

# 冈底斯沙让斑岩钼矿成矿地质作用及其构造背景浅析\*

赵俊兴<sup>1, 2</sup>, 秦克章<sup>1</sup>, 李光明<sup>1</sup>, 李金祥<sup>1</sup>, 肖波<sup>1, 2</sup>, 陈雷<sup>1, 2</sup>

(1 中国科学院固体矿产资源研究室, 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

沙让斑岩型钼矿床是冈底斯带上发现的首例斑岩型钼矿床, 对其成矿地质作用和构造背景的分析, 有利于加强对冈底斯多金属成矿带研究。

## 1 矿床地质特征

沙让斑岩钼矿床产在一个侵入于上二叠统蒙拉组 ( $P_2m$ ) 地层的复式杂岩体中。矿区内构造主要有成矿早期的近东西向的压扭型断裂和成矿后的切穿东西向断裂的南北向正断层, 而断裂带附近热液蚀变作用发育。矿床产出的杂岩体中有成矿早期的石英闪长岩和石英二长岩, 主成矿期的花岗岩、似斑状花岗岩、花岗斑岩、石英斑岩和细晶岩脉, 以及后期的花岗闪长斑岩和英安斑岩等。晚期可见岩墙状的富钾煌斑岩侵入花岗斑岩体中。锆石 U-Pb 定年确定了成矿早期和主成矿期的岩石年龄分布在 55~51 Ma 之间 (赵俊兴等, 2009), 而成矿后的花岗闪长斑岩等岩石的年龄则集中在中新世 (赵俊兴, 未发表数据), 该结果显示沙让杂岩体形成至少经历了青藏高原原始新世和中新世两个构造演化阶段。

多期次岩浆的侵位造成矿区发育规模宏大的热液蚀变 (面积约 15 km<sup>2</sup>) 和含矿斑岩体裂隙和热液脉发育。矿区具有典型的斑岩型矿床中心蚀变分带的特点。像成矿斑岩和斑岩体的中心相的似斑状花岗岩, 钻孔中揭示其基本为全岩蚀变。矿区内主要的热液蚀变作用有钻孔中见及的弱钾化、黑云母化、硅化 (图 3, C)、石英-绢云母-黄铁矿化、粘土化 (高岭土化和伊利石-水白云母化)、绿泥石化等。其中硅化和绢云母-黄铁矿化两种蚀变类型与成矿关系紧密, 但目前未识别出如华北北缘小东沟斑岩钼矿的云英岩化 (聂凤军等, 2007) 和 Henderson 矿床的富 F 的黄玉-磁铁矿化 (Wallace et al., 1978) 这类斑岩钼矿特殊的蚀变带。

主要有四种矿化类型: ① 纹层状石英-辉钼矿脉; ② 石英-硫化物- (硫酸盐) 细脉; ③ 网脉状的石英-辉钼矿脉; ④ 辉钼矿以星点状和鳞片状产出热液隐爆角砾岩的基质中。矿石中主要金属矿物为辉钼矿, 有少量的黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、白钨矿等。脉石矿物主要有石英、钾长石、斜长石、高岭石、绿帘石、绢云母、绿泥石、伊利石、水白云母、硬石膏等, 偶见萤石, 不发育黄玉。

## 2 成矿地质作用

### (1) 成矿斑岩地球化学特征

研究表明, 该杂岩体内岩石为一套准铝质到弱过铝质的高钾钙碱性-钾玄质岩石, 其中成矿的花岗斑岩为一套高硅弱过铝钾玄质岩石。微量元素显示该套岩石相对富集 LILE (Rb, Ba, Th, U, Pb), 相对亏损 HFSE 和 Nb, Sr, P, Ti 的特征。低的 Rb/Sr 和 Nb/Zr 比值说明沙让斑岩的分异程度较差。稀土元素上各类岩石均具有相似的右倾配分模式曲线, 即轻重稀土有轻微的分馏, Eu 有轻微到中度的负异常。杂岩体内各类岩石的 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 初始值和  $\epsilon_{Nd}(t)$  有较宽的变化范围, 其中花岗斑岩的

\*本文得到全国危机矿山替代资源找矿项目 (编号: 20089932)、国家自然科学基金 (编号: 40772066) 和国家“十一五”科技支撑计划项目 (编号: 2006BA01A04) 联合资助成果。

第一作者简介 赵俊兴, 男, 1984 年生, 博士研究生, 研究方向: 斑岩型钼矿床成矿作用。E-mail: junxingzhao@tom.com

通讯作者 秦克章, 男, 1964 年生, 研究员, 研究方向: 增生型与碰撞型造山带成矿作用; 斑岩铜钼矿、浅成低温金铜矿、铅锌矿、岩浆铜镍矿成矿作用与隐伏矿定位预测。Email: kzq@mail.iggcas.ac.cn

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值为0.706225~0.706788,  $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$  范围为-3.37~-4.59。微量元素特征显示成矿岩石的源区为斜长石+角闪石+金红石的矿物相组成, 为下地壳角闪岩相的源区, 而Sr-Nd同位素特征则显示岩石拥有更为富集的Sr-Nd同位素组成和更老的Nd同位素二阶段模式年龄, 接近念青唐古拉片麻岩的同位素组成。这样的同位素组成显示反映50 Ma左右沙让斑岩钼矿床成矿岩石的源区应该有更多古老的陆壳物质参与。

### (2) 两个沙让成矿的独特条件

成矿作用分析沙让斑岩型钼矿的形成有两个独有的条件: 高氧逸度—高演化的岩浆和有古老陆壳物质加入到岩浆源区中。

由于Mo属于中度不相容元素, 在分异的花岗岩岩浆中, 高氧逸度是将Mo变成高度不相容元素的最为重要的因素(Keith et al., 1993)。Blevin and Chappell (1995) 通过研究澳大利亚Lachlan褶皱带上矿化的花岗岩, 提出与花岗岩有关的矿化中, 成矿元素之间(Sn/W/Cu/Mo)的比值是相对氧化程度(全岩的 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ )与有关的花岗岩分异程度(Rb/Sr)的函数, 与Mo矿有关的花岗岩对应的是高分异和高氧化的特征。照比沙让成矿前的闪长岩和石英闪长岩, 成矿期的花岗岩斑岩有着更高的氧逸度和高的分异, 致使岩浆演化晚期的花岗岩斑岩高度富集金属Mo进而富集成矿。像这种新生下地壳的部分熔融后所产生的富水、富硫和高氧逸度的岩浆可能是由于部分熔融过程中的角闪石分解造成的(Kay et al., 2001; Reich et al., 2003), 这与沙让的成矿岩石的微量元素特征对应的源区性质相一致。而沙让斑岩钼矿床中出现的硬石膏脉体, 以及成矿斑岩石英斑晶和A脉石英中流体包裹体内出现富含硬石膏子矿物, 也说明初始的成矿流体是高氧化的流体系统。

Mo元素倾向于富集在沉积物和古老的陆壳物质中。但在印亚大陆碰撞和A型俯冲的开始阶段, 只由新生的玄武质下地壳熔融出的花岗岩不能够形成斑岩型钼矿床, 因为亏损地幔源区特征的花岗岩类可能与Cu、Au矿床关系更为密切, 像曲水岩基中有众多Cu-Au(Fe)矿床, 如冲木达、劣布等(Dong et al., 2006; 2008)。而由碰撞导致陆壳加厚熔融出的花岗岩可能更多的与W-Sn-Nb-Ta-REE这类矿床有关, 如腾冲地区的来历山锡矿和百花脑REE矿床(侯增谦等, 2006)。在印亚大陆碰撞的过程中, 如果形成沙让这种斑岩型钼矿床, 则需要有古老的陆壳物质参与到新生的玄武质下地壳部分熔融形成的岩浆才有可能形成斑岩型钼矿床。古老陆壳物质对斑岩型钼矿床的形成可能有一定的贡献, 像俯冲背景的Malala可能有前寒武至古生代的陆壳俯冲下至岩浆源区中, 北美的Colorado成矿带位于北美克拉通的西南缘, 东秦岭成矿带位于华北克拉通的南缘(Mao et al., 2008), 两者中大多数的斑岩钼矿床的成矿岩浆为下地壳的部分熔融(Wallace, 1995; 陈衍景等, 2000), 华北克拉通北缘的西拉木伦成矿带上的斑岩型钼矿床成矿源区也显示可能有古老陆壳物质参与到岩浆源区中(陈志广等, 2008; 覃锋等, 2008), 并且Sr-Nd同位素研究说明地壳加厚的下地壳部分熔融形成成矿岩浆源区更接近与下地壳, 而由于古老陆壳物质与新生的玄武质下地壳部分熔融形成的成矿岩浆 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比值和 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值更亏损些。

## 3 构造背景浅析

印亚大陆碰撞带的沙让斑岩型钼矿床的成矿时代为(52.25±0.31) Ma(辉钼矿 Re-Os 法)(赵俊兴等, 2009), 更多的证据(Beck et al., 1995; Searle et al., 1999; Yin et al., 2000; 吴福元等, 2008)表明印亚大陆碰撞的初始时间为65~55 Ma, 主碰撞期可以持续到41 Ma(侯增谦等, 2006), 可以看出沙让的成矿时间落于大陆的主碰撞阶段。

为了考量印亚大陆碰撞带东侧斑岩钼矿可能的联系, 并结合最近发表的一些年代学结果, 我们认为与大陆碰撞有关钼矿的形成和演化为研究在整个印亚大陆碰撞造山过程提供更为宽广的视角。在冈底斯东部的三江成矿域中的滇西澜沧老厂矿区深部隐伏花岗岩斑岩体中新发现巨厚斑岩型钼矿体, 成岩成矿年龄为(44.6±1.1) Ma(锆石 U-Pb 法)和(43.78±0.78) Ma(辉钼矿 Re-Os 法), 为始新世的成矿事件(李峰等, 2009)。再向东南方向延伸到越南范士版成矿带, 其中典型的O Quy Ho石英脉状钼矿床成矿年龄为(36 ±1) Ma(辉钼矿 Re-Os 法, TRAN 等, 2010)。两者的形成时代与三江成矿带内斑岩型矿床的成矿时间相契合, 暗示可能与印亚大陆碰撞引起的大型走滑运动有关。这说明和斑岩铜钼矿床类似, 与印亚大陆碰撞有关的斑岩钼矿床不仅在平行造山带的方向有产出, 在侧向也可能与陆陆碰撞引发的走滑运动有关。那么两种背景产出的斑岩型钼矿床其物质来源、成矿模式以及整体与构造演化的关系, 需要我们下一步深入研究。

## 参考文献(略)