

福建中生代火山活动的基本特征 及构造环境*

卢清地

(福建地勘局区域地质调查队, 三明市 365001)

主题词 中生代火山岩 岩石化学 地球化学 构造环境 福建

提 要 福建中生代火山活动经历晚三叠世—早侏罗世的初始, 晚侏罗世的鼎盛及白垩纪的减弱、衰亡3个发展阶段; 3个阶段的火山活动特征、岩石组合、岩石化学及地球化学等方面既有明显的差异, 又具有过渡演化趋势, 是受同一构造机制作用而发生与发展。研究认为, 福建中生代火山岩的形成与太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲作用密切相关, 可谓之“浙闽型火山岩”。

福建中生代火山活动强烈而频繁, 具多阶段、多旋回的特点, 在环太平洋火山岩带中独具特色。它经历晚三叠世—早侏罗世、晚侏罗世及白垩纪3个发展阶段(时期), 包括7个沉积—喷发旋回, 构成引人瞩目的浙闽粤火山岩带的主体。它们在空间分布上具有明显的方向性、分带性。据火山岩发育情况及区域构造特征, 大致以政和—大埔断裂带为界, 可分闽东、闽西2条火山活动亚带。其中晚侏罗世火山岩又可进一步划分为5条北东向火山喷发带; 白垩纪火山岩亦可分为2条北西向及一条北东东向火山喷发带(图1)^[1]。本文将着重阐述福建中生代火山活动的基本特征, 并探讨其岩石成因及构造环境。

1 火山活动的基本特征及火山岩的时空分布特点

晚三叠世—早侏罗世是福建中生代火山活动的初始阶段。火山活动微弱, 为中心式喷溢, 包括一、二沉积—喷发旋回(表1)。火山喷发盆地由小型破火山和穹状火山组成, 多呈孤立状小型盆地产出, 沿断陷带断续分布, 并叠置在不同时代基底地层之上, 显示出空间分布受区域断裂构造控制之特点。火山岩主要出露于闽西火山活动亚带中, 以玄武岩、安山玄武岩为主, 流纹岩、流纹质熔结凝灰岩、凝灰岩较少。剖面上可见玄武岩与流纹岩直接接触, 其间缺少过渡的岩石类型, 具双峰式火山岩之特征(图2C)。这一时期与火山活动有关的矿产主要有Cu、Pb、Zn、Sn、Co等, 这些矿产与火山活动晚期的潜火山作用关系尤为密切。

晚侏罗世是福建中生代火山活动的鼎盛时期。火山喷发强烈而频繁, 规模宏大, 以中心式及裂隙—中心式的喷气式爆发为主, 兼具喷溢式喷发, 包括三、四沉积—喷发旋回(表1)。此阶段形成的火山机构类型多, 结构复杂, 以破火山、层状火山、锥状火山及穹状火山为主。

* 本文系福建省地质矿产勘查开发局“八五”基础地质重点科研项目“1:50万福建省地质图及说明书修编(1998年出版)”项目的部分成果。

第一作者简介 卢清地, 男, 1963年生, 工程师, 主要从事区域地质调查工作。

收稿日期 2000-02-13, 改回日期 2000-08-21

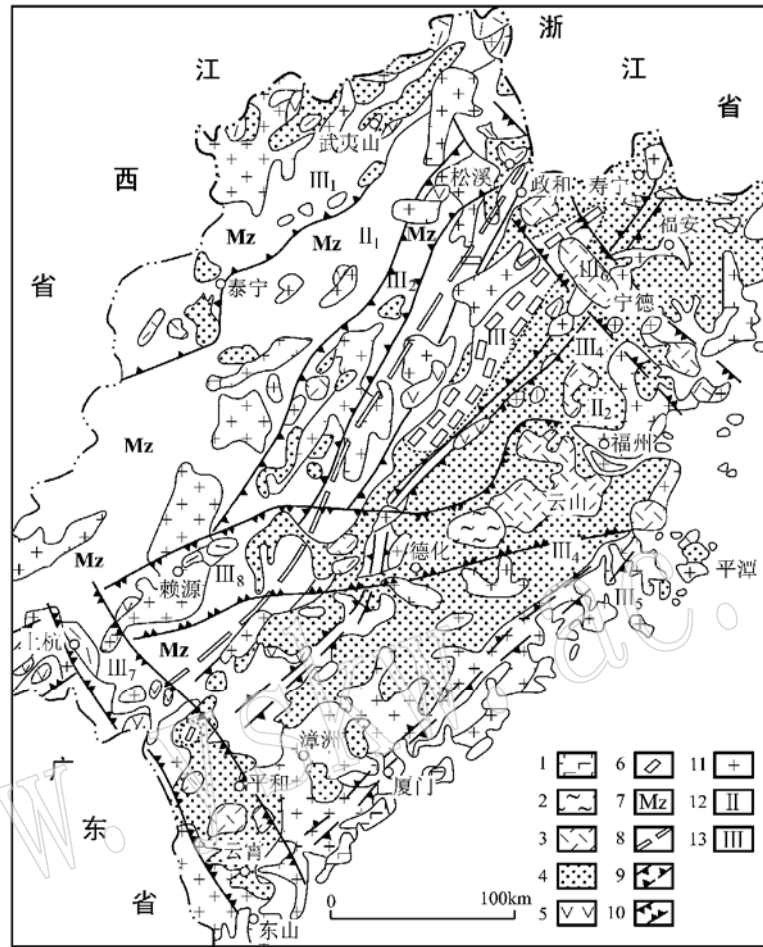


图1 福建省火山构造略图

Fig. 1 Geological sketch map of volcano_tectonics in Fujian Province

1—第三纪火山岩;2—晚白垩世火山岩;3—早白垩世火山岩;4—晚侏罗世火山岩;5—晚三叠世—早侏罗世火山岩;6—碎斑熔岩;7—中生代火山基底地层;8—火山活动亚带边界;9—晚侏罗世火山喷发带边界;10—白垩纪火山喷发带边界;11—燕山期深成岩体;12—火山活动亚带编号: II₁—闽西火山活动亚带, II₂—闽东火山活动亚带;13—火山喷发带编号: III₁—崇安—泰宁晚侏罗世北东向火山喷发带, III₂—松溪—上杭晚侏罗世北东向火山喷发带, III₃—寿宁—梅林晚侏罗世北东向火山喷发带, III₄—福安—平和晚侏罗世北东向火山喷发带, III₅—平潭—东山晚侏罗世北东向火山喷发带, III₆—松溪—宁德早白垩世北西向火山喷发带, III₇—上杭—云霄早白垩世北西向火山喷发带, III₈—云山—赖源早白垩世北东向火山喷发带

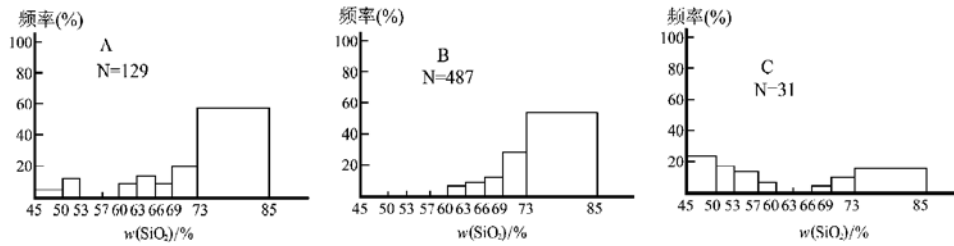
这些火山机构空间分布上往往成群出现,并组成火山构造组合的群体(火山群、破火山口组合体、火山喷发盆地、火山洼地及巨型环状火山等)。区域上火山构造的空间展布具有明显的方向性、分带性,自西至东有5条北东向展布的火山喷发带(图1),显示出火山活动受北东向区域断裂带控制。带内厚度巨大的中—酸性火山岩组合主要包括有安山岩、英安岩、流纹岩以及流纹岩和英安质晶屑凝灰熔岩、熔结凝灰岩、凝灰岩。剖面上表现为安山岩→英安岩→流纹岩连续变化,具单峰式火山岩特点(图2B)。三旋回末期在古田—溪尾、梅林、崇安、光泽及安溪的雪山等地,岩浆以侵出—溢流方式沿北东向的基底断裂缓慢上升喷出地

表, 形成一种特殊成因的碎斑熔岩体。由早期到晚期(由边缘至中心), 岩性依次为酸性隐晶状碎斑熔岩、酸性霏细状碎斑熔岩、酸性粒状碎斑熔岩、中酸性粒状碎斑熔岩, 岩浆成分具逆向演化规律^[2]。大致以政和一大埔断裂带为界, 闽东、闽西地区火山活动特征, 火山岩岩石组合、分布特征有一定差异: 闽西地区火山活动相对较弱, 延续的时间也较短, 火山岩以单个盆地型式沿北东向断裂带呈串珠状断续分布, 主要为酸性火山岩, 岩浆成分演化规律不明显; 闽东地区火山活动强烈, 延续时间也较长, 火山岩呈大面积面型分布, 总体呈北东向带状展布, 岩浆成分演化规律明显, 具有 2 个由中、中酸-酸性的岩浆演化旋回。伴随晚侏罗世火山强烈喷发形成的矿产主要有 Au、Ag、W、Pb、Zn、Be 及叶蜡石、明矾石、高岭土等, 尤其是闽中尤溪、永泰、德化一带为金成矿远景地带, 值得进一步调研。

表 1 福建中生代含火山岩地层及其主要岩性与旋回划分简表

Table 1 Mesozoic volcanics bearing strata in Fujian Province and classification of major lithologic characters and cycles

时代	构造岩浆旋回	火山活动旋回	含火山岩地层及其主要岩性		火山喷发环境	岩石系列及组合
K ₂	燕山晚期亚旋回	七	闽西赤石群: 为砾岩、砂砾岩、粉砂岩、泥岩夹细砂岩、凝灰岩	闽东石牛山组: 上段为流纹质熔结凝灰岩、碱性流纹岩、流纹岩; 下段为凝灰质砂砾岩、粉砂岩、泥岩	陆相	钙碱性系列, 玄武岩-流纹岩组合
		六	寨下组: 上段为流纹(斑)岩、钾长流纹岩、流纹质熔结凝灰岩、凝灰熔岩、凝灰岩、石英粗面岩(安山)、玄武岩; 下段为凝灰质砂砾岩、粉砂岩、泥岩			
K ₁	燕山中期亚旋回	五	黄坑组: 上段为英安岩、安山岩、英安流纹质熔结凝灰岩、凝灰岩、凝灰熔岩、玄武岩夹流纹岩; 下段为凝灰质砂砾岩、砂岩、粉砂岩夹英安质凝灰岩	闽东小溪组: 上段为流纹岩、流纹质凝灰岩、熔结凝灰岩、凝灰熔岩; 下段为钙质、凝灰质粉砂岩、硅泥岩夹凝灰岩、碳质粉砂岩	陆相	钙碱性系列, 安山岩-英安岩-流纹岩组合
		四	闽西坂头组: 为凝灰质砂岩、粉砂岩、纸状页岩夹凝灰岩			
J ₃	燕山早期亚旋回	三	闽西下渡组: 为流纹(斑)岩、流纹质凝灰熔岩、熔结凝灰岩、凝灰岩夹安山岩 圆盘组: 为砂砾岩、砂岩、砂泥岩, 上部夹流纹质凝灰岩、凝灰熔岩	闽东赤水组: 上段为流纹岩、流纹质熔结凝灰岩、凝灰熔岩、凝灰岩; 下段为英安岩、安山岩(流纹)英安质熔结凝灰岩、凝灰熔岩、凝灰岩 鹅宅组: 上段为流纹岩、流纹质熔结凝灰岩、凝灰熔岩、凝灰岩; 下段为安山岩、英安岩、英安质凝灰熔岩、凝灰岩、熔结凝灰岩 长林组: 为砂砾岩、砂岩、砂泥岩, 上部夹流纹质凝灰岩、安山岩	陆相	
J ₁	燕山早期亚旋回	二	闽西南藩坑组: 为玄武岩、粗玄武岩、安山岩、斜长流纹岩、流纹质熔结凝灰岩、凝灰岩夹粉砂岩、泥岩 下村组: 以石英砂岩、杂质砂岩为主	闽西北梨山组: 为中粗粒石英砂岩、砂砾岩、砾岩夹细砂岩、粉砂岩、碳质泥岩、凝灰岩、凝灰质粉砂岩	陆相	拉斑系列, 玄武岩(安山岩)-流纹岩组合
T ₃		一	闽西南、闽东文宾山组: 为石英砂岩、含砾砂岩、粉砂岩夹玄武岩、安山岩、安山质熔结凝灰岩、流纹岩、流纹质凝灰岩、碳质粉砂岩、煤线	闽西北焦坑组: 为复成分砾岩、中粗粒石英砂岩、粉砂岩、泥岩夹玄武岩、安山质凝灰熔岩、熔结凝灰岩流纹岩、煤线		

图 2 福建省中生代火山岩 SiO_2 频率图Fig. 2 Frequency distribution diagram of SiO_2 in Mesozoic volcanic rocks of Fujin Province

A—白垩纪火山岩; B—晚侏罗世火山岩; C—晚三叠世—早侏罗世火山岩

白垩纪是福建中生代火山活动的减弱、衰亡阶段。火山活动规模、强度均远不及晚侏罗世,主要受北西向、北东东向区域断裂控制,局部为晚侏罗世火山作用的继承性喷发,局限在断陷带上的断陷盆地中,主要为中心式的喷溢及喷气式的爆发,包括五、六、七沉积—喷发旋回(表 1)。此阶段形成的火山构造以火山喷发盆地(洼地)型式出现,火山机构多为小型破火山及穹状火山,构成 2 条北西向及一条北东东向串珠状断续分布的火山喷发带(图 1)。其空间格局与晚侏罗世火山构造截然不同,火山岩分布也远不及晚侏罗世广,厚度较小,以流纹岩、流纹质晶屑凝灰熔岩、熔结凝灰岩、凝灰岩为主,少量玄武岩、安山玄武岩、安山岩、英安流纹质晶屑凝灰熔岩、熔结凝灰岩、凝灰岩、钾长流纹岩、碱性流纹岩、石英粗面岩。剖面上表现为玄武岩与流纹质岩石直接接触,其间缺少过渡的岩石类型,且顶部常见有钾长流纹岩、碱性流纹岩、石英粗面岩等偏碱性岩石,具明显的双峰式特征(图 2A)。七旋回末期在石牛山火山洼地中心岩浆喷发方式变为侵入—溢流活动,形成特殊成因的碎斑熔岩体。这一时期火山活动有关的矿产主要是珍珠岩、沸石、膨润土等非金属矿产,金属矿产主要为 Au 及 Cu 等。

据航、卫片遥感解译资料,福建火山岩区发育一系列不同规模的环形火山构造,它们互相交切形成环圈套叠、线环构造交织的格局,这些大小不等的环形构造与已查明的火山构造基本吻合^[1]。资料表明,闽东沿海火山活动亚带自南向北发育有平和、安溪、戴云山及宁德 4 个极为醒目的呈串珠状展布的巨型环状火山构造^[1]。它们是不同的旋回、不同类型火山构造组合的群体。环圈代表隆起(或凹陷)构造的边界,地球物理资料表明其下有隐伏花岗岩基存在^[3]。这也是福建中生代火山构造的一个显著特色。

上述特征表明,福建中生代火山活动具有自西向东、从西南往东北喷发规模及强度变大、火山岩分布面积逐渐增大,火山活动时间逐渐迁移的特征,而同期侵入体规模则由大变小,数量由多变少^[1]。

2 火山岩岩石化学、地球化学的时空变化特征

2.1 火山岩岩石化学、地球化学在时间上的变化特征

福建中生代 3 个阶段火山岩的岩石组合、岩石系列、岩石化学及地球化学特征有明显差异(表 2-3):

表 2 福建中生代火山岩化学成分特征
Table 2 Chemical composition of Mesozoic volcanic rocks in Fujian Province

w_B/%

时代	空间位置	岩石类型	样品数	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
K	II ₁	英安岩类、	20	71.699	0.367	13.422	1.812	1.154	0.039	0.548	1.040	2.836	4.921
		流纹岩类	68	72.587	0.306	13.526	1.492	1.862	0.068	0.517	0.953	2.995	4.810
	III ₁		8	68.729	0.147	14.416	1.513	2.159	0.027	0.649	1.331	2.925	5.820
J ₃	III ₂	英安岩类、	15	74.783	0.149	12.650	1.180	1.084	0.050	0.368	0.589	2.384	5.214
		流纹岩类	89	71.885	0.340	13.809	1.165	1.699	0.062	0.698	1.380	2.749	4.547
	III ₃		285	71.253	0.358	14.135	1.296	1.292	0.071	0.734	2.008	2.995	4.393
	III ₄		8	71.476	0.315	14.148	1.609	2.146	0.064	1.095	2.546	3.436	2.973
时代	火山旋回	岩石类型	样品数	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
K ₂	七	流纹岩类	4	76.936	0.157	11.857	1.086	0.938	0.038	0.118	0.146	1.484	5.609
		流纹岩类	62	74.536	0.237	12.865	1.253	1.866	0.052	0.316	0.392	2.795	5.157
K ₁	六	石英粗面岩	5	66.798	0.528	15.016	2.674	1.654	0.145	0.455	0.850	4.534	5.183
		玄武岩	7	50.297	1.767	16.243	5.099	5.021	0.137	4.481	6.614	3.546	2.077
K ₁	五	流纹岩类	1	71.970	0.430	13.830	1.810	0.440	0.045	0.530	0.570	4.850	4.500
		英安岩类	21	65.189	0.591	15.683	2.564	1.437	0.096	1.217	2.828	3.633	3.753
		安山岩类	4	57.290	0.775	16.810	5.909	1.578	0.092	2.553	3.855	4.245	3.609
		玄武岩	4	51.363	1.565	16.270	5.865	3.645	0.108	4.430	6.553	4.158	2.885
J ₃	四	流纹岩类	12	75.815	0.195	12.998	0.824	0.716	0.074	0.288	0.548	2.730	4.731
		流纹岩类	219	74.867	0.212	13.184	1.035	0.974	0.060	0.388	0.644	2.059	4.674
J ₃	三	英安岩类	152	67.552	0.507	15.086	1.499	2.350	0.095	1.080	2.641	3.318	4.192
		安山岩类	13	58.766	1.025	16.411	2.440	4.166	0.094	2.611	4.509	3.610	2.664
J ₁	二	流纹岩类	11	74.153	0.244	12.638	1.099	2.367	0.058	0.377	0.251	2.393	3.986
		安山岩类	4	56.903	2.408	13.795	4.135	7.643	0.371	2.788	6.30	1.398	1.258
T ₃	一	玄武岩	8	49.973	2.614	14.223	3.809	8.266	0.180	5.573	8.541	2.544	1.428
		安山岩类	1	54.320	2.010	14.010	6.610	8.260	0.230	1.550	2.230	0.690	2.240
		玄武岩	6	50.277	3.187	13.670	3.040	10.813	0.240	4.000	6.373	2.913	1.027

注:表中数据均为平均值;资料来源于福建省境内 1:5 万区调及近年来火山地质专题调研;II₁、II₂、III₁、III₂、III₃、III₄同图 1。

晚三叠世一早侏罗世火山岩为玄武岩-流纹岩组合。岩石化学成分具有双峰式特点,基性端员 SiO₂ 为 48.18%~57.77%,酸性端员 SiO₂ 为 69.44%~75.18%,在 SiO₂ 频率图(图 2C)上显示强基性峰-弱酸性峰。岩石系列主要属于拉斑系列,少数过渡为钙碱性系列。岩石类型为钾质类型(图 3)^[4]。与同类岩石相比,岩石化学成分具有 SiO₂ 略低、K₂O 中等、贫 Ai、富 Ti(玄武岩 TiO₂>2.0%,平均为 2.2%)等特征。微量元素富 Cr、Ti、V,而贫 Ta、Be^[1]。⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初始值较低(0.7065)^[1],接近于地壳与地幔分界值,远低于大陆地壳平均值。

晚侏罗世火山岩为安山岩-英安岩-流纹岩组合。岩石化学成分具有单峰式特征,在 SiO₂ 频率图(图 2B)上显示具酸性单峰特征, SiO₂ 连续变化于 55.61%~79.97%。岩石系列属钙碱性系列。岩石类型为钾质类型-普通类型(图 3)^[4]。绝大多数火山岩 SiO₂ 过饱和, CIPW 标准矿物分子出现 Q,在 AFM 图解中显示出火山岩多贫 Fe、Mg^[1]。微量元素以低 Cr、Co、Ni,而富 Nb、U、Th 为特征^[1]。

白垩纪火山岩为玄武岩-流纹岩组合,并伴有少量石英粗面岩、碱性流纹岩。岩石化学

表3 福建中生代火山岩微量元素、稀土元素特征

 $w_B/10^{-6}$

Table 3 Characteristics of trace elements and REE in Mesozoic volcanic rocks of Fujian province

时代	空间位置	岩石类型	样品数	Cr	Co	Ni	Sr	Cu	Pb	Rb	Nb	U	Th	La	Eu	Yb	Tm	Lu	Y	Sm	REE
K	II ₁	英安岩类、 流纹岩类	35	25	4.3	3.9	169	9.1	27	240	19	3.3	19	70.03	1.18	2.28			26.08	10.69	287.74
	II ₂		841	79	6.6	9.1	209	16	55	159	15	4.3	32	60.46	0.81	4.04	0.62	0.67	30.40	7.81	254.45
J ₃	III ₁	英安岩类、 流纹岩类	85	8.1	4.4	4.1	111	11	28	245	24	5.7	26	62.88	0.75	3.61	0.60	0.57	30.09	9.78	294.38
	III ₂		3	7.9	2.6	4.7	45	13	29		26			57.40	0.21	4.19	0.75	0.63	40.90	9.38	308.20
	III ₃		472	75	6.2	9.0	167	9.6	46	174	18	4.9	21	52.95	0.95	2.60	0.45	0.44	26.89	6.21	219.35
	III ₄		3236	27	5.6	6.0	108	19	49	148	17	3.9	20	46.82	1.02	2.87	0.43	0.48	25.92	6.35	214.75
	III ₅		3	27	13	12	329	38	39	58	6.6	2.0		27.24	0.69	2.32	0.29	0.29	14.77	4.04	121.59
时代	火山旋回	岩石类型	样品数	Cr	Co	Ni	Sr	Cu	Pb	Rb	Nb	U	Th	La	Eu	Yb	Tm	Lu	Y	Sm	REE
K ₂	七	流纹岩类	6		1.7	3.1	23	6.4	39	171	34	4	30	73.33	0.28	4.33	0.51	0.67	47.68	11.28	316.71
		流纹岩类	474	45	7.3	9.7	59	19	52	177	15	4.5	32	65.22	0.75	4.25	0.71	0.73	27.66	7.54	260.43
K ₁	六	石英粗面岩	66	41	7.7	4.1	119	15	60	158	24	2.1	18	64.70	0.81	3.42	0.64	0.51	32.57	10.59	335.67
		玄武岩	16	52	31	76	607	40	13	30	22	6	41	30.15	1.41	2.15	5.27	0.32	20.20	5.62	177.95
K ₁	五	流纹岩类	82	188	4.5	5.5	404	6.3	86	208	15	4.7	30	36.75	1.56	2.10	0.42	0.45	22.73	6.89	177.83
		英安岩类	314	101	5.9	8.6	408	14	49	126	14	3.8	31	43.79	1.52	2.61	0.49	0.52	24.55	7.53	218.86
		安山岩类	58	42	12	15	372	24	42	185	8.9	3.3	13	85.15	3.47	2.52	0.47	0.40	29.10	12.30	380.75
		玄武岩	7	54	15	26	722	7.7	14	124	16	5	53	47.70	1.70	1.94	0.63	0.30	19.90	7.20	285.80
J ₃	四	流纹岩类	26	27	6.1	7.7	70	6.1	27	199	19			63.71	1.22	4.47	0.75	0.75	40.68	8.86	304.82
		流纹岩类	2216	37	4.4	6.3	72	11	45	177	20	4.6	23	49.07	0.77	3.06	0.4	0.51	26.59	6.76	223.17
J ₃	三	英安岩类	1557	27	7.5	6.6	179	26	52	124	14	3.4	17	48.62	1.33	2.59	0.42	0.42	25.46	6.54	221.64
		安山岩类	97	94	18	29	274	40	44	125	11	2.9		32.52	2.30	1.56	0.42	0.38	17.52	7.52	153.16
J ₁	二	流纹岩类	46	77	3.0	5.9	92	19	32	155	33	2.8	25	69.92	2.76	6.40	1.1	1.07	60.89	14.10	398.54
		安山岩类	133	109	31	26	287	32	137	90	12	1.5	38	24.22	2.30	3.28	0.60	0.59	39.37	6.55	191.93
T ₃	一	玄武岩	42	129	36	56	364	15	11	58	8.2	0.8	45	27.19	2.30	2.47	0.42	0.36	23.75	6.02	163.84
		安山岩类	1		12	9.1	175	3.9	34	160	18			45.74	2.34	4.52	0.71	0.67	45.74	8.82	224.54
		玄武岩	1	200	38	97	265	40	12	77	7			22.04	1.76	3.18	0.32	0.36	36.34	3.74	110.11

注:表中数据均为平均值;资料来源于1:5万区调及近年来火山地质专题调研;II₁、II₂、III₁、III₂、III₃、III₄、III₅同图1。

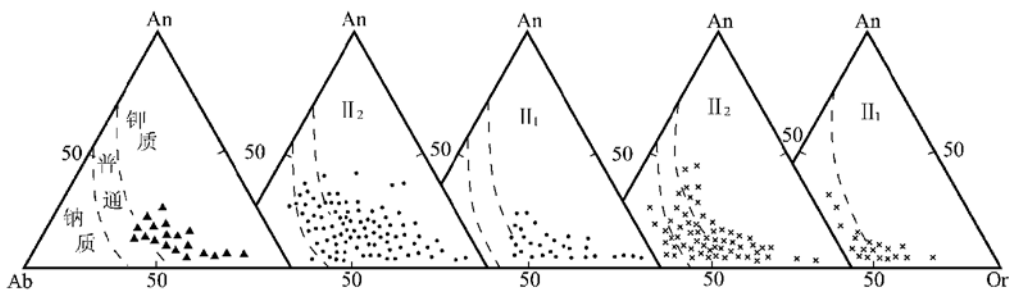


图3 An-Ab-Or图解(据文献[4])

Fig. 3 An₁Ab₁Or diagram

×—白垩纪火山岩; ●—晚侏罗世火山岩; ▲—晚三叠世—早侏罗世火山岩; II₁—闽西火山活动亚带;

II₂—闽东火山活动亚带

成分具有明显的双峰式特征,在SiO₂频率图(图2A)上显示强酸性峰、弱碱性峰。岩石系列为钙碱性系列,其中玄武岩投影点位于亚碱性系列与碱性系列的分界线附近,可能属于钙碱

性—碱性过渡系列。岩石类型为普通类型—钾质类型, 少部分属钠质类型(图 3)^[4]。绝大多数火山岩 SiO_2 过饱和, CIPW 标准矿物分子出现 Q, 岩石化学成分为高 Si、富碱、低 Ti、Ca、Mg、Fe、Na^[1], 微量元素表现为富 Cr、Rb、La、U、Th, 而贫 Ti、Ni^[1]。

福建中生代火山岩岩石组合、系列、岩石化学及地球化学等方面的差异, 反映出火山活动存在着由晚三叠—早侏罗世的初始、晚侏罗世的鼎盛、白垩纪的减弱—衰亡 3 个发展阶段。随着时间的推移, 自晚三叠世至白垩纪, 火山喷发形成的酸性岩石所占比例明显增高, 岩石类型由钾质类型向普通类型和钠质类型过渡, 岩石系列亦有由拉斑系列向钙碱性系列过渡的趋势, 岩石化学成分向高硅、富碱方向演化; 另外, 每一发展阶段中从早期至晚期, SiO_2 、 K_2O 及 Zr、Rb、U、Th、稀土元素呈增高的趋势, 而 CaO、MgO、MnO、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、FeO 及 Ba、Sr 则呈降低的趋势, 由此构成 3 个波浪式的旋回性变化^[1]。这些差异性和过渡演化趋势, 反映福建中生代火山活动是受同一构造机制作用而发生与发展的, 同时也反映不同阶段热动力作用具有一定的差异。

2.2 火山岩岩石化学—地球化学在空间上的变化特征

福建境内中生代火山活动虽受同一构造机制作用, 同时也受不同基底构造单元、断裂及不同基底地层的控制和影响。因此, 在区域上火山喷发物既有一定的相似性, 也存在着明显的差异(表 2-3), 其主要表现为:

① 自沿海向内陆, K_2O 、 $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ 、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值逐渐增高, 而 CaO、 Na_2O 、MgO、MnO 则逐渐降低。

② 微量元素 Sr、Cr、Co、Ni、Cu、Pb、Ti 含量以东部为高, 向西部逐渐降低, Ta、Rb、Nb 则反之; 稀土元素 Eu、Yb、Tm、Lu、Y 等以东部为高, 向西部逐渐降低, 而 Sm、La、 ΣREE 则完全相反^[1]。

③ 岩石类型由东部往西部钾质类型逐渐增多, 表现出由普通类型向钾质类型变化的趋势^[1]。

岩石化学成分的这种空间变化趋势, 可能与地壳结构和厚度有关。由平均布格重力异常计算的地壳厚度, 即上地幔顶界深度表明, 沿海为幔隆带, 地壳被拱起变薄, 莫霍面向北西倾斜, 大致形成沿海地壳薄, 向西北内陆地壳变厚^[5]; 从地壳结构看, 西部地区花岗岩质层厚度明显大于东部地区^[5]。因此, 岩浆在向上部岩浆房聚集过程中, 受地壳厚度和性质制约, 地壳成分不断加入, 从而形成东西部火山岩化学成分的这种空间变异趋势。

3 火山岩成因及形成构造环境分析

3.1 岩浆来源分析

用中生代玄武岩岩石化学成分计算的 CIPW 标准矿物换算后的 Ne' 、 O' 、 Q' 投影于 Ne' — O' — Q' 三元系等压液相线图中, 求出压力大约为 90 MPa, 相当于 3.0 km, 说明玄武岩岩浆上升到这个深度时停滞过相当长的时间, 作为岩浆聚集带(岩浆房)。用模拟的中生代玄武岩原始岩浆成分计算的 CIPW 标准矿物换算后的 Ne' 、 O' 、 Q' 投影于 Ne' — O' — Q' 三元系等压液相线图中, 求出压力为 2400 MPa, 该深度相当于 79 km 的尖晶石—石榴石二辉橄榄岩过渡层。中生代玄武岩相容元素 Ni 为 $(34\sim 95) \times 10^{-6}$, Co 为 $(9\sim 38) \times 10^{-6}$, Mg 值变化于 0.529~0.622 间, ϵNd 为 -3.23~+6.28, 大于地壳 ϵNd 值, 表明有地幔物质参与。

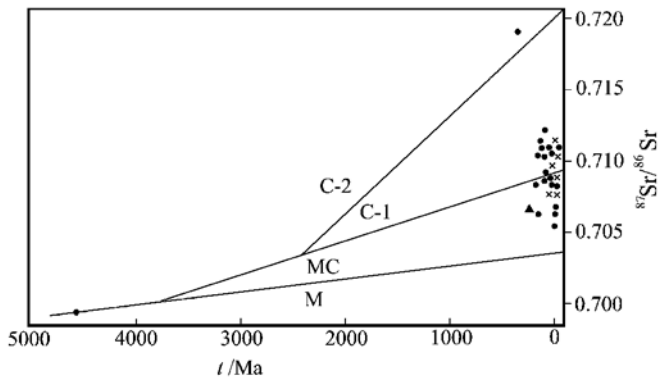


图4 福建省中生代火山岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值、年龄值和岩浆来源关系图解(据文献[7])

Fig. 4 Relationships of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ initial values and ages to magma sources for Mesozoic volcanic rocks in Fujian Province
M—幔源型; MC—壳幔混源型; C-1—下部壳源型; C-2—上部壳源型;
▲—晚三叠—早侏罗世火山岩; ●—晚侏罗世火山岩; ×—白垩纪火山岩

过渡金属元素及稀土元素特征均表明起源于上地幔。由此可见,福建中生代玄武岩起源于岩石圈上地幔,只是分异程度较高,是由演化岩浆形成的^[6]。

中生代中—酸性火山岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值变化于0.7032~0.7141,在 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始值与年龄值关系图中(图4)^[7],投影点位于下部地壳源和壳幔混源型2区内。在地壳厚度与Rb—Sr浓度关系图中,火山岩成分点绝大部分投到30 km左右^[8,9]。据永泰地区中生代火山岩Nd同位素组成计算,晚侏罗世火山岩幔源物质成分较少,

为14.55%~53.79%,白垩纪火山岩幔源物质成分高达64.49%~75.22%^[10]。Ni/Co比值为2.4~8,介于地壳3.5与上地幔9.3之间(据黎彤,1976)^[11];Th/U比值多变化于2.1~7,均大于Th/U地幔比值1~2(据黎彤,1976)^[11],基本处于地壳Th/U比值范围。从稀土元素含量来看(表3),中—酸性火山岩稀土元素含量更接近于地壳型,稀土元素配分模式图说明其属于重熔型岩浆。由此可见,中—酸性岩浆可能来自下地壳及上地幔的部分熔融。

3.2 火山岩形成的构造环境分析

福建中生代火山岩微量元素Rb、Ta、Yb、Y、Zr、Hf、Ce、U、Th明显高于智利等火山弧、阿曼等碰撞花岗岩,接近或略小于奥斯陆板内花岗岩^[12],具有向格林的酸性系列过渡的特征^[13];K/Rb值变化于161~447间,与中性岩为主的钙碱性系列(220~550)相比偏低,基本处于格林(1980)的酸性系列范围内(180~460)^[13];La/Yb值偏高,变化于4.2~59.9间,大大超过岛弧拉斑系列范围(0.7~3.5),与碱性系列(2~15)及典型以中性岩为主的钙碱性系列(3.5~20)相比也偏高,处在格林的酸性系列范围(4~170)^[13]。

晚三叠世—早侏罗世火山岩在戈蒂里—里特曼指数图上(图5)^[14],主要落入稳定构造区^[4];玄武岩TiO₂平均值为2.2%,K₂O平均值为1.68%,Na/K原子比值为3.28~4.8,与大陆拉斑玄武岩化学性质较近;晚三叠世—早侏罗世玄武岩在Zr—Ti图解中,落入板块内部区^[5,6]。玄武岩、安山岩HREE富集度为球粒陨石的10~20倍,酸性岩则高达30倍;La/Yb、Eu/Eu*平均值分别为9.9和1.1,接近于Condie(1976)给出的大陆拉斑玄武岩比值(La/Yb=10, Eu/Eu*=0.94)^[15]。

晚侏罗世和白垩纪的火山岩在戈蒂里—里特曼指数图上(图5)^[14],投影点位于造山带区内,且位于日本岛弧火山岩平均成分线右侧,表明与板块俯冲作用有关。在Hf—Ta—Rb图解中,其投影点均落入火山弧及碰撞带区内;在Rb—(Y+Nb)—Rb—(Yb+Ta)—Ta—Yb

① 福建省区域地质调查队. 1:5万白沙镇、潘渡幅区域地质调查报告,2000.

及 Nb-Y 构造环境判别图中(图 6)^[12], 则显示出具有火山弧和板块内部的双重特征; 白垩纪玄武岩在 Zr-Ti 图解中, 落入靠近火山弧的板块内部区^[5,6]。据白沙地区中生代火山岩的研究^①, 从其微量元素对洋脊花岗岩标准化的地球化学模式图中可以看出, 晚侏罗世火山岩接近于火山弧及碰撞花岗岩的特征, 但钽、铌含量明显高于火山弧及碰撞花岗岩, 具较明显的钽负异常, 从而又显示出向阿森松岛、萨巴洛卡、奥斯陆裂谷等板内花岗岩过渡的特征^[12]; 早白垩世火山岩则更接近于阿森松岛、萨巴洛卡、奥斯陆裂谷等板内花岗岩的特征, 然而, 铈的含量又明显低于板内花岗岩, 钽负异常没有阿森松岛、萨巴洛卡、奥斯陆裂谷等板内花岗岩那么明显^[12]。白垩纪玄武岩具有 LREE 富集的特点, 低¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd、高⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 值, Al₂O₃ 含量高, 且相对于 Rb、Nb 来说, 富集 Ba、Sr、K 等。Wittke 等^[16]认为这是交代流体交代次大陆岩石圈形成的。玄武岩 La/Yb > 2、Zr/Ba < 0.2、K₂O > 2.0%、K₂O/TiO₂ > 1、大离子亲石元素富集, 高场强元素 (Zr、Nb、Ti) 亏损, 这些特点与浙东中生代玄武岩相似。杨祝良^[17]认为这是俯冲起源流体交代源区的特征。

晚三叠一早侏罗世时期, 由于太平洋板块开始间断性地向欧亚大陆板块俯冲, 地壳抬升, 海侵总体消失, 火山活动形成于大陆隆起背景下的地堑式断陷盆地中, 处于大陆板内牵引拉张的构造环境。地幔上涌、地壳减薄, 断裂切割深度增大, 使上地幔或壳幔过渡层产生部分熔融, 形成玄武岩浆, 经分异演化而喷出地表, 构成双峰式火山岩的基性端员; 随后, 由中、下地壳部分熔融, 形成英安-流纹质岩浆, 构成双峰火山岩的酸性端员, 从而形成了一套中-高钾拉斑玄武岩系列的玄武岩(安山玄武岩)-流纹岩的双峰式火山岩组合。晚侏罗世时期, 太平洋板块俯冲速率不断增大, 俯冲角度也不断增大, 古太平洋板块相对中国东部大陆迅速向北移动, 在中国东部大陆产生的构造效应是形成北东向左行剪切断裂体系。这种北东向左行剪切断裂体系控制了火山岩带沿亚洲大陆边缘的线状展布。在同一构造作用下, 大陆内部古构造的活化导致火山岩带向大陆内部延伸, 火山活动处于挤压后松弛转向剪切、拉张的构造环境, 由中、下地壳部分熔融, 形成英安-流纹质岩浆, 并沿北东向左行剪切的基底断裂迅速上升, 强烈喷出地表, 形成一套高钾钙碱性系列的安山岩-英安岩-流纹岩

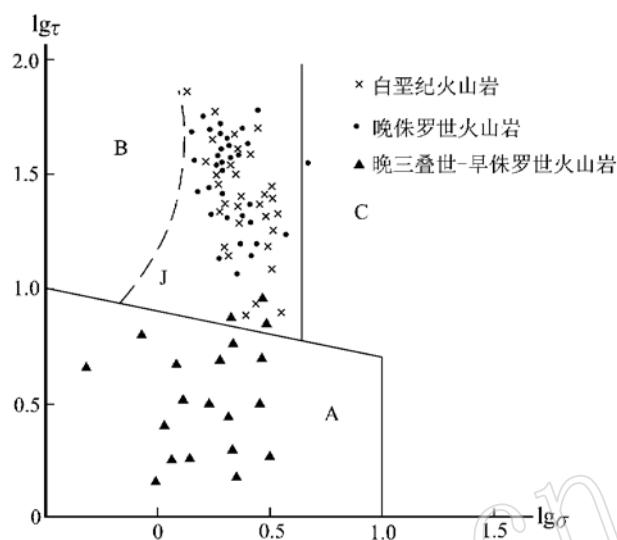


图 5 福建省中生代火山岩蒂里-里特曼指数关系图解(据文献[14])

Fig. 5 lg τ -lg σ diagram of Mesozoic volcanic rocks in Fujian Province
A—非造山带火山岩区; B—造山带及岛弧火山岩区; C—A、B 区派生的偏碱性火山岩区; J—日本火山岩的平均成分

① 福建省区域地质调查队. 1:5 万白沙镇、潘渡幅区域地质调查报告, 2000.

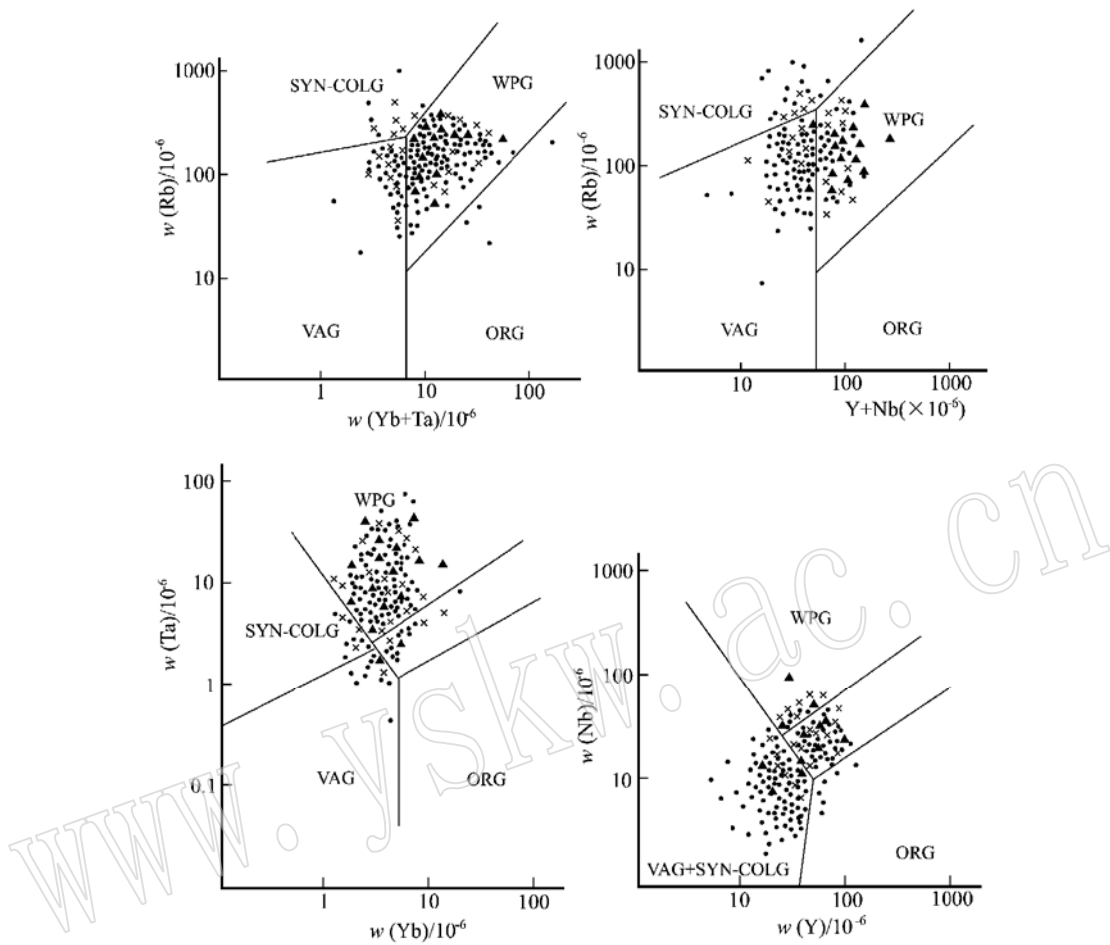


图6 Rb- Yb+ Ta, Rb- Y+ Nb, Ta- Yb 及 Nb- Y 图解(据文献[12])

Fig. 6 Rb versus Yb+ Ta, Rb versus Y+ Nb, Ta versus Yb and Nb versus Y diagrams

WPG—板内花岗岩; VAG—火山弧花岗岩; SYN-COLG—同碰撞花岗岩; ORG—洋中脊花岗岩; ▲—晚三叠世—早侏罗世火山岩; ●—晚侏罗世火山岩; ×—白垩纪火山岩

的单峰式火山岩组合。白垩纪时期,由于板块俯冲速率减小,大陆板内出现松弛的拉张环境,北西及北东东向断裂多为张性正断层,同时发生区域断陷作用,导致断裂切割深度不断增大,使上地幔或壳幔过渡层产生部分熔融,形成玄武岩浆,经分异演化而喷出地表,构成双峰式火山岩的基性端员;随后,由中、下地壳部分熔融,形成英安—流纹质岩浆,岩浆沿断裂上升喷出地表,构成双峰火山岩的酸性端员,从而形成了一套高硅高钾钙碱性系列的玄武岩—流纹岩的双峰式火山岩组合。同时伴有弱拉张或准裂谷构造环境下的洪山及魁岐超单元的晶洞碱长(碱性)花岗岩侵入。

4 结 论

福建中生代火山岩以酸性岩为主(流纹岩类>70%,英安岩类约占20%,玄武岩及安山

岩类少许), 岩石化学性质具有板块内部及火山弧的双重特征, 与日本岛弧火山岩、安第斯山活动大陆边缘火山岩及美国西部板块内部火山岩既有相似之处, 亦有很大差别。它是太平洋板块向欧亚大陆板块之下俯冲的结果, 是处于大陆边缘靠近板块内部或板块内部靠近大陆边缘的特殊构造位置环境下形成的, 可谓之“浙闽型火山岩”^[1]。

全文承中国地质大学(北京)周珣若教授、福建省区域地质调查队严炳铨高级工程师审阅, 并提出了宝贵意见, 在此深表谢意。

参 考 文 献

- 1 黄泉祯, 庄建民, 郑声俭, 等. 福建省地质图说明书. 福州: 福建省地图出版社, 1998.
- 2 卢清地, 黄泉祯, 郭 斌. 福建古田- 溪尾碎斑熔岩体的基本特征及成因. 中国区域地质, 1998, 17(2): 118~ 123.
- 3 尹家衡, 阮宏宏, 谢家莹, 等. 中国东南大陆中生代火山旋回. 火山构造及其控矿意义. 北京: 地质出版社, 1991.
- 4 Irvine T N, Baragar W R A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 1971, No. 5.
- 5 卢清地. 福建中生代火山岩岩石化学 地球化学特征及岩石成因探讨. 福建地质, 1997, 16(1): 16.
- 6 卢清地, 朱根灵, 秦正永. 福建中-新生代玄武岩的地球化学特征及其成因. 中国区域地质, 2000, 19(1): 85~ 91.
- 7 吴利仁, 李秉伦, 赵大升, 等. 华东及邻区中-新生代火山岩. 北京: 科学出版社, 1984.
- 8 许美辉. 福建省永定地区早侏罗世双峰式火山岩及其构造环境. 福建地质, 1992, 11(2): 115~ 125.
- 9 何文兴, 马金清. 福建沙县地区早白垩世火山岩成因及构造环境分析. 福建地质, 1997, 16(1): 21~ 31.
- 10 冯宗帜, 元润章, 黄水兴, 等. 福建永泰-德化地区火山地质及火山岩含矿性研究. 南京地质矿产研究所所刊, 1991, 增刊第 9 号.
- 11 黎 彤. 化学元素的地球丰度. 地球化学, 1976, (3): 167~ 174.
- 12 Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology, 1984, 25(4): 956~ 979.
- 13 格林 T H. 岛弧和造陆岩浆作用——基于实验岩石学和地球化学的岩石成因模式评述. 汪龙文译. 国外地质科技, 1982, (4): 13~ 22.
- 14 Rittmann A. Stable mineral assemblages of igneous rocks. Springer-Verlag, Heidelberg, 1973.
- 15 福建省地质矿产局. 福建省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1985.
- 16 Wittke J H, Smith D and Wooden J L. Origin of Sr, Nd and Pb isotopic systematics of high-Sr basalts from. Central Arizona. Contrib. Mineral. Petrol., 1989, vol 101.
- 17 杨祝良. 浙东中-新生代玄武岩起源、演化与地幔交代作用. 南京地质矿产研究所所刊, 1993, 14(3): 7~ 19.

Basic Characteristics and Tectonic Setting of Mesozoic Volcanic Rocks in Fujian Province

Lu Qingdi

(Regional Geological Surveying Party, Fujian Bureau of Geological Exploration, Sanming 365001)

Key words: Mesozoic volcanic rocks; petrochemistry; geochemistry, tectonic setting; Fujian Province

Abstract

Mesozoic volcanic activities experienced three stages, namely the Late Triassic-Late Jurassic initial stage, the Late Jurassic flourishing stage and the Cretaceous weakening-withering stage. The three stages, controlled by the same tectonic mechanism, show remarkable differences and also transitional characteristics in such aspects as volcanic activities, rock assemblages, petrochemistry and geochemistry. Studies show that the formation of Mesozoic volcanic rocks was intimately related to the subduction of the Pacific plate towards the Eurasian plate, and these volcanic rocks can be called Zhejiang-Fujian type volcanic rocks.