

文章编号: 0258-7106(2013)03-0641-08

西藏曲水县鸡公村石英脉型钼矿床成矿时代约束*

张苏坤¹, 郑有业^{1,2,3,*}, 张刚阳², 高顺宝², 孙祥¹, 于森¹, 郭俊卫², 徐净²

(1 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2 中国地质大学资源学院, 湖北 武汉 430074;
3 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘要 西藏鸡公村钼矿床位于冈底斯铜钼多金属成矿带的中部, 是一个产于曲水岩体花岗闪长岩内部、受脆性逆断裂控制的石英脉型钼矿床。为查明该矿床的成矿时代, 对5件辉钼矿样品进行了Re-Os同位素分析, 辉钼矿 $\alpha(^{187}\text{Re})$ 为886.1~1063 $\mu\text{g/g}$, $\alpha(^{187}\text{Os})$ 为331~395 ng/g , 辉钼矿的模式年龄较为一致, 分布在22.29~22.81 Ma, 所获Re-Os等时线年龄为 (21.8 ± 6.2) Ma (MSWD=2.2), 该年龄对应于印度大陆与亚洲大陆碰撞后的陆内后碰撞造山向走滑伸展转换的时间, 早于冈底斯斑岩型铜钼多金属主要成矿期(17~12 Ma)。由此表明, 在冈底斯成矿带陆内后碰撞造山向伸展转换的过渡环境下, 可能存在着集中成矿事件(30~20 Ma), 它可能与传统的冈底斯斑岩成矿事件(17~12 Ma)一起构成了一个在时间上连续的成矿序列。鸡公村辉钼矿较高的铼($\alpha(\text{Re})$ 为 $1410 \times 10^{-6} \sim 1691 \times 10^{-6}$), 高于中国其他地区的钼(铜)矿床, 暗示其成矿物质可能主要来源于拆沉的下地壳被地幔加热后再熔融的深源(下地壳-上地幔)岩浆。

关键词 地球化学, 辉钼矿, Re-Os, 鸡公村钼矿, 冈底斯, 西藏

中图分类号: P618.65

文献标志码: A

Geochronological constraints on Jigongcun quartz-vein type molybdenum deposit in Quxu County, Tibet

ZHANG SuKun¹, ZHENG YouYe^{1,2,3}, ZHANG GangYang², GAO ShunBao², SUN Xiang¹,
YU Miao¹, GUO JunWei² and XU Jing²

(1 School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 School of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 3 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract

The Jigongcun molybdenum deposit, located in the middle of the Gangdese metallogenic belt in Tibet, is a quartz-vein type molybdenum deposit hosted in Quxu granodiorite batholith, with ore bodies controlled by the brittle reverse fault. In order to define the ore-forming time of Jigongcun molybdenum deposit, the authors selected five molybdenite samples for Re-Os isotope analysis. The ^{187}Re and ^{187}Os values of molybdenite vary from 886.1 $\mu\text{g/g}$ to 1063 $\mu\text{g/g}$ and 331 ng/g to 395 ng/g , respectively, yielding five narrowly distributed Re-Os model ages ranging from 22.29 Ma to 22.81 Ma and an isochrone age of (21.8 ± 6.2) Ma (MSWD=2.2). The plotted isochrone age corresponds to the transitional period of the Gangdese orogenic belt from the post-India-Eurasia collision to strike-slip extension, earlier than the Gangdese porphyry Cu-Mo polymetallic metallogenic

* 本文受教育部长江学者和创新团队发展计划(IRT1083)、中国地质调查局综合研究项目(1212011220927)、教育部博士点基金项目、中央高校基本科研业务费专项资金联合资助

第一作者简介 张苏坤,男,1988年生,硕士研究生,矿物学、岩石学、矿床学专业。Email: zhangsukun091128@vip.qq.com

** 通讯作者 郑有业,教授,从事成矿预测及铜金多金属矿产勘查评价。Email: zhyouye@163.com

收稿日期 2012-03-28; 改回日期 2013-05-21。张绮玲编辑。

time (17~12 Ma). This study indicates that, during the transitional period of the Gangdise orogenic belt from continental collision to strike-slip extension, there might have existed intensive metallogenetic events (30~20 Ma), which could constitute a continuous mineralization sequence (only at that time) together with the later porphyry Cu-Mo polymetallic metallogenetic epoch (17~12 Ma). The Re values of five molybdenites vary from 1410×10^{-6} to 1691×10^{-6} , much higher than the values of Mo-Cu deposits in China. This indicates that the metals of the Jigongcun molybdenum deposit might have had a deep-seated magma source (the lower crust to the upper mantle), which experienced remelting from the delaminated lower crust heated by the mantle.

Key words: geochemistry, molybdenite Re-Os, Jigongcun molybdenum deposit, Gangdese, Tibet

冈底斯铜多金属成矿带位于青藏高原冈底斯带(拉萨地块)南缘,是西藏最重要的多金属成矿区带之一(芮宗瑶等,2003;侯增谦等,2003;郑有业等,2004a,2004b;李光明等,2004;唐菊兴等,2009)。在冈底斯成矿带存在着一大批产于陆内后碰撞伸展环境的斑岩型铜多金属矿床,并构成了传统的冈底斯斑岩型铜矿带,其成矿年龄集中在17~12 Ma(芮宗瑶等,2003;侯增谦等,2003;郑有业等,2004a;2004b,2007;李光明等,2004)。近年来,在冈底斯成矿带陆续识别出形成于陆-陆碰撞期的冲木达砂卡岩型铜金矿床(李光明等,2006b)、吉如斑岩铜矿床(张刚阳等,2008)、沙让斑岩型钼矿床(唐菊兴等,2009)、亚贵拉热水沉积-岩浆热液叠加改造型铅锌钼矿床(65.0 ± 1.9) Ma(高一鸣等,2011),拓宽了我们对冈底斯成矿带的认识。目前在冈底斯成矿带较知名的钼矿床为冈底斯东段火山-岩浆弧北侧的沙让斑岩型钼矿床、本文研究的曲水县鸡公村钼矿床产于冈底斯南缘韧性剪切带中,受脆性断裂控制。冈底斯中段南缘(尼木-曲水一带)剪切带发育时间为始新世晚期,时限为40~42 Ma,具正剪切带特征,与印度板块和欧亚大陆碰撞后引起该区地壳内部物质调整有关(熊华清等,1999)。本文对鸡公村矿床中辉钼矿进行了Re-Os同位素分析,厘定了该矿床的形成时代,探讨了成矿动力学背景及成矿物质来源。

1 区域地质背景

鸡公村钼矿床地理位置上位于西藏曲水县,南距雅鲁藏布江约10 km。在大地构造上位于冈底斯陆缘火山-岩浆弧尼木-曲水段,冈底斯铜多金属成矿带的中段。冈底斯陆缘火山-岩浆弧发育有多期次、大规模的中酸性侵入岩及火山岩,尼木-曲水段侵入岩以花岗岩、黑云母花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长

岩和石英二长岩为主,出露火山岩地层主要有侏罗系上统麻木下组及白垩系下统旦狮庭组、比马组,其中比马组地层分布范围最大,岩性为安山岩、安山质火山角砾岩、凝灰岩、粉砂岩、板岩、大理岩等(西藏自治区地质矿产局,1993)。鸡公村钼矿所在的尼木-曲水地区的构造格架主体为近东西向舒缓波状展布的曲水-科木韧性剪切带,其中发育脆性、脆韧性逆断裂,卷入该韧性剪切带的结浦林花岗岩体为最新地质体,其发育时间可能为始新世—渐新世,该剪切带的形成可能与印度板块和欧亚大陆碰撞后引起该区地壳内部物质调整有关(胡敬仁,1995;熊华清等,1999)。在尼木-曲水地区除鸡公村钼矿床外,还存在总训 Mo-Pb-Zn 多金属矿点、竹别 Cu 矿化点、吞普 Cu-Pb 多金属矿化点、雪村 Cu 矿化点、岔巴郎 Cu 矿化点以及众多套合好、浓集中心明显,尚未查证的 Mo、Zn、Pb、Ag 等地球化学异常。上述矿床(点)多产于火山岩中的韧性剪切带内及其两侧或比马组地层与岩体接触部位。

冈底斯铜多金属成矿带位于青藏高原冈底斯带(拉萨地块)南缘,冈底斯带一般是指夹持于班公湖-怒江蛇绿岩带与雅鲁藏布蛇绿岩带之间的一条巨型构造-岩浆岩带(莫宣学等,2005;潘桂棠等,2006)。冈底斯带自中生代以来大致经历了侏罗纪—白垩纪火山-岩浆弧阶段、白垩纪末—始新世碰撞造山阶段和随后的后碰撞阶段等多个构造演化阶段(西藏自治区地质矿产局,1993)。其中,陆-陆碰撞造山阶段形成的林子宗火山岩、谢通门-南木林-尼木-曲水花岗岩体、白云母型强过铝质花岗岩(56~50 Ma),构成了冈底斯岩浆带的主体。林子宗火山岩早期带有较多陆缘弧火山岩特征,中期开始出现具有陆内岩浆活动特征的钾玄岩,晚期更多地显示了加厚陆壳条件下火山岩的特点,记录了由新特提斯俯冲消减末期过渡到印度-亚洲大陆碰撞期的信息(莫宣学等,2003)。曲水花岗岩基岩石类型多样,从中基性

到酸性都有,以花岗闪长岩、石英二长岩、二长花岗岩为主,含有丰富的暗色铁镁质微粒包体及其他岩浆混合作用的标志(莫宣学等,2007)。已有的年代学研究表明,冈底斯带岩浆岩出露时代除了集中在古新一始新世外,局部有零星的侏罗纪花岗岩和渐新一中新世强过铝质花岗岩、钾质-超钾质火山岩以及与大规模铜钼矿化相关的斑岩。以白云母型花岗岩为代表的强过铝质花岗岩类,主要形成于 35~8 Ma, 高峰期为 24~18 Ma(廖忠礼,2003;莫宣学等,2007)。冈底斯斑岩铜矿带的含矿斑岩(具埃达克岩的地球化学特征)形成于 25~12 Ma,在 16 Ma 达到高峰,是加厚地壳的下地壳部分熔融的产物,在构造上受近南北向地堑或正断层系的控制(Chung et al.,2003;Hou et al.,2004;Guo et al.,2007)。

2 矿床地质特征

矿区地层主要为下白垩统比马组,主要分布在矿区西南角和北西部,少量呈捕虏体形态分布于矿区中部,地层总体倾向北。岩性主要为一套海相凝灰质砂岩、凝灰岩、安山岩夹大理岩,岩体附近的地层发育不同程度的绿泥石化、绿帘石化、绢云母化蚀变。矿区主体为岩浆岩出露区,岩性主要为花岗闪长岩、闪长岩、煌斑岩等(图 1),是曲水杂岩体的一部分,多呈岩株或岩脉与围岩成舒缓波状的侵入接触。

花岗闪长岩,分布在矿区南部-中部,中细粒花岗岩结构,块状构造。主要矿物:斜长石为 40%~50%,碱性长石为 15%,石英为 20%~25%,普通角闪石 5%,黑云母 2%。副矿物主要为磁铁矿、锆石、磷灰石等(图 2a)。岩石蚀变矿物主要为绢云母、黏土矿物、绿帘石、绿泥石等(图 2b)。闪长岩,分布于矿区北东部,中细粒全晶质结构,斜长石 50%~60%,碱性长石 10%,石英小于 5%,普通角闪石 25%,黑云母 5%。副矿物主要为磁铁矿、锆石、磷灰石等。在断裂构造部位岩石发生强烈的脆性碎裂,充填物主要为石英和黄铁矿。煌斑岩,斑状结构,块状构造。斑晶主要为基性斜长石 40%~50%,角闪石 25%,基质为长英质和少量的楣石、锆石等(图 2c),可见较弱的绿泥石化、绿帘石化等。

受区域上近东西向的曲水-科木韧性剪切带的影响,矿区发育有 NNW 向和 NNE 向脆性逆断裂。NNW 向脆性逆断裂控制了辉钼矿石英脉矿体的产

出,其走向在 NNW 向、NW 向、近东西向之间变化。含辉钼矿石英脉两侧的花岗闪长岩发育有方向各异的裂隙构造,多呈相互交错的网脉状产出,总体以 NW 向最为发育,中等倾角者居多,裂隙宽度一般小于 2 mm,少数在 20 mm 以上,延伸多数在 0.5~2.0 m 之间,充填有石英、绢云母、碳酸盐、绿泥石、绿帘石、黄铁矿等蚀变矿物。

北北东向的断裂主要为发育于花岗闪长岩内部的 F_1 和 F_2 两条正断层,断层具有多期活动特点。 F_1 位于矿区中部,长 325 m,宽 1.2~1.8 m,产状 $113^\circ \angle 58^\circ$; F_2 位于 F_1 东侧约 500 m 处,长 550 m,宽约 1~1.5 m,产状 $115^\circ \angle 60^\circ$ 。断层破碎带发育有闪长岩角砾、花岗闪长岩角砾、石英、绢云母、绿泥石、褐铁矿和断层泥。 F_1 、 F_2 穿切主矿体,沿其破碎带及其两侧分布有呈细脉状或浸染状的辉钼矿和黄铁矿,说明该组断裂对矿体具有后期叠加、改造作用,属于成矿后构造。

钼矿体主要以脉状产于矿区中部的糜棱岩化花岗闪长岩中,受控于 NNW 向的脆性逆断裂,走向与断裂带一致。辉钼矿石英脉地表出露厚度总体变化较小,厚 2~8 m,长约 1.6 km;主体倾向北东,局部倾向东、南东,倾角较缓,在 $15^\circ \sim 30^\circ$ 之间。矿体在平面图上呈蛇形展布,北西端和东南端逐渐变小、尖灭。矿石类型主要为辉钼矿石英脉和极少量的浸染状辉钼矿。金属矿物主要为辉钼矿,其次为黄铁矿以及表生的褐铁矿等。辉钼矿和黄铁矿多呈细脉状、薄膜状、浸染状分布于石英脉(图 2e~f)中或者花岗闪长岩围岩角砾(图 2d)中。脉石矿物主要为石英,其次为绢云母、绿泥石、绿帘石等。矿石结构主要为自形晶结构、半自形晶—他形晶结构、他形粒状结构等。矿石构造以脉状构造为主,次为浸染状构造、星点状构造。蚀变分布较为局限,主要沿着断裂破碎带及其两侧的花岗闪长岩分布,发育硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化等。

3 样品采集和测试结果

为限定矿床的形成时代,在鸡公村钼矿床的探矿坑道不同部位分别采集 5 件样品 JGC1~JGC5,辉钼矿为自形-半自形细-中粒状,以薄片状、团块状集合体形式呈细脉状产于石英脉中,矿体围岩为糜棱岩化花岗闪长岩。室内将样品粉碎后,在双目镜下挑选出无氧化、无污染、纯度达 98% 以上辉钼矿单

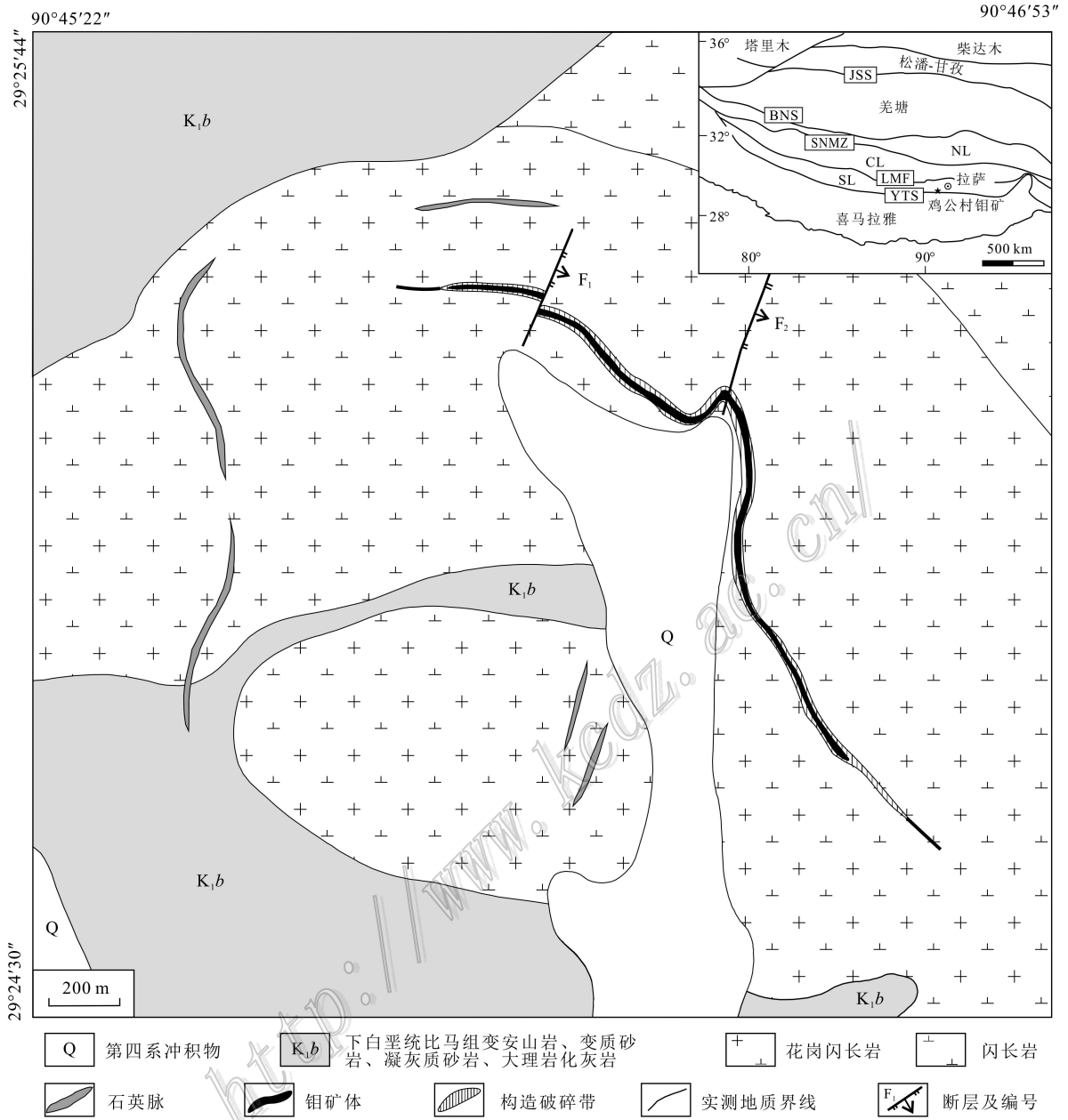


图 1 西藏鸡公村钼矿床矿区地质图

Fig. 1 Simplified geological map of the Jigongcun molybdenum deposit, Tibet.

矿物。辉钼矿 Re-Os 同位素测试在国家地质实验测试中心利用电感耦合等离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS 测定。样品处理和测试主要包括样品分解、蒸馏分离 Os、萃取分离 Re 和质谱测定 4 个步骤,详细流程及模式年龄计算过程参见文献(杜安道等, 1994; 2001; Shirey et al., 1995)。

辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果见表 1 和图 3。5 件样品中 $w(\text{Re})$ 在 1410~1691 $\mu\text{g/g}$ 之间,总体上 ^{187}Re 与 ^{187}Os 含量比较协调。在 Re-Os 同位素体系

年代学研究中,由于辉钼矿在富含 Re 的同时几乎不含普通 Os,也就是说辉钼矿中所含 Os 基本上全部为放射性成因的 ^{187}Os (由 ^{187}Re 衰变而来)。本次实验所测辉钼矿样品中 $w(\text{普 Os})$ 介于 0.0460~0.2447 ng/g,非常低,因此可以认为 ^{187}Os 大都是 ^{187}Re 的衰变产物,这符合 Re-Os 同位素体系模式年龄计算条件(蒋少涌等, 2000)。5 件辉钼矿的模式年龄范围为 22.29~22.81 Ma,采用 Isoplot 软件拟合得到的等时线年龄为 $(21.8 \pm 6.2) \text{ Ma}$ (MSWD=2.2),

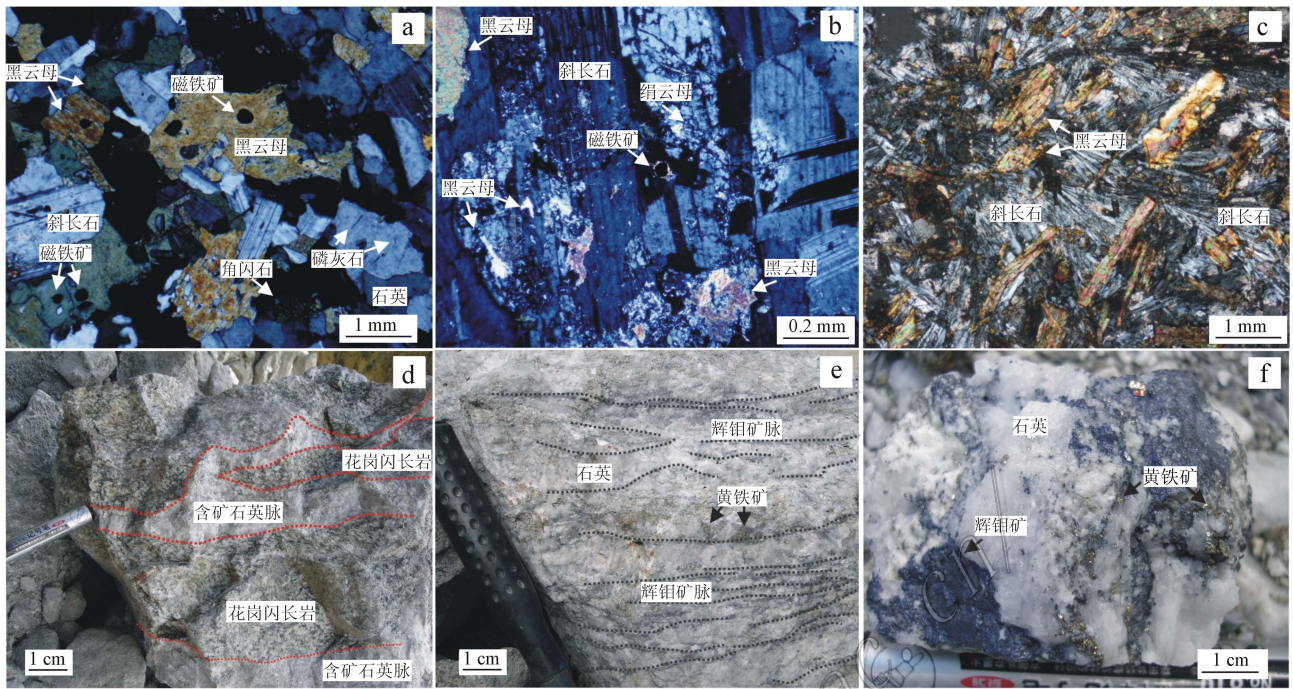


图 2 西藏鸡公村钼矿床岩体和矿石特征

a. 花岗闪长岩镜下特征；b. 断裂带附近花岗闪长岩的蚀变；c. 煌斑岩镜下特征；d. 断裂带中的含矿构造角砾岩；e. 韧性剪切带石英脉内的细脉状辉钼矿（黑虚线）；f. 含辉钼矿和黄铁矿石英脉

Fig. 2 Photographs of intrusions and ores in the Jigongcun molybdenum deposit, Tibet

a. Granodiorite microphotograph; b. Alteration characteristics of diorite; c. Lamprophyre microphotograph; d. Ore-bearing fault breccias; e. Molybdenite (black dotted line)-Quartz veins in ductile shear zone; f. Molybdenite and pyrite-bearing quartz veins

表 1 西藏鸡公村钼矿中辉钼矿 Re-Os 同位素数据

Table 1 Re and Os analytical results of molybdenites from the Jigongcun molybdenum deposit, Tibet

样品编号	m/g	$w(\text{Re})/\mu\text{g/g}$	$w(\text{普 Os})/\text{ng/g}$	$w(^{187}\text{Re})/\mu\text{g/g}$	$w(^{187}\text{Os})/\text{ng/g}$	模式年龄/Ma
JGC1	0.00230	1691 ± 29	0.0460 ± 0.3115	1063 ± 18	395.3 ± 2.5	22.32 ± 0.46
JGC2	0.00243	1514 ± 16	0.1902 ± 0.1506	951.5 ± 9.8	353.3 ± 2.7	22.29 ± 0.36
JGC3	0.00213	1496 ± 19	0.1642 ± 0.1202	940.1 ± 11.9	352.1 ± 2.6	22.48 ± 0.40
JGC4	0.00237	1512 ± 20	0.2447 ± 0.2032	950.2 ± 12.3	361.1 ± 2.3	22.81 ± 0.40
JGC5	0.00211	1410 ± 18	0.1633 ± 0.1739	886.1 ± 11.2	331.4 ± 3.1	22.45 ± 0.42

注：测试者为中国地质科学院国家地质测试中心屈文俊、杜安道；表内误差为 2σ 。

Brooks 等(1972)指出 $MSWD < 2.5$ 时, 等时线年龄是可信的, 所以本文辉钼矿 Re-Os 等时线年龄(21.8 ± 6.2) Ma 代表了鸡公村钼矿的成矿时代。

4 讨论

4.1 鸡公村钼矿的成矿动力学背景

冈底斯成矿带矿产勘查和研究工作不断取得新的进展, 一系列形成于陆陆碰撞阶段和陆内后碰撞伸展环境的多金属矿产被发现和识别出来。早期研

究的冈底斯斑岩铜矿带, 成矿时间主要集中在 $17 \sim 12$ Ma。最近, 形成于后碰撞造山向走滑伸展转换的过渡环境、成矿时限集中在 $30 \sim 20$ Ma 的铜钼多金属矿床也被识别出来。

约 $45 \sim 40$ Ma, 特提斯洋全面消亡, 印度大陆与亚洲大陆完全对接, 从而进入后碰撞(陆内造山)阶段(莫宣学等, 2007; 莫宣学, 2010)。后碰撞阶段早期($40 \sim 25$ Ma), 印度大陆板片缓角度俯冲产生的巨大阻力, 导致陆块间的相对运动(陆内俯冲、走滑剪切)和块体旋转(侯增谦等, 2008; 刘俊来等, 2006;

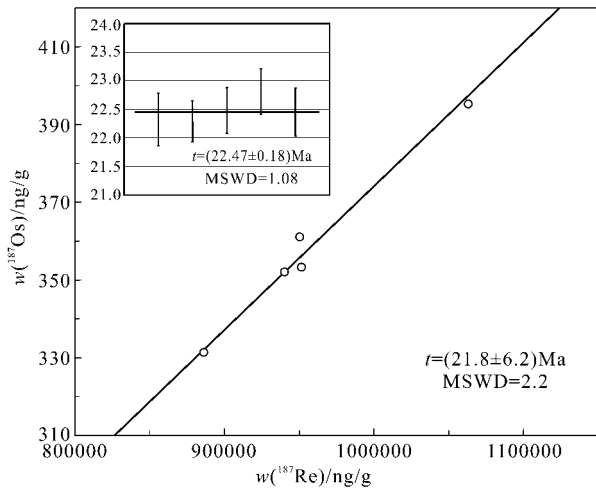


图3 西藏鸡公村钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素等时线

Fig. 3 Re-Os isotopic isochron diagram of molybdenite separates from the Jigongcun molybdenum deposit, Tibet

汪洋等, 2006) 在冈底斯带, 主要发育一系列逆冲断裂系统, 雅鲁藏布江缝合带(YZS)被南倾的大反向逆冲断裂系(GCT)和北倾的冈底斯逆冲断裂系(GC)改造, 沿冈底斯带发育EW走向的逆冲推覆构造系统(30~24 Ma)(Yin et al., 2000; 侯增谦等, 2008; 吴珍汉等, 2011)。后碰撞阶段晚期(25 Ma)的构造变形, 主体发育于NS向挤压的动力学背景之下。在25~18 Ma, 下地壳塑性流动并向南挤出, 在藏南地区形成EW向延伸的藏南拆离系(STD), 上地壳强烈逆冲推覆, 在拉萨地体发育EW向展布的逆冲断裂系; Williams等(2001)认为在18 Ma左右高原开始东西向伸展, 也有学者认为这个时间可能更晚, 约在14~13 Ma以前, 并且在11~7 Ma得到进一步增强(Coleman et al., 1995; 李亚林等, 2005), 丁林等(2006)在总结了前人成果的基础上, 认为拉萨地块裂谷伸展的起始时间为23~13 Ma。莫宣学等(2005, 2009)认为冈底斯带在40~26 Ma期间几乎是一个岩浆活动的间歇期, 但30 Ma左右有零星的源于中-上地壳的强过铝花岗岩开始活动, 在26 Ma左右青藏高原造山带发生过大规模的岩石圈拆沉, 并伴有软流圈物质的上涌, 强过铝质花岗岩的发育在24~18 Ma达到高潮。这些构造和岩浆活动可能造就了冲木达金矿床(21.35~31 Ma)(Li et al., 2005; 李光明等, 2006b; 莫济海等, 2008; 姜子琦等, 2011), 明则钼矿床[(30.26 ± 0.69) Ma]和努日钨铜钼矿床[(23.62 ± 0.97) Ma](闫学义等, 2010), 汤不拉斑岩型铜矿床[(20.9 ± 1.3) Ma](王

保弟等, 2010)的发育。上述一系列年代学数据表明, 冈底斯成矿带陆内后碰撞造山阶段在30~20 Ma有与岩浆构造活动有关的多金属成矿事件。

鸡公村钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为(21.8 ± 6.2) Ma, 表明该矿床形成于后碰撞造山向伸展转换的过渡环境。后碰撞陆内造山(俯冲、推覆)向伸展转换的过渡环境的应力松弛, 造就了鸡公村钼矿含矿热液的侵位和钼矿的发育(22.29~22.81) Ma。林武等(2004)、曲晓明等(2006)、郑有业等(2007)分别在冲江[(24.1 ± 0.9) Ma]、南木、拉抗俄(21.1 Ma)、朱诺(23.5 Ma和22.3 Ma)测得了与鸡公村成矿年龄相近的锆石年龄, 早于陆内后碰撞伸展环境的传统冈底斯斑岩铜矿带的形成时代(17~12 Ma), 这说明在传统冈底斯斑岩铜矿带可能存在着多期次成矿叠加。鸡公村钼矿床产于被认为代表陆-陆碰撞期50 Ma左右的岩浆底侵与岩浆混合作用的曲水岩基内部, 曲水岩体内部及暗色包体附近常常伴有浸染状分布的黄铜矿和晶体粗大(约20 mm × 30 mm)的辉钼矿, 部分黄铜矿发生孔雀石化, 其中的辉钼矿 Re-Os 模式年龄为45.3 Ma(引自董国臣、赵志丹等, 未刊资料), 这可能暗示在曲水岩体内部发生了叠加成矿作用, 也指示了在老的、大的基岩中寻找钼铜矿床的新线索。冈底斯东段南部山南地区发育有与冈底斯火山-岩浆弧渐新世到中新世的高钾钙碱性花岗侵入杂岩有关的矽卡岩型Cu-Au(Mo)矿床, 可能代表了冈底斯的另一个成矿事件(20~30 Ma)(李光明等, 2006a)。值得注意的是, 鸡公村钼矿与山南地区发育的矽卡岩型Cu-Au(Mo)矿床同在冈底斯南缘, 这说明了30~20 Ma的成矿主要集中在冈底斯成矿带南缘, 雅鲁藏布江缝合带附近。鸡公村钼矿成矿时代的确定, 不仅为冈底斯南缘30~20 Ma时限存在铜钼多金属成矿潜力提供了新的证据, 并将这一成矿事件沿冈底斯成矿带南缘向西延长了近百公里, 对以后的找矿部署工作有重要的指导意义。鸡公村钼矿成矿时代代表的这次成矿事件(30~20 Ma)可能与传统的冈底斯斑岩成矿事件(17~12 Ma)一起构成了一个在时间上连续的成矿序列。冈底斯成矿带年龄数据的积累表明, 冈底斯成矿带的成矿作用可能贯穿于印欧大陆的整个碰撞和后碰撞阶段, 目前缺失年龄为40~30 Ma的矿床, 在以后的勘查中也许会被陆续识别出来。

4.2 成矿物质来源

Re 是一种中度不相容的亲铜、亲铁元素,主要富集于地幔中,且 Re 的地球化学行为与 Mo 相似,在辉钼矿中能达到最大的富集程度,因此辉钼矿中 Re 元素的含量可以在一定程度上反映相关矿床的成矿物质来源(Mao et al., 1999; Stein et al., 2001)。鸡公村钼矿辉钼矿的 $\epsilon(\text{Re})$ 为 $1410 \times 10^{-6} \sim 1691 \times 10^{-6}$, 与冈底斯成矿带其他钼(铜、金)矿床一样,含量较高(至于西藏地区辉钼矿中 Re 含量偏高的现象,还有待于进一步研究),比近年来中国其他的幔源钼(铜)矿床含量高。偏高的 Re 含量可能与鸡公村钼矿所产出的曲水岩体有关。Mao 等(1999)、孟祥金等(2007)、应立娟等(2010)在综合分析、对比了中国各类型铜钼矿床中辉钼矿的 Re 含量后总结认为,从地幔到壳幔混源再到地壳,辉钼矿中的 $\epsilon(\text{Re})$ 从 $n \times 10^{-4} \sim n \times 10^{-5} \sim n \times 10^{-6}$ 递减变化,据此结论,并结合在 26 Ma 左右青藏高原造山带发生过大规模的岩石圈拆沉,并伴有软流圈物质的上涌(莫宣学等, 2005; 莫宣学, 2009)这一事件,初步认为鸡公村钼矿的成矿物质可能主要来自拆沉的下地壳被地幔加热后再熔融的深源(下地壳-上地幔)岩浆。

5 结 论

鸡公村钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为 $(21.8 \pm 6.2) \text{ Ma}$, 表明该矿床形成于后碰撞造山向伸展转换的过渡环境。鸡公村钼矿成矿年龄的精确厘定暗示在冈底斯成矿带后碰撞造山向伸展转换的过渡环境下可能存在着集中成矿事件(30~20 Ma), 该成矿事件可能与传统的冈底斯斑岩成矿事件(17~12 Ma)一起构成了一个在时间上连续的成矿序列。冈底斯成矿带年龄数据的积累表明, 冈底斯成矿带的成矿作用可能贯穿于印欧大陆的整个碰撞和后碰撞阶段, 目前缺失年龄为 40~30 Ma 的矿床, 在以后的勘查中也许会被陆续识别出来。

鸡公村辉钼矿较高的 $\epsilon(\text{Re})$ ($1410 \times 10^{-6} \sim 1691 \times 10^{-6}$), 高于中国其他地区的钼(铜)矿床, 暗示其成矿物质可能主要来源于拆沉的下地壳被地幔加热后再熔融的深源(下地壳-上地幔)岩浆。

志 谢 感谢多位审稿老师对本文提出的宝贵修改意见, 以及国家地质测试中心屈文俊博士对本

文实验工作方面的指导!

参考文献/References

- 丁 林, 岳雅慧, 蔡福龙, 徐晓霞, 张清海, 来庆洲. 2006. 西藏拉萨地块高镁超钾质火山岩及对南北向裂谷形成时间和切割深度的制约[J]. 地质学报, 80(9): 1252-1261.
- 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[J]. 地质学报, 68(4): 339-347.
- 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 孙德忠, 刘敦一. 2001. Carius 管溶祥和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄([J]). 岩矿测试, 20(4): 247-252.
- 高一鸣, 陈毓川, 唐菊兴, 李 超, 李新法, 高 明, 蔡志超. 2011. 西藏工布江达地区亚贵拉铅钨钼矿床辉钼矿 Re-Os 测年及其地质意义[J]. 地质通报, 30(7): 1027-1036.
- 侯增谦, 曲晓明, 王淑贤, 高永丰, 杜安道, 黄 卫. 2003. 西藏高原冈底斯斑岩铜矿带辉钼矿 Re-Os 年龄: 成矿作用时限与动力学背景应用[J]. 中国科学, 33(7): 609-618.
- 侯增谦, 王二七. 2008. 印度-亚洲大陆碰撞成矿作用主要研究进展[J]. 地球学报, 29(3): 275-292.
- 胡敬仁. 1995. 西藏曲水县色甫-科木韧性剪切带变形变质特征[J]. 西藏地质, 1(13): 99-109.
- 蒋少涌, 杨竞红, 赵葵东, 于际民. 2000. 金属矿床 Re-Os 同位素示踪与定年研究[J]. 南京大学学报(自然科学), 36(6): 669-677.
- 李光明, 芮宗瑶. 2004. 西藏冈底斯成矿带斑岩铜矿的成岩成矿年龄[J]. 大地构造与成矿学, 22(2): 165-170.
- 李光明, 秦克章, 丁奎首, 李金祥, 王少怀, 江善元, 张兴春. 2006a. 冈底斯东段南部第三纪砂卡岩型 Cu-Au \pm Mo 矿床地质特征、矿物组合及其深部找矿意义[J]. 地质学报, 80(9): 1407-1421.
- 李光明, 刘 波, 余宏全, 丰成友, 屈文俊. 2006b. 西藏冈底斯成矿带南缘喜马拉雅早期成矿作用: 来自冲木达铜金矿床的 Re-Os 同位素年龄证据[J]. 地质通报, 25(12): 1481-1487.
- 李亚林, 王成善, 伊海生, 李 勇, 王 谋. 2005. 青藏高原新生代地堑构造研究中几个问题的讨论[J]. 地质评论, 51(5): 493-501.
- 廖忠礼. 2003. 西藏南部过铝花岗岩的特征、成因及构造意义[D]. 中国地质大学(北京)博士学位论文. 150 页.
- 林 武, 梁华英, 张玉泉, 谢应雯. 2004. 冈底斯铜矿带冲江含矿斑岩的岩石化学及锆石 SHRIMP 年龄特征[J]. 地球化学, 33(6): 585-592.
- 刘俊来, 宋志杰, 曹淑云, 翟云峰, 王安建, 高 兰, 修群业, 曹殿华. 2006. 印度-欧亚侧向碰撞带构造-岩浆演化的动力学背景与过程——以藏东三江地区构造演化为例[J]. 岩石学报, 22(4): 775~786.
- 姜子琦, 王 强, Wyman A, 唐功建, 贾小辉, 杨岳衡, 喻亨祥. 2011. 西藏冈底斯南缘冲木达约 30 Ma 埃达克质侵入岩的成因: 向北俯冲的印度陆壳的熔融[J]? 地球化学, 40(2): 126-146.
- 孟祥金, 侯增谦, 董光裕, 刘建光, 屈文俊, 杨竹森, 左力艳, 万禄

- 进,肖茂章. 2007. 江西金溪熊家山钼矿床特征及其 Re-Os 年龄[J]. 地质学报, 81(7):946-951.
- 莫济海,梁华英,喻亨祥,陈勇,孙卫东. 2008. 西藏冲木达铜-金-钼-矿床黑云角闪二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄及其意义[J]. 地球化学, 37(3):206-212.
- 莫宣学,赵志丹,邓晋福,董国臣,周肃,郭铁鹰,张双全,王亮亮. 2003. 印度-亚洲大陆碰撞过程的火山作用响应[J]. 地学前缘, 10(3):135-148.
- 莫宣学,董国臣,赵志丹,周肃,王亮亮,邱瑞照,张风琴. 2005. 西藏冈底斯带花岗岩的时空分布特征及地壳生长演化信息[J]. 高校地质学报, 11(3):281-290.
- 莫宣学,赵志丹,周肃,董国臣,廖忠礼. 2007. 印度-亚洲大陆碰撞的时限[J]. 地质通报, 26(10):1240-1244.
- 莫宣学. 2009. 青藏高原岩浆岩成因研究成果与展望[J]. 地质通报, 28(12):1693-1703.
- 莫宣学. 2010. 青藏高原地质研究的回顾与展望[J]. 中国地质, 37(4):841-853.
- 潘桂棠,莫宣学,侯增谦,朱弟成,王立全,李光明,赵志丹,耿全如,廖忠礼. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化[J]. 岩石学报, 22(3):521-533.
- 曲晓明,侯增谦,莫宣学,董国臣,徐文艺,辛洪波. 2006. 冈底斯斑岩铜矿与南部青藏高原隆升之关系——来自含矿斑岩中多阶段锆石的证据[J]. 矿床地质, 25(4):388-400.
- 芮宗瑶,侯增谦,曲晓明,张立生,王龙生,刘玉琳. 2003. 冈底斯斑岩铜矿成矿时代与青藏高原隆升[J]. 矿床地质, 22(3):217-225.
- 唐菊兴,陈毓川,王登红,王成辉,许远平,屈文俊,黄卫,黄勇. 2009. 西藏工布江达县沙让斑岩钼矿床辉钼矿-钨同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 83(5):698-704.
- 王保弟,许继峰,陈建林,张兴国,王立全,夏抱本. 2010. 冈底斯东段汤不拉斑岩 Mo-Cu 矿床成岩成矿时代与成因研究[J]. 岩石学报, 26(6):1820-1832.
- 汪洋,张开均. 2006. 青藏高原新生代构造研究最新进展和构造发展的阶段性[J]. 南京大学学报, 42(2):199-219.
- 王珍汉,赵立国,叶培盛,胡道功,周春景. 2011. 青藏高原中段渐新世逆冲推覆构造[J]. 中国地质, 38(3):522-536.
- 西藏自治区地质矿产局, 1993, 西藏自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社. 264-477.
- 熊清华,左祖发. 1999. 西藏冈底斯岩带中段南缘韧性剪切带特征[J]. 中国区域地质, 18(2):175-180.
- 闫学义,黄树峰,杜安道. 2010. 冈底斯泽当大型钨铜钼矿 Re-Os 年龄及陆缘走滑转换成矿作用[J]. 地质学报, 84(3):398-406.
- 应立娟,王登红,唐菊兴,畅哲生,屈文俊,郑文宝,王焕. 2010. 西藏甲玛铜多金属矿辉钼矿 Re-Os 定年及其成矿意义[J]. 地质学报, 84(8):1165-1174.
- 张刚阳,郑有业,龚福志,高顺宝,屈文俊,庞迎春,石若玉,殷世艳. 2008. 西藏吉如斑岩铜矿:与陆陆碰撞过程相关的斑岩成岩成矿时代约束[J]. 岩石学报, 24(3):473-479.
- 郑有业,高顺宝,程力军,李国梁,冯南平,樊子琿,张华平,郭建慈,张刚阳. 2004a. 西藏冲江大型斑岩铜(钼)矿床的发现及意义[J]. 地球科学, 29(3):333-339.
- 郑有业,薛迎喜,程力军,樊子琿,高顺宝. 2004b. 西藏驱龙超大型斑岩铜(钼)矿床:发现、特征及意义[J]. 地球科学, 29(1):103-108.
- 郑有业,张刚阳,许荣科,高顺宝,庞迎春,曹亮,杜安道,石玉若. 2007. 西藏冈底斯朱诺斑岩铜矿床成岩成矿时代约束[J]. 科学通报, 52(21):2542-2548.
- Brooks C, Hart S and Wendt I. 1972. Realistic use of two-error regression treatments as applied to rubidium-strontium data[J]. Rev. Geophys. Space Phys., 10:93-104.
- Chung S L, Liu D Y, Ji J Q, Chu M F, Lee H Y, Wen D J, Lo C H, Lee T Y, Qian Q and Zhang Q. 2003. Adakites from continental collision zones: Melting of thickened lower crust beneath southern Tibet[J]. Geology, 31(11):1021-1024.
- Coleman M E and Hodges K V. 1995. Evidence for Tibet plateau uplift before 14Myr ago—from a new minimum estimate for east-west extension[J]. Nature, 374:49-52.
- Hou Z Q, Gao Y F, Qu X M, Rui Z Y and Mo X X. 2004. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east-west extension in southern Tibet[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 220:139-155.
- Guo Z, Wilson M and Liu J. 2007. Post-collisional adakites in south Tibet: Products of partial melting of subduction-modified lower crust[J]. Lithos, 96(1-2):205-224.
- Li G M, Qin K Z, Ding K S and Zhang X C. 2005. Cenozoic skarn Cu-Au deposits in SE-Gangdese: Features, ages, mineral assemblage and exploration significance[C]. Springer:8th Biennial SGA Meeting. 2:1239-1241.
- Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H and Du A D. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W (Mo) deposit in the northern Qilian mountains and its geological significance[J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 63:1815-1818.
- Shirey S B and Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis[J]. Anal. Chem., 67:2136-2141.
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Hannah J L and Schersten A. 2001. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: How and why it works[J]. Terra Nova., 13:479-486.
- Williams H, Turner S, Kelley S, et al. 2001. Age and composition of dikes in Southern Tibet: New constraints on the timing of east-west extension and its relationship to post-collisional volcanism[J]. Geology, 29:339-342.
- Yin A and Harrison T M. 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibet[J]. Orogen Annu Rev Earth Planet Sci., 28:211-280.