

637368

851241

40474

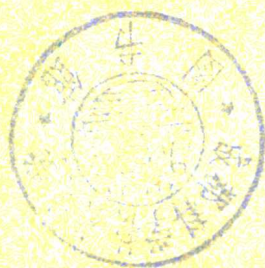
高等学校试用教材

火成岩岩石学

南京大学地质系矿物岩石教研室 编

成都科学技术大学图书馆

基本馆藏



地质出版社

637368

351241

40.174

高等学校试用教材

火成岩岩石学

南京大学地质系矿物岩石教研室 编

地质出版社

内 容 摘 要

本书比较系统地介绍火成岩的物质组分、结构构造、分布规律及成因与成矿关系等方面的基础知识和基本理论，是根据近年来国内对火成岩研究成果和国外有关资料编写而成。在分类和成因方面提出了一些看法，基本反映了火成岩的研究现状和水平。

全书除绪论外，共分十五章，岩石描述方面采用新的分类方法进行编写，并补充火山碎屑岩。相律应用与结构结合成章，岩石化学则另列专章讨论，书后附录中介绍一些火成岩分类方法，中、外参考文献和化学计算参考数据，可供计算时查阅使用。

本书共60余万字，附图250余幅，文字通俗易懂，便于阅读和学习。

读者对象：本书除可供地质院校矿物岩石学及地球化学专业通用教材外，并可作为科研及生产人员的参考书。

火成岩岩石学

南京大学地质系矿物岩石教研室 编

*

地质部教育司教材室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 787 × 1092¹/₁₆ · 印张 26³/₈ · 字数 635,000

1980年7月北京第一版·1982年2月北京第二次印刷

印数 6,741—13,250册·定价 3.70元

统一书号：15038·教58

前 言

根据国家地质总局 1977 年 9 月地质学教材会议上分配的任务，由我系编写高等院校矿物岩石学专业和地球化学专业使用的《火成岩岩石学》教材。

在学校各级党组织的关怀和领导下，由我教研室孙鼐、刘昌实、彭亚鸣、周新民、陈克荣、牟惟熹等同志组成编写小组，分工负责编写。绪言、第六章中金伯利岩、第十一、十三及十五章由孙鼐同志执笔，第一章、第二、第十四章及岩石化学附录由刘昌实同志执笔，第三章由陈克荣同志执笔，第三章构造部分及第四、第五、第八、第九章及分类附录由彭亚鸣同志执笔，第七及十二章由周新民同志执笔，第六及第十章由牟惟熹同志执笔。初稿完成后由孙鼐、刘昌实、彭亚鸣同志负责全面修改和整理。插图由高秀英同志清绘，薄片素描图则由钱汉东同志清绘。在教材最后定稿过程中，承胡受奚同志对内容提出很多宝贵意见。教研室其他同志协助做了部分抄录工作。

本教材的编写提纲曾寄请有关兄弟院校征求意见。在本书复稿完成后，曾在 78 年 12 月在南京召开教材审查会议，出席的有武汉地院、成都地院、河北地院、北京大学、福州大学、西北大学、科技大学、中山大学及南京地质矿产研究所等代表 12 人。到会代表分工详细审阅了各章节，提出了宝贵的修改意见，并提交审议书，认为符合统一教材要求同意出版。我们在此对以上各兄弟单位和个人，谨表示衷心感谢。

本书初稿、复稿及最后修订完毕，共化了近一年时间，虽然审查小组同意出版，但由于编者水平有限，编写时间匆促，书中错误和不当之处在所难免，希广大读者提出宝贵意见，以便今后修订时改正。

南京大学地质系矿物岩石教研室

一九七九年二月

目 录

绪论	1
第一章 岩浆和岩浆作用	5
第一节 岩浆的一般性质	5
第二节 岩浆的成分	6
第三节 岩浆的温度	7
第四节 岩浆的粘度	9
第五节 地幔对流与玄武岩浆形成的机制	11
第二章 火成岩的物质成分	13
第一节 火成岩的矿物成分	13
第二节 火成岩的化学成分	19
第三章 火成岩的结构和构造	33
第一节 结构和构造的概念	33
第二节 结构分类及其形成条件	34
第三节 火成岩的矿物生成顺序	46
第四节 相律对岩浆结晶作用和岩石结构成因的解释	49
第五节 火成岩的构造	71
第四章 火成岩的产状	79
第一节 火成岩产状的概念及决定产状的因素	79
第二节 火成岩相的概念及岩相划分	80
第三节 产状的分类和描述	89
第四节 火成岩相、产状与结构构造的关系	103
第五节 研究火成岩产状的意义	104
第五章 火成岩的分类	107
第六章 超基性岩和超镁铁岩类（橄榄岩—苦橄岩类）	113
第一节 概述	113
第二节 侵入岩	113
第三节 喷出岩	123
第四节 金伯利岩	124
第五节 蛇绿岩套	128
第七章 基性岩类（辉长岩—玄武岩类）	130
第一节 概述	130
第二节 侵入岩	130
第三节 喷出岩	142

第八章 中性岩类 (闪长岩—安山岩、二长岩—粗安岩及 正长岩—粗面岩亚类)	150
第一节 概述	150
第二节 侵入岩	151
第三节 喷出岩	161
第九章 酸性岩	170
第一节 概述	170
第二节 侵入岩 (岩浆的和交代的)	170
第三节 喷出岩	188
第十章 碱性岩类 (霞石正长岩—响岩、霞斜岩—碧玄岩及 霓霞岩—霞石岩亚类)	197
第一节 概述	197
第二节 侵入岩	197
第三节 喷出岩	205
第四节 碳酸岩类	209
第十一章 脉岩	216
第一节 概述	216
第二节 细晶岩	216
第三节 伟晶岩	217
第四节 煌斑岩	221
第十二章 火山碎屑岩	225
第十三章 火成岩形成的机制、成因、分布及其与地质构造关系	237
第一节 火成岩形成的机制	237
第二节 我国火成岩的分布概况	242
第三节 岩浆活动与地质构造的关系	247
第四节 各类火成岩的成因概述	253
第十四章 火成岩化学成分算法及其应用	266
第一节 二组份计算方法及火山岩系化学特性的划分	266
第二节 三组份计算方法及其应用	273
第三节 多组份计算方法及其应用	277
第十五章 火成岩体的野外观察方法	321
第一节 侵入岩地区的工作方法	321
第二节 岩浆成因的花岗岩与交代成因 (花岗岩化) 的花岗岩鉴别特征	331
第三节 火山岩地区的工作方法	336
第四节 次火山岩的鉴别特征	340
附录一 火成岩分类简介	343
附录二 岩石薄片矿物颗粒百分含量估计图册	348
附录三 由氧化物重量百分数换算分子数表	355
附录四 根据标准矿物的分子数计算重量百分数表	364

附录五 戴里的火成岩平均化学成分及A·H查瓦里茨基数值特征和 CIPW标准矿物成分表.....	377
附录六 诺科斯 (S·R·Nockolds, 1954) 的火成岩平均化学成分及 CIPW标准矿物成分表.....	342
附录七 中国岩浆岩平均值 (黎彤、饶纪龙, 1963) 及 CIPW标准矿物成分.....	409
参考文献	411

绪 论

一、岩石和岩石学的概念

岩石是构成地壳的主要物质，它们是地壳发展的一定阶段由于各种地质作用形成的地质体。岩石是有稳定外形的固态集合体，它们由一种或几种造岩矿物或部分天然玻璃所组成。不同岩石常具有不同的结构和构造。

岩石的种类很多，但从形成的原因来看，一般可归结为如下三大类：

1. 火成岩——是在高温的条件下由岩浆或熔岩流冷凝固晶而成的岩石。如橄榄岩、玄武岩等。还有一些火成岩是由非岩浆作用形成，如某些花岗岩类及其他一些基性、中性和碱性的岩石。

2. 沉积岩——是在地表或接近地表的条件下，由砂、砾、泥质或溶解物质，经沉积固结而成的岩石，如砂岩、石灰岩等。

3. 变质岩——是由火成岩或沉积岩在较高的温度和压力条件下经过变化改造而成的岩石，如大理石、片麻岩等。

虽然如此，三大类岩石之间的界限，有时并不能截然分开，其间有的逐渐过渡，有的由于成因复杂，还不能简单地划为哪一种成因。因此三大类岩石虽然各有其特征，但彼此之间常有密切的联系，其相互关系和相互演变的情况可以下列图解表示之。不过，这种相互关系，并不是简单地循环重复，而是不断地向前发展，如图0—1。

三大类岩石在地壳中的分布情况，也不相同。一般在大陆的地表部分，沉积岩分布最为广泛，几乎占四分之三，而距地表愈深，则火成岩和变质岩分布愈多，而沉积岩则愈深愈少。

岩石学 (Petrology) 是一门独立的科学，也是地质学中一门分科，它主要是研究岩石的物质成分、结构、构造、成因、共生组合、分布规律以及成矿关系的科学。有关岩石方面的记载，虽然很早，如我国“山海经”一书是世界上最早记述矿物和岩石的书籍，书中有很多关于岩石方面的资料。但岩石学作为一门独立科学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出而成为独立的一门科学。过去有些人将研究岩石的物质成分和结构构造等方面，称为岩类学或描述岩石学 (Petrography)，而将研究岩石的成因和分布规律等方面，称为岩理学或成因岩石学 (Petrogenesis)。这种将岩石学的内容机械地分割开来是不正确的，因为两者是有机的统一，是

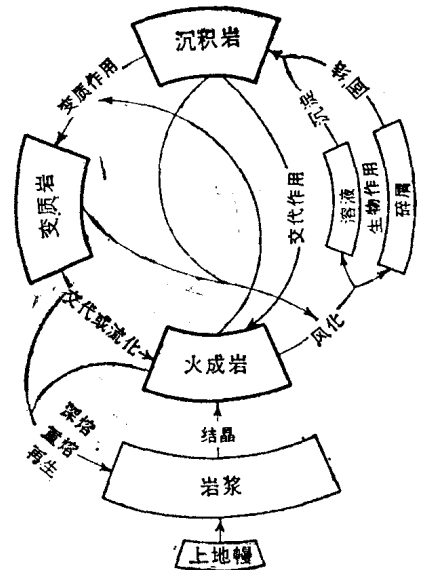


图 0—1 三大类岩石相互关系图

互相联系的。而且岩理学的发展是建筑在更深入细致的岩类学的基础之上的，否则这种研究会产生片面地和孤立地去观察问题，而形成脱离实际的空洞的理论。由于科学技术的发展，三大类岩石已形成独立的门类，如火成岩岩石学、沉积岩岩石学及变质岩岩石学，它们研究的方法和目的也不尽相同。

二、火成岩和其他学科的关系

岩石学既是一门独立的科学，但它在地质学领域里又是一门基础科学，而火成岩岩石学则是岩石学中一个主要组成部分，因此它和地质学及其它自然科学存在密切的关系。研究火成岩岩石学需要较多的科学知识和技术设备，特别是矿物学、晶体光学、物理学和化学等方面的知识和技术设备。例如火成岩中矿物鉴定，就需要晶体光学和物理学的基础；研究火成岩的化学特征，就需要分析化学方面的知识和技术设备；研究火成岩的形成条件，则需要物理化学的基础。由于科学技术的发展，目前除一般的化学分析、光谱分析外，已应用原子吸收光谱、红外光谱、电子探针、离子探针等新技术进行分析。因此火成岩岩石学的发展和工业生产以及整个科学技术的发展有着密切的联系。另一方面，火成岩岩石学又是矿床学、地球化学、大地构造学等学科的基础。例如矿床学首先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组合与分布等资料；而地球化学研究，必须通过火成岩的微量元素的系统测定，以阐明富含某些稀有元素的地段或矿种，为找矿及矿床的综合利用提供依据。因此，我们研究火成岩岩石学必须加强物理的、化学的和地质的等方面的知识。这样才能顺利地进行工作，完成预期的任务。

三、研究火成岩的目的及意义

火成岩的内容比较丰富，首先从基础入手，即从作为分类基础的岩石物质组份、结构构造的研究入手，从而了解各种火成岩的基本特征。在这方面我们必须掌握一些鉴定造岩矿物的基本方法和岩石化学数据的处理应用。在这个基础上，进而对岩石在自然界的产状、分布特征、以及和周围地质构造的关系等等进行系统观察，广泛搜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，并探讨岩浆活动的规律和火成岩形成的地质条件。更重要的是从岩浆演化以及物质组份的分析，研究火成岩与矿产的关系，进而探讨火成岩成矿专属性，为寻找矿产资源，提供重要的依据。火成岩的研究虽经多年的实践积累了大量资料，研究工作已有较大的发展，对岩浆、火成岩的形成过程，进行了一些物理化学方面的实验和讨论，对成岩的基础理论，已大致趋于完善，但对岩浆起源、岩浆活动的机理以及非岩浆成因的火成岩的形成方式等等问题，尚有许多在热烈争论中，类似这些问题，则有待于研究火成岩工作者进一步去解决。

四、研究火成岩岩石学的方法

火成岩既然是一定地质时期地壳运动发展的一定阶段形成的地质体，因此研究火成岩时，一方面研究岩石本身，一方面还须注意岩石与周围的地质关系。在研究火成岩时，除必须掌握鉴定组成岩石的矿物成分的一般方法（肉眼鉴定、薄片鉴定、费氏台、油浸法等），测定其相对含量的变化，以便准确定名而外；对于岩石的岩石化学和地球化学特征，必须注意。根据化学分析、光谱分析和电子探针等分析资料，应用电子计算机，对岩石的

主要化学成分和微量元素进行计算和比较,研究其地球化学特征,借以了解岩石演化的规律和成矿关系。还可应用元素的同位素测定,研究火成岩的物质来源及其形成时代。研究火成岩的另一重要方面是野外地质体的研究方法,内容包括岩体的产状、空间分布、岩体形成的地质时代、岩相及岩性的变化、岩体之间相互穿插关系、岩体的构造以及和周围区域地质构造的关系等等,从而了解岩体形成与大地构造发展的关系以及岩体与成矿作用的联系。因此学习火成岩岩石学,室内鉴定和分析工作与野外的实地观察同等重要,最后将所获得的丰富资料,加以分析综合和去伪存真,由表及里,找出规律。

在岩石学领域中还广泛地应用物理化学理论,进行各种成矿成岩实验,称为实验岩石学,就是利用人工方法再造岩石形成过程和制造人造矿物和岩石。用这种“实验方法”可以了解火成岩生成的物理化学条件,解决一系列有关岩石成因的复杂问题,并用来验证野外观察和室内鉴定的结果,得出比较正确的推断和结论。由于近代地球物理、地球化学、海洋地质及宇宙地质学的迅速发展,尤其是板块构造学说的兴起,在火成岩方面,对于上地幔物质成分加深了了解,从而能更进一步探讨岩浆起源及演化问题以及岩浆作用与成矿作用的关系等问题。不过还须再次指出,研究火成岩岩石学虽然有各种方法,但最基本的仍然是以野外地质为基础,采用现代最新技术进行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,都不能全面地了解岩石,也不可能得出正确的结论。

五、我国火成岩研究概况

自中华人民共和国成立以后,在中国共产党和伟大的领袖毛主席的英明领导下,地质事业以从来未有的速度蓬勃发展起来,并大力培养地质工作人员,以至三十年来,队伍人数达数十万,地质勘探队伍迅速发展遍及全国。三十年来,与火成岩有关的矿产资源的研究工作蓬勃发展,而且积累了极为丰富的火成岩地质和矿床地质资料,也为岩石学,特别是火成岩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,火成岩的研究工作取得了一定的成绩。大面积的区域地质测量和普查找矿工作,使火成岩的研究在构造岩浆旋迴、岩浆活动与大地构造和矿床的关系等方面取得了显著的成果。目前已搞清了超基性岩、基性岩在空间上和时间上的分布情况,与大地构造的关系和成矿专属性等问题。对碱性岩、金伯利岩和碳酸岩等也进行了不少研究,并陆续发现这类岩石的新的岩体。对于分布在华南地区的广大花岗岩类岩体,也开展了比较详细的研究工作,南京大学地质系、科学院贵阳地化所以及中南所等单位都曾参加了工作,不仅弄清了各主要构造旋迴的岩浆活动情况,各种花岗岩类型,物质组份、地球化学特征以及成矿规律,并对各时代不同花岗岩类的成因,进行了较深入的探讨,提出了新的论据,打破了花岗岩类岩石是由基性岩浆分异形成的陈旧观点。另外在交通比较困难地区,如西藏、内蒙、秦岭、祁连山、大别山等地也组织了专门的地质考察团和科学研究队伍,进行了大量火成岩方面的研究工作,已初步探讨了这些地区的岩浆的侵入及喷出活动情况和火成岩分布规律。特别是这些地区的超基性岩、基性岩以及酸性岩的物质组份、地球化学特点以及与成矿关系等已取得大量实际资料,这些地区的广泛的区域地质研究,不仅对火成研究的开展,打下良好的基础,而且为我们今后寻找矿产资源,提供了有力的依据。

对于火山岩和火山作用的研究,近年来引起世界各国的普遍重视,有相当多的金属与

非金属矿产被证明与火山作用有直接关系。我国近几年来对火山岩的研究工作也蓬勃地开展起来了。对西北地区的细碧—角闪岩建造、我国北方和南方震旦系中的安山岩建造以及东南沿海一带的流纹岩建造等都作了不少研究工作。尤其是火山作用与成矿作用的关系研究方面，也取得了一定的成果，其中以宁芜拗陷、江西南部、安徽中部、山东及福建等成果比较显著。在此基础上展开对次火山岩以及古火山机构的恢复等研究工作，也进行了一定的理论综合。

总之，三十年来，我国火成岩方面作了大量的工作，不仅为寻找矿产资源提供了依据，而且在岩石学基础理论的某些方面也有新的创见，在进行研究工作的同时，还应用了一些新技术和新方法，为提高科学技术水平打下了良好的基础。但与目前世界先进地质科学技术相比，我国火成岩的研究工作，无论就基础地质理论方面，还是应用科学方面，都还存在相当大的差距，我们必须从我国地质和矿产资源条件以及火成岩分布的特征出发，不断学习和引进现代科学技术，加强基础理论研究，攻克难关，精益求精，为实现四个现代化作出贡献。

第一章 岩浆及岩浆作用

第一节 岩浆的一般性质

自然形成于地球深处的一种炽热的、粘度较大的硅酸盐质的熔融体和极少数的碳酸盐熔融体称为岩浆 (Magma)。它可以侵入到地壳深处冷凝 (深成岩 Plutonic rocks); 可以在浅处冷凝 (浅成岩 Hypabyssal rocks); 也可以上升, 经过火山通道而溢出地面, 冷凝后形成喷出岩 (Extrusive rocks)。岩浆自地球形成一段时间后, 直至如今都在不停地活动和喷发着, 并以这种方式把轻的易熔的组分迁移到地球的最外层来, 而重的难熔的组份留在深部, 造成地球本身的物质分异。人类有记载以来就对火山作用进行过反复考察并搜集了大量实际资料和作过许多客观的记述。如《黑龙江外记》就记述了我国东北二百多年前发生的一次火山喷发: “墨尔根 (今嫩江) 东南, 一日地中突起火, 石块飞腾, 声撼四野。越数日, 火熄。其地遂成池沼”。此处的池沼即今黑龙江德都县五大莲池。那次喷发形成了老黑山和火烧山, 堵塞了百龙河, 造成了五个相互联系着的堰塞湖——五大莲池。五大莲池火山一般相对高度为 60—160 米, 顶部都有漏斗状喷口, 内径 230 米至 470 米不等, 深达 100 米以上。在那里, 当日溢出的岩浆所形成的绳状熔岩、象鼻状熔岩和熔岩瀑布至今仍完整保存着。

人们观察了熔融物质的喷出、流动和逐渐冷却的过程, 测量了喷出岩浆的温度和分析了它们的成分。经过长期的反复观察以及对大量实际资料的综合分析, 才逐步加深了对岩浆性质的认识。岩浆在地下深处具有很高的压力和温度, 当地壳运动出现断裂时, 由于局部压力的降低, 岩浆就要向压力降低的方向运移, 沿着断裂带上升到地壳的上部或喷出地面, 同时由于物理化学状态的改变而不断改变着自己的成分, 直至最后冷凝成火成岩 (Igneous rocks)。这种包括了岩浆活动和冷凝的整个运动过程叫做岩浆活动或岩浆作用 (Magmatic action)。岩浆作用又可按其侵入于地壳中还是喷出地表, 分为岩浆侵入作用 (Magmatic intrusion) 和火山作用 (Volcanic action)。在不同地质条件下在地壳的不同部位, 由岩浆凝固而成的岩石称火成岩。除岩浆冷凝形成的火成岩外, 还有一部分是非岩浆形成的, 是由变质交代形成的, 这种岩石也包括在火成岩之内。因此, 有人将由岩浆直接冷凝形成的岩石称为岩浆岩 (Magmatic rocks)。而火成岩一词则是既可包括岩浆直接冷凝而成的, 也可包括由非岩浆作用形成但外貌上具火成岩特征的岩石。

岩浆中金属的硫化物和氧化物含量虽少, 但在岩浆活动过程中, 在一定地质条件下, 却可以富集成许多重要的矿产。它们或产在火成岩体内, 或产在岩体边部, 或产在岩体周围的围岩中。这说明它们与火成岩有密切的关系, 它们是岩浆不断活动, 长期演化的产物。

此外, 在研究地壳变形现象的规律性的同时, 也要研究和这些形变过程相关联的岩浆活动的规律性。这样才能获得对地壳运动比较全面的认识。同时, 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。

第二节 岩浆的成分

岩浆的成分尽管有千差万别，但基本上都是由十多种造岩元素按不同比例组成的。有氧、硅、铝、铁、锰、镁、钙、钠、钾、钛、磷等。此外，还含有少量挥发组份 (Volatile component)，主要有 H_2O 和 CO_2 。在岩浆缓慢冷却结晶时，这些元素的离子相互结合组成岛状、链状、环状、层状、架状的复杂的硅酸盐矿物以及少量的金属硫化物和氧化物。因此，岩浆实质上是含挥发组份和金属硫化物、氧化物的复杂的硅酸盐熔融体。经大量化学成分分析研究表明：岩浆中 SiO_2 含量和其他氧化物含量之间常存在着正的或负的相关关系，在多数情况下，随 SiO_2 含量增高， Na_2O 和 K_2O 含量随之增高，而 MaO 、 CaO 、 FeO (Fe_2O_3) 的含量则随之减少。因此，岩浆成分中的 SiO_2 含量成为划分岩浆化学成分的主导因素，它支配和规定了其他氧化物的数量消长。通常可依据 SiO_2 含量的高低，将

岩浆大致划分为下列四种类型：

超基性岩浆 (Ultrabasic magma)

基性岩浆 (Basic magma)

中性岩浆 (Intermediate magma)

酸性岩浆 (Acidic magma)

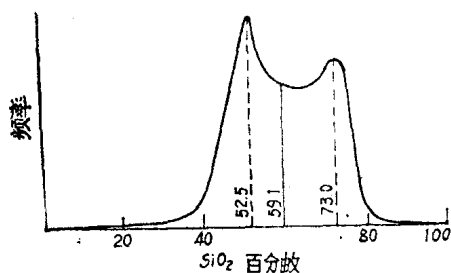


图 1—1 SiO_2 频率分布

(依 W. A. Richardson 等, 1922)

据 SiO_2 频率分布曲线 (图 1—1) 表明：自然界中分布最广的火成岩其 SiO_2 百分含量为 52.5% 和 73.0%，前者相当于基性岩浆的喷出岩——玄武岩；后者相当于酸性岩浆的侵入岩——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。玄武岩浆形成于地幔层内，但花岗岩浆则形成于大陆地壳的中、下部。它们之间在成因上、分布上、化学成分上都存在着明显的区别。因此，曾有人主张这两种岩浆是地球内部的原始岩浆，其他性质的岩浆都是从它派生出来的 (二元论)。二元论在本世纪二十年代是风行一时的，并在与鲍温的一元论展开针锋相对的斗争中逐渐成熟。

随着岩石研究的逐步深入和岩石成因的模拟试验的发展，二元论已无法解释所有岩石的成因。近代，人们通过不断探索越来越相信岩浆形成的机制是多种多样的，不同成分的岩浆是在地球不同层圈内，由于各种地质作用而形成的 (多元论)。

1. 超基性岩浆 (Ultrabasic magma)：大多数的超基性岩是由超基性岩浆结晶而成的。由于地幔软流层向上对流，当上升到一定位置时，由于负荷压力的降低，或由于溶解在体系内的水数量增加，便开始产生局部熔融，在熔融温度较高时，会产生一部分超基性岩浆，其成分相当于二辉橄榄岩；另一部分为基性岩浆，其成分相当于玄武岩。但据特纳 (F. J. Turner, 1960) 等人研究，认为有少数分布于大断裂附近的超基性岩，是由“冷”侵入而定位的，它们基本上没有经过岩浆阶段。

2. 基性岩浆 (玄武岩浆 Basaltic magma)：在上地幔层内，在深度约 75 公里左右，由地幔岩在温度为 $1300^\circ C$ 时产生分熔。经分熔后其中易熔部分为玄武岩浆，而难熔部分为纯橄榄岩。后者残留在上地幔中，或其部分碎块呈包体形式被已熔的玄武岩浆携带出来。

3. 中性岩浆 (安山岩浆 Andesitic magma): 洋壳和上覆沉积物在本尼奥夫带向下俯冲, 当深度达到 90 公里时, 由于压力和温度的增高, 玄武岩组合转变为在高压下稳定的榴辉岩组合, 并促使局部分熔, 形成安山岩浆, 难熔部分为榴辉岩继续向下俯冲。

4. 酸性岩浆 (Acidic magma): 大陆地壳中、下部的基底岩石在约 10—20 公里深处, 当温度到达 650°C 以上时, 开始局部熔融并逐渐可达重熔状态, 形成酸性岩浆, 这种作用称为重熔或深熔作用。

这些最初形成的原始岩浆, 在各自运移、结晶、同化、混染等过程中又会不断地改变自己原来的成分, 产生不同成分的派生岩浆。这就使冷疑结晶而成的火成岩在化学成分、矿物成分、结构构造等方面具有千差万别的外貌。

火山喷出大量气体物质表明, 岩浆内尚含有大量的挥发组份或气体。主要是 H_2O 和 CO_2 , 还有 SO_2 、 HF 、 HCl 、 H_2S 、 NH_3 、 NH_4 等。挥发组份的含量在岩浆中一般不超过 6%, 其中 H_2O 约占 60—90%。在地壳深部, 挥发组份随压力的增大在岩浆中溶解度也增大 (图 1—2)。由于挥发组份溶解在岩浆内, 使岩浆粘度降低, 结晶温度下降, 促成是一个非常缓慢的结晶条件, 形成由粗大的晶体所构成的深成岩。随着不含或含极少挥发组份的矿物逐渐结晶, 残余岩浆内越来越富含水, 待主要造岩矿物完全晶完时, 残余的熔体便转变为主要由水, 其他挥发组份和成矿元素所组成的热水溶液。这种溶液具有很强的活动性和渗透能力, 沿围岩裂隙渗透, 形成在深成岩、浅成岩四周的高温、中温、低温的各种类型的气化—热液矿床。

如岩浆上升接近地表时, 挥发组份随压力降低溶解度明显降低。由液相转化为气相, 使岩浆开始“沸腾”, 产生大量气体, 造成强大的使岩浆上升的蒸气压力, 如果蒸气压力大于上覆岩层的负荷压力, 岩浆就能冲破顶板, 以火山通道为中心, 或爆炸产生各种形态的火山碎屑物质堆积在火山通道附近, 或以熔岩形式缓缓从火山通道流出, 复盖在火山通道四周, 组成火山锥。

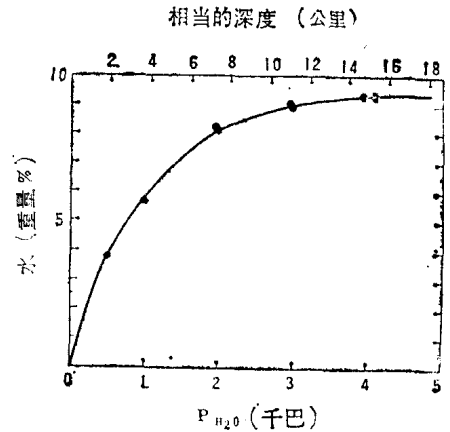


图 1—2 水在花岗岩 (美国斯通山脉) 熔体中的溶解度与饱和水压呈函数关系 ($T = 1173^\circ K$) (依 Goranssen, 1931)

第三节 岩浆的温度

岩浆是高温熔融体, 其温度可以通过深入火山腹地, 在熔岩湖内用光学测温计 (Optical pyrometer) 直接测量, 也可在实验室内测定熔岩 (Lava) 的液化温度和凝固温度来确定。测定表明: 岩浆的温度通常在 $700^\circ C$ — $1200^\circ C$ 之间, 并随岩浆成分不同而有所差异。玄武岩岩浆温度较高, 为 $1000^\circ C$ — $1200^\circ C$; 安山岩岩浆次之, 约为 $900^\circ C$ — $1000^\circ C$; 酸性岩岩浆最低, 约为 $700^\circ C$ — $800^\circ C$ (表 1—1)。

温度高于液化温度 (液相线 Liquidus) 以上的热状态称过热状态。过热状态的岩浆在喷出时往往不含斑晶, 且粘度小, 流动性大, 在骤冷情况下形成全玻璃质熔岩, 在有足

不同熔岩的喷出温度

表1-1

(依 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, 巴里古登 (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	860—890℃	A. Ewart等, 1971
	浮岩流		
	角闪流纹岩	735—780℃	
	熔岩、熔接凝灰岩		
	浮岩流		

够时间结晶时, 可形成无斑或少斑隐晶质岩石。温度低于凝固温度 (固相线 Solidus) 以下的称过冷状态, 过冷状态的岩浆粘度大, 流动性差, 易骤冷形成玻璃质熔岩。一般喷出地表的岩浆其温度介于固相线和液相线之间。因此, 都多少含有一定数量的晶体, 成岩后称为斑晶 (Phenocryst), 液相部分冷却后称为基质 (Groundmass)。

岩浆在地下深处的温度是无法直接测定的。据近代物理化学实验表明, 随着体系内水压增加, 硅酸盐矿物熔融温度要明显下降, 在水压为 4—7 千巴时, 液相线温度一般会下降约 200℃ (图 1—3)。所以, 在地下深处正在结晶的岩浆一般比喷出地表的岩浆温度要

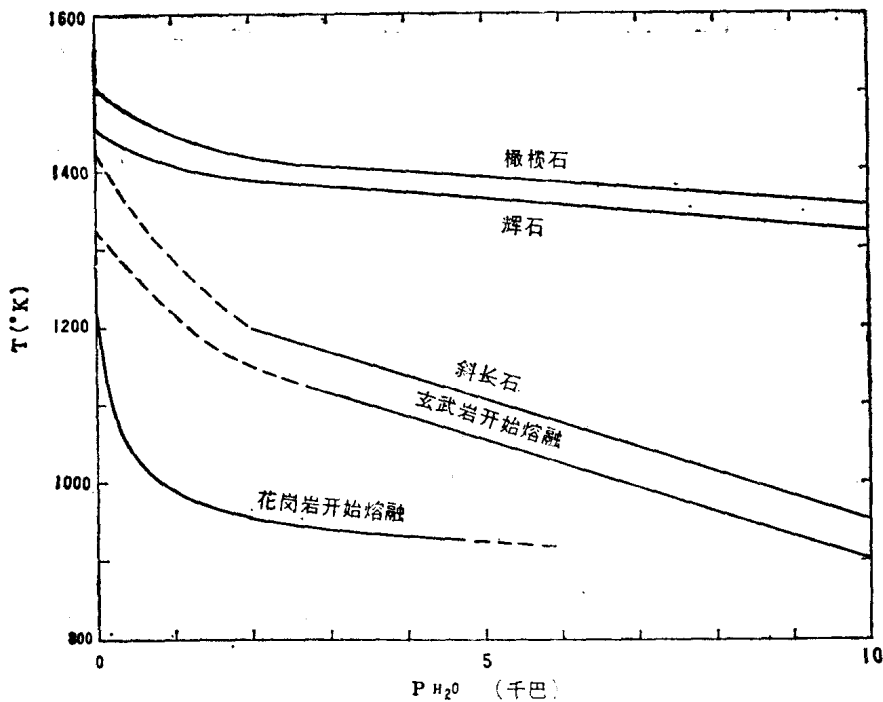


图 1—3 天然橄榄拉斑玄武岩—水体系和花岗岩—水体系的熔融曲线

(依 H. S. Yoder 和 Tilley, 1962)

低。如果拿同质多象的变体来看，深成岩者往往是低温变体，如正长石和微斜长石。喷出岩则往往是高温变体，如透长石等。

为测定深成岩最后结晶温度，只能依靠矿物地质温度计(Geological thermometers)，如矿物的同质多象变体；元素或同位素在两种矿物内的分配系数；二长石温度计；斜长石温度计；以及矿物的包裹体测温等。现将较简便的巴尔特二长石温度计作一简单的介绍：

在一个封闭体系内，钾长石和斜长石同时或接近同时结晶时，钠长石在钾长石相内含量随温度增高而增高，而钠长石在斜长石混合晶体内容量随温度增高而降低，它们比值 K 称分配系数。 K 值越低形成温度越低；反之，形成温度越高。只要测出钾长石内钠长石含量和斜长石号码后，可以根据图1—4而得知岩体的形成温度。

$$K = \frac{\text{钾长石中钠长石含量(分子数)}}{\text{斜长石中钠长石含量(分子数)}}$$

对花岗岩和伟晶岩用二长温度计所作的测温表明，这两类岩石形成温度为550—620℃，它低于同成分喷出岩的形成温度约100—200℃。

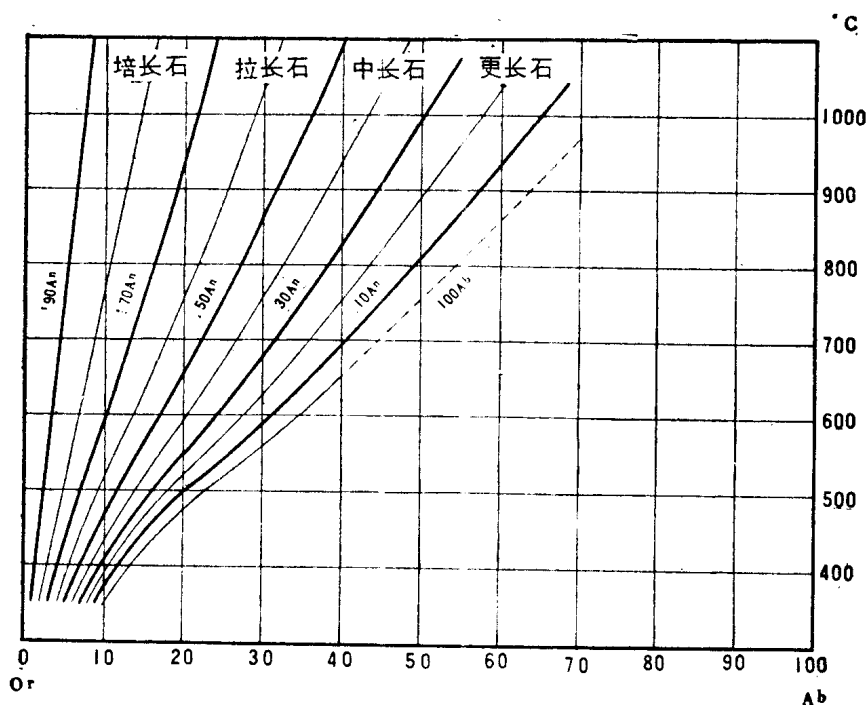


图 1—4 碱性长石和斜长石共生的温度图解
横坐标表示碱性长石的成分，纵坐标表示温度(°C)，曲线表示在不同温度上斜长石成分和碱性长石成分间的平衡关系
(依 T. F. W. Barth, 1956)

第四节 岩浆的粘度

岩浆的粘度与岩浆的成分、温度和挥发组份的含量有关。据硅酸盐熔体研究表明，元素在熔体内以离子形式出现。Na、K、Ca、Mg、Fe 等是典型的阳离子，阴离子主要为硅氧四面体所组成的络阴离子。有岛状络阴离子 $[\text{SiO}_4]^{4-}$ ，链状、架状络阴离子 $[\text{AlSi}_3\text{O}_9]^{1-}$ ，

等。随着每一硅氧四面体与相邻四面体氧角顶之间连结数目的增多，硅、氧所组成的凝聚态的络阴离子团的体积便增大，那么岩浆活动性势必减少，粘度增大(图1—5)。玄武岩浆内含岛状、链状络阴离子多，含架状络阴离子少，因而活动性大，粘度小，流动性强。据实地测定，夏威夷的橄榄玄武岩流其粘度为 4.5×10^4 泊(在 1100°C 时，比实验室测定值大，

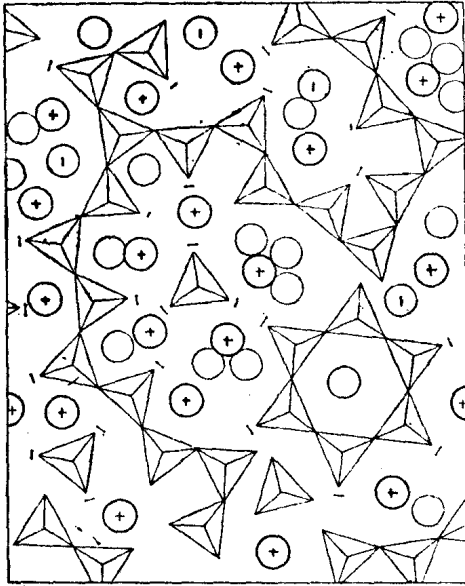


图 1—5 硅酸盐熔体构造示意图

(+) 表示阳离子，(-) 表示阴离子， $[\text{SiO}_4]^{4-}$ 四面体在其角顶上带 (-) 电荷，中和的离子用白圈表示。图内显示出这些四面体聚合成环状和链状构造。

(依 R. F. Mueller 等, 1977)

见表 1—2)，流速为 400m/小时(自然坡度为 2° 时)，最大流速可达 60 公里/小时，平均为 1 公里/小时。由于粘度小，流动性大，玄武岩流往往较平静地溢出地表，形成巨大岩被，覆盖可达数万、数十万平方公里的地面(如印度德干高原)。反之，酸性岩浆具架状、环状的络阴离子多，活动性小，粘度大，流动极为缓慢。据黑曜岩的室内测定，粘度为 1×10^{12} 泊 (800°C 时)，比玄武岩浆大若干个数量级。由于酸性岩浆粘度大，它或在火山通道内主要靠气体压力的推动而徐徐上升，形成岩钟。或由于溶解在岩浆内的氧体急速膨胀而产生强烈爆发，使灰黑色的磨菇状的烟柱携带大量火山碎屑物质腾空而起，形成各种类型的火山锥。在火山锥内，自下而上，由近而远堆积了火山集块岩、火山角砾岩和火山凝灰岩，其中夹有数量不等的酸性熔岩。这种熔岩粘度大，流动缓慢，常具有细密的流纹构造，称流纹岩。或因粘度大，气体不易向上逸散，形成多孔的酸性熔岩，称浮岩。看来，粘度不同的岩浆在到达地面时，由自身的物理条件所决定，可形

成不同的火山景观。

实验室内测定的流体粘度值

表 1—2

流 体	粘 度 (η 泊)	温 度 ($^\circ\text{C}$)
水	1×10^{-2}	20
甘 油	1×10	20
沥 青	1×10^8	20
橄榄玄武岩	3×10^5	1200
安山玄武岩	3×10^4	1200
钠长石	4×10^4	1400
黑曜岩	1×10^{12}	800
SiO_2 玻璃	1×10^{12}	1300

喷出地面的熔岩，因粘度不同其结晶程度也有很大的差异。粘度低的熔岩，结晶能力强，形成由微晶所组成的各种熔岩。反之，粘度高的熔岩其结晶能力差，便形成火山玻璃或球粒状熔岩等。

深部岩浆粘度大小，至今人们尚无感性认识。但可以肯定，随着压力增大，水在岩浆