

# 陕西南秦岭志留系中铅锌矿床 地质地球化学特征研究

朱华平<sup>1,2</sup>, 张德全<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 西北有色地质研究院, 陕西 西安 710054)

**摘 要:** 文章以泗人沟、南沙沟等铅锌矿床为例, 讨论南秦岭志留系中铅锌矿床形成的地质地球化学特征。矿石稀土元素地球化学反映了矿石及金属硫化物矿物与地层的稀土配分曲线的一致性, 说明成矿物质主体来自于地层; 闪锌矿矿物的微量元素含量及一些特征值介于热液矿床和热水沉积矿床之间, 属改造型; 硫同位素组成结果表明矿石与地层硫同位素组成不一致, 矿石较地层富集轻硫, 可能反映了造山作用产生的热液使其硫同位素发生了一定程度的均一化或者有深源硫的参加, 显示出矿石硫和地层硫的混合特征; 流体氢氧同位素组成特征表明成矿介质可能是封存于深部的变质流体。这些矿床地球化学特点可能反映该区域铅锌矿床的最终定位与印支-燕山期的逆冲推覆构造有关。

**关键词:** 志留系铅锌矿; 同位素地球化学; 微量元素地球化学; 南秦岭

**中图分类号:** P612; P618.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2004)02-0076-07

在南秦岭多金属成矿带中, 人们大多把目光集中在泥盆系铅锌成矿带中(祁思敬等, 1993; 王集磊等, 1996; 王俊发等, 1991; 王相等, 1996; 卢纪英等, 2001), 对旬阳盆地南缘之志留系铅锌多金属矿床则很少提及, 更不用说作深入的研究。近 10 多年来, 勘查部门已经注意到了志留系对铅锌多金属矿床的控制作用, 经勘查相继发现了泗人沟、南沙沟、关子沟等铅锌矿床, 大岭、赵家庄铅锌矿床也进一步扩大了储量。值得注意的是在该矿带中还发现了淋湘金矿床(陈连红, 1998; 邹海洋等, 2000, 2001)。对该层位控制的铅锌矿床成矿作用研究甚少, 在勘探报告中把产在泥盆系中的铅锌矿床称之为热水沉积改造型矿床, 而产在志留系中的矿床称之为变质热液脉型铅锌矿床。随着勘查和研究的不断深入, 对矿床成因的认识也会有进一步发展, 正如秦岭凤太盆地铅锌矿认识从热液脉型 $\rightarrow$ 层控型 $\rightarrow$ 热水喷流型一样, 对勘探该类矿床的指导作用将是革命性的。本文从泗人沟、南沙沟等铅锌矿床的地质地球化学特征入手, 来探讨秦岭志留系铅锌矿成矿与找矿问题。

## 1 地质背景

泗人沟—南沙沟铅锌矿床位于南秦岭印支褶皱带与北大巴山褶皱造山带衔接部北缘, 即扬子板块北部活动大陆边缘裂隙-裂谷沉积盆地东段。地层发育碳酸盐岩及碎屑岩建造, 并发生了浅变质作用, 变质程度一般仅达低绿片岩相。许志琴等(1985)认为, 扬子板块北缘古生代—三叠纪由裂谷相到扩张相沉积盖层组成的印支期褶皱以及伴随褶皱发育的铲式劈理是由于盖层与中上元古界变火山岩基底之间的深层滑脱构造造成的。此后, 生产单位根据推覆构造、滑脱构造的观点来解释区域的岩层叠置关系。本研究所涉及的区域整体上由一个大型的推覆体组成(图 1), R2f1 为一由北向南逆冲推覆构造, R1f1 剥离断层系统组成其上覆推覆体, 下盘为泥盆系地层。R1f1 为剥离断层, 其上盘滑覆体主要由上古生界碳酸盐岩夹细碎屑岩组成, 下盘基部系统总体呈 NW-SEE 向展布, 地层为下古生界志留系细

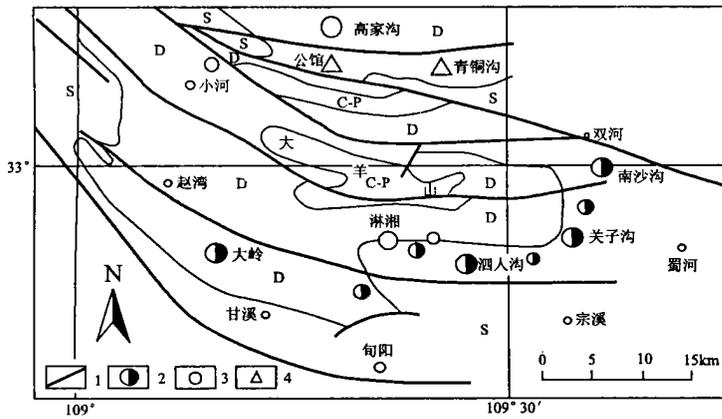


图 1 泗人沟—南沙沟铅锌矿床产出位置图

Fig. 1 The location of Sirengou Nanshaogou lead-zinc deposit in Qinling Area

C-P. 石炭系—二叠系 D. 泥盆系 S. 志留系

1. 断层 2. 铅锌矿床(点) 3. 金矿床(点) 4. 汞镉矿床(点)

碎屑岩夹火山凝灰岩组成。经强烈构造变形变质,岩层中普遍发育 S1 近顺层流劈理及不同尺度的顺层褶皱和顺层韧性剪切带。测得 R1f1 剥离断层中糜棱岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 229 Ma。在推覆体中发育一系列 NWW 向近于平行的高角度逆冲断层,地表表现为脆性断裂。F1 为公馆断裂, F2 为南羊山断裂, F3 为赵湾—大岭断裂, 它们切割 R1f1 剥离断层, 故可以判断这些断裂形成时间不早于剥离断层和推覆构造的形成时间。区域中的矿产从北到南有公馆断裂上盘的公馆、青铜沟汞镉矿带和沿 R1f1 剥离断层产出的大岭、赵家庄、泗人沟、关子沟、南沙沟铅锌矿带。

## 2 矿床地质概况

### 2.1 矿区地层

矿区出露地层为志留系梅子垭组、双河镇组、水洞沟组。志留系梅子垭组分布于矿区以南、汉江两岸、蜀河、双河一带, 由一套浅变质的碳质千枚岩、碳质板岩夹变砂岩、变凝灰质砂岩及变质砾岩组成。双河镇组为粉砂质千枚岩、灰色生物碎屑灰岩、粉砂岩。其岩石组合以砂岩、粉砂岩、泥质岩石的交替或互层出现, 碳酸盐岩以含铁灰岩、生物碎屑灰岩为主, 多呈不稳定的条带和透镜体产出, 并发生区域性浅变质作用。水洞沟组岩性以灰绿色千枚岩夹粉砂岩及砂岩条带为主, 含大量细粒黄铁矿。顶部为紫红色千枚岩, 厚度大于 2 000 m, 与上覆泥盆系为假整合接触, 志留系组成 R1f1 剥离断层的基底系统,

上覆的泥盆系组成 R1f1 的滑覆体。双河镇组广泛出露于矿区内, 岩性主要由碳质千枚岩、细砂岩、砾岩及生物碎屑灰岩等。铅锌的含矿地层为双河镇组上部粉砂质千枚岩、灰色生物碎屑灰岩、粉砂岩。

### 2.2 矿体产状及规模

南沙沟铅锌矿区矿体产于中晚志留系上部岩性段, 为一套灰-灰黄色含黄铁矿粉砂质千枚岩、千枚岩、生物碎屑灰岩、泥质千枚岩, 局部夹黄铁矿砂岩。泗人沟铅锌矿区矿体产于中晚志留系中部岩性段, 为一套灰-暗灰色含黄铁矿粉砂质千枚岩、含碳千枚岩、生物碎屑灰岩、局部夹砂质条带(图 2A)。南沙沟矿区 I 号矿体长度达 1 140 m, 厚 1.01 ~ 1.97 m, 矿石品  $w(\text{Zn}) = 2.56\% \sim 15.57\%$ , 平均 9.89%,  $w(\text{Pb}) = 0.26\% \sim 0.57\%$ 。单矿体倾向延深不大, 但多矿层倾向延深可达 300 m。矿体产状  $210^\circ \sim 225^\circ \angle 15 \sim 35^\circ$ , 矿体呈多层产出, 局部地段与围岩成  $10^\circ \sim 15^\circ$  的夹角。矿石多为致密块状、条带状, 铅锌共生, 以锌为主, 个别地段有单独的铅矿体产出。

泗人沟铅锌矿矿区分为 3 个矿体(I, II, III号)(图 2B), 其中的 I 号矿体位于矿区南部, 走向长 > 1 800 m, 矿体最大厚度 10.6 m, 最小 0.4 m, 沿走向延伸较为稳定, 控制倾向延深 460 m。矿石品位  $w(\text{Zn}) = 6.56\% \sim 12.57\%$ , 平均 8.86%,  $w(\text{Pb}) = 0.46\% \sim 2.27\%$ 。矿体呈层状、似层状, 受围岩的层间滑脱构造和层间破碎带控制, 与围岩产状近于一致, 矿体走向近 EW, 倾向 N, 局部倾向 S, 矿体倾角  $40^\circ \sim 60^\circ$ 。II 号矿体位于矿区中部, 走向长 > 500 m, 矿体最大厚度 18.6 m, 最小 0.2 m, 厚度变化系数 200%。沿走向和倾向矿体尖灭再现、膨胀收缩现象普遍。控制倾向延深 340 m。矿石品位  $w(\text{Zn}) = 7.74\% \sim 21.17\%$ , 平均 10.28%。矿体呈透镜状、似层状, 受围岩的层间滑脱构造和层间破碎带控制, 与围岩小角度相交, 矿体产状  $320^\circ \sim 340^\circ \angle 50 \sim 70^\circ$ 。III 号矿体位于矿区北部, 走向长 > 156 m, 矿体最大厚度 8.6 m, 最小 0.8 m, 厚度变化系数 150%。沿走向和倾向矿体尖灭再现、膨胀收缩现象普遍。控制倾向延深 140 m。矿石品位  $w(\text{Zn}) = 5.64\% \sim 19.17\%$ , 平均 8.58%。矿体呈透镜状、似层状, 受围岩的层间滑脱构造和层间破碎带控制, 矿体产状  $32^\circ \sim 44^\circ \angle 55 \sim 70^\circ$ 。II, III 号矿体的  $w(\text{Pb}) < 0.5\%$ , 不具开采价值。多数矿体受构造改造作用强烈, 使

其矿体形态复杂化。其矿体形态主要为似层状、透镜状、不规则囊状等形态,矿体尖灭再现常见,在似

层状矿体、透镜状矿体尖灭部位常见细脉状矿脉。

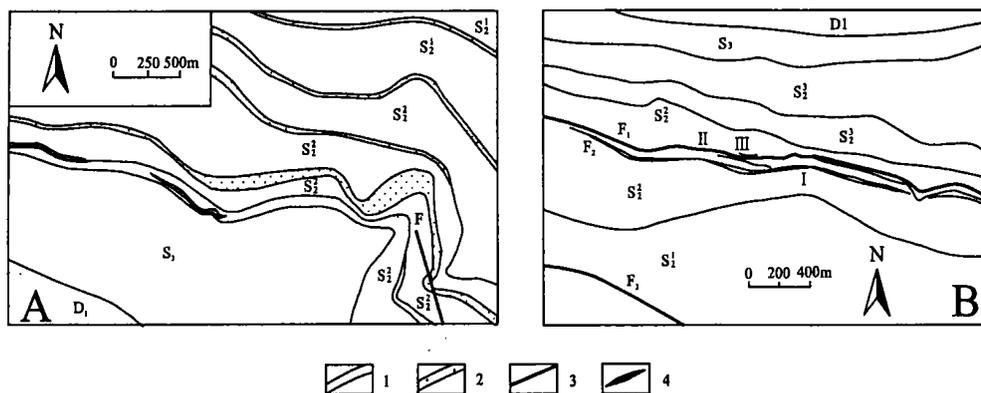


图2 泗人沟—南沙沟铅锌矿地质简图

Fig. 2 Geological map of Sirengou Nanshaogou lead zinc mine area

A. 南沙沟矿床 B. 泗人沟矿床 D<sub>1</sub>. 泥盆系砂岩 S<sub>3</sub>. 上志留统粉砂质千枚岩夹石英砂岩 S<sub>2</sub><sup>3</sup>. 中志留统上岩性段绢云母千枚岩、含碳质千枚岩 S<sub>2</sub><sup>2</sup>. 中志留统中岩性段粉砂质千枚岩夹粉砂岩 S<sub>2</sub><sup>1</sup>. 中志留统下岩性段粉砂质千枚岩夹薄层灰岩 S<sub>1</sub>. 下志留统 1. 薄层灰岩 2. 粉砂岩 3. 断层 4. 矿体

### 2.3 矿石组成与组构

矿石多为致密块状、条带状,铅锌共生,以锌为主,个别地段有单独的铅矿体产出。矿体产在中志留统双河镇组顶部及上志留统水洞沟组底部,总体表现为倾角缓(10°~30°)、品位高、厚度小、地表矿化普遍、矿体连续性较好等特征。区内矿石以闪锌矿为主,次为方铅矿,偶见有黄铜矿。脉石矿物以石英为主,次有黄铁矿、绢云母、绿泥石、白云石、磷灰石、方解石等。氧化矿石中有菱锌矿、水锌矿、镜铁矿、褐铁矿、异极矿、红锌矿、锌钒等次生氧化物。闪锌矿、方铅矿一般呈条带状、浸染状产于蚀变带中,黄铁矿、石英等为成矿期的产物。矿石结构主要有他形粒状结构、自形晶粒状结构、胶状结构等。矿石构造主要有条带状构造、浸染状构造、脉状构造等,据此将矿石分为细脉浸染状矿石、条带状矿石、似层纹状矿石和块状矿石。

**闪锌矿矿石:**块状闪锌矿中闪锌矿含量达80%以上,晶体结晶程度高,颜色为棕褐色棕黄色,铁含量高,矿石中仅含少量的方铅矿,偶尔见黄铜矿和黄铁矿。脉石矿物为石英,糖粒状,含量<15%;条带状闪锌矿主要是闪锌矿(含少量石英)(厚0.1~0.5 cm)与石英(含少量闪锌矿)(厚0.2 cm左右)互为条带,闪锌矿含量为60%左右;脉状闪锌矿主要由闪锌矿组成,含量60%~70%,其他为石英,不见其它金属矿物。

**方铅矿矿石:**块状方铅矿中方铅矿含量达90%以上,晶体结晶程度高,晶型完好,一般在0.2~

0.5 cm,个别可达1 cm,脉石矿物为石英,糖粒状,含量<10%,这种方铅矿矿石主要以矿脉穿切闪锌矿或围岩千枚岩;似层纹状细晶方铅矿主要是方铅矿,含量达90%,其次是闪锌矿,脉石矿物有石英和石墨;脉状方铅矿主要由方铅矿组成,含量40%~90%,其余为石英,不见其他金属矿物。

### 2.4 围岩蚀变

主要围岩蚀变为硅化,次为绿泥石化、绢云母化,硅化主要分布于顺层断裂、劈理密集带等含矿构造带中,与矿化关系密切,矿化无一例外产于硅化蚀变带中。硅化发育地段岩石颜色变浅、硬度增大,主要表现为:①大小悬殊的他形粒状石英交代围岩而使围岩破碎,硅化较强时围岩成为“捕虏体”,石英成为主体;②不同期次、形状各异的石英脉,穿切围岩或沿岩石千枚理、面理等贯入,使脉体与围岩接触的范围硅质增高。绢云母化表现为围岩中的绢云母含量增多,定向性增强,显示绢云母片岩的表象特征。绿泥石化伴随硅化、绢云母化出现,多产于硅化石英中部或边缘,呈鳞片状,与金矿化有关。

### 2.5 成矿阶段与矿物共生组合

通过野外观察及室内光薄片整理,发现矿物生成顺序较为明显,初步可以划分为2个成矿阶段:

第I阶段,同生沉积成岩期,形成层纹状铅锌矿石和浸染状铅锌矿源层。其产状与粉砂质千枚岩千枚理一致,但品位低、薄和多层。矿物组合为细粒方铅矿+闪锌矿+绢云母。不具工业开采价值。

第II阶段,改造成矿阶段,这是本区金属成矿的

重要阶段, 形成块状矿石、透镜状、条带状矿石和脉状矿石, 其产状可以与地层层理或千枚理一致, 但大多数与地层呈小角度相交。方铅矿与闪锌矿晶体粗大, 同带不同体, 矿物组合有方铅矿+ 石英+ (黄铁矿), 闪锌矿+ 石英+ (黄铁矿+ 方铅矿+ 黄铜矿) 和闪锌矿+ 石英 3 种。

### 3 矿床地球化学特征

#### 3.1 岩(矿)石地球化学特征

朱华平(2002) 等对该区地层进行了含矿性研究, 表明志留系双河镇组  $w(\text{Zn}) = 264 \times 10^{-6}$ , 是地壳丰度值的 2.8 倍,  $w(\text{Pb})$  是地壳丰度值 2.2 倍,  $w(\text{Au})$  比克拉克值低。水洞沟组  $w(\text{Au}) = 180.94 \times 10^{-9}$ , 是克拉克值的 45 倍,  $w(\text{Pb}, \text{Zn})$  比克拉克值略高。  $w(\text{Zn})$  含量与粉砂质千枚岩关系密切,  $w(\text{Pb})$  与粉砂质生物碎屑灰岩相关。

#### 3.2 矿石中闪锌矿的微量元素及意义

表 1 是泗人沟—南沙沟矿床矿石中的闪锌矿微量元素与国内外铅锌矿床中闪锌矿的微量元素的对比。与国内外主要类型铅锌矿床的闪锌矿微量元素对比, In, Tl 元素显著富集, 后者高出其他矿床 1~2 个数量级, Co, Ni 也显著增加。研究表明受火山热液和岩浆热液影响很小的热水沉积型铅锌矿床的闪锌矿以含低的 Ag, Se, In 和高 Ga, Ge 为特征; 相反, 火山热液和夕卡岩热液型铅锌矿床中闪锌矿以含高的 Ag, Se, In, 而含低 Ga 和 Ge 为特征(宋学信, 1982, 1984; 芮宗瑶, 1991; 韩照信等, 1994) 显然, 泗人沟—南沙沟铅锌矿床中闪锌矿的 Ag, Se, In 和 Ga, Ge 含量特点明显的不同于热水沉积矿床和火山热液、岩浆热液矿床, 而是介于两者之间的一种过渡类型。闪锌矿的 Zn/Cd 比值有成因意义, 热液型铅锌矿床 Zn/Cd 比值变化在 45~150 之间, 而沉积型铅锌矿床的 Zn/Cd 比值变化在 250~600 之间(宋学信, 1982, 1984), 本区铅锌矿床的 Zn/Cd 比值变化在 150~250 之间, 也显示出改造的特征。

表 1 国内外主要铅锌矿床闪锌矿微量元素组成对比表

Table 1 Minor element composition and some element's ratios of sphalerite from Pb Zn ore deposits at home and abroad

序号	矿床名称	Fe	Mn	Cd	Ga	Ge	In	Tl	Ag	Se	Te	Co	Ni	Ga/In	Cd/Fe
1	厂坝	34300	500	1454	11	3	3.7	6.5	42	4.3	0.5	n	n	2.97	0.04
2	铅铜山	3090	99	2330	26.4	35.3	4.3	n	75.6	n	n	71	10	6.14	0.75
3	凡口	50050	125	1850	345	95	6.5	4.5	195	3.5	n	1.2	5.8	53.1	0.04
4	密西西比	14100	49	1678	95	102	n		21			15	12		0.12
5	小铁山	41100		3110	20	< 1	38	9	202	23	5			0.53	0.08
6	火焰山	33800		6210	0.2	1.5			73	91	1.2				0.18
7	大宝山		24500	3330	40	< 0.7	56	5	230	8			15	0.71	
8	水口山	38100	6600	2500	55	2.5	47	0.4	118	29	34			1.17	0.07
9	黄沙坪		35900	1420	4.4		79	0.1		0.3				0.06	
10	本矿区	37600	140	2625	30	10.1	310	35	22	16	1	141	24	0.1	0.07

注: 1、2 据王集磊(1996); 其他据芮宗瑶(1991)。10 为本文, 样品数为 10 件, 表中数据为平均值。1、2、3、4 数据为热水沉积型, 5、6、7 数据为火山热液型, 8、9 数据为岩浆热液型。

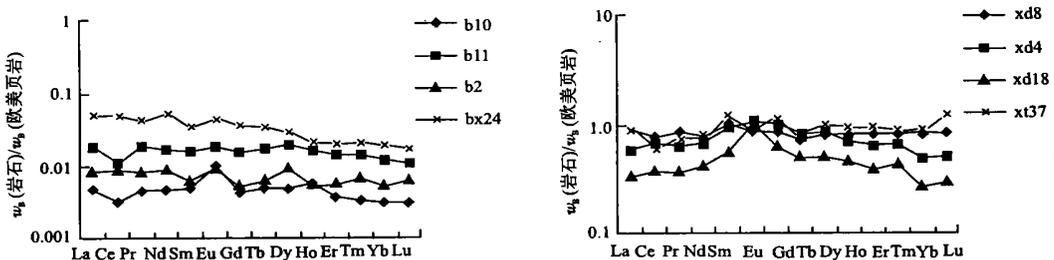


图 3 泗人沟—南沙沟铅锌矿床稀土元素配分曲线图

Fig. 3 Diagram showing REE patterns for ore and rocks

### 3.3 矿床稀土元素地球化学特征

表2为南沙沟—泗人沟矿区各类岩(矿)石、矿物的稀土元素分析结果,从表中可以看出围岩  $w(\sum \text{REE}) = 98.14 \times 10^{-6} \sim 109.38 \times 10^{-6}$ ,方铅矿  $w(\sum \text{REE})$  变化在  $571.94 \times 10^{-9} \sim 1294.13 \times 10^{-9}$  之间,闪锌矿  $w(\sum \text{REE}) = 2055.18 \times 10^{-9} \sim 6981.07 \times 10^{-9}$ ,矿石  $w(\sum \text{REE}) = 59.8 \times 10^{-6}$ 。 $\delta(\text{Eu})$  有显

著的负异常,  $\delta(\text{Ce}) = 0.54 \sim 0.9$ , 没有显著的异常。但球粒陨石标准化后(Hugh R. Rollison, 1993)作稀土元素配分曲线图(图3)。从图3中可以看出泗人沟铅锌矿矿石和围岩的稀土总量尽管不同,但其配分曲线相似;而硫化物矿物的稀土配分曲线也基本相同,说明矿石中的硫化物来自于地层。

表2 泗人沟矿区各类岩矿石、矿物的稀土元素分析结果表

Table 2 REE analysis for ore and rocks

样号	测试岩石	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
b10	方铅矿	185	254	42	159	29	11	21	4	23	6	11	1.43	9	1.41
b11	闪锌矿	704	901	165	587	91	21	73	14	97	17	42	6	36	5
b2	方铅矿	334	742	78	306	36	11	25	5	46	6	17	3	16	3
bx24	闪锌矿	1924	4021	391	1820	196	48	176	28	146	22	60	9	56	8
xt37	千枚岩	32.2	47.3	6.25	23.5	6.04	0.96	4.72	0.58	4.37	0.89	2.46	0.33	2.4	0.49
xd8	千枚岩	32.5	57.23	6.96	25.2	5.05	0.89	3.84	0.54	3.81	0.76	2.14	0.31	2.18	0.34
xd4	钙质粉砂岩	21.3	51.74	5.4	22.08	5.01	1.05	4.36	0.58	3.68	0.69	1.71	0.25	1.34	0.21
xd18	矿石	12.6	30.25	3.22	14.09	3	0.98	2.81	0.38	2.37	0.45	1.1	0.17	0.76	0.13
样号	$\sum \text{REE}$	$\sum \text{HREE}$	$\sum \text{LREE}$	$\sum \text{L}/\sum \text{H}$	La/Yb	Eu/ $\sum \text{REE}$	Sm/Nd	$\delta(\text{Eu})$	$\delta(\text{Ce})$	$(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$	$(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$				
b10	571.94	51.94	520	10.01	180.1	0.04	0.38	0.74	0.58	1.43	12.2				
b11	2055.2	203.18	1852	9.12	180.2	0.04	0.23	0.4	0.54	1.24	11.61				
b2	1294.1	91.13	1203	13.2	247.3	0.02	0.31	0.44	0.93	0.96	12.39				
bx24	6981.1	301.07	6680	22.19	502.6	0.03	0.24	0.33	0.92	1.93	20.4				
xt37	100.38	11.03	89.35	8.1	96.53	0.05	0.16	0.38	0.66	1.21	7.97				
xd8	109.38	9.67	99.71	10.31	168.3	0.04	0.18	0.36	0.76	1.08	8.85				
xd4	98.14	7.92	90.22	11.39	246.4	0.04	0.21	0.47	0.99	1.99	9.44				
xd18	59.8	5.07	54.73	10.79	232.7	0.05	0.33	0.7	0.97	2.27	9.84				

注:文中数据由中国科学院地质与地球物理研究所测定,测试方法:ICP-MS。岩石和矿石的量单位为  $w_{\text{R}}/10^{-6}$ ;矿物的量单位为  $w_{\text{M}}/10^{-9}$ 。

表3 泗人沟—南沙沟铅锌矿床硫同位素组成

Table 3 Sulfur isotopic compositions of Sirengou Nanshagou lead zinc deposit

样号	测试矿物	地质产状	$\delta(^{34}\text{S})/10^{-3}$	资料来源
Xdt 18	方铅矿	泗人沟I号矿体富铅锌矿石	7.92	本文
Xdt 29	闪锌矿	南沙沟I号矿体富铅锌矿石	6.73	
Xdt 8	黄铁矿	旬阳磨沟沟口围岩千枚岩	17.1	
Xdt 29	黄铁矿	旬阳泗人沟围岩千枚岩	17.02	
D084	方铅矿	泗人沟II号矿体富铅锌矿石	14.31	
D082	方铅矿	赵家庄铅锌矿矿石	3.92	(1996)

测试单位:中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室测定,分析精度为  $0.02 \times 10^{-3}$ 。

### 3.4 稳定同位素特征

(1) 硫同位素:样品采自泗人沟、南沙沟、关子沟主矿体的富锌矿石和远离矿体的千枚岩和碳质板

岩。测试对象为方铅矿、黄铁矿和闪锌矿(表3)。矿石硫同位素变化较大,  $\delta(^{34}\text{S}) = 3.92 \times 10^{-3} \sim 14.31 \times 10^{-3}$ , 均值为  $8.19 \times 10^{-3}$ 。矿区围岩中黄铁矿的  $\delta(^{34}\text{S}) = 17.02 \times 10^{-3} \sim 17.10 \times 10^{-3}$ , 均值为  $17.06 \times 10^{-3}$ 。综合对比镇安旬阳地区金属矿床的硫同位素资料:代表热液改造成矿作用形成的汞锑矿床(公馆、青铜沟)的矿石  $\delta(^{34}\text{S}) = 4.88 \times 10^{-3} \sim 8.66 \times 10^{-3}$ (杨志华, 1991), 与本区志留系中铅锌矿床的  $\delta(^{34}\text{S})$  组成基本一致,反映沉积硫与深部硫的混合。镇旬地区产在泥盆系中铅锌矿床(锡洞沟、月西等)为脉状矿床,21件硫同位素分析表明,矿体  $\delta(^{34}\text{S}) = 10 \times 10^{-3} \sim 18.8 \times 10^{-3}$ , 地层中的  $\delta(^{34}\text{S}) = 13.7 \times 10^{-3} \sim 19.06 \times 10^{-3}$ , 二者基本相同,均富集重硫,说明矿石中的硫可能来源于地层(杨志华, 1991)。这与志留系中铅锌矿床的硫源有所不同:志留系中铅锌矿床矿石硫源是深部硫和地层硫的混合硫,而泥

盆系中的铅锌矿床矿石硫源仅仅是地层硫。

(2) 氢氧同位素: 研究成矿热液来源, 尤其是水热流体的来源一般采用矿物气液包裹体中水的氢氧同位素组成来示踪和溯源。矿区富铅锌矿中的石英及闪锌矿中流体包裹体水溶液的氢氧同位素组成见表 4, 图 4。本区铅锌矿床矿石  $\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}) = 7.1 \times 10^{-3} \sim 13 \times 10^{-3}$ , 如此高的  $\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}})$  不可能来自于大气降水、岩浆水或地幔流体, 只能是来自于变质改造水, 且应是来自于富  $\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}})$  的变质流体库。对比镇旬地区其他矿床, 也可以得出相似的结论。镇旬地区泥盆系中铅锌矿床富矿石的  $\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}) = 6.29 \times 10^{-3} \sim 14.09 \times 10^{-3}$ ; 公馆、青铜沟汞铅矿床矿石的  $\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}) = 10.2 \times 10^{-3} \sim 11.8 \times 10^{-3}$  (杨志华, 1991)。所有的点基本上都落入初生岩浆水区域, 而本地区没有发现有岩浆活动。对它可能的解释是与成矿作用有关的流体只可能来自于深部封存的变质流体。

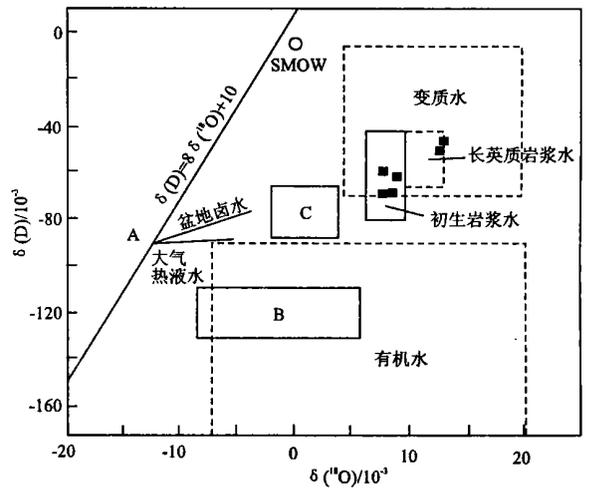


图 4 流体包裹体中氢氧同位素组成  $\delta(\text{D})-\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}})$  图解 (底图据张理刚, 1983)

Fig. 4 Diagram showing hydrogen and oxygen isotopic compositions of fluid inclusion

A. 中生代大气降水 B. 成岩期成矿流体 C. 改造期成矿流体

表 4 流体包裹体中氢氧同位素组成

Table 4 Hydrogen and oxygen isotopic compositions of fluid inclusion

样品号	采样地点	测试矿物	$\delta(^{18}\text{O}_{\text{矿物}})$	$\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}})$	$\delta(\text{D})$	均一温度(°C)	
lx24	南沙沟	闪锌矿		7.1	-59		何延波
lx24	南沙沟	方铅矿		12.4	-77		(1994)
Sxb2	南沙沟	石英	15.21	9.4	-71	350	
Sxb17	泗人沟	石英	19.53	13	-52	325	
Sxb22	泗人沟	石英	15.43	8.9	-63	325	本文
Sxb9	泗人沟	石英	15.16	7.8	-68	300	

测试单位: 中国地质科学院矿床所同位素室, 国际标准样 SMOW, 单位:  $10^{-3}$ ;

$\delta(^{18}\text{O}_{\text{水}})_{\text{SMOW}}$  采用如下公式计算得出:  $1000\text{Ln} a_{\text{石英-水}} = 3.306 \times 10^6 \text{T}^{-2} - 2.71$ ; 温度为石英包裹体均一温度实测值。

## 4 讨论

位于秦岭造山带志留系中的铅锌矿是从志留纪深水断陷海盆内由(热水喷流)沉积作用形成的铅锌矿胚层或铅锌高背景层改造而形成的。其成矿的动力可能来自于印支期逆冲推覆褶皱造山, R1f1 剥离断层可能是一导矿构造。该区铅锌矿床主要赋存于中志留统双河镇组浅变质细碎屑岩、碎屑岩沉积建造中。含矿围岩为粉砂质千枚岩、绢云母粉砂质千枚岩等, 并见有粉砂岩、砂砾岩及灰岩。双河镇组顶部地层中  $w(\text{Zn})$  平均值为  $322 \times 10^{-6}$ , 是地壳丰度的 3.4 倍。  $w(\text{Pb})$  平均值为  $55.35 \times 10^{-6}$ , 是地壳丰度的 4.6 倍。矿床中仍保留少量的沉积特征, 大多表现的是改造的特点。矿体主要产于顺层断裂破碎

带, 受变形变质条件控制, 破碎带是矿化富集部位, 破碎带愈宽、岩石愈破裂、硅化愈强烈地段, 则矿体品位高、厚度大。特别是由缓变陡部位, 铅锌矿化极好。闪锌矿中微量元素特点反映了该矿床既不同于典型的火山热液矿床, 也不同于典型的热液沉积矿床, 它是介于岩浆热液矿床与热水沉积矿床之间的一种改造型矿床。稀土元素地球化学反映出矿石、金属硫化物与地层的稀土配分曲线的一致性, 说明成矿物质主体来自于地层。矿石硫同位素低于地层中的  $\delta(^{34}\text{S})$ , 有深源硫的参与, 显示矿石硫和地层硫的混合特征。矿物流体包裹体氢氧同位素表明, 参与成矿的地质流体是深部封存的变质热流体, 总之, 铅锌成矿物质来自于地层, 深部提供的成矿流体向浅地表运移, 浸取地层中的铅锌等金属元素, 形成成矿流体。从海西期开始, 扬子板块向华北板块靠拢并有局部的接触和碰撞; 到印支-燕山期, 秦岭褶皱

造山,形成一系列的大型逆冲推覆构造和剥离断层,使得志留纪的封存变质流体释放,浸取地层中的铅锌等元素,形成成矿流体在地壳浅层脆性断裂、顺层断裂破碎带等有利空间形成改造型铅锌矿床。

## 5 结论

通过对泗人沟-南沙沟矿床的地质地球化学特征研究,得出如下结论:矿体受构造控制,以块状、条带状富矿体为主,闪锌矿和方铅矿的晶体粗大,系重结晶的结果;矿石、金属硫化物与地层的稀土配分曲线一致性说明成矿物质主体来自于地层;闪锌矿微量元素特点介于热液矿床和热水沉积矿床之间,属改造型;硫同位素组成表明,矿石较地层富集轻硫,可能反映了造山作用产生的热液使其硫同位素发生了均一化或者有深源硫的参加,显示出矿石硫和地层硫的混合特征;流体氢氧同位素组成特征表明成矿介质可能是封存于深部的变质流体。在秦岭地区发生逆冲推覆褶皱造山过程中,剥离断层构造沟通了该流体库并使之上升,萃取围岩中的铅锌等物质,在造山带浅层张性系统中富集成矿。

### 参考文献:

- [1] 陈连红. 陕西旬阳淋湘金矿形成条件及找矿前景分析[J]. 岩土工程界, 1998, 7(6).
- [2] 卢纪英, 李作华, 张复新, 等. 秦岭板块金矿床[M]. 西安: 陕西

科学技术出版社, 2001.

- [3] 祁思敬, 李英. 秦岭热水沉积型铅(铜)矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [4] 祁思敬, 李英. 秦岭泥盆系铅锌成矿带[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [5] 韩照信. 秦岭泥盆系铅锌成矿带中闪锌矿的标型意义[J]. 西安地质学院学报, 1994, 16(1).
- [6] 芮宗瑶. 关门山铅锌矿床——盆地热卤水成矿及铅同位素特征[M]. 北京: 地质出版社, 1991. 104-110.
- [7] 宋学信. 凡口矿床闪锌矿和方铅矿微量元素及其比值对比性研究[J]. 岩矿测试, 1982, 1(3): 14-18.
- [8] 涂光炽. 中国层控矿床地球化学(第1卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [9] 王相, 唐荣扬, 李实, 等. 秦岭造山与金属成矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996.
- [10] 王集磊, 何伯堉, 李建中, 等. 中国秦岭型铅锌矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [11] 王俊发, 张复新. 秦岭泥盆系层控金属矿床[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1991.
- [12] Songxuexin. Minor elements and ore genesis of the Fankou lead zinc deposit, China[J]. Mineralium Deposita, 1984, 19(1).
- [13] 杨志华. 边缘转换盆地的构造岩相与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [14] 邹海洋, 陈松岭, 等. 陕西旬阳淋湘金矿地质特征和成矿流体属性[J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(1): 65-69.
- [15] 邹海洋, 陈松岭, 等. 淋湘金矿地球化学特征[J]. 中南工业大学学报(自然科学版), 2001, 32(2).
- [16] 朱华平, 张德全. 从南沙沟铅锌矿床地质特征讨论秦岭志留系铅锌矿的找矿前景[J]. 矿床地质, 2002, 21(增刊).
- [17] 陈松岭. 陕西旬阳盆地赵家庄—淋湘金矿控矿条件研究及找矿预测(科研报告)[R]. 西安: 西北有色地质勘查局, 1996.
- [18] 何延波. 陕西旬阳县泗人沟—南沙沟铅锌矿带矿化特征及找矿方向(学位论文)[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 1994.

## RESEARCH ON GEOLOGY & GEOCHEMISTRY OF SILURIAN CLASTIC ROCK-BEARING LEAD-ZINC DEPOSIT IN SOUTHERN QINLING

ZHU Hua ping<sup>1,2</sup>, ZHANG De quan<sup>1</sup>

(Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. Northwest Geological Institute of Nonferrous Metals, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** In recent years, a series of lead-zinc deposits were explored in Silurian strata in South Qinling area. It is become more and more important in the whole Qinling metallogenic belt. For example of Nanshagou and Sirengou lead-zinc deposit, the paper studies their geological and geochemical characteristics.

(下转第 86 页)

- 测[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [2] 中国有色金属工业总公司江西地质勘查局《江西银山铜铅锌金银矿床》编写组. 江西银山铜铅锌金银矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [3] 王成发. 乐—德矿带系列与成矿规律[J]. 矿产与地质, 1992, 6(4).
- [4] 翟裕生. 大型构造与超大型矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [5] 陈毓川. 当代矿产资源勘查评价的理论与方法[M]. 北京: 地震出版社, 1999.
- [6] 张德会. 乐华—德兴成矿带成矿作用研究的进展、问题及展望[J]. 地质论评, 1998, 44(5).
- [7] 朱训, 黄崇轲, 芮宗瑶, 等. 德兴斑岩铜矿[M]. 北京: 地质出版社, 1983.
- [8] 华仁民. 赣东北深大断裂带形成机制的讨论[J]. 南京大学学报(地球科学), 1989, (12).
- [9] 吴学益, 杨元根, 肖惠明, 等. 赣东北断裂带铜、金成矿控制因素耦合作用及其模拟实验[J]. 大地构造与成矿学, 1999, 23(1).

## METALLOGENIC CHARACTERISTICS OF LEHUA- DEXING Cu-POLYMETAL ORE BELT IN THE NORTHEAST JIANGXI PROVINCE AND ORE PREDICTION IN THE ORE BELT

DENG Guo ping

(*Jiangxi Nonferrous metal geological exploration and development Institute, Nanchang 330001, China*)

**Abstract:** Based on data collected from geological team and geological scientific units which are concerned with the ore belt this paper deals with its geological setting and the mineral resource distribution and describes the metallogenic characteristics and pattern. It is pointed out that the belt remains potential for further exploration.

**Key words:** Cu-Au ore; metallogenic characteristics; ore prediction and ore searching; Lehua-Dexing ore belt. Northeast Jiangxi province

(上接第 82 页)

Ore REE curve and geochemical data is coincided with that of the host stratum indicating that ore materials come from the host stratum. Minor element composition and some characteristic value fall between hydrothermal and hot water sedimentary ore deposit types showing that it is a reformed deposit. Ore Pb isotope composition differs from that of the host and is riched in light sulfur reflect mix or hydrothermally homogenization during orogeny. H, O isotope composition of fluid inclusion reveals that ore media may be the deeply sealed fluid. All this indicates that the ultimate location of the Pb-Zn deposit could be related to Indo-China-Yanshanian nappe.

**Key words:** Silurian lead-zinc deposit; stable isotope geochemistry; microelement geochemistry; Nanqinling orogenic belt