

河南省新县大银尖钼矿床同位素地球化学研究

徐兆文¹⁾, 刘苏明¹⁾, 陈伟¹⁾, 左昌虎¹⁾, 李红超¹⁾, 杨小男²⁾, 王浩¹⁾, 杨青原¹⁾

1) 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 南京大学地球科学与工程学院, 南京, 210093;

2) 中国地质博物馆, 北京, 100034

内容提要:在详细的野外地质工作基础上, 本文测定了河南省新县大银尖钼矿床的矿石硫、铅同位素, 含矿石英脉中石英的氧同位素、石英中包裹体的氢同位素组成, 以及辉钼矿的铼含量, 参照前人的研究成果, 探讨大银尖钼矿床成矿物质来源和形成机制。矿石硫同位素 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 介于 $3.90\text{‰} \sim 10.70\text{‰}$ 之间, 均值为 7.44‰ 。矿石铅同位素 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ 介于 $17.0411 \sim 17.3188$ 之间, 均值为 17.1388 ; $n(^{207}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ 介于 $15.3968 \sim 15.4166$ 之间, 均值为 15.4041 ; $n(^{208}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ 介于 $37.7322 \sim 38.2360$ 之间, 均值为 37.9100 。含矿石英脉中石英的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 值在 $11.20\text{‰} \sim 13.20\text{‰}$ 之间, 均值为 11.90‰ ; 石英中包裹体的 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 介于 $-79.00\text{‰} \sim -76.90\text{‰}$ 之间, 均值为 -78.28‰ ; 利用流体包裹体均一温度的平均值和 Clayton 平衡分馏方程计算与石英平衡共存流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O, SMOW}}$ 介于 $-0.26\text{‰} \sim 3.70\text{‰}$ 之间, 均值为 1.82‰ 。辉钼矿中的 Re 含量介于 $8.28 \times 10^{-6} \sim 54.74 \times 10^{-6}$ 之间。矿石硫同位素组成研究表明成矿物质与岩浆作用有关, 但混有地壳物质。铅同位素组成和辉钼矿的铼含量研究表明, 大银尖钼矿床的成矿物质主要来自地壳。含矿石英脉的氢和氧同位素组成研究显示, 氧同位素飘离岩浆水范围, 表明成矿流体早期为岩浆水, 晚期混入大气降水, 也进一步证实混合作用是大银尖钼矿形成的一种重要机制。

关键词: 同位素; 成矿物质; 成矿机制; 钼矿床; 河南新县

近年来, 西大别地区相继发现了肖畈、母山、千鹅冲、宝安寨、大银尖和汤家坪等钼矿床 (郭铁朋, 2007; 邱顺才, 2006a, b; 杨泽强, 2007a, b; 魏国庆等, 2010; 杨梅珍, 2011), 与西部东秦岭钼成矿带相连, 构成了中国最大的钼成矿省。这些钼矿床的形成都与早白垩世花岗岩密切相关, 因此引起了众多地质工作者的广泛关注。但从整个大别造山带的地质研究程度来看, 西大别地区相对较为薄弱, 前人的研究工作主要侧重于陆-陆碰撞造山、高压-超高压变质作用的区域性热点问题 (Hacker et al., 1998; Liu Fulai et al., 2004), 而对研究区内新近发现的钼矿床, 以及与钼矿相关的早白垩世花岗岩关注不够。尽管, 近年来有学者开始关注西大别地区钼矿床, 并开展一些相关的研究工作 (杨泽强, 2007a, b; 魏国庆等, 2010; 杨梅珍, 2010, 2011; 李红超等, 2011), 但这些研究工作仍停留在一般性基础地质方面的研究, 虽然获取了一些钼矿床辉钼矿的 Re-Os 年龄 (杨泽强, 2009; 罗正传等, 2010; 杨梅珍等, 2010,

2011; Li Hongchao et al., 2012) 和相关花岗岩锆石的 U-Pb 年龄 (魏国庆等, 2010; 杨梅珍等, 2010, 2011; Li Hongchao et al., 2012), 但仅凭辉钼矿的 Re-Os 年龄和锆石的 U-Pb 年龄还不足以很好地讨论钼矿床的成因, 尤其是成矿物质来源, 成矿与构造及成岩关系等问题。本文以河南新县大银尖钼矿床为研究对象, 在详细的野外地质工作基础上, 运用同位素地球化学方法, 通过钼矿床的矿石硫、铅同位素, 含矿石英脉中石英的氧同位素、石英中包裹体的氢同位素, 辉钼矿的铼含量等方面综合研究, 并结合前人的研究成果, 探讨了大银尖钼矿床的成矿物质来源和形成机制。

1 地质背景

大银尖钼 (钨) 矿床位于河南省新县千斤镇南约 2km, 处于大别造山带西段, 是大别多金属成矿带近年来取得较大勘探进展的典型矿床之一, 据初步估算, 钼金属储量已达到中型矿床规模。此外, 矿床

注: 本文为国家自然科学基金资助项目 (批准号 40973030) 的成果。

收稿日期: 2012-12-15; 改回日期: 2013-06-25; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 徐兆文, 男, 1950 年生。教授, 博士生导师。主要从事与花岗岩、火山岩有关矿床研究。通讯地址: 210093, 江苏省南京市汉口路 22 号南京大学地球科学与工程学院; Email: xzwen@nju.edu.cn。

中还伴有可综合利用的钨和铜资源(中化矿山地质总局河南地质勘查院^①)。目前矿床还在进一步勘探中,矿床规模有望获得新的突破。

1.1 矿区地质概况

矿区出露地层主要有中元古界浒湾组(Pt_2h),下元古界七角山组(Pt_1q)。浒湾组分布于矿区中到北部(图 1),与七角山组呈断层接触,岩性分上下两段:上段岩性段主要为二云母斜长混合片麻岩、混合片麻岩、白云母斜长片麻岩;下段岩性段主要为黑云

母角闪石斜长片麻岩、黑云母斜长片麻岩、二云母斜长混合片麻岩、混合片麻岩、白云母斜长片麻岩。七角山组分布于矿区中到南部,岩性主要为白云母斜长混合片麻岩、眼球状片麻岩、角闪石斜长片麻岩。断裂构造发育,主要呈北西向、北东向和近南北向展布。火成岩主要出露有早白垩世二长花岗岩,以及花岗斑岩脉等(中化矿山地质总局河南地质勘查院^①),与钨矿化有关岩浆岩为早白垩世二长花岗

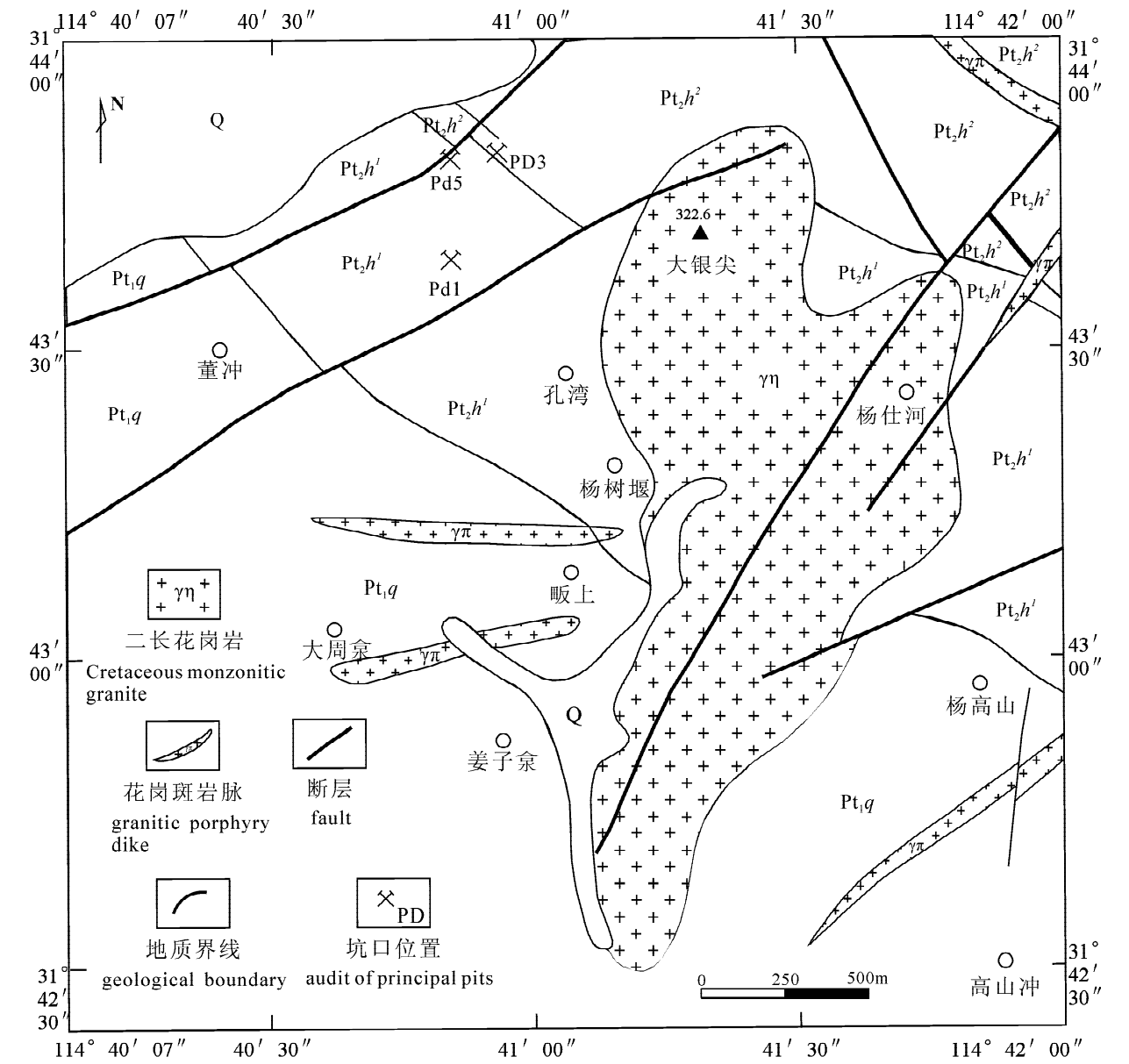


图 1 大银尖矿区地质简图(据 Li Hongchao 等, 2012)

Fig. 1 Geological sketch map of the Dayinjian orefield, Xinxian County, western Dabie Mountains
(after Li Hongchao et al. , 2012)

Q—第四系;中元古界浒湾组: Pt_2h^2 —上岩性段, Pt_2h^1 —下岩性段; Pt_1q —古元古界七角山组
Q—Quaternary; The Mesoproterozoic Huwan Formation: Pt_2h^2 —upper member, Pt_2h^1 —lower member; Pt_1q —Paleoproterozoic Qijiaoshan Formation

岩。

1.2 矿床地质特征

矿体主要赋存于大银尖岩体北西部的内外接触带内,地表可见表生氧化露头,工业矿体埋深于 20 ~ 30 m 以下。现已控制矿体 8 个,矿体规模变化大,长 150 ~ 480m,延深 180 ~ 450m,厚 1.10 ~ 8.28m,最厚约 78.70m,平均 4.60m。钼品位为 0.02% ~ 0.15%,平均 0.10%,储量可达中型钼矿床规模。矿体主要呈脉状、透镜状、似层状。矿石矿物主要为辉钼矿、黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿,局部见白钨矿;氧化矿物主要为钼华、蓝铜矿、孔雀石、褐铁矿、黄钾铁矾等。内接触带矿石的脉石矿物主要为斜长石、钾长石、黑云母、石英、绿泥石、绢云母,接触带矿石的脉石矿物主要为石榴子石、透辉石、绿泥石、绿帘石、萤石等。矿石结构主要为自形一半自形粒状结构、乳滴状结构和交代结构等,矿石构造主要为浸染状构造、细脉—细脉浸染状构造、脉状构造和角砾状构造等。矿石类型主要为含辉钼矿矽卡岩型矿石、含辉钼矿石英脉型矿石、含辉钼矿角砾岩型矿石和含辉钼矿花岗岩型矿石。围岩蚀变主要为矽卡岩化、钾化、硅化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化等(中化矿山地质总局河南地质勘察院^①)。

2 样品和分析方法

2.1 样品采集和加工

用于本次测试的样品采自大银尖钼矿床 PD3 和 PD5 平巷内,以及露天采场的矿体,矿石类型主要有含辉钼矿矽卡岩型矿石、含辉钼矿石英脉型矿石、含辉钼矿角砾岩型矿石和含辉钼矿花岗岩型矿石。样品经粉碎后,过筛至 60 和 80 目,在双目显微镜下挑选获得。其中用于 S 和 Pb 同位素分析的单矿物分别为黄铁矿、辉钼矿单矿物,用于 H 和 O 同位素分析的单矿物为石英,用于 Re 含量分析的单矿物为辉钼矿,所有单矿物纯度在 99% 以上。

2.2 分析方法

矿石硫同位素在中国地质科学院矿产资源研究所同位素室完成,以 Cu₂O 做氧化剂制备测试样品,用 MAT-251 质谱仪测定,采用 V-CDT 国际标准,相对误差小于 ± 0.2%。矿石铅同位素在内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室热电离质谱仪(TIMS)上完成。Pb 同位素采用二次蒸馏纯化的浓硝酸和盐酸混合酸溶样方法溶样,用超纯氢溴酸和阴离子交换树脂(BioRad AG1-X8, 100 ~ 200 目)将 Pb 分离纯化出来。采用传统的硅胶和磷酸法将样

品涂在 Re 金属带上,用 Finnigan 公司的 Triton TI 型表面热电离质谱仪(TIMS)进行铅同位素比值测试。严格控制实验条件,使样品和铅同位素国际标准样(NIST Pb-981)在相近温度条件(约 1250℃)、相近离子流强度下测量。所有样品的铅同位素比值通过监控的国际标样 NIST Pb-981 进行了质量分馏校正(Todt et al., 1996)。通过标样和某些样品的多次测量结果表明,本次研究所获得的铅同位素比值分析相对误差小于 0.05%。氢、氧同位素测试在核工业北京地质研究院分析测试研究中心质谱仪上完成,氢同位素测试先对单矿物石英样品清洗,去除吸附水和次生包裹体,再通过加热爆裂法(400℃)提取原生流体包裹体中的 H₂O,并与金属锌反应生成 H₂,然后在 MAT-251 EM 型质谱仪上测定 δD 值,分析相对误差为 ± 3‰。O 同位素分析采用 BrF₅法提取矿物氧(Clayton et al., 1963),并在 MAT-252 型质谱仪上测定 δ¹⁸O 值,分析相对误差为 ± 0.2‰。Re 含量测试在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室 ICP-MS 上完成,Re-Os 化学分离流程及测试见杜安道等(1994),Shirey(1995),Stein 等(1997),Markey 等(1998),Mao Jingwen 等(1999, 2008),Du Andao 等(2004)。

3 分析结果

3.1 矿石硫同位素

矿石硫同位素测试显示(表 1),大银尖钼矿床的矿石 δ³⁴S_{V-CDT} 介于 3.90‰ ~ 10.70‰ 之间,均值为 7.44‰;其中黄铁矿 δ³⁴S_{V-CDT} 为 3.90‰ ~ 7.00‰,极差为 3.10‰,均值为 6.12‰,辉钼矿 δ³⁴S_{V-CDT} 为 8.50‰ ~ 10.70‰,极差为 2.20‰,均值为 9.43‰。

3.2 矿石铅同位素

大银尖钼矿床矿石矿物的铅同位素组成列于表 2 中,由表可以看出 n(²⁰⁶Pb)/n(²⁰⁴Pb) 比值介于 17.0411 ~ 17.3188 之间,均值为 17.1388;n(²⁰⁷Pb)/n(²⁰⁴Pb) 比值介于 15.3968 ~ 15.4166 之间,均值为 15.4041;n(²⁰⁸Pb)/n(²⁰⁴Pb) 比值介于 37.7322 ~ 38.2360 之间,均值为 37.9100。表明大银尖钼矿床的矿石铅相对比较稳定。

3.3 氢、氧同位素

大银尖钼矿床含石英脉中石英的氧同位素、石英中包裹体的氢同位素分析显示(表 3),δ¹⁸O_{SMOW} 值在 11.20‰ ~ 13.20‰ 之间,均值为 11.90‰;δD_{SMOW} 介于 -79.00‰ ~ -76.90‰ 之间,均值为 -78.28‰;利用流体包裹体均一温度的平均值及

Clayton 平衡分馏方程计算与石英平衡共存的流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O},\text{SMOW}}$ 值,计算的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O},\text{SMOW}}$ 值和石英中的流体包裹体水的 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 测定值,可以代表了石英圈闭时成矿流体的氢、氧同位素组成。计算获得大银尖钼矿含矿石英的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O},\text{SMOW}}$ 值介于 $-0.76\text{‰} \sim 3.70\text{‰}$ 之间,均值为 1.82‰ 。

3.4 辉钼矿 Re 含量

大银尖钼矿床辉钼矿中的 Re 含量分析结果列于表 4,由表可见辉钼矿的 Re 含量介于 8.28×10^{-6}

$\sim 54.74 \times 10^{-6}$ 之间,表明大银尖钼矿床的辉钼矿 Re 含量偏低,但从数据分布范围可看出,大银尖辉钼矿中 Re 含量大致可分为两组,低组为 $8.28 \times 10^{-6} \sim 12.420 \times 10^{-6}$,高组 $33.75 \times 10^{-6} \sim 54.74 \times 10^{-6}$ 。

4 矿石同位素和铼含量示踪

4.1 硫同位素示踪

在热力学平衡条件下,硫化物矿物的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$

表 1 大银尖钼矿床矿石矿物硫同位素组成

Table 1 Sulfur isotopic compositions of ore minerals from the Dayinjian Mo deposit

序号	样 号	产 状	矿物	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}(\text{‰})$	位置
1	X03	黄铁矿化花岗岩	黄铁矿	6.60	大银尖
2	X05	辉钼矿—黄铁矿—石英脉	黄铁矿	6.90	大银尖
3	X08	辉钼矿—黄铁矿—石英脉	黄铁矿	3.90	大银尖
4	X10	黄铁矿—石英脉	黄铁矿	5.40	大银尖
5	X11	辉钼矿—黄铁矿—石英脉	黄铁矿	7.00	大银尖
6	X12-3	辉钼矿—黄铁矿—石英脉	黄铁矿	6.90	大银尖
7	X01	辉钼矿—黄铁矿—石英脉	辉钼矿	8.80	大银尖
8	X02	辉钼矿—石英脉	辉钼矿	9.70	大银尖
9	X11	辉钼矿—黄铁矿—石英脉	辉钼矿	10.70	大银尖
10	X12-3	辉钼矿—黄铁矿—石英脉	辉钼矿	8.50	大银尖
11	XY-32-2	绿帘石夕卡岩矿石	黄铁矿	6.27	大银尖
12	XY-32-2	绿帘石夕卡岩矿石	辉钼矿	5.26	大银尖
13	XY-32-1	石榴子石夕卡岩矿石	辉钼矿	5.38	大银尖
14	XY-26	岩体中辉钼矿—石英脉	黄铁矿	6.30	大银尖
15	B0903	含辉钼矿花岗岩	辉钼矿	5.10	宝安寨
16	B18	含辉钼矿花岗岩	辉钼矿	3.30	宝安寨
17	BZ-2	辉钼矿—石英脉	辉钼矿	3.20	宝安寨

注:中国地质科学院矿产资源研究所测试,11~14 资料来自杨梅珍等(2011)。

表 2 大银尖钼矿床矿石矿物铅同位素组成

Table 2 Lead isotopic compositions of ore minerals from the Dayinjian Mo deposit

序号	样 号	产 状	矿物	$n(^{206}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$	$n(^{207}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$	$n(^{208}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$	位置
1	X05	辉钼矿—黄铁矿—石英脉	黄铁矿	17.3188	15.4166	37.7619	大银尖
2	X01	辉钼矿—黄铁矿—石英脉	辉钼矿	17.0566	15.3988	37.7322	大银尖
3	X11	辉钼矿—黄铁矿—石英脉	辉钼矿	17.0411	15.3968	38.2360	大银尖
4	XY-32-1	石榴子石—辉钼矿夕卡岩	辉钼矿	16.732	15.206	37.271	大银尖
5	XY-32-2	绿帘石—辉钼矿夕卡岩	黄铁矿	16.876	15.315	37.525	大银尖
6	XY-21	辉钼矿—黄铁矿石英脉	黄铁矿	16.864	15.321	37.598	大银尖
7	B0900	含辉钼矿花岗岩	辉钼矿	16.592	15.300	37.419	宝安寨
8	B0901	含辉钼矿花岗岩	辉钼矿	16.620	15.330	37.517	宝安寨
9	B0905	含辉钼矿花岗岩	辉钼矿	17.144	15.390	37.787	宝安寨
10	BAZ-01	含辉钼矿—黄铁矿角砾岩	黄铁矿	17.107	15.380	37.684	宝安寨
11	BAZ-03	辉钼矿—石英脉	黄铁矿	17.674	15.476	37.911	宝安寨
12	X0805	花岗岩	全岩	17.505	15.513	38.262	大银尖
13	X0807	花岗岩	全岩	17.261	15.430	37.960	大银尖
14	X0827	花岗岩	全岩	17.486	15.415	37.968	大银尖
15	X0828	花岗岩	全岩	17.280	15.402	38.029	大银尖

注:1~3 由内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室分析,7~11 由核工业北京地质研究院分析测试研究中心分析。4~6 来自杨梅珍等(2011),7~11 来自陈伟等(另文发表),12~15 来自 Li hongchao et al. (2012)。

特征是黄铁矿 < 辉钼矿 (陈骏等,2004),表明二者的硫同位素达到平衡状态。大银尖钼矿床中的黄铁矿与辉钼矿的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 符合这一特征,说明硫同位素已达到平衡。大银尖钼矿床矿石 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 主要集中于 $6\text{‰} \sim 7\text{‰}$ 之间,与杨梅珍等(2010)分析结果大致相近(表 1)。参照宝安寨钼矿床矿石硫研究结果,新县地区钼矿床的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 频数直方图塔式效应明显(图 3),说明硫比较均一,推测矿石硫可能主要来自岩浆。此外,花岗岩体内产出的细粒浸染状黄铁矿(样号 X03)与矿化石英脉中的黄铁矿具有相同的硫同位素组成,表明两者具有统一的物质源区,当然这可能还需要更多的数据支撑。与北秦岭秋树湾铜钼矿床和大别造山带汤家坪钼矿床比较,前者 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 峰值区间为 $0\text{‰} \sim 2.0\text{‰}$ (郭保健等,2006),后者为 $3.0\text{‰} \sim 3.9\text{‰}$,显示它们都已偏离 0 值范围,说明矿床中的矿石硫可能都经历了地壳物质的混染;而大银尖钼矿床矿石 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 集中于 $6\text{‰} \sim 7\text{‰}$ 之间,由此可以推断地壳物质混染程度相对更高。

4. 2 铅同位素示踪

矿物中不含 U、Th,或 U、Th 含量极低,与矿物中的铅含量相比可忽略不计,矿物形成后不再有放射性成因铅的明显加入,因此可直接用来反映矿物结晶时的初始铅同位素组成特征(吴开兴等,2002; Wang Qiang et al., 2006)。大银尖钼矿床和宝安寨钼矿床的矿石铅,以及与其相关的花岗岩全岩铅同位素比值大致相近,表明大银尖钼矿床的矿石铅和花岗岩的铅具有相同的来源。在 $n(^{207}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb}) - n(^{206}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ (图 3a) 和 $n(^{208}\text{Pb})/$

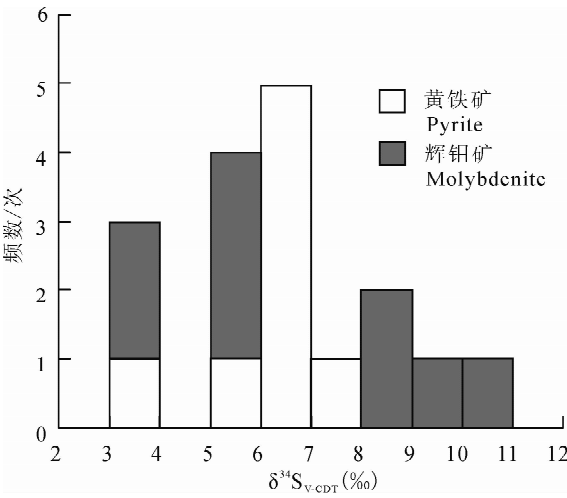


图 2 新县地区钼矿床硫同位素组成分布直方图,部分资料来自杨梅珍等(2010)和陈伟等(2012)

Fig. 2 Histogram of sulphur isotopic compositions of ore minerals from Mo deposits of the Xinxian area (Partial datas are from Yang Meizhen et al., 2010 and Chen Wei et al., 2012)

$n(^{204}\text{Pb}) - n(^{206}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ 图中(图 3b),投影点全部落在西大别白垩纪花岗岩范围内(图 3a、b),说明大银尖钼矿床的矿石 Pb 和相关花岗岩全岩 Pb 同位素组成与下地壳熔融成因的西大别白垩纪花岗岩一致,表明矿石 Pb 与花岗岩 Pb 全部来自下地壳,岩性可能类似于新太古代—古元古代大别片麻杂岩(Li Hongchao et al., 2012)。

4. 3 氢、氧同位素示综

Sheppard (1986) 和 Hedenquist 等(1994)研究证实,岩浆水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}, \text{SMOW}}$ 介于 $5.50\text{‰} \sim 9.50\text{‰}$ 之

表 3 大银尖钼矿床含石英英脉中石英的氧同位素、石英中包裹体的氢同位素组成
Table 3 Oxygen isotopic compositions of the quartz and hydrogen isotopic compositions of the inclusions in the quartz from the ore-bearing quartz veins in the Dayinjian Mo deposit

序号	样品号	产状	矿物	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}(\text{‰})$	$\delta\text{D}_{\text{SMOW}}(\text{‰})$	平衡温度(℃)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}, \text{SMOW}}(\text{‰})$	位置
1	X02	辉钼矿—石英脉	石英	11.20	-78.60	221	0.75	大银尖
2	X05	辉钼矿—黄铁矿—石英脉	石英	11.60	-78.80	274	3.70	大银尖
3	X08	辉钼矿—黄铁矿—石英脉	石英	11.60	-76.90	190	-0.76	大银尖
4	X10	黄铁矿—石英脉	石英	11.90	-78.10	251	3.00	大银尖
5	X11	辉钼矿—黄铁矿—石英脉	石英	13.20	-79.00	215	2.42	大银尖
6	B0903	辉钼矿—黄铁矿—石英脉	石英	7.78	-71.00	200	-3.94	宝安寨
7	B0913	辉钼矿—石英脉	石英	7.32	-65.00	202	-4.29	宝安寨
8	B0918	辉钼矿—黄铁矿—石英脉	石英	7.91	-68.00	250	-1.07	宝安寨
9	B20	辉钼矿—黄铁矿—石英脉	石英	5.86	-73.00	216	-4.88	宝安寨
10	B1/8	黄铁矿—石英脉	石英	4.26	-74.00	217	-6.43	宝安寨

注: H 和 O 同位素由核工业北京地质研究院分析测试研究中心分析; 计算所采用的分馏方程为 $1000 \ln \alpha_{\text{石英—水}} = 3.38 \times 10^6 / T^2 - 3.40$ (Clayton et al., 1972), 6 ~ 10 来自陈伟等(2012)。

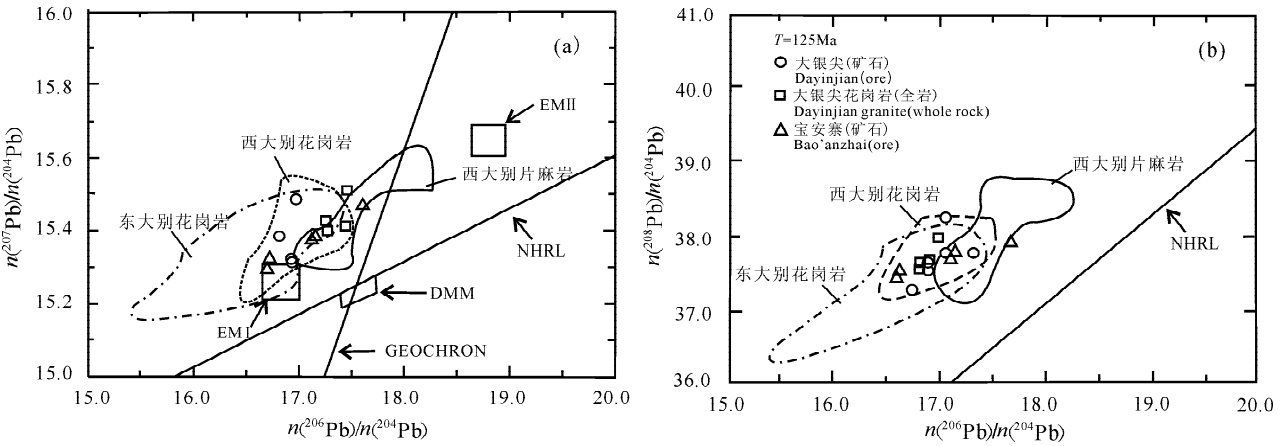


图 3 大银尖钼矿床矿石 $n(^{207}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ — $n(^{206}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ (a) 和 $n(^{208}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ — $n(^{206}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ (b) 图
Fig. 3 Diagram of $n(^{207}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ vs. $n(^{206}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ (a) and $n(^{208}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ vs. $n(^{206}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ (b) of ore from the Dayinjian Mo deposit

西大别白垩纪花岗岩数据来自张理刚等 (1995)、Zhang Hongfu 等 (2004)。东大别白垩纪花岗岩数据来自张理刚等 (1995)、李石等 (1991)。西大别片麻岩数据来自 Zhang Hongfu 等 (2004)、张利等 (2005)。西大别部分矿石资料来自杨梅珍等 (2010) 和陈伟等 (2012)。北半球参考线 (NHRL), 富集地幔 (EMI、EMII), 亏损地幔 (DMM), 地球年龄线据 Rollinson (1993) 和 Wang Qiang 等 (2006)。所有 Pb 同位素比值均校正于 125Ma

Data on the western Dabie Cretaceous granites are taken from Zhang Ligang et al. (1995) and Zhang Hongfu et al. (2004). Data on the eastern Dabie Cretaceous granites are obtained from Zhang Ligang et al. (1995) and Li Shi et al. (1991). Data on the western Dabie orthogneisses are from Zhang Hongfu et al. (2004) and Zhang Li et al. (2005). The Northern Hemisphere Reference line (NHRL), enriched mantle reservoirs (EM I and EM II), depleted mantle member (DMM), and geochron are obtained from Rollinson (1993) and Wang Qiang et al. (2006).

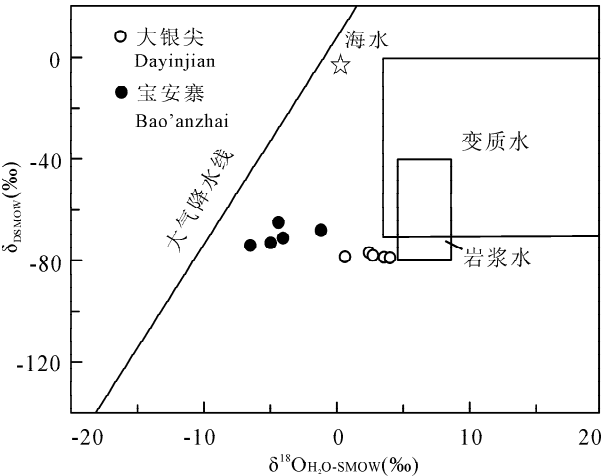


图 4 大银尖钼矿床含矿石英脉中石英及其包裹体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}, \text{SMOW}}$ — $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 图解 (据 Taylor, 1979)
Fig. 4 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}, \text{SMOW}}$ vs. $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ diagram for the quartz and its inclusions from the ore-bearing quartz veins in the Dayinjian Mo deposit (after Taylor, 1979)

间, $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ 介于 -80‰ ~ -40‰ 之间, 参照陈伟等 (2012) 宝安寨钼矿床的氢—氧同位素研究结果可以看出 (表 3), 大银尖和宝安寨钼矿床的成矿流体

的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}, \text{SMOW}}$ 值全部低于 Sheppard (1986) 和 Hedenquist 等 (1994) 厘定的岩浆水范围值。在 $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$ — $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}, \text{SMOW}}$ 关系图上 (图 4), 投影点全部落在岩浆水范围之外, 与现代大气降水线相交, 表现出典型的氧同位素飘移现象, 呈现出成矿流体演化过程中大气降水加入混合的结果 (郑永飞等, 2000)。但与宝安寨钼矿床相比, 大银尖钼矿床氧同位素的大气降水混入量相对要低。以上氢氧同位素示踪结果证实大银尖钼矿床的成矿流体早期以岩浆水为主, 后期混入大气降水。说明岩浆水和大气降水混合作用是大银尖钼矿形成的一种重要机制。

4.4 辉钼矿的铼含量

辉钼矿的 Re 含量与形成条件的关系, Ishihara (1988) 和 Berzina 等 (2005) 研究认为, 自然界中的 Re 主要富集于地幔中。因此, 使得根据 Re 的含量推断物质来源具有一定的参考价值。从幔源—壳幔混源一到壳源, 辉钼矿中的 Re 含量各递降一个数量级 (毛景文等, 1999; 周珂等, 2009; 李厚民等, 2009)。但这种论点的争论较大 (代军治等, 2007)。这里, 以西大别钼矿带已有的辉钼矿中 Re 含量的统计数据为基础, 试述其对钼矿成因的示踪意义。西大别地区钼矿床辉钼矿中的 Re 含量介于 $1.39 \times$

$10^{-6} \sim 54.74 \times 10^{-6}$ 之间(表 4,图 5)。其中大银尖钼矿床 Re 含量为 $8.28 \times 10^{-6} \sim 54.75 \times 10^{-6}$, 宝安寨钼矿床 Re 含量为 $5.69 \times 10^{-6} \sim 10.97 \times 10^{-6}$ (Chen Wei et al., 2013), 千鹅冲钼矿床 Re 含量为 $15.46 \times 10^{-6} \sim 18.57 \times 10^{-6}$ (杨梅珍等, 2010), 汤家坪钼矿床 Re 含量为 $4.45 \times 10^{-6} \sim 11.94 \times 10^{-6}$ (杨泽强, 2007a), 天目沟钼矿床 Re 含量为 1.39×10^{-6} (杨泽强, 2007a)。由此可以看出, 除大银尖辉钼矿的 Re 含量可分成两组外, 其它钼矿床的辉钼矿 Re 含量都比较低: 大银尖钼矿床低组含量 ($8.28 \times 10^{-6} \sim 12.42 \times 10^{-6}$) 与宝安寨、千鹅冲、汤家坪和天目沟钼矿床辉钼矿的 Re 含量接近 ($1.39 \times 10^{-6} \sim 18.57 \times 10^{-6}$, 郭保健等, 2006; 杨泽强, 2007a; 杨梅珍等, 2010), 高组含量 ($22.48 \times 10^{-6} \sim 54.74 \times 10^{-6}$) 与华北克拉通南缘的南泥湖、上房沟、东沟、雷门沟等钼矿床的 Re 含量 $16.13 \times 10^{-6} \sim 28.09 \times 10^{-6}$ 接近 (郭保健等, 2006), 但与幔源有关的华北克拉通南

缘黄龙铺钼矿床辉钼矿中 Re 的含量为 342×10^{-6} 相去甚远 (代军治等, 2007; Mao Jingwen et al., 1999)。

所以, 辉钼矿中 Re 含量反映大银尖钼矿床和新县地区钼矿床, 乃至大别钼矿带中钼的成矿物质主要来自壳源, 与硫、铅同位素的示踪结果是一致的。而大银尖钼矿床 Re 部分含量之所以略微偏高, 很可能与 Cu/Mo 比值较高有关。Berzina 等 (2005) 对世界上主要铜钼矿床和钼铜矿床的 Re 含量统计后发现, 辉钼矿中的 Re 含量主要受矿床的 Cu/Mo 比值的影响, 铜钼矿床的辉钼矿中 Re 含量要大于独立钼矿床辉钼矿的 Re 含量。即 Re 含量的差异可能主要是由含矿主岩造成的, 反映了两种矿床形成的物理化学条件存在差异。大银尖钼矿床相对于汤家坪和天目沟钼矿床, 伴生有铜和钨矿产, 提交有铜资源储量, 因此大银尖钼矿床中的辉钼矿 Re 含量相对周边钼矿床的辉钼矿略微高些 (图 5)。

表 4 大银尖及周边地区钼矿床的辉钼矿 Re 含量 ($\times 10^{-6}$)

Table 4 Re analysis of molybdenite from Mo deposits of the Dayinjian and Xinxian County roudand area ($\times 10^{-6}$)

矿床	大银尖		宝安寨		千鹅冲		汤家坪		天目沟	
序号	样号	Re	样号	Re	样号	Re	样号	Re	样号	Re
1	X0817	52. 59	B0902	5. 82	Zk402-1	15. 46	T-CN-1	5. 96	Yt-CN-1	1. 39
2	QJ0802	41. 15	B0901	6. 26	Zk402-1	18. 14	T-CN-2	4. 45		
3	X0834	12. 42	B0903	10. 97	Zk002-2	18. 57	T-CN-3	10. 81		
4	X0835	8. 28	B0921	8. 09	Zk402quc	17. 44	T-CN-4	6. 56		
5	X0846	33. 75	BM018	5. 69			T-CN-5	11. 94		
6	X0853	54. 74	BZ0901	9. 97						
7	X0854	43. 30								
8	DYJ-1	44. 07								
9	DYJ-6	46. 95								
10	DYJ-13	22. 48								
11	DYJ-14	22. 04								

注: 大银尖 8 ~ 11 资料来自罗正传等 (2010), 宝安寨资料来自 Chen Wei 等 (2013), 千鹅冲资料来自杨梅珍等 (2010), 汤家坪和天目沟资料来自杨泽强 (2007a)。

表 5 新县及周边地区钼矿床辉钼矿 Re-Os 年龄和相关花岗岩锆石 U-Pb 年龄

Table 5 Molybdenite Re-Os and zircon U-Pb dinting of Mo orefield from the Xinxian county and surrounding areas

序号	矿床名称	矿床类型	辉钼矿		相关岩浆岩锆石		资料来源
			分析方法	年龄 (Ma)	分析方法	年龄 (Ma)	
1	汤家坪	钼矿床	Re-Os	113.1 $\pm$ 7.90	U-Pb	121.6 $\pm$ 4.6	杨泽强, 2009; 魏庆国等, 2010 陈伟等, 2012 李红超等, 2012 罗正传等, 2010 杨梅珍等, 2010 杨泽强, 2007
2	宝安寨	钼矿床	Re-Os	122.5 $\pm$ 2.70	U-Pb	123.2 $\pm$ 1.1	
3	大银尖	钼矿床	Re-Os	124.5 $\pm$ 0.67	U-Pb	124.9 $\pm$ 1.3	
4	大银尖	钼矿床	Re-Os	122.4 $\pm$ 7.20			
5	千鹅冲	钼矿床	Re-Os	127.8 $\pm$ 0.87	U-Pb	128.8 $\pm$ 2.6	
6	天目沟	钼矿床	Re-Os	121.6 $\pm$ 1.60			

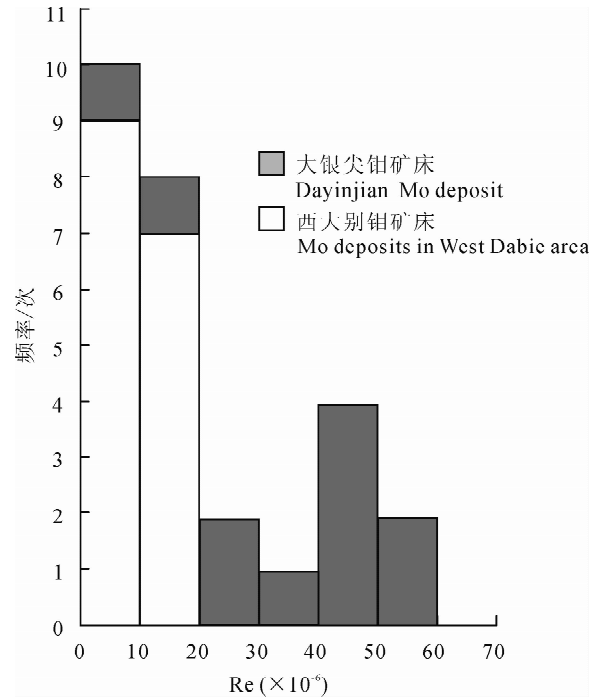


图 5 西大别地区钼矿床辉钼矿中 Re 含量分布直方图
(据 Mao Jingwen 等, 2008 和本文成果)
Fig. 5 Histogram of Re content in molybdenite from Mo deposits of the Xinxian area (Datas are from Mao Jingwen et al., 2008 and this study)

5 成矿物质来源和矿床形成机制

大银尖钼矿床含石英脉中石英包裹体的 H 同位素和矿石矿物的 S 同位素示踪表明,成矿流体和矿石中 S 来自岩浆,矿石矿物的 Pb 同位素示踪和辉钼矿的 Re 含量研究表明 Pb 和 Re 来自地壳。但矿石矿物的 S 偏离 0,表明 S 同位素受到地壳物资混染;含石英脉中石英的 O 同位素飘离岩浆水范围,表明大气降水混合。大银尖花岗岩全岩 Sr—Nd—Pb 同位素组成和锆石原位 Hf 同位素示踪都证实成岩物质来自新太古界至古元古界古老地壳(Li Hongchao et al., 2012),并且全岩 Pb 同位素与矿石 Pb 同位素示踪结果相一致,说明大银尖钼矿床成矿物质与花岗岩具有相同的物质来源,都是来自地壳。新县地区钼矿床的形成无论是从时间上、空间上还是矿化特征上,都与矿区内紧密共生的早白垩世花岗岩相关,如大银尖和宝寨钼矿床与早白垩世花岗岩紧密共生,矿床的辉钼矿 Re-Os 年龄分别为 124.5Ma (Li Hongchao et al., 2012) 和 122.5Ma (Chen Wei et al., 2013),与其相关的花岗岩锆石 U-Pb 年龄分别为 124.9Ma (Li Hongchao et al., 2012)

和 123.2Ma (Chen Wei et al., 2013) (表 4),说明成岩成矿为同时代。这些研究成果与赵子福等 (2009) 大别—苏鲁造山带早白垩世岩浆事件的峰期年龄 125 ~ 130Ma 相一致,基本耦合于大别造山带构造—岩浆—成矿热事件,证明大银尖钼矿床及新县地区钼矿床的形成是大别造山带构造演化—岩浆作用的重要结果。此外,西大别地区 5 个钼矿床的辉钼矿 Re-Os 年龄统计结果介于 113.1 ~ 127.8Ma 之间 (魏庆国等, 2010; 杨梅珍等, 2010; Li Hongchao et al., 2012; Chen Wei et al., 2013),与其相关的 4 个花岗岩锆石 U-Pb 年龄介于 121.6 ~ 128.8Ma 之间,这一时间段也与 Mao Jingwen 等 (2008) 对东秦岭—大别钼矿化带岩浆作用和钼成矿统计的 112 ~ 131Ma 相一致,属于中国东部广为发育的大规模成矿事件的一部分,构成了对区域大规模岩石圈减薄、拆沉的响应。尽管汤家坪钼矿床辉钼矿的 Re-Os 年龄 (7 个点等时线年龄 $113.1 \pm 7.9\text{Ma}$, 杨泽强, 2007a) 略为偏低,天目沟钼矿床辉钼矿的 Re-Os 年龄仅仅为单点年龄,但是这些年龄都与东秦岭—大别造山带内第三期钼矿化较为一致 (Mao Jingwen et al., 2008)。上述研究足以证明,新县乃至西大别地区的钼矿床形成于早白垩世,成矿物质主要来源于下地壳。

早白垩世时 (110 ~ 130Ma), 大别地区下地壳发生广泛的拆沉,伴随着岩石圈伸展减薄,软流圈地幔进一步上涌底侵于下地壳,导致以大别片麻岩为组分的下地壳发生重熔和壳内分异作用,上升侵位的岩浆形成了大银尖二长花岗岩、宝寨碱性花岗岩和汤家坪花岗岩等。岩浆演化成岩过程中形成的成矿流体,在构造减压降温环境下发生沸腾作用,随着大气降水不断注入,以致流体中的成矿物质在适宜的构造部位沉淀成矿,大银尖钼矿床就是在这种环境下形成。

6 结论

- (1) 矿石硫同位素研究表明,大银尖钼矿床的矿石硫同位素值塔式效应明显,但偏离 0,说明矿石中的硫主要来自深部岩浆,可能混有少量地壳物质。
- (2) 含石英脉中石英氧同位素及其包裹体的氢同位素研究显示,大银尖钼矿床成矿的流体早期来自岩浆,后期混入大气降水,混合作用是大银尖钼矿形成的一种重要机制。
- (3) 矿石铅同位素示踪和辉钼矿铼的含量研究结果表明,大银尖钼矿床的成矿物质主要来自地壳。

注 释 / Note

① 中化矿山地质总局河南地质勘察院. 2005. 河南省新县墨斗河矿区钼铜矿普查报告: 1~60.

参 考 文 献 / References

陈骏,王鹤年. 2004. 地球化学. 北京: 科学出版社, 1~418.

陈伟,徐兆文,李红超,陈进全,王少华,王浩. 2012. 河南新县宝安寨钼矿床流体包裹体研究. 南京大学学报(自然科学), 48(6): 710~720.

代军治,毛景文,杜安道,谢桂青,白杰,杨富全,屈文俊. 2007. 辽西肖家营子钼(铁)矿床 Re-Os 年龄及其地质意义. 地质学报, 81(7): 917~923.

杜安道,何红蓼,殷宁万,邹晓秋,孙亚利,孙德忠,陈少珍,屈文俊. 1994. 辉钼矿的铼—钨同位素地质年龄测定方法研究. 地质学报, 68(4): 339~347.

郭保健,毛景文,李厚民,屈文俊,仇建军,叶会寿,李蒙文,竹学丽. 2006. 秦岭造山带秋树湾铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义. 岩石学报, 22(9): 2341~2348.

郭铁朋. 2007. 天目山钼矿区地球化学特征及找矿标志. 物探与化探, 31(4): 309~312.

李红超,徐兆文,陈伟,杨小男,陈进全,王少华. 2011. 河南新县大银尖钼矿床成矿地球化学研究. 矿物学报, 31(增刊): 487~488.

李厚民,叶会寿,王登红,陈毓川,屈文俊,杜安道. 2009. 豫西熊耳山寨凹钼矿床辉钼矿铼—钨年龄及其地质意义. 矿床地质, 28(2): 133~142.

李石,王彤. 1991. 桐柏山—大别山花岗岩类地球化学. 武汉: 中国地质大学出版社, 208.

罗正传,李永峰,王义天,王小高. 2010. 大别山北麓河南新县地区大银尖钼矿床 Re-Os 同位素年龄及其意义. 地质通报, 29(9): 1349~1354.

毛景文,张作衡,张招崇,杨建民,王志良,杜安道. 1999. 北祁连山小柳沟钨矿床中辉钼矿 Re-Os 年龄测定及其意义. 地质论评, 45(4): 412~417.

邱顺才. 2006a. 河南省母山钼矿地质特征及找矿方向. 矿产与地质, 20(4~5): 403~408.

邱顺才. 2006b. 河南大银尖钼钨(铜)矿床地质特征. 矿业快报, 447(8): 62~64.

魏庆国,高昕宇,赵太平,陈伟,杨岳衡. 2010. 大别山北麓汤家坪花岗岩斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年和岩石地球化学特征及其对岩石成因的制约. 岩石学报, 26(5): 1550~1562.

吴开兴,胡瑞忠,毕献武,彭建堂,唐群力. 2002. 矿石铅同位素示踪成矿物质来源综述. 地质地球化学, 30(3): 73~81.

杨梅珍,曾建年,覃永军,李法岭,万守权. 2010. 大别山北缘千鹅冲斑岩型钼矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年代学及其地质意义. 地质科技情报, 29(5): 35~45.

杨梅珍,曾健年,李法岭,潘思东,陆建培,任爱群. 2011. 河南新县大银尖钼矿床成矿作用地球化学及地质意义. 地球学报, 32(3): 279~292.

杨泽强. 2007a. 河南商城县汤家坪钼矿辉钼矿铼—钨同位素年龄及其地质意义. 矿床地质, 26(3): 289~295.

杨泽强. 2007b. 河南省商城县汤家坪钼矿围岩蚀变与成矿. 地质与勘探, 43(5): 17~22.

杨泽强. 2009. 北大别山商城汤家坪富钼花岗岩斑岩体地球化学特征及构造环境. 地质论评, 55(5): 745~752.

张利,宗增球,张宏飞,王林森. 2005. 桐柏—大别造山带高压变质单元岩石 Pb 同位素组成. 地球科学, 30(6): 729~737.

张理刚,刘敬秀,王可法. 1995. 东亚岩石圈块体地质——上地幔、基底和花岗岩同位素地球化学及其地球动力学. 北京: 科学出版社, 252.

赵子福,郑永飞. 2009. 俯冲大陆岩石圈重熔: 大别—苏鲁造山带中生代岩浆岩成因. 中国科学 D 辑: 地球科学, 39(7): 888~909.

郑永飞,陈江峰. 2000. 稳定同位素地球化学. 北京: 科学出版社, 1~316.

郑永飞. 2008. 超高压变质与大陆碰撞研究进展: 以大别—苏鲁造山带为例. 科学通报, 53(18): 2129~2152.

周珂,叶会寿,毛景文,屈文俊,周树峰,孟芳,高亚龙. 2009. 豫西鱼池岭斑岩型钼矿床地质特征及其辉钼矿铼—钨同位素年龄. 矿床地质, 28(2): 170~184.

Berzina A N, Sotnikov V L, Economou-Eliopoulos M, Eliopoulos D C. 2005. Distribution of rhenium in molybdenite from porphyry Cu—Mo and Mo—Cu deposits of Russia (Siberia) and Mongolia. Ore Geology Reviews, 26: 91~113.

Clayton R N, Mayeda T K. 1963. The use of bromine pentafluoride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotopic analysis. Geochimica et Cosmochimica Acta, 27: 43~52.

Clayton R N, O'Neil J R, Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water, Journal of Geophysical Reserach, 77(17), 3057~3067.

Chen Wei, Xu Zhaowen, Lu Xiancai, Yang Xiaonan, Li Hongchao, Qu Wenjun, Chen Jinquan, Wang Hao, Wang Shaohua. 2013. Petrogenesis of the Bao'anzhai granite and associated Mo mineralisation, western Dabie orogen, east-central China: Constraints from zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating, whole-rock geochemistry, and Sr—Nd—Pb—Hf isotopes. International Geology Review (已录用).

Du Andao, Wu Shuqi, Sun Dezhong, Wang Shuxian, Qu Wenjun, Markey R, Stein H, Morgan J, Malinovsky D. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC. Geostandard and Geoanalytical Research, 28(1): 41~52.

Hacker B R, Ratschbacher L W, Ireland L, Walker D, Dong Shuwen. 1998. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling—Dabie orogen, China: Earth and Planetary Science Letters, 161: 215~230.

Hedenquist J W, Lowenstern J B. 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. Nature, 370: 519~527.

Ishihara S. 1988. Rhenium contents of molybdenites in granitoid-series rocks in Japan. Economic Geology, 83(5): 1047~1051.

Li Hongchao, Xu Zhaowen, Lu Xiancai, Chen Wei, Qu Wenjun, Fu Bin, Yang Xiaonan, Yang Jie. 2012. Constraints on timing and origin of the Dayinjian intrusion and associated molybdenum mineralization, western Dabie orogen, central China. International Geology Review, 54(13): 1579~1596.

Liu Fulai, Xu Zhiqing, Liou J G, Song Biao. 2004. SHRIMP U-Pb ages of ultrahigh-pressure and retrograde metamorphism of gneisses, south-western Sulu terrane, eastern China. Journal of Metamorphic Geology, 22: 315~326.

Mao Jingwen, Zhang Zhaochong, Zhang Zuoheng, Du Andao. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W(Mo) deposit in the northern Qilian Mountains and its geological significance. Geochimica et Cosmochimica Acta, 63(11~12): 1815~1818.

Mao Jingwen, Xie Guiqing, Bierlein F, Qu Wenjun, Du Andao, Ye Huishou, Pirajno F, Li Houmin, Guo Baojian, Li Yongfeng, Yang Zeqiang. 2008. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic

- molybdenum deposits in the East Qinling—Dabie orogenic belt. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(18): 4607 ~ 4626.
- Markey R, Stein J H, and Morgan J. 1998. Highly precise Re-Os dating for molybdenite using alkaline fusion and NTIMS. *Talanta*, 45: 935 ~ 946.
- Rollinson H. 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Singapore: Pearson Education Asia (Pte) Ltd., 1 ~ 352.
- Sheppard S M F. 1986. Characterization and isotope variation in natural waters. In: Valley J W, Taylor H P Jr and O'Neil J R. eds. *Stable Isotopes in High Temperature Geological Processes. Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 16: 165 ~ 183.
- Shirey S B, Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis. *Analytical Chemistry*, 67: 2136 ~ 2141.
- Stein H J, Markey R J, Morgan M J, Du Andao, Sun Yali. 1997. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from the East Qinling—Dabie molybdenum belt, Shanxi province, China. *Economic Geology*, 92: 827 ~ 835.
- Todt W, Cliff R A, Hanser A. 1996. Re-calibration of NBS lead standards using a $^{202}\text{Pb} + ^{205}\text{Pb}$ double spike. In: Basu A, Hart S. eds. *Earth Processes: Reading the Isotopic code*, Geophys. Monogra. 95, Washington D C, 429 ~ 437.
- Taylor H P. 1979. Oxygen isotope relationships. In: Barnes H L. ed. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits* (2nd edition). New York: Wiley, 236 ~ 277.
- Wang Qiang, Wyman D A, Xu Jifeng, Zhao Zhenhua, Jian Ping, Xiong Xiaolin, Bao Zhiwei, Bai Zhenhua. 2006. Petrogenesis of Cretaceous adakitic and shoshonitic igneous rocks in the Luzong area, Anhui Province (eastern China): Implications for geodynamics and Cu—Au mineralization. *Lithos*, 89: 424 ~ 446.
- Zhang Hongfu, Zhong Zengqiu, Gao Shan, Zhang Benren, Zhang Li, Hu Shenghong, Hou Qingye. 2004. Pb and Nd isotopic composition of the Jigongshan granite: constraints on crustal structure of Tongbaishan in the middle part of the Qinling—Tongbai—Dabie orogenic belt, Central China. *Lithos*, 73: 215 ~ 227.

An Isotopic Geochemical Study on the Dayinjian Molybdenum Deposit, Xinxian County, Henan Province

XU Zhaowen¹⁾, LIU Suming¹⁾, CHEN Wei¹⁾, ZUO Changhu¹⁾, LI Hongchao¹⁾, YANG Xiaonan²⁾,
WANG Hao¹⁾, YANG Qingyuan¹⁾

1) *State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Nanjing University, Nanjing, 210093;*

2) *Geological Museum of China, Beijing, 100034*

Abstract: After a detailed field geological investigation, writers analysed the sulfur and lead isotopic compositions of the ores, oxygen isotopic compositions of quartz and hydrogen isotopic compositions of the inclusions in the quartz from the ore-bearing quartz veins, and rhenium content of the molybdenite in the Dayinjian molybdenum deposit, Xinxian County, Henan Province; discussed the ore-forming material resource and ore-forming mechanism. The $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ values of the ores range from 3.90‰ to 10.70‰, with an average value of 7.44‰; $n(^{206}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$, $n(^{207}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ and $n(^{208}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ ratios of the ores range from 17.04 to 17.32, 15.40 to 15.42 and 37.73 to 38.24, respectively. The $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$, $\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$, and $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O, SMOW}}$ of the ore-bearing quartz precipitated in the main mineralization stage are 11.20‰ ~ 13.20‰ (with an average 11.90‰), -79.00‰ ~ -76.90‰ (with an average value of -78.28‰), and -0.26‰ ~ 3.70‰ (with an average value of 1.82‰), respectively, which show the characteristics of oxygen isotope drift. The contents of rhenium in the molybdenite range from 8.28×10^{-6} to 54.74×10^{-6} . The sulfur isotopic composition indicates that the ore sulfur mainly came from magma in deep source and contaminated by the crustal substances; lead isotopic composition of ores and rhenium content in the molybdenites showed that ore-forming materials come from the crust; and hydrogen, oxygen isotopic compositions suggests a mixing between magmatic hydrothermal and meteoric water in the late mineralization stage. Therefore, the composite action is proved to be the Dayinjian molybdenum deposit formed an important ore-forming mechanism.

Key words: isotope; ore-forming material; ore-forming mechanism; molybdenum deposit; Xinxian County, Henan Province