

分类号: _____

单位代码: 10697

密 级: _____

学 号: 982141

西 北 大 学

硕 士 学 位 论 文

题目: 甘肃西成地区金、铅锌矿床成矿系列与时空分布规律

作者: 张旺定

指导教师 张复新 专业技术职务 教 授

学科(专业) 矿 床 学

答辩日期 _____ 学位授予日期 _____

二〇〇一年四月二十八日

摘要

西成盆地是泥盆纪从扬子板块被动陆缘分离出来的秦岭微板块向北加速俯冲,板内不均匀拉张形成的拉张断陷盆地。以发育泥盆纪热水沉积成岩作用为特征,是秦岭造山带金、铅锌多金属成矿带的重要成矿聚集区。经历了泥盆纪热水沉积成岩期、印支期区域褶皱作用、变质作用期和印支晚期—燕山期在秦岭造山带陆陆碰撞造山、陆内造山构造背景下的闭合、隆升造山期。

研究区位于西成盆地西南,发育以邓家山为代表的铅锌矿床和以小沟里—三羊坝,安家岔为代表的金矿床。两类矿床时空关系密切,构成金、铅锌矿床成矿系列。本文通过大地构造背景分析、岩相古地理再造、典型矿床分析等得出如下结论:

1: 区内铅锌矿床属于碳酸盐岩容矿的热水沉积强改造型矿床,金矿床属于似卡林型金矿。

2: 金、铅锌成矿严格受沉积环境、沉积相控制。东西向同生基底断裂控制形成的断陷洼地,是两类矿床含矿建造形成的同一沉积环境。由北到南,见千山—安家岔、尖崖沟—小沟里、邓家山—三华咀三条断陷洼地分别赋存三个金、铅锌复合成矿带。

3: 热水沉积作用形成在碳—硅—泥热水沉积铅锌含矿建造的同时,也带来了大量的Au、Ag、Cu、As、Sb、Hg、Ba等的富集,为上部含金属硫化物碎屑岩建造的形成提供了部分金;两类矿床相同/相似的矿石矿物和成矿元素组合,及铅、硫、氢、氧同位素、稀土元素地球化学示踪,物源都来自前泥盆系基底,说明两者成矿物质来源相同。这种成矿物质的同源性是金、铅锌沉积期“你中有我,我中有你”分层矿化的基础。

4: 两类矿床都经历了变质预富集、构造热液改造工业富集的成矿作用演化。然而,含矿层能干性差异造成两类矿床改造形式的不同,铅锌硅岩含矿层属能干岩层,褶皱、断裂为主的变形中,发生以金矿层内交代、重溶、近距离迁移、重结晶富集为特征的改造成矿作用;金碎屑岩含金矿层属非能干性岩层,以成矿物质剪切变形活化、迁移富集为特征。改造成矿形式的差异是改造期金、铅锌矿分层、相互独立出现、密切共生的根本机制。

5: 两类成矿流体研究表明:海底热水、大气降水和被变质岩浆加热的建造水等不同流体参与了成矿。各种流体演化过程中物化条件的改变及金、铅锌在溶液中地球化学行为的差异是金、铅锌时空共生关系形成的内在机制。

6: 金、铅锌成矿作用演化与秦岭造山带晚古生代以来的构造演化间具耦合关系。

关键词 似卡林型金矿 热水沉积改造型铅锌矿床 成矿系列 西成地区

Gold deposits and Lead-Zinc deposits metallogenic series and Regularity of its time-space distribution of Xihe-Chengxian area, Gansu

Zhang Wangding

(Geology Department of Northwest University)

Abstract

Xihe-Chengxian basin is a pull-apart basin, which were formed by nonuniform pull-apart when Qinling plate were separated from yangtze passive Continental margin in Early Devonian period and then subduct forward to Huabei plate. One of the most important concentrate metallizing area in Qinling Gold and Lead-Zinc polymetal metallogenic belt. With a feature of upgrowth hydrothermal-sedimentary metallizing, Xihe-Chengxian area experience hydrothermal sedimentary lithogenic period in Devonia period, regional fold and metamorphism period in indosinia epoch. After that closed and uplifted period under tectonic background of Continet-continent orogengy and intracontinental orogengy in Qinling in late Indosinia-yanshanian epoch.

The research region lies in the west-southern of Xihe-Chengxian basin. There are many Lead-Zinc deposits and Gold deposits in this area, Such as Dengjiashan Lead-Zinc deposits and Xiaogouli-Sanyangba Gold deposit. The two kinds of ore deposits have a close association in time-space, Which are make up Gold deposits and Lead-Zinc deposit metallogenic series. Based on analysis of tectonic background, palaeogeographic reconstruction and the analysis of typical ore deposits, this paper draws a few conclusion as follow:

1. Lead-Zinc deposits in this region belong to Strong reformed deposits, whose orebearing rocks are larbonate rocks. Gold deposits in this area belong to quasi-Carlin type gold deposits.

2. Gold and Lead-Zinc mineralizations are Strictly controlled by Sedimentary enviroment and precipitation. The subsidence sags which were caused by Ew trend synsedimentary faults, are the common sedimentary enviroment of two kinds ore deposits's orebearing formation. From north to South, Jianqianshan-Anjiacha, Jianaigou-Xiaogouli and Dengjiashan-Shanhuazui subsidence sags occurrence the Gold and Lead-Zinc recombination mineralizing belts in order.

3. A lots of elements, Such as Au, Ag, Cu, As, Sb, Hg, Ba, et al, are concertrated while carbonate rocks-sillicelite-argillaceous rocks of Lead-Zinc orebearing formation are formed by hydrothermal sedimentary. This process supply a part of gold for upper sulfide-bearing classtic rock as well.

Each of ore deposits kinds has identical or alike mineral and mineralizing element assemblage; Lead isotopic, Sulfur isotopic, δD value and $\delta^{18}O$ value of inclusions water et al. Show that ore metals of two kinds deposits were mainly derived from pre-Devonian basement. To sum up, a conclusion may be reached that ore metals provenance of Gold deposits and Lead-Zinc deposits is alike. Consanguinity of Gold and Lead-Zinc is a foundation, which caused follow paragenesis: one hand, Gold and Lead-Zinc is associate one with another. on the other hand, metallizing of Gold and lead-Zinc is take place in difference Strata rock.

4. All of ore deposits have same experience that ore metals preconcentrated in metamorphism period, and formed minable deposits in tectonic-hydrothermal reformed period. However, the difference of deformability of orebearing strata rocks cause the difference of reforming pattern of two kinds ore deposits: Silicalite in Lead-Zinc ore- bearing formation has powerful deformability, So fold and fault are main reforming pattern that ore metals such as lead and zinc et al occurred in orebearing strata rocks were concerned by replacement and remelting and relocation in short distance. But Gold ore bearing formation is a powerless deformability strata rocks that ore metals of Gold et al were activated and relocation and concentration by shears. As state above, The difference of reforming pattern between Gold and Lead-Zinc metallizing is essential mechanism that two kinds deposit's close association in time-space.

5. Mineralizing fluid inclusions of Gold deposits and Lead-Zinc deposits studies shows: There are many types mineralizing fluid have a role in metallogenesis of two kinds deposit's, include submarine hydrothermal solution, atmospheric water and Sedimentary formation water which were heated by metamorphism or magmatism. It's are internality mechanism to form close associate in space-time between gold element and lead-zinc element that change of physical-chemical condition of various kinds of mineralizing fluid and variance of physicochemical behaviour in mineralizing fluid of Gold deposits and Lead-Zinc deposits.

6.It's have relationship of coupling between metallogenic evolution of Gold deposit and Lead-Zinc deposit and structural evolution of Qinling Collision orogenic belt Since late palaeozoic ear.

Key word: quasi-Carlin type gold deposits. hydrothermal sedimentary Strong reformed type Lead-Zinc deposits Metallizing series Xicheng area

目 录

一、前言	1
1.1 研究现状与选题	1
1.2 研究思路与方法	2
1.3 取得的主要认识和进展	2
二、研究区大地构造背景与区域地质	4
2.1 研究区大地构造背景及演化	4
2.2 区域地质	5
三、研究区泥盆纪沉积岩相组合及环境	8
3.1 概述	8
3.2 研究区岩相组合及环境	8
3.3 含矿地层与岩矿岩石	11
四、研究区矿床成矿系列特征	14
4.1 两类矿床地质特征概述	14
4.2 两类矿床空间分布格局	16
五、典型矿床分析	18
5.1 热水沉积改造型铅锌矿床——邓家山铅锌矿床	18
5.1.1 矿区地质	18
5.1.2 赋矿硅岩特征	19
5.1.3 矿床地质特征	20
5.1.4 矿床成矿机理、成因分析	23
5.2 似卡林型金矿床—小沟里—三羊坝金矿床	27
5.2.1 成矿地质环境	27
5.2.2 含矿建造特征	28
5.2.3 构造、岩浆作用	32
5.2.4 矿化特征	34
5.2.5 成矿物质来源	39
5.2.6 矿床成因探讨	44
六、研究区金、铅锌矿床时空共生关系及分布规律	46
6.1 金、铅锌矿床时空共生关系	46
6.2 金、铅锌矿床共生关系及分布规律分析	49
结论	55
致谢	57
参考文献	58
图版说明	61

一 前 言

秦岭造山带作为中国大陆内中央造山带的关键地段, 不但是南北大陆的分隔界线, 而且以其复杂的组成和长期的演化, 构成闻名中外的大陆碰撞造山带和重要的有色金属与贵金属成矿带, 被誉为中国的“金腰带”。

特别令人关注的是, 70-80 年代在南秦岭亚带评价出一批热水沉积成因的铅锌矿床, 其中厂坝—李家沟已达超大型规模, 邓家山、毕家山、洛坝(西成盆地)、铅硐山、八方山—二里河、银母寺、银洞梁(凤太盆地), 大西沟—银洞子、桐木沟(柞山盆地), 锡铜沟(镇旬盆地)等大、中-小型规模。在铅锌矿带确认的基础上, 于 80 年代末至今, 又在该带及邻区发现一批特大、大、中-小型卡林型-似卡林型金矿床, 其中八卦庙已达特大型规模, 李坝、金山-马泉、鹿儿坝、大水(礼岷盆地), 安家岔-小东沟、小沟里—三羊坝、三华咀(西成盆地), 双王、八卦庙(凤太盆地), 金龙山—丘岭、二台子(镇旬盆地)等大、中、小型规模。

上述两类矿床产于同一大地构造背景下, 受统一的地质构造演化系统控制, 组成南秦岭区特征的成矿系列。将大陆板块构造理论与当代最新成矿理论相结合, 借鉴秦岭造山带基础地质研究成果, 通过深入细致对典型矿床的解剖性研究, 控矿因素与成矿规律的研究, 探讨热水沉积型铅锌矿床与似卡林型金矿床的共生关系与时空分布规律, 将有助于揭示大陆造山带构造演化与成矿作用的耦合关系, 完善和建立大陆造山带成矿理论, 以便更有效地指导新一轮的找矿与勘探。

1.1 研究现状与选题

现代海底多金属块状硫化物矿床和大陆贱金属块状硫化物矿床中的含金性调查研究证实, 海底热水沉积作用不仅能形成十分重要的贱金属硫化物矿床, 而且也能导致金的明显富集, 金与贱金属硫化物有共同的物源, 两者的共生与分离取决于两者的地球化学性质及喷口的地质环境、物化条件等(R.W.Hutchison 1990)。近年, 卡林矿带卡林型金矿下部发现热水沉积型金矿床, 研究表明, 后者是前者的矿源(P.Emsboetal 1999)。80 年代末—90 年代初, 我国一些矿床学者已注意到秦岭西成和凤太盆地热水沉积成因铅锌矿床与微细浸染型金矿床的共生关系。张复新(1996、1998)提出: 秦岭热水沉积型块状硫化物矿床不仅是贱金属(铜、铅锌)的主要来源, 而且也是大量贵金属金银的重要来源, 在热水沉积铅锌矿床成矿演化过程中, 金迁移的配位体组分及配合物的形成是导致金与铅锌共生、伴生、分带(分层)产出的主导因素。汪东波(1998、1999、2000)对铅锌与金的时空关系做了大量的统计研究后, 得出结论, 铅锌矿和金矿床共同产出在同一构造背景下, 金矿床通常位于铅锌矿之上, 成矿时代明显晚于铅锌矿成矿时代,

这种同层异位、时代滞后的时空分布特征与铅锌和金的地球化学差异性所致。韦龙明等(1995)在研究甘肃西成—徽县卡林型金矿成矿规律时指出,西成盆地沉积岩型金矿床与热水沉积型铅锌矿床在矿石矿物的化学成分、微量元素、稀土元素、包裹体特征及铅、硫、氢氧同位素组成等诸方面具有相似特征,金矿成矿与热水沉积作用关系非常密切。虽然各有侧重,但都强调了与热水沉积作用有关,和一定的空间分布格局。然而,从大陆碰撞造山带动力学角度和成矿物质的地球化学动力学方面,对两类矿床综合对比研究仍显薄弱。两类矿床较复杂的共生关系和时空分布及其演化规律方面有待深入研究。这一研究的滞后,不但有碍于“秦岭式”矿床理论的发展与提高,而且直接影响着对秦岭区成矿预测和找矿勘探工作的深入开展。为此,该论文选取南秦岭泥盆纪热水沉积铅锌矿和浸染状金矿床均较发育的西成盆地西南地区,进行两类矿床成矿系列与时空分布规律的探讨性研究。

1.2 研究思路与方法

以板块构造理论和现代成矿作用理论为指导,借鉴和学习秦岭造山带基础地质研究最新成果。充分认识南秦岭沉积岩区热水沉积铅锌矿床与微细粒浸染型金矿床存在的密切共生关系这一地质事实。从成矿地质背景、盆地性质及其形成发展出发,着重于盆地内发育的含矿建造、沉积岩相古地理环境及其同生沉积成矿作用,和随后的碰撞造山与后陆内逆冲推覆构造作用下的叠加改造成矿作用的深入研究。通过对研究区两类典型矿床的地质地球化学研究与综合对比,结合分析测试与大型仪器分析,较全面系统地研究区两类矿床组成的成矿系列及其时空分布规律进行深化探讨。

以期进一步完善秦岭造山带有色金属与贵金属矿床成矿理论,建立大陆碰撞造山带型金属矿床成矿模式和总结两类矿床成矿规律,对本区矿产资源的开发利用提供指导性意见。

1.3 取得的主要认识和进展

(1)进一步明确了西成盆地发生发展的裂陷构造性质,是由于盆地所属被动大陆边缘强烈俯冲会聚,导致板内不同部位的块体运动速率产生差异;另外,来自西部古特提斯扩张作用的叠加,使西成盆地处于相对伸展构造背景之下。并据此认识初步恢复了研究区泥盆纪沉积岩相古地理环境。

(2)较深入细致地阐述了研究区所在盆地地段的沉积作用及其沉积建造的组成特征;进而指出盆地中发育的热水沉积岩系和含金属硫化物矿物的细碎屑岩系为本区铅锌矿、金矿床的矿源层;特别是在裂陷盆地发育过程中,发生有含金的铅锌矿化的同生沉积成矿作用。

(3)分别深入讨论了碰撞造山作用和陆内逆冲推覆与走滑构造作用对两类

矿床的改造,进而提出两类矿床受后期地质作用改造方式不同,致使两类矿床控矿因素具有明显差别,加之铅锌与金等成矿元素地球化学性质和行为的差异,导致两类矿床成矿系列在本区伴生、共生、分层、分带的时空分布规律特征。

(4)通过含矿建造研究对比和两类典型矿床的研究,明确提出研究区中邓家山为代表的铅锌矿床属碳酸盐岩容矿的热液沉积强烈改造型,小沟里、安家岔为代表的似卡林型金矿床具有明显的沉积改造成因特征。两类矿床表现出“你中有我,我中含你”、“独立出现”的成生联系。(5)根据含矿建造形成、叠加改造构造格局、矿化类型及其空间分布,研究区内可划分出三个铅锌-金矿化复合带,即北部见千山—安家岔矿化复合带,中部尖崖沟—小沟里矿化复合带,南部邓家山—三华咀矿化复合带。

(6)对小沟里、安家岔典型金矿床的研究,提出顺层发育的透镜状花岗岩脉分布区属于矿区内控矿韧性剪切带的一部分,并首次将小沟里、安家岔金矿床确定为沉积-改造的似卡林型金矿类型。

二 研究区大地构造背景与区域地质

2.1 研究区大地构造背景及其演化

研究区所属西秦岭是秦岭造山带的向西自然延伸,其北部西连祁连造山带,并与华北大陆相邻接,其南部分别与扬子大陆和松潘—甘孜造山带连接,而明显有别于东秦岭造山带。显然,西秦岭地处多个构造单元的聚合地带,在漫长的地壳构造演化过程中,历程了多旋回造山构造运动的叠加,最终形成现今复杂面貌的复合型大陆造山带。

显生宙以来,作为秦岭的主造山作用,进入了以现代板块构造体制为基本特征的大陆板块构造演化阶段,秦岭造山带形成了“三块夹两缝”的构造总格局,即华北板块,秦岭微板块(或南秦岭地块)和扬子板块沿商丹和勉略两个缝合带俯冲碰撞造山。研究区所在甘肃西(和县)一成(县)海盆属于南秦岭地块西部上述构造演化和相关组成的一部分。

根据南秦岭区现今地壳地质组成,其大地构造背景及其地质演化大致可划分三个阶段:

1. 晚震旦世—早古生代南秦岭被动大陆边缘沉积体系演化阶段

震旦纪是南秦岭由裂谷沉积体系向被动大陆边缘转变的重要时期。震旦纪早期,南秦岭区发育的耀岭河群火山岩—沉积岩组合厚达数千米,其中的火山岩以一套变质基性岩为主,夹含分选较差的沉积岩,根据岩石组合及岩石化学研究属不稳定火山岩系(夏林圪, 1991; 张成立等, 1999)。自震旦纪晚期南秦岭由不稳定裂谷型沉积向稳定型陆缘海盆沉积转化,这一时期发育的陡山沱组—志留系较稳定的大陆边缘沉积当属其证。另将迭部武都下古生界研究程度较高的志留系与扬子区志留系地层组合对比(霍福臣、李永军, 1995),两者地层岩石组合与生物组合具有较好的可对比性。因此,南秦岭应归属扬子统一大陆区。

2. 晚古生代—三叠纪南秦岭独立地块裂陷海槽沉积体系演化阶段

区域地质资料表明,扬子大陆北缘沿高川略阳一线晚古生代沉积作为有限洋盆的一部分被残留下来。略阳盆地泥盆系不整合于元古代碧口群火山—沉积岩系之上,下—中泥盆统踏坡群底部冲积扇沉积代表最初裂陷的发生,裂陷进一步发展使盆地范围扩大和加深,盆地中心向北部陆地迁移并发育三河口群浊积岩系,所含基性和超基性岩块($241 \pm 4\text{Ma}$)显示晚古生代已出现洋壳(李曙光等, 1996)。高川盆地在初始发展阶段为独立的裂陷槽,随后不断加宽和向两端扩延,最终与西部略阳盆地贯通。而略阳盆地在早—中泥盆世实际上已与西秦岭区盆地连为一体(曹宣铎等, 1990)。上述高川、略阳裂谷—有限洋盆带的出现,导致南秦岭作为洋陆兼杂的裂陷海槽相对独立于扬子大陆。

独立出来的南秦岭裂陷海槽晚古生代广泛发育泥盆系—三叠系海相沉积,盆地沉积地层受基底和古地理环境的影响,可划分为南北分区排列、东西成带的三个各有特色的沉积小区。研究区所在西成盆地属中带(图 2-1)。然而,对于西

秦岭与东秦岭不同的是，西秦岭区二叠纪时特提斯海盆边缘裂陷已到达本区，形成东窄西宽的二叠系楔状裂陷沉积，至中—晚三叠世西秦岭大陆内部发生两支通向特提斯海盆的大裂陷，形成两支东窄西宽的三叠系楔状裂陷沉积。西秦岭区由西而东古特提斯的裂陷活动发展与来自华北与扬子大陆由东而西的反向闭合同同时演化，因此决定了西秦岭地区晚古生代沉积建造的独特性、多样性复杂性。

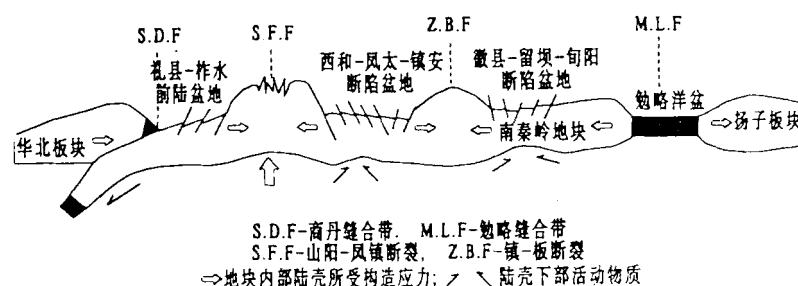


图 2—1 秦岭板块泥盆纪断陷盆地构造格局

3. 中、新生代南秦岭成陆及陆内造山演化阶段

印支运动中国南北大陆发生陆间俯冲碰撞造山作用，至此形成南北统一的劳亚联合古大陆，进入陆内造山阶段。南秦岭区处于强应变状态，地壳表层内发生大规模冲断推覆、断块剪切平移和拉张断裂的逆掩造山作用，改造了印支运动形成的构造格局。伴随陆内造山构造作用的发生，火山活动和岩浆侵入作用强烈发育。侏罗—白垩系及其上部构造层内的岩石记录了这一时期的构造变动，断陷构造盆内红色陆相沉积和岩石变形以浅层次脆性为主。而下部构造层则以叠加在韧性变形上的韧脆性—脆性变形同样记录了这一时期的构造变形。

2.2 区域地质

1. 区域构造与地层

研究区所属西成盆地北以黄渚关断裂为界，南以人土山—江洛断裂为界。区内地层组成吴家山复式背斜主体褶皱构造，原吴家山背斜核部出露的下泥盆统吴家山组重新厘定为中—晚元古代林口组和海酒山组（张传林等，1999）。其中下部林口组由片岩类、变粒岩类及少量片麻岩组成，上部海酒山组为一套大理岩组合。中泥盆统安家岔组和西汉水组围绕背斜核部分布，并在两翼形成向西倾伏的次级褶皱。均由下段生物碎屑灰岩和上段泥质千枚岩滞流洼地岩相组成。（图 2—2）

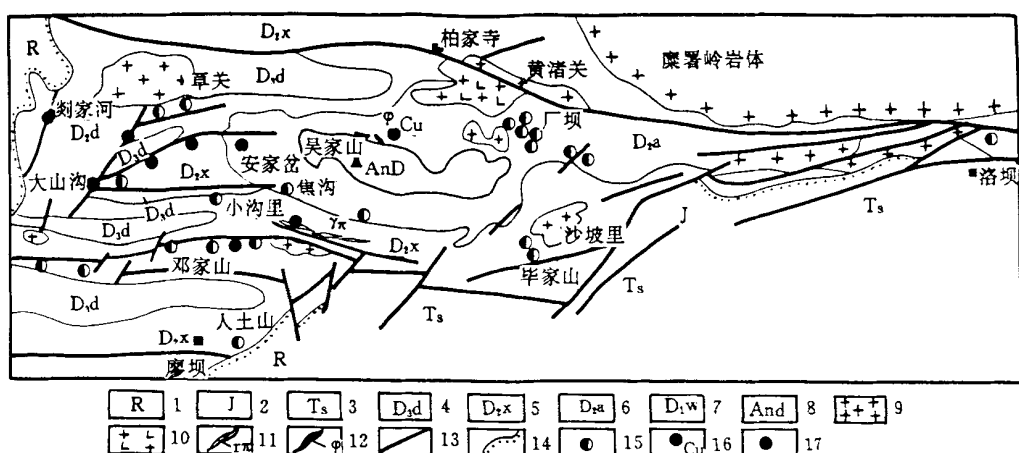


图 2—2 西成盆地地质图(据祁思敬等 1993 修编)

研究区所在背斜西南地段由于碰撞造山挤压动力学机制强烈作用下,发生由南向北的逆冲推覆作用。次级褶皱进而发展为紧闭倒转褶皱或穿刺褶皱,能干性岩层和非能干性岩层常组成核幔构造,物理性质不同的两种岩层间发育层间滑动或构造破碎。上述褶皱构造鞍部及层间构造常成为改造型铅锌矿床工业矿体就位的构造空间。

上述构造作用同期或进一步的递进演化,在先期褶皱进一步紧闭倒转外,还表现为穿刺与剪切作用发育。在非能干性岩层中使面理置换作用加强,形成各类褶皱,如无根褶皱、剪切褶皱、“M”褶皱和广泛发育的 S_2 面理,以及挤压和剪切联合作用下形成的滑断构造。进一步的递进变形表现为不同类型的膝折和共轭膝折带和晚期脆性断裂。这种较强变形区多发育在含金的细碎屑岩容矿岩系中。

2. 侵入岩浆岩特征

在南秦岭裂陷海槽晚古生代沉积范围内,研究区中侵入岩浆岩相对发育,其中以花岗岩类为主,出露受构造控制明显,带状分布,展布方向与主构造线方向一致。岩株、岩脉均有出现。岩株形态为一向延长的长条—椭圆状侵入于泥盆系和前泥盆系地层中。岩浆岩岩石类型相对简单,主要为二长花岗岩和花岗闪长岩。岩脉多为花岗斑岩脉和闪斜煌斑岩、云斜煌斑岩脉等。

对研究区及其区域范围内分布的花岗岩质侵入岩年龄测定资料分析,磨署岭石英二长岩、石英闪长岩 Rb-Sr 等时线年龄 219Ma, Ar-Ar 年龄 213Ma, 黄渚关石英二长岩 Rb-Sr 等时线年龄 236Ma, 草关石英闪长岩锆石 U-Pb 年龄为 204Ma (霍福臣、李永军, 1995)。与盆地封闭于晚三叠世一致,显然属于碰撞期花岗石。上述岩体或岩脉受韧性剪切构造带作用发生强烈退变或被破坏为构造透镜

体。显然，岩浆作用期早于控矿的剪切构造活动时期。这与地质实际观测是吻合的。

3. 变质作用特征

研究区范围内泥盆纪地层普遍经受了区域浅变质作用，沉积岩层钙、泥、铁质物普遍重结晶；岩石普遍出现板理、千枚理和变余结构；局部含铁、含钙质岩层中发育斑点状构造，低绿片岩相的斑点构造中多聚集碳酸盐矿物、黄铁矿、黑云母、石英及绿泥石等。表现出该浅变质作用过程，含矿岩系中相对活泼组分的迁移聚集活动。

尽管研究区域内的岩浆侵入体周围发生不同程度的接触变质作用，由于距离矿区稍远，还未发现与铅锌或金成矿作用的直接联系。

4. 矿产

研究区所在西成盆地发育热水沉积成因铅锌矿床和似卡林型沉积改造金矿床，以及小型汞锑矿床。

其中铅锌矿床明显可划分为两类，一是产于中泥盆统安家岔组下部的热水沉积未改造或较微改造铅锌矿床，以厂坝—李家沟超大型矿床为代表，受区域深大断裂控制的深一半深水槽盆相，含矿岩系主要细碎屑岩为主夹互碳酸盐岩层。另一类是产于安家岔组上段或西汉水组，主要赋存于碳酸盐岩—细碎屑岩岩系岩性转变部位的碳硅质热水沉积岩中，该沉积环境位于碳酸盐台地边缘发生显著沉陷的滞流洼地处。在后期地质作用强烈改造下形成热水沉积改造型铅锌矿床类型，以邓家山大—中型矿床为代表。在研究区有较广泛的分布，并且与似卡林型金矿具有密切的共生关系，为本论文研究的主要内容。

似卡林型金矿床主要分布盆地西南一带，产于安家岔组和西汉水组上段细碎屑岩岩性段中，与改造型铅锌矿床是“分层、分带，独立出现”的时空分布关系，两者组成密切共生的矿床成矿系列。

三 研究区泥盆纪沉积岩相组合及环境

3.1 概述

研究区所属西成海盆沉积岩相组合及其环境较为复杂,海盆内以吴家山古隆起为中心,将海盆分隔形成东部沉积小区、西部沉积小区以及南部沉积相带和北部沉积相带。各沉积区带岩相组合与环境具有明显差别,产出的金属矿床规模及其矿床共生组合亦存在较大差异。

总体上看,西成古海盆中存在两类成矿沉积洼地。一类位于吴家山古隆起东侧,紧邻黄渚关基底断裂边部,进而受南北向同生断裂断陷构造控制,形成位于陡坡地带的深水一半深水断陷洼槽环境,发育具复理石特征的细碎屑岩系为主沉积岩系,含矿层段富含钠长石岩、硅质岩、富镁铁质碳酸盐岩和重晶石岩等多种热水沉积岩,层状铅锌硫化物矿体与地层夹互整合关系,矿床规模巨大,以厂坝—李家沟超大型铅锌矿床为代表。该沉积小区至今未见独立金矿床出现。另一类位于吴家山古隆起西部,主要在次级生长断裂活动控制下,在碳酸盐台地边缘形成有利成矿的台地断陷洼地相环境,发育碳酸盐岩—硅质岩—泥板岩沉积层序结构,含铅锌硅质岩沿其产出的固定层位的走向上,其连续性、均匀性和发育程度均有较大变化。其上部含金的细碎屑岩段横向岩性相变较明显。产出矿床以中、小型规模为特点,出现铅锌矿床与金矿床的密切共生。因此,在充分认识到两种沉积成矿环境存在明显差别的基础上,分析不同成矿区内出现热水沉积成因铅锌矿床和似卡林型金矿床的特点及其共生关系是至关重要的。该论文重点探讨西成盆地西侧安家岔—邓家山地段岩相组合及环境,以便深入认识和总结本区矿床地质特征、成矿系列及其成矿规律。

3.2 研究区岩相组合及环境

根据沉积地层岩性、岩相组合特点,研究区盆地沉积体系自南而北大致可划分如下:

1. 开放陆棚相

主要分布在页水河以南和歇台寺以北地区。开放陆棚相以暗色泥灰岩为主,局部夹互泥质条带或薄层,岩石中含少量保存完好的单体珊瑚和腕足类化石。具体由以下微相组成:(1)深灰色含泥质条带泥状灰岩,岩石结构均一,化石极不发育。(2)暗灰色中薄层泥状灰岩,岩石结构均一,不含或含少量腕足类和单体珊瑚。(3)暗灰色中厚层生物粒泥灰岩,生物粒为保存较完好的单体珊瑚、腕足类、层孔虫等。

上述各微相的垂向组合及其岩性特征与化石组成,表明它们是在波基面之下

开放陆棚上的静水沉积产物。

2. 局限台地相及环境

主要分布在鱼池坝—页水河、红岭山、歇台寺地区，呈东西带状展布。主要岩性为浅色厚层生物灰岩和生物屑泥粒灰岩组成，以含生物丰富和岩性分异度低为特点，主要由以下微相组成：（1）含生物或生物屑泥灰岩—粒状灰岩，岩石暗灰—浅灰色，厚—中厚层状，含较丰富的生物化石和生物屑颗粒，包括层孔虫、珊瑚、腕足类、海百合茎及藻粒等。（2）含生物屑泥砂岩，岩石灰白—暗灰色，中厚层状，基质支撑，生物多为原地保存，保存完整。

从上述两微相岩性的颜色、层厚、生物丰富、分异性低且保存完好、藻粒发育等分析，它们形成于局限相对滞流、弱还原浅水条件。

3. 生物建隆及环境

主要发育在红岭山东西带和青羊峡东西两条带上。生物建隆主要由生物礁、生物丘和层状生物等沉积相类型组成。其中在红岭山一带以生物礁为特色，青羊峡一带以生物丘及生物层为特色。其主要微相类型为：（1）骨架灰岩，岩石浅灰—灰白色块状层，造架生物为块状层孔虫、枝状层孔虫、床板珊瑚和四射珊瑚，还有腕足类、棘皮类等。生物自身连接生长形成骨架并由亮晶碳酸盐胶结。（2）粘结灰岩，岩石为浅灰色块状层。粘结生物为板状、朵状及不规则状层孔虫和蓝

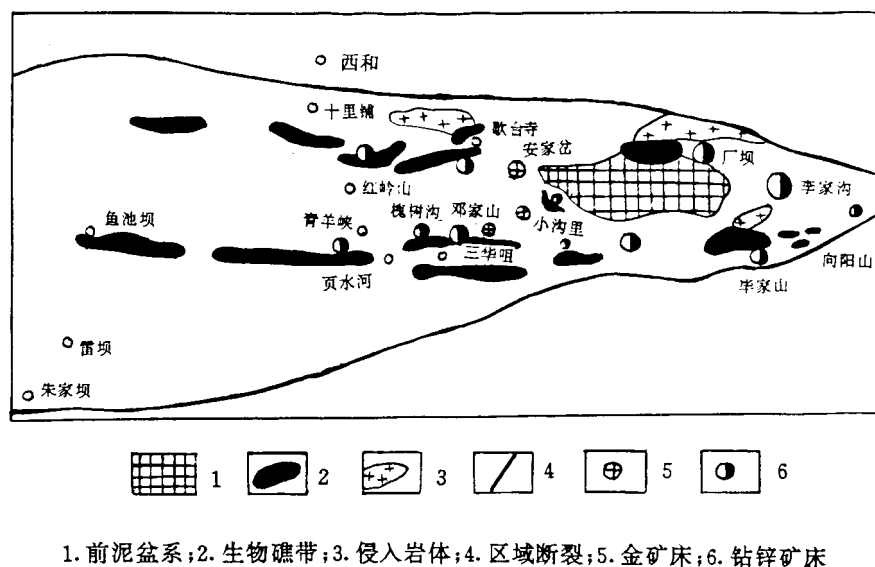


图 3—1 西成地区泥盆纪沉积古地理简图及矿床分布(据杜远生补充修改)

绿藻。（3）障积灰岩，岩石呈暗灰色块状层。障积生物主要为群体四射珊瑚、枝状层孔虫和床板珊瑚组成。生物之间为障积灰泥及生物屑填充。（4）核形石泥粒灰岩，岩石呈浅灰色厚层状，核形石含量较高，多呈椭圆形和圆形，内部纹层同心且连续。颗粒支撑，灰泥填隙。

生物建隆的发育，使研究区沉积海底起伏不平，特别形成呈断续分布的南礁带和北礁带（图 3-1），同时出现水体流动不畅的滞流环境。

4. 台地断陷洼地相及环境

主要发育在红岭山和青羊峡带状生物礁南北礁前小型断陷洼地中。洼地内沉积物和化石与同期台地和生物礁相岩石组合有显著差别。洼地边缘为含生物泥灰岩及泥板岩，逐渐过渡到洼地中心的泥板岩、泥状灰岩及具递变层浊积灰岩—泥岩，并在岩相下部出现断续分布的含碳硅质热水沉积岩，上部出现分异性较好的含草莓状黄铁矿灰黑色泥质板岩、粉砂质板岩。

该较深水洼地主要由以下微相组成：（1）含碳泥质硅岩、深灰—灰黑色，中—薄层状，具层纹一条带状构造，含多种金属硫化物草莓状铅锌矿化矿物。（2）具递变层的浊积泥灰岩，底部具冲刷面，由下向上砾级渐变为砂级，中部为具平行层理砂屑泥灰岩，上部为粉屑和泥屑泥灰岩。（3）泥质浊积岩，主要由粉砂质板岩和泥质板岩组成。石英、长石均呈细粉砂级，颗粒以次棱角为主，磨圆度差，可能含有火山晶屑，普遍含少量成岩黄铁矿硫化物。

上述主要微相组合以映了较深水滞流静水还原条件下的沉积环境。

5. 泻湖相及环境

分布于红岭山—安家岔东西生物建隆和青羊峡—鱼池坝东西生物建隆之间。由于两侧生物礁体小，连续性差，故处于半封闭状态。主要由生物屑泥灰岩，泥灰岩和泥板岩组成。与台地相区别在于，生物含量低，生物分异性差，类别较单调，生物保存较好，以原地保存为主。反映形成于正常盐度、浅水，氧气不通畅受限制的环境中。

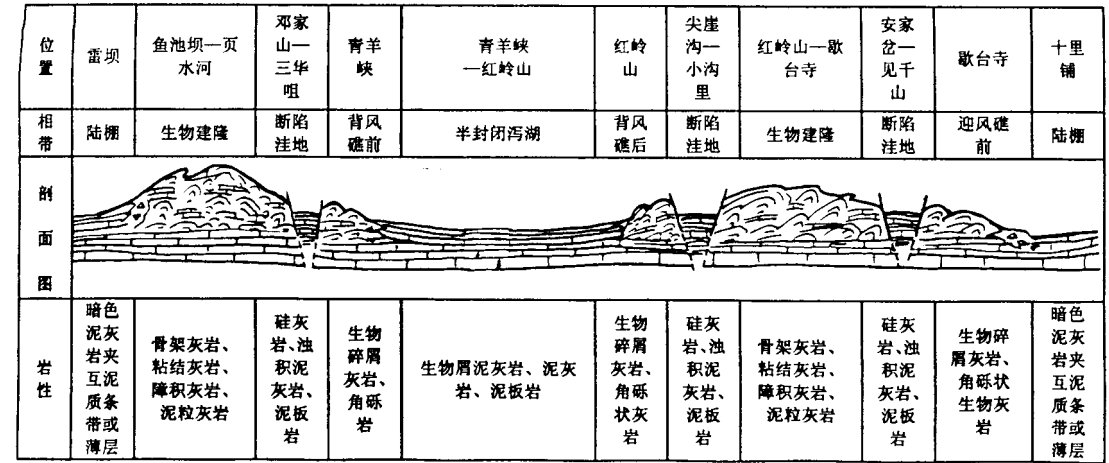


图 3—2：西成地区西部中—上泥盆世岩相古地理环境

根据上述各岩相组合及其环境分析，将西成地区西部研究区内中—晚泥盆世岩相古地理恢复如图 3-2。在生物建隆南北两侧台地断陷洼地相是铅锌矿源层与贫矿体，以及含金矿源层形成的有利沉积环境。该岩相分布区域经后期褶皱断裂改造构成研究区南、中、北三个铅锌—金综合成矿带。表明了沉积环境、岩相组合和综合成矿带之者形成演化和时空分布吻合规律。

3.3 含矿地层与容矿岩石

研究区含矿地层与容矿岩石均为中—上泥盆统地层组成,而且含矿地层往往即为容矿岩石,发育在局限台地泻湖相大环境下的断陷洼地之中,形成本区热水沉积改造型铅锌矿床和似卡林型沉积改造金矿床的共生组合。两类矿床各有独特的含矿地层和容矿岩石。

1. 铅锌矿床含矿地层与容矿岩石

研究区铅锌矿含矿地层具有固定的层序位置,产于中泥盆统安家岔组和西汉水组中—下部,常见的层序自下而上是生物屑粒状灰岩、含碳硅质岩和泥板岩,灰岩岩层之上的硅质岩为中—厚层块状,可见层纹构造,是铅锌矿床的主要含矿层位,其上部为泥板岩整合覆盖,表现出沉积条件发生急骤变化形成的层序。泥盆纪本区总体处于伸展扩张背景下,由于断陷同沉积构造变形,导致地层岩性的突变和沿同生断裂活动的海底热水沉积产物在该层位的沉积。

对于含矿硅质岩的成因认识,人们曾有一个曲折的认识过程。直至70年代,在传统成矿观念的影响下,仍认为它们是热液蚀变的产物。通过现代海底扩张区“黑烟筒”、“白烟筒”的调查发现,以及大陆热泉的活动,将今论古认为古海域拉张环境下热水沉积活动相当广泛。通过深入岩石学、岩石化学与大地构造背景关系的较系统研究,于80年代基本确定了秦岭区泥盆系中存在多种热水沉积产物。研究区中与铅锌矿化有关热水沉积岩主要为含碳硅质岩。

虽然该硅质岩在后期改造作用下普遍发生重结晶及后期改造热液的叠加,给恢复它原生成因带来困难,然而硅岩中石英的均匀微细粒状镶嵌结构;岩石中多出现纹层状、条带状沉积构造;在含碳质纹层中发现多种金属硫化物草莓生物假象结构;偶尔出现同心圆状硅质鲕粒等足以证明硅质岩的沉积成因。

通过硅岩岩石化学对比研究,无论其常量化学组成,还是稀土元素配分模式及其氢氧同位素组成,研究区硅质岩与世界较典型的热热水沉积或火山沉积硅质岩具有相同、相似的特征,进而证明了它的热热水沉积成因(曾章仁,1993)。

此外,更应重视的是,硅质岩中除具有明显的含铜铅锌同生沉积矿化作用之外,该含矿岩石中特别含有异常高的金、砷、锑、汞(表3-1)。与上壳丰度(Taylor,1985)比较,Au、As、Sb、Hg、Ba均高出1—2个数量级。反映出铅锌同生成矿作用期,已有大量金等成矿物质带入海水及其沉积产物中。这是本区铅锌矿床与金矿床“你中有我,我中含你”“分层、成带”密切共生的物质基础和根本的原因。

2. 金矿床含矿地层与容矿岩区

研究区金矿床含矿层位位于铅锌矿床上部泥板岩段,如表3-1:邓家山—三华咀地区出露的千枚岩、铁白云质千枚岩即属之。该含矿地层继承了热水沉积

岩的沉积环境，在相对封闭较还原条件下形成的细碎屑岩为主的岩系，自下而上由含硫铁质细砂岩—粉砂岩、泥质板岩—铁白云质板岩—钙质板岩、含碳质板岩夹互薄层灰岩组成。含矿地层中金的丰度一般高于上地壳平均值（Taylor, 1985）数倍，含金性与岩石中普遍含有少量黄铁矿、有机碳质、钙质—铁白云质具有密切关系。上述岩石在后期构造变形作用改造下，普遍发生重结晶，片理化，形成变质细砂岩、变质粉砂岩、千枚岩、碳质千枚岩等。该含矿地层也为后期改造成因金矿体的容矿岩石。

表 3-1 邓家山地区含矿地层微量元素特征

岩石	样品数	元素含量 $\times 10^{-6}$				
		Au*	As	Sb	Hg	Ba
千枚岩	2	5.3	42.5	6.5	1.4	880-6095
铁白云质千枚岩	4	5.9	37.5	9.0	0.8	880-17400
硅质岩	6	101	65.0	83.6	2.1	642-48000
硅化灰岩	2	16	11.3	7.0	7.9	470-1600
生物屑灰岩	1	4.9	15.5	5.0	1.5	480
上地壳丰度【Taylor, 1985】		1.8	1.5	0.2	0.08	550

* Au 的含量单位为 $\times 10^{-9}$ （据曾章仁，1993 资料。）

含金的容矿岩石中较为重要的钙质—粉砂质板岩，未改造前岩石中钙质、粉砂质、泥质均匀分布。区域变质作用下，岩石组分普遍发生重结晶及半定向排列，少许易活动组分发生近距离迁移，多聚合形成由方解石、黑云母、石英、黄铁矿、毒砂组成的斑点状构造，对金等成矿元素的活化起着积极作用。随后强烈的韧—脆性变形构造，使岩石发生较强的成分分异、钙质、硅质、泥质相对集中形成条带状构造，经流体活化新生的热液成因黄铁矿、毒砂等浸染状分布于变形岩石中。经对上述不同成因、不同变形期黄铁矿电子探针分析可以看出随着矿物的变化，岩石及矿物的含金矿化程度随之同步变化。即从沉积成岩类黄铁矿—区域变质聚晶黄铁矿变晶—热液成因黄铁矿，矿物的含金性及其示踪元素 As 呈现明显的富集趋势（表 3-2）。

表 3-2：小沟里—三羊坝金矿床黄铁矿电子探针分析结果

矿化期次	黄铁矿特征	主要元素含量（%）					
		Fe	S	Au	As	Co	Ni
沉积成岩期	草莓状	45.82	52.68	0.00	0.66	0.15	0.13
		47.85	52.51	0.15	0.20	0.03	0.05
	平均	47.84	52.60	0.075	0.44	0.09	0.09
动热变质期	粗粒变晶（立方体）	48.38	51.63	0.00	0.50	0.04	0.01
		47.65	50.08	0.00	0.52	0.22	0.01
成矿热液期	热液浸染团块	48.17	50.02	0.21	0.76	0.00	0.04

分析者：国土资源部西安矿产地质研究所电子探针室。

根据上述含矿岩石岩石学及岩石化学特征,可将产于本区断陷洼地环境中含碳硅质岩和含黄铁矿泥质板岩钙质板岩分别作为热水沉积改造锌矿床和似卡林型沉积改造金矿床的矿源层。

四 研究区矿床成矿系列特征

众所周知,秦岭古生代沉积区发育一系列热水沉积成因铅锌矿和沉积-改造型浸染状金矿床,是构成秦岭成矿带的重要组成部分。在矿床发现早期,正值找矿勘探高潮,人们无暇顾及上述两类矿床的共生与成生联系,也与当时人们认识水平和受成矿理论的局限有关。随着基础地质研究的不断深入、矿床理论的迅猛发展,上述两种不同矿床类型组成的矿床成矿系列研究摆在我们面前。

4.1 两类矿床地质特征概述

研究区所在邓家山—安家岔地区位于西成盆地西南,在泥盆纪碳酸盐岩—细碎屑岩复理石建造中,产出以邓家山、尖崖沟为代表的热水沉积改造型铅锌矿床和小沟里—三羊坝、安家岔为代表的沉积改造型浸染状金矿床。两类矿床容矿建造均在泥盆纪裂陷海盆发育时期形成的,其中作为铅锌矿重要矿源层的热水沉积硅质岩系,已发生明显的同生沉积成矿作用。铅锌矿床上覆细碎屑岩容矿建造中,在受局限较深水沉积环境控制的有利岩相带内,普遍分布黄铁矿莓球群,间或夹有热水沉积钠长板岩,含成岩黄铁矿之粉砂岩、粉砂质千枚岩中偶然可见少量凝灰质石英、斜长石等火山凝灰沉积物,该有利岩相带构成浸染状金矿床的矿源层。

随着本区南北板块俯冲碰撞造山和陆内造山构造作用,在对上述不同容矿建造改造过程中,在容矿建造空间展布格局控制下,两类矿床含矿岩层岩石物理性质差异影响下,以及铅锌与金等成矿元素地球化学性质和行为的不同,导致两类矿床在本区的共生与分带。

(一)热水沉积改造铅锌矿床

在研究区内以邓家山、尖崖沟、页水河矿床为代表,此外广泛分布有焦沟、庙沟、尖崖沟、大山、银子崖等铅锌矿点,具有相同、相似的地质特征和一致的矿床成因。

矿床直接的含矿与容矿地层岩石由含铅锌的碳质硅质岩、碳质千枚岩及碳质生物碎屑灰岩组成,并发育在由下伏中厚层生物碎屑灰岩—生物灰岩向上覆泥质板岩—薄层泥灰岩互层的岩相转变部位。在含碳质硅质岩和碳质泥岩的碳质层纹中,发现由方铅矿、闪锌矿、黄铁矿组成的草莓群。

根据含碳硅质岩与地层整合的产出特征,硅质岩岩石学特征及其中发育的生物成因的多种硫化物草莓群,和硅质岩中发现的变余硅质鲕粒,以及硅质岩中微量元素和稀土元素地球化学特征,不难确定它的海底热水沉积成因。

在后期构造—热液的强烈改造作用下,同生沉积矿化组分发生明显的近距离迁移,但仍叠加在具有初始同生成矿作用期的硅质岩层之上,并且,这些被叠加后期铅锌矿化的硅质岩层往往处于后期褶皱—剪切构造变形带内。作为能干性岩层的中厚层生物碎屑灰岩与含碳硅质岩层,在上述递进变形构造作用中,先期发

生宽缓褶皱变形,进而在强烈挤压作用下进一步紧闭倒转。持续的挤压和剪切作用,致使研究区下部能干性碳酸盐岩-硅质岩岩层与上部非能干性泥板岩岩层沿硅质岩层界面附近发生层间滑动,同时紧闭褶皱核部中厚层灰岩在强烈剪切变形地段进而发育穿刺背斜,如邓家山、尖崖沟矿区以灰岩为核部的褶皱多呈该穿刺背斜形式。这样,在紧闭或穿刺背斜两翼因层间滑动和“M”式复式褶皱广泛发育,沿褶皱两翼的层间和复式紧闭-穿刺背斜鞍部产生充分的容矿空间,为就地改造和近距离迁移的铅锌成矿物质沉淀准备了就位场所。已探明的铅锌矿体大多数呈沿背斜两翼产生的扁豆体状、透镜体状及似层状体,和在背斜转折端处就位的鞍状矿体形态。

该热水沉积改造铅锌矿石中大量重结晶和迁移富集的方铅矿、闪锌矿、黄铁矿集合体中仍残留有原地同生沉积成矿作用形成的大量多金属硫化物草莓群。与铅锌矿物同生的硫化物矿物还有少量白铁矿、黄铜矿、黝铜矿、毒砂和辰砂。另据许凤仪(1989)资料,铅锌矿石中还发现微量自然金、银金矿、汞银矿以及多种含砷、锑、铅、银的硫盐类矿物。这是研究区热水沉积铅锌矿床与似卡林型矿床物质成分及成因联系方面的重要沟通。

该类型铅锌矿床地球化学研究表明,矿床硫化物富集重硫为特征,硫主要来自海水硫酸盐。成矿流体的氢氧同位素组成显示大气降水特征,可能来源于地层建造水及改造期下渗大气降水。矿石稀土元素配分模式与含矿硅质岩近平行一致,而与矿体上下盘结晶灰岩和绢云千枚岩差别较大,进一步说明矿床的热水沉积成因特征。

总之,研究区邓家山式热水沉积改造型铅锌矿床的形成经历了海底热水同生沉积成矿作用期和构造变形与热液改造作用期两次成矿期。前者是在裂陷构造环境下形成铅锌矿源层,并为矿床形成奠定了物质基础;后者在使含矿层发生强烈褶皱与层间滑动变形的同时,在原始沉积的热水沉积岩层上使铅锌发生近距离的迁移富集形成工业矿体。

(二)沉积改造似卡林型金矿床

研究表明,研究区内与热水沉积改造铅锌矿床组成成矿系列的微细浸染状金矿床具有明显的沉积改造成因特征,其产于裂陷性质沉积盆地的上古生代沉积岩容矿岩石中,受有利的含矿岩相岩层控制;金的成矿作用主要受韧-脆性剪切变形带制约并为工业矿体提供就位空间;矿石中矿化蚀变矿物颗粒细微,并多呈微细浸染状分布;矿体与围岩边界成渐变过渡。上述矿床地质特征与美国卡林金矿床十分相似,然而,由于矿床地球化学特征和地质背景与经典卡林金矿床的明显差别,将研究区该类型金矿床称之为似卡林型,属于较广义范畴的卡林型金矿床。

研究区内似卡林型金矿床的典型代表为小沟里和安家岔金矿床,其它成因类似的金矿点如小东沟、三羊坝、三华咀等广泛分布。

该似卡林型金矿床含矿与容矿岩层位于热水沉积铅锌矿源层上部, 含金容矿岩系主要由粉砂-细砂岩、粉砂质千枚岩、钙质-铁白云质千枚岩、夹互薄层结晶灰岩-泥灰岩及碳质千枚岩组成。一些矿床的含矿岩系中夹含与地层整合的钠长石岩, 是区域上东西展布的钠长质热水沉积岩向西的延伸。上述含矿岩系仍产出受局部同生断裂控制的相对滞流沉积洼地环境之中。

成矿作用演化及矿体就位主要受韧-脆性剪切构造控制, 个别矿床中(小沟里)先期顺层侵入的花岗岩脉, 亦被剪切构造拉断, 甚至发生变形, 并呈构造透镜体状分布于剪切变形带中。

该韧-脆性剪切构造是矿床工业富集成矿的关键, 主要来自大气降水补给的地下水、建造水(可能受到一定程度的早期变质、岩浆作用改造)在剪切构造破碎带、构造裂隙内下渗并被加热发生循环对流。热流体在对流过程中不断从含矿围岩中溶滤和萃取 Au 等成矿物质, 形成以地下热卤水为主, 混有一定程度的变质水或受到岩浆作用改造影响。富含矿质的成矿流体在剪切构造破碎带内, 随着构造递进变形不同阶段的演化, 和其所形成的不同类型构造空间, 在使成矿热液发生物理化学条件改变时, 含矿流体即将矿质卸载淀积成矿。

该似卡林型矿床组成矿石的矿化蚀变矿物主要有黄铁矿、毒砂, 其次为闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、金的独立矿物为自然金、银金矿和碲金银矿。在似卡林型金矿床下部层位, 出现热水沉积铅锌矿化层。将热水沉积铅锌矿床组成矿石组成特征与上述金矿床特征综合对比研究可见, 两类矿床表现出“你中有我, 我中含你”的成生联系。

该似卡林型金矿床地球化学研究, 矿床形成及其成因与含矿岩系存在重要的继承性成生联系。矿石中硫化物硫同位素富集重硫为特征, 与大量地壳硫的加入有直接关系; 矿石矿物稀土元素成分分配模式曲线与容矿岩石平行一致; 成矿流体显示大气降水为主的混合流体特征, 进一步佐证了矿床地质特征所显示的沉积-改造成因。

4.2 两类矿床空间分布格局

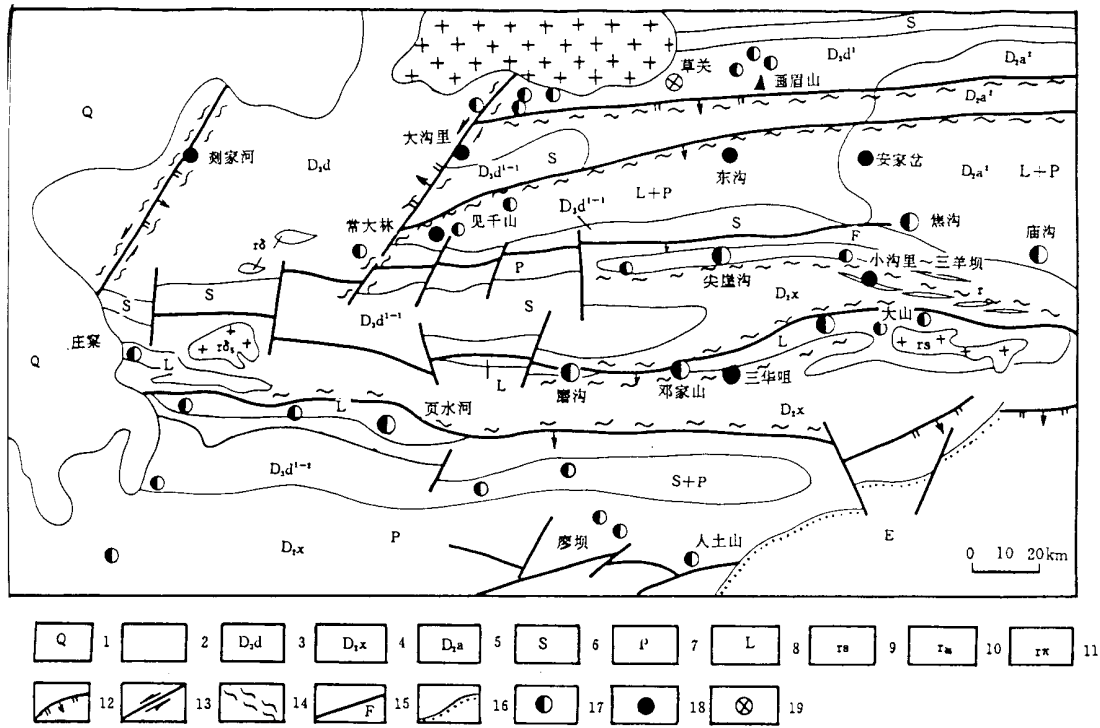
研究区热水沉积改造铅锌矿床和似卡林型金矿床尽管各自独立形成, 构成各自独特的成矿作用系统和控矿体系, 然而两者并非孤立存在。根据两类矿床含矿与容矿建造在空间上的展布关系和研究区构造格局特点, 两类矿床在本区构建组成东西延伸、南北成带的三个铅锌-金的矿化复合带(图 4—1)。

1、见千山-安家岔铅锌-金矿化复合带

分布于研究区北部, 主要由中泥盆统安家岔组和西汉水组地层组成。该矿化复合带主要由见千山、常大林铅锌矿(化)点和安家岔、东沟等金矿床(点)组成共生矿床系列带。

2、尖崖沟-小沟里铅锌-金矿化复合带

分布于研究区中部，主要由中泥盆统西汉水组地层组成。该矿化复合带主要由尖崖沟、焦沟、庙沟热水沉积改造铅锌矿床和小沟里—三羊坝似卡林型金矿床



1.第四系;2.老第三系;3.上泥盆统洞山组;4.中泥盆统西汉水组;5.中泥盆统安家岔组;6.砂岩;7.千枚岩;8.灰岩;9.花岗岩;10.花岗闪长岩;11.花岗斑岩脉;12.推覆逆断层;13.剪切滑动断层;14.韧—脆性剪切带;15.断层;16.不整合界线;17.铅锌矿床、矿点;18.金矿床/矿点;19.砂金矿点

图 4—1 西成盆地西部地质图

组成共生矿床系列带。

3、邓家山—三华咀铅锌金矿化复合带

分布于研究区南部，含矿岩系由中泥盆统西汉水组地层组成。该矿化复合带中由邓家山、磨沟、页水河等热水沉积改造铅锌矿床组成，似卡林型金矿床由三华咀矿点为代表组成两类矿床的共生成矿系列。

研究区内两类典型矿床的上述空间展布及其分带特征，显示出它们“分层、分带展布，独立出现”的共生组合特点。

第五章 典型矿床分析

5.1 热水沉积改造型铅锌矿床—邓家山铅锌矿床

在盆地两类铅锌矿床中，热水沉积改造型矿床改造成矿作用强烈、复杂，同时与区内金矿床的时空关系最为密切，三华咀金矿点即产于邓家山铅锌矿床含矿层上部细碎屑岩中。下面仅以邓家山铅锌矿床为例，阐述该类型矿床的地质特征。

5.1.1 矿区地质

邓家山铅锌矿床处于盆地西部广金坝背斜南翼。赋矿地层为中泥盆统西汉水组上段 (D_2X^2)，含矿建造为碳酸盐岩（顶部生物礁灰岩）—热水沉积硅岩—细碎屑岩组成的碳—硅—泥建造。其主要岩性及代表的沉积相如图 5-1，代表沉积环境由浅水台地—局限洼地—浅水相的演化过程。通过岩相古地理恢复，矿床位于碳酸岩台地上生物建隆边缘拉张断陷形成的滞流洼地—邓家山~三华咀断陷洼地中（图 3—2）。成矿发生于断陷拉张下的热水沉积活动期，直接赋矿岩性为硅岩。上部浅海细碎屑岩层为区内金矿含矿建造。

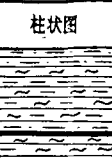
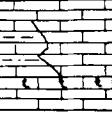


地 层	厚度 m	柱状图	岩性描述	岩 相
D_2X^{1-2}	>110		绿泥绢云母千枚岩 粉砂质千枚岩，其中三华咀金矿的主要赋矿层。	浅海
D_2X^{2-3}	25 100		以薄层灰岩为主，可相变为灰岩与方解石千枚岩互层。	盆地
D_2X^{3-4}	35 180		绢云千枚岩 方解石千枚岩 底部白云质千枚岩与薄层灰岩绢云千枚岩互层，三华咀金矿赋矿层	相
D_2X^{4-5}	0 20 50 190		铅锌硅质岩，上部常为炭硅泥质岩和薄层炭质和物屑灰岩。 上部：中原层含岩生物微相灰岩，内碎屑灰岩。 下部：中厚层微晶灰岩	滞流洼地相 生物滩 开阔台地相

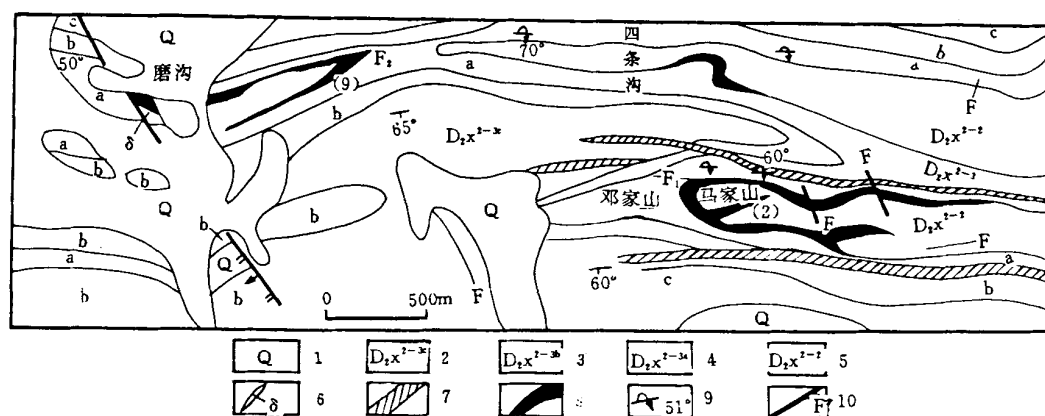
图 5—1 邓家山铅锌矿床含矿岩系柱状图

（据祁恩敬 1993，甘肃有色二队资料修编）

区内构造线以东西向为主，构造变形强烈、多期构造叠加及面理置换现象普遍。主期变形在不同岩性层中表现不同：碳酸盐岩等能干性层以褶皱、断裂为主：发育轴向东西的邓家山背斜及磨沟背斜及相邻向斜，褶皱形态和型式复杂多样，如宽缓褶皱、平卧褶皱和紧闭倒转、穿刺背斜等。沿背斜轴部或倒转层间发育近东西向断裂构造如 F_1 、 F_2 ，具多期活动特征。铅锌矿体受褶皱、断裂控制明显，呈鞍状、似层状等；上部细碎屑岩非能干性层以脆—韧性剪切变形为主。此外还见有少数近南北向、北西向张性断裂，规模不大且破坏矿体（图 5—2）。

矿床构造变形分以下几个阶段：早期以东西向宽缓褶皱变形为主；主期由南向北逆冲推覆产生一系列紧闭褶皱、层间滑断及面理置换、剪切带构造。该期变形在铅锌含矿层中表现为早期褶皱的进一步紧闭、倒转、穿刺、层间断层的产生，成矿物质活化、迁移，在鞍部、断裂中聚集成矿，而上部细碎屑岩层则以强片理化、面理置换等脆—脆性剪切变型为特征。出现相对独立金矿化；晚期南北向、北西向张性断裂发育。

矿区内仅见少量细晶闪长岩脉，且切穿矿体，与成矿无关。



1. 第四系；2. 绿泥石绢云母千枚岩(c)；3. 薄层灰岩(b)；4. 绢云母千枚岩、云解石绢云母千枚岩(a)；5. 中厚层灰岩；6. 闪长岩脉；7. 铅锌矿体及编号；8. 金矿化体；9. 岩层产状；10. 断层

图 5—2 邓家山铅锌矿床地质图(据甘肃有色地质总队资料修编)

5.1.2 赋矿硅岩特征

硅岩产于碳酸盐岩与细碎屑岩岩性转换层位之间，呈似层状整合产出，具固定层位。与上覆千枚岩界线清楚，与下伏灰岩多为过渡关系。黑色—灰色，主要由石英和碳酸盐（方解石、铁白云石）组成，具块状、条带状、层纹状构造及等粒—不等粒镶嵌晶结构等沉积组构特征，局部出现炭泥质和微晶石英相间层纹，炭泥纹层中见黄铁矿和少量方铅矿、闪锌矿莓球群。

岩石地球化学特征：化学成分主要为 SiO_2 ：80%±， $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO}$ 、 SiO_2/MgO 、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{SiO}_2/(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ 比值分别为 0.46、41、41 和 402，与热泉型沉积物十分相似；与上下围岩相比，As、Sb、Hg、Co、Ni、Au 的丰度显著增高（表 3—1），硅岩 REE 特征和矿石、泥质岩、灰岩相似，其 REE 配分模式明显右倾，富集 LREE，亏损 HREE，都有不同程度的 Ce 亏损，说明它们的 REE 来源和形成地质环境类似。但硅岩又显示其特殊性： ΣREE 是本区最低的，具有正 Eu 异常，硅岩和矿石与灰岩配分模式更为相似，说明三者关系更为密切。硅岩及发育其中的

早晚两期石英脉的 $\delta^{18}\text{O}$ 值较为接近, 变化在: $+17.8\text{—}+22.18\text{‰}$ (SMOW), 介于泥盆系海底沉积燧石 ($+26.05 \pm 0.5\text{‰}$, 爱泼斯坦, 1976) 和典型岩浆石英 ($+6.8\text{—}+13.6\text{‰}$) 之间, 与一些典型沉积岩容矿的喷气矿床十分相似 (薛春纪, 1995)。

综上所述, 硅岩产状、岩石学及地球化学特征均代表热水沉积成因。

硅岩具多期改造特征。镜下均已重结晶成微粒结构, 多数破碎、拉长成角砾, 为后来析出的石英胶结, 团块、似角砾状、网脉状构造发育。硅岩层中石英脉大体可分两期: 早期多为团块状, 与周围硅岩多为过渡关系, 矿物成分亦相似, 但石英颗粒粗大, 铅锌硫化物在边缘聚集; 晚期石英脉呈乳白色, 与硅岩及早期石英团块界线清楚。石英脉体一般限于硅岩层内, 仅少数晚期脉切穿灰岩, 显示改造作用以重结晶和层内物质有限活化迁移、聚集的特征。

5.1.3 矿床地质特征

一、矿体及矿石特征

1. 矿体特征

矿床共有大小矿体 16 条, 矿体形成以层状、似层状、鞍状为主, 产出部位主要是背斜鞍部, 其次为翼部层间断裂带, 以 1 号和 9 号矿体为主矿体 (图 5—3), 其中 1 号矿体产于邓家山背斜鞍部, 延长 4000m, 延深 300m \pm , 均厚 3.6m; 9 号矿体产于磨沟背斜北翼, 延长 2000m, 延深 350m, 均厚 6.28m。矿体走向延伸远远大于延深。北翼矿体稳定, 延伸大、品位高, 鞍状矿体厚度大、品位高、连

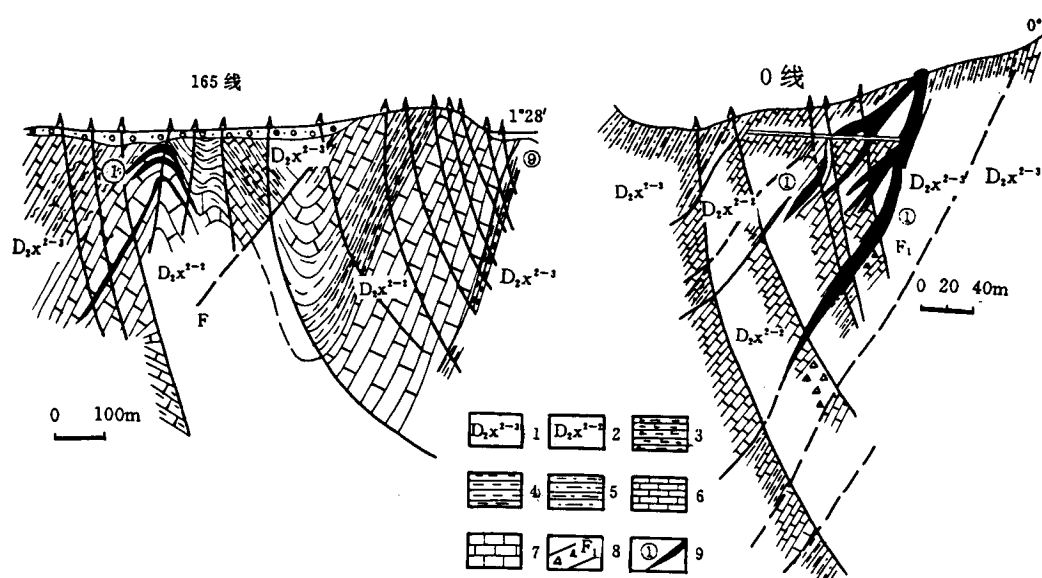


图 5—3 邓家山铅锌矿床 0、165 线剖面图

1—西汉水组上段第三层; 2—西汉水组上段第二层; 3—方解石绢云母千枚岩; 4—绢云母千枚岩; 5—粉砂质千枚岩; 6—薄层灰岩; 7—中厚层灰岩夹生物碎屑灰岩; 8—断层及破碎带; 9—铅锌矿体及编号

续性好,斜切灰岩矿体规模小、变化大。矿体与围岩产状一致,矿体上盘与千枚岩界限清晰,下盘与灰岩局部呈浸染过渡,灰岩中发育硅化,为矿床主要围岩蚀变。

2. 矿石矿物成分特征

矿石矿物成分较复杂。主要金属矿物闪锌矿、方铅矿和黄铁矿,含少量白铁矿、黄铜矿、黝铜矿、毒砂。矿石及硅岩 Cu、As、Sb、Hg、Ni、Ag、Au 含量增高,出现较多含砷—锑—铜—铅硫盐类矿物(黝铜矿、砷黝铜矿、硫锑铅矿和灰硫砷铅矿等)及含银矿物(辉银矿、含银方铅矿、含银黝铜矿、银黝铜矿、硫锑铜银矿、硫银锑铅矿等),微量自然金、银金矿等。脉石矿物以石英和方解石为主,次有铁白云石、重晶石、钡长石、铅硅钡石、绢云母和绿泥石等。氧化矿物菱锌矿、铅矾、褐铁矿等。矿石平均品位: Pb: 1.27%, Zn: 4.71%, 伴生元素: Ag (14×10^{-6})、Au (0.1×10^{-6}) 及, Cu、As、Sb、Hg 等。

矿石矿物及微量元素特征代表的元素组合: Pb、Zn、Cu、As、Sb、Hg、Ni、Ag、Au, 为一套中低温元素组合,与研究区似卡林型金矿成矿元素组合类型相同。也与热水沉积硅岩微量元素特征相同。这些 Cu、As、Sb、Hg、Ni、Ag、Au 的独立矿物产出于构造热液改造成矿作用晚期,矿石发育的裂隙中(王玲之 1986),考虑矿床层间物质重组改造成矿作用特征,认为: Cu、As、Sb、Hg、Ni、Ag、Au 来自硅岩含矿层,构造热液改造作用中逐步富集。

3. 矿石类型和组构特征

按照矿石组构,矿石可分为层纹—散染状矿石和浸染状、块状、角砾状、脉状矿石几种主要类型;前者指微细粒方铅矿、闪锌矿、黄铁矿在硅岩中呈纹层分布;后者由中—粗粒方铅矿、闪锌矿、黄铁矿破碎、溶蚀交代、聚集而成角砾、团块、细脉构成。分别代表沉积成矿作用和改造成矿作用的产物。

矿石组构复杂。既保留有热水沉积成岩期形成的矿石组构,又有大量沉积成岩期后改造成因的组构。

热水沉积成岩期组构主要发育于残余的热水沉积硅岩贫矿层中,是热水沉积成矿作用产物。典型组构类型有:细粒铅锌硫化物和黄铁矿组成的硫化物层纹与硅质相间组成层纹状一条带状构造;硅质岩中细粒硫化物呈均匀星点的散染构造;微莓球结构(黄铁矿为主,次为闪锌矿,少量方铅矿草莓球组成的草莓群沿层理面分布)、生物残余结构和少量闪锌矿鲕状结构等。

沉积成岩期后改造成因组构种类多而复杂,表现为不同期次的硫化物间破裂和交代充填、溶蚀、重结晶形成的结构构造。早期以闪锌矿和黄铁矿的溶蚀交代、重结晶和破碎形成的组构为主;晚期方铅矿大量晶出(其中包含含银的铜、砷、锑、汞、镍的硫盐矿物)早期角砾间呈胶结,少量闪锌矿细脉呈充填。主要类型

有：细—粗晶粒交代溶蚀结构、碎裂结构、填隙结构、胶结结构、固溶体分离结构等；矿石构造有脉状、块状、角砾状、团块状、压力影和梳状构造等。

二、控矿因素

矿床的控矿因素表现在以下几个方面：

1、沉积环境对成矿的控制

如前所述，矿床形成于碳酸盐台地上生物建隆边缘拉张断陷形成的滞流洼地：邓家山—三华咀断陷洼地中，这种沉积环境对成矿的控制不仅表现在拉张断陷导致热水沉积作用发生，滞流洼地控制形成特定的铅锌含矿建造：碳酸盐岩—硅质热水沉积岩—细碎屑岩含矿建造；同时，成矿局限发生于该沉积环境，矿化带/层呈近东西向狭长带状展布，受滞流洼地控制明显。

2、岩性对成矿的控制

矿床铅锌矿体固定的产出于碳酸盐岩—硅质热水沉积岩—细碎屑岩含矿建造的硅质热水沉积岩中，表现出岩性层位的成矿专属性。同时由于硅质热水沉积岩层作为一次构造热事件的产物和铅锌成矿的同沉积性，所以，这种层控性反映了成矿的时控性。

3、构造对成矿的控制

矿床矿体形态严格受层间断裂、褶皱构造控制成似层状、鞍状，少数呈脉状：邓家山背斜转折端赋存鞍状矿体，倒转北翼层间断裂赋存似层状矿体，两者分别构成矿床两个主矿体。同时，矿石发育沉积期后构造作用形成的组构如角砾状构造、团块状构造及脉状充填、胶结结构及多期交代构造等，表现出构造作用引起成矿物质重组富集的作用。

构造作用不仅为改造成矿提供了物质重溶、迁移的动力，也为改造期成矿物质的富集提供了空间。表现出构造对成矿的强烈控制作用。

三、成矿期和成矿阶段

根据矿床控矿因素、矿体形态及矿石结构构造等，将矿床的成矿过程分为三个成矿期：

1) 热水沉积成岩期：硅岩的热水沉积成因及与铅锌矿化时空上的密切关系、硅岩的微量元素特征表明：热水沉积作用为中泥盆纪沉积期主要成矿作用，喷流热水带来了大量 Pb、Zn、Cu、Ag、Au、As、Sb、Hg 及 Ba 等进入断陷洼地，大量铅锌硫化物与硅质一起沉淀，伴随部分 Cu、Ag、Au、As、Sb、Hg 的富集，形成铅锌硅岩层—层状贫矿体或矿胚。在沉积埋藏后的成岩阶段，部分金属组分在层内重分配，金属硫化物大量晶出。以层纹——散染状矿化为主要矿化类型。黄铁矿草莓成群出现，其次为闪锌矿、少量方铅矿草莓，沿层理分布。

2) 变质变形改造期

矿床变质变形改造成矿作用一方面表现在矿体形态复杂,受构造控制明显而成鞍状、似层状、透镜状,少量脉状;另一方面,矿化体及其中结晶分异及后期脉体,基本限于硅岩所在层位,说明改造作用基本没有改变矿体沉积形成时的空间层位,层间物质组分以短距离迁移为特征。矿化特征表明,改造作用至少可分以下两期:

① 变质改造成矿期

指沉积成岩期后含矿建造经褶皱变质作用到构造变形初期阶段,早期矿层/胚发生重结晶、成分分异作用为主的富集作用:早期硅岩重结晶出现粗粒石英团块、细脉,局部形成微晶石英岩,具压碎;矿化仍以闪锌矿、方铅矿、黄铁矿为主,但矿化不均匀:方铅矿、闪锌矿沿石英团块、细脉边缘发育粗晶团块、细脉。常见交代、溶蚀、填间结构和斑点、斑杂构造。其中闪锌矿、黄铁矿变晶呈碎裂角砾,炭泥质纹层中闪锌矿变晶发育压力影构造,说明以重结晶作用为主的改造成矿作用发生在构造变形前期。

② 构造热液改造期

与变质期后强烈的变形相伴生,早期矿层褶皱变形加强,形成紧闭褶皱,晚期随挤压应力加强,发生倒转、冲断形成冲刺褶皱,而在倒转翼形成滑断。对应地,上部细碎屑岩层由于能干性差异,发生滑动剪切变形,形成脆—韧性剪切带。矿层破碎发育,早期矿化以层间成矿物质进一步活化迁移为主,粗晶闪锌矿、方铅矿、黄铁矿组成团块、块状、构造;晚期矿化以构造热液充填交代为主,构造热液作用下,硅岩含矿层中的 Cu、Ag、Au、As、Sb、Hg 等活化迁移,在矿层破裂裂隙中主要与方铅矿一起沉淀、富集。矿石矿物除闪锌矿、方铅矿、黄铁矿外,出现铜的硫化物和方铅矿中呈包含的银的铜、砷、锑、汞的硫盐矿物。各种交代构造发育,早期闪锌矿、黄铁矿为后期方铅矿、黄铜矿、黝铜矿、车轮矿溶蚀交代呈残余,或为后期矿脉穿插;后期形成的闪锌矿多与黄铜矿呈固溶体分离结构。方铅矿大量形成,多以胶结形式出现在角砾间,与含银的硫盐矿物、镍的独立矿物紧密共生。出现微量自然金、银金矿。主矿体定位。

3) 表生期

矿石矿物经成矿期后氧化形成菱锌矿、铅矾、褐铁矿等,地表呈铁帽。

5.1.4 矿床成矿机理、成因分析

一: 成矿物质来源

铅锌成矿与热水沉积(交代)硅岩密切相关,热水沉积作用是铅锌成矿物质的主要提供者。矿区内其它岩石 Pb 和 Zn 平均含量与地壳相应岩石相近,对成矿贡献微弱。

黄铁矿 S/Se 为 42—52 万, Co/Ni 为 0.14,说明硫的来源与海相沉积岩或海水有关。矿床硫化物以富集重硫为特征($\delta^{34}\text{S}=4.2\text{—}19.8\text{‰}$),离散大,可能主要为泥盆纪海相硫酸盐通过无机还原形成,不排除部分岩浆硫的参与;铅同位素具

正常演化铅特征, 模式年龄多大于容矿地层年龄(269—694Ma, 多数大于 400 Ma), 在地质环境铅同位素组成概略图 (Doe, 1979) 上投点, 大部分落在造山带 (岛弧) 和克拉通地壳重叠区段; 初始锶同位素比值较高: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.711 \pm 0.002$ (王平安, 1998)。总之, 矿床微量元素特征比值及稳定同位素特征都表明成矿物质以壳源为主, 主要来自下伏前泥盆系基底。

稀土元素分析表明: 铅锌矿石与硅岩、围岩 LREE/HREE、 La/Yb 、 δEu 和 δCe 矿石稀土元素组成及特征参数相近 (表: 5—1), 配分形式相似, 模式曲线为一组向右缓倾斜的平行曲线, 为轻稀土富集型。以明显的正 Eu 异常和负 Ce 异常为特征 (图 5—4)。从灰岩到硅质岩、铅锌矿石, 稀土总量逐次降低, 显示三者具有一定的演化继承性及相同的稀土源区—壳源, 与稳定同位素结论一致。后期石英英脉具低的稀土总量、负 Ce 异常和 Eu 异常不明显特征, 反映铅锌成矿晚期, 成矿环境物化条件发生变化; 与小沟里含金石英英脉配分形式十分相似, 可能两者源区及成因类似。

表5—1: 西成盆地邓家山铅锌矿主要岩性稀土元素组成

岩 性	样号	分 析 元 素									
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
浸染状矿石①	Dor8	4.8	1.0	1.9	4.5	0.68	0.44	0.77	0.10	0.59	0.14
团块状矿石①	Dor9	2.6	2.7	0.8	2.0	0.51	0.39	0.35	0.06	0.39	0.10
硅岩(矿化)①	Ds10	4.8	5.6	1.3	3.2	0.89	0.69	0.77	0.15	0.77	0.15
白色石英英脉②	D64	0.483	0.495	0.115	0.402	0.075	0.024	0.075	0.020	0.108	0.026
白色石英英脉②	D9	0.122	0.081	0.024	0.095	0.028	0.008	0.016	0.003	0.006	0.004

岩 性	样号	分 析 元 素					特 征 参 数				
		Er	Tm	Yb	Lu	Y	REE	LREE/HREE	La/Yb	δEu	δCe
浸染状矿石	Dor8	0.40	0.06	0.34	0.06	2.8	18.58	2.53	14.12	3.58	0.07
团块状矿石	Dor9	0.20	0.03	0.16	0.02	1.1	11.41	3.73	16.25	5.32	0.42
硅岩(矿化)	Ds10	0.37	0.06	0.35	0.06	2.5	21.66	3.2	13.71	2.52	0.49
白色石英英脉	D64	0.089	0.015	0.09	0.013	0.697	2.727	1.61	5.37	1.07	0.43
白色石英英脉	D9	0.013	0.002	0.009	0.001	0.056	0.468	3.97	13.56	1.15	0.30

注: ①: 据祁思敬等, 1993; ②: 王集磊等, 1995。

矿床地球化学特征表明, 成矿物质以壳源为主, 主要来自下伏前泥盆系基底。

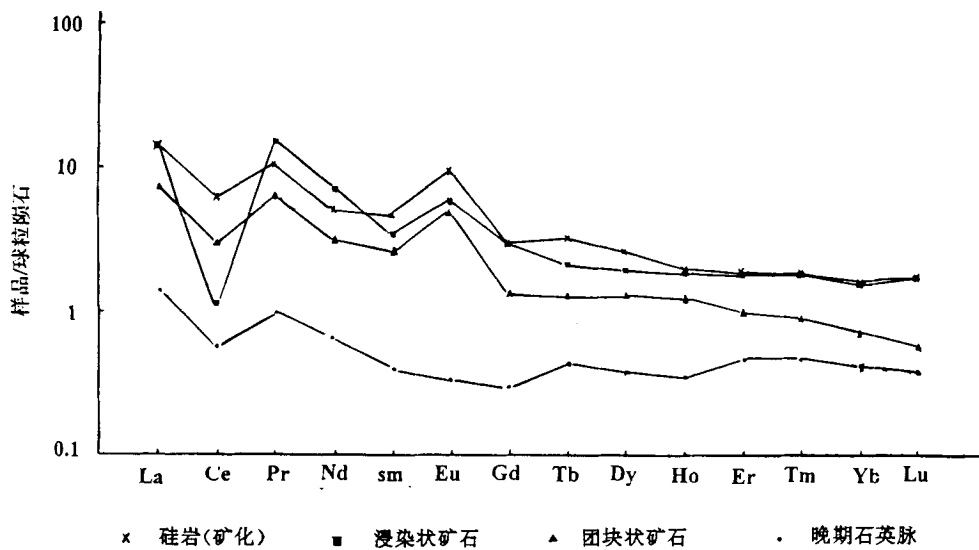


图 5—4 邓家山铅锌矿床硅岩、矿石、石英脉稀土配分模式

二 成矿流体特征及成矿条件

成矿流体包裹体个体小、数量多、成群分布。多为纯液相，次为两相包体，少量含 CO_2 包体。

成分类型有两种：1 号矿体属 $\text{Ca}^{2+}\text{—Na}^+\text{—K}^+\text{—Cl}^-\text{—F}^-$ 型，9 号矿体属 $\text{Ca}^{2+}\text{—Na}^+\text{—K}^+\text{—SO}_4^{2-}\text{—Cl}^-\text{—F}^-$ 型。成分特征值： K^+/Na^+ 介于 0.328~0.577 之间， F^-/Cl^- 值介于 0.172~0.192 之间，总体小于 1；盐度低：3.5—8.6Wt%NaCl，中低温，分两个区间： 120°C — 220°C 和 240°C — 320°C ，可能分别代表沉积成矿期和改造成矿期温度；PH：7—8， $\lg f\text{O}_2$ ：-40.2，密度：0.8~0.9g/m³。总体显示：高钙富钠、低盐度、中低温、弱碱性还原流体特征。

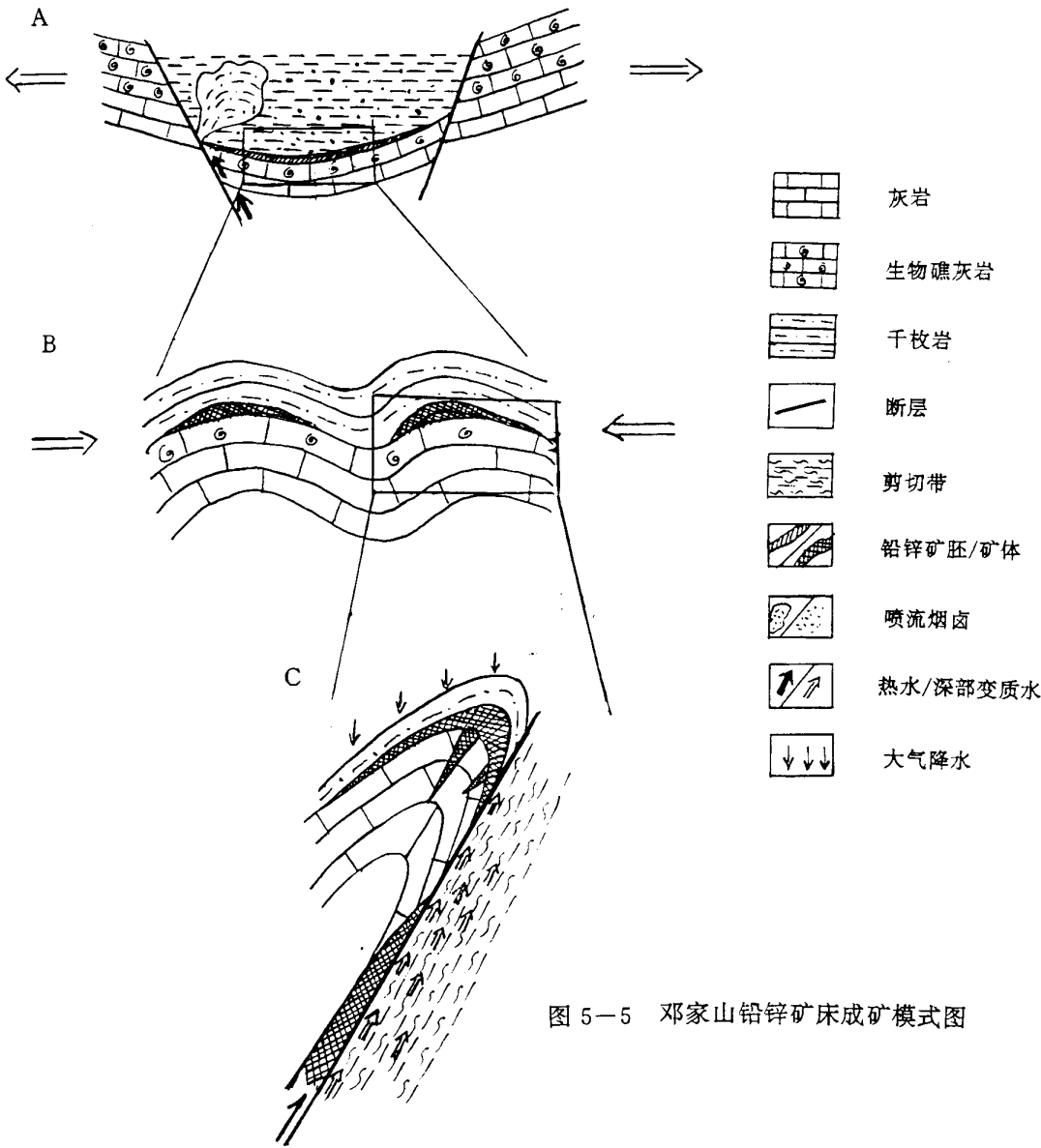
Rocdder (1972)、王秀璋 (1984)、张德全等 (1992) 研究认为：成矿流体包裹体 $\text{K}^+/\text{Na}^+ < 1$ 、 $\text{F}^-/\text{Cl}^- < 1$ 是沉积或地下水形成的流体特征，而两者比值大于 1 可能是确定流体来自岩浆的主要证据之一；季克俭 (1989)、王莉娟 (1998) 等研究表明：中—低温、 $\text{Ca}^{2+}\text{—Na}^+\text{—Cl}^-$ 或 $\text{Na}^+\text{—Ca}^{2+}\text{—Cl}^-$ 型，贫 K^+ 、 Mg^{2+} 流体可能代表大气降水及同生沉积来源的成矿流体。因此，邓家山铅锌矿床流体包裹体成分特征反映了成矿流体具沉积水或底下热卤水成因特征。同时，利用包裹体水氢氧同位素示踪流体来源：在 δD — $\delta^{18}\text{O}$ 坐标图上投点，部分落在大气降水线附近、部分靠近岩浆水、变质水区域（表：5—11，图 5—16），说明成矿流体水具多来源，成矿流体形成中有变质、岩浆作用参与。

总之，矿床流体包裹体成分、氢氧同位素特征反映成矿流体主要是被变质和岩浆加热的大气降水及同生建造水（地层水）。成矿环境为低盐度、中低温、弱

碱性还原环境。

三 矿床成因分析

综上所述，矿床受岩相、构造的双重控制。邓家山铅锌矿床形成过程可概述如下：



中泥盆纪热水沉积期：区内处于生物礁、碳酸盐岩台地相沉积环境。继后强烈拉张陷形成局限滞留洼地，发生热水沉积作用：沿同生断裂向上运移的深部高温、碱性热水中除带有大量 Pb、Zn 主成矿物质外，尚有 Ag、Au、As、Sb、Hg、Ba 等，Pb、Zn、Au 等成矿元素主要以卤化物的形式存在、迁移

(R.W.Hutchinson, 1990), 在近海底喷口附近岩石裂隙中与下渗的冷的弱酸性海水混合, 由于降温、海水还原硫 (HS^- 、 S_2^{2-} 、 S^{2-} 等浓度的增高, 部分 Pb、Zn 等贱金属以硫化物形式开始沉淀, 金则以二硫化物络合物形式稳定存在于溶液, 向上迁移; 在海底喷口, 由于热水密度与海水接近 ($0.8\sim 0.9\text{g}/\text{m}^3$), 以烟囱式喷流为主 (Stato, 1972; 转引自卢焕章, 1998), 与海水充分混合, 快速降温和海底还原洼地充分的还原硫 (HS^- 、 S_2^{2-} 、 S^{2-} 供给, Pb、Zn 等贱金属硫化物大量晶出, 与硅质一起沉淀, 同时由于热水溶液中砷含量高, 与还原硫结合形成硫砷离子 (AsS^-), 该离子团在黄铁矿形成时取代部分硫的位置, 使黄铁矿形成晶格缺损, 允许 Au^{3+} 取代 Fe^{3+} 的位置以使晶格平衡 (张复新, 1999), 从而发生部分金的同生富集。铅锌硫化物为主的矿层或矿胚形成。而相当部分金则转换成二硫化物络合物形式稳定存在于海水, 成为形成金初始矿源层的重要物源。(图 5—5, A)。

印支早期区域褶皱、变质作用期: 含矿建造发生东西向宽缓褶皱变形、低绿片岩相为主的浅变质, 矿层或矿胚成矿物质重结晶、分异, 伴随短距离层间迁移。矿层局部变厚大, 内部团块状等不均匀组构形成; 而上部细碎屑岩层内, 以大量黄铁矿、毒砂变晶出现为特征 (图 5—5, B)。

印支晚期—燕山期, 去内发生强烈由南到北的逆冲推覆、剪切作用。含矿层进一步变形, 形成紧闭、倒转甚至穿刺褶皱、大的构造透镜体和层间滑断。早期矿层/胚发生碎裂, 成矿物质在构造热液 (大气降水及层间水为主) 作用下, 被交代、溶蚀、活化进入溶液, 向紧闭褶皱鞍部、翼部层间断裂迁移、富集定位形成鞍状、似层状矿体; 伴生微量元素 Cu、Ag、Au、As、Sb、Hg、Ni 等逐渐富集, 晚期出现独立矿物。工业矿体形成 (图 5—5, C)。

5.2 微细浸染型金矿床—小沟里~三羊坝

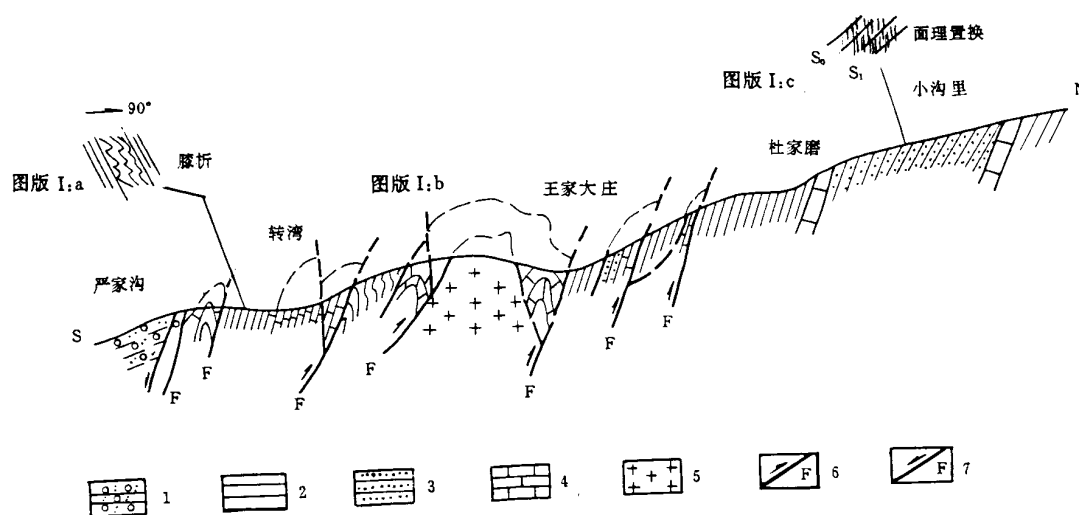
小沟里—三羊坝金矿床是近年来西成盆地发现的较有规模的金矿床。由甘肃有色地质勘查局一零六队、二队各自勘探, 分称小沟里金矿床和三羊坝金矿床, 实则同一矿床的东西段, 本文称小沟里—三羊坝金矿床。矿床诸多地质特征在盆地金矿化中具普遍性, 但又具独特性: 含矿建造中钠质热水沉积岩的存在及参与金矿成矿, 与矿化关系密切的岩脉带等, 体现了矿床成矿作用的复杂性。为本文重点解剖对象。

5.2.1 成矿地质环境

矿床位于吴家山古隆起西南, 广金坝背斜南翼。尖崖沟铅锌含矿层位的向西尖灭带上, 矿区北部仅出现弱铅锌矿化 (图: 4—1)。沉积层序上, 位于邓家山、尖崖沟铅锌含矿层位上部层: 中泥盆统西汉水组上部层 (D_2X^2) 一为一套浅海或局限洼地相的细碎屑岩夹不纯碳酸盐岩复理石建造。区域构造线北西、近东西向为主, 构造变形南强北弱, 发育韧性、脆性不同层次的变形。由南至北, 以韧性变形为主转变为以韧—脆性变形为主: 南部层间塑性流动构造、膝折带等韧性、韧性向脆性转变期的构造形迹发育; 往北依次发育膝折带、推覆褶皱、断层构造,

至成矿区以层间剪切构造为主（图 5—6，图版 I）。体现了由南到北逆冲推覆构造变形特征。

矿区南约 2km 处侵入大山黑云母花岗岩，矿区有大量中酸性岩脉（黑云母斜长花岗斑岩、正长花岗斑岩）顺层侵入。大山黑云母花岗岩与上覆灰岩间以推覆



1. 第三系红层; 2. 绢云石英千枚岩; 3. 钙质绢云千枚岩; 4. 灰岩; 5. 黑云母斜长花岗斑岩; 6. 推覆断层; 7. 正断层

图 5—6 西成盆地严家河—小沟里构造地质剖面

断层构造相接触，灰岩底部具大理岩化，表明岩体侵位早于逆冲推覆构造期。同时，矿区发育钠质热水沉积岩，与南侧廖坝层状钠质岩同属沉积期海底热水沉积作用的产物。成矿区从沉积—成岩期—构造岩浆作用期，处于一定异常地热状态。

5.2.2 含矿建造特征

矿床赋存于中泥盆统西汉水组上部层，为一套低绿片岩相的细碎屑岩夹不纯碳酸盐建造，夹少量钠质热水沉积岩透镜。包括以下两部分：

一、含矿建造中的细碎屑岩

细碎屑岩类主要岩性层有：石英绢云千枚岩、灰黑色绢云母千枚岩、绢云绿泥千枚岩及砂岩透镜，原岩为泥质为主，钙质、砂质、炭质互占优势的一套细碎屑岩系。各岩性层走向上具相变，剖面上具由下到上砂—钙—泥这种成分变化规律；夹互碳酸盐岩薄层，主要为泥质灰岩，含生物碎屑灰岩、薄层灰岩。走向上厚度变化大，呈尖灭分枝的条带、透镜。

各岩性层成分韵律发育（图 5—7），代表较深水沉积环境；黄铁矿草莓（群）局部呈细脉、团块或星点，沿层理成群成带分布，特别是在热水沉积岩产出上下层位，炭质含量高的千枚岩层中尤为发育（图版 III：a, b, c, f）。后期改造形成的

变晶状黄铁矿、浸染状黄铁矿常集中分布在黄铁矿草莓（群）中或周围，各期黄铁矿中 Au 异常逐渐增高（表 3—2），显示了含矿层成分演化的继承性；毒砂呈稀疏散染状沿层纹/理发育。显示了形成于深水还原条件、富含 Au、As、S 等成矿元素的特征。

上部粉砂岩、砂质千枚岩中含少量火山碎屑物（图版VI：a，b，c）。表明成矿建造形成于持续拉张的构造背景下，晚期发生弱的火山沉积活动。

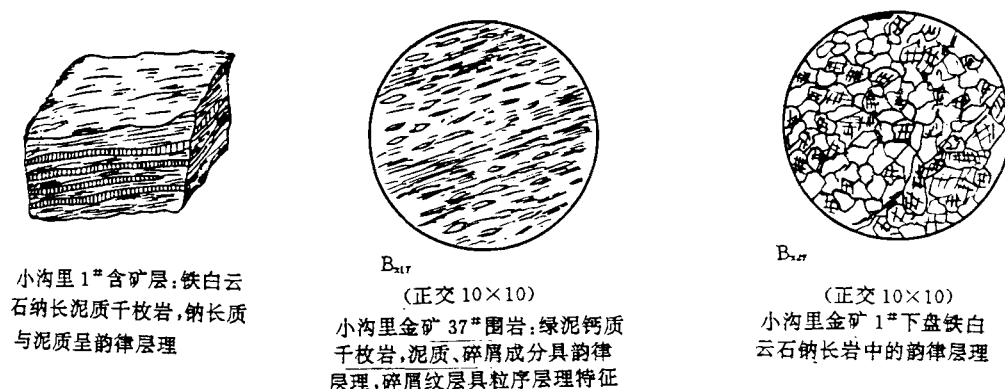


图 5—7 小沟里金矿床主要岩层中的韵律层理

总之，金含矿建造中的细碎屑岩层沉积、成分特征显示了水体不断加深、物源减少的局限洼地/浅海沉积环境。含矿建造具丰富成矿物质来源、沉积成矿作用、特别是生物成矿作用强，钙、砂质高的韵律层理易于成矿流体渗滤，和交代作用的发生，有利金矿成矿。

二、含矿建造中的钠质岩

矿床含矿建造中的钠质岩虽然规模不大，但在主要矿化地段都有发育，部分地段构成矿体。其成因解释直接关系到对矿床成因的认识，下面特别论述。

1: 产状、类型及岩石学特征

小沟里—三羊坝金矿床发育的铁白云石石英钠长岩产出于韧—脆性剪切带构造中，空间上与岩脉群、金矿体密切共生。呈层状、透镜状整合产出，上下盘岩石为石英脉带或铁白云石钠长千枚岩、灰黑色绢云钙质千枚岩。主要成分为钠长石、石英、铁白云石。呈他形粒状镶嵌结构，发育以粗粒钠长石为主、铁白云石呈星点的成分纹层，和以铁白云石为主、细粒钠长石为次的成分纹层，两者呈过渡互层的成分韵律纹层构造（图版V：c）。多期黄铁矿化，特别是沉积成岩期

草莓状（细粒自形浸染状均匀分布于岩石）发育，显示沉积成因特征。

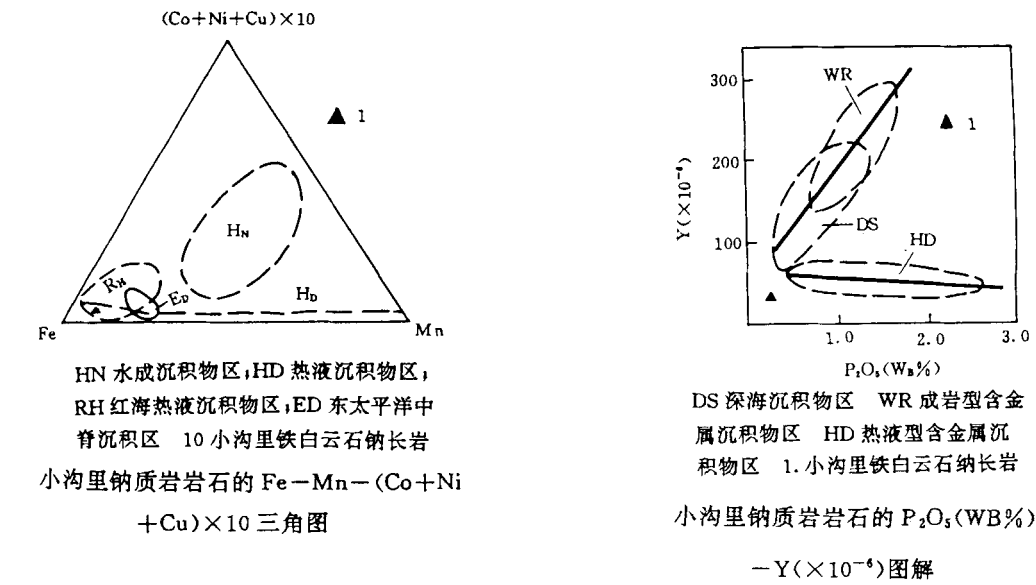


图 5—8 小沟里—三羊坝金矿钠质岩地球化学判别图

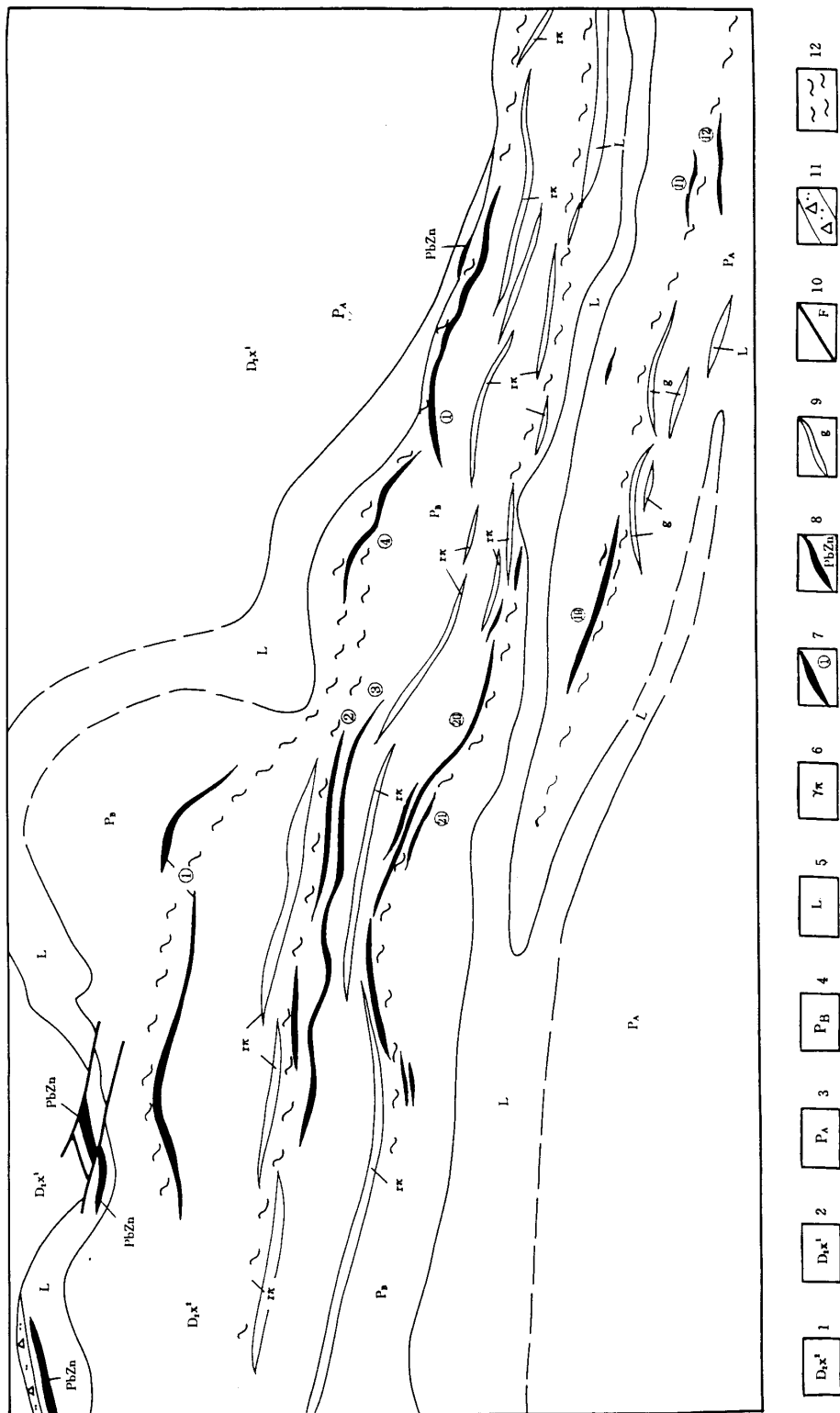
2 岩石地球化学特征

表 5—8: 西成盆地钠质岩与其他热水沉积岩成分比值对比表

岩石类型	钠质岩	厂坝钠长岩	双王层状 钠质岩	山柞盆地 钠质岩	凤太盆地
样品数	3	3	4	2	3
Fe_2O_3/FeO	1.68	0.23	0.55	0.51	0.06
SiO_2/Al_2O_3	4.18	4.60	3.94	4.22	57.3
$SiO_2/(K_2O+NaO_2)$	8.66	8.61	8.5	8.44	155
SiO_2/MgO	17.88	123.54	44.65	17.01	42.8
资料来源	本文	马国良等， 199	梁金哲1991	薛春纪等 1990	王俊发等 1989

注：小沟里—三羊坝金矿据韦龙明【1995】资料计算。

钠质岩与正常沉积岩地球化学特征间有很大差别，并表现出与区域热水沉积岩间的相似形。钠质岩化学成分、微量元素及主要特征比值可以看出（表 5—2）：钠长岩成分特征值除 Fe_2O_3/FeO 较高外，和厂坝及凤太盆地双王金矿、山柞盆



1. 中泥盆统西汉水组上部层, 2. 中泥盆统西汉水组下部层, 3. 石英绢云千枚岩, 4. 钙质绢云千枚岩, 5. 薄层灰岩/泥灰岩, 6. 花岗斑岩脉, 7. 石英脉, 8. 金矿体, 9. 铅锌矿体, 10. 断层, 11. 断裂破碎带, 12. 剪切带

图 5-9 西成盆地小沟里—三羊坝金矿床地质图

地钠质岩接近；在 $\text{Fe—Mn—(Co+Ni+Cu)} \times 10$ 三角图上，西成盆地金矿床中钠质岩的投影点位于富铁端元、热液沉积物范围内， $\text{Y—P}_2\text{O}_5$ 相关图解中，投影点落入海底热泉区（图 5—8）。

综上所述，岩石地质、地球化学特征均表现出热水沉积成因特征。

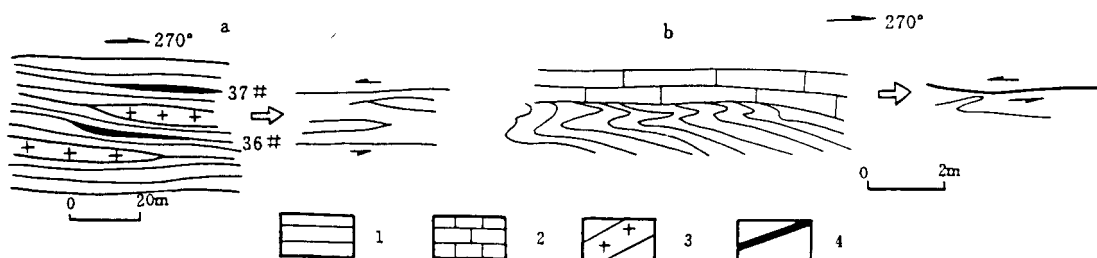
3. 岩石成因意义

区内热水沉积成因钠质岩的发育，暗示含金建造形成时区内处于持续的缓慢拉张状态。钠质岩与盆地南缘廖坝—土家台钠长岩属同一层位，可能为同期产物。后者具显量金的富集，局部达 1×10^{-6} （孙省利 1999 送样分析结果），热液改造弱，在一定程度上反映了原始富集程度，其含金量具原生意义。因此，矿区钠质岩的成因意义还在于：含金建造形成中，热水沉积作用提供了部分金。

5.2.3 构造、岩浆作用

矿区构造属向南倾的单斜层，倾角 $30^\circ \sim 60^\circ$ 。层间劈理发育，变形强的地段，劈理为千枚理所替代，变形相对均匀的地段，则可分辨劈理、层理两组面理，显示岩层正常层序（图版 II）。

主要构造为顺层发育的近东西向—北西向脆—韧性剪切带构造，由北到南可划分出三条（图 5—8）。空间上发育于细碎屑岩与碳酸盐岩的接触界面附近（能干性差异界限），具层间滑动剪切特征。宏观上：剪切带为一强片理化、褪色蚀变带，带内脆性岩层（岩脉为主）沿走向被剪切成斜列透镜。显示了左行剪切特



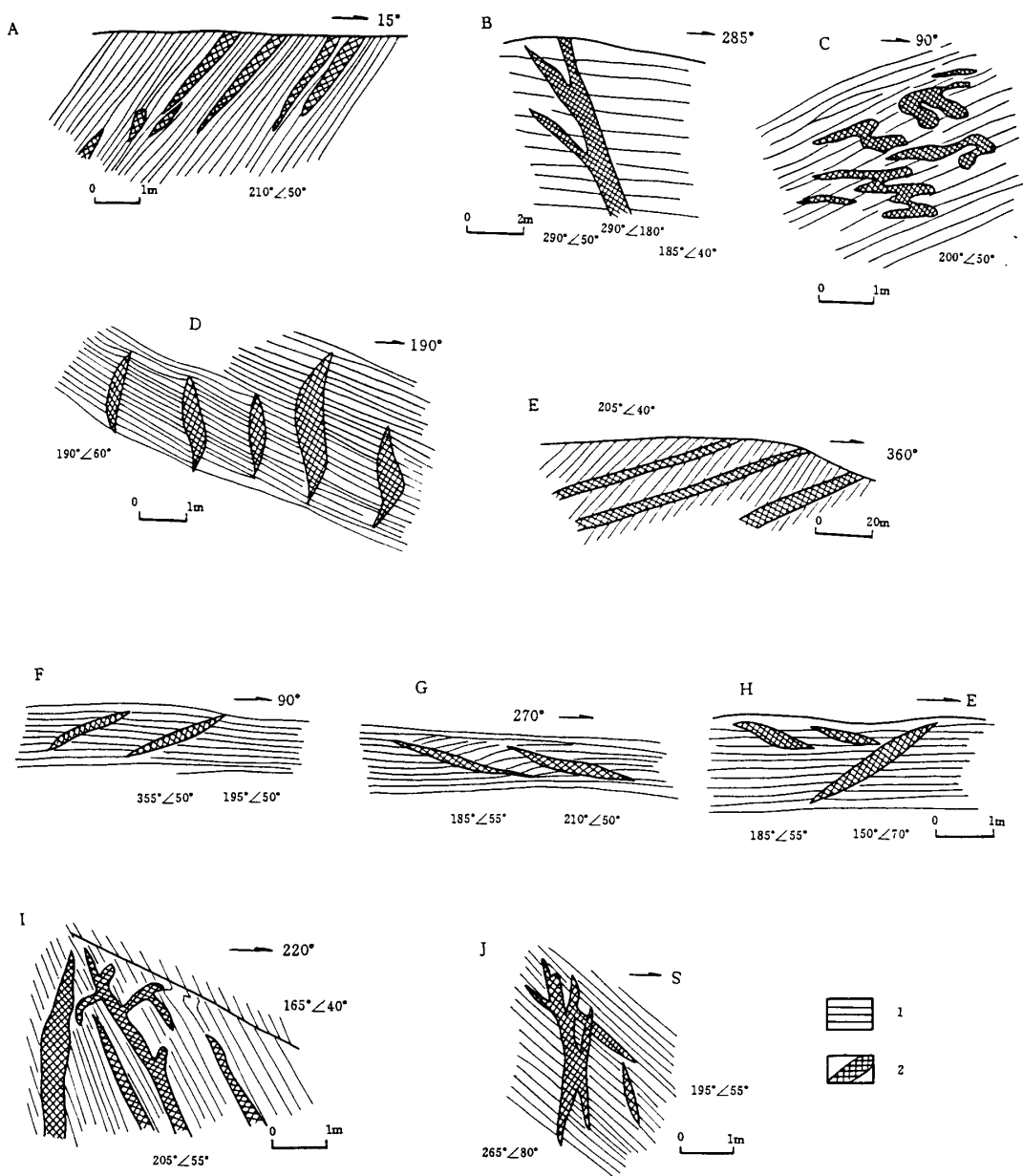
a. 小沟里偏沟花岗闪长岩脉剪切成交列透镜；b. 小沟里染米沟不同岩性界限不对称褶皱

1. 千枚岩；2. 薄层灰岩；3. 花岗闪长岩脉；4. 金矿体及编号

图 5—10 小沟里—三羊坝金矿脆—韧性剪切带左行剪切特征

征，这与区域构造形迹所代表的剪切方向一致（图 5—10）。微观上，带内岩石发育眼球构造、压力影构造，S-C 组物等特征的剪切构造（图版 IV）。

剪切带内剪切裂隙、破碎带以顺层为主，走向平行剪切带，其次为北东向切层，内部为（方解）石英脉体充填。脉体与片理的关系有顺层、斜切层理几种情况，雁列（左行/右行）排列亦常见。普遍存在分枝、分叉，膨缩、透镜体脉，不规则网脉等，不同形状和形态的脉也可组合在一起（图 5—11）。这种形



A. 4[#]顺层脉; B. 1[#]切层脉; C. 22[#]不规则团块/脉; D. 1[#]局部切层张性雁列脉; E. 20[#]、21[#]小角度切穿千枚理脉; F. 21[#]右行雁列脉; G. 11[#]左行雁列脉; H. 9[#]几种产状脉体组合关系; I-J. 1[#]几种产状脉体组合

1. 千枚岩 2. 石英

图 5-11 小沟里—三羊坝金矿含矿石英脉形态、产状素描图

态的复杂性是剪切带不同层次变形叠加的结果。

区内剪切带的空间分布及特征表明：经历了早期压剪性韧性阶段—片理化阶段；中期脆—韧性阶段：多种宏微观剪切构造形成网脉状剪切裂隙，晚期斜切剪切片理化带的张性裂隙形成的脆性阶段。各阶段不同产状剪切裂隙联合，为成矿流体的迁移、富集提供了空间。祁思敬等（1993）对邓家山地区剪切构造研究表明，灰岩与千枚岩界面附近剪切总位移量 84m，区内剪切构造活动较强。

矿区中酸性岩脉顺层侵入，局部斜切层理，走向上剪切呈斜列透镜，透镜体走向、倾向均具宽缓褶曲，产状变化处斜切层理，以脆性变形为主。分黑云母斜长花岗斑岩和正长花岗斑岩两类，斑晶粗大，正长花岗斑岩具六方石英斑晶（图版 V：e），显示浅成超浅成，不同期次成因。岩脉普遍具蚀变，蚀变类型及由早至晚次序：绢云母化（白云母化）—铁碳酸盐化—黄铁矿化—滑石化。岩脉变形变质表明：矿区中酸性岩脉最早是在构造热液作用之前侵位的，作为含矿建造的部分，参与了后期构造热液成矿作用。

5.2.4 矿化特征

矿床规模较大矿体有 1、4、20、21、22 等。矿体由形态产状各异的石英脉及两侧蚀变岩组成，蚀变岩范围窄，严格受石英脉控制，故石英脉的产状形态在很大程度上控制了矿体、矿带的形态产状特征。矿体形态复杂，沿走向、倾向均具尖灭再现，分枝复合，膨缩等现象，具似层状、透镜状、脉状，总体产状与围岩整合，局部切层。分北、中、南三个矿带，均发育于矿区脆—韧性剪切带中。矿体形态及品位变化系数大，长度：几米—上千米，厚度：一般 1—3m，最大厚度：6m，品位几—十几 $\times 10^{-6}$ 。

1、金的矿化富集规律

1) 矿化由蚀变围岩及石英脉组成。蚀变岩以浸染状黄铁矿化为主，范围窄，一般小于 1 米，围绕石英脉发育；石英脉则具细脉、网脉、切层脉多种产状，黄铁矿化成星点、细脉及团块。矿化石英脉及有关的蚀变严格局限在剪切变形带内，矿化类型与剪切变形阶段对应：细脉浸染状—网脉状—脉状矿化，分别对应剪切带韧性、韧—脆性、脆性不同变形阶段。由早期韧性向晚期脆性转化期—韧脆性剪切期：对应主成矿期。多期构造叠加地段，矿化强：东西、南北构造交汇处常赋存富矿体，如矿区北部安家岔金矿东西、南北向矿化相交呈“丰”字型矿化空间格架，交汇出矿体变厚大。

2)、矿化与热液石英脉密切相关：一般石英脉体两侧边缘、脉旁蚀变围岩中矿化最强。构造地化剖面表明：矿区各岩性层金含量大大高于区域背景值（表 3—13），剖面上高的金含量都与石英脉有关，曲线具单峰特征：从脉体至围岩，Au 含量迅速降至背景，然后保持平缓、波动不大（图 5—12），而且扩散度小。这是由于含矿建造在顺层剪切作用下，所含微量金在韧性阶段活化成易迁移的存在形式，向韧—脆性、脆性阶段的张性空间迁移，富集成矿的结果。

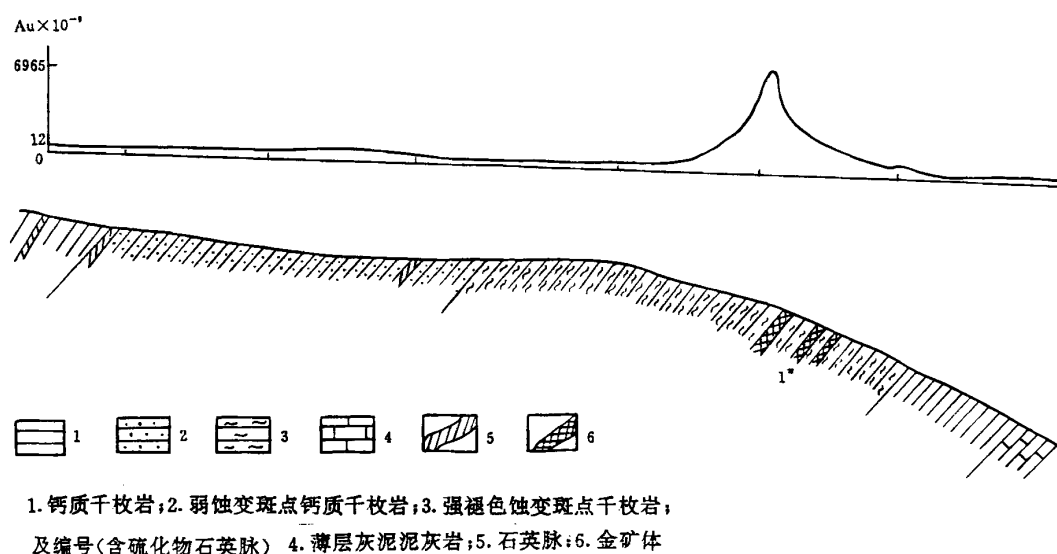


图 5—12 小沟里 1* 矿脉 TC—2 地质地球化学综合剖面

表 5—3 小沟里—三羊坝金矿主要岩性含金性

岩性	样数	Au($\times 10^{-9}$)
灰岩	7	20.18
砂岩	4	13.38
千枚岩	11	19.61, 28.71 (13 样)
斑点千枚岩	15	17.66
斑点状退色、硅化、 硫化物蚀变千枚岩	8	194.78
热液石英脉	8	2634.25
早期变质分异石英脉	2	11.5
中酸性岩脉	2	66.5
西秦岭中带泥盆系		2.5~3.70
上地壳平均(Taylor, 1985)		1.8

据奚小双(2000)资料计算。

3)、矿化与蚀变强弱呈正比，特别是与黄铁化关系密切。黄铁矿化显示继承性特征：沉积期草莓状—变晶状—热液期团块状，Au、As 含量递增(表 3—2)，说明了成矿物质主要来自含矿建造。

2、矿石特征

小沟里—三羊坝金矿矿石以石英脉型为主，成分简单，主要金属矿物：黄铁矿、毒砂、其次为方铅矿、闪锌矿及少量黄铜矿、磁黄铁矿。金的独立矿物：自然金、银金矿。脉石矿物：主要有石英、绢云母、铁白云石、绿泥石、钠长石。矿石结构具多成因类型，主要有：草莓结构、层纹构造、浸染构造、变晶结构、共生结构、固熔体结构（图版Ⅶ：a-e）。这种多成因组构特征与热水沉积改造型铅锌矿床相似，说明两者成矿演化阶段相似，但金矿组构以热液成因为主，铅锌则以沉积成因为主，体现了主成矿作用的差异。

3. 金的赋存状态

金主要以自然金形式存在，次有少量银金矿。有两种主要嵌布形态：一种为在黄铁矿、黄铜矿、毒砂、闪锌矿等硫化物和石英、钠长石、方解石、铁白云石等脉石矿物间晶隙中分布，以不规则状为主；一种在载金黄铁矿等矿物内呈包裹体金（图版Ⅶ：e,f）。成色平均：815‰。金的粒度以0.07~1mm为主，属微细粒浸染型范畴。

4. 矿化蚀变特征与矿物生成顺序

小沟里—三羊坝金矿矿化蚀变较弱，仅局限于脉体外侧1~2m范围内，主要类型有：

黄铁矿化：是矿床中矿化作用最主要的表现形式。按其成因可划分为三期

沉积成岩期黄铁矿：呈草莓球状或单个草莓球聚集成黄铁矿草莓群，沿层理呈细脉，条纹状分布。在小沟里—三羊坝金矿，该期黄铁矿在含矿层各主要岩性层中十分发育（图版Ⅲ），特别是在近矿围岩中。

区域浅变质期黄铁矿：成变斑晶状，中—粗变、自形、立方或菱形假象，呈星点、少数呈聚晶斑点，多分布于沉积—成岩期黄铁矿发良区，属变质热液结晶或铁白云石被交代折出的铁质充填具晶形结晶的结果（图版Ⅳ：d,e,f）。

构造热液期黄铁矿：具多阶段矿化、伴随多期构造变形同步发生，矿化早期黄铁矿多沿容矿岩石中发育的片理化呈稀疏浸染或条带浸染状分布；中期矿化阶段黄铁矿呈细脉、网脉、聚晶团块分布于热液脉体与外侧蚀变岩中；矿化晚期黄铁矿多呈星点浸染状产于晚期方解—石英脉中，该脉体斜切穿早期脉，是晚期脆性变形的产物。

黄铁矿化强弱与热液脉体规模、产状形态复杂程度，蚀变强度呈正相关，显示了热液脉体对黄铁矿化的控制。这一方面是由于热液脉提供的热能，使早期黄铁矿重结晶程度增高，另一方面热液带来大量硫，与铁质含量高的围岩释放出的铁质结合形成黄铁矿。

2)、毒砂化：有两种，一种属脉体两侧斑点千枚岩中毒砂，粒度较细—粗，假双锥为主，与黄铁矿化关系密切，部分与黄铁矿、黄铜矿呈共结构，范围窄、紧围绕脉体发育（0.3~1m范围内）；另一种产于距脉体远的千枚岩中，具扁饼状、板条状等，发育与片理一致的片状结构为特征，表明形成于剪切变形前，可

能代表了沉积—变质期产物，范围较宽，说明沉积环境中具高的砷异常。

3)、硅化：是矿床中最普遍和强烈的类型，包括变质期形成的成分分异条带沿层理发育，及热液期形态各异的石英脉两种。热液期硅化为金矿的就位提供了空间和物质载体，矿床硅化的强弱与金矿化呈正相关。

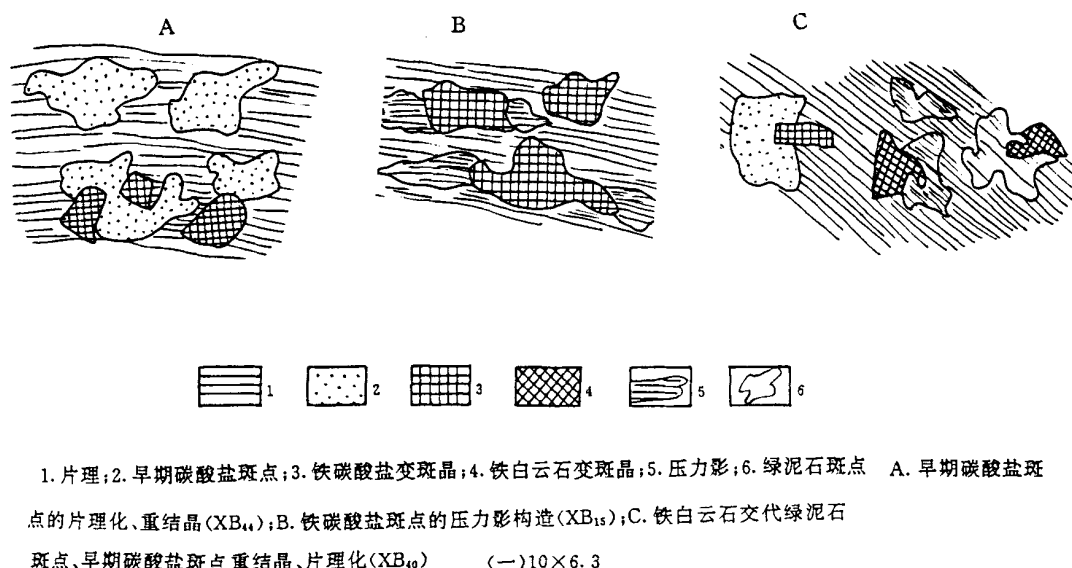


图 5—13 小沟里—三羊坝金矿含矿层斑点构造特征

4)、铁碳酸盐化、绿泥石化：两者常构成斑点，且斑点本身具片理化，其中绿泥石斑点多为铁白云石斑点蚀变交代而成，表明：该类蚀变斑点的形成早于剪切构造热液期，属区域变质早期产物（图 5—13，图版 V：a,b）。

5)、绢云母化：是矿点另一主要的矿化蚀变，遍布整个剪切带中，形成韧—脆性剪切变形带退色化带。

5、成矿期和成矿阶段

根据矿床地质特征，控矿构造变形序列，以及矿化蚀变与矿物共生组合，将金矿床成矿作用演化为四个作用期：沉积成岩初始富集期、变质预富集期、构造叠加热液改造成矿期和表生氧化期（表 5—5）。

(1)、沉积成岩矿化初始富集期

在研究区中，容矿岩层即为钙、泥质为主的细碎屑岩，其中草莓状黄铁矿十分发育，钠质热水沉积岩—铁白云钠长岩中，细粒自形黄铁矿具层纹特征，为沉积产物，发育含炭质细碎屑岩层—灰黑色钙质千枚岩，为有利携载和吸附金的岩性层。区内主要岩性层：灰岩、砂岩、千枚岩的含金量（ $\times 10^{-9}$ ）分别为：20.18、13.38、28.71。是上地壳平均值的 5—10 倍，是区域泥盆系的 4—9 倍（表 5—3）。具初始富集矿源层特征（表 5—3）。

表 5—5：小沟里—三羊坝金矿床成矿期、成矿阶段与矿物生成顺序

成矿作用 演化 矿物生 成顺序	沉积成岩 初始 富集期	变质分异 矿化预富 集期	构造叠加—热液改造成矿期			表生氧 化作用 期
			韧性浸染状矿化 阶段	韧—脆性细脉，网 脉状矿化阶段	脆性断裂充填脉 矿化阶段	
草莓黄铁矿						
铁白云石						
钠长石						
石英						
毒砂						
变晶黄铁矿						
聚晶黄铁矿						
闪锌矿						
方铅矿						
磁黄铁矿						
金（银）矿						
绿泥石						
绢云母						
滑石						
褐铁矿						

（2）、变质分异成矿预富集期

区域变质作用中，含矿建造层内物质重组，重溶、重结晶，近距离迁移：硅质分异重结晶形成石英脉；铁碳酸盐、绿泥石聚集成斑点，表面发育铁质薄膜，多数为片理切穿（图 5—13）；黄铁矿变斑晶大量出现，多围绕铁碳酸盐发育，部分具铁白云石假象，伴随金预富集作用发生。

（3）、构造热液改造成矿作用期

这是矿床形成的主成矿期，主要受韧—脆性剪切带构造的控制，同时伴随强烈的热液蚀变作用。根据构造变形特点、构造序列及矿化蚀变组合，可划分为三个成矿阶段：

①韧性变形及浸染状矿化阶段：即细粒、微细粒自形、半自形黄铁矿沿剪切面理浸染分布形成的矿化作用。矿化蚀变组合：黄铁矿化、绢云母化、铁碳酸盐化。

②韧—脆性变形及细脉—网脉状矿化阶段：是主期矿化阶段。在早期韧性变形基础上，产生大量网状裂隙及张裂，成矿热液充填并与围岩发生热交代作用，形成细脉—网脉状矿化。硅化为主要矿化蚀变。

③脆性变形及脉状矿化阶段：主要指晚期发育的张裂隙，其中充填有矿化蚀变作用晚期的方解—石英脉，含星点状粗粒黄铁矿，含金性较差。

(4)、表生矿化作用期：主要是金属硫化物矿物的褐铁矿化，原生矿石中金不同程度的次生富集。

5.2.5 成矿物质来源分析

一 矿石矿物微量元素特征

矿物中 Co/Ni 值被广泛用于成因判别 (赵振华, 1998; 牟磊中, 1999): 沉积成因一般小于 1, 岩浆热液成因一般大于 1。小沟里—三羊坝金矿黄铁矿电子探针分析结果表明: Co/Ni 多数大于 1, 最大达 22, 总趋势: 沉积成因黄铁矿 $\text{Co/Ni} < 1$; 热液成因黄铁矿 $\text{Co/Ni} > 1$, 与邓家山、安家岔不同, 显示一定内生成因。考虑到矿石中沉积、变质期黄铁矿大量存在, 成矿物质主要来自于地层, 热液成矿作用可能带来一定深源成矿物质 (表 5—6)。

表 5—6: 不同类型矿床中黄铁矿 Co、Ni、Co/Ni 值

矿床类型		Co ($\times 10^{-6}$)	Ni ($\times 10^{-6}$)	Co/Ni	样数	资料来源
小沟里—三羊坝金矿床	草莓	0.09	0.09	1	2	本文
	变晶	0.13	0.01	13	2	
安家岔金矿床		81.17	214.17	0.44	6	李万华, 1993。
邓家山型铅锌矿		74	342	0.22	9	谢文安, 1982。
沉积型黄铁矿		10.50	44.0	0.01	12	
层控铅锌矿床		247.5	531.0	0.47~0.29	27	
岩浆热液型		44.5	49.0	14.8~3.13	29	

二 稀土元素特征

小沟里—三羊坝金矿围岩、矿石、含金石英脉, 稀土配分形式相似, 以弱 Eu、Ce 负异常, 缓右倾为特征, 而总量依次减少 (表 5—7, 图 5—14)。其中细碎屑岩、花岗斑岩脉、铁白云石钠长岩及毒砂特征更为相似, 稀土总量大, 分异相对小, 配分形式相似, 为一组缓密集平行的右倾斜线, 表明稀土来源一致, 均属壳源。这与花岗斑岩脉超浅成性、片状毒砂变质结晶成因的地质事实相吻合。黄铁矿及含金石英脉则具稀土总量低, 相对微弱的负 Eu、Ce 异常, 表明两者具相似的地质演化, 成因联系密切。其中黄铁矿 LREE/HREE 及 La/Yb 最低, Sm/Nd 最高, 具深源特征 (地幔型: Sm/Nd: 0.26—0.375, 地壳、沉积岩: 小于 0.3)。矿床稀土元素特征亦显示成矿物质主要来自地层, 不排除部分深源物质加入。

与安家岔金矿含金脉体、邓家山铅锌矿床石英脉、硅岩矿石稀土元素特征对比: 三者具相似的配分曲线, 特别是与邓家山铅锌矿床石英脉间, 自 Ce 以后基本重叠, 而安家岔金矿含金脉体 REE 较高, 具弱正 Eu 异常; 三者与邓家山铅锌矿床硅岩矿石明显的正 Eu 异常和负 Ce 异常特征相区别, 反映了成矿环境的差异性: 铅锌矿石及硅岩正 Eu 异常和负 Ce 异常代表了一种中高温、近中性、较高氧逸度的成矿流体的水岩作用 (赵振华, 1997; 包志伟, 1998; 牟保磊, 1999)。

表5—7： 西成盆地小沟里—三羊坝金矿主要岩层稀土元素分析结果

岩 性	样号	分 析 元 素									
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho
1 [#] 切层石英脉	XY3	1.50	2.56	0.15	0.54	0.11	0.034	0.16	0.023	0.16	0.035
1 [#] 含矿层毒砂	XY11	20.5	31.2	2.76	14.9	2.56	0.46	2.76	0.31	1.71	0.30
22 [#] 黄铁矿	XY12	2.31	3.24	0.30	1.36	0.41	0.12	0.56	0.10	0.59	0.092
22 [#] 上盘 r_2	XB11	44.6	73.2	7.98	33.7	6.58	1.43	7.52	1.24	7.30	1.47
20 [#] 黑色铁质千枚岩	XB23	42.4	67.1	6.95	31.3	5.8	1.12	6.41	0.85	5.15	1.00
1 [#] 钠长岩	XB27	33.5	56.6	6.00	26.8	4.97	1.08	5.55	0.69	4.53	0.79
砂岩条带	XB28	24.3	42.0	4.77	19.1	3.74	0.77	4.11	0.60	3.78	0.71

岩 性	样号	分 析 元 素					特 征 参 数				
		Er	Tm	Yb	Lu	Y	REE	LREE/HREE	La/Yb	δ Eu	δ Ce
1 [#] 切层石英脉	XY3	0.077	0.012	0.060	0.010	0.64	6.07	4.16	25.00	0.80	0.995
1 [#] 含矿层毒砂	XY11	0.94	0.16	1.16	0.19	8.22	88.13	4.60	17.67	0.53	0.83
22 [#] 黄铁矿	XY12	0.26	0.040	0.22	0.032	3.75	13.38	1.37	10.50	0.69	0.77
22 [#] 上盘 r_2	XB11	4.55	0.70	4.24	0.55	32.6	227.66	2.78	10.52	0.63	0.41
20 [#] 黑色铁质千枚岩	XB23	2.75	0.42	2.56	0.35	22.6	196.76	3.67	16.56	0.56	0.49
1 [#] 钠长岩	XB27	2.39	0.37	2.11	0.25	19.5	165.13	3.56	15.88	0.63	0.77
砂岩条带	XB28	2.20	0.31	2.01	0.22	17.10	125.75	3.05	12.10	0.60	0.83

分析者：国土资源部宜昌矿产地质研究所测试室

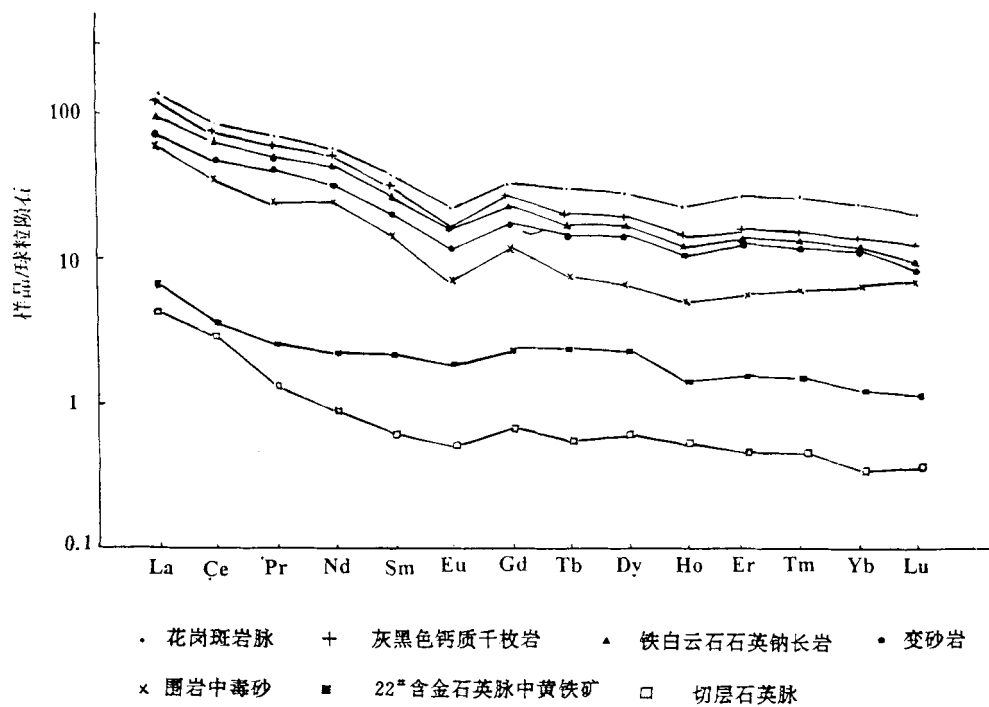


图 5—14 小沟里—三羊坝金矿围岩、含金石英脉、硫化物稀土配分模式

三 同位素地球化学

1 硫同位素

小沟里—三羊坝金矿床容矿岩石、矿石中硫化物矿物硫同位素组成见表 5—81：变化范围较大，离散值：9.27，以轻度富集重硫为特征。中矿带黑色钙质千枚岩中的黄铁矿 $-6.15‰ \pm$ ，具生物硫特征，与岩层生物有机质发育相一致。多数硫化物硫同位素值接近花岗岩硫同位素组成（ $-4‰—9‰$ ），与邓家山铅锌矿床硫同位素组成相似，反映了成矿热液硫源与下部铅锌含矿层之间具一定同源性，具海水硫酸盐还原硫为主，部分和生物硫及岩浆硫的多源特征。

表 5—8：小沟里—三羊坝金矿硫同位素组成

地质产状	测试矿物	$\delta^{34}\text{S}$
含金（方解）石英脉	方铅矿	4.36
蚀变花岗岩	黄铁矿	5.22
黑色钙质千枚岩		-6.15
1#矿体		5.16
4#矿体		13.63
蚀变岩		4.88
4#矿体	闪锌矿	11.26

2 铅同位素

矿床矿石、主要围岩铅同位素组成差异较大。前者： $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18.14—18.41$ ， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.52—16.02$ ， $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=38.38—38.48$ 。后者： $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18.407—18.45$ ， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.78—16.83$ ， $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=38.89—39.12$ （表：5—10）。在铅同位素组成与构造环境关系图上（图 5—15），热液硫化物多数落在造山带铅线与与地幔铅线之间，少数落在上部地壳铅线之上，反映壳幔混合铅特征。与北部

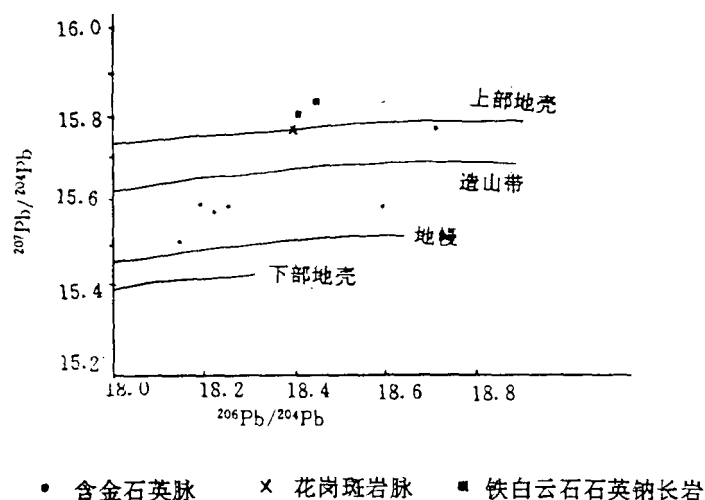


图 5—15 小沟里—三羊坝金矿铅同位素组成与构造环境图

安家岔相似（李万华，1995）。

表 5—9：小沟里—三羊坝金矿铅同位素组成

地质产状	测试矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	资料
25#含金方解石英脉	方铅矿	18.140	15.601	38.374	孙省利 （未发表）
4#含金石英脉		18.197	15.672	38.447	
1#矿体	黄铁矿	18.222	15.782	38.452	
4#矿体		18.201	15.628	38.508	
蚀变花岗岩脉		18.519	15.648	39.175	吴烈善等， 1997。
花岗闪长岩脉		18.407	15.766	38.877	
铁白云石英钠长岩		18.405	15.826	39.115	
		18.419	15.801	38.883	
含金石英脉		18.701	15.796	39.340	

3 氢氧同位素组成特征

对矿床早、晚期矿化期热液成因石英流体包裹体水氢氧、碳同位素分析结果表明，在成矿过程中，氢同位素保持稳定，氧同位素具反向漂移（表：5—11）。

表 5—10：邓家山—安家岔地区铅锌、金矿床石英氢、氧同位素组成

矿床	地质产状	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (SMOW)	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ (SMOW)	资料
小沟里—三羊坝金矿	20#切层石英脉	-4.38	-65.5	本文
	37#顺层石英脉	-1.17	-64.8	
安家岔金矿	少黄铁石英脉(II ₁)	11.45	-73.55	李万华， 1995
	黄铁矿碳酸盐石英脉(II ₂)	10.19	-77.2	
	黄铁石英碳酸盐脉(II ₃)	11.09	-72.45	
邓家山铅锌矿床	6#团块状矿石	10.98	-65.5	曾章仁， 1993
	1#矿体硅岩	13.27	-87.9	
	9#矿体团块状矿石	10.36	-70.2	
	1#矿体	-8.9	-73	王集磊， 等。1995
	含矿炭质硅岩	+1.3	-87	
	含矿方解重晶石岩	-8.6	-82	

分析者：国土资源部宜昌矿产地质研究所同位素室。

在 $\delta^{18}\text{O}$ — δD 图解中，落在大气降水线附近（图 5—10），反映以大气降水为主的流体特征。这与前述成矿物质来源具深源性的论述是不矛盾的：首先，西成盆地泥盆系为一套氧同位素很高的建造（张复新，2000），矿床与大气降水接近的氢氧同位素值与成矿流体演化过程复杂的水岩交换相矛盾；其次，对中国卡林型金矿研究表明，不同地区矿床相一致的铅源和大气降水为主的成矿流体特征，说明成矿物质具内生成因（张贻侠等，1996）；美国卡林金矿流体包裹体最新研究表明成矿物质具深源性；另外，现在还不能证明单一一种水就能产生一种独立矿床（White, 1974）。小沟里—三羊坝金矿床流体包裹体氢氧同位素特征只能说明，

成矿过程中有大气降水参与，不排除其他来源。主成矿期流体碳同位素 $\delta^{13}\text{C} = -3.31\text{‰}$ ，显示深源性，但这点还需更多测试成果验证。表 5—10 及图 5—16 看出，研究区不同矿床成矿作用中，成矿流体来源复杂：以大气降水为主，受变质水和岩浆水的影响。

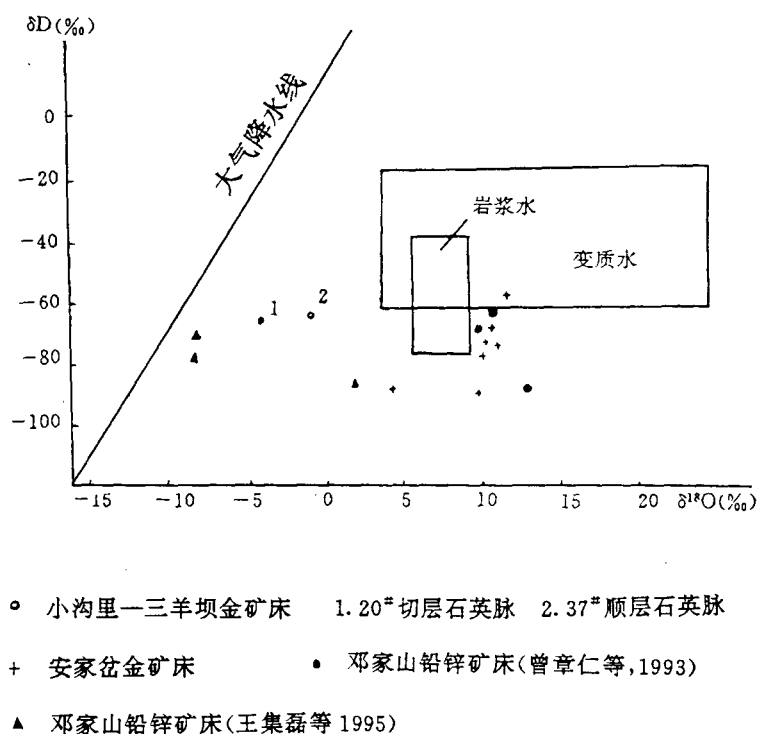


图 5—16 小沟里—三羊坝金矿床及邻区主要类型矿床包裹体水 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 相关图

四 成矿流体成分特征及成矿条件分析

1) 流体包裹体类型特征

包裹体以含金石英脉中石英为测试对象（下同）。其中包裹体十分发育，形态多样、种类繁多，单相—三相包体共存，以 CO_2 含量高、出现液相二氧化碳包体为特征，含（富）二氧化碳包体占总包体量：25%—25%。可分 H_2O 、 $\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$ 、 CO_2 三种不同体系， H_2O 体系包体具低的均一温度（ 115°C — 205°C ），峰值： 140°C — 160°C ，主成矿期 135—205，晚期降低； $\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$ 两相或三相包体具中高温： 225°C — 335°C ，峰值： 270°C 。表明成矿过程中存在两种流体：浅部以水为主的低温流体和来自深部富二氧化碳的中高温流体的混合。

2) 流体成分特征及物化条件

采用爆破—超波提取法和激光拉曼法分析，结果表明（表 5—11）：成矿流体液相成分属 $\text{Na}^+(\text{K}^+)-\text{Ca}^{2+}(\text{Mg}^{2+})-\text{Cl}^-$ 型，成矿主期： $\text{K}^+/\text{Na}^+=0.53$ 、 $\text{F}^-/\text{Cl}^-=0.02$ 、 $\text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}) = 3.93-13.6$ ， SO_4^{2-} 仅在激光拉曼法测试中，部分包体中有微量显示；气相成分复杂，以 CO_2 和 H_2O 为主，其次为 CO 、 H_2 、 H_2S 、 CH_4 。成矿流体以

低盐度为主，变化范围：7.6—11.3wtNaCl。中低温 H₂O 体系包体<10，中高温 CO₂+H₂O 体系包体>10；流体密度：0.776—0.936g/cm³，成矿主期高于晚期；PH 值相对稳定：6.6—6.7，显弱碱性。显示富 CO₂、Na⁺、K⁺为主、富 Cl⁻、低 Ca²⁺、Mg²⁺和低盐度、碱性还原流体成分特征。

表 5—11：小沟里—三羊坝金矿包裹体成份分析结果

岩 石、 产 状	液 相 成 分 (10 ⁻⁶)									K ⁺ /Na ⁺	F ⁻ /Cl ⁻
	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻		
切层石 英 脉	0.64	0.49	0.00 1	0.035	0.001	1.20	0.03	0.00	0.00	1.31	0.03
顺层石 英 脉	0.75	1.42	0.290	0.071	0.000	2.20	0.04	0.00	0.00	0.53	0.02

气相成分 (10 ⁻⁶)					δ ¹³ C (CO ₂) —PDB/‰	δ ¹⁸ O (H ₂ O) —SMOW/‰	δ D (H ₂ O) —SMOW/‰	PH	盐度 Wt. %NaCl
H ₂ O	CO ₂	CO	CH ₄	H ₂					
2080. 0	878.8	0.15	0.05	0.02	-0.89	-4.38	-65.5	6.65	9.1~11.3
520.0	383.5	0.05	0.01	0.07	-3.31	-1.17	-64.8	6.7	7.2~11.5

分析者：国土资源部宜昌矿产地质研究所包体组。

包裹体的成分及物化条件能很好的示踪成矿流体来源。K⁺/Na⁺<1、F⁻/Cl⁻<1 是沉积或地下水形成的流体特征，而两者比值大于 1 可能是确定流体来自岩浆的主要证据之一 (Rocdder, 1972; 王秀璋, 1984; 张德全等, 1992); 季克俭 (1989)、王莉娟 (1998) 等研究表明：中—低温、Ca²⁺—Na⁺—Cl⁻或 Na⁺—Ca²⁺—Cl⁻型，贫 K⁺、Mg²⁺流体可能代表大气降水及同生沉积来源的成矿流体；而低盐度、较高温度和还原条件的 CO₂+H₂O 流体是变质成矿流体的共同特征 (Phillips, Powell)，对金矿而言，中至高温、低盐度、高 CO₂和相对富 K⁺的 Na⁺—Ca²⁺—Cl⁻或 K⁺ (Na⁺)—Ca²⁺—Cl⁻型流体可能是变质流体的代表性特征 (高怀忠等, 1999)。可以看出：小沟里—三羊坝金矿流体特征具大气降水特征，又具变质流体特征。极大的可能是成矿流体属两者混合来源。

热液石英硫体包裹体 ⁴⁰Ar—³⁹Ar 样年龄：197.45 ± 1.13 Ma (邵世才等, 2001)，代表了主成矿时间。

5.2.6 矿床成因探讨

综上所述：矿床含矿建造是在早期热水沉积铅锌成矿作用之后，海盆持续扩张期形成的局限洼地沉积环境中形成的。生物或细菌还原作用使海水 SO₄²⁻转变为 HS⁻，喷溢热水在海底与海水混合，由于还原硫浓度增高造成铅锌沉淀成矿；金则以硫化物络合物形式稳定存在于海水中，在后期沉积中，细菌微生物、炭泥

质吸附而在沉积物中富集；同时，同沉积期钠质热水沉积活动及火山沉积作用也带来部分金。这些金主要富集在沉积成岩期硫化物如草莓黄铁矿中，矿床初始矿源层形成。

区域浅变质作用期，容矿岩系分异结晶，形成变晶黄铁矿、粗晶毒砂等沿千枚理发育，金随硫化物重结晶进一步予富集。对后期地质改造成矿起桥梁作用。

印支燕山以来构造热液作用阶段，区内发生强烈的逆冲推覆，使建造中存在能干性差异部位剪切滑动，形成剪切带。沿该构造薄弱带，一方面地表大气降水下渗，升温淋滤流经的岩层形成中低温、较低盐度、 $H_2O-NaCl$ 体系的流体，与地层封存卤水等混合，使盐度增高形成中低温卤水。这种流体可使金以硫化物络合物的形式活化迁移 (J.J.Wilkinson, 1999)；另一方面，剪切带深部构造变质产生的变质流体活化深部(或基底)成矿物质并沿剪切带向上运移淋滤流经岩层，形成中高温、较高盐度、 H_2O-CO_2-NaCl 体系的中碱性、还原性流体，其中金主要以硫化物络合物的形式迁移。由于含矿建造是含铁质高(铁白云石、绿泥石等大量存在)，与流体水岩反应的结果，使铁质大量进入流体中。两种流体在剪切带韧—脆性变形域网脉状剪切裂隙带中混合，由于降温和稀释作用，开始大量黄铁矿晶出，继后毒砂、磁黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿结晶，还原硫大量消耗而缺乏后继补给使浓度降低，金硫化物络合物形式失稳，部分以包体金或类质同象形式进入贱金属硫化物中，大量金在贱金属硫化物沉淀后期，以晶间金形式沉淀于硫化物、脉石矿物晶间，或以裂隙金形式沉淀于硫化物裂隙间，主体矿体形成。

六 研究区金、铅锌矿床时空共生关系及分布规律

6.1 金、铅锌矿床时空共生关系

1. 金、铅锌矿床形成时间的共生关系

研究区热水沉积改造型铅锌矿床和似卡林型金矿床都以沉积期形成矿层、矿胚或矿源层，后期改造作用定位，形成工业富集。两类矿床成矿作用演化具同时（步）性，表现在：

（1）两类矿床矿源层形成的同期性

铅锌矿含矿建造为典型的碳—硅—泥建造，热水沉积硅岩为直接含矿层。矿床虽然经受了强烈的后期改造作用叠加，但硅岩矿体仍基本没有脱离沉积时的层位，呈似层状、透镜状、鞍状。其中残留大量同生矿化组构如条纹（带）构造、均匀散染状构造，黄铁矿草莓及少量闪锌矿莓球、鲕粒等，证明同沉积期热水沉积作用具显著的铅锌矿化，形成以散染状为主的贫矿层或矿胚。同时，热水沉积硅岩及上下围岩金含量显著高于其它围岩（表 3-1）表明热水沉积带来大量的金等成矿物质，在铅锌含矿层、矿胚中形成初始富集，以及与铅锌的共生关系。

铅锌含矿建造上部属金的含矿建造。为一套碎屑岩夹不纯灰岩建造，钙、泥、砂质韵律层发育。局部碳质含量增高，形成炭质层，夹似层状钠质热水沉积岩，上部岩性中存在少量火山碎屑物质，金矿化与这些特殊岩性层关系密切，赋存部位碎屑岩层中黄铁矿草莓尤为发育，呈浸染状、成群、细脉状，局部出现成岩期毒砂沿层理分布。在铁白云石石英钠长岩中，沿层纹分布大量散染状黄铁矿，这些沉积成因黄铁矿经后期改造作用常重结晶形成变晶，金及示踪元素砷含量递增。说明该类沉积建造对于金矿成矿来讲，具有矿源层意义。

通过对上述两类矿床含矿建造组成分析，似卡林型金矿含矿建造形成环境仍为局限滞流洼地相，与热水沉积改造型铅锌矿床沉积建造形成环境相似。含金建造的形成过程中，早期硅质热水带来部分金，同沉积钠质热水、包括弱火山活动等，亦可带来显量金的富集。小沟里—三羊坝金矿床钠质岩中成岩期黄铁矿呈散染状，平行层理的纹层状等，含金量高，其弱的变质蚀变作用特征说明，其中金多数来源于同沉积期。所有这些地质作用带来的金在沉积期，由于滞流环境中炭质、泥质或生物吸附，或由于氧化还原态转变等发生沉淀富集，形成金矿源层。

由此可见，两类矿床都具矿源层特征，且矿源层的形成是在相同的沉积环境下同期（盆地沉积期）相继（铅锌稍早）形成的。成矿物质的同沉积期地质作用亦相似（都与提供热水沉积作用有关），形成两类矿床的含矿建造中显示你中有我，我中含你的共生特征。

②两类矿床的改造工业富集近同期：

这里,改造作用指沉积成岩作用形成矿源层后,经历的变化、构造、岩浆等一系列地质作用叠加,成矿物质富集成工业矿体的作用之和。研究区两类矿床改造作用包括区域变质预富集和构造热液工业富集两个阶段。区域变质预富集以含矿建造内物质变质重结晶,近距离迁移,富集为特征:铅锌含矿层内成岩成矿物质非均一化形成石英团块和闪锌矿等硫化物团块;金矿含矿层钙、泥、砂质重组,早期浸染状黄铁及草莓状黄铁矿重结晶,形成以铁白云岩石、黑云母、绿泥石为主的斑点及黄铁矿、毒矿等变晶,两类矿床中后期热液脉的叠加和早期重结晶硫化物矿物颗粒如闪锌矿、毒砂等的压扁与拉长地质事实说明,变质预富集期发生于变形前。

主期改造作用发生在区域变化期后,伴随区内碰撞型花岗岩的侵位和相继发生由南向北的逆冲推覆构造,岩浆作用,两类矿床经强型的构造热液改造而形成工业富集。

铅锌含矿层碳酸盐、热水沉积岩都属能干性层,构造变形中以褶皱、断裂为主。工业富集作用以褶皱变形阶段即开始,随早期褶皱进一步紧闭、倒转、穿刺的变形演化中,成矿物质(Pb, Zn, 包括 Au)在构造热液作用下,重溶、迁移、重结晶,在背斜转折端,倒转翼层间断层形成工业矿体;而金含矿建造为碎屑岩层占主体的非能干性层,片理化、韧-脆性剪切变形为主,研究区金矿床无不例外地产于东西向韧-脆性剪切带中。从构造变形序列分析,属褶皱期后变形产物,即金的工业富集时间稍晚于铅锌。

从构造背景分析,两类矿床沉积改造工业富集都发生于盆地闭合、隆升、造山期,对应于秦岭造山带碰撞造山、陆内推覆剪切构造演化阶段。变形过程中由于金、铅锌含矿层能干性不同,主体变形特征差异,形成两类矿床改造成矿作用同期相继发生、分层、分带独立出现的共生关系。

2. 金、铅锌矿床产出空间的共生关系

西成盆地是在早古生代,秦岭板块作为扬子板块北部被动陆缘基础上,于泥盆纪拉张断陷形成的,为研究区铅锌金床共生产出的一级构造空间。然后,两类矿床、矿体的产出空间及共生关系主要受次级沉积相、构造的控制。

(1) 两类矿床产出的沉积环境与空间共生关系

西成盆地拉张断陷性质决定了其内部次级沉积环境的复杂性,基底断裂和基底形态共同控制盆地内沉积相类型和分布。次级断陷发育,且对盆地铅锌、金的形成及空间展布起重要控制作用,铅锌矿碳(礁)-硅-泥型含矿建造、金矿夹含钠质热水沉积岩、含火山碎屑成分的碎屑岩、炭质层复理石碎屑岩建造代表一种拉张断陷成因的局限滞流洼地相沉积,两类建造时空上整合、连续沉积,说明

属同一沉积相持续发育不同时期的产物。各含矿建造中，矿体的产出受岩性层位控制明显，同生沉积铅锌矿化基本固定出于碳酸盐、生物礁灰岩顶部热水沉积岩中，沉积改造成矿作用主要在该层位中发生迁移富集变化；金矿体形成于铅锌热水沉积岩系上部建造中，由含炭泥质层、钠质热水沉积岩、含少量火山碎屑成分的粉砂岩、粉砂质板岩层等组成。含矿层亦为容矿层。总之，两类矿床沉积改造形成工业矿体在空间上的产出基本上继承了沉积矿源层时空层序，从而构成两类矿床“上金下铅锌”东西复合成带的空间共生关系。

(2) 两类矿床工业矿体的赋存空间及共生关系

两类矿床都具强烈的沉积改造成因特征，构造作用对工业矿体的形成不仅提供了成矿物质活化迁移的动力，更重要的是形成了成矿流体运移、成矿物质卸载富集的空间场。如前所述：两类矿床在碰撞造山、陆内推覆剪切期构造岩浆改造过程中，含矿建造岩性能干性差异，导致变形特征迥异。铅锌含矿层以褶皱、断裂构造变形为主，紧闭背斜、倒转背斜产生虚脱，而在背斜褶皱，特别是倒转背斜、穿刺背斜翼部，形成层间或局部切层的断裂，或滑断。这些构造空间成为矿液充填富集的空间，构成研究区铅锌矿床主矿体：邓家山背斜转折端的鞍状矿体（1[#]）和背斜北翼（倒转翼）层间断裂中的似层状矿体（9[#]）即属代表。

金矿含矿层以韧—脆性剪切变形为特征，严格控制金矿空间分布。发育的东西向剪切变形带内，岩层面理置换、片理化及网络状、顺层、雁列等剪切裂隙发育，形成有利成矿流体运移、富集的构造空间。研究区矿化石英、方解石英脉体均赋存于这些片理、裂隙空间，特别是不同产状裂隙交汇处，常形成富矿囊（图5-11）。

研究区与金矿化有关的韧—脆性剪切带多发育于碎屑岩非能干性层中，近铅锌含矿层一侧，或碎屑岩层中钠质热水沉积岩、顺层花岗斑岩等能干性层存在部

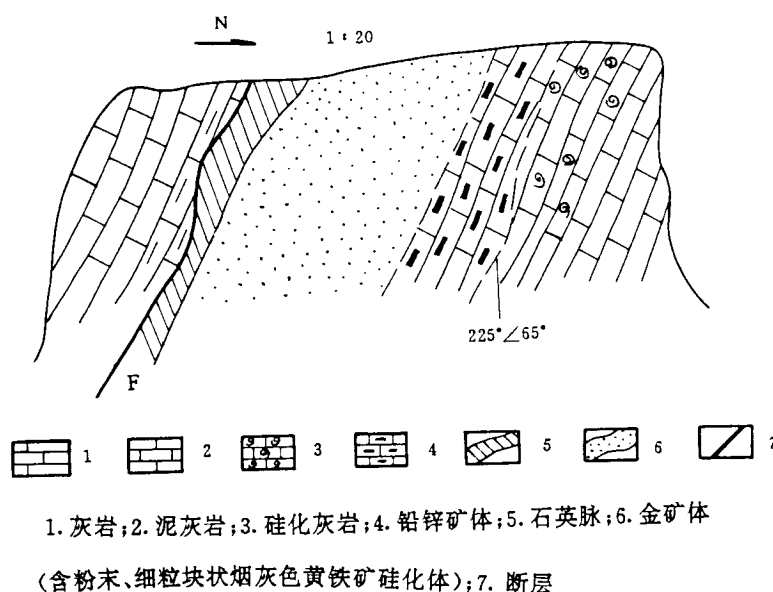


图 6-1 安家岔二条沟坑道掌子面素描图(据李万华 1993)

位,而这些岩性层恰属金矿源层的主要组分,成为金工业富集形成矿体的重要部位。使金与铅锌空间上具独立分层矿化、甚至各自独立相互共生(图6-1)、复合成带的空间共生关系。

3. 金、铅锌矿床区域分布规律

综上所述,研究区铅锌、金矿床时空共生关系总的特征:“你中有我、我中含你”,分层矿化、独立出现。区域上分布具复合分带、三位(矿化、岩相古地理、构造带)一体(统一的构造演化背景)特征,由北向南见千山-安家岔、尖崖沟-小沟里、邓家山-三华咀三个铅锌、金矿化复合带时空分布具如下规律:

(1) 三个铅锌、金矿化复合带分别与三个碳酸盐台地上生物建隆边缘断陷洼地相吻合;铅锌、金矿建造形成于该沉积环境相继发生的海底热水、碎屑、火山等沉积事件。表现出地层、沉积环境古地理对成矿的控制。

(2) 三个铅锌、金矿化复合带分别赋存于三个东西向韧-脆性剪切、断裂带:铅锌含矿层走向上呈构造透镜体,上下界限以断裂、滑断构造穿刺于上部碎屑岩中,碎屑岩含金建造则发育韧-脆性剪切变形,形成片理退色化带、剪切透镜体及各种显微面理、裂隙等。表现为造山作用构造带对成矿的控制。

(3) 铅锌、金矿化与沉积岩相古地理、构造带时空上具很好的吻合性,三者统一形成于盆地拉张断陷-闭合、隆升、造山的构造演化不同阶段,形成三位一体的分布特征。

6.2 金、铅锌矿床共生关系及分布规律分析

1. 位于大陆碰撞造山带被动陆缘一侧的断陷盆地环境是两类矿床密切共生、规律分布的基础。

西成盆地是在泥盆纪初,随勉略有限洋盆打开,分离出的秦岭微板块向北俯冲加快,由于南北大陆俯冲逼近而引起反弹造成沿山阳-礼县东西一线的隆起,线状古隆起南部广大范围处于拉张断陷构造环境,形成的一系列泥盆系断陷盆地之一。在这种拉张断陷背景下,盆地内部受基底断裂控制形成东西向延伸的局限断陷洼地、局限碳酸盐台地,两者南北相间分布的沉积格局。局限断陷洼地往往由于生物礁(滩)、水下砂隆等围限,形成封闭,滞流还原的沉积环境。其中一方面由于持续拉张,基底断裂切割深度加大,大规模热水沉积作用发生,晚期火山沉积活动加入等,深部成矿物质带入海底;另一方面洼地碳酸盐底板的固结性和周围空间的封闭性,使成矿物质不易散失,在海水还原硫、碳、泥质及细菌微生物吸附等作用下沉淀,在碳硅泥岩系、碎屑岩夹不纯碳酸盐复理石建造特定的层位富集,构成成矿物质基础。这种构造沉积环境控制形成了铅锌、金伴生、共生,区域上复合,东西成带的共生分布特征。

2. 碰撞造山与陆内强烈的构造活动提供两类矿床成矿物质活化, 迁移富集的构造动力学和空间场

西成盆地晚三叠世碰撞花岗岩的侵位, 晚泥盆世以来沉积中断及泥盆系沉积建造中由南向北逆冲推覆构造等说明: 秦岭造山带中晚三叠世之交 ($230\text{Ma} \pm$) 的陆陆碰撞造山及其后燕山期陆内推覆、走滑造山事件直接导致了盆地闭合、隆升造山的发生。铅锌、金逆冲推覆、剪切构造为主的改造成矿作用特征及含金石英脉石英包裹体 Ar-Ar 同位素测年成果: $197.45 \pm 1.13\text{ua}$ (邵世才等, 2001), 都表明铅锌、金改造成工业富集与碰撞造山、陆内造山事件耦合。表现在构造作用一方面形成大量有利矿质富集的构造空间, 同时, 构造变形使成矿物质得以进一步活化、迁移。

铅锌含矿层以褶皱、断裂变形为主, 产生背斜转折端虚脱、翼部层间破碎带等有利空间。早期硅岩矿体发生破碎, 产生大量裂隙, 进而在构造热液作用下溶蚀、交代, 沿裂隙向转折端虚脱、翼间断裂破碎带等有利空间迁移、聚集、形成鞍状, 似层状工业矿体。在此过程中, 硅岩含矿层中的微量元素 Au、Cu、As、Sb、Hg、Ni 等亦发生逐步富集作用, 并在改造成作用晚期, 伴随大部分铅锌硫化物的沉淀及大气降水沿裂隙大量加入引起的降温、稀释等而发生沉淀, 形成独立的硫化物或硫酸盐矿物、自然金银金矿等形成伴生。

金含矿层以韧-脆性剪切变形为主。研究表明: 剪切带是金活化, 迁移富集的有效机制: 成矿元素在韧性变形阶段活化、迁移、变形蚀变越强, 迁出量越大; 韧-脆性变形阶段形成金工业富集主要的构造空间 (陈柏林, 1998)。研究区控矿剪切带内, 片理、各种产状剪切裂隙的发育, 为金的富集提供了有利的赋存空间。同时, 地球化学研究表明: 强片理化、退色化岩石含金性降低、金集中富集于石英脉体及旁侧蚀变围岩中, 说明建造中的金在片理化、退色化等构造作用中确实发生了活化, 迁移, 进入韧-脆性变形产生的剪切裂隙富集成矿。

总之, 碰撞造山与陆内强烈的构造活动, 使铅锌、金矿层形成不同层次的构造空间, 从而有利于流体渗滤、萃取建造中的成矿物质, 迁移到有利的构造空间沉淀形成工业富集, 这种构造与成矿作用的耦合及改造成作用近同期、不同变形带发生的特征, 使两类矿床均显示沉积-改造成因特征, 并具分层矿化、成带分布的共生分布特征。

3. 两类矿床成矿物质的同源性

热水沉积作用是研究区铅锌的主要成矿作用, 直接形成铅锌贫矿层或矿胚, 同时带来大量 As、Sb、Hg、Ag、Cu、Ni、Ba、Au 的富集。是金矿源层形成的主要地质作用: 铅锌矿床中硅岩、硅化灰岩金含量高于其它围岩 3-20 倍, 高于地壳丰度 (Taylor, 1985) 1-2 个数量级; 矿石中存在伴生金, 约 0.1×10^{-6} , 主要富集于方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等组成的硫化物矿层中 (表 6-1)。

表 6-1: 西成盆地铅锌矿床矿石主要硫化物中 Au、Ag 含量 ($\times 10^{-6}$)

矿床类型	矿床名称	闪锌矿		方铅矿		黄铁矿	
		Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
热水沉积改造型	邓家山	1.10	34.4	1.10	758	2.85	0.00
	毕家山	1.26	24.09	1.34	583.3	2.01	22.9
热水沉积型	厂坝	0.16	42.25	0.23	518.4	0.19	18.16
	李家沟	0.06	12.80	1.41	128.6	0.35	2.83
		0.04	12.91	1.54	136	0.24	2.21

据王集磊, 等: 1993 资料。

沉积岩区热水沉积成因贱金属矿床中, 金的富集研究表明: 金在铅锌贱金属矿石中的富集量小, 热水沉积作用带来的金大部分以稳定的二硫化物络合物形式进入海水迁移(R.W.Hutchinson,1990)。研究区铅锌矿中显量金的富集说明热水沉积作用有大量金带入海底, 一部分随铅锌沉积成矿富集于硅岩层中, 另一部分进入海水, 在上部碎屑岩层因细菌微生物、炭、泥质吸附而沉淀富集, 是金矿源层形成的重要物源的一部分。含金建造中各岩性层中大量发育的草莓黄铁矿及成岩期毒砂印证了这点。体现出铅锌金成矿物源都来自经热水沉积作用带入建造富集的同源性特征。

铅锌和金相同矿源层特征还反应在两类矿床矿石特征及地球化学特征诸方面: 具相同种类、不同主次的金属硫化物组合, 铅锌矿床以闪锌矿、方铅矿、黄铁矿为主, 其次为磁黄铁、黄铅、毒砂, 含银的砷、锑、汞硫盐矿物, 少量镍的独立矿和微量银金矿等; 金矿以黄铁矿、自然金、银金矿为主, 其次为毒砂、方铅、闪锌, 少量黄铜矿、磁黄铁矿、黝铜矿等, 代表相同/相似的中低温元素组合: Pb、Zn、Cu、Fe、As、Sb、Hg、Ag、Au。同位素地球化学和稀土元素总体相似, 反映成矿物质都来自前泥盆系基底, 具深源特征, 与热水沉积提供物源的地质事实相吻合。

铅锌、金相同物源形成矿源层基础上的变质、构造热液改造成矿作用演化, 是两类矿床共生关系成因的物质基础和前提。

4. 控矿因素和元素地球化学差异, 导致两类矿床分层、分带、独立出现:

地质作用条件下, 铅锌和金都能与多种离子结合形成络合物, 在热水溶液中稳定存在, 其中以氯和硫的络合物最为重要(牟保磊, 1998, 张德会, 1997, 张怡侠)。其迁移、沉淀的形式和物化条件可归纳如下:

(1) 高温、高盐度、低 pH, Cl^- 占优势的酸性溶液中, 铅锌和金均可以氯化物络合物形式存在、迁移。

(2) 中低温条件下: 介质的氧化还原性起重要作用。中低盐度、碱性还原流体, 有利于金以硫化物络合物形式存在, 迁移; 铅锌则多以硫化物形式沉淀,

中酸性、氧化流体则有利于铅锌的溶解迁移，金反因还原硫的氧化而发生沉淀。

(3) 成矿流体中，铅锌的沉淀与降温、还原作用关系密切；金的沉淀主要与引起还原硫浓度变化的地质作用和氧化、硫化、流体混合等有关。卡林型金矿研究表明：流体混合和去碳酸盐化、硫化作用是金沉淀的主要原因 (David P, Stenger, et al, 1995)。

(4) 研究区典型矿床分析表明，铅锌、金成矿过程中，有不同流体的参与：同沉积期海底热水和改造成矿期大气降水、受变质/岩浆加热的层间建造水等。其中沉积期海底热水提供了铅锌成矿物质和部分金成矿物质，其形成演化过程中的物化条件改变对铅锌、金的共生分离起着极为重要的作用。

A. 中泥盆地热水沉积期：

在海底深部蕴酿形成的高温热水中，成矿元素 Pb、Zn、Au 等均以 Cl^- 络合物形式稳定存在，沿同生期基底断裂向上迁移，在近海底通道，随降温减压和下渗海水带来部分还原硫 (HS^-) 的加入，铅锌等贱金属开始以硫化物形式有限沉淀。Au 则由于 As-S 形成的络合物存在而溶解度增加，仍保留在热液中。大量铅锌等贱金属硫化物的沉淀发生在海底，当热水喷溢进入海水，与海水充分混合，由于迅速减压降温和滞流洼地海水还原硫的大量供给，铅锌等贱金属硫化物大量沉淀，形成铅锌硅岩含矿层或矿胚。在此过程中，由于 As-S 离子团部分进入黄铁矿等硫化物占据硫的位置引起晶格破损，导致部分 Au 以类质同象形式进入硫化物阳离子位置，以保证晶格平衡而沉淀，部分金则转化成迁移与溶解能力更强的二硫化物络合物形式，在海水中向上向外迁移，成为上部金矿含矿建造形成的部分物源。

金、铅锌各自独立、分层矿化、相互共生的时空关系初步形成。

B. 印支晚期——燕山期构造热液成矿期：

金含矿建造发育剪切变形，沿其构造空间深部上升的为变质/岩浆加热的沉积建造水，与上部下渗的大气降水在运移过程中，渗滤、萃取含矿建造中的成矿物质形成矿流体，在剪切带韧——脆性变形域混合：稀释降温、及铅锌贱金属硫化物的晶出消耗大量还原硫，导致金的硫化物络合物失稳，在剪切裂隙或边缘随硅质晶出而沉淀，独立金的工业矿体就位；铅锌含矿层因属能干性层、褶皱、断裂变形为主，层间成矿物质交代、重溶、近距离迁移富集为特征。伴随铅锌的改造富集，硅岩含矿层中的 Au、Ag、S、Sb、Hg、Ni 亦发生逐步富集作用，并在改造作用晚期，上于改造热液（被变质/岩浆加热的层间水及大气水）进入构造空间，压力、温度降低，大部分贱金属硫化物的沉淀对还原硫的消耗、大气降水沿裂隙加入引起的稀释、氧化等，使还原硫浓度进一步降低，Au、Ag、S、Sb、Hg 及 Ni 的硫化物络合物失稳，沉淀形成独立矿物，在晚期沉淀的方铅矿中呈机

械混入物。铅锌工业矿体形成。

铅锌、金相互伴生的共生关系形成，使金、铅锌相互分层矿化、各自独立的共生关系最终定型。

综上所述：西成地区铅锌、金矿具“你中有我，我中含你”，独立出现、分层矿化的共生关系及空间上复合成带的分布规律，其形成演化的主要因素可概况如上：

① 形成于大陆边缘的拉张断陷盆地内部局限洼地沉积环境，是两类矿床形成时空共生关系、分布规律的前提和基础。

②局限洼地沉积环境，持续拉张断陷背景形成的特殊建造：碳酸盐岩—硅质热水沉积岩—细碎屑岩建立，是形成两类矿床时空共生关系的物质基础。

③沉积期后变质、构造热液作用是形成两类矿床时空共生关系的外在动力。

④金和铅锌地球化学行为的差异及成矿流体性质、成矿物化条件是两类矿床时空共生关系形成的内在动力。

结 论

通过对西秦岭西成盆地西部邓家山—小沟里研究区铅锌、金矿床系列及其时空分布规律研究,取得了如下认识和成果:

1: 通过学习前人对秦岭造山带基础地质研究的成果,进一步分析了西成盆地形成与发育的断陷构造盆地性质的机制。即西秦岭西成盆地断陷盆地性质是本地区大地构造演化过程中多种控制条件综合制约的结果,首先盆地作为扬子被动大陆边缘一侧,在显生宙现代板块体制活动期,曾作为南秦岭相对独立地块的部分向北部华北大陆俯冲会聚。由于南秦岭地块内不同部位俯冲运动速率的差异,以及前陆对接产生的巨大反弹动力,导致沿吴家山—佛坪—小磨岭基底呈东西向带状隆升,造成古隆起南北两侧相处于局限拉张构造环境,是西成断陷盆地形成重要原因。另一方面,来自西部古特提斯裂谷带北部分支构造活动的叠加复合,加剧了西秦岭上古生代盆地伸展与拉张的构造背景。研究区铅锌矿床和金矿的产出与分布统一在该构造背景下的同一海盆,构建了两类矿床共生与规律分布的地质基础。

2: 论文在对研究区铅锌矿床、金矿床容矿与含矿岩系岩石学、岩相地层研究基础上,在确认本区存在东西向带状展布的生物礁带的前提下,较详细恢复了安家岔—页水河研究区域范围的岩相古地理环境。两类矿床容矿与含矿岩系总体上是在浅海陆棚—台地环境下,由于拉张与断陷构造引发海底地堑、地垒式构造活动。水下生物礁建隆是在地垒构造基础上发育起来的,礁带南北边缘局限洼地是地堑构造的表现,两者边界往往是同生断裂构造,与海底深处热液柱沟通,使盆地沉积期就发育来自较深部成矿物质的初始富集,以热水沉积岩和含大量火山碎屑物的细碎屑岩产物发育在半封闭局限洼地环境中,奠定了两类矿床形成的物质基础。

3: 研究区热水沉积—改造铅锌矿床前人研究较为成熟,观点趋于一致。论文在接受上述成果的基础上重点开展了小沟里—三羊坝、安家岔金矿床的典型矿床解剖性研究。首次提出小沟里、安家岔浸染状金矿床是一类与美国经典卡林金矿存在明显差异的金矿类型(产出地质构造背景、控矿因素、成矿元素组合、金的赋存状态等),然而它们在矿床地质特征的许多方面(容矿与含矿岩系、矿石组构、中—低温后生热液矿床特征等)表现相似性,本研究将其称为似卡林型。南秦岭区以产出以沉积岩容矿的卡林型—似卡林型金矿床和热水沉积铅锌矿床为特色,而且在西秦岭或东秦岭区往往出现似卡林型金矿床与热水沉积—改造型铅锌矿床的共生组合成矿系列。

4: 以邓家山和小沟里—三阳坝为代表的两类典型矿床的地质地球化学研究

认为,两者均为沉积-改造成因的矿床类型。同生沉积初始成矿作用时期,即断陷盆地发生发展时期,两类矿床容矿与含矿岩系在同一沉积岩相环境中构成“上下分层”关系,在各自的含矿岩系内成矿元素组合形成“你中有我,我中含你”的元素地球化学复合特征。后生改造工业富集成矿作用时期,也即盆山转化与陆内逆冲推覆与走滑断裂构造活动时期,两类矿床在初始富集体的基础上,经浅变质作用、构造-岩浆活动的叠加改造作用下,由于铅锌与金成矿元素地球化学性质、元素迁移形式与行为以及矿床定位空间与时间的差别,导致两类矿床的最终形成并显示出“共生、伴生”、“分带复合”与“独立出现”为特征的共生系列和时空分布规律。

5 该论文选题通过对研究区金矿床、铅锌矿床成矿系列及其时空分布规律研究,结合本区容矿岩系岩相古地理的恢复,地质作用叠加改造格局,首次在研究区划分出三条金-铅锌矿床成矿复合带,即北部见千山-安家岔成矿复合带、中部尖崖沟-小沟里成矿复合带、南部邓家山-三华咀成矿复合带。对于本区成矿规律和找矿方向研究具有重要参考意义。

6: 综上,通过研究区成矿地质背景分析,含矿建造岩石学及其区域分布的研究及金、铅锌典型矿床地质地球化学、成矿作用演化、矿床成因的深入研究,矿床成矿系列及其时空分布规律的综合分析认为:本区成矿作用的发生与演化,矿床的产出与形成矿系列的时空分布规律,完全受秦岭造山带形成演化的大环境所制约和控制,与华北和扬子两个大陆的俯冲碰撞造山作用存在密切的藕合关系。以沉积岩容矿的卡林型-似卡林型金矿床和热水沉积改造型铅锌多金属矿床成矿系列构成秦岭大陆造山带成矿作用的特色和重要组成。

致 谢

本论文是在指导教师张复新教授的悉心指导下完成的。三年来, 指导教师在学习和生活上都给了我莫大的关怀和帮助, 尤其是张老师严谨治学态度、开阔的研究思路和求实创新的学者风范使我收益终生。

感谢西北大学地质系张国伟院士、任继舜院士、高山教授、李文厚教授、柳益群教授、赫英教授、周鼎武教授、及陈苓副教授、赖绍聪副教授、王居里副教授、张成立副教授、程顺有副教授等在大地构造、岩石学、矿床学、地球化学等方面的学术报告和指导。

感谢甘肃有色地质勘查局地质处为论文提供了经费。甘肃有色地质勘查局高兆奎总工、杨云松处长在该论文的选题上给予的支持和帮助。甘肃有色地质勘查局及所属 106 队资料室提供了大量资料, 使本文能顺利完成。

感谢刘方杰硕士、任文清硕士、汪军谊硕士、高明硕士、王瑞廷博士等在论文阶段与作者所进行的交流和讨论; 尤其要感谢程彧硕士, 与作者共同完成了本论文的野外及室内科研工作。

感谢甘肃有色地质勘查局 106 队宋史刚高级工程师、张世新高级工程师的鼓励和支持; 吕引学教授级高工、朱多禄高工、程绍炎高工、尹万玉工程师、邓海军工程师等在野外地质工作中对本文的支持和帮助。

感谢作者的妻子窦继忠女士三年来巨大的付出和勉励, 使作者得以顺利完成学业! 对她为我付出的焦心深表歉意。

宜昌地质矿产研究所测试室和西安地质矿产研究所电子探针室、磨片室对本文样品作了及时、准确的加工、测试; 郭旗女士清绘了本文的全部图件, 在此一并表示感谢!

感谢甘肃有色地质勘查局天水总队韩要权总工、金安祥科长对本科题的大力支持。

参考文献

1. 张国伟, 郭安林, 刘福田, 等. 秦岭造山带三维结构及其动力学分析. 中国科学 (D 辑), 1996, 26 (增刊).
2. 张国伟, 孟庆任, 余在平, 等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征. 中国科学 (D 辑), 1996.3
3. 翟裕生. 论成矿系统. 矿床地质. 1993.347.
4. 翟裕生, 等. 大型构造与超大型矿床, 北京: 地质出版社, 1997
5. 翟裕生, 等. 区域成矿学, 北京: 地质出版社, 1999
6. 赵振华, 微量元素地球化学
7. 涂光炽, 低温地球化学, 北京: 科学出版社, 1998
8. 涂光炽, 中国超大型矿床 (1), 北京: 科学出版社, 2000
9. 涂光炽, 等. 中国层控矿床地球化学. 北京: 科学出版社.
10. 张复新, 魏宽仪, 等, 南秦岭微细浸染型金矿地质与找矿, 西安: 西北大学出版社, 1997.
11. 薛春纪, 秦岭泥盆纪热水沉积, 西安: 西安地图出版社, 1997.
12. 霍福臣, 西秦岭造山带的建造与地质演化, 西安: 西北大学出版社, 1992
13. 韦永福, 吕英杰, 中国金矿床, 北京: 地震出版社, 1994
14. 季可俭, 等. 热液矿床的矿源水源和热源及矿床分布规律. 北京: 科学出版社, 1989
15. 张贻侠, 寸圭, 刘连登等, 中国金矿床: 进展与思考, 北京: 地质出版社, 1996
16. 李昌年, 火成岩微量元素岩石学, 武汉: 中国地质大学出版社, 1992
17. 卢焕章. 成矿流体. 北京: 科学技术出版社, 1997
18. 牟保磊, 元素地球化学, 北京, 北京大学出版社, 1999.
19. 祁思敬, 等, 秦岭泥盆系铅锌矿带, 北京, 地质出版社, 1993.
20. 王集磊, 何伯墀, 李建中等. 中国秦岭型铅锌矿床. 北京: 地质出版社, 1996.1
21. 王平安, 陈毓川, 裴荣富等. 秦岭造山带区域矿床成矿系列、构造——成矿旋回与演化. 北京: 地质出版社, 1998.
22. 刘东升, 中国卡林型金矿, 南京: 南京大学出版社, 1994
23. 肖龙, 汇聚板块边缘的金矿成矿作用, 地质科技情报. 2000.19 (1): 46—50
24. 赖绍聪, 钟建华, 聚敛型板块边缘岩浆作用及相关盆地, 地学前缘, 1998, 5 (增刊)
25. 邓军, 等, 成矿流体运动系统与金质来源和富集机制探讨, 地质科技情报. 2000.19 (1): 41—45.
26. 趁柏林, 糜棱岩型金矿金元素丰度与构造变形的关系, 矿床地质, 2000.19 (1): 17—25.
27. 宫同伦, 论动力热液成矿作用, 西安地质学院学报. 1989.11 (4): 40—46.
28. 陈衍景. 影响碰撞造山带成岩成矿模式的因素及其机制. 地学前缘, 1998.8
29. 张德会. 矿物包裹体液相成分特性及其矿床成因意义. 地球科学, 1992.11
30. 张德会. 成矿流体中金的沉淀机理研究评述. 矿物岩石, 1997.12
31. 张复新, 宗静婷, 马建秦. 秦岭卡林型金矿床及相关问题探讨. 矿床地质, 1998.2

32. 张复新, 陈衍景, 李超等, 金龙山—丘岭地区金矿床地质地球化学特征及成因: 秦岭式卡林型金矿成矿动力学机制, 中国科学, 2000.D 辑 (增刊): 73—81。
33. 张复新, 南秦岭热水沉积铅锌矿与浸染型金矿的共生关系及其成矿特点, 矿床地质, 1998.17: 361—364。
34. 张复新, 秦岭浸染型金矿与热水沉积铅锌矿地球化学特征及其富集关系, 西北地质, 1996.17 (2): 13—17。
35. 张复新, 马建秦, 陈衍景, 秦岭卡林型金矿床金、砷地球化学探讨, 地球化学.1999.28 (5): 453—463。
36. 张复新, 秦岭泥盆系卡林型金矿床载金矿物研究, 矿物学报.1998.18 (2)。
37. 汪东波, 沉积喷流作用与金矿化的关系, 地质与勘探.1999.35 (1): 1—5。
38. 汪东波, 等。金与铅锌的关系, 矿床地质.1998.17 (增刊)。
39. 汪东波, 等, 金与铅锌矿化的时空关系与应用, 矿床地质.2001.20. (1): 78—84。
40. 邵世才, 汪东波, 中秦岭主要类型金矿的年代极其地球化学意义, 地质学报.2001.75 (1): 106—110。
41. 张旺定, 龙小平, 张复新, 南秦岭地块构造背景与金矿类型, 西北地质科学.2000.21 (2): 28—36。
42. 马国良, 祁思敬, 李英, 等, 厂坝铅锌矿床中纳长岩的成因探讨, 地质地球化学.1998.26 (2): 29—33。
43. 张传林, 杨志华, 等, 甘肃西和—成县地区区域构造演化, 中国区域地质.1998.17 (2): 208—212。
44. 蔡雄飞, 肖劲东, 等, 对甘肃西成地区厂坝含矿层的再认识, 西北地质.1991.12 (4): 9—13。
45. 杨军禄, 冯益民, 西秦岭吴家山隆起的隆升过程及时代, 西北地质.1999.34 (4): 1—4。
46. 孙省利, 等, 西成铅锌成矿带泥盆系硅质岩地质地球化学特征, 西北地质.2000.33 (2): 1—7。
47. 吴烈善, 等, 甘肃西成地区层状花岗质岩脉地质地球化学特征及其与金矿关系, 矿床地质.1997.11 (5): 303—308。
48. 李实, 关于西成地区吴家山背斜及组成地层的认识, 甘肃有色地质信息.2000.7 (内刊): 3—4。
49. 曾章仁, 刘廷朝, 魏宽义, 邓家山铅锌矿床地质特征及成因, 秦岭热水沉积型铅锌 (铜) 矿床。北京: 地质出版社
50. 王玲之, 邓家山铅锌矿床黝铜矿的特征及其地质意义, 地质与勘探.1989 (4): 22—25。
51. 王玲之, 甘肃邓家山铅锌矿床矿化期、矿化阶段的划分及其地质意义, 矿产与地质.1989.3 (1): 42—48。
52. 许凤仪, 邓家山铅锌矿床矿物成分及矿床成因探讨, 兰州大学学报 (自然科学版).1989.25 (3): 133—142。
53. 奚小双, 等, 甘肃西成地区金矿控矿构造研究, 甘肃有色地勘局科研报告, 2000 (内部)。
54. 李万华, 等, 安家岔矿床地质特征, 核工业部 217 科研报告。1995 (内部)。

55. 韦龙明, 卢汉堤, 甘肃西成地区金矿成矿条件及成矿预测, 桂林有色地质研究院科研报告, 1995 (内部)。
56. 钟建华, 张国伟, 陕西凤县八卦庙特大型金矿的成因研究, 地质学报.1997.71 (2): 150—159。
57. 朱赖民, 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, 地质科学.1998, (3): 466—469。
58. 高怀忠, 等, 北塔山金矿床成矿流体成因及金沉淀机制探讨, 矿床地质.1999.18 (3): 226—234。
59. 包志伟, 等, 东坪金矿床成矿过程中稀土元素活动性, 地球化学.1998.27 (1): 81—89。
60. 郑明华, 顾雪峰, 等, 四川东北寨微细浸染型金矿成矿物理化学条件和成矿过程分析, 矿床地质.1999.9 (2): 129—140。
61. 张正伟, 等, 河南伏牛山进矿床成矿流体性质及找矿意义, 地质科学.1998.33 (4): 475—482。
62. 王居里, 等, 新疆胜利达板金矿区韧性剪切带与金矿关系, 西北地质科学.1994.15 (2): 20—26。
63. 王莉娟, 华北地台北缘及北邻地区铜、铅、锌、锡矿床流体包裹体研究, 矿床地质.1998.17 (3): 256—263。
64. A.W.Hofmann. mantle geochemistry:the message from oceanic volcanism. Review article
65. Romber S,B. Ore deposits,disseminated gold deposits. Geoscience canada,1986,13(1)
66. Poul Emsbo,Richard W.Hutchinson,et al. Syngenetic Au on theCarlin trend:Implication for Carlin-type deposits Geology,1999,27(1): 59—62。
67. Grigore simon,stephen E.Kesler et al.Geochemistry and textures of gold-bearing Arsenian pyrite,Twin Creeks,Nevada:Implications for deposition of gold in Carlin-type Deposits.Econ.Geol.1999(94):405—422。
68. Radtke A Set al.geology and stable isotope studies of theCarlin gold deposit. Nevada.Econ.Geol.,1980,75:644—672。
69. Nesbitt B E.gold deposit continuum.A genetic model for lode Au mineralization in the continental crust.Geology,1988,16(11):1044—1048。
70. Sillitoe N h,Bonham H F Jr,sediment—hosted gold deposits:distal products of magmatic—hydrothermal systems,Geology,1990,18(1):157—161。
71. J.J.Wilkinson,A>J>Boyle,et al.Gold remobilization by thecurraghinalt golddeposit,Northern Zerland.Econ.Geol.1999(94):289—296。
72. Carl A.Kuehn,et al.Carlin gold deposits,Navada:Origin in a deep zone of mixing betw normally pressured and overpressured fluids. Econ.Geol.1995(90):17—36。

图版说明

图版 I

- a: 绿泥钙质千枚岩中膝折带构造。严家河一小沟里剖面（向东摄）。
- b: 灰岩中发育的推覆褶皱。严家河一小沟里剖面（向南摄）。
- c: 绢云钙质千枚岩中缓倾层理和陡倾劈理。严家河一小沟里剖面（向南摄）。

图版 II

- a: 1[#]下盘钙质千枚岩中发育的陡倾层间劈理（笔杆示劈理）。小沟里偏沟沟口（向西南摄）。
- b: 绢云钙质千枚岩中发育的层间劈理（记号笔示层理，铅笔示劈理）。小沟里铜家沟口（向南摄）。
- c: 1[#]下盘薄层灰岩中发育的劈理。小沟里偏沟沟（向北摄）。

图版 III

- a: 灰黑色钙质千枚岩中黄铁矿草莓（群）呈细脉条带。薄片，单偏光，20×15。小沟里。
- b: 灰黑色钙质千枚岩中黄铁矿草莓群。薄片，正交偏光，20×15。小沟里。
- c: 绢云钙质千枚岩中黄铁矿草莓、变晶。薄片，单偏光，20×15。小沟里。
- d: 铁白云石石英钠长岩中黄铁矿草莓群。薄片，单偏光，6.3×15。小沟里。
- e: 37[#]石英脉边缘蚀变围岩中的黄铁矿草莓。薄片，单偏光，20×15。小沟里。
- f: 灰黑色钙质千枚岩中黄铁矿莓球。薄片，扫描电镜。小沟里。

图版 IV

- a: 灰黑色钙质千枚岩中面理置换（黄铁矿草莓群沿 S_0 分布）。薄片，单偏光，6.3×15。小沟里。
- b: 绢云钙质千枚岩中沿片理发育的砂质眼球体。薄片，单偏光，6.3×15。小沟里。
- c: 花岗斑岩脉中黄铁矿压力影构造。薄片，正交光，6.3×15。小沟里。
- d: 绢云钙质千枚岩中沿片理发育的香肠状透镜体。薄片，单偏光，6.3×15。小沟里。
- e: 钙质千枚岩中铁白云石被剪切成斜列透镜体。薄片，单偏光，6.3×15。小沟里。
- f: 斑点千枚岩中剪切片理饶过变斑晶。薄片，单偏光，6.3×15。小沟里。

图版 V

- a: 绢云钙质千枚岩中片理切穿浑圆状碳酸盐岩斑点。薄片，单偏光，6.3×15。小沟里。
- b: 斑点钙质千枚岩中片理切穿绿泥石、碳酸岩斑点。薄片，单偏光，6.3×15。小沟里。
- c: 铁白云石石英钠长岩中铁白云质（深色）和钠长质（浅色）成韵律层。光片，单偏光，6.3×15。小沟里。
- d: 绢云钙质千枚岩中钙、泥质韵律层。光片，单偏光，6.3×15。小沟里。
- e: 正长花岗斑岩脉中八方柱状石英，示超浅成。光片，单偏光，6.3×15。小沟里。
- f: 砂质千枚岩中骨刺状石英。正交偏光。6.3×15。剡家河。

图版 VI

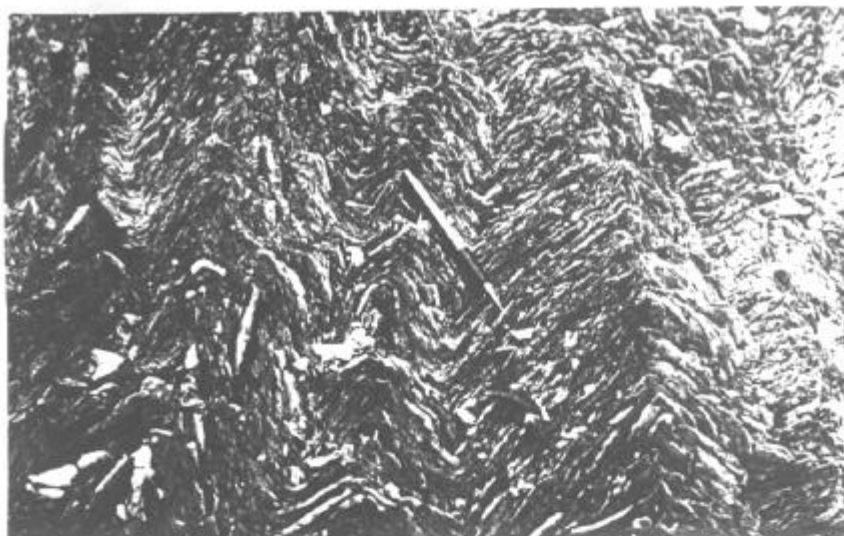
- a: 砂质千枚岩中棒槌状、熔蚀港湾状石英。正交偏光。6.3×15。剡家河。
- b: 砂质千枚岩中水钩状石英。正交偏光。6.3×15。剡家河。
- c: 砂质千枚岩中骨刺状、元宝状石英。正交偏光。6.3×15。剡家河。

- d: 花岗斑岩脉中铁碳酸岩假象（菱形）变晶黄铁矿。薄片，正交光， 6.3×15 。小沟里。
- e: 铁白云石石英钠长岩中筛眼状变晶黄铁矿。单偏片，正交光， 10×15 。小沟里。
- f: 灰黑色钙质千枚岩 S_0 发育的黄铁矿草莓群中变晶黄铁矿。薄片，正交偏光， 6.3×15 。小沟里。

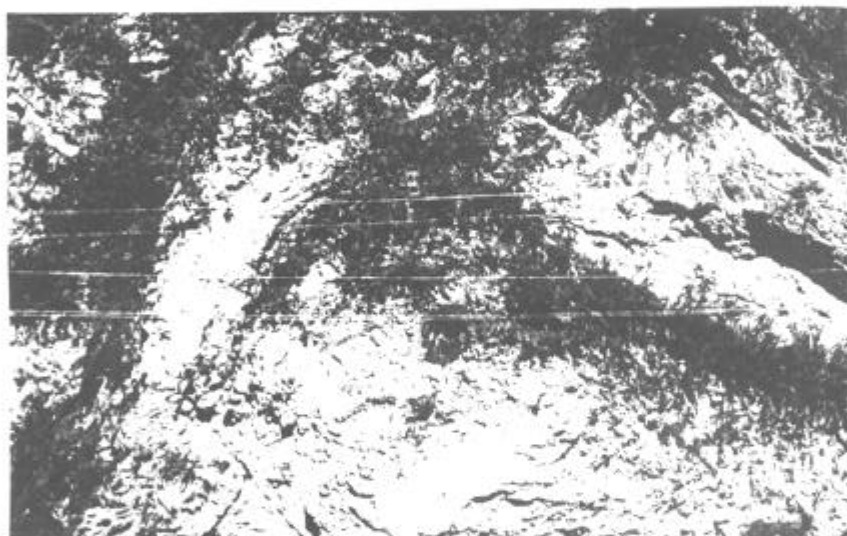
图版 VII

- a: 铁白云石石英钠长岩中早期浸染状黄铁矿。光片，单光， 10×25 。小沟里。
- b: 灰黑色钙质千枚岩中黄铁矿草莓群、变斑晶。光片，单偏光， 20×15 。小沟里。
- c: 37[#]矿石，包容结构：毒砂包裹磁黄铁矿。光片，单偏光， 20×25 。小沟里。
- d: 22[#]矿石共结结构：黄铁矿、毒砂、黄铜矿、磁黄铁矿呈共结。光片，单偏光， 20×15 。小沟里。
- e: 37[#]矿石，黄铁矿中黄铜矿、自然金呈包容结构。光片，单偏光， 20×25 。小沟里。
- f: 37[#]矿石，自然金。光片，扫描电镜。小沟里。

图版 I



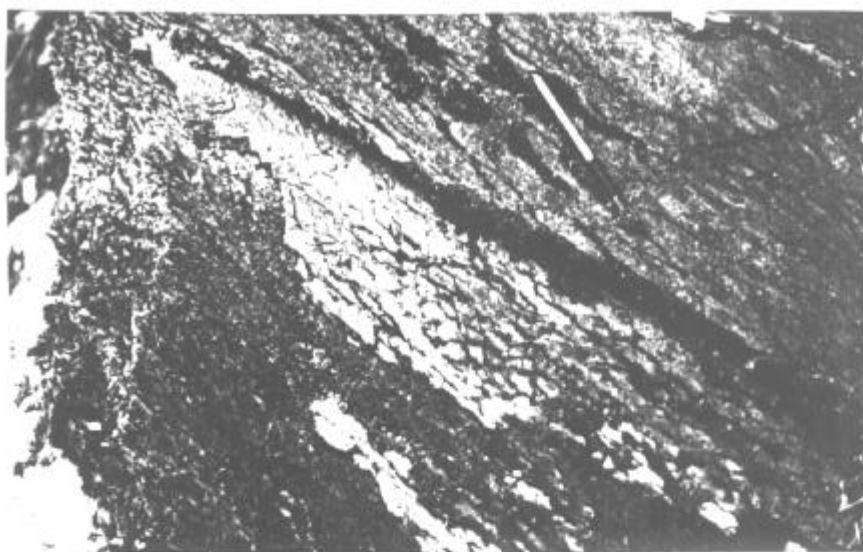
a



b



c



a

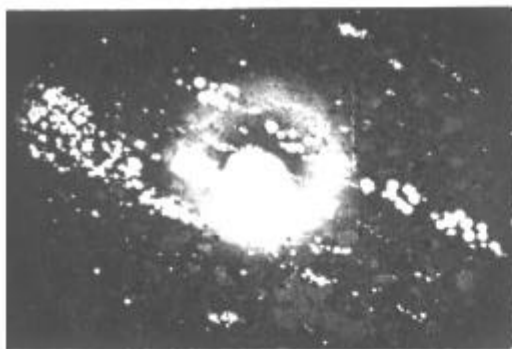


b

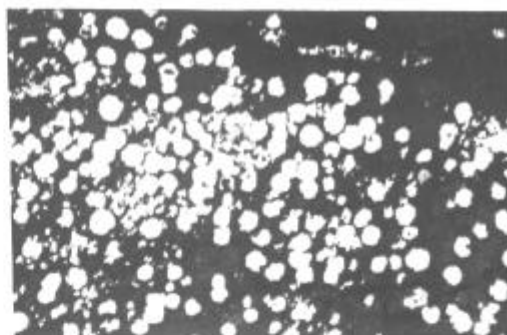


c

图版Ⅱ



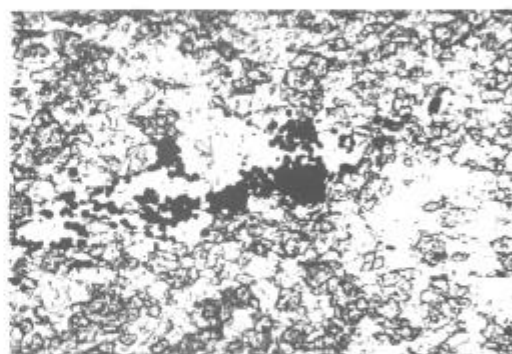
a



b



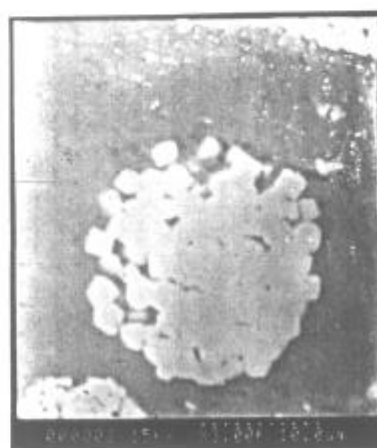
c



d

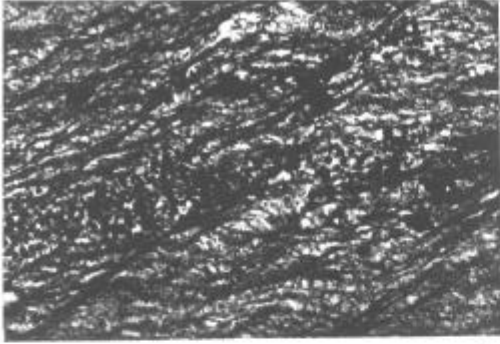


e



f

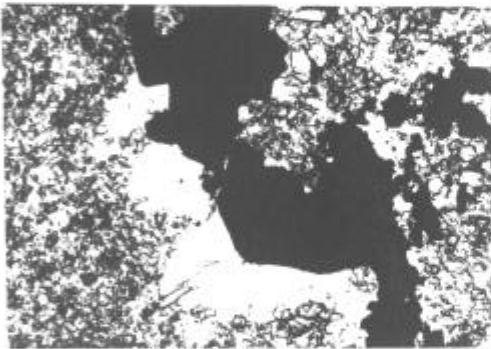
图版 IV



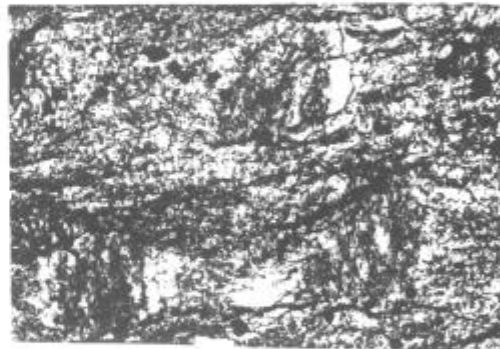
a



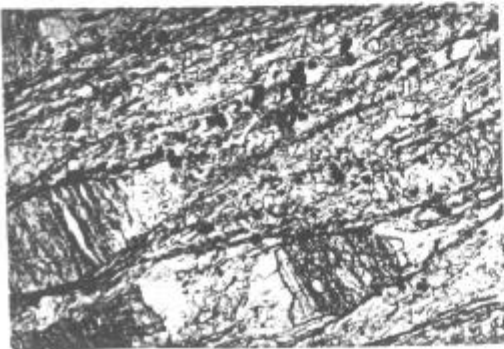
b



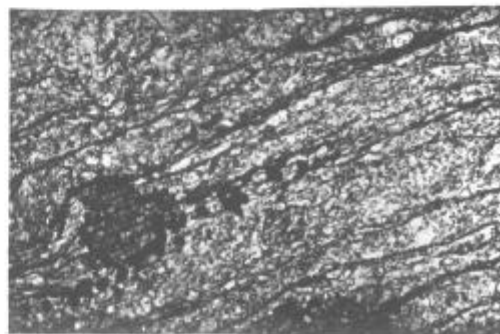
c



d

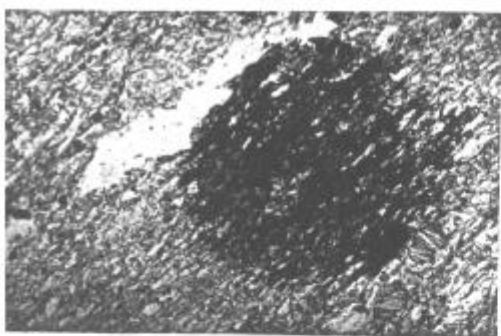


e

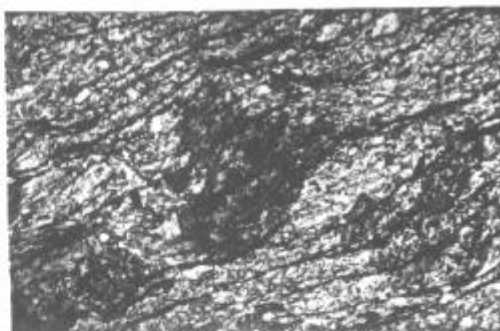


f

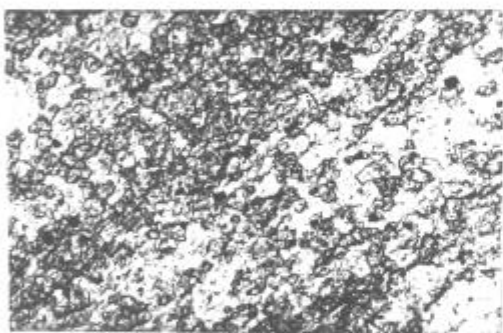
图版 V



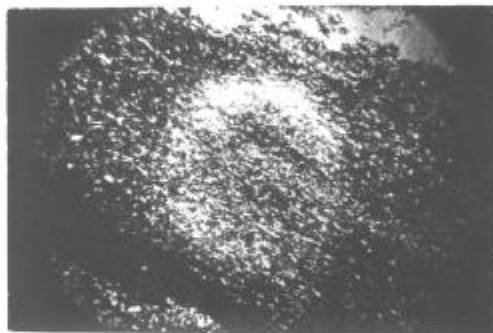
a



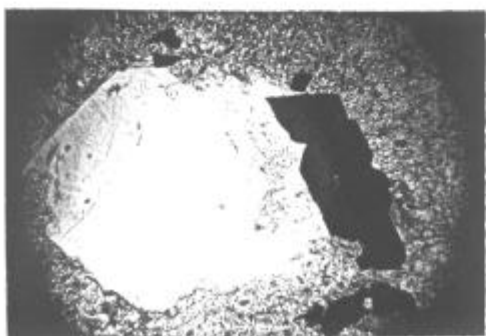
b



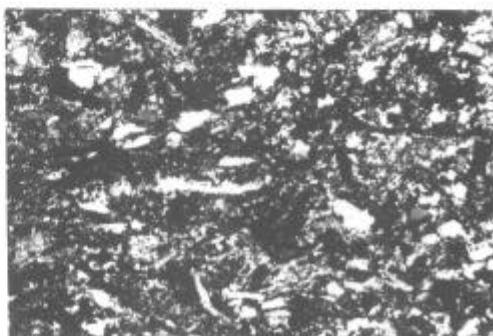
c



d

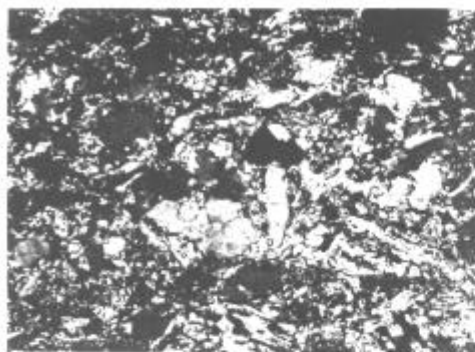


e

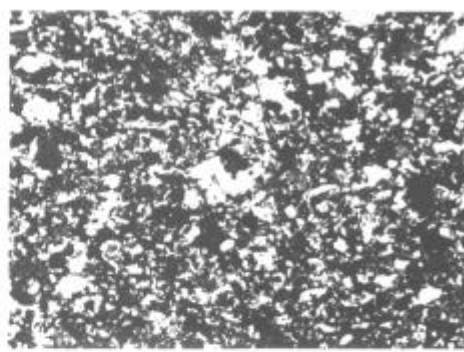


f

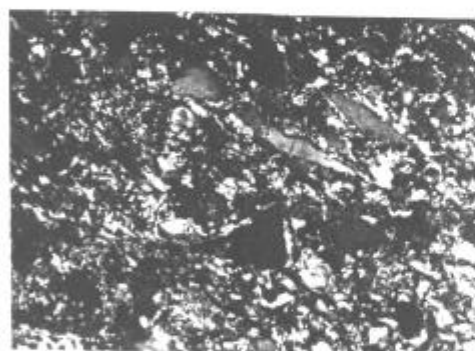
图版 VI



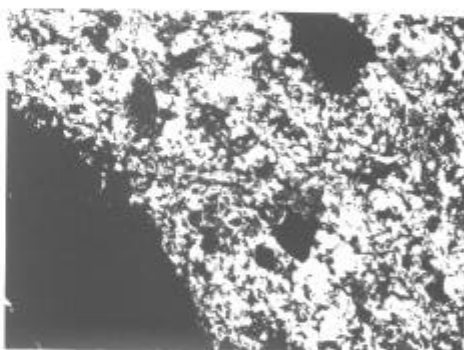
a



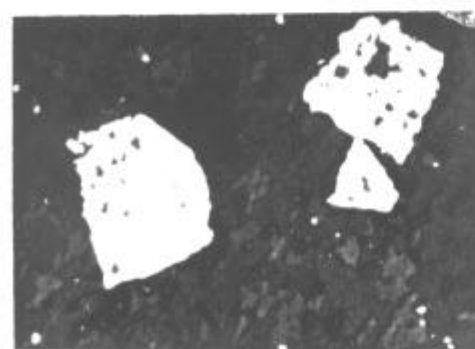
b



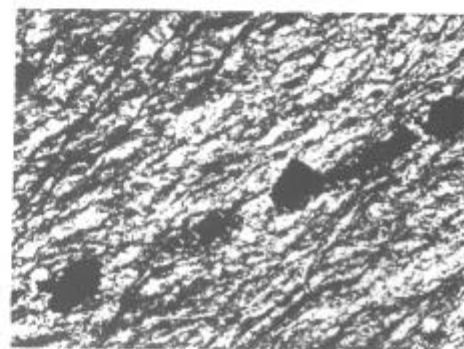
c



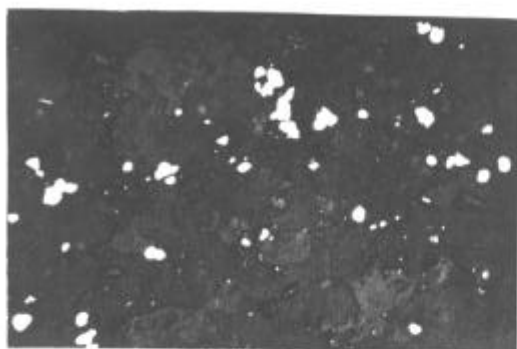
d



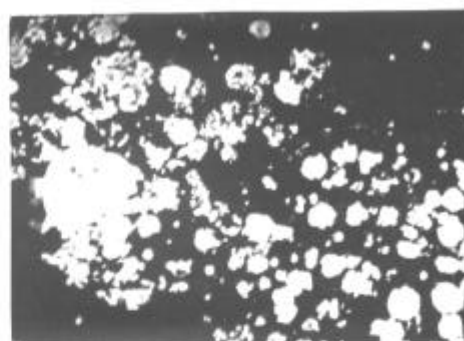
e



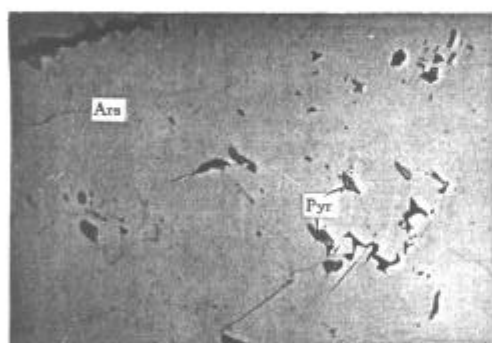
f



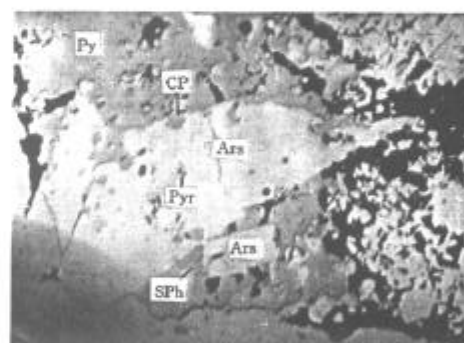
a



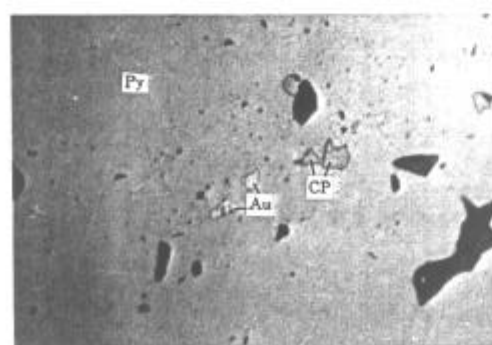
b



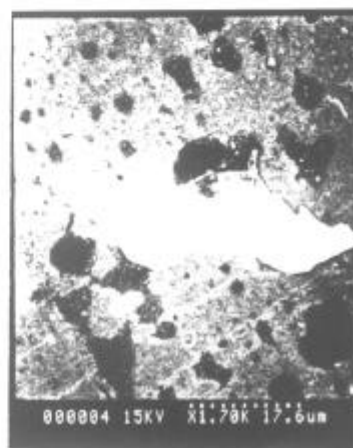
c



d



e



f