

# 赣南盘古山钨矿床锆石 U-Pb 和 辉钼矿 Re-Os 年龄及其意义

方贵聪<sup>1, 2)</sup>, 陈毓川<sup>1)\*</sup>, 陈郑辉<sup>2)</sup>, 曾载淋<sup>3)</sup>, 张永忠<sup>3)</sup>,  
童启荃<sup>4)</sup>, 孙杰<sup>4)</sup>, 黄鸿新<sup>5)</sup>, 郭娜欣<sup>1)</sup>

1)中国地质科学院, 北京 100037;

2)中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

3)江西省地质矿产勘查开发局赣南地质调查大队, 江西赣州 341000;

4)江西盘古山钨业有限公司, 江西于都 342311; 5)长江大学, 湖北武汉 430100

**摘要:** 盘古山钨矿是一个历史悠久、闻名国内外的大型矿床, 为了厘定其岩浆活动及成矿作用时代, 进而认识成岩与成矿关系、岩体内带与外带矿化关系及成岩成矿动力学背景, 本研究采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 和 ICP-MS 辉钼矿 Re-Os 分析法分别对南岭 2000 m 科学钻探(SP-NLSD-2)所揭露的隐伏花岗岩体及其内带矿化石英脉进行了年龄测定。结果表明, 隐伏花岗岩体形成于(161.7 ± 1.6) Ma, 内带矿化石英脉年龄为(155.3 ± 2.8) Ma, 均形成于中—晚侏罗世。盘古山钨矿床花岗岩浆活动与成矿作用的时代在误差范围内基本一致, 矿化发育于岩体内外接触带, 在空间上关系密切, 并表现出花岗岩体—长石石英脉—石英脉的渐变演化关系, 结合前人研究成果表明, 矿化石英脉是花岗岩浆分异演化晚期的产物。岩体内带石英脉与外带石英脉的形成年龄吻合较好, 形成于同一成矿作用。盘古山钨矿床及其隐伏花岗岩体均形成于 165~150 Ma 华南岩石圈伸展-岩体侵位-大规模成矿的动力学环境。

**关键词:** 地质年代学; U-Pb; Re-Os; 钨矿床; 盘古山; 赣南; 南岭

中图分类号: P597; P618.67 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2014.01.10

## Zircon U-Pb and Molybdenite Re-Os Geochronology of the Pangushan Tungsten Deposit in South Jiangxi Province and Its Significance

FANG Gui-cong<sup>1, 2)</sup>, CHEN Yu-chuan<sup>1)\*</sup>, CHEN Zheng-hui<sup>2)</sup>, ZENG Zai-lin<sup>3)</sup>,  
ZHANG Yong-zhong<sup>3)</sup>, TONG Qi-quan<sup>4)</sup>, SUN Jie<sup>4)</sup>, HUANG Hong-xin<sup>5)</sup>, GUO Na-xin<sup>1)</sup>

1) Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2) MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources,  
Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

3) Gannan Geological Survey Party, Jiangxi Bureau of Exploration & Development of Geology & Mineral Resources,  
Ganzhou, Jiangxi 341000;

4) Jiangxi Pangushan Tungsten Co., Ltd., Yudu, Jiangxi 342311; 5) Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100

**Abstract:** The Pangushan tungsten deposit is a well-known old and large ore deposit which has attracted many researchers and exploration geologists both in China and abroad. In order to determine the ages of magmatism and mineralization in the deposit and thus to gain insights into the relationship between magmatic process and

本文由国家深部探测技术与实验研究专项(SinoProbe-03-03)、国土资源部公益性行业科研专项(编号: 201311162; 201011048)、国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室开放研究项目“南岭科学钻(SP-NLSD-2)花岗岩-云英岩化带-钨矿石英脉: 地球化学特征及岩浆-流体演化”(编号: 2013091611)和中国地质调查局地质调查项目(编号: 1212010633903)联合资助。

收稿日期: 2013-07-31; 改回日期: 2013-12-10。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 方贵聪, 男, 1985 年生。博士研究生。主要从事成矿规律和成矿预测研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。E-mail: fanggccong@163.com。

\*通讯作者: 陈毓川, 男, 1934 年生。中国工程院院士, 博士生导师。主要从事矿产资源研究。E-mail: cyuchuan@mail.cags.ac.cn。

tungsten mineralization, the association of endocontact mineralization with exocontact mineralization as well as their geodynamic setting, the authors conducted LA-ICP-MS zircon U-Pb and ICP-MS molybdenite Re-Os isotopic measurement of Pangushan concealed granite and its endocontact-mineralized quartz veins discovered by 2000 m Nanling Scientific Drilling (SP-NLSD-2). The results indicate that the weighted average ages of zircon  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ages for Pangushan granite and of molybdenite Re-Os isotopic model ages for the quartz veins are  $(161.7 \pm 1.6)$  Ma and  $(155.3 \pm 2.8)$  Ma, respectively, both subordinate to Mid-late Jurassic. The determinations, together with previous data, suggest that the mineralized quartz veins were produced by terminal magma evolution, which is supported by the fact that the ages of mineralization and magmatism were basically in accordance, the mineralization all occurred spatially at the inner- and outer-contacts of the granite, and the gradient relationship of granite feldspar quartz vein quartz vein was detected in the deposit. Endocontact and exocontact ore-bearing quartz veins were both produced by the same mineralization. Geodynamically, the Pangushan tungsten deposit is one of many important tungsten-polymetallic deposits formed from 165 Ma to 150 Ma associated with large-scale lithospheric extension in South China.

**Key words:** geochronology; U-Pb; Re-Os; tungsten deposit; Pangushan; South Jiangxi Province; Nanling

盘古山钨矿位于赣南中部, 是赣南四大名山钨矿(西华山、岿美山、盘古山和大吉山钨矿)之一, 至今已有 90 多年的开采历史。该矿床因其储量高、品位富、矿脉厚、纵向延伸长( $\geq 1100$  m)、矿化稳定、矿物成分复杂等特点历来倍受国内外学者的广泛关注。早在上世纪 80 年代, 曾广胜(1980)根据矿山历年探采实际地质资料, 侧重从矿脉组合构式特征研究了容矿裂隙系统的展布规律及其形成和发展演化, 并初步探讨了容矿裂隙格态与周边盲矿赋存的关系, 进而提出了找矿预测方法; 蔡建明等(1981)通过矿物包裹体的研究探讨了该矿床的成矿作用; 任英忱等(1986)对该矿床的矿物成分进行较系统的鉴定并从矿物学角度对成矿阶段进行划分, 同时指出矿物空间分带特点。进入 21 世纪后, 又有不少学者相继从矿化、围岩蚀变、流体包裹体等角度对该矿床进行了研究, 探讨其成矿机制及深部成矿远景(叶际祎等, 2000; 谭运金等, 2002; 王旭东等, 2010; 汪群英, 2012)并取得了丰硕的研究成果。然而, 自从上世纪 80 年代初钻探揭露了隐伏于标高-115 m 以深的花岗岩体以来, 岩体年龄及成岩与成矿关系问题一直是众多学者关注的焦点, 但因岩体隐伏极深, 样品采集困难, 有关研究成果至今鲜见报道。成矿时代方面, 曾载淋等(2011)已精确测定隐伏岩体外接触带地层中矿化石英脉(以下称“外带石英脉”)的辉钼矿 Re-Os 年龄( $157.75 \sim 158.8$  Ma), 但近期科学钻探发现, 岩体内接触带也发育矿化石英脉(以下称“内带石英脉”), 且两者矿物组合及产状特征明显不同, 前者为黑钨矿-白钨矿-辉钼矿-辉铋矿-石英-云母, 倾角较陡(一般超过  $70^\circ$ ), 而后者仅为辉钼矿-长石-石英, 倾角较缓(一般小于  $60^\circ$ ), 两者是否形成于不同的成矿作用? 这仍需对内带石英脉的年龄加以鉴定。对上述问题的深入认识将对本矿床乃至南岭地区的深部找矿具有重要的指导作用,

而高精度成岩和成矿年龄的获取是探讨这些问题的关键之一。

深部探测技术与实验研究专项(董树文等, 2011; Dong et al., 2011)部署于盘古山钨矿床东南部的 2000 m 金属异常验证孔(SP-NLSD-2)(地球学报编辑部, 2013), 是南岭地区第二口科学钻孔, 该孔揭露了隐伏于深度 1288 m 以下的花岗岩体及其内带石英脉, 为本研究提供了宝贵的素材。本研究分别采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 和 ICP-MS 辉钼矿 Re-Os 同位素定年法精确测定了该花岗岩体及其两条内带石英脉的年龄, 试图在厘定成岩和成矿时限基础上, 结合前人研究成果, 探讨成岩与成矿作用的关系、岩体内带与外带矿化关系及成岩成矿动力学背景。

赣南享有世界“百年钨都”的美称(王登红等, 2012), 地处欧亚大陆板块与滨西太平洋板块消减带内侧的华夏板块中, 南岭东西向成矿带东段与武夷山北北东向成矿带南段的交汇复合部位(图 1)。盘古山钨矿床位于赣南中部的于都—赣县矿集区内, 矿区内构造活动频繁, 岩浆大规模侵入, 成矿地质条件有利。

矿区内地层主要为震旦系和上泥盆统, 均呈单斜构造。震旦系在矿区范围内主要下伏于上泥盆统, 倾向南西, 倾角  $55^\circ \sim 70^\circ$ , 主要由浅变质含云母石英质砂岩夹板岩、千枚岩等组成, 底部因岩体侵入产生强烈的角岩化(图 2A)。泥盆系出露于整个矿区, 倾向南西, 倾角  $20^\circ \sim 40^\circ$ , 由粗-细粒石英砂岩及含砾石英粗砂岩夹板岩组成, 与震旦系呈不整合接触。矿区断层发育, 长期活动, 继承性明显, 主要有北东东向、北西西向、东西向和南北向, 规模和强度以北东东向断裂占主导, 并明显控制北西西、东西向密集容矿裂隙的产出。

矿区内地层主要为震旦系和上泥盆统, 倾向南西, 倾角  $55^\circ \sim 70^\circ$ , 主要由浅变质含云母石英质砂岩夹板岩、千枚岩等组成, 底部因岩体侵入产生强烈的角岩化(图 2A)。泥盆系出露于整个矿区, 倾向南西, 倾角  $20^\circ \sim 40^\circ$ , 由粗-细粒石英砂岩及含砾石英粗砂岩夹板岩组成, 与震旦系呈不整合接触。矿区断层发育, 长期活动, 继承性明显, 主要有北东东向、北西西向、东西向和南北向, 规模和强度以北东东向断裂占主导, 并明显控制北西西、东西向密集容矿裂隙的产出。

矿区内地层主要为震旦系和上泥盆统, 倾向南西, 倾角  $55^\circ \sim 70^\circ$ , 主要由浅变质含云母石英质砂岩夹板岩、千枚岩等组成, 底部因岩体侵入产生强烈的角岩化(图 2A)。泥盆系出露于整个矿区, 倾向南西, 倾角  $20^\circ \sim 40^\circ$ , 由粗-细粒石英砂岩及含砾石英粗砂岩夹板岩组成, 与震旦系呈不整合接触。矿区断层发育, 长期活动, 继承性明显, 主要有北东东向、北西西向、东西向和南北向, 规模和强度以北东东向断裂占主导, 并明显控制北西西、东西向密集容矿裂隙的产出。

矿区西部标高-115 m 处和矿区东南部标高-341 m(深度 1288 m)揭露岩体，据此推测岩体顶部可能向南东倾伏。岩体主要由中细粒二云母钾长花

岗岩组成，顶部因岩浆期后热液蚀变而形成厚度约 40 m 的云英岩化花岗岩(图 3)。钾长花岗岩呈肉红色，长石以钾长石为主，约占长石总量 70%~80%，

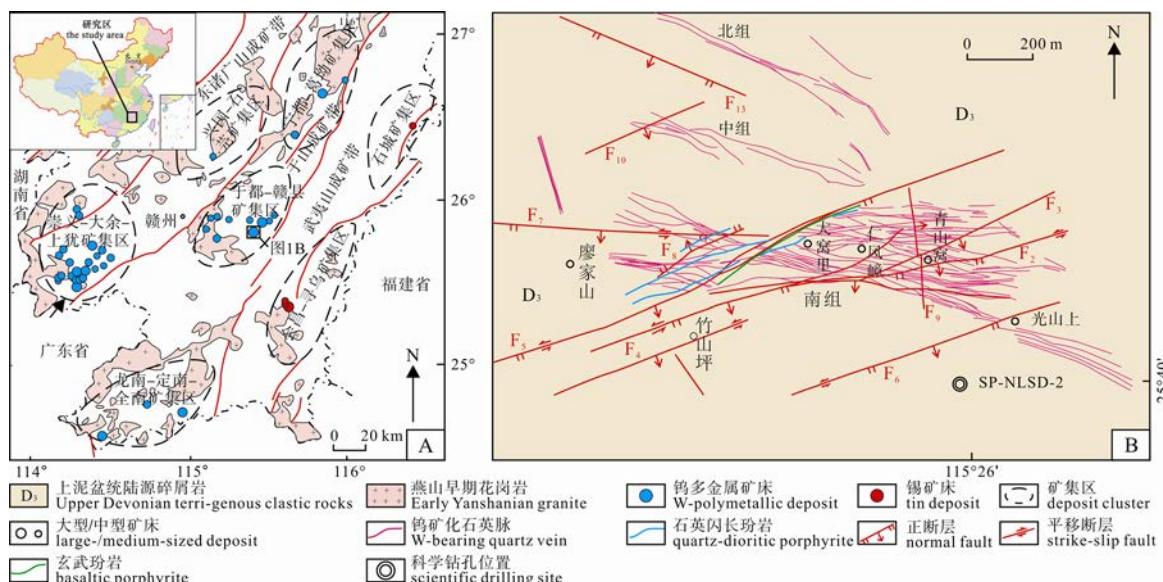


图 1 赣南燕山早期花岗岩体及钨多金属矿床分布图(A, 据 Feng et al., 2011)和 盘古山钨矿地质图(B, 据江西盘古山钨业有限公司, 2005)

Fig. 1 Distribution of Early Yanshanian granites and W-polymetallic deposits in South Jiangxi Province (A, after Feng et al., 2011) and geological map of the Pangushan tungsten deposit (B, after Jiangxi Pangushan Tungsten Co.Ltd, 2005)

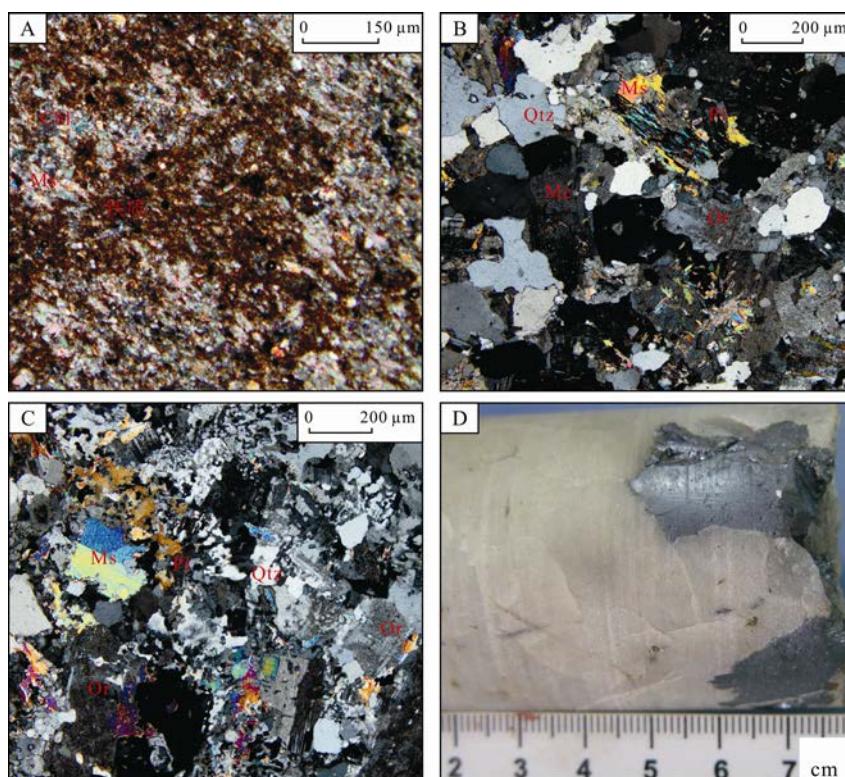


图 2 白云母角岩(A)、中细粒二云母钾长花岗岩(B)、云英岩化花岗岩(C)的显微照片和 辉钼矿化石英脉的手标本照片(D)

Fig. 2 Microphotographs of muscovite hornfels(A), medium- to fine-grained K-feldspar granite (B), greisenized granite (C) and hand specimen of molybdenite-bearing quartz (D)

样品分别采于 SP-NLSD-2 钻孔深度 767 m(A)、1348 m(B)、1288 m(C) 和 1291 m(D) 处；

Qtz-石英; Or-正长石; Pl-斜长石; Mc-微斜长石; Chl-绿泥石; Ms-白云母

sampling depths in SP-NLSD-2 borehole are 767 m(A), 1348 m(B), 1288 m(C) and 1291 m(D), respectively;

Qtz-quartz; Or-orthoclase; Pl-plagioclase; Mc-microcline; Chl-chlorite; Ms-muscovite

斜长石仅 20%~30%，钾长石主要为微斜长石和正长石，条纹长石和透长石较少(图 2B)。顶部的云英岩化花岗岩呈灰白色，细粒结构，块状构造，成分主要为石英(50%~60%)、长石(30%~35%)和白云母(5%~7%)，石英有过半为蚀变产物，呈蠕虫状交代长石和早期石英，长石主要有正长石、微斜长石、斜长石等，因云英岩化、泥化等大多已面目全非，只保留长石假象(图 2C)。云英岩化花岗岩与中细粒二云母钾长花岗岩没有明显界限，呈渐变过渡关系。除隐伏花岗岩体外，矿区还发育有闪长玢岩和玄武玢岩两种岩脉，均出露地表，在已开拓的各中段巷道也可见到，岩脉形态简单，往深部分支条数增多，形态趋于复杂，均错断矿脉，为成矿后产物。

钨矿石英脉是矿山历来开采的主体，主要产于隐伏花岗岩体的外接触带震旦系和泥盆系中，并深入花岗岩体内，由南、中、北及东南组 4 组矿脉带构成。前 3 组具工业价值的矿脉共 387 条，其中，南组 376 条，矿化最强，规模最大，占总储量的 90.2%，北组 6 条，占总储量的 7.6%，中组 5 条，占总储量的 2.2%。矿脉均倾向南，倾角 35°~85°，南组最陡，中组次之，北组最缓，三组矿脉带总体向深部收敛，向浅部散开，形似帚状。东南组矿脉带为 SP-NLSD-2 所揭露，明显增加了矿山资源储量，该组矿脉主要赋存在震旦系中，也产于上泥盆统或深部隐伏花岗岩体中，规模较大、矿化较好的石英脉 16 条，视厚度 0.15~9.14 m 不等，真厚度 0.06~1.47 m，外带石英脉一般有黑钨矿、白钨矿、辉钼矿、辉铋矿、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿等，内带石英脉发育粗粒辉钼矿，局部可见细脉状黑钨矿化。此外，东南组矿脉带中还发育大量矿化石英细脉及云母线，为“五层楼+地下室”成矿结构中的顶层，很好地指示矿床深部良好的找矿前景。

以往认为钨矿石英脉是盘古山钨矿的主要产出形式，但 SP-NLSD-2 钻孔揭露了新矿化类型，即破碎带型钨多金属矿，且找矿潜力较大。矿体产于标高 43~29 m(图 3)，视厚度近 14 m(包括顶板的矿化裂隙带)，主要由成矿热液充填破碎带并胶结岩石角砾形成，以发育结晶颗粒粗大、品位极高的方铅矿、闪锌矿、白钨矿、磁黄铁矿和黄铁矿为特征，少量辉钼矿、辉铋矿、黑钨矿、毒砂等矿化，属中低温热液交代蚀变岩型矿化体，是矿山未来值得探索的找矿对象。

## 1 采样及分析方法

用于挑选锆石的肉红色中细粒二云母钾长花

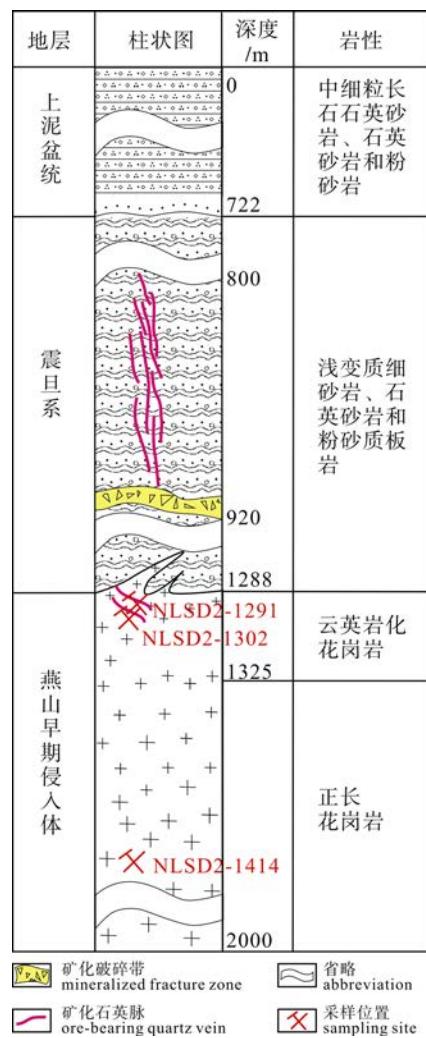


图 3 科学钻孔 SP-NLSD-2 柱状图

Fig. 3 Bore histogram of SP-NLSD-2

岗岩采自钻孔 SP-NLSD-2(坐标: 25°40'06"N, 115°26'16"E)的 1414 m 深度(标高-467 m)，样品编号为 NLSD2-1414(图 3)。岩石呈肉红色，中细粒结构，块状构造，矿物成分由长石(约 55%)、石英(约 40%)、白云母(1%~3%)、黑云母(1%~2%)等组成，长石以钾长石为主，少量斜长石，岩石局部发育较强的硅化、泥化及较弱的白云母化(图 2B)。经淘洗、磁选等程序挑出的锆石粘贴在环氧树脂表面打磨抛光制靶，通过透射光和反射光显微镜观察，选择合适的样品在 JXA-8800R 型电子探针上进行阴极发光研究(图 4)。

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年在中国地质科学院矿产资源研究所国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室完成，所用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 和与之配套的 New Wave UP 213 激光剥蚀系统。激光剥蚀束斑直径 25 μm，频率 10 Hz，能量密度 2.5 J/cm<sup>2</sup>，以 He 为载气。数据分析前用锆石 GJ-1 调试仪器，使之达到最优状态，锆石 U-Pb 定年以锆石 GJ-1 为外标，U、Th 含量以锆石 M127(U:

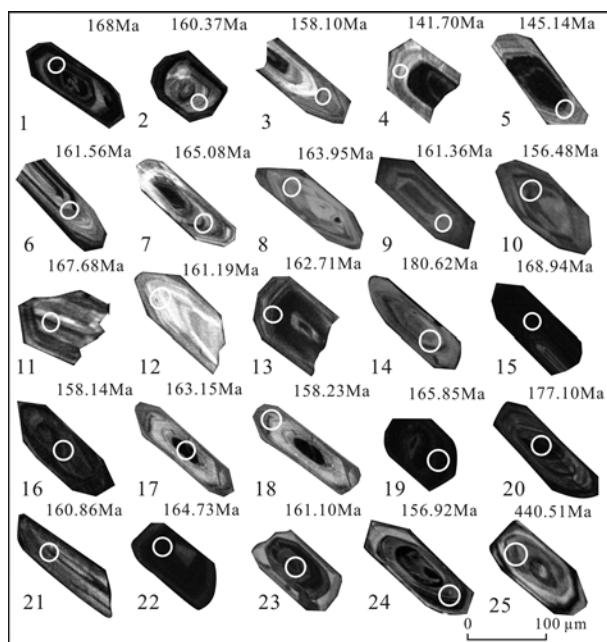


图 4 盘古山隐伏花岗岩体锆石的阴极发光图像  
(右上角的数据分别表示 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄)

Fig. 4 Cathodoluminescence images of zircons and analyzed points in the concealed Pangushan granite  
(data in the upper-right corner represent  
the  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  ages)

$923 \times 10^{-6}$ ; Th:  $439 \times 10^{-6}$ ; Th/U: 0.475)(Nasdala et al., 2008)为外标进行校正,然后采用单点剥蚀的方式进行测试。测试过程中每测定5个样品前后重复测定两个锆石GJ-1对样品进行校正,并测定一个锆石Plesovice,观察仪器的状态以保证测试的精确度。测试数据经ICPMsDataCal程序(Liu et al., 2010)处理后采用Isoplot 3.0程序作出锆石年龄谐和图,详细测试过程可参见文献侯可军等(2009)。

2件辉钼矿样品分别采自钻孔SP-NLSD-2深度1291 m和1302 m(标高分别为-344 m和-355 m)处的内带石英脉中(图2D和图3)。脉体均发育于盘古山隐伏花岗岩体顶部的灰白色云英岩化花岗岩中,脉体两侧一般以宽0.5~3 cm的长石带与花岗岩过渡,由岩体向石英脉,长石逐渐减少,脉宽分别为0.26 m和0.52 m,倾角40°~60°,矿物组合极简单,为石英-辉钼矿-长石,石英呈亮白色,玻璃光泽,透明度极高,辉钼矿呈铅灰色,结晶颗粒粗大(粒径1~2.5 cm),纯度高,硬度低,有挠性,污手且有油腻感,长石呈白色或肉红色,粒径一般0.2~0.5 cm。获取辉钼矿样品的方法是,用小刀把辉钼矿颗粒从手标本上剥离并在实体显微镜下进一步检查和提纯,保证待测辉钼矿纯度达99%以上,之后将辉钼矿磨碎至0.05~0.1 mm并混合均匀,以避免大颗粒辉钼矿中由于Re和Os的失耦而引起的测年误差(Stein et al., 2003)。

ICP-MS 辉钼矿 Re-Os 同位素分析测试在中国

地质科学院国家地质实验测试中心进行,采用美国TJA公司生产的电感耦合等离子体质谱仪(TJA PQ EXCell ICP-MS)测定Re和Os同位素比值,全流程空白Re为0.7 pg,普Os为1.0 ng, $^{187}\text{Os}$ 为0.4 pg。Re、Os空白远低于样品含量,对测试结果不会有显著影响。测试工作主要包括样品的分解(采用Carius管封闭溶样)、蒸馏分离Os、萃取分离Re和质谱测定4个步骤,详细过程参见文献Du等(2004)。

## 2 分析结果

### 2.1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果

阴极发光图像显示(图4),所测锆石多呈长柱状,个别呈短柱状,自形-半自形,晶体长100~200 μm,宽30~80 μm,发育较好的锥面和柱面,生长韵律环带或振荡环带清晰,所测锆石Th/U比值均大于0.1,且绝大多数大于0.4,为典型的岩浆锆石(Belousova et al., 2002; 吴元保等, 2004)。因此,所测锆石年龄可代表岩浆结晶年龄。

本次LA-ICP-MS锆石U-Pb测年共测试25颗锆石,除数据点4、5、6、14、20和25外的19个数据点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值介于156.48~168.94 Ma,均落在谐和曲线上或附近(图5),谐和度较高(大于95%),表明这些锆石U和Pb同位素体系封闭性较好,基本没有U、Pb同位素的丢失或加入(李建康等, 2012),19个数据点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的加权平均年龄为( $161.7 \pm 1.6$ ) Ma (MSWD=2.8, probability = 0.0001),属于燕山早期第三阶段(陈毓川等, 1989)。数据点4、5、6、14和20均落于谐和曲线的下方,谐和度较低,是Pb扩散丢失的结果(陈道公等, 2001),锆石年龄不可靠,因此该5个数据点均未参与加权平均年龄计算;测点25年龄值为440.51 Ma,因数值明显偏离多数锆石年龄也未参与加权平均年龄计算,但该数据点落在谐和曲线附近,所测锆石生长韵律环带清晰, Th/U为0.12,具有岩浆锆石的特征,可能是被捕获的加里东晚期岩浆锆石,与附近区域出现加里东晚期花岗岩(如万田岩体和塘村岩体)的现象相吻合。

### 2.2 辉钼矿 Re-Os 同位素分析结果

本矿床2件辉钼矿样品Re-Os同位素测年结果列于表1,其中 $^{187}\text{Os}$ 为 $^{187}\text{Os}$ 同位素总量,Re、Os含量和模式年龄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等,模式年龄的不确定度还包括 $^{187}\text{Re}$ 的衰变常数λ的不确定度(1.02%),置信水平平均达到95%。表1显示,辉钼矿中Re含量5109.3~12810.751 ng/g, $^{187}\text{Re}$ 含量3211.268~8051.813 ng/g, $^{187}\text{Os}$ 含量8.3531~

20.8148 ng/g, 两件样品的模式年龄分别为  $(155.0 \pm 2.3)$  Ma 和  $(155.9 \pm 3.1)$  Ma, 结果吻合较好, 表明测试数据较可靠, 加权平均年龄为  $(155.3 \pm 2.8)$  Ma(MSWD=0.09, probability = 0.76), 基本可代表矿脉的形成年龄。

### 3 讨论

成岩成矿年龄是认识矿床成因和成矿规律的基础, 本文采用锆石 U-Pb LA-ICP-MS 分析方法获得了盘古山隐伏花岗岩体的年龄为  $(161.7 \pm 1.6)$  Ma; 采用辉钼矿 Re-Os 测试方法获得花岗岩体内带矿化石英脉的形成年龄为  $(155.3 \pm 2.8)$  Ma, 为揭示成岩成矿演化历史和指导找矿提供了重要依据。

#### 3.1 成岩成矿时代

毛景文等(2007)基于大量高精度成岩成矿年代学和地球动力学研究资料, 提出南岭地区大规模岩浆和成矿作用发生于 165~150 Ma, 即中晚侏罗世。这一结论又为最近几年涌现的一大批精确测年数据所验证(Feng et al., 2012), 成岩年代学方面, 赣南牛角窝、岿美山和九曲岩体分别形成于 151.1 Ma、157.7 Ma 和 159.4 Ma(王登红等, 2010), 白鹅岩体形成于 152.4 Ma(方贵聪等, 2012), 红桃岭、天门山和张天堂岩体分别形成于 151.4 Ma、151.8 Ma 和 156.9 Ma(Feng et al., 2011), 九龙脑岩体形成于 155.8 Ma(丰成友等, 2011), 西华山岩体形成于 157 Ma(Wang et al., 2011); 成矿年代学方面, 赣南的新安子、画媚坳、岿美山和荡坪钨矿分别形成于 152.2 Ma、153.4 Ma、153.7 Ma 和 157.4 Ma(王登红等, 2010), 西华山钨矿形成于 157.8 Ma(Hu et al.,

2012), 黄沙钨矿形成于 153 Ma(Huang et al., 2011), 八仙脑、茅坪和摇篮寨分别形成于 157.9 Ma、155.3 Ma 和 155.8 Ma(Feng et al., 2011), 粤北大宝山多金属矿床形成于 163.9 Ma(Wang et al., 2011)。本次对盘古山隐伏花岗岩体及其内带石英脉的定年结果表明, 两者均为中—晚侏罗世大规模岩浆-成矿活动的产物。

#### 3.2 成岩与成矿关系

莫柱孙等(1980)认为南岭地区中晚中生代花岗岩主要由古生代以来各种地壳岩石组合经过深熔或重熔作用形成花岗质岩浆并侵入形成, W、Sn、Be 等成矿元素在多次花岗岩改造作用中活化转移并逐步富集, 导致这些成矿元素在燕山早期的陆壳改造型花岗岩明显比年老的花岗岩要高, 热液过程中的碱质交代活化转移作用使其浸出并富集形成矿床(徐克勤等, 1982)。因此, 南岭地区的燕山早期花岗岩浆活动与钨锡多金属成矿作用在时间、空间和成因上势必存在密切联系。

对于盘古山钨矿床, 本研究测定花岗岩体侵入于  $(161.7 \pm 1.6)$  Ma, 岩体内带石英脉形成于  $(155.3 \pm 2.8)$  Ma, 曾载淋等(2011)测得外接触带地层中矿化石英脉年龄为 157.75~158.8 Ma, 成矿时间与成岩时间基本一致; 矿化石英脉产于岩体内外接触带, 在空间产出位置上表现出明显的密切关系; 蔡建明等(1981)通过盘古山隐伏花岗岩体和含矿石英脉中石英流体包裹体的研究表明, 岩体和含矿石英脉中的石英流体包裹体特征基本相似, 同样富含  $\text{CO}_2$  包裹体, 表明成矿溶液主要来自深部隐伏花岗岩体。此外, 本次野外工作发现, 岩体内部的矿化

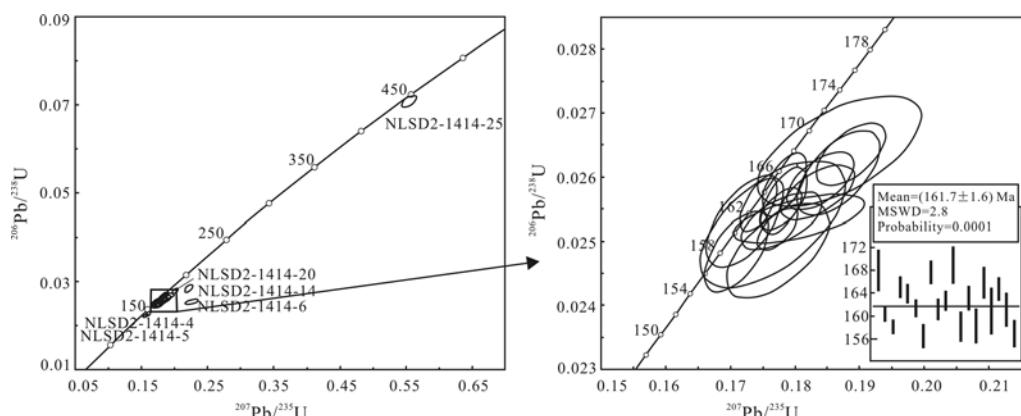


图 5 盘古山花岗岩体锆石 U-Pb 年龄谐和曲线及加权平均年龄图  
Fig. 5 Zircon U-Pb concordia and weighted average age diagrams of Pangushan granite

表 1 盘古山花岗岩体内带石英脉的辉钼矿 Re-Os 同位素分析结果

Table 1 Re-Os isotopic analytic results of molybdenite from mineralized veins in Pangushan granite

样品编号	样重/g	Re/(ng/g)		普 Os/(ng/g)		$^{187}\text{Re}/(\text{ng/g})$		$^{187}\text{Os}/(\text{ng/g})$		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
NLSD2-1291	0.05003	12810.751	120.406	0.0042	0.0120	8051.813	75.679	20.8148	0.1710	155.0	2.3
NLSD2-1302	0.05013	5109.3	78.6	0.0671	0.0019	3211.268	49.386	8.3531	0.0770	155.9	3.1

石英脉边部一般以宽 1~3 cm 的长石带与花岗岩体过渡, 由石英脉向花岗岩, 长石逐渐减少; 岩体外接触带的矿化石英脉底部发育较多长石, 局部形成长石石英脉, 长石晶体粗大, 粒径一般 1~2.5 cm, 有白色和肉红色两种颜色, 而向浅部石英脉中的长石极少见到, 相似的地质现象西华山-棕树坑地区也能见到(梅勇文, 1985), 形象地表明矿化石英脉是岩浆分异演化晚期的产物, 长石石英脉是该过程的过渡产物。

### 3.3 内带和外带石英脉型矿化

南岭地区的石英脉型钨多金属矿床既有内带石英脉亚型, 也有外带石英脉亚型, 还有内外带石英脉复合亚型。内带石英脉亚型如赣南牛岭钨矿(Feng et al., 2011), 矿化石英脉主要发育在岩体内部; 外带石英脉亚型如赣南庵前滩、漂塘和柯树岭钨矿(刘善宝等, 2008; 刘善宝等, 2010), 矿化石英脉主要发育在岩体附近地层中; 内外带石英脉复合亚型如盘古山钨矿, 岩体内带和岩体外带均发育矿化石英脉。本研究获得盘古山钨矿两条内带石英脉的年龄分别为  $(155 \pm 2.3)$  Ma 和  $(155.9 \pm 3.1)$  Ma, 曾载淋等(2011)测定两条外带石英脉的年龄分别为  $(157.75 \pm 0.76)$  Ma 和  $(158.8 \pm 5.7)$  Ma, 两组数据是在同一测试单位和测试条件下完成, 可见, 盘古山钨矿内带石英脉与外带石英脉的形成年龄在误差范围内基本一致, 应属于同一成矿作用的产物, 两者矿物组合的差异, 可能与形成的环境有关。

### 3.4 成岩成矿动力学背景

华仁民等(2005)认为南岭地区在燕山期进入后造山地球动力学环境, 170~140 Ma 间南岭地区岩石圈全面拉张-减薄, 地幔上涌-玄武质岩浆底侵引发大规模的地壳熔融, 导致大范围陆壳重熔型花岗岩的生成及侵位, 并在 160 Ma 前后形成高潮。毛景文等(2007)概括出南岭地区钨锡矿床大规模成矿的时限为 165~150 Ma, 推测古太平洋板块大约于 170 Ma 从南东向北西俯冲, 华南板块增厚, 在大陆边缘弧后陆内于 165~150 Ma 出现了一系列裂谷带或伸展带, 南岭地区 NE 向断裂与 EW 向古基底断裂的交汇部位就成了大规模成岩成矿活动的有利部位。尽管不同学者对燕山早期南岭地区的地球动力学背景尚存在争议, 但此时的岩石圈伸展环境已被普遍认同。盘古山钨矿床形成于 155~155.8 Ma, 隐伏花岗岩体形成于 161.7 Ma, 均为华南岩石圈伸展-岩体侵位-大规模成矿活动的产物。

## 4 结论

1) 盘古山钨矿床隐伏花岗岩体侵入于

$(161.7 \pm 1.6)$  Ma, 岩体内带矿化石英脉的年龄为  $(155.3 \pm 2.8)$  Ma, 两者均形成于中-晚侏罗世。

2) 盘古山钨矿床花岗岩浆活动与成矿作用的时代在误差范围内基本一致, 矿化发育于岩体内外接触带, 在空间上关系密切, 并表现出花岗岩体 长石石英脉 石英脉的渐变演化关系, 结合前人研究成果表明, 矿化石英脉是花岗岩浆分异演化晚期的产物。

3) 内带石英脉和外带石英脉形成年龄基本吻合, 应为同一成矿作用的产物。

4) 地球动力学背景上, 盘古山钨矿床及其隐伏岩体是华南岩石圈伸展-岩体侵位-大规模成矿的环境下最终形成。

## 参考文献:

- 蔡建明, 刘若兰, 曾广胜. 1981. 江西盘古山钨矿包裹体含盐度和  $\text{CO}_2$  成分的研究及其在成矿中的意义[J]. 成都地质学院学报, (2): 99-103.
- 陈道公, 李彬贤, 夏群科, 吴元保, 程昊. 2001. 变质岩中锆石 U-Pb 计时问题评述——兼论大别造山带锆石定年[J]. 岩石学报, 17(01): 129-138.
- 陈毓川, 裴荣富, 张宏良, 林新多, 白鸽, 李崇佑, 胡永嘉, 刘姤群, 冼柏琪. 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.
- 地球学报编辑部. 2013. 南岭科学钻探金属异常验证孔 (SP-NLSD-2)顺利终孔并通过验收[J]. 地球学报, 34(1): 125.
- 董树文, 李廷栋, SinoProbe 团队. 2011. 深部探测技术与实验研究 (SinoProbe)[J]. 地球学报, 32(S1): 3-23.
- 方贵聪, 陈毓川, 陈郑辉, 陈振宇, 赵正, 黄凡. 2012. 赣南白鹅花岗岩中锆石特征和年龄及其对多期次成矿的指示意义[J]. 岩矿测试, 31(03): 559-566.
- 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.
- 侯可军, 李延河, 田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质, 28(4): 481-492.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 林锦富, 姚军明, 张展适, 顾晟彦, 刘晓东, 戚华文. 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[J]. 高校地质学报, 79(5): 291-304.
- 江西盘古山钨业有限公司. 2005. 江西省于都县盘古山钨矿资源潜力调查报告[R]. 江西于都: 江西盘古山钨业有限公司.
- 李建康, 陈振宇, 陈郑辉, 侯可军, 赵正. 2012. 江西赣县韩坊岩体的成岩时代及成矿条件分析[J]. 岩矿测试, 31(4): 717-723.
- 刘善宝, 陈毓川, 范世祥, 许建祥, 屈文俊, 应立娟. 2010. 南岭成矿带中、东段的第二找矿空间——来自同位素年代学的证据[J]. 中国地质, 37(4): 1034-1049.
- 刘善宝, 王登红, 陈毓川, 李建康, 应立娟, 许建祥, 曾载淋. 2008. 赣南崇义-大余-上犹矿集区不同类型含矿石英中白云母  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 82(7): 932-940.
- 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[J]. 岩石学报, 23(10): 2329-2338.
- 梅勇文. 1985. 西华山-棕树坑地区钨矿分布规律[J]. 地质与勘探, 21(4): 11-16.
- 莫柱孙, 叶伯丹, 潘维祖, 江绍年, 庄锦良, 高秉璋, 刘金全, 刘文章. 1980. 南岭花岗岩地质学[M]. 北京: 地质出版社.
- 任英忱, 程敏清, 王存昌. 1986. 江西盘古山石英脉型钨矿床钨铋矿物特征及矿物的垂直分带[J]. 矿床地质, 5(2): 63-74.
- 谭运金, 童启荃, 皮俊明, 邓国政. 2002. 盘古山钨矿床近矿热液蚀变岩石的地质地球化学[J]. 中国钨业, 17(05): 21-26.
- 汪群英. 2012. 江西盘古山钨矿床成矿流体特征[D]. 荆州: 长江大学.
- 王登红, 陈郑辉, 陈毓川, 唐菊兴, 李建康, 应立娟, 王成辉, 刘善宝, 李立兴, 秦燕. 2010. 我国重要矿产地成岩成矿年代学研究新数据[J]. 地质学报, 84(007): 1030-1040.
- 王登红, 陈郑辉, 黄国成, 武国忠, 陈芳. 2012. 华南“南钨北扩”、“东钨西扩”及其找矿方向探讨[J]. 大地构造与成矿学, 36(3): 322-329.
- 王旭东, 倪培, 张伯声, 王天刚. 2010. 江西盘古山石英脉型钨矿床流体包裹体研究[J]. 岩石矿物学杂志, 29(5): 539-550.
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 49(16): 1589-1604.
- 徐克勤, 胡受奚, 孙明志, 叶俊. 1982. 华南两个成因系列花岗岩及其成矿特征[J]. 矿床地质, 1(2): 1-14.
- 叶际祎, 邓国政, 皮俊明, 王正友. 2000. 盘古山钨矿深部矿床赋存特征分析及找矿前景[J]. 中国钨业, 15(04): 17-19.
- 曾广胜. 1980. 盘古山钨矿容矿裂隙及盲矿预测[J]. 地质与勘探, (12): 13-16.
- 曾载淋, 张永忠, 陈郑辉, 陈毓川, 朱祥培, 童启荃, 郑兵华, 周瑶. 2011. 江西省于都县盘古山钨铋(碲)矿床地质特征及成矿年代学研究[J]. 矿床地质, 30(5): 949-958.

## References:

- BELOUSOVA E, GRIFFIN W, O'REILLY S Y, FISHER N. 2002. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 143(5): 602-622.
- CAI Jian-ming, LIU Ruo-lan, ZENG Guang-sheng. 1981. Study on salinity and CO<sub>2</sub> in fluid inclusion and its relation to mineralization of Pangushan tungsten deposit, Jiangxi Province, China[J]. Journal of Chengdu College of Geology, (2): 99-103(in Chinese).
- CHEN Dao-gong., LI Bin-xian, XIA Qun-ke, WU Yuan-bao, CHENG Hao. 2001. An evaluation of zircon U-Pb dating for metamorphic rocks and comments on zircon ages of Dabie orogen[J]. Acta Petrologica Sinica, 17(1): 129-138(in Chinese with English abstract).
- CHEN Yu-chuan, PEI Rong-fu, ZHANG Hong-liang, LIN Xin-duo, BAI Ge, LI Chong-you, HU Yong-jia, LIU Gou-qun, XIAN Bo-qi. 1989. Metal deposits related to Mesozoic granitoids in Nanling region[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- DONG S W, LI T D, GAO R, HOU H S, LI Y K, ZHANG S H, KELLER G R, LIU M. 2011. A multidisciplinary earth science research program in China[J]. EOS, 92(38): 313-314.
- DONG Shu-wen, LI Ting-dong, SinoProbe Group. 2011. Deep exploration technology and experimentation (SinoProbe)[J]. Acta Geologica Sinica, 32(S1): 3-23(in Chinese with English abstract).
- DU A D, WU S Q, SUN D Z, WANG S X, QU W J, MARKEY R, STAIN H, MORGAN J, MALINOVSKIY D. 2004. Preparation and Certification of Re Os Dating Reference Materials: Molybdenites HLP and JDC[J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 28(1): 41-52.
- Editorial Office of Acta Geoscientica Sinica. 2013. Termination and Acceptance of Nanling Scientific Drilling for Metal Anomaly Verification[J]. Acta Geoscientica Sinica, 34(1): 125(in Chinese).
- FANG Gui-cong, CHEN Yu-chuan, CHEN Zheng-hui, CHEN Zhen-yu, ZHAO Zheng, HUANG Fan. 2012. Characteristics and Age of zircons of Bai'e granite in South Jiangxi and its enlightenment of multistage mineralization[J]. Rock and Mineral Analysis, 31(3): 559-566(in Chinese with English abstract).
- FENG C Y, ZENG Z L, ZHANG D Q, QU W J, DU A D, LI D X, SHE H Q. 2011. SHRIMP zircon U-Pb and molybdenite Re-Os isotopic dating of the tungsten deposits in the Tianmenshan-Hongtaoling W-Sn orefield, southern Jiangxi Province, China, and geological implications[J]. Ore Geology Reviews, 43(1): 8-25.
- FENG C Y, ZHANG D Q, ZENG Z L, WANG S. 2012. Chronology of the tungsten deposits in southern Jiangxi Province, and episodes and zonation of the regional W-Sn mineralization-evidence from high-precision zircon U-Pb, molybdenite Re-Os and muscovite Ar-Ar ages[J]. Acta Geologica Sinica, 86(3): 555-567.
- FENG Cheng-you, HUANG Fan, ZENG Zai-lin, QU Wen-jun, DING Ming. 2011. Isotopic chronology of Jiulongao granite and Hongshuizhai greisen-type tungsten deposit in South Jiangxi Province[J]. Journal of Jilin University (Earth Sciences Edition), 41(1): 111-121(in Chinese with English abstract).
- HOU Ke-jun, LI Yan-he, TIAN You-rong. 2009. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation-multi ion counting-ICP-MS[J]. Mineral Deposits, 28(4): 481-492(in Chinese with English abstract).
- HU R Z, WEI W F, BI X W, PENG J T, QI Y Q, WU L Y, CHEN Y W. 2012. Molybdenite Re-Os and muscovite <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating of the Xihuashan tungsten deposit, central Nanling district, South China[J]. Lithos, (150): 111-118.
- HUA Ren-min, CHEN Pei-rong, ZHANG Wen-lan, LIN Jin-fu, YAO Jun-ming, ZHANG Zhan-shi, GU Sheng-yan, LIU Xiao-dong, QI Hua-wen. 2005. Metallogenesis and their geodynamic setting related to Mesozoic granitoids in the Nanling range[J]. Geological Journal of China Universites, 79(5): 291-304(in Chinese with English abstract).
- HUANG F, FENG C Y, CHEN Y C, YING L J, CHEN Z H, ZENG Z L, QU W J. 2011. Isotopic Chronological Study of the Huangsha Tieshanlong Quartz Vein Type Tungsten Deposit and Timescale of Molybdenum Mineralization in Southern Jiangxi Province, China[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 85(6): 1434-1447.

- Jiangxi Pangushan Tungsten Co. Ltd. 2005. Jiangxi Yudu Pangushan tungsten resource potential survey[R]. Yudu, Jiangxi: Jiangxi Pangushan Tungsten Co. Ltd.(in Chinese).
- LI Jian-kang, CHEN Zhen-yu, CHEN Zheng-hui, HOU Ke-jun, ZHAO Zheng. 2012. The dating and analysis of ore-forming conditions for Hanfang granite intrusions in Ganxian, Jiangxi Province[J]. Rock and Mineral Analysis, 31(4): 717-723(in Chinese with English abstract).
- LIU Shan-bao, CHEN Yu-chuan, FAN Shi-xiang, XU Jian-xiang, QU Wen-jun, YING Li-juan. 2010. The second ore-prospecting space in the eastern and central parts of the Nanling metallogenic belt: evidence from isotopic chronology[J]. Geology in China, 37(4): 1034-1049(in Chinese with English abstract).
- LIU Shan-bao, WANG Deng-hong, CHEN Yu-chuan, LI Jian-kang, YING Li-juan, XU Jiang-xiang, ZENG Zai-lin. 2008.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  ages of muscovite from different types tungsten-bearing quartz veins in the Chong-Yu-You concentrated mineral area in Gannan region and its geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 82(7): 932-940(in Chinese with English abstract).
- LIU Y S, GAO S, HU Z C, GAO C G, ZONG K Q, WANG D B. 2010. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology, 51(1-2): 537-571.
- MAO Jing-wen, XIE Gui-qing, GUO Chun-li, CHEN Yu-chuan. 2008. Large-scale tungsten-tin mineralization in the Nanling region, South China: metallogenic ages and corresponding geodynamic processes[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(10): 2329-2338(in Chinese with English abstract).
- MEI Yong-wen. 1985. Distribution regularities of tungsten deposits in Xihuashan-Zongshukeng area[J]. Geology and Exploration, 21(4): 11-16(in Chinese with English abstract).
- MO Zhu-sun, YE Bo-dan, PAN Wei-zu, JIANG Shao-nian, ZHUANG Jin-liang, GAO Bing-zhang, LIU Jin-quan, LIU Jin-zhang. 1980. Geology of granites in Nanling range[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- NASDALA L, HOFMEISTER W, NORBERG N, MARTINSON J M, CORFU F, DÖRR W, KAMO S L, KENNEDY A K, KRONZ A, REINERS P W. 2008. Zircon M257—a Homogeneous Natural Reference Material for the Ion Microprobe U-Pb Analysis of Zircon[J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 32(3): 247-265.
- REN Ying-chen, CHENG Min-qing, WANG Cun-chang. 1986. Characteristics and vertical zoning of tungsten-bismuth minerals in the Pangushan quartz-vein type tungsten deposit of Jiangxi Province[J]. Mineral Deposits, 5(2): 63-74(in Chinese with English abstract).
- STEIN H, SCHERSTÉN A, HANNAH J, MARKEY R. 2003. Sub-grain-scale decoupling of Re and  $^{187}\text{Os}$  and assessment of laser ablation ICP-MS spot dating in molybdenite[J]. Geochimica et cosmochimica acta, 67(19): 3673-3686.
- TAN Yun-jin, TONG Qi-quan, PI Jun-ming, DENG Guo-zheng. 2002. Geological-geochemical features of ore-near hydrothermal alteration rocks in Pangushan tungsten deposit[J]. China Tungsten Industry, 17(05): 21-26(in Chinese with English abstract).
- WANG Deng-hong, CHEN Zheng-hui, CHEN Yu-chuan, TANG Ju-xing, LI Jian-kang, YING Li-juan, WANG Cheng-hui, LIU Shan-bao, LI Li-xing, QIN Yan. 2010. New data of the rock-forming and ore-forming chronology for China's important mineral resources areas[J]. Acta Geologica Sinica, 84(007): 1030-1040(in Chinese with English abstract).
- WANG Deng-hong, CHEN Zheng-hui, HUANG Guo-cheng, WU Guo-zhong, CHEN Fang. 2012. Northwards and westwards prospecting for tungsten and its significance in South China[J]. Geotectonica et Metallogenesis, 36(3): 322-329(in Chinese with English abstract).
- WANG F Y, LI C Y, LING M X, ZHANG H, SUN Y L, SUN W. 2011. Geochronology of the Xihuashan Tungsten Deposit in Southeastern China: Constraints from Re-Os and U-Pb Dating[J]. Resource Geology, 61(4): 414-423.
- WANG L, HU M, YANG Z, QU W, XIA J, CHEN K. 2011. U-Pb and Re-Os geochronology and geodynamic setting of the Daobaoшan polymetallic deposit, northern Guangdong Province, South China[J]. Ore Geology Reviews, 43(1): 40-49.
- WANG Qun-ying. 2012. Ore-forming fluids characteristics of pangushan tungsten deposit in Jiangxi Province[D]. Jingzhou: Yangtze University(in Chinese with English abstract).
- WANG Xu-dong, NI Pei, ZHANG Bo-sheng, WANG Tian-gang. 2010. Fluid inclusion studies of the Pangushan quartz-vein type tungsten deposit in Southern Jiangxi Province[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 29(5): 539-550(in Chinese with English abstract).
- WU Yuan-bao, ZHENG Yong-fei. 2004. Zircon genesis mineralogy and its restriction for U-Pb age[J]. Chinese Science Bulletin, 49(16): 1589-1604(in Chinese with English abstract).
- XU Ke-qin, HU Shou-xi, SUN Ming-zhi, YE Jun. 1982. On the two genetic series of granites in South-eastern China and their metallogenetic characteristics[J]. Mineral Deposits, 1(2): 1-14(in Chinese with English abstract).
- YE Ji-wei, DENG Guo-zheng, PI Jun-ming, WANG Zheng-you. 2000. An analysis on the characteristics of deep deposit of Pangushan tungsten mine and the vistas of prospecting[J]. China Tungsten Industry, 15(4): 17-19(in Chinese with English abstract).
- ZENG Guang-sheng. 1980. Ore-hosting fractures and blind ore-body prediction in Pangushan tungsten deposit[J]. Geology and Exploration, 12(12): 13-16(in Chinese with English abstract).
- ZENG Zai-lin, ZHANG Yong-zhong, CHEN Zheng-hui, CHEN Yu-chuan, ZHU Xiang-pei, TONG Qi-quan, ZHENG Bing-hua, ZHOU Yao. 2011. Geological characteristics and metallogenic epoch of Pangushan W-Bi (Te) ore deposit in Yudu County, Jiangxi Province[J]. Mineral Deposits, 30(5): 949-958(in Chinese with English abstract).