

文章编号: 1674-9057(2019)02-0249-09

doi:10.3969/j.issn.1674-9057.2019.02.001

# 广西大瑶山大黎斑岩型钼铜矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义

李忠阳<sup>1</sup>, 党院<sup>2</sup>, 韦子任<sup>3</sup>, 叶有乐<sup>3</sup>, 陈懋弘<sup>4</sup>

(1. 广西第四地质队, 南宁 530033; 2. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083; 3. 广西第六地质队, 广西贵港 537100; 4. 中国地质科学院矿产资源研究所自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037)

**摘要:** 广西大黎钼铜矿床位于钦杭成矿带西南端大瑶山多金属成矿带上, 是近年新发现的与中酸性岩体有关的斑岩型钼铜矿床。利用 Re-Os 同位素方法对矿体中的 5 件辉钼矿样品进行了成矿时代测定, 获得的模式年龄为  $101.1 \pm 1.5$  Ma 至  $103.5 \pm 1.5$  Ma, 加权平均年龄为  $101.7 \pm 1.2$  Ma, 等时线年龄为  $100.1 \pm 3.7$  Ma, 与前人获得的大黎岩体石英二长岩和石英二长斑岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄  $102.8 \pm 0.9$  Ma 和  $101.7 \pm 1.2$  Ma 相吻合, 表明成岩和成矿时代一致, 为燕山晚期构造岩浆活动的产物。因此, 大黎斑岩型钼铜矿床形成于华南地区中生代第三次大规模成矿期, 为早白垩世晚期华南地区岩石圈伸展拉张的大地构造背景下的产物。目前的研究表明, 大瑶山地区斑岩型矿床除加里东期的钨多金属矿床外, 燕山期的铜钼矿床、金多金属矿床也是重要的矿床类型, 大瑶山地区具有良好的寻找斑岩型矿床前景。

**关键词:** 辉钼矿; Re-Os 年龄; 早白垩世; 斑岩型钼铜矿床; 大瑶山隆起; 大黎; 广西

**中图分类号:** P597.3; P618.65

**文献标志码:** A

广西大瑶山多金属成矿带位于扬子板块和华夏板块的结合部位, 是钦杭成矿带的主要成矿区域之一。大瑶山地区主要以金矿闻名<sup>[1-3]</sup>, 其次为银铅锌矿。近年来, 在大瑶山隆起区及其周缘相继发现了一些与花岗质岩浆岩有关的钼矿床(点), 例如燕山早期的广东封开县圆珠顶斑岩型铜钼矿床<sup>[4-5]</sup>, 以及加里东期的广西贺州白石顶钼矿<sup>[6]</sup>、广西苍梧县社垌钨钼矿<sup>[7-8]</sup>、广西苍梧县武界钨钼矿点<sup>[9]</sup>等, 部分已达大型矿床规模。此外, 广西贵港龙头山金矿为燕山晚期次火山岩型金矿, 也与岩体密切相关, 其北侧还存在矽卡岩型矿体<sup>[10]</sup>。因此, 大瑶山地区斑岩型矿床具有多期次成矿的特点, 找矿前景良好。

大黎钼铜矿位于广西藤县大黎镇南约 2 km 一

带(图 1a), 是广西第六地质队于 2009 年发现的一个斑岩型矿床。韦子任等<sup>[11]</sup>简单介绍了矿床地质特征, 胡升奇等<sup>[12]</sup>研究了大黎岩体的石英二长岩和石英二长斑岩的岩石化学特征, 并获得 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为  $102.8 \pm 0.9$  Ma 和  $101.7 \pm 1.2$  Ma, 属于燕山晚期早白垩世晚期岩浆活动成岩的产物。但是人们对矿床本身的研究程度较低, 特别是对该矿床的成矿年代学研究至今尚无文献报道, 导致对该矿床的认识还不够深入。为此, 笔者利用辉钼矿 Re-Os 同位素方法对大黎钼铜矿床进行了测年, 获得了精确的成矿年龄, 希望能够为建立矿床模型, 以及外围和深部勘查提供资料, 并有利于加深对大瑶山地区乃至华南地区成矿规律的认识。

收稿日期: 2018-01-11

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2012CB416704); 广西地质矿产开发局部门预算前期地质勘查项目(桂地矿地[2014]17号; 桂地矿科[2015]43号); 中国地质调查局项目(1212011120831)

作者简介: 李忠阳(1968—), 硕士, 高级工程师, 矿产勘查专业, lizhongyang188@163.com。

引文格式: 李忠阳, 党院, 韦子任, 等. 广西大瑶山大黎斑岩型钼铜矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义 [J]. 桂林理工大学学报, 2019, 39(2): 249-257.

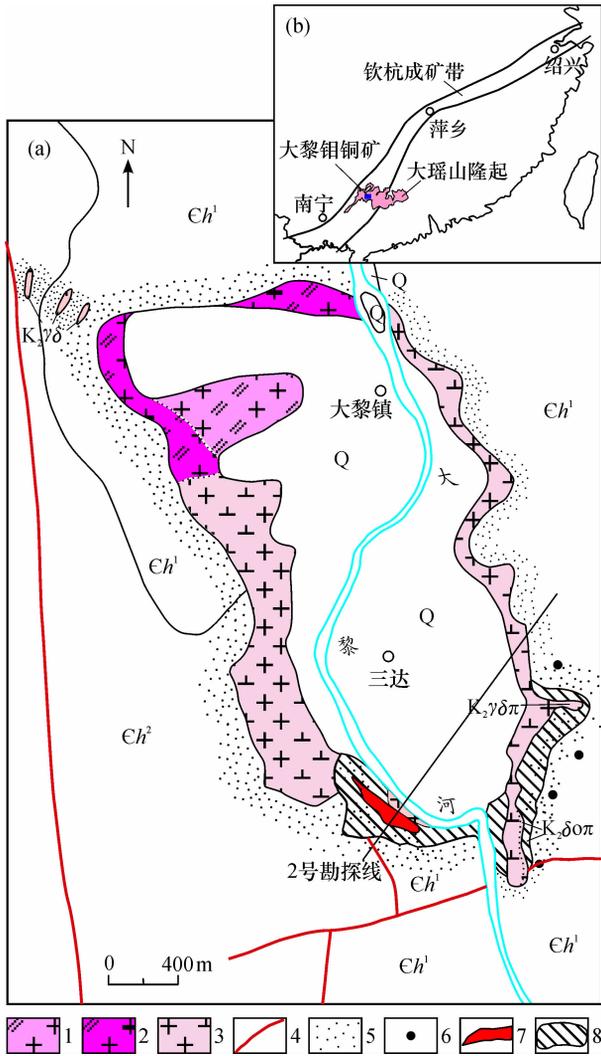


图1 广西滕县大黎钼铜矿地质简图(a)及区域构造位置图(b)(据韦子任等<sup>[11]</sup>)

Fig. 1 Geological sketch map of Dali Mo - Cu deposit in Teng County, Guangxi(a) and its regional tectonic map(b)  
Q—第四系;  $\epsilon h^2$ —寒武系黄洞口组第二段;  $\epsilon h^1$ —寒武系黄洞口组第一段;  $K_2\gamma\delta$ —晚白垩世花岗闪长岩;  $K_2\gamma\delta\pi$ —晚白垩世花岗闪长斑岩;  $K_2\delta\sigma\pi$ —晚白垩世石英闪长斑岩; 1—晚白垩世二长花岗岩; 2—晚白垩世二长花岗斑岩; 3—晚白垩世花岗闪长岩; 4—断层; 5—角岩化; 6—硅化; 7—钼铜矿体; 8—钼铜矿化带

## 1 区域地质背景

大黎钼铜矿床位于钦杭成矿带西南端大瑶山金多金属成矿带上,大地构造位于华南准地台中-桂东台陷区的大瑶山凸起<sup>[13]</sup>(图1b)。杨明桂等<sup>[14]</sup>及毛景文等<sup>[15]</sup>将其划归为钦杭成矿带的一部分,总体上处于扬子板块和华夏板块的结合部位。

大瑶山地区在震旦纪—志留纪时期属于华南洋盆的组成部分,沉积了一套厚达万米的类复理石砂页岩、硅质岩建造,杂砂岩和含砾砂岩较多,

常见粒序层理、包卷层理、水平层理、砂包泥、底模构造等浊流沉积的岩相标志。其中震旦系培地组顶部含40 m的硅质岩(如荔浦深泥田金矿),可与桂北地区的老堡组对比。南部局部地方的寒武系黄洞口组含60~100 m厚的灰岩夹层,是形成砂卡岩型矿床的主要岩性条件(如苍梧县玉坡钨多金属矿)。早奥陶世的郁南运动后,该地区开始逐步抬升,导致奥陶纪时的沉积环境发生很大的变化,甚至缺失志留系。志留纪末发生强烈的加里东运动,早古生代地层褶皱隆起,形成近东西向和北东东向的地层和复式褶皱,同时伴随大量的岩浆活动和相关的矿产,随后泥盆系浅海相碎屑岩、石英砂岩等不整合其上<sup>[13]</sup>。

大瑶山地区构造线总体呈北东东向、北东向,褶皱、断裂构造极为发育。褶皱构造主要为加里东期基底褶皱,由震旦—寒武纪地层构成一系列线状褶皱,属复式褶皱,总体走向近东西或者北东东向。由于后期构造运动,在昭平陈塘一带,形成以震旦系为核部的,轴向近南北向的叠加褶皱。断裂构造以北东东向和近南北向为主,次为北东向和北西向。不同时期、不同方向断裂纵横交错,对本区的成矿起着极为重要的作用。其中北东东向断裂主要有凭祥—大黎断裂,为本区主要的一级断裂构造,具有切割深度大,活动时期长,多次活动,同生活动强烈及控岩、控相、控矿显著等特点;近南北向断裂具近于平行、等距分布;北东向和北西向断层主要为北东东向和近南北向断层的派生、次级断层。

大瑶山地区岩浆岩出露面积相对不大,以小岩体为主,但岩性复杂,以中—酸性岩、酸性岩为主,兼有超基性、基性,甚至偏碱性岩。岩浆岩活动时间很长,从加里东晚期至喜马拉雅期均有岩浆侵入,但以加里东期和燕山期为主<sup>[3,16-17]</sup>,代表了该区两次大的构造岩浆热事件,相应形成一系列的矿床,即与加里东期同熔型(I型)花岗岩有关的Au、Cu多金属成矿系列,以及与燕山期改造型(S型)花岗岩有关的W、Sn、Pb、Zn、Au成矿系列<sup>[3]</sup>。但陈懋弘等<sup>[18]</sup>提出与加里东期花岗岩有关的成矿系列可能不是以Au、Cu为主,而很可能以W、Mo、Cu为主,大瑶山地区岩浆活动及其成矿作用可能较为复杂,至少存在加里东期斑岩—砂卡岩—石英脉型钨钼铜矿和燕山期斑岩型铜钼(金)矿两个不同的成矿系列。

## 2 矿床地质特征

矿区出露地层简单, 主要为寒武系黄洞口组下段( $\epsilon h^1$ )和中段( $\epsilon h^2$ ), 除此之外还有小面积第四系分布(图 1a)。黄洞口组下段主要为灰绿色石英砂岩与页岩互层。黄洞口组中段主要为灰绿色石英砂岩、粉砂岩、中粒砂岩与页岩互层夹炭质页岩。两段岩性组成大致相同, 每个岩性段从下往上粒度由粗变细, 单层由厚变薄。

矿区遭受多期次的构造运动, 褶皱和断裂均发育。矿区主要褶皱为加里东期轴向 NEE 向的南村冲向斜, 印支期形成的一系列 NW 向的短轴状宽阔褶皱叠加在加里东期褶皱之上。矿区主要有 NE 向的大黎断裂和一系列近 S-N 向断裂, 大黎断裂属于区域性凭祥-大黎深断裂的北东段。

岩浆岩主要为大黎岩体, 呈岩株侵入到上寒武统黄洞口组中, 有少量的花岗闪长岩脉和花岗斑岩脉。大黎岩体岩性复杂, 韦子任等<sup>[11]</sup>认为主要为石英闪长斑岩、花岗闪长斑岩、花岗闪长岩、二长花岗斑岩、二长花岗岩等。胡升奇等<sup>[12]</sup>认为大黎岩体岩性为石英二长岩和石英二长斑岩, 并测得其 U-Pb 年龄分别为  $102.8 \pm 0.9$  Ma 和  $101.7 \pm 1.2$  Ma。野外观察, 与成矿密切的花岗闪长岩呈灰色, 中细粒结构, 块状构造, 主要由斜长石(40%~45%)、钾长石(20%~25%)、石英(15%~20%)、黑云母(5%~10%)、角闪石(5%)、辉石(1%~2%)等组成。二长(斑)岩呈灰黑色, 块状

构造, 主要由斜长石(30%)、碱性长石(30%)、角闪石(15%)、黑云母(10%)、辉石(5%)、石英(5%)组成。地球化学特征显示, 大黎岩体属于钙碱性、准铝质花岗岩系列, 稀土元素总体显示轻稀土元素富集, 轻、重稀土元素分馏明显, 弱 Eu 异常, 总体上为壳幔混合源 I 型花岗岩<sup>[12]</sup>。

钼铜矿体赋存于大黎岩体的西南部位, 产出于斑岩体和寒武系砂页岩内、外接触带附近, 平面上呈环形围绕岩体分布, 剖面上呈透镜状、条带状, 大致沿水平方向延伸。其中外接触带黄铁绢英岩化地段为矿体的主要赋存部位, 赋矿岩石主要为石英角岩、绢云母石英角岩、绢云母角岩及花岗闪长斑岩。矿区目前已发现钼矿体 9 个, 除①号矿体外, 其余均为隐伏矿体。主矿体出露长数百米, 宽数十至一百多米, 剖面上呈透镜状, 少部分呈条带状, 多层产出(图 2)。矿体单层厚 0.85~74.42 m, Mo 品位 0.03%~0.17%<sup>[11]</sup>。

矿石矿物有黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、辉钼矿等, 脉石矿物有石英、长石、绢云母、黑云母、绿泥石、绿帘石、方解石等。黄铁矿多呈半自形或他形粒状、细脉状分布, 粒径 0.1~0.5 mm; 黄铜矿呈不规则粒状零星分布, 与磁黄铁矿共生; 辉钼矿呈片状分布在石英脉中, 粒径 0.05 mm 左右, 与黄铁矿、黄铜矿共生。

矿石结构有半自形或他形粒状结构, 包含结构、鳞片结构等。矿石构造以网脉状构造为主, 其次为细脉状构造和浸染状构造。

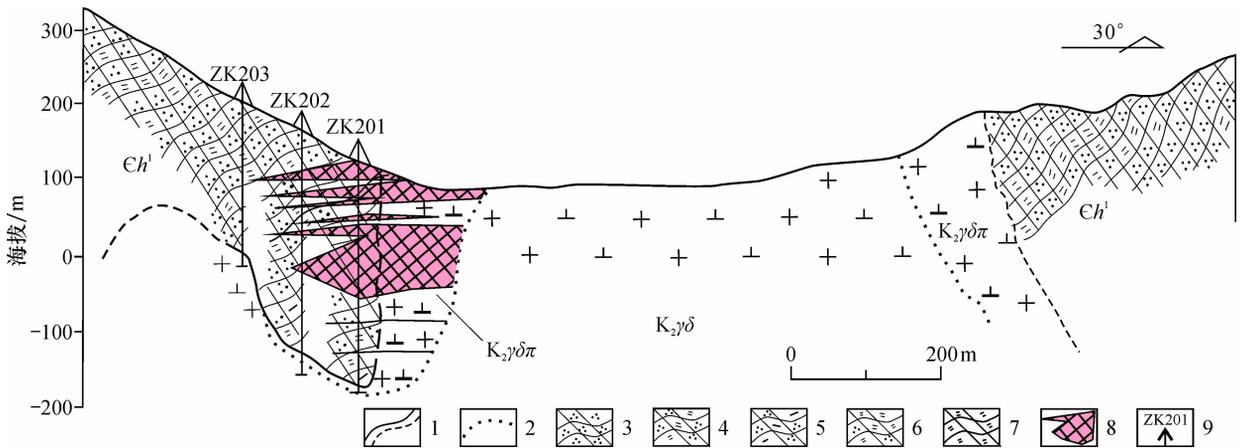


图 2 大黎钼铜矿 2 号勘探线剖面图(据韦子任等<sup>[11]</sup>)

Fig. 2 Cross-section of Exploration Line No. 2 in Dali Mo-Cu deposit

$K_2\gamma\delta$ —晚白垩世花岗闪长岩;  $K_2\gamma\delta\pi$ —晚白垩世花岗闪长岩斑岩; 1—实、推测地质界线; 2—岩相界线; 3—石英角岩; 4—绢云石英角岩; 5—黑云石英角岩; 6—石英绢云角岩; 7—绢云角岩; 8—钼铜矿体; 9—完工钻孔及编号

围岩蚀变以黄铁矿化和绢云母化为主, 次为硅化、绿泥石化、碳酸盐化等, 蚀变范围广。从内向外呈现黄铁绢英岩化带, 黄铁矿绢云母化带和绢云母化绿泥石化带。铜矿体主要赋存于黄铁绢英岩化带内, 黄铁矿绢云母化带有少量分布<sup>[11]</sup>。

### 3 样品采集和测试方法

为了精确确定大黎钼铜矿床的成矿年龄, 首次对该矿床进行了 Re-Os 同位素测年。5 件矿石样品分别采自矿区 2 号勘探线的钻孔 ZK201 和 ZK202(图 2)。含辉钼矿石英细脉呈脉状、网脉状产出, 辉钼矿在显微镜下呈明显的片状(图 3), 矿物组合为辉钼矿、黄铜矿、磁黄铁矿、闪锌矿、黄铁矿和石英。

将野外采集的矿石样品在双目镜下手工挑选出辉钼矿单矿物, 辉钼矿质纯、无氧化、无污染, 纯度达 98% 以上, 将其粉碎到 200 目(0.075 mm)。Re-Os 同位素测试在国家地质实验测试中心完成。化学分离、ICP-MS 测定和数据处理遵照 Re-Os 同位素测试的实验流程与标准执行<sup>[19]</sup>。

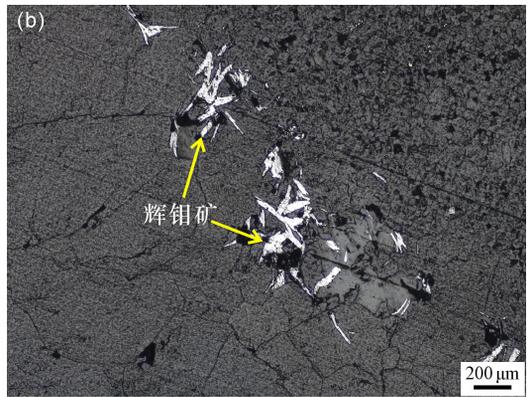


图 3 含辉钼矿石英脉及辉钼矿镜下特征

Fig. 3 Drill core photo of molybdenite-bearing quartz vein and microscopic feature of molybdenite  
a—烟灰色含辉钼矿石英细脉呈网脉状分布; b—辉钼矿镜下的片状特征(反射光)

表 1 大黎钼铜矿中辉钼矿 Re-Os 同位素数据

Table 1 Re-Os isotope data of molybdenite from Dali Mo-Cu deposit

编号	原样名	样重/g	$w(\text{Re})/(\text{ng} \cdot \text{g}^{-1})$		$w(\text{普 Os})/(\text{ng} \cdot \text{g}^{-1})$		$w(^{187}\text{Re})/(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$		$w(^{187}\text{Os})/(\text{ng} \cdot \text{g}^{-1})$		模式年龄/Ma	
			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
120620-15	DL-3	0.009 58	315.8	3.5	1.782	0.040	198.5	2.2	335.2	3.1	101.3	1.7
120627-1	DL-1	0.005 34	691.1	6.1	0.625	0.422	434.4	3.9	732.3	6.0	101.1	1.5
120627-2	DL-2	0.005 12	585.1	6.0	1.668	0.350	367.8	3.8	622.4	5.6	101.5	1.6
120627-3	DL-4	0.005 36	343.0	2.7	0.849	0.198	215.6	1.7	371.9	3.5	103.5	1.5
120627-4	DL-5	0.005 22	600.8	4.8	0.588	0.265	377.6	3.0	637.8	5.9	101.3	1.5

分析者: 李超, 曾法刚; 技术审核: 杜安道, 屈文俊, 2012 年。

## 4 测试结果

大黎钼铜矿床 5 件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素测试结果见表 1, 计算时的 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, 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%。本次实验全流程空白为  $\text{Re} = 7.4 \text{ pg}$ ,  $\text{Os} = 0.06 \text{ pg}$ ,  $^{187}\text{Os} = 0.15 \text{ pg}$ (表 2)。本次实验标样 JCD 被用于监测分析数据, 测试结果和标准值列于表 3。由表可见, 本次测试结果相当可靠, 因而, 所获得的辉钼矿 Re-Os 数据亦相当精确。

辉钼矿中普通 Os 含量很低, 暗示几乎所有的  $^{187}\text{Os}$  都来自于  $^{187}\text{Re}$  的  $\beta$  衰变, 因此, 可以通过辉钼矿中  $^{187}\text{Re}$  和  $^{187}\text{Os}$  的含量来计算出模式年龄  $t$ 。计算公式<sup>[20]</sup>:  $t = (1/\lambda) [\ln(^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re} + 1)]$ , 式中,  $\lambda$  为  $^{187}\text{Re}$  衰变常数, 其值为  $1.666 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ 。

由表 1 可见, 各样品数值范围:  $w(\text{Re})$  为 315.8

表 2 本次实验空白水平  
Table 2 Blank level of this experiment

编号	原样名	$w(\text{Re})/\mu\text{g}$		$w(\text{普 Os})/\mu\text{g}$		$w(^{187}\text{Os})/\mu\text{g}$	
		测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
120701-24	BK	7.4	2.5	0.06	0.59	0.15	0.05

分析者：李超，曾法刚；技术审核：杜安道，屈文俊，2012 年。

表 3 实验标准物质 GBW04436 (JDC) 测定值和标准值  
Table 3 Analytical data and certificated values of Re - Os isotopes for standard sample JDC

编号	原样名	样重/g	$w(\text{Re})/(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$		$w(^{187}\text{Os})/(\text{ng} \cdot \text{g}^{-1})$		模式年龄/Ma	
			测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
120701-23	JDC	0.050 02	16.91	0.13	24.99	0.23	140.9	2.0
GBW04436	JDC		17.39	0.32	25.46	0.60	139.6	3.8

分析者：李超，曾法刚；技术审核：杜安道，屈文俊，2012 年。

~691.1  $\mu\text{g/g}$ ,  $w(\text{普 Os})$  为 0.588 ~ 1.782  $\text{ng/g}$ ,  $w(^{187}\text{Re})$  为 198.5 ~ 434.4  $\mu\text{g/g}$ ,  $w(^{187}\text{Os})$  为 335.2 ~ 732.3  $\text{ng/g}$ 。  $w(^{187}\text{Re})$  与  $w(^{187}\text{Os})$  成正相关，这就验证了辉钼矿中的  $^{187}\text{Os}$  基本上都是由  $^{187}\text{Re}$  经  $\beta$  衰变而来，说明用辉钼矿 Re - Os 定年是可行的，且  $w(^{187}\text{Os})/w(\text{普 Os})$  远大于 20，因此可以忽略普通 Os 对 Re - Os 模式年龄的影响<sup>[21]</sup>。

辉钼矿 Re - Os 模式年龄为  $101.1 \pm 1.5 \text{ Ma}$  至  $103.5 \pm 1.5 \text{ Ma}$ ，利用 Isoplot 软件<sup>[22]</sup> 得到其加权平均年龄为  $101.7 \pm 1.2 \text{ Ma}$ ，加权平均方差  $MSWD = 1.7$  (图 4)。6 个数据点加权拟合后构成一条良好的  $^{187}\text{Re} - ^{187}\text{Os}$  等时线 (图 5)，其等时线年龄为  $100.1 \pm 3.7 \text{ Ma}$ ， $^{187}\text{Os}$  的初始值为  $8 \pm 18 \text{ ng/g}$ ， $MSWD = 2.1$ ，模式年龄与等时线年龄基本一致，说明数据可靠，该等时线年龄代表了大黎钼铜矿床的成矿年龄。

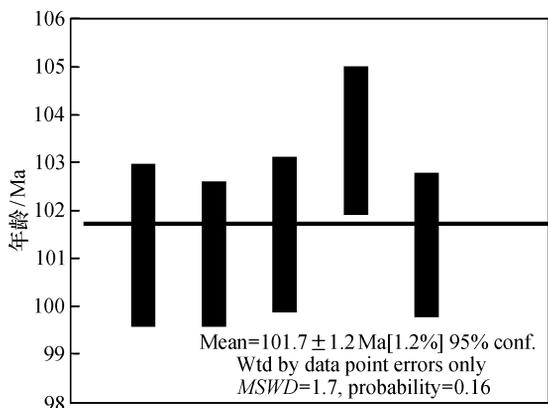


图 4 大黎钼铜矿中辉钼矿 Re - Os 模式年龄加权平均值

Fig. 4 Weighted mean of Re - Os model ages of molybdenite from Dali Mo - Cu deposit

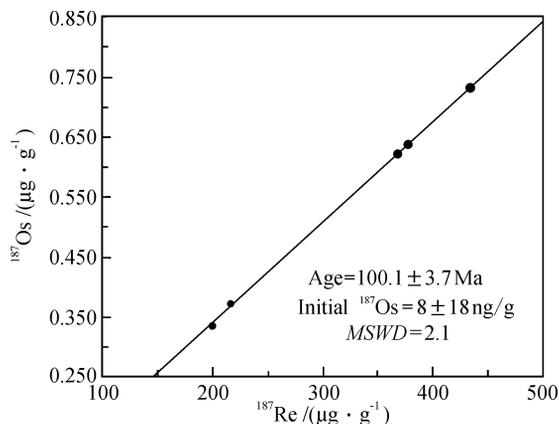


图 5 大黎钼铜矿中辉钼矿 Re - Os 同位素等时线  
Fig. 5 Re - Os isochron age of molybdenite from Dali Mo - Cu deposit

## 5 讨论

### 5.1 成矿时代

辉钼矿的 Re - Os 同位素体系是目前认为最合适的直接定年的方法<sup>[23]</sup>，因为辉钼矿富集 Re ( $10^{-6}$  级)，而普 Os 含量极低 (接近于零)，即辉钼矿中的 Os 完全是放射成因的  $^{187}\text{Os}$ 。国内外已有很多成功的典例<sup>[24]</sup>。因此，Re - Os 同位素体系测定辉钼矿形成年龄能为相关矿床的形成时限、区域构造演化提供高精度的年代学制约。

本次分析的大黎钼铜矿床中辉钼矿的普 Os 含量很低，变化范围为  $(0.588 \pm 0.265) \times 10^{-9} \sim (1.782 \pm 0.040) \times 10^{-9}$ ，而 Re 含量高，变化范围为  $(315.8 \pm 3.5) \times 10^{-6} \sim (691.1 \pm 6.1) \times 10^{-6}$ ，Re - Os 模式年龄为  $101.1 \pm 1.5 \text{ Ma}$  至  $103.5 \pm 1.5 \text{ Ma}$ ，其加权平均年龄 ( $101.7 \pm 1.2 \text{ Ma}$ ) 与 Re - Os 等时线年龄 ( $100.1 \pm 3.7 \text{ Ma}$ ) 在误差范围内一致，

表明辉钼矿的 Re - Os 等时线年龄可以代表辉钼矿的形成年龄。由于本次用于 Re - Os 同位素测年的样品均为该矿床的主要矿石类型,因而辉钼矿的 Re - Os 等时线年龄  $100.1 \pm 3.7$  Ma 可以直接代表该矿床的形成年龄。

精确厘定成矿岩体的形成时代与成矿作用的时代对于研究斑岩型铜钼矿床的成矿作用具有重要的意义。斑岩型铜钼矿床具有成岩成矿时间的一致性,成岩与成矿多为同一期构造岩浆活动的产物。同样,大黎斑岩型钼铜矿床也具有成岩成矿时间的一致性。胡升奇等<sup>[12]</sup>测定大黎岩体的石英二长岩和石英二长斑岩的 U - Pb 年龄分别为  $102.8 \pm 0.9$  Ma 和  $101.7 \pm 1.2$  Ma, 本文测定的大黎钼铜矿床的辉钼矿 Re - Os 同位素等时线年龄 ( $100.1 \pm 3.7$  Ma) 和模式年龄 ( $101.7 \pm 1.2$  Ma) 与其一致,反映大黎岩体与大黎钼铜矿床为燕山晚期早白垩世晚期同一期构造岩浆活动的产物。

## 5.2 成矿动力学背景

矿床的精确测年是建立矿床模型和反演成矿地球动力学背景的基础。对于华南中生代大规模成矿作用,华仁民等<sup>[25]</sup>、毛景文等<sup>[26]</sup>和 Mao 等<sup>[27]</sup>进行了系统总结概括,都提出华南地区中生代存在 3 次大规模成矿,即晚三叠世 (230 ~ 210 Ma)、晚侏罗世 (170 ~ 150 Ma) 和早一中白垩世 (120 ~ 80 Ma)。本文所测的大黎铜钼矿床成矿年龄为  $100.1 \pm 3.7$  Ma, 为燕山晚期早白垩世晚期,属于前人划分的华南地区中生代第三次大规模成矿期。华南地区燕山期的 3 次大规模成矿作用,是该地区岩石圈发展演化的产物,其中第一、二次大规模成矿作用分别对应于印支造山运动后的局部拉张 - 裂解和大规模伸展 - 减薄;而第三次大规模成矿作用的背景更为复杂,既有拉张又有挤压,大陆边缘大规模的火山岩浆作用、弧后的扩张作用、板内岩石圈的进一步伸展以及深断裂的活动,引发了华南地区最大规模的金属成矿作用。

早一中白垩世 (120 ~ 80 Ma) 的岩浆活动和成矿作用在华南广泛分布。例如华南西部右江盆地及其周缘存在大量晚白垩世岩浆岩及相关矿床。据陈懋弘等<sup>[28]</sup>研究,右江盆地的周缘,包括西南部的云南个旧、都龙、白牛厂,东部的广西南丹、大厂、大明山、昆仑关的岩浆岩和相关的矿床时

代均在 80 ~ 100 Ma。这些岩体规模大,形成世界级的锡多金属矿床。盆地内部的广西巴马、凤山、凌云和料屯金矿的石英斑岩脉年龄在 95 ~ 97 Ma。云开地区阳春盆地在晚白垩世也形成了大量的岩浆岩及相关的钨锡多金属矿床。据郑伟等<sup>[29]</sup>总结:广东鹦鹉岭钨锡多金属矿床的黑云母花岗岩和钾长花岗岩的 LA - ICP - MS 锆石 U - Pb 同位素年龄分别为 81.3 Ma 和 80.6 Ma, 辉钼矿 Re - Os 年龄为 83.0 Ma; 广东锡山钾长花岗岩的 LA - ICP - MS 锆石 U - Pb 同位素年龄为 79.13 Ma, 辉钼矿 Re - Os 模式年龄为 79.4 Ma; 广东银岩斑岩型钼矿的辉钼矿 Re - Os 加权平均年龄为 78.6 Ma; 广东罗定盆地内大金山钨锡多金属矿黑云母花岗岩为 82.9 ~ 85.6 Ma, 似斑状黑云母花岗岩为 75.0 ~ 84.2 Ma<sup>[30]</sup>。

此外,华南地区还有一系列燕山晚期基性岩浆岩活动存在的证据。例如右江盆地内部的贵州贞丰白层基性超基性岩年龄为 84 Ma<sup>[31]</sup>, 盆地西南部的云南个旧一带也存在大量的基性岩,年龄为 77.2 Ma<sup>[32]</sup>, 东部沿丹池成矿带也出露大量的基性超基性岩,年龄在 99 Ma 左右<sup>[28]</sup>。华南东部,如诸广山岩体中的辉绿岩脉、煌斑岩脉为 88 ~ 105 Ma<sup>[33]</sup>, 广东南雄玄武岩为 95 Ma<sup>[34]</sup>。

综合以上数据表明,在扬子板块东部到华夏板块西部这一内陆区域中,存在广泛的晚白垩世岩浆成矿作用。同时,酸性岩和基性 - 超基性岩浆岩的组合,进一步反映了地壳伸展的构造背景。对于这一时期地壳伸展的动力学背景, Mao 等<sup>[27]</sup>认为在 120 ~ 80 Ma, 古太平洋板块由向大陆边缘斜向俯冲转变为水平运动,形成左行走滑断层和拉分盆地,在陆内形成拉张环境,导致在该阶段区域性的岩石圈的减薄,增厚的岩石圈的分层和热侵蚀,从而有利于大规模的岩浆侵入和成矿。在该阶段的构造热演化事件过程形成花岗质岩浆,并形成与之有关的斑岩型铜钼矿。因此,大黎岩体及其相关的斑岩型钼铜矿床是早白垩世晚期伸展拉张的大地构造环境下的产物。

## 5.3 大瑶山地区斑岩型矿床的时空分布规律和找矿前景

目前的研究成果表明,大瑶山地区斑岩型矿床主要可分为加里东期 (435 ~ 440 Ma) 斑岩矽卡岩型钨铜矿、燕山早期 (148 ~ 156 Ma) 铜钼矿、燕山

晚期(91 ~ 105 Ma)钼铜金银铅锌矿<sup>[18]</sup>。其中加里东期斑岩矽卡岩型钨铜矿主要分布在大瑶山地区的中部和南部,成矿时代集中在435 ~ 440 Ma。与成矿相关的岩浆岩主要为花岗闪长岩类,次为花岗岩。典型代表为社垌钨钼矿床和玉坡钨银铅锌矿床,总体上表现为以钨为主。燕山早期(148 ~ 156 Ma)铜钼矿主要分布在大瑶山地区的东部,成矿时代集中在148 ~ 156 Ma。与成矿相关的岩浆岩主要为二长花岗斑岩,目前仅发现广东圆珠顶斑岩型铜钼矿。成矿元素以铜钼为主,显示内钼外铜的分带特点,相应的蚀变分带为内部钾化,外部为绢英岩化。

燕山晚期钼铜金银铅锌矿主要分布在大瑶山地区的西南部、中部和南部。典型矿床包括大瑶山隆起中部的大黎斑岩型钼矿、南部的宝山铜矿、西南部的龙头山次火山岩型金矿等。

从成矿时代来看,大黎斑岩型钼铜矿床石英二长岩和石英二长斑岩的U-Pb年龄分别为 $102.8 \pm 0.9$  Ma和 $101.7 \pm 1.2$  Ma<sup>[12]</sup>,而本文获得辉钼矿Re-Os年龄为 $101.7 \pm 1.2$  Ma。大瑶山南缘的苍梧县社垌矿区存在燕山晚期的宝山花岗斑岩,其U-Pb年龄为 $91.05 \pm 0.31$  Ma<sup>[35-36]</sup>。贵港龙头山斑岩型金矿目前尚未有直接的成矿年龄,而是获得了与成矿密切相关的斑岩体的成岩时代,如段瑞春等<sup>[37]</sup>获得龙头山金矿黄铁矿化斑岩的LA-ICP-MS锆石年龄为 $96.1 \pm 3.0$  Ma,而陈富文等<sup>[38]</sup>获得矿区流纹斑岩和花岗斑岩的锆石SHRIMP U-Pb年龄分别为 $103.3 \pm 2.4$  Ma和 $100.3 \pm 1.4$  Ma。以上数据说明大瑶山地区晚白垩世斑岩型矿床仅集中在91 ~ 105 Ma这样一个很短的时间内。

从空间分布来看,燕山晚期斑岩型矿床主要分布在大瑶山隆起的南部,且围绕岩体具有明显的分带现象。例如贵港大平天山地区存在一个以燕山晚期(92.2 ~ 96.0 Ma)黑云母花岗岩为主体的岩浆热液成矿系统,围绕大平天山岩体发育一系列的矿床:内带为龙头山火山次火山岩型金矿;中带为砷矿沟-头闸和白沙的中温热液型和矽卡岩型银铅锌矿;外带的龙山矿田为远端低温热液型金矿。相应的元素分带为:① Au、Cu(W, Sn, Bi)→② Ag、Pb、Zn→③ Au。成矿温度:① 338 ~ 228 °C→② 200 ~ 280 °C→③ 245 ~ 140 °C。平面上围绕大

平天山岩体,总体显示出由高温到低温的元素分带特点。此外,龙头山金矿还具有纵向分带,从上向下形成Au(Ag)→Ag(Au、Cu、Pb)→Cu(Au、Pb)分带现象<sup>[39]</sup>。头闸矿床也有类似的分带现象,从深部向浅部为Au、Cu→Ag、Pb、Zn→Au、Sb的分带<sup>[10]</sup>。

目前根据化探异常和零星的矿点分布来看,初步可以判断以大黎岩体为中心,具有Mo(Cu)→Pb(Zn)、Ag(Au)的元素组合分带特征<sup>[11-12]</sup>。参考上述燕山晚期大平天山热液成矿系统的分带特征,笔者认为与大黎岩体相关的矿产,除了岩体内外接触带的斑岩型钼铜矿床之外,其外围还可能在中大型的石英脉型银铅锌矿和类似于六梅金矿的破碎带蚀变岩型金矿,具有一定的找矿前景。

综上所述,大瑶山地区存在从加里东期到燕山晚期的多期次岩浆活动和相应的斑岩型矿床,其中燕山晚期的岩浆热液成矿系统还存在明显的成矿元素分带现象。由于大瑶山地区各期次岩浆岩多为小岩体,局部集中形成岩体群,结合物探重磁资料,推测一些岩体群深部存在巨大的隐伏岩体<sup>[1]</sup>。根据岩体小而多,剥蚀较浅,普遍发生了蚀变,推测大多数矿床仍埋在地下而尚未被剥蚀,大瑶山地区与岩浆岩有关的斑岩型矿床具有良好的找矿前景。

## 6 结 论

(1) 大黎钼铜矿床的辉钼矿Re-Os等时线年龄为 $100.1 \pm 3.7$  Ma,与大黎岩体形成时间一致,反映大黎钼铜矿床为华南地区燕山晚期(早白垩世晚期)构造岩浆事件的产物。

(2) 大黎钼铜矿床形成于100 Ma左右,处于华南地区中生代第三次大规模成矿期。大黎岩体和大黎钼铜矿床在早白垩世晚期伸展拉张的大地构造环境下形成。

(3) 大瑶山地区斑岩型矿床除加里东期的钨多金属矿床外,燕山期的铜钼矿床、金多金属矿床也是重要的矿床类型,大瑶山地区具有良好的寻找斑岩型矿床的前景。

## 参考文献:

[1] 曾崇义. 桂东大瑶山隆起区深部构造特征与金矿成矿作

- 用的关系 [J]. 桂林工学院学报, 1996, 16 (3): 245 - 251.
- [2] 蔡明海, 刘国庆, 战明国. 桂东大瑶山地区金矿床成因及成矿时代研究 [J]. 华南地质与矿产, 2000, 10 (3): 58 - 63.
- [3] 黄惠民, 和志军, 崔彬. 广西大瑶山地区花岗岩成矿系列 [J]. 地质与勘探, 2003, 39 (4): 12 - 16.
- [4] 钟立峰, 夏斌, 刘立文, 等. 粤西-桂东成矿带圆珠顶铜钼矿床成矿年代学及其地质意义 [J]. 矿床地质, 2010, 29 (3): 395 - 404.
- [5] 陈富文, 李华芹, 王登红, 等. 粤西圆珠顶斑岩型铜钼矿床成矿地质特征及成岩成矿作用年代学研究 [J]. 地质学报, 2012, 86 (8): 1298 - 1305.
- [6] 李晓峰, 冯佐海, 李容森, 等. 华南志留纪钼的矿化: 白石顶钼矿锆石 SHRIMP U - Pb 年龄和辉钼矿 Re - Os 年龄证据 [J]. 矿床地质, 2009, 28 (4): 403 - 412.
- [7] 陈懋弘, 莫次生, 黄智忠, 等. 广西苍梧县社洞钨钼矿床花岗岩类锆石 LA - ICP - MS 和辉钼矿 Re - Os 年龄及其地质意义 [J]. 矿床地质, 2011, 30 (6): 963 - 978.
- [8] 陈懋弘, 黄智忠, 李斌, 等. 广西苍梧县社洞钨钼矿床花岗岩类岩石的地球化学特征及其与成矿关系 [J]. 岩石学报, 2012, 28 (1): 199 - 212.
- [9] 陈懋弘, 郭云起, 梁宾, 等. 广西苍梧县武界钨钼矿点成岩成矿年龄及岩体地球化学特征 [J]. 桂林理工大学学报, 2012, 32 (1): 1 - 13.
- [10] 陈懋弘, 李忠阳, 韦子任, 等. 广西贵港大平天山岩浆热液成矿系统 [J]. 矿床地质, 2016, 35 (S1): 45 - 46.
- [11] 韦子任, 黄耀平, 叶有乐. 广西藤县大黎钼矿床地质特征及找矿方向 [J]. 华南地质与矿产, 2012, 28 (4): 383 - 391.
- [12] 胡升奇, 周国发, 彭松柏, 等. 广西大黎铜钼矿石英二长(斑)岩年代学、地球化学特征及其地质意义 [J]. 地球学报, 2012, 33 (1): 23 - 37.
- [13] 广西壮族自治区地质矿产局. 广西壮族自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1985: 96.
- [14] 杨明桂, 梅勇文. 钦-杭古板块结合带与成矿带的主要特征 [J]. 华南地质与矿产, 1997 (3): 52 - 59.
- [15] 毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 等. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律 [J]. 地质学报, 2011, 85 (5): 636 - 658.
- [16] 骆靖中. 桂东地区花岗岩类与金银成矿的关系 [J]. 桂林冶金地质学院学报, 1993, 13 (4): 329 - 339.
- [17] 刘腾飞. 桂东花岗岩类特征及其与金矿关系 [J]. 广西地质, 1993, 6 (4): 77 - 86.
- [18] 陈懋弘, 李忠阳, 李青, 等. 初论大瑶山地区多期次花岗质岩浆活动与成矿系列 [J]. 地学前缘, 2015, 22 (2): 41 - 53.
- [19] 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 等. Carius 管溶样一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, 2001, 20 (4): 247 - 252.
- [20] Smoliar M I, Walker R J, Morgan J W. Re - Os ages of group IIA, IIIA, IVA and VIB iron meteorites [J]. Science, 1996, 271: 1099 - 1102.
- [21] 李超, 屈文俊, 杜安道, 等. 含有普通钨的辉钼矿 Re - Os 同位素定年研究 [J]. 岩石学报, 2012, 28 (2): 702 - 708.
- [22] Ludwig K R. User's manual for Isoplot 3.75: a geochronological toolkit for Microsoft Excel [R]. Berkeley Geochronology Center, Special publication No. 5, 2012.
- [23] Stein H J, Markey R J, Morgan J W, et al. The remarkable Re - Os chronometer in molybdenite: how and why it works [J]. Terra Nova, 2001, 13 (6): 479 - 486.
- [24] Mao J W, Xie G Q, Bierlein F, et al. Tectonic implications from Re - Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2008, 72: 4607 - 4626.
- [25] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用 [J]. 矿床地质, 2005, 24 (2): 99 - 107.
- [26] 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境 [J]. 高校地质学报, 2008, 14 (4): 510 - 526.
- [27] Mao J W, Cheng Y B, Chen M H, et al. Major types and time-space distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their geodynamic settings [J]. Miner Deposita, 2013, 48: 267 - 294.
- [28] 陈懋弘, 陆刚, 李新华. 桂西北地区石英斑岩脉白云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年龄及其地质意义 [J]. 高校地质学报, 2012, 18 (1): 106 - 116.
- [29] 郑伟, 毛景文, 赵海杰, 等. 粤西阳春盆地多金属矿床成矿系列及动力学背景 [J]. 矿床地质, 2015, 34 (3): 465 - 487.
- [30] 余长发, 毛景文, 赵海杰, 等. 粤西大金山钨锡多金属矿床地质特征及成岩成矿年代学研究 [J]. 岩石学报, 2012, 28 (12): 3967 - 3979.
- [31] 陈懋弘, 章伟, 杨宗喜, 等. 黔西南白层超基性岩墙锆石 SHRIMP U - Pb 年龄和 Hf 同位素组成研究 [J]. 矿床地质, 2009, 28 (3): 240 - 250.
- [32] 程彦博, 毛景文, 陈懋弘, 等. 云南个旧锡矿田碱性岩和煌斑岩 LA - ICP - MS 锆石 U - Pb 测年及其地质意义 [J]. 中国地质, 2008, 35 (6): 1138 - 1149.
- [33] 李献华, 胡瑞忠, 饶冰. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学 [J]. 地球化学, 1997, 26 (2): 14 - 31.
- [34] Shu L S, Deng P, Wang B, et al. Lithology, kinematics and geochronology related to Late Mesozoic basin-mountain evolution in the Nanxiong-Zhuguang area, South China [J]. Science in China (Series D), 2004, 47 (8): 673 - 688.
- [35] 蒋兴洲, 康志强, 许继峰, 等. 广西大瑶山隆起宝山铜矿

- 区斑岩体锆石 U - Pb 定年及其地质意义 [J]. 桂林理工大学学报, 2015, 35 (4): 766 - 773.
- [36] 毕诗健, 杨振, 李巍, 等. 钦杭成矿带大瑶山地区晚白垩世斑岩型铜矿床: 锆石 U - Pb 定年及 Hf 同位素制约 [J]. 地球科学, 2015, 40 (9): 1458 - 1479.
- [37] 段瑞春, 凌文黎, 李青, 等. 华南燕山晚期构造 - 岩浆事件与成矿作用——来自广西大瑶山龙头山金矿床的地球化学约束 [J]. 地质学报, 2011, 85 (10): 1644 - 1658.
- [38] 陈富文, 李华芹, 梅玉萍. 广西龙头山斑岩型金矿成岩成矿锆石 SHRIMP U - Pb 年代学研究 [J]. 地质学报, 2008, 82 (7): 921 - 926.
- [39] 朱桂田. 广西龙头山金矿床地质特征及成因研究 [J]. 矿产与地质, 2002, 16 (5): 266 - 272.

## Molybdenite Re - Os dating for the Dali porphyry Mo - Cu deposit of Dayaoshan area and its geological implications

LI Zhong-yang<sup>1</sup>, DANG Yuan<sup>2</sup>, WEI Zi-ren<sup>3</sup>, YE You-le<sup>3</sup>, CHEN Mao-hong<sup>4</sup>

(1. No. 4 Geological Team of Guangxi, Nanning 530033, China; 2. School of Earth Science and Mineral Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 3. No. 6 Geological Team of Guangxi, Guigang 537100, China; 4. MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China)

**Abstract:** The Dali porphyry Mo - Cu deposit in Teng County, Guangxi, was discovered in 2009. The deposit is located in the Dayaoshan polymetallic metallogenichelt at the southwest part of Qinhang metallogenic belt. Five molybdenite samples collected from Dali ore bodies were used for Re - Os dating. The obtained model ages range from  $101.1 \pm 1.5$  Ma to  $103.5 \pm 1.5$  Ma, with a weighted mean age of  $101.7 \pm 1.2$  Ma and an isochronal age of  $100.1 \pm 3.7$  Ma. The ages are similar to the LA-ICP-MS zircon U - Pb isotopic ages of the quartz monzonite and quartz monzonite porphyry ( $102.8 \pm 0.9$  Ma and  $101.7 \pm 1.2$  Ma) in the deposit, indicating that the emplacement age of the plutons and the mineralization age of the deposit were coeval. Both the intrusion and mineralization could have formed at the same magmatic event at the late Early Cretaceous period of Late Yanshanian Orogeny, due to lithospheric thinning and extension. There are not only Yanshanian Cu - Mo porphyry deposits, but also Caledonian W - Cu porphyry deposits in Dayaoshan Terrane, indicating huge potential for more Early Paleozoic to Mesozoic deposits.

**Key words:** molybdenite; Re - Os dating; Early Cretaceous; porphyry Mo - Cu deposit; Dayaoshan uplift; Dali; Guangxi