

广东大宝山多金属矿床花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义*

毛伟^{1,2} 李晓峰^{1**} 杨富初³

MAO Wei^{1,2}, LI XiaoFeng^{1**} and YANG FuChu³

1. 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, 贵阳 550002

2. 中国科学院大学, 北京 100049

3. 广东省大宝山矿业有限公司 韶关 512100

1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3. Guangdong Dabaoshan Mining Company Limited, Shaoguan 512100, China

2013-07-20 收稿, 2013-10-24 改回.

Mao W, Li XF and Yang FC. 2013. Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages of granites at Dabaoshan polymetallic deposit and its geological significance, Guangdong, South China. Acta Petrologica Sinica, 29(12): 4104-4120

Abstract Dabaoshan polymetallic deposit is located at the middle part of the Nanling granite belt, South China, which is a famous large deposit with a long history of mining. Much attention has been paid to the Mesozoic magmatism because recent research reveals that Mo(W)-ore related porphyries are the product of Yanshanian magmatism, while little effort has been done on the other stage magmatism. Based on the previous study, zircon LA-ICP-MS U-Pb dating has been conducted on different stage granites and mafic dykes in order to systematically clarify the magmatic activity of the studied area. The weighted average $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age of Xuwu rhyolitic porphyry is $426.9 \pm 2.2\text{Ma}$, and the weighted average $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages are $162.2 \pm 0.7\text{Ma}$, $160.2 \pm 0.9\text{Ma}$ and $161.2 \pm 0.9\text{Ma}$ for Jiuquling granodiorite porphyry, Chuandu granodiorite and Dabaoshan granodiorite porphyry, respectively. Two mafic dykes recorded two magmatic events of $210.4 \pm 1.4\text{Ma}$ and $163.9 \pm 1.8\text{Ma}$, respectively. Therefore, it is proved that the Dabaoshan area has gone through a multiple magmatic activity including Caledonian, Indosinian and Yanshanian. Middle-Late Jurassic mafic magma might have contributed to the Dabaoshan polymetallic mineralization.

Key words Zircon; LA-ICP-MS U-Pb age; Polymetallic deposit; Mafic magma; Dabaoshan; South China

摘要 广东大宝山矿床位于南岭花岗岩带中带。它是我国著名的大型多金属矿床, 开采历史久远。近年来的研究表明大宝山矿床与成矿作用有关的斑岩体为燕山早期岩浆活动的产物, 因而人们较多地关注中生代的岩浆活动, 而忽视了对其他时代岩浆活动的研究。本文在前人研究的基础上, 利用锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年方法系统地测试了大宝山多金属矿床多个花岗质岩体和辉绿岩脉的形成时代, 研究表明徐屋片理化流纹斑岩年龄为 $426.9 \pm 2.2\text{Ma}$ 、九曲岭黑云母花岗闪长斑岩、船肚花岗闪长岩和大宝山花岗闪长斑岩形成时代分别为 $162.2 \pm 0.7\text{Ma}$ 、 $160.2 \pm 0.9\text{Ma}$ 和 $161.0 \pm 0.9\text{Ma}$ 。矿区内两条辉绿岩脉的年龄分别为 $210.4 \pm 1.4\text{Ma}$ 和 $163.9 \pm 1.8\text{Ma}$ 。这些结果证实大宝山矿区内存在加里东期、印支期和燕山期等多个旋回的岩浆活动, 中晚侏罗世铁镁质的岩浆活动可能存在对成矿的贡献。

关键词 锆石; LA-ICP-MS U-Pb 定年; 多金属矿床; 铁镁质岩浆; 大宝山; 华南

中图法分类号 P588.13; P597.3

* 本文受国家基础研究重点规划项目(2012CB416705)、国家自然科学基金项目(41272112)和中国科学院“百人计划”项目联合资助。

第一作者简介: 毛伟, 男, 1988 年生, 博士生, 矿床地球化学专业, E-mail: dzmaowei@163.com

** 通讯作者: 李晓峰, 男, 1971 年生, 研究员, 主要从事矿床地质和矿床地球化学研究工作, E-mail: x-f-li@hotmail.com

广东大宝山矿床是我国著名的大型多金属矿床, 开采历史悠久。自 20 世纪 60 年代以来, 众多地质勘探单位、大专院校和科研院所投入了大量的地质勘探和科学研究工作, 对该矿床的矿床地质特征、成矿模式和成矿机理展开了深入的研究, 并取得了众多成果(邱世强, 1981; 庄明正, 1983; 刘娟群等, 1985; 葛朝华和韩发, 1986; 黄书俊等, 1987; 裴太昌, 1992; 姚德贤和曾令初, 1994; 杨振强, 1997; 王磊, 2010; 王磊等, 2012; 宋世明等, 2007, 2011; Wang *et al.*, 2011; Ye *et al.*, 2011; 王要武, 2011)。到目前为止, 斑岩型 Mo(W) 矿床及矽卡岩型 Mo(W) 矿床为岩浆热液矿床的观点得到了普遍的认可, 而发育于泥盆系东岗岭组下亚组灰岩中的似层状 Cu-Pb-Zn 多金属矿床还存在着燕山期岩浆热液成因(刘娟群等, 1985; 黄书俊等, 1987; 徐文忻等, 2008; 王磊等, 2012) 和海西期海底-火山喷流成因(姚德贤, 1983; 葛朝华和韩发, 1986; 裴太昌, 1992; 姚德贤和曾令初, 1994; 杨振强, 1997; 宋世明等, 2007) 两种观点的争论。由于岩体的形成时代对于成矿时代和矿床成因的确定具有重要的制约作用, 因此, 自 20 世纪 80 年代以来, 多种测年方法被用于测定该矿床相关岩体的形成时代(刘娟群等, 1985; 葛朝华和韩发, 1986; 蔡锦辉和刘家齐, 1993; Wang *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2012; 刘莎等, 2012; 王磊等, 2012)。虽然已有的年代学表明与 Mo(W) 矿化密切相关的岩体为燕山期岩浆活动的产物, 然而不同作者对于同一岩体形成时代的测定结果之间相差较大(表 1), 因此制约了对于成岩成矿时代的合理解释, 如葛朝华和韩发(1987) 通过单颗粒锆石 U-Pb 稀释法获得的大宝山次英安斑岩年龄为 441 Ma; 刘娟群等(1985) 测试大宝山次英安斑岩全岩 K-Ar 年龄为 166 ~ 163 Ma; 蔡锦辉和刘家齐(1993) 测得大宝山次英

安斑岩全岩 Rb-Sr 年龄为 135.3 ± 5.7 Ma。研究区内是否存在加里东期或者其它时期的岩浆活动因而倍受关注。本文在前人研究的基础上对该区内出露的多个岩体进行了系统的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测试, 结果认为该地区存在加里东期、印支期和燕山期等多个时期的岩浆活动。在此基础上, 本文初步探讨了大宝山地区岩浆演化及其对成矿的贡献。

1 区域地质背景

大宝山多金属矿床位于南岭成矿带中带南侧, 东西向大东山-贵东花岗岩体与北北东向四会-吴川深大断裂交汇的部位, 北部发育诸广山复式岩体, 南部发育佛冈复式岩体(图 1)。

早古生代该区沉积了中古生界浅海相砂泥质碎屑岩建造(姚德贤和曾令初, 1994)。加里东运动使早古生代的地层发生了强烈的褶皱, 对区内的大地构造格架的形成起到了重要的影响。晚古生代该区沉积了广阔的浅海相碳酸盐-砂泥质碎屑岩建造。晚古生代早期沿四会-吴川断裂发育了一系列转换断层盆地, 矿区范围内是否发育海西期火山岩目前仍有较大的争议, 部分观点认为泥盆系东岗岭组灰岩中存在凝灰岩夹层(邱世强, 1981; 刘孝善和周顺之, 1985; 葛朝华和韩发, 1986), 而刘娟群等(1985) 认为这些“凝灰岩”可能为燕山期次英安斑岩岩床、岩舌状岩枝等, 不存在海西期火山岩。

印支板块与华南板块碰撞早期形成了南岭地区三条近东西向的岩浆岩带, 中带的贵东岩体是印支期和燕山期花岗

表 1 大宝山多金属矿床岩体年龄统计

Table 1 Ages of porphyries in Dabaoshan polymetallic deposit, South China

编号	岩体	年龄 (Ma)	测试方法	采样位置	文献
1		174.6 ± 1.5	LA-ICP-MS		
2	九曲岭黑云母 花岗闪长斑岩	412.0 ± 3.4	LA-ICP-MS	ZK5803 中 680 ~ 700m 处	王磊等 2012
3		166.2 ± 3.1	LA-ICP-MS	ZK5802 中 70m 处	刘莎等 2012
4		175.8 ± 1.5	LA-ICP-MS	ZK5404 中 69 ~ 74m 处	Wang <i>et al.</i> , 2011
5	船肚花岗闪长斑岩	175.0 ± 1.7	LA-ICP-MS	露头样	Wang <i>et al.</i> , 2012
6		167.0 ± 2.5	LA-ICP-MS	露头样	Li <i>et al.</i> 2012
7	大宝山花岗闪长斑岩	166.6 ± 2.1	LA-ICP-MS	ZK5002 中 30m 处	刘莎等 2012
8		101 ~ 97	全岩 K-Ar 法		刘娟群等, 1985
9		155 ± 23	全岩 Rb-Sr 法	深部岩心	蔡锦辉和刘家齐, 1993
10		166 ~ 163	全岩 K-Ar 法		刘娟群等, 1985
11	大宝山次英安斑岩	135.3 ± 5.7	全岩 Rb-Sr 法	925 台阶	蔡锦辉和刘家齐, 1993
12		441 ± 19	单颗粒锆石 U-Pb 稀释法		葛朝华和韩发, 1987
13	丘坝次英安斑岩	195.5 ± 11	全岩 Rb-Sr 法	露头样	蔡锦辉和刘家齐, 1993
14	九曲岭黑云母 花岗闪长斑岩	162.2 ± 0.7	LA-ICP-MS	ZK4603 中 72m 处	
15	船肚花岗闪长斑岩	160.2 ± 0.9	LA-ICP-MS	露头样	本文
16	大宝山花岗闪长斑岩	161.0 ± 0.9	LA-ICP-MS	ZK6204 中 997m 处	
17	徐屋流纹斑岩	426.9 ± 2.2	LA-ICP-MS	露头样	

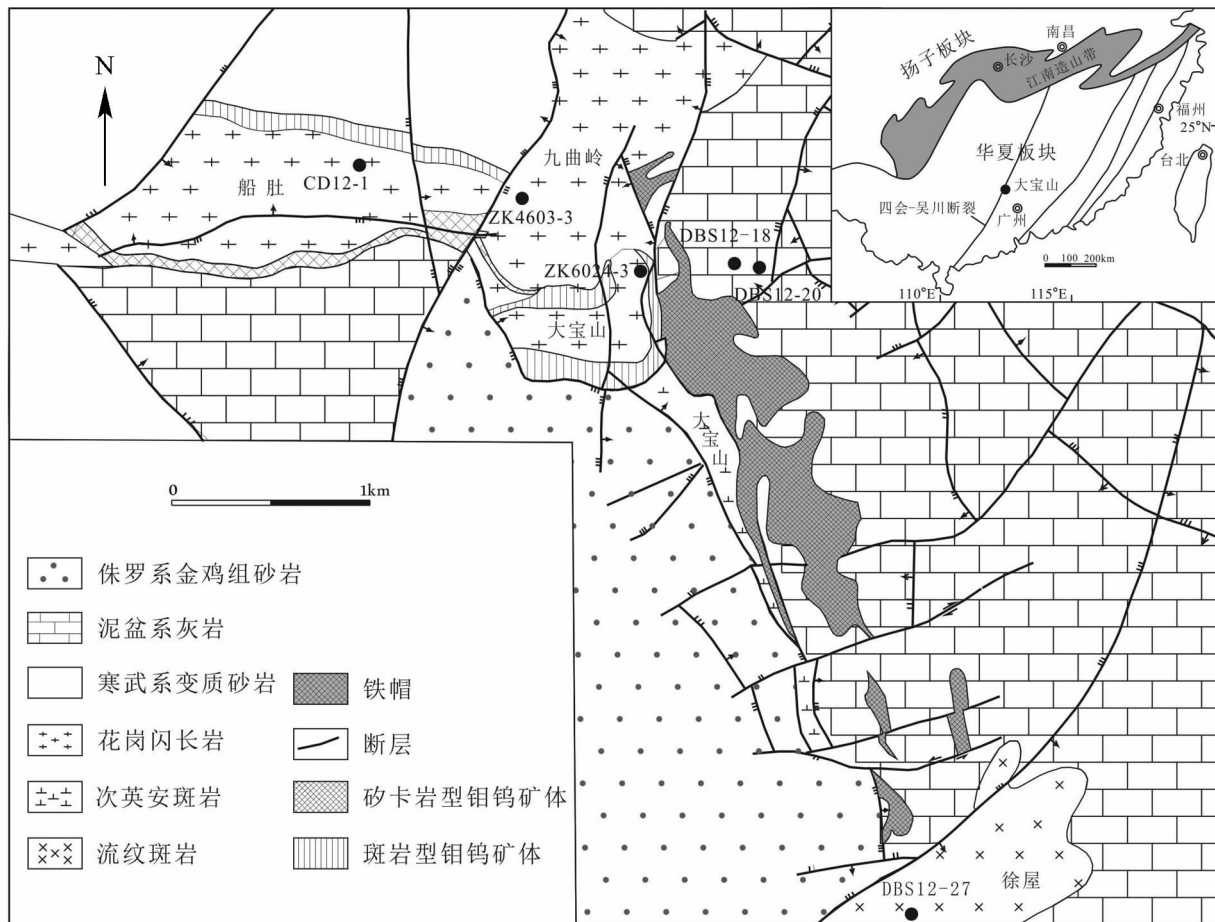


图1 大宝山多金属矿床区域地质图(据刘姝群等,1985修改)

Fig.1 Geological map at Dabaoshan polymetallic deposit, South China (modified after Liu *et al.*, 1985)

岩组成的复式岩体,形成时代持续时间(239~157Ma)长达80Myr,表明该区经历了特提斯构造域、太平洋构造域及其过渡期在内的整个晚中生代岩浆活动(王德滋,2004;周新民,2007)。由于Izanagi板块向欧亚大陆板块斜向俯冲,导致了整个华南地区特提斯构造域向太平洋构造域转换(周新民,2007;毛景文等,2008)。南岭地区从燕山期进入后造山地球动力学环境,尤其在燕山中期(170~140Ma)南岭地区岩石圈全面拉张减薄,地幔物质上涌导致大范围的陆壳重熔型花岗岩形成(华仁民等,2005)。受到太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲作用的影响,研究区内发育由北东向和东西向深大断裂控制的火山喷发、岩浆侵入活动(宋世明,2011)。

2 矿床地质特征

大宝山矿床位于广东省韶关市南东方向约30km处,大地构造位置上位于南岭花岗岩带中段南侧。矿区出露的地层包括寒武系八村群变质砂岩,中下泥盆统桂头群石英砂砾岩、石英砂岩,中泥盆统东岗岭组下亚组灰岩、白云质灰岩和凝灰岩,中泥盆统东岗岭组上亚组中酸性火山碎屑岩,上

泥盆统天子岭组灰岩、白云质灰岩和燧石灰岩,以及下侏罗统金鸡组石英砂岩。出露的岩体主要有九曲岭次英安斑岩、大宝山次英安斑岩、徐屋次英安斑岩、船肚花岗闪长岩和大宝山花岗闪长斑岩等,同时还有少量辉绿岩脉出露(图1)。

矿区内发育大宝山向斜,轴面走向NNW,长约2km,东翼 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$,产状较陡,西翼 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$,产状较缓。矿区内断裂十分发育,主要有近EW向、NNW向和NE向三组。NNW向断裂控制着大宝山次英安斑岩的展布,并被近EW向断裂错断。这些断裂为岩浆的侵入、矿液的运移、沉淀和改造提供了有利空间(邱世强,1981)。

大宝山多金属矿床的主要矿化类型有:斑岩型Mo(W)矿床、矽卡岩型Mo(W)矿床、似层状Cu-Pb-Zn硫化物矿床、似层状菱铁矿矿床和风化淋滤型铁帽等(图2)。其中斑岩型Mo(W)矿床发育在大宝山花岗闪长斑岩及船肚花岗闪长岩内外接触带上。以花岗闪长斑岩为中心向外蚀变分带序列依次为:未蚀变花岗闪长斑岩-黑云母钾长石化带-伊利石水云母化带-石英绢云母化带。矽卡岩型Mo(W)矿体主要产于船肚花岗闪长岩与南侧上泥盆统天子岭组灰岩的接触带内,矽卡岩带东西长约2200m,宽约40~100m。船肚花

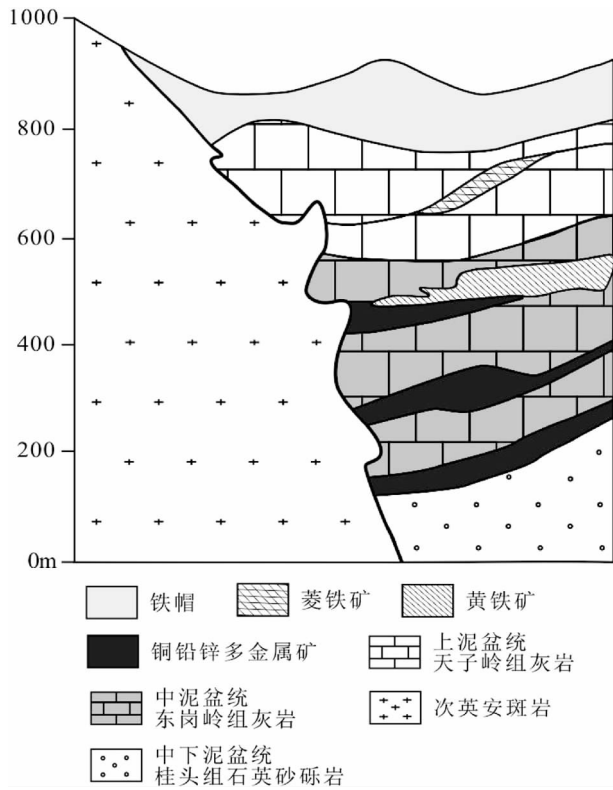


图2 大宝山各类型矿体产出位置关系图(据广东省大宝山矿业有限公司 2011^①)

Fig.2 Spatial relationships of different types of ore deposits in Dabaoshan area

岗闪长岩主要发育绢云母化,砂卡岩带蚀变主要有绢云母化、硬石膏化、透闪石化及绿泥石化等。似层状 Cu-Pb-Zn 硫化物矿床赋存于中泥盆统东岗岭组下亚组中,全长约 3100m 宽约 400m,北部以铜、硫为主,南部以铅、锌为主,有大小矿体共四十多个,分布在大宝山向斜的轴部和近轴部的两翼(王建新,2006)。矿体总体向东倾,局部地段向西倾。与之相关的蚀变主要有石英钾长石化、绿泥石化、绢云母化、硅化等,局部地区可以见到透闪石-阳起石化、透辉石-透闪石砂卡岩化、黑云母-绿帘石化等。层状菱铁矿床产于中泥盆统东岗岭组上亚组,往往与黄铁矿层互层产出,以致密块状米黄色菱铁矿为主,青灰色菱铁矿次之,常见铜多金属细脉穿插其中。铁帽主要产于东岗岭组上亚组,覆盖于层状菱铁矿之上,是由于原生的硫化物矿床经过风化淋滤形成。

3 样品采集及测试方法

3.1 样品采集及岩相学特征

为了系统研究大宝山地区岩浆演化历史,本文采集了船肚花岗岩闪长岩、大宝山花岗岩闪长斑岩、九曲岭次英安斑岩、徐屋次英安斑岩以及两条辉绿岩脉的岩石样品。样品采集位置如图 1 所示。其中船肚花岗岩闪长岩(CD-1)、辉绿岩脉

(DBS12-18, DBS12-20)、徐屋次英安斑岩(DBS12-27)为露头样品;九曲岭次英安斑岩(ZK4603-3)采集于钻孔 ZK4603 中 72m 处;大宝山花岗岩闪长斑岩(ZK6204-3)采集于钻孔 ZK6204 中 977m 处(表 1)。为保证数据的可靠性,所采集的样品均为新鲜的、蚀变较弱的岩石。其岩相学特征分别如下:

九曲岭次英安斑岩 岩石呈浅红色-灰白色,似斑状构造、块状构造。斑晶主要为斜长石(约 20%)、石英(约 20%)、黑云母(约 5%)和钾长石(约 5%)。蚀变强烈:斜长石呈自形,强烈绢云母化、粘土化,少量斜长石斑晶可以见到残留的环带及聚片双晶特征。石英斑晶呈他形-半自形,边界锯齿状与基质镶嵌生长。黑云母斑晶呈自形,全部绿泥石

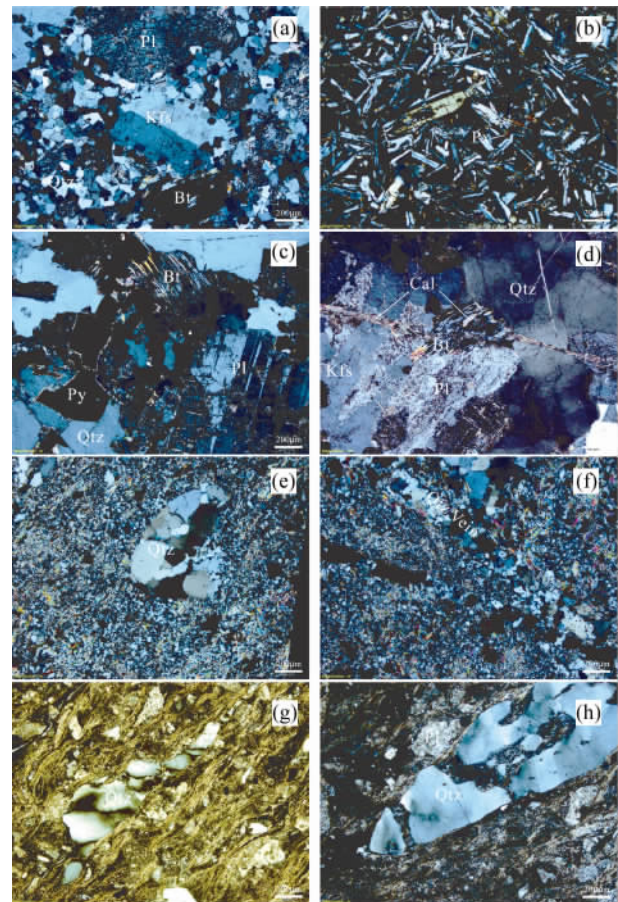


图3 大宝山矿区岩体岩石岩相学特征

(a)-九曲岭黑云母花岗岩闪长斑岩; (b)-辉绿岩脉; (c、d)-船肚花岗岩闪长岩; (e、f)-大宝山花岗岩闪长斑岩; (g、h)-徐屋流纹斑岩

Fig.3 Photomicrographs of rock samples at Dabaoshan polymetallic deposit

(a)-Jiuquling granodiorite porphyry; (b)-diabase dyke with diabasic texture; (c, d)-Chuandu granodiorite overprinted by calcite vein; (e, f)-Dabaoshan granodiorite porphyry crosscut by quartz vein; (g, h)-Xuwu rhyolite porphyry: quartz displays undulatory extinction. Abbreviation: Bt = biotite; Qtz = quartz; Py = pyrite; Pl = plagioclase; Kfs = k-feldspar; Cal = calcite

① 广东省大宝山矿业有限公司. 2011. 广东省韶关市大宝山钨多金属矿接替资源勘查报告. 内部报告, 1-161

化,保留黑云母晶型,赤铁矿化发育。钾长石斑晶呈半自形-自形,发生粘土化、碳酸盐化等。基质呈显晶质,主要为细粒石英和长石,及少量黑云母、白云母及磁铁矿等矿物。据此将九曲岭次英安斑岩定名为:黑云母花岗闪长斑岩(图3a)。

船肚花岗闪长岩 岩石呈灰白色,粒状镶嵌结构、块状构造。主要矿物为斜长石(约45%)、钾长石(约20%)、石英(约25%)和黑云母(8%)。次要矿物为:白云母(约1%),黄铁矿、磁铁矿(约1%)。岩石蚀变明显:斜长石呈自形,强烈绢云母化、粘土化,少量斜长石残留聚片双晶等特征。钾长石呈他形-半自形,粘土化强烈。石英呈他形,多见波状消光。黑云母呈自形,完全绿泥石化,并发育碳酸盐化。据此将船肚花岗闪长岩定名为:黑云母花岗闪长岩(图3c, d)。

大宝山花岗闪长斑岩 岩石呈灰白色-浅绿色,似斑状结构、块状构造,穿插大量石英脉。斑晶为石英(约10%)和残留的长石(约5%)。岩石蚀变十分强烈:石英斑晶多碎裂成多个碎块,不同碎块消光位不同。部分石英斑晶次生加大。全部长石斑晶完全绢云母化、粘土化,仅保留少量变形的斑晶轮廓。基质为微晶长石和石英,也发育强烈的绢云母化、碳酸盐化。由于石英斑晶次生加大、长石完全绢云母化等原因,原岩特征很难复原,结合野外地质特征及前人研究成果定名为:花岗闪长斑岩(图3e, f)。

徐屋次英安斑岩 岩石呈灰白色-浅绿色,斑状结构、流动构造。岩石强烈变形,片理化明显。斑晶为石英(约25%)、钾长石(约20%)和斜长石(约10%)。石英斑晶定向排列、长径0.3~2.5mm,长宽比可达5:1。多碎裂成多个小块,边界呈混圆状,波状消光显著。长石斑晶强烈绢云母化、粘土化,边界多成混圆状。基质呈流动构造绕斑晶定向排列。推测原岩为流纹岩,后期受到应力作用的叠加,表现出片理化的特征。据此将徐屋次英安斑岩定名为:片理化流纹斑岩(图3g, h)。

辉绿岩脉 岩石呈墨绿色,辉绿结构、块状构造。斜长石呈半自形、长柱状,长宽比约5:1。辉石呈他形粒状,充填在斜长石构成的空隙中(图3b)。

3.2 测试方法

样品经过破碎、过筛、磁选、重液分离,之后在双目镜下挑选出晶型较好、透明、均匀、无裂隙的锆石。将挑选出的锆石粘在环氧树脂上,之后进行抛光。抛光后的样品在中国地质科学院矿产资源研究所拍摄透射光、阴极发光和背散射图像,以观察锆石的内部结构。锆石 U-Pb 定年测试在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 LA-ICP-MS 实验室完成。激光剥蚀系统型号为 GeoLasPro,电感耦合等离子体质谱型号为 Agilent 7700x。准分子激光发生器产生的深紫外光束经匀化光路聚焦于锆石表面,能量密度为 10J/cm²,束斑直径为 44μm,频率为 5Hz,共剥蚀 40s,锆石气溶胶由氦气送入 ICP-MS 完成测试。

测试过程中以标准锆石 91500 为外标,校正仪器质量歧

视与元素分馏;以标准锆石 GJ-1 与 Plešovice 为盲样,监控 U-Pb 定年数据质量;以 NIST SRM 610 为外标,以 Si 为内标标定锆石中的 Pb 元素含量,以 Zr 为内标标定锆石中其余微量元素含量(Liu *et al.*, 2010a; Hu *et al.*, 2011)。原始的测试数据经过 ICPMSDataCal 软件离线处理完成(Liu *et al.*, 2010a, b)。年龄计算、谐和图绘制和加权平均年龄绘制用 Ludwig 的 Isoplot 软件完成(Ludwig, 2003)。

4 结果

各岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄特征分别如下。

4.1 九曲岭黑云母花岗闪长斑岩(ZK4603-3)

锆石长约 200~250μm,自形程度较好,阴极发光图中具有典型的岩浆锆石韵律环带(图4a)。Th、U 含量分别为 $198 \times 10^{-6} \sim 915 \times 10^{-6}$ 、 $1065 \times 10^{-6} \sim 3502 \times 10^{-6}$,Th/U 比值为 0.13~0.33(表2)。锆石 LA-ICP-MS 结果显示:所分析的 33 个测试点中,32 个测试点的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 与 ²⁰⁷Pb/²³⁵U 年龄结果十分一致,所有数据均集中分布于谐和线上(图5a),获得的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 162.2 ± 0.7 Ma(n=32,MSWD=0.47),代表九曲岭黑云母花岗闪长斑岩的形成时代。点 ZK4603-3-22 年龄值明显偏大(204Ma),而谐和度很高(99%),可能代表较早一期的岩浆活动。

4.2 船肚花岗闪长岩(CD12)

锆石长约 200~300μm,自形程度较好,阴极发光图中具有典型的岩浆锆石韵律环带(图4b)。Th、U 含量分别为 $163 \times 10^{-6} \sim 696 \times 10^{-6}$ 、 $689 \times 10^{-6} \sim 2482 \times 10^{-6}$,Th/U 比值为 0.15~0.86(表3)。锆石 LA-ICP-MS 结果显示:所分析的 33 个测试点中,25 个测试点 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 与 ²⁰⁷Pb/²³⁵U 年龄结果十分一致,所有数据均集中分布于谐和线上(图5c),获得的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 160.2 ± 0.9 Ma(n=25,MSWD=1.03),代表船肚花岗闪长岩的形成时代。点 CD12-22、25 明显偏离谐和线,在阴极发光图中对应的剥蚀位置发育裂隙,因此予以剔除。点 CD12-8(505Ma)、CD12-10(422Ma)、CD12-19(212Ma)、CD12-26(353Ma)、CD12-28(415Ma)、CD12-29(297Ma)年龄值明显偏大,对应的阴极发光图中剥蚀位置为锆石继承核,可能代表较早的岩浆活动。

4.3 大宝山花岗闪长斑岩(ZK6204-3)

锆石长约 200~300μm,自形程度较好,阴极发光图中具有典型的岩浆锆石韵律环带(图4c)。Th、U 含量分别为 $162 \times 10^{-6} \sim 544 \times 10^{-6}$ 、 $399 \times 10^{-6} \sim 2227 \times 10^{-6}$,Th/U 比值为 0.19~0.64(表4)。锆石 LA-ICP-MS 结果显示:所分析的 33 个测试点中,25 个测试点 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 与 ²⁰⁷Pb/²³⁵U 年龄结果十分一致,所有数据均集中分布于谐和线上,获得的 ²⁰⁶Pb/²³⁸U

表 2 九曲岭黑云母花岗岩闪长斑岩(ZK4603-3) 锆石 LA-ICP-MS 分析结果
Table 2 Zircon LA-ICP-MS U-Pb data of Jiuculing granodiorite porphyry (ZK4603-3)

测点号	Th		U ($\times 10^{-6}$)	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		rho	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		谐和度
	Ratio	1 σ			Ratio	1 σ	Ratio	1 σ	Ratio	1 σ		Age(Ma)	1 σ	Age(Ma)	1 σ	Age(Ma)	1 σ	
ZK4603-3-1	817	2868	0.28	0.0519	0.0038	0.1900	0.0116	0.0258	0.0006	0.3984	0.3984	279.7	166.6	177	9.9	164	3.9	92%
ZK4603-3-2	378	2023	0.19	0.0472	0.0016	0.1756	0.0052	0.0257	0.0003	0.4449	0.4449	61.2	138.9	164	4.5	164	2.1	99%
ZK4603-3-3	262	1627	0.16	0.0474	0.0015	0.1738	0.0052	0.0255	0.0003	0.4400	0.4400	77.9	68.5	163	4.5	162	2.1	99%
ZK4603-3-4	450	2338	0.19	0.0469	0.0015	0.1712	0.0050	0.0252	0.0003	0.3936	0.3936	42.7	74.1	160	4.4	161	1.8	99%
ZK4603-3-5	463	2174	0.21	0.0494	0.0017	0.1789	0.0055	0.0252	0.0003	0.3880	0.3880	168.6	77.8	167	4.7	160	1.9	95%
ZK4603-3-6	614	2684	0.23	0.0477	0.0017	0.1733	0.0059	0.0253	0.0004	0.4117	0.4117	87.1	81.5	162	5.1	161	2.2	99%
ZK4603-3-7	319	1985	0.16	0.0486	0.0017	0.1749	0.0059	0.0252	0.0003	0.4004	0.4004	127.9	85.2	164	5.1	160	2.1	97%
ZK4603-3-8	575	2378	0.24	0.0485	0.0016	0.1755	0.0055	0.0253	0.0003	0.3970	0.3970	124.2	84.2	164	4.8	161	2.0	98%
ZK4603-3-9	432	1953	0.22	0.0478	0.0014	0.1751	0.0050	0.0255	0.0003	0.4055	0.4055	100.1	75.0	164	4.4	162	1.9	99%
ZK4603-3-10	519	2243	0.23	0.0470	0.0016	0.1699	0.0055	0.0252	0.0003	0.3835	0.3835	50.1	77.8	159	4.7	161	2.0	99%
ZK4603-3-11	579	2785	0.21	0.0469	0.0013	0.1723	0.0046	0.0255	0.0003	0.4287	0.4287	55.7	53.7	161	4.0	162	1.8	99%
ZK4603-3-12	362	2355	0.15	0.0488	0.0015	0.1785	0.0052	0.0255	0.0003	0.4437	0.4437	139.0	74.1	167	4.5	162	2.1	97%
ZK4603-3-13	297	2084	0.14	0.0468	0.0015	0.1733	0.0053	0.0258	0.0003	0.3876	0.3876	39.0	83.3	162	4.5	164	1.9	98%
ZK4603-3-14	392	2697	0.15	0.0462	0.0014	0.1687	0.0049	0.0255	0.0003	0.4050	0.4050	9.4	70.4	158	4.3	162	1.9	97%
ZK4603-3-15	527	3502	0.15	0.0468	0.0015	0.1697	0.0052	0.0253	0.0003	0.4216	0.4216	39.0	83.3	159	4.5	161	2.0	98%
ZK4603-3-16	503	2848	0.18	0.0455	0.0015	0.1666	0.0052	0.0255	0.0003	0.4241	0.4241	-	-	156	4.5	162	2.1	96%
ZK4603-3-17	263	1519	0.17	0.0471	0.0019	0.1726	0.0065	0.0256	0.0004	0.3880	0.3880	53.8	92.6	162	5.7	163	2.4	99%
ZK4603-3-18	338	1708	0.20	0.0465	0.0017	0.1699	0.0059	0.0256	0.0003	0.3745	0.3745	33.4	88.9	159	5.1	163	2.1	97%
ZK4603-3-19	220	1271	0.17	0.0452	0.0018	0.1643	0.0063	0.0255	0.0003	0.3584	0.3584	-	-	154	5.5	162	2.2	95%
ZK4603-3-20	198	1065	0.19	0.0482	0.0017	0.1769	0.0060	0.0256	0.0004	0.4137	0.4137	109.4	78.7	165	5.2	163	2.3	98%
ZK4603-3-21	387	1497	0.26	0.0458	0.0017	0.1684	0.0060	0.0256	0.0003	0.3578	0.3578	-	-	158	5.3	163	2.1	96%
ZK4603-3-22	464	1562	0.30	0.0480	0.0020	0.2241	0.0096	0.0322	0.0005	0.3946	0.3946	101.9	96.3	205	7.9	204	3.4	99%
ZK4603-3-23	335	2036	0.16	0.0458	0.0016	0.1692	0.0054	0.0256	0.0003	0.4000	0.4000	-	-	159	4.7	163	2.1	97%
ZK4603-3-24	510	2389	0.21	0.0459	0.0017	0.1688	0.0055	0.0255	0.0004	0.4306	0.4306	-	-	158	4.8	163	2.3	97%
ZK4603-3-25	414	2328	0.18	0.0458	0.0018	0.1674	0.0061	0.0253	0.0004	0.3950	0.3950	-	-	157	5.3	161	2.3	97%
ZK4603-3-26	408	2330	0.18	0.0474	0.0017	0.1703	0.0053	0.0252	0.0003	0.4245	0.4245	77.9	72.2	160	4.6	160	2.1	99%
ZK4603-3-27	435	2417	0.18	0.0461	0.0016	0.1658	0.0054	0.0252	0.0003	0.4128	0.4128	400.1	-	156	4.7	160	2.1	97%
ZK4603-3-28	355	2728	0.13	0.0490	0.0018	0.1782	0.0060	0.0254	0.0003	0.3240	0.3240	150.1	85.2	166	5.2	161	1.8	96%
ZK4603-3-29	662	2920	0.23	0.0483	0.0015	0.1757	0.0051	0.0255	0.0003	0.3895	0.3895	122.3	74.1	164	4.4	162	1.8	98%
ZK4603-3-30	619	3146	0.20	0.0462	0.0015	0.1672	0.0051	0.0253	0.0003	0.3959	0.3959	9.4	74.1	157	4.4	161	1.9	97%
ZK4603-3-31	238	1566	0.15	0.0457	0.0015	0.1690	0.0052	0.0261	0.0003	0.4292	0.4292	-	-	159	4.5	166	2.2	95%
ZK4603-3-32	915	2801	0.33	0.0489	0.0016	0.1801	0.0057	0.0259	0.0003	0.3947	0.3947	142.7	75.9	168	4.9	165	2.0	97%
ZK4603-3-33	382	2393	0.16	0.0479	0.0016	0.1753	0.0056	0.0258	0.0003	0.4100	0.4100	100.1	81.5	164	4.8	164	2.1	99%

表 3 船肚花岗岩长岩 (CD12) 锆石 LA-ICP-MS 分析结果

Table 3 Zircon LA-ICP-MS results of Chuandu granodiorite (CD12)

测点号	Th		U ($\times 10^{-6}$)	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		rho	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		谐和度
	Ratio	1 σ			Ratio	1 σ	Ratio	1 σ	Ratio	1 σ		Age (Ma)	1 σ	Age (Ma)	1 σ	Age (Ma)	1 σ	
CD12-1	209	0.22	0.0461	0.0023	0.1677	0.0080	0.0260	0.0004	0.3412	400.1	157	7.0	166	2.7	94%			
CD12-2	221	0.19	0.0449	0.0016	0.1607	0.0055	0.0256	0.0003	0.3731	-	151	4.8	163	2.1	92%			
CD12-3	191	0.15	0.0512	0.0019	0.1788	0.0062	0.0249	0.0003	0.3497	255.6	167	5.4	159	1.9	94%			
CD12-4	291	0.23	0.0427	0.0018	0.1473	0.0058	0.0248	0.0003	0.3504	-	140	5.2	158	2.2	87%			
CD12-5	278	0.24	0.0449	0.0016	0.1582	0.0055	0.0252	0.0003	0.3759	-	149	4.8	160	2.1	92%			
CD12-6	275	0.18	0.0450	0.0019	0.1580	0.0066	0.0251	0.0004	0.3550	-	149	5.8	160	2.3	93%			
CD12-7	163	0.23	0.0439	0.0022	0.1533	0.0077	0.0255	0.0005	0.3641	-	145	6.8	162	2.9	88%			
CD12-8	371	0.49	0.0607	0.0024	0.6900	0.0265	0.0816	0.0014	0.4610	627.8	533	15.9	505	8.6	96%			
CD12-9	237	0.18	0.0446	0.0016	0.1574	0.0056	0.0253	0.0004	0.4302	-	148	4.9	161	2.5	91%			
CD12-10	696	0.38	0.0500	0.0013	0.4756	0.0118	0.0677	0.0007	0.3950	194.5	395	8.1	422	4.0	93%			
CD12-11	212	0.21	0.0447	0.0017	0.1547	0.0053	0.0252	0.0003	0.3885	-	146	4.6	160	2.1	90%			
CD12-12	261	0.26	0.0448	0.0019	0.1542	0.0065	0.0247	0.0004	0.3679	-	146	5.7	157	2.4	92%			
CD12-13	186	0.17	0.0445	0.0016	0.1600	0.0058	0.0256	0.0003	0.3531	-	151	5.1	163	2.1	92%			
CD12-14	651	0.27	0.0477	0.0014	0.1728	0.0052	0.0258	0.0003	0.3862	83.4	162	4.5	164	1.9	98%			
CD12-15	403	0.26	0.0429	0.0023	0.1527	0.0080	0.0256	0.0006	0.4187	-	144	7.1	163	3.5	87%			
CD12-16	245	0.22	0.0448	0.0018	0.1545	0.0059	0.0250	0.0004	0.3909	-	146	5.2	159	2.4	91%			
CD12-17	188	0.21	0.0440	0.0021	0.1533	0.0070	0.0250	0.0004	0.3450	-	145	6.1	159	2.5	90%			
CD12-18	396	0.27	0.0478	0.0019	0.1611	0.0058	0.0243	0.0003	0.3795	100.1	152	5.1	155	2.1	97%			
CD12-19	245	0.23	0.0477	0.0016	0.2242	0.0077	0.0335	0.0005	0.4381	83.4	205	6.4	212	3.2	96%			
CD12-20	183	0.21	0.0502	0.0023	0.1751	0.0072	0.0252	0.0004	0.3952	205.6	164	6.2	160	2.6	97%			
CD12-21	273	0.24	0.0441	0.0016	0.1554	0.0053	0.0252	0.0003	0.3707	-	147	4.6	161	2.0	90%			
CD12-22	411	0.26	0.0655	0.0031	0.2292	0.0098	0.0254	0.0004	0.4058	790.7	210	8.1	162	2.8	74%			
CD12-23	388	0.28	0.0464	0.0020	0.1637	0.0063	0.0250	0.0004	0.3985	20.5	154	5.5	159	2.4	96%			
CD12-24	389	0.25	0.0471	0.0018	0.1669	0.0061	0.0252	0.0004	0.4104	57.5	157	5.3	160	2.4	97%			
CD12-25	298	0.37	0.0614	0.0054	0.2074	0.0142	0.0255	0.0007	0.4238	653.7	188.9	11.9	163	4.6	83%			
CD12-26	243	0.35	0.0592	0.0040	0.4414	0.0244	0.0562	0.0015	0.4925	572.3	371	17.2	353	9.4	95%			
CD12-27	465	0.24	0.0438	0.0015	0.1560	0.0051	0.0250	0.0003	0.4273	-	147	4.5	159	2.2	92%			
CD12-28	591	0.86	0.0474	0.0020	0.4520	0.0190	0.0665	0.0011	0.3890	77.9	379	13.3	415	6.6	91%			
CD12-29	387	0.37	0.0471	0.0016	0.3161	0.0097	0.0472	0.0007	0.5135	57.5	279	7.5	297	4.6	95%			
CD12-30	237	0.21	0.0454	0.0020	0.1617	0.0069	0.0252	0.0004	0.4123	-	152	6.1	160	2.8	94%			
CD12-31	285	0.22	0.0423	0.0018	0.1516	0.0061	0.0250	0.0004	0.3992	-	143	5.4	159	2.5	89%			
CD12-32	423	0.31	0.0409	0.0021	0.1470	0.0077	0.0250	0.0005	0.3739	-	139	6.8	159	3.1	86%			
CD12-33	676	0.27	0.0414	0.0016	0.1486	0.0053	0.0249	0.0004	0.4185	-	141	4.6	159	2.3	87%			

表 4 大宝山花岗岩闪长斑岩 (ZK6204-3) 锆石 LA-ICP-MS 分析结果

Table 4 Zircon LA-ICP-MS U-Pb data of Dabaoshan granodiorite porphyry (ZK6204-3)

测点号	Th		U ($\times 10^{-6}$)	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		rho	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		谐和度
	Ratio	1 σ			Ratio	1 σ	Ratio	1 σ	Ratio	1 σ		Age(Ma)	1 σ	Age(Ma)	1 σ	Age(Ma)	1 σ	
ZK6204-3-1	262	1236	0.21	0.0381	0.0015	0.1385	0.0054	0.0255	0.0004	0.3787	-	-	132	4.8	162	2.4	79%	
ZK6204-3-2	187	518	0.36	0.0529	0.0054	0.2395	0.0207	0.0352	0.0010	0.3387	324.1	232.4	218	17.0	223	6.4	97%	
ZK6204-3-3	184	988	0.19	0.0397	0.0019	0.1437	0.0063	0.0254	0.0004	0.3313	-	-	136	5.6	162	2.3	82%	
ZK6204-3-4	304	1336	0.23	0.0416	0.0020	0.1466	0.0049	0.0256	0.0004	0.4415	-	-	139	4.3	163	2.4	84%	
ZK6204-3-5	180	424	0.42	0.0473	0.0023	0.4696	0.0236	0.0680	0.0014	0.4013	64.9	111.1	391	16.3	424	8.3	91%	
ZK6204-3-6	223	856	0.26	0.0540	0.0025	0.4048	0.0173	0.0511	0.0009	0.3934	372.3	105.5	345	12.5	321	5.3	92%	
ZK6204-3-7	262	1212	0.22	0.0434	0.0022	0.1583	0.0068	0.0252	0.0004	0.3870	-	-	149	5.9	161	2.6	92%	
ZK6204-3-8	235	1195	0.20	0.0467	0.0025	0.1762	0.0075	0.0261	0.0005	0.4729	35.3	131.5	165	6.5	166	3.3	99%	
ZK6204-3-9	328	1315	0.25	0.0358	0.0015	0.1304	0.0051	0.0248	0.0004	0.3902	-	-	124	4.6	158	2.4	76%	
ZK6204-3-10	248	1063	0.23	0.0422	0.0017	0.1546	0.0059	0.0252	0.0004	0.3864	-	-	146	5.2	161	2.3	90%	
ZK6204-3-11	416	982	0.42	0.0463	0.0016	0.4569	0.0144	0.0676	0.0010	0.4463	13.1	87.0	382	10.0	422	5.7	90%	
ZK6204-3-12	544	2227	0.24	0.0417	0.0014	0.1503	0.0046	0.0248	0.0003	0.4398	-	-	142	4.0	158	2.1	89%	
ZK6204-3-13	162	840	0.19	0.0432	0.0017	0.1581	0.0059	0.0256	0.0004	0.3787	-	-	149	5.2	163	2.3	91%	
ZK6204-3-14	476	1198	0.40	0.0464	0.0014	0.4614	0.0137	0.0682	0.0009	0.4477	20.5	79.6	385	9.6	425	5.5	90%	
ZK6204-3-15	489	1670	0.29	0.0513	0.0020	0.1869	0.0068	0.0254	0.0004	0.4030	253.8	88.9	174	5.8	161	2.3	92%	
ZK6204-3-16	360	1374	0.26	0.0440	0.0018	0.1607	0.0061	0.0257	0.0004	0.4071	-	-	151	5.3	164	2.5	92%	
ZK6204-3-17	381	716	0.53	0.0472	0.0020	0.2220	0.0092	0.0328	0.0005	0.3858	57.5	109.3	204	7.7	208	3.3	97%	
ZK6204-3-18	329	1394	0.24	0.0452	0.0017	0.1625	0.0056	0.0253	0.0003	0.3822	-	-	153	4.9	161	2.1	94%	
ZK6204-3-19	390	1588	0.25	0.0449	0.0019	0.1589	0.0062	0.0250	0.0004	0.3608	-	-	150	5.4	159	2.2	93%	
ZK6204-3-20	294	1306	0.22	0.0446	0.0020	0.1572	0.0063	0.0252	0.0004	0.3775	-	-	148	5.5	160	2.4	92%	
ZK6204-3-21	257	399	0.64	0.0538	0.0021	0.5007	0.0199	0.0667	0.0011	0.4139	364.9	88.9	412	13.5	416	6.6	98%	
ZK6204-3-22	335	1433	0.23	0.0434	0.0015	0.1555	0.0052	0.0256	0.0003	0.3829	-	-	147	4.6	163	2.1	89%	
ZK6204-3-23	250	1078	0.23	0.0424	0.0016	0.1473	0.0052	0.0251	0.0004	0.4004	-	-	140	4.6	160	2.2	86%	
ZK6204-3-24	306	1202	0.25	0.0437	0.0018	0.1523	0.0061	0.0251	0.0004	0.3568	-	-	144	5.4	160	2.3	89%	
ZK6204-3-25	535	1569	0.34	0.0438	0.0017	0.1517	0.0055	0.0249	0.0004	0.4056	-	-	143	4.8	159	2.3	89%	
ZK6204-3-26	261	741	0.35	0.0784	0.0020	2.0355	0.0523	0.1832	0.0023	0.4902	1166.7	50.5	1127	17.5	1085	12.6	96%	
ZK6204-3-27	233	999	0.23	0.0465	0.0022	0.1657	0.0070	0.0254	0.0004	0.3982	20.5	111.1	156	6.1	162	2.7	96%	
ZK6204-3-28	180	717	0.25	0.0450	0.0022	0.1573	0.0072	0.0250	0.0004	0.3460	-	-	148	6.3	159	2.5	93%	
ZK6204-3-29	278	1118	0.25	0.0469	0.0019	0.1658	0.0064	0.0249	0.0004	0.4074	55.7	83.3	156	5.6	159	2.5	98%	
ZK6204-3-30	421	1648	0.26	0.0408	0.0020	0.1463	0.0063	0.0254	0.0004	0.4011	-	-	139	5.6	162	2.8	84%	
ZK6204-3-31	267	1189	0.22	0.0401	0.0016	0.1480	0.0055	0.0257	0.0004	0.4156	-	-	140	4.9	164	2.5	84%	
ZK6204-3-32	396	1766	0.22	0.0400	0.0016	0.1470	0.0051	0.0256	0.0004	0.4347	-	-	139	4.5	163	2.4	84%	
ZK6204-3-33	305	1102	0.28	0.0408	0.0020	0.1498	0.0066	0.0255	0.0005	0.4157	-	-	142	5.8	162	2.9	86%	

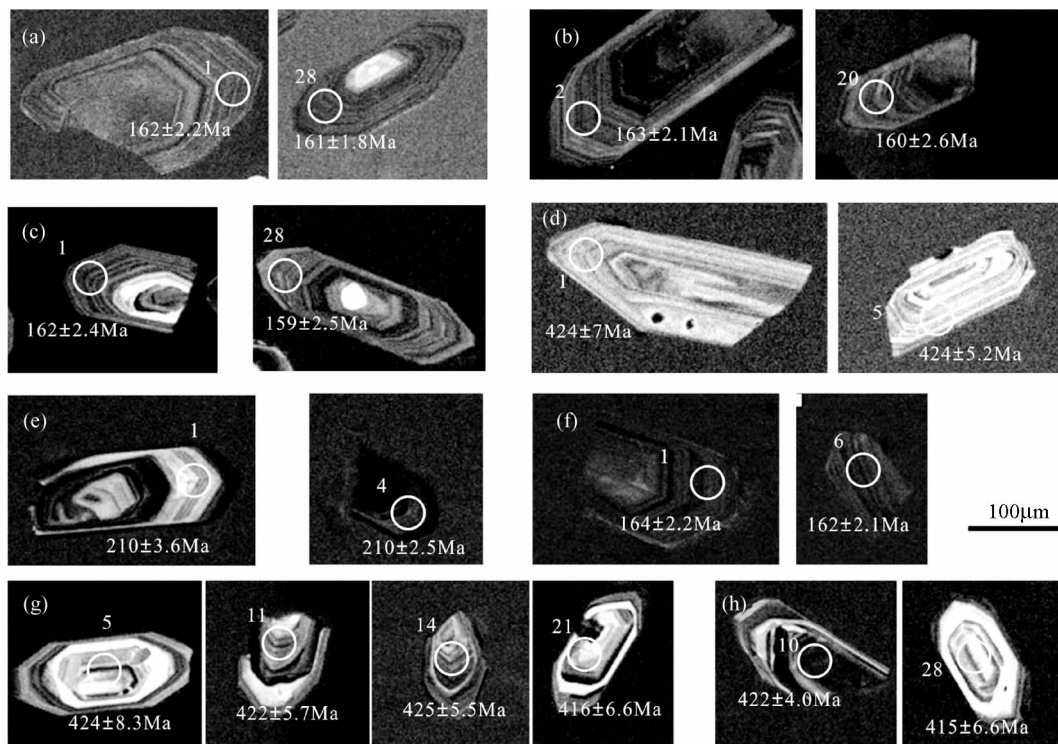


图4 大宝山矿区岩体锆石阴极发光图像

(a) 九曲岭黑云母花岗闪长斑岩; (b) 船肚花岗闪长岩; (c) 大宝山花岗闪长斑岩; (d) 徐屋流纹斑岩; (e) 辉绿岩脉 (DBS12-20); (f) 辉绿岩脉 (DBS12-18); (g) 大宝山花岗闪长斑岩中的继承锆石; (h) 船肚花岗闪长岩中的继承锆石

Fig. 4 Cathodoluminescent images of zircons from porphyries and disbase, Dabaoshan polymetallic deposit

(a) Jiuculing dacitic porphyry; (b) Chuandu granodiorite; (c) Dabaoshan granodiorite porphyry; (d) Xuwu rhyolite porphyry; (e) diabase dyke (DBS12-20); (f) diabase dyke (DBS12-18); (g) inherited zircons of Dabaoshan granodiorite porphyry; (h) inherited zircons of Chuandu granodiorite

加权平均年龄为 $161.0 \pm 0.9\text{Ma}$ ($n = 25$, $\text{MSWD} = 0.63$) (图 5e), 代表大宝山花岗闪长斑岩的形成时代。其余 8 个测试点对应的阴极发光图像中剥蚀位置均为继承核, 其中 4 个测试点 ZK6204-3-5 (424Ma)、ZK6204-3-11 (422Ma)、ZK6204-3-14 (425Ma)、ZK6204-3-21 (416Ma) 的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 与 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄结果十分一致, 所有数据均集中分布于谐和线上, 获得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $422.0 \pm 6.2\text{Ma}$ ($n = 4$, $\text{MSWD} = 0.38$) (图 5f), 代表较早一期的岩浆活动记录。另外 4 个点 ZK6204-3-2 (223Ma)、ZK6204-3-2-6 (321Ma)、ZK6204-3-2-17 (208Ma)、ZK6204-3-2-26 (1085Ma) 年龄较为分散, 可能记录了较早的几次岩浆活动。

4.4 徐屋流纹斑岩 (DBS12-27)

锆石长约 $150 \sim 300\mu\text{m}$, 自形程度较好, 阴极发光图中具有典型的岩浆锆石韵律环带 (图 4d)。Th、U 含量分别为 $72 \times 10^{-6} \sim 299 \times 10^{-6}$ 、 $125 \times 10^{-6} \sim 450 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 $0.35 \sim 0.99$ (表 5)。锆石 LA-ICP-MS 结果显示: 所分析的 33 个测试点中, 32 个测试点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 与 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄结果十分一致, 所有数据均集中分布于谐和线上 (图 5b), 获得

的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $426.9 \pm 2.2\text{Ma}$ ($n = 32$, $\text{MSWD} = 0.34$), 代表徐屋流纹斑岩的形成时代。点 DBS12-27-31 年龄值明显偏大 (705Ma), 可能代表较早一期的岩浆活动。

4.5 辉绿岩脉 (DBS12-20)

锆石长约 $50 \sim 200\mu\text{m}$, 半自形-自形, 阴极发光图中具有韵律环带较发育 (图 4e)。Th、U 含量分别为 $235 \times 10^{-6} \sim 1776 \times 10^{-6}$ 、 $488 \times 10^{-6} \sim 8544 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 $0.07 \sim 0.58$ (表 6)。锆石 LA-ICP-MS 结果显示: 所分析的 19 个测试点中, 17 个测试点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 与 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄结果十分一致, 所有数据均集中分布于谐和线上 (图 5g), 获得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $210.4 \pm 1.4\text{Ma}$ ($n = 17$, $\text{MSWD} = 0.49$), 代表该辉绿岩脉的形成时代。点 DBS12-20-15、16 年龄值略偏大, 对应的锆石阴极发光图中激光剥蚀位置发育裂隙, 因此予以剔除。

4.6 辉绿岩脉 (DBS12-18)

锆石长约 $50 \sim 220\mu\text{m}$, 半自形-自形, 阴极发光图中具有韵律环带较发育 (图 4f)。Th、U 含量分别为 $205 \times 10^{-6} \sim$

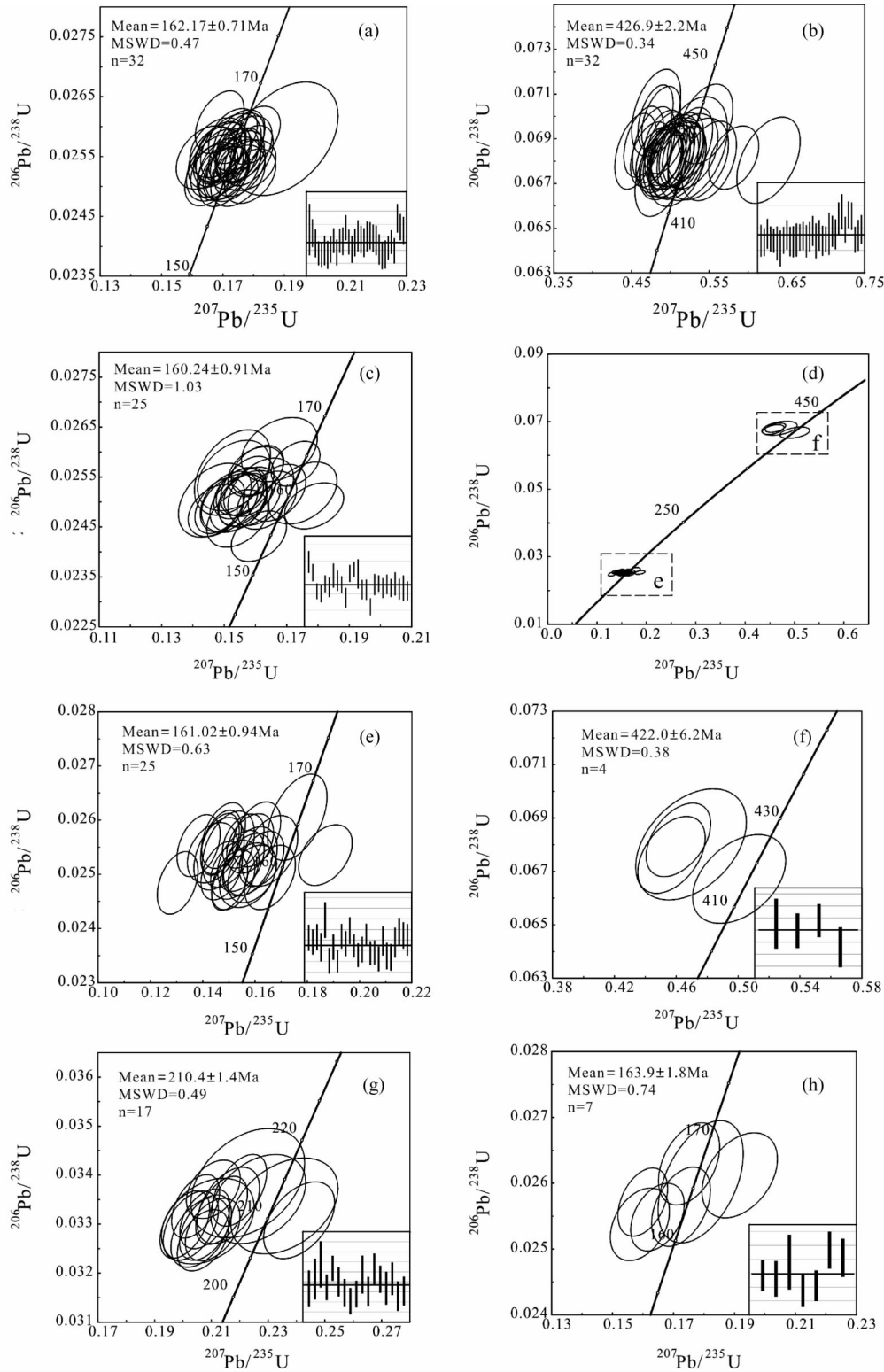


图5 大宝山矿区岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄

(a) 九曲岭黑云母花岗岩闪长斑岩; (b) 徐屋流纹斑岩; (c) 船肚花岗岩闪长岩; (d, e, f) 大宝山花岗岩闪长斑岩; (g) 辉绿岩脉(DBS12-20); (h) 辉绿岩脉(DBS12-18)

Fig.5 Zircon LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram at Dabaoshan polymetallic deposit

(a) Jiuculing subdacitic porphyry; (b) Xuwu rhyolite porphyry; (c) Chuandu granodiorite; (d, e, f) Dabaoshan granodiorite porphyry; (g) diabase dyke (DBS12-20); (h) diabase dyke (DBS12-18)

表 5 徐屋流纹斑岩 (DBS12-27) 锆石 LA-ICP-MS 分析结果
Table 5 Zircon LA-ICP-MS results of Xuwu rhyolite porphyry (DBS12-27)

测点号	Th		U		Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		rho	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		谐和度	
	($\times 10^{-6}$)	Ratio	1 σ	Ratio		1 σ	Ratio	1 σ	Ratio	1 σ	Age (Ma)		1 σ	Age (Ma)	1 σ	Age (Ma)	1 σ	Age (Ma)		1 σ
DBS12-27-1	103	0.35	0.0530	0.0025	0.0242	0.5092	0.0242	0.0680	0.0012	0.3560	0.0012	0.3560	0.0012	327.8	107.4	418	16.3	424	7.0	98%
DBS12-27-2	139	0.44	0.0517	0.0020	0.0181	0.4894	0.0181	0.0679	0.0010	0.3964	0.0010	0.3964	0.0010	276.0	86.1	404	12.4	424	6.0	95%
DBS12-27-3	203	0.57	0.0519	0.0020	0.0181	0.4946	0.0181	0.0686	0.0011	0.4310	0.0011	0.4310	0.0011	283.4	88.9	408	12.3	427	6.5	95%
DBS12-27-4	179	0.40	0.0542	0.0017	0.0154	0.5208	0.0154	0.0682	0.0009	0.4542	0.0009	0.4542	0.0009	388.9	70.4	426	10.3	425	5.5	99%
DBS12-27-5	276	0.71	0.0518	0.0018	0.0164	0.4957	0.0164	0.0680	0.0009	0.3841	0.0009	0.3841	0.0009	276.0	79.6	409	11.1	424	5.2	96%
DBS12-27-6	105	0.51	0.0548	0.0029	0.0242	0.5093	0.0242	0.0679	0.0012	0.3838	0.0012	0.3838	0.0012	466.7	120.4	418	16.3	423	7.5	98%
DBS12-27-7	213	0.99	0.0512	0.0023	0.0219	0.4876	0.0219	0.0675	0.0013	0.4282	0.0013	0.4282	0.0013	250.1	103.7	403	14.9	421	7.8	95%
DBS12-27-8	192	0.60	0.0506	0.0021	0.0194	0.4849	0.0194	0.0681	0.0010	0.3570	0.0010	0.3570	0.0010	233.4	94.4	401	13.3	425	5.9	94%
DBS12-27-9	139	0.58	0.0532	0.0025	0.0214	0.5060	0.0214	0.0685	0.0011	0.3663	0.0011	0.3663	0.0011	344.5	105.5	416	14.4	427	6.4	97%
DBS12-27-10	229	0.55	0.0525	0.0021	0.0204	0.5056	0.0204	0.0680	0.0011	0.3912	0.0011	0.3912	0.0011	305.6	92.6	415	13.7	424	6.5	97%
DBS12-27-11	158	0.46	0.0517	0.0024	0.0217	0.4928	0.0217	0.0680	0.0011	0.3748	0.0011	0.3748	0.0011	272.3	107.4	407	14.7	424	6.8	95%
DBS12-27-12	83.9	0.46	0.0582	0.0031	0.0258	0.5358	0.0258	0.0681	0.0012	0.3671	0.0012	0.3671	0.0012	600.0	116.7	436	17.0	425	7.3	97%
DBS12-27-13	232	0.65	0.0491	0.0018	0.0173	0.4751	0.0173	0.0683	0.0010	0.3851	0.0010	0.3851	0.0010	153.8	78.7	395	11.9	426	5.8	92%
DBS12-27-14	187	0.43	0.0524	0.0023	0.0223	0.5088	0.0223	0.0684	0.0010	0.3382	0.0010	0.3382	0.0010	301.9	134.2	418	15.0	427	6.1	97%
DBS12-27-15	103	0.49	0.0583	0.0026	0.0232	0.5499	0.0232	0.0680	0.0012	0.4077	0.0012	0.4077	0.0012	542.6	98.1	445	15.2	424	7.1	95%
DBS12-27-16	246	0.63	0.0519	0.0021	0.0202	0.5009	0.0202	0.0683	0.0011	0.3848	0.0011	0.3848	0.0011	279.7	92.6	412	13.7	426	6.4	96%
DBS12-27-17	177	0.44	0.0541	0.0020	0.0193	0.5253	0.0193	0.0688	0.0011	0.4254	0.0011	0.4254	0.0011	372.3	85.2	429	12.9	429	6.5	99%
DBS12-27-18	194	0.50	0.0658	0.0029	0.0269	0.6263	0.0269	0.0680	0.0013	0.4353	0.0013	0.4353	0.0013	798.2	97.2	494	16.8	424	7.7	84%
DBS12-27-19	166	0.50	0.0543	0.0025	0.0236	0.5257	0.0236	0.0684	0.0011	0.3618	0.0011	0.3618	0.0011	383.4	101.8	429	15.7	427	6.7	99%
DBS12-27-20	103	0.39	0.0519	0.0024	0.0215	0.4978	0.0215	0.0680	0.0011	0.3706	0.0011	0.3706	0.0011	279.7	105.5	410	14.6	424	6.6	96%
DBS12-27-21	299	0.78	0.0601	0.0023	0.0213	0.5814	0.0213	0.0682	0.0009	0.3732	0.0009	0.3732	0.0009	605.6	83.3	465	13.7	425	5.6	90%
DBS12-27-22	72.1	0.58	0.0572	0.0036	0.0299	0.5282	0.0299	0.0686	0.0015	0.3945	0.0015	0.3945	0.0015	498.2	138.9	431	19.9	427	9.2	99%
DBS12-27-23	161	0.40	0.0487	0.0020	0.0182	0.4788	0.0182	0.0687	0.0011	0.4289	0.0011	0.4289	0.0011	200.1	98.1	397	12.5	429	6.8	92%
DBS12-27-24	168	0.39	0.0526	0.0021	0.0189	0.5142	0.0189	0.0685	0.0011	0.4322	0.0011	0.4322	0.0011	322.3	125.0	421	12.7	427	6.6	98%
DBS12-27-25	124	0.58	0.0554	0.0025	0.0231	0.5455	0.0231	0.0697	0.0012	0.3981	0.0012	0.3981	0.0012	427.8	101.8	442	15.2	434	7.1	98%
DBS12-27-26	179	0.69	0.0486	0.0023	0.0208	0.4819	0.0208	0.0702	0.0013	0.4229	0.0013	0.4229	0.0013	131.6	112.9	399	14.3	437	7.7	90%
DBS12-27-27	204	0.52	0.0502	0.0019	0.0171	0.4918	0.0171	0.0689	0.0009	0.3898	0.0009	0.3898	0.0009	211.2	88.9	406	11.7	429	5.6	94%
DBS12-27-28	208	0.54	0.0486	0.0017	0.0149	0.4810	0.0149	0.0699	0.0010	0.4444	0.0010	0.4444	0.0010	127.9	75.0	399	10.2	436	5.8	91%
DBS12-27-29	220	0.64	0.0493	0.0018	0.0165	0.4882	0.0165	0.0698	0.0010	0.4202	0.0010	0.4202	0.0010	166.8	85.2	404	11.2	435	6.0	92%
DBS12-27-30	203	0.52	0.0502	0.0022	0.0197	0.4859	0.0197	0.0681	0.0009	0.3364	0.0009	0.3364	0.0009	211.2	100.0	402	13.5	425	5.6	94%
DBS12-27-31	130	0.38	0.0629	0.0019	0.0296	1.0344	0.0296	0.1155	0.0015	0.4413	0.0015	0.4413	0.0015	705.6	66.7	721	14.8	705	8.4	97%
DBS12-27-32	174	0.62	0.0480	0.0021	0.0178	0.4556	0.0178	0.0684	0.0011	0.4184	0.0011	0.4184	0.0011	98.2	100.0	381	12.4	427	6.8	88%
DBS12-27-33	253	0.62	0.0481	0.0018	0.0168	0.4658	0.0168	0.0689	0.0010	0.4211	0.0010	0.4211	0.0010	105.6	90.7	388	11.7	429	6.3	89%

表 6 辉绿岩脉 (DBS12-20) 锆石 LA-ICP-MS 分析结果
Table 6 Zircon LA-ICP-MS results of Diabase vein (DBS12-20)

测点号	Th		U		Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		rho	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		谐和度
	($\times 10^{-6}$)		($\times 10^{-6}$)			Ratio	1 σ	Ratio	1 σ	Ratio	1 σ		Age(Ma)	1 σ	Age(Ma)	1 σ	Age(Ma)	1 σ	
DBS12-20-1	341	859	0.40	0.443	0.0024	0.2087	0.0108	0.0331	0.0006	0.3384	-	192	9.0	210	3.6	91%			
DBS12-20-2	235	488	0.48	0.0522	0.0033	0.2357	0.0125	0.0334	0.0006	0.3661	294.5	148.1	215	10.2	212	4.0	98%		
DBS12-20-3	499	1315	0.38	0.0460	0.0028	0.2228	0.0132	0.0338	0.0007	0.3664	-	204	11.0	215	4.6	95%			
DBS12-20-4	625	2615	0.24	0.0436	0.0013	0.2077	0.0058	0.0331	0.0004	0.4344	-	192	4.9	210	2.5	90%			
DBS12-20-5	731	2815	0.26	0.0435	0.0013	0.2107	0.0063	0.0337	0.0004	0.3928	-	194	5.3	214	2.5	90%			
DBS12-20-6	992	6125	0.16	0.0449	0.0013	0.2136	0.0060	0.0333	0.0005	0.4891	-	197	5.0	211	2.9	92%			
DBS12-20-7	474	7081	0.07	0.0439	0.0013	0.2079	0.0060	0.0329	0.0004	0.4602	-	192	5.1	209	2.7	91%			
DBS12-20-8	1016	7251	0.14	0.0440	0.0013	0.2070	0.0060	0.0327	0.0004	0.4391	-	191	5.0	207	2.6	91%			
DBS12-20-9	1141	2824	0.40	0.0449	0.0014	0.2104	0.0064	0.0329	0.0004	0.4231	-	194	5.3	209	2.6	92%			
DBS12-20-10	335	578	0.58	0.0481	0.0025	0.2265	0.0110	0.0335	0.0006	0.3673	105.6	127.8	207	9.1	212	3.7	97%		
DBS12-20-11	723	2376	0.30	0.0430	0.0014	0.2027	0.0064	0.0330	0.0005	0.4471	-	187	5.4	209	2.9	89%			
DBS12-20-12	1241	4148	0.30	0.0460	0.0014	0.2199	0.0063	0.0337	0.0005	0.4993	-	202	5.3	214	3.0	94%			
DBS12-20-13	1776	8544	0.21	0.0428	0.0012	0.2044	0.0056	0.0334	0.0004	0.4695	-	189	4.7	212	2.7	88%			
DBS12-20-14	442	1287	0.34	0.0511	0.0018	0.2409	0.0083	0.0331	0.0005	0.4564	255.6	79.6	219	6.8	210	3.2	95%		
DBS12-20-15	533	3247	0.16	0.0448	0.0015	0.2281	0.0074	0.0356	0.0005	0.4343	-	209	6.1	226	3.1	92%			
DBS12-20-16	468	1643	0.28	0.0429	0.0028	0.2174	0.0130	0.0367	0.0009	0.4281	-	200	10.9	233	5.9	84%			
DBS12-20-17	1529	4591	0.33	0.0454	0.0015	0.2160	0.0073	0.0334	0.0005	0.4602	-	199	6.1	212	3.2	93%			
DBS12-20-18	967	2913	0.33	0.0442	0.0015	0.2060	0.0068	0.0328	0.0005	0.4317	-	190	5.7	208	2.9	90%			
DBS12-20-19	1253	6590	0.19	0.0429	0.0013	0.2006	0.0058	0.0330	0.0005	0.4795	-	186	4.9	209	2.8	88%			

表 7 辉绿岩脉 (DBS12-18) 锆石 LA-ICP-MS 分析结果
Table 7 Zircon LA-ICP-MS results of Diabase vein (DBS12-18)

测点号	Th		U		Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		rho	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		谐和度
	($\times 10^{-6}$)		($\times 10^{-6}$)			Ratio	1 σ	Ratio	1 σ	Ratio	1 σ		Age(Ma)	1 σ	Age(Ma)	1 σ	Age(Ma)	1 σ	
DBS12-18-1	205	1678	0.12	0.0441	0.0015	0.1599	0.0054	0.0257	0.0003	0.3961	-	151	4.7	164	2.2	91%			
DBS12-18-2	413	1656	0.25	0.0487	0.0021	0.1725	0.0064	0.0256	0.0004	0.4198	200	101.8	162	5.5	163	2.5	98%		
DBS12-18-3	392	1826	0.21	0.0489	0.0026	0.1789	0.0092	0.0260	0.0006	0.4574	146	124.1	167	7.9	166	3.9	99%		
DBS12-18-4	357	1947	0.18	0.0446	0.0019	0.1590	0.0064	0.0254	0.0004	0.3560	-	150	5.6	162	2.3	92%			
DBS12-18-5	273	477	0.57	0.0679	0.0021	1.1241	0.0373	0.1173	0.0024	0.6242	878	66	765	17.9	715	14.0	93%		
DBS12-18-6	208	1628	0.13	0.0461	0.0017	0.1648	0.0058	0.0255	0.0003	0.3779	400	-	155	5.1	162	2.1	95%		
DBS12-18-7	469	1708	0.27	0.0475	0.0019	0.1751	0.0066	0.0263	0.0004	0.4141	72	92.6	164	5.7	167	2.6	97%		
DBS12-18-8	1202	1867	0.64	0.0528	0.0025	0.1918	0.0082	0.0261	0.0004	0.3835	320	112.0	178	7.0	166	2.7	93%		

1202×10^{-6} 、 $477 \times 10^{-6} \sim 1947 \times 10^{-6}$, Th/U 比值为 0.12 ~ 0.64(表 7)。锆石 LA-ICP-MS 结果显示: 所分析的 8 个测试点中 7 个测试点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 与 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄结果十分一致, 所有数据均集中分布于谐和线上(图 5h), 获得的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $163.9 \pm 1.8\text{Ma}$ ($n=7$, MSWD = 0.74), 代表该辉绿岩脉的形成时代。点 DBS12-18-5 年龄值较大(715Ma), 对应的锆石阴极发光图中激光剥蚀位置为锆石继承核, 可能代表较早一期岩浆活动。

5 讨论

5.1 岩体形成时代

最早于 20 世纪 80 年代就已经开始对于大宝山多金属矿床矿区内岩体形成时代进行测定, 早先使用的测试方法主要有全岩 K-Ar 法和全岩 Rb-Sr 法等。然而一方面由于技术条件的限制, 另一方面由于大宝山矿床经历了多期的热液流体活动, 使得各个岩体均经历了强烈的蚀变作用, 导致早期的测试方法很难获得精确的成岩年龄。由于锆石具有很高的封闭温度 ($T > 800^\circ\text{C}$), 使其在后期热液蚀变作用过程中能够很好的保存封闭的同位素体系 (Cherniak and Watson, 2000), 因此锆石 U-Pb 同位素定年方法能够较好地获得蚀变岩体的成岩时代。但是由于单颗粒锆石 U-Pb 稀释法无法避免锆石中存在的裂隙、包裹体、继承核等因素对于同位素体系的影响, 因而这一方法获得的年龄结果也很难让人信服。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年是原位微区测试方法结合透射光图像、反射光图像、阴极发光图像和背散射图像可以很好地剔除由于裂隙、包裹体和继承核对于 U-Pb 同位素体系造成的影响, 甚至可以获得继承锆石的形成年龄。

本次用于测试的锆石总体自形程度较好, 锆石长约 100 ~ 350mm, 长宽比约 1.5 : 1 ~ 4 : 1, 大多数锆石阴极发光图像具有典型的岩浆锆石韵律环带, 少量锆石中可见到继承核及相应的残留环带(图 4)。激光剥蚀点位置分为两类: 一类激光剥蚀点位于锆石环带清晰, 无裂隙、无包裹体、无继承核的部位, 以获得该岩体的形成时代; 另一类激光剥蚀点位于锆石继承核部位, 以获得更早一期岩浆活动的信息。

本次测试大多数激光剥蚀点均为第一类, 获得的年龄结果代表了对应岩体的形成时代(图 4)。除此之外, 船肚花岗闪长岩锆石激光剥蚀点 CD12-8、CD12-10、CD12-19、CD12-26、CD12-28 和 CD12-29(图 4h) 位于锆石继承核部位, 大宝山花岗闪长斑岩锆石激光剥蚀点 ZK6204-3-2、ZK6204-3-5、ZK6204-3-6、ZK6204-3-11、ZK6204-3-14、ZK6204-3-17、ZK6204-3-21 和 ZK6204-3-26(图 4g) 均位于锆石继承核部位, 辉绿岩脉锆石激光剥蚀点 DBS12-18-5 位于锆石继承核部位, 并且多数继承核中可见到残留的韵律环带, 推测相应的年龄结果可以代表较早一期岩浆活动的信息。另外, 九曲岭黑云母花岗闪长斑岩中的点 ZK4603-3-22 和徐屋流纹斑岩中的点 DBS12-27-31 对应的锆石年龄结果明显偏大, 虽

然没有典型的继承核特征, 但其激光剥蚀信号稳定、年龄和谐度高, 推测两者均代表了较早一期岩浆活动的信息。

本次测试获得的九曲岭黑云母花岗闪长斑岩年龄为 $162.2 \pm 0.7\text{Ma}$, 船肚花岗闪长岩年龄为 $160.2 \pm 0.9\text{Ma}$, 大宝山花岗闪长斑岩年龄为 $161.0 \pm 0.9\text{Ma}$ 。三者的年龄值在误差范围内基本一致, 表明三个岩体的形成时代基本相同。这一结果也支持前人关于船肚花岗闪长岩和大宝山花岗闪长斑岩可能为同一岩体, 被后期断裂错断的观点(王磊, 2010; 王磊等, 2012)。

前人对于这三个岩体也做过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年工作, 而且不同作者对于同一岩体的定年结果差别较大(表 1)。王磊等(王磊, 2010; 王磊等, 2012) 获得的九曲岭黑云母花岗闪长斑岩和船肚花岗闪长岩年龄分别为 $174.6 \pm 1.5\text{Ma}$ 和 $175.0 \pm 1.7\text{Ma}$, 而刘莎等(2012) 获得的九曲岭黑云母花岗闪长斑岩和大宝山花岗闪长斑岩年龄分别为 $166.2 \pm 3.1\text{Ma}$ 和 $166.6 \pm 2.1\text{Ma}$ 。王磊等(2012) 的九曲岭黑云母花岗闪长斑岩年龄数据中 7 个点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄范围在 $155 \pm 3\text{Ma} \sim 177 \pm 3\text{Ma}$ 之间, 而最终的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄只选择了上限的三个点进行计算, 并认为较年轻的锆石可能是受到热液流体作用的影响。虽然两个人各自的年龄数据在误差范围内基本一致, 但两者之间仍有 10Ma 左右的差别, 而本文获得的年龄结果与刘莎等(2012) 的年龄结果在误差范围内一致。因此九曲岭黑云母花岗闪长斑岩、船肚花岗闪长岩和大宝山花岗闪长斑岩形成时代一致, 均属于燕山早期岩浆活动的产物。

本次测试的一条辉绿岩脉的年龄为 $163.9 \pm 1.8\text{Ma}$ ($n=7$, MSWD = 0.74), 在误差范围内, 与九曲岭黑云母花岗闪长斑岩等几个岩体的形成时代基本一致。另一条辉绿岩脉的年龄为 $210.4 \pm 1.4\text{Ma}$ ($n=17$, MSWD = 0.49), 显示该区存在印支期的铁镁质岩浆活动。

前人研究认为九曲岭黑云母花岗闪长斑岩、大宝山次英安斑岩和徐屋流纹斑岩为同一岩浆活动的产物, 沿 NNW 向断裂呈“哑铃”状展布(武汉地质矿产研究所, 2009^①)。然而通过薄片观察表明, 徐屋岩体应定名为片理化流纹斑岩, 与九曲岭黑云母花岗闪长斑岩岩石学特征明显不同。本次测试的徐屋流纹斑岩年龄为 $426.9 \pm 2.2\text{Ma}$ ($n=32$, MSWD = 0.34), 证实该岩体为加里东晚期岩浆活动的产物。该岩体被逆冲推覆在中泥盆统之上, 两者以逆断层接触。

由锆石继承核获得的年龄结果中除了个别年龄之外又可以划分为三个较为集中的年龄段。其中记录在九曲岭黑云母花岗闪长斑岩中的 ZK4603-3-22 (204Ma)、船肚花岗闪长岩中的 CD12-19 (212Ma) 和大宝山花岗闪长岩中的 ZK6204-3-2 (223Ma)、ZK6204-3-17 (208Ma) 年龄结果在误差范围内一致, 并与辉绿岩脉(DBS12-20) 年龄相对应, 记录了

① 武汉地质矿产研究所. 2009. 广东省韶关市大宝山钨多金属矿床成矿规律综合研究报告. 内部报告, 1-121

印支期岩浆活动。记录在船肚花岗闪长岩中的 CD12-40 (422Ma)、CD12-28(415Ma) 年龄结果(图 4h) 与记录在大宝山花岗闪长斑岩中的 ZK6204-3-5 (424Ma)、ZK6204-3-11 (422Ma)、ZK6204-3-14 (425Ma)、ZK6204-3-21 (416Ma) 年龄结果(图 4g) 在误差范围内完全一致, 并与徐屋流纹斑岩成岩年龄(426.9 ± 2.2Ma) 相对应。王磊等(2012) 在九曲岭黑云母花岗闪长斑岩的锆石中也获得了加里东晚期继承锆石的年龄(412.0 ± 3.4Ma), 这些数据显示该区存在加里东期岩浆活动。徐屋流纹斑岩中的 DBS12-27-31 (705Ma) 和辉绿岩脉中的 DBS12-18-5 (715Ma) 年龄结果表明研究区可能存在新元古代岩浆活动。由此表明区内显生宙发育了加里东晚期、印支期和燕山期岩浆活动, 经历了长期的岩浆演化阶段, 其中燕山期花岗岩与成矿作用关系密切。

5.2 岩浆活动与成矿作用

岩相学特征表明徐屋岩体为片理化流纹斑岩, 与九曲岭黑云母花岗闪长斑岩等岩体岩相差异十分明显。同位素测年结果表明徐屋片理化流纹斑岩形成于志留纪, 同时结合船肚花岗闪长岩与大宝山花岗闪长斑岩中多个继承锆石获得的谐和度极高、年龄十分一致的结果, 证实研究区内存在加里东期岩浆活动。虽然李晓峰等(2009) 发现华南湘粤桂交界的姑婆山-花山地区白石顶矿床 Mo 的矿化作用与志留纪岩浆作用有关, 但大宝山地区还没有发现与加里东期花岗岩有关的成矿作用。

前人研究认为大宝山地区内存在海西期火山活动, 泥盆系东岗岭组灰岩中发育夹层“凝灰岩”就是海西期火山活动的产物, 并由此认为似层状 Cu-Pb-Zn 多金属矿床为泥盆纪海底-火山喷流成因(邱世强, 1981; 刘孝善和周顺之, 1985; 葛朝华和韩发, 1986)。然而本次研究未发现海西期岩浆活动的证据, 继承锆石中也未发现相应的海西期岩浆活动记录, 因此, 该区是否存在海西期岩浆活动仍有待进一步证实。

华南地区中晚侏罗世处于岩石圈伸展减薄环境, 主要可以划分为 180 ~ 155Ma、145 ~ 125Ma 和 110 ~ 75Ma 三个阶段(Hu and Zhou, 2012)。范蔚茗(2003) 指出华南内部至少发生了 220Ma、175Ma、150 ~ 120Ma 和 90 ~ 80Ma 左右四次显著的岩石圈减薄事件。其中 220Ma 左右的伸展减薄事件规模较小, 但在大宝山地区内仍有相应的基性岩浆活动。同时结合九曲岭黑云母花岗闪长斑岩中、船肚花岗闪长岩和大宝山花岗闪长岩中多个继承锆石获得的谐和度极高、年龄十分一致的结果证实了大宝山地区存在印支期岩浆活动。

华南地区晚二叠-三叠世各类花岗岩均得到了深入的研究(Sun *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2005; Li *et al.*, 2006; Zhou *et al.*, 2006; Sun *et al.*, 2011; Zhao *et al.*, 2013) 近年来, 在华南地区发现众多与钨锡铋钽成矿作用非常密切的晚三叠世花岗岩(蔡明海等, 2006; 刘善宝等, 2008; 杨锋等, 2009; 梁华英等, 2011; 李晓峰等, 2011, 2012) 表明晚三叠世(230 ~ 210Ma) 是华南地区中生代重要的钨锡铋钽成矿阶

段。然而, 大宝山地区还未发现晚三叠世花岗岩, 而晚三叠世基性岩脉产出表明该区在晚三叠世处于岩石圈伸展减薄的拉张环境, 并受到幔源岩浆活动的影响。

李献华等(2007) 将南岭地区燕山早期花岗岩岩浆活动划分为 180 ~ 170Ma 和 165 ~ 150Ma 两个阶段。九曲岭黑云母花岗闪长斑岩、船肚花岗闪长岩和大宝山花岗闪长斑岩集中形成于燕山早期花岗岩岩浆活动的第二阶段, 并发育与之近同期的辉绿岩脉。毛景文等(2008) 指出华南地区中生代金属成矿主要集中在三个阶段, 包括晚三叠世(230 ~ 210Ma)、中晚侏罗世(170 ~ 150Ma) 和早中白垩世(134 ~ 80Ma)。李晓峰等(2008, 2013) 将华南地区 Cu 矿化划分为 180 ~ 170Ma、160 ~ 150Ma 和 105 ~ 90Ma 三个阶段。孙卫东等(2008) 认为在 125Ma 之前 Izanagi 板块向 NNW 方向迅速俯冲指向长江中下游地区, 并导致了长江中下游地区早白垩世岩浆活动。李晓峰等(2008) 认为在中晚侏罗世 Farallon-Izanagi 洋脊和转换断层可能俯冲到南岭地区, 导致了大规模的花岗质岩浆活动及相应的成矿作用。同位素年代学研究证实九曲岭黑云母花岗闪长斑岩、船肚花岗闪长岩和大宝山花岗闪长斑岩均为中晚侏罗世岩浆活动的产物, 同时还发育同期的辉绿岩脉, 表明中晚侏罗世岩浆活动是壳幔相互作用的产物。

王磊等(2012) 获得的斑岩型和矽卡岩型 Mo(W) 矿床中的辉钼矿 Re-Os 加权平均年龄为 163.9 ± 1.3Ma; 斑岩型和矽卡岩型 Mo(W) 矿床的形成时代与岩体侵位时代在误差范围内基本一致, 证实斑岩型和矽卡岩型 Mo(W) 矿床为燕山期岩浆热液矿床。而大宝山似层状 Cu-Pb-Zn 矿床的成矿时代一直没有得到很好的解决, 毛景文等(2004) 较早获得的似层状 Cu-Pb-Zn 矿床中辉钼矿的 Re-Os 同位素模式年龄为 165 ± 3Ma, 但从野外观察来看, 由于似层状矿体中辉钼矿基本不发育, 该辉钼矿更有可能来自于侵入似层状矿体的斑岩型石英辉钼矿脉。

野外地质特征表明大宝山花岗闪长斑岩、九曲岭黑云母花岗闪长斑岩及大宝山次英安斑岩内部及其东侧泥盆纪地层内发育有大量石英黄铁矿脉, 是区内经历过大规模流体活动的证据。这些石英黄铁矿脉宽度 1 ~ 20cm, 少数脉体宽度超过 40cm, 产状十分一致, 倾向变化范围约 250° ~ 300°, 倾角 35° ~ 70°, 表明成矿流体由岩体内部沿节理向其东侧泥盆纪地层中迁移。笔者通过流体包裹体研究发现大宝山似层状 Cu-Pb-Zn 矿床中的石英流体包裹体的温度范围为 372 ~ 432°C, 盐度范围为 4.32% ~ 9.99% NaCleqv。而发育在斑岩体中的石英黄铁矿脉的流体包裹体温度范围为 351 ~ 441°C, 盐度范围明显分为两段, 一部分包裹体盐度 13.18% ~ 23.57% NaCleqv, 对应的气液比相对较小; 另一部分包裹体盐度 1.57% ~ 7.45% NaCleqv, 对应的气液比相对较大, 与似层状矿体的石英流体包裹体温度-盐度范围一致。由此认为大宝山似层状 Cu-Pb-Zn 矿床的成矿流体可能为斑岩型矿床中一期成矿流体经过流体不混溶作用, 其中富气相流体侧向

运移至泥盆系灰岩中沉淀成矿,即似层状 Cu-Pb-Zn 矿床与斑岩型、矽卡岩型 Mo(W) 矿床均为燕山期岩浆热液矿床。因此,本文认为由于中晚侏罗世 Farallon-Izanagi 洋脊和转换断层俯冲至南岭地区(李晓峰等,2008),诱发了壳幔相互作用,在研究区内形成了多个中酸性成矿斑岩及辉绿岩脉,并伴随相应的成矿作用。

6 结论

(1) 大宝山地区九曲岭黑云母花岗闪长斑岩、船肚花岗闪长岩和大宝山花岗闪长斑岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分别为 162.2 ± 0.7 Ma、 160.2 ± 0.9 Ma 和 161.2 ± 0.9 Ma,三者在误差范围内一致,说明这三个岩体均形成于燕山早期。矿区两条辉绿岩脉锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分别为 210.4 ± 1.4 Ma 和 163.9 ± 1.8 Ma,证实该区存在印支期和燕山期铁镁质岩浆活动。前人定名的徐屋次英安斑岩应重新定名为片理化流纹斑岩,其锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 426.9 ± 2.2 Ma,说明徐屋岩体是加里东运动晚期的产物。

(2) 大宝山地区显生宙以来经历了加里东期、印支期和燕山期多个岩浆旋回长期演化。大宝山多金属成矿作用主要与燕山期岩浆活动有关,而与加里东期和印支期岩浆活动的关系不甚明显,有待进一步加强研究;大宝山多金属矿床的成矿作用与中晚侏罗世 Farallon-Izanagi 洋脊和转换断层俯冲作用下产生的花岗岩密切相关。

致谢 野外工作得到了大宝山矿业有限公司高志辉、唐晨贲、张熊等地质同行的大力支持和帮助;在锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测试和数据过程中得到了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戴智慧实验员的帮助;在论文修改过程中,蒋少涌教授提出了宝贵意见;在此一并感谢!

References

Cai JH and Liu JQ. 1993. The age of the magmatic rocks of Dabaoshan polymetallic ore field in north Guangdong. *Guangdong Geology*, 8(2): 45–52 (in Chinese with English abstract)

Cai MH, Chen KX, Qu WJ, Liu GQ, Fu JM and Yin JP. 2006. Geological characteristics and Re-Os dating of molybdenites in Hehuaping tin-polymetallic deposit, southern Hunan Province. *Mineral Deposits*, 25(3): 263–268 (in Chinese with English abstract)

Cherniak DJ and Watson EB. 2000. Pb diffusion in zircon. *Chemical Geology*, 172(1–2): 5–24

Fan WM, Wang YJ, Guo F and Peng TP. 2003. Mesozoic mafic magmatism in Hunan-Jiangxi provinces and the lithospheric extension. *Earth Science Frontiers*, 10(3): 159–169 (in Chinese with English abstract)

Ge ZH and Han F. 1986. Submarine volcanic hydrothermal sedimentary origin of the Dabaoshan iron and polymetallic sulfide deposit. *Mineral Deposits*, 5(1): 1–12 (in Chinese with English abstract)

Ge ZH and Han F. 1987. Volcanic-deposition Geochemistry of Dabaoshan

Polymetallic Deposit, Guangdong. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1–111 (in Chinese with English abstract)

Hu RZ and Zhou MF. 2012. Multiple Mesozoic mineralization events in South China: An introduction to the thematic issue. *Mineralium Deposita*, 47(6): 579–588

Hu ZC, Liu YS, Chen L, Lu ZL, Li M, Zong KQ, Zhu LY and Gao S. 2011. Contrasting matrix induced elemental fractionation in NIST SRM and rock glasses during laser ablation ICP-MS analysis at high spatial resolution. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 26(2): 425–430

Hua RM, Chen PR, Zhang WL, Yao JM, Lin JF, Zhang ZS and Gu SY. 2005. Metallogenesis and their geodynamic settings related to mesozoic granitoids in the Nanling Range. *Geological Journal of China Universities*, 11(3): 291–304 (in Chinese with English abstract)

Huang SJ, Zeng YC, Jia GX and Chen YR. 1987. On the genesis of Dabaoshan polymetallic deposit in Guangdong Province, China. *Geochimica*, (1): 27–35 (in Chinese with English abstract)

Li CY, Zhang H, Wang FY, Liu JQ, Sun YL, Hao XL, Li YL and Sun W. 2012. The formation of the Dabaoshan porphyry molybdenum deposit induced by slab rollback. *Lithos*, 101–110

Li XF, Yasushi W, Hua RM and Mao JW. 2008. Mesozoic Cu-Mo-W-Sn mineralization and ridge/triple subduction in South China. *Acta Geologica Sinica*, 82(5): 625–640 (in Chinese with English abstract)

Li XF, Feng ZH, Li RS, Tang ZH, Qu WJ and Li JC. 2009. Silurian Mo mineralization at Baishiding molybdenum deposit in northern Guangxi: Constraints from zircon SHRIMP U-Pb and molybdenite Re-Os ages. *Mineral Deposits*, 28(4): 403–412 (in Chinese with English abstract)

Li XF, Xiao R and Feng ZH. 2011. Major metallic mineral deposit types, mineralogenetic epoch and the geological significance in Northeast Guangxi. *Acta Mineralogica Sinica*, (S1): 610–611 (in Chinese)

Li XF, Feng ZH, Xiao R, Song CA, Yang F, Wang CY, Kang ZQ and Mao W. 2012. Spacial and temporal distributions and the geological setting of the W-Sn-Mo-Nb-Ta deposits at the northwest Guangxi, Southeast China. *Acta Geologica Sinica*, (11): 1713–1725 (in Chinese with English abstract)

Li XF, Hu RZ, Hua RM, Mao W, Tang YW, Wu LY, Qi YQ and Huang C. 2013. The Mesozoic syntaxis type granite-related Cu-Pb-Zn mineralization in South China. *Acta Petrologica Sinica*, 29(12): 4037–4050 (in Chinese with English abstract)

Li XH, Li ZX, Li WX and Wang YJ. 2006. Initiation of the Indosinian Orogeny in South China: Evidence for a Permian magmatic arc on Hainan Island. *The Journal of Geology*, 114(3): 341–353

Li XH, Li WX and Li ZX. 2007. Discussions on the genetic type and tectonic significance of the Early Yanshanian granitoids in the Nanling area. *Chinese Science Bulletin*, 52(9): 981–991 (in Chinese)

Liang HY, Wu J, Sun WD, Mo JH and Huang WT. 2011. Discussion of Indosinian metallogeny in South China. *Acta Mineralogica Sinica*, 31(S1): 53–54 (in Chinese)

Liu GQ, Yang SY, Zhang XL and Chen CJ. 1985. A preliminary study on the genesis of the Dabaoshan polymetallic deposit in northern Guangdong. *Acta Geologica Sinica*, (1): 47–61 (in Chinese with English abstract)

Liu S, Wang CL, Huang WT, Wu J, Liang HY, Gao ZH and Lin JF. 2012. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and dynamic background of the Dabaoshan porphyry associated with Mo-W mineralization in northern Guangdong Province. *Geotectonica et Metallogenia*, 36(3): 440–449 (in Chinese with English abstract)

Liu SB, Wang DH, Chen YC, Li JK, Ying LJ, Xu JX and Zeng ZL. 2008. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of muscovite from different types tungsten-bearing quartz veins in the chongyi-Dayu-Shangyou concentrated mineral area in Gannan region and its geological significance. *Acta Geologica Sinica*, 82(7): 932–940 (in Chinese with English abstract)

- Liu XS and Zhou SZ. 1985. On the occurrence of Middle Ordovician volcanics and analysis of ore-forming mechanism of siderite polymetallic ore deposit from Dabaoshan, Qujiang County, Guangdong Province. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences Edition)*, 21(2): 348–361 (in Chinese with English abstract)
- Liu YS, Hu ZC, Zong KQ, Zong KQ, Gao S, Xu J and Chen HH. 2010a. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS. *Chinese Science Bulletin*, 55(15): 1535–1546
- Liu YS, Gao S, Hu ZC, Gao CG, Zong KQ and Wang DB. 2010b. 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. *Journal of Petrology*, 51(1–2): 537–571
- Ludwig KR. 2003. *User's Manual for Isoplot 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel*. Berkeley: Geochronology Centre Special Publication, 4: 74
- Mao JW, Xie GQ, Li XF, Zhang CQ and Mei YX. 2004. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 45–55 (in Chinese with English abstract)
- Mao JW, Xie GQ, Guo CL, Yuan SD, Cheng YB and Chen YC. 2008. Spatial-temporal distribution of mesozoic ore deposits in South China and their metallogenic settings. *Geological Journal of China Universities*, 14(4): 510–526 (in Chinese with English abstract)
- Pei TC. 1992. A summary of geological study of the Dabaoshan polymetallic deposit in northern Guangdong. *Guangdong Geology*, 7(2): 83–92 (in Chinese with English abstract)
- Qiu SQ. 1981. A preliminary study on the genesis of the Dabaoshan stratiform polymetallic deposit. *Geological Review*, 27(4): 333–340 (in Chinese with English abstract)
- Song SM, Hu K, Jiang SY and Li K. 2007. The He-Ar-Pb-S isotope tracing on ore-forming fluid in Dabao hill polymetallic deposit, North Guangdong. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 22(2): 87–92, 99 (in Chinese with English abstract)
- Song SM. 2011. Multi-isotopic and REE geochemistry on tracing formation of the Dajiangping and Dabaoshan sulfide ore deposits in Guangdong Province, South China. Ph. D. Dissertation. Nanjing: Nanjing University (in Chinese with English abstract)
- Sun T, Zhou XM, Chen PR, Li HM, Zhou HY, Wang ZC and Shen WZ. 2004. Strongly peraluminous granites of Mesozoic in eastern Nanling Range, southern China: Petrogenesis and implications for tectonics. *Science in China (Series D)*, 48(2): 165–174
- Sun WD, Ling MX, Wang FY, Ding X, Hu YH, Zhou JB and Yang XY. 2008. Pacific plate subduction and mesozoic geological event in eastern China. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 27(3): 218–225 (in Chinese with English abstract)
- Sun Y, Ma C, Liu YY and She ZB. 2011. Geochronological and geochemical constraints on the petrogenesis of Late Triassic aluminous A-type granites in Southeast China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(6): 1117–1131
- Wang DZ. 2004. The study of granitic rocks in South China: Looking back and forward. *Geological Journal of China Universities*, 10(3): 305–314 (in Chinese with English abstract)
- Wang JX. 2006. Geological characteristics and ore prospecting orientation of lead zinc polymetallic deposit in south Dabaoshan, Guangdong. *Mineral Resources and Geology*, 20(2): 142–146 (in Chinese with English abstract)
- Wang L. 2010. Metallogenic model and prospecting potential in Dabaoshan molybdenum polymetallic ore deposit, North Guangdong Province. Ph. D. Dissertation. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract)
- Wang L, Hu MA, Yang Z, Qu WJ, Xi JL and Chen KX. 2011. U-Pb and Re-Os geochronology and geodynamic setting of the Dabaoshan polymetallic deposit, northern Guangdong Province, South China. *Ore Geology Reviews*, 43(1): 40–49
- Wang L, Hu MA, Qu WJ, Chen KX, Long WG and Yang Z. 2012. Zircon LA-ICP-MS U-Pb and molybdenite Re-Os dating of the Dabaoshan polymetallic deposit in northern Guangdong Province and its geological implications. *Chinese Geology*, 39(1): 29–42 (in Chinese with English abstract)
- Wang Q, Li JW, Jian P, Zhao ZH, Xiong XL, Bao ZW, Xu JF, Li CF and Ma JL. 2005. Alkaline syenites in eastern Cathaysia (South China): Link to Permian-Triassic transtension. *Earth and Planetary Science Letters*, 230(3–4): 339–354
- Wang YW. 2011. A preliminary investigation of the formation sequence of the strata and ore-bearing layers in Dabaoshan mine. *Southern Metals*, (5): 23–25 (in Chinese with English abstract)
- Xu WQ, Li H, Chen MY, Huang DX, Zhang FT and Wang LM. 2008. Isotope evidence of material sources of the Dabaoshan polymetallic deposit. *Acta Geoscientia Sinica*, 29(6): 684–690 (in Chinese with English abstract)
- Yang F, Li XF, Feng ZH and Bai YP. 2009. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of muscovite from greisenized granite and geological significance in Limu tin deposit. *Journal of Guilin University of Technology*, 29(1): 21–24 (in Chinese with English abstract)
- Yang ZQ. 1997. Origin of the Dabaoshan massive sulfide deposit: Devonian sea-floor thermal events. *Geology and Mineral Resources of South China*, (1): 7–17 (in Chinese with English abstract)
- Yao DX. 1983. Dabaoshan-marine volcanic sedimentary polymetallic deposit. *Geology in China*, (7): 18–21, 17 (in Chinese)
- Yao DX and Zeng LC. 1994. On genesis of Dabaoshan mineral deposit. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 33(3): 91–100 (in Chinese with English abstract)
- Ye L, Cook NJ, Ciobanu CL, Liu YP, Zhang Q, Liu TG, Gao W, Yang YL and Dan Leonid Y. 2011. Trace and minor elements in sphalerite from base metal deposits in South China: A LA-ICP-MS study. *Ore Geology Reviews*, 39(4): 188–217
- Zhao KD, Jiang SY, Chen WF, Chen PR and Ling HF. 2013. Zircon U-Pb chronology and elemental and Sr-Nd-Hf isotope geochemistry of two Triassic A-type granites in South China: Implication for petrogenesis and Indosinian transtensional tectonism. *Lithos*, 160–161: 292–306
- Zhou XM, Sun T, Shen WZ, Shu LS and Niu YL. 2006. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution. *Episodes*, 29(1): 26–33
- Zhou XM. 2007. The Genesis of Late Mesozoic Granites and Evolution of Lithospheric Dynamics in Nanling Region. Beijing: Science Press, 1–691 (in Chinese with English abstract)
- Zhuang MZ. 1983. Ore deposit types and mineralization mechanism of Dabaoshan polymetallic deposit. *Geology and Prospecting*, (8): 9–16 (in Chinese)

附中文参考文献

- 蔡锦辉, 刘家齐. 1993. 粤北大宝山多金属矿区岩浆岩的成岩时代. *广东地质*, 8(2): 45–52
- 蔡明海, 陈开旭, 屈文俊, 刘国庆, 付建明, 印建平. 2006. 湘南荷花坪锡多金属矿床地质特征及辉钼矿 Re-Os 测年. *矿床地质*, 25(3): 263–268
- 范蔚茗, 王岳军, 郭锋, 彭头平. 2003. 湘赣地区中生代镁铁质岩浆作用与岩石圈伸展. *地学前缘*, 10(3): 159–169
- 葛朝华, 韩发. 1986. 大宝山铁-多金属矿床的海相火山热液沉积成因特征. *矿床地质*, 5(1): 1–12
- 葛朝华, 韩发. 1987. 广东大宝山矿床喷气-沉积成因地质地球化学特征. 北京: 北京科学技术出版社, 1–111
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 姚军明, 林福富, 张展适, 顾晟彦. 2005. 南岭与中生代花岗岩类有关的成矿作用及其大地构造背景. *高校地质学报*, 11(3): 291–304
- 黄书俊, 曾永超, 贾国相, 陈远荣. 1987. 论广东大宝山多金属矿床的成因. *地球化学*, (1): 27–35

- 李献华, 李武显, 李正祥. 2007. 再论南岭燕山早期花岗岩的成因类型与构造意义. 科学通报, 52(9): 981-991
- 李晓峰, Yasushi W, 华仁民, 毛景文. 2008. 华南地区中生代 Cu-Mo (W)-Sn 矿床成矿作用与洋岭/转换断层俯冲. 地质学报, 82(5): 625-640
- 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. 矿床地质, 28(4): 403-412
- 李晓峰, 肖荣, 冯佐海. 2011. 桂东北地区金属矿床主要类型、成矿时代及其地质意义. 矿物学报, (S1): 610-611
- 李晓峰, 冯佐海, 肖荣, 宋慈安, 杨锋, 王翠云, 康志强, 毛伟. 2012. 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. 地质学报, (11): 1713-1725
- 李晓峰, 胡瑞忠, 华仁民, 毛伟, 唐燕文, 武丽艳, 齐有强, 黄诚. 2013. 华南中生代与同熔型花岗岩有关的铜铅锌多金属矿床时空分布及其岩浆源区特征. 岩石学报, 29(12): 4037-4050
- 梁华英, 伍静, 孙卫东, 莫济海, 黄文婷. 2011. 华南印支成矿讨论. 矿物学报, 31(S1): 53-54
- 刘娟群, 杨世义, 张秀兰, 陈长江. 1985. 粤北大宝山多金属矿床成因的初步探讨. 地质学报, (1): 47-61
- 刘莎, 王春龙, 黄文婷, 伍静, 梁华英, 高志辉, 林锦富. 2012. 粤北大宝山斑岩钨钼矿床赋矿岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄与矿床形成动力学背景分析. 大地构造与成矿学, 36(3): 440-449
- 刘善宝, 王登红, 陈毓川, 李建康, 应立娟, 许建祥, 曾载淋. 2008. 赣南崇义-大余-上犹矿区不同类型含石英英脉中白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及其地质意义. 地质学报, 82(7): 932-940
- 刘孝善, 周顺之. 1985. 广东大宝山中泥盆世火山岩与层状菱铁矿、多金属矿床成矿机制分析. 南京大学学报(自然科学版), 21(2): 348-361
- 毛景文, 谢桂青, 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. 地学前缘, 11(1): 45-55
- 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. 高校地质学报, 14(4): 510-526
- 裴太昌. 1992. 粤北大宝山矿区多金属矿床地质研究工作综述. 广东地质, 7(2): 83-92
- 邱世强. 1981. 关于大宝山层状多金属矿床成因的初步探讨. 地质论评, 27(4): 333-340
- 宋世明, 胡凯, 蒋少涌, 李颀. 2007. 粤北大宝山多金属矿床成矿流体的 He-Ar-Pb-S 同位素示踪. 地质找矿论丛, 22(2): 87-92, 99
- 宋世明. 2011. 广东大降坪和大宝山硫化物矿床多元同位素与稀土元素地球化学示踪研究. 博士学位论文. 南京: 南京大学
- 孙卫东, 凌明星, 汪方跃, 丁兴, 胡艳华, 周继斌, 杨晓勇. 2008. 太平洋板块俯冲与中国东部中生代地质事件. 矿物岩石地球化学通报, 27(3): 218-225
- 王德滋. 2004. 华南花岗岩研究的回顾与展望. 高校地质学报, 10(3): 305-314
- 王建新. 2006. 广东大宝山南部铅-锌多金属矿床地质特征及找矿方向. 矿产与地质, 20(2): 142-146
- 王磊. 2010. 粤北大宝山钨多金属矿床成矿模式与找矿前景研究. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学
- 王磊, 胡明安, 屈文俊, 陈开旭, 龙文国, 杨振. 2012. 粤北大宝山多金属矿床 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 定年及其地质. 中国地质, 39(1): 29-42
- 王要武. 2011. 大宝山矿区地层及含矿层序几个问题初步探讨. 南方金属, (5): 23-25
- 徐文忻, 李衡, 陈民扬, 黄德鑫, 张富铁, 汪礼明. 2008. 广东大宝山多金属矿床成矿物质来源同位素证据. 地球学报, 29(6): 684-690
- 杨锋, 李晓峰, 冯佐海, 白艳萍. 2009. 栗木锡矿云英岩化花岗岩白云母⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄及其地质意义. 桂林工学院学报, 29(1): 21-24
- 杨振强. 1997. 大宝山块状硫化物矿床成因: 泥盆纪海底热事件. 华南地质与矿产, (1): 7-17
- 姚德贤. 1983. 大宝山-海底火山沉积多金属矿床. 中国地质, (7): 18-21, 17
- 姚德贤, 曾令初. 1994. 论大宝山矿床成因. 中山大学学报(自然科学版), 33(3): 91-100
- 周新民. 2007. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化. 北京: 科学出版社, 1-691
- 庄明正. 1983. 大宝山多金属矿田矿床类型及成矿作用探讨. 地质与勘探, (8): 9-16