

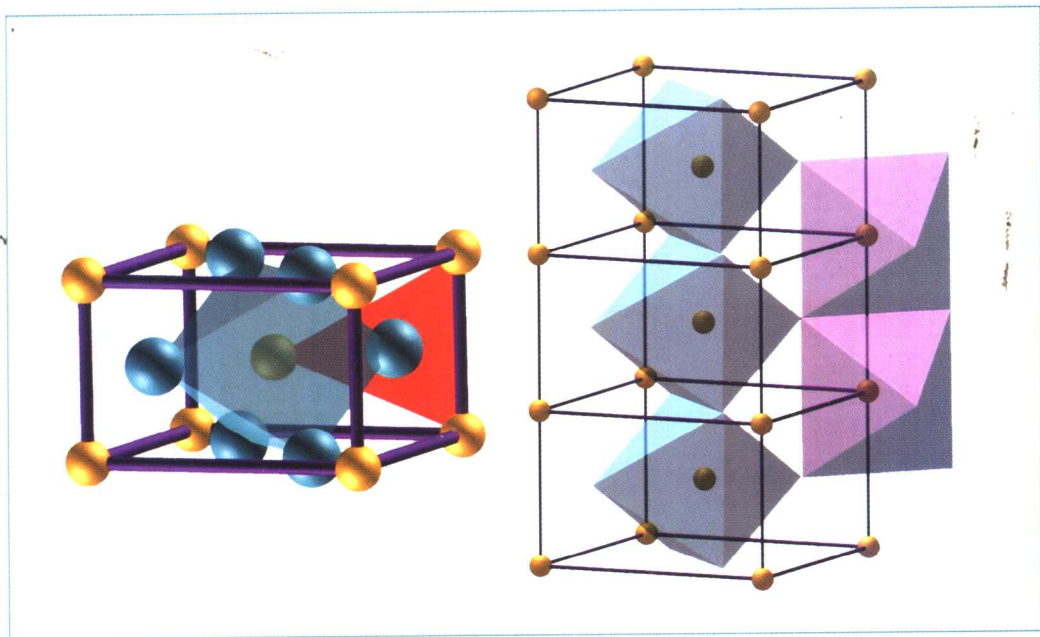


普通高等教育“十五”国家级规划教材

结晶学及矿物学

赵珊茸 主编

赵珊茸 边秋娟 凌其聪 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

华北水利水电学院图书馆



2010467948

普通高等教育“十五”国家级规划教材



07
Z325

结晶学及矿物学

赵珊茸 主编

赵珊茸 边秋娟 凌其聪 编著



00992/02



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS

1046794

5

内容提要

本教材是结晶学与矿物学两门课程的综合教材。上篇为结晶学(也称晶体学),主要是以晶体的对称—晶体定向—单形与聚形为主要线索,形象直观地介绍了晶体形态宏观对称的基础理论,以此为基础简单地介绍了群论基础及其在晶体对称理论中的应用;扼要地介绍了晶体内部结构的微观对称理论知识;最后还介绍了有关晶体生长、晶体规则连生及晶体化学的基础知识。下篇为矿物学,先介绍了矿物的成分、形态、物理性质及研究方法等基础知识,然后在矿物的晶体化学分类体系的基础上,对各大类、类、族、种等不同分类级别的矿物进行了归纳、对比、分析,重点是对各大类、类、族矿物的共同的晶体化学原理基础知识的阐述,而对具体某矿物种的资料性知识尽量精简。

本教材的特点是既注重形象直观又兼顾理性推导,既注重基础理论又兼顾实用性,既注重体系的完整性又兼顾内容的精简性。

本教材适于地质类、珠宝类、材料类专业的大学生及有关科研人员使用,也可作为凝聚态物理、生命科学专业的科研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

结晶学及矿物学/赵珊茸主编. —北京:高等教育出版社,2004.6 (2005重印)
ISBN 7-04-014465-4

I. 结... II. 赵... III. ①晶体学—高等学校—教材②矿物学—高等学校—教材 IV. ①O7②P57

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第025745号

策划编辑 徐丽萍 责任编辑 陈海柳 封面设计 张楠
责任绘图 吴文信 版式设计 王 莹 责任校对 王 雨
责任印制 孔 源

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000
经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京星月印刷厂

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>

开 本 787×960 1/16
印 张 28.25
字 数 530 000

版 次 2004年6月第1版
印 次 2005年2月第2次印刷
定 价 32.20元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 14465-00

前 言

《结晶学及矿物学》是结晶学与矿物学两门课程的综合教材。本版新编《结晶学及矿物学》教材，在继承和发扬原潘兆橐主编的《结晶学及矿物学》（第一、二、三版）中形象直观与实用性强的优良传统的基础上，结合新形势下对教学的新要求，加强了基础理论的阐述，吸收了国内外最新资料，进行了全面的修订，其中有不少内容是新编的。该新版教材于2002年被教育部评为“普通高等教育‘十五’国家级规划教材”。

结晶学（也称晶体学）是一门空间概念多、抽象思维强的专业基础课，是地质、材料、物理、化学、分子生物学等学科的重要基础，应用面十分广。各学科对结晶学中的空间概念的阐述方法不尽相同，有的注重形象直观，有的注重数学（群论）形式的逻辑推导。地质类院校的结晶学教材多以形象直观为特征；其他综合性大学中的材料学、凝聚态物理等专业的结晶学教材以群论方法为主。这两种教学方法各有优缺点，形象直观的教学方法对建立晶体对称理论中的空间概念是非常有帮助的，且对于初学者来说也是比较容易接受的；但它缺乏对空间转换的理性认识；群论教学方法可以对空间操作进行运算，提高对空间转换的理性认识，但如果空间概念还没有建立起来，即使运算技巧很熟练，也很难理解运算过程中的真正空间含义。因此，怎样发挥这两种教学方式的优点，怎样找到这两种教学方式的最佳结合点，应是结晶学教学研究的重要方向。本版新编教材的结晶学部分，在发扬原潘兆橐主编的教材（第一、二、三版）形象直观的传统的基础上，增加了一些群论知识，在对空间概念进行较详细的形象直观的说明后，辅以数学的推证过程，使学生们既了解空间过程所蕴含的数理意义，又了解数学公式所代表的具体空间过程。以形象直观的教学方法为主、为先，以群论教学方法为辅、为后，是本版新编《结晶学及矿物学》教材区别于其他同类教材最主要的特色。此外，本版新编教材还加强了极轴及其对晶体物理性能影响的内容，这是晶体材料领域里的重要内容；强调了“几何单形”与“结晶单形”的区别，这是历届学生容易混淆的概念。

矿物学则是一门对种类繁多的矿物种进行分类、归纳、对比、分析的地质类专业基础课，它要将结晶学中有关晶体对称的基本原理直接应用到某个具体矿物晶体的分析中。本版新编教材的矿物学部分基本上保持了原潘兆橐主编的教材（第一、二、三版）的分类体系和风格，但加强了某大类、类（亚类）或族的矿物共性规律及晶体化学原理基础知识的阐述，精简了矿物种数以及对矿

物种的具体描述资料,对某些矿物中的现象尽量用结晶学知识阐述其内在的原因。

为了充分尊重前人的工作成果,本教材中的图、表尽量给出了资料来源。其图、表的引注形式有三种:①凡注明“据××(作者)”的图、表,表明是该作者的原创成果;②凡注明“引自××(作者)”的图、表,表明不是该作者的原创成果,是从该作者编著的著作中引来的;③凡未有任何注明的图、表,表明是本版教材编者的成果,或是已经被公认的基础知识。

编写工作分工如下:上篇结晶学部分(第一章至第十章)由赵珊茸编写;下篇矿物学通论部分(第十一章至第十七章)由边秋娟编写;矿物学各论部分的自然元素、硫化物、氧化物部分(第十八章至第二十章)由凌其聪编写,其中“富勒烯及纳米碳管”一节、关于金刚石形态、石墨结构、石英形态及双晶等内容由赵珊茸补充编写;矿物学各论部分的硅酸盐、碳酸盐、硫酸盐、磷酸盐、钨酸盐、硼酸盐、卤化物等(第二十一章至第二十四章)由赵珊茸编写。最后由赵珊茸统一整理。许娅玲、李军虹、郭颖、王卫锋、黄琼等负责了部分文字校对与图件清理工作。

教材的编写工作历时六年,在这六年中我们得到了来自各方面的关心与支持,特别是中国地质大学(武汉)矿物教研室的老前辈们。原《结晶学及矿物学》主编潘兆橹教授自始至终都非常关心教材的编写工作,提出了非常宝贵的意见,并给予我们极大的鼓励;王文魁教授、薛君治教授、赵爱醒教授、葛瑛雅教授认真审阅了全稿,提出了详细的修改意见。北京大学地质系曹正民教授、秦善副教授也提出了宝贵的意见。中国地质大学(武汉)岩矿教研室的年轻教师王勤燕副教授、钟玉芳讲师、肖平讲师也提出了修改意见,刘嵘副教授对锆石测龄方面的内容提供了宝贵资料。中国地质大学(武汉)测试中心的陆琦教授与侯书恩教授对有关矿物测试方法的内容提供了宝贵资料。此外,中国地质大学(武汉)教务处与地球科学学院的各级领导在本教材的编写过程中,特别是在遇到困难的时候,给予了大力支持。总之,该教材凝聚了太多人的心血,编者在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,不当之处,敬请批评指导。

赵珊茸

2003年10月于武汉

目 录

上篇 结 晶 学

第一章 晶体及结晶学 (3)	四、晶面符号、晶棱符号 (58)
一、晶体的概念 (3)	五、整数定律、晶带定律 (60)
二、空间格子 (5)	习题 (63)
三、晶体的基本性质 (8)	第五章 单形和聚形 (65)
四、结晶学及其主要研究内容 (11)	一、单形 (65)
习题 (11)	二、结晶单形与几何单形 (68)
第二章 晶体的测量与投影 (12)	三、47种几何单形的形态特点 (72)
一、面角守恒定律 (12)	四、单形的分类 (76)
二、晶体测量 (13)	五、聚形 (79)
三、晶体的投影 (15)	六、各晶系晶体定向、单形及 聚形分析举例 (81)
习题 (21)	习题 (91)
第三章 晶体的宏观对称 (22)	第六章 群论基础及其在晶体 对称理论中的应用 (93)
一、对称的概念 (22)	一、群论基础 (93)
二、晶体对称的特点 (23)	二、群论在晶体对称理论中的 应用 (95)
三、晶体的宏观对称要素和对 称操作 (23)	三、对称型(点群)中有关群 论的一些总结 (103)
四、对称要素的组合 (30)	习题 (103)
五、32个对称型(点群)及其 推导 (31)	第七章 晶体内部结构的微 观对称 (105)
六、晶体的对称分类 (35)	一、14种空间格子(14种布拉 维格子) (105)
七、五次对称轴、二十面体与 准晶 (38)	二、晶体内部结构的对称要素 (110)
习题 (40)	三、空间群 (114)
第四章 晶体定向与结晶符 号 (41)	四、等效点系 (122)
一、晶体定向方法 (41)	习题 (123)
二、各对称型中对称要素的空 间分布 (44)	第八章 晶体生长简介 (124)
三、对称型的国际符号及圣弗 利斯符号 (55)	一、成核 (124)

二、晶体生长模型	(125)	第十章 晶体化学简介	(153)
三、晶体生长实验方法	(129)	一、最紧密堆积原理	(153)
四、晶面的发育	(130)	二、配位数和配位多面体	(156)
五、影响晶体生长形态的外因	(132)	三、化学键和晶格类型	(157)
六、晶体的溶解和再生长	(134)	四、典型结构分析	(161)
习题	(135)	五、类质同像	(163)
第九章 晶体的规则连生	(136)	六、同质多像	(167)
一、平行连晶	(136)	七、型变(晶变)现象	(170)
二、双晶	(137)	八、多型	(170)
三、浮生与共生	(150)	九、晶体结构的有序—无序	(172)
习题	(152)	习题	(175)
下篇 矿 物 学			
第十一章 矿物及矿物学	(179)	二、矿物的形成与体系化学组	
一、矿物和矿物学的概念	(179)	分的活动性	(227)
二、矿物学发展简况	(180)	三、矿物的时空关系	(228)
三、矿物学与其他学科的关系	(181)	四、矿物的标型性	(230)
习题	(182)	五、矿物中的包裹体	(231)
第十二章 矿物的化学成分	(183)	六、矿物的变化	(232)
一、地壳中化学元素的丰度	(183)	习题	(239)
二、元素的离子类型	(184)	第十六章 矿物的鉴定和研	
三、矿物的化学计量性与非化		究方法简介	(240)
学计量性	(185)	一、矿物样品的采集和分选	(240)
四、胶体矿物的化学成分特点	(186)	二、矿物的肉眼鉴定	(241)
五、矿物中的水	(187)	三、鉴定和研究矿物的其他方	
六、矿物的化学式及其计算	(189)	法简介	(241)
习题	(194)	习题	(247)
第十三章 矿物的形态	(195)	第十七章 矿物的分类和命	
一、矿物单体的形态	(195)	名	(249)
二、矿物集合体的形态	(198)	一、矿物的分类	(249)
习题	(202)	二、矿物的命名	(250)
第十四章 矿物的物理性质	(204)	习题	(251)
一、矿物的光学性质	(204)	第十八章 自然元素大类	(252)
二、矿物的力学性质	(211)	一、自然金属元素类	(253)
三、矿物的其他物理性质	(217)	二、自然非金属元素类	(256)
习题	(221)	三、自然半金属元素类	(263)
第十五章 矿物的成因	(223)	习题	(264)
一、形成矿物的地质作用	(223)	第十九章 硫化物及其类似化	

合物大类	(265)	习题	(405)
一、简单硫化物类	(267)	第二十二章 含氧盐大类	
二、复硫化物类	(280)	(二)	(408)
习题	(284)	一、碳酸盐类	(408)
第二十章 氧化物和氢氧化物		二、硫酸盐类	(418)
大类	(286)	三、磷酸盐类	(422)
一、氧化物类	(288)	四、钨酸盐类	(423)
二、氢氧化物类	(308)	五、硼酸盐类	(424)
习题	(312)	习题	(425)
第二十一章 含氧盐大类(一)		第二十三章 卤化物大类	(426)
——硅酸盐类 ..	(313)	习题	(429)
一、晶体化学特点	(314)	第二十四章 我国发现的新矿	
二、形态与物理性质	(324)	物概述	(430)
三、成因及产状	(325)	习题	(432)
四、亚类的划分	(326)		
主要参考文献			(433)
附录 矿物种名录			(437)

上篇

结
晶
学



第一章 晶体及结晶学

一、晶体的概念

什么是晶体？在人们的想像中，晶体是那些亮晶晶的物体，它们晶莹透明，表面光洁，美丽而完整。并且许多晶体是从混浊的溶液中生长出来的，真可谓是“出污泥而不染”，质地纯洁。

那么，晶体的定义是什么呢？人类最早是把具有规则几何多面体形态的水晶（即石英，见图 1-1 (a)）称为晶体。后来人们陆续发现其他不少矿物也能表现为天然的（不是人为磨削而成的）规则几何多面体形态（见图 1-1 (b)），于是就把这种能自生长成规则几何多面体外形的固体称为晶体。然而，这种定义显然是不够严谨的，有些晶体并不发育成几何多面体外形，例如岩石中的晶体小颗粒。晶体能够发育成几何多面体外形仅仅是晶体内部本质的一种外在表现形式，那么，晶体的内部本质又是什么呢？

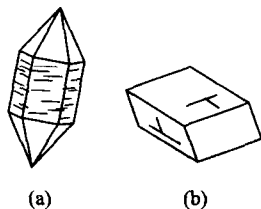


图 1-1 天然晶体
(a) 石英；(b) 方解石

很早以前人们就推测过晶体内部结构可能是其内部的分子像用砖块砌房子一样堆积而成，但直到 1895 年德国物理学家伦琴 (W. C. Röntgen) 发现 X 射线后，才对晶体的内部结构有了进一步的认识。1912 年德国物理学家劳埃 (M. Von Laue) 第一次用 X 射线在实验上证明了晶体的根本特性——晶体内部质点在三维空间周期性地排列。所以，现代对晶体的定义是：晶体 (crystal) 是内部质点 (原子、离子或分子) 在三维空间周期性地重复排列构成的固体物质。这种质点在三维空间周期性地重复排列也称格子构造，所以晶体是具有格子构造的固体。

与此相反，不具格子构造的物质为非晶体或非晶态 (non-crystal)。

图 1-2 是晶体与玻璃 (非晶态) 的平面结构特点示意图，由图可见，晶体的内部结构中原子、离子是有规律排列的，具格子构造；非晶体的内部结构是不规律的，不具格子构造。但是，非晶体的内部结构在很小的范围内也具有某些有序性 (如 1 个小黑点周围分布着 3 个小圆圈)，这种有序性与晶体结构中的一样。我们将这种局部的有序称为近程规律，而在整个结构范围的有序称

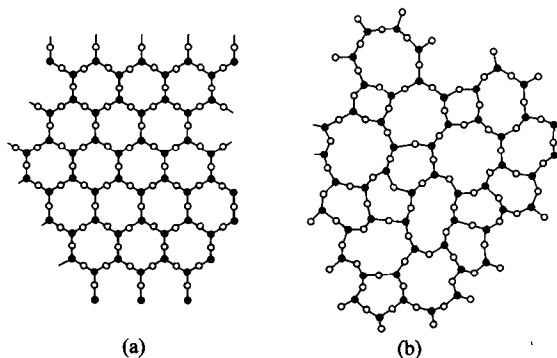


图 1-2 物质内部的平面结构示意图

(引自潘兆椿等, 1993)

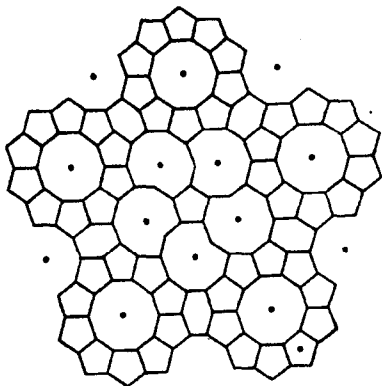
(a) 晶体; (b) 玻璃

为远程规律。显然, 晶体既有近程规律也有远程规律, 非晶体则只有近程规律。

液体的结构与非晶态结构相似, 也只具有近程规律; 在气体中无远程规律, 也无近程规律。

晶体与非晶体在一定条件下是可以互相转化的, 例如, 岩浆迅速冷凝而成的火山玻璃, 在漫长的地质年代中, 其内部质点进行着很缓慢的扩散、调整, 趋于规则排列, 即由非晶态转化为晶态, 这一过程称为晶化 (crystallizing) 或脱玻化 (devitrification)。晶化过程可以自发进行, 因为非晶态内能高、不稳定, 而晶态内能小、稳定。相反, 晶体也可因内部质点的规则排列遭到破坏而转化为非晶态, 这个过程称为非晶化 (non-crystallizing)。非晶化一般需要外能, 例如, 一些含放射性元素的矿物晶体, 由于受放射性蜕变所发出的 α 射线的作用, 晶体遭到破坏而转变为非晶态。

因为晶体比非晶体稳定, 所以晶体的分布十分广泛, 自然界的固体物质中, 绝大多数是晶体。我们日常生活中接触到的石头、沙子、金属器材、水泥制品、食盐、糖, 甚至土壤等等, 大多数是由晶体组成的。在这些物质中, 晶体颗粒大小十分悬殊, 有的晶体粒度可达几米或几十米, 但有的晶体 (例如, 在土壤中的晶体) 则只

图 1-3 具远程规律但不具
周期重复的图形

(据彭志忠, 1985)

有微米级大小。

1984年在电子显微镜研究中,发现了一种新的结构现象,其内部质点排列具有远程规律,但没有平移周期,即不具格子构造。这种物态是介于晶体与非晶体之间的一种状态,人们称之为准晶态或准晶体(quasicrystal)。图1-3为一种具有远程规律但不具有周期重复的几何图形。

二、空间格子

晶体内部结构最基本的特征是质点(原子、离子或分子)在三维空间有规律地周期性重复排列,这种排列也叫格子构造,意指可用格子形状来表征。空间格子(lattice)就是表示晶体内部结构中质点周期性重复排列规律的几何图形。因为具体的晶体结构是很复杂的,往往含有许多原子、离子,使我们一时很难看清楚这些原子、离子的重复规律,但如果我们避开具体的原子、离子,从具体的晶体结构中找出周期重复规律性,画出空间格子这一几何图形,具体、复杂的晶体结构的周期重复规律性就会变得一目了然。

要从晶体结构中画出空间格子这一几何图形,首先必须找出晶体结构中的相当点(equivalent point),就是满足以下两个条件的点:①点的内容(或种类)相同;②点的周围环境相同。然后将相当点按照一定的规则连接起来,就形成了空间格子。

下面我们举例说明空间格子的导出,为了简化,首先我们以平面结构为例。图1-4(a)为一晶体的平面结构图,从图中可以看出晶体结构中的质点分布是有某种重复规律的,为了更好地表达这种规律,就需要画出其空间格子。我们在结构中任意选择一个点,例如,选在黑点所代表的离子中心,然后在结构中指出此点的相当点。在这一晶体结构中所有的黑点都彼此为相当点,因为它们满足相当点的两个条件:①内容(即种类)相同,都为同一种离子;②周围环境也一样,都分布种类和取向相同的3个其他离子。将这套相当点

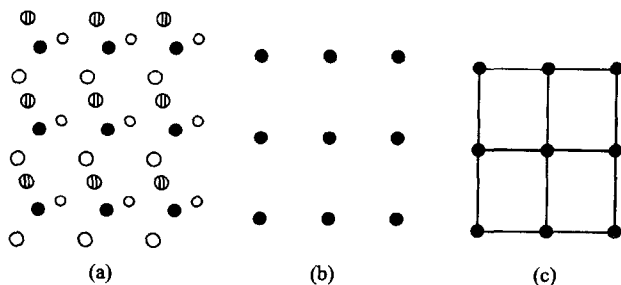


图1-4 某一晶体的平面结构图示及其空间格子

抽取出来，避开具体的原子、离子，如图 1-4 (b) 所示^①。再将相当点按一定规则相连，就形成了空间格子，如图 1-4 (c) 所示。

开始时的那个点也可以选在其他离子中心，甚至可以选在结构中的任一点上（例如，某两离子的连线上）。对于结构中的任一点，都可以找到与该点相当的其他点，这些点一起组成一套相当点；而另一些点又可组成另一套相当点。不同套的相当点在空间的分布，肯定都是一样的，所以由相当点组成的空间格子也是一样的（见图 1-5）。

以上讨论的是从平面结构中导出空间格子的过程。从三维空间结构中导出空间格子的过程可以类推，在此不详述。图 1-6 为从 CsCl 晶体结构中导出三维空间格子的图示，其中所有的 Cs^+ 为一套相当点，而所有的 Cl^- 为另一套相当点。

任何复杂的晶体结构，只要找出相当点，抽象出空间格子（点阵），复杂晶体结构的重复规律就变得一目了然了。

下面讨论空间格子的特点。空间格子有如下几种要素：

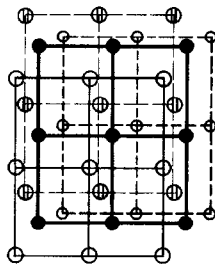


图 1-5 图 1-4 中晶体平面结构中的多套相当点及空间格子

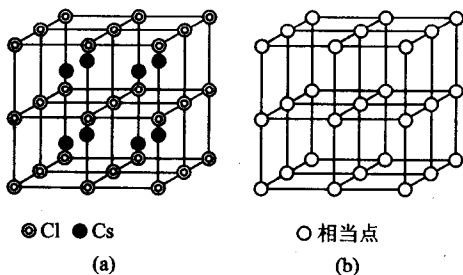


图 1-6 CsCl 结构的三维空间格子导出
(引自潘兆麟等, 1993)

1. 结点

结点 (node)，又称格点 (lattice point)，是空间格子中的点，它们代表晶体结构中的相当点。在实际晶体中，结点的位置一定是由同种质点所占据，但实际晶体中的同种质点却并不一定只占据在同一套结点上。在空间格子中，就结点本身而言，它们并不代表任何质点，它们只有几何意义，为几何点。

^① 在有些书籍中，将晶体结构中的相当点抽取出来所形成的一系列点的分布图案，称为点阵。

2. 行列

结点在直线上的排列即构成行列 (row) (图 1-7)。空间格子中任意两个结点联结起来就是一条行列的方向。行列中相邻结点间的距离称为该行列的结点间距 (如图 1-7 中的 a)。在同一行列中结点间距是相等的, 在平行的行列上结点间距也是相等的; 不同方向的行列, 其结点间距一般是不等的, 某些方向的行列上结点分布较密, 而另一些则较稀。

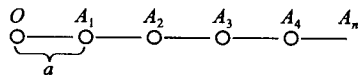


图 1-7 空间格子的行列

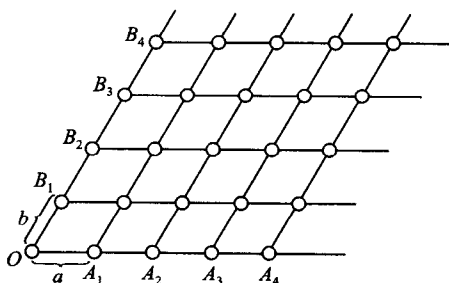


图 1-8 空间格子的面网

3. 面网

结点在平面上的分布即构成面网 (net) (图 1-8)。空间格子中不在同一行列上的任意 3 个结点就可联结成一个面网, 换句话说, 也就是任意两个相交的行列就可决定一个面网。面网上单位面积内结点的密度称为面网密度 (reticular density)。相互平行的面网, 面网密度必相同, 且任意两相邻面网间的垂直距离——面网间距 (interplanar spacing) 也必定相等; 互不平行的面网, 面网密度及面网间距一般不同。面网密度大的面网其面网间距亦大, 反之, 密度小, 间距亦小, 如图 1-9 所示, 其中 AA' , BB' , CC' , DD' 的面网密度依次减小, 它们的面网间距 d_1 , d_2 , d_3 , d_4 也依次减小。

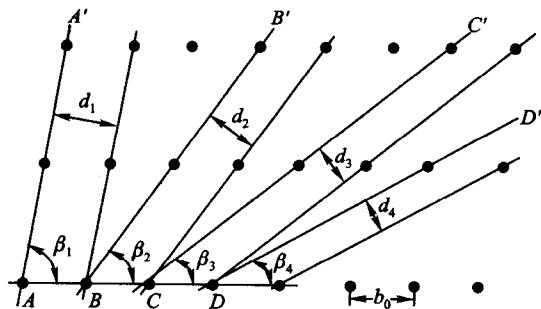


图 1-9 面网密度与面网间距的关系的示意图

(引自罗谷风, 1985)

4. 平行六面体

从三维空间来看, 空间格子可以划出一个最小重复单位, 那就是平行六面体 (parallel hexahedron) (图 1-10)。它由 6 个两两平行而且相等的面组成。实际晶体结构中所划分出的这样的相应的单位, 称为晶胞 (unit cell)。整个晶体结构可视为晶胞在三维空间平行地、毫无间隙地重复累叠而成。晶胞的形状与大小则取决于它的 3 条彼此相交的棱的长度 (图 1-10 (a) 中的 a , b , c) 和它们之间的夹角 (这一点将在第七章中详细讨论)。

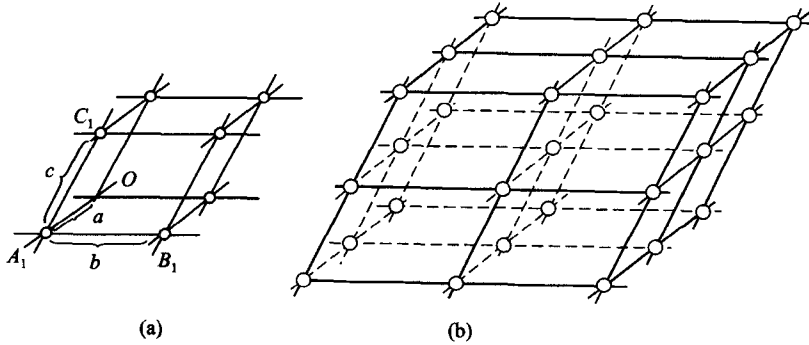


图 1-10 空间格子
(a) 平行六面体; (b) 空间格子

三、晶体的基本性质

由于晶体是具有格子构造的固体, 因此, 也就具备着晶体所共有的、由格子构造所决定的基本性质。现简述如下。

1. 自限性

自限性 (selfconfinement) 是指晶体在适当条件下可以自发地形成几何多面体外形的性质。由图 1-11 可以看出, 晶体为平的晶面所包围, 晶面相交成直的晶棱, 晶棱会聚成尖的角顶。

晶体的多面体形态是其格子构造在外形上的直接反映。晶面、晶棱与角顶分别与格子构造中的面网、行列及结点相对应, 它们之间的关系如图 1-11 所示。

晶体多面体形态受格子构造制约, 它服从于一定的结晶学规律。

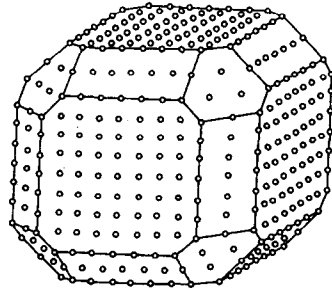


图 1-11 晶面、晶棱、角顶与面网、行列、结点的关系的示意图
(引自潘兆麟等, 1993)

2. 均一性

因为晶体是具有格子构造的固体，在同一晶体的各个不同部分，质点的分布是一样的，所以晶体的各个部分的物理性质与化学性质也是相同的，这就是晶体的均一性 (homogeneity)。

但必须指出的是，非晶质体也具有其均一性。如玻璃的不同部分折射率、膨胀系数、热导率等都是相同的。但是如前所述，由于非晶质的质点排列不具有远程规律，即不具有格子构造，所以其均一性是统计的、平均近似的均一，称为统计均一性；而晶体的均一性是取决于其格子构造的，称为结晶均一性。两者有本质的差别，不能混为一谈。液体和气体也具有统计均一性。

3. 异向性 (各向异性)

同一格子构造中，在不同方向上质点排列一般是不一样的，因此，晶体的性质也随方向的不同而有所差异，这就是晶体的异向性 (anisotropy)。如矿物蓝晶石 (又名二硬石) 的硬度，随方向的不同而有显著的差别 (图 1-12)，平行晶体延长的方向 (图 1-12 中的 AA) 可用小刀刻动，而垂直于晶体延长的方向 (图 1-12 中的 BB) 则小刀不能刻动。又如云母、方解石等矿物晶体，具有完好的解理，受力后可沿晶体的一定方向裂开成光滑的平面，而沿其他方向则不能裂开为光滑平面。在矿物晶体的力学、光学、热学、电学等性质中，都有明显的异向性的体现，这些将在矿物的物理性质一章中叙述。此外，晶体的多面体形态也是其异向性的一种表现，无异向性的外形应该是球形。

非晶质体一般是具等向性的，其性质不因方向而有所差别。

4. 对称性

晶体具异向性，但这并不排斥晶体在某些特定的方向上具有相同的性质。在晶体的外形上，也常有相等的晶面、晶棱和角顶重复出现。这种相同的性质在不同的方向或位置上有规律地重复，就是对称性 (symmetry)。晶体的格子构造本身就是质点重复规律的体现。对称性是晶体极其重要的性质，是晶体分类的基础，我们将在专门的章节中加以讨论。

5. 最小内能性

在相同的热力学条件下，晶体与同种物质的非晶质体、液体、气体相比较，其内能最小，这就是晶体的最小内能性 (minimum internal energy)。所谓内能，包括质点的动能与势能 (位能)。动能与物体所处的热力学条件有关，温度越高，质点的热运动越强，动能也就越大，因此它不能直接用来比较物体间

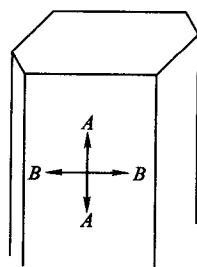


图 1-12 蓝晶石晶体硬度的异向性
(引自潘兆禧等, 1993)
 AA 与 BB 方向硬度不同