

doi: 10.12029/gc20210210

杨斌, 赵磊, 陈正乐, 莫火华, 鲁捷, 谭友. 2021. 赣南兴国县见龙铜钨矿床 U-Pb 和 Re-Os 同位素定年: 对成岩成矿时代的限定[J]. 中国地质, 48(2): 495-506.

Yang Bin, Zhao Lei, Chen Zhengle, Mo Huohua, Lu Jie, Tan You. 2021. U-Pb and Re-Os dating of the Jianlong Cu-W deposit in Xingguo County of southern Jiangxi Province: constraint on its petrogenic and metallogenetic ages[J]. *Geology in China*, 48(2):495-506(in Chinese with English abstract).

赣南兴国县见龙铜钨矿床 U-Pb 和 Re-Os 同位素定年: 对成岩成矿时代的限定

杨斌¹, 赵磊¹, 陈正乐², 莫火华¹, 鲁捷¹, 谭友¹

(1. 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; 2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要:江西省兴国县见龙铜钨矿床位于南岭东西向构造-岩浆岩带东端与武夷山隆起带西侧之雩山拗陷带交汇部位, 是赣南地区新近发现的铜(钨)多金属矿床。矿体产于佛子山岩体与震旦系浅变质岩的内、外接触带内, 包括石英脉型矿化和云英岩型矿化。前人对本矿床鲜有研究, 文章基于详细的野外地质调查, 分别采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法和辉钼矿 Re-Os 等时线法对见龙铜钨矿细粒黑云母花岗岩和云英岩中的辉钼矿进行精确定年。获得花岗岩单颗粒 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 加权平均年龄值为 (154.2 ± 1.7) Ma, 云英岩型矿体的辉钼矿 Re-Os 等时线加权平均年龄为 (155.9 ± 1.2) Ma。研究表明成岩与成矿作用几乎同时发生, 厘定矿床成岩成矿时代为晚侏罗世。见龙铜钨矿与区内已知的画眉坳、张家地和岩前等钨矿床成岩成矿时代相近。结合前人资料, 进一步证实南岭东段钨多金属矿床主要形成于 170~150 Ma。矿石中辉钼矿的钨含量为 $6.484 \times 10^{-6} \sim 21.346 \times 10^{-6}$, 结合硫同位素分析结果, 综合分析认为矿床成矿物质来源于壳幔混合。

关键词:铜钨矿床; 地质特征; 成岩成矿时代; 矿产勘查工程; 见龙; 赣南

中图分类号: P597; P618.41; P618.67 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2021)02-0495-12

U-Pb and Re-Os dating of the Jianlong Cu-W deposit in Xingguo County of southern Jiangxi Province: constraint on its petrogenic and metallogenetic ages

YANG Bin¹, ZHAO Lei¹, CHEN Zhengle², MO Huohua¹, LU Jie¹, TAN You¹

(1. South Jiangxi geological Survey Party of JBEDGMR, Ganzhou 341000, Jiangxi, China; 2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: The Jianlong Cu-W deposit, as a newly discovered one in southern Jiangxi Province, is located at the convergent zone of the eastern Nanling EW-trending tectono-magmatic belt and Yushan depression of the western Wuyishan uplift belt. The ore bodies, including mineralized quartz vein and greisen, are hosted in the inner and outer contacts between Fozishan granite and Sinian epimetamorphic rocks. Based on the LA-ICP-MS zircon U-Pb and molybdenite Re-Os isochron dating, the ages of the granule biotite granite and the molybdenite in greisen were accurately determined. The weighted average age of single-grain LA-ICP-MS

收稿日期: 2019-06-02; 改回日期: 2020-01-29

基金项目: 中国地质调查局项目 (DD2016005206) 资助。

作者简介: 杨斌, 男, 1990 年生, 硕士, 主要从事矿床地质研究; E-mail: 568225165@qq.com。

zircon U-Pb of granite is 154.2 ± 1.7 Ma, and the Re-Os isochron ages of molybdenite is 155.9 ± 1.2 Ma. The study results suggest that diagenesis and mineralization occur almost at the same time. The age of diagenesis and mineralization of the deposit is determined to be Late Jurassic, similar to the Huamei 'ao, Zhangjiadi and Yanqian in this area. Combined with the previous research data, it is further confirmed that the tungsten polymetallic deposits in the eastern part of Nanling Mountains were mainly formed at 170–150 Ma. The rhenium content of molybdenite in the ore ranges from 6.484×10^{-6} to 21.346×10^{-6} . Combined with sulfur isotope analysis, it is considered that the ore-forming materials of the deposit originate from crust-mantle mixing.

Key words: Cu-W deposit; geological characteristics; petrogenic and metallogenetic age; mineral exploration engineering; Jianlong; southern Jiangxi Province

About the first author: YANG Bin, male, born in 1990, Master, engaged in the study of deposit geology; E-mail: 568225165@qq.com.

Fund support: Supported by the Project of China Geological Survey (No. DD2016005206).

1 引 言

地处南岭东段的赣南地区是中国重要的钨多金属矿产地之一。已有资料显示,赣南钨矿主要集中于崇义—大余—上犹、兴国—宁都、赣县—于都和龙南—定南—全南4个矿集区内(图1b)。近年来,随着基础地质工作的加强和矿产勘查工作的深入,兴国—宁都矿集区内找矿成果显著,目前在该区发现了画眉坳钨铋矿(石英脉型)、张家地钨铋矿(石英脉型+云英岩型)、岩前钨多金属矿(矽卡岩型+石英脉型)、见龙铜钨矿、廖坑钨矿和小龙钨矿等一批大中型钨多金属矿床。前人研究积累了大量的成果,研究表明南岭地区燕山期岩浆活动与钨多金属矿存在密切的时空、物质成分以及成因联系(华仁民等,2005a;柏道远等,2008;裴荣富等,2009;祝新友等,2012;付建明等,2013;赵正等,2013;陈毓川等,2014;王登红等,2014;赵正等,2014;黄凡等,2014;郭春雨等,2014;丰成友等,2015a;Feng et al, 2015b;Zhao et al., 2018)。因此,查明该区钨、铜、铋等金属矿床地质特征,深入开展矿床成岩成矿年代学研究,对总结区域成矿规律、建立区域成矿模式和进一步指导区域地质找矿具有重要意义。

见龙铜钨矿位于兴国—宁都矿集区西端,是区内新近发现的规模达中型的石英脉型—云英岩型铜多金属矿床,矿床周围尚有诸如佛子山、兰华山、铜锣丘、见脑和罗家地等一批产于岩体与浅变质岩接触带附近的石英脉型钨矿(化)点(图1c)。前人研究基础较为薄弱,仅限于矿床基本地质特征方面(通过勘查基本查明了矿区范围内地层、构造、岩浆

岩以及矿体形态、规模、产状等信息),而对矿床成岩成矿年代学方面尚未涉及。本文在野外区域地质调查基础上对见龙铜钨矿进行深度解剖,详尽掌握矿床地质特征,同时对矿床开展高精度测年工作,厘定矿床成岩成矿时代。

2 区域地质背景

研究区处于南岭东西向构造—岩浆岩带东端与武夷山隆起带西侧之雪山坳褶皱带交汇部位(图1a),成矿区带属南岭成矿带东段之雪山成矿亚带(图1b)。

区内出露地层由褶皱基底(Pt— ϵ)、沉积盖层(D—C)和断陷盆地沉积(J—K)组成,以大面积出露前寒武纪基底岩系为特征,岩性为一套以变质砂岩、板岩和千枚岩为主的浅变质岩;泥盆系、石炭系盖层分别由粉砂岩和含煤碎屑岩组成,与白垩系砖红色湖盆沉积呈不整合覆盖于前寒武系之上,呈狭长带分布于区内青塘—赖村—岩前和老营盘—高兴—长冈(兴国)一带(图1c)。

构造包括褶皱和断裂。褶皱分基底褶皱与盖层褶皱,基底褶皱属桃山—雪山南北向加里东期褶皱系统,控制着区内古老地层的展布,组成褶皱的地层有青白口系、南华系、震旦系及寒武系,褶皱轴迹受区域构造控制明显,呈线状紧密复式褶皱产出,轴向大部分呈近南北向,有些经后期构造作用影响,而呈北北西向、北北东向展布;盖层褶皱为残留向斜,由泥盆—二叠纪地层组成。断裂以NNE向和NE向为主,NW向次之,区域性NE向大余—南城大断裂、招携—大桥断裂和鹰潭—安远深断裂与近EW向遂川—石城大断裂控制着本区岩浆岩的空间展布。

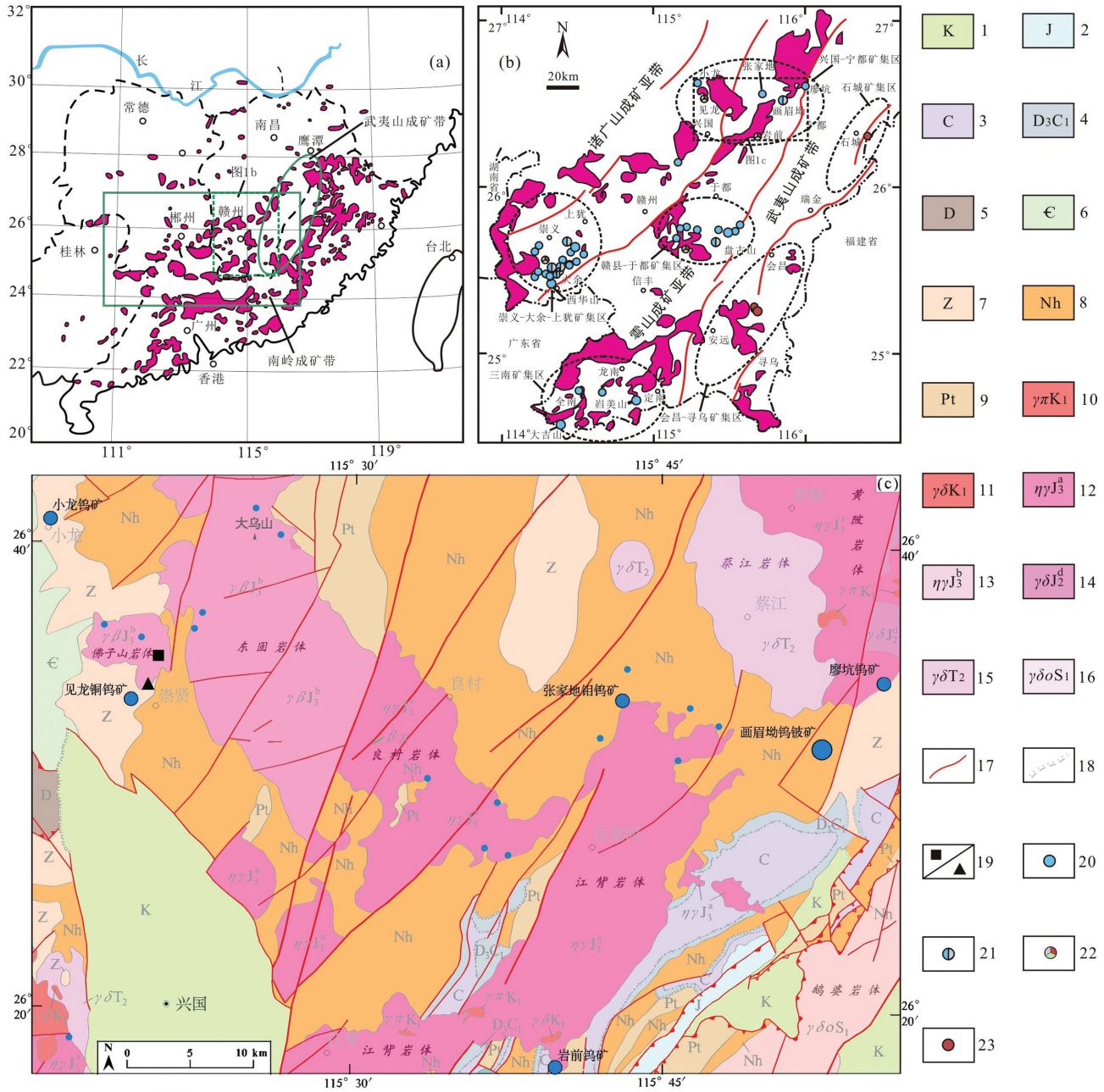


图1 见龙铜钨矿区域地质简图

a—华南地区燕山早期(中—晚侏罗世)花岗岩分布略图(据Li et al.,2009修编);b—赣南钨矿成矿带、矿集区及大中型矿床分布图(据丰成友等,2015a修改);c—见龙铜钨矿区区域地质图。1—白垩系;2—侏罗系;3—石炭系;4—泥盆—石炭系;5—泥盆系;6—寒武系;7—震旦系;8—南华系;9—青白口系;10—早白垩世花岗斑岩;11—早白垩世花岗闪长岩;12—晚侏罗世二长花岗岩;13—晚侏罗世黑云母二长花岗岩;14—中侏罗世花岗闪长岩;15—中三叠世花岗闪长岩;16—早志留世英云闪长岩;17—断层;18—不整合地质界线;19—采样位置;20—钨矿床(化)点;21—钨锡钼铋矿床;22—钨多金属矿床;23—锡矿床

Fig.1 Schematic regional geological map of the Jianlong Cu-W deposit

a—Yanshanian granite distribution schematic map in the southern China (modified from Li Xianhua et al.,2009); b—Distribution map of tungsten ore gathering area and large-medium scale deposits in South Jiangxi province (modified from Feng Chengyou et al.,2015a); c—Regional geological map of the Jianlong Cu-W deposit. 1—Cretaceous; 2—Jurassic; 3—Carboniferous; 4—Devonian-Carboniferous; 5—Devonian; 6—Cambrian; 7—Sinian; 8—South China; 9—Qingcristaceous; 10—Early Cretaceous granodiorite; 11—Early Cretaceous granodiorite; 12—Late Jurassic monzogranite; 13—Late Jurassic biotite monzogranite; 14—Middle Jurassic granodiorite; 15—Middle Triassic granodiorite; 16—Early Silurian quartz diorite; 17—Fault; 18—Unconformity geological boundary; 19— Sampling location; 20— W deposit- mineralization point; 21— W- Sn- Mo- Bi deposit; 22— W polymetallic deposit; 23— Sn deposit

本区岩浆活动持续时间长,在加里东期、印支期和燕山期均发生过岩浆活动,其中以燕山期最为强烈,与区内钨多金属成矿关系最为密切。岩浆岩分布广泛,主要出露岩体包括加里东期的鹅婆岩体(郭娜欣等,2014),印支期的蔡江岩体(董晨阳,2010;刘汉彬等,2014;田泽瑾等,2014)和燕山早期的东固岩体(赵旭辰,2017)、良村岩体(王崴平等,2014)、江背岩体(王登红等,2014;崔圆圆,2014)和黄陂岩体(董晨阳,2010;刘汉彬等,2014;田泽瑾等,2014),这些岩体均呈岩基出露;燕山晚期岩浆岩出露较少,多呈岩株或岩瘤、岩滴状出露。

3 矿床地质特征

3.1 矿区地质

矿区内出露地层仅见震旦系下统坝里组(Z_1b),地层总体走向 $20\sim 30^\circ$,倾向北西,倾角平缓,大多在 $15\sim 35^\circ$,岩性主要为变余石英粉砂岩、变余泥质粉砂质板岩、云母片岩等,属区域浅变质岩系低绿片岩相,局部地段受区域变质作用发生混合岩化,形成条带状混合岩化变余砂岩。在接触带附近有强烈的热接触变质现象,表现为斑点状角岩化。构造主要有断层和节理两种表现形式。区内较大的断层有 F_1 和 F_2 ,总体呈NE—NNE向展布,属鹰潭—大余大断裂的组成部分;石英脉沿节理裂隙充填,在矿区中部呈NNE向成组出现,是本区的主要赋矿构造。此外,在矿区东南部见NE向、NEE向以及近SN向石英脉,其含矿性良好(图2)。矿区范围内无岩浆岩出露,地质勘查显示,矿区内存在隐伏花岗岩体(钻孔揭露岩性为细粒黑云母花岗岩,与变质岩围岩呈侵入接触关系),岩体的埋藏深度由北向南表现为由浅变深的特征,系矿区北部佛子山岩体的南向延伸。佛子山花岗岩复式岩体系东固岩体的组成部分,具多阶段岩浆侵入特征,主要包括粗中粒斑状黑云母花岗岩和细粒黑(二)云母花岗岩两种岩性,后者呈岩株状、岩脉状侵入于粗中粒斑状黑云母花岗岩及震旦系中。岩体自蚀变强烈,主要为云英岩化、白云母化、黄铁矿化和绿泥石化,局部地段可见有黄铜矿化、辉钼矿化,辉钼矿呈鳞片状分布于接触带内侧的云英岩脉中。受岩浆热接触变质和接触交代变质作用影响,围岩蚀变发育,主要有硅化、黄铁矿化、白云母化、绢云母化、绿泥石化、碳

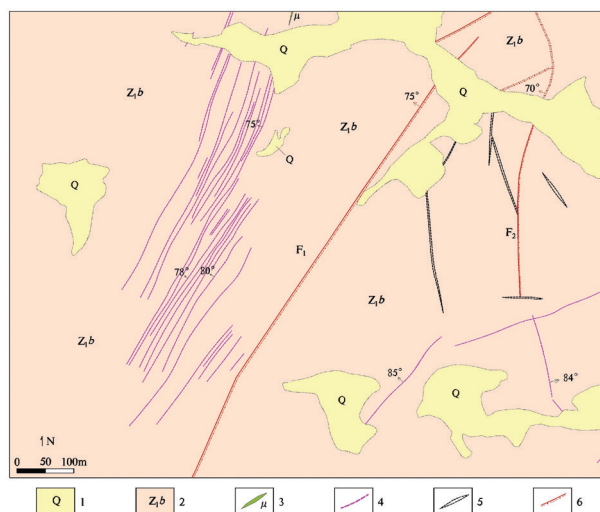


图2 见龙铜钨矿主矿段地质简图

1—第四系残坡积、洪积物;2—震旦系下统坝里组变质砂岩、粉砂质板岩、云母片岩;3—煌斑岩脉;4—含矿石英脉;5—不含矿石英脉;6—硅化破碎角砾岩带

Fig.2 Geological sketch of the major ore sector in the Jianlong Cu-W deposit

1—Quaternary; 2—Metamorphic sandstone, silty slate and mica schist of Bali Formation, Sinian; 3—Lamprophyre vein; 4—Ore-bearing quartz vein; 5—Ore-free quartz vein; 6—Silicified fractured breccia belt

酸盐化和角岩化等。此外,于矿区北侧见一条煌斑岩脉呈NNE向延伸并侵入于变质岩中,脉岩宽2.2 m,倾向北西,倾角 74° 。

3.2 矿体特征

见龙铜钨矿矿化类型包括石英脉型和云英岩型,以石英脉型为主。石英脉型矿体主要赋存于外接触带的浅变质围岩中,向下可到达侵入岩体内部,以热液充填成矿为主,矿体沿NNE延伸,倾向不稳定,总体倾向NWW,倾角较陡($70^\circ\sim 85^\circ$)(图3),沿倾向具分支—复合现象。共圈定工业矿体15条,控制长149~466 m,深78~470 m,平均厚度为0.77 m,平均品位:Cu 1.059%, WO_3 0.209%。垂向上,自上而下矿体厚度逐步增大,且表现出一定的矿化分带特征。平硐150中段含矿石英脉厚大且富,脉内黑钨矿呈条带状分布,见黄铜矿呈团块状伴生产出,局部可见黑钨矿—硫化物团包(图3a);250中段矿体厚大,以大量出现硫化物为特征,硫化物以黄铜矿为主,多呈团块状、网脉状分布(图3b),黑钨矿分布于石英脉两侧,呈长条状或长柱状垂直脉壁生长;298中段除见大量黄铜矿外,另有白钨矿呈浸染状分布于石英脉中(图3c),黑钨矿较为少见。云英

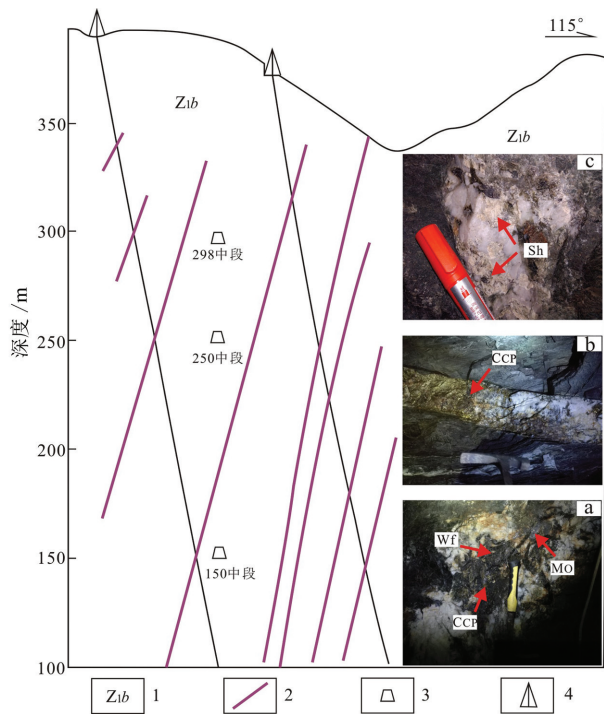


图3 见龙铜钨矿3号勘探线剖面图

Wf—黑钨矿; Ccp—黄铜矿; Sh—白钨矿; Mo—辉钼矿; 1—震旦系下统坝里组变质砂岩; 2—矿体; 3—坑道; 4—钻孔

Fig. 3 Geological section of No. 3 exploration line in the Jianlong Cu-W deposit

Wf—Wolframite; Ccp—Chalcite; Sh—Scheelite; Mo—Molybdenite; 1—Sinian metamorphic sandstone of Bali Formation; 2—Ore body; 3—Gallery; 4—Drill hole

岩型矿体产于花岗质岩体内部,地表见于佛子山岩体东南端与震旦系浅变质岩接触部位(图1c),成矿以热液交代为主,云英岩化现象普遍,矿体总体呈近SN—NNE向带状分布,规模较小,以富集硫化物为特征,主要矿化有辉钼矿化(Mo: 2.20%)、黄铜矿化(Cu: 0.20%)。

3.3 矿石特征

见龙铜钨矿矿石类型按其矿物组合可分为黑钨矿—硫化物—石英型(图4a)和辉钼矿—黄铜矿—石英—白云母型(图4b)2种。黑钨矿—硫化物—石英型是矿床主要的矿化类型,矿石具有粒状、充填、交代溶蚀和包含结构,脉状、网脉状和浸染状构造。常见的金属矿物有黄铜矿、黑钨矿,其次为自然铋、白钨矿、辉铋矿和黄铁矿,少量辉钼矿、闪锌矿和锡石,其中黄铜矿、黑钨矿达工业品位,具开采利用价值;非金属矿物包括石英、长石、黑云母、方解石、萤石、磷灰石、白云母等。根据含矿石英脉之间的穿

插关系及矿物共生组合,由早到晚可将其成矿分为黑钨矿—石英、硫化物—石英和硫化物—萤石—石英(碳酸盐)3个阶段,其中前2个阶段为主成矿阶段,后者多以破碎带形式产出,形成角砾状矿石,对前者起破坏作用。矿石中黑钨矿作为早期形成的矿物常被后期黄铜矿、黄铁矿、白钨矿以及萤石交代,其内见自然铋、辉铋矿呈星点状、浸染状分布(图4c)。黄铜矿作为主要矿物常呈不规则状沿裂隙充填,形成细脉状、网脉状和团块状。白钨矿形成时间稍晚,可见其呈细脉状、网脉状沿黄铜矿周围及裂隙充填交代(图4d),亦可见星点状。黄铁矿存在2个世代,早期黄铁矿具自形晶,晚期黄铁矿呈胶状与黄铜矿共生常交代溶蚀早期黄铁矿形成骸晶,矿石中可见少量闪锌矿和锡石,闪锌矿中普遍见黄铜矿固溶体出溶。辉钼矿—黄铜矿—石英—白云母型矿石具有粒状—片状结构,浸染状—块状构造。矿物组合简单,主要金属矿物为辉钼矿、黄铜矿,非金属矿物为白云母、石英等。辉钼矿呈鳞片状产出,广泛分布于云英岩中,黄铜矿呈粒状、星点状分布(图4b)。

4 实验方法及测试结果

4.1 样品采集

本次用于锆石U-Pb测年的样品采自见龙铜钨矿床NE约4.0 km的佛子山岩体中心相浅地表位置,地理坐标:26°35′09″N, 115°20′55″E(图1)。所采样品较为新鲜,岩性为细粒黑云母花岗岩,岩石呈浅灰白—肉红色,细粒花岗结构,块状构造。主要矿物成分为石英(30%±)、斜长石(25%±)、钾长石(35%±)和黑云母(5%~10%),白云母少量,副矿物有锆石、磷灰石和磁铁矿等。用于辉钼矿Re-Os同位素测试的样品采自佛子山岩体东南端与震旦系浅变质岩地表接触带附近的云英岩型钨铜矿体内,地理坐标:26°33′58″N, 115°20′06″E(图1)。

4.2 测试方法

佛子山岩体细粒黑云母花岗岩中的锆石多呈长柱状,次为短柱状,少量圆状以及不规则状,锆石长为70~160 μm,宽50~100 μm,长宽比为3:1~1:1,大部分锆石具有较好的柱面,阴极发光图像中锆石韵律环带结构明显,激光剥蚀点位多选择在表面和内部保存完好(受次生作用影响较小)且具有韵律环带结构的锆石边缘部位(图5)。

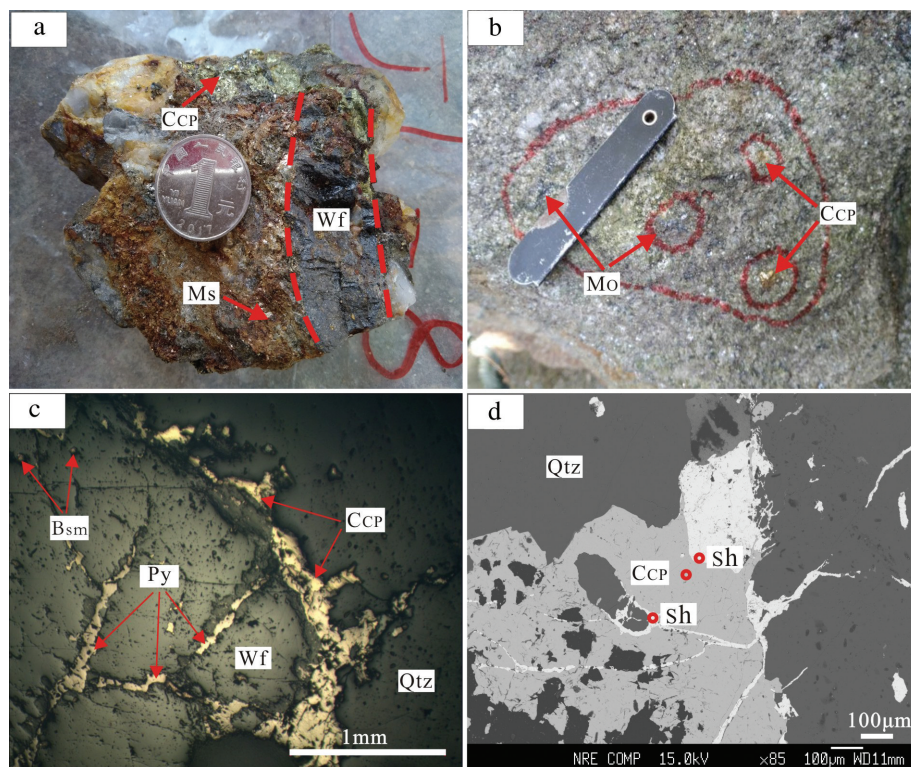


图4 见龙铜钨矿床矿石特征

Wf—黑钨矿; Ccp—黄铜矿; Py—黄铁矿; Bsm—自然铋; Sh—白钨矿; Mo—辉钼矿; Ms—白云母; Qtz—石英; a—石英脉型矿石(手标本); b—云英岩型矿石(手标本); c—晚期黄铁矿、黄铜矿呈脉状沿黑钨矿中裂隙及周围进行穿插、交代(反射光); d—晚期白钨矿呈脉状穿切并交代黄铜矿和黑钨矿(电子探针照片)

Fig. 4 Characteristics of ores from the Jianlong Cu-W deposit

Wf—Wolframite; Ccp—Chalcopyrite; Py—Pyrite; Bsm—Bismumumu; Sh—Scheelite; Mo—Molybdenite; Ms—Muscovite; Qtz—Quartz; a—Quartz vein type ore; b—Mica type ore; c—Late pyrite and chalcopyrite interlaced along the fracture of wolframite; d—Late scheelite as vein interlaced along the fracture of chalcopyrite and wolframite

锆石U-Pb测年分析在中国科学院青藏高原研究所大陆碰撞与高原隆升重点实验室激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)上完成。激光剥蚀系统为美国Newwave公司生产的UP193FX型193 nm ArF准分子系统,激光器来自于德国ATL公司,ICP-MS为Agilent7500a。激光器波长为193 nm,脉冲宽度小于4 ns。本次所用斑束直径为30 μm。详细实验测试过程见文献(侯可军等,2009)。辉钼矿Re-Os同位素测试在国家地质实验测试中心Re-Os同位素实验室完成,分析仪器为PQ Excell ICP-MS,Re-Os同位素分析原理和详细分析方法参见文献(Du et al.,2004)。

4.3 测试结果

佛子山岩体细粒黑云母花岗岩锆石U-Pb同位素测年结果见表1,本次用于测试的样品FZS-5共分析了30个点,数据点中的U和Th含量变化范围

较大,介于 $147.22 \times 10^{-6} \sim 3224.82 \times 10^{-6}$ 和 $106.90 \times 10^{-6} \sim 1397.08 \times 10^{-6}$,Th/U为0.09~1.31,且大多数Th/U > 0.4,阴极发光图像上锆石多显现出良好的韵律环带结构,具有岩浆锆石特征。数据点02、03、04、05、08、12、13、19、20谐和度偏低(<90%),可能是锆石结晶后没有形成良好的封闭体系,后期存在U的加入或是Pb呈不同程度丢失、扩散的结果。数据点01、06、07、11、14、15、18、21、28年龄值偏离主体锆石年龄较大,不参与加权平均计算。剩余12个锆石数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄值相对较为集中,分布于148~153 Ma,且具有较好的谐和度($\geq 90\%$),说明锆石结晶形成之后保持了良好的U-Pb封闭体系,基本没有U、Pb同位素的加入或是丢失,其U-Pb等时线年龄为 $(154.3 \pm 0.57)\text{Ma}$, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值为 $(154.2 \pm 1.7)\text{Ma}$ (图6),二者年龄值在误差范围内趋于一致,代表了佛子山岩体细粒黑云母花岗岩的结

表1 佛子山岩体细粒黑云母花岗岩锆石LA-ICP-MSU-Pb同位素测年结果

Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating data of granule biotite granite in Fozishan

测点号	含量/ 10^{-6}			Th/U	同位素比值						表面年龄/Ma	
	^{238}U	^{232}Th	^{206}Pb		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
FZS-5-01	380	231	287	0.61	0.1599	0.0013	1.6133	0.0280	0.0732	0.0014	956	7
FZS-5-02	1115	462	247	0.41	0.0246	0.0002	1.2859	0.0172	0.3793	0.0064	95	2
FZS-5-03	3225	1397	325	0.43	0.0215	0.0002	0.1892	0.0034	0.0638	0.0013	137	1
FZS-5-04	283	305	54	1.08	0.0243	0.0004	0.8537	0.0281	0.2549	0.0095	119	3
FZS-5-05	742	377	100	0.51	0.0244	0.0003	0.3246	0.0101	0.0964	0.0032	151	2
FZS-5-06	260	180	158	0.69	0.1276	0.0011	1.1935	0.0266	0.0679	0.0016	774	7
FZS-5-07	324	126	224	0.39	0.1504	0.0013	1.4409	0.0300	0.0695	0.0016	903	7
FZS-5-08	725	763	108	1.05	0.0259	0.0003	0.3867	0.0116	0.1083	0.0035	155	2
FZS-5-09	375	225	42	0.60	0.0239	0.0003	0.1715	0.0101	0.0521	0.0031	156	2
FZS-5-10	464	339	53	0.73	0.0236	0.0004	0.1651	0.0099	0.0508	0.0031	154	2
FZS-5-11	667	112	374	0.17	0.1251	0.0010	1.2428	0.0207	0.0721	0.0013	755	6
FZS-5-12	148	108	17	0.73	0.0244	0.0005	0.1427	0.0168	0.0425	0.0051	157	4
FZS-5-13	649	185	72	0.29	0.0231	0.0003	0.1843	0.0071	0.0580	0.0023	158	2
FZS-5-14	480	310	442	0.65	0.1947	0.0015	2.1239	0.0282	0.0791	0.0012	1147	8
FZS-5-15	710	138	526	0.19	0.1670	0.0012	1.6457	0.0215	0.0715	0.0011	996	7
FZS-5-16	383	209	43	0.55	0.0240	0.0003	0.1764	0.0096	0.0533	0.0030	157	2
FZS-5-17	382	370	44	0.97	0.0234	0.0003	0.1714	0.0102	0.0531	0.0032	157	3
FZS-5-18	187	138	329	0.74	0.3562	0.0030	6.0232	0.0801	0.1227	0.0019	1964	14
FZS-5-19	177	146	23	0.83	0.0238	0.0004	0.2202	0.0143	0.0672	0.0045	161	4
FZS-5-20	1506	506	146	0.34	0.0211	0.0002	0.1934	0.0060	0.0663	0.0022	135	1
FZS-5-21	331	166	26	0.50	0.0149	0.0004	0.2444	0.0150	0.1188	0.0080	87	2
FZS-5-22	241	236	28	0.98	0.0233	0.0004	0.1774	0.0142	0.0553	0.0045	156	5
FZS-5-23	585	464	67	0.79	0.0237	0.0003	0.1636	0.0069	0.0501	0.0022	157	2
FZS-5-24	605	141	64	0.23	0.0240	0.0003	0.1652	0.0088	0.0500	0.0027	155	2
FZS-5-25	177	232	21	1.31	0.0236	0.0005	0.1582	0.0159	0.0487	0.0050	156	4
FZS-5-26	1002	601	114	0.60	0.0239	0.0002	0.1632	0.0044	0.0496	0.0014	156	2
FZS-5-27	2053	183	236	0.09	0.0241	0.0002	0.2509	0.0060	0.0757	0.0020	151	1
FZS-5-28	440	165	572	0.38	0.2834	0.0021	3.8933	0.0446	0.0996	0.0014	1609	11
FZS-5-29	309	181	37	0.59	0.0243	0.0004	0.2541	0.0141	0.0757	0.0044	152	2
FZS-5-30	273	177	38	0.65	0.0236	0.0004	0.1628	0.0117	0.0501	0.0037	157	2

晶年龄。

见龙矿区辉钼矿 Re-Os 同位素分析结果(表 2)显示:辉钼矿中的 Re 和 ^{187}Os 含量变化范围较小,分别介于 $6484 \times 10^{-9} \sim 21346 \times 10^{-9}$ 和 $10.57 \times 10^{-9} \sim 34.90 \times 10^{-9}$, 5 件样品所获得的辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄趋于一致,介于 $(154.9 \pm 4.1) \sim (156.3 \pm 2.2)$ Ma, 加权平均年龄为 (155.9 ± 1.2) Ma (MSWD=0.15), 5 个数据点构成一条良好的 $^{187}\text{Re}-^{187}\text{Os}$ 等时线,其谐和年龄值为 (156.5 ± 3.0) Ma (MSWD=0.25) (图 7),二者在误差范围内一致,普 Os 值接近于 0,说明该分析结果是可靠的。

5 讨论

5.1 成岩成矿时代

野外地质调查发现,见龙铜钨矿床矿化产在佛子山岩体内、外接触带中,其中岩体内接触带形成

热液交代型的云英岩矿化,而外接触带浅变质围岩地层中则形成热液充填型的石英脉矿化,含矿石英脉向下可到达岩体内部,表明铜钨多金属矿化与佛子山岩体细粒黑云母花岗岩关系密切。本次研究首次获得见龙铜钨矿床的成岩成矿时代,结果显示佛子山岩体细粒黑云母花岗岩的形成年龄为 (154.2 ± 1.7) Ma, 云英岩型矿体形成年龄为 (155.9 ± 1.2) Ma,二者在误差范围内基本一致,形成时代属燕山早期晚侏罗世。

兴国—宁都矿集区是赣南四大钨多金属矿集区之一,目前区域内已知的画眉坳钨矿主带中—细粒黑云母花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 (159.9 ± 1.2) Ma、辉钼矿 Re-Os 等时线年龄 (158.5 ± 3.3) Ma、白云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄 (157.9 ± 1.1) Ma (Feng et al., 2015a); 张家地钨钼矿似斑状中细粒黑云母花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 (154.1 ± 1.8) Ma、辉钼矿



图5 佛子山岩体细粒黑云母花岗岩锆石阴极发光图像及测点位置

Fig.5 Cathodoluminescent images and analyzed points of zircons from granule biotite granite in Fozishan

Re-Os 等时线年龄(157.9 ± 1.6)Ma (丰成友等, 2015a); 岩前钨矿黑云母二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄(160.6 ± 0.7)Ma、辉钼矿 Re-Os 等时线年龄(159.2 ± 2.3)Ma (赵正等, 2013); 良村地区花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄($147.3 \sim 158.0$)Ma (王崴平等, 2014); 江背岩体中粒—中粗粒黑云母花岗岩(主岩基) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄(161.3 ± 1.6)Ma、中细粒黑云母二长花岗岩(鸡笼寨和桥山)的侵入结晶时间为(154.79 ± 0.93)Ma, 细粒黑云母花岗岩(岩前和月形)的结晶年龄为(153.18 ± 0.078)Ma (曾载淋, 2012); 黄陂岩体中粗粒黑云母花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄(160.9 ± 2.4)Ma (田泽瑾等, 2014)。成岩时代为 147.3~161.3 Ma, 成矿时代为 157.9~159.2 Ma, 成岩与成矿时间在误差范围内趋于一致, 集中在 160~150 Ma, 成岩与成矿作用均发生于燕山早期晚侏罗世。上述研究成果表明区内存在强烈的燕山期岩浆侵入活动和钨、铜、钼等多金属成矿作用, 二者存在密切的时空和成因关系。

近年来, 随着高精度测年技术的进步, 有关华南金属矿床成岩成矿时代的研究取得了丰硕的成果。毛景文等(2004)提出华南地区金属矿床成矿作用主要集中在 170~150 Ma、140~126 Ma 和 110~

80 Ma; 华仁民等(2005b)将华南中生代划分为 3 次大规模成矿作用: 燕山早期(180~170 Ma)、燕山中期(150~139 Ma)和燕山晚期(125~98 Ma)。毛景文等(2007, 2008)基于不断获得的高精度测年数据, 提出南岭地区大规模成矿作用发生于 165~150 Ma 的中晚侏罗世, 区内钨多金属矿床的形成与花岗岩有密切的关系。丰成友等(2015a)详细梳理了华夏地块中生代钨锡矿床成岩成矿时代, 从中笔者发现华夏地块钨多金属矿床由 NW 向 SE: ①成岩成矿时代总体具有逐步变新的趋势, 南岭地区钨多金属成矿作用时间集中在 170~150 Ma, 武夷山地区成矿作用时间分布在 128~98 Ma; ②矿床类型上, 南岭中段以矽卡岩型为主(典型矿床有柿竹园钨矿、芙蓉锡矿和黄沙坪铅锌矿等), 南岭东段以石英脉型为主(代表矿床有淘锡坑钨矿、漂塘钨矿、画眉坳钨矿和盘古山钨矿等), 武夷山地区多为斑岩型矿床(包括莲花山钨矿、岩背锡矿、中甲锡矿、铜坑嶂钼矿和红山铜矿等)。

5.2 成岩成矿时差

关于南岭地区中生代陆壳重熔型花岗岩类成岩成矿时差问题存在争议, 华仁民(2005c)提出南岭地区中生代 170~150 Ma 以大规模岩浆侵位为主,

表2 见龙矿区辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果

Table 2 Results of Re-Os isotopic analyses of molybdenite from the Jianlong Cu-W deposit

样品号	Re/(ng/g)		普Os/(ng/g)		¹⁸⁷ Re/(ng/g)		¹⁸⁷ Os/(ng/g)		模式年龄/Ma	
	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ
FZS-6	9040	92	0.2218	0.4869	5682	58	14.68	0.33	154.9	4.1
FZS-7	16346	223	0.0005	0.0124	10274	140	26.78	0.19	156.3	2.8
FZS-8	21346	408	0.0007	0.0239	13416	256	34.90	0.21	155.9	3.5
FZS-9	6484	58	0.0002	0.0066	4075	37	10.57	0.06	155.5	2.3
FZS-10	8279	65	0.0003	0.0091	5204	41	13.57	0.08	156.3	2.2

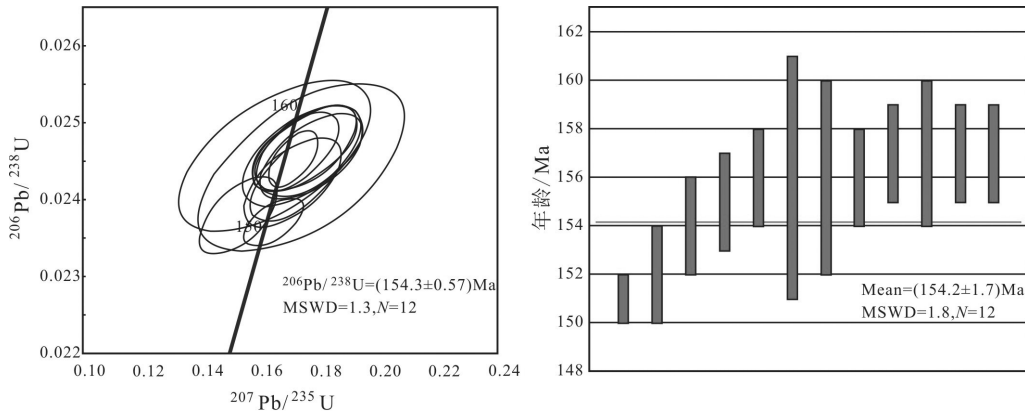


图6 佛子山细粒黑云母花岗岩锆石U-Pb谐和图

Fig.6 Zircons U-Pb concordia diagram of granule biotite granite in Fozishan

150~139 Ma为钨多金属成矿期,认为成岩与成矿是不同时期不同物质来源和构造背景下的产物;另一种观点则认为南岭地区中生代花岗岩与钨多金属矿床为相同构造背景下同源岩浆演化的不同阶段的产物,成岩与成矿时间相差不大(谭俊等, 2007)。近年来,丰成友等(2010, 2015a)通过大量收集华南地区钨锡矿床的测年数据,发现成矿作用几乎同时或稍晚于成岩作用,成岩成矿时间集中分布于170~150 Ma,该时期南岭地区经历了古太平洋板块向欧亚大陆之下俯冲,岩石圈大规模伸展构造背景下形成一系列NE向展布的裂谷带。这些裂谷带与EW向基底断裂的交汇部位形成岩浆活动及成矿作用的中心,南岭地区大规模的成岩成矿作用就是在这一构造背景下进行的(毛景文等, 2007)。本次研究获得见龙铜钨矿成矿年龄为(155.9±1.2)Ma,细粒黑云母花岗岩形成年龄为(154.2±1.7)Ma,二者在误差范围内趋于一致,暗示成岩与成矿作用几乎同

时发生,研究结果倾向于支持后一观点。

5.3 成矿物质来源

Re-Os同位素体系不仅可以精确厘定矿床成矿年龄,还能有效指示矿床成矿物质来源(Lamber et al., 1999; Stein et al., 2001)。有学者对中国不同类型钼矿床中辉钼矿的铼含量进行了统计,结果表明不同来源辉钼矿中铼的含量差异显著,从地壳($n \times 10^{-6}$)、壳幔混合($n \times 10^{-5}$)到地幔($n \times 10^{-4}$)其含量依次呈数量级递增趋势(Mao et al, 1999; 孟祥金等, 2007)。本次研究获得见龙铜钨矿床5件云英岩型矿体样品中辉钼矿的铼含量为 $6.484 \times 10^{-6} \sim 21.346 \times 10^{-6}$,平均 12.299×10^{-6} ,表明矿床成矿物质具有壳幔混合来源特征。矿区北侧NNE向煌斑岩脉的发现说明该区曾有过地幔活动迹象,据此推测成矿可能有地幔物质参与。此外矿石(含云英岩型和石英脉型)硫同位素特征显示硫具有地幔或岩浆来源(数据待发表),因矿床周围无膏盐层存在,无法为矿床

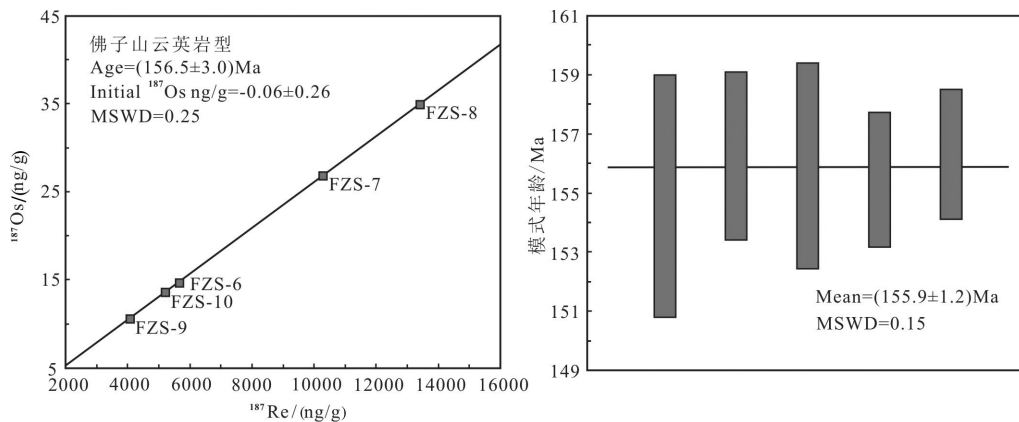


图7 见龙矿区辉钼矿Re-Os等时线及加权平均年龄

Fig.7 Re-Os isochron and weighted average age of molybdenite from the Jianlong Cu-W deposit

提供足够的硫,故矿石中的硫很有可能来源于矿区内隐伏花岗岩体。硫同位素组成较为均一,说明成矿物质经历了壳幔混合作用。

见龙铜钨矿辉钼矿中铼的含量较之区内画眉坳石英脉型钨铋矿($0.301 \times 10^{-6} \sim 0.708 \times 10^{-6}$, 平均值 0.439×10^{-6}) (曾载淋, 2012) 和岩前石英脉型钨矿($3.379 \times 10^{-6} \sim 6.829 \times 10^{-6}$, 平均值 5.214×10^{-6}) (赵正等, 2013) 略高, 与张家地钼钨矿床王泥排矿段(石英脉型)($9.582 \times 10^{-6} \sim 14.335 \times 10^{-6}$, 平均值 11.588×10^{-6}) 和刘家庄矿段(云英岩型)($8.295 \times 10^{-6} \sim 22.651 \times 10^{-6}$, 平均值 13.213×10^{-6}) (丰成友等, 2015a) 相当, 区内钨多金属矿床中辉钼矿的铼含量值总体显示出由云英岩型向石英脉型降低趋势, 与杨宗锋等(2011)统计结果一致。

6 结 论

(1) 见龙铜钨矿床矿化类型包括石英脉型和云英岩型, 以石英脉型为主, 矿体产于燕山早期花岗岩侵入体的内、外接触带内, 是以铜钨为主的多金属矿床。

(2) 佛子山岩体细粒黑云母花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 $(154.2 \pm 1.7) \text{Ma}$, 云英岩型矿体形成年龄为 $(155.9 \pm 1.2) \text{Ma}$, 成岩与成矿作用几乎同时发生, 形成时代为燕山早期晚侏罗世。

(3) 矿床成矿物质来源于壳幔混合, 矿区内隐伏花岗岩体为成矿提供了主要的物质来源, 成矿还有少量地幔物质的参与。

致谢: 野外工作得到了见龙铜矿所在项目部同行们的大力支持, 实验测试分析阶段中国地质大学(武汉)张东阳博士提供了大力帮助, 文稿初成时中国地质科学院矿产资源研究所黄凡副研究员给予了许多中肯意见, 在此一并致以诚挚感谢!

References

Bai Daoyuan, Ma Tieqiu, Wang Xianhui, Zhang Xiaoyang, Chen Bihe. 2008. Progress in the study of Mesozoic tectono-magmatism and mineralization in the central segment of the Nanling Mountains—Summary of major achievements of the 1: 250000 geological survey in southeastern Hunan[J]. *Geology in China*, 35(3): 436–455(in Chinese with English abstract).

Chen Yuchuan, Wang Denghong, Xu Zhigang, Huang Fan. 2014. Outline of regional metallogeny of ore deposits associated with the Mesozoic magmatism in South China[J]. *Geotectonica et*

Metallogenia, 38(2): 219–229(in Chinese with English abstract).

Cui Yuanyuan. 2014. Geochronology, Geochemistry and Petrogenesis of the Granitoids in the Sanming–Ganzhou Area, South China[D]. Beijing: China University of Geoscience (in Chinese with English abstract).

Dong Chenyang. 2010. Geochronology, Geochemistry and Genesis of Uranium-bearing and Uraniumbarren Granite in Taoshan, Jiangxi Province[D]. Nanjing: Nanjing University (in Chinese with English abstract).

Du Andao, Wu Shuqi, Sun Dezhong, Wang Shuxian. 2004. Preparation and certification of Re–Os dating reference materials: Molybdenites HLP and JDC[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 28(1): 41–52.

Feng Chengyou, Zeng Zailin, Qu Wenjun, Zhang Dequan, Wang Song. 2010. Differences between diagenesis and mineralization times of tungsten deposits in South Jiangxi[J]. *Mineral Deposits*, 29(S1): 431–432(in Chinese with English abstract).

Feng Chengyou, Zeng Zailin, Qu Wenjun, Liu Junsheng, Li Haipan. 2015a. A geochronological study of granite and related mineralization of the Zhangjiadi molybdenite–tungsten deposit in Xingguo County, southern Jiangxi Province, China, and its geological significance. [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 31(3): 709–724(in Chinese with English abstract).

Feng Chengyou, Zhao Zheng, Qu Wenjun, Zeng Zailin. 2015b. Temporal consistency between granite evolution and tungsten mineralization in Huamei'ao, southern Jiangxi Province, China: Evidence from precise zircon U–Pb, molybdenite Re–Os, and muscovite ^{40}Ar – ^{39}Ar isotope geochronology[J]. *Ore Geology Reviews*, 65: 1005–1020(in Chinese with English abstract).

Fu Jianming, Ma Liyan, Cheng Shunbo, Lu Youyue. 2013. Metallogenesis of W(Sn) deposits and their exploration in Nanling Range, China[J]. *Geological Journal of China University*, 19(2): 202–212(in Chinese with English abstract).

Guo Chunli, Chen Zhenyu, Lou Fasheng, Xu Yiming. 2014. Geochemical characteristics and genetic types of the W–Sn bearing Late Jurassic granites in the Nanling Region[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(2): 301–311(in Chinese with English abstract).

Guo Naxin, Zhao Zheng, Chen Zhenyu, Chen Yuchuan, Hou Kejun, Wang Shaoyi. 2014. Chronology, geochemistry and geological significance of epo granite intrusion, Southern Jiangxi[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 33(4): 589–597(in Chinese with English abstract).

Hou Kejun, Li Yanhe, Tian Yourong. 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).

Hua Renming, Chen Peirong, Zhang Wenlan, Yao Junming, Lin Jinfu, Zhang Zhanshi, Gu Shengyan. 2005a. Metallogenesis and their geodynamic settings related to Mesozoic granitoids in the Nanling Range[J]. *Geological Journal of China University*, 11(3): 291–304 (in Chinese with English abstract).

Hua Renming, Chen Peirong, Zhang Wenlan, Lu Jianjun. 2005b .

- Three major metallogenic events in Mesozoic in South China[J]. *Mineral Deposits*, 24(2): 99–107(in Chinese with English abstract).
- Hua Renming. 2005c. 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 [J]. *Geological Review*, 51(6): 633–639(in Chinese with English abstract).
- Huang Fan, Wang Denghong, Chen Zhenyu, Wang Chenghui, Liu Shanbao, Chen Zhenghui. 2014. Preliminary study on metallogenic specialization of the granites related to the molybdenum deposits in the Nanling Region [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(2): 239–254(in Chinese with English abstract).
- Lambert D D, Foster J G, Frick L R, Li C, Naldrett A J. 1999. Re-Os isotopic systematic of the Voisey's Bay Ni-Cu-Co magmatic ore system, Labrador, Canada[J]. *Lithos*, 47(1/2): 69–88.
- Liu Hanbin, Jin Guishan, Li Junjie, Han Juan, Zhang Jianfeng, Zhang Jia, Ding Yingjun. 2014. The simple grained zircon U-Pb dating and its geological significance of Taoshan compound granite massif[J]. *World Nuclear Geoscience*, 31(2): 109–114(in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Li Wuxian, Wang Xuance, Li Qiuli, Liu Yu, Tang Guoqiang. 2009. Role of mantle-derived magma in genesis of early Yanshanian granites in the Nanling Range, South China: In situ zircon Hf-O isotopic constraints[J]. *Science Sinica Terrae*, 52(9): 1262–1278.
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, Zhang Changqing, Mei Yanxiong. 2004. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China[J]. *Earth Science Frontier*, 11(1): 45–55(in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Guo Chunli, Chen Yuchuan. 2007. 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).
- Mao Jingwen, Xie Guiqing, Guo Chunli, Yuan Shunda, Cheng Yanbo, Chen Yuchuan. 2008. Spatial-temporal distribution of mesozoic ore deposits in South China and their metallogenic settings[J]. *Geological Journal of China University*, 14(4): 510–526(in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H, Du A D. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W(Mo) deposit in the northern Qinlian mountains and its geological significance[J]. *Cosmochimica Acta*, 63(11/12): 1815–1818.
- Meng Xiangjin, Hou Zengqian, Dong Guangyu, Liu Jianguang, Qu Wenjun, Yang Zhuseng, Zuo Liyan, Wang Lujin, Xiao Maozhang. 2007. The geological characteristics and Re-Os isotope age of molybdenite of the Xiongjiashan molybdenum deposit, Jiangxi Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 81(7): 946–951(in Chinese with English abstract).
- Pei Rongfu, Wang Yonglei, Wang Haolin. 2009. Ore-forming specialty of the tectono-magmatic zone in Nanling region and its emplacement dynamics for metallogenic series of W-Sn polymetallic deposits[J]. *Geology in China*, 36(3): 483–489(in Chinese with English abstract).
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Hannah J L, Schersten A. 2001. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: How and why it works[J]. *Terra Nova*, 13(6): 479–486.
- Tan Jun, Wei Junhao, Li Yanjun, Li Yanhua, Yan Yunfei. 2007. Some reviews on diagenesis and metallogeny of the Mesozoic crustal remelting granitoids in the Nanling Region[J]. *Geological Review*, 53(3): 349–362(in Chinese with English abstract).
- Tian Zejin, Chen Zhenyu, Wang Denghong, Chen Zhenghui, Huang Fan, Zhao Zheng, Hou Kejun. 2014. Zircon U-Pb geochronology and uranium-production capacity of the Taoshan Complex in Southern Jiangxi[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 33(1): 133–141(in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Chen Zhenyu, Huang Fan, Wang Chenghui, Zhao Zhi, Chen Zhenghui, Zhao Zheng, Liu Xinxing. 2014. Discussion on metallogenic specialization of the magmatic rocks and related issues in the Nanling Region[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(2): 230–238(in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Chen Zhenyu, Chen Zhenghui, Huang Fan, Hou Kejun, Liu Shanbao, Zhao Zhi, Zhao Zheng. 2014. Progress of the tentative geochronological mapping of the igneous rocks in the northeastern section of the Nanling Region, China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(2): 375–387(in Chinese with English abstract).
- Wang Waiping, Chen Yuchuan, Wang Denghong, Chen Zhenyu. 2014. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating and petrogeochemistry of the Liangcun granites and their petrogenesis, south Jiangxi [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(2): 347–358(in Chinese with English abstract).
- Yang Zongfeng, Luo Zhaohua, Lu Xinxiang, Li Lu, Huang Fan. 2011. Discussion on significance of Re content of molybdenite in tracing source of metallogenic materials[J]. *Mineral Deposits*, 30(4): 654–674(in Chinese with English abstract).
- Zeng Zailin. 2012. Mineralization Regularity and Deep Prospecting of the Yinkeng Area in the East Nanling Metallogenic Belt[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences (in Chinese with English abstract).
- Zhao Xuchen. 2017. Study on the Chronology, genesis and Tectonic Background of Donggu Granite body in South Jiangxi[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zheng, Chen Yuchuan, Zeng Zailin, Chen Zhenghui, Wang Denghong, Zhao Bin, Zhang Jiajing. 2013. Geological characteristics and petrogenic and metallogenic ages of the Yanqian Tungsten deposit in Eastern Nanling Region[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 43(6): 1828–1839(in Chinese with English abstract).
- Zhao Zheng, Wang Denghong, Zhang Changqing, He Yufan. 2014.

- Metallogenic specialization of the magmatic rocks associated with the lead-zinc deposits in the Nanling Region[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 38(2): 289-300(in Chinese with English abstract).
- Zhao Zheng, Liu Chang, Guo Naxin, Zhao Wen, Wang Ping'an, Chen Zhenghui. 2018. Temporal and spatial relationships of granitic magmatism and W mineralization: Insights from the Xingguo orefield, South China[J]. *Ore Geology Reviews*, 95: 945-973.
- Zhu Xinyou, Wang Jingbin, Wang Yanli, Cheng Xiyin, He Peng. 2012. Characteristics of alkali feldspar granite in tungsten(tin) deposits of Nanling region[J]. *Geology in China*, 39(2): 359-381(in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 柏道远, 马铁球, 王先辉, 张晓阳, 陈必河. 2008. 南岭中段中生代构造-岩浆活动与成矿作用研究进展[J]. *中国地质*, 35(3): 436-455.
- 陈毓川, 王登红, 徐志刚, 黄凡. 2014. 华南区域成矿和中生代岩浆成矿规律概要[J]. *大地构造与成矿学*, 38(2): 219-229.
- 崔圆圆. 2014. 华南三明-赣州地区花岗岩类年代学、地球化学及岩石成因[D]. 北京: 中国地质大学(北京).
- 董晨阳. 2010. 江西桃山产轴与非产轴花岗岩年代学、地球化学及成因对比研究[D]. 南京: 南京大学.
- 丰成友, 曾载淋, 屈文俊, 刘俊生, 李海潘. 2015a. 赣南兴国县张家地钨矿床成岩成矿时代及地质意义[J]. *岩石学报*, 31(3): 709-724.
- 丰成友, 曾载淋, 屈文俊, 张德全, 王松. 2010. 赣南钨成矿年代学及成岩成矿时差讨论[J]. *矿床地质*, 29(S1): 431-432.
- 付建明, 马丽艳, 程顺波, 卢友月. 2013. 南岭地区锡(钨)成矿规律及找矿[J]. *高校地质学报*, 19(2): 202-212.
- 郭春丽, 陈振宇, 楼法生, 许以明. 2014. 南岭与钨锡矿床有关晚侏罗世花岗岩的成矿专属性研究[J]. *大地构造与成矿学*, 38(2): 301-311.
- 郭娜欣, 赵正, 陈振宇, 陈毓川, 侯可军, 王少秩. 2014. 赣南鹅婆岩体的年代学和岩石地球化学特征及其地质意义[J]. *岩矿测试*, 33(4): 589-597.
- 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, 姚军明, 林锦富, 张展适, 顾晟彦. 2005a. 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*, 11(3): 291-304.
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 陆建军. 2005b. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用[J]. *矿床地质*, 24(2): 99-107.
- 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[J]. *地质论评*, 51(6): 633-639.
- 黄凡, 王登红, 陈振宇, 王成辉, 刘善宝, 陈郑辉. 2014. 南岭钨矿的岩浆岩成矿专属性初步研究[J]. *大地构造与成矿学*, 38(2): 239-254.
- 刘汉彬, 金贵善, 李军杰, 韩娟, 张建锋, 张佳, 丁迎军. 2014. 桃山复式花岗岩体单颗粒锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *世界核地质科学*, 31(2): 109-114.
- 毛景文, 谢桂清, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 2004. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. *地学前缘*, 11(1): 45-55.
- 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.
- 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 袁顺达, 程彦博, 陈毓川. 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[J]. *高校地质学报*, 14(4): 510-526.
- 孟祥金, 侯增谦, 董光裕, 刘建光, 屈文俊, 杨竹森, 左力艳, 万禄进, 肖茂章. 2007. 江西金溪熊家山钨矿床特征及其 Re-Os 年龄[J]. *地质学报*, 81(7): 946-951.
- 裴荣富, 王永磊, 王浩琳. 2009. 南岭钨锡多金属矿床成矿系列与构造岩浆侵位接触构造动力成矿专属[J]. *中国地质*, 36(3): 483-489.
- 谭俊, 魏俊浩, 李艳军, 李闰华, 鄢云飞. 2007. 南岭中生代陆壳重熔型花岗岩类成岩成矿的有关问题[J]. *地质论评*, 53(3): 349-362.
- 田泽瑾, 陈振宇, 王登红, 陈郑辉, 黄凡, 赵正, 侯可军. 2014. 赣南桃山复式岩体的锆石 U-Pb 年代学及其产钨性探讨[J]. *岩矿测试*, 33(1): 133-141.
- 王登红, 陈振宇, 黄凡, 王成辉, 赵芝, 陈郑辉, 赵正, 刘新星. 2014. 南岭岩浆岩成矿专属性及相关问题探讨[J]. *大地构造与成矿学*, 38(2): 230-238.
- 王登红, 陈振宇, 陈郑辉, 黄凡, 侯可军, 刘善宝, 赵芝, 赵正. 2014. 南岭东段北部岩浆岩同位素年代学填图的尝试及其新进展[J]. *大地构造与成矿学*, 38(2): 375-387.
- 王崑平, 陈毓川, 王登红, 陈振宇. 2014. 赣南兴国县良村花岗岩锆石 LA-ICP-MSU-Pb 年代学、岩石地球化学与成岩机制研究[J]. *大地构造与成矿学*, 38(2): 347-358.
- 杨宗锋, 罗照华, 卢欣祥, 黎鹿, 黄凡. 2011. 关于辉钨矿中 Re 含量示踪来源的讨论[J]. *矿床地质*, 30(4): 654-674.
- 曾载淋. 2012. 南岭东段银坑地区主要金属矿产成矿规律研究与深部找矿探索[D]. 北京: 中国地质科学院.
- 赵旭辰. 2017. 赣南东固花岗岩体的年代学、成因及构造背景研究[D]. 成都: 成都理工大学.
- 赵正, 陈毓川, 曾载淋, 陈郑辉, 王登红, 赵斌, 张家菁. 2013. 南岭东段岩前钨矿床地质特征及成岩成矿时代[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 43(6): 1828-1839.
- 赵正, 王登红, 张长青, 何玉璠. 2014. 南岭地区与铅锌矿有关岩浆岩的成矿专属性研究[J]. *大地构造与成矿学*, 38(2): 289-300.
- 祝新友, 王京彬, 王艳丽, 程细音, 何鹏. 2012. 南岭钨锡多金属矿区碱长花岗岩的厘定及其意义[J]. *中国地质*, 39(2): 359-381.