

豫西嵩县上庄坪铅锌银矿床地球化学特征及地质意义

杨进朝¹ 冯胜斌² 彭 翼³ 燕长海³
曾宪友³ 王建明³ 胡绍斌⁴

(1. 河南省地质环境监测院, 河南 郑州 450006; 2. 中石油长庆油田分公司 勘探开发研究院, 陕西 西安 710021;
3. 河南省地质调查院, 河南 郑州 450007; 4. 云南省地质调查院, 云南 昆明 653100)

摘要: 上庄坪铅锌银矿床是新一轮国土资源大调查中在北秦岭二郎坪群发现的硫化物矿床。笔者通过对矿床矿石、容矿围岩、重晶石岩的微量、稀土元素地球化学特征分析和地质特征研究, 探讨成矿构造环境、成矿物质来源及矿床成因问题。研究表明, 矿石和容矿围岩稀土元素球粒陨石标准化组成模式均为右倾型, 矿石与围岩在 Cu-Pb-Zn 判别图解中投点区域一致, 矿石 Zn/(Zn+Pb) 与冲绳海槽和上向黑矿矿石特征相似、与 TAG 和 EPR13°N 区硫化物存在差异, 矿石具较高 As、Sb 和 Pb 与低 Cu、Cd 和 Se 元素特征, 认为该矿床成矿元素来源于壳幔混合、但以壳源为主的围岩变(石英)角斑岩和变细碧岩。矿石稀土元素、微量元素地球化学特征、矿床地质特征及与热水沉积重晶石岩和硅质岩的紧密共生关系说明, 上庄坪矿床是弧后盆地构造环境海底热液喷流成岩成矿作用的产物。重晶石岩、硅质岩、矿床纵向和横向分带是寻找和勘探该类矿床的重要标志和依据。

关键词: 上庄坪铅锌银矿床; 地球化学; 热液喷流沉积; 二郎坪群; 豫西

中图分类号: P618.42; P618.43; P618.52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2008)02-0305-09

上庄坪铅锌银矿床位于北秦岭造山带下古生界二郎坪群火山-沉积建造组合中, 是新一轮国土资源大调查中发现的硫化物矿床, 矿体以铅、锌为主, 并伴生有铜、金、银等多种元素, 其中 Pb、Zn 平均品位均为 6.35%、Ag 平均品位达 93g/t, 试算铅锌金属量为 0.26 Mt, 银金属量为 473 t, 是一中型的铅锌银矿床^[1]。笔者对上庄坪矿床围岩、矿石、重晶石岩系统采样进行稀土、微量元素地球化学特征分析, 探讨成矿构造环境、成矿物质来源以及矿床成因问题, 为该矿床进一步勘探开发及该区寻找该类矿床提供基础地质资料。

1 矿区地质概况

矿区大地构造位置处于华北板块之南的北秦岭造山带, 在地层空间构造格架位置上分布于南阳盆地

以西的以陆家曼—四棵树为轴线的背斜构造北翼^[2], 赋矿地层是下古生界二郎坪群火神庙组(图 1)。二郎坪群是由两个火山岩和碎屑岩-碳酸岩盐组成的火山-沉积旋回, 是北秦岭造山带重要构造-地层单元。该套地层在南阳盆地以西自下而上划分为二进沟组、大庙组、火神庙组(称西二郎坪群); 以东自下而上划分为刘山岩组、张家大庄组和大栗树组(称东二郎坪群)^[3-4]。矿区出露地层主要为火神庙组、上古生界小寨组和中元古界宽坪群。宽坪群岩性为绢云石英片岩, 仅在北部少量出露。火神庙组岩石组合主要为厚层块状变细碧岩、变石英角斑岩、变角斑岩为主, 夹多层变基性凝灰岩、层状低品位黄铁矿化层、重晶石矿化层及硅质岩层组成。小寨组为一套变质碎屑岩。矿区伴随主背斜构造的次级褶皱、挤压片理和平行于背斜轴向的断裂构造极发育。区内岩浆活

收稿日期: 2007-10-08; 改回日期: 2007-11-14

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(199910200227200310200001-6)研究成果。

作者简介: 杨进朝, 男, 1970 生, 硕士, 工程师, 从事地质调查工作; E-mail: yjch625@sina.com。

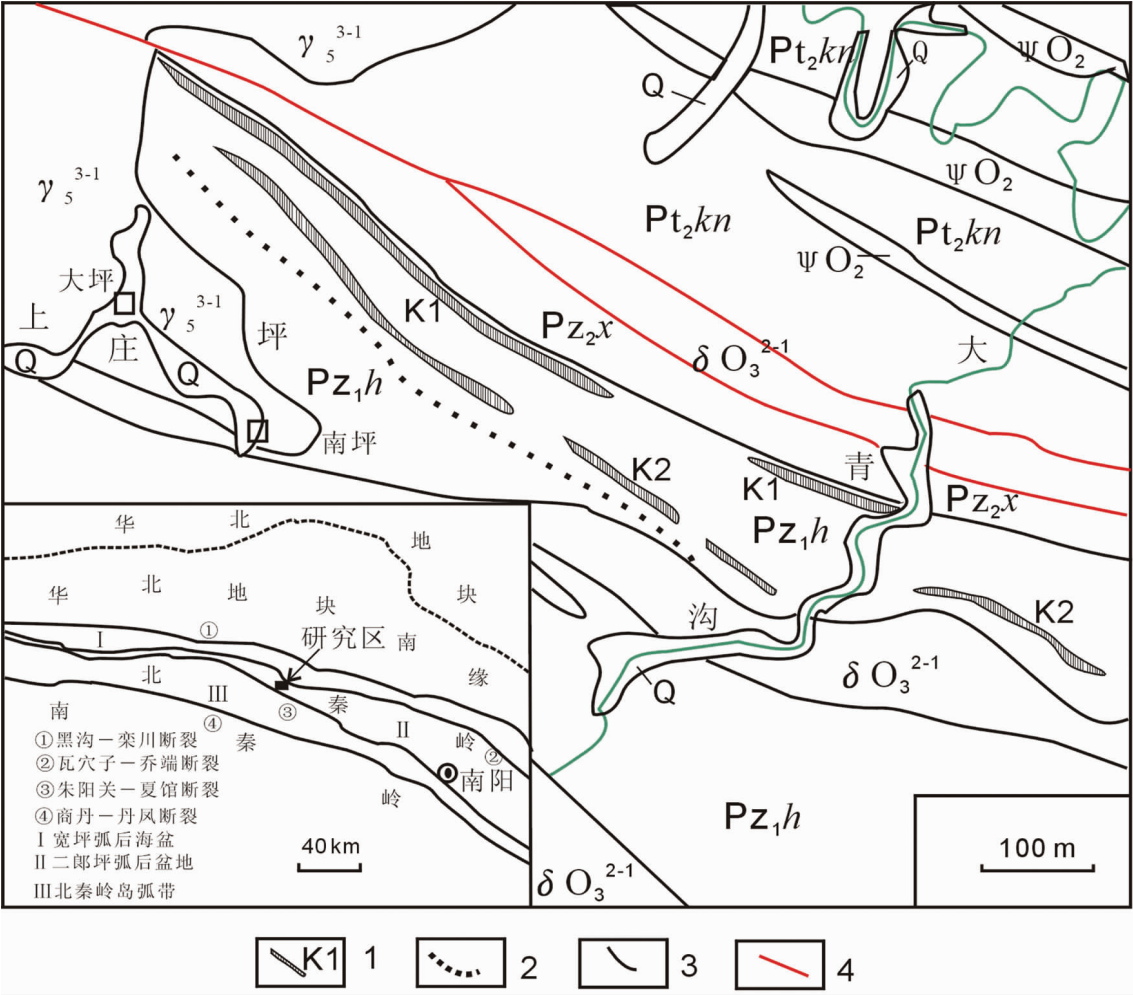


图 1 嵩县上庄坪铅锌银矿床地质略图及大地构造位置

Q—第四系;Pz_{2x}—小寨组;Pz_{1h}—火神庙组;Pt_{2kn}—宽坪群;γ₅³⁻¹—燕山期花岗岩;δO₃²⁻¹—加里东期闪长岩;ψO₂—晋宁期角闪岩;
1—重晶石矿化层;2—黄铁矿化层;3—地质界线;4—断裂

Fig.1 Geological sketch map of the Shangzhuangping Pb-Zn-Ag deposit, Songxian County, and insert of its tectonic setting

Q—Quaternary;Pz_{2x}—Xiaozhai Formation;Pz_{1h}—Huoshengmiao Formation;Pt_{2kn}—Kuanping Group;γ₅³⁻¹—Yanshanian granite;
δO₃²⁻¹—Caledonian diorite;ψO₂—Jinningian amphibolite. 1—Mineralized barite belt;2—Pyritization bed;3—Geological boundary;4—Fault

动强烈，矿区的北西有燕山期老君山中细粒（似斑状）花岗岩，西南有加里东期以闪长岩为主的板山坪杂岩带。

2 矿床地质特征

在上庄坪—黄柏沟—大青沟一带东西长 11 km、南北宽 1.2 km 的火神庙组变细碧—石英角斑岩系内，在平行产出的 2 个重晶石岩层(K1、K2)中，经初步揭露已发现 K1、K2、K7、K8、K9 共 5 个 Pb、Zn、Ag 多金属矿体。它们大致平行产出，与地层产状一

致并与围岩过渡或整合接触(图 1)。如图 2 所示，矿带上部主体为变细碧岩，下部为变基性凝灰岩和变石英角斑岩，且矿体中发育与其成层状产出的重晶石岩和硅质岩。

矿石主要金属矿物为黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、磁铁矿等，脉石矿物为重晶石、石英、绿泥石、绢云母等，部分地段已达到重晶石矿。矿石主要呈半自形—他形粒壮结构、包含结构、似斑状结构、填隙结构和浊乳状文象等结构，块状、似层状、条带状结构以及细脉状、浸染状和网状等构造

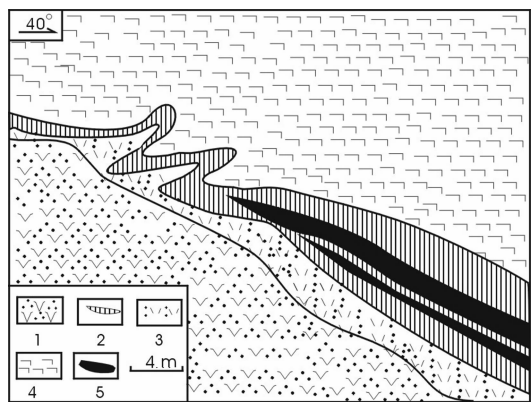


图 2 嵩县上庄坪铅锌银矿床地质剖面图
1—石英角斑岩;2—矿化重晶石岩;3—凝灰岩;
4—细碧岩;5—硅质岩
Fig.2 Geological section of the Shangzhuangping
Pb—Zn—Ag deposit, Songxian Country
1—Quartz keratophyre;2—Mineralized barite rocks;3—Tuff;
4—Spilitite;5—Chert

(图 3)。条带状主要由黄铜矿、闪锌矿和少量黄铁矿与重晶石岩相间构成(图 3-a),显示出层控矿床特征,成矿作用显示以同生为主,热液改造总体较弱,围岩蚀变范围小,具较弱的绿泥石化、绢云母化、硅化高岭土化等蚀变或无蚀变。

3 分析方法

将测定的样品用刚玉研磨碎样机粉碎、研磨至 200 目以下粉末。稀土元素分析方法用电感耦合等离

子体发射光谱法,La、Pr、Sm、Gd 检测限 0.02×10^{-6} ,Ce、Dy、Ho、Er、Lu、Tm 检测限 0.01×10^{-6} ,Nd、Tb 检测限 0.05×10^{-6} ,Eu 检测限 0.006×10^{-6} ,Yb 检测限 0.003×10^{-6} 。微量元素 As、Sb、Se、Hg 采用原子荧光法,检测限 0.02×10^{-6} (Hg 为 0.001×10^{-6});Ba、V、Nb 和 Sr 为电感耦合等离子体发射光谱法,检测限分别为 5×10^{-6} 、 2×10^{-6} 、 1×10^{-6} 和 0.5×10^{-6} ;其他为原子吸收光谱法,检测限为 1×10^{-6} ,分析工作由国土资源部中南矿产资源检测中心完成。

4 分析结果及讨论

4.1 稀土元素地球化学特征

从表 1 可知,上庄坪矿床从块状矿石—层状矿石—纹层状矿石,均具有稀土总量低,轻稀土富集,重稀土亏损。 $\delta(Eu)=1.10\sim3.06$ (均值为 1.92),明显的正异常; $\delta(Ce)=0.51\sim1.0$ (均值为 0.74),为负异常。该矿床中重晶石岩与矿体关系非常密切,重晶石岩多为多金属矿化,或与黄铁矿、闪锌矿和黄铜矿紧密共生,或与矿石互层产出,或成为矿体的边缘相,且其具有低的稀土含量、明显的 Eu 正异常、轻稀土富集、重稀土亏损、Ce 负异常特征,这与矿石特征非常相似。热水沉积岩是热水沉积型和热水沉积—改造型矿床的重要标志^[9]。而已有研究对重晶石岩及与矿体互层产出的硅质岩通过常量、微量和稀土元素的综合分析,表明二者是典型的热热水沉积岩^[6-7]。另外,矿石和重晶石岩均与大西洋 TAG (Trav—Atlantic—

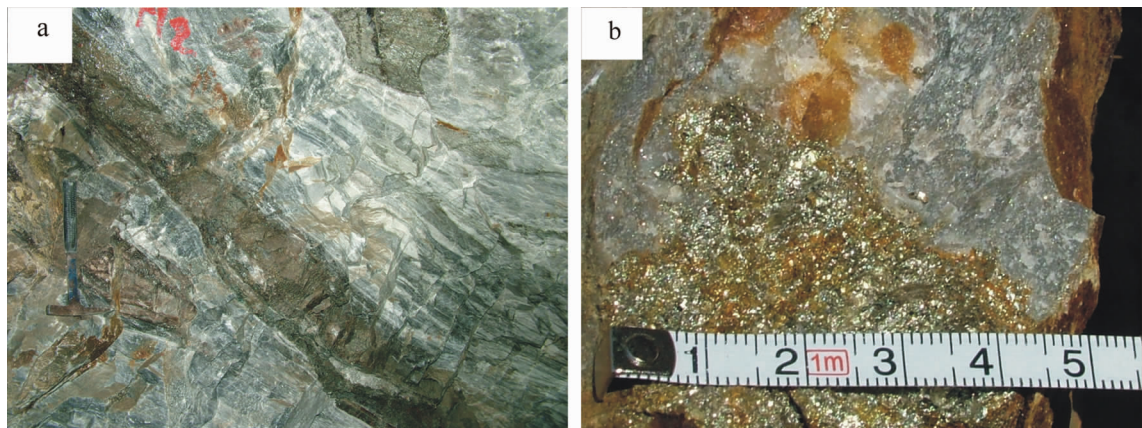


图 3 嵩县上庄坪矿床矿石结构构造
a—层状、条带状矿石;b—浸染状矿石
Fig.3 Photos showing ore structures of the Shangzhuangping Pb—Zn deposit in Songxian County
a—Stratiform and banded ore;b—Disseminated ore

表 1 上庄坪矿床矿石及相关岩石稀土元素含量(10^{-6})及特征参数
Table 1 REE content (10^{-6}) and characteristic parameters of minerals and rocks in the Shangzhuangping Pb–Zn–Ag deposit, Henan

| 样品号 | 矿(岩)石类型 | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho |
|---------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-----------|--------|--------|------|
| SZP-001 | 石英角斑岩 | 11.00 | 22.80 | 2.66 | 13.00 | 3.90 | 1.06 | 2.57 | 0.48 | 3.34 | 0.66 |
| SZP-002 | 重晶石 | 7.15 | 9.51 | 1.04 | 3.68 | 0.61 | 1.05 | 0.90 | 0.19 | 0.99 | 0.10 |
| SZP-006 | 纹层壮矿石 | 8.03 | 7.26 | 1.16 | 2.10 | 0.29 | 0.35 | 0.42 | 0.07 | 0.42 | 0.08 |
| SZP-007 | 层壮矿石 | 6.02 | 12.40 | 1.42 | 5.70 | 1.48 | 0.50 | 1.23 | 0.22 | 1.28 | 0.20 |
| SZP-008 | 块壮矿石 | 3.25 | 3.98 | 0.43 | 0.65 | 0.21 | 0.16 | 0.43 | 0.07 | 0.45 | 0.07 |
| SZP-010 | 细碧岩 | 24.80 | 40.00 | 3.99 | 19.30 | 4.59 | 1.25 | 4.83 | 0.62 | 5.06 | 1.01 |
| SZP-011 | 角斑岩 | 22.90 | 39.50 | 3.40 | 14.30 | 3.38 | 1.02 | 3.36 | 0.54 | 3.86 | 0.81 |
| SZP-013 | 层壮黄铁矿 | 13.30 | 21.30 | 0.42 | 1.32 | 0.37 | 0.17 | 0.29 | 0.09 | 0.55 | 0.06 |
| 样品号 | 矿(岩)石类型 | Er | Tm | Yb | Lu | Y | ∑REE | LREE/HREE | δ (Eu) | δ (Ce) | |
| SZP-00 | 石英角斑岩 | 2.16 | 0.34 | 2.18 | 0.30 | 16.30 | 66.63 | 4.46 | 0.94 | 1.00 | |
| SZP-00 | 重晶石 | 0.24 | 0.03 | 0.13 | 0.04 | 3.25 | 25.66 | 8.80 | 4.33 | 0.76 | |
| SZP-00 | 纹层壮矿石 | 0.15 | 0.02 | 0.09 | 0.01 | 1.09 | 20.46 | 15.17 | 3.06 | 0.51 | |
| SZP-00 | 层壮矿石 | 0.54 | 0.07 | 0.40 | 0.07 | 4.62 | 31.52 | 6.87 | 1.10 | 1.00 | |
| SZP-00 | 块壮矿石 | 0.20 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.90 | 9.98 | 6.66 | 1.59 | 0.71 | |
| SZP-00 | 细碧岩 | 3.17 | 0.45 | 3.16 | 0.42 | 26.00 | 112.65 | 5.02 | 0.81 | 0.89 | |
| SZP-00 | 角斑岩 | 2.64 | 0.32 | 2.27 | 0.33 | 22.60 | 98.63 | 5.98 | 0.91 | 0.97 | |
| SZP-00 | 层壮黄铁矿 | 0.10 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.65 | 38.04 | 31.93 | 1.53 | 1.15 | |

注:数据由国土资源部中南矿产资源检测中心测试;特征参数采用球粒陨石标准化^[14]。

Geotravers)区典型的热液沉积物的球粒陨石标准化的稀土元素配分模式相似(图 4)。前人对典型热液区热液沉积物的分析表明,海底高温热流体普遍具有稀土总量低、轻稀土富集(La–Gd)、重稀土亏损、显著的 Eu 正异常特征(以此代表纯热液端元组分组成)^[8–12];而海水的稀土元素特征为 LREE 亏损、HREE 富集和显著的 Ce 负异常为标志。故海底热液

沉积物作为热液流体和海水混合产物,会兼有二者一些特征。该矿床中矿石和重晶石岩既有 Eu 的正异常,又有 Ce 的负异常,此揭示其是高温热液流体和海水混合沉淀的产物。综合分析表明,上庄坪铅锌银矿床是海底热液喷流沉积成岩成矿作用形成的。

分析对比矿石与容矿围岩的稀土元素特征(表 1、图 4),其均具有轻稀土富集、重稀土亏损特征,可

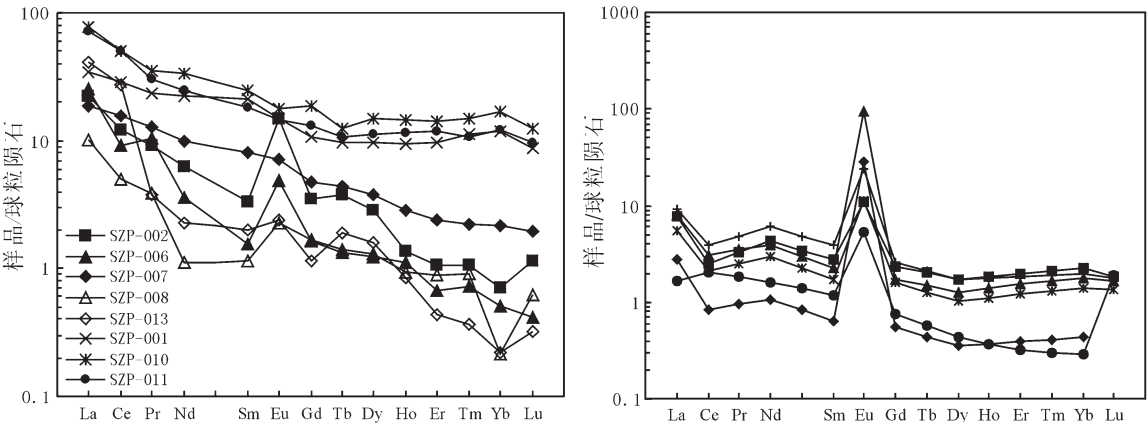


图 4 嵩县上庄坪矿床矿石、围岩、重晶石岩及典型热液沉积物稀土球粒陨石标准化图解(标准化数据据参考文献[14])
a—矿石、围岩和重晶石岩稀土元素配分模式;b—大西洋 TAG 区热液沉积物稀土元素配分模式(数据据参考文献[11])

Fig.4 Chondrite-normalized REE distribution patterns for ores, wall rocks, barite rock and typical hydrothermal deposits in the Shangzhuangping deposit, Songxian (normalized data from reference [11])
a-REE distribution patterns of ore, wall rocks and barite rock; b-REE distribution patterns for hydrothermal deposits in the TAG region of the Atlantic Ocean

见成矿物源与围岩存在一定联系,但矿石具明显的 Eu 正异常、围岩(成矿源岩)显弱的 Eu 负异常,而朱华平等^[13]在研究陕西榨山地区热液沉积矿床时亦发现从成矿源岩(围岩)–矿石出现 Eu 负异常–Eu 正异常的变化,这可能正是高温热液流体的作用。

4.2 微量元素地球化学特征

涂光炽等^[15]研究认为,As、Sb、Ba、Ag 和 Hg 等这些标型元素的较高含量(高于地壳克拉克值)可作为判别热水沉积成因的标志。由表 2 分析,该矿床中矿石、重晶石岩 As、Sb、Ba、Zn、Pb、Cu、Ag、Hg 等微量元素的含量均高出相应元素地壳克拉克值几个数量级,此特征亦揭示该矿床具有热水沉积成因特征。而 Ba 的富集是现代洋底热液沉积物重要特征之一^[16]。且在大量喷流成因的块状硫化物矿床中已发现,含钡(BaSO₄)矿物构成的地质体出现在硫化物矿层的边部或中上部,构成矿床的一部分,上庄坪矿床特征与此非常相似。

据 Lydon^[21]研究,世界范围 VMS (Volcanic-associated Massive Sulfide Deposit) 型矿床的金属总量呈双峰式分布,峰值对应的 Zn/(Zn+Pb) 分别为 0.7~0.8 和大于 0.9,前者反映热水从长英质岩系和沉积岩萃取金属组分;后者揭示镁铁质岩系提供金

属组分。从表 2 可知,上庄坪矿床的 Zn/(Zn+Pb)变化范围为 0.61~0.95,平均值为 0.81,与冲绳海槽、上向黑矿(弧后盆地构造环境)的特征非常相似,与 TAG 和 EPR13°N 区(洋中脊构造环境)硫化物存在差异,这可能暗示其成矿源岩不同。对研究区火山岩岩浆来源的研究结果表明,东二郎坪群火山岩遭受地壳混染的程度轻,以 MORB 型为主,而西二郎坪群火山岩则以岛弧钙碱性火山岩为主^[22]。同时,矿石与围岩成矿关系 Cu–Pb–Zn 判别图解(图略)反映,上庄坪矿床容矿围岩变细碧岩、变(石英)角斑岩中 Cu、Pb、Zn 的投点分布区域与矿石相应元素投点区域一致,意味着容矿围岩和成矿金属元素之间存在着内在联系,即这些变(石英)角斑岩和变细碧岩可能是成矿物源源岩。因此,由于该矿床的容矿围岩是地幔岩浆与地壳混合作用形成,故其 Zn/(Zn+Pb)与典型 VMS 型矿床的金属总量双峰式分布存在差异,其成矿金属组分主要来源于长英质岩系,但基性岩对成矿亦有一定的贡献。

微量元素中的次要元素(As、Sb、Se、Cd、Ag、Au)因不形成主要矿石矿物相,故比主要成矿元素能更好地揭示矿质来源。由图 5 分析,上庄坪矿床具有高 As、Sb 和 Pb 及低 Cu、Cd 和 Se 的特征;与冲绳、呷村

表 2 上庄坪矿床矿(岩)石及典型海底热液硫化物微量元素组分(10⁻⁶)
Table 2 Trace element contents (10⁻⁶) of ores and rocks in the Shangzhuangping deposit and typical submarine hydrothermal sulfide (10⁻⁶)

| 样品号 | 岩(矿)石名称 | Cu | Zn | Pb | Zn/(Zn+Pb) | Sb | As | Se | Cd | Ag | Au | Hg | Ba |
|---------|---------|-------|--------|-------|------------|----------|---------|--------|---------|--------|------|--------|--------|
| SZP-001 | 石英角斑岩 | 81 | 167 | 180 | 0.48 | 0.46 | 9.16 | 9.82 | 0.16 | 0.52 | 0.01 | 0.0084 | 416 |
| SZP-002 | 重晶石 | 4570 | 9430 | 3270 | 0.74 | 21.00 | 8.34 | 0.30 | 67.00 | 35.70 | 0.49 | 1.2400 | 55.34% |
| SZP-006 | 纹层状矿石 | 2940 | 22500 | 14300 | 0.61 | 63.20 | 45.20 | 1.49 | 145.00 | 92.20 | 1.04 | 0.2200 | 666 |
| SZP-007 | 层状矿石 | 42800 | 259800 | 27200 | 0.91 | 47.60 | 3.62 | 0.45 | 1460.00 | 68.80 | 1.47 | 1.4700 | 216 |
| SZP-008 | 块状矿石 | 1820 | 12900 | 4000 | 0.76 | 16.90 | 2.70 | 0.37 | 83.00 | 7.37 | 0.15 | 0.2400 | 1190 |
| SZP-010 | 细碧岩 | 142 | 365 | 147 | 0.71 | 0.72 | 5.39 | 0.22 | 0.27 | 1.03 | 0.00 | 0.0160 | 2620 |
| SZP-011 | 角斑岩 | 5870 | 650 | 107 | 0.86 | 0.84 | 11.90 | 0.27 | 1.01 | 13.00 | 0.25 | 0.0028 | 686 |
| SZP-013 | 层状黄铁矿 | 86 | 282 | 16 | 0.95 | 0.22 | 1.87 | 14.20 | 0.46 | 0.26 | 0.00 | 0.0110 | 852 |
| 冲绳 | 硫化物 | 38400 | 216700 | 70600 | 0.75 | 4455.30 | 5602.00 | 0.90 | 1127.20 | 397.70 | 3.40 | | |
| 呷村 | 硫化物 | 23400 | 13500 | 6900 | 0.66 | 16387.00 | 1773.00 | 89.30 | 913.40 | 237.20 | 1.00 | | |
| 黑矿 | 硫化物 | 39600 | 182500 | 67000 | 0.73 | 225.30 | 1135.20 | 211.10 | 845.50 | 81.40 | 2.40 | | |
| TAG | 硫化物 | 62100 | 117000 | 500 | 1.00 | 20.00 | 78.00 | 47.00 | 410.00 | 80.00 | 2.20 | | |
| EPR13°N | 硫化物 | 78300 | 81700 | 500 | 0.99 | 8.00 | 154.00 | 163.00 | 960.00 | 49.00 | 0.26 | | |
| 地壳丰度 | | 63 | 94 | 12 | | 0.60 | 2.20 | | | 0.08 | | 0.08 | 390 |

注:冲绳、呷村、黑矿据参考文献[17];TAG 据参考文献[18];EPR13°N 据参考文献[19];地壳丰度据黎彤等(1982),转引自参考文献[20];其他为本文,均由国土资源部中南矿产资源检测中心分析。

和黑矿相比,显示 As、Sb 和 Ag 相对低的特征;与 TAG 区硫化物相比,明显地低 Cu、Se 和 Cd。对洋脊环境和岛弧环境硫化物矿床的对比研究表明,洋脊环境的硫化物矿床比岛弧环境的硫化物矿床普遍高 Cu、Fe 和 Se,低 Pb、As 和 Sb,且岛弧环境硫化物矿床 As、Sb、Ag 的富集程度与岛弧张裂程度成反比,且通常海底热水成矿作用过程基本相似、热水系统热历史基本一致,故形成不同成矿元素组合的影响因素只能是提供成矿金属组分的源岩性质的差异^[17],因此,VMS 型矿床成矿元素组合具有指示形成环境和物源源岩的意义。对主成矿元素作三角图解(图 6),投点多落于弧后盆地构造环境,少数落于岛弧环境。已有研究说明,二郎坪弧后盆地在东西向上存在差异,形成西二郎坪群的南阳盆地西弧后盆地规模小,且演化不成熟^[2]。综合分析,上庄坪矿床既不同于岛弧环境硫化物矿床,又与洋脊环境的 VMS 型矿床有明显的区别,其应是弧后盆地构造环境的产物,其成矿物质主要来源于壳源。

4.3 成矿构造环境及矿床成因分析

大量调查说明,热液活动区主要分布在地质构

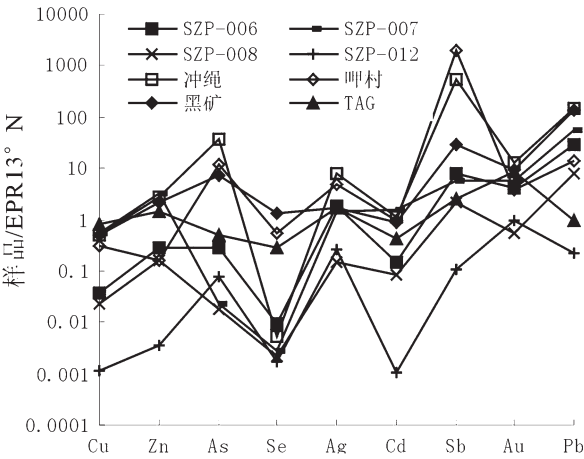


图 5 上庄坪及典型 VMS 型矿床矿(岩)石微量元素配分形式(EPR13°N 标准化^[19])

Fig.5 EPR13°N-normalized trace element patterns of rocks and ores in the Shangzhuangping deposit and typical VMS type deposits

造不稳定的区域,通常是洋中脊,弧后盆地和板内热点等地^[18];而矿床类型对于区域构造环境有明显的选择性,VMS 型铜锌矿床倾向产于弧后盆地或水下裂谷盆地^[23]。已有研究通过对二郎坪群火山岩构造

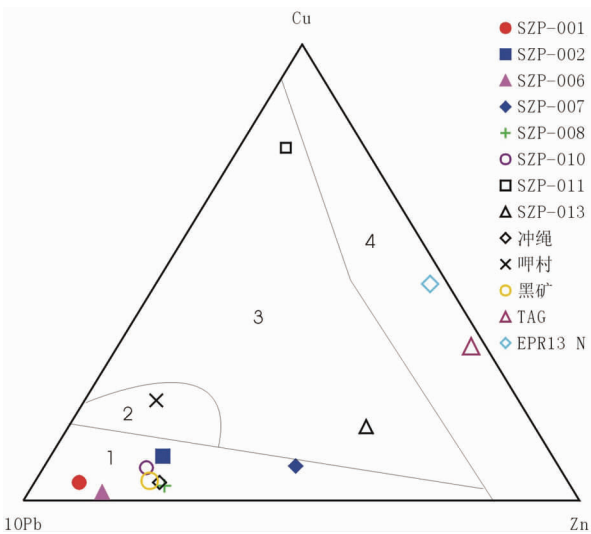


图 6 上庄坪矿床 Cu-Pb-Zn 构造环境判别图解(底图数据据参考文献[17])

1—弧后盆地;2—弧间裂谷盆地;3—岛弧环境;4—大洋中脊环境

Fig.6 Tectonic environment discrimination diagram of the Shangzhuangping Cu-Pb-Zn deposit (data of the base map from reference [17])

1-Back-arc basin;2-Inter-arc rift basin;3-Island arc;4-Mid-oceanic ridge

环境判别和区域构造背景分析认为,在早古生代,秦岭洋壳向北部的华北板块之下俯冲,在华北板块南缘产生拉张、裂解的动力机制,形成东西向展布的二郎坪弧后盆地^[24]。而前已述及,上庄坪矿石和围岩微量元素特征亦揭示上庄坪矿床形成于弧后盆地构造环境,这印证了二郎坪群火山-沉积组合是弧后盆地构造环境的产物,且已测得上庄坪铅锌银矿床矿石铅同位素与围岩一致,模式年龄为 508~574 Ma,反映成矿与成岩作用是同期的^[25]。

一般海底热液喷流成矿成岩作用会形成由容矿岩系组合、硫化物矿体和喷流(喷气)化学沉积岩组成时空相依,密不可分的“三位一体”沉积建造组合,而且 VMS 型矿床具有垂直分带和水平分带等典型特征^[17]。上庄坪矿床地质特征表明,该矿床具有典型的由变细碧-(石英)角斑岩、硫化物矿体和热水沉积岩(重晶石岩、硅质岩)组成的“三位一体”沉积建造组合;其矿体赋存于变细碧岩与变石英角斑岩界面,铅锌银多金属矿呈纹层状、条带状与热水沉积重晶石岩及硅质岩共生,具有块状硫化物矿床的一般特征;不同中段坑道矿体特征显示,深部坑道中重晶

石矿化增强,矿石为块状构造,浅部坑道中重晶石与层状、纹层状矿石互层;另外,金属组分亦显示纵向、横向明显分带特征^[26]。

综上所述,二郎坪群弧后盆地构造环境具备形成海底热液喷流的条件,矿床地质特征和地球化学特征一致揭示其具有典型热液沉积矿床特征。因此,上庄坪矿床是在酸性火山岩喷发末期,基性火山岩喷溢之前,由于深部的岩浆持续活动,提供了热源,上升的岩浆热液从下伏基岩中萃取金属组分,产生丰富的Ba、Cu、Pb、Zn等成矿元素,海水提供了大量的 SO_4^{2-} ,二者在对流混合过程中产生了适合沉淀的物理化学条件,在有利的海底洼地沉积环境中, Ba^{2+} 与 SO_4^{2-} 相互结合形成重晶石矿,其他组分亦相互作用发生同生沉积作用,最终形成以Pb、Zn为主的多组分热液沉积物。另外,区域地球物理特征揭示,研究区是壳幔异常变化的地带,且在区域上对个别异常的解剖已发现大规模的Ag-Pb-Zn矿化^[27]。据此分析,上庄坪矿床深部和外围具有较好的找矿前景。

5 结 论

通过对上庄坪矿床矿石、容矿围岩和重晶石岩稀土元素、微量元素地球化学特征分析及结合矿床地质特征研究可以得出以下几点结论:

(1)矿床矿石、重晶石岩和围岩微量元素特征印证了二郎坪群变细碧-石英角斑岩、硫化物矿体和热水沉积岩(重晶石岩、硅质岩)“三位一体”沉积建造组合形成于弧后盆地构造环境。

(2)矿石、重晶石岩的微量元素、稀土元素地球化学特征与矿床地质特征一致揭示上庄坪矿床是海底热液喷流沉积成岩成矿作用的产物;成矿物质来源于以壳源为主的壳幔混合源产生的变石英角斑岩和变细碧岩容矿围岩;成矿热液流体为萃取成矿源岩金属组分的海底岩浆高温热液流体和海水对流混合流体,其在海底有利沉积环境同生沉积形成以Pb、Zn为主的多组分热液沉积物。

(3)热水沉积重晶石岩和硅质岩与矿体紧密共生,其是该类矿床成矿和找矿标志;上庄坪矿床具有典型的“三位一体”沉积建造组合特征,且矿体在纵向和横向上具有明显的矿石结构构造和金属组分分带特征,据此可对深部和外围矿床勘探进行预测和指导。

致谢:审稿专家对本文提出重要的修改意见,编辑对论文的详细指导使笔者受益匪浅,在此一并表

示衷心感谢!

参考文献(References):

- [1] 王建明. 二郎坪地体火山成因块状硫化物矿体的成矿规律和找矿预测[J]. 地质调查与研究, 2006, 29(3):193-202.
Wang Jianming. Metallogenic deposit regularity and prospecting prediction of the Massive sulphide deposits in Erlangping Terrain, East Qinling[J]. Geological Survey and Research, 2006, 29(3):193-202(in Chinese with English abstract).
- [2] 符光宏, 鲍永超, 郭文秀, 等. 河南省秦岭-大别山带地质构造与成矿规律[M]. 河南:河南科学技术出版社, 1994:1-300.
Fu Guanghong, Bao Yongchao, Guo Wenxiu, et al. Geotectonic and Orderliness of the Minerlization in Qinling-Dabie Belt, Henan Province [M]. Zhengzhou:Henan Science and Technology Press House,1994:1-300(in Chinese with English abstract).
- [3] 河南省地质矿产局. 河南省区域地质志 [M]. 北京:地质出版社, 1989:1-265.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Henan Province. Regional Geology of Henan Province [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1989, 1-772(in Chinese with English abstract).
- [4] 河南省地质矿产厅. 河南省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1997:1-189.
Department of Geology and Mineral Resources of Henan Province. Regional Geology of Henan Province. Stratigraphy (lithostratic) of Henan Province [M]. Wuhan:China University of Geosciences Press,1997:1-299(in Chinese with English abstract).
- [5] 孙省利, 曾允孚. 西成矿化集中区热水沉积岩物质来源的同位素示踪及其意义[J]. 沉积学报, 2002, 20 (1):41-46.
Sun Xingli, Zeng Yunfu. Isotopic tracer of material origin for hydrothermal sedimentary rocks and significance in Xicheng mineralization area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20 (1): 41-46(in Chinese with English abstract).
- [6] 冯胜斌, 邢那, 周洪瑞, 等. 北秦岭二郎坪群重晶石岩热水沉积地球化学证据及其成矿意义[J]. 世界地质, 2007, 26(2):199-207.
Feng Shengbin, Xing Kuang, Zhou Hongrui, et al. The geochemical characteristics of hydrothermal sediment for barite rocks of Erlangping Group in northern Qinling and its mineralization significance [J]. Global Geology, 2007, 26 (2):199-207 (in Chinese with English abstract).
- [7] 燕长海, 彭翼, 刘国印, 等. 东秦岭二郎坪群热水沉积硅质岩的地球化学特征[J]. 地质通报, 2007, 26(5):560-566.
Yan Changhai, Peng Yi, Liu Guoyin, et al. Geochemical characteristics of hydrothermal sedimentary cherts in the Erlangping Group, East Qinling Range, China[J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(5):560-566(in Chinese with English abstract).
- [8] Michard A, Albared F, Michard G, et al. Rare-earth elements and uranium in high-temperature solutions from East Pacific Rise hydrothermal vent field(13°N)[J]. Nature, 1983, 303:795-797.
- [9] Michard A, Albared F. The REE content of some hydrothermal

- fluids[J]. *Chemical Geology*, 1986, 55:51–60.
- [10] Michard A. Rare earth elements systematics in hydrothermal fluids [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1989, 53:745–750.
- [11] Mills R A, Elderfeld H. Rare earth element geochemistry of hydrothermal deposits from the active TAG Mound, 26°N Mid–Atlantic Ridge [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1995, 59:3511–3524.
- [12] Barrett T J, Jarvis I, Jarvis K E. Rare earth element geochemistry of massive sulfide–sulfates and gossans on the Southern Explorer Ridge[J]. *Geology*, 1990, 18:583–586.
- [13] 朱华平, 张德全, 刘平, 等. 陕西桦山地区穆家庄铜矿稀土元素地球化学特征[J]. *中国地质*, 2004, 31(1):85–90.
- Zhu Huaping, Zhang Dequan, Liu Ping, et al. Rare element geochemistry of the Mujiazhuang copper deposit in the Zhashan area, Shannxi[J]. *Geology in China*, 2004, 31(1):85–90(in Chinese with English abstract).
- [14] Haskin L A, Haskin M A, Frey F A, et al. Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earths [C]// Ahrens L H (ed). *Origin and Distribution of the Elements*. vol.1. Oxford: Pergamon, 1968:889–911.
- [15] 涂光炽. 热水沉积矿床[J]. *四川地质科技情报*, 1987, 5(1):1–5.
- Tu Guangzhi. Hydrothermal sedimentary deposits [J]. *Geological Science and Technology Information of Sichuan*, 1987, 5 (1):1–5 (in Chinese with English abstract).
- [16] Rona P A. Criteria for recognition of hydrothermal mineral deposits in ocean crust[J]. *Economic Geology*, 1978, 73(2):135–160.
- [17] 侯增谦, 韩法, 夏林圻, 等. 现代与古代海底热水成矿作用[M]. 北京:地质出版社, 2003:15–230.
- Hou Zengqian, Han Fa, Xia Linqi, et al. *Hydrothermal Solutions Mineralization of Sea–floor of Modern and Ancient*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003:15–230 (in Chinese with English abstract).
- [18] Hannington M D. The geochemistry of gold in modern Sea–floor hydrothermal field, North Fiji back–arc basin, Southwest Pacific [J]. *Economic Geology*, 1989, 88:2237–2249.
- [19] Fouquet Y, Stackelberg U, Charlou J L, et al. Metallogenesis in back–arc environments: the low basin example [J]. *Economic Geology*, 1993, 88:2154–2181.
- [20] 戚长谋, 邹祖荣, 李鹤年. 地球化学通论[M]. 北京:地质出版社, 1987:12–16.
- Qi Changmou, Zou Zurong, Li Henian. *Geochemistry Theoretics* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987:12–16(in Chinese with English abstract).
- [21] Lydon J W. Volcanogenic massive sulfide deposits Part I: a descriptive model[J]. *Geoscience Canada*, 1984, 11:195–202.
- [22] 冯胜斌, 周洪瑞, 燕长海, 等. 东秦岭(河南段)二郎坪铜多金属成矿环境及成矿效应[J]. *矿产与地质*, 2006, 20(6):598–607.
- Feng Shengbin, Zhou Hongrui, Yan Changhai, et al. Metallogenic environment of copper polymetallic deposit in Erlangping Group of East Qinling and its metallogeny[J]. *Mineral and Geology*, 2006, 20(6):598–607(in Chinese with English abstract).
- [23] 陈衍景. 造山型矿床、成矿模型及找矿潜力[J]. *中国地质*, 2006, 33(6):1181–1196.
- Chen Yanjing. Orogenic–type deposits and their metallogenic model and exploration potential [J]. *Geology in China*, 2006, 33(6):1181–1196(in Chinese with English abstract).
- [24] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京:科学出版社, 2001:706–714.
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. *Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics* [M]. Beijing: Science Press, 1996:11–67(in Chinese with English abstract).
- [25] 宋峰, 刘铁, 王铭生, 等. 东秦岭二郎坪蛇绿岩中的火山成因硫化物矿床[J]. *中国区域地质*, 1992, 18(1):80–85.
- Song Feng, Liu Tie, Wang Mingsheng, et al. Volcanogenic massive sulfide deposits in the ophiolite of the Erlangping Group in the East Qinling [J]. *Regional Geology of China*, 1992, 18 (1):80–85(in Chinese with English abstract).
- [26] 陈建立. 河南上庄坪铜铅锌矿床地质特征及成因探讨[J]. *地质找矿论丛*, 2005, 20(1):26–30.
- Chen Jianli. Geological characteristics and genesis of the Shangzhuangping Cu–Pb–Zn deposit in Henan and the genetic discussion [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2005, 20(1):26–30(in Chinese with English abstract).
- [27] 燕长海, 宋峰, 刘国印, 等. 河南马超营–独树一带铅锌成矿地质条件及找矿前景[J]. *中国地质*, 2002, 30(3):305–310.
- Yan Changhai, Song Feng, Liu Guoyin, et al. Ore–forming geological conditions and ore prospects of silver–lead–zinc deposits in the Machaoying–Dushu area [J]. *Geology in China*, 2002, 30(3):305–310(in Chinese with English abstract).

Geochemical characteristics of the Shangzhuangping Pb–Zn–Ag deposit in Songxian County, western Henan, and its geological significance

YANG Jin–chao¹, FENG Sheng–bin², PENG Yi³, YAN Chang–hai³,
ZENG Xian–you³, WANG Jian–ming³, HU Shao–bin⁴

(1. Henan Institute of Geological Environment Monitoring, Zhengzhou 450006, Henan, China;

2. Research Institute of Exploration and Development, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an 710021, Shanxi, China;

3. Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450007, Henan, China;

4. Yunnan Institute of Geological Survey, Kunming 653100, Yunnan, China;)

Abstract: The Shangzhuangping Pb–Zn–Ag deposit is one of the sulfide deposits found in the Erlangping Group in the North Qinling Mountains during the new round of land and resources survey. The tectonic setting, material source and genesis of the deposit are discussed by studying the trace element and REE geochemistry of ores, host rocks and barite rock and geological characteristics of the deposit. The study shows that: the chondrite–normalized REE patterns for ores and host rocks are right–inclined; the data points of ores plot in the same field as those of the host rocks in Cu–Pb–Zn discrimination diagram; $Zn/(Zn+Pb)$ for ores of the Shangzhuangping deposit is similar to those for the Okinawa trench and Shangxiang kuroko–type ores but is different from those for sulfides in TAG and the EPR13°N region; ores display higher As, Sb and Pb and lower Cu, Cd and Se, which indicates that the ore elements of the deposit were derived from the country rocks meta–(quartz) keratophyre and meta–spilite generated by crust–mantle mixing but mainly crustal rocks. The trace element and REE geochemistry of ores, geology of the deposit and their close paragenetic relationship with hydrothermally deposited barite rocks and cherts suggest that the Shangzhuangping Pb–Zn–Ag deposit was formed by submarine hydrothermal exhalative petrogenesis and mineralization in the back–arc basin environment. Barite rock, chert and vertical and lateral deposit zoning are important criteria for looking and exploring for such Pb–Zn–Ag deposits.

Key words: Shangzhuangping Pb–Zn–Ag deposit; geochemistry; hydrothermal–exhalative sediments; back–arc basin; Erlangping Group; western Henan

About the first author: YANG Jin–chao, male, born in 1970, master and engineer, engages in geological survey; E–mail: yjch 625@sina.com.