

浙江道林山新元古代 A 型花岗岩的发现及其构造意义

卢成忠¹ 董传万² 顾明光¹ 邢光福³ 周宇章³

(1.浙江省地质调查院,浙江 杭州 311203;2.浙江大学地球科学系,浙江 杭州 310027;
3.国土资源部 南京地质矿产研究所,江苏 南京 210016)

摘要:道林山岩体侵入于元古宙火山岩和沉积岩中,锆石 U-Pb 法同位素年龄测定为 814 Ma 和 816Ma,形成于晋宁晚期。该岩体主要由钾长石、石英及少量斜长石、黑云母组成,为碱性长石花岗岩,氧化物平均值及 NK/A 比值与世界 A 型花岗岩相近,但与 M 型、S 型和 I 型花岗岩相比,则具有富硅碱而贫钙镁等特点;岩石准铝—过铝质,富含稀土元素和高场强元素,FeO*/MgO 比值大,形成于后造山构造环境。该岩体为后造山铝质 A 型花岗岩,是在晋宁晚期华夏、扬子两大陆块碰撞作用结束后的拉张环境中形成,是华南 Rodinia 超大陆裂解事件的岩石学记录,揭示了华南 Rodinia 超大陆裂解始于晋宁晚期(青白口纪),表明江山—绍兴断裂带在晋宁晚期即进入拉张裂解阶段。

关键词: A 型花岗岩;地球化学;Rodinia 超大陆裂解;晋宁晚期;浙江;道林山

中图分类号: P588.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)05-1044-08

A 型花岗岩因其产出的构造环境特别而成为近 20 多年来岩石学领域研究的一个热门课题之一。自从 Loiselle 等^[1]系统定义 A 型花岗岩以来,得到世人广泛重视。在中国,众多研究者已对典型的 A 型花岗岩带,特别是对中国东部晚中生代 A 型花岗岩带进行了全面系统的研究,并取得一系列的重要认识^[2]。但对华南元古代的 A 型花岗岩类研究却甚少,如著名的江山—绍兴断裂带北东段的新元古代浙江道林山岩体就是一例。浙江道林山岩体长期以来被认为是改造—重熔型花岗岩^[3]或同熔型花岗岩^[4],但经笔者等近年 1:25 万区域地质调查和专题研究表明,其地球化学特征不同于改造—重熔型花岗岩或同熔型花岗岩,而属新元古代铝质 A 型花岗岩,而且是目前华南地区发现的最古老 A 型花岗岩。因此,通过对该岩体地球化学特征及成因类型的再认识,对探讨本区乃至华南地区地壳物质组成和演化及地质构造发展都具有重要的地质意义。

1 地质概况及岩石学特征

道林山岩体自浙江省杭州市萧山区河上镇道林山延伸至富阳市章村南部,出露面积 31.5 km²,呈北东—南西向带状

展布(图 1)。岩体侵入中元古代双溪坞群章村组火山岩和新元古代骆家门组、虹赤村组沉积岩及上墅组火山岩,还呈枝杈状侵入并包裹晋宁晚期第一次侵入的次坞辉绿岩体,后者多呈残留顶盖产出。围岩普遍产生宽窄不一的角岩化,局部还有不同程度绿泥石化、绿帘石化及绢云母化等蚀变。

道林山花岗岩中单颗粒锆石年龄分析数据(质谱计双带源逐层蒸发法)见表 1,单颗粒锆石 ²⁰⁷Pb/²³⁸Pb 比值直方图如图 2 所示,其同位素年龄为 814 Ma。该结果与王一先等^[5]获得的道林山岩体同位素年龄 816 Ma(锆石 U-Pb 法)一致。结合岩体侵入的最新围岩,可以确定道林山岩体形成于晋宁晚期(青白口纪),表明该岩体为新元古代岩浆活动的产物。

根据国际地科联(IUGS)1972 和 1979 等火成岩定量矿物成分分类,道林山岩体岩性为碱性长石花岗岩。岩石呈肉红色,细粒及中细粒花岗结构,长石经常与石英交生,形成微文象结构;具有块状构造和晶洞构造。在靠近岩体的边部,晶洞最为发育,晶洞大小一般在 1~3 cm,形态各异,有圆形的,也有拉长或扁平状的。晶洞内矿物主要是石英及钾长石晶簇等,与岩体中的主要矿物基本一致。晶洞构造的形成,意味着

收稿日期:2006-01-12;改回日期:2006-05-29

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(200013000124、200413000021)资助。

作者简介:卢成忠,男,1950 生,高级工程师,从事区域地质调查工作;E-mail: cz5064@163.com。

① 浙江省地质矿产厅,1:5 万场口镇幅、河上镇幅区域地质调查报告,1990。

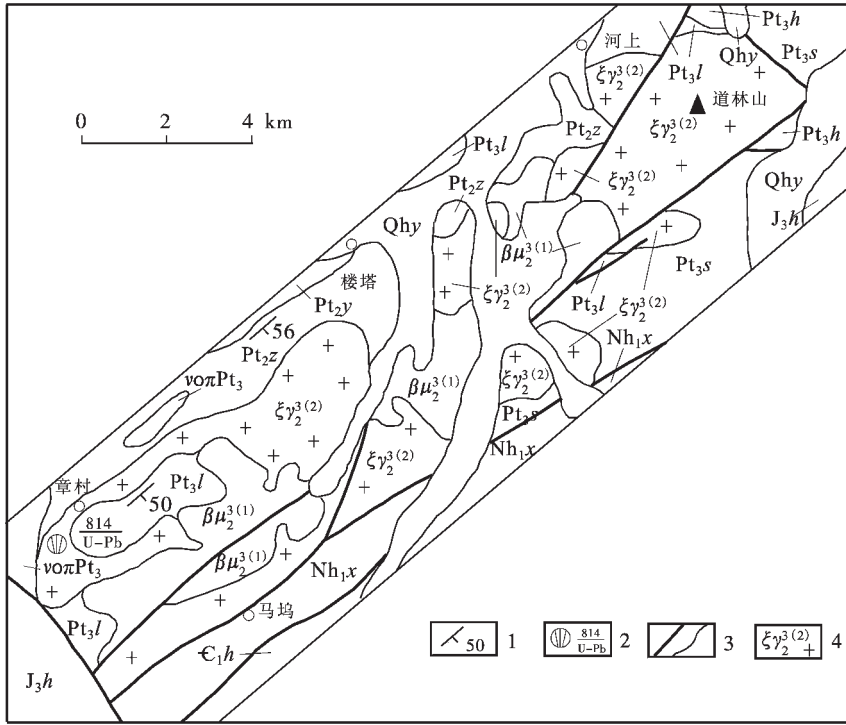


图 1 道林山—章村南部一带地质图

1—地层产状;2—同位素样地质年龄值(Ma)/测定方法;3—断裂、地质界线;4—晋宁晚期第二次碱性长石花岗岩(A型花岗岩);
 $\beta\mu_2^{3(1)}$ —晋宁晚期第一次辉绿岩; $\nu o \pi Pt_3$ —新元古代石英霏细斑岩潜火山岩体; Qhy—鄞江桥组; J_3h —黄尖组; ϵ_{1h} —荷塘组; Nh_{1x} —休宁组;
 Pt_{3s} —上墅组; Pt_{3h} —虹赤村组; Pt_{3l} —骆家门组; Pt_{2z} —章村组; Pt_{2y} —岩山组

Fig.1 Geologic map of the Daolinshan-southern Zhangcun area

1—Attitude of strata;2—Geological age (Ma) of isotope sample and analytic method;3—Fault and geological boundary;
 4—Late Jiningian second-phase alkali-feldspar granite (A-type granite); $\beta\mu_2^{3(1)}$ —Late Jiningian first-phase diabase;
 $\nu o \pi Pt_3$ —Neoproterozoic quartz felsite-porphphy subvolcanic body; Qhy—Yinjiangqiao Formation; J_3h —Huangjian Formation;
 ϵ_{1h} —Hetang Formation; Nh_{1x} —Xiuning Formation; Pt_{3s} —Shangshu Formation; Pt_{3h} —Hongchicun Formation;
 Pt_{3l} —Luojiamen Formation; Pt_{2z} —Zhangcun Furmation; Pt_{2y} —Yanshan Formation

表 1 单颗粒锆石年龄数据

Table 1 Single-grain zircon age data

编 号	次 数	组 数	锆石中铅的同位素测值				计算结果				锆石描述		
			$^{208}Pb/^{206}Pb$	σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	σ	$^{204}Pb/^{206}Pb$	σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	σ		年龄 (Ma)	σ
1	1	10	0.17208	33	0.06765	16	0.000150	26	0.06548	36	790	11	深粉色、半透明、自形完好, $200 \times 160 \mu m^2$, 1粒
2	1	20	0.1603	9	0.07044	16	0.000278	113	0.066434	448	820.1	1.4	淡粉色, 透明, 完好的自形晶, $120 \times 60 \mu m^2$, 4粒
	2	8	0.21532	58	0.069478	61	0.000203						
3	2	24	0.2480	27	0.066876	58	0.000374	41	0.066378	60	818.4	1.9	同上, $150 \times 80 \mu m^2$, 4粒
平均值							0.066252 76 814.4 2.4						

注: 编号 2~3 为多个锆石集中在一起同时测定; 次数指蒸发次数, 即第几次蒸发; 组数指该次蒸发所测定的数据组数, 即 BLOCK 数目; 由中国地质科学院地质研究所同位素地质年代实验室用质谱计双带源逐层蒸发法分析。

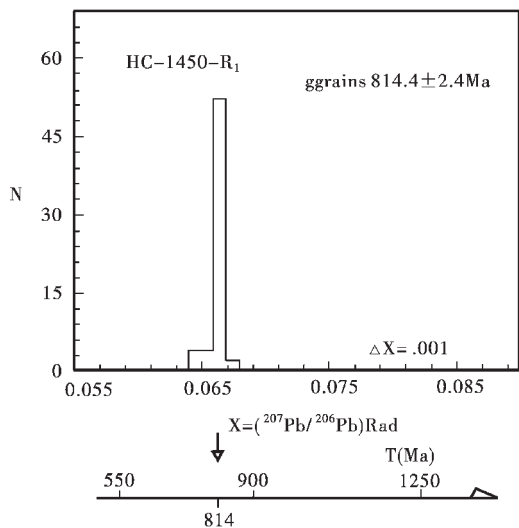


图2 单颗粒锆石 ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 比值直方图

Fig.2 Histogram of single-zircon ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb ratio

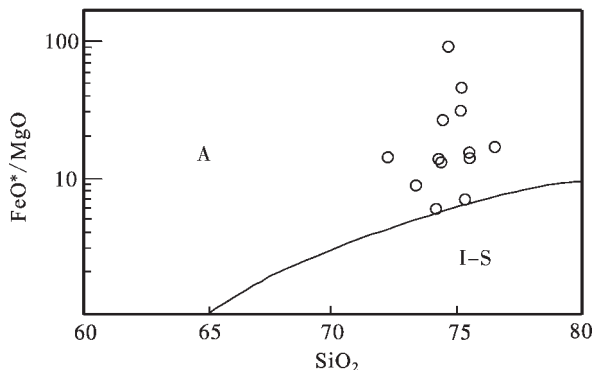


图3 花岗岩 SiO₂-FeO*/MgO 判别图解^[8]

A—A型花岗岩;I—S—I型和S型花岗岩

Fig.3 Granite SiO₂-FeO*/MgO discrimination diagram^[8]

A—A-type granite; I—S—I- and S-type granite

表2 道林山花岗岩主量元素成分及比值 (%)

Table 2 Major element composition of the granites from Daolinsan body (%)

编号	样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	F	Total	A.R	A/NKC	NK/A	FeO*/MgO
1	7740—1	75.45	0.26	12.43	2.37	0.34	0.02	0.16	0.02	3.94	4.17	0.12	0.47	0.01	100.99	4.74	1.13	0.89	15.44
2	7745—1	75.18	0.12	12.92	1.47	0.49	0.03	0.04	0.23	4.46	4.83	0.08	0.15	0.03	100.46	5.81	0.99	0.97	45.25
3	7252787	74.32	0.2	11.75	1.99	1.36	0.08	0.24	0.51	4.52	4.39	0.02	0.39	0.09	100.07	6.32	0.89	1.04	13.13
4	7252788	75.28	0.15	12.45	1.04	0.66	0.03	0.24	0.48	3.69	4.86	0.02	0.61	0.02	100.18	4.9	1.02	0.91	6.67
5	7252789	73.35	0.2	11.94	1.57	1.66	0.09	0.35	0.79	4.25	4.42	0.02	0.38	0.08	99.99	5.27	0.9	0.99	8.77
6	HC—1216	74.14	0.3	12.89	1.43	0.73	0.26	0.35	0.55	3.67	4.88	0.05			99.25	3.4	1.05	0.88	5.77
7	HC—1450	72.18	0.3	14.81	1.48	1.19	0.06	0.18	0.92	4.8	3.52	0.04			99.48	3.25	1.11	0.79	14
8	HC—1786	74.27	0.24	11.79	1.75	1.65	0.05	0.24	0.85	4.08	4.12	0.04			99.08	4.7	0.93	0.95	13.46
9	HC—1815	75.51	0.27	11.52	1.68	1.66	0.1	0.22	0.37	4.24	4.28	0.04			99.89	6	0.94	1.01	14.41
10	HC—1816	74.67	0.21	10.96	1.51	2.29	0.1	0.04	0.64	3.7	4.26	0.03			98.41	5.37	0.92	0.97	91.25
11	HC—1824	76.49	0.19	11.82	1.85	0.55	0.05	0.13	0.24	3.48	4.62	0.03			99.45	3.73	1.06	0.91	17.08
12	HC—1974	74.39	0.34	11.81	2.86	0.89	0.13	0.13	0.18	4.32	3.9	0.05			99	5.36	1.01	0.96	26.62
13	HC—1987	75.11	0.24	11.74	2.23	0.81	0.08	0.09	0.27	4.03	4.22	0.07			98.89	5.39	1	0.96	31.33
	平均 (13)	74.64	0.23	12.22	1.79	1.10	0.08	0.19	0.47	4.09	4.34	0.05	0.40		99.62	4.94	1	0.94	23.32
14	A (179)	73.77	0.27	12.45	1.23	1.5	0.06	0.22	0.81	3.94	4.63	0.05	0.58		99.51	4.25		0.95	13.4
15	M (17)	67.24	0.49	15.18	1.94	2.35	0.11	4.73	4.27	3.97	1.26	0.09			98.63				2.37
16	I (991)	69.17	0.43	14.33	1.04	2.29	0.07	1.42	3.2	3.03	3.4	0.11			98.59				2.27
17	S (578)	70.27	0.48	14.1	0.56	2.87	0.96	1.41	2.03	2.41	3.96	0.15			98.31				2.38

注:1~2号样品由南京地质矿产研究所测定,分析误差小于1%;3~13号样品由浙江省地质调查院实验室测定,分析误差小于1%;14号样品为A型花岗岩世界平均值,据参考文献[5];15~17号样品为M、I、S型花岗岩世界平均值,据参考文献[6]。

岩浆突然上升,花岗质岩浆发生第二次沸腾,散逸了气体和挥发分,这是浅带花岗岩特征^[9],因此道林山岩体是高侵位的浅成侵入体。

岩体主要矿物成分平均为钾长石72%,石英27%,斜长

石<1%,黑云母<1%。钾长石一般为微斜微纹长石,呈板状晶体,具格子双晶及卡氏双晶;斜长石具有聚片双晶;黑云母(已绿泥石化)充填在浅色矿物粒间,形成于岩浆结晶历史晚期,显示岩浆相对贫水的特点。副矿物组合为锆石—萤石型,

表 3 道林山岩体微量元素和稀土元素组成 (10^{-6})Table 3 Trace element and REE compositions of granites in the Daolinshan body (10^{-6})

样号	HC-1786	HC-1824	HC-1450	HC-1815	7740-1	7745-1	世界平均值 ^[6]			
							A 型 (148)	M 型 (17)	I 型 (991)	S 型 (578)
Rb	84.7	103.3	56.5	85.4	90.5	110.0	169	17.5	151	217
Sr	32.3	11.7	74.0	17.7	12.8	47.5	48	282	247	120
Ba	543.1	204.5	923.8	505.8	294.0	419.0	352	263	538	468
Y	118.7	111.2	91.6	205.5	116.0	67.1	75	22	28	32
Ga	26.6	25.9	22.4	27.7	20.5	20.3	24.6	15.0	16	17
Zr	743.3	484.9	557.4	1378.1	888.0	574.0	528	108	151	165
Nb	26.1	29.5	18.0	48.6	23.8	28.1	37	1.3	11	12
Ti	2740	1910	2970	2920	1558.7	719.4				
V	9.8	4.8	8.9	7.0	7.42	7.87	6	72	60	56
Cr	2	4.6	1.2	1.5	10.4	10.2	3		27	46
Ni	1.8	1.6	1.4	3.6	6.65	5.33	<1	2	7	13
Zn	50.6	76.5	38.6	187.3			120	56	49	62
10^4Ga/Al	4.26	4.14	2.86	4.55	3.12	2.97	3.75	1.87	2.28	2.25
La	35.1	54.6	30.5	35.39	74.60	46.30				
Ce	70.3	121.4	59.7	109.77	141.0	105.0				
Pr	9.6	16.1	9.1	10.53	23.80	14.80				
Nd	38.2	67.5	37.3	46.72	97.50	59.10				
Sm	8.5	15.3	8.2	12.03	18.40	12.10				
Eu	1.24	2.43	0.78	1.87	2.88	1.91				
Gd	10.00	15.28	7.91	12.30	22.20	11.90				
Tb	2.28	3.06	1.63	2.56	3.18	2.04				
Dy	16.2	20.6	10.9	16.83	22.80	13.30				
Ho	3.53	4.25	2.29	3.69	4.22	2.80				
Er	9.7	11.7	6.6	11.49	12.60	8.86				
Tm	1.77	2.08	1.23	1.79	1.90	1.40				
Yb	10.6	12.7	7.7	12.01	14.7	9.82				
Lu	1.79	2.16	1.36	1.92	2.21	1.46				
ΣREE	218.81	349.16	185.20	278.9	441.99	290.79				
LR/HR	2.92	3.86	3.67	3.46	4.27	4.64				
δEu	0.41	0.48	0.30	0.47	0.45	0.49				

注:HC-1786、HC-1824、HC-1450、HC-1815 号样品由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所用等离子体质谱法(ICP-MS)测定;7740-1、7745-1 号样品由南京地质矿产研究所化学实验室用 ICP-AES 方法测定;分析误差皆小于 5%。

伴有赤铁矿、磁铁矿、闪锌矿及微量锐钛矿、黄铁矿、金红石等。其中锆石聚形普遍较简单,由柱面{110}和锥面{111}组成,少数聚形由柱面{110}及锥面{111}、{131}、{311}组成。根据 Pupin(1980)的锆石群型分类,以相当于 S_{25} 亚型者居多,次为 P_5 亚型,推测形成温度为 800~850℃。这些特点与 A 型花岗岩浆贫水高温的特征是一致的(Whalen et al.,1987)。

2 地球化学

2.1 主量元素

道林山花岗岩主量元素(表 2)以富硅(SiO_2 72.18%~76.49%)、富碱(Na_2O K_2O 7.96%~9.29%),明显贫 MgO (0.04%~0.35%)、 CaO (0.02%~0.92%)为特征。赖特碱度率

A.R=3.4~7.34,为弱碱性花岗岩类型;全岩 A/NKC 为 0.89~1.11, CIPW 标准矿物中多有刚玉出现,属准铝-弱过铝质花岗岩。岩体氧化物平均值及 NK/A 比值(平均 0.94)与世界 A 型花岗岩^[9]相近,但与 M 型、S 型和 I 型花岗岩^[7]相比,则具有富硅、富碱,明显贫铝、镁、钙等特点。其 $FeO^*/MgO(FeO^*=FeO+0.9 \times (Fe_2O_3))$ 比值为 5.77~91.25(平均 23.32),远高于一般 I 型(991 个样品平均值 2.27)、S 型(578 个样品平均值 2.38)、M 型(17 个样品平均值 2.37)花岗岩^[7]。Eby 指出,对于高硅的花岗岩, SiO_2-FeO^*/MgO 图解最能有效地把大多数 A 型花岗岩与 I 型和 S 型花岗岩区别开来^[8]。道林山岩体在该图解

中均落入 A 型花岗岩区(图 3),反映其具 A 型花岗岩的成分特征。

2.2 微量元素和 Nd 同位素地球化学

道林山花岗岩的微量元素和稀土元素组成见表 3。稀土元素总量较高, $\sum REE=(185.20 \times 10^{-6} \sim 441.99 \times 10^{-6})$, LREE/HREE=2.92~4.64。Eu 亏损较显著 ($\delta Eu=0.30 \sim 0.49$)。球粒陨石标准化稀土元素配分模式(图 4)为典型的 A 型花岗岩所特有的海鸥型^[9]。微量元素与世界 M 型、S 型和 I 型花岗岩平均值^[7]相比,道林山花岗岩的 Zr、Nb、Y、Ga 明显偏高, V、Cr、Ni、Sr 等元素明显偏低,而与世界 A 型花岗岩平均值^[7]十分接近(表 3)。元素组合 $(Zr+Nb+Ce+Y)$ 为 $727 \times 10^{-6} \sim 1742 \times 10^{-6}$, 明显大于 A 型花岗岩下限值 350×10^{-6} ^[7]。在 $Ga/Al \times 10^3-(Zr+Nb+Ce+Y)$ 判别图解(图 5)中,它们的投影点均落在 A 型花岗岩区^[7],说明道林山花岗岩属 A 型花岗岩类。道林山花岗岩的 Rb 丰度 ($56.5 \times 10^{-6} \sim 110 \times 10^{-6}$) 明显低于分异成因的花岗岩(大于 270×10^{-6})^[10],说明道林山花岗岩类并不是简单的高度分异的 I 型花岗岩^[11],而反映其主要直接起源于陆壳部分熔融。

道林山花岗岩属铝质 A 型花岗岩,王一等^[12]测得道林山花岗岩的一组 Sr、Nd 同位素组成,计算求得 $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i = 0.7011$, $\epsilon_{Nd}(t) = +3.88$, $T_{DM} = 1.2 Ga$; 岩石富铝又富集轻稀土,以及微量元素低 Rb、V、Cr、Ni 而高 Zr、Nb、Y、Ga 等特征,反映道林山花岗岩主要是由下地壳部分熔融的产物。

3 构造环境分析

花岗岩构造环境的判别不仅需要根据其地球化学特征,在更大程度上还需要对岩体自身构造特征及产出区域构造背景等多方面进行综合研究。通过以下 3 个方面的分析来探讨道林山岩体形成的构造环境。

3.1 岩石地球化学证据

花岗岩的微量元素组成明显受其成岩的构造环境制约。Eby^[11]根据地球化学特征将 A 型花岗岩分为 A₁ 型和 A₂ 型,并认为 A₁ 型是与洋岛岩浆来源相同的地幔分异产物, A₂ 型来源于大陆地壳或板下地壳,且与陆-陆碰撞或岛弧岩浆作用有关。在 Nb-Y-Ce 和 Nb-Y-Ga 判别构造环境的 A₁、A₂ 型花岗岩类图解中(图 6),道林山花岗岩均落入 A₂ 区域。此外,道林山岩体相当富碱,基本可适用于洪大卫等^[12]的有关碱性花岗岩构造环境判别图解,且投影点均落入 PA 区(图 7),反映其形成于后造山拉张环境。

3.2 岩体构造型式证据

道林山岩体在平面上形态不规则,呈北东-南西向带状展布(图 1),岩体内部缺乏定向构造和暗色岩石包体,矿物成分和化学成分都颇为均一,几乎不显示岩浆面理和变形面理,没有边强中弱的主动侵位的应变型式。岩体与围岩多具锯齿状的接触界线,接触面常呈枝杈状,并常有岩体延伸出去的岩枝贯入围岩,后者则有从接触带被推开或改变构造走向的迹象。

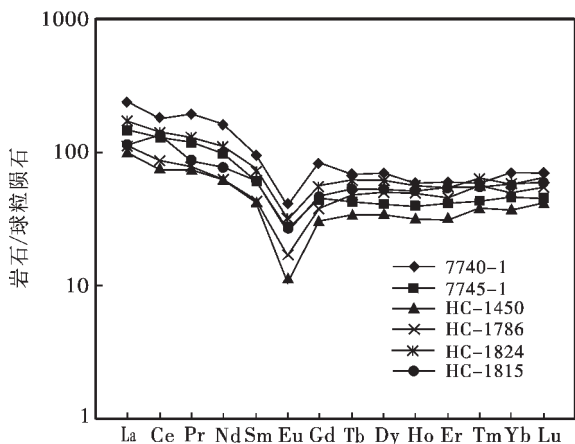


图 4 道林山岩体稀土元素球粒陨石标准化配分模式 (标准化值据 Leedey, 1987)

Fig.4 Chondrite-normalized REE patterns for the Daolinshan granite

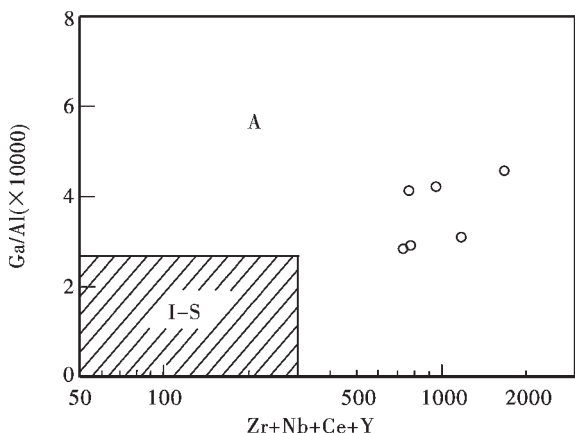


图 5 Ga/Al (x10000)-(Zr+Nb+Ce+Y) 判别图解^[7]

A—A 型花岗岩; I-S—I 型和 S 型花岗岩

Fig.5 Ga/Al (x10000)-(Zr+Nb+Ce+Y) discrimination diagram^[7]

A—A type granite; I-S—I and S-type granite

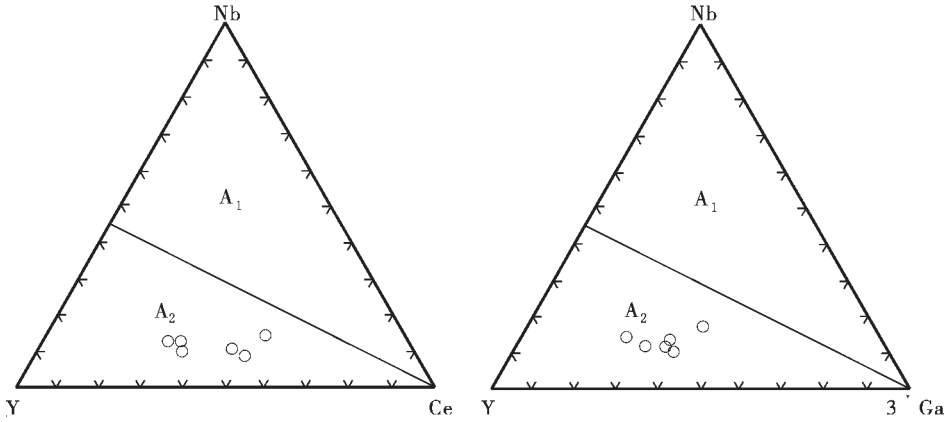


图 6 A₁、A₂ 型花岗岩类判别图解^[11]

Fig.6 Discrimination diagrams for A₁- and A₂-type granitoids^[11]

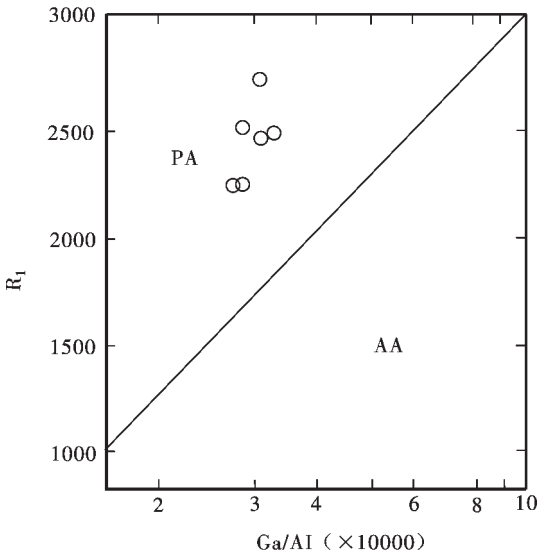


图 7 AA、PA 型花岗岩类判别图解^[12]

Fig.7 AA- and PA-type granite discrimination diagram^[12]

岩体与围岩的构造线不一致,围岩未因岩浆侵入而发生变形,围岩原有的构造靠近接触带也未受干扰。所有这些特点明显不同于主动侵位的岩体构造型式,而显示了一种拉张环境下的岩体被动定位的构造型式。

3.3 区域构造背景

本区前寒武纪地质构造演化可简略分为中元古代—青白口纪华夏陆块与扬子陆块的碰撞拼贴造山阶段、南华纪—早古生代陆内裂陷造盆阶段两个时期。前一时期包括晋宁运动早期(浙江亦称神功运动)、中期和末期,其中晋宁运动中期在本区表现为新元古代河上镇群骆家门组和虹赤村组发展阶段,并发生扬子和华夏古板块沿江山—绍兴断裂带的古

陆弧碰撞拼贴,因此经历了山前盆地—弧后盆地—弧后盆地消亡,代表了弧后盆地形成发展消亡的完整过程;晋宁运动末期 Rodinia 超大陆裂解开始,在本区表现为新元古代上墅组发展阶段,拉张背景下陆相火山喷发和岩浆侵入,即上墅组下部为中基性火山岩,上部为酸性火山岩,并在同一构造—岩浆作用下伴随次均辉绿岩体与道林山 A 型花岗岩体侵入,显示它们是拉张环境的产物。后一时期即为加里东期沿江山—绍兴断裂带发生裂解,形成陆内裂陷槽。

4 构造意义

一般认为,晋宁运动与加里东运动的时间界限为~800 Ma,这也正是 Rodinia 超大陆裂解发生的时期(约 825 Ma 至 750~700 Ma,相应的岩浆活动可能早在约 850 Ma 即已开始)^[13-14],因此晋宁运动末在华南发生的沿江山—绍兴断裂带开始裂解的事件,可以认为是全球性 Rodinia 超大陆裂解在华南的响应,笔者研究的道林山 A 型花岗岩即是这一裂解事件的产物。

新元古代火成岩主要出露于江山—绍兴断裂带沿线,道林山 A 型花岗岩的产出位置正位于江山—绍兴断裂带之内,明显受江山—绍兴断裂带控制而呈北东向展布,而且其形成时间也在~800 Ma,因此道林山 A 型花岗岩是在晋宁晚期华夏、扬子两大陆块碰撞作用结束后的拉张环境中形成。其形成时大陆地壳已开始减薄,处于拉张裂解状态,正是 Rodinia 超大陆裂解作用在本区的表现,表明江山—绍兴断裂带在晋宁晚期即进入拉张裂解阶段。换言之,是华南 Rodinia 超大陆裂解事件的岩石学记录,标志着晋宁运动即将终结,其时代可大致视作本区青白口纪的上限。故笔者认为,华南 Rodinia 超大陆裂解始于晋宁晚期(青白口纪),到加里东期达到高峰,形成陆内裂陷槽。可见,道林山 A 型花岗岩的发现和厘定,对阐释华南地区 Rodinia 超大陆裂解事件,并揭示华南古陆块构造演化具有非常重要的地质意义。

5 结 论

(1)道林山岩体侵入于元古宙火山岩和沉积岩中,锆石 U-Pb 法同位素年龄测定为 814 Ma 和 816 Ma,形成于晋宁晚期。

(2)道林山岩体主要由钾长石、石英及少量斜长石、黑云母组成;在化学组成上富硅碱而贫钙镁,准铝-弱过铝质,富含稀土元素、高场强元素 (Zr、Nb、Y、Ga),FeO*/MgO 比值大,形成于后造山构造环境,故该岩体为后造山铝质 A 型花岗岩,而不是改造-重熔型花岗岩或同熔型花岗岩。

(3)道林山花岗岩是目前华南地区发现并厘定的最古老 A 型花岗岩,明显受江山-绍兴断裂带控制而呈北东向展布,而且其形成时间也在~800 Ma,正是 Rodinia 超大陆裂解作用在本区的表现,表明江山-绍兴断裂带在晋宁晚期即进入拉张裂解阶段。

(4)道林山 A 型花岗岩是在晋宁晚期华夏、扬子两大陆块碰撞作用结束后的拉张环境中形成,是华南 Rodinia 超大陆裂解事件的岩石学记录,标志着晋宁运动即将终结,其时代可大致视作本区青白口纪的上限。华南 Rodinia 超大陆裂解始于晋宁晚期(青白口纪),到加里东期达到高峰,形成陆内裂陷槽。

参考文献 (References):

[1] Loiselle M C, Wones D R. Characteristics and origin of anorogenic granites [J]. Geological Society of America Abstracts with Programs, 1979, 11:468.

[2] 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 湖南西山铝质 A 型花岗岩质火山-侵入杂岩的地球化学及其形成环境 [J]. 地球科学与环境学报, 2004,26(4):15~23.

Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, et al. Geochemistry and tectonic setting of Xishan aluminous A-type granitic volcanic-intrusive complex, Southern Hunan [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2004,26(4):15~23 (in Chinese with English abstract).

[3] 浙江省地质矿产局. 浙江省区域地质志 [M]. 北京:地质出版社, 1989.304~320.

Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province. Regional Geology of Zhejiang Province [M]. Beijing :Geological Publishing House, 1989.304~320 (in Chinese with English abstract).

[4] 王一先, 赵振华, 包志伟, 等. 浙江花岗岩类地球化学与地壳演化-II 元古宙花岗岩类 [J]. 地球化学, 1997, 26(6):57~68.

Wang Yixian, Zhao Zhenhua, Bao Zhiwei, et al. Granitoid

geochemistry and crustal evolution - II Proterozoic granite in Zhejiang [J]. Geochimica, 1997,26(6):57~68 (in Chinese with English abstract).

[5] 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 花岗岩研究思维与方法 [M]. 北京:地质出版社, 2002. 169~170.

Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daquan, et al. The ways of investigation on granitoids [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002.169~170 (in Chinese).

[6] Turner S P, Foden J D, Morrison R S. Derivation of some A-type magmas by fractionation of basaltic magma: an example from the padthaway Ridge, South Australia [J]. Lithos, 1992, 28: 151~179.

[7] Whalen J B, Carrie K L, Chappell B W. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. Contrib Mineral Petrol, 1987, 95: 407~419.

[8] Eby G N. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis [J]. Lithos, 1990, 26:115~134.

[9] 刘昌实, 陈小明, 王汝成, 等. 广东龙口南昆山铝质 A 型花岗岩的成因 [J]. 岩石矿物学杂志, 2003, 22(1):1~10.

Liu Changshi, Chen Xiaoming, Wang Rucheng, et al. Origin of Nankunshan aluminous A-type granite, Longkou County, Guangdong Province [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2003,22 (1):1~10 (in Chinese with English abstract).

[10] Pearce J A, Harris N B W, Trindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. J Petrol, 1984, 25:956~983.

[11] Eby G N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications [J]. Geology, 1992, 20:641~644.

[12] 洪大卫, 王式洗, 韩宝福, 等. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志 [J]. 中国科学(B 辑), 1995, 25(4):418~426.

Hong Dawei, Wang Shiguang, Han Baofu, et al. Tectonic setting classifications and discrimination criteria for alkaline granites [J]. Science in China (Series B), 1995, 25(4):418~426 (in Chinese).

[13] 王剑. 华南新元古代裂谷盆地演化-兼论与 Rodinia 解体的关系 [M]. 北京:地质出版社, 2000. 1~146.

Wang Jian. Evolution of Neoproterozoic rift basin in South China-with a discussion of the relationship with Rodinia discomposition [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000.1~146 (in Chinese with English abstract).

[14] Li Z X, Cho M, Li X H. Precambrian tectonics of East Asia and relevance to supercontinent evolution [J]. Precambrian Res., 2003, 122:1~6.

Discovery of the Neoproterozoic Daolinshan A-type granite in Zhejiang and its tectonic implications

LU Cheng-zhong¹, DONG Chuan-wan², GU Ming-guang¹,
XING Guang-fu³, ZHOU Yu-zhang³

(1. Zhejiang Institute of Geological Survey, Hangzhou 311203, Zhejiang, China;

2. Department of Earth Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027, Zhejiang, China;

3. Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

Abstract: The Daolinshan granite is intruded into Proterozoic volcanic rocks and sedimentary rocks and has zircon U-Pb ages of 814 and 816 Ma. The granite formed in the late Jinningian Stage. It is alkali feldspar granite composed mainly of alkali feldspar, quartz with small amounts of plagioclase, biotite, and hornblende. Its mean value of oxides and NK/A ratio are close to those of the world's A-type granite, but compared to M-type, S-type and I-type granite, it is rich in silicon and alkalis and poor in calcium and magnesium. The rock is metaluminous to peraluminous and rich in REE and high field strength elements with a high ratio of FeO*/MgO. The granite pluton formed in a post-orogenic environment and is post-orogenic, aluminous A-type granite. It originated in an extensional environment after the end of the collision of the Yangtze block and Cathaysia block. It is the petrological record of the breakup event of the supercontinent South China Rodinia, revealing that the breakup of the supercontinent in the late Jinningian (Qingbaikouan Period) and so suggesting that the Jiangshan-Shaoxing fault belt had stepped into the stage of extensional breakup in the late Jinningian.

Key words: A-type granite; geochemistry; supercontinent Rodinia breakup; late Jinningian; Daolinshan, Zhejiang

About the first author: LU Cheng-zhong, male, born in 1950, senior engineer, engages in regional geological survey; E-mail: cz5064@163.com.