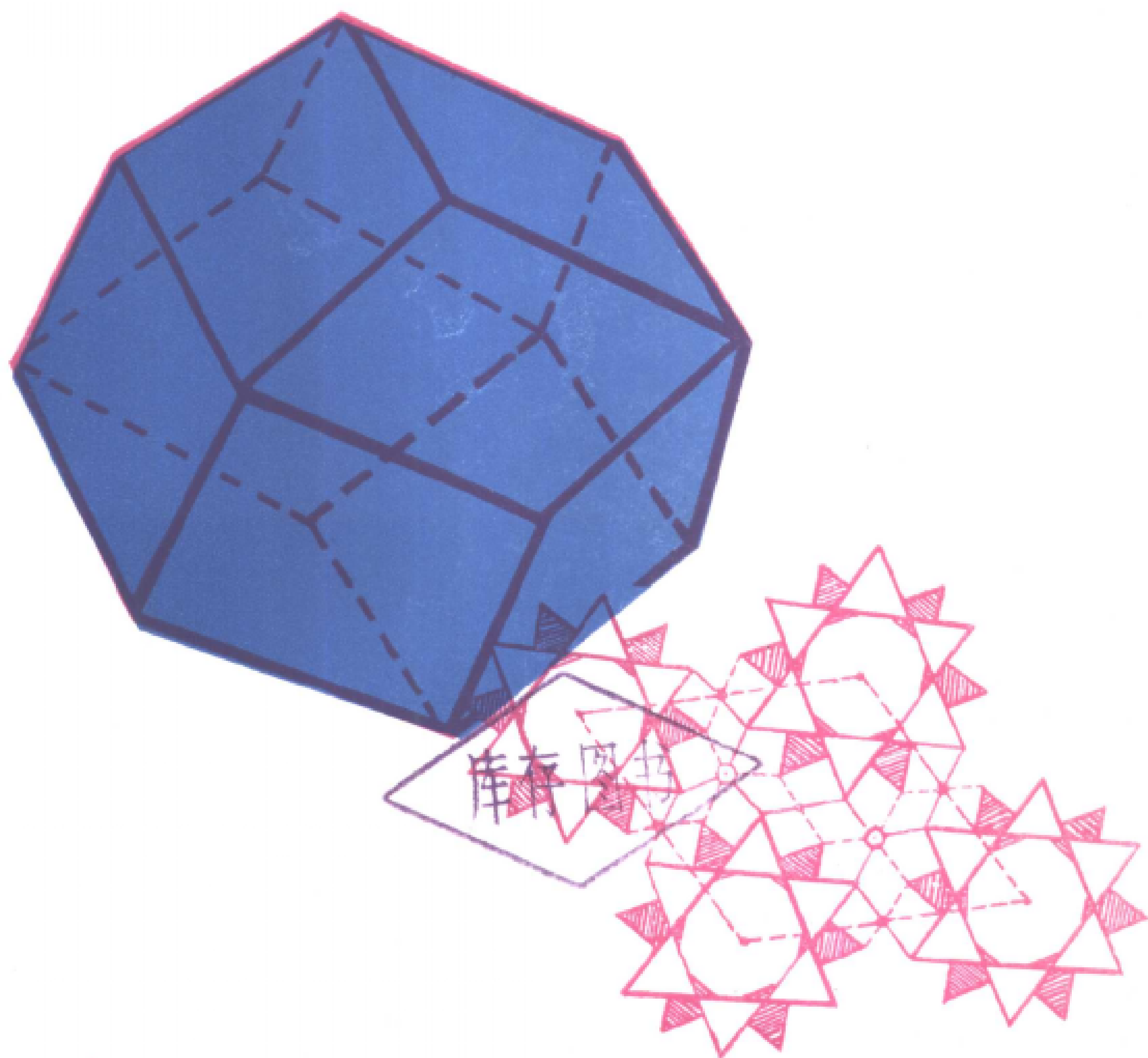


高等学校教材

矿物学简明教程

戈定夷 田慧新 曾若谷 编



地质出版社

ISBN 7-116-00523-4/P . 448

定 价： 3.40 元

P57
G-267

高等学校教材

矿物学简明教程

戈定夷 田慧新 曾若谷 编

地质出版社

※ ※ ※

本书由潘光椿主审，经地质矿产部矿物学教材编审委员会于1983年12月召开的全体会议审稿，同意作为高等学校教材出版。

※ ※ ※

高等学校教材
矿物学简明教程
戈定夷 田慧新 曾若谷 编

责任编辑：张荣昌

地质出版社出版

（北京和平里）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店总店科技发行所发行

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：16.375 插页：4页 字数：386000

1989年10月北京第一版·1989年10月北京第一次印刷

印数：1—6700册 定价：3.40元

ISBN 7-116-00523-4/P·448

前 言

本教材是在成都地质学院1982年为石油地质、水文地质及工程地质等专业编写的《结晶学及矿物学》的基础上修订的。原书曾于1982年12月被地矿部结晶学及矿物学教材编审委员会向全国地质院、系推荐使用。经过几年来的反复试用和修改，教材质量不断提高。这次又按结晶学及矿物学教学指导委员会1987年制订的教学基本要求进行了修改，对对称要素的组合、对称型的国际符号及与专业关系密切的粘土矿物等内容作了适当补充。书的内容简练，对教学的重点内容阐述较详细，举例较多，并附有学习指导和复习思考题。该书对有关专业本科生的教学及函授生自学均很适用，也可供中级地质专业人员自学参考。

本教材由戈定夷、田慧新和曾若谷三人合编，戈定夷任主编。其中，绪论和第一篇由曾若谷执笔；第二篇及第三篇中的第一、二、五大类和第四大类中的二至八亚类由戈定夷执笔；第三篇第三大类及第四大类中的一、二、三、五亚类，以及附录由田慧新执笔；层状硅酸盐亚类由田慧新和戈定夷联合执笔。全书插图由杨自珍同志清绘。

该书在编写过程中听取了教学指导委员会许多同志的意见，吸取了兄弟院、校教材中的不少材料。书稿完成后由主审——中国地质大学潘兆橐教授进行了审核并提出了一些具体意见和建议。所有这些，对本书质量的提高均起了良好的作用，在此一并表示感谢！

作 者

1988.11

目 录

绪 论	(1)
一、矿物的概念	(1)
二、晶体的概念	(1)
三、矿物学的内容及其与其它学科的关系	(2)

第一篇 几何结晶学基础

第一章 晶体的基本性质	(5)
一、表示晶体构造规律性的几何图形——空间格子	(5)
二、晶面发育的一般规律	(7)
三、晶体的基本性质	(9)
第二章 晶体的对称	(12)
一、对称的概念及晶体对称的特点	(12)
二、对称要素和对称操作	(13)
三、对称要素的组合	(16)
四、晶体的分类	(18)
附：对称型的国际符号	(20)
五、十四种空间格子	(22)
第三章 单形和聚形	(26)
一、单形	(26)
二、聚形	(28)
第四章 晶体定向和晶面符号	(38)
一、晶体定向	(38)
二、晶面符号	(40)
三、单形符号	(42)
四、晶带及晶带符号	(43)
五、各晶系晶体定向及常见单形符号	(44)
第五章 晶体的规则连生	(52)
一、平行连生	(52)
二、双晶	(53)

第二篇 矿物学通论

第一章 矿物的化学成分和内部构造	(59)
一、离子半径和离子类型	(59)
二、晶格类型对矿物构造和性质的影响	(62)

三、球体紧密堆积原理	(63)
四、同质多象	(67)
五、类质同象	(68)
六、矿物的化学式	(71)
七、胶体矿物的成分构造特点	(73)
第二章 矿物的形态	(76)
一、矿物单体的晶体习性	(76)
二、矿物集合体的形态	(77)
第三章 矿物的物理性质	(82)
一、矿物的光学性质	(82)
二、矿物的力学性质	(87)
三、矿物的其它物理性质	(91)
第四章 形成矿物的地质作用	(95)
一、地壳的化学组成	(95)
二、形成矿物的地质作用	(90)
三、反映矿物成因的一些现象	(100)
第五章 矿物的命名和分类	(103)
一、矿物命名的原则	(103)
二、矿物的晶体化学分类	(103)

第三篇 矿物各论

第一大类 自然元素	(106)
第一类 自然金属	(106)
〔自然铜、自然金、自然铂〕	
第二类 自然半金属 (略)	(107)
第三类 自然非金属	(107)
〔石墨、金刚石、自然硫〕	
第二大类 硫化物及其类似化合物	(111)
第一类 单硫化物	(114)
〔辉铜矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、磁黄铁矿、辰砂、雄黄、雌黄、辉锑矿、辉铋矿、辉钼矿〕	
第二类 对硫化物	(121)
〔黄铁矿、白铁矿、毒砂〕	
第三类 含硫盐 黝铜矿	(123)
第三大类 氧化物和氢氧化物	(126)
第一类 氧化物	(127)
〔刚玉、赤铁矿、金红石、锡石、软锰矿、晶质铀矿、 α -石英、蛋白石、钛铁矿、磁铁矿、铬铁矿、黑钨矿、铌钽氧化物 (综述)〕	
第二类 氢氧化物	(139)

〔铝土矿、褐铁矿、硬锰矿〕

第四大类 含氧盐	(143)
第一类 硅酸盐	(145)
第一亚类 岛状硅酸盐	(151)
〔锆英石、橄榄石、石榴石族、蓝晶石、红柱石、夕线石、十字石、黄玉、 楣石、绿帘石、符山石〕	
第二亚类 环状硅酸盐	(160)
〔绿柱石、堇青石、电气石〕	
第三亚类 链状硅酸盐	(164)
〔顽火辉石—紫苏辉石、透辉石—钙铁辉石、普通辉石、霓石、硬玉、锂 辉石、透闪石—阳起石、普通角闪石、蓝闪石—钠闪石、硅灰石〕	
第四亚类 层状硅酸盐	(172)
〔滑石、叶蜡石、白云母、金云母、黑云母、锂云母、水白云母和伊利石、蛭 石、海绿石、蒙脱石、绿泥石族、蛇纹石、高岭石、多水高岭石、海泡石〕	
附：关于层状硅酸盐的几点补充	(185)
1. 关于粘土和粘土矿物的概念	(185)
2. 热分析法对层状硅酸盐鉴定的意义	(186)
3. x-射线分析在层状硅酸盐鉴定中的应用	(187)
4. 层状硅酸盐中的多型现象	(187)
5. 混层矿物的概念	(188)
第五亚类 架状硅酸盐	(189)
〔正长石、微斜长石、斜长石、霞石、白榴石、沸石族简介〕	
第二类 硼酸盐	(199)
〔硼镁铁矿、硼砂〕	
第三类 磷酸盐、砷酸盐、钒酸盐	(200)
〔独居石、磷灰石、铜铀云母〕	
第四类 钨酸盐和钼酸盐	(203)
〔白钨矿〕	
第五类 铬酸盐	(204)
〔铬酸铅矿〕	
第六类 硫酸盐	(204)
〔重晶石、天青石、硬石膏、石膏、胆矾、芒硝〕	
第七类 碳酸盐	(209)
〔方解石、菱镁矿、白云石、菱铁矿、菱锰矿、菱锌矿、文石、孔雀 石、蓝铜矿、自然碱〕	
第八类 硝酸盐	(216)
〔钠硝石〕	
第五大类 卤化物	(218)
第一类 氟化物	(219)
〔萤石〕	

第二类 氯、溴、碘化物.....	(220)
〔石盐、钾盐〕	

附 录

实习指导书	(222)
矿物对称型及晶胞参数表	(250)
本书矿物检索表.....	(254后)

绪 论

一、矿物的概念

在古代，人们把采矿中采掘出来的天然矿石块叫做矿物。在西方，矿物一词来自拉丁文“Minera”。“Minera”即矿石块的意思。在我国，最早把矿字写作“𠙴”或“𠙵”，读作“Gong”或“Kuang”，象征采矿工具和采矿的声音。随着人类生产活动的发展，对自然界的认识逐步深入，人们发现，天然产出的矿石块并非均一的物体。经过很长一段时间的观察、思索，才逐渐把矿物与岩石、矿石这几个有联系而又有区别的概念，比较科学地建立起来了；而且认识到矿物是地壳中岩石和矿石的组成单位，即岩石和矿石都是矿物的集合体。

现在，一般认为矿物是在地壳各种地质作用的综合作用下形成的天然单质或化合物。

在实验室内人工制造的化合物，虽然其成分和性质与天然矿物相近，为了不与地壳中地质作用形成的矿物混淆，可称为“人造矿物”或“合成矿物”。同样的原因，把陨石中的矿物称为“陨石矿物”；采自“月岩”中的矿物称“月岩矿物”，或称它们作“宇宙矿物”。

地壳中发现的矿物约有3000种。它们绝大多数是固态无机物（如磁铁矿、石英、方解石等），也有呈液态（如自然汞、水）和气态的（如火山喷气中的二氧化碳和水蒸气等）。有机矿物如琥珀等，只有几十种。

矿物是化学上均匀的物质，它具有相对固定的化学成分，可用化学式表示，例如自然金的化学式为Au，黄铜矿为 CuFeS_2 ，白云母为 $\text{KAl}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH}, \text{F})_2$ 。但矿物的化学成分又可以在一定范围内发生变化，这些变化会引起矿物性质上的变异，并能反映其形成时的地质环境。

固态矿物绝大部分是晶质体，其内部的原子或离子作规律的排列而具有一定的结构。只有少数“固态”矿物是非晶质的，其内部的原子或离子不作规律排列。

矿物不是固定不变的，它是地壳演化过程中化学元素运动和存在的一种形式。当外界条件改变，矿物就要发生变化，形成稳定于新条件下的新矿物。例如还原条件下形成的黄铁矿 FeS_2 ，与空气和水接触，就要破坏分解，形成稳定于新的氧化条件下的针铁矿 $\text{FeO}(\text{OH})$ 。

综上所述，矿物是指地质作用中形成的单质或化合物，具有相对固定的化学成分，晶质矿物还具有确定的内部结构，稳定于一定的物理化学条件，是组成岩石和矿石的基本单元。

二、晶体的概念

地壳中发现的约3000种矿物中，绝大部分是晶体。那么，什么是晶体呢？在古代，中

外都把水晶也（具多面体外形的石英 SiO_2 ，图1a）称为晶体。后来人们在采矿过程中不断发现了更多的、具有规则外形的天然产物，如磁铁矿、方解石、石盐等（图1b, c, d），它们和水晶一样，具有多面体外形，有比较平的面（晶面），直的棱（晶棱），清晰的尖（角顶）。于是把晶体的概念推广为：凡是具有自然多面体外形的固体都称为晶体。

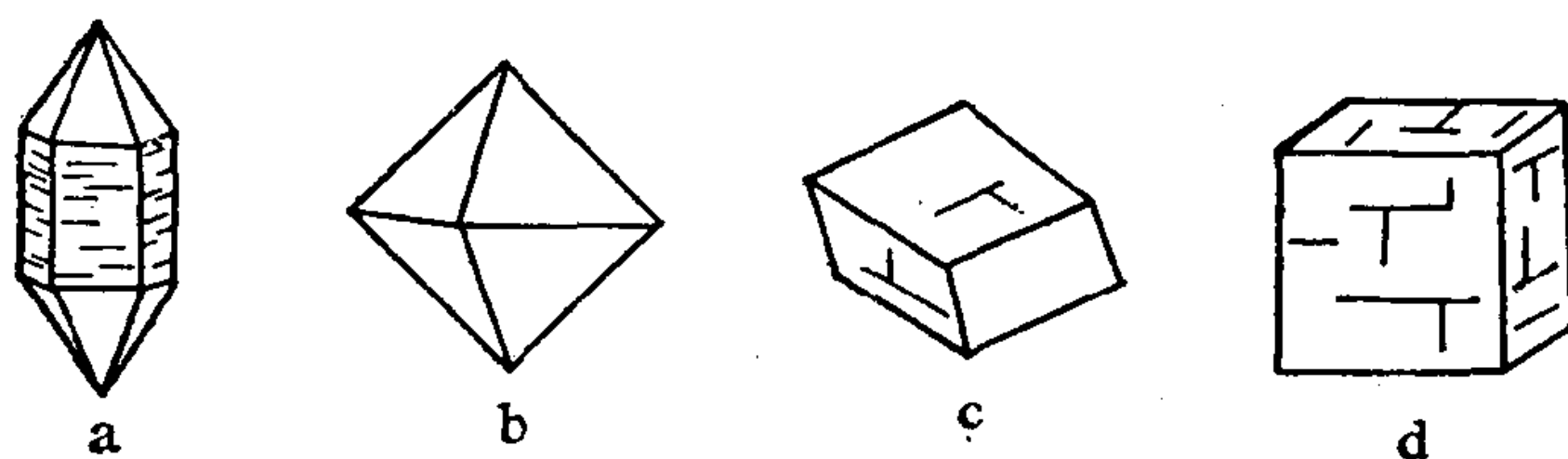


图1 石英(a)、磁铁矿(b)、方解石(c)和石盐(d)的晶体

随着生产的发展，科学的进步，人们对自然事物观察的逐步深入，认识到只把具多面体外形的固体称作晶体是不全面的。同一种物质石英 SiO_2 ，既可以呈多面体形态产出，如水晶产生于晶洞中；也可以呈极不规则形态的颗粒生成于岩石之中。显然，这种形态上的差异，是由生成时的空间条件不同造成的。近代科学实验已经证明，将不具多面体外形的纯净石英颗粒，放入含有石英成分的溶液中，在一定的温度和压力下，石英颗粒就可以生长成很大的、具有多面体外形的水晶。由此可见，自然多面体形态并非晶体最根本的特征，而是晶体的某种内在本质，在一定条件下的外在表现。

什么是晶体的本质？早在上一个世纪，人们从晶体可自发形成多面体外形，以及某些物理性质上所表现的非常规则的方向性（如方解石的解理和双折射现象）等得到启示，指出晶体的本质在于其内部质点排列成规律的格子构造。但这种已为当时许多学者承认的格子构造理论，仍缺少实验的证明。1912年德国人劳埃，用晶体作光栅使x射线产生了衍射，证实了晶体格子构造的真实性。劳埃实验的成功，不仅证实了以前的推断，而且使人们掌握了分析晶体结构的锐利武器，开辟了结晶学的新纪元。

晶体的定义是：晶体是具格子构造的固体。

1912年以后，究研晶体构造的工作发展很快，迄今已对约一万多种晶体进行了研究。尽管不同种类晶体的内部构造各不相同，但其中质点无一不作格子状排列。格子构造是一切晶体最本质的特征。

内部质点不作格子状规则排列的物质叫做非晶质。除气体和液体外，那些看起来是固体，而内部质点不作格子状排列的物质，如玻璃、松香等，也是非晶质。严格地说，它们并不是固体，而是过冷液体。只有晶体才能称为真正的固体。

三、矿物学的内容及其与其它学科的关系

矿物学是究研矿物的化学成分、内部构造、外表形态、物理性质及其相互关系，并阐明地壳中矿物的形成和变化历史，探讨其时间和空间分布的规律及其实际用途的科学。它是地质科学的一门重要分科。矿物学以地壳中产出的、无机的、晶质矿物作为自己研究的主要对象。

结晶学是究研晶体的发生、生长、外部形态、内部结构及物理性质的科学。在早期，

结晶学的主要研究对象是自然界中生长的矿物晶体。长久以来，结晶学便是矿物学的一部分。矿物学家为了需要才研究结晶学，而结晶学也在研究矿物时得到了发展。到了十九世纪后半叶，人们除了研究天然矿物晶体之外，也大量地研究实验室中产生的晶体，人工培养有特定用途的晶体的工作亦得到迅速发展。这样，结晶学就逐渐脱离矿物学而成为一门独立的科学。但是结晶学的内容在矿物学中所占的重要地位，并不因此而有任何削弱，它至今依然是矿物学的一个重要组成部分。在这本《矿物学简明教程》的第一篇，仅介绍几何结晶学基础理论知识（研究结晶多面体上晶面、晶棱、角顶的分布规律），而将有关晶体化学（研究晶体构造与晶体的化学成分之间的关系）和物理结晶学（研究晶体的物理性质及其与晶体的化学成分和内部构造的关系）的重要内容，放在本教材的第二篇（矿物通论）中，分别并入矿物的化学成分与内部构造和矿物的物理性质两章加以论述。

矿物学是各地质专业的一门重要的专业基础课。了解矿物的成分、性质、成因、产状，以及认识常见矿物，对进行任何类型的地质工作都是十分重要的。矿物的集合体就是岩石和矿石，所以矿物学又直接为后继课程——岩石学、矿床学及其它专业课打基础。

矿物学与其它自然科学的关系十分密切。数学、物理学和化学的理论成就及实验技术，对矿物学理论的发展和测试手段的提高，起着重要的促进作用。十九世纪中叶，偏光显微镜应用于矿物晶体的鉴定和研究；本世纪初，x射线技术应用于晶体的结构分析；三十年代以来对矿物形成的物理化学条件及相平衡的研究都极大地促进了矿物学的发展，这是矿物学发展史上的重大变革。近二十年来，由于固体物理学及量子化学方面的理论和现代测试技术应用于矿物学，已经和正在使矿物学的基本理论和研究方法发生新的重大变革。

学 习 指 导

矿物学课程研究、讨论的主要对象是晶质矿物。在绪论里，着重讲述了矿物和晶体的概念。学习一门学科，不知道这门学科研究的对象和内容，不明白这门学科在使自己成为高级地质技术人才的知识结构中的地位和作用，显然是不行的。绪论的学习，应把重点放在弄清什么是矿物，什么是晶体这两个基本概念上。对于本门学科研究的内容及其与相邻学科的关系也应有一般的了解。

对矿物这一概念的理解，应掌握以下几点：

- （1）矿物是地质作用的产物；
- （2）矿物具有一定的化学成分，晶质矿物还具有一定的内部构造，因而具有均一性；
- （3）矿物不是固定不变的；
- （4）矿物是组成岩石和矿石的基本单元。

了解矿物是地质作用的产物和具有均一性这两点尤为重要，一方面可以使我们不致把人工产品或已加工过的矿物原料误认为是矿物，另一方面可以使我们明确的区分矿物与岩石（包括矿石）。

对晶体概念的理解，应着重掌握晶体内部质点排列成规律的格子构造这一基本特点。至于晶体内部质点排列规律性的具体内容，将在第一章里讲述。在学完第一章“晶体的基本性质”以后，对晶体的认识才能进一步深化。

复习思考题

1. 什么是矿物？矿物与岩石、矿石的区别？
2. 什么是晶体？晶体与非晶体有何本质区别？
3. 判别下列物质中哪些是晶体，哪些是非晶体？哪些是矿物，哪些不是矿物？

冰糖

金刚石

沥青

水晶

玻璃

水

空气

方解石

4. 为什么要学习矿物学？

第一篇 几何结晶学基础

第一章 晶体的基本性质

一、表示晶体构造规律性的几何图形——空间格子

绪论中已经指出：晶体是具格子构造的固体；晶体内部的质点（原子、离子或分子）是作规律排列的。晶体内部质点排列的规律性，可以用空间格子加以表示。

空间格子之所以能表征晶体构造的规律性，是因为它本身就是从实际晶体构造中抽象出来的一种几何图形。现以氯化铯（ CsCl ）为例，说明从实际的晶体构造到空间格子这一抽象是怎样进行的。

图2a表示氯化铯晶体构造。双圈代表 Cl^- 离子的中心，黑点代表 Cs^+ 离子的中心。不难看出，在 CsCl 的晶体构造中，质点（ Cl^- 或 Cs^+ ）是作规律排列的，在任一方向上的相同部分呈等间距、周期性地重复出现，排列成三度空间的立体格子。为了进一步揭示这种周期性重复的规律，就要对它作某种抽象：先在氯化铯的晶体构造中，选出任一几何点，这个点取在 Cl^- 离子中心或 Cs^+ 离子中心，或它们之间的任一点都可以；然后在构造中找出与此相当的几何点，这样一系列的点称为相当点。相当点的条件是环境相同，如果原始的几何点取在 Cl^- 离子的中心，则与之相当的相当点也要占据 Cl^- 离子的中心，而且这些点周围的环境是完全相同的，亦即各相当点在相同的方向上隔相同的距离，有相同的质点分布。从具体的晶体构造中抽象出空间格子，就是通过在晶体构造中选取相当点而实现的。在氯化铯的晶体构造中，所有 Cl^- 离子的中心都是相当点，所有 Cs^+ 离子的中心也是相当点。把相当点从氯化铯的晶体构造中取出来，就得到了图2b所示的空间格子。显而易见，不管相当点选在 Cl^- 离子的中心，还是选在 Cs^+ 离子的中心或其它任何地方，抽象出来的空间格子都是一样的。

由于相当点在三度空间作规则的格子状排列，所以由相当点排列而成的几何图形叫做

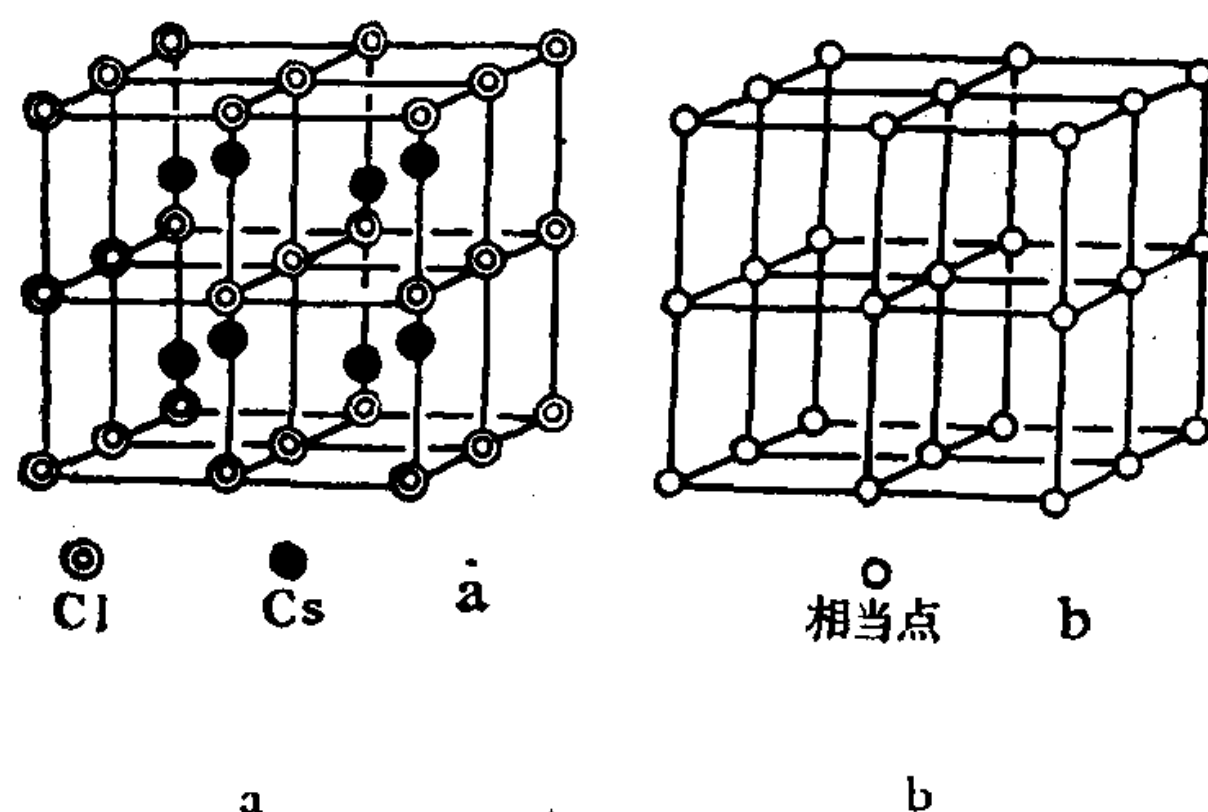


图 2 氯化铯的晶体构造 (a) 与空间格子 (b)

空间格子。相当点的分布体现了晶体构造中所有质点的重复规律。为了研究晶体内部构造中质点重复的规律而不受晶体大小的限制，可以设想相当点在三度空间是作无限排列的，因而空间格子为无限图形。

空间格子的一般形状如图3所示。

空间格子有以下几种要素：

(1) 结点 结点是空间格子中的点，它们代表晶体构造中的相当点。在实际的晶体构造中，结点可以为相同的离子、原子或分子所占据。但结点本身不代表任何质点，它们为只具几何意义的几何点。

(2) 行列 行列由结点在直线上排列而成（图4）。空间格子中任意二结点联结起来的直线就是一条行列。行列中相邻结点之间的距离称为该行列的结点间距（图4中的 a ）。同一行列中结点间距相等，彼此平行的行列结点间距也是相等的。不平行的行列，结点间距一般不等。

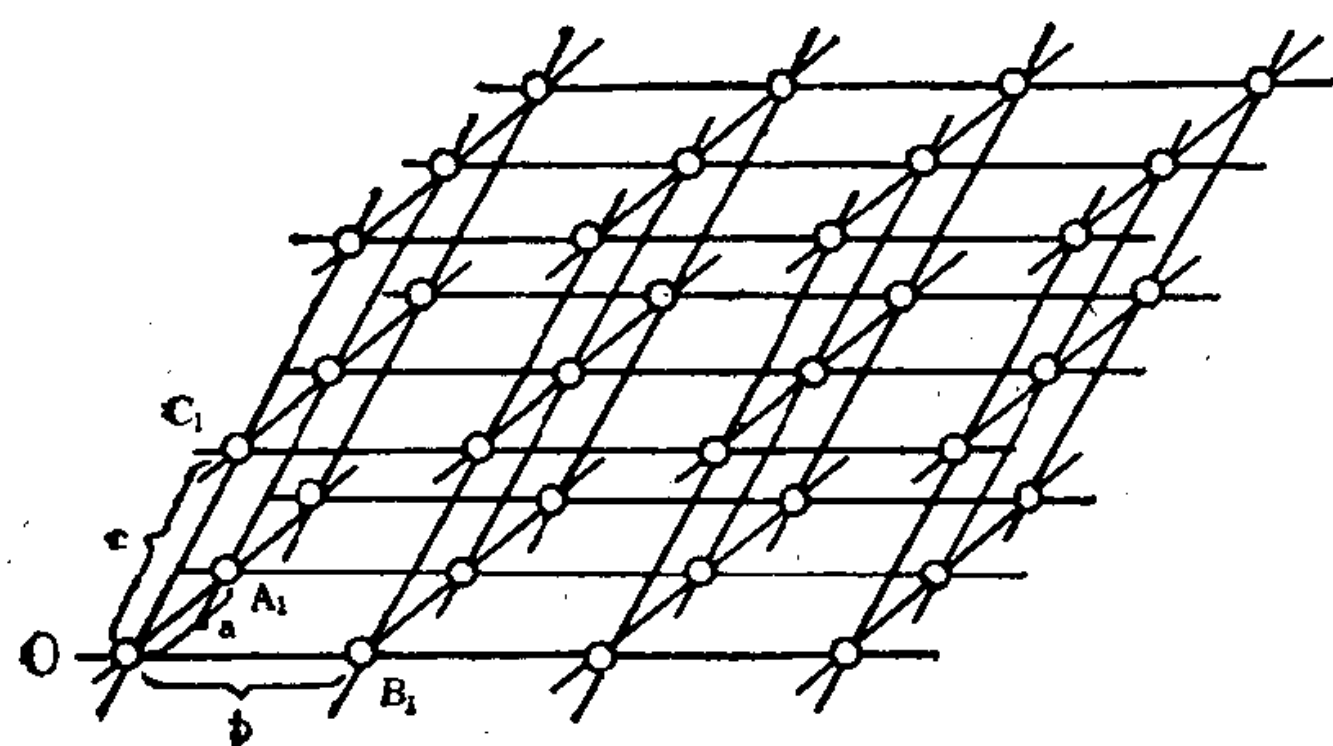


图 3 空间格子

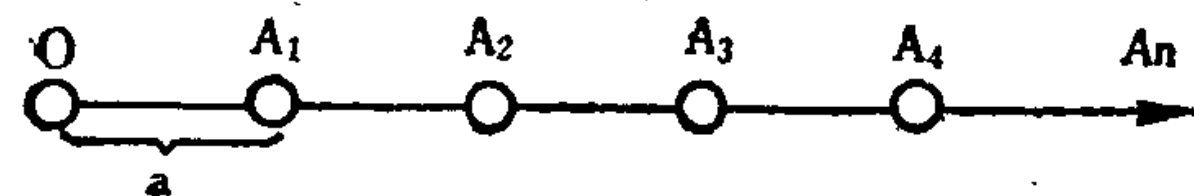


图 4 行列

(3) 面网 面网由结点在平面上排列而成（图5）。空间格子中任意三个不在同一行列上的结点就可联结成一个面网。面网上单位面积内的结点数目称为网面密度。互相平行的面网，网面密度相等；不平行的面网，网面密度一般不等。互相平行的相邻两面网之间的垂直距离称为面网间距。

(4) 平行六面体 这是空间格子的最小单位。由三对平行而且相等的面构成（图6）。在实际晶体结构中，这样划分出来的最小单位称为晶胞。

空间格子可以看成是平行六面体在三度空间平行、无间隙地重复堆砌而成的。同样的道理，整个晶体结构，可以视为是晶胞在三度空间平行、无间隙地重复堆砌。

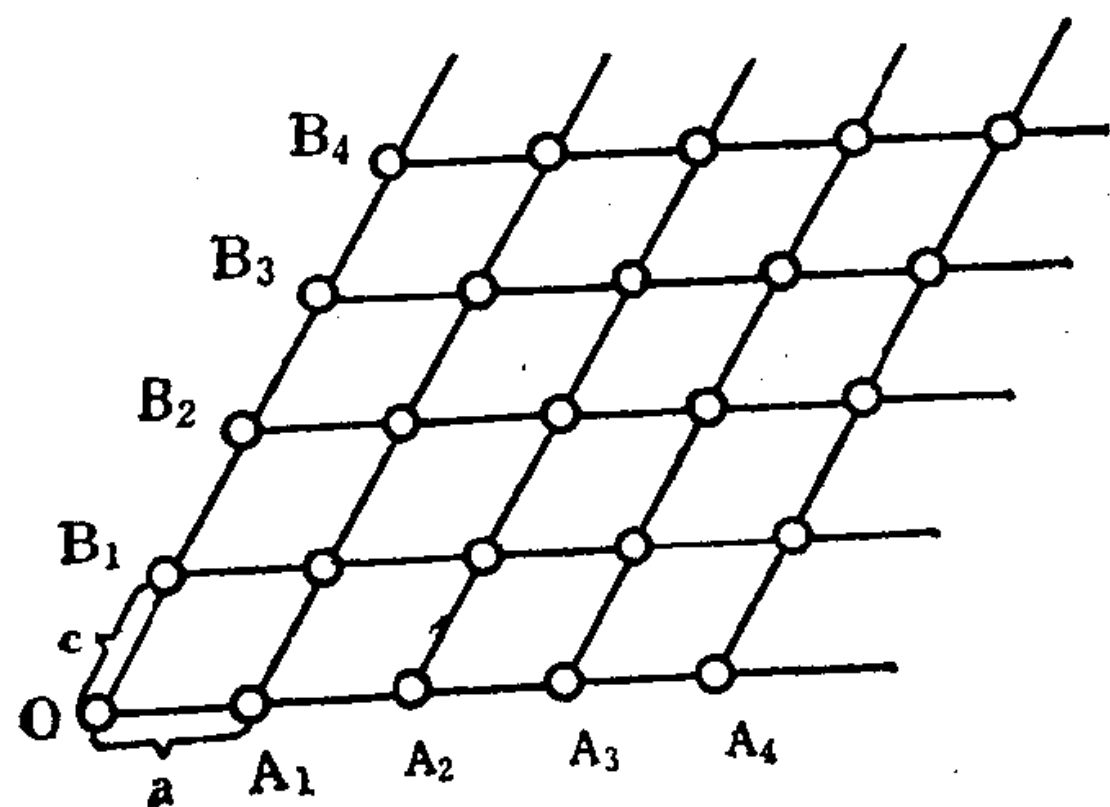


图 5 面网

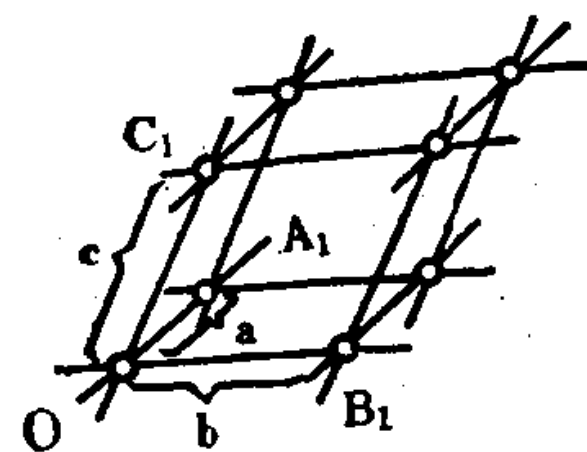


图 6 平行六面体

二、晶面发育的一般规律

晶体的多面体外形是其格子构造在晶体形态上的反映。结晶多面体上的晶面相当于格子构造的最外面网，晶棱则相当于格子构造的最外边的行列，而角顶就相当于格子构造的结点。晶面与面网，晶棱与行列，角顶与结点的对应关系示意如图7。

结晶多面体为晶面所包围，晶面相交成晶棱，晶棱汇聚成角顶。了解晶面发育的规律，对晶体形态的究研具有十分重要的意义。现分述于下：

1. 科塞尔原理

自然界产生的晶体，绝大多数是从液体中结晶出来的，也有少部分晶体是从固体和气体中晶出的。在液体中晶体的生长，首先是由于温度降低、溶液达到过饱和而产生晶芽；晶体的长大过程，实质上是溶液中的质点向晶芽上粘附而使结晶格子逐渐扩大的过程。

科塞尔这样来描述晶体长大的过程：

图8为一正在生长着的晶体，其上面的一层面网尚未长好，此时溶质向晶体粘附之次序将是这样的：首先将粘附在数字1处，即在有三面凹角的地方。在那里溶质质点为晶体的三个最靠近的质点所吸引。只有当晶体上无三面凹角时，质点才向数字2处粘附，即向二面凹角处粘附。此处溶质质点为晶体的二个最靠近的质点所吸引。质点粘附在数字2处后，又形成新的三面凹角。当二面凹角再也没有了的时候，才开始形成新的一层，质点沉凝于数字3处，即没有凹角的地方。因此，晶面生长的过程应该是：先长完一条行列，然后再长相邻的行列；长满一层面网然后开始长第二层面网。晶面（晶体的最外层的面网）是平行地向外推移的。这就是科塞尔原理。

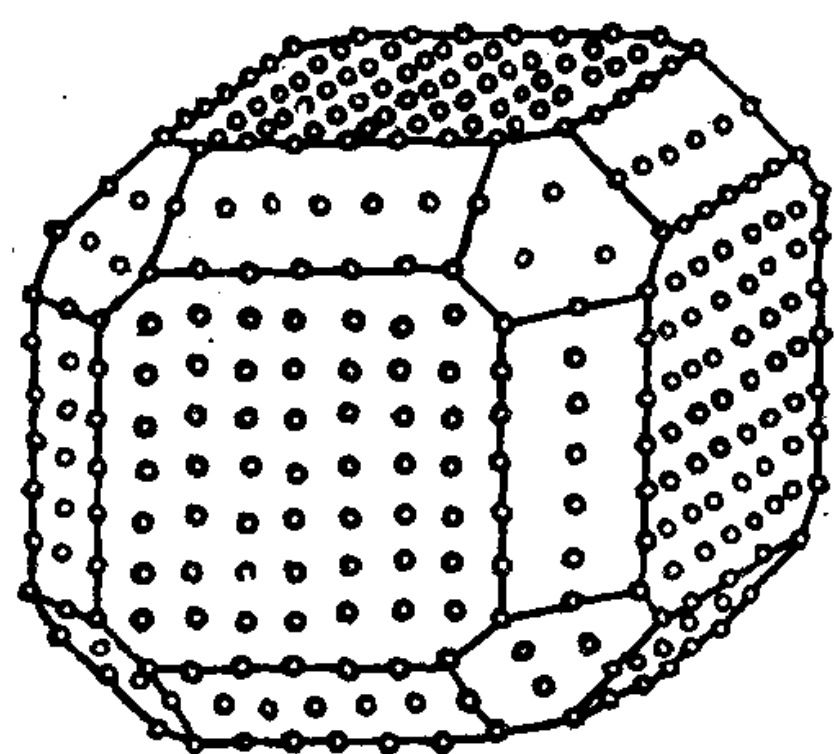


图7 晶面、晶棱、角顶与面网、行列、结点之间的关系示意图

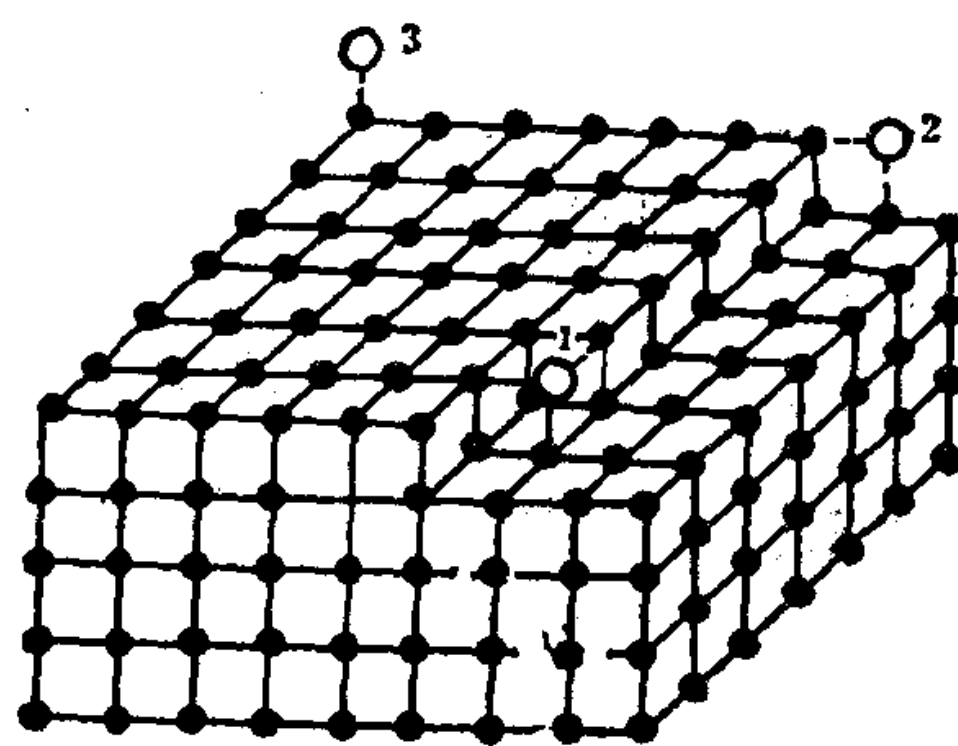


图8 晶体生长的科塞尔理论图解

科塞尔的理论有许多不足之处，他把晶体生长过程简单化了。科塞尔所描述的晶体长大过程，只有在理想的情况下才能实现。但是，晶面在晶体生长时确实是由中心向外平行移动的。这一点有许多实例可以证明。例如有些晶体的切片中可以看到所谓带状构造（图9）。这是因为晶体在生长的時候，介质发生某些变化，而使在不同时间内生长的晶体在颜色、密度、折光率上有所不同。不同时间生长的晶体的交界线确实是平行的。

2. 布拉维法则

结晶多面体为有限的晶面所包围，而晶体内部构造中面网数目却是很多很多的，那

么，什么样的面网可以成为实际晶面呢？人们在仔细研究晶体生长时，特别是在研究晶体的带状构造时，发现在同一时间内，各晶面移动的距离是有所不同的，也就是说各晶面的生长速度是不一样的（单位时间内晶面在其法线方向所增长的厚度称为该晶面的生长速度）。从图10可以看出，生长速度大的晶面（如a、c）在晶体生长过程中逐渐缩小，甚至消失；而生长速度小的晶面（如b、d、e）在晶体生长过程中扩大了，最后保留在晶体上。

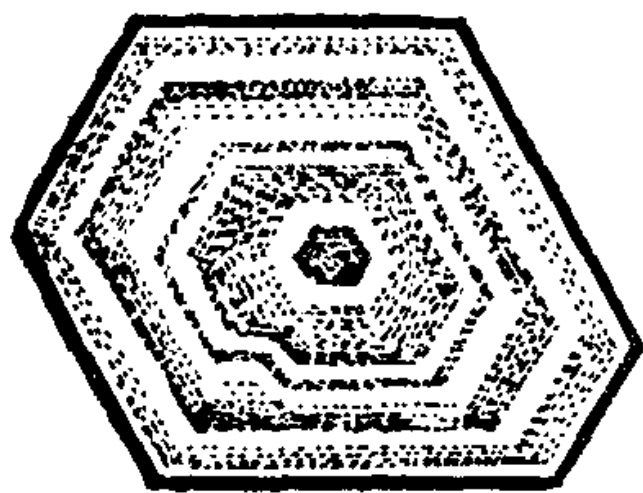


图 9 晶体的带状构造

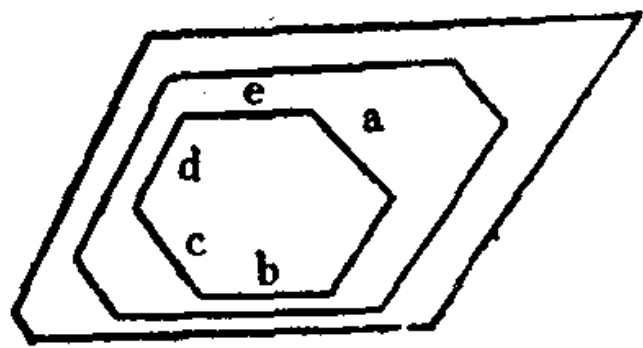


图 10 晶面的生长速度

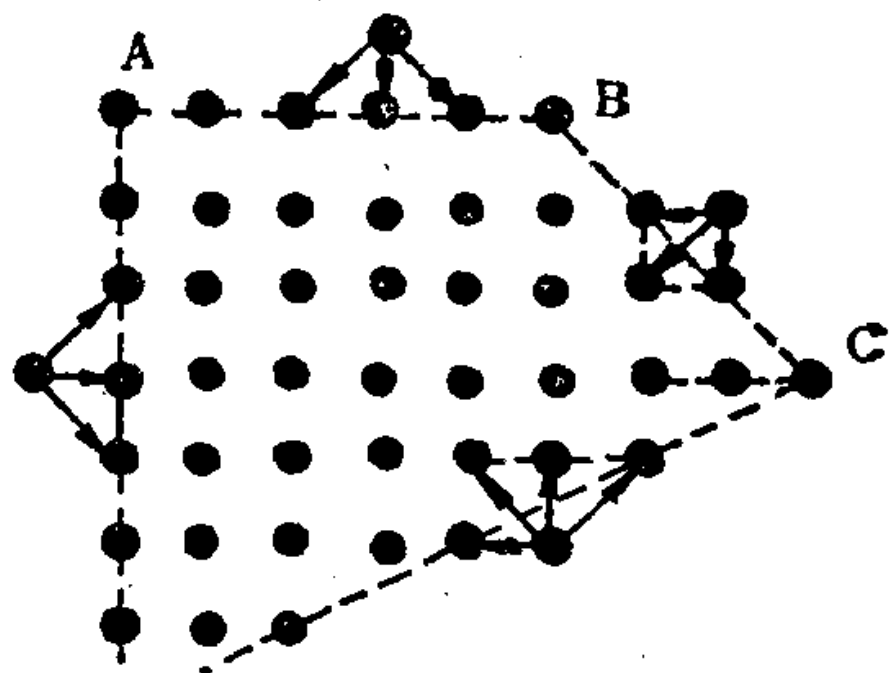


图 11 晶面对质点的吸引力与面网密度的关系

晶面生长的速度受许多因素影响，其中物质供应情况起着很大作用，但面网本身的性质（质点的种类及密度）毕竟起着头等重要的作用。粗略地说：晶面的生长速度与晶面之面网密度成反比关系。图11表示晶体的一个截面，其上有AB、AD、BC、CD四个垂直图面的晶面。这些晶面的面网密度之相对大小为 $AB=AD>BC>CD$ 。因为质点间的吸引力与它们之间距离的平方成反比，故各晶面对质点的吸引力之相对大小恰好是反过来的，即 $CD>BC>AD=AB$ 。密度最小的晶面对介质中质点具有最大的引力，也就是具有最大的生长速度。既然生长速度大的晶面要在晶体生长过程中相对的缩小甚致消失，因而优先出现在晶体上的是那些生长速度小的晶面，也就是那些面网密度大的晶面。法国学者布拉维曾经确定了下述法则：晶体为面网密度大的晶面所包围。布拉维法则很重要，但是比较粗略，它的主要缺点是忽略了晶体生长环境对晶面生长速度的影响。

3. 面角恒等定律

晶体在理想条件下生长，相同网面密度的晶面具有相等的生长速度，得到相同的发育，因而这些晶面是同形等大的，如图12a所示的石英晶体上的m、r、z三种晶面。这是所谓的理想晶体。但是，晶体在生长过程中，事实上总会不同程度地受到复杂的外界条

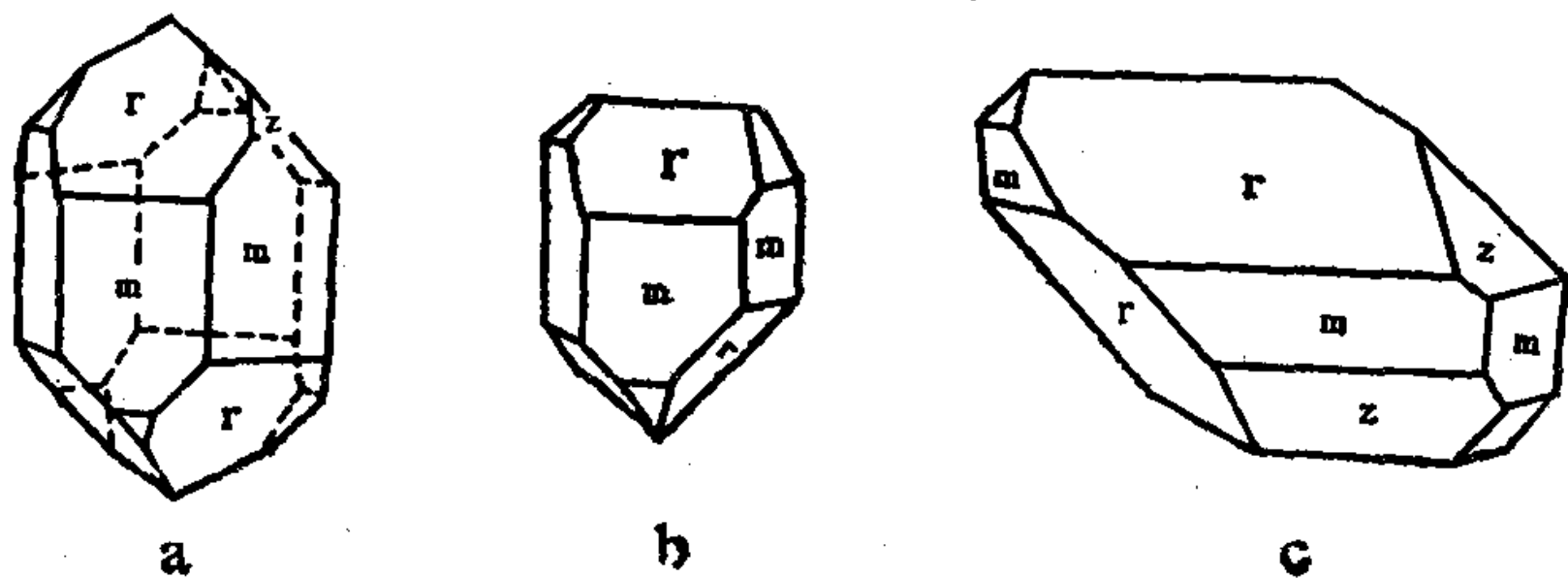


图 12 不同形态的石英晶体
a—理想晶体；b、c—歪晶