

陕西凤县二里河喷流沉积型铅锌矿床的地质地球化学证据

张 海¹, 何明友¹, 李方林², 王玉婷¹, 唐 耀¹, 侯春秋¹

(1 成都理工大学 核技术与自动化工程学院, 四川 成都 610059; 2 中国地质大学 地球科学学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 通过实地地质调查和取样测试, 对二里河铅锌矿床进行标型矿物微量元素、围岩稀土元素地球化学特征、流体包裹体特征分析。结果表明: 二里河铅锌矿床具有海底热水喷流沉积矿床一般地质特征, 多期(华力西期+印支期)构造运动和幅度较大的裂陷发育史为大量矿质的喷流和聚集提供了十分有利的导矿和容矿构造条件。标型矿物微量元素地球化学特征显示: 闪锌矿明显富集 $\text{Cd}((6\ 493\ 74\sim 7\ 225\ 68)\times 10^{-6})$, 贫 Sb、As, 黄铁矿 $w(\text{S})$ 与 $w(\text{Se})$ 比值为 $23\ 443.48\sim 250\ 284.36$, $w(\text{Co})$ 与 $w(\text{Ni})$ 比值为 $3\ 47\sim 104\ 10$, 指示矿床具热水沉积特征, 而黄铁矿 $w(\text{Fe})/(w(\text{S})+w(\text{As}))$ 为 $0.87\sim 1.52$, 表明该矿为浅部成因矿床; 流体包裹体特征、围岩和闪锌矿稀土元素显著亏损 Eu、Ce, 指示二里河铅锌矿床可能具有喷流沉积型矿床远源矿化特征; $\log(\text{Ce})$ 为 $-0.04\sim 0.04$, 表明二里河铅锌矿床围岩在还原环境下成岩; 石英流体包裹体均一温度及闪锌矿成分指示的温度范围($215\ ^\circ\text{C}\sim 333\ ^\circ\text{C}$)特征表明该矿床为中温矿床。综上所述, 二里河铅锌矿床可能为相对远离喷流口的喷流沉积型浅层中温层状矿床。

关键词: 流体包裹体; 稀土元素; 同位素; 喷流沉积型; 热水沉积; 二里河铅锌矿床

中图分类号: P611 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2011)01-0064-06

Geological and Geochemical Evidence of the Erlihe SEDEX Pb-Zn Deposit in Fengxian, Shaanxi

ZHANG Hai¹, HE Ming-you¹, LI Fang-lin², WANG Yu-ting¹, TANG Yao¹, HOU Chun-qiu¹

(1. School of Applied Nuclear Technology and Automation Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: Based on the geologic survey and sampling test, characteristics of the typomorphic mineral trace element, wall rock rare earth elements geochemistry and fluid inclusion for Erlihe Pb-Zn Deposit were analyzed. The results showed that the Erlihe Pb-Zn Deposit had the general geological features of a submarine exhalative sedimentary deposit; the multi-phase tectonic movement of the Indo-Variscan period and the large-scale development of fractured surface provided a favorable structural condition for mineralization by erupting and aggregating a large number of minerals. Characteristics of the typomorphic mineral trace element showed that sphalerite was rich in Cd ($(6\ 493\ 74\sim 7\ 225\ 68)\times 10^{-6}$) and poor in Sb and As. pyrite $w(\text{S})/w(\text{Se})$ and $w(\text{Co})/w(\text{Ni})$ were $23\ 443.48\sim 250\ 284.36$ and $3\ 47\sim 104\ 10$ respectively, the deposit was hot brine sedimentary; pyrite $w(\text{Fe})/(w(\text{S})+w(\text{As}))$ ($0.87\sim 1.52$) suggested the deposit originated from shallow; characteristics of fluid inclusions and rare earth elements (dramatically depleted in Eu and Ce in wall rock and sphalerite) probably hint distal mineralization of SEDEX in medium temperature; $\log(\text{Ce})$ ($-0.04\sim 0.04$) displays an anoxic environment for wall rock diagenesis; the homogeneous temperature of quartz fluid inclusion and temperature interval of sphalerite components($215\ ^\circ\text{C}\sim 333\ ^\circ\text{C}$) showed the deposit was in medium temperature. In general, Erlihe Pb-Zn Deposit is possibly a type of superficial medium temperature strata-bound SEDEX deposit, relatively far away from the vent.

Key words: fluid inclusion; rare earth element; isotope; geochemical characteristic; SEDEX; hydrothermal deposit; Erlihe Pb-Zn Deposit

收稿日期: 2010-04-20

基金项目: 西北有色地质勘查局研究项目(07016194)

作者简介: 张 海(1985-), 男, 贵州织金人, 理学硕士研究生, 从事矿床地球化学研究。E-mail: zhanghai01504130@163.com

0 引言

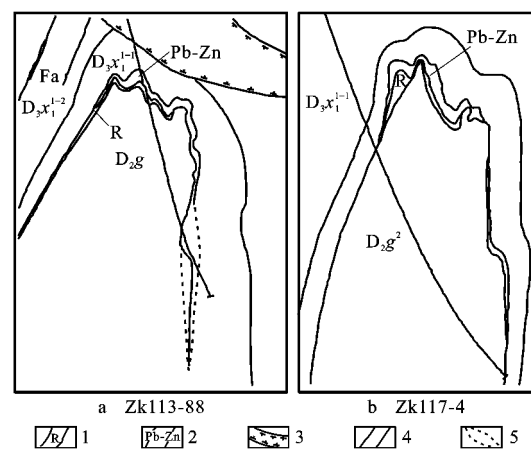
过去将以沉积岩为容矿岩石的块状硫化物矿床称为“页岩型”矿床。但这类矿床的容矿岩石除页岩外,还有许多其他类型的沉积岩,因此在 1986 年第七届矿床成因讨论会上将这类沉积岩容矿的矿床称为喷流沉积型(SEDEX)矿床。近年研究表明,国内外许多大型和超大型矿床也属喷流沉积型矿床,如澳大利亚的芒特艾萨、布罗肯希尔;加拿大沙利文;中国广西大厂、云南金顶等大型富矿床。国内先后有田毓龙等开展了喷流沉积型矿床研究工作^[1-6]。一般认为,海底喷流沉积成矿泛指深部上升的不同成因含矿热流体喷出海底过程中,与常温海水相互反应,致使矿质沉淀富集成矿。其沉积成矿作用发生的沉积环境以裂谷作用产生的低能、缺氧、高盐度和温度等为特征,主要形成于拉张性构造环境,具体构造背景是受裂谷控制的克拉通内部及其边缘的沉降盆地,或拉张的裂谷、地堑。田民等先后认为二里河铅锌矿床为喷流沉积型矿床^[7-8];国内很多学者对该矿也进行了研究,但研究程度相对较低,在成矿环境、成矿系列、矿质来源和成矿作用演化和找矿预测等方面仍然留下不少疑难问题。笔者运用地质地球化学方法,寻找二里河铅锌矿床为喷流沉积型矿床的地质地球化学证据,力图为该区指出具有一定价值的找矿方向。

1 矿床地质特征

陕西凤县二里河属于凤太矿集区,该区地处秦岭造山带泥盆系金-多金属成矿带中部,其大地构造位置位于华北板块与扬子板块的挟持部位。由于华力西期到印支期(特别是印支期)两大板块的强烈碰撞以及东部佛坪隆起和西部罗汉寺隆起的影响,秦岭微板块发生强烈的南北向对冲推覆造山作用,中生代又发生强烈的陆内逆冲推覆和东西向的隆升作用,致使褶皱和断裂十分发育,并形成在北东向基底隆起基础上发育起来的北东向隆起带和凹陷带(盆地),奠定了区内现今的构造格局。

矿区内出露地层为中上泥盆统,岩性为一套浅变质的海相碳酸盐岩-泥质碎屑岩。其中矿体主要赋存于上泥盆统星红铺组(D_3x)和中泥盆统古道岭组上段(D_2g^2)间(图 1); D_3x 是矿区出露的主要地层,岩性为一套浅变质泥砂质细碎屑岩夹薄层灰岩; D_2g^2 与上覆上泥盆统星红铺组地层为整合接触关系,岩性以结晶灰岩为主,顶部常见生物碎屑灰岩,

局部有炭质灰岩、硅化灰岩及微石英岩,其顶部为矿床的含矿层位。侵入岩为闪长玢岩,在工作区局部以岩脉形式侵入矿体,侵入时期为二里河铅锌矿床成矿以后,对该矿床成矿没有影响。



注: 1—矿化微石英岩; 2—采矿工程控制矿体实际边界线; 3—闪长玢岩脉; 4—实测及推测地质界线; 5—勘探工程推测的矿体边界线; D_2g —中泥盆统古道岭组; Fa —断层; $D_3x_1^{1-1}$ —上泥盆统星红铺组下岩段第一层第一亚层; $D_3x_1^{1-2}$ —上泥盆统星红铺组下岩段第一层第二亚层; $Pb-Zn$ —铅锌矿体(脉); 据文献[7]。

图 1 二里河铅锌矿床剖面

Fig. 1 Section Sketch Map of Erlihe Pb-Zn Deposit

矿区主要构造为八方山—二里河背斜,纵贯全区,其展布范围即是矿床范围。断裂构造可分为纵断层和横断层。纵断层走向大致与地层走向一致,不发育;横断层较发育,垂直背斜轴和地层,大体平行排列,并以 300~400 m 等间距分布,断距不大,全属逆断层,是成矿之后的断裂,多被闪长玢岩脉充填,而未充填岩脉的横断层断距较大,破坏了矿体的完整性和连续性。

二里河铅锌矿床具有典型的、完整的背斜控矿特征(图 1)。地表矿化带围绕背斜核部灰岩呈不规则环状,往东至二里河铅锌矿床,随背斜的倾伏而潜伏于地下。目前探明的矿体主要分布在鞍部,矿体呈月牙状。矿体全部赋存于矿化带内,容矿岩石主要为微石英岩,其次为硅化灰岩、硅化千枚岩等。矿体总体上与围岩整合接触,局部因张裂隙对矿质的导入使矿体进入近矿围岩,从而使矿体在微观上呈现出穿层构造。

二里河铅锌矿床的主要控矿因素为: ①背斜控矿: 背斜是本区最主要也是最明显的控矿因素,目前探明的矿体仅赋存于背斜鞍部,局部向两翼稍有延伸; ②微石英岩控矿: 矿体全部赋存于微石英岩中,部分微石英岩已全部矿化成矿体; ③层间接触带控

矿:所有矿体均赋存于古道岭组灰岩与星红铺组千枚岩层间接触带中^[7]。

综合二里河铅锌矿床大地构造特征、矿床地质特征及控矿因素,笔者认为多期(华力西期+印支期)构造运动和幅度较大的裂陷发育史,为大量矿质的喷流和聚集提供了十分有利的导矿和容矿构造条件。因此,二里河铅锌矿床具有海底热水喷流沉积矿床的一般地质特征。

2 流体包裹体特征

样品采自顺层走向、与矿体相关的石英,分别采自海拔 1 400、1 416、1 490 m 中段。其与矿体的接触关系如图 2,样品由中国地质大学(武汉)能源地质与工程实验教学中心完成,测试所用的仪器为 Linkam 600G 型显微冷热台,测温范围为 0 ℃~500 ℃,误差约 0.1 ℃。

37 个石英流体包裹体特征(表 1)显示,微晶石英中包裹体直径为 5~8 μm,数量较少,包裹体形态为气液两相包裹体,气液体积比小于 10%。

表 1 陕西凤县二里河铅锌矿床流体包裹体测温结果

Tab. 1 Temperature Analysis of Fluid Inclusion in Orebody of Erlihe Pb-Zn Deposit

样号	采样海拔 高程/m	主矿物	包裹体						
			数目/个	类型	形态	直径范围/μm	气液比/%	均一温度/℃	平均温度/℃
B20	1 416	石英	12	原生	气液两相	5~8	6~10	215~232	289
B2	1 490	石英	12	原生	气液两相	5~8	5~10	223~333	265
B13	1 400	石英	13	原生	气液两相	5~8	5~10	217~283	246

此外,参考并对比贾润幸等对秦岭凤太成矿区金多金属矿床成矿流体地球化学研究^[9],笔者认为二里河铅锌矿床具有与南秦岭热水沉积型铅锌矿床相同的特征,矿床形成与热水沉积作用可能有直接联系。

3 元素地球化学特征

3.1 样品与测试

岩石和矿石样品采自二里河铅锌矿床已经开挖的坑道中,并按不同标高段采集。点距在 2~20 m 之间,矿体及近矿地段采样点密集,随着采样点与近矿距离增大,采样点逐渐稀疏,点距变大。闪锌矿与黄铁矿激光剥蚀测试在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。其中,闪锌矿、黄铁矿样品为单矿物样品,样号为 B18、B24-2、B8、B10 的样品为棕褐色闪锌矿,黄铁矿采自千枚岩(B21-1-1)及矿体(B35-1-1、B35-1-2)中。测试采用 Agilent 7500A 电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)分析测定,样品选择晶形较好的单矿物直接进行激

光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)测定元素含量,直接测定阳离子含量,并假设较纯单矿物仅有 S²⁻ 一种阴离子团及各种阳离子组成,从而计算出硫的含量。测试过程通过 BIR-1、GSE-1G、BCR-2、BHVO-2 国际标样进行监控,标样测试结果表明,多数元素含量的测量精度优于 5%,部分过渡元素和重稀土元素的相对误差为 5%~10%。测试结果见表 2、3。



图 2 二里河铅锌矿床微石英岩与闪锌矿接触关系

Fig. 2 Picture of Micro-quartzite and Sphalerite in Erlihe Pb-Zn Deposit

光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)测定元素含量,直接测定阳离子含量,并假设较纯单矿物仅有 S²⁻ 一种阴离子团及各种阳离子组成,从而计算出硫的含量。测试过程通过 BIR-1、GSE-1G、BCR-2、BHVO-2 国际标样进行监控,标样测试结果表明,多数元素含量的测量精度优于 5%,部分过渡元素和重稀土元素的相对误差为 5%~10%。测试结果见表 2、3。

围岩(千枚岩、灰岩)的稀土元素数据在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成,测试样品 20 件,其中 9 件为灰岩,11 件千枚岩;测试采用 Agilent 7500A 电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)分析测定。根据 AGV-2、BCR-2、BHVO-2 和 G-2 标准样品元素的测试值与推荐值的相对误差均为 5%~10%,证明数据是可靠的,分析结果见表 4。

闪锌矿中 FeS 质量分数与温度的关系:当 FeS 质量分数为 1.07%~1.52% 时,其温度为 200 ℃;当质

表 2 闪锌矿成分
Tab. 2 Sphalerite Composition

样号	S	Fe	Zn	FeS
B18-1	33.092	1.798	64.892	3.12
B18-2	32.812	1.756	65.212	3.07
B24-2	33.024	1.946	64.617	3.38
B8-1	33.198	3.49	62.814	6.04
B8-2	33.268	3.478	63.079	6.00
B10-1	33.185	5.224	61.187	9.04
B10-2	32.836	2.428	64.33	4.24
B10-3	32.983	1.757	64.857	3.06

注: 表中元素质量分数/%。

表 3 闪锌矿 LA-ICP-MS 测试结果分析
Tab. 3 LA-ICP-MS Analysis of Sphalerite

样号	矿物	数量	Zn	Fe	S	Pb	Cd	Ag	Au	Co	Ni	Sb	As
B8	闪锌矿	2	6 295	348	3 323	46.88	7 225.68	33.44	0.49	407.61	27.11	34.02	102.11
B10	闪锌矿	3	6 346	314	3 300	13.55	6 703.44	22.12	0.06	482.51	41.38	9.64	54.08
B18	闪锌矿	2	6 505	178	3 295	34.78	7 010.11	15.85	0.36	442.23	21.63	5.32	157.89
B24-2	闪锌矿	1	6 462	195	3 302	4.08	6 493.74	17.26	0.07	447.81	43.56	5.75	66.44

注: 表中 Zn、S 质量分数/ 10^{-4} ; 其他元素质量分数/ 10^{-6} 。

表 4 黄铁矿 LA-ICP-MS 测试结果分析
Tab. 4 LA-ICP-MS Analysis of Pyrite

样号	S	Fe	Cu	Ag	As	Sb	Co	Ni	Cd	Se	$w(S)/w(Se)$	$w(Co)/w(Ni)$	$w(Fe)/(w(S)+w(As))$
B35-1-1	5 298	4 634	9	16.51	4.63	0.89	127.01	1.22	15 468.44	22.60	23 442.48	104.10	0.87
B35-1-2	5 281	4 618	6	<0.25	21.02	0.36	158.94	45.80	<0.13	2.11	250 284.36	3.47	0.87
B21-1-1	4 937	5 016	14	14.19	2 406.05	482.77	202.51	413.93	55.48	1 079.86	549.79	0.49	1.52

注: 表中 Fe、S 质量分数/ 10^{-4} ; 其他元素质量分数/ 10^{-6} ; 最后三列数据为元素质量分数的比值。

3.2 标型矿物微量元素地球化学特征

从表 3 可以看出, 闪锌矿表现出明显富集 Cd, 贫 Sb、As。参照方维萱对陕西凤县铅硐山大型铅锌矿床矿物地球化学研究中对不同成因闪锌矿的成因认识^[11], 二里河闪锌矿明显富集 Cd 及贫挥发性元素特征表明, 闪锌矿形成有可能经历了后期改造作用。

由表 4 可以看出, 产于千枚岩中的黄铁矿(B21-1-1)元素特征表现为: 在围岩中, 由正常同生沉积作用形成的黄铁矿中 Co、Ni、As、Sb、Se 含量高, 富 Cu、Pb、Zn, 而 $w(S)<50\%$, $w(Co)/w(Ni)$ 为 0.49, 而 $w(S)/w(Se)$ 低, 仅为 549.79。根据这些特征, 推测该区围岩很可能经受了成矿过程中的热变质作用。

产于矿床中的黄铁矿(B35-1-1、B35-1-2)元素特征表现为: Ag、Cd 含量较高, 与前述闪锌矿的特点类似。 $w(S)/w(Se)$ 为 23 442.48~250 284.36, $w(Co)/w(Ni)$ 为 3.47~104.10, 这表明矿床可能经受了热液作用。

量分数为 4.63%~7.74%时为 200℃~300℃; 当质量分数为 12.24%~15.90%时为 400℃~500℃。二里河铅锌矿闪锌矿中 FeS 质量分数均大于 1.52%, 多数为 3%~6%, 只有 1 个样品大于 7.74%(表 2)。因此, 可以推断其形成温度应为 300℃左右, 这一结果与前述石英流体包裹体均一温度结果相一致。

此外, Garder 等对加拿大塞尔温盆 Jason 铅锌矿床研究表明, 喷流口外带的矿化温度为 135℃~335℃, 平均为 $(246.1\pm29)^\circ\text{C}$ (样本为 39 个), 二里河铅锌矿床成矿温度与 Jason 铅锌矿床喷流口外带的矿化温度相似, 这可能是在有盖层的情况下, 后期热液活动的结果, 属远离喷流口矿化^[10]。

此外, 黄铁矿 $w(Fe)/(w(S)+w(As))$ 非化学计量具有标型意义, 赵珊茸则认为: 若 $w(Fe)/(w(S)+w(As))$ 值明显大于 0.5, 指示其属浅部形成, 而当 $w(Fe)/(w(S)+w(As))$ 小于或略大于 0.5 时, 则反映其是深部产物^[12]。表 4 表明, 该矿床黄铁矿中 $w(Fe)/(w(S)+w(As))$ 为 0.87~1.52, 这表明黄铁矿为浅部产物, 同时也说明二里河铅锌矿床为浅层矿床。

3.3 围岩稀土元素地球化学特征

(1) 中泥盆统古道岭组以块状灰岩为主。其中, $w(\Sigma\text{REE})$ 为 $(11.96\sim156.41)\times10^{-6}$, 平均 90.73×10^{-6} ; Eu 为 0.41~0.93, 平均为 0.68; Ce 为 0.84~0.98(样品 130-8 的 Ce 为 0.84, 为矿床近矿围岩), 平均为 0.928。以上显示出较强的负 Eu 异常与弱的负 Ce 异常, $w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N$ 为 9.30~30.56, 平均为 13.73, $w(\text{La})_N/w(\text{Sm})_N$ 为 3.69~5.25, 表明灰岩富集轻稀土, 示踪其原岩为陆壳碎

屑。而上泥盆统星红铺组,以千枚岩为主, $w(\Sigma\text{REE})$ 为 $(386.30 \sim 833.68) \times 10^{-6}$, 平均 604.95×10^{-6} 。 Eu 为 $0.59 \sim 0.74$, 此外, Ce 为 $0.95 \sim 1.05$, 平均为 1.003 , 以上显示出较强的负 Eu 异常与弱的负

Ce 异常。 $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$ 为 $10.27 \sim 17.47$, 平均 14.57 , $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Sm})_{\text{N}}$ 为 $3.53 \sim 4.19$, 表明千枚岩富集轻稀土, 示踪其原岩为陆壳碎屑(富黏土矿物)(表 5、6)。

表 5 陕西凤县二里河铅锌矿床围岩稀土元素含量

Tab. 5 REE Content of Orebody Wall Rock of Erlihe Pb-Zn Deposit

样号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
130-1	灰岩	12.61	23.13	2.63	9.47	2.02	0.43	1.63	0.26	1.88	0.28	0.89	0.13	0.81	0.13
130-2	灰岩	27.06	53.73	5.95	22.06	4.29	0.98	3.74	0.58	4.15	0.63	1.91	0.28	1.87	0.27
130-3	灰岩	16.66	30.54	3.55	12.84	2.82	0.77	2.12	0.33	2.47	0.36	1.17	0.16	0.99	0.14
130-4	灰岩	35.45	66.50	7.43	27.44	5.25	0.92	4.02	0.58	4.15	0.60	1.85	0.27	1.71	0.25
130-5	灰岩	15.31	28.24	3.32	11.01	1.84	0.45	1.40	0.20	1.36	0.21	0.63	0.09	0.53	0.08
130-6	灰岩	35.04	63.82	7.07	24.88	4.38	0.90	3.78	0.57	4.15	0.67	1.97	0.26	1.76	0.22
130-7	灰岩	10.93	21.42	2.53	9.31	1.68	0.34	1.80	0.24	1.79	0.31	0.82	0.14	0.79	0.14
130-8	灰岩	31.48	51.68	6.14	21.66	4.14	0.47	2.56	0.32	2.27	0.32	0.97	0.11	0.69	0.14
130-9	灰岩	2.40	4.74	0.52	1.97	0.44	0.10	0.44	0.07	0.54	0.08	0.28	0.04	0.30	0.05
T12-2	千枚岩	105.30	214.70	23.51	86.00	16.62	3.48	11.24	1.31	7.11	0.90	3.20	0.55	4.52	0.76
T12-3	千枚岩	83.46	172.60	18.86	68.77	13.31	2.83	9.45	1.15	6.72	0.90	3.02	0.50	4.06	0.66
T12-10	千枚岩	130.00	268.30	29.68	109.30	20.96	4.29	14.90	1.84	10.47	1.34	4.23	0.67	5.19	0.82
T12-15	千枚岩	184.90	372.50	42.60	149.10	27.77	5.11	18.77	2.40	13.78	1.78	5.79	0.93	7.14	1.13
T12-20	千枚岩	121.20	245.40	27.13	100.40	19.37	3.64	15.91	2.33	16.35	2.40	7.75	1.16	7.96	1.22
T12-25	千枚岩	124.50	243.60	27.72	102.90	19.93	3.74	15.57	2.25	15.14	2.14	6.78	1.01	6.72	1.02
T12-30	千枚岩	113.20	263.50	28.31	103.50	20.20	4.10	13.53	1.64	9.02	1.12	3.66	0.59	4.60	0.73
T12-35	千枚岩	120.70	263.40	29.24	105.90	20.41	3.86	14.61	1.92	11.19	1.45	4.78	0.78	6.03	0.99
T12-40	千枚岩	174.40	337.20	38.73	139.30	27.04	4.59	18.84	2.58	15.94	2.08	6.77	1.08	7.83	1.22
T12-45	千枚岩	139.20	307.80	34.03	119.00	22.32	4.42	16.02	2.13	12.51	1.64	5.24	0.85	6.53	1.02
T12-50	千枚岩	130.80	264.20	30.25	108.70	21.16	4.19	15.61	2.09	12.75	1.65	5.34	0.86	6.23	0.98

注:表中稀土元素质量分数/ 10^{-6} 。

表 6 陕西凤县二里河铅锌矿床围岩稀土元素特征参数

Tab. 6 REE Analysis of Orebody Wall Rock of Erlihe Pb-Zn Deposit

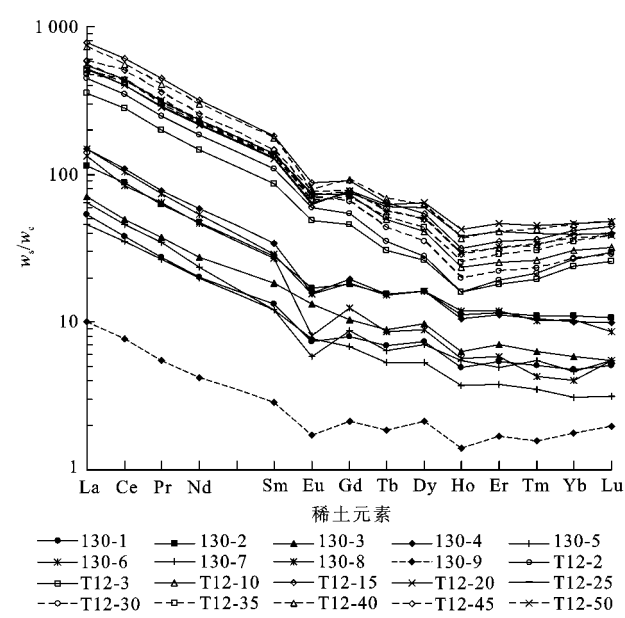
样号	岩性	$w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$	$w(\Sigma\text{REE})/10^{-6}$	Eu	Ce	$w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}}$	$\log(\text{Ce})$	$w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Sm})_{\text{N}}$
130-1	灰岩	8.39	56.27	0.70	0.92	10.55	-0.04	3.93
130-2	灰岩	8.50	127.50	0.73	0.98	9.74	-0.01	3.96
130-3	灰岩	8.69	74.92	0.93	0.91	11.35	-0.04	3.71
130-4	灰岩	10.65	156.41	0.59	0.94	13.95	-0.03	4.25
130-5	灰岩	13.40	64.65	0.82	0.91	19.39	-0.04	5.25
130-6	灰岩	10.17	149.47	0.66	0.92	13.40	-0.03	5.03
130-7	灰岩	7.69	52.43	0.56	0.95	9.30	-0.02	3.69
130-8	灰岩	15.65	122.96	0.41	0.84	30.56	-0.07	4.78
130-9	灰岩	5.67	11.96	0.72	0.97	5.40	-0.01	4.43
T12-2	千枚岩	15.20	479.20	0.74	1.00	15.71	0.00	3.99
T12-3	千枚岩	13.59	386.30	0.73	1.01	13.85	0.00	3.94
T12-10	千枚岩	14.25	602.00	0.71	1.00	16.87	0.00	3.90
T12-15	千枚岩	15.12	833.68	0.65	0.98	17.47	-0.01	4.19
T12-20	千枚岩	9.39	572.21	0.62	0.99	10.27	0.00	3.94
T12-25	千枚岩	10.32	573.02	0.63	0.96	12.49	-0.02	3.93
T12-30	千枚岩	15.28	567.69	0.72	1.09	16.61	0.04	3.53
T12-35	千枚岩	13.02	585.27	0.65	1.04	13.49	0.02	3.72
T12-40	千枚岩	12.80	777.60	0.59	0.95	15.02	-0.02	4.06
T12-45	千枚岩	13.65	672.70	0.68	1.05	14.37	0.02	3.92
T12-50	千枚岩	12.29	604.80	0.68	0.98	14.15	-0.02	3.89

(2)二里河铅锌矿床围岩稀土元素配分模式曲线显示, D_2g 灰岩和 D_3x 千枚岩表现出稀土元素的地球化学特征大体相似, 富集轻稀土, 向右倾斜明显, $w(\Sigma\text{REE})$ 较高, 亏损 Eu 、 Ce , 但可见 Ce 的正异常, $w(\Sigma\text{LREE})/w(\Sigma\text{HREE})$ 较大, 这些特征显示二里河铅锌矿床围岩为正常海水沉积环境(图 3)。

(3)根据 Wright 等定义, 当 $\log(\text{Ce}) < -0.1$ 表示氧化环境, 当 $\log(\text{Ce}) > -0.1$ 表示还原环境^[13]。二里河铅锌矿床围岩样品的 $\log(\text{Ce})$ 为 $-0.04 \sim 0.04$, 表明当时二里河铅锌矿围岩的沉积成岩环境为较强的海水还原环境。

3.4 闪锌矿稀土元素地球化学特征

据李厚民等对二里河铅锌矿床的矿物稀土元素特征研究指出, 二里河铅锌矿床闪锌矿稀土元素配分曲线为轻稀土元素稍富集的右倾型, Eu 异常变化大、规律性不强, 要么 Eu 异常不明显, 要么具有负 Eu 异常, 只有极个别闪锌矿具有明显 Eu 正异常^[8]。韩发等指出喷流沉积型矿床中各类化学沉积物中, 远源金属沉积物显著亏损 Eu 、 Ce ^[2]。综上所述, 二里河铅锌矿床稀土元素特征与喷流沉积型矿



注: w_s —样品质量分数; w_c —球粒陨石质量分数。
图3 二里河铅锌矿床围岩稀土元素配分模式曲线
Fig. 3 REE Partition Coefficient in Wall Rock of Erlihe Pb-Zn Deposit

床远源矿化矿床稀土元素特征相类似, 都表现出亏损 Eu、Ce 等稀土元素的特征。

4 矿床同位素地球化学特征

李强等研究八方山—二里河铅锌矿床同位素地球化学特征认为, 二里河铅锌矿硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 变化为 $(-0.5 \sim 0.6) \times 10^{-3}$, 并得出硅质岩在成因上属热水来源 SiO_2 经化学沉积作用形成^[14]。 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值为 8.4×10^{-3} , 且矿石与含矿围岩中同一种硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 有明显差异, 反映了矿石中硫来源更广, 一部分为硫酸盐海水的还原硫, 另一部分则是地壳深部的硫。碳酸盐白云石 $\delta^{13}\text{C}$ 为 $(0.04 \sim 0.79) \times 10^{-3}$, 平均为 0.28×10^{-3} ; $\delta^{18}\text{O}$ 为 $(17.17 \sim 18.95) \times 10^{-3}$, 平均为 18.06×10^{-3} 。以上特征表明二里河铅锌矿床具有热水沉积特征。

5 结语

(1)多期(华力西期+印支期)构造运动和幅度较大的裂隙发育史, 为大量矿质的喷流和聚集提供了十分有利的导矿和容矿构造条件, 因此, 二里河铅锌矿床具有海底喷流沉积矿床的一般地质特征。

(2)流体包裹体特征与 S、O、C 同位素特征及闪锌矿、黄铁矿微量元素特征表明二里河铅锌矿床具有海底热水沉积特征。黄铁矿的 $w(\text{Fe})/w(\text{S})+$

$w(\text{As})$ 指示该矿为浅层矿床。

(3)石英流体包裹体均一温度及闪锌矿成分指示的温度特征表明, 该矿为中温矿床。

(4)闪锌矿及围岩稀土元素表现显著亏损 Eu 与 Ce 等稀土元素特征和流体包裹体特征, 一致说明二里河铅锌矿床具有远源矿化热水沉积特征, 而围岩表现出相对还原的缺氧海水沉积环境特征, 也进一步证明了二里河铅锌矿床的成矿物质很可能是离喷流口较远且经历了后期地质作用改造的结果。

(5)综上所述, 推论二里河铅锌矿床为相对远离喷流口的喷流沉积型浅层中温层状矿床。鉴于喷流沉积型层状矿体分布于远离喷口的外侧, 属于远端沉积的产物, 而非层状矿体则分布于代表喷口系统网脉状蚀变带的上方附近, 因此, 在寻找二里河铅锌矿床喷流口的同时, 可以试着寻找非层状矿体。

参考文献:

[1] 田毓龙, 秦德先, 林幼斌, 等. 喷流热水沉积矿床研究的现状与进展[J]. 昆明理工大学学报, 1999, 24(1): 150-156.
[2] 韩 发, 孙海田. SEDEX 型矿床成矿系统[J]. 地质前缘, 1999, 6(1): 139-153.
[3] 祝新友, 邓吉牛, 王京彬, 等. 锡铁山矿床两类喷流沉积成因的铅锌矿体研究[J]. 矿床地质, 2006, 25(3): 252-262.
[4] 坚润堂, 李 峰, 徐国端. 锡铁山 SEDEX 型铅锌矿床成矿物质来源综述[J]. 矿床地质, 2007, 21(6): 642-648.
[5] 匡文龙, 陈年生, 张万虎, 等. 厂坝—李家沟 SEDEX 型铅锌矿床成矿作用研究[J]. 大地构造与成矿学, 2009, 32(4): 542-547.
[6] 罗俊杰, 张建芳. SEDEX 型矿床地质特征及成矿物质来源示踪[J]. 资源环境与工程, 2010, 24(1): 36-40.
[7] 田民民, 袁旭东, 张永让, 等. 凤县二里河铅锌矿床后续地质找矿探讨[J]. 矿产与地质, 2004, 18(2): 134-138.
[8] 李厚民, 王登红, 张长青, 等. 陕西几类重要铅锌矿床的矿物微量元素和稀土元素特征[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 434-448.
[9] 贾润幸, 郭 键, 赫 英, 等. 秦岭凤太成矿区金多金属矿床成矿流体地球化学研究[J]. 中国地质, 2004, 31(2): 192-198.
[10] Garder H D, Hutcheon I. Geochemistry, Mineralogy, and Geology of the Jason Pb-Zn Deposits, Macmillan Pass, Yukon, Canada[J]. Economic Geology, 1985, 80(5): 1257-1276.
[11] 方维萱. 陕西凤县铅矾山大型铅锌矿床矿物地球化学研究[J]. 矿物学报, 1999, 19(2): 198-205.
[12] 赵珊茸, 边秋娟, 凌其聪. 结晶学及矿物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
[13] Wright J, Schrader H, Holser W T. Paleoredox Variations in Ancient Oceans Recorded by Rare Earth Elements in Fossil Apatite[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1987, 51(3): 637-644.
[14] 李 强, 王兵岐, 马治国, 等. 秦岭凤太盆地金矿与铅锌矿的成矿模式[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(1): 15-21.