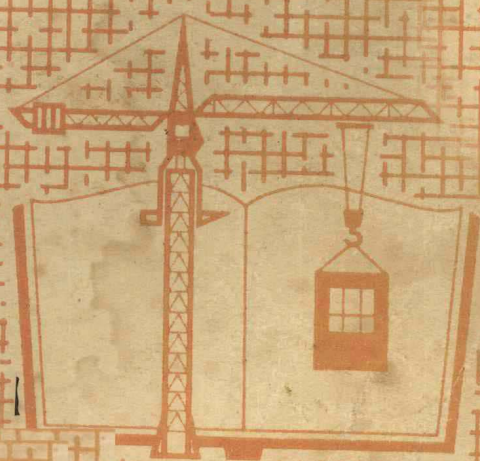


硅酸盐岩相学

华南工学院 北京工业大学
武汉建筑材料工业学院 上海化工学院

合编



高等学校试用教材

中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

硅酸盐岩相学

华南工学院
北京工业大学
武汉建筑材料工业学院
上海化工学院

合编

中国建筑工业出版社

本书是为硅酸盐工程材料专业、建材工业及材料科学等专业编写的教科书。全书共分四篇，分别叙述了结晶学、矿物学、岩石学的基础知识，硅酸盐岩相学的研究方法和近代测试技术以及硅酸盐工程材料的岩相分析方法，并附有实验操作技术。

本书亦可供从事硅酸盐工业生产和科研的科技人员参考。

高等学校试用教材
硅 酸 盐 岩 相 学
华 南 工 学 院
北 京 工 业 大 学 合 编
武 汉 建 筑 材 料 工 业 学 院
上 海 化 工 学 院

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092 毫米 1/16 印张：28 $\frac{1}{4}$ 字数：683 千字
1980年7月第一版 1980年7月第一次印刷
印数：1—4,160册 定价：2.90元
统一书号：15040·3904

序 言

硅酸盐岩相学是以硅酸盐工业原料及其产品为主要研究对象的一门科学，是从硅酸盐工业原料和硅酸盐工程材料的研究中所积累起来的学问，是天然岩相学和硅酸盐工艺学紧密结合起来的一门新兴科学。随着近代科学技术的发展以及近代测试技术的不断提高，硅酸盐岩相学的内容也更为丰富。

根据教学大纲的要求，本课程使学生掌握一定的岩矿知识，作为鉴定和选择原材料，改进工艺过程和提高产品质量的一种研究手段，把矿物和岩石学的基础理论和研究方法应用于硅酸盐工业，配合工厂中的常规检验，达到帮助控制生产、研究生产的目的。掌握这些研究方法和测试工具，也是从事科学研究工作的重要手段，可以帮助学生提高分析问题和解决问题的能力。

本书是根据以上要求编写的，共分四篇，第一篇几何结晶学，包括晶体性质，对称规律和晶体生长；第二篇硅酸盐岩相学的研究方法，除传统的晶体光学法外还介绍了电子显微镜、化学显微学、偏振吸收光谱、红外吸收光谱、顺磁共振谱、核磁共振谱、热谱等新的测试手段及具体应用实例；第三篇矿物岩石学，矿物概论重点介绍矿物的概念及其共性。矿物的分类方法，为适应工业上的需要，采用按化学成分组合单元体系来分类，另外还编写了矿物性质一览表，以便查阅。岩石学和岩相分析包括成岩作用，岩石结构构造和天然岩石原料的描述；第四篇硅酸盐工程材料的岩相分析包括水泥熟料及其水化物、炉渣与飞灰、耐火材料、玻璃、陶瓷和铸石等方面的问题，此外还附有十八个实验指导书。全书理论部分重点放在晶体光学原理和成矿成岩作用原理上。实践部分重点放在利用显微镜作岩相分析技术上。不同专业采用本书时，第四篇（硅酸盐工程材料岩相分析）可按专业要求选择讲授。

本书力图较系统和详细地阐述硅酸盐岩相学的基本理论和研究方法，附上从实践中取得的图表资料以及实验数据，介绍近年来硅酸盐岩相学上所取得的丰富经验。但由于我们水平有限，书中错误和遗漏之处一定不少，请读者批评指正。

本书由华南工学院王天颐负责主编，参加编写第一篇和第四篇第五、六章的有北京工业大学董治长，第二篇一、二、三章的有武汉建筑材料工业学院沈文华、黄文妹，第二篇第四章和第四篇第三章的有华南工学院赵子衷，第三篇第三章第四篇第四章的有上海化工学院诸培南，其余均由华南工学院王天颐完成。初稿经统编修改后，由武汉地质学院苏良赫、上海科技大学翁臻培主审，参加审稿的还有武汉地质学院周珣若、翁润生，建材研究院任祥泰，上海化工学院蔡美蝶，武汉建筑材料工业学院卓乐允，同济大学冯铭芬。编审过程中得到各方面的支持和鼓励，本书第二篇的绘图工作承上海社会科学院情报研究所承厚浩等同志协助完成，谨致谢意。

编 者

一九七九年九月

目 录

序言

第一篇 几何结晶学

概述	1
第一章 晶体的概念及晶体的共性	3
§ 1-1-1 晶体的概念	3
§ 1-1-2 晶体的共性	8
第二章 晶体的几何对称规律	13
§ 1-2-1 晶体的外部形态对称	13
§ 1-2-2 理想晶体形态——47种单形和聚形	17
§ 1-2-3 晶体定向、晶面符号和晶棱符号	21
§ 1-2-4 晶体的内部构造对称——230种空间群	25
第三章 晶体生长	38
§ 1-3-1 从熔体中产生的晶体	39
§ 1-3-2 烧结过程中晶体生长	44
§ 1-3-3 晶体的规则连生	51

第二篇 硅酸盐岩相学的研究方法

第一章 晶体光学基础	54
§ 2-1-1 光在晶体中的传播	54
§ 2-1-2 光率体	57
§ 2-1-3 光率体在晶体中的位置——光性方位	63
第二章 偏光显微镜下研究晶体的方法	67
§ 2-2-1 偏光显微镜的构造	67
§ 2-2-2 偏光显微镜的调节与校正	69
§ 2-2-3 薄片制备方法简介	72
§ 2-2-4 单偏光镜下的观察	73
§ 2-2-5 正交偏光镜下的观察	80
§ 2-2-6 锥光镜下的观察	93
§ 2-2-7 油浸法	105
§ 2-2-8 显微镜下的定量测定方法	111
§ 2-2-9 透明矿物薄片系统鉴定步骤	116
第三章 反光显微镜下研究晶体的方法	117
§ 2-3-1 反光显微镜的主要类型及其构造原理	117
§ 2-3-2 反光显微镜的使用和调节	123
§ 2-3-3 反射光下晶体的主要光学性质	126
§ 2-3-4 光片的浸蚀	131
§ 2-3-5 显微摄影技术简介	135

第四章 电子显微镜	139
§ 2-4-1 电子显微镜的发展及其与光学显微镜的比较	141
§ 2-4-2 电镜的构造和工作原理	144
§ 2-4-3 试样的制备	152
第五章 晶体的其他研究方法	155
§ 2-5-1 化学显微学	155
§ 2-5-2 偏振吸收光谱	157
§ 2-5-3 红外吸收光谱	160
§ 2-5-4 顺磁共振谱	165
§ 2-5-5 核磁共振谱	168
§ 2-5-6 热谱	170

第三篇 矿物岩石学

第一章 矿物学概论	172
§ 3-1-1 矿物的概念和命名分类	172
§ 3-1-2 矿物的化学组成、结构式和性质的关系	174
§ 3-1-3 矿物的形态和生成环境	183
§ 3-1-4 矿物的共生组合和生成顺序	185
第二章 矿物各论	189
§ 3-2-1 单质和单盐包括自然元素和简单化合物	189
§ 3-2-2 二元化合物	199
§ 3-2-3 三元化合物	212
§ 3-2-4 四元化合物	224
第三章 岩石学简介与岩相分析	227
§ 3-3-1 地质作用与岩石的形成	228
§ 3-3-2 岩石的结构	246
§ 3-3-3 天然岩石	252

第四篇 硅酸盐工程材料的岩相分析

第一章 水泥熟料及其水化物的岩相分析	265
§ 4-1-1 显微结构与相图	265
§ 4-1-2 硅酸盐水泥熟料的主要相组成和显微特征	269
§ 4-1-3 硅酸盐水泥熟料的岩相结构与强度的关系	285
§ 4-1-4 硅酸盐水泥熟料的岩相结构与生产工艺控制	289
§ 4-1-5 硅酸盐水泥熟料的水化物	305
§ 4-1-6 矾土水泥熟料的主要相组成和显微特征	311
§ 4-1-7 矾土水泥熟料的水化产物	315
第二章 炉渣和飞灰	316
§ 4-2-1 黑色冶金炉渣	316
§ 4-2-2 有色冶金炉渣	327
§ 4-2-3 煤渣和粉煤灰	328
§ 4-2-4 水泥窑灰	331
第三章 耐火材料	333
§ 4-3-1 耐火材料显微结构的基本观察	334
§ 4-3-2 $Al_2O_3-SiO_2$ 系耐火材料	336

§ 4-3-3 镁质耐火材料.....	344
§ 4-3-4 熔注耐火材料.....	353
第四章 玻璃工业岩相分析与微晶玻璃的显微结构.....	354
§ 4-4-1 岩相学研究在玻璃工业上的重要性.....	354
§ 4-4-2 玻璃结石的来源和分类.....	355
§ 4-4-3 玻璃结石的检验方法.....	359
§ 4-4-4 结石中的矿物及其形成原因.....	365
§ 4-4-5 玻璃工业用耐火材料的侵蚀变化.....	370
§ 4-4-6 微晶玻璃的显微结构.....	376
第五章 陶瓷.....	381
§ 4-5-1 液固相烧结合瓷.....	382
§ 4-5-2 固相烧结合瓷.....	392
第六章 铸石.....	397
§ 4-6-1 概述.....	397
§ 4-6-2 铸石生产的工艺特点.....	399
§ 4-6-3 铸石中的物相.....	400
§ 4-6-4 铸石中几种主要晶体的生长分析.....	406
§ 4-6-5 铸石的几种主要显微结构.....	411
§ 4-6-6 铸石化学组成、显微结构和铸石性能之间的关系.....	414
实验	
实验一 单形、聚形、点群分析.....	417
实验二 晶体常数、晶面符号、晶棱符号的确定.....	418
实验三 偏光显微镜.....	419
实验四 薄片、光片及超薄光薄片的制备.....	419
实验五 单偏光镜下的观察.....	420
实验六 正交偏光镜下的观察.....	421
实验七 锥光镜下的观察.....	422
实验八 油浸法.....	422
实验九 晶体在电子显微镜下的观察.....	423
实验十 矿物的鉴定(一).....	424
实验十一 矿物的鉴定(二).....	425
实验十二 岩石的鉴定(一)——岩浆岩.....	426
实验十三 岩石的鉴定(二)——沉积岩与变质岩.....	428
实验十四 在反射光下测定水泥熟料矿物百分含量.....	429
实验十五 水泥熟料岩相结构与生产工艺.....	431
实验十六 玻璃结石观察(一).....	432
实验十七 玻璃结石观察(二).....	433
实验十八 陶瓷岩相分析(一)、(二).....	435
附录 矿物性质一览表.....	436

第一篇 几何结晶学

概 述

几何结晶学是研究晶体几何性质的科学。几何结晶学通过对晶体几何性质的研究，系统地说明了晶体所遵循的几何规律，并通过对晶体的形态和晶体的内部构造以及晶体生成环境的研究，进一步揭示了三者之间的互相依赖关系，从而为硅酸盐岩相分析打下必要的结晶学基础。

几何结晶学萌芽于17世纪下半叶。早在1669年，丹麦学者N·斯丹诺就研究了自然界生成的石英(SiO_2)和赤铁矿(Fe_2O_3)晶体。他发现石英和赤铁矿都具有各自规则的多面体外部形态，包围晶体的面——晶面光滑而且完整。斯丹诺对石英晶体及赤铁矿晶体晶面之间的夹角分别进行了测量，所测量的多个石英晶体尽管大小不等，形态有异(如图1-1)，但它们的对应晶面之间所夹的角度却是相等的。无数个赤铁矿晶体之间也存在着对应晶面间夹角相等的情况。

N·斯丹诺的发现引起了人们对晶体形态研究的兴趣，不少人相继展开了对各种晶体形态、晶面间夹角的研究工作。例如，在我国古代，就曾以“形六棱而锐，色茱白明彻”来描述石英晶体。在我国更泛有“雪花六出”之说，见图1-2。说明我们的祖先正是从晶体的形态，甚至从晶体的颜色和透明度，总结出了石英和雪花晶体所具有的特征。经过人们对自然界大量晶体外部形态等一系列的研究，从所积累的大量晶体外形测量资料中，总结出了一条定律——面角^①恒等定律。即：在一定条件下生成的化学组成及内部构造相同的晶体，其对应的晶面间夹角是恒等的。

晶体种类很多，形态各异，但是面角恒等定律，揭示了同种晶体所呈现的不同外形上所遵循的角度规律。为人们进一步开展晶体几何规律的研究工作开辟了道路，为几何结晶学的发展打下了初步基础。

随着对晶体几何性质由表及里、逐步深入的研究，17世纪末至18世纪初，进一步阐明晶体几何规律的整数定律和晶带定律先后被总结出来。1837年，德国学者W·H·米勒尔提出的表示晶面在晶体空间位置的符号——米氏符号，即晶面符号，至今仍被人们所采用。到了19世纪中叶，关于晶体内部构造几何规律的研究得到了大发展。1885年法国学者A·布拉维运用数学推导，计算出了反映晶体内部构造几何规律的14种空间格子类型，这14种空间格子类型又被称为布拉维格子。布拉维格子的发现，是人们对晶体几何性质认识过程中的一次飞跃，它说明了晶体外部形态的几何规律决定于晶体内部构造的几何规律性。换言之，晶体外部形态的几何规律性，是晶体内部构造几何规律在一定条件下的外在反映。

^① 在实际晶体测量工作中，是测量并应用晶面法线间的交角——面角。而晶面间的夹角和面角则互为补角关系。

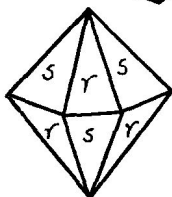
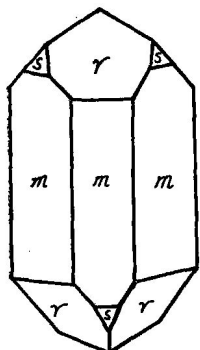
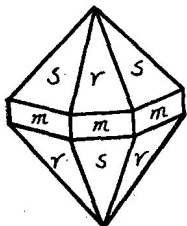
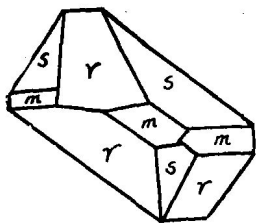


图 1-1 大小不等、形态各异的石英晶体

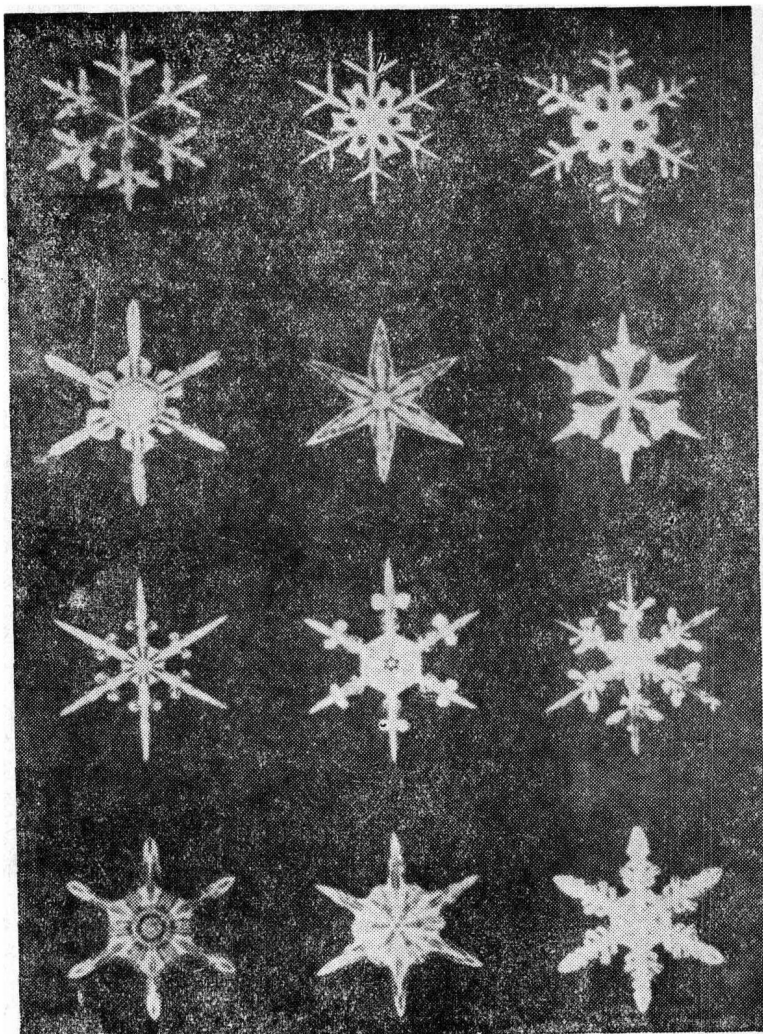


图 1-2 各种雪花的晶形

随着几何结晶学的发展，说明并描述晶体外形和内部构造对称规律的32种对称型（亦叫点群）和230种空间群相继问世。20世纪初，特别是1912年， x 射线通过晶体产生衍射现象的事实，证明了晶体内部空间具有格子构造。英国学者布拉格父子（W·H·布拉格和W·L·布拉格）在前人大量工作的基础上，开始应用 x 射线这一有效的工具，对晶体内部构造进行了广泛、深入的研究。自此，对晶体几何性质的理论及实验研究，从宏观进入微观，以及宏观研究和微观研究相结合的阶段。

几何结晶学是全部结晶学的基础，也是硅酸盐岩相学的基础。硅酸盐工业所采用的天然矿物和岩石原料，如石英、长石、滑石、石灰岩、粘土、辉绿岩等，就其相组成而言，无一不以结晶相为主或全部为晶相。而硅酸盐工业产品，无论陶瓷、耐火材料、水泥、铸石等，其相组成也均以结晶相为主，玻璃产品中出现的有限的“结石”缺陷也是结晶相。我们可以这样认为，除去非晶质玻璃而外，各种硅酸盐产品中的结晶相，主要影响和决定着

各种硅酸盐材料的性能。所以对晶体的了解和认识深度如何，直接关系到对硅酸盐工业原料到产品整个生产过程的认识深度。本篇的重点，不在于如何从晶体的几何形态特征去认识硅酸盐原料，重点是在较系统的掌握晶体的性质和晶体的几何规律的基础上，和后续篇章相结合，通过对硅酸盐产品和半成品中晶体的形态学分析，并且通过岩相显微组织中晶相和其它物相间的依存关系，研究晶体形态和周围介质、晶体形态和生长环境，亦即研究晶体形态和周围介质及整个工艺过程之间的关系。

第一章 晶体的概念及晶体的共性

§ 1-1-1 晶体的概念

一、晶体是具有空间格子构造的物体

晶体极其广泛的存在于物质世界。当我们把自然界的物质划分为固体、液体、气体三大状态以后，其中固体状态中的绝大部分物质则属于结晶体。液体状态的物质中，也有称之为液晶^①的液态晶体。

“几何结晶学”这一篇立足于晶体的几何性质来研究晶体，本书后续篇章，也将以极大的篇幅从晶体的角度来探讨硅酸盐工业原料、成品和半成品，因此，首先弄清晶体的概念则显得十分必要了。

在普通化学及无机化学教科书中，已阐述过有关晶体的初步知识。在这里我们将从讨论几个具体晶体的内部构造特点出发，去探讨所有晶体内部构造所遵循的普遍的规律，随后概括地介绍由于晶体内部构造特点所决定的晶体几个宏观性质，从而比较完整、准确的建立起有关晶体的概念来。

晶体是其构造单位（包括离子、原子或分子）在三维空间作周期性重复排列的物体。

下面我们以常见的食盐（NaCl）晶体为例，具体分析晶体内部构造特点。

图1-3为肉眼不可见的一小点食盐晶体内部构造放大图。从该图可以看出，无论是氯离子，或是钠离子，在晶体构造的任何方向上，都是每隔一定的距离重复出现一次的。显然，当我们选定任意两个相临离子连线方向以后，则在该连线方向上，同种离子都是每隔相等的距离周期性重复出现的。图1-3绘出了食盐晶体构造三个可见面的离子排列情况，其中右、上、前方的全图的 $\frac{1}{8}$ ，绘出了食盐晶体中离子排列的全部情况。在实际上，我们从三维空间去看食盐晶体的离子排列情况，则整个食盐晶体中的氯离子和钠离子都和那 $\frac{1}{8}$ 的排列情况相同。总之，食盐晶体中的氯、钠离子在三维空间呈周期性重复规律排列。若把图1-3那 $\frac{1}{8}$ 看成是食盐晶体的一个构造单元，则整个食盐晶体的内部构造就是这种构造单元在三维空间周期性重复出现的空间构造。

① 液晶是一类有序流体的总称。当液晶化合物在固体(结晶体)和液体(无定形体)状态时，其性质分别同一般晶体和液体没有什么差异，而在液晶状态时，则兼有液体和晶体两个方面的种种特性。其中液体性质，主要指流动性、粘度等，晶体方面的性质主要是指液晶所具有的热、电、光、磁等物理性质，所以液晶是处于液体和晶体之间的介晶状态物质。

上述食盐晶体的构造单元是一个平行六面体的特殊形，即立方体。在食盐晶体构造单元——立方体的八个角顶和六个面的中心分布着钠离子，在立方体的十二个棱的中点和立方体的体中心分布着氯离子。这种食盐的立方体构造单元，是组成食盐晶体内部构造的最小体积单位。我们又把组成各种晶体构造的最小体积单位称为晶胞。而其它的晶体构造和食盐晶体构造之区别，无外乎是组成晶胞的构造单位不同或者是构造单位及晶胞类型皆不同罢了。不同的晶胞各自在三维空间平行的无间隙的堆砌，便组成各自不同晶体的整体内部构造，从而出现了各种不同的晶体。

图1-4和图1-5分别示意为萤石（ CaF_2 ）和锐钛矿（ TiO_2 ）的晶胞。萤石的晶胞类型和食盐相同，呈立方体状，但构造单位为钙离子和氟离子，不同于食盐。而锐钛矿不仅构造单位不同于食盐，而且晶胞类型也与食盐不同。

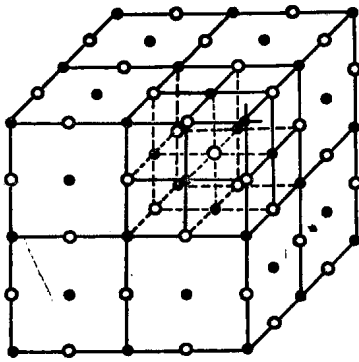


图 1-3 食盐晶体构造

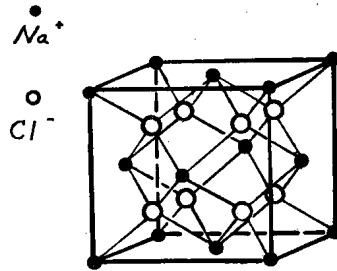


图 1-4 萤石（ CaF_2 ）的晶胞

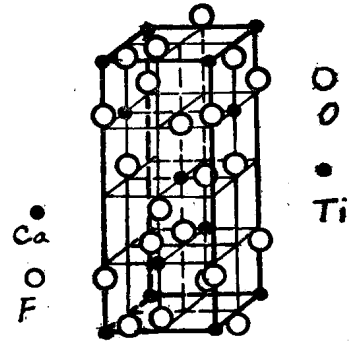


图 1-5 锐钛矿（ TiO_2 ）的晶胞

从不同的晶体构造中，都可以确定出组成各种不同晶体构造的最小体积单位——晶胞，这是晶体内部构造的普遍性规律。共性寓于个性之中，为了进一步加深对晶体内部构造共性规律的认识，下面我们继续剖析食盐晶体的内部构造。

如果我们首先着重观察图 1-3 食盐晶体构造中的一种构造单位，譬如钠离子，则可以发现，所有的钠离子周围的环境和方位都是相同的。说每一个钠离子的周围环境相同，是指在其三维空间最临近处，都排列着六个氯离子；说钠离子之间的方位相同，是指在这一个钠离子周围的六个氯离子和那一个钠离子周围的六个氯离子相比较，这些氯离子都相互一一对应地排列在钠离子周围相同的方位上。因之，从几何学观点出发，把钠离子在空间所处的位置（点），叫做相当点。之所以强调几何学上的相当点，是因为相当点是从真实晶体构造中抽象出来的晶体构造单位在空间所处的位置（点）。所以相当点本身只具有几何意义。而在真实晶体构造中，例如在食盐晶体构造中，无数个钠离子在晶体构造空间，只不过是处在相当点的位置上排列罢了。

在食盐晶体构造中可以分析出构造单位所处的相当点的位置，在其它晶体的构造中也可以分析出它们的构造单位所处的各自的相当点位置。图 1-4 所示的萤石晶体构造中，每一个钙离子在三维空间皆被最临近的八个氟离子所包围；而且任一个钙离子周围的八个氟离子和其它的钙离子周围的八个氟离子相比较，这些氟离子都相互一一对应地排列在钙离子周围相同的方位上。这说明萤石晶体构造中的所有钙离子，均处于其构造的相当点的位置上。如此类推，不论何种晶体，我们都可以从分析真实晶体的构造入手，抽象出它们相当的构造单位在相当点的位置上排列的情况。不言而喻，从真实晶体中抽象出来的几何学

上的相当点，在三维空间呈现有规律的分布，我们进而把这些存在于三维空间的相当点人为的联系起来，可以发现这些相当点在三维空间呈格子状排列。图 1-6 就是相当点在三维空间呈格子状排列的一般示意图形。

凡是从真实晶体构造中抽象出来的相当点在三维空间排列的几何图形，均称为空间格子。显然，空间格子是通过对真实晶体内部构造分析而抽象出来的、反映晶体内部构造中相当的构造单位在三维空间周期性重复排列规律的几何图形。

从任何晶体内部构造中都可以分析出空间格子来，这就是存在于所有晶体内部构造中的重要共性的几何规律。

空间格子上的点，称为结点。任意两个结点的连线，称为行列。行列中相邻的两个结点之间的距离称为结点间距（空间格子上的点，都是从真实晶体构造中抽象出来的相当的构造单位所处的位置——点，所以此处的结点间距，对应于真实晶体乃是相当点间距，如 NaCl 晶体中，某行列的结点间距应为相临的 Na^+ 和 Na^+ 之间的距离或 Cl^- 和 Cl^- 之间的距离，而非相临的 Na^+ 和 Cl^- 之间的距离）。通过不在一条直线上的任意三个结点所组成的面，称为面网。单位面网内结点数目称为面网密度。组成空间格子的最小体积单位，是由六个面构成的对面平行而且相等的平行六面体。从不同晶体中分析出来的空间格子有的简单、有的复杂。简单的空间格子，结点（相当点）只分布在平行六面体的角顶，复杂的空间格子，在平行六面体的体中心或面中心尚有结点（相当点）存在。

不难想象，空间格子的作用，在于这种几何图形反映了真实晶体中某种相当的构造单位在晶体中有规律的排列情况，而晶体中其它的构造单位只不过是这一部分相当的构造单位周围作有规则的配布罢了。

综上所述，我们便可给出晶体的定义，晶体是具有空间格子构造的物体。

二、十四种布拉维格子

本篇概述中已经提到过布拉维在 1885 年推导出反映所有晶体内部构造几何特点的 14 种空间格子类型。

图 1-7 是从食盐晶体内部构造中分析抽象出来的一种空间格子类型。在这种空间格子中，相当点分布在一个特殊的平行六面体——立方体的八个角顶和六个面的中心。这种空间格子类型被命名为立方面心格子。从图 1-4 萤石的构造中，同样可以分析出其所具有的立方面心格子来。从图 1-5 锐钛矿构造中，分析出的空间格子类型如图 1-8 所示。这种空间格子虽然亦是一个平行六面体的特殊形，但它不是立方体，而是一个四方柱体了。当我们仔

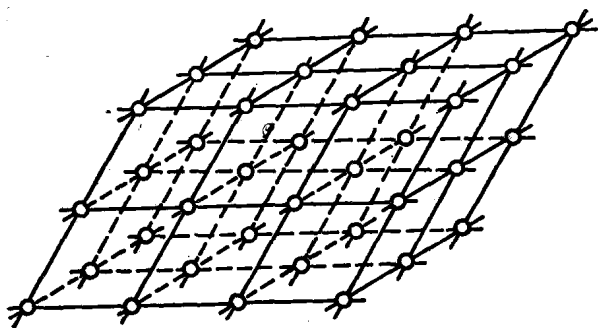


图 1-6 空间格子示意图

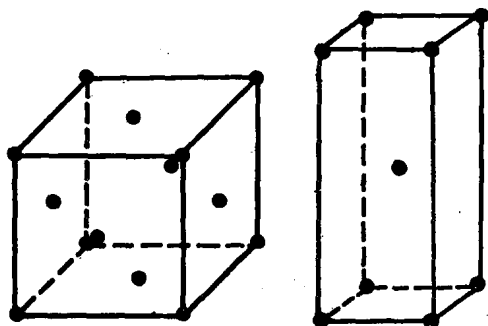


图 1-7 食盐的空间格子(立方面心格子)

图 1-8 锐钛矿的空间格子(四方体心格子)

细观察图 1-5 锐钛矿晶胞以后，发现四方柱形晶胞的八个角顶上和四方柱体中心位置上的九个钛离子是相当的构造单位，也就是说这九个钛离子是处于相当点的位置上（其中在体中心的钛离子的环境已全部绘出，它被最临近的六个氧所包围，如果在这个晶胞周围继续平行紧密堆砌这种晶胞，也会清晰的发现处于八个角顶的钛离子被同样的六个氧所包围）。四方柱面上的钛离子和这九个钛离子比较，虽然环境相同（皆被六个氧包围），但方位不同（氧的配布有异），所以柱面上的钛离子和这九个钛离子不是相当的构造单位。亦即锐钛矿中的钛离子并非都处于相当点的位置上。于是，根据由相当点组成空间格子几何图形的概念和原则，只能从图 1-5 中把处于四方柱八个角顶及体中心的相当点的位置抽象出来，从而得到如图 1-8 所谓四方体心格子。显然，这是有别于食盐和萤石晶体所具有的立方面心格子的又一种空间格子类型。

物质世界晶体的种类是很多的，从那么多种晶体中，到底可以分析出多少种空间格子类型呢？从食盐和萤石具有不同的化学组成、不同的晶体构造但却具有相同的空间格子类型是可以给予我们启示的。它说明晶体种类尽管很多，但由于化学组成和内部具体构造不同的晶体可以具有相同的空间格子类型，所以空间格子类型一定是有限的。1885年，布拉维运用数学计算，推导出反映全部晶体内部构造几何规律的空间格子类型总共只有14种。20世纪初，人们开始应用X射线衍射对晶体内部构造进行大量的实验分析，证明布拉维的推导是完全正确的。

全部14种空间格子如图 1-9 所示。由图可见，这14种空间格子是几种类型不同的平行六面体。下面我们对14种空间格子中的结点分布及形状作具体分析。

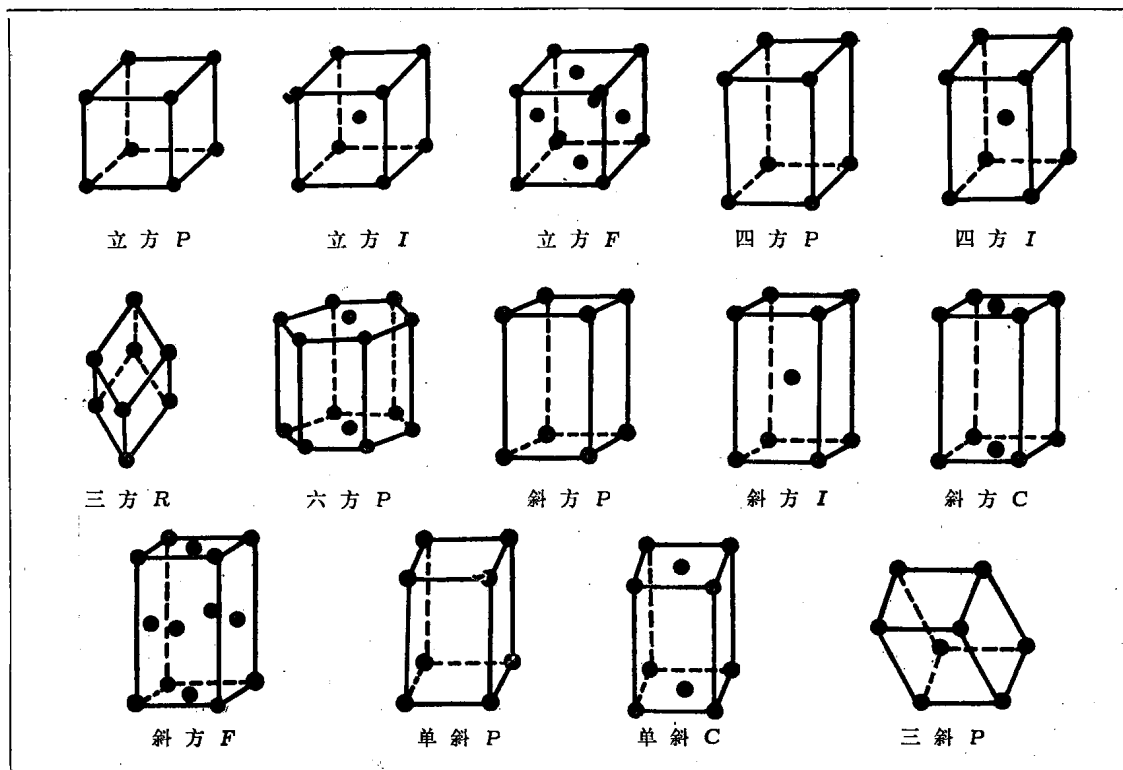


图 1-9 14种空间格子

先分析结点（相当点）在空间格子上的分布。

最简单的空间格子，结点只分布在平行六面体的角顶，称为原始格子，原始格子以符号“P”表示（其中三方原始格子以“R”表示）。

若结点不仅在平行六面体的角顶，而且在其体中心亦存在，称之为体心格子，体心格子以符号“I”表示。若结点分布于平行六面体的各角顶及一对面的中心，则称为底心格子，底心格子以符号“C”或“A”表示（六方底心格子也有以符号“P”表示者）。如果结点不仅分布在平行六面体的八个角顶，而且在平行六面体的六个面中心也都有结点分布，则被称为面心格子，面心格子以符号“F”表示。这些空间格子的代表符号在国际上是通用的。

再分析空间格子的形状。

空间格子总共有7种形状，对于这7种形状的空间格子均可以用会聚于一点的三条行列之间的夹角 α 、 β 、 γ 以及这三条行列的结点间距（即相当点间距） a 、 b 、 c ●来描述。

第1种形状是立方体。为立方原始格子、立方体心格子和立方面心格子所具有。在这三种空间格子中， $a = b = c$ ， $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 。

第二种形状是四方柱体。为四方原始格子和四方体心格子所具有。在这两种空间格子中， $a = b \neq c$ ， $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 。

第三种形状是斜方柱体。为斜方原始格子、斜方体心格子、斜方底心格子和斜方面心格子所具有。在这四种空间格子中， $a \neq b \neq c$ ， $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 。

第四种形状是单斜柱体。为单斜原始格子、单斜底心格子所具有。在这两种空间格子中， $a \neq b \neq c$ ， $\alpha = \gamma = 90^\circ$ 、 $\beta > 90^\circ$ 。

第五种形状是一般的平行六面体，为三斜原始格子所具有。在三斜原始格子中， $a \neq b \neq c$ ， $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ 。

第六种形状是菱面体，为三方原始格子所具有，在三方原始格子中， $a = b = c$ ， $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ ●。

第七种形状是六方柱体。为六方底心格子所具有。这种六方柱体，是由三个 $a = b \neq c$ ， $\alpha = \beta = 90^\circ$ ， $\gamma = 120^\circ$ 的平行六面体组成的，六方底心格子和其它13种空间格子一并反映了所有晶体内部构造的几何特征。

在本节，我们不仅讨论了组成真实晶体构造的最小体积单位——晶胞的概念，而且详细讨论了晶体内部构造中，相当的构造单位在三维空间作周期性重复排列的几何图形——空间格子。并且叙述了在真实晶体内部、在相当的构造单位（即处于相当点位置上的构造单位）的周围，有规则的配布着其它的构造单位。在这里，为了加深对晶体内部构造规律性的认识，为了进一步认识相当点及空间格子的几何意义，如果我们把相当的构造单位这一概念，理解为不仅仅是指某种环境和方位相同的离子、原子或分子，而且指由相临最近的几个离子、原子或分子所组成的一个单位，或称为离子集团、原子集团、分子集团。或

● a 、 β 、 γ 和 a 、 b 、 c 值又称为晶体常数，可参见§1-2-3及图1-19。

● 这里采用的是选取会聚于一点的三条行列进行定向，即所谓米勒定向法所得到的晶体常数， $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ ，但其具体角度因晶体而异。对于三方原始格子和六方底心格子也有采用选取会聚于中心点的四条行列进行定向，即所谓布拉维定向法，其晶体常数应为 $\alpha = \beta = 90^\circ$ ， $\gamma = 120^\circ$ ， $a = b \neq c$ （或以 $a_1 = a_2 = a_3 \neq b$ 表示）。

者干脆把每一个晶胞当成晶体内部的一个构造单位，在分析和抽象相当点及空间格子时，把这样的构造单位所处的位置当成一个点来看待，既不过分、又完全正确。事实正是这样，当我们立足于晶体内某一微小的质点或稍大一些的晶胞去观察整个晶体的内部构造，同样可以发现晶体内部三维空间那种周期性循环排列的微观世界。

然而，仅此尚未建立起有关晶体的完整的概念。只有当我们认识到，物质世界反映晶体内部构造几何特征的空间格子总共只有14种类型；而且认识到无论哪一种晶体，当我们分析它的内部构造后，肯定其空间格子必属于14种空间格子中的一种时，我们才建立起了有关晶体的完整而准确的概念。

至于晶体的任何宏观共性，都是晶体具有空间格子构造这一内在本质在一定条件下的外在反映。在后续篇章将逐步探讨的，每种晶体所具有的个性，是由于每种晶体的化学组成不同，或是化学组成相同而晶体内部构造不同，以及晶体的生成环境不同而造成。

我们可以通过现象去认识本质，然而，一旦我们认识和掌握了本质，则更能准确地认识由本质所决定的现象。本章的安排及下一节“晶体的共性”，正是从这一思想出发来讨论的。

§ 1-1-2 晶体的共性

晶体微观构造的共性，即晶体具有空间格子构造这一共性，我们在“晶体的概念”一节中已进行了初步讨论。本节“晶体的共性”是指晶体在宏观上共有的性质。晶体的宏观共性，无不源于晶体内部的空间格子构造，所以本节将力求把晶体的现象和本质这两者的关系有机地结合起来。

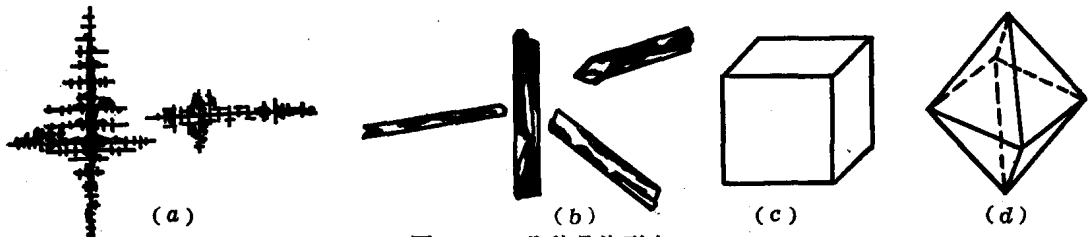


图 1-10 几种晶体形态

一、晶体的自形性

晶体的自形性是指晶体具有自发地生长成几何多面体外形的性质。

图1-1是从地壳中开采出来的几种石英晶体的晶形，图1-10是硅酸盐产品中所见到的一些晶体的晶形，硅灰石晶体($\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)常呈细柱状。镁质陶瓷及镁质耐火材料中的方镁石(MgO)晶体，如图1-10 c所示为立方体状，而尖晶石晶体($\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$)应具有如图1-10 d所示的八面体晶形。

无论是产生于自然界的，还是产生于硅酸盐工业产品中的晶体，都具有一定的几何多面体外形。晶体的几何多面体外部形态并非人为塑造，而是晶体生长过程中的必然产物。尽管有些晶体由于受到生成条件的限制，未能生长成规则的几何多面体外形，如图1-10 a所示方石英(SiO_2)的树枝状晶体，但如果让其在适当的条件下继续生长，它们仍会自发地生长成规则的几何多面体外形。

晶体能自发的生成几何多面体外形的性质，根源于晶体内部的空间格子构造。若将晶体内部的空间格子构造和外部多面体几何形态联系起来，则完全可以想象；包围晶体的平面——晶面，相当于晶体格子构造外露的面网；晶面的交线——晶棱，相当于晶体格子构造外露的行列；晶棱的会聚点——角顶，则相当于格子构造中的外露的行列交点(结点)。这样看来，晶体的几何多面体形态，只不过是其生长过程中或生长完成后，构造单位依其格子构造特征进行堆砌的外在结果。

晶体的外形，在当前仍然是鉴别晶体的重要标志。然而，在晶体生长过程中，即使是人工培养的各种单晶体，也难于创造出完全理想的环境令其自由的按照应有的理想形态去发育。晶体生长时，特别是硅酸工业生产过程中的晶体生长时，晶体最终的形态，受热力学环境、周围空间介质的影响极大。这就给从形态学方面鉴别晶体带来了困难。而另一方面，硅酸盐工业产品中晶体形态虽然复杂，但它们在一定的工艺条件下长成的晶形却总带有一定的习惯性。所以一旦我们从形态学方面对晶体作出正确判定，则对于分析硅酸盐产品的整个生产工艺过程又会带来极为有益的论据。

某种晶体所长成的某种形态，从晶体构造单位之间的作用力——键能及生长缺陷等方面也可进行分析，此类问题待后续篇章再作讨论。本节只需认识到：晶体形成几何多面体外部形态是晶体的固有性质。各种晶体的形态都是在一定的条件下，其内部格子构造特征的外在反映。

二、晶体的均一性和异向性

晶体具有规则的格子构造，格子构造本身，是组成晶体的构造单位在三维空间的周期性重复排列。所以，如果把一个晶体分成几块或从中取出几个部分，那么这几块或这几部分的内部构造，即构造单位的配布，应该是完全相同的。也正因为如此，在同一晶体的不同部位，其相同的方向上具有相同的物理、化学性质。这就是所谓晶体的均一性。

图1-11为石英晶体均一性的示意图。在石英晶体的不同地方，各选出1厘米³的小块，设为“1”和“2”，在“1”和“2”的相同方向上(即“1”和“2”的aa向或“1”和“2”的cc向)测其热导能。结果“1”和“2”的aa向热导能都等于0.0173卡/厘米·秒·度(当在1厘米³的立方块前端面和后端面温差为1°C时，每秒钟通过1厘米距离时所传导的热量称为热导能)“1”和“2”的cc向热导能都等于0.0325卡/厘米·秒·度。再分别测定“1”和“2”aa向和cc向的黄光折射率，结果“1”和“2”的aa向折射率等于1.544，“1”和“2”的cc向折射率都等于1.553。

晶体的均一性在人工晶体大量培养和使用的时代是一个很重要的性质。一块大的完好的单晶体，根据需要切成几块，做成光学棱镜、电光调制器、光存贮器等元件，正是基于晶体所具有的均一性。其它硅酸盐材料，如陶瓷、耐火材料等，基本上是多晶体组合物，对于这样的材料，可以利用晶体的光学均一性来鉴别晶体。又如压电陶瓷的极化处理，实际上是使单相多晶体压电陶瓷电畴结构均一化——单畴化。

总之，均一性是晶体的重要性质，我们既可以应用晶体的均一性，又可以根据晶体的均一性达到鉴定晶体的目的。

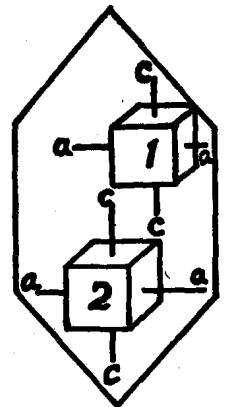


图 1-11 石英晶体均一性示意图

晶体的均一性和非晶质体的均一性是不同的，其根本区别在于晶体的均一性表现在晶体不同部位的特定方向上，而非晶质体，如玻璃的均一性则是各向均一，一块重火石玻璃的折射率为 1.806，是指无论从哪一个方向上测定其折射率均为 1.806。因而，为区别起见，晶体的均一性又可称为结晶均一性，而非晶质体的均一性称为统计均一性。非晶质体的统计均一性是因为它们不具备晶体的那种格子构造。任何一种非晶质体，其远程构造，即离子集团、原子集团或分子集团之间的排列都是无序的，远程无序的内部构造，是非晶质体具有统计均一性的内在原因。

晶体的异向性是指在一般情况下，晶体的不同方向上具有不同的性质。前面以石英为例所说明的晶体的均一性，实际上已经包含说明了晶体的异向性。即 aa 向和 cc 向这两个不同的方向具有不同的性质。

显然，晶体的均一性和异向性，是一个问题的两个方面，它从在晶体的相同方向上具有相同的性质和不同的方向具有不同的性质，这样两个方面全面说明了晶体性质的方向性特征。从而告诉了我们，晶体的内部构造是均一的，但在均一性的内部构造中，包含着在不同的方向上构造不同这一异向性。

晶体的异向性对于鉴定晶体起着重要的作用。例如光通过晶体时，在大多数晶体中，不同方向上振动的光具有不同的传播速度，从而产生了鉴别晶体的重要光学常数 N （折射率）和 $4N$ （双折射率）。又如光在某些晶体中传播时，所显示出的多色性现象等，这些光学异向性是鉴别晶体的重要特征。

另外工业上已经采用的晶体的压电效应、半导体材料的单向导电性等都是对晶体异向性的具体应用。

三、晶体的对称性

晶体的对称性是晶体的一个极其重要的特性。晶体的对称性是指晶体某一方位的晶面、晶棱和角顶可在其它方位呈有规律的再现；晶体某一方向的性质，可在与该方向成一定夹角关系的其它方向呈有规律的再现。晶体的这一对称性概念，前者是晶体外形的对称；后者是晶体物理性质和化学性质的对称。无论晶体的外形对称，还是晶体的物理、化

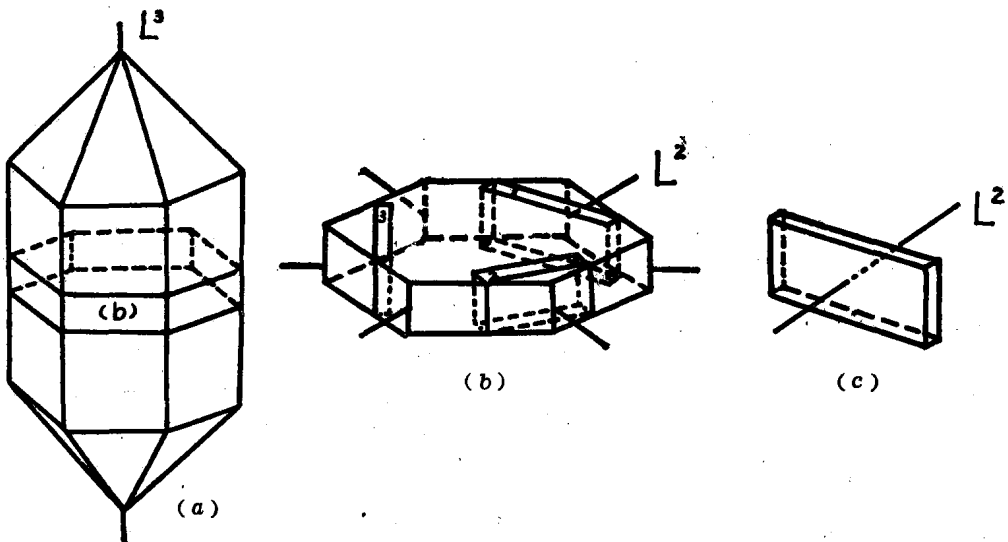


图 1-12 石英晶体压电性的对称分布