

高等学校规划教材

岩浆岩及变质岩 简明教程

贾炳文 黄志明 编

煤炭工业出版社

高等学校规划教材

岩浆岩及变质岩简明教程

贾炳文 黄志明 编

煤炭工业出版社

(京)新登字042号

内 容 简 介

全书共分两篇二十一章,全面系统地介绍了岩浆岩与变质岩的基本知识、基本理论和基本技能。第一篇岩浆岩部分,主要包括岩浆岩的物质成分、结构、构造、产状和相,主要岩石类型及其特征,并对岩浆岩的成因、演化、分布、物理化学原理等基本问题及野外工作方法作了简要的叙述;第二篇变质岩部分,主要包括变质作用因素、变质作用方式、变质岩的物质成分以及结构和构造,各类变质作用及其有关岩石类型,并对变质相及变质相等内容作了简要介绍。为了便于组织和安排实验课教学,本书最后还增写了岩浆岩和变质岩实验指导书。全书内容丰富、翔实具体、文字严谨简练,深入浅出、图文并茂,并在有关章节突出了煤炭系统的特色,以加强教学的针对性。

本书是高等院校煤田地质勘查专业的教学用书,也可供其它地质类专业教学、科研及广大地质科技人员参考。

高 等 学 校 规 划 教 材 岩 浆 岩 及 变 质 岩 简 明 教 程

贾炳文 黄志明 编

责任编辑:宋 德 淑

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本787×1092mm¹/16 印张14³/4

字数345千字 印数1—1,715

1994年1月第1版 1994年1月第1次印刷

ISBN 7-5020-0903-5/TD·838

书号 3668 A0267 定价 6.80元

前 言

本书是根据煤炭高等院校煤田地质勘查专业《岩石学》教学大纲的内容和要求编写的。鉴于近年来各院校煤田地质勘查专业的教学计划有较大的调整,对岩浆岩及变质岩部分的教学内容和重点提出了更为合理的要求,而目前各种版本的《岩石学》教科书,已不能完全适应煤田地质勘查专业的需要,迫切需要针对本专业的特点,编写一本具有本专业特色的岩浆岩与变质岩的教材。为此,我们受中国统配煤矿总公司教材编辑室的委托,参考了中国矿业大学、山西矿业学院、焦作矿业学院、阜新矿业学院等兄弟院校《岩石学》最新教学大纲的内容和要求,组织编写了这本教程。

本书共分两篇二十一章,包括岩浆岩和变质岩。其中,岩浆岩部分系统介绍了岩石和岩石学的概念、岩浆岩的物质成分、岩浆岩的结构和构造、岩浆岩的产状和相、岩浆岩的分类和命名,并对超基性岩、基性岩、中性岩、酸性岩、碱性岩和脉岩分别进行了系统的描述,最后对岩浆岩的形成、演化、主要岩浆岩的成因、岩浆作用的物理化学原理、板块构造与岩浆活动、中国岩浆活动简况及岩浆岩区的野外工作方法作了简要介绍,在有关章节中尽量突出了煤田地质工作的特点;变质岩部分系统介绍了变质作用和变质岩的概念、变质作用的方式、变质岩的物质成分、变质岩的结构和构造、变质岩的分类和命名,以及对接触变质作用、气成热液变质作用、动力变质作用、区域变质作用和混合岩化作用及其有关的岩石类型,分别作了系统的描述,并在有关章节中对变质岩的野外工作方法、变质带、变质相及变质相系等有关内容也作了简要的介绍。此外,为了更好的组织和安排实验课教学,本书最后还增加了岩浆岩及变质岩实验指导书。

本书编写中参阅了国内外最新资料,内容力求全面系统、翔实具体,文字力求严谨简练、深入浅出,并在有关章节中尽量突出煤田地质勘查专业的特色,以加强针对性。

参加本书编写的有:山西矿业学院贾炳文(绪论和第一、二、三、四、五、六、十一、十二章,以及实验指导书)、焦作矿业学院黄志明(第七、八、九、十、十三、十四、十五、十六、十七、十八、十九、二十、二十一章)。贾炳文为本书主编。

本书编写过程中受到了山西矿业学院张玉三、黄操明、周绮峰,焦作矿业学院葛宝勋,阜新矿业学院王宇林等老师的大力支持和帮助,并提供了参考大纲、原始资料和图表,在此表示深切的谢意。

由于编者水平有限,遗漏和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1993年3月

目 录

绪 论	1
-----------	---

第一篇 岩浆岩石学

第一章 岩浆、岩浆岩的概念及物质成分	6
第一节 岩浆、岩浆岩的概念	6
第二节 岩浆岩的物质成分	8
第二章 岩浆岩的结构和构造	15
第一节 岩浆岩的结构	15
第二节 岩浆岩的构造	22
第三章 岩浆岩的产状和相	26
第一节 岩浆岩的产状	26
第二节 岩浆岩的相	33
第四章 岩浆岩的分类和命名	36
第一节 岩浆岩分类的基础和现状	36
第二节 岩浆岩定量矿物分类	37
第三节 本书采用的岩石分类	38
第四节 岩浆岩的命名	40
第五章 超基性岩类（橄榄岩—苦橄岩类）	41
第一节 概述	41
第二节 岩石的主要类型	42
第三节 产状、分布及有关矿产	49
第六章 基性岩类（辉长岩—玄武岩类）	50
第一节 概述	50
第二节 岩石的主要类型	51
第三节 产状、分布及有关矿产	59
第七章 中性岩类（闪长岩—安山岩、正长岩—粗面岩类）	61
第一节 概述	61
第二节 岩石的主要类型	63
第三节 产状、分布及有关矿产	74
第八章 酸性岩类（花岗岩—流纹岩、花岗闪长岩—英安岩类）	76
第一节 概述	76
第二节 岩石的主要类型	77
第三节 产状、分布及有关矿产	85
第九章 碱性岩类（霞石正长岩—响岩类）	88
第一节 概述	88
第二节 岩石的主要类型	89

第三节	产状、分布及有关矿产	93
第十章	脉岩类	95
第一节	概述	95
第二节	煌斑岩类	95
第三节	细晶岩类	98
第四节	伟晶岩类	99
第五节	脉岩的产状及其分布	101
第十一章	岩浆岩的形成、演化及分布的若干基本问题	102
第一节	关于原始岩浆问题	102
第二节	原始岩浆的演化机理	104
第三节	主要岩浆岩的成因	107
第四节	岩浆结晶过程中的物理化学原理	110
第五节	板块构造与岩浆活动简介	115
第六节	中国岩浆活动简况	117
第十二章	岩浆岩区的野外工作方法	119
第一节	侵入岩区的野外工作方法	119
第二节	喷出岩(火山岩)区的野外工作方法	125
第二篇 变质岩石学		
第十三章	变质作用及变质岩概述	131
第一节	变质作用及变质岩的基本概念	131
第二节	变质作用的因素	132
第三节	变质作用的方式	135
第四节	变质作用的类型	137
第十四章	变质岩的物质成分	138
第一节	变质岩的化学成分	138
第二节	变质岩的矿物成分	140
第十五章	变质岩的结构和构造	144
第一节	概述	144
第二节	变质岩的结构	144
第三节	变质岩的构造	152
第十六章	变质岩的分类和命名	155
第一节	变质岩的分类	155
第二节	变质岩的命名	157
第十七章	接触变质作用及其岩石	159
第一节	概述	159
第二节	热接触变质作用及其主要岩石类型	160
第三节	接触交代变质作用及其岩石类型	163
第四节	接触变质岩区的工作方法	164
第十八章	气成热液变质作用及其岩石	165
第一节	概述	165
第二节	气热变质作用的主要岩石类型	167

第十九章 动力变质作用及其岩石	172
第一节 概述	172
第二节 动力变质作用的主要岩石类型	172
第三节 动力变质岩的研究意义和方法	174
第二十章 区域变质作用及其岩石	176
第一节 概述	176
第二节 区域变质岩的分类及命名原则	178
第三节 区域变质作用的主要岩石类型	182
第四节 区域变质作用的有关矿产	188
第五节 区域变质岩区的工作方法	188
第二十一章 混合岩化作用及其岩石	194
第一节 概述	194
第二节 混合岩化作用的主要岩石类型	195
第三节 混合岩的研究意义	197
实验指导书	198
第一部分 岩浆岩实验指导书	198
第二部分 变质岩实验指导书	213
参考文献	226

绪 论

一、岩石和岩石学的概念

“岩石”一词应用很广，人们对它似乎都很熟悉，但要给它下一个确切的定义，却并不容易。从古代人们关于“石头”知识的萌芽，直到18世纪工矿事业的兴起，引起了关于矿石和矿物知识的积累，才开始从地质学中分出了矿物学，以后又从矿物学中分出了岩石学，但对岩石却一直没有严格的定义。目前可以这样理解：岩石是构成地球上层（地壳和上地幔）天然作用的固体产物，它是在特定的地质条件下，由物理化学作用、机械作用和生物化学作用参与下所形成的具有稳定外形的固体矿物的集合体（包括部分玻璃质和生物残骸）。

由一种矿物组成的岩石称单矿物岩，由多种矿物组成的岩石称多矿物岩。石油和天然气由于不是固体，不能称作岩石；由水泥胶结的砂砾、烧锅炉的炉渣及各种陶瓷及耐火材料，虽然都是固体矿物的集合体，但不是天然作用形成，也不能称作岩石，只能称为人造岩石或工艺岩石。

岩石的结构和构造较矿物复杂。一般来说，矿物的化学成分可以决定其内部构造和外部形态，而岩石的结构、构造却不能由化学成分完全决定。如常见的花岗岩和流纹岩，化学成分虽基本相同，但其结构、构造却有很大的差别。

什么叫岩石学呢？简单来说，就是全面研究岩石的科学，主要研究地壳、地幔及其它星体上岩石的矿物和化学成分、结构、构造、分类、命名、分布、产状、成因和演化的科学。通过岩石学的研究，可以有效地和目标集中地指导找矿。从目前所知，许多岩石本身就是矿产，如煤、油页岩、铝土矿、磷块岩、盐岩等都可直接作为矿产使用；随着科技事业的发展，过去认为无用的岩石，如石灰岩、大理岩、花岗岩、玄武岩等，目前已广泛作为建筑材料及其它有用矿产使用；有的岩石本身虽然不是矿产，但它们与矿产的形成和分布有着密切的联系，如与花岗岩有关的钨、锡、钼、铋矿，与超基性岩有关的铬、镍、钴、铂及金刚石矿，与碳质页岩、油页岩有关的煤、石油、天然气等。此外，岩石中的矿物、化学组成、结构、构造、物理机械性能及其孔隙度、含水性等，又可为工程建设、国防建设、水利建设及环境保护等方面提供有用的基础资料。因此对岩石学的研究，具有重要的理论和实际意义。

二、岩石的成因分类

地壳中岩石种类不下数千种，但根据成因可归纳为以下三大类：

1) 岩浆岩 (Magmatic Rock) 主要由地壳或上地幔深处形成的高温熔融的岩浆，在地壳构造运动的驱使下，侵入地下或喷出地表冷凝而形成的岩石，如花岗岩、玄武岩等。

2) 沉积岩 (Sedimentary Rock) 主要由地表已存在的岩石，经风化作用、生物化学作用及火山作用产物，在外力作用下经搬运、沉积和石化作用所形成的岩石，如砂岩、泥岩、石灰岩等。

3) 变质岩 (Metamorphic Rock) 由地壳上已存在的各种岩石，在温度、压力升高

的条件下,发生矿物成分、结构、构造转化而形成的岩石,如片岩、片麻岩、大理岩等。

三大类岩石分布情况各有不同,沉积岩主要分布于大陆地表,占陆壳总面积的75%,而距地表愈深,则岩浆岩和变质岩愈多。根据地球物理资料,地壳深处和上地幔主要由岩浆岩组成。据统计,在整个地壳中,岩浆岩体积占66%,变质岩占20%,而沉积岩仅占8%。

一般来说,三大类岩石成因不同、特征各异,但它们之间又是相互联系相互转化的。例如,岩浆岩和变质岩经风化、搬运、沉积、石化作用可形成沉积岩;沉积岩和变质岩经重熔作用可形成岩浆,又经冷凝而形成岩浆岩;而岩浆岩和沉积岩经变质作用可转化为变质岩。有的岩石特征相似,成因逐渐过渡、不易截然分开,如岩浆形成的花岗岩与交代变质形成的混合花岗岩就是典型的实例;有的岩石成因情况复杂,未经深入研究,往往不易划归何种类型,如岩浆成因的辉石岩和角闪石岩与变质成因的辉石岩和角闪岩常不易区分。

岩浆岩和变质岩是内动力作用的产物,主要由结晶质矿物组成,又可统称为结晶岩(Crystalline Rock),据克拉克和华盛顿(F.W. Clarke, H.S. Washington)的资料,地壳上部10km范围内结晶岩占95%,而由外动力作用形成的沉积岩仅占5%。

岩石学是地质学的一个重要分支,根据研究重点的不同,又可分为岩类学(Petrography)和岩理学(Petrogenesis)。其中,岩类学又称描述岩石学,主要是研究岩石的物质成分、结构、构造、分类和命名等方面的内容;而将研究岩石成因、探讨岩石形成条件和形成过程等方面的内容归入岩理学或成因岩石学。实际上二者是互相联系、有机统一的。岩类学是研究岩石学的基础,它的科学体系是建立在成因概念的基础上,离开岩类学的研究,任何关于岩石成因的解释只能是脱离实际的空洞的理论。

根据成因类型,可把岩石学分为岩浆岩石学、沉积岩石学和变质岩石学。由于各自的发展,它们已分别成为独立的学科。

三、岩石学与其它学科的关系

岩石学作为地质学领域里的一门基础学科,它和地质学的各分支学科及其它自然科学学科存在着密切的联系。研究岩石,一方面需要很多地质基础知识,如结晶学、矿物学、晶体光学、构造地质学、地史古生物学等;在科学技术迅猛发展的今天,数学、物理学、化学等基础学科在岩石学的研究中愈来愈显得重要了;另一方面,岩石学又是矿床学、煤田地质学、水文地质学及工程地质学的重要基础,而这些学科的发展,反过来又大大丰富了岩石学的内容,加速了岩石学的发展,尤其是某些边缘学科(如地球化学、地球物理学、数学地质、环境地质等)把岩石学和有关学科之间的关系更加紧密的结合起来。当前科学发展的总趋势是新的学科,特别是边缘学科的不断兴起,使学科与学科之间的联系愈来愈密切。因此,岩石学未来的发展,除了它本身内容的丰富和提高外,在很大程度上还必需依靠有关学科和边缘学科的发展。

四、岩石学的发展简史

有关石头或岩石方面的文字记载出现很早,如我国古代公元前400年战国时期的《山海经》一书,就是世界上最早的包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18世纪末叶,这个时期,由于资本主义工矿业在欧洲的迅速发展,对矿物原料的需求日益增加,积累了大量有关矿物和岩石的资料,从而使岩石学从地质学中分离出来形成一门独立的学科。在18世纪末到19世纪初,对岩石的研究主要是野外的观察和肉眼鉴定,对地壳中分布最广的花岗岩和玄武岩的成因发生了“水成说”和“火成说”的激烈

争论。其中,以魏尔纳(A.C.Wernier, 1749~1817)为代表的“水成说”认为,所有的岩石都是混浊水流在地表依次沉积而成,受到当时教会的支持;以哈顿(J.Hutton, 1827~1877)为代表的“火成说”则认为,所有的岩石都是由地下热力作用下熔融体冷凝而成。两派争论激烈,各不相让。直至以后人们见到花岗岩贯入于含化石的石灰岩中,于是“火成说”又占了上风。19世纪中叶,莱伊尔(S.C.Lyell, 1883)总结了水、火之争,高度评价了“火成说”,从而把岩石分成水成岩、火山岩、深成岩和变质岩四类。1828年偏光显微镜出现后,英国人索尔贝(H.C.Sorby)将岩石制成薄片在偏光显微镜下进行了观察,相继出版了一些岩石薄片研究方法的专门著作,开始了用偏光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,为岩石学的全面发展奠定了基础。这一时期持续了近70年,在岩石研究史上称为显微镜时期。在这个时期里,对岩石的矿物成分、结构、构造、分类及岩石成因理论研究上都有了进一步的发展。从19世纪末到20世纪初,随着工矿事业的显著进步和自然科学的迅速发展,继续促进了岩石学的更快发展,岩石学已结合矿物学、岩石化学、地球化学、物理化学、地球物理及构造地质学等开展研究,称为显微镜后时期。在这一时期中,1889年费得洛夫旋转台的发明和使用,大大促进了岩石显微镜鉴定技术的发展,对精确测定矿物光学常数和岩石组构起了很重要的作用;1912年x射线晶体衍射实验的成功,进一步为岩石中矿物成分的精确研究开辟了新的领域;在20世纪30年代,特别是50年代以后,岩石化学和高温高压人工模拟实验的研究,有了更大的发展,创立了各种岩石化学计算方法和岩石化学成分分类,从不同方面对揭示岩石的特征、矿物共生组合规律、岩石成因及成矿专属性等都做出了重大的贡献,发表了不计其数的岩石学专著和教科书。近20多年来,随着许多新的快速而准确的测试技术不断涌现,大量区域、地质、海洋地质和星际资料的积累,以及电子计算机的广泛运用和多种边缘学科的相互渗透,都为岩石学的深入研究开辟了广阔的天地,岩石学正在改变原有的传统观念,不断产生许多新的理论,而且正以崭新面貌进入一个蓬勃发展的新时期。

五、岩石学的研究方法

由于岩石是地球发展到一定阶段形成的地质体,占据一定的地质空间,具有一定的物质组成和内在联系,因此对岩石的研究主要应包括下列三个方面:

1. 野外地质调查

野外地质调查是进行岩石学研究最初也是最基本的手段,包括野外地质填图、实测剖面、露头观察、素描、照像、样品采集等,对岩层和岩体的产状、分布、形成时代、矿物成分、结构、构造、岩性、岩相变化及其与地质构造和矿产分布的关系,都应进行详细的描述和记录,以求获得充分的第一手资料。如有可能,还应利用区域地质测量、勘探、物探、化探和遥感等方面的成果,以便得到更多的地质信息,为进一步研究打下良好的基础。

2. 室内测试及模拟实验研究

在野外地质调查的基础上,将采集到的标本和样品,在室内运用偏光显微镜、费得洛夫旋转台、油浸法、化学分析、光谱分析、x射线衍射分析、差热分析、电子显微镜、电子探针、阴极射线、中子活化、穆斯堡尔谱、红外光谱等各种先进手段和方法,深入研究岩石中矿物、化学成分组成及含量,必要时还应进一步测定其微量的稀土元素分配及同位素组成。如有可能还应根据野外地质条件在室内进行模拟实验研究,进一步探讨岩石形成过程中的物理化学条件,得出全面客观的实验数据。

3. 理论综合研究

根据野外地质调查及室内测试分析和模拟实验研究结果,结合岩石理论,进一步归纳、分析和总结,去伪存真、去粗取精,进行细致的综合和对比,全力找出其内在的规律性,并把这些规律性进行理论分析,提出各种假说和理论,再把它们运用于生产和科学实践中去加以检验,不断丰富和发展岩石理论,为整个地质学的进步作出有益的贡献。

六、岩石学在煤田地质工作中的意义和作用

煤层是产于煤系地层中的一种可燃有机岩,煤层与其上下和周围共生的岩石有着密切的联系,因此在煤层的普查、勘探和开发过程中都不能离开煤系岩石去进行。其中,沉积岩的研究是基础工作之一,只有很好的掌握了沉积岩的基本知识,才能正确的探讨煤系形成时的岩相古地理环境,分析含煤地层的含煤性及富煤带的展布规律,并进行煤层和煤组的划分和对比,从而更好地指导煤田的勘探、开发和煤田预测工作。这些内容已在沉积岩石学中作了详细介绍。

需要指出,地壳中各种岩石是相互联系又相互转化的整体,许多地区煤系地层中不仅广泛分布着沉积岩,而且还共生或伴生着不同类型的岩浆岩和变质岩。因此,作为煤田地质工作者,也必需对岩浆岩和变质岩有一定的了解,其意义和作用主要有以下几点:

(1) 煤系地层中各种沉积岩,特别是陆源碎屑岩,其中碎屑组分包括岩屑、晶屑和重矿物,主要是由于古老的岩浆岩和变质岩经风化、剥蚀、搬运和沉积而成、如果不了解岩浆岩和变质岩的物质组成,就不可能对沉积岩的碎屑组分进行正确定名,当然也不可能对沉积物的来源和沉积时的岩相和古地理环境作出正确的分析,无疑会直接或间接的影响煤田聚煤规律的研究和煤田预测工作的顺利进行。

(2) 很多地区煤系地层中常见各种岩浆岩侵入体,对煤层、煤质往往有不同程度的影响。岩浆岩的形成条件不同,其影响也不相同。一般小型浅成侵入体,常呈岩脉或岩床侵入煤层,使煤层的形态、厚度、煤岩、煤质发生很大的变化,甚至会使煤层大面积被吞蚀或变成天然焦,不同程度地失去其工业利用价值,如大同石炭二叠纪煤田,由于晚期煌斑岩的侵入,使3[#]~5[#]煤层局部被吞蚀或转变为天然焦,对煤田的勘探和开发有一定的影响;但有时由于岩浆岩的侵入也可使煤质变好,如抚顺第三纪煤田,由于晚期辉绿岩的侵入,使质量低劣的褐煤转变为可供工业利用的烟煤。

深成侵入体对煤层、煤质的影响不同于小型浅成侵入体,由于岩浆侵入时产生的高温、高压及析出的气体挥发分的影响,常使煤层发生不同程度的接触变质。由于煤层是有机物质,对温度、压力的反应比一般岩石灵敏得多,一般愈靠近岩体煤的变质程度愈高,因而围绕岩体常形成煤变质分带现象。据研究,太原西山煤田南部有燕山期中酸性岩浆岩的侵入致使煤层自西北向东南煤变质程度有依次增高的趋势。

由此可知,查明各种类型岩浆岩体对煤层、煤质变化的影响,掌握煤质变化规律,做好煤质预测工作,也是煤田地质工作者的任务。

(3) 近年来在很多地区的煤系地层中,往往发现层数不等的火山岩和火山碎屑岩夹层,它们常与煤层和正常沉积岩呈互层状出现,野外极易与正常沉积岩相混,只有掌握了火山岩和火山碎屑岩的基本知识和岩性成分特征,才能有效地加以正确定名,避免把不同成因的火山岩类都当作正常沉积岩,导致地层划分和沉积环境分析的错误。此外,煤系地层中的火山岩和火山碎屑岩夹层,是在煤系形成过程中一定时期喷出的,具有极强的等时

性，可以当作很好的标志层，对它们的岩性、成分、厚度及分布面积进行深入细致的研究，将会对大范围内煤层的划分和对比起重要的作用。近年来，利用河北燕山南麓蓟玉煤田、车轴山煤田和开平煤田晚古生代煤系地层中火山碎屑岩夹层进行了煤层对比，已取得了良好的效果，其它地区的工作也正在顺利进行。根据近期国外学者的研究，火山喷发出的火山灰含有丰富的微量元素，有利于成煤植物的生长；而由火山喷发过程中析出大量的有害气体，如 H_2SO_4 ， HCl ， CO_2 等，又会使大气层严重污染，导致成煤植物大规模死亡和堆积。这些问题，无疑都是重大的理论课题，需要煤田地质工作者不断地进行系统的研究和探索。

（4）不少地区煤系地层直接覆于古老变质岩层之上，或由于构造运动使古老变质岩推覆于煤系地层之上或挤入煤系地层之中；由于岩浆岩的侵入也可使煤系地层发生变质而形成各种接触变质岩，如角岩、砂卡岩等，它们与煤系地层紧密共生或伴生。作为煤田地质工作者，应掌握各种类型变质岩的基本知识，才能对这些岩石作出正确的鉴定和命名，避免地层划分和对比出现错误，保证煤田地质勘探工作能顺利进行。

第一篇 岩浆岩石学

第一章 岩浆、岩浆岩的概念及物质成分

第一节 岩浆、岩浆岩的概念

一、岩浆的概念与特征

岩浆 (Magma) 一词最早来源于希腊文, 意指一种类似粥状的物质。通过对现代火山活动的考察, 发现火山活动时确有炽热的熔融物质从火山口溢流出来形成熔岩或熔岩流, 它是最接近岩浆的物质, 但还不是真正的岩浆。真正的岩浆是处于地下深处富含气体挥发分的炽热的熔融物质。一旦岩浆达到地表, 由于压力的降低, 熔于其中的挥发分就会逸出形成熔岩或熔岩流, 实际上它是失去了挥发分的岩浆。

由此可知, 地下深处确实有岩浆存在。现代地球物理研究资料证明, 地下深处并不存在完整的岩浆壳层, 而是在构造运动驱使下, 由于温度压力的变化 (特别是温度的升高和压力的突然降低), 导致地壳深处或上地幔物质发生局部熔融而形成岩浆。

目前一般认为, 岩浆是地壳深部和上地幔形成的以硅酸盐为主要成分的炽热、粘稠状并富含挥发分的熔融体。自从60年代坦桑尼亚东部发现由火山喷出的碳酸盐熔浆及智利基鲁那地区发现火山喷出的铁质矿浆以来, 人们才公认除硅酸盐岩浆外, 尚可少量非硅酸盐岩浆的存在。

根据现代火山的考察, 实验研究及地质资料综合分析, 岩浆的基本特征有以下几点:

1. 岩浆的成分

岩浆的成分主要由氧、硅、铝、铁、镁、钙、钾、钠、锰、钛、磷等造岩元素所组成; 此外, 尚有 H_2O 、 CO_2 、 SO_2 、 HCl 、 HF 、 H_2 、 N_2 、B等挥发性组分及少量金属硫化物和氧化物。其中, 挥发分在地下深处压力很大的情况下, 它们溶解于岩浆中, 不仅能降低岩浆的粘度, 使之易于流动, 还能降低矿物的熔点, 延长岩浆的结晶时间, 并晶出富含挥发分的矿物; 而当岩浆上升到地壳浅处或喷出地表, 由于压力降低, 挥发分大量呈气相析出, 引起火山爆发, 岩浆很快结晶, 不含或很少富含挥发分矿物。

2. 岩浆的温度

根据现代火山喷出熔岩流温度的测定及实验研究, 喷出熔岩流的温度范围大致在 $700\sim 1300^{\circ}C$ 之间, 并随着岩浆成分的不同而有差异。一般 SiO_2 含量愈高, 温度愈低; 反之, 温度愈高。同一熔岩流不同部位温度也不相同, 一般岩流表层之上温度最高, 岩流表层下部温度最低, 而岩流内部温度又趋升高。岩流表层上部温度最高, 可能是与大气接触处强烈氧化有关 (图1-1)。

值得指出, 岩流温度的测定, 是在常压下基本不含挥发分的条件下测定的, 并不能完全代表地下深处岩浆的真正温度。实验证明, 岩浆在地下深处压力较大并富含挥发分, 比地表喷出的熔岩流温度要低得多。

3. 岩浆的粘度

岩浆的粘度与岩浆的成分、挥发分及温度、压力等因素有关。岩浆中 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Cr_2O_3 的含量对岩浆的粘度影响较大，特别是岩浆中 SiO_2 含量愈高，岩浆的粘度愈大。实验证明，随着岩浆中 SiO_2 含量的增加，硅氧四面体角顶连结数目增多，硅氧所组成的络阴离子团体积亦增大，使岩浆的活动性减少，从而增大岩浆的粘度。

溶于岩浆中的挥发分主要是 H_2O 。 H_2O 能使硅氧四面体中的氧形成 $(\text{OH})^-$ ，有利于降低岩浆的粘度。实验还证明，在岩浆中加入适当的 F，在同一温度下，也可降低岩浆的粘度。

岩浆温度愈高，粘度愈小；反之，温度愈低，粘度愈大。实验证明，温度升高，可使岩浆中硅氧四面体络阴离子结合能力降低，活动能力增大，从而降低岩浆的粘度；反之，温度降低，络阴离子结合能力增大，岩浆的粘度随之升高。

此外，压力对岩浆的粘度也有影响。对不含挥发分的岩浆，压力愈大，粘度也愈大；但地下深处富含挥发分的岩浆，压力增大，挥发分的溶解度也增大，反而可降低岩浆的粘度。

二、岩浆岩的概念与特征

地下深处的岩浆，在地壳构造运动的影响下，沿地壳脆弱地带上升到地壳上部或喷出地表，逐渐冷凝而形成的岩石，称为岩浆岩，欧美等国又称为火成岩 (Igneous Rock)。岩浆岩按其形成的部位，又可分为侵入岩和喷出岩两类。

侵入岩 (Intrusive Rock) 指岩浆侵入到地壳上部冷凝而成的岩石。由于承受一定的压力，所含挥发分较多，因而冷却缓慢，矿物结晶程度较好。按其侵入深度不同，又可分为深成侵入岩和浅成侵入岩两类。

喷出岩 (Eruptive Rock) 又称火山岩 (Volcanic Rock)，是地下深处的岩浆由火山口喷出地表后冷凝和堆积而成的岩石。由火山口宁静溢流出来的熔岩流经冷凝而成的岩石，称为熔岩 (lava)；而由火山口经强烈爆发出来的各种火山碎屑物质堆积而成的岩石，称为火山碎屑岩 (Volcaniclastic Rock)。但火山碎屑岩，既有喷出的性质又有沉积的性质，是介于喷出岩和沉积岩的过渡类型。本书把喷出岩 (或火山岩) 仅理解为熔岩，而把火山碎屑岩放到沉积岩中讨论。喷出岩由于冷却速度较快，挥发分大量逃逸，因此矿物结晶程度很差，甚至完全不结晶而形成玻璃质岩石。

岩浆岩大部分为结晶质岩石，仅少数为玻璃质，岩石中原生矿物都是高温下结晶的。各种岩浆岩体与围岩一般都具有清楚的界限，但有时岩体的边部常含有围岩的碎块或捕虏体，岩体和围岩的边界处由于热力的烘烤和物质成分的交换常见接触变质现象；有时还可见由喷出岩到侵入岩一系列过渡现象。

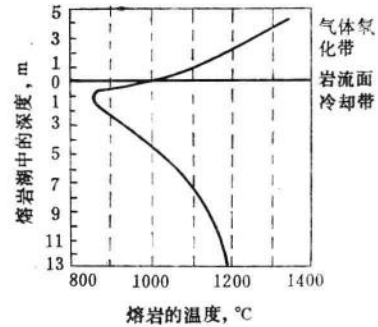


图 1-1 夏威夷熔岩湖不同深度温度变化曲线
(据王嘉荫, 1955)

第二节 岩浆岩的物质成分

岩浆岩的物质成分包括化学成分和矿物成分，它们是岩浆岩的基本组成，是岩浆岩分类和命名的主要依据，也是研究岩浆岩成因和演化的主要依据。现分述如下：

一、岩浆岩的化学成分

根据现代地球物理和地球化学资料，地壳中几乎所有的元素在岩浆岩中均有出现，概括起来可以分为：主要造岩元素、微量元素、稀土元素及同位素等。

(一) 主要造岩元素及其氧化物

岩浆岩中主要造岩元素有O、Si、Ti、Al、Fe、Mn、Mg、Ca、Na、K、H、P等，其中含量最多的是O、Si、Al、Fe、Mg、Ca、K、Na等，它们占岩浆岩总重量的99.25%，尤以O含量最高，占总重量的46.59%，占总体积的94.2%。

研究岩浆岩的化学成分，常用其氧化物的重量百分数来表示。据统计，岩浆岩平均氧化物如表1-1所示。

表 1-1 岩浆岩平均氧化物

重量，%

氧 化 物	世 界(克拉克, 1924)	中 国 (黎彤, 1963)
SiO ₂	59.12	60.60
TiO ₂	1.05	1.00
Al ₂ O ₃	15.34	14.82
Fe ₂ O ₃	3.08	2.63
FeO	3.80	4.11
MgO	3.49	3.70
CaO	5.08	4.54
MnO	0.124	0.14
Na ₂ O	3.84	3.49
K ₂ O	3.13	2.98
H ₂ O	1.15	1.05
CO ₂	0.101	0.43
P ₂ O ₅	0.30	0.35
其 它	0.376	
总 计	100.00	

由表1-1可知，SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、FeO、MgO、CaO、Na₂O、K₂O和H₂O等九种氧化物最为主要，它们占岩浆岩平均氧化物含量的98%，且各类岩石或多或少均有出现。岩浆岩主要由硅酸盐组成，SiO₂是最主要的成分。按SiO₂的重量百分数，将岩浆岩分为以下四类：

超基性岩	SiO ₂	<45%
基性岩	SiO ₂	45%~52%
中性岩	SiO ₂	52%~65%
酸性岩	SiO ₂	>65%

岩浆岩随着SiO₂含量的增加，酸性程度增高，基性程度降低，其它氧化物作有规律的

变化。以 SiO_2 含量为横坐标，其它氧化物含量为纵坐标，可作出六种氧化物的变化曲线（图1-2）。

由图1-2可知， MgO 、 FeO 是随 SiO_2 含量的增加而逐渐减少， Na_2O 、 K_2O 随 SiO_2 含量的增加而增加， Al_2O_3 在超基性岩（纯橄岩、辉石岩）中极少，在基性岩（辉长岩）中大量增加，而在中性岩和酸性岩中保持相对稳定， CaO 在基性岩中大量增加，而在中性岩至酸性岩（闪长岩、花岗岩等）又逐渐减少。由此可见，不同类型的岩浆岩，主要造岩元素的氧化物作有规律的改变，矿物成分也必然有差异。

（二）微量元素特征

岩浆岩中微量元素(Trace Elements)，在岩石中的总量一般不超过1%，不同岩石中微量元素也呈现有规律的变化，随着岩石酸度的增高，K、Na含量也增高，第一族碱金属微量元素Li、Rb、Cs等含量也随之有所增加；相反，对于亲铁微量元素，如V、Co、Ni、Cr等，则随着岩石酸度降低而急剧减少。岩石中碱度增高（即K、Na含量增高），一般有利于多种稀有元素的富集。微量元素的含量常以ppm（即百万分之一）来表示，其在各类岩浆岩中的平均含量见表1-2。

研究微量元素的含量，以及微量元素之间或与常量元素的比值，可以用来探讨岩浆岩的成因和演化，常用的比值有：K/Rb、K/Ba、Rb/Sr、Nb/Ta、Th/U、Cd/Zn等。如花岗岩类岩石Rb/Sr比值一般从早期到晚期逐渐增大，其它元素的比值，也正在运用于岩石系列的划分和岩石成因研究中。

（三）稀土元素特征

稀土元素指原子序数为57~71的镧系15个元素，由于原子序数为39的钇(Y)的地球化学性质与之相近或密切共生，因此把钇也归于此类，而统称稀土元素。包括La、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu和Y，它们在各类岩浆岩中的丰度列于表1-3中。这是一组化学性质相似、难熔且难于分离的元素，它们在岩浆岩中常紧密共生，不易次生变化，稳定性较高，能很好地反映岩石的成因，对岩石的研究愈来愈受到重视。但不同稀土元素的性质及其在岩石中的行为也略有不同，由La~Sm 6种元素加上Eu，原子量较小称轻稀土元素（即Ce族稀土），总量以 ΣLREE 表示；后9种元素由Gd~Lu加上Y，称重稀土元素（即Y族稀土），总量以 ΣHREE 表示。它们在地球重力场作用下，在岩浆形成和演化过程中，由于其本身性质及其在矿物中赋存状态的不同，导致轻、重稀土元素的分离，因此对岩石中稀土元素本身及稀土元素分离状况的研究，在岩浆岩成因和演化的研究中具有愈来愈广阔的前景。

（四）同位素特征

在元素周期表上，每个元素的原子序数是按原子核内质子数的大小排列的，把原子核内质子数相同而中子数不同的一组元素，称为同位素。对岩浆岩中同位素组成的研究，是

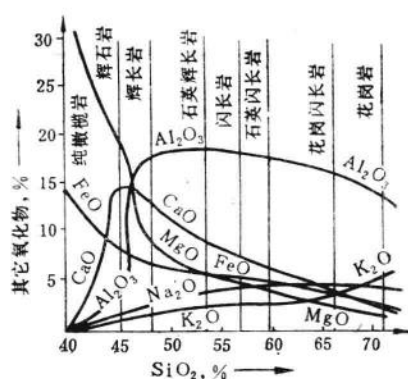


图 1-2 岩浆岩中 SiO_2 与其它氧化物含量之间的变化关系

表 1-2 各类岩浆岩中微量元素丰度

ppm

微量元素	超 基 性 岩		基 性 岩		中 性 岩		酸 性 岩		
	1	2	1	2	1	2	富钙(1)	贫钙(1)	2
Li	0.x	0.5	17	15	28	20	24	40	40
Be	0.x	0.2	1	0.4	1	1.8	2	3	5.5
B	3	1	5	5	9	15	9	10	15
N	6	6	20	18	30	22	20	20	20
F	100	100	400	370	1200	500	520	850	800
P	220	170	1100	1400	800	1600	920	600	700
S	300	100	300	300	300	200	300	300	400
Cl	85	50	60	50	520	100	130	200	240
Se	15	5	30	24	3	2.5	14	7	3
Ti	300	300	13800	9000	3500	8000	3400	1200	2300
V	40	40	250	200	30	100	88	44	40
Cr	1600	2000	170	200	2	50	22	4.1	25
Co	150	200	48	45	1	10	7	1	5
Ni	2000	2000	130	160	4	55	15	4.5	8
Cu	10	20	87	100	5	35	30	10	20
Zn	50	30	105	130	130	72	60	39	60
Ga	1.5	1.5	17	18	30	20	17	17	20
Ge	1.5	1	1.3	1.5	1	1.5	1.3	1.3	1.4
As	1	0.5	2	2	1.4	2.4	1.9	1.5	1.5
Sc	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Br	1	0.5	3.6	3	2.7	4.5	4.5	1.3	1.7
Rb	0.2	2	30	45	110	100	110	170	200
Sr	1	10	465	440	200	800	440	100	300
Y	0.x	—	21	20	20	—	35	40	34
Nb	16	1	19	20	35	20	20	21	20
Mo	0.3	0.2	1.5	1.4	0.6	0.9	1	1.3	1
Pd	0.12	0.12	0.02	0.019	—	—	0.00x	0.00x	0.01
Ag	0.06	0.05	0.11	0.1	0.0x	0.07	0.051	0.037	0.05
Cd	0.x	0.05	0.22	0.19	0.13	—	0.13	0.13	0.1
In	0.01	0.013	0.22	0.22	0.0x	—	0.0x	0.26	0.26
Sn	0.5	0.5	1.5	1.5	x	—	1.5	3	3
Sb	0.1	0.1	0.2	1	0.x	0.2	0.2	0.2	0.26
I	0.5	0.01	0.5	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.4
Cs	0.x	0.1	1.1	1	0.6	—	2	4	5
Ba	0.4	1	330	300	1600	650	420	840	830
Hf	0.6	0.1	2	1	11	1	2.3	3.9	1
Ta	1	0.018	1.1	0.48	2.1	0.7	3.6	4.2	3.5
W	0.77	0.1	0.7	1	1.3	1	1.3	2.2	1.5
Au	0.006	0.005	0.004	0.004	0.00x	—	0.004	0.004	0.0045
Hg	0.0x	0.01	0.09	0.09	0.0x	—	0.08	0.08	0.08
Tl	0.06	0.01	0.21	0.2	1.4	0.5	0.72	2.3	1.5
Pb	1	0.1	6	8	12	15	15	19	20
Bi	—	0.001	0.007	0.007	—	0.01	—	0.01	0.01
Th	0.004	0.005	4	3	13	7	8.5	17	18
U	0.001	0.003	1	0.5	3	1.8	3	3	3.5

注：此表中1、(1)和2数码据K.K. Turekian and K.H. Wedepohl, 1961; A.Д.Виноградов, 1962。