

## 目 录

绪 论 .....	1
<b>第一篇 几何结晶学基础</b>	
<b>第一章 晶体和非晶质体的基本概念</b> .....	3
一、晶体的基本概念 .....	3
1. 晶体的定义 .....	3
2. 晶体的空间格子构造规律 .....	4
3. 晶体的基本性质 .....	8
二、非晶质体的基本概念 .....	8
三、晶体生长的一般规律 .....	9
1. 晶体的生长过程 .....	9
2. 晶面生长速度和布拉维法则 .....	10
3. 面角守恒定律 .....	10
<b>第二章 晶体的对称</b> .....	12
一、对称的概念和晶体的对称性 .....	12
二、晶体的对称要素和对称操作 .....	13
1. 对称面 .....	13
2. 对称轴 .....	13
3. 对称中心 .....	14
4. 旋转反伸轴 .....	15
三、对称要素的组合 .....	16
四、对称型的概念 .....	17
五、晶体的对称分类 .....	18
<b>第三章 晶体的理想形态</b> .....	20
一、单形的概念 .....	20
二、47种几何单形 .....	23
三、聚形的概念和聚形中的单形分析 .....	30
<b>第四章 晶体的定向和晶面符号</b> .....	33
一、晶体的定向 .....	33
1. 晶体定向的任务和选择晶轴的原则 .....	33
2. 轴单位的确定 .....	34
二、晶面符号 .....	36
1. 晶面符号的意义 .....	36
2. 晶面的米氏符号 .....	36
三、单形符号 .....	58

## 第二篇 矿物学通论

第五章 矿物的晶体化学 .....	39
一、键和晶格类型 .....	39
1. 键的类型 .....	39
2. 晶格类型 .....	40
二、离子半径和离子的极化 .....	41
三、球体的最紧密堆积原理 .....	45
1. 等径球体的最紧密堆积 .....	45
2. 不等径球的最紧密堆积 .....	47
四、同质多象 .....	50
五、晶体场效应在矿物中的作用 .....	51
第六章 矿物的化学成分 .....	55
一、矿物中化学元素结合的一般规律 .....	55
二、矿物的化学成分及其可变性 .....	56
1. 矿物中的类质同象 .....	56
2. 胶体的吸附作用 .....	60
3. 矿物中的“水” .....	61
三、矿物的化学式 .....	62
1. 实验室 .....	62
2. 结构式(晶体化学式) .....	63
第七章 矿物的形态 .....	65
一、矿物单体的形态 .....	65
1. 结晶习性 .....	65
2. 晶面的表面特征 .....	66
二、矿物连生体的形态 .....	67
1. 双晶 .....	67
2. 平行连生 .....	71
三、矿物集合体的形态 .....	71
1. 显晶集合体 .....	71
2. 隐晶及胶态集合体 .....	71
第八章 矿物的物理性质 .....	74
一、矿物的光学性质 .....	74
1. 颜色 .....	74
2. 条痕 .....	75
3. 光泽 .....	75
4. 透明质 .....	75
二、矿物的力学性质 .....	76
1. 解理 .....	76
2. 裂开 .....	77
3. 断口 .....	77
4. 硬度 .....	78

## IV

三、矿物的其他物理性质 .....	79
1. 矿物的比重 .....	79
2. 矿物的磁性 .....	79
3. 矿物的发光性 .....	79
第九章 矿物的成因和成因标志 .....	81
一、形成矿物的地质作用 .....	81
1. 内生作用 .....	81
2. 外生作用 .....	83
3. 变质作用 .....	85
二、矿物的成因标志 .....	85
1. 矿物的共生和伴生关系 .....	86
2. 矿物的标型特征 .....	87
3. 矿物中的包裹体 .....	88
第十章 矿物的研究鉴定法 .....	90
一、样品的挑选 .....	90
二、肉眼观察 .....	90
三、鉴定、研究矿物的方法 .....	91
1. 鉴定、研究矿物的化学方法 .....	91
2. 鉴定、研究矿物的物理方法 .....	93
3. 鉴定、研究矿物的物理——化学方法 .....	96

## 第三编 矿物学各论

第十一章 第一大类 自然元素 .....	99
自然铜、自然金 .....	99
自然铂 .....	100
金刚石和石墨 .....	100
自然硫 .....	102
第十二章 第二大类 硫化物及其类似化合物 .....	103
第一类 简单硫化物 .....	103
辉铜矿 .....	103
方铅矿 .....	104
闪锌矿 .....	105
辰砂 .....	105
磁黄铁矿 .....	106
黄铜矿 .....	106
辉钼矿 .....	107
第二类 复硫化物 .....	108
黄铁矿、白铁矿、毒矿 .....	108
第十三章 第三大类 卤化物 .....	110
萤石 .....	110
石盐、钾盐 .....	112
光卤石 .....	112

第十四章 第四大类 氧化物和氢氧化物 .....	113
第一类 氧化物 .....	114
刚玉、赤铁矿 .....	114
钛铁矿 .....	115
金红石、锡石、软锰矿 .....	116
尖晶石族：尖晶石、磁铁矿、铬铁矿 .....	117
石英族： $\alpha$ -石英、 $\beta$ -石英 .....	119
第二类 氢氧化物 .....	122
氢氧化镁石 .....	123
铝土矿 .....	123
褐铁矿 .....	124
硬锰矿 .....	125
第十五章 第五大类 含氧盐 .....	126
第一类 硅酸盐 .....	126
第一亚类 岛状结构硅酸盐 .....	128
锆石 .....	128
橄榄石 .....	129
石榴子石族 .....	129
兰晶石族：兰晶石、红柱石、夕线石 .....	130
十字石 .....	131
楣石 .....	132
绿帘石 .....	132
第二亚类 环状结构硅酸盐 .....	133
堇青石 .....	133
电气石 .....	133
第三亚类 链状结构硅酸盐 .....	134
辉石族：顽火辉石、紫苏辉石、透辉石、普通辉石 .....	134
角闪石族：直闪石、透闪石、阳起石、普通角闪石、兰闪石、钠闪石 .....	136
硅灰石 .....	139
第四亚类 层状结构硅酸盐 .....	139
滑石 .....	140
叶腊石 .....	141
云母族：黑云母、白云母 .....	141
水云母(伊利石)族：水云母、海绿石 .....	142
高岭石族：高岭石、多水高岭石 .....	143
蒙脱石族：蒙脱石、绿脱石、蛭石 .....	144
蛇纹石族 .....	145
绿泥石族 .....	146
第五亚类 架状结构硅酸盐 .....	146
长石族：斜长石、正长石、钾微斜长石 .....	147
似长石矿物 .....	151
白榴石 .....	151
霞石 .....	152

## VI

沸石族：片沸石、辉沸石、菱沸石、方沸石 .....	152
第二类 硼酸盐 .....	154
硼砂 .....	155
第三类 磷酸盐 .....	156
独居石 .....	156
磷灰石 .....	157
第四类 硫酸盐 .....	158
无水芒硝 .....	158
硬石膏 .....	158
重晶石 .....	159
芒硝 .....	159
石膏 .....	160
第五类 碳酸盐 .....	160
方解石、菱镁矿、菱铁矿、菱锰矿 .....	162
白云石 .....	165
文石 .....	166
孔雀石 .....	166
兰铜矿 .....	167
第六类 硝酸盐 .....	167
钠硝石、钾硝石 .....	167

# 绪 论

## 一、矿物和矿物学

矿物的概念是随着人们认识客观物质世界的不断深入而日趋严谨的。在我国古文字中，“矿”写作“𠩺”，象征采矿的工具，其读音为“Gōng”，源于采矿的声音；在西方，矿物一词来自拉丁文“Minera”，原意是矿石块的意思。由此可见，在古代人们对矿物与矿石的概念是未能区别的。大约到十五世纪左右，人们才正确地将矿物与矿石、岩石的概念区分开来。此后，又经过长期反复的认识，才逐渐对矿物建立起确切的概念。现在，一般都认为：矿物是地壳及上地幔中的化学元素经过各种地质作用所形成的并在一定条件下相对稳定的自然产物。它们中间的绝大部分是结晶质的单质和化合物，具有比较固定的化学成分和晶体结构，从而表现出一定的几何形态和物理、化学性质；它们中间的另一部分则以非晶质的液体（水、自然汞、石油等）、气体（碳酸气、 $H_2S$  气等）或胶体状态存在，因而在其几何形态、物理性质与其成分、结构之间不象结晶质矿物那样存在有依赖关系。

矿物原料是国民经济建设事业的物质基础。对于矿物的利用，包括两个方面：一些矿物主要利用其化学成分；一些矿物则主要利用其物理特性。值得指出的是：近年来对一些矿物物理特性的研究，有了新的突破，因而在发展尖端技术和国防建设方面，日益受到重视。为了加速实现我国“四个现代化”，一切地质工作者都应该急国家之所急，克服找矿工作中的单打一思想，为扩大矿物原料基地和综合利用矿物原料作出积极贡献。

矿物学是地质学的一门分科，是研究地壳和上地幔物质成分的学科之一，其研究对象主要是天然矿物。随着生产的需要和科学技术的发展，合成矿物和宇宙矿物（主要指陨石矿物）也逐渐纳入了矿物学的研究范畴。

矿物学的发展与数学、化学、物理学、晶体学等学科的发展是密切相关的，特别是这些学科的有关新理论、新技术的引入，对矿物学更是起着积极的推动作用。

同时，矿物学又是地学中的重要基础学科之一，它的发展又将推动其它地质学科的发展。这是因为矿物是岩石和矿石的基本组成单位；是地壳演化过程中元素运动和存在的一种形式；是直接保存和记载各种地质过程物理、化学条件的物证。所以，矿物学的理论和知识不仅对以研究地壳物质成分及其运动规律为主要任务的岩石学、矿床学、地球化学以及地球物理学等密切相关，而且对构造地质学、地史学、水文地质学、工程地质学等也是不可缺少的。例如，应力矿物的研究对解决地质构造问题、重矿物的研究对解决地层对比和沉积环境问题、矿物粒度和粒间关系的研究对解决岩石力学性质和岩石渗透性的问题，等等，都是众所周知的事实。因此，作为地质工作者都必须认真学好这门重要的专业基础课。

## 二、矿物学的现状和任务

随着生产和现代科学技术的发展，现在的矿物学不仅早已摆脱了单纯描述矿物表面特征的阶段，而且有关矿物成因和晶体化学问题的一般性研究，也不能满足当前的要求了。从本世纪六十年代以来，运用晶体场理论及配位场理论解决含过渡元素的硅酸盐和硫化物的一些矿物学问题上，已取得了显著的成功；由于固体物理学的理论和测试方法（如核磁共振谱、电子顺磁共振谱、红外吸收光谱、晶体场光谱、穆斯堡尔谱等）引进了矿物学，通过研究矿物晶体中原子、原子核以及电子的结构和精细结构来阐明矿物的形成条件、标型特征和物理性质等也已获得了良好的效果，从而为古老的矿物学开辟了广阔的前景；另外，实验矿物学的研究、陨石和月岩中矿物的研究也都获得了许多新的成果。所以说，今天的矿物学无论从深度和广度上都达到了一个前所未有的新阶段。

当前，矿物学的主要任务，就是要在不断总结生产实践的基础上，运用近代科学技术的新成就，更深入系统地研究矿物的化学成分、晶体结构、几何形态、物理性质、形成条件以及这些方面相互之间的内在联系，进一步发掘矿物的新用途，揭示矿物在地壳中的分布规律和形成变化历史，并与其它地质学科相配合，为解决当前地质学中一些带有关键性的重大问题，提供必要的理论依据。

我国矿物学的研究有着悠久的历史。但在解放前的旧中国，由于长期处于封建制度的统治下，又加上近百年来帝国主义和官僚资本主义的压榨、剥削，阻碍了生产力的发展。矿物学与其它学科一样，长期处于停滞状态。解放以来，在毛主席革命路线指引下，通过全国规模的地质工作，在矿物学的基础理论方面——基础矿物学、晶体结构、矿物物理、矿物化学、成因矿物以及“合成矿物”和“陨石矿物”的研究，都取得了很丰富的成果，并在一些方面接近了世界先进水平。在此期间，还先后发现了二十余种新矿物，并进行了系统深入的研究，进一步丰富了我国矿物学的内容。在实验技术方面，除建立了一批基础实验室外，一些近代先进的实验技术已经和正在有关的生产、研究部门及高等院校建立起来，且已初具成效。当前，在以华国锋主席为首的党中央英明领导下，我国的科学事业已出现了新的跃进局面，矿物学的研究必将阔步前进，为祖国社会主义建设发挥更大的作用。

# 第一篇 几何结晶学基础

## 第一章 晶体和非晶质体的基本概念

自然界的矿物，绝大部分都是晶体，作为晶体，它都有着自己的一些特性和规律。了解并掌握晶体的特性和规律，是学习矿物学必需的基础。为此，对什么是晶体，物质的原子、离子或分子等遵循什么规律构成晶体，以及晶体为什么能自发地形成规则几何多面体等等，这一系列问题，在这一章里将作出扼要的介绍。

### 一、晶体的基本概念

#### 1. 晶体的定义

对于晶体，人们所常见而熟悉的例子，有水晶、石盐（图 1-1）以及白糖等等。在未

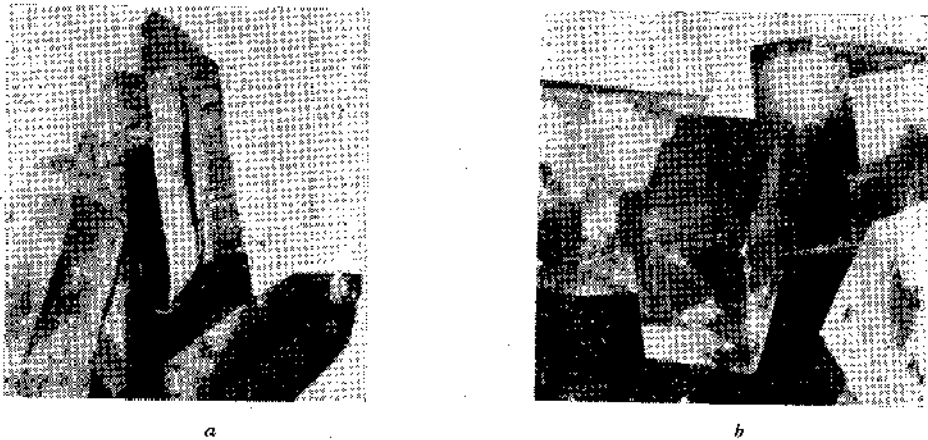


图 1-1 石英(a)和石盐(b)的晶体

作深入了解之前，一般都认为：只要是晶体，都一定是具有规则几何多面体形状的固体。然而，对晶体的这种认识，并没有抓住它最本质的特点。因为作为晶体，规则的几何外形并不是它的必要条件。例如盐湖中产出的石盐( $\text{NaCl}$ )，有立方体形态的晶体，也有任意形态的颗粒，它们两者之间，除有形态上的差异外，所有其它一切性质，都是完全一样的。比如受力后，它们都会沿着三个互相垂直的方向发生破裂；其它如比重、硬度等方面的性质，也都完全相同。而且，通过实践证明，如果将任意形态的石盐颗粒，放入  $\text{NaCl}$  的过饱和溶液中，让它有充分的空间去生长，最终也同样能长成立方体的形态。由此可见，多面体形态并不能体现晶体的实质，它只是晶体内部某种本质因素所具有的规律性在外表面上的一种反映。

有关晶体本质的探讨持续了几个世纪，直到本世纪初(1912年)用 X 射线对晶体结构

进行研究后，才真正把它弄清了。原来，在一切晶体中，组成它们的物质之质点(原子、离子或分子)在空间都是按格子构造的规律来分布的。例如在石盐晶体中就可明显地看出这种规律性。

图 1-2 a 为石盐的晶体结构图，1-2 b 是在其结构中割取的一个能代表整个结构规律的最小单位(晶胞)。在图中，大球代表氯离子( $\text{Cl}^-$ )，小球代表钠离子( $\text{Na}^+$ )。可以看出，这些离子在空间的不同方向上，各自都是按着一定的间隔重复出现的。例如沿着立方体的三个棱边方向， $\text{Na}^+$ 与 $\text{Cl}^-$ 各自都是每隔  $5.628 \text{ \AA}$  ( $1 \text{ \AA} = 10^{-7} \text{ mm}$ ) 的距离重复一次。而沿着对角线方向，则各自都是每隔  $3.978 \text{ \AA}$  重复一次。在其它方向上，情况也都类似，只不过各自重复的间隔大小不同罢了。如果用不同的符号，例如用点与圈分别代表  $\text{Na}^+$  与  $\text{Cl}^-$  的中心点，并用直线将它们连接起来，那末，显然可以得出一个格子状的图形来。图 1-2 c 就是这个图形中的一个最小单位(结晶格子)。实践证明，不论外部形态是否规则，所有的石盐，它们结构中的质点都是作这样的立方格子状排列的，石盐之所以能够成为立方体的规则外形，正是受这种格子构造规律性所制约的必然结果。

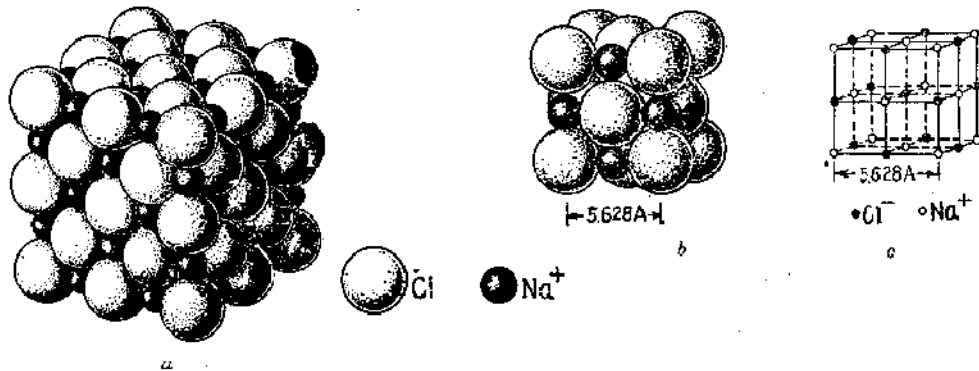


图 1-2 石盐的晶体结构

经过大量工作，目前已经弄清了数以万计的不同种类的晶体结构，尽管各种晶体的结构互不相同，但都具有格子构造这一点则是共同的，因此，我们可以得出一个简明的结论：晶体是内部质点在三维空间呈周期重复排列的固体。或者概括地说：晶体是具有格子构造的固体。

但需要指出的是，由于晶胞的大小跟实际晶体相比，是一个很小的数值，例如，在  $1 \text{ mm}^3$  的石盐晶体中，就包含有大约  $10^{18} - 10^{19}$  个晶胞，因此，可以把晶体的格子构造近似地看成是向三维空间作无限延伸的，这样，跟下面即将谈到的空间格子的无限图形就相对地取得一致了。

## 2. 晶体的空间格子构造规律

### (1) 空间格子

既然一切晶体都有着格子构造，那么，各种晶体的格子构造是否都一样呢？各种晶体的格子之间有没有共同规律可循呢？为了搞清这些问题，我们仍以石盐为例，对它结构中质点的排列作一详细分析。

在石盐晶体结构中，每一  $\text{Cl}^-$  中心点的前后、左右、上下都是  $\text{Na}^+$ ，每一  $\text{Na}^+$  中心点的前后、左右、上下则都是  $\text{Cl}^-$ ，这就是说，所有  $\text{Cl}^-$  中心点周围的物质环境(周围质点的种

类)和几何环境(周围质点分布的方位、距离)都是相同的;所有  $\text{Na}^+$  中心点也是如此。晶体结构中物质环境和几何环境完全相同的点,属于一类等同点(或称相当点)。因此,食盐晶体结构中,所有  $\text{Na}^+$  中心点属于一类等同点,所有  $\text{Cl}^-$  中心点属于另一类等同点(其实,等同点所在位置,并不限于这些质点的中心,就是结构中其它任何位置上的点,也都同样能引出一类等同点的)。如果对各类等同点在空间的分布规律进行考察,便可得出,每类等同点都是构成如图 1-3 所示的图形。也就是说,当  $\text{Na}^+$  与  $\text{Cl}^-$  化合组成食盐晶体时,不论是  $\text{Na}^+$  还是  $\text{Cl}^-$ , 它们各自都是按照这个图形所限定的规律来进行排列的。由于图 1-3 只是从具体的晶体结构中所抽象出来的一个纯粹的几何图形,所以,其中的点也只是一个纯粹的几何点,这种点,称之为结点。由结点在三维空间排列成的无限图形,叫做空间格子。因此,所谓晶体的格子构造,更确切地说,就是指晶体结构中的等同点所构成的空间格子构造。

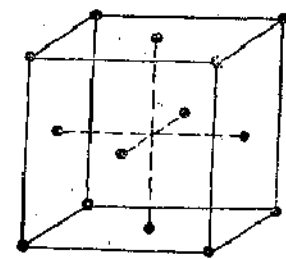
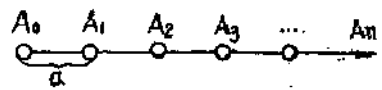


图 1-3 食盐晶体结构的空間格子

综上所述,可见空间格子虽然是一个抽象的几何图形,但却是不能脱离开具体的晶体结构而单独存在的。

(2) 空间格子的特点

由于空间格子概括地表明了晶体结构中等同点的排列规律,因此,了解空间格子所具有的特点,对于阐释晶体的共同性质是非常必要的。空间格子的特点,可以概括于下:



$A_0, A_1, A_2, \dots$  为结点  
 $a$  为结点间距

图 1-4 行列

空间格子中,由结点组成的直线,称为行列(图 1-4),显然,任意两个结点就能决定一条行列。每一行列各自都有一最小重复周期,它等于行列上两个相邻结点间的距离,称为结点间距。在一个空间格子中,可有无数不同方向的行列,但平行的行列上,结点间距相等,不平行的行列,其结点间距一般不等。

连接空间格子中分布在同一平面内的结点,即构成面网,显然,任意两条适当的行列相交,就可决定一个面网(图 1-5)。在一个空间格子中,可有无数不同方向的面网,但相互平行的面网,其单位面积内的结点数(简称面网密度)相等,而且任意两个相邻面网的垂直距离(面网间距)也相等。不相平行的面网,其面网密度及面网间距一般都不相等。而且,面网密度大的,其面网间距也大,反之,面网密度

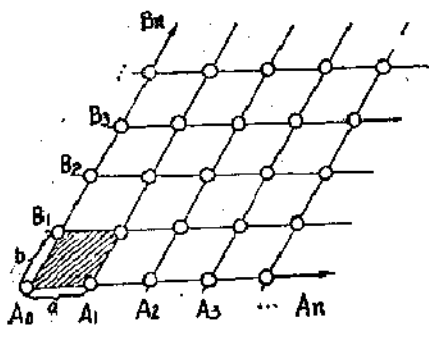


图 1-5 面网

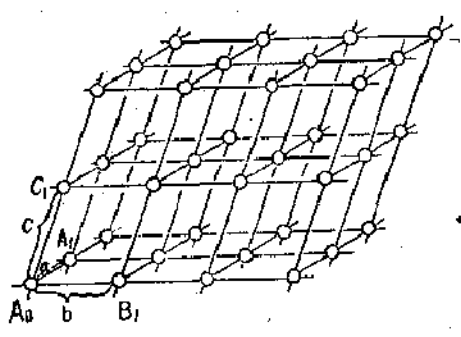


图 1-6 空間格子

小的，面网间距也小。

最后，连接分布在三维空间内的结点，就构成了空间格子(图 1-6)，显然，由三条不共面的行列就可决定一个空间格子。此时，空间格子本身将被这三组相交的行列划分成一系列平行透置的平行六面体，结点就分布在它们的角顶上，每一平行六面体的三个棱长，恰好就是三条相应行列上的结点间距。这样的平行六面体是空间格子的最小单位，所以也称为单位平行六面体。

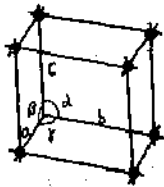


图 1-7 由格子常数决定的单位平行六面体形状

(3) 十四种空间格子

各个空间格子之间的相互区别，是由它们的单位平行六面体的形状和结点的分布位置来决定的。而单位平行六面体的形状，则是由它的三个棱长  $a, b, c$  及其夹角  $\alpha, \beta, \gamma$  来决定的(图 1-7)。 $a, b, c, \alpha, \beta, \gamma$  称为格子常数，经数学推导，格子常数关系只有如下七种，它们分别与图 1-8 中的各种格子对应：

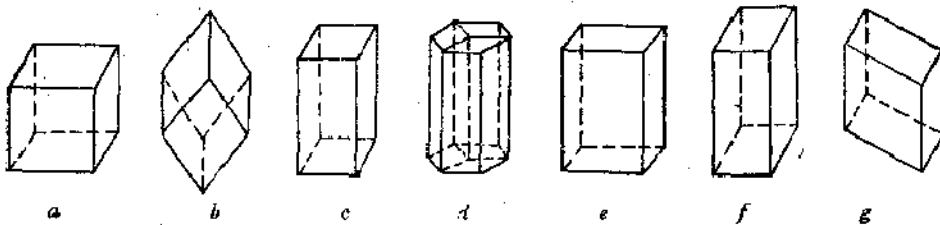


图 1-8 单位空间格子的形状

- a. 立方格子:  $a=b=c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
- b. 三方格子:  $a=b=c, \alpha=\beta=\gamma \neq 90^\circ$
- c. 正方格子:  $a=b \neq c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
- d. 六方格子:  $a=b \neq c, \alpha=\beta=90^\circ, \gamma=120^\circ$
- e. 斜方格子:  $a \neq b \neq c, \alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
- f. 单斜格子:  $a \neq b \neq c, \alpha=\gamma=90^\circ, \beta \neq 90^\circ$
- g. 三斜格子:  $a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$

在上列七种格子中，按结点分布位置的不同，又有以下四种型式：

原始格子(代表符号为 P)：结点只分布在格子的各个角顶，如图 1-9 a。

底心格子(代表符号为 C)：除各角顶上的结点外，还在顶、底的中心处，各有一个结

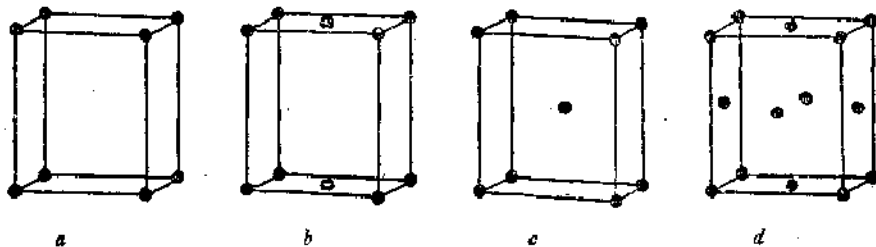


图 1-9 空间格子中结点分布的四种型式

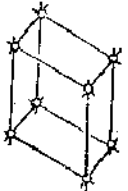
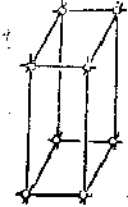
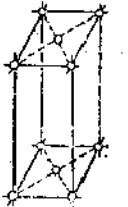
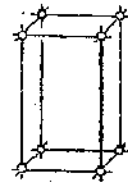
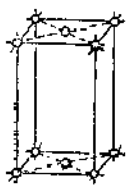
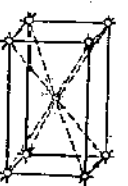
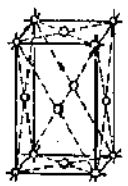

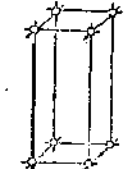
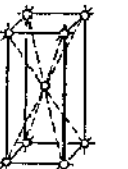

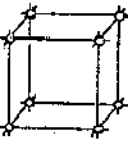
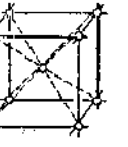
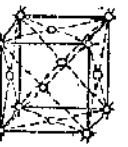
晶系 格子类型	原始 (P)	底心 (C)	体心 (I)	面心 (F)
三斜		C=P	I=P	F=P
单斜			I=C	F=C
斜方				
三方		—	I=P	F=P
正方		C=P		F=I
六方	—		—	—
等轴		—		

图 1-10 十四种空间格子

点,如图 1-9 b。

体心格子(代表符号为 I):除各个角顶上的结点外,还在体中心处有一个结点,如图 1-9 c。

面心格子(代表符号为 F):除各角顶上的结点外,在每个面的中心处各有一个结点,如图 1-9 d。

将空间格子的形状和结点分布位置一併考虑后,去掉几何形状上重复的,只能得出如图 1-10 的十四种型式的空间格子。

这就是说,尽管不同种类的晶体,由于各自结构中质点的种类和各类质点的重复周期都不相同,从而构成了千千万万、互不相同的晶体结构,但就结构中各类等同点在空间的排列方式来说,则只可能有这十四种。

### 3. 晶体的基本性质

由于晶体都遵循着空间格子构造规律,因此,必然导致所有晶体都具有以下性质:

(1) 在适宜条件下,只要生长过程中有充分的空间,那末,一切晶体都能自发地形成规则几何多面体的形态,这就是晶体的自范性或自限性;

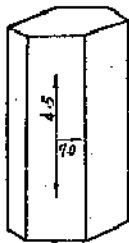


图 1-11 兰晶石的硬度随方向不同而异

(2) 由于周期重复规律,晶体中的任何一部分,在结构上都是相同的,因而由结构所决定的一切性质也都是是一样的。就是说,不论从晶体上哪个部位割取的部分,它们的各种性质都是一样的,这就是晶体的均一性;

(3) 由于晶体格子中,不同方向上质点排列的性质不同,因而反映在晶体的各项性质上也会随方向不同而异,这就是晶体的各向异性,如兰晶石在不同的方向上有不同的硬度,就是一例(图 1-11);

(4) 虽然总的说来,在晶体格子中,不同方向上质点的排列情况不同,但并不排斥在某些特定方向上质点的排列具有相同的规律(这从格子常数上就能明显体现出来),因此,晶体结构中这种相同性的规律重复,以及由此而导致的、在晶体形态及各项性质上相等部分的规律重复,就构成了晶体的对称性(详见第二章);

(5) 由于晶体中质点都成规律排列而处于平衡位置,内能最小,因此,相对于同种物质的不同物态来说,它是最稳定的,这就是晶体的稳定性。

## 二、非晶质体的基本概念

非晶质体与晶质体是有本质区别的。虽然非晶质体也呈固态存在,但组成它的质点不是作规则排列而是作杂乱无章分布的。因此,非晶质体在任何条件下都不可能自发地形成规则几何多面体外形。在非晶质体的各个部分之间,也仅只在统计意义上是均一的,因而在不同方向上的性质都是相同的。所以,非晶质体在外形上都是一种无定形的固体,在各种性质上则是统计上均一的各向同性体。如玻璃、琥珀及许多胶体矿物,都是非晶质体。

在自然界,晶体和非晶质体之间,在一定条件下是可以互相转化的,例如一些含放射性元素的晶质矿物,由于放射性蜕变过程中释出能量的影响,可使原来晶格遭受破坏,造成这些矿物的非晶质化;此外,风化作用也可使原来结晶的矿物在结构和成分上发生变化,转变为胶体矿物,象黄铁矿受风化后转变为胶态褐铁矿,就是常见的例子。另一方面,

一些胶体矿物在漫长的地质年代中，能逐渐失去水分，并使内部质点进行缓慢的调整而趋向规则排列，从而使本身由非晶态向晶态转变，最终成为所谓的变胶体矿物。

### 三、晶体生长的一般规律

前面已经谈到，与同一物质的其他状态相比较，晶体是具有最小内能（包括质点的动能和位能）的物体。只有在服从这个总规律的前提下，晶体才能实现其生长。

为了了解晶体生长的规律，下面先就晶体生长的过程作一概略介绍。

#### 1. 晶体的生长过程

晶体的产生，计有从气体、液体和固体中晶出等三种方式。在这三种方式中，就其规模来说，以液体方式最为重要。以下着重叙述在理想条件下晶体在液体中的生长问题。

作为第一步，液体首先要达到过饱和或过冷却状态，从而促使原来作无序运动的溶质“分子”按空间格子的规律集聚成大小约为几个或几十个“分子”的晶粒，即晶核。

其次，是晶体围绕晶核的生长过程。这个过程梗概，可用图 1-12 所示的情况来说明：

设图 1-12 为一个正在生长中的具有简单立方晶格的晶核。当晶体围绕这一晶核生长时，介质中质点贴附到晶核表面上去，可以有不同的位置——例如有三面凹角(A)、二面凹角(B)和一般位置(C)。从图可以看出，A、B、C 三处分别受着三个、两个和一个最邻近质点的吸引，致使各处所受引力大小不等。

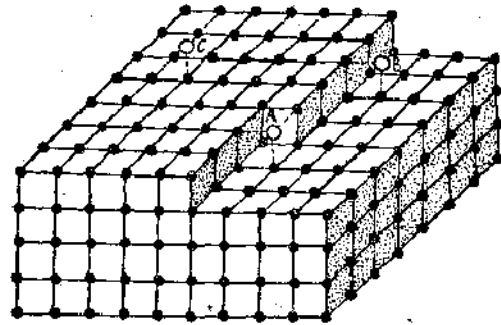


图 1-12 关于晶体成长的图解

由于质点去填补上述各凹面角时，应释放出与各该处引力相适应的能量，以取得“定居”下来的稳定能。显然，质点取得稳定能最大的地方是三面凹角的位置(A)，故质点优先进入这个位置。但质点进入这一位置后，三面凹角并不因此消失，而只是前进了一个位置，如此逐步前移，一直到整个行列都被占据后，三面凹角方始消失。此时质点将进入一个二面凹角位置(B)。一旦质点进入二面凹角后，将立即导致三面凹角的再次出现，这样，必然重复上述程序，一直到该行列又全被占据后，三面凹角才再次消失。如此一个行列、一个行列地反复不已，直到下层晶面被新构成的晶面覆盖完为止。此时，如再生长一个晶面，质点将只能进入一个任意的一般位置(C)。一旦质点在这个位置上定居下来，立即又会出现二面凹角，接着便是三面凹角；于是新的晶面便又在这个基础上开始发育起来。

综上所述，晶体的生长，基本上就是凭借晶面逐层向外平行推移来得到实现的。

但是，必须指出的是，以上的讨论是在一个大大简化了的模式上展开的，实际情况要比这复杂得多。譬如就填补凹角的质点来说，它本身就不见得是一个单一的实体，而常常是一些大小不等的晶块，而且它们对晶核晶格的取向也不一定是严格平行的。但从宏观概念来说，细微的偏差是可以忽略不计的。所以，上面得出的关于晶体生长过程的规律，在一定程度上仍然是普遍适用的。

## 2. 晶面生长速度和布拉维法则

从上述晶体的生长过程得知，晶面是向外平行推移的。单位时间内晶面沿其法线方向向外推移的距离，称为晶面生长速度。

晶面生长速度对控制晶体的最后形态，有着极大的影响。

今设图 1-13 是一个正在生长中的某晶体的任意切面。与此切面垂直的三个晶面和该面相交的迹线为  $AB$ 、 $CD$  和  $BC$ ，其相应的面网密度是  $D_{AB} > D_{CD} > D_{BC}$ ；相应的面网间距  $d_{AB} > d_{CD} > d_{BC}$ 。按引力与距离的平方成反比的关系，由图可以看出：1 处所受的引力最大，2 处次之，3 处最小。因此，当晶面  $AB$ 、 $CD$  和  $BC$  生长时，质点将优先进入 1 的位置，其次是 2，最后才是 3。即  $BC$  晶面将优先成长， $CD$  次之， $AB$  则落在后面。这个结论意味着：面网密度小的晶面生长速度大，面网密度大的晶面生长速度小。如果将图 1-13 中各晶面生长的全过程，按它们各自的生长速度作图，即构成如图 1-14 所示的图形，在这里，面网密度小的晶面  $BC$ ，随着生长的继续，它的面积将愈来愈小，最后被面网密度大、生长速度小的相邻晶面所遮没，即面网密度小的晶面在生长过程中被淘汰了，而面网密度大的却保留了下来，致使实际晶体往往为一些面网密度较大的晶面所包围。这就是所谓的布拉维法则。

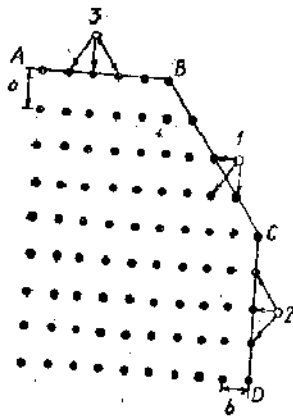


图 1-13 布拉维法则图解(一)

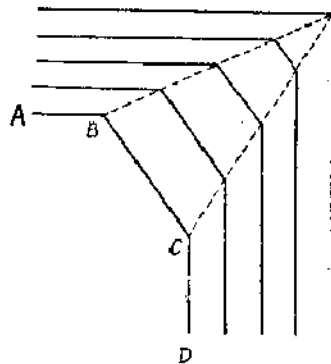


图 1-14 布拉维法则图解(二)

用布拉维法则来解释同一种类的不同晶体，为什么在大晶体上的晶面数目少而且简单，小晶体上的晶面数目多而且复杂，是令人信服的。但也必须指出，只着眼于空间格子对晶面生长速度的作用，而忽视外界环境对它的影响是不够全面的(参看第七章)。不过，就总的定性的趋向来讲，布拉维法则仍然是有意义的。

## 3. 面角守恒定律

根据布拉维法则，晶体上的晶面总是为数有限的，并且都是面网密度较大的晶面。对于同一种晶体来说，面网密度较大的一些晶面，将在不同个体上经常出现。在理想条件下，每个个体上相同性质的晶面，其生长速度相同，因而必然会呈现大小相同的几何形状。但是理想的条件是很难达到的。因为晶体在生长过程中，总是不可避免地要受到外界环境这样或那样因素的干扰，致使同种晶体的各个个体上相同性质的晶面，程度不等地偏离了它们在理想条件下生长时应有的形状，从而导致形成所谓的“歪晶”。图 1-15 的明矾晶体，就是这样的例子。图中， $a$  呈理想形， $b$ 、 $c$  则都呈歪形。在这些外形迥异的同种晶体

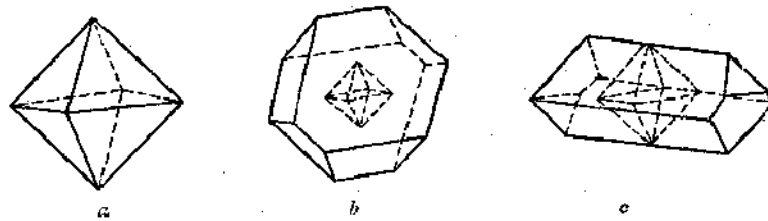
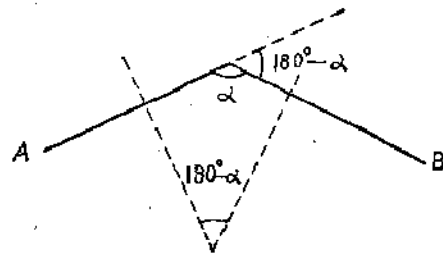


图 1-15 不同外形的明矾晶体  
a—理想形 b、c—歪形

之间，有没有共同点存在呢？

通过大量晶体观测的结果，从中总结出了一条规律，即：成分、结构相同的所有晶体，其对应晶面之间的夹角\*恒等。这就是所谓的面角守恒定律。例如上述明矾晶体各对应的相邻二晶面间的夹角都是  $70^{\circ}31\frac{3'}{4}$ 。关于面角守恒定律的实质，在对晶体的格子构造有了认识的基础上是不难理解的。

\* 所谓晶面夹角，如右图所示，本来应该是指晶面 A 和 B 之间的内角  $\alpha$ ，但习惯上都采用外角，因为晶面所夹外角，与晶面法线间的夹角正好相等，而用反射测角仪测得的实际上就是晶面法线间的夹角，同时在晶体投影时也是用晶面法线方向来代表晶面的。所以为了方便起见，习惯上都采用外角亦即相当于晶面法线间的夹角。



示晶面夹角

## 第二章 晶体的对称

对称性是晶体的基本性质之一，它是由晶体格子构造的规律所决定的。晶体结构的对称性必然会在晶体的各项外部现象例如晶体的几何多面体形态、晶面上的各种附生现象以及晶体的各项物理、化学性质上反映出来，因此，研究晶体的对称性对于认识晶体的各种属性，有着重要的意义。

本章涉及的内容，只限于晶体外部性质（主要是外表形态）上的对称，即晶体的宏观对称。

### 一、对称的概念和晶体的对称性

在自然界和日常生活中，对称现象是广泛存在的，如象蝴蝶、花瓣、许多建筑物以及工艺品等等，它们所具有的形态或图形，都是具有对称性的(图 2-1)。

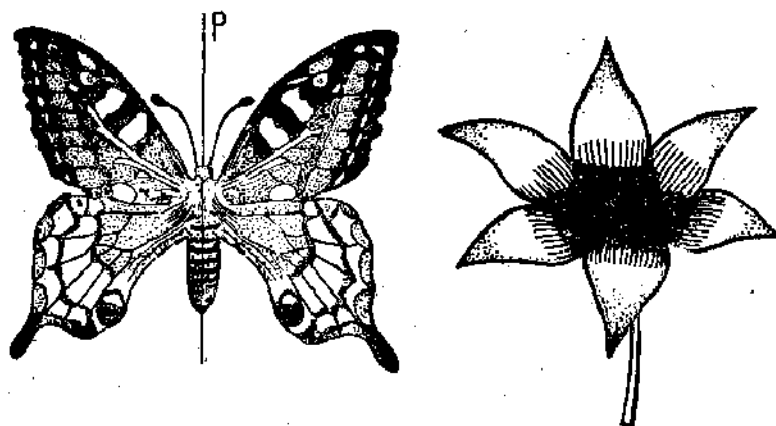


图 2-1 蝴蝶及花瓣的对称

这些形态或图形之所以具有对称性，一是因为它们各自都有两个或两个以上的相等部分；二是这些相等部分在凭借某种几何要素（点、线、面）的操作后，彼此能完全重合。例如蝴蝶，可以通过一个镜面（图 2-1 中的  $P$ ）的反映，使它两相等部分重合；花朵的各瓣，可以沿着过花芯的轴线，将花朵旋转一定角度(图上为  $60^\circ$ )而重合。

由此可知，所谓对称，就是指物体相等部分作有规律的重复。

一切晶体都是对称的。与其它生物或物体比较，晶体的对称有着更为深刻的涵义。因为一般生物或物体的对称，只表现在外形上，而且它们的对称可以是任意的。而晶体的对称则是由它内部格子构造所决定的。根据晶体格子构造的规律，尽管在不同的方向上，质点排列的性质一般是不相同的，从而决定了晶体的各向异性；但从七种基本形态的格子(图 1-8)中，又可清楚看出，在不同的特定方向上，还是可以出现质点作相同性质的排列的，因而在这些方向上，晶体不仅可以出现相等的晶面、晶棱或角顶，同时还可以出现相同的物理、化学性质。这就使得晶体的对称性不仅表现在外部形态上，而且还表现在各项物理、