

福建中部龙岭花岗岩LA-ICP-MS锆石U-Pb测年

崔碧云, 黎敦朋

福州大学紫金矿业学院, 福建 福州
Email: 503831695@qq.com

收稿日期: 2020年10月5日; 录用日期: 2020年10月16日; 发布日期: 2020年10月23日

摘要

龙岭花岗岩位于福建省中部, 总体呈南北向展布, 出露面积约为120 km², 岩性为灰白色似斑状二长花岗岩和二长花岗岩。前人将其时代划归为二叠纪或石炭纪, 但地质图显示其上与上泥盆统天瓦崇组呈沉积不整合接触。为了确定龙岭花岗岩的形成时代, 本文对龙岭花岗岩进行了LA-ICP-MS锆石U-Pb测年, 获得²⁰⁶U/²³⁸Pb加权平均年龄为 432.8 ± 4.8 Ma (n = 20, MSWD = 0.0092), 表明龙岭花岗岩侵位时代为志留纪, 是加里东期岩浆活动的产物, 而不是二叠纪或石炭纪侵位的花岗岩, 这对华夏地块早古生代岩浆演化提供了新资料。

关键词

龙岭花岗岩, LA-ICP-MS锆石U-Pb测年, 志留纪

LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Longling Granit in Central Fujian Province

Biyun Cui, Dунpeng Li

College of Zijin Mining, Fuzhou University, Fuzhou Fujian
Email: 503831695@qq.com

Received: Oct. 5th, 2020; accepted: Oct. 16th, 2020; published: Oct. 23rd, 2020

Abstract

The Longling granite is located in the central part of Fujian Province, which is distributed in a north-south direction and the distribution area is about 120 km². It is mainly composed of gray-white

porphyritic monzonitic granite and monzonitic granite. The predecessors classified its age as Permian or Carboniferous; however the geological map shows that it is in sedimentary unconformity contact with the Upper Devonian Tianwadi Formation. In order to determine the formation age of the Longling granite, this paper has carried out LA-ICP-MS zircon U-Pb dating on the Longling granite. The weighted average age of $^{206}\text{U}/^{238}\text{Pb}$ is 432.8 ± 4.8 Ma ($n = 20$, $\text{MSWD} = 0.0092$), indicating that the intrusive age of the Longling granite is the Silurian, which is the product of Caledonian magmatic activity, rather than the Permian or Carboniferous, and which provides new data for the early Paleozoic magmatic evolution of the Cathaysia block.

Keywords

Longling Granit, LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating, Siluran

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年是确定地质体形成时代的重要方法之一,较其它 U-Pb 测年方法具有原位、实时、快速的优势,以及具有较高的灵敏度、较好的空间分辨率和经济的优点[1]; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年方法相对于全岩 Rb-Sr 测年、K-Ar 测年具有更高的封闭温度,不容易受后期构造热事件扰动,对确定花岗岩侵位时代具有得天独厚的优势而广泛应用于花岗岩测年[2] [3]。

龙岭花岗岩位于福建省中部的永安市以东约 5 km,总体呈近南北向展布,东西宽约 6~8 km,南北长约 15 km,在西北部有不规则状岩枝伸向贡川镇,分布面积约为 120 km²,主要岩性为似斑状二长花岗岩和二长花岗岩(图 1)。1989 年朱玉磷等通过全岩 Rb-Sr 测年获得等时线年龄为 340.6 ± 1.6 Ma、角闪石 K-Ar 年龄为 345 ± 3.8 Ma,确定其侵位时代为石炭纪[4];在 1990 年福建省闽西地质大队出版的贡川幅一比五万地质图及说明书中将其时代划分为二叠纪[5];在 2002 年福建省地质调查研究院出版的三明市幅一比二十五万地质图及说明书中将其时代仍划分为二叠纪[6]。然而,笔者判读地质图发现龙岭花岗岩局部与其上的上泥盆统天瓦寨组直接接触,野外调查发现接触带没有热接触变质现象,呈现沉积不整合接触特征。如果沉积不整合接触判断正确,那么前人确定的龙岭花岗岩时代为石炭纪或二叠纪的时代均偏晚,其时代可能早于晚泥盆世。为了准确厘定龙岭花岗岩的侵位时代,本文对龙岭花岗岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年工作。

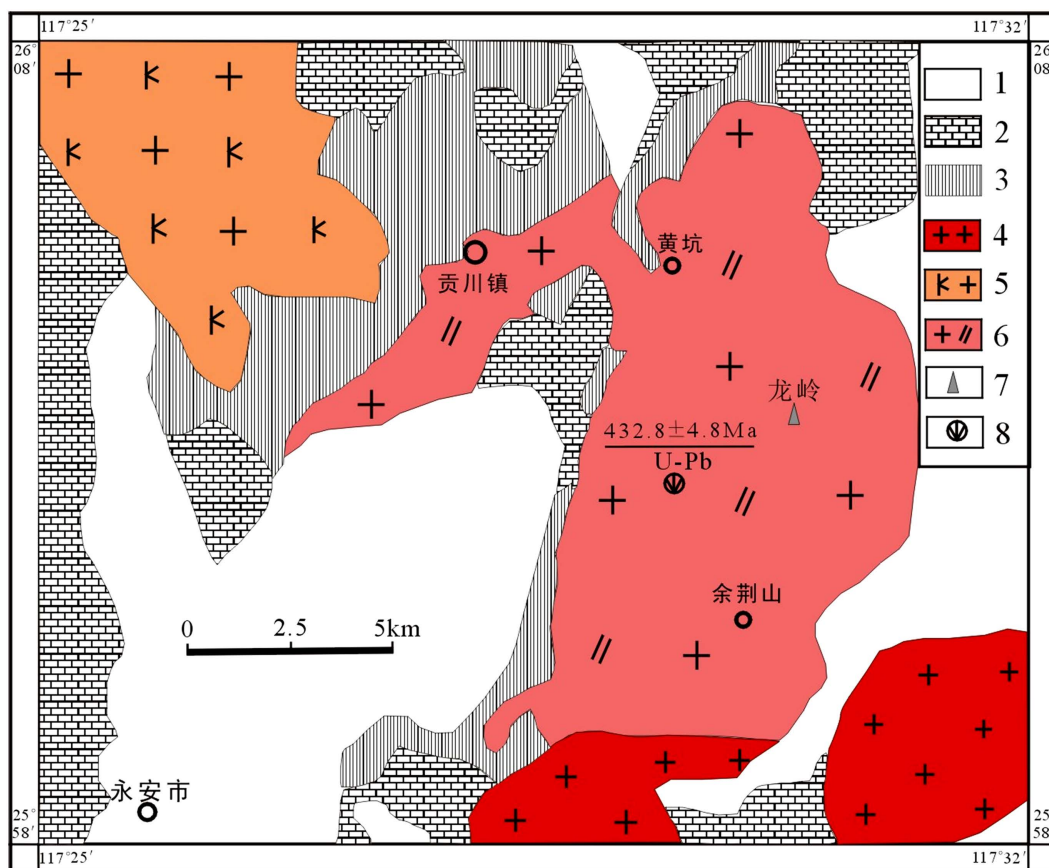
2. 地质背景

研究区位于福建省中部地区,主要出露古生界-中生界地层,古生界地层褶皱变形强烈,中生界地层褶皱变形较弱;研究区断裂较发育,尤以逆冲推覆构造变形为特色。研究区主要出露下古生界林田组、魏坊组、东坑口组、罗峰溪组浅变质细碎屑岩系,上古生界天瓦寨组和桃子坑组、石炭系下统林地组多旋回由粗变细的粗碎屑岩系和石炭系中上统黄龙组、船山组和下二叠统栖霞组碳酸盐岩、下三叠统溪口组砂岩、泥岩夹灰层,中生界侏罗系-白垩系陆相碎屑岩夹火山岩沉积,上白垩统以红色碎屑岩为特色,形成了闽西地区颇具特色的丹霞地貌[7] [8] [9]。

研究区岩浆活动较强烈,包括志留纪、三叠纪、侏罗纪-白垩纪花岗岩 3 期岩浆侵入活动和晚侏罗世-白垩世火山活动。志留纪花岗岩主要分布于研究区以西的清流、明溪和宁化一带,主要有玮蒲岩体、

胡坊岩体、宁化岩体[10] [11]; 三叠纪花岗岩主要分布研究区以西的新冲、旧场、胡坊一带[12] [13]; 侏罗纪 - 白垩纪花岗岩主要分布于研究区南部的大垄头、桂溪一带[4]; 晚侏罗世 - 白垩世火山岩主要分布于永安盆地内, 主要为上侏罗统南盘组流纹质火山角砾岩、角砾凝灰岩、熔结凝灰岩、流纹岩等, 白垩纪主要为坂头组凝灰岩、角砾凝灰岩、泥岩和吉山组凝灰岩、砾岩、砂泥岩[7] [8] [9]。

研究区位于政和 - 大埔断裂以西约 30 km, 晋江 - 永安断裂通过研究区西南部, 在研究区以西的李坊 - 大湖、余朋 - 安砂一带发育一系列逆冲推覆构造, 下古生界逆冲于上古生界之上, 以发育飞来峰为特征[14]。不同构造层的褶皱型式各具特色, 下古生界以发育倒转褶皱为特色, 上古生界主要发育复式褶皱为特征, 侏罗系 - 白垩系以宽缓褶皱为主[5] [6] [7]。



1: 侏罗系 - 第四系; 2: 上泥盆统 - 三叠系; 3: 寒武系 - 奥陶系; 4: 侏罗纪 - 白垩纪花岗岩; 5: 三叠纪正长花岗岩; 6: 志留纪花岗岩; 7: 山峰; 8: 锆石 U-Pb 测年采样位置及年龄。

Figure 1. Geological sketch map of the study area

图 1. 研究区地质简图

龙岭岩体岩石主要为二长花岗岩、似斑状二长花岗岩、糜棱岩化二长花岗岩。似斑状二长花岗岩(图 2(a)): 颜色为灰白色, 岩石呈似斑状结构, 块状构造, 斑晶含量约为 20%~25%, 一般 10~25 mm, 主要为钾长石斑晶, 偶见斜长石斑晶; 基质为中细粒结构, 粒径为 0.5~3 mm, 主要矿物成份为斜长石(35%~40%), 钾长石(20%~25%), 石英(20%~28%), 黑云母(5%~10%), 在岩石表面斜长石常见高岭土化, 沿断裂带岩体常见糜棱岩化现象(图 2(b))。在龙岭岩体边部常见二长花岗岩: 颜色为灰白色, 粒径为 0.5~4 mm, 粒度为中细粒二长结构, 块状构造, 主要矿物成份为斜长石(40%~45%), 钾长石(20%~30%)石英(20%~30%), 黑云母(5%~8%)。

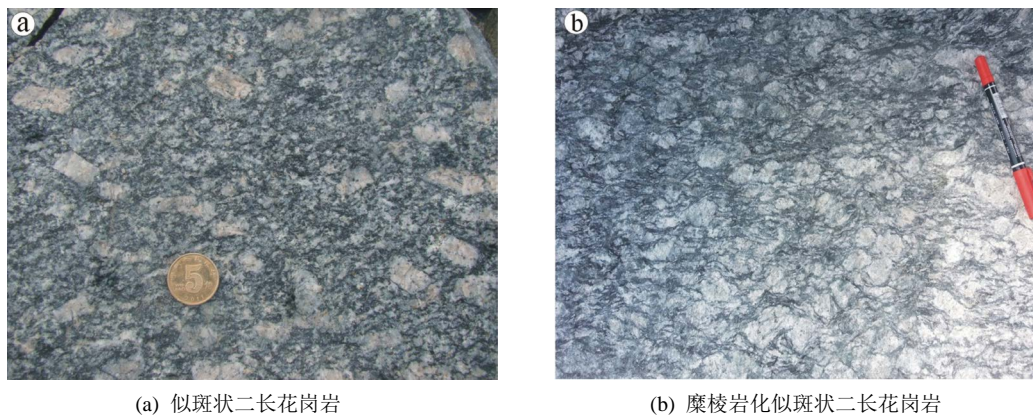


Figure 2. Outcropping photos of Longling granit
图 2. 龙岭花岗岩露头照片

3. 样品特征

用于测年的样品采于永安市贡川镇龟山至余荆山的简易公路上, 地理位置 $26^{\circ}01.52'N$, $117^{\circ}28.12'E$ 。样品岩性为灰白色似斑状二长花岗岩, 岩石呈似斑状结构, 块状构造, 斑晶主要为钾长石, 含量约为 18%~23%, 粒径 8~20 mm; 基质为中细粒结构, 粒径为 0.7~2.8 mm, 主要矿物成份为斜长石(33%~38%), 钾长石(18%~27%), 石英(25%~30%), 黑云母(6%~8%)。

4. 分析及测试结果

4.1. 分析方法

野外采集重约 5 kg 的新鲜花岗岩样品, 送河北省廊坊市宇能岩石矿物分选公司实验室挑选锆石单矿物。锆石的分选流程为将花岗岩粉碎至 60~100 目, 洗去粉尘, 人工初步淘洗使重矿物富集, 然后经过电磁选, 去除电磁性部分, 保留非电磁性部分, 再经精细淘洗获得锆石精矿, 在双目镜下挑选出无裂隙、包裹体少的锆石单矿物。挑选不同晶型的锆石单矿物制成样饼, 抛光后制成待测的锆石样靶。锆石的显微构造、阴极发光(CL)照像在北京锆年领航科技有限公司实验室完成; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析在西安地质调查中心微区实验室进行。

LA-ICP-MS 分析在 Hewlett Packard 公司的 Agilent7500a ICP-MS 和德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 Excimer 激光器工作物 ArF (波长 193 nm)、MicroLas 公司的 GeoLas200 M 光学系统的联机上进行。激光束斑直径约为 30~35 μm , 激光剥蚀样品的深度为 20~40 μm 。实验中采用氦气作为剥蚀物质的载气, 用人工合成的硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST SRM610 进行仪器最佳化。锆石年龄采用国际标准锆石 91500 作为标样, 元素含量采用 NIST SRM610 作为外标, ^{29}Si 作为内标。详细的分析步骤和数据处理方法见参考文献[15]。同位素比值数据处理采用 GLITTER(4.0 版)软件, 年龄计算及谐和图采用 ISOPLOT(3.0 版)软件进行, 误差为 1σ , 由于年龄数据一致性、谐和性较好而未进行普通铅的校正。

4.2. 测试结果

在显微镜下对锆石进行的结构研究显示: 锆石呈无色, 多呈自形长柱状, 少数为等轴状、短柱状, 长轴一般在 70~180 μm 。锆石阴极激发光图像显示出锆石内部呈现清晰振荡环带结构(图 3), 显示为岩浆成因[16]。锆石阴极激发光图像总体呈灰黑色-灰色, 少数呈灰白色, 所有样品锆石 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 比值均大于 0.30, 也暗示锆石为岩浆结晶形成[17][18]。样品测年分析结果见表 1 及图 3, 图 4。

Table 1. LA-ICP-MS zircon U-Pb results of Longling granit
表 1. 龙岭花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年分析结果表

测点	Th	U	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁸ Pb/ ²³² Th		Age (Ma)	1sigma aaa	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		谐和度
	(×10 ⁻⁶)			Ratio	1sigma	Ratio	1sigma	Ratio	1sigma	Ratio	1sigma			Age (Ma)	1sigma ama	
1	468.2	383.8	1.22	0.0578	0.0021	0.5565	0.0207	0.0698	0.0016	0.0134	0.0004	449.3	13.5	435.0	9.9	97
2	365.3	288.3	1.27	0.0560	0.0042	0.5376	0.0395	0.0696	0.0019	0.0098	0.0004	436.9	26.1	433.6	11.7	99
3*	432.0	428.0	1.01	0.0616	0.0028	0.6294	0.0287	0.0741	0.0018	0.0126	0.0007	495.7	17.9	460.9	10.9	93
4	168.2	511.9	0.33	0.0539	0.0043	0.5175	0.0409	0.0696	0.0020	0.0135	0.0005	423.5	27.4	433.5	12.1	102
5	275.3	225.4	1.22	0.0531	0.0049	0.5075	0.0464	0.0693	0.0021	0.0139	0.0006	416.7	31.2	432.0	12.6	104
6	382.1	394.7	0.97	0.0571	0.0047	0.5468	0.0440	0.0694	0.0020	0.0130	0.0006	442.9	28.9	432.6	12.3	98
7	201.4	112.3	1.79	0.0548	0.0033	0.5264	0.0317	0.0696	0.0018	0.0112	0.0005	429.4	21.1	433.9	10.9	101
8	466.2	366.4	1.27	0.0566	0.0025	0.5400	0.0235	0.0692	0.0017	0.0131	0.0006	438.4	15.5	431.1	10.0	98
9	450.2	284.4	1.58	0.0567	0.0029	0.5425	0.0276	0.0693	0.0017	0.0127	0.0007	440.1	18.2	432.1	10.4	98
10	264.3	157.4	1.68	0.0565	0.0028	0.5419	0.0272	0.0695	0.0017	0.0115	0.0007	439.7	17.9	433.2	10.4	99
11	38.9	112.2	0.35	0.0553	0.0028	0.5286	0.0270	0.0693	0.0017	0.0106	0.0007	430.9	17.9	432.1	10.4	100
12*	338.0	299.3	1.13	0.0595	0.0119	0.5678	0.1105	0.0692	0.0038	0.0109	0.0008	456.6	71.5	431.0	22.8	94
13	270.4	242.1	1.12	0.0557	0.0035	0.5316	0.0334	0.0692	0.0018	0.0044	0.0004	432.9	22.1	431.2	11.1	100
14	435.8	363.7	1.20	0.0589	0.0031	0.5645	0.0296	0.0695	0.0018	0.0111	0.0008	454.4	19.2	433.0	10.6	95
15	379.5	379.6	1.00	0.0566	0.0024	0.5420	0.0233	0.0694	0.0017	0.0114	0.0008	439.8	15.3	432.6	10.0	98
16	256.9	316.2	0.81	0.0613	0.0057	0.5876	0.0534	0.0696	0.0022	0.0129	0.0009	469.3	34.2	433.5	13.4	92
17	408.7	350.4	1.17	0.0551	0.0051	0.5266	0.0476	0.0693	0.0021	0.0123	0.0008	429.5	31.7	431.6	12.6	100
18	487.3	396.0	1.23	0.0549	0.0033	0.5246	0.0314	0.0693	0.0018	0.0302	0.0050	428.2	20.9	431.7	10.9	101
19*	178.6	192.1	0.93	0.0700	0.0056	0.6695	0.0520	0.0694	0.0021	0.0126	0.0009	520.4	31.6	432.3	12.6	83
20	527.3	290.4	1.82	0.0557	0.0016	0.5329	0.0158	0.0694	0.0016	0.0127	0.0009	433.7	10.5	432.7	9.5	100
21	329.8	292.7	1.13	0.0580	0.0047	0.5558	0.0447	0.0695	0.0020	0.0133	0.0010	448.8	29.2	433.0	12.1	96
22*	280.6	277.1	1.01	0.0562	0.1018	0.5930	1.0556	0.0765	0.0287	0.0132	0.0011	472.8	672.8	475.2	171.7	101
23	273.4	229.8	1.19	0.0569	0.0038	0.5469	0.0359	0.0697	0.0019	0.0139	0.0012	442.9	23.6	434.1	11.3	98
24	285.4	243.7	1.17	0.0555	0.0031	0.5319	0.0297	0.0696	0.0018	0.0147	0.0013	433.1	19.7	433.6	10.7	100

*号测点未参与加权平均年龄计算。

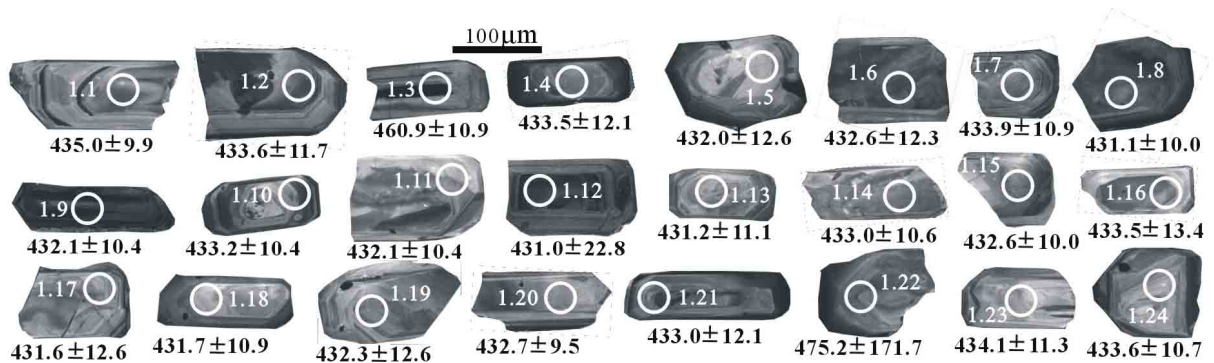


Figure 3. CL images with dots position for LA-ICP-MS zircon ²⁰⁶Pb/²³⁸U dating of Longling granit

图 3. 龙岭花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 CL 图、测点位置及 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄

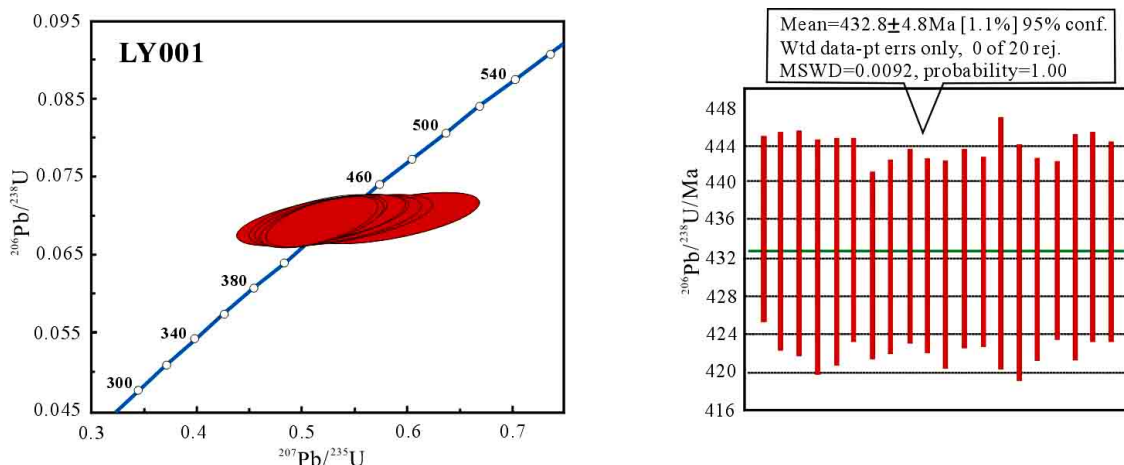


Figure 4. Concordia plot and weight average age distribution showing LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of Longling granite
图 4. 龙岭花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图及其加权平均年龄

对 24 颗锆石的 U-Pb 测年分析结果显示： ^{238}U 含量为 $(112.2 - 511.9) \times 10^{-6}$ ， ^{232}Th 含量为 $(38.9 - 527.3) \times 10^{-6}$ ， $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U} = 0.33 - 1.82$ 。24 个测点锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 431.0~475.2 Ma，除 1.19 号测点外，其余 23 个测点年龄均位于谐和线上，剔除误差较大的 1.19、1.22 测点和偏离较远的 1.3 测点外，其余 20 个测点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄在误差范围内非常一致，其加权平均年龄为 $432.8 \pm 4.8 \text{ Ma}$ ($n = 20$, $\text{MSWD} = 0.0092$) (图 4)，表明龙岭花岗岩的结晶时代为志留纪[19]，而不是前人划分的石炭纪[4]，也不是二叠纪[5] [6]，其与华夏地块广泛分布的加里东期花岗岩为同时期岩浆活动的产物[20] [21] [22] [23] [24]，为区域早古生代构造岩浆演化提供了重要新资料。

5. 结论

通过对龙岭花岗岩野外调查和进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年，取得如下认识：

- 1) 龙岭花岗岩主要由二长花岗岩、似斑状二长花岗岩、糜棱岩化二长花岗岩组成；
- 2) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年获得龙岭岩体 $^{206}\text{U}/^{238}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 $432.8 \pm 4.8 \text{ Ma}$ ，表明龙岭花岗岩侵位时代为志留纪，而不是二叠纪或石炭纪，这为华夏地块区域构造岩浆演化提供了重要新资料。

致 谢

感谢匿名审稿人提出的宝贵意见，在 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年中得到了西安地质调查中心微区实验室的大力支持，在此表示衷心感谢。

基金项目

福建省自然科学基金项目“闽西南寒武纪中低温热水沉积作用与成矿效应研究”(2017J01467)。

参考文献

- [1] 刘民武, 郝英. 激光剥蚀等离子质谱微区分析在固体地球科学中的应用进展[J]. 地球科学进展, 2003, 18(1): 116-121.
- [2] 王瑜, 周丽云. 从同位素年代学到构造年代学[J]. 地质通报, 2008, 27(12): 2014-2019.
- [3] 田朋飞, 袁万明, 杨晓勇. 热年代学基本原理、重要概念及地质应用[J]. 地质论评, 2020, 66(4): 975-1004.
- [4] 朱玉磷, 黄长煌. 福建龙岭岩体同位素年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 1989, 5(3): 45-53.
- [5] 福建省闽西地质大队. 贡川幅一比五万区域地质图及说明书[M]. 福州: 福建省地质测绘队印刷厂, 1990.
- [6] 福建省地质调查研究院. 三明市幅一比二十五万区域地质图及说明书[M]. 三明: 福建省三明地质印刷厂, 2002.

- [7] 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: 1-900.
- [8] 福建省地质矿产局. 福建省地质图说明书[M]. 福州: 福建省地图出版社, 1998: 20-35.
- [9] 福建省地质矿产局. 福建省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 7-115.
- [10] 徐先兵, 张岳桥, 舒良树, 等. 闽西南玮埔岩体与赣南莒蒲混合岩锆石 La-ICPMS U-Pb 年代学: 对武夷山加里东运动时代的约束[J]. 地质论评, 2009, 55(2): 277-285.
- [11] 张爱梅, 王岳军, 范蔚茗, 等. 闽西南清流地区加里东期花岗岩锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素组成研究[J]. 大地构造与成矿学, 2010, 34(3): 408-418.
- [12] 肖爱芳, 王治淇, 黎敦朋. 闽西南新冲正长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年及其找矿意义[J]. 地球科学前沿, 2017, 7(3): 349-355.
- [13] 阳伶俐, 黎敦朋, 宋春伦, 等. 闽西南清流县旧场三叠纪钼矿化正长花岗岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄及其找矿意义[J]. 矿物学报, 2017, 37(S1): 51.
- [14] Chen, A. (1999) Mirror-Image Thrusting in the South China Orogenic Belt: Tectonic Evidence from Western Fujian, Southeastern China. *Tectonophysics*, **305**, 497-519. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00036-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00036-0)
- [15] Yuan, H.L., Gao, S., Liu, X.M., et al. (2004) Accurate U-Pb Age and Trace Element Determinations of Zircon by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Geostandards and Geo-Analytical Research*, **28**, 357-370. <https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.2004.tb00755.x>
- [16] 吴元宝, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 16(49): 1589-1604.
- [17] Williams, I.S. and Claesson, S. (1987) Isotope Evidence for the Precambrian Province and Caledonian Metamorphism of High Grade Paragneisses from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, II. Ion Microprobe Zircon U-Th-Pb. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **97**, 205-217. <https://doi.org/10.1007/BF00371240>
- [18] Williams, I.S. and Buick, C.I. (1996) An Extended Episode of Early Mesoproterozoic Metamorphic Fluid Flow in the Reynolds Range, Central Australia. *Journal of Metamorphic Geology*, **14**, 29-47. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.1996.00029.x>
- [19] 樊隽轩, 彭善池, 侯旭东, 等. 国际地层委员会官网与《国际地层表》(2015/01 版) [J]. 地层学杂志, 2015, 39(2): 125-134.
- [20] 陈正宏, 李寄禺, 谢佩珊, 等. 利用 EMP 独居石定年法探讨浙闽武夷山地区变质基底岩石与花岗岩的年龄[J]. 高校地质学报, 2008, 14(1): 1-15.
- [21] Zhang, Q., Jiang, Y.-H., Wang, G.-C., et al. (2015) Origin of Silurian Gabbros and I-Type Granites in Central Fujian, SE China: Implications for the Evolution of the Early Paleozoic Orogen of South China. *Lithos*, **216-217**, 285-297. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.01.002>
- [22] 张芳荣, 舒良树, 王德滋, 等. 华南加里东期花岗岩类形成构造背景探讨[J]. 地学前缘, 2009, 16(1): 248-260.
- [23] 朱清波, 黄文成, 孟庆秀, 等. 华夏地块加里东期构造事件: 两类花岗岩的锆石 U-Pb 年代学和 Lu-Hf 同位素制约[J]. 中国地质, 2015, 42(6): 1715-1739.
- [24] 关义立, 袁超, 龙晓平, 等. 华南早古生代花岗岩中暗色包体的成因: 岩石学、地球化学和锆石年代学证据[J]. 大地构造与成矿学, 2016, 40(1): 109-124.