

● 中国地质大学(武汉)地学类系列精品教材

矿物岩石学

KUANGWU YANSHIXUE

李昌年 李净红 编 著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

中国科学院地质研究所 中国科学院南京地质古生物研究所

矿物岩石学

第四版 下册 地质出版社 1999年11月第1版第1次印刷

李佩德 李佩德 主编



地质出版社

P5/107

中国地质大学(武汉)地学类系列精品教材

矿物岩石学

KUANGWU YANSHIXUE

李昌年 李净红 编著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

内 容 简 介

这是一本真正意义的不用显微镜的矿物岩石学教科书,它是为从未涉足《结晶学及矿物学》《晶体光学》《光性矿物及造岩矿物学》等知识,而又不必花大量时间学习显微镜《岩石学》的非地质学的地学专业大学本科生学习矿物和岩石学知识而编写的,旨在指导学生使用最常规和简便的小三件工具(小刀、放大镜和锤子)对地球上最直观表现的天然固态物质——矿物和岩石进行正确的观察、鉴定和描述。

全教材分为上篇矿物和下篇岩石学两大部分,共计6章,最后还附有野外岩矿鉴定和描述方法的引导。该书除重点介绍和论述造岩矿物的鉴定特征及三大类岩石(火成岩、沉积岩和变质岩)的基本知识、基本理论、分类命名、观察描述思路与鉴定方法外,还独创性地单列了“野外岩石学”一章,本章所涉及的有关岩石露头的野外观察、岩石的组合和相互关系的研究,以及它们提供的地质作用信息都是作者40余年从教岩石学和进行相关科学研究的野外工作积累与经验总结,这对于本教材使用者的现在学习和今后的野外地质工作都是十分有益的。

总之,该教材体系结构科学合理、知识论述扎实准确、涉及内容充实丰富、观察思路缜密严谨、鉴定方法适用可操作,再加上其内编排有精美的彩色插图使全书锦上添花。本书适用于非地质学的地学专业(地质工程、环境地质、岩土、油气、资源勘查工程、勘察工程、地球物理勘察和珠宝鉴定等)学生矿物岩石学课程的学习,而且还可供地质生产单位和地质研究院(所)的工程技术人员及相关的研究生在野外从事地质工作时参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿物岩石学/李昌年,李净红编著.——武汉:中国地质大学出版社,2014.10

ISBN 978-7-5625-3330-6

I. 矿…

II. ①李…

III. ①矿物学②岩石学

IV. ①P57②P58

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 047155 号

矿物岩石学

李昌年 李净红 编著

选题策划:郭金楠

责任编辑:胡珞兰

责任校对:戴莹

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路388号)

邮政编码:430074

电 话:(027)67883511

传 真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

http://www.cugp.cug.edu.cn

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:480千字 印张:18.75

版次:2014年10月第1版

印次:2014年10月第1次印刷

印刷:武汉中远印务有限公司

印数:1—3000册

ISBN 978-7-5625-3330-6

定价:37.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

中国地质大学(武汉)地学类系列精品教材

策划、编辑委员会

策划部组成

主任:毕克成

副主任:刘桂涛

成员:张晓红 段连秀 赵颖弘

编辑部组成

主任:刘桂涛

成员:张晓红 段连秀 赵颖弘

湛福兴 王凤林

前 言

本教材可以说是此前李昌年编著的《简明岩石学》(2012)教材的修订版。此教材的变化是:矿物知识有较大扩容;对岩石学内容进行了补充和修改。显然,这次修订版之作是实至名归的“矿物岩石学”了,它与全国高等院校非地质学的地学专业现广泛开设的同名课程相匹配。所以说,该《矿物岩石学》教材是顺应这种大学本科非地质学的地学各专业建设快速发展应运而生。本教材具有以下特色。

1. 始建科学的课程体系

矿物岩石学尽管有古老的矿物学和岩石学课程支撑,但它自身却是一门新兴的课程。迄今,全国开设这门课程的地学院校和专业非常之多,其对应的教材使用量应极其之大。但遗憾的是,该课程仍无统一的课程体系,教学内容尚无规范。因而在编写之前首要的是着手其课程体系建设,为此笔者做了以下三方面的基础工作:①研究大学非地质学各地学专业的课程设置目的和知识结构特点,笔者认为,本教材不是为培养一般地质学和找矿类专业人才编写的,而是为大学本科非地质学的地学专业学生学习其后续专业知识服务的。确切地说,它不是那种简化的矿物学与岩石学的复合读本,而应是一本专业预备知识的教科书。②调查已出版的同类教材教学内容的现状,发现存在诸多问题(如或缺失矿物方面的知识,或是矿物学和岩石学的简单拼凑,或使用了偏光显微镜的相关岩石学知识等)。③结合近年来矿物岩石学课程的教学实践进行了总结。最终笔者认为,《矿物岩石学》课程体系不是简单的矿物学加岩石学,其中的核心知识是岩石学;矿物知识应为岩石学服务,它应该是经取舍和选择的矿物学知识,且不具矿物学学科知识的系统性;核心知识岩石学仍保存原岩石学的知识体系(三大类岩石)。最终总结本课程的课程体系有3个支撑点:一为具非学科知识体系的矿物学;二为具学科知识体系的岩石学;三为不用显微镜工具。故现在的教材是由矿物和岩石学两大部分构成,全篇仅限于三小件工具的观察尺度。在上篇矿物中矿物学的传统经典内容被重组,如硅酸盐造岩矿物原是矿物学各论中的极小的组成单位,但在《矿物岩石学》教材中它的权重却等同于书中涉及的其他所有矿物之和了。

2. 诠释不用显微镜岩石学

不用显微镜岩石学是相对于显微镜岩石学(简称“岩石学”)提出来的。根据非地质学的地学专业的知识结构特点,学生不必花大量时间(长达200学时)去获取显微镜岩石学及其预备知识,而只需学习相关的岩矿基本知识并利用三小件工具鉴定造岩矿物和岩石(学时数仅50

左右)即可。现在已出版的其他同类教材中,总是附有许多偏光显微镜下的相关内容,这是不合适的。《矿物岩石学》则将常规三小件工具的眼观察和鉴定贯穿始终。有些人常将不用显微镜岩石学列于低级岩石学范畴,认为肉眼观察鉴定不准确、不科学,这是不正确的。根据笔者多年的教学实践可知,在手标本和露头上教授学生学会认识矿物和岩石的难度或许要大于偏光显微镜下的教学。应该说,该课程教学对任课教师只会提出更高的要求。

教材中最后所附的“野外岩矿鉴定和描述”一节诠释了不用显微镜的岩石学,其中有许多亮点,文中提出的肉眼鉴定矿物和岩石的方法具有许多独到之处,并具有明显的可操作性。如利用鉴定工具(放大镜和肉眼观察)识别矿物的精细程度来确定岩石中的石英含量;利用解理的阶梯状细微差异来区分具同等级解理程度的相似矿物,制定了岩石中造岩矿物鉴定的路线图,提出了岩石中矿物含量估计的思路和方法等。

教材中肯定要涉及一些岩石学的基本理论,正确的野外露头观察和细致的手标本鉴定将会加深对岩石学理论的理解而不必通过显微镜研究来验证。显然,不用显微镜的矿物和岩石肉眼鉴定不仅从认知上来说绝非是易事,而且有助于与大自然地质实验室的实际结合更加紧密。

3. 增补野外岩石学教学内容

“野外岩石学”名词是受 Maley T S(1994)的专著《*Field Geology Illustrated*》的启示提出来的。通俗地讲,它就是岩石学野外工作方法的术语性表达。该内容安排于本教材后面第六章,显然它是在学习了造岩矿物和三大类岩石之后增补的一个较综合的实际应用性教学内容,当然,它也是不用显微镜岩石学教学的自然延伸。

教材中对涉及一些岩石学基本理论的复杂野外地质现象进行了科学的分析和厘清,通过研究野外岩石地质体的空间分布、岩石的组合特点和相互关系来获取众多的地质信息。另一方面,露头观察还会有助于把孤立的矿物和岩石直接置于地质体系的时空坐标内进行思考,从而获得正确的地质认识。如对复合岩体内小侵入体的多种非侵入接触关系的识别、环状复合岩体与具环状相带的单一侵入体的区别、古老的同造山侵入体的确定标志等,它们都会在此章节内找到正确的答案。显然,本章的许多认知都是笔者40余年从教岩石学和参加科学研究时野外工作的心得总结和经验积累,十分难得。

4. 推介现代岩石学的成熟研究成果

可能有人认为,不用显微镜岩石学仅是在标本上认识矿物和岩石而已。笔者则认为,该课程不仅是非地质学的地学专业知识结构的重要组成部分,而且对于地质学(含找矿类)专业学生也非常重要,因为岩矿的肉眼鉴定是一切岩石学研究的基础。联系到现在地质学(含找矿类)研究生野外工作能力低下的现状,笔者更加坚定了撰写本书的原则:教材水平层次不能降低、编排纲目不落俗套、教学内容推陈出新、理论跟进现代前沿;必须抛弃那些无限缩小的、遥远无边际的、空洞而不实际的、可能和大概的知识内容;绝不作那种千书一面的“一大抄”和复制克隆的省力事情。

据此,笔者作了两方面的努力:一是强力推介现代岩石学的成熟研究成果,以提供正确、准确和明确的岩石学信息。例如浆混岩的论述(反向脉、同深成岩墙、岩浆机械混和的液态不混溶、微粒闪长岩包体中的捕虏晶等);又如侵入体不按深度而按规模大小划分产状的提出(岩脉也有深成的);再如火山灰流相的观察(低平火山口、交错层理-块状层理-水平层理的层序组

合)等。二是旗帜鲜明、观点明确。地质上存在一些传统且是习惯性的错误认识和过时的理论,有些甚至根深蒂固,需要与时俱进地去修正;有些则是一些边界有限的结论而被盲目地扩大化,需用科学的依据指出来并予以纠正,例如笔者对用规范化标准强力推行的单元—超单元谱系填图方法的泛用就提出了不同的意见。

5. 应用现代出版技术

《矿物岩石学》教材也是现代出版技术的结晶。本教材中提供的矿物晶体和许多岩石现象的图片多是笔者利用网络平台搜索到的,在书中插放更加添彩;本教材彩照与黑白线条图并举,而将两者对照的插图形式则是出版人员的辛劳之作。凡此种种努力的结果使本教材成为图文并茂、美轮美奂的精品,它不仅在视觉上能产生很大的冲击力并转换为吸引力,而且对学生加深有关论述的理解提供了帮助。

在此,我们要感谢中国地质大学出版社选题策划的郭金楠教授、责任编辑胡珞兰女士以及为此教材出版作出贡献的所有工作人员,是他们的辛勤工作和帮助才使本教材得以顺利出版。

最后要说明,此教材容量很大,本课程教学因授课学时数有时是有限的,故有必要适时对其教学内容进行一些取舍和调整,这里特提出 52 学时课程的讲授安排(下表),其剩余的篇幅(第六章)可在课余及野外工作中阅读参考。

50 学时课程表安排

章	节	段	学时安排
第一章	第一节 结晶学基础	一、二、五	讲课 8 学时
	第二节 矿物的性质	三	
第二章	第一节 硅酸盐矿物		实验 8 学时
第三章	第一节 概述		讲课 4 学时 实验 8 学时
	第二节 火成岩的基本特征和分类		
	第三节 超镁铁质—镁铁质岩类		
	第四节 中性—长英质(花岗质)岩类	一、二	
	第五节 喷出岩(熔岩)类	一、二	
第四章	第二节 沉积岩的基本特征和分类		讲课 4 学时 实验 8 学时
	第三节 陆源碎屑岩		
	第四节 内源沉积岩	一、二	
第五章	(全部)		讲课 4 学时 实验 8 学时
附	野外岩矿鉴定和描述	(在实验课上逐一讲授)	不占学时

目 录

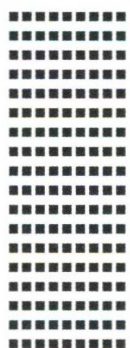
上篇 矿物

第一章 结晶学基础及矿物的性质	(3)
第一节 结晶学基础	(3)
第二节 矿物的性质	(23)
第二章 主要造岩矿物各论	(36)
第一节 硅酸盐矿物	(37)
第二节 其他常见矿物	(55)

下篇 岩石学

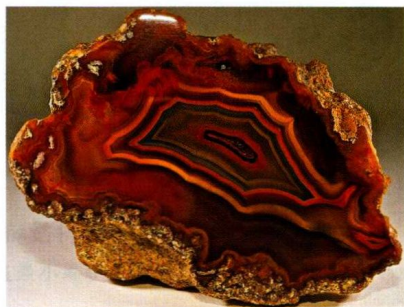
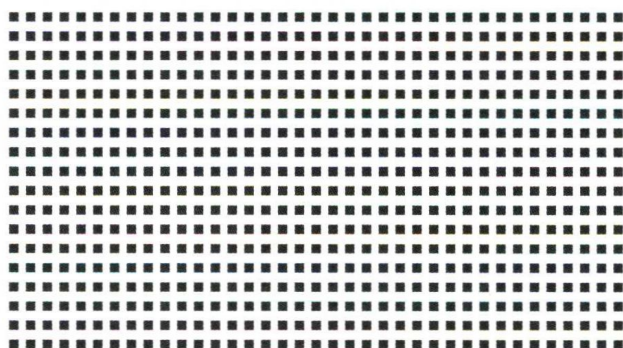
第三章 火成岩	(75)
第一节 岩石和岩石学	(75)
第二节 岩浆和火成岩	(82)
第三节 火成岩的基本特征和分类	(86)
第四节 超镁铁—镁铁质岩类	(104)
第五节 中性—长英质(花岗质)岩类	(109)
第六节 喷出岩(熔岩)类	(113)
第七节 板状侵入岩(脉岩)类	(117)
第八节 浆混岩类	(122)
第九节 火山碎屑岩类	(124)
第十节 火成岩多样性原因	(130)
第四章 沉积岩	(135)
第一节 沉积岩的形成过程	(135)
第二节 沉积岩的基本特征和分类	(142)
第三节 陆源碎屑岩类	(151)
第四节 内源沉积岩类	(166)

第五章 变质岩	(183)
第一节 变质作用	(183)
第二节 变质岩的基本特征和分类	(190)
第三节 动力变质岩类	(197)
第四节 区域变质岩类	(201)
第五节 接触热变质岩类	(206)
第六节 混合岩类	(207)
第七节 交代变质岩类	(210)
第六章 野外岩石学	(213)
第一节 火成岩	(213)
第二节 沉积岩	(241)
第三节 变质岩	(254)
附:野外岩矿鉴定和描述	(270)
参考文献	(289)



上篇

矿物



第一章

结晶学基础及矿物的性质 >>>

第一节 结晶学基础

结晶学是一门研究晶体(天然和人造)的科学,而天然形成的晶体又是地质矿物相存在的最主要形式,因而它又是认识和研究矿物的基础。结晶学的研究内容包括晶体的形貌、结构、对称性、生长机理和条件、化学和物理性质等。

一、晶体的基本概念

晶体是物质内部质点在三维空间按一定规律周期性无限重复排列而在一定条件下形成宏观上具有规律几何外形的固体物质。符合这一定义的晶体当然包括天然产出和人工合成培育出的,我们学习的对象则是前者。例如石盐(NaCl)的晶体为立方体。在微观上其内部质点Na和Cl离子在三维空间各自以 3.978\AA (10^{-10}m)的等间距重复连续排列,该三维方向重复排列的最小单位(晶胞)为立方体(图1-1)。

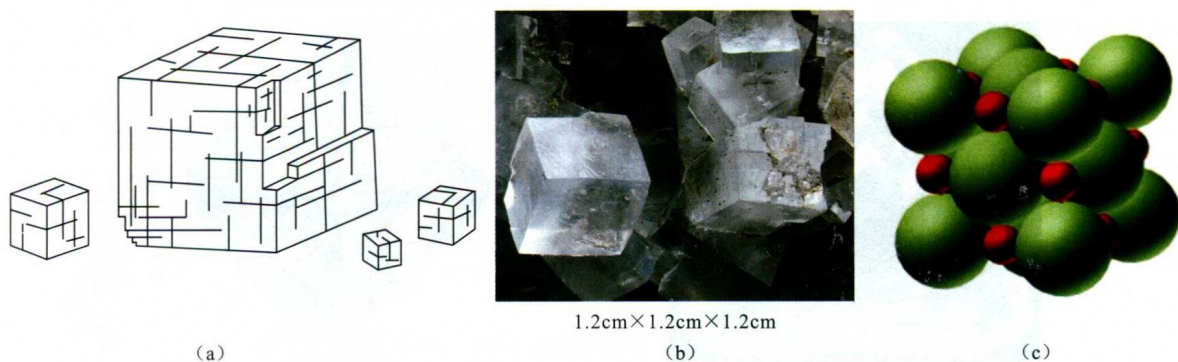


图1-1 石盐(NaCl)晶形(a)、晶体(b)及其内部结构(c)^①

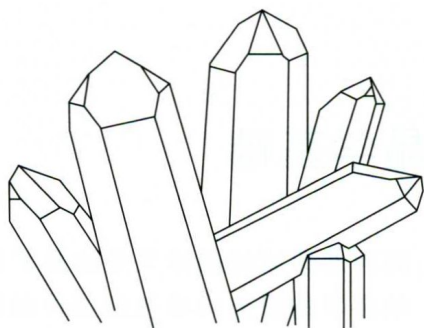
(c)图中,大球为Cl离子;小球为Na离子;两者为最紧密堆积,且最小堆积单元为立方体

^① 本教材中第一章和第二章的晶体图片除注明外均引自 www.mindat.org。

(一)晶体的外形

构成晶体外形的要素应是晶面、晶棱和晶面间夹角。其中晶面的形状和大小、晶棱的取向和长度、两相邻晶面间的夹角决定了晶体的形状(晶形)。

在天然的岩石晶洞中常见有附着并垂直于岩壁生长的六棱柱的水晶晶簇,它的矿物名称为石英(图 1-2);在一些石灰岩溶洞中常见到菱面体状冰洲石晶体聚集(矿物名为方解石);在盐岩的洞穴中还常发现有盐的立方体晶粒(矿物名为石盐)。这些规则外形的几何体便是上述各矿物的晶体。



4.0cm×1.5cm

图 1-2 具规则外形的石英晶体称之为水晶

一般来说,不同的矿物具有不同的晶形,如前述石英结晶为六棱柱状,而方解石往往结晶为菱面体状。但自然界矿物结晶的晶形却有些复杂,有时不同的矿物可能具有相似的晶形,如萤石和黄铁矿两矿物均具立方体的晶形;有时同一种矿物也可具有不同的晶形,如金刚石可有四面体和八面体等晶形(图 1-3)。结晶学知识就是要告之,这些众多表象的根本原因以及它们彼此之间的内在联系和规律。



1.5cm×1.5cm×0.4cm



1.2cm×1.2cm×1.2cm

图 1-3 具四面体和八面体状的金刚石晶体

晶体多由液相溶液或熔体物质结晶形成,也可由固态矿物相互发生反应产生,这种转变过程均称之为结晶作用。自然界形成完美的晶体需要满足晶体生长的 3 个条件:①晶体潜在物

质的充分供给；②具有生长的空间，如晶洞；③保持缓慢结晶的稳定环境。显然，天然矿物集合的岩石难以完全具备上述这些条件，故天然岩石中的矿物晶体也无法与独立生长于晶洞中的矿物晶体相比较。首先，岩石中晶粒较细小，这是因其结晶作用不充分的缘故；其次，是岩石中的矿物晶体形态不规则，这是因为有些矿物因结晶温度较低而仅在岩浆结晶的晚期才能生长出来，故它只能充填于先期已形成矿物占据后所剩余的有限空间内而发育不全，如花岗岩中的石英。

在岩石观察中，人们常使用眼睛（肉眼）作为工具对岩石中的矿物晶粒进行粒径大小等级的粗略划分，在岩石标本上若达到用肉眼就能分辨和鉴定其矿物的晶粒称之为显晶质（矿物晶粒粒径约大于 0.2mm）；若用肉眼都不能分辨和鉴定其矿物的晶粒称之为隐晶质（粒径约小于 0.2mm）。

许多显晶质矿物晶体多是天然产出的，但也可以通过人工合成培育获得，如水晶、石膏和金刚石等，而陶瓷、微晶玻璃和合金则是人工制造的隐晶质晶体的集合体。

（二）晶体的结构

晶体的规则外形是晶体内部结构的外在宏观反映。晶体内部结构最早是利用 X 射线方法获得的。它的总特点是，其微观质点（原子、离子、分子团、络阴离子）在三度空间有序排列呈格子状，这种质点三度空间按一定规律周期性重复排列形成的格子构造称之为空间格子。显然，空间格子是由无数个点、线和面构成的。在结晶学上空间格子的点称之为结点，它并非指占据具体点位的质点，而仅指具几何意义的一个点。例如石盐晶体内部空间格子的结点，无论选择 Na^+ 或 Cl^- 都会获得相同的空间格子。空间格子中的线称之为行列，它是在一维方向排列的结点构成的直线。空间格子中的面称之为面网，它是二维方向内分布的结点平面。单位面积内的结点密度称为面网密度。显然，相互平行的面网密度一定是相同的，任意两相邻面网的垂直距离称为面网间距，面网密度大的两相邻面网的间距也一定较大（图 1-4）。

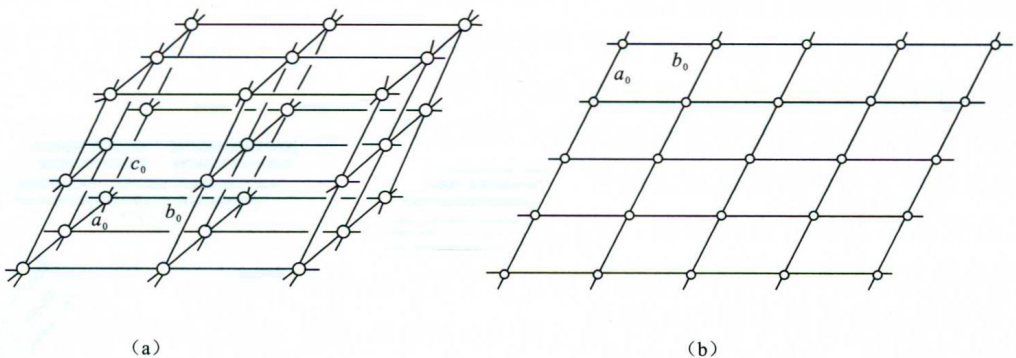


图 1-4 晶体内的空间格子(a)和面网(b)

图中空心圆为结点

晶体内微观格子构造的最小单位称之为晶胞。研究表明，晶胞多为平行六面体，它由 6 个两两平行相等的面组成。由此看来，晶体的空间格子实为晶胞在三度空间无间隙地重复堆叠且无限延伸构成。

(三) 晶体的基本性质

1. 均一性

晶体的某些性质,尤其是它的化学性和比重是均匀的。这表示晶体的任何部位,或晶体被破碎的各个碎片都具有相同的化学成分和比重,也即具有“部分等于全部”的特点。这是因为晶体空间格子构造的最小单位晶胞决定了晶体的组成和质量。无论我们度量的晶体的分布是多么微小,其晶胞仍从属于晶体微小部分的一部分。有人研究获知,一个石盐晶粒就含有约 2.25×10^{19} 个 NaCl 晶胞。

2. 各向异性

晶体的许多物理性质都表现为各向异性,晶体的光学性质、电磁波在晶体内的传导和晶体的力学性质(硬度和解理等)都显示因方向而异的特征。例如平行于石英延长方向(C轴方向)射入的光线不会产生光的双折射和偏振化,除此以外的任何方向射入石英的光线,都会发生光的双折射和偏振化。又如矿物蓝晶石,用小刀纵向(平行于延长方向)和横向(垂直延长方向)刻划,得到能被刻划和不能被刻划两种不同的结果,由此证明该矿物的硬度具有各向异性。又如黑云母的解理(外力作用使矿物晶体形成平行的破裂面)仅发育一个特殊的方向,这说明解理也具有各向异性。

晶体的各向异性主要与晶体空间格子构造的特征和规律有关。空间格子构造中,相互不平行(各向)的面网内结点的排列方式和密度则会有很大的差别(异性)。显然,空间格子构造本身就具有各向异性。

3. 自限性

晶体在合适的条件下会自发地长成封闭的几何多面体形状。晶体的晶面实为晶体空间格子构造最外层的面网;晶体生长其实就是空间格子三维方向的延伸和扩展,这种过程将会导致晶面持续长大和完善,最终使这些晶面逐渐封闭起来而呈规则的形体。从这个意义上说,任何矿物晶体都有长成规则形状的潜在可能。

在岩石中矿物晶体的生长过程没有晶洞中晶体生长那么理想化,而是更为复杂。这主要受晶体从岩浆结晶时间的早晚和固态条件下晶体的结晶能力的制约,也就是受晶体生长的空间限制。早结晶和结晶能力强的矿物晶体具有较好的晶形;晚结晶和结晶能力弱的矿物晶体的晶形相对较差。在岩石学研究中,晶体的自形程度分为自形晶、半自形晶和它形晶 3 种类型[图 1-5(a)]。自形晶为规则外形的晶体,其任意方向断面为直线构成的多边形;半自形晶仅部分具规则外形,其任意方向的断面具有直线和曲线共同构成的边界;它形晶的任意方向的断面具有不规则曲线封闭的边

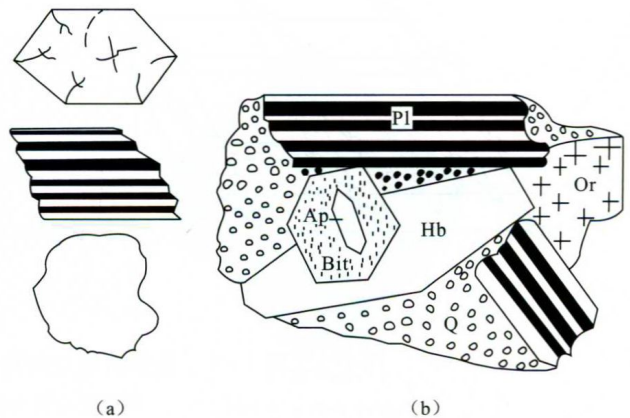


图 1-5 晶体的自形程度(a)和花岗岩中各矿物的自形性(b)

(a)图,从上至下依次为自形晶、半自形晶和它形晶。

(b)图,自形晶:Ap(磷灰石)、Hb(角闪石)和 Bit(黑云母);半自形晶:Pl(斜长石)和 Or(钾长石);它形晶:Q(石英)

界。岩石则是这些自形性不同的矿物晶粒聚集在一起构成的[图 1-5(b)]。

晶体在岩石中生长的空间取决于成岩的方式,因而不同成岩方式对晶体生长过程具有决定性影响,从而导致晶体的自形程度不同(表 1-1)。

表 1-1 不同成岩作用对晶体自形程度的影响

成岩方式	岩浆作用	变质作用
机理过程	温度下降,岩浆中逐一晶出晶体 熔体(液相)→晶体(固相)	同一温度下固相矿物的变质反应 矿物晶体(固相)→另一矿物晶体(固相)
自形程度	斑晶>基质 早结晶晶体>晚结晶晶体 地球较深部结晶的>浅部结晶的 长石>石英	密度大的>密度小的 成分简单的>成分复杂的 特征变质矿物>贯通矿物 斜长石>石英>钾长石
一般遵循规则	鲍文反应原理 暗色矿物:橄榄石>辉石>角闪石>黑云母 浅色矿物:斜长石>钾长石>石英	变晶系(以长英质和泥质原岩为例) 副矿物>特征变质矿物>斜长石>云母 >绿泥石>石英>钾长石

注:“>”符号表示自形程度优于之意。

4. 对称性

晶体的对称性是晶体内部格子构造的外在表现形式,更是研究晶体形貌规律和各种物理-化学性质的重要手段。晶体的对称是晶体上的相同部分(晶面、晶棱)重复出现的特征。如石英,看似柱体上下端的锥部小的晶面没什么联系,但垂直于该石英晶体的柱体投影图(顶视图)表明,其小晶面也显示明显的 3 次重复出现的对称性(图 1-6)。

根据晶体的空间格子构造可知,任何晶体的行列方向总是存在呈直线排列的无穷多个周期重复的同等结点。显然,这预示内部结构就已存在对称了。由此说明,晶体的宏观对称实为晶体内部微观对称的反映。

5. 稳定性

晶体的稳定性是指晶体为固态而较之于同成分的气态和液态物质而言,固态晶体的内部质点间的吸引力和排斥力已达到完全平衡而保证晶体稳定。晶体内部空间格子构造表明,质点间的距离已趋于平衡,那么质点间的势能也最小,也就是说,晶体的内能达到最小值。这也进一步说明晶体的稳定性是由晶体空间格子构造决定的。破坏晶体稳定性有多种方式,如晶体熔化需要输入能量,也即吸热;晶体结晶会释放结晶潜热而使体系温度升高。又如非晶质物质有可能自发地向晶质体转化;而晶体则不可能自发地转变为非晶质体。

(四)非晶质体

非晶质体与晶体具有本质的差别,它们都可以是矿物的形式。但在自然界,矿物主要还是以晶体形式存在,只有少部分矿物属于非晶质体,如蛋白石等。火山岩中的火山玻璃虽是非均

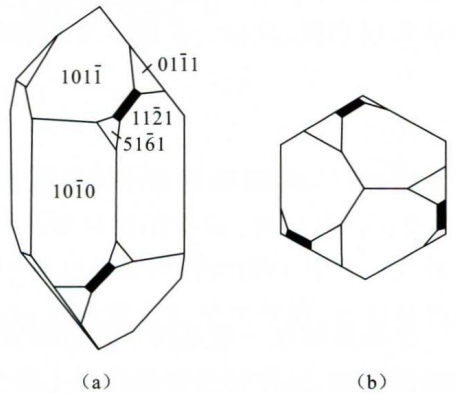


图 1-6 石英晶体的晶形(a)和其纵向投影预示图(b)的对称性
(b)图中的暗黑小矩形面为(a)图中的(1121)小晶面