

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 1 辑

地质出版社

中国东南沿海火山地质 与矿产论文集

第 1 辑

主编	陆志刚	陶奎元
编委	李文达	李兆华
	彭维增	吴 岩
	毛建仁	郑际林
	薛怀民	

地 质 出 版 社

(京)新登字 085 号

内 容 简 介

本书是地质矿产部“七五”重点科技攻关项目《中国东南部火山地质与矿产》的三级课题的研究成果,共汇集论文 46 篇(上册 23 篇,下册 23 篇)。本书内容广泛,涉及对中国东南部火山地质、基底构造、金属矿产、非金属矿产等方面进行的理论研究和方法研究,基本上反映了近几年来中国东南大陆火山地质与矿产研究的新进展、新成果,具有一定的理论及实践意义。

本书可供从事地质工作的生产、教学和科研人员参考。

中国东南沿海火山地质与矿产论文集

第 1 辑

主编 陆志刚 陶奎元
编委 李文达 李兆华
彭维增 吴 岩
毛建仁 郑际林
薛怀民

*
责任编辑:白 铁

地质出版社出版发行
(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷
(北京海淀区学院路 29 号)
新华书店总店科技发行所经销



*
开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 16.75 铜版图: 2 页 字数: 395000

1992年12月北京第一版·1992年12月北京第一次印刷

印数: 1—600 册 定价: 11.30 元

ISBN 7-116-01125-0/P·947

序

中国东南沿海地区是重要的中生代陆相火山岩发育的地带之一。它对我国以至东亚的大陆地壳发育史和成矿特点的研究,以及对找矿实践都具有重要的意义。

陆相火山岩的岩性特征、层序和岩相的鉴定,喷发机制和火山构造的可能与恢复重建,不同地段的火山岩系之间的对比和时代的划分等,都是比较复杂和困难的问题,加上我国东南沿海一带中生代火山活动前的大地构造背景、喷发期间各地区的基底构造特点、同时期的火山岩与侵入岩浆之间的关系以及火山活动期间及其后的构造变动也都比较复杂,这些就构成了这一个火山岩带的特殊性。如果对这些情况没有较多的研究和深入的了解,对于进一步探讨大地构造发展过程、岩浆来源及演化、矿产形成的地质背景和分布规律、开辟矿产资源新领域以及和国内外类似时代和地质环境的火山岩区作对比等较高层次的理论问题探讨就缺少必要的实际资料和符合实际的新思路。

本文集汇编的46篇论文包括了地矿部“七五”重点科技攻关项目《中国东南部火山地质与矿产》的三级专题研究成果的大部分,反映了由南京地质矿产研究所负责组织的地勘、科研、教学等11个部门250多位科技工作者们,在前人工作成果的基础上,经过辛勤劳动所取得的新成绩;在火山地质、基底构造、金属矿产和非金属矿产等方面提出了不少新发现的事实、新的思路,进行了新的综合对比与理论探讨。这无疑地把中国东南沿海中生代陆相火山岩的研究向前推进了一步。

科学研究并无止境,认识自然是一个不断深入的过程,理论需要在争鸣中发展。希望能在“八五”期间及其以后,我国东南沿海的中生代火山岩地质及矿产的继续研究不断取得新进展,为我国地质科学迈向世界先进地位,为开辟我国矿产资源的前景,作出更大的贡献。

张炳熹

一九九一年三月

前 言

1986年,南京地质矿产研究所接受了地质矿产部“七五”重点科技攻关项目“中国东南沿海火山地质与矿产”的科研任务后,组织浙、闽、粤三省地质矿产局、中国地质科学院有关研究所以及有关地质院校等11个部门共250余名科技人员,围绕项目总任务,密切配合地质矿产部“东南沿海重点片”的地质找矿工作,实施了地质勘查、教学和科研三结合的联合攻关。项目历时5年,各专题按计划圆满完成研究任务,提交研究报告共56份。

1990年4月,在地质矿产部科技司及地科院主持下,由七省地矿局及四所高等院校的专家组成的评审委员会对三级专题报告进行了评审验收,充分肯定了所取得的丰硕成果并给予了较高评价。

这些报告积累的丰富资料无疑是二级课题报告及项目总报告的坚实基础。然而,由于种种原因,它们不可能在课题报告及总报告中被全面反映。为了使这一批由各专题组付出辛勤劳动而获得的成果及时推广和有助于学术交流,项目组织了部分专题组的专家学者,按所完成的科研工作撰写专题论文,并在此基础上整理汇编成论文集。第一批论文以南京地质矿产研究所所刊形式已经公开出版,这一批包括45篇论文,按其内容分为四组:①火山地质;②基底构造地质;③金属矿产;④非金属矿产。这批论文分成两卷出版,本卷为其中的第一组和第二组论文。

在第一组论文中,作者们运用火山活动旋回、岩相与火山构造一体化的研究思路,在火山构造范围内建立基准剖面并作系统年代学研究,运用综合性标志对组成各火山构造的地层作区域对比,提出了相对合理的全区性火山喷发-侵入作用时间表;采用遥感技术及在重点地区进行火山构造-岩相制图,并结合地球物理及地球化学方法,阐明全区古火山总貌与火山构造格局及各类火山构造的控矿意义;确定了全区火山岩系列早期为高钾钙碱性系列并具向酸性系列过渡的特征及晚期以玄武岩-流纹岩双峰式火山岩为特色并具向碱性系列过渡的特征,并称之为“中国东南大陆型钙碱性系列”(它与岛弧钙碱性系列构成两个端员,而活动大陆边缘的安第斯型钙碱性系列为其中间类型)。第二组论文通过对基底变质杂岩、断裂变质带的研究,结合地球物理研究,讨论了中国东南大陆(沿海)火山带的基底构造格局与中深部构造背景;对区内重要断裂变质带的详细研究中,弄清了原岩时代、断裂性质、变质带类型与发育历史。第三组论文集中论述分布于浙、闽、粤火山岩区的,与火山-侵入杂岩及基底变质岩有关的不同成因类型的Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sn等矿床的地质特征和成矿控制因素。第四组论文反映本区占优势的与酸性火山玻璃岩及次生石英岩有关的高岭土、沸石、膨润土、叶腊石等非金属矿床的地质特征及某些非金属矿的开发应用情况和其应用前景。总之,可以认为此论文集在一定程度上是本区系统性地质科研成果的一个缩影。

本论文集是在“中国东南沿海火山地质与矿产”项目的资助下,在地质出版社的支持下,在张炳熹教授的鼓励下才得以公开出版。论文集由项目负责人陆志刚、陶奎元主编,

参加编审工作的有李文达、李兆华、彭维震、吴岩、毛建仁、郑际林、薛怀民，倪若水、王文斌、谢寡克、张智亮审阅了部分论文；图件清绘工作由臧玉英、庞文吉完成。由于编撰时间短促，难免有遗漏、错误之处，敬请读者批评指正。

目 录

环太平洋中国东南大陆火山带独特性探讨.....	陶奎元 (1)
中国东南大陆中生代火山活动旋回及其控矿意义	尹家衡 阮宏宏 谢家莹 冯宗帜 俞云文 (14)
浙江括苍山地区 TM 磁带处理图像的火山地质信息特征研究	张福祥 赵元洪 丁跃民 陈 岚 (26)
福建省永泰一平和中生代火山机构的 TM 卫星影像特征与解译	樊 斌 吴建章 (35)
浙江芙蓉山破火山口构造特征及火山-侵入杂岩物质来源探讨	俞云文 韦东红 (44)
浙江山门火山洼地火山地质及其控矿作用.....	张崇良 (58)
浙江武义地区磨石山群、永康群火山岩的同位素年龄及其地质意义	韩文彬 张文育 黄文明 马承安 王玉荣 (72)
石牛山组的建立及其时代确定	冯宗帜 李进堂 许美辉 何文兴 黄水兴 王国金 (82)
粤东陆相晚中生代火山、沉积地层.....	丁保良 蓝善先 汪迎平 (92)
粤东中生代火山岩基底涌流相岩相岩石学特征.....	黄光昭 尹家衡 徐明华 (109)
中国东南沿海中生代火山碎屑流相特征与相模式	谢家莹 陶奎元 谢芳贵 阮宏宏 (121)
中国东南大陆中生代火山岩系列及其成分的时空变异趋势	谢芳贵 谢家莹 陶奎元 赵曙良 (132)
中国东南大陆中生代火山岩中的成分梯度	薛怀民 陶奎元 郑济林 谢家莹 (145)
中国东南大陆中生代火山侵入杂岩的成因	毛建仁 苏郁香 陈三元 程启芬 (155)
岩浆岩岩石学数据库管理与信息分析系统.....	赵曙良 谢芳贵 (169)
扩张-裂解的中国东南及西太平洋区岩石圈构造	谢谔克 (177)
从地球物理场特征探讨福建火山岩的基底构造格局	许绳铭 蔡圣芬 陈雅云 (193)
长乐-南澳构造带变质构造岩显微构造与结构特征.....	郭坤一 (202)
平潭-南澳褶皱变质带的温压条件及时代研究.....	黄 辉 杨传夏 李荣安 (214)
莲花山断裂带的变形特征及构造演化.....	孔庆寿 谢佑才 (222)
中国东南部构造岩岩组特征和应力场初探.....	李声固 (233)
中国东南大陆中生代盆地及其张性盆地定量填充模式.....	商玉强 (245)
漳州 I-A 型花岗岩基岩石学特征及构造-岩浆演化	周珣若 吴克隆 严炳铨 陈安国 吴再团 (252)

CONTENTS

- Discussion on the uniquenesses of tectonomagmatism in the circumpacific
continental *Tao Kuiyuan* (1)
- The Mesozoic volcanic cycles and significances to ore-controllings in
the continent of the Southeast China
..... *Yin Jiaheng Ruan Honghong Xie Jiaying* (14)
..... *Feng Zongzhi Yu Yunwen*
- A study on features of volcanic geological information on the proces-
sed TM image of the Kuocang mountain area in Zhejiang province
..... *Zhang Fuxiang Zhao Yuan hong Ding Yueming Chen Lan* (26)
- Characteristics and interpretation of TM Satellitic image on the Meso-
zoic volcanic organs in Yongtai-Pinghe Fujian
..... *Fan bin Wu Jianzhang* (35)
- Approach to structural features and source materials of volcanic-
intrusive complexes in Furongshan caldera Zhejiang
..... *Yu Yunwen Wei Donghong* (44)
- Volcanic geology and ore-controlling of Shanmen volcanic deperssion
in Zhejiang..... *Zhang Chongliang* (58)
- The isotopic ages of volcanic rocks of Moshishan and Yongkang groups
in Wuyi county Zhejiang province
..... *Han Wenbin Zhang Wenyu Huang Wenming* (72)
..... *Ma Chengan Wang Yurong*
- Establishment of Shiniushan formation and confirmation of its age
..... *Feng Zongzhi Li Jintang Xu Meihui* (82)
..... *He Wengxing Huang Shuixing Wang Guojin*
- Late Mesozoic terrestrial volcano-sedimentary strata in eastern Gua-
ngdong..... *Ding Baoliany Lan Shanxian Wang Yingping* (92)
- Petrographic-petrologic characteristics of base-surge facies in Meso-
zoic volcanic rocks, eastern Guangdong
..... *Huang Guangzhao Yin Jia heng Xu Minghua* (109)
- The facies features and facies model of Mesozoic pyroclastic flows in
southeast coast of China
..... *Xie Jiaying Tao Kuiyuan Xie Fanggui Ruan Honghong* (121)
- Mesozoic volcanic series southeast China continent and their composi-
tion variation trend in time and space

-*Xie Fanggui Xie Jiaying Tao Kuiyuan Zhao Shuliang* (132)
The compositional gradient in the Mesozoic volcanic rocks in the
continent of southeast China
-*Xue Huaimin Tao Kuiyuan Zheng Jilin Xie Jiaying* (145)
Origin of the Mesozoic volcanic-intrusive complexes in southeast China
continent*Mao Jianren Su Yuxiang Chen Sanyuan Cheng Qifen* (155)
The function and use of the system of database management and
information analysis of the magma rocks
-*Zhao Shuliang Xie Fanggui* (169)
Spreading-breakup southeast China and west Pacific oceanic lithos-
phere*Xie Douke* (177)
Studies of Fujian volcanic basement structure framework with geo-
physical methods.....*Xu Shengming Cai Shengfen Chen Yayun* (193)
Microstructural and fabric features of metamorphic-tectonite, Changle-
Nanao tectonic zone.....*Guo Kunyi* (202)
The study of P/T condition and age of the Pingtan-Nanao folding
metamorphic zone.....*Huang Hui Yang Chuanxia Li Rongan* (214)
The deformation characteristics and structure evolution of Lianhuashan
fault zone.....*Kong Qingshou Xie Youcai* (222)
Discussion on characteristics of tectonic petrofabric and the tectonic
stress field in the southeast China.....*Li Shenggu* (233)
Mesozoic basins of southeast China continent and quantitative filling
model for extensional basins.....*Shang Yuqiang* (245)
The petrological characteristics and Tectonicmagmatic evolution of
Zhangzhou I-A type granitoid batholith
.....*Zhou Xunruo Wu Kelong Yang Bingquan* (252)
.....*Chen Anguo Wu Zaituan*

环太平洋中国东南大陆火山带独特性探讨

陶 奎 元

(南京地质矿产研究所)

本文所指的中国东南大陆沿海,包括浙江、福建、广东和江西四省。该区中生代火山岩沿海岸线呈 NE 向展布达 1100 余公里。这一火山带不仅是西太平洋亚洲大陆边缘火山带、构造-岩浆-成矿带的重要组成部分,而且在整个环太平洋中、新生代火山带中具独特性。国内外学者十分关注这一火山带的研究,对构造-岩浆作用发表了众多的假说。其中一种带有普遍性观点是中生代火山活动与板块俯冲有着直接联系,并与东太平洋安第斯型大陆边缘类比,得出了“东南沿海火山岩与安第斯型 CA 性岩相似”、“俯冲速度快慢与火山活动强弱有对应关系”、“由洋壳与上地幔部分熔融形成英安岩-流纹岩浆”。

作者认为,将东太平洋安第斯带与西太平洋中国东南大陆沿海火山带作类比,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各自经历地质历史的特性。在类比时,一个十分重要的问题是,对确定这样或那样观点的事实,即类似的具体内容作出澄清,肯定或否定。这些问题包括:火山活动深部与区域构造背景的关系如何?火山活动究竟在何种构造状态与应力环境下发生的?本区火山岩与安第斯型 CA 性岩套能否等同?岩浆起源是否符合由洋壳俯冲与上地幔部分熔融的安山岩成因模式?作者基于上述考虑,在文中根据地质矿产部东南沿海火山地质与矿产研究项目获得的有关新的资料,对上述问题试作阐述,以期探讨环太平洋中国东南大陆构造-岩浆作用的某些独特性和可能的岩浆作用动力学模式。

一、火山作用是在区域地幔隆起,地壳减薄,地幔亏损程度和地壳结构不均一的背景上发生的

中国大陆平均布格重力场表明,莫霍面等深线与地壳厚度由西向东减薄,东南沿海地壳厚度 28—31 km,而西部地区地壳厚度达 50—60 km。即使考虑到新生代时期地壳减薄已发生,那么扣除新生代时期减薄后,东南沿海在中生代时期地壳厚度也仅有 30—40 km。中国东南沿海与东北大兴安岭火山带平行于重力梯级带,即莫霍面变异带,这指示火山作用与地壳内部构造的关系。下列事实可能有助于讨论区域火山-岩浆作用。

1. 华南地幔普遍受到富含不相容元素及大阳离子亲石元素流体的交代作用,造成上地幔局部富集或亏损(路凤香,1986)。华南地幔 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 普遍高于 0.51290, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 小于 0.7040, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 高于 18.00。从南部雷州半岛、海南岛向北到华北、东北,由亏损、略亏损到似原始富集型(朱丙泉,1988)。广东地幔强烈亏损,相对地壳 Al、Si 成分和某些微量元素富集程度高,而浙东地幔则相对富集而接近原始地幔源。中生代火山岩与

基底变质杂岩的同位素地质研究显示地幔与地壳的不均一性。

2. 大地电测深表明, 软流圈上涌, 浙闽沿海上地幔顶部纵波速度偏小, 而下地壳纵波速度偏大 ($v_p=6.99-7.00$ km/s), 具有一个高速层 (16—23 km)。下地壳玄武质岩层与上地幔顶部曾发生过混合, 可能存在具壳幔过渡性质的异常“层垫”。

3. 浙闽沿海地壳结构与内陆 (江西、闽西、浙西) 是不同的。闽东、浙东下地壳厚度明显减薄, 约 6 km, 中、下地壳结构复杂, 在 12—16 km 存在低速层, 为构造脆弱带, 可能曾经为岩浆聚集带。而江西、闽西地区地壳结构简单, 上地壳花岗质岩层厚度达 20—24 km。

4. 华南中生代花岗岩 Nd 同位素比值集中在 0.51185—0.51205, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}\approx 0.11$, 花岗岩及部分火山岩 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}=0.14-0.15$, 如依次作为华南地壳的平均值, 则壳幔分异时代 $t_{DM}=2530$ Ma, 华南地壳是下元古代前地壳再造而成 (朱丙泉等, 1988)。

以上四点为讨论火山-岩浆作用时必然要重视的深部地质背景。地幔上隆, 地壳内部层间, 特别是低速层与高速层之间的滑动, 可能是引起 I 型岩浆起源的深部构造因素。

二、中生代火山活动叠置在两古板块内的不同
基底层——构造层之上, 岩浆作用具有分区性
和一定的方向性变化

大面积火山岩系普遍存在于前寒武古老地层, 时代属早元古晚期—中元古早期, 同时沿海还存在下部古生代地层。据地球物理推断基底结构, 大面积火山岩之下有变质杂岩基底, 呈 EW 或 NE 向漂浮在花岗质岩层之中。就全区而言, 火山岩基底并不是统一的块体, 而是陆块拼合的复杂基底层, 火山岩上叠或横切不同构造单元, 直接覆在不同的基底构造层之上而显示一定的分区性 (表 1)。

表 1 中国东南大陆中生代构造-岩浆活动分区与基底构造层
Table 1 Correlation of tectono-magmatic activity regions and base structural units in Southeast China Continent

扬子亚板块	B	浙西—赣东北 构造-岩浆活动区	江南古陆 南侧海西-印支基底
华夏亚板块	A	浙东—闽东 构造-岩浆活动区 (主喷发区)	象山-江山碰撞带 加里东及局部 海西-印支双构造层
	C	闽西—赣中 构造-岩浆活动区	武夷隆起晋宁-加里东 构造层, 隆起西侧 加里东构造层
	D	粤东 (赣南) 构造-岩浆 活动区	海西-印支构造层

四个构造-岩浆活动区, 作为东南大陆 (沿海) 火山带的组成部分, 既具有共性, 又

各具特性，总体上有方向性变异。

1. 火山活动起始与结束期，表明了火山活动方向性的迁移，沿海自南至北，即由D区起向A₁、A₂区同方向的火山活动逐渐变新；由内陆C、B区向沿海A区则表现为晚期火山活动中心带的收缩性迁移。

2. 侵入岩具同步性变异，西部主要为S型，主要形成于火山活动之前；与火山岩同源的I型以及S-I过渡型花岗岩，主要分布在浙、闽、粤的东部，而最晚期A型花岗岩则局限于沿海一带。

3. 火山活动强度（面积、火山活动中心的密度）显示自西（B、C）向东（A）增强，导致浙东、闽东火山岩呈连续的“面型”分布，内侧则均为火山岩盆地形式分布。

4. 火山岩化学成分SiO₂、K₂O由南到北，由沿海到内侧增加，而CaO则具相反趋势，REE与一些微量元素比值也有一定差异。

5. 矿床组合：D区主要为与早期火山-侵入杂岩有关的Sn、Ag、Pb、Zn，而A区则主要为在火山环境下浅成低温热液Ag、Au、Pb、Zn，在C、B区则主要为斑岩型或浅成低温热液型的Au、Cu或Ag。

三、区域性切割基底断裂控制火山构造展布， 影响着火山构造演化。区域的构造与火山构造 双重作用导致区域线环交织的构造格局

区内已确定古火山有：破火山口105个，火山穹隆54个，锥状火山6个。由古火山组成更大一级火山构造——火山构造洼地与火山构造隆起。浙闽沿海主喷发区存在9个巨型环形火山构造。不同类型火山构造与区域构造的关系体现在以下几个方面：

1. 具全区性断裂限制了火山岩分布范围或成为构造-岩浆活动区的边界，如九江—吉安—韶关—四会断裂为火山岩分布的西界；绍兴—江山—抚州断裂成为浙西—赣东北区与浙东—闽东区的分界；大埔—古田断裂为浙东—闽东区与闽西—赣中区的分界；大东山—贵山断裂，武平—云霄断裂为粤东区的北界。

2. 基底断裂控制火山构造的展布。沿海巨型环形火山构造、晚期双峰式火山岩、A型花岗岩以及地球物理推断的隐伏中基性岩体（带）均沿NE向构造体系分布。

浙西、闽西、江西火山构造洼地均与所在地区区域构造线方向一致，总体呈NE向分布。广东早期火山岩分布显示近EW向分布与区域地球物理场推断古老基底构造方向一致。

从时间上看，早期与晚期火山构造方向有差别。晚期火山构造分布显示了NW向分布特点，NW向构造不能完全认为是破坏性断裂，它也是控制晚期火山喷发的断裂之一。

不同方向断裂的交汇处往往为破火山、火山构造穹隆的位置所在，而一些火山构造洼地或巨型环形构造边界又往往受制于区域性断裂。

3. 区域构造局部断陷或局部隆起直接影响火山构造类型与演化。如火山构造洼地均在区域断陷盆地基础上发生，而火山构造隆起或正向环形火山构造则与晚期局部隆起伴生着岩基呈整体上侵有关。

4. 不同规模 and 不同旋回环形火山构造的叠套、切割，并与NNE、NE、NW和EW

向不同规模区域线性构造互相影响，导致区域线环构造格局。

综上所述，在地幔上隆、地壳减薄背景下，沿海 NE 向巨型切割基底的断陷和微板块边界或内部古老基底断裂的活化，直接控制了区域火山作用，因而不仅在闽东—浙东沿海大规模的喷发，而且波及到大陆内侧较远的地区。

四、火山作用与侵入作用是处在中国大陆东部由挤压剪切转为“被动”拉张，应力状态有交替，但总体上随时间推移拉张逐步增强的应力环境

中国东部形成大陆性地壳后，除广东和闽西南 T_3 — J_3 有浅海与海陆交互相沉积之外，自 J_1 抬升，海侵总体消失，气候逐步转向干热。由此可以认为火山活动是在大陆隆起，形成地堑式断陷盆地的构造背景上发生的，所有的火山均为陆上产物。中国东南大陆内侧的火山构造洼地，早已被认识到火山活动是在断陷基础上发生的。然而浙、闽沿海所谓“面型”火山岩分布区，作者认为是由于强烈、多中心、多旋回火山活动产物互相叠置而形成的，如从早期地层-岩相学分析，早期火山活动也是在断陷盆地基础上发生的。

据 R. A. F. Cas 对近代火山作用与构造状态关系的研究，将应力场环境分为“离散

表 2 不同时期构造应力环境与岩石组合关系
Table 2 Relationship between tectonic stress environment of various stages and rock associations

时 代	应力状态	火山岩与侵入岩	火山侵入杂岩
<60Ma	拉张进一步增强	玄武岩（碱性）	
126—70Ma	拉张增强 拉 张	A 型花岗岩 （90—100Ma） 辉长岩-花岗岩（I 型） 玄武岩 流纹岩（IV） 玄武岩-英安、流纹岩（双峰式）（III）	晚期基性-酸性火山侵入杂岩
江山—绍兴断裂发生推覆，使部分地区变质岩推覆到火山岩之上。莲花山断裂，长乐—南澳断裂变质带使早期火山岩受绿片岩化和片理化			
160—126 （117） （110） Ma	挤压后松弛转向剪切、 拉张	闪长岩-花岗岩 { I 型 S-I 过渡型 高钾 CA 性英安岩、流纹岩 （少量安山岩，极少玄武岩） { I 型 S-I 过渡型 （I，II）	早期高钾 CA 性酸性火山侵入杂岩
>160Ma	挤 压	S 型花岗岩（主要分布在西部）	

的”，“被动的”和“会聚的”。大规模的火山活动往往发生在拉张、平移或被动的构造状态。在高度挤压状态只可能形成地表之下的侵入体和巨大侵入体顶部局部拉张状态的小规模喷发。因此，将本区大面积英安一流纹质岩浆认为是挤压状态下形成的习惯说法是令人质疑的。

作为地壳，乃至岩石圈应力场变化指示剂的火成岩，特别是其产状、岩石成分，往往反映构造应力状态。从本区破火山口根部相岩石出露，脉岩的垂直产状、与火山口喷发有关的断裂大多具有正断层或剪切平移的性质来看，最大主应力轴主要为垂直的（相当拉张）、近水平的（相当平移）。就这点分析，区域岩浆作用，特别是大面积英安一流纹岩喷发，不可能为挤压应力状态产物。

W·L·Peletro 提出运用化学准则来判别板块边界的挤压或拉张性岩套。结合区域过铝质岩和偏碱性岩石出露的情况和区域地质，来判断应力场环境，得出不同时期构造应力环境与岩石组合关系（表2）。

因此，可以认为，本区具有独特的构造-岩石组合关系，它不属于直接处在会聚板块边缘的挤压性岩套，而是挤压以后松弛，具被动性，即既非挤压，亦非拉张，是NE向巨型剪切带的断陷和早已存在的断裂的活化起着主要作用。晚期双峰式火山岩所处环境为断陷性质的弱拉张或准裂谷环境而非大陆裂谷环境。新生代玄武岩喷发则指示拉张进一步增强，伴随有大陆边缘解体 and 边缘海形成。这与大陆地幔流总体上由大陆涌向大洋相一致。

五、区域火山岩石学由早期高钾CA性酸性岩系列 转向晚期钾质双峰式组合。本区CA性系列具有 向酸性岩系列过渡性，与安第斯CA性岩的差异性 指示两者的构造-岩浆作用不能概念化地等同

区域火山岩化学成分在AFM图解上处在CA性系列的位置，因而，人们往往将此岩石系列与安第斯CA性岩系等同，并认为它是破坏性板块边界俯冲带的直接产物。

这里要重点指出本区火山岩与安第斯型CA性岩之间的重要差别：

1. 所谓安第斯型CA性系列，“最庞大、最特征的是玄武岩-安山岩-流纹岩组合”。虽然中安第斯地区存在酸性火山岩，但总体上以中性岩为主，在SiO₂频率图上，呈现53—57%（SiO₂含量）为峰值的中性单峰，SiO₂>69%的岩石<15%。然而本区火山岩以SiO₂>73%为峰值的强酸性单峰，英安岩、流纹岩占90%，玄武岩、安山岩占10%。

2. 本区CA性岩系列属高钾类型，局部显示向碱性系列过渡的特征，并愈往西钾的含量愈高。K₆₀=3.08—3.62，K₅₅=2.32—3.88，同等SiO₂区间岩石中K₂O的含量平均比安第斯CA性岩高0.8—1.1%。

3. 经标准化的Rb、Ba、Th、Ta、Nb、Ce、Hf、Zr、Sm、Y、Yb地球化学图解，处在智利型活动大陆边缘花岗岩与板内花岗岩（萨巴拉卡）之间。Rb(165—234 ppm)、Ba(230—722 ppm)高于安第斯火山岩、花岗岩，Ta(4.6—13 ppm)、Yb、Y、Zr、Hf、Ce、U(2.4—8.1 ppm)、Th(11—36.4 ppm)高于智利地区酸性花岗质岩石，接近或略小于板内花岗岩。La/Yb(9.56—28.8)、K/Rb具有向酸性岩过渡的特征（T. H.

Green), Sr 含量则偏低, 为 51—217 ppm, Rb/Sr (1.7—5.1) 在 Rb-Sr 图解上与安第斯地区火山岩显然处在不同位置。

4. 本区 CA 性火山岩与安第斯 CA 性火山岩比较, 具高的 Sr 初始比、低的 Nd 初始比的特征。本区火山岩与同源花岗岩其 Sr 初始比值为 0.705—0.720, 峰值为 0.708—0.710。这一峰值高于人们总结的破坏性板块边界——岛弧、活动大陆边缘火山岩的 Sr 初始比峰值 (C. J. Hawksworth), Nd 初始比值为 0.511934—0.51285, 远低于安第斯火山岩。

5. Pb 同位素组成处于上地幔源区与大陆上地壳之间 (相当于 S 型花岗岩)。如与美国西部海岸中生代花岗岩及火山岩比较, 则本区放射性成因 Pb 显然要高。

6. 破坏性板块边缘的 CA 性系列往往与拉斑系列、SHOSHONITE 系列共存, 而本区由成分区间较小而连续的 CA 性系列转为不连续的双峰式组合, 总体上不存在拉斑玄武岩系列。

综上所述, 本区 CA 性系列明显地向酸性岩系列过渡, 而不同于安第斯 CA 性岩系列。为了确切反映这一特点, 作者建议将本区 CA 性系列称为中国东南大陆型 (高钾) CA 性 (酸性) 岩系列, 它与岛弧低钾 CA 性系列、安第斯型高钾以中性岩为主体的 CA 性系列并列, 泛称为 CA 性岩系列。这三种 CA 性岩的构造环境乃至岩浆起源不可能完全等同。

六、岩浆起源复杂, 但主要为下壳部分熔融。安第斯 CA 性火山岩起源于洋壳与上地幔的成岩模式, 不适用于解释本区大规模英安岩-流纹岩的岩浆成因

安第斯安山岩成岩模式归结为: (1) 俯冲下降的洋壳和上地幔楔为源区; (2) 富集的地幔 (石榴石橄榄岩) 经部分熔融和深部分离结晶作用; (3) 地壳混染和在地壳范围 (30 km) 橄榄石、辉石、斜长石的结晶作用; (4) 中安第斯硅质火山岩 (熔结凝灰岩) 是安山岩浆在地壳厚度大的背景下经较大程度的分离结晶作用的产物 (R. S. Thorpe, 1982)。这一成岩模式对于紧临海沟的、以安山岩为主体的安第斯型 CA 性岩石可能是合理的。然而, 这一模式对本区火山岩的形成是否适用, 这就有必要从本区的岩浆起源问题作出具体分析。就目前掌握的资料, 本区岩浆起源具有以下具体情况:

1. 晚期分布局限的辉长岩起源于上地幔且经演化的岩浆。以漳州辉长岩为例, 其镁值为 57—58, Cr=100 ppm, Ni=40 ppm, Co=26 ppm, $SrI=0.7057$, $^{143}Nd/^{144}Nd=0.5124048$, $\epsilon_{Nd}(t)=-3.12$, $\epsilon_{Sr}(t)=19.38$ 。推断其成因为尖晶石=辉橄榄岩经部分熔融形成玄武岩浆, 并在 17—33 km 深处经橄榄石和单斜辉石分离结晶作用和混入壳源物 (周珣若, 1988)。

2. 晚期双峰式玄武岩一般认为属上地幔部分熔融并经演化的岩浆成因。对浙东地区玄武岩作了专门的 Sr、Nd 同位素测定, 发现其 Sr 初始比值高, 类似美国西部盆岭山脉地区的一种高 Sr 玄武岩。其 $SiO_2=46\%$, $SrI=0.7081$, $^{143}Nd/^{144}Nd=0.51209$, $\epsilon_{Sr}(t)$

$=52.96$, $\epsilon_{Nd}(t) = -9.76$, 这种玄武岩的起源有三种, 可能模式:

其一, 交代型地幔经部分熔融、分离结晶和较大比例的陆壳混染。模拟计算的结果不能完全解释这种高 Sr 初始比玄武岩的地球化学特征。

其二, 起源于下地壳。由于早期 (I、II 旋回) 熔融出大量偏中酸性岩浆, 因而中下地壳残留物则变为更基性成分。由这种更基性成分的下地壳残留层的部分熔融形成高 Sr 初始比的玄武质岩浆。

其三, 来自壳幔过渡区。计算岩浆形成深度约 26 km, 在 Fo-Ne-Q 相图上为 650—900 MPa, 相当于 21—29 km。这一深度恰与下地壳与上地幔分界线相吻合。地球物理资料反映壳幔曾发生过流动、混合, 造成壳幔过渡“层垫”, 支持了这一假说 (邢光福, 1989)。

3. 全区英安岩与流纹岩及同期花岗岩属 I 型或具有 S 型特征的 S-I 过渡型, 起源于中、下地壳, 其主要依据为:

① $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比值为 0.7065—0.7145, $\epsilon_{Sr}(t)$ 值为 29.35—59.35, 平均 44.7;

② $\epsilon_{Nd}(t) = -3.5$ — -10.74 ;

③ $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ 值变化范围为 5.4—10.2;

④ La/Yb 值为 10—30;

⑤ 与火山岩在时间、空间及成因上有联系的侵入岩为同熔型 (I 型或与其有些偏离的 S-I 型) 花岗岩;

⑥ 与英安岩、流纹岩同旋回的玄武岩、安山岩极少。计算母岩浆成分 SiO_2 约为 63%;

⑦ 岩浆起源深度 15—20 km, 与沿海中下地壳高密度层相当, 源区成分以浙东为例, SiO_2 约为 58%。

所以, 区域英安-流纹质火山岩及同期花岗岩是由中下地壳不同程度部分熔融以及上陆壳混染形成 La/Yb 比值不同的酸性火山-侵入杂岩。

4. 区域 A 型碱性花岗岩 (含晶洞) 以富碱富硅富 Nd、Zr、Mn、Ga, 高 Rb/Sr, 低 La/Yb (1.38—6.74), $\epsilon_{Sr}(t) = 31.6$ —54.4, $\epsilon_{Nd}(t) = -2.8$ — -3.1 为特征。估计来源深度要大于上述 I 型花岗岩, 但源区为下地壳。A 型花岗质岩浆不可能为 I 型花岗岩浆的分异物, 而是下地壳经先期部分熔融形成 I 型岩浆之后残留相的部分熔融产物。

5. S 型花岗岩主要分布在政和一大埔断裂带以西地区, 广东西部也有发育。Sr 初始比值为 0.7143—0.7373, $\epsilon_{Nd}(t) = -6.92$ — -12.2 , $\epsilon_{Sr}(t) = 120$ —180, $\text{AN/KC} > 1.1$, 源区为上地壳。

七、中国东南大陆沿海远离中生代的大陆边缘, 古太平洋板块相对大陆迅速向北移动, 在中国东南大陆产生的构造效应主要形成剪切断裂体系。地幔上涌、地壳减薄及伴随剪切断裂体系的张陷作用是引起当时中国东南大陆 (板内近陆缘) 大规模英安-流纹质火山活动的主要动力机制

提出这一观点的主要依据是:

1. 广义的扬子亚板块在古生代末期与中朝板块碰撞, 联合形成固结程度较高的大陆性地壳。广义的扬子亚板块包括华夏与下扬子亚板块。180—75 Ma 间, 火山活动处在大陆联合固结之后, 60 Ma 以后的西太平洋沟、弧、盆裂解体系发生之前这一地质构造总背景之下。

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。沿海黄泽山岛、大衢岛、灵峰一井等均发现 1600 Ma 左右相当于陈蔡群变质杂岩。海域与大陆具有相同的古老 EW 向构造与中生代 NE—NEE 向构造叠加。东海磁场相对稳定, 热流值不高, 表明为冷的刚性地壳。

3. 日本海、冲绳、南中国海从大陆分裂解体之前, 琉球群岛、日本列岛是欧亚大陆边缘的一部分, 本州岛与朝鲜半岛具有与中国东南大陆燕山运动相当的造山运动, 属于大陆性质, 所发育 120—75 Ma 火山活动亦为陆上火山喷发。

4. 现今中国东南大陆边缘包括广泛的大陆架, 不存在或未证实中生代 180—100 Ma 间的俯冲带岩石组合。长乐—南澳断裂变质带不属洋陆俯冲带产物, 海域 40 m 等深线也没有地球物理场的资料证明为俯冲带。张之孟、刘忠光等 (1989) 指出, 除那丹哈达海和台湾东部之外, 整个中国东部不存在中生代俯冲带, 确切地说, 台湾俯冲带时代为晚白垩世, 并不能代表它是 180—100 Ma 间的俯冲带。

5. 假设在台湾东部存在 180—100 Ma 间的俯冲带 (如某些作者推测), 即相当于法拉龙和伊萨那基板块俯冲带。这一位置距现今中国东南大陆沿海 300—400 km, 而火山带向大陆伸展达 400 km 以上。距“俯冲带”这么远, 火山带向大陆延伸又这么宽, 说明其俯冲的角度有多么小, 显然构不成象安第斯活动大陆边缘垂直俯冲及其相应的构造-岩浆组合模式。本区火山活动由南向北和由内陆向沿海的迁移也与安第斯型垂直俯冲模式不符合。

6. 东南大陆火山岩不属岛弧型火山岩, 与安第斯型活动大陆边缘安山岩为主体的 CA 性火山岩也有重要差别。英安岩、流纹岩与同期花岗岩的地球化学特征, 兼有大陆板内与大陆边缘的性质, 玄武岩的形成环境则主要属板内环境, 特别是晚期钾质双峰式火山岩, 与大陆伸展拉张有关。

7. 180、130 及 120 Ma 左右相当于区域早期大规模火山活动期, 那时法拉龙板块或伊萨那基板块相对中国东部大陆迅速向北西方向移动, 相对大陆来说, 其构造效应是形成 NE 向左行剪切断裂体系。苏联远东火山带研究学者以锡霍特—阿林为例, 查明“大陆地壳的拉张与沿断裂水平推移之间联系”以及“和火山带形成的同步性” (В. П. УТКИН, 1984)。这种左行剪切断裂体系控制了火山带沿亚洲大陆边缘的线状展布。在同一构造作用下, 沿大陆内部古构造的活化导致火山带向大陆内部延伸。

8. 软流圈对流、地幔上涌、地壳减薄与左行剪切断裂体系是引起区域大规模火山活动的构造机制。地球物理场最特征的是地幔抬升, 地壳拉张减薄, 壳内存在低速层与高密度层。从构造意义上讲, 最特征的是火山活动产物充填于张陷性质的盆地内, 这与美国西部盆岭地区火山带类似。后者形成于新生代, 而前者则形成于中生代。沿海多中心、多旋回火山岩叠加, 遮盖了火山喷发前的张陷盆地, 加之整个区域长期处于隆起状态和经剥蚀, 所表现出来的“盆”与“岭”的地貌形态不如美国西部保存完好。

9. 软流圈对流, 地幔上涌对地壳产生较高的壳下温度。由上地幔部分熔融的玄武质岩浆在 120 Ma 前仅有极少量喷出地表, 大部分受到韧性地壳的阻挠而注入下地壳底部。