

# 青海东部查明一大型微细浸染型金矿床

张大权<sup>1,2</sup>, 袁士松<sup>3,4</sup>, 林文山<sup>5</sup>, 金宝义<sup>3</sup>, 闫家盼<sup>3</sup>, 喻万强<sup>3</sup>

ZHANG Da-quan<sup>1,2</sup>, YUAN Shi-song<sup>3,4</sup>, LIN Wen-shan<sup>5</sup>,

JIN Bao-yi<sup>3</sup>, YAN Jia-pan<sup>3</sup>, YU Wan-qiang<sup>3</sup>

1. 中国地质科学院, 北京 100037; 2. 中国地质调查局, 北京 100037;

3. 中国人民武装警察部队黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000;

4. 中国地质大学/地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;

5. 青海省第七地质矿产勘查院, 青海 西宁 810001

1. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. China Geological Survey, Beijing 100037, China;

3. Gold Geological Institute of CAPF, Langfang 065000, Hebei, China;

4. China University of Geosciences/ State Key Laboratory of Geo-processes and Mineral Resources, Beijing 100083, China;

5. Qinghai Province No.7 Institute of Geological and Mineral Survey, Xining 810001, Qinghai, China

**摘要:**加吾金矿位于青海省东部同德县境内,是武警黄金部队近年来发现的又一处具大型规模的金矿床。该矿床在大地构造位置上处于西秦岭与东昆仑的衔接部位。矿体赋存于中下三叠统中,在平面上呈舒缓波状,在剖面上为脉状、似层状。矿石中金属矿物主要为黄铁矿和毒砂,金主要以微细粒分布于石英裂隙和毒砂、黄铁矿等矿物粒间。区内中下三叠统隆务河群板岩中的金丰度值和有机碳含量高,是有利的赋矿层位。矿体产于北西向和近东西向构造蚀变带内,受区内断裂带控制明显。矿体在空间上与印支期中酸性岩浆岩相伴产出。研究表明,该矿床为受构造蚀变带控制的、与沉积作用和岩浆活动有成因联系的微细浸染型金矿床。截止目前,该矿共计探明金矿脉 22 条,累计提交金资源量超过 20t。该矿的发现和评价对指导青海东部微细浸染型金矿找矿具有重要的示范意义。

**关键词:**控矿因素;地质特征;微细浸染型金矿床;青海东部

中图分类号:P618.51 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2011)07-1126-11

**Zhang D Q, Yuan S S, Lin W S, Jin B Y, Yan J P, Yu W Q. The discovery of a large-size fine disseminated gold deposit in eastern Qinghai. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(7): 1126-1136**

**Abstract:** Located in Tongde County of eastern Qinghai, the Jiawu gold deposit is another large-size gold deposit discovered by Gold Prospecting Armed Police in recent years. The ore deposit is situated between western Qinling and eastern Kunlun. Ore bodies occur in Middle-Lower Triassic strata, and are horizontally in the gentle wave form and vertically in the veinlike or layered form. The main metallic minerals include pyrite and arsenopyrite, and gold is disseminated in fissures of quartz and intergranule space between arsenopyrite and pyrite in the microgranular form. The high organic-C content suggests that the ore bodies are obviously controlled by the regional fracture belt and lie in NW-and EW-trending structural alteration zones. Due to its high Au and organic-C content, the slate in Middle-Lower Triassic Longwuhe Group is considered to be the favorable host rock. Ore bodies are spatially accompanied by Indo-China medium-acid magmatic rock. A preliminary study reveals that this deposit is a kind of fine disseminated gold deposit directly controlled by the structural alteration zone and has a genetic relationship with sedimentation and magnetic activity. Until now, the proven reserves of the total 22 ore bodies have reached over 20 tons.

**Key words:** ore-controlling factors; geological characteristics; gold deposit of fine disseminated type; eastern Qinghai

收稿日期:2010-05-19;修订日期:2011-05-23

资助项目:中国地质调查局青藏专项项目《青海省同德县加吾及外围金矿普查》(编号:1212010818072)

作者简介:张大权(1976-),男,在读博士,工程师,从事矿产资源调查评价部署与研究工作。E-mail: zdaqun@mail.cgs.gov.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

加吾金矿床位于青海省东部同德县境内,是武警黄金部队近年来发现的一个大型微细浸染型金矿床。解放初期,西北局 736 队对区内的显龙沟锑金矿点(现加吾金矿 1<sup>#</sup>脉群)进行了地表检查和初步评价,至 20 世纪 80 年代后期,青海省第三地质队在区内开展进一步的工作,在显龙沟至小曲如沟一带求得 D 级金金属量 419kg,D 级锑金属量 979.30kg<sup>①</sup>。2000 年,武警黄金第六支队进入加吾地区开展预查工作,通过地质和化探扫面工作,在显龙沟锑金矿点及其外围发现了加吾金矿床;2006 年转入普查阶段,通过山地工程控制累计圈定金矿脉 22 条。2008 年,武警黄金地质研究所在该区开展找矿工作,经过系统山地工程控制,对加吾矿床开展了较全面的研究,目前该矿床已累计提交金资源量超过 20t<sup>②</sup>。本文在系统总结加吾金矿地质特征的基础上,结合同位素地球化学分析,对控矿因素进行分析,希望能为该区同类型(微细浸染型)金矿找矿提供参考。

1 成矿地质背景

1.1 大地构造位置

在大地构造位置上处于西秦岭与东昆仑的衔接部位,属共和三叠纪深水盆地,北以柴达木盆地北缘-青海湖南山-天水-商丹古缝合带与祁连造山带相接,南以东昆仑-阿尼玛卿-文县-勉略古缝合带与巴颜喀拉造山带相邻,东昆仑造山带的北部主体及柴达木盆地北缘的加里东构造带突然中断在鄂拉山北北西构造带西侧,而西秦岭造山带中的北西西向构造线西延至多禾茂北北西断裂带附近倾没“消失”,现今地表地质特征上表现为中国大陆中央造山系的一个“缺口”区,即所谓的“共和缺口”<sup>[1]</sup>。在成矿区带划分上属共和-同德金、银、铜、铅、锌、砷、锑、汞等多金属成矿区,为西秦岭成矿带在青海省内的西延部分(图 1)。

1.2 地 层

区内出露地层简单,以中下三叠统隆务河群为

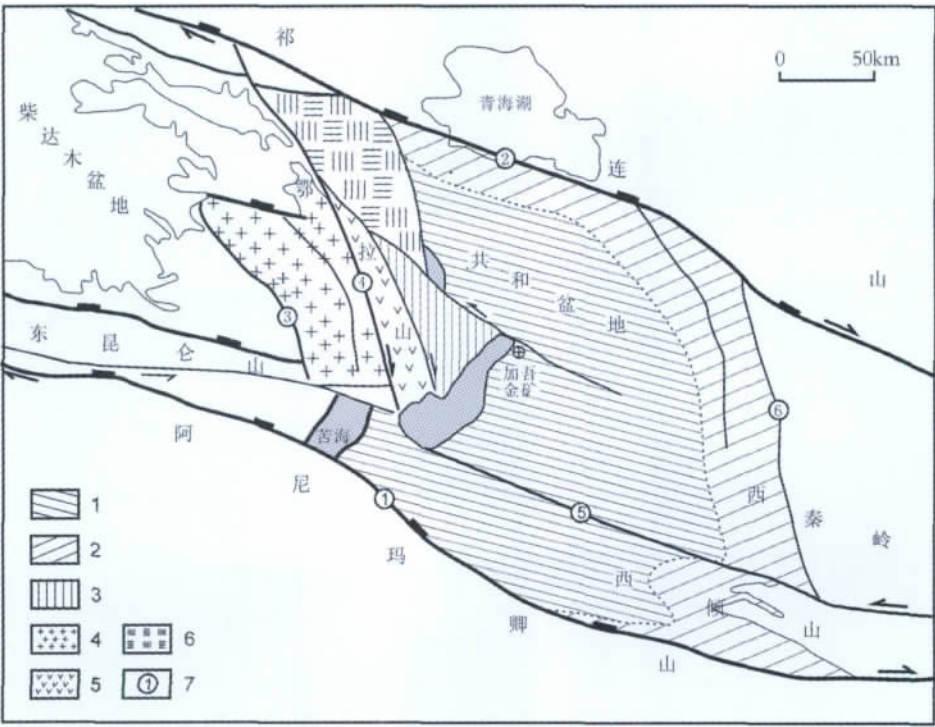


图 1 西秦岭-东昆仑衔接部位地质构造简图(据参考文献[1]修编)

Fig. 1 Sketch geological and structural map of western Qinling and eastern Kunlun

1—共和-同德三叠纪复理石盆地;2—盆地边缘过渡带;3—断陷带;4—鄂拉山花岗岩带;5—哇洪山-温泉火山活动带;6—茶卡基底断块;7—深断裂带及其编号:①东昆南-阿尼玛卿-文县-勉略缝合带,②柴北缘-青海湖南山-天水-商丹缝合带,③察汗乌苏河断裂,④哇洪山-温泉断裂,⑤苦海-西倾山断裂,⑥多禾茂断裂

主,为一套巨厚的具复理石韵律层的砂、泥质碎屑岩系,属滨—浅海沉积建造<sup>[2]</sup>。岩石组合为灰黑色—灰绿色薄层灰岩、砂岩夹板岩,局部地段夹不稳定砾岩。矿区内隆务河群 d 岩组( $T_{1-2}L^d$ )最为发育且分布广(图 2),岩层总体走向北西,局部由于构造变形走向北东。根据岩石组合特征,矿区内该岩组由北东至南西进一步划分为 3 个岩性段:① $T_{1-2}L^{d-1}$  岩性段,主要分布于矿区北东部,岩性较单一,主要为变长石石英粉砂质杂砂岩、变岩屑石英粉砂质杂砂岩及少量铁质、粉砂质板岩;② $T_{1-2}L^{d-2}$  岩性段,分布于矿区中偏东北部,岩性以粉砂质板岩为主,夹灰黑、黑色条带状炭质板岩及少量中粒长石石英杂砂岩;③ $T_{1-2}L^{d-3}$  岩性段,分布于矿区中至东南部,以灰黑、黑色条带状炭质板岩为主,夹灰黑色薄层状粉砂质板岩、粘土质板岩及少量层状变长石石英砂岩,该段岩性矿化蚀变强,是矿区的主要赋矿层位。其次

为新近系和第四系。

1.3 构造

研究区位于北西向哇洪山—温泉深断裂东侧,受印支期区域构造活动的影响,区内构造变形复杂多样。断裂构造以北北西向压扭性断裂为主,其次有近东西向断裂构造(图 2)。瓦桑沟以北地质体、矿脉受北西西向断裂带控制明显,该组断裂带与地层走向相同,产状基本一致,均呈 NW 走向,北倾,倾角为 30~70°,宽数十米至数百米,长度几百至几千米,可以断定为层间破碎蚀变带。矿区主矿脉 502<sup>#</sup>、503<sup>#</sup>、504<sup>#</sup> 就位于数条北西向平行层间破碎蚀变带内。同时断裂带内局部地层产状紊乱、牵引褶曲发育。值得注意的是,矿区内还存在一组北东东或近东西向断裂构造,错断区内北西向地质体、矿脉和断裂构造带,而区内 401<sup>#</sup> 脉就位于瓦桑沟内近东西向构造破碎蚀变带内<sup>②</sup>。同时受复杂的压扭性构造活动的

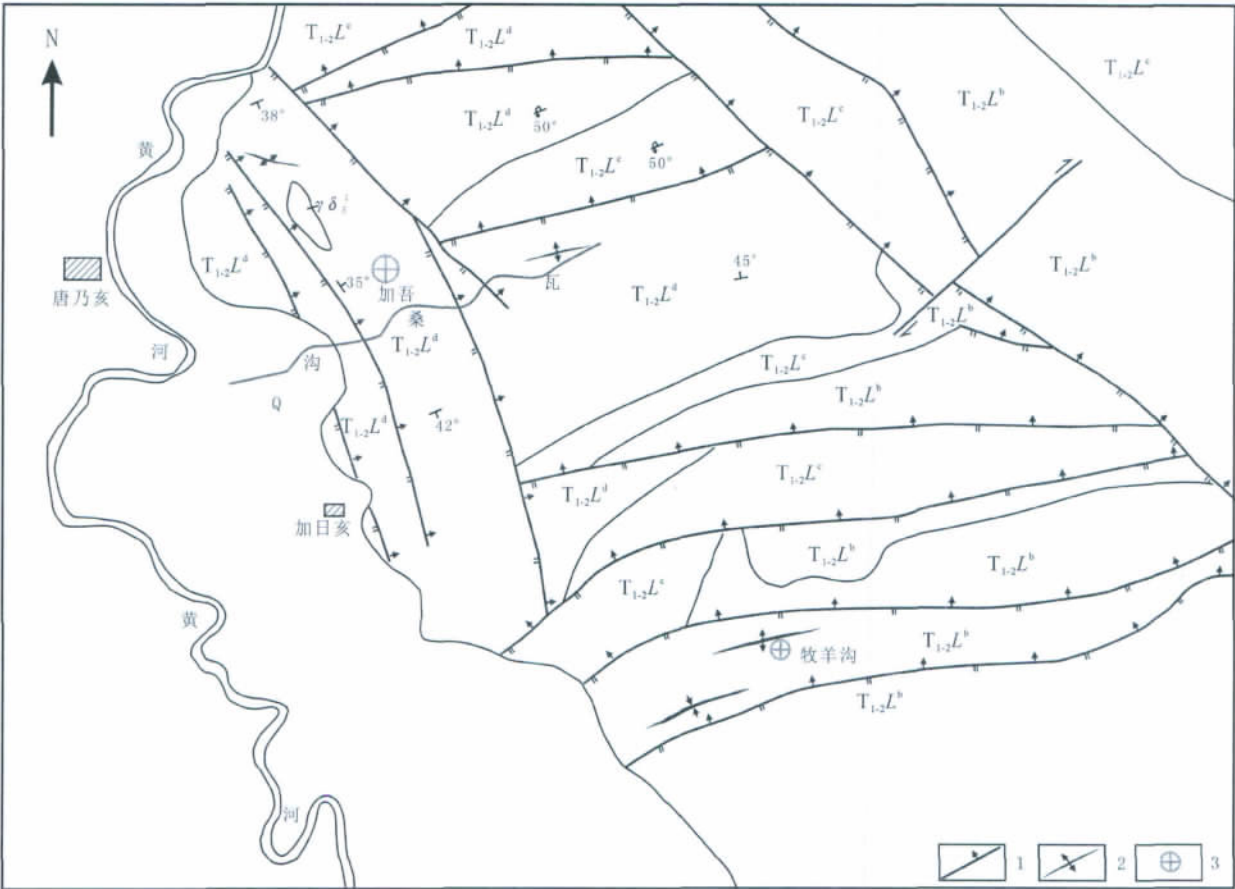


图 2 加吾地区地质构造略图(据参考文献[3]修编)

Fig. 2 Sketch geological and structural map of Jiawu area

Q—第四系; $T_{1-2}L^d$ —隆务河群 d 岩组;  $T_{1-2}L^c$ —隆务河群 c 岩组; $T_{1-2}L^b$ —隆务河群 b 岩组;

$\gamma\delta_s^1$ —花岗闪长岩; 1—断裂构造; 2—褶皱构造; 3—金矿床



作用,区内褶皱发育,表现为显龙沟倾伏背斜、曲如沟向斜、瓦桑沟背斜、加吾倾伏背斜。

1.4 岩浆岩

区内岩浆岩均为印支期的产物,呈岩株或岩脉,均沿层理或小角度斜切层理产出,岩性主要为浅成的花岗岩类,包括花岗闪长岩、花岗斑岩等。岩石 SiO<sub>2</sub> 含量为 50.03%~76.59%,平均为 64.45%;里特曼指数(δ)小于 1.8,属钙碱性系列。曲如沟花岗闪长岩体:位于矿区北部曲如沟内,岩体侵入于砂板岩中,与围岩呈不规则状接触,接触面总体倾向北东;岩石中节理发育,部分剪节理中为矿化石英脉所充填;花岗斑岩脉:呈北西西向、顺层或小角度斜切板岩层理产出,平面上斑岩脉与矿脉常相伴产出,剖面上矿脉多数沿脉岩的上下盘产出,靠紧脉岩金品位常有局部富集的趋势。

1.5 地球化学特征

研究区位于青海省地球化学勘查队圈定的 1:5 万水系沉积物测量 Au、W、As、Sb、Cu 综合异常 AS<sub>2</sub> 内(图 3)。该异常位于显龙沟至瓦桑沟一带,产于 T<sub>1-2</sub>L<sup>d</sup> 岩性组中,受北北西向断裂的控制。异常为不规则状,总体呈北西—南东向展布,面积约 21.1km<sup>2</sup>,异常元素组合较好,各元素峰值高,均值大,衬度较高,浓集中心明显(表 1)。AS<sub>2</sub> 异常与已圈出的金矿脉和矿化带吻合较好。

2 矿床地质特征

2.1 矿体地质特征

根据矿脉在区内空间展布的特征,加吾金矿区可划分为 1<sup>#</sup>(原显龙沟铋金矿点)、2<sup>#</sup>、4<sup>#</sup> 和 5<sup>#</sup> 号 4 个脉群。共发现金矿脉 22 条,其中主矿脉 5 条,分别为 502<sup>#</sup>、503<sup>#</sup>、504<sup>#</sup>、509<sup>#</sup>、401<sup>#</sup> 号脉(图 4)。502<sup>#</sup>、503<sup>#</sup>、504<sup>#</sup> 号脉为 3 条平行脉,产出于炭质板岩夹砂板岩中,受北西向层间破碎蚀变带的控制,由碎裂蚀变岩化、黄铁矿化炭质板岩夹砂质板岩及石英脉(团块)构成,矿脉在平面上呈舒缓波状,在剖面上呈脉状,其倾向为 40~75°,倾角 45~78°,总长度 3100m,共圈定了 5 个矿体,金平均品位为 2.15×10<sup>-6</sup>~6.77×10<sup>-6</sup>,平均厚度 0.82~3.40m,共提交金资源量达 15t,约占总提交资源量的 75%。509<sup>#</sup> 号脉位于龙压沟,为一金多金属脉,产出于炭质板岩夹砂板岩中,受北西向层间破碎蚀变带的控制,由构造角砾岩构

成,控制长度 400m,厚 1.5~5m,产状 55°∠30°,圈定金、银、铅、锌多金属矿体 1 个,金平均品位 0.68×10<sup>-6</sup>,平均厚度 1.77m。401<sup>#</sup> 号脉位于瓦桑沟,产出于炭质板岩夹砂板岩中,受近东西向层间破碎蚀变带的控制,由碎裂蚀变岩化、黄铁矿化炭质板岩夹砂质板岩及石英脉(团块)构成,总体北倾,倾向 340~0°,倾角 40~50°,控制长度为 1000m,矿脉厚度几米至 30 余米,圈定 2 个矿体,金平均品位 1.09×10<sup>-6</sup>~1.96×10<sup>-6</sup>,平均厚度 2.71~3.51m,提交金资源量近 3t。

2.2 矿石特征

2.2.1 矿石类型

按氧化程度可分为原生矿石和氧化矿石,以原生矿石为主。近地表为氧化矿石,主要富集在地表以下 0~6m 范围内。原生矿主要分布在地表 6m 以下。

按工业类型又可分为碎裂蚀变岩型和石英脉型,以前者为主,石英脉型金矿石中金含量较高,为富矿石。碎裂蚀变岩型矿石中石英脉亦较发育,金品位变化与岩石碎裂蚀变程度和石英脉含量成正相关关系。碎屑蚀变岩由炭质板岩角砾、砂质板岩角砾、细小岩屑及粉末状物质组成,该类型矿石金品位多在 0.5×10<sup>-6</sup>~3×10<sup>-6</sup> 之间,普遍较低。石英脉型金矿石呈白色、黄褐色,局部呈黄绿色。该类型矿石有 2 种,一种为较纯净的石英脉,偶见少量金属硫化物,另一种为具多种金属硫化物(黄铁矿、毒砂、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿)的石英脉,金属矿物局部富集,后者为矿区主要的富金矿石。石英脉型金矿石金品位普遍较高,一般为 2×10<sup>-6</sup>~10×10<sup>-6</sup>。

2.2.2 矿石矿物成分特征

矿石矿物成分主要有矿石矿物和脉石矿物。矿石矿物组分简单,有黄铁矿、毒砂、褐铁矿,其次有黄铜矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿;脉石矿物有石英、方解石、绢云母等。矿石矿物主要为自形—

表 1 AS<sub>2</sub> 综合异常数值特征<sup>①</sup>  
Table 1 Characteristic of AS<sub>2</sub> integrated anomaly values

元素	面积(S) /km <sup>2</sup>	异常下限 (T)/10 <sup>-9</sup>	峰值/10 <sup>-9</sup>	均值(X)/10 <sup>-9</sup>	衬度(K) X/T	规模(D) K×S
Au	20.8	3	760.1	22	7.3	217.54
W	1.73	30	400	208.8	6.9	11.9
As	11.55	100	1000	203.5	2.04	23.5
Sb	12.63	5	160	43.3	8.7	109.4
Cu	2.78	50	300	100	2	5.56

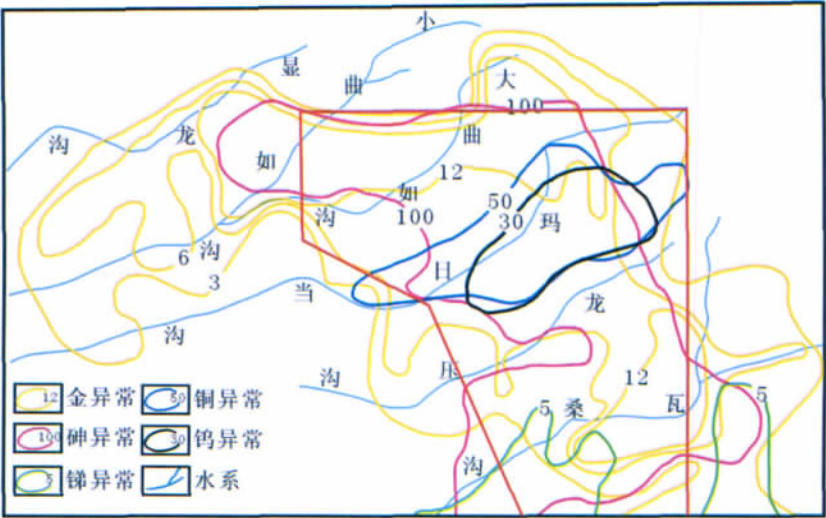


图 3 加吾金矿区综合异常图③(红框为矿区范围)  
Fig. 3 Integrated anomaly map of the Jiawu gold ore district

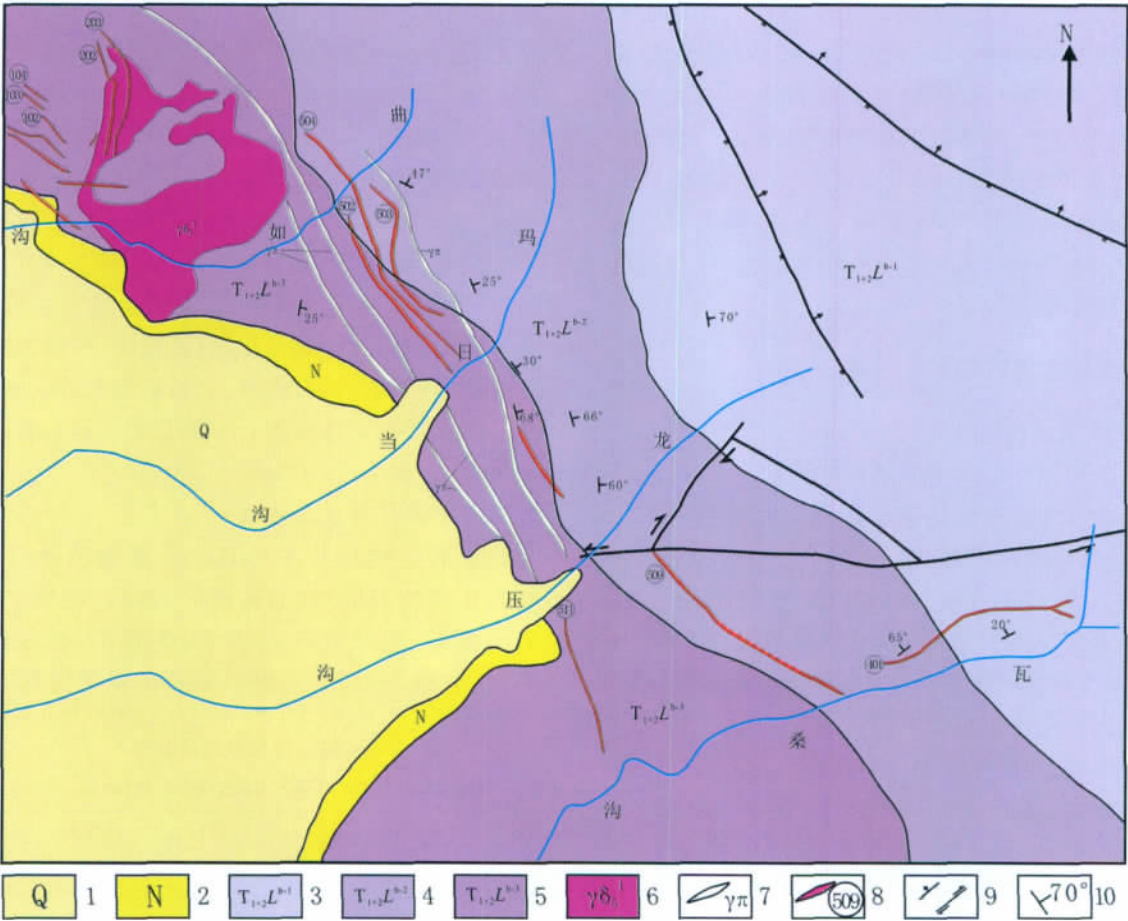


图 4 加吾金矿地质图  
Fig. 4 Geological map of the Jiawu gold ore deposit

1—第四系;2—新近系;3—浅变质砂岩夹少量砂质板岩、炭质板岩;4—砂质板岩夹少量炭质板岩、砂岩;5—炭质板岩夹少量砂质板岩、砂岩;6—花岗闪长岩体;7—花岗斑岩脉;8—矿脉及其编号;9—断裂构造;10—产状

半自形晶、细粒(粒径 0.1~0.3mm,部分小于0.1mm)、沿裂纹(隙)分布、似层状或星散状的黄铁矿和毒砂,黄铁矿含量高于毒砂,并可见毒砂交代黄铁矿的现象。

本次镜下分析结果显示,矿石中未见到可见金,但区内岩矿石分析结果显示金与黄铁矿、毒砂、褐铁矿、闪锌矿及方铅矿呈正相关关系,并与岩矿石中网脉状石英脉和岩石破碎程度成同步消长关系。由此推断载金矿物主要为黄铁矿、毒砂、褐铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、石英等,金以微细粒金或

晶格金分布于载金矿物中。

2.2.3 矿石化学成分特征

矿区 20 件具有代表性的矿石样品光谱半定量分析(表 2)和地表岩矿石元素含量统计结果(表 3)表明<sup>[3]</sup>:①矿石中除 Au 外,还含一定量的 Ag、Cu、Pb、Zn 等,并在局部地段形成工业矿体,可综合回收利用;②矿石中 As 和有机碳含量偏高,对矿石选冶不利;③原生矿石比氧化矿石金品位要低,显示矿石向深部有贫化的趋势。笔者对区内 776 件样品 11 种微量元素分析结果进行了相关性分析,结果表明,

表 2 加吾金矿区矿石光谱分析结果<sup>③</sup>  
Table 2 Ore spectroscopic analysis results of the Jiawu gold ore district

样号	Ag	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Mo	W	Sn	Ti	V	Cr	Mn
GP03	0.42	37.5	56.5	24.0	2.00	4.00	1.30	6.10	2.00	4.00	3.00	17.0	668
GP04	0.41	7.22	60.9	23.9	<1.0	<1.0	<0.5	2.40	2.00	<1.0	<2.0	<10	<30.0
GP05	0.59	5.86	42.7	39.2	3.00	2.00	1.70	5.90	2.00	2.00	31.0	22.0	142
GP06	<0.021	5.53	16.0	28.9	2.00	<1.0	1.30	1.50	2.00	<1.0	27.0	15.0	169
GP07	3.67	90.9	133	31.3	4.00	8.00	1.80	8.10	2.00	8.00	30.0	38.0	172
GP08	>10.0	78.3	960	476	5.00	12.0	1.40	10.0	19.0	12.0	92.0	75.0	683
GP09	0.21	4.65	58.2	18.4	<1.0	1.00	1.20	2.50	2.00	<1.0	<2.0	<10.0	233
GP10	2.06	25.2	>1000	157	2.00	9.00	2.00	10.7	4.00	9.00	20.0	35.0	323
GP11	8.94	26.3	104	41.4	12.0	14.0	1.20	19.0	3.00	14.0	65.0	59.0	672
GP12	>10.0	35.8	83.1	52.0	11.0	17.0	2.40	12.8	3.00	17.0	84.0	62.0	303
GP13	1.86	20.8	94.6	22.4	3.00	4.00	1.10	19.1	7.00	4.00	51.0	54.0	118
GP14	4.91	78.4	156	114	5.00	11.0	1.60	24.9	9.00	11.0	96.0	79.0	287
GP15	>10.0	253	>1000	>1000	4.00	6.00	1.20	20.1	>100	6.00	39.0	46.0	425

注:元素含量为 10<sup>-6</sup>

表 3 地表岩矿石元素含量<sup>③</sup>  
Table 3 The element contents of the ground rocks and minerals

元素	碎裂 蚀变岩	花岗 斑岩脉	褐铁矿化 石英脉	石英脉	板岩	砂岩	砂砾岩
Au	1.53	0.09	0.75	0.01	0.005	0.006	0.004
W	11.02	2.91	4.66	2.98	2.75	3.03	2.93
Mo	0.63	1.72	0.81	0.65	0.79	0.57	0.38
As	7136	570.8	5882	270	75.7	169.2	98.7
Sb	27.52	6.71	55.7	8.59	1.75	1.4	3.78
Bi	2.03	1.25	95.8	0.39	0.45	0.52	0.39
Ag	1.43	0.59	2.85	1.27	0.27	0.28	0.18
Cu	47.06	40.7	33.5	22.1	36.7	22.8	24.8
Pb	111.9	192.8	578	126.2	33.5	103.8	40.6
Zn	238.6	75.1	229	33.3	77.1	137.8	50.5
Cr	47.8	37.1	29.5	19.5	57.9	43.1	30.9
Ni	31.75	28.1	23.5	21.7	37.0	32.8	30.7

注:元素含量为 10<sup>-6</sup>

Au 与 As、Sb、W、Hg 为正相关,在 R 型聚类谱系图(图 5)上,当距离系数大于 0.3 时,表现为 Au-Cu-Pb-Zn-As-Sb-Bi-W 元素组合,与区内水系沉积物测量综合异常元素组合基本一致,以低温元素为主,又有高温元素;当距离系数大于 0.35 时,表现为 2 组元素组合,即 Au-As-(W)-Sb 元素组合和 Cu-Zn-Bi-Pb 元素组合,反映了金成矿过程与本区低温成矿流体活动有关。

2.3 围岩蚀变特征和成矿期次

矿床围岩蚀变主要有硅化、黄铁矿化、毒砂化、褐铁矿化、绢云母化、高岭石化、碳酸盐化、绿泥石化等,总体表现为浅成低温热液蚀变特征,其中硅化、黄铁矿化、绢云母化、高岭石化、碳酸盐化在区内广泛发育。从矿体到围岩有一定的蚀变分带现象,表现为近矿部位硅化、黄铁矿化较强,而远矿部位碳酸盐化、高岭石化较发育。硅化有 2 种表现形式,一种为热液成矿早期阶段,硅质沿围岩和矿物之间的裂隙渗透交代,使围岩中硅质成分增高,形成以微晶石英为主的硅化体;另一种是以石英脉形式充填于构造裂隙中。探矿工程样品分析结果表明,后一种硅化形式与金矿化关系密切,并具同步消长关系。

目前的研究成果表明,加吾金矿成矿期次可分为热液期和表生期。热液成矿期可分为 3 个成矿阶段,即无矿石英阶段( )、石英-多金属硫化物(黄铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿)阶段( )、石英-碳酸盐阶段( ), 阶段为金主要矿化阶段。表生成矿期为氧化阶段,表现为金属硫化物在地表氧化成褐铁矿等。

3 稳定同位素特征

3.1 S 同位素组成

加吾金矿黄铁矿化岩矿石中黄铁矿 S 同位素组成测试结果表明(表 4),加吾金矿硫化物的  $\delta^{34}\text{S}$  介于  $-12.7\text{‰}$ ~ $-0.1\text{‰}$  之间,平均值为  $-4.4\text{‰}$ ,整体以较小的负值为特征。其中,石英脉型和碎裂蚀变岩型矿石(炭质板岩)变化范围为  $-4.7\text{‰}$ ~ $-0.1\text{‰}$ ,平均值为  $-2.15\text{‰}$ ,略大于一般中低温热液金矿床的硫值,更接近再平衡岩浆水热液矿床,与陨硫对比略富集轻硫<sup>[4-5]</sup>;矿体围岩(变砂岩、花岗斑岩、砂质板岩)变化范围为  $-12.7\text{‰}$ ~ $-4.2\text{‰}$ ,平均值为  $-7.37\text{‰}$ 。与

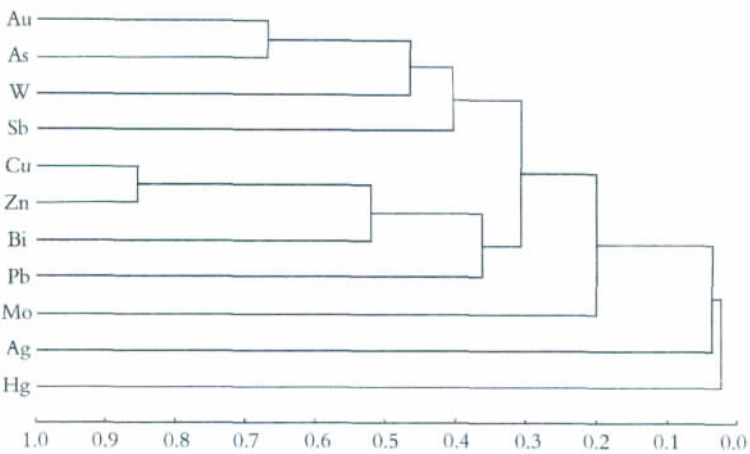


图 5 加吾金矿区微量元素 R 型聚类谱系图  
Fig. 5 R-type cluster pedigree diagram of trace elements of the Jiawu gold ore district

岩浆活动有关的矿床 S 同位素组成一般接近于零并且变化较小<sup>[4-5]</sup>。因而加吾金矿矿石硫应主要为岩浆硫,同时可能有地层硫的加入。

与国内外其它微细浸染型金矿相比(图 6),加吾金矿不同于美国卡林金矿<sup>[6]</sup>(其围岩中黄铁矿  $\delta^{34}\text{S}$  值为  $11.7\text{‰}$ ~ $14.3\text{‰}$ ,矿石中黄铁矿  $\delta^{34}\text{S}$  值为  $4.2\text{‰}$ ~ $16.1\text{‰}$ ,均以较高的正值为特征),也不同于国内滇黔桂地区的板其金矿床<sup>[7]</sup>(其围岩中黄铁矿  $\delta^{34}\text{S}$  值为  $9.5\text{‰}$ ~ $17.7\text{‰}$ ,矿石中黄铁矿  $\delta^{34}\text{S}$  值为  $6.7\text{‰}$ ~ $14.7\text{‰}$ ),西秦岭地区的李坝金矿、金山金矿、三人沟金矿等矿石与围岩 S 同位素也以较高的正值为特征<sup>[8]</sup>,而阳山、东北寨金矿矿石与围岩 S 同位素组成则较为分散<sup>[9-10]</sup>(变化范围分别为  $-3.47\text{‰}$ ~ $13.23\text{‰}$ 和  $-30\text{‰}$ ~ $30\text{‰}$ )。加吾金矿明显不同于这些微细浸染型金矿,其围岩与矿石 S 同位素组成均为较小的负值,而与临区北巴颜喀拉金成矿带内的大场金矿床极为相似。

3.2 H、O 同位素组成

对加吾金矿矿石中石英细脉内的石英进行 H、O 同位素分析,结果表明(表 4), $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$  为  $15.0\text{‰}$ ~ $16.7\text{‰}$ , $\delta\text{D}$  为  $-88\text{‰}$ ~ $-71\text{‰}$ ,按 Clayton 等<sup>[11]</sup>的计算公式( $1000\ln\alpha=\delta^{18}\text{O}_{\text{含水矿物}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}=3.38\times10^6\text{T}^{-2}-3.4$ ),计算获得的  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  为  $4.81\text{‰}$ ~ $8.64\text{‰}$ ,表明加吾金矿成矿流体为岩浆热液与变质热液的混合流体。将求得的  $\delta\text{D}$  值和  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  值投影到  $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  图上可见(图 7),本区 H、O 同位素组成投影点位于原生岩



浆水下方,只有一个点位于原生岩浆水范围内。该特点不同于美国卡林型金矿床<sup>[6]</sup>,与国内滇黔桂地区的微细浸染型金矿床(板其、丫它)也明显不同<sup>[12]</sup>,而与西秦岭地区的微细浸染型金矿极为相似<sup>[13-14]</sup>。

4 控矿因素分析

4.1 地层与金矿化

尽管金矿床可以产于任何岩石中<sup>[15]</sup>,但在许多矿区金矿体的产出与一定的岩性有着密切的关系,如美国卡林金矿<sup>[6]</sup>、中国西秦岭部分类卡林金矿<sup>[16-17]</sup>、东北地区部分金矿等。在加吾金矿区,不同脉群赋矿围岩的岩性略有差异,有砂质板岩和炭质板岩,但从统计资料来看,赋矿围岩为炭质板岩的矿脉有15条,围岩为砂质板岩的有7条矿脉,表明金矿体主要赋存于炭质板岩中,显示地层性质对矿化有一定的控制作用。

(1)炭质板岩具有较高的渗透性,有利于热液运移。浅变质砂岩和砂质板岩的渗透性较差,不利于热液运移,这与国内其它微细浸染型金矿床赋矿地层的特征较为一致<sup>[18]</sup>,而且本区炭质板岩层理发育,多为薄层,也有助于增加岩石的渗透性。

(2)炭质板岩岩性较为软弱,易于破碎产生裂隙。一般而言,能干性大的砂岩易于破碎形成贯通性较好的裂隙系统,能干性小的泥质岩石则具阻挡矿液运移的作用。而能干性中等、层理发育的炭质板岩易于形成弥散性裂隙系统,尤其是在炭质板岩与砂岩、脉岩的岩性分界面附近,滑脱和脉岩的冷凝收缩使裂隙系统更发育,这对成矿流体运移和矿质富集是极为有利的。

(3)炭质板岩含有较丰富的碳质。对于金矿床中的碳质和有机质,人们一直较为重视,有机质不仅在沉积岩中对金属有富集作用,在较高温环境下也是形成众多矿床不可或缺的组分,干酪根和

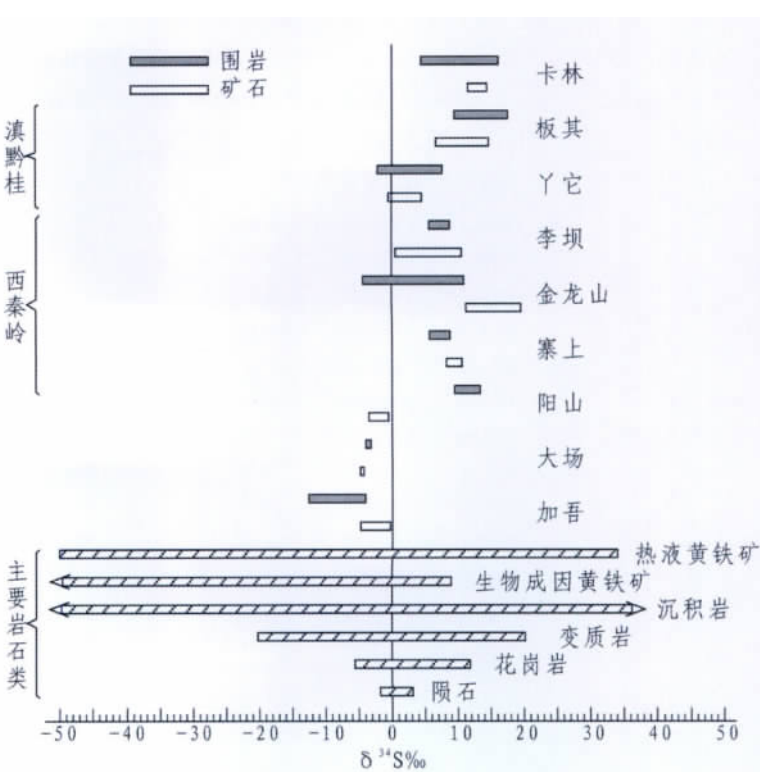


图 6 加吾金矿与相关矿床、岩石 S 同位素组成对比  
Fig. 6 Comparison of sulfur isotopic compositions between Jiawu and other related gold deposits

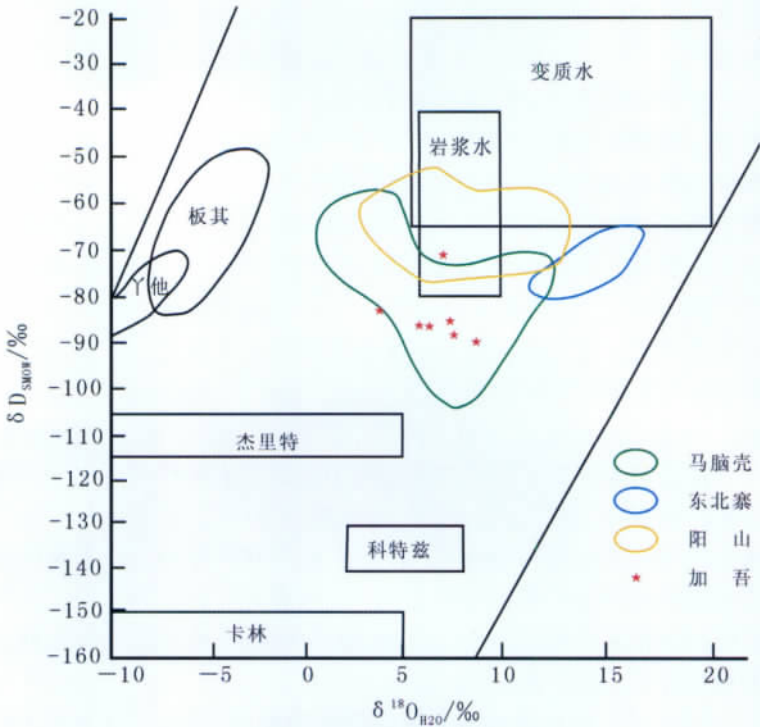


图 7 加吾金矿床 H、O 同位素组成  
Fig. 7 Hydrogen and oxygen isotope composition of the Jiawu gold deposit  
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



表 4 加吾金矿稳定同位素分析结果

Table 4 Analytical results of stable isotopes of the Jiawu gold deposit

样号	岩石	测定对象	$-^{34}\text{S}/\text{‰}$	$t_{\text{h}}/\text{℃}$	$-D_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$	$-^{18}\text{O}_{\text{石英}}/\text{‰}$	$-^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$
PD53-6	浅变质砂岩	黄铁矿	-12.7				
PD53-15	石英脉	黄铁矿	-3.0				
PD54-9	石英脉	黄铁矿	-4.7				
PD54-11	石英脉	黄铁矿	-0.1				
PD531	炭质板岩	黄铁矿	-0.8				
PD532	花岗斑岩	黄铁矿	-5.2				
PD533	砂质板岩	黄铁矿	-4.2				
PD53-8	石英脉	石英		215	-83	15.7	4.81
PD53-12	石英脉	石英		248	-88	16.5	7.45
PD54-5	石英脉	石英		252	-86	15.1	6.24
PD54-11	石英脉	石英		271	-71	15.0	6.98
PD53-3	石英脉	石英		242	-86	15.2	5.86
PD54-14	石英脉	石英		278	-85	16.0	8.27
PD53-15	石英脉	石英		270	-88	16.7	8.64

注：数据由中国地质科学院矿产资源研究所测试，2009； $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  的同位素值据 Clayton 等<sup>[11]</sup>的石英-分馏方程式： $1000\ln\alpha=\delta^{18}\text{O}_{\text{矿物}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}=3.38\times10^6\text{T}^{-2}-3.4$  计算获得

沥青已被证实是使贵金属高度富集的促进剂<sup>[19]</sup>。另外,人们还对生物成矿作用进行了研究<sup>[20]</sup>。在加吾金矿是否存在生物成矿作用还有待于进一步研究,但这种含碳质较高的炭质板岩无疑会有助于该区金的富集成矿。

(4)张复新等<sup>[21]</sup>对青海省隆务河群不同类型岩石的含金性作了分析,结果表明,矿区中下三叠统隆务河群炭质板岩中 Au 丰度值达  $5\times10^{-9}\sim44.1\times10^{-9}$ ,远高于其它岩性。一般研究认为,较高的 Au 含量背景值对金的进一步活化、富集成矿无疑是有利的。

由此可见,在加吾矿区矿体主要产于炭质板岩中并非偶然,较为有利的物理化学性质决定了炭质板岩即为本区有利的赋矿层位。

4.2 构造对金矿化的控制作用

构造对加吾金矿的控制作用与中国其它卡林型金矿相似,即矿床产于被动大陆边缘裂陷带(区),矿床形成与逆冲断裂构造有关,低级别、低序次的断裂或密集裂隙带是矿体的定位空间<sup>[18]</sup>。构造对加吾金矿的控制作用具有明显性、复杂性和不确定性,具体表现在以下 2 个方面。

(1)矿区矿脉总体展布受北西向断裂带的控制,1:5 万水系沉积物测量表明,金多金属异常长轴呈北西向,且基本沿断裂带分布。矿区内矿脉与地层产状

基本相同,即矿体产于北西向断裂带内更次级的层间破碎蚀变带中,向两侧超出蚀变带范围,随着岩石破碎程度降低,围岩蚀变和金矿化强度也随之减弱。显示了加吾矿区构造对金矿化控制作用的明显性。

(2)野外地表踏勘发现,矿区破碎蚀变带地表延续性好,总体产状稳定,但工程揭露表明矿化体与构造蚀变带并不同步,矿体圈定主要依据样品分析结果来确定;同时地表踏勘发现矿区龙压沟与瓦桑沟交会部位地表破碎蚀变带规模明显增大,产状混乱,推测应为北西向与北东东(近东西)向构造交会部位,但地表工程控制并未发现矿化体;与构造交会部位或构造转折端易形成厚大矿体的构造控矿普遍性特征不同。显示了加吾矿区构造对金矿化控制作用的复杂性和不确定性。

4.3 岩浆活动与金矿化

加吾金矿除受区内地层、构造控制以外,还与印支晚期岩浆活动有着密切的联系。从时间上来看,区内花岗闪长岩和花岗斑岩脉为印支(晚)期的产物,而金成矿作用发生于印支—燕山期,即成岩与成矿作用具有时间上的耦合性。在空间上,金矿脉一般产于炭质板岩(或砂质板岩)与岩体或岩脉的外接触带附近,如区内 1<sup>#</sup> 和 2<sup>#</sup> 号脉群出于花岗闪长岩体外接触带,5<sup>#</sup> 号脉群中 502<sup>#</sup>、503<sup>#</sup> 和 504<sup>#</sup> 脉在走向

表 5 加吾金矿与国内外相关矿床地质特征对比

Table 5 Comparison of geological characteristics between Jiawu and other related gold deposits in China and abroad

地质特征	美国卡林	西秦岭地区	滇黔桂地区	本研究区
大地构造背景和沉积环境	主动大陆弧后前陆 断陷盆地	被动大陆西北缘 拉张断陷盆地	被动大陆西南缘 拉张断陷盆地	被动大陆边缘 断陷盆地
赋矿地层时代	志留纪—泥盆纪	泥盆纪为主	三叠纪为主	三叠纪
赋矿地层岩性	碳酸盐岩为主, 次为 硅质岩、细碎屑岩	细碎屑岩、钙质细碎屑岩为主, 次为不纯的 碳酸盐岩、泥灰岩		含炭砂泥质细碎屑岩
控矿因素	前寒武纪断裂、古生 代断陷沉积盆地、第 三纪侵入—火山活 动及断裂作用	陆缘拉张断陷盆地、同生断裂及其控制的台 盆浊积岩相、燕山—喜马拉雅期 韧—脆性变形断裂构造		印支—燕山期区域韧 性断裂的次级构造、复 理石浊流沉积地层、印 支晚期中酸性岩脉
矿石金属 矿物组合	含砷黄铁矿、黄铁 矿、磁黄铁矿、白铁 矿、辉锑矿、辰砂、 雄黄、雌黄、自然砷	含砷黄铁矿、毒砂、 黄铁矿、砷黝铜矿、 黄铜矿、辉锑矿、 辰砂、辉砷钴镍矿	含砷黄铁矿、毒砂、黄 铁矿、辉锑矿	黄铁矿、毒砂、褐铁矿、 黄铜矿、辉锑矿、磁黄 铁矿、方铅矿、闪锌矿、 自然金
脉石矿物	石英、白云石、方解 石、重晶石、萤石、 石膏、粘土矿物	石英、绢石母、白 云石、方解石、重 晶石	石英、水石母、白云石、 方解石、高岭土	石英、绢石母、方解石
金的赋存 形式和特征	原生矿石中以次显 微金形式赋存于含 砷硫化物矿物中, 次 为炭质、粘土等吸附	原生矿石中的金以 次显微金形式赋存 于含砷硫化物矿物 结晶环带、晶面及 晶粒裂隙中	原生矿石中的金以次 显微金形式赋存于含 砷硫化物矿物、石英、 水云母中	原生矿石中的金以次 显微金形式赋存于含 硫化物矿物、石英中
矿化元素组合	Au-As-Sb-Hg-Ti-Ba	Au-As-Sb-Hg-Ba	Au-As-Sb-Hg	Au-As-Sb

注:美国卡林、西秦岭地区、滇黔桂地区资料引自参考文献[21]

上均伴随有花岗斑岩脉。同时花岗斑岩脉中采取  
的样品多数有矿化显示<sup>②</sup>, 其中的矿化石英脉金最高品  
位可达  $1.26\times10^{-6}$ 。这些都表明区内金成矿与岩浆活  
动关系密切, 印支晚期区域岩浆活动可能为金成矿  
提供了部分成矿热源和物质。

5 讨论与结论

研究表明,加吾金矿床具有以下几点地质特征。  
(1)在大地构造位置处于西秦岭造山带与东昆  
仑造山带衔接部位, 属西秦岭地块与柴达木地块俯  
冲结合部位。矿体赋存于中下三叠统隆务河群中,地  
层为一套具复理石韵律层的砂、泥质碎屑岩系,富 S  
和有机碳,同时 Au 丰度也较高( $5\times10^{-9}\sim44\times10^{-9}$ ),  
是加吾金矿床成矿过程中的有利层位。在宏观上,加  
吾金矿床受构造蚀变带控制明显, 北西向和近东西  
向构造蚀变带控制了矿区内主要矿脉和水系沉积物

异常的展布,工业矿体与地层、构造蚀变带产状基本  
一致,表明矿体受层间破碎蚀变带的控制。

(2)矿石特征表明:矿石类型以破碎蚀变岩型为  
主,主要金属矿物为黄铁矿、毒砂等,而载金矿物主  
要为黄铁矿、毒砂、石英等,金以微细粒金或晶格金  
分布于载金矿物中。矿石微量元素含量表明:矿石中  
Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg、W 等元素较为富  
集,并且 Au 与 As、Sb、W、Hg 为正相关,显示加吾金  
矿床的金成矿与富含 Au、As、Sb、Bi、Hg 等低温元素  
的成矿流体活动有关。

(3)矿床地球化学研究结果表明:成矿流体为浅  
成中低温、低盐度热液,为岩浆热液与变质热液的混  
合流体; 稀土元素特征反映矿石在一定程度上继承  
了围岩的物质成分;S 同位素组成特征显示出成矿  
流体中的硫有“地层硫”和再循环的“地幔硫”2 种来  
源。综合反映了加吾金矿成矿作用与沉积岩、岩浆岩

均有一定的内在联系。

总之,加吾金矿床与滇黔桂地区、西秦岭地区的微细浸染型金矿床具有可类比的地质地球化学特征,但又存在明显的不同(表 5)。加吾金矿床是受破碎蚀变带控制的,赋存于中下三叠统砂、泥质碎屑岩系地层中的,与印支晚期岩浆活动有关的金矿床。该类矿床在国内通常称为中低温热液型金矿床或构造蚀变岩型金矿床。笔者认为,该矿床成因类型属于含碳浅变质碎屑岩-中低温热液型矿床,工业类型可以归属为破碎蚀变微细浸染型金矿床。

滇黔桂、川陕甘和西秦岭是中国微细浸染型金矿 3 个重要的矿集区。青海省东部东临西秦岭成矿带,并且西秦岭成矿带的中、下三叠统(隆务河群)大部延入青海境内;在甘肃境内,相续发现了大水、忠曲等多个大型—超大型微细浸染型金矿床。同时,东昆仑可可西里地区三叠纪含炭粉砂岩、炭质页岩、炭质泥岩原岩 Au 含量高,且以盛产砂金著称,指示可可西里地区良好的微细浸染型金矿找矿前景。加吾金矿床地处西秦岭和东昆仑成矿带衔接部位,是青海省东部共和—同德成矿区内首次发现的大型微细浸染型金矿床,具有典型性和代表性,对该矿床进一步的勘查和研究工作对区域相似地质环境内该类型金矿床的寻找和发现具有重大示范意义。

致谢:野外样品采集期间得到武警黄金指挥部王信虎副总工程师、雷士斌处长、李强之高级工程师和武警黄金地质研究所张文钊所长、卿敏总工程师、葛良胜研究员等的大力支持,西安地质调查中心、青海省国土资源厅、青海省地调院等单位的领导和专家提出宝贵的建议,在此深表感谢。

参考文献

[1]孙延贵.西秦岭—东昆仑造山带的衔接转换与共和坳拉谷[D].西北大学博士学位论文,2004:1-195.  
[2]青海省地质矿产局.青海省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997:1-340.  
[3]刘增铁,任家琪,杨永征,等.青海金矿[M].北京:地质出版社,2005:1-372.

[4]张理刚.稳定同位素在地质科学中的应用[M].西安:陕西科学技术出版社,1985:1-267.  
[5]于津生,李耀菴.中国同位素地球化学研究[M].北京:科学出版社,1997:1-621.  
[6]Radtko A S, Rye R O, Dickson F W.Geology and stable isotope studies of the Carlin gold deposit,Nevada [J]. Econ. Geol., 1980, 75: 641-672.  
[7]朱赖民,刘显凡,金景福,等.滇-黔-桂微细浸染型金矿床时空分布与成矿流体来源研究[J].地质科学,1998,33(4):464-474.  
[8]应汉龙.卡林型金矿的特征和成因[J].地质地球化学,2001,29(4):59-64.  
[9]齐金忠,袁士松,李莉,等.甘肃省文县阳山金矿床地质地球化学研究[J].矿床地质,2003,22(1):24-31.  
[10]毛景文.西秦岭地区造山型与卡林型金矿[J].矿物岩石地球化学通报,2001,20(1):11-13.  
[11]Clayton R N, O'Neil J R. Oxygen isotope exchange between quartz and water[J]. J. Geophys. Res.,1972,77: 3057-3067.  
[12]齐金忠,袁士松,李莉,等.甘肃省文县阳山金矿床地质特征及控矿因素研究[J].地质论评,2003,49(1):85-92.  
[13]王可勇,姚书振,吕新彪.川西北马脑壳金矿床成矿流体地球化学特征及性质[J].地球化学,2001,30(3):273-281.  
[14]刘建明,刘家军,郑明华,等.微细浸染型金矿床的稳定同位素特征与成因探讨[J].地球化学,1998,27(6):585-591.  
[15]Boyle R W.The geochemistry of gold and its deposits[J].Geological Survey of Canada Bulletin, 1979,280:1-584.  
[16]张复新.秦岭微细浸染型层控铍—金矿床金赋存状态研究[J].地质论评,1996,42(6):541-549.  
[17]韦龙明,谭进金.秦岭地区与滇黔桂接壤区微细浸染型金矿差异性研究[J].地质论评,1997,43(4):420-427.  
[18]赵利青,冯忠燕.有利岩性对微细浸染型金矿化的控制作用——以南秦岭金龙山金矿带为例[J].中国科学(D 辑),2001,31(7):563-569.  
[19]涂光炽.中国超大型矿床[M].北京:科学出版社,2000:1-584.  
[20]姜琦刚.论构造演化、有机物演化和成矿演化三者之关系——以拉日玛—邱莫金矿带为例[J].地质论评,1994,40(2): 120-125.  
[21]张复新,马建秦.秦岭镇—旬地区微细浸染型铍金矿床成矿条件及其找矿前景分析[J].矿产与地质,1997,11(6):388-396.  
① 青海省第三地质队.青海省同德县显龙沟金铍矿点普查地质报告.1988:1-117.  
② 武警黄金地质研究所.青海省同德县加吾及外围金矿普查报告.2010:1-98.  
③ 青海省地球化学勘查技术研究院.青海省同德县玛日当沟—瓦桑沟岩金普查报告.1994:1-76.