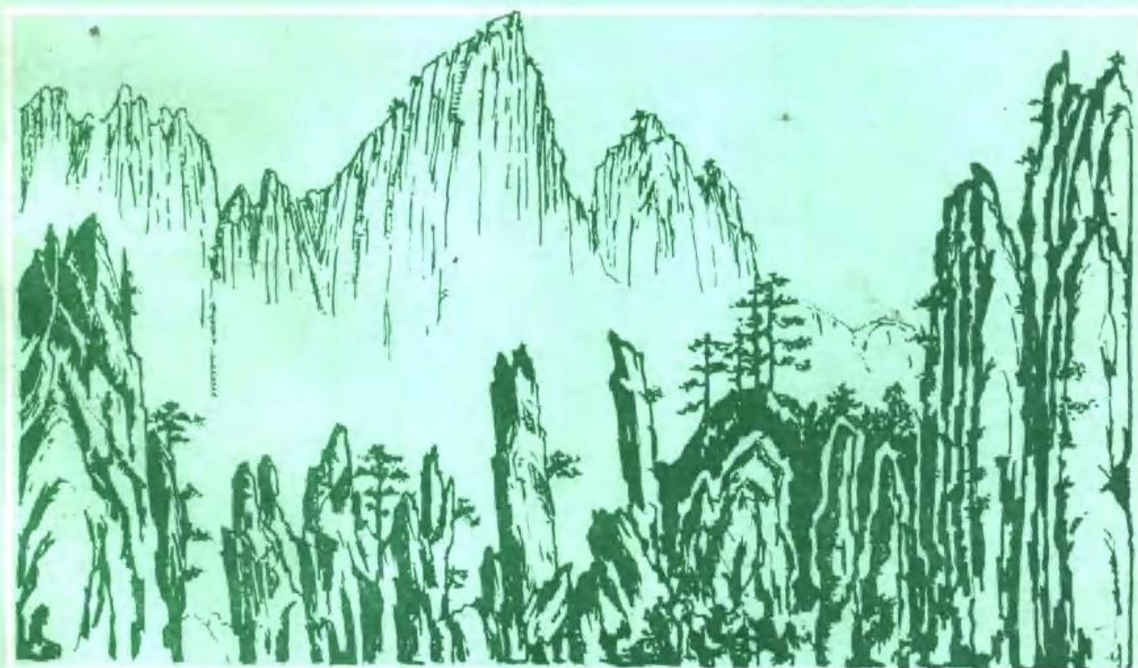


高等学校教材

火成岩石学

孙 鼎 彭亚鸣 主编



地质出版社

高等学校教材

火 成 岩 石 学

南京大学地质学系

孙 鼎 彭亚鸣 主编

地 质 出 版 社

前 言

本书是在1980年出版的《火成岩岩石学》(南京大学地质系岩矿室编)的基础上,总结了近年来教学经验,并吸取了国内外火成岩石学研究的最新成果和资料进行修订改编而成。

我们对教材的改革宗旨是:在提高教材科学性、先进性和系统性的基础上,适当减少篇幅,以做到少而精。根据上述精神,编者除对目前已显陈旧的内容予以删除外,大量吸收了现代火成岩石学研究中有关的新理论和新资料,并增加了火成岩造岩矿物的成岩意义和火成岩共生组合等方面的内容,同时对描述性部分的内容则适当作了精简,在岩石成因理论方面进一步有所加强。与此相适应的还更新和增补了大量的图表。

本书与原教材相比,全书的结构也作了适当的调整,在通论、各论和成因理论三大部分之间的比例安排更为合理,做到由浅入深,循序渐进;同时使之在理论联系实际的前提下,突出本学科的基本理论和基本知识,以适应当代火成岩石学发展的现状和趋向。

本教材的修编工作是在南京大学教务处和地质系领导下,由原编写小组负责于1982年开始进行修编。修编的具体分工是:绪论、第一、第七、第十二章由孙鼎执笔;第二、第十及第十四章由刘昌实执笔;第三、第八及第十二章由周新民执笔;第四及第十五章由陈克荣执笔;第五、第六、第九以及第十六章由彭亚鸣执笔;第十一章由牟惟熹执笔;显微镜薄片素描则由钱汉东绘制;修编初稿由孙鼎、彭亚鸣负责全面整理和修改。插图由高秀英、钱汉东清绘。

在编写过程中,得到南京大学地质系岩矿教研室、矿床教研室、区域地质教研室老师的支持和帮助。

本书初稿完成后,经主审人董申葆教授和穆克敏教授详细审阅,提出了宝贵意见。经编者修改后,于1984年2月在南京大学召开了地矿部岩浆岩编审小组会,出席会议的有穆克敏教授、邱家骧教授等有关兄弟院校的代表以及地质出版社杨洪钧同志共二十余人。经会议审查,认为本教材符合有关教学大纲要求,可作为高等学校通用教材出版。根据会议审查的意见,编者又做了进一步的修订,最后由主审人董申葆教授、穆克敏教授以及本书责任编辑罗谷风副教授于1984年5月至8月间进行了出版前的最后审定。编者对所有为本书审稿、编辑、出版以及修改付出了辛勤劳动的同志们致以衷心的感谢。

本书的修编工作前后历时一年多,但仍感时间仓促,且由于编者水平有限,书中错误和不当之处在所难免,我们热诚希望读者批评指正。

编 者

于1984年8月

目 录

绪论	1
第一节 岩石和岩石学的概念.....	1
第二节 岩石学发展简史	2
第三节 火成岩石学和其他学科的关系	3
第四节 研究火成岩石学的目的、意义和方法	3
第五节 我国火成岩研究概况.....	4
第一章 岩浆及其性质	6
第一节 岩浆及岩浆作用	6
第二节 岩浆的成分与化学类型	6
第三节 岩浆的温度	8
第四节 岩浆的粘度	9
第二章 火成岩的化学成分	12
第一节 地球各层圈的化学组成	12
第二节 火成岩平均化学成分	14
第三节 火成岩中同位素及其成岩意义	19
一、锶同位素	19
二、氧同位素	19
三、钕同位素	21
第四节 火成岩中稀土元素及其成岩意义	22
第三章 火成岩的矿物成分	25
第一节 火成岩的矿物组成.....	25
第二节 火成岩矿物与岩石化学成分的关系	27
第三节 常见的火成岩矿物及其成岩意义	30
一、橄榄石族	30
二、辉石族	32
三、角闪石族	36
四、云母族	37
五、长石族	38
六、似长石	41
七、石英族	41
第四章 火成岩的结构和构造	43
第一节 结构的种类及其形成条件	43
第二节 火成岩的矿物生成顺序	53
第三节 火成岩的构造	55
第四节 相平衡对岩浆结晶作用和岩石结构的解释	61

II

一、一元系 SiO_2 相图	61
二、二元共结系相图	62
三、二元近结系相图	65
四、具有固溶体的二元系相图	67
第五章 火成岩的产状和岩相	72
第一节 火成岩产状的描述	72
一、侵入岩体的产状	72
二、喷出岩体的产状	79
第二节 火成岩岩相的概念和岩相的划分	82
第六章 火成岩的分类	89
第一节 火成岩分类的基础	89
第二节 火成岩定量矿物成分分类	90
第三节 火成岩命名原则	92
第四节 本书采用的分类和描述系统	94
第七章 超基性(超镁铁)岩类(橄榄岩—科马提岩)	98
第一节 概述	98
第二节 侵入岩	98
一、岩石学特征	98
二、种属划分及主要种属描述	99
三、化学成分	102
四、次生变化	103
五、产状和分布	104
六、我国超镁铁侵入岩体类型的划分	105
七、成矿关系	106
第三节 喷出岩	107
第四节 金伯利岩	109
一、一般特征	109
二、矿物成分	109
三、结构、构造及岩石类型	110
四、化学成分	111
五、产状及时代	112
六、成矿关系	112
第八章 基性岩类(辉长岩—玄武岩)	113
第一节 概述	113
第二节 侵入岩	113
一、岩石学特征	113
二、种属划分及主要种属描述	115
三、化学成分	122
四、次生变化	123
五、产状、分布及成矿关系	123
第三节 喷出岩	124

一、岩石学特征	124
二、种属划分及主要种属描述	126
三、化学成分	129
四、次生变化	130
五、产状、分布及成矿关系	130
第九章 中性岩类 (闪长岩—安山岩, 二长岩—粗面安山岩及正长岩—粗面岩)	132
第一节 概述	132
第二节 侵入岩	132
一、岩石学特征	132
二、种属划分及主要种属描述	134
三、化学成分	139
四、次生变化	139
五、产状和分布	140
六、成矿关系	140
第三节 喷出岩	141
一、岩石学特征	141
二、种属划分及主要种属描述	142
三、化学成分	146
四、次生变化	146
五、产状和分布	147
六、成矿关系	147
第十章 酸性岩类 (花岗岩—流纹岩)	149
第一节 概述	149
第二节 侵入岩	149
一、岩石学特征	150
二、种属划分及主要种属描述	151
三、化学成分	155
四、次生变化	155
五、产状及分布	157
六、成矿关系	158
第三节 喷出岩	160
一、岩石学特征	160
二、种属划分及主要种属描述	161
三、化学成分	164
四、次生变化	165
五、产状及分布	165
六、成矿关系	166
第四节 交代花岗岩	166
第十一章 碱性岩类及其有关岩石 (霞石正长岩—响岩, 霞斜岩—碧玄岩、碱玄岩; 霓霞岩—霞石岩及黄长石岩、碳酸岩)	171

IV

第一节 概述	171
第二节 侵入岩	171
一、岩石学特征	171
二、种属划分及主要种属描述	172
三、化学成分	175
四、岩体类型、产状及分布	176
五、成矿关系	177
第三节 喷出岩	178
一、主要种属描述	178
二、化学成分	180
三、分布和产状	180
第四节 碳酸岩	181
一、岩石学特征	181
二、种属划分及主要种属描述	182
三、化学成分	182
四、产状	183
五、我国分布概况	185
六、成矿关系	185
第十二章 脉岩类	187
第一节 概述	187
第二节 细晶岩	187
第三节 伟晶岩	188
一、概述	188
二、矿物成分和化学成分	189
三、伟晶岩体的产状	189
四、岩体的内部构造	190
五、形成温度和深度	190
六、成因	191
第四节 煌斑岩	191
一、概述	191
二、矿物成分和化学成分	192
三、种属划分及其描述	192
四、产状及地质分布	195
五、成因	196
第十三章 火山碎屑岩	197
第一节 概述	197
第二节 火山碎屑物特征	197
第三节 分类和种属描述	199
第四节 次生变化	206
第五节 产状与成矿关系	206
第十四章 火成岩岩石化学计算及其应用	208

第一节 火成岩系列碱性程度的划分	208
第二节 CIPW标准矿物计算法	214
一、概述	214
二、计算方法	214
三、计算结果的检查	218
四、计算实例	218
五、CIPW计算法的应用	221
第三节 查瓦里茨基计算法	222
一、计算原理	222
二、计算方法	223
三、投影方法	224
四、计算实例	225
五、查氏图含义的判识	226
六、查氏计算方法的应用——火山岩共生组合分析	227
第十五章 岩浆的生成、演化及主要火成岩的成因	229
第一节 岩浆的结晶作用	229
一、基性岩浆的结晶作用	230
二、花岗岩浆的结晶作用	235
三、残余岩浆的结晶作用	238
第二节 岩浆的演化	242
一、岩浆分异作用	242
二、同化混染作用	243
三、岩浆混合作用	245
第三节 岩浆的生成及主要火成岩的成因	245
一、上地幔中岩浆的形成及基性岩、超镁铁岩的成因	245
二、安山岩浆的形成及某些中性岩的成因	250
三、大陆地壳中花岗岩浆的形成和花岗岩的成因	253
四、碱性岩的成因	259
第十六章 火成岩组合、成矿关系及分布概况	261
第一节 岩浆活动与地质构造的关系	261
一、岩浆活动与区域构造的关系	261
二、板块构造与岩浆演化	262
第二节 火成岩的共生组合	265
一、有关火成岩共生组合的若干术语	265
二、库兹涅佐夫的岩浆建造和海德曼火成岩共生组合分类	266
三、卡迈克尔的火成岩共生组合类型的划分	268
四、主要的火成岩共生组合的特征	268
第三节 岩浆活动与成矿关系	275
一、超基性岩、基性岩与成矿的关系	276
二、中性侵入岩与成矿的关系	276
三、花岗岩类岩石与成矿的关系	277
四、碱性岩与成矿的关系	277

五、火山岩与成矿关系	277
第四节 我国火成岩的分布概况	278
一、晚元古代前的火成岩	280
二、晚元古代火成岩	281
三、古生代火成岩	281
四、中生代火成岩	282
五、新生代火成岩	284
附表一 由氧化物重量百分数换算分子数表	285
附表二 根据标准矿物的分子数计算重量百分数表	294
附表三 火成岩平均化学成分及CIPW标准矿物成分表	306
附表四 中国火成岩平均值	322
主要参考书	323

绪 论

第一节 岩石和岩石学的概念

岩石 (Rock) 是构成地球上层 (地壳和至少上地幔) 的主要物质, 是天然产出的具有稳定外形的矿物集合体, 主要由一种或数种造岩矿物 (少数由天然玻璃或生物遗骸) 按一定方式结合而成; 它是地球发展的一定阶段, 由各种地质作用形成的产物。

岩石的种类很多, 但从成因来看, 一般可归纳为如下三大类:

1. **火成岩** 由高温熔融的岩浆在地下或喷出地表后冷凝而成的岩石, 如橄榄岩、玄武岩等。但也有少量火成岩并非由岩浆冷凝形成, 如某些花岗岩类岩石是由变质交代作用形成的。

2. **沉积岩** 是在地表或接近地表的条件下由风化作用、生物作用以及某种火山作用形成的产物经过搬运、沉积和石化作用所形成的岩石, 如砂岩、石灰岩等。

3. **变质岩** 是由已存在的岩石, 在温度和压力升高的条件下, 发生矿物成分和结构、构造的改造而形成的岩石, 如片麻岩、大理岩等。

三大类岩石在成分、结构、构造以及产状等方面各有自己独特的特性, 但有时并不能截然分开, 其间有的逐渐过渡, 有的由于形成条件复杂, 还不能简单地归为哪一种成因。实际上, 三大类岩石彼此之间有着密切的联系, 其相互演变的关系可以用图0—1表示。不过这种相互演变关系并不是简单地循环重复, 而是不断地向前发展的。

三大类岩石的分布情况各不相同, 沉积岩主要分布于大陆地表, 占陆壳面积的75%, 而距地表越深, 则火成岩和变质岩越多, 沉积岩越少。根据地球物理资料 and 高温高压实验判断, 地壳深处和上地幔主要是由火成岩所构成。据统计整个地壳中火成岩体积占66%, 变质岩占20%, 沉积岩仅占8%。

就火成岩本身来讲, 据火成岩的 SiO_2 频率分布曲线, 表明自然界中分布最广的火成岩, 其 SiO_2 含量为52.5%左右和73.0%左右 (图0—2)。前者相当于玄武岩, 后者相当于花岗岩。玄武岩广泛地分布于大洋区, 而花岗岩多分布于大陆区。

岩石学 (Petrology) 是研究岩石的物质成分、结构、构造、成因、共生组合、分布规律及其与成矿关系的一门独立的学科, 是地质学的一个重要分支。有人根据研究的重点不同, 把岩石学分为岩类学和岩理学。岩类学 (Petrography) 又称描述岩石学, 主要是研究岩石的物质成分、结构、构造, 分类命名等方面内容; 而将研究岩石成因问题, 探讨岩石的形成条件和形成过程等内容称为岩理学 (Petrogenesis) 或成因岩石学。实际上这两者是互相联系、有机统一的。岩类学虽然是岩石学的一个重要方面, 但不是岩石学的全部内容, 它的科学体系是建立在一定成因概念基础上的; 而岩理学的发展又是建筑在更深入细致的岩类学的基础之上, 否则这种成因的研究将会导致片面地和孤立地去观察问题, 而

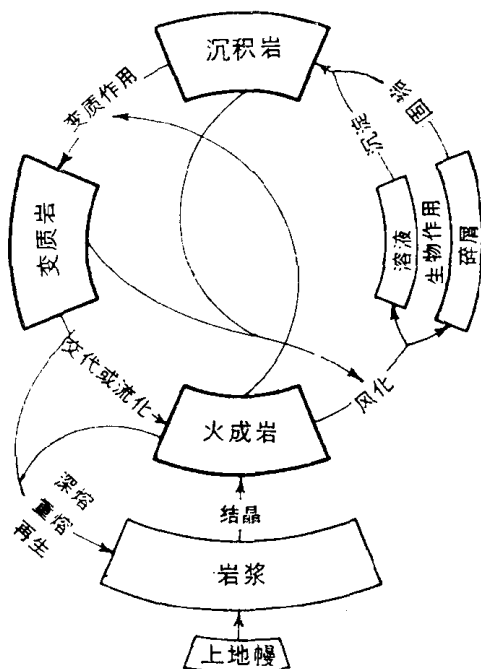
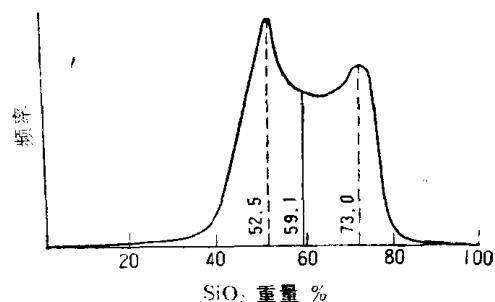


图 0—1 三大岩类岩石相互演变关系图解

图 0—2 火成岩的SiO₂频率分布
(依W.A.Richardson等, 1922)

形成脱离实际的空洞理论。

此外，从成因来考虑，岩石学还可分为火成岩石学、沉积岩石学和变质岩石学，由于岩石学的迅速发展，它们已分别成为独立的学科。

第二节 岩石学发展简史

有关岩石方面的文字记载出现很早，如我国战国时期的《山海经》一书就是世界上最早含有矿物和岩石记述的书籍。但岩石学作为一门独立学科出现，则始于十八世纪末叶。这个时期由于资本主义工业在欧洲迅速发展，对矿物原料的要求日益增加，因而分门别类地积累了大量的矿物和岩石资料，从而促使岩石学从矿物学和地质学中分离出来而成为独立的一门学科。在十八世纪末到十九世纪初，当时对岩石的研究主要是野外观察和肉眼鉴定，这期间积累了大量关于岩石的初步知识。但对地壳中分布最广的花岗岩和玄武岩的成因，曾存在“水成说”和“火成说”的激烈争论。以后见到花岗岩侵入于含化石的石灰岩中，才逐渐明确花岗岩与沉积岩不同，于是“火成论”占了优势。在这个基础上产生了岩浆的概念，注意到了火成岩的多样性，并提出了火成岩的分类。这个时期在岩石学发展史上称为显微镜前时期。1828年偏光显微镜出现后，英国的索尔贝（H. C. Sorby）将岩石制成薄片用偏光显微镜进行观察；随后有很多学者也用这种方法进行研究，并相继出版了一些岩石薄片研究方法的专门著作，于是开始了显微镜研究岩石的新时期。偏光显微镜的应用给岩石学的研究打开了新局面，为以后岩石学的全面发展奠定了基础，这一时期持续了近七十年，在岩石学史上称为显微镜时期。这个时期在岩石的矿物成分、结构、构造、分类以及成因理论等方面的研究都有了进一步的发展。从十九世纪末、二十世纪初开始，由于自然科学的迅速发展，工业发展更是一日千里，从而促进岩石学继续向前发展，岩石学

已结合矿物学、岩石化学、地球化学、物理化学、地球物理学及构造地质学等开展研究,这一时期常被称为显微镜后时期。在这个时期中,1889年费德洛夫旋转台的发明和使用,大大地促进了显微镜鉴定技术的发展。1912年X射线晶体衍射实验的成功,则为岩石的矿物成分研究开辟了新天地。对于火成岩化学成分的研究,虽然早在显微镜研究法出现以前就已开始,但在本世纪三十年代前后,特别是五十年代后,有了较大的发展,创立了各种岩石化学计算方法和化学成分的分类,并建立了很多岩石化学指数,从不同方面揭示了岩石的特征、成因、共生规律以及成矿专属性等。近年来,随着各种新的快速而准确的分析方法及电子计算机的使用,多种边缘科学的相互渗透,大量区域岩石学、海洋地质学和星际资料的充分利用,都为日益深入研究岩石展示了新方向,正在改变原有的一些传统观念,产生许多崭新的理论,因此岩石学正在进入一个蓬勃发展的新时期。

第三节 火成岩石学和其他学科的关系

岩石学既是一门独立的学科,但它在地质学领域里又是一门基础学科,而火成岩石学是岩石学中一个主要组成部分,因此它和地质学的其他学科存在密切的关系。火成岩主要由造岩矿物所组成,因此研究火成岩物质成分时,必须要有良好的结晶学、矿物学和晶体光学基础。另一方面火成岩石学又是矿床学、地球化学及大地构造学的基础。例如矿床学必须研究与矿体有关的火成岩的性质以及标志着成矿条件的火成岩的组合与分布等资料;而地球化学的研究常通过对火成岩的微量元素的系统测定,来阐明成矿元素和稀有元素的迁移规律,为找矿及矿床的综合利用提供依据;大地构造学的研究必须了解不同地质构造单元内岩浆作用和岩浆演化的规律。另外,其他地质学科如水文地质学、工程地质学、地震地质学、地史学、海洋地质学、宇宙地质学等无不与火成岩岩石学有着直接的联系。

火成岩石学除与各地质学科有着直接的关系外,还与其他的一些基础科学,特别是化学、物理化学和物理学存在密切的关系。例如研究火成岩的化学成分就需要化学方面的基础;研究火成岩的形成条件,则需要物理化学的基础。由于科学技术的迅速发展,火成岩宏观范围的研究日益扩大,微观探索不断深入。在进行物质成分研究时,除采用一般的鉴定技术外,已应用原子吸收光谱、红外吸收光谱、电子探针、离子探针等新技术。因此火成岩石学的发展与工业生产以及整个科学技术的发展都有着密切的联系,而这些正是建立在近代物理和化学的理论和实验技术基础上的。

第四节 研究火成岩石学的目的、意义和方法

火成岩石学的内容相当丰富,对它的研究首先应从基础入手,即从作为分类基础的岩石的物质组份、结构、构造的研究入手,从而了解各种火成岩的基本特征。在这个基础上,进而对岩石在自然界的产状、分布以及与地质构造的关系等进行系统观察,广泛收集资料,运用基础理论加以分析,借以说明火成岩形成、发展和演化过程,并探讨岩浆的活动规律和火成岩形成的地质条件。更重要的是通过火成岩的研究来探讨各种火成岩的成矿专属性,为寻找矿产资源提供重要的依据。

火成岩石学的研究还有极为重要的理论意义,它对探讨地球的形成和演化、地壳发展

历史、地壳运动、地质作用以及深部地质等一系列重大的理论问题起着重要的作用。此外，火成岩的研究，也为解决工程地质、地热和地震等问题提供重要的依据。

火成岩既然是在地球发展的一定阶段中一定地质作用的产物，因此，在研究火成岩时，野外地质考察是首要的一个方面，研究内容包括：岩体的产状、空间分布、形成的地质时代、岩相和岩性的变化、岩体构造、火成岩形成的地质环境以及岩浆作用与成矿作用关系等等，从而了解岩体形成与大地构造发展的关系和岩浆活动与成矿作用关系等。在室内要用各种方法研究其物质组成。显微镜鉴定、费多洛夫法、油浸法、X射线物相分析、化学分析、光谱分析等一般方法以及电子探针、离子探针、各种波谱分析等先进的测试技术都是重要的研究手段。根据室内分析资料应电子计算机技术和数理统计方法进行计算和比较，借以了解岩石演化规律和成矿特点。

此外，还可应用同位素测定来研究火成岩的物质来源及其形成时代。

在岩石学领域中，还广泛地应用物理化学原理，通过实验室中人工控制的条件来模拟自然过程，以探讨和解决火成岩中许多理论问题，如了解岩浆的某些性质，探讨岩浆的发生和演化，岩浆冷却时的结晶过程和岩石形成条件等，并以此来验证野外观察和室内鉴定的结果，从而得出比较正确的推断和结论。

火成岩石学研究是以野外地质为基础，室内分析、鉴定为基本内容，如果脱离野外实践，或者忽略室内分析、鉴定工作都不能全面地了解火成岩的特征，也不可能得出正确的结论。在野外和室内所获得的大量地质资料和丰富的测试数据的基础上，还需进行归纳、分析、判断和推理，从而提出应有的结论。

第五节 我国火成岩研究概况

本世纪二十年代初，随着我国地质事业的兴起，开始了我国火成岩的研究工作。在解放前，虽经老一辈地质学家的努力，火成岩研究取得了一些成绩，但旧中国腐朽的社会制度和落后的经济状况，使火成岩的研究受到很大限制。火成岩的研究仅局限于少数地区 and 个别岩类，且大多偏重于一般的地质观察、显微镜鉴定和少量化学分析，对火成岩其他内容几乎都未涉及。

自中华人民共和国成立以来，我国的地质事业以从来未有的速度蓬勃发展起来。1957年至1966年大面积的二十万分之一的区域地质测量和普查工作，积累了丰富的地质资料，为岩石学特别是火成岩石学的发展打下了良好的基础。在结合国家生产和科学规划中，火成岩的研究从个别岩体逐渐转移到区域岩石学的研究，使火成岩研究在构造岩浆旋回、岩浆活动与区域地质构造关系等方面获得了较大的成果，并在岩石成因、成矿等理论方面的研究也取得较好的成绩。

自1957年起，国内普遍对超基性岩、基性岩开展研究，目前已基本搞清了它们在空间上和时间上的分布规律、成矿专属性以及与大地构造的关系等问题。近几年来，随着板块学说的传播，对蛇绿岩套的研究受到了重视，在我国不少地区如西藏、新疆、四川、甘肃、广西等超基性岩带中发现了超基性岩、基性枕状熔岩、硅质岩等蛇绿岩套典型组合。

对分布在中国东部地区的花岗岩类也开展了比较详细的研究工作。南京大学地质系、中国科学院贵阳地球化学研究所以及地质科学院宜昌地质矿产研究所等单位都长期地进行

深入的研究，先后发现了除燕山期花岗岩外，还有东安、雪峰、加里东、海西、印支等期的花岗岩存在，并对不同时代花岗岩的分布规律、特征以及成矿关系、成因类型结合板块构造理论进行较深入的探讨，提出了新观点。

对火山岩和火山作用的研究也逐渐深入，其中如对浙、闽中生代火山岩，我国东部新生代火山岩；川、滇、黔地区的二叠纪峨眉玄武岩；西北地区的海底火山喷发岩系；宁芜地区火山岩等从岩石学、岩石化学、火山岩组合、火山岩地质以及成矿关系等方面都进行了较详细的研究，取得了很大进展。

此外，对碱性岩、金伯利岩和碳酸岩等也进行了许多研究，取得了可喜的成果，并陆续在东北、山东、湖北、湖南及西南等地发现了这些岩类的新岩体。

近几年来，在交通比较困难的地区，如西藏、内蒙、新疆等地还专门组织了地质考察队伍，进行了大量区域地质的调查研究工作，对这些地区的岩浆活动情况和火成岩分布规律等取得了大量的实际材料，为今后寻找矿产资源和进一步深入研究奠定了良好的基础。

总之，三十多年来，我国对火成岩的研究作了大量工作，为寻找矿产资源提供了依据，而且在岩石学基础理论的许多方面有新的创见，特别是近十年来由于高温高压实验以及各种现代测试技术的使用，大大提高了火成岩研究的水平。因此，我国目前火成岩的研究，已经进入了一个崭新的时期。

第一章 岩浆及其性质

第一节 岩浆及岩浆作用

自然形成于地壳深部或上地幔的一种炽热的、粘度较大的硅酸盐熔融体称为岩浆(Magma)。岩浆在其形成、活动和凝固的过程中,或在它演变的不同阶段,可以含有若干悬浮的晶体或岩石碎屑,并溶解一定量的挥发组份,后者在过饱和情况下可呈气相存在。因此,岩浆的基本特点是:有一定的化学组成、高温和能够流动。

由于岩浆的热膨胀及其密度小于周围介质,并由于断裂构造促使地壳或上地幔顶部局部地段的压力释放和产生低压区,引起岩浆向上运移,其方式犹如盐丘沿一定构造穿过上覆沉积岩层,构成底辟上升一样。上升着的岩浆将把围岩推向二侧或向上掀起^①,或者淹没、吞蚀一部分上覆岩石,在地壳上部一定的构造空间定位和固结成岩(少数情况下,岩浆在地壳下部或上地幔顶部固结);有些岩浆通过裂隙或火山孔道到达地表,并冷凝成岩。因此,岩浆从地下深处,经过向上运移,最后到达地壳上部或地表,其间经历了复杂的过程,包括岩浆的成分和物理化学状态的不断的改变。这一复杂作用的整体称作岩浆活动或岩浆作用(Magmatic action)。

岩浆作用可以按岩浆是侵入地壳之中还是喷出于地表,分为岩浆侵入作用(Magmatic intrusion)和火山作用(Volcanism)。前者形成的岩石称为侵入岩(Intrusive rock);后者形成的岩石称为喷出岩(Extrusive rock)。侵入岩又可以根据形成深度的不同而分为深成岩(Plutonic rock)和浅成岩(Hypabyssal rock)。喷出岩则包括由熔岩流冷凝的熔岩(Lava)和由火山碎屑物质组成的火山碎屑岩(Pyroclastic rock)。与火山作用密切相关的超浅成侵入岩称为次火山岩(Sub-volcanic rock),一般所说的火山岩(Volcanic rock)包括喷出岩和次火山岩两部分。除上述由岩浆固结的火成岩(Igneous rock)外,还有一部分火成岩(主要是某些花岗岩类岩石)是非岩浆成因的,它们是由变质交代作用形成的,但也包含在火成岩概念之内。因此,有人将由岩浆直接固结形成的岩石称为岩浆岩(Magmatic rock);而火成岩一词则是既包括由岩浆直接形成的岩石,也包括非岩浆作用形成的、具有火成岩外貌的岩石。

第二节 岩浆的成分与化学类型

硅酸盐岩浆的化学成分尽管千差万别,但主要由以下十余种元素按不同比例组成,它们是O、Si、Al、Ca、Na、K、Fe、Mg、Mn、Ti、P等。在岩浆缓慢结晶过程中,这些

① 地下深处的岩石,当它受岩浆挤压应力的时间明显长于它自身的张弛时间时,那么这些岩石就具有可塑性,甚至流动性,如同固体石蜡表面上放一重的小球,几小时或几天后,小球就会融入石蜡之中的情况相仿。

元素相互结合，组成硅酸盐矿物以及少量金属硫化物和氧化物。

硅酸盐岩浆中还含一定量的挥发组份，它们主要是 H_2O ，其次是 CO_2 、 CO 、 N_2 、 SO_3 、 H_2S 、 HCl 、 HF 等，挥发组份在岩浆中总量一般不足10%（重量%），其中 H_2O 约占2/3以上。挥发组份在岩浆中的溶解度，取决于岩浆的成分、温度和岩浆承受的压力，通常随压力的增加而溶解度增大，随温度的增加而溶解度降低。例如，流纹质岩浆在 900°C 和 $5 \times 10^8 \text{Pa}$ 条件下可含10%水，但在 10^5Pa 条件下（地表）只能含0.5%水；安山质岩浆在 10^8Pa 条件下只含3.1%水，而在 $6 \times 10^8 \text{Pa}$ 时可含9.4%水。所以，地下深处各种岩浆所含的挥发组份比浅处多；在岩浆向上运移过程中，挥发组份就不断地从岩浆中析出，成为独立的气相；岩浆当接近地表时，开始“沸腾”而产生大量气体（包括从岩浆中析出的和从沉积岩、地下水中捕获的气体），如其蒸气压力大于上覆岩石负荷压力时，将促成火山喷发活动。

硅酸盐岩浆中还含有一些微量元素，例如Li、V、Cr、Ni、Co、Cu、Pb、Zn、Rb、Sr、Zr、Nb、Ta、Th、U等。它们含量虽少，但在岩浆活动过程中，在一定地质条件下，却可以富集而形成许多重要的矿床。这些矿床或产在岩体内部，或产在岩体边部，或产在周围的围岩中，它们是岩浆不断活动、长期演化的产物。

除硅酸盐岩浆外，自然界还存在化学组成上完全不同于硅酸盐岩浆的碳酸盐岩浆等其他岩浆。碳酸盐岩浆以富CaO（一般为30~45%，重量%）和 CO_2 （一般为25~50%）为特点，形成于地下100km以下的高压条件下。但是，由这类岩浆结晶形成的碳酸岩分布很少，在世界上仅见于三百余处，总面积不足 500km^2 。因此，一般所说的岩浆都是指硅酸盐岩浆。

各种硅酸盐岩浆的化学成分也有大的差异。岩浆的化学成分可以通过对现代火山喷发的熔岩流的取样分析来确定，但更重要的是通过对大量火山岩岩石化学分析资料进行全面的统计研究而获得。这一研究表明，岩浆中 SiO_2 的含量和其他氧化物含量之间存在一定的消长关系。一般情况下，随着岩浆中 SiO_2 的含量的增高， Na_2O 和 K_2O 含量也随之增高，而 MgO 、 CaO 、 FeO^* （指全铁）^①的含量则随之减少。因此，岩浆成分中的 SiO_2 含量是划分岩浆化学类型的主要依据。通常可以根据 SiO_2 含量（重量%）的多寡，将岩浆划分为以下四种基本类型：

1. 超基性岩浆 (Ultrabasic magma) $\text{SiO}_2 < 45\%$;
2. 基性岩浆 (Basic magma) $\text{SiO}_2 45 \sim 52\%$;
3. 中性岩浆 (Intermediate magma) $\text{SiO}_2 52 \sim 65\%$;
4. 酸性岩浆 (Acidic magma) $\text{SiO}_2 > 65\%$ 。

自然界分布最广泛的是酸性岩浆的侵入岩——花岗岩和基性岩浆的喷出岩——玄武岩。花岗岩的分布限于大陆区，玄武岩的分布除大陆区外，还遍及整个大洋区。因此，人们认为基性玄武岩浆和酸性花岗岩浆有着不同的起源，前者形成于上地幔，后者则形成于大陆地壳的中、下部。它们之间在成因上、分布上、化学成分和岩浆演化诸方面都存在着明显区别。于是，曾有人主张这两种岩浆是地球内部的原始岩浆，这就是岩浆起源的二元论。二元论在本世纪二十年代曾风行一时，并在与鲍温的一元论（只承认一种玄武岩浆是原始岩浆）展开针锋相对的斗争中逐渐成熟。但是，随着岩石研究的逐步深入和岩石成因

① $\text{FeO}^* = \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \times 0.9$ （重量%）

模拟实验的发展,二元论已无法解释所有岩石成因,特别在近代地质提出板块构造观点及由此引起地质理论的变革以来,人们通过不断的探索,越来越相信不仅存在玄武岩浆和花岗岩浆,还存在着中性的安山岩浆和超基性的橄榄岩浆,以及与各种碱性岩有关的碱性岩浆。因此,岩浆形成的机制是多种多样的,不同成分的岩浆是在地球的不同层圈内,由于各种地质作用而形成的,这就是岩浆起源的多元论。

第三节 岩浆的温度

岩浆的温度可以用三种方法确定。第一种方法是借助光学测温器或热电偶测温器,直接测定火山口附近熔岩流的温度,这一温度通常高于该岩浆开始结晶的温度。另一种方法是在实验室内测定熔融火山岩(全部熔融)时的熔化温度,从而确定相应成分岩浆的大致温度,一般情况下它略低于天然岩浆开始结晶的温度,因为熔融实验往往在干的条件下进行,而天然岩浆中挥发组份(主要是水),将会降低岩浆的结晶温度。例如,夏威夷玄武岩在干的条件下重熔为玄武岩浆时的温度是1240~1190℃(随岩石成分不同而变化);如在 $1000 \times 10^5 \text{Pa}$ 水气压力下,重熔温度就降为1170~1160℃。第三种估测岩浆温度的方法是肉眼观察熔岩流或熔岩丝(指溅出的丝条状熔岩)的颜色。在晴朗的天气和良好透视的情况下,熔岩流的颜色和相应温度的关系如下:

白色	≥1150℃	亮的鲜红(樱桃红)色	700℃
金黄色	1090℃	暗红色	550~625℃
橙色	900℃	隐约可见的红色	475℃

如透视不好,对熔岩流温度的估计会偏低。

近代火山喷发的熔岩温度的实例如表1—1。从中可以看出,随岩浆成分由基性到酸性,熔岩温度逐渐降低,由1225℃变化为735℃,其中玄武质熔岩温度的大致范围是1000~1225℃,安山质熔岩的温度约900~1000℃,流纹质熔岩的温度约750~900℃。

表 1—1 各种熔岩的喷出温度

(据 I. S. E. Carmichael, 1974)

地 点	熔 岩 类 型	温 度	观 察 者
夏威夷, 基拉韦厄 (Kilauea)	拉斑玄武岩	1150—1225℃	T. L. Wright 等, 1968
墨西哥, 帕里库亭 (Paricutin)	玄武安山岩	1020—1110℃	E. G. Zies, 1946
刚果, 尼亚穆拉吉拉 (Nyamuragira)	白榴玄武岩	1095℃	J. Verhoogen, 1948
西南太平洋, 新不列颠 (New Britain)	安山质浮岩	940—990℃	} R. F. Heming 等, 1973
	英安质熔岩和浮岩	925℃	
	流纹英安质浮岩	880℃	
冰岛 (Iceland)	流纹英安质黑曜岩	900—925℃	I. S. E. Carmichael, 1967
新西兰, 陶波 (Taupo)	辉石流纹岩 (浮岩流)	860—890℃	} A. Ewart 等, 1971
	角闪流纹岩 (熔岩、熔凝灰岩、浮岩流)	735—780℃	

在地下深处的岩浆温度是无法直接观察和测定的。据近代物理化学实验表明,随着体系内水压的增加,花岗岩开始熔融和玄武岩及其有关硅酸盐矿物开始熔融的温度将明显地下降(图1—1)。所以,地下深处正在结晶的岩浆,一般比喷出地表的岩浆(熔岩流)的