

陕西柞山地区穆家庄铜矿床成矿流体来源的 氦氩氢氧同位素示踪

朱华平¹, 张德全², 张汉诚³, 余宏全², 丰成友², 李虹¹

(1. 西北有色地质研究院, 西安 710054; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

3. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640)

[摘要]最近,在秦岭柞山地区泥盆系中又发现了穆家庄铜矿,矿体明显受层间破碎带控制,矿石主要产在铁白云石-石英脉中,其后生成矿现象非常明显。文章利用的黄铁矿流体包裹体 He-Ar 同位素和氢氧同位素,来探讨这类矿床的成矿流体的来源。穆家庄铜矿床矿石矿物黄铁矿流体包裹体的³He/⁴He 比值为 0.322~0.889R/Ra, 小于 1.0R/Ra。³He/⁴He 比值远远低于地幔流体的比值,与地壳流体的比值在相同的数量级上。穆家庄铜矿成矿流体的⁴⁰Ar/³⁶Ar 比值为 377~569, 平均 470, 显然偏离大气氩的同位素组成。穆家庄铜矿成矿流体的⁴⁰Ar/⁴He 比值为 0.09~0.23, 平均值为 0.164。很显然,该矿床的成矿流体的⁴⁰Ar/⁴He 比值接近地壳。根据以上分析,柞山地区的穆家庄铜矿床的成矿流体是壳源的。氢氧同位素分析表明穆家庄铜矿的氢氧同位素则落入原生岩浆水范围内,表明穆家庄铜矿的成矿流体为岩浆水。综合对比分析后认为,穆家庄铜矿的成矿流体是由壳源岩浆驱动并参与的岩浆流体提供的。

[关键词]流体包裹体 He-Ar 同位素 氢氧同位素 穆家庄铜矿 柞山地区 秦岭

[中图分类号]P618.41;P632 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2005)05-0022-05

秦岭造山带泥盆系中广泛发育了以铅锌金为代表的一系列多金属矿床,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^[1,2]。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^[2-4]。秦岭泥盆系容矿金矿也被认为是热水沉积成因的^[2-6]。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^[7-9],大家不得不开始要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它铅锌矿床来说,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^[10-12],其成矿的流体性质为何,来自何处值得研究。因此本文拟从成矿流体的氦氩氢氧同位素地球化学出发,来探讨这个问题。

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崖组(D₂q),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。青石崖组可进一步划分为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。青石崖组第二岩性段(D₂q₃^b)为赋矿层位,主要由含铁白云岩、绢云母千枚岩组成的

[收稿日期]2005-02-24; **[修订日期]**2005-06-07; **[责任编辑]**曲丽莉。

[基金项目]中国地质调查局地质调查项目(编号:200110200101)和西北有色地质勘查局人才基金资助。

[第一作者简介]朱华平(1966年-),男,2004年毕业于中国地质科学院,获博士学位,高级工程师,现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工作。

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^{-6} 以下,低于区域同层背景值。

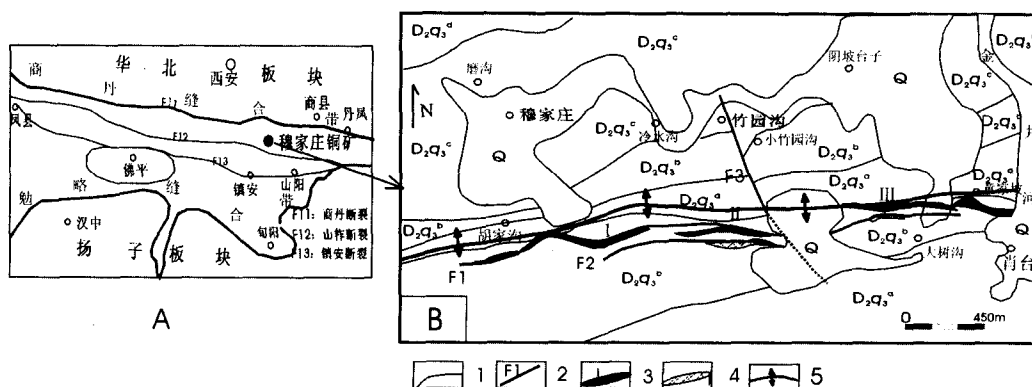


图1 柞水县穆家庄铜矿区地质简图

A 示穆家庄铜矿区的大地构造位置图;B 示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; $D_2q_3^c$ —粉砂质千枚岩夹粉砂质白云质岩或泥灰岩; $D_2q_3^b$ —一条带状白云岩夹白云质粉砂质千枚岩; $D_2q_3^a$ —白云质粉砂岩夹炭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。

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岩角砾岩透镜体,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,矿体在倾向上在 1006m 中段以上矿体北倾,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、磁黄铁矿均为它形粒状结构;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

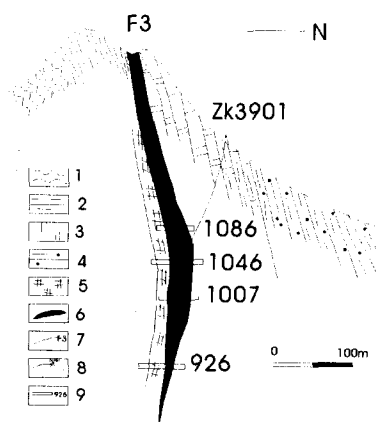


图2 穆家庄铜矿 39 线剖面图

1—绢云千枚岩;2—白云质粉砂质千枚岩;3—一条带状(粉砂质)白云岩;4—粉砂质千枚岩;5—一条带状硅质白云岩;6—铜矿体;7—断层及编号;8—钻孔及编号;9—坑探及编号

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,它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 样品分析方法

样品主要采自柞山地区穆家庄铜矿,为了对比,同时在桐木沟锌矿具有明显改造特征的代表性矿床中的富矿石中也采集了部分样品,测试对象为黄铁矿中的包裹体流体。黄铁矿样品通过在双目镜下挑

选,保证所选样品新鲜,晶型完好,纯度达 100%。黄铁矿流体包裹体 He、Ar 同位素送到中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室进行测试。其测试分析过程如下:首先将样品用丙酮在超声波中清洗 20 分钟,在真空中加热至 120℃ 并除气 24 小时。然后,压碎样品释放出气体,对释放出的气体经海绵钛泵、锆铝泵、活性炭和液氮冷却 4 级纯化,使活性气体被除掉,Ar、Xe 被冷冻,并将纯净的 He、Ne 送入分析系统;进入系统的 He、Ne 经加液氮的钛升华泵再次纯化除掉 H₂、Ar;与此同时,在 -78℃ 释放 Ar,进行 Ar 同位素分析。最后在乌克兰生产的 MI-1201IG 惰性气体同位素质谱仪上进行 He、Ar 同位素测试,其中 ³He 由分辨率为 1200 的电子倍增器接收,⁴He 由分辨率为 760 的法拉第杯接收。工作标准为北京大气,它的 ³He/⁴He 为 1.4×10^{-6} 。

3 氦氩同位素测试结果与解释

表 1 为穆家庄铜矿床等矿床的黄铁矿中流体包裹体的氦氩同位素组成分析结果。从表中可以看出,穆家庄铜矿床矿石矿物黄铁矿流体包裹体的 ³He/⁴He 比值为 0.23 ~ 0.64R/Ra,邻区的桐木沟锌矿矿石矿物中黄铁矿流体包裹体的 ³He/⁴He 比值为 0.24 ~ 0.54R/Ra。二矿床的黄铁矿中流体包裹体的 ³He/⁴He 比值均小于 1.0R/Ra。

表 1 穆家庄铜矿床等矿床的黄铁矿中的流体包裹体的氦氩同位素组成

样号	矿物	³ He/ ⁴ He	⁴ He	⁴⁰ Ar/ ³⁶ Ar	⁴⁰ Ar/ ³⁸ Ar	³⁶ Ar/ ³⁸ Ar	⁴⁰ Ar	R/Ra
ZHY17	黄铁矿	5.56 ± 0.52	8.43	377 ± 4	2118 ± 13	5.62 ± 0.03	2.27	0.40
ZHY34	黄铁矿	5.90 ± 1.00	17.99	569 ± 12	3161 ± 61	5.54 ± 0.04	1.66	0.42
ZHY36	黄铁矿	8.89 ± 0.96	15.13	406 ± 2	2175 ± 9	5.29 ± 0.06	3.44	0.64
ZHY39	黄铁矿	3.22 ± 0.37	9.76	443 ± 1	2479 ± 12	5.61 ± 0.02	1.21	0.23
ZHY42	黄铁矿	7.20 ± 1.10	5.50	558 ± 3	3136 ± 10	5.610.02 ±	0.59	0.51

测试者:宋鹤彬、李延河;测试单位:中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室;样品的 He、Ar 含量是根据压碎后通过 160 目的样品重量来计算的。³He/⁴He $\times 10^{-7}$, ⁴He, ⁴⁰Ar $\times 10^{-7}$ cm³ STP/g, R 代表样品 ³He/⁴He 的实测值, Ra 代表大气中的 ³He/⁴He 比值,取 1.4×10^{-6} 。

地壳物质中的 ³He/⁴He 比值为 0.01 ~ 0.05R/Ra,地幔流体的 ³He/⁴He 比值为 6 ~ 9R/Ra^[13]。从表 1 的测试结果可以看出,穆家庄铜矿床和桐木沟锌矿成矿流体的 ³He/⁴He 比值低于地幔流体的比值,而高于地壳流体的比值,反映深部岩浆脱气加入到地壳流体中并与之混合的特点。

将二矿床成矿流体的 He 同位素组成在 ³He - ⁴He 同位素演化图解(图 3)上的投点均位于地壳与地幔过渡带偏地幔组成一侧。³He/⁴He 比值在 10^{-7} ,显示以地壳组成为主,可能有下地壳物质的加

入。穆家庄铜矿成矿流体的 ⁴⁰Ar/³⁶Ar 比值为 377 ~ 569,平均 470,显然偏离大气氩的同位素组成,大气氩的 ⁴⁰Ar/³⁶Ar 比值为 259.5^[13],放射性成因的氩和地幔氩都具有高的 ⁴⁰Ar/³⁶Ar 比值,但地幔同时具有高的 ⁴⁰Ar/³⁶Ar 比值和高含量的 ³He。地幔流体的 ⁴⁰Ar/⁴He 比值为 0.33 ~ 0.56^[14],地壳的平均值为 0.156^[14,15]。穆家庄铜矿成矿流体的 ⁴⁰Ar/⁴He 比值为 0.09 ~ 0.23,平均值为 0.164(样数为 5),很显然,成矿流体的 ⁴⁰Ar/⁴He 低于地壳值。从而可以推断柞山地区的穆家庄铜矿床的成矿流体主体是壳源的。

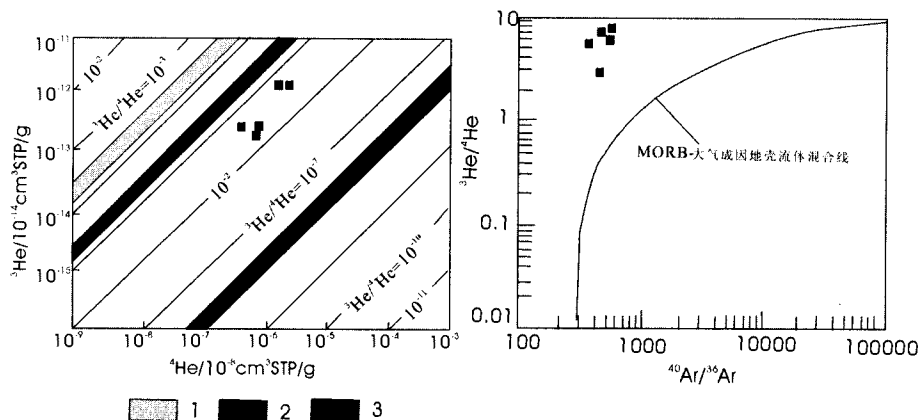


图 3 成矿流体的³He-⁴He 同位素演化图解(据胡瑞忠,1999)
1—初始氦,2—地幔氦,3—地壳氦

4 成矿流体的氢氧同位素测试结果与解释

氢氧同位素分析能提供成矿流体性质及来源的证据。从表 2 中可以看出以下规律:穆家庄铜矿的氢氧同位素则落入原生岩浆水范围内(图 4),表明穆家庄铜矿的成矿流体为岩浆水。而桐木沟锌矿样品的氢氧同位素点落在岩浆水附近,可能为封存建造水与

岩浆水的混合水。综合氮氩同位素资料可知,氮氩所反映的流体为壳源的,而穆家庄铜矿的氢氧同位素所反映的成矿流体为岩浆的,桐木沟锌矿所反映的成矿流体为岩浆水和建造水的混合流体,因而可以认为柞山地区与金属矿床形成有关的隐伏岩体可能是壳源的(下地壳),它的作用是提供驱动力和直接提供岩浆流体(包括气体和岩浆水)参与成矿。

表 2 柞山地区穆家庄铜矿及相邻矿床成矿流体氢氧同位素组成

矿区	样号	采样位置	岩性或寄主矿物	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$ (SMOW)	$\delta\text{D}/\text{‰}$	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$	资料来源
桐木沟	TM105	1237	矿石中石英	19.46	-92	200	7.75	[16]
	TM111	1287	矿体燧石	20.46	-107.6	200	8.75	[16]
	13TW12	1237/14L	条带状矿石中石英	17.82	-86.7	180	4.75	本文
	TMG9	1173/8L	块状矿石中石英	19.14	-80.6	220	8.63	本文
	TB10	1237	块状矿石中石英	20.1	-80	200	8.39	本文
	13TW51	TC9	地层中燧石	18.19	-111.9	106 *	-0.03	本文
穆家庄	mx1	926 中段	块状矿石中的石英	18.2	-68	240	8.76	本文
	mxsd8	926 中段	角砾状富矿石中石英	18.6	-69	220	8.09	本文
	mxsd9	926 中段	石英铁白云石铜矿脉中的石英	18.8	-64	210	7.71	本文
	zhy61	965 中段	团块状矿石中的石英	19.1	-78	200	7.39	本文

本文样品有中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室万德芳测试,质谱仪型号:MAT251EM;分析方法:BrF₅ 法;采用标准:SMOW;分析精度:±0.2‰;表中矿物-水的计算公式采用:△石英-水=3.38×10⁶/T²-3.4 (Clayton, 1972);△燧石-水=3.09×10⁶/T²-3.29 (Knauth, 1976)。

5 结 论

- 1) 沉积岩容矿的金属矿床的成矿作用一直存在着沉积成因的或改造成因之争,对其成矿流体来源的认识也一直存在争议,黄铁矿流体包裹体 He-Ar 同位素示踪可以为探讨这类矿床的成矿流体提供新的依据。
- 2) 穆家庄铜矿床矿石矿物黄铁矿流体包裹体的³He/⁴He 比值为 0.230~0.635R/Ra,与地壳流体

- 的比值在相同的数量级上。
- 3) 穆家庄铜矿成矿流体的⁴⁰Ar/³⁶Ar 比值为 377~569,平均 470,显然偏离大气氩的同位素组成。穆家庄铜矿成矿流体的⁴⁰Ar/⁴He 比值为 0.09~0.23,平均值为 0.164,比值接近地壳。根据以上分析,柞山地区的穆家庄铜矿床的成矿流体是壳源的。
- 4) 黄铁矿流体包裹体 He-Ar 同位素示踪研究表明成矿流体主要来自于有岩浆流体参与的壳源建

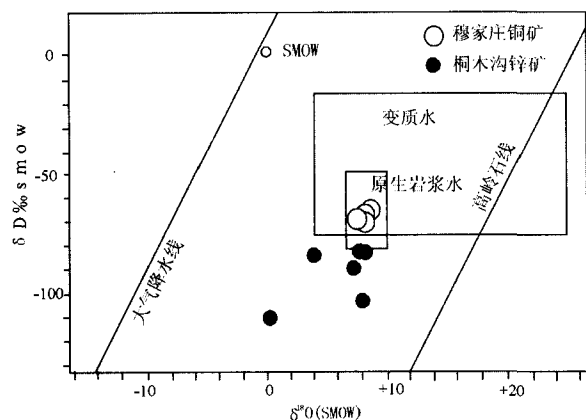


图4 柞山地区穆家庄铜矿、桐木沟锌矿氢氧同位素图解
(据张理刚,1989)

造水。流体包裹体惰性气体元素示踪显示穆家庄铜矿的成矿流体为岩浆水,可能有部分建造水参与。

5) 氢氧同位素分析表明穆家庄铜矿的氢氧同位素则落入原生岩浆水范围内,表明穆家庄铜矿的成矿流体为岩浆水。

6) 流体包裹体的 He - Ar、H - O 等多元同位素制约有助于更准确地认识成矿流体的来源;同时也要重视地质环境的制约作用。

[参考文献]

- [1] 王相,等. 秦岭造山与金属成矿[M]. 冶金工业出版社, 1996.
- [2] 祁思敏、李英,等. 秦岭泥盆系铅锌成矿带[M]. 地质出版社, 1993.
- [3] 王集磊、何伯堉,等. 中国秦岭型铅锌矿床[M]. 地质出版社, 1996.
- [4] 王俊发、张复新,等. 秦岭泥盆系层控金属矿床[M]. 陕西科学技术出版社, 1991.
- [5] 卢纪英、李作华,等. 秦岭板块型金矿床[M]. 陕西: 西北大学出版社, 2001.
- [6] 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.
- [7] 柳淼. 李坝金矿床地质特征[A]. 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
- [8] 樊硕诚、金勤海. 1994, 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
- [9] 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
- [10] 梅友松、汪东波、黄浩,等. 同位成矿概论[J]. 地质与勘探, 1995, 31(5): 3 ~ 8.
- [11] 朱华平、张蓉、郭健,等. 秦岭沉积岩容矿金矿类型、控矿条件及找矿方向[J]. 地质与勘探, 1999, 35(5): 9 ~ 12.
- [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
- [13] Stuart F M, Bunard P G, Taylor R P et al. Resolving mantle and crustal contributions to ancient hydrothermal fluids: He - Ar isotopes in fluid inclusions from Dae Hwa W - Mo mineralization [M]. south Korea. 1995.
- [14] Dunai T, Touret JRL. Helium, neon and argon isotope systematics of European Lithospheric mantle xenoliths: implications for its geochemical evolution [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1995, 59: 2767 ~ 2783.
- [15] 胡瑞忠、毕献武、Turner G,等. 马厂箐矿床黄铁矿流体包裹体 He - Ar 同位素体系[J]. 中国科学(D 辑), 1997, 27: 503 ~ 508.
- [16] 杨志华,等. 边缘转换盆地的构造岩相与成矿[M]. 北京: 科学出版社, 1991.

He - Ar, H - O ISOTOPES TRACING FOR ORE - FORMING FLUIDS IN THE MUJIAZHUANG COPPER DEPOSIT

ZHU Hua - ping¹, ZHANG De - quan², ZHANG Han - cheng³, SHE Hong - quan², FENG Cheng - you², LI Hong¹

(1. Northwest Geological Institute of Nonferrous Metals, Xi'an 710054;

2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

3. Guangzhou Institute of Geochemistry, China Academy of Sciences, Guangzhou 510640)

Abstract: Mujiashuang copper deposit is a newly found middle scale deposit the southern Qinling Devonian metallogenic belt. The ore bodies were controlled by fracture zones in stratum layer, and ores are located in ankerite - quartz - pyrite - chalcopyrite veins. Ore - forming fluids and ore genesis are discussed through analyses of He - Ar isotopes of pyrite in ores and H - O isotopes composition of fluid inclusions. ³He/⁴He ration of fluids in the Mujiashuang copper deposit is 0.322 ~ 0.889 R/Ra (under 1.0 R/Ra). This value is smaller than the mantle fluids and is almost near to the crust fluids. ⁴⁰Ar/³⁶Ar ration of fluids is 377 ~ 569 with average 470, far away from Ar isotopes composition of atmosphere. ⁴⁰Ar/⁴He ration of fluids is 0.09 ~ 0.23 with average 0.164, equal nearly to crust's or lower than crust's fluids. He - Ar isotope composition shows ore - bearing fluids came from crust. H - O isotopes composition of fluid inclusion in quartz shows that the ore - forming fluids came from magma water.

Key words: He - Ar isotopes, H - O isotopes, Mujiashuang copper deposit, Zhashan area, Qinling