

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2019.04.001

引用格式:周小栋. 闽东古田西朝钼矿床成岩成矿年龄的厘定及其地质意义[J]. 华东地质, 2019, 40(4): 241-252.

闽东古田西朝钼矿床成岩成矿年龄的厘定及其地质意义

周小栋

(福建省地质调查研究院, 福州 350013)

摘要: 西朝钼矿是近年来在闽东地区新发现的中型斑岩型钼矿床。通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及辉钼矿 Re-Os 等时线定年, 获得与成矿密切相关的黑云母二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 115 ± 1.2 Ma (MSWD=0.90), 辉钼矿 $^{187}\text{Re}-^{187}\text{Os}$ 模式年龄加权平均值为 112.6 ± 0.7 Ma (MSWD=0.82), $^{187}\text{Re}-^{187}\text{Os}$ 同位素等时线年龄为 113.4 ± 0.9 Ma (MSWD=0.11), 成岩、成矿年龄基本一致, 成矿稍晚于成岩, 二者均为早白垩世晚期岩浆-成矿作用的产物。根据辉钼矿 Re 含量特征, 认为西朝钼矿成矿物质为深部壳幔混合来源。西朝钼矿形成于古太平洋板块向欧亚板块持续俯冲下的伸展构造环境, 是岩石圈减薄、局部软流圈物质上涌导致下地壳部分熔融形成的产物。

关键词: LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年; 辉钼矿; Re-Os 年龄; 西朝钼矿; 闽东

中图分类号: P618.65

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2019)04-241-12

闽东火山断拗带位于政和一大埔断裂带以东, 广泛发育中生代火山岩及侵入岩, 是中国东南沿海中生代岩浆岩带的重要组成部分^[1-2]。近年来, 在闽东地区相继发现一系列钼、钼铍、铜钼矿床, 如霞浦大湾钼(铍)矿^[3-4]、周宁咸格钼矿^[5-6]、福安赤路钼矿^[7-8]、古田西朝钼矿^[9-10]、建瓯罗山钼矿^[11]、仙游砺山钼矿^[12]、平和包围山钼矿^[13]、平和福里钼矿^[14]、平和锦溪铜钼矿^[15]和平和钟腾铜钼矿等^[6]。这些矿床以斑岩型和岩浆热液型为主, 成矿时代集中在燕山晚期, 矿体主要产于燕山期侵入岩或晚侏罗世南园组火山岩中。钼矿床类型、规模和成矿地质条件均表明, 闽东地区是福建省乃至东南沿海地区重要的钼多金属矿产地和成矿远景区^[16]。

西朝钼矿为近年来在闽东地区新发现的中型钼矿床, 前人对其矿床地质特征、成矿规律及找矿标志进行研究, 认为该矿床属斑岩型钼矿床, 与燕山早期似斑状黑云母二长花岗岩有关^[9-10]。目前, 对西朝钼矿的成岩、成矿时代及成矿物质来源尚未

深入研究。本文对西朝钼矿含矿岩体及辉钼矿分别开展 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 和 Re-Os 同位素测年, 厘定了其成岩、成矿时代, 分析成矿物质来源, 结合前人研究成果^[17-27], 初步探讨闽东地区钼矿床的成矿地球动力学背景。

1 区域地质概况

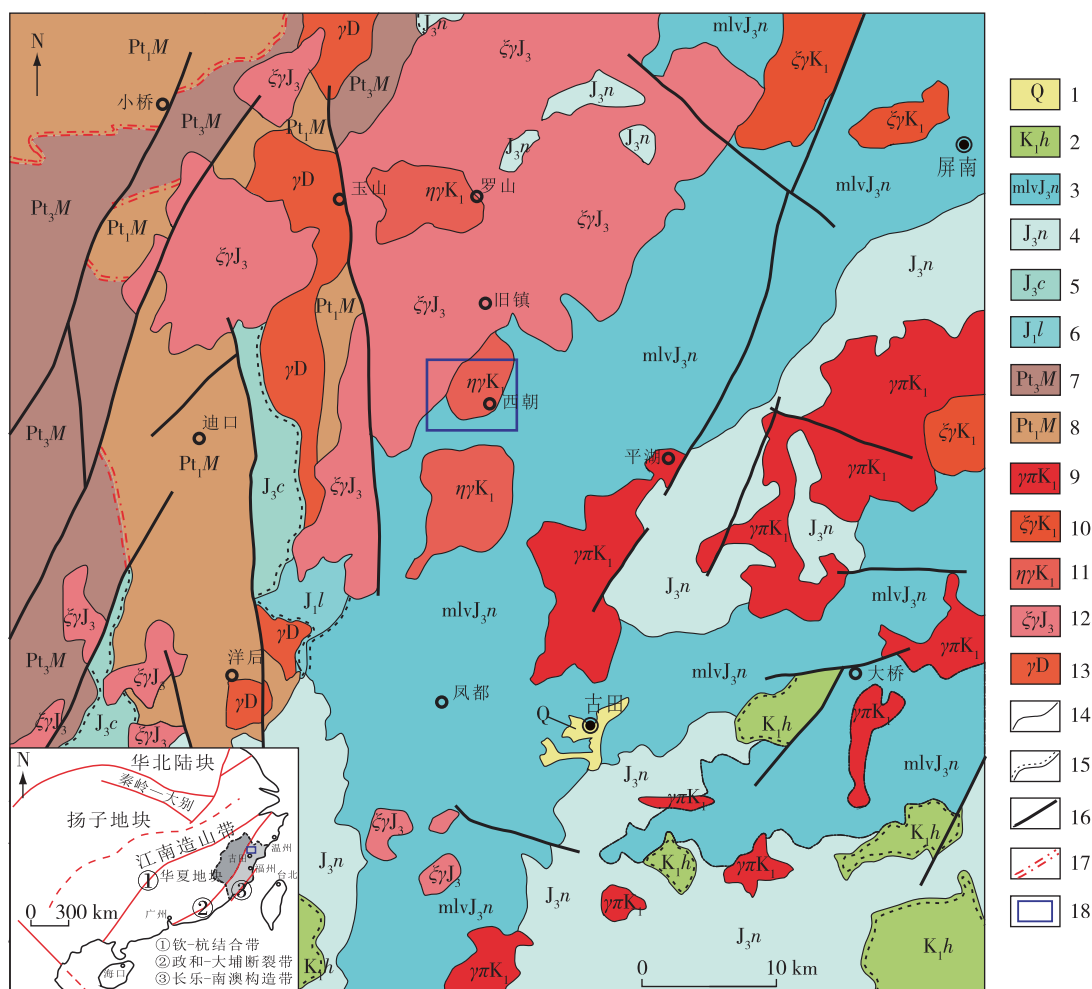
闽东火山断拗带位于欧亚板块东南缘, 属于古太平洋板块俯冲带的活动大陆边缘^[16, 28]。武夷山成矿带是环太平洋中新生代巨型构造-岩浆岩带的重要组成部分之一, 西朝钼矿位于武夷山成矿带东北部古田县, 闽东火山断拗带西北缘, 处于政和一大埔断裂带东侧(图1)及近 SN 向浦城—尤溪和 NE 向屏南—上杭断裂带交汇部位, 整体以 NE 向和近 SN 向断裂为主, NWW 向—近 EW 向断裂零星发育。

区域出露的地层以前寒武纪变质岩和中生代陆相火山-沉积岩为主, 零星发育第四纪冲洪积物。

* 收稿日期: 2018-10-26 修订日期: 2018-11-30 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 中国地质调查局“福建 1:5 万建瓯市、南雅、玉山、西溪幅区域地质矿产调查(编号: 12120114043001)”项目资助。

作者简介: 周小栋, 1987 年生, 男, 工程师, 主要从事区域地质、矿产地质调查及研究工作。



1. 第四系;2. 早白垩世黄坑组;3. 晚侏罗世南园组碎斑熔岩;4. 晚侏罗世南园组;5. 晚侏罗世长林组;6. 早侏罗世梨山组;7. 新元古代马面山(岩)群;8. 古元古代麻源(岩)群;9. 早白垩世花岗斑岩;10. 早白垩世正长花岗岩;11. 早白垩世二长花岗岩;12. 晚侏罗世正长花岗岩;13. 泥盆纪花岗岩;14. 侵入界线;15. 角度不整合界线;16. 断层;17. 韧性剪切带;18. 西朝矿区范围

图1 闽东古田地区区域地质简图^[18]

Fig. 1 Simplified geological map of the Gutian area, eastern Fujian Province^[18]

前寒武纪区域变质岩包括古元古代麻源(岩)群和新元古代马面山(岩)群,二者呈韧性剪切接触,其中麻源岩群由大金山岩组和迪口岩组组成,主要为低角闪岩相区域变质岩,原岩为一套复陆屑及火山复陆屑建造,局部夹基性火山岩。马面山(岩)群自上而下划分为龙北溪岩组、东岩岩组和大岭岩组,主要由一套低角闪岩相-绿片岩相区域变质岩组成。区域上,中生代陆相火山-沉积岩广泛发育,由老到新分别为早侏罗世梨山组,晚侏罗世长林组、南园组和早白垩世黄坑组。早侏罗世梨山组和晚侏罗世长林组零星发育,梨山组主要为继承性盆地河流相、湖泊相碎屑岩建造,下段以粗碎屑岩为主,上段

以细碎屑岩为主;长林组主要为一套陆相碎屑沉积岩夹火山岩建造;晚侏罗世南园组分布广泛,以中酸性-酸性火山岩为主,包括中酸性-酸性粒状、霏细状、隐晶状碎斑熔岩;早白垩世黄坑组主要为酸性火山岩,局部夹沉积岩。

区域上,泥盆纪花岗岩较发育,主要呈小岩基或岩株沿政和-一大埔断裂带断续出露,以铝质钙碱性系列二云母花岗岩、白云母花岗岩为主,属同碰撞造山型花岗岩^[29]。燕山期酸性侵入岩发育广泛,主要呈岩基状产出,局部发育燕山中晚期复式岩体,其中燕山中期(晚侏罗世)主要发育正长花岗岩,燕山晚期(早白垩世)主要发育二长-正长花岗岩

类。早白垩世潜火山岩主要为花岗斑岩,侵入南园组火山岩和正长花岗岩中。

2 矿区及矿床地质特征

2.1 矿区地质特征

矿区位于古田县西北部,距离县城约20 km,面积约2.4 km²,划分为东矿段、西矿段和南矿段,主

要工业矿体产于东矿段和西矿段(图2)。矿区中部、东北部的山间盆地或河流沟谷零星发育第四系,主要由残坡积及冲洪积卵石、砂砾、砂土及黏土组成。晚侏罗世南园组碎斑熔岩主要分布在矿区西部和南部,以灰、灰白色中酸性—酸性粒状、霏细状碎斑熔岩为主,为火山喷出相的产物,局部裂隙钼矿化较强,为矿区次要赋矿围岩。

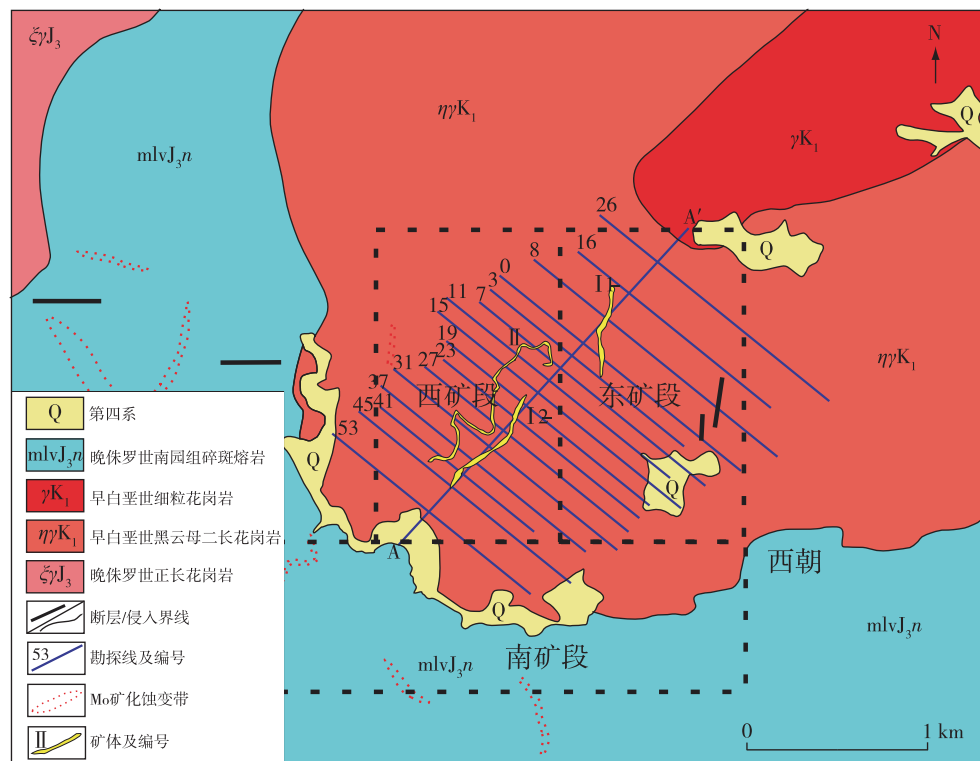


图2 西朝钼矿矿区地质简图^[30]

Fig. 2 Simplified geological map of the Xichao molybdenum ore deposit^[30]

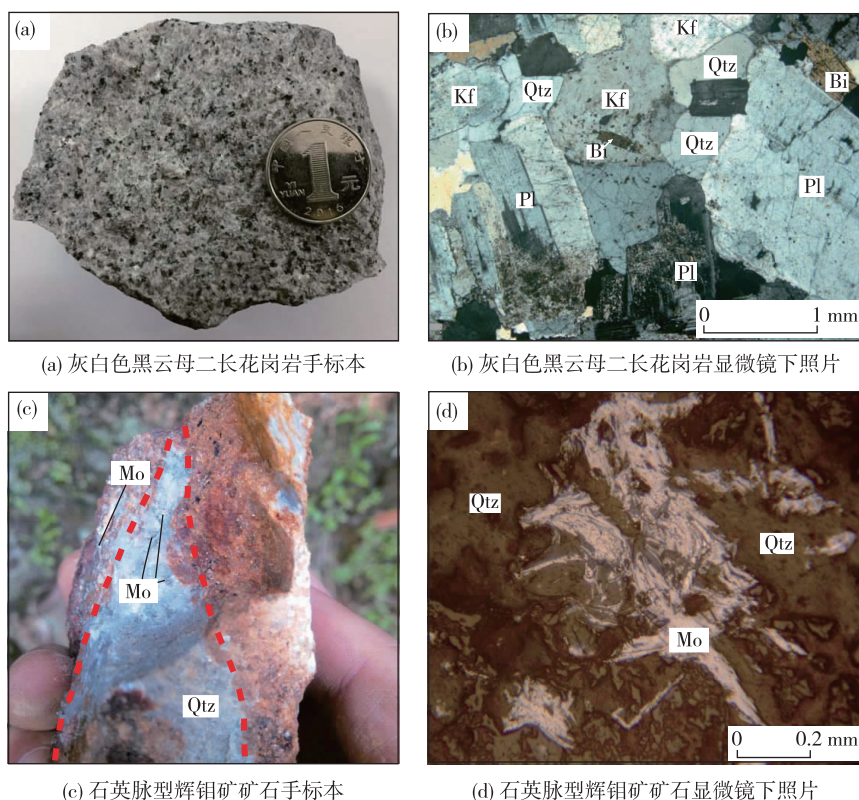
矿区东部、西部零星发育近SN向、EW向断层,规模较小,以发育早白垩世黑云母二长花岗岩顶部的缓倾斜原生层节理或顶部滑脱构造为主,层节理呈总体向上弯曲的背形,主轴略向东北倾伏,节理产状具北西翼缓、南东翼略陡的特征。节理呈密集带状分布,沿走向、倾向延伸较稳定,矿化蚀变较强,常见石英、黄铁矿、绿泥石、钾长石、方解石及辉钼矿等细脉充填^[30]。

侵入岩为燕山期岩浆活动的产物,晚侏罗世正长花岗岩呈岩基状产在矿区西北部;在矿区东北部发育岩脉或小岩株状的细粒花岗岩,规模较小,侵入早白垩世黑云母二长花岗岩中,未见钼矿化蚀变现象;早白垩世黑云母二长花岗岩呈小岩基状发育于矿区中部,岩体内部原生层节理、裂隙发育,矿化

蚀变较强,为主要赋矿围岩,在空间和成因上均与钼成矿关系密切^[9-10,16]。黑云母二长花岗岩多呈灰、灰白色,中细粒花岗结构,块状构造(图3(a)),主要由石英(20%)、钾长石(35%)、斜长石(40%)和黑云母(5%)组成。黑云母呈自形片状、鳞片状,斜长石呈半自形片状、柱状,钾长石呈半自形-他形粒状,他形粒状石英产于长石之间;矿物粒径大部分为0.5~3.5 mm,钾长石粒径可达1~2 cm,局部斜长石发生绢云母化(图3(b))。

2.2 矿床地质特征

钼矿体赋存于早白垩世黑云母二长花岗岩内,主要为隐伏矿体,局部出露地表。钼矿体主要呈似层状,次为豆荚状、透镜状,受岩体内部缓倾斜的原生层节理或裂隙带控制,背形两翼矿体不对称,南



Qtz. 石英; Kf. 钾长石; Bi. 黑云母; Pl. 斜长石; Mo. 辉钼矿

图 3 西朝钼矿岩体及矿石照片

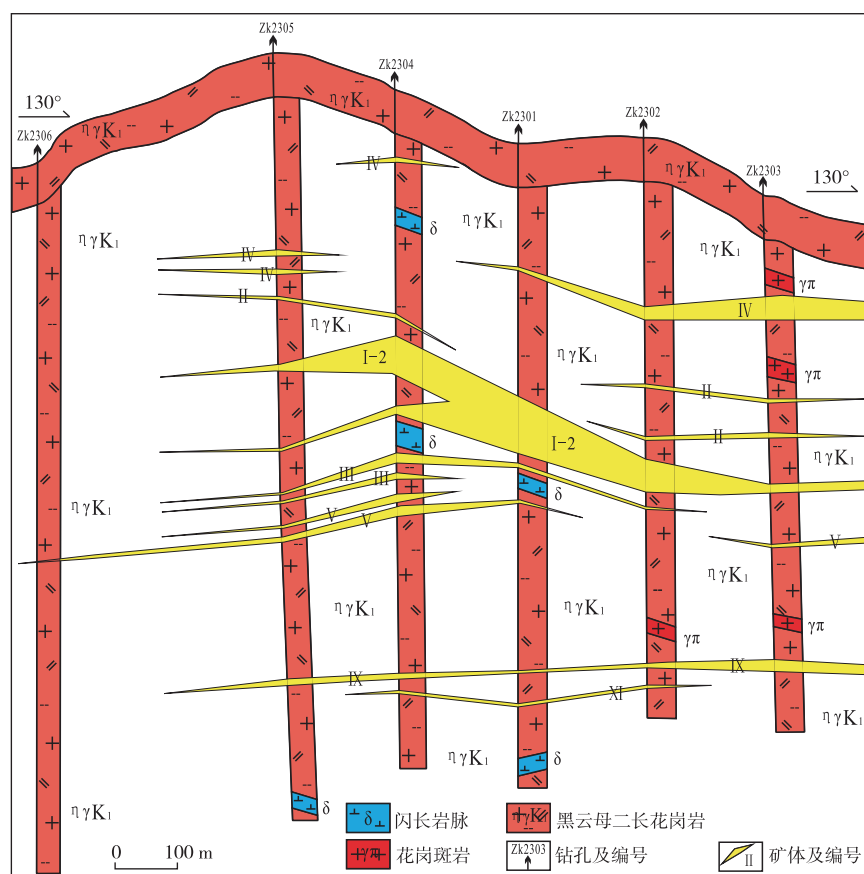
Fig. 3 Photos and micrographs of pluton and ores from the Xichao molybdenum ore deposit

东翼矿体连续性相对较好、产状略陡,北西翼矿体连续性相对较差、产状较缓。矿体沿走向和倾向存在分枝、复合现象(图 4)。矿区共圈定 21 个矿体,其中 I 号和 II 号矿体最大,局部出露地表(图 2)。I 号矿体呈似层状,走向北东,倾向南东,分为 I-1 和 I-2 两个次级矿体,长约 3 km,宽约 0.7 km,矿体厚度为 0.53~43 m,品位为 0.097%~0.218%;II 号矿体位于 I 号矿体上部偏北西侧(图 4),呈似层状,长约 0.7~1 km,宽约 0.25~1.07 km,品位为 0.132%~0.604%^[9-10,30]。

矿石类型有石英(大)脉型、石英细脉型、裂隙型和构造角砾岩型,其中以石英细脉型辉钼矿为主,呈自形-半自形片状、鳞片状结构,似脉状、细脉(浸染)状、角砾状构造为主。矿石中金属矿物主要有辉钼矿、黄铁矿,局部少量磁铁矿和镜铁矿等;脉石矿物主要有石英、长石、绢云母、黑云母及绿泥石等。典型石英细脉型矿石标本显示,半自形鳞片状辉钼矿与自形粒状黄铁矿呈星点状、浸染状产于石英脉中,与围岩界线不清晰,围岩发育脉型蚀变,以

硅化、云英岩化为主(图 3(c));辉钼矿呈片状、鳞片状,集合体呈不规则团簇状、束状发育于石英脉中(图 3(d))。

矿床主成矿期为岩浆期后中温热液成矿,根据矿物共生组合关系、矿物组构以及矿脉交切关系,由早到晚可进一步分为 3 个成矿阶段:石英脉阶段,为成矿早阶段,黄铁石英脉、磁铁矿—黄铁矿脉充填于黑云母二长花岗岩原生裂隙内,无钼矿化或弱钼矿化;辉钼矿—石英脉阶段,主要有磁铁矿—黄铁矿—辉钼矿—石英脉、黄铁矿—辉钼矿—石英脉、辉钼矿石英脉、辉钼矿细脉等,局部含绢云母、绿泥石、绿帘石等,是辉钼矿主要成矿阶段;成矿后期阶段,主要是绿泥石和碳酸盐岩脉,多充填于成矿后期的构造裂隙中,无钼矿化。围岩蚀变以硅化、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化为主,局部钾化、云英岩化、绿帘石化、碳酸盐化等,多呈脉型或面型蚀变发育于石英脉与花岗岩、火山岩接触带及其附近。钼矿与硅化、黄铁矿化、云英岩化和绢云母化关系密切^[9-10,30]。

图 4 西朝钼矿 23 号勘探线地质剖面^[10]Fig. 4 Geological section of the No. 23 exploration line in the Xichao molybdenum ore deposit^[10]

3 样品采集及分析测试

3.1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

用于 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年的样品均采自西朝钼矿东矿段 I-1 矿体赋矿围岩, 岩性为灰白色黑云母二长花岗岩, 岩石学及岩相学特征见图 3(a)、(b)。

在河北廊坊区域地质调查研究院完成锆石挑选工作, 样品经人工破碎至 80~100 目后, 先浮选和标准磁选, 将无磁选重矿物选出, 在双目镜下挑选出表面平整、干净且具不同柱锥面和颜色的锆石颗粒。锆石制靶及 CL 照相在北京铅年领航科技有限公司完成, 将锆石颗粒排列在双面胶上, 用环氧树脂胶结, 完全凝固后经细磨至锆石核部露出, 抛光制成样品靶; 将样品靶在显微镜下先进行透射光和反射光照相, 观察锆石表面特征、内部裂隙及包裹

体发育情况。

通过阴极发光照相, 观察锆石内部结构, 作为选择测点位置的依据。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年工作在中国冶金地质总局山东局测试中心完成, 由美国 Conherent 公司生产的 GeoLasPro 193 nm ArF 准分子系统联合 Thermo X2 质谱仪完成测试, 激光剥蚀采样以氦气作为载气, 束斑直径为 30 μm 、频率为 10 Hz、能量密度约 10 J/cm²。采样方式为单点剥蚀、跳峰采集。采用 Plesovice(年龄为 337 \pm 0.4 Ma^[31])和 GJ-1 标准锆石作为外标进行基准校正, 应用 ICPMSDATA CAL 软件完成数据处理, 详细测试方法及流程见文献[32]。锆石 U-Pb 年龄谱和图及加权平均年龄计算采用 Isoplot/Exver 3^[33]完成。

3.2 辉钼矿 Re-Os 同位素

用于 Re-Os 同位素测试的 6 件辉钼矿样品分

别采自 I 号、II 号矿体,为石英细脉(浸染)型辉钼矿矿石,呈细脉、网脉状充填于黑云母二长花岗岩原生层节理裂隙带中,金属矿物主要为辉钼矿和黄铁矿,脉石矿物为石英。钢灰色辉钼矿呈半自形片状、鳞片状,集合体呈浸染状、星点状分布于石英脉中。样品经无污染逐级破碎后,在双目镜下反复挑纯,最终挑选的辉钼矿纯度 $>99\%$,样品重量 $>1\text{ g}$ 。挑选新鲜、无污染、未氧化的辉钼矿晶体,用玛瑙研钵研磨至 200 目待测。

辉钼矿 Re-Os 同位素测试在中国地质科学院国家地质实验测试中心完成,采用电感耦合等离子质谱仪 TJA X-erie ICP-MS 完成。样品加工、处理流程和分析方法详见文献[34-37]。模式年龄 t 按公式 $t = 1/\lambda \ln(^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re} + 1)$ 计算,其中 $\lambda(^{187}\text{Re}$ 衰变常数) $= 1.666 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ 。Re、Os 含量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和待分析样品同位素比值测量误差,置信水平 95%,模式年龄的不确定度包括衰变常数的不确定度(1.02%),置信水平 95%。

4 分析结果

4.1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

黑云母二长花岗岩中的锆石(图 5)呈无色透明一半透明,晶型较好,以自形-半自形长柱状为主,个别呈短柱状,长 $100 \sim 220 \mu\text{m}$,长宽比为 $1:0.3 \sim 1:0.8$;CL 图像显示锆石均发育典型的振荡环带,且韵律环带较窄,可能指示其形成于低温、岩浆稳定的结晶环境^[38-39],部分锆石边部发育溶蚀结构,呈不规则港湾状。该样品共完成 20 个测点,分析结果见表 1。

锆石 Th/U 值可指示锆石的成因类型,一般 Th/U 值 >0.4 为岩浆成因锆石^[40]。样品 20 个测点 Th/U 值为 $0.54 \sim 0.96$,均 >0.4 ,结合锆石韵律环带发育,认为属典型的岩浆成因锆石。样品 20 个测点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 $110 \pm 2.5 \text{ Ma} \sim 119 \pm 3.9 \text{ Ma}$,谐和度均 $>90\%$ 。

在锆石 U-Pb 年龄谐和图(图 6)上,20 个测点均投影在谐和线上或其附近,指示被测锆石后期没有受到明显热事件的影响,获得的加权平均年龄为 $115 \pm 1.2 \text{ Ma}$ (MSWD=0.90),代表黑云母二长花岗岩的成岩年龄。

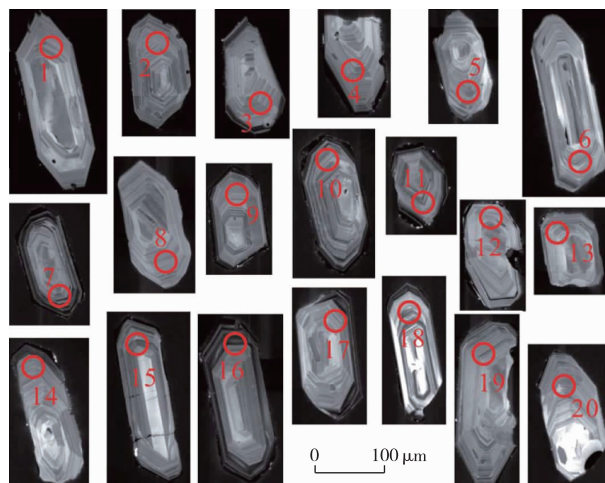


图 5 西朝钼矿黑云母二长花岗岩锆石 CL 图像及测点位置
Fig. 5 CL images and dating spots of zircons from biotite adamellite of the Xichao molybdenum ore deposit

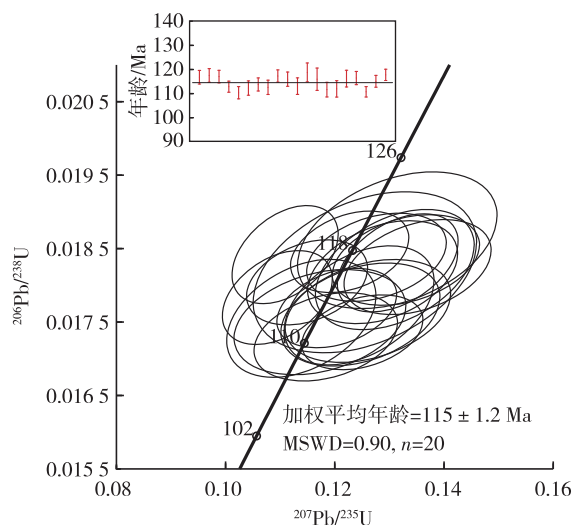


图 6 西朝钼矿黑云母二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 6 U-Pb concordia diagram of biotite adamellite from the Xichao molybdenum ore deposit

4.2 辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄

6 件辉钼矿 Re-Os 同位素组成及表面年龄见表 2。样品 Re 含量为 $(12.480 \sim 73.062) \times 10^{-6}$ 。6 件样品的 $^{187}\text{Re} - ^{187}\text{Os}$ 模式年龄较一致,为 $111.2 \pm 1.6 \text{ Ma} \sim 113.2 \pm 1.7 \text{ Ma}$,获得加权平均年龄为 $112.6 \pm 0.7 \text{ Ma}$ (MSWD=0.82)。6 个年龄数据点拟合的直线线性较好,获得 $^{187}\text{Re} - ^{187}\text{Os}$ 等时线年龄为 $113.4 \pm 0.9 \text{ Ma}$ (MSWD=0.11)(图 7),二者在误差范围内一致,表明测试数据较可靠。

表 1 西朝钼矿黑云母二长花岗岩(Pm301-16)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年数据

Table 1 LA-ICP-MS U-Pb dating data of zircons from biotite adamellite in the Xichao molybdenum ore deposit

| 测点 | 含量/ 10^{-6} | | Th/U | 同位素比值 | | | | | | 表面年龄/Ma | | | | 谐和度/ % |
|----|---------------|-----|------|-----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------|
| | Th | U | | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | 1σ | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | 1σ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | 1σ | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | 1σ | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | 1σ | |
| 1 | 190 | 286 | 0.66 | 0.053 4 | 0.003 2 | 0.131 6 | 0.007 4 | 0.018 3 | 0.000 4 | 126 | 6.6 | 117 | 2.8 | 92 |
| 2 | 227 | 329 | 0.69 | 0.045 8 | 0.003 2 | 0.110 7 | 0.006 5 | 0.018 4 | 0.000 4 | 107 | 5.9 | 118 | 2.8 | 90 |
| 3 | 242 | 325 | 0.74 | 0.052 6 | 0.003 6 | 0.133 1 | 0.009 0 | 0.018 3 | 0.000 4 | 127 | 8.0 | 117 | 2.6 | 91 |
| 4 | 258 | 373 | 0.69 | 0.050 5 | 0.003 2 | 0.120 3 | 0.007 3 | 0.017 7 | 0.000 4 | 115 | 6.6 | 113 | 2.3 | 97 |
| 5 | 195 | 295 | 0.66 | 0.051 1 | 0.004 4 | 0.118 3 | 0.008 8 | 0.017 3 | 0.000 4 | 113 | 8.0 | 110 | 2.5 | 97 |
| 6 | 168 | 224 | 0.75 | 0.054 2 | 0.004 8 | 0.124 7 | 0.009 7 | 0.017 6 | 0.000 5 | 119 | 8.8 | 112 | 3.0 | 93 |
| 7 | 343 | 464 | 0.74 | 0.045 6 | 0.003 2 | 0.109 3 | 0.006 7 | 0.017 8 | 0.000 4 | 105 | 6.1 | 114 | 2.7 | 92 |
| 8 | 221 | 318 | 0.70 | 0.054 8 | 0.004 9 | 0.126 1 | 0.010 1 | 0.017 6 | 0.000 5 | 121 | 9.1 | 113 | 3.0 | 93 |
| 9 | 246 | 355 | 0.69 | 0.051 2 | 0.003 5 | 0.127 7 | 0.008 5 | 0.018 4 | 0.000 4 | 122 | 7.7 | 117 | 2.5 | 96 |
| 10 | 276 | 385 | 0.72 | 0.051 7 | 0.003 7 | 0.128 8 | 0.009 2 | 0.018 2 | 0.000 5 | 123 | 8.3 | 116 | 3.0 | 94 |
| 11 | 272 | 370 | 0.74 | 0.054 7 | 0.005 0 | 0.124 4 | 0.009 1 | 0.017 7 | 0.000 5 | 119 | 8.3 | 113 | 3.4 | 94 |
| 12 | 152 | 243 | 0.63 | 0.055 8 | 0.006 2 | 0.131 5 | 0.012 2 | 0.018 6 | 0.000 6 | 125 | 10.9 | 119 | 3.9 | 94 |
| 13 | 136 | 226 | 0.60 | 0.056 3 | 0.006 8 | 0.125 5 | 0.013 7 | 0.018 2 | 0.000 7 | 120 | 12.3 | 116 | 4.6 | 96 |
| 14 | 227 | 423 | 0.54 | 0.051 8 | 0.005 4 | 0.117 2 | 0.010 5 | 0.017 5 | 0.000 5 | 113 | 9.5 | 112 | 3.0 | 99 |
| 15 | 261 | 351 | 0.74 | 0.052 0 | 0.005 2 | 0.113 8 | 0.009 1 | 0.017 5 | 0.000 5 | 109 | 8.3 | 112 | 3.4 | 97 |
| 16 | 220 | 404 | 0.55 | 0.057 2 | 0.005 7 | 0.131 0 | 0.009 7 | 0.018 2 | 0.000 5 | 125 | 8.7 | 116 | 3.5 | 92 |
| 17 | 194 | 267 | 0.73 | 0.053 7 | 0.003 8 | 0.135 2 | 0.009 0 | 0.018 2 | 0.000 4 | 129 | 8.0 | 116 | 2.7 | 90 |
| 18 | 376 | 391 | 0.96 | 0.052 1 | 0.003 1 | 0.125 0 | 0.007 4 | 0.017 3 | 0.000 3 | 120 | 6.7 | 111 | 2.2 | 92 |
| 19 | 178 | 291 | 0.61 | 0.046 5 | 0.003 2 | 0.114 8 | 0.007 4 | 0.018 0 | 0.000 4 | 110 | 6.7 | 115 | 2.4 | 95 |
| 20 | 269 | 342 | 0.79 | 0.049 3 | 0.003 2 | 0.122 7 | 0.007 2 | 0.018 4 | 0.000 4 | 118 | 6.5 | 118 | 2.3 | 99 |

表 2 西朝钼矿辉钼矿 Re-Os 同位素测试数据

Table 2 Re-Os isotopic analysis data of molybdenite from the Xichao molybdenum ore deposit

| 样品编号 | 样品重量/ g | Re/ 10^{-6} | | Os/ 10^{-9} | | $^{187}\text{Re}/10^{-9}$ | | $^{187}\text{Os}/10^{-9}$ | | 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 |
| CH-13-1 | 0.055 39 | 42.013 | 0.837 | 0.002 4 | 0.005 5 | 26 406 | 526 | 49.69 | 0.43 | 112.8 | 2.6 |
| CH-13-2 | 0.051 05 | 59.196 | 0.505 | 0.000 1 | 0.000 3 | 37 206 | 317 | 70.23 | 0.61 | 113.2 | 1.7 |
| CH-17 | 0.050 77 | 47.295 | 0.385 | 0.000 1 | 0.000 1 | 29 726 | 242 | 55.95 | 0.45 | 112.9 | 1.6 |
| CH-18 | 0.050 74 | 73.062 | 0.569 | 0.000 1 | 0.000 1 | 45 921 | 357 | 86.56 | 0.69 | 113.0 | 1.6 |
| CH-19 | 0.052 77 | 12.480 | 0.096 | 0.000 1 | 0.000 2 | 7 844 | 61 | 14.55 | 0.12 | 111.2 | 1.6 |
| CH-20 | 0.051 65 | 48.941 | 0.471 | 0.000 1 | 0.000 1 | 30 761 | 296 | 57.68 | 0.48 | 112.4 | 1.7 |

5 讨 论

5.1 成岩、成矿时代

闽东地区广泛发育燕山期中酸性—酸性岩浆岩。前人^[16]研究表明,在空间产出上,区内发育的斑岩型、岩浆热液型钼矿床与燕山期花岗岩紧密相关,多数钼矿床或矿点直接产在花岗岩体内,岩体既是含矿围岩,又是成矿母岩,少数产在岩体外接触带的钼矿化,也与花岗岩体存在密切关系。闽东

地区钼矿床的成岩成矿时代为燕山晚期晚侏罗世—早白垩世。

西朝钼矿的矿体均发育于黑云母二长花岗岩体中,该岩体在空间及成因上均与钼成矿作用密切相关^[10],因此,精确厘定该岩体的成岩时代对研究矿床成因尤为重要。前人将西朝矿区黑云母二长花岗岩归为晚侏罗世^[2]或燕山早期第三阶段^[10]岩浆作用的产物。本次研究获得西朝矿区 I 号矿体赋矿围岩(黑云母二长花岗岩)的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 115 ± 1.2 Ma,闽东赤路大型斑岩型钼

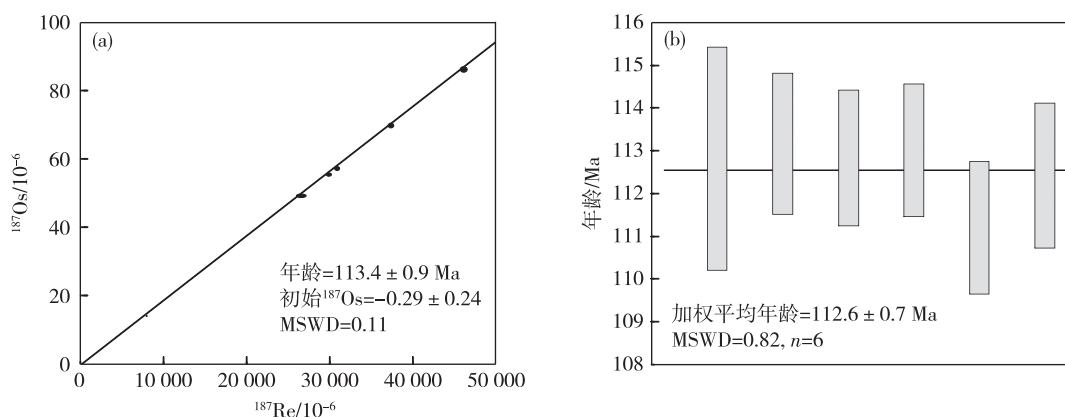


图7 西朝钼矿辉钼矿 Re-Os 同位素等时线(a)和加权平均年龄图(b)

Fig. 7 Diagram of Re-Os isochron (a) and weighted average age (b) for molybdenite ores in the Xichao molybdenum ore deposit

矿床与成矿密切相关的似斑状花岗岩 Rb-Sr 等时线年龄为 115 ± 4 Ma^[7-8,16],二者在误差范围内基本一致,表明西朝钼矿和赤路钼矿的成矿岩体均为早白垩世晚期(燕山晚期)岩浆作用的产物,这与前人^[16]认为的闽东地区钼矿床成矿岩体形成时代以燕山晚期为主的观点吻合。

辉钼矿封闭温度高(约 500 °C)、冷却速度慢,不易受后期地质事件影响^[41],因此对矿床开展辉钼矿 Re-Os 同位素测年是精确厘定成矿时代最直接的方法^[42-43]。本次研究对西朝钼矿开展 Re-Os 同位素测年,获得了¹⁸⁷Re-¹⁸⁷Os 模式年龄加权平均值为 112.6 ± 0.7 Ma,等时线年龄为 113.4 ± 0.9 Ma,代表钼成矿年龄。对比成岩和成矿年龄,发现成矿年龄稍晚于成岩年龄,仅相差 2~3 Ma,这与杜保峰等^[44]统计的中国东部斑岩型钼矿的成岩与成矿时差平均值为 3.3 Ma 基本吻合,表明成岩和成矿同

属燕山晚期(早白垩世晚期)构造-岩浆-成矿作用的产物,钼成矿作用发生于岩浆侵入作用末期。根据矿床和矿体地质特征,结合成岩、成矿年代学特征,认为西朝钼矿与黑云母二长花岗岩在时空上存在密切的成因联系。

前人对闽东地区与钼有关的矿床开展 Re-Os 同位素定年,获得一批精确的成矿年龄(表 3),西朝钼矿的成矿年龄与闽东其他斑岩型钼或铜(钼)矿的成矿年龄(102.6~112 Ma)基本相近,且稍早于岩浆热液型和层控-热液叠加改造型钼矿的成矿时代(91.7~105.7 Ma),这可能与成矿岩体的成岩时代有关,也与斑岩型钼矿床的成岩成矿时差较小有关。研究表明,中国东部斑岩型钼矿成岩与成矿时差为 3.3 Ma、石英脉型钼矿成岩与成矿时差为 8.7 Ma,是由于含矿岩浆热液从岩体内部到岩体与围岩接触带再到围岩裂隙逐步迁移导致的^[44]。

表3 闽东地区钼、钼(铍)、铜(钼)矿成矿年龄

Table 3 Ore-forming ages of various Mo, Mo(Be) or Cu(Mo) deposits in Eastern Fujian Province

| 矿床 | 矿种 | 矿床类型 | Re-Os 成矿年龄/Ma | 资料来源 |
|-------|-------|------------|----------------------------|--------|
| 福安赤路 | Mo | 斑岩型 | 105.3 ± 1.6 | 文献[8] |
| 古田西朝 | Mo | 斑岩型 | 113.4 ± 0.9 | 本文 |
| 平和钟腾 | Cu-Mo | 斑岩型 | $109 \pm 2.8, 112 \pm 2.6$ | 文献[6] |
| 周宁威格 | Mo | 斑岩型 | 102.6 | 文献[6] |
| 平和锦溪 | Cu-Mo | 岩浆-热液型 | 105.7 ± 1.7 | 文献[15] |
| 平和包围山 | Mo | 层控-热液叠加改造型 | 95.2 ± 1.5 | 文献[13] |
| 霞浦大湾 | Mo-Be | 岩浆-热液型 | 92.2 ± 1.3 | 文献[4] |
| 仙游砺山 | Mo | 岩浆-热液型 | 91.7 ± 4.9 | 文献[12] |

5.2 成矿物质来源探讨

辉钼矿 Re-Os 同位素体系不仅可厘定矿床的成矿年龄, 且辉钼矿 Re 含量对矿床的成矿物质来源具有一定的示踪意义^[45]。前人^[46-47]对我国各成因类型钼矿中辉钼矿的 Re 含量进行统计, 认为成矿物质从幔源—壳幔混合—壳源, 辉钼矿 Re 含量表现 $(n \times 10 \sim 103) \times 10^{-6} - n \times 10^{-5} - n \times 10^{-6}$ 数量级式降低。有学者^[48]认为成矿物质来源于地幔或以幔源为主的矿床辉钼矿 Re 含量为 $(100 \sim 1\ 000) \times 10^{-6}$, 壳幔混合来源的矿床, 辉钼矿 Re 含量为 $(10 \sim 100) \times 10^{-6}$, 而成矿物质来自壳源(上地壳)的矿床, 辉钼矿 Re 含量为 $(1 \sim 10) \times 10^{-6}$ 或更低。陈衍景等^[49]认为辉钼矿 Re 含量越高, 表明幔源物质参与成矿作用越强, 地壳成熟度越低。本次获得西朝钼矿 6 件辉钼矿的 Re 含量为 $12.480 \pm 0.096 \times 10^{-6} \sim 73.062 \pm 0.569 \times 10^{-6}$, 表明成矿物质可能为壳幔混合来源, 在 Re-(Re-Os) 模式年龄关系图^[50]中(图 8), 6 件样品均位于壳幔混合源。

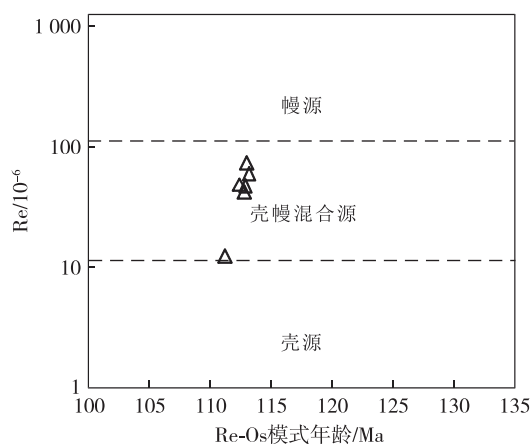


图 8 西朝钼矿床辉钼矿 Re-(Re-Os) 模式年龄关系图^[50]

Fig. 8 Re vs Re-Os model age diagram for molybdenite from the Xichao molybdenum ore deposit^[50]

周鸿年等^[7]通过开展 Sr、S、O 同位素研究, 认为闽东赤路大型斑岩钼矿的成岩、成矿物质来自地壳深部或上地幔; 段明贤^[51]也认为赤路钼矿的成矿物质以深源为主。张克尧等^[8]认为赤路钼矿中辉钼矿 Re 含量为 $(4\ 277 \pm 34) \times 10^{-9} \sim (16\ 174 \pm 151) \times 10^{-9}$, 具有低⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初始值和硫同位素组成接近陨硫硫的特点, 认为成矿物质来源于地壳深部。李观富等^[16]认为闽东地区与斑岩型钼矿有关的岩体多为同熔型花岗岩, 且成矿物质以幔源为主, 并有

不同程度的壳源物质加入。前人统计的华南地区各成因类型钼矿或钨钼矿床的辉钼矿 Re 含量 $< 100 \times 10^{-6}$, 且多数 $< 50 \times 10^{-6}$, 认为壳幔混源岩浆主要参与该类型矿床的成矿作用^[52]。西朝钼矿中辉钼矿 Re 含量与上述变化范围相近, 通过对比, 认为西朝钼矿的成矿物质可能为深部壳幔混合来源, 主要来自于下地壳。

5.3 成矿动力学背景初探

闽东地区位于华南地区东南缘, 属滨太平洋成矿域。华南地区中生代构造-岩浆-成矿作用受特提斯构造域向环太平洋构造域转换以及古太平洋板块俯冲-弧后伸展-陆内深部构造的联合制约, 且主应力场由南北向转变成近东西向^[53-57]。

关于华南中生代大规模成矿作用, 前人进行了深入研究和系统总结^[56,58]。毛景文等^[59]将华南地区中生代主要金属矿床成矿作用划分为晚三叠世(230~210 Ma)、中—晚侏罗世(170~150 Ma)和早—晚白垩世(134~80 Ma)3 个阶段, 认为华南地区燕山期 3 次大规模成矿作用是该区岩石圈发展演化的产物^[60]。一些学者^[61-64]提出, 在 170~175 Ma 古太平洋板块从 SE 向 NW 发生低角度俯冲, 并逐渐占主导作用, 在此挤压背景下导致华南地块整体加厚, 在大陆边缘、弧后和陆内出现一系列裂谷或伸展带, 并伴有高分异花岗质岩浆作用和成矿活动, 同时在南岭成矿带及其东段(包括赣南、闽西一带)形成一系列成矿时代集中在 170~150 Ma 的钼多金属矿床; 约 150 Ma 以后, 在古太平洋板块持续斜向俯冲构造背景下, 华南陆块内部发生从挤压到伸展的一系列构造运动以及深大断裂的再活化, 发生大规模陆内火山-岩浆侵入活动, 其中 135 Ma 是由挤压向伸展转换的重要时间; 125 Ma 以后, 中国东南大陆边缘(包括闽东地区)进入古太平洋板块正向俯冲构造体系, 以持续伸展拉张为主, 其中古太平洋板块俯冲作用方向、速率、角度的变化或回撤效应是导致东南沿海地区晚中生代火山-侵入岩带分布宽广的重要动力学原因^[13,65-68], 也是闽东地区与钼有关的成岩、成矿作用分布广泛的重要因素; 进入晚白垩世(约 96 Ma)以后, 伸展作用明显加强, 出现一系列 A 型花岗岩和晶洞花岗岩。

闽东地区钼矿床自西向东, 即自内陆向沿海表现出 NW-NNE 向分带的特点^[16], 成矿时代主要为 113~92 Ma, 且表现出自西向东成矿时代逐渐变新

的趋势,这与燕山晚期花岗岩由西向东逐渐变新的变化规律吻合,表明闽东地区钼成矿作用与燕山晚期岩浆活动具有密切的成因联系^[4, 69],可能与该时期古太平洋板块持续俯冲背景下,由于俯冲带前缘自西向东逐渐回撤有关。赵芝等^[4]认为福建 165~131 Ma 的钼矿形成于岩石圈伸展背景,110~90 Ma 的钼矿可能形成于古太平洋板片俯冲背景。

综上,早白垩世晚期至晚白垩世早期(113~92 Ma),在古太平洋板块向欧亚板块持续俯冲作用机制影响下,位于主动大陆边缘前端的闽东地区岩石圈整体处于伸展拉张的构造环境,随着岩石圈的减薄,在构造薄弱带软流圈物质上涌并加热促使下地壳物质发生部分熔融,进而导致包括西朝钼矿在内的闽东一系列与钼有关的岩浆-成矿事件。

6 结 论

(1)西朝钼矿床含矿岩体黑云母二长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 115 ± 1.2 Ma (MSWD=0.90),辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为 113.4 ± 0.9 Ma (MSWD=0.11),表明成岩与成矿基本同时发生。

(2)西朝钼矿的成矿物质为深部壳幔混合来源,可能主要来自下地壳。

(3)西朝钼矿床形成于古太平洋板块俯冲背景下的岩石圈伸展构造环境。

参考文献

- [1] 潘桂堂,肖庆辉,陆松年,等.中国大地构造单元划分[J].中国地质,2009,36(1):1-28.
- [2] 福建省地质调查研究院.中国区域地质志·福建志[M].北京:地质出版社,2016:845-856.
- [3] 杨武平.福建霞浦大湾钼矿床地质特征及成因初探[J].福建地质,2008,27(1):1-7.
- [4] 赵芝,陈郑辉,王成辉,等.闽东大湾钼矿的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄——兼论福建省钼矿时空分布及构造背景[J].大地构造与成矿学,2012,36(3):399-405.
- [5] 杨卫立.福建周宁威格钼矿地质特征及找矿潜力分析[J].福建地质,2009,28(3):175-180.
- [6] 王登红,陈郑辉,陈毓川,等.我国重要矿产地成矿年代学研究新数据[J].地质学报,2010,84(7):1030-1040.
- [7] 周鸿年,何耀基.赤路斑岩钼矿床同位素地质特征及其物质来源探讨[J].福建地质,1983,2(2):1-12.
- [8] 张克尧,王建平,杜安道,等.福建福安赤路钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J].中国地质,2009,36(1):147-155.
- [9] 李汶奎.福建省古田县西朝钼矿区成矿规律及找矿标志研究[J].湖南有色金属,2008,24(5):1-4.
- [10] 石礼炎.福建古田西朝钼矿床成矿构造特征及找矿方向[J].福建地质,2009,28(3):167-174.
- [11] 钟长华.福建建瓯罗山钼矿床地质特征及深部找矿潜力分析[J].福建地质,2012,31(3):224-232.
- [12] 王成辉,王登红,陈郑辉,等.福建砺山钼矿的地质特征、成矿时代及区域找矿前景[J].矿物学报,2009,29(1):63-69.
- [13] 潘天望,张达,沈荣泉,等.福建平和包围山钼矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J].矿床地质,2017,36(6):1316-1332.
- [14] 黄新鹏.福建平和福里石钼(钨)矿地质特征及成因初探[J].桂林理工大学学报,2016,36(1):99-106.
- [15] 潘天望,张达,倪建辉,等.福建平和锦溪铜(钨)矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J].地球化学,2016,45(2):173-189.
- [16] 李观富.闽东地区钼成矿带的基本特征[J].华东地质学院学报,1995,18(4):330-334.
- [17] 陈润生,李建威,曹康,等.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[J].地球科学:中国地质大学学报,2013,38(2):289-304.
- [18] WAN Y S, LIU D Y, XU M H, et al. 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 [J]. Gondwana Research, 2007, 12(1):166-183.
- [19] LI X H. Timing of the Cathaysia Block Formation: Constraints from SHRIMP U-Pb Zircon Geochronology[J]. Episodes, 1997, 20(3):188-192.
- [20] 李献华,王一先,赵振华,等.闽浙古元古代斜长角闪岩的离子探针锆石 U-Pb 年代学[J].地球化学,1998,27(4):327-334.
- [21] 黄长煌.福建龙海深澳变质岩锆石 U-Pb 同位素年代学及地质意义[J].华东地质,2016,37(1):28-35.
- [22] 黄长煌.福建长乐—南澳断裂带南务里变质岩碎屑锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J].华东地质,2018,39(3):169-176.
- [23] 丘国春.新解体建瓯东峰花岗片麻岩特征及其时代讨论[J].福建地质,2017,36(1):10-21.
- [24] LI W X, LI X H, LI Z X. Neoproterozoic bimodal magmatism in the Cathaysia Block of South China and its tectonic significance[J]. Precambrian Research, 2005, 136:51-66.

- [25] 张达,吴淦国,彭润民,等.闽中地区马面山群东岩组变质岩形成的古构造环境研究[J].地学前缘,2005,12(1):310-320.
- [26] 舒良树.华南前泥盆纪构造演化:从华夏地块到加里东期造山带[J].高校地质学报,2006,12(4):418-431.
- [27] 舒良树,于津海,贾东,等.华南东段早古生代造山带研究[J].地质通报,2008,27(10):1581-1593.
- [28] 韦德光,揭育金,黄廷淦.福建省区域地质构造特征[J].中国区域地质,1997,16(2):162-170.
- [29] 福建省地质矿产勘查开发局.福建省地质图(1:500 000)及说明书[M].福州:福建省地图出版社,1998.
- [30] 福建省闽北地质大队.福建省古田县西朝矿区钼矿资源储量核查报告[R].邵武:福建省闽北地质大队,2010.
- [31] SLAMA J, KOSLER J, CONDON D J, et al. Plesovice zircon: A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis[J]. Chemical Geology, 2008, 249(1/2): 1-35.
- [32] 李凤春,侯明兰,栾日坚,等.电感耦合等离子体质谱仪与激光器联用测量条件优化及其在锆石 U-Pb 定年中的应用[J].岩矿测试,2016,35(1):17-23.
- [33] LUDWIG K R. Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft excel[M]. California: Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003: 1-70.
- [34] 杜安道,何红蓼,殷宁万,等.辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究[J].地质学报,1994,68(4):339-347.
- [35] SHIREY S B, WALKER R J. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis [J]. Analytical Chemistry, 1995, 67(13): 2136-2141.
- [36] 屈文俊,杜安道.高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钨地质年龄[J].岩矿测试,2003,22(4):254-257.
- [37] DU A D, WU S Q, SUN D Z, et al. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: molybdenite HLP and JDC[J]. Geostandards & Geoanalytical Research, 2010, 28(1): 41-52.
- [38] 王丽娟,黄建平,于津海,等.长江中下游溧水盆地中基性次火山岩-侵入岩的锆石 U-Pb 定年和 Lu-Hf 同位素[J].科学通报,2014,59(14):1305-1317.
- [39] 康丛轩,周延,范飞鹏,等.福建龙岩永福岩体锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及 Lu-Hf 同位素组成[J].大地构造与成矿学,2017,41(5):960-973.
- [40] 吴元保,郑永飞.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,2004,49(16):1589-1604.
- [41] SUZUKI K, SHIMIZU H, MASUDA A. Re-Os dating of molybdenites from ore deposits in Japan: Implication for the closure temperature of Re-Os system for molybdenite and the cooling history of molybdenum ore deposits [J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 1996, 60(16): 3151-3159.
- [42] STEIN H J, MARKEY J W, MORGAN J L, et al. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: How and why it works [J]. Terra Nova, 2001, 13(6): 479-486.
- [43] SEIBY D, CRAWER R A, HART C J R, et al. Absolute timing of sulfide and gold mineralization: A comparison of Re-Os molybdenite and Ar-Ar mica methods from the Tintina Gold Belt, Alaska [J]. Geology, 2002, 30(9): 791-794.
- [44] 杜保峰,魏俊浩,王启,等.中国东部钼矿成矿背景与成岩-成矿时差讨论[J].矿床地质,2010,29(6):935-955.
- [45] FOSTER J G, LAMBERT D D, FRICK L R, et al. Re-Os isotopic evidence for genesis of Archaean nickel ores from uncontaminated komatiites [J]. Nature, 1996, 382(6593): 703-706.
- [46] MAO J W, WANG Y T, LEHMANN B, et al. Geodynamic setting of Mesozoic large-scale mineralization in North China and adjacent areas: Implication from the highly precise and accurate ages of metal deposits [J]. Science in China (D), 2003, 46(8): 838-851.
- [47] 毛景文,谢桂青,张作衡,等.中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J].岩石学报,2005,21(1):169-188.
- [48] 孟祥金,侯增谦,董光裕,等.江西金溪熊家山钼矿床特征及其辉钼矿 Re-Os 年龄[J].地质学报,2007,81(7):946-951.
- [49] 陈衍景,张成,李诺,等.中国东北钼矿床地质[J].吉林大学学报(地球科学版),2012,42(5):1213-1268.
- [50] 刘桂香,张朋,寇林林,等.辽宁宽甸东北沟钼矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J].矿物岩石地球化学通报,2017,36(6):1034-1039.
- [51] 段明贤.福建省钼矿成矿若干地质特征[J].河南地质,1985(Z):154-158.
- [52] ZHONG J, CHEN Y J, PIRAJON F. Geology, geochemistry and tectonic settings of molybdenum deposits in South China: A review [J]. Ore Geology Reviews, 2016, 81(2): 829-855.
- [53] 吴淦国,张达,陈柏林,等.中国东南大陆中生代构造域的转换及其与成矿的关系——以闽西南为例[J].地球科学,2000,25(4):390-396.
- [54] 吴淦国,张达,彭润民,等.东南沿海成矿带矿床形成的时间演化规律研究[J].地学前缘,2004,11(1):237-247.

- [55] 邢光福,杨祝良,毛建仁,等.东南大陆边缘早侏罗世火成岩特征及其构造意义[J].地质通报,2002,21(7):384-391.
- [56] 毛景文,谢桂青,李晓峰,等.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,2004,11(1):45-55.
- [57] 毛建仁.中国东南部及邻区中生代岩浆作用与成矿[M].北京:科学出版社,2013:1-526.
- [58] 华仁民,毛景文.试论中国东部中生代成矿大爆发[J].矿床地质,1999,18(4):300-307.
- [59] 毛景文,谢桂青,程彦博,等.华南地区中生代主要金属矿床模型[J].地质论评,2009,55(3):346-354.
- [60] 张承帅,毛景文,谢桂青,等.福建马坑矽卡岩型铁(钼)矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 同位素年龄[J].吉林大学学报:地球科学版,2012,42(Z):224-236.
- [61] 毛景文,李红艳,王登红,等.华南地区中生代多金属矿床形成与地幔柱关系[J].矿物岩石地球化学通报,1998,17(2):130-132.
- [62] 毛景文,谢桂青,郭春丽,等.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,2007,23(10):2329-2338.
- [63] LI X H, LI W X, LI Z X. On the genetic classification and tectonic implications of the early Yanshanian granitoids in the Nanling range, South China[J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(14): 1873-1885.
- [64] WANG Y J, FAN W M, ZHANG G W, et al. Phanerozoic tectonics of the South China Block: Key observations and controversies [J]. Gondwana Research, 2013, 23(4): 1273-1305.
- [65] 王强,赵振华,简平,等.华南腹地白垩纪 A 型花岗岩类或碱性侵入岩年代学及其对华南晚中生代构造演化的制约[J].岩石学报,2005,21(3):795-808.
- [66] 张岳桥,徐先兵,贾东,等.华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造系转换的形变记录[J].地学前缘,2009,16(1):234-247.
- [67] ZHOU X M, SUN T, SHEN W Z, et al. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution[J]. Episodes, 2006, 29(1): 26-33.
- [68] SUN W D, YANG X Y, FAN W M. Mesozoic large scale magmatism and mineralization in South China: Preface[J]. Lithos, 2012, 150(5): 1-5.
- [69] 孙涛.新编华南花岗岩分布图及其说明[J].地质通报,2006,25(3):332-335.

Determination of rock-forming and ore-forming ages of the Xichao molybdenum ore deposit in Gutian, eastern Fujian Province, and its geological significance

ZHOU Xiao-dong

(Fujian Institute of Geological Survey, Fuzhou 350013, China)

Abstract: The middle-scale Xichao molybdenum ore deposit was a newly discovered porphyry deposit in eastern Fujian Province. The LA-ICP-MS zircons U-Pb dating of biotite adamellite and molybdenite Re-Os isochron dating yielded a U-Pb age of 115 ± 1.2 Ma (MSWD=0.90) for biotite adamellite closely related to mineralization, and a weighted average ^{187}Re - ^{187}Os mode age of 112.6 ± 0.7 Ma (MSWD=0.82) for molybdenite, with a ^{187}Re - ^{187}Os isochron age of 113.4 ± 0.9 Ma (MSWD=0.11). Basically same rock- and ore-forming ages, maybe with the former later than the latter, were products of late Early Cretaceous magma-mineralization. The characteristic of Re content in the molybdenum suggests that ore-forming material of Xichao molybdenite deposit originated from deep crust-mantle mixing. The Xichao molybdenum deposit probably formed in an extensional setting due to continuous subduction of Paleo-Pacific plate toward Eurasian continent, i.e. lithospheric thinning process, and may be the product of partial melting of lower crust material caused by uprising and heating of local asthenosphere.

Key words: LA-ICP-MS zircon U-Pb age; molybdenite; Re-Os isochron age; Xichao molybdenum ore deposit; eastern Fujian Province