

火山岩相构造学

陶奎元 著

江苏科学技术出版社

致 读 者

社会主义的根本任务是发展生产力,而社会生产力的发展必须依靠科学技术。当今世界已进入新科技革命的时代,科学技术的进步,不仅是世界经济发展、社会进步和国家富强的决定因素,也是实现我国社会主义现代化的关键。

科技出版工作肩负着促进科技进步,推动科学技术转化为生产力的历史使命。为了更好地贯彻党中央提出的“把经济建设转到依靠科技进步和提高劳动者素质的轨道上来”的战略决策,进一步落实中共江苏省委、江苏省人民政府作出的“科技兴省”的决定,江苏科学技术出版社于1988年倡议筹建江苏省科技著作出版基金。在江苏省人民政府、省委宣传部、省科委、省新闻出版局负责同志和有关单位的大力支持下,经省政府批准,由江苏省科学技术委员会、省出版总社和江苏科学技术出版社共同筹集,于1990年正式建立了“江苏省金陵科技著作出版基金”,用作支持自然科学范围内的符合条件的优秀科技著作的出版补助。

建立出版基金是社会主义出版工作在改革中出现的新生事物,期待得到各方面给予热情扶持,在实践中不断总结经验,使它逐步壮大和完善。更希望通过多种途径扩大这一基金,以支持更多的优秀科技著作的出版。

这次首批获得江苏省金陵科技著作出版基金补助出版的科技著作的顺利问世,还得到中国核工业华兴建设公司的赞助和参加评审工作的教授、专家的大力支持,特此表示衷心感谢!

江苏省金陵科技著作出版基金管理委员会

序 言

由陶奎元研究员编著的《火山岩相构造学》一书是一本反映当代火山岩研究水平、既有高度理论性又有很强实践性的优秀著作。20世纪80年代初,国内虽然也出现过几本有关火山岩研究的参考书,但随着国际火山学研究的迅猛发展,内容多已显得陈旧。因此,迫切需要一本能适应当前火山岩研究的新参考书,而本书正是满足了这一要求。火山岩研究比较复杂,难度很大,且有其自身的特点和特殊规律,作者在编写本书时充分考虑到火山岩的特点,并从自己丰富的实践经验中,提炼出一些带创见性的理论和工作方法,使全书体现出新颖性、典型性和完整性。该书的特点在于:既注意吸收当代世界火山学领域中的新理论和新方法,又密切结合作者长期从事中国东南部火山地质研究的成果,做到理论与实践为一体,显示了本书的特色。作者对古火山学的一些基本问题作了系统阐述,针对火山岩的特点,提出火山地层—岩相—构造一体化的新思路,有利于恢复古火山构造,指导火山岩地区大中比例尺地质填图,解决了火山岩研究特别是陆相火山岩研究中的一大难题。作者是国内最早研究碎斑熔岩的研究者之一,认为它是中国东部具有特色的侵出相岩类,对其成因作了令人信服的解释,平息了长期存在的争论,这是火山学研究的一个突破。本书通过中国东南部火山地质的典型解剖,阐述了火山碎屑流、火山构造洼地和火山作用与成矿等问题,有鲜明的特色,对于指导火山岩区工作具有普遍意义。

王世松

(南京大学地球科学系教授)

一九九二年四月

前 言

我国是火山岩在时、空上分布十分广泛的国家,特别是东部火山(岩)带是环太平洋中生代火山带的重要组成部分,举世瞩目。与沉积岩区、侵入岩区比较,火山岩区有其自身的特性,理应有一套适用于火山岩区特点的理论与方法。我国在20世纪60年代以前,对中生代火山岩的研究基本上停留在生物地层学和单一的岩类描述,60年代末才逐步开展了火山活动旋回、火山岩相与火山构造的研究。生产、科研、教学部门的科技人员经多年的实践,形成了“火山岩相构造学”这一学科。

本书编著的四条思路是:①以经过实践的旋回—岩相—火山构造一体化研究思路为主线,对火山岩相、火山构造及有关矿床的概念、基本理论、分类、方法、实例等叙述力求系统化。同时,结合中国东部中生代火山岩实际,对某些内容,诸如爆发作用、火山碎屑流、破火山口、火山构造洼地、找矿思路等给予较大篇幅,突出重点。②吸收20世纪80年代以来国际上对火山学研究的新成果,并与中国东部中生代火山岩的实际相结合,这不仅是由于古火山研究需要“将今论古”,而且还由于我国缺少活火山,有关火山学的文献几乎空白,广大地质工作者深感缺乏可借鉴的文献。③具体内容的选择,力求结合当前火山岩区1:5万区域地质调查、大比例尺火山地质图的编制和火山岩区普查找矿中遇到的实际问题,使本书具有实用性。④火山岩区找矿不断有所突破,从实际找矿势态出发,对如何理解火山构造与矿床定位的关系,如何认识中国东南沿海火山岩带的特性,评价找矿前景,如何从已知矿床类比中确定找矿方向以及哪些问题有助于开阔找矿思路等问题,作了探讨,并期望在共同的研讨中不断开拓找矿新思路。

历年来,作者与南京地质矿产研究所谢家莹、尹家衡、黄光照、薛怀民、周伟栋、邢光福、杨祝良、阮宏宏、谢芳贵、吴岩、王占宇、毛建仁等同事共同实践,他们给予作者多方面的合作,并提供有关资料;薛怀民、杨祝良、周伟栋、邢光福编写了部分章节的初稿;吴连南高级工程师、胡青工程师在本书编写过程中给予不少帮助;戴玉英同志承担了全部插图的清绘工作。

本书是为地质矿产部 1991—1993 年成果推广项目——火山岩区工作方法
与找矿思路编写的,得到了地质矿产部科技司阎立本、彭维震同志的指导与帮
助。部、院、所各级领导给予了支持。中国科学院院士、南京大学徐克勤教授,南
京大学地学院院长王德滋教授审阅了本书并给予了高度评价和鼓励,江苏省金
陵科技著作出版基金委员会、江苏科技出版社对本书的出版问世给予了大力支
持,在此一并致以真挚的谢意。

陶奎元

1993 年 3 月

目 录

绪论

火山作用的定义与特性·····	1
火山岩学科的发展方向与任务·····	3
一、火山地层—岩相—构造一体化研究思路·····	3
二、区域岩石系列与构造岩浆动力学模式研究·····	5
三、火山岩的物理化学、热力学和实验岩石学·····	9
中国东部中生代火山作用研究的发展趋势·····	11
火山喷发与喷发类型·····	12
一、概述·····	12
二、关于蒸气爆发与岩浆爆发·····	12
三、火山喷发类型·····	22
决定和影响火山喷发类型的因素·····	25
一、岩浆的物理与化学性质·····	25
二、岩浆与水的作用·····	25
三、爆发房和火山管道中岩浆柱顶部的深度·····	26
不同环境下火山喷发、搬运、堆积过程·····	28
第一篇 火山岩相及其研究方法·····	32
概述·····	32
一、相、环境与相模式·····	32
二、相分类原则与相的类型·····	33
第一章 喷溢相·····	35
一、熔岩的形态与构造·····	35
二、熔岩顶面、底面、分界面·····	39
三、熔岩中几种构造及其应用·····	41
四、熔岩流动方向的测定·····	47
五、火山玻璃的脱玻与重结晶·····	47
六、喷溢相模式·····	50
第二章 火山碎屑物的类型与特征·····	54
一、岩屑、角砾、集块·····	54
二、浆屑(火焰石)、浮岩·····	55
三、玻屑·····	56
四、塑性玻屑·····	57
五、晶屑·····	57
六、火山弹·····	58
七、火山灰球(豆石、增生火山砾)·····	59

八、火山渣、浮岩块	60
第三章 火山碎屑流相	61
一、研究简史与术语的演变	61
二、堆积物的特征	63
三、温度、熔结、压实及有关性质	68
四、流动单元和冷却单元与相模式	71
五、成因方式和搬运迁移率	77
六、分类与命名	79
七、关于熔离成因“熔结凝灰岩”问题	81
第四章 空落堆积(降落堆积)相	82
一、火山碎屑降落与降落堆积的概念	82
二、空落堆积的特征	82
第五章 涌流相、泥流相	87
一、涌流堆积(surge deposits)	87
二、火山泥流(lahar)	91
第六章 侵出相与碎斑熔岩	93
一、侵出相定义	93
二、侵出相的一般特征	93
三、岩穹分类	95
四、实例简述	96
五、碎斑熔岩——中国东部具有特色的一类侵出相岩类	99
第七章 火山颈相	111
一、鉴别火山颈的地质标志	111
二、鉴别火山颈的岩石标志	112
三、近火山颈相特征	113
四、确定古火山口—火山颈的主要途径	113
第八章 次火山岩相(潜火山岩相)	116
一、有关次火山岩术语的含义	116
二、次火山岩的野外鉴别标志	116
三、次火山岩与火山岩的矿物、岩石结构对比研究	117
第九章 隐爆角砾岩相	122
一、概述	122
二、一般特征	122
三、爆发角砾岩与其他角砾岩的区别	125
四、实例	126
五、成因探讨	127
六、应用爆发角砾岩找矿的几个问题	130
第二篇 火山构造及其研究方法	132
概述	132
一、研究思路	132

二、术语与分类	132
第十章 盾火山、火山渣锥、低平火口和层火山的特征与鉴别	136
一、盾火山	136
二、泛流玄武岩	138
三、火山渣锥	140
四、低平火口、凝灰岩环、凝灰岩锥	141
五、层火山	144
六、火山穹隆	146
第十一章 破火山口特征与成因演化	149
一、术语的含义与研究简况	149
二、破火山口的一般特征与研究的要点	149
三、中国东南部中生代破火山口特征与实例	152
四、破火山口的演化	166
五、破火山口的成因与岩浆房问题	169
第十二章 火山、火山构造的组合及其群体	178
一、火山或火山构造组合形式	178
二、火山构造洼地	180
三、巨型环形火山构造	186
第十三章 火山岩相构造图编制方法	191
一、编图的原则与合理程序	191
二、基准性岩相—地层剖面的建立	193
三、旋回划分的原则与方法	194
四、标志层的选择与产状测定	196
五、填图单位、路线与图面表示内容	197
第三篇 矿床定位与找矿思路	199
概述	199
第十四章 火山构造、矿床定位与成矿模式	201
一、火山构造控矿性的含义	201
二、定位于火山构造中的矿床特点	202
三、矿田、矿床与火山构造	205
四、火山与矿床之间的关系模式	212
五、火山构造洼地中矿床定位理想模式	215
六、有关矿床成因模式与应用问题	217
第十五章 中国东南沿海火山(岩)带的特性与找矿前景	224
一、火山活动时代、旋回与迁移性	224
二、区域火山岩系列、组合及其特色	225
三、火山活动的构造应力状态	226
四、岩浆起源与岩浆成因类型	226
五、火山构造的格局	228
六、火山活动的基底	229

七、火山活动的深部构造	229
八、区域矿床分布模式	230
九、岩浆作用动力学模式纲要	231
十、分区性与大型矿床的找矿方向	233
第十六章 开拓找矿新思路的若干问题	234
一、开拓火山岩基底面附近矿床的找寻	234
二、找寻与 Sn 伴生的 Cu、Pb、Zn、Ag 矿床	236
三、探索火山岩区斑岩型铜矿的找矿前景	239
四、次生石英岩含 Au 的可能性	240
五、要注意黄玉流纹岩的鉴别和有关矿床	241
六、剥蚀程度是找寻隐伏矿床必须考虑的重要因素	249
参考文献	251

绪 论

火山作用的定义与特性

火山深部的岩浆,依照一定的方式,经过火山管道,喷出地表或侵位于近地表,而形成各类火山生成物的过程,称为火山作用。所以,火山作用的过程应包括以下内容:

- (1)岩浆的形成与演化(岩浆物理性质和岩浆房);
- (2)从岩浆房经过火山管道到达地表的火山喷发;
- (3)喷出物在不同环境下搬运、堆积定位或岩浆侵位于近地表,构成各类火山及有关的构造;
- (4)喷出物定位后经过冷却、熔结、固结、逸气等作用形成各类火山岩,以及伴随火山活动的地热、热泉、喷气和水热蚀变。

火山的生成物主要来自于岩浆,所以火山作用与侵入作用统称为岩浆作用,火山岩特别是熔岩归入为岩浆岩。就这个意义上讲,它们有共性。但是火山作用与侵入作用相比较有其特殊性,这具体表现为:

- (1)岩浆的不同成分和气体过饱和的程度,决定了喷发形式的多样性;
- (2)火山物质的喷出、堆积和破坏的速度快,几万年内可形成高大的层火山,几年内可形成复杂的岩穹,几小时或几天内可堆积相当厚的火山灰层;
- (3)火山物质搬运条件的特殊性和复杂性,明显地受到大气和水的影响;
- (4)有外来物质的加入,包括陆源物质和化学、有机物质;
- (5)冷却和固结的速度快,而且水热蚀变广泛,例如在喷气活动区的岩钟附近,凝灰岩可全部形成膨润土。

所以,就火山作用产物而言,既有岩浆岩的某些性质,又有沉积岩的某些性质,当然也有沉积岩和侵入岩所没有的火山岩本身的特性。基于这一点,火山岩地区的工作方法可以借鉴岩浆岩和沉积岩的某些工作方法,但不能完全套用。

火山作用是重要的地质作用之一,愈来愈被人们重视,这主要有以下几个方面的原因:

(1)火山活动不论在空间上的全球范围内,还是在时间上的整个地质历史时期内,均表现出明显的广泛性,据不完全统计,就现代活火山有 516 座,其中环太平洋带有 319 座。有些国家被称为火山岛国,例如日本有记录的活火山有 82 座,第四纪火山有 248 座。中国已查明在不同地质时期内均有火山活动,特别是中国东部中生代火山岩成带分布,成为西太平洋亚洲大陆东缘的一个举世瞩目的地质问题。中国西部不仅有陆相火山岩,而且广泛分布有古生代海相火山岩。

(2)由于火山产物来自岩浆,而岩浆是由地幔或地壳经过部分熔融、结晶分异、岩浆混合

等作用演化而成,因而火山被认为是研究地幔和地壳的窗口,火山岩和各种岩石包体提供了研究地幔、地壳和岩浆的天然样品。特别是快速淬火的成层火山岩,为研究浅岩浆房化学和物理梯度和演化,提供了有利条件。

(3)火山活动与全球性或区域性构造密切相关。火山活动及岩石成因特征能为确定板块—地体边界、构造动力学性质提供依据。

(4)火山作用提供了成矿作用的基本因素。例如热源(包括岩浆热、热泉、热气和喷气)、某些矿源和有利的储矿部位。现代海底火山喷发和现代陆上火山喷发、喷气、热泉和成矿,为研究某些矿床的成因提供了有力的证据,揭示了某些火山成因矿床的成矿机理。

(5)火山灰、浮岩和某些火山岩本身就是重要的非金属矿产资源。由火山岩经过脱玻化、蚀变、风化形成的非金属矿产就更多。随着近代工业的发展,日益显示出这类非金属矿产的经济意义。

(6)火山活动往往伴随有地热、热泉、间歇泉和形成有特色的旅游胜景。世界上已有十多个国家利用地热发电并广泛应用于工业和日常生活。许多国家在火山地区建立国家公园作为一种资源得到了开发。

(7)有时火山爆发往往给人们带来海啸、潮汐、地震和崩塌等灾害。与其他自然灾害一样,它促使人们去研究监测火山的活动。火山活动对全球碳循环,大气 CO_2 含量和气候有一系列的影响,如白垩纪火山活动引起了白垩纪时期全球性的气候变化。

随着近代地质学的发展,火山作用研究已渗透到了各个地质学科,并逐步形成了一些学科分支。

火山岩学科的发展方向与任务

火山与火山岩是研究地幔与地壳的天然窗口,它与当代地质界关注的全球构造、岩石圈和重大地质事件的研究以及矿产资源探查、利用都是息息相关的。近代火山岩研究已远远超出火山岩学科的本身,而渗透到其他学科领域,形成新的分支学科和研究方向;反之,一重大地质矿产问题的解决,也有赖于火山岩地质研究的深化与发展。

不论从地质历史时期考察,还是从空间分布面积而言,我国是火山岩分布十分广泛的国家。然而火山岩学科现状和实际研究程度与国际上这一学科的发展相比还存在着差距。同时,火山岩研究与其他岩类(如花岗岩)相比,也是薄弱的环节。

火山岩学科与其他学科一样,1970年以来有了重要的进展。综观这一学科的历史、现状和当今学科前沿,可以将这一学科归纳为三个研究方向:①火山(岩)地层—岩相—构造的综合研究;②区域岩石系列(组合、岩套)地球化学与构造—岩浆动力学模式研究;③火山岩的物理化学、热力学与实验岩石学。这三个方面所研究的侧重面和研究思路、方法各有不同,但并不是孤立的,也不是并列的,而是三者交叉构成了当代火山岩学科研究的方向。

一、火山地层—岩相—构造一体化研究思路

鉴于火山作用的特性,火山岩地区研究的核心问题、研究的模式思路和途径,应与火山岩地区特点相适应。地质界对近代火山喷发的研究及在新生代、中生代乃至古生代火山岩区地质实践,已逐步形成了火山岩相构造学研究的趋势,即:火山地层—岩相—构造的综合的或系列的研究。这一研究方向的基本点为:以遥感地质为先导,以测制火山岩相构造图、恢复火山(古火山)面目与历史为主体,并与地球物理方法相结合,最终解决火山(火山构造)的模式、空间格局、演化及火山根部构造形式或火山深部构造。

这一方向的基本任务和思路是:

1. 以火山构造单元为范围,建立火山岩系地层层序和相应的侵入活动时序

研究思路已突破传统地层学(生物和岩石地层)方法,而采用以地质—岩相地层法为主体,并与生物地层、同位素年代地层、古地磁等结合的“四统一”的综合方法。在解决火山岩系地层问题中,这些方法各具自身的功能。

(1)地质—岩相地层法:为了有别于以往单纯以分层的岩性描述岩石而称之为地质—岩相地层法。其要求是查明火山岩系中的层、层次、标志性对比层(例如破火山口外流相);相类型、组合;冷却与侵位单元的岩石、矿物、化学特征和变异;层与层之间和侵出、侵入体之间相互接触关系,综合各方面特征以合理划分火山活动旋回,为研究火山构造、火山发展历史提供基础。

(2)生物地层法:其功能是查明火山岩系沉积夹层中生物群的组合面目,以确定时代和大区域地层对比的古生物准则,并提供判别沉积岩相的生物标志。

(3)同位素年代地层法:其功能是在地质研究所确定时序的基础上,测定可靠的年代数据,建立火山岩年代学地层剖面,包括火山活动时代、各旋回时限和时差、并为大区域地层对比提出年代依据。

(4)古地磁法:测定地层磁场的变化和热剩磁方向作为地层对比的依据,同时可以助证侵位过程热状态和冷却单元划分的合理性。

因此,对火山岩地层研究,特别是具有基准性剖面的研究应该采用综合方法。

发育于大陆边缘或大陆内部的陆相火山岩系地层的对比研究是高难度的问题。美国西部地区、前苏联远东地区、西南日本和中国东部地区中新世代地层大多属于陆相,并以火山碎屑岩为主体岩石。自1980年以来,国外对这类地层研究提出了一些值得借鉴的新思路,诸如:①按流动单元、冷却单元作地层划分基本单元;②一次大规模火山灰流的喷发与破火山口一次沉陷相关,即“一对一”关系;③破火山口外流相作为相邻破火山之间地层一时序的对比层;④构造复杂、长期活动地区的火山灰流凝灰岩单元的研究可以为区域火山岩系基本时序提供格架,因而对火山灰流凝灰岩对比,提出了岩性、岩石、同位素和古地磁准则,并评述其中可靠的或者适用性标志。

2. 对火山岩的研究与其他岩类一样,已经形成一个分支学科即火山岩相学

一般将“环境”与“相”理解为因果关系,“环境”在火山学中的内涵更为广泛与复杂。各种环境(陆上、水下、近源与远源、地表与近地表……)直接影响火山活动产物特征的差异。火山岩相学的基本任务是从火山产物的特征入手确定火山喷发类型,堆积机理和恢复古火山。

当今研究的问题是相的类型、含义和识别标志,相的模式和相形成机理。后者包括相的物理性质如搬运过程的流体动力学及由它派生的各种结构、构造和热冷却史,也包括化学性质均一和不均一性。

火山岩相研究方面,前苏联学者提出相、亚相分类(或成因类型),并普遍地用于古火山岩地区。美国学者对近代火山喷发产物的研究提出了火山碎屑流相模式。

这里应特别指出,古火山岩相研究的深化无疑需要借鉴于近代火山产物研究的成果。近代火山学的研究大大推动火山岩相的研究。一些新的概念对于古火山岩相的研究是很有意义的。

(1)理论与实践已证实火山喷发不仅仅起因岩浆发泡沸腾机制的岩浆爆发(magma explosions),还起因于岩浆与外部水互相作用的蒸气爆发(hydroexplosions)。从而扩大了火山爆发的概念,由岩浆爆发到蒸气爆发构成火山爆发的系列。由此,补充完善了火山喷发类型、火山形态类型以及火山碎屑岩相类型(如 base surge deposit)的研究。

(2)费希尔(R. V. Fisher)等对火山碎屑物喷发、搬运、堆积的环境和过程区分为四大类:即陆上喷发(岩浆喷发)陆上堆积;陆上蒸气喷发陆上堆积;陆上喷发水下堆积和水下喷发水下堆积。这给火山岩相的分类提供了重要的基础。

(3)对近代或新生代火山碎屑流的研究被认为是火山岩石学研究取得突破性进展的表现。这主要指将流体动力学原理引入到碎屑流搬运、堆积过程机理的研究。运用近代地球化学方法研究火山碎屑流侵位时 T 、 p 、 f_{O_2} 和延伸到岩浆房的梯度。

(4)此外,海底火山喷发、熔岩流与岩穹侵出的直接观察以及火山喷气与蚀变,喷泉与地热的研究也大大促进火山岩相学的发展和火山成因矿床学的研究。

3. 火山构造类型、格局与火山根部、深部构造的研究正在逐步深化

火山或火山构造的研究大体有以下课题:

(1)代表性单个火山或火山构造剖析(例如破火山口),建立演化模式。20世纪70年代对破火山口研究有较大的进展,特别是沉陷和隆起机理方面有新的概念。

(2)较大范围内(相当于一个火山喷发区)研究多个或多种火山构造先后叠置切割或基

本同期火山构造叠套和镶嵌以探讨一个火山喷发区的演化历史。

(3)相当于一个火山带内火山或火山构造排列组合形式与基底构造的关系。

(4)火山构造的控矿性,如“含矿破火山构造研究”“火山与不同类型矿床赋存位置的相关性的研究”。

(5)火山根部构造,一般研究剥蚀程度较大地区火山残留部分。如环状杂岩的研究,对于识别古火山和了解火山根部的构造极为重要。

(6)火山深部构造,联系到岩浆房形态、大小与火山构造之间的关系的研究。

测制火山岩相构造图,是查明火山岩区地质构造最重要的任务和有效的工作途径,也是火山岩区大、中比例尺成矿预测和建立地质找矿模式的基础,这方面工作急需普及与提高,探索一套适合中国中生代火山岩区的工作程度和方法性规范具有重要的实际意义。

4. 遥感地质与地球物理方法是深化火山地质研究必需采用的有效手段

20世纪80年代4号和5号陆地卫星(landsat),采用专题制图仪(TM),具30m等级的地面分辨力。法国SPOT(Satellite positioning and tracking,人造卫星定位及跟踪)卫星应用的可见光扫描仪(HRV)地面分辨可达10m等级。解释方法由目视判读进入计算机自动识别和定量统计处理的阶段。遥感地质在火山岩区具有以下功能和任务:

(1)识别环形构造。包括所有构造——岩浆活动有关的环形构造:火山机构所显示的环形构造,中、浅成侵入体上侵形成的环形构造,侵入体内部的环形构造,推测岩浆房上升的环形构造和地幔隆起所形成的环形构造,也包括判别正向与负向环形构造,以及各种环形构造的组合、排列形式。

(2)线性构造判别。定量统计其密度分布,揭示线性体分布规律。线性区域构造与火山构造(放射状构造)之间的关系。

(3)圈定热液蚀变区和氧化物帽。TM的7波段对含 OH^- 的粘土矿物特别有效。

(4)遥感地质图的编制并结合地面地质图、深部地质图和化探异常图进行成矿预测。

中国地面卫星接收站所制的卫片能清晰地显示中生代火山岩地区的线性构造与环形构造。在工作中应充分利用卫片、TM磁带,以发掘更多的信息。

地球物理方法的应用。在国际上已采用建立微重力网研究火山区和地热区的地面下沉和抬升;用质子旋进磁力仪进行磁测,研究火山、火山穹隆及地下的隐伏构造;用地热测定火山岩区下伏岩浆体的深度。这些方法同样适用于研究中新代火山岩地质。国外发表的火山构造,特别是破火山口研究文献大多附有遥感解释图和重力异常图。重力异常图对于研究火山构造的功能是:①圈定破火山口或破火山口组合体的边界;②利用地震法和重力场推断岩浆房的范围与深度,如伯格(Kndoto Berg)对阿拉斯加火山带下岩浆房的研究;③分析火山活动期或以后地面隆起和下沉;④布格异常结合破火山口类型,研究破火山口模式,如瓦列斯型破火山口深源低重力场预示存在花岗岩质侵入体,证实圆筒状块体的沉陷与复活隆起。又如狭义克拉克托型破火山口由低密度沉积物引起低重力场。因此提出各种破火山口深部构造的模式。

总之,上述四个方面的内容大体上反映了火山岩相构造学的主要任务。

二、区域岩石系列与构造岩浆动力学模式研究

近代火山岩区域岩石学的研究趋势可以概括为:

(1)从岩类学研究发展到区域性火山岩系列、组合、岩套的特征与板块构造、深部构造类

型、演化之间关系的研究。

(2)地球化学研究(特别是稀土、微量元素与 Sr、O、Nd 同位素)渗透到构造—岩浆体系研究,显示了它的重要性和活力。

(3)与国际“岩石圈研究计划”相对应,从研究大洋板块岩浆作用到更多地注意大陆内部——陆缘、裂谷、陆陆碰撞带、大陆隆起火山岩浆作用。

(4)火山岩与同期侵入岩作为岩浆作用产物的整体而统一研究。20 世纪 60—70 年代对玄武岩和基性或超基性侵入体研究,讨论玄武质岩浆作用,取得重要进展。80 年代以来更多地重视不同构造背景下流纹岩与花岗岩的研究。

(5)岩浆起源演化与浅岩浆房的研究。通过地球物理、地球化学和实验岩石学取得新的进展,定量地计算或模拟开放岩浆体系过程、各种机制的含义与贡献。

(6)建立全球性或区域性构造—岩浆作用模式和不同构造应力状态—挤压碰撞、伸展裂解、走滑剪切—岩浆作用动力学模式。

从上述发展趋势看,火山岩区域岩石学或成因岩石学的方向应该是区域岩石系列(组合、岩套)特征与构造格局之间的关联,建立区域性构造—岩浆作用模式,研究岩浆起源、演化与地幔、地壳以及构造应力状态的关联,建立岩浆作用动力学模式。

1. 区域岩石系列特征与构造格局关联性和构造—岩浆作用模式的研究

区域岩石系列、组合或岩套与板块构造的关系概略列于表 1。

表 1 岩石系列与构造环境

岩石系列	构造环境	板 边					板 内	
		会 聚		离 散			陆 壳	洋 壳
		岛 弧	陆 缘	陆—陆 (弧)碰撞	大洋盆地	弧后盆地	大陆裂谷	大陆隆起 大洋岛屿 大洋弧
TH		—	—		—	—		
CA	高 K		—	—				
	CA	—	—					
	低 K	—						
A	K	—	—					
	Na					—		
DD	K						—	—
	Na							—
SH		—(晚期)		—(后期)			—	—

注:TH——拉斑玄武岩系列 CA——钙碱系列 A——碱性系列 DD——双峰式 SH——钾玄岩系列(Shoshonite)

岩石系列与构造的关联性,基本状况如表 1 所列,当今研究的问题是:

(1)同一构造环境出现几种不同的岩石系列,就会涉及研究岩石系列空间上的分带性和时间上的序列性;

(2)同一岩石系列有时出现于不同构造环境中,因而势必探索它们的差异性和详细、有效的判别标志;

(3)地幔不均匀性和地壳“块段性”逐步得到证实,因此从全球范围来说,一个岩石系列无疑有共性,但具体到一个地区来说就可能存在不统一性;

(4)岩浆房存在着分带性,一般认为喷发物只占岩浆体积的 1/10,那么一个岩石系列端

元岩石喷发与否,或喷出量多少就可能不完全一致,这就涉及需要多种标志或趋势来确定岩石系列的归属;

(5)对陆缘、裂谷、碰撞、大陆隆起构造背景下岩石系列特征的研究已逐步引起更多的重视,因而双峰式系列特征与岩浆作用、钾玄岩系列特征与岩浆作用、高钾钙碱系列的特征与岩浆作用可能成为 20 世纪末的重要课题。

随着大陆或岩石圈的研究,人们关注流纹岩与花岗岩的研究,提出了花岗岩与流纹岩成因类型或者说构造—成因类型问题。自 B. W. 查佩尔提出 S 型、I 型花岗岩和随后提出的 M 型、A 型花岗岩。皮尔斯(J. R. Pearce)从已知构造环境的花岗岩入手,通过地球化学、矿物、岩石特征提出更为详细的构造—成因类型。从皮尔斯的分类大体可以了解到他的研究思路。

- | | | |
|---------------------|---|--|
| ①洋脊花岗岩(ORG)
亏损地幔 | { | a. 正常洋脊与 N 型 MORB 共生
b. 异常洋脊与 T-E 型 MORB 共生
c. 弧后盆地洋脊
d. 弧前盆地洋脊(上消减带) |
| ②火山弧花岗岩
(VAG) | { | a. 以 TH 为主的大洋弧(M 型)
b. 以 CA 为主的大洋弧(M 型、I 型)
c. 活动大陆边缘(I 型) |
| ③板内花岗岩
(WPG) | { | a. 陆内环状杂岩与地堑
b. 衰减大陆壳
c. 大洋岛屿 |
| ④碰撞花岗岩
(COLG) | { | a. 陆陆碰撞(同构造)
b. 陆陆碰撞(后构造)
c. 陆弧碰撞(同造山) |

花岗岩与流纹岩为酸性岩浆作用不同侵位方式的产物,因此在研究思路上应该统一地研究,要改变花岗岩与流纹岩研究脱节的状况。

地球化学在判断岩石系列或构造—成因类型日益显得重要,分别提出判别标志、判别参数或判别图式,如:

(1)全岩岩石化学及有关参数建立数据库,提出 R_1R_2 参数与图解。

(2)继玄武岩类型的判别图式以后,提出花岗岩与流纹岩的判别图式。皮尔斯提出以洋脊花岗岩作为标准因子,用瑞利(Rayleigh)定律以 N 型的 MORB 平均成分经分离结晶作用产物计算、设计地球化学型式(K_2O 、Rb、Ba、Th、Ta、Nb、Ce、Hf、Zr、Sm、Y、Yb)和元素对判别图解(SiO_2 —Ta、Y 或 Yb; Rb —Y+ Nb, Yb + Ta, Ta —Nb, Ta —Yb, Rb —Y+ Nb 等)。

(3)对黄玉流纹岩、含 Sn 流纹岩、过碱流纹岩采用了 F、Cl、Rb、Ba、Sr、Eu、La、Sm、Yb、Y、Th、U、Zr、Nb、Ta 地球化学型式。

岩石系列或构造—岩浆成因类型研究的延伸体现在建立构造—岩浆作用的模式中。这种模式思路是,重建一个地区构造背景、格局、演化与火山活动、岩浆作用之间的内在联系。迪金森(Dickinson, 1971—1972 年)提出岩石构造组合(petrotectonic assemblages)和岛弧—海沟系列岩石构造组合图式。此外,如大陆边缘盆地演化与火山弧岩浆活动(卡雷 Karry, 1971);火山物质来源与搬运机制[凯里(S. Carey), 西于尔兹格(H. Sigurdsson)];大洋或

弧后系统岩石系列空间变异图〔塞姆得(A. D. Samders)〕;大陆边缘构造模式与岩石系列〔巴托梅(B. S. Barthomew)〕。再者,如岩石系列一构造背景延伸到岩浆起源。威利(Willie)提出了地热几何模式与深部源区、岩浆形成之间的关系为思路而建立的“冷热幔、亮的热结构状态下岩浆成因图解”。

2. 岩浆起源、演化机理与岩浆作用动力学模式

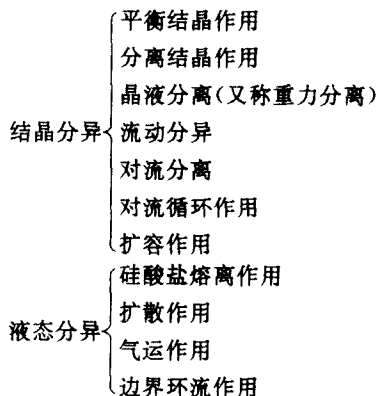
随着学科的互相渗透,测试与计算技术的改进,对岩浆、岩浆房、岩浆起源以及演化过程中各种机制的作用与意义有了进一步认识,某些方面已进入定量模拟阶段。其基本状况或人们正在研究的问题与思路可归纳出以下几点:

(1)一般认为起源于地幔或地壳部分熔融的母岩浆(parental magma)和由母岩浆经分异作用(defferentiation)或混合作用(mixing)而成派生岩浆,而原始岩浆(primary magma)是从源区部分熔融后,未发生分离结晶作用的岩浆。岩浆起源、演化机理是复杂的过程,包括了以下不同作用机制:

①部分熔融:批式(分批)熔融

分离熔融

②岩浆分异作用:



③岩浆同化作用与混染作用

④岩浆混合作用:

动态混合(同源岩浆混合)

静态混合(熔融带异源岩浆混合)

当今研究岩浆起源演化,实质上是探索各种作用或机理的定量或准定量的意义。

(2)应用微量元素特征、元素分配系数概念、最小二乘法和质量平衡等方法,建立岩浆作用的理论模式,定量地估计上述各种机理在岩浆作用过程中的意义正在逐步确立。

①理论模式图解——分批熔融公式与图解;简单或多次分离结晶公式与图解;整体平衡结晶方式;岩浆混合公式;岩浆同化与分离结晶作用公式与图解。②相关元素,或某些元素对的图解法估计部分熔融和分离结晶作用程度与方向,如:La/Sm、Ni/Ce、Ce/Rb、Sr/Rb 图解等。③用计算方法估计母岩浆以及部分熔融或分离结晶作用的定量意义,常用最小二乘法编制的各种程序进行模式计算,得出拟合最佳的数据,并与实际测得的数据比较。

(3)重视火山岩微量元素地球化学中所采样品的地层(时代)、体积(喷出量)和成分之间关系而获得的新概念,正在改正以往对岩浆或岩浆房的误解。如:①岩浆房并不是孤立的单独存在的场所,而是一个晶体—熔体—蒸气共存的带。这个带存在时间远比喷发期长远,有人估计可达1—10Ma,垂直深度达几十公里。②岩浆体系并不是狭窄的概念,以往普遍地忽