

# 工 艺 矿物学

教育部高等学校地矿学科教学指导委员会  
矿物加工工程专业规划教材

PLANNED TEXTBOOK FOR MINERAL PROCESSING ENGINEERING

丛书主编 胡岳华

主编 吕宪俊



中南大学出版社  
www.csupress.com.cn

PROCESS  
MINERALOGY

教育部高等学校地矿学科教学指导委员会  
矿物加工工程专业规划教材

# 工 艺 矿 物 学

主 编：吕宪俊

副主编：朱一民 刘晓文

张 杰 邱 俊



中南大学出版社

[www.csupress.com.cn](http://www.csupress.com.cn)

# 内 容 简 介

---

.....

本书较为全面地介绍了工艺矿物学的基本原理和方法,分为矿物学基础、显微镜下矿物鉴定方法、岩石工艺矿物学特性研究方法等三篇,共计11章,主要内容包括结晶学基础、矿物学基础、矿物分类及性质、岩石与矿石、透明矿物的偏光显微镜鉴定、不透明矿物的反光显微镜鉴定、样品的采集与制备、矿石的物质组成、矿石的结构构造、元素的赋存状态、矿物嵌布粒度及矿物解离度等。为配合实验教学,书末附有工艺矿物学实验指导书。本书主要供高等院校矿物加工工程专业学生作为教材使用,也可作为相关专业的本科生和研究生参考书使用,或作为矿物加工工程及相关专业工程技术人员、管理人员的培训教材使用。

---

## 图书在版编目(CIP)数据

工艺矿物学/吕宪俊主编. —长沙:中南大学出版社,2011.5  
ISBN 978-7-5487-0263-4

I.工... II.吕... III.工艺矿物学 IV.P57

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第084291号

---

## 工 艺 矿 物 学

主编 吕宪俊

---

责任编辑 陈海波

责任印制 周颖

出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

印 装 长沙理工大印刷厂

---

开 本 787×1092 1/16 印张 20 字数 495千字

版 次 2011年8月第1版 2011年8月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5487-0263-4

定 价 45.00元

---

图书出现印装问题,请与出版社调换

教育部高等学校地矿学科教学指导委员会  
矿物加工工程专业规划教材

**编 审 委 员 会**

主 任 王淀佐

丛书主编 胡岳华

委 员 (按姓氏笔画排序)

马少健	王化军	王毓华	文书明	冯其明
吕宪俊	刘炯天	刘新星	孙体昌	李世厚
邱廷省	张一敏	林 海	赵跃民	胡岳华
段希祥	顾帼华	陶秀祥	龚文琪	韩跃新
童 雄	雷绍民	魏德洲		

工艺矿物学

## 编 委 会

主 编 吕宪俊

副 主 编 朱一民 刘晓文

张 杰 邱 俊

参 编 人 员 胡 斌 杨 牧

主 编 单 位 山东科技大学

副 主 编 单 位 东北大学

中南大学

贵州大学

# 总序

---

.....

“人口、发展与环境”是21世纪人类社会发 展过程中的重要问题，矿物资源是人类社会发展和国民经济建设的重要物质基础。从石器时代到青铜器、铁器时代，到煤、石油、天然气，到电能和原子能的利用，人类社会生产的每一次巨大进步，都与矿物资源利用水平的飞跃发展密切相关。

人类利用矿物资源已有数千年历史，但直到19世纪末至20世纪20年代，世界工业生产快速发展，使生产过程机械化和自动化成为现实，对矿物原料的需求也同步增大，造成了“矿物加工”技术从古代的手工作业向工业技术的真正转变，在处理天然矿物原料方面获得大规模工业应用。

特别是20世纪90年代以来，我国正进入快速工业化阶段，矿产资源的人均消费量及消费总量高速增长，未来发展的资源压力随之加大。我国金属矿产资源总量不少，但禀赋差、品位低、颗粒细、多金属共生复杂难处理，矿产资源和二次资源综合利用率都比较低。

矿物加工科学与技术的发展，需要解决以下问题。

(1) 复杂贫细矿物资源的综合回收：随着富矿和易选矿物资源不断开采利用而日趋减少，复杂、贫细、难处理矿产资源的开发利用成为当前的迫切需要。

(2) 废石及尾矿的加工利用：在选矿过程中，全部矿石经过碎磨，消耗了大量原材料和能源，通常只回收占总矿石质量10%~30%的有用矿物，大量的伴生非金属矿不仅未能有效利用，并且当做“废石”和“尾矿”堆存成为环境和灾害的隐患。

(3) 二次资源：矿山、冶炼厂、化工厂等排出的废水、废渣、废气中的稀有、稀散和贵金属，废旧汽车、电缆、机器及废旧金属制品等都是仍然可以利用的宝贵的二次资源。由于



一次资源逐步减少，二次资源的再生利用技术的开发无疑成了矿物加工领域的重要课题。

(4) 海洋资源：海洋锰结核、钴结壳是赋存于深海底的巨大矿产资源，除富含锰外，铜、钴、镍等金属的储量也十分丰富，此外，海水中含有的金属在未来陆地资源贫乏、枯竭时，也将成为人类的宝贵资源。

(5) 非矿物资源：城市垃圾、废纸、废塑料、城市污泥、油污土壤、石油开采油污水、内陆湖泊中的金属盐、重金属污泥等，也都是数量可观的能源资源，需要研发新的加工利用技术加以回收利用。

面对上述问题，矿物加工科技领域及相关学科的科技工作者不断进行新的探索和研究，矿物加工工程学与相邻学科的相互交叉、渗透、融合，如物理学、化学与化学工程学、生物工程学、数学、计算机科学、采矿工程学、矿物学、材料科学与工程已大大促进了矿物加工学科的拓展，形成各种高效益、低能耗、无污染矿物资源加工新知识、新技术及新的研究领域。

矿物加工的主要学科方向有：

(1) 浮选化学：浮选电化学；浮选溶液化学；浮选表面及胶体化学。

(2) 复合物理场矿物分离加工：根据流变学、紊流力学、电磁学等研究重力场、电磁力场或复合物理场(重力+磁力+表面力)中，颗粒运动行为，确定细粒矿物的分级、分选条件等。

(3) 高效低毒药剂分子设计：根据量子化学、有机化学、表面化学研究药剂的结构与性能关系，针对特定的用途，设计新型高效矿物加工用药剂。

(4) 矿物资源的生化提取：用生物浸出、化学浸出、溶剂萃取、离子交换等处理复杂贫细矿物资源，如低品位铜矿、铀矿、金矿的提取，煤脱硫等。

(5) 直接还原与矿物原料造块：主要从事矿物原料造块与精加工方面的科学研究。

(6) 复杂贫细矿物资源综合利用：研究选-冶联合、选矿、多种选矿工艺(重、磁、浮)联合等处理一些大型复杂贫细多金属矿的工艺技术和基础理论，研究资源综合利用效益。

(7) 矿物精加工与矿物材料：通过提纯、超细粉碎、纳米材料制备、表面改性和材料复合制备等方法和技术，将矿物加工成可用的高科技材料。

现今的矿物加工工程科学技术与20世纪90年代以前相比，已有更新更广大发展。为了适应矿业快速发展的形势，国家需要大批掌握现代相关前沿学科知识和广泛技术领域的矿物加工专业人才，因此，搞好教材建设，适度更新和拓宽教材内容对优秀专业人才的培养就显得至关重要。

矿物加工工程专业目前使用的教材，许多是在20世纪90年代前出版的教材基础上编写的，教材内容的进一步更新和提高已迫在眉睫。随着教育部专业教育

规范及专业论证等有关文件的出台，编写系统的、符合矿物加工专业教育规范的全国统编教材，已成为各高校矿物加工专业教学改革的重要任务。2006年10月在中南大学召开的2006—2010年地矿学科教学指导委员会（以下简称地矿学科教指委）成立大会指出教材建设是教学指导委员会的重要任务之一。会上，矿物加工工程专业与会代表酝酿了矿物加工工程专业系列教材的编写拟题，之后，中南大学出版社主动承担该系列教材的出版工作，并积极协助地矿学科教指委于2007年6月在中南大学召开了“全国矿物加工工程专业学科发展与教材建设研讨会”，来自全国17所院校的矿物加工工程专业的领导及骨干教师代表参加了会议，拟定了矿物加工专业系列教材的选题和主编单位。此后分别在昆明和长沙又召开了两次矿物加工专业系列教材编写大纲的审定工作会议。系列教材参编高校开始了认真的编写工作，在大部分教材初稿完成的基础上，2009年10月在贵州大学召开了教材审稿会议，并最终定稿，交由中南大学出版社陆续出版。

本次矿物加工专业系列教材是在总结以往教学和教材编撰经验的基础上，以推动新世纪矿物加工工程专业教学改革和教材建设为宗旨，提出了矿物加工工程专业系列教材的编写原则和要求：①教材的体系、知识层次和结构要合理；②教材内容要体现科学性、系统性、新颖性和实用性；③重视矿物加工工程专业的基础知识，强调实践性和针对性；④体现时代特性和创新精神，反映矿物加工工程学科的新原理、新技术、新方法等。矿物加工科学技术在不断发展，矿物加工工程专业的教材需要不断完善和更新。本系列教材的出版对我国矿物加工工程专业高级人才的培养和矿物加工工程专业教育事业的发展将起到十分积极的推进作用。

形成一整套符合上述要求的教材，是一项有重要价值的艰巨的学术工程，决非一人一单位之力可以成就的，也并非一日之功即可造就的。许多科技教育发达的国家，将撰写出版的水平很高的、广泛应用的并产生了重要影响的教材，视为与高水平科学论文、高水平技术研发成果同等重要，具有同等学术价值的工作成果，并对获得此成果的人员给予了高度的评价，一些国家还把这类成果，作为评定科技人员水平和业绩的判据之一。我们认为这一做法在我国也应当接纳及给予足够的重视。

感谢所有参加矿物加工专业系列教材编写的老师，感谢中南大学出版社热情周到的出版服务。

王定佐

2010年10月



# 前 言

---

.....

本书为教育部高等学校地矿学科教学指导委员会矿物加工工程专业规划教材，主要供高等学校矿物加工工程专业作为教材使用，也可供从事矿物学和矿物加工工程方面的管理人员和工程技术人员作为参考书使用。

工艺矿物学是服务于矿物加工研究和生产实践的一个矿物学分支学科，其任务是通过矿物原料或产物中元素或矿物的状态和性质的系统研究，阐明其行为规律，指导和配合矿物加工研究和生产，实现对矿物资源的合理利用。本书较全面地介绍了矿物学基础理论知识、矿物分析鉴定方法以及矿石工艺特性的研究方法。同时，为配合实验教学，还编写了实验指导书。全书分为三篇，共计 11 章，适合 72 学时左右(含实验教学)的教学使用。

通过本门课程的学习，主要使学生具备基本的矿物学基础理论修养和基本的矿物分析鉴定能力，掌握矿石工艺矿物学特性的研究方法，能够利用工艺矿物学的基本原理和方法分析和解决矿物加工过程的矿物学问题。

本书由吕宪俊担任主编，朱一民、刘晓文、张杰、邱俊为副主编，参加编写的有胡斌、杨牧。第 7 章、第 8 章、第 10 章由吕宪俊编写；第 1 章由胡斌编写；第 2 章、第 3 章由朱一民编写；第 4 章由杨牧编写；第 5 章、附录 2 由刘晓文编写；第 6 章、第 9 章由邱俊编写；第 11 章、附录 1 由张杰编写。全书由吕宪俊进行统一校核和整理。

在本书编写过程中，得到了教育部高等学校地矿学科教学指导委员会、中南大学出版社的热情支持和帮助，山东科技大学、东北大学、中南大学、贵州大学等有关单位对本书的编写也提供了大力支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免会有错误及不妥之处，恳切希望读者批评指正。

编者  
2010 年 12 月

## 目 录

## 第一篇 矿物学基础

第 1 章 结晶学基础 .....	(1)
1.1 晶体的概念 .....	(1)
1.2 晶体的形成 .....	(5)
1.3 晶体的对称 .....	(9)
1.4 晶体的理想形态 .....	(14)
1.5 晶体定向与晶面符号 .....	(19)
1.6 晶体化学 .....	(22)
第 2 章 矿物学基础 .....	(31)
2.1 矿物的概念 .....	(31)
2.2 矿物的化学组成 .....	(32)
2.3 矿物的形态 .....	(38)
2.4 矿物的物理性质 .....	(39)
第 3 章 矿物分类及性质 .....	(47)
3.1 矿物的分类与命名 .....	(47)
3.2 自然元素类矿物 .....	(48)
3.3 硫化物及其类似化合物 .....	(52)
3.4 氧化物和氢氧化物 .....	(59)
3.5 卤化物 .....	(65)
3.6 含氧酸盐类矿物 .....	(67)
第 4 章 岩石与矿石 .....	(83)
4.1 岩石与矿石的概念 .....	(83)
4.2 岩石类型 .....	(84)
4.3 矿石类型 .....	(92)
4.4 主要成矿作用及其矿石 .....	(95)
4.5 矿体、矿床及矿石储量 .....	(103)

## 第二篇 显微镜下矿物鉴定方法

第5章 透明矿物的偏光显微镜鉴定 .....	(110)
5.1 晶体光学基础 .....	(110)
5.2 偏光显微镜 .....	(124)
5.3 透明矿物在单偏光镜下的光学性质 .....	(130)
5.4 透明矿物在正交偏光镜下的光学性质 .....	(138)
5.5 透明矿物在锥光镜下的光学性质 .....	(149)
5.6 透明矿物的系统鉴定 .....	(164)
第6章 不透明矿物的反光显微镜鉴定 .....	(168)
6.1 反光显微镜 .....	(168)
6.2 矿物的反射率与双反射 .....	(174)
6.3 矿物的反射色与内反射 .....	(178)
6.4 矿物的均质性与非均质性 .....	(184)
6.5 矿物的偏光图 .....	(185)
6.6 矿物的硬度 .....	(187)
6.7 矿物的简易鉴定和综合性系统鉴定 .....	(189)

## 第三篇 矿石工艺矿物学特性研究方法

第7章 样品的采集与制备 .....	(202)
7.1 样品采集的基本要求 .....	(202)
7.2 样品的采集方法 .....	(204)
7.3 样品的制备 .....	(214)
第8章 矿石的物质组成 .....	(220)
8.1 矿石的化学成分分析 .....	(220)
8.2 显微镜下矿物定量法 .....	(223)
8.3 化学分析矿物定量法 .....	(227)
8.4 分离矿物定量法 .....	(230)
8.5 某海滨砂矿的物质组成研究实例 .....	(235)
第9章 矿石的结构构造 .....	(238)
9.1 矿石结构构造的概念及研究方法 .....	(238)
9.2 矿石的构造 .....	(239)

9.3 矿石的结构 .....	(247)
9.4 某低品位铁矿石的结构构造及矿物嵌布特性研究实例 .....	(255)
<b>第 10 章 元素的赋存状态 .....</b>	<b>(259)</b>
10.1 元素在矿石中的存在形式 .....	(259)
10.2 元素赋存状态研究方法 .....	(261)
10.3 元素的配分计算 .....	(264)
10.4 金的赋存状态研究实例 .....	(267)
<b>第 11 章 矿物嵌布粒度及矿物解离度 .....</b>	<b>(274)</b>
11.1 矿物嵌布粒度的概念及表征 .....	(274)
11.2 显微镜下矿物嵌布粒度的测量 .....	(276)
11.3 矿物解离的概念与作用 .....	(282)
11.4 矿物单体解离度的测定方法 .....	(284)
<b>附录 1 工艺矿物学实验指导书 .....</b>	<b>(287)</b>
<b>附录 2 干涉色色谱表 .....</b>	<b>(307)</b>

# 第一篇 矿物学基础

## 第1章 结晶学基础

结晶学是研究矿物的生成和变化的科学,研究内容包括外部形态的几何性质、化学组成和内部结构、物理性质以及它们相互之间的关系等。这门科学进一步形成晶体生成学、几何结晶学、晶体结构学、晶体化学、晶体物理学及数学结晶学等分支。结晶学阐明晶体各个方面的性质和规律,可用来指导对晶体的利用和人工培养。本章主要介绍晶体概念及其基本性质、晶体的几何形态及理想形态特征、晶体定向与晶体符号以及晶体的化学成分与晶体结构的关系等。

### 1.1 晶体的概念

#### 1.1.1 晶体与非晶质体

人们对晶体的认识,是从观察外部形态开始的。早期人们把外形上具有规则几何多面体形状的固体称为晶体(见图1-1)。显然,这种认识并没有揭示晶体的本质特点,例如将规则外形的晶体破碎,可以获得各种形状的颗粒,其外形被破坏,但其结构与性质没有变化。因此多面体外形并不是晶体的实质,仅是晶体内部某些本质因素在外形上的一种表现。由此说明,仅仅利用有无规则的几何多面体外形来定义晶体是不恰当的。

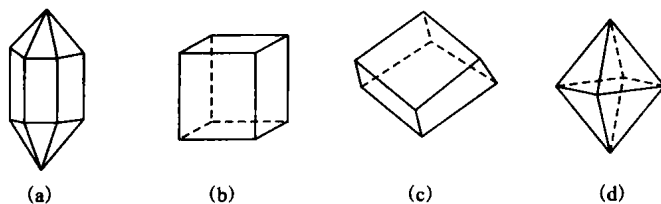


图1-1 典型晶体的几何外形

(a)石英;(b)石盐;(c)方解石;(d)磁铁矿

近代应用X射线分析的方法,具体揭示了大量晶体的内部结构,结果表明:一切晶体,不论其外形如何,化学组成如何,它的内部质点(原子、离子、分子或原子团、离子团、分子团)在三维空间都是作规律排列的,这种规律主要表现为质点的周期重复,从而构成了所谓

的格子构造,也就是说,只要是晶体,其内部质点都是有规律排列的。因此,我们把凡是内部质点作规律排列,即具有格子构造的物质称为结晶质,而结晶质在空间的有限部分即为晶体。由此,我们可以对晶体作出如下定义:晶体是内部质点在三维空间呈周期性重复排列的固体,或者说,晶体是具有格子构造的固体。

与上述情况相反,有些状似固体的物质如玻璃、琥珀、松香等,它们的内部质点在三维空间不呈规律性重复排列,即不具格子构造,称为非晶质或非晶质体。图 1-2 是晶体与非晶质体结构比较图,从中可以看到,非晶质体不是真正意义上的固体,实际上是晶格被破坏了的固体,在整体上是无序的、无定形的,是一种呈凝固态的过冷液体。非晶质体这些物质的内部质点的分布类似于液体,在非晶质体的各个部位上,没有任何两部分的内部结构是完全相同的,它们只是在统计意义上才是均一的。

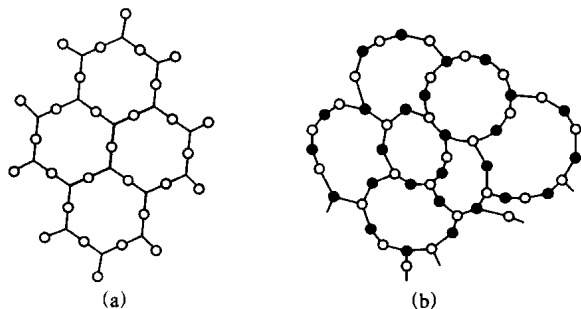


图 1-2 晶体与非晶质体的结构比较

(a) 石英晶体; (b) 石英玻璃

晶体与非晶质体(也称晶质与非晶质)在一定条件下可以相互转化。例如,岩浆迅速冷凝而形成非晶质的火山玻璃,经漫长的地质年代,其内部原子进行很缓慢的扩散和调整,趋向于形成规则排列,由非晶质的火山玻璃逐渐向晶态转变,最终成为晶体,古老的火山岩中常见到这种情况。这种非晶态转变为晶态的作用过程被称为晶化或脱玻化。

与此相反,当晶体因内部质点的规则排列遭到破坏而向非晶质体转变的过程,则称为非晶化或玻璃化。例如一些含放射性元素的矿物,其晶格受放射性蜕变时所发出的  $\alpha$ -射线的作用破坏而转变为非晶质体,特别称这种作用为变质非晶化作用。

### 1.1.2 晶体的内部构造——空间格子

一切晶体都具有格子构造,寻找其格子构造的规律便引出空间格子的概念。图 1-3 为以 NaCl 晶体结构为例引出的空间格子。

在 NaCl 的晶体结构中任意选择一个几何点,如选在  $\text{Cl}^-$  的中心或  $\text{Na}^+$  的中心,然后可在结构找出与此相等的等同点(相当点)。等同点的含义是指种类、性质及其周围的环境完全相同的质点位置。对于 NaCl 晶体结构,若原始点选在  $\text{Cl}^-$  中心,则其周围分布的都是  $\text{Na}^+$ ,同理对原始点选在  $\text{Na}^+$  中心,其周围分布的都是  $\text{Cl}^-$ 。因此说,所有  $\text{Na}^+$  中心点属于一类相当点,所有  $\text{Cl}^-$  中心点属于另一类相当点。进一步讲,等同点所在位置并不限于质点的中心,结构中其他任何位置上的点,同样能引出一类相当点。如果对 NaCl 各类等同点在空间的分布规律进行考察,便可以得出,每类等同点都能构成如图 1-3(c) 所示的图形,即当  $\text{Na}^+$  与  $\text{Cl}^-$  化合组成晶体时,它们各自都是按这个图形所限定的规律来进行排列的。

由此可见,等同点的分布体现了晶体构造中所有质点的重复规律,这种重复规律就是相当点在三维空间作格子状排列,这种格子称为空间格子(图 1-4)。在此指出,一种晶体的空间格子仅是一种几何图形且为无限图形组成。空间格子中有下列几种要素存在。

(1) 结点:空间格子中的点,代表晶体构造中的相当点。在实际晶体中,在结点的位置

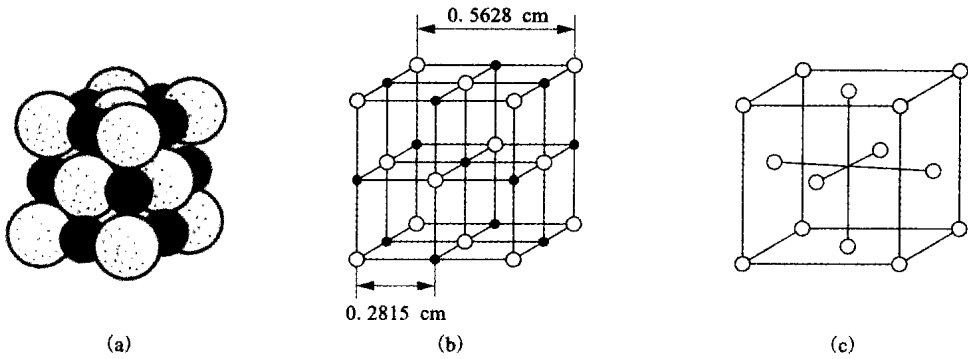


图 1-3 NaCl 晶体结构

(a)、(b)NaCl 晶体结构；(c)等同点的分布

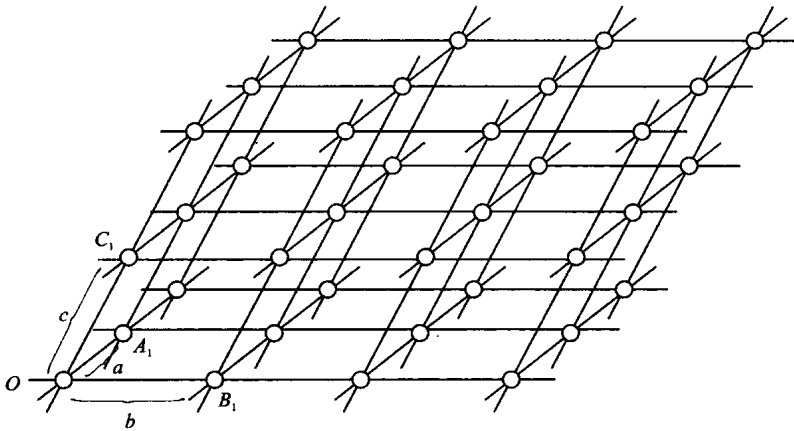


图 1-4 空间格子

上可为同种质点所占据，但就结点本身而言，它们并不代表任何质点，它们只有几何意义，为几何点。

(2) 行列：结点在直线上的排列(图 1-5)。空间格子中排列在一条直线上的结点连接成行列，行列中相邻结点间的距离称为结点间距(如图 1-5 中的  $a$ )。同一行列方向上结点间距相等；不同方向的行列，其结点间距一般不等。

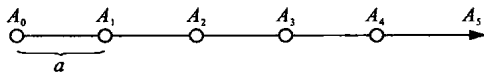


图 1-5 行列

(3) 面网：结点在平面上的分布(图 1-6)。空间格子中任意两个相交的行列可确定一个面网。单位面积面网上结点的数目称为面网密度。任意两相邻面网间的垂直距离称为面网间距。相互平行的面网间面网密度相等，其面网间距也相等，不相平行的一般不等，且面网密度大的面网间距大，反之；面网间距小。



(4)平行六面体：空间格子的最小重复单位，由六个两两平行而且相等的面组成(图1-7)。实际晶体结构中划分出的这样的单位称为晶胞。整个晶体结构可视为晶胞在三维空间平行地、毫无间隙地重复堆叠而成。晶胞的形状与大小，取决于三个彼此相交的棱的长度(图1-7中的 $a$ 、 $b$ 、 $c$ )和它们之间的夹角(图1-7中的 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ )。

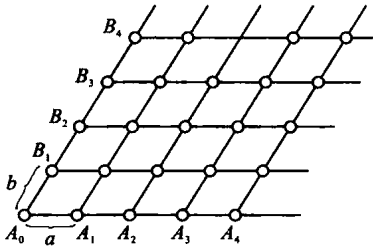


图1-6 面网

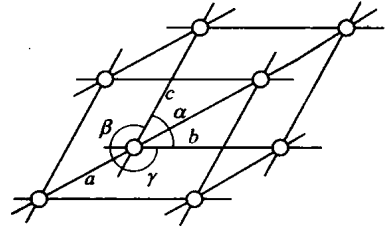


图1-7 平行六面体

### 1.1.3 晶体的基本性质

我们将一切晶体所共有的，并且是由晶体的格子构造所决定的性质，称为晶体的基本性质，现简述如下。

#### 1. 自限性

晶体在适当的条件下可以自发地形成几何多面体形态的性质。由图1-8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。

我们知道，格子构造本身就是几何多面体形态的，而晶体具格子构造，所以晶体能按照自己的格子构造形态自发地形成该种形态的晶体。如石盐的格子构造是立方体形态，它的晶体形态就是立方体；石墨的格子构造是层状的，形态为片状。这就说明，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1-8所示。

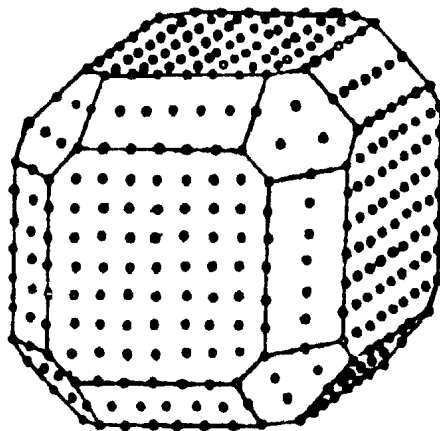


图1-8 晶面、晶棱、角顶与面网、行列、结点的关系示意图

## 2. 均一性

晶体是具格子构造的固体，同一晶体的各个部分质点的分布是相同的，所以同一晶体的各个部分的性质是一样的，这就是晶体的均一性。例如将一块纯净的水晶打碎，每一块的成分都是  $\text{SiO}_2$ ，密度都是  $2.65 \text{ g/cm}^3$ ，这就是晶体均一性的表现。均一性指的是同一晶体的不同部分性质相同。

## 3. 异向性

同一格子构造中，在不同方向上质点的排列一般是不同的，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。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1-9)，沿晶体延长的AA方向用小刀可刻动，而沿垂直晶体延长的BB方向小刀刻不动。另外晶体的异向性还表现在力学、光学、电学等性质中，如解理的异向性。异向性指的是同一晶体不同方向的性质不同。

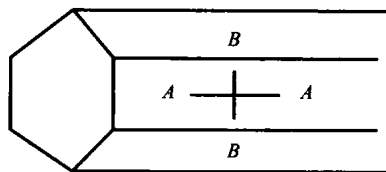


图1-9 蓝晶石晶体的硬度

## 4. 对称性

晶体具有异向性，但这并不排斥在某些特定的方向上具有相同的性质。在晶体的外形上，也常有相同的晶面、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。晶体的格子构造本身就是质点重复规律的体现。对称性是晶体极重要的性质，是晶体分类的基础，我们将在以后章节专门介绍。

## 5. 最小内能与稳定性

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。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内能的大小。可用来比较内能大小的只有势能，而势能的大小则决定于质点间的距离与排列。晶体是具有格子构造的固体，其内部质点的排列是质点间引力和斥力达到平衡的结果，故晶体具有最小的位能，也即晶体具有最小内能。

晶体的内能最小是由于它具有格子构造的结果。由于晶体具有最小的内能，所以处于相对稳定的状态，这就是晶体的稳定性。

# 1.2 晶体的形成

晶体是具有格子构造的固体，它的发生和成长，实质上是在一定的条件下组成物质的质点按照格子构造规律排列的过程。

## 1.2.1 晶体的形成方式

晶体是在物相转变的情况下形成的。物相有三种，即气相、液相和固相。只有晶体才是真正的固体。由气相、液相转变成固相时形成晶体，固相之间也可以直接产生转变形成晶体。