

拉拉铁氧化物铜金钼稀土矿床 Re-Os 同位素年龄及其地质意义

李泽琴¹, 王奖臻^{1,2}, 刘家军², 李朝阳², 杜安道³, 刘玉平², 叶琳²

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 2. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放
研究实验室, 贵州 贵阳 550002; 3. 中国地质科学院岩矿测试技术研究所, 北京 100037)

摘要: 拉拉铁氧化物铜金钼稀土矿床的成矿年龄一直悬而未决。文章采用辉钼矿 Re-Os 同位素方法, 首次对该矿床的形成年龄进行了直接测定。4 个样品的测定结果为: 928(±1)1 005(±1) Ma。这一结果与矿床的地质事实相吻合, 因此它代表了拉拉矿床的成矿时代。根据这一年龄数据与赋矿围岩河口群的变质年龄相一致等证据, 初步提出拉拉矿床为变质热液成因。此外拉拉矿床的矿化时代与 Rodinia 泛大陆拼贴的时限相当, 这表明 Rodinia 泛大陆拼贴事件对扬子地块的成矿作用产生了深刻的影响。

关键词: 铁氧化物铜金钼稀土矿床; Re-Os 同位素年龄; 扬子地块西缘

中图分类号: P597.33; P618.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2003)01-0039-04

拉拉铁氧化物铜金钼稀土矿床^[1](前人称之为拉拉铜矿床)是我国西南地区久负盛名的铜多金属矿床。鉴于其巨大的规模和独特的地质特征, 曾引起人们广泛的兴趣。长期以来, 有众多学者对其开展过多方面的研究。然而时至今日, 有关矿床形成时代的认识仍众说纷纭, 莫衷一是。归纳起来主要有 2 种观点: (1) 认为矿床形成年龄约为 800 Ma^[2,3]; (2) 认为矿床形成年龄约为 1 700 Ma^[4,5]; 本文选择了矿床中常见的矿石矿物辉钼矿, 采用 Re-Os 同位素法直接测定了矿床的形成年龄。

1 成矿地质背景概述

拉拉铁氧化物铜金钼稀土矿床(以下简称拉拉矿床)位于扬子地块西缘。矿区出露地层为中元古界河口群, 以及三叠系白果湾组。工业矿体赋存于河口群上部的变质火山岩中。主要的含矿岩性为(磁铁矿)石榴黑云片岩、磁铁黑云片岩以及(磁铁矿)钠长变粒岩。矿区构造分为 NW 向、SN 向和 NE 向 3 组。NW 向构造以 F₁ 断层为代表, 它控制了矿

带的展布方向。后两组构造分别以 F₂₇ 和 F₁₃ 为代表, 它们构成了矿区的东、西边界。矿区岩浆活动主要为晋宁期的基性岩浆侵入作用。拉拉矿床自西向东由落函、落东、李家村和石龙 4 个矿区组成。矿体呈似层状、透镜状以及脉状, 产状与围岩片理基本一致。矿石矿物以磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿为主, 其次有斑铜矿、辉铜矿、辉钴矿、赤铁矿等。脉石矿物有石英、黑云母、钠长石、萤石、方解石等。矿石的构造主要为浸染状和细脉状, 结构以半自形晶粒状结构和交代结构为主。根据矿物共生组合及成生顺序可将成矿作用划分为 3 个阶段, 即黑云母-磁铁矿阶段、石英-硫化物阶段和碳酸盐-硫化物阶段。辉钼矿主要形成于石英-硫化物阶段, 并与黄铜矿等矿石矿物紧密共生。

2 矿床的 Re-Os 同位素年龄测定

由于辉钼矿富含铼, 几乎不含普通钼, 其中的钼全部是由¹⁸⁷Re 衰变产生的¹⁸⁷Os, 因此可根据辉钼矿中铼、钼质量分数的准确测定计算其形成年龄^[6]。

收稿日期: 2002-06-25; 修订日期: 2002-10-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(40172039)和中国科学院知识创新项目(KZCX2-101)资助。

作者简介: 李泽琴(1957), 女, 四川泸州人, 副教授, 博士, 1998 年中科院贵阳地球化学研究所获博士学位, 研究方向为地球化学和环境地球化学。

本次研究采集了4个辉钼矿样品,经人工双目镜下挑纯后,在中国地质科学院岩矿测试技术研究所铼钨同位素实验室用同位素稀释-等离子体质谱法,进行Re-Os同位素年龄测定。

2.1 分析方法

本文采用碱熔法分解样品,详细的分解步骤参阅文献^[7]。碱熔法的优点在于,可以防止分解过程中Os挥发损失,并使样品与稀释剂中的Re、Os同位素充分交换而达到平衡。

2.1.1 蒸馏Os

将分解好的样品溶液于105~110℃蒸馏50分钟,用10 mL水吸收蒸出的OsO₄。用等离子体质谱仪测定Os。实验表明,Os(VIII)比其他低价Os的等离子体质谱测定的强度约增强50倍,从而更有利于Os的准确测定。

2.1.2 萃取Re

将蒸馏残液补加NaOH至5 mol/L,用丙酮萃取Re,弃掉水相,加入CHCl₃和水,反萃取Re到水相中,加热除去有机相,调解pH值为2.5,通过阳离子交换柱除去Na。流出液用于等离子体质谱仪测定Re。

采用上述流程,Re、Os的回收率达到90%以上,

Re和Os的空白值分别为0.07 ng和0.01 ng。从质谱测定结果可以证实Re与Os均未发生同位素分馏。

2.1.3 质谱测定条件

测试分析在美国TJA公司生产的Plasma Quad等离子体质谱仪上进行。分辨率<0.6 μm,扫描质量范围:Re=184191 μm,Os=183194 μm。通道数512,每道停留时间100 μm/s,扫描次数500,每个样品测定5次。

2.2 分析结果

拉拉矿床的辉钼矿 $w(^{187}\text{Re})$ 和 $w(^{187}\text{Os})$ 及表面年龄列于表1。由表可见:(1)由Re-Os法所获得的矿床辉钼矿形成的Re-Os表面年龄为928~1005 Ma,属于中元古代末期。(2)单矿物辉钼矿中 $w(\text{Re})$ 和 $w(^{187}\text{Os})$ 较高,其变化范围分别为 116×10^{-6} ~ 126×10^{-6} 和 1.203×10^{-9} ~ 1.229×10^{-9} 。这些数值远高于斑岩钼矿床辉钼矿中 $w(\text{Re})$ 和 $w(^{187}\text{Os})$ 的平均值(分别为 14×10^{-6} 和 22×10^{-9})^[8],而与碳酸盐脉型钼矿床的相近(分别为 152×10^{-6} 和 994×10^{-9})^[8]。由于Re为亲铜元素,Os为亲铁元素,因此辉钼矿中这两种元素的质量分数较高,反映了矿床的成矿物质来源于地球深部。

表1 拉拉铁氧化物-铜-金-钼-稀土矿床辉钼矿Re-Os同位素测试数据*

Table 1 Apparent Re-Os ages of molybdenite

样品编号	采样地点	样品质量(g)	$w(\text{Re})/10^{-6}$	$w(^{187}\text{Re})/10^{-6}$	$w(^{187}\text{Os})/10^{-9}$	年龄** (Ma)
L _a -21	落幽露天采场1085平台	0.01704	121.28(8)	76.23(5)	1282(1)	1001(1)
L _a -59	落幽露天采场1085平台	0.01704	120.45(13)	75.71(8)	1278(1)	1005(1)
L _d -7	落东1850中段	0.01540	115.88(13)	72.84(8)	1203(1)	983(1)
L _d -14	落东1850中段	0.01584	125.50(12)	78.88(8)	1229(1)	928(1)

* 括号内数字为误差σ,包括质谱测定误差和稀释剂标定误差,与最后一位数字或小数点最后一位数字对齐;

** 年龄计算公式为 $T = 1/\lambda \ln(1 + ^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re})$,其中¹⁸⁷Re的衰变常数 $\lambda = 1.666 \times 10^{-11}$ 。

3 讨论

3.1 拉拉铁氧化物-铜-金-钼-稀土矿床的成矿时代

利用Re-Os法定年,除了样品的化学处理方法正确外,其Re-Os必须是封闭体系,否则将会得出不真实的年龄数据^[6]。有关辉钼矿能否保持Re-Os同位素体系封闭的问题,目前尚存在争论。一些研究表明,辉钼矿的Re-Os同位素体系一般不受后期热事件和蚀变作用的影响^[9-11];但也有一些研究者认

为,如果辉钼矿经受了后期蚀变和(或)热事件的影响,可能会造成铼的丢失^[6,12]。鉴于此,本次研究的辉钼矿都是采集新鲜的样品,并用X光粉晶衍射法确定了这些辉钼矿的多型均为2H型或2H+3R型,故可以认为其Re-Os为封闭体系。此外Re-Os年龄的可靠程度还取决于 $w(^{187}\text{Re})$ 和 $w(^{187}\text{Os})$ 的分析误差,当样品中 $w(^{187}\text{Os}) < 0.1 \times 10^{-9}$ 时,其分析误差可达10%,由此可造成较大的年龄误差^[7]。由表1可见,参加测试的辉钼矿的 $w(^{187}\text{Os})$ 均 $> 1000 \times 10^{-9}$,因此由分析误差所造成年龄误差很小。由此可见,本文所获得的辉钼矿Re-Os年龄是可靠的,它

可以代表辉钼矿的真实年龄, 亦即矿床的形成时代。

3.2 矿床成因讨论

前人有关拉拉铜矿床的成因主要有以下两种观点: (1) 认为成矿与中元古代早期的岩浆喷发活动有关, 矿床属于受变质火山喷气-沉积矿床^[3]; (2) 主要依据矿床中黑云母的 K-Ar 年龄集中于 800 Ma 左右, 以及矿床的蚀变特征等, 提出矿床与晋宁期的基性岩浆热液具有直接关系^[2]。而最新研究成果表明, 拉拉矿床具有明显的后生热液成矿特征^[1], 因此矿床的形成应该晚于河口群原岩的形成时代, 即晚于中元古代。另外详细的野外地质调查表明, 矿区晋宁期基性岩浆侵入体错切矿体, 因而矿床的成矿作用应早于晋宁期的岩浆活动。

本次研究所获得 Re-Os 同位素年龄 928 1 005 Ma 与河口群的变质年龄 $1\ 006 \pm 60$ Ma (Rb-Sr 等时线法^[13]) 相一致, 结合矿床具有明显的热液成矿特征, 矿床的成矿物质主要来自河口群, 成矿流体为变质热液^[1]等事实, 初步认为拉拉矿床是在约 1 000 Ma 时, 由变质热液所形成, 中元古代早期即河口群形成时的岩浆喷发起到了使成矿物质初步富集的作用, 而 800 Ma 时的基性岩浆侵入作用对矿床产生了一定程度的改造和破坏。

3.3 Rodinia 泛大陆拼贴事件与扬子地块西缘成矿作用

近年来一些研究者通过同位素年代学和古地磁的研究, 提出自中元古代末至新元古代扬子地块是 Rodinia 泛大陆的一个组成部分^[14]。目前已经知道, Rodinia 泛大陆的拼贴完成于约 1.0 Ga 时, 从 0.8 Ga 左右开始裂解, 至 0.7 Ga 时完全解体。国内外的一些研究已经证实伴随 Rodinia 泛大陆的拼贴和裂解事件发生了强烈的矿化作用, 并且在扬子地块西缘的确也已经发现与 Rodinia 泛大陆裂解有关的矿化事件, 即 800 Ma 左右的成矿作用。但是由于缺乏可靠的年龄数据, 扬子地块是否存在与 Rodinia 泛大陆拼贴有关的矿化事件一直是个谜。拉拉矿床辉钼矿 Re-Os 年龄的获得, 说明扬子地块发育与 Rodinia 大陆的拼贴事件有关的成矿作用。这对该区今后的找矿勘探工作的部署具有重要的指导意义。

4 结论

(1) 拉拉铁氧化物-铜-金-钼-稀土矿床辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄测定结果表明, 矿床的 Re-Os 表面

年龄为 928 1 005 Ma。这一结果与矿床的地质事实相吻合, 因此它代表了拉拉矿床的成矿时代。

(2) 矿化年龄与河口群变质时代相同, 矿床的成矿物质来自河口群, 成矿流体为变质热液, 因此拉拉矿床属于变质热液成因。

(3) 拉拉矿床的矿化时间与 Rodinia 泛大陆的拼贴时限相当, 表明 Rodinia 泛大陆拼贴事件对扬子地块的成矿作用产生了深刻的影响。

致谢: 野外工作期间得到中科院贵阳地球化学研究所罗泰义博士, 以及拉拉矿床地测科李学清、朱志全等同志的帮助, 使研究工作得以顺利进行, 在此谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 王奖臻, 胡瑞忠, 李泽琴, 等. 中国首例铁氧化物-铜-金-钼-稀土矿床的厘定及其成矿演化[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2002, (待刊).
- [2] 陈好寿, 冉崇英. 康滇地轴铜矿床同位素地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1992. 1-90.
- [3] 贺节明. 川西会理拉拉纳长交代岩及其原岩[J]. 中国地质科学院报成都地质矿产研究所分刊, 1980, 1(1): 59-77.
- [4] 杨应选, 仇定茂, 阚梅英, 等. 西昌-滇中前寒武系层控铜矿[M]. 重庆: 重庆出版社, 1988. 153-183.
- [5] 四川省地质局 403 地质队. 四川拉拉铜矿成矿地质特征[A]. 见: 铁铜矿产专集[C]. 北京: 地质出版社, 1973. 84-96.
- [6] Luck J K, Allegre C J. the study of molybdenites through the ¹⁸⁷Re-¹⁸⁷Os chronometer[J]. Earth and Planet Science Letter, 1982, 61: 291-296.
- [7] 杜安道, 何红蓼, 殷守万, 等. 辉钼矿-铼-钨同位素地质年龄测定方法研究[J]. 地质学报, 1994, 68(4): 339-347.
- [8] 黄典豪, 吴澄宇, 杜安道, 等. 东秦岭地区钼矿床的铼-钨同位素年龄及其意义[J]. 矿床地质, 1994, 13(3): 221-229.
- [9] Rath J G, Stein H J. Re-Os dating and sulfur isotope composition of molybdenite from tungsten deposits in western Namaqualand, South Africa: implication for ore genesis and the timing of metamorphism[J]. Mineralium Deposita, 2000, 35: 741-753.
- [10] Selby D, Creaser R A. Re-Os geochronology and systematics in molybdenite from the Endako porphyry molybdenum deposit, British Columbia, Canada[J]. Economic Geology, 2001, 96: 197-204.
- [11] Stein H J, Sundblad K, Markey R J, et al. Re-Os ages for Archean molybdenite and pyrite, Kuittila, Finland and Proterozoic molybdenite, Kabeliai, Lithuania: A metamorphic and metasomatic test for the chronometer[J]. Mineralium Deposita, 1998, 33: 329-345.
- [12] Suzuki K, Kagi H, Nara M, et al. Experimental alteration of molybdenite of the Re-Os system, infrared spectroscopic profile

- and polytype[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2000, 64: 223-232.
- [13] 李复汉, 覃嘉铭, 申玉莲, 等. 康滇地区的前震旦系[M]. 重庆: 重庆出版社, 1988. 270-280.
- [14] Li Z X, Zhang L H, Powell C M. South China in Rodinia: A part of the missing link between Australia-East Antarctica and Laurentia? [J]. *Geology*, 1995, 23(5): 407-410.

Re-Os DATING OF MOLYBDENITE FROM LALA Fe-Oxide-Cu-Au-Mo-REE DEPOSIT, SOUTHWEST CHINA: IMPLICATIONS FOR ORE GENESIS

LI Ze-qin¹, WANG Jiang-zhen^{1,2}, LIU Jia-jun², LI Chao-yang², DU An-dao³, LIU Yu-ping¹, YE Lin¹

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

3. Institute of Rock and Mineral Analysis, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The recent works suggest that Lala deposit, located in Sichuan Province of China, is a typical Fe-Oxide-Cu-Au-Mo-REE deposit (Wang *et al.*, 2002). Lala deposit is situated in the western margin of Yangtze block. The host rock of the deposit is named He Kou Group. He Kou Group is composed of quartz albite, garnet-biotite schist, magnetite quartzite, quartz schist, hornblende schist and minor marble. The protolith of the quartz albite, garnet-biotite schist, magnetite quartzite are spilite, keratophyre, and keratophyre volcanoclastic rock, with subsidiary co-genetic intrusive rocks. The Lala deposit appears to have the forms of lens and vein. The deposit strike east northeast and dip at approximately 30° to south. The mineralization are also accompanied by high P concentrations, and anomalous, but erratic, F, U, Th, Nb and Ta. It was reported that the deposit was formed by the magmatic hydrothermal fluids secreted from a gabbro sill, at 800 Ma. In this paper, direct dating of molybdenite from the deposit using the Re-Os method has been done. Four Re-Os ages range between 928 ± 1 Ma and 1005 ± 1 Ma. These ages are interpreted as the age of Cu and Mo mineralization. This age is much older than the emplacement ages for the main intrusive suites. The age is consistent with the age of the metamorphism of He Kou Group, which is 969 ± 52 Ma of the whole rock Rb-Sr dating of muscovite schist (Li *et al.* 1988). We suggest that Cu and Mo mineralization is genetically linked to the metamorphic hydrothermal fluid processes at 1000 Ma thereby precluding the 800 Ma gabbro as the source for mineralizing fluids.

Key words: Fe-Oxide-Cu-Au-Mo-REE deposit, Re-Os dating, the west margin of Yangtze block