

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

陈润生^{1,2}, 李建威^{1,3*}, 曹康¹, 瞿承焱², 李玉娟²

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074

2. 福建省地质调查研究院, 福建福州 350013

3. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

摘要: 上房钨矿床是武夷山成矿带新近发现的大型白钨矿矿床, 也是福建省发现的钨矿新类型。矿床产于上房似斑状黑云母正长花岗岩体的外接触带上, 赋矿围岩主要为古元古代大金山岩组斜长角闪岩和黑云斜长变粒岩, 矿体产状与围岩的片理一致, 矿石类型为石英细脉型和浸染型, 金属矿物主要为白钨矿和辉钼矿, 其次为少量磁黄铁矿、黄铁矿和黄铜矿等。野外地质观察和矿化特征研究表明, 上房钨矿的矿床类型为接触交代型。采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 测年技术, 对与成矿有关的上房似斑状黑云母正长花岗岩和与白钨矿共生的辉钼矿进行成岩成矿年代测定, 获得上房似斑状正长花岗岩体的成岩年龄为 158.8 ± 1.6 Ma(1σ), 辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 $159.40 \pm 0.86 \sim 149.92 \pm 1.39$ Ma($n=5$), 模式年龄的加权平均值为 156.5 ± 4.0 Ma, 等时线年龄为 158.1 ± 5.4 Ma(2σ)。同位素定年结果表明, 上房钨矿床与矿区似斑状黑云母正长花岗岩关系密切, 二者均形成于晚侏罗世, 与华南地区中生代大规模钨多金属矿床的成矿时代一致。传统观点认为, 华南地区晚侏罗世($160 \sim 150$ Ma)钨多金属矿床大规模成矿作用集中于南岭成矿带中东段的湘南、粤北和赣南地区, 而本文的研究结果则说明这一区域成矿作用向北东延伸进入到武夷山成矿带的闽西和闽北地区。因此, 华南钨多金属矿床的空间分布不是传统认为的近东西向, 而是具有北东向或北东东向展布的特点, 是滨太平洋构造一岩浆一成矿域的重要组成部分。

关键词: 锆石 U-Pb 定年; 辉钼矿 Re-Os 定年; 地质年代学; 白钨矿; 成矿带。

中图分类号: P597

文章编号: 1000-2383(2013)02-0289-16

收稿日期: 2012-06-23

Zircon U-Pb and Molybdenite Re-Os dating of the Shangfang Tungsten Deposit in Northern Fujian Province: Implications for Regional Mineralization

CHEN Run-sheng^{1,2}, LI Jian-wei^{1,3*}, CAO Kang¹, QU Cheng-yi², LI Yu-juan²

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Geological Survey of Fujian Province, Fuzhou 350013, China

3. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The newly discovered large-scale Shangfang tungsten deposit represents a new type of tungsten mineralization in Fujian Province, offering new perspectives for exploration of tungsten deposits in the province. The ore bodies are mostly hosted in amphibolite and biotite leptynite of the Paleoproterozoic Dajinshan Formation proximal to the Shangfang syenogranite intrusion and, less significantly, in the contact zone between the intrusion and the metamorphic rocks. Tungsten mineralization consists of quartz-scheelite veins and disseminated scheelite in alteration assemblages, with scheelite and molybdenite as the main ore minerals coexisting with minor pyrrhotite, pyrite, and chalcopyrite. Field relations and petrographic characterization indicate that the Shangfang deposit is typified by skarn mineralization. Zircons from the Shangfang syenogranite intrusion have LA-ICP-MS U-Pb age of 158.8 ± 1.6 Ma (1σ), whereas five molybdenite separates yield model ages ranging from 159.40 ± 0.86 to 149.92 ± 1.39 Ma with a weighted mean of 156.5 ± 4.0 Ma, which is consistent with an isochrone age of 158.1 ± 5.4 Ma (2σ). The geochronological data thus demonstrate that the Shangfang tungsten

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 90814004); 中央高校基本科研业务费专项资金(No. CUG090102); 地质过程与矿产资源国家重点实验室科技部专项基金(No. MSFGPMR201005)。

作者简介: 陈润生(1968—), 男, 博士研究生, 矿产普查与勘探专业。

* 通讯作者: 李建威, E-mail: jwli@cug.edu.cn

deposit formed in the Late Jurassic and is genetically related to the syenogranite intrusion in the mine. The data also indicate that the Shangfang deposit resulted from the pervasive Late Mesozoic tungsten mineralization in South China. It has long been considered that the Late Jurassic tungsten metallogenic belt in South China is restricted in the middle-eastern portion of the Nanling Range covering areas of southern Hunan, northern Guangdong, and southern Jiangxi Province. The discovery of the Shangfang deposit, however, allows this metallogenic belt to extend into western and northern Fujian Province, which is an integral part of the Wuyishan metallogenic belt. As such, the South China polymetallic belt is distributed along a northeast strike, rather than an east-west extension as previously thought, and can be regarded as an important part of the giant Circle-Pacific tectono-magmatic-metallogenic domain.

Key words: Zircon U-Pb dating; molybdenite Re-Os dating; geochronology; scheelite deposit; metallogenic belt.

福建上房钨矿床位于武夷山成矿带东北部、福建省建瓯市东部。该矿床于 2007 年由福建省地调院在上房地区通过钨异常查证及预查和普查工作中发现，并于 2010 年 5 月转入详查。详查工作在上房矿区的下房矿段 3—20 号勘探线施工钻孔 60 个，累计孔深 1.6×10^4 m，获得 3 条主要矿体的 332+333 钨金属量 (WO_3) 5 万余 t，达到大型钨矿的规模。下房矿段 20 号勘探线以东尚未开展工作，但现有化探结果显示仍具有极大的找矿潜力。上房钨矿具有埋藏浅、规模大的特点，是继 20 世纪 60 年代福建行洛坑特大型钨矿发现以来，在武夷山成矿带内新发现的又一大型钨矿床，也是福建省内发现的钨矿床新类型，代表了福建近半个世纪以来钨矿找矿的重大突破。

武夷山成矿带位于华南成矿省的东北部。华南地区是我国东部中生代“大规模成矿”或“成矿大爆发”(华仁民和毛景文, 1999; 毛景文等, 1999; 华仁民等, 2005a) 最具代表性的区带，在成矿时代上具有集中分布和分阶段性的特点(毛景文等, 2004a, 2007, 2008, 2009; 华仁民等, 2005a, 2005b, 2005c; 彭建堂等, 2008)。华南是我国钨矿最集中的地区，也是世界上重要的钨矿成矿区之一，钨多金属矿主要分布于江西、湖南、广东和福建等省(康永孚和李崇佑, 1991; 康永孚等, 1994)。国内外学者对华南地区钨矿成矿模式、钨的矿源层、钨多金属成矿与花岗岩关系、钨矿时空分布规律等诸多方面均进行了深入研究。一般认为，大、中型钨矿主要产于北东向丽水—政和一大埔深断裂带以西的华夏地块内，成矿多与壳源花岗岩有关；而断裂带以东的东南沿海火山断拗带属于活动大陆边缘，岩浆活动与太平洋板块俯冲关系密切，岩浆岩以幔源和壳幔混源花岗岩为主，因此很少有钨矿的形成(徐克勤和程海, 1987)。鉴于此，以往对华南钨矿的研究往往局限于福建行洛坑钨矿以西的地区，认为行洛坑钨矿是南岭钨矿带的东延部分，而再往东、北找到有重要经济价值的钨矿的可能性不大。

上房钨矿床处于武夷山成矿带东北段、政和一大埔断裂带偏东侧，是目前华南地区已知的产于最

东北端的大型钨矿床。因此，准确限定上房白钨矿及与之有关的花岗岩形成时代，对深化华南地区钨多金属矿成矿规律的认识、指导本地区钨矿找矿工作具有重要的理论和实际意义。

1 区域成矿地质背景

武夷山成矿带位于中国东南活动大陆边缘内带，属华夏陆块的重要组成部分，是环太平洋中新生代巨型构造—岩浆带的重要成矿区之一，大地构造分区属古华夏构造域，包括华夏陆块与东南沿海火山断拗带两个一级构造单元。该区经历了华夏古陆的形成与裂解、扬子与华夏板块的碰撞拼合、太平洋板块与欧亚大陆板块的相互作用等重大地质构造事件(福建省地质矿产勘查开发局, 1998)。上房白钨矿区位于武夷成矿带的东北部，处于华夏陆块与东南沿海火山断拗带两个一级构造单元交汇部位，构造上位于政和一大埔北东向断裂带偏东侧(图 1)。

区域地层主要出露前寒武纪变质岩和少量中生代火山—沉积岩系。前寒武纪变质岩分上、下两套变质程度不同的岩石组合。下部为麻源群，包括大金山组和南山组，主要由一套角闪岩相变质岩组成，原岩为复陆屑建造及火山复陆屑建造，主体属陆缘广海盆地沉积(高天均等, 1999)。麻源群变粒岩及斜长角闪岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 1 766~1 799 Ma(Li, 1997; 李献华等, 1998; Wan *et al.*, 2007)，属古元古代晚期变质作用的产物。上部为马面山群，从上到下划分为龙北溪组、东岩组及大岭组，主要由一套低角闪岩相—绿片岩相变质岩组成。马面山群东岩组变火山岩具明显的双峰式火山岩特征(吴淦国等, 2000, 2004; 张达等, 2005, 2009; 张祥信, 2006)。马面山群中变玄武岩或角斑岩的锆石 U-Pb 年龄为 721~818 Ma(Li *et al.*, 2005; 张达等, 2005; Wan *et al.*, 2007)，属新元古代的产物。前人研究认为，古元古界麻源群是武夷山成矿带内构造

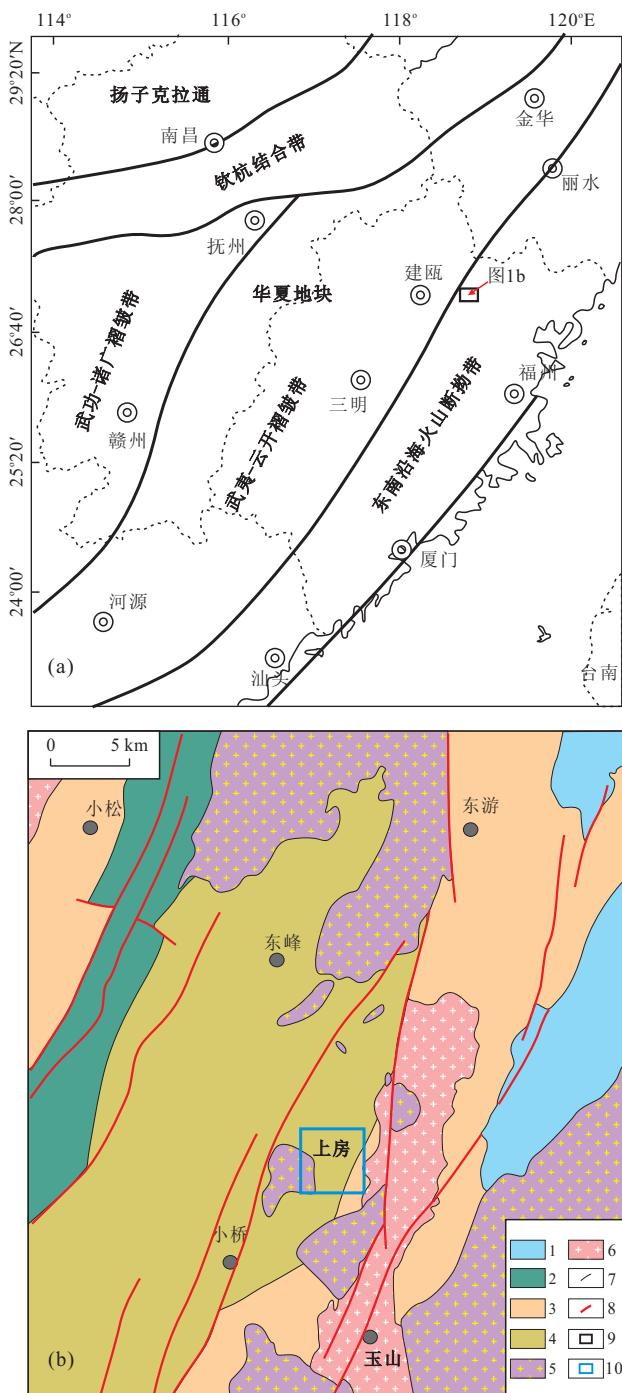


图1 闽北上房白钨矿大地构造位置图(a)和区域地质简图(b)
Fig. 1 Tectonic location (a) and regional geology (b) of the Shangfang tungsten deposit in northern Fujian Province
1. 晚侏罗世南园组火山岩; 2. 早侏罗世梨山组沉积岩; 3. 新元古马面山群变质岩; 4. 古元古代麻源群变质岩; 5. 晚侏罗世黑云母正长花岗岩; 6. 加里东期麻状花岗岩; 7. 地质界线; 8. 脆性断裂; 9. 详查矿区范围; 10. 矿区位置示意

蚀变岩型铜铅锌多金属矿的矿源层(蔡以评等, 1997; 高天均等, 1999; 刘诗光和刘乃忠, 2003), 而新元古界马面山群则是构造蚀变岩型金矿(陈云钊,

1991, 2008; 孙晓明等, 1993; 姜耀辉等, 1995; 吴淦国等, 1999; 张克尧, 2003; 林仟同, 2010)和火山沉积变质—热液改造型铜铅锌银钴矿的矿源层(叶水泉等, 1999a, 1999b; 周兵和顾连兴, 1999; 吴淦国等, 2000; 吴建设等, 2001; 张达等, 2005, 2009; 张生辉等, 2005; 陶建华和胡明安, 2006; 张祥信, 2006; Feng et al., 2008).

区域加里东期岩浆活动强烈, 形成大量花岗岩类侵入岩, 主要沿政和一大埔断裂带或以西分布, 岩石类型以铝质钙碱性系列的二云母正长花岗岩—二长花岗岩为主, 成因上同属碰撞型花岗岩。燕山期侵入岩也非常发育, 其中燕山早期(晚侏罗世)的侵入岩规模大、分布广, 多以岩基和岩株状产出, 岩石组合为石英闪长岩—花岗闪长岩—二长花岗岩—正长花岗岩等。燕山晚期(早白垩世)的侵入岩规模相对较小, 零星分布, 以正长花岗岩为主, 主要呈岩株状产出。

2 矿区地质

上房钨矿床矿区的主要地层为古元古界大金山岩组, 岩性为灰—深灰色黑云斜长变粒岩、黑云变粒岩、石英云母片岩, 夹数层斜长角闪岩(图2)。变质程度为角闪岩相, 原岩以含碳富铝的砂泥质岩类为主, 夹基性火山岩。大金山岩组广泛分布于矿区西南部, 总体呈北北东向展布, 野外探槽及钻孔揭露情况表明, 片理或片麻理多倾向南东, 倾角为 15° ~ 70° 。岩石混合岩化较强, 长英(花岗)质脉体极其发育, 多形成条带、条纹状构造。

燕山期岩浆岩在矿区分布最为广泛, 根据野外接触关系可分为早晚两期, 其中早期主要为浅肉红色似斑状黑云母正长花岗岩, 晚期则以花岗斑岩为主(图2)。前者呈岩株状产出, 后者呈脉状沿北东和北西向展布。似斑状黑云母正长花岗岩分布于矿区西北及东南部, 隐伏于矿区下部, 多呈岩株状产出(图2), 具似斑状中细粒花岗结构, 块状构造。矿物主要成分为钾长石(30%~45%)、斜长石(20%~30%)、黑云母(约5%)、石英(20%~30%)等。钾长石斑晶多呈板柱状, 长轴方向长5~20 mm。岩体与围岩接触带附近硅化、绢英岩化等蚀变强烈。

3 矿床地质特征

上房矿区钨矿化带呈北东向展布, 矿体的地表

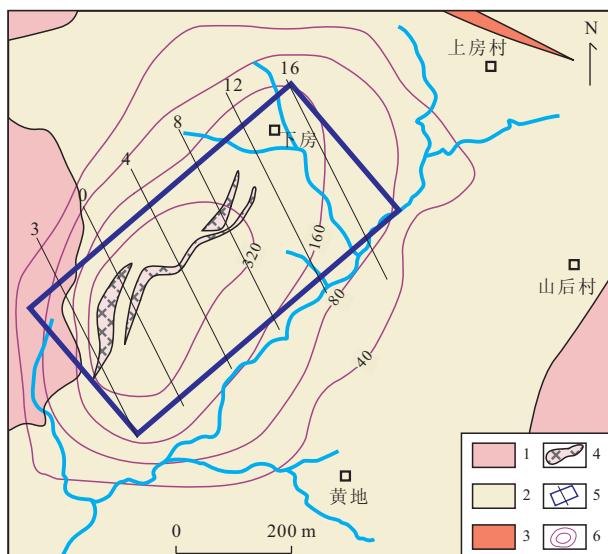


图2 闽北上房白钨矿矿区地质简图(据福建省地质调查研究院资料修编)

Fig. 2 Simplified geological map of the Shangfang tungsten deposit (modified from Fujian Geological Survey, unpublished data)

1.晚侏罗世黑云母正长花岗岩;2.古元古代麻源群变质岩;3.花岗斑岩;4.白钨矿体;5.详查区范围及勘探线编号;6.土壤测量钨异常等值线

分布范围与土壤异常浓集中心相对应(图2)。矿体走向约北东向 $30^{\circ}\sim40^{\circ}$,倾向南东,倾角 $15^{\circ}\sim30^{\circ}$,钨矿体在0~8线一带已出露地表,12线一带埋藏也较浅(矿体上伏地层不足40 m),往北东向12~20线矿体埋藏则逐步加深,整体沿走向往北东方向侧伏(图3)。矿体呈似层状或长透镜状,沿走向及倾向均延伸较长。除西侧矿体已控制边界外,其他地段边界多未控制。已编号的矿体共10条,其中规模较大的矿体有3条。根据目前控制程度可知,主要矿体延长多在1 000 m以上,沿倾向延伸多为200~300 m,最大延伸超过400 m,厚度变化较大,从1~30 m不等。

白钨矿体主要产于黑云母正长花岗岩的外接触带,具有“上钨下钼”特征。正长花岗岩中见少量辉钼矿化,但未见白钨矿化。外接触带赋矿岩石为古元古界大金山组斜长角闪(片)岩、黑云斜长变粒岩、石英云母片岩及花岗质脉体。外接触带围岩近于全岩矿化(除花岗质脉体外),但在不同的岩石中矿化富集度不同,如在斜长角闪岩和角闪片岩中白钨矿矿化较强,矿体沿片理(片麻理)呈“似层状”产出;钼矿体多产在岩体内、外接触带,围岩为绢云母化含斑中细粒正长花岗岩或斜长角闪岩。主矿体属于厚度变化

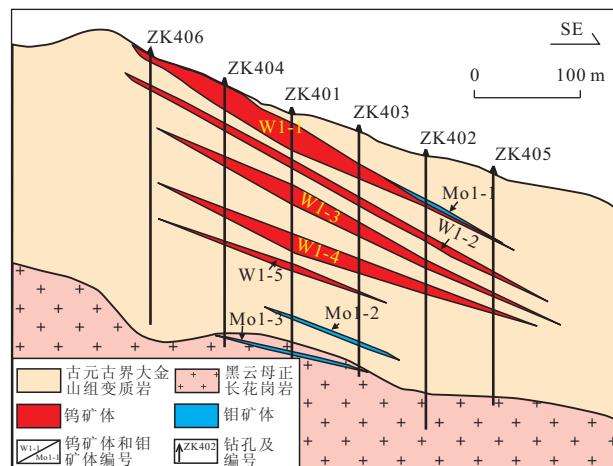


图3 上房钨矿床4号勘探线剖面图(据福建省地质调查研究院资料修编)

Fig. 3 No. 4 geological cross section of the Shangfang tungsten deposit (modified from Fujian Geological Survey, unpublished data)

较稳定的矿体,品位变化为稳定—较稳定,矿体具有厚度越大品位越高的特点。白钨矿呈他形晶粒状,部分为半自形晶板状,柱状,粒度 $0.1\sim0.5$ mm,大者 $2\sim5$ mm,呈浸染状、不规则细脉—网脉状分布于阳起石化斜长角闪岩及石英细脉或石英条带中。矿石呈充填交代结构、半自形—他形粒状结构、浸染状构造、条带状构造、团块状构造、微细脉状构造等。

上房钨矿金属矿物主要有白钨矿和辉钼矿,其次为少量的磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿和闪锌矿。非金属矿物主要有石英、阳起石、绿泥石、绢云母、钠长石,其次还有少量石榴子石、透辉石、透闪石、绿帘石、白云母、萤石和方解石等。根据主要金属矿物组合可将矿石类型划分为白钨矿—磁黄铁矿型、白钨矿—辉钼矿—磁黄铁矿型、辉钼矿型矿石,按容矿岩石划分石英脉型白钨矿矿石、蚀变变质岩型白钨矿矿石和蚀变花岗岩型钼矿石。野外地质观察和矿相学研究表明,上房钨矿的成矿大致经历了4个阶段,从早到晚依次为石榴子石—透辉石阶段(相当于干砂卡岩阶段)、含水砂卡岩阶段(砂卡岩退化蚀变阶段)、石英—硫化物阶段及碳酸盐阶段(低温蚀变阶段)。其中砂卡岩退化蚀变阶段由透闪石—阳起石(部分蚀变为绿泥石)—磁黄铁矿组成,是白钨矿的主要成矿阶段,白钨矿与磁黄铁矿、阳起石等关系密切,凡磁黄铁矿、阳起石多见的地方,白钨矿亦较发育。石英—硫化物阶段也是重要的钨钼成矿阶段,主要矿物有辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿、白钨矿等,白钨矿主要呈星点状产于石英脉中。上述地质和

矿化特征表明,上房白钨矿属于典型的接触交代型(或矽卡岩型)钨矿床。

4 黑云母正长花岗岩锆石 U-Pb 定年

4.1 样品处理及分析方法

似斑状黑云母正长花岗岩样品(SFZK401)采自上房矿区下房矿段4号勘探线ZK401钻孔岩心、孔深270~273 m处。岩石呈肉红色微带浅灰色,主要矿物有钾长石(45%~50%)、斜长石(20%~25%)、石英(约25%)、黑云母(约5%)等,其中钾长石晶形较好,少部分已粘土化,斜长石表面亦少部分发生绢云母化。锆石样品采用常规方法粉碎,并用浮选和电磁选方法进行分选,然后在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒,在玻璃板上用环氧树脂固定,并抛光至锆石中心。在U-Pb同位素分析之前,利用透一反偏光显微镜和阴极发光(CL)图像详细研究锆石的晶体形貌和内部结构特征,以选择适合的区域进行同位素分析。

激光剥蚀ICP-MS锆石U-Pb同位素年龄分析在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室进行,详细的分析方法参见Liu *et al.*(2008)。分析仪器为Agilent 7500型质谱仪和Geo-Las2005型激光剥蚀系统,激光剥蚀斑束直径为32 μm(寄主岩)或24 μm(包体),样品的剥蚀深度为20~40 μm。锆石年龄计算采用国际标准锆石91500作为外标,元素含量采用美国国家标准物质局人工合成硅酸盐玻璃NIST SRM610作为外标,²⁹Si作为内标元素进行校正。样品的同位素比值及元素含量数据处理采用ICPMsDataCal(Andersen, 2002),锆石加权平均年龄的计算采用²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄(误差为1σ),U-Pb谐和图的绘制采用ISOPLOT(3.0版)软件完成。

4.2 分析结果

似斑状黑云母正长花岗岩样品中锆石颗粒较大,自形程度高,晶体呈四方柱与四方双锥、复四方双锥的聚形,一般长100~150 μm左右,长宽比值为2~5。锆石颗粒无色透明,内部局部可见微裂隙。锆石CL图像颜色较暗,说明其U、Th含量较高,与测试结果相吻合。从锆石核部到边部,CL发光强度不同,显示不同区域U、Th含量的差异。另外,大多数锆石颗粒振荡环带发育,具明显的岩浆锆石特征;其环带宽度较窄,可能反映锆石结晶时岩浆温度不是很高,导致微量元素扩散较慢,形成较窄的岩浆

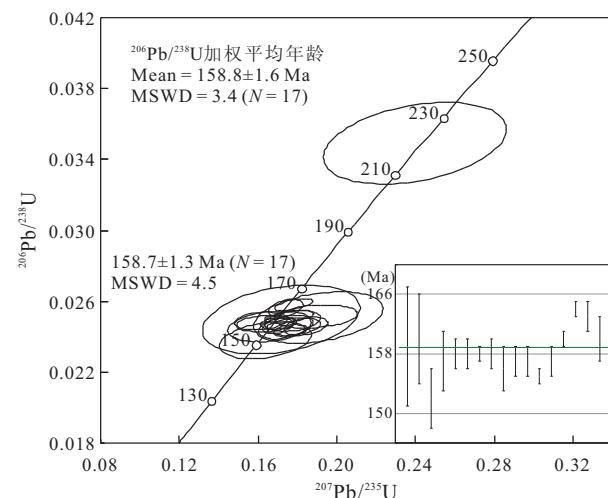


图4 福建上房钨矿黑云母正长花岗岩样品锆石U-Pb谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordia diagram of the biotite syenite granite in the Shangfang tungsten deposit

环带。

对19个具有明显振荡环带结构的锆石进行了U-Pb同位素分析,谐和图解如图4所示,分析结果列于表1中。锆石的Th、U含量较高,分别集中在(400~900)×10⁻⁶和(300~1 000)×10⁻⁶之间,²³²Th/²³⁸U比值为0.34~1.11(均值0.72)。19个锆石中有17个点位于谐和线上,其²⁰⁶Pb/²³⁸U表观年龄介于164±1 Ma~152±4 Ma之间,加权平均年龄为158.8±1.6 Ma(95%可信度,MSWD=3.4),谐和年龄为158.7±1.3 Ma(MSWD=4.5)(图3)。加权平均年龄与谐和年龄非常一致,代表了似斑状黑云母正长花岗岩的结晶年龄。其中,一个锆石颗粒的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄为221±9 Ma,但仍然位于谐和线上(图4),可能为岩浆侵位过程中捕获的岩浆锆石,并暗示本区存在印支期岩浆活动。另外一个锆石颗粒给出了1900±13 Ma的U-Pb年龄(表1),与区域上古元古代结晶基底的年龄相似,很可能代表花岗岩源区物质的成岩时代。

5 辉钼矿 Re-Os 同位素定年

5.1 样品处理及分析方法

辉钼矿主要呈细脉状、浸染状、条带状产在石英脉或构造裂隙中,裂隙密集处往往构成钼矿体。镜下观察表明辉钼矿常呈弯曲的薄片状或纤维状与石英、磁黄铁矿等矿物共生。5个辉钼矿样品均采自上房矿区的钻孔岩心,各样品的采样位置如下:SFMo-01采自ZK001钻孔孔深102.8 m矿心,

表1 福建上房钨矿似斑状黑云母正长花岗岩LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素分析结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotope data of the biotite syenogranite from the Shangfang tungsten deposit

样品号	同位素原子比值						表面年龄(Ma)									
	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$\pm 1\sigma$		
SFZK410-1	0.7463	0.01	0.0500	0.0073	0.1719	0.0264	0.0250	0.0013	0.0081	0.0012	161	23	159	8	162	24
SFZK410-2	0.3623	0.03	0.0498	0.0060	0.2397	0.0306	0.0349	0.0015	0.0130	0.0016	218	25	221	9	261	33
SFZK410-3	0.8475	0.01	0.0557	0.0060	0.1906	0.0217	0.0251	0.0010	0.0084	0.0009	177	18	160	6	169	18
SFZK410-4	0.5618	0.02	0.0502	0.0045	0.1639	0.0154	0.0238	0.0007	0.0083	0.0007	154	13	152	4	166	14
SFZK410-5	0.9174	0.01	0.0500	0.0042	0.1663	0.0144	0.0246	0.0006	0.0081	0.0005	156	13	157	4	164	10
SFZK410-6	0.6579	0.02	0.0521	0.0027	0.1775	0.0094	0.0249	0.0004	0.0085	0.0004	166	8	158	2	171	7
SFZK410-7	0.6667	0.01	0.0477	0.0025	0.1615	0.0088	0.0249	0.0003	0.0085	0.0003	152	8	158	2	172	5
SFZK410-8	1.1111	0.01	0.0502	0.0017	0.1704	0.0060	0.0248	0.0002	0.0078	0.0002	160	5	158	1	157	3
SFZK410-9	0.9174	0.01	0.0483	0.0028	0.1637	0.0096	0.0247	0.0003	0.0082	0.0003	154	8	158	2	165	5
SFZK410-10	0.9174	0.01	0.0518	0.0025	0.1736	0.0088	0.0246	0.0005	0.0077	0.0002	163	8	156	3	155	4
SFZK410-11	0.4926	0.02	0.0540	0.0020	0.1844	0.0072	0.0246	0.0003	0.0081	0.0003	172	6	157	2	164	6
SFZK410-12	0.3413	0.03	0.0501	0.0014	0.1701	0.0052	0.0246	0.0003	0.0075	0.0002	159	5	157	2	151	3
SFZK410-13	0.6452	0.02	0.0522	0.0015	0.1761	0.0052	0.0244	0.0002	0.0080	0.0002	165	5	155	1	162	4
SFZK410-14	0.6536	0.02	0.0523	0.0025	0.1781	0.0090	0.0246	0.0003	0.0082	0.0002	166	8	157	2	164	5
SFZK410-15	0.5780	0.02	0.0508	0.0022	0.1759	0.0083	0.0251	0.0002	0.0079	0.0001	164	7	160	1	159	1
SFZK410-16	0.6897	0.01	0.0500	0.0016	0.1781	0.0065	0.0258	0.0002	0.0082	0.0001	166	6	164	1	164	1
SFZK410-17	0.4975	0.02	0.0494	0.0015	0.1742	0.0059	0.0256	0.0003	0.0082	0.0002	163	5	163	2	164	4
SFZK410-18	1.0417	0.01	0.0558	0.0040	0.1893	0.0140	0.0252	0.0004	0.0080	0.0003	176	12	160	3	161	5
SFZK410-19	0.9709	0.01	0.1126	0.0018	5.3365	0.0963	0.3428	0.0028	0.0958	0.0017	1875	15	1900	13	1849	31

表 2 福建上房钨矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素分析结果

Table 2 Re-Os isotope data of molybdenite from the Shangfang tungsten deposit

编号	样重(g)	Re(10^{-6})		$^{187}\text{Re}(\text{ppm})$		$^{187}\text{Os}(\text{ppm})$		模式年龄(Ma)	
		测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	年龄值	2σ
SFMo-01	0.037	2.90	0.023	1.82	0.015	4.65	0.029	153.02	1.49
SFMo-02	0.042	6.32	0.044	3.97	0.028	10.37	0.057	156.45	1.32
SFMo-03	0.039	1.15	0.011	0.73	0.007	1.93	0.012	159.40	1.71
SFMo-04	0.049	0.60	0.010	0.38	0.007	0.95	0.007	149.92	2.79
SFMo-05	0.040	7.15	0.050	4.49	0.031	11.92	0.066	159.00	1.35

SFMo-02采自ZK001钻孔孔深230.7 m矿心,SFMo-03采自ZK002钻孔孔深78.4 m矿心,SFMo-04采自ZK401钻孔孔深117.2 m矿心,SFMo-05采自ZK1601钻孔孔深138.5 m矿心。矿石样品经无污染粉碎、浮选、重液分离等方法处理后在双目镜下挑选出辉钼矿单矿物颗粒,粒度1~2 mm,纯度大于99%。再用玛瑙研钵充分研磨至200目,增加样品的均匀性,克服辉钼矿失耦现象对Re-Os定年结果的影响。

Re-Os化学分离和质谱测定在英国Durham大学同位素地球化学实验室完成,详细的测试分析流程在Selby *et al.* (2002)论文中已经报道,现简述如下:将辉钼矿样品与准确称取的 ^{185}Re 和 ^{190}Os 混合稀释剂通过长细颈漏斗与逆王水(由16N(当量浓度)的HNO₃和12N的HCl按2:1的体积比配制而成,共3 mL)一起密封于Carius熔样管中,并将熔样管至于钢套中在220 °C下加热24 h,以使样品充分溶解。溶液中Re的提取采用微型蒸馏法(Mini-distillation),首先加入3.5 mL的CCl₄到熔样溶液中,并一起置于50 mL的离心杯中,放入25 °C水中加热15 min,摇匀振荡1 min,在加热泵中以60 °C加热12 h,去除CCl₄,重复3次,然后在80 °C条件下用3 mL的CrO₃溶液(0.2 g CrO₃,7N H₂SO₄)氧化3 h,再在115 °C加热条件下,以高纯N₂为载气,将OsO₄导入到用冰水混合液冷却的含9N高纯HBr的PFA Teflon小瓶中,使OsO₄还原为OsBr⁶⁻,取出溶液后用于Os同位素比值的测定。对残余溶液中的Re采用阴离子交换树脂的方法进行提取,向含Re的溶液中加入3 mL 0.2 N HNO₃并在60 °C条件下加热2 h,然后,使用配置浓度的HNO₃-HCl依次进行离子交换洗去杂质,再用3 mL 4N HNO₃萃取溶液中的Re。纯净的Re和Os被分别导入使用Ni和Pt灯丝加热的样品池中,使用负热电离质谱分析法(N-TIMS)进行测定,其中Os和Re分别采用二次电子倍增管特征峰模式及法拉第接收杯接收。整个实验流程本底为Re<5 pg, Os<2 pg。辉钼矿模式年龄计算采用公式 $^{187}\text{Os} = ^{187}\text{Re}(e^{\lambda t} - 1)$,

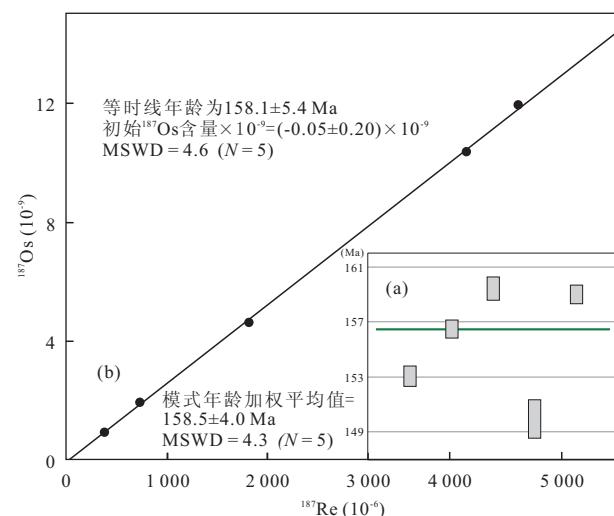


图5 上房钨矿辉钼矿Re-Os同位素模式年龄加权平均值图(a)及Re-Os同位素等时线图(b)

Fig. 5 Weighted mean of Re-Os model age of molybdenite (a) and Re-Os isotopic isochron (b) of the Shangfang tungsten deposit

其中 ^{187}Re 衰变系数取 $1.666 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ 。

5.2 分析结果

5件样品的测试分析和计算结果列于表2,辉钼矿样品的Re-Os模式年龄为159.40±1.71 Ma~149.92±2.79 Ma,加权平均年龄为158.5±4.0 Ma(MSWD=4.3)。

在 ^{187}Re vs. ^{187}Os 图解上,5组分析数据构成一条很好的等时线,根据其斜率计算的等时线年龄为158.1±5.4 Ma(MSWD=4.6)(图5);由等时线获得的 ^{187}Os 初始值为 $(-0.05 \pm 0.20) \times 10^{-9}$,表明辉钼矿形成时基本上不含 ^{187}Os 。等时线年龄值与模式年龄加权平均值在误差范围内一致。

6 讨论

6.1 成岩成矿时代

(1)上房钨矿床成岩成矿时代.本次研究的似斑

状黑云母正长花岗岩样品中的锆石,具有十分发育的振荡环带和较高的 Th/U 比值(0.72),表明属于典型的岩浆锆石。17 颗锆石的分析结果均位于一致的谐和线上,其加权平均年龄为 158.8 ± 1.6 Ma (MSWD=3.4),代表了似斑状黑云母正长花岗岩的结晶年龄,说明上房岩体属燕山早期晚侏罗世岩浆作用的产物。与白钨矿体密切共生的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 158.1 ± 5.4 Ma (MSWD=4.6),代表了上房钨矿的成矿时代,说明钨矿成矿时代也为晚侏罗世。辉钼矿等时线年龄与黑云母正长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄完全一致,暗示钨矿的形成与似斑状黑云母正长花岗岩岩浆活动关系密切。空间上钨矿主要产于似斑状黑云母正长花岗岩的外接触带,详查矿区 60 个钻孔均穿过外接触带进入花岗岩体中。从地表花岗岩体的分布情况来看,矿区西部的似斑状黑云母正长花岗岩呈岩株状出露,矿区东南部和东北部亦有正长花岗岩岩株或岩瘤出露。野外调查显示,矿区不同部位出露的正长花岗岩的矿物组成与结构构造基本相同,暗示矿区地表出露与矿区深部隐伏的似斑状黑云正长花岗岩可能是一个整体(图 1,2)。钨矿体产于花岗岩穹的似盆状凹部,这种部位有利于岩浆热液的汇集和交代成矿。

(2) 成岩与成矿时差。华南地区与成矿有关的花岗岩侵位时间与钨锡钼矿成矿年龄的时差关系是人们长期关注的问题(华仁民, 2005c; 丰成友等, 2007a; 郭春丽等, 2007; 彭建堂等, 2008)。以往一般认为,与花岗岩有关的热液矿床的成矿时间通常滞后于主体岩浆的侵位时间(相差<5 Ma),而与末期或补充期单元的岩浆侵位时间相当(相当于脉动期次的时差间隔)。本文获得闽北上房钨矿区似斑状黑云母正长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄(158.8 ± 1.6 Ma) 和辉钼矿 Re-Os 等时线年龄(158.1 ± 5.4 Ma) 完全一致,岩浆活动与成矿作用之间不存在明显的时差,表明岩浆活动与钨多金属成矿作用近于同时发生,成岩成矿具有同源性,白钨矿的成矿作用受矿区岩浆活动的控制,后者可能提供了成矿所必须的热、流体和金属成矿元素。随着近年来高精度测年技术的广泛应用,华南地区钨锡多金属矿床已经积累了大量高精度年龄数据(表 3),这些资料表明,大多数钨锡多金属矿床的成矿时间与成矿岩体的侵位时间相当,不存在明显的矿岩时差。如湘南柿竹园超大型钨铋多金属矿床的矽卡岩型矿体辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 151.0 ± 3.5 Ma (李红艳等, 1996)、云英岩矿脉白云母的 ^{40}Ar - ^{39}Ar

年龄为 153.4 ± 0.2 Ma(毛景文等, 2004b),相关的千里山似斑状黑云母花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 153.0 ± 3.0 Ma(Li et al., 2004),花岗岩和矿床的形成时代在误差范围内完全一致。瑶岗仙超大型白钨矿的成岩成矿时代也很相似(Peng et al., 2006; 李顺庭等, 2011)。丰成友等(2007a, 2007b, 2011)对赣南摇篮寨黑钨矿、牛岭钨锡矿、洪水寨钨矿的成岩、成矿时代进行了研究,表明这些矿床的成矿时代与各矿区花岗岩体的侵位年龄十分接近。上述研究一致表明华南钨锡多金属矿床成矿与花岗岩浆活动密切相关,没有明显的成岩成矿时差。

6.2 华南钨矿的时空分布规律

我国钨矿床最早形成于加里东期,海西—印支期的钨矿较少,到燕山期尤其是燕山早期爆发大规模的钨成矿作用。空间上,我国钨矿主要集中于华南成矿省,尤以南岭成矿带最为发育(康永孚等, 1994)。华仁民等(2005a)将华南成矿划为 3 期: $180 \sim 170$ Ma, $150 \sim 139$ Ma, $125 \sim 98$ Ma, 认为南岭钨锡成矿时间主要为 $150 \sim 139$ Ma。而毛景文等(2004a)提出华南成矿有 $170 \sim 150$ Ma, $140 \sim 125$ Ma 和 $110 \sim 80$ Ma 3 个阶段,认为 $170 \sim 150$ Ma 是南岭地区的一个成矿高峰期。彭建堂等(2008)提出 $160 \sim 150$ Ma 为湘南、甚至整个南岭地区 W、Sn 矿床主要的成矿期。毛景文等(2007、2008)和华仁民等(2010)基于高精度的成岩成矿年龄资料指出, $160 \sim 150$ Ma 是南岭及相邻地区 W、Sn、Nb、Ta、Pb、Zn 等有色—稀有金属矿床成矿作用的高峰期。李献华等(2007)也指出南岭及相邻地区最重要的地壳重熔作用峰期时间为 160 ± 5 Ma, 并称其为中侏罗世“大火成岩事件”。这期花岗质岩浆侵入活动在华南呈面状展布,是伸展背景下地壳深熔作用的产物,并伴随爆发式钨多金属成矿作用。

对比华南地区其他钨矿床成矿年代(表 3)可以看出,闽北上房钨矿与华南地区大多数钨矿的形成时间一致,表明它们是同一成矿事件和同一成矿动力学背景的产物。据此可以认为,华南地区 $160 \sim 150$ Ma 期间形成的钨矿在空间上已从传统的南岭成矿带中东段湘南、粤北、赣南地区延伸到武夷山成矿带的闽西(福建行洛坑)和闽北地区,钨成矿带在空间上不是传统观点认为的近东西向分布,而是具有北东向或北东东向展布的特点(图 6)。这种空间分布特征与中国东部晚侏罗世—早白垩世岩浆岩的分布特征一致,表明华南晚侏罗世钨矿属于滨太平洋构造—岩浆—成矿域,成矿作用与太平洋板块向

表3 华南地区若干钨矿床的成矿年龄
Table 3 Ore-forming ages of representative W-Sn deposits in South China

产地	矿床名称	成因类型	测试矿物	测试方法	年龄值(Ma)	数据来源
湘 南	香花铺白钨矿	矽卡岩型	白云母	Ar-Ar	161.3±1.1	
			白云母	Ar-Ar	158.7±1.2	Yuan <i>et al.</i> , 2007
			白云母	Ar-Ar	154.4±1.1	
	新田岭白钨矿	矽卡岩型	羟铁云母	Ar-Ar	157.1±0.2	毛景文等, 2004b
			锆石	U-Pb	160.0±2.0	付建明等, 2004
			辉钼矿	Re-Os	154.8±1.9	
	黄沙坪白钨矿	矽卡岩型	锆石	U-Pb	161.6±1.1	姚军明等, 2007
			白云母	Ar-Ar	153.4±0.2	毛景文等, 2004b
			辉钼矿	Re-Os	151.0±3.5	李红艳等, 1996
	柿竹园白钨矿	矽卡岩—云英岩型	锆石	U-Pb	161.8±1.0	Li <i>et al.</i> , 2004
			辉钼矿	Re-Os	154.9±2.6	Peng <i>et al.</i> , 2006
			金云母	Ar-Ar	153.0±1.1	Peng <i>et al.</i> , 2006
赣 南	瑶岗仙白钨矿	矽卡岩型	白云母	Ar-Ar	155.1±1.1	Peng <i>et al.</i> , 2006
			锆石	U-Pb	157.0±2.0	李顺庭等, 2011
			辉钼矿	Re-Os	154.4±3.8	陈郑辉等, 2006
	淘锡坑黑钨矿	石英脉型	锆石	U-Pb	158.7±3.9	郭春丽等, 2007
			白云母	Ar-Ar	158.8±1.2	刘善宝等, 2008
			锆石	U-Pb	161.8±1.0	张文兰等, 2009
	柯树岭钨锡矿	石英脉型	白云母	Ar-Ar	152.1±1.9	张文兰等, 2009
			白云母	Ar-Ar	158.9±1.4	刘善宝等, 2008
			辉钼矿	Re-Os	156.8±3.9	曾载淋等, 2009
	漂塘黑钨矿	石英脉型	锆石	U-Pb	151.7±1.6	张文兰等, 2006
			辉钼矿	Re-Os	150.0±?	李华芹等, 1993
			包裹体	Rb-Sr	156.9±1.7	丰成友等, 2007
粤 北	茅坪钨锡矿	石英脉型	锆石	U-Pb	155.8±2.8	丰成友等, 2007
			辉钼矿	Re-Os	154.9±4.1	丰成友等, 2007
			锆石	U-Pb	151.4±3.0	丰成友等, 2007
	大吉山黑钨矿	石英脉型	云英岩型	U-Pb	155.8±1.2	丰成友等, 2011
			辉钼矿	Re-Os	156.3±1.3	丰成友等, 2011
			锆石	U-Pb	153.3±1.9	张文兰等, 2009
	木梓园钨锡矿	石英脉型	白云母	Ar-Ar	151.1±8.5	张文兰等, 2009
			锆石	U-Pb	151.6±2.6	刘珺等, 2008
			辉钼矿	Re-Os	150.2±2.2	刘珺等, 2008
	浒坑黑钨矿	石英脉型	钾长石	K-Ar	148.1±1.0	穆治国等, 1988
			辉钼矿	Re-Os	154.6±9.7	丰成友等, 2007
闽 西	西华山黑钨矿	石英脉型	辉钼矿	Re-Os	151.3±2.4	
			锆石	U-Pb	156.0±2.0	付建明等, 2007
	樟斗黑钨矿	石英脉型	辉钼矿	Re-Os	154.2±2.7	
闽 北	大坳钨锡矿	云英岩及石英脉型	辉钼矿	Re-Os	159.1±2.2	付建明等, 2007
			锆石	U-Pb	159.1±2.3	付建明等, 2007
	师姑山钨铋矿	石英脉型	辉钼矿	Re-Os	159.1±1.5	王小飞等, 2010
粤 北	石人嶂黑钨矿	石英脉型	辉钼矿	Re-Os	157.7±1.4	王小飞等, 2010
	红岭钨矿	石英脉型	辉钼矿	Re-Os	159.2±2.3	王小飞等, 2010
闽 西	行洛坑钨矿	斑岩型	辉钼矿	Re-Os	156.3±4.8	张家菁等, 2008
			锆石	U-Pb	158.8±1.4	本文
闽 北	上房白钨矿	接触交代型	辉钼矿	Re-Os	158.1±5.4	本文
			锆石	U-Pb	158.1±5.4	

注:由于篇幅限制,本表仅列出部分测试数据,主要说明燕山早期(160~150 Ma)岩浆活动与钨多金属成矿事件的关系。

中国东部大路边缘的俯冲有关。上房白钨矿的发现和成矿时代的精确确定,标志着晚侏罗世(160~150 Ma)钨矿大规模成矿很可能不限于区域性政和一大埔深断裂带以西的华夏地块内。由于上房钨矿位于政和一大埔深断裂东侧,因此往东至东南沿海

火山断坳带内仍有可能找到规模较大的钨多金属矿床。

上房钨矿是闽北地区首次发现的晚侏罗世(160~150 Ma)大型钨矿,这对于深入认识华南地区钨多金属矿区域成矿规律和闽西北地区今后的地

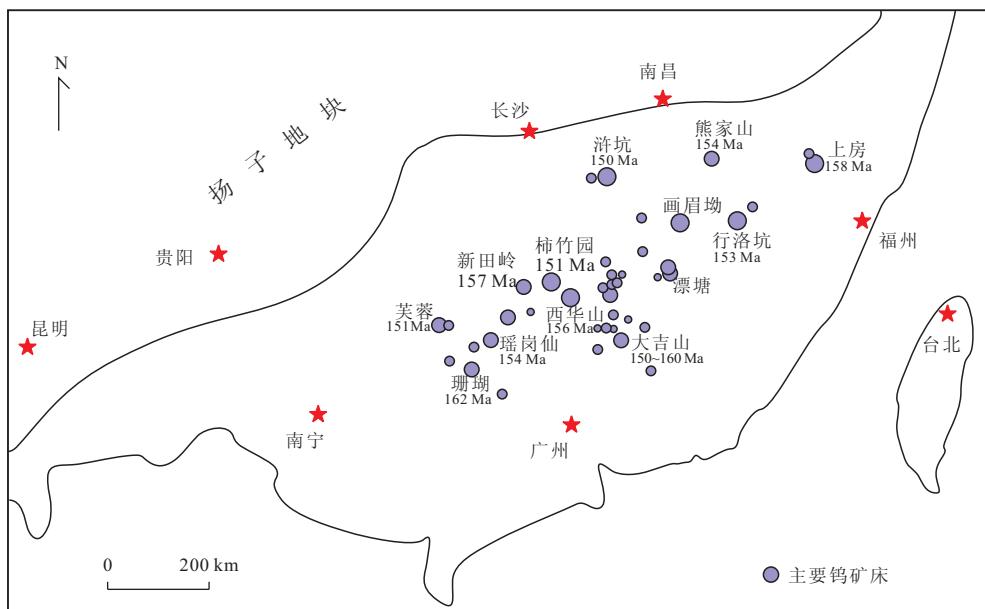


图6 华南晚侏罗世(160~150 Ma)主要钨矿床分布示意图(据毛景文等,2008,修改)

Fig. 6 Spatial distribution of the Late Jurassic W deposits in South China (modified from Mao *et al.*, 2008)

质找矿工作具有重要意义。实际上,近年来闽北地区的钨矿找矿工作已经取得实质性进展:除上房钨矿外,在其周边还发现了建瓯罗山、建阳仑尾等钨矿产地。闽西行洛坑钨矿周边也发现了众多小型钨矿床或矿点,其外围的将乐大坪等地也新发现了具有较大找矿潜力的钨矿产地。

6.3 成矿动力学背景

中生代以来,华南大陆板块内部发生了强烈的壳幔相互作用,陆内大规模成矿作用十分明显(胡瑞忠等,2010)。华南钨锡矿大规模成矿作用的地球动力学背景是国内外地质工作者长期讨论的重要科学问题(毛景文等,2008)。学术界对华南地区环太平洋大陆边缘的构造演化及中国东部由古亚洲—特提斯构造域向环太平洋陆缘构造域转换的方式和时间一直有不同的认识。华南地区早—中侏罗世火山作用的时间主要集中在180~170 Ma,是印支运动后大陆伸展、裂解的响应,与古太平洋板块俯冲无关(陈润生等,2008; Chen *et al.*, 2008)。中侏罗世后期是区域中生代构造—岩浆活动性质发生重大变化的主要时期,由于古太平洋板块俯冲作用导致印支运动后造山裂解大陆的闭合,构造域转换发生在中侏罗世后期。初步认为古太平洋板块大约于中侏罗世约170 Ma(毛景文等,1999,2008; 张达等,2010)以后从南东向北西俯冲导致早—中侏罗世的火山—沉积盆地逐渐开始闭合、褶皱和大规模逆冲推覆,华南地块整体加厚、中下地壳发生广泛的深熔作用。在

华南尤其是福建地区燕山早期的推覆构造极其发育(陶建华,2008),晚侏罗世早期花岗岩浆作用相对强烈,地壳重熔型黑云母花岗岩及中细粒花岗岩相对发育(高天钧等,1999)。毛景文等(2008)认为,太平洋板块于晚侏罗世早—中期(160~150 Ma)期间发生断离,致使软流圈物质上涌,地壳伸展作用强烈,在南岭地区形成大量壳幔混合型高分异花岗岩并伴随大规模的钨锡成矿作用;上房钨矿的形成即是这一重大地质事件的产物。华仁民等(2005a)认为华南地区中生代存在三次大规模的钨锡多金属成矿作用,是该地区岩石圈发展演化的产物,受岩石圈伸展构造背景和强烈的壳—幔相互作用控制。但与锡矿化相比(华仁民等,2010),钨矿化与地幔的关系不密切,钨的成矿作用过程未发现有地幔物质加入或参与。上房矿区辉钼矿的Re含量变化于 0.60×10^{-6} ~ 7.15×10^{-6} (表2),显示成矿地壳重熔型花岗岩有关,成矿物质主要来源于地壳(Mao *et al.*, 1999; Stein *et al.*, 2001)。

7 结论

福建上房似斑状黑云母正长花岗岩体的侵位时代为 158.8 ± 1.4 Ma,上房白钨矿的辉钼矿等时线年龄为 158.1 ± 5.4 Ma,表明岩浆活动与钨成矿作用于晚侏罗世早期近于同时发生,岩浆活动可能为钨矿的形成提供了充足的热、流体和成矿物质。上房钨矿的

成岩成矿时代与华南地区大规模钨多金属成矿时代(160~150 Ma)完全一致,说明华南地区晚侏罗世大规模钨矿成矿从传统的南岭成矿带中东段湘南、粤北、赣南地区可延伸到武夷山成矿带的闽西和闽北地区,在空间分布上不是传统观点认为的近东西向分布,而是具有北东向或北东东向展布的特点。这一认识对今后武夷山成矿带和闽西北地区的钨矿找矿具有重要的指导作用。上房钨矿的成矿与华南晚中生代滨太平洋构造域岩石圈伸展的动力学背景有关,在这种构造背景下,壳—幔相互作用强烈,中下地壳发生广泛的深熔作用,富钨的矿源层部分熔融形成含钨岩浆,直接导致区域众多钨矿的形成。

致谢:感谢英国 Durham 大学 David Selby 博士在辉钼矿 Re-Os 同位素分析以及中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室胡兆初研究员在锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年方面的大力支持。感谢福建省地质调查研究院杨玲雅高工在锆石挑选、福建省地质调查研究院朱律运硕士在数据处理方面给予的帮助。

References

- Andersen, T. , 2002. Correction of Common Lead in U-Pb Analyses That Do Not Report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192(1—2): 59—79. doi: 10.1016/S0009-2541(02)00195-X
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Fujian Province, 1998. Directions on Geological Map at Scale of 1: 500 000 of Fujian Province. Mapping Press of Fujian Province, Fuzhou (in Chinese).
- Cai, Y. P. , Guo, X. P. , Xia, C. J. , et al. , 1997. Element Abundance of the Exposed Crust in Fujian Province. *Geology of Fujian*, 16 (3): 156—172 (in Chinese with English abstract).
- Chen, C. H. , Lee, C. Y. , 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—2): 83—92. doi: 10.1016/j.lithos.2008.06.009
- Cherniak, D. J. , Watson E. B. , 2001. Pb Diffusion in Zircon. *Chemical Geology*, 172(1—2): 5—24. doi: org/10.1016/S0009-2541(00)00233-3
- Chen, R. S. , Lin, D. Y. , Jian, J. L. , 2008. Dynamical Mechanism and Tectonics Significance of Early Jurassic Volcanism in Fujian Province. *Geology of Fujian*, 27(2): 156—165 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Y. Z. , 2008. Basic Features of Metamorphism and the Migration and Enrichment Law of Ore-Forming Elements in Northern Fujian. *Geology of Fujian*, 27(2): 142—155 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Y. Z. , 1991. Ore-Bearing Characters of the Metamorphic Rocks and Its Prospecting Targets in Northern Fujian. *Geology of Fujian*, 10(3): 165—178 (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, China. *Geological Bulletin of China*, 25(4): 496—501 (in Chinese with English abstract).
- Feng, C. Y. , Feng, Y. D. , Xu, J. X. , et al. , 2007a. Isotope Chronological Evidence for Upper Jurassic Petrogenesis and Mineralization of Altered Granite-Type Tungsten Deposits in the Zhangtiantang Area, Southern Jiangxi. *Geology in China*, 34(4): 642—650 (in Chinese with English abstract).
- Feng, C. Y. , Xu, J. X. , Zeng, Z. L. , et al. , 2007b. 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).
- Feng, C. Y. , Zhen, D. Q. , Li, D. X. , et al. , 2008. Isotopes and Geochronology of the Meixian-Type Pb-Zn-(Ag) Deposits, Central Fujian Rift, South China: Implications for Geological Events. *Acta Geologica Sinica*, 82(4): 826—837.
- Feng, C. Y. , Huang, F. , Zeng, Z. L. , et al. , 2011. Isotopic Chronology of Jiulongnao Granite and Hongshuizhai Greisens-Type Tungsten Deposit in South Jiangxi Province. *Journal of Jilin University (Earth Scenice Edition)*, 41(1): 111—121 (in Chinese with English abstract).
- Fu, J. M. , Ma, C. Q. , Xie, C. F. , et al. , 2004. Zircon SHRIMP Dating of the Cailing Granite on the Eastern Margin of the Qitianling Granite, Hunan, South China, and Its Significance. *Geology in China*, 31(1): 96—100 (in Chinese with English abstract).
- Fu, J. M. , Li, H. Q. , Qu, W. J. , et al. , 2007. Re-Os Isotope Dating of the Daao Tungsten-Tin Deposit in the Jiuyi Mountains, Southern Hunan Province. *Geology in China*, 34(4): 651—656 (in Chinese with English abstract).
- Gao, T. J. , Wang, Z. M. , Wu, K. L. , et al. , 1999. Regional Tectonic Evolution and Mineralization in Taiwan Strait and Its Surrounding Areas. Geological Publishing

- House, Beijing (in Chinese).
- Guo, C. L., Wang, D. H., Chen, Y. C., et al., 2007. Precise Zircon SHRIMP U-Pb and Quartz Vein Rb-Sr Dating of Mesozoic Taoxikeng Tungsten Polymetallic Deposit in Southern Jiangxi. *Mineral Deposits*, 26(4): 432—442 (in Chinese with English abstract).
- Hu, R. Z., Mao, J. W., Fan, W. M., et al., 2010. Some Scientific Questions on the Intra-Continental Metallogeny in the South China Continent. *Earth Science Frontiers*, 17(2): 13—26 (in Chinese with English abstract).
- Hua, R. M., 2005. Differences between Rock-Forming and Related Ore-Forming Times for the Mesozoic Granitoids of Crust Remelting Types in the Nanling Range, South China, and Its Geological Significance. *Geological Review*, 51(6): 633—639 (in Chinese with English abstract).
- Hua, R. M., Li, G. L., Zhang, W. L., et al., 2010. A Tentative Discussion on Differences between Large-Scale Tungsten and Tin Mineralizations in South China. *Mineral Deposits*, 29(1): 9—23 (in Chinese with English abstract).
- Hua, R. M., Mao, J. W., 1999. A Preliminary Discussion on the Mesozoic Metallogenic Explosion in East China. *Mineral Deposits*, 18(4): 300—308 (in Chinese with English abstract).
- Hua, R. M., Chen, P. R., Zhang, W. L., et al., 2005a. Three Major Metallogenic Events in Mesozoic in South China. *Mineral Deposits*, 24(2): 99—107 (in Chinese with English abstract).
- Hua, R. M., Chen, P. R., Zhang, W. L., et al., 2005b. Metallogenesis and Their Geodynamic Settings Related to Mesozoic Granitoids in the Nanling Range. *Geological Journal of China Universities*, 11(3): 291—304 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, Y. H., Chen, H. N., Chen, S. Y., 1995. Metallogenic Characteristics and Rules of Gold-Tin-Polymetal Deposits in Chongan-Ninhua Area, Fujian. *Volcanology & Mineral Resources*, 16(3): 112—120 (in Chinese with English abstract).
- Kang, Y. F., Li, C. Y., 1991. Geological Characteristics, Types and Distribution of Tungsten Deposits in China. *Mineral Deposits*, 10(1): 1—22 (in Chinese with English abstract).
- Kang, Y. F., Miao, S. P., Li, C. Y., 1994. Tungsten Deposits in China. In: Song, S. H., ed., *Deposits in China*. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Li, H. Q., Liu, J. L., Wei, L., 1993. Chronology of Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits and Its Geological Application. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Li, H. Y., Mao, J. W., Sun, Y. L., et al., 1996. Re-Os Isotopic Chronology of Molybdenites in the Shizhuyuan Polymetallic Tungsten Deposit, Southern Huanan. *Geological Review*, 42(3): 261—267 (in Chinese with English abstract).
- Li, S. T., Wang, J. B., Zhu, X. Y., et al., 2011. Re-Os Dating of Molybdenite and Sulfur Isotope Analysis of the Yaogangxian Tungsten Polymetallic Deposits in Hunan Province and Their Geological Significance. *Geoscience*, 25(2): 228—235 (in Chinese with English abstract).
- Li, W. X., Li, X. H., Li, Z. X., 2005. Neoproterozoic Bimodal Magmatism in the Cathaysia Block of South China and Its Tectonic Significance. *Precambrian Research*, 136(1): 51—66. doi:10.1016/j.precamres.2004.09.008
- Li, X. H., 1997. Timing of the Cathaysia Block Formation: Constraints from SHRIMP U-Pb Zircon Geochronology. *Episodes*, 20(3): 188—192.
- Li, X. H., Wang, Y. X., Zhao, Z. H., et al., 1998. SHRIMP U-Pb Zircon Geochronology for Amphibolite from the Precambrian Basement in SW Zhejiang and NW Fujian Provinces. *Geochimica*, 27(4): 327—334 (in Chinese with English abstract).
- Li, X. H., Liu, D. Y., Sun, M., et al., 2004. Precise Sm-Nd and U-Pb Isotopic Dating of the Supergiant Shizhuyuan Polymetallic Deposit and Its Host Granite, SE China. *Geological Magazine*, 141(2): 225—231. doi:10.1017/S0016756803008823
- Li, X. H., Li, W. X., Li, Z. X., 2007. Petrogenesis and Tectonic Implications of the Early Yanshania Granites in Nanling Area, South China. *Chinese Science Bulletin*, 52(9): 981—991 (in Chinese).
- Lin, Q. T., 2010. On the Division of Migmatitic Granites in Northwest Fujian and Its Metallogenic Relation with Gold Ores. *Geology of Fujian*, 29(4): 308—314 (in Chinese with English abstract).
- Liu, J., Ye, H. S., Xie, G. Q., et al., 2008. Re-Os Dating of Molybdenite from the Hukeng Tungsten Deposit in the Wugongshan Area, Jiangxi Province, and Its Geological Implications. *Acta Geologica Sinica*, 82(11): 1572—1579 (in Chinese with English abstract).
- Liu, S. B., Wang, D. H., Chen, Y. C., et al., 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. *Acta Geologica Sinica*, 82(7): 932—940 (in Chinese with English abstract).

- Liu, S. G. , Liu, N. Z. , 2003. Discussion on the Genetic Type of Dajinshan Lead-Zinc Deposit in Jianyang County, Fujian Province. *Geology of Fujian*, 22(3): 116—124 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. S. , Hu, Z. C. , Gao, S. , et al. , 2008. In Situ Analysis of Major and Trace Elements of Anhydrous Minerals by LA-ICP-MS without Applying an Internal Standard. *Chemical Geology*, 257(1—2): 34—43. doi: 10.1016/j.chemgeo.2008.08.004
- Mao, J. W. , Hua, R. M. , Li, X. B. , 1999. A Preliminary Study of Large Scale Metallogenesis and Large Clusters of Mineral Deposits. *Mineral Deposits*, 18(4): 291—299 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J. W. , Zhang, Z. C. , Zhang, Z. H. , et al. , 1999. Re-Os Isotopic Dating of Molybdenites in the Xiaoliugou W (Mo) Deposit in the Northern Qilian Mountains and Its Geological Significance. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(11—12): 1815—1818. doi: 10.1016/S0016-7037(99)00165—9
- Mao, J. W. , Xie, G. Q. , Li, X. F. , et al. , 2004a. Mesozoic Large Scale Mineralization and Multiple Lithospheric Extension in South China. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 45—55 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J. W. , Li, X. F. , Lehmann, B. , et al. , 2004b. Ar-Ar Dating of Tin Ores and Related Granite in Furong Tin Orefield, Hunan Province and Its Geodynamic Significance. *Mineral Deposits*, 23(2): 164—175 (in Chinese with English abstract).
- 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 Petrologic Sinica*, 23(10): 2329—2338 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J. W. , Xie, G. Q. , Guo, C. L. , et al. , 2008. Spatial-Temporal Distribution of Mesozoic Ore Deposits in South China and Their Metallogenic Settings. *Geological Journal of China Universities*, 14(4): 510—526 (in Chinese with English abstract).
- Mao, J. W. , Xie, G. Q. , Chen, Y. B. , et al. , 2009. Mineral Deposit Models of Mesozoic Ore Deposits in South China. *Geological Review*, 55(3): 347—354 (in Chinese with English abstract).
- Mu, Z. G. , Huang, F. S. , Lu, D. K. , 1988. Potassium-Argon Ages of Some Tungsten-Bearing Granites in South China. *Acta Petrologic et Minealogic*, 7(2): 109—117 (in Chinese with English abstract).
- Peng, J. T. , Zhou, M. F. , Hu, R. Z. , et al. , 2006. Precise Molybdenite Re-Os and Mica Ar-Ar Dating of the Mesozoic Yaogangxian Tungsten Deposit, Central Nanling District, South China. *Minerlum Deposita*, 41: 661—669. doi: 10.1007/s00126—006—0084—4
- Peng, J. T. , Hu, R. Z. , Yuan, S. D. , et al. , 2008. The Time Ranges of Granitoid Emplacement and Related Ronferrous Metallic Mineralization in Southern Hunan. *Geological Review*, 54(5): 617—625 (in Chinese with English abstract).
- Selby, D. , Creaser, R. A. , Hart, C. J. R. , et al. , 2002. Absolute Timing of Sulfide and Gold Mineralization: A Comparison of Re-Os Molybdenite and Ar-Ar Mica Methods from the Tintina Gold Belt, Alaska. *Geology*, 30(9): 791—794. doi: 10.1130/0091—7613(2002)030<791:ATOSAG>2.0.CO;2
- Stein, H. J. , Markey, R. J. , Morgan, J. W. , et al. , 2001. The Remarkable Re-Os Chronometer in Molybdenite: How and Why It Works. *Terra Nova*, 13: 479—486. doi: 10.1046/j.1365—3121.2001.00395.x
- Sun, X. M. , Yu, S. G. , Ye, N. H. , 1993. Main Geological Features of Gold Deposits in the Taiyangshan Ductile Shear Zone, Northern Fujian. *Geology and Prospecting*, 25(10): 22—26 (in Chinese with English abstract).
- Tao, J. H. , Hu, M. A. , 2006. Ore Potential of the Meso-and Neoproterozoic Dongyan Formation in Central Fujian. *Geology in China*, 33(2): 418—426 (in Chinese with English abstract).
- Tao, J. H. , 2008. On Nappe Structures and the Ore-Finding Breakthrough in Fujian Province. *Geology of Fujian*, 27(2): 105—124 (in Chinese with English abstract).
- Wan, Y. S. , Liu, D. Y. , Xu, M. H. , et al. , 2007. SHRIMP U-Pb Zircon Geochronology and Geochemistry of Metavolcanic and Metasedimentary Rocks in Northwestern Fujian Cathaysia Block, China: Tectonic Implications and the Need to Redefine Lithostratigraphic Units. *Gondwana Research*, 12(1—2): 166—188. doi: 10.1016/j.gr.2006.10.016
- Wang, X. F. , Qi, H. W. , Hu, R. Z. , et al. , 2010. Occurrence Modes of Tungsten, Tin, Bismuth, Silver and Molybdenum from the Vein Type Tungsten Polymetallic Deposits in Northern Guangdong, China. *Acta Geological Sinica*, 85(3): 405—421 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G. G. , Zhang, D. , Chen, B. L. , et al. , 2000. Transformation of Mesozoic Tectonic Domain and Its Relation to Mineralization in Southeastern China: An Evidence of Southwestern Fujian Province. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 25(4): 390—396 (in Chinese with English abstract).

- Wu, G. G., Zhang, D., Peng, R. M., et al., 2004. Study on the Evolution Regularity of Mineralization Ages in Southeastern China. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 237—247 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G. G., Chen, B. L., Huang, R. S., et al., 1999. Metallogenetic Regular of Gold Deposit in Xiaoban, Fujian, and Its Vicinity and Their Further Exploration. *Journal of Geomechanics*, 5(3): 58—64 (in Chinese with English abstract).
- Wu, J. S., Huang, R. S., 2001. Potentials of Lead, Zinc and Silver Resources and Their Prospecting Direction at Fengyan, Youxi, Fujian. *Geology in China*, 28(12): 13—18 (in Chinese with English abstract).
- Xu, K. Q., Chen, H., 1987. Tectonic Environment for the Formation of Tungsten Deposits in China. *Contribution to Geology and Mineral Resources Research*, 2(2): 1—7 (in Chinese with English abstract).
- Yao, J. M., Hua, R. M., Qu, W. J., et al., 2007. Re-Os Isotopic Age of Molybdenite from the Huangshaping Pb-Zn-W-Mo Polymetal Deposit in Southern Hunan Province and Its Geological Significance. *Science in China (Ser. D: Earth Science)*, 37(4): 471—477 (in Chinese with English abstract).
- Ye, S. Q., Tang, R. L., Zhang, Y. M., 1999a. On the Metallogenetic System of Central Fujian Rift. *Geological Exploration for Non-Ferrous Metals*, 8(6): 400—403 (in Chinese with English abstract).
- Ye, S. Q., Ni, D. P., Wu, Z. Q., 1999b. Meixian-Type Massive Sulfide Deposits in Fujian Province. *Volcanology & Mineral Resources*, 20(3): 172—180 (in Chinese with English abstract).
- Yuan, S. D., Peng, J. T., Shen, N. P., et al., 2007. ^{40}Ar - ^{39}Ar Isotopic Dating of the Xianghualing Sn Polymetallic Ore Field in Southern Hunan and Its Geological Implications. *Acta Geologica Sinica*, 81(2): 278—286 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, D., Wu, G. G., Peng, R. M., et al., 2005. Paleotectonic Setting of the Dongyan Formation of the Mamianshan Group in Central Fujian Province, South-East China. *Earth Science Frontiers*, 12(1): 310—320 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, D., Wu, G. G., Di, Y. J., et al., 2009. Geochemistry and Paleo-Tectonic Environment of Fengyan Pb-Zn Ore Deposit in Meixian, Central Fujian Province. *Journal of Geomechanics*, 15(1): 20—35 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, D., Wu, G. G., Liu, N. Z., et al., 2010. Re-Os Isotopic Age of Molybdenite from the Beikengchang Molybdenite and Polymetal Deposit in Zhangping City, Fujian Province and Its Geological Significance. *Acta Geologica Sinica*, 84(10): 1428—1437 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. Q., Chen, Z. H., Wang, D. H., et al., 2008. Geological Characteristics and Metallogenic Epoch of the Xingluokeng Tungsten Deposit, Fujian Province. *Geotectonica et Metallogenesis*, 32(1): 92—97 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K. Y., 2003. Study on the Ore-Control Geological Conditions of Gold Ores in Fujian Province. *Geology of Fujian*, 22(1): 21—32 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, S. H., Shi, J. J., Di, Y. J., et al., 2005. The Geological Characteristics of the Massive Sulfide Pb-Zn Mineral Deposits in the Central Fujian Rift and Its Implications for Deposit Exploration. *Geosciences*, 19(3): 375—384 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W. L., Hua, R. M., Wang, R. C., et al., 2006. New Dating of the Dajishan Granite and Related Tungsten Mineralization in Southern Jiangxi. *Acta Geologica Sinica*, 80(7): 956—962 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W. L., Hua, R. M., Wang, R. C., et al., 2009. New Dating of the Piaotang Granite and Related Tungsten Mineralization in Southern Jiangxi. *Acta Geologica Sinica*, 83(5): 659—670 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. X., 2006. Study of Formation of the Neoproterozoic Mamianshan Group and Its Evolution of Deformation in Central Fujian Province, SE China (Dissertation). China University of Geoscience, Beijing.
- Zhou, B., Gu, L. X., 1999. Geological Characteristics and Formation Environment of the Meixian Massive Sulfide Deposit. *Mineral Deposits*, 18(2): 99—109 (in Chinese with English abstract).
- Zen, Z. L., Zhang, Y. Z., Zhu, X. P., et al., 2009. Re-Os Isotopic Dating of Molybdenite from the Maoping Tungsten-Tin Deposit in Chongyi County of Southern Jiangxi Province and Its Geological Significance. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 209—214 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 蔡以评, 郭小平, 夏春金, 等, 1997. 福建省表壳元素丰度. 福建地质, 16(3): 156—172.
- 陈润生, 林东燕, 江剑丽, 2008. 福建早侏罗世火山作用的动力学机制及大地构造学意义. 福建地质, 27(2): 156—165.

- 陈云钊,1991. 闽北变质岩含矿性及其找矿前景的探讨. 福建地质,10(3):165—178.
- 陈云钊,2008. 闽北地区变质作用基本特征和成矿元素迁移富集规律. 福建地质,27(2):142—155.
- 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.
- 丰成友,丰耀东,许建祥,等,2007a. 赣南张天堂地区岩体型钨矿晚侏罗世成岩的同位素年代学证据. 中国地质,34(4):642—650.
- 丰成友,许建祥,曾载淋,等,2007b. 赣南天门山—红桃岭钨锡矿田成岩时代精细测定及其地质意义. 地质学报,81(7):952—963.
- 丰成友,黄凡,曾载淋,等,2011. 赣南九龙脑岩体及洪水寨云英岩型钨矿年代学. 吉林大学学报(地球科学版),1(1):111—121.
- 付建明,马昌前,谢才富,等,2004. 湖南骑田岭岩体东缘菜岭岩体的锆石 SHRIMP 定年及其意义. 中国地质,1(1):96—100.
- 付建明,李华芹,屈文俊,等,2007. 湘南九嶷山大坳钨锡矿的 Re-Os 同位素定年研究. 中国地质,34(4):651—656.
- 福建省地质矿产勘查开发局,1998. 福建省地质图(1:500 000)及说明书. 福州:福建省地图出版社.
- 高天均,王振民,吴克隆,等,1999. 台湾海峡及其周边地区构造岩浆演化与成矿作用. 北京:地质出版社.
- 郭春丽,王登红,陈毓川,等,2007. 赣南中生代淘锡坑钨矿区花岗岩锆石 SHRIMP 年龄及石英脉 Rb-Sr 年龄测定. 矿床地质,26(4):432—442.
- 胡瑞忠,毛景文,范蔚茗,等,2010. 华南陆块陆内成矿作用的一些科学问题. 地学前缘,17(2):13—26.
- 华仁民,李光来,张文兰,等,2010. 华南钨和锡大规模成矿作用的差异及其原因初探. 矿床地质,29(1):9—23.
- 华仁民,毛景文,1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发. 矿床地质,18(4):300—308.
- 华仁民,陈培荣,张文兰,等,2005a. 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.
- 华仁民,陈培荣,张文兰,等,2005b. 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.
- 华仁民,2005c. 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.
- 姜耀辉,陈鹤年,陈三元,1995. 福建崇安—宁化地区金锡多金属矿床成矿特征和成矿规律. 火山地质与矿产,16(3):112—120.
- 康永孚,李崇佑,1991. 中国钨矿床地质特征、类型及其分布. 矿床地质,10(1):1—22.
- 康永孚,苗树屏,李崇佑,等,1994. 中国钨矿床. 见:宋叔和主编,中国矿床. 北京:地质出版社.
- 李红艳,毛景文,孙亚利,等,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,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. 北京:地质出版社.
- 李顺庭,王京彬,祝新友,等,2011. 湖南瑶岗仙钨多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素定年和硫同位素分析及其地质意义. 现代地质,25(2):228—235.
- 李献华,李武显,李正祥,2007. 再论南岭燕山早期花岗岩的成因类型与构造意义. 科学通报,52(09):981—991.
- 李献华,王一先,赵振华,等,1998. 闽浙古元古代斜长角闪岩的离子探针锆石 U-Pb 年代学. 地球化学,27(4):327—334.
- 刘珺,叶会寿,谢桂青,等,2008. 江西省武功山地区浒坑钨矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义. 地质学报,82(11):1572—1579.
- 刘善宝,王登红,陈毓川,等,2008. 赣南崇义—大余—上犹矿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. 地质学报,82(7):932—940.
- 刘诗光,刘乃忠,2003. 福建建阳大金山铅锌矿床成因初探. 福建地质,22(3):116—124.
- 林仟同,2010. 闽西北地区混合花岗岩类型划分及其与金成矿关系. 福建地质,29(4):308—314.
- 毛景文,华仁民,李晓波,1999. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区. 矿床地质,18(4):291—299.
- 毛景文,谢桂青,李晓峰,等,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.
- 毛景文,李晓峰,Lehmann B.,等,2004b. 湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地球动力学意义. 矿床地质,23(2):164—175.
- 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.
- 毛景文,谢桂青,郭春丽,等,2008. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境. 高校地质学报,14(4):510—526.
- 毛景文,谢桂青,程彦博,等,2009. 华南地区中生代主要金属矿床模型. 地质论评,55(3):347—354.
- 穆治国,黄福生,卢德拱,1988. 华南某些含钨花岗岩的 K-Ar 年龄. 岩石矿物学杂志,7(2):109—117.
- 彭建堂,胡瑞忠,袁顺达,等,2008. 湘南中生代花岗岩成岩成矿的时限. 地质论评,54(5):617—625.
- 孙晓明,余绍桂,叶朝晖,1993. 闽北建阳太阳山韧性剪切带型金矿主要地质特征. 地质与勘探,25(10):22—26.
- 陶建华,胡明安,2006. 闽中地区中新元古代东岩组地层的含矿性研究. 中国地质,33(2):418—426.
- 陶建华,2008. 福建推覆构造研究与找矿突破. 福建地质,27(2):105—124.

- 王小飞,戚华文,胡瑞忠,等,2010.粤北石英脉型钨多金属矿床中钨锡铋银钼的赋存状态研究.地质学报,85(3):405—421.
- 吴淦国,陈柏林,黄仁生,等,1999.肖板及其外围金矿成矿规律与找矿方向.地质力学学报,5(3):58—64.
- 吴淦国,张达,陈柏林,等,2000.中国东南大陆中生代构造域的转换及其与成矿的关系——以闽西南地区为例.地球科学——中国地质大学学报,25(4):390—396.
- 吴淦国,张达,彭润民,等,2004.东南沿海成矿带矿床形成的时间演化规律研究.地学前缘,11(1):237—247.
- 吴建设,黄仁生,2001.福建省尤溪峰岩铅锌银资源潜力及找矿方向探讨.中国地质,28(12):13—18.
- 徐克勤,程海,1987.中国钨矿形成的大地构造背景.地质找矿论丛,2(2):1—7.
- 姚军明,华仁民,屈文俊,等,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(D辑),37(4):471—477.
- 叶水泉,唐瑞来,张一梅,1999a.论福建省闽中裂谷带成矿系统.有色金属矿产与勘查,8(6):400—403.
- 叶水泉,倪大平,吴志强,1999b.福建省梅仙式块状硫化物矿床.火山地质与矿产,20(3):172—180.
- 张达,吴淦国,彭润民,等,2005.闽中地区马面山群东岩组变质岩形成的古构造环境研究.地学前缘,12(1):310—320.
- 张达,吴淦国,狄永军,等,2009.闽中梅仙峰岩铅锌矿床地球化学特征及其古构造环境.地质力学学报,15(1):20—35.
- 张达,吴淦国,刘乃忠,等,2010.福建漳平北坑场钼多金属矿床辉钼矿Re-Os同位素年龄及其地质意义.地质学报,84(10):1428—1437.
- 张家菁,陈郑辉,王登红,等,2008.福建行洛坑大型钨矿的地质特征成矿时代及其找矿意义.大地构造与成矿学,32(1):92—97.
- 张克亮,2003.福建省金矿控矿地质条件研究.福建地质,22(1):21—32.
- 张生辉,石建基,狄永军,等,2005.闽中裂谷块状硫化物型铅锌矿床的地质特征及找矿意义.现代地质,19(3):375—384.
- 张文兰,华仁民,王汝成,等,2006.赣南大吉山花岗岩成岩与钨矿成矿年龄的研究.地质学报,80(7):956—962.
- 张文兰,华仁民,王汝成,等,2009.赣南漂塘钨矿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.
- 张祥信,2006.闽中地区新元古代马面山群的形成及构造变形演化研究(博士学位论文).北京:中国地质大学.
- 周兵,顾连兴,1999.论梅仙块状硫化物矿床的特征及成矿地质环境.矿床地质,18(2):99—109.
- 曾载淋,张永忠,朱祥培,等,2009.赣南崇义地区茅坪钨锡矿床铼—锇同位素定年及其地质意义.岩矿测试,28(3):209—214.