

中国东南沿海中、新生代火山旋回

尹家衡^{①②}

黄光昭

(南京地质矿产研究所, 南京 210016)

内容提要 中国东南沿海中、新生代火山—侵入杂岩带,是环太平洋构造—岩浆成矿带的重要组成部分之一。分布总面积约 30 万 km²,火山活动时间从早三叠世到第四纪。该岩带基底由扬子板块、华夏板块和海南板块等三个一级大地构造单元组成。该区中、新生代构造—岩浆活动可根据其地区差异,构造环境、岩浆源区性质与基底构造背景不同等因素,以主要区域深大断裂为界,划分为浙东—闽东、浙西—赣东北、闽西—赣中、粤东、粤西—桂东南、雷琼及台湾等 7 个构造—岩浆活动区。火山岩可分为三个火山岩系,共 9 个火山旋回。早中生代火山岩系包括了 3 个火山旋回;第一旋回(T)为一套海相英安质和低硅流纹质火山岩;第二旋回(J₁)与第三旋回(J₂)均为一套双峰式岩石组合,为较典型的拉张应力环境中的火山产物。晚中生代火山岩系包括 4 个火山旋回;第一旋回(J₃)和第二旋回(J₃)以英安质和流纹质火山岩占绝对优势,它们构成了东南沿海火山—侵入杂岩的主体;第三旋回(K₁)与第四旋回(K₂)火山岩总体属高钾钙碱系列,并具有向碱性系列过渡特征,火山岩产生于弱拉张环境。新生代火山岩系包括两个火山旋回;第一旋回(E—N)火山岩可分为超基性岩、基性岩、碱性中性岩、碱性岩及酸性岩五大类,其产出多受 NE、NW 及 EW 向三组断裂构造控制;第二旋回(Q)火山岩仅见于台湾及雷琼地区,可分为超基性岩、基性岩两大类,其形成则与板块构造活动更直接有关。

关键词 火山岩 火山—侵入杂岩 火山旋回 火山岩系 中、新生代 构造—岩浆活动区 中国东南沿海

中国东南沿海中、新生代火山—侵入杂岩带,是环太平洋构造—岩浆成矿带的重要组成部分。它北起苏南(溧阳)—皖南(屯溪)一线,与长江中下游火山—侵入杂岩带毗邻,南至南海诸岛;东起包括台湾在内的东海大陆架地区,西至江西—湘南—桂东南一线。据不完全统计,火山—侵入杂岩出露总面积近 30 万 km²。该火山—侵入杂岩带东侧的浙东、闽东、粤东地区,火山—侵入杂岩连片成带分布;西侧的浙西、闽西、江西、粤西、桂东南等地区则主要以

① 收稿日期:1997-07-18,改回日期:1997-07-30

第一作者介绍:尹家衡,男,1937 年生,大学本科,研究员。多年从事火山地质构造与非金属矿产应用研究工作。主要论著有“中国东南大陆中生代火山旋回、火山构造及其控矿意义”等 30 余篇。

② 本文根据“中国东南沿海中、新生代火山岩相构造图(1:100 万)”说明书(待出版)部分内容缩写而成。该图是地矿部“七五”、“八五”重点攻关项目“中国东南沿海火山地质与矿产研究”的主要附图,编图(项目下属二级课题)工作是在“东火”项目负责人陆志刚、陶奎元研究员指导下进行的,历时近 10 年,于 1995 年完成。参加工作的尚有谢家莹、阮宏宏、毛建仁、冯宗帜、俞云文、吴志勤、朱白朗、徐明华、丁保良、兰善先、汪迎萍、吴岩、巫怀仁等。

不相连的火山岩盆地或单个侵入体形式分布。中生代火山活动时间从早三叠世至第四纪。

1 火山岩系基底及中、新生代构造—岩浆活动区

1.1 火山岩系基底地质特征 中国东南沿海地区从前震旦纪到三叠纪,历时约 1600Ma,经历了晋宁—加里东、海西—印支等时期的构造—岩浆活动,火山岩系的基底由扬子板块、华夏板块和海南板块等三个一级大地构造单元组成,各构造单元经历了不同的地质发展与演化。到印支运动以后,全区褶皱上升,发展成为一个统一的整体陆块—中国东南大陆区。^[1,2]

扬子板块亦称扬子准地台。包括苏北中新断陷、下扬子台坳、皖南—浙西台褶带、江南台隆等多个二级构造单元。其中前两个二级构造单元属长江中下游中、新生代火山—侵入杂岩带的基底。

华夏板块亦称华南褶皱区。包括会稽山—武夷山隆起、永安—梅县—安远拗陷、浙、闽、粤沿海断陷、象山—南澳断隆带及粤西—桂东南隆起等二级构造单元。

海南板块亦称海南地台。它基本以琼州海峡东西向大断裂为界,包括海南岛及广大南海海域。该板块最老的基底为前寒武纪变质岩系。西沙群岛经钻探揭露,其深部岩石变质年龄为 627Ma,重新测定沉积年龄为 1465Ma,该板块可能是澄江运动褶皱回返产物。^[3]该板块沉积盖层十分局限,仅见于海南岛崖县地区,包括中上寒武统和奥陶系。沉积盖层发生的褶皱与加里东运动有关。但也不否认有海西或印支运动的影响。地球物理资料表明,南海盆地属上地幔隆起区,与华南板块形成鲜明对照。

本区前火山岩系基底有四条作为构造单元分界的大断裂:一是九江—南昌—吉安—赣州—韶关—四会—吴川断裂,其北段呈 NNE 向,基本是中国东南沿海中新生代火山—侵入杂岩带的西界;其南段为 NE 向,是粤东与粤西—桂东南两个构造—岩浆活动区的分界。二是绍兴—江山—广丰—抚州断裂带,呈 NE 向展布,为扬子板块与华夏板块的分界线。三是琼州海峡大断裂,呈近 EW 向,是海南板块与华夏板块的分界。四是台湾的花莲—台东断裂带,为至今仍在活动的一条重要构造断裂,呈 NNE 向。^[19]

各构造单元基底褶皱—断裂构造方向不完全相同,大致可分为以下五组:NE 向褶皱—断裂构造组;EW 向断裂构造组,NNE 向褶皱—断裂构造组;NW 向断裂构造组,SN 向断裂组。上述各断裂构造组中,除 SN 向断裂组一般为断续出现,连续性较差外,其它各组均具有较连续、多期次活动的特点,使全区构造趋于复杂。其中 NE—NNE、NW、EW 三组断裂系对中、新生代火山活动和成矿作用所起的控制作用较大。

1.2 中、新生代构造—岩浆活动区^{[4][5]} 中国东南沿海地区中、新生代构造—岩浆活动是在不同基底构造单元之上,受相同构造动力机制作用而发生、发展的。在区域范围内,火山岩的系列、组合、类型、地球化学特征等具有许多共同性和相似性。但火山活动在时间、规模、强度、喷发方式、地层构造及岩石化学、地球化学特征等方面,又存在明显差异性。导致差异的原因是构造环境、岩浆源区性质与基底构造背景等因素。

对区内中、新生代火山活动分区起控制作用的基底深大断裂有:江山—绍兴深断裂、九江—赣州—韶关—四会—吴川深断裂、政和—大埔断裂、大东山—贵东深断裂、武平—云霄深断裂和琼州海峡深断裂等,大致以上述深大断裂为界,全区可分为七个中、新生代构造—

岩浆活动区,即下述 A、B、C、D、E、F、G 区(图 1):

- ①浙东—闽东构造—岩浆活动区(A 区);
- 可进一步分为浙东亚区(A_1)和闽东亚区(A_2);
- ②浙西—赣东北构造—岩浆活动区(B 区);
- ③闽西—赣中构造—岩浆活动区(C 区);
- ④粤东构造—岩浆活动区(D 区);
- ⑤粤西—桂东南构造—岩浆活动区(E 区);
- ⑥雷琼构造—岩浆活动区(F 区);
- ⑦台湾构造—岩浆活动区(G 区)。

上述各中、新生代构造—岩浆活动区基本特征及火山旋回概况详见下节。

2 中、新生代火山旋回划分与对比

火山旋回是指在一个火山活动期内,由火山作用不同阶段形成、并与一定火山构造形式相联系的火山产物的总合。正确划分火山活动旋回,是阐明火山作用基本规律的基础之一。以往文献中对本区火山旋回划分的多样性,反映了不同研究者对“火山旋回”这一概念认识上的差异。我们从上述火山旋回定义出发,认为划分火山活动旋回必须考虑火山活动的间断性与时差性、火山产物特征、火山构造叠置关系等基本原则。

东南沿海地区中、新生代火山活动始于早三叠世^[6]。最强烈时期在中侏罗世以后,即 J_3 - K_2 的晚中生代时期。新生代火山活动始于老第三纪,直至第四纪,主要分布于雷琼及台湾地区,与板块构造活动有关;而东南沿海大陆地区新生代火山活动则主要受断裂构造带控制,形成局部喷发。

通过地矿部“七五”、“八五”重点攻关项目“中国东南沿海火山地质及矿产”两轮工作,并结合前人研究成果,根据前述火山旋回划分的基本原则,将本区中、新生代火山岩划分为三个岩系、九个旋回,即早中生代火山岩系(三个旋回)、晚中生代火山岩系(四个旋回)和新生代火山岩系(二个旋回),详见(表 1)。^[4,10-12,21]

2.1 早中生代火山岩系 早中生代火山岩系包括早、中、晚三个火山活动期,分别组成下岩系、中岩系、上岩系。

早中生代早期火山活动时代为三叠纪,组成下岩系第一旋回。其中,下段(T_1 - T_2)仅出现在桂东南凭祥、龙州、崇左及十万大山南麓扶隆一带,在下三叠统罗楼组、北泗组、南洪组,中三叠统板八组,百逢组内,均有基性火山岩喷发。上段包括粤东上三叠统良口群,桂东南—粤西上三叠统平垌组及闽西上三叠统焦坑组、文宾山组,赣南上三叠统安源组等层位,为海相火山岩。

早中生代中期火山活动时代为早侏罗世,组成中岩系第二旋回。包括粤东桥源组、鸡鸣组,桂东南汪门组,闽西梨山组、林山组等层位。火山岩为海陆交互相或陆相,规模不大。

早中生代晚期火山活动时代为中侏罗世,组成上岩系第三旋回。包括粤东马梓坪群、漳平组及浙江毛弄组等层位,火山岩呈夹层产于陆相碎屑岩中。整个东南沿海地区,在中侏罗世构造运动并不强烈,为火山活动相对宁静时期。但火山活动微弱并非火山活动停止,从中、新生代火山活动的整体历史考虑,该时期仍需划分单独火山旋回。

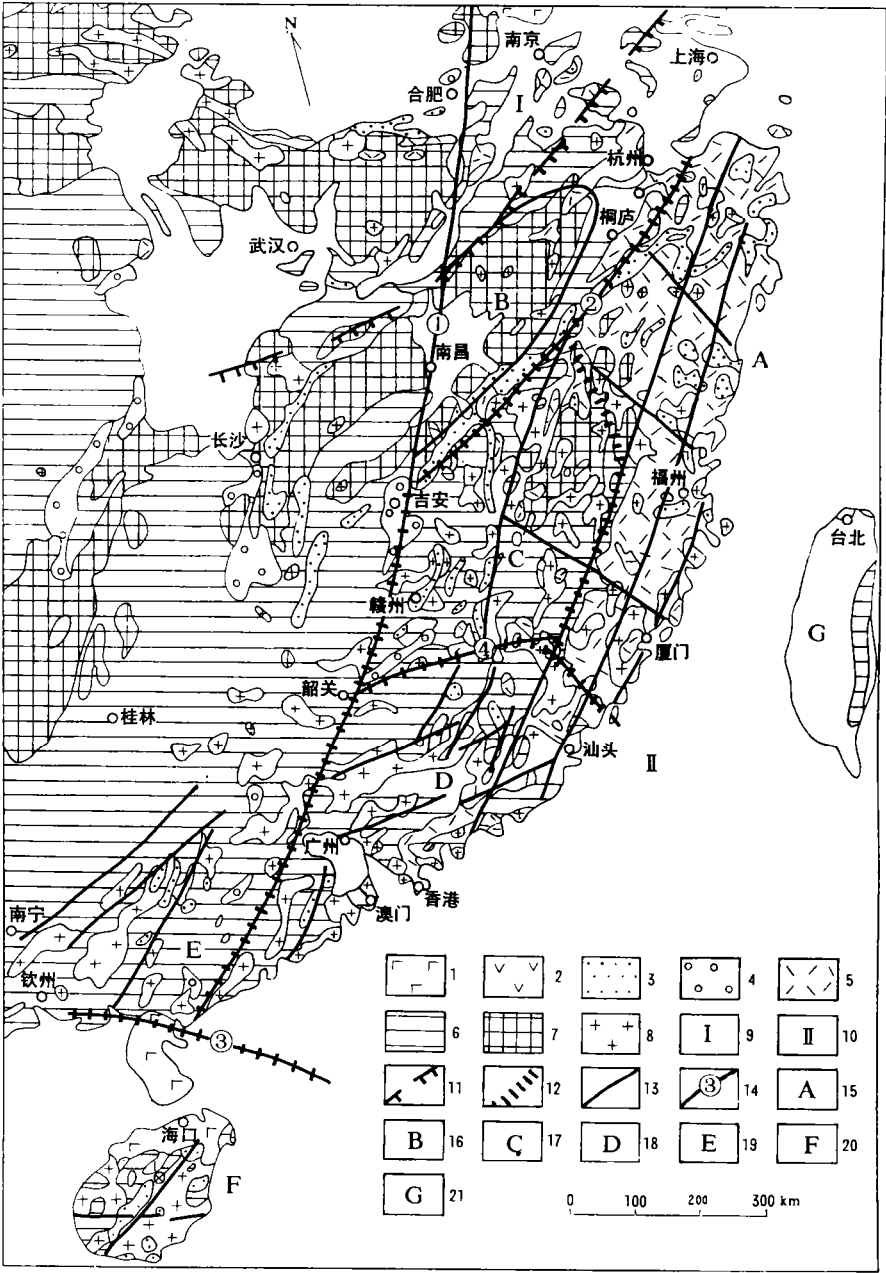


图1 中国东南沿海中生代构造—岩浆活动区

Fig. 1 Mesozoic-Cenozoic tectonomagmatic activity regions of southeast coast of China

1—新生代玄武岩;2—新生代安山岩;3—白垩纪火山岩;4—白垩纪沉积岩;5—晚侏罗世至早白垩世早期火山岩;6—寒武纪—早侏罗世地层;7—前寒武系;8—燕山期花岗岩类;9—长江中下游中、新生代火山—侵入杂岩带;10—东南沿海中、新生代火山—侵入杂岩带;11—I区与II区界线;12—区域深大断裂及编号;13—断裂构造;14—构造—岩浆活动区界线;15—浙闽构造—岩浆活动区;16—浙西—赣东北构造—岩浆活动区;17—闽西—赣中构造—岩浆活动区;18—粤东(—赣南)构造—岩浆活动区;19—粤西—桂东南构造—岩浆活动区;20—雷琼构造—岩浆活动区;21—台湾构造—岩浆活动区

表 1 中国东南沿海中、新生代火山岩系、旋回划分对比表

Table 1 Division and correlation of Mesozoic-Cenozoic volcanic rocks series and cycles of Southeast Coast of China

时代	火山活动期	火山岩系	旋回	粤	闽西—桂东南	福建	江西	浙江	安徽	江苏	雷琼地区	台湾
新生代	Q N E	II	I	上							雷虎组 湖光岩组 石卯岭组 雷虎岭组 潘江组	更新世(大南湾组)
				下	南溪群	佛县群			桂五组	方山组 洞玄观组	望楼港组 下洋组 南麻组	长流组 都岩山组 瑞芳组
							武宁群 新余群		定远组 红桥组	三溪组 徽南组 阜宁组 泰州组	漳州组	四棱组 水长流组 五指山组
中生代	K ₂ K ₁	IV III	IV III	晚	南雄群 罗文组 西垅组	赤石群 沙县组	南雄群	黄江群	小岩组	浦口组	岭壳村组 汤池岭组	云林组
				中	合水组 官基湖群	石塘山组 禾口组	赣州组 (商家店组)	赣川组 馆头组 横山组	齐云山组 桂林组	娘镜山组 葛村组 姑山组	六罗村组	
				早	高基坪群(上段) 大安洞组	城火组	鸡笼峰组	寿昌组	岩塘组	大王山组 云台山组		
早中生代	J ₂ J ₁	I	I	晚	高基坪群(下段) 南山组 宁山组 淡水组 大基园组	南园组 长林组	高基坪组	黄尖组 旁村组	石岭组 炳江组	龙王山组 西横山组		
				中	马梓坪群 漳平群					象山群		
				早								
中生代	T	I	I	上	板八组 古蓬组							
				中	北湖组 南港组 罗塘组							
				下								

2.2 晚中生代火山岩系 晚中生代火山岩系包括早、晚两个火山活动期,分别组成下岩系、上岩系。

早期火山活动时代以晚侏罗世为主。火山岩组成下岩系,包括第一、第二两个火山旋回。与第一旋回相当的火山岩系地层为:浙东的大爽组、高坞组;浙西的劳村组、黄尖组;福建的长林组、南园组;江西的菖蒲组、鹅湖岭组、打鼓顶组;粤东的高基坪群(下亚群)等层位。与第二旋回相当的火山岩系地层为:浙东的西山头组、茶湾组、九里坪组;浙西的寿昌组;福建的小溪组、坂头组;江西的鸡笼嶂组、梧溪组、火把山组;粤东的高基坪群(上亚群)等层位。

晚期火山活动时代主要为白垩纪,其产物组成上岩系,包括第三、第四两个火山旋回。与第三旋回相当的火山岩系地层为:浙江的馆头组、朝川组、横山组;福建的禾口组、石帽山群;江西的赣州组;粤东的官草湖群、合水组;海南岛的六罗村组、鹿母湾组;台湾的云林组等层位。与第四旋回相当的火山岩系地层为:浙东的塘上组、赖家组;浙西的衢江群;福建的沙县组、赤石群、石牛山组;江西的南雄群;粤东的南雄群、叶塘组;桂东南的罗文组、西垌组;海南岛的壳岭村组、汤他岭组等层位。

2.3 新生代火山岩系 新生代火山活动自始新世始,直至全新世,共划分为两个旋回。第一旋回为第三纪火山岩,与其相当的层位有:粤东的华涌组、宝月组、埭心组、莘庄组;江西的武宁群、新余组;雷琼地区及桂东南地区的濠州组、南康群、望楼港组、下洋组;福建的佛昙群;浙江的嵊县群;台湾的四棱组、水长流组、五指山组、都峦山组、瑞芳群等层位。第二旋回仅出现于雷琼地区及台湾地区,其相当的层位有:雷琼地区的胭脂岭组、湛江组、雷虎组、湖光岩组、石卵岭组;台湾的大南湾组等。

3 各构造—岩浆活动区火山旋回概况

3.1 浙东—闽东构造—岩浆活动区(A区) 位于江山—绍兴深大断裂和政和—大埔大断裂以东地区,可进一步分为浙东亚区(A_1)和闽东亚区(A_2)。本区火山岩系基底由晋宁—加里东构造层组成,局部有陆台型沉积的海西—印支构造层。NNE 与 NW 向区域性断裂对本区火山活动起主要控制作用。

本区火山活动从中侏罗世开始,到上新世结束,包括早中生代第三旋回,晚中生代第一、第二、第三、第四旋回及新生代第一旋回。火山岩呈面型分布,直接覆盖在晋宁—加里东构造层之上。在闽东南的长乐—南澳地区,晚侏罗世火山岩受到热动力变质作用影响,形成变质程度不等的变质岩。本区火山旋回概况见表2及表3。^{①[7,8,18]}

本区侵入岩分属两个演化序列。前者为闪长岩→石英闪长岩、花岗闪长岩→黑云母花岗岩;后者为辉石闪长岩、闪长岩→石英闪长岩、石英二长岩、花岗闪长岩→二长花岗岩、花岗岩→碱长花岗岩、晶洞碱长花岗岩→碱性花岗岩→花岗斑岩。侵入岩成因为I型,少量为A型。^[5]

3.2 浙西—赣东北构造—岩浆活动区(B区) 位于江山—绍兴深大断裂带NW侧江南台

① 部分资料来源:a.“东火”项目专题:“运用地质和地球物理、地球化学等方法研究浙江括苍山火山构造、岩浆演化及成矿系列”研究报告(未出版,作者:徐忠连等)。b.“东火”项目专题:“浙江山门火山洼地火山地质、火山—侵入杂岩及找矿远景”研究报告(未出版,作者:张崇良等)。c.“东火”项目专题“福建永泰—德化地区中生代火山地质、火山岩及含矿性”研究报告(未出版,作者:冯宗帜等)。

隆东缘的皖南浙西台褶皱带上。火山岩系基底由晋宁—加里东和海西—印支构造层组成,火山活动受 NE 向褶皱断裂构造控制,产于山间盆地或断陷盆地内。其规模、强度均比 A 区大为逊色。火山活动从晚侏罗世开始,至早第三纪结束,包括晚中生代第一、第二、第三、第四旋回及新生代第一旋回。与 A 区一样,晚侏罗世火山活动是在挤压后开始松弛的构造应力场环境下发生的,岩性特征基本同 A 区,亦为一套高钾钙碱性酸性系列的英安—流纹岩组合。本区早白垩世后火山活动已十分微弱。新生代仅在老第三系武宁群中夹少量玄武岩。火山地层结构以沉积型和喷发—沉积型为主;潜火山岩不发育。本区火山旋回概况见表 4。^[9]

表 2 浙东构造—岩浆活动亚区(A₁区)中、新生代火山旋回概况一览表^[1]

Table 2 Mesozoic-Cenozoic volcanic cycles of East Zhejiang tectonomagmatic activity subregion (A₁)

时 代		火山 活动 期	火山 岩系	旋 回	厚 度 m	火 山 岩 岩 性 岩 相		喷 发 环 境	地 层 群 组 名 称	同位素 年 龄 Ma
						岩 性	岩 相			
新 生 代	N	早期		I	>300	碱性橄榄玄武岩、拉斑玄武岩、基性—超基性火山集块岩、集块角砾岩等	喷溢相 爆发空落相	陆相	嵊县群	20
晚 中 生 代	K ₂	晚 上 岩 系	IV	上段	>800	紫红色砂岩、砂砾岩、粉砂岩、泥岩夹凝灰岩	沉积相	陆相	赖家组	103.2
				中下段	200 500	浮岩屑玻屑凝灰岩、熔结凝灰岩、英安岩夹角砾岩、紫红色砂砾岩、粉砂岩等	爆发空落相 碎屑流相 沉积相	陆相	塘上组	105.4 110.9
	K ₁		III	上段	>650	含角砾浮岩屑玻屑凝灰岩、熔结凝灰岩、流纹岩、紫红色砂砾岩	沉积相 爆发空落相 喷溢相	陆相	方岩组 朝川组	110.0
				下段	200 600	灰色泥岩、粉砂岩(含化石)、紫红色砂岩、砂砾岩、凝灰岩、安山岩、玄武岩	沉积相 喷溢相	陆相	馆头组	118.6
	J ₃	早 下 岩 系	II	上段	200 450	流纹斑岩岩穹过渡到流纹岩	侵出一喷溢相	陆相	九里坪组	129.3
				中段	40 450	杂色泥岩、粉砂岩、砂砾岩、沉凝灰岩夹安山岩、含化石	沉积相	陆相	茶湾组	121.5
			I	下段	500 1800	由 8—10 个冷却单元组成的熔结凝灰岩,局部有流纹岩和英安岩	碎屑流相 基底涌流相 喷溢相	陆相	西山头组	121.4
				上段	800 1000	晶玻屑凝灰岩、熔结凝灰岩、凝灰岩—熔离型熔结凝灰岩	爆发空落相 爆溢相 碎屑流相	陆相	高坞组	126.6
早 中 生 代	J ₂	晚 上 岩 系	III	下段	238 2017	晶屑凝灰岩、沉凝灰岩、安山岩、凝灰质砂岩、砂砾岩	碎屑流相 溢流相 沉积相	陆相	大爽组	127.0
				<50	中酸性凝灰岩(在陆相含煤碎屑岩建造中呈夹层出现)	爆发空落相	陆相	毛弄组		

[1] 本刊采用三线表。因本文表格容量大,层次多,结构较复杂,为使表述清晰,便于阅读对比,部分表格仍采用传统的卡线表——编者注。

3.3 闽西—赣中构造—岩浆活动区(C区) 位于江山—绍兴深大断裂以南、政和—大埔断裂以西和大东山—贵东深断裂以北地区,相当于武夷山隆起及其边缘地区。在隆起部位出露有晋宁—加里东构造层,其西及南部边缘尚有海西—印支构造层。中生代火山活动受NE向褶皱断裂构造形成的约30多个山间盆地或断陷盆地控制,火山活动情况与B区相似,与A区明显不同。火山活动从晚三叠世开始,至晚白垩世结束,未见新生代火山活动,包括早中生代第一、第二旋回,晚中生代第一、第二、第三、第四旋回。各旋回概况见表5^[13]。本区潜火山岩岩性为二长花岗岩、黑云母花岗岩等,属S型花岗岩。

表3 闽东构造—岩浆活动亚区(A₂区)中、新生代火山旋回概况一览表

Table 3 Mesozoic-Cenozoic volcanic cycles of East Fujian tectonomagmatic activity subregion (A₂)

时代		火山活动期	火山岩系	旋回	厚度 m	火 山 岩 岩 性 岩 相		喷发环境	地层群组 名 称	同位素 年龄 Ma	
						岩 性	岩 相				
新生代	N	早期		I	<142	杏仁状粗玄岩、橄榄玄武岩、橙玄玻璃岩夹泥岩、粉砂岩等,局部角砾状玄武岩		喷溢相	陆相	佛昙群	20
晚 中 生 代	K ₂	晚 期	上 岩 系	IV	上段 330 1920	钾长流纹岩、英安岩、碎斑熔岩、熔结凝灰岩		侵入相 碎屑流相 喷溢相	陆相	石牛山组	78 88.7 91.8
					下段 150 720	凝灰质砂砾岩、砂岩、粉砂岩、凝灰质砂岩、凝灰岩		喷发沉积相	陆相	石牛山组	
	K ₁			III	上段 450 1200	上部紫红色钾长流纹岩、熔结凝灰岩;下部紫色凝灰质砂砾岩、砂岩、粉砂岩夹凝灰岩、流纹岩		喷溢相 喷发沉积相 碎屑流相	陆相	石帽山群 上组	104 106.8 107.9 113.2 116.0 121.0
					中段 780 1150	上部钾长流纹岩、石英粗面岩、球粒流纹岩、玄武岩;下部凝灰质砂砾岩、砂岩、粉砂岩夹凝灰岩		喷溢相 喷发沉积相	陆相	石帽山群 中组	
					下段 160 1450	上部熔结凝灰岩、玄武岩;下部凝灰质砂砾岩、砂岩、粉砂岩夹凝灰岩		喷溢相 碎屑流相 喷发沉积相	陆相	石帽山群 下组	
J ₃	早 期	下 岩 系	II	上段 170 900	熔结凝灰岩、流纹岩、凝灰岩		碎屑流相 喷溢相	陆相	小溪组	142	
				下段 60 1100	凝灰质砂砾岩、砂岩、粉砂岩夹凝灰岩		喷发沉积相	陆相	小溪组		
			J ₃	I	上段 1500 3200	流纹质凝灰熔岩、凝灰岩、熔结凝灰岩、安山岩、英安岩、碎斑熔岩		爆溢相 喷溢相 碎屑流相 侵入相	陆相	南园组	142.0 147.5 151 155
下段 110 830	凝灰质砂砾岩、砂岩、粉砂岩夹凝灰岩				喷发沉积相	陆相	长林组				

3.4 粤东构造—岩浆活动区(D区) 位于大东山—贵东深断裂以南,吴川—四会深大断裂以东地区,横跨在基底永安—梅县—安远拗陷和浙闽粤断陷带两个二级构造单元之南端部位上。火山岩系基底由晋宁—加里东与海西—印支构造层组成。火山活动始于晚三叠世,止于早第三纪,包括早中生代第一、第二、第三旋回,晚中生代第一、第二、第三、第四旋回和新生代第一旋回,本区基本上是东南沿海中、新生代各旋回火山岩出露最齐全的地区。该区早

中生代火山岩受印支运动东西向构造控制,从晚侏罗世开始,火山活动明显受EW与NE向基底断裂构造控制。火山岩在莲花山断裂(NE向)以东地区分布较广,断裂西侧则多以盆地形式分布。新生代火山岩集中在早第三纪喷发,主要为基性岩。

表 4 浙西—赣东北构造—岩浆活动区(B区)中、新生代火山旋回概况一览表

Table 4 Mesozoic-Cenozoic volcanic cycles of West Zhejiang-Southeast Jiangxi tectonomagmatic activity region (B)

时 代	火山 活动 期	火山 岩系	旋 回	厚 度 m	火 山 岩 岩 性 岩 相		喷 发 环 境	地层群 组 名 称	同位素 年 龄 Ma
					岩 性	岩 相			
新 生 代	E	早 期	I	<200	玄武岩	喷溢相	陆相	武宁群 新余群	20
	K ₂	晚 期	IV	<150	玄武岩、橄榄辉石玄武岩	喷溢相	陆相	南雄组 衡江群	
晚 中 生 代	K ₁	上 岩 系	III	<150	橄榄粗玄岩、角闪安山岩、凝灰岩	喷溢相 爆发空落相	陆相	赣州组 横山组	117.4 120.2
	J ₃	下 岩 系	II	470 1490	沉积碎屑岩夹凝灰质砂岩、粉砂岩,中部夹流纹质火山灰流凝灰岩	碎屑流相 沉积相	陆相	石溪组 寿昌组	121.6 124.3
			上 段	150 1000	多次火山碎屑流形成的熔结凝灰岩、晶玻凝灰岩、岩屑凝灰岩、流纹岩、碎斑熔岩,少量沉积碎屑岩	喷出相 喷溢相 碎屑流相 火山沉积相	陆相	鹅湖岭组 黄尖组	126.0 129.5
			下 段	200 1700	上部凝灰质粉砂岩、砂岩夹凝灰岩、熔结凝灰岩及少量流纹岩,下部砂砾岩、砂岩夹粉砂岩、泥页岩	碎屑流相 喷溢相 火山沉积相	陆相	打鼓顶组 劳村组	145.3

本区侵入岩发育,岩体规模大,大多为复式岩体,以燕山期为最,共分三套,第一套主要分布于莲花山以西地区,明显受EW向断裂带控制,形成三条EW向火山—侵入岩带,属S型;第二套、第三套主要分布在东南沿海地区(汕头地区及惠州东部地区),I型居多,部分为A型及S—I过渡型。

本区各火山旋回概况见表 6^[3,14,15]。①

3.5 粤西—桂东南构造岩浆活动区(E区) 位于吴川—四会深大断裂及凭祥—大黎深断裂之间的粤西及桂东南地区,其基底以晋宁—加里东构造层为主,部分为海西—印支构造层。本区受印支构造运动的影响较东南沿海其它地区明显,为东南沿海地区中生代火山活动开始最早的地区,在早三叠世即有一定规模的海相火山喷发。而本区燕山构造运动的强度又较东南沿海其它地区弱,因此,当晚中生代浙、闽、粤东等地区陆相火山岩大规模喷发时,本区则相对宁静。粤西地区仅有少量晚侏罗世火山岩,而桂东南地区则缺失晚侏罗世火山岩。早白垩世全区缺失火山岩,仅晚白垩世时,受NE向构造控制的山间断陷盆地区内,有较发育的中酸性火山岩。火山活动结束于晚第三纪。本区出露火山旋回包括早中生代第一、第二

① 部分资料来源:“东火”项目专题:“粤东地区火山地质、火山岩与侵入岩及其对锡、多金属矿床控矿意义”研究报告(未出版,作者:黄光昭等)。

旋回,晚中生代第一、第四旋回及新生代第一旋回,各旋回概况见表 7。^[6]

表 5 闽西—赣东构造—岩浆活动区(C 区)中生代火山旋回概况一览表

Table 5 Mesozoic volcanic cycles of West Fujian-East Jiangxi tectonomagmatic activity region (C)

时代		火山活动期	火山岩系	旋回	厚度 m	火 山 岩 岩 性 岩 相		喷发环境	地层群组 名 称	同位素 年龄 Ma
						岩 性	岩 相			
晚中生代	K ₂	晚期	上岩系	Ⅳ	上段 400 1600	复成份砾岩、砂砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩等	沉积相	陆相	赤石群	
					下段 150 1850	钙质粉砂岩、泥质粉砂岩、细砂岩、凝灰岩、凝灰熔岩及英安岩、底部砂砾岩	火山沉积相 溢流相	陆相	沙县组 南雄群	
	Ⅲ			上段 450 2500	流纹岩、石英粗面岩、熔结凝灰岩、玻屑凝灰岩夹安山岩、底部玄武岩、安山岩。部分地区为陆相沉积碎屑岩	碎屑流相 溢流相 沉积相	陆相	石帽山群 禾口组 赣州组		
				下段 80 235	复成份砾岩夹凝灰岩、凝灰质砂砾岩、部分地区为砂砾岩、粉砂质泥岩	喷发沉积相	陆相			
	K ₁	早期	Ⅱ	上段 430 700	熔结凝灰岩、凝灰熔岩、玻屑凝灰岩夹凝灰质砂岩，局部地区见玄武岩	碎屑流相 喷溢相	陆相	鸡笼嶂组 板头组 石溪组	97 105	
				下段 620 1200	凝灰质砂岩、细砂岩、泥质粉砂岩、页岩夹杂色凝灰岩	喷发沉积相	陆相			
	J ₃		Ⅰ	上段 600 1800	晶屑凝灰熔岩、熔结凝灰岩、凝灰岩、玻屑凝灰岩夹安山岩、碎斑熔岩	碎屑流相 喷溢相 侵出相	陆相	鹅湖岭组 南园组		127 141 158
				下段 130 700	凝灰岩、安山岩、凝灰质砂砾岩、粉砂岩夹硅质岩，局部见凝灰熔岩、玄武岩	喷发沉积相 喷溢相	陆相	长林组 打鼓顶组		
早中生代	J ₁	中期	中岩系	Ⅱ		砂砾岩、砂泥岩夹凝灰岩、局部夹多层玄武岩、安山岩、流纹岩	喷发沉积相 喷溢相	陆相 夹海相	梨山组 林山组	
	T ₃	早期	下岩系	Ⅰ	10 253	砂砾岩、砂泥岩夹安山岩、安山质熔结凝灰岩及流纹质凝灰岩	喷发沉积相 碎屑流相 喷溢相	陆相 夹海相	焦坑组 文宾山组 安源组	

3.6 雷琼构造—岩浆活动区 包括雷州半岛、海南岛及南海、北部湾海域,其最老基底为前寒武纪变质岩系,沉积盖层十分局限。本区从晚古生代到三叠纪,有大量花岗岩浆侵入活动,所形成的海西—印支期花岗岩是造山前、同造山、晚造山过程中,陆壳与陆壳碰撞事件有成因联系的一个完整的侵入系列。区内发育了醒目的 NE 向构造,隐伏的 EW 向构造,还有 NW 向和 SN 向构造,组成了南海的基本构造格架。中生代火山活动仅见于白垩纪,多赋存在基本上受两组以上断裂构造控制的断陷盆地内。新生代火山活动在东南沿地区最为发育,主要集中在琼州海峡东西向大断裂两侧,以基性火山喷发为主,时代从早第三纪直到第四

表 6 粤东构造—岩浆活动区(D区)中、新生代火山旋回概况一览表

Table 6 Mesozoic-Cenozoic volcanic cycles of East Guangdong tectonomagmatic activity region (D)

时代	火山活动期	火山岩系	旋回	厚度 m	火山岩岩性岩相		喷发环境	地层群组 名称	同位素年龄 Ma
					岩性	岩相			
新生代	E	早期	I	14 >1000	玄武岩、安山岩、流纹岩、粗面岩、凝灰岩、火山角砾岩等,以玄武岩为主	爆发空落相 溢流相	陆相	华涌组 宝月组 赤心组 莘庄组	
	K ₂	晚期	IV	上段 100 400 中段 120 1000 下段 50 500	紫红色粉砂岩、砂岩、砂砾岩等 流纹岩、火山灰流凝灰岩、英安质碎斑熔岩等 凝灰质砂岩、凝灰岩、紫红色砂岩、砂砾岩夹玄武岩、安山岩、流纹岩	沉积相 碎屑流相 喷溢相 侵出相 喷发沉积相 喷溢相	陆相 陆相 陆相	南雄群 南雄群 叶塘组	90 110
晚	K ₂ ↑ K ₁ ²⁻³	晚期	III	上段 200 1200 下段 200 1000	紫红灰紫色厚层砂岩、粉砂岩、砂砾岩、砾岩夹凝灰质砂岩、流纹岩 灰黄、黄绿色砾岩、砂岩、粉砂岩、凝灰质砂岩夹玄武岩、流纹岩(部分为含砾流纹岩)	喷发沉积相 喷溢相 喷发沉积相 喷溢相	陆相 陆相	合水组 官草湖群(上段) 官草湖群(下段)	110 127
中生代	J ₃	早期	II	上段 450 2200 下段 100 600	上部:火山灰流凝灰岩、流纹岩、局部夹安山岩、安山质凝灰岩,中部:多单元厚层火山灰流凝灰岩夹空落凝灰岩、流纹岩等,下部:火山灰流凝灰岩、空落凝灰岩、涌流凝灰岩、碎斑熔岩(晚期侵出) 黑色页岩、粉砂岩、砂岩夹凝灰岩、流纹岩、凝灰质砂岩(主要含化石层位)	碎屑流相 喷溢相 侵出相 爆发空落相 基底涌流相 沉积相 喷溢相	陆相 陆相	高基坪群(上段) 大安洞组	130 146
	J ₃	早期	I	上段 400 1200 中段 100 750 下段 150 600	上部:火山灰流凝灰岩、流纹英安岩,中部:多单元火山灰流凝灰岩,下部:火山灰流凝灰岩、多单元涌流凝灰岩、硅质岩、碎斑熔岩(晚期侵出) 安山岩、安山质凝灰岩 碳质页岩、页岩、粉砂岩、砂岩、砂砾岩等,夹安山质或流纹质凝灰岩、角砾凝灰岩等。局部见玄武岩	碎屑流相 侵出相 喷溢相 基底涌流相 爆发空落相 喷溢相 爆发空落相 喷发沉积相	陆相 陆相 陆相	南山组 宁山组 淡水组 大蕉园组	150 170
早中生代	J ₂	晚期	III	170 600	流纹质凝灰熔岩、安山岩、角砾凝灰岩、凝灰质砂页岩、流纹岩等	爆发空落相 喷溢相	陆相	马梓坪群 漳平群	
	J ₁	中期	II	<540	辉石玄武岩、安山质凝灰岩、酸性凝灰岩、安山质火山角砾岩及凝灰质砂岩、粉砂岩等	喷溢相 爆发空落相	海相	桥源组 金鸡组	
	T ₃	早期	I	650 1000	流纹质凝灰岩、凝灰质泥岩、凝灰质粉砂岩	爆发空落相	海相	艮口群	

纪。本区包括晚中生代第三、第四旋回及新生代第一、第二旋回,各旋回概况见(表 8)。^①[3,16]

表 7 粤西—桂东南构造—岩浆活动区(E 区)中、新生代火山旋回一览表

Table 7 Mesozoic-Cenozoic volcanic cycles of West Guangdong—Southeast Guangxi tectonomagmatic activity region (E)

时 代	火山 活动期	火山 岩系	旋 回	厚 度 m	火 山 岩 岩 性 岩 相		喷 发 环 境	地 层 群 组 名 称	同 位 素 年 龄 Ma
					岩 性	岩 相			
新 生 代	N	早期	I	12 17	杏仁状玄武岩,橄榄玄武岩	喷溢相	海相	南康群	
晚 中 生 代	K ₂	晚期	IV	300 500	流纹岩、英安岩、黑曜岩、熔结凝灰岩、熔结角砾岩、碎斑熔岩、局部出现涌流凝灰岩、凝灰岩、角砾凝灰岩、集块角砾岩	碎屑流相 喷溢相 侵入相 爆发空落相	陆相	南雄群 罗文组 西垌组	68 87.4
	J ₃	早期	I	100 700	火山灰流凝灰岩、流纹英安岩、碎斑熔岩(晚期侵入)	碎屑流相 喷溢相 侵入相	陆相	高基坪群 (下段)	150
早 中 生 代	J ₁	中期	II	125	沉凝灰岩、沉火山角砾岩	喷发沉积相	陆相	汪门组	
中 生 代	T ₃	早期	I	上段 600	流纹斑岩、凝灰岩、顶部为珍珠岩	喷溢相	海相	平垌组	230.8
	T ₂			中段 300 900	流纹岩、碎斑熔岩、凝灰角砾岩、凝灰岩、沉凝灰岩、凝灰质粉砂岩	喷溢相 侵入相 喷发沉积相	海相	板八组 百逢组	
	T ₁			下段 400 1100	玄武安山岩、英安质角砾熔岩、凝灰角砾岩、凝灰岩、沉凝灰岩、英安岩	喷溢相 爆发空落相 喷发沉积相	海相	北泗组 南洪组 罗楼组	

3.7 台湾构造—岩浆活动区(G 区) 包括台湾本岛、澎湖列岛及周围海域。其基底为海西构造层(大南澳片岩系),中、新生代火山活动始于早白垩世,是我国东南沿海地区仅次于雷琼构造—岩浆活动区的又一个新生代火山活动发育地区。^[17]该区新生代发育的火山活动与板块构造活动直接有关。东南沿海第四纪最重要的一次构造运动是菲律宾板块与欧亚板块的碰撞,台湾称“蓬莱运动”。它始于上新世,至中更新世达到高潮,并奠定了现今台湾岛的基本轮廓。

本区火山旋回包括晚中生代第三旋回及新生代第一、第二旋回,各旋回概况见表 9。

4 各火山旋回岩石系列、组合与地球化学特征^②

① 本节部分资料来源:a. 海南省地质矿产开发局:“海南岛中生代火山机构及其成矿关系”研究报告(1995 年完成,待出版,作者:符国祥等)。b. 南京地质矿产研究所:“海南岛暨五指山地区中生代火山地质与成矿关系”研究报告(1996 年完成,待出版,作者:王中杰等)。

② 本节主要根据地矿部“八五”重点攻关项目“东南沿海火山岩基底构造、火山—侵入作用与成矿关系”研究报告第二章:火山—侵入杂岩(陶奎元执笔,待出版)有关资料编写而成。

本区中、新生代各火山旋回,由于所处时间、空间、构造控制条件、源区物质组分等不同,其岩石系列、组合与地球化学特征亦有差异,^[20]现分叙之。

表 8 雷琼构造—岩浆活动区(F 区)中、新生代火山旋回概况一览表

Table 8 Mesozoic-Cenozoic volcanic cycles of Leizhou-Hainan tectonomagmatic activity region (F)

时代	火山活动期	火山岩系	旋回	厚度 m	火山岩岩性岩相		喷发环境	地层群组名称	同位素年龄 Ma
					岩性	岩相			
新生代	Q		Ⅱ	500	气孔状橄榄玄武岩、橄榄玄武岩、橄榄玻基玄武岩、玻基辉橄岩、斜长橄榄玄武岩、玄武岩、凝灰岩、火山角砾岩、沉凝灰岩	喷溢相 爆发空落相	陆相	雷虎组,湖光岩组,石卯岭组,胭脂岭组,湛江组	
	N		I	800	玄武岩、凝灰岩、火山角砾岩	喷溢相 爆发空落相	海相	望楼港组 下洋组 南康组	
	E			>50	玄武岩、斜长辉石玄武岩、安山岩	喷溢相	海相	涠州组	
晚中生代	K ₂	晚 期 系	IV	40 1730	流纹质晶屑凝灰熔岩,流纹质角砾凝灰熔岩,晚期有碎斑熔岩侵出	爆溢相 侵出相	陆相	岭壳村组	鹿 母 湾 组
				770 820	英安岩、流纹岩、英安质、流纹质、安山质角砾凝灰熔岩、集块角砾岩、凝灰岩	喷溢相 爆溢相 爆发空落相	陆相	汤他岭组	
	K ₁		Ⅲ	1000 3200	流纹质含砾晶屑凝灰熔岩夹流纹岩、安山岩及安山质、流纹质凝灰熔岩、凝灰岩、角砾岩、玄武岩	爆溢相 喷溢相 爆发空落相	陆相	六罗村组	

表 9 台湾构造—岩浆活动区(G 区)中、新生代火山旋回概况一览表

Table 9 Mesozoic-Cenozoic volcanic cycles of Taiwan tectonomagmatic activity region (G)

时代	火山活动期	火山岩系	旋回	厚度 m	火山岩岩性岩相		喷发环境	地层群组名称	同位素年龄 Ma
					岩性	岩相			
新生代	Q		Ⅱ	>200	高铝玄武岩、安山岩、英安岩、少量橄榄粗玄武岩	喷溢相	陆相	大南湾组	3.73 25
	N		I	800 2000	安山质集块岩、火山角砾岩、石英安山岩、凝灰岩等,局部夹灰岩透镜体	爆发空落相 喷溢相	海相	长流组 都峦山组 瑞芳组	
	E			700 1250	玄武岩、凝灰岩(在沉积碎屑岩地层中呈夹层出现)	爆发空落相 喷溢相	海相	四棱组 水长流组 五指山组	
中生代	K ₁		Ⅲ	530	玄武岩、安山岩、凝灰岩、角砾凝灰岩(在沉积碎屑岩地层中呈夹层出现)	爆发空落相 喷溢相	陆相	云林组	

4.1 早中生代火山岩系(T—J₂)

4.1.1 第一旋回(T) 为英安质和低硅流纹质火山岩,其活动初期有少量玄武岩(图 2)。在桂东南地区,酸性火山岩与其具明显时、空联系的大容山—十万大山 S 型花岗岩特征类似,主要为高钾英安岩和高钾流纹岩,其 Al₂O₃/Na₂O+K₂O+CaO(分子数比)绝大多数大于

1.04(仅个别小于 1),最高可达 1.35,峰值主要介于 1.05—1.20 之间,属铝过饱和系列。

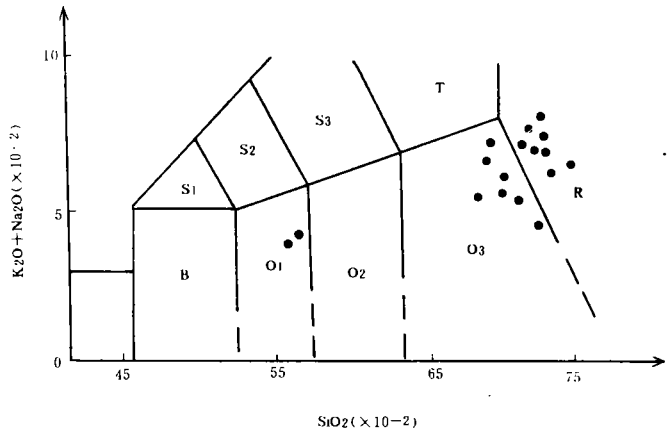


图 2 早中生代第一旋回火山岩 TAS 分类图

Fig. 2 TAS classification diagram for volcanic rocks of the first cycle of early Mesozoic

B—玄武岩;S₁—粗面玄武岩;O₁—玄武安山岩;S₂—玄武粗安岩;O₂—安山岩;S₃—粗安岩;T—粗面岩和粗面英安岩;
R—流纹岩

4.1.2 第二、第三旋回(J₁-J₂) 均为一套双峰式岩石组合(第三旋回流纹岩比例更大),在硅碱图上,基性端元和酸性端元均处于亚碱性区域,岩石类型包括玄武岩、玄武安山岩、流纹岩、少量粗面岩和粗面安山岩(图 3)。

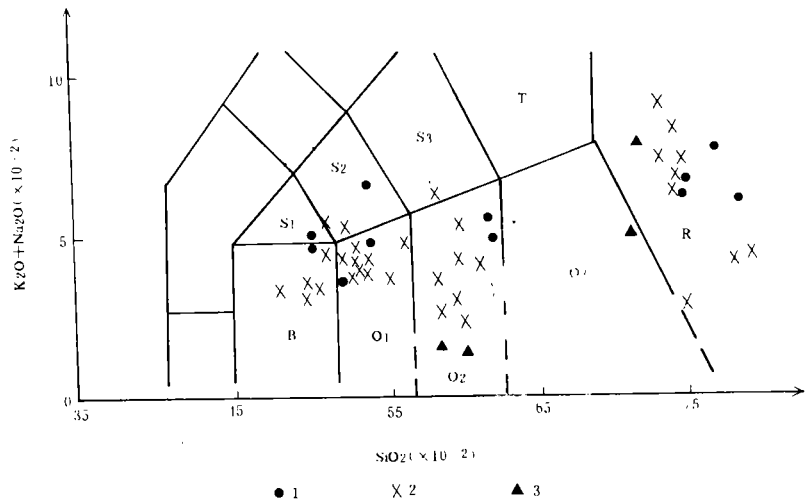


图 3 早中生代第二旋回火山岩 TAS 分类图

Fig. 3 TAS classification diagram for volcanic rocks of the second cycle of early Mesozoic

1—粤北地区;2—闽亚南地区;3—赣南地区;图中其它代号同(图 2)

该双峰式火山岩基性端元岩石化学最大特征是富 Ti 贫 Al,其 TiO₂ 含量一般高于同类岩石约 1%,而 Al₂O₃ 含量则低于同类岩石约 3%。其酸性端元与同类岩石相比也相对贫

Al₂O₃。稀土元素特征上,基性端元和酸性端元间具显著差异,基性端元轻、重稀土元素的分馏程度弱,不具 Eu 异常或呈弱正异常;而酸性端元轻、重稀土元素的分馏程度较强,并出现明显的负 Eu 异常。

4.2 晚中生代火山岩系(J₃-K₂)

4.2.1 第一、第二旋回(J₃-J₃) 以英安质和流纹质火山岩占绝对优势,只有少量(约 5%)安山岩类,它们构成了东南沿海中、新生代火山—侵入杂岩带的主体。火山岩 SiO₂ 含量频率峰值为 73%,该套火山岩的最大特征是高硅富钾,在 SiO₂ 与 K₂O 关系图(图 4)上大多数处于高钾区域,为高钾英安岩和高钾流纹岩组合,具有向酸性系列过渡的特征。构造研究资料

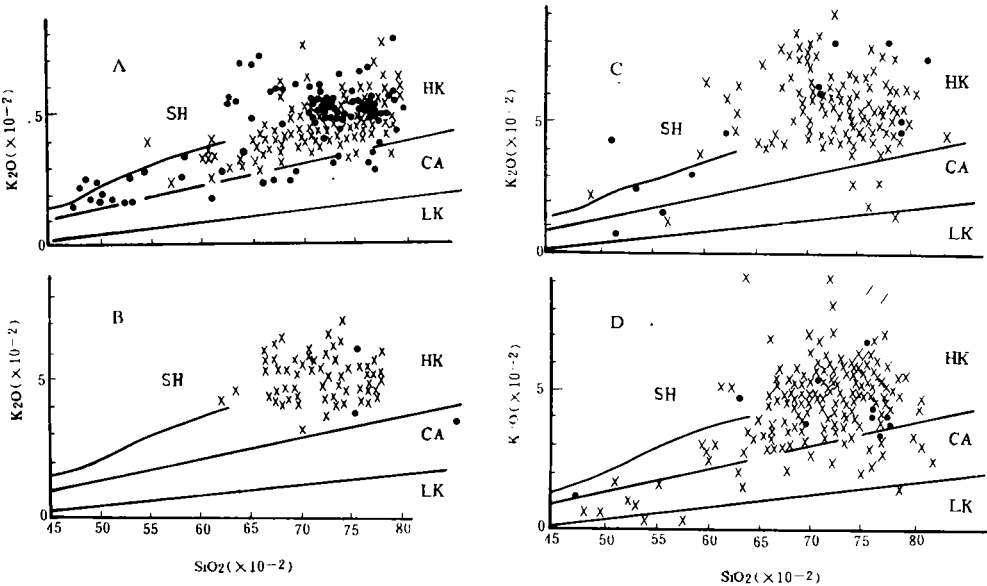


图 4 东南沿海晚中生代火山岩系 K₂O-SiO₂ 图解

Fig. 4 K₂O-SiO₂ diagrams for volcanic rocks of late Mesozoic of southeast coast

1—第一、第二旋回火山岩;2—第三、第四旋回火山岩;A—浙东—闽东区;B—浙西—赣东北区;C—闽西—赣东区;D—粤东—赣南区

与区域地球化学资料综合表明,火山岩为区域剪切挤压构造后期松弛阶段的产物。^[21]

与此套酸性岩组合的高硅富钾特征相对应,岩石中普遍富 Rb、Ta、Th、Ba 等不相容元素而相对贫 Ti、V、Cr、Co、Ni 等过渡元素及 Zr、Hf、Nb、Y 等元素,具有大陆边缘火山岩的地球化学特征,但 Ta 等元素具有大陆内部火山岩特征。

4.2.2 第三、第四旋回(K₁-K₂) 火山岩总体属高钾钙碱系列,并具有向碱性系列过渡的特征,局部地区出现含有碱性暗色矿物(钠铁闪石等)的碱性流纹岩。其中第三旋回出现由少量玄武岩和大量流纹岩组成的双峰式岩石组合。该组合在分异指数与标准矿物斜长石牌号频率图上表现为弱基性峰和强酸性峰的不对称特征,与典型拉张环境下所呈现的近对称型双峰特征明显不一致,这说明第三旋回的双峰式岩石组合可能形成于弱拉张的区域构造环境中。

该套双峰式组合基性端元碱度较高,富 K₂O、Al₂O₃ 但贫 Ti 见图 4,微量元素地球化学

特征上表现为较第一、第二旋回更富 Rb、Ta、Nb、Th、Y 等,因而更具板内岩石的化学特征。

早中生代第二旋回双峰式火山岩组合与晚中生代第三旋回双峰式火山岩组合的 TiO_2 - SiO_2 、 Al_2O_3 - SiO_2 对比见图 5。

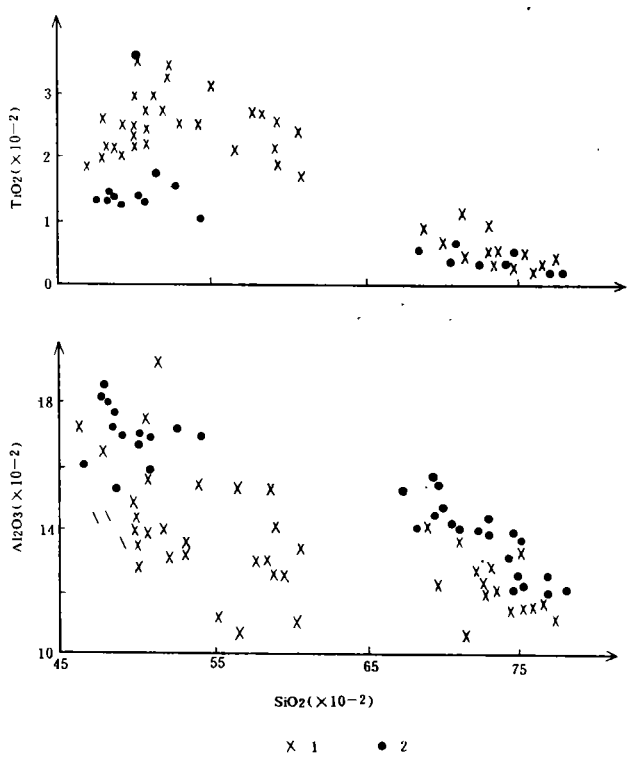


图 5 两套双峰式火山岩 TiO_2 - SiO_2 、 Al_2O_3 - SiO_2 对比图

Fig. 5 TiO_2 - SiO_2 and Al_2O_3 - SiO_2 diagrams for bimodal volcanic associations of the second cycle of early Mesozoic and the third cycle of late Mesozoic

1—早中生代第二旋回(J_1)双峰式火山岩组合;2—晚中生代第三旋回(K_1)双峰式火山岩组合

桂东南地区云开大山西侧的晚中生代第四旋回火山岩为一套(安山岩)—英安岩—流纹岩组合,亦具高钾(K_2O 平均为 5.2%)和富 Rb(平均值 214×10^{-6})特征。该旋回火山岩稀土元素丰度较高, ΣREE 平均为 335×10^{-6} ,轻、重稀土元素的分馏程度中等, LREE/HREE 平均为 5.7,负铕异常中等至强烈,球粒陨石标准化曲线呈右倾平缓型(图 6)。^①

4.3 新生代火山岩系(E—Q) 新生代火山岩主要分布于海南、台湾、广东及桂东南地区,浙、闽、赣亦有零星分布。各地区新生代火山岩之岩石系列、组合与地球化学特征等,均存在差异。总的讲,第一旋回(E—N)火山岩(包括部分潜火山岩)可分为超基性岩、基性岩、碱性中性岩、碱性岩及酸性岩五大类;第二旋回(Q)火山岩较为简单,可分为超基性岩、基性岩两大类。^[3]

以同类岩石作比较,从第一旋回到第二旋回,岩石酸度有逐渐增大趋势,碱度有减小趋

① 资料来源:广西区域调查研究院:“桂东南中生代火山活动旋回及火山构造与矿产的关系”研究报告,(1994 年完成,待出版,作者:杨丽贞等)。

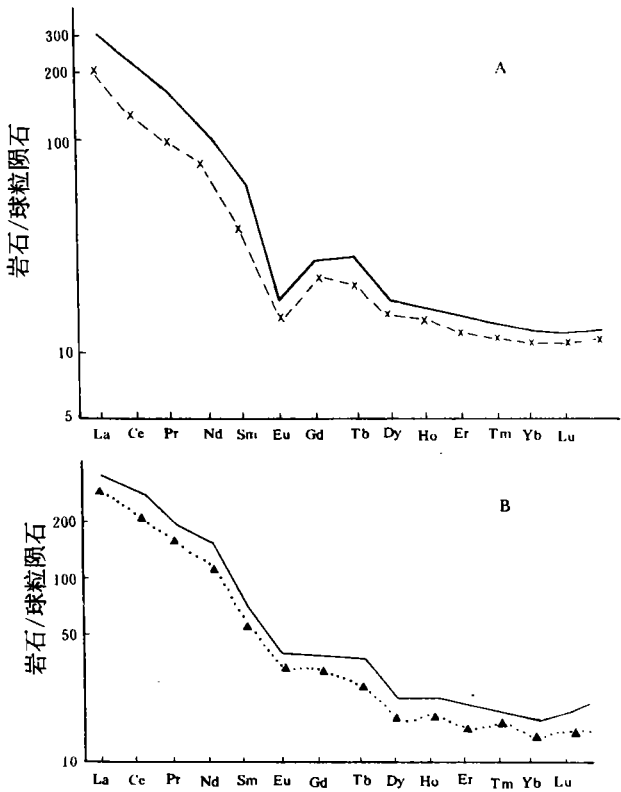


图 6 桂东南晚中生代第四旋回火山岩稀土元素球粒陨石标准化曲线(据杨丽贞等)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns for volcanic rocks of the fourth cycle of late Mesozoic in south-east Guangxi

A—水汶盆地； B—周公顶盆地

势,即显示出岩浆是从碱钙性向钙碱性演化。

在部分地区的玄武岩 K_2O-Na_2O 变异图(图 7)中,投影点主要位于钠质区的上界附近,部份进入钾质区,属正常类型。

在部分地区新生代玄武岩总碱— $Al_2O_3-SiO_2$ 图解(图 8)中,投影点主要落入碱性玄武岩区,仅海南岛玄武岩落入拉斑玄武岩区。这说明海南岛(包括台湾)的新生代第二旋回火山岩的生成环境与大陆区存在一定差别。

5 各火山旋回火山岩相时空分布特征

火山岩相是火山产物形成环境、条件的概括。因此,划分岩相的主要根据是岩浆作用方式—喷发方式—搬运方式—堆积环境—定位机制及在火山机构的位置等要素。根据上述原则,并结合东南沿海地区中、新生代火山岩的实际情况,本区火山岩相类型可归纳为以下 13 种:喷溢相、爆发空落相、碎屑流相、泥石流相、基底涌流相、爆溢相、喷发沉积相、侵入相、火山颈相、潜火山岩相、隐爆角砾岩相、侵入相、火山湖盆沉积相。

5.1 早中生代火山岩系

5.1.1 第一旋回 以桂东南地区(E 区)最为发育,次为粤东地区(D 区)。喷溢相与爆发相为主,另有喷发沉积相。粤东地区(D 区)主要为爆发空落相,少量为喷溢相。赣南地区(D 区)闽西地区(A₂ 区)主要为喷发沉积相,另有少量喷溢相。

5.1.2 第二旋回 仅出现于 D 区、E 区及 C 区东部(闽西),以喷发沉积相为主。

5.1.3 第三旋回 仅出现于 A₂ 区(浙东)和 D 区,以喷发沉积相为主,少量喷溢相。

5.2 晚中生代火山岩系

5.2.1 第一旋回 A 区以碎屑流相、爆发空落相、爆溢相最发育,是较典型的大规模酸性岩浆喷发的岩相组合;B 区以沉积相、喷溢相最发育;C 区以碎屑流相、爆溢相、沉积相最发育;D 区以碎屑流相、爆发空落相、喷溢相最发育,以出现基底涌流相为特征;E 区主要为碎屑流相和爆发空落相;F 区与 G 区缺失本旋回。

5.2.2 第二旋回 A 区主要为碎屑流相、爆发空落相,且规模较大;B 区主要为沉积相;C 区主要为沉积相;D 区主要为碎屑流相;E 区、F 区、G 区缺失本旋回。

5.2.3 第三旋回 A 区主要为沉积相、喷发沉积相、爆发空落相、喷溢相、碎屑流相;B 区、C 区、D 区均以沉积相为主;E 区缺失本旋回;F 区主要为喷发沉积相、爆溢相、爆发空落相;G 区主要为喷溢相。

5.2.4 第四旋回 A 区主要为沉积相、喷发沉积相、碎屑流相;B 区、C 区主要为沉积相;D 区主要为沉积相、碎屑流相;E 区主要为碎屑流相、沉积相;F 区主要为爆发空落相、喷溢相;G 区本旋回缺失。

5.3 新生代火山岩系

5.3.1 第一旋回 以 F 区、G 区最发育,A 区、B 区、C 区、D 区、E 区少量分布。均以喷溢相为主,部分为爆发空落相、喷发沉积相、潜火山岩相。

5.3.2 第二旋回 仅出现于 F、G 两区,喷溢相为主,部份为喷发沉积相。

6 火山旋回时、空演化基本规律

对比总结本区各旋回火山活动情况后,可将其时、空演化规律大致归纳为以下六方面。

(1)火山活动与区域构造运动密切相关,中、新生代火山活动的多旋回性是本区的主要特征。表 10 即清楚反映了本区构造旋回与火山活动旋回的密切关系。

早中生代火山活动的重点地区是受印支构造运动影响较明显的桂东南地区,次为粤东、

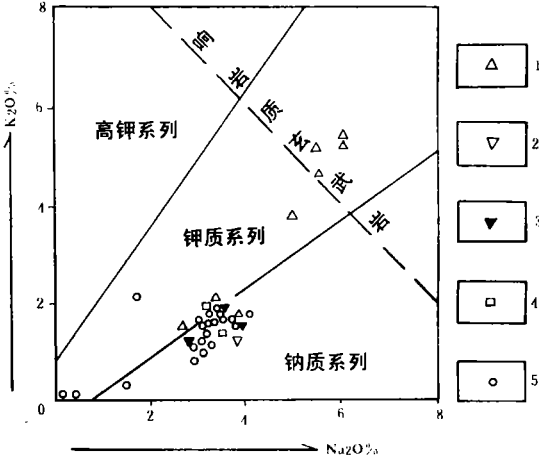


图 7 部分地区新生代玄武岩 K₂O-Na₂O 图解

Fig. 7 K₂O-Na₂O diagram for Cenozoic basalts of some regions

(资料来源:广东省区域地质志)

第一旋回玄武岩:1. 三水盆地;2. 海南岛;3. 富州半岛;4. 粤东地区(汕头—惠来)

第二旋回玄武岩:5. 雷琼地区

赣南地区;其它地区印支运动影响较弱,早中生代火山活动也不发育。而东南沿海受燕山构造运动影响较大的浙、闽、粤东等地区,晚中生代火山活动的规模也大,正是在燕山运动第 I 幕之后,本区火山活动进入鼎盛时期。

(2)从区内火山岩的分布面积(东大西小)、岩层厚度(东厚西薄)、岩相组合及特征(东部火山碎屑流相、爆溢相为主,西部火山—沉积相居多)等方面均表现为中、新生代火山喷发的规模、强度自西(大陆内部)向东(东南沿海)逐渐加强。

(3)古生物资料 and 同位素地质年龄资料同时表明,本区中、新生代火山活动的最强烈时期是晚侏罗世到早白垩世。^[22,23]

古生物工作者根据本区中生代火山岩系地层中各门类化石组合产出情况,以研究程度较高(火山岩出露面积亦最大)的浙江省为代表,将其划分为建德、永康、衢江三大生物群。本区火山活动规模最大、火山岩分布面积最广的晚中生代第一、第二旋回火山岩,化石面貌均属建德生物群(第一旋回早期组合占多数),时代为晚侏罗世。活动规模及火山岩分布面积仅次于第一、第二旋回的第三旋回,在各构造—岩浆活动区中主要化石组合面貌均比较一致,为永康生物群,时代属早白垩世。

大量不同方法测试的同位素地质年龄数据表明,东南沿海火山岩的主要同位素地质年龄区间在 155—95Ma,即晚侏罗世到早白垩世。

(4)火山岩的同位素地质年龄还显示出,广东的火山岩年龄比福建、浙江相应层位的年龄大,江西等内陆地区也比浙、闽沿海相应层位的年龄大,火山活动

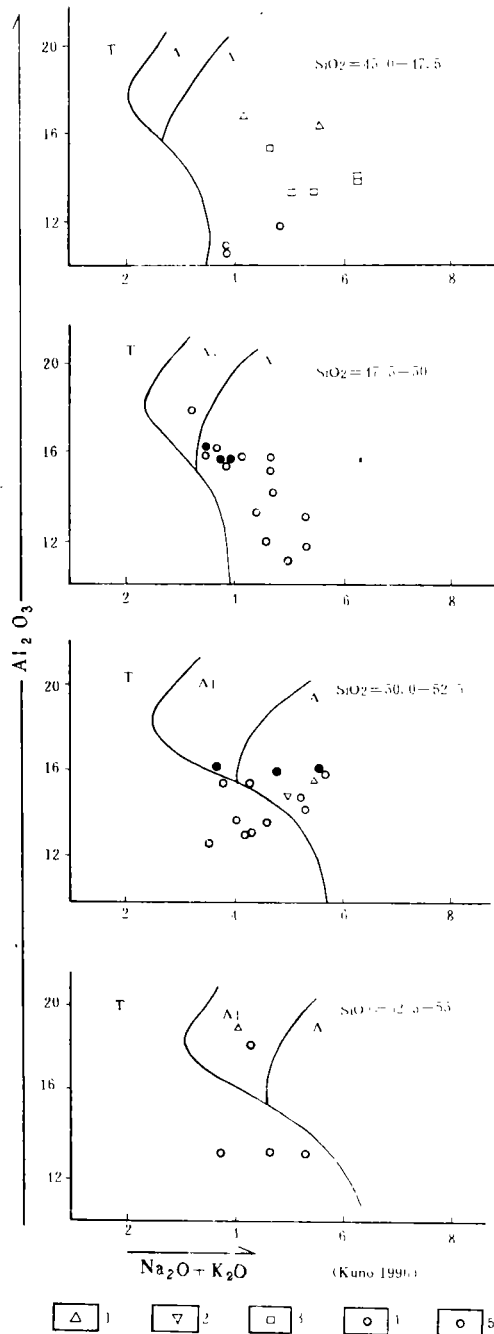


图 8 部分地区新生代玄武岩总碱— Al_2O_3 — SiO_2 图解
Fig. 8 $Na_2O + K_2O$ vs. Al_2O_3 and SiO_2 diagrams for Cenozoic basalts of some regions

(资料来源:广东省区域地质志)

第一旋回:1. 三水盆地;2. 富州半岛;3. 粤东地区第二旋回:4. 海南岛;5. 雷州半岛 Δ —碱性玄武岩;T—拉斑玄武岩;Al—高铝玄武岩

(尤其是晚中生代火山活动)总体上表现为由南向北、由西向东的迁移总趋势。

表 10 中国东南沿海中、新生代构造旋回与火山旋回对比表

Table 10 Correlation of Mesozoic-Cenozoic volcanic cycles with tectonic cycles of southeast coast of China

代	纪	世	Ma	构造幕及火山活动旋回		构造旋回		
新 生 代	第四纪	Q		第二旋回（陆相火山岩,部分海相）		喜马拉雅旋回		
			2.5					
	第三纪	N		第一旋回（陆相火山岩）				
			E	23	-----			
晚 中 生 代	白垩纪	K ₂		燕山运动第Ⅴ幕		燕山晚期 亚旋回		
			100	燕山运动第Ⅳ幕				
	侏罗纪	K ₁		第三旋回(陆相火山岩)		燕山早期 亚旋回		
			J ₃	135	燕山运动第Ⅲ幕			
	侏罗纪		J ₃		第二旋回(陆相火山岩)		燕山早期 亚旋回	
				140	燕山运动第Ⅱ幕			
			J ₃		第一旋回(陆相火山岩)			
			J ₂	155	燕山运动第Ⅰ幕			
早 中 生 代	侏罗纪	J ₂		第三旋回(轻微火山活动)		燕山早期 亚旋回		
			J ₁	170	----- 构造运动不明显 -----			
	三叠纪		J ₁		第二旋回(海相或海陆交互相火山岩)		印支旋回	
				195				
			T ₃					
	三叠纪		205	第一旋回（海相火山岩为主）		印支旋回		
		T ₂						
			125					
	侏罗纪		T ₁		印支旋回			
				250				

在各构造—岩浆活动区内部,中、新生代火山活动的延续时间也不相同。粤东地区中生代火山活动延续时间最长,近 90Ma;浙东地区延续时间最短,仅 40Ma 左右。

(5)将本区置于亚州大陆东缘(即西太平洋地区)巨型火山带中与邻区对比,本区比西南日本内带、韩国、锡霍特—阿林、鄂霍茨克—楚科奇等火山带的火山活动早 30—40Ma;而我
国东北大陆内侧大兴安岭火山带与燕辽火山带比大陆边缘火山带的火山活动起始时间亦要
早 40—60Ma,从这两个火山带经吉林沿海到韩国,火山活动年代逐渐变新(图 9)。由此可
知,火山活动在亚州大陆东缘巨型火山带内,亦具有平行与垂直火山带的双重迁移
性。^[21,24,25,26,27,28]

(6)各旋回火山活动的区域构造控制条件不一致,同旋回不同地区的火山活动的构造控

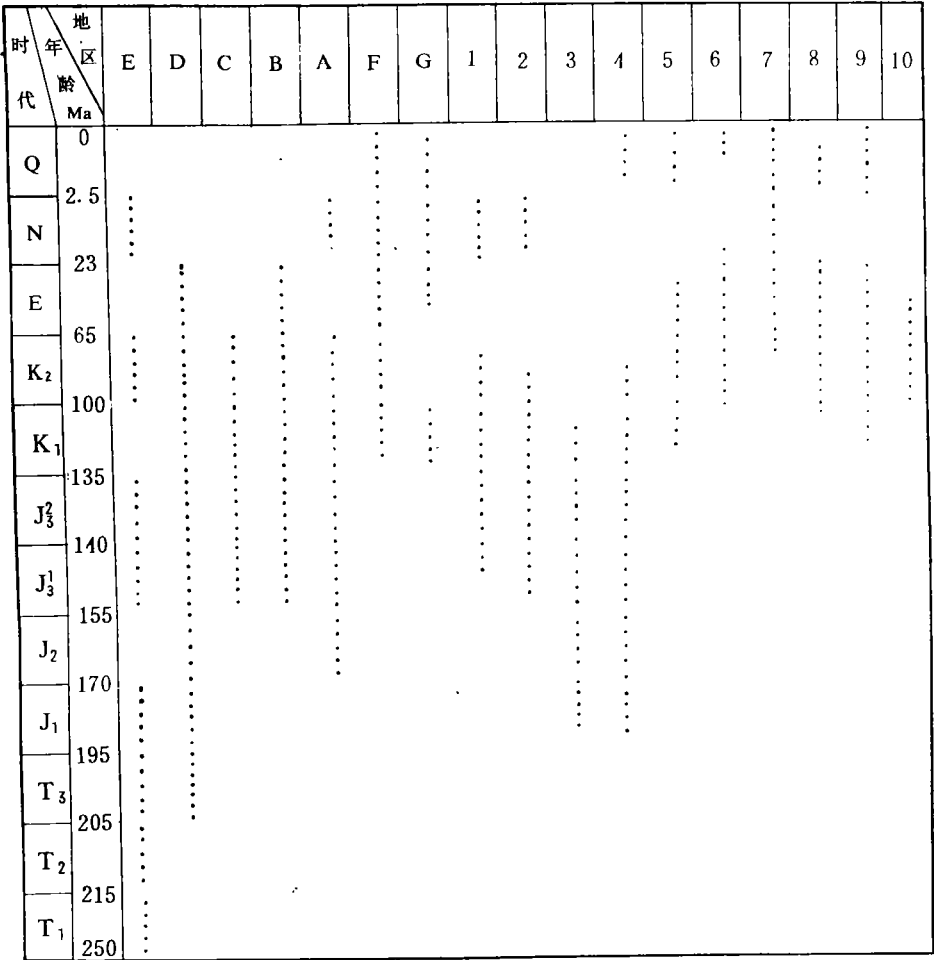


图9 中国东南沿海与亚洲大陆东缘其他地区中、新生代火山活动时代对比图

Fig. 9 Comparisons of volcanic activity ages in southeast coastal area and in some areas of Asian continental margin

A. 浙东闽东区; B. 浙西赣东北区; C. 闽西赣中区; D. 粤东赣南东; E. 粤西桂东南区; F. 雷琼区; G. 台湾; 1. 下扬子地区; 2. 山东; 3. 燕辽地区; 4. 大兴安岭地区; 5. 鄂霍茨克地区; 6. 楚科奇地区; 7. 锡霍特地区; 8. 阿林地区; 9. 西南日本内带; 10. 韩国。(部分资料据陶奎元、沈加林)

制条件亦存在差别。

早中生代火山活动受印支构造运动影响明显,总体上受东西向构造应力场控制;其中早中生代第二旋回(J₁)火山岩是在海西—印支东西向裂隙构造基础上进一步发展的条件下形成的,属典型拉张环境下的火山喷发产物。

晚中生代早期(J₃)火山活动形成的第一、第二旋回火山岩,总体上产于挤压后开始松弛的应力环境,受NE向构造控制为主,但粤东等局部地区以东西向构造控制为主。晚中生代晚期(K)火山活动形成的第三、第四旋回火山岩,总体上产于(弱)拉张应力环境。受北东向与北西向构造复合控制,并以北东向为主。

新生代在大陆内部的火山活动多受NE、NW和EW向三组构造断裂复合控制,而台湾

等地区则与板块构造活动更直接有关。

7 主要参考文献

- 1 任纪舜. 中国东部及邻区大地构造演化新见解. 中国区域地质, 1989(4)
- 2 Hile. TW. Evolution of the Western Pacific and its margin Tectonophysics. 1979, 38
- 3 广东省地矿局. 广东省区域地质志. 北京:地质出版社, 1988, 177, 298, 809
- 4 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, 3, 6, 10, 66, 76
- 5 谢家莹, 陶奎元, 尹家衡等. 中国东南大陆中生代火山地质及火山—侵入杂岩. 北京:地质出版社, 1996, 4, 32
- 6 广西壮族自治区地矿局. 广西壮族自治区区域地质志. 北京:地质出版社, 1985, 212, 340
- 7 浙江省地质矿产局. 浙江省区域地质志. 北京:地质出版社, 1989, 123, 326, 502
- 8 福建省地质矿产局. 福建省区域地质志. 北京:地质出版社, 1985, 116, 181, 494
- 9 尹家衡, 王占宇, 陶奎元等. 桐庐火山—构造洼地基本特征及演化. 南京地质矿产研究所所刊, 1985, 6(4): 1—17
- 10 翁士勃, 孔庆寿, 黄海. 浙闽赣粤中生代晚期火山地质. 北京:地质出版社, 1987, 7, 103, 171
- 11 王中杰, 谢家莹, 尹家衡等. 浙闽赣中生代火山岩区火山旋回、火山构造岩石系列及演化(研究报告). 南京:南京地矿所所刊增刊, 1989, 6, 24
- 12 郑家坚. 华南白垩—第三纪陆相地层及有关问题讨论. 华南中、新生代红层. 北京:科学出版社, 1979, 44
- 13 江西省地质矿产局. 江西省区域地质志. 北京:地质出版社, 1984, 226, 363, 796
- 14 尹家衡, 黄光昭, 徐明华. 粤东中生代火山旋回划分及对比. 南京地质矿产研究所所刊, 1989, 10(4)
- 15 冯少南. 论高基坪群. 灵乡群时代. 地质学杂志, 1981, 12, 122
- 16 中华人民共和国地质矿产部. 中国地质图及说明书(1:500 万). 北京:地质出版社, 1990
- 17 台北地质调查所. 台湾地质图(1:100 万). 1986
- 18 高阳, 叶翔. 浙东南早白垩世火山—沉积岩系地层划分. 火山地质与矿产, 1993, 14(3): 21
- 19 陆志刚. 东南沿海火山岩区地质找矿科技工作新进展. 火山地质与矿产, 1994, 15(1): 66
- 20 陶奎元, 谢家莹, 阮宏宏等. 中国东南沿海中生代火山作用基本特征. 南京地质矿产研究所所刊, 1988, 9(4): 22
- 21 陆志刚, 陶奎元主编. 中国东南沿海火山地质与矿产论文集(第一辑). 北京:地质出版社, 1992, 14, 132
- 22 丁保良, 兰善先, 汪迎萍. 浙闽赣地区非海相侏罗—白垩纪火山、沉积地层及古生物群. 南京:江苏科技出版社, 1988, 16
- 23 地质矿产部中国同位素地质年表工作组. 中国同位素地质年表. 北京:地质出版社, 1987
- 24 Krasny. L. I. Geological Map of the Pacific Mobile Belt and the Pacific Ocean (1:1000000), 1970
- 25 Geological Survey of Japan. Geological Map of Japan (1:1000000), 1978
- 26 O. Kim. Geological Map of South Korea (1:2500000), 1979
- 27 Академия наук СССР. Структурно-формационная карта Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (1:1500000), 1977
- 28 Академия наук СССР. Карта Циркум-Тихоокеанского магматизма, (1:0000000), 1982

MESOZOIC—CENOZOIC VOLCANIC CYCLES OF SOUTHEAST COAST OF CHINA

Yin Jiaheng

Huang Guangzhao

(IGMR, Nanjing, 210016)

Abstract

Mesozoic-Cenozoic volcanic-intrusive complex rock belt of southeast coast of China is one of the important component parts of the circum-Pacific tectonic-magmatic mineralization belt. During the period of about 1,600 Ma from Precambrian to Triassic, the area involved Jinning-Caledonian and Hercynian-Indosinian tectonomagmatic activities. The basement of volcanic series is consisted of three first-order tectonic units—Yangtze, Cathaysian and Hainan plates. According to the regional diversity, tectonic environment, nature of magma source, basement tectonic setting and other factors, the area may be divided into 7 tectonomagmatic activity regions bounded among them by major regional deep faults, i. e., East Zhejiang—East Fujian region, West Zhejiang—Northeast Jiangxi region, West Fujian—Middle Jiangxi region, East Guangdong region, West Guangdong—Southeast Guangxi region, Leizhou (peninsula)—Hainan (island) region and Taiwan region.

The Mesozoic-Cenozoic volcanic-intrusive complex rocks of the belt cover an area of about 3,000km². In the east part of the area including East Zhejiang, East Fujian and East Guangdong Provinces, the volcanic-intrusive rocks are distributed continuously in the form of vast areas and belts; whereas in the west part including West Zhejiang, West Fujian, West Jiangxi, West Guangdong and Southeast Guangxi Provinces, they are distributed limitedly, showing the form of isolated basins or intrusive bodies. Judging from distribution scales of volcanic rocks (they have more scales in east than in west), thickness of layers (they are thicker in east than in west) and facies characteristics (pyroclastic flow facies are dominated in east while sedimentary facies are mostly in west), the scales and intensities of Mesozoic volcanic activities were strengthened from west to east.

The Mesozoic-Cenozoic volcanic-intrusive activities started at early Triassic and terminated at Quaternary. Overall, they showed a gradual migration from south to north and from west to east, being coincide with the dual migration parallel and vertical to the volcanic belts of the huge West Pacific volcanic belt. The volcanic rocks may be divided into early Mesozoic, late Mesozoic and Cenozoic volcanic series and 9 volcanic cycles.

The early Mesozoic volcanic series includes 3 volcanic cycles. The first cycle (T) presents a suite of marine dacitic and low-silicic rhyolitic volcanic rocks. The second one (J₁) and the third one (J₂) are all bimodel assemblages, representing typical products formed in the stress environment of extension and controlled by EW-trending tectonics.

The late Mesozoic volcanic series includes 4 volcanic cycles. The first cycle (J_3^1) and the second cycle (J_3^2) are predominated by dacitic and rhyolitic volcanic rocks characterized by high-silicic and high-potassium compositions, representing products formed in the stress environment of relaxation after regional compression, their distributions are controlled by NE-trending tectonics and they form the major part of the southeast coastal volcanic-intrusive complex rock belt. The volcanic rocks of the third cycle (K_1) and the fourth cycle (K_2) belong to, on the whole, the high-potassium calc-alkaline series being transitional to alkaline series, they are formed in the stress environment of weak extension and controlled dually by NE and NW-trending tectonics but mainly by NE-trending tectonics.

The Cenozoic volcanic series includes 2 cycles. The volcanic rocks of the first cycle (E-N) may be divided into 5 types, i. e., ultrabasic rocks, basic rocks, alkaline-medium rocks, alkaline rocks and acidic rocks. Their distributions are controlled by NE, NW and EW-trending faults. The volcanic rocks of the second cycle (Q) are limited only in Leizhou—Hainan and Taiwan regions, which may be divided into ultrabasic and basic types. Their occurrences are directly related to the activities of plate tectonics.

Key words volcanic rock volcanic-intrusive complex volcanic cycle volcanic series Mesozoic-Cenozoic tectonomagmatic activity region southeast coast

· 书讯 ·

中国东南大陆火山地质及矿产

陆志刚 陶奎元 谢家莹 等著 地质出版社 1997.2
谢宾克 王文斌 陈鹤年

该专著对中国东南大陆陆缘板内火山作用进行了详细解析,详尽论述了:裂解—增生特征;火山活动叠置在不同基底构造单元之上;基底构造和建造的差异导致岩浆作用具分区性;区域古火山构造显示线形与环形交织的格局;距今 175—75Ma 期间的火山—侵入活动呈现平行及垂直于火山岩带而递变、收缩的时空双向迁移;火山岩系早期为高钾钙碱性系列的英安岩—流纹岩组合,晚期为钾质玄武岩—流纹岩双峰式火山岩组合;岩浆起源于中下地壳,存在高位岩浆房分异;岩浆作用的动力机制归结为地幔上涌、地壳减薄及伴随剪切断裂体系的张陷作用引发大规模火山—侵入活动;本区金属、非金属矿床定位与成因类型受基底构造、火山构造、岩浆活动的分区性所制约。本区火山岩带具陆缘与板内过渡性、陆上断陷—剪切拉张型火山岩带的特性。

该专著是 250 余位科技工作者 5 年辛勤劳动的成果,资料丰富,理论与实践并重,可供地质勘查、科研、教学工作者参考、借鉴。