

东秦岭南沟钼矿床成岩成矿环境及区域找矿方向^{*}

杜小伟¹, 杨晓勇¹, 卢欣祥², 李文明², 张正伟³, 屈文俊⁴

(1 中国科学技术大学地球与空间科学学院矿产资源研究室, 安徽 合肥 230026; 2 河南省地质科学研究所, 河南 郑州 53000; 3 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 4 国家地质实验测试中心, 北京 100037)

东秦岭是我国最重要的大型钼矿分布区之一, 也是仅次于美国西部 Climax-Henderson 斑岩钼矿带的全球第二大钼矿带 (李永峰等, 2005)。该钼矿带北以三岔断裂为界, 南至商丹断裂, 西起陕西省洛南县的金堆城矿床, 东至河南省镇平县的秋树湾矿床, 拥有东沟、金堆城、南泥湖、三道庄、上房沟等 5 个世界级超大型钼矿床和雷门沟等 5 个大型钼矿床以及一些中小型钼矿床, 钼金属储量可达 500 万吨以上, 是世界最大的钼矿带。此外, 斑岩型钼矿中还常伴随钨、稀土、铀、金、铅等矿化, 如南泥湖钼矿的伴生钨储量达超大型规模。

本文对东秦岭南沟钼矿床开展成矿年代学与地球化学综合研究, 综合同位素年龄数值结合地质情况表明: 南沟钼矿区白石尖矿段和马脖壕矿段为同期形成。都为燕山期, 对应于华北板块与扬子板块的碰撞造山后的东西向岩石圈大规模减薄作用。在准确厘定成岩成矿年龄的基础上, 结合区内花岗岩和钼矿床的地质地球化学研究, 探讨了东秦岭钼矿成岩成矿物质来源、地球动力学背景, 建立了钼矿成矿模型, 判定了区域成岩成矿大地构造属性, 指出了区域找矿方向。

1 区域及矿床地质背景

本研究区位于北秦岭二郎坪群内, 属于东秦岭钼矿成矿带东部。北秦岭构造带位于东秦岭造山带的北段, 是指秦岭商丹剪切带与洛南-栾川-方城剪切带之间的秦岭造山带的核心区域。主要呈近东西向展布, 东西延伸千余公里, 南北宽一般小于 60km, 是秦岭造山带中从组成到构造最为复杂的地带, 现今地表成大小不一的透镜状岩块以不同级别规模和性质、类型的断裂为骨架, 总体成指向南的高角度逆冲叠瓦推覆堆置拼合构造 (张国伟等, 2001)。自北向南有 4 条深断裂, 洛南—栾川断裂, 乔端—瓦穴子断裂, 朱阳关—夏馆断裂和商丹断裂, 将本区划分为秦岭群, 二郎坪群和宽坪群。

南沟钼矿床实际上由两个相对独立的矿段构成, 即马脖壕矿段和白石尖矿段。前者是斑岩型的矿化, 成矿母岩及围岩就是斑状的花岗岩, 矿化比较均匀, 品位多在 1%~2%; 后者实际上是一个脉状矿化, 围岩是花岗岩。辉钼矿产在石英脉中, 该石英脉规模巨大, 主脉为一直径约 40 m 的石英柱, 仅地表出露就有百余米, 当地称其为白石尖, 其周围还有大小宽窄不等的石英细脉, 辉钼矿化就存在这些石英脉中, 呈脉状或团块产出, 品位很高, 局部是纯的辉钼矿原矿。我们经过野外调查认为, 该石英脉实际上是该区的花岗岩体晚期热液集中, 在有利的断裂部位大量聚集, 形成的一个巨大的脉状矿体。

2 南沟钼矿区岩浆岩成岩成矿年代学

对东秦岭南沟钼矿区白石尖矿段和马脖壕矿段花岗岩体进行了 LA-ICP-MS 锆石年代学研究, 并且对这两个矿床中辉钼矿进行了 Re-Os 同位素定年研究, 对南沟钼矿区成岩和成矿时代进行了厘定, 进而探讨了成岩成矿的地球动力学背景。

2.1 成矿花岗岩锆石 U-Pb 同位素年代学测定

本研究选取南沟白石尖和马脖壕钼矿床围岩进行系统采样。代表性样品选自白石尖钼矿床和马脖壕钼矿床侵入岩岩体。

分别在两个钼矿床围岩中采取 5 kg 花岗岩, 选出多个锆石颗粒, 在中国科学技术大学地壳与地幔重点实验室进行了 LA-ICP-MS 测试。

白石尖矿段花岗岩样品中 20 个锆石的 Th 和 U 质量分数变化分别为 $165 \times 10^{-6} \sim 623 \times 10^{-6}$ 和 $255 \times 10^{-6} \sim 905 \times 10^{-6}$, 平均为 363×10^{-6} 和 524×10^{-6} , 锆石 U、Th 含量变化范围较大, 但 Th/U 比值变化范围不大, 为 0.42~0.91, 表明这些锆石为典型

^{*}本文为河南省国土资源厅“秦岭钼矿找矿项目”、中国科学院知识创新工程重要方向项目“东秦岭钼矿成矿带深部构造制约及成矿地球化学动力学 (KZCX2-YW-QN509)”共同资助

第一作者简介 杜小伟, 男, 硕士, 现在长庆油田从事科研工作。

通讯作者 杨晓勇, 男, 博士, 教授, 博士生导师。岩石学与矿床地球化学专业

的岩浆锆石 (Hoskin et al., 2000; Belousova et al., 2002)。20 个锆石点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(451.7 \pm 5.7) \text{ Ma}$ (95% 可信度, $\text{MSWD}=1.6$)。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄代表了白石尖花岗岩的形成年龄。马脖壕矿段花岗岩样品中 20 个锆石分析点获得的 Th 和 U 质量分数变化范围分别为 $129 \times 10^{-6} \sim 16544 \times 10^{-6}$ 和 $241 \times 10^{-6} \sim 7786 \times 10^{-6}$, 平均含量分别为 1843×10^{-6} 和 1721×10^{-6} , 锆石的 U、Th 含量变化较大, Th/U 比值变化也较大, 为 $0.43 \sim 2.12$, 表明这些锆石为典型的岩浆锆石 (Hoskin et al., 2000; Belousova et al., 2002)。9 个锆石分析点的个锆石点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(109.8 \pm 4.1) \text{ Ma}$ (95% 可信度, $\text{MSWD}=1.17$)。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄代表了马脖壕花岗岩的形成年龄 (杨晓勇等, 2010)。

2.2 Re-Os 同位素年代学研究

本次研究工作在东秦岭南沟钼矿区白石尖矿段和马脖壕矿段选了 13 个样品进行了 Re-Os 同位素定年研究, 得到等时线年龄为 $(103 \pm 17) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=0.84$), 加权平均年龄为 $(107.30 \pm 0.7) \text{ Ma}$ ($\text{MSWD}=0.74$)。结合前人对东秦岭钼矿带高精度矿床年龄的研究成果, 对本区矿床成因时代进行总结, 为东秦岭地区更有效的找矿提供同位素年代学依据 (杨晓勇等, 2010)。

3 东秦岭钼矿成岩成矿环境与找矿方向

研究表明大陆岩石圈在最大会聚后并逐步由挤压转向松弛的后碰撞阶段, 往往会有大量富钾钙碱性岩浆作用发生, 岩浆活动的源区物质受年轻地幔或地壳组分的改造, 岩浆形成机制常常与深大断裂的大规模走滑和岩石圈伸展、减薄作用密切相关, 在此背景下常有大量花岗岩形成, 代表了大陆会聚作用向伸展拉张的转折 (Barbarin, 1999; Liegeois, 1996; Bonin, 2004), 地球化学特征上后碰撞花岗岩富集 LILE 和 LREE, 贫化 HFSE, 较岛弧火山岩有明显高的碱 ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$) 和 Sr、Ba 含量 (杨晓勇等, 2010)。岩石类型上, 后碰撞岩浆岩主要为高钾钙碱性系列到碱性系列花岗岩类岩石, 可能是板块碰撞后伸展初期地壳引张阶段的产物 (Bonin, 2004)。

东秦岭南沟钼矿区花岗岩在空间分布上, 受深大断裂控制; 在时间上与后造山构造事件一致; 在岩石化学成分上相对富钾, 贫 Sr 和 Ba, 岩体稀土元素总量不高并有较大变化范围, 轻重稀土分馏较大, 钕有弱负异常, 呈现壳-幔混合花岗岩的特征, 弱负钕异常右倾, 富集 LILE, 相对贫化 HFSE, 明显亏损 Ti; 前人地球物理资料对其深源基性包体的温度压力条件计算, 证明这种花岗岩形成深度大于 30 km (卢欣祥等, 2002), 东秦岭莫霍面的最大深度为 40km, 因此可以推断, 岩浆形成深度位于下地壳中, 是下地壳物质部分熔融作用形成的岩浆, 经历岩浆结晶分异作用而成。

南沟钼矿区成矿小型花岗岩体出露规模小于 1 km^2 , 为浅成-超浅成相; 岩石类型为黑云母二长花岗岩, 为岩浆演化后期阶段产物。成矿岩体 $w(\text{K}_2\text{O})$ 变化范围为 $4.01\% \sim 7.57\%$, $w(\text{Na}_2\text{O})$ 为 $2.21\% \sim 4.26\%$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值变化范围为 $1.07 \sim 3.42$, 表明岩体形成过程中有不同程度的钾化, 并且可能与地壳重熔过程中大量钾质加入有关, 类似于 S 型花岗岩的特征 (Chappel et al., 1974)。另一方面, 成钼矿斑岩贫 Ba、Sr, 富 Rb, 为壳型花岗岩特征, 表明成钼矿岩浆在形成过程中加入地壳物质较多。根据东秦岭区域地质资料 (河南省地质志, 1989), 东秦岭成钼小型板岩体都具有相似的特征。因此, 含钼侵入岩浆可能属于壳、幔物质混合以后再选择重熔形成 (乔怀栋等, 1985)。

钼矿床矿石的 $\delta^{34}\text{S}$ 数值范围 $1.63\% \sim 4.93\%$, 均为正值, 呈现塔式分布, 接近陨硫组成, 显示深源硫组成及分馏特征, 表明幔源组分参与了成岩成矿过程。

Re-Os 同位素体系可以有效地示踪成矿物质来源, 毛景文等 (1996) 综合分析、对比了中国各种类型钼矿床中辉钼矿的铼含量, 发现从地幔来源到壳幔混源再到地壳来源, 矿石中的含铼量呈 10 倍地下降, 从 I 型花岗岩—S 型花岗岩有关的矿床, $w(\text{Re})$ 为 $n \times 10^{-4} \sim n \times 10^{-5} \sim n \times 10^{-6}$ 。因此, 辉钼矿 Re 含量可以指示成矿物质的来源 (Mao et al., 1999)。根据我们本次测定结果表明, 东秦岭南沟钼矿区辉钼矿的 $w(\text{Re})$ 为 $11.1 \times 10^{-6} \sim 49.6 \times 10^{-6}$, 平均为 19.4×10^{-6} , 显示成矿物质主要来源为地壳, 并混有少量地幔组分。

各类岩石地球化学数据判别图解表明, 与本区有关的花岗岩均属于碰撞大地构造背景上的花岗岩, 显示碰撞背景下花岗岩及钼矿的成岩成矿环境。

据此可以认为, 东秦岭地区钼矿找矿应集中在燕山期花岗岩或闪长岩小岩株为佳, 其岩石化学应该是更富于硅、碱, 多数是铝过饱和类型; 在区域上看, 这类矿床主要应分布在大陆边缘、岛弧或造山带, 成矿主要集中在断裂构造比较发育的地区, 具体说应该是华北南缘与扬子陆块的缝合部位。因为这些区域断裂构造导通深部流体, 有利于流体的活动和 Mo、Cu、W、Au 等元素的运移, 从而有利于钼及铜-钨-金等金属运移沉淀聚集成矿。

参 考 文 献 (略)