矿化无关;另一种硅化见于挤压破碎蚀变带中,碎屑物孔隙及构造裂隙中的充填物,已全被蚀变的显微微粒硅质石英胶结,使部分矿物呈交代残留物分布于交代石英集合体中,也可见粗粒石英强烈交代绢云

母,呈团块状及脉状。在构造应力方向常形成细小的石英脉。此种硅化形成较晚,与金矿化关系密切。

(4)黄铁矿—毒砂化。是构造破碎带内,由于黄铁矿、毒砂等硫(砷)化物的浸染所引起的蚀变—矿化现象,黄铁矿常呈自形—半自形立方体,毒砂呈半自形—他形晶,二者含量 1%～3%,边部见氧化产物褐铁矿、臭葱石等。毒砂多为较大他形充填状,少量为半自形晶、柱状及菱形截面,部分沿黄铁矿颗粒周围交代较强烈,使部分黄铁矿晶粒被毒砂不完全交代包裹呈弧岛状或不规则港湾状残余,有的沿长石解理缝分布。毒砂粒径最大为 0.315mm,一般为 0.045～0.0225mm。黄铁矿多呈星散浸染状及稠密浸染状分布于岩石裂隙中,粒径为0.01～0.03mm,最大为 1.2mm,以自形立方体及半自形粒状黄铁矿居多,还有少量的五角十二面体。

(5)赤铁矿化。在构造发育地段,绢云母及次生石英、少量黄铁矿、赤铁矿等,于构造裂隙、碎屑粒间强烈充填交代,赤铁矿稍晚沿后期微裂隙呈网脉状及浸染状分布。赤铁矿占 2%～5%,呈微粒状及小菱面体,多为 0.01～0.03mm。还有一种在表生氧化作用下形成红褐色、橙红色赤铁矿,细小而密集,粒径多为 0.03～0.05mm,不均匀分布于碎屑粒间、微裂隙及颗粒中。

此外,含矿围岩细碧岩,普遍具青磐岩化。原岩经多期蚀变交代作用,多期交代网脉,形成交代"碎砾状"构造,显著的脉体绿帘石—方解石—石英先后交错。绿帘石呈粒状变晶,量最大,方解石及石英也呈颗粒状及脉状,粒状石英充填于绿帘石等空隙中,钠长石长条状,透闪石短柱粒状、纤维状、针状,内含绿帘石,可被方解石交代,成分接近于低 Cu、Mg 阳起石,形成绿帘石—透闪石(阳起石)—钠长石等矿物组合。

蚀变具分带性,从矿体向围岩依次为硫—砷化物绢云石英碳酸盐化→绢英岩化→绢云碳酸盐化→青磐岩化。

三、矿床地球化学

(一)微量元素区域背景

区内地层元素含量区域背景值见表 3-3-3,各时代地层元素含量特点,由老至新,即从寒武系—第三系,多数元素含量呈降低变化趋势,在早古生代地层中相对集中:

寒武系中有 Co、Cr、Mn、Sb、Mo、Ni、Au;

奥陶系中有 As、Au、Cu、Zn、Ni;

志留系中有 Hg、U、Au。

随着早古生代地层火山岩基性程度的增加,MgO、Fe_2O_3 升高,SiO_2 减少,Au、Cu、Ni、Cr 的含量也逐渐升高。

主成矿元素 Au,在早古生代区域背景值为地壳丰度值(黎彤,1976 年)的 0.5 倍～0.6 倍,低于地壳丰度值。但在区域上(祁连山西段)是相对富集的。且有较高的叠加强度①,寒武系 Au 为 22.9,奥陶系 Au、Ni 为 2～3,Cu 为 5.2,志留系 Hg 为 108.2。所以,早古生代地层成为

---

① 刘建宏,甘肃省祁连山西段地球化学图说明书(1∶1 000 000),1996。

叠加强度 $D=\frac{\bar{X}_1\delta_1}{\bar{X}_2\delta_2}$ $\bar{X}_1$—剔除前均值,δ_1—剔除前标准离差 $\bar{X}_2$—剔除后均值,δ_2—剔除后标准离差

区内主要成矿元素的物质来源。

表 3 - 3 - 3　祁连山西段主要地层元素平均含量表

		第三系	白垩系	三叠系	石炭 - 二叠系	泥盆系	志留系	奥陶系	寒武系
微量元素	Ag	56 .9	51 .3	55 .2	56 .6	26 .1	61 .4	61 .6	59 .6
	As	8 .5	8 .74	6 .68	8 .51	14 .3	14 .3	16 .5	14 .9
	Au	1 .72	1 .52	1 .67	1 .34	1 .99	2 .05	2 .27	1 .90
	Ba	529	637	627	577	504	552	560	583
	Co	9. 73	8. 19	8. 04	8. 21	12. 4	15. 1	17. 4	17. 0
	Cr	60. 8	58. 3	54. 0	56. 8	86. 0	96. 8	128	144
	Cu	20. 8	17. 8	16. 9	18. 3	24. 8	31. 4	37. 3	35. 2
	Hg	14. 1	17. 6	13. 7	19. 2	52. 4	25. 3	24. 6	19. 3
	Mn	608	534	520	535	669	744	798	803
	Bi	0. 26	0. 24	0. 23	0. 28	0. 35	0. 34	0. 32	0. 35
	Mo	0. 6	0. 64	0. 49	0. 79	0. 89	0. 71	0. 87	0. 92
	Ni	25. 3	24. 3	21. 4	26. 2	37. 5	44. 3	56. 8	62. 9
	Pb	17. 3	22. 1	21. 4	22. 8	20. 8	19. 9	20. 0	20. 9
	Sb	0. 77	0. 67	0. 53	0. 65	1. 25	1. 06	1. 18	1. 25
	Sn	1. 98	2. 07	2. 21	2. 28	2. 93	2. 66	2. 57	2. 70
	U	1. 56	1. 48	1. 71	2. 05	2. 13	1. 84	1. 89	2. 10
	V	56. 8	50. 5	56. 3	56. 8	81. 6	86. 9	96. 9	96. 3
	W	1. 26	1. 19	1. 16	1. 23	1. 84	1. 69	1. 61	1. 80
	Zn	50. 5	43. 8	48. 0	50. 6	63. 5	14. 6	79. 9	73. 4
常量元素%	Al_2O_3	9. 63	8. 98	10. 9	11. 2	11. 9	12. 4	12. 2	11. 6
	CaO	6. 64	5. 06	3. 24	3. 10	3. 65	4. 81	5. 43	5. 53
	Fe_2O_3	3. 61	3. 19	3. 42	3. 45	4. 66	5. 24	5. 79	5. 63
	K_2O	1. 95	2. 12	2. 54	2. 4	2. 4	2. 32	2. 25	2. 38
	MgO	2. 73	2. 5	1. 78	1. 57	1. 92	2. 81	3. 84	4. 06
	Na_2O	1. 65	1. 42	1. 45	1. 4	1. 41	1. 73	1. 63	1. 56
	SiO_2	63. 2	67. 6	69. 4	69. 5	65. 2	60. 1	58. 6	57. 8

注:含量单位 Ag、Au、Hg 为 10^{-9};其余微量元素为 10^{-6}。引自:“祁连西段 1:1 000 000 地球化学说明书”

(二)区域地球化学异常分布特征

该区位于鹰咀山—冷龙岭 Au、Sb、Hg、Cu、Zn、U、Cr、Fe、Mn、V 地球化学带上,寺大隆—童子坝 Au、Hg、As、Sb 低温元素异常发育,并有汞、铀多金属矿床(点)与之对应,沟系中尚有黄金重砂高含量点。1:200 000 水系沉积物圈出童子坝、玉带河、老君山、寺大隆等 Au 异常(图3 - 3 - 3),童子坝已见金矿(化)体。

(三)矿床地球化学特征

对童子坝进行 1:50 000 水系沉积物测量(图 3 - 3 - 4),圈出 Au 异常总体上沿区域构造带呈串珠状分布,主要集中在奥陶系与志留系及石炭系的断裂接触带上,有小白石壁沟、扁子沟、五个道班等 Au 异常,各异常区均见到了金矿(化)体。

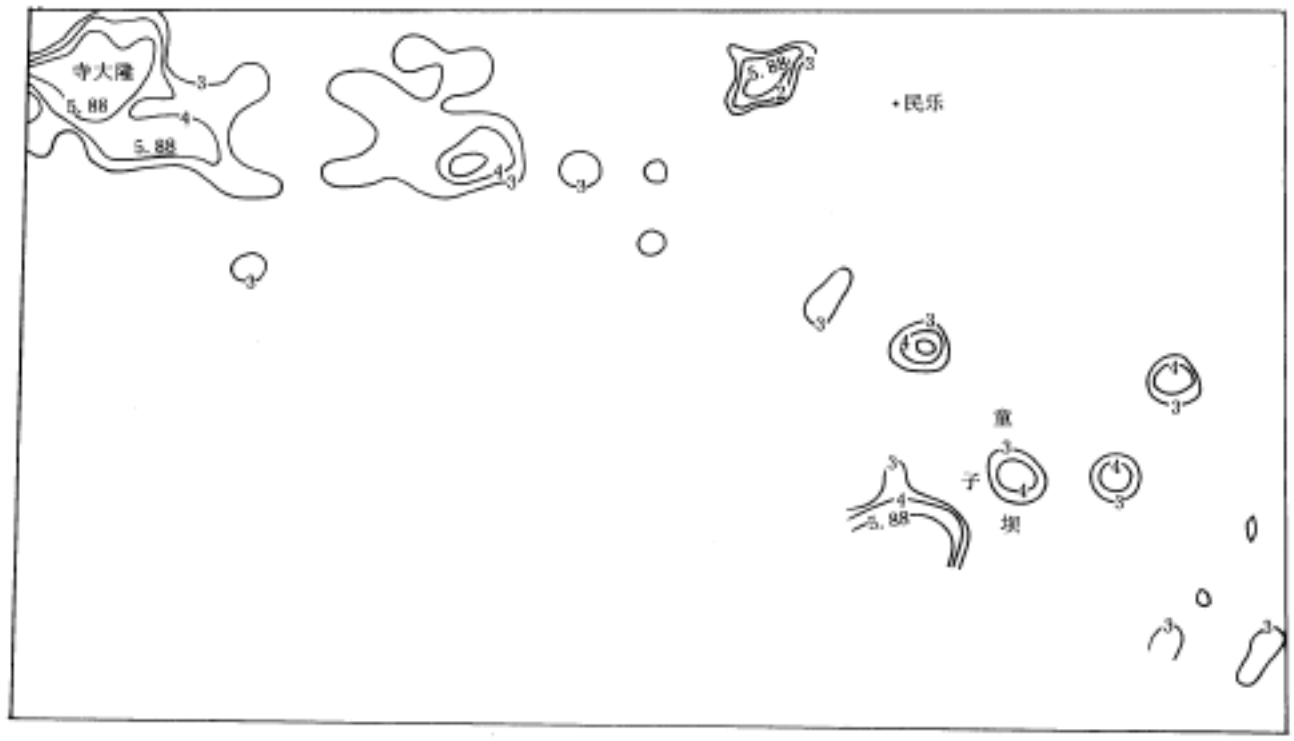


图 3 - 3 - 3　祁连西段水系沉积物地球化学金异常图($\times 10^{-9}$)

该区 1∶200 000、1∶50 000 水系沉积物金异常值都较低,分别为 3×10^{-9}～5.6×10^{-9}、3×10^{-9}～9.4×10^{-9},峰值分别为 15×10^{-9}、20.6×10^{-9},属于低缓异常。

1:10 000 土壤 Au 异常(图 3 - 3 - 5、3 - 3 - 6、3 - 3 - 7),基本上沿次级断裂破碎带、构造裂隙展布,Au 异常值为 8×10^{-9}～81.4×10^{-9},峰值为 102.3×10^{-9}(个别峰值 $>200\times10^{-9}$)。由于异常区覆盖较厚达 2～5m,且有大面积的风成黄土发育,影响了 Au 异常强度,但基本上可以反映矿体次生晕异常特征。

异常元素组合简单,形成 Au(内)→As(中)→Hg(外)的水平分带。

四、矿床成因

(一)成矿期次

成矿分热液期和表生期,热液期分 3 个阶段:金—绢云母—黄铁矿阶段,金—石英—毒砂(赤铁矿)阶段,碳酸盐阶段。表生期形成金的氧化次生富集。

对元素含量因子分析,抽取 30 个矿石样品,对每个样品 10 个元素的数据进行正交因子载荷矩阵排列(表 3 - 3 - 4)。6 个因子的载荷,可以反映童子坝金矿各个元素在不同阶段形成不

同的富集特征。

因子 F_1、F_4、F_6 为 Mn、Ni、Cu、Cr、Co 元素，Mn 元素与含锰的硅质岩有关，Ni、Cu、Cr、Co 元素为偏基性的火山岩及超基性岩的元素组合，在以因子 F_2 为代表的绢云母—黄铁矿阶段，主要成矿元素和伴生元素从围岩中活化、迁移，初步富集，多以亲硫元素为特征；随后在石英—毒砂阶段，以因子 F_3 为代表，Au、As 元素载荷最大，As 元素形成毒砂，同时 Au 元素富集成矿，为金的主要成矿期；以因子 F_5 为代表的碳酸盐阶段，为汞(区内汞矿产于大理岩中)的矿化期，金矿化很弱。

综上所述，童子坝地区中基性火山岩中 Au、Hg、[illegible] 元素含量偏高，在长期多种地质作用下，活化、迁移、富集成矿。Au、Hg、Ni、Cu 元素各自单独成矿。除 Au 为一期主要成矿期外，还有几期其他元素的成矿。有产于大理岩中的汞矿，也有与超基性岩有关的镍矿，还有金矿(化)体中伴生的铜矿化等。与区内实际成矿特征基本一致。

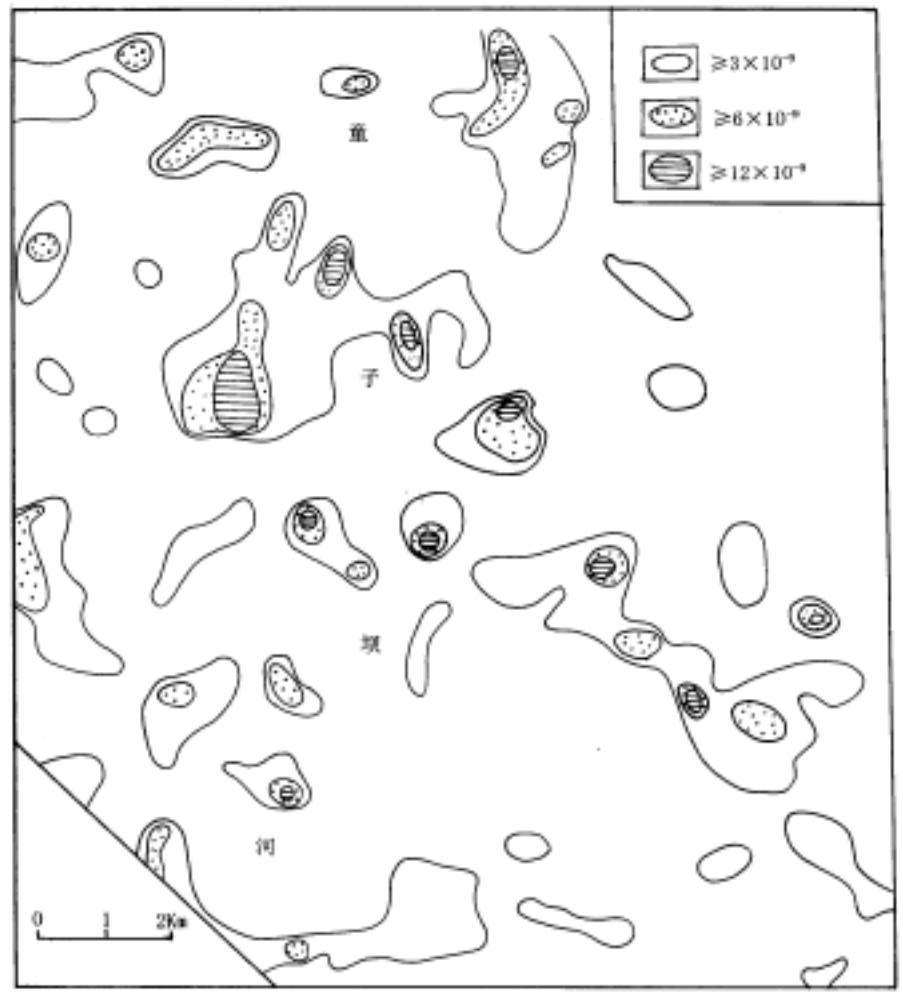


图 3 - 3 - 4　童子坝金矿水系沉积物地球化学金异常图

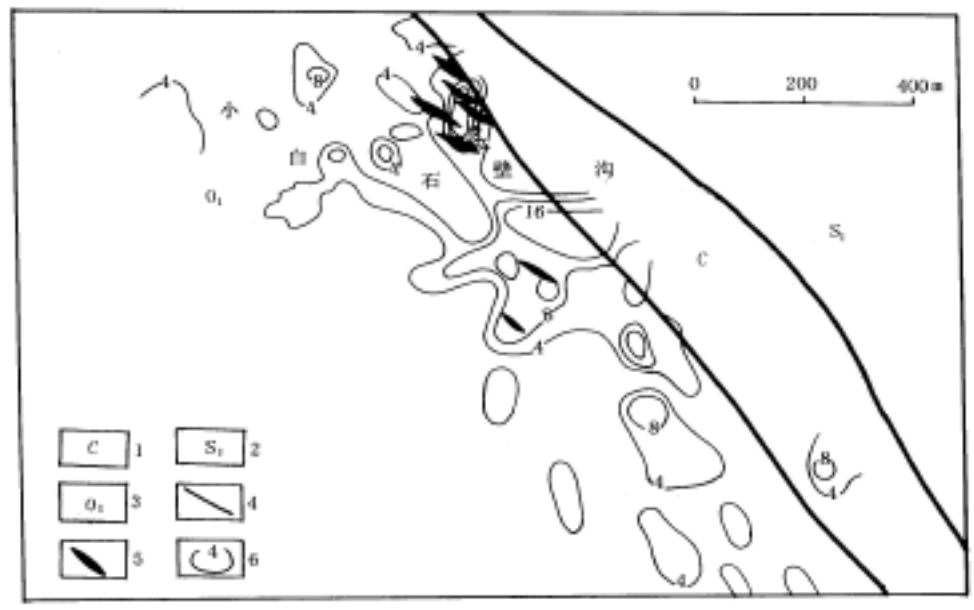


图 3 - 3 - 5　小百石壁沟土壤地球化学金异常图($\times 10^{-9}$)

1—石炭系灰岩；2—下志留统变砂岩、砾岩；3—下奥陶统千枚岩细碧质火山岩；4—断层；5—金矿(化)体；6—金异常

(二)控矿因素分析

1. 构造控矿作用

区域性大构造控制矿带、矿床的展布，而次级构造控制矿体的产出，在童子坝地区表现在尤为强烈。小白石壁沟、扁子沟、五个道班等矿化层位均沿大构造分布，而矿体常以小角度斜交产于次级断裂带中。金矿化严格受构造破碎的控制，构造带主要由碎斑岩、碎裂岩、角砾岩及裂隙、片理化带的组成，矿体随断裂带变窄或尖灭，金

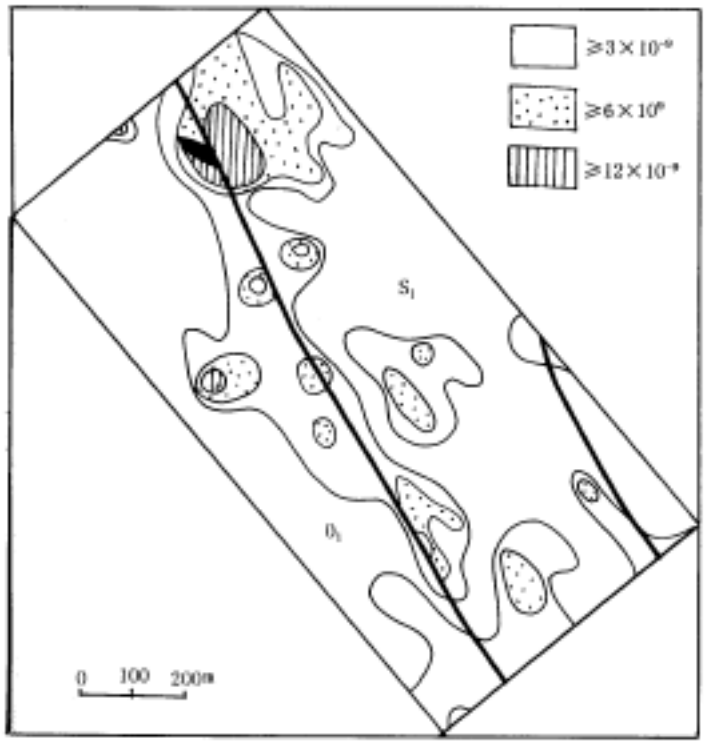


图 3 - 3 - 6　扁子沟土壤地球化学金异常图

S_1—下志留统变砂岩、砾岩;

O_1—下奥陶统千枚岩细碧质火山岩;

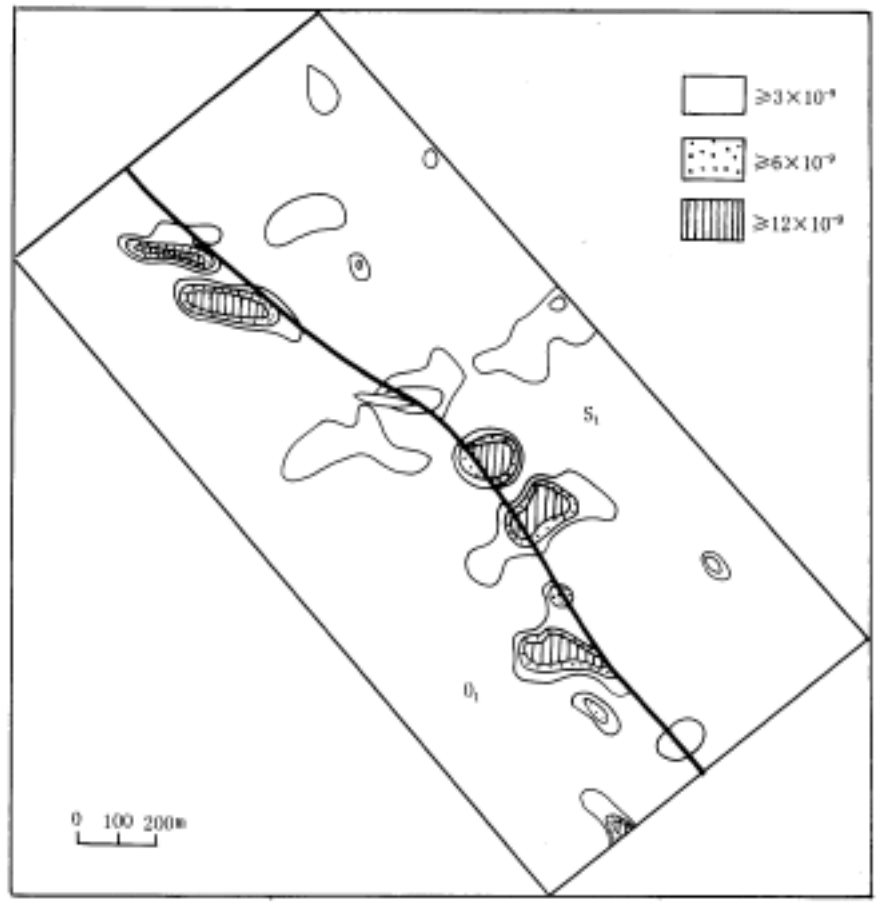


图 3 - 3 - 7　五个道班土壤地球化学金异常图

S_1—下志留统变砂岩、砾岩;O_1—下奥陶统千枚岩细碧质火山岩;

矿化越好。

构造运动及其形态,不仅为金矿的形成提供运矿、导矿和容矿空间,而且是矿液运动直接或间接的驱动力。因此,金的分布特征都与一定的构造单元和区域性大断裂及所派生的次级断裂挤压带密切相关,金的形成都有热液作用,热液与构造运动紧密相连,热液成矿,构造控矿是金成矿的重要特征。

表 3 - 3 - 4　正交旋转因子矩阵

元素	因子					
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6
Au	0.09741	-0.1230	0.9817	0.0589	-0.0531	-0.0731
Pb	-0.4141	0.6809	0.4278	-0.0705	0.3056	0.2890
As	0.0142	0.232	0.8782	0.4071	0.0844	-0.0379
Cr	-0.2862	0.1104	0.2224	-0.9238	-0.0101	-0.0549
Mn	-0.9949	-0.0142	-0.0074	-0.0682	-0.0613	-0.0392
Cu	-0.5808	-0.1911	-0.3869	-0.0964	0.2634	0.6306
Zn	-0.2807	-0.9076	0.2612	-0.1176	0.1231	-0.0153
Ni	-0.8017	-0.2274	-0.1007	-0.4504	-0.1389	0.2708
Co	-0.0199	0.142	0.0041	0.0341	-0.1189	0.9819
Hg	0.0849	-0.0199	0.0541	0.0715	0.9903	-0.0623

2. 地层及岩性控矿作用

本区矿化层位主要赋存于下奥陶统中,受基性、中基性火山岩的制约。事实表明,在一个地区,多数金矿床(点)总是集中分布于同一套地层之中。祁连山目前发现的金矿基本都在寒武—奥陶系中,这也说明金矿的形成具明显的层控性。究其原因,寒武—奥陶系含有大量的中基性火山岩,金的丰度偏高,经各种构造运动及区域变质作用,遭受绿片岩化,多形成浅变质的绢云母—绿泥石带。变质热液及各种热液活动使金活化、迁移,于动力变质作用集中区富集成矿。所以这种控制金矿的岩层,分布广泛,具有区域性的控矿意义。

本区含矿地层主要为下奥陶统上岩组,金的丰度值为 25.8×10^{-9},高出地壳克拉克值 6 倍多。含矿直接围岩为黄铁绢英岩化的黄铁绢英岩,金的含量值为 154×10^{-9}。无疑这种金含量较高的地层及岩石是形成金矿的一个物质来源。对金矿的形成起着一定的制约作用。

3. 岩浆活动与金矿化的关系

矿区侵入的岩浆岩主要为超基性岩、闪长岩、花岗岩、闪长玢岩、花岗斑岩等岩脉。但与金矿化有关的岩脉仅限后两种,金矿化与闪长玢岩脉、花岗斑岩脉相伴产出,甚至有的是金矿(化)体的组成部分,金含量一般大于 0.5×10^{-6}。究竟这些脉岩对形成金矿的矿源、热源起什么作用,目前未作更为详细的研究,但脉岩含矿的事实,为今后在该区进一步的研究矿床成因提供了依据。

(三)成矿机理

北祁连西段的奥陶系(寒武系)中基性火山岩,不仅发现了火山岩型铜(金)矿,而且近年来还发现了石英脉型、破碎带蚀变岩型金矿。该套地层 Au 的丰度值较高,在童子坝表现尤为明显,金含量值高出克拉克值几倍至几十倍,为本区金矿的形成奠定了物质基础。

童子坝金矿产于富钠的火山岩及有关的沉积岩内。区域变质程度多在绿片岩相。细碧质火山岩常形成青磐岩化(青磐岩),同时近矿围岩普遍黄铁绢英岩化(黄铁绢英岩)。众所周知,青磐岩化、黄铁绢英岩化是低温热液的产物。是与金矿化关系密切的热液蚀变。金矿化多在细碧质火山岩夹层中的硅质岩、砂岩(砂板岩)中,即不同岩性的接触面附近。

在矿区除金之外,还有其他矿种形成,北部几百米范围内有热液型铀矿产出,南部 5km 处有低温热液型汞矿形成。这些都充分反映了区内不仅有强烈的热液蚀变作用,而且是以金为主的多矿种的集中成矿区。

热源来自深部的岩浆活动。在矿区沿大断裂有中酸性岩脉产出。矿体中见有斑岩及玢岩脉共生,且部分含金。岩脉的侵入为含金热液的产生提供了有利的热场环境,形成较强的热流异常区,大气降水沿断裂下渗,沿途有各种水体加入,至深层受岩浆和地热的加热,形成地下热水环流,不断萃取地质体中的成矿物质,成为富含成矿物质热液,成矿热液沿断裂运移,进入有利的次级断裂构造系统,因各种物化条件的改变,形成多阶段成矿及蚀变。

初步认为成因属低温热液金矿。

第四节　曹家口金银矿床

一、区域地质背景

(一)构造

矿区地处北祁连加里东褶皱带走廊过渡带中段,北邻华北地台阿拉善台隆西南缘的龙首山拱断束。次一级构造为大黄山复式向斜(包括甘泉南向斜和大黄山背斜),其褶皱轴自西向东由340°渐变为310°,它控制了侵入岩和断裂构造的空间展布和走向变化。矿床产于大黄山复式向斜之大黄山次级背斜的西南翼。断层主要有曹家口—小柳沟走向逆断层,长大于15km,在曹家口与矿床相距约600m,矿区的含矿断层破碎带与之呈锐夹角相交(图3-4-1)。

(二)地层

区域出露地层主要有中寒武统大黄山组和石炭系、二叠系。大黄山组为一套浅海相具浊积岩沉积特征的复理石建造,可分为下、中、上三个岩组,岩性组合分别为杂砂岩夹板岩,杂砂岩、杂砂岩与板岩互层,中上岩组和下岩组分别组成复式向斜的核部及两翼地层;石炭系为一套典型的海陆交互相含煤碎屑岩建造;二叠系为内陆河湖相碎屑岩建造。

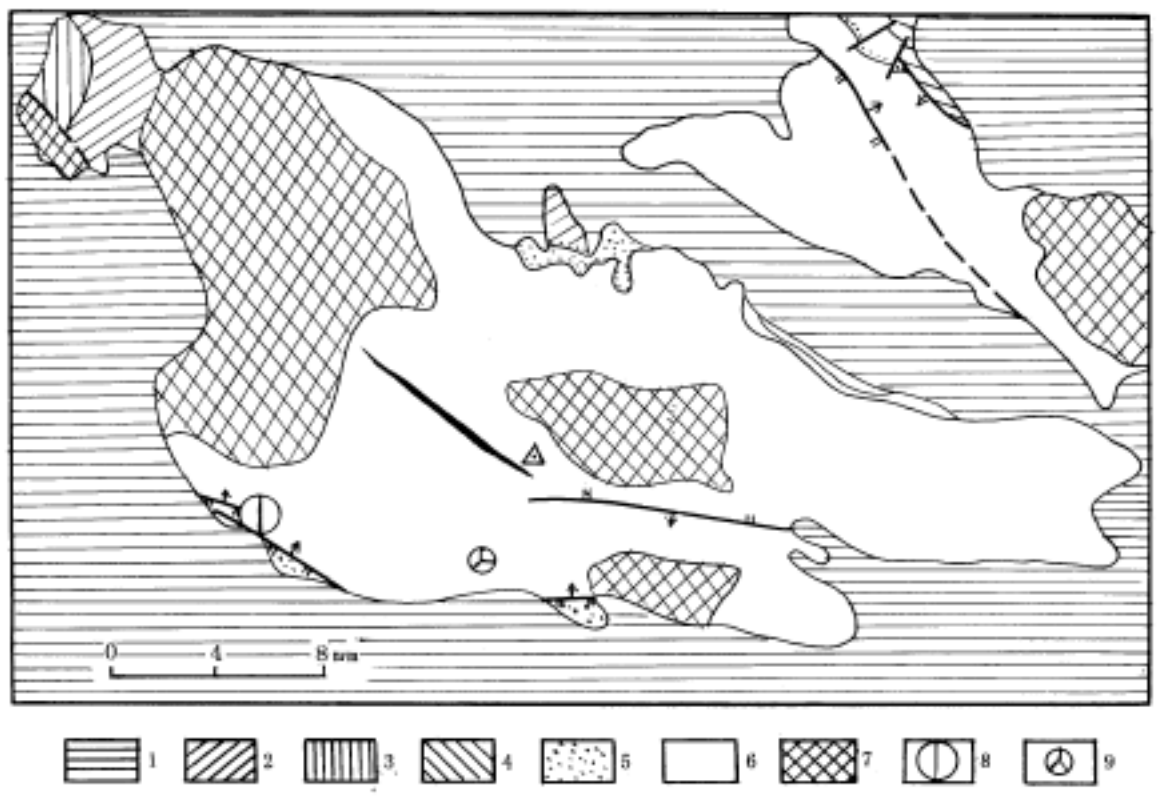


图3-4-1　大马营-红山窑一带区域地质略图

1—第四系;2—第三系;3—白垩系;4—二叠系;5—石炭系;
6—中寒武统大黄山群;7—中酸性岩体;8—金银矿床;9—多金属矿点

(三)岩浆岩

区域岩浆活动强烈,沿大黄山复式向斜近轴部侵入有加里东中、晚期的中酸性—酸性深成岩体,侵入岩类型由早到晚有斜长花岗岩→花岗闪长岩→似斑状二长花岗岩,矿区位于岩体南约2km,岩浆活动为矿区金银等矿化提供了热源及热动力。

(四)矿产

区域矿产比较贫乏,仅有产于大黄山组的曹家口金银矿床及东邻约8km的小柳沟多金属矿点和产于石炭纪地层中的小型煤矿及相共生的高岭土、耐火粘土矿点。

二、矿床地质特征

(一)控矿条件

1. 地层

矿区广为第四系覆盖,仅见零星出露的大黄山组下岩组地层,岩性以灰绿、灰、灰黑色长石石英杂砂岩为主,局部夹似层状或透镜状的粉砂质绢云母板岩。

2. 构造

矿区位于大黄山背斜西南翼,为单斜构造。断裂发育,主要断层有 5 条,包括 2 条走向逆断层(F_1 和 F_2)及 3 条平移断层(F_3、F_4、F_5),其中 F_1 与 F_2 大致平行,相距 50～70m,共同围限构成一个含矿断层破碎带,向东、西延渐合并为一条断层。

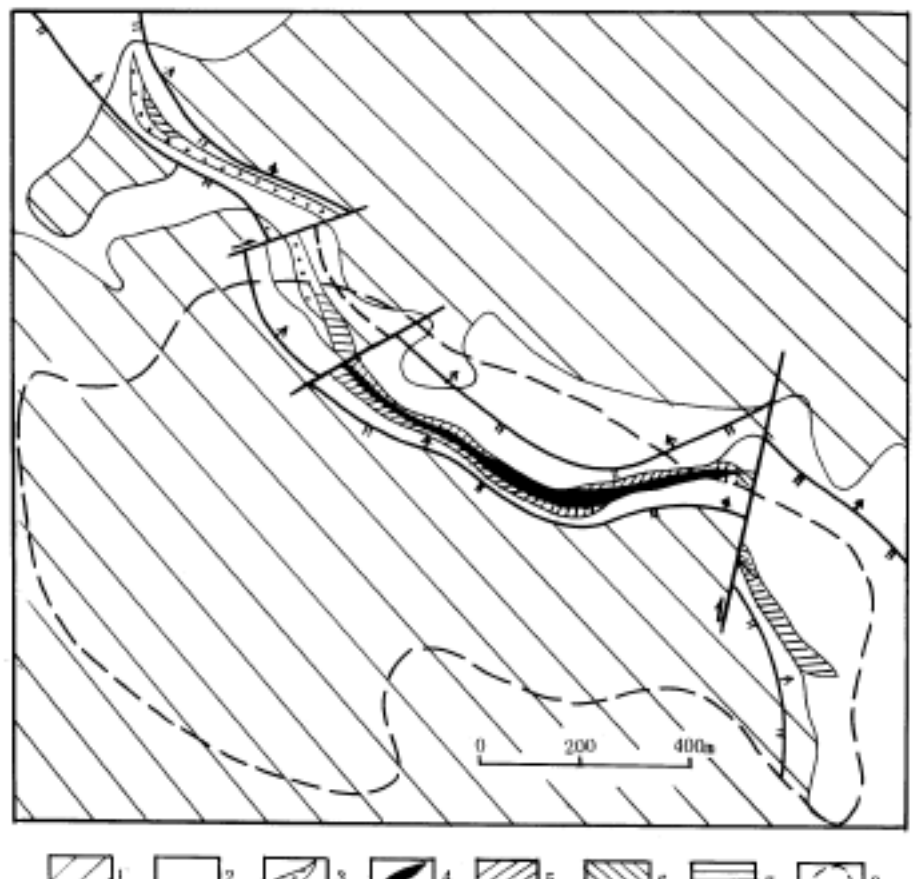


图 3 - 4 - 2　曹家口金银矿区地质图

1—第四系;2—中寒武统杂砂岩夹板岩;3—石英脉;4—金矿体;5—银矿体;6—铜矿体;7—铅矿体;8—次生晕综合异常

含矿断层破碎带长约 1.5km,宽 50～70m,走向 115°～145°,倾向 25°～55°,倾角 35°～55°。其特征为:含矿石英脉赋存其中;带内发育多个宽约 6～20m 的砂板岩的层间破碎带,为不规则透镜状,在走向和倾向上延伸不稳定;带内不论石英脉,还是砂板岩,都具明显的碎裂、糜棱结构,角砾状构造和硅化、褐铁矿化、黄铁矿化等蚀变,尤其是石英脉的破碎硅质胶结明显。此破碎带严格控制着矿化石英脉及矿体的空间展布,具导矿和储矿构造的双重特性。

3. 石英脉

沿断层破碎带分布的石英脉长 800m,宽 6～30m,倾斜延深 120～380m,产状与断层破碎带基本一致,走向 120°～140°,倾向 30°～50°,倾角 30°～50°,被 3 条平移断层切为 4 段,其西段约 200m 不具矿化。形态不规则,膨缩变化较大,个别地段具分枝复合现象。金银及多金属矿化即产于该石英脉体中,且不论在地表还是深部,金银等矿体随石英脉的膨缩呈现宽窄变化,石英脉膨大处则矿体变宽(图 3 - 4 - 2)。

(二)矿体特征及工业类型

1. 矿体特征

该矿床以金银矿化为主,共伴生有铜铅锌,按工业指标要求,依金→银→铜→铅→锌顺序圈出各类矿体 22 个,其中金、银矿体各 4 个,各矿体分布于长约 600m 的范围内,在西、东侧分

别被 F_4 和 F_5 切割而分为西、中、东三段。而以①号金矿体和⑤及⑥号银矿体构成矿区的主矿体,其基本特征如表 3 - 4 - 1,表现为:矿体规模较小,长 245～310m,厚 0. 8～18. 8m,平均厚度为 4. 3～5. 5m,厚度变化大,倾斜延深 22～190m;矿体形态呈不规则似层状、透镜状;产状较稳定,缓—中等倾斜;品位低且变化大。其他矿体规模小,长 25～140m,厚 1～3m,倾斜延深 12～80m,为透镜状、扁豆状和脉状。

表 3 - 4 - 1　主矿体特征表

矿体特征		矿体编号		
		Au - 1	Ag - 5	Ag - 6
产出位置		石英脉及各矿体近中部位	在 Au - 1 上盘	Au - 1 下盘
规模	长度(m)	310	360	245
	厚度(m)	0 .8～15	0 .8～18 .8	0 .9～18
	平均厚(m)	4 .3	5 .5	4 .5
	倾斜深(m)	25～260	22～190	100～160
厚度变化	沿走向	具膨缩变化	变化大,无规律	与 Ag - 5 相似
	沿倾向	距地表 40m 以下开始变薄或分叉尖灭	地表向深部呈薄—厚—薄—尖灭	基本同 Ag - 5
	变化系数%	69 .8 较稳定	100 不稳定	83 .6
形　态		不规则似层状透镜状	不规则似层状透镜状	不规则似层状透镜状
产状	走向(度)	西段 110～140 东段 85～105	与 Au - 1 类似	与 Ag - 5 类似
	倾向(度)	西段 35,东段 355	同 Au - 1	西 35,东 14
	倾角(度)	16～52	30～51	22～51
品位 10^{-6}	区　间	1 .0～33 .1	40～840	40 .5～825 .7
	平均值	5 .22	193 .77	242 .62
	变化系数	103 .8	89 .6	111 .8
品位变化律	走向上	局部较高	东段高于西段	局部高规律不强
	倾向上	地表 40m 以下渐贫	地表 40m 以上高于其下	向下变低
	厚度上	中部高于上下部	无规律	无规律
矿体变化规律		东西两侧及向深部渐变为表外矿或多金属矿	向东西渐变为铅矿向深部变贫或铅矿	向东西渐变为铅矿向深部变贫

金银及铜铅锌等矿化元素在石英脉的不同地段分别富集且矿化程度各异,其各矿体的空间赋存变化规律为:①矿带沿走向中段以金银矿为主,铅次之,向东、西过渡为铜、铅矿;②在矿带或石英脉厚度方向,金矿居中部,银及铅锌矿居两侧或顶底板(图 3 - 4 - 3);③沿倾向距地表约 100m 以上以金银矿为主,往下渐变为银、铜、铅、锌矿(图 3 - 4 - 4)。即各矿种在空间分布上表现为由中部向两侧,由地表至深部的金、银→铜铅锌的分布序次。

2. 工业类型

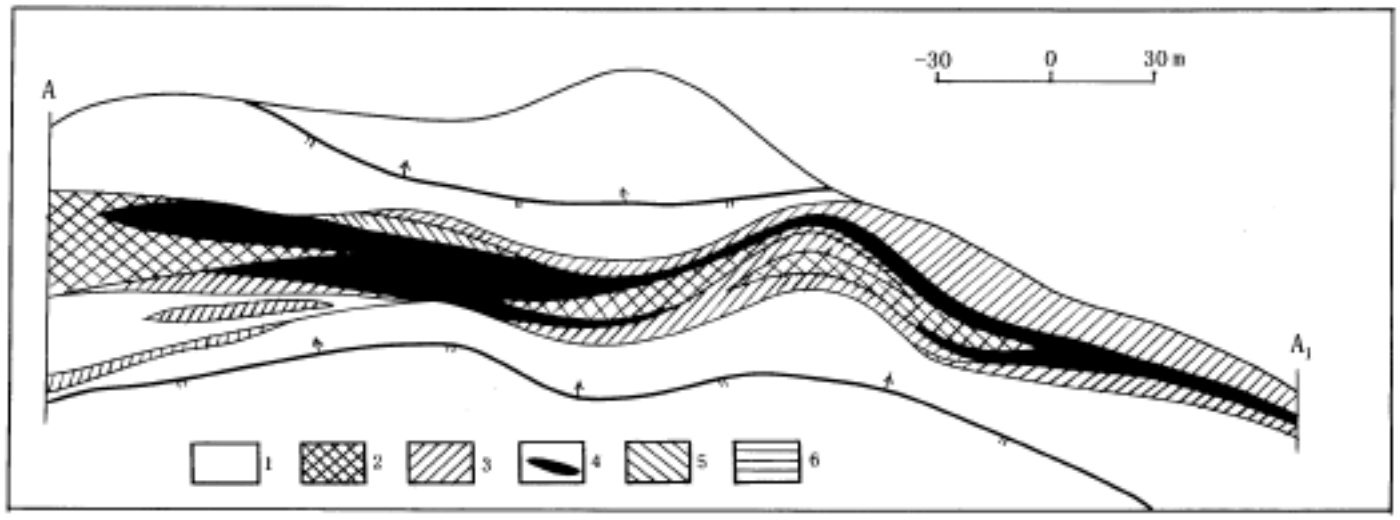


图 3 - 4 - 3　曹家口金银矿区 A - A′纵剖面图

1—长石石英杂砂岩;2—石英脉;3—金矿体;4—银矿体;5—铜矿体;6—铅锌矿体

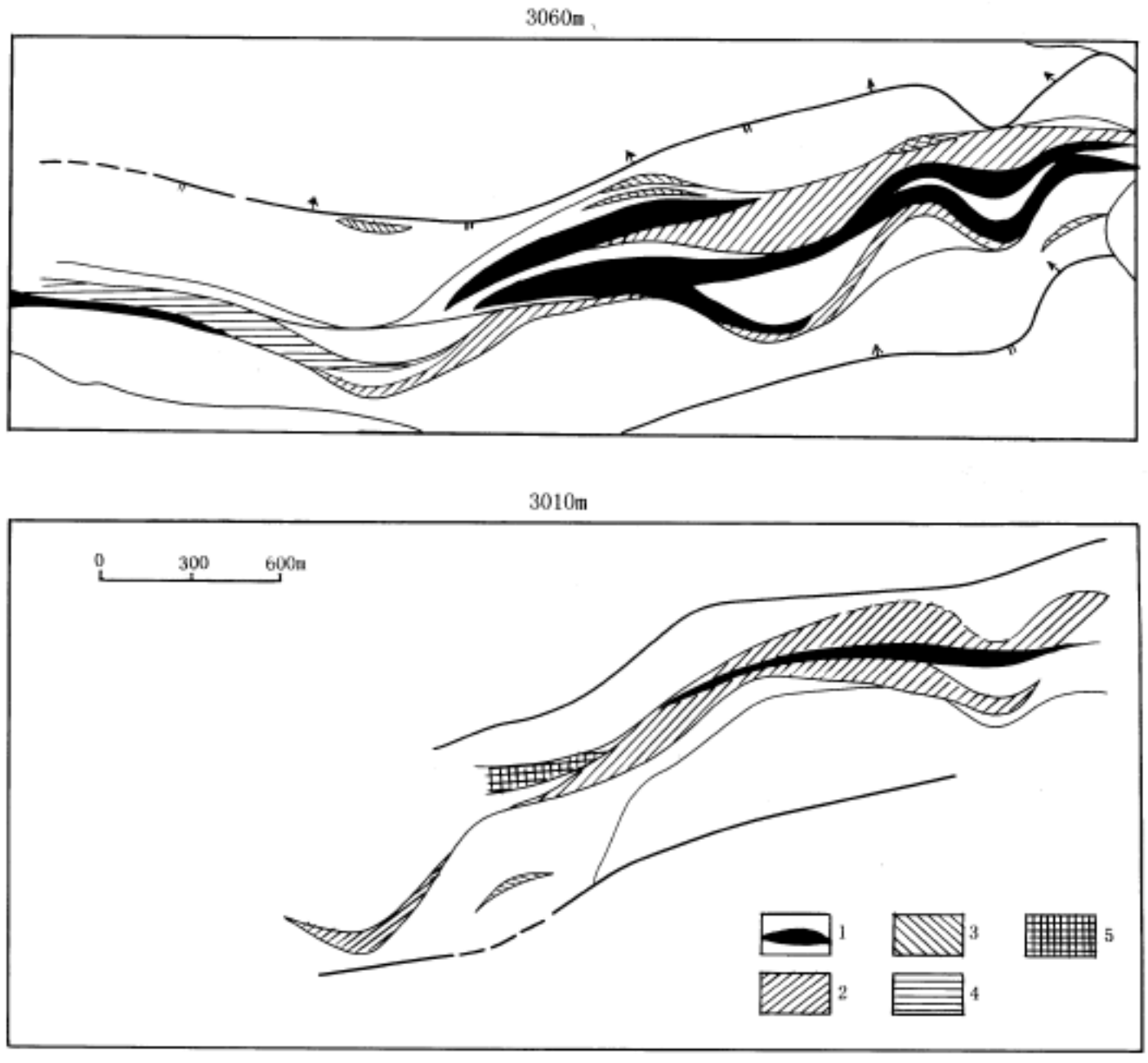


图 3 - 4 - 4　曹家口金银矿区水平断面图

1—金矿体;2—银矿体;3—铜矿体;4—铅矿体;5—锌矿体

矿区矿化石英脉以单脉状产于断层破碎带,在强矿化地段,石英脉即为矿体,在弱矿化地

段,矿化主要产于脉体近中部,而石英脉与围岩的接触破碎带内发育的石英细网脉强硅化地段,仅形成小而贫的矿体,即矿床工业类型属石英(单)脉型多金属金银矿床。

(三)矿石特征

1. 矿石结构、构造

矿石主要有自形、他形粒状、碎屑、假像、网状、镶边、放射状变晶结构等。构造为角砾状、星散或稀疏浸染及细脉浸染状、(细)网脉状、多孔状或蜂窝状、皮壳状、土状或粉沫状构造等。

2. 矿石物质成分

据光薄片、人工重砂鉴定及电子探针等分析,已鉴定出矿石矿物或造矿矿物 40 余种,据矿物组合可分为金银矿物、金属矿物、表生氧化矿物及脉石矿物四部分(表 3 - 4 - 2)。

表 3 - 4 - 2　矿石矿物成分表

矿物	金银矿物	金属矿物	表生氧化矿物	脉石矿物
分布	微	2%～5%	20%～30%	60%～70%
主矿物	自然金、自然银、辉银矿	黄铁矿、毒砂	褐铁矿、赤铁矿	石英
次矿物	银金矿	黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、赤铁矿	黄钾铁矾、臭葱石、孔雀石、蓝铜矿、铅矾	绢云母、绿泥石
微量矿物	淡红银矿、卤银矿	铜蓝、磁黄铁矿、辉锑铅矿、蓝辉铜矿	辉铜矿、铜蓝、硅锌矿、砷铝铅矿、砷铅矿、白铅矿、自然铅、磷氯铅矿、自然铜、砷黝铜矿、石膏	磁铁矿、锆石、金红石、磷灰石、玉髓

金矿物以自然金为主(90.24%),银金矿为次(9.76%)。自然金为橙黄色,银金矿呈黄—浅黄色;形态以枝叉状、长角粒状为主,角粒状、尖角粒状次之,麦粒状、板片状、浑圆粒状少量;粒度为中—微细粒;金矿物中金含量 80.83%～99.57%,金银总量为 97.63%～99.87。金的成色为 800～990。

矿石中金以金的独立矿物及载金矿物两种形式出现,前者为自然金、银金矿,后者为金属硫(砷)化物及其氧化物。金的独立矿物与脉石矿物(主要是石英)和褐铁矿关系密切,以粒间金(占 79.04%)和包裹金(20.96%)两种形式赋存。

银矿物有自然银、辉银矿、淡红银矿、卤银矿四种,前三者分别占银矿物 51.47%、48.33%、0.20%,后者含量微。粒度为中—细微粒,较金矿物更细些。银矿物大部分产在脉石裂隙中,少部分被脉石包裹,辉银矿有部分(约 11%)交代方铅矿与其形成连晶。

3. 矿石化学成分

(1)主组分含量及变化。以相应矿种的主组分进行含量统计(表 3 - 4 - 3),各主组分含量以 Au、Ag 为高,Cu、Pb、Zn 低,品位变化 Au、Ag 较大,Cu、Pb、Zn 较小。

(2)伴生组分及含量。金、银在矿体中互为伴生,Ag、Au 分别为 107.53×10^{-6}、0.58×10^{-6},铜、铅、锌各矿体中伴生的 Au、Ag 含量接近,Au 为 0.24×10^{-6}～0.26×10^{-6},Ag 为 18.4×10^{-6}～30.6×10^{-6},较金银矿体中互为伴生者为低。金银矿体及铜铅锌矿体中的 Au/Ag 比值,以金铜矿体中略高为 0.016～0.034,其他矿种为 0.005～0.009,即各矿种矿体中都共伴生有较高的 Ag,构成了矿区金银矿床的特征。金银矿体及铜铅锌矿体伴生 Cu、Pb、Zn 含量近似,其值分别为 Cu0.18%～0.39%,Pb0.80%～1.45%,Zn0.41%～0.79%。

(3)有益及有害组分含量及变化。各矿体中含量较高的有益组分为 Bi,有害组分为 S、As,Bi 在金、银、铜铅锌矿体中分别为 0.12%、0.05%、0.28%,S 在上述三类矿体中分别为 0.56%、0.36%、0.10%,As 则分别为 2.62%、1.22%、0.42%,可见 Bi 在铜铅锌矿体中含量高于金、银矿体,S、As 则相反。

表 3-4-3　主组分含量表

含　量	金($\times10^{-6}$)	银($\times10^{-6}$)	铜(%)	铅(%)	锌(%)
含量区间	1.0～33.1	40～84	0.5～2.94	0.5～4.75	0.82～3.62
平均值	5.24	204.51	1.09	1.12	2.99
品位变化系数%	104	90～110	43～49	46～55	58

(4)岩、矿石化学成分。金、银矿石及其围岩石英脉和长石石英杂砂岩化学全分析资料(表 3-4-4)表明:①SiO_2 含量很高,金、银矿石中平均值分别为 85.66%、72.44%,低于石英脉中平均含量(92.16%),说明成矿与石英脉关系极为密切,且石英脉在矿化过程中存在多金属代入和硅质代出的组分交代;②矿石中 SO_3 和 Fe_2O_3 含量较围岩高,反映以黄铁矿为主的硫化物蚀变矿化和矿石的表生氧化特征;③除以上 SiO_2、SO_3、Fe_2O_3 之外的其他组分在矿石和杂砂岩中的含量较石英脉高或稍高,这是矿石中普遍见杂砂岩及板岩团块的成分反映;④矿石及围岩中 CaO 含量低(小于 0.5%),这一点与岩矿石中斜长石及暗色矿物等含量很低和碳酸盐化微弱是一致的。

表 3-4-4　岩、矿石化学成分平均值表　　单位:(%)

序号	岩矿石类型		样品数	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO
1	矿石	金矿石	8	85.66	1.64	0.34	5.66	0.36	1.18
2		银矿石	4	72.44	7.38	0.56	6.85	0.40	1.30
3	围岩	石英脉	2	92.13	1.29	0.07	4.18	0.28	0.23
4	石英杂砂岩		4	73.64	9.20	0.84	3.62	0.29	1.84

序号	FeO	Na_2O	K_2O	MnO	P_2O_5	CO_2	SO_3	H_2O^+	H_2O^-	烧失量
1	0.58	0.19	0.20	0.06	0.03	0.19	0.52	1.08	0.10	1.69
2	2.65	0.12	1.08	0.06	0.08	0.32	0.45	2.77	0.21	3.37
3	0.24	0.00	0.48	0.04	0.04	0.20	0.18	0.41	0.20	0.78
4	4.45	0.44	2.23	0.07	0.10	0.38	0.08	2.04	0.11	2.46

4. 矿石类型

组成本矿床的矿种较多,但矿石类型较单一。按矿石的主要矿物组合可分为:金银—硫(砷)化物—褐铁矿—石英和金银—硫(砷)化物—赤铁矿—褐铁矿—石英两种矿石建造或自然类型;按矿石的氧化程度划分为少硫化物金银氧化矿石。而工业类型属石英(单)脉型金银矿

石。

(四)蚀变类型及分带

矿区蚀变类型有硅化、褐铁矿化、赤铁矿化、黄铁矿化、黄钾铁矾化、绢云母化、绿泥石化等,与金银矿化关系密切的蚀变为硅化、褐铁矿化、赤铁矿化、黄铁矿化、黄钾铁矾化等,而金矿化与硅化、赤铁矿化、黄钾铁矾化关系更密切。铜铅锌矿化蚀变类型主要有硅化、褐铁矿化、黄铁矿化,即蚀变类型较金银矿化的蚀变简单,强度较弱。

围岩蚀变的范围和强度在空间的展布或变化,严格受石英脉控制,多呈不规则带状产于石英脉体内及顶、底板围岩中,构成宽约 10～40m(顶、底板围岩中宽各为 2～10m)的蚀变带。蚀变带及矿化范围因石英脉膨缩变化而变化,在石英脉膨大处则蚀变带及矿化范围宽,反之亦然。从石英脉的中部向两侧或顶底板围岩蚀变类型呈现由硅化、褐铁矿化(赤铁矿化)、黄铁矿化、黄钾铁矾化→硅化、褐铁矿化、黄铁矿化→褐铁矿化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化的蚀变分带;在走向上自矿化带中部向两侧,蚀变类型呈现以与金银矿化关系密切的蚀变类型向以铜铅锌矿化关系密切的蚀变类型过渡的变化;倾向上褐铁矿化、赤铁矿化、黄钾铁矾化等在地表较深部发育,黄铁矿化则反之,硅化变化不大。

三、矿床地球化学

(一)成矿温度条件

通过对金矿石的 9 件样品中的石英矿物包体测温,其均一温度为 173℃～194℃,平均为 178℃,属低温范围。再结合矿石矿物组成、蚀变组合类型,认为该矿床的成因类型属与构造热液有关的中低温热液石英脉型多金属金银矿床。

(二)微量元素地球化学

1. 元素间的相关、聚类及因子特征

利用矿区地表探槽和深部坑道及钻孔工程金银矿体样品的半定量光谱及化学分析结果,选取 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Mo、Sr、Ba、Mn、Bi、Ni、Co、W 等 13 种元素(As 因结果都很高,大于或等于 1000×10^{-6} 而未选入),分地表和深部组成两组样品,相应分别代表矿体上部和中下部。进行相关、聚类和因子分析,来探讨微量元素地球化学。

相关分析表明,Au 在矿体中下部,Ag 于矿体上部与其他元素不具相关性,Au 在矿体上部与 Sr、Mo、Ni、W 正相关,表明矿体剥蚀程度较大,Ag 在矿体中下部与 Pb、Mn、Co 为正相关,与 Cu、Mo 为负相关。说明由矿体下部往上部元素间相关性差异较大,反映元素沿轴向上的分异程度较大。

R 型聚类分析结果:矿体上部矿化元素分属为两群,即 Ni、Co、Cu、Mn、Zn、Sr、Au、Ba、Bi 和 Ag、W、Pb,而中下部除 Au 与 Pb 外,Ag、Cu、Zn 则分别聚类,反映出由矿体深部往上部矿化元素及其他元素间聚类相关性差异较大且聚合共生性增强。

因子分析 Au 在矿体上部呈独立公因子,于中下部 Au 与 Pb、W 组成公因子;Ag 在矿体上部与 W,而在中下部与 Bi 组成公因子,反映出 Au、Ag 元素分属不同的公因子,又具有各自不同的公因子组合,这可能反映的是金银矿体在走向上和倾向上的异体共生特点。

综上所述,从矿体的下部往上部,元素间的相关聚类性增强,分群减少,群内元素增多,亦即由矿体下部往上部各成矿元素向上聚集叠加。

2. 指示元素的轴向分带性

利用戈里戈良分带指数法计算的轴向分带序列(自上而下)为:(矿上晕)Cu→Bi→Ba→Sr→Mo|(矿体晕)→Pb→Ag→Au→Zn|(矿下晕)→Mn→Co→W→Ni→As(?)→Cr,此序列与石英脉型金矿的一般分带序列规律相似,与矿区主要勘探线的岩石地球化学图(图 3 - 4 - 5)一致。

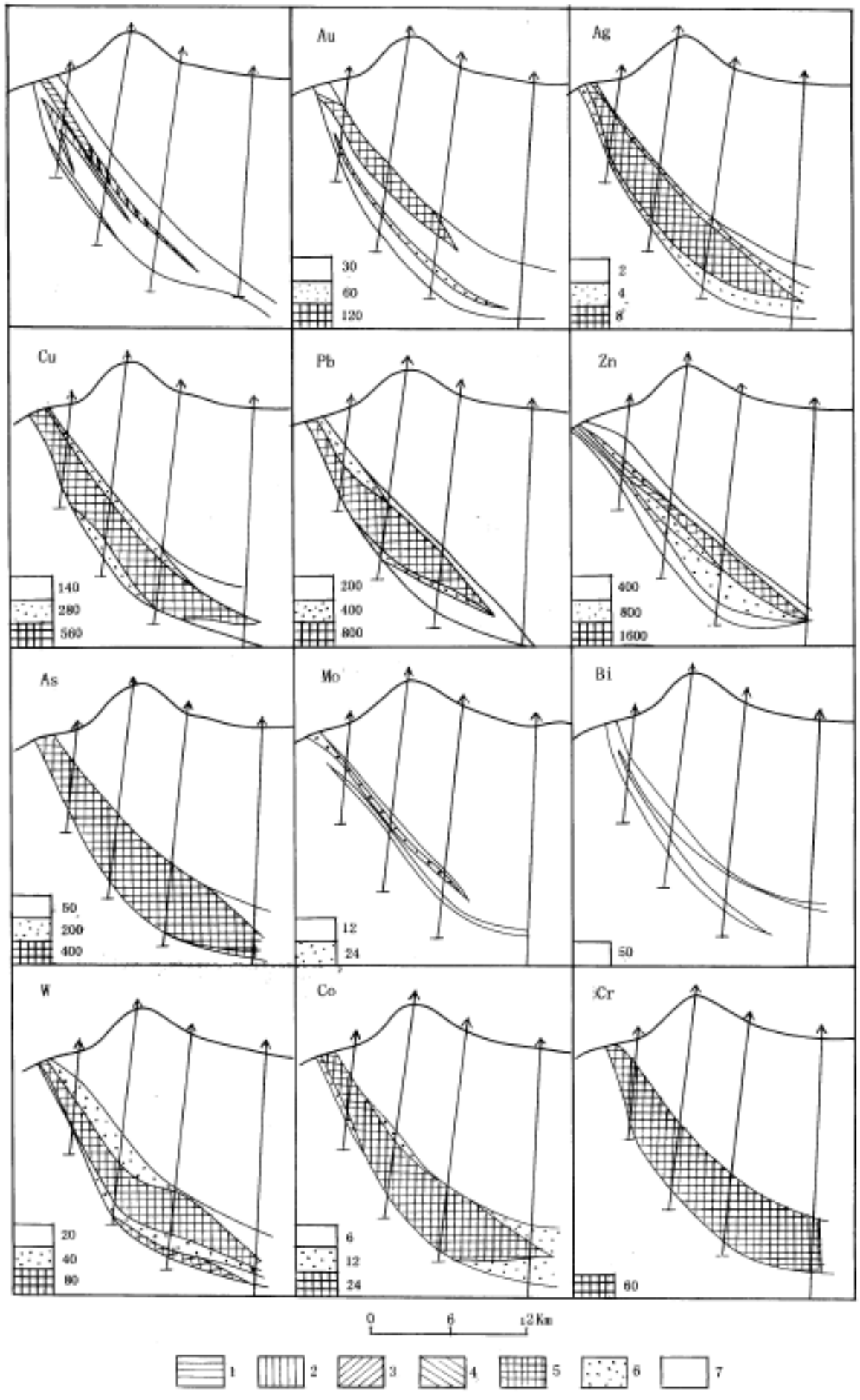


图 3 - 4 - 5　曹家口金银矿区 27 勘探线岩石地球化学异常图

1—金矿体;2—银矿体;3—铅矿体;4—锌矿体;5—异常内带;6—异常中带

四、成矿时代、矿床成因及找矿标志

(一)成矿时代及期次

初步认为曹家口金银矿区是加里东期走廊过渡带主构造幕背景下的构造—岩浆事件及期后的构造—热液活动下形成的,成矿时代定性地认为属加里东晚期。

对成矿期次依矿石中主要矿物的共生组合及相互间包含、交代等关系的研究,认为经历了多期多阶段的构造热液活动过程,成矿期初步划分为热液期(Ⅰ)和表生氧化期,热液期又划分为氧化物自然金银阶段($Ⅰ_1$)和硫化物自然金银阶段($Ⅰ_2$)。金银矿物、硅化石英及黄铁矿主要形成于热液期,毒砂、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等主要形成于硫化物自然金银阶段,而褐铁矿、赤铁矿、臭葱石、孔雀石、蓝铜矿、黄钾铁矾、铅矾等形成于表生氧化期,且表生氧化使金、银矿化,特别是金趋于富集。

(二)控矿因素分析及矿床成因探讨

1. 成矿物质来源

据对远离矿化带的长石石英杂砂岩、非矿化石英脉及矿区外围似斑状二长花岗岩的微量元素统计,非矿化石英脉中各微量元素明显高于克拉克值,如 Au、Ag 分别是黎彤值(1976)的 12.5 倍和 40 倍,而长石石英杂砂岩、似斑状二长花岗岩的微量元素值低于或接近黎彤值,说明成矿物质来源于石英脉,大黄山组地层及花岗岩体不具矿源层意义。

2. 构造、岩浆因素

北祁连加里东中期的褶皱造山运动,形成了大黄山复式向斜,在其近中部有由中酸性→酸性的多期岩浆侵入活动,并在其次级背斜翼部形成曹家口—小柳沟逆断层及其次级的与之成锐夹角的矿区走向逆断层或断层破碎带,为岩浆期后的硅质及金属矿液的活动提供空间,同时断裂的多期活动,使石英脉遭受强烈破碎、多期蚀变和矿化叠加,形成了该矿床。

(三)找矿标志

(1)构造标志。复向斜次级背斜的一翼、区域性走向逆断层的次级断层破碎带发育,为热液活动和元素的迁移富集提供了通道和场所。

(2)石英脉标志。沿断层破碎带有石英大脉产出,并发育角砾状构造和强烈的褐铁矿化、黄铁矿化、硅化等蚀变和多金属矿化。

(3)岩浆岩标志。距离矿区约 2km,发育有具多旋回侵入的中酸性—酸性深成侵入岩。

(4)蚀变标志。强烈的硅化、褐铁矿化、赤铁矿化、黄铁矿化、黄钾铁矾化等。

(5)次生分散晕地球化学标志。不论 1∶200 000 区域化探扫面,还是矿区 1∶10 000 土壤测量,都发育套合很好的 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Bi 等的综合异常,即以上元素的综合异常是在外围寻找和评价该类型矿床的良好找矿标志。

(6)人文标志。矿区有古采银老硐多处,在金银主矿化地段下方的支沟名为银洞沟。《天工开物》对大黄山明朝时采银活动就有叙述。

第五节　青分岭金矿床

青分岭金矿床系甘肃省地质矿产局第六地质队于 1985 年在开展红腰岘—雷公山 1∶50 000地质、化探普查及异常查证过程中发现，并经详查、勘探查明为赋存于奥陶系中酸性火山岩、含炭硅板岩及海西期角闪二长岩体中，受北西西走向断层、北东向张扭性断层控制经多期热液叠加而形成的金矿床。

一、区域地质特征

青分岭金矿位于北祁连加里东褶皱带走廊南山—冷龙岭复背斜之次级褶皱青分岭向斜北翼(图 3 - 5 - 1)。

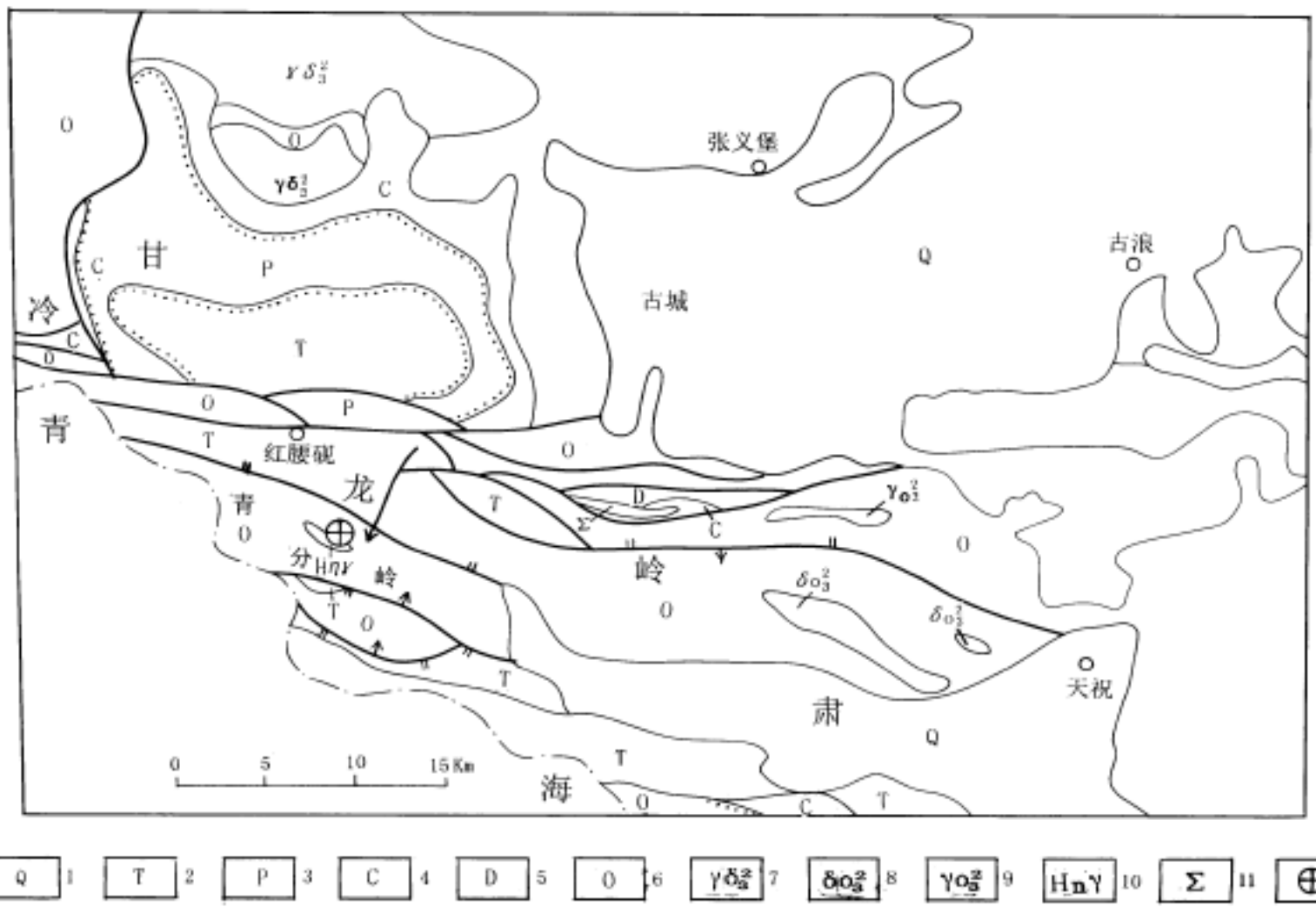


图 3 - 5 - 1　区域地质图

1—第四系；2—三叠系河湖相碎屑岩；3—二叠系湖相碎屑岩；4—石炭系含煤碎屑岩；5—泥盆系红色碎屑岩；6—奥陶系浅海相中酸性火山岩夹炭硅质岩；7—加里东期花岗闪长岩；8—加里东期石英闪长岩；9—加里东期斜长花岗岩；10—海西期角闪二长岩；11—超基性岩；12—金矿体

区内出露地层为奥陶系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系及第四系。奥陶系地层分上、下

两组,下组主要由绢云片岩、变砂岩夹千枚岩、砾岩及少量火山岩组成。为浅海相碎屑岩建造。上组由细碧玢岩、细碧岩、安山玢岩、细碧凝灰岩夹炭硅质板岩、石英角斑岩、泥岩、结晶灰岩组成,为由多个火山喷发—沉积旋回组成的海相火山岩—碎屑岩建造,为青分岭金矿赋矿地层。泥盆系沙流水群为红色碎屑岩沉积建造。石炭系太原组为海陆交互相含煤碎屑岩建造。二叠系为湖相碎屑岩建造,三叠系为河湖相碎屑岩及含有机质砂页岩建造。

区内岩浆活动频繁,主要为加里东期石英闪长岩、花岗闪长岩、斜长花岗岩,其次为海西期角闪二长岩。加里东中期石英闪长岩分布于雷公山一带,呈北西—南东延伸,侵入于奥陶系地层,在外接触带发育较宽的黄铁矿化蚀变带。加里东中期花岗闪长岩分布于红腰岘—古城大断裂以北,呈岩基产出,在岩体及其内外接触带发育铜、稀土、金银等矿产。加里东中期斜长花岗岩多呈小岩株产出,分布于葫芦沟一带,分布面积较小。海西期角闪二长岩体仅分布于青分岭一带,与青分岭金矿关系密切,岩体分异作用明显,由边缘向中心依次出现辉石闪长斑岩、辉石二长斑岩、角闪二长岩、二长斑岩、二长岩、二长正长岩、二长正长斑岩、正长岩,岩相大多呈渐变过渡关系,唯二长正长岩和正长岩岩相界线明显。

区内地质及成矿作用与北祁连地壳的演化密切相关,经历了加里东造山前岛弧—大陆边缘构造环境、加里东碰撞造山、造山期后及陆内盆地构造演化阶段。奥陶纪在造山前岛弧—大陆边缘环境形成海相火山岩—碎屑岩沉积建造,并形成一系列矿产的组合,并形成富金矿源层(海相火山岩及含炭岩系)。志留纪碰撞造山期使奥陶系地层在区内形成复背斜,发育断裂和区域变质作用。泥盆纪在造山期末隆起过程中沿青分岭向斜侵入角闪二长岩体。在此基础上发生一系列巨大平行断裂,形成山间凹陷。沉积石炭系、二叠系、三叠系地层。在中生代发育逆冲推覆构造即奥陶系地层推覆至三叠系地层之上。

二、矿床地质特征

(一)控矿条件

青分岭金矿位于青分岭向斜轴部(图 3 - 5 - 2),矿体受奥陶系海相火山岩、含炭黑色岩系、海西期角闪二长岩体及北西西、北北西、北东向断裂尤其是断裂交汇部位的控制。

1 .奥陶系地层

矿区奥陶系地层由上部(O^2)、下部(O^1)组成。呈北西西向—南东东向延伸,构成青分岭向斜构造。下部(O^1)由蚀变钾角斑岩、黑云钾角斑岩、角斑岩夹安山凝灰岩、含炭绢云板岩、英安凝灰岩、绢云硅板岩、含炭硅板岩、微晶灰岩组成。代表了浅海相早期中酸性火山喷发旋回。上部(O^2)为绢云绿泥千枚岩、安山质熔结角砾岩、辉石安山岩、变安山凝灰岩、变英安凝灰岩、黑云千枚岩、含炭硅质板岩,代表了浅海相晚期中—中酸性火山喷发旋回。

2 .海西期角闪二长岩侵入体

分布于青分岭向斜两翼及近轴部,侵入于奥陶系地层,呈北西西向展布,倾向南南西,倾角 45°～83°,呈岩枝状。

岩体主体岩性为角闪二长岩($Hb\eta_3^2$),在岩体内及边缘依次出现辉石闪长岩、辉石闪长斑岩、辉石二长岩、辉石二长斑岩、角闪二长岩、二长岩、二长斑岩、二长正长岩、二长正长斑岩、正长岩,表明为一多期多次活动侵入的复式岩体,岩石化学分析数据表明为碱性系列,K_2O 含量大于 Na_2O,属钾质中酸性岩。经对角闪二长岩 2 个 K-Ar 同位素年龄测定,其值为 308Ma 及 290Ma,属海西中期。

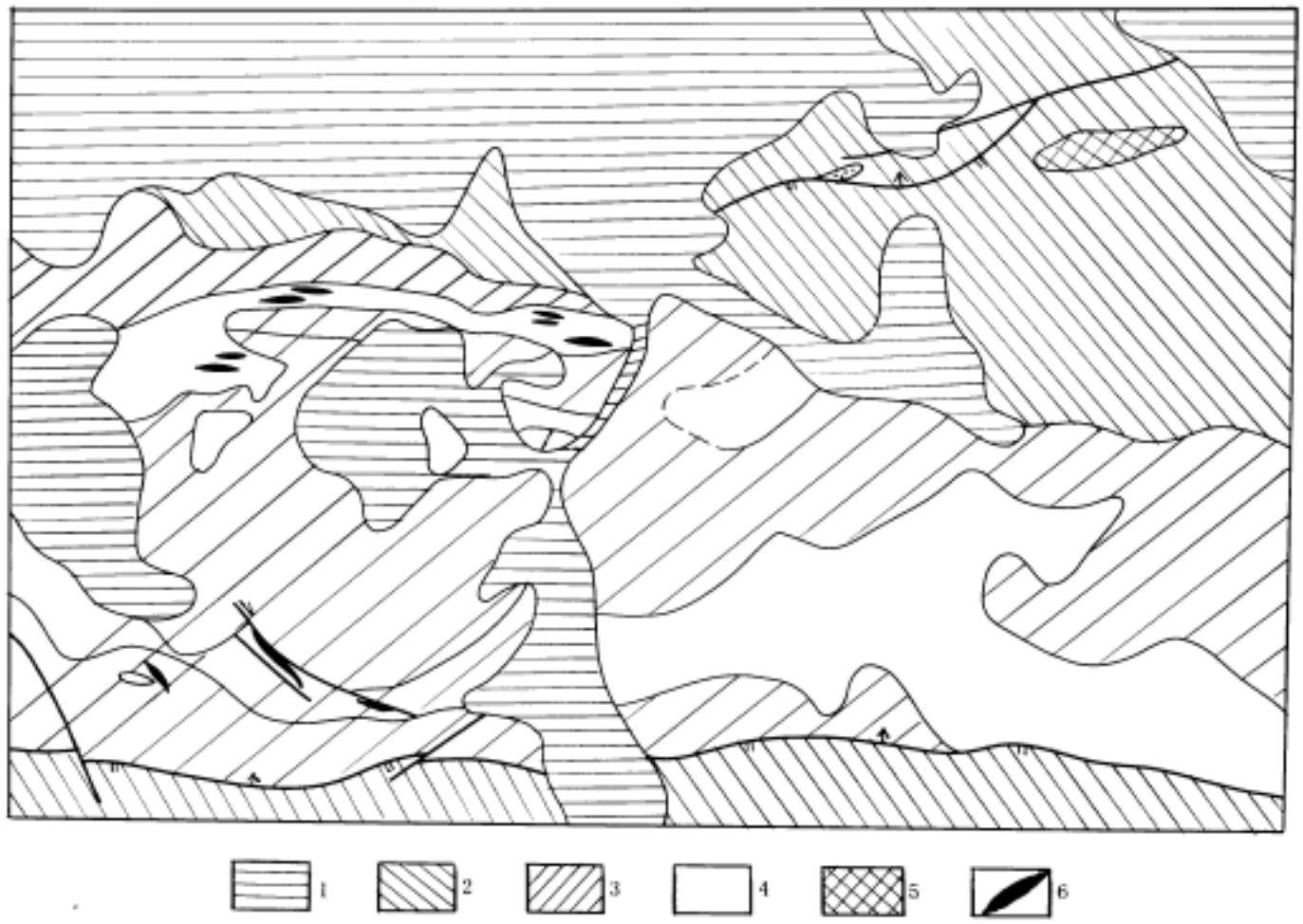


图 3-5-2　青分岭金矿床地质图

1—第四系;2—奥陶系上组火山岩夹碎屑岩;3—奥陶系下组板岩夹火山岩;
4—海西角闪二长岩;5—海西二长斑岩;6—金矿体

3.构造

矿体受青分岭向斜及切割该向斜的北北西、北西西、北东向断裂构造及其交汇部位的控制。

矿区断裂可分为四组。

(1)北西西向断裂组。走向306°左右,沿断层见有断裂破碎和热液蚀变现象,两侧均见平行断裂的挤压片理和碎裂,为区域控矿断层。

(2)北北西向张扭性断裂组。走向340°左右,沿断层有较大石英脉侵入,矿化蚀变明显,在与北北西断裂交汇部位形成矿体。

(3)北北东向张性断裂组。走向15°～20°,倾向北西,倾角80°左右,呈宽约20m左右的断裂带,常见平行排列石英脉贯入,部分含方铅矿及金。

(4)北东东向断裂组。走向70°～80°,规模小,含矿不明显。

(二)矿体特征及工业类型

金矿体主要赋存于蚀变角闪二长岩内及外带中,严格受挤压破碎带控制,以石英脉型为主,次为破碎蚀变岩型。矿区分南北两个矿带,北矿带赋存角闪二长岩体内近北西西向挤压构造带内,以蚀变岩型为主,断续长达1100m,宽为20～95m。矿体有17个,呈脉状、透镜状,形态简单,矿体长25～155m,宽1.0～7.0m,金平均品位为1.0×10^{-6}～3.5×10^{-6},最高为11.8×10^{-6},浅部控制斜深40m以下仍有矿体延深。南矿带赋存于岩体内北北西向压扭性剪切带控制的石英脉、蚀变岩及部分围岩内,以石英脉型为主,伴随蚀变岩型,断续长大于660m,

宽 30～112m。有金矿体 32 个,呈脉状、似层状,倾向北东东或倾向南西,倾角 60°～85°,向北北西侧伏,矿体长 15～310m,宽 0.8～5.25m,斜深 50～150m,矿体分布集中,具一定范围、规模和远景(图 3-5-3)。

矿床工业类型为石英脉型和破碎蚀变岩型。

含金石英脉型矿体长大于 270m,宽度变化较大,由 2.2～7.1m,最宽者 31.3m,产状分别为 255°∠75°及 75°∠70°,以前者为主。共圈出金矿体 4 个,长 43～234m,平均 1～4.95m,品位 1.2×10^{-6}～21.46×10^{-6} 蚀变岩型金矿体共圈出 26 个,矿体长 25～155m,宽 1～1.5m,最宽 3～7m。

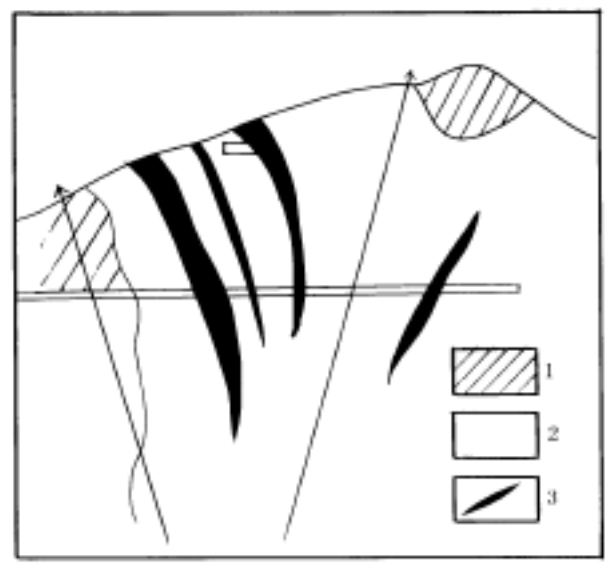


图 3-5-3　青分岭金矿剖面图

1—奥陶系;2—海西角闪二长岩;3—矿体

(三)矿石特征

1. 矿石类型

根据金在岩石中的赋存特征,分为石英脉型金矿石和构造蚀变岩型金矿石。后者包括蚀变角闪二长岩、蚀变二长岩、蚀变正长岩、蚀变英安晶屑凝灰岩及蚀变凝灰岩、蚀变凝灰质砂岩和碳硅质板岩等类型矿石,它们的共同特点是均与构造蚀变及含金石英脉活动有关。

2. 矿石矿物成分

矿石中金属矿物为自然金、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、磁黄铁矿及微量磁铁矿、白铁矿、针铁矿、钛铁矿、板钛矿、黝铜矿、闪锌矿、毒砂、孔雀石、铜蓝等,脉石矿物为石英、重晶石、榍石、方解石、绢云母、绿泥石、白云石、铁白云石、高岭石及闪石等。不同类型矿石矿物成分见表 3-5-1。

表 3-5-1　青分岭金矿石类型、矿物成分、结构构造

矿石类型		石英脉型金矿石	蚀变岩型金矿石	硅板岩金矿石
矿物成分	金属矿物	自然金、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、磁黄铁矿、毒砂、针铁矿、磁铁矿、孔雀石、铜蓝	黄铁矿、自然金、黄铜矿、方铅矿、磁黄铁矿、白铁矿、辉砷钴矿、磁铁矿、毒砂	黄铁矿、自然金
	非金属矿物	石英、绢云母、硅质	钾长石、更长石、黑云母、磷灰石	硅质、石英、绢云母
矿石结构构造		他形粒状、晶粒状、密集粒状、细微脉状结构、星点状稀疏浸染—裂隙状构造	自形、半自形—他形晶粒结构、块状—稀疏浸染状构造	晶粒状结构稀疏浸染状—板状构造

金属矿物生成顺序为:磁黄铁矿及黄铜矿→方铅矿与自然金→黄铁矿→白铁矿及针铁矿。它们的关系:黄铜矿与磁黄铁矿、自然金与方铅矿、自然金与绢云母、自然金与石英均呈连晶出现。

3. 矿石结构构造

(1)含金石英脉型矿石。由石英(98%～99%)和微量绢云母、氧化铁组成。为不等粒石英变晶结构。石英粒径 0.2～0.4mm,呈他形晶,晶体多有裂纹和波状消光。裂隙中有微量的绢

云母和氧化铁质存在。矿石中金属矿物为黄铁矿、微量黄铜矿、针铁矿和磁铁矿。黄铁矿呈他形粒状稀疏浸染在岩石中,其边缘可见 0.06mm 大的他形黄铜矿存在,黄铁矿裂隙被磁铁矿交代,局部见有微脉状的胶状黄铁矿充填在岩石裂隙中,矿石为稀疏浸染—裂隙状构造。

(2)构造蚀变岩型金矿石。由蚀变角闪二长岩与黄铁矿、少量黄铜矿、方铅矿、白铁矿、针铁矿、磁铁矿、偶含毒砂组成,黄铁矿(1%～5%)呈自形、半自形—他形晶粒,为立方体和五角十二面体,粒径为 0.01～1.2mm,其边缘或晶体内包有黄铜矿、方铅矿、磁黄铁矿。黄铜矿为他形晶,粒径 0.02～0.06mm,方铅矿粒径为 0.05mm,分布在黄铁矿晶体或其颗粒之间,针铁矿沿裂隙分布,呈网状残余结构,块状—稀疏浸染状构造。

4. 矿石化学成分

(1)石英脉型金矿石含金较富,品位变化较大,含金多在 3×10^{-6}～15×10^{-6},最高达 36×10^{-6}～183.3×10^{-6},平均品位大于等于 21.46×10^{-6},Ag 为 0.5×10^{-6}～3×10^{-6},个别达 5.8×10^{-6}～22×10^{-6}。在含金富集地段铜、铅矿物较多,Cu 为 0.01%～0.03%,Pb 为 0.02%～0.06%,Zn 为 0.00%～0.02%。金在矿体中变化较大,一般南东段偏富,西部偏贫,石英脉两边偏富,中间偏贫,脉体分枝部位较富,膨大部位较贫。

(2)构造蚀变岩型金矿石。矿体金含量为 1×10^{-6}～7.87×10^{-6},最高达 11.8×10^{-6},Ag 为 0.0×10^{-6}～1.6×10^{-6},最高达 5.7×10^{-6}。3 个单矿物样分析含 Au 46.7×10^{-6}、23.8×10^{-6}、14.2×10^{-6},Ag 为 8.48×10^{-6},7.6×10^{-6} 及 3.6×10^{-6}。矿化以北西段范围较大,矿化密集,近地表浅部含金品位与相应地表无明显变化,惟厚度有变窄趋势。

矿石化学成分见表 3-5-2。

表 3-5-2　青分岭金矿石化学分析结果

矿石类型	Au	Ag	Cu(%)	Pb(%)	Zn(%)
石英脉型金矿石	1.2-17.24	0.25-2.71	0.01-0.02	0.02-0.11	0.01-0.01
蚀变岩型金矿石	1.0-7.87	0.0-5.7			
硅板岩型金矿石	1.0-8.3				

注:表中 Au、Ag 含量为 $\times10^{-6}$,分析结果为金矿体平均品位

5 .金的赋存状态

自然金形状各异,有粒状、树枝状、片状、不规则港湾状、微细脉状、雪花状、弯月状、牛轭状、蜂窝状、弯钩状、不规则粒状、杈状、针状、棒状、滴状及链状等(图 3-5-4),目测部分与方

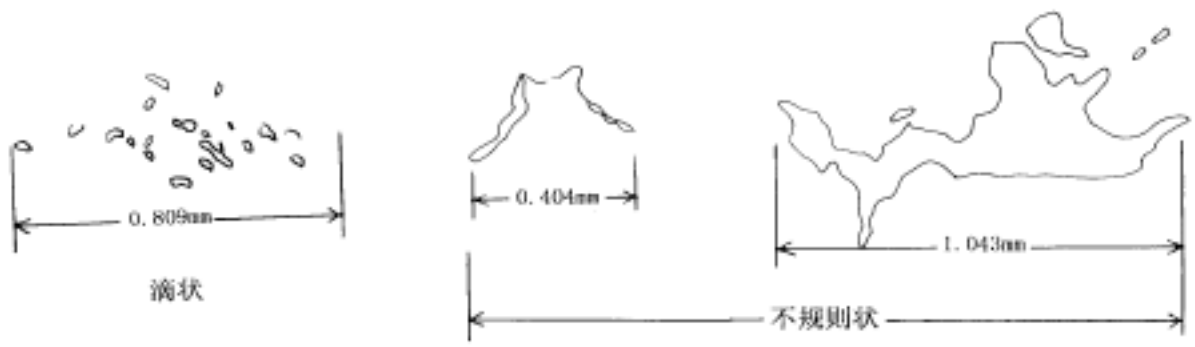


图 3-5-4　金粒形状特征

铅矿较大晶粒共生或呈自然金单独赋存于石英脉中,部分呈微细脉状贯入于石英脉各个不同方向裂隙中与绢云母共生,形成连生体。

金大多与石英连生,少部分生于方铅矿晶体边缘或被包围,极少部分与毒砂共生,自然金粒径为0.001～1.043mm,少数呈微细脉状充填于石英晶粒间(图3-5-5),包裹毒砂,自然金与毒砂及石英基本为同期产物。

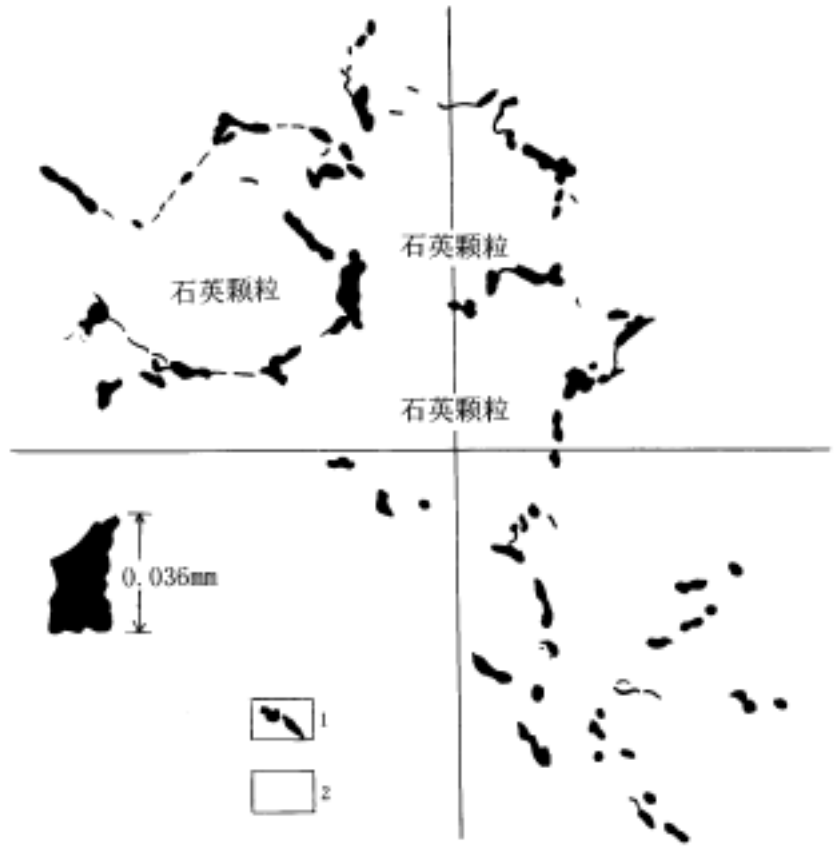


图3-5-5　金粒分布素描图

矿石中方铅矿、黄铜矿及毒砂均为自形晶,粒径多在0.5～1.5mm之间,黄铁矿多被氧化,形成蜂窝状孔洞。在构造蚀变岩型矿石中,所含金属矿物为黄铁矿及自然金,金呈不规则粒状、片状及薄片状,金粒最大粒径为1.1×0.15～2.6×0.6mm,一般为0.02～0.6mm,其次有微量方铅矿、黄铜矿、针铁矿、白铁矿、板钛矿、黝铜矿、磁铁矿、辉砷钴矿、闪锌矿、自然铅、锐钛矿等,还有重晶石及微量磷灰石、锆石、金红石。经单矿物电子探针分析结果表明(表3-5-3),金呈自然金产出,其他金属矿物不含金,自然金单矿物含Au89.52×10^{-2}、Ag9.07×10^{-2}、Hg1.51×10^{-2},金的成色为891.61×10^{-3}。

表3-5-3　构造蚀变岩型金矿单矿物电子探针定量分析表

分析号	样品	定量分析结果(%)													
		Cu	Fe	S	As	Co	Ni	Au	Hg	Ag	Mn	Pb	Cd	Zn	Σ
1	黄铁矿	0.008	46.53	51.44	0.77	0.06	0.03								98.85
2		0.105	46.93	50.70	0.62	0.12	0.06								98.53
3		0.015	47.54	50.67	0.94	0.06	0.01								99.23
1	黄铜矿	34.63	30.03	35.39	0.41										100.46
2		35.42	28.33	35.91	0.45										100.11
3		34.88	30.38	35.95	0.39										101.60
1	黄金							90.08	1.47	9.07					100.62
2								89.52	1.47	9.21					100.20
3								88.97	1.58	8.94					99.49
1	磁黄铁矿	0.03	60.14	40.36		0.15	0.08								100.75
2		0.157	60.03	41.60		0.13	0.05								101.96
3		0.089	60.04	41.32		0.11	0.05								101.61
1	毒砂	0.201	35.03	19.98	44.01	0.08	0.05								99.35
2		0.078	34.99	20.20	44.46	0.07	0.03								99.83
3		0.065	34.33	19.20	44.38	0.05	0.02								98.04

续表 3 - 5 - 3

分析号	样品	定量分析结果(%)												
		Cu	Fe	S	As	Co	Ni	Au	Hg	Ag	Mn	Pb	Cd	Zn	Σ
1	方铅矿		0.00	13.32							0.05	86.77	0.48	0.16	100.79
2			0.08	13.19							0.08	86.59	0.25	0.10	100.29
3			0.06	13.67							0.06	87.92	0.37	0.15	102.21
1	闪锌矿		7.87	33.08							0.04	0.04	0.13	59.63	100.78
2			7.51	33.53							0.02	0.04	0.22	59.41	100.73
3			7.87	34.07							0.00	0.00	0.00	59.79	101.73

加速电压:20KV　样品电流:10ηA(Fe)　校正方位:ZAF_2　束斑直径:1μm

(四)蚀变特征

围岩蚀变主要为绢云母化、碳酸岩化(白云石化及铁白云石化)、黄铁矿化、褐铁矿化、高岭土化、硅化及部分绿泥石化、绿帘石化。金矿化与硅化、绢云母化及碳酸盐化有关,未形成环带及晕圈。

三、矿床地球化学特征

(一)成矿温度

根据矿区对 13 个包体测温样测温结果(表 3 - 5 - 4),可以看出金矿形成温度在 254℃～309℃,多数在 273℃～297℃,属中低温热液矿床。

表 3 - 5 - 4　青分岭金矿石英包裹体温度测定结果表

岩石名称	包体赋存物	包裹体类型	分布特征	包体大小 mm	均一温度 ℃
蚀变角闪二长岩	石英	液汽—液	矿物接触	0.000 3±	297
蚀变角闪二长岩	方解石	液包体、汽—液包体	解理裂隙	0.000 35±	300
含金石英脉	石英	液包体、汽—液包体	裂隙串珠状	0.001 5±	287
含金石英脉	石英	液包体、汽—液包体	裂隙串珠状	0.001 5±	292
蚀变角闪二长岩	石英	液包体、汽—液包体	裂隙	0.000 7±	288
含铅金石英脉	石英	液包体、汽—液包体	裂隙液滴状	0.000 7±	254
蚀变角闪二长岩	石英	液包体、汽—液包体	裂隙液滴状	0.000 7±	309
蚀变二长岩	石英	液包体、汽—液包体	裂隙液滴状	0.000 35±	283
蚀变二长岩	石英	液包体、汽—液包体	裂隙液滴状	0.000 35±	291
金矿化蚀变角闪二长岩	石英	液包体、汽—液包体	裂隙液滴状	0.000 7±	273
蚀变角闪二长岩	石英	液包体、汽—液包体	裂隙液滴状	0.000 35±	295
蚀变角闪二长岩	石英	液包体、汽—液包体	裂隙液滴状	0.000 35±	289
蚀变角闪二长岩	石英	液包体、汽—液包体	裂隙液滴状	0.000 35±	293

(二)成矿溶液性质

矿床热液硫化物二个单矿物硫同位素测定:毒砂 $\delta^{34}S = +9.7‰$,黄铁矿 $\delta^{34}S = +6.8‰$,平均为 8.25‰,其值接近中酸性有关热液矿床中硫化物硫同位素的组成特征(平均 $\delta^{34}S = +$

9.08‰)。

四、成矿时代及矿床成因

(一)成矿时代及期次

1.成矿时代

矿体受海西中期侵入的角闪二长岩体(K-Ar同位素年龄为209Ma和308Ma)的控制,成矿与该岩体岩浆期后热液活动关系密切。三叠系地层未见有矿化及热液活动。由此表明,其成矿时代为海西中晚期。

2.成矿期次

根据矿物生成顺序将成矿期划分为区域变质期和热液成矿期。

(1)区域变质期。区域变质作用使奥陶系地层中金成矿物质缓慢发生活化迁移,并在挤压破碎带、退变质带初步富集。

(2)热液成矿期。海西期的岩浆侵入提供的热力及动力来源,形成区内热液成矿期,为主成矿期,热液成矿期矿物生成顺序见表3-5-5。

表3-5-5　矿物生成时期、生成顺序一览表

矿物成分	热液成矿期			表生期
	硅酸盐阶段	金—硫化物成矿阶段	碳酸盐阶段	
石英	————	————	————	
长石	————			
磷灰石	———			
绢云母	————	————	————	
磁黄铁矿	…	————		
黄铜矿	…	————		
方铅矿	…	————		
闪锌矿	…	————		
毒砂	…	————		
自然金	…	————		
黄铁矿	…	————		
白铁矿	…	————		
白云石			————	
方解石			————	
高岭石				————
褐铁矿				————
黄钾铁钒				————
铜兰				————
孔雀石				————
臭葱石				————
铅矾				————

(二)控矿因素分析

1 .矿源条件

区内奥陶系地层金平均含量大于 2.5×10^{-9},高出区域背景值,其中发育得较厚的海相中基—中酸性火山岩平均含金为 14.8×10^{-9},高出背景值 10 倍以上,局部高达 179.3×10^{-9}～660×10^{-9},火山岩中人工重砂见 45～100 粒自然金,说明区内奥陶系地层为区内重要的矿源层。其次,区内海西期侵入的角闪二长岩体含金达 0.3×10^{-9}～47×10^{-9},部分为 173.1×10^{-9}～1000×10^{-9},说明该岩体侵入时带有一部分金源物质,对区内矿质来源起补充作用。

2 .热源条件

区内主要热源为海西期角闪二长岩侵入所提供的热力及岩浆热液。其次为区域变质作用过程中产生的变质热液。

3. 控矿条件

青分岭向斜构造及其发育的北西西向、北东向断裂为区内主要的控矿、储矿构造。金矿床受青分岭向斜和斜切断裂的控制,金矿均富集于向斜轴部或靠近向斜轴的翼部。其次是受断裂破碎带控制。

(三)成矿模式

青分岭金矿模式见图 3 - 5 - 6、3 - 5 - 7。

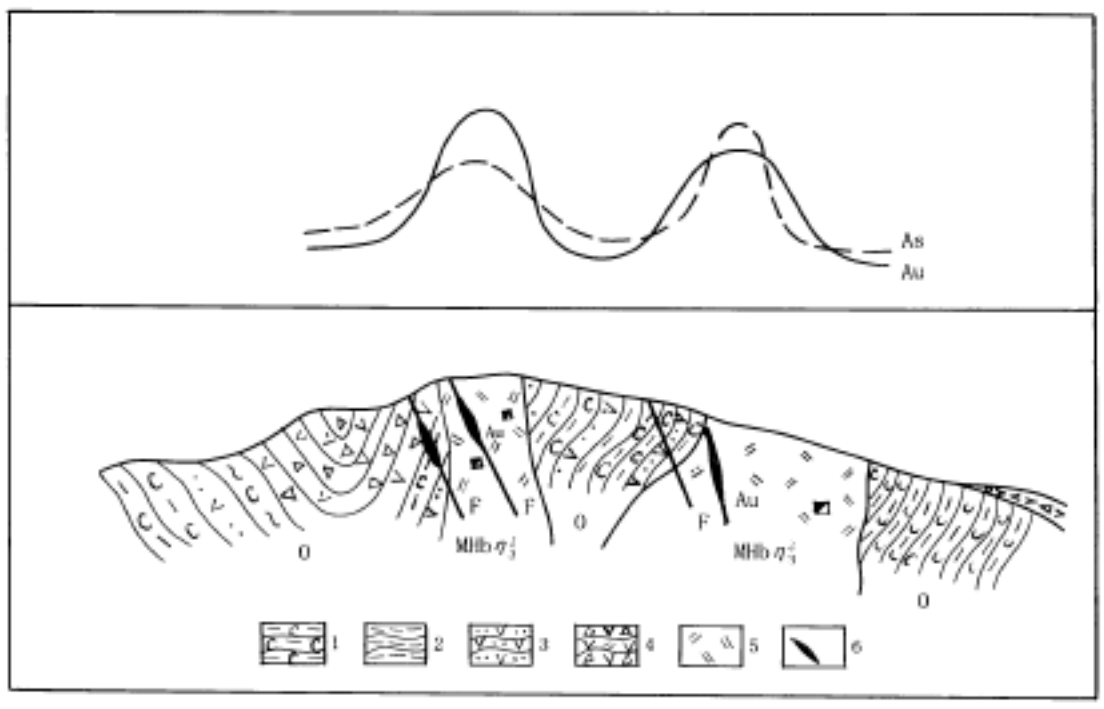


图 3 - 5 - 6　青分岭金矿地质 - 地球化学成矿模式

1—含炭硅板岩;2—板岩;3—凝灰质砂岩;4—安山质火山角砾岩;5—角闪二长岩;6—矿体

青分岭金矿成矿物质来源于奥陶系中—基性火山岩及其碎屑岩,经加里东期区域变质作用及北西西向构造带挤压作用,使金等成矿物质发生活化,并初步富集。海西期岩浆侵入活动为金矿的形成提供了热力及动力来源,在岩体内外接触带、挤压破碎带、退变质带等中沉淀富集成矿,期后岩浆热液沿北西西向及北东向断裂带及其次一级的北北西向张扭性断裂贯入,形成含金石英脉。

第六节　党河南山金矿床

一、区域地质背景

(一)构造

党河南山位于祁连山西端南侧。构造位置属于古河西构造体系西段及康藏歹字型构造头部外围褶带北缘。次级构造为乌兰达坂挤压带,褶皱和断裂构造发育,呈北西—南东向展布,构成乌兰达坂山突出的构造形迹。

(1)区内的主要褶皱构造为:乌兰达坂黑—刺沟脑复向斜;扎子沟—马牙沟复向斜;清水沟南山向斜;美丽沟向斜。

①乌兰达坂—黑刺沟脑复向斜。展布于乌兰达坂以东,总体宽 6～10km,构成复向斜的核部地层为中上奥陶统上部杂砂岩组,翼部为中上奥陶统砂砾岩组、中奥陶统盐池湾群及下奥陶统砂板岩层。向斜轴线走向为 295°～300°。走向稍有弯曲微向南突。岩层倾角陡,多在 60°～70°。平行主褶皱的次级褶皱十分发育,尤其是向斜核部更甚。黑刺沟金矿位于其核部。

②扎子沟—马牙沟复向斜。此向斜为乌兰达坂山复向斜北翼的一个次级构造,也为复式褶皱。长达 40km,宽 6km 左右。复向斜发生于中奥陶统盐池湾群之中,两翼对称,倾角在 70°以上。

③清水沟南山向斜。发生于志留系下统砂板岩组内。长约 12km,向斜核部由下志留统砂岩组组成,翼部为下志留统变质砂岩组构成,两翼不对称,北翼缓,约 50°,南翼陡,倾角为 65°～70°。

④美丽沟向斜。由上志留统构成,北西 - 南东向展布,轴长 10km,翼部出露地层为上志留统中部硬砂岩组。两翼不对称,南翼陡,岩层倾角在 40°～60°。北翼缓,30°～50°。

(2)区内的断裂构造与褶皱构造具有相同规模,大多数与褶皱轴平行排列,断裂多发育在不同地层单元或不同岩性之间,多具分叉和合并现象,切割奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系及侏罗系,并切入岩体之中。主要有:清水沟—大冰沟断裂;清水沟南—玉勒昆且干尔德入字型断裂等。

①清水沟—大冰沟断裂为区内最大的断裂,呈北西—南东向斜贯全区。西起清水沟,经马牙沟、乌兰达坂,东至大冰沟,长近 110km,走向 300°,与褶皱轴方向一致。断裂发育在志留系中统砂板岩组与加里东晚期花岗闪长岩体之间。附近岩石破碎甚为剧烈,板岩、大理岩均为粉末状,花岗岩全部也呈粉末状,破碎带宽 100～300m。沿破碎带花岗闪长岩体,蚀变普遍较强,以绿泥石化、绿帘石化为主,断层线呈舒缓波状。沿主断层岩石破碎甚为剧烈,破碎带宽达 10～200m,岩石多呈粉末状,局部见次圆状构造,砾岩、砂岩强烈片理化、千枚岩化。该断层为一压扭性断裂。

②清水沟南一玉勒昆且干尔德入字型断裂与上述断裂平行,相距约 4～5km,其规模仅次于上述断裂。

夹于上述二断裂之间的次一级断裂还有白石头沟断裂、乌兰达坂一大沙沟断层、黑刺沟断

层和黑刺沟金矿层内断层。

乌兰达坂一大沙沟断层为一逆断层,上盘为弱变质砂岩,倾向为 221°,倾角 59°,下盘岩层为板岩,倾向 187°,倾角 42°,其走向与岩层走向一致。在黑刺沟 - 吾力沟一带为中奥陶统下岩组与上岩组的分界线。黑刺沟断层为一东西向逆断层,贾公台金矿位于其北约 800m 处的上盘地层中,是贾公台金矿的区域控矿断层。黑刺沟金矿矿层断层处在黑刺沟金矿硫化矿与氧化矿的分界部位(即层间),随着矿层的延伸,为控矿断层,走向为北西 - 南东向。与成矿物源有着很密切的关系。

(二)地层

区内地层区划属昆仑秦岭区,南祁连分区。地层见有古生界、中生界、新生界,其中古生界最发育,构成南祁连西段乌兰达坂山主体(图 3 - 6 - 1)。

(1)奥陶系主要分布在乌兰达坂山北坡,东起黑刺沟、大冰沟,西至扎子沟,呈北西—南东向展布,宽约 10km,主要由中基性、中酸性火山岩、灰岩、砂岩、砾岩、板岩等组成。分为下统、中统及中—上统,各统间均为整合接触,连续沉积。下统由基性到中酸性火山岩及凝灰岩、凝灰砂岩和大理岩组成。中统及中—上统为复理式沉积的泥质岩、碎屑岩,分布于扎子沟—大冰沟一带。

(2)志留系主要分布在乌兰达坂山南坡,奥陶系的南侧,西至清水沟南山,东南延至大冰沟口。分为下、中、上三统。下统为变质碎屑岩,中统为火山岩及碎屑岩。中、下统分布在乌兰达坂山南坡,属地槽型沉积。上统为粗碎屑砂砾岩夹红色粉砂岩,属磨拉石建造,仅见于乌兰达坂山北坡,志留系总厚达 18 000m 左右。

本区志留系与奥陶系呈断层接触。

(3)上泥盆统及下石炭统。主要分布在乌兰达坂山南坡的东南部。上泥盆统为沙流水群,下石炭统为城墙沟组、怀头他拉组。上泥盆统与下石炭统为整合接触,连续沉积。为一套海相,海陆交互相,陆相沉积,由碎屑岩、石膏、碳酸盐岩组成。

(4)三叠系。分布于乌兰达坂山东南部阿勒腾哈孜安—大冰沟一带,呈北西与近东西向的条带状分布。主要为一套碎屑岩夹生物灰岩。自下而上,岩石由紫红色变为灰绿,碎屑颗粒变细。

(5)侏罗系。分布于乌兰达坂山北坡的半截沟与南坡的克希且尔干德及乌托泉等处的山间盆地与山前断陷盆地内。出露面积小,呈北西向与近东西向的条带状分布。由碎屑岩夹泥质岩组成。产油页岩和煤。

(6)白垩系。只在克希且尔干德及大冰沟有零星分布,出露面积小,呈近东西向分布。为一套碎屑岩夹泥岩和石膏层组成。

(7)上第三系。分布于乌兰达坂山南北两坡的山前,呈北西或东西向的条带状分布。地层出露较零星,主要由碎屑岩、泥质岩组成。

(8)第四系。主要分布在乌兰达坂山南坡哈勒腾河流域及北坡党河河谷地带。成因类型有洪积、冲积、冲洪积、湖积—洪积、风积、沼泽、冰水与冰川堆积等。在党河南侧与哈勒腾河北侧洪积与冲积堆积中普遍含砂金。

(三)岩浆活动

本区岩浆活动比较强烈,形成了一些岩株、岩枝和小岩体。

1. 加里东晚期第一次侵入的细—中粒闪长岩(δ_3^{3a})岩体

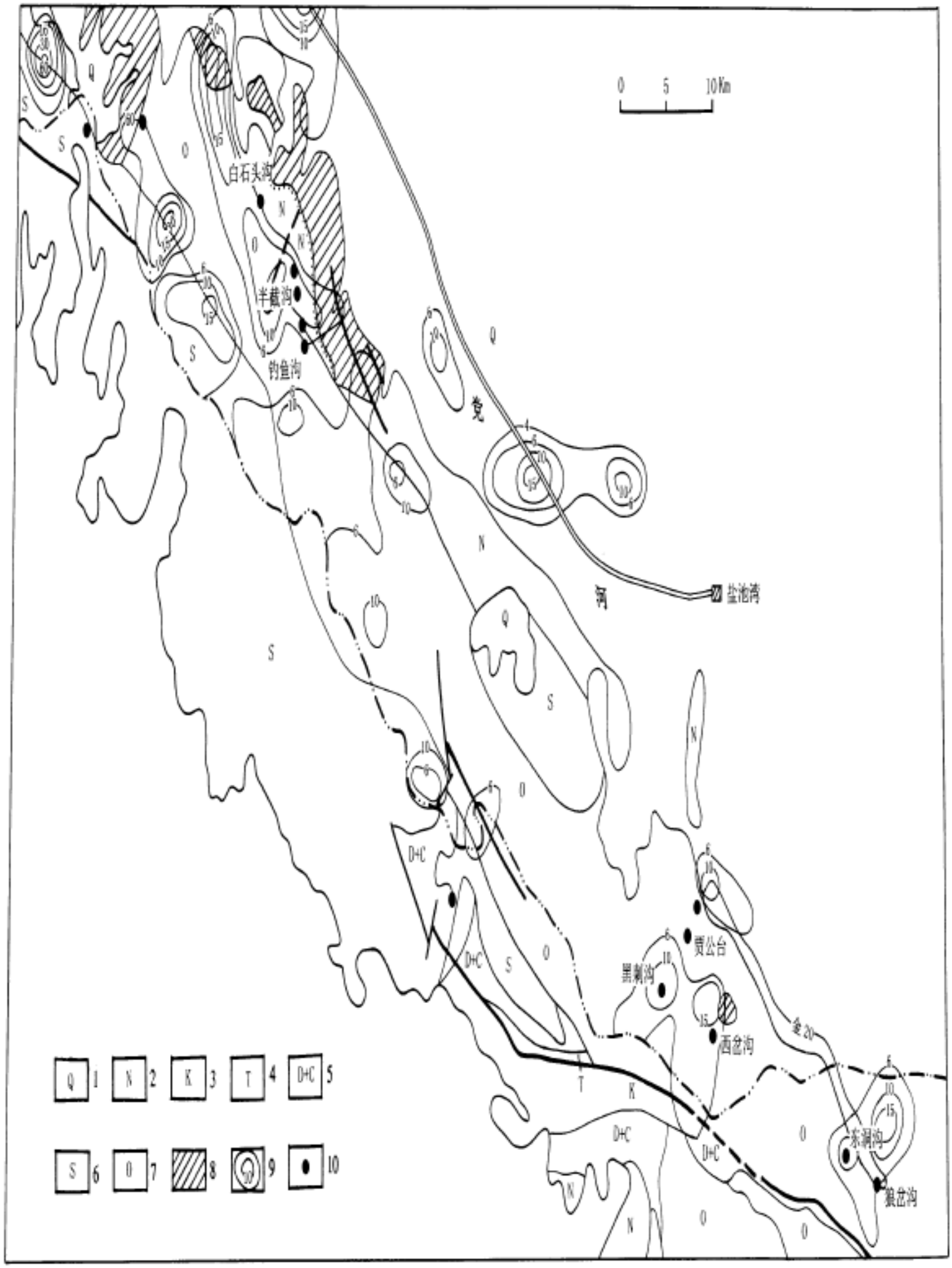

0 5 10Km
白石头沟
半截沟
钓鱼沟
党
河
盐池湾
贾公台
黑刺沟
西岔沟
东洞沟
狼岔沟
Q
N
K
T
D+C
S
O
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

图 3 - 6 - 1

该岩体为一岩墙，长 2.3km，宽 0.6km，呈北西向长条状。侵入奥陶系砂板岩中，围岩具角岩化，在岩体中具有金矿化，其东北部被石英二长花岗岩的岩枝穿插。主要分布在鸡叫沟脑。

2.加里东晚期第二次侵入的石英闪长岩(δo_3^{3b})岩体

该岩体以岩株形式侵入奥陶系盐池湾群地层中，岩体周围具角岩化。它是石英脉型和矽卡岩型金矿的直接围岩。主要分布于黑刺沟东沟脑，中西沟沟脑。其中西沟沟脑的为金矿化点。

3.加里东晚期第二次侵入二长花岗岩($\eta\gamma_3^{3b}$)岩体

该岩体呈岩枝、岩株产出，侵入奥陶系地层中和加里东晚期第一次侵入的闪长岩中，岩体周围具角岩化。主要分布于鸡叫沟沟脑和黑刺沟北。黑刺沟北贾公台金矿就是以该岩体为围岩的石英脉型、细脉浸染型金矿。

4.脉岩

主要为花岗斑岩脉($\gamma\pi$)，闪长玢岩脉($\delta\mu$)，辉绿岩脉($\beta\mu$)和石英脉(q)。

5.深部构造侵入岩的研究

(1)航空磁力异常(△Ta)。本区为一个正磁异常区。其长轴接近正东西向。长 168km，宽平均 40km 左右，该异常规模甚大。向东进入青海境内，见图 3-6-2。

由于本区构造线为北西—南东向，显然该磁力异常与地层无关，与断层关系也不甚明显。

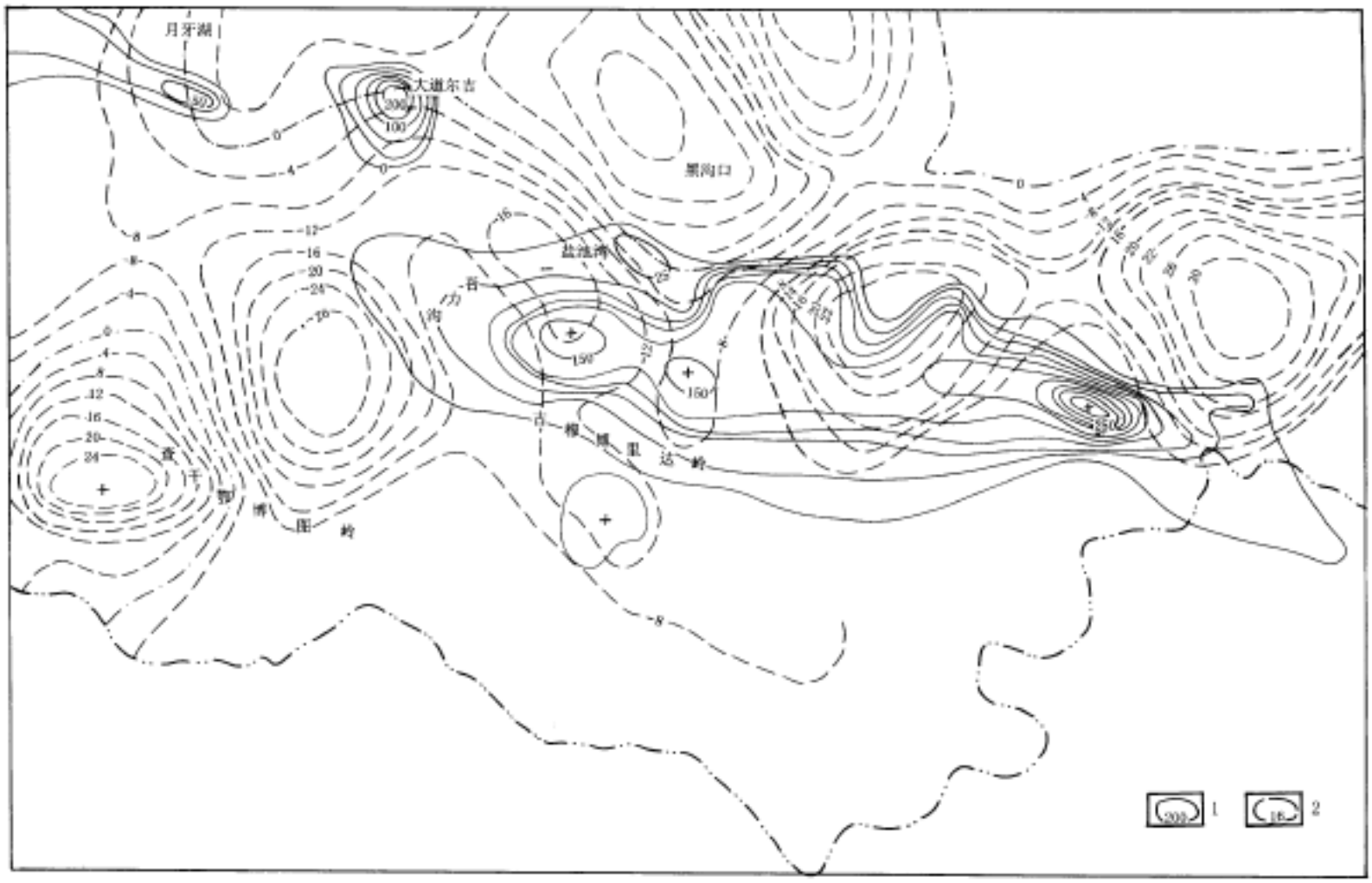


图 3-6-2　党河南山重磁异常图

1—磁测△T 异常(nT)；2—剩余重力异常($10^{-5}m/S^2$)

引起盐池湾南高达 150nT 的正异常的直接原因应是贾公台南二长花岗岩体,和东面哈尔浑迪的二长花岗岩体及推断的隐伏岩体。

另该区地处南祁连与中祁连两褶皱带的接触带的深断裂带上,深部有隐伏岩体。

(2)哈拉湖幔坳区。根据区域重力资料,计算莫霍面深度,本区处于地幔坳陷区,其特点是深部地应力以压应力为主,地壳厚度大,由于幔源型磁铁矿系列花岗岩的侵入,地壳浅部易形成 Ag、Au、W、Sn、Hg 等金属矿床。

本区就处在哈拉湖幔坳区的西北。北面为阿尔金山幔坡带,东面为祁连山幔坡带,南面为柴达木北缘幔坡带所包围。这种构造有利于成矿。

(四)区域矿产

该区内有 5672 高地铜矿点、扎子沟铜矿化点、扎子沟西铅矿化点、半截沟铜矿化点、钓鱼沟铜矿化点、黑刺沟铜矿化点、黑刺沟金矿、贾公台金矿、振兴梁金矿、狼查沟金矿、东硐沟金矿、小黑刺沟铜矿等一批金、铜、铅矿产地。

二、黑刺沟金矿床

(一)矿床地质特征

1 .控矿条件

本区金矿床主要受地层、构造、岩浆岩三位一体的控制。其主要控矿条件简述如下:

(1)地层和沉积相分析。矿区范围内所出露的地层主要为中上奥陶系(?)地层(图 3 - 6 - 3),地层层序由老到新分述如下:

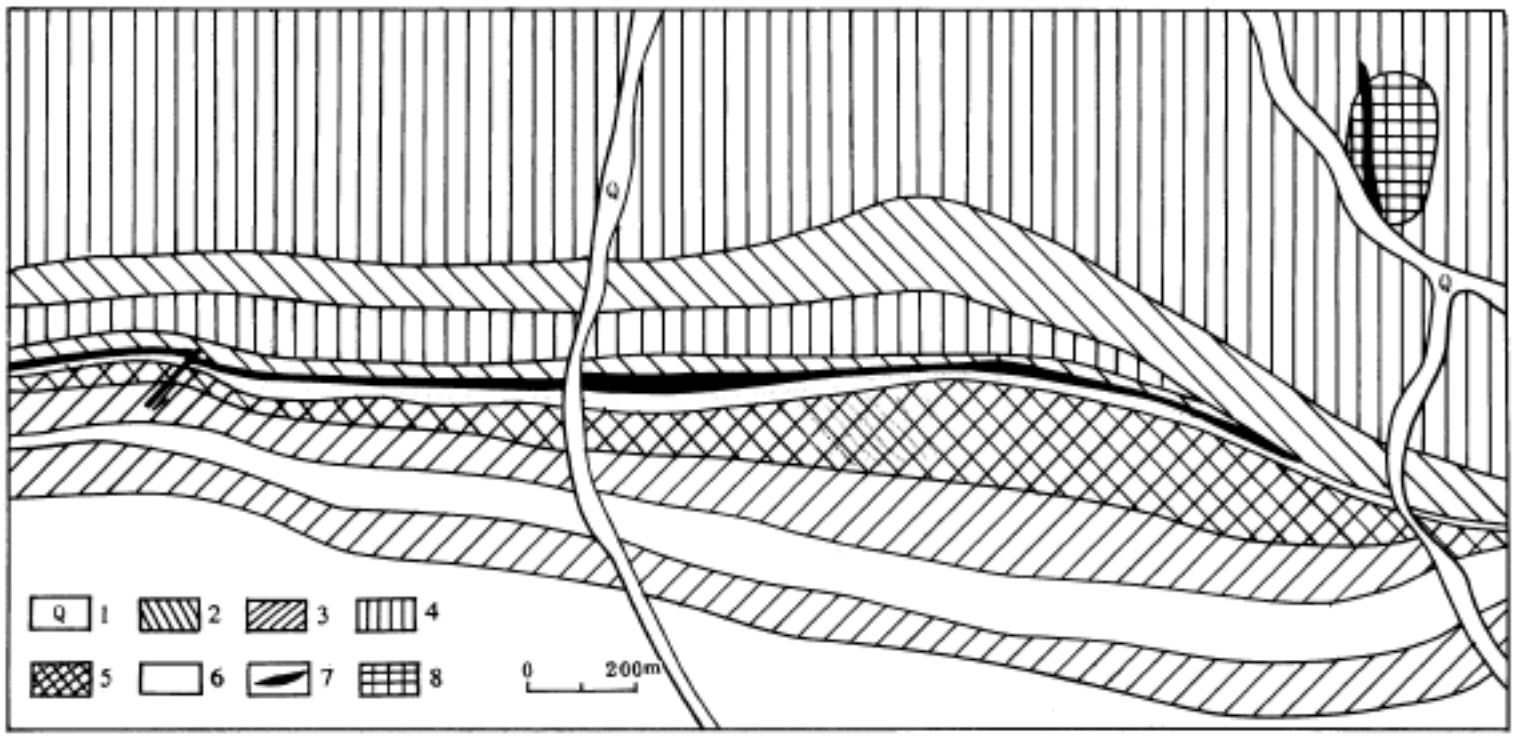


图 3 - 6 - 3　黑刺沟金矿地质草图

1—第四系;2—岩屑砂岩;3—板岩;4—凝灰质砂岩;5—凝灰岩;6—石英砾岩;7—蚀变带;8—石英闪长岩

第一岩性段

第一层:灰色砾岩、石英砂岩　　大于 380m

第二层:灰色板岩、砂质板岩　　20～120m

第二岩性段

第一层:紫黑色砂质凝灰岩、凝灰质砂岩　　780～1200m

第二层:紫黑色凝灰质胶结砾岩　　70～200m

第三层:紫黑色砂质凝灰岩、凝灰质砂岩　　0～130m

角度不整合

第三岩性段

红色含铁质、砂质、玻屑凝灰岩、玻屑凝灰质胶结石英卵石砾岩和砾岩,具金矿化。　　0～40m

假整合

第四岩性段

第一层:粘土质、碳酸质胶结石英卵石砾岩,有氧化金矿。　　0～8.5m

第二层:硅质胶结石英卵石砾岩、滑塌角砾岩,有硫化金矿。　　1～13.0m

第三层:石膏质粘土质胶结石英中砾岩　　0～10.0m

整合接触

第四层:粘土质、碳酸质胶结石英中细砾岩、滑塌角砾岩,有氧化金矿。　　0～4.5m

第五层:硅质胶结石英中细砾岩,滑塌角砾岩,有硫化金矿。　　0～4.0m

第六层:炭质、铁质胶结中—细粒石英砂岩,有金矿化。　　1～22.0m

角度不整合

第五岩性段

长石石英砂岩、板岩互层,上部为含砾长石石英砂岩。　　大于 890m

根据上述岩性组合特征,我们将本矿区的各岩性段划分为四个沉积相。

从第一岩性段到第二岩性段沉积是浅海相,它表现为一个海退序列。第一岩性段主要以陆源碎屑沉积为主,第二岩性段则是火山碎屑物质为主的沉积相。

第三岩性段主要是火山灰—泥石流相,主要沉积于坡积带。

第四岩性段主要为河流三角洲沉积相,在本区表现为一个三角洲的横断面,它的厚度由 140 勘探线向东西两侧各约 1km 处趋于尖灭。总体形态呈巨大透镜状。它与上、下地层呈角度不整合接触。由 140 勘探线向东西两侧不但厚度变薄,同时粒度也变细。它发育有三角洲底积相泥质、粘土质胶结砾岩、前积相硅质、泥质、石膏胶结石英卵石砾岩、滑塌角砾岩。顶积岩主要为沼泽相的沉积为碳质和铁质胶结的石英砂岩,前积相控制了矿体的形态展布。从底到顶部石英卵石粒度由粗变细。

该岩性段可进一步分为两个完整的海退序列。它的胶结相中从底部到顶部由粘土质胶结→硅质胶结→蒸发胶结,而石英卵石的粒度则从底部到顶部,由粗变细。

第五岩性段主要为浅海到半深海相沉积,总趋势由北向南粒度变粗,为一海退序列。

(2)构造。矿区所属构造体系为南祁连加里东褶皱带,次级构造为乌兰达坂挤压带,褶皱

和断裂构造均较发育,呈现北西—南东向展布,构成了乌兰达坂山突出的构造形迹。矿区处于乌兰达坂—黑刺沟脑复向斜的核部。向斜轴线走向 295°～300°,岩层倾角 60°～70°,矿区内有一断裂与区域褶皱轴线和区域上的断裂走向基本平行,走向 125°,倾角 70°～80°,它是区内主要控矿构造。断层附近岩石破碎,地层产状较乱,其走向与本区矿体展布方向是一致的。

(3)岩浆岩。区内加里东晚期第二次侵入的石英闪长岩(δo_3^{3b})为一岩株,侵入本区第二岩性段的凝灰砂岩、砂质凝灰岩,岩体周围具角岩化。它分布于矿区东部,形态似椭圆形,岩体长 400m,宽约 200m。在其中发现一近于水平的南北向展布的蚀变岩型金矿化体。

本区北侧深部通过航磁异常研究,可能存在一巨大近东西向的磁铁矿系列的花岗岩,它可能是本区贾公台金矿体出露的二长花岗岩(ηr_3^{3b})的母岩体。这些岩体对金矿的形成是很有意义的。

2 .矿体特征及工业类型

(1)矿体规模、形态、产状。黑刺沟金矿是一个多层分布的层控型金矿。矿体由于控制程度差(覆盖厚度大),仅反映出一个基本轮廓。矿体的整体形态为巨大透镜状,它的形态受古三角洲相的沉积相的严格控制,矿体的厚度随该沉积相的变化而变化。

矿体长度初步控制 1.7km,矿体在三条勘探线上的厚度及品位如图 3 - 6 - 4 和如表 3 - 6 - 1 所示。矿体走向 125°,倾角为 70°～90°。

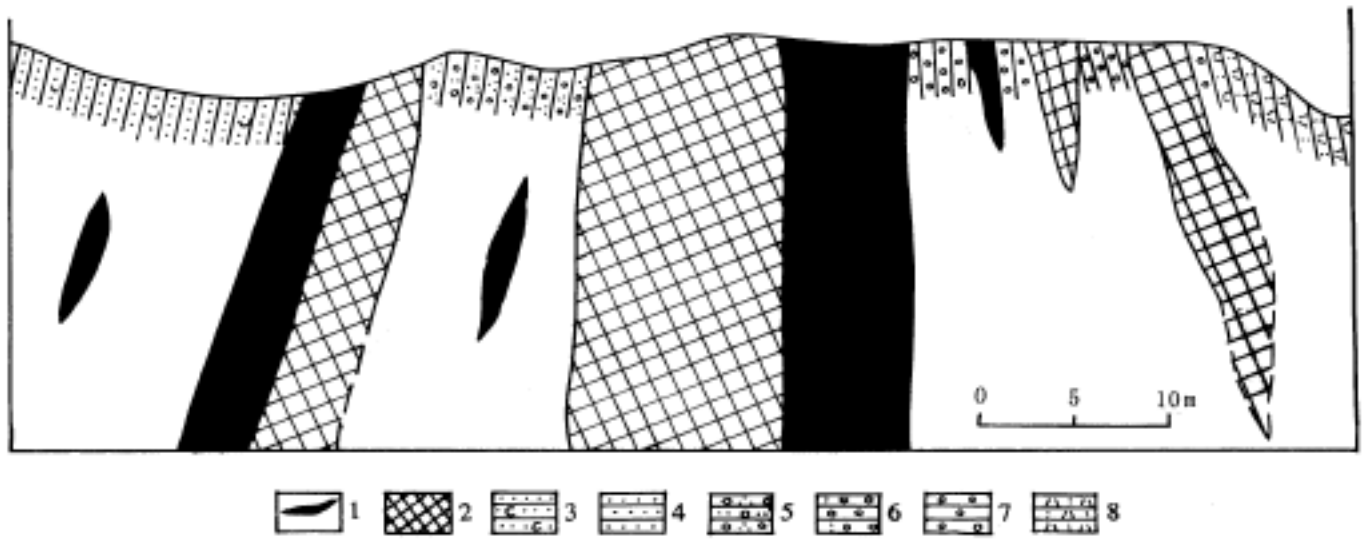


图 3 - 6 - 4　黑刺沟金矿 140 号勘探线剖面图

1—氧化矿;2—硫化矿;3—含炭粉细砂岩;4—粗砂岩;5—石英细砾岩;6—粗砾岩;7—卵石;8—凝灰岩

(2)矿床规模。按稀疏工程控制(4 条探槽),计算地质储量约 20t 黄金,达中型矿床规模,有待于进一步勘探证明。

表 3 - 6 - 1

勘探线	厚度 (m)	第一层 (m)	第二层 (m)	品位 ($\times10^{-6}$)	平均品位 ($\times10^{-6}$)
140 线	30.5	8.5	22	2—4	2.04
101 线	3			1—3	1 .5
176 线	1			1 .1	1 .1

3 .矿石特征

(1)矿石矿物成分见表 3 - 6 - 2。

(2)主要矿物含量见表 3 - 6 - 3。

(3)矿石分类(自然类型)。本区金矿的自然类型根据砾石的胶结物的成分不同和砾石的大小分为 6 个自然类型:玻屑凝灰质胶结石

英卵石砾岩型金矿石(硫化矿);粘土质、碳酸质胶结石英卵石砾岩型金矿石(氧化矿);硅质胶结石英卵石砾岩、角砾岩型金矿石(硫化矿);粘土质、碳酸质胶结石英卵石中细砾岩型金矿石(氧化矿);硅质胶结石英卵石中细砾岩型金矿石(硫化矿);碳质铁质胶结含砾石英砂岩型金矿石(氧化矿)。

对上述6种类型中选定了3种矿石进行薄光片鉴定,其结果如下:

①粘土质、碳酸质胶结石英卵石砾岩型金矿石。该类矿石中砾石磨圆度较好,呈卵圆形,较大约84mm,主要成分为石英岩和石英砂岩,石英颗粒大小相差不大,一般为0.054～0.56mm之间,彼此相互穿插,紧密相嵌,胶结物为粘土质和碳酸盐质,蚀变后生成绢云母、硅质(石英)、泥质碳酸盐矿物(方解石)。金属矿物一般呈稀疏浸染状分布,部分呈骸晶,部分呈粒状。有少量的磷灰石。沿裂隙充填有方解石脉。

表3-6-2

矿物分类	矿　物　名　称
金矿物	自然金、银金矿
硅酸盐	长石、白云母、角闪石、石榴石、绢云母
氧化物	石英、褐铁矿、锆石、磁铁矿、钛铁矿、金红石
磷酸盐	磷灰石、碳酸磷灰石
碳酸盐	方解石、白云石
氟化物	萤石
硫化物	毒砂、黄铁矿、铁闪锌矿、黄铜矿、白铁矿、方铅矿

表3-6-3　主要矿物含量

矿物成分	黄铁矿	毒砂	碳酸盐	比重大于2.8矿物	脉石矿物
重量百分含量%	1.02	4.16	20.5	2	74.32

矿物含量:砾石60%,胶结物40%,其他矿物主要为毒砂、黄铁矿、磷灰石、方解石等。

②含磷灰石硅质胶结石英卵石中粗角砾岩型金矿石。角砾一般形状不规则,磨圆度差,分选性差,大小角砾混杂在一起,最大可达33mm,最小为2mm,一般为5～25mm。角砾成分主要有凝灰质和石英岩。

胶结物为硅质,经多次次生石英岩化作用形成颗粒石英,粒度一般为0.07～1mm。

矿物含量:角砾60%,胶结物30%,磷灰石10%,其他成分主要有毒砂、黄铁矿、方解石、绢云母及隐晶质硅质。

③粘土质碳酸质胶结石英卵石中细粒角砾岩。

石英砾石一般为棱角状,磨圆很差,分选不好,大小碎砾相互参杂在一起定向性不明显,最大的角砾可达25mm,石英碎块的粒度较小,最小为1～2mm,一般为2～14mm。个别地方可见隐晶质硅质砾岩、英安质凝灰岩砾岩,具有一定的磨圆度。

胶结物在后期蚀变作用已次生为绢云母、隐晶质硅质和泥质碳酸盐和方解石,它们一般围绕砾石分布。

矿物含量:石英质砾石80%,胶结物20%,其他矿物黄铁矿、毒砂、方解石、锆石、磷灰石。

(4)矿石化学成分。化学多项分析见表3-6-4,微量元素分析见表3-6-5。

(5)主要矿物嵌布关系。本区金矿的金属矿物磁铁矿、方铅矿等呈稀疏浸染状及微细脉状存在于砾岩中,毒砂多出现在碳酸盐脉的边部,但无方向性。非金属、硫化物、黄铁矿及其氧化后的褐铁矿呈稀疏浸染或裂隙充填形式存在,黄铁矿晶体有环状裂纹,有的裂纹中有粘土矿物充填。无论是毒砂还是黄铁矿,其晶形完好,但粒度细小,特别是毒砂最大的在0.074～0.03mm间,绝大多数在0.01mm以下。在黄铁矿边部偶见有白铁矿化,白铁矿宽2～5μm,未

见有独立白铁矿。金属矿物晶形完好,未见有相互交代的现象。同时在毒砂集中的脉石中很少见到黄铁矿,在黄铁矿集中的团块中毒砂少见。自然金、银金矿包于隐晶质或微晶质绢云母化组成的粘土矿物中,占所有金矿的多数,其次是绢云母化与硅化石英的边部或存于两者的粒间。同时也有相当部分的金矿物包裹在石英中或硅化石英中。所见的金矿物不管与那种矿物相关,其粒经一般在 0.01mm 以下,并以 0.001～0.002mm 为多数,最大的也不超过 0.02mm,在毒砂、黄铁矿的光薄片中未见金矿物。

表 3 - 6 - 4

元素	TFe	As	S	CO_2	Au($\times10^{-6}$)	Ag($\times10^{-6}$)
含量(%)	3.17	1.89	1.36	9.90	3.68	2.2

表 3 - 6 - 5

元素	含量范围(10^{-6})	平均含量(10^{-6})	元素	含量范围(10^{-6})	平均含量(10^{-6})
Au	1.0～11.0	3.0	Cu	2.0～150	136
Pb	15～150	25	Hg(10^{-9})	9～>500	122
Zn	50～500	70	As(10^{-2})	0.15～4.31	1.43
B	15～80	60	Cr	25～200	141
Sb	37～183	90	W	7～20	12
Mn	600～1200	764	Bi	0.6～2.7	1.7
Co	8～20	12	Ni	25～60	36
Mo	1～10	3.7	V	50～100	8.7
Ag	0.2～15	1.5			

(6)主要矿物特征及其金的赋存状态探讨

①自然金、银金矿。从光薄片及砂光片中,以 2mm 为间距的线法在 50×10 倍及 120 油浸×10 倍镜下,测量出 0.001mm 以下金矿物在脉石缝隙间、绢云母粒间及其包裹在石英中。从小于 2mm 的试样中,经粗淘、强磁选、电选、精淘后见十几粒小于 0.02mm 的金矿物,经电子探针分析为自然金、银金矿。物理性质:呈金黄色、金黄略显白色,片状,丝状,微粒状,具延展性,最大粒经为 0.02mm,一般在 0.01mm 以下。

表 3 - 6 - 6

元素	Au(%)	Ag(%)	Cu(%)	元素	Au(%)	Ag(%)	Cu(%)
自然金	99.10	0.15	0.16	银金矿	84.51	14.49	0.37

自然金、银金矿电子探针分析结果见表3-6-6。

自然金成色在998以上,银金矿成色在853以上。由此可见自然金成色很高。

金矿物在光片中粒度统计见表3-6-7。

表3-6-7

粒级 mm	0.0015～0.002	0.001～0.0015	＜0.001
金矿物粒级数(个)	12	11	26
金在各粒级中百分含量	24.49	22.45	53.06

②毒砂。毒砂呈黄白色,有的表面有黄褐色氧化薄膜,晶形为针状、纺锤状,粒经绝大部分在0.074mm以下,一般为0.05～0.01mm,最小的只有0.001mm或更加细。毒砂多以细脉状或裂隙充填在碳酸盐脉的边部或其裂隙中出现。毒砂占本试样的4.16%,是本试样中最主要的载金矿物,含金品位73.39×10^{-6}。试样中毒砂粒经小于0.02mm,占试样毒砂矿物的87%以上。毒砂电子探针分析结果和粒度统计见表3-6-8。

表3-6-8　毒砂电子探针分析

元素	S	Fe	Cu	Co	Ni	As	Au	Ag
含量%	22.06	35.83	0.04	0.02	0.10	41.90	0.00	0.00
试金分析	挑纯单矿物中金73.39×10^{-6}							

③黄铁矿。黄铁矿呈自形晶,以五角十二面体及聚晶出现,其次是草莓状黄铁矿,多数黄铁矿具环带状结构,环带中有脉石充填。黄铁矿是载金矿物之一,未见可见金。经试金分析,含金品位3.68×10^{-6}。黄铁矿的粒径也属于细小系列,小于0.02mm者虽然比毒砂少,也占到黄铁矿的65%左右。

表3-6-9　毒砂粒度统计

粒径 mm	＞0.03	0.03～0.02	0.02～0.01	＜0.01
含量%	4.37	8.55	11.08	76

表3-6-10　黄铁矿电子探针分析

元素	S	Fe	Cu	Ni	As	Au	Ag
含量%	52.56	46.93	0.05	0.05	0.01	0.33	0.00
试金分析	挑纯黄铁矿含金3.68×10^{-6}						

表3-6-11　黄铁矿粒度统计

粒径(mm)	＞0.02	0.02～0.01	＜0.01
含量(%)	37.07	6.31	58.62

综上所述,本区金矿的金矿物粒度极细小,最大超不过0.03mm,在光片中见到的金矿物绝大部分在0.001mm以下,它与脉石关系密切,属裂隙金、粒间金及包裹体金。其中裂隙金存于硅质胶结物与粘土类矿物中;另外大部分金与硫化物有关,特别是毒砂矿物中,金品位达73.39×10^{-6},占原矿中金的绝大多部分。

4.蚀变类型及其分带

围岩蚀变主要为次生石英岩化、绢云母化、粘土化、碳酸盐化，尚有磷灰石化、毒砂化、黄铁化等。

矿化在空间上有明显的分带性，在黑刺沟金矿的两侧依次为锑金矿化、铅金矿化和铜金矿化。

(二)矿床成因及控矿因素

目前，关于黑刺沟金矿的成因认识众说纷纭，但从矿床的地质特征来看与兰德金矿极为相似，因此，提出黑刺沟金矿属古砾岩型且与兰德型属同类的认识。在形成古河流相三角洲沉积，即矿源层过程中，同时由于上升洋流作用形成了滑塌角砾岩，并形成含磷、金矿化的迭加作用，但在最终成矿定位上与兰德金矿有所不同。兰德矿被认为是变质热液作用所致，而本区则与岩浆热液作用有关。那么确切地说，本矿床的成因属古砾岩迭加岩浆热液型。现将矿床特征分述如下：

1.黑刺沟金矿床与同类金矿床对比

黑刺沟金矿床整体形态呈巨大透镜状，它受古三角洲相沉积的严格控制，本矿体为古三角洲的一个横断面，其特征是矿体自140线向东、西两侧，厚度逐渐变薄，砾石的粒度逐渐变细，矿体的品位逐渐降低，随三角洲相沉积厚度变化而变化，属典型的层控矿床。

它的许多地质特征与南非的维特瓦特斯兰德金矿具有一定的可比性，现比较如下(表3-6-12)

表3-6-12　党河南山金矿与兰德金矿对比

	兰德金矿	本区	备注
对比项目	矿　床　特　征		
1.矿质来源	太古界绿岩带—斯瓦齐兰德系	可能来源于中祁连元古界的绿岩系或达肯大坂古陆元古界绿岩系	
2.含矿层位	主要是下元古界第一盖层维特瓦德尔斯兰德岩系底部砾岩系及其次级不整合面也有矿化，磨拉石建造。	主要是下古生界奥陶系中上统砂砾岩组(O_{2-3}^{a})的底部砾岩及其次级不整合面也有矿化，磨拉石建造	与兰德金矿不同的是本区成矿层时代新。在矿层下有凝灰岩存在
3.矿化岩性	主要是砾岩和石英岩，次有含炭质岩层(实际为黑色页岩)	主要是砾岩、角砾岩、凝灰质砾岩、有炭质砂岩层，仅有矿化	不同兰德金矿的是本区即有石英卵石砾岩，又有滑塌角砾岩。
4.含矿层厚度及矿化单层厚度	称为层组，厚60～212m，矿化单层厚0.1～2m	层组厚60～102m，矿化单层，厚度1～22m，累加矿体厚度最大44.5m	
5.金、银品位	金品位一般5×10^{-6}～10×10^{-6}，最高28×10^{-6}，银152×10^{-6}	金品位1×10^{-6}～6×10^{-6}，最高11×10^{-6}，银2.2×10^{-6}	
6.放射性元素	含铀0.02%～0.03%，储量300 000t，已采金35 000t		

续表 3 - 6 - 12

	兰德金矿	本区	备注
对比项目	矿　　床　　特　　征		
7 .蚀变特征	硅化(多阶段)蛇纹石化、滑石化、碳酸盐化、高岭土化、(局部)水云母化、黄铁矿化、褐铁矿化	次生石英化(多阶段),硅化、绢云母化、碳酸盐化、磷灰石化、萤石化、高岭土化、毒砂化、黄铁矿化、褐铁矿化	不同于本区,前者有蛇纹石化,滑石化、水云母化、而后者有磷灰石化、萤石化
8 .矿物共生	金属矿物:黄铁矿、自然金、黄铜矿、锇铱矿、金刚石等。脉石矿物:石英、绢云母、绿泥石等	金属矿物:毒砂、黄铁矿、自然金、银金矿、铁闪锌矿、黄铜矿、白铁矿、方铅矿、磁铁矿、钛铁矿等。脉石矿物质:石英、绢云母、方解石、白云石、长石、白云母、磷灰石等	矿石中出现有β双晶水晶,说明本区,可能经历了高温液化热液阶段温度介于 a 石英—磷石英间(573℃～870℃)
9 .重矿物组合	锆石、独居石、尖晶石、石榴石、金红石、电气石、金刚石、锇铱、铂等	磷灰石、磁铁矿、钛铁矿、角闪石、石榴石、锆石、金红石、萤石等	
10 .矿体形态	层状、似层状、透镜状,富矿呈长条状(梳状)多层	巨大透镜状、层状、似层状、具多层状、主矿体呈长条状	
11 .金的粒度	0.005～0.1mm	< 0.001～0.002mm,绝大多数 < 0.001mm	
12 .金的成色	880～950	853～998	
13 .黄铁矿中元素含量	As 0.201% ～ 0.877%, Co 0.049%～0.233%, Ni 0.114～0.460%, Co/ Ni = 0.430～0.507	As 0.33%, Co 0.05%, Ni 0.01%, Co/ Ni = 5	前者以沉积成因的黄铁矿为主、后者以岩浆热液黄铁矿为主
14 .金的嵌布特征	砾间金赋存于砾石胶结物中的裂隙金	砾间金为主,赋存于砾石胶结物中,裂隙金,粒间金及包裹金	
15 .大地构造位置	古地台边缘,冒地槽带界面上深大断裂附近古地台断块边缘	中祁连加里东隆起带南缘,南祁连冒地槽北部,属于这两个构造界面上党河深大断裂的南缘	
16 .含矿建造	角砾岩、砂岩、碎屑岩(陆相)近海三角洲及海浸岩系河床相,具韵律结构	砾岩、角砾岩、砂岩、碎屑岩(陆相)近海三角洲及海侵岩系河床相具韵律结构	
17 .变质作用	主要是中、低级区域变质作用,绢云母、绿泥石相	低级区域变质作用或变质作用不强	
18 .岩浆作用	辉绿岩岩墙、岩席	磁铁矿系列花岗岩,石英闪长岩岩株,辉绿岩脉	
19 .控矿元素	层控、不整合、假整合砾岩带	层控、不整合、假整合、砾岩带	
20 .元素组合	Au、U、Ag、Lr、C、S	Au、As、P、Sb、Hg、Ag、Cu、Pb、Zn、W	地球化建造不同
21 .目前的成因说	沉积—变质说,古砂矿说,热液说,淋滤说	目前我们初步认为是古砾岩—上升洋流—岩浆热液说,有人认为是构造蚀变成因	

2 .成因矿物学标型特征

1)金矿物的标型持征

表 3 - 6 - 13　不同类型黄金成色比较表

矿床类型	南非兰德型	砂金矿床	卡林型矿床	前寒武纪变质型	碱性岩中石英脉型	矽卡岩型及伴生金	中温热液型	低温热液型	斑岩型及伴生金	近地表火山岩中的金矿点	本区
成色	880～950	892～995	950 以上	900 以上	800～930	800～900	700～900	680～760	840～900	657～750	853～998

(1)金成色。由表 3 - 6 - 13、3 - 6 - 14 可以看出本区金矿的成色与兰德金矿的成色较接近。

(2)金矿床的大小往往与矿体厚度有关,厚度越大,矿体规模越大。本区金矿体厚度很大,它指示矿床规模大。同时金矿物(Au - Ag)粒度越小,矿体规模越大。显然本区金矿的粒度很细,也说明矿床规模大。

(3)自然金中的杂质元素。本区金矿的自然金中,除混入 0. 15%～14. 49%的银外,尚有 0. 16% ～0. 37%的铜元素混入。铜含量较高,它一般是深成金矿的特征,但也与围岩和含铜高低有关。

2)黄铁矿的标型特征

(1)黄铁矿中 Co/ Ni 值见表 3 - 6 - 15。显然本区金矿与岩浆热液有关。

(2)黄铁矿 Fe/ S + As 值见表 3 - 6 - 16。本区金矿 Fe/ S + As 值远远大于浅成石英脉型金矿,说明该金矿属浅成—超浅成金矿。

(3)黄铁矿 S/ Fe 值见表 3 - 6 - 17。由表可看出本区金矿 S/ Fe 值接近卡林金矿,当 S/ Fe 值越小造成其中硫空位,导致 Fe - S 共价键性增加。

(4)黄铁矿中的 As 的含量见表 3 - 6 - 18。本区 As 含量与兰德型金矿较为接近。

(5)黄铁矿晶胞参数(a_0)的计算公式及意义:

$$a_0 = 5.41759 + 0.00124x + 0.0027y$$

x - CoS_2 分子%; Y - NiS_2 分子%

表 3 - 6 - 14　金粒度对比表

矿床类型及规模	金矿物粒度
大型(银坑山)	金银矿 < 0. 1mm, 银金矿 < 0. 037mm
中小型(八宝山)	金银矿 > 0. 25mm
矿点(东山罗山)	金银矿 1～3mm
超大型(兰德)	自然金 0. 005～0. 1mm
本区	自然金 < 0. 001 ～ 0. 02mm, < 0. 001 占总金矿物的 53. 06%

表 3 - 6 - 15

矿床类型	Co/ Ni
火山岩、次生火山岩、接触交代有关金矿床	> 5
岩浆热液型金矿床	> 1～ < 5
沉积作用有关的矿床	< 1
南非兰德金矿床	0. 430～0. 507
本区	5. 0

表 3 - 6 - 16

不同成矿深度的矿床		Fe/ S + As
前苏联	深成石英脉型金矿	0. 497
	中成细脉浸染型	0. 502
	浅成石英脉型	0. 536
本区		0. 887

表 3 - 6 - 17

矿床类型	奥林匹克坝型	卡林型	富硫沉积型	微亏硫斑岩型	纯黄铁矿型	本区
S/ Fe	1. 137	1. 126	1. 166	1. 145	1. 148	1. 120

表 3 - 6 - 18

矿床类型	兰德型	卡林型	火山岩型、斑岩型	次火山岩型(豫西)	本区
As 含量 10^{-2}	0. 201～0. 877	0. 29%～7. 4% 平均 2. 25%	0. 013～2. 937 平均 2. 25%	0. 002 98	0. 33

根据黄铁矿电子探针 Ni、Co 分析结果，计算出 CoS_2 和 NiS_2 的分子百分率，分别为 0. 1%和 0. 02%。将其代入公式中求得本区金矿中黄铁矿 a_0 = 5. 417768(A)，并与其他矿区比较如下(表 3 - 6 - 19)：

黄铁矿的晶胞参数 a_0 值越大含量越好。本区的 a_0 较大，预示着具有良好的含金性。

表 3 - 6 - 19

矿床及矿物	晶胞参数 a_0 (A_0)
陕西二台子富金黄铁矿	5. 4175 - 5. 4179
陕西二台子贫金黄铁矿	5. 4171 - 5. 4172
浙江银坑山富金黄铁矿	5. 4179 - 5. 4182
浙江银坑山铅锌矿石英铁矿	5. 4170
浙江银坑山硫铁矿黄铁矿	5. 4170
河北平泉金矿黄铁矿	5. 4175 - 5. 41798
纯黄铁矿	5. 4170
本区金矿黄铁矿	5. 417768

3) 毒砂的标型特征。

本区金矿毒砂中的元素成分与上述各种产状的金矿毒砂都不相同。尤其 Ni 的含量远远大于其它矿床(表 3—6—20)。

4) 碳酸磷灰石的标型特征

表 3 - 6 - 20

产状	Co	Ni	Au	Ag
各种产状的毒砂	10 - 3800	200 - 500	2 - 600	30 - 550
热液浸染型金矿石中的毒砂	25	30	4000. 8	
热液石英脉型金矿石中的毒砂			23. 75 - 67. 7	28. 9
不含金的多金属矿石中的毒砂	500 - 1500			200 - 550
本区	200	1000	73. 39	

本区金矿的矿石中普遍含磷较高，最高的磷灰石可达 10%。经测定含磷矿物是碳酸磷灰石，它是一种胶状矿物，克里门特(klement, 1992)等人从实验室得出结论：碳酸磷灰石不能从溶液中直接沉淀，并认为其形成特征与早期交代形成的白云岩极为相似。它的存在将给矿床成因的研究带来极大的复杂性。一般认为 As、S 等元素趋于在生物残骸集中的环境中富集。那么磷矿化的成因是否是本矿区金矿的矿源层乃至金矿床的成因呢？这也是值得注意研究的问题。

据现有资料，沉积磷矿主要产于浅海环境，与黑色页岩、燧石及白云岩共生，在巨大的地球化学循环中，磷是以磷酸盐形式进行迁移的，即矿物或岩石中的磷在风化过程中被溶解出来进

入生物圈,后因生物死后沉入深水,并遭受氧化作用和细菌活动,使深水中的有机质分解,于是,磷酸盐再度进入水中。大洋往往按水的密度不同而分层,相对冷而密度大和盐度高的海水常位于底部,这种水富含磷酸盐及其他成分。关于沉积磷矿的成因,目前公认的观点是认为与上升洋流有关。而上升洋流则由上部数百米深海范围内的海水受风力驱动沿大洋边缘发生旋转性循环所产生,流走的海水由滨岸涌上来的深部较冷的海水补充。这种上升洋流在显生宙是肯定存在的,主要出现在寒武—奥陶纪、石炭纪、二叠纪、侏罗纪和晚第三纪,至近代。近代磷灰石矿床的分布与上升洋流的关系十分密切的。大型的佛罗里达中新世磷矿及大西洋东南沿岸平原的磷矿均表明,稳定陆缘是形成具经济价值磷矿床的有利地域。从上升洋流的分布及近代磷酸盐的形成过程显示,稳定陆缘及其西面的活动陆缘最适合于形成磷矿床。

另外,本区矿石中的黄铁矿除上述五角十二面体及聚晶黄铁矿外,其次是草莓状黄铁矿。前者与热液作用有关,后者一般认为与沉积作用有关,特别是与生物沉积有关,草莓状外观是极明显生物活动遗迹的形态标志。

在矿体顶板上主要是炭质砂岩,是否为有机质成因,有待进一步研究。从而可以看出本区金矿的矿源层是与生物(细菌)有关的上升洋流有关,以胶体凝聚沉积。

综上所述,从成因矿物学的标型特征上看本区金矿成因是多来源、多阶段、多组分、多成因的。归纳起来就是:

古三角洲相砾岩沉积携带金质及重矿物,上升洋流作用携带着原生物圈的磷沉入深水中,死亡生物、细菌、有机质等,它们富含磷、金、硫、有机炭、砷等以胶体凝聚沉积于该古三角洲上,形成古砾岩的主要胶结物,即构成了金的源层。由于加里东中晚期近东西向磁铁矿系列的斜长花岗岩、二长花岗岩的侵入,携带了部分金质和相关的热液元素及热水与矿源层进行水/岩交换,并在不整合面构造上和层间断裂上就地取材,形成了黑刺沟金矿。

简单地说就是:古砾岩 + 上升洋流→矿源层 + 岩浆热液 + 不整合构造(或层间断裂)金矿床。

3. 控矿因素

同位成矿是大型—超大型金属矿床(矿田)形成的宏观机制。结合这一理论探讨如下:

1) 黑刺沟金矿同位成矿的若干特征

(1)沉积相对金矿的控制。本区金矿为层控矿床,明显受地层的控制,更直接相关的可推及沉积相、亚相(见图 3 - 6 - 5)。

通过沉积相的划分可知:本区的沉积层共划分为 9 个层 4 个沉积相。其中与金矿化有关的沉积相为古河流三角洲相和热灰泥石流相。下覆、上覆地层则均为浅海相。根据砾石的变化和胶结物的变化情况,将古三角洲相划分为两个大海退旋回,其特点是每个旋回,是以粘土质胶结亚相沉积开始,经过硅质胶结亚相,到粘土蒸发岩相结束。砾石粒度则由大变小。

以沉积层的各元素平均含量为原始数据,对各沉积层进行 Q 型点群分析(图 3 - 6 - 6),在相关系数为 0. 25 处,分为三大类。第一类为与含矿有关的沉积相(即古三角洲相和热灰泥石流相),第二类为含矿层的盖层(即浅海相砂板岩),第三类为含矿层的下覆地层(即浅海相的凝灰质砂岩)。

第一类可在相关系数 0. 21 处分为四个亚类:第一亚类包括第三层和第六层,沉积相是古三角洲相两个旋回中底部的粘土质胶结亚相的沉积物。第二亚类包括第 5 层和第 8 层,沉积相是古三角洲相两个旋回中顶部蒸发、湖沼相的沉积物。第三亚类包括第 4 层和第 7 层,沉积

柱状图	岩性	沉积相		沉积相层号	接触关系	海侵旋回	厚度(米)	含矿性	矿层中各微量元素分析结果 (10^{-9})Hg 为 (10^{-7})														
									Cu	Pb	Zn	As	B	Cr	Sb	W	Ni	Mo	Ag	Co	Hg	Bi	Au
	石英粗砂岩板岩、互层	滨海相		9	角度不整合		>890	不含金	20	25	55	50	45	50	5.0	2.5	60	2.5	0.23	20	12.5	0.4	0.001
	铁质碳质含砾粗砂岩	古三角洲相 顶积层	泥炭沼泽胶结亚层	8	整合	海退		局部含金	25	50	40	100	30	60	10	8.0	40	8.0	0.4	12	40	1.0	0.98
	硅质粘土质胶结石英细砾岩	前三角洲相	硅质粘土质胶结亚相	7			4.0	含金	22.5	52.5	40	90	40	42.5	20	10.75	40	8.0	0.48	11.5	46	2.1	1.5
	粘土质碳酸质胶结石英细砾岩		粘土质、碳酸胶结亚相	6			4.5	含金	22.5	29.5	40	125	35	60	10	8.0	50	0.78	0.23	13.5	100.75	1.1	1.97
	膏盐质胶结中砾岩		蒸发胶结亚相	5	整合断层		10.0	局部含金	25.0	40	40	120	30	60	10	6.0	60	6.0	0.3	12.0	130	1.3	0.6
	硅质胶结石英细砾砂岩		硅质胶结亚相	4		海退	13.0	含砂金	1.82	32.16	40	129.29	10.36	38.57	20.36	14.57	28.93	5.89	0.41	14.36	82.43	1.71	2.54
	粘土质碳酸质胶结石英粗砾石砾岩		粘土质胶结亚相	3	假整合		8.5	含砂金	13.13	19.36	40	137.5	29.36	50.0	12.75	8.63	36.25	2.51	0.38	13.5	176.75	1.18	2.05
	乳白色蚀屑凝灰质胶结石英粗砾石砾岩、乳白色蚀屑凝灰岩	热灰—泥石流相		2			40.0	局部含金	23.57	72.57	44.29	118.57	35.71	55.71	13.71	9.36	40	5.27	0.43	13.71	148.57	2.21	0.85
	紫黑色凝灰质砂岩	海相		1	角度不整合		>870	不含金	36.70	36.7	70	15.0	14.0	110	0.8	2.5	36.7	1.1	0.1	10.7	2.5	2.2	6.9

图 3 - 6 - 5　黑刺沟金矿沉积相与金矿层关系图

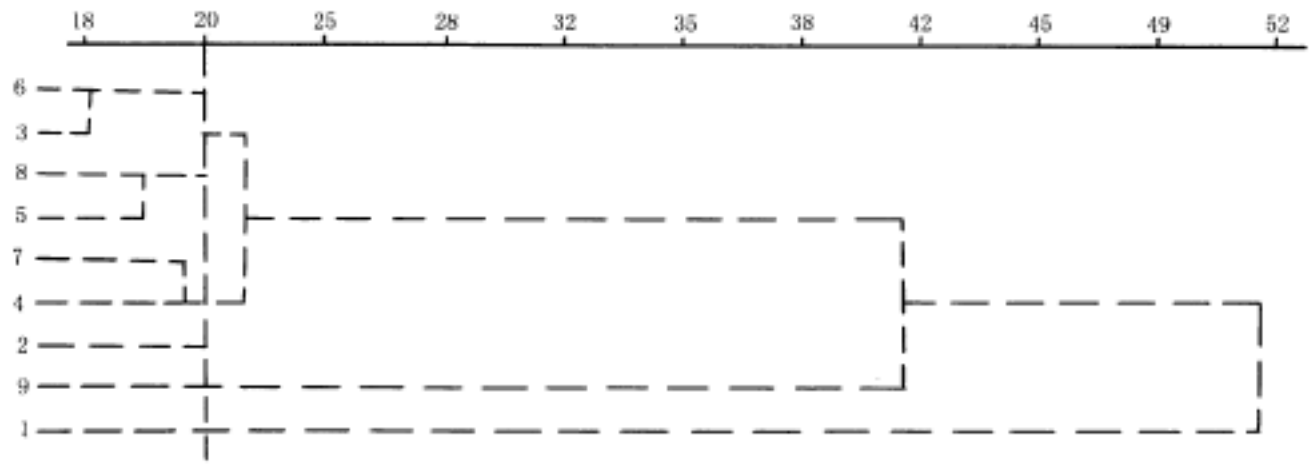


图 3 - 6 - 6　黑刺沟金矿沉积相 Q 型聚类谱系图

相为古三角洲相中部的硅质胶结亚相的沉积物。第四亚类包括第 2 层,沉积相为热灰泥石流相。另外从相关系数 0. 216 处可以看出古三角洲相和热灰 - 泥石流相两大类,第一大类包括了第 6、3、8、5 层主要为粘土质成分为主的胶结相沉积物,而第二大类包括了第 7、4、2 层,主要为硅质、凝灰质胶结相沉积物,充分说明各类物质的相似性。这个分析基本与地质情况相吻合,反映了金沉淀地层沉积相控制的特点。沉积相是控制本区金矿的重要因素之一。其金在各沉积相中的分布特征是:

①以硅质胶结的砾岩含矿最好;其次是粘土碳酸质胶结的砾岩;再次为玻屑凝灰质胶结砾岩,最次为铁质、炭质胶结含砾砂岩和膏盐胶结砾岩。

②随海退韵律层由下到上,砾石逐渐由粗变细,金含量也降低。金主要富集于古三角洲中、底部。

③随砾石含量减少,金含量降低。

④在蒸发相这种特定环境中不利于金沉淀,故不含金。

⑤金与大于 2. 8 的重(副)矿物占矿石的 2%,尤其钛铁矿、磁铁矿、磷灰石、角闪石、石榴石、锆石、红金石、萤石等,无疑与金的来源有一定的关系。

⑥金与形态开阔的‘ V ”字型古三角洲的地段有关,在谷底,砾石沉积厚度大,砾石粒度粗,金矿层厚度大,品位高,向两侧则砾石变细,厚度小,矿体厚度薄、品位低。

⑦胶结物相同的层其中微量元素 W、Mo、Bi 等含量也十分接近,如粘土质胶结的石英细砾岩与粘土质胶结石英粗卵石砾岩。

(2)矿化分带现象明显。黑刺沟金矿的南北两侧依次出现 As、Au—Sb、Au—Pb、Au—Cu、Au 等矿化分带。在矿体上元素的分带与上述矿化分带基本相同。

(3)在本矿区范围内具有集中成矿,表现出同矿种或多矿种、同类型或多类型、同时代或不同时代、同成矿阶段或多成矿阶段的成矿作用,因此显示了集中成矿的特点。也就是前面所说的多成因、多类型、多组分、多阶段出现于同一矿区的综合反映,具一个或少数主矿体。主矿体规模巨大,储量集中,周围的矿体规模都较小的特征(点式分布)。

2)同位成矿的边界条件

本区同位成矿的边界条件,概括起来区内有一个局部有利且相对稳定的成矿环境。从形成矿床的准备阶段、发展阶段,直到形成矿床,这一过程基本是连续的。下面将分别阐述同位成矿的主要边界条件。

(1)成矿物质来源丰富,稳定地供给同一空间部位。这是形成大矿的基本条件,本区处于

华北板块南祁连弧后盆地,在这种构造单元中,应主要有沉积砂矿的形成,也就是说弧后盆地中由于原生金经反复侵蚀和搬运,可形成大型砂金矿。具体地说,本区三角洲相的沉积携带了大量的金质和重矿物沉积,上升洋流作用由于生物吸附作用携带了 P、As、S、Au、有机碳迭加沉积于砾岩上,成为砾岩胶结物一部分的主要来源。本区的隐伏磁铁矿系列的花岗岩,它在贾公台南金矿为母岩,以含磁铁矿二长花岗岩岩枝出现,无疑这一隐伏岩体也携带部分金质、硫质和热水,迭加在古砾岩层上形成黑刺沟矿床。

(2)有一个稳定的热活动中心。本区的岩浆岩主要为石英闪长岩(δo_3^{3b})的侵入和二长花岗岩($\eta\gamma_3^{3b}$)侵入,尤其与二长花岗岩($\eta\gamma_3^{3b}$)岩枝相关的东西向巨大磁铁矿系列的隐伏花岗岩,应是本区提供热源的巨大岩浆房。

(3)在稳定的应力场中有相似及相关构造活动和保持一致的及其相近的成岩、成矿通道。本区金矿产于地层不整合或假整合界面以及层间断裂上,控矿构造与容矿构造也处于同一方向或同一部位,因而保持了同一成矿通道。

综上述,本区金矿主要受地层、构造、岩浆岩三位一体的控制。

三、党河南山其他金矿地质特征

(一)贾公台南金矿

矿区出露的地层为下奥陶统变安山凝灰岩,位于石英砂岩与加里东期二长花岗岩的内接触带上,矿带受北西向断裂破碎带控制,矿化带宽约 200m,长度大于 500m(图 3 - 6 - 7)。

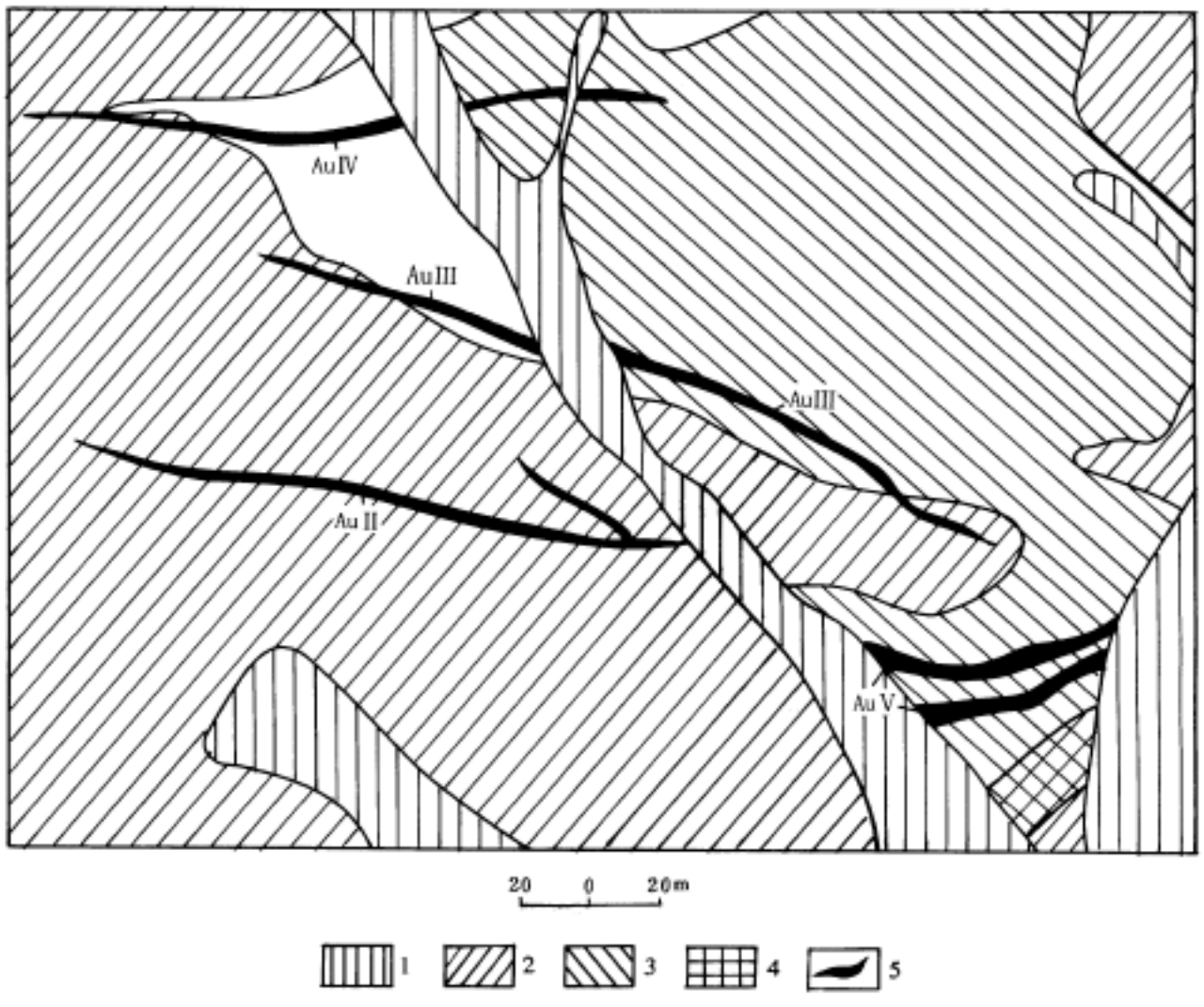


图 3 - 6 - 7　肃北县盐池湾乡贾公台南金矿平面图

1—第四系冲洪积物;2—凝灰岩凝灰质砂岩;3—二长花岗岩;4—蚀变带;5—矿体

地表探槽初步圈定5个金矿体,矿体特征见表3-6-21,矿石蚀变类型主要有碎裂蚀变花岗岩、蚀变砂岩及石英脉。围岩蚀变为硅化、钾长石化、绢云母化、绿泥石化、碳酸岩化、黄铁矿化等。

表3-6-21　贾公台南含矿体特征表

	长度 m	厚度 m	平均品位 10^{-6}	最高品位 $\times10^{-6}$		长度 m	厚度 m	平均品位 $\times10^{-6}$	最高品位 $\times10^{-6}$
Ⅰ	50	1.5	2.00	3.64	Ⅱ	200	1.5	6.10	11.80
Ⅲ	220	1.5	4.35	21.00	Ⅳ	180	1.5	2.72	70.00
Ⅴ	20	1.4	2.55	130.00					



图3-6-8　肃北县盐池湾乡振兴梁金矿平面图

1—第四系;2—细砂岩;3—安山凝灰岩;4—二长花岗岩;5—矿体;6—破碎带

(二)振兴梁金矿

地质条件与贾公台南金矿相同,矿体走向主要为北北东向、北西向、南北向展布。矿化带南北长约 410m,东西宽约 320m(见图 3 - 6 - 8)。地表探槽初步圈定了 5 个金矿体,矿体特征见表 3 - 6 - 22。矿石类型主要有蚀变岩型、细脉浸染型、构造角砾岩和石英脉型等。围岩蚀变为硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸岩化、黄铁矿化等。

表 3 - 6 - 22　振兴梁金矿体特征表

矿体编号	长度 m	厚度 m	平均品位 10^{-6}	最高品位 $\times10^{-6}$	矿体编号	长度 m	厚度 m	平均品位 $\times10^{-6}$	最高品位 $\times10^{-6}$
Ⅰ	110	1.8	6.08	23.10	Ⅱ	67	2.35	1.53	3.00
Ⅲ	85	2.5	5.64	27.00	Ⅳ	105	0.45	1.40	1.70
Ⅴ	120	3.93	1.77	14.10					

(三)狼岔沟金矿

该矿产于下奥陶统砂质板岩、粉砂岩、凝灰岩中,矿体受背斜构造和断裂构造的控制,共圈定 2 个矿体:Ⅰ号矿体长 300m,宽 3.69m,平均品位 1.68×10^{-6},最高品位 7.8×10^{-6}。Ⅱ号矿体长 120m,宽 2.14m,平均品位 2.72×10^{-6},最高 5.2×10^{-6}(图 3 - 6 - 9)。矿石类型主要为破碎蚀变岩型和微细浸染型两类。蚀变为硅化、绢云母化、碳酸盐化、毒砂化、黄铁矿化。

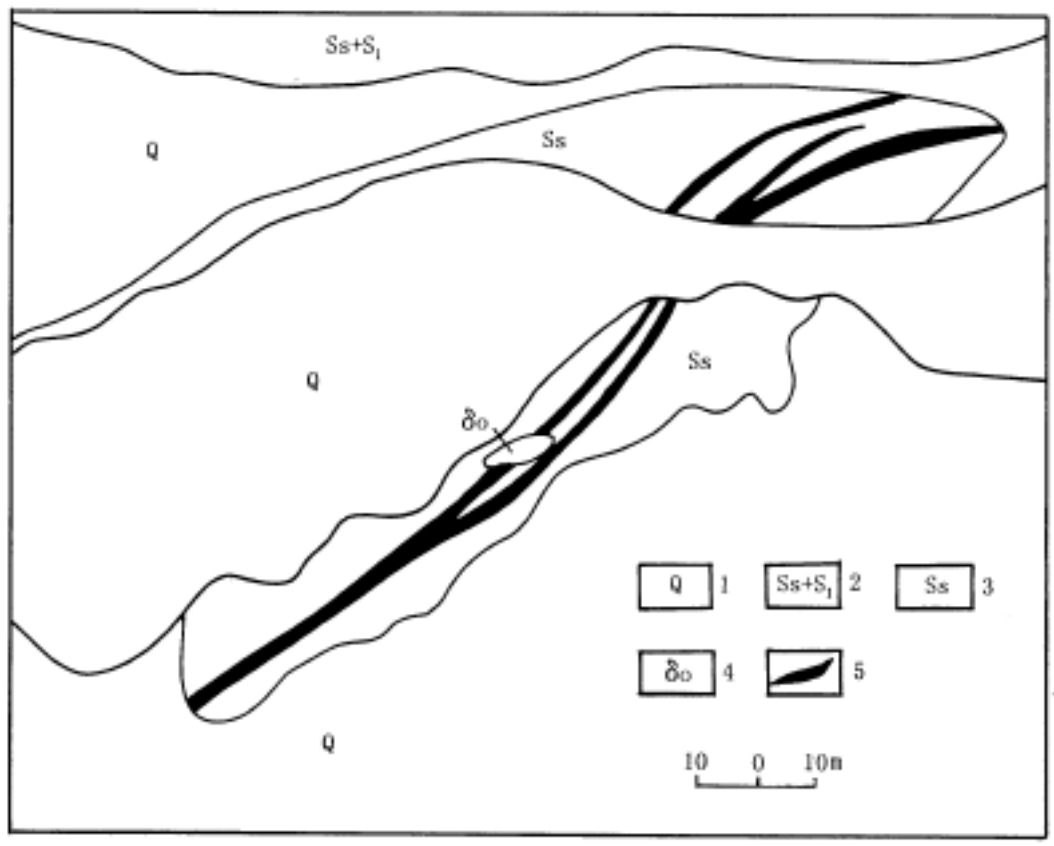


图 3 - 6 - 9　肃北县盐池湾乡狼查沟金矿平面图

1—第四系冲积砂砾层;2—砂岩夹砂板岩;3—砂岩;4—石英闪长岩;5—矿体

(四)东洞沟金矿

该矿产于下奥陶统砂质板岩、粉砂岩、凝灰岩与辉绿岩脉中,呈北西向展布。共圈出一条矿体长 200m,宽 3.1m,平均品位 1.08×10^{-6},最高达 179×10^{-6},可见明金。金品位变化较大。矿石类型主要为细脉浸染型和破碎蚀变岩型。围岩蚀变为硅化、绢云母化、碳酸盐化、黄铁矿化。

第七节　车路沟金矿床

一、区域地质背景

(一)构造

车路沟金矿处于北祁连西段与阿尔金走滑断裂交汇部位。根据遥感地质解释,本区处于昌马大坝南环形构造带中,其中的南北向断裂把环形分成东西两部分,并南北推开,整体反映出右旋性质。环形东、西两侧的地层对称,并且产状内倾。在环形构造带中发现有金矿化和铜矿化等。本区金矿处于环形构造西部边缘近南北向断裂破碎带中。

区域次级构造以断裂为主,按其切割关系及所充填的脉岩特征可分四组。

第一组近东西向断裂裂隙,有石英脉、方解石脉充填。在花岗岩体及其附近的围岩中尚有伟晶岩脉、花岗岩脉充填。在车路沟山北麓的华力西期花岗岩中,这一组断裂裂隙发育,且有含放射性元素的伟晶岩脉充填其中。

第二组北西—南东或北西西—南东东向断裂及裂隙。它切割了第一组断裂、为区内最发育的一组断裂,其中有石英脉充填。在车路沟山一带的石英脉普遍含金。

第三组北东—南西向断裂。本组断裂不甚发育,它与北西西向断裂互相切割,属同期产生的剪切断裂,有石英脉充填。

第四组南北向断裂,本组断层比较发育,它切割上述各断裂,有石英脉充填。本区金主要充填在这一成矿断裂中。

(二)地层

地层主要为下奥陶统阴沟群组(O_{1yn})海底喷发岩和火山碎屑岩组成,夹有少量泥质板岩和薄层状灰岩,岩石普遍受轻微的区域变质作用,属地槽型海底喷发岩建造。中志留统泉脑沟山组(S_{2q})主要岩性为厚层结晶灰岩夹安山凝灰岩和砂页岩,局部蚀变为硅化大理岩。第四系上更新统(Q_{3pl})冲洪积砂砾岩。

现按岩性由老到新叙述如下:

1.下奥陶统阴沟群(O_{1yn})

1)阴沟群下亚群第一段(O_{1yn1})

主要岩性为紫红色、灰绿色砂岩及板岩,夹有硅质岩、细碧岩及凝灰岩,沿走向常相变成凝灰质砂岩及安山质火山角砾岩。可见厚度 402～540m。现将各岩层岩性叙述如下:

上覆地层:下亚群第二段

整合

第 5 层:深灰绿色凝灰岩夹硅质岩	121m
第 4 层:上部为紫红色粉砂岩,下部为深绿色凝灰岩	244m
第 3 层:紫红色砂岩夹硅质岩	63m
第 2 层:暗绿色细碧玢岩	32m

第 1 层:紫红色砂岩夹硅质岩,底部为暗绿色砂岩(未见底) 80m

2)阴沟群下亚群第二段(O_{1yn1}^{2})

上覆地层:阴沟群上亚群

整合

第 7 层:紫红色薄层状砂岩夹褐色细—中粒砂岩 904m

第 6 层:灰白色砂泥质板岩夹黄色砂岩 143m

第 5 层:绿色薄层—中层状砂岩夹板岩 114m

第 4 层:绿色泥质板岩夹砂岩 342m

第 3 层:暗绿色砂岩与板岩互层 60m

第 2 层:暗绿色板岩 125m

第 1 层:浅紫色薄层—中层状砂岩 24m

整合

下伏地层:阴沟群下亚群(O_{1yn2})

主要岩性为灰绿色安山玢岩、中酸性熔凝灰岩夹灰岩及板岩、厚度为 693m。

3)中奥陶统妖魔山组(O_2)

断层

第 7 层:绿色砂质板岩夹灰岩 110m

第 6 层:暗绿色辉石角斑岩 29m

第 5 层:绿色砂质板岩 32m

第 4 层:暗绿色角斑岩 21m

第 3 层:绿色硅质板岩 12m

第 2 层:暗紫色角斑岩 43m

第 1 层:暗绿色辉石角斑岩 204m

整合

下伏地层:阴沟群下亚群第二段。

2 .中志留统泉脑沟山组(S_{2q})

按岩性可分为两个亚组。

(1)中志留统泉脑沟山组下亚组(S_{1q1})。岩性为浅灰绿色砂岩、粉砂岩夹灰岩,可见厚度为 985m。

(2)中志留统脑沟山组上亚组(S_{2q2})。岩性为绿色砂岩、粉砂岩及砂质板岩,夹有薄层状碎屑灰岩透镜体,可见厚度 316m。

3 .第四系上更新统(Q_3^{pl})

主要是冲洪积砂砾石,分布于山前地带。

(三)侵入岩

侵入岩为华力西晚期灰绿色块状闪长岩(δ_4^{3a})。分布于矿区北部。

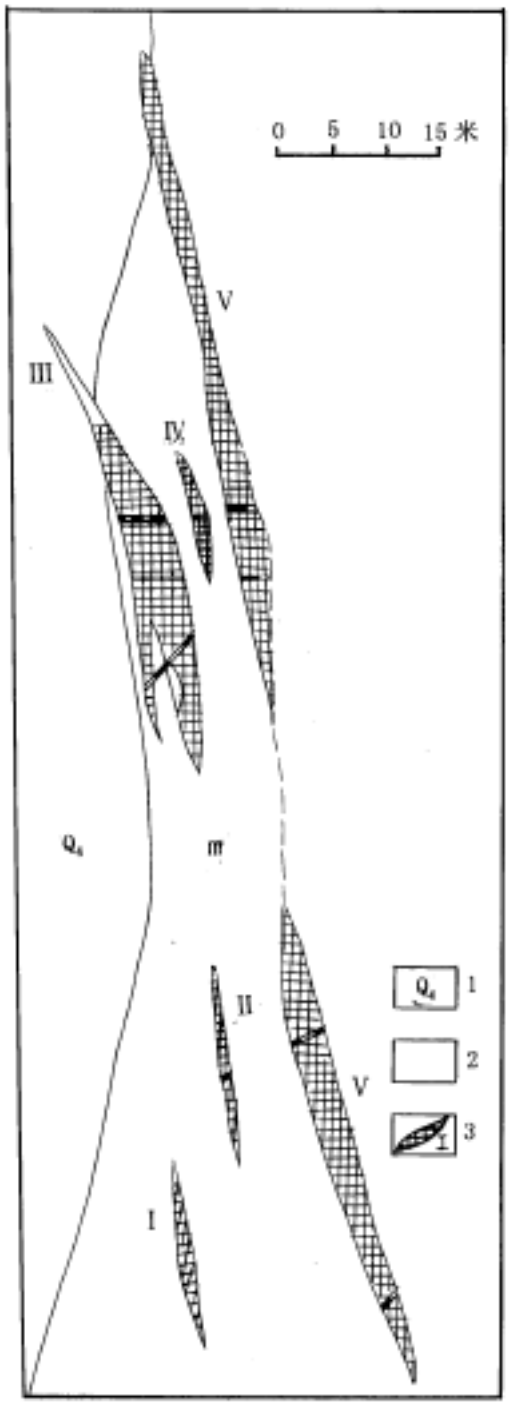


图 3 - 7 - 1　车路沟金矿地表平面图

1—第四系;2—蚀变岩;3—金矿体

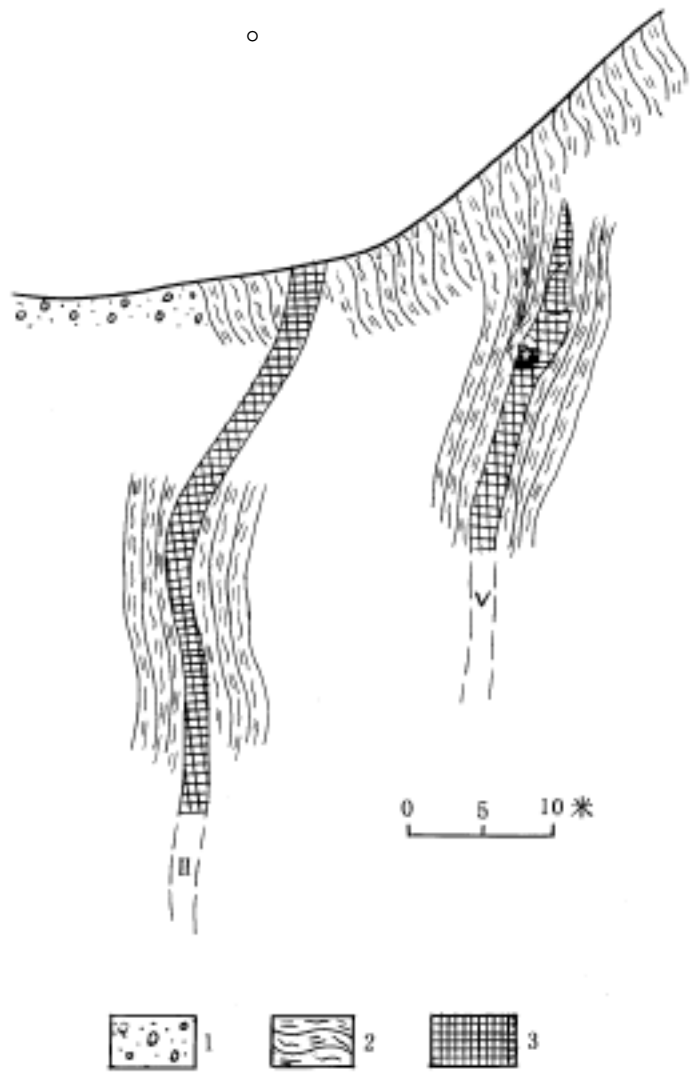


图 3 - 7 - 2　车路沟金矿 16 勘探线剖面图

1—第四系河床冲积物;2—绿泥绢云石英片岩;3—矿体

(四)火山岩

除上述已在地层中叙述的火山(喷出)岩之外,本区还有次火山岩,即加里东期的浅灰绿色斜长英安斑岩($\xi\pi_3^2$)。

(五)区域矿产

区域矿产主要是老车路沟石英脉型金矿床和一些金矿化点,均属矿点或矿化点。仅限于民采,此外还有个别铜矿化点及第四系中砂金点。

二、矿床地质特征

(一)控矿条件

1 .地层

矿床位于老车路沟,出露地层主要为下奥陶统阴沟群组(O_{1yn}),为一套中酸性海底喷发岩

和火山碎屑岩,总体走向近南北,倾向 70°～140°,倾角 68°～80°,由西向东,由老到新大致分为:

第一岩性段(NL + SB):岩石组合为厚层状,结晶灰岩夹薄层千枚岩,薄层状泥板岩。

第二岩性段(SB +λ§N):岩石组合为中薄层状砂板岩,粉砂岩夹流纹英安凝灰岩,局部蚀变强烈,金矿体赋存这一岩性段中。

第三岩性段(SB + §N + ML):岩性组合为砂板岩与英安凝灰岩互层,局部夹大理岩。

第四系全新统(Q_4^{al}):主要分布于测区的沟谷中,岩性为冲积砂砾石层。

2.岩浆岩

主要为加里东中期侵入的超浅成次火山岩—浅灰绿色斜长英安斑岩,主要分布于第三岩性段中。

3.构造

矿区处于北西西向的车路沟平推断裂带上,走向 160°～340°,由此派生的次级断裂节理裂隙,对矿体起着控制作用。

(二)矿体特征及工业类型

金矿床位于车路沟山平推断裂挤压破碎带中,由破碎带内一系列小断层及糜棱岩、角砾岩、碎裂岩组成,赋矿岩性为硅化铁染蚀变岩及石英脉。矿脉沿构造,裂隙产出。矿体自地表向下有变富、变厚的趋势。经槽控工程揭露,初步圈定 5 个金矿体,矿体间隔 5～10m(图 3-7-Au Ⅰ号矿体目前仅控制最西侧一层矿体,地表品位 3×10^{-6},长 20m,宽 1m,呈透镜状。

AuⅡ号矿体,大部分进入河床下,地表仅有 TC96 号槽揭露,品位 2.7×10^{-6},宽 1m,深部明显变厚,呈似层状,脉状,长大于 90m,厚度一般为 1.2m,最厚可达 3m,品位一般为 1×10^{-6}～12.9×10^{-6},最高达 12.9×10^{-6}。

AuⅢ号矿体,长度大于 50m,北端延伸入河床,宽为 1～4m。品位为 1×10^{-6}～9.7×10^{-6}。

AuⅣ号矿体,长 15m,1.03m,呈透镜状,品位 1.1×10^{-6}。

AuⅤ号矿体,地表长度大于 130m,北端延伸进入河床底,宽 1～3m,品位 1×10^{-6}～13.4×10^{-6}。

矿床工业类型属矿点。

(三)矿石特征

(1)矿石物质成分。矿石中有用矿物为自然金。金属矿物以黄铁矿为主,普遍褐铁矿化。与其伴生的金属矿物还有少量的黄铜矿、含铜黄铁矿及孔雀石等。脉石矿物有石英、绢云母、滑石、绿泥石、方解石等。

(2)矿石结构构造。矿石结构多呈碎裂状,构造为块、条带状。

(3)金的赋存状态。据人工重砂分析,金以自然金赋存于黄铁矿晶隙中,或与黄铁矿、石英呈连生体,多数粒径大于 0.5mm。黄铁矿中金含量可达 40×10^{-6} 以上。

(4)矿石中含 Au 一般在 4×10^{-6}～6×10^{-6},Cu、Pb、Zn、As 均低,一般为 30×10^{-6}～70×10^{-6}。

(四)蚀变类型及其分带

围岩蚀变以黄铁矿化、硅化为主,其次为绿泥石化、碳酸盐化、滑石化,其中黄铁矿化、硅化与金关系密切。

三、矿床成因

(一)成矿期次

根据构造及矿物的穿插关系可划分为三个期次:第一个期次为石英阶段,第二个期次为石英硫化物阶段,第三个期次为石英、方解石阶段。

(二)控矿因素

本区金矿主要受地层、构造和岩浆岩三位一体的控制。控矿地层主要为下奥陶统阴沟群(O_{1yn})中酸性海相火山岩及碎屑岩控制。岩浆岩主要为车路沟山北坡的华力西期花岗闪长岩、闪长岩,该岩体中曾进行过人工重砂分析二个样:一个含金 2000 粒(7.8×10^{-6});另一个样为每吨几千粒。它可能为该矿提供物源、热源和介质来源。大坝南的环形构造是控矿的主要因素,尤其近南北向断裂是本矿床的直接导矿和赋矿构造。

(三)矿床成因及类型

该矿床成因为岩浆热型金矿。成因类型为石英脉型为主的石英脉加蚀变岩型金矿。

第四章　北山地区金矿

第一节　南金山金矿床①

一、区域地质背景

(一)地层

区内出露的地层较全,由老到新有蓟县系、下寒武统、下石炭统、下二叠统、上三叠统、下-中侏罗统、新第三系及第四系(图 4-1-1)。多由碎屑岩与碳酸盐岩组成,其中蓟县系由于受区域动力热流变质作用的影响,呈变质岩状态产出。

区内与金矿成矿关系最密切的地层为下石炭统白山组上亚组。该亚组主要由中酸性火山碎屑沉积岩夹少量火山碎屑岩、碎屑岩及碳酸盐岩组成,可划分为四个岩段,由老到新依次为:第一岩段(Cb_3^1)主要由灰岩组成,顶部见黑色钙质板岩夹层;第二岩段(Cb_3^2)主要由火山碎屑沉积岩夹英安岩、英安质凝灰岩组成;第三岩段(Cb_3^3)主要由生物灰岩组成;第四岩段(Cb_3^4)主要由英安质火山碎屑岩夹英安岩、安山岩组成。其中第二、四岩段为主要的赋矿层位,南金山金矿即赋存于其中

(二)侵入岩

区内岩浆岩主要为华力西中晚期的中酸性侵入岩(图 4-1-1),多呈岩基产出,亦有岩株、岩墙状产出的侵入岩。岩石类型计有石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、钾长花岗岩、花岗岩等。

与成矿关系比较密切的侵入岩主要为华力西中期的中酸性岩。其中二长花岗岩($\eta\gamma_4^{2d}$)多与铁矿的形成有关,铜、铅、锌等的形成则与石英闪长岩(δo_4^{2a})有关,而金矿的形成多与石英闪长岩(δo_4^{2a})、二长花岗岩($\eta\gamma_4^{2d}$)有关。

另外,区内脉岩极其发育,主要有闪长岩脉、石英闪长岩脉、花岗岩脉及花岗闪长岩脉,次为细晶岩脉、英安斑岩脉及流纹斑岩脉,局部地段见有石英脉、方解石脉及碳酸盐岩脉。其中石英脉的形成与金矿化关系比较密切。

(三)火山岩

区内所发育的火山岩主要为火山碎屑沉积岩和少量火山碎屑岩类。岩石类型主要有变凝灰质砂砾岩、变凝灰质砂岩、变英安质凝灰岩、变沉凝灰岩和变沉火山角砾岩等。主要分布于下石炭统白山组上亚组中,为第二、四岩段的主要组成部分。

从其层序与岩石组合特征方面分析,该区应位于距火山穹窿不太远的火山洼地沉积环境之中,且具明显的火山喷发旋回晚期渐趋宁静阶段的活动特征。

---

① 该矿床主要依据《南金山金矿区详查地质报告》(酒泉地调队 1992 年)编写的。

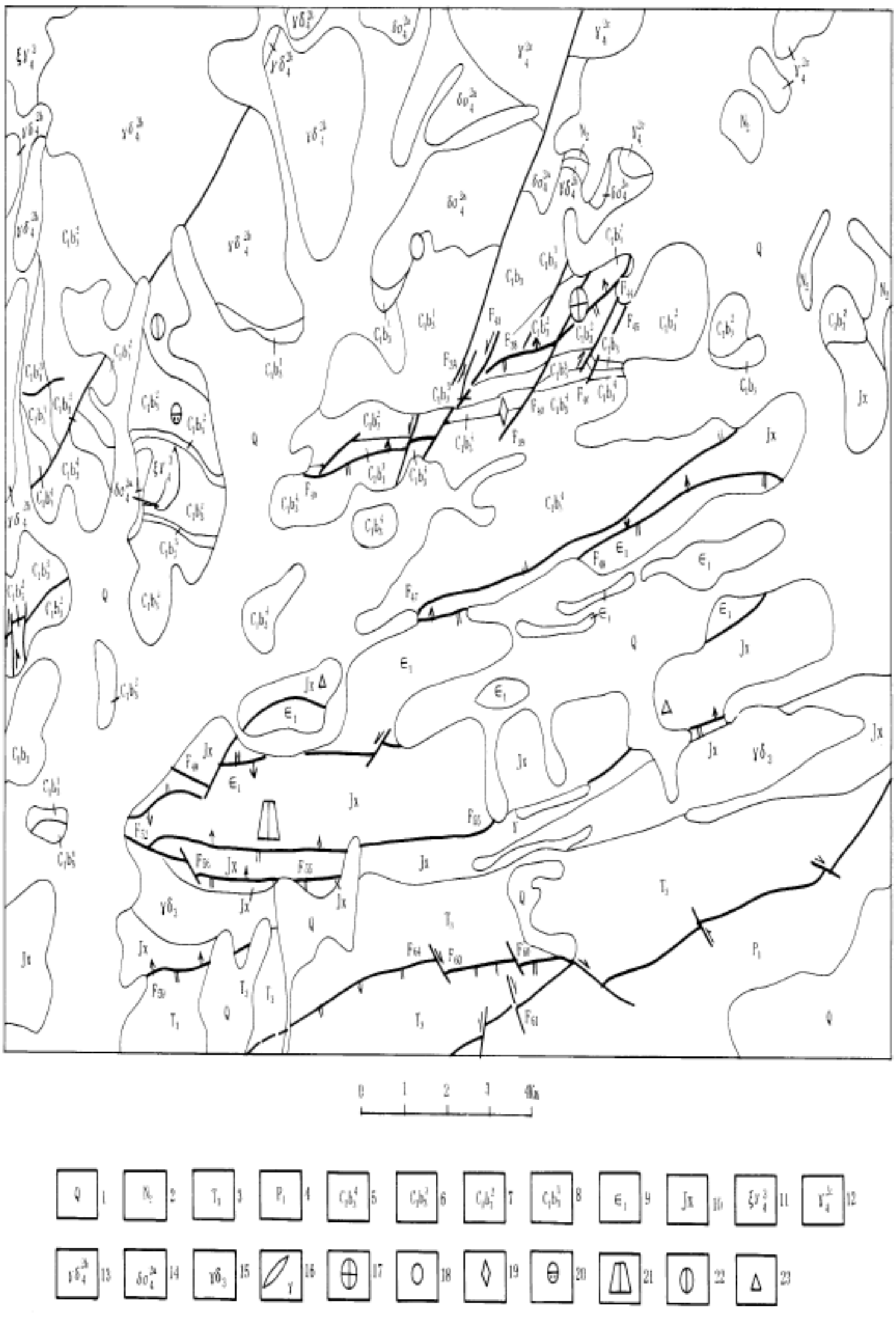


图 4 - 1 - 1　南金山一带区域地质矿产图

从火山岩化学成分特征方面分析,区内火山碎屑沉积岩和火山岩以火山物质为主,但又含有或多或少的异源碎屑物或化学沉积物,故应属火山岩与正常沉积碎屑岩的过渡类型。

(四)构造

该区位于天山—内蒙褶皱系北山褶皱带狼娃山—北山复背斜明水褶皱束的南翼。区内褶皱发育,断裂纵横交织。褶皱构造主要有蓟县系的坡子泉西背斜、坡子泉东向斜、下石炭统双井子北背斜、破城山井背斜、白石头井背斜、明西山向斜、南金山向斜等。

断裂构造按其走向可分为近东西向、北东向、北西向及近南北向(含北北东向)四组。其中近东西向和北东向两组断裂最为发育,生成时间最早,活动时间最长,且具明显的继承性,多属逆断层性质的区域性大断裂或深大断裂。从其与成矿的关系方面看,近东西向、北东向两组断裂多属成矿前或成矿期断裂,但成矿后继承性活动特征明显;北北东向和北西向两组断裂则属成矿后断裂,但其对矿体的破坏作用不大。

(五)区域矿产

区内矿产丰富,矿种较多。到目前为止,已发现各种矿床(点)18 处,计有铁、铜、金、铅、锌、锡、铀、砷、白云岩、透闪石、明矾石、叶蜡石、重晶石等。

金矿主要受控于下石炭统白山组浅海—滨海相中基性—中酸性火山岩、火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩及部分正常沉积岩、碳酸盐岩,并受华力西期近东西向和北东向断裂的严格控制,具明显的层控、构造控矿特征。白云岩矿主要受特定层位(蓟县系)的控制,与构造关系不大。重晶石矿、磁铁矿等内生矿产均明显的受近东西向及北东向断裂构造的控制。

二、矿床地质

(一)控矿条件

南金山金矿床具明显的层控、时控性,且构造与特定岩性对该矿床的控制作用明显(图4 - 1 - 2)。

南金山金矿床金的富集与特定地层层位具有紧密的成生联系——即具有明显的层控性质。其中北矿带金矿(化)体均分布于下石炭统白山组上亚组第二岩段(可分为四个亚段)中,而南矿带金矿(化)体则主要赋存于该亚组第四岩段内,且具有明显的穿层不穿段的分布特征。另外金的富集与特定岩石组合的相关性较好,凡火山碎屑岩或含大量火山碎屑物质较多的岩石分布的地段,金矿(化)体的数目、规模及富集程度明显比不含该岩石的地段要多、规模要大、富集程度要好。不含火山物质的岩石分布的地段一般不含矿。

构造对该矿床矿体的控制作用主要表现在近东西向和北东向两组断裂对矿体进位特征方面的控制。近东西向和北东向两组断裂在矿床范围内共同构成一向西收敛、向东撒开的不太典型的帚状构造,南、北矿带矿(化)体的分布形态完全依存于该帚状构造。北矿带矿(化)体分布于北东向断裂之间或附近,向帚状构造收敛端矿体相对集中,规模较大,连续性及稳定性较好,矿石质量较佳,构成矿区的主要工业矿段。帚状构造撒开端矿体逐渐分散,规模变小,含矿性变差。综上所述,北矿带矿(化)体的形成与近东西向和北东向两组断裂组成的帚状构造具有紧密的成生联系,前者受控于后者。

南矿带矿(化)体皆呈近东西向平行排列,说明完全与帚状构造中近东西向断裂或裂隙有关,进而与帚状构造相关,即受控于帚状构造。

(二)矿体特征及工业类型

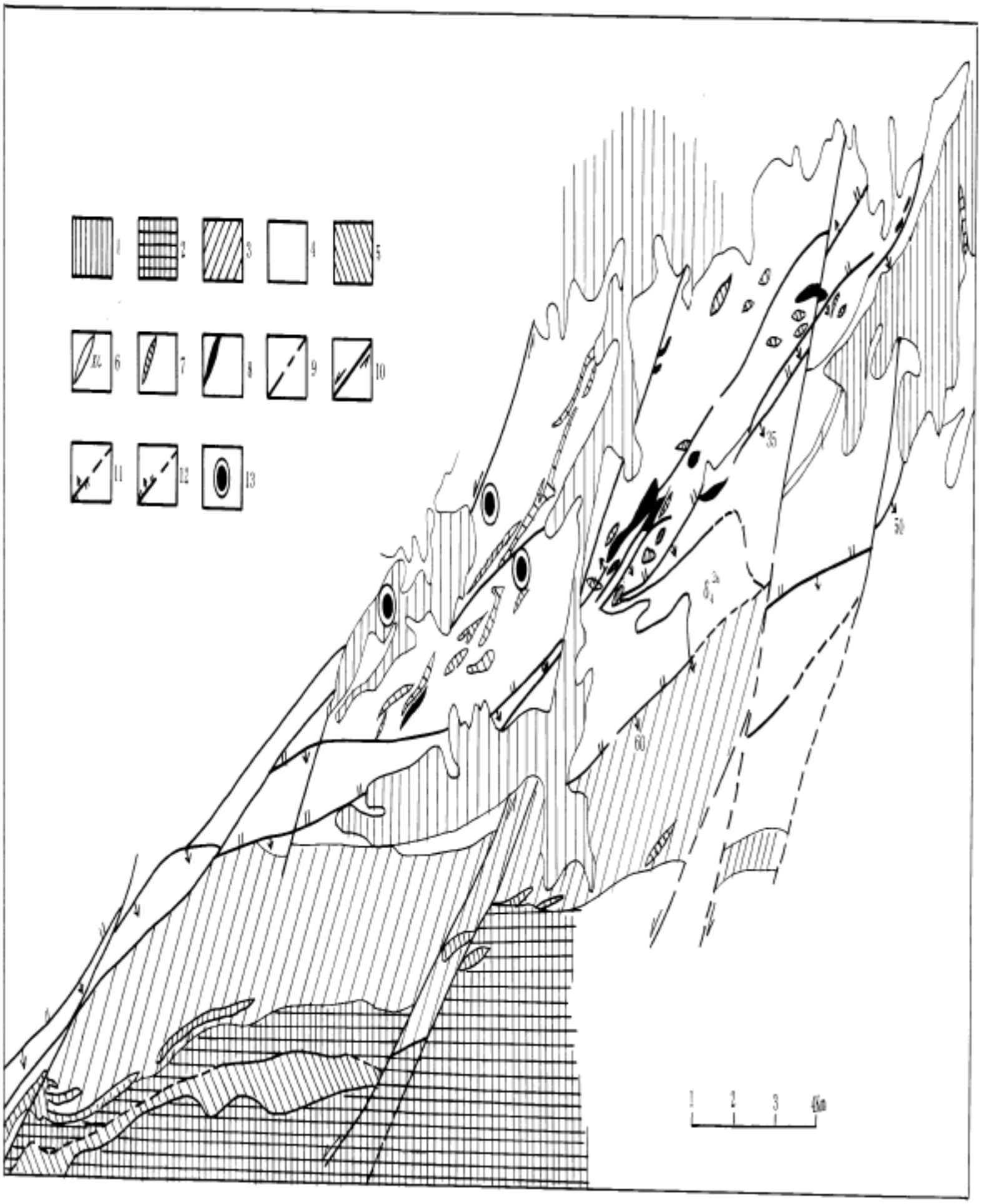


图 4 - 1 - 2　南金山金矿区地质略图

南金山金矿床分布于东西长 4 .5km、南北宽 1 .5km 的范围内,按矿(化)体的空间分布形态可分为南、北两个矿带。北矿带矿(化)体赋存于下石炭统白山组上亚组第二岩段中,矿(化)体含金性好、数量多、规模大。矿(化)体的直接围岩为变英安质凝灰岩、变英安质砂砾岩和变凝灰质砂岩。南矿带矿(化)体赋存于下石炭统白山组上亚组第四岩段中,矿(化)体数目少、含金性差,直接围岩为变沉凝灰岩和变含砾沉凝灰岩。

矿区内矿体具有金、银共生的特点,且两者具正相关关系。目前矿区内共圈出金、银矿体 82 个,金矿化体 64 个。其中北矿带有金矿体 54 个(含 30 个盲矿体),银矿体 20 个(含 19 个盲矿体),金矿化体 60 个;南矿带有金矿体 7 个(含 6 个盲矿体),银矿体 1 个,金矿化体 4 个。

金矿体一般长 23～705m,假厚 1～36.07m,斜深 5～190m,矿体厚度变化系数为55.9%～98.6%,属较稳定—不稳定类型。银矿体一般长 18.75～262.5m,假厚 1.00～17.00m,斜深 17.00～150.00m。

已查明的金、银矿体主要产于次生石英岩脉体中,且主要赋存于其膨大部位的两侧,以下盘矿化最佳。另外有极少数矿体产于含金脉体两侧或附近的围岩—次生石英岩化火山碎屑岩中,但其规模小、质量差。

金、银矿体形态以脉状、似脉状和透镜状为主,次为囊状。空间上矿体呈叠瓦状、斜列侧现状产出(图 4 - 1 - 3)。

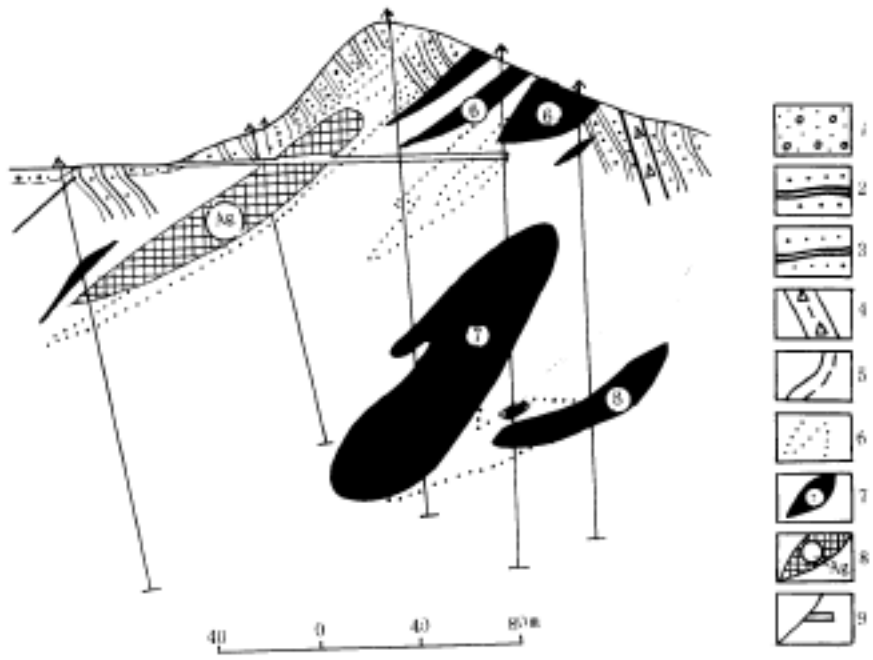


图 4 - 1 - 3　南金山金矿区北矿带 4 勘探线综合剖面图

1—第四系砂砾堆积;2—变含砾炭质板岩;3—凝灰质含砾砂岩;4—断层及破碎带;5—实测及推测地质界线;6—次生石英岩界线;7—金矿体;8—银矿体;9—平巷

该矿床工业类型属贫硫化物含金次生石英岩(脉)型金(银)矿床。

(三)矿石特征

南金山金矿床主要的矿石类型为次生石英岩型金、银矿石及次生石英岩化火山碎屑岩型金、银矿石。矿石具显微花岗变晶结构,显微鳞片花岗变晶结构,变余凝灰质砂状,砂砾状结构,粒状、胶状、交代及交代残余结构。块状、星点浸染状、细脉浸染状构造以及不规则团块状构造。矿石矿物主要为黄铁矿(褐铁矿),局部地段毒砂富集,偶而可见磁黄铁矿、赤铁矿、磁铁矿、镜铁矿、针铁矿、黄铜矿、辉锑矿、辰砂、方铅矿、闪锌矿和自然铅等。主要的有用矿物为银金矿、角银矿和自然银。脉石矿物主要为石英,含量最高可达 80%～90%,另外含少量绢云母、方解石、白云母、叶蜡石、斜长石、白钛石、重晶石、绿泥石等。

矿石中金属矿物(含有用矿物)的含量很少,一般在 1%左右,且分布极不均匀,故工业类型属贫硫化物型。金属矿物的共生组合比较简单,以褐铁矿—黄铁矿组合为主,局部可见黄铁矿—毒砂组合。矿石中有用矿物(有用组分)的富集一般与矿石中毒砂、黄铁矿(褐铁矿)等金属硫化物(含其次生氧化物)的含量呈正比例关系。

据矿石分析资料结果,矿石的化学成分以 SiO_2 为主,含量为 88.39%～91.02%,其次为

Al_2O_3 1.72%～1.94%、CaO 0.9%～1.35%、MgO 0.32%～1.40%、Fe_2O_3 0.18%～0.49%、FeO 1.96%～3.30%、K_2O 0.24%、Na_2O 0.02%～0.06%、SO_3 0.77%～1.00%。矿石中有用组份只有金和银,以独立的银金矿、角银矿和自然银的形式赋存于矿石中。金矿石中金的含量一般为 1.5×10^{-6}～5.0×10^{-6},局部可达 8.0×10^{-6}～34.4×10^{-6},伴生银含量一般为 10.0×10^{-6}～30.0×10^{-6},局部可达 50.0×10^{-6}～280.0×10^{-6};独立银矿体的银含量一般为 42.0×10^{-6}～100.0×10^{-6},局部可达 112.0×10^{-6}～376.0×10^{-6},伴生金含量一般为 0.11×10^{-6}～0.88×10^{-6},局部可达 1.05×10^{-6}～1.33×10^{-6}。

(四)蚀变类型及其分带

南金山金矿区围岩蚀变主要有次生石英岩化、硅化、绢云母—绿泥石化、碳酸盐化、叶蜡石化、黄铁矿化、褐铁矿化。其中次生石英岩化最为发育,与成矿的关系最为密切。

次生石英岩化带一般紧靠金矿体或矿化体两侧呈不规则带状分布,宽 1～20cm 不等。蚀变强度具有自金矿(化)体向两侧围岩渐次减弱的趋势。

硅化表现为矿体或矿化体内部及近矿围岩附近形成不同方向的后期石英细脉,属成矿后期叠加的蚀变类型。石英细脉一般自矿(化)体向两侧围岩贯通,不具分带性。

绢云母—绿泥石化作用与次生石英岩化同时形成,蚀变带呈线状分布于金矿(化)体两侧,并与次生石英岩化蚀变带部分或完全重合,蚀变带宽 5～30cm 不等。蚀变强度变化特征与次生石英岩化相同。

黄铁矿化主要表现在蚀变岩中黄铁矿呈星点状、浸染状、细脉浸染状或不规则团块状集合体产出。该蚀变常与次生石英岩化紧密伴生,一般蚀变强度较弱,蚀变带不连续,分布零星。褐铁矿化主要是黄铁矿的次生氧化作用的产物,仅在地表及浅部蚀变围岩中产出。

三、矿床地球化学

(一)成矿温度

据包体测温试验结果,用均一法测定,均一温度为 180℃～280℃(表 4-1-1),且以 180℃～250℃为主。另外对两个样品测定矿石中黄铁矿的爆裂温度,结果为 223℃～395℃,以 223℃～358℃为主。

从上述结果可以看出,成矿时的温度为 180℃～395℃,且以 180℃～358℃为主,属中低温矿床。

表 4-1-1　南金山金矿区氧同位素、包体测温分析表

位置	岩(矿)石名称	矿物 $\delta^{18}O$ 值(%)	温度(℃)
		石英	均一法
南矿带	脉状含镜铁矿石英脉(后期)	+15.78	200～280
	似层状次生石英岩	+13.27	200～230
北矿带	次生石英岩	+12.90	180～250
	石英细脉(后期)	+12.21	200～250
	似层状次生石英岩	+12.44	

(二)成矿流体特征

从包裹体液相成分分析结果(表 4-1-2)可以看出,包体液相成分中 HCO_3^-、F^-、Cl^-、SO_4^{2-} 的平均含量分别达 1.75×10^{-6}、0.62×10^{-6}、7.16×10^{-6}、10.55×10^{-6},pH 值平均达 5.98,说明含矿热液(成矿流体)富含挥发份,成矿热液呈弱酸性。这样的条件有利于金络阴离子的形成及其活化、迁移能力的增强,在成矿有利地段更易形成工业矿体。

另外,从表 4 - 1 - 2 中还可以看出,包体液相成分中 $K_2O + Na_2O/MgO + Fe_2O_3 = 2.718$,该值与我国酸性岩浆岩中 $K_2O + Na_3O/MgO + Fe_2O_3$ 的平均比值 3.259 相当接近,且与矿区北侧呼尔格里呼都石英闪长岩的这一比值(平均值 4.00)比较接近,说明二者具有某些成因联系,成矿热液很可能是由变质热液和岩浆期后热液混合而成。

(三)稳定同位素地球化学

1. 硫同位素特征

矿区内硫同位素样品测试结果见表 4 - 1 - 3。从该表中可以看出,北矿带矿石中黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值变化范围为 + 4.40‰ ～ + 8.43‰,平均值为 + 6.74‰,极差为 + 4.03‰;北矿带围岩中黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值为 + 4.42‰～ + 7.38‰,平均值为 + 5.84‰,极差为 + 2.96‰。南矿带矿石和围岩中黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值分别为 + 1.6‰、+ 0.73‰,不难看出矿石与围岩中的硫同位素组成特征十分接近,说明矿区成矿热液中的硫质与围岩中硫质关系密切,应属同源形成的产物。矿石中硫同位素组成与矿区北侧呼尔格里呼都石英闪长岩岩体硫同位素组成($\delta^{34}S$ 值为 + 16.83‰)相差很大,说明二者之间的关系不大。

表 4 - 1 - 2　南金山金矿床包裹体液相成份分析结果表

样号		155	156	157	158	平均值
pH 值		5.68	5.97	5.92	6.35	5.98
Eh 值		118.89	101.81	104.98	79.33	101.28
包裹体液相成分 10^{-6}	K_2O	0.20	0.28	0.48	0.57	0.38
	Na_2O	0.77	0.78	0.88	0.71	0.79
	CaO	3.88	1.48	0.08	0.18	1.41
	MgO	0.03	0.065	0.29	0.07	0.114
	Fe_2O_3	0.20	0.22	0.21	0.58	0.30
	Cu	0.027	0.006	0.017		0.013
	Pb	0.16	0.023			0.01
	Zn	0.088	0.064	0.122	0.023	0.074
	HCO_3^-	1.30	1.73	1.66	2.31	1.75
	F^-	0.92	0.56	0.76	0.23	0.62
	Cl^-	7.01	7.99	7.21	6.43	7.16
	SO_4^{2-}	19.38	8.88	2.00	11.75	10.50

表 4 - 1 - 3　南金山金矿区硫同位素测试结果表

矿带位置	岩(矿)石名称	测试矿物	$\delta^{34}S$(‰)	平均值 $\overline{X}$(‰)	极差 R(‰)	备注
北矿带	次生石英岩	黄铁矿	+ 5.07	+ 6.74	+ 4.03	矿石
	次生石英岩	黄铁矿	+ 6.63			
	次生石英岩	黄铁矿	+ 4.40			
	次生石英岩	黄铁矿	+ 7.73			
	次生石英岩	黄铁矿	+ 8.43			
	次生石英岩	黄铁矿	+ 7.72			
	次生石英岩	黄铁矿	+ 7.20			
	变凝灰质砂岩	黄铁矿	+ 5.73	+ 5.84	+ 2.96	围岩
	变凝灰质砂砾岩	黄铁矿	+ 7.38			
	变凝灰质石英砂岩	黄铁矿	+ 4.42			
南矿带	次生石英岩	黄铁矿	+ 1.60			矿石
	变含砾沉凝灰岩	黄铁矿	+ 0.73			围岩
呼尔格里呼都岩体	石英闪长岩	黄铁矿	+ 16.83			矿区北侧

注:表中样品测试均由宜昌地矿所进行

从$^{34}S/^{32}S$比值图解(图 4 - 1 - 4)中可看出,矿石及赋矿围岩中硫同位素具变化范围狭窄、正向偏离零点不远的特征,与地幔衍生的中酸性岩浆岩特征相近,故硫质可能来自于上地幔或下地壳硅镁层。

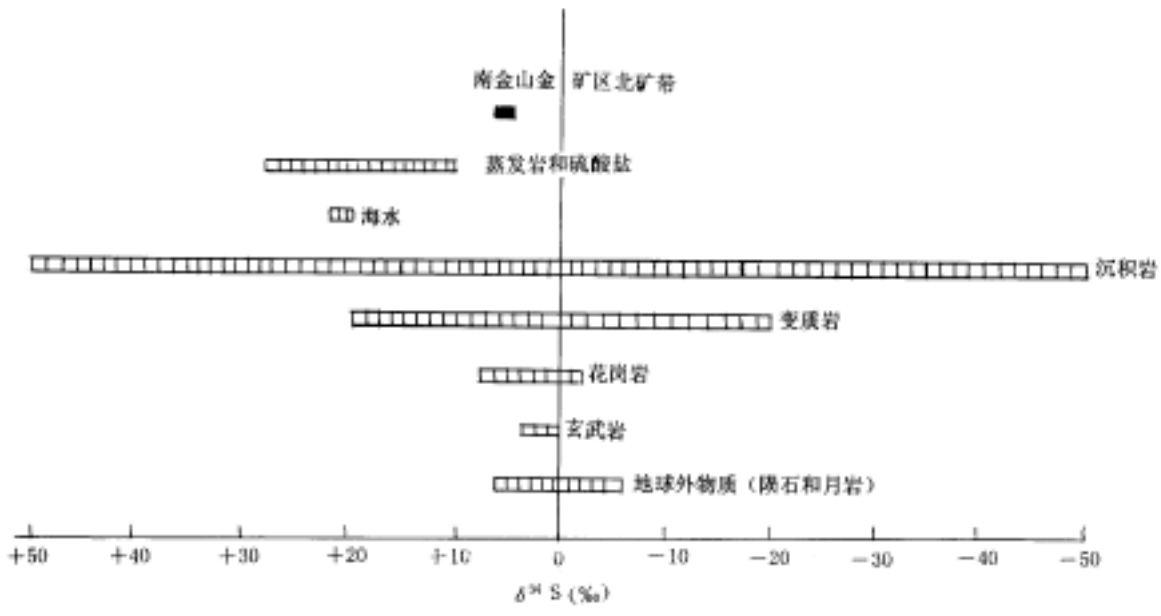


图 4 - 1 - 4 $^{34}S/^{32}S$比值图解(据 Hoefs)

2. 氧同位素

矿区氧同位素特征见表 4 - 1 - 1。从表中可以看出,矿石中石英的$\delta^{18}O$值为 + 12.21‰ ～ + 15.78‰,变化范围狭窄,均具正向偏离零点的特征。从$^{18}O/^{16}O$图解(图 4 - 1 - 5)来看,矿石中石英的氧同位素组成与变质岩或地幔衍生的花岗岩大体相当,故成矿介质很可能为变质水和岩浆水的混合物。

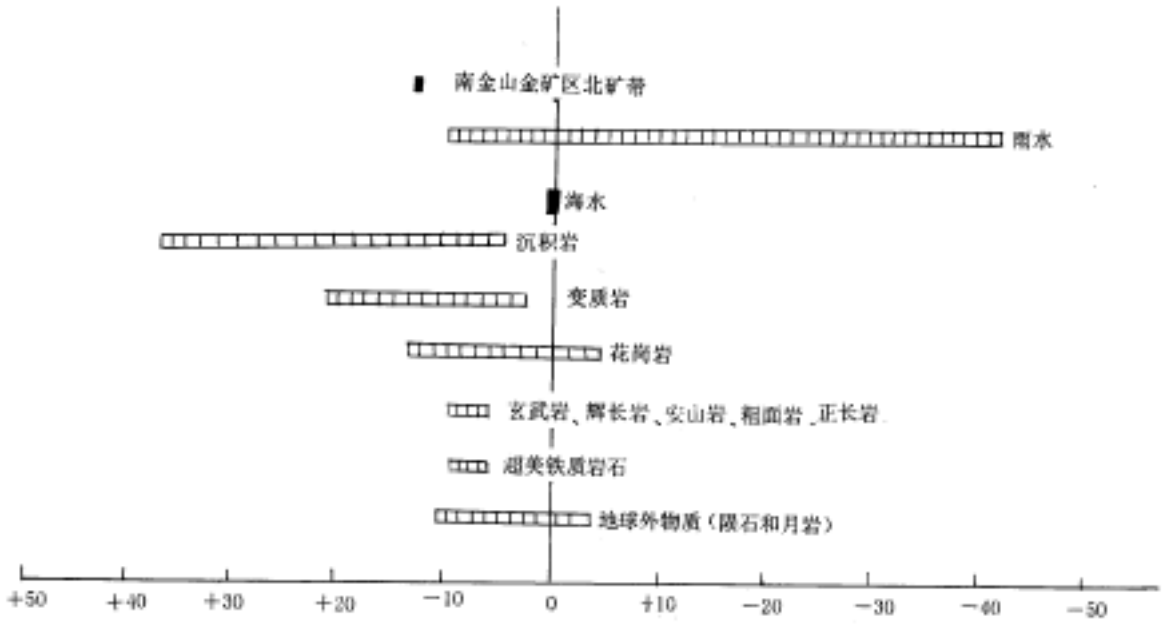


图 4 - 1 - 5 $^{18}O/^{16}O$比值图解(据 Hoefs)

(四)微量元素地球化学

矿区中微量元素地球化学特征清楚,其形成了比较好的组份复杂的异常,并以低温元素组合为主,由 Au、Ag、As、Sb、Hg、Mo、Ba、Zn、Cu、Pb 等元素组成。异常规模大、强度高、连续性好,形态比较规则,具明显的浓度分带和组分分带特征。浓集中心清楚,并有一定的范围。在剖面上表现为 Ag、As、Sb、Hg、Mo 等元素的异常开阔、强度大、衬度高,呈高原阶梯状模式,具

前缘晕的组分特征。

成矿元素为 Au、Ag,主要指示元素为 Au、Ag、As、Sb、Hg、Mo,伴生元素为 Cu、Pb、Zn、Co。

按局部异常的分布特征,可将矿区范围内的异常分为南、北两个异常带,分别与南、北两个矿带对应,分布范围基本吻合。其中北异常带为主异常带,呈北东东向展布,总长度大于 3km(向西未封闭),宽 0.8～1km;南异常带为次异常带,呈北东东向长条状展布,长大于 3.5km(向西未封口),宽一般为 100～200m。

异常内元素含量($n\times10^{-6}$)大致如下:

Au 0.7～1.0,最高 56　　Ag 1.5～20,最高大于 20

As 1.5～20,最高 1500　　Sb 15～50,最高 200

Mo 1.25～5.0,最高 20　　Cu 35～70,最高 350

Zn 100～200,最高 385　　Pb 70～150,最高 280

Hg 0.1～0.4,最高 3

成矿元素含量分带异常示矿性好,其中 Au 等值线大于或等于 0.5×10^{-6} 范围及 Ag 等值线大于或等于 12×10^{-6} 范围正确反映了 Au、Ag 矿体的分布地段。

Au、Ag、As、Mo 等元素异常浓集中心十分清楚,其中尤以 Ag 的浓度分带最为完整、规则。元素组分分带亦十分明显。其中北矿带外带由 Sb、Ag、As 组成,中带由 Sb、Ag、As、Mo、Zn、Cu 组成,内带由 Au、Ag、As、Mo、Pb、Zn、Cu 组成;南矿带外带由 Hg、中带由 Sb(有时出现 As、Mo、Cu、Zn 等)、内带由 Au、Ag、As、Mo、Cu 组成。

四、成矿时代及矿床成因

(一)成矿时代及期次

南金山金矿床成矿时代目前没有直接资料佐证,仅根据含矿母岩(矿源层)地层时代,结合区域构造演化特征及其与成矿作用的关系,初步认为该矿成矿时代为华力西期,成矿作用以热液成矿作用为主。

根据矿石中矿物间的生成及共生组合特征(见表 4-1-4),该矿床成矿期次大体可分为 6 个阶段:石英—银金矿阶段;石英—黄铁矿阶段;胶状黄铁矿阶段;叶腊石阶段;石英—碳酸盐阶段;次生氧化物阶段。

从该表中可以看出,黄铁矿有三期,金矿化到底与哪一期黄铁矿关系密切,目前无直接证据。但从金矿体的分布特征看,金的富集与前两期关系紧密,与第三期胶状黄铁矿关系不大。表现在矿体富集地段前两期黄铁矿的含量相对较高,而第三期黄铁矿富集的地段矿化较弱,矿体较贫。

(二)控矿因素分析

1. 地层

南金山金矿床矿(化)体集中分布于下石炭统白山组上亚组第二、四岩段中,并与特定的岩石组合相伴生。其中北矿带矿体分布于第二岩段的变英安质凝灰岩、变凝灰质砂砾岩、变凝灰质砂岩中;南矿带矿体主要分布于第四岩段的变沉凝灰岩内。其他岩段中未发现金矿(化)分布,甚至,即使在含矿岩段内因相变而出现不同的岩石组合,虽为同一控矿层,矿(化)体急剧变少、变小、矿化变差乃至全无。因此,该矿矿体受特定层位、特定岩石组合的控制作用相当明

显,属广义的"层控"型矿床。

另据不完全统计,矿(化)体围岩中金、银含量情况为:变凝灰质砂砾岩,一般含金 0.00×10^{-6}～0.2×10^{-6},银 2×10^{-6}～4×10^{-6},接近矿体时含金 0.32×10^{-6}～0.8×10^{-6},含银最高达 7.5×10^{-6};变凝灰质砂岩,含金 0.0×10^{-6}～0.1×10^{-6},含银 4×10^{-6}～8×10^{-6},接近矿体时含金 0.27×10^{-6}～0.9×10^{-6},含银 5×10^{-6}～24×10^{-6};变凝灰质砾岩,含金 0.00×10^{-6}～0.4×10^{-6},含银 2×10^{-6}～6×10^{-6}。由此看来,上述围岩金、银含量普遍较高,且其相应地层下石炭统白山组上亚组第二、四岩段中金、银丰度值普遍比克拉克值高出 2 倍～8 倍,说明它们为金矿的形成提供了物质基础,为原始的矿源层。

表 4-1-4　矿物生成顺序表

矿　物	成矿阶段					
	石英—银金矿阶段	石英—黄铁矿阶段	胶状黄铁矿阶段	叶蜡石阶段	石英—碳酸盐阶段	氧化阶段
显微粒状石英						
粗粒石英(脉)						
绢云母						
白云母						
绿泥石						
叶蜡石						
方解石						
角闪石						
斜长石						
电气石						
明矾石						
银金矿						
角银矿						
自然银						
自形黄铁矿(1)						
他形—半自形黄铁矿(2)						
胶状黄铁矿(3)						
磁(赤)铁矿						
镜铁矿						
黄铜矿						
方铅矿						
闪锌矿						
毒砂、辉锑矿						
褐铁矿、孔雀石						

2. 构造

矿区矿(化)体的分布与断裂构造整体格架一致,并明显受其控制。其中,北矿带矿(化)体受向西收敛向东撒开的帚状构造的控制,而该构造的倾伏特征是向东跷起、向西倾没,致使该矿带东、西两段的矿体在规模、形态、产状、含金性、连续性、稳定性和剥蚀程度等方面均表现出较大的差异。东段位于帚状构造撒开、跷起部分,矿体分布零散、规模小、剥蚀深,以地表矿体

为主,其连续性、含金性一般较差;西段位于帚状构造的收敛、倾没部分,矿体分布集中,规模较大,剥蚀较浅,矿体以盲矿为主,埋深较大、连续性、稳定性、含金性较好。该段矿体基本上集中于近东西向断裂的下盘呈近东西向带状展布,两者倾向相反,且矿体在倾向方向呈反叠瓦状平行排列、成群产出。因此,北矿带西段矿(化)体严格受近东西向断裂及其下盘次一级派生断裂或裂隙系统的控制,也就是说近东西向断裂构造为成矿溶液的运移提供了通道(导矿构造),而其下盘的次一级派生断裂或裂隙系统则为成矿热液的沉淀、交代成矿提供了有效空间(容矿构造),为矿液的进一步成矿创造了良好的条件(图 4 - 1 - 6)。至于矿带东、西段矿体特征方面表现出的差异,完全是由于它们所处的构造应力场不同造成的。即在西段帚状构造收敛、应力相对集中、应力强度大,利于含矿热液的运移和交代,从而导致在该处形成主要矿体;而在远离帚状构造的收敛段,由于构造应力渐趋分散和减弱,形成的控矿构造相对较浅、规模较小,故难以形成厚大而连续的矿体。

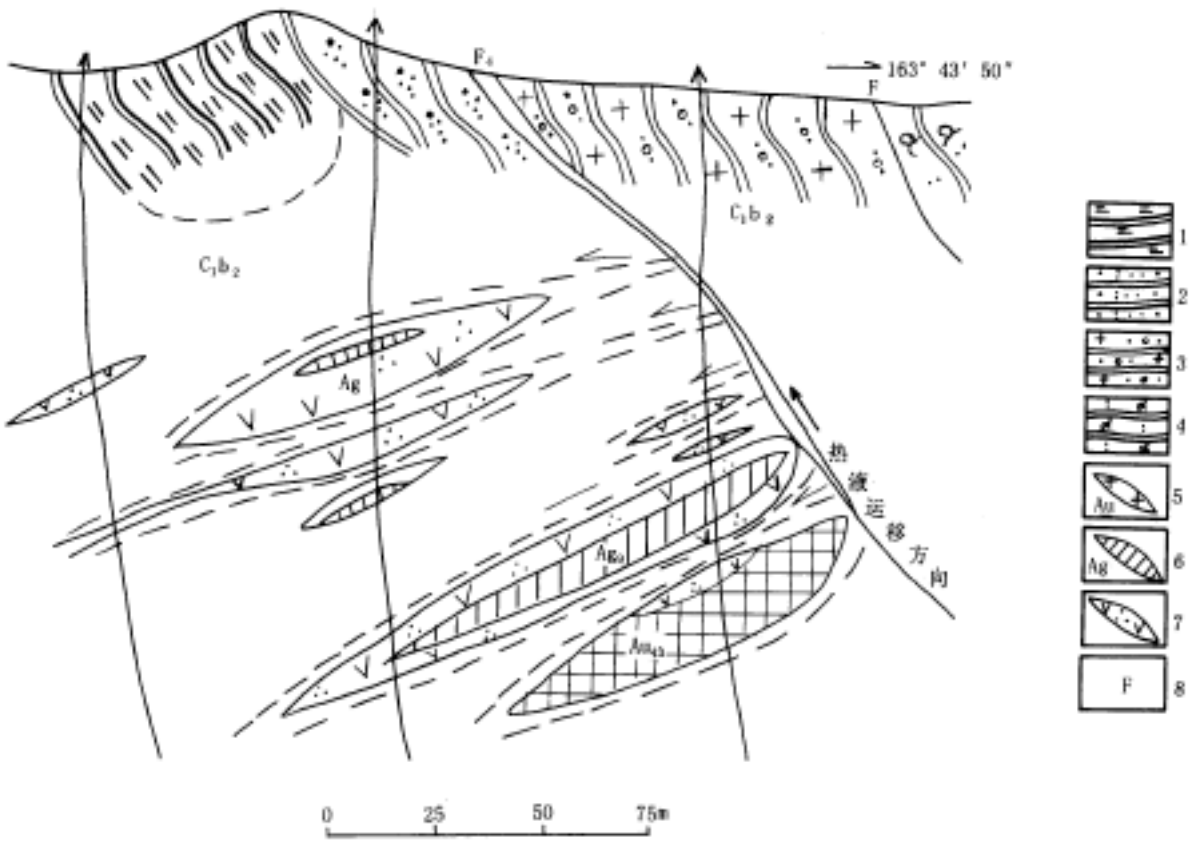


图 4 - 1 - 6　南金山金矿区 03 线剖面图

1—绢云母板岩;2—变含砾凝灰质砂岩;3—变花岗质砂砾岩;4—变沉凝灰岩;
5—金矿体;6—银矿体;7—次生石英岩;8—断层

3. 热源

前已述及,成矿流体特征与呼尔格里呼都石英闪长岩特征相近,说明二者之间具有成生联系。但从硫同位素特征方面分析,矿石中硫同位素组成与呼尔格里呼都石英闪长岩体硫同位素组成相差较大,说明二者的热流体成分不尽相同。故可以认为,矿区成矿热源为呼尔格里呼都石英闪长岩体,对矿体的形成起‘加热器’的作用。而成矿介质是不同的流体,可能是其进一步衍生出来的含金成矿流体。

(三)成矿机制

早石炭世,矿区处于相对沉降阶段,伴随着大量的海底火山爆发、喷溢和气液活动,并从地壳深处携带上来丰富的金、银等有用组分,逐渐形成含金(银)的火山碎屑沉积建造—原始矿源

层。

在矿区由沉降转变为上升的初期,在漫长的成岩和区域变质作用过程中,随着原始矿源层中各类岩石脱水作用的逐步加强,以及成矿期前断裂活动的加强,致使残留在沉积物中的层间水、粒间水以及区域变质作用过程中析出的矿物结晶水、结构水等逐渐汇聚起来(可能有火山热液的混入和天水的参与),并从构造活动和间隙性火山活动中获取热能,形成沿破碎带、岩石裂隙、孔隙及层间对流循环的变质热液。变质热液对矿源层中的有用组分金、银不断活化、溶解,从而为成矿进一步做好了物质准备。

在矿区全面抬升褶皱造山(华力西末期主造山运动)的过程中,伴随着剧烈的褶皱、断裂等构造活动以及中酸性岩浆侵入和岩浆期后热液活动,不但为活动于矿源层中的变质热液提供了充足的热能,并补充热液。同时由于含矿热液的温度、压力、pH 值、Eh 值等物化条件的变化,进一步提高了其溶金、载金能力,加速了矿源层中金质的活化、迁移过程,为金的最后成矿做好了物质准备。继而,在成矿期导矿、容矿构造的形成和强烈活动过程中,使得原来处于相对圈闭状态的含矿热液获得“解放”,并在强大内压力的驱动下,沿导矿构造呈沸腾状迅速向上运移,陆续进入并潴留在容矿构造内,并对原岩进行充分交代(次生石英岩化作用)。在交代作用过程中,由于残留液体成分及物化条件的变化,原以相对稳定状态存在的含矿热液中的金、银络阴离子逐渐被还原沉积,形成含金(银)的次生石英岩(矿化体)。

在成矿期后,由于储矿构造的继承性活动,使形成不久的含金(银)的次生石英岩在局部地段再度碎裂(构造应力不均衡引起的),并在后期热液活动中矿化叠加作用的影响下,引起含金(银)次生石英岩中的金、银组分再次活化、迁移和富集,从而形成金、银矿体。

第二节　马庄山金矿床

一、区域地质背景

(一)地层

区域地层属天山—内蒙—兴安区、北山分区,以破城山—坡泉子为界,以北为黑鹰山小区,以南为穹塔格—马宗山小区。前者仅出露下石炭统及新生界,后者分布地层有蓟县系、下寒武统、下二叠统、上三叠统及中—下侏罗统和新生界(图 4-2-1)。

(二)构造

本区属天山—内蒙褶皱系,北山褶皱带,先后经历了蓟县期—喜山期的各期构造运动。蓟县运动以强烈的沉降为特征,具古地台性质;加里东运动以沉降较大断裂活动较强为特征,具地槽发展前期性质;海西运动,特别是中晚期海西运动,以振荡频繁、沉积厚度大、岩浆活动强烈、褶皱断裂发育为特征,印支运动及燕山运动则以较小范围的陆相碎屑岩沉积、开阔地层褶皱及正断层较发育为特征;喜山运动以升降运动为主,局部形成平缓褶皱,具活动性较强的地台性质。

区域内由两个Ⅱ级、两个Ⅲ级和四个Ⅳ级构造单元组成。其中明水背斜褶皱束展布于坡子泉至破城山以北的广大地区,该区内构造运动和岩浆活动频繁,加之丰富的成矿物质来源和

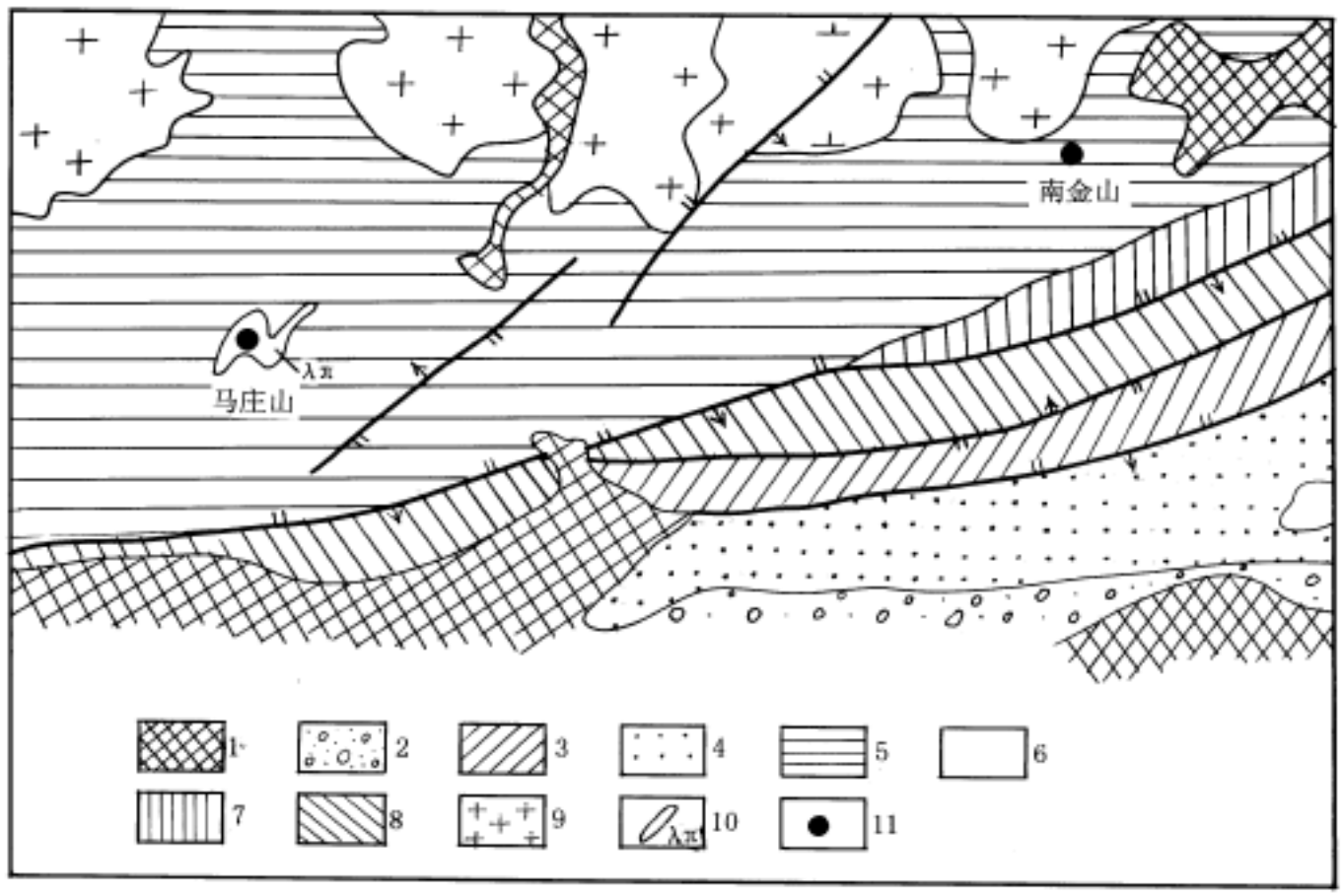


图 4-2-1　区域地质略图

1—第四系;2—侏罗系大山口组;3—三叠系珊瑚井群;4—二叠系菊石滩组;5—石炭系白山组;6—志留系勒巴泉组;7—寒武系双鹰山组;8—蓟县系平头山群;9—海西期中酸性岩体;10—石英斑岩脉;11—金矿体

适宜的成矿地球化学环境,使之成为多种内生矿产的集中地,是本区成矿条件最好的构造单元。南金山金矿、马庄山金矿即产于该构造单元中。

1.褶皱构造

明水背斜褶皱束由下石炭统白山组的一套海相火山岩组成,其内褶皱构造有双井子北背斜、马庄山单斜、破城山背斜、明锡山南向斜、南金山南向斜和南金山北背斜。以上各褶皱构造均属海西中期褶皱。

马庄山单斜分布于马庄山一带,由下石炭统白山组中酸性火山岩地层组成。单斜地层北东侧被海西期岩体侵吞。

2.断裂构造

区内断裂构造较发育,断层走向主要为近东西向,次为北东向和近南北向,这些断层大部分都具有继承性的多期活动。

(1)坡子泉—南金山逆断层。属区域性大断层,走向 65°～85°,倾向南东,倾角 65°～80°。上盘地层蓟县系平头山群逆于下石炭统白山组之上。它是本区断层中产生时间最早,延续时间最长,规模最大的近东西向断层。

(2)北东向断层。主要分布于本区东部和北部,在南金山一带特别发育。断层走向 50°～60°,倾向北西,倾角 35°～75°,是一组发育在下石炭统地层中的断层走向与地层走向基本一致的而倾向相反的逆断层。

(3)近南北向断层。分布于坡子泉以北的广大地区,其表现形式:其一,是一组规模不大的扭性断层;其二,是一组分布极为普遍、相对位移较小、粗糙的、密集平行的劈理裂隙。本组断

裂多表现为逆时针的扭动性质,部分表现出张裂性质。区内部分辉绿岩脉、石英闪长岩脉、石英脉等充填于该组裂隙中。

(三)岩浆岩

自加里东期至海西期岩浆活动强烈,且以海西中期为主。侵入岩以酸性—中性岩株为主,且酸性—超基性岩脉、岩墙分布较广。海西中期侵入岩只侵入于白山组内。火山岩仅分布于下石炭统白山组中。

1.侵入岩

(1)加里东期破城山南花岗闪长岩体。分布于破城山南,呈不规则状产出,侵入于蓟县系平头山群地层中。扎氏分类属正常型,二类六科,极弱碱性岩石。δ=1.29,强太平洋型钙性岩石。

(2)海西中期呼尔格里呼都石英闪长岩体。分布于南金山以北,明水复背斜核部,呈岩株产出,不规则状,侵入于下石炭统上岩组。同位素年龄275.4Ma。扎氏分类属正常型,二类五科、六科,弱碱—碱性岩石。δ=2.16,正常太平洋型钙碱性岩石。

(3)海西中期查干楚努如花岗闪长岩体。分布于明锡山以北,查干楚努如附近,呈岩株产出,近圆形,侵入于下石炭统上岩组第一次侵入体中。同位素年龄223.6Ma。扎氏分类边缘相及中心相,分别属正常型和铝过饱和型,为二类四科、五科,中碱性和弱碱性岩石。δ值由边缘—过渡—中心相依次为1.03～1.26～2.49,强太平洋型→正常太平洋型。

(4)海西中期呼尔格里呼都花岗岩体。分布于南金山以北,呼尔格里呼都以东,呈岩株产出。扎氏分类属铝过饱和型,一类一科,SiO_2 过饱和岩石。δ=1.07,强太平洋型钙性岩石。同位素年龄为217Ma。

(5)海西中期双井子二长花岗岩体。分布于马庄山北西、双井子背斜核部,呈岩株产出,不规则状,侵入于下石炭统下、中岩组地层中。围岩具矽卡岩化、角岩化、硅化和透闪石化等。

(6)海西晚期坡子泉花岗岩体。分布于坡子泉附近,受东西向构造带控制,呈岩墙产出,侵入于蓟县系与下石炭统之间的断层带上,为断层后侵入。扎氏分类属铝过饱和类型,二类二至四科,SiO_2 过饱的过渡碱性岩石。δ=1.48,强太平洋型钙性岩石。

脉岩主要分布于岩浆岩分布区,受构造裂隙控制。以花岗岩脉、闪长岩脉、细晶岩脉为主,次为蛇纹岩脉、辉绿岩脉、辉长岩脉等。

2.火山岩

主要分布于下石炭统白山组各岩段内。根据其中的沉积岩相及火山岩成带状分布特点,其喷发形式属浅海相裂隙式的火山喷发类型。火山岩由下至上构成一个由基性向酸性演化的火山活动旋回。主要岩性有玄武岩、安山岩、安山质角砾凝灰岩、英安岩、英安质凝灰岩、流纹岩、次火山岩等。其中次火山岩仅见于马庄山附近,组成次火山岩的岩石类型有次石英斑岩、次流纹岩、次英安岩。次火山岩与马庄山金矿成矿关系密切。

早石炭世火山作用表现出三种基本形式,即爆发、喷溢和超浅成侵入作用。以前二者为主导,贯穿于早石炭世火山活动的全过程,属浅海海底裂隙式脉动喷发类型。其特点是持续时间短,但形成了广泛发育的中酸性火山岩建造。超浅成侵入作用出现于大规模火山活动结束之后的晚期,仅在马庄山金矿区有较强的表现。

(四)区域矿产

区内主要矿产有马庄山金矿、南金山金矿、双井子金矿、双井子铁矿、双井子东多金属矿

点、双井子北冰洲石矿点、马庄山北东磁铁矿点、马庄山透闪石矿点、白石头井铁矿点、黑虎山铁铜矿点、马庄山北铜矿点、明锡山锡砷矿床、南金山叶腊石矿床、空心山铀矿等众多的内、外生矿产,均产于明水复背斜褶皱束构造单元中。

二、矿床地质特征

矿床受次火山岩控制,主要矿体均产于次火山岩中的次生石英岩中,并集中分布于矿区中西部(图 4 - 2 - 2)。矿体形态在平面上呈脉状,在剖面上呈“Y”字型,零星小矿体多平行于主矿体呈透镜状产出。区内共圈有主矿体(Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ)3 个,卫星小矿体 28 个。



图 4 - 2 - 2　马庄山金矿矿区地质略图

1—第四系;2—流纹质凝灰岩;3—流纹质凝灰熔岩;4—英安质凝灰岩;5—英安质含角砾晶屑凝灰岩;6—安山英安质晶屑凝灰岩;7—次流纹岩;8—次石英斑岩;9—次生石英岩脉;10—金矿体

(一)矿体特征

Ⅰ号矿体:分布于矿区西部次火山岩趋于尖灭地段,局部地段落产于次火山岩顶盖围岩流纹质凝灰熔岩中。矿体与围岩界线清楚,仅局部为渐变过渡。含矿岩石为次生石英岩。

矿体产状较稳定,呈弧形带状展布,走向由北西西向渐变为近东西向,倾向北,倾角 30°～50°,倾向与两侧地层产状相反。矿体延深小于 100m。

矿体形态较简单,呈脉状或透镜状产出,局部地段出现膨缩、分叉、复合现象。总体向东倾伏。矿体厚度一般 1～3m,最厚 6.22m。

Ⅱ号矿体:呈不规则状作 300°方向展布,倾向北东,倾角 30°～70°,长 530m,向东成为盲矿体,呈现出倾伏之势。含矿岩石主要为次生石英岩,矿体围岩为次火山岩。

该矿体于 13 - 15 线间被无矿地段分割成两段,西为Ⅱ - 1,东为Ⅱ - 2。

Ⅱ - 2 号矿体为矿区最主要的矿体,长 440m,其中盲矿地段长 210m。沿倾向各剖面见矿斜深 50～374m,连续延深。矿体沿走向和倾向延续性好,但厚度变化大,最大厚度 20m,最薄

仅 0.48m,一般 4～6m。总的变化规律是浅部厚,向深部变薄或趋于尖灭。厚度变化系数为 105%。

主矿体旁侧平行分布有数条小的金矿体,产于主矿体上下盘围岩中,但多集中于 17 - 21 线间(图 4 - 2 - 3 及图 4 - 2 - 4)。

Ⅲ号矿体:位于Ⅰ号矿体以东,Ⅱ - 2 号矿体之北。含矿岩石为次生石英岩。次生石英岩地表出露长 310m,由西向东逐渐分成两条含金脉体,呈近东西向展布,倾向北,倾角 45°～75°,由西向东逐渐变陡。

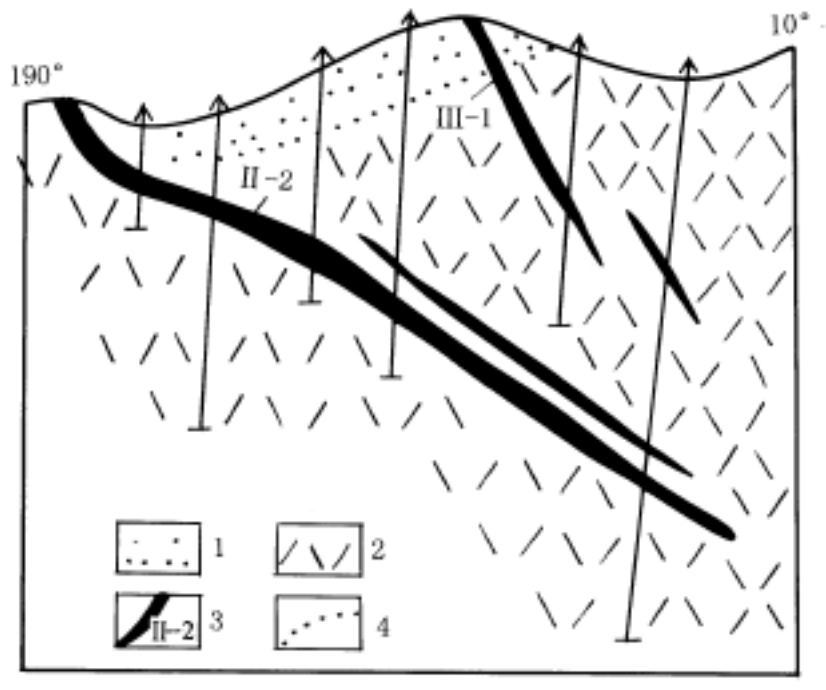


图 4 - 2 - 3　马庄山金矿 17 线剖面图

1—次石英斑岩;2—次流纹岩;3—金矿体;4—岩相界线

该矿体在地表圈有三个矿段,西部为Ⅲ - 1,东部为Ⅲ - 3,南部为Ⅲ - 2,全称为Ⅲ号矿体,均产在次生石英岩中。

Ⅲ - 1 矿体地表控制长 180m,控制斜深 150m,厚 0.90～3.50m,平均厚 2.26m。厚度变化系数 55%。

Ⅲ - 2 矿体地表出露长 80m,厚 1.0～1.3m;Ⅲ - 3 号矿体仅在 20 线地表单工程见矿,矿体长 30m,厚 0.85m,规模小。上述二矿体在东部逐渐过渡为石英网脉带,带宽 10m 左右。

综上所述,本区各矿体的主要分布特点是:

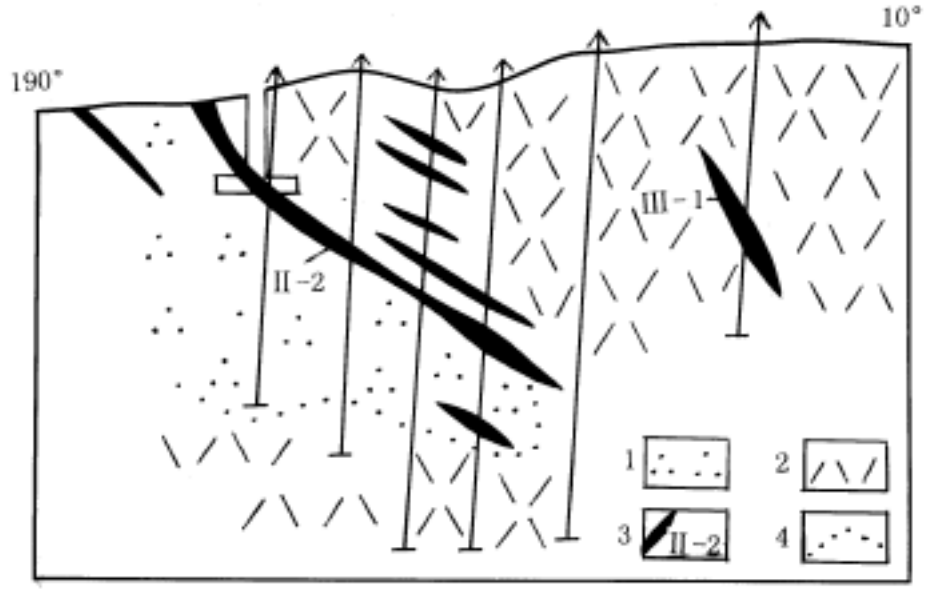


图 4 - 2 - 4　马庄山金矿 19 线剖面图

1—次石英斑岩;2—次流纹岩;3—金矿体;4—岩相界线

(1)绝大部分矿体产于次火山岩内的次生石英岩中,局部含有部分未交代完全的残留次火山岩及少量次生石英岩顶底板围岩亦受金矿化,二者与次生石英岩共同构成金矿体。

(2)矿体均呈脉状产出,主要矿体在空间上膨大缩小,变化频繁,且无规律,局部地段尚有分枝复合现象。

(3)次生石英岩或金矿体多与围岩呈清晰的突变接触关系,仅局部地段为渐变。

(4)矿体在平面上呈单向延伸,沿倾斜亦然。但矿体与围岩分界线又具明显的追踪特征及舒缓波状的分布轮廓,反映了矿体受构造裂隙的控制。

(5)矿石的结构构造及物质组成,均表明矿化方式以交代作用为主,充填为次,故含金体属强烈交代围岩后形成的次生石英岩,与一般的“石英脉”有明显的差异。

(二)矿石特征

1 .矿石类型

区内分为原生矿石和氧化矿石两大类。原生矿石按含矿原岩的性质、矿物组合、矿石自然类型可分为含金次生石英岩型和含金蚀变交代岩型。

(1)含金蚀变交代岩型。金属矿物以硫化物为主,主要为黄铁矿等,有益矿物金、银含量低。脉石矿物主要有硅化生成的隐晶质石英、显微隐晶质石英、石英角砾、钠长石、绢云母、伊利石、金红石等。

(2)含金次生石英岩型。按金属硫化物的含量分为:

①贫硫化物型。金属硫化物少量,含量小于 1%,主要为黄铁矿,金、银矿物含量较上一类型高。脉石矿物主要为石英、方解石等。

②富硫化物型:金属矿物以硫化物为主,主要有黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、毒砂,以及金—银系列矿物、银黝铜矿等及偶见的辉锑矿和辰砂。脉石矿物主要为石英和方解石。

(3)氧化矿石。矿石中金、银品位稍有富集现象,褐铁矿少量,局部形成铁帽,黄钾铁钒较普遍。脉石矿物以石英为主,次为少量的碳酸盐类矿物。

2 .矿石结构、构造

(1)矿石结构。以不等粒结构为主要类型,次为变晶结构、碎裂结构、交代残余结构及再生结构。

(2)矿石构造。矿石构造类型较多,但以下几种为主:

①碎裂构造。由于构造作用,致使矿石和矿物破碎成大小不等的碎块,具有一定碎裂特征,常见的石英和黄铁矿表现明显。

②扭曲构造。因构造作用,使石英晶体成反“ S”状扭曲排列,这是碎裂构造的前身和延续。

③浸染状构造。黄铁矿呈星点浸染状分布,方铅矿和黄铜矿在石英中呈细脉浸染状或局部浸染状分布。

④脉状构造。不同阶段的脉体互相穿插、重迭,构成较复杂的脉状构造。

3 .矿石矿物成分及主要矿物特征

(1)矿石矿物成分。组成矿石的矿物种类较多,详见表 4 - 2 - 1。

表 4 - 2 - 1　马庄山金矿矿石矿物组成一览表

自然元素	氧化物	氢氧化物	单硫化物	对硫化物	含硫盐	硅酸盐	碳酸盐	硫酸盐	砷酸盐
自然金 自然银 银金矿 金银矿	石英 金红石	褐铁矿 白钛矿	闪锌矿 方铅矿 黄铜矿 磁黄铁矿 辉银矿 铜兰 辰砂	黄铁矿 白钛矿 毒砂	银黝铜矿 含银—硫铋 锑辉铅矿	绢云母 伊利石 钠长石 锆石 绿泥石	方解石 菱铁矿	黄钾铁钒	臭葱石

(2)主要矿物特征。

①金、银矿物。金、银矿物主要为金—银组成的系列矿物和辉银矿。矿区含金矿物主要为银金矿和金银矿,次为自然金和自然银。对金—银系列矿物进行电子探针分析,测得平均含金44.82%,含银53.42%。氧化矿石中金的成色较高,含金62.97%～87.26%,属银金矿—自然金。

金银矿物的颜色多为浅黄色及金黄色,个别为赤色、紫红色、铜黄色、密黄色、红黄色、黄白色等。

金银矿物的形状极不规则,多为浑圆状、多角状、次为骨状、棒状、树枝状等。

金银矿物的粒度较细,粒径0.225～0.005mm,多在0.015～0.006mm之间,粒级集中在0.025mm以下的范围内,多属微细粒金。

金银矿物的赋存状态比较复杂,多分布在石英中,大部分为粒间金。在石英等脉石矿物中,则呈窝状或堆状分布,或沿脉呈带状分布。金银矿的赋存状态及与其他矿物之间的关系见表4-2-2。

表4-2-2　金银矿赋存状态与其它矿物之间关系

赋存状态	含量(%)	性　　质	相关矿物	金—银矿物形态
粒间金	75.95	同种矿物之间	石英	浑圆状、圆状、骨状、树枝状
		异种矿物之间	黄铁矿—磁黄铁矿 石英—黄铁矿 石英—方铅矿 石英—银黝铜矿	浑圆状、不规则状
连生金	3.05	异种矿物之间	石英—方解石 黄铁矿—方铅矿	浑圆状
包体金	6.11	同种矿物之间	方铅矿	浑圆状
裂隙金	14.89	同种矿物之间	石英、方解石 黄铁矿、闪锌矿	树枝状、浑圆状

自然银为银白色,片状,集合体的形态极不规则,有树枝状、浑圆状、骨状、铲状等。自然银的成色较高,见表4-2-3。

②黄铁矿。在金属硫化物中生成较早,含量较高,自形—他形。黄铁矿分三种,一为单晶,自形—半自形立方体,粒度0.10～1.0mm,呈星散浸染状零星分布,与石英紧密共生;其二为0.002～0.50mm的他形—半自形粒状的单体和集合体,在矿石中均匀分布;其三是在后期的石英中也伴有自形—半自形的粒状黄铁矿。黄铁矿中元素组成见表4-2-4。

表4-2-3　自然银电子探针分析结果

样号	元素(%)					
	S	Cr	Ag	Cu	Au	Te
1	3.27	0.01	96.21	0.09	0.42	/
2	6.61	0.10	89.94	0.03	0.15	3.18
平均	4.94	0.06	93.08	0.06	0.29	1.59

表4-2-4　黄铁矿电子探针分析结果

样号	元素(%)					
	S	Ag	Au	Cu	Zn	Fe
1	50.11	0.02	0.04	/	0.25	49.57
2	49.76	/	/	0.36	/	50.88
3	49.08	/	/	/	0.29	50.63

③黄铜矿。呈他形,多呈脉或断续状产出,在矿石中含量甚微。其生成晚于黄铁矿。黄铜矿中微含金、银,见表 4 - 2 - 5。

表 4 - 2 - 5　黄铜矿电子探针分析结果

元素	S	Ag	Au	Fe	Cu
含量(%)	32.41	0.01	0.23	30.47	36.88

④毒砂。单体呈柱状,在矿石中含量较少。毒砂亦为载金体,但不含银。经电子探针分析,含金 0.18%,含砷 41.19%,含铁 37.50%,含硫 21.13%。

⑤石英。是组成矿石的主要矿物,分几期形成,每期石英相互影响,并使原岩强烈硅化。多为他形长条状。早期石英颗粒较粗,粒径 0.5～1.0mm,常被破裂,具波状消光和再生现象;中期石英颗粒为 0.16mm;晚期石英颗粒细小,粒径 0.008mm,硅化形成的石英大部分为隐晶质和显微隐晶质。

4.矿石的化学成分

矿石的化学成分以 SiO_2 为主,含量为 61.96%～90.28%,平均 78.11,次为 CaO 平均 5.67%、Fe_2O_3 平均 4.0%、FeO 平均 2.44%、Al_2O_3 平均 2.56%、K_2O 平均 1.39%、Na_2O 平均 0.09%、MnO 平均 0.28%、P 平均 0.02%、TiO_2 平均 0.08%、Cu 平均 0.024%、Mo 平均 5.2×10^{-6}、W 平均 1.9×10^{-6}、Sb 平均 16.5×10^{-6}、Bi 平均 6.1×10^{-6}、烧失量平均 6.94%。可综合利用的组分有 Pb,平均含量 0.096%,Zn 平均 0.15%,S 平均 2.60%。

有害组分为 As,平均含量 0.13%。主要有益组分为 Au 和 Ag。矿石中含金最低为 1.50×10^{-6},最高达 88.96×10^{-6},一般为 3×10^{-6}～5×10^{-6},局部可富集到 15×10^{-6}～30×10^{-6};含银最高为 287×10^{-6},最低为 1.40×10^{-6},一般 20×10^{-6}～60×10^{-6}。金银比为 1∶4.83。Ⅰ-4 矿体品位变化系数金为 176%,银为 184%;Ⅱ-2 矿体品位变化系数金为 124%,银为 119%;Ⅲ-1 矿体品位变化系数金为 79%,银为 82%。

(三)围岩蚀变

热液蚀变在矿区内分布比较普遍,表现极为活跃。作为矿体顶底板岩石的次流纹岩的原生矿物比较简单,以长石、石英为主,次为云母和黄铁矿。但经热液蚀变后,在矿体及其附近由于强烈的次生石英岩化作用,使岩石变为以次生石英为主要矿物的次生石英岩金矿体。在矿体两侧的围岩中,由于构造裂隙和岩石破碎的发育程度不同,围岩蚀变的强度也不同。当远离矿体时,蚀变逐渐减弱。在矿体顶底板围岩中,远离矿体只存在蚀变程度的不同,不存在蚀变矿物组合的明显差异。

矿区内围岩蚀变较发育,主要有次生石英岩化、硅化、碳酸盐化、黄铁矿化,次为绢云母化、叶腊石化、土化、绢英岩化及其他金属硫化物蚀变。

1.次生石英岩化

是矿区最重要的与金矿化关系最密切的蚀变类型之一。主要发生在金矿体内和次火山岩体中。发生在金矿体内时蚀变范围小,强度大,在次火山岩体内则蚀变范围大,强度低;以渗透交代为主,充填为次,受裂隙控制,蚀变强度不均匀,在次石英斑岩和次流纹岩中,蚀变与裂隙关系密切,其变化规律是以金矿体为中心,裂隙和破碎发育地段是次生石英岩化作用最强烈的地方,远离矿体及裂隙则蚀变强度减弱;呈脉状产出,与围岩接触关系多为突变接触,有时为渐变过渡;矿物组合是次生石英、绢云母、叶腊石、高岭土、伊利石、绿泥石、方解石等;次生石英岩化最彻底的地段往往是金品位最高的部位。

2 .硅化(狭义)

这里所述硅化系指以热液渗透充填为主,在成因上与高铝矿物无明显联系的狭义的硅化作用。狭义的硅化和次生石英岩化形成时期,是本区最重要的金的成矿期。

3 .碳酸盐化

是矿区内分布较广泛相对比较重要的一种围岩蚀变。在各类岩石中均有出现,蚀变强度不均匀。在一般火山岩内,碳酸盐矿物的含量一般较低,在矿体内,碳酸盐化强度相对较高,常形成方解石脉。碳酸盐化作用常在金矿体内形成,亦是最晚期的蚀变类型,热液活动的最后阶段仍有金矿化作用的发生,说明碳酸盐化阶段仍是金的矿化阶段。

4 .黄铁矿化

是本区最重要的蚀变类型之一。蚀变作用的主要表现有:

(1)星散状的黄铁矿化。具规模大、分布广、强度低、比较均匀的特点,以零星的浸染状分布在各种火山岩内,与一般的火山岩和次火山岩的主要造岩矿物共生。

(2)脉状、不规则脉状(团块状)黄铁矿化。分布范围具一定局限性,仅见于金矿体及近侧围岩中。矿化具一定规模和强度,但变化大。早期黄铁矿较破碎,被较晚期矿物穿插、交代、溶蚀、其空洞中充填有金银矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿和方铅矿等。晚期黄铁矿与碳酸盐共生。整个黄铁矿化阶段都属金的矿化阶段。

三、矿床地球化学

(一)成矿温度和包体成分

1 .成矿温度

根据矿石的结构、构造、矿物共生组合采用人工重砂及选矿综合样,取其精选石英进行烧失量试验,得出 100℃～200℃,300℃～400℃,400℃～500℃的试验结果。用均一法测温,其结果按每 100℃间隔分组统计,得出三个矿化阶段的结晶温度值:

早期阶段:312℃～401℃,平均 354℃;

中期阶段:204℃～290℃,平均 242℃;

晚期阶段:187℃～195℃,平均 191℃;

从均一法测温结果看出,结晶温度明显低于用石英烧失量所求得的数值,但成矿温度可能是一个较连续的序列,即从 100℃～500℃,分阶段形成了矿石中各种矿物组合。包体均一法测温结果见表 4 - 2 - 6。

表 4 - 2 - 6　包体均一法测温结果

样品号	矿石名称	测温矿物	均一温度℃	平均温度℃
1	次生石英岩型矿石	石英	230 270 315	271.7
2	次生石英岩型矿石	白色方解石	145 170 180 260 270	205
3	次生石英岩型矿石	烟灰色方解石	150 160 130 210 250	180

由表看出,石英测温值未超出上述范围,方解石形成温度介于 180℃～205℃,按近中温上界。根据瀑烈法所测结果为 290℃～322.5℃(平均值),按近中温上界或高温下界,其结果见表 4 - 2 - 7。

综上所述,矿区矿石形成温度,应从

130℃～500℃(130℃据均一法测温,500℃据石英烧失量试验),但主要形成区间为 180℃～400℃以上。

高温阶段相当下文所划分的第一、二矿化阶段,实测平均温度为 354℃,变化区间为 300℃～500℃。高温阶段主要形成贫硫化物含金次生石英岩。

中温阶段相当于第三矿化阶段,即硫化物阶段,主要形成富硫化物矿石。

低温阶段相当于第四矿化阶段,即碳酸盐化阶段。

表 4 - 2 - 7　包体爆烈法测温结果

样品号	岩矿石名称	测温矿物	爆烈温度(℃)	平均(℃)
1	含硫化物次生石英岩型矿石	黄铁矿	300～325	312.5
2	含星点状黄铁矿次火山岩	黄铁矿	300～320	310.0
3	含星点状黄铁矿次火山岩	黄铁矿	315～330	322.5
4	含星点状黄铁矿次火山岩	黄铁矿	295～300	297.5
5	含星点状黄铁矿次火山岩	闪锌矿	265～315	290.0

2 .包体成分

包体成分测定结果见表 4 - 2 - 8 及表 4 - 2 - 9。

由表可知,气液包体成分内含有 K、Na、Ca、Mg 等碱金属和 F、Cl 等卤族元素,并把金、银等有用物质带到成矿有利地段富集成矿。包体成分中含有较多的挥发性组分,说明成矿汽水溶液与火山活动关系密切。

(二)稳定同位素地球化学特征

1 .硫稳定同位素组成特征

硫同位素测试结果见表 4 - 2 - 10。

表 4 - 2 - 8　包体成分分析结果

样号	样重(G)	分析结果 (mg/10g)						
		K	Na	Ca	Mg	F^-	Cl^-	H_{co_3}
1	10	0.139	0.026	0.015	0.003	0.004	0.034	0.30
2	10	0.063	0.059	0.023	0.014	0.022	0.046	0.18

表 4 - 2 - 9　包体成分(气体)分析结果

样号	分析结果				
	H_2	Co	CH_4	CO_2	H_2O
1	37.00	44.00	19.20	6785.40	10993.40
2	48.60	48.20	47.00	6357.20	11955.40

表 4 - 2 - 10　硫稳定同位素测定结果

样号	采样位置	岩矿石名称	测试矿物	δS^{34}‰
1	地表	方铅矿脉	方铅矿	2.80
2	钻孔	顶板次流纹岩	闪锌矿	0.79
3	钻孔	底板次流纹岩	黄铁矿	2.01
4	钻孔	含金次生石英岩	黄铁矿	-1.47
5	钻孔	顶板次流纹岩	黄铁矿	4.32
6	钻孔	含金次生石英岩	黄铁矿	2.60
7	钻孔	含金次生石英岩	黄铁矿	3.89
8	沿脉	含金次生石英岩	闪锌矿	6.64
9	沿脉	含金次生石英岩	黄铁矿	3.95

由表可知,硫稳定同位素样品除一个样为 -1.47‰外,其余均为正值,最高 +6.64‰,最低 +0.79‰,偏离 O 点较小,平均 2.84‰,极

差 8.11‰,多具有正向偏离 O 点,变化范围较窄的组成特点。另从 S^{34}/S^{32} 的比值图解(图 4-2-5)可知,硫同位素组成与地慢衍生的花岗质岩石接近,故矿区硫源是深源的,即主要来自上地慢。

2.氧稳定同位素组成特征

氧稳定同位素测试结果见表 4-2-11。

由表 4-2-11 看出,矿区内氧稳定同位素 δo^{18} 值为 8.22‰～10.47‰,变化范围窄,均正向偏离 O 点,偏差较小。另据 O^{18}/O^{16} 比值图解(图 4-2-6)看出,本区矿石及石英斑岩中的氧稳定同位素组成特征,与地慢衍生的花岗质相当,故推测含矿热液的主要介质有可能为岩浆水。

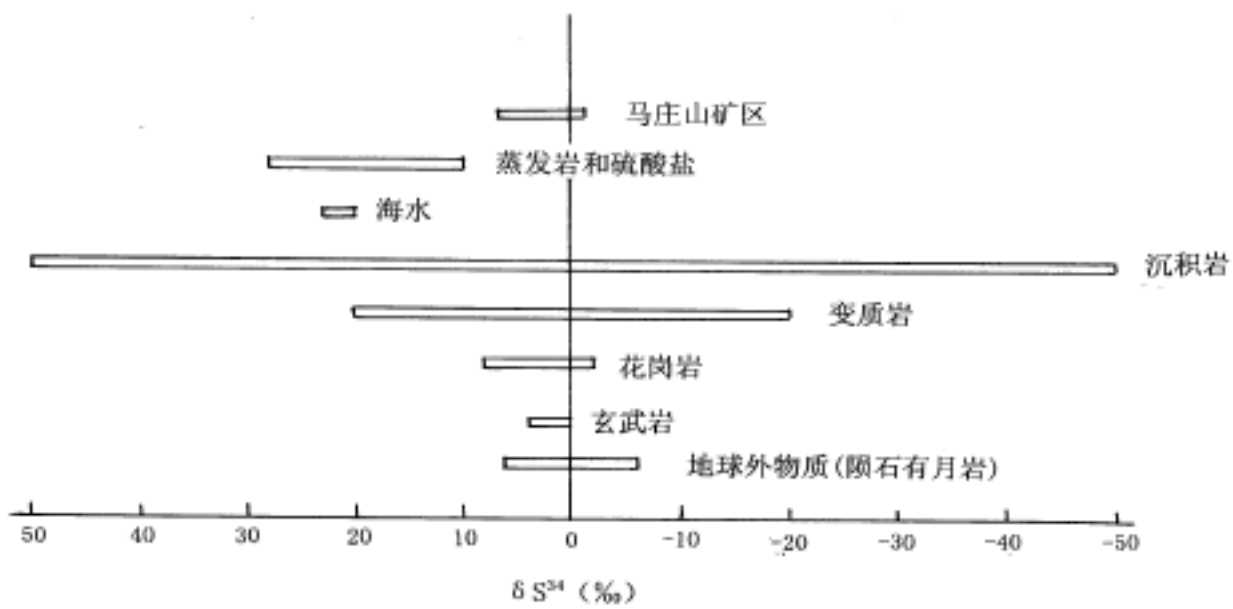


图 4-2-5 δS^{34} 分布图

表 4-2-11 氧稳定同位素测试结果

样　　号	采样位置	岩矿石名称	测试矿物	δo^{18} ‰	平　　均
地质一队 1	探　槽	次生石英岩	石　英	8.22	9.21
2	探　槽	次生石英岩	石　英	10.20	
地调队　1				9.47	9.58
2				10.47	
3				8.93	
4				9.09	
5				9.94	
					总平均 9.47

(三)微量元素地球化学特征

区内中酸性火山碎屑岩中 Au、Ag、Mo、Pb、Zn、As 等元素含量低,构成背景区,而在次火山岩及热液蚀变岩中则含量较高。在剖面上呈现锯齿状跳跃式的分布模式,说明上述元素在岩石中分布是不均匀的,离散程度较大。见表 4-2-12。

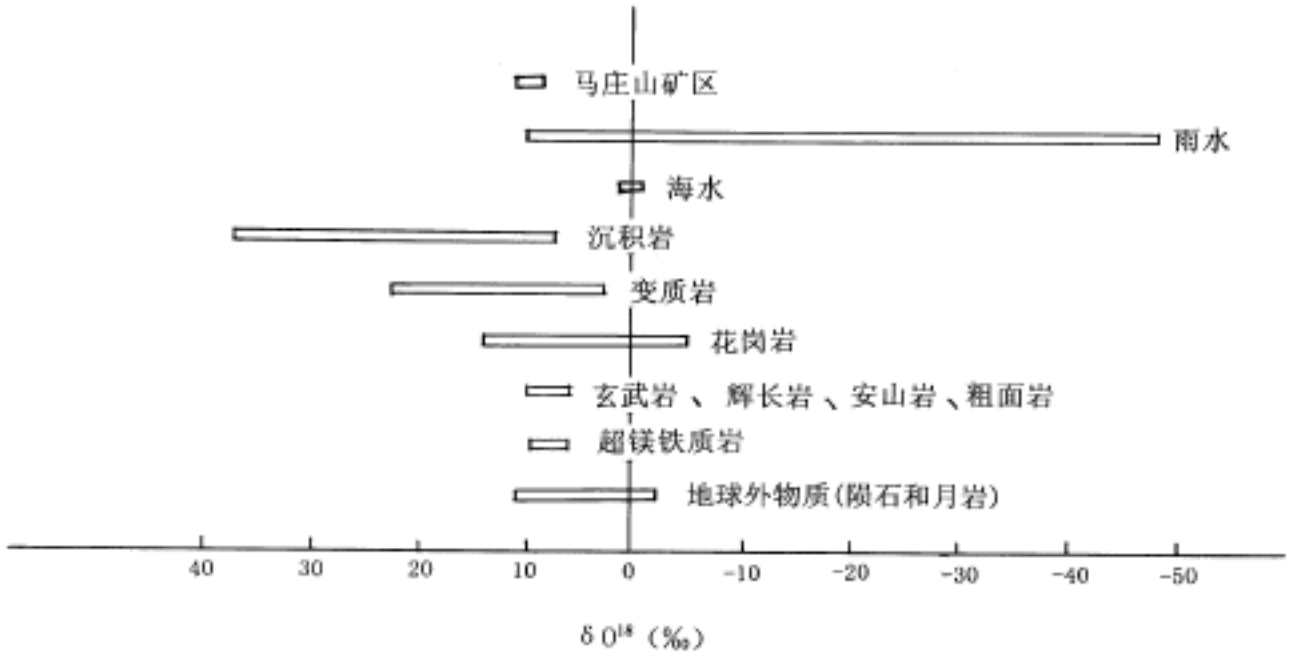


图 4 - 2 - 6　δO^{18} 分布图

表 4 - 2 - 12　微量元素平均含量(10^{-6})统计

岩石名称	Au(10^{-9})	Ag	As	Pb	Zn	Mo	Mn	Cr
测区南部地层	0.56	0.07	18	17	52	0.20	1850	39
测区北部地层	0.75	0.11	22	17	75	0.19	1270	38
中部次火山岩	10.50	1.19	112	66	86	1.19	581	158
含金次生石英岩	5460	12.16	242	168	163	12.24	2160	380

异常元素具一定浓度分带和组分分带现象。Au、As、Mo、Pb、的浓度分带较清楚,浓集中心较清晰,但范围小而分散。As、Zn 的异常范围较广,但中内带不发育,其组分具水平分带特点,序列大致为 As(外带)→Zn(中带)→Mo、Ag、Au、Pb(内带)。背景值及异常下限见表 4 - 2 - 13。

表 4 - 2 - 13　微量元素背景值及异常下限统计

统计值(10^{-6})	元　　素						
	Pb	Zn	As	Mo	Ag	Au(10^{-9})	W
X	16	34	15	0.3	0.09	0.66	2.6
T	50	100	50	1.0	0.3	3.2	10
N	381	380	375	334	391	62	423

四、成矿时代与矿床成因

马庄山金矿床的矿床成因类型,目前在甘肃省内尚属典型,现将编者意见阐述如后,请读者探讨。

(一)成矿时代及期次

1.成矿时代

区内普通铅同位素年龄样的测试结果是:$^{206}Pb/^{204}Pb$为18.44,$^{207}Pb/^{204}Pb$为15.73,$^{208}Pb/^{204}Pb$为39.47。普通铅模式年龄303.7Ma。另据甘肃省地质矿产局酒泉地质矿产调查队在矿区内的次火山岩—石英斑岩中采样测试,其同位素模式年龄为309±12Ma。故马庄山金矿床的成矿年龄为海西运动中期,晚于喷发相火山岩(320Ma)和次火山岩形成时间。

2.成矿期次

1)矿化期

(1)热液期。热液活动在本期比较强烈,表现为多期次、多阶段,从高温到低温是金银的主要成矿期。其中次生石英岩化、硅化最强烈,从开始到结束都有发生,各阶段都伴有金、银矿化。金属硫化物蚀变相对较晚。

(2)表生期。在风化作用中,原生矿石中新生成一些伊利石、褐铁矿、黄钾铁钒等,构成表生期的矿物组合,并导致金、银品位的提高。

由上述表明,本区成矿主要是在次火山岩形成之后晚期随温度、压力的降低,从岩浆分异出来的金矿热水溶液经多次交代作用而成。表生期只起到富化作用。

2)矿化阶段

(1)第一阶段。高温至气成期(400℃～500℃),是粗粒石英形成阶段即次生石英岩化早期阶段,石英晶体粗大、破碎,具再生现象,晚期各脉体都穿切于它。石英集合体成断续脉状、透镜状、肠状。成色较高的自然金有可能形成此阶段。

(2)第二阶段。高温期(300℃～400℃),即次生石英岩化中期阶段,亦以形成中粗粒石英为特征,但交代了第一阶段石英,是又一次构造活动沿原有裂隙上升扩充的产物,伴随次生石英岩化而晶出金、银矿物,充填交代早期石英而形成粒间金。

(3)第三阶段。中温期(200℃～300℃),形成细粒石英,并在原有矿化空间内程度不同的、不均匀的形成金属硫化物。此阶段中,除金属硫化物中伴随各种金、银矿物外,细粒石英也可能仍然赋存粒间金。该阶段晚期有碳酸盐矿物的形成。

(4)第四阶段。低温期(100℃～200℃),是中粒碳酸盐形成期,伴有金、银矿物的再次富集。

上述各阶段的脉体相互重迭、穿插,特别是晚期各脉体,成分较复杂,结晶先后亦有差异,说明热液活动的多期性、脉动性和频繁性。

(二)控矿因素分析

1.围岩含金性

区内广泛分布的下石炭统白山组中酸性火山碎屑岩中,虽Au、Ag等元素含量较低,但在成矿作用过程中,承袭部分金是有可能的。

矿区南北两侧围岩金的含量很低,平均值仅为0.66×10^{-9},异常下限为3.2×10^{-9}而次火山岩中金的平均值为10.5×10^{-9}。其中次流纹岩金的平均含量为61×10^{-9},次石英斑岩金的平均含量达126.4×10^{-9}。在矿体顶、底板围岩及硅化岩石中,金的含量多大于100×10^{-9},一般300×10^{-6}～400×10^{-9}。

由上述明显看出,次火山岩中的金平均含量高出矿体两侧火山碎屑岩的10倍至几十倍,甚至上百倍,所以矿体中的金主要来源于次火山岩内。故认为,本区次火山及后期热液活动为金矿床的形成提供了物质基础,或者说本区次火山岩即是金矿的成矿母岩,又是金矿体的主要围岩。

2 .构造控矿

矿区内出露地层为一向南东倾斜的单斜构造,成矿后断裂构造不甚发育。容矿构造主要有三组裂隙,即 310°～130°追踪张裂隙、85°～265°及 175°～355°扭裂隙,以第一组对矿体控制最为重要。

由于构造作用,热液化学成分和矿化条件(温度、压力、pH 值、EH 值)发生变化,以络阴离子状态存在于热液中的 Au、Ag 不断地从次火山岩中溶解、补给、富集,并交代围岩,最后主要在北西西向张裂隙和个别近南北向的扭性裂隙中沉淀、聚集成矿。

3 .金的矿化富集特征

(1)金的富集与构造关系密切。产于北西西—南东东向的追踪张裂带中的矿体规模大、品位富有,特别是在该组断裂及节理裂隙发育、构造复合部位亦是矿体的膨大部位,品位高;近南北向和近东西向的两组裂隙发育程度差,故所形成的矿体规模小,品位低。

(2)金的富集与蚀变类型、强度有关。次生石英岩化愈强,矿化愈好,反之愈差。若迭加其他金属硫化物矿化和碳酸盐化时,则金矿化相对增强,在碳酸盐化较强的上部矿体,含金平均 22.53×10^{-6}。因此,碳酸盐化亦是金的富集因素之一。

(3)金矿体与产出部位的高低有一定关系。矿体浅部金品位较富,深部逐渐变贫,在钻孔中深部虽有较厚大的次生石英岩脉体,但金品位已小于边界品位,说明金元素在垂向上的变化是明显的。

综上所述,初步认为马庄山金矿床的形成,是多来源、多阶段与酸—中酸性次火山岩有关的‘中高温”热液交代型金矿床。

第三节　小西弓金矿床

一、区域地质背景

小西弓金矿位于塔里木板块北缘柳园—穿山驯前陆中段(左国朝、何国琦,1990),金矿体产于由花岗—变质岩层所组成的‘北山杂岩”中的小西弓—红旗山韧性剪切带西端的糜棱质岩石内。横贯敦煌地块与北山南带之间的疏勒河隐伏深大断裂以及其北杨圈沟—西尖山—华窑山区域大断裂和次一级近东西向逆冲断裂对该金矿起着明显的多级有序的控制作用。

(一)地层

区域上出露地层除第四系之外,均系经过多期变形变质的前长城纪变质岩系。按岩石组合、原岩建造和岩层间接触关系等特征,将这套具有塑性流动变形特征的变质杂岩划分为老君庙群、黄尖丘群和西尖山群[①](图 4 - 3 - 1)诸构造—岩石地层单位。各群以成层无序状产出的变质岩石组合为特征,面状构造多为片理、片麻理,原岩为海相陆源碎屑岩—碳酸盐岩—火山

① 周达人等,甘肃省肃北蒙古族自治县小西弓金矿区 141 - 192 线勘探地质报告,1993 年老君庙群、黄尖丘群、西尖山群逐渐被敦煌岩群所代替,为了保持与勘探报告的吻合性,本文未进行更改。

岩建造,尚包括部分变质深成侵入岩。

老君庙群为高绿片岩相的各类变质岩石,由黑云斜长片麻岩、黑云角闪变粒岩、混合岩及二云石英片岩、黑云斜长石英片岩、大理岩等组成。黄尖丘群以高绿片岩相—低角闪岩相变质岩为主,主要有大理岩、石英岩、斜长角闪片岩、二云片岩、石英片岩等。西尖山群由两个亚群组成,下亚群分布于黄尖丘群以北和小西弓—乌龙泉—狼柴沟一线以南,以低绿片岩相变质岩为主,包括各类片岩、变质砂岩、石英岩、大理岩和变质火山岩等;上亚群逞东窄西宽的楔状分布于小西弓—乌龙泉一线以北,为高绿片岩相—低角闪岩相的片岩、变粒岩、斜长角闪岩、片麻岩、大理岩、石英岩等。

(二)火山岩

火山岩主要分布在黄尖丘群和西尖山群,老君庙群有零星分布,呈似层状、透镜状产出。岩石类型有变玄武岩、斜长角闪片岩、直闪岩、变安山玄武岩、变安山岩、变中基性凝灰岩及变英安岩、变流纹岩等,其具有间歇性裂隙式海底火山喷发的特点和从基性→中性→酸性的演化规律。

此外,在小西弓—乌龙泉一带出露华力西晚期火山作用形成的呈脉状的潜粗面岩和流纹岩。

(三)侵入岩

区域上侵入岩发育,岩浆侵入活动主要发生在加里东晚期及华力西中、晚期,由于受疏勒河隐伏断裂及杨圈沟—西尖山—华窑山区域性大断裂的控制,岩体多呈东西向长条状、带状被动就位,分布于南带梧桐树井—狼柴沟,北带白山塘—东涧泉及中带小西弓—乌龙泉等地。侵入岩岩石类型较多,从中性到酸性均有出露。按生成次序从早到晚依次是石英闪长岩、石英二长岩、钾长花岗岩、英云闪长岩、肉红色二长花岗岩、黑云母二长花岗岩。与成矿关系密切的有石英闪长岩、钾长花岗岩和肉红色二长花岗岩。

区内脉岩发育,种类繁多,从基性到中性,酸性均有分布。其中石英脉在小西弓一带非常发育,其蚀变、矿化普遍,部分生成金矿体。

(四)构造

区内基底变质岩系经历了多期构造变形和岩浆侵入活动,遭受了自长城纪以来,尤其是加里东期、华力西期及其后的韧性、韧脆性再造和脆性改造,在其内形成一系列韧性剪切带和脆性断裂,构成了北从小西弓—狼柴沟、南至杨圈沟—老君庙宽 2～6km,区域上近东西向延伸约 130km 的小西弓—红旗山大型韧性剪切带和其间及两侧的断裂构造带。北西西向断裂构造具有明显的继承性活动特征。

1. 韧性剪切带

该韧性剪切带由规模不等的多条小型韧性剪切带组成,区域上称小西弓—红旗山右型剪切型韧性剪切带[①]。其多呈北西西向展布,长 3～20km,宽 8～500km,并被脆性断裂叠加改造;沿断裂两侧岩石强烈糜棱岩化,形成糜棱岩化岩石、糜棱岩、千糜岩、糜棱片岩、构造砾岩;岩石中小褶皱、条带、条纹构造及透入性线理发育,线理近水平产出。岩石内各种显微变形组构十分发育,石英压扁拉长呈扁豆状、拔丝状、波状、“S”状消光及粒化,亚颗粒结构,斜长石具

① 左国朝、郑亚东,北山岩石圈研究野外调研取得了重大突破—发现八条区域性韧性剪切带及特大型推覆构造。

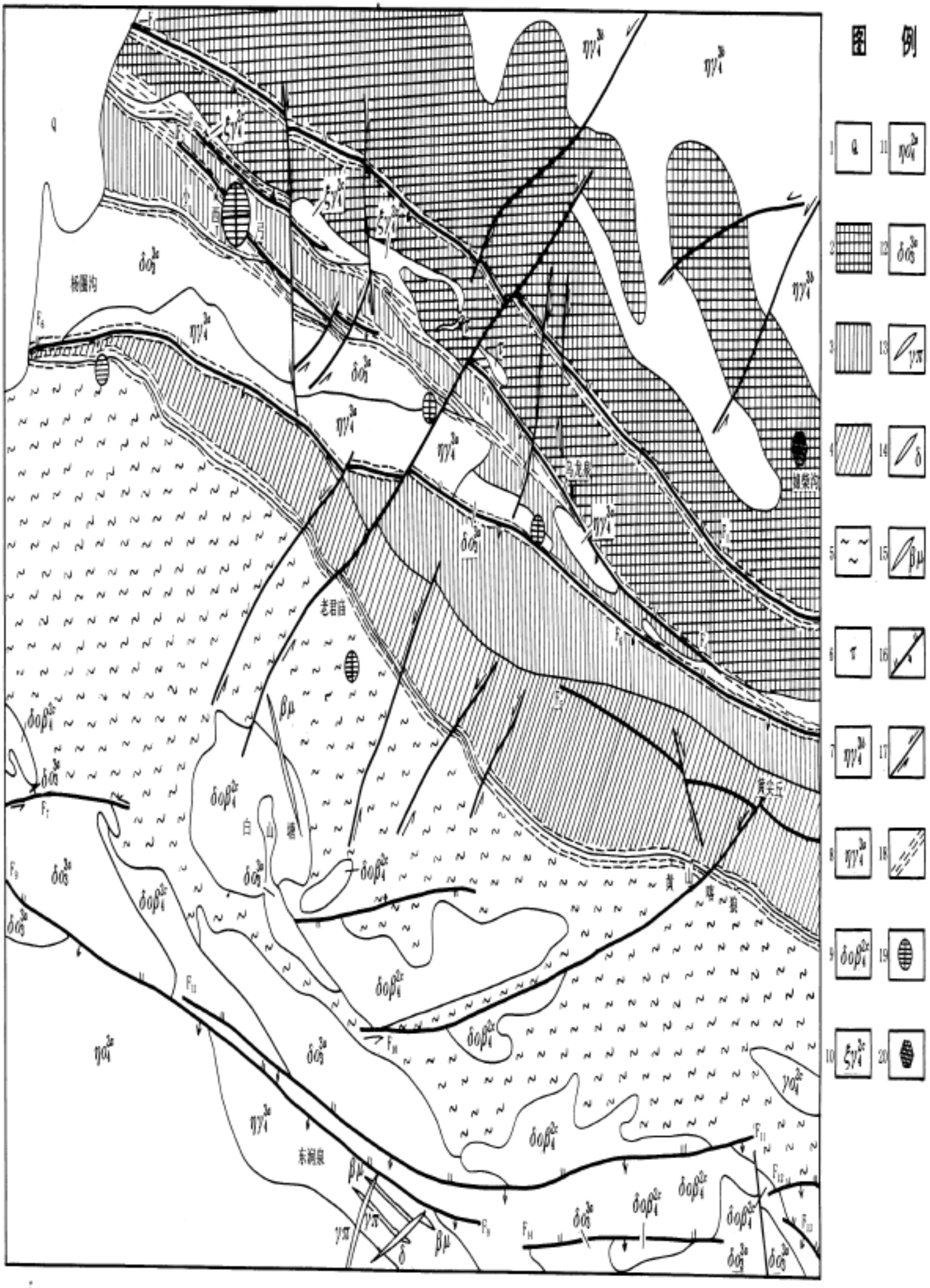


图 4 - 3 - 1　小西弓—黄尖丘一带地质图

双晶纹弯曲,环带消光等现象,岩石退变质现象普遍。局部地段发育鞘褶皱和 S_0、S_1、S_2 面理叠加重褶皱。

从以上特征分析,该韧性剪切带是多期叠加形成,由中构造层次韧性剪切叠加浅构造层次韧性剪切变形及表构造层次的脆—韧性剪切,具有韧—脆性剪切转换特征。

2. 断裂构造带

该断裂构造是由杨圈沟—西尖山—华窑山断裂及其两侧的北西西向、近东西向韧—脆性断裂和北东向、北西向、近南北向脆性断裂组成。

北西西向韧—脆性断裂由规模不等的 13 条逆冲断裂和 2 条斜冲平移断裂组成,多呈舒缓波状线状展布,延伸稳定。杨圈沟—西尖山—华窑山断裂规模最大,是区内主干断裂,控制着小西弓金矿田的生成和岩浆岩的侵入。该断裂西起杨圈沟,东至华窑山,横贯东西,长 70km,走向 285°,倾向南,倾角 45°～70°,呈波状延伸,沿断裂两侧岩石强烈破碎,片理化、构造透镜体、糜棱岩化发育,形成碎裂岩—糜棱岩石组合带,其宽 50～70m。这是一条逆冲断裂,具有长期继承性活动的特点。

北东向断裂广泛发育,共有几十条,长 1～10km 不等,断裂线弯曲延伸,两侧岩层明显错动,断裂充填石英脉、伟晶岩脉,表现为左型斜列。北西向断裂较少,规模小,断面平直;近南北向断裂较发育,沿弯曲的断裂线常见‘菊花石’状构造交砾岩。这两组断裂均为右型错动,是在脆型剪切作用下形成的。

(五)区域矿产

区内断裂发育,岩浆活动频繁,岩浆变形变质强烈,存在多条韧性剪切带,具有良好的成矿地质条件。沿杨圈沟—西尖山—华窑山区域性大断裂两侧分布有小西弓金矿床、杨圈沟金矿点、老君庙金矿点、小西弓南金矿点、乌龙泉金矿点和狼柴沟石榴子石矿点以及放射性铀矿(化)点多处(图 4-3-1)。

二、矿床地质特征

按照矿体的空间展布及所处地质构造环境,将小西弓金矿区由北而南划分成北、中、南三个矿带。三个矿带呈北西西向分别沿杨圈沟—西尖山—华窑山大断裂北侧的平行的次一级断裂 F_1、F_2、F_3 及其两侧的韧性剪切带分布。加里东晚期和华力西中晚期中酸性侵入岩侵位西尖山群上、下亚群中,与成矿关系较为密切。金赋存于糜棱状二云片岩、花岗质糜棱岩、剪切型石英脉、糜棱岩化石英闪长岩中,矿体产状与韧性剪切带及 F_1、F_2、F_3 断裂一致,受构造、地层、岩浆岩的多重控制(图 4-3-2)。

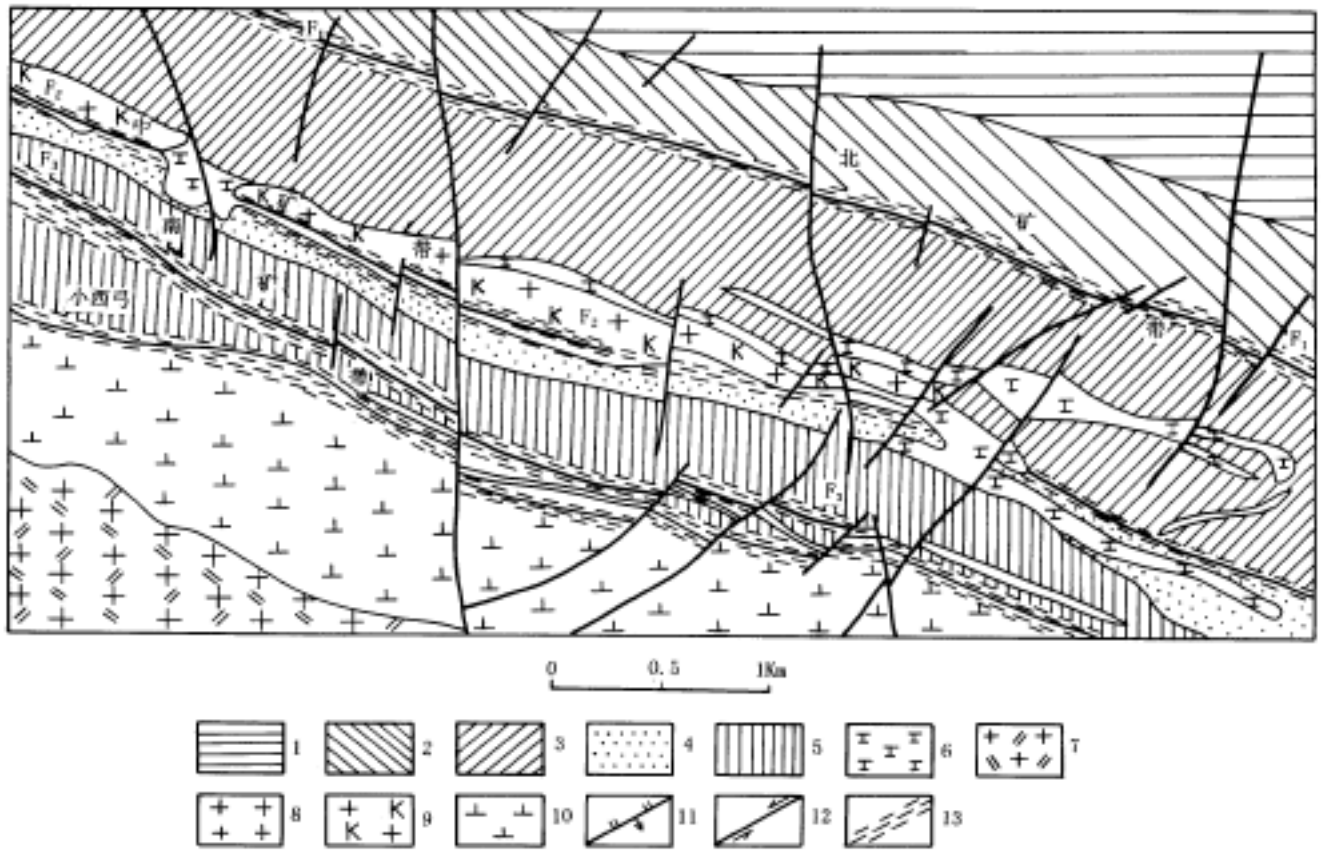


图 4-3-2　小西弓金矿区地质略图

西尖山群上亚群:1—第三岩组、2—第二岩组、3—第一岩组;西尖山群下亚群:4—第五岩组、5—第四岩组;6—潜粗面岩;7—肉红色二长花岗岩;8—花岗岩;9—钾长花岗岩;10—石英闪长岩;11—逆冲断层;12—平移断层;13—糜棱岩带

(一)控矿条件

1. 地层

矿区出露的地层主要是前长城纪西尖山群下亚群第四、五岩组和上亚群第一、第二岩组的中浅变质岩。原岩为海相陆源碎屑岩—碳酸盐岩—火山岩建造,构成了小西弓金矿床的初始含金矿源层。

西尖山群下亚群第四岩组呈北西西向带状横贯矿区,是金矿体的主要含矿围岩。以二云片岩为主,夹斜长角闪片岩、绢云石英片岩、大理岩,以断续出露的钙质片岩为标志与二岩段分界。厚度大于 351m。该岩段中的二云片岩和部分绢云石英片岩含金性在区内相对最高,分别为 54.63×10^{-9} 和 50.25×10^{-9},超出地壳克拉克值 14.6 和 13.6 倍,其为矿区最主要的矿源层。二岩段以大理岩,变安山玄武岩为主,厚度约 125m。

西尖山群下亚群第五岩组分布于矿区中部,局部构成中矿带金矿体的直接围岩,由绢云钙质片岩、片状石英岩组成,厚度大于 36m。

西尖山群上亚群第一岩组呈北西西向带状分布在矿区北部,由白云斜长石英片岩、二云斜长石英片岩、白云片岩组成,厚度大于 127.80m。第二岩组以出现糜棱状二云片岩与第一岩组分界,岩性以二云斜长石英片岩、白云二长片麻岩及斜长角闪岩、石榴黑云十字片岩为主,沿断裂由灰色石英细脉贯入的糜棱状二云片岩构成北矿带,局部形成金矿体。该岩组厚度大于 600m。

2. 侵入岩

矿区内岩浆侵入活动频繁,是小西弓金矿床的重要控制条件之一。

加里东晚期侵入的石英闪长岩呈带状侵位于矿区南部西尖山群下亚群中,侵入界面呈波

浪状陡倾;接触带附近岩石糜棱岩化强烈,形成似片麻状构造,岩体中金含量为 46×10^{-9}～51×10^{-9},并赋存石英脉型金矿体。

华力西中期钾长花岗岩呈北西西向条带状沿断裂两侧侵位于西尖山群上、下亚群之间,岩体长 5.7km,宽 150～220m,呈岩株状产出,侵入界面舒缓波状倾向北约 80°;岩石呈肉红色,具定向块状—片麻状构造。沿断裂由韧性剪切作用形成的片状花岗质糜棱岩有金矿(化)体断续分布。

此外,还有与钾长花岗岩同期侵入的花岗岩及华力西期侵入的二长花岗岩与矿体具有特定的空间关系。

3. 脉岩

矿区脉岩发育,种类繁多,均受构造裂隙控制,并以北西西向展布为主,与韧性剪切带 C 面理方面一致。辉绿岩脉和花岗斑岩脉最为发育且规模较大,与金矿(化)体形成关系最为密切的是石英脉。

石英脉有两种:一种是规模较大的存在于地层和岩体中的灰白色致密块状石英脉,脉中很少见硫化物,没有金矿化;另一种是充填于韧性剪切带及断裂带中的呈青灰色、烟灰色的剪切型石英脉,呈规则脉状、网脉状、不规则状,宽数毫米至数十厘米不等,长度数米至数百米,含较多的金属硫化物,常和脉侧的蚀变围岩形成金矿(化)体。

4. 构造

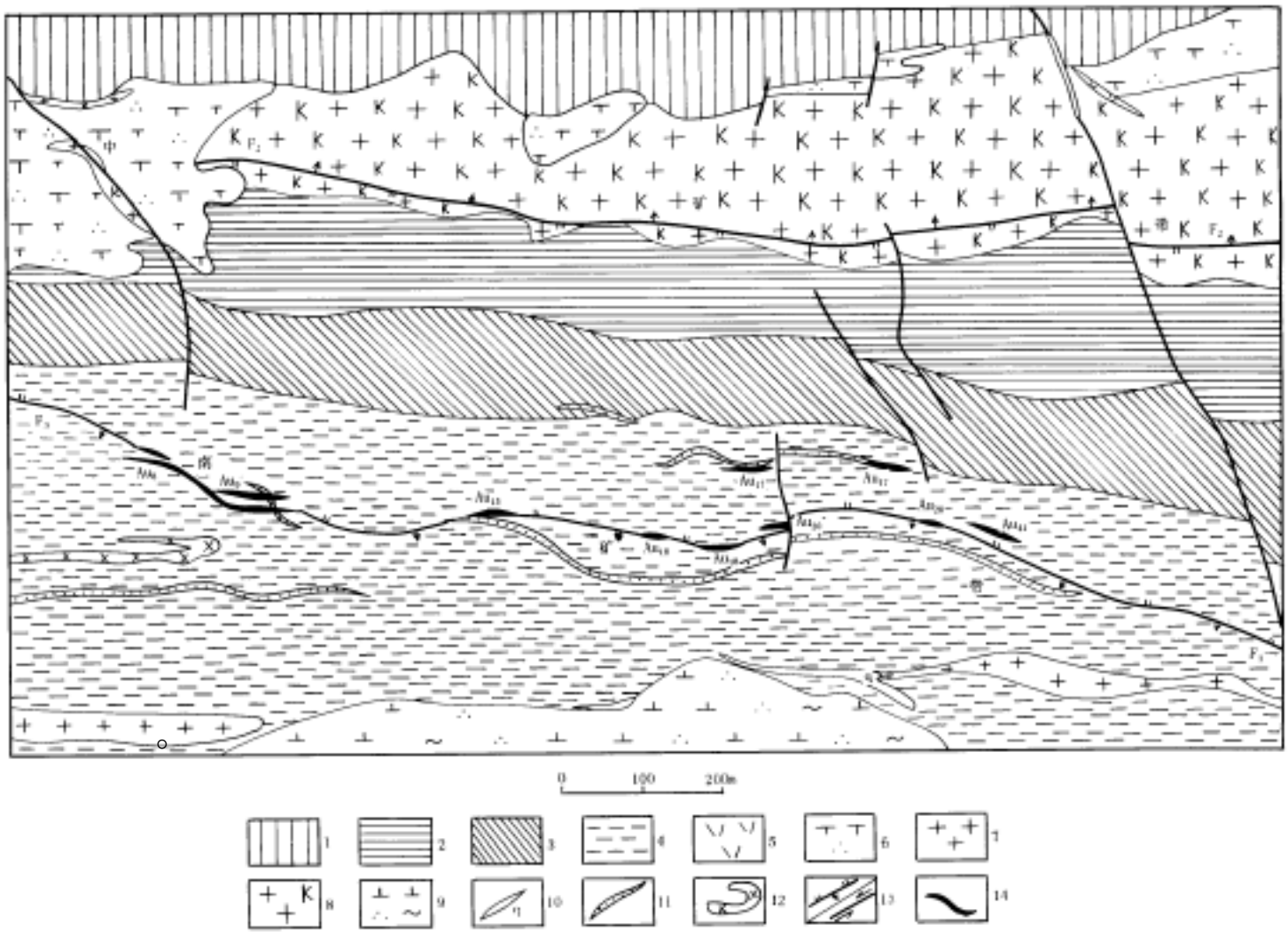


图 4-3-3　小西弓金矿南、中矿带地质图

1—西尖山群上亚群第一岩组;西尖山群下亚群:2—第五岩组;3—第四岩组二岩段;4—第四岩组一岩段;5—潜流纹岩;6—石英正长斑岩;7—花岗岩;8—钾长花岗岩;9—糜棱岩化石英闪长岩;10—糜棱岩化石英岩;11—花岗闪长斑岩脉;12—辉绿岩脉;13—逆断层/ 平移断层;14—金矿体

(2)韧—脆性断裂及脆性断裂。韧—脆性断裂由三条大致平行的北西西向逆冲断裂组成,为区域性大断裂的次一级断裂,是大致沿北、中、南三条小型韧性剪切带中心界面而产生的继承性断裂,控制着小西弓金矿(化)体的生成与定位。断裂沿 110°～130°方向呈舒缓波状展布,倾向南西或北东,倾角陡直。断裂大致长度分别为 13.5km、3km、4.6km,宽 3～10 余 m。沿断裂两侧岩石形成糜棱岩—碎裂岩带,沿断面有明显的阶步、擦痕等构造形迹。断裂带内剪切型石英细脉发育,部分地段蚀变强烈,形成金矿(化)体。断裂带中北西西向小断裂成群出现,具有大体平行、雁行侧列。尖灭再现的特点,在波状弯曲等启张部位成生工业金矿体(图 4-3-3)。

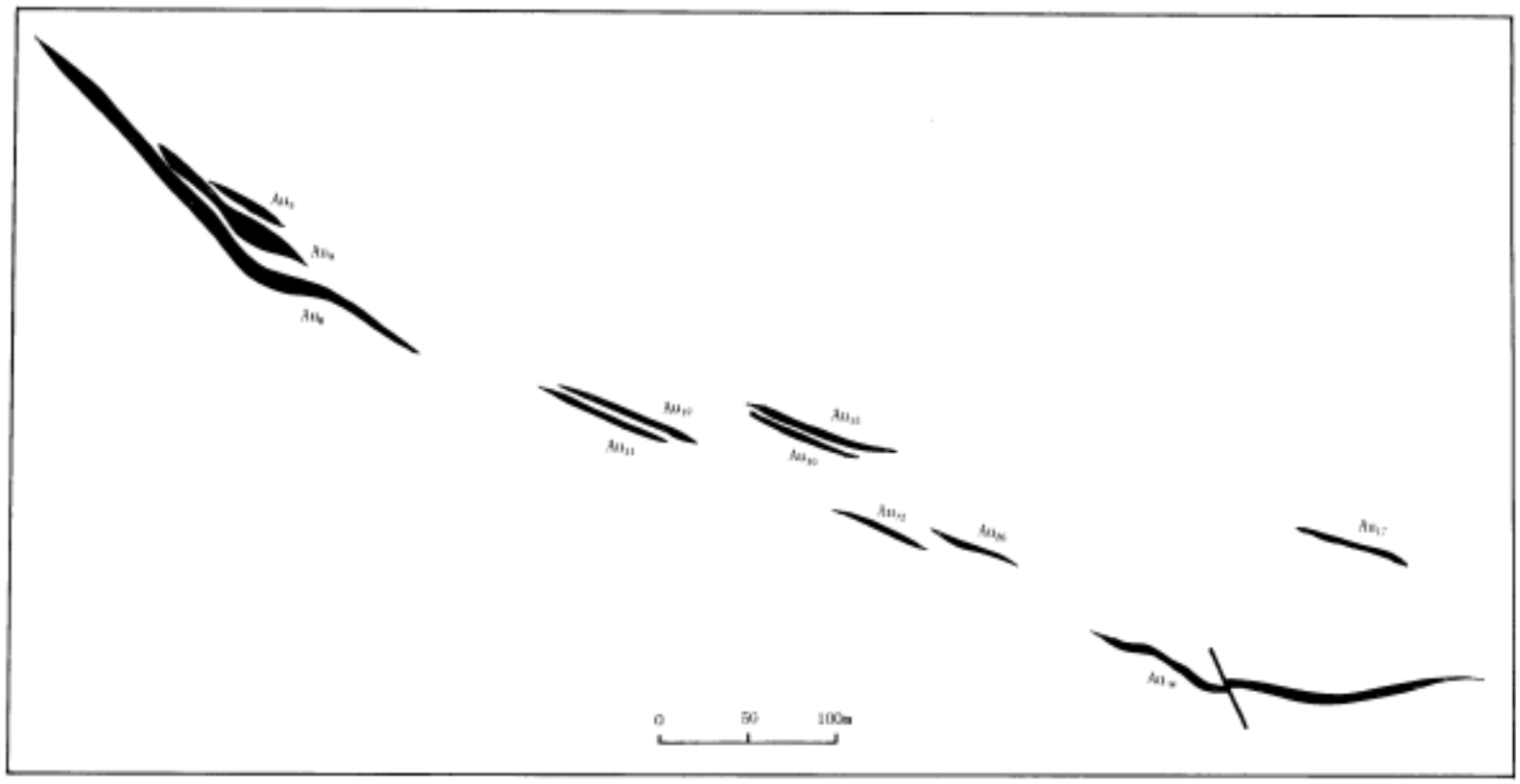


图 4-3-4　小西弓金矿 1600m 水平断面图

5. 变质岩及变质作用

小西弓金矿床金矿体赋存于由区域变质作用叠加了韧性、韧—脆性剪切变质作用形成的一套低绿片岩相黑云母带的变质岩系中。岩石类型以片岩类分布最广,其次是大理岩、石英岩、还有少量变质火山岩。岩石以具较强的绢云母化、绿泥石化、硅化、碎裂岩化及糜棱岩化为特征。

(二)矿体特征及工业类型

1. 矿体特征

小西弓金矿区金矿体成群成带出现,北、中矿带矿化较差,南矿带矿化较好。北矿带断续长 2km,宽约 10～20m,矿体呈脉状赋存在石英脉与脉侧糜棱状二云片岩内,圈定矿体 4 个,单个矿体长 50～150m,平均宽 0.8～3m,控制斜深 50～150m,品位变化范围为 1.54×10^{-6}～3.13×10^{-6}。中矿带沿断裂长 3km,宽 50～200m,矿体赋存于花岗质糜棱岩与片岩质糜棱岩带的石英细脉内,圈定矿体 4 个,单个矿体长 100～200m,平均宽 0.95～5.10m,控制斜深75～138m,品位变化范围 1.53×10^{-6}～2.52×10^{-6}。

南矿带沿断裂长达 7km,宽 200～500m,矿体赋存于南韧性剪切带内,直接围岩为西尖山

群下亚群第四岩组二云片岩。该矿带是小西弓金矿区重要成矿带,其西段构成中型规模金矿,其内共圈出金矿体 41 个,主要金矿体见图 4 - 3 - 4。金矿体长度一般为 25～75m,长度大于 200m 的矿体有 5 个,最长 425m。厚度一般 0.34～1m,大于 1m 的有 24 个矿体,最厚可达 16.4m。矿体斜深一般 25～100m,大于 100m 的有 12 个矿体,最大斜深已控制 455m,Au_8、Au_{18}、Au_{17} 号矿体向下有延伸扩大的趋势(图 4 - 3 - 5、4 - 3 - 6)矿体长度小于倾向延伸(图

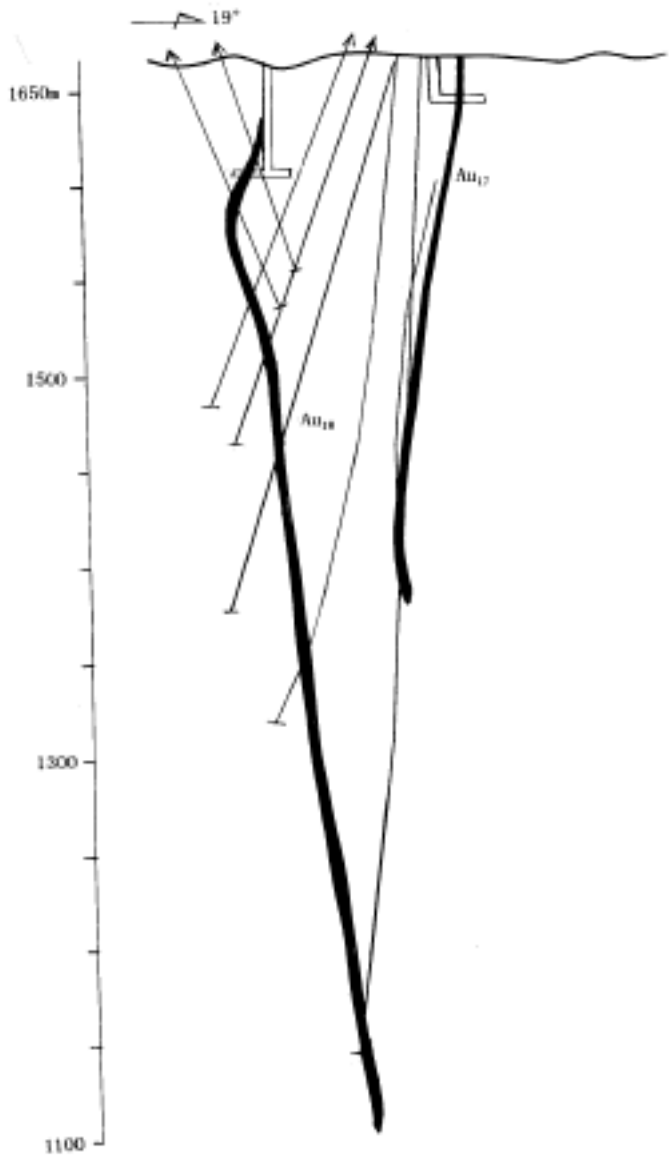


图 4 - 3 - 5　小西弓金矿区 150 线剖面图

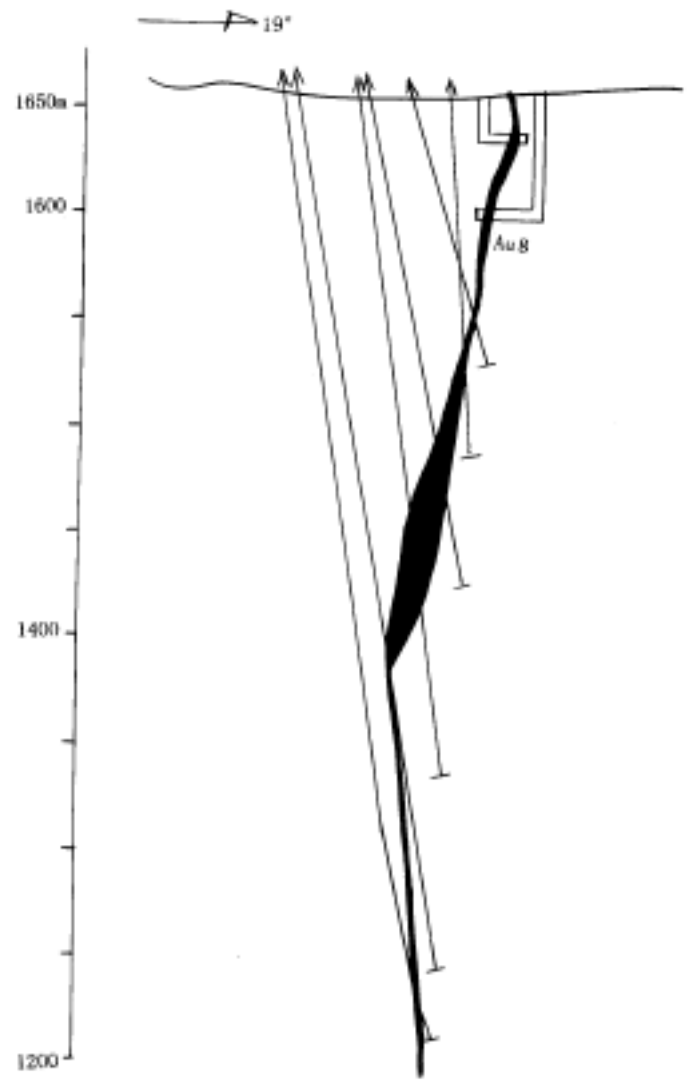


图 4 - 3 - 6　小西弓金矿区 178 线剖面图

4 - 3 - 7)。其中以 Au_8、Au_{18} 规模最大,为主要矿体。Au_8 号矿体(图 4 - 3 - 6)长 287.5m,厚度 0.32～16.4m,平均 3.35m,厚度变化系数 98.38%,品位 1.5×10^{-6}～83.3×10^{-6}。Au_{18} 号矿体(图 4 - 3 - 5)长 200m,延深 330m,厚度 0.44～7.32m,平均 2.21m,品位变化在 1.6×10^{-6}～67.2×10^{-6} 之间。矿体形态呈脉状、不规则脉状,少数呈透镜状,矿体沿走向和倾向呈舒缓—弯曲状延伸,具有膨胀、狭缩、平行排列、尖灭再现等特点,如图 4 - 3 - 4、4 - 3 - 5、4 - 3 - 6。矿体总体走向北西西—南东东,绝大多数在平面上呈“S”形弯曲状,倾向南东或北东,倾角 80°～90°,由于产状较陡,规模较大的矿体

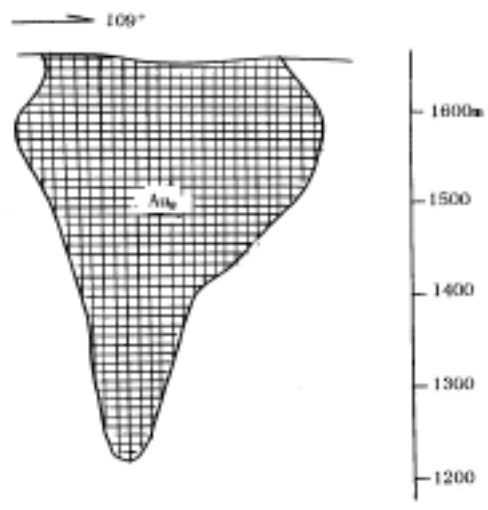


图 4 - 3 - 7　小西弓金矿区 Au8 矿体垂直纵投影图

在深部具有反倾斜延深之势,如图 4 - 3 - 5、4 - 3 - 6。

2. 工业类型

小西弓金矿床的矿石类型比较简单,主要为石英脉型和二云片岩型两类,其中以石英脉型为主,二者一般相伴出现,构成矿体的主体。

(三)矿石特征

1. 容矿岩石的岩石类型及矿物组成

金矿主要产在石英脉及二云片岩中,这类岩石主要是一些韧性、韧—脆性剪切形成的糜棱岩、糜棱片岩等。石英脉型矿石矿物组成主要为石英,其次为黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿等;二云片岩型矿石矿物组成主要为石英和绢云母,其次为毒砂、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿等。两类矿石中均含细—中粒级含银自然金和银金矿。

2. 容矿岩石的结构和构造

矿石结构主要为自形—半自形—他形粒状变晶结构、鳞片变晶结构、碎裂结构,其实大部分是糜棱结构;矿石构造为浸染状构造、细脉浸染状构造、块状构造及片状构造。

3. 金矿物特征及赋存状态

金矿物主要为含银自然金和银金矿,形态以枝叉状为主,其次为角粒状、板片状,少量为浑圆粒状。自然金的粒度不均匀,石英脉型矿石中以细—中粒为主,二云片岩型矿石中以细粒—显微金为主。金的成色为 730～880。金矿物主要以粒间金和包裹金的形式嵌布于脉石及金属硫化物中。

(四)蚀变类型及其特征

1. 成矿期蚀变

以沿裂隙渗透交代的线性蚀变为主,呈不规则长条状分布在矿体两侧或矿体内,蚀变范围 1～3m,连续性较差,未能形成规整的蚀变岩带,分带不很明显。蚀变类型主要有绢云母化、黄铁矿化、硅化、黄铁绢云岩化、多金属硫化物矿化等。

2. 成矿期后蚀变

这种蚀变主要有碳酸盐化和绿泥石化,与矿化关系不大。

三、矿床地球化学

(一)成矿温压条件

石英脉型金矿石包裹体爆裂温度范围在 150℃～650℃之间,均一温度为 133℃～229℃,温度曲线呈双峰或多峰状,测温数据分别出现 163℃～250℃、333℃～490℃、596℃～600℃三段峰值。以上特征表明成矿温度的范围较大,成矿热液经历了高温→中低温及低温的过程,结合矿物共生组合及金的成色(730～880)等特征,小西弓金矿床成矿温度大致在 150℃～230℃之间。

根据矿区地质特征、矿物组合规律以及成矿温度、热液盐度数据特征推测,成矿压力从早到晚有逐渐降低的趋势,小西弓金矿是在中低压环境下形成的。

(二)成矿流体特征

脉石英的包裹体内气体成分以水蒸气为主,并含有一定数量的 CO_2、CO、CH_4、H_2 等气体,CO_2 为 5.8×10^{-6},CH_4 为 1.23×10^{-6}。包裹体液相成分中,阳离子有 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、Fe^{3+}、Ba^{2+},且 $K^+ + Na^+ > Ca^{2+} + Mg^{2+} + Fe^{3+}$;阴离子有 SO_4^{2-}、Cl^-、F^-,且 $SO_4^{2-} >$

$Cl^- > F^-$;成矿溶液盐度为 17.4wt%NaCl～17.8wt%NaCl,并含有 Cu、Pb、Zn 等元素,pH 值为6.50～6.70。从上述特征分析,包裹体内 CO_2 含量较高,碳氢化合物较普遍,表明成矿热液与变质混合溶液具有相似的特征,金的成矿活动与变质混合热液关系密切;阳离子组分与中酸性岩浆岩含量特征相似,说明成矿热液受中酸性岩浆成分的影响,并有围岩的成份介入。成矿流体主要是 F/Cl 值较小的中高盐度 $K^+ - Na^+ - SO_4^{2-} - H_2O$ 型弱酸性溶液。

(三)稳定同位素地球化学

(1)铅同位素

小西弓金矿床矿石铅同位素各项比值变化范围为:$^{206}Pb/^{204}Pb$ 为 18.351～18.61,$^{207}Pb/^{204}Pb$为 15.576～15.626,$^{208}Pb/^{204}Pb$ 为 38.076～38.411,其组成变化小。围岩二云片岩、绢云片岩铅同位素:$^{206}Pb/^{204}Pb$ 为 18.599～18.612,$^{207}Pb/^{204}Pb$ 为 15.604～15.625,$^{208}pb/^{204}Pb$ 为 38.407～38.836,与矿石铅同位素组成基本一致,表明成矿物质与成岩物质具有同源及相似的演化特征,金的成矿作用与围岩关系密切。将 5 个铅同位数据投影至 Doe-Zartman"铅构造"模式之上,样点均分布于造山带附近,说明小西弓金矿是伴随着北山南带造山作用而形成的。

(2)小西弓金矿硫同位素 $\delta^{34}S$ 变化范围为 3.78‰～9.63‰,变化范围较窄,表明硫源单一,成矿环境和物理化学条件较为稳定。在频率直方图上具塔式分布,表明硫源正向偏离陨石值较大,主要为壳幔混合硫。

(3)氢氧同位素。小西弓金矿床氢、氧同位素 δDH_2O 值变化于 -86.0‰～-50.2‰,平均值 -72.50‰;$\delta^{18}O$ 值变化于 13.52‰～16.26‰,平均值 14.97‰(芦青山等 1997)。将石英的氧同位素数据①投点于 Taylor 不同成因水的 $\delta D - \delta^{18}O$ 图上(图 4-3-8),从图中可以看出该矿床成矿溶液主体水的来源是岩浆岩、变质水与大气水的混合,具有多源渗合水的特点(芦青山等,1997)。

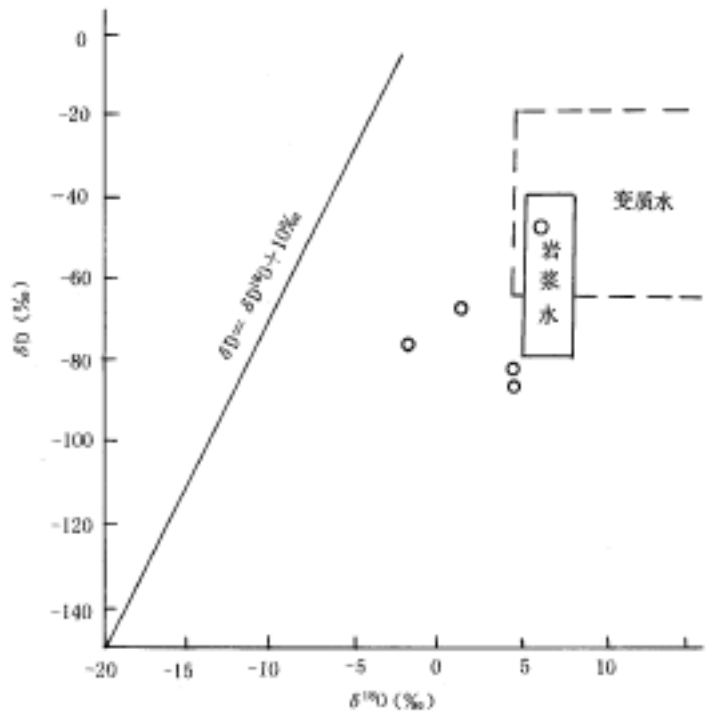


图 4-3-8　小西弓矿床 $\delta D - \delta^{18}O$ 透影图

(四)微量元素地球化学

含金岩石中 As、Pb、Zn 元素含量很高,W、Sn、Mo、Ag、Cu 都有不同程度的显示。

四、成矿时代与矿床成因

(一)成矿时带及期次

小西弓金矿床成矿时代为华力西晚期,成矿作用经历了漫长多期逐步富集的过程,大致划分为早期初步富集期、中期富集成矿期、晚期表生改造期。中期富集成矿期又可以分为三个成矿阶段:石英—黄铁矿—毒砂—金阶段;石英—多金属硫化物—金阶段;石英—碳酸盐阶段。

---

① 石英—水氧同位素分馏计算采用张理果等(1988)的研究成果:$1000\ln siO_2 - H_2O = 3.306\times10^6 T^{-2} - 2.71$。

(二)控矿因素分析

1. 地层控制

小西弓金矿床金矿体赋存于西尖山群下亚群第四岩组二云片岩内,较明显地受到层位的控制。西尖山群下亚群金的平均含量为 4.4×10^{-6},较其上、下地层含金量高 1 倍左右,且略高于地壳平均金含量,尤其是第四岩组二云片岩和绢云石英片岩的金含量高于地壳平均值 13.4～14.6;西尖山群上亚群和老君庙群分布区,也有金矿体存在。因此,前长城纪陆源碎屑岩—碳酸盐岩—火山岩是含金建造,西尖山群下亚群第四岩组是金的"矿源层"。

2. 岩浆控矿

岩浆活动是小西弓金矿成矿作用的重要因素,为金的活化、迁移提供了热能和流体。矿体产于华力西中、晚期和加里东晚期的中酸性侵入岩外接触带的二云片岩内,表明二者具有特定的空间关系。加里东晚期侵入的石英闪长岩,就位时间早于金矿体的形成,含金量高达 64×10^{-6},构成了金的"矿源层"。华力西中期钾长花岗岩和华力西晚期肉红色二长花岗岩的成矿能量分别为 10 和 43.5。这两次岩浆侵入为成矿提供了热源,在侵入过程中摄取地层中的金形成含金混合流体,岩浆期后热液为成矿提供了载流体,这些含金流体在断裂及其两侧的韧性剪切带演化和迁移形成石英脉型金矿(化)和片岩型金矿(化),构成矿区主要金矿体。

3. 构造控制

小西弓—红旗山韧性剪切带和杨圈沟—西尖山—华窑山区域性逆冲大断裂从矿区中部通过,这两种构造具有切割较深、长期演化、多次叠加及继承性活动的特点,导致了加里东晚期和华力西中、晚期中酸性岩的侵入,不仅为含金流体的上升运移提供了良好的通道,而且也为金的沉淀提供了有利的场所,直接控制着矿区地质构造特征与金矿带的形成和分布,属于区域性导矿构造。与上述构造平行的次一级北、中、南小型韧型剪切带及其叠加其上的次一级逆冲断裂是控矿容矿构造,矿体呈"S"脉状,长条状断续分布于其内,矿体产状与剪切带断裂带一致,在断裂汇集、拐弯、滑动张开等构造部位,形成规模大、延深稳定、品位较富的金矿体。

(三)成矿模式

小西弓金矿床在成矿过程中,受多种因素制约,岩石地层和韧性、韧—脆性剪切变形以及岩浆活动都具有很重要的作用,尤其是韧性、脆—韧剪切作用占主导地位。根据前述矿床地质和地球化学特征提出小西弓金矿床的成矿模式:

(1)前长城纪,为西尖山群、黄尖丘群和老君庙群的形成时期。由于近南北向拉张,发育一套半深海相陆源碎屑岩—碳酸盐岩—火山岩沉积,形成了重要的含金建造。

(2)中元古代—加里东期,随着西伯利亚板块的向南俯冲以及与塔里木板块的碰撞的进行,前长城纪地层在中构造层次下遭受韧型剪切变形,形成小西弓—红旗山韧性剪切带,并伴随岩浆岩的侵入,与此同时产生的动力变质流体和来自深部的热液在应力作用下流动,并从流经岩石中萃取金等成矿物质,形成含金变质流体,集中在剪切带内低变质的西尖山群下亚群及糜棱岩化石英闪长岩中,形成了金的初步富集和矿源岩。

(3)华力西中、晚期,地壳抬升,区域韧性剪切带逐渐上隆,构造环境发生变化,进入浅构造层次,地壳变形由韧性向韧—脆性、脆性转变,在原剪切带内依次产生韧—脆性剪切带及脆性断裂,带内发生退变质作用,并伴有花岗质岩浆的侵入。变质流体、岩浆热液和大气降水在温度压力梯度驱动下在糜棱岩带及其附近流动、循环和混合,早期阶段初步富集的金质向上和侧向迁移,在摩棱岩带内断裂及微裂隙发育地点沉淀,形成了金矿体。

(4)印支期—喜马拉雅期,地壳继续抬升,剪切带处于表构造层次,成矿作用已近尾声,进入表生期,在矿区形成间断的、厚度不大的“淋滤帽”,直接出露地表。

综上所述,小西弓金矿床属于华力西晚期中低温剪切带变质热液石英脉+蚀变岩型金矿床。

第四节　金场沟金矿床[①]

一、区域地质背进景

(一)构造

矿床位于天山—阴山东西向复杂构造带,大奇山“S”型构造带的北东部。区内主要发育以金场沟—红山头深大断裂为主导的东西向构造带,以及大奇山“S”型旋扭构造构成以金场沟地区为中心的北凸强烈弧形挤压构造带(图4-4-1)。

1. 褶皱

区内褶皱主要为海西期的大奇山复式向斜带的东北部分,分布在大奇山—骆驼房—大红山—金场沟一带,区域分布呈“S”形,于金场沟地区向北凸出,总体走向北东东。由下二叠统方山口组组成大奇山复式背斜,展布约40km。

2. 断层

区内断层十分发育,从走向展布可分为三组,即近东西向、北东向和北西向,以前者为主,呈弧形或“S”形,反映了本区的构造特点。

近东西向(近区域走向)断裂:该组断裂最发育,规模大,以压扭性断裂为主,对区域矿产的分布起着重要的控制作用。

北东向断层:该组断裂在测区东南段发育,属南北向压应力而产生的剪切破裂结构面,以扭性断裂为主,一般北西盘向南西移,位移不大。

北西向断裂:该组断裂不发育,规模小,南西盘相对北推。

(二)地层

本区属天山—北山地层区红柳园小区,主要出露有前长成系敦煌岩群、中泥盆统、下石炭统、上二叠统古生代沉积变质岩及火山岩。另有小量第三、第四系分布于区内。

1. 前长城系敦煌岩群

出露于测区西部,以大理岩为主,夹变粒岩、斜长角闪片岩和黑云石英片岩。

2. 中泥盆统三个井组

出露于测区西部红山头—石板墩一带,其灰岩与肉红色花岗岩接触带见磁铁矿化。

3. 下石炭统红柳园组

呈近东西向狭长带状分布于金场沟断裂和其北花岗闪长岩之间以及音凹峡西、红珊湖一

---

① 据周达入等《甘属省肃北蒙古族自治县金场沟金银矿区普查地质报告》和白祖山等,《甘肃省北山地区金铜(镍)矿区普查报告》

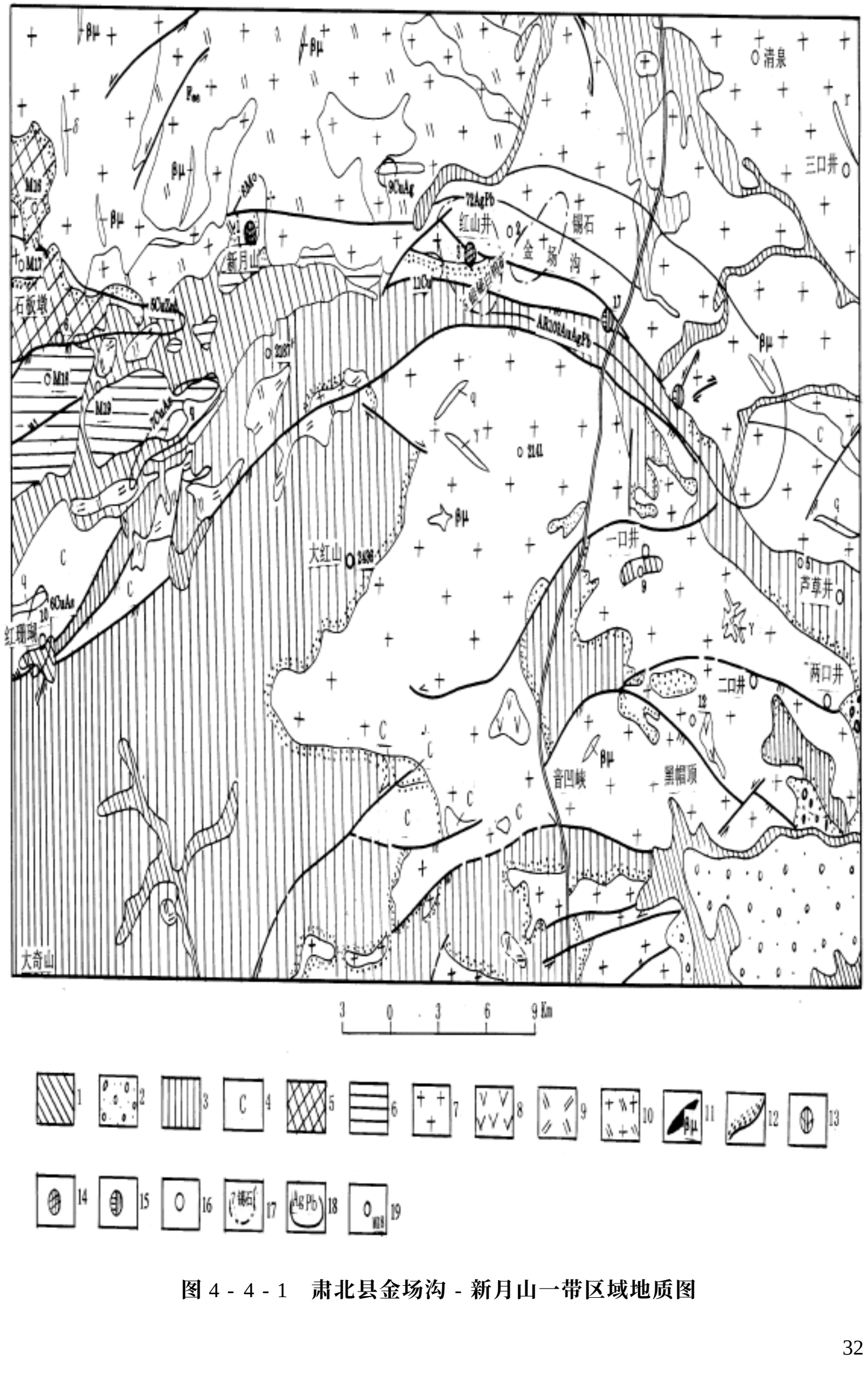


图 4 - 4 - 1　肃北县金场沟 - 新月山一带区域地质图

带。按岩组特征分为四个岩段,大体上均由一套中酸性火岩—火山碎屑沉积岩相(偶夹石英岩、大理岩透镜体)组成,是金场沟金矿的主要赋矿地层之一。

4. 上二叠统方山口组

其分布东起两口井,西至大奇山以西的广大幅域,是大奇山"S"形复式背斜之主体。在金场沟一带呈醒目的弧形带状展布于近东西向深大断裂和其南肉红色花岗岩之间。在区内与红柳园组呈断层接触,主要为一套中酸性火山岩、火山碎屑岩,局部夹有石英岩、大理岩及片岩,有四个岩性段。也是金场沟金矿的主要赋矿层位之一。

(三)侵入岩

该区岩浆活动频繁,主要属于加里东及华力西期构造岩浆旋回,均以中、晚期中—酸性岩最发育,广泛分布。占测区总面积的三分之二,空间上有广布的深成岩基、岩株及浅成、超浅成的岩枝、岩株。

1. 二长花岗岩

主要分布于断裂(图 4-4-2)北侧的广大区域,东西长约 30km,宽 5～20km,出露面积大于 200km^2。呈岩基产出,与华力西中期花岗闪长岩呈断层接触。

2. 辉长岩

分别出露于金场沟北部及音凹峡北,规模不大。

3. 花岗闪长岩

分布于金场沟—新月山一线的北侧,F_{17-1}断裂以南,长大于 20km,宽 0.6～2.0m,面积约 30km^2。受区域弧形构造线的控制,呈向北凸出近东西向的弧形长条状展布。

4. 超基性岩

在黑帽顶、新月山、石板墩北及金场沟断裂 F_{17} 南侧等零星出露。黑帽顶岩体,化学分析含 Cr_2O_3 0.79%, Ni0.4%, Tfe4.4%,可作为找矿些索。

5. 闪长岩

在清泉—三口井一带和一口井北西零星出露。

6. 灰白色花岗岩

分布于两口井—一口井—音凹峡—大红山一带,沿大奇山背斜轴部侵入,面积约 274km^2,被后期构造破坏,形态不规则。

7. 肉红色花岗岩

分布于区域 F_{17-1} 断裂以北和大红山—音凹峡—两口井一线以北的广大幅域,总面积约 343km^2,主要沿大奇山背斜轴部和区域性近东西向断裂侵入,与前期岩体呈侵入接触。已知的红山井钼矿床和金场沟金银铅矿床与其息息想关。

(四)火山岩

区内火山活动频繁,并以早石炭世与晚二叠世表现最为强烈。早石炭世以浅海向裂隙式喷发为主,晚二叠世以大奇山为中心呈中心式喷发为主,皆表现为各期次都旋回喷发,且早期以角砾岩、集块熔岩、凝灰岩、凝灰质砂岩为主,晚期多以英安岩、安山岩、流纹岩及超浅成的安山斑岩、英安斑岩、流纹斑岩为主。

(五)区域矿产

本区属花牛山—金场沟多金属成矿带东段,分布的矿产有新月山小型钨钼矿床、红山井小型钼矿床、金场沟小型金铅矿床和磁铁矿(化)点、铜铁矿(化)点、多金属矿(化)点等多处矿产

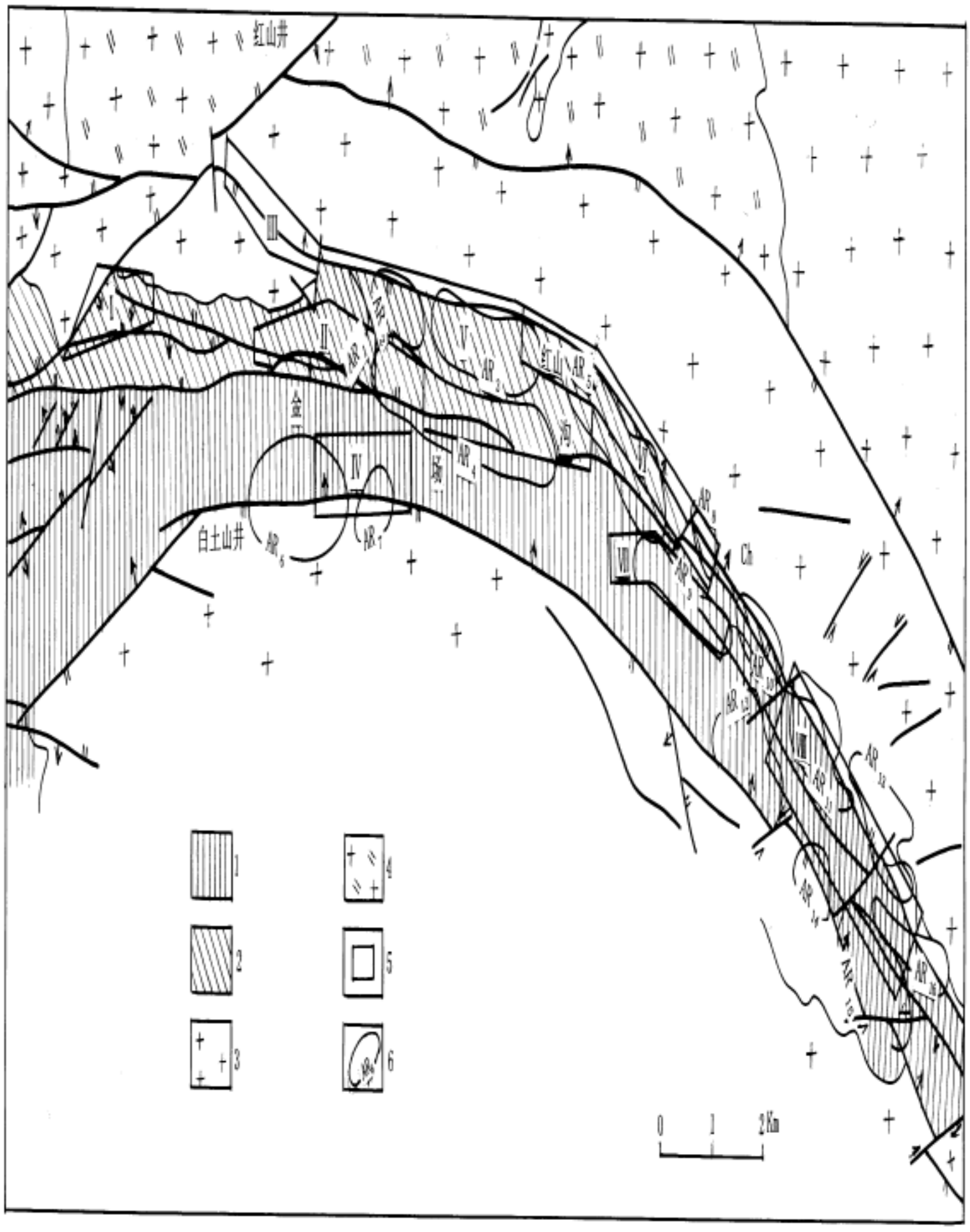


图 4 - 4 - 2　金场沟金银矿床矿段分布图

地。

二、矿床地质特征

按地表矿种组合及空间分布特征,可将矿区自西向东划分为八个矿段(图 4 - 4 - 2):

Ⅰ矿段:位于矿区西部外围,面积约 0.48km^2。南侧出露红柳园组火山岩,北侧为肉红色钾长花岗岩,区内有石英脉沿裂隙充填,金银铅矿化赋存在石英脉中。

Ⅱ矿段:位于矿区西部南侧 145 - 165 线间,主要出露红柳园组第一岩段地层,其内有肉红色钾长花岗岩侵入。F_{17-3}断裂横贯该矿段,严格控制了含铅或含钨石英脉的空间分布。

Ⅲ矿段:位于矿区西北 137 - 177 线,为矿区最主要的钨钼矿(含少量金、银矿体)成矿地段(红山井钼矿),钼矿体主要赋存于碎裂硅质肉红色钾长花岗岩(个别矿体亦产于辉绿岩中)并严格受 F_{17-1}、F_{17-2}断裂控制。

Ⅳ矿段:位于矿区西南,面积约 0.78km^2。北侧出露方山口组第二岩段,南侧为华力西晚期二长花岗岩体,其中见有沿 F_{17-4}及旁侧裂隙充填的含矿(金、铅、铜)石英脉。

Ⅴ矿段:位于矿区西部 135 - 174 线,是以铅钼矿化为主兼具金、银矿化的多种矿化带。其北主要出露红柳园组二、四岩段,南侧则为其一岩段。

Ⅵ矿段:位于矿区中部 0 - 39 线,是矿区最主要的金铅成矿段,出露地层为红柳园组二、四岩段,金、铅矿(化)赋存在石英脉和蚀变破碎带中。

Ⅶ矿段:位于Ⅵ矿段南 19 - 47 线,以铅、金、银为主。出露地层为方山口组二、三岩段,其内有辉绿岩侵入。铅、金、银矿(化)体赋存在辉绿岩中,成矿于 F_{17-3}及其次级断裂充填的石英脉和蚀变破碎带关系密切。

Ⅷ矿段:位于矿区东部 60 - 88 线,是矿区主要金、铅成矿地段之一(图 4 - 4 - 3)。其北部出露肉红色钾长花岗岩,南侧则为红柳园组二岩段和方山口组四岩段分布区。金、铅矿化主要赋存在蚀变花岗岩和黄铁绢英岩内。

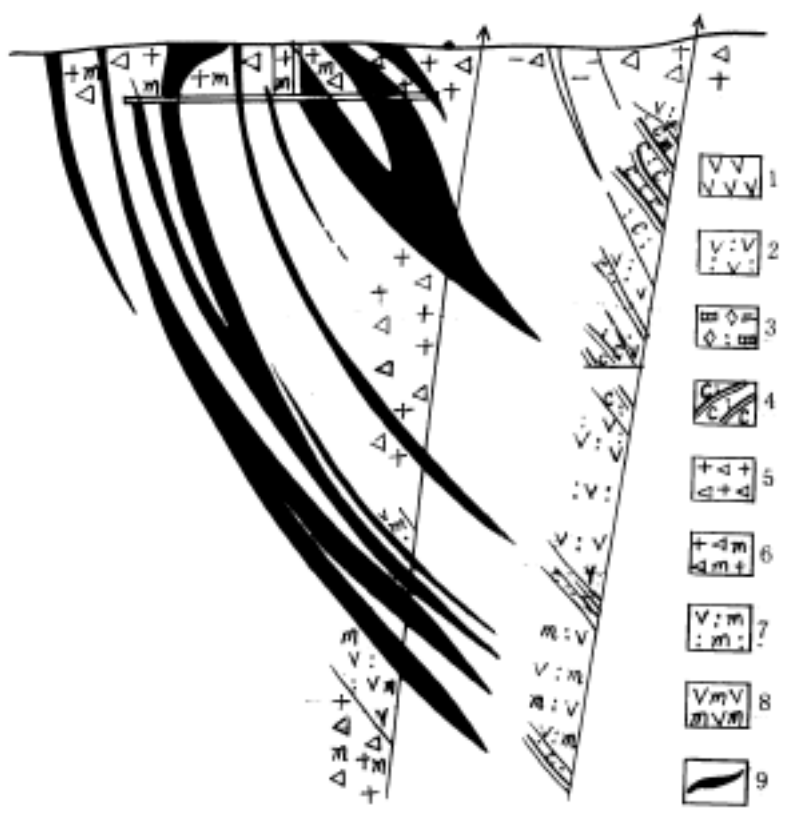


图 4 - 4 - 3　金场沟金银矿区Ⅷ矿段 82 勘探线剖面图

1—下石炭统红柳园组安山岩;2—上二叠统方山口组安山质凝灰岩;3—黄铁矿化碳酸盐化绢云千糜岩;4—含碳凝灰质板岩;5—华力西晚期花岗碎裂岩;6—糜棱岩化花岗质碎裂岩;7—糜棱岩化安山质凝灰岩;8—糜棱岩化安山岩;9—矿体

综上所述,在金场沟弧形构造带严格控制下,形成一个含金、银的多金属(铅、铜、钼、钨)成矿带。自西向东,该成矿带具有成矿温度由高变低,共生组合由钨(新月山钨矿)、钼(红山井钼矿)渐变为铅、金、银,成矿期则由早到晚的时空演化规律。

(一)控矿条件

(1)构造条件。该矿区所划分出的八个矿段均沿总体呈向北凸出的弧形挤压破碎带分布,圈出的各类矿体无一超越此弧形构造带的波及范围,其中 F_{17-2}—F_{17-4}这三条主干断裂具有明显的导矿作用(部分地段兼具储矿作用),为成矿热液提供了良好的活动空间和运移通道,严格控制了含矿带的空间分布,同时也制约了

与成矿关系密切的华力西晚期肉红色钾长花岗岩、辉绿岩的空间分布。前述主干断裂旁侧或附近的派生次级断裂(破碎带)则构成矿区最佳储矿空间,严格控制了矿(化)体的空间分布及其形态、规模和产状的变化。因此,构造因素是直接控制成矿的主导和重要因素之一。

(2)侵入岩条件。矿区中酸性岩浆活动非常强烈和频繁,其中华力西晚期酸性侵入岩与成矿关系最为密切,不但为成矿提供了充足的热源条件,还直接提供了成矿介质(岩浆期后热液)和丰富的成矿物质(钨、钼、铅、金、银等),构成各类矿(化)体的成矿母岩和赋矿围岩。Ⅲ矿段与华力西晚期肉红色硅化钾长花岗岩中形成红山井小型斑岩型钼矿床(共生少量金、银矿体)。其他矿段所圈出的金、银、铅、钼矿(化)体均赋存于华力西晚期肉红色钾长花岗岩体内、外接触带。据痕金分析结果,该岩体平均含 Au 高达 6.17×10^{-9}(变化范围 5.2×10^{-9}～7.4×10^{-9})。除此,Pb、Cu、Ag、Mo 含量也明显高于区域花岗岩,其富集系数可达几倍至几十倍。凡此,均充分说明矿区附近的华力西晚期酸性侵入岩与成矿具紧密的成生关系,应属其成矿母岩。

(3)围岩条件。据矿区Ⅱ、Ⅴ～Ⅷ共五个矿段 192 个矿体统计,除 17 个金矿体、17 个铅矿体和 2 个钼矿体产于华力西晚期钾长花岗岩和辉绿岩中外,其余 156 个金、银、铅、钼矿体均产于红柳园组,地层赋矿最多(有 75%的金矿体、50%的银矿体、83%的钼矿体和 70%的铅矿体)。但据 39 件痕金分析结果,矿区赋矿地层中各类岩石(安山岩、英安岩、安山质凝灰岩、凝灰质斑岩、含炭凝灰质板岩和石英岩等)含金仅为 1.29×10^{-9}～3.6×10^{-9},明显低于或接近地壳克拉克值,这显然与金矿体的空间分布和赋存特征相矛盾,也难以说明成矿与地层的关系。不过,由于样品数量有限,代表性不要强,仅就该矿区成矿作用对层位和岩性具一定选择性而论,虽不能完全断定上述层位应属赖以成矿的"矿源层",但可以认为围岩条件当属控矿的有利因素之一。

(二)矿体特征及工业类型

1. 矿体规模、形态和产状

该矿区除Ⅰ、Ⅳ矿段因工作程度低尚未圈出矿化体外,其余六个矿段共圈出各类矿体 204 个。其中金矿体 82 个(Ⅲ矿段 1 个,Ⅴ矿段 3 个,Ⅵ矿段 51 个,Ⅶ矿段 4 个,Ⅷ矿段 23 个),铅矿体 89 个(Ⅱ矿段 3 个,Ⅴ矿段 11 个,Ⅵ矿段 36 个,Ⅶ矿段 4 个,Ⅷ矿段 35 个),银矿体 12 个(Ⅲ矿段 2 个,Ⅴ矿段 5 个,Ⅵ矿段 1 个,Ⅶ矿段 4 个)。

矿体多呈脉状、长条状、扁豆状、个别呈豆荚状。矿体沿走向和倾斜方向偶具弯曲和分枝等变化。

矿体走向 90°～130°,多北倾(Ⅶ矿段南倾),倾角 56°～85°。

2. 矿体顶底板围岩特征

矿区内不同矿段之间,矿体的顶底板围岩和含矿岩石有不少共同点,但因某些制约条件的差异,具体到某一个矿体仍会随地而异。

区内金、银、铅矿体主要赋存在石英脉和黄铁方解绢英岩内,如Ⅰ、Ⅳ、Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ矿段,也有赋存在蚀变碎裂肉红色花岗岩及其红柳园组和方山口组残留体中,如Ⅴ、Ⅲ矿段。

矿体的主要围岩是安山岩、安山凝灰岩、英安凝灰岩、含炭凝灰质板岩、千枚岩、石英脉、碎裂花岗岩等。近矿围岩主要是黄铁方解绢英岩。

3. 矿石类型

根据容矿岩石的基本类型,矿石主要表现为石英脉型、破碎带蚀变岩型两种金矿石类型。

矿床工业类型属石英脉型及破碎带蚀变岩型小型金铅矿床。

(三)矿石特征

1. 矿石矿物成分

金矿石矿物成分十分复杂,共计有 40 余种。主要金属硫化物以黄铁矿为主(1%～4%),次有方铅矿、毒砂、磁黄铁矿、黄铜矿等,偶见镍黄铁矿、闪锌矿、辉砷钴矿、辉钼矿、辰砂、自然金、银金矿、自然铅、自然铜等。脉石矿物,石英脉型金矿石以石英为主,次含少量绢云母、方解石等;破碎带蚀变岩型金矿石以绢云母为主,次含少量铁白云石、伊利石、绿泥石和蒙脱石等。

金矿石中有用组分主要为 Au、Ag、Pb。金主要以自然金,含银自然金及银金矿等独立矿物形式存在;Pb 则主要赋存于方铅矿中;Ag 主要与 Au 组成互化物,但可能有相当部分的 Ag 是高度分散状赋存于方铅矿中。

据物相分析资料,金矿物以游离自然金为主,其次为连生体金、硫化物包裹金。金矿物主要呈不规则微粒—显微粒状、片状、树枝状和枝叉状,次为棒状、板状和海棉状,偶见不完整的立方体及仙人球状颗粒。其颜色多呈亮金黄色,少数亦呈淡金黄色及古铜、砖红、猪肝及棕褐等杂色(后者多属粘附物、覆盖物不同所致)。其粒度一般较细小,多数小于 0.03mm(约含 65%),少数为 0.03～0.05mm(约占 24%),明金罕见。金成色测定结果为 745.48～984.27。

金矿物中有用组分含量变化较大,一般含 Au1×10^{-6}～15.4×10^{-6},最高 21.5×10^{-6};含 Ag 一般 1×10^{-6}～130×10^{-6},最高 276×10^{-6}。除此,金矿石中还含有少量至微量的 Cu(0.008%～0.13%),Pb 多数为 0.001%～0.16%,少数达 0.38%～1.08%,Zn0.017%及 S、As 等有益有害伴生组分。其中少数矿体 Au、Ag、Pb 均达边界品位,可构成金、银、铅共生矿体。

2. 矿石结构构造特征

因矿石类型不同,其结构构造特征也有较大的差异。除自形—半自形晶粒状结构、他形晶粒状结构、包含结构及浸染状构造为各种矿石类形共有外,含金石英脉型金矿石主要为不等粒花岗变晶结构和块状构造;破碎带蚀变岩型矿石主要有鳞片变晶结构、鳞片花岗变晶结构、环带状结构、变余交织斑状结构、变余晶屑凝灰结构以及千枚状构造、板状构造、条带状构造、角砾状构造和交错细脉状构造等。

(四)蚀变类型

(1)硅化。是区内主要蚀变类型之一,根据其含矿性形成时的温度,大致可分为:

①成矿前的硅化。遍布于矿区地层和岩体的裂隙内,以石英扩大再生长、重结晶程度加强以及沿片理形成的团块状、小凸镜状、细脉状乳白色石英脉等为特征,与矿化无关,推测主要是低温热液产物。

②成矿早期硅化。主要在红山井钼矿区沿 F_{17} 断裂破碎带中出现,形成细脉状含硫化物辉钼矿石英脉体,与蚀变碎裂花岗岩、蚀变辉绿岩一起在局部地段构成钨、钼矿(化)体。根据包体测温属于高—中温热液阶段产物。

③成矿晚期硅化。主要在Ⅴ-Ⅵ-Ⅷ矿段沿近东西向次级容矿断裂与区域断裂靠拢或锐角相交的部位,形成较大范围的硅化碎裂岩带;在石英化过程中形成脉幅小,成群产出的凸镜状、细脉(网)脉状烟灰色、褐黄色含硫化物石英脉体,赋存在中酸性火山碎屑岩、含炭凝灰质板岩、千枚岩以及肉红色花岗岩的蚀变破碎带中,局部与围岩共同构成金、银、铅矿(化)体。据包体测温属中—低温热液阶段产物。

(2)黄铁方解绢英岩化。是与金、银、铅矿化关系密切的近矿围岩蚀变,主要在Ⅵ、Ⅷ矿段沿容矿断裂和矿化体两侧形成硅化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化、黄铁矿化、褐铁矿化等浅色蚀变。其特征是中酸性熔岩及其凝灰岩、凝灰质板岩、千枚岩等原岩中铝硅酸盐矿物被绢云母、石英交代,暗色矿物消失,岩石明显退色,黄铁矿呈微细粒浸染状,原岩外貌全非并显示黄褐色色调。它们构成金、银、铅矿(化)体的直接围岩。出现范围狭窄,宽度一般仅数米,最宽十余米。

三、矿床地球化学

(一)成矿温度条件

矿石中黄铁矿爆裂温度为 195℃～253℃。结合成矿类型和矿物共生组合特征,可初步确定成矿与中温热液活动密切相关。

(二)成矿流体特征

据硫同位素测定结果,矿区金、铅矿体 δ^{34} S 值为 + 6.74‰ ～ + 7.40‰,极差(R)为 0.66‰,平均值(X)为 7.07‰,均与花岗岩的硫同位素组合特征相似,推断硫质主要来源于壳下层酸性岩浆。

(三)微量元素地球化学

(1)异常特征。异常以 Ag、Au、As、Cu、Pb、Zn、Mo、Sn、W 元素为主,呈北西西向带状分布,西起红山井钨钼银矿,东至金场沟金银矿 88 勘探线一带,东端以 As、Ag、Au、Cu、Pb、Zn 组合为主,中部以 Mo、Pb、Sn、Ag、As 组合为主,西端以 W、Mo、Sn、Bi 组合为主。

区内从东到西有 16 个子异常,各子异常基本上严格控制了金场沟矿区内的主要矿化地段,并与各矿化段的分布范围吻合程度较高,部分子异常主要分布于华力西晚期二长花岗岩、花岗岩与方山口组及红柳园组火山—沉积变质岩的内蚀变破碎带,以 Mo、Bi、Pb 矿化为主,Ag、Au 矿化次之,其余各子异常则以 Ag、Au、Pb 矿化为主,主要分布于二长花岗岩、花岗岩与安山岩、安山质凝灰岩、英安质凝灰岩、凝灰质千枚岩的外蚀变破碎带;另有部分子异常 Ag、Au、As、Pb 异常强度高,衬度大,线金属量和面金属量也较大。有三个子异常的 Au 元素异常衬度值较大,分别可达 11.87、11.32 及 31.2,是其他子异常的数倍,经工程验证认为是该矿区的金成矿最佳地段。

从区内主要岩矿石微量元素统计结果及异常检查结果看,未受蚀变矿化的各类岩石成矿元素含量值均较低,且相对稳定。矿化层、蚀变岩石、含矿石英脉中各元素则明显富集。各类矿化岩以普遍富集 Cu、Pb、Zn、Ag、As 元素组合共性,金银矿化以富含 Au、As、Ag、Pb、Sb 为主;钼钨矿化则富含 Mo、W、Sn、Bi 为主,蚀变愈强,元素富集程度也愈显著。

元素组合及其组分分带特征见图 4 - 4 - 4。

由图 4 - 4 - 4 可以看出,在金场沟一带主要为 Au、Ag、W、Mo 元素组合类型,并与相应的矿化类型相对应,以普遍富含 Cu、Pb、Zn、Ag 等多金属组分为共性。在诸元素中以 Pb、Ag、Cu、Zn、Sb 之间的相关程度为最高,均呈显著正相关。Pb、Ag、Cu、Zn、Sb、As 元素与 W、Mo 具有正消长关系。这与同受区域性蚀变作用和构造环境的影响有关。所以可认为诸微量元素在本区普遍承受了以热液蚀变为主的区域性变质作用,至少存在着三个主要期次的富集、矿化作用,其中以中—低温石英脉、蚀变岩型 Au、Ag(Pb)矿化及硅化、绢云母化、黄铁绢英岩化等蚀变为主要特征,并以 Au、Ag、As、Pb、Zn、Cu、Sb 元素组合为主。

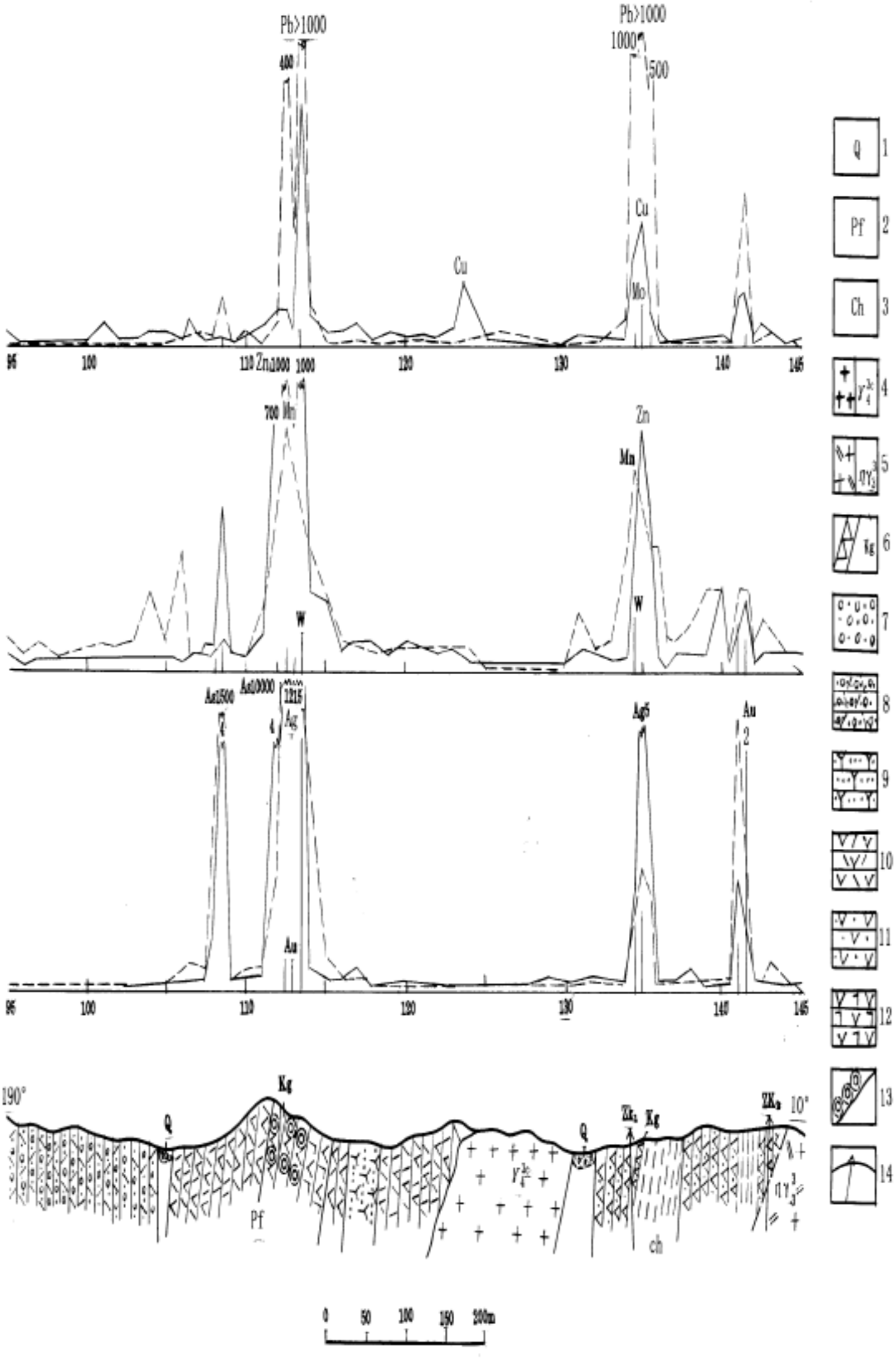
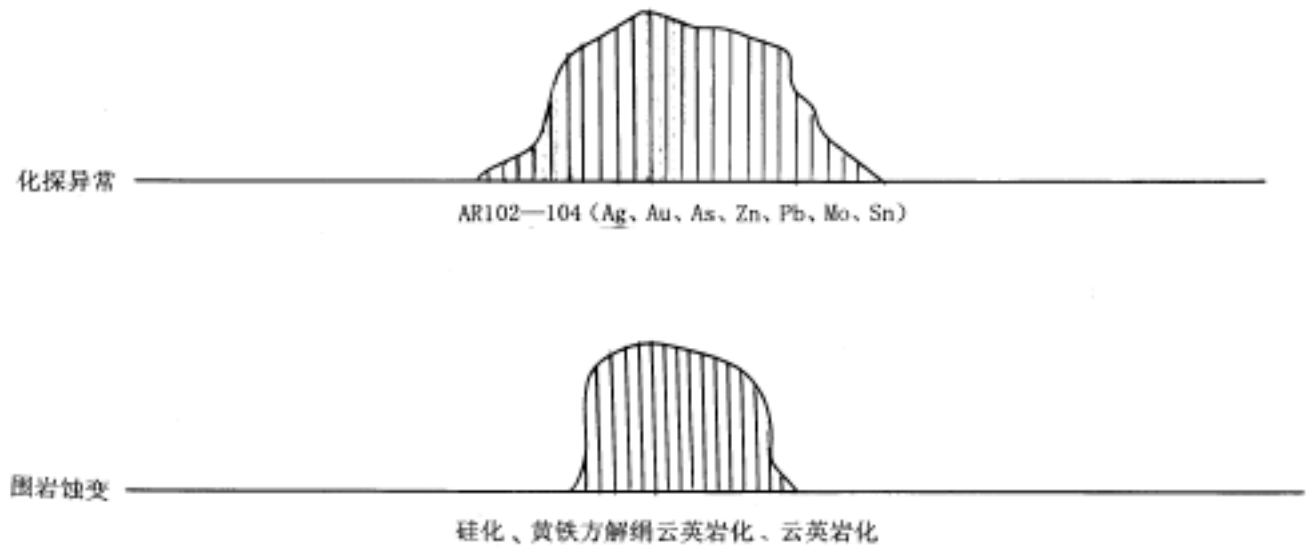


图 4 - 4 - 4　金场沟矿区 232 线岩石测量剖面



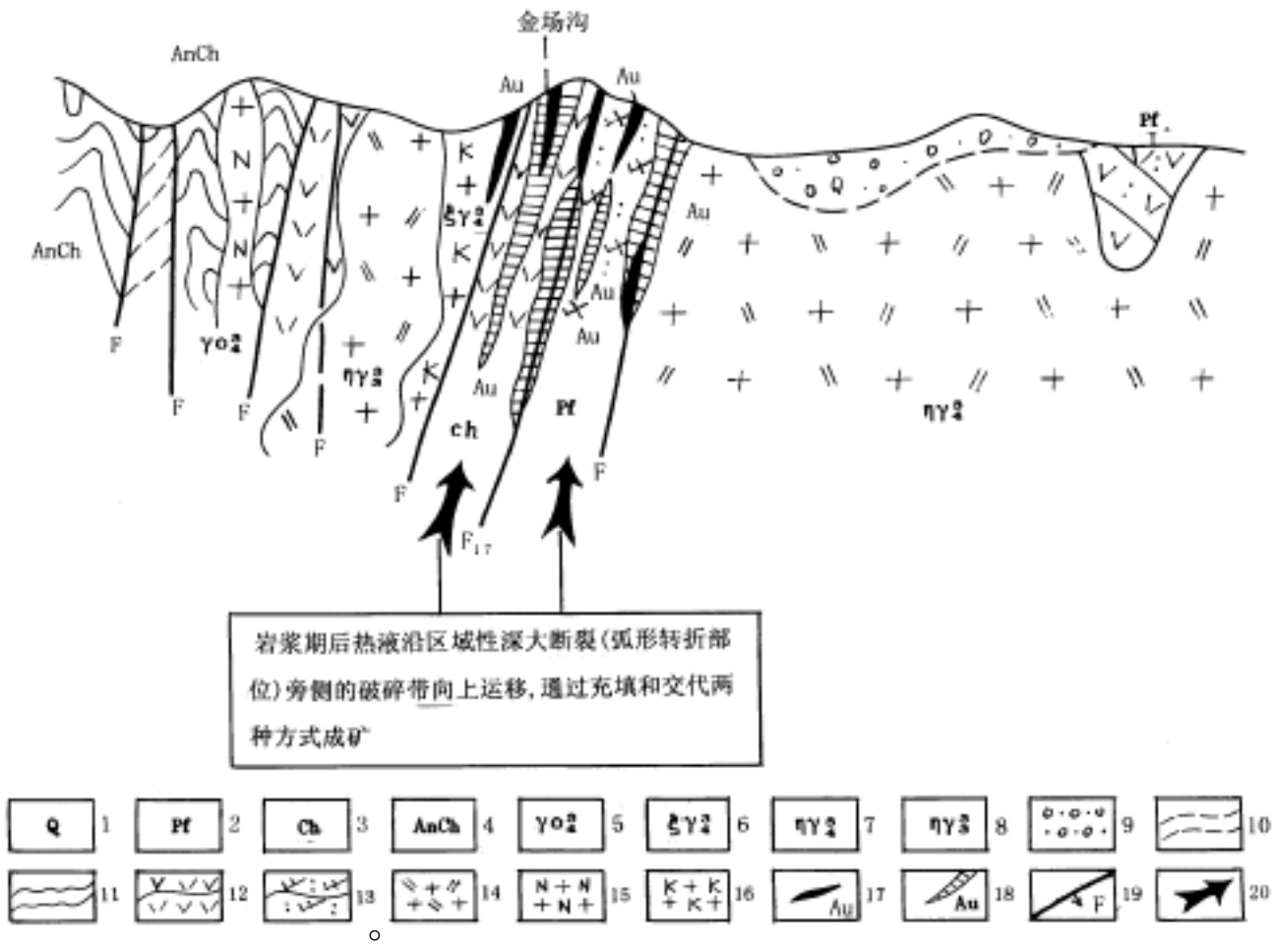


图 4 - 4 - 5　金场沟金矿成矿模式示意图

1—第四系；2—二叠系方山口组；3—石炭系红柳园组；4—前长城系；5—华力西期斜长花岗岩；6—华力西晚期二长花岗岩；8—加里东晚期二长花岗岩；9—砂砾岩；10—千枚岩；11—中、深变质岩系；12—中酸性火山岩；13—英安质凝灰岩；14—二长花岗岩；15—斜长花岗岩；16—钾长花岗岩；17—石英脉型金矿体；18—蚀变岩型金矿体；19—断层；20—含热液运移方向

2. 构造与成矿的关系

区内各岩体及矿床(点)均与构造具有紧密的成生联系,构造因素是成矿的主导因素之一,其原因与区内金铅矿床(点)的成矿作用均与热液作用密切相关,但热液活动同样是其漫长的成矿历程中最关键的阶段。因此,导矿通道和容矿空间的存在是成矿的必备条件。区内已发现的金矿床(点)基本上均沿深大断裂分布,尤其是区域性深大断裂弧形顶部位,派生次级断裂,裂隙构造发育地段及其稍晚形成的北西、北东向断裂交汇部位,往往是成矿最有利的地段,不但常有具工业价值的金矿床产出,而且是矿点,矿化点成群密集分布的"宝地"。上述区域性近东西向深大断裂及其旁侧同组平行断裂多金属导矿构造系统,仅为含矿热液提供了运移通道并控制了成矿母岩(中酸性或酸性侵入体)的空间分布,导致了区内金矿在宏观上的大致呈近东西向平行带状展布的总体态势,但真正控制金矿化体空间分布的储矿构造则往往是其次级派生断裂和裂隙系统(多与导矿构造斜交),它们构成了成矿热液充填、交代、沉淀、定位的活动空间和理想场所。

3. 岩浆岩与成矿的关系

岩浆岩对区内岩金矿的形成具有与构造因素同样重要的控制作用,华力西中晚期的中酸性或酸性侵入岩体(主要为花岗闪长岩、二长花岗岩和钾长花岗岩等)对其控制作用更为明显。它们或者作为成矿母岩直接形成岩浆期后热液型或破碎带蚀变岩型金铅矿床(点),或者作为主要热源促进了变质热液的形成,并补充了部分成矿物质和成矿介质,参与了火山沉积—热液改造型金矿床的成矿过程。上述结论可由区内金矿空间分布特征、岩体含金性及某些同位素测年资料等予以佐证。首先,区内绝大多数金铅矿分布于受区域性大断裂控制的某些岩体内部或内外接触带中,此其一;这些与成矿有关的岩体,其金平均含量一般高于同类岩石的数倍至数十倍,此其二;据硫铅同位素资料,其同位素组成特征多与矿石相同或相近,计算出的铅同位素模式年龄也与矿石相近等等。凡此,均从不同侧面反映出侵入岩与成矿所具有的紧密成生联系。

4. 围岩蚀变与成矿的关系

围岩蚀变对区内金矿化体具有明显的控制作用。因其均属矿化过程中含矿热液对围岩进行侧向渗滤和交代的产物,故与含金地质体(石英脉)形成时间相同或相近,在空间分布上亦与其多呈"二位一体"或并列相伴展布,并伴有不同程度的金矿化,局部地段还可构成"蚀变岩型"金矿体。蚀变围岩的金矿化一般与蚀变类型和蚀变强度密切相关,如岩浆期后热液型金矿主要与黄铁矿化、硅化、绢云母化有关,破碎蚀变岩型金矿主要与黄铁方解绢英岩有关,而在一般情况下,蚀变越强,金矿化程度越高,二者多呈同步消长关系。事实上火山沉积—热液改造型和破碎蚀变岩型金矿的主要含金地质体都是碎裂围岩被含矿热液直接交代蚀变的产物。总之,区内金铅矿的围岩蚀变是构造—岩浆作用和热液活动的必然产物,它不仅是一种主要的成矿信息和找矿标志,而且是赋矿的直接围岩与主要含金地质体之一,因此,围岩蚀变与成矿的关系相当密切。

(三)成矿模式

通过对该矿床控矿因素分析,以及成矿规律总结,金场沟金矿主要有石英脉型和破碎蚀变岩型矿床类型,成矿均具不同程度的后成他生性质,故在空间分布上常沿近东西向区域深大断裂带呈断续带状分布和在两侧成矿有利部位成群、或成片集中产出的总体布局,明显受华力西期或印支期构造、岩浆作用的严格控制(图 4 - 4 - 5)。

第五节　金庙沟金矿床

一、区域地质背景

金庙沟金矿床与其西邻的咸水井东南金矿点及其东邻的金庙井金矿床组成金矿矿带,三者间相距约 12～16km。矿带所处区域地质概况如下(图 4 - 5 - 1):

(一)构造

该矿带所处区域构造部位属塔里木板块北缘之东延部分,矿区断裂构造十分发育,较大的区域性断层有红柳井南山北缘断层,呈近东西向伸展,控制了矿带的南侧。其北侧被北西—南东向中新生代断陷盆地地层所覆盖。矿带处于北山南带的韧性剪切带中,属近东西展布的金庙沟南山—红柳泉南山次级韧性剪切带。矿体围岩变形强烈,尤其是深变质岩系更为明显地表现出岩石的糜棱岩化、拉伸线理和石英、长石矿物的旋转变形等特征。矿带较明显地反映了三个构造层:由组成基底的前长城纪变质岩系、长城纪古硐井群和铅炉子沟群及中新生代地层。古生代地层极不发育。

(二)地层

矿带南侧红柳井南山、红柳泉南山为前长城纪敦煌岩群,由一套强烈变形的黑云微斜条痕状混合岩(糜棱岩)、二云石英片岩、变粒岩(糜棱岩化)及石英岩组成的结晶基底,厚度 1351～1903m。矿带北侧主要为中晚侏罗世金庙沟组和沙枣河组,由一套砾岩、砂岩、粉砂质泥岩和泥岩组成的煤系地层,厚度 1455m,其次为早白垩世新民堡群的巨砾岩和粉砂泥岩,厚 1734m。侏罗纪和白垩纪地层构成中生代断陷盆地。矿带内地层为近东西向展布的长城纪古硐井群和铅炉子沟群(原白湖群和咸水井群,1968、1991),前者由变砂岩、二云石英片岩、千枚质板岩、千枚岩组成,厚 1195m;后者由中基性火山岩、火山碎屑岩夹绢云千枚岩等组成,厚 735m。

(三)侵入岩

区域侵入岩较发育,以基性岩至酸性岩均有,表现了明显的多旋回性。根据侵入岩与地层的接触关系、岩体之间相互穿插关系及同位素资料,大体划分为三期六次侵入活动。在矿带及其附近地区主要有加里东早期侵入的黑云斜长花岗岩(γo_3^1),分布于矿带以南地带;华力西中晚期侵入的黑云花岗闪长岩($\gamma\delta_4^3$)、黑云斜长花岗岩(γo_4^c)、中粒花岗岩(γ_4^2、γ_4^3)、石英闪长岩(δo_4^2)、闪长玢岩($\delta\mu_4^2$)、辉长岩(ν_4^3)、辉绿玢岩($\beta\mu$)等及伴随该期侵入活动的脉岩极为发育。有与成矿有关的石英脉、花岗岩脉、流纹斑岩脉,另外有含金石英网脉带。

(四)火山岩

矿带内的火山喷发岩主要由变质玄武岩、变质安山岩、安山玄武质凝灰岩、玄武质火山角砾岩等组成,沿走向上变化较大,区域上呈北西西—南东东向展布,喷发旋回明显,从基性喷发始至中性喷发终。据玄武岩的岩石化学分析,属拉斑系列,获得 Sm-Nd 等时线年龄值为 1622Ma～1623Ma,确认其喷发时间为长城纪无疑。

(五)区域矿产

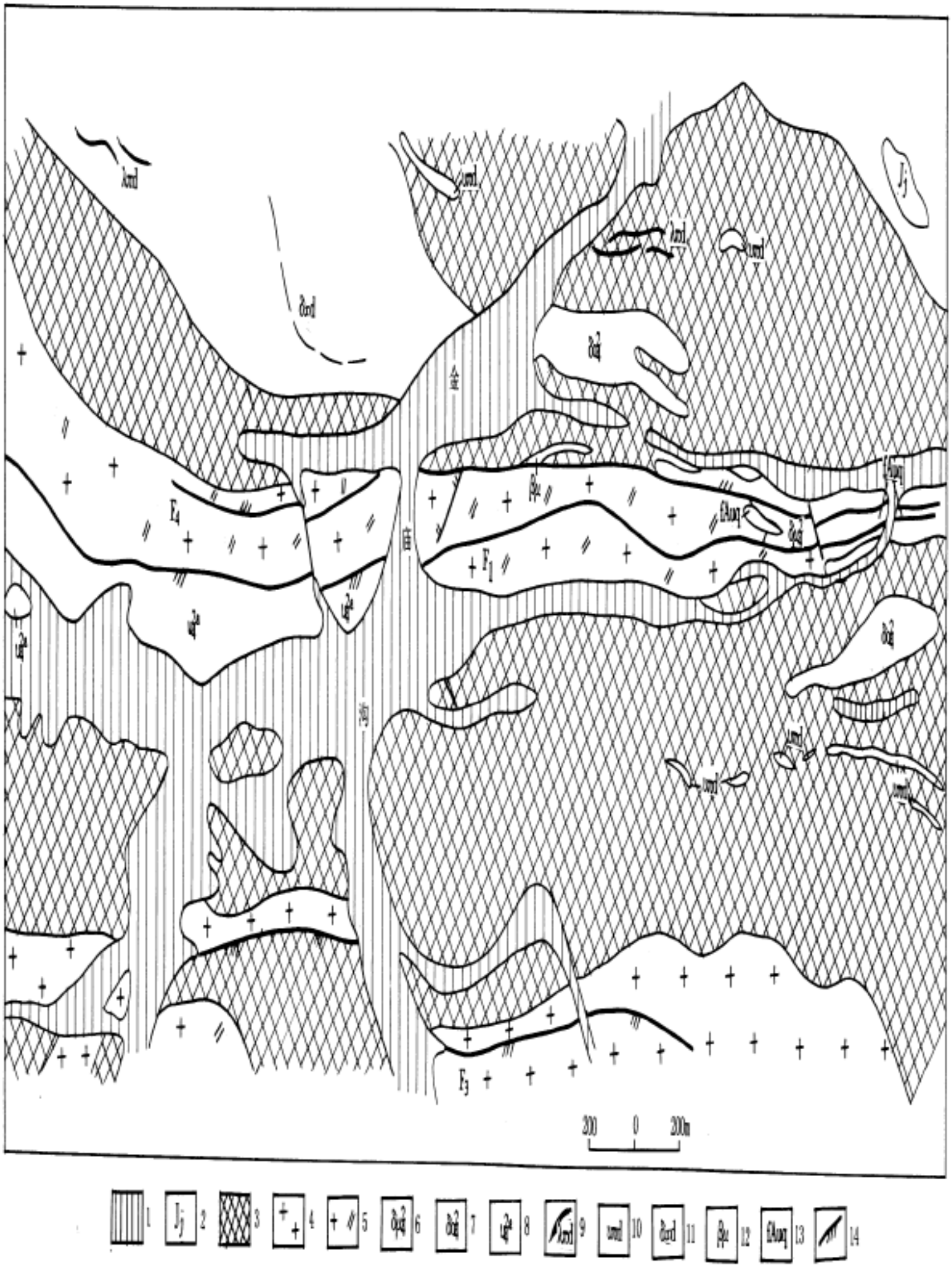


图 4 - 5 - 1　肃北县金庙沟金矿地质图

除咸水井金矿点、金庙沟金矿床和金庙井金矿床外,在邻近地区较重要的矿产有金、钛磁铁矿、煤及水晶等。

(1)金庙井金矿。矿体围岩与本文所述矿床基本相同,主要为长城纪黑色板岩、片岩,亦有斜长花岗岩,金赋存于石英脉中,围岩蚀变有绢云母化、绿泥石化和褐铁矿化,还有构造变形的糜棱岩化。矿体产于破碎带中的含金石英脉,多呈不规则细脉状出现,金呈星点状、粒状,粒径0.3mm。矿石类型为石英脉型,属热液型矿床。

(2)红柳疙瘩钛磁铁矿。矿体在前长城纪敦煌岩群变粒岩、片麻岩内侵入的辉长岩内,矿体岩石蚀变强烈,有次闪石化、钠黝帘石化、绿泥石化。矿体呈透镜状、脉状、囊状。矿石多为致密块状、浸染状类型。属晚期岩浆型。

(3)金庙沟煤矿床。矿层产于中侏罗世金庙沟组砾岩、砂岩、粉砂岩中夹煤层。煤层呈薄层状,夹于炭质页岩—粘土岩、粉砂质泥岩中。共有 14 层煤层,总厚度 7～6m。主要为褐煤,在 600m 以下深处为长焰煤和气煤。属内陆沼泽型矿床。

(4)咸水井水晶矿点。产于黑云斜长花岗与板岩接触带附近和黑云斜长花岗岩侵入于长城纪古硐井群上部的砂板岩内含晶洞石英脉。晶洞石英脉带的规模 6km×2.5km,共有 126 条脉,晶洞直径一般 25cm,位于脉体膨胀部位,晶体沿洞生长。以水体道芬双晶为主,巴西双晶次之,熔炼石英品位 2～7g/ m^3。属热液型矿。

二、矿床地质特征

矿区范围内金矿控矿的地质因素较复杂,地层层位、断裂构造方向和级别、岩浆侵入活动、变形变质作用等均有较为密切关系。与矿床成矿有关的可从围岩蚀变类型、控矿条件、矿体和矿石特征等反映出来。

(一)控矿条件

矿带内控矿地质因素很多,主要有如下诸方面。

1. 地层

与金矿有关的为长城纪铅炉子沟群下岩组变质安山岩、绢云千枚岩及凝灰岩夹薄层大理岩。岩层近东西走向,南倾,相变较大,自下而上显示粒序变化。火山活动较弱。地层属容矿层位。

2. 侵入岩

矿区内侵入岩颇为发育,据区域侵入岩划分对比,属华力西中晚期岩浆活动的产物。从岩体的穿插关系判断,矿区内由早至晚顺序大致为单辉辉石岩—石英闪长岩—斜长花岗岩—闪长玢岩,另外还有较多的含金石英脉及其他岩脉。其中单辉辉石岩和石英闪长岩分别分布于矿区的东南和西北部,前者呈岩株状产出,同时被后者侵入,而后者呈东西向展布,出露面积较大,内有较多的围岩捕掳体,因受构造应力作用,常有黝帘石化和绿泥石化现象。由于单辉辉石岩和石英闪长岩对控矿作用不明

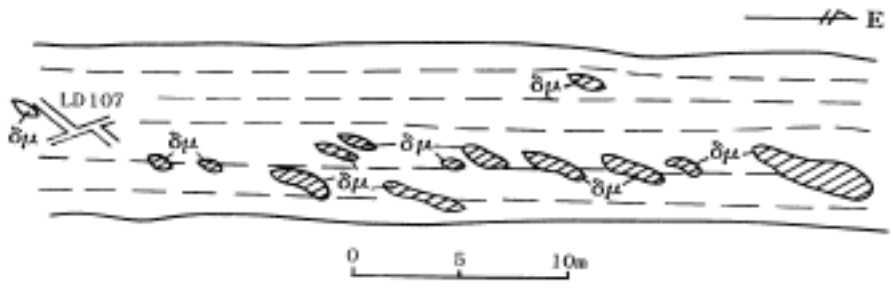


图 4-5-2　LD107-113 老硐间石英网脉内闪长玢岩体的排列方式素描图

显,故在此不作详述。至于斜长花岗岩、闪长玢岩及脉岩与金矿成矿关系密切,分别赘述于后。

斜长花岗岩(γo_4^{2b-2}):岩体横贯矿区中央,呈东西伸展的岩墙状侵入于铅炉子沟群下岩组中。向西延伸至咸水井东南带,向东延至金庙沟以东地带,地表呈西宽东窄,内有许多零星雁行状排列的闪长玢岩小岩株(图 4 - 5 - 2)。岩体内由构造作用所产生的片理化现象非常发育,是主要的容矿岩石之一。岩体的含金性略高于地壳的丰度值。

闪长玢岩($\delta\mu_4^{2b}$):分布于金庙沟金矿之东段,与石英网脉带呈左行雁行式排列(图 4 - 5 - 3)。岩体侵入于斜长花岗岩体和长城纪铅炉子沟群下岩组地层之中,岩体边部常见有片理化外壳(图 4 - 5 - 4),显示构造作用的遗迹。岩性呈灰绿色,斑状结构、块状构造,斑晶由斜长石和角闪石组成,粒径 0.5～2mm,量变 25%左右,基质为次闪石、斜长石微晶和黑云母,片理化后生成绢云母、绿泥石、绿帘石,并有碳酸盐化。

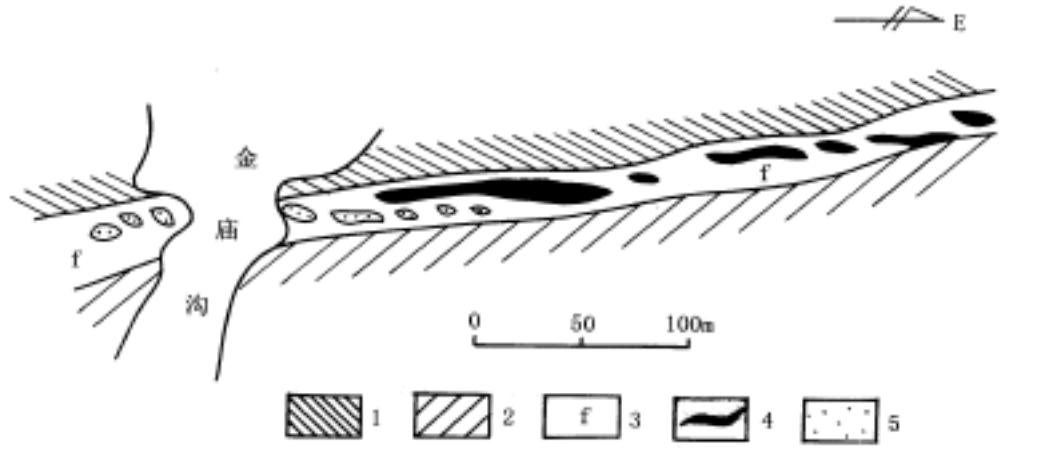


图 4 - 5 - 3　石英脉带中呈雁行状产出的斜长花岗岩和闪长玢岩小岩株

1—绢云千枚岩;2—变安山岩;3—石英网脉带;
4—斜长花岗岩;5—闪长玢岩

岩脉:主要见有华力西期辉绿岩脉($\beta\mu$)、石英脉(q)、靡细斑岩脉($\nu\pi d$)、花岗岩脉(γ)、闪斜煌斑岩脉(δxd)等。各类岩脉多呈近东西向顺片理或裂隙贯入。其中最发育的是石英脉和靡细斑岩脉。石英脉的特征概述如下。

石英脉(q):分布广泛,在地层和岩体内均有产出,以近东西走向为主,北东和北西向次之。脉岩脉体大小不一,长数十厘米至数百米不等,宽数毫米至 5.5m,其中仅部分石英脉含金。含金石英脉在矿区内有三种:一种是东西向压扭性断层中贯入的含金石英脉;二种是呈羽状张扭性断层中贯入的含金石英脉;三种是北东向张扭性断层中贯入的含金石英脉。这三种含金石英脉主要产于两条东西向主干压扭性断层所控制的构造成矿带内,总体分布范围在金庙沟金矿的东、西两个矿段和咸水井东南金矿点。西矿段多以单脉形态沿断层线分布;东矿段多以沿围岩(斜长花岗岩、变安山岩、闪长玢岩和绢云千枚岩)破碎岩块的间隙呈不规则网脉状充填产出。三种含金石英脉具体特征为:

(1)东西向压扭性断层中的含金石英脉。这种脉所处破碎带常与矿带南侧主干断层相交,宽度较大,一般为 5～12m,最宽达 20m,长度一般为 10～40m,延深常可超过长度,但脉体的厚度变小。脉体呈条带状、豆荚状或呈透镜状产出。这种脉在走向和倾向上均具分枝复合和尖灭再现、侧现等现象(图 4 - 5 - 4、4 - 5 - 5),脉壁平直、光滑,亦可见水平擦痕和擦沟。

(2)羽状张扭性断层中的含金石英脉。这类脉所在断层破碎带常呈北东东向与矿带北侧的主干断裂(F_4)相交,宽度较窄,一般在几十厘米至 2m,最宽 3m。脉呈细条状或长条状,长度几 m 至 400m(图 4 - 5 - 6)不等,厚度 10～30cm,局部在与东西向断裂交汇处呈现膨大现象,可达 60～80cm。这种脉在矿带东段变为网脉状,这种特征反映与矿带南北两侧的主干断裂 F_1 和 F_4 之间距离变窄有直接关系。

(3)北东向张扭性断层中的含金石英脉。该脉体多贯通张扭性断裂之空间,长约百米,宽 3～90m 不等,宽窄变化大,在宽大部位有时出现围岩的包体,在脉体沿走向上可见分枝出现。

总体来说,矿带内的含金石英脉与矿带南、北两侧主干断层(F_1 和 F_4)关系密切,三种含金脉均属主干断层派生的北东或近东西向次级张扭性断裂所致。

3. 构造

矿带属四十里井复向斜的北翼,总体构造线呈东西向展布,与地层走向基本一致。矿带内断裂构造十分发育。大体可分为成矿前和成矿后两种。

(1)成矿前断层。这类断层与成矿关系密切,直接控制矿体的产出与分布。以其展布方向、性质和互相关系又细分为三组。一组为东西向压扭性断层。它贯通矿带的南、北两侧(F_1、F_4),均呈舒缓波状,控制着矿带的宽度和延伸方向,属矿带的主干断裂(图 4-5-1)。这两条断裂之间的距离,自西而东,由宽变窄,在西部金庙沟以西宽距为 90～160m,而向东逐渐变为 40～20m,到矿带东端形成聚敛合并的现象,形成密集的破碎带,同时出现了石英网脉及侵入体的左行雁行式排列的斜长花岗岩及闪长玢岩小岩株(见图 4-5-3 所示)。这一组断层是主要的导矿和容矿构造。第

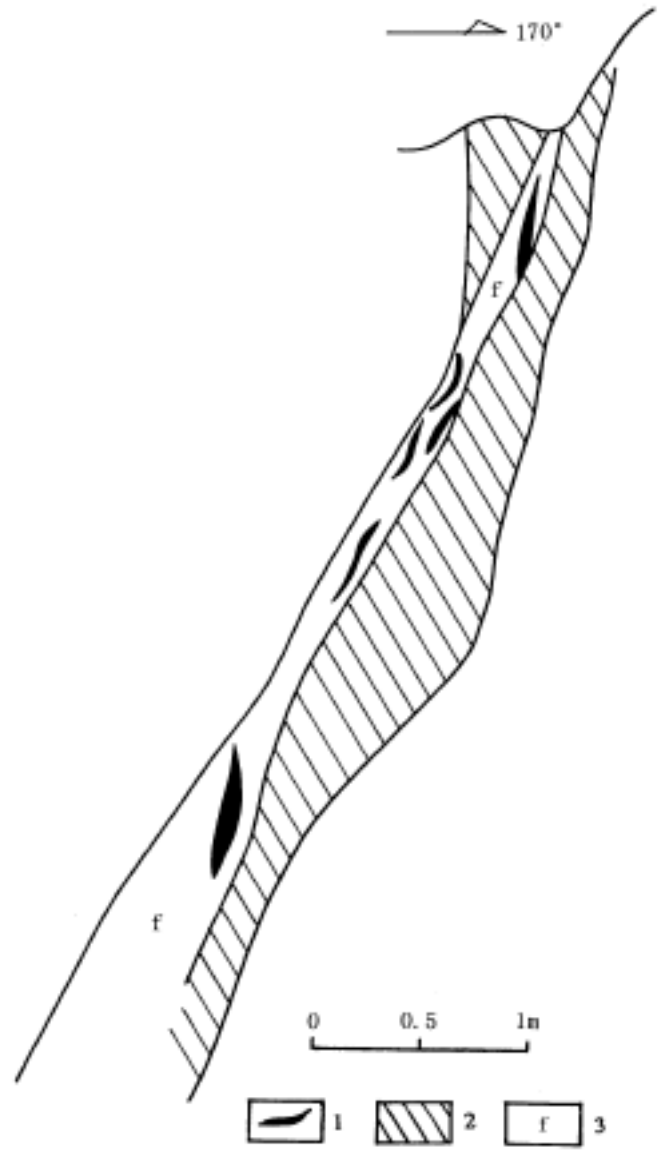


图 4-5-4　LD33 老硐东壁沿断层倾向呈尖灭再现的含金石英脉素描图

1—含金石英脉;2—斜长花岗岩;3—挤压片理化带

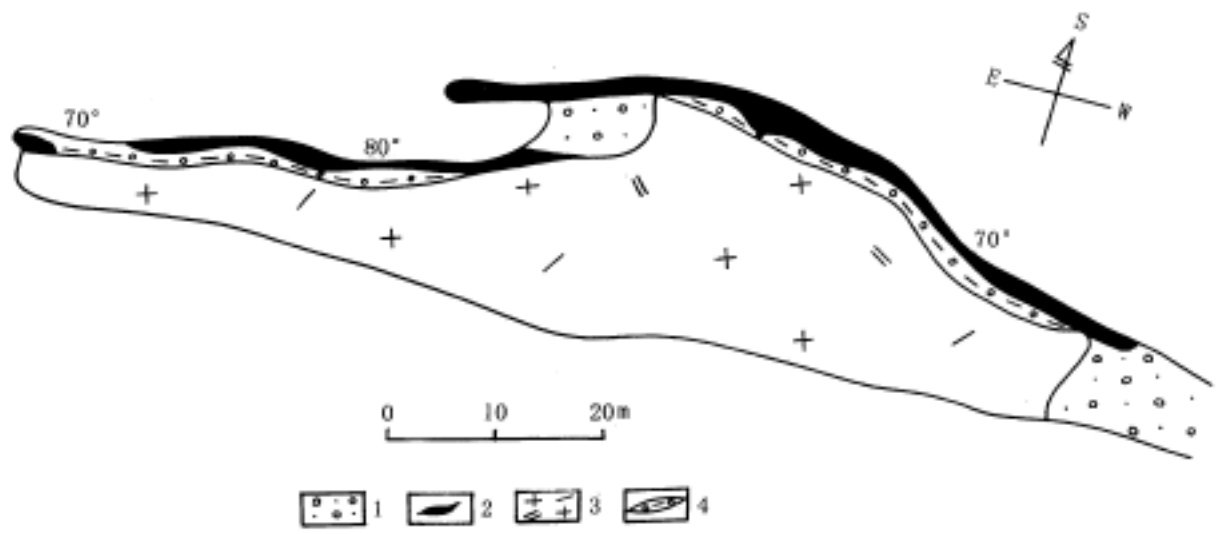


图 4-5-5　LD77 老硐底板素描图(示走向上呈尖灭侧现产出的含金石英脉)

1—第四系;2—含金石英脉;3—斜长花岗岩;4—破碎带

二组为羽状张扭性断层。这种断层多布于矿带北侧,与主干断层(F_4)成 20°～30°转向 60°～70°的较小角度相交。这组断层走向多呈北东向逐渐转向北东东向交于主干断层 F_4。第三组

以北东向张扭性为主的断层。这一组断层多呈南西向与南侧主干断层(F_1)相交。常呈折线追踪状出现,实际也是羽状断裂的一部分。

(2)成矿后断层。这类断层主要发育在矿带东部,走向310°～330°,向南西陡倾或直立。断层长度20～200m不等,断面平直,破碎带不发育,内无脉岩充填,沿断面两侧地层和岩脉呈"右行"扭动,东北盘南移,断距为0.03～1m。这类断层为成矿期后断层所致,故对矿体起着破坏作用。

综合分析构造应力场,组成矿带的构造格架,为以后含金石英脉的贯入和金矿体的生成创造了必要的空间条件。

4. 围岩蚀变

矿带范围内含金石英脉壁附近蚀变较强,其中热液蚀变的有硅化、碳酸盐化、黄铁矿化及其共生的矿物毒砂、磁黄铁矿、方铅矿、电气石等。构造作用产生的蚀变有岩石碎粒岩化、糜棱岩化及次生的绿泥石化、高岭石化、绿帘石化及褐铁矿化等。

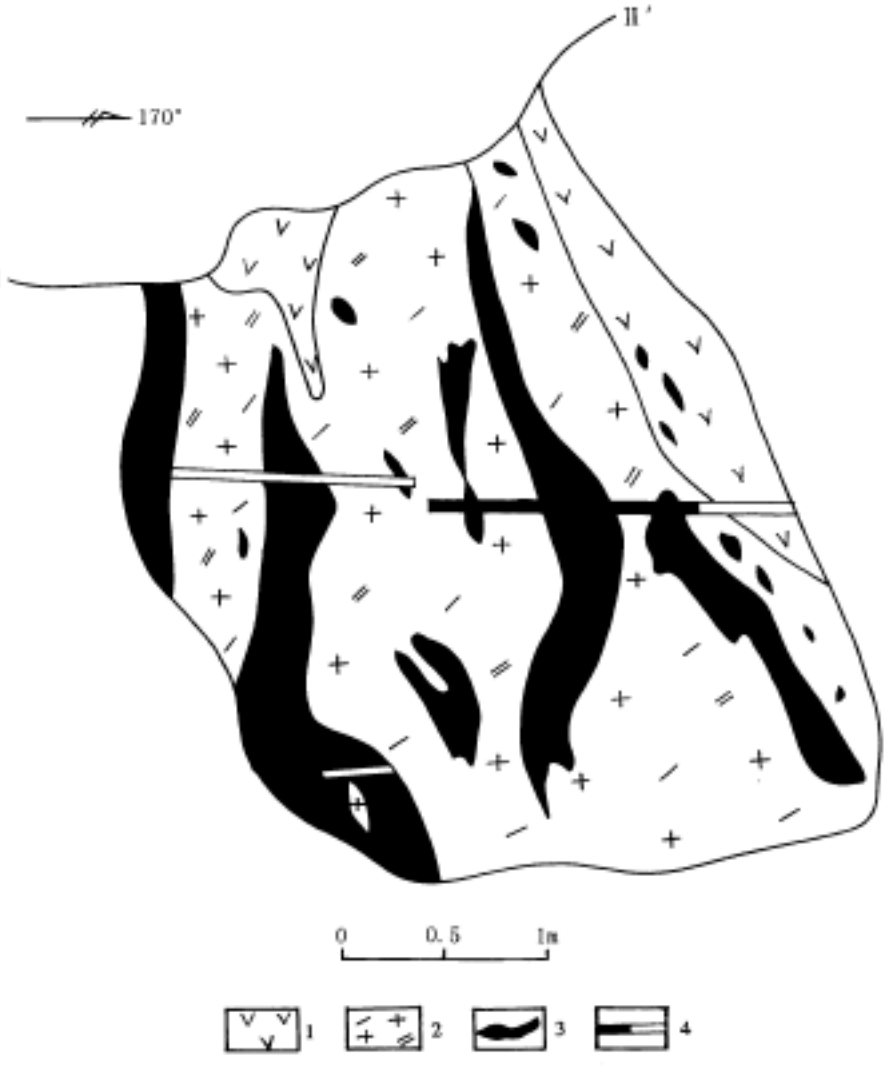


图4-5-6　LD116老硐硐壁素描图

1—变安山岩;2—斜长花岗岩;3—含金石英脉;4—样品位置

(二)矿体特征及工业类型

金庙沟金矿的矿体主要与含金石英脉关系密切。因此,根据含金石英脉的产出特征及工业类型划分为石英单脉型和破碎带石英网脉型两类。

1. 石英单脉型金矿体特征

这种类型的矿体分布范围较大,但数量少,仅圈出4个矿体,占全区总储量的6.3%。矿体受北东向张扭性断裂控制,产于片理化斜长花岗岩中,与围岩界线明显。

2. 破碎带石英网脉型金矿体特征

这一类型矿体分布范围东西长1000m,南北宽30～60m。矿体成长条状、脉状,以断续或相互平行状态产出。矿体较集中,共有8个矿体。单矿体一般长70～210m,厚0.94～3.13m,最长的达485m。总体看,矿体走向近东西,倾角总趋势是自西而东逐渐变缓,由84°渐变为70°。品位以低品位为主,并向边部逐渐变贫。矿体的顶、底板为石英网脉穿插的碎裂斜长花岗岩、片理化闪长玢岩和破碎蚀变安山岩、绢云千枚岩等,矿体与围岩界线不明显,呈渐变关系。

除上述的两种石英脉型矿体外,在金庙沟矿床以西的咸水井东南矿点,虽然成矿地质条件相似,但是该点除石英脉型金矿体外,还有在斜长花岗岩体内的破碎带呈片理化现象的地段,亦可有金矿体存在,但品位低。

(三)矿石特征

矿石成分除自然金外,还有黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、钛铁矿、黄铜矿、软锰矿等。脉石矿物有石英、斜长石、方解石、绢云母、电气石。其中自然金表现为浓黄色或亮黄色,外形不规则片状、粒状或细脉状,有时显示微粒金聚合呈云雾状,肉眼可见粒度为0.08～0.2mm,最大粒度为2.2mm;毒砂呈锡白色,碎粒状,粒径0.1～1mm,偶见5mm柱状或板状完好晶体,并见有包裹黄铁矿或方铅矿现象;黄铜矿仅见于石英网脉型矿体中,被黄铁矿所包裹;方铅矿呈单晶或聚晶体,个别被黄铁矿所包裹。

矿石的化学成分有Si、K、Na、Mg、Al、Ca、Fe、Ti、Pb、Mo、Mn、C、S、Cu、Zr、Sr、Ba、Au、Ni、Y、Bi、Co、Ge、Ag、V、Zn、Sn、W、Cr、As、P、Li、Nb等30多种元素。其中造岩元素Si、K、Na、Mg、Al、Ca、Fe含量大于1%,Ti、S、C、Mn含量为1%～0.1%,其他均小于0.04%。金含量最低1.1×10^{-6},最高为66.4×10^{-6},一般在1.6×10^{-6}。

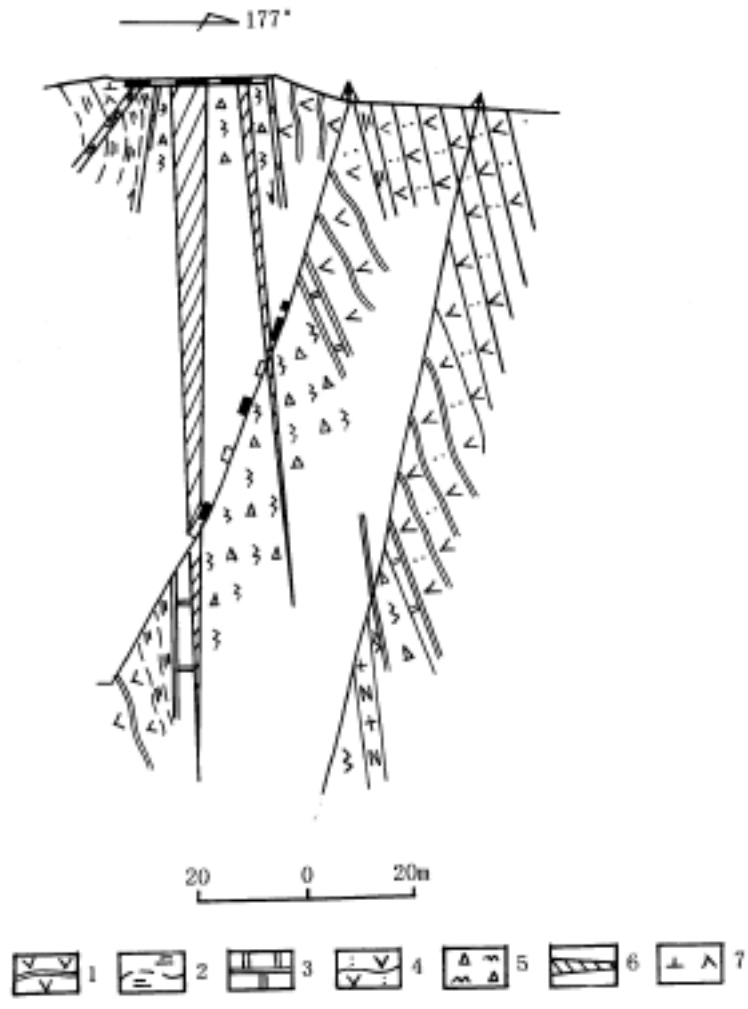


图4-5-7　金庙沟金矿55勘探线剖面图

1—变安山岩;2—绢云千枚岩;3—大理岩;4—变质安山质晶凝灰岩;5—构造碎裂岩;6—矿体;7—闪长玢岩

矿物的共生组合,石英单脉型金矿石的矿物组合中,石英含量95%以上,少量绢云母和微量黄铁矿、方铅矿、毒砂以及分布极不均一的自然金,硫化物总含量约1%左右。石英网脉型金矿石的矿物组合是石英占25%～60%,斜长石占10%～45%,方解石占10%～30%,绢云母占10%～25%,电气石占2%～12%,黄铁矿占1%～3%,还有毒砂、磁黄铁矿、黄铜矿和自然金等。其中硫化物多呈星散浸染状,并常见有矿物交代关系。

矿石的结构以碎裂结构和碎斑糜棱结构为主,在金属硫化物之间有交代残余结构、脉状充填结构和包裹结构等。矿石的构造主要为块状、条带状和网状构造,其次为不明显的平行定向构造。

(四)蚀变类型及其分布

含矿围岩的蚀变类型与热液活动有关的有硅化,其次为轻微的碳酸盐化、黄铁矿化和绢云母化。在断层带广泛发育碎粒岩化、糜棱岩化及次生的绿泥石化、高岭石化、绿帘石化和褐铁矿化。各类蚀变类型中,石英单脉型矿体蚀变较弱,以硅化为主,而石英网脉型矿体蚀变强,以碎粒岩化、糜棱岩化为主。少数矿体在斜长花岗岩中,显示了片理化作用强。

三、矿床地球化学

由于本矿床仅作普查工作,有关矿床地球化学方面只是对矿石和容矿岩石的化学成分作

了分析,其结果发现除造岩元素 Si、K、Na、Mg、Al、Ca、Fe 的含量大于 1%,Ti、S、C、Mn 的含量 1%～0.1%外,其余元素均小于 0.04%。岩石中金的含量见表 4-5-1 的基岩光谱分析,对破碎蚀变的斜长花岗和石英脉取基岩光谱样作痕金分析,结果表明:在含矿围岩和石英脉中含金元素,在热液活动和构造作用条件下,金元素富集于有利地段而成矿体。区域岩石含金量最高为 5×10^{-9},平均为 1×10^{-9}～2×10^{-9},矿化岩石中可达 27×10^{-9}～710×10^{-9},有富集特征。金异常的分布受近东西方向断裂带及两侧羽状断裂控制,尤其在断裂带的转折、复合部位异常规模大、强度高。金矿存在于金的伴生元素 Ag、As、Pb、Zn、W、Hg 异常带中的分支或膨大部位。

表 4-5-1　12 线破碎蚀变斜长花岗岩带中痕金分析

样号	样位置	样岩石名	含量 $Au\times10^{-9}$	备　注
16GP14	26 点南 11m	蚀变斜长花岗岩	9	
16GP15	26 点南 16m	蚀变斜长花岗岩	7	
16GP16	26 点南 21m	蚀变斜长花岗岩	26	
16GP17	26 点南 26m	蚀变斜长花岗岩	79	
16GP18	26 点南 31m	石英脉	79	
16GP19	27 点	蚀变斜长花岗岩	>100	
16GP20		蚀变斜长花岗岩	19	
16GP21		蚀变斜长花岗岩	7	

四、成矿时代与矿床成因

(一)成矿时代及期次

金矿床属热液石英脉型。因此,成矿时代的确定依据主要依区域侵入岩时代互相穿插关系和断裂活动的先后顺序关系来确定的。在矿区从钻孔所见含金石英脉侵入霏细斑岩脉中看出,成矿应略晚于含金石英脉的形成,成矿时代应为华力西晚期或更晚时期。

(二)控矿因素分析

金庙沟金矿的控矿是多种因素所致。归结有以下几种:

(1)断裂构造对金矿分布的控制。矿区南、北两侧东西向主干断层控制整个金矿床的展布,由主干断层所产生的次级北东-北东东向压扭性或张扭性断裂,致使含金石英脉或含金石英网脉的产生(图 4-5-7)。断层所产生的破碎带的宽度直接关系到矿体的规模。因此,断裂构造是金庙沟金矿床的主要控矿因素。

(2)岩性对金矿体形成的控制。含金石英脉是金庙沟矿区控矿和找矿的直接标志,但脉体规模小,分布零散,且不规则。片理化斜长花岗岩、变质安山岩和绢云千枚岩都有金矿体存在,因而,岩性(地层)对金矿有一定的控制作用。

(三)成矿模式

据金庙沟、金庙井及邻近金矿床(点)的地质研究表明,基本具以下普遍性成矿规律。

(1)与近东西向主干断裂有关的次级北东向-北东东向断裂为矿床形成提供空间展布条

件。

(2)区域岩浆活动频繁,其中主要与华力西中晚期中、酸性岩浆的多期性侵入活动而产生Au、Cu、Mo、Ag、As等多金属元素地球化学异常关系紧密。Au异常在空间上分布有明显的规律性,常与斜长花岗岩关系密切,但必须具备近东西向构造破碎带或其次级羽状断裂或北东向断裂的产生,才能产生金的富集地段,这种富集由热液活动来完成。

(3)长城纪铅炉子沟群变质安山岩和绢云母千枚岩的存在,提供金矿容矿地层。

(4)金矿成矿还受元素地球化学特征和富集规律的影响有关。

(5)围岩的蚀变类型属硅化、绢云母化、黄铁矿化及碳酸盐化等,致使产生石英脉及其他蚀变岩,导致成矿体系组分改变,在富集地段即可成矿。

第二篇

勘 查 开 发 篇

第一章　金矿地球化学勘查及其应用效果

金是地壳中含量极微的元素,它在地壳中的丰度(克拉克值)仅 4×10^{-9} (黎彤,1976)。而且实际可能更低,如中国东部为 0.9×10^{-9} (鄢明才等,1997),中国水系沉积物为 1.307×10^{-9} (任天祥等,1996)等。既使是比正常含量富集了数千倍的金矿石,每吨矿石含金也只有几克,而且,除石英脉型金矿中少数可以见到明金矿外,绝大部分金矿用肉眼很难识别,所以,金矿是勘查难度较大的矿种之一。在此背景下,金矿地球化学勘查方法技术应运而发展,并取得了骄人的成果。

地球化学勘查(简称化探)作为一种找矿手段和勘查地球化学作为一种应用性边缘学科在我国已有 40 多年历史,但金的地球化学勘查起步较晚,主要原因是金在化探样品中的含量一般很低,用常规的分析手段难以检出。20 世纪 80 年代以前,国内只有个别利用伴生指示元素(As、Pb 等)评价石英脉型金矿的例子[1]。进入 20 世纪 80 年代以来,原地质矿产部在全国实施区域化探扫面,同时,痕量金分析技术取得突破,才使金的地球化学勘查真正起步,并得以飞速地发展。甘肃省的金矿化探走过了与全国相同的发展道路。自开展区域化探工作以来成果丰硕,是全国受益最大的省(区)之一。

一、勘查地球化学新思路和新技术的产生

勘查地球化学在我国始于 20 世纪 50 年代,直到 20 世纪 70 年代,化探方法主要用于点(矿区)上的勘查和小面积的普查。生产中多与物探方法配合,在地质找矿中的地位和作用不突出,被通称做“物(化)探”,可见只是一种附属的次要方法。

20 世纪 70 年代末,我国以谢学锦院士为代表的专家学者,对地球化学填图理论与方法,包括理论基础、工作布署、采样、样品加工及保存、样品测试及其质量保证、数据处理、成果图示等方面进行的系列研究,形成了成套的理论和方法技术。在此基础上,提出了“区域化探”(又称区域地球化学填图)的新概念,促进了地球化学勘查指导思想和方法技术的一次革新[2]。它的“新”主要体现在两方面,一是由点的局限到面的展开,将理论研究与大规模填图和资源调查相结合,从而促成了原地质部于 1979 年决定在全国开展区域化探扫面,作为基础地质调查计划任务下达各省地质局(地矿局)执行;二是在样品分析方面也实现了革命,在有关专家指导下,经甘肃、陕西、湖北、辽宁、江苏五个省地质局试验室联合攻关,制定了几套基本立足于省局现有分析仪器的区域化探样品测试及其质量监控方案:分析元素达到 39 个;各元素分析检出限都达到该元素的克拉克值或更低,从而使分析报出率基本达到 100%;分析精密度和准确度大大提高,由原来的半定量提高到定量水平[2][3][4]。原河南省地质局中心实验室光谱分析室于 20 世纪 80 年代初研制成功痕量金和超痕量金化学光谱测定法[1],使金的分析检出限和精密度等指标基本达到区域化探的要求,从而使金成为区域化探常规分析的 39 个元素之一,可以说这是区域化探取得实效贡献最大的一项科学技术进步。

新思路即区域化探扫面的实施和新方法技术的应用使勘查地球化学提高到一个崭新的水平。表现在提供的信息大大丰富,资料可信度进一步提高,异常和背景更加清晰、完善。特别

是较准确地反映了微量和痕量元素的比较完整的地球化学场,为我们寻找半隐伏或难识别有色金属,特别是金等贵重金属矿提供了前所未有的机遇。十几年来,在我国通过查证化探异常(其中主要是区域化探异常),已发现各类矿产地超过 1000 处,矿床超过 600 个[5],其中金(银)矿产地占 75%以上。而在区域化探全面开展以前(20 世纪 80 年代初以前)的近 30 年,化探发现的矿产地仅 87 处[1](其中只有个别是金矿)。区域化探异常查证已被公认为普查找金的主要手段,由于区域化探的成功,使我国的勘查地球化学迅猛发展,已处于世界领先地位。

二、甘肃的金矿地球化学勘查成果喜人

甘肃省的区域化探基本与全国同步,开始于 1979 年,现已完成全省面积 80%以上,计划在 2000 年以前完成全省(暂不包括陇东中、新生界厚覆盖区)约 39 万 km^2 的 1∶200 000区域化探扫面工作,累计投入的资金约 4000 万元。

与全国一样,甘肃省的区域化探工作也取得了可喜的并令国内瞩目的成绩[5][6]。据不完全统计,近 20 年来共发现综合元素异常约 1800 处(仅省地矿局系统,下同),其中约 1/2 有金异常反映。已查证异常(包括三级、二级和一级查证)约 800 处。至 1997 年底,通过化探异常查证共发现各类矿产地 107 处(内有金(银)矿 95 处,占 88%)。其中,大型矿床 4 处(均为金),中型矿床 16 处(金 12 处),小型矿床 32 处(金 30 处),矿点 55 处(金 48 处)。其中较典型的有:大水金矿田(远景超大型)、拉尔玛金矿(大型)、鹿儿坝金矿(大型)、黑刺沟金矿(远景大型)、南金山金矿(中型)、马庄山金矿(中型以上)、小西弓金矿(中型)、石鸡坝金矿(中型以上)、刀扎河坝金矿和枣子沟金矿(有望达中型)、西安河金矿(中型以上)等。上述新发现,仅金矿的潜在经济价值就达数百亿元之巨,大约是区域化探扫面、异常查证及其后续地质工作费用的 2 百倍以上,效益可观。此外,甘肃省内各工业部门的地勘队伍近十几年来也用化探方法找到了一批金矿产地,如李坝(大型)、金山(中型)、新金厂(中型)等等。总之,化探普查找金的丰硕成果为甘肃省"八五"以来金矿勘查、开发和黄金生产取得突破奠定了坚实的基础,作出了不可磨灭的贡献。

三、甘肃省金的区域地球化学特征简介

(一)金的丰度及区域分布特征

由于区域化探扫面以水系沉积物测量为主,所以研究甘肃省 Au 元素的丰度与分布特征只能以水系沉积物中的含量值为基础。与全国水系沉积物中 Au 的平均值(1.307×10^{-9})比较,甘肃省是我国 Au 平均值较高的地区,其水系沉积物中 Au 平均值达 2.041×10^{-9},比值达 1.56(甘肃省水系沉积物 Au 平均值/全国水系沉积物 Au 平均值),标准离差达 5.09×10^{-9}。可见,甘肃省金元素具有丰度高、离差大的特点。这就从地球化学统计参数特征方面,显示了甘肃省具有较好的金矿成矿地质条件。

从试编的甘肃省 Au 地球化学图可见,省内 Au 的高背景区及异常集中区分布在西秦岭的南带和北带、北祁连东段及西段的局部地段、南祁连、北山地区的局部地段等。已经发现的大中型金矿大部分都在上述地区(段)内,但也有"反常"的情况,如大水金矿就处在 Au 的较低背景地区,Au 的平均值仅 1.6×10^{-9},低于全省平均值,但其离差较大,达 14.2×10^{-9},所以,较高的背景和较大的离差都是金矿成矿有利的地球化学条件,而且后者比前者可能更加重要。

(二)金成矿及找矿的元素组合特征

化探找金,其直接指示元素当然是 Au,而其他伴生元素的指示作用也很重要。根据甘肃省近 20 年化探找金实践总结,除 Au 外,最重要的伴生指示元素是 As,其次是 Sb、Hg、Ag,再其次是 Pb、Cd、Bi、W、Mo、Cu、Zn 等等。由于金矿成矿温度及矿床类型不同,造成异常元素组合的差异。低温热液(热泉)型金矿(如大水金矿)或有一定埋深的隐伏矿,其异常元素组合以 Au、As、Hg 为主;中温热液型(如南金山火山热液型金矿),其异常元素组合主要为 Au、Ag、As、Sb、Hg 等;富含多金属硫化物的金矿(如北秦岭的石英脉型金矿),其异常元素组合更多,除 Au、Ag、Sb、As 外,还出现较强的 Pb、Cu、Zn、Bi、Cd 等贱金属元素异常。可见,研究异常的元素组合特征,不仅有利于异常的筛选、评价和查证,而且可以推测金矿的成矿类型,判断矿床的剥蚀深度等。通过多年的金矿开发还发现,成矿温度越低的金矿,也越容易从矿石中提选出黄金。如某些低品位金矿,当其成矿温度较低,其他金属元素含量低时,就成为可开发利用的金矿,而它们的异常元素组合一般比较简单,以 Au、As、Hg、Sb 等低温元素为主。

四、甘肃省金矿地球化学勘查主要案例

(一)化探找金开先河—南金山等金矿的发现

南金山金矿是用勘查地球化学方法在甘肃省找到的第一个金矿床,也是甘肃省第一个规模达中型以上的独立岩金矿床。

1980 年,甘肃省地质矿产局物探队在甘肃北山北带开展 1:50 000 化探(水系沉积物测量)普查。初期的任务是寻找以钨为主的有色金属,分析元素有 W、Mo、Bi、Cu、Pb、Zn、Ag、As、Sb、Hg 等等。工作中,在 1∶50 000“破城山”幅的西北部发现圈定了 As、Hg、Sb、Ag 为主的多元素组合异常(后来补作了 Au,异常也很好;图 1 - 4 - 1),Cu、Pb、Zn、W、Mo 等亦有异常,但较弱。异常编号 AS - 6,面积约 15km^2。当年踏勘检查,在异常源区见到两条石英脉:一条宽数米,含大量镜铁矿;另一条平行于它的北侧,出露宽达数十米,但未见到矿化。异常范围内无任何前人有关金矿的资料,也未见古人采砂金的遗迹。1981 年～1982 年,该队在异常范围内,先后作了 1∶25 000 和 1∶5 000 岩石测量,并配合磁法、电法等物探工作。结果,普查时的各异常元素均再现,原生晕异常强度高,比 1∶50 000 增加 1 个～2 个数量级,异常面积达 1.5km^2 以上,且连续性好。异常主要与北侧的宽大石英脉有关,但是,其露头上很难见到金属矿物矿化现象,根据元素组合特征等地球化学知识分析,认为该异常可能由金、银矿引起。据此,布置了一条地质、化探、物探综合剖面,并使用刚学习引进的化学光谱法测金技术进行金分析。随后,又在剖面异常范围内用连续拣块法采化学样 17 个,送甘肃省地质局地质四队分析。结果,金品位一般 0.1×10^{-6}～0.5×10^{-6},其中 3 个样分别达 3.9×10^{-6}、11.7×10^{-6}、25.7×10^{-6},与物探队化学光谱分析的 3 个高点完全吻合;银一般为 4×10^{-6}～20×10^{-6},最高为 160×10^{-6}。同时,在周围小水系采集了 20 个自然重砂样,经鉴定竟有 13 个样见到自然金,可见异常为金(银)矿引起已基本明朗。但由于传统经验的限制,认为如此巨大的石英脉不大可能含金,所以该异常开始并没有引起足够的重视,其工程验证没能列入 1983 年的地质项目计划。恰在这时(1983 年 4 月),谢学锦院士和邵跃教授来兰州讲学,有幸给他们汇报该异常资料,两位专家一致认为异常应为金、银矿引起,且矿床规模不会小。在专家意见的鼓舞下,甘肃省地矿局马万里局长于 1983 年 5 月亲临野外现场,调动一个地质分队进入该异常进行验证,并亲自命名“南金山”金矿。此后,经过 4 年地质普查和详查,探明为一处中型岩金矿床。

仅时隔 1 年,同样以化探为先导,继工程验证和地质评价等手段,在其西延方向 15km 处,

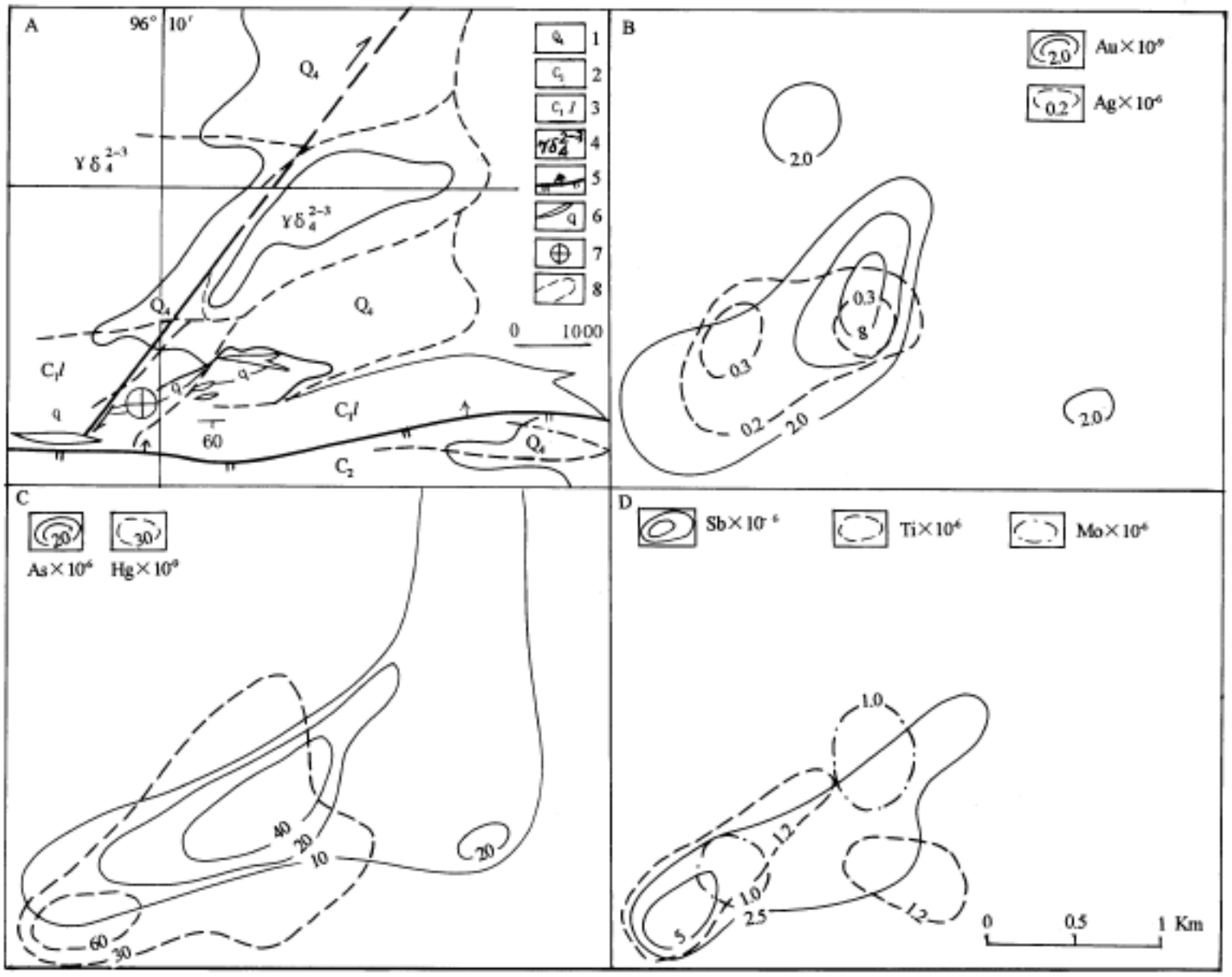


图 1 - 4 - 1　甘肃省肃北县南金山金矿区 1∶5 万水系沉积物测量地球化学异常图

A—地质略图:1—第四系全新统;2—中石炭统碎屑岩;3—下石炭统白山组火山碎屑岩;4—华力西中晚期花岗闪长岩;5—断裂;6—次生石英岩脉;7—金矿床;8—间歇水系;B、C、D—元素异常图

又找到并探明一处中型岩金矿床—马庄山金矿床(据近几年武警黄金部队后续勘探,储量已达大型)。两矿床的金(银)矿体均赋存于次生石英岩(即原认为的“大石英脉”)中,含矿地层为下石炭统白山组火山岩(凝灰岩、流纹岩等),矿床类型为火山岩型。陈鑫等地质专家考察后充分肯定了该两矿床发现和勘查的重要意义,认为,这种产于古生代的火山岩型金矿在国内外尚属罕见。

(二)区域化探异常引路找到大水等一批金矿床

20 世纪 80 年代中期以来,甘肃省区域化探扫面的成果资料陆续产出,金矿地球化学勘查逐步转入以区域化探异常查证为主的轨道,从而迎来了化探找金最辉煌的时期。十几年来,通过区域化探异常查证,发现了一大批金矿产地,特别是众多大中型金矿床的发现和勘查,直接导致了甘肃省 20 世纪 90 年代金矿地质找矿和黄金开发的重大突破。下面仅以几个较重要矿床经地球化学勘查而发现的典型案例,回顾一下这一时期的概貌。

1. 大水金矿田的发现和勘查

甘肃省甘南藏族自治州西倾山一带地质构造独特。石炭系、二叠系、三叠系等浅变质的碎

屑岩、碳酸盐岩构成一个向西倾伏的复式背斜,其南翼见有印支期中酸性岩株侵入,断裂构造发育。总体构成向南突出的弧形,形成一个东西长约 50km,南北宽约 20km 的特殊地质单元。区域化探扫面前,除发现两个贫赤铁矿化点外,本区基本还属矿产空白区。

“碌曲”幅 1∶200 000 区域化探于 1985 年由甘肃省地矿局区调队完成,在西倾山一带圈出 Au、As、Ag、Sb、Hg 等低温元素组合的综合异常区,但异常强度不高,连续性也不甚好,Au 的最高异常在忠曲一带,其峰值也只有 7.4×10^{-9}。异常位于印支期中性小岩株的南面,地球物理 ΔT 正磁异常和 ΔG 重力低反映了岩体的位置及大致形态,遥感解译有线、环交切的有利构造环境(图 1 - 4 - 2)。综合地、物、化资料,认为该异常区成矿远景好。

“七五”期间,甘肃省地矿局加强金矿地质工作,甘肃省地矿局第三地质队经过分析研究认为,西倾山地区具有形成微细粒型(卡林型)金矿的地质背景。当时,第三地质队刚好拿到省地矿局送去的‘碌曲’幅的区域化探成果资料,于是先对忠曲 Au 异常进行查证。按工作程序,完成了 1∶50 000 水系到 1∶10 000 土壤的异常进一步定位和浓缩,接着对土壤 Au 异常进行槽探验证。但槽子挖开,肉眼见不到任何矿化现象,采化学样无从着手,等到大队下到分队验收时,才指示全槽采样。分析结果却出人意料,含矿岩石竟是不起眼的发红(赤铁矿化)的白云质灰岩,金品位高达 5×10^{-6}～8×10^{-6}。异常查证结果可喜,不仅找到了金矿,而且发现了一种新类型的金矿,即开放、氧化环境下的岩浆期后热液金矿床。忠曲金矿的发现和勘查导致后来大水等金矿的发现,起到了引发西倾山地区金矿勘查重大突破的作用。

忠曲金矿的发现使甘肃省地质矿产局第三地质队取得了在该地区找金的经验,从而信心大增。1991 年,他们对忠曲东南约 6km 处大水军牧场北面的低弱 Au 异常进行踏勘检查,该异常 1∶200 000 峰值仅 3×10^{-9},也正好在一个比忠曲小一些的中酸性小岩株的南侧(图 1 - 4 - 2)。工作中,很快就见到与忠曲的金矿石相似的大量转石,随即在转石分布较密集地段采集拣块样数十个,分析结果大部分样品金含量 8×10^{-6}～10×10^{-6} 或更高。次年,再作 1∶10 000 土壤和地质草测,随后对异常进行槽探、硐探、钻探验证和地质评价。经几年地质工作,已控制矿床达到大型规模。同时,地质三队积极与地方合作进行开发,经过短短 3 年发展,该地区已成为甘肃省最大的黄金矿山,并成为甘南少数民族地区经济和地质三队地勘经济的支柱。

在金矿勘查过程中,第三地质队十分重视异常查证中的基础性化探工作,完成了西倾山地区的 1∶50 000 水系沉积物测量约 $800km^2$,以及重点异常地段的 1∶10 000 土壤测量数十平方公里,取得很好的地质效果。已勘查的大水、忠曲及其他几个金矿(点)均分别位于 1∶50 000 异常内,并都是通过 1∶10 000 异常验证发现的。甘肃物探队在大水异常区开展高精度磁测和电法等试验工作,物探方法在圈定隐伏的矿化花岗岩岩枝和追索含矿断裂破碎带等方面,具有较好的效果。近几年,异常查证继续年年都有新发现,显示该地区(矿田)金矿远景可能达到超大型以上。

2. 拉尔玛金矿的发现和勘查

白龙江复背斜纵贯西秦岭南部,其核部出露寒武—志留系黑色炭硅质泥岩,两翼,特别是北翼有泥盆系、石炭系和二叠系碎屑岩、碳酸盐岩呈窄条状出露。拉尔玛金矿位于复背斜西端,产出于炭硅质泥岩中。沿背斜核部炭硅质泥岩层位是 20 几种金属元素的强异常带或高背景带。Au、As、Sb、(Hg)等元素在带上局部富集,形成数段异常集中区,拉尔玛一带就是最西端的一处包括 Mo、Zn、Cu、Ni、Ag、Hg、As、Sb 、Au……的多元素异常区,呈近东西向横跨甘、川省界,编号为‘碌曲’幅 HS - 9 异常。前 6 种元素异常较强,连续性较好,主要反映了黑色岩系

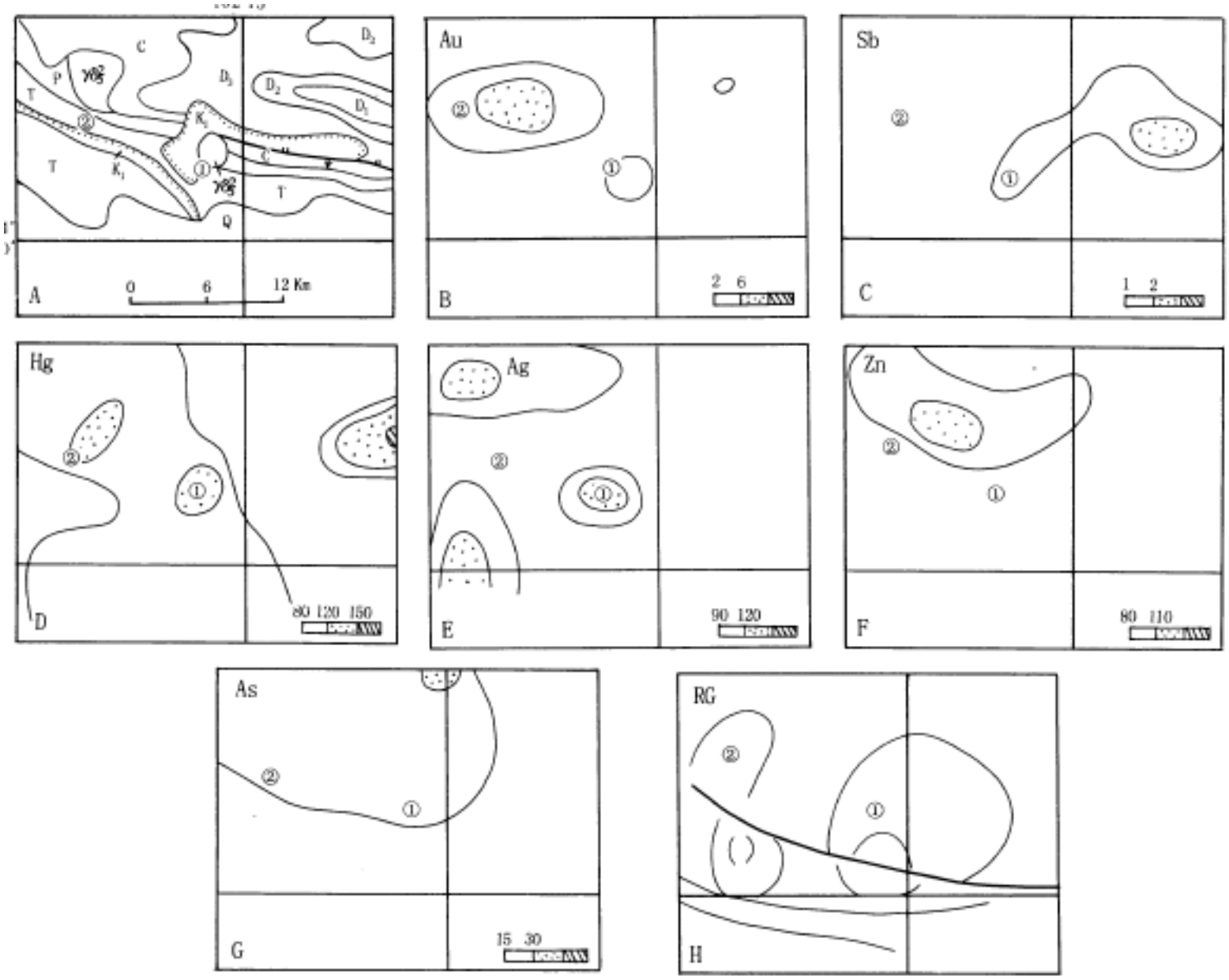


图 1 - 4 - 2　甘肃省玛曲县大水金矿区综合信息剖析图(1∶50 万)

A—地质略图;B—G—Au 等单元素异常图;H—遥感解译图;I—区域重力布格剩余异常图;J—地面磁测 ΔT 异常图;①—大水金矿床;②—忠曲金矿床

的富集。Au、Sb、As、Hg 等异常较弱,呈不太连续的局部富集,如 Au,有 4 个局部异常,峰值仅 3.2×10^{-9} - 5.4×10^{-9},最西端一个异常有部分在甘肃省内,其余 3 个都基本在四川省境内。

1979 年～1984 年,甘肃省地矿局区调队完成“碌曲”幅 1∶200 000 区域化探扫面,发现圈定上述 HS - 9 异常。1985 年,甘肃省地矿局第三地质队在异常区内开展 1∶50 000 水系加密测量和矿点检查。在对位于最西端局部异常内的锑矿点进行踏勘检查时,经采样分析,含金 3.1×10^{-6}～6.5×10^{-6};汞 0.029%～0.08%;锑 0.22%～0.58%。1986 年,作 1∶10 000 土壤测量 11km^2,圈定 5 个 Au 异常,其中 3 号异常走向近东西,长 2110m,宽 500～1000m,面积

1.89km^2，异常下限 5×10^{-9}，异常内带大于 135×10^{-9}，峰值 800×10^{-9}，平均强度 106×10^{-9}。Hg、Sb、As、Ag、Mo、W、Ba 等元素异常与 Au 基本吻合。经工程验证及地质普、详查，控制拉尔玛金矿体群范围基本在 Au - 3 号异常的内带和中带范围内，长大于 2km，宽 150～350m(图 1 - 4 - 3)。矿床特点为规模大，但品位较贫，全矿表内储量 6.4t，平均品位 5.65×10^{-6}；表外储量 17t，平均品位 1.51×10^{-6}，若按边界 0.5×10^{-6} 圈矿，储量可达 50t。另外，还求得汞储量 1079 吨，其他有益组分还有锑、银、铀和铂族，有害组分主要有砷和碳。其余 4 个 Au 异常规模较小，强度也较低，有的已证实为金矿化体引起，有的因覆盖较厚，尚待验证。矿床类型属层控—后期热液(热卤水)再造炭硅灰泥岩型金矿床。另外，外围异常查证也取得成果，在甘肃境内又发现青稞岩金矿(小型)，在四川省境内的 3 个 1∶200 000 局部异常经四川省地矿局工作也都找到了金矿。

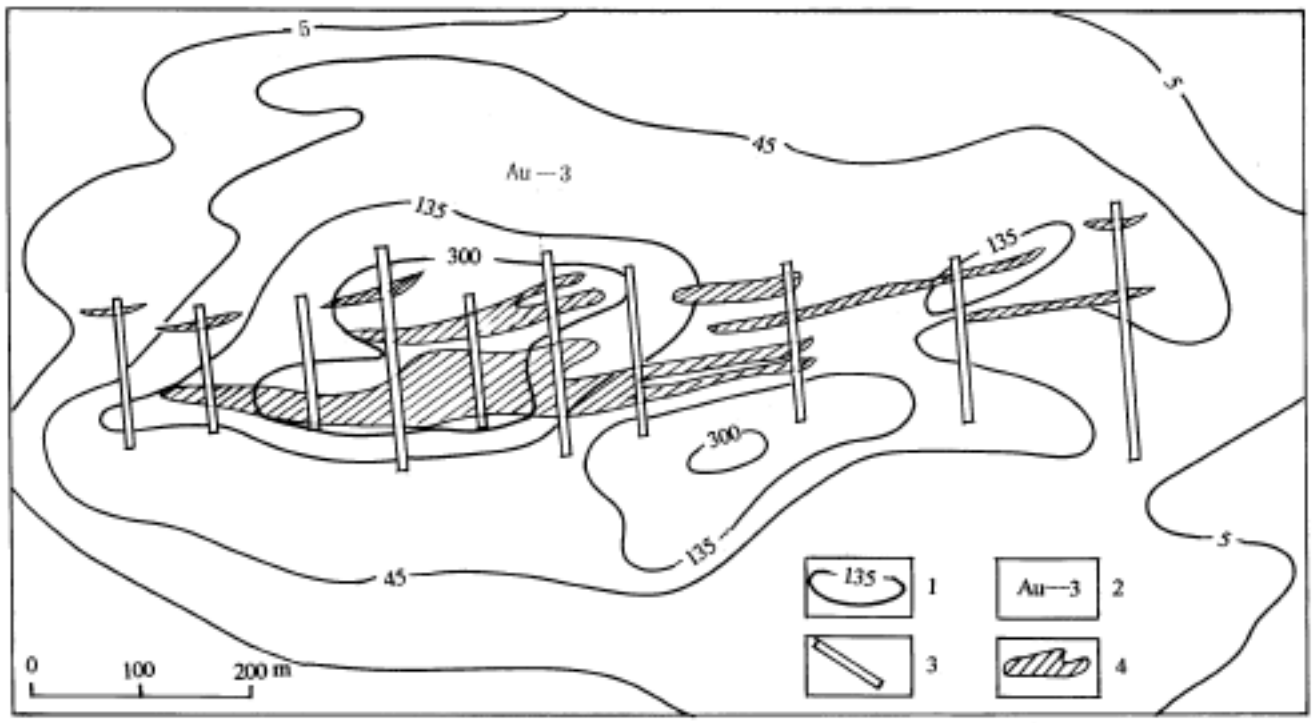


图 1 - 4 - 3　甘肃省碌曲县拉尔玛金矿土壤测量 Au 异常图(1∶20 000)

1—Au 异常等值线(含量单位 10^{-9})；2—Au 异常编号；3—查证异常的探槽；4—金矿体(品位大于 1×10^{-6})

3. 石鸡坝金矿的发现和勘查

1∶200 000“文县”幅区域化探发现 HS - 20 异常，位于甘川交界的石鸡坝乡南侧，异常面积约 28km^2，元素组合为 Au、Sb、Hg、As 等，强度分别为 0.025×10^{-6}、20×10^{-6}、1.2×10^{-6}、60×10^{-6}。各元素浓度分带明显，相互套合较好，浓集中心可分为东、西两个，东中心 Au、As 强度高，西中心 Sb、Hg 强度高，显示一定的水平分带特征(图 1 - 4 - 4)。随即作小格子样分析，异常再现，符合很好。

1986 年，甘肃省地矿局化探队先对异常进行踏勘，在一雄黄老硐中采样 7 个，经分析金品位 2×10^{-6}～11×10^{-6}，证实异常是由金矿引起。该队当即在异常浓集部位作 1∶10 000 土壤测量 3km^2，圈出 4 片异常(未封闭)，槽探验证见到花岗斑岩脉型金矿。1987 年，继续1∶10 000 土壤测量，并对整个异常作 1∶50 000 水系加密测量。1∶50 000 异常面积大于 5km^2(向西四川境内未封闭)，Au 异常强度比 1∶200 000 增加一个数量级，达 0.235×10^{-6}，Sb、Hg、As 强度与 1∶200 000 基本相当。另外，在东部和北部外围也圈出了几处以 Au 为主的异常。1∶10 000 土

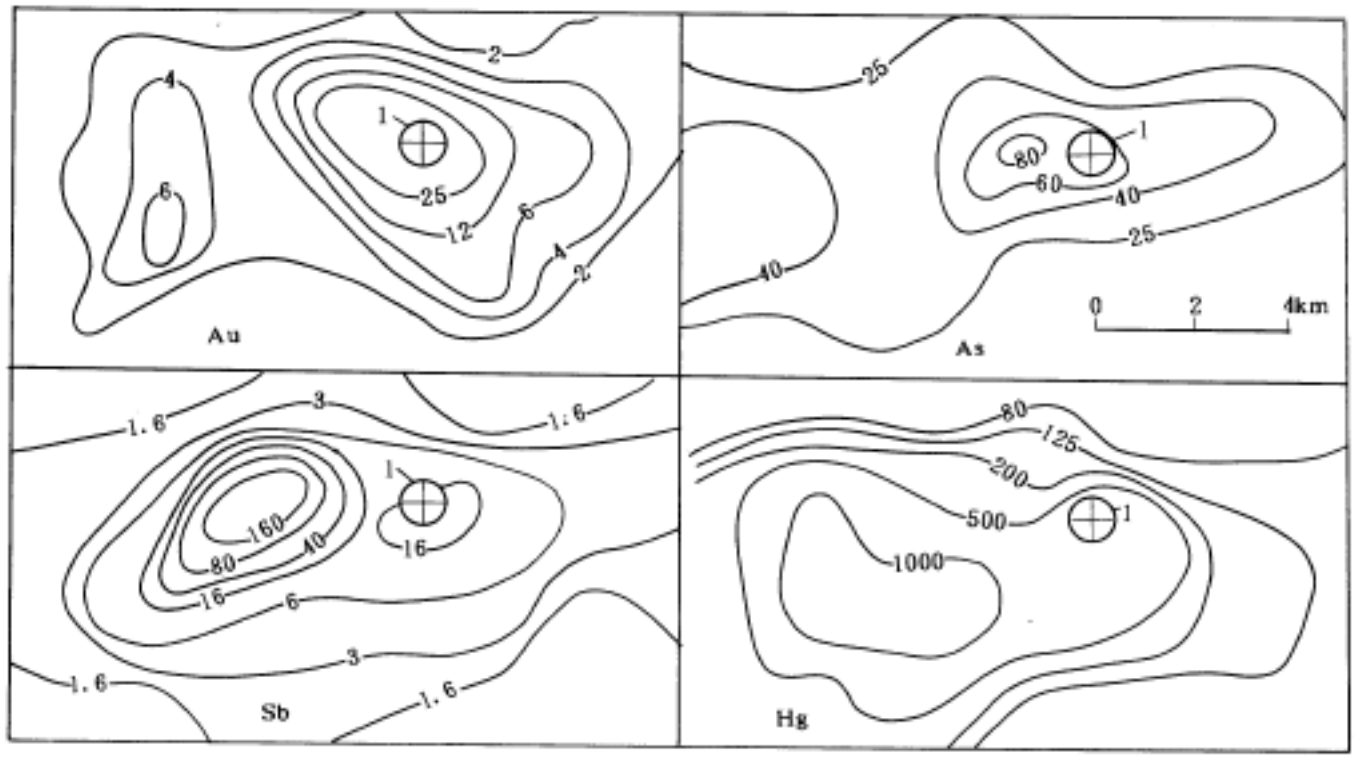


图 1 - 4 - 4　甘肃省文县石鸡坝金矿区(HS - 20 异常)金、砷、锑、汞地球化学图

1—石鸡坝新关金矿床;等值线含量单位:Au、Hg 为 10^{-9};As、Sb 为 10^{-6}

壤测量分解为 5 个异常,面积 0.2～0.5km^2,Au 异常峰值为 700×10^{-9}～800×10^{-9},均位于 1986 年见矿雄黄老硐西侧(上山方向),从而引导找矿重点西移。经过几年的工程验证和地质评价,确定该异常即为石鸡坝金矿新关矿区,矿床类型有花岗斑岩脉型(后斗湾矿段)和蚀变破碎石英砂岩型(杏树坪矿段)两类。两个矿段都已经开发利用。

20 世纪 90 年代以来,对外围(主要是东部)的 1∶50 000 和 1∶10 000 异常继续进行查证,又找到了陶家湾、关牛湾等新矿区,使石鸡坝金矿储量成倍增加。此外,在紧邻的四川境内(属同一个 1∶200 000 异常),兄弟单位也找到了联合村金矿,从而,使整个石鸡坝金矿区的远景储量达到大型规模。

4. 鹿儿坝金矿的发现和勘查

1986 年,甘肃省地质矿产局地球化学探矿队完成“卓尼”幅 1∶200 000 区域化探,共发现 44 处综合异常,其中 HS - 16 位于岷县鹿儿坝村。元素组合为 Sb、Au、As、(Ag),异常面积约 40km^2,强度:Au 7×10^{-9};Sb 6×10^{-6};As 30×10^{-6}。区内地层较简单,为中三叠统泥、砂质板岩、石英砂岩夹薄层灰岩。异常范围内,前人曾发现两个小锑矿点(图 1 - 4 - 5)。当年,化探队即对异常进行踏勘检查,在一锑矿点及其周围采样 23 件,分析有 7 件大于 1×10^{-6},最高 10.8×10^{-6},预示该异常可能为金矿引起。

1987 年,该队作 1∶50 000 水系沉积物测量浓缩异常,其中 Au 异常面积 6.25km^2,峰值 165×10^{-9}。1988 年,再布置 1∶10 000 土壤测量 6km^2,根据区内残坡积覆盖层厚的特点,采用麻花钻取样,取得较好的效果。土壤异常很发育,总体可分为西、中、东三大片,以 Au 为主,强度分别为 56×10^{-9}、39×10^{-9}、30×10^{-9},高值可达大于 200×10^{-9},伴生 Hg、As、Sb 组合。其中,中片异常 Hg 相对较弱,故认为其剥蚀深一些,因此首先对中片异常进行工程验证,很快圈出一条长 230 米,厚 3.8 米,金品位 2.67×10^{-6} 的金矿体。经过几年的地质普查评价,初步查明了中矿段由北、中、南三个矿带组成,共圈出金矿体 24 条,求得 D + E 级金储量约 20t,已达

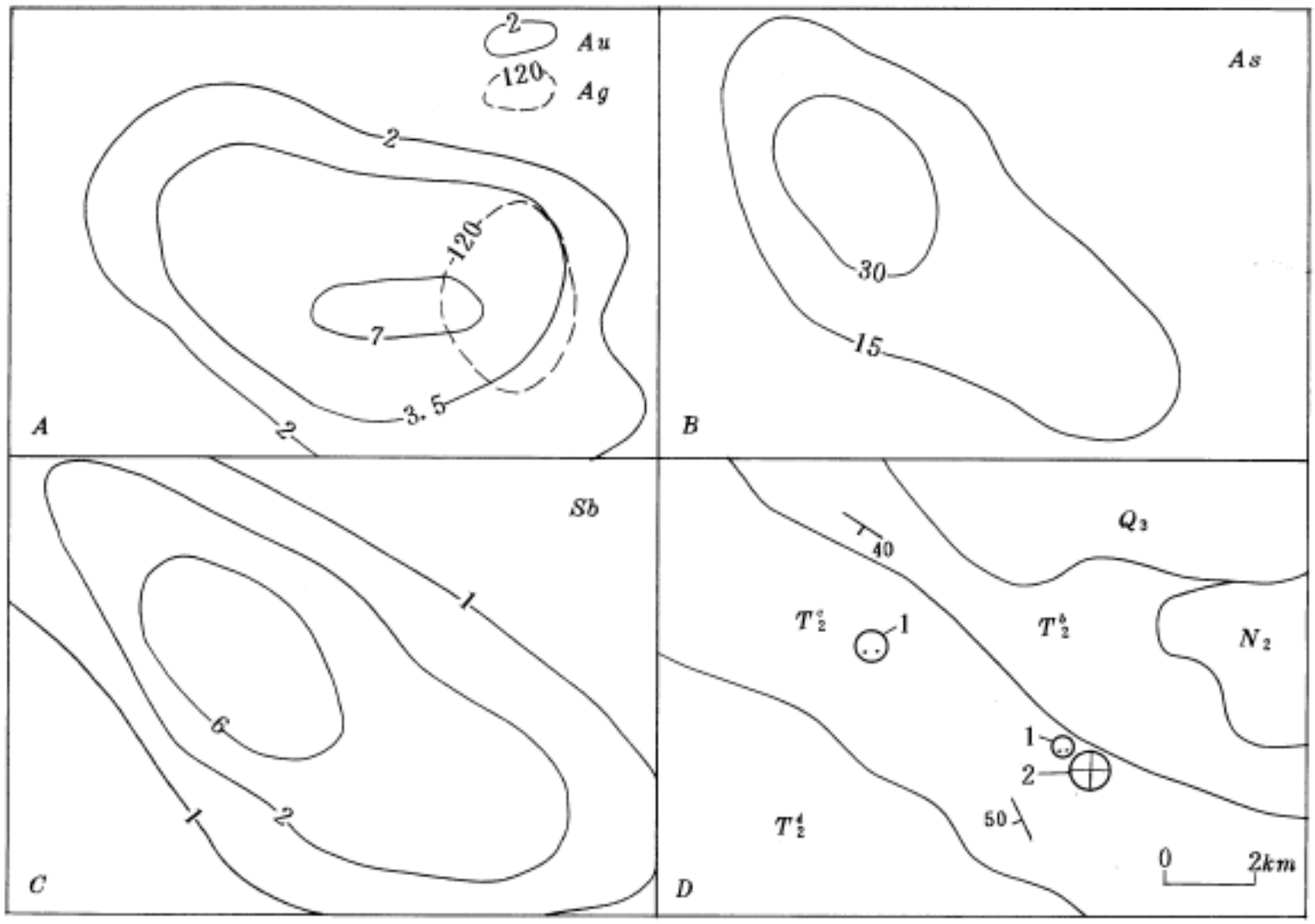


图 1 - 4 - 5　甘肃省岷县鹿儿坝金矿区(HS - 16 异常)地球化学剖析图

A、B、C—Au(Ag)、As、Sb 元素地球化学图;D—地质略图:T_2^b—砂岩、砂质板岩;T_2^c—砂质板岩、灰岩、钙质砂岩;T_2^d—砂岩夹砂质页岩、板岩;1—锑矿点;2—金矿床

大型规模。1993 年以来,又对东片异常进行工程验证,揭露 11 个局部异常均见金矿,已圈出金矿体 5 条,最大者长 1000m,厚 1～5m,平均品位 3×10^{-6}。仅东片还有 14 个局部异常待工程验证,且从元素组合特征(Hg 异常较强)分析,其深部应比中片更好。所以,整个鹿儿坝矿区前景看好,其远景储量可能达到超大型。

5. 刀扎金矿的发现和勘查

1985 年,甘肃省地质矿产局地球化学化探队承担“卓尼”幅 1∶200 000 区化扫面,发现 HS - 42 异常,元素组合 Au、As、Sb、Hg,异常强度分别为 8×10^{-9} 和 60×10^{-6}、12×10^{-6}、0.8×10^{-6}。异常位于白龙江复背斜北翼,区内出露志留系黑色岩系、泥盆系、石炭系和二叠系碳酸岩盐、碎屑岩。断裂发育,北西、北东和近东西向断裂形成较密集的网状。有花岗闪长岩岩株和岩脉产出。其中刀扎河坝岩体最大,出露面积约 $1.2km^2$,位于异常南侧。

1986 年,甘肃省地质矿产局化探队及时查证该异常,先作小格子样分析,异常再现,强度增高,如 Au 峰值达 130×10^{-9}、140×10^{-9}。再作 1∶50 000 水系沉积物测量加密,异常比小格子样反映更加细致、清晰,面积约 $10km^2$,各元素异常规模为 Au > As > Sb > Hg,并伴有 Mo、Cu 异常,Au 峰值达 350×10^{-9}(图 1 - 4 - 6)。1∶20 000 土壤测量,各元素均具内、中、外带,Au、As、Sb 异常吻合好,主要在南部,Hg 异常位于北部。对异常局部地段施槽探揭露,发现刀扎金

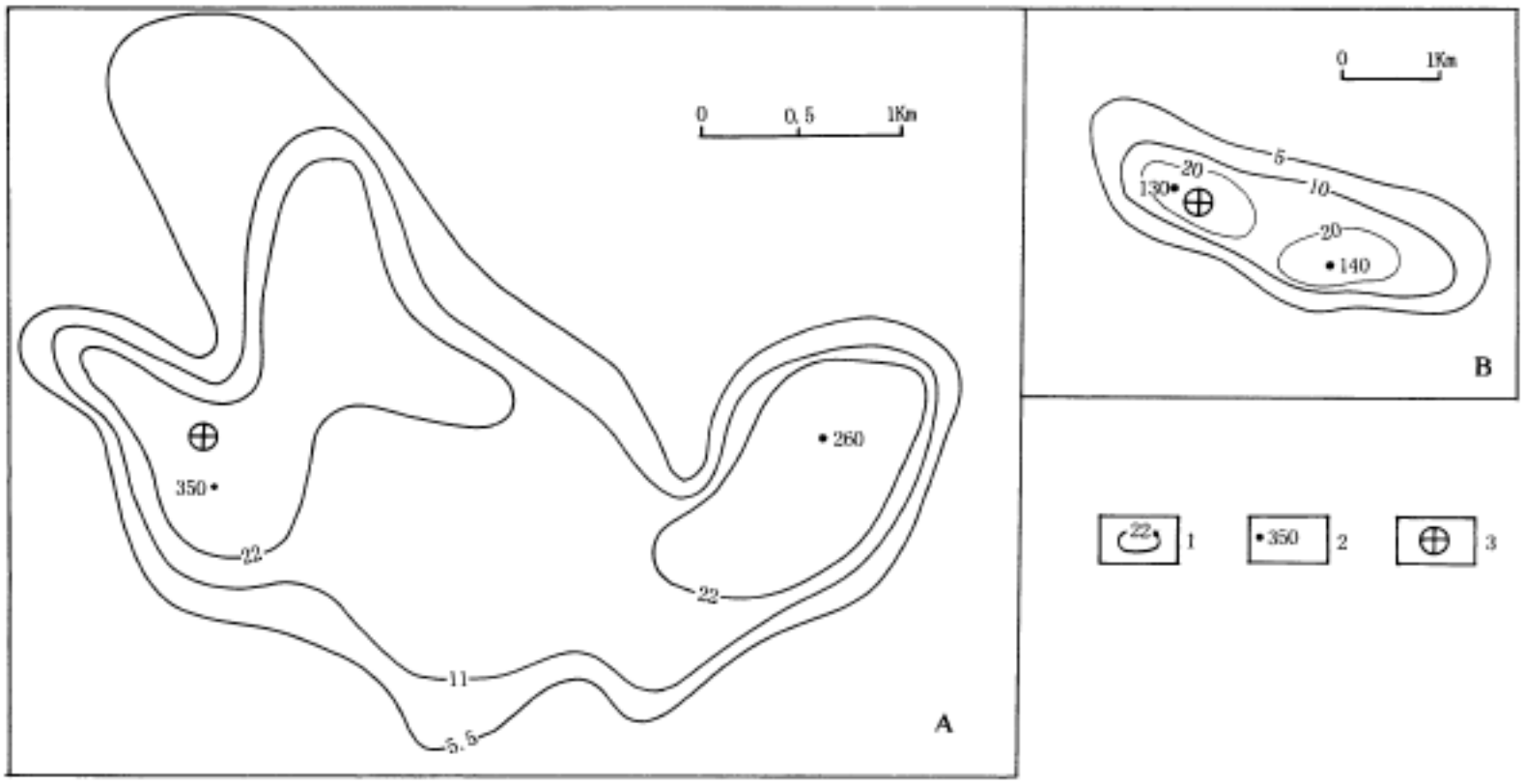


图 1 - 4 - 6　甘肃省迭部县刀扎金矿区小格单样与 1∶5 万水系测量 Au 异常对比图

1—Au 异常等值线(含量单位 10^{-9});2—Au 异常峰值(含量单位 10^{-9});3—刀扎金矿床;A—1∶5 万水系测量 Au 异常图;B—区域化探小格子(单样)分析 Au 异常图

矿点,但因交通、地形条件限制,暂停了进一步工作。1997 年,甘肃省地质矿产局第三地质队再进该矿点工作。经近 3 年努力,已圈定金矿体 3 个,其中,原Ⅰ号矿体长已达 500m,宽 1～5m,金平均品位 8×10^{-6},矿床远景达中型。同时,边探边采,进行了开发利用,外围异常查证也有新发现。含矿地层为中泥盆统板岩、灰岩,容矿为断裂破碎蚀变带等。

6. 花崖沟低品位金矿的勘查和开发

花崖沟金矿位于两当县城北约 10km。区内褶皱、断裂构造发育,印支、燕山期岩浆活动剧烈,成矿条件良好。出露地层主要有泥盆系苏家坝群砂板岩、千枚岩夹碳酸盐岩。区内岩浆岩多为中酸性小岩体,较大岩体面积 $36km^2$,位于矿区西侧约 5km 处,可能为成矿提供了热源。容矿为与地层走向基本一致的韧—脆性剪切构造破碎带,已圈定金矿体 4 条,矿体规模较大,其特点是宽度大,品位贫,仅 1×10^{-6} 左右,但选冶性能好,矿床远景规模中型以上。

1985 年,甘肃省地矿局化探队完成 1∶200 000"香泉"幅区域化探扫面采样,1986 年完成样品分析。在图幅南缘圈出 Au、As、Sb、Ag、Pb 综合异常,强度较高,分别达 35×10^{-9}、40×10^{-6}、3×10^{-6}、0.4×10^{-6}、100×10^{-6},编号 HS - 16,面积大于 $40km^2$,向南延入邻幅"凤县"幅内(图 1 - 4 - 7)。

甘肃省地质矿产局化探队 1989 年对异常进行 1∶50 000 水系加密测量,圈定 Au、As、Sb、Hg、Pb 综合异常 5 处。1990 年,对其中 3 处强度较高的浓集中心作 1∶10 000 土壤测量,圈定较好的 Au、As、Sb、Pb、Hg 等元素异常,经少量探槽验证,在其中一处见到金矿(化)体。随后,核工业部 219 队也在这一带开展化探普查及异常查证工作,找到了花崖沟等几处金矿点,因花崖沟品位太低,未予以重视。1995 年,甘肃省地矿局科研所到该矿点踏勘并取样,经研究发

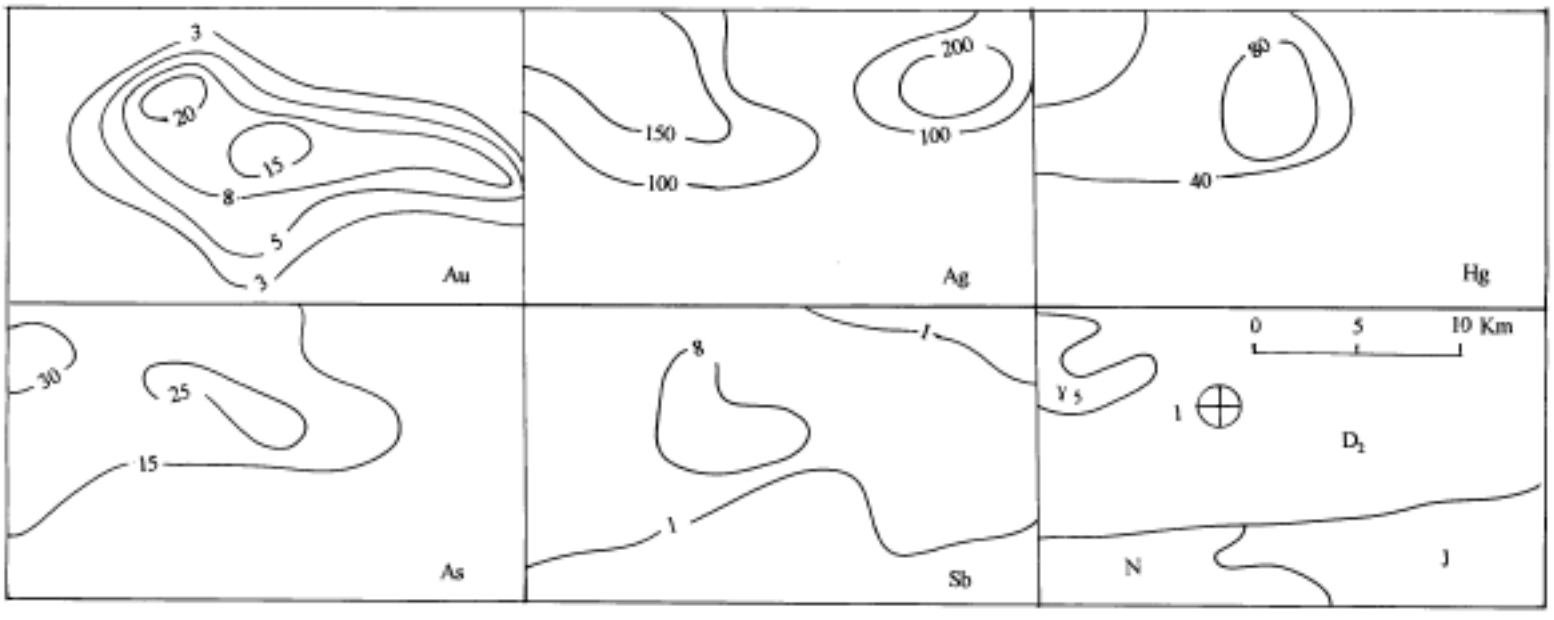


图 1 - 4 - 7　甘肃省两当县花崖沟金矿区(HS - 16 异常)地球化学剖析图

D_2—中泥盆统碎屑岩夹泥灰岩;J—侏罗系碎屑岩;N—上第三系泥岩;γ_5—印支期花岗岩;

1—花崖沟金矿床;等值线含量单位:Au、Ag、Hg 为 10^{-9},As、Sb 为 10^{-6}

现,该金矿虽然品位低,但氧化程度较高,硫化物杂质较少,矿体宽大,易开采,好选冶。经过进一步的实验和经济技术论证后,决定以探采一体化方式进入该矿开展工作。经过 3 年地质评价和矿山开发,不仅基本探明了矿床特征和规模,而且黄金生产也取得了好的经济效益。可见,区域化探对该矿床的发现起到了关键作用,而综合性的地质、经济技术评价在确定矿床规模及经济性开发阶段发挥了主要的作用。

7 .西安河金矿的发现和勘查

西安河金矿位于两当县北部,出露地层为泥盆系砂板岩,四周被花岗岩体所围,区内断裂发育,成矿地质条件有利。矿床类型为构造蚀变岩型,矿石品位较贫,但规模较大(中型以上),氧化矿的开发条件较好。

1986 年,甘肃省地质矿产局地球化学探矿队完成‘香泉’幅(省内部分)1∶200 000 区域化探扫面。发现圈定 HS - 11 异常(图 1 - 4 - 8),它是西秦岭地区较典型的‘高、大、全’异常中的一个。综合异常面积约 100km^2,元素组合有 Au、Ag、Pb、Sb、As、Cd、Cu、Cr、Ni、Hg、Zn、Mn 等,异常强度依次为 Au 大于 40×10^{-9}(内带),Ag 大于 0.6×10^{-6}(内带),Pb 大于 150×10^{-6}(内带),Sb 大于 3×10^{-6}(中带),As 大于 40×10^{-6}(中带),Cd 大于 1×10^{-6}(中带),Cu 大于 35×10^{-6}(外带),Cr 大于 112×10^{-6}(外带),Ni 大于 50×10^{-6}(外带),Hg 大于 0.16×10^{-6}(中带),Zn 大于 100×10^{-6}(外带),Mn 大于 1258×10^{-6}(外带)。异常区被众多印支期花岗岩包围,出露地层为中泥盆统碎屑岩夹灰岩,南侧有近东西向区域断裂带通过,是一个以 Au、Ag、Pb 为主,兼有金银及铅锌矿化特征的很好的区域化探异常。

1987 年～1989 年,化探队对该异常进行了三级到二级查证工作。1∶50 000 水系加密,各元素异常再现,规模最大的异常出现在西北部,面积大于 10km^2(西北方向大开口,尚未封闭),其中 Au 强度大于 60×10^{-9}(内带)。由于此大异常处于深山原始森林区,通行很困难,所以当时先选择靠东南的一个较小异常(Au 面积 2km^2,Pb、Ag、Sb4～5km^2)进行 1∶10 000 土壤测量,圈出 Au、Ag、Pb 为主,伴 As、Sb、Hg 等元素的异常,Ag、Pb 异常套合较好。其中 Au - 2 异

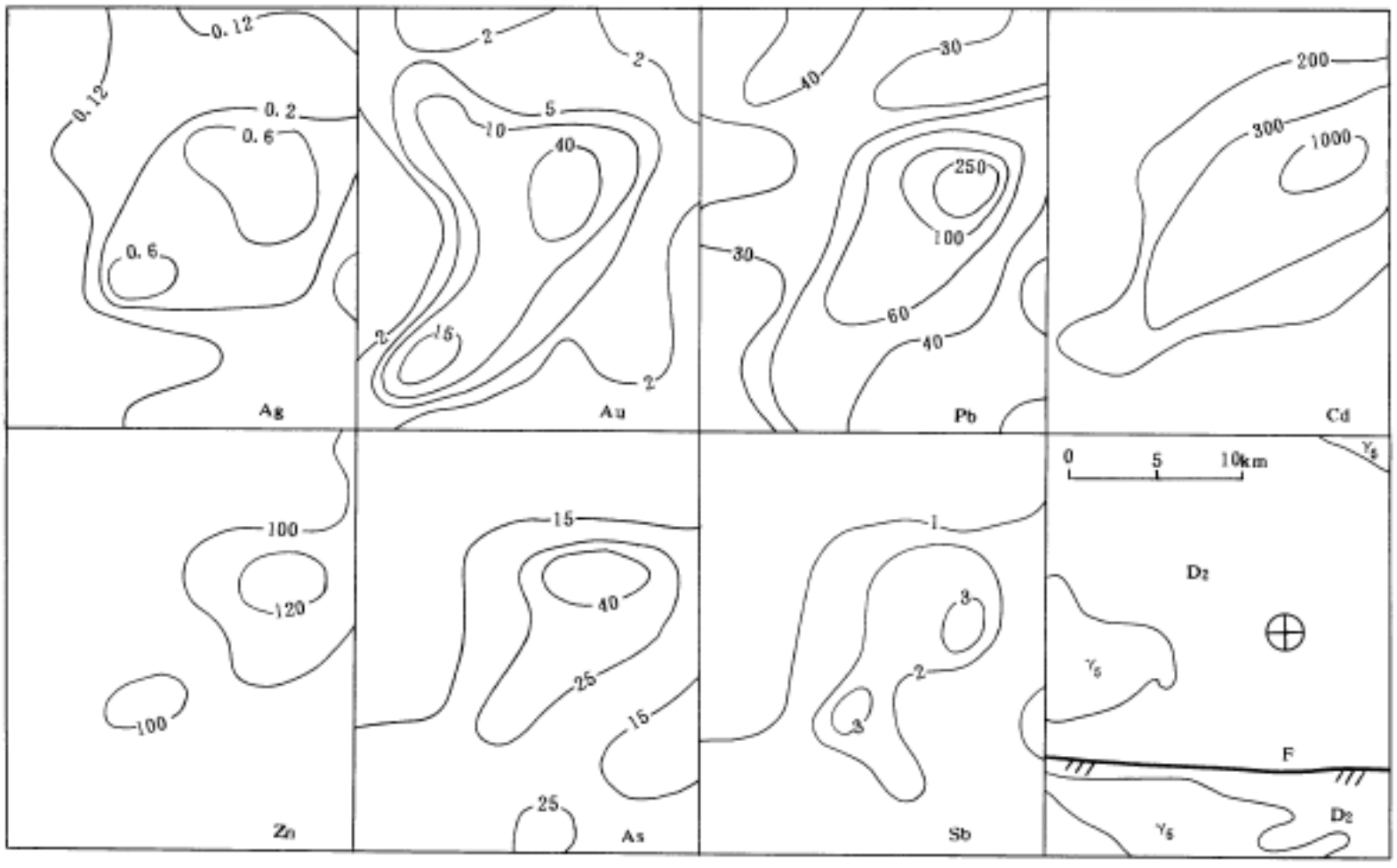


图 1-4-8　甘肃省两当县西安河金矿区(HS-11 异常)地球化学剖析图

D_2—中泥盆统碎屑岩夹泥灰岩；γ_5—印支期花岗岩；F—压扭性断裂带；1—西安河金矿床；

等值线含量单位：Au、Cd 为 10^{-9}，Ag、Pb、Zn、As、Sb 为 10^{-6}

常面积 0.3km^2，峰值 200×10^{-9}，Ag 峰值达到 15×10^{-6}，Pb 达 4000×10^{-6}。同时，在水系(西安河)中，采 6 个自然重砂样，经淘洗有 3 个见金粒，最多一个见 4 片。对异常作槽探验证，圈定金矿体一条，长近 200m，宽 20m，品位 2×10^{-6} 左右，还圈定银铅矿体一条，长 350m，宽 5～8m，当时称“湘潭子”金(银铅)矿点。1990 年～1991 年，甘肃省地矿局第一地质队对该异常进行以槽探为主并施少量硐探的一级查证工作。硐探针对甘肃省地质矿产局地球化学探矿队地表发现矿体，控制垂深约 30m 见到金矿体，槽探验证还发现了 6 个金矿(化)体，但因金品位均较低(1×10^{-6}～2.5×10^{-6})而中断了进一步的工作。

1987 年，受花崖沟低品位金矿勘查开发取得成功的启示，第一地质队再上湘潭子金矿(这次以河命名为“西安河”金矿)。使用了槽、硐、钻等各种手段，现控制主矿体长度已超过 600m，斜深近 100m，矿床规模已达中型以上，并已采矿堆淋，开始了开采利用。在外围也开展 1∶10 000土壤配合槽探验证的异常查证工作，并有了重大发现，预计该金矿远景规模应在大型以上。

8. 枣子沟金矿的发现和勘查

枣子沟金矿是甘肃省地质矿产局第三地质队近两年发现的一个很有价值的金矿床，位于甘南藏族自治州合作市西。矿区地层简单，为下三叠统砂板岩夹薄层灰岩，但断裂构造和中酸性小岩体及岩脉发育，金矿与断裂和岩脉关系密切。

1979 年～1982 年，甘肃省地质矿产局物探队和化探队完成“合作”幅 1∶200 000 区域化探扫面采样任务，1983 年～1984 年，甘肃省地质矿产局兰州中心实验室完成样品分析。经资料

整理,共圈出 41 个综合异常,其中 HS - 24 是个不起眼的小异常(图 9)。Au 异常面积 4km^2,强度 5×10^{-9};Sb 稍强,达 8×10^{-6},面积约 20km^2;As 面积 8km^2,强度 20×10^{-6}。异常所处交通位置也很方便,但却因其太弱小被搁置了十几年,无人问津。

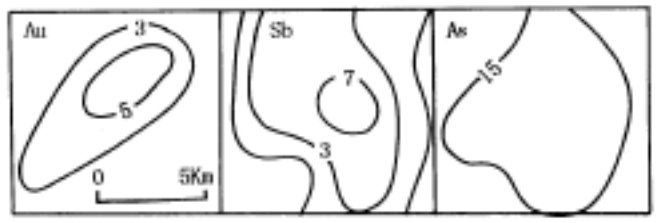


图 1 - 4 - 9　枣子沟金矿地球化学图

等值线含量单位:Au 10^{-9};Sb、As 10^{-6}

直至 1996 年,第三地质队为进一步寻找新的金矿资源,在总结大水等低弱异常找到大金矿经验的基础上,开始注意夏河 - 合作这个以前工作不多的异常带,并于 1996 年生产季末对 HS - 24 异常进行踏勘检查,当年就发现了金矿线索。1997 年～1998 年,继续进行较系统的异常查证和地质工作,已基本查明了矿区地表矿体的分布、形态和规模,证实为一处中型以上、品位较富的金矿床。并且,按照探采一体化模式,当年即与地方联合建矿,很快形成具一定规模的效益好的金矿山。

9. 黑刺沟金矿的发现和勘查

黑刺沟金矿位于甘肃省西部,祁连山西段,属南祁连褶皱带,产于奥陶系火山岩、碎屑岩地层中。南祁连褶皱带内,党河南山的沟谷中,砂金丰富,民称“七十二道金沟,沟沟有金”。但是,在开展区域化探工作之前,这里的岩金还基本是空白。

1993 年～1995 年,甘肃省地矿局物探队完成“盐池湾”、“月牙湖”等图幅的 1∶200 000 区域化探扫面。在“盐池湾”幅西南角发现 AS - 21 异常,“月牙湖”幅东南角发现 AS - 22 异常。两异常相连接,实际是一个异常,以 Au、Sb、As、Ag 为主。异常面积约 90km^2,异常强度(均值):Au 8×10^{-9},Sb 4×10^{-6},As 50×10^{-6},Ag 90×10^{-9}。出露地层为奥陶系砂板岩夹砾岩、中酸性火山凝灰岩,内有数个花岗岩和闪长岩侵入体,岩脉亦较发育。异常所在沟谷也是老百姓淘砂金的热点地区之一。

异常查证工作物探队在 1995 年即开始进行。先作 1∶50 000 水系加密,圈定 8 个局部异常,元素组合以 Au、Sb、As 为主,其中 AS - 1 异常面积达 6km^2(图 1 - 4 - 10),Au 最高大于 200×10^{-9},Sb 最高大于 40×10^{-6},As 最高大于 200×10^{-6},并伴 W、Mo、Ag、Hg、Pb、Bi 等异常。1996 年对 AS - 1 异常进行反复的踏勘检查,终于在称之为西沟的西壁发现构造蚀变岩型金矿。矿体主要分为 2 层,累计厚 44.5m,金品位 1×10^{-6}～3×10^{-6},主要为含毒砂、黄铁矿的蚀变碎屑岩矿石,沿异常走向上追索,初步圈定矿化蚀变带长达 2km,并依据主沟沟名称为“黑刺沟”金矿。因地处高寒山区,残、坡、冰积覆盖较厚,又因矿石氧化程度较低,可选性较差,加之地勘资金短缺,所以,直到 1997 年间,沿走向上的追索勘查工作做得不多,收效也不大。

1998 年,经原地质矿产部审定,将党河南山地区铜金矿普查列为国家资源补偿费项目,黑刺沟金矿作为其中主要矿区之一,开始了比较系统的地质评价工作。首先在沟东也发现了金矿层,宽 35m,金品位 1.5×10^{-6}～5.5×10^{-6},矿石为蚀变糜棱岩及砂岩型。通过较稀疏的槽探和少量硐探,初步控制主矿体长 1600m 以上,宽 4～44.5m,已控制最大垂深 50m,平均品位 3×10^{-6}左右,预计远景规模应在大型以上。在主矿体北侧发现石英脉型金矿体,成群分布,单个长数十米,宽 0.2～1.1m,金品位为 2.5×10^{-6}～12.6×10^{-6}。在主矿体北 1km 左右,Sb 异常的浓集带内,长 3km,宽 200m 范围,发现断续 7 处锑金矿露头,单个出露长 60～80m,宽大于 0.5m,金品位 3×10^{-6}左右,锑品位目估 10%以上。目前,该矿区的地质工作及外围的异常

查证和找矿工作还在进行之中。

五、体会和展望

(1)上述案例只是地球化学勘查在找金方面众多成果中的一少部分。据统计,区域化探开展以来(即通过区域化探异常查证)发现的金矿产地,占化探发现金矿总数的 88.8%。所以,区域化探(区域地球化学填图)不仅是一项重要的基础地质工作,而且,区域化探异常的查证是普查找矿,特别是找金的最有效的手段。

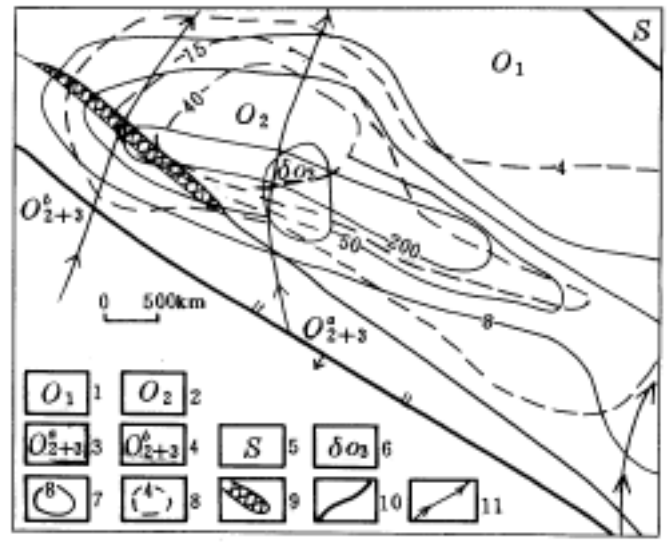


图 1 - 4 - 10　黑刺沟金矿区 Au、Sb 异常

1—结晶灰岩、凝灰质砂岩;2—板、砂、砾岩;3—砂砾岩;4—杂砂岩;5—含砾砂岩;6—石英闪长岩;7—Au 等值线(10^{-9});8—Sb 等值线(10^{-6});9—金矿主矿体;10—断裂;11—水系(箭头表示流向)

(2)区域化探异常的查证,其手段仍以化探为主,一般首先应作 1∶50 000 水系沉积物加密测量[此前,可将区域化探异常内的小格子样(一般 $1km^2$ 的小格 1 个样)挑出先进行分析],再优选 1∶50 000 圈定的异常开展 1∶10 000 土壤测量(基岩出露的荒漠地区也可作岩石测量),然后,对 1∶10 000 的异常进行工程揭露验证,以发现矿(化)体。查证过程中,也应注意发挥各种经济有效的物探方法的作用。当然,地质工作在异常查证过程中也非常重要,尤其是地质认识(理论)的正确或提高,在异常查证中常常起到很关键的作用。

(3)甘肃省地域辽阔,地质构造复杂,气候及景观条件变化大,既有与内地相似的亚热带、温带山地(如陇南地区),也有属特殊景观的干旱荒漠区(如北山、龙首山)和高寒山区(如祁连山区)及高寒草甸区(如甘南地区)。多年的实践和研究证明,不同的气候和景观条件对区域化探异常,特别是金异常影响非常大。一般情况下,亚热带、温带山地异常反映较好,而在所谓的“特殊景观区”,异常多不同程度地弱化。因而造成,有时候低弱异常找到了矿(甚至是大矿,如大水、拉尔玛、枣子沟等等),而少数“高、大、全”异常反而找矿效果不佳(如甘肃南部碧口群中的某些异常),个别时候甚至出现异常检查“漏矿”(如寒山、鹰嘴山)的现象。

(4)面对区域化探圈定出大量的异常,以找矿为目的,首先要鉴别众多异常的“真伪”,并选择有最大见矿几率的异常优先查证,这就是所谓的异常筛选问题。原以为这个问题比较简单,经过十几年的实践,却发现它非常复杂。如前所述,“高、大、全”和低弱异常都有见矿和暂时不见矿的例子,所以,到目前为止,还没有一套公认的比较完善、准确的异常筛选方案。其原因是,区域化探圈定的异常都是在各种复杂的地质背景、复杂的成矿作用、复杂的表生作用、不同的剥蚀程度,甚至人类活动等众多因素反复、综合影响下形成的,区域化探各技术环节工作的不当还可能使异常畸变。而我们在异常筛选和评价中,不可能全面考虑并恰到好处地把握这些因素。因此,目前异常筛选评价的方法基本还是经验型的。但是,充分挖掘异常的地球化学信息,注意景观条件等因素的影响(如甘肃省高寒草甸区和干旱荒漠区 Au 等元素的异常往往贫化等等),同时,尽可能利用地质、地球物理、遥感等资料及相关专家的知识等等,无疑可以大大提高异常筛选的成功率。

(5)异常查证是区域化探取得找矿效果的必经之路,查证效果的好坏,既有人的因素,也有技术问题。关于后者,我们体会较深的有两点:一是异常查证各阶段的化探工作,如 1∶50 000

水系沉积物加密测量,1∶10 000 土壤或岩石测量等等,要尽可能作得完整一些。因为它们不仅在当时可以起到指引、追索、见矿的作用,而且是以后矿区进一步找矿,深化认识,扩大规模的基础资料,有时,还能起到弥补区域化探扫面阶段某些异常被弱化的缺陷;二是化探和地质(还有物探、遥感等)要紧密结合,相辅相成。不少事例说明,化探异常提供的找矿信息时常常出乎已有地质理论(认识)的意料之外。反之,地质理论(资料)的正确应用或新认识的形成,则可能找到被化探查证漏掉的矿(甚至是大矿),或使某些停滞不前的异常查证工作取得新的突破。

(6)从甘肃省 Au 及其相关元素地球化学图可见,无论南部的西秦岭地区,还是中西部的祁连山及北山地区,Au、As、Sb、Ag 等高背景区(区域异常)广布,局部异常十分发育。十几年来,虽然作了大量的异常查证,也取得了可观的找矿成果,但至今还有 1 2 左右的 Au 异常还未作任何查证工作,不少异常所处地质背景也很有利,相信随着异常查证工作的继续开展和进一步深入,甘肃省的金矿地质工作还会取得重大发现。

(7)区域化探提供的矿产信息非常丰富,但由于各种原因,目前只在金矿勘查方面利用得最多,成效也最大。进一步发掘区域化探资料的找矿信息,增加找矿的矿种,是今后一定时期化探工作的一个重要课题。甘肃省地勘局拟在铜、铅锌、锑、银、锡和铂族元素等矿产的勘查方面有所作为。为此,在区域化探样品分析中增加了 Pt、Pd 两个元素,并已通过 Pt、Pd 异常查证,获得了铂族元素的找矿线索。

(8)区域化探的成功经验最近被谢学锦先生进一步总结,提高为基础理论研究同大规模地质调查相结合的“大科学”计划的典范。甘肃省地矿局近 20 年来积极执行该计划,成绩突出,收获巨大,可以说是这一“大科学”计划的最大受益者。所以,我们十分赞成谢先生“大科学”计划的论点,应将其继续作为我们今后地质科研和资源调查的指导思想。

(9)区域化探的成果不仅已被实践证明能为地质找矿所用,而且它也是从地球化学角度反映某地区甚至全国的资源和环境状况的一种重要的基础资料。所以,它在国民经济的其他领域,如农牧业、林业、卫生、环保等方面都具有广阔的潜在应用价值,而且从长考虑很可能远远超过在地质找矿方面的应用价值。所以,开拓区域化探成果应用的新领域,进一步发挥它在国民经济发展中应该发挥的更大作用,是当前和今后地球化学工作者再作更大贡献的努力方向。

第二章　甘肃省黄金资源开发概况

一、甘肃省黄金开发历史回顾

甘肃省开采黄金的历史可以追溯到清朝,主要的开采对象是祁连山、西秦岭的砂金和北山地区的岩金。新中国成立后,我省黄金工业发展的历史,可以划分为三个阶段:

第一阶段(1960 - 1985 年):没有独立的黄金生产企业,只在白银、金川有色金属矿中作为伴生元素回收,25 年中生产黄金大约只有 15 吨。

第二阶段(1985 - 1992 年):地方黄金工业开始起步。随着"七五"后期和"八五"期间国家对黄金地勘工作的重视和投入,加速探明了一部分金矿床,新建了一些独立的黄金生产企业,各地勘单位也由单纯的找矿变为找矿与开矿相结合,黄金产量稳步上升。该阶段的独立生产黄金的企业采用的手段以混汞法和堆浸氰化法。

第三阶段(1992 - 1997 年):地勘单位的黄金开发进入有计划有规模的发展阶段。由于国家的高度重视,出台了一系列有效措施和优惠政策,地勘单位实行边采边探,相继发现了大水、李坝、寒山等一批大型金矿床,建立了一批稳定生产的黄金矿山,使我省的黄金生产进入了快速发展阶段,1996 年黄金产量达到 2684.6 公斤,在全国排名第十位,第一次跨进全国一类重点产金省行列①。据 1997 年末的统计资料②,全省拥有金矿资源的县(市)计 21 个,纳入全省计划的黄金企业,生产及交售黄金 3815.04 公斤(,在全国各省区排名由 1996 年的第十位上升到第七位。其中产金万两县为玛曲县(43914 两)、安西县(40864 两)、礼县(16960 两)、肃北县(13504 两),在全国黄金产量排序中分别为第 19、21、63、74 位。产金万两的企业有大水金矿(43914 两)、花牛山金矿(15488 两),其名次分别在全国排第 9、51 位。按探明和保有储量排序的地(州、市)为酒泉地区、甘南州、陇南地区、天水市、金昌市、白银市。

二、金矿资源概况

我省的黄金矿产资源十分丰富,目前已发现金矿产地 243 处,其中独立岩金矿产地 133 处,包括大型金矿床 4 个,中型金矿床 16 个,小型金矿床 32 个及许多矿点;砂金矿产地 35 处;伴生金产地 17 处,其中大型至特大型矿床 2 处,中型矿床 2 处,小型矿床及矿点 13 处。

全省控制不同级别的黄金储量近 480 吨,远景储量 600 多吨。

金矿资源的特点:

(1)资源分布面广,储量相对集中。甘肃省金矿空间分布很广,但由于各地区成矿地质条件不同,地质工作程度差异很大,造成金矿的分布很不均衡,在酒泉、甘南、陇南、天水、金昌地(州、市)金矿储量占全省总储量的 90%以上,而在这几个地区 70%的金矿储量集中在寒山—鹰嘴山、大水、石鸡坝、李坝金矿床和金川铜镍矿床等少数几个大型矿床中。

(2)大型金矿床较少,中、小型居多。目前已探明的岩金矿床中,大型以上的占 11%,中、

① 甘肃省黄金工作会议材料,1996 .
② 甘肃省黄金工作会议材料,1997 .

小型的占 89%。在砂金矿床中尚未发现大型矿床。

(3)矿床类型多,但缺少超大型矿床。尽管甘肃省金矿床的工业类型较多,找矿的地质条件优越,但还未发现像南非的兰德型、巴布亚新几内亚的火山岩型、美国的霍姆斯塔克型、加拿大的赫姆洛型等超大型矿床。

(4)金矿品位多为中、低品位。除大水金矿床平均品位为 13×10^{-6} 外,其余几个大型矿床品位都在 3×10^{-6} ～5×10^{-6},中、小型矿床品位一般在 1×10^{-6} ～3×10^{-6};砂金矿床品位多在 $0.2g\ m^{3}$。

(5)勘查工作程度低,探矿深度浅。在已提交的地质报告中,只有金川铜镍矿(伴生金)为勘探报告,其余均为普查、详查报告;从储量级别来看,只有金川铜镍矿、大水等少数金矿床有部分 C 级储量,大部分为地质储量(D)和远景储量(E)。储量勘查程度,普查级占 90%。

(6)甘肃省金矿的探矿深度(大部分为普查钻孔)一般在 300m 以内,其深部尚有较大远景。目前国内金矿平均探采深度为 350～600m,国外在 2000～4000m 左右,相比之下甘肃省金矿的探采深度远低于国内外许多矿床的水平,这既是甘肃省大规模勘查和开采起步较晚的现状,也反映了经济条件的局限。

(7)勘查手段落后,资料准确性差。甘肃省金矿勘查基本上还使用六七十年代的手段,设备陈旧落后,效率低,成本高,资料可靠性差。造成新建矿山储量变化大,工业储量保有不足。有些矿山建设由于资源可靠程度差,导致建设规模及成本核算的不合理,最终使矿山刚投产即处于资源危机或者成本过高的景况。

(8)金矿资源占用率高,利用率低。目前省内大多数已探明可供利用的金矿资源均已被占用,并且勘查资金严重不足,金矿开发到处呈现“等米下锅”的局面。另外,由于矿山生产经济指标较低,尤其是乡镇企业和个体企业采金,资源浪费十分严重。

第三章　堆浸法提金

一、甘肃省堆浸发展现状

自从1985年甘肃省引进堆浸法提金工艺后，堆浸法生产在各地迅速发展，大大促进了甘肃省的黄金生产。据统计，自1993年～1997年，甘肃省有90%的金矿矿山采用堆浸生产，由于所发现金矿矿石品位越来越低，堆浸产金所占的比例呈上升趋势，1995年甘肃省的黄金有68%是由堆浸法生产的，1996年产金2684.6kg，其中堆浸占73%，1997年黄金生产堆浸占71%。从目前甘肃省的堆浸生产情况看，主要有以下几个特点：

1.入堆矿石品位越来越低

甘肃省目前堆浸生产的矿石品位，除大水金矿、鹰嘴山金矿的品位为10×10^{-6}和5×10^{-6}外，其余普遍都较低，一般在1×10^{-6}-3×10^{-6}。在1995年以前，堆浸矿石的品位一般都在3×10^{-6}～5×10^{-6}，随着堆浸规模的扩大和技术的熟练，入堆矿石品位已下降了1×10^{-6}～2×10^{-6}。矿石品位最低的矿山是两当花崖沟金矿，其平均入堆品位为0.806×10^{-6}。

2.实行边采边探，滚动发展

由于勘查资金严重不足，已发现的矿山无法进行普查—详查—勘探的程序。在发现一定规模的矿体后，即可进行可浸性试验和经济论证，随后小规模堆浸，掌握矿石类型及堆浸技术指标，逐渐扩大规模，积累资金，开展矿区及外围的勘查工作。在采矿的同时还可以进一步查清矿体的产状，使有限的资金发挥更大的作用。这种方法对覆盖较厚的林区及草原地区尤其有效，如岷县琐龙金矿和礌曲县恰若金矿，由于覆盖很厚，矿体产状一直不清，以后进行大规模剥土露出采矿掌子面后，矿体形态十分清楚，对矿区其他矿体的勘查也有重要的指导作用。

3.逐步采用机械化开采，扩大堆浸规模，降低成本

1992年以前，甘肃省的矿山开采基本上是人工挖掘，成本高，工效低，规模小，年采堆矿石只有几千吨。以后在大水等金矿采用机械开采，效果显著。1995年后陆续在花崖沟、寒山、琐龙等低品位金矿推广。堆浸规模随着机械化开采逐渐增大，日堆矿速度可以达到600～1000t。花崖沟、寒山、琐龙金矿在1996、1997、1998年年堆浸矿石分别达到50 000t、80 000t、100 000t级规模。所用机械和流程是：推土机—剥离掌子面，清理堆浸场地，维修运矿道路；装载机—开采、装载矿石；自卸载重汽车—运输矿石。

4.堆、喷、浸同时进行

对已有一定规模的堆浸矿山，一般都有2个～3个堆浸场地，在其中一堆铺设管道进行喷淋时，另一堆场继续堆矿，喷淋一堆的周期随季节、气温、海拔、矿石类型有所变化，平均在25d左右。当第一堆结束喷淋时，另一堆筑堆已完成，随后拆卸管道，铺设在第二堆上喷淋，同时在第一堆上开始平整场地，铺设地垫，运堆第二层矿，如此循环交替进行，矿山的堆浸场地、各种采矿、喷淋设备利用率可达100%。

二、堆浸技术经济指标

甘肃省各地区金矿由于矿石类型、气候、海拔等条件不同，取得的堆浸技术经济指标各异，

表 3 - 1 - 1 反映的是各个地区堆浸矿山的指标范围或平均数。

表 3 - 1 - 1　甘肃省部分堆浸矿山技术经济指标

序号	项　目	单　位	指标											
			大水	贡北	忠曲	恰若	枣子沟	刀扎	琐龙	西安河	花崖沟	车路沟	寒山	鹰嘴山
1	年堆浸规模	万吨 年	26	4.5	2.4	0.45	2.3	0.42	10	4.3	5	1.2	8	3
2	单堆堆浸规模	万吨 堆	0.4～3.5	0.3～1.8	0.2～1	0.15～0.3	0.2～1	0.15～0.18	1.3	1	1.5	0.5	1.2	1
3	原矿平均品位	$\times 10^{-6}$	8	3.2	4	7	4.3	7.5	1.1～1.5	1.1	0.806	3.5～4.6	2.8～3.5	3.8～4.3
4	日筑堆矿石量	t 日	1300						1000		1000		300	120
5	入堆矿石粒度	mm	< 38	< 30	< 20	< 28	< 28	< 40	< 50	< 35	< 50	< 30	< 35	< 25
6	矿堆平均高度	m	4.2	3.5	3.2	3	3.6	3	3	3 - 5	6.12	2.5	3	3
7	石灰消耗量	kg t							0.7					
8	氢氧化钠消耗量	kg t	0.05～0.1	0.02	0.012	0.01	0.33	0.3		1.6	870		1.5	2
9	氰化钠消耗量	g t	750	750	400	200	1100	1200	200	650	145	200	500	1000
10	氰化液浓度	%									0.06		0.05	0.075
11	喷淋液 PH 值		9.5	10	9	10	9.5	10.5	9～11	9～10	9～10	10～11	11	12
12	喷淋强度	L m	20～30	15～30	15～20		16	12	15		13	15～20	15～20	15～20
13	浸出时间	d	35	28～35	20～35	37	28～35	40	30～35	40	35	35	80	42
14	尾矿品位	$\times 10^{-6}$	1.5～2.8	0.4～1.2	0.8～2.8	0.8～3	0.1～1.4	0.3～1.5	0.4	0.3	0.22	0.3	1.1～1.4	1.8～2
15	金浸出率	%	68	68	55	55	70	73	72		72.6	93	60.3	53
16	吸附率	%	96	96	98	95	97	98	98		99.6	99	99	96
17	载金炭品位	g kg	10	8.1	8	7	8.8	11	10		3.29	3 - 5	8	10
18	解吸率	%											98	98
19	电解率	%												
20	熔炼率	%	93	93	93	93	93	93						
21	金回收率	%	60.7	60.7	50.1	48.6	63	66.5	60	70	68	85	58.5	49.86

三、堆浸前期工作

由于目前堆浸矿石的入堆品位越来越低,投资的风险也相应加大,使得各单位在投资前,越来越重视堆浸前期的研究工作,从而减少投资风险。其工作程序及内容有以下几项:

1 .前期地质工作

在初步发现一个金矿时,矿石的品位和储量是能否进行开发的主要因素。许多矿山由于未查清品位和储量,各种设施建成后,采矿过程中发现没有可靠的品位和储量,导致由于储量有限而无矿可采或影响矿山服务年限,或者因品位太低造成经济上亏本。如西和兴隆金矿和临潭羊沙金矿,由于地质工作程度低,矿体产状没有搞清,堆浸厂建立后无矿可采。民乐童子坝金矿,前期地质工作中矿山储量未查清,投产后只生产一年既停产。因此,在建立堆浸厂以前,一般要取得比较详细的地质资料,包括矿体的产状、平均品位、规模;矿床的总储量、平均品位、边界品位;矿石类型、金的赋存状态、粒度、影响浸出的杂质等。

2 .柱浸试验

即矿石可浸性试验。目的是确定矿石氰化浸出的程度。试验的矿石粒度可根据矿石类型、品位确定,一般在 50mm 以下既可。对位于构造破碎带上的浸染状金矿,矿石结构疏松,渗透性好,最好利用原矿矿石试验,为以后原矿堆浸生产提供依据。如花崖沟、琐龙等低品位金矿,由于采用原矿堆浸,每吨矿石可降低成本 2 元～3 元,并且可大大提高堆矿速度。柱浸试验的矿石量在 20～30kg,浸出时间 10d～15d。最后取得矿石的浸出率。

3 .项目可行性研究

在完成前期地质工作和柱浸试验的基础上,如初步认为可行,就要进行项目可行性研究。主要包括确定采矿方案及矿山服务年限、采矿条件;矿区交通、水、电、气侯、环境资料;堆浸厂的流程设计,有场地、底垫、溶液池、喷淋系统;最后进行经济估算,确定出投资、成本及利润率。

四、试验堆

在大规模堆浸生产以前,尤其是低品位金矿,利润很少或处于盈亏平衡点附近的矿山,一般都要进行堆浸试验。试验堆的相关设施为降低成本(如溶液池等)可以是非永久性的。矿石量在 1000～3000t,堆高不超过 3m。这样能消除柱浸试验中矿样代表性不足、矿石粒度分布结构不是真正的矿堆结构的缺点。小型试验堆的不利因素是边坡矿石量比例太大,取得的浸出率和回收率偏低,且成本较高,但是,对于较大型的矿山建设项目,为了减少风险,试验堆是非常必要的。有些矿山,如果前期建设费用不大,可以将最早的生产堆作为试验堆,在生产过程中逐渐修正和调整各项技术指标,使其达到最佳,甘肃省的大部分矿山都采用此项方法。

五、堆浸场地建设

堆浸场地建设包括平整、夯实场地,铺设地垫,修建溶液池。场地地面一般建在有一定坡度的(3%)坚实的基岩或砂土层上,为保证地垫表面不被压破和不淤积溶液,最好用泥土夯平。场地地垫基础一定要坚实,能够承担矿堆的压力。两当西岔沟金矿,曾在喷淋 4000t 试验堆时,由于地垫基础塌陷,贵液流失,使堆浸试验失败。许多金矿在上堆品位与回收率、原有浸出率之间有很大出入时,就要考虑贵液流失的可能。因此,堆浸场地建设十分重要。甘肃省的地垫材料主要用油毛毡、塑料彩条布、聚乙烯薄膜。具体铺设时有些是上下油毛毡,中间聚乙烯薄膜;有些下中上层分别为油毛毡、塑料彩条布、聚乙烯薄膜,这种铺法必须在上面铺一层河砂作为保护层。

国外现在推行永久性堆场,其特点是不用卸堆、洗尾矿,减少了生产成本;当喷淋浸出大部分金后,即停止喷淋,然后在旧堆上再开始筑堆,这样就缩短了浸出时间,提高了时间利用率和矿石处理量;还免去了对尾矿氰化物的处理。

甘肃省正规堆浸厂的溶液池多为永久性的钢筋水泥结构,外层护有防渗漏的油毛毡。在高寒地区、小规模生产矿山或试验堆过程中,有用聚乙烯薄膜作成的简易溶液池,但比较危险。溶液池的大小可根据堆浸规模及防雨季因素综合考虑。

目前国内防渗漏、韧性及抗老化性能优良的高密度聚乙烯软板(HDPE)、聚氯乙烯软板(PVC),由于价格较高,还没有推广使用,但随着人们对环境保护的日益重视,这几种材料有很好的应用前景。

六、采矿、运输、破碎、筑堆

1.采矿、运输

甘肃省大部分堆浸矿山为露天开采,除少数几个大型矿山有机械开采外,主要靠人工采掘,所以总体开采能力不大。以原矿机械化开采上堆的矿山有花崖沟和琐龙金矿,日开采能力分别达到600t和1000t。大水等其他机械化开采的矿山由于矿石需要破碎,影响了堆矿速度,最大能力可达到300t/d。其余中小型矿山用人工装卸、拖拉机运输,生产工效很低。主要原因还是矿山规模小,大型机械无用武之地。

2.破碎、筑堆

除花崖沟和琐龙金矿采用原矿堆浸外,省内其他矿山的堆浸矿石基本都需要破碎。多数为一次破碎,破碎粒度在3cm以下。使用的机械多为不同型号的颚式破碎机。

堆浸矿山的筑堆方式基本一致,即分层筑堆法,每一层的厚度从0.5～1.5m,最后达到所需的堆高。一般以0.5m层厚筑堆,既经济又基本不产生粒度偏析。具体方法是由运输车辆将矿石运到堆场(顶),然后用人工或推土机推平。

矿堆的规模视矿石类型、堆场地面积等诸多因素确定。如果矿石渗透性好,堆浸场地大,在堆高适宜的情况下,则矿堆的规模越大成本越低,甘肃省内单堆规模最大只有12 000t。

3.喷淋

甘肃省堆浸中的布液方式均采用喷淋。氰化溶液由贫液池通过管道系统泵送到矿堆顶,然后通过喷头、滴管或堆顶溶液池向矿堆布液。喷淋的强度随着不同地区、不同气候、不同季节而大小不同,主要原因是不同条件下喷淋溶液的蒸发量有差别。卡普斯通过研究①,提供了不同气候条件下溶液的蒸发损失量(表3-1-2)。由此得出,北山、祁连山地区6月～9月份的平均蒸发率在20%左右,西秦岭6月～9月份平均蒸发率在15%左右。因此,堆浸过程中,要及时调整喷淋强度和补充溶液。河西地区喷淋强度一般为16L/m^2～20L/m^2,西秦岭地区为12L/m^2～16L/m^2。

喷淋的时间每天不得少于8h。一个正常的新矿堆吸收的溶液量为50L/t～80L/t。开始浸出的氰化物浓度一般为0.05%～0.1%,pH值10～11。堆浸生产中,排出的贵液浓度在5d～10d后达到峰值,然后逐渐降低,当含金量达0.1×10^{-6}以下时,矿堆的浸出即可结束。

表3-1-2　喷淋溶液24小时的平均蒸发率

地区	季节	蒸发率(%)	地区	季节	蒸发率(%)
沙漠地带	夏季	20	热带从林	雨季	10
沙漠地带	冬季	5	凉雨气候		0
热带从林	旱季	20			

① 选冶堆浸提金新技术文集.地矿部低品位金矿堆浸技术研究咨询中心.1993.3.

七、回收黄金的工艺及设备

目前多数矿山回收黄金基本上采用活性炭吸附、赔烧 - 融炼或解析 - 电解工艺设备。吸附系统用占地面积小、设备费低的 4 段封顶吸附槽系统,利用泵将贵液以一定流速通过 4 个串联的顶部密封的吸附柱。载金炭一般要运回基地解吸或赔烧,回收率在 90%左右。国外现在有一种工艺是吸附—解吸都在同一设备中进行,炭不需要装卸,而将吸附柱和解吸柱合为一体,既节省了设备又减少了炭的装卸和运输。

八、环境保护

我国对氰化物的排放标准控制在 0.5mg l(国外此项指标在 0.2mg l 以下),甘肃省内各个堆浸矿山基本上能够做到。

第四章　选矿法提金

在堆浸氰化提金法应用以前,获取岩金矿石中精金矿的选矿方法(或粗金、金的合金)有重选、浮选、混汞、全泥氰化法,最后利用冶炼、金属置换等方法来得到金金属。选矿厂由于前期投资比较大,对地质工作的要求程度较高,因此,发展速度很慢。近年来,由于有其回收率高、产量稳定等优点,越来越受到产金行业的重视。甘肃省最早利用提金选矿工艺是在 20 世纪 80 年代中晚期,方法为单一的混汞法。由于有成本低、方法容易掌握等优点,对规模小、品位高的小型金矿尤其实用,但缺点是回收率低。目前这种方法主要用于小型的高品位石英脉型金矿。进入 20 世纪 90 年代,随着采金业的发展,在省内发现和建立了几个大、中型矿山,采用的选矿方法为成本更低、回收率高的全泥氰化—炭浆法,如花牛山、小西弓、格尔柯等选矿厂。对特殊类型的矿石,也有回收率较高的专门选矿方法。

一、建立选矿厂的基本条件

1 .地质条件

地质条件包括矿体产状、厚度、厚度变化系数,矿石的储量、品位、品位变化系数等。其中储量和品位是建立选矿厂的基本因素。许多金矿开发失败,就是因为选矿厂建成后,没有可靠的品位和储量。甘肃省最典型的例子就是山丹曹家口金银矿、徽县麻沿河金矿、徽县东峪金矿。曹家口金矿在 1991 年提交 D 级金储量 2t,1993 年进一步勘探后又提交了 C + D 级金储量 1.78t,其中 C 级占 C + D 级金储量的 47.4%,且 C 级储量的矿体厚度较大而稳定,D 级相对较窄且变化较大,如果建立日处理 50t 的小选矿厂,矿山服务年限大约 15 年,建立选矿厂的矿石储量有充分的保证,可采矿体的平均品位是 5.24×10^{-6}。由于矿体形态较为复杂,矿体内夹石较多,采矿时矿石贫化率在 25%,因此,矿石的入选品位应该是 3.93×10^{-6},经试验确定,金的选冶总回收率为 70%。如果对该矿山的技术经济指标进行周密的论证,是一个很好的开发项目。但是,投资近千万元,建立了一个日处理矿石量 50t 的选矿厂,由于管理不善,采矿及选矿成本过高,选矿厂生产后,需要的矿石入选品位在 5×10^{-6} 以上才能不亏本,最后导致开发失败,使国家和单位蒙受了巨大的损失。麻沿河金矿和东峪金矿都是因为矿体的厚度太窄,采矿成本过高,造成停产。

2 .矿石物质组分及选矿工艺

矿石矿物成分主要指矿石的类型、主要矿物的含量、金的赋存状态、粒度、影响浸出的杂质(元素)等等,实际就是矿石的可选性和浸出率问题。对甘肃省以氰化为主的选矿工艺,影响金回收率的主要元素是砷、有机炭及含硫矿物等。在完成金矿地质工作的同时,要对金矿矿石做选矿试验,确定其在各种选矿条件下的金回收率,计算经济技术指标,为进一步开发提供科学依据。

选矿工艺及流程有很多种,可以根据矿石的类型及性能试验确定,一般含砷、含硫低,不含炭的易浸出矿石,用全泥氰化—炭浆法最佳。甘肃省大部分选矿厂采用这种工艺。

省内难处理金矿石的典型金矿是坪定金矿和拉尔玛金矿。坪定金矿 1990 提交了 C + D

级金储量 5t,砷储量 29 752t,金平均品位 11.62×10^{-6},砷平均品位 6.62%,影响矿石技术加工性能的主要原因是高砷和含碳。由于建选厂投资要近千万元,能源消耗量大等原因,至今无法大规模开发。拉尔玛金矿属大型金矿床,但矿石中含有有机碳,自然金嵌布粒度微细,单体解离度低,与辉锑矿、重晶石、黑辰砂呈交代结构,包含被壳结构,部分金以填隙固体形式存在于黄铁矿中,加之矿物组成复杂,致使难以一般的机械选矿及常规氰化浸出方法富集回收,因为在氰化过程中由于碳质从溶液中吸附贵金属氰络合物或对浸出化学过程提供还原环境的影响,会限制氰化浸出。甘肃省地质矿产局兰州中心实验室用 17 种方法进行探索和对比,筛选出原矿高温焙烧—氰化浸出、原矿 95℃氧化—炭浸、原矿浮选炭精矿焙烧后氰化—浮尾炭浸和浮选金精矿焙烧—氰化等 4 种加工方法,最后确定采用原矿浮选—金精矿焙烧—氰化浸出或炭浸联合流程(原矿一二段破磨—浮选—精矿焙烧—氰化浸出—炭浆吸附—解析—电解—合质金流程)。矿石采用浮选法富集金,金精矿品位为 22×10^{-6}～23×10^{-6},金回收率 92%～93%,占原矿量 76%的浮选尾矿,品位只有 0.6×10^{-6},然后对浮选精矿浸出。由于矿石中金的微细粒嵌布不均匀,采用第一段磨至 - 200 目含量占 73%;第二段磨至 - 300 目,含量占 99%,在流程结构上选用一段磨矿后经一次粗选,二段磨矿后一粗一扫,不加精选简单流程。在用药上采用捕收能力强的丁基黄药与选择性良好的丁基铵黑药以 2∶1 的配比联合使用,改善了矿物浮选行为,减少了起泡剂的用量,并添加适量硫酸铜,用于活化黄铁矿、辉锑矿等。该流程经闭路试验,浮选回收率为 93%,金浸出率为 97%,吸附、解吸、电解及精炼回收率达 97%,全流程的总回收率达 88%。因此,开发拉尔玛金矿在技术上是可行的,经济上是合理的。

3 .开采条件

有交通、气候、水、电等因素。在甘肃省发现的金矿中,交通、水都比较便利,电可以自备,主要的不利因素是海拔和气候。许多成矿条件较好的地区,也发现了一些矿床和重要的矿点,但由于海拔较高,气候恶劣,开发十分困难。如党河南山的黑刺沟金矿,属于低品位、规模大、易露天开采的矿床,但由于气候差,基本变成了呆矿。

二、全泥氰化—炭浆法提金的工艺流程

全泥氰化—炭浆法实际是搅拌氰化法提金的一种,具有浸出速度快、处理能力大、机械化作业、金提取率高的特点,其工艺流程主要有浸出原料的准备、搅拌浸出—炭吸附、载金炭解吸、电解、熔炼等过程。各个选矿厂在不同流程中采用的方法可能不太一致,但总的工艺流程基本相同。

1 .矿石粒度的要求

全泥氰化的基础是粒度较细的矿石,一般矿石粒度要小于 0.3mm,对非硫化物含金矿石,通常的粒度要求是 200 目的占 60%～70%,对含硫化物矿石的粒度要求更细。

2 .搅拌浸出—炭吸附

氰化过程用连续氰化法浸出,浸出过程中的氰化物,可在搅拌槽中添加,也可在磨矿过程中添加,在搅拌槽中用活性炭吸附氰化浸出的金,搅拌多采用机械搅拌。吸附搅拌槽一般 5 个～8 个阶梯状串联使用,借助于重力作用,矿浆从上一个槽流入下一个槽,到最后一个搅拌槽排出。在炭的吸附工艺中,多处采用各种筛子,目的是分离载金炭和矿浆以及回收较粗的矿粒。

3 .载金炭的解析—电解及熔炼

其方法和过程与堆浸法产生的载金炭处理一致。所谓解析是将附在活性炭表面的金,再溶解于溶液中,贵液经过滤后,进入电解槽电解,金呈片状或絮泥状,在阴极铜棉或钛板析出,然后熔炼铸锭。在甘肃省专为解析载金炭的车间有近 10 个。解析后的活性炭活化后可以重新使用。

第五章　典型金矿开发研究

一、花崖沟低品位金矿堆浸技术方法研究

(一)矿区地理及地质概况

甘肃省两当县花崖沟金矿位于两当县城北东 10°方向,直距 12km。矿区位于“徽成盆地”东南部,海拔 1300～1959m,相对高差 300m 左右,地形切割较深。区内气候温和、湿润,水系发育,年平均气温 11℃,最高温度达 30℃,无霜期为 200d,年降雨量达 54.9mm,主要集中在 6 月～9 月份。矿区水资源充足,水系发育,能满足堆浸喷淋的需要。生产和生活用电,靠矿区柴油发电机供电。

整个区域矿化带长近 20km,宽 1～1.5km,达到小型规模以上的金矿床分布于矿化带中段,有花崖沟金矿和金厂沟金矿。花崖沟金矿带长 1.5km,已圈定 3 个矿体,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号,探明地表氧化矿储量 1230 000t,品位 0.6×10^{-6}～1.46×10^{-6}。矿体厚度 2.5～24.1m,现开采的Ⅱ、Ⅲ矿体平均厚度分别为 16m 和 19m,最大厚度 30.57m,厚度变化系数为 80%,属较稳定型。矿体自然地表高差约 150m,覆盖层 0.5～2m,适宜于露天机械化开采,目前,地质工作仍在进行。

花崖沟地区的金矿化,主要与褐铁矿、黄铁矿密切相关,金矿物呈超显微粒状和吸附金状态存在于蚀变岩中。金在矿体中的平均品位变化不大,分布较均匀,如主要矿体Ⅱ号矿体品位变化系数为 29.7,基本属品位稳定型。

(二)矿石物质组成及矿石质量研究

1 .矿石类型及成分:

地表氧化矿石可从其矿物成分、结构构造等特征分为三种类型:

(1)褐铁矿化角砾状矿石。主要由氧化碎裂一角砾状、片状的褐铁矿化绢云绿泥石英片岩组成,角砾大小一般为 2～10cm,矿石中主要矿物有褐铁矿(5%～25%)、黄铁矿(1%～5%)、斜长石(1%～5%)、钠长石(5%～10%),并有少量的金红石、磷灰石、电气石等。在氧化矿石中,金的载体矿物黄铁矿氧化为褐铁矿,一般呈星点状、斑点状分布,或沿裂隙分布。矿石中主要矿物石英粒度为 0.046mm 左右。

本类矿石中含 As(0.21%～0.42%)、S(0.05%),此外含 Sb、Bi、Hg、Pb、Zn、Cu、Mo 均较低,矿石中的微量元素及化学成分见表 5 - 1 - 1、5 - 1 - 2。

(2)褐铁矿化碎裂糜棱岩金矿石。是主要的矿石类型,由碎裂糜棱岩化的绿泥石英片岩组成。矿石中的石英残余有丝带构造。矿物成分特征基本同褐铁矿化角砾状矿石。金品位在本类矿石中虽然较低,但矿化均匀,平均品位变化不大。且有 As(0.04%～0.13%)、S(0.05%～0.112%)低的特点(表 5 - 1 - 1、5 - 1 - 2)。

(3)褐铁矿化碎裂硅质岩型金矿石。此类矿石分布较少,特点是致密坚硬。具有碎裂结构、块状构造。矿石中的矿物成分有石英(65%)、斜长石(2%)、绢云母(3%)、方解石及水云母(5%)、黄铁矿 + 褐铁矿(25%),该类矿石在氧化带中的氧化程度较低,硫化物含量较高。微量

元素中 S(0.075%～0.124%)、As(0.45%～0.55%)、Pb(0.04%～0.12%)较高,化学成分中也具有高 SiO_2、S 的特征,见表 5-1-1、5-1-2。

表 5-1-1　矿石有益有害元素一览表

矿体编号	样品编号	分析结果(%)											矿石类型
		Ag	S	C	As	Sb	Bi	Hg	Pb	Zn	Cu	Mo	
Ⅱ	96Zh-1	1.10	0.500		0.42	0.02	0.003	0.002	0.02	0	0.00	0.002	①
	96Zh-2	1.80	0.050		0.21	0.02	0.004	0.000	0.00	0	0.00	0.002	①
	96Zh-4	1.00	0.050		0.04	0.00	0.002	0.009	0.05	0	0.01	0.003	②
	96Zh-6	0.20	0.025		0.30	0.00	0.002	0.000	0.01	0	0.01	0.002	①
	7	0.40	0.124		0.46	0.01	0.002	0.004	0.12	0	0.00	0.003	③
	8	0.10	0.075		0.45	0.02	0.002	0.000	0.03	0	0.00	0.002	③
	9	0.60	0.100		0.55	0.02	0.002	0.002	0.04	0	0.00	0.002	③
	10	0.40	0.050		0.26	0.02	0.02	0.007	0.05	0	0.01	0.003	①
	11	0.60	0.112		0.12	0.00	0.002	0.004	0.07	0	0.00	0.02	②
	12	0.70	0.050		0.23	0.00	0.002	0.005	0.04	0	0.00	0.003	①
Ⅲ	96Zh-3	1.30	0.050		0.08	0.02	0.003	0.000	0.04	0	0.00	0.003	②
Ⅰ	96Zh-5	0.75	0.050		0.13	0.02	0.003	0.009	0.02	0	0.00	0.003	②

注:①为褐铁矿化角砾状矿石;②为碎裂糜棱岩型矿石;③为褐铁矿化硅质岩型矿石

表 5-1-2　矿石化学成分表

褐铁矿化角砾状矿石	组　分	SiO_2	MgO	CaO	Al_2O_3	FeO	Fe_2O_3	MnO_2
	含量(%)	62.80	1.34	3.83	15.91	1.06	4.14	0.023
	组　分	TiO_2	P_2O_5	Na_2O	K_2O	S	LDs	
	含量(%)	0.28	0.084	0.83	3.87	0.22	4.89	
褐铁矿化碎裂糜棱岩矿石	组　分	SiO_2	MgO	CaO	Al_2O_3	FeO	Fe_2O_3	MnO_2
	含量(%)	64.80	1.38	0.24	17.56	0.63	5.32	0.033
	组　分	TiO_2	P_2O_5	Na_2O	K_2O	S	LDs	
	含量(%)	0.30	0.134	0.94	4.30	0.32	3.13	
褐铁矿化碎裂硅质岩型矿石	组　分	SiO_2	MgO	CaO	Al_2O_3	FeO	Fe_2O_3	MnO_2
	含量(%)	70.78	1.11	0.52	14.66	1.54	1.54	0.054
	组　分	TiO_2	P_2O_5	Na_2O	K_2O	S	LDs	
	含量(%)	0.32	0.084	1.07	3.20	0.63	0.63	

2.矿石的可浸性试验

柱浸试验的矿石只采取矿体中的主要矿石褐铁矿化碎裂糜棱岩矿石。通过对原矿(即不用加工保持自然粒度的矿石)进行柱浸试验。试验时间为 14d～16d。得出如下试验结果:

(1)原矿矿石具有较好的浸出结果。矿石平均品位为 1.21×10^{-6}～1.53×10^{-6},尾渣品位为 0.22×10^{-6},浸出率为 84%。由于原矿品位属特低品位,矿石中金的浸出率相对比例是很高的。

(2)矿石中影响氰化的有害杂质少,泥化程度低,即有利于氰化溶液的渗透和浸出,氰化钠消耗量又不高。

(3)柱浸实验中利用石灰作保护碱,溶液中 pH 值调整为 9～10,可缩短柱浸周期。

(三)堆浸提金过程及方法

花崖沟金矿勘查及开发的前期论证工作得出 4 个重要特点:可采矿体倾角徒、厚度大。Ⅱ、Ⅲ号矿体的平均厚度分别为 16.5m 和 19.87m,且变化很小,矿体倾角在 70°左右;矿体具有稳定的低品位,主要矿体Ⅱ、Ⅲ号矿体的金平均品位只有 1.06×10^{-6} 和 0.80×10^{-6},但却很稳定;矿体的主要矿段都在高于侵蚀基准面 0～150m,矿体覆盖层只有 0～2m,具有良好的露天开采条件;矿石在开采后的自然粒度(50mm 以内)下,金浸出率可达 84%。根据以上特点,确定出花崖沟金矿的提金工艺流程。

表 5 - 1 - 3　柱浸试验结果表

名　称	单　位	技术指标	备注
矿石重量	kg	28	
矿石粒度	mm	1～50	
浸出时间	d	16	
矿柱浸透速度	mm min	133	
石灰耗量	Kg t	4	
氰化钠耗量	g t	200	
原矿品位	$\times10^{-6}$	1.24～1.35	
尾渣品位	$\times10^{-6}$	0.22	
金浸出率	%	84	

1.提金流程

矿山的提金流程包括露天采矿、筑堆、洗矿、喷淋、冶炼。矿石开采后,用装载机和自卸车运到堆浸场地,堆筑在防渗透性能好的堆浸场底垫上,先用清水洗矿。清洗程度以流出的水不浑浊为止,然后用碱水洗矿,将矿堆 pH 值调在 8～10。随后即可用配制好的氰化物溶液喷淋溶解矿石中的金。从矿堆中流出的含金富液被收集到贵液池内,再抽入载有活性炭的吸附塔中吸附贵液中的金,吸附后的贫液在贫液池中补充氰化钠溶液后返回喷淋,形成闭路循环。最终的载金炭通过焙烧熔炼或解析提金。

2.堆浸场与溶液池

首先选择能承受整个矿堆及筑堆设备重量的场地,堆场平整坡角一般为 3°～6°。防渗漏底垫层选择三层。最下部采用防刺穿能力强、价格低廉、现场拼接简单的油毛毡,中层用防渗透、防漏,又有一定强度的塑料彩条布,上层用塑料透明薄膜作保护层。

花崖沟金矿堆浸厂建有贫液池、贵液池和防洪池,每种池壁及底部均用油毛毡做防渗透处理,整个池子用钢筋混凝土浇筑建成。每个池子的大小是以能容纳 1d～2d 从溶液饱和的万吨级矿堆上排出的溶液量为上限。

3.矿堆结构的物理因素

矿堆结构的物理因素包括矿石粒度、筑堆方式、堆型构造等。

(1)矿石粒度是影响金矿石浸出动力学的主要因素之一。通常随着矿石粒度的减小,金的浸出速度与浸出率都能得到提高,因为浸出过程是在矿石表面及裂隙中进行的,粒度减小,表面积增大。但粒度过细对堆浸也会产生不利影响,大量的细泥会使矿堆对溶液的渗透性能降低,结果浸出率下降,并延长了浸出时间。由于矿石加工破碎要增加成本并影响堆矿速度,根据花崖沟金矿柱浸试验结果(表 5 - 1 - 3),其原始粒度的矿石浸出率很高,浸出时间不长。据统计,花崖沟金矿开采后的矿石粒度小于 50mm 的占 90%以上,且粉矿比率很小。因此,花崖沟金矿采取将开采后的矿石直接上堆,以降低成本,提高堆矿速度。这对特低品位的金矿尤为重要。国外把这种不经破碎就直接筑堆的方法叫原矿堆浸工艺,目前也是正在发展的一种趋势,美国内华达州的 Pinson 金矿和 Gold Quanrry 金矿就采用这种工艺,并且破碎和未破碎的

浸出率基本相似,只不过周期稍长。

(2)筑堆方式及堆高。由于矿石具有结构疏松、裂隙发育的特点,柱浸实验表明有良好的渗透性(133mm min),因此,合理的筑堆方式就成为影响堆浸效果的重要因素。根据矿上现有的设备条件,筑堆时利用自卸车和推土机采取一米一层的平行推移法筑堆,这样可以防止堆中矿石层压实和产生偏析。

适宜的堆高,可以提高矿场单位面积处理矿石的能力,又不影响矿堆下部矿石的供氧量及渗透性。黄永泉(1996)曾对大板金矿堆浸结束后不同高度的矿石层的浸出情况作过调查,发现随着矿堆高度的增加,堆底部的矿石浸出率明显下降,堆高 3.5m 的矿堆顶底层浸出率相差 20%,这当然也与矿石的结构及筑堆方式有一定关系。花崖沟金矿堆浸厂场地狭小,但矿石渗透性好,故堆高下限选择为 5m,最高达 7.8m,实验结果表明,这样筑成的万吨级矿堆边坡较稳定,没有产生塌坡情况,且喷淋时渗透均匀,不产生死角和沟流。不同堆高和每堆上下底层及边坡,其尾渣品位接近。表 5 - 1 - 4 为实际筑成各堆的高度、矿石量、尾渣品位、浸出率等。

表 5 - 1 - 4　各浸堆技术指标一览表

技术指标	单位	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号
矿石量	t	6566	11218	8838	10875	9590
堆高	m	5	6	6.5	7.8	5.3
原矿品位	$\times 10^{-6}$	0.8	0.9	0.78	0.78	0.77
尾渣品位	$\times 10^{-6}$	0.2	0.25	0.25	0.2	0.2
浸出率	%	75	72	74	74	74

4 .主要堆浸技术方法

(1)矿石预处理。为减少氰化钠损耗和增加矿堆的渗透性,矿石筑堆后首先采用清水洗矿,自然淋滤 2d～3d,使其达到淋滤水不浑浊为止。

由于氰化钠在水中的水解反应会损失氰化钠及污染环境,防止产生这种水解的方法就是提高水溶液中的 pH 值。而矿区喷淋用的地表径流水 pH 值为 6～7,呈弱酸性。经实验测定,本类矿石氰化钠损失最少的水溶液 pH 值为 9～10,提高 pH 值的方法是在水溶液中加烧碱(NaOH),投放 NaOH 的标准按矿石量多少而定,一般是 0.87kg t。

(2)布液方式的选择。布液方式的选择,直接关系到布液的均匀程度,是影响矿堆浸出率的关健,布液不均匀,会造成矿堆出现干点和死角,使矿堆浸出率下降。由于矿区处于无风、湿润的南秦岭气侯条件下,蒸发和飘浮损失较少,故选用喷淋半径大、喷洒均匀、喷出的液滴大、不易堵塞、装卸方便的旋转摇摆式喷头。网度一般为 2m×2m。

(3)氰化钠浓度控制。氰化钠浓度控制是技术经济研究的一个重要内容。由于金的浸出反应快慢是受氰离子的扩散速度所控制的,随着氰化物浓度的增加而直线上升。但在氰化物浓度大于 0.05%时,金的溶解度随氰化物浓度的增大而缓慢上升,直到氰化物浓度增大到 0.15%时为止,此后再增加氰化物浓度,金的溶解速度反而略有下降。用低浓度氰化物处理金矿石时,金的溶解度都很大,而其他金属的溶解度却很小①。另据实验,在其他条件相同时,达到相同浸出率使用浓度为 0.1%的氰化物溶液所需浸出时间是使用 0.025%氰化钠溶液所需浸出时间的 1 4。氰化钠浓度太低,延长氰化时间,浓度太高将使杂质溶解量增大,耗量增加,成本增大。实验表明,花崖沟金矿每堆氰化期可分为三期,氰化钠浓度采用递减加药的办法,

① 地矿部直管局 1993. 黄金开发手册 .

前期约 8d,将氰化钠浓度调节在 0.07%～0.08%;中期 6d 左右,浓度控制为 0.05%～0.065%;尾期 6d 左右,浓度控制在 0.03%。以上浓度参数既能使氰化钠耗量保持在 150×10^{-6} 以下,又能缩短氰化时间。

(4)喷淋强度。喷淋强度直接影响金的回收和总成本。适当增大喷淋强度,可以加强溶液在矿石之间的相对运动,加速了传质,减小了浓度梯度,起到了强化扩散作用。但太高的喷淋强度也会阻碍氧在矿堆中流动,同时显著降低贵液品位,影响金的回收,也增加了泵送溶液的费用。借鉴陕西双王金矿 12L $m^2\cdot h$～15L $m^2\cdot h$ 喷淋强度,实践表明基本适用于花崖沟金矿。

(5)浸出周期及温度的影响。金浸出率随浸出时间的延长而增加,但延长浸出周期又会使成本加大,产量减小。因此,如在浸出率达 70%以上的情况下,尽量缩短浸出周期,提高矿石处理能力。一般堆浸提金过程包括矿石中金的溶解和含金溶液从矿堆中分离出来,要缩短浸出周期应该在矿石筑堆和喷淋过程中控制好工艺条件,加快浸出反应速度和浸出液的循环,这些条件中除矿石性质方面如矿石氧化程度、金嵌布粒度、金的赋存状态等因素无法人为改变外,应该在矿石粒度、矿堆渗透性、矿堆高度、氰化物浓度、浸出液碱性及喷淋强度等多方面综合考虑,并将这些条件有机地结合起来,达到缩短浸出周期的目的。结束时间的确定要依贵液中金含量、尾渣品位来确定。对低品位金矿一般在 25d～30d。

气温也是影响金浸出速度、浸出率的一个重要因素,一般气温低于 10℃时,金的溶解速度大大减慢。陇南地区一般在每年 11 月底到第二年 3 月平均气温低于 10℃,该段时间不利于堆浸。但采矿、平整场地等一些基本建设可以进行。

表 5-1-5　实际成本计算表

序号	项目名称	单耗	单价 元 吨	成本 元 吨	占总经费%
1	采运、堆矿			8	27.7
2	堆场平整			1	3.47
3	场地铺设材料			2	6.93
4	氰化钠	145	2000	2.9	10.05
5	氢氧化钠	870	3200	2.78	9.64
6	活性炭	150	13000	1.95	6.76
7	水电、运输			1.5	5.2
8	土地费			0.5	1.7
9	折旧费			3.02	10.47
10	管理费			3	10.4
11	化验			0.10	0.35
12	焙烧、熔炼		1.8 万 吨炭	21	7.28
13	合计			28.85	100

5 .主要技术经济指标

花崖沟金矿前期实验堆浸,完成 5 堆共 47 000t 矿石,产黄金××kg。各堆堆浸的参数及浸出结果、堆浸实验的实际成本,取得的最终技术经济指标见表 5-1-4、5-1-5、5-1-6、5-1-7。

6 .环境保护

由于花崖沟金矿地处嘉陵江水系支流上游地区,矿区内有长年地表径流,因此环保措施尤为重要。在堆浸生产的各个环节,主要是堆场和溶液池,都采取有防渗漏措施,在近二年半的生产中,没有发生过含氰液体在处理前跑、冒、漏现象。在每一堆浸出结束后,对尾渣和含氰污水进行严格的处理。一般在浸出结束后对矿渣喷 pH 值为 8～9 的氢氧化钠水溶液洗涤 3d～4d,回收矿堆中残留的已溶金。洗涤后的矿堆,再用漂白粉溶液喷淋,使矿堆排出的污水中氰

化钠含量在 0.5mg L 以下,低于国家规定的排放标准。

(四)技术水平分析

自 20 世纪 70 年代开始,国外开始用现代堆浸法提金,在以后 20 年中,发展十分迅速。据统计,1990 年全世界黄金总产量中,采用堆浸法产金量的比例为 8.1%(136.1t),其中美国堆浸法产金达 111.6t,占全世界堆浸法产金量的 82.01%,澳大利亚产金 12.6t,占 9.2%。堆浸技术也以美国最为先进。我国自 1979 年开始进行低品位金矿堆浸试验,1981 年正式工业生产,但由于技术落后,生产规模小,到 1988 年堆金产量仅占全国产金总量的 0.5%左右。自 90 年代开始,我国堆浸技术及规模有了很大的提高,堆浸产金量在 1993 年已达全国产金总量的 3%左右*。近几年来,在陕西、甘肃、新疆低品位金矿堆浸发展很快,入堆品位越来越低,规模逐年增大,成本也随之降低。代表性的有陕西双王低品位金矿、新疆萨尔布拉克低品位金矿规模堆浸提金成功,标志着我国低品位堆浸技术有了突破性的进展。花崖沟金矿低品位堆浸技术正是在以上的基础上,又有了新的进展,已取得的一些主要技术经济指标,如入堆品位、尾渣品位、开采成本、药品消耗等;与国内的同类指标相比,已达到国内先进或领先水平,有些指标可以与国际先进水平相比(表 5 - 1 - 8)。

表 5 - 1 - 7　花崖沟金矿主要经济指标

序号	项目名称	单位	指标
1	总投资	万元	100
2	黄金产量	公斤	××
3	黄金收购价	元 克	80.5
4	总产值	万元	×××
5	总成本	万元	135.843
6	每吨矿石产值	元 吨	44.11
7	每吨矿石生产成本	元 吨	28.85
8	每吨矿石生产利润	元 吨	15.26
9	每克黄金生产综合成本	元 吨	52.64
10	每克黄金生产利润	元 克	27.86
11	投资产值率	%	72
12	投资利润率	%	80
13	产值利润率	%	35
14	投资回收期	年	当年
15	临界品位	$\times 10^{-6}$	0.55
16	劳动生产率按处理矿石计	吨 人年	941.2
17	劳动生产率按黄金产量计	克 人年	645.15
18	劳动生产率按产值计	万元 人年	6.19
19	劳动生产率按利润计	万元 人年	2.79

1.入堆品位

黄金堆浸入堆矿石品位的高低,代表一个国家或地区技术经济发展的水平。入堆品位越低,技术研究水平越高,美国目前堆浸黄金的矿石品位,一般在 1×10^{-6}～2×10^{-6},卡林金矿入堆最低品位 0.2×10^{-6}***,澳大利亚特尔法(Telfer)金矿入堆最低品位为 0.4×10^{-6}。国内该项指标平均为 2×10^{-6},最低 0.65×10^{-6}。花崖沟金矿单堆入堆最低品位为 0.77×10^{-6},年平均 0.806×10^{-6},在国内处于领先和先进水平。

2.尾渣品位

矿石堆浸后的尾渣品位,直接关系矿石的浸出率,并能影响到入堆品位,尾渣品位越低,浸出率越高,入堆品位也可相应降低。国内与国外发达国家在这项指标上相差较大。国外基本都在 0.2×10^{-6} 以下,最低的美国的卡林金矿,尾渣品位只有 0.08×10^{-6}。国内大部分在 0.5×10^{-6} 以上,最低的为萨尔布拉克和花崖沟金矿,已接近发达国家的平均水平。

表 5-1-8　某些技术经济指标对比表** *** ****

技术经济指标		花崖沟金矿	美　　国	澳大利亚	国　　内
入堆品位 ($\times10^{-6}$)	平均	0.806	1～2	0.6～2.3	2
	最低	0.77	0.56～0.8(温德山) 0.2～1.2(卡林)	0.4～1.6(特尔法)	0.65
尾渣品位 ($\times10^{-6}$)	平均	0.22	0.2	0.2	0.65
	最低	0.20	0.17(温德山) 0.08(卡林)	0.12(特尔法)	0.34(萨尔布拉克) 0.2(花崖沟)
回收率 (%)	平均	68	70	70	62
	最高	72	85		87.75(萨尔布拉克)
临界品位 ($\times10^{-6}$)		0.55	0.2(卡林)	0.4(特尔法)	0.65(平均)
开采成本 (元 吨)	平均	8	33	41	18.22
	最低				14.8(双王)
氰化钠耗量 ($\times10^{-6}$)	平均	145	150～750		200～500
	最低		80(迈思科特)		134(双王)
规模 (万吨 年)	平均	5	500～1000	200～500	3～5
	最大		1500(格尔,罗彻斯特)	100(特尔法)	16(萨尔布拉克)

*　地矿部低品位金矿堆浸技术研究咨询中心,选冶堆浸提金技术文集,1993

**　地矿部低品位金矿堆浸技术研究咨询中心,1993,选堆浸提金新技术文集

***　地矿部直管局,1993,黄金开发手册

****　甘肃省地矿局,赴美国纽蒙特黄金公司考察报告 1996

3.采矿成本

一般在采用露天开采矿石时,采矿费视剥离率、搬运距离、国家地区劳动力费用及矿山机械化程度的不同而变化。由于采矿成本在黄金堆浸的生产成本中占较大比例,能直接关系到堆浸技术经济中各项指标的高低。花崖沟金矿由于得天独厚的自然条件,采用机械化开采已使成本降至国内的最低水平。充分保证了特低品位金矿堆浸提金成功。

4.氰化钠消耗

由于氰化钠是堆浸过程中的主要消耗药品,加之价格昂贵,直接影响生产成本。国内该项指标在 200×10^{-6}～500×10^{-6},最低的陕西双王金矿为 134×10^{-6},距世界最低美国的迈思科特(80×10^{-6})还有一定距离。但就国内来看,花崖沟金矿(145×10^{-6})氰化钠消耗居较先进水平。

5.临界品位

临界品位是金矿堆浸生产的盈亏平衡点,主要由生产成本及国际黄金价格决定。国外由于堆浸厂规模大,单堆堆浸已达 2 000 000t,年处理矿石量达 15 000 000t,使其生产成本大大下降,临界品位降到 0.2×10^{-6},基本与我国最低的尾渣品位相等。花崖沟金矿临界品位受金价的影响,已从 1996 年的 0.45×10^{-6} 上升到现在的 0.55×10^{-6},但在国内仍处于领先水平。

(五)结语

花崖沟特低品位金矿堆浸提金的成功,是我国 1992 年在新疆萨尔布拉克低品位堆浸取得突破以来,将入堆品位、尾渣品位、堆浸成本、临界品位又提高了一个台阶,大大扩大了我国的金矿可利用资源量。据统计,甘肃省近年来发现的大部分构造蚀变岩型金矿,品位多在 0.5×10^{-6}～2×10^{-6} 间。该类矿床具有规模大、品位稳定、矿石疏松等特点,极有利于堆浸提金。一方面,在现阶段或在开发中晚期的矿床(点)品位多在 2×10^{-6} 以上,这一类矿山服务期一般在 5 年左右,因此大规模开发利用 2×10^{-6} 以下低品位金矿已成可能。据初步了解,2×10^{-6} 以下低品位金矿在全国所占的比例也很大,这些资源长期以来一直作为呆矿,不能被国家利用。花崖沟低品位堆浸提金的成功,也许会使我国低品位堆浸步入一个新的阶段。

二、大水金矿堆浸效果研究

(一)地质简况

大水金矿含矿岩系为中三叠统碳酸盐岩系。矿体严格受断裂、脉岩、岩溶构造控制,产于碳酸盐岩系与花岗闪长岩接触带或花岗闪长岩脉超覆部位的碎裂岩带和角砾岩带中,部分产生于硅化、赤铁矿化花岗闪长岩中。已圈定数十个金矿体,矿体展布方向 330°～350°、100°～110°,与矿床内次一级构造线方向基本一致。矿体形成很复杂,具有膨大、缩小、分支、复合、尖灭、再现特点,绝大部分矿体沿断裂破碎带呈斜列式排列,局部岩溶带亦有矿体分布。矿体一般长 60～300m,个别达 490.00m,厚度 1.0～2.0m,个别达 58.00m,控制斜深 30～340m,平均品位 5×10^{-6}～30×10^{-6}。通过深部工程验证,矿体在深部(剖面上)由北向南呈雁行状排列,地表出露长度小,延深长度大于矿体走向长度。

(二)矿石类型及成分

按矿石自然类型分为网脉状—细脉状角砾岩型金矿石、细—网脉状似碧玉岩型金矿石、细脉状赤铁矿化硅化碧玉岩型金矿石、碎裂—碎斑状赤铁矿化方解石化白云岩型金矿石、细脉状赤铁矿化硅化花岗闪长岩型金矿石等;按矿石的主要物质成份分为自然金—赤(褐)铁矿—碧玉岩型金矿石、自然金—方解石细脉型金矿石等;按矿石工艺类型属少硫化物氧化自然金—(褐)铁矿—碧玉岩型金矿石、自然金—方解石细脉型金矿石等;按矿石工艺类型属少硫化物氧化自然金—赤(褐)铁矿型矿石。

矿石的矿物成分根据光、薄片和人工重砂结果表现时,金属矿物有赤铁矿、磁铁矿、褐铁矿、自然金、菱锰矿、硬锰矿、银金矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、辉锑矿、辰砂、毒砂、方铅矿、闪锌矿、雄黄、雌黄、黄铁钾矾等;脉石矿物有石英、方解石、白云石、长石、金红石、绢云母、高岭土、锆石等。

矿石化学成分中除主要组成 Au 外,其他元素含量很低无法进行综合利用。

(三)金的赋存状态

通过光片和人工重砂鉴定,矿石中除少数可见明金外,绝大部分为显微金。金的存在形式为独立自然金,多呈金黄色,以不规则粒状为主,维氏硬度 VHN($km\ mm^2$)50～60,反射率高,蓝光反射率 36.5%,绿光反射率 71.%,密度($g\ cm^2$)20～19;经电子探针分析,金的纯度达 98.85%～99.53%。

矿石中主要载金矿物为石英、褐铁矿、黄铁矿、赤铁矿和热液方解石;自然金主要分布在赤铁—碧玉岩和方解石细脉中,该含金方解石在花岗闪长岩中亦有分布。

自然金形态主要为粒状、解粒状、麦粒状、长条状、枝叉状、针状、不规则状等。自然金粒度

细小,一般为 0.074～0.002mm,金平均粒度为 0.002mm,以微细占绝对优势。

根据自然金嵌布特征研究结果表明,自然金与褐铁矿关系密切。嵌布于褐铁矿粒间,褐铁矿裂隙及孔洞中和褐铁矿与脉石之间的自然金约占总量 51.90%;嵌布于石英、长石裂隙中的自然金占总量 16.30%;嵌布于石英、碳酸盐矿物之间的自然金占 3.5%;嵌布碳酸盐矿物粒间、解理、裂隙或碳酸盐矿物包裹体占 7.7%;但嵌布于脉石中的自然颗粒细小,形态复杂,往往成群出现。

(四)堆浸效果

大水金矿最大特点是:含金属硫化物少,矿石类型简单,绝大部分以独立矿物—自然金出现,粒度平均为 0.002mm,以麦粒、粒状、角砾状为主,裂隙金、粒间金点绝对优势,包裹金次之。金矿石全部被氧化,地表已变为氧化矿石。根据大水金矿的矿石特点,在野外采用氰化法提金效果良好,其工艺流程为:

碎矿采用二级二段破碎流程,矿石粒度在 10～30mm 之间,筑堆高度 3.50～5.20m(主要根据矿石的硬度、粉化度、矿石类型决定矿堆高度),通过人工手推车筑堆,喷淋所用为双主分支 1.50m×1.50m 网度安装旋转式喷头,喷淋强度为 12L m^2.h～15L m^2.h,每天喷淋时间 16h。吸附采用三串(一级)二并的逆流吸附,吸附流量 20～25$m^3 h^{-1}$. 单位炭层,获得载金炭品位控制在 0.8%～1.0%之间。氰化钠浓度一般采用递进式加药方式,浓度为 0.03%～0.1%之间,pH 值在 8.50～12.00 之间;尾液处理采用池子加漂白粉搅拌。测定达到排放标准后予以排放,漂白粉用量 4～5kg t。

通过两年吨级堆浸试验,金的浸出率在 56%～72%之间,综合回收率达 60%～65%。回收率高、成本低,经济效益可观,表明大水金矿适合原地堆浸。

(五)结语

(1)大水金矿矿石的物质组分比较简单,金属矿物含量极少,占矿物总量的 5%,矿石氧化程度高。

(2)主要金属矿物为褐铁矿,主要载金矿中金占有率为 51.60%。

(3)矿石中的金多以独立矿物—自然金出现,成色平均在 999.40‰,粒度 0.002mm,以麦粒状、粒状、角砾状为主。裂隙金、粒间金占绝对优势,包裹金次之。

4. 大水金矿适合野外大规模堆浸,成本低,回收率高,经济效益可观。

三、小西弓选矿工艺及方法

(一)自然地理

小西弓金矿区位于玉门镇 350°方向,直距 65km。矿区东西长 7km,南北宽 2km,面积 14km^2。由矿区向南至最近桥湾火车站有便道可通汽车,行程 43km,交通方便。矿区位处低山丘陵后,地形平缓为其特征。区内无河流,皆为干沟,惟洪水季节具暂时水流。区内气候干燥,常年多风少雨,温度变化大,属大陆性半沙漠气候。年平均气温 6.4℃,日温差 20°～25℃。年平均降雨量 78.9mm。

(二)地质勘查程度及资源状况

小西弓金矿历经 5 年(1988 年～1992 年)的地质普查、勘探工作,对区内主要矿体的规模、产状、形态、分布、矿石质量、选冶性能、水文地质特征和开采技术条件等均已查明,并于 1993 年 3 月提交了勘探报告。小西弓金矿区可分为南、中、北三个带,南矿带是主要含矿带,长

9000m,宽 200～500m。该带已发现金矿体 25 个,其中以 8、9、18、20 号矿体规模较大。各主要矿体按边界品位 1×10^{-6},最低工业品位 3×10^{-6},矿床平均品位 5×10^{-6},最低可采厚度 0.8m,夹石剔除厚度 2.0m 进行储量计算,共提交 C + D 级金储量 8.75t。另外主要矿体的氧化带范围一般宽 2～5m,最宽 10m 左右,氧化带深度 10～15m;氧化带矿物组合特征是金属硫化物几乎全部褐铁矿化(毒砂除外);石英普遍碎裂,其余脉石矿物多具硅化、绢云母化、次闪石化、帘石化、碳酸盐化。自然金主要以粒间金及少量包裹金形式与毒砂嵌连关系密切,其次与黄铁矿、石英相嵌连。自然金呈亮黄色,表面无污染,浅部氧化矿石部分金粒表面覆有褐红色铁质薄膜,分布不均匀,多呈星点状,局部可见成群出现。其形态以树枝状为主,次为角粒状、尖角粒状、板片状,少量为浑圆粒状、麦粒状。自然金的粒度粗细不均,以中、粗粒金为主、各粒级相对含量见表 5 - 1 - 9。

(三)矿石物质组分及矿石类型

1.矿石矿物成分

矿石中金属硫化物以黄铁矿(1%～20%)为主,其次为毒砂(1%～3%)、磁黄铁矿(1%～3%)及少量方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、自然金等;脉石矿物以石英(80%～95%)为主,其次为绢云母(5%～10%)和方解石(1%～5%)等。

表 5 - 1 - 9　小西弓金矿矿石中自然金粒级及相对含量

粒级区间(mm)	相对含量(%)
> 0.1	29.29
0.1～0.074	14.64
0.074～0.53	9.88
0.053～0.037	13.77
0.037～0.01	22.58
< 0.01	9.84

2.矿石化学成分

矿石主要有用组分量 Au,一般含量 1×10^{-6}～20×10^{-6},最高含量 83.3×10^{-6};其次是 Ag,含量 2×10^{-6}～10×10^{-6}。

3.矿石类型

按矿石结构、构造及矿物组合特征,将矿石类型划分为硫化物碎裂石英脉型金矿石和硫化物糜棱状蚀变二云片岩型金矿石。前者含金较富,是主要矿石类型,后者含金较贫,是次要矿石类型。

(四)水文地质条件

矿床地下水主要赋存在前长城系西尖山下亚群中浅变质岩的风化裂隙及构造裂隙之中。地下水埋深 7.90～29.16m。含水层厚度一般为 70m 左右,富水性不均,单位涌水量 0.0037 L/s～0.2246L/s,渗透系数 0.0605m/d～1.2545m/d。由于构造影响,局部可能存在脉状裂隙承压水。地下水补给来源不足,主要是接受大气降水及雨后地表洪流渗漏补给。

矿床主要充水因素与矿体及其围岩中的裂隙及构造破碎带有关,但其水量多以静储量为主,疏干并不困难。应当指出的是 154～158 线间沟谷中的暂性地表洪流,有可能沿地表采矿老硐溃入井下,开采时应加以切实防范。

(五)选矿试验及选矿流程

1.选矿试验

由甘肃省地质矿产局兰州中心实验室、长春黄金研究所、吉林治金地质研究所 1991 年共同完成了选矿试验,试验项目主要有:

(1)选矿方法试验研究。包括单一混汞流程、单一浮选流程、混汞—浮选流程、全泥氰化浸

出流程、混汞—氰化流程、浮选—精矿氰化流程等 6 种流程选矿试验,通过试验对比选出最佳选矿流程为全泥氰化浸出流程。

(2)全泥氰化浸出流程的条件试验有原矿氰化浸出前碱予处理试验、原矿氰化浸出细度试验、矿浆浓度及氰化深度试验、氧化钙用量试验、氰化浸出时间试验。经过试验确定最佳条件见表 5 - 1 - 10。

2 .对最佳选矿工艺和选矿条件的验证试验

为使小西弓金矿的选矿工艺和选矿条件科学、可靠,保证选厂投产后的经济效益,在选矿试验报告的基础上进行了验证试验,其结果见表 5 - 1 - 10。

表 5 - 1 - 10　全泥氰化浸出最佳条件及结果

项目名称	单　位	作　业　条　件		备　　注
		石英脉型金矿石	蚀变二云片岩型矿石	
磨矿细度	mm	- 0.07	- 0.071	占 90% 以上
矿浆浓度	%	40	40	CaO 必须加在磨矿工序
CaO 用量	kg t	6	6	
NaCN 用量	kg t	1.6	2.1	
矿浆 pH 值		11	11	
浸出时间	h	18	24	
原矿品位	$\times 10^{-6}$	5.5	5.5	
尾矿品位	$\times 10^{-6}$	0.4	0.6	
贵液品位	g m^3	3.3	3.2	
浸出率	%	92.73	89.09	

说明:两种类型原矿石氰化浸出 NaCH 用量为 0.8kg t,由于配矿所用碎石含铜量较高,造成验证试验 NaCH 用量增加到 1.6kg t～2.1kg t。

试验样品:30kg,以石英脉型为主的混有少部二云片岩的原生矿经破碎—对辊—圆盘磨,细度达到 - 200 目的占 95%,摇匀缩分取出 5 个样,每样重 5kg,选矿试验按最佳条件进行金浸出,炭吸附验证的平均试验结果见表 5 - 1 - 11。

表 5 - 1 - 11

原矿品位 ($\times 10^{-6}$)	尾渣品位 ($\times 10^{-6}$)	浸出率 (%)	贵液品位 (g m^3)	贵液体积 (L)	贫液品位 (g m^3)	活性炭用量 (g)	吸附率 (%)	备注
12.5	0.69	94.5	7.9	7.5	0.1	10	99	

经过小西弓矿区、原生矿的浸出、吸附验证试验说明:选矿试验报告的结论是正确的,确定的最佳选矿工艺和选矿条件符合实际,是切实可行的,依此可建设一座岩浆选厂来处理小西弓金矿石具有可靠的依据。

3 .选矿实验综合回收率

浸出率:石英型 Au92.73%,二云片岩型 Au89.09%;吸附率:99%;解析率:溶剂蒸馏法 99.9%;电解率:99.5%;总回收率:石英型 91.25%;二云片岩型 87.6%。

4 .选矿成本计算

见表 5 - 1 - 12。

(六) 采矿

1 .开采方式

根据矿体规模大小、分布特征及控制程度，计划首先开采南矿带 8、9 号两矿体。按矿体赋存条件及工程地质特征，对埋深 55～60m (即 1600m 标高) 以上的矿体，可利用已有勘探工程—浅井、竖井及沿脉坑道，分段露天开采；对其深部矿体则采用下盘竖井开拓。

2 .采矿方法

鉴于 8、9 号两矿体产状较稳定，矿体陡倾，矿层薄至中厚，矿石不均匀、不结块等条件，采用重力出矿留矿采矿法开采。开采阶段沿走向长 300m(以矿体边界为界)，阶段高度 60m；矿块沿走向布置，段高 60m；底柱高 6m，顶柱高 4m，间柱宽 6m。

3 .开采规模

基于 8、9 号两矿体相对集中，矿体规模不大，采用一个井田开采，其范围以矿体边界为界。井田尺寸：沿矿体走向长 300m，深 240m。计划矿井年产量 36 000t(日产量 100t)。

4 .回采率和贫化率指标

根据同类矿床比较，结合本矿床地质条件及开采方式，大致确定矿石回采率为 80%，贫化率为 20%。

5 .伴生元素回采

矿石中的伴生元素为自然银，但含量很低 (2×10^{-6}～10×10^{-6})，只能随金矿开采而顺便回采。

6 .采矿成本计算

按矿石平均品位 7×10^{-6}，矿石贫化率 20%统计，见表 5 - 1 - 13。

表 5 - 1 - 12　选矿成本计算表

序号	项　目	单耗矿石 (元 吨)	占总成本比例 (%)
1	油料	43.62	29.28
2	药剂	31.23	20.96
3	钢球	8.59	5 .77
4	设备折旧	30.39	20 .4
5	工资及津贴	27.63	18 .55
6	化验	0.55	0 .37
7	修理	0.37	0 .25
8	管理费	2.77	1 .86
9	其它	2.77	1 .86
	合计	149	100

表 5 - 1 - 13

序号	项　目	单耗矿石 (元 吨)	占总成本比例 (%)
1	炸药、雷管、导火线	10.84	4.5
2	钎杆	1.34	0.56
3	钎头	2.53	1.05
4	铁铣	0.36	0.15
5	镐头	21.7	0.09
6	运输费	4.6	1.96
7	水电费	122.8	50.96
8	设备折旧	5.1	2.12
9	工资及津贴	64.8	26.09
10	化验	1.2	0.50
11	修理费	3.3	1.37
12	管理费	24.1	10.63
	合计	241	100

(七) 外部建设条件

小西弓金矿地处肃北县境内，离玉门镇 85km，离桥湾 35km，从 312 国道 3140 处下公路，有便道通往矿区，距离 30km。选厂建在矿区，矿区东 70km 有金庙沟煤矿，西北 150km 有牛圈子煤矿，都有便道通行，提供了充足的取暖和生活用煤。矿区有较丰富的地下裂隙水，还利用地质工程竖井提供足够的生产用水，生活用水到桥湾或饮马农场去拉运，矿区用电以柴油机发

电。从桥湾接电网,直线距离 25km。

(八)经济评价

1 .经济效益

根据小西弓矿区计算储量的主矿体平均品位为 6×10^{-6},这个品位级别作为选矿最低入选品位基数,实际入选品位 7×10^{-6},在 1994 年先建日选 50t 的选厂,年生产时间 250d 计算,年处理矿量 12 500t,综合回收率在 89%,年产黄金 77kg。生产两年后,选厂扩大为日选 100t,年处理矿量 25 000t,年产黄金 155kg。根据近几年黄金生产成本综合,吨矿处理成本为 390 元左右,生产吨矿石税前利润为 80 元～90 元。

年税前利润为 1264 万 - 975 万 = 289 万元。实际生产只能达到以上指标的 80%～90%。

根据矿山探明 7tAu 储量作估算基数,企业生产年限可保证 30 年。

2 .效益风险分析

(1)经济效益分析中开采成本与选矿成本偏高,留有 10%的系数,综合回收率较吉林冶金研究所实验数据降低 9%～10%,在正常情况下,实际生产效益不会低于预算数。

(2)入选矿石品位每增加 1×10^{-6},产量增加 23kg。反之,入选矿石品位每下降 1×10^{-6},产量减少 23kg。

(3)综合回收率每提高 1%,产量上升 2kg。反之,回收率下降 1%,产量下降 2kg。

(4)成本上涨 10%,年税前利润减少近 100 万元。反之,成本下降 10%,年利润增加 100 万元。由上可见,提高金选厂生产的经济效益的关键是:减少贫化,提高入选矿石品位,保证入选矿石不低于 7×10^{-6};提高回收率;
降低生产成本;逐步扩大生产规模。

(九)堆浸生产情况:

为充分利用小西弓金矿的矿产资源,对于低于 5×10^{-6} 的矿石,用堆浸办法处理,在全泥氰化生产同时,建立低品位矿石堆场,进行低品位矿石堆浸生产,提高低品位矿石利用率,以提高整个企业的经济效益。从矿山目前生产情况看,堆浸工艺每年能平均处理 5000t 品位低于 5×10^{-6} 的金矿石,堆浸前三年的指标见表 5 - 1 - 14。

表 5 - 1 - 14

堆浸时间	矿石类型	筑堆矿石量(t)	原矿品位($\times10^{-6}$)	浸渣品位($\times10^{-6}$)	浸出率(%)
1989 年	氧化矿	3100	3.50	0.90	74.30
1990 年	混合矿	4200	2.80	0.80	73.80
1991 年	混合矿	2700	2.30	0.70	70.73
	合计	10000	2.87(平均)		72.73(平均)

其中堆浸技术条件有:

破碎粒度:10～30mm;CaO 用量:0.8～1.0kg t;NaCN 用量:0.8～1.0kg t;pH 值:11;喷淋时间:45d～60d;吸附率、解析率平均:99%;三年共生产黄金:20.06kg;利润:大约 40 万元。

堆浸结论:小西弓金矿石地表以下 20m 以上以氧化矿石为主,20m 以下为原生矿。

堆浸试验:氧化矿是 20m 以上的矿石;混合矿仍以氧化矿为主。在破碎粒度 10～30mm 的条件下浸出率随原生矿石量的增加而降低。经试验浸出率随着破碎粒度的减少而增大,如

果破碎粒度为 2～4mm,则浸出率大于 80%,效果更好。另外,小西弓金矿在开发初期利用堆浸法产金,积累资金,滚动发展,既为以后的稳定规模开发奠定了基础,也最大限度地利用了矿产资源。

四、难选冶金矿—舟曲坪定金矿开发技术前景研究

坪定金矿是甘肃省一个典型的难选冶金矿,但其地质工作程度高,开发前期工作做的较多[①],可以作为难选冶金矿开发的事例借鉴。

(一)开发的外部环境与条件

(1)本金矿在 1989 年～1990 年进行了勘探,以坑钻结合用 40m×80m 网度以钻探为主探求了 D 级储量,基本控制了区内矿体分布,查明了矿体的形态、产状、规模和矿石质量,并对矿石物质组份和技术加工性能进行了专门研究(西北矿冶研究院、吉林冶金研究所、甘肃省地质矿产局兰州中心实验室等单位承担),同时进行了相应的水文地质、工程地质工作。

(2)矿区位于陇南山区,白龙江北岸坡麓带。总体属中—高山区,但矿区地形较宽缓。海拔 2100m 上下,比高 100m 左右。矿体位于侵蚀基准面以上,水文地质条件简单,矿区气候属陇南暖温带湿润区。年平均气温 14.5℃,绝对气温最高 34.1℃,最低 - 5.4℃;平均年降雨量 600mm 左右,多集中在 7 月～9 月;霜冻期 150d 上下。

(3)矿区有公路通往县城,行程 11km,交通较方便;矿山用电用水充足,劳动力很富余。

(二)矿床地质概况

金矿含矿地层为中泥盆统下吾那组的一套凝灰质、粘土质板岩夹灰岩。矿区地层为走向近东西南倾的单斜。走向断裂破碎带是金矿体赋存空间。矿体产在硅化、碳酸盐化、粘土化等蚀变明显的碎裂状、角砾状凝灰质板岩和次生石英岩中,圈出的 12 个矿体以 1、2 号矿体规模较大,长度均在 300m 以上,平均厚 2.0m 多,延深近 200m。矿体呈似层状、凸镜状。主矿体尖灭再现或侧现而变成其他小矿体。矿体走向近东西,南倾与破碎带产状一致。矿体与围岩界线明显截然。

(三)矿石特征及技术加工性能

矿石以半自形粒状结构为主,矿石呈角砾状和碎裂状构造。矿石矿物成分主要为雌黄、雄黄、黄铁矿;脉石矿物主要为石英、方解石、粘土矿物及少量有机炭等。雌黄、雄黄两者总量占 1%～60%不等,一般在 10%左右,多呈巨型自形—半自形晶,充填在角砾间或裂隙中。单矿物含金甚微。

黄铁矿含量 0.n%～10%,一般 5%左右。早期(成岩期)黄铁矿呈微莓球状在凝灰岩板岩中顺层分布。热液期黄铁矿有两种:呈自形—半自形立方体或五角十二面体者一般含砷低;呈他形黄铁矿在生物成的黄铁矿边部形成环带或镶边,且普遍含砷。经单矿物测定,黄铁矿是主要载金矿物。黄铁矿粒度很细,小于 0.037mm 者占 90%,主要呈星散状与脉石矿物嵌布在一起。矿石中金含量 $0.n\times10^{-6}$～97.5×10^{-6},平均 11.62×10^{-6};砷 0.n×10%～n×10%,平均 6.62%;银 $0.n\times10^{-6}$～2.0×10^{-6},平均 1.0×10^{-6}左右;硫平均 4.62%;另外还含 1%左右的有机炭。金主要呈次显微状独立金矿物分布在黄铁矿裂纹和晶隙中。

影响矿石技术加工性能的主要因素是高砷,金呈次微状,含少量有机炭等。是一种难处理

① 谭光裕. 甘肃某金矿床开发技术经济论证. 甘肃地质科技情报. 1992.4.

矿石类型。因此探索矿石技术加工最佳工艺流程,应从消除砷、有机炭的为害和对矿石细磨上下功夫。当今脱砷除炭的工艺主要有 3 种:氧化焙烧、压热氧化和细菌氧化,以氧化焙烧应用最广。早已证明,细磨含金矿石可以提高金的回收率,尤其是金粒特别细时效果更好。

吉林冶金研究所作了多种工艺流程选矿试验,其中以原矿氧化焙烧—氰化(金浸出率 77.2%,下同)、浮选精矿氧化焙烧—氰化(58.4%)、浮选精矿压热氧化—氰化(86.18%)3 个方案效果较好,但后者工艺流程复杂,难以用于生产实践,而以原矿氧化焙烧—氰化流程简单易行。甘肃省地质矿产局兰州中心实验室作的原矿氧化焙烧—焙渣氰化—炭吸附金试验,载金炭中金回收率为 79%,并作了回收白砷(含 As_2O_3 97.02%,回收率为 72.60%)试验。结合当地水电充足,价格便宜的具体情况,采用电力作热源原矿焙烧一定会获得良好的经济效益。如果采用浮选工艺,将矿石细磨至 0.037mm 使黄铁矿与脉石较彻底解体,提高金的回收率一定会很有效(现试验中含矿粒度为 0.071mm,占 85%),然后对浮选精矿用正丁基铵黑药作捕收剂,石灰为抑制剂再浮选脱砷,砷脱除率达 90%,使金主要富集在黄铁矿中然后再处理。此流程还需要通过试验论证。因此目前切实可行的途径仍以原矿氧化焙烧—焙渣氰化—炭吸附金流程为佳,金最终回收率可达 70%。至于砷的回收,甘肃省地质矿产局兰州中心实验室试验时,在氧化焙烧中增加一套自制小设备,已取得了明显的成效。但试验规模小而且尚欠完备,难以令人信服。早已投产的湖南黄金洞的实践证明,在氧化焙烧时采用旋风除尘器—表冷凝器(或静电收尘器)—布袋收尘器从烟气中回收粉尘和白砷,最后用爬山烟道(直径 600mm,长 120m)将废气高空排放,使环境免遭污染很有成效,且回收了白砷。其主要生产指标为:回转窑焙烧砷挥发率 98%,烟气中砷回收率 95.05%,白砷(As_2O_3 大于 95%)中砷直收率为 93.15%。由于矿床地处人烟稀少,矿区近邻陡峻高山,地形有利建更高的排空烟道,因此参照黄金洞的收砷工艺是完全可能的。

(四)未来矿山采矿方案及主要经济技术指标

(1)开拓方案。鉴于主矿体平均倾角在 50℃以上,隐伏地下,矿区地形较平缓,同时有高砷等有害气体污染环境,因此采用主副竖井开拓。

(2)开采方法。因矿体顶底板围岩为凝灰质板岩,且有不同程度的破碎,其稳定性较差,同时该类板岩在空气中暴露后易风化成松散状,遇水发生塑变造成坑道偏帮、冒顶和下沉;再者金矿地处地震裂度 8 度区,因此选用充填法开采,这也对提高贵金属矿的回采率,防止地表农田房舍塌陷等都有好处。

(3)采选规格。按小型矿山合理服务年限 10 年设计,选用年处理矿石 30 000t,以年 300 工作日计算,则日处理矿石为 100t。其主要技术指标如下:

矿石总储量:450 000t;

可采矿石总量:380 000t(可采系数 0.85 计);

采出矿石总量:325 000t(损失率 15%);

矿石贫化率:5%(围岩与矿石区别标志明显);

采出矿石品位:$Au11.04\times10^{-6}$;As6.29%;

矿山服务年限:10.8 年;

基建时间:2 年。

(五)矿山企业经济效果分析

由于设计的未来矿山建设规模小,服务年限短,故只从企业财务角度进行评价。

(1)基本建设投资。按扩大指标和物价上涨因素估算,基建投资指标取 330 元/ 年·吨矿,则基建投资为:330×30000≈1000 万元。

(2)流动资金。按基建投资 15%计,则为 150 万元。

(3)生产成本指标。按扩大指标坑采和金矿选冶 1t 原矿最高成本再乘以物价上涨倍数,估算 1t 原矿采选冶成本为:300 元/ t。

(4)产品为黄金,交售国家银行,每 kg 为 8.2 万元。

(5)企业收支与盈利计算。年产品销售收入 = 30000t × 11.04g/ t × 70% × 82 元/ g = 1901.08 万元。成本 = 30000t × 300 元/ t = 900 万元。除去各种税(费)年纯利润大约 700 万元左右。

(六)伴生组分开发利用评价

矿床主要伴生组分为砷,砷的储量(C + D 级)为 29 752t。砷的综合利用对防止环境污染和提高企业经济效益都是必要的,根据回收白砷的初步试验与计算,全采期可以回收白砷 27 500t,产品可以推向国际市场,为国家创汇,并有可观的经济效益。

(七)综合评价

(1)矿床经过了正规地质勘探,提交了经甘肃省矿产储量委员会批准的金矿储量;矿区水源充足;实现了电通路通,开发的条件已经成熟。目前由于地方企业在无规划小规模开采,采富弃贫,回收率低,造成资源的很大浪费。

(2)矿床处在甘肃省重点扶持的贫困县内,该县每年靠国家财政补贴数百万元维持生计。因此坪定金矿的稳定规模开发对发展地方经济,改变贫困面貌有积极的作用。