

粤北大宝山矿区加里东期火山岩的厘定及其地质意义*

伍静¹ 王广强^{1,2} 梁华英^{1**} 黄文婷^{1,2} 林书平^{1,2} 邹银桥^{1,2} 孙卫东¹ 王要武³

WU Jing¹, WANG GuangQiang^{1,2}, LIANG HuaYing^{1**}, HUANG WenTing^{1,2}, LIN ShuPing^{1,2}, ZOU YinQiao^{1,2}, SUN WeiDong¹ and WANG YaoWu³

1. 中国科学院广州地球化学研究所,中国科学院矿物学与成矿学重点实验室,广州 510640

2. 中国科学院大学,北京 100049

3. 广东大宝山矿业有限公司,韶关 512218

1. Key Laboratory for Mineralogy and Metallogeny, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

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

3. Guangdong Dabaoshan Mining Limited Company, Shaoguan 512218, China

2013-10-11 收稿, 2014-02-05 改回.

Wu J, Wang GQ, Liang HY, Huang WT, Lin SP, Zou YQ, Sun WD and Wang YW. 2014. Identification of Caledonian volcanic rock in the Dabaoshan ore-field in northern Guangdong Province and its geological implication. *Acta Petrologica Sinica*, 30(4):1145–1154

Abstract Layered igneous rocks associated closely with stratiform Fe-Cu-Pb-Zn mineralization are widely exposed in the Dabaoshan mining area in northern Guangdong Province. The layered igneous rocks are overlaid conformably by shale and marble and underlain conformably by carbonaceous shale, respectively. Our work discusses the forming environment and age of the layered igneous rocks. The layered igneous rocks characterized by porphyritic texture, massive structure, with banded structure and flow structure locally, are composed of crystal fragments, small amount of rock debris and matrix. The layered igneous rocks have crystal fragments of quartz, plagioclase, K-feldspar, small amount of amphibole, muscovite and pyrite and with pleocrystalline matrix which are made up of small grain of quartz, K-feldspar, sericite, muscovite and small amount of biotite. Graphic texture made up of small grain quartz and K-feldspar is popular in the matrix of the Dabaoshan layered igneous rocks. The above characteristics of the Dabaoshan layered igneous rocks suggest that the layered igneous rocks belong to volcanic clastic lava. Based on the mineral association and grain size of minerals, the Dabaoshan layered igneous rocks could be divided into dacite tufflava, rhyolitic tufflava, and breccia lava. Rhyolitic tufflava in the middle of the Dabaoshan mining area and dacite tufflava from the Qiuba in the eastern part of the Dabaoshan mining area have zircon LA-ICP-MS U-Pb age of 436.4 ± 4.1 Ma, with MSWD = 0.94 and 434.1 ± 4.4 Ma, with MSWD = 1.9, respectively, suggesting that the lavas in the Dabaoshan area were formed in Caledonian Period. Based on the zircon age of the Dabaoshan lavas and closely association between the lavas and the limestone as well as carbonaceous shale, together with activities of deep fault in the region, it is concluded that the Dabaoshan layered igneous rocks associated closely with stratiform Fe-Cu-Pb-Zn are formed in Caledonian Period in marine environment. The formation of the Caledonian volcanic rocks in the Dabaoshan mining area is suggested to be related to the activities of the Wuchuan-Sihui deep fault.

Key words Caledonian volcano rock; Zircon age; Northern Guangdong of South China

摘要 粤北大宝山矿区一带出露一套与层状 Fe-Cu-Pb-Zn 矿化紧密共生的层状火成岩。层状火成岩产状与上覆页岩及大理岩和下伏碳质页岩基本一致。本文通过层状火成岩显微特征及锆石年龄探讨火成岩形成环境及时代。层状火成岩为斑状结构,块状构造,局部发育条带状构造及流动构造。层状火成岩的斑晶主要由火山喷发形成的棱角明显石英、斜长石、钾长

* 本文受国家“深部探测技术与实验研究”专项课题(SinoProbe-03-01)、国家自然科学基金项目(41172080、41121002、41272099、41342084)和中国科学院国际合作项目(GJHZ1127)联合资助。

第一作者简介:伍静,男,1978年生,博士后,矿床学专业,E-mail: 417534291@qq.com

** 通讯作者:梁华英,男,1962年生,博士,研究员,博士生导师,矿床地球化学专业,E-mail: lianghy@gig.ac.cn

石、少量角闪石、黑云母及黄铁矿等晶屑及少量岩屑组成,基质为火山熔浆凝结形成的全晶质矿物,主要由粒度极细的石英、钾长石、绢云母、白云母及少量黑云母等组成,石英和钾长石构成典型的霏细结构。层状火成岩含大量火山碎屑及具流动构造等现象表明其为火山碎屑熔岩类,主要为英安质凝灰熔岩、流纹质凝灰熔岩及角砾熔岩。大宝山区中部流纹质凝灰熔岩和东部丘坝一带英安质凝灰熔岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分别为 436.4 ± 4.1 Ma, MSWD = 0.94 和 434.1 ± 4.4 Ma, MSWD = 1.9, 是加里东期形成的。据大宝山区熔岩锆石 U-Pb 年龄,结合层状熔岩和灰岩及碳质页岩紧密共生及区域深大断裂构造活动特征,我们认为大宝山与层状矿化关系密切的层状火成岩为加里东期海相火山熔岩,粤北一带加里东期海相火山活动可能和形成于加里东期的吴川-四会深大断裂活动有关。

关键词 加里东期火山岩; 锆石年龄; 华南粤北

中图法分类号 P588.14; P597.3

华南地区是我国重要花岗岩成矿省。国内外学者(中国科学院地球化学研究所, 1979; 莫柱荪等, 1980; 南京大学地质系, 1981; 陈毓川等, 1989; 毛景文等, 2004; 华仁民等, 2005; 孙涛, 2006; 周新民, 2007; Li and Li, 2007; Li *et al.*, 2009a, b; 李献华等, 2007; Zhu *et al.*, 2009, 2010; He *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2013) 对华南地区中酸性岩及相关矿床的时空分布规律作了大量的工作。过去工作主要集中在燕山期花岗岩及相关矿床上(王登红等, 2003; 华仁民等, 2003; 李献华等, 2007; Hu *et al.*, 2008; Sun *et al.*, 2010, 2013), 近年来加里东期及印支期花岗岩和有关矿床也引起了人们的广泛关注(徐夕生等, 2003; 王岳军等, 2005; 蔡明海等, 2006; 杨锋等, 2009; 伍静等, 2010; 张文兰等, 2011; Wu *et al.*, 2012)。

粤北大宝山矿床是华南地区重要多金属矿床, 其中 Fe、Cu、Pb-Zn、W、Mo 都达到大型规模, 在华南独具特色。大宝山区内发育层状火成岩及燕山期花岗斑岩, 燕山期花岗斑岩和细脉浸染状钼钨矿化紧密共生(刘莎等, 2012), 层状 Fe、Cu、Pb-Zn 矿化和层状火成岩紧密共生(葛朝华和韩发, 1987)。前人对该套层状火成岩做了一系列同位素定年, 但不同作者用不同方法所得的同位素年龄差异很大, 全岩 K-Ar 年龄在 97 ~ 166 Ma 之间(古菊云等, 1984; 刘娟群等, 1985)、Rb-Sr 等时线年龄为 195 ± 11 Ma(蔡锦辉和刘家齐, 1993)、4 个锆石样品常规法 U-Pb 表面年龄在 224.4 ~ 458.3 Ma 之间(葛朝华和韩发, 1987)。由于不同方法所得的年龄差异很大, 获得较大同位素年龄者认为其为海西期海相火山岩(英安岩)(葛朝华和韩发, 1987), 而获得燕山期年龄者则提出其为燕山期陆相次英安斑岩(刘娟群等, 1985; 蔡锦辉和刘家齐, 1993)或陆相火山岩(古菊云等, 1984)。由于该岩石经历了燕山期斑岩成矿作用叠加(Li *et al.*, 2012; 刘莎等, 2012)及发生了较强的蚀变, 加上 K-Ar 同位素体系封闭温度较低, 易受后期地质热事件的影响, 因此, 大宝山区 K-Ar 年龄地质意义不清楚。而锆石常规法表面年龄也有较大误差, 已被更精确的单颗粒锆石 SHRIMP 或 LA-ICP-MS U-Pb 年龄取代。层状火成岩和层状 Fe、Cu、Pb-Zn 矿化具紧密共生关系, 开展其形成时代及形成环境研究, 对今后探讨大宝山矿床的成因和了解华南地区岩浆形成演化及其与成矿关系等都有着重要的意义。

本文系统观察大宝山层状火成岩的显微结构特征, 在厘清其成因属性的基础上, 分析层状火成岩锆石 LA-ICP-MS U-

Pb 年龄及分析其形成动力学背景。

1 粤北大宝山区层状火成岩特征

粤北大宝山矿区层状火成岩主要出露于矿区中部九典岭-大宝山-徐屋及矿区东北侧丘坝一带, 前人称之为“次英安斑岩或英安岩”(图 1)。九典岭-大宝山-徐屋一带与层状 Fe-Cu-Pb-Zn 矿化关系密切火成岩长约 3000 m, 宽 100 ~ 500 m, 为层状, 走向北西, 倾向北东, 倾角 $60^\circ \sim 65^\circ$, 向深部倾角变缓, 和下伏的灰黑色碳质页岩及上部的变凝灰岩、页岩及大理岩产状基本一致(葛朝华和韩发, 1987)(图 2)。大宝山区 7 个钻孔观察及前人资料表明, 大宝山区层状火成岩厚度较大, 达数十至数百米; 多个钻孔观察发现, 层状火成岩中夹有 1 ~ 3 层厚数米的被认为属热水沉积成因的微晶钾长石岩(葛朝华和韩发, 1987)。大宝山-九曲岭一带层状火成岩因受后期斑岩成矿作用的影响, 发生强烈蚀变, 矿区外围丘坝一带火成岩则后期蚀变较弱。

多个钻孔观察发现大宝山燕山期钼钨矿化花岗斑岩与层状火成岩呈侵入接触关系, 在钻孔中普遍见赋浸染状钼矿化斑岩体插入层状火成岩中。野外及显微观察发现, 大宝山及丘坝一带层状火成岩都为似斑状岩石组成, 具斑状结构, 块状构造, 局部发育条带状及流动构造(图 3a)。葛朝华和韩发(1987)也曾提到火成岩具流动构造。

大宝山和丘坝层状火成岩中的斑晶主要为棱角明显的晶屑。大宝山不同钻孔中火成岩晶屑主要为石英、斜长石、钾长石(图 3a, b)。个别样品中见黄铁矿晶屑(图 3a)。丘坝一带火成岩晶屑组成和大宝山的存在一定差异, 见角闪石、黑云母及石英晶屑而无钾长石出现(图 3c), 与大宝山火成岩相比, 岩性相对更基性。大宝山和丘坝火成岩中的斜长石晶一般粒度较细, 多小于 2 mm; 石英晶屑分布最广, 呈聚晶或单晶, 大多同时出现, 石英晶屑粒度变化较大, 绝大部分小于 2 mm, 部分样品晶屑粒度大于 2 mm。葛朝华和韩发(1987)在火成岩中发现岩屑。火成岩基质矿物为粒度极细的石英、钾长石、绢云母及白云母, 少黑云母。大宝山火成岩和丘坝火成岩基质粒度有一定的差异, 大宝山火成岩基质粒度极细, 多为霏细结构, 而丘坝火成岩的基质粒径小于 0.1 mm, 为等粒全晶质结构。

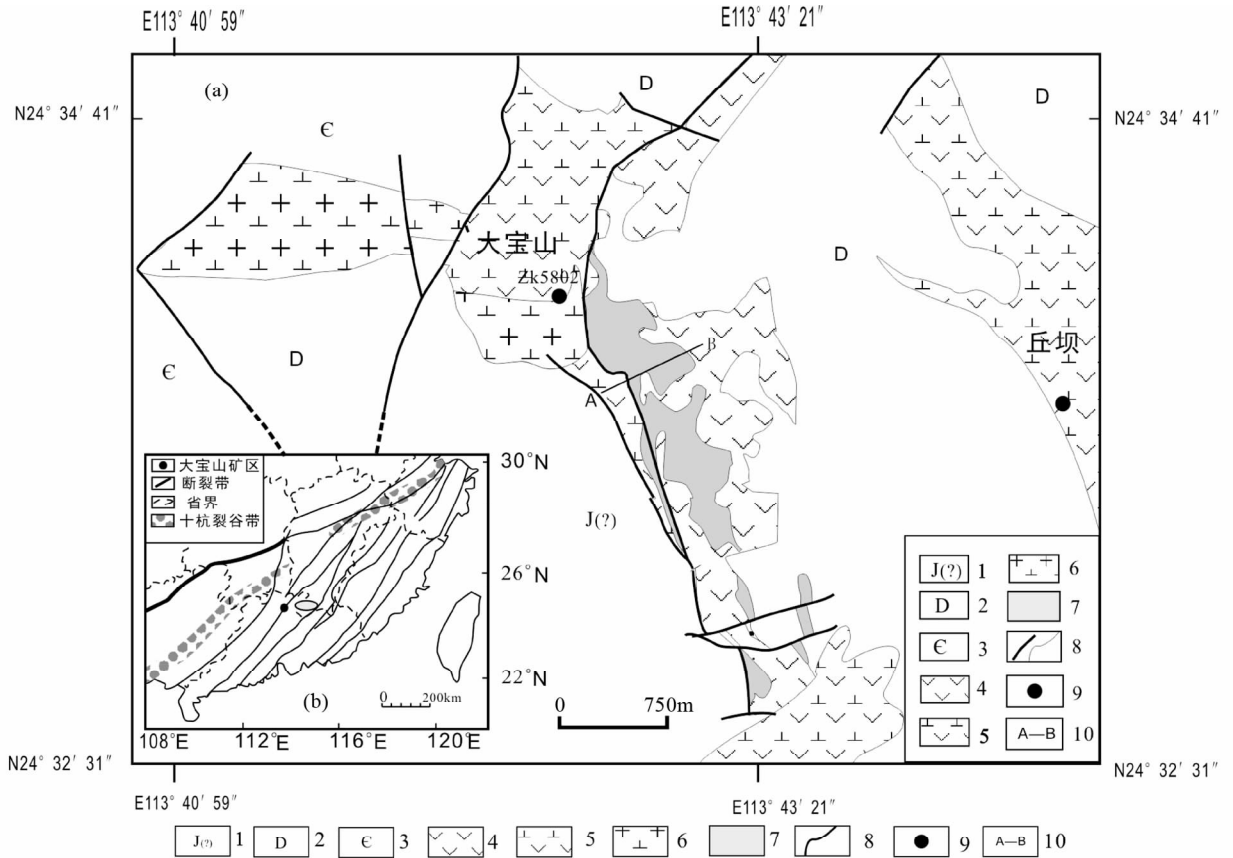


图1 大宝山矿区地质简图(据葛朝华和韩发,1987 修改)

1-下侏罗统金鸡组;2-泥盆系;3-寒武系八村群;4-中基性火山岩;5-层状火成岩;6-花岗岩;7-铁帽;8-断层线;9-观察岩芯及采样位置;10-27号勘探线

Fig.1 Simplified geological map of the Dabaoshan mining area in northern Guangdong Province(modified after Ge and Han, 1987)

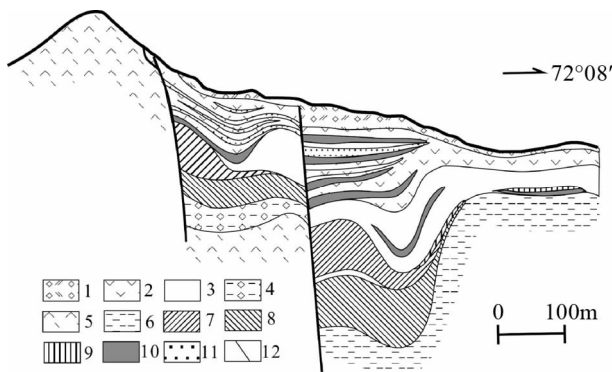


图2 大宝山层状矿化27勘探线剖面图(据葛朝华和韩发,1987 修改)

1-坡积褐铁矿;2-风化中基性火山岩、页岩;3-变凝灰岩、页岩、大理岩;4-硅化凝灰熔岩夹热水沉积岩;5-凝灰熔岩;6-页岩、次硬砂岩;7-铜-磁黄铁矿矿体;8-铜-黄铁矿矿体;9-铅锌矿体;10-黄铁矿;11-菱铁矿层及热液沉积岩;12-断层

Fig.2 Profile along the No.27 exploration line in the Dabaoshan mining area(after Ge and Han, 1987)

大宝山矿区7个钻孔(ZK5002、ZK5802、ZK5804、ZK5805、ZK5809、ZK6001、ZK6601)岩芯观察发现,层状火成岩在成分上具有一定的分带性,上部相含较多斜长石晶屑,而下部则相对较多石英及钾长石晶屑。

2 大宝山矿区层状火成岩成因类型及形成环境

过去多认为层状火成岩为英安岩或英安斑岩(古菊云等,1984;刘娟群等,1985;葛朝华和韩发,1987;汤吉方等,1992;邱世强,1981;杨振强,1997)。该火成岩含大量火山碎屑(主要是晶屑,见到岩屑),层状火成岩产状和下伏碳质页岩及上部变凝灰岩、页岩及大理岩产状一致,具流动构造及层纹状构造。这表明其为火山岩而不是浅成侵入岩,因此,该岩石不应属于浅成的英安斑岩。火成岩中含大量火山碎屑(晶屑),基质为霏细结构(大宝山)或等粒全晶质结构(丘坝),未见玻璃质,因此我们认为其应属于火山碎屑熔岩类。据火山碎屑粒度多小于2mm,我们提出火成岩主体为凝灰熔岩,中夹少量角砾熔岩。

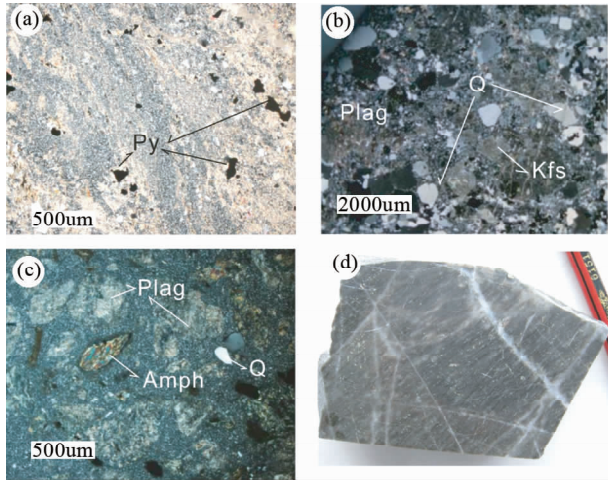


图3 大宝山、丘坝火成岩特征

(a)-大宝山 ZK6601 孔 608m 处具流动构造的流纹熔岩,晶屑主要为石英及黄铁矿;(b)-大宝山 ZK6001 孔 942m 处流纹质角砾熔岩,晶屑为钾长石和石英,基质亦为钾长石和石英;(c)-丘坝岩体(样品位置: N 24°33'51.22", E113°44'51.16")英安质凝灰熔岩中的晶屑主要为斜长石及角闪石,斜长石已绢云母化,角闪石边缘绿泥石化;(d)-具流动构造特征英安质凝灰熔岩,见后期石英脉穿插。Plag-斜长石; Q-石英; Kfs-钾长石; Py-黄铁矿; Amph-角闪石

Fig. 3 Photos showing characteristics of the Dabaoshan and Qiuba igneous rock

根据矿物组成及结构特征,我们认为大宝山火成岩主要为英安质凝灰熔岩、流纹质凝灰熔岩及角砾熔岩(仅见于 ZK6001 孔 926m 及 946m 处);大宝山矿区上部熔岩以流纹英安质及英安质为主,下部更多流纹质。丘坝一带火成岩主要为英安质凝灰熔岩。

凝灰熔岩主要形成于较富气体和有较强爆发性的中酸性熔岩喷发或水下喷发过程。考虑到大宝山矿区熔岩和下伏为碳质页岩整合接触,和上伏页岩及灰岩也整合接触,加上火山岩中夹有具热水沉积特征微晶钾长石岩(葛朝华和韩发,1987),显示水下环境,因此,有理由认为大宝山的凝灰熔岩为水下喷发的产物,形成于海相环境。

3 样品采集及分析方法

为了确定熔岩的形成时代,我们首先通过系统薄片观察,确定层状火成岩主要岩石类型。在确定岩类型的基础上,选取具代表性的主要岩石为型:大宝山新鲜流纹质凝灰熔岩(ZK5802 孔 489m 处岩芯)及丘坝英安质凝灰熔岩(QB-1,位置 N 24°33'51.22", E113°44'51.16")作锆石定年分析。大宝山凝灰熔岩具流动构造特征(图 3d),见其被后期石英小脉穿插。丘坝英安质凝灰熔岩(QB-1)具斑状结构、块状构造,晶屑主要为棱角明显的斜长石及石英(图 3c),基质主

要为石英、斜长石、钾长石等。

分析样品重约 1kg,将样品破碎过筛,经磁选及重液的分选,再经手选。将精选的锆石装入环氧树脂中,然后抛光,用光学显微镜及扫描电子显微镜阴极发光(CL)观察,选出晶形较好、没有裂纹及包裹体不发育的锆石晶体进行测定。锆石的 U-Pb 年龄分析在中国科学院广州地球化学研究所 ICP-MS 实验室完成,分析过程及参数见文献(涂湘林等,2011)。为了减少继承铅、铅丢失等对年龄的影响,在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 图中谐和度低于 90% 的年龄数据点在计算年龄时将被排除。LA-ICP-MS 法速度快,测得的数据点较多,可用累积概率统计图对数据进行处理。在累积概率图上,主群组年龄多沿直线分布,其年龄代表岩体锆石年龄,位于直线上方的被认为继承铅,位于直线下方的多被认为是铅丢失(Allen *et al.*, 2004; Liang *et al.*, 2007)。为了获得更精确的年龄,在计算岩体年龄时,只计算主群组锆石年龄,年龄计算及谐和图的绘制用 Isoplot 软件完成。

4 大宝山及丘坝熔岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分析结果及讨论

4.1 分析结果

大宝山凝灰熔岩及丘坝英安质凝灰熔岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素组成分别见表 1、表 2 及图 4。

4.2 讨论

4.2.1 熔岩形成时代

大宝山及丘坝凝灰熔岩锆石韵律环带发育(图 5),测定锆石 Th/U 比值较大,在 0.30 ~ 0.96 之间(表 1、表 2),均显示岩浆锆石特征,因此,分析的锆石是岩浆结晶作用过程中形成的,其主群锆石 U-Pb 年龄代表岩浆侵位年龄。

大宝山凝灰熔岩共作了 25 颗锆石 U-Pb 同位素组成分析。在大宝山凝灰熔岩 25 个分析点中,一个分析点的点谐和度都 < 90%,在计算年龄时排除,另一个分析点的 U-Pb 年龄很大($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $1133.3 \pm 133.3\text{Ma}$),被视为继承锆石,在计算年龄时排除外,其余 23 个分析点锆石 U-Pb 年龄集中分布在 360.4 ± 8.5 至 $539.4 \pm 9.0\text{Ma}$ 之间。大宝山凝灰熔岩锆石 U-Pb 年龄比较集中,其主群锆石年龄具充分代表性。

用 Isoplot 处理 23 个分析点获得年龄为 $434.2 \pm 14.9\text{Ma}$, MSWD = 15.7。其 MSWD 值很大,表明其中含有不易区分的继承锆石或铅丢失锆石,为了获得更加精确的锆石 U-Pb 年龄,我们用累积概率统计图处理这 23 个锆石年龄。在累积概率统计图上(图 4 内插图),有 18 个数据点呈一条直线分布,而有 2 个较大的及 3 个较小的数据点分别分布在直线的上方及下方,把年龄较大的 2 个点视作继承铅,年龄较小的 3 个点视作铅丢失,其余 18 个点代表的主群锆石,用 Isoplot 处理获得的年龄为 $436.4 \pm 4.1\text{Ma}$, MSWD = 0.94。岩浆岩主群

表 1 粤北大宝山丘垭熔岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测试结果

Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Pb results of Qiuba lava in the Dabaoshan mining area, northern Guangdong Province

测点号	U ($\times 10^{-6}$)	Th U	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\pm 1\text{s. e.}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\pm 1\text{s. e.}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	$\pm 1\text{s. e.}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$ (Ma)	$\pm 1\text{s. e.}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ (Ma)	$\pm 1\text{s. e.}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$ (Ma)	$\pm 1\text{s. e.}$	Concordance
QB-1-01	265	0.53	0.48279	0.02511	0.06785	0.00099	0.02081	0.00074	400.0	17.2	423.2	6.0	416.2	14.6	94%
QB-1-02	245	0.41	0.48524	0.02274	0.06899	0.00105	0.02274	0.00090	401.7	15.5	430.1	6.4	454.5	17.9	93%
QB-1-03	269	0.47	0.50458	0.02419	0.06889	0.00101	0.02000	0.00089	414.8	16.3	429.4	6.1	400.2	17.6	96%
QB-1-04	340	0.55	0.49767	0.02364	0.06852	0.00106	0.02111	0.00080	410.1	16.0	427.2	6.4	422.3	15.7	95%
QB-1-05	280	0.48	0.46209	0.02389	0.06715	0.00103	0.02208	0.00093	385.7	16.6	419.0	6.2	441.5	18.4	91%
QB-1-06	578	0.88	0.46421	0.02190	0.06520	0.00091	0.02076	0.00077	387.2	15.2	407.2	5.5	415.3	15.2	94%
QB-1-07	532	0.72	0.45886	0.02035	0.06705	0.00096	0.02131	0.00076	383.5	14.2	418.3	5.8	426.2	15.0	91%
QB-1-08	443	0.74	0.47986	0.02223	0.06654	0.00089	0.02136	0.00071	398.0	15.3	415.3	5.4	427.2	14.0	95%
QB-1-09	356	0.62	0.46667	0.02248	0.06769	0.00095	0.02063	0.00074	388.9	15.6	422.2	5.8	412.7	14.6	91%
QB-1-10	341	0.77	0.49501	0.02483	0.06600	0.00088	0.02158	0.00072	408.3	16.9	412.0	5.3	431.6	14.2	99%
QB-1-11	646	0.68	0.51707	0.02298	0.07140	0.00096	0.02134	0.00067	423.2	15.4	444.6	5.8	426.8	13.3	95%
QB-1-12	286	0.55	0.50938	0.02577	0.06890	0.00102	0.02138	0.00078	418.0	17.3	429.5	6.1	427.6	15.4	97%
QB-1-13	298	0.31	0.60870	0.03145	0.08063	0.00129	0.02999	0.00135	482.7	19.9	499.9	7.7	597.2	26.4	96%
QB-1-14	735	0.62	0.51518	0.02297	0.07144	0.00090	0.02026	0.00068	421.9	15.4	444.8	5.4	405.5	13.4	94%
QB-1-15	417	0.49	0.52153	0.02646	0.07131	0.00112	0.02223	0.00087	426.2	17.7	444.1	6.7	444.3	17.2	95%
QB-1-16	355	0.78	0.52130	0.02949	0.06970	0.00105	0.02039	0.00084	426.0	19.7	434.4	6.3	408.1	16.6	98%
QB-1-17	507	0.52	0.51641	0.02503	0.07084	0.00106	0.02010	0.00075	422.7	16.8	441.2	6.4	402.3	14.9	95%
QB-1-18	357	0.48	0.48721	0.02226	0.06851	0.00089	0.02032	0.00074	403.0	15.2	427.2	5.4	406.7	14.7	94%
QB-1-19	569	0.42	0.48816	0.02087	0.07073	0.00095	0.02033	0.00074	403.7	14.2	440.5	5.7	406.9	14.6	91%
QB-1-20	308	0.47	0.51038	0.02724	0.06854	0.00108	0.01916	0.00074	418.7	18.3	427.3	6.5	383.7	14.7	97%
QB-1-21	321	0.58	0.47679	0.02516	0.07013	0.00101	0.02049	0.00083	395.9	17.3	437.0	6.1	409.9	16.4	90%
QB-1-22	823	0.05	4.36133	0.16257	0.29159	0.00331	0.07150	0.00289	1705.0	30.8	1710.2	75.0	1710.2	75.0	96%
QB-1-23	345	0.62	0.45049	0.02102	0.06670	0.00100	0.01914	0.00079	377.6	14.7	416.2	6.0	383.2	15.7	90%
QB-1-24	264	0.82	0.49055	0.02759	0.07173	0.00121	0.02072	0.00092	405.3	18.8	446.6	7.2	414.6	18.3	90%
QB-1-25	464	0.68	0.41429	0.01885	0.06849	0.00105	0.01830	0.00081	352.0	13.5	427.1	6.3	366.5	16.1	80% (排除)

注：U-Pb 年龄超过 1000Ma 的采用 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{Pb}$ 年龄

表 2 粤北大宝山熔岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测试结果

Table 2 Zircon LA-ICP-MS U-Pb results of the Dabaoshan lava in northern Guangdong Province

测点号	U ($\times 10^{-6}$)	Th U	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$ $\pm 1\text{ s. e.}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ $\pm 1\text{ s. e.}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$ $\pm 1\text{ s. e.}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$ (Ma) $\pm 1\text{ s. e.}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ (Ma) $\pm 1\text{ s. e.}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$ (Ma) $\pm 1\text{ s. e.}$	Concordance						
5802-489-01	221	0.61	0.56988	0.04931	0.06932	0.00142	0.02208	0.00097	457.9	31.9	432.0	8.6	441.4	19.1	94%
5802-489-02	265	0.57	0.52838	0.04309	0.07043	0.00160	0.02283	0.00104	430.7	28.6	438.7	9.6	456.3	20.5	98%
5802-489-03	353	0.59	0.51290	0.03230	0.07024	0.00117	0.02128	0.00085	420.4	21.7	437.6	7.1	425.6	16.8	95%
5802-489-04	339	0.40	0.55702	0.03520	0.07039	0.00106	0.02225	0.00101	449.6	23.0	438.5	6.4	444.7	20.0	97%
5802-489-05	337	0.73	0.56968	0.04015	0.07142	0.00133	0.02190	0.00096	457.8	26.0	444.7	8.0	437.8	18.9	97%
5802-489-06	120	0.59	0.49783	0.06052	0.06053	0.00167	0.02093	0.00150	410.2	41.1	378.9	10.1	418.6	29.7	92%
5802-489-07	374	0.42	0.48085	0.02869	0.06973	0.00124	0.02158	0.00124	398.7	19.7	434.5	7.5	431.6	24.5	91%
5802-489-08	304	0.52	0.57018	0.03935	0.07208	0.00144	0.01945	0.00113	458.1	25.4	448.6	8.6	389.4	22.3	97%
5802-489-09	483	0.96	0.43740	0.02930	0.06472	0.00111	0.01822	0.00117	368.4	20.7	404.2	6.7	365.0	23.1	90%
5802-489-10	220	0.80	0.48692	0.04652	0.07190	0.00161	0.02113	0.00140	402.8	31.8	447.6	9.7	422.5	27.7	89% (排除)
5802-489-11	148	0.69	2.01637	0.13223	0.19601	0.00346	0.05823	0.00332	1121.0	44.5	1033.3	133.3	1144.0	63.3	97%
5802-489-12	387	0.97	0.50712	0.03346	0.06745	0.00151	0.02163	0.00121	416.5	22.5	420.8	9.1	432.5	24.0	98%
5802-489-13	362	0.79	0.52235	0.03378	0.06956	0.00137	0.02107	0.00113	426.7	22.5	433.5	8.2	421.5	22.4	98%
5802-489-14	188	0.70	0.50393	0.04561	0.07177	0.00184	0.02331	0.00151	414.4	30.8	446.8	11.1	465.6	29.9	92%
5802-489-15	288	0.30	0.66022	0.06526	0.07629	0.00219	0.04539	0.00425	514.7	39.9	474.0	13.1	897.2	82.1	91%
5802-489-16	154	0.52	0.58270	0.05985	0.07081	0.00193	0.02366	0.00175	466.2	38.4	441.0	11.6	472.7	34.5	94%
5802-489-17	442	0.52	0.52514	0.03823	0.06909	0.00119	0.02270	0.00127	428.6	25.5	430.6	7.2	453.7	25.0	99%
5802-489-18	540	0.36	0.53446	0.03233	0.07195	0.00123	0.02358	0.00111	434.8	21.4	447.9	7.4	471.1	22.0	97%
5802-489-19	148	0.45	0.51478	0.04994	0.06990	0.00158	0.02005	0.00146	421.7	33.5	435.6	9.5	401.2	28.9	96%
5802-489-20	92	0.68	0.51559	0.06288	0.06979	0.00203	0.02049	0.00157	422.2	42.2	434.9	12.2	409.9	31.0	97%
5802-489-21	407	0.43	0.66955	0.04295	0.09066	0.00152	0.02982	0.00135	520.4	26.1	559.4	9.0	593.8	26.6	92%
5802-489-22	277	0.72	0.48680	0.04140	0.06929	0.00145	0.02057	0.00098	402.7	28.3	431.9	8.7	411.6	19.4	93%
5802-489-23	240	0.62	0.52587	0.04373	0.06905	0.00142	0.02179	0.00118	429.1	29.1	430.4	8.6	435.8	23.4	99%
5802-489-24	309	0.69	0.46371	0.03652	0.06686	0.00149	0.01986	0.00107	386.8	25.3	417.2	9.0	397.5	21.1	92%
5802-489-25	355	0.30	0.41546	0.03505	0.05750	0.00139	0.01927	0.00129	352.8	25.1	360.4	8.5	385.8	25.6	97%

注: U-Pb 年龄超过 1000Ma 的采用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄

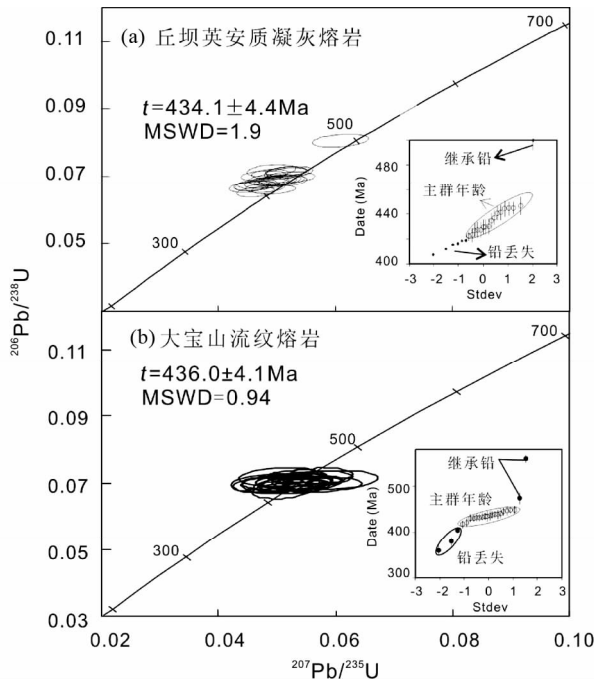


图4 粤北丘坝英安质熔岩(a)及大宝山(b)凝灰熔岩锆石 U-Pb 年龄谐和图
内插为累积概率统计图

Fig. 4 Concordia plots showing the zircon U-Pb analyses of the Qiuba dacitic lava (a) and the Dabaoshan tuff lava (b) in north Guangdong Province

The insets are probability plots

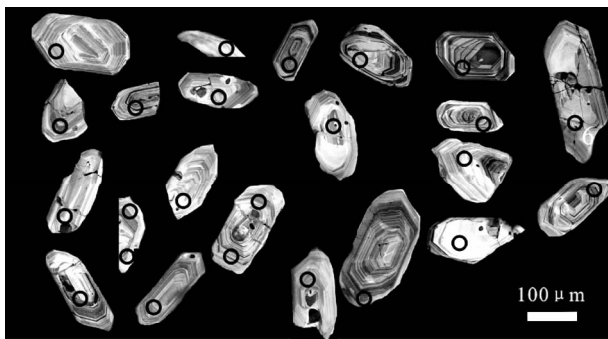


图5 大宝山流纹熔岩锆石阴极发光图

锆石颗粒中圆圈为分析点

Fig. 5 Cathodoluminescence (CL) images of zircons from the Dabaoshan rhyolitic lava

The circle on the zircon grains represents the analyzed point

锆石 U-Pb 年龄代表岩浆结晶的年龄 (Harris *et al.*, 2004; Liang *et al.*, 2007), 因此, 大宝山凝灰熔岩形成时代为 436.4 ± 4.1 Ma。

丘坝英安质凝灰熔岩共作了 25 颗锆石的 U-Pb 同位素组成分析, 一个分析点的谐和度 $< 90\%$, 在计算年龄时排除, 另一个分析点的 U-Pb 年龄很大, 其 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为

1710.2 ± 75.0 Ma, 该分析点锆石被视为继承锆石, 在计算年龄时排除。其余 23 个分析点锆石 U-Pb 年龄集中于 $407.2 \sim 499.9$ Ma 之间。丘坝英安质凝灰熔岩锆石 U-Pb 年龄也比较集中, 其主群锆石年龄也具充分代表性。

Isoplot 处理 23 个分析点获得年龄为 430.1 ± 7.1 Ma, MSWD = 7.5。其 MSWD 值较大, 表明其中含有不易区分的继承锆石或铅丢失锆石 (Liang *et al.*, 2006), 为了获得更加精确的锆石 U-Pb 年龄, 我们用累积概率统计图处理这 23 个点锆石年龄。在累积概率统计图上 (图 4a 内插图), 丘坝凝灰熔岩年龄较大的 1 个点及年龄较小的 6 个点和其它 16 个点不在一条直线上分布, 把年龄最大的 1 个点视作继承铅, 年龄较小的 6 个点视作铅丢失, 其余 16 个点代表的主群锆石, 用 Isoplot 处理获得的 U-Pb 年龄为 434.1 ± 4.4 Ma, MSWD = 1.9。因此, 丘坝凝灰熔岩形成时代 434.1 ± 4.4 Ma。

大宝山凝灰熔岩形成时代 (436.4 ± 4.1 Ma) 和丘坝英安质凝灰熔岩形成时代 (434.1 ± 4.4 Ma) 在误差围内基本一致, 是加里东期形成的海相火山熔岩。

4.2.2 华南加里东期火山作用及动力学背景

据钻孔观察大宝山矿区火山熔岩厚达数百米, 钻孔中见火山岩夹有最多三层具热水沉积特征厚达数米的微晶钾长石岩 (葛朝华和韩发, 1987), 据此推断粤北大宝山一带加里东期海相火山熔岩是多幕火山作用形成的, 粤北大宝山矿区在加里东期发生了多幕海相火山活动。近年来巫建华等 (2012) 在粤北-江西交界地区司前-南迳一带识别出一套加里东期火山岩, 其锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 (443.6 ± 5.0 Ma), 略大于大宝山一带海相火山熔岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄 ($434 \sim 436$ Ma)。因此, 华南地区粤北-江西一带在加里东期发生至少发生了两期火山作用。

华南加里东期花岗岩较发育, 出露岩体多达 100 多个, 总面积约 22000km^2 (Zhu *et al.*, 2009; Faure *et al.*, 2009; Charvet *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2013; 赵芝等, 2012), 占华南花岗岩总面积的 13% (赵芝等, 2012), 活动时代主要集中在 $420 \sim 460$ Ma 之间 (Wang *et al.*, 2013)。大宝山凝灰熔岩形成时代在 $434 \sim 437$ Ma 之间, 和花岗岩活动时代基本一致。

过去一般认为华南加里东期花岗岩形成于较封闭的非伸展环境, 没发育同期火山岩和超浅成侵入体 (舒良树, 2006; 周新民, 2003) 及相关的火山块状硫化物矿床 (舒良树, 2006)。华南在加里东期岩浆形成于较封闭的非伸展环境, 那么为什么在粤北大宝山及司前一带发生火山活动? 大宝山一带火山熔岩下伏碳质页岩, 上部见灰岩, 显示海相环境, 这表明粤北一带在晚奥陶至早志留纪存在古残留洋。大宝山矿区一带火山岩位于吴川-四会深大断裂带, 该深大断裂形成于加里东期, 深达上地幔, 沿断裂带发育众多地幔物质混染的岩体, 挤压破碎带、以糜棱岩为中心的热变质带并伴随着强烈的岩浆侵入活动 (广东省地质矿产局, 1988)。形成于挤压背景的深大断裂活动, 可在局部区域产生伸展环境, 诱

发火山作用及浅成超浅成侵入岩浆活动,如藏东地区新生代钾质碱性岩及玉龙斑岩铜矿带(Leloup *et al.*, 1995; Zhang and Schärer, 1999; Wang *et al.*, 2001; Liang *et al.*, 2007, 2008)。因此,我们认为粤北地区加里东期火山活动可能和穿过粤北晚奥陶至早志留纪存在古残留洋的吴川-四会深大断裂活动,诱发的岩浆活动有关。

4.2.3 地质意义

过去多认为大宝山矿床的赋矿地层为泥盆系地层,矿层底部碳质页岩为侏罗系地层,赋矿泥盆系地层被推覆至侏罗系碳质泥岩之上。但区内未见较大规模的推覆构造(葛朝华和韩发,1987),很难想象仅在大宝山矿区发生了数百数厚熔岩被推覆至侏罗系碳质泥岩之上,而在区内则未见有关的构造痕迹。

我们获得的最新同位素年龄表明,赋矿围岩为志留纪海底火山碎屑熔岩,熔岩和下伏碳质泥岩整合接触,熔岩上部矿化层中也含有薄层碳质页岩(葛朝华和朝发,1987)。火山碎屑熔岩可视为地层的一部分,因此,我们认为大宝山矿区的赋矿地层应为志留系而不是泥盆系。下伏碳质泥岩中缺失孢粉,显示碳质泥岩不是中生代地层(葛朝华和韩发,1987),也为碳质泥岩属古生代地层提供了佐证。火山碎屑熔岩下伏的灰黑色碳质页岩和粤西肇庆一带发现下志留统连滩组深灰黑色页岩(广东省地质矿产局,1988)相似,而和粤北韶关地区泥盆系地层的碎屑岩及碳酸盐岩明显(广东省地质矿产局,1988)不同,这也表明赋矿地层更可能是志留系地层。

广东过去仅在粤西肇庆一带发现了志留系碳质页岩(广东省地质矿产局,1988),我们的初步工作表明在粤北地区大宝山矿区一带也可能发育志留系碳质页岩,广东地区志留系地层分布范围远比原来认识到的更为广阔。大宝山一带加里东期海相火山岩的发现,显示粤北一带在志留纪早期存在古残留洋。过去已有不少学者提出大宝山区层状 Fe-Cu-Pb-Zn 矿床为海西期海底喷流沉积成因(葛朝华和韩发,1987;邱世强,1981;杨振强,1997;Gu *et al.*, 2007)。我们的研究结果表明,大宝山区层状火成岩是加里东期海相火山熔岩。考虑到大宝山区层状 Fe-Cu-Pb-Zn 矿体位于加里东期火山熔岩的上部,矿层与下伏火山熔岩产状完全一致,与围岩同步褶曲(葛朝华和韩发,1987),显示矿化与下伏熔岩有一定的联系,因此,初步推测位于加里东期海相火山熔岩上部层状 Fe-Cu-Pb-Zn 矿床与加里东期海底火山火动有关,为海底火山块状硫化物矿床。

5 结论

通过上述分析,我们得出下列认识:

(1)粤北大宝山矿区一带层状火成岩含大量火山碎屑,为火山碎屑熔岩类,主要为流纹质及英安质凝灰熔岩及少量角砾熔岩,大宝山矿区熔岩与下伏为碳质页岩及上部页岩夹

灰岩整合接触,形成于海相环境。

(2)粤北大宝山一带凝灰熔岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 434 ~ 436Ma,是加里东期形成的海相火山熔岩,华南粤北一带加里东期至少发生了两期次多幕火山活动,火山活动可能和吴川-四会深大断裂活动有关;粤北大宝山区层状 Fe-Cu-Pb-Zn 矿化可能和加里东期海底火山作用有关。

References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Guangdong Province. 1988. Regional Geology of Guangdong Province. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 360 (in Chinese)
- Cai JH and Liu JQ. 1993. The rock forming age of the Dabaoshan polymetallic ore magmatic rocks in northern 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)
- Charvet J, Shu LS and Faure M. 2010. Structural development of the Lower Paleozoic belt of South China: Genesis of an intracontinental orogen. J. Asian Earth Sci., 39(4): 309 - 330
- Chen YC, Pei RF, Zhang HL *et al.* 1989. Geology of Nonferrous and Rare Metal Ore Deposits Related to Mesozoic Granitoids in Nanling Region. Beijing: Geological Publishing House, 1 - 125 (in Chinese)
- Department of Geology Nanjing University. 1981. Southern China Granitoids of Different Ages and Their Relations with Mineralization. Beijing: Science Press, 1 - 230 (in Chinese)
- Faure M, Shu LS and Wang B. 2009. Intracontinental subduction: A possible mechanism for the Early Paleozoic orogen of SE China. Terra Nova, 21(5): 360 - 368
- Ge ZH and Han F. 1987. Geological and Geochemical Features of Exhalative-Sedimentary Mineralization of the Dabaoshan Deposit in Guangdong Province. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1 - 111 (in Chinese)
- Gu JY, Wu QY and Liao XP. 1984. Preliminary study of Dabaoshan subvolcano-volcano activity and genesis of ore deposit. Geology and Prospecting, 19(3): 10 - 15 (in Chinese)
- Gu LX, Zaw K, Hu WX, Zhang KJ, Ni P, He JX, Xu YT, Lu JJ and Lin CM. 2007. Distinctive features of Late Paleozoic massive sulphide deposits in South China. Ore Geol. Rev., 31(1 - 4): 107 - 138
- Harris AC, Allen CM and Bryan SC. 2004. ELA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of regional volcanism hosting the Bajo de la Alumbrera Cu-Au deposit: Implications for porphyry-related mineralization. Mineralium Deposita, 39(1): 46 - 67
- He ZY, Xu XS and Niu YL. 2010. Petrogenesis and tectonic significance of a Mesozoic granite-syenite-gabbro association from inland South China. Lithos, 119(3 - 4): 621 - 641
- Hu RZ, Bi XW, Zhou MF, Deng JT, Su WC, Liu S and Qi HW. 2008. Uranium metallogenesis in South China and its relationship to crustal extension during the Cretaceous to Tertiary. Econ. Geol., 103(3): 583 - 598
- Hua RM, Chen PR, Zhang WL, Liu XD, Lu JJ, Lin JF, Yao JM and Qi HW. 2003. Metallogenic systems related to Mesozoic and Cenozoic granitoids in South China. Science China (Series D), 46(8): 816 - 829
- Hua RM, Chen PM, Zhang WL, Yao JM, Lin JF, Zhang ZS and Gu CY. 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)

- Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences. 1979. Southern China Granitoid Geochemistry. Beijing: Science Press (in Chinese)
- Large RR. 1992. Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits: Features, styles, and genetic models. *Econ. Geol.*, 87(3): 471 – 510
- Leloup PH, Lacassin R and Tapponnier P. 1995. The Ailao Shan-Red River shear zone (Yunnan, China): Tertiary transform boundary of Indochina. *Tectonophysics*, 251(1–4): 3–84
- Li CY, Zhang H, Wang FY, Liu JQ, Sun YL, Hao XL, Li YL and Sun WD. 2012. The formation of the Dabaoshan porphyry molybdenum deposit induced by slab rollback. *Lithos*, 150: 101–110
- Li XH, Li WX and Li ZX. 2007. Genetic types and tectonic significance of the Early Yanshan granites in the Nanling. *Chinese Science Bulletin*, 52(9): 981–991 (in Chinese)
- Li XH, Li WX, Wang XC, Li QL, Liu Y and Tang GQ. 2009a. Role of mantle-derived magma in genesis of Early Yanshanian granites in the Nanling Range, South China; In situ zircon Hf-O isotopic constraints. *Science China (Series D)*, 52(9): 1262–1278
- Li ZX and Li XH. 2007. Formation of the 1300km-wide intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat-slab subduction model. *Geology*, 35(2): 179–182
- Li ZX, Li XH and Wartho JA. 2009b. Magmatic and metamorphic events during the Early Paleozoic Wuyi-Yunkai Orogeny, southeastern South China; New age constraints and *P-T* conditions. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 122: 772–793
- Liang HY, Campbell IH, Allen CM, Sun WD, Liu CQ, Yu HX, Xie YW and Zhang YQ. 2006. Zircon Ce^{4+}/Ce^{3+} ratios and ages for Yulong ore-bearing porphyries in eastern Tibet. *Mineralium Deposita*, 41(2): 152–159
- Liang HY, Campbell IH, Allen CM, Sun WD, Yu HX, Xie YW and Zhang YQ. 2007. The age of the potassic alkaline igneous rocks along the Ailao Shan-Red River shear zone; Implications for the onset age of left-lateral shearing. *J. Geol.*, 115(2): 231–242
- Liang HY, Campbell IH, Allen CA, Sun WD, Xie YW and Zhang YQ. 2008. The Age of the potassic alkaline igneous rocks along the Ailao Shan-Red River shear zone; Implications for the onset age of left-lateral shearing; A reply. *J. Geol.*, 116(2): 205–207
- 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*, 19(1): 47–60 (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. *Tectonics and Metallogeny*, 36(3): 440–449 (in Chinese with English abstract)
- 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)
- Mo ZS, Ye BD and Pan WZ. 1980. Nanling Granite Geology. Beijing: Geological Publishing House, 1–236 (in Chinese)
- Qiu SQ. 1981. A preliminary study on the genesis of the Dabaoshan stratiform polymetallic deposit. *Geological Review*, 27(4): 330–340 (in Chinese with English abstract)
- Shu LS. 2006. Predevonian tectonic evolution of South China from Cathaysian Block to Caledonian Period folded orogenic belt. *Geological Journal of China Universities*, 12(4): 418–431 (in Chinese with English abstract)
- Sun T. 2006. A new map showing the distribution of granites in South China and its explanatory notes. *Geological Bulletin of China*, 25(3): 332–335 (in Chinese)
- Sun WD, Ling MX, Yang XY, Fan WM, Ding X and Liang HY. 2010. Ridge subduction and porphyry copper-gold mineralization; An overview. *Sci. China (Earth Sci.)*, 53(4): 475–484
- Sun WD, Liang HY, Ling MX, Zhan MZ, Ding X, Zhang H, Yang XY, Li YL, Ireland TR, Wei QR and Fan WM. 2013. The link between reduced porphyry copper deposits and oxidized magmas. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 103: 263–275
- Tang JF, Liu JQ and Fu TA. 1992. The tectonic metallogenic conditions, multi metal deposit in Baoshan and its surrounding areas of North Guangdong rock and ore controlling regularity and prediction of hidden ore deposits. In: *Geology and Mineral Resources of Nanling (Third)*. Beijing: Geological Publishing House, 1–160 (in Chinese)
- Tu XL, Zhang H, Deng WF, Ling MX, Liang HY, Liu Y and Sun WD. 2001. Application of RESOLUTION in-situ laser ablation ICP-MS in trace element analyses. *Geochimica*, 40(1): 83–98 (in Chinese with English abstract)
- Wang DH, Chen YC, Li HQ, Chen ZH, Yu JJ, Lu YF and Li JY. 2003. Geological and geochemical features of the Furong tin deposit in Hunan and their significance for mineral prospecting. *Geological Bulletin of China*, 22(1): 50–56 (in Chinese with English abstract)
- Wang JH, Yin A, Harrison TM, Grove M, Zhang YQ and Xie GH. 2001. A tectonic model for Cenozoic igneous activities in the eastern Indo-Asian collision zone. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 188(1–2): 123–133
- Wang YJ, Fan WM, Liang XQ, Peng TP and Shi YR. 2005. SHRIMP zircon U-Pb geochronology of Indosinian granites in Hunan Province and its petrogenetic implications. *Chin. Sci. Bull.*, 50(13): 1395–1403
- Wang YJ, Fan WM, Zhang GW and Zhang YH. 2013. Phanerozoic tectonics of the South China Block: Key observations and controversies. *Gondwana Res.*, 23(4): 1273–1305
- Wu J, Liang HY, Lou F, Zhang XH and Hu GQ. 2010. Result of applying routine secondary halo method to tungsten-molybdenum prospecting work in Yuntoujie area of Ziyuan County, Guangxi, and its significance. *Mineral Deposits*, 29(2): 301–307 (in Chinese with English abstract)
- Wu J, Liang HY, Huang WT, Wang CL, Sun WD, Sun YL, Li J, Mo JH and Wang XZ. 2012. Indosinian isotope ages of plutons and deposits in southwestern Miaoershan-Yuechengling, northeastern Guangxi and implications on Indosinian mineralization in South China. *Chin. Sci. Bull.*, 57(9): 1024–1035
- Wu JH, Xiang YX, Huang GR, Liu XD and Liu S. 2012. Caledonian zircon SHRIMP U-Pb age of porphyroclastic lava in northern Guangdong Province and its geological significance. *Geological Journal of China Universities*, 18(4): 601–608 (in Chinese with English abstract)
- Xu XS, Deng P, O'Reilly SY, Griffin WL, Zhou XM and Tan ZZ. 2003. Single zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of Guidong complex (SE China) and its petrogenetic significance. *Chinese Science Bulletin*, 48(17): 1328–1334 (in Chinese)
- Yang F, Li XF, Feng ZH and Bai YP. 2009. $^{40}Ar/^{39}Ar$ Dating of muscovite from greisenized granite and geological significance in Limu tin deposit. *Journal of Guilin University of Technology*, 29(1): 20–24 (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): 7–27 (in Chinese with English abstract)
- Zhang LS and Scharer U. 1999. Age and origin of magmatism along the Cenozoic Red River shear belt, China. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 134(1): 67–85
- Zhang WL, Wang RC, Lei ZH, Hua RM, Zhu JC, Lu JJ and Xie L. 2011. Caledonian granite with scheelite aplitedikes found in Penggongmiao, southern Hunan. *Chin. Sci. Bull.*, 56(18): 1448–1454 (in Chinese)
- Zhao Z, Chen ZY, Chen ZH, Hou KJ, Zhao Z, Xu JX, Zhang JJ and Zeng ZL. 2012. Zircon U-Pb dating, tectonic setting and ore-bearing propertiese valuation of the Caledonian Yangbu Pluton in South Jiangxi. *Rock and Mineral Analysis*, 31(3): 530–535 (in Chinese with English abstract)
- Zhou XM. 2003. My thinking about granite geneses of South China. *Geological Journal of China Universities*, 9(4): 556–565 (in Chinese with English abstract)

- Zhou XM. 2007. Late Mesozoic Granitoids in Nanling Region and Lithospheric Dynamics. Beijing: Science Press, 1 - 691 (in Chinese)
- Zhu JC, Wang RC, Zhang PH, Xie CF, Zhang WL, Zhao KD, Xie L, Yang C, Che XD, Yu AP and Wang LB. 2009. Zircon U-Pb geochronological framework of Qitanling granite batholith, middle part of Nanling Range, South China. *Science China (Series D)* 52 (9): 1279 - 1294
- Zhu WG, Zhong H, Li XH, He DF, Song XY, Ren T, Chen ZQ, Sun HS and Liao JQ. 2010. The Early Jurassic mafic-ultramafic intrusion and A-type granite from northeastern Guangdong, SE China: Age, origin, and tectonic significance. *Lithos*, 119(3-4): 313 - 329
- ### 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
- 陈毓川, 裴荣富, 张宏良. 1989. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的花岗岩及稀有金属矿床地质. 北京: 地质出版社, 1 - 125
- 南京大学地质系. 1981. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系. 北京: 科学出版社, 1 - 230
- 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: 北京科技出版社, 1 - 111
- 古菊云, 吴琼英, 廖雪苹. 1984. 大宝山大陆次火山-火山活动和矿床成因的初步研究工作. *地质与勘探*, 19(3): 10 - 15
- 广东省地质矿产局. 1988. 广东省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1 - 360
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 刘晓东, 陆建军, 林锦富, 姚军明, 戚华文. 2003. 华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统. *中国科学(D辑)*, 33(4): 335 - 343
- 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 姚军明, 林锦富, 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
- 中国科学院地球化学研究所. 1979. 华南花岗岩类地球化学. 北京: 科学出版社
- 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
- 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*, 19(1): 47 - 60
- 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
- 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
- 莫柱荪, 叶伯丹, 潘维祖. 1980. 南岭花岗岩地质学. 北京: 地质出版社, 1 - 236
- 邱世强. 1981. 关于大宝山区层状多金属矿床成因的初步探讨地质论评. *地质论评*, 27(4): 330 - 340
- 舒良树. 2006. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东期造山带. *高校地质学报*, 12(4): 418 - 431
- 孙涛. 2006. 新编华南花岗岩分布图及其说明. *地质通报*, 25(3): 332 - 335
- 汤吉方, 刘家齐, 傅太安. 1992. 粤北大宝山及其外围地区多金属矿床成矿条件、构造控岩控矿规律及隐伏矿床预测. 见: 南岭地质矿产文集第三辑. 北京: 地质出版社, 1 - 160
- 涂湘林, 张红, 邓文峰, 凌明星, 梁华英, 刘颖, 孙卫东. 2011. RESolution 激光剥蚀系统在微量元素原位微区分析中的应用. *地球化学*, 40(1): 83 - 98
- 王登红, 陈毓川, 李华芹, 陈正宏, 余金杰, 路远发, 李奇岬. 2003. 湖南芙蓉锡矿的地质地球化学特征及找矿意义. *地质通报*, 22(1): 50 - 56
- 王岳军, 范蔚茗, 梁新权等. 2005. 湖南印支期花岗岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其成因启示. *科学通报*, 50(12): 1259 - 1265
- 伍静, 梁华英, 姜峰, 张献河, 胡光黔. 2010. 常规次生晕法在广西资源县云头界钨钼矿找矿中的成果及意义. *矿床地质*, 29(2): 301 - 307
- 巫建华, 项媛馨, 黄国荣, 刘晓东, 刘帅. 2012. 广东北部碎斑熔岩加里东期锆石 SHRIMP 年龄的首获及其地质意义. *高校地质学报*, 18(4): 601 - 608
- 徐夕生, 邓平, O'Reilly SY, Griffin WL, 周新民, 谭正中. 2003. 华南贵东杂岩体单颗粒锆石激光探针 ICP-MS U-Pb 定年及其成矿意义. *科学通报*, 48(17): 1328 - 1334
- 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): 20 - 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. *华南矿产与地质*, (1): 7 - 27
- 张文兰, 王汝成, 雷泽恒, 华仁民, 朱金初, 路建军, 谢磊, 车旭东. 2011. 湘南彭公庙加里东期含白钨矿细晶岩脉的发现. *科学通报*, 56(18): 1448 - 1454
- 赵芝, 陈振宇, 陈郑辉, 侯可军, 赵正, 徐建祥, 张家菁, 曾载淋. 2012. 赣南加里东期阳埠(垵子下)岩体的锆石年龄、构造背景及含矿性评价. *岩矿测试*, 31(3): 530 - 535
- 周新民. 2003. 对华南花岗岩研究的若干思考. *高校地质学报*, 9(4): 556 - 565
- 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