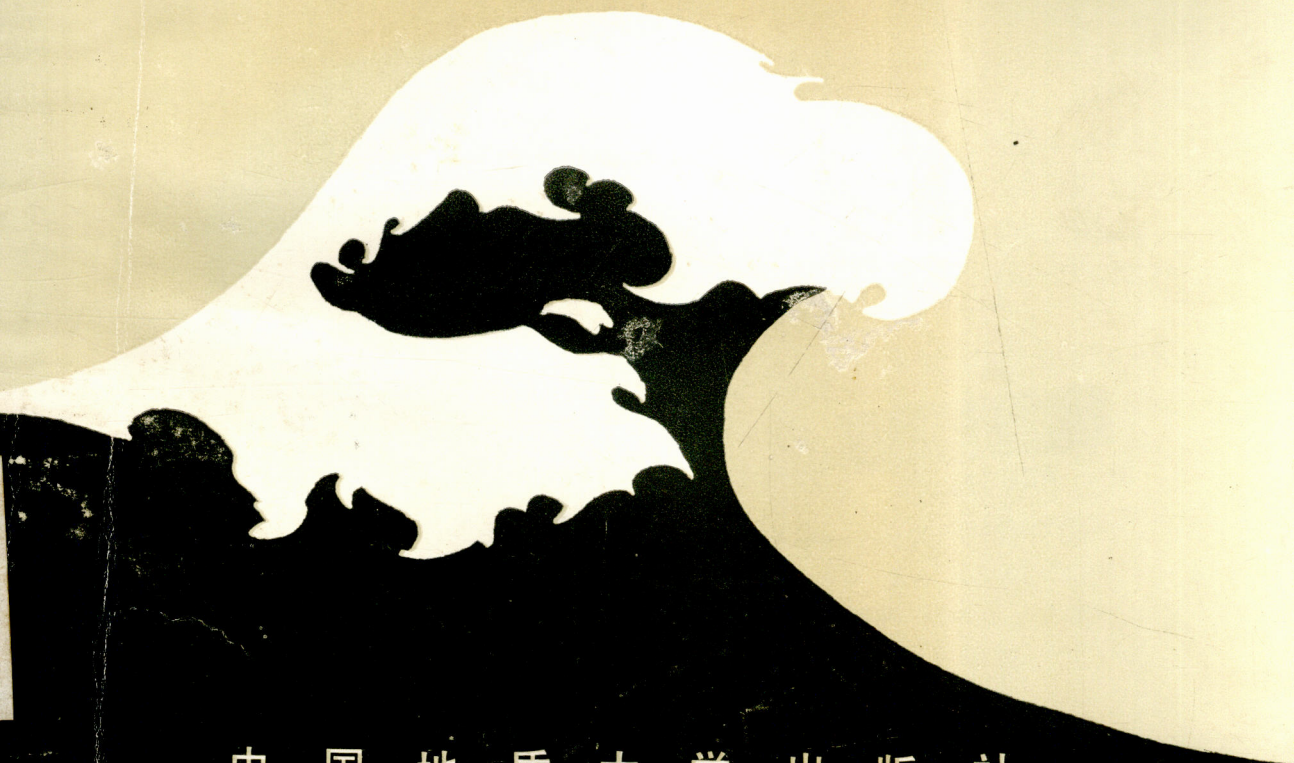


东南沿海地区晚第三纪 —第四纪大陆裂谷型火 山作用及深部作用过程

赵海玲 著



中国地质大学出版社

东南沿海地区晚第三纪—第四纪
大陆裂谷型火山作用及深部作用过程

赵海玲 著

中国地质大学出版社

内 容 简 介

该专著是在岩石学、矿物学、矿物化学、岩石物理化学以及稀土元素、同位素化学等研究的基础上,运用岩浆物理、岩浆动力学、硅酸盐熔体结构等新理论,研究了中国东部沿海地区新生代火山岩的时空分布、火山岩系列、类型以及岩浆起源、演化等特征,并探讨了该区上地幔的特征及演化历史。该书资料丰富、可靠,论述系统、严谨,具有较高的学术价值,对寻找油气及宝石资源都有实际指导意义。

东南沿海地区晚第三纪—第四纪大陆裂谷火山
作用及深部作用过程

赵海玲 著

责任编辑 张光前

*

中国地质大学出版社出版

(武汉市 喻家山)

武汉复印中心轻印刷 湖北省新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张10.75 字数 272千字

1990年5月第1版 1990年5月第1次印刷

印数 1—400册

ISBN 7-5625-0363-X/P·103

定价: 7.45元

前 言

地球科学的发展把国内外学者的注意力引向地球深部。这是由于深部地质作用制约了地壳浅部的地质构造、矿产资源的形成和分布、地震灾害的发生等。因此,不了解地球深部就不能深刻理解浅部情况及其发展演化过程。以往对地球深部的了解仅依赖于地球物理研究。随着科学技术的发展,产生一系列新的理论和技术,使不同学科之间互相渗透与结合,发展了一些新的研究方向和领域,尤其是板块构造学说的兴起,使人们从全球的观点去考虑问题。从而使火成岩岩石学研究成为研究岩石圈动力学、地球构造等不可缺少的一部分。火山作用是深部作用过程的直接表现,而由火山喷发带到地表的上地幔碎块,是我们能直接见到的上地幔标本,通过对它们的研究可以直接获得上地幔信息。因此,地球物理模型与岩石学模型和地球化学模型相结合,将会对深部地质作用提供更好的约束条件。

80年代提出了一个国际固体地球科学规划,中心题目是岩石圈的现状、动力学、成因和演化,并特别注意到大陆岩石圈。这是地球科学的前沿。

新生代玄武岩和上地幔岩研究是研究新生代地质构造、上地幔组成和演化的重要突破口,是国内外瞩目的地质课题。中国东南沿海地区广泛发育晚第三纪—第四纪火山岩,是环太平洋火山作用的组成部分。该区火山岩含有丰富的上地幔岩包体和高压巨晶。因此,本书的研究不仅为了解中国东南沿海地区岩石圈及深部作用过程提供基础资料,而且亦是现代火成岩岩石学中重要的基础理论研究,对揭示上地幔结构、组成、发展和演化有着重要的理论意义。

东南沿海海域是寻找石油和天然气的远景区,沿海新生代盆地又产有煤和油页岩矿床,这些盆地的形成直接与上地幔的结构、热状态、玄武岩岩浆的发生有关。同时,石油的成熟度、煤的质量、地热资源等也直接与上地幔热状态控制的地温有关。另外,东南沿海新生代玄武岩中分布着刚玉、锆石、橄榄石等宝石矿床,这些矿物的形成与聚集直接与玄武岩岩浆的起源和演化有关。本书的研究为新生代盆地的形成机理提供深部地质作用及热状态的约束条件,以及对地震活动、宝石矿床的分布提供地质背景和岩石学依据。

笔者对东南沿海地区(包括浙江、福建、广东、海南岛)有代表性的晚第三纪—第四纪火山岩出露区进行了工作(主要工作地点见第一章图1)。

书中除了采用地质学、岩石学、矿物学、地球化学和岩石物理化学、岩浆热力学研究外,还应用了Sm-Nd同位素、中子活化分析、电子探针等最新的测试技术,并将硅酸盐熔体结构、岩浆物理、流体动力学等地球科学前沿的最新理论应用于火山岩的研究和探讨。同时,采用了数理统计和电算等方法进行了大量的资料处理。

本书是在博士学位论文的基础上精简而成。论文过程中得到导师池际尚教授、邓晋福教授的悉心指导,从野外选点到论文完成都浸透着他们的心血。宋叔和研究员、王濮教授、游振东教授审阅了论文,并提出了宝贵意见。野外工作中得到嵊县县委黄俊民等、新昌县委俞仲辉、福建省第二地质孙伟汉、王炳春等、龙海牛头山驻军89分队的领导和战士,海南岛地质大队蒋大海、杨基广、母道坤、覃业东,广东地质局204地质队付昌来、吴瑞治等的大力帮助和支持。稀土元素测试工作中得到了高能所杨瑞英、韩松、黄忠祥等的指教和大力帮助。电子探针测试过程中得到电子探针室邵道乾、李树岩、孙兴东、陈凤

贤等的指教与大力帮助。化学分析由化分室完成，中科院地质所周新华副研究员进行了Sm-Nd、Rb-Sr同位素的测定，地科院地质所完成了锆石的U-Pb同位素分析。陈发景教授、万天丰教授、孙善平教授、路凤香教授、李家振副教授、莫宣学副教授、杨风华教授、王人镜副教授、赵崇贺副教授、林培英副教授、杨军以及教研室其他老师都给予了热情帮助和支持。贾美芝清绘了全部图件。邓晋福教授对全书进行了审阅。在此对上述人员表示最衷心感谢。

本书出版承国家教育委员会博士导师经费的资助。

本书用主要符号 (缩写) 对照表

Ab	钠长石	mole	摩尔
An	钙长石	MREE	中稀土元素
"An"	标准长石成分	Ne	霞石
atm	标准大气压	NBO / T	每个四次配位阳离子所具有的非桥氧数
Ca-Ts 分子	钙契尔马克分子	Ol	橄榄石
CI	阳离子标准矿物色率	Opx	斜方辉石
Cor	刚玉	Or	钾长石
Cpx	单斜辉石	Parg	菲闪石
D	岩石总分配系数	Phl	金云母
Di	透辉石	Pl	斜长石
En	顽火辉石	Pyr	镁铝榴石
F	局部熔融程度	Q	石英
Fa	铁橄榄石	r	相关系数
Fo	镁橄榄石	REE	稀土元素
FMQ	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4\text{--Fe}_3\text{O}_4\text{--SiO}_2$ 缓冲反应	Sp	尖晶石
fo ₂	氧逸度	T	绝对温度(K)
Ga	石榴石	t	摄氏温度 (°C)
harz	方辉橄榄岩	Xi	元素 i 的摩尔分数
HREE	重稀土元素	w _B (%)	物质重量百分数
Hy	紫苏辉石	εNd	钕同位素初始比值对标准值的偏差
Jd	硬玉	εSr	锶同位素初始比值对标准值的偏差
kb	千巴	ρ	密度
lher	二辉橄榄岩	η	牛顿粘度系数
LREE	轻稀土元素		
Ma	百万年		
MH	$\text{Fe}_3\text{O}_4\text{--Fe}_2\text{O}_3$ 缓冲反应		

目 录

第一章 大陆裂谷型火山作用.....	(1)
一、构造背景和火山地质.....	(1)
(一)地质构造背景	(1)
(二)火山岩地质	(2)
二、火山岩系列、类型和火山岩带.....	(3)
(一)火山岩系列、类型和火山岩带的划分	(3)
(二)火山岩岩石化学特征的启示	(20)
(三)火山岩矿物化学特征的启示	(25)
三、稀土元素地球化学特征	(64)
四、Sr、Nd 同位素特征	(66)
五、火山岩岩浆的物理性质及其岩石学意义	(70)
(一)岩浆的聚合程度及岩石学意义	(71)
(二)岩浆密度及其上升机制的探讨	(81)
(三)岩浆的粘度	(88)
第二章 深部作用过程	(91)
一、上地幔岩包体的特征	(91)
(一)上地幔岩包体的岩石学特征	(92)
(二)上地幔岩包体矿物化学特征	(99)
(三)上地幔岩包体及本区上地幔源岩稀土元素的特征	(121)
(四)上地幔岩包体及高压巨晶 Sr、Nd 同位素特征	(134)
二、东南沿海地区上地幔的特征及演化.....	(136)
(一)上地幔的热状态及氧逸度(f_{O_2})	(136)
(二)上地幔的塑性流动	(139)
(三)上地幔的物质组成、相转换及上地幔剖面	(141)
(四)上地幔的交代作用	(144)
三、原生岩浆系列和原生岩浆的起源.....	(145)
(一)两个原生岩浆系列	(145)
(二)原生岩浆起源的温度、压力和氧逸度	(147)
四、刚玉、锆石的成因和形成机制的探讨.....	(148)
(一)刚玉、锆石的矿物学特征	(149)
(二)刚玉、锆石的成因	(149)
(三)刚玉、锆石形成机制的探讨	(151)
主要结论.....	(155)
主要参考文献.....	(158)
图版.....	(161)
英文摘要.....	(163)

第一章 大陆裂谷型火山作用

一、构造背景和火山地质

(一) 地质构造背景

东南沿海地区位于欧亚板块、太平洋板块、印度板块的交汇处。太平洋板块向欧亚板块的俯冲以及印度洋板块与欧亚板块的碰撞,对中国东部的中、新生代构造运动及岩浆活动产生深远影响。

二叠—三叠纪时,主要是大陆边缘的华力西—印支褶皱(朱夏等,1982)。

侏罗纪时,库拉板块向北北西俯冲(Uyeda, 1981)。太平洋板块开始形成、在阿留申群岛形成俯冲带。在欧亚板块边缘产生了左行剪切作用,因此,在东南沿海一带形成了北北东向构造带和一些侏罗纪盆地。这些构造带与李四光先生(1972)提出的新华夏系构造体系是一致的。正如王鸿祯先生(1983)所指出,晚侏罗纪以后开始出现明显的北东—北北东向构造带,伴随大量中—酸性火山岩喷发,标志着中国东部整个构造格局的转变。

白垩纪时,印度洋板块、菲律宾板块向欧亚板块和太平洋板块俯冲(朱夏等,1982, 万天丰, 1988, 马杏垣, 1983),导致东南沿海地区的北北东向构造活化及大量酸性火山岩喷发,并形成大量花岗岩。

中生代时期,西太平洋的亚洲东部是一个安第斯型活动大陆边缘。但是新生代时期由于日本海、南海等边缘海盆的出现,形成了西太平洋沟—弧—盆体系、弧后地区处于拉张应力状态。此时邻接弧后盆地的中国东部大陆亦处于拉张应力作用下,岩石圈被拉伸、破裂,玄武岩岩浆大量喷发,形成大陆裂谷构造。

据丘元禧(1981)研究,北东向的南澳断裂带与汕头断裂带之间的燕山晚期钾质花岗岩越过南海北部在海南岛东南出露,说明了大陆和海南岛同处于NE向的构造岩浆带上。另外,雷州半岛、海南岛东北及北部湾湛江拗陷都存在陆相的白垩系和下第三系沉积,说明在白垩纪至早第三纪时,大陆和海南岛为一体,琼州海峡属于隆起背景上经过后期改造发展起来的大型拗陷。

浙江、福建的构造体系呈NE向,与新华夏系的正常展布方向一致,断陷盆地的轴向和NE区域构造线一致,平行于浙江、福建的现行海岸线。广东南部由于受南岭纬向构造体系的干扰,主要断裂方向普遍偏大到NE40—60°,仍表现为大体平行于粤东现行海岸线。燕山早期东南陆缘带总体处于隆升中,其走向NE。燕山晚期—喜山期该区仍处于隆升中,在隆起的背景上发育拉张性的盆岭构造和局部的次一级小型断陷盆地。新生代喷发的大量玄武岩分布在浙江、福建、广东沿陆缘带展布的一些次一级断陷中。因此,玄武岩

的分布也与现行海岸线平行。它们主要分布于宁海—温州—长乐—诏安—汕头、上虞—丽水—闽清—海丰和绍兴—明溪—长汀—河源三个近于平行海岸线的断裂带附近以及琼州海峡两侧（即雷州半岛和海南岛北部）（图 1）。

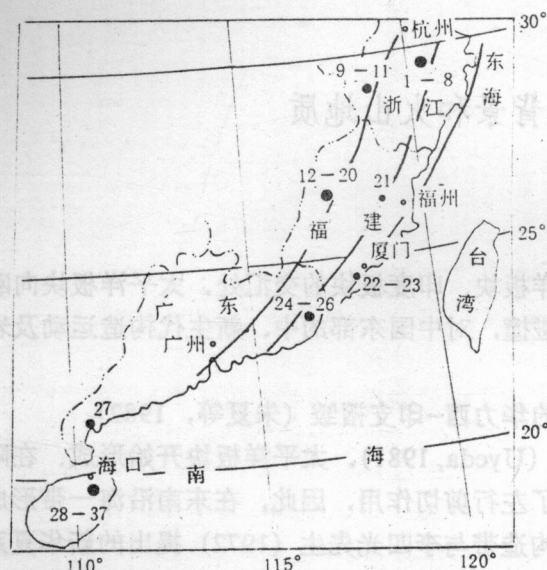


图 1 工作地点分布及构造略图

比例尺 1 : 1500 万

1. 嵊县三界 2. 嵊县岭头山 3. 嵊县竹园岗 4. 嵊县黄岩下 5. 嵊县浦桥 6. 嵊县城隍山 7. 新昌孟家塘 8. 新昌寒庄 9. 衢州川高地 10. 衢州下岱 11. 衢州古楼底 12. 明溪下 13. 明溪盖洋 14. 明溪葫芦形 15. 明溪大洋窝 16. 明溪罗地 17. 明溪莲塘 18. 明溪平埠 19. 明溪石珩 20. 明溪五通凹 21. 闽清前洋 22. 龙海牛头山 23. 龙海天马山 24. 普宁麒麟 I 号岩体 25. 普宁麒麟 II 号岩体 26. 揭阳鸡笼山 27. 湛江湖光严 28. 海南岛马安山 29. 海南岛云龙 30. 海南岛龙发岭 31. 海南岛三门坡 32. 海南岛文岭 33. 海南岛后田园村 34. 海南岛石马 35. 海南岛蓬莱岭 36. 海南岛禄塘园村 37. 海南岛庙岭

些玄武岩分布在小型的山间裂谷盆地和沿海地区。

主要火山岩相为陆相喷发，海相喷发仅见于福建牛头山。在陆相玄武岩中主要为喷出相，并以溢流相为主，占喷出相玄武岩的 95% 以上，溢流相常以熔岩流产出，后者则更为常见。爆发相仅占 5% 左右，由火山碎屑物组成。岩颈相较喷出相逊色得多，碎屑岩颈相见于普宁和明溪等地，熔岩岩颈相见于浙江衢州，广东揭阳鸡笼山。次火山相见于牛头

据物探所 1983 年资料，东南沿海布格重力异常明显地反映出 NE 和 NNE 方向展布的特点，这与该区构造线的方向一致。大陆地区布格异常一般为负，大洋区异常为正。大陆裂谷重力异常有两种类型，一种是象东非裂谷、北美的盆岭裂谷系等具有显著的负布格异常，另一类如红海、亚丁湾等在负异常背景上出现正异常值。本区具有显著的负布格异常特征，与东非裂谷、北美的盆岭裂谷系相类似。

据地震测深和重力计算获得的本区莫霍面深度为 27—34km（物探所，1982）。总的趋势是从沿海向内陆莫霍面变深。

（二）火山岩地质

东南沿海一带新生代玄武岩和中国东部新生代玄武岩一样，分为两个主要时期：早第三纪和晚第三纪—第四纪更新世。早第三纪玄武岩大多隐伏于地下，地表少见，主要分布在广东三水盆地、茂名、河源等拗陷中。本书研究晚第三纪—第四纪更新世的玄武岩。这

山和普宁。

东南沿海地区玄武岩的喷发类型有二种，一为裂隙式喷发，二为中心式喷发。靠海地区以中心式喷发为主，而在小型山间裂谷盆地既有中心式喷发又有裂隙式喷发。裂隙式喷发以溢流相为主，中心式喷发既有溢流相又有火山爆发相。

本区玄武岩不整合复盖于新生界以前的地质体上。嵎县、新昌、衢州玄武岩的基底岩石为白垩系砂砾岩及侏罗系上统火山岩系；明溪玄武岩的基底岩石主要为古生代变质岩、侏罗系砂砾岩和中生代花岗岩；牛头山—麒麟沿海火山岩带及琼州海峡两岸的玄武岩，其基底岩石主要为中生代花岗岩。火山活动具韵律性和间歇性。

玄武岩以熔岩为主夹有少量火山碎屑岩。玄武岩中普遍含有上地幔岩包体和高压巨晶。特别要指出的是在明溪火山群和海南岛北部（以下简称琼北）玄武岩区见有刚玉和锆石宝石矿床。

根据本区火山岩分布于三条近于平行的断裂带附近的特点，将火山岩划分为三条火山岩带。从东到西它们是，牛头山—普宁—琼北火山岩带；新昌、嵎县—闽清火山岩带；衢州—明溪火山岩带。

二、火山岩系列、类型和火山岩带

（一）火山岩系列、类型和火山岩带的划分

目前广泛采用化学分类法和 CIPW 标准矿物分类法对火成岩进行系列和类型的划分。化学分类是根据火成岩的化学成分将其划分为系列和类型。如：大多数学者是根据 $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 图解将火成岩划分为强碱性系列、碱性系列和亚碱性系列，根据化学成分又进一步将亚碱性系列划分为拉斑系列和钙碱性系列。然后再进一步进行岩石类型的划分。这种划分方案可以反映出岩石成因和演化趋势。CIPW 标准矿物分类是根据岩石总的化学成分，计算出低压下标准矿物成分，然后根据标准矿物成分的含量进行分类。在应用 CIPW 标准矿物进行分类时多采用“玄武岩四面体”分类法，即将计算出来的 CIPW 标准矿物投在 Yoder 和 Tilley 的“玄武岩四面体”相图上，以此来确定岩石类型。这种分类可以反映出玄武岩的成因特征、生成时的热力学条件以及岩浆演化趋势。也有的学者利用 CIPW 标准矿物计算的结果，投在 OQNH 图上，对玄武岩进行命名。此外，还有许多火山岩岩石类型划分的方法，如：Roche 等 (1980) Le Bas (1986) 等火山岩分类命名网格图等。总之，关于火山岩系列和类型的划分方法是不完全相同的，由于不同方法而造成的同种岩石类型的差异性有碍于同类岩石之间的对比。而且更大的问题还在于，长期以来在火山岩系列的划分和岩石定名上存在着一些矛盾，所确定的岩石类型和它们所处的岩石系列不符，如：定名为橄榄拉斑玄武岩的岩石却划在了碱性系列中，这显然是不合适的。笔记认为，火山岩的岩相学特征、化学成分特征以及火山岩系列和类型的划分应是统一的。碱性玄武岩类型应归属于碱性系列，拉斑玄武岩类型则应归属于拉斑系列，岩石类型和岩石系列应相互对应。它们之间的关系犹如一个家族和这个家族里面的成员之间的关系，有一个自然的血统联系，而不能人为地将它们隔离开。另外，在单纯用“玄武岩四面体”进行

分类命名时，没有区分出碱性系列中的 Na 质亚系列和 K 质亚系列及其特征，也无法区分出夏威夷岩、粗面玄武岩等一些重要岩石类型，这无疑在分类的过程中损失了一些岩石成因信息，有碍于进行全球性的对比，从而影响了对于岩石成因的认识。

本书的研究力图消除上述系列划分和岩石类型确定中的矛盾，更全面反映事物本质，使岩石类型和岩石系列统一起来，以避免在分类中造成的一些缺陷。

表 1-1 东南沿海地区火山岩岩石化学分析结果及 CIPW 标准矿物成分

岩石名称	霞 石 岩								
样品号	F-7	F-9	F-32	F-36	S-46	S-47			F-4
地 区	明溪 顾岭	明溪 葫芦形	明溪 莲塘	明溪 平埠	衢州 川高地	衢州 下岱	$\bar{x}$	σ	明溪 大洋窠
SiO ₂	39.98	41.66	40.73	39.74	40.54	39.06	40.285	0.821	39.93
Al ₂ O ₃	10.65	9.34	11.81	12.12	9.58	11.35	10.808	1.057	9.31
Fe ₂ O ₃	4.23	4.54	4.31	4.64	5.11	6.00	4.805	0.605	6.74
FeO	8.78	7.71	8.89	8.69	8.14	8.64	8.475	0.416	6.90
MgO	13.91	17.57	11.87	11.73	13.54	8.63	12.875	2.705	14.48
CaO	10.32	10.22	10.79	11.75	10.39	10.63	10.683	0.514	11.67
Na ₂ O	3.58	2.90	3.75	3.39	4.32	4.33	3.712	0.506	0.56
K ₂ O	2.33	0.77	1.89	2.18	1.89	1.44	1.750	0.519	1.61
H ₂ O ⁺	0.78	1.29	1.03	0.57	1.17	3.95	1.465	1.137	2.64
H ₂ O ⁻	0.41	0.75	0.22	0.30	0.39	0.44	0.418	0.166	2.65
TiO ₂	3.05	2.05	3.14	3.20	2.81	3.62	2.978	0.480	2.83
P ₂ O ₅	1.19	0.56	1.01	1.14	1.416	1.326	1.109	0.279	1.091
MnO	0.10	0.21	0.21	0.25	0.211	0.212	0.199	0.047	0.199
CO ₂	0.29		0.30				0.30		
Cr ₂ O ₃	0.017	0.09	0.05	0.04	0.047	0.017	0.044	0.025	0.050
NiO	0.04	0.08	0.04	0.04	0.037	0.008	0.041	0.021	0.040
Σ	99.66	99.74	100.04	99.79	99.61	99.66			99.70
M _g 值	0.739	0.803	0.704	0.707	0.748	0.640			0.789

CIPW 标 准 矿 物									
C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
AP	2.79	1.24	2.17	2.48	3.10	3.10			2.48
IL	5.92	3.95	6.07	6.22	5.46	7.28			5.77
MT	6.25	5.33	6.25	6.71	6.48	7.87			6.71
OR	1.67	4.45	7.79	0.00	7.79	8.91			10.02
AB	0.00	3.67	0.00	0.00	0.00	4.72			4.20
AN	6.12	10.57	10.29	11.68	1.39	7.79			19.20
WO	15.80	15.80	15.80	16.61	17.54	16.03			14.52
EN	11.65	11.65	11.34	12.05	12.75	10.94			10.94
FS	2.64	2.64	3.03	3.03	3.17	3.83			2.11
EN ₁	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
FS ₁	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
FO	16.60	23.35	13.08	12.24	15.19	8.16			19.13
FA	4.08	5.91	4.08	3.46	4.28	3.06			4.28
NE	16.77	11.65	17.34	15.63	20.18	18.19			0.57
LC	9.60	0.00	2.62	10.04	3.06	0.00			0.00
Q	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00

续表 1-1

岩石名称	K 质碱性苦橄玄武岩				K 质碧玄岩		Na 质碧玄岩		
样品号	F-238	F-8			F-2	F-23	F-5	F-11	S-48
地 区	明溪 罗地	明溪 大洋窠	$\bar{x}$	σ	明溪 大洋窠	明溪 猪田垄	明溪 石珩	明溪 下	衢州 古楼底
SiO ₂	43.32	40.38	41.21	1.503	39.95	44.70	42.26	43.70	41.40
Al ₂ O ₃	11.10	10.48	10.297	0.742	11.51	12.75	11.90	10.82	10.80
Fe ₂ O ₃	5.80	3.78	5.107	0.938	5.27	4.10	3.19	4.71	3.37
FeO	6.41	8.96	7.423	1.105	8.10	8.80	8.73	7.58	7.92
MgO	14.90	17.16	15.513	1.177	10.63	9.65	9.67	14.95	15.10
CaO	9.01	9.80	10.16	1.115	10.67	8.96	11.68	9.68	9.76
Na ₂ O	2.09	2.14	1.597	0.733	3.68	3.43	3.30	2.86	2.75
K ₂ O	1.19	0.60	1.133	0.414	2.13	1.71	1.27	0.60	0.50
H ₂ O ⁺	1.61	1.83	2.027	0.443	1.47	0.74	1.07	1.40	3.94
H ₂ O ⁻	0.80	1.18	1.540	0.793	0.98	0.50	0.60	0.64	0.66
TiO ₂	2.55	2.93	2.770	0.160	3.21	2.94	2.68	2.38	2.22
P ₂ O ₅	0.85	0.58	0.840	0.209	1.37	0.86	1.29	0.59	1.12
MnO	0.20	0.18	0.193	0.0092	0.21	0.18	0.16	0.18	0.17
CO ₂					0.17	0.18	1.87		
Cr ₂ O ₃	0.08	0.06	0.0633	0.0125	0.014	0.012	0.009	0.06	0.01
NiO	0.07	0.05	0.0533	0.0125	0.04	0.03	0.03	0.14	0.09
Σ	99.98	100.11			99.40	99.54	99.71	100.29	99.81
Mg 值	0.806	0.774			0.701	0.662	0.664	0.779	0.773

CIPW 标 准 矿 物

C	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AP	1.86	1.24			3.10	1.86	2.79	1.24	2.48
IL	5.01	5.77			6.37	5.77	5.31	4.55	4.40
MT	6.02	5.56			7.18	6.02	4.86	5.79	5.09
OR	7.24	3.90			12.80	10.58	7.79	3.90	3.34
AB	16.26	5.77			0.52	18.36	9.44	14.68	13.11
AN	17.81	17.53			9.18	14.47	14.47	15.02	16.14
WO	9.41	12.08			15.22	10.57	15.68	12.66	11.38
EN	7.03	9.04			10.94	7.23	10.54	9.34	8.43
FS	1.45	1.85			2.90	2.51	3.96	2.11	1.85
EN ₁	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FS ₁	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FO	21.81	24.62			11.54	12.10	10.27	20.12	21.81
FA	4.89	5.71			3.26	4.69	4.28	5.09	5.50
NE	1.14	7.11			17.05	5.97	10.52	5.40	6.25
LC	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

续表 1-1

岩石名称	Na 质 碧 玄 岩					K 质碱性橄辉玄武岩			
样品号	S-32	S-41	S-44	$\bar{x}$	σ	S-8	S-15	G-2	F-247
地 区	嵊县 城隍山	嵊县 浦桥	嵊县 浦桥			新昌 寒庄	新昌 寒庄	揭阳 鸡笼山	闽清 前洋
SiO ₂	40.94	43.47	42.16	42.323	1.47	44.32	44.75	45.33	46.27
Al ₂ O ₃	12.02	13.11	11.89	11.85	0.77	12.90	13.82	13.52	12.72
Fe ₂ O ₃	4.02	6.33	6.62	4.70	1.20	3.72	6.27	4.14	2.26
FeO	9.28	6.61	6.76	7.97	0.90	8.74	6.98	8.32	8.73
MgO	12.13	9.85	10.57	11.57	2.13	9.31	9.05	9.38	10.17
CaO	9.94	10.03	10.07	10.10	0.745	9.59	8.83	8.75	9.06
Na ₂ O	3.04	3.45	3.19	3.29	0.32	2.51	3.21	2.74	2.34
K ₂ O	1.21	0.81	0.75	1.12	0.54	1.41	1.20	2.15	2.25
H ₂ O ⁺	2.36	1.97	2.32	1.91	0.94	2.37	2.16	1.25	1.74
H ₂ O ⁻	0.72	0.93	1.12	0.77	0.20	1.42	1.20	0.83	0.91
TiO ₂	2.70	2.51	2.62	2.66	0.29	2.57	1.44	2.38	2.25
P ₂ O ₅	0.74	0.83	0.89	0.96	0.255	0.56	0.40	0.69	0.801
MnO	0.20	0.14	0.20	0.18	0.022	0.17	0.18	0.16	0.213
CO ₂			0.12	0.585	0.74				
Cr ₂ O ₃	0.002	0.003	0.014	0.16	0.017	0.002	0.055	0.007	0.033
NiO	0.02	0.02	0.05	0.037	0.041	0.01	0.013	0.016	0.021
Σ	99.92	100.06	99.34			99.60	99.56	99.65	99.76
Mg 值	0.700	0.727	0.736			0.655	0.698	0.668	0.675

CIPW 标 准 矿 物

C	0.00	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00
AP	1.55	1.86	2.17			1.24	0.93	1.55	1.86
IL	5.31	4.86	5.16			5.16	2.88	4.70	4.40
MT	6.02	6.02	6.25			5.56	4.40	5.79	3.47
OR	7.24	5.01	4.45			8.91	7.24	12.80	13.92
AB	4.72	17.83	16.78			19.40	19.93	18.88	18.36
AN	13.35	18.64	16.69			20.59	20.59	18.92	18.08
WO	13.71	11.38	12.20			10.69	9.29	8.71	9.41
EN	9.54	7.73	8.33			7.13	5.42	5.82	6.12
FS	3.03	2.77	2.90			2.77	3.43	2.24	2.64
EN ₁	0.00	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00
FS ₁	0.00	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00
FO	15.19	12.38	13.51			11.96	12.66	12.66	14.07
FA	5.30	4.89	5.30			5.30	8.56	5.30	6.52
NE	14.78	6.54	6.25			1.42	4.55	2.56	1.14
LC	0.00	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00
Q	0.00	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00

续表 1-1

岩石名称	Na 质碱性橄辉玄武岩					K 质 Hy 标准分子碱性玄武岩			
样品号	H-121	F-3	F-6			S-11	S-7	F-329	F-336
地 区	海南岛 龙发岭	明溪	明溪 鹿岭	$\bar{x}$	σ	新昌 寒庄	新昌 孟家塘	龙海 牛头山	龙海 天马山
SiO ₂	44.35	45.16	46.47	45.26	0.715	46.44	47.32	48.92	47.01
Al ₂ O ₃	14.52	13.47	13.29	13.423	0.529	13.14	13.10	15.64	15.85
Fe ₂ O ₃	6.20	3.27	5.67	4.59	1.37	5.19	5.23	5.92	9.25
FeO	6.94	9.56	7.23	8.013	0.904	7.60	6.73	5.10	2.51
MgO	7.09	9.01	8.72	8.96	0.816	8.95	9.12	5.49	4.74
CaO	8.19	9.00	9.19	9.01	0.4116	9.47	8.58	7.25	7.77
Na ₂ O	3.47	3.09	3.34	2.894	0.41	2.45	2.70	3.63	2.91
K ₂ O	1.48	1.16	1.02	1.50	0.427	1.34	1.22	2.43	1.75
H ₂ O ⁺	1.72	1.16	1.17	1.704	0.443	2.06	3.47	1.40	2.00
H ₂ O ⁻	1.33	0.62	0.45	0.999	0.333	1.20	0.22	1.04	2.49
TiO ₂	3.44	3.21	3.18	2.473	0.747	1.31	2.25	2.22	2.30
P ₂ O ₅	1.04	0.75	0.76	0.664	0.221	0.30	0.42	0.601	0.49
MnO	0.12	0.21	0.15	0.174	0.029	0.19	0.17	0.158	0.15
CO ₂				0.002					0.10
Cr ₂ O ₃	0.02	0.012	0.015	0.0244	0.0203	0.057	0.002	0.018	0.008
NiO	0.04	0.03	0.03	0.022	0.010	0.015	0.02	0.004	0.011
Σ	99.95	99.72	99.69			99.72	100.65	99.82	99.34
Mg 值	0.646	0.627	0.683			0.677	0.707	0.657	0.761

CIPW 标 准 矿 物

C	0.00	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00
AP	2.48	1.55	1.55			0.62	0.93	1.24	1.24
IL	6.83	6.22	6.22			2.58	4.40	4.40	4.70
MT	7.41	4.86	6.95			4.17	5.56	5.56	5.79
OR	8.91	7.24	6.12			8.35	7.24	15.03	11.13
AB	28.32	23.60	26.75			21.50	23.60	31.47	26.22
AN	20.31	19.75	18.64			21.70	20.87	19.75	26.43
WO	5.92	8.83	9.64			10.57	8.48	5.69	4.53
EN	4.22	5.72	6.93			6.22	5.72	3.61	2.71
FS	1.19	2.51	1.85			3.83	2.11	1.72	1.58
EN ₁	0.00	0.00	0.00			0.70	9.14	0.80	9.84
FS ₁	0.00	0.00	0.00			0.53	3.30	0.40	5.80
FO	9.85	11.96	10.69			11.40	6.05	6.75	0.00
FA	3.26	5.91	3.26			7.74	2.45	3.46	0.00
NE	1.14	1.71	1.14			0.00	0.00	0.00	0.00
LC	0.00	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00
Q	0.00	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.06

续表 1-1

岩石名称	K 质 Hy 标准分子碱性玄武岩							Na 质 Hy 标	
样品号	H25	H53	H56	H128	H132	P-1			S-40
地 区	海南岛 日晒岭	海南岛 庙岭	海南岛 庙岭	海南岛 马安山	海南岛 马安山	普宁	$\bar{x}$	σ	嵊县 浦桥
SiO ₂	47.42	48.50	50.86	50.94	50.27	49.43	48.82	1.51	50.57
Al ₂ O ₃	13.24	11.83	14.23	14.88	15.29	13.87	14.15	1.33	13.45
Fe ₂ O ₃	4.51	4.39	7.92	4.11	3.57	4.74	5.56	1.87	1.99
FeO	8.23	7.35	4.47	6.32	7.37	4.68	5.67	1.76	9.73
MgO	8.66	10.87	5.19	6.35	6.17	8.56	7.23	2.06	7.28
CaO	7.50	7.04	6.14	9.13	9.10	7.18	7.84	0.99	8.92
Na ₂ O	2.56	2.80	3.49	3.14	3.27	2.52	2.95	0.36	3.24
K ₂ O	1.49	1.90	3.02	1.58	1.49	1.68	1.70	0.35	1.02
H ₂ O ⁺	1.48	1.35	1.22	0.13	0.51	3.11	1.73	0.94	0.07
H ₂ O ⁻	0.75	0.98	1.38	0.20	0.25	2.00	1.23	0.72	0.26
TiO ₂	2.92	2.49	2.36	2.40	2.17	1.66	2.25	0.22	2.24
P ₂ O ₅	0.43	0.25	0.59	0.44	0.28	0.32	0.42	0.12	0.41
MnO	0.18	0.15	0.10	0.11	0.16	0.14	0.14	0.03	0.17
CO ₂	0.09						0.11	0.05	0.57
Cr ₂ O ₃	0.00	0.02	0.02	0.007	0.01	0.04	0.02	0.01	0.02
NiO	0.03	0.03	0.05	0.04	0.04	0.00	0.02	0.02	0.02
Σ	99.49	99.95	100.04	99.78	99.96	99.91			99.96
Mg 值	0.652	0.725	0.674	0.642	0.599	0.727			0.572

CIPW 标 准 矿 物

C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
AP	0.93	0.62	1.24	0.93	0.62	0.62			0.00
IL	5.77	4.86	4.55	4.55	4.10	3.34			4.25
MT	6.48	6.02	5.79	5.79	5.33	4.86			3.01
OR	8.91	11.69	12.25	9.46	8.91	10.58			6.12
AB	22.55	24.12	30.42	26.75	27.80	22.55			27.80
AN	20.87	14.47	17.81	21.98	22.81	22.81			19.20
WO	6.16	8.13	4.18	8.71	8.71	5.34			9.53
EN	4.22	5.92	2.51	6.12	5.52	3.81			5.32
FS	1.45	1.45	1.45	1.85	2.64	1.06			3.83
EN ₁	14.56	8.63	10.84	9.84	7.13	18.77			8.53
FS ₁	4.88	2.24	6.86	3.17	3.56	5.44			5.94
FO	2.39	9.29	0.00	0.00	1.97	0.00			3.10
FA	0.82	2.65	0.00	0.00	0.82	0.00			2.45
NE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
LC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
Q	0.00	0.00	1.98	1.90	0.00	0.84			0.00

续表 1-1

岩石名称	准分子碱性玄武岩		夏威夷岩			粗面玄武岩		
样品号	H13		S-36	H-17	H-49	S-13	S-37	F-10
地 区	海南岛 石马	$\bar{x}$	嵯县 岭头山	海南岛 石马	海南岛 庙岭	新昌 寒庄	嵯县 竹园岗	明溪 葫芦形
SiO ₂	48.75	49.66	49.83	46.05	52.82	47.24	47.85	50.39
Al ₂ O ₃	13.31	13.38	12.81	13.92	12.49	14.37	14.45	15.77
Fe ₂ O ₃	2.19	2.09	6.26	4.67	6.35	6.07	8.12	3.52
FeO	11.16	10.45	5.33	7.30	5.78	6.58	3.80	3.74
MgO	5.18	6.23	7.44	8.31	4.86	3.60	5.29	5.53
CaO	8.62	8.77	8.45	9.77	6.39	6.18	7.71	6.37
Na ₂ O	2.85	3.045	3.50	4.03	4.05	3.86	3.32	6.62
K ₂ O	0.78	0.90	1.53	1.65	1.77	3.71	2.20	3.87
H ₂ O ⁺	0.37	0.22	0.48	0.92	1.99	3.01	1.00	1.25
H ₂ O ⁻	0.83	0.545	0.29	0.63	1.35	1.41	0.64	0.98
TiO ₂	1.90	2.07	2.45	2.44	1.90	2.68	3.15	1.16
P ₂ O ₅	0.18	0.295	1.16	0.41	0.17	1.23	1.61	0.39
MnO	0.35	0.26	0.18	0.25	0.18	0.18	0.16	0.19
CO ₂	3.72	0.295					0.16	
Cr ₂ O ₃	0.02	0.015	0.03	0.00	0.00	0.02	0.01	0.002
NiO	0.01	1.87	0.05	0.01	0.00	0.01	0.02	0.03
Σ	100.22		99.79	100.36	100.10	100.15	99.49	99.81
Mg 值	0.453		0.713	0.670	0.600	0.494	0.713	0.725

CIPW 标 准 矿 物

C	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AP	0.31		2.48	0.93	0.31	2.79	3.72	0.93
IL	3.79		4.70	4.70	3.79	5.31	6.22	2.28
MT	3.24		5.79	5.79	5.09	6.25	6.95	3.94
OR	5.01		8.91	10.02	10.58	22.82	13.36	23.38
AB	25.17		29.89	16.26	35.66	28.84	28.84	17.83
AN	22.26		15.02	15.02	11.13	11.68	18.64	1.95
WO	9.06		8.36	13.01	8.71	4.99	3.95	11.62
EN	4.02		5.62	8.73	4.62	2.61	2.81	8.03
FS	5.01		2.11	3.30	3.83	2.24	0.79	2.64
EN ₁	9.54		10.54	0.00	7.93	0.00	10.74	0.00
FS ₁	12.01		3.83	0.00	6.46	0.00	3.17	0.00
FO	0.00		1.83	8.58	0.00	4.78	0.00	4.36
FA	0.00		0.63	3.67	0.00	4.69	0.00	1.63
NE	0.00		0.00	9.95	0.00	2.84	0.00	21.60
LC	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q	0.48		0.00	0.00	1.86	0.00	0.66	0.00

续表 1-1

岩石名称	橄榄拉斑玄武岩			石英拉斑玄武岩					
样品号	FY-42	FY-43	$\bar{x}$	F-337	F-338	H145	H139	H118	H125
地 区	龙海 牛头山	龙海 牛头山		龙海 天马山	龙海 天马山	湛江 湖光严	海南岛 云龙	海南岛 三门坡	海南岛 云龙
SiO ₂	50.60	48.55	49.58	51.87	52.53	52.15	52.26	52.80	51.66
Al ₂ O ₃	15.28	15.91	15.60	15.18	14.89	15.94	14.61	14.41	13.95
Fe ₂ O ₃	1.31	2.08	1.695	2.89	1.80	2.74	3.01	3.35	3.37
FeO	10.04	8.93	9.45	6.92	8.55	6.95	8.18	7.45	7.40
MgO	7.44	10.39	8.915	7.12	6.82	5.74	6.82	5.99	6.96
CaO	9.30	8.59	8.95	8.75	9.34	8.91	8.49	8.27	8.62
Na ₂ O	2.92	2.69	2.81	2.38	2.31	3.43	2.69	2.77	2.72
K ₂ O	0.49	0.40	0.445	0.46	0.35	1.26	0.77	0.73	0.51
H ₂ O ⁺	1.09	1.05	1.07	0.71	0.45	0.03	0.47	0.76	0.76
H ₂ O ⁻	0.00	0.00	0.00	1.21	0.65	0.23	0.24	0.95	1.64
TiO ₂	1.44	0.99	1.22	1.52	1.48	1.82	1.74	1.80	1.70
P ₂ O ₅	0.10	0.06	0.081	0.23	0.284	0.32	0.24	0.26	0.269
MnO	0.00	0.14	0.07	0.10	0.162	0.10	0.12	0.12	0.164
CO ₂	0.33	0.07	0.20	0.15		0.00	0.00	0.002	
Cr ₂ O ₃	0.026	0.00	0.013	0.007	0.033	0.006	0.01	0.007	0.026
NiO	0.014		0.07	0.013	0.007	0.02	0.03	0.03	0.010
Σ	100.38	99.85		99.51	99.65	99.65	99.68	99.70	99.76
Mg 值	0.569	0.678		0.647	0.587	0.596	0.598	0.589	0.626

CIPW 标 准 矿 物

C	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AP	0.31	0.00		0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
IL	2.73	1.97		3.04	2.88	3.49	3.34	3.49	3.34
MT	1.85	3.01		4.40	2.55	3.94	4.40	4.86	4.86
OR	2.78	2.23		2.78	2.23	7.24	4.45	4.45	3.34
AB	25.17	23.08		20.45	19.93	29.37	23.08	24.12	23.60
AN	27.26	30.60		30.32	29.49	24.48	25.87	25.04	25.04
WO	7.78	5.23		5.11	6.50	7.55	6.16	6.27	7.09
EN	4.22	3.21		3.31	3.61	4.62	3.71	3.81	4.42
FS	3.30	1.72		1.45	2.64	2.51	2.11	2.11	2.24
EN ₁	10.54	8.73		14.86	13.65	9.74	13.45	11.44	13.35
FS ₁	8.71	4.62		6.60	9.63	5.15	7.92	6.46	6.60
FO	2.81	9.99		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FA	2.45	5.50		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NE	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
LC	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Q	0.00	0.00		7.09	6.19	1.08	4.87	7.33	5.59