

闽北地区中侏罗世火山岩的发现及其地质意义

李亚楠^{1,2}, 邢光福¹, 邢新龙^{1,3}, 陈世忠¹, 段政¹, 杨东^{1,4}, 胡凌云³
LI Ya'nan^{1,2}, XING Guangfu¹, XING Xinlong^{1,3}, CHEN Shizhong¹, DUAN Zheng¹,
YANG Dong^{1,4}, HU Lingyun³

1.中国地质调查局南京地质调查中心,江苏南京210016;
2.北方工程设计研究院有限公司,河北石家庄050011;
3.成都理工大学地球科学学院,四川成都610059;
4.中国地质科学院,北京100037

1. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China;
2. Northern Engineering Design and Research International Co., Ltd., Shijiazhuang 050011, Hebei, China;
3. Institute of Geosciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;
4. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

摘要:中侏罗世火山岩在东南沿海分布极少,但对区域中生代构造—岩浆活动过程及大地构造演化的研究具有重要意义。在闽北地区大面积白垩纪火山岩区调查中,在政和铁山地区发现中侏罗世火山岩,用LA-ICP-MS同位素测试技术测得的锆石U-Pb年龄为 173.63 ± 0.80 Ma。火山岩属钙碱性系列流纹质熔结凝灰岩,显示过铝质、富钾、富集大离子亲石元素,亏损高场强元素等地球化学特征,推断其形成于陆缘弧环境,与古太平洋板块早期俯冲作用有关。

关键词:中侏罗世;火山岩;闽北地区;LA-ICP-MS锆石U-Pb测年

中图分类号:P534.52; P588.14 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2015)12-2227-09

Li Y N, Xing G F, Xing X L, Chen S Z, Duan Z, Yang D, Hu L Y. The discovery of Middle Jurassic volcanic rocks in northern Fujian Province and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 2015, 34(12):2227-2235

Abstract: There are only very few Middle Jurassic volcanic rocks exposed along the southeast coast of China, but they are very important for the study of the regional Mesozoic tectonic magmatic activity and tectonic evolution. The authors discovered for the first time the Middle Jurassic volcanic rocks in the Tieshan area of Zhenghe during the survey of large area of Cretaceous volcanic rocks in northern Fujian Province. The zircon U-Pb age obtained by LA-ICP-MS technique is 173.63 ± 0.80 Ma. The volcanic rocks are welded tuff, belonging to the calc-alkaline series. Geochemical data show that they are peraluminous rocks rich in potassium and large ion lithophile elements but poor in high field strength elements. Therefore, these rocks must have been formed in a continental margin arc environment, related to the subduction of the paleo-Pacific plate.

Key words: Middle Jurassic; volcanic rock; northern Fujian Province; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating

中国东南沿海地区中生代火山岩浆活动强烈,分布范围广,持续时间久,且以酸性火山岩为主,其时代开始于早侏罗世(200Ma),在早白垩世(140~120Ma)达到顶峰,结束于晚白垩世早期^[1-5]。

东南沿海中生代构造背景研究已久,但至今仍存在争议,主要观点有安第斯型活动大陆边缘模式^[6]、平移断裂系^[7-8]、阿尔卑斯型造山带模式^[9]等。火成岩的研究有助于解决东南沿海中生代大地构造背景的争论。

收稿日期:2014-12-12; 修訂日期:2015-06-20

资助项目:中国地质调查局项目(编号:1212011120882)

作者简介:李亚楠(1989-),男,在读硕士生,地质普查与勘探专业。E-mail: 821447949@qq.com

通讯作者:邢光福(1965-),男,博士,研究员,从事中国东南部中新生代火山岩调查研究。E-mail: njxgfu@163.com

早中侏罗世火山岩是东南沿海火山岩的重要组成部分,但分布范围有限,主要包括政和-大埔断裂西侧的象牙群藩坑组火山岩、江西寻邬-龙南地区的菖蒲组火山岩^[10]、浙东南毛弄组^[11]及粤北地区的金鸡组或桥源组等。笔者对福建北部政和县铁山地区的火山岩开展了锆石U-Pb测年和地球化学研究,确定其为一套中侏罗世初期的火山岩地层,并对其岩石成因及地质意义进行探讨。

1 地质背景及样品信息

闽北地区出露的中生代地层由下到上主要包括晚三叠世焦坑组、早侏罗世—中侏罗世初梨山组、中侏罗世漳平组、晚侏罗世长林组、早白垩世早期南园组和小溪组、早白垩世晚期石帽山群黄坑组和寨下组。焦坑组为内陆山间盆地相含煤碎屑沉积岩,梨山组为河流相含煤粗碎屑沉积岩,长林组为陆相火山碎屑—沉积岩,漳平组为山间内陆河湖相碎屑沉积岩,南园组为中酸性-酸性火山碎屑岩夹中酸性熔岩类,小溪组为杂色陆相砂岩与火山碎屑岩,石帽山群的黄坑组、寨下组主要为紫红色砂泥岩类夹薄层火山碎屑岩。段政等^[12]对该区的中生代火山岩进行了较系统的锆石U-Pb年代学研究,得出该区火山活动起止时间为143~111Ma(高峰期

为143~126Ma)。迄今为止,闽北地区尚未报道过早中侏罗世火山岩。铁山岩体东侧的铜盆庵岩体侵入到南园组火山岩中(图1),笔者测得铜盆庵岩体的锆石U-Pb年龄为155~150Ma(未发表),因此,推断铁山地区可能存在早中侏罗世火山岩。

本次研究的样品采自铁山岩体南侧南园组火山岩(钻孔ZK701)(图1),岩性为流纹质熔结凝灰岩(图2),具熔结凝灰结构,石英晶屑约15%,他形粒状,粒径0.4~2mm;斜长石晶屑约5%,粒状-板条状,粒径0.4~1.8mm,发育卡钠复合双晶;钾长石晶屑约10%,粒状-短柱状,粒径0.5~2.3mm;墨绿色浆屑约10%,定向排列构成假流动构造,另含少量玻屑;副矿物主要包括磷灰石、绿帘石及锆石。岩石蚀变较弱,以泥化、绿泥石化、绢云母化为主。

2 测试方法

样品的主量、微量元素和稀土元素测试在国土资源部华东矿产资源监测检测中心完成。主量元素数据采用XFD-1500测定,分析精度一般优于2%~3%。稀土和微量元素在Teflon溶样罐熔样,用Finnigan MAT公司生产的双聚焦高分辨ICP-MS测定,检测限优于 0.5×10^{-9} ,相对标准偏差小于5%,详细分析流程见参考文献[13]。

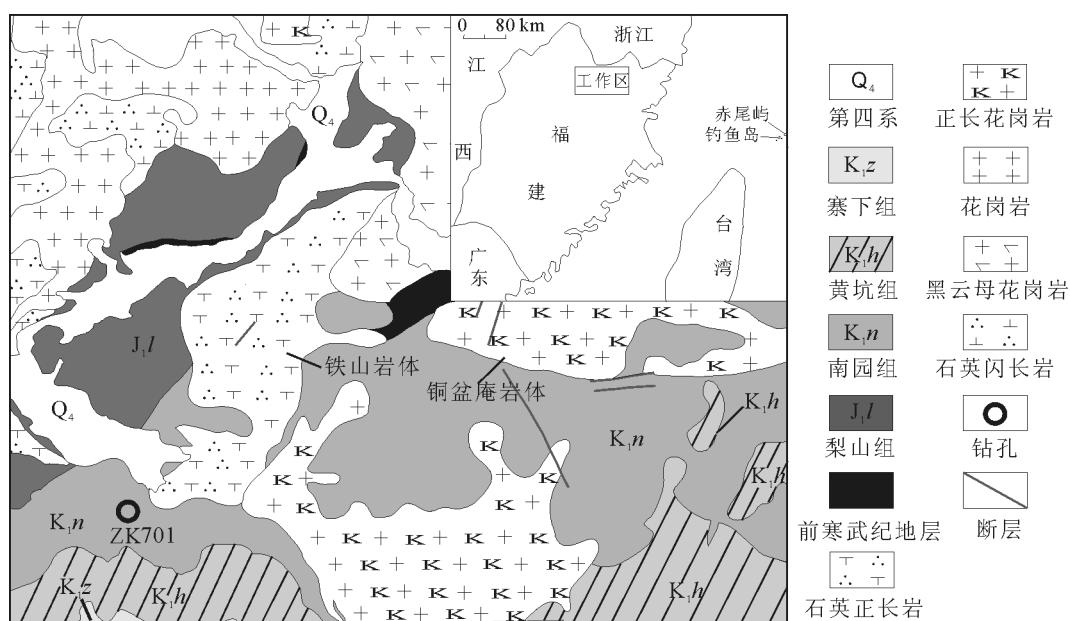


图1 铁山地区区域地质简图

(据参考文献①修改)

Fig. 1 Geological sketch map of Tieshan area

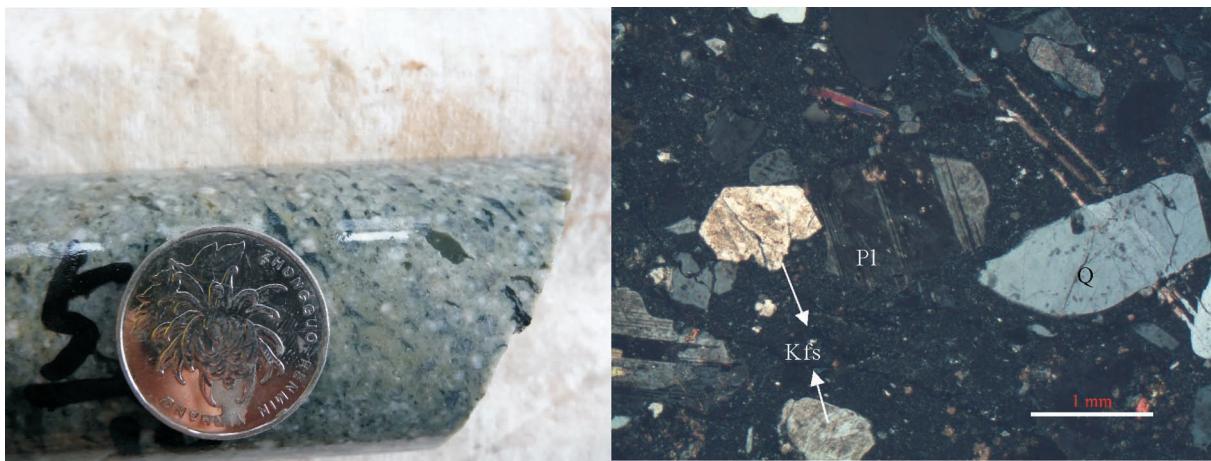


图2 政和铁山地区中侏罗世熔结凝灰岩岩心样品(左)及显微照片(右)

Fig. 2 The Middle Jurassic welded tuff core samples(left)and microphotographs (right)from the Tieshan area of Zhenghe

Q—石英;Kfs—钾长石;Pl—斜长石

锆石单矿物分选在河北省诚信地质服务有限公司完成,锆石制靶和CL图像(图3)分析均在北京锆年领航科技有限公司完成。锆石测年实验在合肥工业大学LA-ICP-MS实验室完成,采用的仪器型号为Agilent 7500a,激光剥蚀系统为Geo Las 2005。仪器激光束斑直径为 $32\mu\text{m}$,激光脉冲重复频率为6Hz。应用nist610玻璃作为元素外标,锆石标样91500进行同位素分馏校正,锆石标样Plesovice作为同位素监控样,本实验测定的锆石标样的结果与误差和推荐值一致。数据处理采用ICPMsDataCal软件^[14-15],年龄计算及U-Pb谐和图绘制使用ISOPLOT软件(3.00版)^[16]进行。详细分析方法见参考文献[14,17]。

3 分析结果

熔结凝灰岩中的锆石无色透明,等轴状-长柱状,长宽比为1~4。阴极发光图像(图3)中大多数锆石显示明显的振荡环带,Th/U值为0.16~0.34,

所有锆石的Th/U值均大于0.1,指示锆石为岩浆成因^[18-21]。LA-ICP-MS锆石U-Th-Pb测定数据列于表1。数据在U-Pb谐和图中的投影点位于谐和线或其附近(图4),21个 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄给出的加权平均值为 $173.63\pm0.80\text{Ma}$ (MSDW=0.77),该年龄被解释为火山岩岩浆的喷发时代。

火山岩样品的主量元素数据见表2,SiO₂含量为68.38%~74.07%,平均值为72.39%;CaO含量较高,为1.13%~3.35%,平均值为1.76%;K₂O含量较Na₂O高,为5.23%~5.84%,平均值为5.43%,在SiO₂-K₂O图解(图5)中,所有样品点均投在钾玄岩系列区域,暗示原始岩浆富钾的特点;铝饱和指数A/CNK值为1.03~1.28,在A/CNK-A/NK图解(图6)中投影点落入过铝质范围;岩石的上述地球化学特征比较接近S型花岗质岩类,是地壳物质部分熔融的产物^[22]。在TAS图解(图7)中,除了1个样品的投影点在英安岩区域外,其余样品投影点均

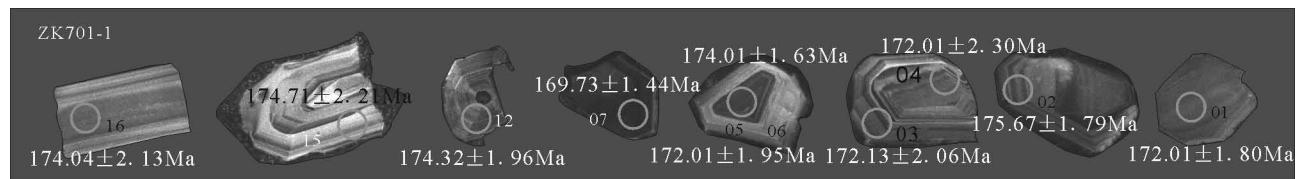


图3 政和铁山地区中侏罗世熔结凝灰岩部分锆石CL图像、测点与 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄

Fig. 3 CL images, analytical points and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of some zircons from the early Middle Jurassic tuff in the Tieshan area of Zhenghe

表 1 政和铁山地区中侏罗世熔结凝灰岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素数据

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb isotope data of the Middle Jurassic tuff from the Tieshan area of Zhenghe

点号	元素含量/ 10^{-6}			同位素比值						年龄/Ma			谐和度/%		
	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	
1	2.66	39.1	243	0.16	0.045	0.0018	0.17	0.0119	0.027	0.00029	157.55	10.30	172.01	1.80	91
2	5.71	87.6	465	0.19	0.048	0.0013	0.18	0.0111	0.028	0.00029	172.09	9.53	175.67	1.79	97
3	4.02	68.7	315	0.22	0.048	0.0020	0.18	0.0109	0.027	0.00033	165.58	9.37	172.13	2.06	96
4	3.04	60.3	169	0.36	0.047	0.0027	0.17	0.0114	0.027	0.00037	160.62	9.89	172.01	2.30	93
5	4.62	71.0	390	0.18	0.048	0.0017	0.18	0.0082	0.027	0.00031	165.99	7.08	172.01	1.95	96
6	6.31	116	405	0.29	0.049	0.0017	0.19	0.0073	0.027	0.00026	172.53	6.24	174.01	1.63	99
7	8.81	134	802	0.17	0.047	0.0014	0.17	0.0056	0.027	0.00023	162.42	4.83	169.73	1.44	95
8	4.39	72.5	359	0.20	0.049	0.0018	0.19	0.0070	0.027	0.00032	174.23	6.00	174.79	1.98	99
9	3.29	56.3	186	0.30	0.051	0.0023	0.19	0.0084	0.027	0.00035	177.51	7.16	173.99	2.17	97
10	6.52	131	386	0.34	0.050	0.0019	0.19	0.0069	0.027	0.00027	175.66	5.93	174.56	1.71	99
11	5.93	113	425	0.27	0.051	0.0019	0.19	0.0073	0.027	0.00030	180.22	6.23	174.73	1.88	96
12	4.00	71.4	274	0.26	0.054	0.0023	0.20	0.0086	0.027	0.00031	187.90	7.24	174.32	1.96	92
13	4.00	77.0	264	0.29	0.052	0.0023	0.20	0.0085	0.027	0.00030	182.09	7.19	173.49	1.87	95
14	6.77	110	611	0.18	0.050	0.0014	0.19	0.0055	0.028	0.00027	176.88	4.66	174.92	1.71	98
15	2.41	39.7	179	0.22	0.046	0.0021	0.17	0.0079	0.027	0.00035	162.53	6.84	174.71	2.21	92
16	2.28	38.7	190	0.20	0.048	0.0024	0.18	0.0089	0.027	0.00034	170.55	7.66	174.04	2.13	97
17	6.40	125	451	0.28	0.049	0.0016	0.18	0.0061	0.027	0.00027	170.89	5.21	172.56	1.68	99
18	3.59	55.6	358	0.16	0.049	0.0019	0.18	0.0067	0.027	0.00030	171.80	5.76	173.55	1.87	98
19	3.22	52.3	281	0.19	0.051	0.0018	0.20	0.0075	0.027	0.00034	181.90	6.34	174.18	2.11	95
20	3.77	65.9	235	0.28	0.054	0.0019	0.21	0.0091	0.027	0.00033	190.47	7.62	174.67	2.07	91
21	4.13	64.9	411	0.16	0.051	0.0015	0.20	0.0081	0.028	0.00025	180.91	6.86	175.58	1.56	97

投在流纹岩区域内。AFM 图解(图 8)显示,所有样品均属于钙碱性系列。

火山岩稀土元素数据见表 3, ΣREE 变化较小,为 $182.22 \times 10^{-6} \sim 200.67 \times 10^{-6}$,平均值为 193.87×10^{-6} 。在球粒陨石标准化后的稀土元素配分曲线(图 9)上,所有样品具有相似的稀土元素配分模式,即轻稀土元素(LREE)相对富集、重稀土元素(HREE)相对平坦的右倾型配分模式,(La/Yb)_N 平均值为 31.17, δEu 负异常较明显($\text{Eu}/\text{Eu}^*=0.62 \sim 0.89$,平均值 0.71)。

火山岩微量元素数据见表 3,在原始地幔标准化的微量元素蛛网图(图 10)上,大离子亲石元素 Rb、Th 等元素相对强烈富集,高场强元素 Nb、Ta、Zr 等元素相对亏损,具有显著的 Sr 负异常和 Pb 正异常,这与成熟岛弧环境及陆缘弧形成的火山岩相似^[28-30]。

4 讨论

4.1 铁山地区中侏罗世火山岩地层层位归属问题

南园组是福建省区测队在 1996 年开展

1:20 万南平幅区调工作时创建的,原指南平幅东部一套厚度巨大的中酸性-酸性喷出岩类,其下与长林组及其更老地层不整合接触,其上被石帽山群不

表 2 政和铁山地区中侏罗世熔结凝灰岩全岩主量元素分析结果

Table 2 Major elements of the Middle Jurassic tuff from the Tieshan area of Zhenghe

元素	ZK701-1	ZK701-2	ZK701-3	ZK701-4	ZK701-5	ZK701-6	ZK701-7	%
SiO ₂	72.92	73.12	68.38	70.73	73.58	73.90	74.07	
Al ₂ O ₃	13.58	13.50	14.70	13.18	13.67	13.75	13.79	
Fe ₂ O ₃	0.51	0.44	1.14	0.63	1.01	1.10	0.84	
FeO	1.02	0.88	1.22	1.05	0.28	0.32	0.37	
TiO ₂	0.21	0.19	0.18	0.19	0.17	0.16	0.17	
CaO	1.16	1.13	3.35	2.58	1.51	1.44	1.17	
MgO	0.51	0.49	0.67	0.73	0.39	0.45	0.43	
K ₂ O	5.34	5.41	5.47	5.23	5.84	5.26	5.49	
Na ₂ O	1.88	2.10	1.39	1.49	1.82	1.49	1.65	
P ₂ O ₅	0.059	0.052	0.059	0.060	0.036	0.036	0.040	
MnO	0.040	0.037	0.082	0.066	0.036	0.044	0.029	
烧失量	2.21	2.05	2.83	3.53	1.15	1.56	1.48	
总量	99.439	99.339	99.471	99.466	99.492	99.510	99.529	
K ₂ O+Na ₂ O	7.22	7.51	6.86	6.72	7.66	6.75	7.14	
A/CNK	1.24	1.19	1.03	1.03	1.13	1.28	1.28	
A/NK	1.53	1.45	1.79	1.62	1.47	1.69	1.59	
Mg [#]	47.13	49.81	49.47	55.34	71.29	71.48	67.44	

注: A/CNK=Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O), A/NK=Al₂O₃/(Na₂O+K₂O), Mg[#]=Mg/(Mg+Fe)

表3 政和铁山地区中侏罗世初凝灰岩全岩微量元素分析结果

Table 3 Trace and rare earth elements of the Middle Jurassic tuff from the Tieshan area of Zhenghe

元素	ZK	10^{-6}													
	701-1	701-2	701-3	701-4	701-5	701-6	701-7	元素	ZK						
Rb	273	291	285	318	245	247	247	Th	27.9	27.2	28.0	26.2	27.9	28.8	28.2
Sr	378	371	393	259	364	263	286	U	6.51	6.29	8.33	6.65	6.53	5.90	6.38
Y	12.4	12.7	15.5	12.9	12.7	12.6	11.8	Sc	3.22	2.45	3.14	2.82	2.19	2.07	2.09
Nb	10.20	9.48	9.73	9.46	10.90	9.65	9.90	V	17.0	15.5	21.5	20.0	12.9	13.4	11.4
Mo	0.66	0.44	0.46	1.14	1.00	1.76	1.40	Cr	3.88	2.89	3.46	2.61	1.28	1.00	1.78
Sn	1.04	0.67	3.33	1.52	0.92	1.01	0.95	Co	2.33	1.61	2.93	2.93	1.19	1.32	0.99
Cs	13.80	11.00	9.59	10.50	6.53	8.07	7.83	Ni	3.08	2.48	3.59	3.09	1.73	2.09	1.97
Ba	1530	1430	1340	1240	1430	1450	1440	Cu	3.52	8.21	2.27	2.73	3.46	2.29	3.71
La	54.4	51.0	53.8	50.1	55.3	52.7	51.5	Zn	20.5	25.1	28.8	23.0	71.1	101.0	83.6
Ce	91.0	85.4	89.9	85.1	89.9	86.1	79.8	La	54.4	51.0	53.8	50.1	55.3	52.7	51.5
Pr	10.60	9.90	10.50	10.10	10.30	9.61	9.61	Ce	91.0	85.4	89.9	85.1	89.9	86.1	79.8
Nd	32.5	30.2	31.6	31.3	30.9	28.1	29.1	Pr	10.60	9.90	10.50	10.10	10.30	9.61	9.61
Sm	4.71	4.50	4.86	4.66	4.50	4.12	4.01	Nd	32.5	30.2	31.6	31.3	30.9	28.1	29.1
Ga	13.1	12.3	19.7	14.5	13.3	13.9	13.3	Sm	4.71	4.50	4.86	4.66	4.50	4.12	4.01
Eu	0.87	0.85	1.24	0.95	0.96	0.79	0.69	Eu	0.87	0.85	1.24	0.95	0.96	0.79	0.69
Gd	3.05	2.94	3.31	3.26	2.92	2.72	2.47	Gd	3.05	2.94	3.31	3.26	2.92	2.72	2.47
Tb	0.41	0.39	0.49	0.45	0.40	0.37	0.35	Tb	0.41	0.39	0.49	0.45	0.40	0.37	0.35
Dy	2.15	2.19	2.60	2.36	2.20	2.33	1.82	Dy	2.15	2.19	2.60	2.36	2.20	2.33	1.82
Ho	0.39	0.40	0.50	0.44	0.42	0.42	0.39	Ho	0.39	0.40	0.50	0.44	0.42	0.42	0.39
Er	1.17	1.16	1.50	1.31	1.22	1.27	1.08	Er	1.17	1.16	1.50	1.31	1.22	1.27	1.08
Tm	0.18	0.19	0.22	0.19	0.19	0.20	0.17	Tm	0.18	0.19	0.22	0.19	0.19	0.20	0.17
Yb	1.09	1.21	1.41	1.30	1.26	1.24	1.05	Yb	1.09	1.21	1.41	1.30	1.26	1.24	1.05
Lu	0.17	0.18	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	Lu	0.17	0.18	0.23	0.21	0.2	0.19	0.18
Zr	127	116	130	116	123	106	122	Σ LREE	194.08	181.85	191.90	182.21	191.86	181.42	174.71
Hf	3.9	4.4	3.7	3.9	4.5	4.6	4.3	Σ HREE	8.61	8.66	10.26	9.52	8.81	8.74	7.51
Ta	1.29	1.24	1.3	1.21	1.39	1.39	1.42	Σ REE	202.69	190.51	202.16	191.73	200.67	190.16	182.22
W	1.42	1.51	1.34	1.60	1.31	1.95	3.21	(La/Yb) _N	35.80	30.23	27.37	27.64	31.48	30.49	35.18
Pb	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	δ Eu	0.66	0.67	0.89	0.71	0.76	0.68	0.62
Bi	0.077	0.150	0.480	0.530	0.028	0.079	0.057								

整合覆盖^[31]。自建组以来,一直沿用至今,并在福建省内外广泛使用,但不同专家进一步划分的详细程度不同,通常划分为3~5个岩性段。福建省1:25万周宁县幅、福州市幅、莆田市幅、泉州市幅区调工作,测制了仙游园庄地区长林组之上南园组第一段到第四段连续出露的完整剖面。邢光福等^[10]对该剖面南园组

火山岩的第一段和第四段火山岩进行测年,得出南园组火山岩时代应为早白垩世早期。段政等^[12]报道的闽北地区南园组火山岩时代亦均为早白垩世早期(143~140 Ma)。本文所测火山岩年龄为 173.63±0.80 Ma,属中侏罗世初期,因此不能归入南园组,其层位更可能相当于梨山组。

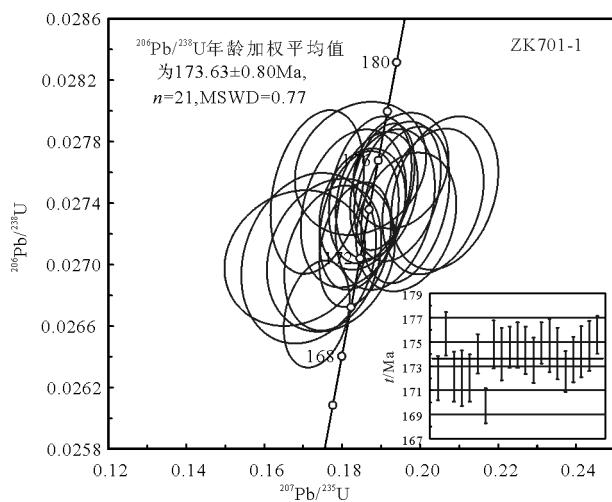


图4 政和铁山地区中侏罗世初凝灰岩锆石U-Pb谐和图

Fig. 4 U-Pb concordia diagram of the zircon from the early Middle Jurassic tuff in the Tieshan area of Zhenghe

4.2 岩石成因

通常认为,流纹质岩浆不能直接来源于地幔,即地幔橄榄岩的部分熔融不能直接形成流纹岩,主要起源于下地壳物质的熔融或玄武质岩浆的分离结晶^[32]。本区火山岩具过铝质、富集大离子亲石元素、亏损高场强元素、低的 Nb/Ta 值 ($Nb/Ta = 6.94 \sim 7.90$, 平均值 7.52) 等特征,显示其岩浆源区主要为壳源物质。在 La-La/Sm 图解(图 11)中,火山岩的投影点显示了部分熔融的趋势,反映其主要

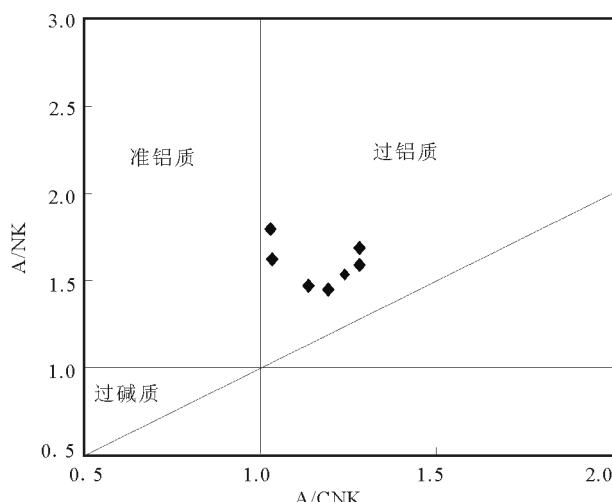


图6 A/CNK-A/NK图解^[24]

Fig. 6 The diagram of A/CNK-A/NK

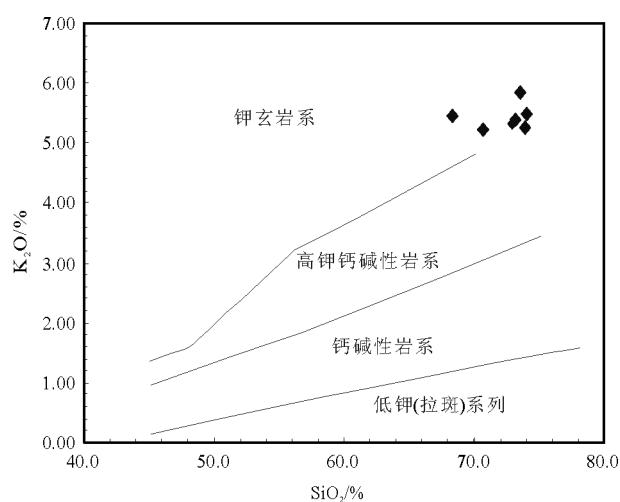


图5 SiO_2 - K_2O 图解^[23]

Fig. 5 The diagram of SiO_2 - K_2O

由源区部分熔融形成。在 $(\text{Zr}+\text{Nb}+\text{Ce}+\text{Y})-(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/\text{CaO}$ 图解(图12)中,火山岩的投影点投在未分异的M、I、S型花岗岩范围内,也说明本区火山岩没有经历强烈的分异作用。值得注意的是,本区火山岩 $\text{Mg}^{\#}$ (47.1~71.5,平均值58.9)较高,表明地幔物质对岩浆的形成具有一定的贡献,或者其源区包括了部分新生基性地壳,这与火山岩在 $\delta\text{Eu}-(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 图解(图13)中的投影范围吻合,指示火山岩岩浆的形成与地幔物质上涌形成有关。

4.3 大地构造背景及其地质意义

在华南湘南—赣南—闽西—粤北地区，零星出

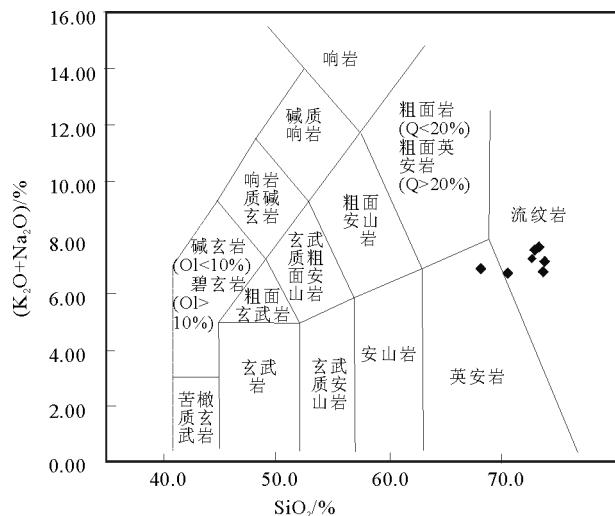


图7 TAS判别图^[25]

Fig. 7 The discrimination diagram of TAS

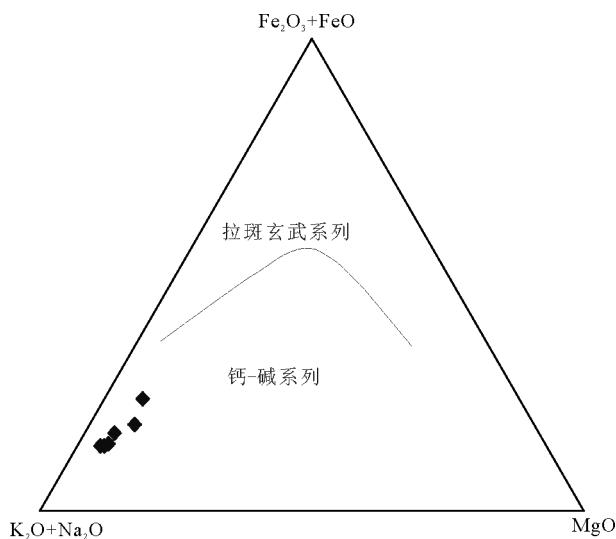
图8 AFM判别图^[26]

Fig. 8 The discrimination diagram of AFM

露形成于拉张环境中的早中侏罗世岩浆岩,包括双峰式火山岩、A型花岗岩及碱性正长岩,其同位素年龄集中在180~160 Ma之间^[36~40],其中双峰式火山岩(183~175 Ma)形成于陆内裂谷环境^[41],而对应的早中侏罗世基性岩浆岩地球化学特征指示,其为板内伸展构造背景下软流圈上涌与岩石圈相互作用的产物^[42]。邢光福等^[10]通过对早中侏罗纪火成岩的地球化学、岩石学的研究认为,其是陆内近E-W向拉张的结果和地质表现,标志着印支期陆内挤压造山作用的结束,这也与南岭地区早侏罗世近东西向陆

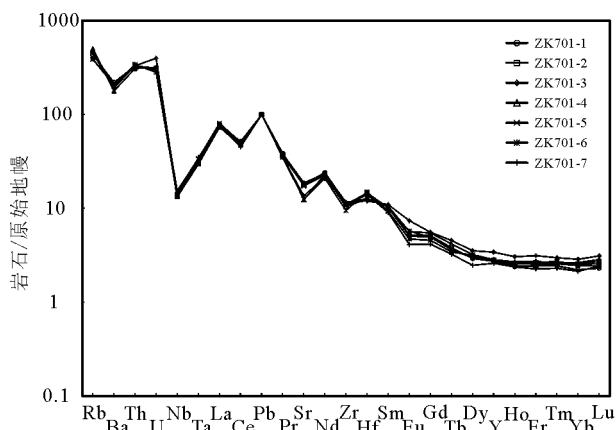


图10 原始地幔标准化微量元素蛛网图

(原始地幔标准值据参考文献[27])

Fig. 10 Primitive mantle-normalized spidergram of trace elements

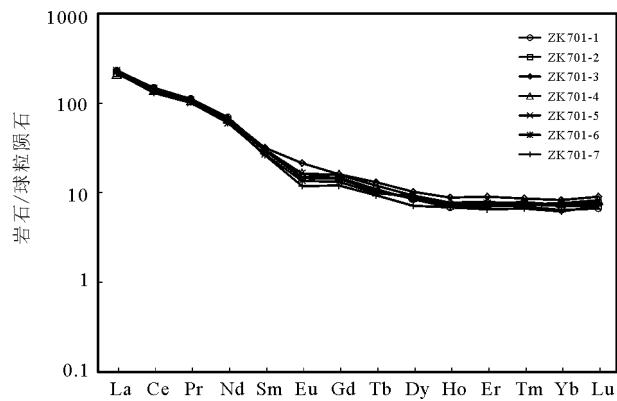


图9 球粒陨石标准化稀土元素配分图

(球粒陨石标准值据参考文献[27])

Fig. 9 Chondrite-normalized REE patterns

相磨拉石普遍发育,反映印支期造山后期的挤压前陆盆地环境相吻合^[43]。

在Yb-Ta图解(图14)中,闽北铁山地区中侏罗世初期火山岩均投在火山弧区域内,反映东南沿海在中侏罗世初期已经受到古太平洋板块俯冲的影响。张岳桥等^[44]基于华南地层接触关系和早中生代岩浆岩同位素年代学数据统计分析,也认为华南NNE向褶皱起源于燕山早期(170 ± 5 Ma)古太平洋板块向华南大陆之下低角度俯冲作用。华南大规模的花岗岩岩浆活动(165~155 Ma),为典型的与大洋板块俯冲作用形成的伸展型活动大陆边缘有关的大地构造背景的产物^[45~46]。因此,研究区中侏罗世初期火山岩可能形成于印支期碰撞构造体系开始向燕山期俯冲构造体系转化的重要时段。

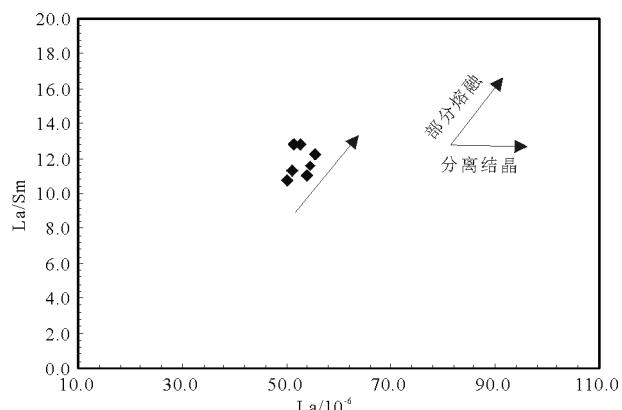
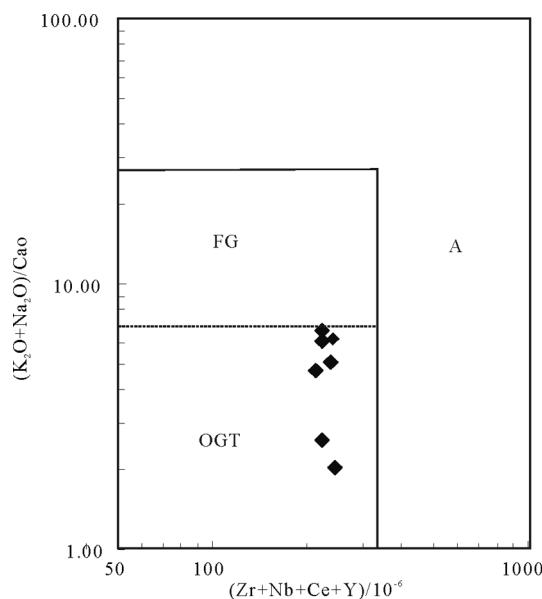
图11 La-La/Sm图解^[33]

Fig. 11 The diagram of La-La/Sm

图12 花岗岩 $(\text{Zr}+\text{Nb}+\text{Ce}+\text{Y})-(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/\text{CaO}$ 图解^[34]Fig. 12 $\text{Zr}+\text{Nb}+\text{Ce}+\text{Y}$ versus $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/\text{CaO}$ diagram of granitesA—A型花岗岩;FG—高分异长英质花岗岩;
OGT—未分异的M、I、S型花岗岩

5 结 论

(1) 闽北地区首次发现中侏罗世初期火山岩, 锆石U-Pb法测年结果表明其喷发时代为

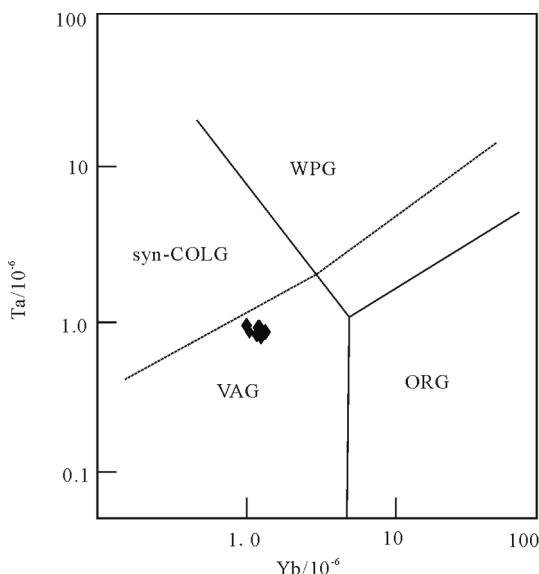
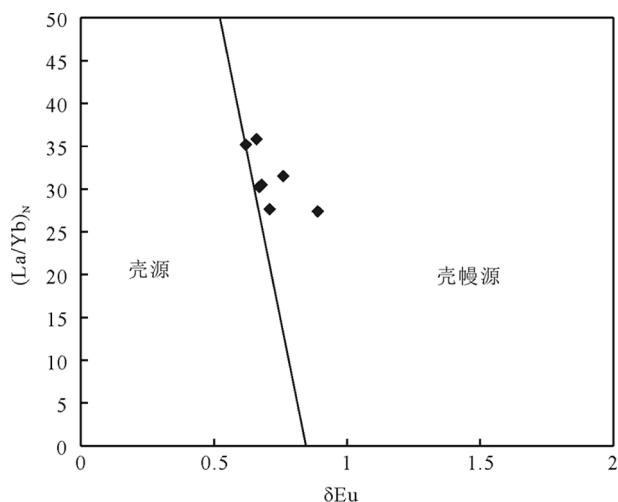
图14 Yb-Ta构造环境判别图^[23]

Fig. 14 The tectonic discrimination diagram of Yb-Ta
ORG—洋中脊花岗岩;syn-COLG—同碰撞花岗岩;
VGA—火山弧花岗岩;WPG—板内花岗岩

图13 $\delta \text{Eu}-(\text{La}/\text{Yb})_N$ 图^[35]Fig. 13 The diagram of $\delta \text{Eu}-(\text{La}/\text{Yb})_N$

173.63±0.80 Ma。

(2) 闽北地区中侏罗世初期火山岩具有弧火山岩的地球化学特征, 形成于古太平洋板块早期的俯冲阶段。

致谢:合肥工业大学LA-ICP-MS实验室闫峻教授、李全忠副教授在锆石测年方面给予了帮助,南京地质调查中心隰弯弯、张晓东、洪文涛工程师、舒徐杰博士及合肥工业大学邓宇峰博士在野外工作及论文编写过程中给予了帮助,在此一并表示诚挚的感谢。

参 考 文 献

- [1]王中杰, 杨琴芳, 阮宏宏, 等. 浙闽赣粤中生代火山地质若干基本问题[J]. 南京地质矿产研究所所刊, 1994, 8(3): 1-14.
- [2]谢家莹, 陶奎元, 冯宗帜, 等. 中国东南火陆中生代火山地质及火山-侵入杂岩 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [3]陆志刚, 陶奎元, 谢家莹, 等. 中国东南大陆火山地质及矿产 [M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [4]李兆鼐, 权恒, 李之彤, 等. 中国东部中、新生代火成岩及其深部过程 [M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [5]邢光福, 陈荣, 杨祝良, 等. 东南沿海晚白垩世火山岩浆活动特征及其构造背景[J]. 岩石学报, 2009, 25(1): 77-91.
- [6]Holloway N H. North Palawan Block, Philippines- Its relation to Asian Mainland and role in evolution of China Sea[J]. Am. Asso. Petrol. Geol. Bull., 1982, 66: 1355-1383.
- [7]Xu J W, Ma G F, Tong W X, et al. Displacement of the Tancheng-Lujiang Wrench fault system and its geodynamic setting in the north-western Circum-Pacific[C]//Xu J. The Tancheng-Lujiang Wrench Fault System, John Wiley & Sons, 1993: 51-76.

- [8] Xu J W, Zhu G, Tong W X, et al. Formation and evolution of the Tancheng-Lujiang wrench fault system: a major shear system to the northwest of the Pacific Ocean[J]. *Tectonophysics*, 1987, 134: 273–310.
- [9] Hsu K J, Sun S, Li J L, et al. Mesozoic overthrust tectonics in south China[J]. *Geology*, 1988, 16: 418–421.
- [10] 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.
- [11] 陈荣, 邢光福, 杨祝良, 等. 浙东南英安质火山岩早侏罗世锆石 SHRIMP 年龄的首获及其地质意义[J]. *地质论评*, 2007, 53(1): 31–35.
- [12] 段政, 邢光福, 余明刚, 等. 浙闽边界区晚中生代火山作用时序与过程分析[J]. *地质论评*, 2013, 59(3): 444–469.
- [13] 周长勇, 吴福元, 葛文春, 等. 大兴安岭北部塔河堆晶辉长岩体的形成时代、地球化学特征及其成因[J]. *岩石学报*, 2005, 21(3): 763–775.
- [14] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. *Chemical Geology*, 2008, 257(1/2): 34–43.
- [15] 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 of mantle xenoliths[J]. *Journal of Petrology*, 2010, 51: 537–571.
- [16] Ludwig K R. User's manual for Isoplot /Ex, version 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[J]. Berkeley Geochronology Center, Special Publication, 2003, 4: 1–70.
- [17] Yuan H L, Gao S, Liu X M, et al. Accurate U-Pb age and trace element determinations of zircon by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 2004, 28(3): 353–370.
- [18] Belousova E A, Griffin W L, O'Reilly S Y, et al. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 2002, 143: 602–622.
- [19] Hoskin P W O. Rare earth element chemistry of zircon and its use as a provenance indicator[J]. *Geology*, 2002, 28 (7): 627–630.
- [20] Rubatto D. Zircon trace element geochemistry: Partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism[J]. *Chemical Geology*, 2002, 184: 123–138.
- [21] 吴元保, 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, 49(16): 1589–1604.
- [22] Condie K C. Plate Tectonics and Crustal Evolution[J]. Oxford: Pergamon Press, 1997: 1–476.
- [23] 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: 956–983.
- [24] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1989, 101(5): 635–643.
- [25] Middlemost E A K. Naming materials in the magma /igneous rock system[J]. *Earth Science Reviews*, 1994, 37: 215–224.
- [26] Irvine T N, Baragar W R A. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks[J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1971, 8: 523–538.
- [27] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[C]//Saunders A D, Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, London: Special Publication, 1989, 42: 313–345.
- [28] Davidson J P, Stern C R. Comment and Reply on "Role of subduction erosion in the generation of Andean magmas" [J]. *Geology*, 1991, 19(10): 1054–1056.
- [29] DeSilva S L, Francis P W. Correlation of large ignimbrites—two case studies from the central Andes of northern Chile[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1989, 37: 133–149.
- [30] Lebtı P P, Thouret J C, Worner G, et al. Neogene and Quaternary ignimbrites in the area of Arequipa, southern Peru: Stratigraphical and petrological correlations[J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2006, 154(3/4): 251–275.
- [31] 李兼海, 王国平, 郑铁藩, 等. 福建省地层多重划分对比研究(续)[J]. *福建地质*, 1996, 15: 20–54.
- [32] 尹志刚, 张跃龙, 杜玉春. 大兴安岭北部早白垩世上库力组流纹岩的地球化学特征及成因[J]. *吉林大学学报*, 2013, 43(3): 788–796.
- [33] Treuil M, Joron J M. Utilization des éléments hydromagnayophiles pour la simplification de la modélisation quantitative des processus magmatiques. Exemples de l'Afar et de la dorsale medio-Atlantique[J]. *Soc. Ital. Mineral. Petrol.*, 1975, 31: 125–174.
- [34] Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1987, 95: 407–419.
- [35] 王中刚, 于学元, 赵振华. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [36] 许美辉. 福建永定地区中侏罗世双峰式火山岩及其构造环境[J]. *福建地质*, 1992, 2: 115–125.
- [37] 陈跃辉, 陈攀博, 陈祖伊, 等. 华东南中新生代伸展构造与铀成矿作用[M]. 北京: 原子能出版社, 1998.
- [38] 陈培荣, 孔兴功, 倪琦生, 等. 赣南燕山早期双峰式火山岩的厘定及意义[J]. *地质论评*, 1999, 45(增刊): 734–741.
- [39] 李献华, 周汉文, 刘颖, 等. 粤西阳春中生代钾玄质侵入岩及其构造意义: I. 岩石学和同位素地质年代学[J]. *地球化学*, 2000, 29: 513–520.
- [40] 陈志刚, 李献华, 李武显, 等. 赣南全南正长岩的锆石 SHRIMP 年龄及其对华南燕山早期构造背景的制约[J]. *地球化学*, 2003, 32(3): 223–229.
- [41] Zhu W G, Zhong H, Li X H, et al. Guangdong, SE China: Age, origin, and tectonic significance[J]. *Lithos*, 2010, 119(3/4): 313–329.
- [42] 张岳桥, 董树文, 李建华, 等. 华南中生代大地构造研究新进展[J]. *地球学报*, 2012, 33(3): 257–279.
- [43] 舒良树, 周新民. 中国东南部晚中生代构造作用[J]. *地质论评*, 2002, 48(3): 249–260.
- [44] 张岳桥, 徐先兵, 贾东, 等. 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录[J]. *地学前缘*, 2009, 16 (1): 234–247.
- [45] Borming J, Chen P Y, Yen T P. Rb-Sr ages of granitic rocks in southeastern China and their tectonic significance[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1976, 86: 763–766.
- [46] Wang Y J, Fan W M, Cawood P A, et al. Sr-Nd-Pb isotopic constraints on multiple mantle domains for Mesozoic mafic rocks beneath the South China Block hinterland[J]. *Lithos*, 2008, 106: 297–308.
- ①福建省闽北地质大队. 1:5万政和县、川石、后山幅区域地质矿产调查报告. 1987.