

https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.113



# 粤东塘唇石英脉型钨(锡)矿床地质特征、成矿时代及其找矿意义

卢友月<sup>1,2</sup>, 付建明<sup>1,2</sup>, 张国培<sup>3</sup>, 郑宗皓<sup>3</sup>, 李楠<sup>3</sup>, 程顺波<sup>1,2</sup>, 秦拯纬<sup>1,2</sup>, 马丽艳<sup>1,2</sup>

1. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北武汉 430205

2. 中国地质调查局花岗岩成岩成矿地质研究中心, 湖北武汉 430205

3. 广东天高矿业股份有限公司, 广东广州 510330

**摘要:**塘唇钨(锡)矿是近年来新发现的一个具有大型规模找矿潜力的石英脉型矿床。矿床产于粤东龙窝花岗闪长岩岩体西部外接触带, 赋矿地层为下侏罗统金鸡组碎屑岩, 该层位是南岭及邻区石英脉型钨锡矿的最新赋矿地层。在详细的野外地质调查基础上, 对矿床含钨石英脉中的白云母进行<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar测年, 获得白云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar坪年龄为150±1 Ma, 等时线年龄为149±2 Ma (MSWD=1.20), 它们在误差范围内一致, 为南岭地区燕山早期大规模成岩成矿作用高峰期的产物。塘唇钨(锡)矿的发现, 不仅拓宽了石英脉型钨锡矿的找矿视野, 还有助于完善石英脉型钨锡矿成矿规律和成矿模式, 对区域下一步找矿具有重要指导意义。

**关键词:**地质特征; <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年龄; 钨(锡)矿床; 石英脉型; 矿床学; 粤东。

中图分类号: P611

文章编号: 1000-2383(2019)02-0387-12

收稿日期: 2018-09-30

## Geological Characteristics and Metallogenic Epoch of Quartz vein type Tungsten (Tin) Deposit in Tangchun, Eastern Guangdong Province

Lu Youyue<sup>1,2</sup>, Fu Jianming<sup>1,2</sup>, Zhang Guopei<sup>3</sup>, Zheng Zonghao<sup>3</sup>, Li Nan<sup>3</sup>, Cheng Shunbo<sup>1,2</sup>, Qin Zhengwei<sup>1,2</sup>, Ma Liyan<sup>1,2</sup>

1. Wuhan Centre of China Geological Survey, Wuhan 430205, China

2. Institute of Granitic Diagenesis and Metallogeny, China Geological Survey, Wuhan 430205, China

3. Guangdong Teamgo Mining Co., Ltd., Guangzhou 510330, China

**Abstract:** The Tangchun tungsten(tin) deposit is a newly discovered quartz vein type deposit and the potential for prospecting is huge. The deposit occurs in the western outer contact zone of the Longwo granodiorite pluton in Eastern Guangdong Province. The ore-hosting strata are the clastic rocks of the Lower Jurassic Jinji formation, which are considered to be the youngest ore-hosting strata in the Nanling and its adjacent areas. On the basis of detailed field geological surveys, a muscovite <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar plateau age of 150±1 Ma and an isochron age of 149±2 Ma (MSWD=1.20) have been obtained for a W-bearing quartz vein in the deposit, which are the same within the analytical uncertainties. Our <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar dating results have shown that the Tangchun tungsten (tin) deposit was the product of early Yanshanian large scale petrogenesis and metallogenesis in the Nanling Range. The newly discovered Tangchun tungsten (tin) deposit is of great guiding significance in exploration since it not only broadens our mind in prospecting for quartz vein type tungsten-tin deposit, but also provides an opportunity to thoroughly unravel the metallogenic regularity as well as metallogenic models of the quartz vein type tungsten-tin deposit.

**Key words:** geological characteristics; <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar age; tungsten (tin) deposit; quartz vein type; mineral deposits; Eastern Guangdong Province.

**基金项目:**中国地质调查局地质矿产调查评价专项项目“南岭成矿带中西段地质矿产调查”(No. DD20160032)和“南岭成矿带大义山一骑田岭锡矿地质调查”(No. DD20190154); 国家重点研发计划“深地资源勘查开采”重点专项——华南陆内成矿系统的深部过程与物质响应(No. 2016YFC0600205).

**作者简介:**卢友月(1983-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事岩石学与矿床学研究工作. ORCID: 0000-0003-1385-7268. E-mail: luyouyue@126.com

**引用格式:**卢友月, 付建明, 张国培, 等, 2019. 粤东塘唇石英脉型钨(锡)矿床地质特征、成矿时代及其找矿意义. 地球科学, 44(2): 387-398.

“十二五”期间,国务院关于加强地质工作的决定带动的找矿投资成果大量涌现,就钨矿而言,新发现一批大型、超大型矿产地,新探获钨资源储量超过历史累计查明总和(韦星林,2016)。这些新发现的钨(多金属)矿床主要分布于南岭及其周缘地区,如云南麻栗坡南秧田超大型矽卡岩型钨矿床(李建康等,2013)、麻栗坡南温河超大型矽卡岩型钨矿床(阚朝阳等,2014)、广西苍梧社垌大型斑岩—矽卡岩—石英脉型钨钼多金属矿床(张志强等,2014)、湖南城步平滩大型蚀变花岗岩型钨矿床(倪艳军等,2009)、汝城高坳背大型蚀变岩体型钨钼矿床(王彦斌等,2010)、道县魏家大型矽卡岩—斑岩型钨矿床(李福顺等,2012)、洪江沙溪中—大型石英脉型钨矿床(孔令兵等,2014)、广东云浮大金山大型石英脉型钨锡矿床(余长发等,2012)、乐昌和尚田特大型石英脉型钨锡矿床(付建明等,2013a)、江西武宁大湖塘超大型花岗岩细脉浸染型钨矿床(蒋少涌等,2015)、浮梁朱溪超大型矽卡岩型钨矿床(王先广等,2014)、修水花山洞中—大型隐爆角砾岩筒型钨矿床(刘进先等,2015)、福建建瓯上房大型石英脉—蚀变岩型钨矿床(陈润生等,2013)等。上述钨(多金属)矿找矿进展表明,华南地区钨矿有以赣南为中心,向四周扩大的趋势(王登红等,2012)。

粤东地区(在地质区划上位于河源深断裂带以东地区)位于东西向南岭成矿带和北东向武夷成矿带交汇部位的外围(图1),属于全国21个成矿区带之外的非重点工作区,是地质工作程度较低的地区之一。近年来,粤东地区钨矿找矿取得了一定的进展,发现并评价了塘唇钨(锡)矿、飞鹅山钨钼多金属矿、莲花山钨矿、瑛坑钨矿、洋塘钨矿、社径钨矿、矿沥钨矿、高坑钨锡矿等矿床,它们与福建上房大型钨矿(陈润生等,2013)、行洛坑大型钨矿等一起,表明华南地区钨矿有向赣南以东扩展的趋势。

粤东地区的钨矿床以小型规模为主,主要矿床类型为石英脉型,勘探和研究工作程度普遍较低,到目前为止,区内仅对飞鹅山钨钼多金属矿等少量矿床开展过高精度成矿年代学研究(李海立等,2016),这在一定程度上制约了对区内钨矿成矿规律的认识及区域找矿工作的深入开展。塘唇钨(锡)矿位于粤东紫金县龙窝花岗岩闪长岩岩体西部外接触带,为近年来通过开展1:5万水系沉积物测量、1:1万土壤剖面测量等手段圈定钨锡等元素的化探异常,并在此基础上施工钻探新发现、认识的矿床(王军等,2014)。为了总结区域成矿规律,指导下

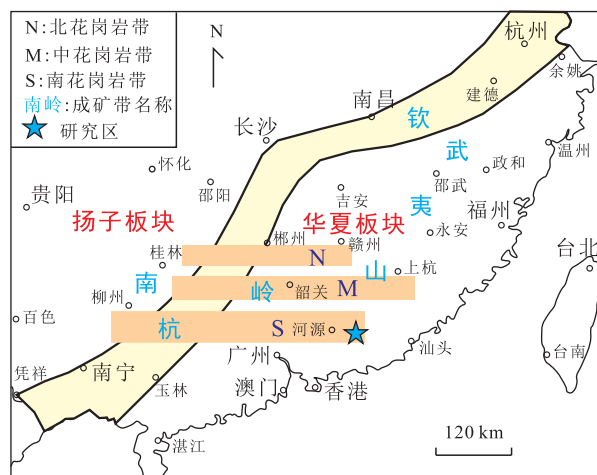


图1 华南地区大地构造示意图

Fig.1 The tectonic schematic map of South China  
据付建明等(2013b)修改

一步找矿勘查工作,本文在详细的野外地质调查基础上,采用云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法对塘唇钨(锡)矿成矿时代进行了精确厘定。该研究不仅有利于深化矿床成因、岩浆演化与成矿关系的认识,也为完善总结石英脉型钨锡矿成矿规律和成矿模式,指导类似地区的找矿勘查提供技术支撑。

## 1 区域地质背景

研究区位于南岭地区3条东西向花岗岩带中的南带花岗岩(诗洞—广平岩体、连阳岩体、佛冈岩体、乌石岩体、南昆山岩体—腊圃岩体、从化岩体、白石岗岩体和龙窝岩体)东端,处于永梅—惠阳拗陷带,河源断裂与莲花山断裂带之间。区内由于受多次构造运动的影响,断裂发育,岩浆活动频繁,主构造线方向为北东向、次级构造为北西向。区域成矿以内生热液型矿产为主,成矿区带属于永安—梅州—惠州Fe-Pb-Zn-Cu-Au-Ag-Sb成矿带(III-82)。

区域地层出露有震旦系老虎塘组细粒砂岩、粉砂岩、板岩、硅质岩等;奥陶系龙头寨群石英砂岩、绢云母页岩及石英砂岩;泥盆系老虎头组及春湾组砂岩、页岩及灰岩等;石炭系忠信组砂岩、页岩,黄龙组灰岩;三叠系良口群细粒砂岩及粉砂岩等,银平山组砂岩、粉砂岩、泥岩等;侏罗系上龙水组泥岩夹薄层砂岩,金鸡组砂岩、粉砂岩、泥岩,桥源组长石石英砂岩,吉岭湾组安山质夹玄武岩、英安质—安山质凝灰岩等,漳平组砂岩,高基坪群火山碎屑岩,热水洞组流纹质火山碎屑岩等。

区域构造发育,以断裂为主,褶皱主要呈现为一系列小型的背斜、向斜,断裂主要为北东向和北西向两组.北东向断裂有白莲塘断层、椒子寮断层、瓦溪断层、川龙断层、华阳断裂和五华断裂,其中白莲塘断层、椒子寮断层、瓦溪断层均出露在下侏罗统金鸡组地层中,走向大致平行(35°~45°),三者相距 2~4 km不等.北西向断裂有车额头断层和赤水坑断裂.

区域岩浆岩活动强烈,以燕山早期花岗岩为主,根据侵入体之间接触关系、岩性、成岩年龄、结构构造、岩石地球化学等资料,将区域岩体大致划分为 4 个侵入期次,自早至晚依次为中细粒黑云母花岗闪长岩,中粒黑云母花岗岩,中粗粒黑云母花岗岩,花岗斑岩、电气石二云母花岗岩、细粒二云母花岗岩、细粒花岗岩等.

## 2 矿床地质特征

塘唇钨(锡)矿位于紫金县城 140°方向直距约 10 km处,行政隶属紫金县九树镇.区内出露地层主要为下侏罗统金鸡组下段(J<sub>1j</sub><sup>a</sup>)(图 2).下侏罗统金鸡组

下段(J<sub>1j</sub><sup>a</sup>)在矿区西部广泛出露,地层总体走向北东,倾向南东,倾角一般 40°~60°,呈孤立团块状或不规则带状分布于沟谷两侧或山坡上,岩性组合从下到上(从西北到东南)主要有:深灰—灰黑色含云母粉砂质泥质页岩夹细粒长石石英砂岩;黑色炭质页岩,夹灰色粉砂岩;灰色中粒含云母长石石英砂岩夹灰色—灰绿色泥质页岩;紫红、灰紫、土黄色泥质页岩及灰白、灰色中粒、中粗粒长石石英砂岩和砂页岩互层;紫红色页岩夹紫红色含云母粉砂岩、砂岩;中粒长石石英砂岩.其中钨锡矿主要赋存于灰色中粒含云母长石石英砂岩夹灰色—灰绿色泥质页岩中.

矿区构造总体走向与地层走向基本一致,其间发育小型褶皱.构造以断裂为主,主要表现为构造破碎带或沿破碎带充填的石英脉,走向主要为北东向,为矿区控矿和容矿构造.

岩浆岩主要出露于矿区东部,为龙窝岩体的一部分,岩体侵入于下侏罗统金鸡组下段(J<sub>1j</sub><sup>a</sup>)地层中,接触面较陡,倾向围岩,接触带围岩角岩化、硅化.岩体岩性较均一,相带分异不明显,主要岩性为中粒或中细粒花岗闪长岩,仅在局部边缘相带发育

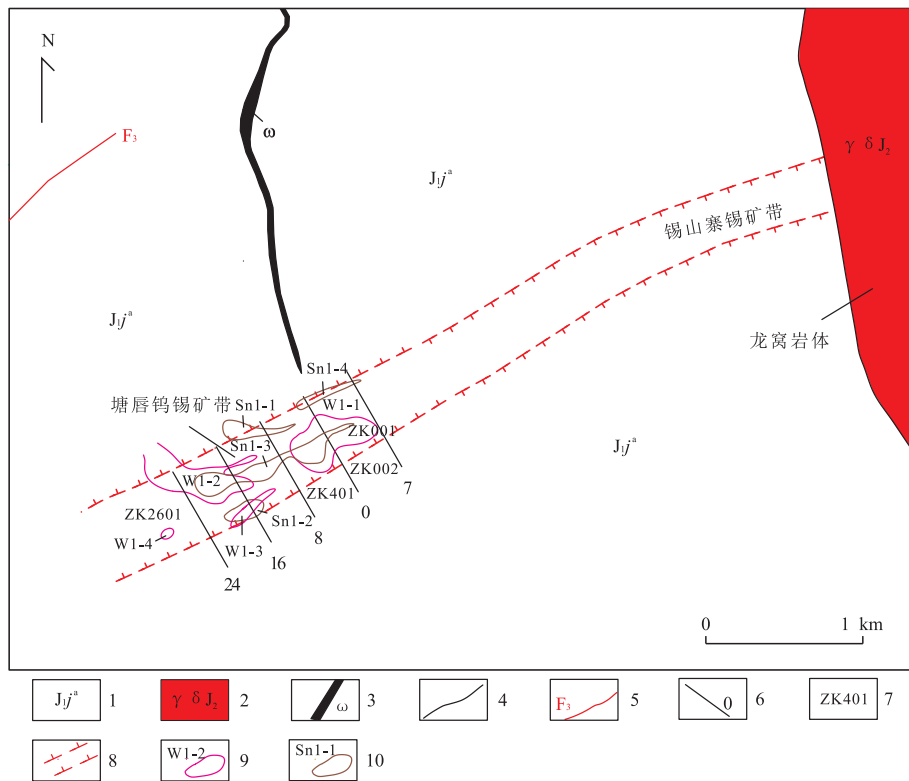


图 2 塘唇钨(锡)矿地质简图

Fig.2 Geological sketch map of Tangchun tungsten (tin) deposit

1.下侏罗统金鸡组下段;2.中侏罗世花岗闪长岩;3.辉石闪长岩体;4.地质界线;5.断层及编号;6.勘探线及编号;7.矿带范围;8.钨矿化带及编号;9.锡矿化带及编号;10.锡矿化带及编号

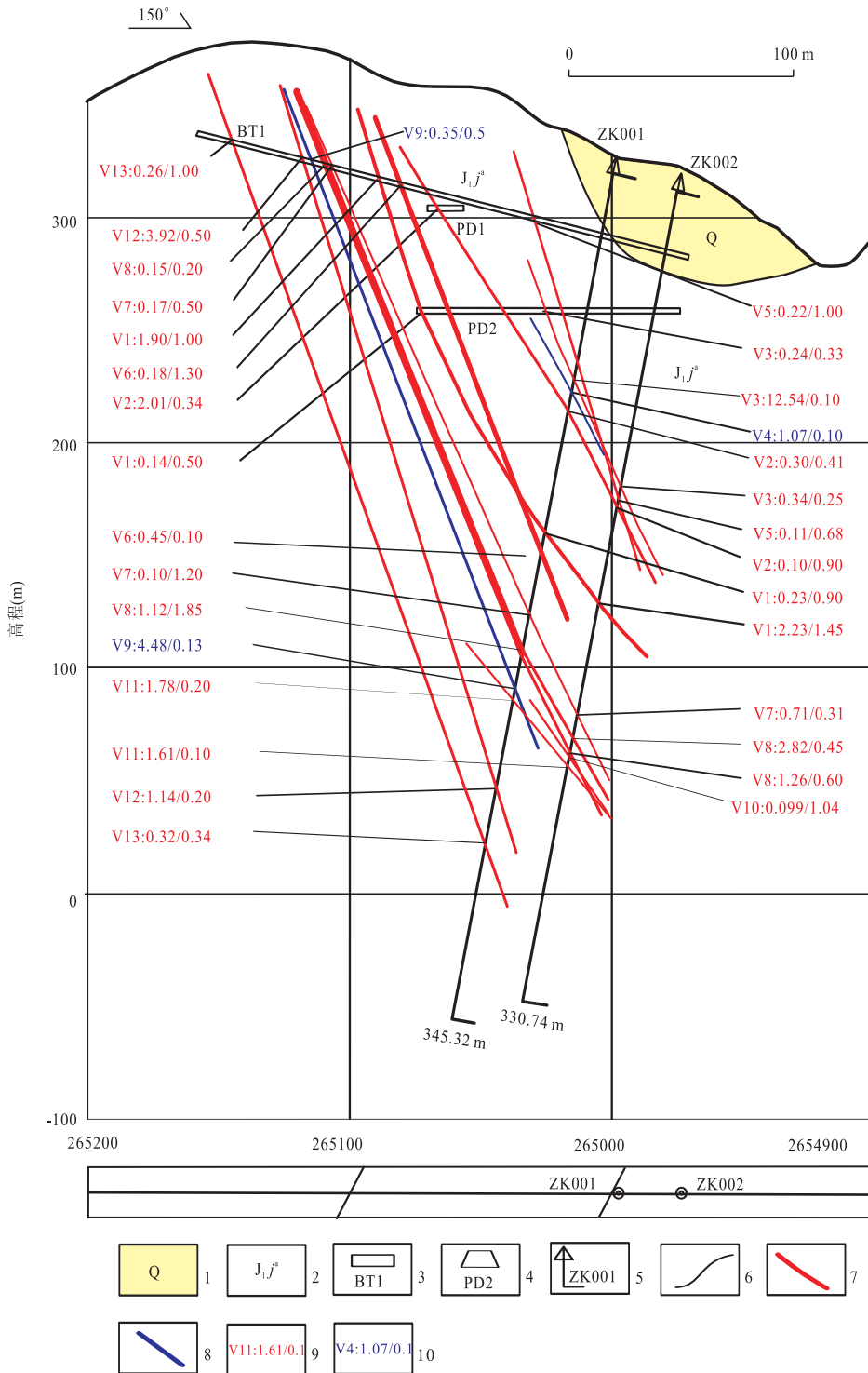


图 3 塘唇钨(锡)矿 8 号勘探线地质剖面

Fig.3 Line No.8 geological section of the Tangchun Tungsten (Tin) deposit

1.第四系;2.下侏罗统金鸡组下段;3.剥土及编号;4.平凼及编号;5.钻孔及编号;6.地质界线;7.钨矿脉;8.锡矿脉;9.钨矿脉编号:厚度(m)/品位;10.锡矿脉编号:厚度(m)/品位

少量的黑云母(二长)花岗岩.岩体根据岩相及相互侵入关系可划分为三期,第一期为花岗闪长岩,第二期为黑云母二长花岗岩,第三期为黑云母花岗岩.花岗闪长岩中可见暗色闪长质包体,包体大小不一,形

态各异,数量约占岩体总体积的 1%~2%,在岩体中呈随机分布,岩性主要为闪长岩或石英闪长岩.花岗闪长岩,褐黄色—灰白色,中细粒花岗结构,块状构造.矿物成分主要为石英(25%~30%)、斜长石

(40%~50%)、碱性长石(15%~20%)、黑云母(5%~10%),副矿物有锆石、磷灰石、钛铁氧化物和褐帘石等。暗色闪长质包体的粒度较之花岗闪长岩明显偏细,矿物成分主要为石英(5%~15%)、斜长石(50%~55%)、碱性长石(5%~10%)、黑云母(20%~25%)、角闪石(3%~5%)等。邱检生等(2004)获得岩体花岗闪长岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为  $169.1 \pm 2.5$  Ma。矿区中部发育辉石闪长岩脉,脉体走向北北西,延伸长约 4 km。

矿区钨(锡)矿化带总体走向北东,长 >1 400 m,宽 >400 m,可分为 W1-1、W1-2、W1-3、W1-4 四个钨矿化带和 Sn1-1、Sn1-2、Sn1-3、Sn1-4 四个锡矿化带(图 2)。前期工作主要对 W1-1、W1-4 两个钨矿化带开展深部验证,经少量探槽(2 个)、钻孔(4 个)及老窿揭露,发现石英脉型钨锡矿体 18 条,其中钨矿体 16 条,锡矿体 2 条,矿体以脉状、薄脉状为主,走向主要为北东向、北东东向,倾向南东、南南东,倾角一般  $58^\circ \sim 70^\circ$ ,厚 0.10~2.15 m。矿体受构造控制明显,主要表现形式为含钨石英脉沿构造破碎带充填,破碎带与地层走向基本一致,顶底板围岩为浅变质石英砂岩。矿体走向较为稳定,厚度变化较大,上部为细脉带,往下逐渐合并为薄脉,甚至为大脉(图 3)。经统计,倾角为  $60^\circ \sim 70^\circ$  的细脉多为含  $WO_3$  较富的脉体,倾角微缓的细脉则呈纯白色,肉眼未见矿化现象。

主要矿体为 V1、V8、V12 号钨矿体,它们占矿区探明钨矿总资源量的 77%。矿体特征分别简述如下:V1 号钨矿体主要由 PD2、ZK001、ZK002、ZK401 工程控制,矿体呈似层状、脉状,总体走向约  $60^\circ$ ,长 240 m,斜深 >350 m,倾向南东,倾角  $50^\circ \sim 68^\circ$ ;矿体最大厚度 2.23 m,最小 0.14 m,平均 0.76 m,平均品位  $WO_3$  1.28%;目前控制矿体标高 0~325 m。V8 号钨矿体主要由 ZK001、ZK002、ZK401 工程控制,矿体呈脉状,总体走向约  $60^\circ$ ,长 240 m,斜深 >390 m,倾向南东,倾角  $52^\circ \sim 75^\circ$ ;矿体最大厚度 2.82 m,最小 0.15 m,平均 1.26 m,平均品位  $WO_3$  1.23%;目前控制矿体标高 -40~320 m。V12 号钨矿体主要由 ZK001、ZK401 工程控制,矿体呈脉状,总体走向约  $60^\circ$ ,长 240 m,斜深 >420 m,倾向南东,倾角  $50^\circ \sim 68^\circ$ ;矿体最大厚度 3.92 m,最小 0.20 m,平均品位  $WO_3$  1.94%;目前控制矿体标高 -85~315 m(图 3)。

金属矿物主要为黑钨矿、锡石、毒砂,次为磁黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿等。据矿物结构及产出形

态,矿物大致生成顺序为:黑钨矿、锡石→毒砂→磁黄铁矿、黄铁矿→闪锌矿、黄铜矿。非金属矿物主要为石英,其次为萤石、白云母、玉髓、绿柱石等。矿石结构主要为结晶粒状结构、交代结构。矿石构造主要为块状构造,次为浸染状构造、团块状构造、条带状构造、网脉状构造、星点状构造等。围岩蚀变主要有云英岩化、钾长石化、钠长石化、硅化(王军等,2014)。

### 3 测试方法及结果

#### 3.1 样品采集

测试样品采自塘唇钨(锡)矿 ZK401 孔 250.76~251.11 m 岩心,属于矿床的 V8 号钨矿脉,矿体厚 0.35 m,轴夹角  $42^\circ$ ,劈心取样分析品位为  $WO_3$  0.900%,Sn 0.002%。石英脉整体呈对称条带状构造,石英呈块状生于脉中而形成条带状,黑钨矿、毒砂多产于石英中;白云母呈团块状、鳞片状产出,是矿体中主要脉石矿物之一(图 4b)。

ZK401 从孔深 171~550 m 可见十余条石英脉型黑钨矿矿体,单矿脉宽 2~35 cm,劈心取样样长 0.2~1.0 m,大部分样品  $WO_3$  品位达到工业品位以上(最高品位  $WO_3$  4.66%)。矿体产于下侏罗统金鸡组下段( $J_1 jn^a$ )浅变质石英砂岩中,石英砂岩具变余细粒砂状结构,块状构造;碎屑矿物成分为大量石英和少量长石、云母等,基质矿物成分为石英、云母以及方解石。

#### 3.2 测试方法及实验流程

单矿物分选在河北省廊坊市诚信地质服务公司完成,得到纯度 99% 以上的白云母矿物颗粒。本次白云母测年采用常规  $^{40}Ar/^{39}Ar$  阶段升温测年法,主要实验流程如下:

选纯的矿物(纯度 >99%)用超声波清洗。清洗后的样品被封进石英瓶中送核反应堆中接受中子照射。照射工作在中国原子能科学研究所的“游泳池”中进行,使用 H8 孔道,中子流密度约为  $2.65 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup> · s。照射总时间为 2 880 min,积分中子通量为  $4.58 \times 10^{18}$  n/cm<sup>2</sup>;同期接受中子照射的还有用作监控样的标准样:ZBH-25 黑云母标样,其标准年龄为  $132.7 \pm 1.2$  Ma,K 含量为 7.6%。

测试工作在中国地质科学院地质研究所 Ar-Ar 实验室完成,样品的阶段升温加热使用石墨炉,每一个阶段加热 30 min,净化 30 min。质谱分析在多接收稀有气体质谱仪 Helix MC 上进行,每个峰值均采集 20 组数据。所有的数据在回归到时间零点值后再

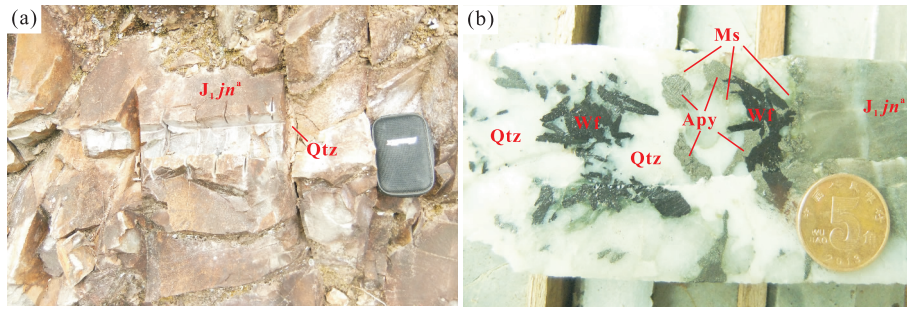


图 4 塘唇钨(锡)矿地表及深部含钨石英脉

Fig.4 Photographs of W bearing quartz vein in Tangchun tungsten (tin) deposit

a.地表含钨石英细脉;b.深部含钨石英脉;Apy.毒砂;Ms.白云母;Qtz.石英;Wf.黑钨矿;J<sub>1</sub>jn\*.下侏罗统金鸡组下段

表 1 塘唇钨(锡)矿含钨石英脉中白云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 同位素年龄分析结果

Table 1 Analyzed <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar isotopic result of muscovite from W bearing quartz vein, Tangchun tungsten (tin) deposit

加热阶段	T(°C)	( <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>36</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>37</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	( <sup>38</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar) <sub>m</sub>	<sup>40</sup> Ar(%)	F	<sup>39</sup> Ar (10 <sup>-14</sup> mol)	<sup>39</sup> Ar 累积 (%)	年龄 (Ma) ± 1σ (Ma)	
1	700	258.636 4	0.828 5	0.000 0	0.161 5	5.34	13.808 5	0.02	0.06	108.0	21.0
2	800	12.920 5	0.016 2	0.105 0	0.016 6	62.95	8.134 7	0.83	2.46	64.4	0.8
3	840	20.190 2	0.011 9	0.000 0	0.014 6	82.59	16.674 3	1.23	5.99	129.6	1.4
4	880	21.325 3	0.008 1	0.016 3	0.013 9	88.75	18.925 8	1.66	10.78	146.4	1.4
5	920	20.187 8	0.003 0	0.013 6	0.013 0	95.61	19.301 2	3.75	21.59	149.2	1.4
6	950	19.753 8	0.001 6	0.004 3	0.012 7	97.53	19.266 0	4.55	34.70	149.0	1.4
7	980	19.682 4	0.001 3	0.013 9	0.012 6	98.00	19.288 9	5.59	50.79	149.1	1.4
8	1 010	19.759 3	0.001 1	0.000 0	0.012 6	98.31	19.426 3	6.06	68.24	150.2	1.4
9	1 040	19.974 1	0.002 3	0.029 8	0.013 2	96.59	19.294 1	3.24	77.58	149.2	1.4
10	1 080	20.224 0	0.002 8	0.024 5	0.013 1	95.94	19.403 5	2.88	85.89	150.0	1.5
11	1 120	20.144 6	0.002 4	0.028 3	0.012 8	96.43	19.426 0	2.95	94.39	150.2	1.4
12	1 160	20.594 4	0.003 5	0.155 5	0.013 2	95.04	19.576 2	0.37	95.45	151.3	1.8
13	1 400	22.398 4	0.007 3	0.074 5	0.014 5	90.41	20.252 4	1.49	99.73	156.3	1.6
14	1 430	53.268 5	0.098 5	0.000 0	0.032 6	45.37	24.169 7	0.09	100.00	185.0	3.7

注:表中下标 m 代表样品中测定的同位素比值;F=<sup>40</sup>Ar\*/<sup>39</sup>Ar,是指放射成因<sup>40</sup>Ar和<sup>39</sup>Ar的比值;样品重量 W=14.50 mg, J=0.004 468.

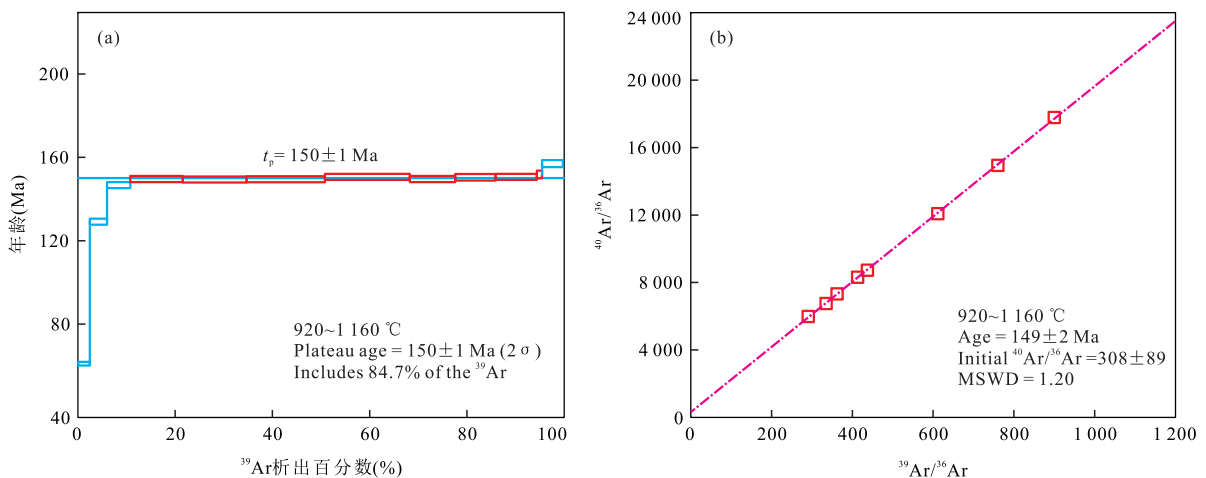


图 5 塘唇钨(锡)矿含钨石英脉中白云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 坪年龄(a)和等时线年龄(b)

Fig.5 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar plateau age (a) and isochron age (b) for muscovite from W bearing quartz vein, Tangchun tungsten (tin) deposit

进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。中子照射过程中所产生的干扰同位

素校正系数通过分析照射过的 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 和 CaF<sub>2</sub> 获得,其值为:(<sup>36</sup>Ar/<sup>37</sup>Ar)<sub>ca</sub> = 0.000 238 9,

$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004\ 782\ 0$ ,  $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{\text{Ca}} = 0.000\ 806\ 0$ 。 $^{37}\text{Ar}$  经过放射性衰变校正; $^{40}\text{K}$  衰变常数  $\lambda = 5.543 \times 10^{-10}/\text{a}$ ;用 Isoplot/Ex\_ver3 (Ludwig, 2003) 程序计算坪年龄及等时线,坪年龄误差以  $2\sigma$  给出。详细实验流程见有关文章(陈文等, 2006;张彦等, 2006)。

### 3.3 测试结果

塘唇钨(锡)矿含钨石英脉中白云母(14D101)的阶段加热 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年龄分析数据见表 1。白云母经过 14 个阶段的分步加热,加热区间为  $700 \sim 1\ 430\ ^\circ\text{C}$ ,其中  $920 \sim 1\ 160\ ^\circ\text{C}$  的温度范围即第 5 至第 12 加热阶段,样品的年龄谱形成较平坦的年龄坪,其累积 $^{39}\text{Ar}$  占总释放量的 84.7%;采用加权平均计算出其坪年龄为  $150 \pm 1\ \text{Ma}$  ( $2\sigma$ ) (图 5a);以线性回归计算出其等时线年龄为  $149 \pm 2\ \text{Ma}$  ( $\text{MSWD}=1.20$ ) (图 5b)。

## 4 讨论

### 4.1 矿床成矿时代

由于白云母中的 Ar 对后期地质作用特别敏感,因此,即使部分受到后期叠加改造作用的影响,白云母也会形成明显的扩散丢失图谱(Hanson *et al.*, 1975; Wijbrans *et al.*, 1986),而未受扰动的白云母则形成平坦的年龄谱(邱华宁和彭良, 1997)。由表 1 和图 4 可以看出,样品第 5 至第 12 加热阶段每次分馏的  $F(^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar})$  值基本一致,给出的表面年龄也基本相同,呈现非常平坦的年龄谱,并且样品的坪年龄和等时线年龄测试结果具有良好的重现性。 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  初始比值为  $308 \pm 89\ \text{Ma}$ ,与标准尼尔值基本一致,说明所测试的样品中不存在过剩的 Ar,也无显著的 Ar 丢失,样品自结晶作用以来未受到后期热事件的扰动。因此本次样品测试结果是可靠的,代表了其结晶作用的年龄。

区内已探明的钨矿床较少,矿床研究工作程度普遍较低,到目前为止,在粤东地区仅见潮安飞鹅山钨钼多金属矿 Re-Os 等时线年龄 ( $143 \pm 6\ \text{Ma}$ ) (李海立等, 2016) 等少量钨矿高精度成矿年代学研究成果。本文获得塘唇钨(锡)矿含钨石英脉中的白云母  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  坪年龄为  $150 \pm 1\ \text{Ma}$ ,等时线年龄为  $149 \pm 2\ \text{Ma}$ ,两者在误差范围内一致,为晚侏罗世成矿活动的产物,是对区内石英脉型钨锡多金属矿成矿时代的有效限定。塘唇钨(锡)矿成矿早于潮安飞鹅山钨钼多金属矿,与赣南—粤北地区石英脉型钨锡矿

基本一致(表 2),为南岭地区中生代大规模成岩成矿作用高峰期的产物(华仁民等, 2005;丰成友等, 2007;毛景文等, 2007;付建明等, 2013a, 2013b)。

### 4.2 成岩与成矿关系

塘唇钨(锡)矿所在的粤东紫金县地区岩浆岩活动发育,但仅做过少量的高精度成岩年代学研究工作;邱检生等(2004)获得龙窝岩体花岗闪长岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为  $169 \pm 3\ \text{Ma}$ ;胡建等(2006)获得了白石岗岩体黑云母花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为  $158 \pm 2\ \text{Ma}$ ;笔者获得径尾岩体黑云母二长花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为  $148 \pm 1\ \text{Ma}$  (未发表数据)。塘唇钨(锡)矿成矿年龄与龙窝岩体花岗闪长岩成岩年龄存在约  $20\ \text{Ma}$  的时差。南岭地区大量钨锡矿床研究表明:钨锡矿床的形成与花岗岩类岩体有密切的成因联系,且它们的成岩成矿时代没有明显时差,皆形成于同一成岩成矿系统(丰成友等, 2007;毛景文等, 2007;彭建堂等, 2008;付建明等, 2013b)。从南岭地区花岗岩的成矿专属性来看:陈骏等(2008)依据含矿花岗岩的成矿组合、地质和地球化学差异,将南岭地区钨锡铌钽花岗岩归纳为 3 个主要类型,即含钨花岗岩、含锡钨花岗岩和含铌钽花岗岩;其中含钨花岗岩为岩浆分异作用形成的不同岩相组合的多相岩体,岩石类型主要包括黑云母花岗岩、二云母花岗岩和白云母花岗岩,其中黑云母花岗岩为主体,二云母花岗岩和白云母花岗岩为次,皆为小岩体,且与钨矿化关系更为密切。程顺波等(2014)通过总结前人的资料,认为南岭地区含锡花岗岩的基性端元常为含角闪石的花岗闪长岩,酸性端元为二云母花岗岩,而含钨花岗岩基性端元多为含黑云母的二长花岗岩,酸性端元为白云母花岗岩;在野外地质工作中,含锡花岗岩岩性一般偏基性一些,为花岗闪长岩—二长花岗岩—二云母花岗岩组合;而含钨花岗岩岩性相对偏酸性一些,以黑云母二长花岗岩—二云母花岗岩—白云母花岗岩岩性组合为主。由此可见,塘唇钨(锡)矿钨矿成矿与龙窝岩体花岗闪长岩没有直接关系,成矿可能与龙窝岩体第二期的黑云母二长花岗岩或第三期的黑云母花岗岩有关,也可能与区内物探推测的隐伏岩体有关。进一步厘清矿区岩体与钨锡矿的时空关系,对区内下一步找矿工作部署具有重要意义。

### 4.3 找矿意义

塘唇钨(锡)矿目前控制资源储量规模为小型,矿体最深部仅控制到细脉—大脉混合带,相当于南岭地区“五层楼”式石英脉型钨锡矿的中带,深部还

表 2 赣南—粤北地区石英脉型钨锡矿成矿时代

Table 2 The ages of mineralization for quartz vein type Tungsten-Tin deposit in Southern Jiangxi Province and Northern Guangdong Province

地区	矿床	测年对象	测年方法	年龄(Ma)	参考文献
赣南	淘锡坑钨矿	辉钨矿	Re-Os	154±4	陈郑辉等(2006)
	淘锡坑钨矿	白云母	Ar-Ar	153±2	郭春丽等(2008)
	淘锡坑钨矿	白云母	Ar-Ar	153±1	郭春丽等(2008)
	淘锡坑钨矿	白云母	Ar-Ar	155±1	郭春丽等(2008)
	樟斗钨矿	辉钨矿	Re-Os	149±7	丰成友等(2007)
	牛岭钨矿	辉钨矿	Re-Os	155±4	丰成友等(2007)
	大吉山钨矿	辉钨矿	Re-Os	161±1	张思明等(2011)
	九龙脑钨矿	辉钨矿	Re-Os	152±1	丰成友等(2011)
	樟东坑钨矿	辉钨矿	Re-Os	151±2	丰成友等(2011)
	樟东坑钨矿	辉钨矿	Re-Os	155±2	李光来等(2014)
	樟东坑钨矿	辉钨矿	Re-Os	155±2	李光来等(2014)
粤北	石人嶂钨锡矿	辉钨矿	Re-Os	159±2	付建明等(2008)
	师姑山钨锡矿	辉钨矿	Re-Os	154±3	付建明等(2008)
	红岭钨矿	辉钨矿	Re-Os	159±2	王小飞等(2010)
	红岭钨矿	辉钨矿	Re-Os	159±1	王小飞等(2010)
	瑶岭钨矿	白云母	Ar-Ar	149±1	翟伟等(2011)
	和尚田钨锡多金属矿	白云母	Ar-Ar	158±2	付建明等(2013a)
	和尚田钨锡多金属矿	白云母	Ar-Ar	161±1	武国忠等(2014)
	梅子窝钨矿	辉钨矿	Re-Os	151±1	武国忠等(2014)
	梅子窝钨矿	黑云母	Ar-Ar	151±1	武国忠等(2014)

可能存在大脉带、地下室、大脉—巨脉—尖灭带等(许建祥等,2008;王登红等,2010)。笔者对 W1-2、W1-3 两个钨矿化带仅开展地表验证,通过地表化探剖面加密、探槽揭露、地质测量等工作发现 W1-2 的矿(化)体规模比 W1-1 更可观;此外,对矿区内的 4 个锡矿化带还未开展评价工作。从图 2 可见,矿区目前仅在小范围内开展大比例尺填图、化探扫面和少量深部验证等工作,对其东西两侧矿带均未控制,且东部的锡山寨锡矿带(矿权外)已探明锡矿达到中型规模。如果考虑整合矿区东部的锡山寨锡矿矿权,整个矿带已控制延伸 >5 000 m,宽 >400 m,矿床规模有望达到大型。矿带东部靠近龙窝岩体主要为锡矿化,西部远离岩体以钨矿化为主,为一套高温—高中温矿物组合,向西是否还存在中—低温、低温矿物组合尚有待下一步工作验证。

粤东地区地质工作程度较低,矿床勘查工作开展较少,涉及的论文发表也较少,石英脉型塘唇钨(锡)矿的发现是粤东地区找矿的重要进展。与南岭地区石英脉型钨锡矿相比,两者成矿时代基本一致(表 2)。赋矿地层方面,南岭地区典型的石英脉型钨锡矿赋矿地层主要为寒武系、奥陶系,多为一套绿片岩相浅变质岩系,岩石主要为变质石英砂岩、长石石英砂岩、板岩等(付建明等,2013a);而塘唇钨(锡)矿赋矿地层为下侏罗统金鸡组碎屑岩,岩石为含云母

长石石英砂岩夹灰色—灰绿色泥质页岩,该层位是南岭及邻区石英脉型钨锡矿的最新赋矿地层,与粤东大多数大中型矿床产出的地层时代一致。结合矿床所处的大地构造位置,认为塘唇钨(锡)矿可能兼具南岭地区和粤东地区钨锡矿的成矿特征,属于它们之间的过渡类型,加强该矿床的研究,对完善总结石英脉型钨锡矿成矿规律和成矿模式,指导区域下一步找矿具有重要意义。

## 5 结论

(1)塘唇钨(锡)矿含钨石英脉中白云母的坪年龄为  $150 \pm 1$  Ma,等时线年龄为  $149 \pm 2$  Ma,两者在误差范围内一致,代表矿床成矿时代为晚侏罗纪,为南岭地区中生代大规模成矿作用高峰期的产物。

(2)塘唇钨(锡)矿赋存于下侏罗统碎屑岩中,是目前南岭及其邻区石英脉型钨锡矿发现的最新赋矿地层之一;矿床可能兼具南岭地区和粤东地区钨锡矿的成矿特征,属于它们之间的过渡类型。塘唇钨(锡)矿的发现,不仅拓宽了石英脉型钨锡矿的找矿视野,还有助于完善石英脉型钨锡矿成矿规律和成矿模式,对区域下一步找矿具有重要指导意义。

致谢:野外工作得到了天高矿业有限公司郑宝



虎高级工程师、黄土兴工程师等的帮助,两位审稿老师和责任编辑对文章修改提出了宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

## References

- Chen, J., Lu, J. J., Chen, W. F., et al., 2008. W-Sn-Nb-Ta-Bearing Granites in the Nanning Range and Their Relationship to Metallogenesis. *Geological Journal of China Universities*, 14(4): 459—473 (in Chinese with English abstract).
- Chen, R. S., Li, J. W., Cao, K., et al., 2013. Zircon U-Pb and Molybdenite Re-Os Dating of the Shangfang Tungsten Deposit in Northern Fujian Province: Implications for Regional Mineralization. *Earth Science*, 38(2): 289—304 (in Chinese with English abstract).
- Chen, W., Zhang, Y., Zhang, Y. Q., et al., 2006. Late Cenozoic Episodic Uplifting in Southeastern Part of the Tibetan Plateau—Evidence from Ar-Ar Thermochronology. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 867—872 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Z. H., Wang, D. H., Qu, W. J., et al., 2006. Geological Characteristics and Mineralization Age of the Taoxikeng Tungsten Deposit in Chongyi County, Southern Jiangxi Province. *Geological Bulletin of China*, 25(4): 496—501 (in Chinese with English abstract).
- Cheng, S. B., Fu, J. M., Ma, L. Y., et al., 2014. Some Discrimination Criteria of W/Sn Mineralization Related Granitoids in Nanling Range. *Geology and Mineral Resources of South China*, 30(4): 352—360 (in Chinese with English abstract).
- Feng, C. Y., Huang, F., Qu, W. J., et al., 2011. Molybdenite Re-Os Isotopic Dating on Different Types of Tungsten Deposits in Southeast of Jiulongnao Orefield and Its Geological Significance. *China Tungsten Industry*, 26(4): 6—11 (in Chinese with English abstract).
- Feng, C. Y., Xu, J. X., Zeng, Z. L., et al., 2007. Zircon SHRIMP U-Pb and Molybdenite Re-Os Dating in Tianmenshan—Hongtaoling Tungsten-Tin Orefield, Southern Jiangxi Province, China, and Its Geological Implication. *Acta Geologica Sinica*, 81(7): 952—963 (in Chinese with English abstract).
- Fu, J. M., Li, H. Q., Qu, W. J., et al., 2008. Determination of Mineralization Epoch of Quartz-Vein Type Tungsten Deposits in Shixing region, Northern Guangdong and Its Geological Significance. *Geotectonica et Metallogenia*, 32(1): 57—62 (in Chinese with English abstract).
- Fu, J. M., Ma, L. Y., Li, H. Q., et al., 2013a. Metallogenic Age of the Heshangtian Tungsten-Tin Polymetallic Deposit in Northern Guangdong Province, and Its Geological Significance. *Acta Geologica Sinica*, 87(9): 1350—1358 (in Chinese with English abstract).
- Fu, J. M., Ma, L. Y., Cheng, S. B., et al., 2013b. Metallogenesis of W (Sn) Deposits and Their Exploration in Nanling Range, China. *Geological Journal of China Universities*, 19(2): 202—212 (in Chinese with English abstract).
- Guo, C. L., Lin, Z. Y., Wang, D. H., et al., 2008. Petrologic Characteristics of the Granites and Greisens and Muscovite  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Dating in the Taoxikeng Tungsten Polymetallic Deposit, Southern Jiangxi Province. *Acta Geologica Sinica*, 82(9): 1274—1284 (in Chinese with English abstract).
- Hanson, G. N., Simmons, K. R., Bence, A. E., 1975.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Spectrum Ages for Biotite, Hornblende and Muscovite in a Contact Metamorphic Zone. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 39(9): 1269—1278. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(75\)90134-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(75)90134-9)
- Hu, J., Qiu, J. S., Wang, R. C., et al., 2006. Zircon U-Pb Geochronology, Biotite Mineral Chemistry and Their Petrogenetic Implications of the Longwo and Baishigang Plutons in Guangdong Province. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2464—2474 (in Chinese with English abstract).
- Hua, R. M., Chen, P. R., Zhang, W. L., et al., 2005. Three Major Metallogenic Events in Mesozoic in South China. *Mineral Deposits*, 24(2): 99—107 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, S. Y., Peng, N. J., Huang, L. C., et al., 2015. Geological Characteristic and Ore Genesis of the Giant Tungsten Deposits from the Dahutang Ore-Concentrated District in Northern Jiangxi Province. *Acta Petrologica Sinica*, 31(3): 639—655 (in Chinese with English abstract).
- Kong, L. B., Lü, S. J., Li, Y. D., et al., 2014. Geological Characteristics and Ore-Searching Prospect of the Shaxi Tungsten Deposit in Chongyangping, Hunan Province. *Geology and Mineral Resources of South China*, 30(4): 375—382 (in Chinese with English abstract).
- Li, F. S., Kang, R. H., Hu, X. Y., et al., 2012. Geological Characteristics and Ore-Search Prospect of the Weijia Tungsten Deposit in Nanling Region. *Geology in China*, 39(2): 445—457 (in Chinese with English abstract).
- Li, G. L., Hua, R. M., Wei, X. L., et al., 2014. Re-Os Isotopic Ages of Two Types of Molybdenite from Zhangdongkeng Tungsten Deposit in Southern Jiangxi Province and Their Geological Implications. *Earth Science*, 39(2): 165—173 (in Chinese with English abstract).
- Li, H. L., Xiao, H. L., Fan, F. P., et al., 2016. Molybdenite Re-Os Isotopic Age of Feieshan Tungsten and Molybdenum Polymetallic Deposit in Chaonan, Guangdong. *Acta*

- Geologica Sinica*, 90 (2): 231–239 (in Chinese with English abstract).
- Li, J. K., Wang, D. H., Li, H. Q., et al., 2013. Late Jurassic–Early Cretaceous Mineralization in the Laojunshan Ore Concentration Area, Yunnan Province. *Earth Science*, 38 (5): 1023–1036 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J. X., Chen, H. W., Liu, X. C., et al., 2015. Isotopic Age Dating of Huashandong Tungsten Deposit in Xiushui County, Jiangxi Province and Its Geological Significance. *Resources Survey and Environment*, 36(1): 1–9 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig, K. R., 2003. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Berkeley, California, 39.
- Mao, J. W., Xie, G. Q., Guo, C. L., et al., 2007. Large-Scale Tungsten-Tin Mineralization in the Nanling region, South China: Metallogenic Ages and Corresponding Geodynamic Processes. *Acta Petrologica Sinica*, 23(10): 2329–2338 (in Chinese with English abstract).
- Ni, Y. J., Chen, B. H., Chen, W. B., et al., 2009. The Finding and Prospecting Signification of the New Style Scheelite Deposit in Miaoershan, Hunan Province. *Geology and Mineral Resources of South China*, (3): 37–42 (in Chinese with English abstract).
- Peng, J. T., Hu, R. Z., Yuan, S. D., et al., 2008. The Time Ranges of Granitoid Emplacement and Related Nonferrous Metallic Mineralization in Southern Hunan. *Geological Review*, 54 (5): 617–625 (in Chinese with English abstract).
- Qiu, H. N., Peng, L., 1997. <sup>40</sup>Ar–<sup>39</sup>Ar and Fluid Inclusion Dating. China University of Sciences and Technology Press, Hefei (in Chinese).
- Qiu, J. S., Hu, J., McInnes, B. I. A., et al., 2004. Geochronology, Geochemistry and Petrogenesis of the Longwo Granodioritic Pluton in Guangdong Province. *Acta Petrologica Sinica*, 20(6): 1363–1374 (in Chinese with English abstract).
- Que, C. Y., Zhang, D., Di, Y. J., et al., 2014. Ore-controlling Characteristics of Tungsten Deposits in the Nanwenhe-Saxi Area and Deep Prospecting Breakthrough. *Earth Science Frontiers*, 21(2): 286–300 (in Chinese with English abstract).
- Wang, D. H., Chen, Z. H., Huang, G. F., et al., 2012. Northwards and Westwards Prospecting for Tungsten and Its Significance in South China. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(3): 322–329 (in Chinese with English abstract).
- Wang, D. H., Tang, J. X., Ying, L. J., et al., 2010. Application of “Five levels+Basement” Model for Prospecting Deposits into Depth. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 40(4): 734–738 (in Chinese with English abstract).
- Wang, J., Wan, C. H., Wan, C. S., et al., 2014. Geological Characteristics and Its Ore-controlling Factors in Tangchun Tungsten-Tin Ore District in the Eastern Guangdong. *Resources Environment & Engineering*, 28(3): 280–283 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. F., Qi, H. W., Hu, R. Z., et al., 2010. Re-Os Isotopic Chronology of Molybdenites from Hongling Tungsten Deposit of Guangdong Province and Its Geological Significance. *Mineral Deposits*, 29(3): 415–426 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. G., Liu, J. G., Chen, G. H., et al., 2014. On Exploration Progress of W-Cu Deposit in Zhuxi of Jiangxi. *Journal of Geology*, 38(3): 483–491 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. B., Wang, D. H., Han, J., et al., 2010. U-Pb Dating and Hf Isotopic Characteristics of Zircons and Re-Os Dating of Molybdenite from Gao’aobei Tungsten-molybdenum Deposit, Southern Hunan Province. *Geological Review*, 56(6): 820–830 (in Chinese with English abstract).
- Wei, X. L., 2016. New Discoveries of Tungsten Ore Prospecting in China. *China Tungsten Industry*, 31(3): 1–7 (in Chinese with English abstract).
- Wijbrans, J. R., McDougall, I., 1986. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar Dating of White Micas from an Alpine High-Pressure Metamorphic Belt on Naxos (Greece): The Resetting of the Argon Isotopic System. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 93(2): 187–194. <https://doi.org/10.1007/bf00371320>
- Wu, G. Z., Wang, D. H., Hu, Y. G., et al., 2014. Metallogenic Epoch of the Two Types of Tungsten Ore Deposits: A Case Study of the Miantuwo and Heshangtian Deposits in Northern Guangdong. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(2): 325–333 (in Chinese with English abstract).
- Xu, J. X., Zeng, Z. L., Wang, D. H., et al., 2008. A New Type of Tungsten Deposit in Southern Jiangxi and the New Model of “Five Floors+Basement” for Prospecting. *Acta Geologica Sinica*, 82(7): 880–887 (in Chinese with English abstract).
- Yu, Z. F., Mao, J. W., Zhao, H. J., et al., 2012. Geological Characteristics and Ages of Granites and Related Mineralization in the Dajinshan Tungsten-Tin Polymetallic Deposit, Western Guangdong Province. *Acta Petrologica Sinica*, 28(12): 3967–3979 (in Chinese with English abstract).
- Zhai, W., Sun, X. M., Wu, Y. S., et al., 2011. <sup>40</sup>Ar–<sup>39</sup>Ar Dating of Yaoling Tungsten Deposit in Northern Guangdong

- Province and SHRIMP U-Pb Zircon Age of Related Granites. *Mineral Deposits*, 30(1): 21-32 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, S. M., Chen, Z. H., Shi, G. H., et al., 2011. Re-Os Isotopic Dating of Molybdenite from Dajishan Tungsten Deposit in Jiangxi Province. *Mineral Deposits*, 30(6): 1113-1121 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Y., Chen, W., Chen, K. L., et al., 2006. Study on the Ar-Ar Age Spectrum of Digenetic I/S and the Mechanism of  $^{39}\text{Ar}$  Recoil Loss—Examples from the Clay Minerals of P-T Boundary in Changxing, Zhejiang Province. *Geological Review*, 52(4): 556-561 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z. Q., Chen, M. H., Mo, J. M., et al., 2014. Evolution and Source Tracing of the Shedong Quartz Vein Type Scheelite-Molybdenite Polymetallic Deposit in Cangwu County, Guangxi. *Acta Petrologica Sinica*, 30(1): 281-291 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 陈骏, 陆建军, 陈卫锋, 等, 2008. 南岭地区钨锡铌钽花岗岩及其成矿作用. *高校地质学报*, 14(4): 459-473.
- 陈润生, 李建威, 曹康, 等, 2013. 闽北上房钨矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义. *地球科学*, 38(2): 289-304.
- 陈文, 张彦, 张岳桥, 金贵善, 等, 2006. 青藏高原东南缘晚新生代幕式抬升作用的 Ar-Ar 热年代学证据. *岩石学报*, 22(4): 867-872.
- 陈郑辉, 王登红, 屈文俊, 等, 2006. 赣南崇义地区淘锡坑钨矿的地质特征与成矿时代. *地质通报*, 25(4): 496-501.
- 程顺波, 付建明, 马丽艳, 等, 2014. 南岭地区成钨、成锡花岗岩组合的几个判别标志. *华南地质与矿产*, 30(4): 352-360.
- 丰成友, 黄凡, 屈文俊, 等, 2011. 赣南九龙脑矿田东南部不同类型钨矿的辉钼矿 Re-Os 年龄及地质意义. *中国钨业*, 26(4): 6-11.
- 丰成友, 许建祥, 曾载淋, 等, 2007. 赣南天门山—红桃岭钨锡矿田成岩成矿时代精细测定及其地质意义. *地质学报*, 81(7): 952-963.
- 付建明, 李华芹, 马丽艳, 等, 2013a. 粤北乐昌市和尚田钨锡多金属矿成矿时代及其地质意义. *地质学报*, 87(9): 1349-1358.
- 付建明, 马丽艳, 程顺波, 等, 2013b. 南岭地区锡(钨)矿成矿规律及找矿. *高校地质学报*, 19(2): 202-212.
- 付建明, 李华芹, 屈文俊, 等, 2008. 粤北始兴地区石英脉型钨矿成矿时代的确定及其地质意义. *大地构造与成矿学*, 32(1): 57-62.
- 郭春丽, 蔺志永, 王登红, 等, 2008. 赣南淘锡坑钨多金属矿床花岗岩和云英岩岩石特征及云英岩中白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  定年. *地质学报*, 82(9): 1274-1284.
- 胡建, 邱检生, 王汝成, 等, 2006. 广东龙窝和白石岗岩体锆石 U-Pb 年代学、黑云母矿物化学及其成岩指示意义. *岩石学报*, 22(10): 2464-2474.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等, 2005. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用. *矿床地质*, 24(2): 99-107.
- 蒋少涌, 彭宁俊, 黄兰椿, 等, 2015. 赣北大湖塘矿集区超大型钨矿地质特征及成因探讨. *岩石学报*, 31(3): 639-655.
- 孔令兵, 吕书君, 李永德, 2014. 湖南崇阳坪地区沙溪钨矿床地质特征及找矿前景分析. *华南地质与矿产*, 30(4): 375-382.
- 李福顺, 康如华, 胡绪云, 等, 2012. 南岭魏家钨矿床地质特征及找矿前景分析. *中国地质*, 39(2): 445-457.
- 李光来, 华仁民, 韦星林, 等, 2014. 赣南樟东坑钨矿两类矿化中辉钼矿的 Re-Os 同位素定年及其地质意义. *地球科学*, 39(2): 165-173.
- 李海立, 肖惠良, 范飞鹏, 等, 2016. 广东潮安飞鹅山钨钼多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素定年. *地质学报*, 90(2): 231-239.
- 李建康, 王登红, 李华芹, 等, 2013. 云南老君山矿集区的晚侏罗世—早白垩世成矿事件. *地球科学*, 38(5): 1023-1036.
- 刘进先, 陈浩文, 刘兴畅, 等, 2015. 江西修水花山洞钨矿床同位素年代学研究及其意义. *华东地质*, 36(1): 1-9.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等, 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.
- 倪艳军, 陈必河, 陈文斌, 等, 2009. 湖南苗儿山白钨矿床的发现及其找矿意义. *华南地质与矿产*, (3): 37-42.
- 彭建堂, 胡瑞忠, 袁顺达, 等, 2008. 湘南中生代花岗岩类成岩成矿的时限. *地质论评*, 54(5): 617-625.
- 邱华宁, 彭良, 1997.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年代学与流体包裹体定年. 合肥: 中国科技大学出版社.
- 邱检生, 胡建, McInnes, B. I. A., 等, 2004. 广东龙窝花岗岩闪长质岩体的年代学、地球化学及岩石成因. *岩石学报*, 20(6): 1363-1374.
- 阙朝阳, 张达, 狄永军, 等, 2014. 滇东南麻栗坡南温河—洒西一带钨矿控矿要素及深部找矿突破. *地学前缘*, 21(2): 286-300.
- 王登红, 陈郑辉, 黄国成, 等, 2012. 华南“南钨北扩”、“东钨西扩”及其找矿方向探讨. *大地构造与成矿学*, 36(3): 322-329.
- 王登红, 唐菊兴, 应立娟, 等, 2010. “五层楼+地下室”找矿模型的适用性及其对深部找矿的意义. *吉林大学学报*, 40(4): 733-738.
- 王军, 万传辉, 文昌生, 等, 2014. 粤东塘唇钨锡矿区地质特征及其主要控矿因素. *资源环境与工程*, 28(3): 280-283.

- 王先广,刘建光,陈国华,等,2014.江西朱溪钨铜矿找矿进展及建议.地质学刊,38(3):483-491.
- 王小飞,戚华文,胡瑞忠,等,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.矿床地质,29(3):415-426.
- 王彦斌,王登红,韩娟,等,2010.汝城高坳背钨-钼矿区花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素及矿石辉钼矿 Re-Os 年龄.地质论评,56(6):820-830.
- 韦星林,2016.我国近年钨矿勘查新发现及其启示.中国钨业,31(3):1-7.
- 武国忠,王登红,胡耀国,等,2014.粤北两类钨矿的成矿时代——以棉土窝和尚田为例.大地构造与成矿学,38(2):325-333.
- 许建祥,曾载淋,王登红,等,2008.赣南钨矿新类型及“五层楼+地下室”找矿模型.地质学报,82(7):880-887.
- 余长发,毛景文,赵海杰,等,2012.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.岩石学报,28(12):3967-3979.
- 翟伟,孙晓明,邹云山,等,2011.粤北瑶岭钨矿成矿相关花岗岩的锆石 SHRIMP 年龄与  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  成矿年龄及其地质意义.矿床地质,30(1):21-32.
- 张思明,陈郑辉,施光海,等,2011.江西省大吉山钨矿床辉钼矿-钼同位素定年.矿床地质,30(6):1113-1121.
- 张彦,陈文,陈克龙,等,2006.成岩混层(I/S)Ar-Ar 年龄谱型及  $^{39}\text{Ar}$  核反冲丢失机理研究——以浙江长兴地区 P-T 界线粘土岩为例.地质论评,52(4):556-561.
- 张志强,陈懋弘,莫建明,等,2014.广西苍梧社垌石英脉型钨钼多金属矿床流体演化及来源示踪.岩石学报,30(1):281-291.