

文章编号: 1000-4734(2014)03-0297-08

广西珊瑚钨锡矿田锆石 U-Pb 和绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义

余勇¹, 李晓峰², 肖荣³, 毛伟², 贾亦真¹

(1. 桂林理工大学 地球科学学院, 广西 桂林 541004;

2. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

3. 湖南省地质调查院, 湖南 长沙 410116)

摘要: 广西珊瑚钨锡矿田位于桂东北姑婆山-花山岩体南缘, 以发育石英脉型钨矿为特征。盐田岭岩体是矿区内唯一出露的小岩株, 但是其成岩时代及其与珊瑚钨锡矿床的关系还不十分清楚。本文利用锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法和绢云母 Ar-Ar 法对盐田岭岩体进行了岩体侵位及热液活动年代学研究。结果显示, 盐田岭花岗岩锆石 U-Pb 加权平均年龄为 106 ± 13 Ma, 热液蚀变绢云母 Ar-Ar 坪年龄为 103.6 ± 1.2 Ma, 等时线年龄为 103.9 ± 2.1 Ma, 表明岩体侵位和岩浆期后热液活动事件均发生于早白垩世晚期, 为姑婆山-花山地区岩浆演化的末期, 与珊瑚矿田内长营岭钨锡矿床热液蚀变绢云母 Ar-Ar 年龄一致。本文认为珊瑚钨锡矿田的形成可能与盐田岭岩体的侵位有关。

关键词: 锆石 U-Pb 年龄; $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄; 蚀变花岗岩; 珊瑚矿田; 广西盐田岭

中图分类号: P579; P597; P618.44

文献标识码: A

作者简介: 余勇, 男, 1978 年生, 讲师, 硕士, 主要从事构造地质及矿产勘查研究. E-mail: glyuyong@163.com

广西珊瑚钨锡矿田位于桂东北姑婆山-花山岩体南缘, 该地区以发育多时代、多期次的岩浆活动和成矿作用为特征, 多年来一直倍受地质工作者广泛关注^[1-6]。盐田岭岩体是珊瑚矿田内唯一以岩株形态出露的岩浆岩, 以往的地质研究工作主要针对矿田内长营岭钨锡矿床展开, 而对盐田岭岩体的侵位及热液活动及其与珊瑚钨锡矿田的成矿之间的关系研究较少。2011 年肖荣等^[1]精确厘定了珊瑚钨锡矿床石英脉型钨矿的成矿时代为 100.2 ± 1.3 Ma, 因此, 弄清盐田岭岩体与珊瑚矿田成矿关系的已十分必要。笔者在详细的野外地质调查基础上, 对盐田岭岩体进行了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 和热液蚀变绢云母 Ar-Ar 定年。限定了盐田岭岩体侵位时间及热液活动历史, 并探讨了其与珊瑚钨锡矿田成矿的时间关系。

1 区域地质背景

盐田岭岩体位于广西东北部富贺钟地区、南岭钨锡成矿带西段、姑婆山-花山岩体南缘、珊

瑚钨锡矿田内, 大地构造位置位于扬子板块与华夏板块的最终拼合带—钦杭结合带上。扬子与华夏两个古陆块在晚元古代碰撞拼接, 其后又经历了多期多阶段构造活动及岩浆作用。

区域地层出露震旦系-寒武系复理石建造基底和泥盆系-三叠系滨海相碎屑岩(下部)及浅海相碳酸盐岩(上部)建造盖层。泥盆系为钨锡矿体主要赋存层位, 地层由老至新依次为莲花山组(D_{1l})砂岩、那高岭组(D_{1n})砂页岩、郁江组(D_{2y})砂岩夹灰岩、东岗岭组(D_{2d})灰岩、桂林组(D_{3g})灰岩和融县组(D_{3r})灰岩夹白云岩。

区域内褶皱和断裂均较发育, 构造线具多向性和继承性, 主构造线方向为 NNE 向。规模较大的褶皱构造有葫芦岭背斜、柯家山复式背斜、水岩坝复式背斜和思量冲向斜等, 近矿床部位还普遍发育 NEE 向呈雁行状排列的短轴倾伏褶皱。断裂构造 NE、NW、SN 和 EW 向均有发育, 并常交织在一起, 其中, 燕山中期 NE 向断裂为本区钨锡矿床的主导控矿构造, 它们除单独控矿外, 还常改造 SN、EW 向断裂而复合控矿^[7]。

区域岩浆活动频繁, 加里东期、印支期、燕山期均有岩体产出, 且区域成矿地质作用在时间

收稿日期: 2013-07-31

基金项目: 国家 973 项目(编号: 2012CB416705); 中国科学院“百人计划”项目; 广西自然科学基金项目(编号: 2013GXNSFBA 019209)

和空间上与岩浆活动表现出了高度的对应性。加里东期岩体以大宁岩体和桂岭岩体为代表，大宁岩体（419.1 Ma^[8]）主要由中粒斑状角闪石黑云母花岗闪长岩，次为中粒斑状(角闪石)黑云母二长花岗岩和中粒斑状黑云母角闪石石英二长闪长岩组成，三者之间为渐变过渡关系，发育张公岭和龙水等金矿床(点)；桂岭岩体（424.4 Ma^[9]）呈南北向狭窄长条状产出于姑婆山复式岩体与大宁复式岩体之间，岩石类型主要为中-细粒斑状(角闪石)黑云母二长花岗岩，产出白石顶钨矿床（424.6 Ma^[9]）。印支期有栗木岩体（214.0~217.1 Ma^[2]）发育，岩石类型主要为细粒似斑状铁云母花岗岩、中一中粗粒斑状锂铁白云母花岗岩和中细粒含锂云母花岗岩，并有栗木锡矿床（214.1 Ma^[10]）的产出。从燕山期开始南岭地区进入造山后的岩石圈“局部伸展-拉张裂解”的地球动力学环境^[11-12]，在本区形成了姑婆山—花山复式花岗岩带及盐田岭花岗岩体，代表性矿床有水岩坝钨锡矿床（162 Ma^[13]）和珊瑚长营岭钨锡矿床（100~102 Ma^[1]）。值得一提的是，本区燕山期钨锡成矿作用与姑婆山—花山复式岩体、尤其是与后期花岗岩补充体关系密切，岩浆熔离产生的流体使成矿物质活化转移并在有利部位富集^[14-16]。

2 矿床地质特征

珊瑚钨锡矿田（图 1）与新路-水岩坝矿田一样，为姑婆山—花山地区典型的钨锡矿田之一。矿田褶皱基底主要为下古生界寒武系，盖层主要为上古生界泥盆系，后者不整合于前者之上。矿田出露地层主要为泥盆系滨海-浅海相碎屑岩和碳酸盐岩。盐田岭岩体是该矿田内唯一出露的岩株。

钨锡矿体主要赋存于中-下泥盆统砂岩、灰岩及页岩的脆韧性剪切带中，主要矿石类型有长营岭钨锡石英脉型、杉木冲-龙门冲钨锡萤石石英脉型、八步岭-旗岭含钨石英角砾脉型和盐田岭锡多金属硫化物型等 4 种类型，唯长营岭钨锡石英脉型矿床最具工业意义。以长营岭隐伏花岗岩体为中心，自西向东，自深部到浅部，形成了由钨锡型-钨锡型-含钨石英角砾脉型的单侧水平分带和垂直分带，构成了一个以长营岭钨锡石英脉型钨锡矿床为主的成矿系列^[3]。

长营岭钨锡矿床为石英脉型钨锡矿床，规模之大为国内外罕见。矿体产于珊瑚矿田中部 NNE 向 F₁—F₅ 挤压带及其伴生的脆韧性剪切带中，矿脉主要赋存于该带泥盆系岩组向南东陡倾和向北西缓倾的张剪性裂隙中。矿脉分布于长营岭

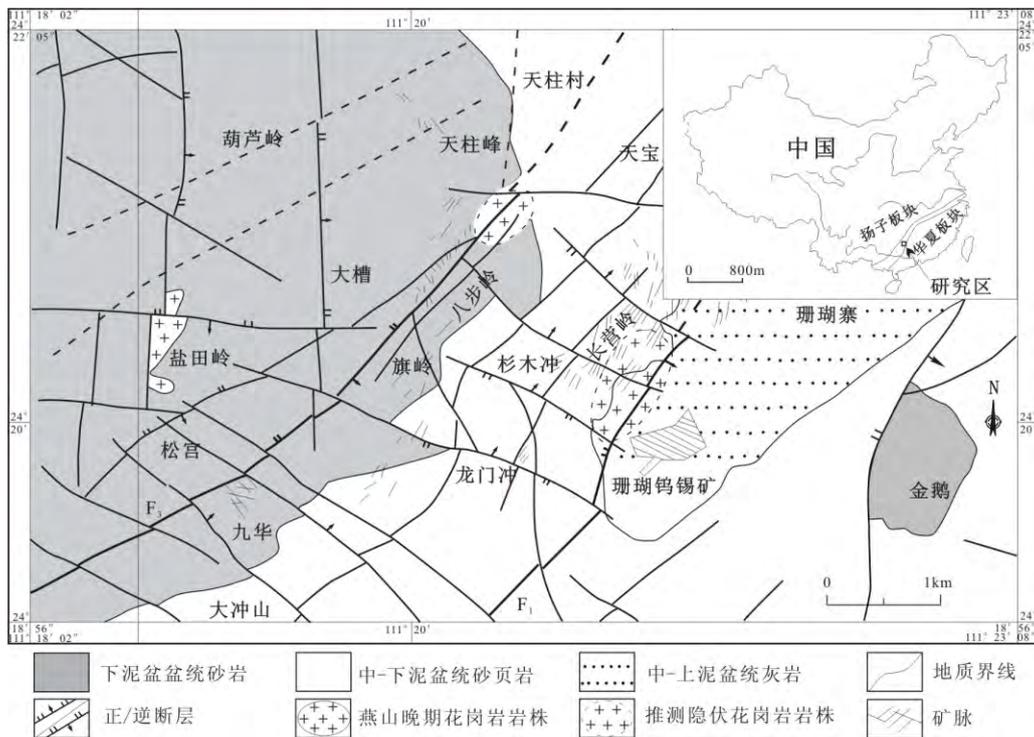


图 1 珊瑚钨锡矿田地质简图（据文献[3]，有修改）

Fig. 1. Geological sketch map of Shanhu W-Sn orefield.

东坡, 达 740 多条 (其中工业矿脉有 200 多条), 构成一长 2.5 km、宽 0.6~1 km 的矿化带^[3]。钨锡矿脉以倾向 SE、倾角 60°~80°为主, 总体上具有延伸大、平行分组密集成带排列分布的特点。

矿床矿化深度大, 一般 500 m 左右, 深者大于 900 m。上部为云母石英脉或云母线脉, 具有华南钨锡石英脉矿床分带的“五层楼”模式特征 (图 2, 据文献^[7])。

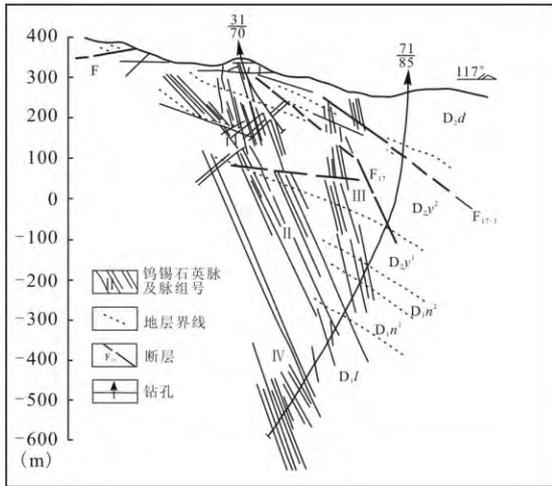


图 2 珊瑚长营岭钨锡矿床 7 线地质剖面
Fig. 2. The 7th vertical section of Shanhu Changyingling W-Sn deposit.

矿床成矿具多阶段特点。空间上具有矿床上部富锡、中部以钨为主、下部硫化物增多的规律。主要成矿阶段有: ①云母-黄玉-萤石-锡石-石英阶段, 展布于 240 m 标高以上地段或地表, 矿物组合为白云母、萤石、石英、锡石和黄玉等; ②黑钨矿-锡石-石英阶段, 展布于地表至深部, 以黑钨矿、锡石、块状石英及毒砂为主, 构成矿脉的主体。矿脉整体呈对称条带状构造, 白云母近垂直于脉壁生长, 石英呈块状生于脉中而形成条带状, 萤石、毒砂及黄铜矿多靠近云母壁生长, 黑钨矿多生于石英中 (图 3), 形成从脉壁向中心矿物从 (萤石)→白云母→萤石 (黄玉、锡石)→石英 (黑钨矿) 的对称条带; ③硫化物-石英阶段, 展布在长营岭矿段的中下部, 主要为闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黝锡矿、毒砂、石英等矿物; ④碳酸盐阶段, 主要分布于 -25 m 标高以下, 为方解石、白云石、白钨矿组合。与此相应的蚀变分带由上而下为: 白云母化+萤石化+黄玉化→绢(白)云母化+电气石化+萤石化+毒砂化→绢云母化+绿泥石化+硅化+黄铁矿化→碳酸盐化^[1,3]。

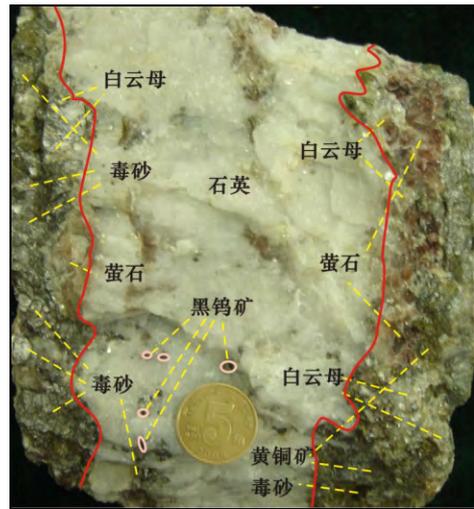


图 3 珊瑚钨锡矿区含钨石英脉标本照片
Fig. 3. Photo of the specimen from W-bearing quartz vein in the Shanhu ore district.

3 岩体特征

盐田岭花岗岩体呈不规则小岩株状产出于珊瑚矿田西部, 由南北向分布的两个小岩枝组成, 侵入于葫芦岭穹窿核部下泥盆统莲花山组碎屑岩中, 出露面积 0.16 km²。在岩体附近的那高岭组灰岩及泥质灰岩中见少量似层状锡多金属硫化物型矿脉产出, 但不具工业利用价值。

岩石呈灰白色、浅灰色, 细-中粒斑状结构, 普遍遭受不同程度的云英岩化, 云英岩化强烈时, 岩石变为鳞片花岗变晶结构。其矿物组成以石英、绢云母-白云母为主。石英呈半透明不规则粒状, 含量约 35%~45%, 粒径一般<1 mm, 少量 1~3 mm, 个别达 4~5 mm, 常见包裹或交代绢云母-白云母的现象。绢云母-白云母矿物呈灰白色片状或鳞片状, 含量 55%~65%, 由正长石蚀变而成, 有时可见其呈长石的假晶; 长石极少, 并多已风化为高岭石。副矿物以萤石、黄玉和锡石为主, 次为锆石、白钨矿、黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿、辉锑矿、毒砂和磁铁矿等。

该岩体具有区域上成矿花岗岩的“四高三低”特征, 即高酸度、碱度、挥发分和 W、Sn 等成矿元素, 低基性元素、氧化系数和 Cu、Mo 元素。刘慷怀^[4]研究表明盐田岭岩体ΣREE 值总体偏低 (106.18), 属典型的 Eu 亏损型岩体 (δEu=0.23)。

4 分析方法

用于 LA-ICP-MS 锆石测年的盐田岭岩体样品编号为 YTL-2。样品清洗干净后在<100 °C 的温

度下烘干,单矿物锆石的分离由廊坊市科大岩石矿物分选服务有限公司完成,锆石样品制靶、阴极发光(CL)显微照相及U-Pb定年测试均在中国地质科学院地质研究所同位素地质实验室完成。锆石U-Pb定年测试所用仪器为Finnigan Neptune型MC-ICP-MS和与之配套的New Wave UP213激光剥蚀系统。激光剥蚀所用束斑直径为25 μm,频率为10 Hz,能量密度约为2.5 J/cm²,以He为载体气。均匀锆石颗粒²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb、²⁰⁶Pb/²³⁸U、²⁰⁷Pb/²³⁵U的测试精度(2σ)均为2%左右,对锆石标准的定年精度和准确度在1%(2σ)左右。LA-MC-ICP-MS激光剥蚀采样方式为单点剥蚀,数据采集选用一个质量峰一点的跳峰方式(peak jumping)。数据分析前用锆石GJ-1进行调试仪器,使之达到最优状态。锆石U-Pb定年以锆石GJ-1为外标,U、Th含量以锆石M127(U: 923×10⁻⁶; Th: 439×10⁻⁶; Th/U: 0.475)^[17]为外标进行校正。测试过程中在每测定5~7个样品前后重复测定2个锆石GJ-1对样品进行校正,并测量一个锆石Plesovice,观察仪器的状态,以保证测试的精确度。样品的同位素比值采用软件ICPMSDataCal^[18]完成,相关结果按照Anderson^[19]的方法处理,年龄计算与谐和图的绘制采用Isoplot(ver3.23)完成。普通铅根据实测²⁰⁴Pb校正,年龄值选用²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄,单个数据点误差均为1σ,加权平均值误差为2σ。详细实验测试过程可参见文献[20-21]。

用于⁴⁰Ar/³⁹Ar成矿年龄测定的绢云母样品采自盐田岭云英岩化蚀变体。样品破碎后在双目镜下人工选出纯净的绢云母,单矿物样品约200 mg,中子照射工作是在中国原子能科学研究院的“游泳池堆”中进行的,使用H8孔道,中子流密度约为6.0×10¹² n/cm²·s。照射总时间为3000 min,积分中子通量为1.13×10¹⁸ n/cm²。同期接受中子照射的还有用做监控样的标准样:ZBH-25黑云母国内标样,其矿物粒径为0.25~0.63 mm,K=7.597%±0.030%,⁴⁰Ar=1.824×10⁻⁹ mol/g,标准年龄为132.7±1.2 Ma。Ar-Ar分析测试在中国地质科学院地质研究所开放研究实验室完成,测试仪器为MM-1200B质谱仪。样品的阶段升温加热使用电子轰击炉,每一个阶段加热30 min,净化30 min。质谱分析是在Helix MC多接收器稀有气体质谱仪上进行的,每个峰值均采集8~20组数据。所有的数据在回归到时间零点值后再进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰

元素同位素校正。系统空白水平:m/e=40、39、37、36,分别小于6×10⁻¹⁵、4×10⁻¹⁶、8×10⁻¹⁷和2×10⁻¹⁷ mol。中子照射过程中所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的K₂SO₄和CaF₂来获得,其值为:(³⁶Ar/³⁷Ar)_{Ca}=0.0002389,(⁴⁰Ar/³⁹Ar)_K=0.004782,(³⁹Ar/³⁷Ar)_{Ca}=0.000806。³⁷Ar经过放射性衰变校正;⁴⁰K衰变常数λ=5.543×10⁻¹⁰/yer;用ISOPLLOT程序计算坪年龄和正、反等时线。坪年龄误差为2σ。详细实验流程请参见有关文献[22-23]。

5 结果与讨论

5.1 锆石U-Pb年龄

本次工作共分析了YTL-2样品的14个测点。测试的锆石颗粒大小不一,但形态较完整,震荡环带特征较为清晰,Th/U比值为1.05~3.35,表明锆石为岩浆成因。

盐田岭岩体代表性锆石颗粒的U-Pb同位素分析数据和表观年龄列于表1。由于本文所测定的花岗岩形成于中生代,而在锆石LA-ICP-MS定年中,年轻或U-Pb含量低的样品,其²⁰⁷Pb/²³⁵U以及²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb比值精度较差,因此本文采用²⁰⁶Pb/²³⁸U表观年龄进行加权平均值计算。根据表1数据所做的U-Pb年龄见图4,结果为样品YTL-2的14个点给出的加权平均年龄为106±13 Ma(MSWD=35)。根据吴俊奇等^[24]、章邦桐等^[25]对国内外花岗岩锆石U-Pb同位素年龄进行统计学研究后提出花岗岩锆石U-Pb同位素年龄表征的是花岗岩的结晶年龄的观点,盐田岭岩体的106±13 Ma年龄代表的应该是岩体的结晶年龄,属早白垩世晚期。

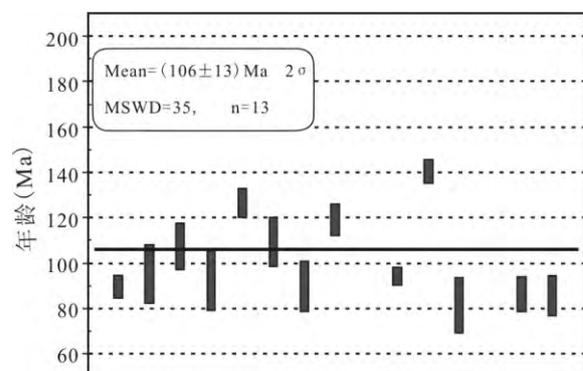


图4 盐田岭岩体锆石²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄图

Fig. 4. U-Pb ages diagrams for representative zircons from Yantianling granite

表1 盐田岭花岗岩 (YTL-2) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析数据
Table 1. LA-ICP-MS zircon U-Pb age of the Yantianling granites (YTL-2)

| 测点 | Th/U | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | |
|----|------|-----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|
| | | 比值 | 1 σ | 比值 | 1 σ | 比值 | 1 σ | 年龄 (Ma) | 1 σ | 年龄 (Ma) | 1 σ | 年龄 (Ma) | 1 σ |
| 1 | 2.52 | 0.04672 | 0.0014 | 0.09158 | 0.00283 | 0.01387 | 0.00017 | 34.7 | 70.24 | 89 | 2.63 | 88.8 | 1.06 |
| 2 | 1.47 | 0.04663 | 0.0032 | 0.0977 | 0.00704 | 0.01488 | 0.00032 | 30.3 | 156.88 | 94.6 | 6.51 | 95.2 | 2.02 |
| 3 | 1.05 | 0.06525 | 0.00322 | 0.11093 | 0.00572 | 0.0129 | 0.00024 | 782.5 | 100.39 | 106.8 | 5.23 | 82.6 | 1.53 |
| 4 | 1.71 | 0.04911 | 0.00355 | 0.09455 | 0.00715 | 0.01347 | 0.00031 | 152.9 | 160.94 | 91.7 | 6.64 | 86.3 | 1.97 |
| 5 | 3.13 | 0.06975 | 0.00185 | 0.13215 | 0.00367 | 0.01275 | 0.00016 | 921.1 | 53.69 | 126 | 3.3 | 81.6 | 0.99 |
| 6 | 1.47 | 0.05955 | 0.00309 | 0.11309 | 0.00619 | 0.014 | 0.00026 | 587.4 | 108.76 | 108.8 | 5.64 | 89.6 | 1.67 |
| 7 | 1.64 | 0.04919 | 0.0031 | 0.09183 | 0.00606 | 0.01341 | 0.00027 | 156.8 | 141.29 | 89.2 | 5.63 | 85.9 | 1.74 |
| 8 | 1.63 | 0.07115 | 0.00223 | 0.12388 | 0.00405 | 0.01309 | 0.00018 | 961.7 | 62.63 | 118.6 | 3.66 | 83.8 | 1.13 |
| 9 | 1.07 | 0.09376 | 0.00351 | 0.19234 | 0.00787 | 0.01498 | 0.00025 | 1503.2 | 69.12 | 178.6 | 6.7 | 95.9 | 1.6 |
| 10 | 2.98 | 0.04996 | 0.00115 | 0.09661 | 0.00227 | 0.01453 | 0.00015 | 193 | 52.44 | 93.6 | 2.1 | 93 | 0.96 |
| 11 | 3.35 | 0.05109 | 0.001 | 0.14754 | 0.00305 | 0.02127 | 0.00021 | 244.9 | 44.57 | 139.7 | 2.7 | 135.7 | 1.31 |
| 12 | 1.41 | 0.04852 | 0.00374 | 0.08281 | 0.00665 | 0.01262 | 0.00031 | 124.6 | 171.99 | 80.8 | 6.23 | 80.8 | 1.95 |
| 13 | 1.77 | 0.04728 | 0.00214 | 0.08827 | 0.00417 | 0.01362 | 0.00021 | 62.7 | 104.77 | 85.9 | 3.89 | 87.2 | 1.34 |
| 14 | 1.50 | 0.04239 | 0.00222 | 0.08752 | 0.00482 | 0.01495 | 0.00025 | 0.1 | 0 | 85.2 | 4.5 | 95.7 | 1.58 |

5.2 绢云母 Ar-Ar 年龄

盐田岭岩体已普遍遭受云英岩化热液蚀变, 为探讨岩体侵位及热液活动时间与成矿的关系, 本次工作对蚀变岩体中的绢云母进行了采样测试。绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄分析结果列于表 2。总的来说, 在不同的加热温度区间, 不同绢云母样品视年龄间的差异都比较小。

盐田岭岩体 YTL-2 号样品中的绢云母经过 10 个阶段的分步加热, 加热温度区间为 700~1400 °C。在 800~1120 °C 温度范围内, 由 2~8 加热阶段共 7 个数据点所获之视年龄间的最大差异为 7.4 Ma, 样品的年龄谱形成较平坦的年龄坪; 采用加权平均计算其坪年龄为 103.6±1.2 Ma (2 σ) (图 5a); 等时线年龄为 103.9±2.1 Ma (MSWD=12) (图 5b)。从以上测试结果可以看出, 样品的等时线年龄和坪年龄的测试结果具有很好的一致性, 说明样品自结晶作用以来对钾和氩保持封闭体系, 未受过其他地质热事件的扰动, 样品测试结果可靠, 代表了绢云母形成时的热液活动事件年龄。

5.3 盐田岭岩体的侵位及热液蚀变年龄

如开篇所述, 前人曾在系统研究长营岭钨锡矿床时对盐田岭岩体的成岩年龄进行过研究。刘慷怀^[4]报道的广西冶金勘探 204 队利用 K-Ar 法测得盐田岭岩体 (云英岩化花岗岩深部岩心样) 年龄为 106~111 Ma。李人科等^[26]报道的宜昌所测得的全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 148 Ma 和 137 Ma;

韦昌山等^[5]利用 Rb-Sr 法及 K-Ar 法测得盐田岭岩体同位素年龄值为 133~137 Ma。从数据看, 前人的年龄主要集中在 140 Ma 和 106 Ma 左右的两个时间, 且两者相差 30 Ma 左右, 分属燕山中期和燕山晚期。由于 K-Ar 同位素体系封闭温度较低, 所得的年龄的可信度亦较低。

本次工作获得盐田岭岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 加权平均年龄为 106±13 Ma; 热液蚀变绢云母 Ar-Ar 坪年龄为 103.6±1.2 Ma, 等时线年龄为 103.9±2.1 Ma, 表明岩体的侵位及热液蚀变时间属早白垩纪晚期。该成果与上述刘慷怀^[4]报道的盐田岭岩体年龄基本一致。本次工作测试选用的锆石形态完整, 具有典型的岩浆成因特征, 测定锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄结果可信度较高, 可代表岩体侵入结晶年龄。同时绢云母 Ar-Ar 年龄代表的是热液作用冷凝到 350~400 °C 左右的封闭年龄, 与岩体形成年龄相差很小, 为岩浆期后热液活动时间。

盐田岭岩体属典型的 S 型花岗岩, 并具有锡的成矿专属性^[4], 且盐田岭岩体与珊瑚钨锡矿田深部隐伏花岗岩为同源岩体^[5-6]。本次工作获得的盐田岭岩体成岩及热蚀变年龄在误差范围内一致, 且与珊瑚钨锡矿田长营岭矿床成矿年龄 (100~102 Ma^[1]) 基本吻合, 该结果不仅精确地厘定了盐田岭岩体成岩成矿的时限, 而且表明了盐田岭岩体岩浆活动与珊瑚钨锡矿田成矿关系密切。综上, 盐田岭岩体与珊瑚钨锡矿田的成矿应属燕山晚期同一构造-岩浆-成矿事件的产物。

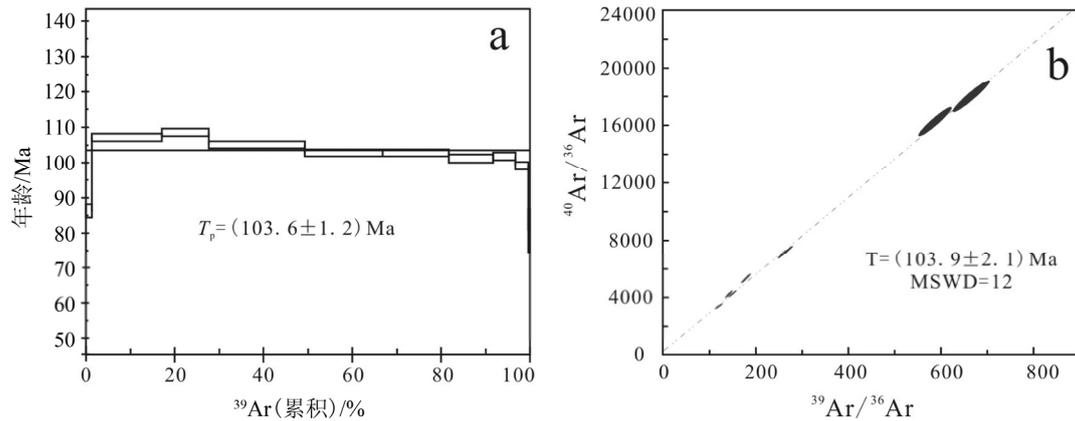


图 5 盐田岭岩体中绢云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 坪年龄 (a) 和等时线年龄 (b)
Fig. 5. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plateau age (a) and isochron age (b) of sericite from Yantianling granite.

表 2 盐田岭蚀变花岗岩中绢云母 (YTL-2) ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄分析结果

Table 2. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ stepwise heating data of sericite (YTL-2) from Yantianling altered granite

| $\theta/^\circ\text{C}$ | $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$ | $(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$ | $(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$ | $(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$ | $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$ | $^{39}\text{Ar}/10^{-14}\text{mol}$ | ^{39}Ar (累积)/% | t/Ma |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|---------------|
| 700 | 44.5530 | 0.0757 | 0.1608 | 0.0315 | 22.1839 | 0.11 | 1.41 | 86.3±1.9 |
| 800 | 29.8264 | 0.0071 | 0.0235 | 0.0141 | 27.7133 | 1.18 | 17.04 | 107.2±1.1 |
| 850 | 29.7385 | 0.0056 | 0.0000 | 0.1380 | 28.0752 | 0.80 | 27.72 | 108.6±1.1 |
| 900 | 27.6618 | 0.0017 | 0.0206 | 0.0127 | 27.1484 | 1.63 | 49.40 | 105.1±1.0 |
| 940 | 27.2443 | 0.0024 | 0.0888 | 0.0133 | 26.5357 | 1.31 | 66.86 | 102.8±1.0 |
| 990 | 27.0027 | 0.0015 | 0.0000 | 0.0133 | 26.5409 | 1.12 | 81.72 | 102.8±1.0 |
| 1050 | 27.2385 | 0.0038 | 0.0605 | 0.0141 | 26.1067 | 0.75 | 91.72 | 101.2±1.2 |
| 1120 | 28.2513 | 0.0067 | 0.0000 | 0.0143 | 26.2695 | 0.38 | 96.78 | 101.8±1.1 |
| 1220 | 28.0167 | 0.0083 | 0.0228 | 0.0145 | 25.5566 | 0.21 | 99.61 | 99.1±1.1 |
| 1400 | 50.7960 | 0.1018 | 0.0047 | 0.0417 | 20.7082 | 0.03 | 100.00 | 80.7±6.2 |

注: 表中下标 m 代表样品中测定的同位素比值; $^{40}\text{Ar}^*$ 代表放射性成因 ^{40}Ar ; 年龄误差 2δ ; $m=32.85\text{ mg}$; $J=0.00221$.

表 3 姑婆山—花山地区成岩成矿年代表

Table 3. Diagenetic and mineralization ages of Guposhan-huashan area

| 岩体名称 | 岩石类型 | 成岩时代 | 成矿时代 | 参考文献 |
|--------|-------------------|---|--|--------------------|
| 桂岭岩体 | (角闪石)黑云母 二长花岗岩 | 424.4±5.6 Ma (锆石 SHRIMP U-Pb) | 白石顶钨矿 424.6±5.17 Ma (辉钨矿 Re-Os) 栗木锡矿 | [9] |
| 栗木岩体 | 花岗岩 | 214.0±5.0 Ma 和 218.3±2.4 Ma (锆石 SHRIMP U-Pb) | 214.1±1.9 Ma (白云母 Ar/Ar) 214.3±4.5 Ma (白云母 Ar/Ar) | [10,30] |
| 姑婆山杂岩体 | 花岗岩 | 138.6 Ma (全岩 K-Ar 法) 163Ma (锆石 LA-ICP-MS U-Pb) | 水岩坝钨锡矿 162.5±1.2 Ma (水岩坝白云母 Ar-Ar) | [13-14, 29, 31-33] |
| 花山杂岩体 | 花岗岩 | 148 Ma (锆石 LA-ICP-MS U-Pb) 163Ma (锆石 LA-ICP-MS U-Pb) | | [29, 34] |
| 盐田岭岩体 | 云英岩化花岗岩 | 106±13 Ma (锆石 LA-ICP-MS U-Pb) | 103.6±1.2 Ma (绢云母 Ar-Ar) | 本文 |

5.4 姑婆山-花山地区岩浆热液活动及成矿作用

姑婆山-花山地区位于南岭钨锡多金属成矿带西段, 是我国重要的钨锡多金属矿床集中区, 出露大宁、桂岭、栗木、姑婆山-花山和盐田岭等岩体。该区的岩浆热液活动在时间上、空间上、物质来源上、构造背景上和成因机制上有着十分密切的联系^[29]。

岩浆活动及成矿作用是地质历史时期各期各阶段构造运动及热液活动的真实记录, 前人对该地区岩浆热液活动研究成果颇丰^[9-10,13-14,29-34]

(表 3)。从成岩年代来看, 姑婆山-花山地区加里东期(桂岭岩体, 424.4 Ma)、印支期(栗木岩体, 214~218 Ma)及燕山中期(姑婆山—花山花岗岩杂岩体, 163~138.6 Ma)均有岩体产出。成

矿作用方面除有加里东期(白石顶钼矿, 424.6 Ma)、印支期(栗木锡矿, 214 Ma)及燕山中期(水岩坝钨锡矿, 162 Ma)的矿床产出外, 还有燕山晚期的珊瑚长营岭钨锡矿床(100~102 Ma)。一般来说, 大规模成矿作用一定是强烈构造-岩浆热事件背景下的产物, 将姑婆山-花山地区岩浆热液活动与成矿作用对比起来看, 除了有对应之外, 还有缺失, 即缺少燕山晚期与珊瑚长营岭钨锡矿床成矿有关的岩体。本次研究获得的盐田岭岩体的年龄恰好可以弥补这一缺失, 由此亦可说明盐田岭岩体的活动时间应为姑婆山-花山地区岩浆演化序列的末期, 并与该地区珊瑚矿

田的成矿有关。

6 结论

盐田岭岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 加权平均年龄为 106 ± 13 Ma, 热液蚀变绢云母 Ar-Ar 坪年龄为 103.6 ± 1.2 Ma、等时线年龄为 103.9 ± 2.1 Ma, 表明岩体的侵位及期后热液活动时间属早白垩世晚期。珊瑚钨锡矿床的成矿作用可能与盐田岭岩体的侵位有关。

致谢: 野外工作期间, 得到了广西桂华成有限责任公司珊瑚矿地测科黄振标高级工程师的帮助, 在此深表谢意。

参考文献:

- [1] 肖荣, 李晓峰, 冯佐海, 等. 广西珊瑚钨锡矿床含钨石英脉中白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2011, 30(3): 488-496.
- [2] 李晓峰, 冯佐海, 肖荣, 等. 桂东北钨锡稀有金属矿床的成矿类型、成矿时代及其地质背景[J]. 地质学报, 2011, 86(11): 1713-1725.
- [3] 宋慈安. 珊瑚钨锡矿床[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 2001.
- [4] 刘慷怀. 广西珊瑚钨锡矿床稀土元素的地球化学[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1990, 10(3): 251-260.
- [5] 韦昌山, 熊成云, 刘国庆. 广西钟山珊瑚矿田的构造变形、动力学演化与控矿关系[J]. 广西地质, 1993, 6(4): 63-76.
- [6] 夏宏远, 梁书艺, 张千明. 珊瑚钨锡矿床的矿化水平分带和成矿机理[J]. 矿物岩石, 1991, 11(1): 59-71.
- [7] 陆小平. 桂东北地区钨锡找矿潜力与成矿预测初步探讨[J]. 矿产与地质, 2009, 23(4): 316-321, 334.
- [8] 程顺波, 付建明, 徐德明, 等. 桂东北大宁岩体锆石 SHRIMP 年代学和地球化学研究[J]. 中国地质, 2009, 32(6): 1278-1288.
- [9] 李晓峰, 冯佐海, 李容森, 等. 华南志留纪钼的矿化: 白石顶钼锆石 SHRIMP-U-Pb 年龄和辉钼矿 Re-Os 年龄证据[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 403-412.
- [10] 杨锋, 李晓峰, 冯佐海. 栗木锡矿云英岩化花岗岩白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. 桂林工学院学报, 2009, 29(1): 21-24.
- [11] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用[J]. 矿床地质, 2005, 24(2): 99-107.
- [12] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 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, 2005, 11(3): 291-304.
- [13] 康志强, 冯佐海, 李晓峰, 等. 桂东北水岩坝钨锡矿田白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2012, 31(6): 606-611.
- [14] 董子成. 广西新路锡矿田的稀土元素地球化学特征[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1991, 11(8): 277-286.
- [15] 宋慈安. 广西珊瑚钨锡矿田成矿地球化学机理及成矿模式[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1993, 13(4): 376-385.
- [16] 张诗启, 蔡明海, 彭振安. 广西姑婆山地区钨锡矿床地质特征及幔源物质参与成矿显示[J]. 西北地质, 2010, 43(1): 86-97.
- [17] Nasdala L, Hofmeister W, Norberg N, et al. Zircon M 257—a homogeneous natural reference material for the ion microprobe U-Pb analysis of zircon [J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 2008, 32: 247-265.
- [18] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. *Chemical Geology*, 2008, 257: 34-43.
- [19] Andersen T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 2002, 192: 59-79.
- [20] 侯可军, 李延河, 田有荣. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 481-492.
- [21] 王永磊, 王登红, 张长青, 等. 广西钦甲花岗岩体单颗粒锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地质学报, 2011, 85(4): 475-481.
- [22] 陈文, 刘新宇, 张思红. 连续激光阶段升温 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 地质年代测定方法研究[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊): 127-134.
- [23] 李晓峰, 陈文, 毛景文, 等. 江西银山多金属矿床蚀变绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2006, 25(1): 17-26.
- [24] 吴俊奇, 章邦桐, 凌洪飞, 等. 花岗岩锆石 U-Pb 年龄与全岩 Rb-Sr 等时线年龄对比研究及其地球化学意义[J]. 高校地质学报, 2007, 13(2): 272-281.
- [25] 章邦桐, 吴俊奇, 凌洪飞, 等. “花岗岩锆石 U-Pb 年龄能代表花岗岩侵位年龄”质疑——花岗岩锆石 U-Pb 年龄与全岩 Rb-Sr 等时线年龄对比证据[J]. 地质论评, 2008, 54(6): 775-785.
- [26] 李人科, 骆良羽, 李泽世, 等. 广西锡矿[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [27] 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.
- [28] 刘善宝, 陈毓川, 范世祥, 等. 南岭成矿带中、东段的第二找矿空间——来自同位素年代学的证据[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1034-1049.
- [29] 朱金初, 张佩华, 谢才富, 等. 南岭西段花山-姑婆山侵入岩带锆石 U-Pb 年龄格架及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22: 2270-2278.

- [30] 康志强, 冯佐海, 杨峰, 等. 广西桂林地区东部栗木花岗岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 2012, 31(8): 1306-1312.
- [31] 张德全, 王雪英, 孙桂英. 关于广西姑婆山-里松岩体的定(侵)位年龄和冷凝历史的探讨[J]. 地质论评, 1985, 31: 232-239.
- [32] 杨学明, 张培善. Rb-Sr 和 Pb 同位素在限定花岗质岩石源岩性质中的地学意义—以姑婆山花岗岩杂岩体为例[J]. 科学通报, 1990, 35: 1174-1176
- [33] 顾晟彦, 华仁民, 戚华文. 广西姑婆山花岗岩单颗粒 LA-ICP-MS U-Pb 定年及全岩 Sr-Nd 同位素研究[J]. 地质学报, 2006, 80: 543-553.
- [34] 朱金初, 谢才富, 张佩华, 等. 桂东北牛庙闪长岩和同安石英二长岩: 岩石学、锆石 SHRIMP U-Pb 年代学和地球化学[J]. 岩石学报, 2005, 21: 665-676.

Zircon LA-ICP-MS U-Pb and Sericite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Ages at Shanhu W-Sn Deposit, Guangxi Province, China, and its Implications for W-Sn Mineralization

YU Yong¹, LI Xiao-feng², XIAO Rong³, MAO Wei², JIA Yi-zhen¹

(1. College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China; 2. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;
3. Hunan Institute of Geology Survey, Changshao 410116, China)

Abstract: The Shanhu orefield, one of the typical concentrated ore deposit areas of the Nanling W-Sn metallogenic belt, is located in the southwestern edge of the Guangxi Guposhan-Huashan pluton. Yantianling granite is the only outcrop stock exposed in the orefield. However, the diagenetic relationship between the granite intrusion and how the mineralization of the Shanhu orefield occurred is unclear. This study dated the ages of the Yantianling granite using LA-ICP-MS zircon U-Pb method and the sericite $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ fast-neutron activation dating technique. Results show that the zircon U-Pb mean age is 106 ± 13 Ma, and the sericite $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ plateau age and the isochron age are 103.6 ± 1.2 Ma and 103.9 ± 2.1 Ma, respectively. The zircon U-Pb age of the granite indicate the intrusion of Yantianling granite occurred in the later stage of the early Cretaceous, representing the end of the magmatic evolution in the Guposhan-Huashan area. Moreover, the zircon U-Pb age of the granite is also consistent with the sericite $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ plateau age of the mineralization at the Changyingling W-Sn deposit, suggesting that the formation of the Shanhu orefield is likely related to the intrusion of Yantianling granite.

Key words: zircon U-Pb age; $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ dating; altered granite; Shanhu orefield; Yantianling; Guangxi Province