

普通高等教育地质矿产类规划教材

岩石学简明教程

第 二 版

卫管一 张长俊 编

地 质 出 版 社

普通高等教育地质矿产类规划教材

岩石学简明教程

第 二 版

卫管一 张长俊 编

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

(京)新登字 085 号

* * *

本书由王国富教授主审。

* * *

图书在版编目(CIP)数据

岩石学简明教程/卫管一,张长俊编.-2版.-北京:地质出版社,1995.6
普通高等教育地质矿产类规划教材

ISBN 7-116-01746-1

I. 岩… II. ①卫… ②张… III. 岩石学-高等教育-教材 IV. P58

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 05313 号

地质出版社出版

(100013 北京和平里七区十楼)

责任编辑:赵俊磊 沈桂梅

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所发行

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:13.375 字数:307000

1995年6月北京第一版·1995年6月北京第一次印刷

印数:1—1000册 定价:7.65元

ISBN 7-116-01746-1

P·1400

第二版前言

岩石学是地质科学中一门独立的分支学科,它对研究和阐明地壳、地幔的物质组成,各种岩石的起源成因、演化以及与矿产形成分布的关系等具有十分重要的作用。当今岩石学的应用范围已不只限于地矿部门,在交通、建筑工程、水利、非金属材料、能源开发和利用,以至环境保护等部门都被广泛应用。岩石学作为自然科学的组成部分之一,正在国民经济建设和发展中发挥着重要的作用。

根据地矿部教材编辑室“八·五”教材出版规划,岩石学简明教程列入修编出版规划。本次修编是在1987年出版的岩石学简明教程(修订本)(翟淳主编,张长俊、卫管一参编)的基础上进行的。在修编过程中,征求了任课教师对原教材的使用意见,总结了多年来的教学实践、体会,参阅了有关文献、教材。修编后的岩石学简明教程,基本上仍保持了原教材的体系和特色,仍以岩类学为主,论述了三大岩类的主要特征、分类和命名,并保留了显微镜下的主要特征,使宏观与微观结合;同时对有关近代岩理学方面的基本理论作必要的论述,以使全教材既重视岩石学基础知识论述,同时又注意反映当代岩石学基本理论和研究发展状况。主要修改和变动的内容有:精简了某些次要或过细的描述性的内容,如各岩类的描述,岩浆岩中矿物的结晶顺序,火山岩相,沉积期后的变化及其作用,各种成因的层理构造,成岩作用阶段的划分,沉积相的划分,变质反应,变质岩原岩性质恢复等等。删去了各类岩浆岩的变化中有关遭受区域变质作用后的变化的叙述,岩浆岩各论中二元体系相图,岩浆岩结构的观察和描述,某些岩石种属的论述如霞石岩,火山碎屑岩的化学成分和形成机制,变质岩中有关变形机制的叙述,变质岩结构观察、描述等等。调整修改了原教材中的叙述体系,如岩浆的概念,岩浆岩各论中各岩类一般特征的叙述,岩浆岩种属划分,岩浆的形成中关于部分熔融的概念及机制,沉积岩的特征,变质岩化学成分中有关变质岩化学类型的划分等。对某些基本概念、基本理论作了修改,如粗玄岩,安山岩中易变辉石的产出特征,斑状结构、似斑状结构的成因机制,大洋盆地的岩浆岩组合等。考虑到岩石的分类是岩类学的基础和重要内容,修改时予以必要的重视,在岩浆岩中突出了酸度分类;总分类表中加入了里特曼碱度指数和全碱含量;对热变质岩类、区域变质岩类的分类表作了修改等。再者在论述分类时,尽量推广、介绍国际通用分类,为此增加了国际地科联(IUGS)火成岩分类分会推荐的硅-碱分类图,在QAPF分类图中增加了相应的火山岩分类及其命名,对煌斑岩的分类也参照国际地科联推荐分类作了修改。根据岩石学科发展现状,以及作者多年的研究成果,除上述增加内容外,修改时还作了若干补充,如沉积相的实践应用例子,碳酸盐岩类型实例,区域变质作用类型划分,变质作用方式,双变质带等等。此外,修改过程中还精简了插图1/3,表格1/4,个别插图修改重绘。

所有以上的修改和变动,其目的主要是使教材内容更为简明扼要而实用,突出重点,减

少重复；加强基础知识、基本理论，以使更符合教学要求。修改时注意了文字的通俗、流畅，概念的准确，以利于自学。

本书可用作地矿、石油、建材、水电、铁道和矿业等有关专业的教材，亦可供相关科研和生产人员参考。

本书绪论，第一篇岩浆岩，第三篇变质岩由卫管一修编，第二篇沉积岩由张长俊修编。全书由卫管一统一整理。

修订工作得到了地矿部教材室和成都理工学院的鼓励和支持。修订稿由王国富教授进行了评审，提出了宝贵意见，对提高全书质量起到了积极作用。编者根据主审的意见再次进行了修改和补充。编者对以上单位和有关人员表示深切的感谢。

由于编者水平有限，加之修编时间仓促，一定存在不少错误和缺点，敬请读者批评指正。

编 者

1994 年 5 月

修 订 版 前 言

根据 1982 年 3 月在北京召开的岩石学教材编审委员会的决议，对 1979 年出版的岩石学简明教程进行修订。在修订过程中编者曾多方面征求地质院校、大学地质系、石油、建材、水电、铁道和矿业等使用学校的意见。各单位或个人都以认真负责的精神，对原教材中的错误、缺点和不妥的地方，提出了很多宝贵的意见和良好的建议，这对提高本教程的质量受益非浅。编者在修订时认真地考虑了这些意见和建议。在此致以衷心的感谢。

修订后的岩石学简明教程，仍以描述岩类学为主，相应的也讨论了近代岩浆岩、沉积岩和变质岩成因方面的基础知识，这些当代岩石学的最基本知识是地质学专业必须掌握的入门知识。和原书相比，这次修订减去了各篇中的研究方法，增删了一些岩类，重写了岩浆岩的总论和成因；对沉积岩的形成和分类作了新的划定；变质反应和变质反应带与塑性变形的引入则是变质岩部分最大的变动。

本教程仍由成都地质学院岩石教研室承修，其中绪论和第一篇岩浆岩由翟淳修编，第二篇沉积岩由张长俊修编，第三篇变质岩由卫管一修编。图件由院绘图室清绘。全部书稿由翟淳统一整理。

修订稿完成后，由岩石学教材编审委员曾允孚教授组织了内审，茅燕石副教授评审了岩浆岩和变质岩部分，曾允孚教授评审了沉积岩部分。编者根据评审意见进行了修改补充，再交曾允孚教授复审。

由于编者水平有限，书中难免有错误和缺点，敬请广大读者批评指正。

编 者

1985 年 10 月

试用教材前言

为了适应地质教育事业大发展的需要,为了改变目前缺乏教学用书和参考书的状况,我们受地质总局的委托编写了这本岩石学简明教程。其内容主要是阐述各类岩石的组成特征、成因、分布、矿产和工业用途,以及认识各类岩石的方法和岩体的工作方法。为水文工程地质和石油地质专业的同学提供最基本的岩石学知识。

本教程是按四年制水文工程地质专业和石油地质专业(沉积岩除外)的需要,依讲授100学时而编写的。在编写过程中,力求作到能反映国内外的现代科学水平,做到少而精,便于自学,内容适当多些,既是教科书又是参考书,但限于专业要求,故有些内容用小字排印(或注▲号),以供选择。

本教程由成都地质学院岩石教研室承编,其中绪论和第一篇岩浆岩由翟淳编写;第二篇沉积岩由张长俊编写;第三篇变质岩由卫管一编写;图件和照片由绘图室和照像室承担。翟淳负责主编。在编写的全过程中教研室组织有关同志审阅和抄写了初稿,提了许多意见,院委托有关专业老师组成审查小组进行了内审,最后由曾允孚副教授作了全面审阅,提出许多宝贵意见。特此致谢。

由于编者缺乏经验,水平有限,更加时间仓促,书中错误缺点不少,行文用语,不够妥切流畅的地方也不少。务请同志们同学们在试用本教材发现错误和缺点后,来信指正,以便修改和补充,不胜感戴。

编 者

1978年7月

目 录

绪论.....	(1)
一、岩石和岩石学的概念.....	(1)
二、岩石学与其他学科的关系.....	(1)
三、岩石学的研究方法.....	(2)
四、岩石学的发展简史和研究现状.....	(2)

第一篇 岩 浆 岩

第一章 总论.....	(4)
1.1 岩浆	(4)
1.2 岩浆岩	(5)
1.3 岩浆岩的物质成分	(5)
1.3.1 岩浆岩的矿物成分	(5)
1.3.2 岩浆岩的化学成分	(7)
1.3.3 岩浆岩的矿物共生组合规律以及与化学成分的关系	(8)
1.4 岩浆岩的结构和构造	(10)
1.4.1 岩浆岩的结构	(10)
1.4.2 岩浆岩的构造	(15)
1.5 岩浆岩的产状和相	(17)
1.5.1 岩浆岩的产状	(17)
1.5.2 岩浆岩的相	(21)
1.6 岩浆岩的分类和命名	(22)
1.6.1 岩浆岩的分类	(22)
1.6.2 岩浆岩的命名	(26)
第二章 各论.....	(27)
2.1 橄榄岩—苦橄岩类	(27)
2.1.1 一般特征	(27)
2.1.2 侵入岩——橄榄岩类.....	(27)
2.1.3 喷出岩——苦橄岩类.....	(32)
2.2 辉长岩—玄武岩类	(33)
2.2.1 一般特征	(33)
2.2.2 侵入岩——辉长岩类.....	(34)
2.2.3 喷出岩——玄武岩类.....	(36)
2.3 闪长岩—安山岩类	(40)
2.3.1 一般特征	(40)

2.3.2 侵入岩——闪长岩类	(41)
2.3.3 喷出岩——安山岩类	(43)
2.4 花岗岩—流纹岩类和花岗闪长岩—英安岩类	(45)
2.4.1 一般特征	(45)
2.4.2 侵入岩——花岗岩和花岗闪长岩类	(45)
2.4.3 喷出岩——流纹岩和英安岩类	(48)
2.5 正长岩—粗面岩类	(51)
2.5.1 一般特征	(51)
2.5.2 侵入岩——正长岩类	(51)
2.5.3 喷出岩——粗面岩类	(53)
2.6 霞石正长岩—响岩类	(55)
2.6.1 一般特征	(55)
2.6.2 侵入岩——霞石正长岩类	(55)
2.6.3 喷出岩——响岩类	(56)
2.7 脉岩类	(57)
2.7.1 煌斑岩类	(57)
2.7.2 细晶岩类	(60)
2.7.3 伟晶岩类	(61)
2.8 火山碎屑岩类	(62)
2.8.1 一般特征	(62)
2.8.2 火山碎屑物质的类型和特征	(62)
2.8.3 火山碎屑岩的结构	(63)
2.8.4 火山碎屑岩的构造	(64)
2.8.5 火山碎屑岩的分类和命名	(65)
2.8.6 火山碎屑岩的主要类型及其特征	(65)
2.8.7 火山碎屑岩的次生变化	(67)
2.8.8 火山碎屑岩的产状分布与矿产	(68)
第三章 岩浆岩的成因	(69)
3.1 岩浆的形成	(69)
3.1.1 部分熔融	(69)
3.1.2 上地幔中岩浆的形成	(69)
3.1.3 大陆地壳中岩浆的形成	(70)
3.1.4 板块消减带岩浆的形成	(70)
3.2 原生岩浆	(71)
3.3 岩浆的演化	(71)
3.3.1 分异作用	(71)
3.3.2 同化混染作用	(72)
3.3.3 混合作用	(73)
3.4 主要岩浆岩类的成因	(73)

3.4.1 超基性岩类的成因	(73)
3.4.2 基性岩类的成因	(74)
3.4.3 闪长岩和安山岩类的成因	(74)
3.4.4 花岗岩类的成因	(75)
3.5 岩浆岩的共生组合、分布与构造和矿产的关系	(75)
3.5.1 大洋盆地的岩浆岩组合	(76)
3.5.2 大陆边缘的岩浆岩组合	(76)
3.5.3 稳定大陆内的岩浆岩组合	(79)

第二篇 沉 积 岩

第一章 总论	(81)
1.1 概述	(81)
1.1.1 沉积岩的定义和分布	(81)
1.1.2 研究沉积岩的意义	(81)
1.2 沉积岩的形成作用	(81)
1.2.1 沉积物质的形成作用	(81)
1.2.2 沉积物的搬运和沉积作用	(84)
1.2.3 沉积期后的变化及其作用	(89)
1.3 沉积岩的一般特征	(92)
1.3.1 化学成分特征	(92)
1.3.2 矿物成分特征	(92)
1.3.3 结构特征	(92)
1.3.4 构造特征	(92)
1.3.5 沉积岩的颜色	(102)
第二章 各论	(104)
2.1 沉积岩的分类	(104)
2.2 碎屑岩	(104)
2.2.1 碎屑岩的一般特征	(104)
2.2.2 粗碎屑岩——砾岩、角砾岩	(108)
2.2.3 中碎屑岩——砂岩	(110)
2.2.4 细碎屑岩——粉砂岩	(113)
2.3 泥质岩	(114)
2.3.1 泥质岩的一般特征	(114)
2.3.2 泥质岩的分类及主要类型	(115)
2.4 碳酸盐岩	(117)
2.4.1 概述	(117)
2.4.2 碳酸盐岩的物质成分	(117)
2.4.3 碳酸盐岩的结构	(117)
2.4.4 碳酸盐岩的构造	(121)

2.4.5 碳酸盐岩的沉积期后变化	(121)
2.4.6 碳酸盐岩的分类和命名	(124)
2.4.7 碳酸盐岩的主要类型及其特征	(127)
2.5 其它内源沉积岩	(129)
2.5.1 蒸发岩	(129)
2.5.2 硅质岩	(131)
第三章 沉积相	(133)
3.1 概述	(133)
3.1.1 沉积环境、沉积相的定义	(133)
3.1.2 沉积相的分类	(133)
3.1.3 沉积相的鉴定标志	(134)
3.2 大陆相组	(135)
3.2.1 概述	(135)
3.2.2 河流相	(135)
3.2.3 冲积扇相	(137)
3.2.4 湖泊相	(139)
3.2.5 沼泽相	(140)
3.3 过渡相组	(140)
3.3.1 三角洲相	(140)
3.3.2 河口湾相	(143)
3.4 海相组	(143)
3.4.1 概述	(143)
3.4.2 无障壁海岸相	(145)
3.4.3 有障壁海岸相	(145)
3.4.4 浅海陆棚相	(148)
3.4.5 次深海及深海相	(148)
3.4.6 浊积岩相	(149)
3.5 碳酸盐沉积相	(150)
3.5.1 现代碳酸盐沉积环境	(150)
3.5.2 碳酸盐沉积相模式	(150)
3.5.3 主要碳酸盐沉积相特征	(150)

第三篇 变质岩

第一章 总论	(155)
1.1 变质作用和变质岩的基本概念	(155)
1.1.1 变质作用和变质岩	(155)
1.1.2 变质作用的制约因素	(155)
1.1.3 变质作用的类型	(158)
1.1.4 变质作用的方式	(159)

1. 2 变质岩的物质成分	(160)
1. 2. 1 变质岩的化学成分	(160)
1. 2. 2 变质岩的矿物成分	(160)
1. 2. 3 变质岩矿物共生组合的规律	(162)
1. 3 变质岩的结构和构造	(163)
1. 3. 1 变质岩的结构	(163)
1. 3. 2 变质岩的构造	(169)
1. 4 变质岩的分类	(171)
第二章 变质岩各论——常见的变质岩类型	(172)
2. 1 动力变质岩类	(172)
2. 1. 1 概述	(172)
2. 1. 2 动力变质岩的分类和命名	(173)
2. 1. 3 主要的动力变质岩	(174)
2. 2 热接触变质岩	(176)
2. 2. 1 概述	(176)
2. 2. 2 热接触变质岩的分类和命名	(176)
2. 2. 3 主要的热接触变质岩	(177)
2. 3 区域变质岩类	(180)
2. 3. 1 概述	(180)
2. 3. 2 区域变质岩的分类和命名	(180)
2. 3. 3 主要的区域变质岩	(182)
2. 4 混合岩类	(186)
2. 4. 1 概述	(186)
2. 4. 2 混合岩的分类和命名	(187)
2. 4. 3 主要的混合岩	(188)
2. 5 交代变质岩类	(190)
2. 5. 1 概述	(190)
2. 5. 2 交代变质岩的分类和命名	(190)
2. 5. 3 主要的交代变质岩	(191)
第三章 变质作用和原岩性质的研究	(194)
3. 1 变质作用的研究	(194)
3. 1. 1 变质带的概念	(194)
3. 1. 2 变质级	(194)
3. 1. 3 变质相概述	(195)
3. 1. 4 变质相系的概念	(196)
3. 1. 5 双变质带及其成因	(196)
3. 2 变质岩原岩性质的识别和恢复	(197)
3. 2. 1 地质产状、岩石组合和矿物共生组合	(197)
3. 2. 2 结构、构造特征	(198)

3.2.3 岩石化学和地球化学特征	(198)
3.2.4 副矿物特征	(200)
主要参考文献	(201)

绪 论

一、岩石和岩石学的概念

岩石是地质科学中的一个专用术语，是指构成地壳和上地幔的固态物质。岩石由矿物（一种或多种）的天然集合体（部分为火山玻璃物质、胶体物质、生物遗体）组成，是地球内力和外力地质作用的产物。

根据成因，可将岩石划分为岩浆岩、沉积岩、变质岩三类。岩浆岩（magmatic rocks）是由高温熔融的岩浆，经侵入地下或喷出地表冷凝而形成。又称火成岩（igneous rocks）。沉积岩（sedimentary rocks）是由地表风化产物、火山碎屑物等，在外力作用下搬运、沉积、固结而成。变质岩（metamorphic rocks）是由已形成的岩浆岩、沉积岩经变质作用转化而成的岩石。三类岩石因成因不同，特征也不同。三类岩石之间相互联系、相互演变，有的在成因上还逐渐过渡，难以截然区分开。

三类岩石在地壳中的分布情况各不相同。地壳深处和上地幔上部主要由岩浆岩和变质岩（常合称结晶岩）组成。据统计从地表向下 16km 的范围内岩浆岩和变质岩的体积可达 95%，沉积岩只占 5%。地壳的表面以沉积岩为主，约占大陆面积的 75%，洋底几乎全部为沉积物所覆盖。

岩石在其形成过程中，记载了地壳或上地幔形成演化历史的信息，因此在地质学中岩石是重要的研究对象。岩石常作为各种有用矿产赋存的空间场所，甚至有的岩石本身就是有用矿产。岩石还与各种工程设施、交通运输等建筑工程密切相关，很多重大工程建设，几乎都离不开岩石，因此对岩石进行研究，具有重要的理论意义和实际意义。

岩石学（petrology）是地质学中的一门独立的分支学科，是研究地壳、上地幔各种岩石的分布、产状、成分、结构、构造、分类、命名、成因、演化和相关矿产等问题的学科。

随着对岩石成因研究的深入，目前岩石学已形成了三个相对独立的分支学科，并分别与三大类岩石相对应，即岩浆岩岩石学、沉积岩岩石学、变质岩岩石学。

岩浆岩岩石学（magmatic petrology）着重研究岩浆岩的组分、结构、构造、产状、分布、分类、命名、共生组合、成因机制与矿产的关系，以及岩浆的形成、演化、活动与全球构造的关系等。近来，岩浆岩岩石学的研究范畴和内容已扩大到上地幔和宇宙星体岩石，甚至分别发展为单独的学科。

沉积岩岩石学（sedimentary petrology）着重研究沉积物质的形成、搬运、沉积、成岩和后生变化，沉积岩的组分、结构、构造、分类、命名、沉积建造、沉积环境，与矿产的关系等。目前对沉积环境的研究更与全球构造变化联系起来。

变质岩岩石学（metamorphic petrology）着重研究变质岩的组分、结构、构造、分布、成因、成矿、原岩性质、变质作用类型和变质作用条件，与地壳演化发展的关系等。

二、岩石学与其他学科的关系

岩石学是地质学科领域内的基础学科之一，它和地质学与其他自然科学有着很密切的

19 世纪晚期，费德洛夫旋转台的发明和使用，随后 X 射线晶体衍射实验的成功，为研究岩石的矿物成分、晶体结构开辟了新天地。

至 20 世纪 80 年代的今天，由于多种近代测试分析方法的完善和应用，使矿物的研究更是向着微量、微区；高速度、高精度的新阶段迅猛发展。矿物有序—无序的研究、矿物用作地质温压计的探讨、矿物稳定同位素的测定，都直接或间接地为地壳中和壳下物质存在的状态、岩浆的形成和演化带来了令人信服的凭据。目前岩石学的研究，正沿着矿物学、岩石化学、地球化学、区域岩石学、岩类学、岩理学、实验岩石学和工艺岩石学等多方面彼此联系、相互推进的方向向前发展着。

对于岩石化学，早期和近期都进行了大量的分析，特别是本世纪 50 年代后，有了较大的发展，创立了各种岩石化学计算方法、岩石化学指数和岩石化学图解，提出了岩石的化学成分分类，从不同的方面揭示了岩石的特征、成因联系、成矿专属性和岩浆岩的共生组合规律。地球化学研究，也为不同火成岩系间主要元素和微量元素的分布和组合的差异、找矿勘探和岩石成因与矿产的形成等方面提供了线索。同位素和稀土元素地球化学的应用，在确定各类岩石的物质来源和生成年代与形成温度上也有很大的突破。

近 20 年来，随着各种新的快速测试方法的使用，多种边缘学科的相互渗透，电子计算机的出现和处理程序的应用，大量区域岩石学和岩类学资料的积累和综合整理手段的进步，都为日益深入研究岩石展拓了新方向，与此同时产生了许多崭新的理论，因此岩石学正进入一个蓬勃发展的新时期。

第一篇 岩 浆 岩

第一章 总 论

1.1 岩 浆

人们通过对古代火山产物和当代火山活动的长期观察和研究,发现在火山活动时不但有蒸气、石块、晶屑和熔浆团块自火山口喷出,而且还有炽热粘稠的熔融物质自火山口溢流出来。前者被称为挥发分 (volatile component) 和火山碎屑物质 (volcaniclastic material), 后者则叫做熔岩流 (lava flow)。这说明于地球的深处确实有高温炽热的熔融物质存在并活动。目前,我们把这种产生于上地幔和地壳深处,含挥发分的高温粘稠的主要成分为硅酸盐的熔融物质称之为岩浆 (magma)。熔岩流在喷溢过程中,因压力骤降,挥发分会大量逸失,因此还不是真正的岩浆,仅是最接近于岩浆的物质。岩浆可以随地壳活动运移到地壳的不同深处冷凝固结,也可以喷溢到地表冷凝固结。自岩浆的产生、上升到岩浆冷凝固结成岩的全过程称为岩浆活动或岩浆作用 (magmatic action)。喷出地表的岩浆活动叫做火山活动或火山作用 (volcanic action)。

岩浆的成分主要是硅酸盐物质,只有少数火山曾喷出过碳酸盐岩浆 (如非洲坦桑尼亚东部) 和氧化铁矿浆 (如南美智利拉科磁铁矿岩浆)。硅酸盐熔浆中存在着大量的氧、硅和其他多种元素,这些元素各以不同的形式和硅氧四面体组成多种状态的络阴离子团,随着这些离子团凝聚态的变化,岩浆的活动态势也就不同。除此之外,岩浆的活动态势还受岩浆中挥发分的影响。挥发分在岩浆中的含量一般不超过 6%,主要是水蒸气 (约占挥发分总量的 60—90%), 其次是 CO_2 、 CO 、 SO_2 、 HCl 、 H_2S 、 N_2 、 HF 等。挥发分在地下深处高温高压下的岩浆中是呈溶解状态的,一旦喷达地表,就会急速地逸出,形成火山喷气。

岩浆的温度 根据对火山熔岩流的直接测定和对熔岩熔融与结晶温度的观察,通常在 700—1200℃ 之间。但不同成分的岩浆其温度不同,玄武岩浆的温度要高些,多为 1025—1225℃; 安山岩浆的温度低些,为 900—1000℃; 酸性岩浆的温度最低,只有 735—890℃。而处于地下深处的岩浆,可由矿物的结晶、转化温度和其它的方法间接推知。一般认为地下深处正在结晶的岩浆比喷达地表的同成分岩浆的温度要低些,如基性岩浆通常都低于 1000℃,酸性岩浆只有 700—800℃。

岩浆的粘度^① 粘度是岩浆的重要特征之一,它反映了岩浆熔体的流动性能。岩浆的粘度主要取决于岩浆的化学成分、挥发分、温度和压力等因素。一般来说,岩浆中 SiO_2 和

① 指岩浆的剪切粘度,粘度的单位是 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。