

057-106C₁

矿石学

● 陈祖荫 主编

高等院校试用教材

GAO DENG YUAN XIAO SHI

YONG JIAO CAI



武汉工业大学出版社

高等学校试用教材

矿 石 学

陈祖荫主编

汤素仁 毕晓平

李前懋 杜振国

武汉工业大学出版社

本教材为高等学校试用教材，包括结晶学基础、矿物、矿石及成矿作用，矿物鉴定及选矿产品的系统研究。可作为建材、冶金、化工系统的高等院校，专科学校选矿专业教材，及其专业技术人员参考用书。

矿 石 学

陈祖荫主编

汤素仁 毕晓平

李前懋 杜振国

武汉工业大学出版社出版

江西瑞昌印刷厂印刷 湖北省新华书店经销

开本787×1092 1/16 印张24.25 插表5 字数582千字

1987年10月第1版 1987年10月第1次印刷

印数0001—2000

ISBN 7—5629—0020—5 / TD.0001

定价：4.02元

前 言

1984年9月国家建材局科教司在洛阳召开了高等学校非金属矿专业教材编审会议，会上决定编写选矿专业用的地质基础教材，即《矿石学》。尔后确定了主编、编写小组，且审定了编写大纲。本教材定为非金属矿选矿专业的基础课用书；也可作为冶金、化工等各类选矿工程专业矿石学课程教材，同时还可作为从事选矿生产、科研及设计人员的参考用书。

开设本课程的目的，乃要求学生有学习有关地质学方面的基本概念和知识，掌握研究矿石的选矿工艺性质和对选矿产品进行考察的基本知识和基本技能。为此，本教材的任务是：阐述矿石的组成和性质的基础知识；介绍鉴定和研究矿物的方法；论述矿石及选矿产品的系统研究。

本教材包括矿物、矿石及成矿作用、矿物鉴定及矿石和选矿产品系统研究等四篇。前三篇是矿石学基础，第四篇是矿石学在选矿工艺中的实践。

受教材编审委员会委托，本教材由陈祖荫主编，编写分工如下：汤素仁（武汉大学）第一篇第一章的1～7节、第二章、第三章的第1节、第三篇的第十章；毕晓平（武汉大学）、第一篇第一章的8～10节、第三章的2～6节、第四章；杜振国（东北工学院）第二篇的第五～九章；李前懋（北京钢铁学院）第三篇第十一章；陈祖荫（东北工学院）绪论、第三篇第十二、十三章、第四篇第十四～十八章。

主审是冶金部长沙矿冶研究所程希翱同志。在编写过程中还得到了武汉工业大学非金属矿系和东北工业学院采矿系的支持和鼓励，在此一并表示感谢。

由于时间紧迫，，书中缺点和错误在所难免，敬请广大读者提出宝贵意见。

编者 1986年7月

绪 论

矿石是选矿处理的对象，所以要选矿就要研究矿石。

唯物辩证法认为外因是变化的条件，内因是变化的根据，外因通过内因而起作用。因此，环顾选矿作业，可见选矿上种种措施固然很重要，但那些毕竟都是外因，而只有矿石自身的特殊性才是内因，才是取得最大经济效益的依据。例如磁选作业，只有在矿石中存在一定磁性物质、或矿石经处理后能产生磁性物质时，才能获得好的磁选效果。因此，选矿工作者认识和研究矿石的重点是它的组成和性质。虽然，有时选矿工作者也会探讨矿石的成因，但是那是为了更好地说明它的组成和性质。本书就是从这些观点出发来阐述和研究矿石的。

当我们观察一块矿石时，在大多数情况下，都认为它是由颜色、光亮程度和表面平整程度不同的颗粒组成的，而这些颗粒呈现的现象是矿物的表现。

矿物是地壳中各种地质作用下，也就是天然的物理化学作用和生物作用下所产生的自然单质或无机化合物，如石墨、磁铁矿、黄铜矿和石棉等。与上述相反，那些人工产品，如化学药品，就不称为矿物。由于科学技术的发展，现在已可合成不少矿物，或者制成具有某种特定工业意义的无机化合物，人们一般就称它们为人为造矿物或合成矿物，如人造金钢石、合成云母等。也有直接用化合物名称来称呼的，如碳化硅。

矿物有一定的化学成分，并且可用化学式来表示，除胶体矿物外，大多数矿物是固态，具有一定的晶体结构，由于矿物的一切属性取决于它的化学成分和晶体结构，所以不同矿物就有不同的形态及物理性质和化学性质。

因为矿物有一定的属性，这就给认识和选别这些矿物创造了条件。现举磁铁矿 Fe_3O_4 和赤铁矿 Fe_2O_3 为例说明：磁铁矿的颜色和条痕均呈黑色，具磁性；赤铁矿的颜色，有的是钢灰色，有的是樱红黄，但其条痕总是红色，无磁性。因此即使不考虑磁性，仅凭颜色和条痕，就可以把磁铁矿和赤铁矿区别开来。由于磁铁矿有磁性，当同它分离的矿物无磁性时，用磁选分离的经济效益最高是不言而喻的。赤铁矿根据情况可重选、浮选和强磁性，如矿石条件允许磁化焙烧，则把赤铁矿还原成磁铁矿，进一步也可用经济的磁选作业来选别。

从经济技术角度来观察二次世界大战，可以说那是一场钢铁消耗战。直到60年代，世界上还公认金属材料的生产决定了一个国家的实力，因之在当时的矿石概念里，把反映能利用的元素列为一个重要方面，即矿石应是能提取某种元素或有用矿物的矿物集合体，如铁矿石、铜矿石、石墨矿石和石棉矿石等，而对矿石的评价，有的就同元素的含量，即品位联系在一起了，随着科学技术的发展，人们发现非金属矿石和它的衍生制品有时会有着金属所无可比拟或无从取代的优良或特殊性能。对非金属矿石的评定有的仍可沿用上述矿石概念来进行，有的却是根据它的技术性能来评定的。例如珍珠岩成为矿石，是根据它在加热时的膨胀倍数。

目前世界上，非金属矿石的开采量已远远超过金属矿石的开采量。相应地，矿石的概念

也应扩展。矿石是根据国民经济的需要和技术经济上的可能进行技术加工或直接利用的矿物集合体。有的矿石是选矿技术加工的对象，如贫磁铁矿石、黄铜矿和兰晶石矿石等，经选矿技术加工后，能富集某种有用矿物或排除某种有害成分；有的矿石在目前技术经济条件下，还不是选矿技术加工的对象，可是它们是化工技术加工的对象，如磷质岩，风化镍矿石等，能从中提取磷、镍或制备成特定的化合物；有的矿石肯定不会成为选矿技术加工的对象，可是经其它形式加工后，就具有了高的商品价值，如前述的珍珠岩矿石，经热膨胀加工后，可制成轻质且有很好的保温性能的材料；有的矿石却可直接利用，如石灰岩是冶金熔剂、水泥和电石的原料，石英岩是玻璃的原料，以及各种建筑石材矿石——花岗石、大理岩等。

岩石的概念，从地质学角度探讨时，是比较复杂的，岩石是各种地质作用下形成的由一种或几种矿物规律组合的矿物集合体。当岩石具备某种技术性能时，它也就成为矿石，如珍珠岩、辉绿岩和浮岩等。可是从选矿角度而言，岩石是没有工业价值的矿物集合体，岩石是选矿舍弃的对象。

从上述概念出发，可见即使从选矿角度来讲，矿石和岩石的概念也不是绝对的。是否可称为矿石，得从政治、技术和经济诸角度去综合衡量。当迫切需要某种资源时，就会对该矿石的品位破格降低。而随着矿石和选矿技术水平的提高，生产成本的降低，一方面最低工业品位可进一步降低，另一方面过去不能选矿的，现在可以选矿了，这时就会有更多的岩石升为矿石。

虽然说在地质科学的矿床学研究上，一定要研究矿石，可是这不是经常性的，没有象工业生产中的研究具有经常性的经济效益。今日的选矿工业已经是一个庞大的矿产原料加工工业。选矿加工的对象是矿石，选矿产品是一种松散物料，也可以认为是类似于砂矿的松散矿石。在这个物质基础上，对矿石的研究内容理所当然地成为了一门独立学科——矿石学。

矿石学是一门研究矿石中矿物组成与它们的粒度、相互关系和性质差异，矿石中元素分布以及矿石成因的学科。在矿石学研究内容的有关状态和分布的问题上，是不能用矿石学以外的什么方法来取代的。在问题简单时，这些研究最好由选矿工作者自己来进行，而不要借手于他人。选矿工作者在地质资料的帮助下，除验证和补充矿石的一般资料外，还应能敏捷地发现与选矿有关的矿物学问题，如妨碍矿物间解离的连生关系、矿物表面的氧化和污染级等。选矿可根据这些资料进行选矿试验，以便选择经济效益最高的选矿方法和选矿流程。

由于不同矿石在技术加工上有不同侧重的性质，于是可以从选矿角度区分矿石为不同的工业类型。矿石的工业类型应是既概括了所研究矿石的一般性质，又能反映矿石在技术加工上的特殊性。选矿在实际生产中总是根据矿石的工业类型来思考选矿上的问题和调整作业的。有的矿山根据选矿要求把矿石分为若干工业类型，还据此绘制工业类型矿石分布图。

另外用矿石学的研究方法对选产品矿进行检查，能说明其它方法所不能解决的状态问题如磨矿产品的单体分离度、精矿品位不高、精矿污染和回收率不高等。生产中发现精矿品位不高，有可能是矿物单体解离不良，也有可能是矿物单体解离已完善而选别不良。这完全是状态问题，只可能在显微镜下进行检查，而后得出正确结论。如某铁矿选厂的铁精矿品位在1974年前总保持在含铁±60%，无法进一步提高。经对精矿进行检查后，发现精矿中的脉石矿物（为石英）大都分布在粗级别，基本上已单体解离。而磁铁矿却分布在细级别，以单体

为主，两者在粒级上已拉开档次。于是对精矿进行细筛，把粗颗粒石英筛去，就这样简单地把铁精矿品位一下提高到含铁67—68%。因此对选矿产品完全应当象研究矿石一样，对它进行矿石学研究。只有查清原因，才能采取正确措施，从而提高经济效益。

随着科学技术的发展，矿石学的研究方法和内容也在不断深化。由于矿物相、微观结构、微区成分分析和表面分析等研究手段的发展，今天已不限于在显微镜下详细研究矿石。而在应用新技术下又揭露了更多更深入的微观领域，丰富了矿石学的研究内容。因为矿石学研究的某些方面有它的独到长处，而从事这方面研究带来的好处又往往是立竿见影的。今天不但在地质和选矿领域内从事这方面研究，凡是需要从物质组成的角度来说明反应过程和提高产品质量的，都要用矿石学的研究方法进行研究。因此矿石学的研究方法和内容在国民经济发展中受到愈来愈多的重视，是理所当然的。

目 录

绪论

第一篇 矿物..... (1)

第一章 结晶学基础..... (1)

第一节 晶体和它的基本性质..... (1)

第二节 晶体生长的基本规律..... (9)

第三节 晶体的对称..... (13)

第四节 晶体的理想形态..... (18)

第五节 晶体定向和晶面符号..... (25)

第六节 晶体的规则连生..... (31)

第七节 实际晶体的形态..... (33)

第八节 离子类型与离子半径..... (35)

第九节 最紧密堆积、配位数和配位多面体..... (37)

第十节 化学键与晶格类型..... (39)

第十一节 同质多象与多型..... (41)

第十二节 有序与无序结构..... (42)

第二章 矿物的化学成分和化学性质..... (44)

第一节 矿物的化学成分类型..... (44)

第二节 矿物的化学成分的变化..... (44)

第三节 矿物的化学式..... (49)

第四节 矿物的化学性质..... (50)

第三章 矿物的集合体形态和矿物的物理性质..... (54)

第一节 矿物的集合体形态..... (54)

第二节 矿物的光学性质..... (57)

第三节 矿物的力学性质..... (60)

第四节 矿物的磁学性质..... (63)

第五节 矿物的电学性质..... (65)

第六节 矿物的其它物理性质..... (66)

第四章 矿物各论..... (67)

第一节 矿物的分类和肉眼鉴定..... (67)

第二节 自然元素..... (70)

第三节 硫化物及其类似化合物和含硫盐..... (74)

第四节	卤化物	(86)
第五节	氧化物和氢氧化物	(88)
第六节	碳酸盐类矿物	(98)
第七节	硫酸盐类矿物	(103)
第八节	磷酸盐类矿物	(106)
第九节	钨酸盐类矿物	(107)
第十节	硅酸盐类矿物	(108)
第二篇	矿石及其成矿作用	(131)
第五章	矿床和矿石概论	(131)
第一节	矿石、矿体和矿床	(131)
第二节	矿石的性质和矿石类型	(131)
第三节	矿床的评价和分类	(138)
第六章	岩浆岩和内生矿床及其矿石	(139)
第一节	岩浆及其活动	(140)
第二节	岩浆岩	(141)
第三节	岩浆矿床及其矿石	(144)
第四节	伟晶岩和伟晶岩矿床	(147)
第五节	气水热液矿床	(148)
第七章	沉积岩和外生矿床及其矿石	(159)
第一节	外动力地质作用	(159)
第二节	砂矿床	(161)
第三节	风化矿床	(162)
第四节	沉积岩和沉积矿床及其矿石	(165)
第八章	变质岩和变质矿床及其矿石	(170)
第一节	变质作用的概念	(170)
第二节	变质岩	(171)
第三节	变质矿床及其矿石	(174)
第四节	混合岩化成矿作用—混合岩化矿床	(178)
第九章	矿石工业类型和综合利用	(179)
第一节	矿石工业类型	(179)
第二节	矿石综合利用	(196)
第三篇	矿物鉴定	(198)
第十章	透明矿物在偏光显微镜下的鉴定	(198)
第一节	晶体光学基础	(198)

第二节	偏光显微镜	(208)
第三节	透明矿物在单偏光镜下的光学性质	(214)
第四节	透明矿物在正交偏光镜下的光学性质	(221)
第五节	透明矿物在锥光镜下的光学性质	(232)
第六节	油浸法	(240)
第七节	薄片透明矿物的系统鉴定	(244)
第十一章	不透明矿物在反光显微镜下的鉴定	(259)
第一节	反光显微镜的基本构造和操作	(259)
第二节	单偏光镜下的光学性质	(264)
第三节	正交偏光镜下的光学性质	(268)
第四节	其它物理性质	(270)
第五节	浸蚀鉴定	(273)
	金属矿物鉴定表	(276)
第十二章	碎屑矿物在立体显微镜下鉴定	(291)
第一节	外观特征	(291)
第二节	磁性测定	(293)
第三节	比重测定	(294)
第四节	微化分析	(296)
第五节	透明矿物的进一步研究	(299)
第十三章	其它鉴定方法和成分研究	(300)
第一节	差热分析	(300)
第二节	X射线粉晶分析	(301)
第三节	激光显微光谱分析	(304)
第四节	透射电子显微镜	(304)
第五节	电子探针	(306)
第六节	俄歇能谱分析	(307)
第四篇	矿石和选矿产品的系统研究	(308)
第十四章	矿石和选矿产品中矿物量和元素分布的计算	(309)
第一节	计算的一般规则	(309)
第二节	磁铁—赤铁矿石的计算	(311)
第三节	铜、铅、锌硫化矿石的计算	(313)
第四节	碳酸盐、含 H_2O 和 $[OH]^-$ 矿物的计算	(316)
第五节	不含 H_2O 和 $[OH]^-$ 的硅酸盐矿物的计算	(319)
第十五章	矿石的显微镜定量	(322)
第一节	矿石中组成矿物体积含量的测定	(322)

第二节 矿石中组成矿物含量测定的精度·····	(329)
第三节 矿石中组成元素含量的计算·····	(331)
第四节 自动显微图象分析仪简介·····	(332)
第十六章 矿石的浸染粒度统计和分级·····	(334)
第一节 浸染粒度的概念·····	(334)
第二节 矿物粒径的测定·····	(335)
第三节 矿石的浸染粒度统计·····	(336)
第四节 浸染粒度统计的误差和消除·····	(339)
第五节 矿石的浸染粒度分级·····	(341)
第十七章 选矿产品的显微镜分析·····	(344)
第一节 样品制备·····	(345)
第二节 显微镜下的颗粒定量·····	(346)
第三节 级别显微镜分析·····	(349)
第四节 选矿产品全样显微镜分析和成果解释·····	(352)
第十八章 进行系统研究的提纲和报告的编写·····	(361)
第一节 矿石的研究·····	(361)
第二节 选矿产品的研究·····	(365)
第三节 成果解释·····	(366)
附录一 矿物比重表·····	(367)
附录二 矿物的比磁化系数·····	(368)
附录三 光、薄片的制作·····	(369)
附录四 彩色摄影和冲洗·····	(371)

第一篇 矿物

矿物是组成矿石的基础，是决定矿石性质的重要因素之一。因此，我们要研究矿石，首先必须认识矿物，而矿物的形态和物理性质又由其化学成分和内部构造所决定。所以，在研究矿石之前，一定要学习结晶学的基础知识；讨论晶体的化学成分与晶体结构的关系；了解矿物的共性以及常见矿物的具体特征，为学习以后各篇打下必要的基础。

第一章 结晶学基础

自然界的矿物是多种多样的，但按其组成矿物的质点（原子、离子或分子）排列和结合是否规则，可以分为两类：即晶质体（简称晶体）和非晶质体（简称非晶体）。而绝大多数矿物都是晶体。所以我们首先要了解晶体的概念和它的基本性质。它是学习矿物学的基础，在这章里将对结晶学的一些基础知识作简要地介绍。

第一节 晶体和它的基本性质

一、晶体的概念

对晶体的认识，也是随着人类的生产实践而不断加深的。最早人们发现冰是无色透明的，晶莹纯洁，就用一个美丽的名字来称呼它叫“晶体”。后来又把无色透明并具有规则的多面体外形的水晶也称为晶体。在开发和利用矿产资源的过程中，发现很多具有规则多面体外形的天然矿物如石盐、方解石、石英、黄铁矿（图1—1）等，于是晶体这一名词就被广泛地用来称呼具有规则多面体外形的天然矿物。但是，自然界具有规则多面体形态的矿物晶体极少，大量的还是呈不规则外形。并且，实验证明，若将不规则或有意磨圆的石盐颗粒放入NaCl的过饱和溶液中让其自由生长，最后能够生成立方体外形的晶体。这说明矿物晶体本身具有自发地形成规则多面体外形的能力。所以仅仅从矿物的外表形态来分辨是否是晶体是极不恰当的。因为多面体形态，只是晶体在一定条件下的一种外在表现。晶体的本质必须从它的内部去寻找。

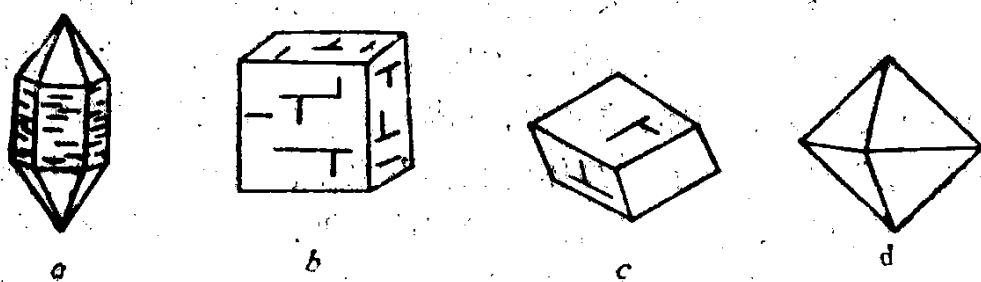


图 1—1 晶体

a、石英； b、石盐； c、方解石； d、磁铁矿

是，自然界具有规则多面体形态的矿物晶体极少，大量的还是呈不规则外形。并且，实验证明，若将不规则或有意磨圆的石盐颗粒放入NaCl的过饱和溶液中让其自由生长，最后能够生成立方体外形的晶体。这说明矿物晶体本身具有自发地形成规则多面体外形的能力。所以仅仅从矿物的外表形态来分辨是否是晶体是极不恰当的。因为多面体形态，只是晶体在一定条件下的一种外在表现。晶体的本质必须从它的内部去寻找。

有关晶体本质的探讨持续了几个世纪，直到1912年用x—射线对晶体结构进行研究后，才

揭示了晶体的本质。原来，一切晶体不论其外形是否规则，它的内部质点（离子、原子或分子）在空间都是按格子构造的规律排列的。例如在石盐晶体中就可以明显地看出这种规律性。

图1—2是石盐的晶体结构图。图1—2b是在其中割取的一个能代表整个晶体构造规律的最小单位（晶胞），并放大了约 3×10^7 倍（实际上在 1mm^3 的石盐晶体内就包含了大约 7×10^{17} 个这样的小单位）。其中大球代表氯离子，小球代表钠离子。从图可以看出，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。例如沿立方体三个棱方向， Na^+ 和 Cl^- 都以相等的间隔交替排列，每隔 $5.628 \text{ \AA}$ （ $\text{\AA} = 10^{-7} \text{ mm}$ ）重复一次；沿面对角线方向，则各自都是每隔 $3.978 \text{ \AA}$ 的相等间距连续排列。在其他方向上，情况都相类似，只是各自重复排列的间隔大小不同而已。如果用点与圈分别代表 Na^+ 与 Cl^- 的中心点，并用直线

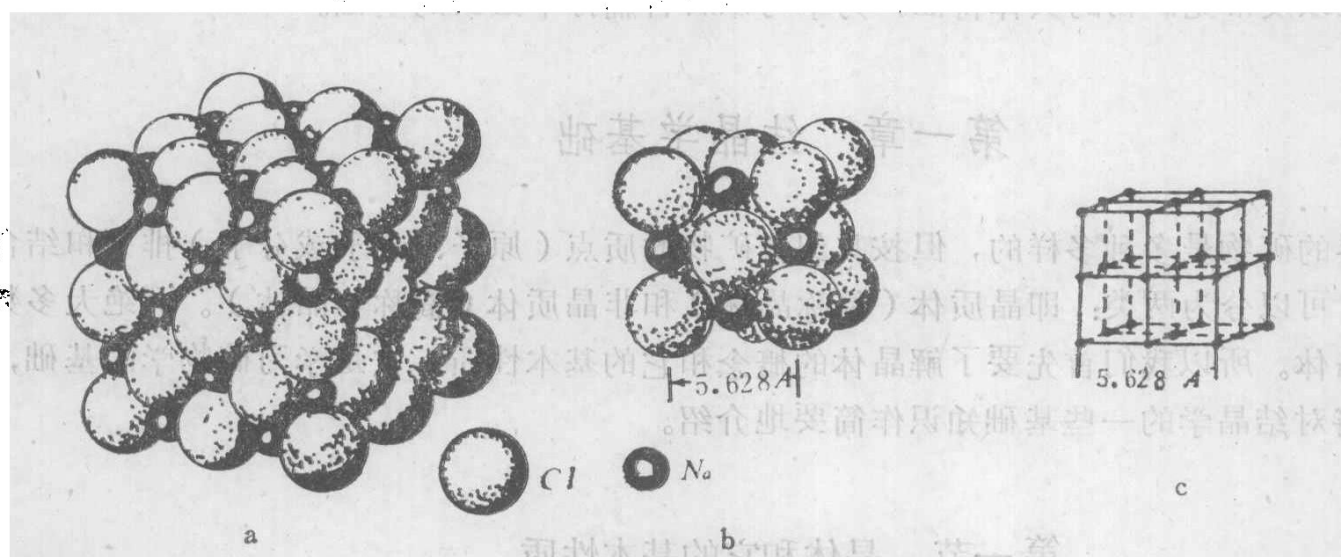


图1—2 石盐的晶体结构

将它们连结起来就得到一个格子状的图形（图1—2c）。实践证明，不论外部形态是否规则，所有石盐，它们的质点都是按这种立方格子排列的。石盐之所以能成为立方体的规则外形，正是受这种格子规律所制约的结果。

经过大量的研究工作，现在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不同，但都具有格子构造这一点是共同的。因此，对晶体的本质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性重复排列的固体，或者说，晶体是具有格子构造的固体。

揭示了晶体本质之后，我们才知道人们是生活在“晶体的世界”之中。自然界绝大多数矿物是晶体；我们日常生活中所用的金属制品、陶瓷制品以及我们吃的糖、盐、部分化学药品等都是由晶体所组成。晶体可以很大，世界上最大的云母可达 7m^2 ；也可以很小，小到只有用显微镜，甚至用x—射线才能辨别出晶体的存在。前者称显晶质，后者称为隐晶质。

与上述情况相反，非晶体是一种不具格子构造的固态物质。这是它与晶体的本质区别。从内部构造角度来看，非晶体中质点的分布类似于液体。所以严格地讲，非晶体只能称为过冷却液体；或硬化了的液体（非晶态“固体”），而不能称为固体，只有晶体才是真正的固体。

与晶体相反，非晶体的分布是极有限的。在矿物中只有琥珀、火山玻璃和一些玻璃化的放射性矿物如褐帘石等是非晶体；其它领域也只有诸如玻璃、塑料、树脂、沥青等物质为非晶体。至于自然界还存在的一些呈胶凝体状态的矿物，虽然组成胶体的微粒通常是晶质的，但由于颗粒太小，而颗粒间又呈不规则排列，因此，它不可能具有晶体的规则外形。在x—射线衍射、光学性质等一系列性质上的表现也与非晶体类似，故仍属非晶体的范畴。非晶体

不稳定，常常会自发地向隐晶质乃至显晶质转化。

二、晶体的内部构造——空间格子

空间格子

从上述对晶体本质的认识可知，晶体内部的格子构造是一切晶体所共有的基本特性。当然，不同的晶体一般来说，组成它们的内部质点的种类不同，在空间排列的具体形式和间隔大小也不完全相同。但是，任何一个晶体，不管它的结构有多么复杂，其质点在三维空间总是成周期性重复的规律排列的。如果不具有这一特点就不是晶体。所以，有必要进一步了解晶体格子构造的规律。现以氯化铯 (CsCl) 的晶体结构为例来加以说明。

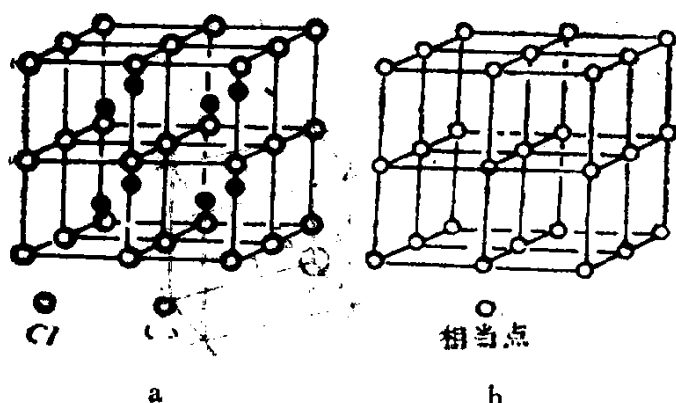


图 1—3 氯化铯晶体结构 (a)
与空间格子 (b)

如图 1—3 所示，圈和黑点分别表示 Cl^- 和 Cs^+ 离子的中心。图中无论是 Cl^- 或 Cs^+ 在三度空间都是每隔 $4.11 \text{ \AA}$ 的距离重复出现一次。为了进一步揭示这种重复规律，可以对它作某种抽象，首先在结构中任意选择一个几何点，如选在 Cl^- 离子中心（也可以选在 Cs^+ 离子中心或它们之间的任意点），然后以此为准在整个结构中把所有这样的点都找出来。这种点在晶体结构中都应该占据相同的位置（如 Cl^- 离子中心），而且具有相同的环境（ Cl^- 离子周围的环境，即与其他质点分布的方位相同）。这种点称为等同点或相当点。显然，这样一系列等同点在三维空间也是成周期性重复分布的如图 1—3b。它的重复规律正好体现了氯化铯晶体结构中 Cl^- 离子和 Cs^+ 离子在空间排列的周期性重复规律，如果将这样一系列的几何点用直线连接起来，就构成了一个格子状图形，故称空间格子。

因此，空间格子是表示晶体内部结构中质点重复规律的几何图形。由于组成晶体的质点很小（以 $\text{\AA}$ 做单位），可以把质点在三维空间的排列看成是无限的排列。所以，等同点的排列也是无限的，那么由等同点构成的空间格子必然是个无限图形。所以空间格子的确切概念是：由等同点在三维空间无限排列而成的几何图形。它的一般表示形式如图 1—4。

空间格子虽然是一个抽象的几何图形，但却不能脱离开具体的晶体结构而单独存在。不同的晶体结构有相应的空间格子形式。然而，对应于不同晶体结构的各个具体的空间格子，其结点的具体重复方式虽有所不同，但在三维空间成周期性重复这一点肯定是相同的。正因如此，它体现了为一切晶体所共有的基本规律——空间格子规律。

空间格子要素

由于空间格子概括地表明了晶体结构中质点排列的规律，因此了解空间格子所具有的特点，对于阐明晶体的共同性质是非常必要的。构成空间格子的要素有：

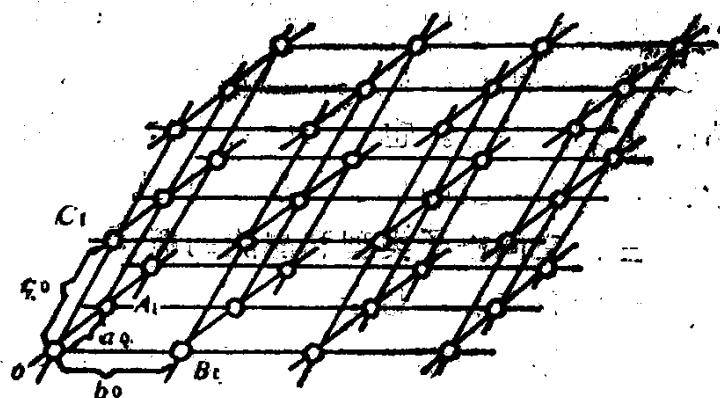


图 1—4 空间格子的一般表示形式

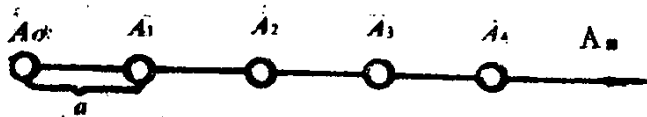


图 1—5 空间格子的行列

1. 结点 空间格子中的相当点称为结点。

2. 行列 分布在同一直线上的结点构成一个行列如图 1—5。行列上相邻两个结点间的距离称为结点间距。同一行列上的结点间距相等。

3. 面网 分布在同一平面内的结点构成一个面网。显然，任意两条相交的行列就可决定一个面网。结点就分布在它们的角顶上（图 1—6）。面网上单位面积内的结点数目称面网密度。从面网上可以看出，任意两个结点可以决定一个行列，相互平行的行列其结点间距相等。不平行的行列，结点间距一般不等。

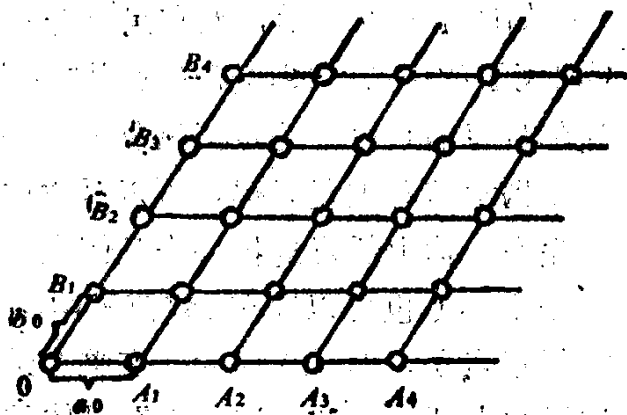


图 1—6 空间格子的面网

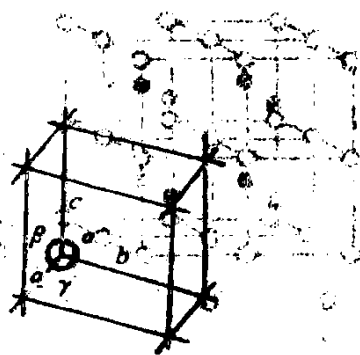


图 1—7 平行六面体

4. 平行六面体 由三对平行的面网围成。简单的平行六面体结点分布在角顶上如图 1—7所示。因此，整个空间格子也可以看成是无数个相等的平行六面体紧密无隙地迭置而成。

从图 1—4 可以看出：不在同一直线上的任何三个结点可以组成一个面网。平行的面网，其面网密度相等；不平行的则面网密度一般不等。相邻的平行面网之间的垂直距离称为面网间距。平行面网的面网间距相等；不平行的则面网间距一般不等。

最后必须指出，实际晶体上的晶面、晶棱、角顶相应地相当于空间格子中最外面的面网、行列、结点。也就是说具规则几何多面体形态的晶体是其内部格子构造在外部形态上的反应，它们与空间格子要素之间存在着对应关系。

三、空间格子类型和晶胞的概念

十四种布拉维格子

1855年法国学者布拉维首先用数学方法推导出空间格子的类型有十四种，人们为了纪念他，称作十四种布拉维格子。后来这十四种空间格子又为x—射线分析所证实。

十四种空间格子之间的区别，是由它们的单位平行六面体的形状和结点在其中分布的位置不同来决定的。而单位平行六面体的形状则是由组成它的三个棱长 a_0 、 b_0 、 c_0 及其夹角 α 、 β 、 γ 来决定的（图 1—7）它们也称为格子常数。

根据对称特点不同，单位平行六面体的形状有七种，与晶体的七大晶系相对应。

1. 立方格子：对应于等轴晶系。单位平行六面体为立方体如图1—8a。格子常数特点是

$$a_0 = b_0 = c_0 \quad \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

2. 四方格子：对应于四方晶系。单位平行六面体为一横切面为正方形的四方柱体，如图 1—8 b所示。格子常数特点是：

$$a_0 = b_0 \neq c_0 \quad \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

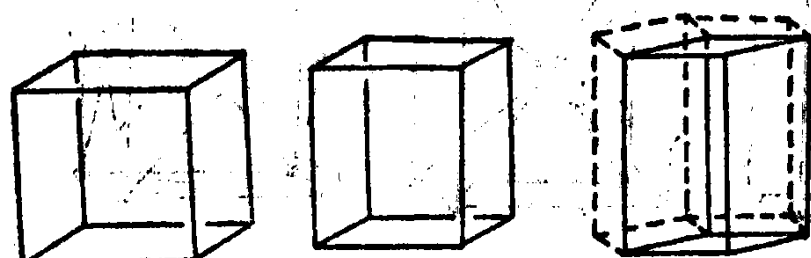
3. 斜方格子：对应于斜方晶系。单位平行六面体的形状如火柴盒（图 1—8e）。格子常数特点是： $a_0 \neq b_0 \neq c_0 \quad \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

4. 单斜格子：对应于单斜晶系。单位平行六面体中两对矩形面网的交角大于 90° 。并且都垂直于一对非矩形面网，如图 1—8f 所示。格子常数特点是：

$$a_0 \neq b_0 \neq c_0$$

$$\alpha = \gamma = 90^\circ$$

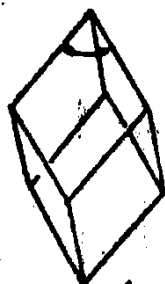
$$\beta > 90^\circ$$



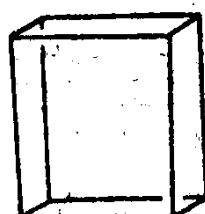
a

b

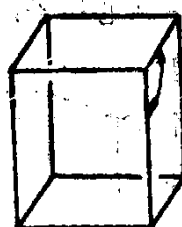
c



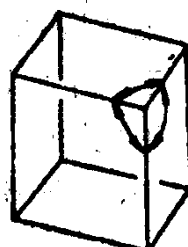
d



e



f



g

5. 三斜格子：对应于三斜晶系。单位平行六面体的三对面网的交角都不等于 90° ，如图 1—8(g) 所示，其格子常数特点是：

$$a_0 \neq b_0 \neq c_0$$

$$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$$

6. 六方格子：对应于六方晶系。单位平行六面体为一菱方柱体，如图 1—8c 所示。单独一个这样的平行六面体不具备六方晶系的对称特点，因此必须把三个菱

图 1—8 各晶系平行六面体的形状

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

方柱体合并成横切面为正六边形的六方柱体。但合并后的六方柱体是一个平行八面体而不是平行六面体。因此，六方格子仍以菱方柱体作为单位平行六面体，其格子常数特点为：

$$a_0 = b_0 \neq c_0 \quad \alpha = \beta = 90^\circ \quad \gamma = 120^\circ$$

7. 对应于三方晶系的三方格子和菱面体格子

三方格子：形式上与六方格子完全相同。这是因为六方格子的底面是一个内角为 60° 和 120° 的菱形，相当于由两个等边三角形所拼成。这种格子具有三方晶系的对称特点，其格子常数特点完全与六方格子相同。

菱面体格子：其单位平行六面体由三对平行且相等的菱形面网组成，如图 1—8d 所示。格子常数特点是：

$$a_0 = b_0 = c_0 \quad \alpha = \beta = \gamma \neq 60^\circ, 90^\circ, 109^\circ 28' 16''$$

（若等于 60° 为立方面心格子；等于 90° 为立方格子；等于 $109^\circ 28' 16''$ 则为立方体心格子）

根据单位平行六面体中结点分布情况不同格子又分成四种类型。

1. 原始格子 (P)：又称简单格子。结点分布在单位平行六面体的八个角顶（图 1—9a）。

2. 底心格子 (C)：结点分布在单位平行六面体的角顶及一对面的中心，如图 1—9b 所示。

3. 体心格子 (I)：结点分布在单位平行六面体的八个角顶和体的中心，如图 1—9c 所示。

4. 面心格子 (F)：结点分布在单位平行六面体的角顶和每个面的中心，如图 1—9d 所示。

综合考虑单位平行六面体的形状和结点分布，空间格子共有十四种，见表1—1。既然单位平行六面体有七种形状和四种结点分布类型，为什么空间格子不是 $7 \times 4 = 28$ 种而只有十四种呢？这是因为某些类型的格子不符合单位平行六面体的选择原则；还有一些格子不符合某晶系的对称特点而不能存在的缘故。

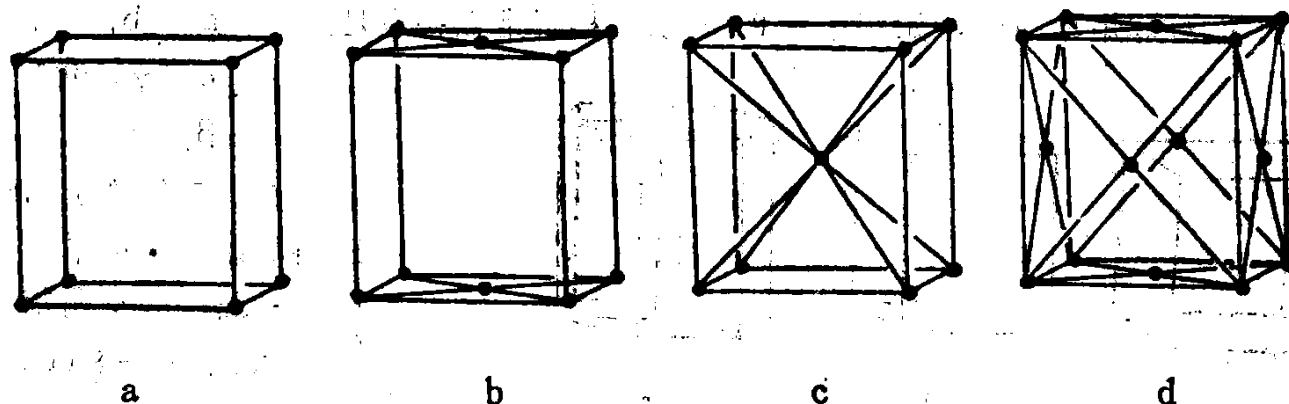
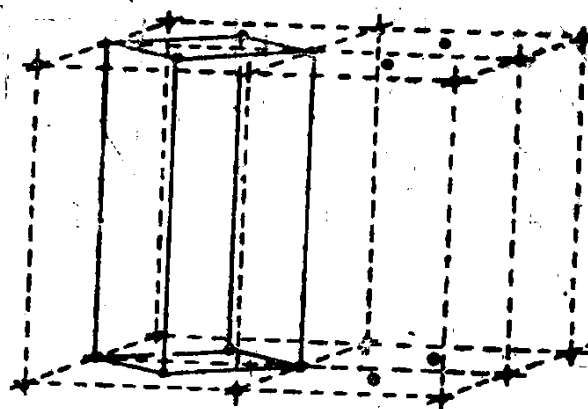


图1—9 平行六面体中结点的分布
a—原始格子；b—底心格子；c—体心格子；d—面心格子

例如从图1—10可以看出四方底心格子（虚线）可以重新划分为体积减小一半的四方原始格子；又如立方底心格子因不具 $4L^3$ ，不符合等轴晶系的对称特点而不能成立。

由上述情况可以看出，结点的分布是客观存在的，而平行六面体的选择是人为的。如图1—11所示的是一组四方格子的结点在平面上的分布，可以有多种选择平行六面体底面的方法。但符合四方晶系的对称特点的划分只有1和2两种形式。因此，为了统一划分标准，必须遵循一定的原则。单位平行六面体的选择原则为：



1—10 四方底心格子（虚线）重新划分为四方原始格子（实线）的图示

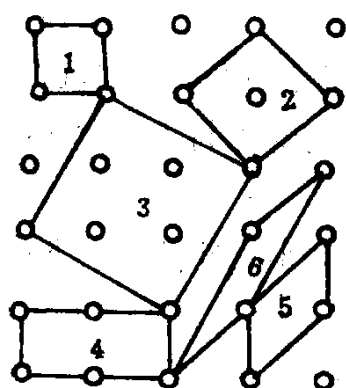


图1—11 平行六面体的选择

1. 所选取的平行六面体应能反映整个空间格子的对称性；
2. 在不违反对称的条件下，应选取棱与棱之间直角关系最多的平行六面体；
3. 在遵循上述两项的前提下，所选平行六面体的体积要最小；
4. 当对称性规定棱之间夹角不能为直角关系时，则在遵循前三个条件的前提下，应选择结点间距小的行列作平行六面体的棱，且棱间交角接近于直角的平行六面体。

按选择原则选取的平行六面体称单位平行六面体。

晶胞

如前所述，空间格子是由具体的晶体结构导出的。但空间格子又是由一些几何点构成，它不代表任何具体的质点。只有晶体结构才是由实在的具体质点组成。然而晶体结构中质点在空间排列的重复规律，又与空间格子中结点在空间分布的重复规律完全一致。所以，它们两者之间是既有区别，又有联系。如果在晶体结构中也象空间格子划分单位平行六面体一样