

编号: 0258-7106(2011)06-1113-09

# 江西省大吉山钨矿床辉钼矿铼-钨同位素定年\*

张思明<sup>1</sup>, 陈郑辉<sup>2\*</sup>, 施光海<sup>1</sup>, 李丽侠<sup>1</sup>, 屈文俊<sup>3</sup>, 李超<sup>3</sup>

(1 中国地质大学, 北京 100083; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;  
3 国家地质测试中心, 北京 100037)

**摘要** 大吉山钨矿床位于南岭成矿带, 是赣南地区著名的大型钨矿床。文章首次运用铼-钨同位素方法对大吉山钨矿床进行精确定年, 给出了可靠的辉钼矿铼-钨等时线年龄( $161.0 \pm 1.3$ ) Ma。该年龄代表了大吉山石英脉型黑钨矿的成矿年龄, 属于燕山早期。大吉山石英脉型黑钨矿成矿年龄的精确厘定, 为本地区的成矿理论研究提供了重要数据, 也进一步显示 170~150 Ma 是华南地区中生代钨矿大规模成矿作用的重要时期。

**关键词** 地球化学; 大吉山钨矿床; 辉钼矿; 铼-钨同位素定年; 成矿年代  
中图分类号: 618.67 文献标志码: A

## Re-Os isotopic dating of molybdenite from Dajishan tungsten deposit in Jiangxi Province

ZHANG SiMing<sup>1</sup>, CHEN ZhengHui<sup>2</sup>, SHI GuangHai<sup>1</sup>, LI LiXia<sup>1</sup>, QU WenJun<sup>3</sup> and LI Chao<sup>3</sup>  
(1 China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China;  
3 National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037, China)

### Abstract

Located in the Nanling metallogenic belt of Jiangxi Province, the Dajishan tungsten deposit is a famous large-size tungsten deposit. Precise Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Dajishan tungsten deposit was carried out, which yielded an isochron age of ( $161.0 \pm 1.3$ ) Ma. This age is interpreted as the formation age of the molybdenite, representing the formation period of the Dajishan quartz-tungsten type deposit, i. e., the ore deposit was formed in Early Yanshanian period. The precise dating provides convincing basic reliable data for further study of the ore deposit, and also suggests that the period of 170~150 Ma was an important period for tungsten formation in South China.

**Key words:** geochemistry, Dajishan tungsten deposit, molybdenite, Re-Os isotopic dating, mineralization age

南岭地区以与酸性岩浆岩有关的有色、稀有金属矿产高度富集为特色, 既是中国有色金属之乡, 又有世界“钨都”、“铋都”和“锡都”之称。作为滨西太平洋多金属成矿带的重要组成部分, 该区是中国有色金属稀有金属矿产最集中的产区, 以钨、锡、铋、铅、锌、

铋、铀等资源最为丰富。该区的矿床具有规模大、分布广、聚集成带、共伴生组分多、矿床类型复杂多样等特点, 重要的大型-超大型钨、锡多金属矿床有大厂锡矿、柿竹园钨锡多金属矿、骑田岭钨锡矿、大吉山钨矿、西华山钨矿、凡口铅锌矿等。江西全南县大

\* 本文得到全国危机矿山接替资源找矿项目([2008]204号)深部探测技术与实验研究专项资助项目(SinoProbe-03-03)和“南岭大型矿集区深部评价技术方法研究”项目(1212010813062)的共同资助

第一作者简介 张思明, 女, 1985年生, 硕士研究生, 主要从事典型矿床及区域成矿规律研究。

\*\* 通讯作者 陈郑辉, 男, 副研究员, 主要从事区域成矿规律和矿产资源潜力预测评价、深部探测技术方法等研究。chenzhenghui@sina.com

收稿日期 2011-01-06; 改回日期 2011-08-21。张绮玲编辑。

吉山钨矿床集石英脉型钨矿、花岗岩型钨铋钽矿于一体,是大型稀有多金属矿床。大吉山钨矿自1918年发现以来已有近百年历史,为国家经济建设作出了突出的贡献。自上世纪50年代进行了几轮地质勘探,60年代起许多学者开展了大量的科研工作,研究内容涉及岩浆岩与成矿、成矿作用、地球化学、成矿规律、矿床成因等方面,已经积累了丰富的资料,获得了许多具有重要意义认识(卢焕章等,1974;章崇真,1975;孙恭安等,1985;庄龙池等,1991;刘卫明等,1996;蒋国豪等,2004,等)。

近年来,对大吉山钨矿床做了较多同位素年代学研究(孙恭安等,1985;邱检生等,2004;蒋国豪等,2004;张文兰等,2004,2006)。然而,前人对成岩、成矿年代学的认识存在很大的分歧。从成岩的角度看,大吉山岩浆岩的成岩年龄比较可靠。然而,五里亭花岗岩的锆石年龄表明其为印支期形成,这与南岭地区与钨矿有关的岩体年龄主要为燕山期(九龙脑岩体,西华山岩体)有较大的分歧(丰成友等,2011;刘家远,2005)。从成矿年代学的角度看,前人测年利用间接的矿物年龄(如石英、白云母年龄)代替成矿年龄,而没有直接的、精确的年龄。本文对采自大吉山钨矿床317中段20号钨-铜-石英矿脉中的辉钼矿进行了成矿年代学研究。由于所采样品是矿脉中与黑钨矿共生的辉钼矿,通过辉钼矿的 $Re-Os$ 同位素年龄测定,能够给出可靠的成矿年龄。

## 1 区域地质概况

大吉山钨矿在区域构造位置上位于扬子板块的绍兴-十万大山带南东侧的华夏板块罗霄褶皱带(万天丰,2004),处在早古生代以后的赣南粤北隆起带南部边缘,与湘桂粤晚古生代拗陷的过渡部位(孙恭安等,1985),在中三叠世末期绍兴-十万大山带发生强烈碰撞作用后(万天丰,2004),中生代以来该区实际上处在粤北断陷一侧。

区域基底为震旦系和寒武系,盖层为泥盆系、石炭系、三叠系、侏罗系和白垩系(图1)。

区域构造线以北东向和东西向为主,次为北北东向和北西向构造。构造类型以北东向褶皱和断裂为主。区域岩浆活动非常发育,印支运动和燕山运动最为强烈。矿区北部紧临五里亭花岗岩基,该岩基在深部可能与贵东岩体相连。

矿区出露地层主要为泥盆系中下统桂头群,岩

性主要为粗粒砂岩、含砾砂岩夹电气石绢云母千枚岩及石英砾岩。与下伏寒武系呈角度不整合接触,接触带上由于构造运动,形成悬崖峭壁、直立陡峻。寒武系中上统浅变质砂板岩,由变质砂岩、砂质板岩、板岩和千枚岩组成不等厚的互层。

矿区处在区域性东西向构造与北东向构造的交叉部位,呈一轴向近于北东的复式向斜的北西翼。区内与成岩成矿有关的构造为断裂构造,按其走向可以分为东西向、北东向、北北东向与北西西向。其中,东西向构造生成时间较早,被后期运动掩盖与破坏,仅残存遗迹。北东向构造是决定矿区构造格架的主干断裂,其特征是多次运动、性质复杂、规模较大、纵贯全区。以位于矿区东西两端的大吉山峰大断裂带和船底窝沟大断裂带为代表,断裂带由数个压剪性侧列的断层及两侧的挤压带组成。北北东向构造断裂性质为压剪性,主要见于矿化区段,表现为规模不大的断层和裂隙。北西西向构造除少数发育在成矿后外,大多数是控制钨矿脉的主要容矿裂隙,还控制了闪长岩的侵位。

矿区出露和深部揭露的岩浆岩有黑云母花岗岩、石英斑岩、闪长岩、二云母二长花岗岩、白云母碱长花岗岩以及成矿后的细晶闪长岩、煌斑岩类。比较重要的岩体为黑云母花岗岩、二云母二长花岗岩、白云母碱长花岗岩等。中粗粒斑状黑云母花岗岩(五里亭花岗岩)呈岩钟、岩枝、岩株或岩墙状,位于矿区北部五里亭以北,呈岩基状产出,长轴近东西向,西南与茅山-贵东岩体相邻,东北窄缩延伸至全南县城与饭如洞岩体连为一体。二云母二长花岗岩隐伏于矿区深部,推测是一个顶峰在中组脉带西四横至西六横之间,向四周倾斜的馒头状岩体。岩体形态与产状揭示了岩浆侵入与矿区西部北东向主干断裂带有密切关系。白云母碱长花岗岩又称白云母花岗岩或白云母钠长石花岗岩为一小侵人体。隐伏于矿区深部。呈岩枝、岩脉与小岩盖等,规模大小不一,有69#、70#、71#、72#、73#等5个小岩体。其中69号岩体规模最大,该花岗岩含有钽铋钨铍矿化,矿化最好,全岩均为矿体,面积约 $0.4\text{ km}^2$ ,为一个具有独立工业意义的中型花岗岩型稀有金属矿床。69号岩体西北部向下深入其下的二云母花岗岩,剖面上为镰刀状,底部出现网脉状白云母花岗岩胶结破碎围岩的现象。

矿化类型主要有石英脉型黑钨矿体和花岗岩体浸染型钨铍钽铋矿体,以石英脉型为主。

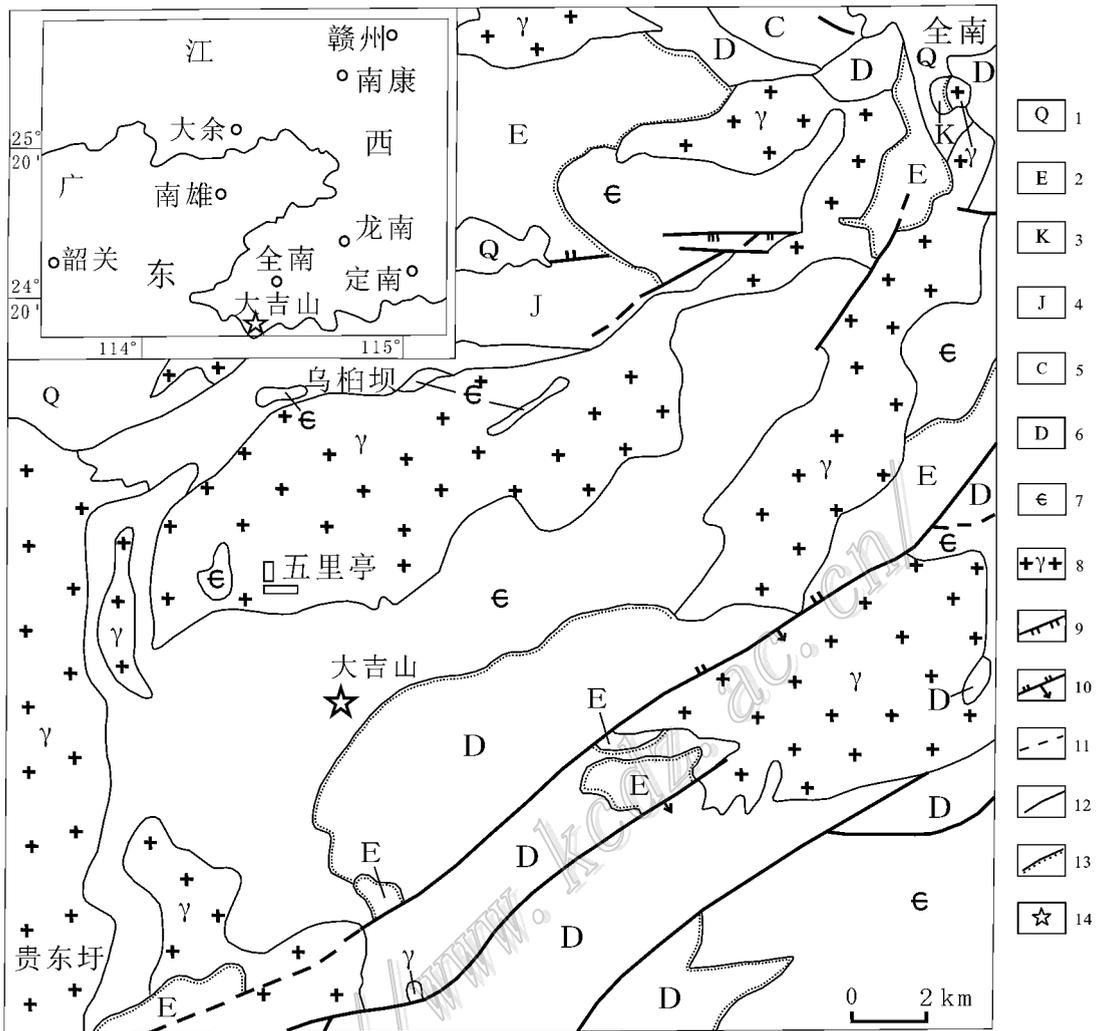


图 1 大吉山钨矿区域地质图(据孙恭安等,1985)

1—第四系;2—古近系;3—白垩系;4—侏罗系;5—石炭系;6—泥盆系;7—寒武系;8—花岗岩;9—张性、压性断层;10—逆断层;  
11—性质不明断层;12—地质界线;13—不整合地质界线;14—大吉山矿区

Fig. 1 Regional geological map of the Dajishan tungsten deposit (after Sun et al., 1985)

1—Quaternary; 2—Paleogene; 3—Cretaceous; 4—Jurassic; 5—Carboniferous; 6—Devonian; 7—Cambrian; 8—Granite; 9—Tensional fault and Pressure fault; 10—Thrust fault; 11—Fault of unknown nature; 12—Geological boundary; 13—Unconformity; 14—Dajishan ore district

## 2 矿区地质特征

大吉山钨矿系石英脉型黑钨矿床与花岗岩型钼铋钨矿床共生的复合型矿床。石英脉型黑钨矿体赋存于寒武系浅变质砂岩、板岩中(图 2),按其分布位置分北、中、南 3 个脉组,脉组矿化深度以南组最大,北组次之,中组最浅。矿脉分布在东、西 2 条主干断裂带所夹持的范围内,呈平行、密集分组成带产出,垂直方向上向下收敛,总体向西侧伏(图 3)。全

区共发育钨矿脉 113 条,其中工业矿脉 103 条。走向 290~310°,倾角 65~80°。矿脉水平延伸最长 1150 m,最短 48 m,平均约 700 m,垂直延深最大 900 m,平均延深 600 余米,单脉脉宽 0.01~3.00 m,平均 0.45 m,平均品位 1.925%。矿脉带宽 60~70 m,脉带相距 70~280 m。矿脉局部有分支、复合、膨胀、收缩、弯曲、尖灭、再现等变化现象。主要矿石矿物为黑钨矿、白钨矿、辉钨矿、辉铋矿、自然铋、绿柱石等;脉石矿物主要为石英、长石、白云母、电气石、方解石、萤石、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿等。蚀变类

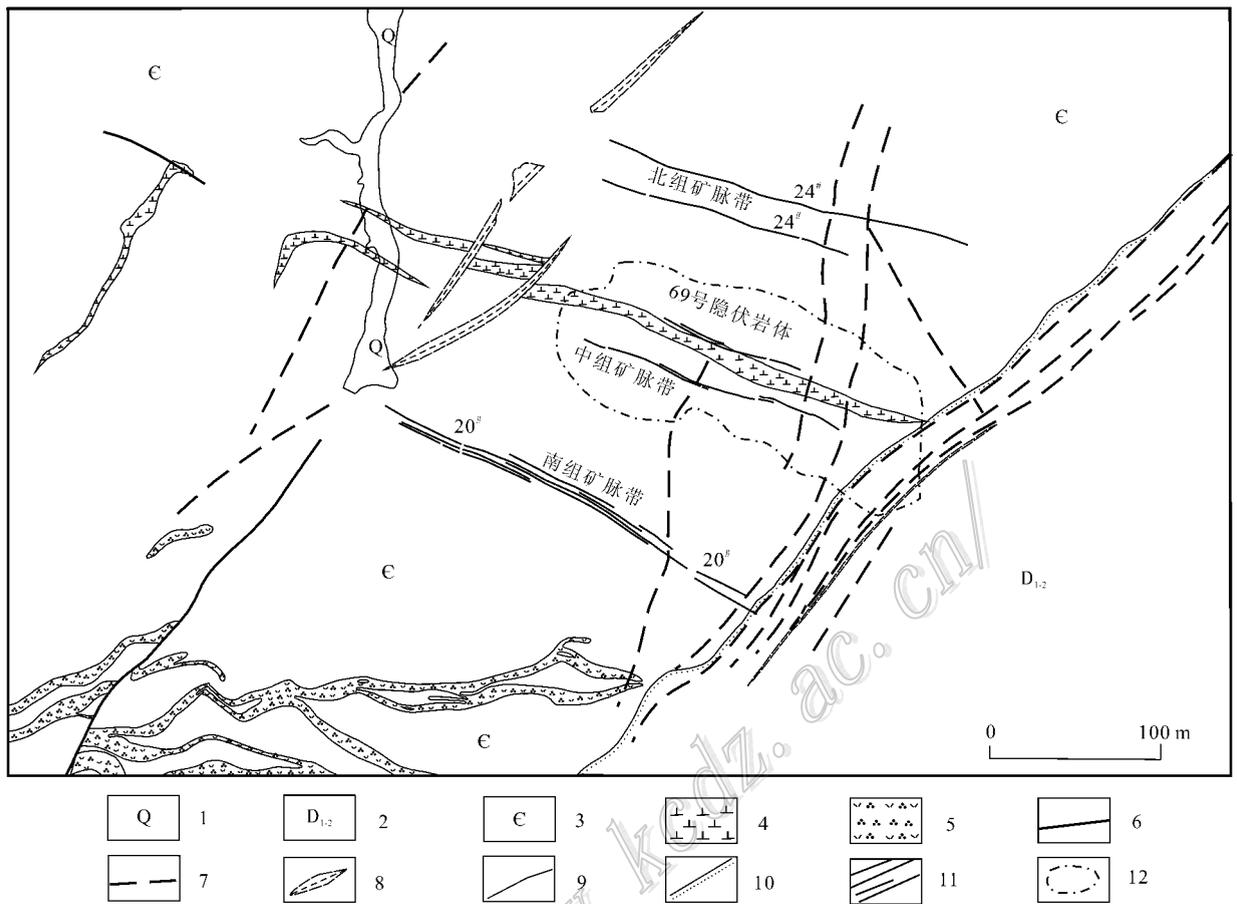


图2 大吉山钨矿区地质图(据2005年江西省有色地质勘查二队资料修编)

1—第四系;2—中-下泥盆统;3—寒武系变质砂岩、板岩;4—闪长岩;5—石英斑岩;6—压性断层;7—扭性断层;8—断层破碎带;  
9—地质界线;10—不整合地质界线;11—含钨石英脉;12—69号隐伏岩体在地表的投影

Fig. 2 Geological map of the Dajishan tungsten deposit (modified after data of No. 2 Geological Party of Nonferrous Resources Exploration of Jiangxi Province, 2005)

1—Quaternary; 2—Lower and Middle Devonian; 3—Cambrian; 4—Diorite; 5—Quartz porphyry; 6—Pressure fault; 7—Torsion fault; 8—Fault shatter zone; 9—Geological boundary; 10—Unconformity; 11—Tungsten-bearing quartz veins; 12—Projection of No. 69 concealed rock mass on the surface

型主要有电气石化、黑云母化、硅化、云英岩化。

花岗岩浸染型钨钼钨矿岩体受多组裂隙的联合控制,呈帽盖状产出,隐伏于含矿石英脉矿体底部。岩盖顶部平整,底部凹凸不平,下部常见围岩捕虏体,局部存在强烈同化混染角砾岩。岩盖中心部分厚(50~60 m),向四周变薄(20 m)除北西一岩枝延向深部二云母花岗岩,其余部分尖灭。矿体与寒武系接触的部位,夹有似伟晶岩带和石英带。石英带分布于矿体最外缘,厚十几厘米,与地层接触界线清楚、平整,局部可见黑钨矿、辉钼矿等。似伟晶岩带位于石英带与矿体之间,与二者界线清晰但不平整,一般厚十几厘米至几十厘米,由微斜长石巨晶和

他形石英块体组成。岩体边缘有角砾岩破碎带,石英带向矿体的分支小脉切穿伟晶岩和花岗岩(刘卫明等,1996;张金明,2006,2007;刘建平,2007)。

### 3 辉钼矿铼-钨同位素测年

5件辉钼矿样品均采自大吉山钨矿床317 m中段20号含钨石英脉中(图4),样品编号分别为:DJS-317-Mo-1、DJS-317-Mo-2、DJS-317-Mo-3、DJS-317-Mo-4、DJS-317-Mo-5。样品主要矿物组成为黑钨矿、辉钼矿、石英、云母等,其中黑钨矿呈板柱状自形、半自形晶体,辉钼矿多呈团块状或浸染状与黑钨矿一

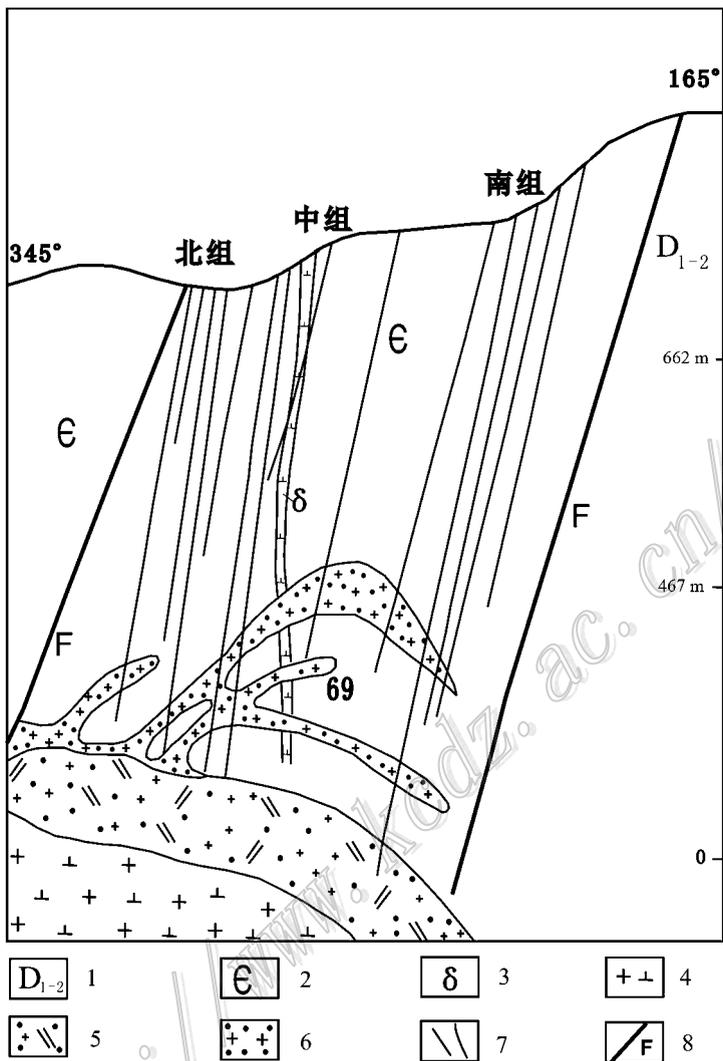


图 3 大吉山钨矿地质剖面图(据江西省冶勘二队修编)

1—中-下泥盆统；2—寒武系变质砂岩、板岩；3—闪长岩；4—花岗闪长岩；5—二云母花岗岩；6—白云母花岗岩；7—含钨石英脉；8—断层

Fig. 3 Geological section of the Dajishan tungsten deposit (modified after No. 2 Metallurgical Geological Party of Jiangxi Province)

1—Lower Middle Devonian；2—Cambrian；3—Diorite；4—Granodiorite；5—Two-mica granite；6—Muscovite granite；7—Tungsten-bearing quartz vein；8—Fault

同产出(图 5)。辉钨矿单矿物样品是用小型电钻直接取自矿石标本。Re-Os 同位素测试分析在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室完成,样品的化学处理流程和质谱测定等分析方法可参考相关文献(杜安道等,1994;2001;2007;屈文俊等,2003)。辉钨矿样品的 Re-Os 同位素测试结果列于表 1。

辉钨矿的测试结果显示,辉钨矿的  $w(\text{Re})$  为  $320.4 \sim 2805 \text{ ng/g}$ ,  $w(^{187}\text{Re})$  为  $201.4 \sim$

$1763 \text{ ng/g}$ ,  $w(^{187}\text{Os})$  为  $0.534 \sim 4.731 \text{ ng/g}$ 。5 件样品的 Re-Os 同位素模式年龄十分接近,年龄范围为  $(158.8 \pm 2.3) \sim (161.1 \pm 2.6) \text{ Ma}$ 。用 Isoplot 软件计算了所测的 5 个点的等时线年龄和模式年龄的加权平均值,结果分别为  $(161.0 \pm 1.3) \text{ Ma}$ (图 6)和  $(160 \pm 1) \text{ Ma}$ (图 7)。两者在误差范围内一致,从 MSWD 值及拟合概率来看,其等时线年龄和加权平均模式年龄都是可靠的。一般认为模式年龄代表同

表 1 大吉山钨矿床含钨石英脉中辉钼矿 Re-Os 测定  
Table 1 Re-Os isotopic data of molybdenite from the Dajishan tungsten deposit

样号	m/g	$\alpha(\text{Re})$ (ng/g)		$\alpha(\text{普Os})$ (ng/g)		$\alpha(^{187}\text{Re})$ (ng/g)		$\alpha(^{187}\text{Os})$ (ng/g)		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
DJS-317-Mo-1	0.20022	2805	21	0.0152	0.0034	1763	13	4.731	0.038	160.8	2.2
DJS-317-Mo-2	0.20011	2081	16	0.0028	0.0023	1308	10	3.513	0.031	161.0	2.3
DJS-317-Mo-3	0.20014	2094	18	0.0001	0.0038	1316	11	3.537	0.039	161.1	2.6
DJS-317-Mo-4	0.20008	835.7	6.5	0.1674	0.0043	525.2	4.1	1.391	0.013	158.8	2.3
DJS-317-Mo-5	0.20011	320.4	2.5	0.2823	0.0041	201.4	1.6	0.534	0.006	159.0	2.5

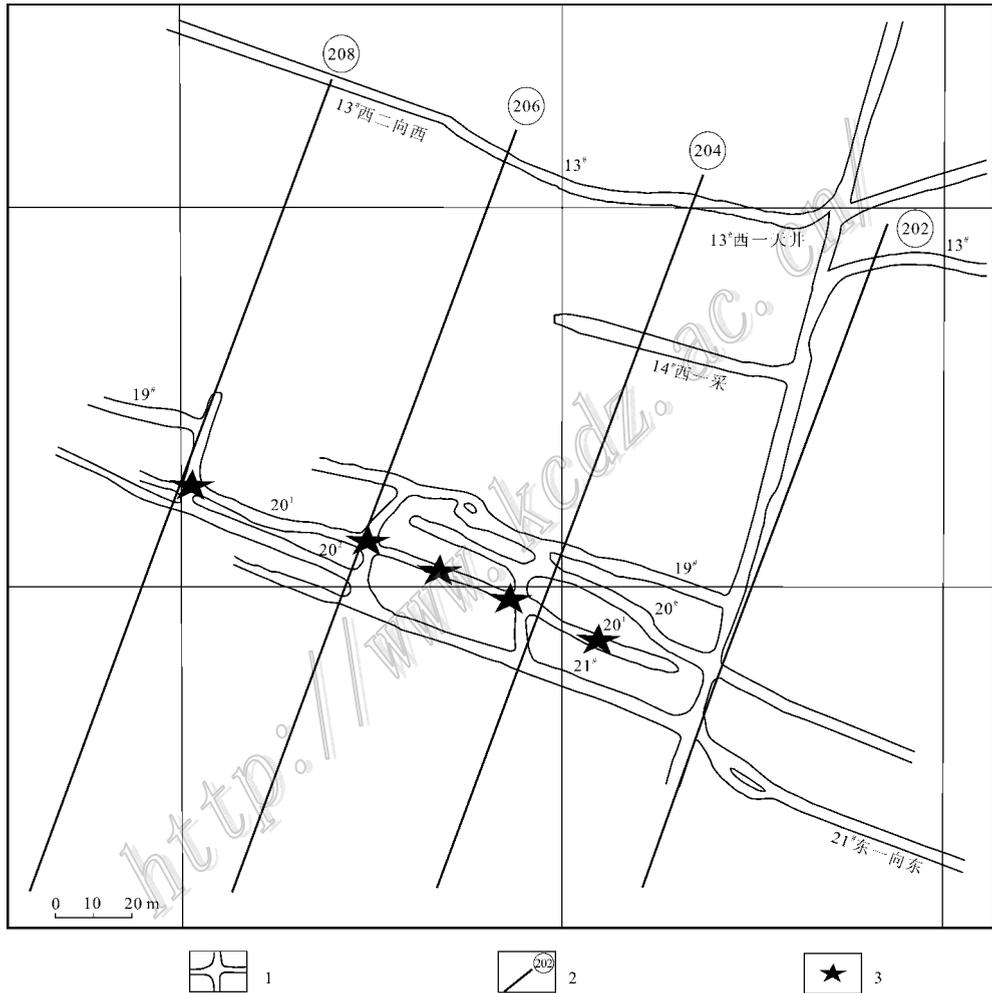


图 4 大吉山 317 m 中段辉钼矿采样位置图

Fig. 4 Sampling positions of molybdenite at 317 m level of the Dajishan tungsten deposit

位素与母体分离的时间,而等时线年龄则是同位素体系最后均一化的时间。上述 Re-Os 等时线年龄代表了辉钼矿的形成年龄。

#### 4 讨论与结论

大吉山矿区同一矿脉中5个辉钼矿的模式年龄

变化于 $(158.8 \pm 2.3)$  Ma~ $(161.1 \pm 2.6)$  Ma 之间,在等时线图上分布近于一条直线,其等时线年龄为 $(161.0 \pm 1.3)$  Ma,等时线年龄与模式年龄很接近,说明测试结果是可信的。由于大吉山矿区石英脉型钨矿中的辉钼矿与黑钨矿共生,代表了主期成矿作用,因此该年龄可以作为大吉山矿区石英脉型钨矿的成矿年龄。大吉山的花岗岩浸染型钨-钼-铌矿床、

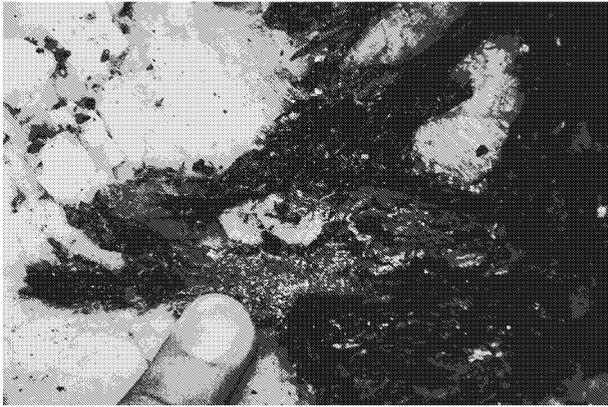


图 5 大吉山钨矿 317 m 中段石英脉中的辉钼矿  
Fig. 5 Molybdenite in quartz vein at 317 m level of the Dajishan tungsten deposit

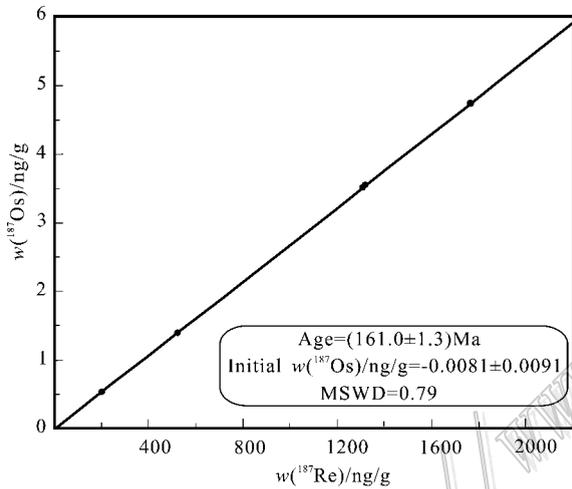


图 6 大吉山钨矿床辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄  
Fig. 6 Re-Os isochron age of molybdenite from the Dajishan tungsten deposit

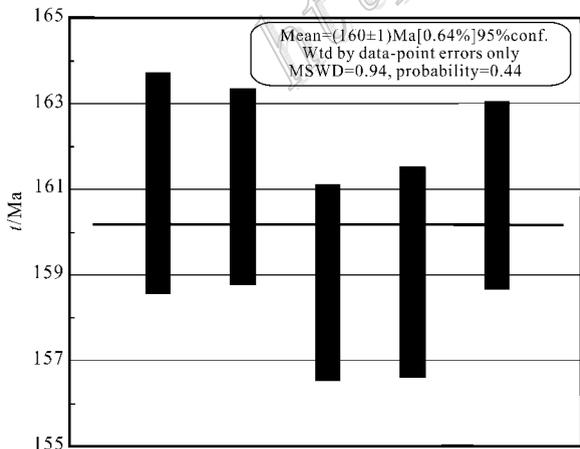


图 7 大吉山钨矿床辉钼矿模式年龄加权平均年龄  
Fig. 7 Re-Os weighted average of model ages of molybdenites in the Dajishan tungsten deposit

石英脉型钨矿床和花岗岩风化壳离子吸附型稀土元素矿床属同源岩浆产物(陈毓川等,1989)。大吉山花岗岩体是岩浆发生结晶分异作用的同时,在燕山早期的构造活动影响下形成,而石英脉型钨矿床则是岩浆分异演化的含钨、钼、硫化物的矿化流体,在构造运动的影响下侵入于上部裂隙的结果。考虑到赣南黑钨矿的形成是该地区多期岩浆构造演化活动的产物,大吉山石英脉型钨矿床与花岗岩浸染型钨矿床可能同源不同期,故所测得的辉钼矿年龄代表了大吉山石英脉型黑钨矿的成矿年龄。

李华芹等(1993)利用石英流体包裹体的 Rb-Sr 等时线方法测得大吉山石英脉的成矿年龄为(150.4 ± 8.0) Ma, 蒋国豪等(2004)测得大吉山含钨石英脉中白云母 K-Ar 年龄为(152.60 ± 2.35) Ma 和(158.1 ± 2.8) Ma。上述的成矿年代学成果表明,针对不同分析测试对象,采用不同的同位素测试方法获得的同位素年龄本身存在时差(王小飞等,2010),且成矿年龄值不是根据矿石矿物得出。尽管如此,(158.1 ± 2.8) Ma 与本文年龄在误差范围内是一致的。本文首次直接精确测得大吉山钨矿中与黑钨矿共生的辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄,有效地锁定了其成矿时代,表明大吉山钨矿是燕山早期的产物。

华南金属矿床成矿作用主要集中在 170 ~ 150 Ma、140 ~ 126 Ma 和 110 ~ 80 Ma,其中 170 ~ 150 Ma 是华南地区成矿的一个高峰期(毛景文等,2004),南岭地区几个典型钨矿床都是在这一时期形成的。如江西崇义县淘锡坑钨矿的辉钼矿年龄为(154.4 ± 3.8) Ma(陈郑辉等,2006),江西崇义县茅坪钨锡矿的辉钼矿年龄为(156.5 ± 3.9) Ma(曾载淋等,2009),江西大余县洪水寨钨矿的辉钼矿年龄为(156.0 ± 1.3) Ma(丰成友等,2011)等。本文研究结果显示大吉山石英脉型钨矿与其他钨矿床一样,是华南地区中生代大规模成矿作用的产物。

志 谢 本文野外工作得到了江西大吉山钨业有限公司各位领导的大力支持,在此一并表示感谢。

References

Chen Z H, Wang D H, Qu W J, Chen Y C, Wang P A, Xu J X, Zhang J J and Xu M L. 2006. Geological characteristics and mineralization age of the Taoxikeng tungsten deposit in Chongyi County, southern Jiangxi Province, China[J]. Geological Bulletin of China,

- 25(4):496-501( in Chinese with English abstract ).
- Chen Y C, Pei R F and Zhang H L. 1989. The geology of nonferrous and rare metal deposits related to Mesozoic Granitoids in the Nanling Region, China[ M ]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-508( in Chinese 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 molybdenite[ J ]. Acta Geologica Sinica, 68(4):339-347( in Chinese with English abstract ).
- Du A D, Zhao D M, Wang S X, Sun D Z and Liu D Y. 2001. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with Carius tube sample preparation[ J ]. Rock and Mineral Analysis, 20(4):247-252( in Chinese with English abstract ).
- Du A D, Qu W J, Wang D H, Li H M, Feng C Y, Liu H, Ren J and Zeng F G. 2007. Subgrain-size decoupling of Re and 187Os within molybdenite[ J ]. Mineral Deposits, 26(5):572-580( in Chinese with English abstract ).
- Feng C Y, Huang F, Zeng Z L, Qu W J and Ding M. 2011. Isotopic chronology of Jiulongnao granite and Hongshuizhai greisen-type tungsten deposit in South Jiangxi Province[ J ]. Journal of Jilin University( Earth Science Edition ), 41(1):111-121( in Chinese with English abstract ).
- Jiang G H, Hu R Z, Xie G Q, Zhao J H and Tang Q L. 2004. K-Ar ages of plutonism and mineralization at the Dajishan tungsten deposit, Jiangxi Province, China[ J ]. Acta Mineralogica Sinica, 24(3):253-256( in Chinese with English abstract ).
- Li H Q, Liu J Q and Wei L. 1993. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposit and its geological application Chronology[ M ]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-126( in Chinese ).
- Liu J P and Teng J D. 2007. Research on mineralization stages of Dajishan deposit zone in Jiangxi Province[ J ]. Nonferrous Metals, 59(3):16-19( in Chinese with English abstract ).
- Liu J Y. 2005. Composition of Xihuashan granites and its relationship to tungsten metallogenesis[ J ]. Geology and Mineral Resources Research, 20(1):1-7( in Chinese with English abstract ).
- Liu W M and Zhong S W. 1996. New viewpoint on metallogeny of the Dajishan tungsten deposit[ J ]. Mineral Resources and Geology, 56(10):406-411( in Chinese with English abstract ).
- Lu H Z, Shi J X and Yu C M. 1974. Determination of the temperature of ore formation and diagenesis of a deposit from Southern China[ J ]. Geochimica, 9(3):145-156( in Chinese with English abstract ).
- Mao J W, Xie G Q, Li X F, Zhang C Q and Mei Y X. 2004. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China[ J ]. Earth Science Frontiers, 11(1):45-55( in Chinese with English abstract ).
- Qiu J S, McInnes B I A, Xu X S and Allen C M. 2004. Zircon ELA-ICP-MS dating for Wuliting Pluton at Dajishan, Southern Jiangxi and new recognition about its relation to tungsten mineralization [ J ]. Geological Review, 50(2):125-133( in Chinese with English abstract ).
- 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 and Mineral Analysis, 22(4):254-257( in Chinese with English abstract ).
- Sun G A, Shi M K, Zhang H L and Hu X W. 1985. The Petrology, geochemistry and metallization of the Dajishan Granite-Reports of geology and mineral resources of nanling episodes[ M ]. Wuhan: China University of Geosciences Press. 326-363( in Chinese with English abstract ).
- Wan T F. 2004. On the complex and mixed collision zones in China Continent[ J ]. Earth Science Frontiers, 3:207-220( in Chinese with English abstract ).
- Wang X F, Qi H W, Hu R Z, Qu W J, Peng J T and Bi X W. 2010. Re-Os isotopic chronology of molybdenites from Hongling tungsten deposit of Guangdong Province and its geological significance[ J ]. Mineral Deposits, 29(3):415-426( in Chinese with English abstract ).
- Zeng Z L, Zhang Y Z, Zhu X P, Chen Z H, Wang C H and Qu W J. 2009. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Maoping tungsten-tin deposit in Chongyi County of Southern Jiangxi Province and its geological significance[ J ]. Rock and Mineral Analysis, 28(3):209-214( in Chinese with English abstract ).
- Zhang C Z. 1975. Petrochemical features of a Ta-Nb-W-Be-mineralized granite[ J ]. Geochimica, 6(2):135-146( in Chinese with English abstract ).
- Zhang J M. 2006. The geological characteristics of the Dajishan tungsten deposit[ J ]. Resources Survey & Environment, 27(2):149-152( in Chinese with English abstract ).
- Zhang J M. 2007. Large scale metallogenic prognosis of Dajishan tungsten deposit, Jiangxi[ J ]. Mineral Resources and Geology, 21(3):316-320( in Chinese with English abstract ).
- Zhang W L, Hua R M, Wang R C, Li H M and Chen P R. 2004. Single zircon U-Pb isotopic age of the Wuliting granite in Dajishan area of Jiangxi, and its geological implication[ J ]. Acta Geologica Sinica, 78(3):352-358( in Chinese with English abstract ).
- Zhang W L, Hua R M, Wang R C, Chen P R and Li H M. 2006. New dating of the Dajishan granite and related tungsten mineralization in southern Jiangxi[ J ]. Acta Geologica Sinica, 80(7):956-962( in Chinese with English abstract ).
- Zhuang L C, Lin W S and Xie T H. 1991. Stable isotope geochemistry of the Dajishan tungsten mine in Jiangxi Province[ J ]. Bull. Yichang Inst. Geol. Mineral Resources, CAGS, 16:109-120.

#### 附中文参考文献

- 陈郑辉,王登红,屈文俊,陈毓川,王平安,许建祥,张家菁,许敏林. 2006. 赣南崇义地区淘锡坑钨矿的地质特征与成矿时代[ J ]. 地质通报, 25(4):496-501.
- 陈毓川,裴荣富,张宏良. 1989. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质[ M ]. 北京:地质出版社. 508页.
- 杜安道,何红蓼,殷宁万,邹晓秋,孙亚莉,孙德忠,陈少珍,屈文俊. 1994. 辉钨矿的铼-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 管溶样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.
- 杜安道,屈文俊,王登红,李厚民,丰成友,刘华,任静,曾法刚. 2007. 辉钼矿亚晶粒范围内 Re 和  $^{187}\text{Os}$  的失耦现象[J]. 矿床地质, 26(5):572-580.
- 丰成友,黄凡,曾载淋,屈文俊,丁明. 2011. 赣南九龙脑岩体及洪水寨云英岩型钨矿年代学[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 41(1):111-121.
- 蒋国豪,胡瑞忠,谢桂青,赵军红,唐群力. 2004. 江西大吉山钨矿成矿年代学研究[J]. 矿物学报, 24(3):253-256.
- 李华芹,刘家齐,魏林. 1993. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用[M]. 北京:地质出版社, 1-126.
- 刘建平,滕建德. 2007. 江西大吉山矿区成矿(矿化)阶段的研究[J]. 有色金属, 59(3):16-19.
- 刘家远. 2005. 西华山钨矿的花岗岩组成及与成矿的关系[J]. 地质找矿论丛, 20(1):1-7.
- 刘卫明,钟盛文. 1996. 大吉山钨矿床成矿的新认识[J]. 矿产与地质, 56(10):406-411.
- 卢焕章,施继锡,喻茨玫. 1974. 华南某矿区成岩成矿温度的研究[J]. 地球化学, 9(3):145-156.
- 毛景文,谢桂青,李晓峰,张长青,梅燕雄. 2004. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地质前缘, 11(1):45-55.
- 邱检生, McInnes B I A, 徐夕生, Allen C M. 2004. 赣南大吉山五里亭岩体的锆石 ELA-ICP-MS 定年及其与钨成矿关系的新认识[J]. 地质论评, 55(2):125-133.
- 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.
- 孙恭安,史明魁,张宏良,胡雄伟. 1985. 大吉山花岗岩体岩石学、地球化学及成矿作用的研究——南岭地质矿产报告集[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 326-363.
- 万天丰. 2004. 论中国大陆复杂和混杂的碰撞构造[J]. 地质前缘, 3:207-220.
- 王小飞,戚华文,胡瑞忠,屈文俊,彭建堂,毕献武. 2010. 粤北红岭钨矿中辉钼矿 Re-Os 同位素年代学及其地质意义[J]. 矿床地质, 29(3):415-426.
- 曾载淋,张永忠,朱祥培,陈郑辉,王成辉,屈文俊. 2009. 赣南崇义地区茅坪锡钨矿床铼-钨同位素定年及其地质意义[J]. 岩矿测试, 28(3):209-214.
- 章崇真. 1975. 某钨钼钨矿化花岗岩岩石化学特征[J]. 地球化学, 6(2):135-146.
- 张金明. 2006. 江西大吉山钨矿地质特征[J]. 资源调查与环境, 27(2):149-152.
- 张金明. 2007. 江西大吉山钨矿大比例尺成矿预测初探[J]. 矿产与地质, 21(3):316-320.
- 张文兰,华仁民,王汝成,李惠民,陈培荣. 2004. 江西大吉山五里亭花岗岩单颗粒锆石 U-Pb 同位素年龄及其地质意义探讨[J]. 地质学报, 78(3):352-358.
- 张文兰,华仁民,王汝成,陈培荣,李惠民. 2006. 赣南大吉山花岗岩成岩与钨矿成矿年龄的研究[J]. 地质学报, 80(7):956-962.
- 庄龙池,林伟圣,谢廷焕. 1991. 大吉山钨矿的稳定同位素地球化学[J]. 中国地质科学院宜昌地质矿产研究所刊, 16:109-120.