

# 湖南湘东钨矿含矿石英脉辉钼矿 Re-Os 定年 及地质意义

董超阁<sup>1,2</sup>, 余阳春<sup>3</sup>, 梁新权<sup>1\*</sup>, 单业华<sup>1</sup>, 聂冠军<sup>1,2</sup>,  
伍式崇<sup>3</sup>, 付建刚<sup>1,2</sup>, 张小琼<sup>1,2</sup>, 朱浩峰<sup>3</sup>

(1.中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2.中国科学院大学, 北京 100049; 3.湖南省地质矿产勘查开发局 四一六队, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 湘东钨矿是一个典型的石英脉型钨锡多金属矿床, 发育百余条含矿石英脉, 矿脉陡立, 从北到南走向呈 NE、NEE 和 EW 向, 反映了矿脉形成时处于近 NW-SE 向区域拉伸状态。矿区内的老山坳断层分割了重要的南、北两组矿脉。北组脉具有毒砂-黄铜矿-黑钨矿等矿物组合, 富含金属硫化物, 多具有平行脉壁的条带状构造; 南组脉则主要体现辉钼矿-黑钨矿-黄铜矿-闪锌矿-方铅矿等矿物组合, 金属硫化物含量较少, 具有块状构造。本次研究通过对南组脉辉钼矿 Re-Os 同位素测年, 获得等时线年龄为  $150.4 \pm 1.5$  Ma (MSWD=0.52), 模式年龄加权平均值为  $150.7 \pm 2.3$  Ma (MSWD=0.10), 代表成矿时间。含矿石英脉的形成略晚于区内燕山期二云母花岗岩( $154.4 \pm 2.2$  Ma)和煌斑岩( $152.1 \pm 0.9$  Ma)的侵位, 指示含矿石英脉在成因上与燕山早期岩浆活动密切相关。事实上, 包括湘东钨矿在内的南岭钨锡多金属成矿省均形成于 165~150 Ma 期间, 具有统一的地球动力学背景, 即由太平洋板块俯冲和俯冲板片断离所引起的弧后伸展环境。

**关键词:** 含矿石英脉; 辉钼矿 Re-Os 定年; 湘东钨矿; 南岭

中图分类号: P597; P612 文献标志码: A 文章编号: 1001-1552(2018)01-0084-012

## 0 引言

湘东钨矿处于南岭钨锡多金属成矿省中段最北端, 是一个典型的石英脉型黑钨矿床(孙振家, 1990), 该矿床有近百年的采矿历史。关于含矿石英脉的分布、形态与成因, 已有学者做过细致的研究和总结(陈国达, 1985; 孙振家, 1990; 宋新华和周珣若, 1992), 认识到 NEE 向张性或张剪性裂隙控制成矿作用。近年来, 对湘东钨矿的研究工作主要集中于含矿或成矿地质体的形成时代。例如, 黄卉等(2011)报导了矿区内邓阜仙黑云母花岗岩和二云母花岗岩的锆石

LA-ICP-MS U-Pb 年龄分别为  $225.7 \pm 1.6$  Ma 和  $154.4 \pm 2.2$  Ma; 蔡杨等(2012)获得了湘东钨矿  $150.5 \pm 5.2$  Ma 辉钼矿 Re-Os 等时线年龄。自 2012 年开始, 国土资源部针对锡田地区锡田和湘东两个 W(-Sn)矿床开展了成矿规律和靶区预测的专题研究, 深、边部勘探揭示出更为丰富的含矿石英脉信息, 为深入研究含矿石英脉提供了难得的机会。本文通过野外地质观察, 探讨含矿石英脉的形成原因, 并对矿床的辉钼矿进行了 Re-Os 同位素定年, 进一步明确了成矿时代并探讨南岭地区钨锡矿床成矿与成岩的关系以及矿床形成的地球动力学环境。

收稿日期: 2016-03-29; 改回日期: 2016-06-01

项目资助: 国家自然科学基金项目(41576040)和国土资源部公益性行业科研专项(201211024-03)联合资助。

第一作者简介: 董超阁(1982-), 男, 博士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。Email: 10477564@qq.com

通信作者: 梁新权(1964-), 男, 博士, 从事构造地质学方面研究。Email: liangxq@gig.ac.cn

### 1 区域地质

湘东钨矿(亦称邓阜仙钨矿)地处湘赣边境, 位于湖南茶陵县东北部, 直线距离茶陵县城约 50 km, 行政区划属湖南省茶陵县高垅镇。它位于扬子地块与华夏地块交界处(图 1a), 属于南岭多金属成矿省的一部分(Mao et al., 2013)。

南岭的主体由位于湘、桂、粤、赣、闽边境上的越城岭、都庞岭、萌渚岭、骑田岭、大庾岭 5 大花岗岩山岭所组成, 大体上呈东西向展布, 是一个地质演化历史复杂, W、Sn、Nb、Ta 等稀有和有色金属矿产、铀矿资源最为富集的地区(李四光, 1942; 地质矿产部南岭项目构造专题组, 1988; 舒良树等,

2006; Mao et al., 2013)。出露的变质基底岩石主要是片岩化的新元古界泥砂质岩系夹火山岩, 以及板岩化的震旦系-志留系泥砂质复理石、硅质岩、火山碎屑岩、中基性火山岩等。未变质的沉积地层包括下古生界浅海相碳酸盐岩和泥砂质岩以及中-新生界陆相碎屑岩-火山岩系。基底地层不同程度经历了加里东期、印支期和燕山期造山运动, 导致不同期次构造变形的叠加或改造。广泛分布的钨、锡等多金属矿床与燕山早期以壳源为主的花岗岩关系密切, 形成于叠加在加里东期褶皱基底和晚古生代地台盖层上的中生代构造活化区环境(陈国达等, 2001; 毛景文等, 2004a, 2007; 华仁民, 2005; 华仁民等, 2005; Mao et al., 2013; 陈毓川等, 2014)。

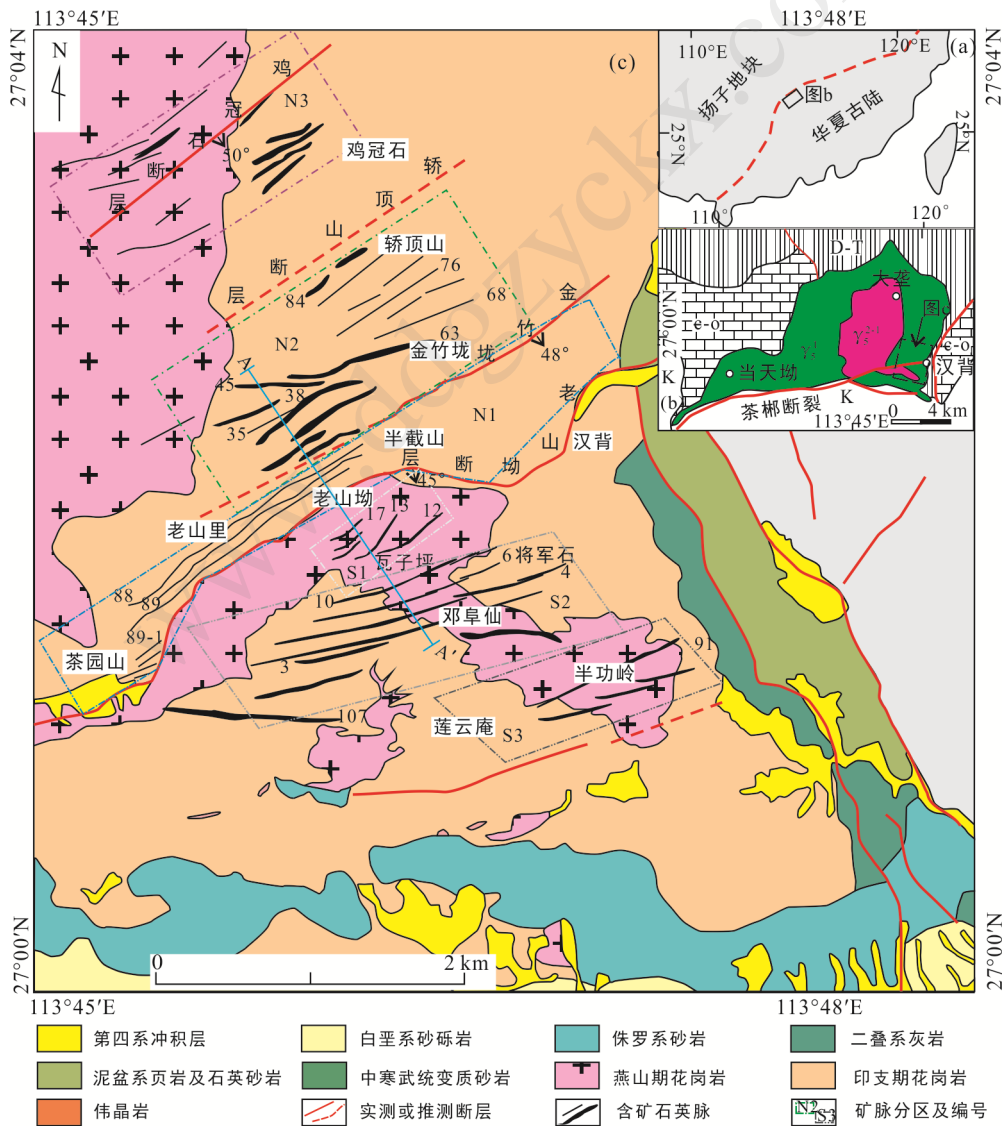


图 1 湘东钨矿区的位置(a)、邓阜仙岩体(b)和研究区(c)地质简图

Fig.1 The tectonic location of the Xiangdong tungsten deposit (a), and simplified geological map of the Dengfuxian granitic pluton (b) and the research area (c)

位于湖南省境内的 NE 向茶陵-郴州-临武深大断裂,不仅是一条中生代花岗岩带,同时也是一条重要的多金属矿化带。该矿化带以钨锡矿床数量多、储量大为特点,发育有柿竹园 W-Sn-Bi 多金属矿床、芙蓉 Sn 矿床、新田岭 W-Mo 矿床、黄沙坪 Pb-Zn-W-Mo 矿床、香花岭 Sn 多金属矿床、湘东 W 矿床、锡田 W-Sn 多金属矿床等一系列大型-超大型矿床(孙振家, 1990; 毛景文等, 2004b, 2007; 华仁民, 2005; 华仁民等, 2005; 付建明等, 2005, 2012; 马丽艳等, 2007, 2008; 姚军明等, 2007; 王淑军, 2008; 袁顺达等, 2010, 2012; Mao et al., 2013)。这些矿床的矿化类型多样,主要为矽卡岩型、云英岩型、石英脉型或复合型。

南岭乃至中国东部自侏罗纪开始就一直处于西太平洋构造域,西太平洋板块以不同方式不断地俯冲在华南板块之下(Maruyama et al., 1997; Li and Li, 2007),造成了中国东部中生代构造-岩浆活化和成矿作用(Zhou and Li, 2000; 舒良树等, 2006; Zhou et al., 2006; Li and Li, 2007; Sun et al., 2007; 刘恩山等, 2010; Mao et al., 2013)。

## 2 矿床地质

湘东钨矿位于邓阜仙中生代复式花岗岩体的东南部(图 1b),处于赣南隆起与湘桂拗陷的交接部位。陈毓川等(2014)将其划归为武功山断隆(中强挤压区)构造岩浆带,是武功山 W-Nb-Ta 成矿带的组成部分。矿区内主要发育两条较大规模的断层,即老山拗断层和金竹笼断层(图 1c)。老山拗断层走向 NEE,倾向 SSE,延伸 5 km,是一条成矿后的正断层,分隔了湘东钨矿最重要的南组脉和北组脉(倪永进等, 2015)。

矿区出露的地层从老到新为中寒武统变质砂岩、板岩和千枚岩,上泥盆统锡矿山组页岩和石英砂岩,下二叠统龙潭组灰岩和砂岩,侏罗系石英砂岩与粉砂岩,白垩系红色砾岩、砂岩、粉砂岩和泥岩以及第四系冲积层。在印支期岩体的周围,古生界因接触热变质而发生角岩化或大理岩化。

邓阜仙复式岩体是矿区内主要岩浆岩,出露面积约 130 km<sup>2</sup>(蔡维等, 2014)。早期为侵入到寒武系、泥盆系、石炭系及二叠系中的印支期灰白色粗粒似斑状黑云母花岗岩或中细粒二云母花岗岩,锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素年龄为 230~218 Ma(黄卉等, 2011; 蔡杨等, 2013);晚期为燕山早期灰白色中细粒二云母花岗岩或细粒白云母花岗岩,锆石

LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 159~154 Ma(黄卉等, 2011, 2013; 黄鸿新等, 2014)。燕山期岩体呈岩株或岩枝状侵入到印支期花岗岩体中。

区内含黑钨矿石英脉多达百余条,主要赋存于燕山期黑云母花岗岩和二云母花岗岩体中(图 1c)。单条矿脉呈透镜状、平板状或串珠状,宽数厘米至数米,长数十米至数千米,倾角陡立,走向从北到南从 NE、NEE 向向 EW 向过渡。以老山拗断层为界将矿区划分成北、南两部分(图 1c)。从北向南,矿区北部由鸡冠石脉组(N3)、轿顶山-金竹垅脉组(N2)和老山里-茶园山脉组(N1)组成,南部由瓦子坪脉组(S1)、邓阜仙脉组(S2)和半功岭脉组(S3)组成。

北组脉主要向南倾斜(图 2),富含金属硫化物,具有条带状构造(图 3a)。除黑钨矿、白钨矿和锡石外,矿脉普遍含黄铜矿、黄铁矿和毒砂。N1、N2 和 N3 组矿脉的矿物组合有所不同。N1 组矿脉的矿物主要为毒砂和黑钨矿, N2 组为黑钨矿、毒砂和黄铜矿, N3 组为黑钨矿和黄铜矿(图 3b)。脉石矿物有石英、长石和萤石等。北组脉的条带状构造由白色和黑色条带交替排列而成,条带等厚或不等厚,宽度 1~5 cm。黑色条带富含毒砂、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿和黄铁矿等硫化物;白色条带主要由灰白色或烟灰色石英组成,石英晶体的延长方向有的大致与脉壁垂直(倪永进等, 2015)。

南组脉向北倾斜(图 2),具有块状构造。与北组脉相比,南组脉黑钨矿含量较高,金属硫化物含量较少,且分布不均匀。S1 组矿脉矿物主要为黑钨矿和黄铜矿(图 3c), S2 组为辉钼矿和黑钨矿(图 3d),而 S3 组由方铅矿和毒砂组成,深部转变为毒砂和黑钨矿,具有与 N1 矿脉类似的矿物组合。南组脉矿物的深度分带性明显,自上而下分为锡石黑钨矿带、黄铜矿黑钨矿带和白钨矿黑钨矿带。矿脉结构单一,以块状构造为特征。黑钨矿晶体自形粗大,常聚集一起,呈柱状或放射状,与脉壁垂直或斜交,占据脉体的大部分宽度,周围为灰白色石英以及少量硫化物。S3 组脉较为窄小,延伸不稳定,脉体内发育与北组脉 N1 组类似的条带状构造。

## 3 Re-Os 同位素年代学测定

### 3.1 样品采集

6 件辉钼矿样品(XD15-3WS-1~XD15-3WS-6)均采自湘东钨矿 15 中段 S2 组脉含黑钨矿的石英脉中(图 2)。石英脉中矿石矿物主要为黑钨矿、辉钼矿、

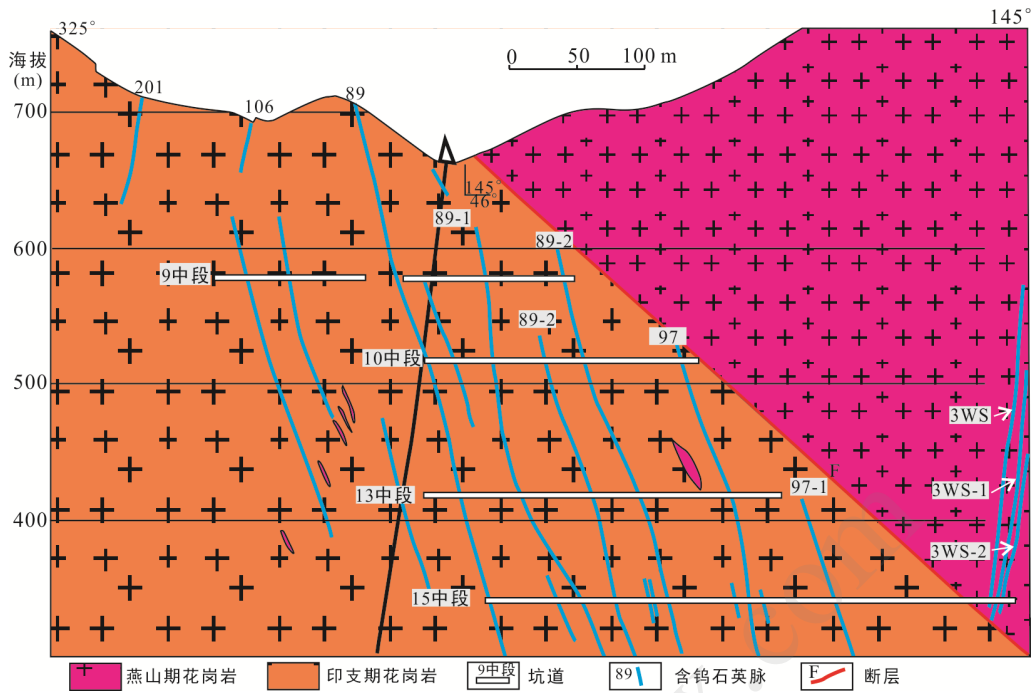
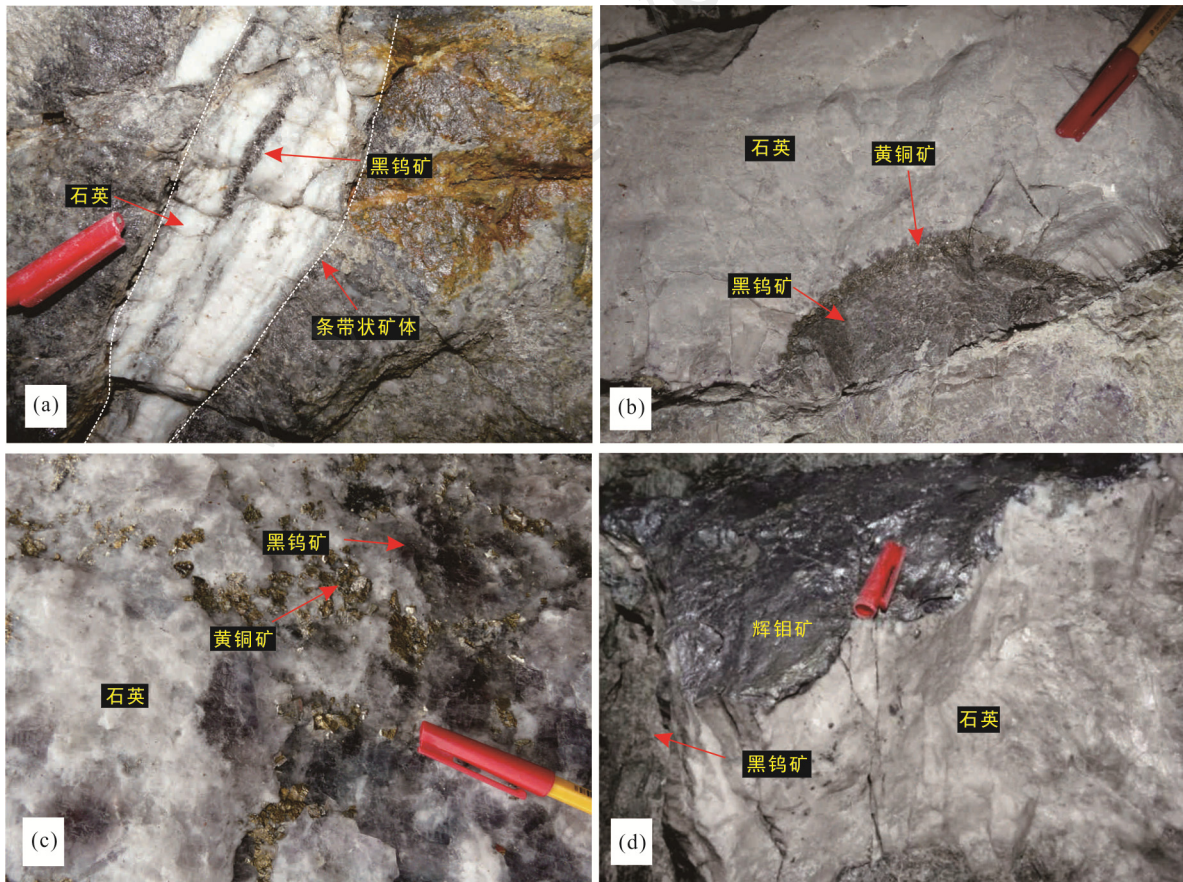


图 2 湘东钨矿 113 号勘探线剖面图(据湖南省有色地质勘查局 214 队, 2010)

Fig.2 Section of No. 113 exploration line of the Xiangdong tungsten deposit



(a) 条带状构造北组矿脉; (b) 富含黑钨矿和黄铜矿北组矿脉; (c) 富含黑钨矿和黄铜矿的南组矿脉; (d) 含辉钼矿石英脉。

图 3 湘东钨矿南、北两组矿脉野外照片

Fig.3 Photographs of the ore-bearing quartz-veins of the south and north ore vein sets, the Xiangdong tungsten deposit

黄铜矿、黄铁矿、毒砂等,脉石矿物主要为石英,少量长石和萤石。辉钼矿多呈薄层状发育在含矿石英脉与围岩的接触面上,或呈浸染状与其他硫化物伴生。辉钼矿样品是用刀片及骨针等小工具直接从手标本中剥离下来,然后在双目镜下挑选至纯度 99% 以上,用于 Re-Os 同位素分析。所有样品在进行同位素分析前,均先用玛瑙钵研磨至 200 目。

### 3.2 测试方法

准确称取 0.3~0.5 g 辉钼矿样品,加入适量的  $^{185}\text{Re}$  和  $^{190}\text{Os}$  稀释剂,在冷冻的条件下分别加入一定量的  $\text{H}_2\text{O}_2\text{-HNO}_3$  溶液,利用煤气和氧气火焰将管口封闭。将封闭的 Carius 管放入不锈钢套管中,然后放入电热烘箱中,升温到 220 加热 24 h 溶样。Re 和 Os 的分离方法见李杰等(2007)、Li et al. (2014a, 2014b)、尹露等(2015)。

Os 同位素的测定利用中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室的 Triton 型热电离质谱仪(美国 Thermo-Fisher 仪器公司)完成。该仪器装配有微量气体控制阀,配备 9 个法拉第杯(Faraday Cup)、4 个离子计数器(Ion Counting)和 1 个二次电子倍增器(SEM),并带有强峰拖尾干扰过滤器(RPQ)。具体步骤见尹露等(2015)。

Re 同位素的测定利用中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室 X-series 2 型电感耦合等离子体质谱仪(美国 Thermo-Fisher)完成。监测的质量数和主要干扰元素包括:  $^{185}\text{Re}$ 、 $^{187}\text{Re}$ 、 $^{189}\text{Os}$ , 通过监控  $^{189}\text{Os}$  校正  $^{187}\text{Os}$  对  $^{187}\text{Re}$  的同质异位数干扰贡献。测量采用峰扫描模式,  $^{185}\text{Re}$ 、 $^{187}\text{Re}$  的积分时间是 30 ms, 每个样品采集 6 组数据。仪器的质量分馏校正采用 Re 元素标准溶液外部校正(Li et al., 2014a, 2014b), 通常在每测定 5 个样品后,测一次 Re 元素标样来监控仪器质量分馏变化,仪器的质量分馏变化小于 3%。具体校正方法见尹露等(2015)。

### 3.3 测试结果

6 件辉钼矿 Re-Os 同位素分析结果见表 1。样品的 Re 和 Os 含量分别为 994.6~7785.8 pg/g 和 2.03~12.79 pg/g;  $^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$  和  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  值范围分别为 5319~30763 和 13.3~76.9。对 6 件样品采用 Isoplot (Ludwig, 2003)绘制等时线(图 4a), 所获得的等时线年龄为  $150.4\pm 1.5$  Ma ( $n=6$ , MSWD=0.52),  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  初始值为  $0.02\pm 0.25$ 。辉钼矿普通 Os 的含量很低,接近于 0。辉钼矿样品的 Re-Os 模式年龄变化范围为 149.9~151.4 Ma(表 1), 加权平均值为  $150.7\pm 2.3$  Ma (MSWD=0.10)(图 4b)。

## 4 讨论

### 4.1 湘东钨矿的形成时代

6 个样品分析所获得的辉钼矿 Re-Os 模式年龄加权平均值为  $150.7\pm 2.3$  Ma, 等时线年龄为  $150.4\pm 1.5$  Ma, 二者在误差范围内一致。这个年龄与蔡杨等(2012)获得区内含矿石英脉中辉钼矿 Re-Os 等时线年龄( $150.5\pm 5.2$  Ma)相同。本次用于 Re-Os 同位素测年的样品均取自于含黑钨矿石英脉, 因此辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄( $150.4\pm 1.5$  Ma)可以代表湘东钨矿含矿石英脉的形成年龄。

湘东钨矿 11 至 13 中段均穿过几条煌斑岩墙, 厚度 0.3~2 m, 走向近北东向。这些岩墙穿插在细粒二云母花岗岩中, 基本上与含矿石英脉平行, 局部被含矿石英脉切割, 表明含矿石英脉的形成稍晚于二云母花岗岩和煌斑岩墙的形成。黄卉等(2011)和黄鸿新等(2014)曾分别获得邓阜仙燕山期二云母花岗岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为  $154.4\pm 2.2$  Ma 和  $158.8\pm 0.8$  Ma。我们对煌斑岩中锆石所进行的 LA-ICP-MS U-Pb 定年研究表明, 煌斑岩形成年龄为  $152.1\pm 0.9$  Ma(课题组未发表资料)。显然, 本次测试的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄( $150.4\pm 1.5$  Ma)及其所

表 1 湘东钨矿辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果  
Table 1 Re-Os dating results of molybdenite from the Xiangdong tungsten deposit

样号	Re		Os		$^{187}\text{Re}/^{188}\text{Os}$		$^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$		模式年龄	
	(pg/g)	2 $\sigma$	(pg/g)	2 $\sigma$		2 $\sigma$		2 $\sigma$	(Ma)	2 $\sigma$
XD15-3WS-1	2131.3	46.1	3.63	0.02	28243	546	71.5	0.4	151.8	4.4
XD15-3WS-2	1894.5	14.6	3.25	0.02	21647	209	54.2	0.3	150.1	8.6
XD15-3WS-3	1027.6	12.7	2.03	0.02	11445	168	28.9	0.2	151.4	7.1
XD15-3WS-4	1345.9	24.3	3.22	0.01	5319	96	13.3	0.1	149.9	6.2
XD15-3WS-5	994.6	11.6	2.37	0.01	5722	80	14.4	0.1	150.9	7.5
XD15-3WS-6	7785.8	115.7	12.79	0.04	30763	385	76.9	0.3	149.9	4.7

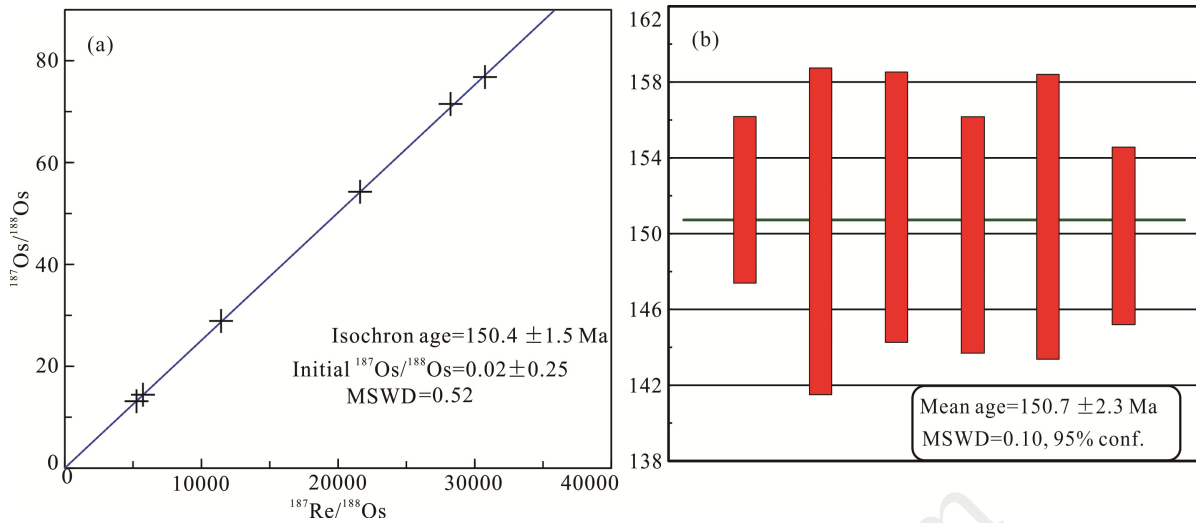


图 4 湘东钨矿含黑钨矿石英脉中辉钼矿的 Re-Os 等时线(a)与加权平均模式年龄图(b)

Fig.4 Re-Os isochron (a) and weighted mean age (b) of molybdenite in wolframite-bearing quartz-veins of the Xiangdong tungsten deposit

代表的成矿年龄是可信的, 与所观察的地质情况相吻合。

南岭地区是一条重要的钨锡多金属成矿带, 区内发育多座大型-超大型钨锡矿床, 矿床形成与燕山早期岩浆活动密切相关。华仁民等(2005)认为南岭地区花岗岩类岩浆活动及成矿有三期: 第一期(170~150 Ma)主要为大规模花岗岩类侵位; 第二期(150~140 Ma)花岗岩类活动很少, 但钨锡及其他稀有金属大规模成矿; 由于受古太平洋构造域的影响, 第三期(140~65 Ma)南岭地区东部及东南沿海发生了 Au, Ag, Pb-Zn, Cu (Mo, Sn)等成矿作用。毛景文等(2004a)提出华南地区成矿时间分为三个阶段, 分别是 170~150 Ma, 140~125 Ma 和 110~80 Ma, 其中第一阶段以钨锡矿化为主。毛景文等(2007)收集分析了南岭地区高精度成岩成矿测年数据, 进一步指出南岭地区大规模钨锡成矿作用出现于中晚侏罗世(165~150 Ma)(表 2)。湘东钨矿作为南岭成矿带的一部分, 成矿时间与南岭地区钨锡成矿时间一致, 是南岭地区燕山早期钨锡等稀有金属大规模爆发成矿的产物。钨锡成矿与南岭地区燕山早期花岗岩浆活动有密切关系。

#### 4.2 含矿石英脉的成因

从含矿石英脉的形态特征来看, 不论是北组脉还是南组脉, 控矿构造类型可能具有多样性, 既有张性裂隙型, 也有剪性裂隙型和张剪复合型。剪性裂隙的主要表现是: (1) 一些矿脉在走向或倾向上延伸很长, 脉壁平直; (2) 沿脉壁外侧发育片状构造; (3) 脉壁内与脉壁斜交的石英细脉; (4) 一些矿脉两

端的雁列脉和侧羽脉发育。与此不同的是, 张性裂隙的脉壁可以平整, 也可以不平整, 但具有反映多次张开和愈合的条带状构造。在其中的每个条带内, 石英及其他柱状矿物晶体的延长方向大致与脉壁垂直, 说明条带形成时的破裂位移基本上垂直脉壁。这意味着脉体经历了多次与矿脉垂直的 NW-SE 向伸展破裂-愈合作用(Cervantes, 2007; 倪永进等, 2015)。除此之外, 湘东钨矿含矿石英脉显示更多的可能是张剪复合裂隙型的矿脉。也就是说, 早期成矿性质的裂隙是张性, 其后被剪性错动所利用(陈国达, 1985)。脉体在走向上延伸比较大, 脉壁比较平整, 并发育显示右行或左行走滑的擦痕, 说明张性裂隙成矿之后, 又经历了成矿后期剪力近于水平方向的右行或左行的多次不同方向的走滑作用, 使水平方向上的许多边幕式排列的单个节理连接在一起, 或者在矿脉两端产生侧羽裂隙。这种控矿裂隙经矿液充填后, 则形成长度较大的矿脉(陈国达, 1985)。

在南、北两组矿脉, 尤其南组矿脉的两端, 发育呈左阶和右阶排列的雁列脉以及相关的侧羽脉。雁列构造在成因上具有多解性(朱战军和周建勋, 2004)。雁列构造通常被作为剪切走滑断层的判别依据, 是走滑作用的结果, 并得到物理模拟实验模型的支持(Riedel, 1929; Segall and Pollard, 1983; Granier, 1985; Gamand, 1987; Myers and Aydin, 2004; Joussineau et al., 2007)。最近的研究表明, 基底均匀变形条件下的斜向伸展或斜向挤压作用均可形成雁列构造, 并且雁列构造的走向总是垂直于构造挤压方向(Jones et al., 2004; 朱战军和周建勋, 2004)。

表 2 南岭多金属成矿省典型钨锡矿床成岩成矿年龄统计

Table 2 Ages of the granites and tungsten-tin deposits in the Nanling polymetallic metallogenic province

矿床名称	测试矿物	Re-Os年龄(Ma)	Ar-Ar年龄(Ma)	U-Pb年龄(Ma)	参考文献
黄沙坪	辉钨矿	155			姚军明等, 2007
	辉钨矿	154, 159			马丽艳等, 2007
	辉钨矿	158, 158			雷泽恒等, 2010
	锆石			152	
瑶岗仙	辉钨矿	155			Peng et al., 2006
	金云母		153		
	白云母		155		
	锆石			170	王登红等, 2009
柿竹园	辉钨矿	151			李红艳等, 1996
	白云母		153, 134		毛景文等, 2004b
香花岭	白云母		152, 160		Yuan et al., 2007
	锆石			160	轩一撒等, 2014
骑田岭	黑云母		155		柏道远等, 2005
	锆石			156, 155	李华芹等, 2006
漂塘	辉钨矿	152			张文兰等, 2009
	锆石			153, 161	
盘古山	辉钨矿	155			方贵聪等, 2014
	锆石			161	
芙蓉	金云母		151, 157, 154		彭建堂等, 2007
	云母		155, 160		毛景文等, 2004b
金船塘	辉钨矿	159			刘晓菲等, 2012
锡田	辉钨矿	150			Liang et al., 2016
	白云母		149, 150		
	锆石			151	
淘锡坑	辉钨矿	154			Guo et al., 2011
	白云母		153, 152		
	锆石			158	

湘东钨矿含石英脉中的雁列脉和侧羽脉有的具有正向张性脉的形态(石英垂直脉壁生长), 有的则斜向脉壁生长, 表明矿脉的形成既有正向扩张作用, 又有斜向引张作用的存在。在张性裂隙形成的同时矿液贯入, 矿液的压力促进裂缝的扩展和矿脉的增长, 使雁裂脉、侧羽脉具有张性的特征。雁列脉的扩展连通形成大型矿脉, 未完全连通的尾端成为脉旁的侧羽。由于应力作用的不均衡性或者局部应力场的改变, 形成不同形式、不同排列方式的雁列脉和侧羽脉(Joussineau et al., 2007)。

如前所述, 湘东钨矿老山坳断层上下盘南组脉和北组脉产状特征和含矿性有明显不同。北组脉属高温热液钨矿化, 金属硫化物明显比南组脉多, 尤其毒砂, 同时北组脉发育条带状构造; 南组脉是高-中温的钨铜钼矿化, 除了 S3 组矿脉具有与北组

脉类似的条带状构造外, 在 S1 和 S2 组矿脉中基本上没有发现条带状构造, 结构单一。一方面反映了它们不是同一个环境下的产物(倪永进等, 2015), 可能与成矿元素的地球化学分带有关; 另一方面反映了与矿液贯入张性裂隙的次数有关, 有的脉体经历了一次破裂、一次矿液贯入、一次愈合, 而有的矿脉则可能经历了多次矿液的贯入和多次破裂-愈合作用(Cervantes, 2007)。矿脉破裂与愈合所需要的张应力或张剪应力来源与构造应力场和区域构造动力学背景有关(孙振家, 1990; 包汉勇等, 2013)。

#### 4.3 石英脉型钨矿床形成的动力学机制

湘东钨矿的形成时代略晚于邓阜仙燕山期二云母花岗岩体或者煌斑岩脉的形成年龄 2~4 Ma。这指示邓阜仙钨矿床与区内燕山早期岩浆活动具有密切的成因关系。邓阜仙二云母花岗岩具有高硅、富碱、

贫镁铁、强过铝质、高分异的特点。岩石富集大离子亲石元素 Cs、Rb、K, 高场强元素 Th、U、Pb 和挥发性元素 F、Li, 而 Ba、Sr、Ti 等相对亏损; 稀土总量偏低, 轻稀土相对富集, 铈负异常显著, 稀土元素配分模式呈右倾型(陈子龙等, 1991; 黄鸿新等, 2014)。黄卉等(2013)认为邓阜仙二云母花岗岩属于 S 型花岗岩, 是造山后伸展环境下岩浆作用的产物。在区域上, 华南地区发现了大量反映区域伸展背景的燕山早期的铁镁质岩浆岩和 A 型花岗岩, 例如, 锡田岩体、骑田岭岩体、姑婆山岩体、金鸡岭岩体等(柏道远等, 2005; 付建明等, 2005; 朱金初等, 2006, 2008; 周云等, 2013; Zhou et al., 2015)。

郴州-临武构造成矿带以及南岭其他地区的许多大型矿床的研究表明, 燕山早期整个南岭以及邻区处于古太平洋构造域制约的弧后伸展环境(Zhou and Li, 2000; 孙涛等, 2003; Wang et al., 2005; 华仁民, 2005; 华仁民等, 2005; 袁顺达等, 2010, 2012; Mao et al., 2013; Liang et al., 2016)。蒋少涌等(2008)及 Chen et al. (2008)认为南岭地区燕山早期花岗岩岩浆活动可能形成于古太平洋板块俯冲引起的弧后或弧内拉张构造环境; Mao et al. (2013)则认为华南地区大规模的花岗岩侵入及相关的爆发式成矿是 Izanagi 板块早侏罗世俯冲所形成的板片窗(Palmer, 1968; Thorkelson, 1996)引起的软流圈上涌和广泛的幔壳相互作用的结果。Li and Li (2007)提出太平洋板块俯冲板片的后撤或断离, 引起软流圈上涌和岩石圈区域伸展减薄, 导致中-晚侏罗世大规模花岗岩浆活动。综合二叠纪岩浆弧(Li et al., 2006; Knittel et al., 2010)、华南宽广的印支期造山带和前陆盆地(舒良树等, 2006; Li et al., 2012)、华南广泛发育的中生代岩浆岩及其分布规律(Zhou et al., 2006), 以及华南地区侏罗纪爆发式的大规模成矿作用(毛景文等, 2004a, 2007; Mao et al., 2013), 我们认为 Li and Li (2007)模式可以很好地解释这些现象的存在。尤其侏罗纪太平洋板块的向南或东南后撤(rollback)所引起的南岭与相邻地区构造应力场的变化可能是含矿石英脉形成的根本原因。当今太平洋板块中热点或火山岛链的时空分布亦显示太平洋板块在 125 Ma 之前向南方向或南南西方向漂移(Wessel and Kroenke, 1997; Bartolini and Larson, 2001; Koppers et al., 2001, 2003)。

## 5 结 论

(1) 湘东钨矿是典型的石英脉型钨矿床。该矿区

可以分为矿物组成不同的南、北两组。北组脉主要由毒砂-黄铜矿-黑钨矿等高温矿物组成, 含有较多的金属硫化物矿物; 南组脉则主要体现辉钼矿-黑钨矿-黄铜矿-闪锌矿-方铅矿等高中温矿物组合, 金属硫化物含量比较少。

(2) 含矿石英脉中辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为  $150.4 \pm 1.5$  Ma, 模式年龄平均值为  $150.7 \pm 2.3$  Ma, 代表了湘东钨矿的形成年龄。湘东钨矿的成矿年龄比区内二云母花岗岩或煌斑岩的成矿年龄略晚 2~4 Ma, 说明湘东钨矿含矿石英脉的形成与燕山早期强烈的岩浆作用密切相关。

(3) 含矿石英脉呈条带状, 具有平整的脉壁, 在末端出现雁列或侧羽脉。这些复合剪切裂隙的特征可能与区域性张性应力场及其后所发生的走滑作用密切相关, 也可能与区域性的斜向伸展有关。侏罗纪太平洋俯冲板片后撤所引起的板片断离、软流圈上涌, 岩石圈区域伸展是湘东钨矿含矿石英脉形成的区域性动力学背景。

致谢: 在野外考察和资料收集过程中, 得到了湖南有色集团湘东钨业有限公司和湖南省地质矿产勘查开发局四一六队的支持, Re-Os 同位素年代学测试得到了中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学国家重点实验室老师的帮助。在此一并表示衷心的感谢。同时, 感谢两位匿名审稿专家所提出的宝贵意见!

## 参考文献(References):

- 柏道远, 陈建超, 马铁球, 王先辉. 2005. 湘东南骑田岭岩体A型花岗岩的地球化学特征及其构造环境. 岩石矿物学杂志, 24(4): 255-272.
- 包汉勇, 郭战峰, 张罗磊, 黄亚平. 2013. 太平洋板块形成以来的中国东部构造动力学背景. 地球科学进展, 28(3): 337-346.
- 蔡维, 朱浩锋, 郭锦, 李兆宏. 2014. 湖南邓阜仙地区成矿条件及找矿方向. 四川地质学报, (4): 538-542.
- 蔡杨, 陆建军, 马东升, 黄卉, 张怀峰. 2013. 湖南邓阜仙印支晚期二云母花岗岩年代学、地球化学特征及其意义. 岩石学报, 29(12): 4215-4231.
- 蔡杨, 马东升, 陆建军, 黄卉, 章荣清, 屈文俊. 2012. 湖南邓阜仙钨矿辉钼矿铼-钨同位素定年及硫同位素地球化学研究. 岩石学报, 28(12): 3798-3808.
- 陈国达. 1985. 成矿构造研究法. 北京: 地质出版社: 36-42.
- 陈国达, 杨心宜, 梁新权. 2001. 中国华南活化区历史-动



- 力学的初步研究. 大地构造与成矿学, 25(3): 228-238.
- 陈毓川, 王登红, 徐志刚, 黄凡. 2014. 华南区域成矿和中生代岩浆成矿规律概要. 大地构造与成矿学, 38(2): 219-229.
- 陈子龙, 孙振隶, 杨楚雄. 1991. 邓阜仙钨矿床地质地球化学特征及成因研究. 中南矿冶学院学报(自然科学版), 22(2): 117-122.
- 地质矿产部南岭项目构造专题组. 1988. 南岭区域构造特征及控岩控矿构造研究. 北京: 地质出版社: 24-41.
- 方贵聪, 陈毓川, 陈郑辉, 曾载淋, 张永忠, 童启荃, 孙杰, 黄鸿新, 郭娜欣. 2014. 赣南盘古山钨矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其意义. 地球学报, 35(1): 76-84.
- 付建明, 程顺波, 卢友月, 伍式崇, 马丽艳, 陈希清. 2012. 湖南锡田云英岩-石英脉型钨锡矿的形成时代及其赋矿花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年. 地质与勘探, 48(2): 313-320.
- 付建明, 马昌前, 谢才富, 张业明, 彭松柏. 2005. 湖南金鸡岭铝质 A 型花岗岩的厘定及构造环境分析. 地球化学, 34(3): 215-226.
- 湖南省有色地质勘查局 214 队. 2010. 湖南省茶陵县邓阜仙钨矿区第三期详查报告.
- 华仁民. 2005. 南岭中生代陆壳重熔型花岗岩类成岩-成矿的时间差及其地质意义. 地质论评, 51(6): 633-639.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 姚军明, 林锦富, 张展适, 顾晟彦. 2005. 南岭与中生代花岗岩类有关的成矿作用及其大地构造背景. 高校地质学报, 11(3): 291-304.
- 黄鸿新, 陈郑辉, 路远发, 叶诗文, 朱浩峰. 2014. 湘东钨矿成矿岩体锆石 U-Pb 定年及地质意义. 东华理工大学学报(自然科学版), 37(1): 26-36.
- 黄卉, 马东升, 陆建军, 蔡杨, 谢旭. 2011. 湖南邓阜仙复式花岗岩体的锆石 U-Pb 年代学研究. 矿物学报, (S1): 590-591.
- 黄卉, 马东升, 陆建军, 蔡杨, 谢旭. 2013. 湘东邓阜仙二云母花岗岩锆石 U-Pb 年代学及地球化学研究. 矿物学报, 33(2): 245-255.
- 蒋少涌, 赵葵东, 姜耀辉, 戴宝章. 2008. 十杭带湘南-桂北段中生代 A 型花岗岩带成岩成矿特征及成因讨论. 高校地质学报, 14(4): 496-509.
- 雷泽恒, 陈富文, 陈郑辉, 许以明, 龚述清, 李华芹, 梅玉萍, 屈文俊, 王登红. 2010. 黄沙坪铅锌多金属矿成岩成矿年龄测定及地质意义. 地球学报, 31(4): 532-540.
- 李红艳, 毛景文, 孙亚莉, 邹晓秋, 何红蓼, 杜安道. 1996. 柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究. 地质论评, 42(3): 261-267.
- 李华芹, 路远发, 王登红, 陈毓川, 杨红梅, 郭敬, 谢才富, 梅玉萍, 马丽艳. 2006. 湖南骑田岭芙蓉矿田成岩成矿时代的厘定及其地质意义. 地质论评, 52(1): 113-121.
- 李杰, 梁细荣, 董彦辉, 涂湘林, 许继峰. 2007. 利用多接收器电感耦合等离子体质谱仪(MC-ICPMS)测定镁铁-超镁铁质岩石中的铷-锶同位素组成. 地球化学, 36(2): 153-160.
- 李四光. 1942. 南岭何在? 地质论评, (7): 253-266.
- 刘恩山, 李三忠, 金宠, 戴黎明, 刘博, 张国伟. 2010. 雪峰陆内构造系统燕山期构造变形特征和动力学. 海洋地质与第四纪地质, (5): 63-74.
- 刘晓菲, 袁顺达, 吴胜华. 2012. 湖南金船塘锡铋矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测年及其地质意义. 岩石学报, 28(1): 39-51.
- 马丽艳, 付建明, 伍式崇, 徐德明, 杨晓君. 2008. 湘东锡田垄上锡多金属矿床  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  同位素定年研究. 中国地质, 35(4): 706-713.
- 马丽艳, 路远发, 屈文俊, 付建明. 2007. 湖南黄沙坪铅锌多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄及其地质意义. 矿床地质, 26(4): 425-431.
- 毛景文, 李晓峰, Lehmann B, 陈文, 蓝晓明, 魏绍六. 2004b. 湖南芙蓉锡矿地质特征, 锡矿石和有关花岗岩的  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  测年及其成岩成矿的地球动力学意义. 矿床地质, 22(2): 164-175.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 陈毓川. 2007. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用成矿时限及地球动力学背景. 岩石学报, 23(10): 2329-2338.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 2004a. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展. 地学前缘, 11(1): 45-55.
- 倪永进, 单业华, 伍式崇, 聂冠军, 张小琼, 朱浩峰, 梁新权. 2015. 湖南东南部湘东钨矿区老山坳断层性质的厘定及其对找矿的启示. 大地构造与成矿学, 39(3): 436-445.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 毕献武, 戴撞谟, 李兆丽, 李晓敏, 双燕, 袁顺达, 刘世荣. 2007. 湖南芙蓉锡矿床  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  同位素年龄及地质意义. 矿床地质, 26(3): 237-248.
- 舒良树, 周新民, 邓平, 余心起. 2006. 南岭构造带的基本地质特征. 地质论评, 52(2): 251-265.
- 宋新华, 周珣若. 1992. 邓阜仙花岗岩的构造环境、岩浆来源与演化. 现代地质, 6(4): 458-469.
- 孙涛, 周新民, 陈培荣, 周红英, 王志成, 沈渭洲, 李惠民. 2003. 南岭东段中生代强过铝花岗岩成因及其大地构造意义. 中国科学: 地球科学, 33(12): 1209-

- 1218.
- 孙振家. 1990. 邓阜仙钨矿成矿构造特征及深部成矿预测. *大地构造与成矿学*, 14(2): 139–150.
- 王登红, 李华芹, 秦燕, 梅玉萍, 陈郑辉, 屈文俊, 王彦斌, 蔡红, 龚述清, 何晓平. 2009. 湖南瑶岗仙钨矿成岩成矿作用年代学研究. *岩矿测试*, 28(3): 201–208.
- 王淑军. 2008. 湖南省茶陵邓阜仙钨、锡等多金属矿床地质特征、成矿规律及找矿. *怀化学院学报*, 27(11): 157–160.
- 姚军明, 华仁民, 屈文俊, 戚华文, 林锦富, 杜安道. 2007. 湘南黄沙坪铅锌钨钼多金属矿床辉钼矿的Re-Os同位素定年及其意义. *中国科学: 地球科学*, 37(4): 471–477.
- 尹露, 李杰, 赵佩佩, 李超, 梁华英, 许继峰. 2015. 一种新的适合富有机质沉积岩的Re-Os同位素分析方法初探. *地球化学*, 44(3): 225–237.
- 袁顺达, 李惠民, 郝爽, 耿建珍, 张东亮. 2010. 湘南芙蓉超大型锡钨矿锡石原位LA-MC-ICP-MS U-Pb测年及其意义. *矿床地质*, 29(S1): 543–544.
- 袁顺达, 张东亮, 双燕, 杜安道, 屈文俊. 2012. 湘南新田岭大型钨钼矿床辉钼矿Re-Os同位素测年及其地质意义. *岩石学报*, 28(1): 27–38.
- 轩一撒, 袁顺达, 原垭斌, 弥佳茹. 2014. 湘南尖峰岭岩体锆石U-Pb年龄、地球化学特征及成因. *矿床地质*, 33(6): 1379–1390.
- 张文兰, 华仁民, 王汝成, 李惠民, 屈文俊, 季建清. 2009. 赣南漂塘钨花岗岩成岩年龄与成矿年龄的精确测定. *地质学报*, 83(5): 659–670.
- 周云, 梁新权, 梁细荣, 伍式崇, 蒋英, 温淑女, 蔡永丰. 2013. 湖南锡田含W-Sn A型花岗岩年代学与地球化学特征. *大地构造与成矿学*, 37(3): 511–529.
- 朱金初, 陈骏, 王汝成, 陆建军, 谢磊. 2008. 南岭中西段燕山早期北东向含锡钨A型花岗岩带. *高校地质学报*, 14(4): 474–484.
- 朱金初, 张佩华, 谢才富, 张辉, 杨策. 2006. 南岭西段花山-姑婆山A型花岗质杂岩带: 岩石学、地球化学和岩石成因. *地质学报*, 80(4): 529–542.
- 朱战军, 周建勋. 2004. 雁列构造是走滑断层存在的充分判据?——来自平面砂箱模拟实验的启示. *大地构造与成矿学*, 28(2): 142–148.
- Bartolini A and Larson R L. 2001. Pacific microplate and the Pangea supercontinent in the Early to Middle Jurassic. *Geology*, 29(8): 735–738.
- Cervantes P. 2007. Tectonic Fibrous Veins: Initiation and Evolution, Ouachita Orogen, Arkansas. Doctoral dissertation, Texas A & M University.
- Chen C H, Lee C Y and Shinjo R. 2008. Was there Jurassic paleo-Pacific subduction in South China? Constraints from  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating, elemental and Sr-Nd-Pb isotopic geochemistry of the Mesozoic basalts. *Lithos*, 106(1): 83–92.
- Gamand J F. 1987. Bridge structure as sense of displacement criteria in brittle fault zones. *Journal of Structural Geology*, 9(5): 609–620.
- Granier T. 1985. Origin, damping and pattern of development of faults in granite. *Tectonics*, 4(7): 721–737.
- Guo C L, Mao J W, Bierlein F, Chen Z H, Chen Y H, Li C B and Zeng Z L. 2011. SHRIMP U-Pb (zircon), Ar-Ar (muscovite) and Re-Os (molybdenite) isotopic dating of the Taoxikeng tungsten deposit, South China Block. *Ore Geology Reviews*, 43(1): 26–39.
- Jones R J, Holdsworth R E, Clegg P, McCaffrey K and Tavanellie E. 2004. Inclined transpression. *Journal of Structural Geology*, 26(8): 1531–1548.
- Joussineau G, Mutlu Q, Aydin A and Pollard D. 2007. Characterization of strike-slip fault-splay relationships in sandstone. *Journal of Structural Geology*, 29(11): 1831–1842.
- Knittel U, Hung C H, Yang T F and Iizuka Y. 2010. Permian arc magmatism in Mindoro, the Philippines: An early Indosinian event in the Palawan Continental Terrane. *Tectonophysics*, 493(1): 113–117.
- Koppers A A P, Morgan J P, Morgan J W and Staudigel H. 2001. Testing the fixed hotspot hypothesis using  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age progressions along seamount trails. *Earth and Planetary Science Letters*, 185: 237–252.
- Koppers A A P, Staudigel H and Duncan R A. 2003. High-resolution  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of the oldest oceanic basement basalts in the western Pacific Basin. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, (4): 8914.
- Li J, Jiang X Y, Xu J F, Zhong L F, Wang X C, Wang G Q and Zhao P P. 2014a. Determination of platinum-group elements and Re-Os isotopes using ID-ICP-MS and N-TIMS from a single digestion after two-stage column separation. *Geostandards & Geoanalytical Research*, 38(1): 37–50.
- Li J, Zhao P P, Liu J, Wang X C, Yang A Y, Wang G Q and Xu J F. 2014b. Reassessment of hydrofluoric acid desilicification in the Carius tube digestion technique for Re-Os isotopic determination in geological samples. *Geostandards & Geoanalytical Research*, 39(1): 17–30.
- Li X H, Li Z X, He B, Li W X, Li Q L, Gao Y Y and Wang X C. 2012. The Early Permian active continental margin

- and crustal growth of the Cathaysia Block: In situ U-Pb, Lu-Hf and O isotope analyses of detrital zircons. *Chemical Geology*, 328(11): 195–207.
- Li X H, Li Z X, Li W X and Wang Y J. 2006. Initiation of the Indosinian Orogeny in South China: Evidence for a Permian magmatic arc on the Hainan Island. *Journal of Geology*, 114(3): 341–353.
- Li Z X and Li X H. 2007. Formation of the 1300-km-wide intracontinental orogen and post-orogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat-slab subduction model. *Geology*, 35(2): 179–182.
- Liang X Q, Dong C G, Wu S C, Zhou Y, Jiang Y, Zhu H F, Fu J G, Wang C and Shan Y H. 2016. Zircon U-Pb, molybdenite Re-Os and muscovite Ar-Ar isotopic dating of the Xitian W-Sn polymetallic deposit, eastern Hunan Province, South China and its geological significance. *Ore Geology Reviews*, 78: 85–100.
- Ludwig K R. 2003. User's manual for Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel (No.4). Berkeley: Berkeley Geochronology Center.
- Mao J W, Cheng Y B, Chen M H and Frangco P. 2013. Major types and time-space distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their geodynamic settings. *Mineralium Deposita*, 48(3): 267–294.
- Maruyama S, Isozaki Y, Kimura G and Terabayashi M. 1997. Paleogeographic maps of the Japanese Islands: Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present. *Island Arc*, 6(1): 121–142.
- Myers R and Aydin A. 2004. The evolution of faults formed by shearing across joint zones in sandstone. *Journal of Structural Geology*, 26(5): 947–966.
- Palmer H. 1968. East Pacific rise and westward drift of North America. *Nature*, 220(5165): 341–345.
- Peng J T, Zhou M F, Hu R Z, Shen N P, Yuan S D, Bi X W, Du A D and Qu W J. 2006. Precise molybdenite Re-Os and mica Ar-Ar dating of the Mesozoic Yaogangxian tungsten deposit, central Nanling district, South China. *Mineralium Deposita*, 41(7): 661–669.
- Riedel W. 1929. Zur mechanik geologischer brucherscheinungen. *Geologie und Paläontologie B*: 354–368.
- Segall P and Pollard D D. 1983. Nucleation and growth of strike-slip faults in granite. *Journal of Geophysical Research*, 88(B1): 555–568.
- Sun W D, Ding X, Hu Y H and Li X H. 2007. The golden transformation of the Cretaceous plate subduction in the west Pacific. *Earth and Planetary Science Letters*, 262(3–4): 533–542.
- Thorkelson D J. 1996. Subduction of diverging plates and the principles of slab window formation. *Tectonophysics*, 255(1–2): 47–63.
- Wang Y J, Zhang Y H, Fan W M and Peng T P. 2005. Structural signatures and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of the Indosinian Xuefengshan tectonic belt, South China block. *Journal of Structural Geology*, 27(6): 985–998.
- Wessel P and Kroenke L. 1997. A geometric technique for relocating hotspots and refining absolute plate motions. *Nature*, 387(6631): 365–369.
- Yuan S D, Peng J T, Shen N P, Hu R Z and Dai T M. 2007.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  isotopic dating of the Xianghualing Sn-polymetallic orefield in Southern Hunan, China and its geological implications. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 81(2): 278–286.
- Zhou X M and Li W X. 2000. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in Southeastern China: Implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas. *Tectonophysics*, 326(3): 269–287.
- Zhou X M, Sun T, Shen W Z, Shu L S and Niu Y L. 2006. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution. *Episodes*, 29(1): 26–33.
- Zhou Y, Liang X Q, Wu S C, Cai Y F, Liang X R, Shao T B, Wang C, Fu J G and Jiang Y. 2015. Isotopic geochemistry, zircon U-Pb ages and Hf isotopes of A-type granites from the Xitian W-Sn deposit, SE China: Constraints on petrogenesis and tectonic significance. *Journal of Asian Earth Sciences*, 105(6): 122–139.

## Re-Os Dating of Molybdenite from the Ore-bearing Quartz Veins in the Xiangdong Tungsten Deposit (Hunan Province) and its Geological Significance

DONG Chaoge<sup>1,2</sup>, YU Yangchun<sup>3</sup>, LIANG Xinquan<sup>1\*</sup>, SHAN Yehua<sup>1</sup>, NIE Guanjun<sup>1,2</sup>,  
WU Shichong<sup>3</sup>, FU Jiangang<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiaoqiong<sup>1,2</sup> and ZHU Haofeng<sup>3</sup>

(1. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China*; 2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*; 3. *416 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Hunan Province, Zhuzhou 412007, Hunan, China*)

**Abstract:** The Xiangdong (also named as Dengfuxian) tungsten deposit in the eastern Hunan province consists of hundreds of steep tungsten-bearing quartz-veins. These veins trend toward NE, NEE and EW from north to south, indicating a NW-SE regional extension during formation. They are separated by the Laoshan'ao fault into two principal ore sets, the North and the South. The North ore set has banded structure and is mainly comprised of arsenopyrite, chalcopyrite and wolframite, at high crystallization temperature. In contrast, the South ore set has blocky structure and is predominately composed of molybdenite, wolframite, sphalerite and galena, at mediate to high crystallization temperature. Re-Os dating of molybdenites from tungsten-bearing quartz-veins yielded an isochron age of  $150.4 \pm 1.5$  Ma (MSWD=0.52), which is in an excellent agreement with a weighted mean model age of  $150.7 \pm 2.3$  Ma (MSWD=0.10). This indicates that the dating results are reliable and may represent the timing of ore formation. The Re-Os isochron age is slightly younger (2–4 Ma) than zircon LA-ICP-MS U-Pb ages of the two-mica granite ( $154.4 \pm 2.2$  Ma) and the lamprophyre ( $152.1 \pm 0.9$  Ma), showing that the tungsten mineralization is genetically associated with the Early Yanshanian magmatism. These data indicate that metallogenic epoch of the Xiangdong tungsten deposit is consistent with that of the large-scale W-Sn polymetallic mineralization in the Nanling metallogenic province. We argue that the tungsten-bearing quartz-veins of the Xiangdong tungsten deposit or the regional mineralization might have been formed in a back-arc extensional setting, which was probably triggered by the break-off or foundering of the flat-slab caused by the rollback of the Paleo-Pacific subducted slab.

**Keywords:** ore-bearing quartz-vein; molybdenite Re-Os dating; Xiangdong tungsten deposit; Nanling