

# 陕西柞山地区穆家庄铜矿铅同位素地球化学与成矿物质来源

朱华平<sup>1</sup> 李 虹<sup>1</sup> 张汉成<sup>2</sup> 张德全<sup>3</sup>

(1. 西北有色地质研究院, 陕西 西安 710054; 2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640;  
3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

**摘要:**穆家庄铜矿床位于南秦岭造山带柞(水)山(阳)地区的泥盆系中。矿体产于红岩寺—黑山复式向斜南翼金井河—胡家沟次级背斜南翼近轴部断裂中, 赋矿岩石为泥盆系青石垭组中上部白云质岩, 其空间展布明显受背斜陡倾南翼(倒转翼)近轴部的层间断裂—裂隙带构造控制, 矿石主要有团块状和网脉状, 其后生成矿现象非常明显。本文从铅同位素地球化学出发, 来探讨产于秦岭泥盆系中铜矿的成矿物质来源和矿床成因等问题。研究表明, 穆家庄铜矿矿石铅和近矿围岩岩石铅具有极高的放射性成因铅特点。通过对矿石铅、近矿围岩岩石铅与测定的寒武系碳硅质岩岩石全岩铅进行综合对比, 发现它们的组成特征类似, 说明穆家庄铜矿铅来源于寒武系。

**关键词:**铅同位素; 寒武系; 穆家庄铜矿; 南秦岭

**中图分类号:** P618.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2005)04-0634-07

秦岭造山带泥盆系中广泛发育了以铅、锌、金为代表的系列多金属矿床, 历来受到重视。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>[1,2]</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>[2-5]</sup>。秦岭泥盆系容矿的金矿也被认为是热水沉积成因的<sup>[2-4,6-7]</sup>。但当一大批秦岭泥盆系容矿的金矿成矿作用的相对年龄数据出现后<sup>[8-11]</sup>, 大家不得不开始重新考虑决定秦岭泥盆系金属矿床定位机制问题。近几年陕西柞山地区泥盆系中勘查发现的穆家庄铜矿, 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其他铅锌矿床来说, 构造控矿现象明显, 金属矿物组成简单, 显然有别于典型的热热水沉积矿床<sup>[12]</sup>, 它是否属于后生矿床值得进一步研究和探讨。

## 1 矿床地质特征

矿床产于泥盆纪柞水—山阳盆地(简称柞山盆地)中南部, 山阳—柞水断裂北侧, 出露地层为一套巨厚的中泥盆统碎屑岩建造(图1)。本矿床赋矿地层为中泥盆统青石垭组

(D<sub>2q</sub>), 其岩石组合为灰—浅灰色绢云母千枚岩, 含泥质、粉砂质条带(纹)白云岩, 粉砂质绢云母千枚岩, 白云质粉砂岩, 地层北倾, 在矿区内发育金井河—胡家沟倒转背斜, 南翼陡北翼缓。青石垭组可进一步划分为4个岩性段: 下部(第一岩性段)为白云质粉砂岩夹绢云母千枚岩及泥灰岩; 中部(第二岩性段)为条带状白云岩或纹层状白云岩、粉砂质白云岩夹白云质粉砂质千枚岩, 该岩性段为主要赋矿岩层; 中上部(第三岩性段)为粉砂质千枚岩夹粉砂质白云粉砂质白云岩或泥灰岩; 上部(第四岩性段)为白云质粉砂质千枚岩、绢云母千枚岩夹白云质粉砂岩。青石垭组第二岩性段(D<sub>2q</sub><sup>b</sup>)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, 位于背斜南翼近轴部, 在北翼的相同层位没有矿化, 也不见含矿的断层破碎带, 地层含 Cu 在 20×10<sup>-6</sup> 以下, 低于区域同层背景值。

矿区 EW 向断裂发育, 控制着矿化带及矿体的分布。主要矿体发育于近背斜轴部挤压片理化破碎带(F1)中, 它是由许多小断面组成的软弱带, 由于断面的相对位移不大, 又因为平行片理化带的断面常呈舒缓波状, 因而矿体常常呈大小

收稿日期: 2005-02-21; 改回日期: 2005-06-20

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(200110200101)和西北有色地勘局人才基金联合资助。

作者简介: 朱华平, 男, 1966年生, 博士, 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: huapingzhu2004@sohu.com。

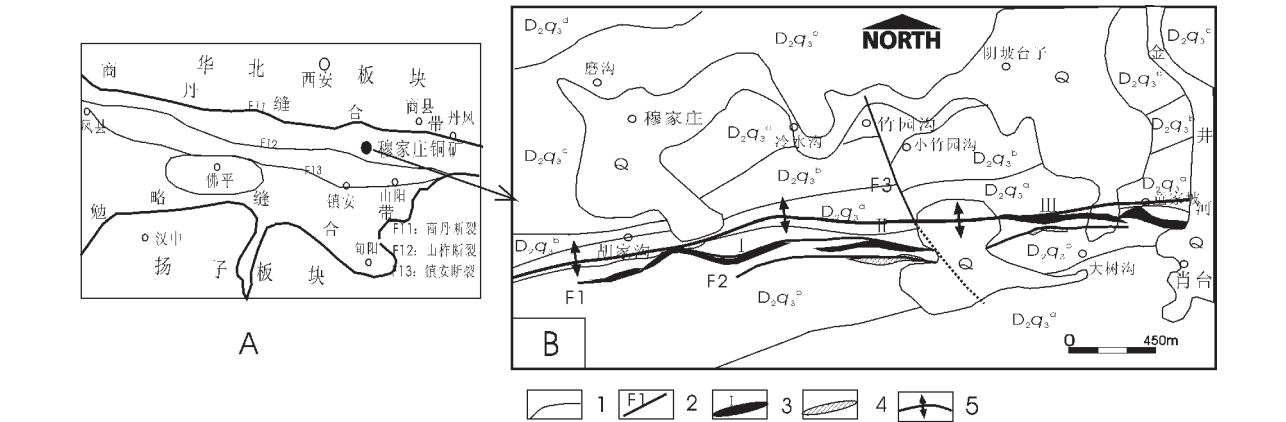


图 1 柞水县穆家庄铜矿区地质简图

A—穆家庄铜矿区的大地构造位置图;B—穆家庄铜矿区地质简图;Q—第四系;D<sub>2</sub>q<sub>3</sub><sup>a</sup>—白云质粉砂质千枚岩、绢云千枚岩夹白云质粉砂岩;D<sub>2</sub>q<sub>3</sub><sup>b</sup>—粉砂质千枚岩夹粉砂质白云质岩或泥灰岩;D<sub>2</sub>q<sub>3</sub><sup>b</sup>—条带状白云岩夹白云质粉砂质千枚岩;D<sub>2</sub>q<sub>3</sub><sup>c</sup>—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;5—背斜轴向

Fig.1 Geological sketch map of the Mujiazhuang copper deposit, Zhashui County, Shaanxi Province

A—Tectonic location of the Mujiazhuang copper deposit;B Geology of the Mujiazhuang copper deposit:Q—Quaternary;D<sub>2</sub>q<sub>3</sub><sup>a</sup>—Dolomitic and silty phyllite and sericite phyllite with dolomitic siltstone; D<sub>2</sub>q<sub>3</sub><sup>b</sup>—Silty phyllite with silty dolomite or marlstone;D<sub>2</sub>q<sub>3</sub><sup>b</sup>—Banded dolomite with silty phyllite; D<sub>2</sub>q<sub>3</sub><sup>c</sup>—Dolomitic siltstone with carbonaceous phyllite or sericite phyllite and marlstone; 1—Strata;2—Fault and number;3—Copper orebody; 4— Copper mineralization;5—Axial direction of anticline

不等的透镜体,有时为细小的密集小矿脉,相互交替或尖灭再现。断裂带的结构与矿化类型、蚀变构造带有良好的协同性。主构造带中常见角砾岩,含铜铁白云石石英胶结,显示出早期可能为张性环境,同时在矿区范围内还常见张性裂隙中充填的铁白云石石英脉。主构造中常见围岩透镜体和黑云母角岩透镜体,大小不等,大者被勘探者作为可剔除夹石圈出,小者仅几厘米大小,同时在构造带两侧,尤其是上盘多见片

理化带和泥化带,显示出挤压性质,走向上明显存在膨大缩小现象和挤压扩容现象,矿体在1006m中段以上向北倾,之下变为南倾(图2),在倾向转折段产生构造扩容空间,发育厚大矿体,再向深部控矿构造的产状是否再转为北倾而发育另一个厚大矿体,是今后勘探中需要注意的方向。

主矿体呈厚大透镜状沿层间构造破碎带产出。含矿热液沿构造裂隙充填并交代围岩,形成以充填为主、交代为次的

表 1 穆家庄岩、矿石铅及寒武系地层铅同位素组成  
Table 1 Lead Isotope data for rocks and ore minerals of the Mujiazhuang copper deposit and cambrian rocks

矿区或地层	样号	样品位置	测试矿物	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb
穆家庄铜矿床	mx23	近矿蚀变围岩	铁白云石黑云母化千枚岩	22.799	15.770	39.054
穆家庄铜矿床	mx24	近矿蚀变围岩	硅质白云岩	20.125	15.671	38.580
穆家庄铜矿床	mx21	围岩	钠长岩	18.000	15.515	37.730
穆家庄铜矿床	mb7	围岩	层纹状硅质岩	16.931	14.691	35.793
穆家庄铜矿床	mdk-1	矿体	黄铜矿	21.496	15.798	41.221
穆家庄铜矿床	mx1-1	矿体	黄铜矿	21.392	15.775	41.426
穆家庄铜矿床	mx2	矿体	黄铜矿	23.533	15.972	40.261
穆家庄铜矿床	mb-6	围岩	千枚岩	17.933	15.469	37.693
穆家庄铜矿床	mx-20	围岩	千枚岩	18.598	15.527	37.859
寒武系水沟口组	H206	下伏地层	含钼碳硅质板岩	39.090	16.819	38.397
寒武系水沟口组	H113	下伏地层	含钼碳硅质板岩	28.636	16.207	37.726

注:由核工业地质分析测试研究中心分析,测试仪器 MAT261,分析误差以 2σ 计。

矿石结构构造特征。脉状矿石、角砾状矿石的黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿均为他形粒状结构;黄铜矿和磁黄铁矿共边结构;黄铜矿沿黄铁矿边缘裂隙交代形成交代浸蚀结构和交代残余结构;在浸染状矿石中还可见黄铁矿呈立方体及五角十二面体自形晶结构。矿石构造主要有网脉状、脉状充填构造、角砾状构造和浸染状构造,还有少量似条带状构造和次块状、团块状构造。

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、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,代表了富矿的主要组合,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:沉积成岩期形成少量黄铁矿等金属矿物。

热流体交代成矿期分为2个成矿阶段:①黄铁矿-(黄铜矿-黑云母)-铁白云石阶段:主要随褶皱的形成在褶皱轴部地层劈理等处充填黄铁矿-(黄铜矿)-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的浸染状铜矿化岩石进一步破碎形成条带状、团块状、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 铅同位素样品采集及处理

在该矿区采集的铅同位素样品分为产于矿体中的样品、

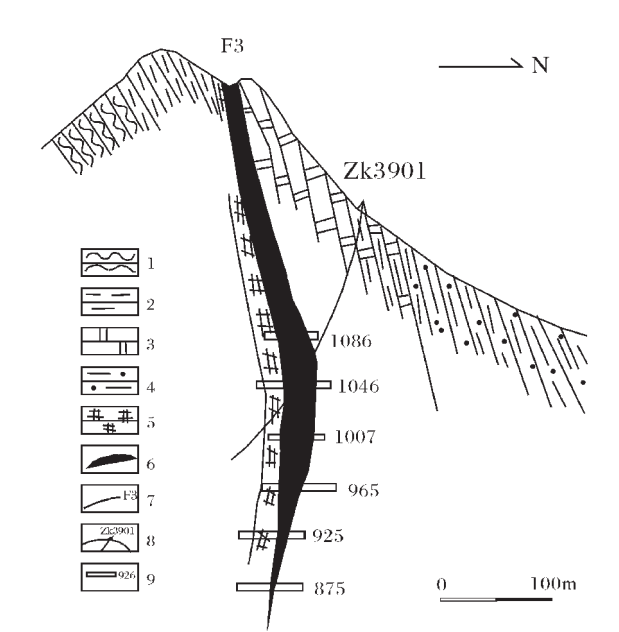


图2 穆家庄铜矿39线剖面图

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 Section of line 39 of the Mujiashuang copper deposit  
1—Phyllite;2—Dolomitic and silty phyllite;3—Banded (silty) dolomite;  
4—Silty phyllite;5—Banded siliceous dolomite;6—Copper orebody;  
7—Fault and number;8— Drilling hole and number;9—Pit and number

近矿围岩样品和远矿未蚀变的地层样品,此外,还采集了下伏地层少量样品。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%,矿石样品的铅同位素测试对象是单矿物;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 $100\times10^{-6}$ ,远矿围岩(距主矿体大于

表2 柞山地区主要矿区岩矿石铀钍测试结果  
Table 2 U and Th Contents of rocks and ore minerals for major mines in the Zhashan area

矿区或地层	样号	测试对象	U/ $10^{-9}$	Th/ $10^{-9}$	测试方法
穆家庄铜矿床	Mb-6	千枚岩	14.652	12.296	Finnigan 制造 MAT, HR-ICP-MS 测试单位:中国科学院地质与地球物理研究所
	Mb-7	层纹状硅质岩	13.897	14.916	
	Mx20	千枚岩	9.312	14.430	
	Mx21	钠长岩	7.000	12.410	
	Mx23	铁白云石黑云母化千枚岩	12.727	57.431	
	Mx24	硅质白云岩	10.835	31.064	
小河口铜矿	MX1-1	黄铜矿	157.000	16.000	Finnigan 制造 MAT, HR-ICP-MS 测试单位:核工业地质分析测试研究中心
	MDK-1	黄铜矿	194.000	46.000	
	MX-2	黄铜矿	1066.000	482.000	
桐木沟锌矿	XH-5	黄铜矿	36.000	52.000	
寒武系水沟口组	Tm6-1	闪锌矿	3.092	0.812	
	Tm6-4	黄铁矿	10.423	25.923	
寒武系水沟口组	H113	碳硅质板岩	6580.000	1158.000	
	H206	碳硅质板岩	30836.000	5868.000	

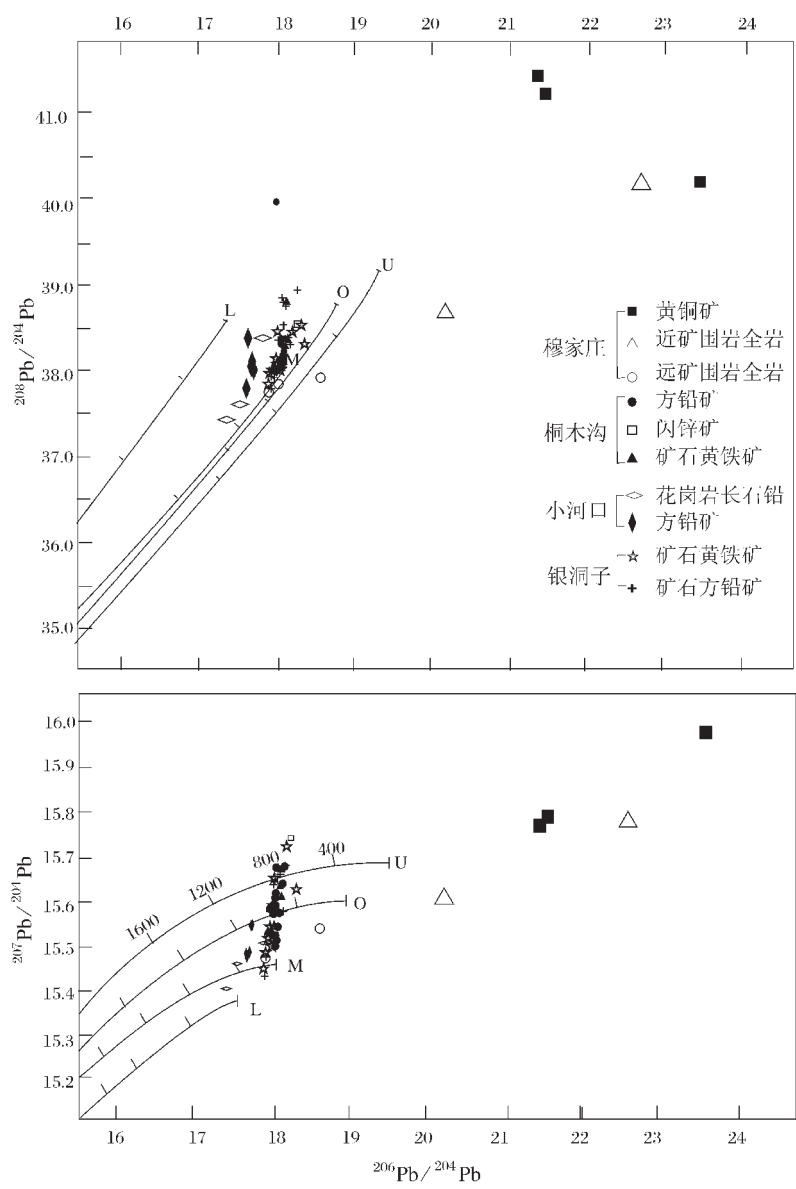


图 3 柞山地区主要矿床矿石、岩石铅 Pb-Pb 关系图解

Fig.3  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  diagrams of ore minerals and rocks of the main deposits in the Zhushan area

500 m)以及其他岩石类型的样品。近矿蚀变围岩采集的岩石为铁白云石黑云母化千枚岩和硅化条带状白云岩。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。4 种岩石同时产在同一个层位构成一个矿源岩或矿源层。白云岩、粉砂岩、千枚岩互呈条带产出。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。远矿围岩所采集的岩石样品为白云质粉砂质千枚岩、层纹状硅质岩和钠长岩。后者被认为是泥盆纪时期的热水沉积岩。所有样品均采自新鲜岩石,样品重量不少于 1 000 g,在送样之前先经过薄片观察,确定岩石类型和矿物组合。在送化验室之前,均经清洗,无矿尘污染。

3 矿石铅同位素组成特点

从表 1 中可以看出穆家庄铜矿床矿石黄铜矿铅同位素组成  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化在 21.496~23.533,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化在

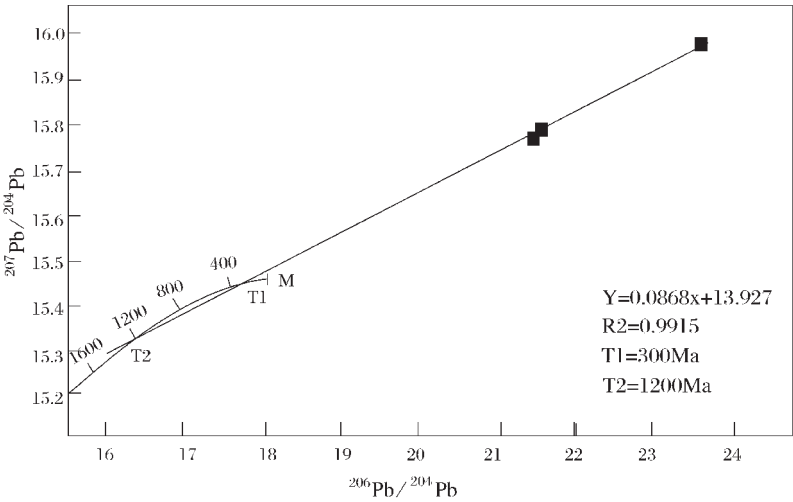


图 4 黄铜矿矿石铅混合模式所示上下交点年龄(底图据 R.E.Zartman,1981)

Fig.4 Upper and lower intercept ages shown by the chalcocite ore lead mixing model (according to R.E. Zartman, 1981)

15.775~15.972,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化在 40.221~41.426, 显示出 U 成因铅和 Th 成因铅高,前者变化较后者大;围岩岩石铅同位素组成  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化在 17.933~18.598,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化在 15.469~15.527,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化在 37.693~37.859;近矿蚀变围岩岩石铅同位素组成  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化在 20.125~22.799,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化在 15.671~15.770,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化在 38.580~39.054, 其 U、Th 成因铅变化规律与矿石黄铜矿的一致,异常铅仅分布在矿体及蚀变围岩狭窄的范围内,说明它们受同一种铅源的控制。将数据投影在铅同位素动力演化模式图中(图 3),仅围岩岩石铅同位素落在地幔与造山带之间,而黄铜矿矿物铅和近矿蚀变围岩岩石铅均落在动力演化曲线之外,表明为异常铅同位素组成特点。

为了查清异常铅产生的原因,追索异常铅的来源,在同一个实验室(核工业地质分析测试中心实验室)测定铅同位素,同时测定样品的 U、Th(表 2)。穆家庄铜矿黄铜矿的 U、Th 含量分别是  $\text{U}=1576\times10^{-9}\sim1066\times10^{-9}$ ,  $\text{Th}=166\times10^{-9}\sim482\times10^{-9}$ 。围岩(包括远矿围岩和近矿蚀变围岩)的 U、Th 含量分别是  $\text{U}=7\times10^{-9}\sim14.652\times10^{-9}$ ,  $\text{Th}=12.2966\times10^{-9}\sim57.431\times10^{-9}$ , 均没有明显的富集,不是引起铅同位素异常的原因。测试结果显示和下伏地层寒武系碳硅质板岩的 U、Th 含量和铅同位素组成具明显的异常(表 1~2)。其 U、Th 的高含量引起了高异常铅组成,那么,穆家庄铜矿的异常铅是否与之有关,是什么样的构造岩浆事件导致的?下面将作进一步讨论。

4 认识与讨论

(1)穆家庄黄铜矿矿石铅具有较强的异常铅特点,和密西西比河谷型铅锌矿的铅同位素组成类似,应该是受放射性铅源混合的结果。因为穆家庄铜矿黄铜矿矿石铅共同投影在

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  关系图解中,呈非常好的线性相关性(图 4),并在  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  关系图解中也呈线性关系。根据公式  $(R=1/137.88 \cdot (e^{\lambda_{235}t}-e^{\lambda_{235}t_0})/(e^{\lambda_{238}t}-e^{\lambda_{238}t_0}))$  [13]用 EXCEL 进行铅同位素的线性关系拟合。然后将拟合的直线转投至 R.E.Zartman(1981)设计的地幔铅演化曲线上,用内插法求出上、下交点年龄,其结果获得上交点年龄为 300 Ma,下交点年龄为 1200 Ma。上交点年龄可能代表了铜的成矿年龄,下交点年龄可能代表了基底元古代变质火山岩的年龄,这个年龄相当于南秦岭基底的陕西群或耀岭河群。

(2)混合铅模式包括两种正常铅以不同比例相互混合和一种正常铅中混入了不同数量的放射性成因铅的作用,穆家庄铜矿床矿石铅混合模式中到底是哪一种机制。先假定可能是后一种情况,那么,这种放射性成因铅就应该存在于下伏地层中,区内寒武系具有多元素建造的水沟口组碳硅质板岩为一套含有较高铀钍的岩系,将该地层的 U、Th 含量和相应的铅同位素组成列于表 2。将寒武系碳硅质板岩 2 个异常铅同位素样品与穆家庄近矿围岩的同位素组成一同作 Pb—Pb 图解(图 5),根据以上公式用 EXCEL 进行铅同位素的线性关系拟合。然后将拟合的直线转投至 R.E.Zartman(1981)设计的地幔铅演化曲线上,用内插法求出上、下交点年龄,其结果是上交点年龄为 310 Ma,下交点年龄为 520 Ma。求得下交点年龄(511 Ma)与寒武纪相当。说明穆家庄铜矿混合铅模式是由一种正常铅中混入了寒武系不同数量的放射性成因铅的结果。

(3)收集整理柞山地区银洞子银铅矿和小河口卡卡岩型铜矿的矿石铅同位素组成并将它们会同桐木沟锌矿和穆家庄铜矿的铅同位素组成投影到  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  图解中(图 3),从图中可以看出:小河口铜矿的矿石铅同位素组成与小河口岩体长石铅同位素组成基本一致,小河口方铅矿的



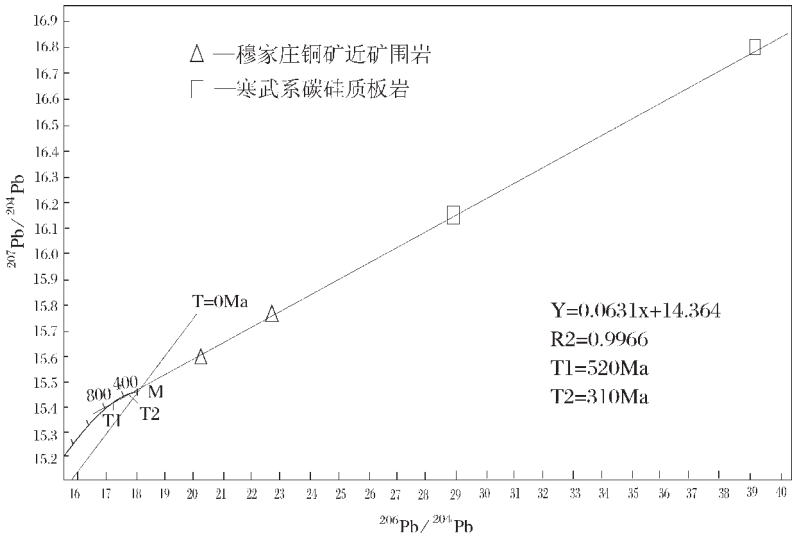


图 5 全岩岩石铅混合模式所示上下交点年龄(底图据 R.E.Zartman,1981)

Fig. 5 Upper and lower intercept ages shown by the whole-rock lead mixing model (according to R.E. Zartman, 1981)

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化在 17.67~17.726,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化在 15.48~15.542,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化在 38.018~38.31; 钾长石的  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化在 17.415~17.860,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化在 15.405~15.462,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化在 37.389~38.326 之间,说明小河口铜矿和小河口岩体的铅源是一致的,暗示成矿物质来源于岩浆。穆家庄铜矿和密西西比河谷型铅锌矿床的矿石铅同位素组成相似,具有 J 型异常铅特征,说明穆家庄铜矿矿石异常铅来自于某个 Th、U 异常铅的混入,穆家庄铜矿区范围内沉积岩并无 Th、U 异常层,前面分析得出穆家庄铜矿矿石异常铅源可能来自于寒武系碳硅质板岩,该层位以 Cu、Zn、Pb、Ag 高丰度为特点,说明穆家庄铜矿的成矿物质可能来自于寒武系。从图 3 可以看出,柞山地区主要矿床铅同位素组成分布大致沿 3 条线呈线性分布,小河口铜矿相对具有较低的 U 成因铅和 Th 成因铅,铅源来自造山带并可能有地幔铅的加入,反映了小河口铜矿是与同期岩浆岩(印支期)具有相同铅源;桐木沟锌矿和银洞子银铅矿组成特征一致,说明二者的铅源一致,反映的是热水沉积期的铅源特征;穆家庄铜矿的异常铅组成和寒武系的异常铅组成相似,说明穆家庄铜矿的铅源来自于寒武系。

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 Orogenics and Metallogenics[M]. Beijing:Metallurgical Industry Press, 1996(in Chinese with English summary).  
[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. Lead-Zinc Metallogenic Belt of Devonian

System in Qinling Mountains [M].Beijing:Geological Publishing House,1993(in Chinese).  
[3] 王集磊,何伯堉,等.中国秦岭型铅锌矿床[M].北京:地质出版社,1996.  
Wang Jilei,He Bochi ,et al. Qinling-type Lead-Zinc Deposits in China [M].Beijing: Geological Publishing House,1996 (in Chinese with English summary).  
[4] 王俊发,张复新,等.秦岭泥盆系层控金属矿床[M].西安:陕西科学技术出版社,1991.  
Wang Junfa,Zhang Fuxin et al. Strata bound Metals Deposits of Devonian System in Qinling[M].Xi'an:Shaanxi Science and Technology Publishing House(in Chinese).  
[5] 王靖华,张复新,于在平,等.秦岭金属矿床成矿系列与大陆造山带构造动力学背景[J].中国地质,2002,29(2):192~196.  
Wang Jinghua,Zhang Fuxin,Yu Zaiping, et al.Minerogenetic series of metallic ore deposits in the Qinling Mountains and tectonodynamic background of the continental orogenic belts [J]. Geology in China,2002,29(2):192~196(in Chinese with English abstract).  
[6] 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.  
[7] 韦龙明,吴烈善,黄建军,等.秦岭若干重要类型金矿床成矿地质条件研究新进展[J].矿产与地质,2002,16(2):65~69.  
Wei Longming,Wu Lieshan,Huang Jianjun, et al. New researching advancement for gold ore deposit mineralization situation of some important gold-types in Qinling [J].Ore Resources and Geology. 2002, 16(2): 65~69(in Chinese with English abstract).  
[8] 柳森.本坝金矿床地质特征[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.Liba gold deposit geological features [A].In:Liu Dongsheng (ed.). Karlin-type Gold Deposits of China [C].Nanjing: Nanjing University Press,1994. 254~285(in Chinese).
- [9] 樊硕诚,金勤海,陕西双王金矿床[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,1994.254~285.
- Fan Shuocheng,Jin Qin Hai. Shuanwang Gold Deposit in Shannxi [A].In:Liu Dongsheng (ed.). Karlin-type Gold Deposits of China [C].Nanjing:Nanjing University Press,1994. 254~285(in Chinese).
- [10] 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 ages and its geological implication of 3 typical gold deposits in South Qinling[J]. Acta Geologica Sinica,2001,75 (1): 106~110(in Chinese with English Abstract).
- [11] 冯建忠,邵世才,汪东波,等.陕西八卦庙金矿脆-韧性剪切带控矿特征及成矿构造动力学机制[J].中国地质,2002,29(1):58~66.
- Feng Jianzhong,Shao Shicai,Wang Dongbo,et al.Bagumiao superlarge gold deposit in the Qinling orogen:the characteristics of its control by the brittle ductile shear zone and dynamic mechanism for ore-forming structure[J]. Geology in China 2002,29(1):58~66 (in Chinese with English Abstract).
- [12] 朱华平,张德全,陕西柞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. REE geochemistry characters of Mujiashuang copper deposit in Zhashan area,Shaanxi Province [J]. Geology in China, 2004,31(1):85~90(in Chinese with English Abstract).
- [13] 魏菊英,王关玉. 同位素地球化学 [M]. 北京:地质出版社, 1988.153~165.
- Wei Juying,Wang Guanyu. Isotopes Geochemistry [M].Beijing: Geological Publishing House,1988.153~165(in Chinese).

## Lead isotope geochemistry and source of ore materials of the Mujiashuang copper deposit, Zhashui-Shanyang area, Shaanxi

ZHU Hua-ping<sup>1</sup>, LI Hong<sup>1</sup>, ZHANG Han-cheng<sup>2</sup>, ZHANG De-quan<sup>3</sup>

(1. Northwest Institute of Geology for Nonferrous Metals, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, China Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China;

3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** The Mujiashuang copper deposit is located in the Devonian strata in the Zhashui-Shanyang area of the South Qinling orogenic belt. Orebodies occur in a fault near the axial region in the southern limb of the Jinjinghe-Hujiamiao inverted secondary anticline in the southern limb of the Hongyansi-Heishan composite syncline. Host rocks are dolomitic rocks in the middle and upper parts of the Devonian Qingshiya Formation. Their spatial distribution is obviously controlled by an interlayer fracture-fissure zone near the axial region in the steeply dipping southern limb (inverted limb) of an anticline. Ores are dominantly of nodular and stockwork types and the feature of epigenetic mineralization is very pronounced. This paper discusses the sources of ore-forming materials and ore genesis of copper deposits in the Devonian in the Qinling Mountains through a study of lead isotope geochemistry. The lead isotope study shows that ores of the Mujiashuang copper deposit and the host rocks contain very high radiogenic lead. On the basis of an integrated comparison of ore lead, host rock lead and whole-rock lead in Cambrian carbonaceous-siliceous rocks, it is found that their compositional features are similar, suggesting that lead in the Mujiashuang copper deposit was derived from the Cambrian.

**Key words:** lead isotope composition; Cambrian; Mujiashuang copper deposit; South Qinling

**About the first author:** ZHU Hua-ping, male, born in 1966, Ph.D and senior geologist, mainly engages in prospecting and evaluation of metal mineral resources, metallogeny and deposit geochemistry; E-mail: huapingzhu2004@sohu.com.