

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2019.03.002

引用格式:黄长煌,林慈奎. 福建鹭峰山晶洞花岗岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 华东地质, 2019, 40(3):170-178.

福建鹭峰山晶洞花岗岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

黄长煌, 林慈奎

(福建省地质调查研究院, 福州 350013)

摘要: 通过研究福建鹭峰山晶洞花岗岩的岩相学及锆石 U-Pb 同位素年代学特征, 并与台湾东部地区同时代的岩浆岩进行简要对比, 探讨闽台地区晚中生代岩浆活动特征及构造环境。鹭峰山岩体主要为中细粒晶洞碱长花岗岩, 且具有特征性的晶洞构造, 属 A 型花岗岩。鹭峰山晶洞花岗岩三个代表性岩石样品 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 84.5 ± 1.0 Ma、 81.8 ± 0.6 Ma 和 84.9 ± 0.5 Ma, 结合其他晶洞花岗岩体的年龄资料, 认为长乐—南澳断裂带南东侧晶洞花岗岩的形成时代为 $93.8 \sim 81.8$ Ma, 属晚白垩世。岩浆作用具向东迁移现象, 可能受古太平洋板块的俯冲后撤作用控制。该次构造岩浆活动与台湾东部酸性岩浆作用属同一构造岩浆事件。

关键词: 福建鹭峰山; 晶洞花岗岩; A 型花岗岩; 台湾东部; 晚白垩世

中图分类号: P588.12; P632⁺.7

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2019)03-170-09

鹭峰山晶洞花岗岩分布于福建沿海地区, 长期以来一直受到众多研究者的关注^[1]。福建沿海地区晶洞花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 $102 \sim 82$ Ma^[1-9], 一直被作为一次重要的岩浆事件看待, 是否存在 2 期晶洞花岗岩? 部分晶洞花岗岩是否与台湾东部地区(大南澳)构造运动有关? 一些学者对欧亚大陆东南缘晚中生代构造背景和地球动力学机制进行研究, 认为晶洞花岗岩的形成与古太平洋板块俯冲作用有关^[10-11]。2015 年, 在台湾大学学术交流会上, 陈正宏先生提出, 福建沿海晶洞花岗岩与台湾东部花岗岩可能形成于同一时代(晚白垩世), 是同一构造岩浆事件不同部位的产物。台湾东部为挤压区带, 形成挤压构造环境的花岗岩; 福建沿海为拉伸构造区带, 形成 A 型花岗岩。

福建沿海与台湾地区位于欧亚板块东部边缘, 研究福建沿海地区晚白垩世晶洞花岗岩及同时代的台湾东部花岗岩, 对于探讨闽台地区晚中生代岩浆作用和构造演化具有重要意义。本文以鹭峰山晶洞花岗岩为研究对象, 在野外地质调查和室内综

合研究的基础上, 通过 U-Pb 同位素年代学研究, 确定长乐—南澳断裂带以东地区晶洞花岗岩的形成时代; 通过收集相关资料, 与长乐—南澳断裂带以西地区的晶洞花岗岩及台湾东部地区同时代的岩浆岩进行对比, 探讨闽台地区晚中生代构造演化特征及其地质意义。

1 区域地质背景

福建沿海—台湾地区位于欧亚板块东部边缘, 东与菲律宾洋板块接壤(图 1(a))。福建沿海地区以长乐—南澳断裂为界, 划分为东南沿海岩浆岩带(SCMB)和长乐—南澳变质岩带(CNMB)^[12](图 1(a))。台湾地区位于欧亚板块与菲律宾洋板块交接处, 以中央纵谷断层为界划分为两部分: 纵谷断层东侧为海岸山脉亚单元, 代表菲律宾洋板块西部边缘; 纵谷断层西侧由东至西可划分为玉里带、太鲁阁带、脊梁山脉板岩带、雪山山脉、西部山麓带和海岸平原区等亚单元, 属于欧亚板块东部边缘^[13-14]。

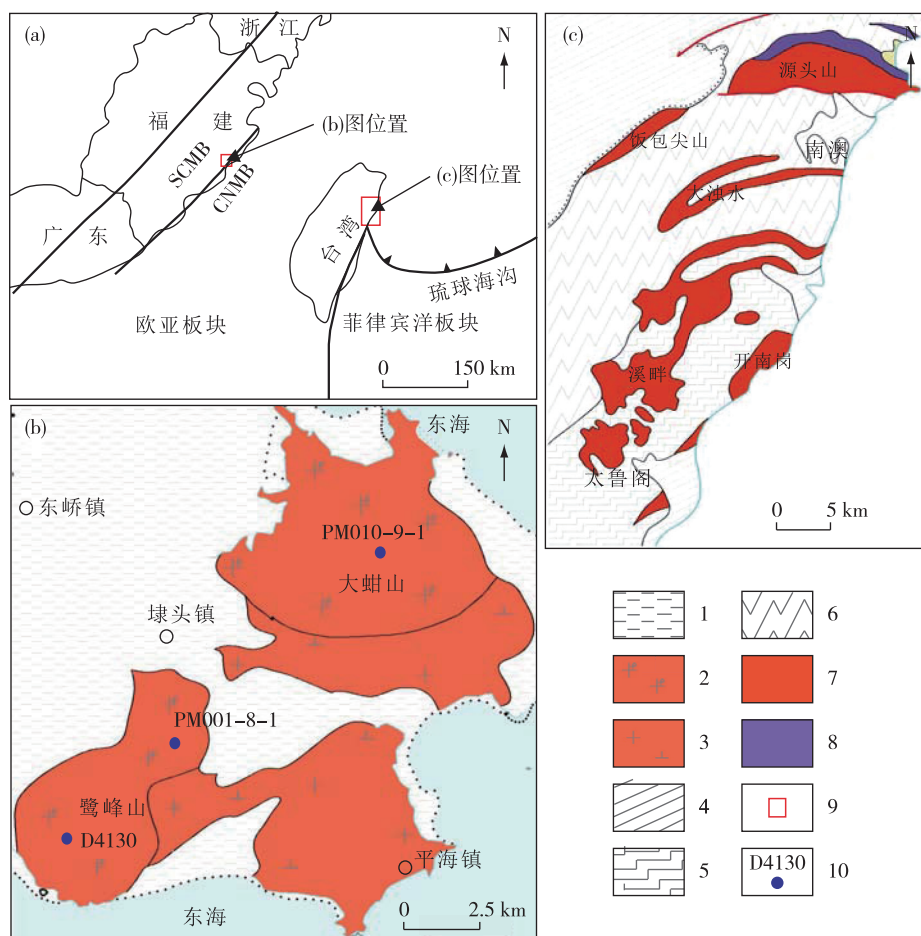
* 收稿日期: 2018-04-10 修订日期: 2018-09-28 责任编辑: 谭桂丽

基金项目: 中国地质调查局“闽台中生代构造-岩浆岩区域地质专项调查(编号: 12120114043301)”和“福建海域 1:5 万平海、浮叶幅海洋区域地质调查(编号: GZH2014002011)”项目联合资助。

第一作者简介: 黄长煌, 1962 年生, 男, 高级工程师, 主要从事区域地质和矿产地质调查工作。

燕山晚期,特别是晚白垩世,福建沿海与台湾地区同时经历了强烈的岩浆热事件,形成了各具特点的岩浆岩(图1(b)、(c))。福建沿海地区花岗质岩石分布广泛,岩石组合主要为花岗闪长岩—正长花岗岩的钙碱性I型花岗岩类,其次为A型花岗岩、玄武岩—流纹岩组成的双峰式火山岩和基性岩

墙,形成于伸展构造环境^[15-16]。台湾地区花岗质岩石分布于台湾东部太鲁阁带,主要岩体分别为源头山、饭包尖山、大浊水、溪畔和开南冈,各岩体主体岩石为花岗闪长岩和石英二长岩,均已变质为正片麻岩,属钙碱性I型花岗岩类,形成于挤压的弧陆碰撞构造环境^[17-18]。



1.第四系;2.晚白垩世晶洞花岗岩;3.早白垩世花岗闪长岩;4.古近系—第四系;5.上白垩统一新近纪天祥组;6.二叠系—上侏罗统;7.晚白垩世花岗闪长岩;8.晚白垩世角闪片岩;9.研究区;10.采样点及编号; SCMB.东南沿海岩浆岩带;CNMB.长乐—南澳变质岩带

图1 福建沿海及台湾地区大地构造位置(a)、鹭峰山地质简图(b)及台湾东部地区地质简图(c)^[1,13]

Fig. 1 Map showing tectonic position of Fujian coastal areas and Taiwan (a), simplified geological setting of Lufengshan (b) and simplified geological sketch of eastern Taiwan (c)^[1,13]

2 岩相学特征

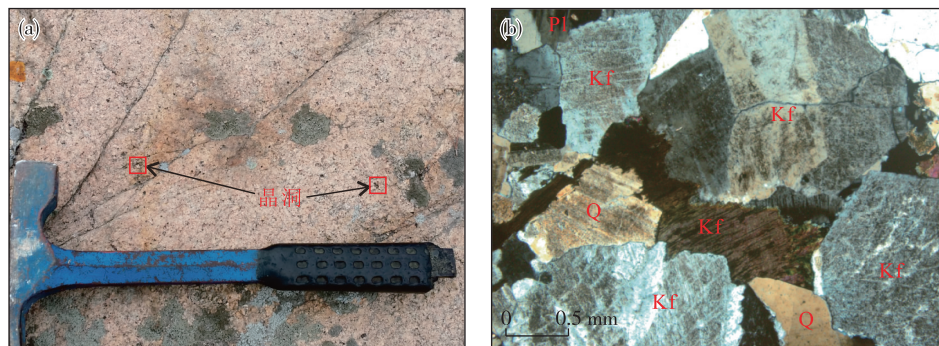
福建鹭峰山岩体为晶洞花岗岩,是1:20万区域地质填图时确定和命名的^①,“1:25万莆田市幅、泉州市幅区域地质调查报告”^②将其划分为洪山超单元,岩性为晶洞碱长花岗岩。岩体面积为68 km²,由鹭峰山岩体和大蚶山岩体组成(图1(b)),呈

NNE向展布,以不规则状岩株侵入至早白垩世花岗闪长岩中,具有特征性的晶洞构造(图2(a))。

岩石为中细粒晶洞碱长花岗岩,浅肉红色,中细粒花岗结构,晶洞构造。造岩矿物主要为石英(约30%)、钾长石(约60%)、斜长石(约8%)和白云母(约2%),矿物分布较均匀(图2(b)),矿物粒径为0.5~3.5 mm,晶洞约占2%,形态不规则,直径

0.5~6 mm,晶洞中有石英和钾长石晶簇。石英为半自形—他形晶,呈等轴粒状或不规则状,具波状消光。钾长石主要为他形晶,呈不规则状,具卡氏双晶和钠质条纹,颗粒边缘被少量钠长石交代。斜长石为半自形晶,呈宽板状、板状,晶体边缘被稍晚

结晶的矿物熔蚀,具聚片双晶、卡钠复合双晶,低正突起。晚期有少量钠质沿晶体边缘生长,且熔蚀交代钾长石。黑云母主要呈鳞片状,晶体边缘被稍晚结晶的矿物熔蚀。副矿物主要有磁铁矿、锆石和磷灰石等。



Q. 石英;Kf. 钾长石;Pl. 斜长石

图2 鹭峰山晶洞花岗岩野外露头照片(a)和显微照片(b)

Fig. 2 Outcrop photo (a) and photomicrograph(b) of the Lufengshan miarolitic granite

3 锆石 U-Pb 年代学

3.1 分析方法

锆石分选在北京锆年领航科技有限公司完成。制靶后通过 CL 和透反射光照相后,圈出锆石测点。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年工作在中国冶金地质总局山东局测试中心完成。锆石 U-Pb 同位素定年利用 LA-ICP-MS 分析完成,激光剥蚀系统为 New-wave UP213,ICP-MS 为 Bruker M90。激光剥蚀过程中采用氦气作载气,氩气作补偿气以调节灵敏度,二者在进入 ICP 之前通过一个 Y 型接头混合。

每个时间分辨分析数据包括约 15~20 s 的空白信号和 45 s 的样品信号。分析数据的离线处理包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算,采用 ICPMSDataCal 软件完成^[19-20]。

3.2 分析结果

3.2.1 锆石特征

晶洞花岗岩锆石阴极发光(CL)图像(图3)表明,锆石晶形较完整,呈长柱状,振荡生长环带发育;Th/U值为 0.45~0.89,一般为 0.6~0.8,具有岩浆成因锆石特征(表1)。

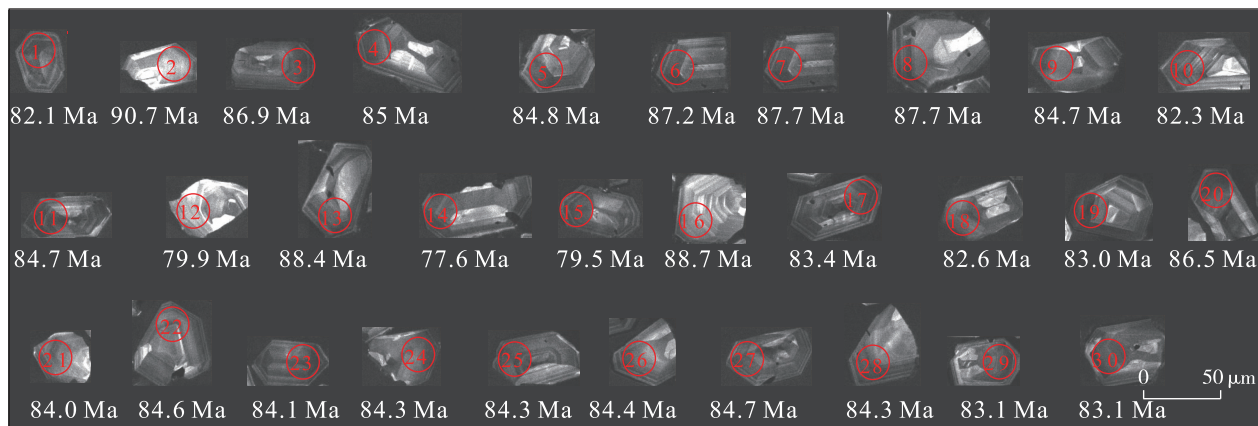


图3 鹭峰山晶洞花岗岩(D4130)锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 3 Cathodoluminescence(CL) images of zircons from the Lufengshan miarolitic granites(D4130)

表 1 鹭峰山晶洞花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results of the Lufengshan miarolitic granite

测点号	总 Pb/ 10 ⁻⁶	²³² Th/ 10 ⁻⁶	²³⁸ U/ 10 ⁻⁶	Th/U	同位素比值						表面年龄/ Ma					
					²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1 σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1 σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1 σ
D4130-1	31.0	769.7	1 367.4	0.56	0.045 4	0.002 1	0.081 4	0.004 0	0.012 8	0.000 2	—	—	79.5	3.7	82.1	1.3
D4130-2	18.8	427.9	786.1	0.54	0.050 7	0.002 0	0.099 1	0.003 9	0.014 2	0.000 2	227.8	61.1	95.9	3.6	90.7	1.5
D4130-3	14.3	381.6	556.8	0.69	0.048 9	0.002 1	0.091 4	0.003 8	0.013 6	0.000 2	142.7	98.1	88.8	3.5	86.9	1.4
D4130-4	42.7	1 082.0	1 730.6	0.63	0.048 3	0.001 6	0.089 4	0.003 2	0.013 3	0.000 2	122.3	81.5	87.0	3.0	85.0	1.1
D4130-5	23.6	550.5	1 019.0	0.54	0.048 7	0.002 1	0.090 4	0.004 1	0.013 2	0.000 2	200.1	100.0	87.9	3.9	84.8	1.4
D4130-6	34.8	923.8	1 334.5	0.69	0.048 2	0.001 5	0.090 9	0.002 8	0.013 6	0.000 2	109.4	78.7	88.3	2.6	87.2	1.1
D4130-7	34.2	981.3	1 207.4	0.81	0.047 0	0.001 9	0.089 0	0.003 5	0.013 7	0.000 2	55.7	87.0	86.6	3.2	87.7	1.4
D4130-8	31.3	895.6	1 133.7	0.79	0.049 5	0.001 6	0.094 0	0.003 0	0.013 7	0.000 2	168.6	77.8	91.2	2.8	87.7	1.2
D4130-9	19.1	539.8	708.3	0.76	0.047 0	0.001 9	0.086 7	0.003 5	0.013 2	0.000 2	50.1	92.6	84.5	3.3	84.7	1.2
D4130-10	33.8	1 029.4	1 227.4	0.84	0.048 9	0.002 0	0.087 2	0.003 6	0.012 9	0.000 2	142.7	98.1	84.9	3.4	82.3	1.3
D4130-11	31.0	852.6	1 170.0	0.73	0.051 6	0.002 1	0.094 6	0.003 9	0.013 2	0.000 2	264.9	99.1	91.8	3.6	84.7	1.3
D4130-12	9.0	332.0	355.5	0.93	0.059 8	0.006 6	0.102 2	0.010 5	0.012 5	0.000 4	598.2	237.9	98.8	9.7	79.9	2.6
D4130-13	28.9	752.0	1 126.8	0.67	0.048 2	0.001 7	0.092 3	0.003 3	0.013 8	0.000 2	122.3	80.5	89.6	3.0	88.4	1.2
D4130-14	31.5	934.8	1 136.3	0.82	0.053 9	0.003 1	0.091 0	0.005 3	0.012 1	0.000 2	368.6	131.5	88.5	4.9	77.6	1.4
D4130-15	39.9	1 153.5	1 690.5	0.68	0.052 3	0.001 9	0.090 8	0.003 3	0.012 4	0.000 2	298.2	81.5	88.2	3.1	79.5	1.1
D4130-16	8.2	168.6	375.9	0.45	0.047 7	0.002 5	0.090 0	0.004 6	0.013 9	0.000 3	87.1	122.2	87.5	4.3	88.7	1.6
D4130-17	34.4	953.3	1 395.6	0.68	0.050 7	0.001 5	0.092 3	0.003 0	0.013 0	0.000 2	227.8	70.4	89.7	2.8	83.4	1.2
D4130-18	21.5	618.0	784.0	0.79	0.050 7	0.002 4	0.090 1	0.004 0	0.012 9	0.000 2	227.8	104.6	87.6	3.7	82.6	1.5
D4130-19	38.4	1 021.2	1 531.5	0.67	0.055 1	0.002 3	0.100 0	0.004 2	0.013 0	0.000 2	416.7	92.6	96.7	3.9	83.0	1.2
D4130-20	39.7	1 115.1	1 495.9	0.75	0.045 9	0.001 8	0.086 0	0.003 2	0.013 5	0.000 2	—	—	83.8	3.0	86.5	1.3
D4130-21	16.4	404.4	594.5	0.68	0.063 6	0.007 6	0.130 6	0.022 2	0.013 1	0.000 4	727.8	257.4	124.6	19.9	84.0	2.7
D4130-22	14.7	416.3	577.3	0.72	0.051 2	0.002 7	0.091 9	0.004 3	0.013 2	0.000 2	250.1	118.5	89.2	4.0	84.6	1.6
D4130-23	41.7	1 107.2	1 715.3	0.65	0.051 2	0.001 5	0.093 0	0.002 8	0.013 1	0.000 2	255.6	63.9	90.3	2.6	84.1	1.2
D4130-24	27.9	772.1	1 017.5	0.76	0.052 0	0.002 4	0.094 7	0.004 0	0.013 2	0.000 2	283.4	103.7	91.8	3.7	84.3	1.4
D4130-25	26.6	657.9	918.0	0.72	0.085 7	0.008 7	0.164 8	0.019 3	0.013 2	0.000 4	1 331.5	198.1	154.9	16.8	84.3	2.5
D4130-26	20.4	450.1	935.5	0.48	0.053 1	0.002 7	0.097 6	0.005 4	0.013 2	0.000 2	331.5	116.7	94.6	5.0	84.4	1.3
D4130-27	27.0	748.6	1 073.3	0.70	0.048 6	0.002 0	0.089 0	0.003 7	0.013 2	0.000 2	127.9	93.5	86.5	3.4	84.7	1.5
D4130-28	25.7	695.7	1 070.8	0.65	0.047 5	0.001 5	0.086 8	0.002 7	0.013 2	0.000 2	76.0	70.4	84.5	2.5	84.3	1.3
D4130-29	32.5	946.8	1 265.5	0.75	0.047 7	0.001 6	0.085 6	0.002 7	0.013 0	0.000 2	83.4	117.6	83.4	2.5	83.1	1.2
D4130-30	27.9	868.3	978.7	0.89	0.045 3	0.002 1	0.081 9	0.003 7	0.013 0	0.000 2	—	—	79.9	3.5	83.1	1.3
PM001-8-1-01	45.5	546.1	728.7	0.75	0.050 3	0.002 0	0.088 6	0.003 1	0.012 8	0.000 2	208.6	89.5	86.2	2.9	81.9	1.1
PM001-8-1-04	39.1	371.1	632.8	0.59	0.053 2	0.005 4	0.093 5	0.009 2	0.012 8	0.000 3	335.7	216.2	90.7	8.5	81.7	2.0
PM001-8-1-06	57.0	575.6	907.5	0.63	0.057 8	0.005 9	0.101 3	0.009 9	0.012 7	0.000 3	523.1	209.5	98.0	9.2	81.4	2.1
PM001-8-1-07	19.9	201.0	276.3	0.73	0.125 9	0.018 1	0.223 0	0.030 2	0.012 9	0.000 6	2 041.6	234.5	204.4	25.1	82.3	4.0
PM001-8-1-08	38.5	328.4	616.1	0.53	0.050 3	0.009 6	0.089 3	0.016 6	0.012 9	0.000 6	209.3	391.8	86.8	15.5	82.5	3.6
PM001-8-1-09	70.0	800.9	1 126.6	0.71	0.056 5	0.003 0	0.097 7	0.004 9	0.012 5	0.000 2	472.3	115.6	94.6	4.5	80.3	1.3
PM001-8-1-10	49.8	657.8	789.1	0.83	0.048 3	0.002 4	0.084 7	0.003 9	0.012 7	0.000 2	114.3	114.9	82.6	3.7	81.5	1.2
PM001-8-1-15	49.4	582.5	777.2	0.75	0.051 9	0.003 0	0.090 9	0.005 0	0.012 7	0.000 2	282.1	128.4	88.3	4.6	81.3	1.3
PM001-8-1-16	21.6	201.6	342.2	0.59	0.047 8	0.008 9	0.085 4	0.015 5	0.013 0	0.000 5	89.5	391.0	83.2	14.5	82.9	3.3
PM001-8-1-18	94.1	930.3	1 427.8	0.65	0.061 2	0.003 9	0.111 3	0.006 6	0.013 2	0.000 2	647.6	130.9	107.1	6.1	84.4	1.5
PM001-8-1-19	73.6	713.8	1 182.3	0.60	0.050 4	0.002 9	0.088 7	0.004 7	0.012 8	0.000 2	214.2	126.7	86.3	4.4	81.7	1.3
PM001-8-1-20	20.8	218.4	312.1	0.70	0.068 8	0.005 1	0.123 0	0.008 6	0.013 0	0.000 3	892.4	146.1	117.8	7.8	83.1	1.7
PM001-8-1-21	64.2	725.1	996.0	0.73	0.066 4	0.002 3	0.115 9	0.003 4	0.012 7	0.000 2	820.0	71.7	111.3	3.1	81.0	1.0
PM001-8-1-22	59.5	670.7	926.5	0.72	0.052 5	0.005 5	0.093 1	0.009 4	0.012 9	0.000 3	308.6	222.7	90.4	8.8	82.3	2.1
PM001-8-1-23	84.3	794.4	1 326.7	0.60	0.051 2	0.005 3	0.091 4	0.009 1	0.013 0	0.000 3	249.6	221.6	88.8	8.5	83.0	2.1

续表1

测点号	总 Pb/ 10 ⁻⁶	²³² Th/ 10 ⁻⁶	²³⁸ U/ 10 ⁻⁶	Th/U	同位素比值						表面年龄/ Ma					
					²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
PM001-8-1-24	27.4	281.5	434.9	0.65	0.050 0	0.002 4	0.088 10	0.003 80	0.012 80	0.000 2	195.4	106.0	85.7	3.5	81.8	1.1
PM001-8-1-25	41.8	436.7	670.2	0.65	0.051 7	0.004 2	0.089 90	0.007 00	0.012 60	0.000 3	270.2	175.5	87.4	6.5	80.9	1.6
PM001-8-1-26	37.2	382.9	569.0	0.67	0.059 9	0.003 9	0.105 90	0.006 50	0.012 80	0.000 2	599.9	135.2	102.2	6.0	82.1	1.5
PM001-8-1-27	45.5	554.4	664.1	0.83	0.087 9	0.003 9	0.154 00	0.006 10	0.012 70	0.000 2	1 380.6	83.1	145.5	5.4	81.4	1.3
PM001-8-1-28	46.8	447.1	742.0	0.60	0.051 7	0.004 9	0.090 70	0.008 20	0.012 70	0.000 3	270.0	201.5	88.2	7.6	81.6	1.9
PM001-8-1-29	82.5	974.0	1 287.7	0.76	0.049 0	0.003 4	0.087 00	0.005 70	0.012 90	0.000 2	149.5	154.1	84.7	5.3	82.4	1.5
PM001-8-1-30	30.3	355.0	473.3	0.75	0.052 0	0.004 6	0.091 20	0.007 80	0.012 70	0.000 3	283.8	190.9	88.6	7.2	81.5	1.8
PM010-9-1-02	162.0	1 969.5	2 406.2	0.82	0.048 69	0.001 19	0.089 17	0.001 52	0.013 28	0.000 15	133.0	56.3	86.7	1.4	85.1	0.9
PM010-9-1-03	206.5	2 936.9	2 986.3	0.98	0.048 55	0.001 15	0.089 35	0.001 45	0.013 35	0.000 15	125.9	54.9	86.9	1.4	85.5	0.9
PM010-9-1-05	38.4	282.5	604.7	0.47	0.049 42	0.004 99	0.089 21	0.008 67	0.013 09	0.000 32	167.8	220.0	86.8	8.1	83.8	2.0
PM010-9-1-06	109.5	1 048.7	1 647.5	0.64	0.048 24	0.001 35	0.089 42	0.001 94	0.013 44	0.000 15	111.1	64.6	87.0	1.8	86.1	1.0
PM010-9-1-07	69.9	695.8	1 076.9	0.65	0.049 06	0.002 54	0.089 05	0.004 27	0.013 17	0.000 20	150.5	117.1	86.6	4.0	84.3	1.3
PM010-9-1-08	30.1	563.1	414.9	1.36	0.049 84	0.004 69	0.091 84	0.008 32	0.013 36	0.000 30	187.5	205.6	89.2	7.7	85.6	1.9
PM010-9-1-09	132.3	1 819.2	1 960.3	0.93	0.048 25	0.001 39	0.087 93	0.002 01	0.013 22	0.000 15	111.5	66.8	85.6	1.9	84.6	1.0
PM010-9-1-10	106.5	1 063.2	1 639.0	0.65	0.049 28	0.001 64	0.088 96	0.002 49	0.013 09	0.000 16	161.2	76.0	86.5	2.3	83.8	1.0
PM010-9-1-12	179.4	2 725.8	2 626.1	1.04	0.047 94	0.001 15	0.087 39	0.001 47	0.013 22	0.000 15	95.1	57.1	85.1	1.4	84.7	0.9
PM010-9-1-15	149.0	1 941.6	2 211.6	0.88	0.047 62	0.001 51	0.087 51	0.002 30	0.013 33	0.000 16	79.6	74.3	85.2	2.1	85.3	1.0
PM010-9-1-16	173.3	2 553.0	2 484.6	1.03	0.047 62	0.001 16	0.089 02	0.001 53	0.013 56	0.000 15	79.6	57.5	86.6	1.4	86.8	1.0
PM010-9-1-18	122.3	1 344.7	1 893.0	0.71	0.048 67	0.001 45	0.087 16	0.002 09	0.012 99	0.000 15	131.9	68.5	84.9	2.0	83.2	1.0
PM010-9-1-20	93.9	954.9	1 456.8	0.66	0.052 65	0.002 69	0.094 48	0.004 45	0.013 01	0.000 20	313.8	112.0	91.7	4.1	83.3	1.3
PM010-9-1-21	92.6	1 025.2	1 429.6	0.72	0.050 71	0.001 97	0.091 11	0.003 12	0.013 03	0.000 17	227.5	87.3	88.5	2.9	83.5	1.1
PM010-9-1-24	118.8	1 321.0	1 823.1	0.72	0.048 3	0.001 3	0.087 56	0.001 80	0.013 15	0.000 15	114.2	62.1	85.2	1.7	84.2	1.0
PM010-9-1-25	120.9	1 461.3	1 803.8	0.81	0.047 75	0.001 33	0.087 91	0.001 92	0.013 35	0.000 15	86.1	65.8	85.6	1.8	85.5	1.0
PM010-9-1-26	101.4	1 083.2	1 548.8	0.70	0.048 46	0.001 34	0.088 29	0.001 90	0.013 21	0.000 15	121.9	63.8	85.9	1.8	84.6	1.0
PM010-9-1-28	115.4	1 681.4	1 690.0	0.99	0.048 55	0.001 49	0.089 28	0.002 25	0.013 34	0.000 16	126.0	70.8	86.8	2.1	85.4	1.0
PM010-9-1-29	67.5	752.7	1 034.4	0.73	0.047 93	0.001 84	0.087 30	0.002 95	0.013 21	0.000 17	94.8	89.4	85.0	2.8	84.6	1.1
PM010-9-1-30	127.4	1 486.5	1 889.1	0.79	0.047 8	0.001 25	0.089 14	0.001 76	0.013 52	0.000 15	88.4	61.9	86.7	1.6	86.6	1.0

3.2.2 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

采自鹭峰山南侧的晶洞碱长花岗岩(样品编号为 D4130)获得有效测点 30 个(图 4), ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平

均年龄为 84.5±1 Ma(MSWD=4.1, n=30), 为晚白垩世。

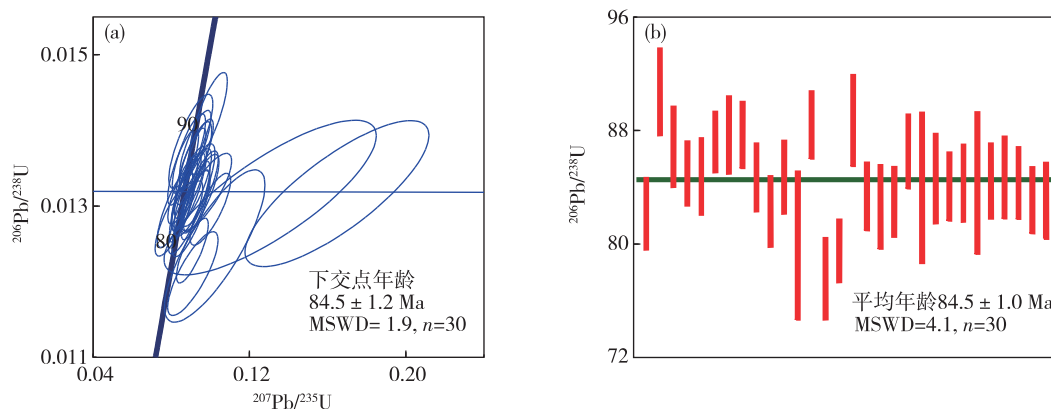


图 4 鹭峰山南侧晶洞花岗岩(D4130)锆石 U-Pb 年龄谐和图(a)及加权平均年龄图(b)

Fig. 4 U-Pb concordia diagram(a) and weighted average age diagram (b) of zircons from the miarolitic granites(D4130) in southern Lufengshan

采自鹭峰山的晶洞碱长花岗岩(样品编号为 PM001-8-1) 获得有效测点 22 个(图 5), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $81.8 \pm 0.6 \text{ Ma}$ (MSWD 为 0.33, $n=22$), 为晚白垩世。采自鹭峰山北侧的

晶洞碱长花岗岩(样品编号为 PM010-9-1) 获得有效测点 20 个(图 6), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $84.9 \pm 0.5 \text{ Ma}$ (MSWD = 0.99, $n=20$), 为晚白垩世。

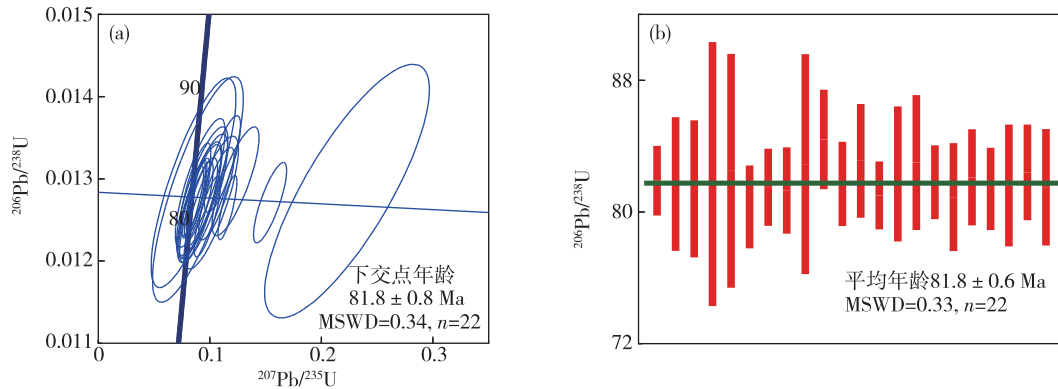


图 5 鹭峰山晶洞花岗岩(PM001-8-1)锆石 U-Pb 年龄谐和图(a)及加权平均年龄图(b)

Fig. 5 U-Pb concordia diagram (a) and weighted average age diagram (b) of zircons from the miarolitic granites (PM001-8-1) in Lufengshan

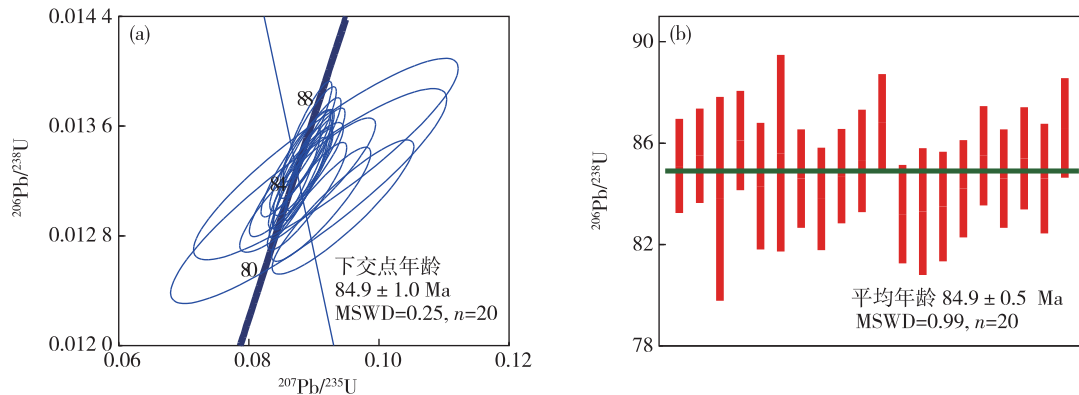


图 6 鹭峰山北侧晶洞花岗岩(PM010-9-1)锆石 U-Pb 年龄谐和图(a)及加权平均年龄图(b)

Fig. 6 U-Pb concordia diagram(a) and weighted average age diagram (b) of zircons from the miarolitic granites (PM010-9-1) in northern Lufengshan

4 讨论

4.1 鹭峰山晚白垩世 A 型花岗岩年龄

本文获得鹭峰山晶洞花岗岩 3 个岩石样品的结晶年龄分别为 $84.5 \pm 1.0 \text{ Ma}$ 、 $81.8 \pm 0.6 \text{ Ma}$ 和 $84.9 \pm 0.5 \text{ Ma}$, 属晚白垩世。吴柏兴^[21]测得福建莆田渡边安山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 82.9 Ma , 该区与同时代的鹭峰山晶洞花岗岩相距较近($<10 \text{ km}$), 均位于长乐—南澳断裂带南东侧, 二者属同时代形成的岩浆岩, 证实该区晚白垩世($84.9 \sim 81.8 \text{ Ma}$) 存在伸展构造环境下的岩浆

事件。

鹭峰山岩体获得的锆石 U-Pb 年龄比前人认为的晚白垩世伸展环境下岩浆作用停止时间($85 \sim 86 \text{ Ma}$)^[22] 小。因此, 福建沿海 A 型花岗岩带的年龄上限为 81.8 Ma 。

4.2 长乐—南澳断裂带晶洞花岗岩

长乐—南澳断裂带北西侧晶洞花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $102 \sim 92 \text{ Ma}$ (早白垩世—晚白垩世)^[2-8], 魁岐岩体晶洞碱性花岗岩(碱性 A 型花岗岩) 年龄为 $101.7 \sim 92 \text{ Ma}$ ^[8-9], 白云山岩体铝质 A 型花岗岩年龄为 99.3 Ma ^[23], 石牛山岩体晶洞花

岗斑岩年龄为 $94.7 \text{ Ma}^{[23]}$, 太姥山岩体(南镇)晶洞碱长花岗岩年龄为 $96.6 \text{ Ma}^{[7,9]}$; 断裂带南东侧晶洞碱长花岗岩年龄为 $93.8 \sim 81.8 \text{ Ma}^{[9]}$, 三沙和大京岩体晶洞碱长花岗岩年龄为 $93.8 \sim 91.5 \text{ Ma}^{[7]}$, 金刚山岩体晶洞碱长花岗岩年龄为 $91 \sim 86 \text{ Ma}^{[24-25]}$, 白石山岩体晶洞碱长花岗岩年龄为 $91.7 \sim 91 \text{ Ma}^{[25]}$, 乌山岩体晶洞碱长花岗岩的年龄为 $92 \text{ Ma}^{[25]}$ 。显然, 长乐—南澳断裂带北西侧可能存在更复杂的岩石组合, 如魁岐岩体由晶洞碱性花岗岩和晶洞碱长花岗岩组成^[8]。断裂带南东侧地质填图及野外地质剖面均显示其岩性较单一, 如鹭峰山岩体为晶洞碱长花岗岩。

综上, 福建沿海晶洞花岗岩在长乐—南澳断裂带南东侧形成的时间较晚, 为晚白垩世($93.8 \sim 81.8 \text{ Ma}$), 岩浆活动随时间推移向东迁移, 说明在早白垩世晚期—晚白垩世早期($102 \sim 81.8 \text{ Ma}$), 福建沿海 A 型花岗质岩浆作用受古太平洋板块俯冲后撤作用影响, 且后撤作用是连续的过程^[10]。

4.3 与台湾东部地区岩浆岩对比

笔者通过研究福建沿海和台湾东部地区地质构造特征^[26-29], 发现长乐—南澳断裂带是福建沿海重要的构造带, 早侏罗世—早白垩世, 经历了复杂的构造岩浆过程, 晚白垩世为晶洞花岗岩侵入期。台湾地区晚白垩世花岗质岩石主要出露于东部太鲁阁带, 该带出露陆源沉积岩-灰岩(夹硅质岩)-基性火山岩组合(大南澳片岩, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $95 \pm 3 \text{ Ma}^{[29]}$, 存在晚白垩世($94 \sim 87 \text{ Ma}$)岩浆侵入作用和强烈的变形变质作用^[30-31]。受挤压作用影响, 发生片理化和变质作用, 片麻状花岗质岩体是壳幔混源花岗岩^[30-31], 岩浆岩的结晶年龄为 $87 \sim 82 \text{ Ma}^{[28]}$ 。南澳 Fenniaolin 附近角闪岩中 18 颗变质锆石 U-Pb 年龄为 $86 \pm 1 \text{ Ma}^{[32]}$; 源头山花岗闪长岩结晶年龄约为 87 Ma , 源头山未变形花岗岩结晶年龄为 82 Ma , 代表挤压作用结束的时间。综上, 晚白垩世早期($94 \sim 82 \text{ Ma}$), 台湾东部处于挤压构造环境。

福建沿海晚白垩世晶洞花岗岩主要分布在长乐—南澳深大断裂带, 其南东侧 A 型花岗岩侵入时代为 $93.8 \sim 81.8 \text{ Ma}$, 形成于伸展构造环境。福建莆田渡边安山岩喷发时代为 $82.9 \text{ Ma}^{[21]}$, 也形成于伸展构造环境, 表明晚白垩世($93.8 \sim 81.8 \text{ Ma}$), 福建沿海地区处于伸展构造环境。

现今的台湾东部(大南澳)地区与福建沿海地区之间有海水或新生代地层覆盖, 已有研究证明二者属同一构造块体, 且具连续性^[33-34]。晚白垩世, 受古太平洋板块俯冲作用影响, 台湾东部地区处于弧前挤压环境, 福建沿海的长乐—南澳断裂带处于弧后伸展环境, 二者受同一构造体系控制, 这种观点与台湾同行的认识一致^[31]。

5 结 论

(1) 福建鹭峰山晶洞花岗岩三个岩石样品锆石 U-Pb 年龄为 $84.5 \pm 1.0 \text{ Ma}$ 、 $81.8 \pm 0.6 \text{ Ma}$ 和 $84.9 \pm 0.5 \text{ Ma}$, 属晚白垩世。以长乐—南澳断裂带为中心, 断裂带北西侧晶洞花岗岩年龄为 $102 \sim 92 \text{ Ma}$, 断裂带南东侧晶洞花岗岩年龄为 $93.8 \sim 81.8 \text{ Ma}$, 福建沿海 A 型花岗质岩浆作用有向东迁移特征, 可能受古太平洋板块俯冲后撤作用影响。

(2) 福建鹭峰山晶洞花岗岩为 A 型花岗岩, 与台湾东部地区同时代的岩浆岩对比, 二者均为古太平洋板块俯冲作用的产物。台湾东部(大南澳)受挤压构造作用影响形成酸性岩(花岗岩类), 福建沿海长乐—南澳断裂带位于弧后伸展构造区, 形成 A 型花岗岩。

注释

- ① 福建省区域地质测量队. 1:20 万莆田幅区域地质调查报告. 1977.
- ② 福建省地质调查研究院. 1:25 万莆田市幅、泉州市幅区域地质调查报告. 2007.

参考文献

- [1] 福建省地质调查研究院. 中国区域地质志·福建志[M]. 北京:地质出版社, 2016:522-527.
- [2] 吴克隆, 严炳铨, 陆振球, 等. 福建省晶洞(钾长)花岗岩一般特征及成因初步探讨[J]. 福建地质, 1982, 1(2):1-28.
- [3] 彭亚鸣, 袁朴. 福建魁岐碱性花岗岩特征及其成因类型[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1984, 20(4):740-752.
- [4] 洪大卫, 郭文岐, 李戈晶, 等. 福建沿海晶洞花岗岩带的岩石学和成因演化[M]. 北京:北京科学技术出版社, 1987:1-35.
- [5] MARTIN H, BONIN B, DIDIER J, et al. 中国东南部福州花岗质杂岩的岩石学和地球化学[J]. 地球化学,

- 1991,20(2):101-111.
- [6] 郑声俭,黄泉祯,严炳铨.福建省侵入岩岩石谱系单位划分[M].厦门:厦门大学出版社,2000.
- [7] 邱检生,肖娥,胡建,等.福建北东沿海高分异 I 型花岗岩的成因:锆石 U-Pb 年代学、地球化学和 Nd-Hf 同位素制约[J].岩石学报,2008,24(11):2468-2484.
- [8] 单强,曾乔松,李建康,等.福建魁岐晶洞花岗岩锆石 U-Pb 年代学及其地球化学研究[J].岩石学报,2014,30(4):1155-1167.
- [9] 李良林,周汉文,陈植华,等.福建太姥山地区和鼓山地区 A 型花岗岩对比及其地球动力学意义[J].现代地质,2013,27(3):509-524.
- [10] 夏炎,刘磊,徐夕生.中国东南部晚中生代 A 型花岗岩类与古太平洋板块俯冲-后撤[J].矿物岩石地球化学通报,2016,35(6):1109-1119.
- [11] 姜耀辉,王国昌.中国东南部晚中生代花岗岩成因与深部动力学机制——古太平洋板块反复俯冲-后退模式[J].矿物岩石地球化学通报,2016,35(6):1073-1081.
- [12] CHEN C H, LIN W, LAN C Y, et al. Geochemical, Sr and Nd isotopic characteristics and tectonic implications for three stages of igneous rock in the Late Yanshanian (Cretaceous) orogeny, SE China [J]. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences,2004,95(1/2):237-248.
- [13] 何春荪.台湾地质概论:台湾地质图说明书 [M].2 版.台北:经济部中央地质调查所,1986:1-163.
- [14] HUANG C Y, YUAN P B, TSAO S J. Temporal and spatial records of active arc-continent collision in Taiwan: a synthesis [J]. Geological Society of America Bulletin,2006,118(3):274-288.
- [15] CHEN C H, LIN W, LU H Y, et al. Cretaceous fractionated I-type granitoids and metaluminous A-type granites in SE China: the Late Yanshanian postorogenic magmatism[J].Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Science,2000,91:195-205.
- [16] CHEN C H, HSICH P S, WANG K L, et al. Zircon LA-ICPMS U-Pb ages and Hf isotopes of Huayu (Penghu Islands) volcanics in the Taiwan Strait and tectonic implication [J]. Journal of Asian Earth Sciences,2010,37(1):17-30.
- [17] CHEN W S, HUANG Y C, LIU C H, et al. U-Pb zircon geochronology constraints on the ages of the Tananao Schist Belt and timing of orogenic events in Taiwan: Implications for a new tectonic evolution of the South China Block during the Mesozoic[J].Tectonophysics,2016,686:68-81.
- [18] 刘凯,厉子龙,徐维光,等.华南中生代岩浆岩时空分布和迁移与古太平洋板块俯冲过程[J].矿物岩石地球化学通报,2016,35(6):1141-1155.
- [19] 侯可军,李延河,田有荣.LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J].矿床地质,2009,28(4):481-492.
- [20] LIU Y S, GAO S, HU Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology, 2010, 51 (1/2): 537-571.
- [21] 吴柏兴.福建莆田渡边火山岩锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].福建地质,2016,35(3):163-171.
- [22] LI X H. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in Southeast China[J].Journal of Asian Earth Sciences,2000,18(3):293-305.
- [23] 李良林,周汉文,陈植华,等.福建沿海晚中生代花岗岩质岩石成因及其地质意义[J].地质通报,2013,32(7):1047-1062.
- [24] LI Z, QIU J S, YANG X M. A review of the geochronology and geochemistry of Late Yanshanian (Cretaceous) plutons along the Fujian coastal area of southeastern China: Implications for magma evolution related to slab break-off and rollback in the Cretaceous[J].Earth-Science Reviews,2014,128:232-248.
- [25] ZHAO J L, QIU J S, LIU L, et al. Geochronological, geochemical and Nd-Hf isotopic constraints on the petrogenesis of Late Cretaceous A-type granites from the southeastern coast of Fujian Province, South China[J].Journal of Asian Earth Sciences,2015,105:338-359.
- [26] 黄长煌.福建东山变质岩 LA-ICP-MS 同位素年龄及其地质意义[J].中国地质,2016,43(3):738-750.
- [27] 黄长煌.福建东山中生代花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石同位素定年及其地质意义[J].福建地质,2015,34(4):261-271.
- [28] 黄长煌.台湾东部未变形花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J].地质通报 2017,36(10):1740-1749.
- [29] 黄长煌.台湾东澳片岩同位素年龄及地质意义[J].中国地质,2017,44(6):466-479.
- [30] LAN C Y, JAHN B M, MERTZMAN S A, et al. Subduction-related granitic Rocks of Taiwan [J]. Journal of Southeast Asian Earth Sciences,1996, 14 (1/2):11-28.
- [31] CHEN W S, HUANG Y C, LIU C H, et al. U-Pb zircon geochronology constraints on the ages of the

- Tananao Schist Belt and timing of orogenic events in Taiwan: Implications for a new tectonic evolution of the South China Block during the Mesozoic[J]. *Tectonophysics*, 2016, 686: 68-81.
- [32] WINTSCH R P, YANG H J, LI X H, et al. Geochronologic evidence for a cold arc-continent collision: The Taiwan orogeny[J]. *Lithos*, 2011, 125(1/2): 236-248.
- [33] HALL R. Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific computer-based reconstructions, model and animations [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2002, 20 (4): 353-431.
- [34] YU H S, SONG G S. Submarine Physiography around Taiwan and its relation to tectonic setting[J]. *Journal of the Geological Society of China*, 1993, 36 (2): 139-156.

Zircon U-Pb age of the Lufengshan miarolitic granite in Fujian Province and its geological significance

HUANG Chang-huang, LIN Ci-luan

(*Fujian Institute of Geological Survey, Fuzhou 350013, China*)

Abstract: In comparison with the contemporary granite in eastern Taiwan, this paper analyzed the characteristics of tectonic and magmatic activities and tectonic environment of Fujian and Taiwan during late Mesozoic using petrography and zircon U-Pb isotope ages of Lufengshan miarolitic granite. Main rock type at Lufengshan is medium to fine-grained miarolitic alkali feldspar granite, which belongs to A-type granite with the characteristic miarolitic texture. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating yielded three ages of 84.5 ± 1.0 Ma, 81.8 ± 0.6 Ma and 84.9 ± 0.5 Ma for the Lufengshan miarolitic granite. Combined with the ages of other miarolitic granites in the area, it can be concluded that the miarolitic granites in the southeastern part of the Changle-Nan'ao fault zone formed at $93.8 \sim 81.8$ Ma, belonging to late Cretaceous. The magmatic activity moved eastward, which might have been controlled by subduction retrogression of the paleo-Pacific Plate. Therefore, this tectonic-magmatic activity and felsic magmatism in eastern Taiwan should belong to the same tectonic-magmatic event.

Key words: Lufengshan, Fujian Province; miarolitic granite; A-type granite; eastern Taiwan; Late Cretaceous