

文章编号 10258-7106 (2009) 04-0434-15

陕西几类重要铅锌矿床的矿物微量元素和 稀土元素特征*

李厚民¹, 王登红¹, 张长青¹, 陈毓川², 李立兴¹

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037 ;

2 中国地质科学院, 北京 100037)

摘 要 文章将陕西铅锌矿分为海底喷气沉积型(即 SEDEX 型)与海底喷气沉积-改造作用有关的类 SEDEX 型和 MVT 型 3 类。对马元(MVT 型)、南沙沟和江坡(类 SEDEX 型)、铅硐山和二里河(SEDEX 型)铅锌矿床中的闪锌矿等矿物进行的微量元素和稀土元素测定结果表明, 3 类矿床各具特点: 马元铅锌矿床闪锌矿的 Co、Ni、Th、Y 含量较低, 而 Mo、Cs、Sr、Ba、Tl 含量较高; 南沙沟和江坡铅锌矿床闪锌矿的 Sn、Sb、W 含量较低, 而 Mn、Y、Zr、In 含量较高; 铅硐山和二里河铅锌矿床闪锌矿的 Li、Zr、Cs、Ba 含量较低, 而 W 含量较高; 在闪锌矿 Li-Cs、Zr-In、W-Sn、 Σ REE- δ Eu、 δ Eu- δ Ce 散点图上, 5 个矿床的投点按上述 3 类分别集中。但铅硐山和二里河铅锌矿床与南沙沟和江坡铅锌矿床具有更多的相似性, 而与马元铅锌矿床差异较大; 在闪锌矿 Sr-Ba、Co-Ni、Th-Y、Mo-Tl 散点图上, 马元的投点集中于一处, 而其他 4 个矿床的投点集中于另一处; 马元闪锌矿具有十分明显的铕正异常, 而南沙沟、江坡、铅硐山和二里河闪锌矿铕异常不明显, 或具有负铕异常; 5 元素矿床闪锌矿稀土元素配分曲线均为轻稀土元素稍富集的右倾型, 但马元的稀土元素总量明显低于其他 4 个矿床。

关键词 地球化学; 微量元素; 稀土元素; 闪锌矿; 铅锌矿床; 陕西

中图分类号 : P618.42 ; P618.43

文献标志码 : A

Characteristics of trace and rare earth elements in minerals from some typical lead-zinc deposits of Shaanxi Province

LI HouMin¹, WANG DengHong¹, ZHANG ChangQing¹, CHEN YuChuan² and LI LiXing¹

(1 MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China;

2 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

There are three types of Pb-Zn deposits in Shaanxi Province. The most important type is hosted in Devonian strata of the South Qinling orogenic belt and is classified as SEDEX, like the Qiongdongshan lead-zinc deposit and the Erlihe lead-zinc deposit (also known as the Bafangshan lead-zinc deposit). The second type is hosted in Silurian strata of the same orogenic belt and is classified as SEDEX-like, represented by the Nanshaogou lead-zinc deposit and the Jiangpo lead-zinc deposit. The third type is the Mayuan lead-zinc deposit discovered recently in the dolomitite of the Sinian Dengying Formation on the northern margin of Yangtze craton, belonging to MVT. In order to study the trace and rare earth element characteristics of these three types of lead-zinc deposits, the authors determined trace element and REE contents of sphalerite, calcite, galena and chalcopyrite from

* 本文得到国家自然科学基金项目(批准号: 40572060)、中国地质调查局“我国西部重要成矿区带矿产资源潜力评估”(1212010535804)、“中国成矿体系综合研究”(1212010634002)、“我国重要矿产和区域成矿规律研究”(1212010633903)国家科技支撑计划课题“西部优势矿产资源潜力评价技术及应用研究”(编号: 2006BAB01A01)等的联合资助

第一作者简介: 李厚民, 男, 1962 年生, 博士, 研究员, 主要从事矿床学研究及成矿区划工作。Email: lihoumin2002@163.com

收稿日期: 2008-07-24; 改回日期: 2009-02-09。李岩编辑。

Mayuan, Nanshagou, Jiangpo, Qiandongshan and Erlihe lead-zinc deposits by using ICP-MS. The results suggest that different types of lead-zinc deposits have different trace and rare earth element characteristics. The sphalerite from the Mayuan lead-zinc deposit has low content of Co, Ni, Th and Y and high content of Mo, Cs, Sr, Ba and Tl. The sphalerite from Nanshagou and Jiangpo lead-zinc deposits has low content of Sn, Sb and W, high content of Mn, Y, Zr and In and in some cases high content of Li, Ni, Rb and Nb. The sphalerite from Qiandongshan and Erlihe lead-zinc deposits has low content of Li, Zr, Sr and Ba and high content of W. In Li-Cs, Zr-In, W-Sn, $\Sigma\text{REE}-\delta\text{Eu}$ and $\delta\text{Eu}-\delta\text{Ce}$ diagrams of sphalerite, the five lead-zinc deposits are clustered in three or four regions in type. However, Qiandongshan and Erlihe Pb Zn deposits (SEDEX) and Nanshagou and Jiangpo Pb-Zn deposits (SEDEX-like) are comparatively similar to each other but obviously different from the Mayuan Pb-Zn deposit (MVT). In Co-Ni, Th-Y, Sr-Ba, Mo-Tl diagrams of sphalerite, the dots of Mayuan are clustered in one area while the dots of the other four deposits are clustered in another area. Chondrite-normalized REE patterns of sphalerite from the five deposits are all slightly right oblique, suggesting LREE enrichment. Nevertheless, ΣREE values of sphalerite from Mayuan are much lower than the values of the other four deposits. Mayuan sphalerite has very obvious positive Eu anomaly, whereas the sphalerite from Nanshagou, Jiangpo, Qiandongshan and Erlihe lead-zinc deposits does not show obvious Eu anomaly or negative Eu anomaly.

Key words: geochemistry, trace elements, rare earth elements (REE), sphalerite, lead-zinc deposit, Shaanxi

陕西铅锌资源十分丰富(图 1a),主要分布于南秦岭泥盆系中,代表性矿床有凤(县)太(白)矿田中的铅硐山铅锌矿床和二里河(亦即八方山)铅锌矿床、镇(安)山(阳)柞(水)矿田的月西铅锌矿床、桐木沟(铅)锌矿床和银硐子银铅锌矿床;其次分布于南秦岭旬北盆地志留纪地层中,以南沙沟铅锌矿床为代表,此外,近年来在扬子克拉通北缘震旦系灯影组白云岩中发现了马元铅锌矿床,其重要性日益显现。虽然前人对陕西铅锌矿床进行过很多研究,但在微量元素和稀土元素方面仅对凤太矿田铅锌矿进行过矿物微量元素研究(李徽,1986a;1986b;韩照信,1994),对旬北盆地铅锌矿床和近年来新发现的马元铅锌矿床没有进行过系统的微量元素和稀土元素研究。本文以陕西马元、铅硐山、二里河、南沙沟、江坡铅锌矿床中共有的闪锌矿为主要对象,采用 ICP-MS 方法进行了矿物微量元素和稀土元素研究,并对南沙沟、江坡及马元铅锌矿床进行了硫同位素测定,以期对矿床成因的判定提供依据。

1 陕西重要铅锌矿床特征及成因

1.1 南秦岭铅锌矿床特征及成因

陕西南秦岭铅锌矿床赋存于 2 个层位:泥盆系和志留系。

1.1.1 泥盆系中铅锌矿床的基本特征及成因

赋存于南秦岭泥盆系中的铅锌矿床集中分布于凤太矿田和镇山柞矿田中。本文以凤太矿田为重点对其基本特征进行总结。

凤太矿田(图 1b)位于秦岭泥盆系贵金属-多金属巨型成矿带的中部,是陕西省最主要的铅锌矿分布区,赋矿层位为中泥盆统古道岭组灰岩与上泥盆统星红铺组铁白云质千枚岩接触界面。已发现大型、中型铅锌矿各 3 处,铅硐山、二里河(也称八方山)大型铅锌矿床是其典型代表。铅硐山大型铅锌矿床的矿体主要赋存于铅硐山背斜北翼(I 号矿体)南翼(II 号矿体)和倾伏端,沿古道岭组和星红铺组接触部位发育,矿区内未见岩浆活动,矿石中原生金属矿物有闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、黄铜矿、毒砂、黝铜矿、菱铁矿;氧化矿物有褐铁矿、赤铁矿、铅矾、白铅矿、菱铁矿、孔雀石、异极矿;围岩蚀变主要有硅化、碳酸盐化、铁白云石化(方维萱,1999)。二里河铅锌矿床所有矿体均分布于古道岭组灰岩与星红铺组千枚岩之层间接触带上,矿体总体上与围岩整合接触,矿区有较多中基性岩脉分布,容矿岩石主要为硅质岩,其次为硅化灰岩、硅化千枚岩等;矿石矿物主要有闪锌矿、方铅矿、黄铜矿;脉石矿物主要有石英、方解石;矿石结构主要有结晶结构、交代结构,矿石构造以浸染状、细脉状、块状、斑杂状为主,围岩蚀变不发育(田民民等,2004)。

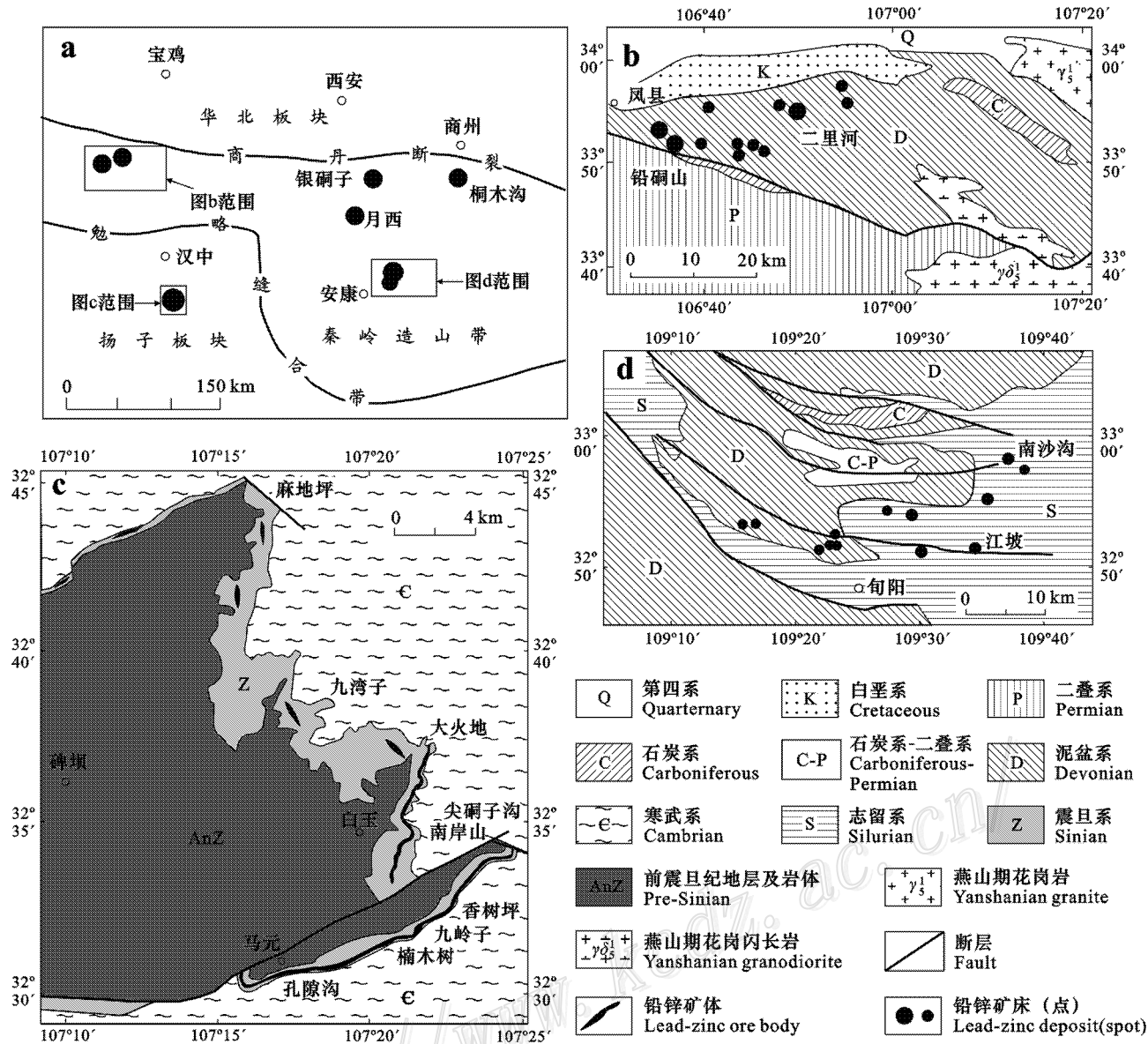


图 1 a. 陕西省重要铅锌矿田及典型铅锌矿床分布图; b. 凤太铅锌矿田; c. 马元铅锌矿区; d. 旬北盆地铅锌矿田

Fig. 1 a. Distribution of major lead-zinc ore fields and typical lead-zinc deposits in Shaanxi Province; b. Fengtai lead-zinc ore field; c. Mayuan lead-zinc ore district; d. Xunbei lead-zinc ore field

南秦岭泥盆系中铅锌矿床为海底喷气沉积 (SEDEX) 型矿床, 矿化与以钠长岩、硅质岩、富铁镁碳酸盐岩为特征的热水沉积或蚀变有较密切联系 (祁思敬等, 1997; 贾润幸等, 1999)。热水沉积岩中高 SiO_2 、 FeO 、 CaO 、 MgO 、 MnO 、 As 、 Sb 、 Cu 、 Pb 、 Zn 、 Ag 、 B 、 Ba 等, 是由富 Fe^{2+} 、 Si^{4+} 的 Ca^{2+} - Mg^{2+} - K^{+} - HCO_3^{-} - Cl^{-} 型成矿流体、富 Si^{4+} 的 Ca^{2+} - Mg^{2+} - SO_4^{2-} - Cl^{-} (CO_2 - CO - H_2O) 型成矿流体及高盐度的海水三者相互混合而引发的同生沉积-交代作用所形成; 富 SiO_2 酸酐型热水同生-交代沉积作用形成层状硅质

岩、微晶石英岩及硅化灰岩, 富 Fe^{2+} - Mg^{2+} 碳酸盐型热水同生沉积作用形成层状含铜硅质铁白云岩, 在同生断裂附近因热水液压致裂-隐爆作用形成含铜黄铁矿硅质铁白云石角砾岩, 富 Na^{+} 铝硅酸盐型/富 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 碳酸盐型热流体在同生断裂中形成穿层脉状钠长石碳酸岩 (方维萱, 1999; 方维萱等, 2003)。成岩成矿机理是: 泥盆纪秦岭微板块在深部向华北板块俯冲挤压的过程中, 秦岭深部岩石圈地幔近南北向收缩与佛坪大陆热点构造的耦合, 引发陆壳浅部发生近东西向伸展形成盆地, 近东西向高序次同

生断裂控制一级沉积盆地的形成与演化,低序次 NE 向、NW 向和 SN 向同生断裂控制三级构造热水沉积成矿盆地的形成与演化,成矿流体沿同生断裂上升到三级盆地中,通过流体混合及酸性、氧化-还原性的骤变形成热水沉积岩相,同时造成矿质大量沉淀而成矿(方维萱,1999;方维萱等 2001)。

李延河等(1997)对秦岭凤太矿田与镇山柞矿田泥盆纪成矿条件及环境进行了对比研究,认为 2 个矿田的矿床均由海底喷气作用形成,其中凤太矿田形成于半封闭-半开放的环境,成矿温度低(约 92℃),矿质堆积速度较慢,主要容矿岩石为硅质岩,其 $\delta^{30}\text{Si}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 分别为 $-0.6\text{‰} \sim -0.3\text{‰}$ 和 $18.6\text{‰} \sim 21.0\text{‰}$,矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 值大部分位于 $4.9\text{‰} \sim 11.3\text{‰}$ 之间,而镇山柞矿田成矿早中期为一封闭海盆,晚期变为开放,成矿温度、矿质堆积速度相对较高,成矿早期有火山活动,容矿岩石类型复杂,除硅质岩外尚有钠长石岩、黑云方柱石岩等,Na、Cl 含量很高,容矿硅质岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 分别为 $-0.2\text{‰} \sim 0.1\text{‰}$ 和 $19.0\text{‰} \sim 19.6\text{‰}$,矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 多为高正值,变化范围大,为 $-3.5\text{‰} \sim 33.7\text{‰}$ 。

1.1.2 南秦岭志留系中铅锌矿床特征及成因

陕西南秦岭志留系铅锌矿位于南秦岭—大别构造带中部的旬北盆地,含矿层位为中志留统双河镇组和下志留统梅子垭组,由一套灰-深灰色粉砂质千枚岩、含炭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-厚层硅质岩、含炭硅质板岩。铅锌矿带东西长约 100 km,南北宽 10~50 km,圈出了泗人沟-南沙沟、杨柳-任家沟-小沟和长沙-西营-黄石板铅(铜)矿带。在矿带内发现 20 余处铅(铜)矿床(点),已获铅锌资源量 1 Mt 以上,典型矿床如南沙沟、江坡铅锌矿床(图 1d),矿床(点)单个矿体长 75~1 400 m,平均厚度 0.50~14.00 m,铅平均品位 0.14%~3.69%,锌平均品位 0.96%~36.00%(宋小文等,2003)。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,矿石结构主要有他形粒状结构和不等粒晶粒结构,矿石构造主要有微层状和浸染状构造,矿体与围岩接触界线清晰,未见明显的蚀变现象(侯满堂等 2004,2007c)。

该类铅锌矿区岩浆活动不发育,成矿流体来源于建造水,属弱-中酸性介质;成矿温度主要集中在 250~300℃,属低-中温热液成矿。前人测得该区铅锌矿硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值平均为 -3.78‰ ,变化范围为

$-9.81\text{‰} \sim 3.83\text{‰}$, δD 值平均为 -77.85‰ , $\delta^{18}\text{O}$ 值平均为 18.76‰ (宋小文等,2003;侯满堂等,2006c)。本文测定的南沙沟铅锌矿石英 $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 为 $-89\text{‰} \sim -103\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 为 $16.7\text{‰} \sim 21.6\text{‰}$, $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 为 $5.2\text{‰} \sim 11.6\text{‰}$,其中闪锌矿的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 为 $6.9\text{‰} \sim 10.2\text{‰}$ (表 1)。原始铅主要来源于地壳深部或上地幔,与成矿有密切成因联系的硅岩具有以热液为主兼有生物和正常沉积的特征(侯满堂等,2004,2006c),矿床成因为海底喷气沉积-改造型(李勇等,2003),志留纪为本区志留系铅锌矿成矿期的沉积期,华力西运动中期(铅模式年龄为 320 Ma)为本区志留系铅锌矿成矿期改造阶段的石英阶段,华力西运动晚期(Rb-Sr 等时线年龄为 $(260 \pm 7)\text{Ma}$)为主要铅锌矿改造阶段,印支运动和燕山运动为改造阶段的碳酸盐化阶段(侯满堂等,2006b)。因此,本文称其为类 SEDEX 型铅锌矿床。

1.2 扬子克拉通北缘震旦系中铅锌矿床特征及成因

陕西马元地区铅锌矿位于扬子地台北缘碑坝隆起东南缘一带,赋矿地层为震旦系灯影组第三岩性段角砾状白云岩(图 1c)。矿化带长大于 60 km,宽 10~200 m,可分为南、东、北 3 个铅锌矿化带,已圈出了 40 多条铅锌矿体。矿体顺层产出,受层间破碎带控制,一般长 100~2 560 m,厚 0.80~10.01 m,锌品位 1.05%~10.82%,铅品位 0.55%~7.54%;主矿体长 2 560 m,厚 1.46~32.53 m,平均厚约 7.60 m,最厚 28.40 m,锌品位 1.45%~11.42%,平均 4.47%。矿石的矿物组成较为简单,金属矿物以闪锌矿为主,其次为方铅矿,可见少量黄铁矿等;脉石矿物主要是白云石和方解石,石英、沥青次之,有时可见重晶石脉,偶见萤石。矿石结构以中-细粒为主,矿石构造以角砾状、网脉状为主,热液网脉由晶簇状、晶洞状白云石、方解石及棕褐色闪锌矿、固体沥青、少量水晶晶簇组成,水晶干净透明,包裹体罕见,闪锌矿颜色很浅,这些均反映了成矿流体的温度很低(齐文等,2004;侯满堂等,2006a,2007b;李厚民等,2007)。

马元铅锌矿床热液白云石及围岩白云岩 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 为 $0.1\text{‰} \sim -3.2\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 为 $21.4\text{‰} \sim 26.2\text{‰}$;矿石中沥青 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 为 $-32.1\text{‰} \sim -33.4\text{‰}$;闪锌矿的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 集中于 $17.7\text{‰} \sim 19.4\text{‰}$ 之间(表 1);石英 $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 为 $-92\text{‰} \sim -113\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 为 $21.8\text{‰} \sim 24.6\text{‰}$,闪锌矿的

初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.710590\pm0.000060$,显示成矿流体具地壳来源特征,成矿流体中有古石油流体,成矿温度为中低温,成矿年龄为 486 Ma 左右。这些特征反映马元铅锌矿床为后生矿床,其成矿物质来源于围岩地层,成矿作用与盆地的有机流体有密切关系,属 MVT 铅锌矿(侯满堂等 2007a;李厚民等 2007)。

2 样品及测试方法

将野外采集的矿石样品经手选、洗净、干燥后送至河北廊坊市科大岩石矿物分选技术服务有限公司挑选单矿物,选出的单矿物在显微镜下检查纯度达 99% 以上。挑选的单矿物:马元矿床为闪锌矿和方解石,南沙沟矿床为闪锌矿、方铅矿和黄铜矿,江坡矿床为闪锌矿和方铅矿,铅硐山矿床为闪锌矿,二里河矿床为闪锌矿和方解石。

单矿物的稀土元素和微量元素分析在国土资源部国家地质实验测试中心完成,采用 DZ/T1223 方法在等离子质谱仪上测定,该仪器对微量元素和稀土元素的检测下限为 $(0.1\sim1)\times10^{-9}$,分析误差一般小于 10%。硫同位素测试在中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室完成,测试仪器为 MAT251EM 质谱仪,以 Cu_2O 作氧化剂制样,采用的国际标准为 CDT,分析精度为 $\pm0.2\text{‰}$ 。

3 测试结果及讨论

硫同位素分析结果见表 1,微量元素分析结果见表 2,稀土元素分析结果见表 3。

3.1 几类铅锌矿床中主要矿物的微量元素特征

从表 2 可以看出,5 个铅锌矿床中主要矿物的微量元素特征与矿物微量元素的普遍规律一致:方铅矿和方解石的 Cd、Co、Ga 含量明显比闪锌矿低;方铅矿的 Sb、Bi 比闪锌矿和方解石高,而 W、Cr、Ba 比闪锌矿和方解石低;方解石的 Sc、Mn、Sr、Y 比闪锌矿和方铅矿高,而 In 比闪锌矿和方铅矿低。

但是,不同矿床闪锌矿的微量元素具有明显规律性:

(1) 马元铅锌矿床闪锌矿 Co、Ni、Th、Y 含量比其他 4 个铅锌矿床低(图 2a),而 Mo、Cs、Sr、Ba、Tl 含量比其他铅锌矿高(图 2b)。马元闪锌矿的 Co、Ni、Th、Y、Mo、Cs、Sr、Ba、Tl 含量平均值分别为 3.92×10^{-6} 、 3.28×10^{-6} 、 0.007×10^{-6} 、 0.03×10^{-6} 、 1.63×10^{-6} 、 1.19×10^{-6} 、 5.61×10^{-6} 、 49.61×10^{-6} 、 4.29×10^{-6} ,而其他 4 矿床闪锌矿的 Co、Ni、Th、Y、Mo、Cs、Sr、Ba、Tl 含量平均值分别为 113.91×10^{-6} 、 15.23×10^{-6} 、 0.25×10^{-6} 、 0.10×10^{-6} 、 0.19×10^{-6} 、 0.06×10^{-6} 、 1.90×10^{-6} 、 2.85×10^{-6} 、 0.06×10^{-6} 。

(2) 旬北盆地南沙沟和江坡铅锌矿床的闪锌矿与马元、铅硐山和二里河铅锌矿床的闪锌矿相比,Mn、Y、Zr、In 高(图 2c),而 Sn、Sb、W 低(图 2d)。南沙沟和江坡闪锌矿 Mn、Y、Zr、In、Sn、Sb、W 含量平均值分别为 447×10^{-6} 、 0.24×10^{-6} 、 1.47×10^{-6} 、 1.64×10^{-6} 、 0.21×10^{-6} 、 3.57×10^{-6} 、 0.05×10^{-6} ,而马元、铅硐山、二里河 3 矿床闪锌矿 Mn、Y、Zr、In、Sn、Sb、W 含量平均值分别为 54×10^{-6} 、 0.06×10^{-6} 、 0.15×10^{-6} 、 0.52×10^{-6} 、 12.39×10^{-6} 、 20.46×10^{-6} 、 18.98×10^{-6} 。此外 Li、Ni、Rb、Nb 也较高。

表 1 旬北盆地南沙沟和江坡铅锌矿床及马元铅锌矿床硫化物的硫同位素组成

Table 1 Sulfur isotopic compositions of sulfides from Nanshaou, Jiangpo and Mayuan Pb-Zn deposits, Shaanxi Province							
样品号	产地	样品名称	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}/\text{‰}$	样品号	产地	样品名称	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}/\text{‰}$
NSG-1	南沙沟铅锌矿床	闪锌矿	10.2	MAYN-1	马元铅锌矿床	闪锌矿	18.9
NSG-1	南沙沟铅锌矿床	黄铜矿	1.6	MAYN-2	马元铅锌矿床	闪锌矿	17.7
NSG-2	南沙沟铅锌矿床	闪锌矿	9.2	MAYN-3	马元铅锌矿床	闪锌矿	17.7
NSG-3	南沙沟铅锌矿床	方铅矿	9.5	MAYN-4	马元铅锌矿床	闪锌矿	18.5
NSG-4	南沙沟铅锌矿床	方铅矿	8.8	MAYN-5	马元铅锌矿床	闪锌矿	18.1
JP-1	江坡铅锌矿床	闪锌矿	6.9	MAYN-6	马元铅锌矿床	闪锌矿	18.5
JP-2	江坡铅锌矿床	闪锌矿	8.2	MAYN-7	马元铅锌矿床	闪锌矿	19.4
JP-3	江坡铅锌矿床	方铅矿	5.2				

中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室测试。

表 2 陕西省部分铅锌矿床中矿物微量元素含量($w_B/10^{-6}$)

Table 2 Trace element content of minerals from major Pb-Zn deposits in Shaanxi Province($w_B/10^{-6}$)

样品号	矿 物	Li	Be	Sc	Cr	Mn	Co	Ni	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo
旬阳南沙沟矿床															
NSG-1	闪锌矿	1.284	0.035	0.129	2.48	145.7	128.3	67.41	14.86	1.531	2.464	0.198	1.717	0.07	0.099
NSG-1	黄铜矿	0.168	0.024	0.04	0.674	28.26	19.28	85.89	1.667	0.576	1.04	0.139	0.493	0.045	0.139
NSG-2	闪锌矿	0.616	0.011	0.041	2.061	117.6	136.8	55.01	19.37	0.624	0.868	0.059	0.518	0.026	0.142
NSG-3	方铅矿	0.037	0.011	0.01	0.566	6.388	2.601	3.075	0.088	0.318	0.589	0.34	0.089	0.007	0.074
NSG-4	方铅矿	0.11	0.016	0.066	1.08	77.72	8.367	8.512	0.258	0.625	0.545	0.177	0.492	0.038	0.127
旬阳江坡矿床															
JP-1	闪锌矿	4.089	0.289	0.449	4.75	591.4	200.5	1.762	34.21	4.508	1.47	0.424	3.23	0.397	0.113
JP-2	闪锌矿	0.415	0.025	0.079	2.058	933.5	171.7	6.615	8.653	0.519	6.587	0.289	0.419	0.041	0.152
JP-31	方铅矿	0.064	0.005	0.002	1.569	9.649	0.517	1.957	0.038	0.092	0.514	0.009	0.069	0.002	0.059
JP-32	方铅矿	0.076	0.003	0.002	0.522	10.48	0.876	10.35	0.025	0.096	0.487	0.011	0.075	0.002	0.039
南郑马元矿床															
MAYN-1	闪锌矿	2.748	0.005	0.033	3.074	81.86	3.468	1.921	54.2	0.408	0.509	0.01	0.143	0.004	0.506
MAYN-2	方解石	0.067	0.025	0.018	0.333	0.494	0.238	1.946	0.049	0.38	59.97	0.027	0.085	0.003	0.136
MAYN-2	闪锌矿	2.168	0.004	0.04	3.796	76.85	3.589	2.717	8.29	0.363	5.381	0.037	0.224	0.005	1.149
MAYN-3	闪锌矿	1.933	0.005	0.048	3.472	66.39	3.642	2.412	16.53	0.349	8.12	0.04	0.266	0.014	1.273
MAYN-4	闪锌矿	0.957	0.002	0.036	2.636	40.87	3.203	2.288	20.66	0.261	5.106	0.01	0.208	0.007	0.146
MAYN-5	闪锌矿	1.686	0.013	0.043	4.6	48.74	4.651	3.06	15.9	0.273	1.365	0.044	0.18	0.006	2.101
MAYN-6	闪锌矿	2.277	0.004	0.041	2.179	65.52	3.982	1.428	15.48	0.338	3.099	0.024	0.321	0.035	1.493
MAYN-71	闪锌矿	0.456	0.006	0.045	1.751	48.87	4.125	6.495	39.75	0.288	9.266	0.035	0.396	0.028	3.132
MAYN-72	闪锌矿	0.448	0.006	0.046	3.666	48.97	4.69	5.943	39.27	0.279	12.06	0.044	0.377	0.065	3.22
凤县铅硐山矿床															
QDS-5	闪锌矿	<0.1	<0.05	<0.05	2.48	39.1	82.4	6.25	34.7	1.38	1.49	0.05	0.09	0.01	0.30
QDS-6	闪锌矿	0.30	<0.05	<0.05	2.32	89.7	36.2	5.77	24.5	0.51	2.25	0.09	0.09	0.01	0.17
QDS-7	闪锌矿	<0.1	<0.05	0.12	2.66	102	60.8	7.11	46.5	0.42	3.95	0.16	0.15	0.01	0.18
QDS-11	闪锌矿	0.40	<0.05	<0.05	2.59	39.7	56.2	5.02	53.2	0.38	2.60	0.10	0.17	0.01	0.10
QDS-12	闪锌矿	<0.1	<0.05	<0.05	2.16	21.9	143	6.09	59.6	0.37	0.87	0.04	0.10	0.03	0.27
QDS-13	闪锌矿	<0.1	<0.05	<0.05	3.65	83.0	113	4.71	9.9	0.31	2.06	0.07	0.19	0.01	0.23
QDS-14	闪锌矿	<0.1	<0.05	<0.05	4.36	89.5	89.5	6.82	15.8	0.27	2.46	0.08	0.12	0.01	0.24
QDS-15	闪锌矿	<0.1	<0.05	<0.05	2.92	43.9	143	7.82	24.6	0.26	1.10	0.04	0.10	0.01	0.59
QDS-16	闪锌矿	0.12	<0.05	<0.05	2.99	21.7	67.4	5.94	6.32	0.25	0.72	0.04	0.07	0.01	0.24
QDS-17	闪锌矿	0.10	<0.05	<0.05	2.46	74.6	212	10.9	56.6	0.28	1.36	0.12	0.15	0.01	0.17
QDS-18	闪锌矿	0.22	<0.05	<0.05	2.19	149	137	6.47	30.8	0.23	1.63	0.08	0.08	0.01	0.13
凤县二里河矿床															
E1h-01	闪锌矿	<0.1	<0.05	<0.05	2.68	41.3	106	17.1	73.4	1.26	1.15	0.07	0.14	0.02	0.13
E1h-03	闪锌矿	0.24	<0.05	<0.05	3.39	30.0	128	24.2	18.5	0.63	3.62	0.10	0.09	0.01	0.27
E1h-04	闪锌矿	<0.1	<0.05	<0.05	5.17	34.8	99.4	15.0	16.0	0.44	1.64	0.11	0.12	0.01	0.18
E1h-05	闪锌矿	0.14	<0.05	<0.05	4.81	36.9	80.0	30.7	28.2	0.31	0.72	0.11	0.08	0.01	0.11
E1h-06	闪锌矿	<0.1	<0.05	<0.05	4.46	22.6	129	16.7	40.9	0.30	1.22	0.04	0.10	0.01	0.17
E1h-07	闪锌矿	<0.1	<0.05	<0.05	5.76	18.6	114	15.5	21.7	0.23	0.91	0.05	0.04	0.01	0.09
E1h-08	闪锌矿	<0.1	<0.05	<0.05	3.06	6.90	124	12.6	53.5	0.24	0.59	0.06	0.04	0.01	0.09
E1h-10	闪锌矿	<0.1	<0.05	<0.05	2.50	52.3	77.6	10.1	37.4	0.26	2.44	0.07	0.06	0.00	0.12
E1h-12	闪锌矿	<0.1	<0.05	<0.05	5.01	28.4	98.1	19.9	14.7	0.24	1.51	0.05	0.12	0.18	0.18
E1h-04	方解石	<0.1	<0.05	20.6	3.78	1603	1.59	12.4	0.42	0.13	622	88.5	0.14	0.01	0.78
E1h-07	方解石	<0.1	<0.05	5.58	3.81	1188	1.46	16.0	0.34	0.11	938	16.3	0.07	0.14	0.14
E1h-10	方解石	<0.1	<0.05	1.41	3.58	1060	1.35	11.7	0.23	0.13	473	5.53	0.06	0.01	0.12
E1h-11	方解石	<0.1	<0.05	2.67	3.36	828	1.59	11.6	0.31	0.19	486	22.2	0.04	0.01	0.04
E1h-12	方解石	<0.1	<0.05	2.00	2.29	956	1.61	12.7	0.30	0.21	524	19.4	0.04	0.01	0.06

测试方法 : 等离子质谱 ; 测试单位及测试人 : 国家地质实验测试中心屈文俊等。

续表 2
Cont. Table 2

样品号	矿 物	Cd	In	Sn	Sb	Cs	Ba	Hf	Ta	W	Tl	Bi	Th	U
旬阳南沙沟矿床														
NSG-1	闪锌矿	2822	1.51	0.214	5.42	0.09	5.55	0.047	0	0.052	0.04	11.2	0.285	0.049
NSG-1	黄铜矿	167	0.59	5.181	2.92	0.04	4.17	0.013	0	0.042	0.08	19.5	0.206	0.049
NSG-2	闪锌矿	2459	1.3	0.211	4.01	0.03	3.48	0.013	0	0.03	0.01	1.16	0.053	0.042
NSG-3	方铅矿	46.3	0.02	1.081	212	0.02	0.25	0.003	0	0.032	0.72	53.4	0.03	0.06
NSG-4	方铅矿	118	0.57	2.058	225	0.03	0.31	0.018	0	0.071	0.34	25.7	0.097	0.12
旬阳江坡矿床														
JP-1	闪锌矿	3427	1.57	0.183	1.18	0.83	8.41	0.091	0.02	0.077	0.51	0.14	0.389	0.138
JP-2	闪锌矿	2922	2.18	0.217	3.67	0.09	7.16	0.012	0	0.031	0.06	0.34	0.035	0.031
JP-31	方铅矿	79.7	0.23	22.1	365	0	0.4	0.002	0	0.025	4.12	1.57	0.001	0.046
JP-32	方铅矿	75.7	0.25	24.15	387	0	1.03	0.002	0	0.015	4.19	1.57	0.001	0.051
南郑马元矿床														
MAYN-1	闪锌矿	2326	1.55	9.514	4.49	2.22	67.4	0.004	0	0.031	9.58	0.08	0.003	0.033
MAYN-2	方解石	0.63	0.03	0.577	24.9	0.03	9149	0.004	0	0.13	0.03	0.3	0.119	0.088
MAYN-2	闪锌矿	3464	0.45	2.131	1.67	1.59	60.2	0.005	0	0.038	4.53	0.15	0.003	0.074
MAYN-3	闪锌矿	3318	0.62	2.673	18.5	1.36	50.7	0.005	0	0.065	4.65	0.29	0.006	0.237
MAYN-4	闪锌矿	5023	1.02	4.583	33.1	0.47	11.3	0.006	0	0.152	1.95	2.16	0.003	0.059
MAYN-5	闪锌矿	4205	1.13	0.793	4.28	0.9	57	0.004	0	0.096	2.41	0.11	0.004	0.131
MAYN-6	闪锌矿	4178	0.8	2.362	14.2	1.42	45.5	0.008	0	0.203	4.27	1.34	0.005	0.07
MAYN71	闪锌矿	1296	0.79	3.698	20.5	0.76	48.7	0.009	0	0.186	3.5	0.2	0.015	0.095
MAYN72	闪锌矿	1312	0.79	2.332	7.73	0.77	56.1	0.011	0	0.219	3.39	0.21	0.016	0.107
凤县铅硐山矿床														
QDS-5	闪锌矿	3536	0.47	10.1	71.4	0.03	1.83	<0.01	<0.01	0.99	0.08	0.11	1.23	0.10
QDS-6	闪锌矿	3041	0.54	27.4	70.2	0.03	1.86	<0.01	<0.01	0.73	0.06	0.04	0.42	0.12
QDS-7	闪锌矿	2319	0.49	34.6	25.7	0.02	1.08	0.01	0.01	0.62	0.05	0.03	0.29	0.05
QDS-11	闪锌矿	2305	0.88	108	31.7	0.03	2.09	<0.01	<0.01	0.64	0.05	0.03	0.18	0.04
QDS-12	闪锌矿	2800	1.17	54.2	8.7	0.01	3.57	0.01	0.12	0.72	0.02	0.03	0.10	0.01
QDS-13	闪锌矿	2516	0.11	4.58	18.9	0.03	2.62	<0.01	0.01	0.78	0.03	0.07	0.09	0.03
QDS-14	闪锌矿	2559	0.19	7.25	27.5	0.03	2.51	<0.01	<0.01	0.95	0.01	0.05	0.11	0.03
QDS-15	闪锌矿	2639	0.25	4.54	5.73	0.02	2.76	<0.01	<0.01	0.79	0.01	0.01	0.07	0.01
QDS-16	闪锌矿	3837	0.18	3.04	42.9	0.01	1.76	<0.01	0.01	1.75	0.02	0.01	0.06	0.05
QDS-17	闪锌矿	3333	1.12	43.2	9.80	0.04	1.71	<0.01	0.01	1.42	0.02	0.02	0.10	0.06
QDS-18	闪锌矿	3237	0.22	4.49	59.6	0.02	1.08	0.01	<0.01	0.66	0.05	0.08	0.10	0.03
凤县二里河矿床														
E1h-01	闪锌矿	1295	0.25	1.63	17.6	0.05	2.23	<0.01	<0.01	2.52	0.07	0.10	1.11	0.03
E1h-03	闪锌矿	1552	0.58	1.88	15.3	0.03	3.20	0.01	<0.01	0.79	0.04	0.39	0.49	0.05
E1h-04	闪锌矿	1449	0.27	2.22	4.59	0.01	3.10	0.01	<0.01	1.38	0.04	0.22	0.24	0.02
E1h-05	闪锌矿	1193	0.15	1.66	5.16	0.03	2.73	<0.01	<0.01	487	0.02	0.05	0.16	0.03
E1h-06	闪锌矿	1884	0.12	1.94	2.57	0.01	1.96	<0.01	<0.01	5.19	0.01	0.03	0.12	0.01
E1h-07	闪锌矿	1488	0.05	1.79	3.12	0.01	1.37	<0.01	0.01	2.13	0.02	0.06	0.09	0.01
E1h-08	闪锌矿	1759	0.05	2.40	7.05	0.02	1.45	<0.01	<0.01	18.8	0.01	0.02	0.06	0.02
E1h-10	闪锌矿	1162	0.13	1.35	36.3	0.02	1.56	<0.01	0.01	1.17	0.09	2.09	0.11	0.15
E1h-12	闪锌矿	1311	0.16	2.55	4.65	0.02	3.26	<0.01	0.07	1.44	0.01	0.21	0.07	0.31
E1h-04	方解石	7.61	0.04	2.15	1.91	0.01	23.1	0.06	0.04	1.78	0.01	0.03	0.29	0.10
E1h-07	方解石	5.58	0.02	1.28	0.99	0.01	21.2	0.01	0.02	1.61	0.01	0.01	2.00	0.47
E1h-10	方解石	4.85	0.02	1.27	0.96	0.04	34.0	0.01	0.02	0.92	0.01	0.02	0.24	0.15
E1h-11	方解石	5.41	0.01	1.51	2.42	0.07	19.2	0.01	0.02	1.09	0.01	0.01	0.16	0.09
E1h-12	方解石	3.87	0.01	1.23	0.64	0.06	13.5	0.02	0.01	0.91	<0.01	0.01	0.13	0.20

表 3 陕西重要铅锌矿床矿物稀土元素含量($w_B/10^{-6}$)

Table 3 Rare earth element (REE) content of minerals from major Pb-Zn deposits in Shaanxi Province($w_B/10^{-6}$)															
样品号	矿物	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
旬阳南沙沟矿床															
NSG-1	闪锌矿	1.625	3.354	0.337	1.345	0.278	0.053	0.182	0.017	0.055	0.007	0.023	0.003	0.019	0.004
NSG-1	黄铜矿	0.041	0.13	0.016	0.084	0.05	0.015	0.054	0.009	0.04	0.006	0.015	0.002	0.011	0.002
NSG-2	闪锌矿	0.104	0.226	0.02	0.082	0.018	0.007	0.018	0.002	0.011	0.002	0.006	0.001	0.008	0.001
NSG-3	方铅矿	0.522	1.254	0.122	0.561	0.19	0.048	0.172	0.019	0.094	0.013	0.037	0.004	0.03	0.004
NSG-4	方铅矿	1.879	4.134	0.48	1.835	0.261	0.051	0.225	0.019	0.065	0.008	0.03	0.004	0.031	0.006
旬阳江坡矿床															
JP-1	闪锌矿	0.616	1.624	0.132	0.463	0.073	0.019	0.087	0.012	0.078	0.017	0.053	0.008	0.058	0.009
JP-2	闪锌矿	0.163	0.385	0.052	0.254	0.089	0.058	0.082	0.014	0.066	0.011	0.029	0.004	0.027	0.004
JP-3	方铅矿	0.053	0.064	0.004	0.016	0.007	0.002	0.004	0.001	0.002	0.001	0.001	0	0.001	0
JP-3	方铅矿	0.05	0.056	0.004	0.02	0.015	0.002	0.006	0.001	0.004	0	0.002	0	0.002	0
南郑马元矿床															
MAYN-1	闪锌矿	0.01	0.04	0.001	0.004	0.006	0.016	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001
MAYN-2	方解石	0.217	0.03	0.001	0.036	0.049	2.075	0.058	0	0.001	0	0.001	0.001	0.01	0.004
MAYN-2	闪锌矿	0.025	0.103	0.008	0.03	0.01	0.02	0.01	0.002	0.007	0.002	0.004	0.001	0.003	0.001
MAYN-3	闪锌矿	0.032	0.11	0.01	0.045	0.014	0.013	0.01	0.002	0.007	0.001	0.004	0.001	0.004	0.001
MAYN-4	闪锌矿	0.015	0.078	0.003	0.01	0.005	0.004	0.004	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0
MAYN-5	闪锌矿	0.017	0.057	0.007	0.036	0.013	0.015	0.011	0.002	0.008	0.001	0.005	0.001	0.003	0.001
MAYN-6	闪锌矿	0.013	0.052	0.004	0.012	0.007	0.011	0.004	0.001	0.004	0.001	0.002	0.001	0.003	0
MAYN71	闪锌矿	0.056	0.16	0.015	0.068	0.016	0.015	0.016	0.002	0.008	0.002	0.004	0.001	0.004	0.001
MAYN72	闪锌矿	0.107	0.297	0.026	0.113	0.026	0.016	0.023	0.003	0.012	0.002	0.005	0.001	0.005	0.001
凤县铅硐山矿床															
QDS-5	闪锌矿	0.05	0.06	0.01	0.02	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
QDS-6	闪锌矿	0.08	0.12	0.01	0.05	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01
QDS-7	闪锌矿	0.10	0.13	0.02	0.08	0.02	<0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01
QDS-11	闪锌矿	0.34	0.63	0.02	0.06	0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01
QDS-12	闪锌矿	0.06	0.06	0.01	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
QDS-13	闪锌矿	0.04	0.06	0.01	0.04	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01
QDS-14	闪锌矿	0.06	0.13	0.01	0.03	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01
QDS-15	闪锌矿	0.04	0.06	0.01	0.03	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
QDS-16	闪锌矿	0.04	0.04	0.02	0.02	0.01	<0.01	0.00	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
QDS-17	闪锌矿	0.04	0.07	0.01	0.04	0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.02	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01
QDS-18	闪锌矿	0.05	0.05	0.01	0.03	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01
凤县二里河矿床															
E1h-01	闪锌矿	0.04	0.05	0.01	0.03	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01
E1h-03	闪锌矿	0.08	0.15	0.02	0.07	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01
E1h-04	闪锌矿	0.26	0.32	0.08	0.13	0.03	<0.01	0.02	<0.01	0.02	<0.01	0.03	<0.01	0.01	<0.01
E1h-05	闪锌矿	0.04	0.10	0.03	0.09	0.03	0.01	0.02	<0.01	0.03	<0.01	0.02	<0.01	0.01	<0.01
E1h-06	闪锌矿	0.03	0.03	0.01	0.03	<0.01	<0.01	0.00	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
E1h-07	闪锌矿	0.04	0.06	0.01	0.03	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
E1h-08	闪锌矿	0.04	0.05	0.01	0.03	0.01	<0.01	0.00	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
E1h-10	闪锌矿	0.05	0.07	0.01	0.05	0.02	0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01
E1h-12	闪锌矿	0.03	0.05	0.01	0.03	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.02	<0.01	0.01	<0.01
E1h-04	方解石	5.73	15.7	2.44	12.4	5.13	2.11	9.84	2.21	16.6	3.62	11.3	1.77	12.4	1.77
E1h-07	方解石	6.45	13.4	1.78	7.74	2.14	0.51	2.46	0.42	2.64	0.55	1.54	0.23	1.50	0.21
E1h-10	方解石	1.62	3.37	0.46	2.39	0.78	0.34	1.00	0.14	0.85	0.16	0.46	0.04	0.23	0.02
E1h-11	方解石	3.90	13.8	2.51	13.5	4.96	1.08	4.97	0.74	4.44	0.76	2.01	0.23	1.54	0.20
E1h-12	方解石	3.97	13.1	2.17	11.2	3.60	0.95	4.13	0.59	3.35	0.58	1.49	0.18	0.98	0.12

测试方法 :等离子质谱 ;测试单位及测试人 :国家地质实验测试中心屈文俊等。

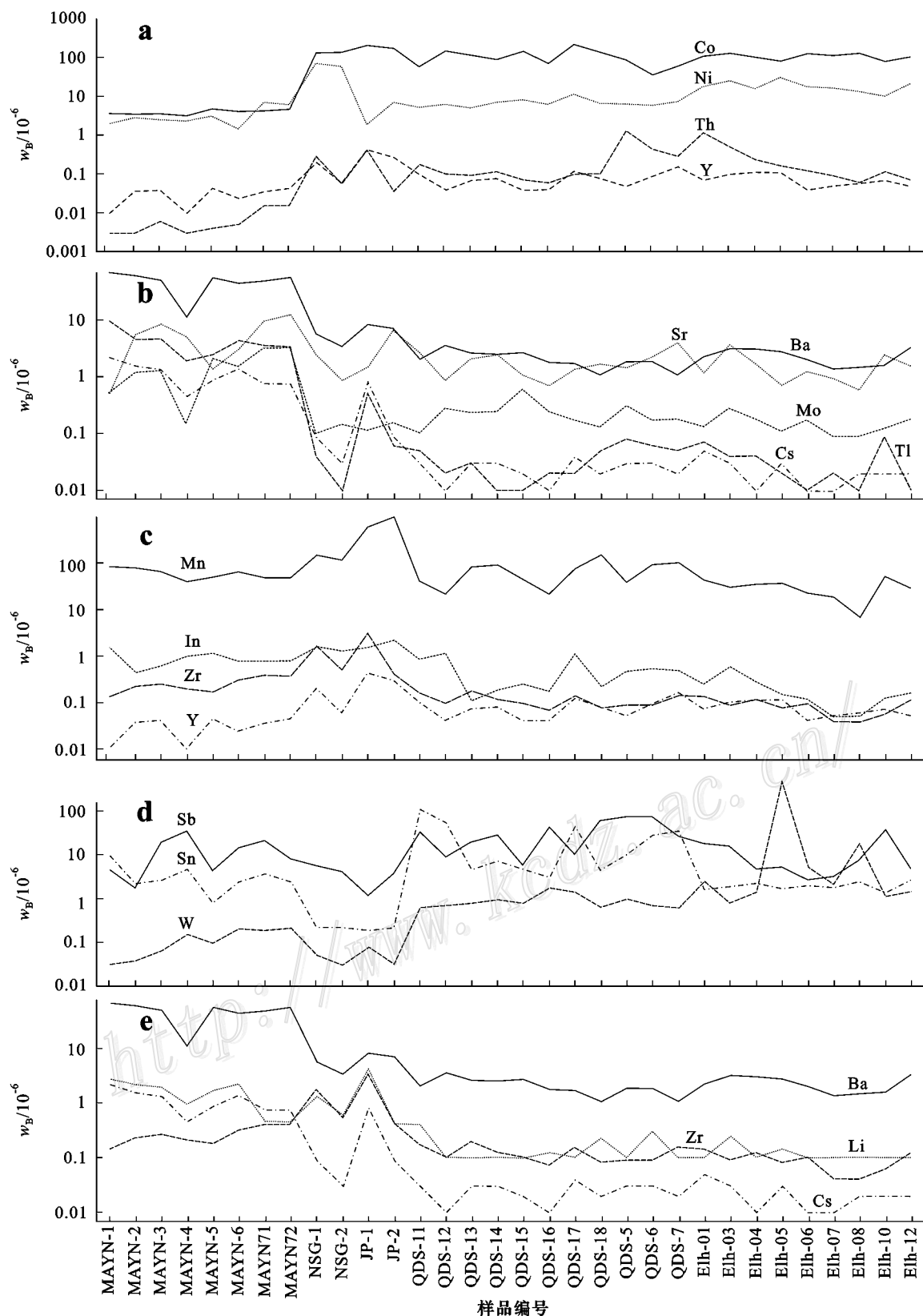


图 2 陕西重要铅锌矿床闪锌矿的微量元素含量(样品编号同表 2)

Fig. 2 Trace element content of sphalerite from major lead-zinc deposits in Shaanxi Province (sample serial number as for Table 2)

(表 2)。

(3) 凤太矿田的铅硐山和二里河铅锌矿床闪锌矿的微量元素特征与马元、南沙沟和江坡铅锌矿不同, Li 、 Zr 、 Cs 、 Ba 的含量低(图 2e), 而 W 的含量高(图 2d)。铅硐山和二里河闪锌矿 Li 、 Zr 、 Cs 、 Ba 、 W 含量平均值分别为 $<0.1 \times 10^{-6}$ (多数)、 0.11×10^{-6} 、 0.02×10^{-6} 、 2.19×10^{-6} 、 26.52×10^{-6} , 而马元、南沙沟、江坡 3 矿床闪锌矿 Li 、 Zr 、 Cs 、 Ba 、 W 含量平均值分别为 1.59×10^{-6} 、 0.67×10^{-6} 、 0.88×10^{-6} 、 35.13×10^{-6} 、 0.10×10^{-6} 。

(4) 铅硐山和二里河铅锌矿床闪锌矿的 Sn 、 Cd 、 Ni 微量元素含量也各不相同, 铅硐山闪锌矿的 Sn 、 Cd 、 Ni 含量平均值分别为 27.40×10^{-6} 、 2920×10^{-6} 、 6.63×10^{-6} , 而二里河闪锌矿的 Sn 、 Cd 、 Ni 含量平均值分别为 1.90×10^{-6} 、 1455×10^{-6} 、 17.98×10^{-6} 。

(5) 不同矿床闪锌矿的 Sn 含量完全不同: 旬北盆地南沙沟和江坡矿床平均 0.21×10^{-6} 、二里河平均 1.94×10^{-6} 、马元 3.51×10^{-6} 、铅硐山 27.40×10^{-6} 。

从表 2 还可以看出, 马元矿床铅锌矿床方解石除 Ba 、 Sb 、 Rb 的含量比二里河铅锌矿床的方解石高外, 其余元素几乎均比二里河铅锌矿的方解石低。

当然马元方解石只有 1 个样品, 不排除测试过程中带来的偶然性, 还需要今后进一步工作。

3.2 几类铅锌矿床中主要矿物的稀土元素特征

本文主要采用各矿床共有的闪锌矿进行稀土元素特征的对比研究。方解石、方铅矿等矿物由于样品少或不是每个矿床都有, 其结果仅供参考。

3.2.1 闪锌矿的稀土元素特征

马元、南沙沟、江坡、铅硐山、二里河 5 矿床的闪锌矿稀土元素配分曲线见图 3, 可见均为轻稀土元素稍富集的右倾曲线, 但稀土元素总量各不相同: 马元矿床最低, 南沙沟和江坡矿床最高, 铅硐山和二里河矿床居中。

从图 3 还可以明显看出, 马元矿床闪锌矿具有十分明显的铈正异常, 而南沙沟、江坡、铅硐山和二里河矿床闪锌矿则明显不同, 铈异常变化大, 规律性不强, 要么铈异常不明显, 要么具有负铈异常, 只有江坡和二里河矿床极个别闪锌矿具有明显铈正异常。

3.2.2 方解石、方铅矿的稀土元素特征

从图 4 可以看出, 二里河矿床方解石的铈异常不明显, 配分曲线较平坦, 轻重稀土元素分馏不明显, Elh-04 方解石配分曲线甚至呈重稀土元素稍富集

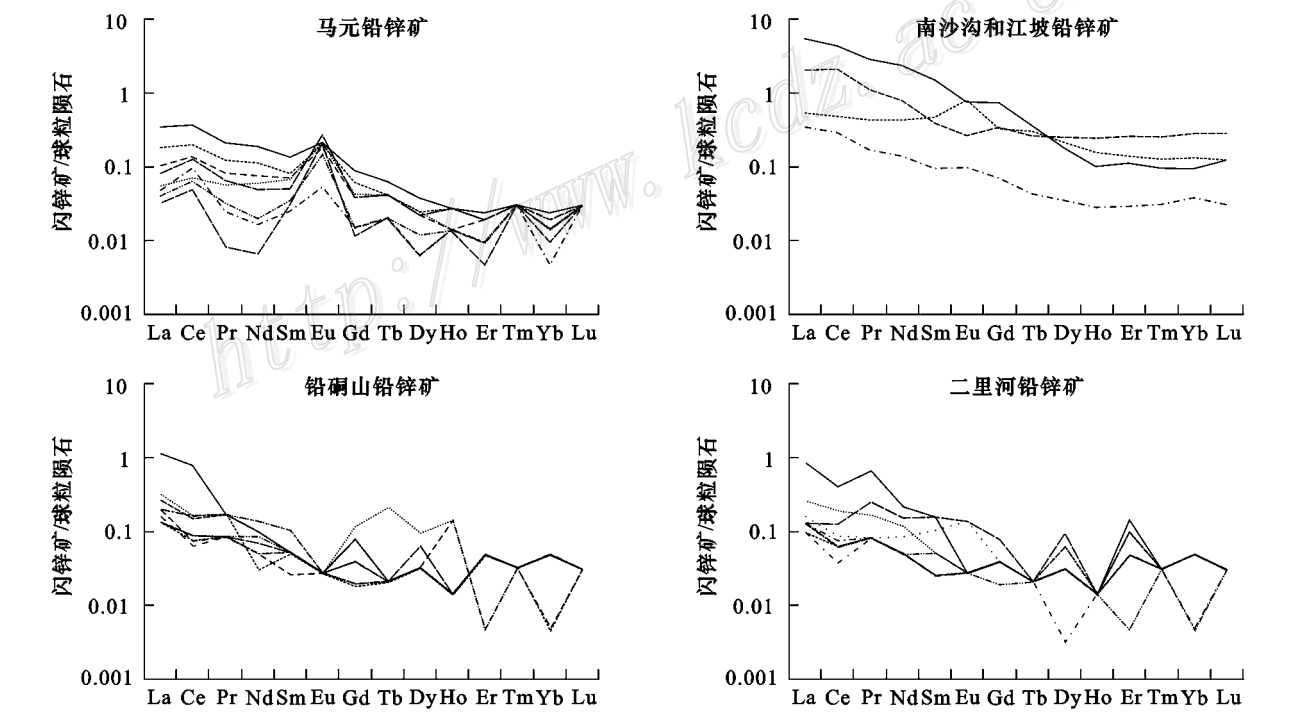


图 3 陕西重要铅锌矿床中闪锌矿稀土元素配分曲线

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of sphalerite from major lead-zinc deposits in Shaanxi Province

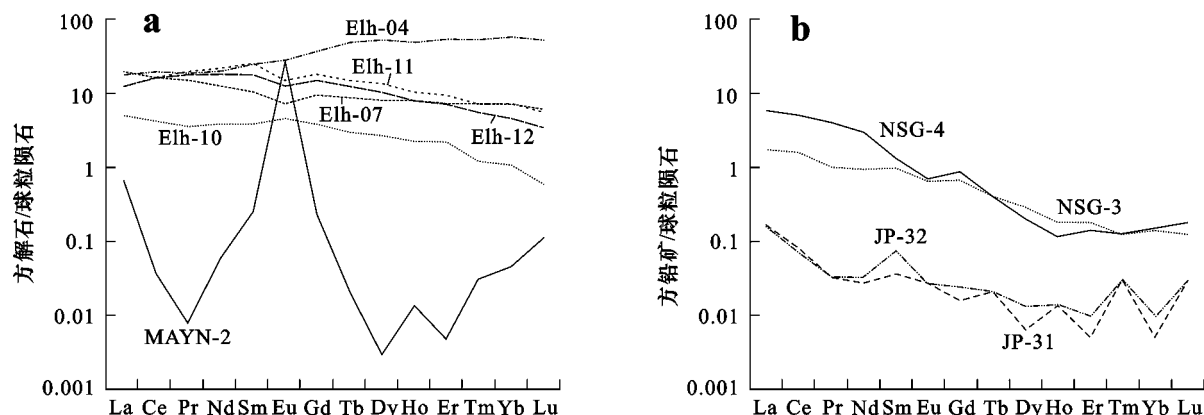


图 4 陕西重要铅锌矿床方解石和方铅矿的稀土元素配分曲线

a. 马元、二里河铅锌矿方解石; b. 南沙沟、江坡铅锌矿方铅矿。MAYN—马元铅锌矿; NSG—南沙沟铅锌矿; JP—江坡铅锌矿; QDS—铅硐山铅锌矿; Elh—二里河铅锌矿

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of calcite and galena from major lead-zinc deposits in Shaanxi Province

a. Calcite from Mayuan and Erlihe lead-zinc deposits; b. Galena from Jiangpo and Nanshaogou Pb-Zn deposits. MAYN-Mayuan lead-zinc deposit; NSG-Nanshaogou lead-zinc deposit; JP-Jiangpo lead-zinc deposit; QDS-Qiandongsha lead-zinc deposit; Elh-Erlihe lead-zinc deposit

的左倾型, 稀土元素总量高达 103.02×10^{-6} , 原因有待于进一步研究; 马元矿床方解石稀土元素总量明显比二里河矿床方解石低, 有明显的铕正异常, 配分曲线呈“W”型。由于马元矿床只有 1 个方解石样品, 因此这种巨大差异可能是由其成因差异造成的, 也可能是测试等其他原因引起的, 有待进一步工作。

南沙沟矿床和江坡矿床方铅矿的稀土元素总量明显比二里河矿床方解石低, 但南沙沟矿床明显高于江坡矿床, 稀土元素配分曲线为轻稀土元素稍富集的右倾型, 铕异常不明显(图 4)。

3.3 几类铅锌矿床闪锌矿微量元素特征的成因指示意义

前人对中国不同成因铅锌矿床的微量元素特征进行过总结, 并采用微量元素图解来判断铅锌矿床成因。叶庆同(1985)总结了岩浆热液型、陆相火山岩型、海相火山岩型和沉积改造型铅锌矿床闪锌矿的微量元素特征; 李徽(1986a)采用闪锌矿 $\text{Ag}-(\text{Ga} + \text{Ge})-(\text{Se} + \text{Te} + \text{In})$ 三角图解区分岩浆热液型、海相火山岩型、沉积改造型和 MVT 铅锌矿床; 李徽(1986b)采用闪锌矿 $\text{Cd}-\text{In}$ 图解、 $\text{Ag}-\text{In}$ 图解、 $(\text{Ga} + \text{Ge})-\text{In}-(\text{Se} + \text{Te})$ 三角图解区分岩浆热液型、火山岩型、斑岩型、变质热液型和层控型铅锌矿床; 张乾(1987)采用闪锌矿 $\text{InGa}-\text{InIn}$ 图解和 $\text{Zn}/\text{Cd}-\text{Se}/\text{Te}-\text{Ga}/\text{In}$ 三角图解区分岩浆热液型、火山岩型、沉积改造型和沉积变质混合岩化铅锌矿床; 张德全等(1992)采用闪锌矿 $\text{Se}/\text{Te}-\text{Zn}/100\text{Cd}-\text{Ga}/\text{In}$ 三角图解来区分岩浆热液(含矽卡岩)型、火山岩(含火山热液)

型和沉积改造(层控)型铅锌矿床。但是, 目前的微量元素和稀土元素测试多采用 ICP-MS 方法, 测试结果中缺乏 Ge、Se、Te、Ag 等元素的测试结果, 并且, 受方法本身特点的制约, 矿物中的主量元素(如闪锌矿中的 Zn, 方铅矿中的 Pb 等)测试结果误差很大。因此, 前人的微量元素成因图解不适用于 ICP-MS 微量元素测试结果。

通过前述陕西马元、旬北盆地南沙沟和江坡、凤太矿田铅硐山和二里河铅锌矿床微量元素特征的总结可以看出, 它们的微量元素特征具有一定的规律性。因此, 本文以陕西重要铅锌矿床为对象, 尝试建立这些矿床以 ICP-MS 数据为基础的微量元素成因图解。

马元铅锌矿床为 MVT 铅锌矿床, 南沙沟、江坡、铅硐山、二里河 4 个矿床与海底喷气沉积有成因联系, 在闪锌矿 $\text{Co}-\text{Ni}$ 、 $\text{Th}-\text{Y}$ 、 $\text{Sr}-\text{Ba}$ 、 $\text{Mo}-\text{Tl}$ 等微量元素散点图(图 5)上, 马元铅锌矿床的投点集中于一个区域, 而南沙沟、江坡、铅硐山、二里河 4 矿床的投点集中于另一个区域, 显示马元闪锌矿比南沙沟、江坡、铅硐山、二里河 4 矿床闪锌矿明显富集 Cs、Sr、Ba、Tl、Mo, 亏损 Co、Ni、Th、Y 的特点。Cs、Sr、Ba、Eu 为大离子亲石元素, Co、Ni 为亲铁元素, Th、Y 为高场强元素, 马元闪锌矿富集大离子亲石元素、亏损亲铁元素和高场强元素的特点与其 MVT 成因一致。

南沙沟、江坡、铅硐山和二里河 4 个铅锌矿床虽然均与海底喷气沉积作用有关, 但旬北盆地的南沙沟和江坡铅锌矿床受到了较强烈的后期改造作用,

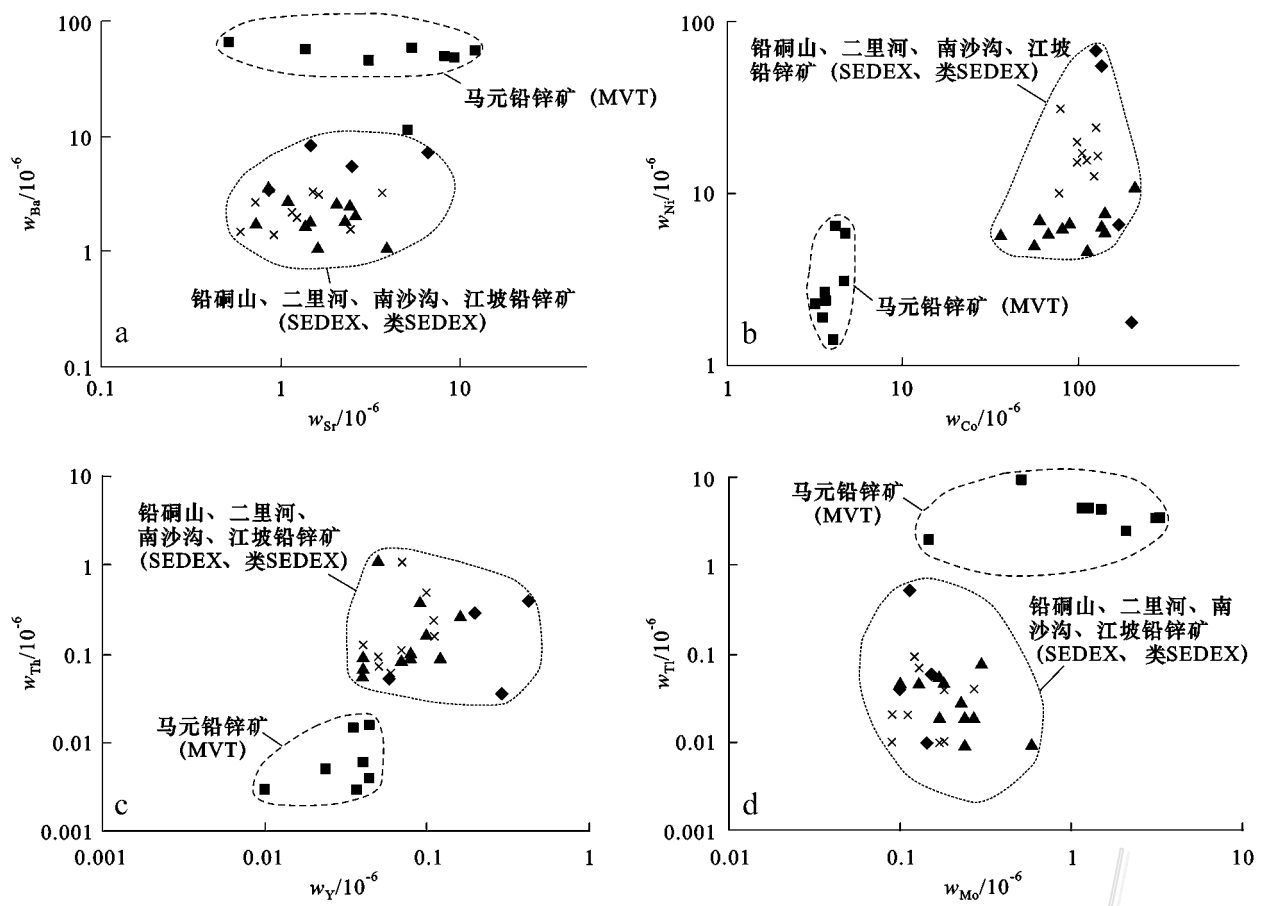


图 5 陕西重要铅锌矿床中闪锌矿 Sr-Ba (a) Co-Ni (b) Y-Th (c) 和 Mo-Ti (d) 图解
■—马元铅锌矿床；◆—南沙沟和江坡铅锌矿床；▲—铅硐山铅锌矿床；×—二里河铅锌矿床

Fig. 5 Sr-Ba (a) Co-Ni (b) Y-Th (c) and Mo-Ti (d) diagram of sphalerite from major lead-zinc deposits in Shaanxi Province
■—Mayuan lead-zinc deposit ; ◆—Nashagou and Jiangpo lead-zinc deposits ; ▲—Qiongdongshan lead-zinc deposit ; ×—Erlihe lead-zinc deposit

因此在闪锌矿 Li-Cs 和 Zr-In 图解 (图 6) 上有 3 个集中区,一为马元铅锌矿床 (MVT),一为铅硐山和二里河铅锌矿床 (SEDEX),一为旬北盆地南沙沟和江坡铅锌矿 (类 SEDEX)。南沙沟和江坡与铅硐山和二里河相比,前两者闪锌矿富集 Mn、Y、Zr、In,亏损 Sn、Sb、W;而后两者富集 W,亏损 Li、Zr、Cs、Ba。Sn、Sb、W 是与地壳重熔型花岗岩有关热液矿床的特征元素,其亏损暗示旬北盆地铅锌矿床的改造成矿可能与地壳重熔型花岗岩浆活动没有亲缘关系,事实上矿田内也没有发现岩浆活动的痕迹;闪锌矿中的 Mn 可与 Zn 类质同象,成矿温度高则 Mn 含量高,旬北盆地铅锌矿床中 Mn 高与其成矿温度高于马元矿床及凤太矿田铅锌矿床的事实一致。

铅硐山铅锌矿床和二里河铅锌矿床虽然位于同一矿田内,赋矿层位也相同,成因均为 SEDEX 型,但二里河矿区有大量中基性岩脉分布,热液活动更强烈,铅锌矿石品位更富,叠加有后期铜矿化。因此,

在闪锌矿的 W-Sn 微量元素图解 (图 7) 上二里河闪锌矿的投点区域与铅硐山闪锌矿有一定偏移。也就是说,闪锌矿的 W-Sn 微量元素图解对成因判别更灵敏,可以反映成因上更细小的差异。

3.4 几类铅锌矿床闪锌矿稀土元素特征的成因指示意义

马元铅锌矿床 (MVT)、旬北盆地铅锌矿床 (类 SEDEX) 和凤太矿田铅锌矿床 (SEDEX) 成因上的差异在其闪锌矿稀土元素特征数值图解 (图 8) 上也有清楚的反映,马元闪锌矿明显 δEu 正异常,旬北盆地 (南沙沟和江坡) 闪锌矿稀土元素总量高,凤太矿田 (铅硐山和二里河) 闪锌矿稀土元素特征类似。3 地闪锌矿的投点有分别集中于 3 处的趋势。马元闪锌矿明显的 δEu 正异常,可能是在极强还原条件下 Eu^{3+} 被还原成 Eu^{2+} 而与其他稀土元素分离并富集于成矿流体中,致使从成矿流体中沉淀的闪锌矿富钕。马元闪锌矿与沥青共生印证了这一点,马元方解石

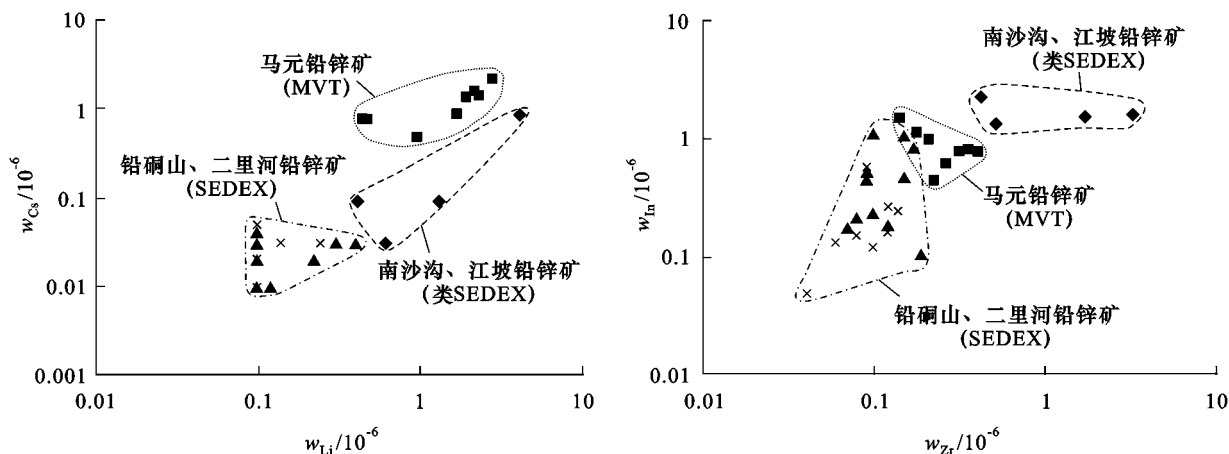


图 6 陕西重要铅锌矿床中闪锌矿的 Li-Cs (左) 和 Zr-Pr (右) 图解

■—马元铅锌矿床 ; ◆—南沙沟和江坡铅锌矿床 ; ▲—铅硐山铅锌矿床 ; ×—二里河铅锌矿床

Fig. 6 Li-Cs (left) and Zr-Pr (right) diagram of sphalerite from major lead-zinc deposits in Shaanxi Province

■—Mayuan lead-zinc deposit ; ◆—Nashagou and Jiangpo lead-zinc deposits ; ▲—Qiangongshan lead-zinc deposit ; ×—Erlihe lead-zinc deposit

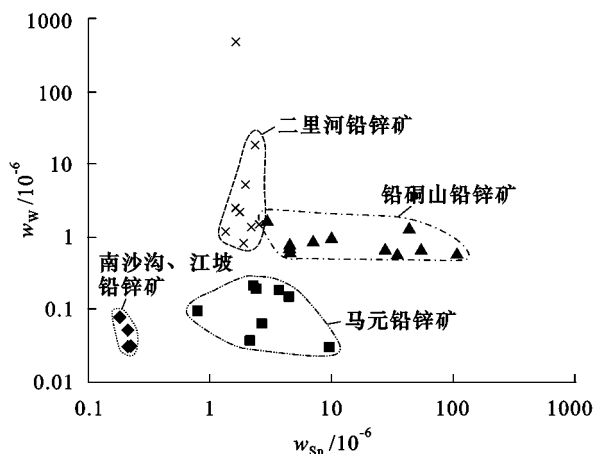


图 7 陕西重要铅锌矿床闪锌矿 W-Sn 微量元素图解

■—马元铅锌矿床 ; ◆—南沙沟和江坡铅锌矿床 ; ▲—铅硐山铅锌矿床 ; ×—二里河铅锌矿床

Fig. 7 Sn-W diagram of major lead-zinc deposits in Shaanxi Province

■—Mayuan lead-zinc deposit ; ◆—Nashagou and Jiangpo lead-zinc deposits ; ▲—Qiangongshan lead-zinc deposit ; ×—Erlihe lead-zinc deposit

具有明显的 δEu 正异常也与此相吻合。

无论是凤太矿田铅锌矿床、马元铅锌矿床还是旬北地区铅锌矿床,其闪锌矿的 δEu 均有随稀土元素总量增大而减小的趋势(图 8),可能反映了 Eu 含量对成矿温度的敏感程度比其他稀土元素差,随着成矿温度的升高,溶液中稀土元素的含量增高,但 Eu 的含量增长幅度低于 Sm 和 Gd 致使 δEu 由明显正异常变为异常不明显(马元)或由异常不明显变为明显负异常(铅硐山、二里河、旬北)。

在总体上,方解石的稀土元素总量比闪锌矿和方铅矿高,且方解石稀土元素有分馏程度越高其稀土元素总量越低的趋势,这可能与成矿温度不同有关。一般地,轻稀土元素比重稀土元素的活动性大,易于优先进入溶液。马元铅锌矿床成矿温度较低,只有少量以轻稀土元素为主的稀土元素进入溶液,导致方解石的稀土元素总量最低,分馏程度最高;二里河铅锌矿床的成矿温度高于马元,除轻稀土元素外也有较多重稀土元素进入溶液,因此其方解石的稀土元素总量高于马元而分馏程度低于马元;而且在二里河方解石内部,也显示了稀土元素总量与分馏程度呈负相关的趋势。

4 结 论

(1) 不同类型铅锌矿床闪锌矿的微量元素特征各不相同:马元闪锌矿的 Co 、 Ni 、 Th 、 Y 含量低,而 Mo 、 Cs 、 Sr 、 Ba 、 Tl 含量高;旬北闪锌矿的 Sn 、 Sb 、 W 低,而 Mn 、 Y 、 Zr 、 In 高,此外 Li 、 Ni 、 Rb 、 Nb 也较高;凤太闪锌矿的 Li 、 Zr 、 Cs 、 Ba 含量低,而 W 的含量高。这些差异佐证了其矿床成因的不同。

(2) 不同类型铅锌矿床闪锌矿的稀土元素特征也各不相同:马元闪锌矿具有十分明显的铕正异常,而旬北、铅硐山和二里河闪锌矿的铕异常不明显。旬北闪锌矿稀土总量明显高于其他闪锌矿稀土元素含量。这些稀土元素特征同样佐证了其矿床成因的差异。

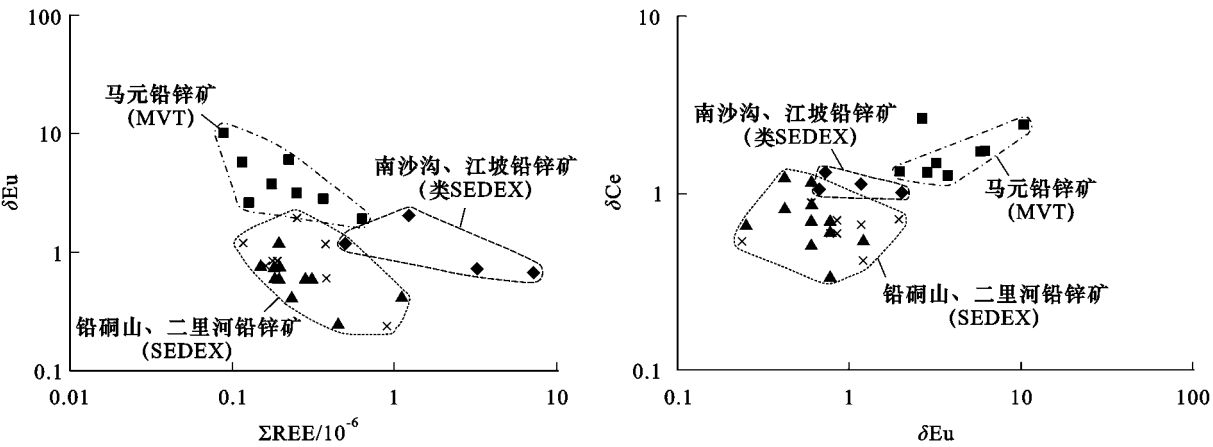


图 8 陕西重要铅锌矿床中闪锌矿的 $\Sigma\text{REE}-\delta\text{Eu}$ 图解 (左) 和 $\delta\text{Eu}-\delta\text{Ce}$ 图解 (右)
■—马元铅锌矿床 ;◆—南沙沟和江坡铅锌矿床 ;▲—铅硐山铅锌矿床 ;×—二里河铅锌矿床

Fig. 8 $\Sigma\text{REE}-\delta\text{Eu}$ (left) and $\delta\text{Eu}-\delta\text{Ce}$ (right) diagram of sphalerite from major lead-zinc deposits in Shaanxi Province

■—Mayuan lead-zinc deposit ;◆—Nashagou and Jiangpo lead-zinc deposits ;▲—Qiantongshan lead-zinc deposit ;×—Erlihe lead-zinc deposit

(3) 在闪锌矿的 Li-Cs、Zr-In、W-Sn 等微量元素图解和 $\Sigma\text{REE}-\delta\text{Eu}$ 、 $\delta\text{Eu}-\delta\text{Ce}$ 等稀土元素图解上,不同成因类型的典型铅锌矿床投点分别集中,显示了一定的规律性。

(4) 在闪锌矿的 Co-Ni、Th-Y、Sr-Ba、Mo-Tl 微量元素图解中,马元的投点集中于一处,而其他 4 个矿床的投点集中于另一处,反映铅硐山和二里河铅锌矿床 (SEDEX 型) 与南沙沟和江坡铅锌矿床 (类 SEDEX 型) 具有更多的相似性,而与马元铅锌矿床 (MVT) 差异较大。

需要说明的是,本文是基于陕西几个重要铅锌矿床闪锌矿等矿物的 ICP-MS 微量元素和稀土元素数据提取矿床成因信息的尝试。由于受矿床数、样品数和样品特点的限制,本文主要以闪锌矿为研究对象,研究的结论相当初步,也缺乏国内外其他 SEDEX 和 MVT 铅锌矿床的闪锌矿等矿物微量元素和稀土元素研究成果的佐证。本文旨在抛砖引玉,使 ICP-MS 微量元素和稀土元素测试数据能够得到充分利用,不当和谬误之处敬请批评指正!

References

Fang W X. 1999. Characteristics of sedimentary facies of hydrothermal for Qiantongshan giant lead-zinc ore deposit, Feng County, Shaanxi Province[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 17(1): 44-50 (in Chinese with English abstract).

Fang W X and Hu R Z. 2001. Key controls of Devonian three-order hydrothermal sedimentary basin with mineralizer in the Qinling orogen, China[J]. Geotectonica et Metallogenia, 25(1): 27-35 (in

Chinese with English abstracts).

Fang W X, Liu F J, Hu R Z and Chen M X. 2003. Characteristics of hydrothermal sedimentary facies in relation with mineralizer in Bafangshan polymetallic deposit[J]. Acta Mineralogica Sinica, 23(1): 75-81 (in Chinese with English abstracts).

Han Z X. 1994. The typomorphic characteristic of the sphalerite in the Qinling Devonian system lead-zinc metallogenic belt[J]. J. Xi'an College of Geology, 16(1): 12-17 (in Chinese with English abstract).

Hou M T, Zang S Q and Li X L. 2004. Researches on thermal water sedimentary silicalite in the Zhen'an-Xunyang lead-zinc mineralized area[J]. Geol. Shaanxi, 22(1): 45-54 (in Chinese with English abstract).

Hou M T, Wang D G, Deng S B, Yang Z R and Xu T. 2006a. Geology of lead-zinc mineralization in Mayuan area of Shaanxi Province[J]. Geol. Shaanxi, 24(1): 45-56 (in Chinese with English abstract).

Hou M T, Tang Y Z and Wang D G. 2006b. The metallogenetic epoch of Silurian lead-zinc mineralization in Xunyang district[J]. Geol. Shaanxi, 24(2): 1-7 (in Chinese with English abstract).

Hou M T and Tang Y Z. 2006c. Metallogenetic geochemistry and physicochemical conditions of Silurian Pb-Zn mineralization in the Xunyang County, Shaanxi[J]. Northwestern Geol., 39(3): 28-38 (in Chinese with English abstract).

Hou M T, Wang D G, Deng S B and Yang Z R. 2007a. Geology and genesis of the Mayuan lead-zinc mineralization belt in Shaanxi Province[J]. Northwestern Geol., 40(1): 42-60 (in Chinese with English abstract).

Hou M T, Wang D G, Gao J and Gao H X. 2007b. Characteristics of lead-zinc ores in the Mayuan region of Shaanxi[J]. Geol. Shaanxi, 25(1): 1-10, 37 (in Chinese with English abstract).

Hou M T, Tang Y Z and Zhang L C. 2007c. Geological features of Silurian lead-zinc deposits in the Xunyang area, Shaanxi, China, and direction for ore finding[J]. Geol. Bull. China, 26(2): 155-165 (in Chinese with English abstract).

Jia R X, Wei H M and Guo J. 1999. The metallogenetic series of metal in

- Fengtai orefield[J]. Northwest Geoscience, 20(2):42-50(in Chinese with English abstract).
- Li H. 1986a. The typomorphic characteristics of the sulfides and their genesis for Qiandongshan lead-zinc deposit, Fengxian County, Shaanxi[J]. Geology and Prospecting, 22(12):36-41(in Chinese).
- Li H. 1986b. The characteristics of trace-elements in sphalerite and their geological significance[J]. Geology and Prospecting, 22(10):42-46(in Chinese).
- Li H M, Chen Y C, Wang D H and Li H Q. 2007. Geochemistry and geochronology study on the Mayuan zinc deposit, Shaanxi, China[J]. Geol. Bull. China, 26(5):546-552(in Chinese with English abstract).
- Li Y and Zhou Z G. 2003. A brief study on the genesis and evolvement rules of the Hg-Sb, Pb-Zn and Au deposits in Zhenan-Xunyang area, Shaanxi Province[J]. Geol. & Resour., 12(1):19-24, 35(in Chinese with English abstract).
- Li Y H, Jiang S Y and Xue C J. 1997. A comparative study of ore-forming environments and conditions in Feng-Tai and Zha-Shan ore-fields, Qinling mountains[J]. Mineral Deposits, 16(2):171-180(in Chinese with English abstract).
- Qi S J and Li Y. 1997. The metallogenic series related to exhalative sedimentation in Devonian metallogenic belt, south Qiling[J]. J. Xi'an College of Geology, 19(3):19-26(in Chinese with English abstract).
- Qi W, Hou M T, Wang K M, Yang Z R and Wang D G. 2004. A large-scale stratabound lead-zinc metallogenic belt discovered in the Mayuan area, Nanzheng County, Shaanxi[J]. Geol. Bull. China, 23(11):1139-1142(in Chinese with English abstract).
- Song X W, Hou M T, Zhu J X, Wu B C and Tang Y Z. 2003. The genesis and the lead-zinc mineralized zone in the Silurian system in Xunyang area of Shaanxi Province[J]. Geol. Shaanxi, 21(1):1-9(in Chinese with English abstract).
- Tian M M, Yuan X D and Zhang Y R. 2004. Discussion of geological prospecting in Erlihe deposit, Fengxian[J]. Mineral Resour. & Geol., 18(2):134-138(in Chinese with English abstract).
- Ye Q T. 1985. Chemical composition of sphalerite from Pb-Zn deposits in China and its geological significance[J]. Bull. Institute of Mineral Deposits, CAGS, 2(14):27-43(in Chinese with English abstract).
- Zhang D Q and Lei Y F. 1992. Typochemical characteristics of major ore minerals from Southern DaHinggan Mountains in east Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 11(2):166-177(in Chinese with English abstract).
- Zhang Q. 1987. Distinguish the genetic type of lead-zinc deposits by trace-element diagrams of galena and sphalerite[J]. Geology-Geochemistry, (9):64-66(in Chinese).
- 方维萱. 1999. 陕西铅铜山大型铅锌矿床热水沉积岩相特征[J]. 沉积学报, 17(1):44-50.
- 方维萱, 胡瑞忠. 2001. 秦岭造山带泥盆纪三级构造热水沉积成矿盆地主控因素[J]. 大地构造与成矿学, 25(1):27-35.
- 方维萱, 刘方杰, 胡瑞忠, 陈梦熊. 2003. 八方山大型多金属矿床热水沉积岩相特征与矿化剂组分关系[J]. 矿物学报, 23(1):75-81.
- 韩照信. 1994. 秦岭泥盆系铅锌成矿带中闪锌矿的标型特征[J]. 西安地质学院学报, 16(1):12-17.
- 侯满堂, 臧世权, 李新林. 2004. 镇旬铅锌矿田热水沉积硅岩研究[J]. 陕西地质, 22(1):45-54.
- 侯满堂, 王党国, 邓胜波, 杨宗让, 徐涛. 2006a. 陕西马元地区铅锌矿地质特征及找矿方向[J]. 陕西地质, 24(1):45-56.
- 侯满堂, 唐永忠, 王党国. 2006b. 旬阳地区志留系铅锌矿成矿时代探讨[J]. 陕西地质, 24(2):1-7.
- 侯满堂, 唐永忠. 2006c. 陕西旬阳地区志留系铅锌矿带成矿地球化学特征及物理化学条件[J]. 西北地质, 39(3):28-38.
- 侯满堂, 王党国, 邓胜波, 杨宗让. 2007a. 陕西马元地区铅锌矿地质特征及矿床类型[J]. 西北地质, 40(1):42-60.
- 侯满堂, 王党国, 高杰, 高怀雄. 2007b. 陕西马元地区铅锌矿矿石特征研究[J]. 陕西地质, 25(1):1-10, 37.
- 侯满堂, 唐永忠, 张连昌. 2007c. 陕西旬阳地区志留系铅锌矿的地质特征及找矿方向[J]. 地质通报, 26(2):155-165.
- 贾润幸, 隗合明, 郭健. 1999. 秦岭凤太矿田金属成矿系列初探[J]. 西北地质科学, 20(2):42-50.
- 李徽. 1986a. 凤县铜洞山铅锌矿床硫化矿物标型特征及其成因探讨[J]. 地质与勘探, 22(12):36-41.
- 李徽. 1986b. 闪锌矿中杂质元素的特征及地质意义[J]. 地质与勘探, 22(10):42-46.
- 李厚民, 王登红, 陈毓川, 等. 2007. 陕西南郑地区马元锌矿的地球化学特征及成矿时代[J]. 地质通报, 26(5):546-552.
- 李勇, 周宗桂. 2003. 陕西镇安-旬阳地区汞、铅、金、铜床成因及演化规律浅析[J]. 地质与资源, 12(1):19-24, 35.
- 李延河, 蒋少涌, 薛春纪. 1997. 秦岭凤太矿田与柞山矿田成矿条件及环境的对比研究[J]. 矿床地质, 16(2):171-180.
- 祁思敬, 李英. 1997. 南秦岭泥盆系成矿带热水沉积成矿系列[J]. 西安地质学院学报, 19(3):19-26.
- 齐文, 侯满堂, 汪克明, 杨宗让, 王党国. 2004. 陕西南郑县马元一带发现大型层控型铅锌矿带[J]. 地质通报, 23(11):1139-1142.
- 宋小文, 侯满堂, 朱经祥, 吴邦朝, 唐永忠. 2003. 陕西旬阳地区志留系铅锌矿集区特征及其成因初探[J]. 陕西地质, 21(1):1-9.
- 田民民, 袁旭东, 张永让, 王伦科. 2004. 凤县二里河铅锌矿床后续地质找矿探讨[J]. 矿产与地质, 18(2):134-138.
- 叶庆同. 1985. 中国铅锌矿床闪锌矿的化学组成及其地质意义[J]. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, 2(14):27-43.
- 张德全, 雷蕴芬. 1992. 大兴安岭南段主要金属矿物的成分标型特征[J]. 岩石矿物学杂志, 11(2):166-177.
- 张乾. 1987. 利用方铅矿、闪锌矿的微量元素图解法区分铅锌矿床的成因类型[J]. 地质地球化学, (9):64-66.

附中文参考文献

方维萱. 1999. 陕西铅铜山大型铅锌矿床热水沉积岩相特征[J]. 沉