



中国东南大陆 中生代火山地质及火山-侵入杂岩

谢家荣 陶铸元 等著

P
306
141
22

地质出版社

D204109

中华人民共和国地质矿产部

地 质 专 报

三 岩石 矿物 地球化学 第22号

中国东南大陆中生代 火山地质及火山-侵入杂岩

谢家莹 陶奎元 尹家衡 毛建仁
南京地质矿产研究所：谢芳贵 阮宏宏 黄光昭 薛怀民
郑济林 沈加林

福建省地质矿产局：冯家骥

浙江省地质矿产厅：俞云文

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书根据构造-岩浆作用时空演化特征将中国东南大陆中生代火山岩带分成4个构造岩浆活动区；火山活动及其产物分为早晚两期、上下两个火山岩系、4个火山活动旋回；总结了区域火山活动规律；根据岩浆作用产物特征，划分出12种岩相类型，建立了6个岩相模式；根据火山构造基本类型及时空组合形式，提出了火山构造三级分类，编制了全区1:100万火山岩相构造图；以火山构造为单元建立基准剖面，按火山地层-岩相-岩石-地球化学一体化研究思路，详细阐述了火山-侵入杂岩的特征、演化和火山岩与侵入岩时序、成因关系以及区域岩石同位素地球化学特征及时空演化规律，探讨了岩浆作用的4种母岩浆性质、起源、演化及岩浆岩成分梯度和类型，分析了岩浆作用的构造环境和动力学机制，建立了岩浆作用动力学模式；总结了构造-岩浆活动区——火山旋回的矿产赋存规律，火山作用与成矿的关系，建立了火山成矿作用配置模式，指出了找矿方向。

本书以大量第一手资料为基础，从本区火山地质的实际出发，并与国内外典型火山岩区进行了对比，提出了新见解，具有较高科学理论和实用价值，可供有关专业的教学、科研、生产人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中华人民共和国地质矿产部地质专报 三：岩石矿物地球化学 第22号：中国东南大陆中生代火山地质及火山-侵入杂岩/谢家莹等著.-北京：地质出版社，1996.9

ISBN 7-116-02134-5

I. 中… I. 谢… III. ①地质学-研究报告-中国②中生代-古火山-地质构造-研究-中国③火山岩：侵入岩-研究-中国 IV. P5-55

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 05831 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑：刘建三 郝梓国

*

中国地质科学院 562 印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092 1/16 印张：18 插页：1 字数：441000

1996 年 9 月北京第一版·1996 年 9 月北京第一次印刷

印数：1—400 册 定价：35.00 元

ISBN 7-116-02134-5
P·1603

前 言

中国东南大陆中生代火山-侵入杂岩带分布于浙江、福建、广东三省以及江西省的东部，总面积约 44 万 km^2 ，构造位置上属西太平洋构造-岩浆成矿带的重要组成部分，历来为中外地质工作者所关注。我国老一辈地质工作者如刘季辰、赵亚曾等于 20 年代就对浙江西部中生代火山地层进行过调查；何作霖、叶良辅、舒文博、朱庭祐、吴磊伯、李铭德等先后对浙江中生代火山沉积岩系进行过调查；李学清（1927）对广东三水火山岩进行过研究；30 年代初期，侯德封、王曰伦、王恒升、李春昱、张兆瑾等曾对福建火山岩进行过研究，并创造了“兜岭火山岩”（白垩纪）。总的看，新中国建立前的地质工作是零星的，大都着重于火山地层学研究；新中国建立后的 40 年来，浙江、福建、广东三省地质矿产局以及江西省地质矿产局在本区做了大量的地质工作，现已完成了全区 1:20 万区调工作，并在有找矿远景区段，进行了 1:5 万填图，找到了许多矿产，各省地质志亦已相继完成，总结了几十年来地质工作成果，编制了不同比例尺的地质图、构造图、矿产图等，这些成果为在本区进一步深入研究奠定了良好的基础。同时，还有许多科研单位、学者、大专院校在本区进行过地质调研工作。“六五”期间（1980—1985）南京地质矿产研究所在相继完成了长江中下游地区的庐枞、宁芜、溧水等中生代火山岩盆地研究后，又对本区中生代火山地质及矿产进行研究，并做了初步的系统总结，对本区中生代火山地质及矿产的一些基本地质问题提出了看法。南京大学地质系对浙江火山岩、福建晶洞花岗岩等做了大量的研究工作。李春昱等（1961）对浙闽中生代火山沉积岩系的研究，吴利仁等（1984）对华东及邻区中、新生代火山岩的研究，许琦、王文校等分别对浙江、广东火山岩的研究，丛柏林、张德全等对本区火山岩岩石化学的研究，孙善平、罗正华、包永年、李强、刘昌实、孙肅、吴磊伯、朱白朗等对区内某一地区的火山岩的研究，施实、胡光华、王东方、李坤英、黄辉、徐步台等对本区火山岩同位素研究等等，都从不同的角度对本区火山地质、火山-侵入杂岩、同位素、火山地层以及金属、非金属矿产等进行研究，提出了不同的看法，促进了本区火山地质及矿产研究工作的深入和提高。但从火山作用、火山地质特点出发，进行区域性的综合研究不够，就区内某些重要的共同性基础地质问题，如火山活动旋回划分及其时代归属，火山构造分类与命名等尚不统一；火山岩相，岩类学研究，火山岩与侵入岩时序，成因联系研究，区域火山构造格局及其控矿、容矿性研究，火山活动的时空迁移演化规律，区域火山岩系列、组合特征及其时空演化，双峰式火山岩，火山侵入作用与区域成矿作用的关系，母岩浆的类型起源与演化形成的构造环境及其动力学机制等等，都是薄弱环节。这些问题的解决，直接关系到区内成矿规律的研究，也是整体性提高中国东南大陆中生代火山地质、火山-侵入杂岩研究水平，并与其所处太平洋西岸重要地质构造位置相适应的关键。所以地质矿产部将本区列为“七五”期间全国普查找矿的重要地区之一，设置了“中国东南大陆中生代火山地质及矿产研究”项目。本课题属该项目中的一个二级课题，由南京地质矿产研究所负责，浙江省地矿厅区调队、五队、十一队，福建省地矿局区调队、物探队，广东省地矿局区调队，中国地质大学，南京大学地球科学系，浙江大学地球科学系，西安

地质矿产研究所等 11 个科研、教学、生产单位参加共同完成的。研究中采用了遥感、物探、地质等手段联合攻关，点面结合，以点带面，选择了浙江括苍山巨形环状火山构造、芙蓉山破火山、山门沉积火山洼地、北雁荡破火山、青田岩体、桐庐火山构造洼地和寿昌火山构造洼地（岩浆包裹体研究），福建德化-永泰火山构造洼地、和平-安溪地区、鼓山岩体、长泰岩体；粤东地区的惠东-潮安地区、海丰-陆丰地区、揭西官草湖地区等以及葫芦田、馒头山、西坑等岩体，共计 10 多个片（点）、几十个岩体、20 多个火山机构，进行了深入剖析研究；面上采用重点调查与收集资料、综合分析相结合，同时配以全区性的生物地层、同位素年代学以及卫星照片镶嵌图（MSS）区域遥感地质解释等研究。

研究区为大面积火山岩分布区，而火山岩的时空分布受火山机构的制约，所以火山机构是火山岩区最基本的构造单元，它们组成不同类型和级别的火山构造，乃至火山喷发区（带），并与区域线型构造组合成火山岩区所特有的线环构造格局。所以，只有选择火山构造剖析研究，才能厘定火山地层层序，查清岩浆作用产物特征及时空分布格局，推演火山活动的演化历史，建立演化模式，恢复古火山面貌。这是本次研究工作所采取的基本工作途径。具体工作方法是对选择的火山机构填制火山岩相构造图，建立以火山机构为单元的基准剖面，厘定火山地层层序及其与侵入岩的时序关系，划分岩相类型、组合，采集系统配套测试分析样品，对火山地层-岩相、岩相-地球化学等进行一体化研究，并赋予它们在火山机构发展演化中的时空位置，同时配合遥感、物探等方法，以揭示环形构造、线型构造、深部构造等与火山机构的成因联系。4 年研究工作的实践证明，这种教学、科研、生产三结合的组织形式，遥感、物探与火山地质相配合剖析火山机构的工作途径、方法是行之有效的。4 年来，着重研究了如下几方面的问题：

1. 分析了火山岩系基底地质、构造特征及其对火山活动的控制作用，根据区域构造岩浆作用的共性和差异性特点，将全区划分为 4 个构造-岩浆活动区。

2. 在肯定或重新厘定某些火山地层层序基础上，根据构造-岩浆作用特点及火山活动旋回综合划分原则，将全区中生代火山活动分为早、晚两期，火山产物分为上、下两个火山岩系，4 个火山活动旋回；总结了各旋回特征，进行了区域性综合对比；阐明了区域火山活动时空迁移演化基本规律，提出了时代归属意见。

3. 从岩浆作用产物的特征入手，借鉴近几年来国外有关火山岩相研究的新成就，根据本区陆相火山岩的实际情况所确立的岩相划分原则，将全区岩浆作用的产物划分为 12 种岩相类型，详细研究了各类型的岩相-岩石学特征及其变化规律，建立了 6 个相模式，讨论了火山岩相与火山喷发类型的成因机制，总结了区域火山岩相的时空分布特点。

4. 以火山地质为基础，采用遥感、物探配合，深入剖析了 20 多个火山机构，进行了全区 1:100 万卫星照片镶嵌图（MSS）的地质解释，编制了全区 1:100 万火山岩相构造图，总结了火山构造基本类型、组合类型及其时空分布，提出了火山构造三级分类方案，分析了区内线状、环状构造特征，讨论了区域火山活动演化历史。

5. 以丰富的实际资料为基础，确定了火山岩系列、组合、岩石类型以及双峰式火山岩及其基性端员玄武岩岩石类型；总结了它们的岩石化学、地球化学特征及其时空演化规律，并与有关典型火山岩区的地球化学特点、形成构造环境作了对比分析，认为本区构造岩浆成因属“陆边板内”型高钾钙碱性酸性系列火山岩。

6. 把火山岩与侵入岩作为岩浆作用产物整体统一研究，根据侵入岩与火山岩的时序关

系,将本区中生代构造-岩浆作用分为3个阶段,相应形成三套侵入岩、两期火山侵入杂岩;详细研究了侵入岩的岩石类型、演化序次、成因类型、地球化学特征及其与火山岩的时空成因联系,研究了I型花岗岩类的包体特征、类型及成因。

7.总结了全区火山-侵入杂岩的Sr、Nd、O等同位素组成的时、空变化规律,探讨了岩浆源区性质及时空变化特征。

8.根据岩石、矿物、地球化学、同位素资料,探讨了本区岩浆作用的4种母岩浆性质、起源;研究了岩浆房分带及物理化学条件;根据火山侵入岩的地球化学参数,采用多种判别图解,结合区域地质特征,讨论了区域岩浆作用的构造环境及其形成的动力学机制;建立了岩浆作用的动力学模式。

9.研究了火山-侵入作用-火山构造与矿产之间的时空关系,建立了火山成矿作用配置模式,并结合大量成矿元素分析资料,总结了岩浆演化与成矿元素丰度之间的关系、同岩石的Au、Ag、B含矿性、旋回与矿产的时空关系,提出了找矿方向。

本书研究的重点是晚中生代(J_3-K)火山-侵入岩,它是组成中国东南大陆中生代火山岩带的主体。早中生代(T_2-J_2)火山-侵入岩分布范围有限,且属海陆交互环境下堆积产物,故本书未做重点讨论。

全书分前言和正文10章,约40万字。章节编写分工:前言,谢家莹;第一章,火山活动的地质背景与构造岩浆活动分区,陶奎元、谢家莹;第二章,火山活动旋回,尹家衡D区,俞云文A₁亚区,冯宗帜A₂亚区、C区,阮宏宏B区;第三章,火山岩相-岩石学特征与相模式,谢家莹、黄光昭;第四章,火山构造,尹家衡、阮宏宏、冯宗帜、俞云文;第五章,火山岩系列与地球化学特征,谢芳贵;第六章,侵入岩及其与火山岩的时、序成因联系,毛建仁;第七章,区域岩石同位素地球化学,薛怀民、沈加林;第八章,岩浆作用及其动力学模式,薛怀民、郑济林;第九章,火山作用与成矿,阮宏宏、谢家莹;第十章,结论,谢家莹、陶奎元,毛建仁协助对第八章第三节作了修改补充、全稿由谢家莹整编定稿,周珣若教授、陶奎元研究员作了详细审阅修正。

在本课题研究、报告编写、成书过程中得到南京地质矿产研究所科技处,“中国东南大陆中生代火山地质及矿产研究”项目领导小组陆志刚、陶奎元、吴岩、巫怀仁同志和三省地质矿产局及所属有关地质大队的大力支持。本项目还得到技术顾问张炳焱教授、李文达教授以及课题技术指导周珣若教授的指导,和兄弟课题组、专题组的帮助。课题的各项分析、测试、磨片、绘图、照相等工作,承蒙南京地质矿产研究所实验室、磨片室、绘图组、照相室,中国地质大学,北京高能物理所,华东冶金勘探公司等单位的大力协助完成,出版图件由庞文吉工程师清绘,项目数据库赵曙良同志给予了帮助,王美星同志在1986—1987年作为课题组成员帮助收集了资料。谨此一并致以深切的感谢。

目 录

前 言

第一章 火山活动的地质背景与构造-岩浆活动分区	1
第一节 中国东南大陆在西太平洋地质构造中的位置	1
第二节 地球物理场和中深部构造环境	3
第三节 中生代构造-岩浆活动分区	4
第二章 火山活动旋回	7
第一节 火山活动旋回的划分	7
第二节 浙东、闽东构造-岩浆活动区 (A 区)	9
第三节 浙西、赣东北构造-岩浆活动区 (B 区)	18
第四节 闽西、赣东构造-岩浆活动区 (C 区)	21
第五节 粤东、赣南构造-岩浆活动区 (D 区)	26
第六节 火山活动旋回区域对比及时代归属	32
第三章 火山岩相-岩石学特征与相模式	40
第一节 岩相及其类型划分	40
第二节 火山-侵入杂岩分类与命名	40
第三节 火山岩岩石类型	41
第四节 岩相-岩石学特征与相模式	44
第五节 火山岩相时空分布特征	67
第六节 岩相-岩石学研究中提出的问题	69
第四章 火山构造	72
第一节 火山构造类型及分类	72
第二节 Ⅲ级火山构造——火山机构类型及其特征	73
第三节 Ⅱ级火山构造——火山机构组合体类型及特征	78
第四节 I级火山构造——火山机构组合群体及其特征	84
第五节 区域火山构造基本特征	87
第五章 火山岩系列与地球化学特征	93
第一节 火山岩系列、组合	93
第二节 各旋回火山岩地球化学特征	98
第三节 区域地球化学时空演化规律	126
第四节 与环太平洋某些火山岩带的对比	129
第六章 侵入岩及其与火山岩的时空成因联系	137
第一节 侵入岩与火山岩的时序划分及空间分布	137
第二节 侵入岩的地球化学特征	145
第三节 侵入岩与火山岩的时空成因联系	166
第七章 区域岩石同位素地球化学	175
第一节 同位素的基本特征及时空变异	175

第二节	可能的岩浆源区及其同位素特征·····	186
第三节	酸性岩浆的形成与地壳成分的关系·····	188
第八章	岩浆作用及其动力学模式·····	193
第一节	岩浆成因·····	193
第二节	岩浆的分异与演化·····	204
第三节	岩浆作用的构造环境·····	219
第四节	岩浆作用的动力学模式·····	227
第九章	火山作用与成矿·····	230
第一节	矿床、矿点（化）与火山活动旋回的空间关系·····	230
第二节	矿产与火山构造关系·····	231
第三节	火山机构发展演化阶段成矿作用及矿产空间配置模式·····	236
第四节	找矿方向·····	237
第十章	结论·····	240
参考文献 ·····		254
照片及其说明 ·····		257
英文摘要 ·····		269

CONTENTS

Intruduction

Chapter 1 Geological setting of volcanic activities and zonation of tectono-

magmatic activities 1

1. Geological tectonic setting of Southeast China continent in West
circum-Pacific region 1
2. Geon and medium-deep tectonic environment 3
3. Zonation of Mesozoic tectonomagmatic activities 4

Chapter 2 Volcanic activity cycles 7

1. Division of volcanic activity cycles 7
2. East Zhejiang-East Fujian tectonomagmatic activity region 9
3. West Zhejiang-Northeast Jiangxi tectonomagmatic activity region 18
4. West Fujian-East Jiangxi tectonomagmatic activity region 21
5. East Guangdong-South Jiangxi tectonomagmatic activity region 26
6. Regional correlation and time attribution of volcanic activity cycles 32

Chapter 3 Facies-petrologic characters and facies models of volcanic rocks 40

1. Division of facies and types 40
2. Classification and nomenclature of volcanic-intrusive complexes 40
3. Rock types of volcanic rocks 41
4. Facies-petrologic characters and facies models 44
5. Time-space distribution characters of faciess of volcanic rocks 67
6. Problem on facies-petrologic study 69

Chapter 4 Volcanic structures 72

1. Classification of volcanic structures 72
2. III-order volcanic structures, types and characters of volcanic
apparatus 73
3. II-order volcanic structures, assemblage types and characters of
volcanic apparatus 78
4. I-order volcanic structures, assemblage groups and characters of
volcanic apparatus 84
5. Essential characters of regional volcanic structures 87

Chapter 5 Series and geochemical characters of volcanic rocks 93

1. Series and assemblages of volcanic rocks 93
2. Geochemical characters of volcanic rocks of different cycles 98
3. Essential regularity of time-space evolution of geochemistry 126
4. Correlation of volcanic rock belt of Southeast China continent with
that of other belts of circum-Pacific region 129

Chapter 6	Time-space and genetic relations of intrusive and volcanic rocks	137
1.	Time sequence and space distribution of intrusive and volcanic rocks	137
2.	Geochemical characters of intrusive rocks	145
3.	Time-space and genetic relations of intrusive and volcanic rocks	166
Chapter 7	Regional isotope geochemistry of volcanic and intrusive rocks	175
1.	Essential characters of isotope geochemistry and their time-space evolution	175
2.	Possible magma sources and their isotope geochemical characters	186
3.	Relationship of formation of acidic magmas to crustal materials	188
Chapter 8	Magmatism and dynamic model of magmatism	193
1.	Magma generation	193
2.	Differentiation and evolution of magmas	204
3.	Tectonic environment of magmas	219
4.	Dynamic model of magmatism	227
Chapter 9	Relationship of mineralization to volcanism	230
1.	Space relation of mineral deposits and mineral occurrences to volcanic activity cycles	230
2.	Relation of mineral resources to volcanic structures	231
3.	Mineralization in evolution stages of volcanic apparatus and their space disposition models	236
4.	Orientation of mineral prospecting	237
Chapter 10	Conclusions	240
References		254
Photos and their explanation		257
Abstract in English		269

第一章 火山活动的地质背景与构造- 岩浆活动分区

第一节 中国东南大陆在西太平洋地质构造中的位置

中国东南大陆包括浙江、福建、广东以及江西省的一部分，区内广泛分布的中生代火山岩，构成中国大陆东部乃至西太平洋亚洲大陆边缘极为醒目的中生代火山岩带。亚洲大陆边缘沿现今大陆与太平洋内海的界线，自北至南依次分布有4个主要火山岩带：(1) 鄂霍茨克-楚科奇；(2) 锡霍特-阿林；(3) 西南日本内带-南朝鲜；(4) 中国东南大陆沿海。综观这4个火山岩带具有一定的共性：(1) 它们都是大陆条件下的陆上火山岩带；(2) 从地质历史上看均为后地槽火山岩带；(3) 各火山岩带明显地受到区域性的北东—北东东向基底断裂控制，向内陆受到古构造活化的控制；(4) 它们分布在不同时代、不同性质的基底之上，横切古构造单元；(5) 火山岩成分总体上以英安岩、流纹岩为主或占较大比例，所以又被视为与岛弧火山带平行的亚洲大陆边缘“流纹岩链”。然而，上述各火山岩带虽有其共性，但它们在地球性构造中的位置、深部壳幔结构、基底性质与切割基底断裂的深度等的差异，必然导致各个火山带具有自身的独特性。

东南大陆沿海在西太平洋构造格局的位置，已有众多的、观点不一的论述：

D. Hide (1977) 认为本区处在库拉、法拉龙、特提斯扩张脊三联点上，经历了165Ma左右库拉板块向西俯冲，135Ma的向北加速俯冲，120Ma库拉太平洋脊俯冲和100Ma左右太平洋板块的俯冲，并提出俯冲热体制与方向、速度的改变导致中国乃至亚洲东部构造演化与岩浆活动的广泛性。

J. G. Liou, Shigenori Maruyama (1986) 在“二叠纪后亚洲演化”一文中重建250Ma以来不同时期的古地理图，提出(1) 亚洲大陆经历了晚二叠至早三叠碰撞造山运动，其中包括携带微大陆碰撞而固结形成亚洲大陆；(2) 侏罗纪至白垩纪科迪勒拉型造山运动，(3) 40Ma后印度与欧亚板块碰撞和亚洲大陆的破裂，在渐新世—中新世太平洋边缘弧后盆地张开。在180、130、90Ma的古地理图上亚洲大陆边缘火山岩带被分裂为“广泛岛弧岩浆作用”。

我国地质学家李春昱(1983)将本区列为华南及东南板块边缘“地槽褶皱带”。郭令智等认为西太平洋燕山期亚洲东部为活动大陆边缘，且与现代南美洲西海岸安第斯型大陆边缘相似，存在一个“海沟火山弧系”。燕山期太平洋俯冲带向大陆方向迁移，俯冲带位置相当于沿海40m等深线，中生代末到新生代是亚洲大陆边缘拉张、分离与岛弧的形成时期。

一种带有一定普遍性观点是中生代火山活动与板块俯冲有着直接联系，并与安第斯型大陆边缘火山岩类比而得出“东南大陆沿海火山岩与安第斯型钙碱性火山岩相似”，“俯冲速度快慢与火山活动强弱有对应关系”，“洋壳与上地幔部分熔融形成英安岩、流纹岩”等等的论述，作者认为将东太平洋安第斯与西太平洋中国东南大陆沿海进行类比时，评估对

应程度固然重要,但同样重要的是估价它们的差异程度以及所经历的地质历史特性。在类比时,一个十分重要的问题是:本区的火山岩系列与破坏性板块边界的安第斯型钙碱性火山岩能否等同?岩浆起源是否符合垂直俯冲,由洋壳与上地幔部分熔融而形成安山岩成因模式?

张之敏等和 Robert. G. Coleman 在“中国东部中、新生代时期构造作用”一文中对中国东部是否存在一个连续的俯冲带提出了不同的看法,张之敏等认为除那达海岭、台湾以东之外不存在作为增生褶皱带或增生楔的活动大陆边缘或俯冲带组合。中国东部盆地及伴随的火山活动,属于大陆板内大型张陷构造带。

我国地质学家朱夏(1983)在“中国东部中新代构造与含油盆地”一文中也曾指出,在中国大陆以东,日本、琉球、台湾到菲律宾存在一条华力西“镶边”,在泛大陆破裂之前,古太平洋大陆边缘并无俯冲作用。

马杏垣等认为中生代中国东部构造环境有重大变化,晚侏罗世到晚白垩世已进入大开裂时期,开裂的标志是大量酸性岩侵入和钙碱性火山岩的喷发,北东—北东东向地堑大部分置根于古生代褶皱带。

总之,对中国东南大陆构造背景有两种截然不同的观点:(1)活动大陆边缘安第斯型俯冲带;(2)陆内裂陷或大陆板块内裂陷构造带。

作者认为下列几点可作为分析中国东南大陆(沿海)火山岩带需要考虑的大地构造背景:

1. 广义的扬子克拉通由南向北迁移,多数学者认为在古生代末最终与中朝克拉通碰撞,联合固结形成大陆性地壳。广义的扬子克拉通内以江山-绍兴构造带为边界,区分为下扬子与华夏亚板块或地块,本区 175Ma 开始的火山活动是在大陆联合固结之后发生的,它主要叠置在华夏亚板块之上,部分叠置在下扬子亚板块的南缘。

2. 大陆东部海域广泛存在华夏亚板块的基底是大陆构造的延伸。沿东海的黄泽山,大衢岛和灵峰一井存在古老的变质杂岩,海域具有与大陆相同的古老的東西向构造和中生代北东—北东东向构造叠加。日本本州岛、朝鲜半岛具有与东南大陆燕山运动相当的造山运动,属大陆性质,120—75Ma 火山活动亦为陆上火山岩。

3. 浙江、福建两省岩相古地理分析表明,现今东海海域中生代前曾存在一个巨大的陆源物质补给区。

4. 对照重建亚洲古地理图与不同时期的区域火山活动,在区域南段(广东)大约 175Ma 左右火山活动开始,主要表现为法拉龙板块以每年 20cm 高速向北移动;大约 130Ma 左右是遍及全区火山活动时期,主要表现为伊萨那基板块迅速向西北方向移动;大约 90Ma 左右是区域火山活动最晚期,太平洋板块向欧亚大陆北西方向俯冲,当时台湾处在聚合板块的边界。

5. 除 90Ma 左右在台湾证实有俯冲带岩石构造组合之外,中国东南大陆及其邻近海域内尚未证实俯冲带岩石构造组合,沿海长乐-南澳变质带,已证实不属于洋陆俯冲带。从地球物理资料来看 40m 等深线也不能证实为中生代俯冲带。在刘等重建的古地理图上(180Ma 和 130Ma)亚洲大陆东部边缘火山岩列为广泛岛弧岩浆作用是符合研究区火山岩实际情况的。

6. 与火山活动相伴随最特征的地质事件是形成一系列北东、北东东向断陷盆地。这些

盆地均经历了垂直运动与沉降作用。以这些盆地标志被描述为“开裂”“引张”或“张陷”。就火山岩组成盆地而言与美国西部盆岭山脉有类似之处。

第二节 地球物理场和中深部构造环境

浙江、福建、广东三省物探研究资料表明，区内火山岩系基底地质有如下特点：

1. 区域平均布格重力异常反映出沿海为近于平行的北东向重力梯级带，至南、北两端变为近东西向重力梯级带，其外侧为重力高异常带，内侧的中部（浙西南、闽西、粤北）为呈北东走向的似长方形重力低异常带，其中浙西南和粤北呈现东西向，而闽西呈现南北向，反映了深部地壳密度分布特征，经计算所得地壳厚度即上地幔顶界面深度变化：沿海为幔隆带，地壳被上拱变薄，其中浙江为 23km，福建 28km，广东 30—32km；莫霍面向内侧北西向倾斜而逐渐变深，地壳增厚，浙江为 27km，福建为 31km，形成沿海地壳薄，向北西内陆地壳增厚，就浙江省南北方向看，浙北地壳厚度为 28.5km，浙南地壳为 33km。地幔界面起伏、地壳厚度总体减薄可能是导致地壳构造运动和岩浆活动的原因之一。

2. 根据区域重、磁场特征综合分析，基底构造显示分区特点：广东地区早期东西向构造发育，而后转为北东向构造，组成广东基底构造格架；浙闽以北东、北西以及东西向构造发育为特点，形成北东分带，北西分段的菱形断块状基底构造格架。

3. 从剩余布格重力异常及航磁异常分析，浙闽东部发现有 9 个巨形环状构造，内环重力低，外环重力高，航磁上延 1km，显示中心为负磁异常，周围为放射状或串珠状正磁异常，反映了巨型环状火山构造和深部沿火山通道侵入的巨型花岗岩基或岩浆库的存在。同时还发现沿海幔隆带有一隐伏基性岩带存在，它们可能是上部火山岩盆地喷发的玄武岩浆的根部。

4. 据重磁资料及永平工业爆破资料分析，地壳结构具有成层分布特征，其中闽东南及浙东沿海为 5 层结构：①火山沉积岩及花岗岩（4.39km）；②前震旦系变质岩及少量古生界地层（9.20km）；③低速层，可能是构造滑脱破碎带（2.76km）；④安山—玄武质岩层（6.99km）；⑤下地壳玄武质岩层（6.41km）。浙西和赣北地区为 4 层结构：①沉积岩（1.69—2.15km）；②花岗岩层（5.4km，浙西缺）、前震旦系变质岩和古生界沉积岩（5.59—15.9km，赣北缺古生界）；③安山玄武质岩层（11.88km，赣北缺）；④下地壳玄武质岩层（9.52—14.2km）。赣南和闽北区为 3 层结构：①沉积层（0.5—1.36km）；②上地壳由花岗岩组成（1.77—20.9km）；③下地壳为玄武质岩层（约 10km）。地壳结构不同，对区域构造-岩浆在空间上变异有一定的影响。

特别应指出的是大地电测深表明，沿海软流圈上涌，在泉州-长乐，地壳下部存在一个高速层， $V_p = 7.21\text{km/s}$ ， $H = 7\text{km}$ ，而上地幔顶部速度纵波速度偏小，由通常的 8.0—8.2km/s 降低到 7.85km/s，这种异常情况反映了地幔物质进入到下地壳，曾经发生过混合，有可能存在“壳幔过渡层垫”。

5. 中生代火山岩覆盖在不同时代基底地层之上，采用磁性块体项、底埋深之差计算火山岩厚约 2—3km，基底地层厚约 3—5km，变质杂岩呈孤岛状悬浮在花岗质岩层之上。

6. 综合遥感地质、物探资料以及区域构造资料，可以看出，环状火山构造叠置与线型构造交织所组成的线环构造格局是本区区域构造格局的重要特点。

第三节 中生代构造-岩浆活动分区

自印支运动后,本区发展成为一个统一的整体陆块,中生代燕山运动开始,本区又进入了一个崭新的地质发展阶段,发生了强烈的断块活动,原先断裂又继续活动,同时又产生了一些新的北东、北西向断裂,与此同时,发生了大规模火山喷发和岩浆侵入活动。火山岩覆盖在不同的基层构造单元和地层之上,火山活动在浙闽粤沿海最强烈,在余姚-丽水-政和-大埔-莲花山断裂以东,几乎掩盖了全部基底地层,向北西大陆内部逐渐减弱,火山岩沿北东向呈孤立盆地形式展布。侵入岩大面积出露,尤以粤东地区出露更广,构成举世瞩目的中国东南大陆中生代火山-侵入杂岩带。

中生代构造-岩浆活动是在不同的基底构造单元之上,受同一构造应力场作用发生发展的,因此,反映在岩石系列、组合、类型、地球化学特征等方面在区域范围内它们具有许多共性;但是,发生在 44 万 km² 面积范围内的火山活动,仍然存在着明显的不平衡性,主要在火山活动的时间、规模、强度、火山喷发方式、火山地层结构以及岩石化学、地球化学特征等方面存在差异,造成这些差异除构造环境、岩浆源区性质等内在因素之外,不同的基底构造背景亦是重要因素。因此,必须根据基底地质构造背景和火山侵入杂岩特征作进一步分区研究,以寻求岩浆作用及其产物时空演化规律。

对区内中生代岩浆作用具有分区控制作用的基底断裂为:

1. 江山-绍兴深断裂:这是一条自晋宁—加里东运动以来长期活动的深断裂,它不仅是下扬子亚板块与华夏亚板块两个一级构造单元的分界线,而且对浙江、江西北部中生代岩浆活动具有分区控制作用,使断裂两侧的火山活动具有明显的差异。

2. 政和-大埔断裂:位于武夷山隆起东缘,总体呈北东向至政和附近转为北北西向,明显地控制着福建省东西两区中生代岩浆活动,断裂西侧为武夷山隆起,火山岩出露面积少,呈孤立盆地形式沿北东向分布,侵入岩为一套 S 型花岗岩类;断裂以东,火山岩大面积出露,基底地层仅零星出露,沿断裂带有大量碎斑熔岩侵出,侵入岩则为第二套和第三套 I 型、A 型花岗岩类。

3. 大东山-贵东深断裂和武平-云霄深断裂:位于福建与广东两省交界的大东山、贵东、武平、云霄一线,总体东西向到武平转为北西向,使粤东与福建的岩浆活动具有明显的不同。

以上述 3 条基底深断裂为界,将中生代火山侵入活动划分为 4 个构造-岩浆活动区(图 1-1),各区主要特征对比见表 1-1。

1. 浙东闽东构造-岩浆活动区(简称 A 区):位于江山-绍兴深断裂和政和-大埔断裂以东地区,可进一步分为浙东亚区(A₁)和闽东亚区(A₂)。火山岩系基底由晋宁—加里东构造层,局部有陆台型沉积的海西—印支构造层,由于余姚-丽水断裂影响,断裂西侧抬升,在仙霞岭、会稽山一带出露了部分元古界变质岩,区域北东与北西向断裂对火山活动起控制作用,火山岩呈面型分布。

2. 浙西赣东北构造-岩浆活动区(简称 B 区):位于江山-绍兴深断裂北西侧的下场子亚板块南缘,火山岩系基底由晋宁—加里东和华力西—印支构造层组成,火山活动受北东向褶皱-断裂构造控制,火山岩沿北东向褶皱断裂构造所形成的 10 多个山间盆地或断陷盆地

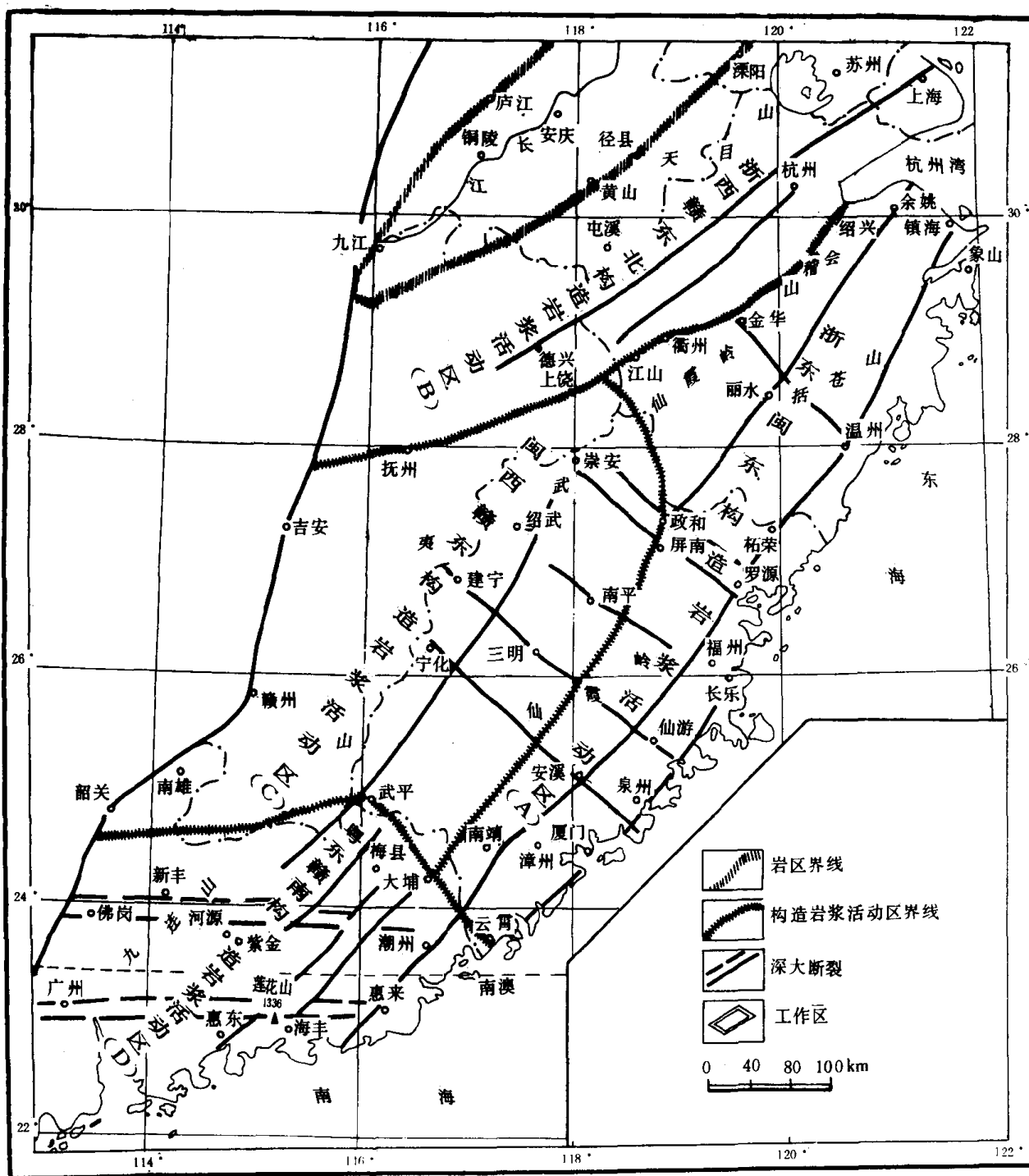


图 1-1 中生代构造-岩浆活动区

Fig. 1-1 Mesozoic tectonomagmatic active regions of Southeast China continent

内分布。

3. 闽西赣东构造-岩浆活动区 (简称 C 区): 位于江绍断裂以南、政和-大埔断裂以西地区, 相当于武夷山隆起及其边缘地区, 在隆起部位出露晋宁—加里东构造层, 其西及西部边缘除晋宁—加里东构造层外, 尚有海西—印支构造层, 中生代火山活动受北东向褶皱-断裂构造控制, 火山岩沿北东向褶皱-断裂构造所形成的 30 多个山间盆地或断陷盆地内分布。

4. 粤东赣南构造-岩浆活动区 (简称 D 区): 位于大东山-贵东深断裂和武平-云霄深断裂以南、广州-从化-连平一线以东地区, 火山岩系基底由晋宁—加里东构造层和海西—印支

表 1-1 构造-岩浆活动区主要特征对比表

Table 1-1 Correlation of characters of tectonomagmatic active regions

特 征 \ 区	B 区	C 区	A 区	D 区
大地构造单元	下扬子亚板块 晋宁期沉降拗陷带	华夏亚板块 武夷加里东变质隆起及赣南加里东褶皱带	华夏亚板块 燕山造山带	华夏亚板块 印支被动大陆边缘
火山岩系基底构造层	晋宁—加里东 海西—印支	晋宁—加里东 海西—印支	晋宁—加里东 局部有陆台型沉积的海西—印支	晋宁—加里东 海西—印支
地壳结构及厚度	4 层结构相对厚些	3 层结构相对厚些	5 层结构 23—28km	3 层结构 (赣南) 30—32km
火山岩系下伏最新基底地层	中侏罗统: 渔尖山组 马洞组	中侏罗统: 漳平群	中侏罗统: 毛弄组或漳平群	中侏罗统: 漳平群或西岭组
控岩构造	北东向褶皱-断裂	北东向褶皱-断裂	北东—北北东 北西	北东—北北东 北西、东西 (初期)
火山岩系厚度	2752m	6172m	5636m	3910m
火山岩分布及面积	0.8505 万 km ² , 呈孤立盆地沿北东向展布	1.156 万 km ² , 呈孤立盆地沿北东向展布	11.4 万 km ² , 大面积面型分布, 占基层面积 90%	0.985km ² , 孤立盆地面型分布
火山活动旋回	I、II、III	I、II、III	I、II、III、IV	I、II、III、IV
火山地层结构	沉积型 喷发沉积型	沉积型 喷发沉积型	火山型 喷发沉积型	火山型 喷发沉积型
主要岩相类型	喷溢相 火山碎屑流相	喷发沉积相 爆溢相	火山碎屑流相 爆溢相	火山碎屑流相, 喷溢相, 基底涌流相
火山构造	S 型火山构造洼地	S 型火山构造洼地	巨形环状火山构造, 破火山, S 型、V 型火山构造洼地	V 型和 S 型火山构造洼地
侵入岩成因类型	S、I	S、S→I	I、I→S、A	I、I→S、A
同位素年龄区间	145—110Ma	158—97Ma	155—78Ma	170—86Ma
Sr 初始比值	0.704—0.7083	0.708—0.714	0.707—0.715	0.7057—0.7145
Nd 初始比值	0.512418—0.512463	0.511841—0.512071	0.511951—0.512370	0.511982—0.512013
主要矿产	Cu、Au、Ag, 膨润土	Cu-Au、Pb、Zn、Ag	Ag、Zn、Pb、Mo 绝大部分金属, 非金属	Sn (W)、Ag、Au, 稀土

构造层组成。印支运动后, 粤东地区在原晚古拗陷边缘部位仍保留海域环境, 继续形成晚三叠—早侏罗世海相、海陆交互相沉积的小坪组 (T₃) 和金鸡群 (J₁), 北界可能延至福建和平、甚至漳平一带, 在金鸡群内夹有中酸性火山碎屑岩和拉斑玄武岩层。从晚侏罗纪开始的中生代火山活动明显受东西与北东向基底深断裂控制, 火山岩分布总的看, 在北东走向的莲花山断裂带以东地区分布较广, 以西则以盆地形式分布。

燕山运动后, 总体构造格架已基本形成, 本区处于相对稳定时期。喜马拉雅运动只表现为继承性断块运动, 早先的断裂构造重新活动并沿着活动的断裂带形成一些零星的小型火山喷发盆地, 主要是玄武岩喷发和小型基性岩侵入, 如浙江嵊县组玄武岩、福建佛昙群玄武岩、广东第三纪玄武岩等。同时, 由于断块运动的差异性, 形成了现今的阶地地貌, 以及伴随产生的地震活动和热泉活动。

第二章 火山活动旋回

第一节 火山活动旋回的划分

火山活动旋回是指火山岩浆作用某一阶段的产物特征及分布格局的总和，它含有火山活动过程中形成的各种产物及火山构造的双重概念。划分火山活动旋回必须考虑以下基本准则：

1. 火山岩浆作用是在一定的区域构造发展阶段和环境中以不同的方式进行的。
2. 同一火山活动旋回，虽可有多次喷发，但火山活动基本连续。不同旋回之间因火山活动停息而形成的区域性沉积事件、不整合面、不同的古生物组合、同位素地质年龄等表现出间断性和时差性的特征。
3. 同一火山活动旋回的火山产物，如岩石类型、岩相及组合、岩石化学和地球化学特征及演化趋势，潜火山岩、侵入岩及矿产等，均有自身的独特性，空间分布上受同期火山构造制约。
4. 一个火山活动旋回有其自身的火山构造。同旋回火山构造是并列的，相邻火山机构的火山活动产物常呈并列镶嵌关系，不同旋回火山构造则表现为上叠式切割叠置或继承式套叠关系。

一个火山活动旋回从发生、发展到结束的演化过程中，由于不同火山机构以及同一火山机构的不同发展阶段的喷发能量不同，其火山喷发方式、喷发强度、岩相、地层结构、火山构造类型等均可具有一定的差异性，但是由于同一火山活动旋回是处于同期的构造环境中，故具有许多相似性和可比性。

研究区中生代火山活动始于中生代早期，然布，中侏罗世及其以前，均为局部的小规模火山活动。大规模火山活动是从晚侏罗纪开始的，到白垩纪结束。本书主要研究对象是中生代晚侏罗世—白垩纪的火山活动，故旋回划分亦与此相对应。

在研究区 44 万 km^2 面积内，晚侏罗世及白垩纪火山岩系地层分布总面积为 144000 km^2 ，总厚约 5079.6m，同位素地质年龄时限为 170—78Ma，火山岩系内所含古生物组合包括有：建德生物群（或寿昌生物群或磨石山生物群），时代为晚侏罗世，永康生物群（或馆头生物群）及衢江生物群（或天台生物群），时代为白垩纪。通过各重点片对典型火山机构剖析研究，并结合前人研究成果，根据上述火山活动旋回划分基本准则，将区域火山活动分为早、晚两期，火山产物分为上、下两个火山岩系、4 个火山活动旋回（表 2-1）。

早期火山活动时代主要为晚侏罗世，形成的火山产物称下火山岩系，总厚 2755m。主要为一套高钾钙碱性酸性系列的安山岩-英安岩-流纹岩组合（局部地区出现少量玄武岩），代表区域由挤压转为松弛应力环境下的产物，包括 I、II 两个火山活动旋回。与第 I 旋回相当的火山地层：浙东为大爽组、高坞组，浙西为劳村组、黄尖山组；福建为长林组、南园组；江西为打鼓顶组、鹅湖岭组（菖蒲组）；粤东为高基坪群下亚群。与第 II 旋回相当的火山岩系地层：浙东为西山头组、茶湾组、九里坪组；浙西为寿昌组；福建为小溪组（板