

文章编号 0258-7106(2010)02-0371-08

# 越南 O Quy Ho 钼矿床的成矿时代及成矿物质来源探讨\*

TRAN My Dung<sup>1,2</sup>, 刘俊来<sup>1\*\*</sup>, NGUYEN Quang Luat<sup>2</sup>, 陈越<sup>1</sup>, 邹运鑫<sup>1</sup>  
(1 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 2 河内地质与矿业大学, 越南 河内)

**摘要** 越南西北部 O Quy Ho 钼矿床为范士版成矿带的典型钼矿床之一, 矿体以脉状形式就位于中生代花岗岩中, 辉钼矿主要赋存于石英脉及长石石英脉中, 与黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿等共生。8 件样品硫同位素分析结果表明  $\delta^{34}\text{S}$  介于 0.14‰~3.34‰ 之间, 平均值为 1.53‰, 表明成矿物质具有深源特征。黄铁矿的  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  范围为 18.583~22.355,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化于 15.632~15.812 之间,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化于 38.989~39.199; 辉钼矿的  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  分别为 18.686~18.737, 15.655~15.660 和 39.081~39.082, 与范士版含角闪石花岗岩斑岩具有成因联系。辉钼矿 Re-Os 同位素等时线测年获得了  $(36 \pm 1)$  Ma 的年龄, 该年龄与金沙江-红河新生代斑岩铜钼矿成矿带岩浆-成矿活动的年龄一致, 提出 O Quy Ho 钼矿床为金沙江-红河新生代斑岩铜钼矿带的一部分。

**关键词** 地球化学, Re-Os 同位素年龄, O Quy Ho 钼矿床, 金沙江-红河斑岩铜钼矿带, 哀牢山剪切带, 越南西北中图分类号: P618.65 文献标志码: A

## Metallogenic epoch and metallic sources of O Quy Ho molybdenum deposit, Vietnam

TRAN My Dung<sup>1,2</sup>, LIU JunLai<sup>1\*\*</sup>, NGUYEN Quang Luat<sup>2</sup>, CHEN Yue<sup>1</sup> and ZOU YunXin<sup>1</sup>  
(1 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Hanoi University of Geology and Mining, Hanoi, Vietnam)

### Abstract

The O Quy Ho ore deposit is a typical molybdenum deposit in the Phan Si Pan metallogenic belt, northwest Vietnam. Ore bodies occur as quartz veins or quartzofelspathic veins intruding Mesozoic granite. Molybdenite has formed an ore mineralization sequence with pyrite, chalcopyrite, magnetite and some other minerals. The  $\delta^{34}\text{S}$  values of pyrite and molybdenite are between 0.14‰ and 3.34‰, with an average of 1.53‰, implying that sulfur of ore-forming materials was derived from a deep source. The  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios of pyrite vary in ranges of 18.583~22.355, 15.632~15.812, 38.989~39.199; the ranges of  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios for molybdenite are 18.686~18.737, 15.655~15.660 and 39.081~39.082, respectively. The uniform Pb isotope compositions of the ore deposit imply that the ore mineralization sequence is possibly related to the Phan Si Pan amphibole-bearing porphyritic intrusions of the same age. Re-Os dating of molybdenite samples gives an isochron age of  $(36 \pm 1)$  Ma, suggesting that the O Quy Ho ore deposit is a part of the Jinsha River-Red River porphyry Cu-Mo mineralization belt.

**Key words:** geochemistry, Re-Os isochron age, O Quy Ho molybdenum deposit, Jinsha River-Red River porphyry Cu-Mo mineralization belt, Ailaoshan shear zone, northwest Vietnam

\* 本文得到国家 973 项目(2009CB421001)、国土资源部公益性行业科研专项经费项目(200811008)、教育部 111 计划(B07011)与科技支撑计划(2006BAB01A03)的联合资助

第一作者简介 TRAN My Dung, 男, 1976 年生, 博士, 主要从事区域构造与成矿规律分析研究。Email: meiyongshixiang@126.com

\*\* 通讯作者 刘俊来, 男, 1960 年生, 教授, 主要研究方向为构造地质学和构造物理学。Email: jliu@cugb.edu.cn

收稿日期 2009-08-25; 改回日期 2009-10-27。李岩编辑。

位于哀牢山成矿带以南的范士版(Phan Si Pan)成矿带是越南西北部最重要的成矿带之一。这里产有越南最大的铜矿(辛归铜-铁-稀土元素-金矿床)稀土元素矿(东包与南溪稀土元素矿床)以及磷矿(甘糖磷矿床)和越南重要的钼矿(沙巴钼矿集区)与许多金属矿床(点)如金矿、铅锌矿、镍矿等。

O Quy Ho 钼矿床位于越南老街省沙巴县 O Quy Ho 店乡,是越南范士版成矿带中典型的钼矿床(图1)。它于1966年被越南地质局地调20E地质队发现,1994年越南地质局地调三大队进行了初步勘探,控制的钼资源量达1.6万吨,钼元素平均含量0.2%,属于中型矿床(Le et al., 1995)。早期对该矿床的工作侧重于矿物组合、岩石蚀变与矿床分布及其与围岩关系等方面的研究,基于此提出O Quy Ho 矿床为典型的热液石英脉型矿床(Le, 1995)。本文结合矿床地质分析,侧重从矿石矿物硫、铅同位素与Re-Os同位素年龄测定入手,厘定了O Quy Ho 钼矿床的成矿物质来源与成矿年代,并结合区域成矿特点对其成因、成矿地球动力学背景进行了初步讨论,为哀牢山-范士版地区的区域成矿规律提供了依据。

## 1 区域地质背景

O Quy Ho 矿床位于范士版成矿带(图1a)内。该带在大地构造上为哀牢山成矿带南延部分。其东缘为红河断裂带,西侧接金平-沱江晚二叠世到早三叠世陆内裂谷与晚侏罗世到早白垩世秀丽火山岩带相毗邻(图1a、b),两者之间被区域性断裂所分开。范士版成矿-构造带经历了相当复杂的构造演化,区内构造线总体走向北西,褶皱、断裂构造发育,有多条与区域构造带走向一致的韧性剪切带。金平-沱江带陆内裂谷带的下三叠统陆源相岩石系列大面积出露,各种二叠纪基性喷出岩广布,形成一个独特的岩浆系列,可与峨眉山玄武岩对比(Tran, 2008)。秀丽(Tu Le)火山岩带位于沱江带与范士版带之间,由侏罗纪-白垩纪的流纹岩、玄武岩与粗面岩组成。根据化学成分,秀丽火山岩带岩浆活动可分为3期:早期为粗面岩喷出岩,分布在该带的西南部;中期为玄武岩、玄武岩-安山岩与辉长岩岩体,分布在该带的中心;晚期为长英质喷出岩,分布在该带的北部(Nguyen, 2003)。

范士版成矿带主要由元古代深变质岩、下寒武统灰岩与钙质含磷灰石片岩、下泥盆统灰岩以及不同时代的花岗岩组成。元古代深变质岩属于春台(Xuan Dai)群,在范士版带内沿着红河断裂大面积分布,也是区内最古老的复杂构造-地层单元。春台群由溪井(Suoi Chieng)组(主要岩性为石榴黑云斜长角闪片麻岩、斜长角闪片麻岩)与辛归(Sinh Quyen)组(主要岩性为含石墨片岩、石榴子石黑云母片岩、黑云母石英片麻岩与大理岩透镜体等)构成。大部分范士版的铜-铁-金-稀土元素矿床(IOCG型)都产出于辛归组岩石内。下寒武统甘唐(Cam Duong)组灰岩与钙质含磷灰石片岩不整合覆盖在辛归组岩石之上,呈狭窄的北西向带状沿着范士版成矿带东缘分布。其中含磷灰石地层形成了一系列的大型磷矿床。下泥盆

统分布面积较小,主要沿着北北西向的断裂带呈狭窄条带状分布。

范士版成矿带内岩浆岩有新元古宙侵入岩(750 Ma, Tran, 2003)与新生代侵入岩(Dao et al., 1995)。新元古宙波森(Posen)岩体分布在范士版成矿带的东侧,岩石成分主要为黑云母花岗岩,普遍具有典型的片麻状构造。在岩体的边缘,岩石遭受强烈剪切作用改造,S-C组构发育,有明显的左或右行走滑标志。

新生代岩体沿着范士版成矿带的西缘分布,以钙碱性花岗岩为主,形成时代为58~35Ma(Dao, 1995; Tran, 2002; Nguyen, 2003; Zhang et al., 1999; Leloup et al., 2001)。大部分范士版成矿带的钼矿床与矿点都分布在该杂岩内或它的边缘,由此可见新生代杂岩形成和演化与区域钼矿床具有密切的成因联系(Nguyen, 2003; Tran, 2004)。该杂岩可分成2期岩浆活动,早期以花岗闪长岩与黑云母花岗岩,晚期以含角闪石花岗斑岩为主(Dao et al., 1995),属于I型花岗岩(Tran, 2002; Nguyen, 2003)。

## 2 矿床地质与样品介绍

### 2.1 矿床地质概况

范士版成矿带内有11个钼矿床与矿点,主要分布在范士版花岗岩体内及其附近,其中O Quy Ho 矿床是该带的典型钼矿床。矿区内出露地层为元古宙辛归组黑云母片麻岩与下泥盆统Ban Nguon组灰岩。岩石呈北北西向带状延长,受断层控制或为花岗岩捕虏体。邻近的主要侵入岩体为中细粒片麻状黑云母花岗岩和含角闪石花岗斑岩(图1c)。矿区经勘探共发现14个矿体,其中第3号矿体规模最大,占矿床总储量的2/3(图2)。大部分矿体走向北北西,倾向北东,倾角50~70°。钼矿化主要分布在石英脉、长石石英脉、硫化物萤石石英脉中(图3)。这些石英脉形态复杂,有网脉状、单脉状、树枝状等。矿脉规模不一,长度从数米到数百米,宽度为数毫米到10m。矿石矿物包括辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿、赤铁矿、磁铁矿、闪锌矿,少量磁黄铁矿。矿石为他形粒状结构,浸染状构造为主,也见有细脉浸染状构造。整个矿区普遍发育热液蚀变,主要为硅化、钾长石化、绢云母化,石英钾长石化带即是钼矿化的部位。矿物组合表明矿床成矿作用以岩浆热液期为主,成矿可划分为2个阶段。

(1) 辉钼矿-钾长石阶段,是热液活动早期最重要的钼矿成矿阶段,形成大量的钾长石石英脉,以辉钼矿+钾长石+磁黄铁矿的矿物组合为特征。

(2) 辉钼矿-石英阶段,形成含硫化物石英脉,以辉钼矿+石英+绢云母+黄铁矿+萤石的矿物组合为特征。

### 2.1 采样位置与样品描述

本研究采集了O Quy Ho 矿区的5个样品,其中2个样品(V.0866-1、OQH.01)采自矿床南段,3个样品采自矿床北

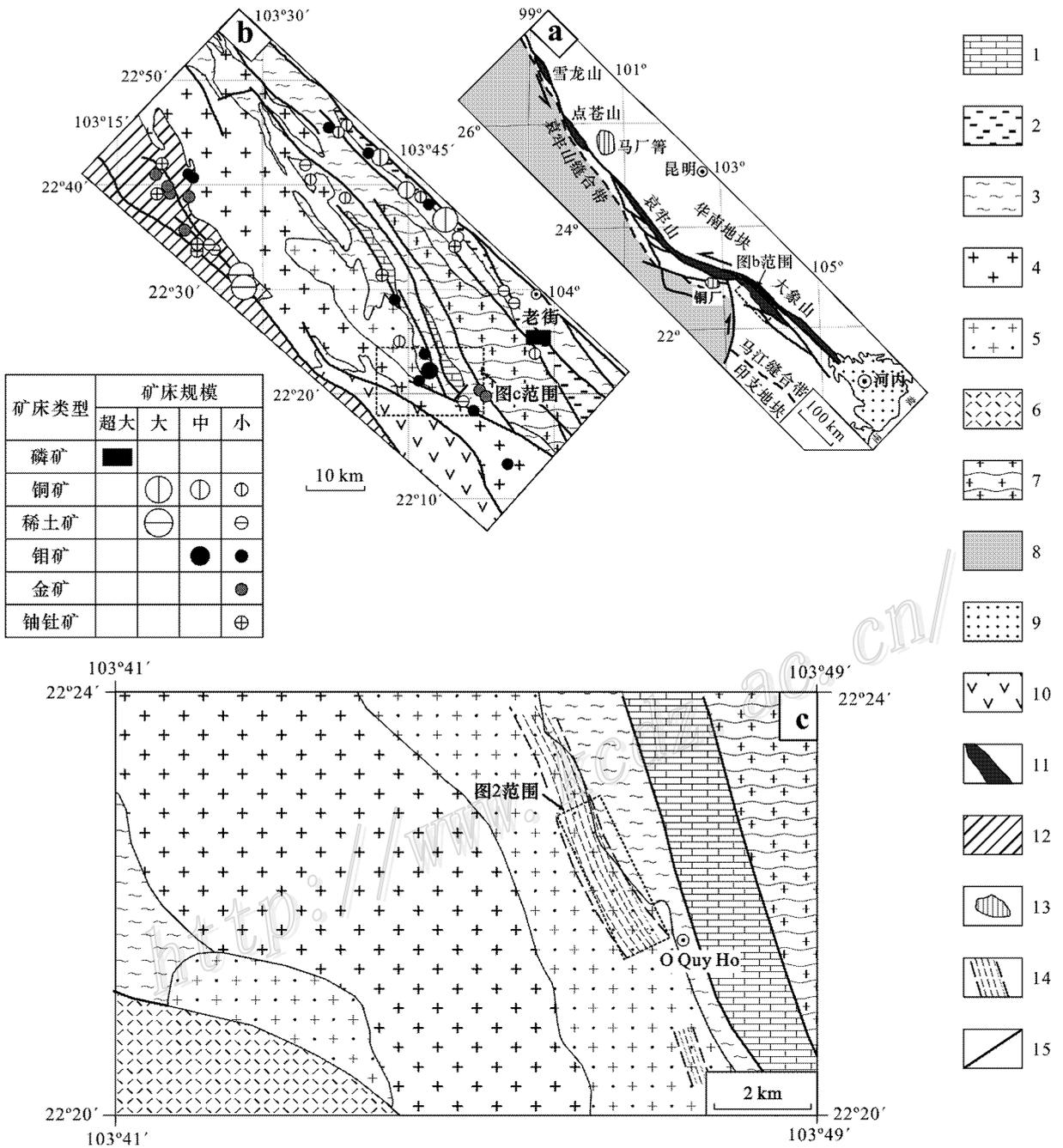


图 1 范士版成矿带构造位置 (a) 地质简图 (b) 及 O Quy Ho 地区地质简图 (c) (据 Wang 2000 修改)

1—下泥盆统灰岩；2—下寒武统含磷石灰沉积岩；3—元古代旋台群变质岩；4—新生代含角闪石花岗斑岩；5—中细粒片麻状黑云母花岗岩；6—J-K 秀丽火山岩带流纹岩；7—新元古宙波森片麻状花岗岩；8—思茅地块；9—红河三角洲；10—J-K 秀丽火山岩带；11—哀牢山-红河变质岩带；12—P-T 金平-沱江陆内裂谷带；13—斑岩铜钼矿集中区；14—矿化带；15—断层

Fig. 1 Tectonic location (a), simplified geological map (b) of the Phan Si Pang metallogenic belt, and simplified geological map of O Quy Ho area (c) (modified after Wang, 2000)

1—Lower Devonian limestones; 2—Early Cambrian apatite-bearing sedimentary rocks; 3—Proterozoic Xuan Dai metamorphic rocks; 4—Cenozoic amphibole-bearing porphyritic granite; 5—Medium to fine-grained gneissic biotite granite; 6—The Tu Le volcanic belt of J-K rhyolite; 7—Neoproterozoic granitic gneiss complex; 8—Simao block; 9—Red River delta; 10—J-K Tu Le volcanic belt; 11—Ailao Shan-Red River metamorphic belt; 12—P-T Jinping-Tuojiang continental rift; 13—Cenozoic porphyry Cu-Mo deposits belt; 14—Mineralization belt; 15—Fault

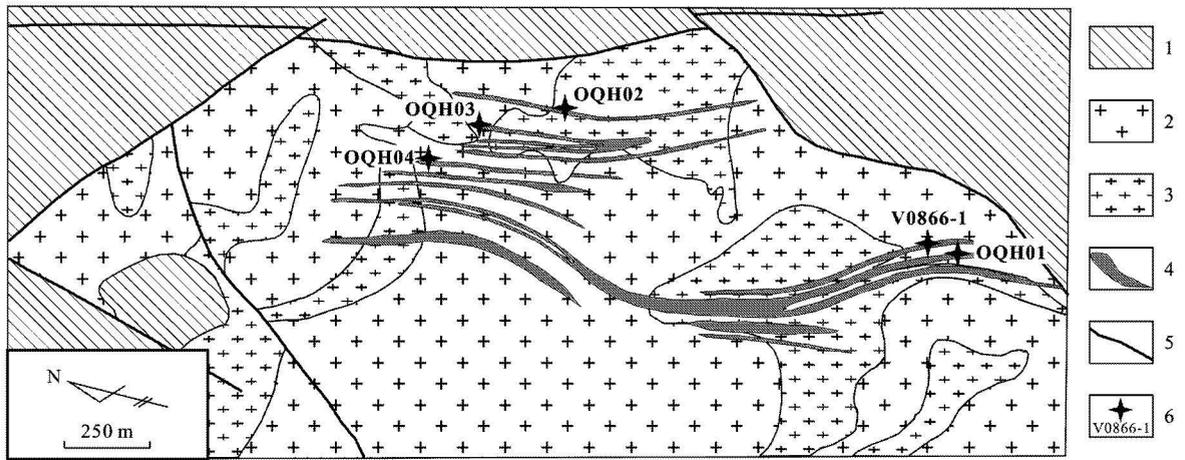


图2 O Quy Ho 矿区地质图

1—元古代春台群含石墨片岩与石榴子石黑云母片岩；2—中细粒片麻状构造黑云母花岗岩；3—含角闪石花岗岩；4—矿体；5—断层；6—采样位置及编号

Fig. 2 Geological map of the O Quy Ho molybdenum deposit

1—Xuan Dai Group: graphite-bearing schist and garnet biotite schist; 2—Medium- to fine-grained gneissic biotite granite; 3—Amphibole-bearing porphyritic granite; 4—Molybdenum ore body; 5—Fault; 6—Sampling locations and their serial numbers

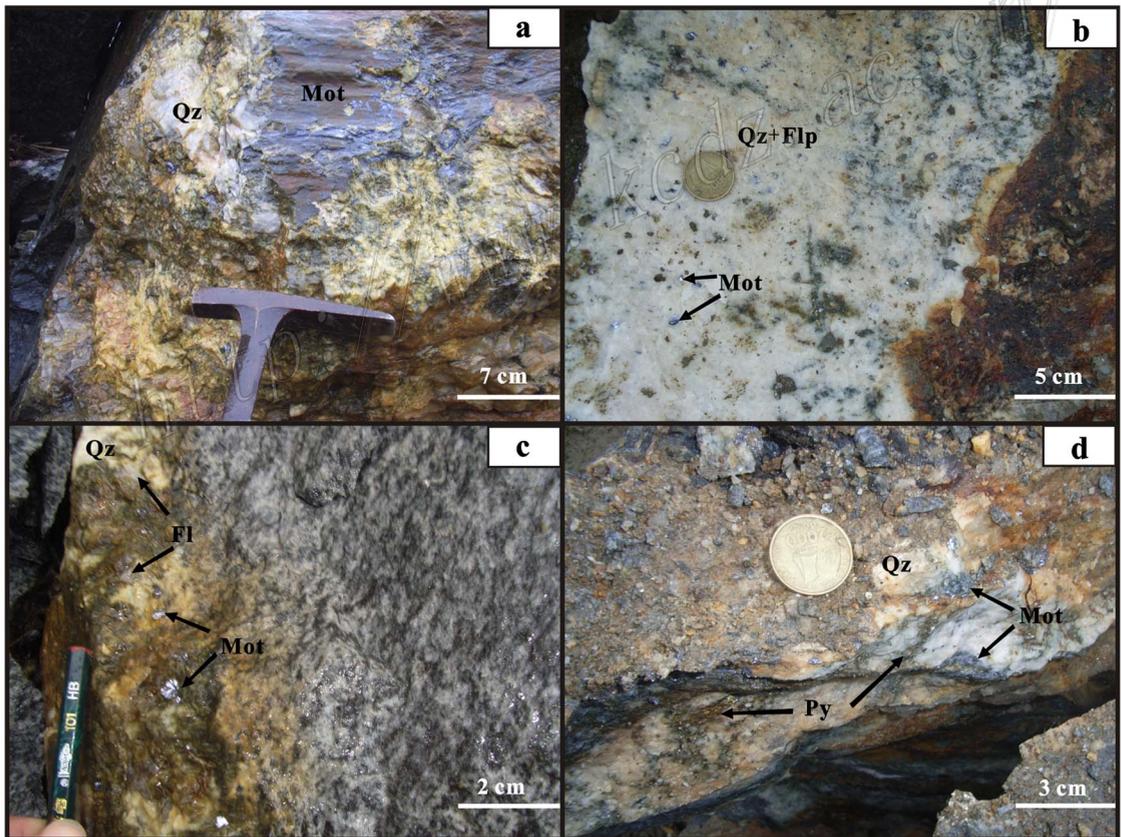


图3 O Quy Ho 钼矿床不同矿化类型

a. 辉钼矿石英脉；b. 辉钼矿长石石英脉；c. 辉钼矿萤石硫化物石英脉；d. 辉钼矿黄铁矿石英脉；Qz—石英；Mot—辉钼矿；Flp—长石；Fl—萤石；Py—黄铁矿

Fig. 3 Different mineralization types of the Quy Ho molybdenum deposit

a. Molybdenite quartz vein; b. Molybdenite-feldspar-quartz vein; c. Molybdenite-fluorite-sulfide-quartz vein; d. Molybdenite-pyrite-quartz vein. Qz—Quartz; Mot—Molybdenite; Flp—Feldspar; Fl—Fluorite; Py—Pyrite

表 1 O Quy Ho 钼矿床的矿石特征及 Re-Os 测年样品采样位置

Table 1 Sampling locations and characteristics of ores from the O Quy Ho deposit

样品号	采样位置	矿石类型	围岩
V0866-1	103°47'35", 22°22'04"	辉钼矿石英脉	片麻状细粒黑云母花岗岩
OQH.01	103°47'37", 22°22'01"	辉钼矿萤石硫化物石英脉	片麻状细粒黑云母花岗岩
OQH.02	103°46'50", 22°23'35"	辉钼矿长石石英脉	含角闪石花岗岩斑岩
OQH.03	103°46'46", 22°23'37"	辉钼矿石英脉	片麻状细粒黑云母花岗岩
OQH.04	103°46'45", 22°23'41"	辉钼矿黄铁矿石英脉	片麻状细粒黑云母花岗岩

段 (OQH.02、OQH.03、OQH.04) 采样位置见表 1 及图 1c)。样品分别为辉钼矿石英脉 (V.0866-1、OQH.03) 辉钼矿长石石英脉 (OQH.02) 辉钼矿萤石硫化物石英脉 (OQH.01) 与辉钼矿黄铁矿石英脉 (OQH.04) (图 3)。采样过程中重点考虑了样品的代表性, 将野外采集的矿石样品经显微镜下鉴定并确认样品名称, 在显微镜下手工挑选出用作 Re-Os 同位素分析的辉钼矿单矿物, 测试的辉钼矿样品纯度大于 99%, 样品新鲜、无氧化、无污染。

### 3 测试方法与结果

#### 3.1 Re-Os 同位素测试方法与结果

Re-Os 同位素测试在国家地质实验测试中心完成, 采用 Carius 管封闭溶样分解样品, Re-Os 同位素分析的化学分离过程和分析方法见有关文献 (Shirey et al., 1995; 屈文俊等, 2003)。测试仪器为电感耦合等离子体质谱仪 (TJA X-SERIES ICP-MS)。实验全流程空白 Re 约为 10 pg, 普 Os 约为 1 pg, 远远小于所测样品中的铼、钨含量, 因此不会影响实验中铼、钨含量的准确测定。普 Os 是根据原子量表 (Wieser, 2006) 和同位素丰度表 (Bohlke, 2005), 通过  $^{192}\text{Os}/^{190}\text{Os}$  测量比计算得出的。Re-Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差及待分析样品同位素比值测量误差。置信水平 95%。模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度 (1.02%), 置信水平 95%。计算  $^{187}\text{Re}$  和  $^{187}\text{Os}$  的含量参见有关文献 (杜安道等,

1994)。

分析数据及相关计算结果见表 2, 模式年龄按下式计算:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left[ \left( \frac{^{187}\text{Os}}{^{187}\text{Re}} \right) + 1 \right]$$

其中  $\lambda$  ( $^{187}\text{Re}$  衰变常数) =  $1.1666 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$  (Smoliar, 1996)。

可以看出, 6 个样品的普 Os 含量为  $(0.0053 \pm 0.0119) \times 10^{-9} \sim (0.0587 \pm 0.0360) \times 10^{-9}$ , 模式年龄值为  $(35.62 \pm 0.51) \sim (36.63 \pm 0.6) \text{ Ma}$ , 平均为  $(36.13 \pm 0.53) \text{ Ma}$ 。采用 Isoplot 软件做等时线将 6 件数据回归成一条直线, 求得 Re-Os 等时线年龄为  $(36 \pm 1) \text{ Ma}$  (MSWD = 2.8, 误差  $2\sigma$ ) (图 4)。

#### 3.2 硫同位素测试方法与结果

O Quy Ho 钼矿床矿石及硫化物矿物的硫同位素组成见表 3, 本文数据由中国地质大学 (北京) 地学实验中心的 EA-Isoprime 仪器测定。实验流程为: 碎样至 200 目左右, 精选出黄铁矿和辉钼矿单矿物, 将挑好的样品进行烘干, 之后每个样品用分析天平称取 3 份重量约为 0.10~0.12 mg 的待测样品 (包含盛样的锡杯质量), 将称好的样品放入 EA 中进行高温燃烧, 通入 99.99% 的  $\text{O}_2$ , 使矿物发生氧化还原反应, 以  $\text{WO}_3$  为氧化剂, 反应温度为 1 000°C, 瞬时温度达到 1 800°C (锡杯助燃), 高温燃烧产生纯  $\text{SO}_2$  (多余的  $\text{O}_2$  被纯铜吸收), 将其导入质谱仪中进行分析, 得出硫同位素值。详细的实验流程可参考有关文献 (储雪蕾, 1996)。 $\delta^{34}\text{S}$  (‰) 的计算公式为:

$$\delta^{34}\text{S}_{\text{SA-CDT}} = (\delta^{34}\text{S}_{\text{SA-RE}} + 10^3) \times \left( \frac{\delta^{34}\text{S}_{\text{ST}_1\text{-CDT}} - \delta^{34}\text{S}_{\text{ST}_2\text{-CDT}}}{\delta^{34}\text{S}_{\text{ST}_1\text{-RE}} - \delta^{34}\text{S}_{\text{ST}_2\text{-RE}}} \right) - 10^{-3}$$

表 2 O Quy Ho 钼矿床 Re-Os 同位素测年数据

Table 2 Re-Os isotope data of molybdenite ores from the O Quy Ho deposit

样号	m/g	$w_B/10^{-9}$								t/Ma	
		Re		普 Os		$^{187}\text{Re}$		$^{187}\text{Os}$			
		测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
OQH04 (第一次)	0.02043	171360	1789	0.0053	0.0119	107703	1124	65.75	0.64	36.63	0.60
OQH01	0.01029	157116	1307	0.0587	0.0360	98751	822	59.46	0.52	36.13	0.53
OQH02	0.01056	115874	979	0.0570	0.0233	72829	615	43.23	0.37	35.62	0.51
OQH04 (第二次)	0.01168	186332	1934	0.0518	0.0424	117113	1216	69.78	0.61	35.75	0.56
V0866-1	0.01158	179735	1561	0.0516	0.0317	112967	981	67.68	0.56	35.95	0.52
OQH03	0.05069	18072	136	0.0116	0.0059	11359	85	6.96	0.06	36.77	0.51

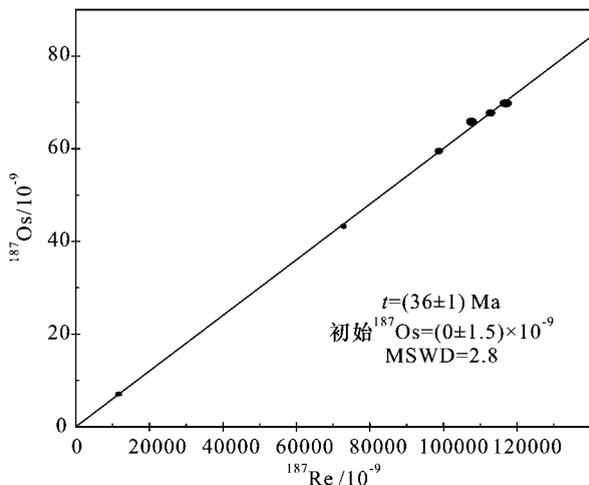


图4 O Quy Ho 钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素等时线

Fig. 4 Re-Os isochron of molybdenite from the O Quy Ho deposit

表3 O Quy Ho 矿床硫同位素分析结果

Table 3 Sulfur isotope data of sulfide minerals from the O Quy Ho deposit

样品号	测试矿物	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$
OQH01	黄铁矿	0.1
OQH02	黄铁矿	0.5
OQH02-Mo	辉钼矿	1.7
OQH03	黄铁矿	0.7
OQH03-Mo	辉钼矿	1.2
OQH04	黄铁矿	2.2
VN0866-1	黄铁矿	3.3
VN0866-1-Mo	辉钼矿	2.6

下标 ST<sub>1</sub>、ST<sub>2</sub> 代表标样 GBW04415、GBW04414 ;SA 代表测试样 ;RE 代表质谱测量参考气 ;O Quy Ho 钼矿床矿物的硫同位素特征显示出接近于零或低正值而离散度小的特点(表3,  $\delta^{34}\text{S}$  值介于 0.1‰ ~ 3.3‰ 之间, 平均 1.5‰ ;黄铁矿  $\delta^{34}\text{S}$  值平均 1.4‰, 辉钼矿  $\delta^{34}\text{S}$  值 1.8‰), 反映了成矿物质的深源特征, 具有典型的岩浆硫组成特点 ( $\delta^{34}\text{S} = 0\text{‰}$ , Guilbert, 1986)。

表4 O Quy Ho 矿床铅同位素分析结果表

Table 4 Lead isotope data of sulfide minerals from the O Quy Ho deposit

样品原号	测试矿物	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
V0866-1	辉钼矿	39.082	15.655	18.686	2.0916	0.83780
OQH.04	辉钼矿	39.081	15.660	18.737	2.0857	0.83577
OQH.03	黄铁矿	38.989	15.633	18.583	2.0981	0.84128
V0866-1	黄铁矿	39.199	15.812	22.355	1.7535	0.70732
OQH.02	黄铁矿	39.046	15.635	18.604	2.0988	0.84040
OQH.01	黄铁矿	39.093	15.632	18.668	2.0941	0.83736
OQH.04	黄铁矿	39.096	15.636	18.648	2.0965	0.83847

### 3.3 铅同位素测试方法与结果

O Quy Ho 钼矿床矿石及硫化物矿物的铅同位素组成见表4, 本文数据由中国地质科学院地质研究所同位素实验室用多接收器等离子体质谱法(MC-ICPMS)测定, 所用仪器为英国 Nu Plasma HR, 仪器的质量分馏以 Tl 同位素外标校正, 样品中 Tl 的加入量约为铅含量的 1/2。NBS 981 长期测定的统计结果:  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2.1674 \pm 0.0005$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.91486 \pm 0.00025$ ,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.9397 \pm 0.0111$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.4974 \pm 0.0089$ ,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.7147 \pm 0.0262$  ( $\pm 2\sigma$ )。

对 O Quy Ho 钼矿床黄铁矿与辉钼矿进行了铅同位素组成测定, 结果见表4。从表4中可以看出, 黄铁矿的  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  范围为 18.5829 ~ 22.3550,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化于 15.6321 ~ 15.8121 之间,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  变化于 38.9887 ~ 39.1987。辉钼矿的  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  分别为 18.6859 ~ 18.7372、15.6549 ~ 15.6599 和 39.0810 ~ 39.0824。黄铁矿与辉钼矿的铅同位素组成比较一致, 变化较小。

## 4 讨论

O Quy Ho 矿区片麻状细粒黑云母花岗岩的 20 件锆石颗粒 LA-ICPMS 测年分析结果为 224.8 Ma(详细的数据正在整理)。另外, 矿区内的含钼矿化主要集中在发育于其中的破裂带与蚀变带内, 说明矿区内片麻状细粒黑云母花岗岩是 O Quy Ho 钼矿床的围岩, 与成矿物质来源无关系。

O Quy Ho 钼矿床的矿化大部分集中在含角闪石花岗斑岩附近或浸染在花岗斑岩里, 这些岩体的钨铁矿 U-Pb 年龄为 35.2 Ma(Zhang et al., 1999), 全岩 Rb-Sr 年龄为 40 Ma(Nguyen 2003)。该岩石与 O Quy Ho 硫化物矿化的 Pb 同位素结果指示该岩体与 O Quy Ho 矿床的矿化具深源成因的特点, 形成于下地壳与上地幔的位置(图5)。含角闪石花岗斑岩与矿石矿物的铅同位素组成比较一致, 它们的变化幅度较小, 应具有相同的起源与演化历史。结合硫同位素结果及矿床矿化与围岩的关系可以判断, 矿床成矿物质来源与范士版含角闪石花岗斑岩关系密切, 成矿物质主要来自下地壳, 可能有部分上地幔物质参与了成矿过程。

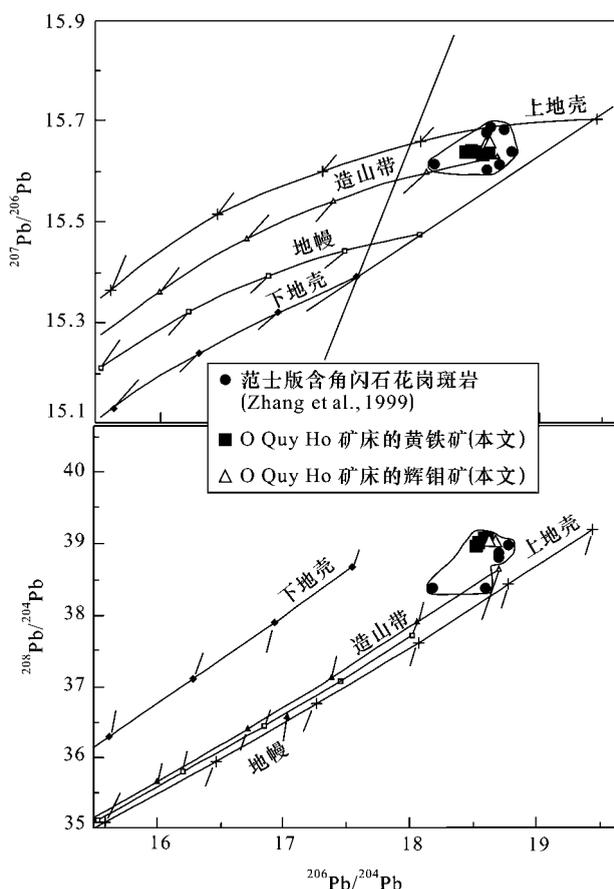


图5 范士版成矿带的含角闪石花岗斑岩与 O Quy Ho 钼矿床矿石矿物的铅同位素构造模式图(据 Zhang et al., 1999 修改)

Fig. 5 Lead isotope diagrams for Phan Si Pan amphibole-bearing porphyritic intrusions and ore sulfides in the O Quy Ho deposit(modified after Zhang et al., 1999)

近期区域研究结果表明,西南三江斑岩铜钼矿主要沿哀牢山-红河剪切带分布,成矿时代集中在 34~40 Ma(杜安道等,1994;唐仁鲤,1995;Hou,2003;王登红,2004;唐菊兴,2009)基本上与 O Quy Ho Re-Os 年龄结果一致。地球化学及 Sr、Nd、Pb 同位素研究结果表明,含角闪石花岗斑岩与金平地区的正长岩有相似的来源与成因机制(Zhang et al., 1999)。这些结果表明 O Quy Ho 钼矿床可能是金沙江-红河新生代斑岩铜钼矿带的一部分。

## 5 结论

(1) 硫同位素分析结果表明成矿物质具有深源特征。含角闪石花岗斑岩与 O Quy Ho 矿石矿物的 Pb 同位素结果表明该岩体与 O Quy Ho 矿床的矿化具深源成因的特点,形成于下地壳与上地幔的位置,矿床成矿物质来源与范士版含角闪石花岗斑岩关系密切。

(2) 越南范士版成矿带 O Quy Ho 钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素等时线测年获得了(36±1)Ma 的年龄,该年龄与金沙江-红河新生代斑岩铜钼矿成矿带岩浆-成矿活动的年龄一致,表明 O Quy Ho 钼矿床可能是金沙江-红河新生代斑岩铜钼矿带的一部分。

## References

- Bohlke J K, Laeter J R, Bievre P, Hidaka H, Peiser H S, Rosman K J R and Taylor P D P. 2005. Isotopic compositions of the elements 2001 [J]. J. Phys. Chem. Ref. Data, 34(1):57-67.
- Chu X L. 1996. A New method of rapid measurements for C, N and S isotope ratios—On-line analytical method of EA-IRMS[J]. Bull. Mineral. Petrol. & Geochem., 15(4):259-262(in Vietnamese with English abstract).
- Dao D T and Huynh T. 1995. Geology of Vietnam. Vol. II. magmatic formation[M]. Hanoi: Pub. House Sci. & Techn. 269-274(in Vietnamese).
- Department of Geological and Minerals of Vietnam. 2000. Geology and mineral resources map of Vietnam, scale 1:1 000 000, with the explanatory note[M]. 15-125(in Vietnamese).
- Department of Geological and Minerals of Vietnam. 2001. Geology and mineral resources map of Lao Cai-Kim Binh Sheet (GMRM), scale 1:200 000, with the explanatory note[M]. 10-35(in Vietnamese with English abstract).
- Du A D, He H L, Yin N W, Zou X Q, Sun Y L, Sun D Z, Chen S Z and Qu W J. 1994. A study on the rhenium-osmium geochronometry of molybdenites[J]. Acta Geologica Sinica, 684:339-347(in Chinese with English abstract)
- Guilbert J M. 1986. The geology of ore deposits[M]. New York: W. H. Freeman & Company. 275-279.
- Hou Z Q, Ma H W and Khin Z. 2003. The Himalayan Yulong porphyry copper belt: Product of large-scale strike-slip faulting in Eastern Tibet[J]. Econ. Geol., 98:1515-1533.
- Le H H. 1995. O Quy Ho molybdenum mineralization belt, Sa Pa area [M]. Ha Noi: Department of Geology and Minerals of Vietnam. 118-160(in Vietnamese).
- Leloup P H, Arnaud N and Lacassin R. 2001. New constraints on the structure, thermochronology and timing of the Ailaoshan-Red River shear zone, SE Asia[J]. J. Geophys. Resear., 106:6657-6671.
- Nguyen T C. 2003. Petrology and metallogeny of Alkaline Formations of north Vietnam[M]. Vietnam: Research Institute of Geology and Mineral Resources. 175-180(in Vietnamese)
- Qu W J and Du A D. 2003. Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with Carius tube sample digestion[J]. Rock & Mineral Analysis, 22(4):254-257(in Chinese with English abstract).
- Shirey S B and Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis[J]. Anal. Chem., 67:2136-2141.
- Smoliar M I, Walker R J and Morgan J W. 1996. Re-Os ages of group IIA, IIIA, IVA and VIB iron meteorites[J]. Sci., 271:1099-

- 1102.
- Tang J X, Wang C H, Qu W J, Du A D, Ying L J and Gao Y M. 2009. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Yulong porphyry copper-molybdenum deposit in Tibet and its metallogenic significance [J]. *Rock & Mineral Analysis*, 28(3): 215-218 (in Chinese with English abstract).
- Tang R L and Luo H S. 1995. The geology of Yulong porphyry copper (molybdenum) ore belt, Xizang (Tibet) [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 320 (in Chinese with English abstract).
- Tran N N. 2003. 750 Ma U-Pb zircon age of the Po Sen complex and tectonic implication [J]. *J. Geol. (Vietnam)*, 28(3-4): 11-16 (in Vietnamese with English abstract).
- Tran T A, Tran T H and Pham T D. 2002. Granites of the Yê Yên Sun complex and their significance in tectonic interpretation of the early Cenozoic stage in west Bắc Bộ [J]. *J. Geol. (Series B)*, 19-20: 43-53 (English Edition).
- Tran T H, Poliakov G V, Ngo T P, Tran T A, Bui A N and Hoang H T. 2004. Intraplate magmatism in Vietnam and associated mineralization [M]. Institute of Geological Sciences, VAST, Ha Noi, Vietnam, 204-328 (in Vietnamese).
- Tran T H, Izokh A E, Polyakov G V, Borisenko A S, Tran T A, Balykin P A, Ngo T P, Rudnev S N, Vu V V and Bui A N. 2008. Permo-Triassic magmatism and metallogeny of Northern Vietnam in relation to the Emeishan plume [J]. *Russian Geol. & Geophys. (English Edition)*, 49: 480-491.
- Wang D H, Qu W J, Li Z W, Ying H L and Chen Y C. 2004. Metallogenic epoch of the Jinsha Jiang-Honghe porphyry copper-molybdenum deposits belt: Re-Os isotopic dating [J]. *Sci. in China (Series D)*, 34(4): 345-349 (in Chinese).
- Wang P L, Lo C H, Lee T Y, Chung S L, Lan C Y and Thang T V. 2000. Onset timing of left-lateral movement along the Ailao Shan-Red River shear zone:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating constraint from the Nam Dinh area, northeastern Vietnam [J]. *J. Asian Earth Sci.*, 18: 281-292.
- Wieser M E. 2006. Atomic weights of the elements 2005 (IUPAC technical report) [J]. *Pure Appl. Chem.*, 78(11): 2051-2066.
- Zhang L S and Schärer U. 1999. Age and origin of magmatism along the Cenozoic Red River shear belt China [J]. *Contrib. Mineral. & Petrol.*, 134: 67-85.

#### 附中文参考文献

- 储雪蕾. 1996. 一种新的快速的碳、氮、硫同位素测定手段——EA-IRMS 连线分析技术 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 15(4): 259-262.
- 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.
- 屈文俊, 杜安道. 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钨地质年龄 [J]. *岩矿测试*, 22(4): 254-257.
- 唐菊兴, 王成辉, 屈文俊, 杜安道, 应立娟, 高一鸣. 2009. 西藏玉龙斑岩铜钼矿辉钼矿铼-钨同位素定年及其成矿学意义 [J]. *岩矿测试*, 28(3): 215-218.
- 唐仁鲤, 罗怀松. 1995. 西藏玉龙斑岩铜(钼)矿带地质 [M]. 北京: 地质出版社. 320.
- 王登红, 屈文俊, 李志伟, 应汉龙, 陈毓川. 2004. 金沙江-红河成矿带斑岩铜钼矿的成矿集中期: Re-Os 同位素定年 [J]. *中国科学 (D 辑)*, 34(4): 345-349.