

高等学校教学用书

钢铁冶金岩相矿相学

冶金工业出版社

56.82
234

高等学校教学用书

钢铁冶金岩相矿相学

北京钢铁学院 任允芙 主编

冶金工业出版社

高等学校教学用书
钢铁冶金岩相矿相学
北京钢铁学院 任允芙 主编

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 16 1/4 字数 382 千字

1982年6月第一版 1982年6月第一次印刷

印数00,001~3,500册

统一书号: 15062·3846 定价1.80元

前 言

本书系根据1978年冶金部高等院校教材会议制订的钢铁冶金专业教学计划及《钢铁冶金岩相矿相学》教材编写大纲编写的。本书较系统地阐述了晶体光学的基本理论和研究方法以及常见工艺矿物在显微镜下鉴定的基本原理与其光学性质观察测定的方法，论述了矿石原料及其冶金产品的质量（或冶金性能）与其矿物组成、含量、显微结构及工艺条件之间的相互关系，探讨了提高冶金产品质量（或冶金性能）的有效途径。

工艺矿物各论部份，由于篇幅所限，仅重点描述常见工艺矿物的光学性质等，读者可根据专业的需要，重点选用。

本书可作为钢铁冶金及团矿等专业的教材，也可供有关研究与生产单位的冶金工作者参考。

本书第一章至十四章以及十七章由北京钢铁学院任允芙编写，第十五、十六章由赵万智编写。初稿完成后由主编单位北京钢铁学院组织召开了有关院校参加的审稿会议，与会同志对初稿进行了详细而认真的讨论，并提出了许多宝贵意见；在编写过程中邓常忍、周取定、吴炳肃等同志给予支持与协助，在此一并表示衷心感谢。最后，全书由主编任允芙定稿。

由于编者水平及时间所限，书中错误或不妥之处在所难免，恳切希望读者多提宝贵意见。

编 者

1981年元月

37092

绪 言

一、本课程的研究对象和意义

《钢铁冶金岩相矿相学》是应用晶体光学的基本原理，在偏光和反光显微镜下研究鉴定冶金工艺岩石（冶金炉渣及耐火材料等）和工艺矿石（人造富矿等）中的矿物组成、晶粒大小、含量、分布及显微结构与其质量（或冶金性能）和工艺条件之间的相互关系的一门学科。

当前，在四个现代化建设中，随着钢铁工业的不断发展，人们应用岩相、矿相学的研究方法，开展了对冶金产品中的矿物组成及显微结构特征的研究，为提高冶金产品的质量（或冶金性能）以及对有关冶金产品的综合利用，提出了有效工艺措施的理论依据。近年来，在钢铁工业生产实践中已证实了开展《钢铁冶金岩相矿相学》研究工作的重要性，并取得了显著的效果，对促进钢铁工业的发展起到了重要的作用。因此，这门新兴的学科在当前钢铁冶金各个领域中都得到了广泛地应用和重视，冶金科技工作者必须学习和掌握这门新兴学科的基本理论和试验技能。

二、本课程的基本要求

通过本课程的学习，要求掌握晶体光学的基本原理并学会在显微镜下研究鉴定矿物的方法；能应用显微镜研究鉴定人造富矿、冶金炉渣及耐火材料等的矿物组成、晶粒大小、含量及显微结构等特征；能分析冶金产品中的矿物组成、结构特征等与其质量（或冶金性能）以及工艺条件和原料条件之间的相互依存关系，为提高冶金产品质量和有关产品的综合利用，提出有效措施的论依据。

三、本课程的内容及与其它科学的关系

根据本课程的学习目的及要求，《钢铁冶金岩相矿相学》主要包括三个基本内容：

1. 显微镜鉴定技术 主要阐述在显微镜下研究鉴定矿物的基本原理和观察测定矿物光学性质的方法，是开展《钢铁冶金岩相矿相学》研究的重要基础。

2. 工艺矿物各论 应用显微镜鉴定矿物的基本理论和方法，阐述在偏光及反光显微镜下研究鉴定工艺岩石及矿石中不同矿物的光学性质及其生成条件等特征。

3. 分析研究工艺岩石及矿石中矿物组成、显微结构等特征与其质量（或冶金性能）和工艺条件之间的相互关系，提出影响质量或冶金性能的理论依据。

为达到上述要求，在学习本课程之前，除应有一般的物理学、无机化学以及物理化学的基础知识之外，还必须具有一定的钢铁冶金工艺知识。

目 录

第一篇 显微镜鉴定技术

第一章 结晶学基础	1
第一节 晶体的基础知识	1
第二节 晶体的发生与成长	6
第三节 晶体的对称和分类	9
第四节 晶体的理想形态	12
第五节 晶体定向及晶面符号	14
第六节 类质同象、固溶体及同质多象	17
第二章 晶体光学基础	21
第一节 自然光和偏光	21
第二节 光的折射和折射率	21
第三节 光波在均质体和非均质体中的传播特点	22
第四节 光率体	23
第五节 光率体在晶体中的位置——光性方位	29
第三章 显微镜及光、薄片的磨制	30
第一节 偏光显微镜（岩相显微镜）	30
第二节 反光显微镜（矿相显微镜）	36
第三节 光片及薄片的磨制	41
第四章 透明矿物的岩相显微镜鉴定	42
第一节 单偏光镜下的晶体光学性质	42
第二节 正交偏光镜下的晶体光学性质	48
第三节 锥光镜下的晶体光学性质	61
第四节 透明矿物薄片的系统鉴定	79
第五节 油浸法概述	81
第五章 不透明矿物的矿相显微镜鉴定	87
第一节 矿物的反射力	87
第二节 反射色和内反射色	94
第三节 双反射和反射多色性	96
第四节 偏光性质	98
第五节 硬度	100
第六节 光片的浸蚀鉴定	102
第六章 矿物的颗粒大小及含量的测定	105
第七章 单矿物的分离及其它研究方法概述	109
第一节 单矿物的分离	109
第二节 其它研究矿物的方法概述	114

第二篇 工艺矿物各论

第八章 均质工艺矿物	119
氟硅钾石(119) 萤石(119) 白榴石(120) 尖晶石(121) 磁铁矿(122) 铬铁矿(122) 铁酸镁(镁铁矿)(123) 方镁石(123) 铁铝榴石(124) 钙铝榴石(124) 钙铁榴石(125) 石灰(125) 褐硫钙石(125) 方锰矿(125) 硫化镁(126) 钙钛矿(126) 氮化钛(126) 碳化钛(126) 方铁矿(富氏体)(126) 铁(127) 硫锰矿(127) 磁赤铁矿(127) 褐铁矿(128)	
第九章 一轴晶工艺矿物	128
霞石(128) 钾霞石(129) 石英(130) 鳞石英(130) 方石英(131) 氢氧钙石(131) 磷灰石(131) 镁黄长石(133) 铝黄长石(134) 方解石(135) 白云石(136) 菱镁矿(136) 菱铁矿(137) 硅酸三钙(137) 六铝酸钙(137) 刚玉(138) β -氧化铝(139) γ -氧化铝(139) 赤铁矿(139) 钛铁矿(139) 石墨(140) 锆石(140) 铁酸钙(140) 金红石(141) 锐钛矿(141) 氧化铬(绿铬矿)(142) 三氧化二钛(142) 硅碳石(碳化硅)(142) 硫化铁(硫铁矿)(143) 铈钙硅石(143)	
第十章 二轴晶工艺矿物	143
正长石(144) 微斜长石(145) 钠长石(146) 钙长石(146) 堇青石(147) 枪晶石(147) 硅灰石(148) 假硅灰石(148) 硅钙石(149) 莫来石(149) 二铝酸钙(150) 铝酸一钙(150) 顽辉石(150) 紫苏辉石(151) 斜顽辉石(152) 透辉石(152) 钙铁辉石(153) 普通辉石(154) 钛辉石(154) 蔷薇辉石(155) 镁蔷薇辉石(镁硅钙石)(155) β -硅酸二钙(156) γ -硅酸二钙(157) 镁橄榄石(157) 橄榄石(158) 铁橄榄石(159) 锰橄榄石(160) 钙镁橄榄石(160) 碳化钙(电石)(161) 铁铝酸四钙(161) 铁酸二钙(161) 安诺石(黑钛石)(162)	

第三篇 人造富矿

第十一章 人造富矿的铁矿石原料	164
第一节 内生铁矿床及其矿石性质	164
第二节 外生铁矿床及其矿石性质	167
第三节 变质——沉积变质铁矿床及其矿石性质	169
第十二章 烧结矿	169
第一节 烧结矿中各种矿物的形成	169
第二节 烧结矿的矿物组成及其显微结构类型	179
第三节 不同类型铁矿粉烧结矿的矿物组成及其显微结构特征	180
第四节 烧结矿的矿物组成和显微结构对其质量的影响	189
第五节 提高烧结矿质量的研究	193
第六节 烧结矿在还原过程中矿物组成的变化及其对还原强度的影响	202
第十三章 球团矿	203
第一节 球团矿的矿物组成	203
第二节 磁铁矿精矿粉焙烧球团矿	203
第三节 赤铁矿精矿粉焙烧球团矿	207
第四节 球团矿的矿物组成和显微结构对其冶金性质的影响	210
第五节 球团矿在还原过程中铁氧化物的相转变和膨胀	212

第四篇 炉渣和耐火材料

第十四章 高炉渣	216
----------------	-----

第一节	碱性高炉渣	216
第二节	酸性高炉渣	217
第三节	高钛高炉渣	218
第四节	高硫高炉渣	220
第五节	高炉锰铁渣	220
第六节	含氟高炉渣	221
第七节	高氧化铝高炉渣	221
第八节	高炉渣中矿物组成对炉渣物理性质的影响	221
第九节	高炉炉瘤的矿物组成及其成因的初步分析	222
第十五章	炼钢炉渣	223
第一节	转炉渣	223
第二节	平炉渣	226
第三节	电炉渣	229
第十六章	耐火材料	229
第十七章	钢中非金属夹杂物的岩相矿相鉴定	235
主要参考书		238
附图片		239

第一篇 显微镜鉴定技术

第一章 结晶学基础

结晶学是研究晶体的外部形态、内部构造，晶体的发生、成长及其物理性质的科学。本章主要阐述矿物晶体的外部形态和内部构造的一般规律以及晶体的基本特性。

第一节 晶体的基础知识

一、晶体的概念

自然界中很多种天然矿物和人工合成矿物都呈现一定的几何多面体外形，如石盐的立方体、磁铁矿的八面体晶体以及石英和磷灰石的晶体等（图1-1）。

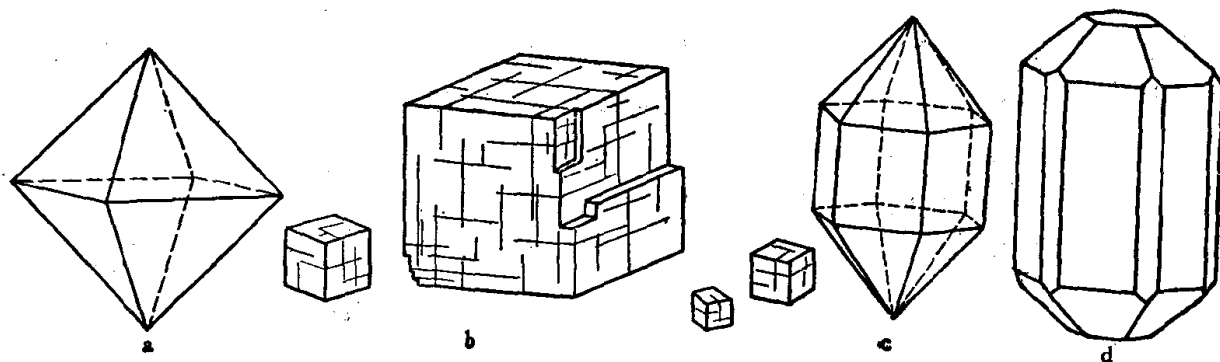


图 1-1 晶体的外形

a—磁铁矿，b—石盐，c—石英，d—磷灰石

矿物晶体表面被天然生成的平面所包围，并呈现一定的几何多面体形态。晶体的各种多面体形态，并非人工磨成，而是在自然界、实验室或工业生产中自然形成的。晶体表面上的平面称为晶面。晶面相交形成的直线称为晶棱。晶棱相交的点称为隅角顶点（简称角顶）。晶面、晶棱和角顶的总称为晶体的界限要素。这些要素之间在数目上存在着一定的规律（双晶及不完整晶体除外），即晶面数+角顶数=晶棱数+2，称为艾列尔定律。如石盐晶体是 $6+8=12+2$ ；磁铁矿晶体是 $8+6=12+2$ ；石英晶体是 $18+14=30+2$ 。由此可见，晶体所具有的晶面、晶棱和角顶是它表现在外形上的规律性。

自从人们利用X射线研究晶体成功以来，又加深了对晶体的认识，发现晶体的多面体外形是晶体内部的质点（离子、原子、分子等）呈有规律排列的结果。人们第一个实际测定的晶体构造是NaCl，如图1-2所示。

由代表 Cl^- 离子的大球和代表 Na^+ 离子的小球所堆成的小立方体，仅是石盐内部构造中极小的一部分。据X射线分析的结果，在一立方毫米的石盐晶体中，上述小立方体的数目有 10^{18} 个。在这些小立方体中质点的排列方式都是完全一样的。由于质点之间的距离很

小,故常用单位 $\text{\AA}$ 来衡量($\text{\AA}$ 读埃, $1\text{\AA}=10^{-7}$ 毫米)。石盐中 Na^+ 与 Cl^- 的距离均为 $2.814\text{\AA}$,而 Na^+ 与 Na^+ 的距离均为 $6.628\text{\AA}$ 。因此,石盐晶体的内部构造可看作是相当点(Na^+ 或 Cl^-)在三度空间作周期性有规律重复的几何图形。相当点重复的最短距离为 $5.628\text{\AA}$ 。实验证明,所有的石盐或人工制备的 NaCl ,不论外形是否规则,它们的内部质点都按上述相同的规律排列成立方体状的格子构造。石盐晶体的立方体外形,是由它的内部格子构造所决定的。

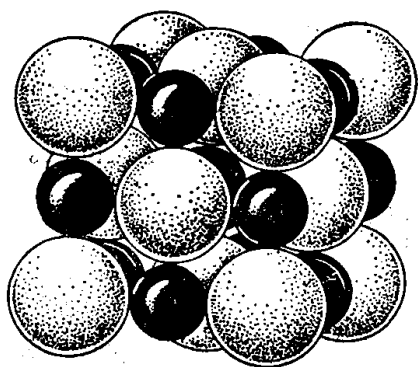


图 1-2 石盐晶体的内部构造

对于任何一种晶体而言,情况也是完全类同,不论外形是否规则,它们的内部质点在三度空间都是作周期性有规律的重复排列。所以格子构造是一切晶体所共有的性质。

不同晶体内部构造的差异,仅仅是它们的质点种类不同,排列的方式和间隔大小相应地有所不同。

晶体的上述共性,反映了晶体与其它状态物体之间的根本区别。所以晶体的现代定义是内部质点在三度空间作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。

因此,内部质点在三度空间成周期性重复排列的固态物质,均称之为结晶质。目前在习惯上仍将“晶体”这一名称,专门用于具有几何多面体外形的固体,而将不具几何多面体外形的结晶质称为晶粒。反之,内部质点不作规则排列的物质,即内部不具格子构造者,称为非晶质,或称之为硬化了的液体,如玻璃、松香等。

晶体与非晶质体,在一定的条件下可以相互转化。由于某些原因,促使晶体内部构造破坏,晶体可变成非晶质体,随之也引起矿物的物理性质和化学性质的变化,这种现象称为非晶质化。如铁氢氧镁石异种($\text{Mg, Fe}(\text{OH})_2$)中含有30%的 FeO ,在新鲜时为无色透明,具玻璃光泽。但若放在空气中暴露数日,会渐渐变为金黄色,褐色,最后成为棕色,呈不透明状,但晶体的外形仍然保留,经X射线分析证明,这时矿物的内部构造已经破坏,据化学分析得知其中的 Fe^{2+} 已经转变为 Fe^{3+} 。

又如某些含稀土元素和放射性元素的矿物晶体,甚至在外部条件没有改变的情况下,由于放射性元素在其蜕变过程中所放出的核能,破坏了晶体内部构造,也产生非晶质化现象。

非晶质体是不稳定的,如人造玻璃或炉渣快速冷却而形成的玻璃,经过长时间后能慢慢转变为晶体,这种现象称为晶化现象。又如蛋白石转变为石髓及石英。

二、晶体的空间格子构造

晶体的根本特点,在于它具有规律的内部构造。晶体内部质点在空间的格子状排列,称为空间格子。空间格子是表示晶体构造规律的几何图形,其一般形式如图1-3a所示。

空间格子可以看作是无数个微小的相等平行六面体在三度空间毫无间隙地堆砌而成的规律性几何图形。处于平行六面体中心、面心和角顶上的质点称为结点。凡是性质相同,周围环境也相同的结点称为相当点。故空间格子也可看作是相当点在三度空间无限排列而成的规律性几何图形。

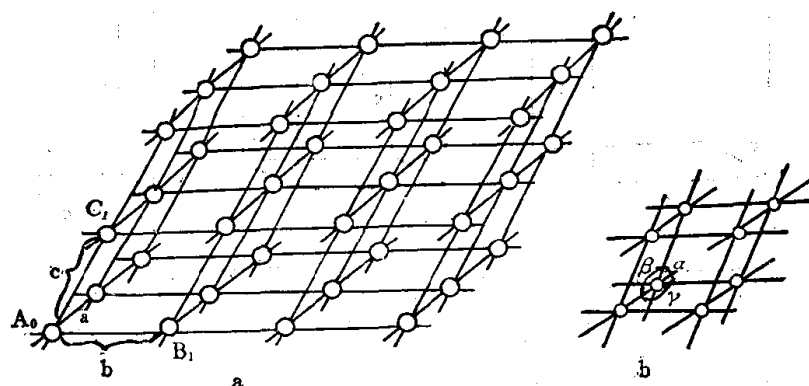


图 1-3 空间格子状的内部构造
a—空间格子，b—平行六面体

在空间格子中，结点沿直线方向作等距离排列称为行列（即晶列），见图1-4。一个行列中相邻二结点间的最短距离（ A_0A_1 ）称为列距（ a ）。相同方向的行列，列距总是相等的，不同方向的行列列距可以相等或不等。结点在同一平面内形成平行四边形的排列，称为面网，如图1-5所示。

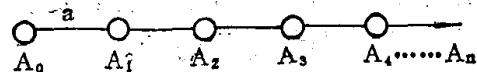


图 1-4 空间格子的行列

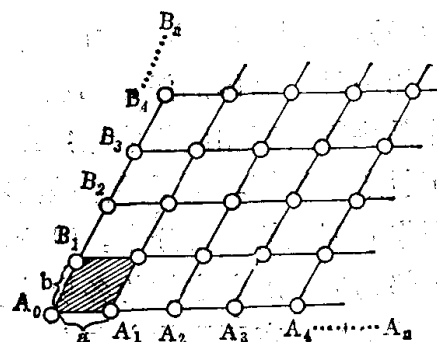


图 1-5 空间格子的面网

不在同一直线上的任意三个结点可决定一个面网，也就是任意不平行而交于一点的两个行列（ A_0A_n 及 A_0B_n ）可以决定一个面网。面网的单位面积内的结点数目称为面网密度。同一空间格子中，彼此平行的面网，其面网密度总是相等，不相平行的面网，其面网密度可以相等也可以不等，一般是不相等的。实际晶体上的晶面，就是面网密度最大或较大的面网，晶棱往往是相当于列距最小的行列，而隅角顶点则相当于结点。

空间格子中最小的平行六面体称为单位晶胞。单位晶胞的大小及形状取决于三个主要行列的列距 a 、 b 、 c 及其夹角 α 、 β 、 γ ，这些常数称为晶格常数（图1-3b）。

各种矿物晶体的空间格子的特殊性，表现在晶格常数上，在所有矿物晶体构造中，晶胞的形状共有七种（图1-6），因此，将自然界的晶体分为七个晶系。

A. 布拉维利用质点移动的概念和数学的推导，证明晶体中可能出现的空间格子种类只有14种，称为布拉维14种空间格子，随后为X射线分析所证实。表1-1为14种空间格子的晶格常数及其在各晶系的分布。

三、晶体的基本性质

晶体的各项性质都取决于它们本身的化学组成和内部的格子构造。

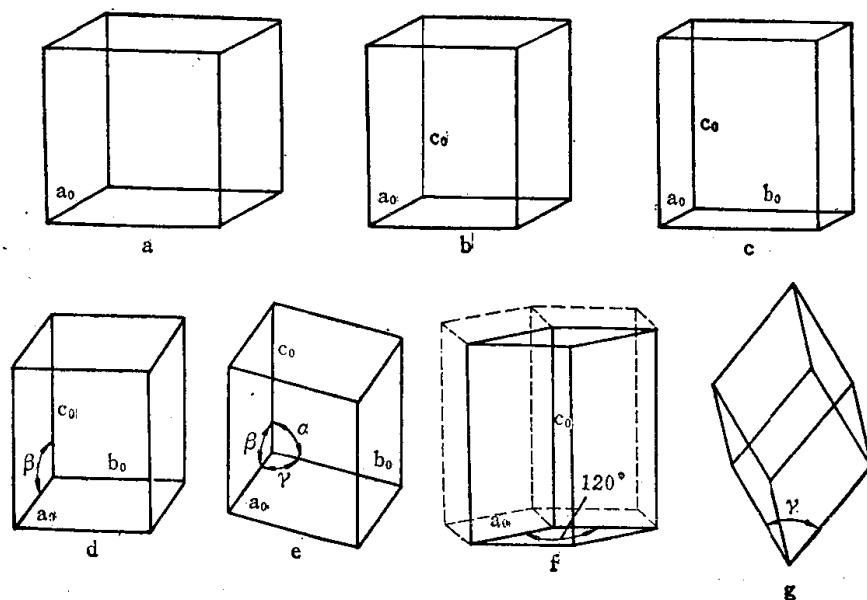


图 1-6 单位晶胞的七种类型

a—立方格子；b—四方格子；c—斜方格子；d—单斜格子；e—三斜格子；f—六方和三方格子；g—菱面体格子

1. 自发地形成多面体形态 晶体在适合的条件能自发地形成几何多面体的形态（自由生长），而占有一定的空间。这一性质称为自限性。

2. 均一性 晶体的任意部位都具有相同的性质。如果把一个晶体分成许多小晶块，每一个小晶块都具有相同的比重；当光线沿着相同的结晶方向射入各个小晶块时，都产生同样的折射角，等等。由于晶体是具有空间格子构造的固体，晶体内部的任何质点都是在三度空间作周期性的重复分布。因此，从同一晶体中分割出来的各个部分，必定具有完全相同的内部构造，所以它们的各项性质也必然完全一致，即都是均匀的。

3. 异向性 在不同的方向上晶体性质有所差异，称为异向性。这是由于在同一格子构造中，在不同的方向上质点的排列间距一般是不同的，因而在不同方向上晶体的性质也就不同（随方向而异）。如蓝晶石，在不同的方向上硬度有显著的差别，在平行晶体延长方向上硬度为4.5~5，小刀可刻动，但在垂直晶体延长方向上硬度为6~6.5，小刀刻不动（图1-7a）。又如当一条光线通过冰洲石（无色透明的方解石）晶体后，则分成两条光线，都只能在一定方向上振动，而且速度不同，这种现象称为双折射（图1-7b）。这是晶体的异向性在光学性质上的表现。

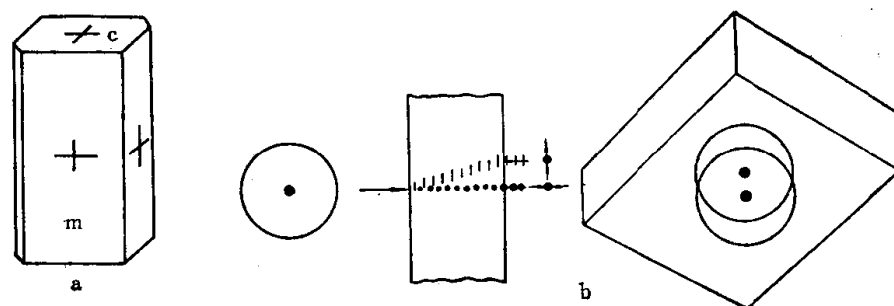
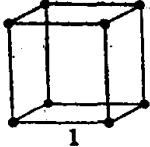
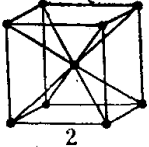
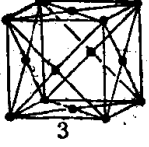
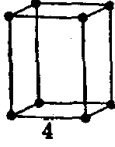
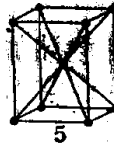
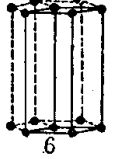
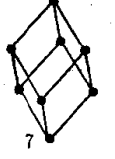
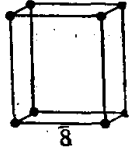
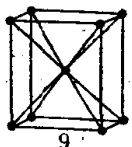
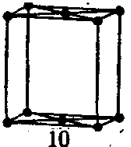
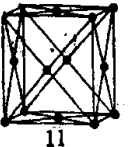
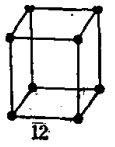
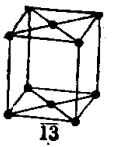
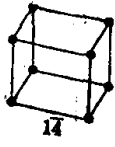


图 1-7 晶体的异向性

a—蓝晶石晶体；b—冰洲石晶体

表 1-1 14种空间格子的晶格常数及其在各晶系的分布

晶 系	单位晶胞参数特征	原始格子 (P)	体心格子 (I)	底心格子 (C)	面心格子 (F)
等轴晶系	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$			☆	
四方晶系	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$			☆	☆
六方及三方晶系	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$		☆	• •	☆
三方晶系	$a = b = c$ $\alpha = \beta \neq 90^\circ$		※	☆	※
斜方晶系	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$				
单斜晶系	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta \neq 90^\circ$		•		※
三斜晶系	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$		※	※	※

※ 不符合选择原则；

☆ 不符合单位平行六面体的对称性；

• 可以改换划分方式变为单斜底心格子；

• • 通常所称的六方底心格子，即六方原始格子；真正的单位平行六面体底面中心带有结点的格子不符合六方格子的对称特点。

4. 对称性 由于晶体内部的格子构造,使其内部的相同质点按一定规律重复,因此,反映在晶体外形上常有相等的晶面,晶棱和角顶在晶体上有规律的重复出现。这种有规律的重复称为晶体的对称性。

5. 定熔性 晶体在受热熔化的过程中,具有一定的熔点,称为定熔性。如石盐 NaCl 晶体,当加热至 800°C 时,晶体开始熔化,再继续加热则温度停止上升,须待晶体熔化完毕后,温度再开始继续上升,如图1-8所示,该温度(温度停止上升时的温度)即为石盐晶体的熔点。又如磁铁矿的熔点为 1590°C ,石英的熔点为 1710°C 。所有晶体都具有一定的熔点,这是因为晶体是具有格子构造的固体,要破坏它的格子构造,就需要给予一定的能量。

非晶质体没有一定的熔点。如树胶被加热时,首先变软,而后逐渐变成粘稠的液体,最后变成流动性良好的液体,在加热过程中没有温度停止上升的水平部分,增温曲线呈一光滑的上升曲线,如图1-9所示。这是因为非晶质体的内部质点不作规律的排列,质点分布疏密不均,稀疏部分在较低温度就开始熔化,稠密部分则要较高温度才能熔化。

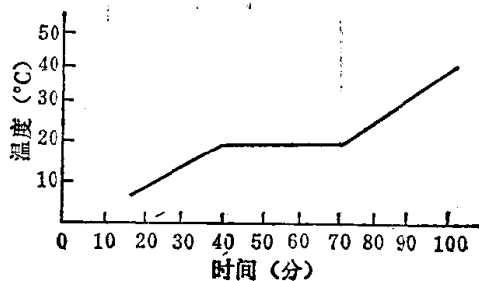


图 1-8 晶体的加热曲线

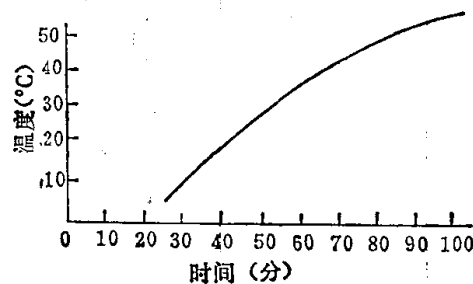


图 1-9 非晶质体的加热曲线

6. 最小内能和稳定性 当物质由液态或气态冷却结晶成晶体时,会放出一定的能量。如1克 0°C 的水变成 0°C 的冰(晶体)将放出80卡热,这表明晶体内部储藏的能量,要比它处在液态或气态时所储藏的能量小,故晶体具有最小内能。这是因为晶体是具有格子构造的固体,质点的位置比较固定,且作最紧密堆积,故动能比处于其它状态时要小。由于内能最小,则晶体比非晶质体稳定。

第二节 晶体的发生与成长

一、形成晶体的方式

形成晶体的过程,也就是原来不结晶的物质在一定的物理化学条件下(温度、压力、组份浓度等)转变为结晶质的过程。这种形成晶体的作用,称为结晶作用。结晶作用的基本形式有:

1. 由液相转变为固相——“熔体”或“溶液”中的结晶作用 从熔体中结晶只有在温度低于该物质的熔点时才会发生。例如从高炉中的铁水(金属熔体)内结晶出生铁的块体,从硫磺的熔体中结晶出硫磺的针状晶体等。

2. 由气相转变为固相——升华作用下的结晶作用 由气体状态直接转变为固体状态的作用是升华作用。例如自然界中雪、霜以及火山喷气孔生成的碘、硫等的晶体。

3. 由固相转变为固相——固体的再结晶作用 由固态的非晶质体过渡到晶体。如人造玻璃,经长时间后的退玻璃化作用,会在其中生成小的晶体。

细的结晶颗粒在一定的温度与压力的影响下可以逐渐转变成大的晶体。如石灰岩（主要由细粒的方解石组成）与火热的岩浆接近时，则变成大理岩（由粗粒的方解石晶体组成）。固态的细小结晶颗粒转变成粗大颗粒的作用称为再结晶作用。

由于温度或浓度等因素的变化，使原已结晶的晶体发生溶解，部分物质转入母液，在新的条件下又重新结晶，称为重结晶作用。在此过程中，中间经过一个液态的阶段，不是固态条件下的直接转变。

二、晶体形成的过程

晶体形成过程是物质质点由混乱到有规则排列的过程。这个过程可以分为两个阶段。

1. 发芽 以NaCl的过饱和溶液生成晶体为例说明。在NaCl溶液中， Na^+ 、 Cl^- 两种离子混乱地分布，由于作不规则的运动，它们时合时分。但在过饱和溶液中，由于质点之间的引力作用，使它们相互靠拢形成线晶，线晶靠拢而成面晶，面晶再相互叠合则形成结晶格子，这样形成的很小晶体，称为晶芽（图1-10）。

2. 长大 晶芽形成以后，各质点继续向它粘附，则晶体逐渐长大。晶体的生长是由其表面不断地增加新的外层物质，使各晶面平行向外移动。晶体的成层增加，主要是由于质点按一定顺序排列的结果。如图1-11所示，当新的质点加到结晶体上的时候，有三种位置可以落下质点。在a处有三个方向的吸引力，在b处有两个方向的吸引力，在c处只受一个方向的吸引力。因此，新的质点必然先落到具有最大引力的a处，其次是b处，最后

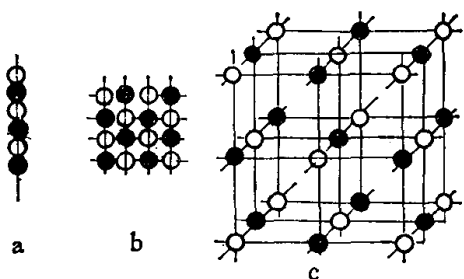


图 1-10 晶体从溶液中发生的过程
a—线晶；b—面晶；c—结晶格子

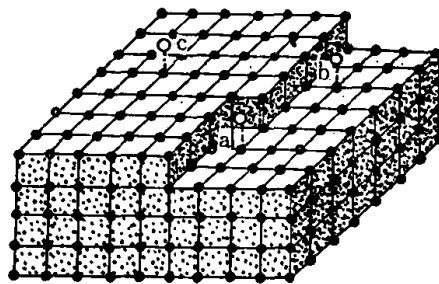


图 1-11 晶体的长大

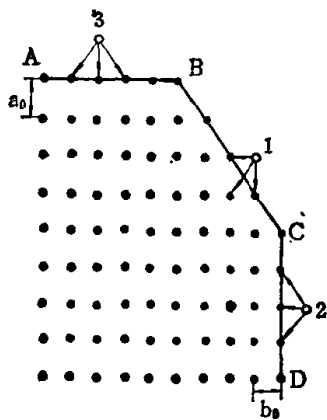


图 1-12 面网密度小的晶面优先生长的图解

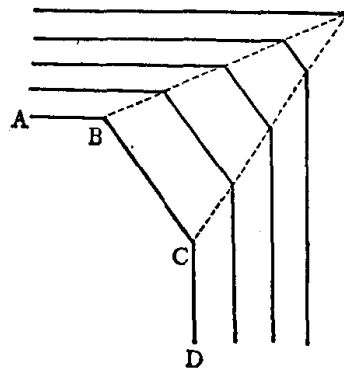


图 1-13 生长速度快的晶面在成长过程中被淹没的示意图

落到c的位置。故晶体的生长，只能一层一层地增加，晶面永远保持平面性，晶棱永远保持直线性。当然，自然界晶体生长的实际情况要比这复杂，但总的倾向仍是这样。

在晶体生长过程中，晶面是平行地向外推移。因此，把晶面在单位时间内沿其法线方向向外推移的距离称为晶面生长速度。图1-12为一晶体格子构造的某个切面，AB、CD、BC为三个晶面的迹线，相应面网的面网密度是 $AB > CD > BC$ ， $a_0 > b_0$ 。由此可知，当晶体继续生长时，质点将优先堆积在1的位置上，其次是2的位置，最后是3的位置。于是晶面BC将优先成长，CD次之，而AB在最后。这显示出面网密度小的晶面将优先生长，而面网密度大的晶面则落后生长。如果不从个别质点堆积顺序的角度考虑，而从整个一层面网来考虑的话，也可导出同样的结果。因为面网密度小的面，其面网间距也小，从而相邻面网间的引力就大，所以优先成长；反之，面网密度越大，相应的面网间距也越大，面网间的引力就越小，最不利于质点的堆积，故成长最慢。因此，可以得出结论：在一个晶体上，各晶面间相对的生长速度与它们本身面网密度的大小成反比。即面网密度越大的晶面，其生长速度越慢，反之则快。

研究晶面的生长速度，对于研究晶体的形态有很大的关系。因为晶体形态上的变化决定于不同晶面相对生长速度的大小。由图1-13可以看出，面网密度小的晶面由于其生长速度快，在晶体成长过程中，其面积将逐渐缩小，最终可被面网密度较大的相邻晶面所淹没。而面网密度大的晶面由于其生长速度慢，则在生长过程中逐渐扩大，最后便在晶体上保留下来。因此，得以继续扩大成长的晶面一般都是面网密度大的晶面。这就是布拉维法则所要阐明的实质。

三、影响晶体生长的因素

晶体生长时所处的外部环境，对晶体的生长形态影响很大。

1. 温度 同种物质的晶体在不同温度下生长，所具之形态是有差别的。高温下生长的石英晶体与低温下生长的石英晶体不同，如图1-14所示。此外还有长石、方解石等晶形也随其形成温度而异。

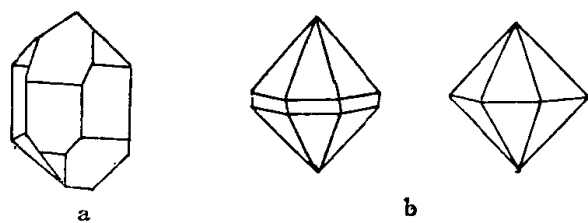


图 1-14 温度的影响

a—低温石英晶体；b—高温石英晶体

2. 杂质 溶液中的杂质常常严重地影响着晶体的外形。杂质的种类和数量不同时，其影响程度也有差异。如明矾，在纯净的水溶液中结晶成八面体，而当溶液中含有大量硼砂杂质时，则结晶成立方体。但并不是任何杂质都对晶体生长形态有影响。

3. 结晶速度 结晶速度大时，结晶中心增多，晶体长得细小，常常长成针

状、树枝状等等。相反地，结晶速度小则晶体长得粗大。

4. 粘度 粘度很大时，质点扩散的速度很慢，晶面生长所需的物质供应不足，因而晶体生长很慢，甚至停止生长。但是晶体的棱和角，则可以接受多方面的扩散物质，所以相对地生长得快一些。因此，使得晶体的棱角突出，中心凹陷，形成了所谓“骸晶”，或树枝状“雏晶”。

影响晶体生长的因素还有很多，如晶体的结构类型以及重力的作用等等。

总之，晶体发生和成长的过程，既是质点由混乱到有规则的过程，也是质点按格子构造排列的过程。这一过程既遵循布拉维法则，又受外部环境的影响。所以晶体的形态，是由其内部构造和生成环境两方面所决定。

第三节 晶体的对称和分类

一、对称的概念

对称性是晶体的基本性质之一。在自然界中对称现象是很普遍的，例如动物、植物都具有对称的形象。对称是指物体的相等部分有规律地重复出现。对称的条件是：物体要有相等部分，而且能够借助一些假设的点、直线、平面辅助，通过一定的操作（如反映、旋转等）相互之间发生有规律的重复。这些辅助的点、直线、平面称为对称要素。

晶体的对称与一般物体的对称有本质的不同。一般物体仅是外表的几何形状的对称，其内部并不一定对称。晶体的对称则是其内部构造的反映，其对称不可能是任意的，而是有限的，有一定规律的。例如梅花有五个花瓣，具有五次对称轴。而晶体因其内部构造的控制，则没有五次对称轴。同时，晶体的对称不但表现在外表形态上，而且在物理性质上（包括晶体的力学、光学、热学性质）也同样具有对称性。

总之，晶体的对称是晶体本质的反映，因此，晶体的对称，可以作为晶体分类的依据。

二、晶体的对称要素

这里所讨论的晶体对称，主要是研究晶体形态上的对称，即晶体外形上相等的晶面、晶棱和角顶有规律地重复出现。在晶体外形上可能出现的对称要素有：

1. 对称轴 (L^n) 对称轴是通过晶体中心的一条假设的直线。对称操作是围绕此直线的旋转。当晶体以此直线为轴而旋转时，晶体的相等部分——晶面、晶棱、角顶有规律地重复出现。在转一周的过程中，晶体相等部分重复的次数，称为该对称轴的轴次，用“ n ”表示。使晶体相等部分重复所需旋转的最小角度，称为该对称轴的基转角，用“ α ”表示。基转角 (α) 与轴次 (n) 之间有一定的关系，可用下列公式表示：
$$n = \frac{360^\circ}{\alpha}$$

当旋转一周时，晶体相等部分重复两次，此对称轴称为二次对称轴，以 L^2 表示；重复三次称为三次对称轴，以 L^3 表示；其它依次类推。由于晶体外形受内部构造的制约，晶体中只可能出现 L^1 、 L^2 、 L^3 、 L^4 、 L^6 五种对称轴，没有五次或高于六次的对称轴。此外，由于任何晶体绕一直线旋转一周后必然复原，故 L^1 不具有实际意义，通常不予考虑。

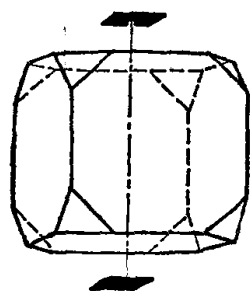


图 1-15 立方体的四次对称

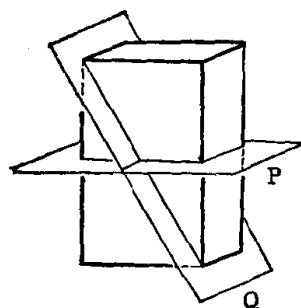


图 1-16