

# 镇旬矿田泥盆系和志留系铅锌矿的 成矿地质条件分析

齐 文<sup>1,2</sup> 侯满堂<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2. 陕西省地质调查院, 陕西 西安 710054)

**摘要:**对镇(安)旬(阳)矿田泥盆系、志留系铅锌矿的成矿地质条件分析表明, 本区泥盆系、志留系铅锌矿总体属层控矿床类型。铅锌矿赋存于下志留统梅子垭组、中志留统双河镇组及中泥盆统大枫沟组、上泥盆统南羊山组; 控矿构造为断裂、褶皱, 容矿构造为顺层断裂带、剪切带, 含矿岩石为含碳砂岩、千枚岩及灰岩、生物灰岩、白云岩; 沉积环境为浅水陆棚相、台地边缘及泻湖、潮坪、台地浅海。以旬阳泗人沟为代表的志留系铅锌矿属细碎屑岩沉积强改造型铅锌矿床; 以旬阳大岭、赵家庄为代表的泥盆系铅锌矿属碳酸盐岩沉积弱改造型铅锌矿床; 以镇安锡铜沟、月西为代表的泥盆系铅锌矿属碳酸盐岩沉积强改造型铅锌矿床。

**关键词:**镇旬; 泥盆系; 志留系; 铅锌矿; 成矿地质条件; 矿床类型

**中图分类号:** P168.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2005)03-0452-11

镇(安)旬(阳)沉积盆地中分布着丰富的金、铅、锌、汞、锑等矿产资源。以前多注重于沉积盆地泥盆系中铅锌矿的勘查和研究工作, 并积累了丰富的成果资料<sup>[1-3]</sup>。而对其他层位, 特别是志留系中的铅锌矿勘查和研究甚少。陕西省地矿局通过十多年的勘查和研究, 于旬阳—白河一带的志留系中新发现了具有重要意义的大型铅锌矿矿集区<sup>[4]</sup>。笔者首次对区内泥盆系与志留系不同类型的铅锌矿进行了对比研究, 发现二者均属层控铅锌矿床类型, 但也存在着明显的差异。

## 1 成矿地质背景

本区位于南秦岭印支褶皱带留凤关—金鸡岭褶皱东端, 地层区划隶属南秦岭分区留坝—白河小区。寒武系—二叠系均有出露, 北部主要出露泥盆系, 南部主要出露志留系。志留系、泥盆系主要为一套滨浅海相浅变质的细碎屑岩及碳酸盐岩沉积建造。构造线多呈近东西向, 主要有大羊山复向斜、麻坪—旬阳复背斜及麻坪河断裂、冷水河—棕溪断裂构成了区内主体构造格架。区内变质程度为绿片岩相, 岩浆活动弱。区内分布着丰富的金、铅、锌、汞、锑等矿产资源(图 1)。以南羊山断裂为界, 镇安锡铜沟—月西一带分布着锡铜沟、月西、水田沟、关坪河铅锌矿床(点)、月西硫铁矿床等以铅锌为主的铅、锌、铜、硫铁矿产地多处; 旬阳北部分布有著名的

公馆、青铜沟汞锑矿床和惠家沟、小河金矿床, 形成了小河—双河汞、锑、金矿带。南羊山断裂以南, 分布着以铅锌为主的铅、锌、金、铜、锰矿产, 构成了以大岭、赵家庄铅锌矿床为代表的中泥盆统铅锌矿带和以泗人沟、南沙沟、关子沟、黄石板矿床为代表的中、下志留统铅锌矿带。

## 2 铅锌矿化地质特征分析

### 2.1 志留系铅锌矿化地质特征

本区已初步查明旬阳—白河铅锌矿矿集区东西长约 100 km, 南北宽 10~50 km。区内志留系可分为 3 个铅锌矿成矿带。即泗人沟—南沙沟铅锌成矿带、红土坡—韩氏沟铅锌成矿带、大黑山—黄石板铅锌铜成矿带。矿体一般呈脉状、条带状顺层产出, 近平行排列, 有尖灭再现现象, 走向与地层(S<sub>0</sub>+S<sub>1</sub>)走向基本一致。矿体一般长 500~1 000 m, 厚 0.50~2.50 m, 品位 Pb 为 0.50×10<sup>-2</sup>~5.00×10<sup>-2</sup>, Zn 为 2.00×10<sup>-2</sup>~12.00×10<sup>-2</sup>。

区内矿石矿物成分较简单, 主要为闪锌矿、方铅矿, 其次为黄铁矿, 少量为黄铜矿、孔雀石等; 脉石矿物主要为石英, 其次为绢云母、方解石, 少量为白云石、绿泥石、泥质、碳质、绿帘石等。矿石结构主要有他形粒状结构、不等粒结构, 其次有花岗变晶结构、显微花岗磷片变晶结构; 矿石构造主要有微层状构造、浸染状构造, 其次有细脉浸染状构造、平行构

收稿日期: 2004-06-18; 改回日期: 2005-01-16

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(200110200029)资助。

作者简介: 齐文, 男, 1957 年生, 博士生, 教授级高级工程师, 主要从事矿产勘查及研究工作; E-mail: xaqiwen@163.com。

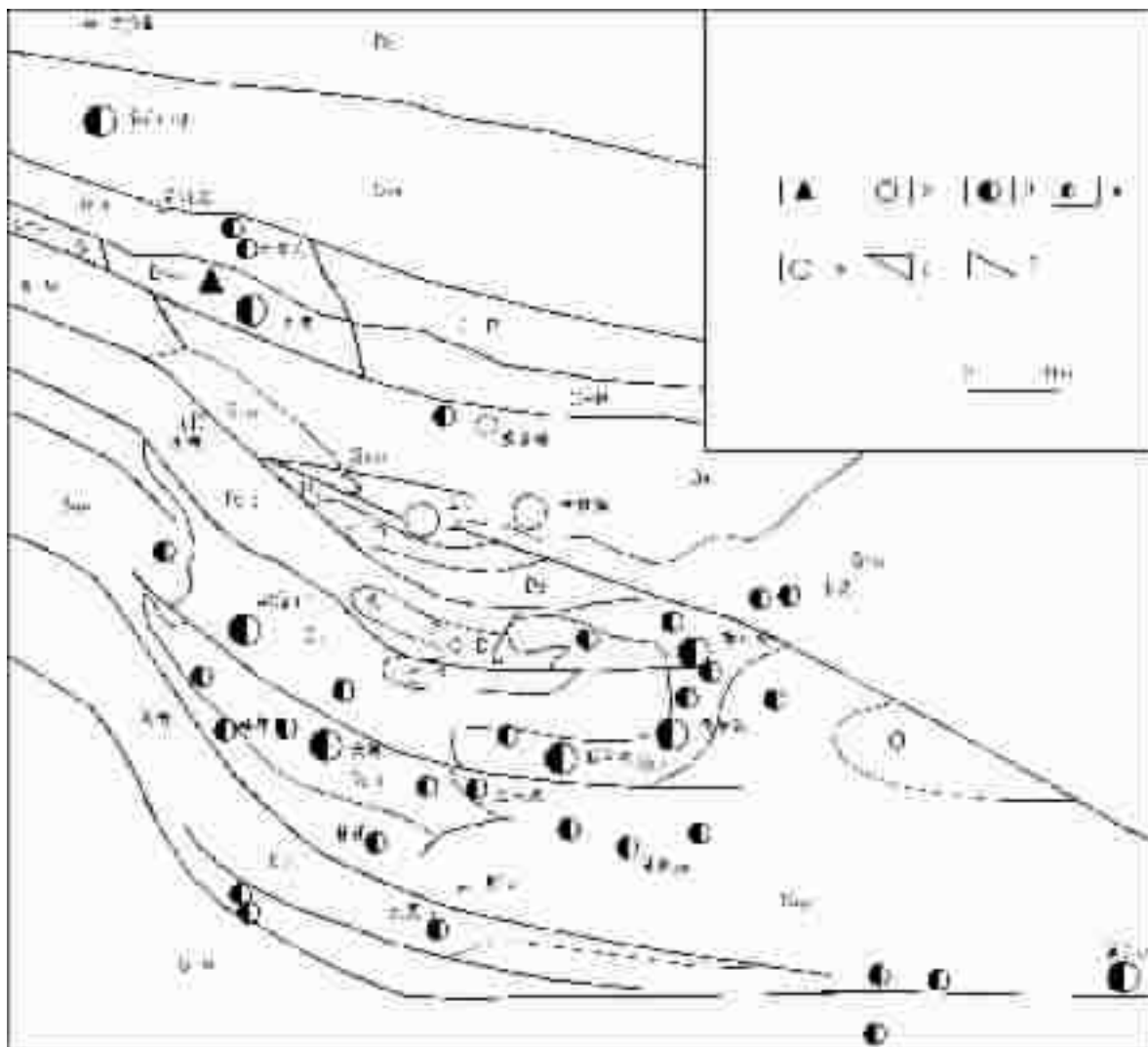


图 1 镇甸地区铅锌矿地质略图

C—P—二叠—石炭系;P—D—二叠—泥盆系;D<sub>3</sub>—上泥盆统;D<sub>2-3</sub>—中、上泥盆统;D<sub>2</sub>—中泥盆统;S<sub>2S</sub>—中志留统双河镇组;S<sub>1m</sub>—下志留统梅子坪组;S—志留系;O—奥陶系;ε—O—寒武—奥陶系;1—硫铁矿床;2—汞锑矿床;3—铅锌矿床;4—铅锌矿点;5—金矿床;6—地层界线;7—断裂

Fig.1 Geological sketch map of lead-zinc deposits in the Zhenxun area

C—P—Carboniferous—Permian;P—D—Permian—Devonian;D<sub>3</sub>—Upper Devonian;D<sub>2-3</sub>—Mid—Upper Devonian;D<sub>2</sub>—Middle Devonian;S<sub>2S</sub>—Middle Silurian Suanghezhen Formation;S<sub>1m</sub>—Lower Silurian Meryazi Formation;S—Silurian;O—Ordovician;ε—O—Cambrian—Ordovician;1—Pyrite deposit; 2—Mercury—antimony deposit;3—Lead—zinc deposit;4—Lead—zinc occurrence;5—Gold deposit;6—Geological boundary;7—Fault

造、千枚状构造、块状构造、脉状构造。矿石有用组分为铅、锌,锌含量大于铅含量;其他微量元素含量低。矿石自然类型以硫化矿石为主,且多为单一闪锌矿型,方铅矿—闪锌矿混合矿石较少。根据矿化特征,矿石组构、矿化与热液脉的关系,初步将区内成矿期划出两个成矿阶段,即沉积阶段和改造阶段。沉积阶段是成矿的初期阶段,已有闪锌矿产出。改造阶段又划分为3期:Ⅰ期石英阶段,以粗大的石英为主,呈白—乳白色,结晶程度较高,富含气液包体,多呈致密块状,无矿化作用;Ⅱ期黄铁矿—闪锌矿阶段,以烟灰色—青灰色糖粒状石

英为标志,呈他形粒状穿插围岩及早期脉石,与方铅矿、闪锌矿组成含石英脉,主要矿物组合及生成顺序为:白云石—石英、黄铁(铜)矿—闪锌矿(方铅矿)—方解石—白云母—石英—闪锌矿—黄铁矿,属区内主要成矿阶段;Ⅲ期碳酸盐化阶段,形成纯净的白云石、方解石脉,穿插交代前期热液脉,有微弱矿化,闪锌矿呈星点状分布于脉石中。

综上所述,志留系铅锌矿赋存于一定的地层层位和构造部位,与一定的岩性和岩相古地理条件也有内在联系。

区内中、下志留统为一套细碎屑岩建造。下志留统梅子

垭组由一套灰—深灰色粉砂质千枚岩、含碳绢云千枚岩夹灰绿色凝灰质变砂岩、细砂岩条带组成,局部见灰黑色薄—厚层状硅质岩、含碳硅质板岩,属一套半封闭局限海盆—次深海陆棚相沉积,是细碎屑岩型铅锌矿最主要的赋矿层位之一。黄石板、江坡、周家沟矿床(点)均产于梅子垭组。中志留统双河镇组主要由灰、暗灰绿色石英粉砂质绢云千枚岩、深灰色中厚层状泥质生物碎屑灰岩等组成,属台地边缘、浅水陆棚相,也是细碎屑岩型铅锌矿最主要的赋矿层位。矿体产于双河镇组的灰绿色绿泥绢云千枚岩中,下盘常为含铁碳酸盐岩、砂岩、菱铁矿灰岩,上盘为绢云母粉砂质千枚岩。泗人沟、火烧沟、关子沟、南沙沟、小水河等铅锌矿床(点)均产于双河镇组。含矿层附近有明显富含有机质、黄铁矿的岩石出现,矿层中普遍出现一些富硅质岩石,并表现有层纹特征。地层剖面中层状硫化物和几种相关岩石组成典型沉积矿床相同的含矿层,矿体与上下岩石之间显现基本连续沉积的特点,并可看出一定的韵律沉积层序特征。基本层序从下至上表现为化学沉积为主含矿层和泥质沉积为主细碎屑沉积的特征。

区内褶皱发育,铅锌矿带沿褶皱两翼的志留系分布。镇甸次级盆地及南羊山、安康同生断裂有明显的控矿作用。有些矿体受层间破碎带、断裂带控制,并与韧性构造变形相关。横向断层一般规模较小,常切穿或切断矿体。

矿体与围岩接触界线清晰,未见明显的蚀变现象。

## 2.2 泥盆系铅锌矿化地质特征

本区泥盆系铅锌矿可分为2个铅锌成矿带,即镇安锡铜沟—月西成矿带和旬阳大岭—赵家庄成矿带。铅锌矿体呈层状、似层状、脉状、透镜状产出,近平行排列,有尖灭再现现象,走向与地层( $S_0$ )走向基本一致。矿体倾向 $0^\circ\sim 35^\circ$ ,倾角 $55^\circ\sim 70^\circ$ 。矿化带长1300~3000m,宽50~500m。矿体一般长200~850m,厚0.50~10.32m,品位Pb为 $0.50\times 10^{-2}\sim 15.00\times 10^{-2}$ ,Zn为 $2.00\times 10^{-2}\sim 15.00\times 10^{-2}$ 。各矿体产出部位有3种情况:一是产于千枚岩接触带处靠近灰岩的一侧,如月西铅锌矿床I、II号矿体;二是产于灰岩中,如月西铅锌矿床III、IV、VI号矿体等;三是产于薄层灰岩与千枚岩的接触处,如月西铅锌矿床VIII号矿体。此外,各矿体与含矿层中顺层展布的多层次含碳生物碎屑灰岩在空间上有着一定关系。矿体形态为似层状或扁平的透镜体,与围岩接触界线清楚。矿体沿走向和倾向常见膨大缩小、分枝复合现象。一些单一的金属硫化物细脉切穿围岩的现象亦能偶然见到,并可见到含矿细脉与围岩发生“同步褶曲”的现象。

矿石中金属矿物主要为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿,次要为黄铜矿、黝铜矿、磁黄铁矿、白铁矿、毒砂等;非金属矿物主要为石英、重晶石、方解石,次要为铁白云石、绢云母、白云石、绿泥石等;次生矿物有孔雀石、蓝铜矿、菱锌矿、铅矾、褐铁矿等。矿石结构主要为细—中粒、自形—半自形—他形粒状结构、草莓状结构。矿石构造主要为浸染状、块状、脉状、条带状、角砾状。矿石有用组分以铅、锌为主,锌含量大于铅含量;伴生银、镉、锗有用组分。银单样分析可达 $209.79\times 10^{-6}$ ,与铅呈正相关关系;矿石中镉的含量高于克拉克值 $n\times 10^3$ 倍,一

般为 $150\times 10^{-6}\sim 200\times 10^{-6}$ ,镉与锌呈正相关关系。矿石自然类型主要为条带状矿石、团块状矿石、角砾状矿石,次为浸染状和细脉状矿石。根据矿物的嵌布、矿石组构、矿体产状等特征,本区铅锌矿可划分为3个成矿阶段:第I成矿阶段,矿物组合为石英、黄铁矿、方解石、闪锌矿;第II成矿阶段,矿物组合为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、毒砂、重晶石、石英;第III成矿阶段,矿物组合为黄铁矿、石英、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黝铜矿<sup>④</sup>。

综合分析,泥盆系铅锌矿赋存于一定的地层层位和构造部位,与一定的岩性和岩相古地理条件也有内在联系。

铅锌矿主要赋矿层位为中、上泥盆统杨岭沟组、石家沟组、大枫沟组和南羊山组。赋矿岩石为礁灰岩、生物碎屑灰岩或微晶灰岩。矿体的直接围岩为细晶灰岩、含碳细晶灰岩、碳质鲕状细晶灰岩、含碳泥质生物细晶灰岩、生物礁灰岩、泥质碎屑岩,围岩中含有有机质和丰富的生物化石。富含有机质和生物化石的碳酸盐岩,与铅锌矿成矿物质的沉积环境相同,可以同生沉积形成矿源层,而碳酸盐岩,特别是生物礁灰岩,不仅化学性质活泼、物性刚脆、易碎,利于矿液运移、交代和聚集,同时本身孔隙发育,在沉积和成岩过程中,亦有利于沉积时期的矿质聚集。泥质碎屑岩,在化学成分上属富硅铝质,在物理性质上透水性差,因此,它不仅具有对含矿热液的阻挡作用,而且可以构成明显的地球化学场差。其一侧为酸性场,另一侧属碱性场。两组岩层接触处正处于两种地球化学场的交合部位,由地下热液所携带的矿质运移至此种环境,由于地球化学场的突然改变,使本来基本处于化学平衡状态的热热水溶液失去平衡,此时,所携带的矿物质有可能被释放而脱离溶液,沉淀下来聚集成矿。

旬阳地区泥盆纪沉积环境<sup>⑥,⑦</sup>总体为碳酸盐局限台地、泻湖—潮坪、障碍壁、洼地。镇安地区泥盆纪沉积环境总体为泻湖、潮坪、台地浅海。由于原始地貌和海岸线形态各处不一,水化学条件有一定差异,在一些地段生物繁茂,生物礁灰岩发育,形成了不同形态的礁堤,构成以礁堤为障壁的半局限还原环境的滞流礁后泻湖沉积环境,这是金属硫化物沉积或成矿有利的特定环境。因此,已知的矿产地中主要矿体均赋存于礁灰岩、生物碎屑灰岩发育的地段。从现有资料可以得出如下的认识:铅锌矿与礁灰岩有明显的正相关关系,礁灰岩发育好,矿体规模大,品位富,说明了礁灰岩相,亦即地理环境,对矿体的赋存部位具有重要的控制作用。成矿沉积环境应为礁后泻湖相还原性沉积环境。中泥盆世晚期,宁陕—镇安东西向宽阔带沉积区沉积有泥质岩、粉砂岩及碳酸盐岩,属浅海陆棚相;旬阳一带及白水江海岛周围的浅水地区沉积物以碳酸盐岩为主,泥质岩为次,属滨海海陆相。晚泥盆世,宁陕—公馆一带,沉积物主要为粉砂岩、泥质岩夹碳酸盐岩,属浅海陆棚相;柞水—山阳地区沉积物以粉砂泥质岩、粉砂岩为主,夹基性火山岩,属浅海陆棚边缘斜坡相;宁陕—旬阳以南地区,沉积物以碳酸盐岩夹泥质岩为主,属浅海海陆相。因此,山(阳)柞(水)旬(阳)断陷盆地有明显的控矿作用。

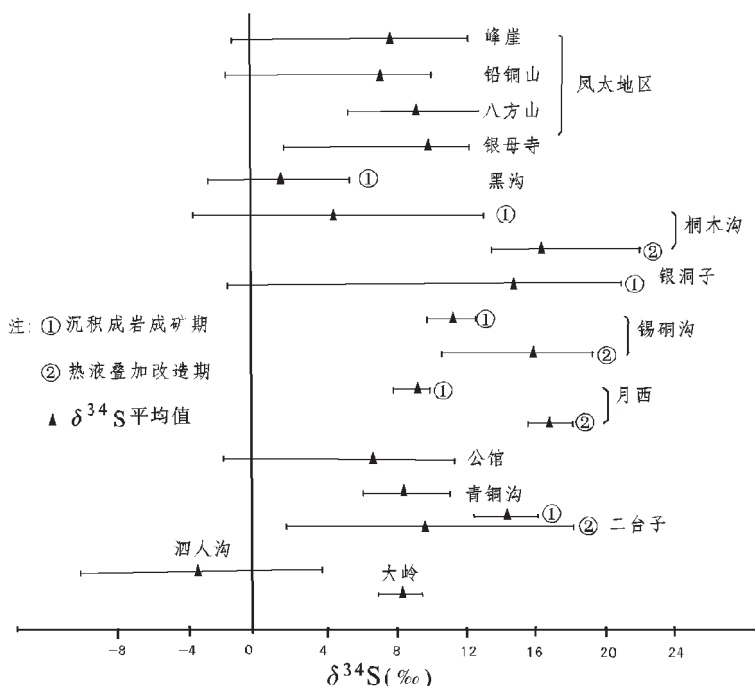


图 2 硫同位素组成

Fig.2 Sulfur isotopic composition

铅锌矿化明显受近东西向、北西西向断裂和地层岩相的控制。东西向构造控制了地层的北西西向展布,同时也控制了成矿带的展布方向,如镇安—板岩镇、南羊山同生断裂等。与成矿直接相关的构造为北西西向构造与北东北向构造隆起复合部位,主要矿体均分布于这一部位构成的短轴背斜中。由于褶皱幅度较大,层间滑动、断层破碎和褶皱转折部位的虚脱空间等,为含矿热液活动及矿质沉淀提供了有利的构造场所。一系列规模较大的区域性北西西向断裂、次级断裂和层间裂隙均较发育,这是本类矿床分布区地质构造的特点。它们为含矿热液运移提供了活动通道和富集场所。尤其是古道岭组与星红铺组的接触面,由于岩性差异大,物化性能不一,在褶皱运动中易形成层间滑动和构造空间,以脆性为特征的碳酸盐岩更易破碎和产生次级裂隙,为含矿热液运移构成了良好的场所。加之覆千枚岩泥质成分高,化学性质稳定,透水性能差,起到“盖层”的作用,因此,后期热液改造富集形成工业矿体主要分布在此构造部位及其邻近。

与矿化关系密切的围岩蚀变主要有重晶石化、硅化、碳酸盐化和黄铁矿化。

### 3 成因分析

#### 3.1 成矿物质来源

##### 3.1.1 金属来源

区内 385 件样品铅锌数据统计表明,下志留统梅子垭组铅平均含量为  $16.67 \times 10^{-6}$ , 锌平均含量为  $208.97 \times 10^{-6}$ , 均高于

区域泥盆系含量和地壳克拉克值。中泥盆统石家沟组铅平均含量为  $11.12 \times 10^{-6} \sim 12.63 \times 10^{-6}$ , 略低于区域泥盆系含量和地壳克拉克值; 锌平均含量为  $66.85 \times 10^{-6} \sim 92.61 \times 10^{-6}$ , 高于区域泥盆系含量和地壳克拉克值。中泥盆统大枫沟组铅平均含量为  $30 \times 10^{-6}$ , 锌平均含量为  $172.67 \times 10^{-6}$ , 均高于区域泥盆系含量和地壳克拉克值。说明成矿物质可能与围岩有关。

##### 3.1.2 硫来源

泗人沟矿床的硫同位素 8 件样品测试结果表明, 矿区  $\delta^{34}\text{S}$  值平均为  $-3.78\text{‰}$ , 变化范围为  $-9.80\text{‰} \sim 3.83\text{‰}$ , 离差为  $13.64\text{‰}$ , 样品贫  $^{34}\text{S}$  而富集  $^{32}\text{S}$ , 接近陨石硫  $\delta^{34}\text{S}$  值, 属于混合型, 类似于大宝山多金属矿 ( $\delta^{34}\text{S}$  值  $-5\text{‰} \sim 7.5\text{‰}$ ) 的  $\delta^{34}\text{S}$  值。这表明, 矿床中的硫大部分是通过海底火山喷发从地壳深部或上地幔带来的。

锡铜沟、月西矿床  $\delta^{34}\text{S}$  值平均为  $16.85\text{‰}$ , 变化范围为  $4.59\text{‰} \sim 24.90\text{‰}$ , 极差为  $20.31\text{‰}$ 。除一件黄铁矿样品外, 所有样品  $\delta^{34}\text{S}$  值大于  $10\text{‰}$ , 绝大部分大于  $15\text{‰}$ , 全部正向偏离陨石硫。 $\delta^{34}\text{S}$  值相对集中于  $15\text{‰} \sim 20\text{‰}$  之间, 富集重硫, 且变化范围仍然大。显示一种复杂多源的特征。相当于或略低于泥盆纪古海水硫酸盐  $\delta^{34}\text{S}$  值 ( $17.00\text{‰} \sim 25.00\text{‰}$ , Holser, 1966), 也与该区近矿围岩中  $\delta^{34}\text{S}$  值  $13.7\text{‰} \sim 19.10\text{‰}$  相近或略高。并且区内含矿地层中均有层状硫酸盐的出现(锡铜沟出现石膏层, 月西和水田沟出现重晶石层), 可以认为矿床中大部分硫的来源是本区同沉积期海水硫酸盐, 但也有一部分矿体中的硫并非与围岩中的硫为同一形成机制。区内少量硫酸盐——

表 1 铅同位素组成  
Table 1 Lead isotope composition

矿 床	样号或样数	矿 物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	H—H B.R.Doe(1974)	资料来源
泗人沟	KW <sub>1</sub>	闪锌矿	17.975	15.570	38.150		文献[4]
	KW <sub>2</sub>	黄铁矿	18.213	15.620	38.471		
	KW <sub>3</sub>	黄铁矿	18.060	15.613	38.390		
	KW <sub>4</sub>	方铅矿	17.198	15.564	37.982		
南沙沟	TW1	闪锌矿	17.790	15.551	37.925	555	本文
	TW2	方铅矿	17.789	15.558	37.941	563	
大岭、赵家庄	1	方铅矿	17.609	15.324	37.877		
梅子堖组	1	全岩	18.574	15.665	39.045		
锡铜沟、月西	18	闪锌矿、黄铁矿、方铅矿	17.313 ~ 18.210 (17.901)	15.432 ~ 15.701 (15.573)	37.639 ~ 38.489 (38.028)	407 ~ 871	文献[8], 括号内为平均值, 下同

注:由西安岩矿测试中心分析。

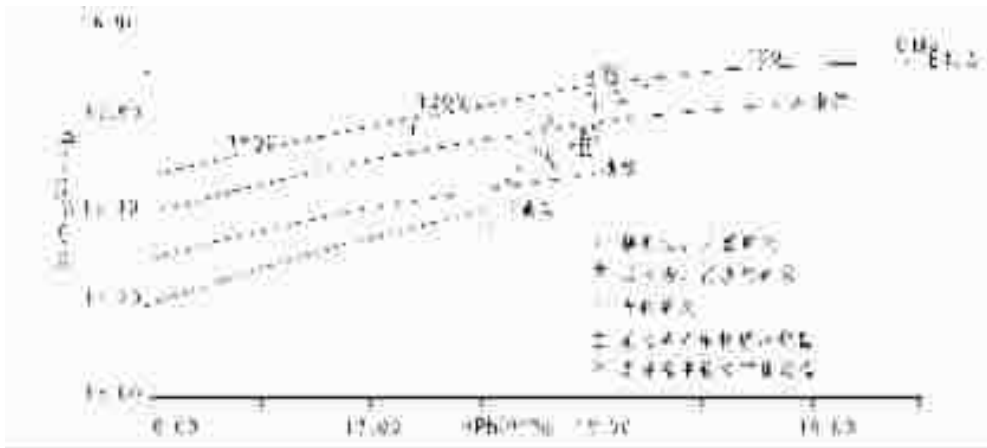


图 3 矿床矿石铅在全球铅构造演化模式图解(据 B.R. Doe 和 R.E.Zartman 1979)

Fig.3 Global plumbotectonic evolution model of ore lead of the deposit (after Doe and Zartman,1979)

重晶石的  $\delta^{34}\text{S}$  值为 33.44‰~36.32‰, 远远高于地层和矿体的  $\delta^{34}\text{S}$  值, 也显示了复杂的来源过程。这表明, 原始硫化物是在海底热卤水池中沉淀出来的, 与现代红海海底热卤水非常相似, 即与中泥盆世海水沿断裂渗入海底基底岩石体系活动有关。

大岭矿床的硫同位素 4 件样品测试结果表明, 矿床  $\delta^{34}\text{S}$  值平均为 8.29‰, 变化范围为 7.04‰~9.50‰, 离差为 2.46‰, 属于次重硫型。与山柞旬盆地中的二台子金矿、公馆、青铜沟汞锑矿床及凤太地区铅硐山、峰崖、八方山、银母寺铅锌矿床等相似。大岭矿床的硫来源更与锡铜沟、月西矿床沉积成岩成矿期的  $\delta^{34}\text{S}$  值接近(图 2)。因此, 矿石中硫最可能来源于附近泥盆纪地层。

### 3.1.3 铅来源

泗人沟、南沙沟矿床 6 件样品(表 1)的  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  平均值为 17.838,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  平均值为 15.579,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  平均值为 38.143, 总体上与土地壳造山带相似(图 3)。南沙沟矿床 2 件

样品的模式年龄为 555 Ma 和 563 Ma, 属前寒武纪时期。

锡铜沟、月西矿床 18 件铅同位素数据表明, 矿石方铅矿的铅同位素相对稳定, 组成比较均匀一致, 变化范围很小(小于 1‰)。 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 17.313‰~18.210‰, 平均 17.901‰;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 15.432‰~15.701‰, 平均 15.573‰;  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为 37.639‰~38.489‰, 平均 38.028‰(表 1)。说明该区铅锌矿床属于铅同位素稳定均匀的类型。铅同位素类型分析是判定铅同位素组成特征, 特别是计算其模式年龄的前提, 因此, 将数据分别投绘于全球铅构造演化模式图中, 绝大多数矿石铅集中于一个非常小的区域中, 此区域又被围限在  $u$  值等于 8.8~9.75 两个增长曲线围限的狭小区域内, 即分布于 300 Ma 和 600 Ma 两等时线区内。这再次表明铅组成的均一性。卡农三角图解显示该区绝大多数铅的位置落在正常单阶段普通铅的月牙形区域内靠近 U 型铅一侧, 只有少数样品落入 U 型铅范围, 说明该区铅可能来自于富 U 贫 Th 区。据 Doe 模式计算的  $u$  值平

表 2 氢、氧同位素组成

Table 2 Hydrogen and oxygen isotopic compositions

矿床	样号	矿物	$dD\text{‰}-\text{SMOW}\text{‰}$	$d^{18}\text{O}\text{‰}-\text{SMOW}\text{‰}$	资料来源
泗人沟	TW1	石英	-81.30	18.79	本文
	TW2		-74.40	18.73	
锡铜沟	Tbs107	石英	-75.50	6.29	文献[8]
	Tbs150		-83.40	14.09	
	5件		-76 ~ -83.4	18.1 ~ 20.6	文献[9]

注:由西安岩矿测试中心分析。

均为 9.48,  $k$  值平均为 3.933,  $\omega$  值平均为 37.560, 也显示正常单阶段演化普通铅的特征。上述讨论已知该区铅属正常单阶段演化铅, 因此采用霍姆斯-豪特曼法计算  $\Phi$  值模式年龄应当切实可行和较为可信。采用  $\Phi$  值年龄及多伊常数计算<sup>[9]</sup>, 18 件样品在 407~576 Ma 之间, 只有 2 件为 677 Ma 和 871 Ma。其中在 500Ma 前的占总数的 75.5%。因此, 认为该区模式年龄绝大部分大于该区含矿地层时代, 相当于早志留世—寒武纪, 另一些铅则应发生在寒武纪或更早。也就是说, 该区铅同位素组成反映的是深部“老铅”, 即 B 型铅。这正好与该区基底地层特征相一致。将样品投在铅同位素演化动力模式图(图 3)上, 它们均落于壳幔混合的造山带演化曲线上。

### 3.2 成矿流体来源

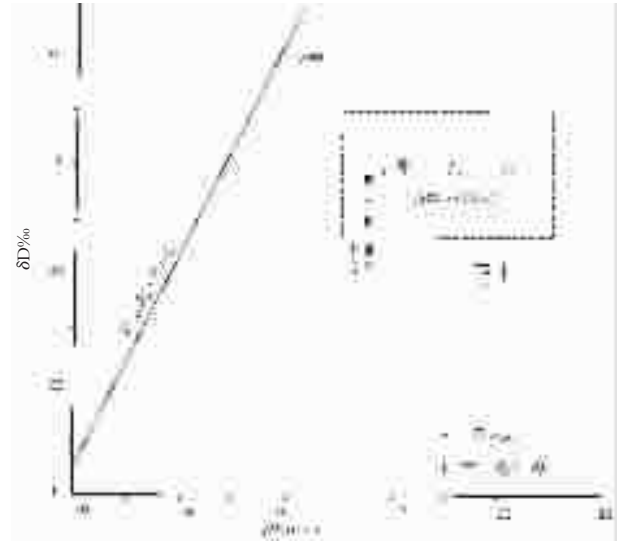
泗人沟矿床 2 件样品的  $\delta D$  值平均为  $-77.85\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  值平均为  $18.76\text{‰}$ (表 2)(岩浆水  $\delta D$  值  $-80\text{‰} \sim -40\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  值  $7.0\text{‰} \sim 9.5\text{‰}$ ; 变质水  $\delta D$  值  $-65\text{‰} \sim -20\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  值  $5\text{‰} \sim 25\text{‰}$ , 泰勒), 在成矿流体  $\delta D\text{‰}-\delta^{18}\text{O}\text{‰}$  图解(图 4)中其投影在大气降水区, 靠近变质水区。尽管样品少, 但成矿流体主要来源于大气降水是可能的。

锡铜沟矿床 2 件样品, 其  $\delta D$  值分别为  $-75.5\text{‰}$  和  $-83.4\text{‰}$ 。根据  $1000\text{Ln}\alpha_{\text{石英}=\text{H}_2\text{O}}=3.38\times 10^6\times T^{-2}-3.4$  公式, 分别求得  $\delta^{18}\text{O}$  值为  $6.29\text{‰}$  和  $14.09\text{‰}$ 。在成矿流体  $\delta D\text{‰}-\delta^{18}\text{O}\text{‰}$  图解中(图 4), 其投影在大气降水区, 靠近变质水区。陕西科研所<sup>[9]</sup>在锡铜沟矿床 5 件样品的分析结果是,  $\delta D$  值为  $-76\text{‰} \sim -83.4\text{‰}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  值为  $18.1\text{‰} \sim 20.6\text{‰}$ 。因此, 本区成矿流体主要来源于大气降水, 具多源特征。

### 3.3 成矿物理化学条件

#### 3.3.1 成矿温度和压力

泗人沟矿床样品中成矿温度的测试主要为爆裂温度, 其次有 2 个均一法测定数据(表 3), 有两个明显的集中峰值范围, 分别是  $130\sim 250\text{℃}$  的中低温区间和  $250\sim 320\text{℃}$  的中偏高温区间。结合矿床地质特征认为前者出现的频率较小, 可能代表了喷流同生成矿阶段的残余温度, 亦即主要热水活动温度。后者则出现的频率较高, 基本上代表了矿床测定的主要温度, 即主成矿温度。包括了喷流沉积和后期热液改造的成矿温度。成矿压力(表 3)表明, 其成矿时压力范围在  $2.58\times 10^4\sim 3.02\times 10^4\text{kPa}$  之间, 相当于水岩界面附近或界面之上的成矿状态。成矿压力平均为  $2.82\times 10^4\text{kPa}$ , 按海水  $1\times 10^4\text{kPa}/1000\text{m}$  计算出其形成深度约 2820m 水深, 与红海裂谷热卤水深度

图 4 成矿流体  $\delta D\text{‰}-\delta^{18}\text{O}\text{‰}$  图解Fig.4 Diagram of  $\delta D\text{‰}-\delta^{18}\text{O}\text{‰}$  of ore-forming fluids

>2000m 相当。

锡铜沟、水田沟、月西矿床(点)样品中成矿温度的测试主要为爆裂温度, 其次在锡铜沟矿床有 8 个均一法测定数据(表 3), 二者相比前者均高于后者, 这可能是方法不同所致。从这些数据看, 有两个明显的集中峰值范围, 分别是  $130\sim 250\text{℃}$  的中低温区间和  $250\sim 350\text{℃}$  的中偏高温区间。结合矿床地质特征认为前者出现的频率较小, 约占 25% 以下。其特征与泗人沟矿床类似。上述温度在矿床范围内无温度分带的趋势。表明成矿时热液梯度不大, 增温率也不高。成矿压力(表 3)表明, 其成矿时压力范围在  $2.18\times 10^4\text{kPa}\sim 3.04\times 10^4\text{kPa}$  之间, 相当于水岩界面附近或界面之上的成矿状态。成矿压力平均为  $2.65\times 10^4\text{kPa}$ , 按海水  $10^4\text{kPa}/1000\text{m}$  计算出其形成深度约 2650m 水深, 与红海裂谷热卤水深度 >2000m 相当。

#### 3.3.2 包裹体中气液相化学成分

锡铜沟矿床中石英包裹体一般无色, 多数为椭圆状, 少数具石英负晶形, 大小为  $3\sim 5\mu\text{m}$ , 部分可达  $5\sim 8\mu\text{m}$ , 气液比一般为  $5\%\sim 10\%$ , 少数可达  $10\%\sim 20\%$ 。月西、水田沟矿床(点)中石英主要有 3 种类型: 其一是细粒或柱粒状石英, 构成了区

表 3 矿物包裹体温度和压力  
Table 3 Temperatures and pressures of mineral inclusion

矿床(点)	样数/件	矿 物	成矿压力/ $10^4$ kPa	均一温度/ $^{\circ}$ C	爆裂温度/ $^{\circ}$ C	资料来源
泗人沟	6	石英、闪锌矿	2.58 ~ 3.02 (2.82)		258.00 ~ 313.00	文献[3]
	2	石 英 脉		157 ~ 290 135 ~ 297		
锡铜沟、 水田沟、 月 西	16	石英、闪锌矿、 黄铁矿、重晶石	2.18 ~ 3.04 (2.65)			文献[1], [10]
	8	石英、闪锌矿		130 ~ 331		
	24	石英、闪锌矿、 黄铁矿、重晶石			136 ~ 350	

内的主要含矿岩层——硅质岩,由于这类石英中的气液包裹体大小在  $1\mu\text{m}$  左右,因而对其内部相态和形态特征的研究不很深入;其二是矿体或矿化层中混浊状粗晶石英,其中包裹体密度小,但分布均匀,个体浑圆状,直径  $2\mu$  左右,气液比一般为 5%~10%,少数可达 20%;其三为典型石英脉中的粒状石英,其内包裹体形态多为负晶形,大小在  $2\sim 10\mu\text{m}$  间,气液比为 0~30%,形态为浑圆、不规则或方形。

从锡铜沟、水田沟、月西矿床(点)包裹体气相化学成分(表 4)可见:

(1) 烷烃类有机化合物( $\text{CH}_4$ ),主要出现于金属硫化物中,且含量大致有方铅矿>黄铁矿>闪锌矿的趋势,而石英中

含量检不出或微量。这是因为  $\text{CH}_4$  主要与沉积作用有密切关系,即富含  $\text{CH}_4$  的矿物,其成矿流体必定与成矿流体作用及生物作用有直接关系。它表明硅质岩中的石英主要是先期热水沉积的, $\text{CH}_4$  稀少,将  $\text{CH}_4$  残留至硫化物沉积期后富集后沉积下来。反映了矿床的成因特征和矿物生成的先后次序。

(2) 气相成分以  $\text{H}_2\text{O}$ (气)占绝对优势, $\text{CO}_2$  的含量也占相当的比例,总体表现为  $\text{H}_2\text{O}>\text{CO}_2>\text{CO}>\text{N}_2>\text{CH}_4>\text{H}_2$  的特点。其中  $\text{H}_2\text{O}$  的含量变化无规律, $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CH}_4$  主要存在于金属矿物中, $\text{H}_2$  和  $\text{N}_2$  及少量  $\text{CO}+\text{CO}_2$  主要存在于石英和重晶石中, $\text{N}_2$  在金属矿物中检不出。 $\text{H}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{CO}_2$  可能是大气来源的。 $\text{CH}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}+\text{CO}_2$  反映了成岩热水特征。

表 4 矿物包裹体气相化学成分  
Table 4 Chemical composition of the gas phase of mineral inclusion

矿床(点)	样品编号	采样位置	测试矿物	分析结果 ( $10^{-6}$ )						资料来源
				$\text{H}_2$	$\text{N}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{CO}$	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{O}$	
泗人沟	Bt1-1		石英	0.19	8.50	0.13	0.76	0.10	930.20	本文
	1-2	PD2	石英	0.19	6.33	0.71	2.45	3.60	3549.60	
	Bt2-1	PD1	闪锌矿	0.01	0.00	1.86	1.60	2053.10	42.80	
	Bt2-2	PD2	闪锌矿	0.03	0.00	1.00	0.00	80.70	105.20	
	Bw1	ZK1302	闪锌矿	0.24	0.00	0.93	0.00	2196.80	108.40	
	Bw2	PD1	闪锌矿	0.21	0.00	0.47	8.01	1118.90	77.60	
月 西	IX <sub>2</sub> DK04	曹家沟	石英	0.28	3.17	0.00	0.25	24.20	1107.70	
	15	CM15-1	石英	0.11	3.67	0.00	0.13	14.90	765.00	
	17	TC2-1	石英	0.09	4.50	0.00	0.00	7.10	918.00	
	09	YM	重晶石	0.00	1.83	0.00	0.00	1.40	24.50	
	08	CM3	闪锌矿	0.01	0.00	0.47	0.00	292.60	310.60	
	11	YM	闪锌矿	0.08	0.00	0.47	0.00	436.30	224.90	
	16	CM1	闪锌矿	0.09	0.00	0.47	0.01	241.20	278.40	
	18	TC2-12	闪锌矿	0.08	0.00	0.47	19.23	87.30	257.00	
	19	TC16-4	闪锌矿	0.10	0.00	1.40	9.62	605.70	230.30	
	22	TC4-2	闪锌矿	0.14	0.00	0.93	3.21	107.80	232.90	
水田沟	06	YM 西 80	黄铁矿	0.02	0.00	1.86	0.00	313.30	396.20	
	07	YM 西 80	黄铁矿	0.02	0.00	0.93	0.00	292.60	417.70	
	01	II 号矿体	石英	0.13	2.17	0.00	0.25	3.60	269.30	
	02	II 号矿体	黄铁矿	0.04	0.00	1.40	0.00	333.60	460.50	
锡铜沟	03	TC4	重晶石	0.11	1.56	0.00	0.00	33.40	134.60	
	01	II 号矿体	方铅矿	0.19	0.00	2.33	9.62	1888.80	487.30	
	X-II	II 号矿体	闪锌矿			0.025	0.013	0.66	99.30	
锡铜沟	F19	II 号矿体	石英		0.003	0.001	0.003	0.051	0.148	
	F23	II 号矿体	石英		0.001	0.001	0.001	0.063	0.209	

表 5 矿物包裹体气相特征值参数  
Table 5 Characteristics parameter of the gas phase of mineral inclusions

矿床(点)	样品编号	测试矿物	测试计算特征值									
			PH	EH (v)	R	$f_{H_2}$ ( $10^4$ Pa)	$f_{CH_4}$ ( $10^4$ Pa)	$f_{CO}$ ( $10^4$ Pa)	$f_{CO_2}$ ( $10^4$ Pa)	$f_{O_2}$ (Pa)	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	
泗人沟	Bt1-1	石英	7.66	-0.32	56.22	-2.84	-1.32	-3.85	-20.16	$5.69 \times 10^{-72}$	0.00	
	Bt1-2	石英	6.89	-0.34	2.79	-8.11	-11.45	-8.11	-9.42	$1.01 \times 10^{-56}$	0.00	
	Bt2-1	闪锌矿	4.75	-0.17	0.00	-14.59	-1.22	-4.15	24.52	$1.50 \times 10^{-58}$	19.62	
	Bt2-2	闪锌矿	5.17	-0.20	0.04	-2.03	3.85	-28.78	18.04	$2.66 \times 10^{-64}$	0.31	
	Bw1	闪锌矿	4.78	-0.16	0.01	-1.82	5.07	1.11	-23.91	$1.28 \times 10^{-51}$	8.29	
	Bw2	闪锌矿	4.79	-0.16	0.02	0.41	-5.27	4.96	23.81	$2.17 \times 10^{-60}$	5.90	
水田沟 和月西	IX <sub>2</sub> DK01	石英	6.25	-0.26	0.88	13.68	0.01	1.93	14.69	$4.40 \times 10^{-58}$	0.01	
	04	石英	6.06	-0.30	0.28	8.61	0.00	0.56	27.86	$1.94 \times 10^{-48}$	0.02	
	15	石英	6.11	-0.28	0.17	4.36	0.01	0.36	23.20	$2.99 \times 10^{-52}$	0.02	
	17	石英	6.44	-0.23	0.26	2.33	0.00	0.00	6.99	$1.37 \times 10^{-76}$	0.01	
	08	闪锌矿	5.11	-0.22	0.01	0.55	3.94	0.00	751.13	$1.68 \times 10^{-57}$	0.94	
	11	闪锌矿	4.98	-0.20	0.01	5.83	4.12	0.01	1163.36	$3.68 \times 10^{-61}$	1.95	
	16	闪锌矿	5.13	-0.22	0.01	7.01	4.53	0.05	717.33	$1.53 \times 10^{-57}$	0.87	
	18	闪锌矿	5.36	-0.22	0.38	8.05	5.57	136.68	320.42	$8.62 \times 10^{-59}$	0.34	
	19	闪锌矿	4.92	-0.20	0.03	6.25	10.86	44.23	1464.59	$1.80 \times 10^{-55}$	2.63	
	22	闪锌矿	5.28	-0.22	0.10	14.64	11.63	23.75	412.78	$6.55 \times 10^{-59}$	0.46	
	02	黄铁矿	5.19	-0.18	0.04	1.80	7.34	14.32	519.66	$2.37 \times 10^{-73}$	0.72	
	06	黄铁矿	5.14	-0.23	0.02	1.28	12.76	0.00	642.77	$1.31 \times 10^{-57}$	0.79	
	07	黄铁矿	5.17	-0.23	0.01	1.28	6.39	0.00	642.77	$1.31 \times 10^{-57}$	0.70	
	03	重晶石	5.44	-0.21	0.07	19.30	0.02	0.01	221.68	$4.85 \times 10^{-67}$	0.25	
	09	重晶石	5.86	-0.22	0.02	1.01	0.12	0.07	50.78	$5.57 \times 10^{-71}$	0.06	
	01	方铅矿	5.37	-0.10	0.01	3.27	4.96	11.90	1163.36	$9.45 \times 10^{-146}$	3.88	

注:由西安岩矿测试中心分析。

表 6 矿物包裹体液相化学成分分析结果  
Table 6 Analysis of the chemical composition of the liquid phase mineral inclusions

矿床	样号	测试矿物	分析结果 ( $10^{-6}$ )							总量	资料来源
			K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		
锡铜沟	X-II	闪锌矿	0.5151	4.06	2.16	0.59	1.99	7.78	1.57	18.66	文献[2]
	X-III	石英	1.21	1.92	0.03	0.01	0.05	3.34	1.69	7.25	
	F22	石英	2.89	3.81	3.06	0.31		17.83		27.99	文献[1]
	F19	石英	2.60	1.23	5.33	8.64		8.40		26.20	
	F24	石英	4.90	4.58	19.69	2.76		26.02		57.955	

(3)在气体包裹体中存在着碳的不同氧化态,即存在于CO<sub>2</sub>、CO中。CO<sub>2</sub>高含量预示着成矿温度<400℃。由此测得了包裹体的氧化-还原参数值(R)(表5)。由此可见,R值在0.01~0.88之间变化,且有石英的R值大于金属矿物的R值的事实存在,表明石英形成于比金属矿物更氧化的条件下。总的R值与李秉伦(1982)提供的还原参数指标(弱还原参数0.05,中还原参数0.113,强还原参数2.139)相比,本区成矿介质属弱-中等强度的还原环境,矿床应形成于中浅深度。

(4)还表明所有矿物包裹体中 $f_{H_2}$ 、 $f_{CO}$ 、 $f_{CH_4}$ 、 $f_{CO_2}$ 值(表5)较高,而 $f_{O_2}$ 值极低,变化于 $9.45 \times 10^{-146}$ Pa~ $1.94 \times 10^{-68}$ Pa之间,说明成矿介质为还原环境。由于成矿物质的亲硫性,从而决定了成矿介质存在于还原环境下有利于成矿。

从泗人沟矿床矿物包裹体气相化学成分(表4)可见:

(1)烷烃类有机化合物(CH<sub>4</sub>),主要出现于金属硫化物中,且含量大致有闪锌矿>石英的趋势。这是因为CH<sub>4</sub>主要与沉积作用有密切关系,即富含CH<sub>4</sub>的矿物,其成矿流体必定与成矿流体作用及生物作用有直接关系。表明硅质岩中的石英主要为先期热水沉积的,CH<sub>4</sub>稀少,将CH<sub>4</sub>残留至硫化物沉积期后富集后沉积下来。反映了矿床的成因特征和矿物生成的先后次序。

(2)气相成分以H<sub>2</sub>O(气)占绝对优势,CO<sub>2</sub>的含量也占相当的比例,总体表现为H<sub>2</sub>O>CO<sub>2</sub>>N<sub>2</sub>>CO>CH<sub>4</sub>>H<sub>2</sub>>O<sub>2</sub>的特点。其中H<sub>2</sub>O的含量变化有石英>闪锌矿的趋势,CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>主要存在于金属矿物中,H<sub>2</sub>和N<sub>2</sub>及少量CO+CO<sub>2</sub>主要存在于石英中,N<sub>2</sub>在金属矿物中检不出,O<sub>2</sub>也检不出。H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>可能是大气来源的。CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、CO+CO<sub>2</sub>反映了成岩



表7 铅锌矿主要地质特征及成矿条件对比

代表性矿床	泗人沟	大岭、赵家庄	锡铜沟、月西
成因类型	细碎屑岩沉积强改造型	碳酸盐岩沉积弱改造型	碳酸盐岩沉积强改造型
矿床规模	中、小型	小型	中、小型
含矿层位	下志留统梅子垭组、中志留统双河镇组	中泥盆统石家沟组	中泥盆统大枫沟组、上泥盆统南羊山组
沉积环境	浅水陆棚相, 台地边缘	碳酸盐局限台地、泻湖—湖坪、障碍壁、洼地	泻湖、湖坪、台地浅海
含矿岩石	含碳砂岩、千枚岩	生物礁灰岩、白云岩	灰岩、生物灰岩
控矿构造	近东西向、北西向西断裂、褶皱	近东西向、北西向西断裂、褶皱	近东西向、北西向西断裂、褶皱
容矿构造	顺层断裂带、剪切带	顺层剪切带	顺层断裂带
围岩蚀变	矿体与围岩接触界线清晰, 未见明显的蚀变现象	硅化、碳酸盐化和黄铁矿化	重晶石化、硅化、碳酸盐化和黄铁矿化
矿石类型	层纹状、细脉状、条带状、块状	团块状、层纹状、条带状、浸染状	浸染状、脉状、块状、条带状
有用组分	铅、锌	铅、锌	铅、锌, 伴生银、镉
$\delta^{34}\text{S}$ 值、硫来源	-3.78‰, 混合型, 地壳深部或上地幔	8.29‰, 次重硫型, 多源, 泥盆纪古海水硫酸盐	16.85‰, 重硫型, 多源, 泥盆纪古海水硫酸盐
成矿流体来源	以大气降水为主的多源	下地壳	以大气降水为主的多源
铅来源	造山带		造山带
成矿温度	130~313℃, 中低温		136~350℃, 中低温
成矿压力、深度	$2.58 \times 10^4 \text{ kPa} \sim 3.02 \times 10^4 \text{ kPa}$ , 2820m, 中浅		$2.18 \times 10^4 \text{ kPa} \sim 3.04 \times 10^4 \text{ kPa}$ , 2650m, 中浅
成矿流体酸碱度	弱—中酸性, 弱—强还原环境		弱—中酸性, 弱—中还原环境

热水特征。

(3)在气体包裹体中存在着碳的不同氧化态,即存在于 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 中。闪锌矿中 $\text{CO}_2$ 高含量预示着成矿温度 $<400^\circ\text{C}$ 。据此测得包裹体的氧化—还原参数(表5)值( $R$ )。由此可见, $R$ 值在0.00~0.04之间变化,且有石英的 $R$ 值(2.79~56.22)远大于金属矿物的 $R$ 值的事实存在,表明石英形成于比金属矿物更氧化的条件下。总的 $R$ 值与李秉伦(1982)提供的还原参数指标相比,本区成矿介质属弱—强还原环境,矿床应形成于中浅深度。

(4)所有矿物包裹体中 $f_{\text{H}_2}$ 、 $f_{\text{CO}}$ 、 $f_{\text{CH}_4}$ 、 $f_{\text{CO}_2}$ 值(表5)较高,而 $f_{\text{O}_2}$ 值较低,变化于 $1.01 \times 10^{-56} \text{ Pa} \sim 5.69 \times 10^{-72} \text{ Pa}$ 之间,说明成矿介质存在于还原环境中。由于成矿物质的亲硫性,从而决定了成矿介质存在于还原环境下有利于成矿。

从锡铜沟、水田沟、月西矿床(点)包裹体液相化学成分(表6)可见:

(1)包裹体成分中,成矿溶液主要由 $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 等组成,阳离子总量为 $3.17 \times 10^{-6} \sim 31.93 \times 10^{-6}$ ,阴离子总量为 $4.08 \times 10^{-6} \sim 26.02 \times 10^{-6}$ 。其中除石英的 $\text{Na}^+$ 小于 $\text{K}^+$ 含量外,其余 $\text{Na}^+$ 均大于 $\text{K}^+$ 含量, $\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{Mg}^{2+}$ 的含量变化极大。因此,成矿流体属 $\text{K}^+ - \text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}(\text{Mg}^{2+}) / \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{F}^-$ 等组分体系,较为复杂多样,说明成矿流体来源的多样性。这与氢氧同位素特征一致。

(2)本区矿石中的 $\text{Cl}^-$ 远高于其他阴离子的含量,并与晚期石英脉相似,表明 $\text{Cl}^-$ 趋向富集于热水作用晚期或有较多的海水加入; $\text{SO}_4^{2-}$ 有一定的高浓度,与本区矿区存在石膏层一致。

(3)本区石英中的离子总浓度远高于闪锌矿的总浓度,反映了石英(硅质岩)先期结晶发生沉积—交代,使热水离子浓度下降,然后才有硫化物的结晶沉积。这一特征和观察到

的矿物生成顺序有共同之处。

### 3.3.3 成矿流体的酸碱度

从泗人沟矿床的6件样品数据(表5)可看出,本区成矿流体的 $\text{pH}$ 值变化于4.75~7.66之间,平均为5.67,并存在石英 $>$ 闪锌矿的顺序。这表明成矿流体的性质属弱—中酸性介质,与锡铜沟、月西铅锌矿床相类似。

从月西、水田沟矿床的16件样品数据(表5)可看出,本区成矿流体的 $\text{pH}$ 值变化于4.92~6.44之间,平均为5.51,并存在石英 $>$ 重晶石 $>$ 方铅矿 $>$ 黄铁矿 $>$ 闪锌矿的顺序。这表明成矿流体的性质属弱—中酸性介质。

## 4 矿床类型及成矿模式

经对泗人沟、大岭、赵家庄、锡铜沟(水田沟)、月西铅锌矿地质特征和成矿条件对比分析(表7),认为镇甸铅锌矿田属泥盆系、志留系铅锌矿总体属层控矿床类型,以泗人沟为代表的志留系铅锌矿属细碎屑岩沉积强改造型铅锌矿床;以大岭、赵家庄为代表的泥盆系铅锌矿属碳酸盐岩沉积弱改造型铅锌矿床,以锡铜沟、月西为代表的泥盆系铅锌矿属碳酸盐岩沉积的强改造型铅锌矿床。

对本区层控铅锌矿床曾提出过种种设想,其中比较一致的看法是:它们是在海底热液系统卸载通道或其附近形成的。许多学者曾提出过种种模式图解,其中对流循环模式图解较为完善,并受到多数人的赞同。受其影响,杨志华<sup>[1]</sup>曾提出山柞甸矿田铅锌矿床的成矿模式。笔者认为,本区志留纪—泥盆纪,海盆底部沉积柱中的地层水受地热异常影响变热,酸度和盐度增高,在巨大热源的驱动下对流循环,并溶解了所流经地层和岩石中的成矿物质形成含矿热(卤)水。由于区内同生断裂的活动,含矿热液沿断裂通道喷到海底,部分成矿物质在喷出过程中,在喷气通道中沿围岩的裂隙充填交

代成矿和在喷口附近沉积。大部分成矿物质随热液喷出后又沿海底运移到有利的环境中经沉积形成硫化物矿床。矿床形成后,在印支期受到构造变形作用不同程度的改造。

#### 参考文献 (References):

- [1] 杨志华,等. 边缘转换盆地的构造岩相与成矿[M]. 北京:科学出版社,1991. 177~190.  
Yang Zhihua, et al. Structural Rock Facies and Metallogeny in Marginal Transform Basins[M]. Beijing: Science Press, 1991. 177~190(in Chinese with English abstract).
- [2] 王俊发,张复新,等. 秦岭泥盆系层控金属矿床[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1991. 1~60.  
Wang Junfa, Zhang Fuxin, et al. Devonian Stratabound Deposits in Qinling[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Publishing House, 1991. 1~60(in Chinese with English abstract).
- [3] 王集磊,何伯耀,等. 中国秦岭型铅锌矿床[M]. 北京:地质出版社,1996. 145~152.  
Wang Jilei, He Boxi, et al. Qinling Type of Lead-zinc Mineral Deposits in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 145~152(in Chinese with English abstract).
- [4] 宋小文,侯满堂,等. 陕西旬阳地区志留系铅锌矿矿集区特征及其成因初探[J]. 陕西地质,2003,21(1):1~9.  
Song Xiaowen, Hou Mantang, et al. The genesis and the lead-zinc mineralized zones in the Silurian System in Xunyang area of Shaanxi Province[J]. Geology of Shaanxi, 2003, 21 (1):1~9(in Chinese with English abstract).
- [5] 侯满堂,臧世权,王文昭. 镇旬铅锌矿田主要矿物的标型特征[J]. 陕西地质,2000,18(2):9~15.  
Hou Mantang, Zang Shiquan, Wang Wenzhao. Typomorphic characteristics of main ore minerals in the Zhenxun lead-zinc ore field [J]. Geology of Shaanxi, 2000, 18 (2):9~15(in Chinese with English abstract).
- [6] 唐永忠. 南秦岭镇旬盆地层序地层特征及盆地分析[J]. 陕西地质, 1998,16(1):30~40.  
Tang Yongzhong. Sequence stratigraphy and basin analysis the Zhenxun basin of the South Qinling[J]. Geology of Shaanxi, 1998, 16 (1):30~40(in Chinese with English abstract).
- [7] 徐强,等. 东秦岭南带沉积盆地演化及多金属成矿条件[M]. 成都:西南交通大学出版社,1994. 1~71.  
Xu Qiang, et al. Evolution of Sedimentary Basin and Polymetallic Metallogenic conditions in the South Belt of the East Qinling [M]. Chengdu: Southwestern Communications University Publishing House, 1994. 1~71(in Chinese with English abstract).
- [8] 侯满堂,臧世权,张培轩. 镇旬铅锌矿田稳定同位素地球化学研究[J]. 陕西地质,2002,20(1):39~45.  
Hou Mantang, Zang Shiquan, Zhang Peixuan. Stable isotope geochemistry of the lead-zinc ore field in Zhenxun [J]. Geology of Shaanxi, 2002, 20 (1):39~45(in Chinese with English abstract).
- [9] 张理刚. 成岩成矿理论与找矿[M]. 北京:北京工业大学出版社, 1989. 98~109.  
Zhang Ligang. Petrogenic and Metallogenic Theories and Ore Prospecting [M]. Beijing: Beijing Polytechnic University Publishing House, 1989. 98~109(in Chinese with English abstract).
- [10] 臧世权,侯满堂,王文昭. 镇旬铅锌矿田矿物包裹体研究[J]. 陕西地质,2001,19(1):30~36.  
Zang Shiquan, Hou Mantang, Wang Wenzhao. Mineral inclusions in lead-zinc ore field mineral parcel body in Zhenxun is studied [J]. Geology of Shaanxi, 2001, 19 (1):30~36(in Chinese with English abstract).

## Metallogenic conditions of Devonian–Silurian lead–zinc deposits in the Zhenxun ore field

QI Wen<sup>1,2</sup>, HOU Man-tang<sup>2</sup>

(1. *China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;*  
2. *Shaanxi Institute of Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China*)

**Abstract:** Study of metallogenic conditions of Devonian–Silurian lead–zinc deposits in the Zhenxun (Zhen'an–Xunyang) ore field shows that Devonian–Silurian lead–zinc deposits in the area generally belong to stratabound deposits. The lead–zinc deposits occur in the Lower Silurian Meiziya Formation, Middle Silurian Shuanghezhen Formation, Middle Devonian Dafenggou Formation and Upper Devonian Nanyangshan Formation. The ore–controlling structures are faults and folds and ore–hosting structures are bedding–parallel fault zones and shear zones; ore–bearing rocks are carbonaceous sandstone, phyllite, limestone, biogenic limestone and dolostone; the sedimentary environments are the shallow–water shelf, tableland margin, lagoon, tidal flat and tableland shallow sea. The Silurian lead–zinc deposits represented by the Sirengou deposit of Xunyang are of fine clastic sedimentary–strongly reworked type; the Devonian lead–zinc deposits represented by the Dalin and Zhaojiagou deposits of Xunyang are of carbonate sedimentary–weakly reworked type and the Devonian lead–zinc deposits represented by the Xitonggou and Yuexi deposits of Zhenan are of carbonate sedimentary–strong reworked type.

**Key words:** Zhenxun; Devonian; Silurian; lead–zinc deposit; metallogenic condition; deposit type

---

**About the first author:** Qi Wen, male, born in 1957, senior engineer, Ph.D candidate, mainly engages in mineral reconnaissance and exploration and research work; E–mail: xaqiwen@163.com.