

# 陕西柞山地区穆家庄铜矿稀土元素地球化学特征

朱华平<sup>1,2</sup> 张德全<sup>1</sup> 刘 平<sup>3</sup> 陈连红<sup>3</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;  
3. 西北有色地质勘查局, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 尽管秦岭泥盆系铅锌金多金属成矿带成矿作用均与热水喷流沉积作用有关, 柞山地区却有别于凤太地区, 具有独特的铜矿成矿背景。本文通过对矿床的岩、矿石稀土元素地球化学研究, 认为浸染状贫铜矿石和近矿围岩的稀土组成和配分曲线基本一致, 表明浸染状贫铜矿石代表了泥盆纪时期热水沉积事件所形成的含少量硫化物的热水沉积岩初步富集的产物, 泥盆纪时期形成了穆家庄铜矿的初始矿源层。围岩中的层纹状硅质岩可能代表了泥盆纪时期的热水沉积岩性质。块状富矿石的稀土组成代表了广泛的陆陆碰撞造山运动所产生的流体热液作用的结果, 它既就地改造了初始矿源层, 而且从异地可能带来了部分成矿物质, 在合适的构造部位改造富集成矿。穆家庄铜矿的成因为改造型的。

**关键词:** 稀土元素地球化学; 改造型矿床; 穆家庄铜矿; 秦岭

**中图分类号:** P595; P618.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2004)01-0085-07

秦岭造山带中矿产资源有相当部分产在泥盆系中, 尤以金及铅锌为代表的一系列大型或中小型多金属矿床最为发育。前人提出秦岭泥盆系铅锌矿的成因与海底热水喷流沉积作用有关<sup>[1-3]</sup>。同时对秦岭泥盆系金矿、菱铁矿、铅锌银铜矿研究也提出其成因与海底热水喷流沉积作用有关<sup>[2-4]</sup>。但对印支期—燕山期陆陆碰撞造山作用对成矿的影响考虑不够。秦岭泥盆系容矿金矿也多被认为系热水沉积成因的<sup>[2-6]</sup>, 但当一大批秦岭泥盆系容矿金矿的成矿作用的相对年龄数据出现后, 大家不得不重新考虑决定秦岭泥盆系金属矿床定位作用和机制。近几年西北有色地质勘查局在陕西柞山地区泥盆系中勘查发现了穆家庄铜矿, 其Ⅲ号矿体规模就已达中型, 进一步勘探有望成为大型。而该矿床对比泥盆系铅锌矿床来说, 改造现象更明显, 因此选取穆家庄铜矿从稀土元素地球化学特征出发, 来探讨秦岭泥盆系铜矿是否为改造成矿等问题。

## 1 矿床地质特征

矿床位于柞水—山阳盆地 (简称柞山盆地) 中南部, 山阳—柞水断裂北侧。盆地内沉积了一套巨厚的中、上泥盆统碎屑岩建造。矿区内 (图 1) 出露地层为中泥盆统青石垭组 ( $D_2q$ ) 灰—浅灰色绢云母千枚岩, 含泥质、粉砂质条带白云岩, 粉砂质绢云母千枚岩, 白云质粉砂岩。总体为一倾向

NNE 的单斜岩层。青石垭组第三岩性段 ( $D_2q_3$ ) 为赋矿层位, 主要由含铁白云岩、绢云母千枚岩组成的条带状粉砂质白云岩组成; 矿 (化) 体主要产于该段中下部的粉砂质细碎屑岩向白云质碳酸盐岩过渡层位, 以粉砂质白云岩为主。

矿区 EW 向断裂发育, 控制着矿化带及矿体的分布, 而且大多在成矿前后表现出多期活动的特征, 致使某些地段矿石破碎再次富集。近 SN 和 NW 向断裂多表现为成矿后断裂, 与矿化作用关系不明显。倾向 NNE 的组劈理多被含铜铁白云石脉、黄铁矿石脉或黄铁铜矿脉所充填。矿区内仅发育一些煌斑岩脉。

主矿体呈厚大透镜状沿层间构造破碎带产出。矿石自然类型有黄铁矿—磁黄铁矿—黄铜矿型、菱铁矿—黄铜矿型; 矿石主要以浸染状为主。矿体受断裂  $F_1$  控制, 并随断裂倾向变化而变化。即矿体由地表向深部, 矿体厚度增大、品位变高, 且产状由陡立北倾转为南倾 (图 2)。

围岩蚀变: 主要有铁白云石化、硅化、黑云母化、绿泥石化, 其次有白云石化、重晶石化、电气石化和方解石化等。金属矿化多与铁白云石化、硅化、黑云母化、绿泥石化等蚀变关系密切。

矿物组合特征: 根据野外观察和室内镜下鉴定, 穆家庄铜矿床矿石矿物存在如下几种组合①绢云母+黑云母+铁白云石+石英+(黄铜矿)+黄铁矿; ②黑云母+绿泥石+石英+黄铜矿+黄铁矿+磁黄铁矿; ③铁白云石+石英+黄铜矿+黄铁

收稿日期: 2002-05-07; 改回日期: 2003-06-02

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目 (200110200101) 和西北有色地质勘查局人才基金联合资助。

作者简介: 朱华平, 男, 1966 年生, 博士生, 高级工程师, 主要从事金属矿产勘查评价、区域成矿规律与矿床地球化学研究;

E-mail: huapingzhu2002@yahoo.com.cn。



图1 柞水县穆家庄铜矿区地质简图

Q—第四系； $D_2q_3^d$ —白云质粉砂质千枚岩、绢云千枚岩夹白云质粉砂岩； $D_2q_3^s$ —粉砂质千枚岩夹粉砂质白云质岩或泥灰岩；  
 $D_2q_3^b$ —条带状白云岩夹白云质粉砂质千枚岩； $D_2q_3^a$ —白云质粉砂岩夹碳质千枚岩或绢云千枚岩及泥灰岩；  
 1—地层；2—断层及编号；3—铜矿体带；4—铜矿化带

Fig. 1 Geological sketch map of the Mujiazhuang copper mining area in Zhashui County, Shanxi

Q—Quaternary； $D_2q_3^d$ —Dolomitic-silty phyllite and sericite phyllite with dolomitic siltstone； $D_2q_3^s$ —Silty phyllite with silty-dolomitic rock or marl；  
 $D_2q_3^b$ —Banded dolomite with dolomitic-silty phyllite； $D_2q_3^a$ —dolomitic siltstone with carbonaceous phyllite or sericite phyllite and marl.  
 1—Strata；2—Fault and its number；3—Copper orebody zone；4—Copper mineralization zone

矿+磁黄铁矿；④菱铁矿+方解石+黄铁矿+黄铜矿（少量）；⑤铁白云石+白云母+石英+黄铁矿。前3种矿物组合是该矿床主要矿物组合类型，它代表了改造富矿的主要组合，也是矿山开采的主要对象。

矿物生成顺序和成矿阶段的划分：

沉积期——热水沉积形成铜的高含量地层，在成岩时由于上覆岩石压力，其成岩期流体淋滤交代形成初始矿源层；

热液改造期——陆陆碰撞造山运动提供大规模热液流体，就地叠加改造矿源层形成矿体。分为2个成矿阶段：①黄铁矿-铁白云石阶段主要随褶皱的形成在褶皱轴部断裂及矿源层层间空隙处充填黄铁矿-铁白云石脉，形成脉体密集带；②石英-铁白云石-黄铁矿-黄铜矿-黑云母阶段主要是断裂破碎叠加，构造-流体进一步活动，使先期形成的黄铁矿铁白云石脉破碎或使层间或地层中的浸染状铜矿化岩石进一步破碎形成条带状、角砾状、块状富矿体，这是穆家庄铜矿主要成矿阶段。

表生氧化期主要形成一些氧化矿石，由于控矿断裂陡倾，构造带较宽，因而氧化深度较大，最大氧化深度达到180余米，是矿体倾向延深的近1/3。

## 2 样品采集及处理

在该矿区采集的样品分为产于矿体中的样品，围岩样品。矿体中的样品又分为块状富矿体（铜品位大于5%）和稀疏浸染状铜矿石（铜品位小于0.5%，大于0.1%）；围岩样品分为近矿蚀变围岩，主要为黑云母化和硅化，含有少量黄铁矿和黄铜矿，但铜含量小于 $100 \times 10^{-6}$ ，近矿源岩（距主矿体100~300

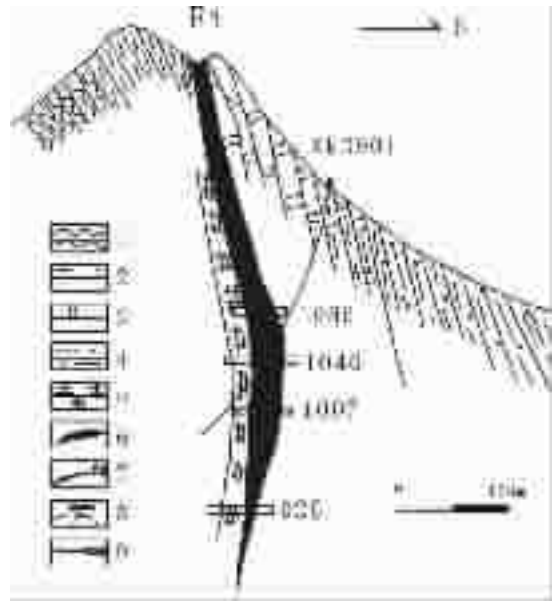


图2 穆家庄铜矿39线剖面图

1—绢云千枚岩；2—白云质粉砂质千枚岩；3—条带状（粉砂质）白云岩；  
 4—粉砂质千枚岩；5—条带状硅质白云岩；6—铜矿体；  
 7—断层及编号；8—钻孔及编号；9—坑探及编号

Fig. 2 No. 39 profile of the Mujiazhuang copper deposit  
 1—Sericite phyllite；2— Dolomite-silty phyllite；3— Banded (silty) dolomite；  
 4— Silty phyllite；5— Banded siliceous dolomite；6—Copper orebody；  
 7— Fault and its number；8—Hole and its number；9—Pit and its number

m),远矿源岩(距主矿体大于 500 m)。这里所指的矿源岩是普遍含有相对于柞山盆地含铜较高的条带状白云岩、白云质粉砂岩、白云质粉砂质千枚岩和粉砂质白云岩。这 4 种岩石同时产在同一个层位构成一个矿源岩或矿源层。实际上,这 4 种岩石是白云岩、粉砂岩、千枚岩互呈条带。当白云岩条带增多且厚时,则称之为条带状白云岩;当粉砂质条带增多且厚时,则称之为白云质粉砂岩;当千枚岩条带增多且厚时,则称之为白云质粉砂质千枚岩;当粉砂质条带和白云岩条带等量时,则称之为粉砂质白云岩。所有样品均采自新鲜岩石,样品重量不少于 1kg。在送化验室之前,均经清洗,无矿尘污染。所有样品由中国科学院地质与地球物理研究所测试,测试仪器为 ICP-MS。测试所用设备为 FinniganMAT 公司的 ELEMENT 型高分辨等离子质谱仪,分辨率为 300、3000 和 75000 档。该设备对稀土元素的检出限在  $(0.5\sim 3)\times 10^{-12}$  之间。

### 3 稀土元素地球化学

从穆家庄铜矿床各类岩矿石稀土元素分析数据(表 1)中可以看出以下规律:

① 稀土总量:块状富矿石的稀土总量变化在  $30.8\times 10^{-6}\sim 56.96\times 10^{-6}$ ,浸染状贫矿石的稀土总量变化在  $168\times 10^{-6}\sim 184.9\times 10^{-6}$ ,近矿蚀变围岩的稀土总量变化在  $81.35\times 10^{-6}\sim 250.2\times 10^{-6}$ ,近矿源岩的稀土总量变化在  $152.9\times 10^{-6}\sim 176\times 10^{-6}$ ,变化很小,远矿源岩的稀土总量变化在  $131.52\times 10^{-6}\sim 338.09\times 10^{-6}$ 。从稀土总量来看块状富矿的稀土总量少,主要是由于矿石中含有较多硫化物的缘故。浸染状贫矿石与近矿源岩的稀土总量相当,表明含矿岩与矿源岩矿物组成基本一致。

② 铈异常:只有 2 个样品呈现正异常,其一为近矿围岩中的硅质白云岩( $\delta E_{\text{u}}=3.48$ ),另一个样为块状富矿石( $\delta E_{\text{u}}=1.23$ )。因块状富矿石中含有较多的铁白云石石英脉,而大多数的围岩含有较高的白云岩成分,白云岩不会引起铈的正异常,因此,可以认为导致样品铈异常的原因是热液硅化蚀变引起的。矿源岩出现相对较大的负异常,而近矿蚀变围岩和矿石具有相对正异常或无异常。所有样品均具有铈的负弱异常。

③ 反映轻重稀土元素分异的一些特征值:轻重稀土比值  $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$  越大,反映其配分曲线越陡,表示轻重稀土分异越大。从表 1 中可以看出,块状富矿体的  $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$  比值较小,变化在 2.97~6.48 之间;在远矿围岩中有一个特例样号 Mx21,样品描述为钠长岩,镜下可见较多的微晶钠长石,地质产状为脉状,可能为成矿期后的交代钠长岩脉,其  $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$  比值较大,为 41.29;远矿源岩中的样号 Mb-7 和近矿蚀变围岩中的 Mx24,前者为层纹状硅质岩,镜下微晶硅岩与绢云千枚岩互层,绢云千枚岩层极薄,后者为硅质白云岩,镜下可见石英呈不规则粒状较均匀地分布在白云岩中,它们的  $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$  比值也较小,前者为 9.12,后者为 9.27,可能是由于二氧化硅较为富集重稀土有关。其他样

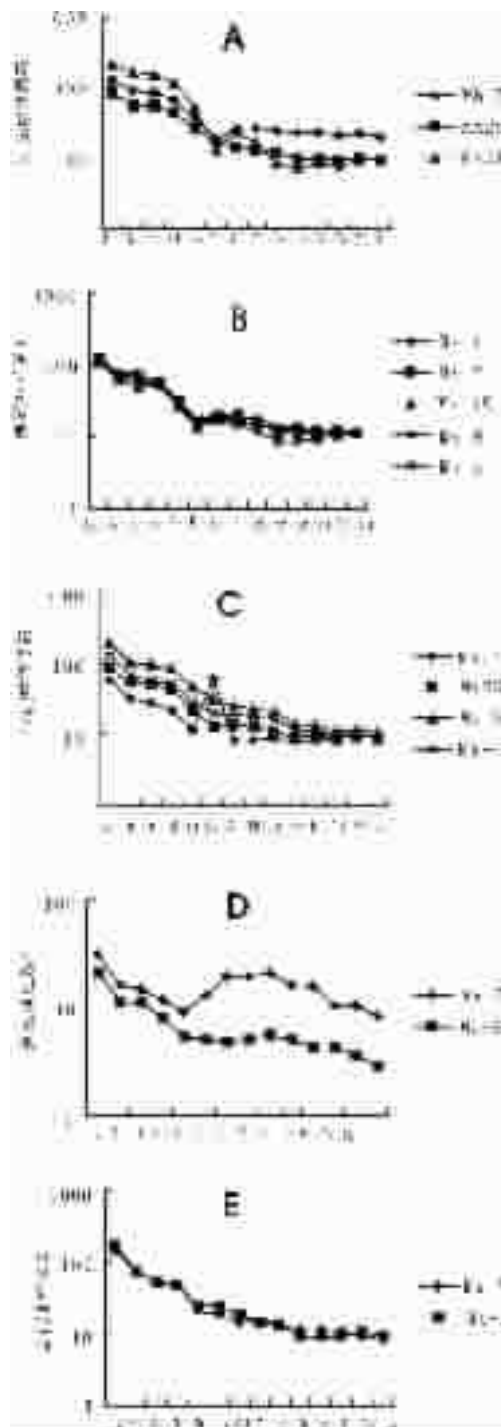


图 3 穆家庄铜矿区岩矿石稀土配分曲线图

A-远矿源岩;B-近矿源岩;C-近矿蚀变围岩;  
D-块状富矿石;E-浸染状贫矿石

Fig. 3 REE distribution patterns for ores and rocks of the Mujiashuang Copper Deposit Area

A-Distal host rocks;B-Proximal host rocks;C-Proximal altered host rocks;D-Massive ore shoot;E-Disseminated lean ores

品的 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 比值基本相差不大,变化在11.71~17.56之间,反映了贫矿石和蚀变围岩为就地改造的特点。

④ 稀土配分曲线反映的信息:图3为矿区岩矿石稀土元素经标准球粒陨石标准化后(Herman,1970)作图。图3-A为远矿源岩的稀土配分曲线,表现为不一致,可能是因为反映不同时期形成的不同岩性所致。图3-B为近矿源岩的稀土配分曲线一致,反映了原岩岩性和源区基本一致的特点。图3-C、3-E为近矿蚀变围岩与浸染状矿石的稀土配分曲线很有特点,轻稀土形态撒开,重稀土收敛,反映了在成矿过程中的热液使得轻稀土发生分馏,而重稀土的分馏很小。但从图3-D为块状富矿石的稀土配分曲线,反映出富集重稀土,可能是因为热液硫化物富集重稀土的缘故。

## 4 讨论

穆家庄地区存在一套不很完整的热水沉积岩及矿物组合,上部盖层为富铁镁质的绢云千枚岩,基底为含碳地层(寒武系与奥陶系)和基性火山岩(青白口系耀岭河群)<sup>[4]</sup>;矿体呈

似层状、透镜状,大致沿与地层小角度相交( $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ )顺层的断裂破碎带产出。矿石组构为块状、浸染状、网脉状,也有一些角砾状矿化的存在及局部加富现象常见,显然矿体改造特征明显。对这种现象存在两种解释:其一,矿体在泥盆纪时期热水喷流沉积就已经形成了,后期的地质作用包括印支期—燕山期陆内造山作用只是对矿床起破坏作用,最多也只是局部加富。其二,泥盆纪时期确实存在热水沉积作用,但并没有形成矿床,最多只是形成矿源层。从地层的元素分配状态来看,赋矿层位中确实存在铜元素的高丰度段<sup>[9]</sup>,但矿床的形成却是与印支期—燕山期陆陆碰撞造山作用有关的改造作用形成的。所谓改造成矿,指地层、基底或深部(三者之一、二或三)的某些呈分散状态存在的成矿元素在后期地质作用或地壳运动中受到活化迁移,然后在构造软弱部位富集成矿<sup>[9]</sup>。改造型矿床的特点是成矿物质可以来自于任何岩石甚至深部,赋矿岩石也可由各种岩石组成,矿体与赋矿岩石之间常有时差存在,成矿溶液主要为加热的大气降水及建造水,它们将成矿物质从矿源岩石转移到赋矿岩石中形成矿床<sup>[10]</sup>。目前的

表1 穆家庄铜矿床各类岩矿石稀土元素分析数据  
Table 1 REE analysis of ores and rocks of the Mujiazhuang copper deposit

样品位置	远矿源岩			近矿源岩					近矿围岩蚀变				富 矿		贫 矿	
	层纹状硅质岩	黄铁矿化绢云千枚岩	钠长岩	白云质粉砂岩	白云质粉砂岩	粉砂质白云岩	粉砂条带状粉砂质白云岩	硅质白云岩	铁白云石黑云母化千枚岩	黑云母化粉砂质白云岩	黑云母化白云质粉砂岩	块状铜矿石	块状铜矿石	浸染状铜矿石	浸染状铜矿石	
样号	Mb-7	Mx20	Mx21	Mx-1	Mx-2	Mx-10	Mx-8	Mb-6	Mx24	Mx23	Mx-9	Mx-4	Mx-5	Mx-6	Mx-7	Mx-3
La	40.917	27.365	68.4	37.1	40.4	35.1	37.8	35.56	18.65	25.96	61.1	39.4	9.84	6.83	45.7	55.8
Ce	83.013	51.81	154.74	62.1	66.5	58.3	61.9	72.3	29.29	50	94.4	62.1	15.3	10.7	65.9	71.3
Pr	9.986	6.529	18.371	7.13	8.1	5.89	7.44	8.795	3.232	6.17	11.3	6.82	1.76	1.33	6.45	6.3
Nd	39.68	25.562	70.284	31.7	34.9	30	34.7	34.22	13	24.76	49.9	30.9	6.95	4.86	29.5	29.1
Sm	7.549	4.982	10.289	5.88	6.45	5.22	6.54	6.075	2.39	4.39	9.03	5.76	1.84	1.08	4.16	4.91
Eu	1.348	1.292	0.933	1.1	1.18	0.97	1.23	1.163	4.27	0.954	2.29	1.42	0.93	0.37	1.37	1.85
Gd	7.814	4.42	7.082	5.45	5.8	5.39	6.28	5.162	2.599	4.207	7.78	6.02	6.01	1.52	4.46	5.68
Tb	1.338	0.694	0.814	0.85	0.97	0.77	0.86	0.753	0.43	0.646	1.16	0.86	0.97	0.26	0.75	0.73
Dy	7.582	3.573	2.649	4.59	5.11	4.74	5.47	3.565	2.705	3.403	6.52	4.99	6.41	1.69	4.3	3.99
Ho	1.653	0.724	0.509	0.84	0.88	0.87	1	0.616	0.584	0.66	1.01	0.84	1.16	0.36	0.8	0.68
Er	4.861	2.043	1.764	2.38	2.69	2.62	2.83	1.833	1.744	2.005	2.79	2.32	3.24	0.89	2.39	1.97
Tm	0.679	0.299	0.253	0.36	0.39	0.38	0.38	0.286	0.293	0.291	0.36	0.32	0.34	0.14	0.35	0.31
Yb	4.132	1.945	1.718	2.13	2.27	2.3	2.36	1.944	1.874	1.902	2.2	1.89	1.95	0.69	1.74	1.99
Lu	0.617	0.285	0.287	0.33	0.34	0.35	0.34	0.345	0.293	0.293	0.33	0.28	0.26	0.09	0.26	0.29
$\Sigma\text{REE}$	211.17	131.52	338.09	161.9	176	152.9	169.1	172.6	81.35	125.6	250.2	163.9	56.96	30.8	168	184.9
$\Sigma\text{HREE}$	20.86	9.56	7.99	11.48	12.7	12.03	13.24	9.34	7.92	9.2	14.37	11.5	14.33	4.12	10.6	9.96
$\Sigma\text{LREE}$	190.31	121.96	330.1	150.5	163	140.9	155.9	163.3	73.43	116.4	235.8	152.4	42.63	26.7	158	174.9
$\Sigma\text{L}/\Sigma\text{H}$	9.12	12.75	41.29	13.11	12.9	11.71	11.77	17.48	9.27	12.66	16.41	13.25	2.97	6.48	14.9	17.56
La/Yb	9.9	14.07	39.81	17.42	17.8	15.26	16.02	18.29	9.95	13.65	27.77	20.85	5.05	9.9	26.3	28.04
Sm/Nd	0.19	0.19	0.15	0.19	0.18	0.17	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.26	0.22	0.14	0.17
$\delta\text{Eu}$	0.36	0.52	0.15	0.37	0.36	0.35	0.37	0.36	3.48	0.41	0.49	0.48	1.23	0.75	0.54	0.69
$\delta\text{Ce}$	0.84	0.79	0.9	0.75	0.73	0.78	0.73	0.83	0.73	0.8	0.7	0.73	0.72	0.7	0.71	0.67
(Gd/Yb)N	1.16	1.39	2.53	1.57	1.57	1.44	1.63	1.63	0.85	1.36	2.17	1.95	1.89	1.35	1.57	1.75
(La/Yb)N	5.88	8.35	23.64	10.34	10.57	9.06	9.51	10.86	5.91	8.1	16.49	12.38	3	5.88	15.59	16.66

注:由中国科学院地质与地球物理研究所测试;含量单位为 $10^{-6}$ 。

勘探表明,浸染状矿化够不成工业矿体,铜含量大多小于 0.1%,个别可达 0.3%,并且在  $F_1$ 、 $F_2$  断层之外尚未发现浸染状沉积型铜矿化体,因此,可以排除第一种解释。从矿区稀土元素地球化学组成来看,浸染状贫矿石与围岩地层的配分曲线基本一致,而块状富矿石则与之显著不同。由于硫化物矿物稀土含量一般甚微,不至于影响稀土元素的配分曲线形态。从远矿源岩→近矿源岩→近矿蚀变围岩→浸染状矿石→块状矿石,其  $\delta Eu$  变化为从显著负异常→无异常→显著正异常,可能反映流体作用于含矿围岩而使其  $Eu$  出现显著分馏。还有学者研究后认为<sup>[14]</sup>矿石稀土的  $Eu$  异常与成矿流体的性质有关,当  $T>230^\circ$ ,  $pH<6$  时,主络合物为  $Cl^-$  时  $\delta Eu$  出现显著正异常。可以初步认为,穆家庄铜矿改造成矿的流体可能是富  $Cl$  的。

穆家庄铜矿改造成矿的时代尚无确切的年龄数据,但可以根据泥盆纪以来所发生的地质事件进行推断:前人<sup>①</sup>对柞山盆地及周边的花岗岩进行了深入的研究,尤其是对它们的侵入年龄进行了测定,获得了一大批年龄数据。岩浆热事件集中在 2 期,即印支期—燕山期碰撞造山(240~180 Ma)和燕山期造山后伸展(160~140 Ma),分别可以与秦岭陆内造山作用过程相吻合。印支期陆陆碰撞造山运动和造山期后的构造伸展是东秦岭地区极为重要的地质事件,前者以形成大型超壳断裂、大型逆冲推覆构造、大型紧闭褶皱为特色,仅有局部地段出现碰撞期花岗岩(如沙河湾岩体等);后者以形成一系列岩浆岩和大型滑脱构造(张性构造)为主。逆冲推覆构造期的形成时期应该和该地区板内俯冲时间相同,据张宗清等<sup>[15]</sup>的研究,他认为柞水沙河湾环斑花岗岩的侵入意味着陆内造山作用的开始,即可以认为沙河湾岩体的侵入时间为推覆构造形成时间。沙河湾环斑花岗岩的黑云母  $^{40}Ar/^{39}Ar$  坪年龄(213.0±2)Ma,全岩  $Rb-Sr$  等时线年龄(213.9±0.5)Ma,锆石  $U-Pb$  等时线年龄(212.1±1.8)Ma。李曙光<sup>[13-14]</sup>研究大别山—苏鲁地体陆内俯冲时间为 220~230 Ma,锆石  $U-Pb$  等时线年龄 218.1~238 Ma。许志琴<sup>[16]</sup>利用多硅白云母  $^{40}Ar/^{39}Ar$  测得柞水—山阳断裂的年龄为 236 Ma,同时利用钠长石  $^{40}Ar/^{39}Ar$  测得柞水—山阳断裂的年龄为 217 Ma。秦岭泥盆系沉积岩中金矿的成矿作用有关的年龄数据表明:李坝金矿成矿流体包裹体  $Rb-Sr$  等时线年龄为(176.6±26.9)Ma<sup>[16]</sup>,双王金矿矿石黄铁矿  $Ar-Ar$  年龄为(168.0±16.2)Ma,(183.09±20.66)Ma<sup>[17]</sup>,八卦庙、小沟里、尚家沟含金石英脉中的石英  $Ar-Ar$  年龄分别为(131.9±0.89)Ma,(197.45±1.13)Ma,(161.59±0.56)Ma, $Ar-Ar$  等时线年龄分别为(129.45±0.35)Ma,(193.24±0.93)Ma,(160.00±0.85)Ma<sup>[18]</sup>。以上数据表示秦岭地区金矿成矿年代为侏罗纪—早白垩纪。据此可以认为铜穆沟铜矿主体改造成矿的时间可以确定为侏罗纪—白垩纪,与秦岭泥盆纪沉积岩中的金矿成矿年代大致相同。

## 5 结论

根据穆家庄铜矿岩矿石稀土元素地球化学分析可以得出如下几点结论:

(1) 浸染状贫铜矿石和近矿围岩的稀土组成和配分曲线基本一致,表明浸染状贫铜矿石代表了泥盆纪时期热水沉积事件所形成的含少量硫化物的热水沉积岩初步富集的产物,泥盆纪时期形成了穆家庄铜矿的初始矿源层。

(2) 围岩中的层纹状硅质岩可能代表了泥盆纪时期的热水沉积岩性质。

(3) 块状富矿石的稀土组成代表了广泛的陆陆碰撞造山运动所产生的流体热液作用的结果,它既就地改造了初始矿源层,又从异地带来了部分成矿物质,在合适的构造部位改造富集成矿。

(4) 近东西向控矿断裂与地层层位小角度相交或近乎一致的解释是由于地层岩性软弱层和南北向挤压应力的结果。即断层发生在硅质白云岩(硬)和绢云母千枚岩(软)的界面及附近。

## 参考文献(References):

- [1] 王相,等.秦岭造山与金属成矿[M].北京:冶金工业出版社,1996.  
Wang Xiang, et al. Qinling Orogeny and Metallogenesis [M]. Beijing: Metallurgy Industrial Press, 1996 (in Chinese).
- [2] 祁思敬,李英,等.秦岭泥盆系铅锌成矿带[M].北京:地质出版社,1993.  
Qi Sijing, Li Ying, et al. Devonian Lead-Zinc Mineralization Belt in Qinling [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993 (in Chinese).
- [3] 王俊发,张复新,等.秦岭泥盆系层控金属矿床[M].陕西:陕西科学技术出版社,1991.  
Wang Junfa, Zhang Fuxin, et al. Devonian Strata-bound Lead-Zinc Ore Deposits in Qinling [M]. Shanxi: Shanxi Science and Technology Publishing House, 1991 (in Chinese).
- [4] 王集磊,何伯墀,等.中国秦岭型铅锌矿床[M].北京:地质出版社,1996.  
Wang Jilei, He Baichi, et al. Qinling-type Lead-Zinc Deposits [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996 (in Chinese).
- [5] 卢纪英,李作华,等.秦岭板块型金矿床[M].西安:西北大学出版社,2001.  
Lu Jiying, Li Zuohua, et al. Qinling Plate-type Gold Deposits [M]. Xi'an: Northwest University Publishing House, 2001 (in Chinese).
- [6] 韦龙明,朱桂田,吴烈善,等.八卦庙特大型金矿床热水沉积岩初探[J],矿床地质,1998,17(增刊):271~274.  
Wei Longming, Zhu Guitian, Wu Lishan, et al. Researching on hydrothermal sedimentary rocks of Baguamiao giant gold deposit [J], Mineral Deposits, 1998, 17(Supl): 271~274 (in Chinese with English abstract).
- [7] 薛春纪.秦岭泥盆纪热水沉积[M].陕西:西安地图出版社,1997.  
Xue Chunji. Devonian Hydrothermal Sedimentary in Qinling [M]. Shanxi: Xi'an Map Press, 1997 (in Chinese).

① 陕西省地矿局综合队.陕西秦岭地区花岗岩年龄谱系与热事件研究(科研报告),1988.

- [8] 张本仁,陈德兴,等.陕西柞水—山阳成矿带区域地球化学[M].武汉:中国地质大学出版社,1989.  
Zhang Benren, Chen Dexin, et al. Regional Geochemistry for Zhashui—Shanyang Mineralization Belt in Shannxi Province [M]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 1989(in Chinese).
- [9] 涂光炽.中国层控矿床地球化学(第三卷)[M].北京:科学出版社,1988.  
Tou Guangchi. Geochemistry of Stratabound Deposits in China (Vol.3)[M]. Beijing: Science Press, 1988(in Chinese).
- [10] 王秀璋,陈景平,等.中国改造型金矿床地球化学[M].北京:科学出版社,1992.  
Wang Xiuzhang, Chen Jingping, et al. Geochemistry of Transformed Gold Deposits in China [M]. Beijing: Science Press, 1992(in Chinese).
- [11] 凌其聪,刘丛强.水—岩反应与稀土元素行为[J].矿物学报,2001,21(1):107~114.  
Ling Qicong and Liu Congqiang. Rare element behaviors in water—rock interaction [J]. Acta Min. Sin., 2001, 21 (1):107~114(in Chinese With English abstract).
- [12] 张宗清,张国伟,等.秦岭沙河湾奥长花岗岩的年龄及其对秦岭造山带主造山期结束时间的限制[J].科学通报,1999,44(9):981~984.  
Zhang Zongqing, Zhang Guowei, et al. Shahewan oilgoclaste granite dating age of Qinling and its time constraints on ending the major orogenic period for Qinling Orogenic Belt[J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(9):981~984(in Chinese).
- [13] 李曙光, Jagoutz E, 等.大别山—苏鲁地体超高压变质年代学(I)——Sm—Nd 同位素体系[J].中国科学(D 辑),1996,26(3):249~257.  
Li Suguang, Jagoutz E, et al. Geochronology of ultrahigh—pressure metamorphism rocks from the Dabieshan—ShuLu belt(I)——Sm—Nd isotope system[J]. Science in China(Series D), 1996, 26(3):249~257(in Chinese).
- [14] 李曙光,李惠民,等.大别山—苏鲁地体超高压变质年代学—II 锆石 U—Pb 同位素体系[J].中国科学(D 辑),1997,27(3):200~206.  
Li Suguang, Li Huiming, et al. Geochronology of ultrahigh—pressure metamorphism rocks from the Dabieshan—ShuLu(II)—zircon U—Pb isotope system[J]. Science in China(Series D), 1997, 27(3):200~206(in Chinese).
- [15] 许志琴.东秦岭复合山链的形成—变形、演化及板块动力学[M].北京:中国环境科学出版社,1988.  
Xu Zhiqin, Complex Mountain Chain of East Qinling: Formed—Transformed, Developed and Continental Plate Dynamics[M]. Beijing: China Environment Science Press, 1988(in Chinese).
- [16] 柳森.李坝金矿床地质特征[A].见:刘东升主编.中国卡林型(微细浸染型)金矿[C],南京:南京大学出版社,1994.160~202.  
Liu Miao. Geological characteristic for Liba gold deposit[A]. In: Liu Dongshengn (ed.). Carlin—type Gold Deposits in China[C]. Nanjing: Nanjing University Press, 1994, 160~202(in Chinese).
- [17] 樊硕诚,金勤海.陕西双王金矿床[A].见:刘东升等主编.中国卡林型(微细浸染型)金矿[C].南京:南京大学出版社,1994,254~285.  
Fan Shuo Cheng, Jin Qinghai. Shuangwang gold deposit of Shannxi [A]. In: Liu Dongsheng (ed.). Carlin—type Gold Deposits in China [C]. Nanjing: Nanjing University Press, 1994, 254~285(in Chinese).
- [18] 邵世才,汪东波.南秦岭三个典型金矿床的 Ar—Ar 年代及其地质意义[J].地质学报,2001,75(1):106~110.  
Shao Shicai, Wang Dongbo. Ar—Ar dating and its meanings for three types of gold deposits in South Qinling [J]. Acta Geologica Sinica, 2001, 75(1):106~110(in Chinese with English abstract).

## Rare element geochemistry of the Mujiazhuang copper deposit in the Zhashan area, Shaanxi

ZHU Hua—ping<sup>1,2</sup>, Zhang De—quan<sup>1</sup>, Liu Ping<sup>3</sup>, Chen Lian—hong<sup>3</sup>

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

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

3. Northwest Geological Exploration Bureau of Nonferrous Metals, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract:** Although mineralization in the Devonian lead—zinc—gold polymetallic metallogenic belt in Qinling is related to hydrothermal exhalation—sedimentation. The Zhashan area is distinguished from the Fengtai area in its having a distinctive copper metallogenic setting. REE geochemical studies of rocks and ores in the Mujiazhuang copper deposit show that the REE compositions and distribution patterns of disseminated lean copper ores and near—ore country rocks are essentially consistent, suggesting that the disseminated lean copper ores represent the product of primary concentration of hydrothermal sedimentary rocks with small amount of sulfide formed by the hydrothermal sedimentary event during the Devonian. During this period the primary source bed of the Mujiazhuang copper deposit formed. Laminated siliceous rocks in country rocks might represent the nature of the Devonian hydrothermal sedimentary rocks. The REE composition of massive rich ores represents the result of fluid hydrothermal activity resulting from extensive continent—continent collisional orogeny. The hydrothermal activity not only modified the primary source bed in situ but also may have brought part of ore substances from other places and deposited them; the deposit was then subjected to modification and concentration at the appropriate structural site. Mujiazhuang copper deposit should be of modified origin.

**Key words:** REE geochemistry; modified copper deposit; Mujiazhuang copper deposit; Qinling