

江南隆起(九岭)多阶段构造演化的花岗岩记录

袁媛, 廖宗廷, 王超

(同济大学 海洋地质国家重点实验室, 上海 200092)

摘要: 以江南隆起九岭花岗岩体为研究对象, 应用激光剥蚀等离子体质谱(LA-ICP-MS)锆石 U-Pb 定年技术, 得到该花岗岩侵入年龄为 853~811 Ma。自晋宁期以来, 九岭地区依次经历了加里东、印支及燕山等多阶段构造演化。通过花岗岩地球化学及构造图解分析, 可知江南隆起九岭多阶段构造演化环境各不相同。晋宁期(929-810 Ma)花岗岩体落入岛弧与碰撞的过渡环境; 而加里东期(439-411 Ma)花岗岩体具板内汇聚环境特点; 燕山期(158-118 Ma)花岗岩形成于同碰撞兼火山弧构造环境。

关键词: 九岭; 花岗岩类; U-Pb 定年; 构造环境

中图分类号: P 597

文献标识码: A

Multi-stage Tectonic Evolution in Jiangnan Uplift (Jiuling Terran) from Granitoids Records

YUAN Yuan, LIAO Zongting, WANG Chao

(State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Through LA-ICP-MS dating, Zircon U-Pb ages of 853-811 Ma were obtained for granitoids from Jiuling Terran of Jiangnan uplift. Since Jinningian, Jiuling terran had experienced Caledonian, Indo-Chinese and Yanshanian movement. Different tectonic evolutions were obtained for the granitoids from Jiuling terran though analyses. The granitoids was formed in island arc and collision tectonic settings in Jinningian (929-810 Ma). The block convergence was the main character during Caledonian period (439-411 Ma). Granitoids formed in the volcanic arc and collision settings in Yanshanian Period (158-118 Ma).

Key words: Jiuling Terran; granitoids; Zircon U-Pb dating; tectonic settings

分隔我国华南大陆的构造带。江南隆起带可以分为九岭地块、怀玉山地块和雪峰山地块 3 个单元。关于九岭地块的地质学及地质年代学一直是江南隆起带研究的热点。目前关于九岭地块采用不同的同位素体系 U-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr, K-Ar, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 及裂变径迹进行了大量的地质测年工作。胡世玲等^[1]用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化法测得黑云母为 937 Ma, 而高安县下观乡一带测得九岭岩体的黑云母 K-Ar 年龄为 805 Ma, 838 Ma^[2]。钟玉芳等^[3]用锆石 SHRIMP 测得九岭岩体的 U-Pb 年龄为 (819 ± 9) Ma。徐备等^[4]在对九岭岩体花岗质糜棱岩中白云母形成年龄测定为 (510 ± 4.1) Ma; 而对同一地方的花岗岩中的黑云母 K-Ar 法测得年龄值为 403 Ma, 认为受加里东期碰撞的影响^[5]。李晓峰等^[6]在江西测定银山蚀变英安斑岩白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 的等时线年龄为 (179.6 ± 2.3) Ma, 认为形成于燕山早期。由于不同人在不同的地点取样, 采用不同方法测年龄, 得出不同结果, 九岭地区碰撞造山的年代到现今为止并没有形成一个连续的、可被广泛接受的结论。所以, 本文在综合前人研究基础上, 重点采用同位素年龄测定江南隆起九岭地区花岗岩类年代并总结相关的构造阶段, 在分析该地区地球化学特性的基础上了解九岭地区自晋宁以来经历的多阶段构造演化环境。

1 地质背景

本次研究的九岭花岗岩地质简图如图 1 所示(据钟玉芳等^[3], 略修改), 主要是分布于江西省北部、九岭隆起带复式背斜的轴部, 呈近东西向至北东向展布, 与区域构造线方向基本一致, 出露面积达 2 500 km², 为多次侵入的复式杂岩体^[3]。九岭岩体是九岭复式花岗岩体的主体, 为一规模巨大的复式岩基, 与围岩存在侵入接触和混染交代接触, 局部地

江南隆起带位于扬子板块与华夏板块之间, 是

收稿日期: 2011-04-06

第一作者: 袁媛(1981—), 女, 讲师, 博士生, 主要研究方向为构造地质。E-mail: yuanyuan0330@tongji.edu.cn

通讯作者: 廖宗廷(1962—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为构造地球化学、大陆边缘构造与盆地分析和宝玉石学等。

E-mail: liaozt@tongji.edu.cn

方混合交代接触。根据混合岩化程度的强弱差异,岩性、岩石的结构构造的不同以及成因特征等不同,自南而北由中浅变质岩系变至花岗岩系^[7]。共有3次典型的侵入:首次有九岭主体及黄岗口、仙源、白沙等岩体,岩性主要为花岗闪长岩;第2次侵入的有石

花尖岩体,岩石类型与首次侵入的九岭岩体一致;第3次侵入的有金钟湖、黄茅、南江、北坑等岩体,主要由中细粒-细粒黑云母花岗岩、二云母花岗岩组成,统称为九岭岩体。

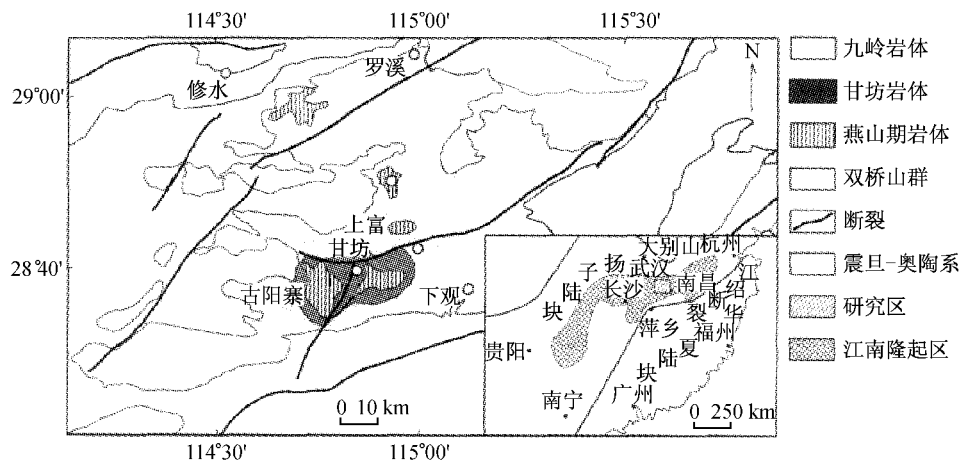


图1 九岭花岗岩地质简图

Fig.1 Geological sketch map of Jiuling granitoids terran

2 年代学与构造阶段分析

在收集整理已有的热年代研究数据的同时,本文在两个地方进行定点采样(样品 JN01 纬度 $29^{\circ}02.308'$, 经度 $114^{\circ}47.699'$, 高程 (169.1 ± 11.3) m; 样品 JN02 纬度 $28^{\circ}46.433'$, 经度 $114^{\circ}57.448'$, 高程 (447.1 ± 11.5) m), 所得的花岗岩样品在实验室进行岩体的锆石 U-Pb 年龄分析。

2.1 分析方法

分析时先将样品破碎到自然粒度,经磁选、重液分离等步骤后分离出单矿物。在双目镜下选择透明,无裂隙且具有代表性的锆石颗粒,将待测的锆石颗粒制成环氧树脂样品靶,磨至锆石颗粒中心位置后抛光,抛光的样品镀碳后进行锆石阴极发光(CL)显微结构观察,在此基础上选择合适的锆石颗粒区域进行 U-Pb 年龄测定。锆石的 U-Pb 定年在西北大学地质系大陆动力学教育部重点实验室激光剥蚀等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)上完成,激光剥蚀系统为德国 Lambda Physik 公司的 DeoLas200M,激光器为 ComPex102ArF 准分子激光器(波长为 193 nm),ICP-MS 为 Elan6100DRC 型,样品分析时激光束斑直径为 $30 \sim 40 \mu\text{m}$ 。ICP-MS 的运行模式为一般模式,数据采集选用跳峰方式。实验室中采用剥蚀物质的载气。详细的分析方法见文献[8],使用 91500 标

准锆石, NIST610 玻璃作为外标。其中 91500 作为外标用来校正锆石 U-Pb 定年过程中的质量歧视和同位素分馏效应, NIST610 作为外标用来计算锆石的 U, Th 及 Pb 的含量。年龄结果采用 Glitter 4.0 软件包进行计算,并采用 ComPbCorr # 175 程序^[9]进行普通铅校正。

2.2 锆石 U-Pb 定年结果

样品 JN01 与 JN02 分别采自江西省宜春市奉新县上富镇北蓐坳和北九仙岩体,岩性为花岗岩。样品中的锆石为短柱状到长柱状、无色透明。锆石半自形到自形、无明显溶蚀现象。CL 图像中,锆石显示明显的振荡分带或片状分带,为典型岩浆锆石的 CL 特征(图2)。每组取 15 个锆石颗粒作 15 个点的年龄测定,各点的 U, Pb 含量见表 1。

JN01 样品锆石 U-Pb 谐和图见图 3。图中, 08 点和 10 点明显偏离其他的分析点,可能为较老残留继承锆石,测得其年龄值为 (2421 ± 22) Ma $\sim$ (1572 ± 15) Ma, 这和伍光英等^[10-11]通过测定九岭南缘涧溪冲岩群变质岩全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 (2594 ± 48) Ma 以及西南缘变质岩全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 (1957 ± 39) Ma 和 1857.5 Ma 有较好的吻合。进一步说明江南隆起九岭地区存在新太古代—中元古代基底。对其余 13 个分析点的 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 年龄做加权平均,得到样品 13 个点的加权平均年龄为 (816.3 ± 2.5) Ma, 它代表了该花岗岩体的岩浆侵入

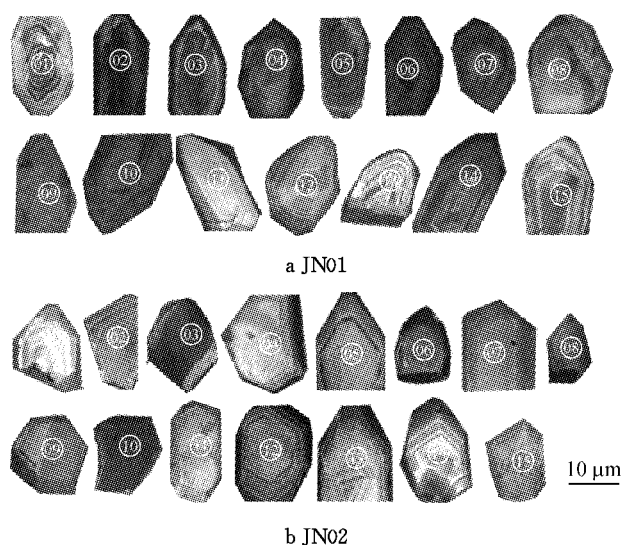


图2 样品 CL 图像及分析点位置示意图

Fig.2 CL images and analysis spot site diagrams of samples (JN01, JN02)

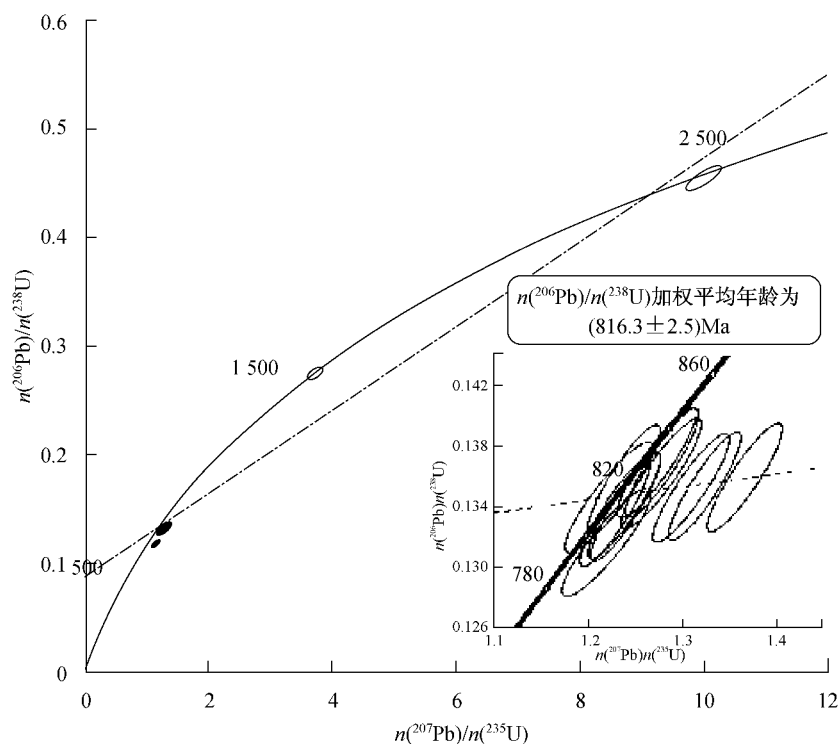


图3 JN01 样品锆石 U-Pb 谐和图

Fig.3 Zircon U-Pb concordia diagrams for granitoids for JN01

综合前人的研究,晋宁期以来九岭地区的重点构造演化可归结为:

(1) 晋宁期,构造岩浆事件主要体现在扬子板块与华夏板块的汇聚岛弧与热变质作用、板块汇聚碰撞作用、汇聚岛弧与热变质作用、板块碰撞造山作用以及板块碰撞造山作用^[9].王孝磊等^[14]通过测定该地区铝花岗岩的锆石年龄为 (929 ± 6) Ma 及 (745 ± 4) Ma 反映该地区的岩浆活动及冷却时间.张芳

年龄.

JN02 样品锆石 U-Pb 谐和图见图 4. 图中,09 号分析点明显偏离了其余分析点,判断其可能包含了放射成因 Pb 丢失的区域,对其余 14 个分析点的 $n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$ 年龄做加权平均,得到样品 14 个点的加权平均年龄为 (811.3 ± 2.0) Ma,它代表了锆石颗粒的形成年龄,也代表了一次岩浆事件的时间.

通过样品的测年分析,得出在 818~809 Ma 九岭地区发生了一次碰撞岩浆活动,与钟玉芳等^[3]获得的九岭岩体和甘坊岩体的花岗闪长岩的锆石 U-Pb 年龄 828~820 Ma,刘平辉等^[12]获得的马基岩体斜长角闪岩锆石 Pb-Pb 年龄 853~835 Ma,马长信等^[13]获得彭庐地体斜辉橄榄岩的 Sm-Nd 全岩等时线年龄 (828.6 ± 27.9) Ma,是完全一致的.因此可以判断,在 853~811 Ma,江南隆起的九岭区发生了强烈的碰撞造山事件,也可视为晋宁期的造山年龄.

荣等^[15]的研究也得到类似的结果.同时,结合本次样品的测年分析结果得到 853~811 Ma 为九岭地区晋宁期的造山年龄是可信的^[3-4;12-13].

(2) 加里东期,该阶段主要是形成碰撞岩浆事件.角闪石英正长岩岩浆混杂岩的锆石 U-Pb 年龄为 (445 ± 4) Ma^[16],记录了岩浆活动的年龄;片麻状花岗岩的白云母 K-Ar 年龄 403 Ma、全岩 Rb-Sr 等时线年龄 411 Ma^[5],记录了岩体的冷却年龄.

表 1 九岭地区样品 JN01,JN02 锆石 U-Pb 同位素分析数据
Tab.1 LA-ICP-MS zircon U-Pb data for samples JN01, JN02 in Jiuling Terran

分析 点号	U-Pb 同位素原子比及误差(σ)										年龄/Ma		
	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$	1 σ	$\frac{^{238}\text{U}}{^{232}\text{Th}}$	1 σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1 σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$
JN01-01	0.067 14	0.000 79	1.240 08	0.015 17	0.133 96	0.001 44	0.042 79	0.000 4	0.97	0.01	819	7	810
JN01-02	0.067 75	0.000 82	1.279 12	0.016 03	0.136 93	0.001 47	0.044 15	0.000 4	0.39	0.01	836	7	827
JN01-03	0.070 26	0.000 87	1.310 06	0.016 70	0.135 24	0.001 46	0.046 42	0.000 4	0.77	0.01	850	7	818
JN01-04	0.068 06	0.000 92	1.278 01	0.017 58	0.136 19	0.001 48	0.045 85	0.000 5	0.96	0.01	836	8	823
JN01-05	0.069 23	0.000 73	1.153 00	0.012 80	0.120 79	0.001 29	0.041 65	0.000 4	1.51	0.02	779	6	735
JN01-06	0.066 68	0.000 80	1.228 35	0.015 21	0.133 61	0.001 44	0.042 73	0.000 7	6.63	0.07	814	7	808
JN01-07	0.066 12	0.000 83	1.238 45	0.015 93	0.135 84	0.001 47	0.046 08	0.000 5	1.59	0.02	818	7	821
JN01-08	0.158 36	0.001 65	9.951 66	0.108 73	0.455 8	0.004 88	0.130 51	0.001 2	0.81	0.01	2 430	10	2 421
JN01-09	0.072 95	0.000 84	1.367 10	0.016 39	0.135 93	0.001 46	0.057 66	0.000 6	2.54	0.03	875	7	822
JN01-10	0.097 18	0.001 14	3.701 13	0.044 88	0.276 24	0.002 99	0.080 15	0.000 7	0.55	0.01	1 572	10	1 572
JN01-11	0.065 87	0.001 02	1.222 76	0.019 13	0.134 64	0.001 49	0.040 68	0.000 5	0.67	0.01	811	9	814
JN01-12	0.067 20	0.001 07	1.219 76	0.019 49	0.131 65	0.001 46	0.043 80	0.000 6	1.45	0.01	810	9	797
JN01-13	0.067 47	0.000 89	1.273 36	0.017 19	0.136 88	0.001 48	0.042 08	0.000 4	0.92	0.01	834	8	827
JN01-14	0.067 00	0.000 82	1.238 78	0.015 65	0.134 10	0.001 44	0.043 41	0.000 5	2.46	0.02	818	7	811
JN01-15	0.070 95	0.000 81	1.324 36	0.015 65	0.135 38	0.001 45	0.045 00	0.000 4	0.51	0.01	856	7	818
JN02-01	0.066 37	0.001 01	1.245 09	0.018 90	0.135 86	0.001 46	0.044 39	0.000 5	2.74	0.03	821	9	821
JN02-02	0.065 33	0.001 56	1.199 31	0.025 40	0.133 14	0.001 46	0.040 72	0.000 4	2.57	0.03	800	12	806
JN02-03	0.065 23	0.000 83	1.206 08	0.015 60	0.134 10	0.001 42	0.045 16	0.000 5	3.97	0.04	803	7	811
JN02-04	0.066 59	0.001 10	1.322 64	0.020 30	0.134 25	0.001 46	0.042 44	0.000 6	2.99	0.03	816	9	812
JN02-05	0.066 83	0.000 91	1.225 02	0.016 80	0.132 95	0.001 42	0.042 41	0.000 4	2.28	0.02	812	8	805
JN02-06	0.065 92	0.000 80	1.212 61	0.014 90	0.133 42	0.001 41	0.043 49	0.000 8	29.47	0.29	806	7	807
JN02-07	0.067 84	0.001 02	1.264 46	0.019 10	0.135 19	0.001 46	0.041 97	0.000 5	3.12	0.03	830	9	817
JN02-08	0.067 51	0.000 90	1.269 29	0.017 10	0.136 37	0.001 46	0.041 92	0.000 4	2.61	0.03	832	8	824
JN02-09	0.066 28	0.001 88	1.202 50	0.031 20	0.131 58	0.001 52	0.040 17	0.000 4	3.28	0.03	802	14	797
JN02-10	0.066 15	0.000 99	1.238 76	0.018 70	0.135 82	0.001 47	0.046 85	0.000 5	5.21	0.05	818	8	821
JN02-11	0.068 44	0.001 15	1.257 63	0.021 20	0.133 27	0.001 47	0.045 42	0.000 6	2.88	0.03	827	10	806
JN02-12	0.066 90	0.000 97	1.237 27	0.018 10	0.134 14	0.001 45	0.044 79	0.000 5	2.80	0.03	818	8	811
JN02-13	0.067 30	0.001 01	1.261 01	0.019 10	0.135 91	0.001 48	0.043 84	0.000 5	2.69	0.03	828	9	821
JN02-14	0.065 24	0.001 08	1.196 94	0.019 80	0.133 07	0.001 46	0.043 51	0.000 6	2.80	0.03	799	9	805
JN02-15	0.065 69	0.001 25	1.205 83	0.022 90	0.133 15	0.001 50	0.044 09	0.000 7	2.94	0.03	803	11	806

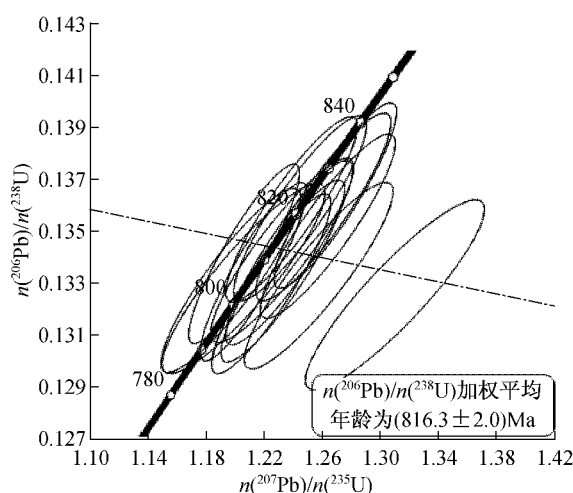


图4 JN02样品锆石 U-Pb 谐和图

Fig.4 Zircon U-Pb concordia diagrams for granitoids for JN02

(3) 印支期,主要发生汇聚碰撞事件.主要表现为对加里东期的片麻状花岗岩进行印支期的热改造,形成了黑云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 259 Ma 的热事件记录^[5],同时记录下印支期的热改造年龄.

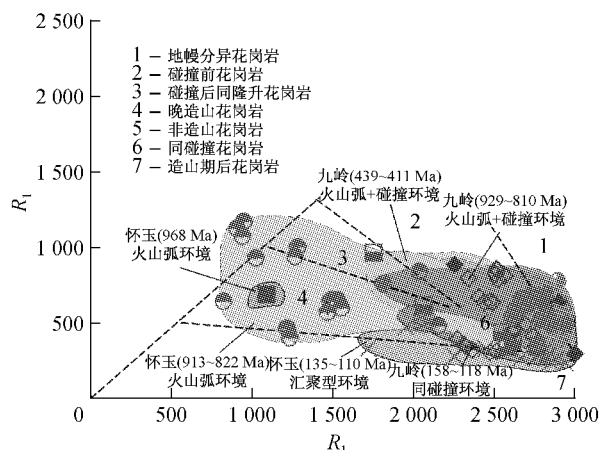
(4) 燕山期,包括燕山构造的早期阶段(171~160 Ma)和晚期阶段(151~115 Ma).王强等^[17]在江西德兴的铜厂岩体和富家坞岩体分别测定岩体中花岗闪长斑岩的锆石 U-Pb 年龄为 (171 ± 3) Ma;丁昕等^[18]在江西上饶永平铜矿中测定花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 (160 ± 2.3) Ma,这两个年龄均属于是早期岩浆活动事件.晚期阶段主要是通过九岭南缘的花岗岩、火山岩的黑云母、白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 及 K-Ar 年龄测定的^[19].

3 构造环境演化

3.1 花岗岩的构造判别图解分析

在得到九岭地区热年代的基础上,通过地球化学分析,比较相邻的怀玉山地区与九岭地区在不同年代主要的构造演化环境.依据 Maniar^[20]对晋宁早期九岭和怀玉山花岗岩类(968~810 Ma)的 R_1 - R_2 图解^[21-24](图5)分析可知,主要落入与碰撞造山作用有关的花岗岩区,而后期花岗岩(158~110 Ma)则落入非造山花岗岩区^[25-28].在 $(Y+Nb)$ -Rb 及 Y-Nb 图解(图6和7),929~810 Ma 晋宁期花岗岩落入岛弧与碰撞的过渡环境^[21-22],而怀玉山晋宁期花岗岩 913~822 Ma 主要为岛弧环境^[23-24].九岭地区加里东期(439~411 Ma)花岗岩落入火山弧与同碰撞过渡环境^[26,29].燕山运动晚期(158~118 Ma)花岗岩

基本都落入同碰撞花岗岩区^[25-26],而这时的怀玉山(135~110 Ma)花岗岩更多具有同碰撞与板内过渡的性质^[27-28].

图5 江南隆起带花岗岩类 R_1 - R_2 构造判别图解

$R_1 = 1000[4N(\text{Si}) (11N(\text{Na} + \text{K}) (2N(\text{Fe} + \text{Ti}))]$, $R_2 = 1000[6N(\text{Ca}) + 2N(\text{Mg}) + N(\text{Al})]$

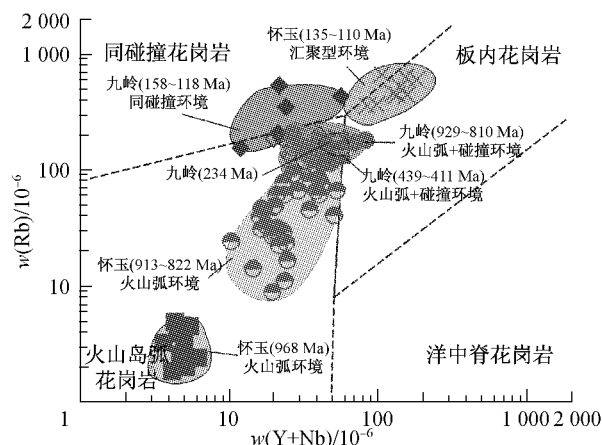
Fig.5 R_1 - R_2 diagram of Granitoids in Jiangnan uplift

图6 江南隆起带花岗岩类 Y + Nb-Rb 构造判别图解

Fig.6 Y + Nb-Rb diagram of granitoids in Jiangnan uplift

3.2 花岗岩的多元素图解分析

标准化蛛网图解是判别花岗岩类源区与构造环境的有效途径^[30].江南隆起九岭地区晋宁早期(929 Ma)花岗岩具有 Rb, Th 和 Ce 等元素相对富集的特点,多元素蛛网模式(图8)及含量与 Chili 型火山弧构造环境形成的花岗岩一致;而其晋宁主期(820~810 Ma)花岗岩的蛛网模式更多具有碰撞环境的特点,可见九岭从 929 Ma 到 820~810 Ma 经历了从汇聚岛弧到碰撞环境的变化^[21-22].对于怀玉地区,晋宁期(825~822 Ma)花岗岩以 Rb, Ba, Th 和 Ce 等元素富集特点及多元素蛛网模式表现出与 Jamaica 型火山弧关联的构造环境^[23].九岭地区加里东期(439~411 Ma)两个花岗岩体数据的蛛网曲线(图9)与板

内汇聚环境的蛛网模式一致,而且其元素 Rb 和 Nb 具有明显富集的特点^[26,29]. 九岭地区燕山期花岗岩(158~118 Ma)形成于同碰撞兼火山弧构造环境,而怀玉同时期(135~110 Ma)花岗岩更多表现出板内构造环境的特点. 九岭燕山期花岗岩(158~118 Ma)均表现出 Rb, Th 和 Ce 等元素显著富集, Ba, Y 和 Yb 含量变化大等特点,它们多元素蛛网模式和元素含量特点与典型碰撞型构造环境形成的花岗岩是一致的^[25-26]. 怀玉燕山期花岗岩(135~110 Ma)的 Rb, Th 元素显著富集而 Ba 具有显著亏损的特点,更多具有板内汇聚环境的特点^[27-28].

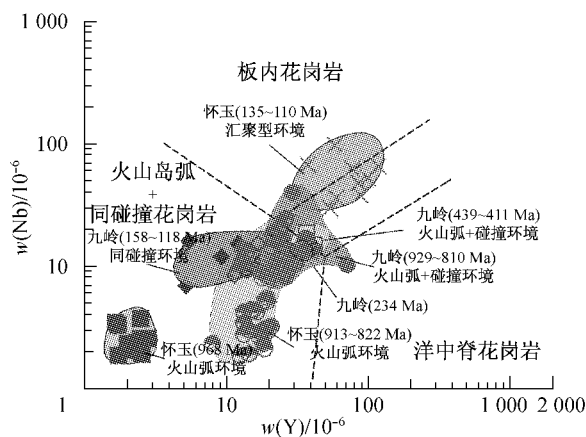


图7 江南隆起带花岗岩类 Y-Nb 构造判别图解

Fig.7 Y-Nb diagram of granitoids in Jiangnan uplift

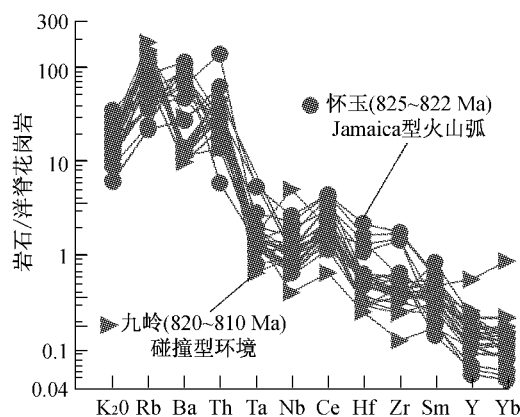


图8 江南隆起晋宁期花岗岩多元素蛛网图解

Fig.8 Multi-element spidergram for granitoids of Jiangnan uplift(Jinningian Age)

4 结论

根据江南隆起九岭地区花岗岩类同位素年龄测定分析 816~811 Ma 发生了碰撞岩浆活动,相关同时期的研究记录也充分说明在 853~811 Ma 晋宁期发生强烈的碰撞造山运动. 综合大量的花岗岩同位

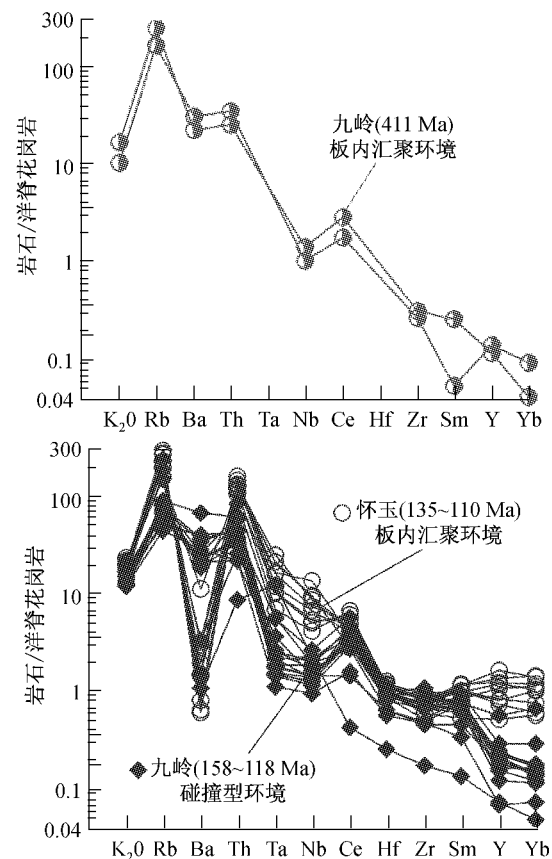


图9 江南隆起带花岗岩类(411~110 Ma)多元素蛛网图解

Fig.9 Multi-element spidergram for granitoids in Jiangnan uplift (411~110 Ma)

素年龄测定研究资料,该地区随后在早古生代—新生代期间依次经历了加里东(439~411 Ma)、印支期碰撞(269 Ma)以及燕山运动(171~115 Ma)的几个主要构造阶段. 对比研究江南隆起带中相邻的九岭与怀玉山地区花岗岩多元素及构造图解,可知晋宁期以来经历了不同的地质构造演化环境. 其中,九岭地区晋宁期花岗岩(929~810 Ma)落入岛弧与碰撞的过度环境;而加里东期(439~411 Ma)花岗岩体具有板内汇聚环境;燕山期(158~118 Ma)花岗岩形成于同碰撞兼火山弧构造环境.

参考文献:

- [1] 胡世玲,郝杰,李曰俊. 江西德兴西湾钠长花岗岩的激光质谱⁴⁰Ar/³⁹Ar等时年龄[J]. 中国区域地质, 1998, 17(1): 66. HU Shiling, HAO Jie, LI Yuejun. ⁴⁰Ar/³⁹Ar isochron age of the Xiwan albite granite in Dexing city of Jiangxi Province, determined by the laser mass spectrometry [J]. Regional Geology of China, 1998, 17(1): 66.
- [2] 江西省地质矿产局. 江西区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1984. Bureau of Geology and Mineral Resources of Jiangxi Province. Regional geology of Jiangxi Province[M]. Beijing: Geological

- Publishing House, 1984.
- [3] 钟玉芳, 马昌前, 余振兵, 等. 江西九岭花岗岩类复式岩基锆石 SHRIMP U-Pb 年代学[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2005, 30(6): 685.
- ZHONG Yufang, MA Changqian, SHE Zhenbing, et al. SHRIMP U-Pb Zircon geochronology of the Jiuling granitic complex batholith in Jiangxi Province [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2005, 30(6): 685.
- [4] 徐备. 皖浙赣地区元古代地体和多期碰撞造山带[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- XU Bei. Tectonic features and intracontinental collision of proterozoic orogenic belt in Anhui Province, Zhejiang Province and Jiangxi Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992.
- [5] Hsu K J, Li J, Chen H, et al. Tectonics of south China: key to understanding West Pacific geology [J]. Tectonophysics, 1990, 183: 9.
- [6] 李晓峰, 陈文, 毛景文, 等. 江西银山多金属矿床蚀变绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2006, 25(1): 17.
- LI Xiaofeng, CHEN Wen, MAO Jingwen, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Ar dating of sericite from altered dacite porphyry and quartz porphyry in Yinshan polymetallic deposit of Jiangxi Province and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 2006, 25(1): 17.
- [7] 崔学军, 彭作荣, 廖六根. 九岭岩体中片麻状岩石的成因初探[J]. 江西地质科技, 1996, 23(4): 161.
- CUI Xuejun, PENG Zuerong, LIAO Liugen. Genetic of the gneissic structure in Jiuling granitic pluton [J]. Geological Science and Technology of Jiangxi, 1996, 23(4): 161.
- [8] 袁洪林, 吴福元, 高山, 等. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析[J]. 科学通报, 2003, 48(14): 1511.
- YUAN Honglin, WU Fuyuan, GAO Shan, et al. Precise determinations of U-Pb age and trace and rare earth element concentrations of Zircons[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(14): 1511.
- [9] Wang X L, Zhou J C, et al. Geochemistry of the Meso- to Neoproterozoic basic-acid rocks from Hunan Province, South China: implications for the evolution of the western Jiangnan orogen[J]. Precambrian Research, 2004, 135(1-2): 79.
- [10] 唐晓珊, 贾宝华, 黄建中, 等. 湖南早前寒武纪变质结晶基底的 Sm-Nd 同位素年龄[J]. 资源调查与环境, 2004, 25(1): 55.
- TANG Xiaoshan, JIA Baohua, HUANG Jianzhong, et al. The Sm-Nd isochron ages of the early Precambrian metamorphic crystalline basement in Hunan [J]. Volcanology & Mineral Resources, 2004, 25(1): 55.
- [11] 伍光英, 李金冬, 车勤建, 等. 湘东北涧溪冲变质火山岩的 Sm-Nd 同位素年龄及其成因[J]. 现代地质, 2004, 18(3): 339.
- WU Guangying, LI Jindong, CHEN Qinjian, et al. Sm-Nd dating and genesis of the Jianxichong Group metamorphic volcanic rocks in northeast Hunan [J]. Geoscience, 2004, 18(3): 339.
- [12] 刘平辉, 管太阳, 黄国夫. 江西弋阳地区斜长角闪岩与浙江陈蔡群斜长角闪岩地球化学特征及成因的对比[J]. 江西地质, 2000, 14(3): 162.
- LIU Pinghui, GUAN Taiyang, HUANG Guofu. Correlation of geochemical features and genesis between the amphibolites in Yiyang area of Jiangxi and those in Chencai Group of Zhejiang [J]. Jiangxi Geology, 2000, 14(3): 162.
- [13] 马长信, 项新葵. 赣北程浪超基性-基性杂岩特征及其 Sm-Nd 等时线年龄[J]. 大地构造与成矿学, 1999, 23(2): 137.
- MA Changxin, XIANG Xinkui. Characteristics of the chenglang basic ultrabasic complex in northern Jiangxi and its Sm-Nd isochron age[J]. Geotectonica et Metallogania, 1999, 23(2): 137.
- [14] 王孝磊, 周金城, 邱检生, 等. 湘东北新元古代强过铝花岗岩的成因: 年代学和地球化学证据[J]. 地质论评, 2004, 50(1): 65.
- WANG Xiaolei, ZHOU Jincheng, QIU Jiansheng, et al. Petrogenesis of neoproterozoic peraluminous granites from northeastern Hunan Province: chronological and geochemical constraints[J]. Geological Review, 2004, 50(1): 65.
- [15] 张芳荣, 刘前进. 九岭南缘安义珠洛山辉绿岩形成时代及地质意义[J]. 东华理工学院学报, 2007, 30(4): 328.
- ZHANG Fangrong, LIU Qianjin. Forming era and their geological significance of diabase in Zhulou Mountain at the south edge of Jiuling terran [J]. Journal of East China Institute of Technology, 2007, 30(4): 328.
- [16] 唐春花, 楼法生, 黄志忠, 等. 赣东北岩浆混合杂岩体的锆石 U-Pb 年龄[J]. 资源调查与环境, 2004, 25(3): 174.
- TANG Chunhua, LOU Fasheng, HUANG Zhizhong, et al. Zircon U-Pb age of the gangbian magma-mixed complex in Hengfeng, northeast Jiangxi Province [J]. Volcanology & Mineral Resources, 2004, 25(3): 174.
- [17] 王强, 赵振华, 简平, 等. 德兴花岗闪长斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学和 Nd-Sr 同位素地球化学[J]. 岩石学报, 2004, 20(2): 315.
- WANG Qiang, ZHAO Zhenhua, JIAN Ping, et al. SHRIMP Zircon geochronology and Nd-Sr isotopic geochemistry of the Dexing granodiorite porphyries [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(2): 315.
- [18] 丁昕, 蒋少涌, 倪培, 等. 江西武山和永平铜矿含矿花岗质岩体锆石 SIMS U-Pb 年代学[J]. 高校地质学报, 2005, 11(3): 383.
- DING Xin, JIANG Shaoyong, NI Pei, et al. Zircon SIMS U-Pb geochronology of host granitoids in Wushan and Yongping copper deposits, Jiangxi Province [J]. Geological Journal of China Universities, 2005, 11(3): 383.
- [19] 彭头平, 王岳军, 江志敏, 等. 江西中西部地区白垩纪玄武岩质岩石的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学和地球化学研究[J]. 地球化学, 2004, 33(5): 447.
- PENG Touping, WANG Yuejun, JIANG Zhimin, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Ar Geochronology and geochemistry of cretaceous basaltic rocks for the central and northwestern Jiangxi Province [J]. Geochimica, 2004, 33(5): 447.
- [20] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. Geological Society of America Bulletin, 1989, 101: 635.
- [21] 李鹏春, 陈广浩, 许德如, 等. 湘东北新元古代过铝质花岗岩的岩石地球化学特征及其成因讨论[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1): 126.
- LI Pengchun, CHEN Guanghao, XU Deru, et al. Petrological

- and geochemical characteristics and petrogenesis of neoproterozoic peraluminous granites in northeastern Hunan Province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2007, 31(1): 126.
- [22] 王孝磊,周金城,邱检生,等.湘东北新元古代强化铝花岗岩的成因:年代学和地球化学证据[J].地质评论,2004,50(1):65. WANG Xiaolei, ZHOU Jincheng, QIU Jiansheng, et al. Petrogenesis of neoproterozoic peraluminous granites from northeastern Hunan Province: chronologic and geochemical constrains[J]. *Geological Review*, 2004, 50(1): 65.
- [23] 王一先,包志伟.赣东北蛇绿混杂岩带中大洋斜长花岗岩的地球化学和岩石成因[J].地球化学,1999,28(4):367. WANG Yixian, BAO Zhiwei. Geochemistry and petrogenesis of oceanic plagiogranite in the ophiolite from northeast Jiangxi Province[J]. *Geochimica*, 1999, 28(4): 367.
- [24] 李昌年.赣东北晚元古代港边岩浆混合杂岩体的区域地质调查及岩石学研究[J].华南地质与矿产,2002,3:9. LI Changnian. Regional geological survey and petrological research of the Gangbian magma mixed complex from northeastern Jiangxi Province [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2002, 3: 9.
- [25] 彭头平,席先武,王岳军,等.湘东北早中生代花岗闪长岩地球化学特征及其构造意义[J].大地构造与成矿学,2004,28(3): 287. PENG Touping, XI Xianwu, WANG Yuejun, et al. Geochemical characteristics of the early mesozoic granodiorites and their tectonic implications [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2004, 28 (3): 287.
- [26] 舒良树,王德滋,沈渭洲.江西武功山中生代变质核杂岩的花岗岩类 Nd-Sr 同位素研究[J].南京大学学报:自然科学,2000,36(3):306. SHU Liangshu, WANG Dezi, SHEN Weizhou. Nd -Sr isotopic compositions of granitic rocks of the mesozoic metamorphic core complex in the Wugongshan area, Jiangxi Province[J]. *Journal of Nanjing University: Natural Sciences*, 2000, 36(3): 306.
- [27] 张招崇,简平,魏罕蓉.江西三清山国家地质公园花岗岩 SHRIMP 年龄、地质—地球化学特征和岩石成因类型[J].地质论评,2007(53):28. ZHANG Zhaochong, JIAN Ping, WEI Hanrong. SHRIMP ages, geology, geochemistry and petrogenetic type of granites from the Sanqingshan Geopark of Jiangxi Province[J]. *Geological Review*, 2007(53): 28.
- [28] 章平,田邦生.赣东北灵山复式岩体特征及其成矿作用初探[J].世界核地质科学,2005,22(1):31. ZHANG Ping, TIAN Bangsheng. Primary discussion on the characteristics and metallogenesis of Lingshan composite massif in northeastern Jiangxi Province [J]. *World Nuclear Geoscience*, 2005, 22(1): 31.
- [29] 张永忠,吕少伟,邓必荣.湘赣边境志留纪花岗岩岩石谱系单位特征及侵位机制探讨[J].资源调查与环境,2005,26(1): 13. ZHANG Yongzhong, LÜ Shaowei, DENG Birong. On the rockhierarchical units characteristics and the emplacement mechanism of Silurian granite in the boundary between Hunan and Jiangxi[J]. *Resources Survey & Environment*, 2005, 26 (1): 13.
- [30] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25: 956.