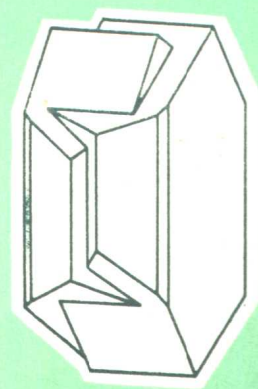


高等学校教材

结晶学导论

罗谷风编

JIEJINGXUE
DAOLUN



地质出版社

高等学校教材

结晶学导论

南京大学地质学系 罗谷风 编

地质出版社

内 容 简 介

本书包括了现代结晶学各个主要分支的基本理论和基本知识,以及适当的加深和加宽的内容。其中几何结晶学及晶体结构学基础、晶体化学基础为全书的重点。本书在继承经典内容的同时,吸取了当代结晶学领域中大量有关的新理论和新知识,有机地结合、贯穿于全书之中。

本书作为高等学校岩矿地化类及其相近专业的教材,所引实例以矿物晶体方面的为主,结合专业紧密;但整体内容完全是按结晶学本身的独立体系和固有规律性进行编写的,适用面广,也可供从事矿物或其他晶体工作的科技人员和有关专业的师生参考。

全书约30万字,包括表33个,插图193幅。

※ ※ ※

本书由曹正民、于洸主审,经地质矿产部矿物学教材编审委员会于1983年12月召开的第四次全体会议审稿,同意作为高等学校教材出版。

※ ※ ※

高 等 学 校 教 材

结 晶 学 导 论

南京大学地质学系 罗谷风 编

责任编辑 赵其渊 杨洪钧

地质出版社 出版

(北京西四)

张家口地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 14 字数: 325,000

1985年5月张家口第一版·1985年5月张家口第一次印刷

印数: 1—8,785册 定价: 2.60元

统一书号: 13038·教194

前 言

本书是《结晶学与矿物学》（南京大学地质学系岩矿教研室编著，地质出版社1978年出版）修订版的结晶学部分。它是按1980年审订通过的高等地质院校矿物岩石矿床地球化学专业和放射性矿产地质专业适用的结晶学—矿物学教学大纲进行修编的。

鉴于原书将结晶学和矿物学两门学科的内容合为一本教材，与当前有关专业的需要以及本门学科发展的现状和趋势都已不相适应，因此经有关部门同意后，这次将修订版改为《结晶学导论》和《矿物学导论》两书分别出版。分开后两书各自保持本身完整的独立体系，但仍相互衔接；内容有重叠的个别章节则适当作了分工，两书各有侧重，以免机械重复。

本书的修编工作是在南京大学教务处和地质系的领导下进行的。它的目标是：内容上力求既少而精且重点突出，又适当留有可供选择和扩展的余地；取材上力求既能反映学科的当代水平，又能符合于作为专业基础课教材的要求；叙述上力求概念准确严谨，资料、数据确切可靠，阐释清楚透彻、详略得当，文辞简洁明了，图、表、实例与文字叙述紧密配合，使读者易于理解，便于自学。为此，这次修编时删除了原版本中外延过宽的内容；更新或增补了有关的新内容；对于保留部分的内容也作了必要的修改和调整。总计全书中新增加和重新改写的部分约占总篇幅的2/3，而全书的总版面字数则比原版本的结晶学部分精简了约1/6。全书现共有插图193幅，其中有100幅是这次新增加或更新的，另有43幅局部作了修改。为使图文密切配合，全部插图中有1/2系由编者自行设计绘制。引用的图、表均注明了出处。

本书初稿于1983年8月完成后，即油印寄送高等地质院校矿物学教材编审委员会全体委员及各兄弟院校。全稿由北京大学地质系曹正民、于洸同志负责主审；编委会于同年12月成都会议上对之进行了评审。修改稿最后由主审单位代表曹正民同志及应聘协助主审单位工作的兰州大学李万茂、河北地质学院陆慕孙同志负责审定。在整个修编过程中，许多兄弟单位及个人曾给予帮助或提出宝贵意见；南京大学地质系季寿元、陈武同志自始至终参加了对修编稿的讨论和修改；郑意春同志承担了大部分插图的清绘工作（小部分沿用原版本的插图主要由高秀英同志清绘）。对于所有为本书付出了辛勤劳动的同志，编者谨借此机会向他们表示衷心的感谢！

在本书的修编工作中，编者虽在主观上作了努力，但因限于水平，实际上离前述的目标仍存在着差距。书中错误和不当之处在所难免，热忱希望读者予以批评指正。

编 者

一九八四年四月十四日于南京大学

MA160/02 01

目 录

绪 论	1
第一章 晶体和非晶质体	4
第一节 晶体的概念	4
第二节 晶体的空间格子规律	5
一、 空间格子的导出	5
二、 空间格子的基本规律	6
第三节 非晶质体	8
一、 非晶质体的概念	8
二、 非晶质体与晶体间的转化	8
第四节 晶体的基本性质	9
第二章 晶体的发生与成长	11
第一节 形成晶体的方式	11
第二节 成核作用	12
一、 均匀成核作用	12
二、 非均匀成核作用和二次成核作用	13
第三节 晶体的成长	14
一、 层生长理论	14
二、 螺旋生长理论	16
三、 再结晶作用	17
第四节 晶面生长速度	17
一、 晶面法向生长速度	17
二、 环带构造	19
三、 生长锥	19
第五节 决定晶体生长形的内因	20
一、 布拉维法则	20
二、 居里-吴里弗原理	21
三、 PBC理论	22
第六节 影响晶体生长形的外因	23
第七节 晶体的溶解和再生长	24
一、 晶体的溶解	24
二、 重结晶作用	25
第三章 晶体的测量和投影	26
第一节 面角守恒定律	26
第二节 晶体测量	27
第三节 晶体的球面投影及其坐标	28

一、 晶体的球面投影	29
二、 球面坐标	30
第四节 晶体的极射赤平投影与心射极平投影	30
一、 极射赤平投影	30
二、 心射极平投影	32
第五节 极射赤平投影网	32
一、 极式网	32
二、 吴氏网	33
三、 吴氏网的运用	34
第四章 晶体的宏观对称	37
第一节 对称的概念	37
第二节 晶体的对称要素	38
第三节 对称要素的组合及对称型	45
一、 对称要素的组合	45
二、 对称型和晶类的概念	47
三、 三十二种对称型的导出	47
第四节 对称型的符号	52
一、 国际符号	52
二、 圣弗里斯符号	54
第五节 晶体的对称分类	54
一、 晶族和晶系的划分	54
二、 对称型的类型	56
第五章 晶体定向和结晶符号	57
第一节 晶体定向的概念和晶体几何常数	57
第二节 整数定律和晶体定向的基本原则	58
一、 整数定律	58
二、 晶体定向的基本原则	59
第三节 各晶系晶体的定向法则	60
一、 晶体的三轴定向	60
二、 晶体的四轴定向	65
第四节 晶面符号	65
一、 晶面符号的确定	66
二、 四轴定向时的晶面符号	69
三、 米氏指数与米勒-布拉维指数间的换算关系	71
第五节 晶棱符号	71
一、 三轴定向时的晶棱符号	71
二、 四轴定向时的晶棱符号	72
第六节 晶带和晶带定律	73
一、 晶带和晶带轴	73
二、 晶带定律	75
三、 晶带定律的应用	75

第六章 晶体的理想形状	79
第一节 单形的概念和单形符号	79
一、 单形的概念	79
二、 单形符号	79
三、 具对称联系之晶棱组的符号	82
第二节 146种结晶学单形	82
一、 导出单形的途径	82
二、 146种结晶学上不同的单形	84
三、 单形的不同命名	88
第三节 几何上不同的47种单形	88
一、 47种几何学单形的特征	88
二、 47种几何学单形在各晶系中的分布	89
第四节 聚形	96
一、 聚形的概念和单形相聚的规律性	96
二、 聚形分析	97
第五节 左形与右形	98
第七章 实际晶体的形貌	100
第一节 晶体习性	100
一、 晶体习性的概念	100
二、 决定晶体习性的因素	101
第二节 歪晶	102
第三节 特殊形态的晶体	103
一、 骸晶	103
二、 凸晶	104
三、 弯曲晶体与扭曲晶体	104
第四节 晶面花纹	105
一、 邻晶面	105
二、 生长层和生长丘	106
三、 生长条纹	107
四、 生长螺旋	107
五、 蚀象	108
第八章 晶体的规律连生	110
第一节 平行连生	110
一、 平行连晶	110
二、 梳状构造	111
第二节 双晶的概念和双晶要素	112
一、 双晶的概念	112
二、 双晶要素	112
三、 双晶接合面	114
第三节 双晶律和双晶类型	115
一、 双晶律的概念	115

二、 双晶类型	115
第四节 双晶的成因及其分类	117
一、 双晶的成因	117
二、 双晶的成因分类	119
第五节 双晶的分布及其识别	120
一、 矿物中双晶分布的概况	120
二、 双晶的识别	120
第六节 衍生	122
一、 衍生的类型	123
二、 浮生和交生	124
第九章 晶体结构的基本特征	126
第一节 空间格子的型式	126
一、 单位平行六面体的划分	126
二、 14种布拉维空间格子	130
第二节 晶胞	132
第三节 晶体的微观对称要素	133
第四节 空间群	138
一、 空间群的概念及其与对称型的关系	138
二、 平移群	139
三、 空间群的符号	140
四、 空间群推导之一例	144
第五节 等效位置	145
第六节 晶格缺陷	148
一、 点缺陷	148
二、 线缺陷	149
三、 面缺陷	150
第十章 晶体化学	152
第一节 离子类型和晶格类型	152
一、 离子类型	152
二、 晶格类型	153
第二节 原子半径和离子半径	154
第三节 球体紧密堆积原理	161
一、 等大球体的最紧密堆积及其空隙	161
二、 不等大球体的紧密堆积	163
第四节 配位数和配位多面体	163
一、 配位数	163
二、 配位多面体	165
第五节 鲍林法则	167
第六节 晶体场理论和配位场理论	168
一、 晶体场理论的基本概念	168
二、 d 轨道的晶体场分裂	169

三、 晶体场稳定化能	171
四、 八面体择位能	173
五、 姜-特勒效应	173
六、 过渡元素离子有效半径的晶体场效应	174
七、 配位场理论的基本概念	175
第七节 能带理论的基本概念	177
第八节 类质同象和固溶体	178
一、 类质同象的概念	178
二、 固溶体的概念	179
三、 类质同象的类型	179
四、 影响类质同象的因素	180
第九节 同质多象	182
一、 同质多象的概念	182
二、 同质多象转变	183
第十节 有序-无序	186
一、 有序-无序的概念	186
二、 有序-无序的类型	187
三、 有序-无序转变	188
第十一节 多型性	189
一、 多型性的概念	189
二、 多型的一般特性	190
第十二节 典型结构及其分析	192
一、 结构型和典型结构	192
二、 典型结构分析	193
第十一章 晶体的物理性质	195
第一节 颜色和发光性	195
一、 颜色的概念	195
二、 晶体的呈色机理	196
三、 发光性	201
第二节 压电性和焦电性	203
一、 压电性	203
二、 焦电性	204
第三节 磁性	205
第四节 解理和裂理	207
一、 解理	207
二、 裂理	208
第五节 机械形变	209
一、 弹性形变	209
二、 范性形变	209
第六节 不同晶格类型晶体的主要物理性质特点	211
主要参考书	213

后 记..... 214

封面图 正长石的卡尔斯巴律贯穿双晶 (×1.2, 山东栖霞灵山)

绪 论

结晶学 (crystallography) 是以晶体 (crystal) 为研究对象的一门自然科学。

在大多数人的印象中, 可能认为晶体是一种相当罕见的东西, 但实际上晶体却是非常常见的一类物体。自然界的冰、雪, 组成大地的土壤和岩石中的所有各种矿物^①, 以至我们吃的食盐、用的金属材料等等, 莫不都是晶体。

晶体区别于其他物体的共同特点是: 在晶体内部, 组成它们的原子或离子, 都以一定的周期性重复的方式在三维空间作完全有规则的排布; 在形成晶体的过程中, 只要有空间能够让其自由生长, 晶体都能自发地形成一定形状的规则的凸几何多面体。例如当仔细观察食盐时, 可以发现它们都呈立方体形状, 这在粗盐中尤为明显。又如长在岩石裂隙或空洞中的 α -石英, 经常呈带有尖顶的六边形柱体 (图 0-1)。

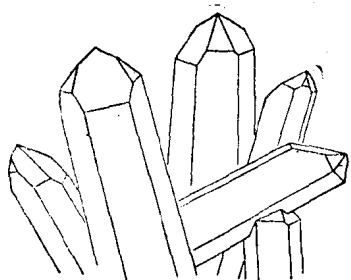


图 0-1 呈几何多面体外形的 α -石英晶体
($\times 3/4$, 江西大余)

人类对于晶体的认识, 首先正是从石英开始的。古代人们在采矿活动中, 发现无色透明石英的天然规则几何多面体, 认为它们是冻结时间极长而变为石头的冰块。因此在古希腊把它们称为 $\kappa\rho\upsilon\sigma\tau\alpha\lambda\lambda\omicron\varsigma$, 意为“冷凝的”, 即“冰”; 在拉丁文中相应地称为 *crystallum*, 后转化成为 *crystal*。我国古代则称为“水晶” (最早称为“水精”), 且亦有“此乃千年老冰”之说 (宋孙宗鉴《东皋杂录》)。后来人们陆续发现其他不少矿物也能表现为天然长成的规则几何多面体, 于是 *crystal* (晶体) 一词便被用来泛指一切具有天然的 (不是人为磨削而成的) 规则几何多面体形状的固体。

随着生产的发展和科学技术的进步, 人们对晶体的认识也在不断地深化。近代对晶体定义的考虑, 已从外形上所表现的规则性转入到内部结构中质点间排布的固有规律性。晶体的范围相应地也已扩大到除矿物以外的其他许多领域, 从而表明晶体实际上是分布极为广泛的一类物体。

如前所述, 人类对于晶体的认识, 迄今已有悠久的历史。但是, 作为研究晶体的科学——结晶学, 则是于十七世纪中叶才开始出现的。在这之后将近两百年的时间中, 结晶学主要局限于研究天然矿物晶体的几何外形, 并作为矿物学的一个分支而存在。在这方面研究成果的基础上, 从十九世纪中叶开始兴起了对晶体内部结构的深入探索, 到上世纪末, 有关晶体结构的几何理论已达到了成熟的地步。与此同时, 结晶学研究的对象则从天然的矿物晶体逐渐扩大到实验室中人工培养的晶体; 而结晶学与物理学、化学

^① 矿物 (mineral) 是指由地质作用所形成的天然晶体; 相应的非晶质体只能称为似矿物 (mineraloid)。

以及数学的关系也日趋密切。这样，结晶学便逐渐脱离矿物学而发展成为一门独立的学科。

1912年，由于X射线晶体衍射实验的成功，使得测定晶体内部的具体结构成为现实，导致结晶学进入了一个崭新的发展阶段。从那时以来，在晶体结构本身以及晶体结构与晶体性质间关系的各个研究领域中，都取得了巨大的进展。同时，由于这些方面的研究所取得的成就，使得晶体的应用范围不断扩大；而为了满足工业上对晶体日益增长的大量需求，又促进了对晶体生长及晶体成因等研究的迅速发展，此外，近代物理学、化学等与结晶学之间则强烈地相互渗透。目前，结晶学正在向深入研究晶体的各项精细特性的方向继续前进。

现代结晶学主要包括以下几个分支：

(1) **晶体生成学** (crystallogeny)：研究天然及人工晶体的发生、成长和变化的过程与机理，以及控制和影响它们的因素。

(2) **几何结晶学** (geometrical crystallography)：研究晶体外表几何多面体的形状及其间的规律性。

(3) **晶体结构学** (crystallogogy)：研究晶体内部结构中质点排布的规律性，以及晶体结构的不完善性。

(4) **晶体化学** (crystallochemistry, 亦称**结晶化学**)：研究晶体的化学组成与晶体结构以及晶体的物理、化学性质间关系的规律性。

(5) **晶体物理学** (crystallophysics)：研究晶体的各项物理性质及其产生的机理。

如前所述，结晶学首先是从研究天然的矿物晶体开始的，它在矿物学母体中经历了两百多年的岁月才脱胎而出。虽然结晶学现在已是一门独立的学科，但它与矿物学仍保持着亲密的血缘关系。结晶学知识是学习矿物学和研究矿物所必不可少的基础；而矿物学的研究成果又充实并发展了结晶学的内容。此外，凡与矿物学密切有关的，以及只要涉及到矿物学知识的各个学科，例如地球化学、岩石学、矿床学以至构造地质学、工程地质学、土壤学等等，也都不能离开结晶学的知识。

在基础学科中，数学是结晶学的主要基础之一。物理学及化学则与结晶学之间有着相互渗透、相互为用的密切关系，并形成了诸如固体物理学、固体化学等边缘学科。至于生物学，由于构成生命有机体的蛋白质也是结晶物质，因而结晶学的知识对于生物学也有着重要的意义。

在应用技术科学部门中，许多学科也都与结晶学有着密切的关系，结晶学知识是它们的重要基础之一。它们或者是直接以晶体为研究对象，例如选矿学、冶金学、金相学、金属学、非金属材料学、陶瓷工艺学、化学工艺学、药物学等等；或是如半导体、无线电、超声波、激光等技术那样，应用特定的晶体材料作为它们的核心关键部件，而其相应的有关理论则与结晶学密切相关。此外还有其他许多应用技术学科，也都或多或少地与结晶学有一定的关系，具体实例不胜枚举。

至于晶体本身在国民经济中的重要性，则仅据上述已可见一斑。例如现代科学技术的各个部门，特别是尖端部门，都离不开电子元件，而诸如集成电路、晶体振荡器等，都是由具特定性能的晶体制成的；航天器表面的超高温防热瓦，也是由晶体材

料制成的；金刚石晶体早先主要用作装饰品，而近代已广泛应用于工业的许多部门中。目前，除钢铁耗用量以外，金刚石的耗用量也已成为衡量一个国家工业发展水平的重要标志。类似的例子还可以举出很多。此外，除天然矿物外，大家日常生活中所熟悉的钢铁、合金、陶瓷、水泥以至吃的食盐、白糖和绝大多数的固体化学药品等等，也都是晶体。显然，晶体的重要意义由此也就可想而知了。

第一章 晶体和非晶质体

晶体是与气体、液体以及非晶态固体（非晶质体）都不相同的一类物体。晶体有它自身的共同规律和基本特性，并以此与上述其他物体相区别。

第一节 晶体的概念

我们已知，晶体在其生长过程中只要有空间让其自由成长，就都能长成规则的凸几何多面体外形。在早期，人们就是基于这一特征来识别晶体的，并相应地将晶体定义为：晶体是具有天然长成的（不是人为磨削的）、规则的凸几何多面体形状的固体^①。

但是许多事实说明，仅仅从有无规则的几何外形来区分是否是晶体，这是不恰当的。例如，具有立方体外形的食盐（NaCl）颗粒和不具规则外形的食盐颗粒，除外形外，两者所有的性质都相同。如果我们把一个不具规则外形的食盐颗粒放在NaCl的过饱和溶液中让它继续成长时，结果它也能长成立方体的规则几何外形。这充分说明，规则的几何外形并不是晶体的本质，而只是一种外部现象，它肯定还有某种内在的、本质的因素存在。

历史上，人们第一个实际测定的具体晶体结构就是NaCl的结晶构造。图1-1所表示的由一些大球（代表Cl⁻离子）和小球（代表Na⁺离子）所堆成的立方体小块，仅是从NaCl晶体的内部结构中割取出来的极小的一部分，在1mm³的NaCl晶体内，就包含了大约 7×10^{17} 个这样的立方体小块。沿着这个立方体小块的棱的方向，Cl⁻离子和Na⁺离子以相等的间隔交替排列，每隔5.6402 Å（1 Å = 10⁻¹⁰m）重复一次；而在平行于立方体的面对角线方向上，Cl⁻离子或Na⁺离子各自均以3.9882 Å的相等间隔连续排列；在其他任何方向上，情况也完全类似。这样，在NaCl内部结构中，所有的Cl⁻离子和Na⁺离子在三维空间均成周期性重复的规则排列而构成一种格子状的构造。实践告诉我们，不论其外形是否规则，所有天然产出的以及人工制备的NaCl，它们的内部质点都是以上述相同的规律排成立方体状的格子构造的。食盐之所以能长成立方体的规则几何多面体外形，就是由它内部的这种格子构造所决定的。

对于其他任何一种晶体而言，情况都是完全类同的：不论外形是否规则，它们的内部质点在三维空间都有规则地成周期性重复排列而构成格子状构造，这是无例外地为一切晶体所共有的性质。晶体的这一共性，反映了晶体与其他物体之间的根本区别。所以，晶体的现代定义应当是：晶体是内部质点在三维空间成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。

晶体内部质点排列的上述规律性，还必然会导致如下的结果：假若在一个晶体中的

① 任何凸几何多面体都有如下的特征：面数 + 隅角数 = 棱数 + 2。

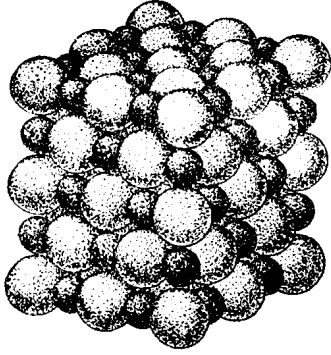


图1-1 NaCl的晶体结构
大球—Cl⁻，小球—Na⁺

任一部位都同样地圈定足够大的一块体积时，则它们必定都具有完全相同的格子构造。这意味着，一个晶体在其任一部位上的性质都是均一的。与此同时，在同一格子构造的不同方向上，质点的重复方式一般却是各不相同的，这意味着晶体的性质又是随方向而异的（参见第9页）。因此也可以说，晶体乃是均一的各向异性体。

与晶体的定义相适应，质点在三维空间成周期性重复排列的固态物质则称为**结晶质**（crystalline），简称**晶质**。晶体即是由结晶质构成的物体。

不过在矿物学、岩石学等许多学科中，习惯上往往仍将“晶体”这一名称专门用于指具有几何多面体外形的晶体，而将不具几何多面体外形的晶体称为**晶粒**（crystalline grain）。此外，还常根据结晶颗粒的大小，将结晶质分为**显晶质**（phanerocrystalline）；无法分辨者则称为**隐晶质**（cryptocrystalline）。

第二节 晶体的空间格子规律

一、空间格子的导出

从晶体的定义可知，晶体内部的格子构造（通常简称为**晶格**，crystal lattice）是一切晶体所共有的基本特征，它是决定晶体各项性质（包括能自发地成长为规则的凸几何多面体外形的特性）的根本因素。

当然，对于不同的晶体来说，它们内部质点的种类一般都不相同，质点在空间排布的具体形式和间隔大小也不会完全相同。但是，任何一种晶体，不管它所包含的质点种类有多少，也不管它们在空间排布的具体形式有多么复杂，所有这些质点在三维空间成周期性重复规则排列的特性却总是毫无例外的。如果不具备这一特性，也就不成其为晶体了。

下面我们以NaCl的结构为例，说明导出空间格子的过程。

如图1-2所示，首先我们在其结构中任意选择一个几何点，例如选在某一Cl⁻离子和Na⁺离子的接触点上，然后以此为准，在整个结构中把所有这样的点都找出来。这样的每一个点，都应该是在晶体结构中占据相同位置（即Cl⁻离子和Na⁺离子的接触点）且具有相同环境（右边必定为一Cl⁻离子而左边必定为一Na⁺离子）的等同点。显然，这样的一系列等同点，必定也是在三维空间成周期性重复分布的，它的重复规律正好体现了NaCl晶体结构中NaCl“分子”在空间排列的周期性重复规律。

不难理解，不论开始时的那个点选在哪里，对于同一晶体结构来说，所得出的一系列等同点在空间的相对分布，肯定都是一致的；但对于不同的晶体结构而言，显然又是有区别的。

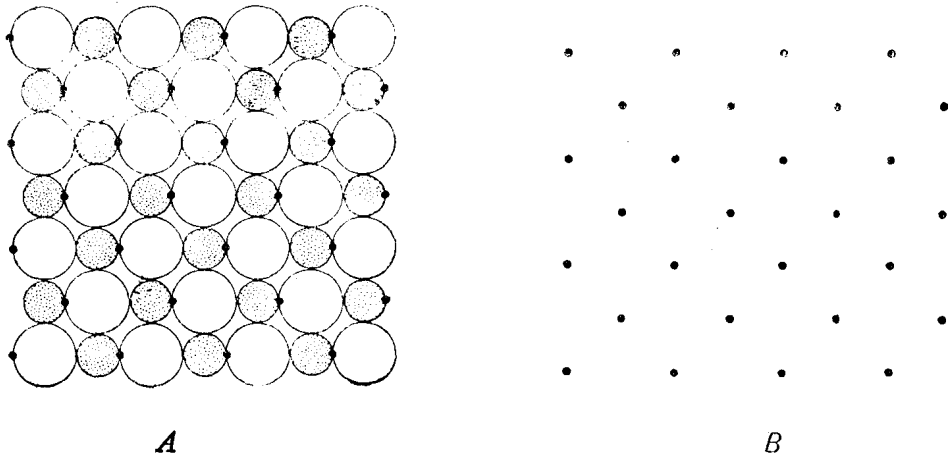


图1-2 NaCl晶体结构中等同点的分布 (A) 及由此导出的点阵 (B)
 大球—Cl⁻；小球—Na⁺；黑点—等同点

这样一系列在三维空间成周期性重复分布的几何点，就构成了一个空间点阵 (space lattice)；其中的等同点则称为阵点 (lattice point) 或结点 (node)。由于任何晶体的内部质点肯定都是在三维空间成周期性重复排列的，因此，对应于每一种晶体结构，就必定可以作出一个相应的空间点阵，而点阵中各个结点在空间分布的重复规律，正好体现了相应结构中质点排列的重复规律。至于对应于不同晶体结构的各个具体的空间点阵，它们间的差异则仅仅在于结点发生重复的方向和间距大小彼此有所不同罢了。

二、空间格子的基本规律

根据空间点阵的基本特性，任一空间点阵均应具有如下的共同规律：分布在同一直线上的结点构成一个行列 (row)。显然，由任意两个结点就可决定一个行列。每一行列各自均有一最小重复周期，它等于行列上两个相邻结点间的距离，称为结点间距 (row-spacing)。在一个空间点阵中，可以有无穷多不同方向的行列，但相互平行的行列，其结点间距必定相等；不相平行的行列，一般说来其结点间距亦不相等。

联接分布在同一平面内的结点则构成一个面网 (net)。显然，由任意两个相交的适当行列就可决定一个面网。此时，面网本身将被这两组相交的行列划分成一系列平行

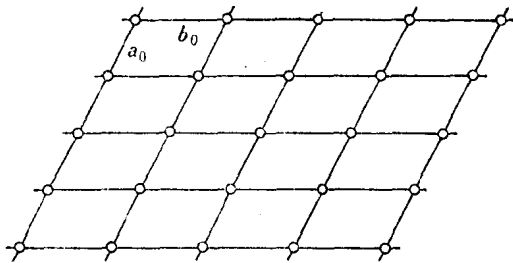


图1-3 面网

排列的平行四边形，结点就分布在它们的角顶上 (图1-3)；每一平行四边形的两对边长，恰好就是两个相应行列的结点间距。在一个空间点阵中，可以有无穷多不同方向的面网，但相互平行的面网，其单位面积内的结点数——面网密度 (reticular density) 必定相等，且任二相邻面网间的垂直距离——面网间距 (interplanar spacing) 也必定相等；不相平行的面网，一般说来它们的面网密度和面网间

距都不相等。且面网密度大的面网其面网间距亦大，反之，密度小间距亦小。

在图1-4中我们只画出了分布于图纸平面上的一些结点，现在垂直于图纸平面作不同方向的可能面网。它们与图纸平面的交线分别为 AA' ， BB' ，……等等行列。不难理解，这些行列的结点间距越大，相应面网的面网密度就越小。但从图中还可看到，随着这些行列的结点间距越来越大，它们与某一固定行列 AD 之间的交角 β_i 则越来越小，而

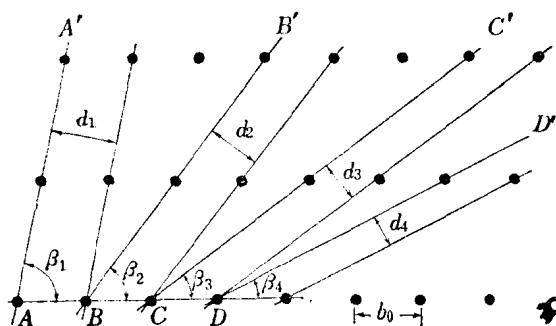


图1-4 面网密度与面网间距之间关系的示意图

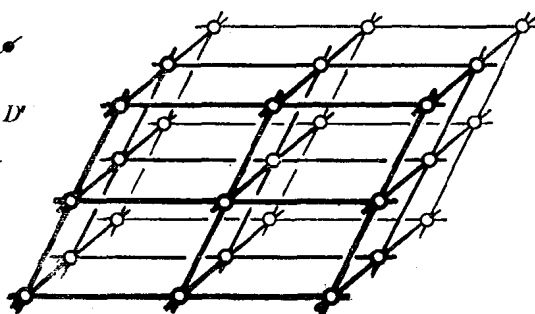


图1-5 空间格子

它们的面网间距 d_i 又与 $\sin\beta_i$ ($i=1, 2, 3, \dots$) 成正比，即：

$$d_i = b_0 \sin\beta_i \quad (1-1)$$

此处 b_0 为行列 AD 的结点间距。所以，面网密度越大，相应的面网间距也越大；反之，面网密度越小，相应的面网间距也越小。

最后，联接分布在三维空间内的结点就构成了空间格子 (space lattice^①)。显然，由三个不共面的适当行列就可以决定一个空间格子。此时，空间格子本身将被这三组相交行列划分成一系列平行叠置的平行六面体，结点就分布在它们的角顶上 (图1-5)；每一平行六面体的三组棱长恰好就是三个相应行列的结点间距。

以上的空间格子规律，乃是一切晶体所共同遵循的基本规律。

必须强调指出，结点只是几何点，它并不等于实在的质点；空间格子也只是一个几何图形，它并不等于晶体内部包含了具体质点的格子构造。但格子构造中具体质点在空间排列的规律性，则可由空间格子中结点在空间分布的规律性予以表征。

最后还需指出的是，行列、面网以及空间格子或空间点阵，它们都是几何上的无限图形，但对于实际晶体来说，不论大到多大^②，它们的空间终究还是有限的。不过，以晶体内部质点的重复周期与晶体颗粒的通常大小相比较时，后者就比前者远远要大得多。例如在 1 mm^3 的 NaCl 晶体内，就包含有大约 2.23×10^{23} 个 Cl^- 离子和同样数目的 Na^+ 离子。因此，从微观的范畴来讲，可以把晶体的格子构造近似地看成是向三维空间无限延伸的，从而与空间格子的无限图形相对地取得一致。

① “空间格子”与“空间点阵”在英语中为同一词。

② 世界上已知的最大晶体，有确切数据的是产于美国科罗拉多州弗里蒙特县 (Fremont County, Colorado) 猛兽窝 (Devils Hole) 伟晶岩中的一个微斜长石晶体，其大小为 $46.4\text{ m} \times 36.0\text{ m} \times 13.7\text{ m}$ ，重约15900 t。