

编号: 0258-7106(2011)06-0963-16

广西苍梧县社洞钨钼矿床花岗岩类锆石 LA-ICP-MS 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义*

陈懋弘¹, 莫次生², 黄智忠³, 李斌³, 黄宏伟⁴

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;
2 广西壮族自治区二七一地质队, 广西 临桂 541100; 3 广西地球物理勘察院, 广西 柳州 545005;
4 广西地质勘查总院, 广西 南宁 530023)

摘要 广西苍梧县社洞矿床是大瑶山隆起南侧正在勘查的一个与花岗岩类有关的斑岩-矽卡岩-石英脉型钨钼矿床, 目前估算的资源量已达中型, 并具有大型矿床的潜力。文章对矿区内的花岗岩类分别进行了单颗粒锆石 LA-ICP-MS 测年和辉钼矿 Re-Os 测年, 获得社山复式岩体花岗岩斑岩的等时线年龄为 (91.05 ± 0.31) Ma, 花岗闪长岩为 (435.8 ± 1.3) Ma, 平头背矿段花岗闪长斑岩脉为 (432.0 ± 1.7) Ma, 与花岗闪长斑岩脉有关的石英脉型辉钼矿的等时线年龄为 (437.8 ± 3.4) Ma。由此推断, 其钨钼矿形成于早志留世(即加里东期), 与花岗闪长(斑)岩密切相关。这些高精度测年数据的获得, 为讨论华南加里东运动的时限和岩浆作用提供了新证据, 并反映出加里东期可能存在一定强度的 W-Mo-Cu(Au)成矿作用, 对大瑶山地区的找矿工作具有重要意义。

关键词 地球化学; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; 辉钼矿 Re-Os 年龄; 社洞钨钼矿床; 大瑶山隆起; 广西苍梧县
中图分类号: P618.67; P618.65
文献标志码: A

Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages of granitoid rocks and molybdenite Re-Os age of Shedong W-Mo deposit in Cangwu County of Guangxi and its geological significance

CHEN MaoHong¹, MO CiSheng², HUANG ZhiZhong³, LI Bin³ and HUANG HongWei⁴

(1 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 No. 271 Geological Party of Guangxi, Lingui 541100, Guangxi, China; 3 Guangxi Academy of Geophysical Exploration, Liuzhou 545005, Guangxi, China; 4 General Academy of Geological Survey of Guangxi, Nanning 530023, Guangxi, China)

Abstract

Located in southern margin of Dayaoshan uplift, the Shedong tungsten and molybdenum deposit in Cangwu County of Guangxi is a porphyry-skarn-quartz vein type ore deposit related to granitoids. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of granitoids yielded the isochron age of granite porphyry $[(91.05 \pm 0.31) \text{ Ma}]$ and that of granodiorite $[(435.8 \pm 1.3) \text{ Ma}]$ in Sheshan multiple stock as well as the isochron age of granodiorite-porphyry $[(432.0 \pm 1.7) \text{ Ma}]$ in Pingtoubei ore blocks. Re-Os isochron age of molybdenite hosted in quartz veins related to granodiorite-porphyry veins is $(437.8 \pm 3.4) \text{ Ma}$. These high precision dating data suggest that tungsten and molybdenum mineralization was formed in Early Silurian, related closely to granodiorite (-porphyry). This new evi-

* 本文得到中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(编号: K1015, K1013)和中国地质调查局工作项目“云开地区铜金多金属成矿作用及其地质背景研究”(编号: 1212011120831)的联合资助

第一作者简介 陈懋弘, 男, 1971年生, 副研究员, 主要从事矿床学研究。Email: mhchen666@163.com

收稿日期 2010-12-28; 改回日期 2011-09-05。许德焕编辑。

dence provides constrains on the time of the Caledonian orogeny and magmatic activity in southern China, and indicates the probable existence of an intense W-Mo-Cu-(Au) mineralization during Caledonian period in Dayaoshan uplift.

Key words: geochemistry, zircon LA-ICP-MS U-Pb age, molybdenite Re-Os age, Shedong W-Mo deposit, Dayaoshan uplift, Cangwu County of Guangxi

广西大瑶山地区主要以金矿闻名(崔彬等, 2000; 蔡明海等, 2000; 黄惠民等, 2003), 其中的一些石英脉型金矿(如桃花-古袍金矿)具有百年开采历史(盛志华, 2005), 贵港龙头山金矿则是典型的次火山岩-斑岩型金矿(谢抡司等, 1993)。近年来, 在大瑶山隆起及其周缘相继发现了一些与岩浆岩有关的大型-超大型铜钼矿床, 如: 与二长花岗斑岩有关的广东封开县圆珠顶斑岩型铜钼矿床(钟立峰等, 2010), 与黑云母二长花岗岩有关的广西贺州白石顶钼矿(李晓峰等, 2009), 以及广西藤县大黎钼矿等。由于大瑶山地区存在众多的花岗岩类岩株、岩枝和岩脉, 上述新矿床的发现, 暗示该地区除了金矿以外, 还可能存在着寻找斑岩型铜钼矿床的巨大潜力。但是, 关于该地区内与成矿有关的花岗岩类的特征、时代和成矿专属性等问题的研究程度很低, 对上述新发现矿床的研究也刚起步, 大量制约找矿的科学问题尚待解决。

本文对大瑶山南缘最近新发现的广西苍梧县社洞钼钨矿床进行了系统的花岗岩类锆石 LA-ICP-MS 测年和辉钼矿 Re-Os 测年, 旨在确定钨钼成矿作用与岩浆作用的关系, 为探讨该地区岩浆活动的时限及相关成矿系列的划分提供新资料。

1 地质背景

大瑶山地区位于广西中部和东部, 面积近 18 000 km², 是一个由寒武系和少量震旦系组成的隆起区, 其构造线主要为 EW 向, 在大地构造上属于南华准地台桂中-桂东台陷之大瑶山凸起(广西壮族自治区地质矿产局, 1985), 或大瑶山地体(郭令智等, 1981)。杨明桂等(1997; 2009)及毛景文等(2011)将其划归为软杭成矿带的一部分。

该地区在震旦纪—志留纪时期是华南地槽区的组成部分, 沉积了一套厚达万米的类复理石砂页岩、硅质岩建造, 杂砂岩和含砾砂岩较多, 鲍马层序特征

明显。至早奥陶世的郁南运动后, 该地区逐步抬升, 致使奥陶纪时沉积环境发生了很大变化, 甚至缺失志留系。志留纪末, 发生了强烈的加里东运动, 地槽回返转化为准地台。泥盆系浅海相碎屑岩、石英砂岩等不整合其上(广西壮族自治区地质矿产局, 1985)。

丁文江(Ting, 1929)根据大瑶山地区泥盆系莲花山组与下伏的下古生界龙山系之间的不整合, 建议以“广西运动”代表华南与加里东运动相应的地壳运动。因此, 大瑶山地区是“广西运动”的命名地, 广西被认为是加里东运动的典型地区。目前, 一般都把广西运动的原因归为扬子地块与华夏地块的会聚和碰撞, 但吴浩若(2000)认为, 广西运动的主幕为早奥陶世, 云开地块与桂滇-北越地块、扬子地块的会聚挤压形成了大瑶山 EW 向的线形褶皱带, 湘、赣两省晚奥陶世—早志留世的崇余运动才真正使华夏地块与扬子地块完全拼合。因此, 广西加里东运动的时限、构造背景还存在争议, 需要做进一步研究。

大瑶山凸起以近 EW 向的大瑶山复背斜及同方向的大黎深断裂带为格架, 基底构造以紧密复式线状褶皱为主, 断裂不很发育, 晚期叠加有 NE 向、NW 向及近 SN 向构造。

该地区的岩浆岩主要发育有加里东期和燕山期两期(广西壮族自治区地质矿产局, 1985; 黄惠民等, 2003; 骆靖中, 1993; 刘腾飞, 1993)。前者主要分布于大瑶山凸起区内部, 多呈岩脉、岩墙、小岩株产出, 由闪长岩、花岗闪长岩和花岗闪长斑岩等中-酸性岩浆岩组成, 成因类型为幔源同熔型(I型)花岗岩。后者分布于大瑶山凸起的周边, 多呈岩株、岩基出现, 也有岩脉产出, 由闪长花岗岩、二长花岗岩和黑云母花岗岩等酸性岩浆岩组成, 成因类型属于改造型(S型)花岗岩。这两期花岗岩浆活动, 代表了该区两次大的构造岩浆热事件, 相应形成了一系列的矿床, 即, 与加里东期同熔型(I型)花岗岩有关的 Au、Cu 多金属成矿系列, 以及与燕山期改造型(S型)花岗岩有关的 W、Sn、Pb、Zn、Au 成矿系列^①(黄惠民等, 2003)。

① 广西壮族自治区地质矿产勘查开发局, 2004. 广西区域成矿研究报告, 127-154. 内部资料

2 矿床地质特征

社洞钨钼矿床位于广西梧州市苍梧县岭脚镇 NWW 方向几 km 处,是近两年新发现的一个中型矿床,并有望达到大型规模。

该矿区内,出露的地层主要为寒武系小内冲组、黄洞口组第一段至第三段,为一套海相类复理石砂泥岩,局部夹灰岩。出露的岩体为社山复式岩体,是一个侵入于寒武系黄洞口组的小岩株,长约 3 km,宽约 1 km,长轴走向为 NW 300°,主体岩性为加里

东期中-细粒黑云母花岗闪长岩,其间侵入有 2 个规模约 500 m×300 m 的燕山晚期花岗斑岩体(图 1)。此外,平头背一带还出露 3 条沿 NWW 向节理充填的花岗闪长斑岩脉,厚 5~30 m 不等,向 NWW 方向侧伏,深部逐渐变为花岗闪长岩。该岩脉蚀变强烈,内、外接触带普遍分布有含钨钼的小石英脉,部分富集成矿体。

矿区内的断裂主要有 NW(W)向的 F4、F7 和近 SN 向的 F3,性质不明,沿断裂有蚀变和矿化现象。

矿体主要与花岗闪长(斑)岩及 NNW 向断裂、节理有关,可划分为平头背矿段和社山矿段(图 1)。

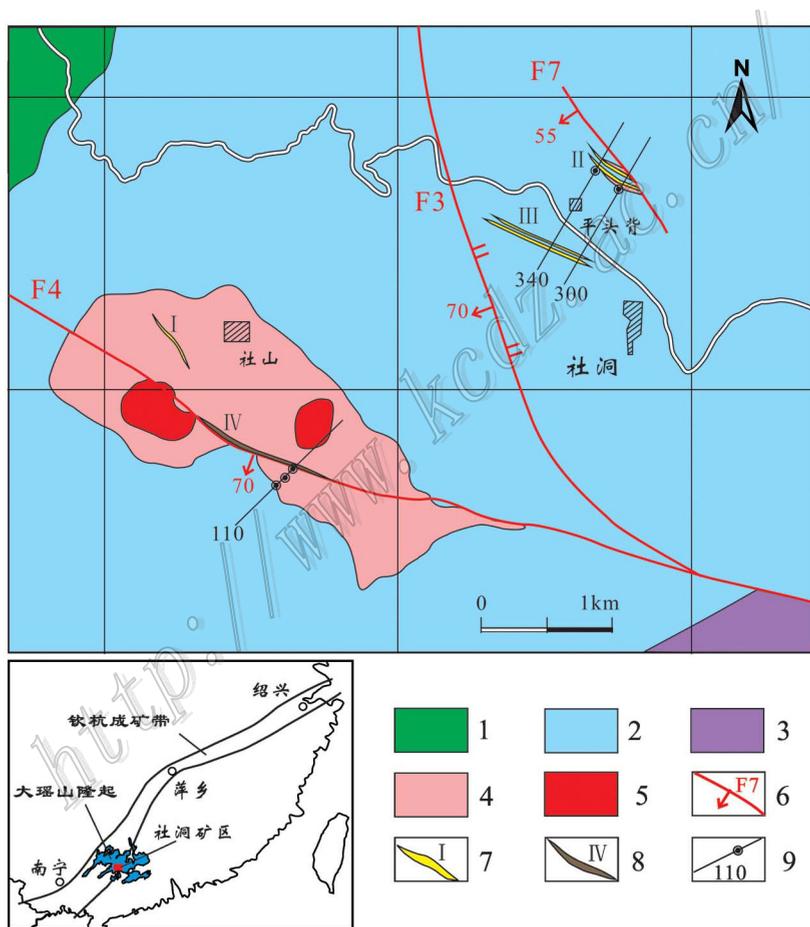


图 1 社洞钨钼矿床地质图

- 1—寒武系小内冲组砂岩夹泥岩; 2—寒武系黄洞口组下段砂岩夹泥岩; 3—寒武系黄洞口组中段砂岩夹泥岩; 4—花岗闪长(斑)岩;
- 5—花岗岩岩; 6—断层及其编号; 7—钨钼矿体及其编号; 8—铜铅锌矿体及其编号; 9—勘探线及其编号和采样钻孔

Fig. 1 Geological map of the Shedong W-Mo deposit

- 1—Sandstone and mudstone of Cambrian Xiaoneichong Formation; 2—Sandstone and mudstone of lower segment of Cambrian Huangdongkou Formation; 3—Sandstone and mudstone of middle segment of Cambrian Huangdongkou Formation; 4—Granodiorite (-porphyry);
- 5—Granite porphyry; 6—Fault and its serial number; 7—Tungsten and molybdenum ore body and its serial number; 8—Copper, lead, zinc ore body and its serial number; 9—Exploration line and its serial number and sampled drill holes

平头背矿段可进一步分为Ⅱ、Ⅲ 2个含矿带,其走向均为 300° 左右,但倾向相反。在Ⅱ号矿带的南西端,共发现石英脉型钨钼矿(化)脉19条,矿体与沿断裂、节理充填的花岗闪长斑岩脉有关。含矿石英脉总体产状 $210^\circ \angle 75^\circ$,走向控制长约300 m,宽度大于300 m,单矿体厚0.65~4.47 m,最大控制斜深300 m,单工程品位 $w(\text{WO}_3)$ 为0.06%~0.69%, $w(\text{Mo})$ 为0.03%~0.094%。2011年的钻探工作在该矿带的北西段,发现了隐伏的斑岩型和高品位的矽卡岩型矿体。Ⅲ号矿带共发现11条石英脉型钨钼矿体和部分矽卡岩型矿体,石英脉型矿体产状 $40^\circ \angle 80^\circ$,走向控制长200~300 m,最大控制斜深250 m,厚度1.15~5.18 m, $w(\text{WO}_3)$ 为0.06%~4.63%, $w(\text{Mo})$ 为0.03%~0.43%,初步估算其 $(\text{WO}_3 + \text{Mo})$ 资源量(333)已达中型矿床规模。

社山矿段的矿化特征不同于平头背矿段。Ⅰ号矿带位于社山岩体的花岗闪长岩中,白钨矿主要分布在宽0.2~2 cm的石英网脉中,或呈浸染状分布于岩体中,品位低,初步显示出斑岩型矿床的特点。由于工程控制程度不够,故矿体的规模暂未查明。Ⅳ号矿带以破碎带型铜铅锌多金属矿为主,位于社山复式岩体的西南部,受NW向F4断裂破碎带及次级小裂隙的控制(图1)。目前控制矿体长约530 m,平均厚度1.29 m,平均品位 $w(\text{Cu})$ 0.53%、 $w(\text{Pb})$ 2.60%、 $w(\text{Zn})$ 4.11%。由于Ⅳ号矿带的含矿元素(铜铅锌)明显不同于另外3个矿带(钨钼),且赋矿围岩局部为花岗斑岩,因此,推测该矿带为另一成矿系列的产物,有待今后随着勘查程度的加深予以进一步研究。

该矿床目前发现的钨钼矿化类型主要有3种:第1种为石英脉型,脉宽一般为1~20 cm,个别达40 cm,主要金属矿物为白钨矿、辉钼矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿等,脉石矿物主要为石英、方解石。第2种是矽卡岩型,主要呈隐伏矿产出,厚1~4 m不等,主要金属矿物为白钨矿,有少量辉钼矿、磁黄铁矿、黄铁矿等,脉石矿物主要为石榴子石等。第3种是斑岩型,为2011年新确定的类型,也主要呈隐伏矿产出,表现为厚0.2~4 cm的含矿石英脉网脉状密集分布于花岗闪长岩中,矿物成分与石英脉型类似。矿床的围岩蚀变有硅化、黄铁绢英岩化、绢云母化和绿泥石化等。在空间上,钨钼矿均与花岗闪长(斑)岩有关,且由岩体向外,大致表现出斑岩型

→矽卡岩型→石英脉型的分布规律。

3 样品采集和测试方法

3.1 样品位置和特征

根据矿段和岩性的不同,分别采集了3件岩浆岩样品和5件辉钼矿样品。

花岗闪长岩和花岗斑岩采自社山矿段ZK1104钻孔,前者为115 m,后者为365 m,均新鲜无蚀变。花岗闪长斑岩采自平头背矿段ZK3004钻孔和地表露头,岩石硅化、绢云母化强烈。

花岗斑岩 浅灰色,斑状结构,块状构造(图2a)。斑晶含量约50%,主要成分为长石(30%,短柱状,大小以3~5 mm为主,局部为12 mm×15 mm,且具环带结构)石英(20%,粒状,大小以2~3 mm为主)。基质为微晶石英和绢云母。化学成分为: $w(\text{SiO}_2)$ 74.99%、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 13.18%、 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 0.41%、 $w(\text{FeO})$ 0.56%、 $w(\text{CaO})$ 1.45%、 $w(\text{MgO})$ 0.27%、 $w(\text{K}_2\text{O})$ 4.87%、 $w(\text{Na}_2\text{O})$ 2.53%、 $w(\text{TiO}_2)$ 0.04%、 $w(\text{MnO})$ 0.02%、 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 0.02%。

花岗闪长岩 灰白色,细粒花岗结构,块状构造(图2b)。主要成分为:长石,含量40%,短柱状,大小1~2 mm;石英,含量35%,粒状,大小1~2 mm;角闪石和黑云母,含量25%,大小1~2 mm,局部达3~5 mm。化学成分为: $w(\text{SiO}_2)$ 65.08%、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 15.41%、 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 1.33%、 $w(\text{FeO})$ 2.96%、 $w(\text{CaO})$ 4.13%、 $w(\text{MgO})$ 2.08%、 $w(\text{K}_2\text{O})$ 2.52%、 $w(\text{Na}_2\text{O})$ 2.94%、 $w(\text{TiO}_2)$ 0.35%、 $w(\text{MnO})$ 0.12%、 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 0.11%。

花岗闪长斑岩 深灰色,斑状结构,块状构造(图2c)。斑晶含量约30%,主要成分为长石(20%,短柱状,大小1~2 mm,多蚀变为石英和绢云母,但仍保留长石晶形)石英(6%,粒状,大小3~4 mm)和角闪石(2%,长柱状,大小1~4 mm)黑云母(2%,片状,大小2~3 mm)。岩石硅化较强,并有浸染状黄铁矿分布(3%)。基质蚀变强烈,为细晶石英和绢云母。化学成分为: $w(\text{SiO}_2)$ 65.17%、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 15.83%、 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 2.27%、 $w(\text{FeO})$ 2.16%、 $w(\text{CaO})$ 2.23%、 $w(\text{MgO})$ 1.83%、 $w(\text{K}_2\text{O})$ 3.34%、 $w(\text{Na}_2\text{O})$ 2.07%、 $w(\text{TiO}_2)$ 0.29%、 $w(\text{MnO})$ 0.07%、 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 0.10%。

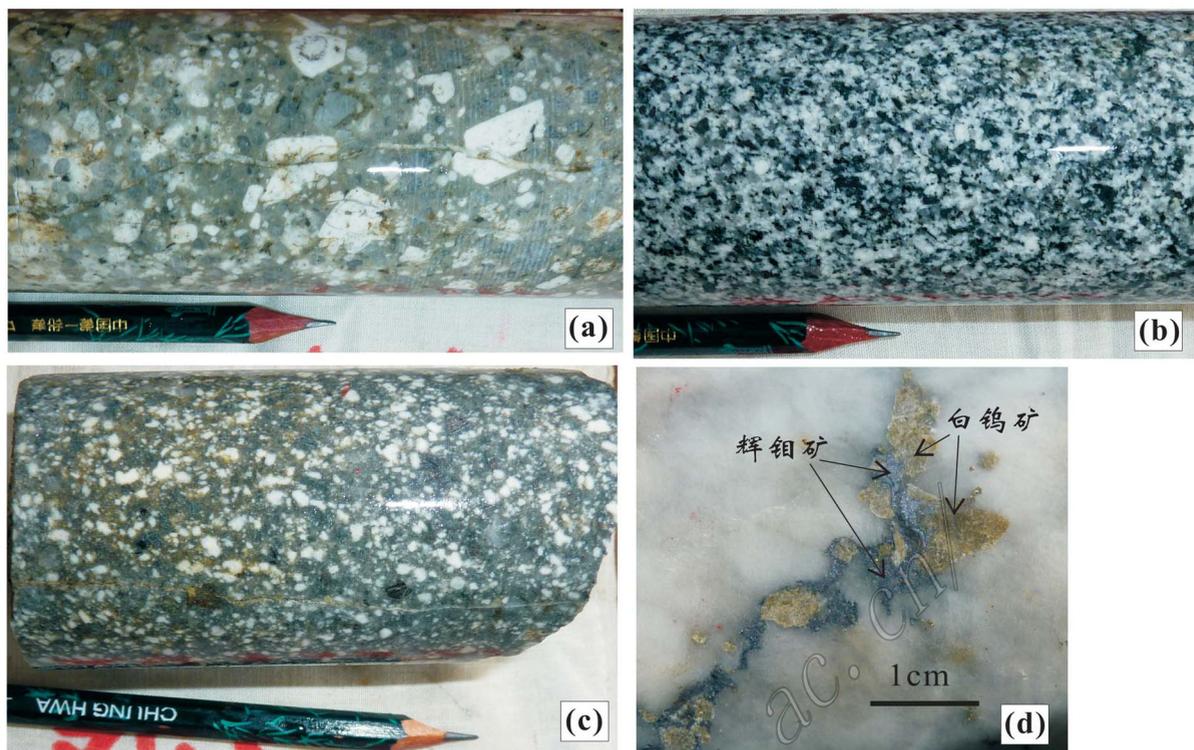


图2 社洞矿区岩浆岩和含辉钼矿石英脉的岩芯照片

a. 花岗斑岩(社山矿段 ZK1104 钻孔, 365 m); b. 花岗闪长岩(社山矿段 ZK1104 钻孔, 115 m); c. 花岗闪长斑岩(平头背矿段 ZK3004 钻孔, 28 m); d. 石英脉中辉钼矿和白钨矿共生(平头背矿段 ZK3004 钻孔, 78 m)

Fig. 2 Drill core photos of magmatic rock and molybdenite-bearing quartz vein from the Shedong ore district

a. Granite porphyry (Sheshan ore block, drill hole ZK1104, 365 m); b. Granodiorite (Sheshan ore block, drill hole ZK1104, 115 m); c. Granodiorite-porphry (Pingtoubei ore block, drill hole ZK3004, 28 m); d. Paragenetic molybdenite and scheelite in quartz vein (Pingtoubei ore block, drill hole ZK3004, 78 m)

5 件辉钼矿样品采自平头背矿段的 5 个钻孔 (ZK3004、ZK3008、ZK3401、ZK3403、ZK4005), 每件样品由不同深度的多条辉钼矿石英脉组成。辉钼矿石英脉一般宽 1~3 cm, 辉钼矿或呈粗粒片状集合体分布于石英脉中, 或呈细粒薄膜状分布于脉壁两侧。石英脉中, 白钨矿与辉钼矿共生(图 2d), 说明两者为同一成矿阶段的产物。

上述诸样品送河北省廊坊市诚信地质服务有限公司进行常规的重选和磁选, 最后在双目镜下挑纯。

3.2 测试方法

LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年 将选纯的锆石置于环氧树脂中, 待固结后抛磨至锆石粒径约二分之一, 使锆石内部充分暴露, 制成环氧树脂样品靶, 然后, 在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针实验室进行阴极发光和背散射照像, 研究锆石颗粒的显微结构, 确定待测锆石部位。

LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年测试在中国地质科学院矿产资源研究所 MC-ICP-MS 实验室完成,

测试仪器为 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 及与之配套的 Newwave UP 213 激光剥蚀系统。激光剥蚀所用斑束直径为 25 μm , 频率为 10 Hz, 能量密度约为 2.5 J/cm², 以 He 为载气。信号较弱的 ²⁰⁷Pb、²⁰⁶Pb、²⁰⁴Pb (+ ²⁰⁴Hg)、²⁰²Hg 用离子计数器 (multi-ion-counters) 接收, ²⁰⁸Pb、²³²Th、²³⁸U 信号用法拉第杯接收, 实现了所有目标同位素信号的同时接收, 并且, 不同质量数的峰基本上都是平坦的, 进而获得高精度的数据。均匀锆石颗粒的 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb、²⁰⁶Pb/²³⁸U、²⁰⁷Pb/²³⁵U 的测试精度 (2 σ) 均为 2% 左右, 对锆石标准的定年精度和准确度在 1% (2 σ) 左右。LA-MC-ICP-MS 激光剥蚀采样采用单点剥蚀的方式, 数据分析前用锆石 GJ-1 进行仪器调试, 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 ($w(\text{U}) 923 \times 10^{-6}$, $w(\text{Th}) 439 \times 10^{-6}$, Th/U 0.475; Nasdala et al., 2008) 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两个锆石 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。数据处理采用 ICPMSDataCal 程序(Liu et al., 2010)。测量过程中,绝大多数分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} > 1\,000$,未进行普通铅校正, ^{204}Pb 由离子计数器检测, ^{204}Pb 含量异常高的分析点可能受包体等普通 Pb 的影响,对 ^{204}Pb 含量异常高的分析点在计算时剔除。锆石年龄谱和图用 Isoplot 3.0 程序获得。详细测试过程可参见侯可军等(2009)。样品测试过程中,Plesovice 标样作为未知样品的分析结果为 $(337.52 \pm 2.37)\text{Ma}$ ($n=6$, 2σ)对应的年龄推荐值为 $(337.13 \pm 0.37)\text{Ma}$ (2σ) (Slama et al., 2008),两者在误差范围内完全一致。

辉钼矿 Re-Os 定年 将选纯的辉钼矿样品,研磨至 200 目,以避免大颗粒辉钼矿中由于 Re 和 Os 的失耦而引起的测年误差(Stein et al., 2003; 杜安道等, 2007)。辉钼矿样品的 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。测试方法及程序详见有关文献(杜安道等, 1994, 2001; 屈文俊等, 2003; 李超等, 2009),主要包括分解样品、

蒸馏分离钼、萃取分离 Re、质谱测定等 4 个步骤,采用美国 TJA 公司生产的 TJA X-series 电感耦合等离子体质谱仪测定同位素比值。本次实验的全流程空白为 $\text{Re} = 0.0038\text{ ng}$, 普 $\text{Os} = 0.0002\text{ ng}$, $^{187}\text{Os} = 0.0002\text{ ng}$ 。实验流程由 JDC 监控,测定的模式年龄为 $(139.0 \pm 2.0)\text{Ma}$,对应的年龄推荐值为 $(139.6 \pm 3.8)\text{Ma}$,两者在误差范围内完全一致,表明本次测试的数据是可信的。最后,采用 Isoplot 软件获得等时线和加权平均值。

4 测试结果

4.1 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄

3 个样品的锆石具有类似的特点:无色透明,晶型完好,绝大部分呈长柱状,长 $50 \sim 200\ \mu\text{m}$,长宽比约 $2 \sim 4$ 。在背散射和阴极发光图像中,大部分颗粒具有较清晰的振荡环带结构,属于典型的岩浆结晶锆石(图 3)。

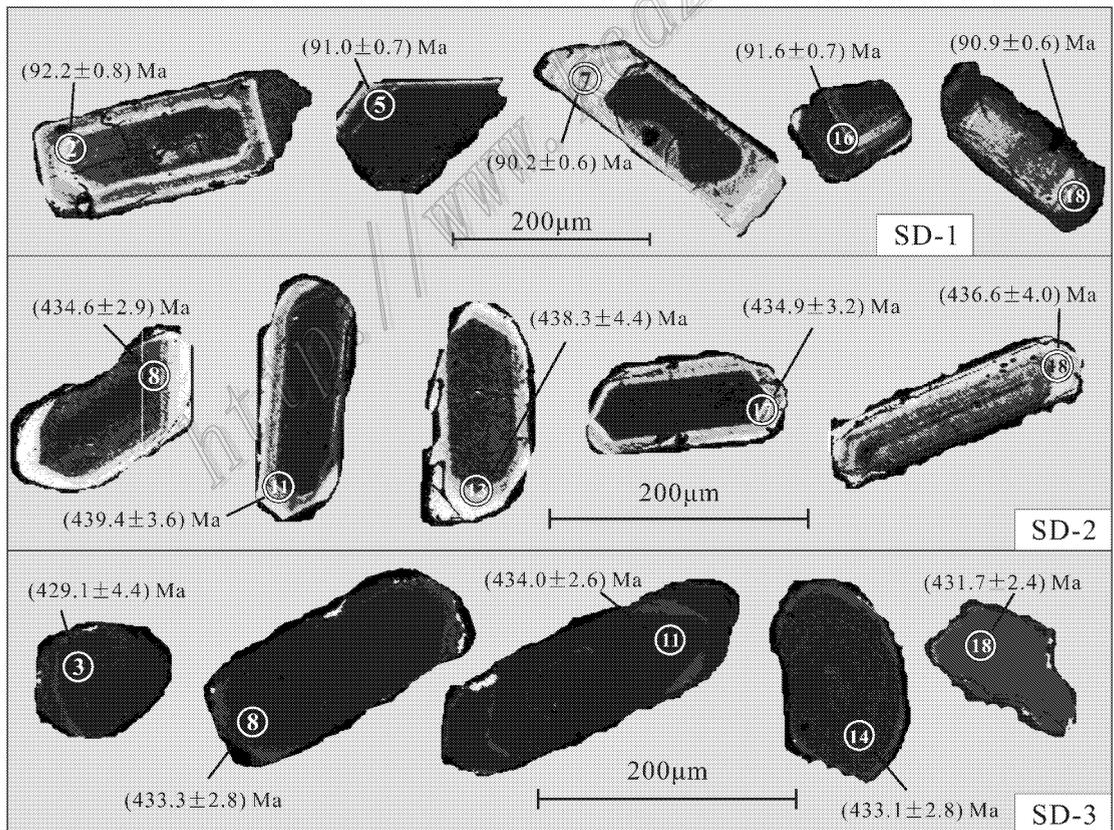


图 3 社洞矿区代表性锆石的背散射电子图象及测年结果

圆圈代表分析点位置及编号,数值代表该点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄

Fig. 3 Back scattering electron images of representative zircons from the Shedong ore district and site of analyzed point (Circle represents site of analyzed point and its serial number, numerical value represents $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age)

对各样品分别选择环带结构清晰的 20 个代表性锆石颗粒进行 U-Pb 年龄测定,各样品中除部分测点的谐和度较低而不参加计算外,其余测点的测试结果如表 1 所示。

花岗岩中的锆石(SD-1) $\omega(U)$ 为 $(90 \sim 2\ 555) \times 10^{-6}$, $\omega(Th)$ 为 $(58 \sim 1\ 259) \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 $0.27 \sim 0.98$ (平均 0.58),为典型的岩浆锆石比值(吴元保等 2004)。在一致曲线图(图 4a)中,所获的 16 个数据点的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄加权平均值为 $(91.05 \pm 0.31) Ma$ (MSWD = 0.94, 置信度为 95%)。

花岗岩中的锆石(SD-2) $\omega(U)$ 为 $(65 \sim 629) \times 10^{-6}$, $\omega(Th)$ 为 $(39 \sim 407) \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 $0.57 \sim 1.37$ (平均 0.79),表明锆石为岩浆结晶

所形成。在一致曲线图(图 4b)中,所获的 18 个数据点的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄加权平均值为 $(435.8 \pm 1.3) Ma$ (MSWD=0.63, 置信度为 95%)。

花岗闪长斑岩中的锆石(SD-3) $\omega(U)$ 为 $(149 \sim 1\ 004) \times 10^{-6}$, $\omega(Th)$ 为 $(80 \sim 608) \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 $0.27 \sim 0.76$ (平均 0.54),表明锆石均为岩浆结晶所形成。在一致曲线图(图 4c)中,所获的 12 个数据点的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄加权平均值为 $(432.0 \pm 1.7) Ma$ (MSWD=0.15, 置信度为 95%)。

4.2 辉钼矿 Re-Os 年龄

5 件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素测试结果见表 2。各样品数值范围为: $\omega(Re)$ 为 $10.36 \sim 359.2 \mu g/g$, $\omega(普Os)$ 为 $0.0047 \sim 0.0925 ng/g$, $\omega(^{187}Os)$ 为

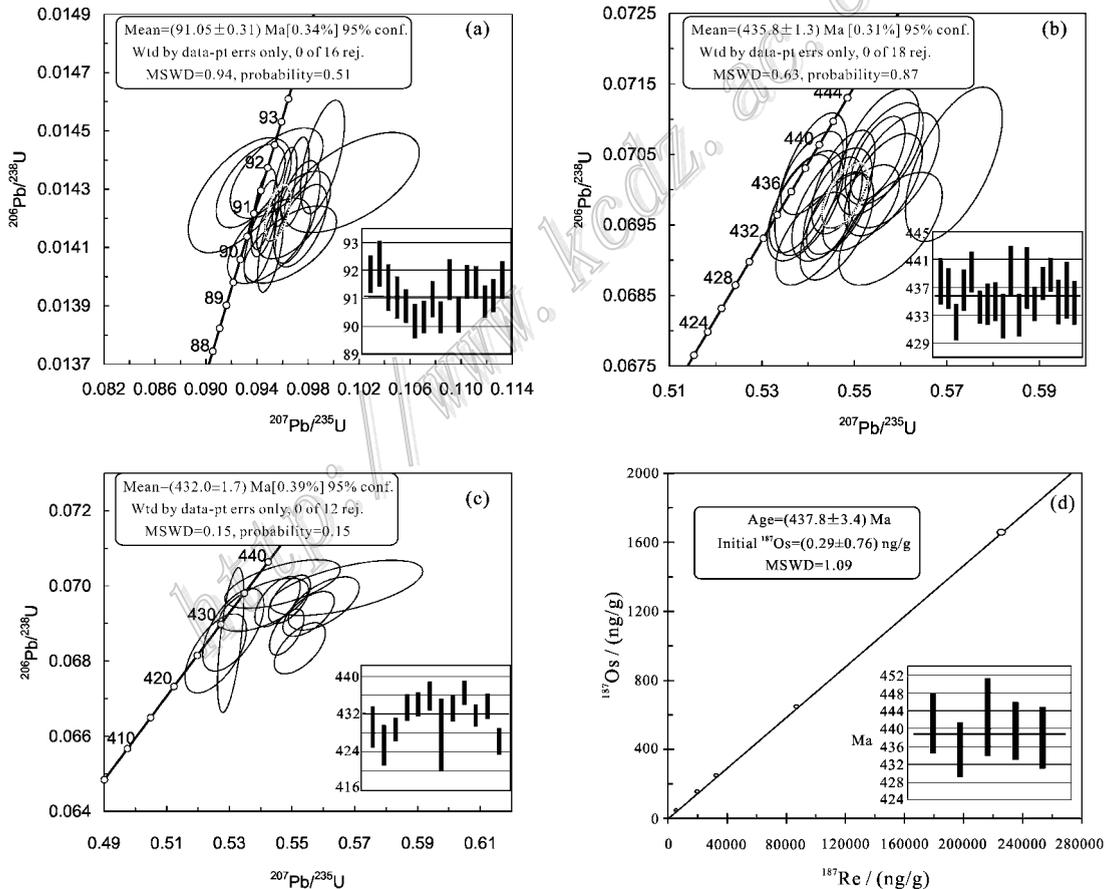


图 4 社洞矿区岩浆岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 谐和图和辉钼矿 Re-Os 同位素等时线图

a. 社山岩体花岗岩斑岩(SD-1); b. 社山岩体花岗闪长岩(SD-2); c. 平头背矿段的花岗闪长斑岩(SD-3); d. 平头背矿段的辉钼矿

Fig. 4 LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram of zircons in magmatic rock and Re-Os isochrones diagram of molybdenite

from the Shedong W-Mo deposit

a. Granite porphyry in Sheshan intrusion(SD-1); b. Granodiorite in Sheshan intrusion(SD-2); c. Granodiorite-porphyry

from Pingtoubei ore block(SD-3); d. Molybdenite from Pingtoubei ore block

表 1 社洞钨铀矿床锆石 LA-MC-ICP-MS U-Pb 测年结果

Table 1 Zircon LA-MC-ICP-MS U-Pb dating results of the Shedong W-Mo deposit

样品名称 及样品号	测点号	$w(\text{Pb})$ / 10^{-6}	$w(^{232}\text{Th})$ / 10^{-6}	$w(^{238}\text{U})$ / 10^{-6}	Th/U		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		
					测量值	误差(1 σ)	测量值	误差(1 σ)	测量值	误差(1 σ)	测量值	误差(1 σ)	年龄(Ma)	误差(1 σ)	测量值	误差(1 σ)	年龄(Ma)
	SD-1-01	3	93	116	0.80	0.0485	0.0013	0.0955	0.0024	0.0144	0.0001	124.2	61.1	92.7	2.2	91.9	0.7
	SD-1-02	6	195	397	0.49	0.0500	0.0005	0.0991	0.0011	0.0144	0.0001	198.2	20.4	96.0	1.1	92.2	0.8
	SD-1-04	21	77	115	0.67	0.0475	0.0014	0.0927	0.0027	0.0143	0.0001	76.0	-126.8	90.0	2.5	91.4	0.8
	SD-1-05	6	188	448	0.42	0.0497	0.0005	0.0971	0.0012	0.0142	0.0001	189.0	28.7	94.1	1.1	91.0	0.7
	SD-1-06	4	188	339	0.55	0.0499	0.0006	0.0975	0.0013	0.0142	0.0001	190.8	27.8	94.4	1.2	90.7	0.6
	SD-1-07	27	580	1950	0.30	0.0490	0.0002	0.0950	0.0007	0.0141	0.0001	146.4	-23.1	92.2	0.6	90.2	0.6
	SD-1-08	12	437	837	0.52	0.0485	0.0003	0.0943	0.0008	0.0141	0.0001	120.5	47.2	91.5	0.8	90.4	0.6
	SD-1-10	6	193	245	0.79	0.0495	0.0009	0.0969	0.0019	0.0142	0.0001	168.6	44.4	93.9	1.8	91.0	0.6
	SD-1-11	17	124	151	0.82	0.0498	0.0012	0.0966	0.0024	0.0141	0.0001	183.4	59.3	93.6	2.2	90.3	0.6
	SD-1-12	6	58	90	0.64	0.0514	0.0017	0.1014	0.0035	0.0143	0.0001	261.2	77.8	98.1	3.2	91.7	0.7
	SD-1-14	5	98	162	0.60	0.0488	0.0011	0.0950	0.0022	0.0141	0.0001	200.1	50.0	92.1	2.0	90.4	0.6
	SD-1-15	4	82	162	0.51	0.0475	0.0009	0.0935	0.0018	0.0143	0.0001	76.0	44.4	90.8	1.7	91.6	0.6
	SD-1-16	32	1259	1281	0.98	0.0488	0.0002	0.0961	0.0006	0.0143	0.0001	200.1	11.1	93.2	0.6	91.6	0.6
	SD-1-18	13	487	1005	0.48	0.0484	0.0003	0.0946	0.0007	0.0142	0.0001	116.8	14.8	91.8	0.7	90.9	0.6
	SD-1-19	27	696	2555	0.27	0.0482	0.0002	0.0945	0.0006	0.0142	0.0001	109.4	7.4	91.7	0.6	91.1	0.6
	SD-1-20	19	563	1499	0.38	0.0491	0.0002	0.0970	0.0007	0.0143	0.0001	153.8	11.1	94.0	0.7	91.7	0.6
	SD-2-01	7	50	79	0.64	0.0578	0.0006	0.5586	0.0065	0.0703	0.0005	520.4	22.2	450.6	4.2	437.8	3.3
	SD-2-02	16	142	158	0.90	0.0567	0.0003	0.5476	0.0045	0.0701	0.0005	479.7	8.3	443.4	3.0	436.8	2.9
	SD-2-03	9	86	96	0.89	0.0567	0.0005	0.5409	0.0053	0.0693	0.0004	479.7	18.5	439.0	3.5	432.0	2.6
	SD-2-04	12	94	118	0.79	0.0576	0.0005	0.5563	0.0056	0.0701	0.0005	516.7	16.7	449.1	3.6	436.6	2.9
	SD-2-06	9	62	79	0.79	0.0573	0.0005	0.5565	0.0056	0.0705	0.0005	505.6	20.4	449.2	3.6	439.2	2.9
	SD-2-07	10	87	112	0.78	0.0569	0.0004	0.5463	0.0044	0.0697	0.0004	487.1	16.7	442.6	2.9	434.2	2.3
	SD-2-08	18	133	235	0.57	0.0567	0.0003	0.5453	0.0042	0.0697	0.0005	483.4	13.9	441.9	2.8	434.6	2.9
	SD-2-09	15	112	192	0.59	0.0560	0.0003	0.5384	0.0045	0.0698	0.0005	450.0	13.0	437.4	3.0	435.0	2.8

续表 1

Cont. Table 1

样品名称 及样品号	测点号	$w(\text{Pb})$ / 10^{-6}	$w(^{232}\text{Th})$ / 10^{-6}	$w(^{238}\text{U})$ / 10^{-6}	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$			
						测量值	误差(1 σ)	测量值	误差(1 σ)	测量值	误差(1 σ)	测量值	误差(1 σ)	测量值	误差(1 σ)	测量值	误差(1 σ)
花岗岩类 (SD-2)	SD-2-10	5	39	65	0.61	0.0583	0.0007	0.5578	0.0074	0.0694	0.0005	542.6	25.9	450.1	4.8	432.8	3.2
	SD-2-11	8	71	90	0.78	0.0572	0.0005	0.5551	0.0059	0.0705	0.0006	498.2	18.5	448.3	3.8	439.4	3.6
	SD-2-12	15	125	126	0.99	0.0571	0.0004	0.5462	0.0053	0.0695	0.0005	494.5	16.7	442.5	3.4	433.0	3.0
	SD-2-13	6	44	65	0.67	0.0593	0.0007	0.5715	0.0069	0.0704	0.0007	588.9	25.9	459.0	4.5	438.3	4.4
	SD-2-14	9	68	95	0.71	0.0574	0.0005	0.5515	0.0055	0.0697	0.0004	505.6	18.5	446.0	3.6	434.6	2.4
	SD-2-15	12	81	130	0.63	0.0559	0.0004	0.5408	0.0045	0.0702	0.0004	455.6	16.7	439.0	2.9	437.6	2.3
	SD-2-16	35	356	260	1.37	0.0572	0.0003	0.5550	0.0039	0.0704	0.0004	498.2	11.1	448.3	2.5	438.8	2.4
	SD-2-17	10	85	107	0.79	0.0567	0.0004	0.5452	0.0057	0.0698	0.0005	479.7	16.7	441.8	3.8	434.9	3.2
	SD-2-18	49	407	629	0.65	0.0560	0.0002	0.5406	0.0051	0.0701	0.0007	450.0	7.4	438.8	3.4	436.6	4.0
	SD-2-19	15	155	137	1.13	0.0560	0.0004	0.5394	0.0054	0.0698	0.0005	453.8	19.4	438.0	3.6	434.8	3.1
	SD-3-03	44	357	637	0.56	0.0560	0.0004	0.5312	0.0065	0.0688	0.0007	453.8	21.3	432.6	4.3	429.1	4.4
	SD-3-05	22	153	331	0.46	0.0560	0.0005	0.5257	0.0065	0.0682	0.0007	450.0	22.2	428.9	4.3	425.3	4.2
	SD-3-07	75	608	976	0.62	0.0579	0.0003	0.5483	0.0036	0.0688	0.0004	524.1	38.9	443.9	2.4	428.8	2.4
	SD-3-08	33	297	391	0.76	0.0584	0.0006	0.5601	0.0075	0.0695	0.0005	542.6	24.1	451.6	4.9	433.3	2.8
	SD-3-11	50	404	627	0.64	0.0572	0.0004	0.5492	0.0044	0.0696	0.0004	501.9	17.6	444.4	2.9	434.0	2.6
	SD-3-12	15	80	165	0.48	0.0587	0.0014	0.5673	0.0161	0.0699	0.0005	553.7	53.7	456.3	10.4	435.8	2.9
	SD-3-13	42	314	580	0.54	0.0562	0.0010	0.5304	0.0028	0.0686	0.0013	461.2	38.9	432.1	1.8	427.5	7.7
	SD-3-14	27	206	318	0.65	0.0565	0.0009	0.5410	0.0094	0.0695	0.0005	472.3	35.2	439.1	6.2	433.1	2.8
	SD-3-15	16	96	149	0.64	0.0566	0.0011	0.5470	0.0122	0.0701	0.0004	476.0	44.4	443.0	8.0	436.5	2.6
SD-3-18	27	148	544	0.27	0.0582	0.0004	0.5553	0.0054	0.0693	0.0004	600.0	16.7	448.4	3.5	431.7	2.4	
SD-3-19	56	310	1004	0.31	0.0569	0.0003	0.5454	0.0048	0.0696	0.0004	487.1	11.1	442.0	3.2	433.6	2.7	
SD-3-20	39	333	678	0.49	0.0587	0.0004	0.5525	0.0054	0.0683	0.0004	553.7	16.7	446.6	3.5	426.1	2.7	

表2 社洞钨钼矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素数据

Table 2 Re-Os dating data of molybdenite from the Shedong W-Mo deposit

样品号	m/g	$\alpha(\text{Re})/\mu\text{g/g}$		$\alpha(\text{普 Os})/\text{ng/g}$		$\alpha(^{187}\text{Re})/\mu\text{g/g}$		$\alpha(^{187}\text{Os})/\text{ng/g}$		模式年龄/Ma	
		测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
ZK3401	0.05017	10.36	0.09	0.0050	0.0223	6.514	0.054	48.05	0.45	441.1	6.6
ZK3403	0.03053	54.79	0.42	0.0256	0.0860	34.43	0.26	250.6	2.2	435.2	6.1
ZK3004	0.02603	139.5	1.8	0.0062	0.1190	87.68	1.12	648.7	8.1	442.5	8.7
ZK3008	0.01043	359.2	3.2	0.0925	0.2073	225.8	2.0	1659	14	439.3	6.5
ZK4005	0.05012	34.35	0.36	0.0047	0.0158	21.59	0.23	158.1	1.3	437.9	6.9

48.05~1 659 ng/g。Re-Os 模式年龄值为(435.2 ± 6.1)Ma~(442.5 ± 8.7)Ma, 加权平均年龄为(439 ± 3)Ma, MSWD = 0.68。采用 ISOPLOT 软件(Ludwig, 2001)对所获的5个数据进行了等时线计算,得到一条很好的 ^{187}Re - ^{187}Os 等时线,年龄为(437.8 ± 3.4)Ma, MSWD = 1.09(图4d)。从MSWD值及拟合概率来看,其等时线年龄是可靠的。辉钼矿的 $\alpha(\text{普 Os})$ 为0.0047~0.0925 ng/g,远低于样品的 ^{187}Os 的含量,反映出 ^{187}Os 都是 ^{187}Re 的衰变产物,符合计算模式年龄的条件,也说明了所获得的模式年龄是有效的。

5 讨论

5.1 成岩成矿时代及其对加里东运动时限的制约

大瑶山凸起内部的中-酸性岩浆岩(包括社山岩体)的成岩时代由于缺乏高精度测年数据的约束,长期以来存在争议。如,广西壮族自治区地质矿产局(1985)将社山复式岩体中的花岗闪长岩划为燕山早期第三次侵入岩(约121~162 Ma),石英斑岩和花岗斑岩划为燕山晚期第二次侵入岩(约90~120 Ma)。骆靖中(1993)及曾崇义等(1993)则认为,花岗闪长岩为印支期-燕山早期,花岗斑岩、石英斑岩则为燕山晚期。刘腾飞(1993)把社山岩体和大黎岩体都划为加里东期。以上划分均据区域地质资料,并无实测数据的支持。

本次工作首次对社山岩体和平头背岩脉进行了高精度 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年和矿石辉钼矿 Re-Os 测年,获得社山岩体花岗斑岩等时线年龄为(91.05 ± 0.31)Ma,花岗闪长岩为(435.8 ± 1.3)Ma,平头背花岗闪长斑岩脉为(432.0 ± 1.7)Ma。尽管近年来关于锆石 U-Pb 年龄能否代表岩体侵位年龄还存在很多争论(章邦桐等,2008;2010a;2010b;朱金初等,2010),但对于面积较小(< 100 km²)的岩

体,则公认其侵位-结晶时差很小(< 1.5 Ma),锆石 U-Pb 年龄能代表岩体的侵位年龄。本文所研究的社洞岩体,其面积仅3 km²,且部分为斑岩,表明其为快速冷却的小岩枝,岩体侵位年龄与结晶年龄和冷却年龄的时差很小,因此,本文所获的锆石年龄在误差范围内完全可以代表岩体的形成时代。

本文还获得平头背矿段内与花岗闪长斑岩脉有关的石英脉型辉钼矿的等时线年龄为(437.8 ± 3.4)Ma。虽然部分学者认为,辉钼矿中 Re 和 Os 在低温成矿溶液中可能会发生活化(Suzuki et al., 2000),但由于辉钼矿 Re-Os 同位素体系的封闭温度较高(约500 °C, Suzuki et al., 1996),不易受到后期热液、变质和构造事件的影响(Stein et al., 2001),因此,辉钼矿 Re-Os 年龄能够精确地代表硫化物的形成时代(Mao et al., 2008; 谢桂青等, 2009)。另外,辉钼矿 Re-Os 同位素体系容易发生失耦作用,造成样品测试结果的重现性较差(Stein et al., 2001),但在颗粒较细(< 2 mm)的情况下进行测试以及采用等时线年龄,可以消除失耦作用(Selby et al., 2004; 杜安道等, 2007)。因此,本次测试所获的 Re-Os 等时线年龄(437.8 ± 3.4)Ma 代表了成矿年龄。

上述高精度测年数据,一方面表明社山岩体是一个复式岩体,分别形成于早志留世(加里东期)和晚白垩世(燕山晚期);另一方面证实了钨钼矿形成于早志留世,与花岗闪长斑岩密切相关。

上述加里东期岩体高精度测年数据的获得,还为确定该地区广西运动的时限提供了制约条件。华南地区的加里东期花岗岩主要出露在武夷山、赣南、南岭和云开大山地区,面广量大。尽管广西壮族自治区地质矿产局(1985)根据地层、岩浆岩特征,将广西运动时限定为377~418 Ma,但吴浩若(2000)提出,应“重新解释广西运动”,认为广西加里东运动的主幕为早奥陶世(即郁南运动),大瑶山褶皱带即为早奥陶世时南北两边地块挤压的结果,志留纪末并

表 3 广西及云开地区主要的加里东期岩体及其时代

Table 3 Major Caledonian intrusions and their ages in Guangxi and Yunkai region

名称	岩性	年龄/Ma	测试方法	资料来源
广西社洞岩体	花岗闪长岩	432.0~435.8	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	本文
广西钦甲岩体	黑云母花岗岩	412.4~442.4	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	王永磊等,2011
广西大宁岩体	花岗闪长岩	419.1	SHRIMP 锆石 U-Pb	程顺波等,2009
广西桂岭岩体	黑云母二长花岗岩	424.4	SHRIMP 锆石 U-Pb	李晓峰等,2009
广西苗儿山岩体	黑云母二长花岗岩	443.5	SHRIMP 锆石 U-Pb	倪艳军等,2009
广西越城岭岩体	黑云母花岗岩	409	锆石 U-Pb	广西壮族自治区地质矿产局,1985
广西都庞岭西体	黑云母二长花岗岩	407~422	锆石 U-Pb	黄海波,1990
广东那蓬岩体	黑云母花岗岩	418	锆石 U-Pb	王江海等,1998
广东云开地区	条带、眼球状花岗岩	465~413	SHRIMP 锆石 U-Pb	彭松柏等,2006
广东罗定残斑岩脉	花岗斑岩脉	404~428	锆石 U-Pb	黄圭成等,2000
广东诗洞-广平岩体	黑云母花岗岩	461~444	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	耿红燕等,2006

无造山运动的证据。不过,近年来的岩浆岩锆石高精度年龄数据表明,从武夷山到云开大山,加里东旋回最强烈的岩浆活动发生在 450~400 Ma(舒良树,2006;舒良树等,2008;李兼海,1998)。以广西及粤桂交界的云开大山地区的加里东期花岗岩为例(表 3),这些岩体的侵位年龄在 404~461 Ma 之间,以 420~430 Ma 为主。因此,该地区加里东运动最强烈的构造-岩浆活动应发生在 420~430 Ma 之间,即志留纪。这支持了加里东运动的主幕在志留纪的观点。

此外,社山岩体花岗斑岩的等时线年龄为 $(91.05 \pm 0.31) \text{ Ma}$,与右江褶皱带广泛出露的超基性岩-花岗岩的时代(85~95 Ma)相似(陈懋弘,2009)。耿红燕等(2006)还获得了粤西马鞍山流纹英安岩和周公顶流纹英安岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄,为 $(100 \pm 1) \text{ Ma}$ 。德庆二长花岗岩、杏花花岗闪长岩和调村花岗闪长岩为 99~104 Ma。这些证据进一步表明,华南地区 80~100 Ma 时发生了大规模的岩石圈伸展减薄事件,其影响范围很大,东起东南沿海,西至云南个旧(毛景文等,2007;2008)。

5.2 大瑶山地区岩浆作用与成矿作用

目前的研究认为,大瑶山地区的花岗岩主要发育有加里东期和燕山期 2 期(广西壮族自治区地质矿产局,1985;黄惠民等,2003;骆靖中,1993;刘腾飞,1993)。前者主要分布于大瑶山凸起区内部,多呈岩脉、岩墙、小岩株产出,由闪长岩、花岗闪长岩和花岗闪长斑岩等中-酸性岩浆岩组成,成因类型为幔源同熔型(I型)花岗岩。后者分布于大瑶山凸起的周边,多呈岩株、岩基出现,也有岩脉产出,由闪长花

岗岩、二长花岗岩和黑云母花岗岩等酸性岩浆岩组成,成因类型属于改造型(S型)花岗岩。这两期花岗岩浆活动,代表了该区两次重大的构造岩浆热事件,相应形成了一系列的矿床,即,与加里东期同熔型(I型)花岗岩有关的 Au 、 Cu 多金属成矿系列,以及与燕山期改造型(S型)花岗岩有关的 W 、 Sn 、 Pb 、 Zn 、 REE 成矿系列^①(黄惠民等,2003)。后一成矿系列又包括 2 个亚系列:其一为大瑶山北缘以 Sn 、 W 为主的亚系列,以含锡石和黑钨矿为特征,矿体赋存于接触带和围岩中,受断裂破碎带或石英脉的控制,主要矿床如新路锡多金属矿床、栗木锡矿床和珊瑚钨锡矿床等;另一为大瑶山南缘以 Au 、 Cu 为主的亚系列,以龙头山金矿为代表^①。

由于研究程度较低,上述成矿系列的划分多依据矿床与岩浆岩的空间关系,大多缺乏高精度测年数据的约束,因此争议较大,有待进一步完善。以大瑶山地区与加里东期同熔型(I型)花岗岩有关的 Au 、 Cu 多金属成矿系列为例,前人多认为桃花、六岑、古袍金矿田为加里东期成矿,且划归为“加里东期 Au 成矿亚系列(如古袍、桃花和龙水金矿)”(崔彬等,2000),或“与加里东期同熔型花岗岩有关的 Au 、 Cu 多金属成矿系列”(黄惠民等,2003)。但蔡明海等(2000)却认为,桃花、六岑、古袍金矿田的主成矿期为 $(148 \pm 10) \text{ Ma}$,且含矿破碎带均切穿岩体并延伸到围岩地层中,表明金成矿与加里东期斑岩活动无直接联系(刘国庆等,2004)。

在社洞矿区,除了钨钼矿(如 I、II、III 号矿带)外,还存在金铜铅锌多金属矿(如 IV 号矿带)。骆靖

① 广西壮族自治区地质矿产勘查开发局,2004. 广西区域成矿研究报告,127-154. 内部资料.

中(1993)及曾崇义等(1993)曾认为,苍梧岭脚地区(社洞、武界、流山、古龙等)众多的隐伏-半隐伏加里东期花岗闪长岩岩株(脉)在空间上与金矿床(点)相互依存,成因上互为相关;而燕山期花岗斑岩、石英斑岩与锡、钨、钼有密切的关系。本次工作表明,上述观点可能需要进一步斟酌。首先,高精度测年数据表明,社洞矿区的加里东期花岗闪长(斑)岩与钨(钼)有关,而与金无关。其次,众多地质现象表明,钨钼矿的形成时间早于金铜铅锌多金属矿,其证据有:①在社洞矿区东南部武界矿点的坑道中多次见到含金铜铅锌矿的石英脉切割钨钼矿脉;②在社洞矿区平头背矿段,见有金矿脉(F7)切割钨钼矿脉;③社山矿段IV号矿脉(铜铅锌金)切割花岗斑岩(91 Ma)。同时,在区域上,与贵港龙头山金矿有关的花岗岩的年龄为100~103 Ma(陈富文等,2008),也可佐证大瑶山地区的金矿可能主要与燕山晚期的岩浆岩有关。

因此,对大瑶山地区的岩浆作用和成矿作用需要重新认识:

(1)加里东期是大瑶山地区一个重要的岩浆-构造-成矿期,但其成矿系列可能不是前人所认为的以Au、Cu多金属为主,而很可能是以Cu、W、Mo为主。该成矿期的矿床除了本文所报道的社洞钨钼矿床外,尚有大瑶山凸起北缘的白石顶钨矿(辉钼矿 Re-Os 年龄为 (424.6 ± 5.7) Ma,与之相关的桂岭岩体(角闪石)黑云母二长花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 (424.4 ± 5.6) Ma(李晓峰等,2009)。大瑶山凸起的外围,也存在不少加里东期岩浆岩和相关的矿床,如,西大明山钦甲铜锡矿床含石英脉的辉钼矿 Re-Os 年龄为 (435.0 ± 2.5) Ma(王永磊等,2010),与之相关的花岗岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为412.4~442.4 Ma(王永磊等,2011)。

(2)对大瑶山地区燕山期斑岩型铜钼矿的前景和潜力需要重新评估。2007年新发现的广东封开县圆珠顶超大型斑岩型铜钼矿床(资源量Cu 98万t, Mo 26万t),其辉钼矿 Re-Os 年龄为 (155.6 ± 3.4) Ma(钟立峰等,2010),与之相关的花岗岩为二长花岗斑岩。原认为广西苍梧县社洞斑岩-矽卡岩-石英脉型钨钼铜矿床、藤县大黎斑岩型钼铜矿床也与燕山期花岗(闪长)岩有关,以斑岩型、矽卡岩型和石英脉型为主,与圆珠顶斑岩型铜钼矿床具有一定的可比性,可能具有相同的成矿背景和成矿过程,从而预测该区可能存在一条新的与燕山期花岗岩类有关的

斑岩型-矽卡岩型铜钼多金属成矿带。但目前已有的资料并不支持该设想,可能分别存在加里东期斑岩-矽卡岩-石英脉型铜钨钼矿和燕山期斑岩型铜钼(金)矿两个不同的成矿系列,具有不同的成矿时代和成矿背景,但空间上相互重叠。大瑶山地区加里东期岩浆活动的强度、范围和成矿作用可与燕山期媲美,在其作用区内具有巨大的找矿潜力,是今后大瑶山地区寻找矽卡岩-斑岩型铜钼(金)矿床的主攻方向之一。因此,查明大瑶山地区众多花岗岩类岩株、岩脉的时代、地球化学特征,对正确评估大瑶山地区斑岩型铜钨钼矿床的潜力具有重要意义。

6 结论

(1)广西苍梧社洞钨钼矿床中的花岗岩类锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年表明,社山复式岩体花岗斑岩的等时线年龄为 (91.05 ± 0.31) Ma,花岗闪长岩为 (435.8 ± 1.3) Ma;平头背花岗闪长斑岩脉为 (432.0 ± 1.7) Ma;与花岗闪长斑岩脉有关的石英脉型辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄为 (437.8 ± 3.4) Ma。说明社洞钨钼矿床形成于早志留世,与花岗闪长(斑)岩密切相关。同时,这些高精度年代学数据为确定大瑶山地区加里东运动的主幕——广西运动的时限提供了精确约束。

(2)大瑶山地区除了燕山期的斑岩型 Cu-Mo-Au 矿床外,还存在加里东期的斑岩-矽卡岩-石英脉型 W-Mo 矿床。大瑶山地区加里东期岩浆活动的强度、范围和成矿作用可与燕山期媲美,具有巨大的找矿潜力,是今后大瑶山地区寻找矽卡岩-斑岩型 W-Mo-Cu 矿床的主攻方向之一。

志 谢 感谢毛景文研究员和战明国研究员的指导。野外采样得到了广西地球物理勘察院罗军等员工的大力协助,锆石和辉钼矿测年分别得到了侯可军、屈文俊、李超等人的支持,王永磊提供了最新的测年数据,三位匿名审稿人对本文提出了富有建设性的意见,谨致谢忱。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Guangxi Zhuang Autonomous Region. 1985. Regional geology of Guangxi Zhuang Autonomous Region[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-96(in Chi-

- nese with English abstract).
- Cai M H, Liu G Q and Zhan M G. 2000. Study on genesis and mineralogical epoch of gold deposits in Daoyaoshan, east Guangxi [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (3): 58-63 (in Chinese with English abstract).
- Chen F W, Li H Q and Mei Y P. 2008. Zircon SHRIMP U-Pb chronology of diagenetic mineralization of the Longtoushan porphyry gold ore field, Gui County, Guangxi [J]. *Acta Geologica Sinica*, 8X(7): 921-926 (in Chinese with English abstract).
- Chen M H, Zhang W, Yang Z X, Lu G, Hou K J and Liu J H. 2009. Zircon SHRIMP U-Pb age and Hf isotopic composition of the Baiceng ultrabasic rock veins in Zhenfeng county, southwestern Guizhou Province, China [J]. *Mineral Deposits*, 28(3): 240-250 (in Chinese with English abstract).
- Cheng S B, Fu J M, Xu D M, Chen X Q, Ma L Y, Wang X D and Pang Y C. 2009. Zircon SHRIMP U-Pb dating and geochemical characteristics of Daning batholith in northeast Guangxi [J]. *Geology in China*, 36(6): 1278-1288 (in Chinese with English abstract).
- Cui B, Zhai Y S, Meng Y F, Huang F F, Shu G and Liu G H. 2000. Au-Ag Ore-forming system in Dayaoshan-Xidamingshan, Guangxi, China [J]. *Earth Science*, 25(4): 352-356 (in Chinese with English abstract).
- Du A D, He H L and Yin N W. 1994. A study on the rhenium-osmium geochronometry of molybdenite [J]. *Acta Geologica Sinica*, 68(4): 339-347 (in Chinese with English abstract).
- Du A D, Zhao D M, Wang S X, Sun D Z and Liu D Y. 2001. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with Carius Tube sample preparation [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 20(4): 247-252 (in Chinese with English abstract).
- Du A D, Qu W J, Wang D H, Li H M, Feng C Y, Liu H, Ren J and Zeng F G. 2007. Subgrain-size decoupling of Re and ¹⁸⁷Os within molybdenite [J]. *Mineral Deposits*, 26(5): 572-580 (in Chinese with English abstract).
- Geng H Y, Xu X S, O'Reilly S Y, Zhao M and Sun T. 2006. Cretaceous volcano-invasive magma activities and its geological significance in western Guangdong [J]. *Science in China (Series D)*, 36(7): 601-617 (in Chinese).
- Guo L Z, Shi Y S, Ma R S, Ye S F and Lu H F. 1981. Tectonostratigraphic terranes of southeast China [J]. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences Edition)*, 20(4): 732-739 (in Chinese with English abstract).
- Hou K J, Li Y H and Tian Y R. 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).
- Huang G C, Wang X W, Yang S Y, Chen L Q and Ling J S. 2000. Zircon U-Pb ages and their geologic implication of porphyroid in the west of Guangdong Province [J]. *Geology-Geochemistry*, 28(4): 48-52 (in Chinese with English abstract).
- Huang H B. 1990. Basic characteristics of the Dupangling granite in Guangxi [J]. *Regional Geology of China*, (3): 231-236 (in Chinese with English abstract).
- Huang H M, He Z J and Cui B. 2003. Metallogenic series of granite in Dayaoshan of Guangxi [J]. *Geology and Prospecting*, 39(4): 12-16 (in Chinese with English abstract).
- Li C, Qu W J and Du A D. 2009. Decoupling of Re and Os and migration model of ¹⁸⁷Os in coarse-grained molybdenite [J]. *Mineral Deposits*, 28(5): 707-712 (in Chinese with English abstract).
- Li J H. 1998. Classification and characteristics of the tectonic movements and structural layers in Fujian Province [J]. *Geology of Fujian*, 17(3): 115-130 (in Chinese with English abstract).
- Li X F, Feng Z H, Li R S, Tang Z H, Qu W J and Li J Z. 2009. Silurian Mo mineralization at Baishiding molybdenum deposit in northern Guangxi: Constraints from zircon SHRIMP U-Pb and molybdenite Re-Os ages [J]. *Mineral Deposits*, 28(4): 403-412 (in Chinese with English abstract).
- Liu G Q and Cai M H. 2004. Ore-forming condition and genetic analysis on the gold deposit in Dayaoshan region, eastern Guangxi [J]. *Geological Science and Technology Information*, 23(2): 37-44 (in Chinese with English abstract).
- Liu T F. 1993. The characteristics of granitoid in east Guangxi and its relation with gold deposits [J]. *Guangxi Geology*, 6(4): 77-86 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y S, Gao S, Hu Z C, Gao C G, Zong K Q and Wang D B. 2010. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths [J]. *Journal of Petrology*, 51: 537-571.
- Luo J Z. 1993. Gold and silver ore deposits associated to granitoids in eastern Guangxi [J]. *Journal of Guilin College of Geology*, 13(4): 329-339 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Guo C L and Chen Y C. 2007. Large-scale tungsten-tin mineralization in the Nangling region, South China: Metallogenic ages and corresponding geodynamic processes [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(10): 2329-2338 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Xie G Q, Bierlein F, Qü W J, Du A D, Ye H S, Pirajno F, Li H M, Guo B J, Li Y F and Yang Z Q. 2008. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the east Qinling-Dabie orogenic belt [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 72: 4607-4626.
- Mao J W, Xie G Q, Guo C L, Yuan S D, Cheng Y B and Chen Y C. 2008. Spatial-temporal distribution of Mesozoic ore deposits in South China and their metallogenic settings [J]. *Geological Journal of China Universities*, 14(4): 510-526 (in Chinese with English abstract).

- Mao J W, Chen M H, Yuan S D and Guo C L. 2011. Characteristics and spatial-temporal regularity of mineral deposits in Qinhang(or Shihang) metallogenic belt, South China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 85(5): 636-658 (in Chinese with English abstract).
- Nasdala L, Hofmeister W, Norberg N, Mattinson J M, Corfu F, Drr W, Kamo S L, Kennedy A K, Kronz A, Reiners P W, Frei D, Kosler J, Wan Y, Gtze J, Hger T, Krner A and Valley J. 2008. Zircon M257: A homogeneous natural reference material for the ion microprobe U-Pb analysis of zircon[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 32: 247-265.
- Ni Y J, Chen B H, Chen W B and He C P. 2009. The finding and prospecting signification of the new style scheelite deposit in Miaoershan, Hunan Province[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (3): 37-42 (in Chinese with English abstract).
- Peng S B, Jin Z M, Liu Y H, Fu J M, He L Q, Cai M H and Wang Y B. 2006. Petrochemistry, chronology and tectonic setting of strong peraluminous anatectic granitoids in Yunkai Orogenic Belt, western Guangdong Province, China[J]. *Earth Science*, 31(1): 110-120 (in Chinese with English abstract).
- Qu W J and Du A D. 2003. Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with carius tube sample digestion[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 22(4): 254-258 (in Chinese with English abstract).
- Selby D and Creaser R A. 2004. Macroscale NTIMS and microscale LA-MC-ICP-MS Re-Os isotopic analysis of molybdenite: Testing spatial restrictions for reliable Re-Os age determinations, and implications for the decoupling of Re and Os within molybdenite[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 68: 3897-3908.
- Sheng Z H. 2005. Gold metallogenic pattern in Dayaoshan ore belt[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 20 (Supp.): 61-64 (in Chinese with English abstract).
- Shu L S. 2006. Predevonian tectonic evolution of South China: From Cathaysian block to Caledonian period folded orogenic belt[J]. *Geological Journal of China Universities*, 12(4): 418-431 (in Chinese with English abstract).
- Shu L S, Yu J H, Jia D, Wang B, Shen W Z and Zhang Y Q. 2008. Early Paleozoic orogenic belt in the eastern segment of South China[J]. *Geological Bulletin of China*, 27(10): 1581-1593 (in Chinese with English abstract).
- Sláma J, Kosler J, Condon D J, Crowley J L, Gerdes A, Hanchar J M, Horstwood M S A, Morris G A, Nasdala L, Norberg N, Schaltegger U, Schoene B, Tubrett M N and Whitehouse M J. 2008. Plesovice zircon - A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis[J]. *Chemical Geology*, 249: 1-35.
- Stein H J, Scherstén A, Hannah J L and Markey R J. 2003. Subgrain-scale decoupling of Re and ¹⁸⁷Os and assessment of laser ablation ICP-MS spot dating in molybdenite[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 67(19): 3673-3686.
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Hannah J L and Scherstén A. 2001. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: How and why it works[J]. *Terra Nova*, 13: 479-486.
- Suzuki K, Shimizu H and Masuda A. 1996. Re-Os dating of molybdenites from ore deposits in Japan: Implication for the closure temperature of the Re-Os system for molybdenite and the cooling history of molybdenum ore deposits[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60: 3151-3159.
- Suzuki K, Kagi H, Nara M, Takano B and Nozaki Y. 2000. Experimental alteration of molybdenite: Evaluation of the Re-Os system, infrared spectroscopic profile and polytype[J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64: 223-232.
- Ting V K (丁文江). 1929. The orogenic movements in China[J]. *Bull. Geol. Soc. China*, 8(2): 151-170.
- Wang J H, Sun D Z, Chang X Y, Deng S X, Zhang H and Zhou H W. 1998. U-Pb dating of the Napeng granite at the NW margin of the Yunkai block, Guangdong, south China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 18(2): 130-133 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y L, Wang D H, Zhang C Q, Qu W J and Hu Y C. 2010. Molybdenite Re-Os isochron age of Debao Cu-Sn deposit in Guangxi and relation to Caledonian mineralization[J]. *Mineral Deposits*, 29(5): 881-889 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y L, Wang D H, Zhang C Q, Hou K J and Wang C H. 2011. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the Qinjia granite in Guangxi Province and its geologic significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 85(4): 475-481 (in Chinese with English abstract).
- Wu H R. 2000. Reinterpreting Guangxi movement[J]. *Chinese Science Bulletin*, 45(5): 555-558 (in Chinese).
- Wu Y B and Zheng Y F. 2004. Zircon minerageny and its constraints on the explanation of U-Pb age[J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589-1604 (in Chinese).
- Xie G Q, Zhao H J, Zhao C S, Li X Q, Hou K J and Pan H J. 2009. Re-Os dating of molybdenite from Tonglushan ore district in south-eastern Hubei Province, Middle-Lower Yangtze River belt and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 28(3): 227-239 (in Chinese with English abstract).
- Xie L S and Sun B D. 1993. Geological characteristics of Mt. Longtoushan volcanic-subvolcanic gold deposit, Guigang City, Guangxi[J]. *Guangxi Geology*, 6(4): 27-42 (in Chinese with English abstract).
- Yang M G and Mei Y W. 1997. Characteristics of geology and metallogenesis in the Qinzhou-Hangzhou paleoplate juncture[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (3): 52-59 (in Chinese with English abstract).
- Yang M G, Huang S B, Lou F S, Tang W X and Mao S B. 2009. Lithospheric structure and large-scale metallogenic process in Southeast China continental area[J]. *Geology in China*, 36(3): 528-543

(in Chinese with English abstract).

Zeng C Y, Xiao L, Ye N Q, Hu C Y, Liu C and Cai L X. 1993. The geological and minerogenic characteristics of the granitoids in the Lingjiao area, Guangxi Cangwu [J]. Journal of Guilin College of Geology, 13(4): 340-349 (in Chinese with English abstract).

Zhang B T, Wu J Q, Ling H F and Chen P R. 2008. Doubts about "the representation of zircon U-Pb age to the emplacement age of granite": Evidence of comparison between the zircon U-Pb ages and the whole-rock Rb-Sr ages of granite plutons [J]. Geological Review, 54(6): 775-785 (in Chinese with English abstract).

Zhang B T, Wu J Q, Ling H F and Chen P R. 2010a. On the time elapsed from magma emplacement to crystallization-solidification of granites and its tectonic implication: Taking the Qitianling granite batholith of Nanling range in south China as an example [J]. Geological Journal of China Universities, 16(1): 103-118 (in Chinese with English abstract).

Zhang B T, Wu J Q, Ling H F and Chen P R. 2010b. Magma-dynamic evidence for Indosinian cycle emplacement of the Qitianling granite batholith in Nanling range, south China: Reply and discussion to comments by Prof. Zhu Jinchu et al [J]. Geological Journal of China Universities, 16(3): 397-412 (in Chinese with English abstract).

Zhong L F, Xia B, Liu L W, Li J, Lin X G, Xu L F and Lin L Z. 2010. Metallogenic geochronology of Yuanzhuding Cu-Mo deposit in western Guangdong-eastern Guangxi metallogenic belt and its geological significance [J]. Mineral Deposits, 29(3): 395-404 (in Chinese with English abstract).

Zhu J C, Wang R C, Lu J J and Zhang W L. 2010. On the time span between emplacement age and zircon U-Pb age of the Mesozoic granites in Nanling range, south China: A discussion with Prof. Zhang Bangtong et al [J]. Geological Journal of China Universities, 16(1): 119-123 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

蔡明海, 刘国庆, 战明国. 2000. 桂东大瑶山地区金矿床成因及成矿时代研究 [J]. 华南地质与矿产, (3): 58-63.

陈富文, 李华芹, 梅玉萍. 2008. 广西龙头山斑岩型金矿成岩成矿锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究 [J]. 地质学报, 82(7): 921-926.

陈懋弘, 章伟, 杨宗喜, 陆刚, 侯可军, 刘建辉. 2009. 黔西南白层超基性岩墙锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成研究 [J]. 矿床地质, 28(3): 240-250.

程顺波, 付建明, 徐德明, 陈希清, 马丽艳, 王晓地, 庞迎春. 2009. 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, 36(6): 1278-1288.

崔彬, 翟裕生, 蒙义峰, 黄方方, 树皋, 刘光华. 2000. 广西大瑶山-西大明山金银成矿系统研究 [J]. 地球科学, 25(4): 352-

356.

杜安道, 何红蓼, 殷宁万. 1994. 辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究 [J]. 地质学报, 68(4): 339-347.

杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 孙德忠, 刘敦一. 2001. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄 [J]. 岩矿测试, 20(4): 247-252.

杜安道, 屈文俊, 王登红, 李厚民, 丰成友, 刘华, 任静, 曾法刚. 2007. 辉钼矿亚晶粒范围内 Re 和 ^{187}Os 的失耦现象 [J]. 矿床地质, 26(5): 572-580.

耿红燕, 徐夕生, O'Reilly S Y, 赵明, 孙涛. 2006. 粤西白垩纪火山-侵入岩浆活动及其地质意义 [J]. 中国科学(D辑), 36(7): 601-617.

广西壮族自治区地质矿产局. 1985. 广西壮族自治区区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社. 96 页.

郭令智, 施央申, 马瑞士, 叶尚夫, 卢华复. 1981. 中国东南部地体构造的研究 [J]. 南京大学学报, 20(4): 732-739.

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.

黄圭成, 汪雄武, 扬世义, 陈龙清, 凌井生. 2000. 粤西残斑岩的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 地质地球化学, 28(4): 48-52.

黄海波. 1990. 广西都庞岭花岗岩体基本特征 [J]. 中国区域地质, (3): 231-236.

黄惠民, 和志军, 崔彬. 2003. 广西大瑶山地区花岗岩成矿系列 [J]. 地质与勘探, 39(4): 12-16.

李超, 杜安道, 屈文俊. 2009. 大颗粒辉钼矿 Re-Os 同位素失耦现象及 ^{187}Os 迁移模式研究 [J]. 矿床地质, 28(5): 707-712.

李兼海. 1998. 福建省构造运动、构造层划分及其主要特征 [J]. 福建地质, 17(3): 115-130.

李晓峰, 冯佐海, 李容森, 唐专红, 屈文俊, 李军朝. 2009. 华南志留纪钼的矿化: 白石顶钼矿锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和辉钼矿 Re-Os 年龄证据 [J]. 矿床地质, 28(4): 403-412.

刘国庆, 蔡明海. 2004. 桂东大瑶山地区金矿成矿条件及成因分析 [J]. 地质科技情报, 23(2): 37-44.

刘腾飞. 1993. 桂东花岗岩类特征及其与金矿关系 [J]. 广西地质, 6(4): 77-86.

骆驹中. 1993. 桂东地区花岗岩类与金银成矿的关系 [J]. 桂林冶金地质学院学报, 13(4): 329-339.

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.

毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 郭春丽. 2011. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律 [J]. 地质学报, 85(5): 636-658.

倪艳军, 陈必河, 陈文斌, 贺春平. 2009. 湖南苗儿山白钨矿床的发现及其找矿意义 [J]. 华南地质与矿产, (3): 37-42.

- 彭松柏,金振民,刘云华,付建明,何龙清,蔡明海,王彦斌. 2006. 云开造山带强过铝深熔花岗岩地球化学、年代学及构造背景[J]. 地球科学, 31(1): 110-120.
- 屈文俊,杜安道. 2003. 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, 22(4): 254-258.
- 盛志华. 2005. 大瑶山成矿带金矿成矿规律[J]. 地质找矿论丛, 20(增刊): 61-64.
- 舒良树. 2006. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东造山带[J]. 高校地质学报, 12(4): 418-431.
- 舒良树,于津海,贾东,王博,沈渭洲,张岳桥. 2008. 华南东段早古生代造山带研究[J]. 地质通报, 27(10): 1581-1593.
- 王江海,孙大中,常向阳,邓尚贤,张湖,周汉文. 1998. 云开地块西北缘那蓬岩体的锆石 U-Pb 年龄[J]. 矿物学报, 18(2): 130-133.
- 王永磊,王登红,张长青,屈文俊,胡艳春. 2010. 广西德保铜锡矿床辉钼矿 Re-Os 同位素定年及对加里东期成矿的探讨[J]. 矿床地质, 29(5): 881-889.
- 王永磊,王登红,张长青,侯可军,王成辉. 2011. 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, 85(4): 475-481.
- 吴浩若. 2000. 重新解释广西运动[J]. 科学通报, 45(5): 555-558.
- 吴元保,郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 49(16): 1589-1604.
- 谢桂青,赵海杰,赵财胜,李向前,侯可军,潘怀军. 2009. 鄂东南铜绿山矿田矽卡岩型铜铁金矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 28(3): 227-239.
- 谢抡司,孙邦东. 1993. 广西贵港市龙头山火山-次火山岩型金矿床地质特征[J]. 广西地质, 6(4): 27-42.
- 杨明桂,梅勇文. 1997. 钦-杭古板块结合带与成矿带的主要特征[J]. 华南地质与矿产, (3): 52-59.
- 杨明桂,黄水保,楼法生,唐维新,毛素斌. 2009. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用[J]. 中国地质, 36(3): 528-543.
- 曾崇义,肖龙,叶乃青,胡楚雁,刘纯,蔡立幸. 1993. 广西苍梧岭地区花岗岩类地质及其成矿专属性[J]. 桂林冶金地质学院学报, 13(4): 340-349.
- 章邦桐,吴俊奇,凌洪飞,陈培荣. 2008. “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, 54(6): 775-785.
- 章邦桐,吴俊奇,凌洪飞,陈培荣. 2010a. 花岗岩浆侵位与结晶固化时差的研究与构造意义: 以南岭骑田岭花岗岩基为例[J]. 高校地质学报, 16(1): 103-118.
- 章邦桐,吴俊奇,凌洪飞,陈培荣. 2010b. 南岭骑田岭花岗岩基属印支期侵位的岩浆动力学佐证 对《关于南岭花岗岩侵位年龄问题》一文的答复与讨论[J]. 高校地质学报, 16(3): 397-412.
- 钟立峰,夏斌,刘立文,李杰,林秀广,徐力峰,林良庄. 2010. 粤西桂东成矿带圆珠顶铜钼矿床成矿年代学及其地质意义[J]. 矿床地质, 29(3): 395-404.
- 朱金初,王汝成,陆建军,张文兰. 2010. 关于南岭中生代花岗岩侵位年龄与锆石 U-Pb 年龄的时差问题: 与章邦桐教授等讨论[J]. 高校地质学报, 16(1): 119-123.