

赣南龙南地区余田群玄武岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

项媛馨, 巫建华

XIANG Yuan-xin, WU Jian-hua

东华理工大学核资源与环境省部共建国家重点实验室培育基地, 江西 南昌 330013/ 东华理工大学地球科学学院, 江西 抚州 344000

State Key Laboratory Breeding Base of Nuclear Resources and Environment, East China Institute of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China/ School of Earth Science, East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, Jiangxi, China

摘要: 江西南部余田群由双峰式火山岩组成, 分布在近 EW 向展布的三南—寻乌断裂带的临江、东坑、白面石、葛蒲等火山盆地之中。SHRIMP 锆石 U-Pb 定年结果显示: 东坑盆地余田群最下部玄武岩的年龄为 $194.4\text{Ma} \pm 2.0\text{Ma}$, 葛蒲盆地余田群最上部玄武岩的年龄为 $191.9\text{Ma} \pm 2.2\text{Ma}$ 。这 2 个年龄结果, 一方面指示余田群的地质时代属早侏罗世早期, 另一方面说明玄武岩和长英质火山岩的年龄一致, 且与剖面层序吻合, 属典型的双峰式火山岩组合。余田群双峰式火山岩地质时代的厘定, 为江西南部早侏罗世早期处于拉张构造环境提供了年代学证据。同时, 葛蒲盆地玄武岩中存在 2571~2225Ma 残留锆石或捕获锆石, 为江西南部可能存在新太古代晚期—古元古代的基底提供了旁证。

关键词: 双峰式火山岩; SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄; 早侏罗世早期; 江西南部

中图分类号: P597⁺.3; P588.14⁺5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2012)05-0716-10

Xiang Y X, Wu J H. SHRIMP zircon U-Pb age of Yutian Group basalts in Longnan area of southern Jiangxi Province and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(5):716-725

Abstract: The bimodal volcanic rocks of Yutian Group are located in Longnan, Baimianshi and Changpu basins along the EW-trending Sannan-Xunwu fault belt in southern Jiangxi Province. The zircon U-Pb dating yields the following results: the age of the basalt at the bottom of Yutian Group in Dongkeng basin is $194.4\text{Ma} \pm 2.0\text{Ma}$, whereas the age of the basalt at the top of Yutian Group in Changpu basin is $191.9\text{Ma} \pm 2.2\text{Ma}$. These dating results not only indicate that the age of Yutian Group belongs to the early Early Jurassic but also show that the basalt and the rhyolite have the same age, coincident with the stratigraphic sequence of the section and belonging to typical bimodal volcanic rocks. Age determinations of the bimodal volcanic rocks in Yutian Group provide the age evidence for the extension tectonic environment during the early Early Jurassic in southern Jiangxi Province. Meanwhile, the residual zircon (2571-2225Ma) exists in the basalt of Changpu basin, which also supplies the collateral evidence to the existence of the late Neo-Archean to Palaeo-Proterozoic basement in southern Jiangxi.

Key words: bimodal volcanic rocks; SHRIMP zircon U-Pb dating; early Early Jurassic; southern Jiangxi

江西南部中生代火山活动区位于中国东南部构造-岩浆活动带的西缘, 由规模不一、形态不同的十几个火山盆地组成, 包括下、中、上 3 个不同时代、不

同岩石组合的火山岩系^[1-5]。其中下火山岩系分布在近 EW 向展布的三南(全南、龙南、定南)-寻乌断裂带(南岭构造带的一部分)内的东坑、临江、白面石、

收稿日期: 2010-08-23; 修订日期: 2011-11-15

资助项目: 中国核工业总公司地质项目《中国中、新生代铀成矿作用》(编号: 中核计 2008-74 号)

作者简介: 项媛馨(1986-), 女, 在读硕士, 从事岩浆岩与成矿作用方面的研究。E-mail: xiangyuanxin@163.com

通讯作者: 巫建华(1960-), 男, 博士, 教授, 从事火山地质学与铀矿地质学研究。E-mail: jhwu@ecit.cn

菖蒲等盆地中(图 1),以“玄武岩-流纹岩”双峰式火山岩组合为特征,称为余田群,并可进一步分为水头迳和菖蒲 2 个组^[1]。由于余田群火山岩系的形成时代早于中国东南部中生代大规模高钾钙碱性长英质火山岩系的形成时代,且岩石组合具有双峰式火山岩组合的特征,其地质时代归属成为地质工作者研究的热点^[3-4,6-11],并获得了一批 Rb-Sr 等时线年龄数据,主要集中在 165~177Ma(表 1)之间,指示余田群的地质时代属早侏罗世晚期—中侏罗世(早侏罗世的下限为 199.6Ma±0.6Ma,早侏罗世与中侏罗世的界限为 175.6Ma±2.0Ma,中侏罗世与晚侏罗世的界限为 161.2Ma±4.0Ma^[12])。但是从表 1 可以看出,不同学者在不同盆地甚至同一盆地中,获得余田群长英质火山岩的 Rb-Sr 等时线年龄变化于 175~148Ma 之间,跨度达 27Ma,玄武岩的 Rb-Sr 等时线年龄变化于 176~174Ma 之间,虽然较为一致,但明显大于长英质火山岩的 Rb-Sr 等时线年龄。余田群长英质火山岩和玄武岩 Rb-Sr 等时线年龄的不一致,暗示两者不是同一时期的产物,这与双峰式火山岩组合的认识相矛盾。最近,冀春雨和巫建华(2010)获得的菖蒲盆地余田群最下部流纹岩和东坑盆地余田群最上部流纹岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别

为 195.2Ma±2.8Ma 和 191.0Ma±1.7Ma^[13],不仅大于这两个盆地已获得的流纹岩 Rb-Sr 等时线年龄,而且大于这两个盆地已获得的玄武岩 Rb-Sr 等时线年龄。为了查明余田群流纹岩与玄武岩的关系,笔者一方面深入研究了余田群流纹岩和玄武岩的野外地质特征,实测了龙南里仁-翰岗剖面 and 菖蒲岭下-柴米岗剖面,修测了龙南临江-余田-田螺圈余田群层型剖面和寻乌菖蒲-热水菖蒲组层型剖面,证实余

表 1 江西南部余田群双峰式火山岩 Rb-Sr 等时线年龄数据

Table 1 Rb-Sr isochron ages of bimodal volcanic rocks of Yutian Group in southern Jiangxi			
盆地	岩性	年龄/Ma	资料来源
东坑盆地	玄武岩	175.6	[6]
		178±7.2	[8]
	流纹岩	147.6	[6]
	英安岩	165.97±7.23	[7]
临江盆地	玄武岩	173.7±2.5	[11]
	英安岩	174.9±3.9	
白面石盆地	玄武岩	173±5.5	[10]
	流纹岩	165±2.3	
菖蒲盆地	玄武岩	176	[6]
	流纹岩	150±17	[14]

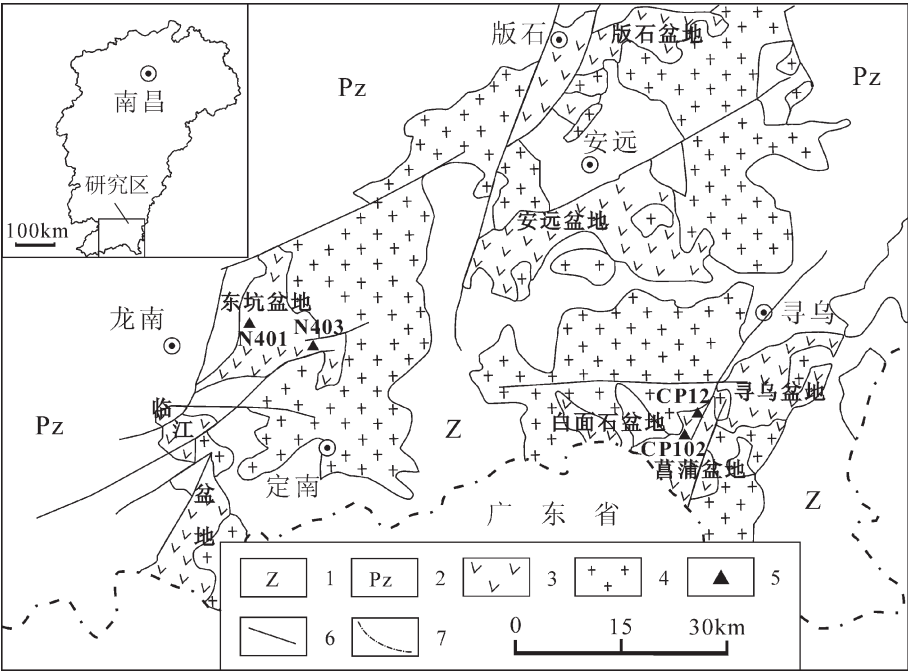


图 1 江西南部余田群地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Yutian Group in southern Jiangxi Province
1—震旦系;2—古生界;3—火山岩;4—花岗岩;5—取样点;6—地层界线;7—省界

田群流纹岩和玄武岩互层产出,属典型的双峰式火山岩组合。另一方面,对余田群玄武岩展开了 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄测定,希望为余田群双峰式火山岩组合的厘定和地质时代的确定提供依据。由于 Rb-Sr 同位素定年测试过程中存在仪器测量误差、测试样品的代表性、同位素体系封闭温度等多种因素的影响,且 Rb-Sr 同位素体系易受热液蚀变、变质作用等后期热事件的干扰,所以对测试样品要求严格且误差较大。锆石具有的物理化学稳定性良好、硬度高、耐磨性强、抗风化能力强、结晶温度高等特征,具有较好保存成岩信息的潜力,且锆石中具较高的 U、Th 含量和较低的普通 Pb 含量,是很好的 U-Pb 年龄测定的对象。本文利用 SHRIMP 同位素测定技术,对余田群玄武岩中的锆石进行了 U-Th-Pb 同位素测定,并与已获得的余田群流纹岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄^[13]进行对比分析,以达到确定余田群流纹岩和玄武岩时代关系的目的。

1 盆地概况和样品信息

东坑盆地和临江盆地的形成受控于 EW 向三南-寻乌断裂带(南岭构造带的一部分)和 NNE 向龙南-新丰深断裂带的影响,呈 NNE 向展布于信丰小江与龙南南亨之间,长约 55km,宽 10~12km。盆地形成之初,东坑盆地和临江盆地可能为一个统一的盆地,称为龙南盆地^[14]。由于控制盆地的 NNE 向断裂受 EW 向断裂的牵制,龙南盆地略呈 S 形。后期寨背等岩体的大面积侵入破坏,使原本统一的龙南盆地分隔成 2 个盆地,即北部东坑盆地和南部临江盆地。

东坑盆地和临江盆地基底地层主要为震旦系—

古生界及少量三叠系,盆地内的火山岩系呈 NNE—近 SN 向延伸,倾向近 E—SEE 向,倾角 40°左右,呈单斜状产出。东坑盆地火山岩系的底部出露较全,近 EW 向横穿盆地中部的里仁-翰岗剖面长约 6km,剖面西端的火山岩系不整合于石炭系之上,东端被震旦系—寒武系推覆体覆盖(图 2)。流纹岩样品(样号为 N403)取自该剖面东端火山岩系最上部的流纹岩层^[13];玄武岩样品(样号为 N401)取自该剖面西端火山岩系最下部的玄武岩层。玄武岩呈墨绿色、灰绿色,致密块状构造(图 3),斑晶主要为橄榄石(图 4-a)和斜长石(图 4-b),基质由斜长石微晶构成的交织结构(图 4-c)。

菖蒲盆地位于寻乌县西南方向约 30km,处于近 EW 向三南-寻乌断裂带的东部,盆地内火山岩系包括上、下 2 个不同时期的火山岩系^[14]。其中下火山岩系为余田群,地层出露较全,近 SN 向的岭下-祟米岗剖面长约 7km,剖面北端的火山岩系不整合于海西期花岗岩之上,南端被早白垩世晚期合水组巨厚层状砾岩层不整合覆盖(图 5)。流纹岩样品(样号为 CP12)取自该剖面北端火山岩系最下部的流纹岩层^[13],玄武岩样品(样号为 CP102)取自该剖面南端火山岩系最上部的玄武岩层。玄武岩呈致密块状构造(图 3),可见少量杏仁体(图 6-a),斑晶主要为斜长石(图 6-b),基质为斜长石微晶构成的交织结构(图 6-c)。

2 分析方法

锆石分选在河北区域地质矿产调查研究所实验室完成。原岩样品经手工粉碎后淘洗,将得到的重砂部分经电磁选后得到含有少量杂质的锆石样品,最

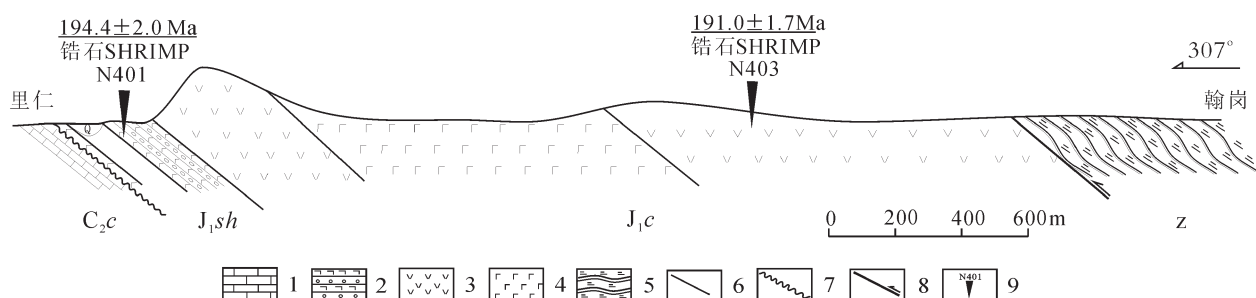


图 2 东坑盆地里仁-翰岗余田群实测剖面

Fig. 2 Geological section of Yutian Group from Liren to Hangang in Dongkeng basin

1—灰岩;2—砾岩、砂岩互层;3—流纹岩;4—玄武岩;5—千枚状板岩;6—地层界线;7—不整合面;8—断层线;9—采样点及样号;Z—震旦系;C_{2c}—中石炭统船山组;J_{1sh}—下侏罗统余田群水头组;J_{1c}—下侏罗统余田群菖蒲组



图 3 江西南部余田群玄武岩手标本照片
Fig. 3 Photographs of basalt samples of Yutian Group in southern Jiangxi Province

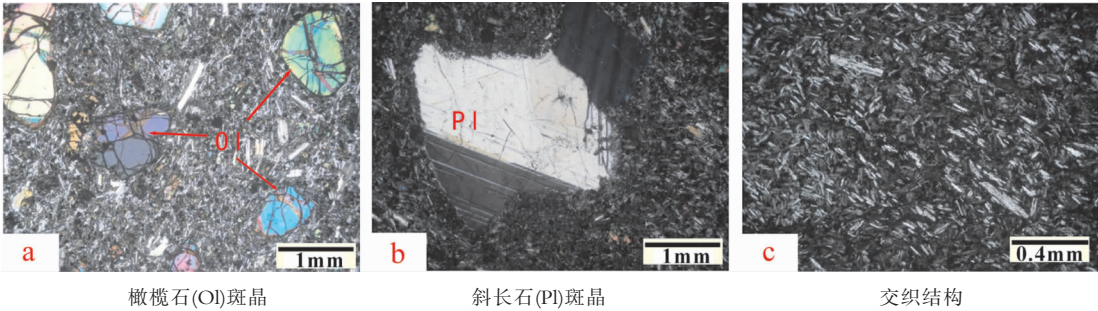


图 4 东坑盆地玄武岩镜下特征
Fig. 4 Microscopic features of basalts in Dongkeng basin

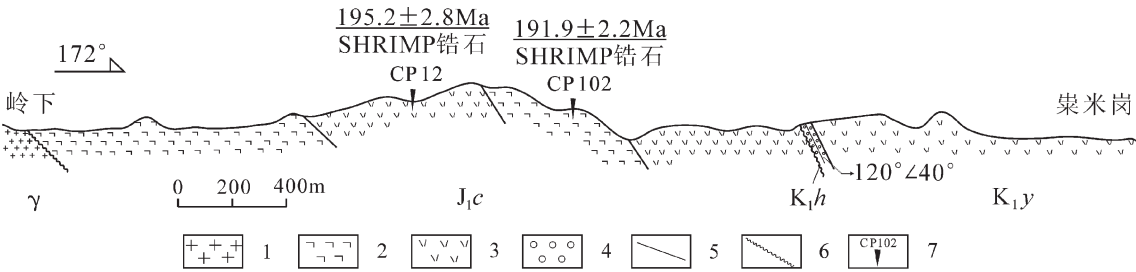


图 5 菖蒲盆地岭下—棠米岗余田群实测剖面
Fig. 5 Geological section from Lingxia to Tiaomigang in Changpu basin
1—海西期二长花岗岩闪长岩(γ);2—玄武岩;3—流纹岩;4—砾岩;5—地层界线;6—不整合面;
7—采样点和样号;J₁c—下侏罗统余田群菖蒲组;K₁h—下白垩统合水组;K₁y—下白垩统优胜组

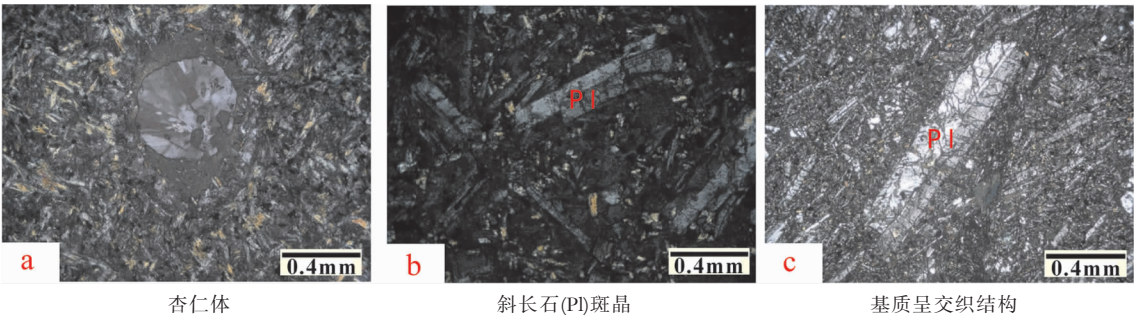


图 6 菖蒲盆地玄武岩镜下特征
Fig. 6 Microscopic features of basalts in Changpu basin

后在双目镜下挑选出锆石晶体。将待测锆石晶体与标准锆石晶体 TEM 一起制作成样品靶,在样品靶固结后打磨并抛光,使锆石内部暴露出来,然后在光学显微镜下进行透射光、反射光照相,以及在扫描电镜下进行阴极发光(CL)图像拍摄。阴极发光研究在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针研究室完成,SHRIMP 锆石 U-Th-Pb 同位素测定在北京离子探针中心 SHRIMP II 上完成,原理及分析流程可见 Compston 等^[15]、Williams 等^[16]和宋彪等^[17]的文章。在 SHRIMP 锆石 U-Th-Pb 同位素分析过程中,标准样品和未知样品所采集的 9 个质量峰依次为 Zr_2O^+ 、 $^{204}Pb^+$ 、背景值、 $^{206}Pb^+$ 、 $^{207}Pb^+$ 、 $^{208}Pb^+$ 、 $^{238}U^+$ 、 $(^{232}Th^{16}O)^+$ 、 $(^{238}U^{16}O)^+$,每个数据为 5 次扫描的平均值。一次离子为 4.5nA,10kV 的 O^{-2} ,束斑 25~30 μm 。质量分辨率约 5000(1%峰高)。应用 RSES 参考锆石 TEM(417Ma)进行元素间的分馏校正,采用的校正公式由 Claoué-Long 等^[18]给出。在分析过程

中,应用置于调试(test)靶上的另一标准锆石 SL13(年龄为 572Ma, $w(U)$ 为 238×10^{-6})标定样品的 U、Th 和 Pb 含量。有关 TEMODA 和 SL13 标样的详细信息,可参见 Black 等^[19]的论述。数据处理采用 Ludwig^[20]编写的 SQUID 1.0 及 ISOPLOT 程序。应用实测 ^{204}Pb 的方法^[21]校正锆石中的普通铅。因年轻锆石(<1000Ma)中放射成因 ^{207}Pb 量较少,分析中容易产生较大的误差,因此对年轻锆石(<1000Ma)均使用其 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄,其加权平均值具 95%的置信度。

3 分析结果与讨论

东坑盆地玄武岩样品(样号 N401)中的锆石多数为淡褐色,呈自形短柱状或双锥状,粒度较细,长宽比 1.5~3.0。在阴极发光(CL)图像上,锆石可见明显的韵律振荡环带结构(图 7),显示岩浆成因的特征。菖蒲盆地玄武岩样品(样号 CP102)的锆石形态复杂,大致可分为 2 类:一类呈自形短柱状、长柱状

表 2 余田群玄武岩锆石 SHRIMP U-Th-Pb 分析结果
Table 2 SHRIMP U-Th-Pb analytical results of zircons from basalt of Yutian Group

测点号	$^{206}Pb_c$ /%	U / 10^{-6}	Th / 10^{-6}	Th /U	$^{206}Pb^*$ / 10^{-6}	$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄/Ma	$^{207}Pb/^{206}Pb$ 年龄/Ma	$^{207}Pb^*$ / $^{206}Pb^*$	$\pm\%$	$^{207}Pb^*$ / ^{235}U	$\pm\%$	$^{206}Pb^*$ / ^{238}U	$\pm\%$
N401-1.1	1.20	280	114	0.42	7.46	194.9 $\pm$ 4.7	199 $\pm$ 210	0.0501	$\pm$ 9.0	0.2120	$\pm$ 9.3	0.03069	$\pm$ 2.4
N401-2.1	0.47	280	128	0.47	7.26	190.6 $\pm$ 3.6	220 $\pm$ 80	0.0505	$\pm$ 3.4	0.2092	$\pm$ 3.9	0.03001	$\pm$ 1.9
N401-3.1	1.19	267	123	0.47	7.12	194.4 $\pm$ 3.7	274 $\pm$ 160	0.0517	$\pm$ 7.1	0.2180	$\pm$ 7.4	0.03062	$\pm$ 1.9
N401-4.1	3.32	156	78	0.52	3.95	180.8 $\pm$ 3.9	-253 $\pm$ 490	0.0416	$\pm$ 19	0.1630	$\pm$ 20	0.02844	$\pm$ 2.2
N401-5.1	0.53	462	187	0.42	12.1	192.0 $\pm$ 3.5	365 $\pm$ 88	0.0538	$\pm$ 3.9	0.2244	$\pm$ 4.3	0.03023	$\pm$ 1.8
N401-6.1	1.02	427	191	0.46	11.2	192.7 $\pm$ 3.7	86 $\pm$ 120	0.0477	$\pm$ 5.0	0.2000	$\pm$ 5.3	0.03035	$\pm$ 2.0
N401-7.1	0.71	242	121	0.52	15.1	448.1 $\pm$ 8.1	451 $\pm$ 96	0.0560	$\pm$ 4.3	0.5560	$\pm$ 4.7	0.07200	$\pm$ 1.9
N401-8.1	1.88	301	127	0.44	8.03	193.4 $\pm$ 4.3	36 $\pm$ 230	0.0467	$\pm$ 9.7	0.1960	$\pm$ 10	0.03046	$\pm$ 2.3
N401-9.1	0.24	300	254	0.88	30.8	727.0 $\pm$ 13.0	748 $\pm$ 31	0.0642	$\pm$ 1.5	1.0560	$\pm$ 2.3	0.11940	$\pm$ 1.8
N401-10.1	2.50	459	252	0.57	12.9	201.8 $\pm$ 3.8	541 $\pm$ 170	0.0583	$\pm$ 7.6	0.2560	$\pm$ 7.8	0.03180	$\pm$ 1.9
N401-11.1	0.98	356	128	0.37	9.68	199.1 $\pm$ 3.7	167 $\pm$ 130	0.0494	$\pm$ 5.7	0.2140	$\pm$ 6	0.03137	$\pm$ 1.9
N401-12.1	0.68	366	149	0.42	9.72	195.0 $\pm$ 3.5	269 $\pm$ 78	0.0516	$\pm$ 3.4	0.2186	$\pm$ 3.8	0.03071	$\pm$ 1.8
N401-13.1	1.24	329	127	0.40	8.73	193.7 $\pm$ 3.6	182 $\pm$ 210	0.0497	$\pm$ 8.9	0.2090	$\pm$ 9.1	0.03051	$\pm$ 1.9
N401-14.1	0.57	424	204	0.50	11.1	192.6 $\pm$ 3.5	227 $\pm$ 75	0.0507	$\pm$ 3.2	0.2120	$\pm$ 3.7	0.03033	$\pm$ 1.8
N401-15.1	2.49	191	72.0	0.39	5.15	194.2 $\pm$ 4.3	292 $\pm$ 300	0.0521	$\pm$ 13	0.2200	$\pm$ 14	0.03058	$\pm$ 2.3
N401-16.1	3.05	154	50.0	0.34	4.25	197.5 $\pm$ 4.2	217 $\pm$ 380	0.0505	$\pm$ 16	0.2170	$\pm$ 17	0.03111	$\pm$ 2.2
N401-17.1	1.13	330	152	0.48	8.92	197.7 $\pm$ 3.6	278 $\pm$ 95	0.0518	$\pm$ 4.1	0.2230	$\pm$ 4.5	0.03114	$\pm$ 1.9
N401-18.1	2.42	201	67.0	0.34	5.43	195.3 $\pm$ 4.0	341 $\pm$ 250	0.0533	$\pm$ 11	0.2260	$\pm$ 11	0.03075	$\pm$ 2.1
N401-19.1	0.37	590	247	0.43	16.7	209.0 $\pm$ 3.9	202 $\pm$ 72	0.0502	$\pm$ 3.1	0.2278	$\pm$ 3.6	0.03295	$\pm$ 1.9
N401-20.1	0.63	350	124	0.37	9.96	208.9 $\pm$ 4.0	299 $\pm$ 120	0.0523	$\pm$ 5.3	0.2380	$\pm$ 5.7	0.03293	$\pm$ 1.9
CP102-1.1	0.03	259	98.0	0.39	109	2570 $\pm$ 42	2562 $\pm$ 6.2	0.1705	$\pm$ 0.4	11.51	$\pm$ 2	0.48980	$\pm$ 2.0
CP102-2.1	1.31	132	61.0	0.48	3.55	195.3 $\pm$ 4.4	234 $\pm$ 230	0.0508	$\pm$ 9.8	0.2160	$\pm$ 10	0.03077	$\pm$ 2.3

续表 2

测点号	²⁰⁶ Pb _c /%	U /10 ⁻⁶	Th /10 ⁻⁶	Th /U	²⁰⁶ Pb* /10 ⁻⁶	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年龄/Ma	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 年龄/Ma	²⁰⁷ Pb* / ²⁰⁶ Pb*	±%	²⁰⁷ Pb* / ²³⁵ U	±%	²⁰⁶ Pb* / ²³⁸ U	±%
CP102-3.1	1.31	211	125	0.61	5.65	195.4±4.3	297±170	0.0523	±7.4	0.2220	±7.7	0.03078	±2.2
CP102-4.1	1.55	120	51.0	0.44	3.15	190.6±4.5	212±290	0.0504	±13	0.2080	±13	0.03001	±2.4
CP102-5.1	2.26	89.0	71.0	0.83	2.43	198.5±6.3	173±450	0.0495	±19	0.2140	±20	0.03130	±3.2
CP102-6.1	0.99	158	68.0	0.44	4.14	192.1±4.2	286±170	0.0520	±7.4	0.2170	±7.7	0.03026	±2.2
CP102-7.1	1.03	90.0	52.0	0.59	2.42	196.9±4.7	548±200	0.0585	±9.1	0.2500	±9.4	0.03102	±2.4
CP102-8.1	0.99	13.0	8.00	0.62	4.26	2055±62	2225±53	0.1398	±3.1	7.2400	±4.7	0.37500	±3.5
CP102-9.1	8.31	14.0	5.00	0.35	0.41	196.0±15.0	1681±960	0.1030	±52	0.4400	±53	0.03090	±7.7
CP102-10.1	0.07	53.0	40.0	0.78	22.0	2546±57	2571±16	0.1713	±0.94	11.440	±2.9	0.48400	±2.7
CP102-11.1	4.93	87.0	70.0	0.83	2.38	192.5±5.4	447±660	0.0560	±30	0.2340	±30	0.03032	±2.8
CP102-12.1	0.95	95.0	74.0	0.81	26.3	1794±33	1822±54	0.1114	±3.0	4.9300	±3.6	0.32090	±2.1
CP102-13.1	0.45	171	34.0	0.20	58.4	2147±36	2478±9.9	0.1621	±0.59	8.8300	±2.1	0.39520	±2.0
CP102-14.1	2.57	155	131	0.88	3.96	184.4±4.1	-203±370	0.0424	±15	0.1700	±15	0.02901	±2.3
CP102-15.1	0.73	579	388	0.69	16.0	202.6±3.9	155±110	0.0491	±4.8	0.2160	±5.1	0.03192	±2.0
CP102-16.1	0.68	482	209	0.45	12.6	192.0±3.7	107±96	0.0482	±4.1	0.2008	±4.5	0.03024	±2.0
CP102-17.1	0.18	266	74.0	0.29	42.3	1093±22	1070±19	0.0750	±0.95	1.911	±2.4	0.18470	±2.2
CP102-18.1	0.20	126	53.0	0.43	52.9	2565±43	2494±9.4	0.1637	±0.56	11.030	±2.1	0.48900	±2.0
CP102-19.1	5.49	92.0	64.0	0.72	2.41	184.2±5.7	469±500	0.0560	±23	0.2250	±23	0.02898	±3.1
CP102-20.1	1.47	81.0	52.0	0.66	9.11	780.0±16.0	743±110	0.0641	±5.1	1.135	±5.6	0.12850	±2.2
CP102-21.1	5.10	85.0	64.0	0.78	2.28	187.2±5.1	-627±920	0.0360	±34	0.1460	±34	0.02946	±2.7
CP102-22.1	7.05	57.0	69.0	1.25	2.02	243.5±7.8	-480±1300	0.0380	±47	0.2020	±47	0.03850	±3.3
CP102-23.1	2.48	62.0	54.0	0.90	6.76	751.0±17.0	447±200	0.0559	±8.9	0.9510	±9.2	0.12350	±2.4
CP102-24.1	1.83	336	152	0.47	8.64	186.5±3.9	48±210	0.0470	±9.0	0.1900	±9.2	0.02935	±2.1
CP102-25.1	0.18	204	170	0.86	44.6	1460±27	1439±18	0.0906	±0.92	3.177	±2.3	0.25430	±2.1
CP102-26.1	2.56	152	95	0.65	4.00	189.4±4.3	395±300	0.0546	±13	0.2240	±13	0.02981	±2.3
CP102-27.1	6.02	127	109	0.88	3.38	185.2±4.8	-1190±1400	0.0300	±44	0.1190	±44	0.02915	±2.6
CP102-28.1	2.00	201	80.0	0.41	5.35	192.6±4.1	105±240	0.0481	±10	0.2010	±11	0.03032	±2.2
CP102-29.1	2.09	167	198	1.23	7.04	303.2±7.0	284±200	0.0520	±8.9	0.3450	±9.2	0.04820	±2.4
CP102-30.1	2.34	182	61.0	0.35	4.94	196.5±4.9	425±460	0.0550	±21	0.2360	±21	0.03095	±2.5

注: ²⁰⁶Pb_c 和 ²⁰⁶Pb* 分别表示普通铅和放射性成因铅;普通铅根据实测 ²⁰⁴Pb 进行校正;误差为 1σ

或双锥状,粒度较细,长宽比 1.5~4.5,在 CL 图像上锆石也可见到明显的韵律振荡环带结构(图 8),显示岩浆成因的特征;一类呈它形浑圆状,粒度较粗,长宽比 1.5~2.0,在 CL 图像上有的无明显环带,有的出现较宽的弱岩浆环带(图 9),这类锆石在基性岩锆石中常见^[22],可能为残留锆石或捕获锆石。N401 样品和 CP102 样品分别选择了 20 颗和 30 颗锆石进行 SHRIMP 锆石 U-Th-Pb 分析,分析结果列于表 2。从表 2 中可以看出,N401 样品的 U、Th 含量相对较高, $w(\text{U})=(154\sim590)\times10^{-6}$, $w(\text{Th})=(67\sim254)\times10^{-6}$,Th/U=0.34~0.88;CP102 样品的 U、Th

含量相对较低, $w(\text{U})=(13\sim482)\times10^{-6}$, $w(\text{Th})=(5\sim209)\times10^{-6}$ (第 15 号分析点为 388×10^{-6}),Th/U=0.35~1.25(第 13、17 号分析点分别为 0.20、0.29)。N401 样品和 CP102 样品的 U、Th 含量虽有差异,但 Th/U 比值均位于岩浆成因锆石的范围内^[22],进一步说明它们属岩浆成因的锆石。在 N401 样品的 20 个 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄数据中,除第 7、9 号分析点分别为 $448.1\text{Ma}\pm8.1\text{Ma}$ 、 $727\text{Ma}\pm13\text{Ma}$ 外,其余 18 个分析点变化于 209~181Ma 之间,在 U-Pb 一致曲线之上(图 10),还有 3 个分析点(第 4、19、20 号)的数据偏离数据组(虚线环所示),若再扣除这 3 个

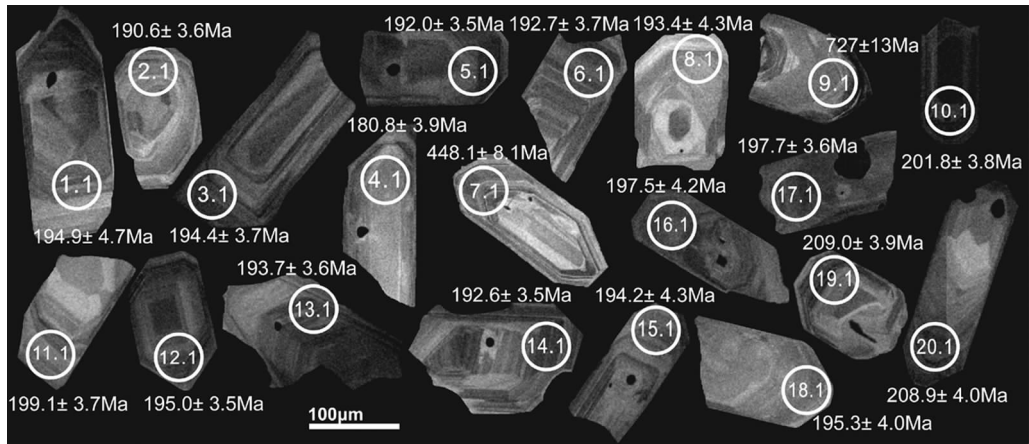


图 7 东坑盆地余田群玄武岩锆石 CL 图像和 SHRIMP $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分析点
Fig. 7 Cathodoluminescence images and spots positions of zircons from basalt of Yutian Group in Dongkeng basin

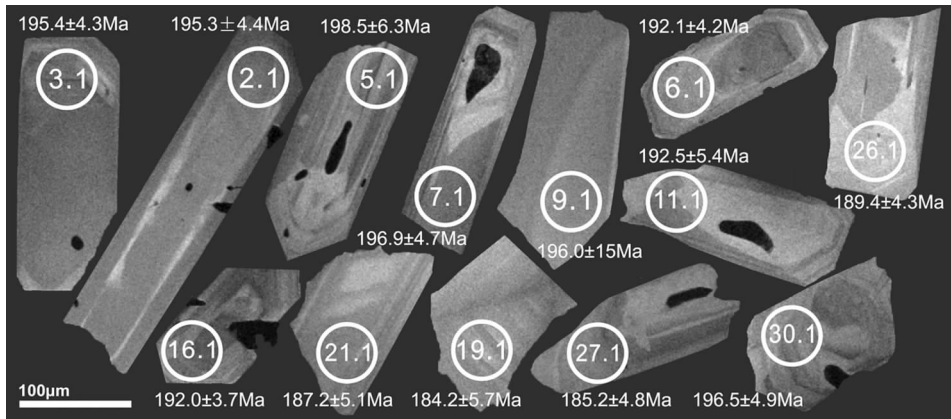


图 8 葛蒲盆地余田群玄武岩自形锆石 CL 图像和 SHRIMP $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄分析点
Fig. 8 Cathodoluminescence images and spots positions of euhedral zircons from basalt of Yutian Group in Changpu basin

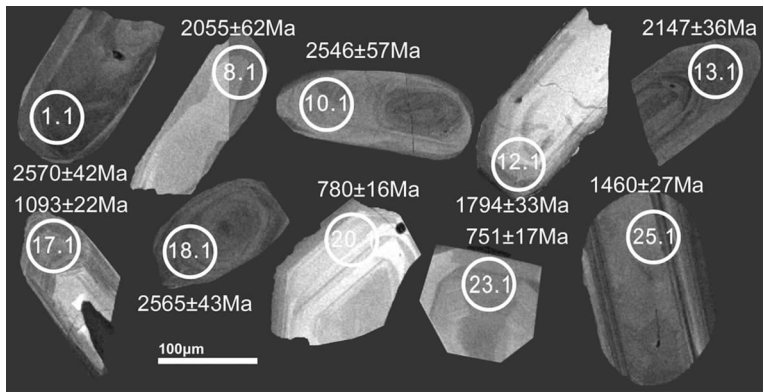


图 9 葛蒲盆地余田群玄武岩它形浑圆状锆石 CL 图像和 SHRIMP U-Pb 年龄分析点
Fig. 9 Cathodoluminescence images and spots positions of round xenomorphic zircons from basalt of Yutian Group in Changpu basin

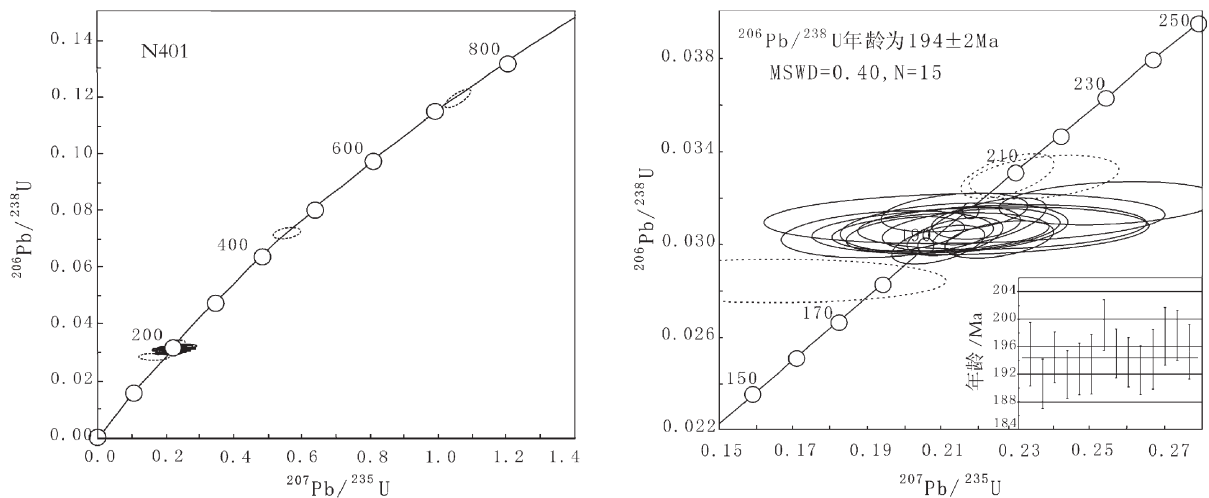


图 10 东坑盆地余田群玄武岩锆石 U-Pb 谐和图
Fig. 10 U-Pb concordia diagram of zircons from basalt of Yutian Group in Dongkeng basin

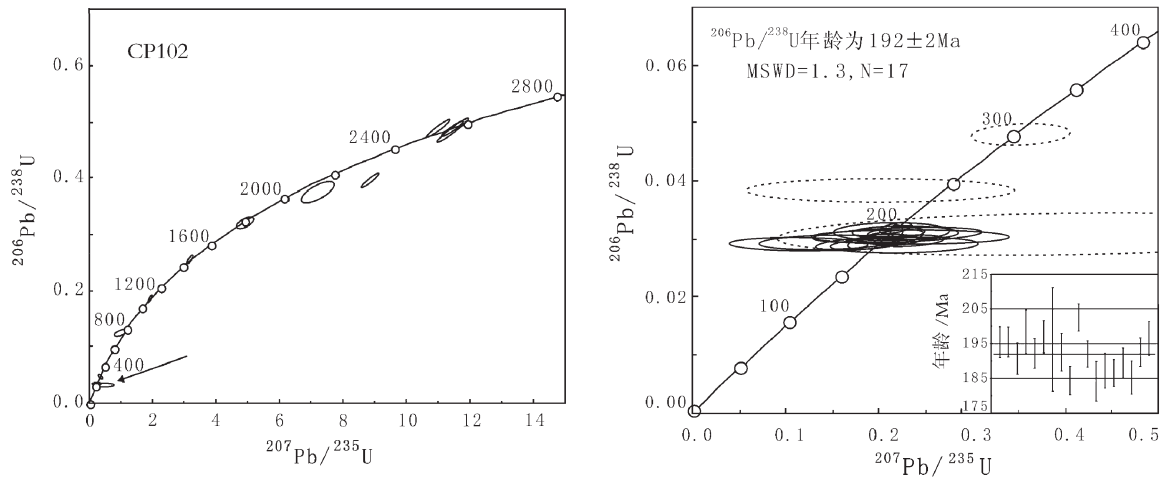


图 11 菖蒲盆地余田群玄武岩锆石 U-Pb 谐和图
Fig. 11 U-Pb concordia diagram of zircons from basalt of Yutian Group in Changpu basin

分析点的数据,其余 15 个分析点数据的加权平均值为 $194.4\text{Ma} \pm 2.0\text{Ma}$, $\text{MSWD}=0.40$ 。CP102 样品的 30 个年龄数据可分为 2 组:第一组为自形锆石的 20 个分析点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄数据,变化于 $184\sim 303\text{Ma}$ 之间,在 U-Pb 一致曲线之上(图 11),有 3 个分析点的数据偏离数据组(虚线环所示),若扣除这 3 个分析点的数据,其余 17 个分析点数据的加权平均值为 $191.9\text{Ma} \pm 2.2\text{Ma}$, $\text{MSWD}=1.3$;第二组为它形浑圆状锆石的 10 个分析点 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄数据,变化于 $2562.2\sim 780\text{Ma}$ 之间,其中 3 个分析点(第 1、10、18 号)有弱岩浆环带的锆石年龄,分别为 $2562.2\text{Ma} \pm 6.2\text{Ma}$ 、 $2571\text{Ma} \pm 16\text{Ma}$ 、 $2494.0\text{Ma} \pm 9.4\text{Ma}$,3 个分析

点(第 8、12、13 号)具有较宽弱岩浆环带的锆石年龄,分别为 $2225\text{Ma} \pm 53\text{Ma}$ 、 $1822\text{Ma} \pm 54\text{Ma}$ 、 $2477.7\text{Ma} \pm 9.9\text{Ma}$,其余 4 个分析点(第 17、20、23、25 号)锆石年龄分别为 $1070\text{Ma} \pm 19\text{Ma}$ 、 $780\text{Ma} \pm 16\text{Ma}$ 、 $751\text{Ma} \pm 17\text{Ma}$ 、 $1439\text{Ma} \pm 18\text{Ma}$,高的 U/Th 比值指示它们可能是岩浆成因的,无明显锆石的原始韵律环带很可能是在后期的再循环过程中通过晶内离子扩散而抹去了。因此 CP102 样品中最年轻的锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $191.9\text{Ma} \pm 2.2\text{Ma}$,它代表了玄武岩的形成年龄;而它形浑圆状锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $2570\sim 780\text{Ma}$,可能代表了残留锆石或捕获锆石的年龄。

可见,东坑盆地余田群底部玄武岩(样号 N403)

SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 $194.4\text{Ma} \pm 2.0\text{Ma}$, 菖蒲盆地余田群顶部玄武岩(样号 CP102)最年轻的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $191.9\text{Ma} \pm 2.2\text{Ma}$ 。根据国际地层表^[12,24],东坑盆地和菖蒲盆地的玄武岩形成于早侏罗世早期。

4 地质意义

4.1 赣南余田群流纹岩和玄武岩形成时代一致,属典型的双峰式火山岩

本文获得的东坑盆地余田群最下部玄武岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $194.4\text{Ma} \pm 2.0\text{Ma}$,与该盆地余田群顶部流纹岩 $191\text{Ma} \pm 1.7\text{Ma}$ 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄^[13]在误差范围内一致;菖蒲盆地最上部的玄武岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $191.9\text{Ma} \pm 2.2\text{Ma}$,与该盆地余田群底部流纹岩 $195.2\text{Ma} \pm 2.8\text{Ma}$ 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄^[13]在误差范围内一致。而且,东坑盆地玄武岩、流纹岩和菖蒲盆地玄武岩、流纹岩获得的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄,均与野外地层层序相吻合(图 2 和图 5)。这不仅说明东坑、菖蒲盆地的玄武岩和流纹岩都是在很短的时间内形成的,而且它们的形成时代一致,构成典型的双峰式火山岩组合。

4.2 赣南早侏罗世早期处于拉张构造环境

赣南沿三南-寻乌断裂带分布的余田群双峰式火山岩,在空间上与东部闽西南永定、湖雷等盆地双峰式火山岩(流纹岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $179\text{Ma}^{[25]}$, $183\text{Ma} \pm 25\text{Ma}^{[26]}$)和西部湘南宁远太阳山玄武岩($^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 $170.3\text{Ma} \pm 0.9\text{Ma} \sim 173.8\text{Ma} \pm 0.9\text{Ma}^{[27]}$)、宜章长城岭玄武岩($^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 $178.03\text{Ma} \pm 3.6\text{Ma}^{[28]}$)共同构成了近 EW 向横跨湘南-赣南-闽西南的火山岩带。研究表明,该火山岩带的双峰式火山岩、玄武岩形成于拉张构造环境^[8,27,29-33];已有的 Rb-Sr 等时线年龄和 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄变化于 $165 \sim 183\text{Ma}$ 之间,指示该拉张构造环境发生在早侏罗世晚期—中侏罗世。但是,早侏罗世晚期—中侏罗世处于拉张构造环境的认识,与广泛存在的区域不整合面、变质变形、推覆构造等指示的华南中侏罗世晚期—晚侏罗世处于挤压隆升状态^[30-31]的认识不吻合,以致华南中—晚侏罗世处于拉张还是挤压构造环境还没有形成统一的认识。邢光福等^[30]、Xing 等^[34]认为,华南中—晚侏罗世处于强烈的挤压造山阶段;陈培荣等^[29]、Li 等^[27]、谢桂

青等^[35]、李献华等^[36]则认为,华南从中侏罗世岩石圈伸展,持续性或周期性发展到白垩纪的区域性岩石圈伸展拉张。笔者认为,这或许是由指示拉张构造环境的双峰式火山岩、玄武岩与指示挤压构造环境的区域不整合面、变质变形、推覆构造等现象在时间上相近造成的。本文获得的赣南余田群玄武岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $195 \sim 191\text{Ma}$,把所谓的早侏罗世晚期—中侏罗世拉张构造环境的双峰式火山岩的地质时代提前到了早侏罗世早期,从而将其与华南中侏罗世晚期—晚侏罗世的挤压构造阶段在地质时代上分开。即为华南早侏罗世—中侏罗世早期处于拉张构造阶段、中侏罗世晚期—晚侏罗世处于挤压构造阶段的观点提供了年代学证据。

4.2 赣南可能存在新太古代晚期—古元古代基底

赣南目前发现的最老的基底称为寻乌群,该群黑云片麻岩样品中的碎屑锆石以中—新元古代的年龄为主,但也有新太古代晚期的年龄,最年轻的碎屑锆石年龄为 658Ma ,指示寻乌群形成于新元古代晚期^[37]。菖蒲盆地玄武岩具它形浑圆状特征的锆石以新太古代晚期—古元古代的年龄为主,说明赣南最老的基底不是寻乌群,可能还存在新太古代晚期—古元古代的基底。

5 结 论

(1) SHRIMP 锆石 U-Pb 定年结果表明,赣南东坑盆地余田群底部玄武岩和菖蒲盆地余田群顶部玄武岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 $194.4\text{Ma} \pm 2.0\text{Ma}$ 和 $191.9\text{Ma} \pm 2.2\text{Ma}$ 。根据新的国际地层表^[12,24],东坑盆地和菖蒲盆地余田群玄武岩的地质时代属早侏罗世早期。

(2) 结合东坑盆地余田群顶部流纹岩和菖蒲盆地余田群底部流纹岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄分别为 $191\text{Ma} \pm 1.7\text{Ma}$ 和 $195.2\text{Ma} \pm 2.8\text{Ma}^{[13]}$,两盆地玄武岩与流纹岩的形成时代一致,且与野外地层层序相吻合,属典型的双峰式火山岩组合。

(3) 东坑盆地和菖蒲盆地双峰式火山岩地质时代的厘定,为该区早侏罗世早期处于拉张构造环境提供了年代依据。

(4) 菖蒲盆地玄武岩中存在 $2571 \sim 2225\text{Ma}$ 的残留锆石或捕获锆石,为赣南可能存在新太古代—古元古代基底提供了旁证。

致谢:东华理工大学余达淦教授、饶明辉教授对

玄武岩的镜下鉴定给予指导,参加部分野外工作的还有刘帅副教授和冀春雨、刘飞宇、王保峰、徐勋胜等硕士研究生,参加锆石测试工作的还有刘飞宇、刘茜等硕士研究生,在锆石测试工作中中国地质科学院北京离子探针中心杨之青研究员给予耐心指导,在此一并感谢。

参考文献

- [1] 巫建华,张树明,周维勋.江西南部—粤北版石群及其地质时代[J].地层学杂志,1999,23(3):226–233.
- [2] 巫建华,张树明,周维勋.江西南部—粤北余田群再认识[J].地层学杂志,1999,23(4):295–302.
- [3] 巫建华,左跃明,管太阳.江西南部—粤北中生代晚期火山岩系岩石地层划分[J].中国区域地质,1999,18(4):397–404.
- [4] 巫建华,周维勋,章邦桐.江西南部—粤北晚中生代火山岩系划分和时代讨论[J].地质论评,2000,46(4):362–370.
- [5] 巫建华,周维勋,章邦桐.江西及广东北部中生代晚期地层层序和时代——兼论《江西省岩石地层》中存在的问题[J].地质评论,2002,48(1):44–53.
- [6] 赖章忠,王安诚.江西南部中生代火山活动时代及岩浆来源[J].江西地质,1996,10(2):111–117.
- [7] 巫建华,张树明,周维勋.江西龙南盆地中生代火山岩系划分和地质时代讨论[J].华东地质学院学报,1998,21(4):301–306.
- [8] 陈培荣,孔兴功,王银喜,等.江西南部燕山早期双峰式火山—侵入杂岩的 Rb-Sr 同位素定年及意义[J].高校地质学报,1999,5(4):378–383.
- [9] 孔兴功,陈培荣,章邦桐.江西南部双峰式火山盆地铀成矿性的地球化学评价[J].地质论评,1999,15(4):204–208.
- [10] 孔兴功,陈培荣,章邦桐.江西南部白面石盆地双峰式火山岩的 Rb-Sr 和 Sm-Nd 同位素特征[J].地质论评,2000,46(2):186–189.
- [11] 章邦桐,陈培荣,孔兴功.赣南临江盆地余田群双峰式火山岩的 Rb-Sr 年代学研究[J].中国地质,2002,29(4):351–354.
- [12] 章森桂,张允白,严惠君.“国际地层表”(2008)简介[J].地层学杂志,2009,33(1):1–10.
- [13] 冀春雨,巫建华.江西南部余田群长英质火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].东华理工大学学报(自然科学版),2010,33(2):131–138.
- [14] 巫建华,张树明,周维勋.江西莒蒲盆地中生代火山岩系划分的新认识[J].华东地质学院学报,1998,21(3):206–212.
- [15] Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb ages of early Cambrian time-scale[J]. Geological Society, 1992,149:171–184.
- [16] Williams I S, Claesson S. Isotope evidence for the Precambrian province and Caledonian metamorphism of high grade paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb[J]. Contribution to Mineralogy and Petrology, 1987,97: 205–217.
- [17] 宋彪,张玉海,万渝生,等.锆石 SHRIMP 样品制作、年龄测定及有关现象讨论[J].地质论评,2002,48(增刊):26–30.
- [18] Claoué-Long J C, Compston W, Roberts J, et al. Two Carboniferous Ages: a Comparison of SHRIMP Zircon Dating with Conventional Zircon Ages and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Analysis[C]//Geochronology Time Scales and Global Stratigraphic Correlation. SEPM Special Publication, 1995:3–21.
- [19] Black L P, Kamo Si, Aleiikoff J N, et al. TEMORA 1: A new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology[J]. Chemical Geology, 2003,200(1/2):155–170.
- [20] Ludwig K R. SQUID 1.02, a user's manual[M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, No.22455 Ridge Road, Berkeley, CA 94709, USA, 2002.
- [21] Compston W, Williams I S, Mayer C. U-Pb geochronology of zircons from Lunar Breccia 73217 using a Sensitive High Resolution Ion Microprobe, Proc. X IV Lunar Planetary Science Conference[J]. Journal of Geophysical Research, 1984,89(suppl.):B525–534.
- [22] 李长明. 锆石成因矿物学与锆石微区定年综述[J].地质调查与研究,2009,33(3):161–173.
- [23] Hermann J, Rubatto D, Korsakov A. Multiple zircon growth during fast exhumation of diamondiferous, deeply subducted continental crust (Kokchetav Massif, Kazakhstan) [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 2001,141:66–82.
- [24] Gradstein F M, Ogg J G, Smith A G, et al. A new Geologic Time Scale, with special reference to Precambrian and Neogene[J]. Episodes, 2004,27(2):83–100.
- [25] 许美辉.福建省永定地区早侏罗世双峰式火山岩及其构造环境[J].福建地质,1992,2:115–125.
- [26] 周金武,陈荣,等.闽东南晚中生代壳幔作用地球化学[J].地球化学,2001,30(6):547–558.
- [27] Li X H, Chen Z G, Liu D Y, et al. Jurassic gabbro-granite-syenite suites from southern Jiangxi Province, SE China: Age, origin, and tectonic significance[J]. International Geology Review, 2003,45:898–921.
- [28] 赵振华,包志伟,张伯友.湘南中生代玄武岩类地球化学特征[J].中国科学(D 辑),1998,28(增刊):7–14.
- [29] 陈培荣,华仁民,章邦桐,等.南岭燕山早期后造山花岗岩类:岩石学制约和地球化学动力学背景[J].中国科学,2002,32(4):279–289.
- [30] 邢光福,杨祝良,毛建仁,等.东南大陆边缘早侏罗世火成岩特征及其构造意义[J].地质通报,2002,21(7):384–391.
- [31] 邢光福,卢清池,陈荣,等.华南晚中生代构造体制转折结素时限研究——兼与华北燕山地区对比[J].地质学报,2008,82(4):451–463.
- [32] Li Z X, Li X H. Formation of the 1300 km-wide intracontinental orogen and post-orogenic magmatic province in Mesozoic South China: Implication for the lithosphere boundary between the Yangtz and Cathaysia blocks[J]. International Geology Review, 2007,45:263–286.
- [33] 余心起,吴淦国,张达,等.中国东南部中生代构造体制转换作用研究进展[J].自然科学研究进展,2005,15(10):1167–1174.
- [34] Xing Guangfu, Yang Zhuliang, Chen Rong, et al. Three stage Mesozoic bimodal igneous rocks and their tectonic implications in the continental margin of Southeast China[J]. Acta Geologica Sinica, 2004,78(1):27–39.
- [35] 谢桂青,毛景文,胡瑞忠,等.中国东南部中—新生代地球动力学背景若干问题的探讨[J].地质论评,2005,51(6):613–620.
- [36] 李献华,李武显,李正祥.再论南岭燕山早期花岗岩的成因类型与构造意义[J].科学通报,2007,52(9):981–991.
- [37] 周新民.南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化[M].北京:科学出版社,2007.