

• 高等学校教学用书 •

应用煤岩学基础

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE YONGSHU



冶金工业出版社



1149444

高等学校教学用书

应用煤岩学基础

鞍山钢铁学院 张亚云 主编

冶金工业出版社

高等学校教学用书
应用煤岩学基础
鞍山钢铁学院 张亚云 主编

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街福顺里北巷39号)

新华书店总店科技发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张12 3/4 字数298千字

1990年11月第一版 1990年11月第一次印刷

印数00,001~4,000册

ISBN 7-5024-0705-7

TQ·30 (课) 定价2.55元

前 言

近二十年来,煤岩学迅速发展,其应用范围日益扩大,已成为一些专业的一门专业基础课。本书是根据1985年冶金部院校教学计划会议精神编写的。书中结合煤化工专业的特点,阐述了煤岩学研究方法的基本理论、煤岩学基础知识及其在煤化工工业中的应用。

本书初稿曾于1985年印成教学讲义,供鞍山钢铁学院煤化工专业学生作为试用教材,并与其他院校交流。1988年鞍山钢铁学院、武汉钢铁学院、华东冶金学院和唐山工程技术学院共同修订本书大纲。

本书由鞍山钢铁学院张亚云主编。周师庸主审,第八、十一章由武汉钢铁学院戴中蜀编写,第十、十二章由华东冶金学院江中砥编写,第九、十三章由唐山工程技术学院韩福臣编写,第一、三章由鞍山钢铁学院刘述祺编写,刘述祺还参加部分章节的修改,第二、四、五、六、七章由张亚云编写。

本书的编写曾得到中国地质大学研究生部潘志贵,鞍山热能研究所周淑仪、屈宇生、王衍,煤炭研究院唐山分院洗煤所王瑛等同志的大力支持,他们对本书提出了宝贵意见,在此一并致谢。

本书可作为高等院校煤化工各专业(炼焦、碳素、气化)的教材,也可供从事煤化工的科学技术工作者参考。

由于编者水平有限,书中错误和不当之处在所难免,诚恳希望读者批评指正。

编 者

1989年3月

56.1/729

目 录

绪论.....	1
---------	---

第一篇 煤岩学的光学研究方法及基础理论

第一章 晶体及其几何对称性.....	4
第一节 晶体的概念.....	4
第二节 晶体的基本性质.....	5
第三节 晶体的对称和分类.....	7
第四节 晶体定向及晶面符号.....	11
第二章 晶体光学基础.....	15
第一节 自然光和偏光.....	15
第二节 折射和折射率.....	15
第三节 全反射和折射仪.....	16
第四节 均质体和非均质体.....	18
第五节 光率体.....	19
第三章 偏光显微镜.....	27
第一节 透光偏光显微镜.....	27
第二节 反光偏光显微镜.....	33
第三节 试样的制备.....	38
第四章 透射光下的研究方法.....	42
第一节 单偏光镜下的光学性质.....	42
第二节 正交偏光镜下的光学性质.....	46
第三节 锥光镜下的光学性质.....	54
第四节 透明矿物薄片的系统鉴定.....	57
第五章 反射光下的研究方法.....	59
第一节 单偏光镜下的主要光学性质.....	59
第二节 反射率的测定.....	66
第三节 正交偏光镜下的光学性质.....	75
第四节 锥光镜下的光学性质.....	75
第六章 显微镜下颗粒大小及含量的测定.....	78
第一节 颗粒大小的测定.....	78
第二节 组分含量的测定.....	79
第七章 近代研究方法.....	81
第一节 荧光显微镜.....	81
第二节 扫描电子显微镜.....	87

第三节 图象分析仪.....	93
----------------	----

第二篇 煤岩学的应用

第八章 煤岩学基础	97
第一节 宏观煤岩组成.....	97
第二节 显微煤岩组分.....	99
第三节 显微煤岩组分的分类与显微煤岩类型.....	106
第四节 煤岩显微组分的分离.....	111
第五节 煤岩显微组分的性质.....	113
第九章 评定煤质的指标及其在分类中的应用	121
第一节 评定煤质.....	121
第二节 煤分类.....	126
第十章 煤的可选性	141
第一节 影响煤可选性的因素.....	141
第二节 评定煤的可选性方法.....	144
第三节 降低精煤中的含硫量.....	148
第十一章 煤在加热过程中的动态	151
第一节 煤的加热过程.....	151
第二节 煤岩显微组分的软化性状.....	152
第三节 煤岩显微组分对成焦的作用.....	153
第四节 中间相的转变过程.....	153
第五节 炭化过程中镜质组光学性质的变化.....	157
第十二章 焦炭的气孔结构和显微结构	164
第一节 焦炭的气孔结构.....	164
第二节 焦炭的显微结构.....	167
第十三章 煤岩配煤和焦炭质量预测	179
第一节 煤岩配煤的基本原理.....	179
第二节 煤岩配煤和预测焦炭质量的方法.....	179
实验	192
一、透光偏光显微镜的认识、调节和校正.....	192
二、样品的制备.....	192
三、单偏光镜下的观察.....	193
四、正交偏光镜下的观察.....	193
五、锥光镜下的观察.....	193
六、反光偏光显微镜下矿物和烟煤显微组分的鉴定.....	194
七、反光偏光显微镜下焦炭显微结构的鉴定.....	194
参考文献	195

绪 论

煤岩学是把煤作为可燃岩石来研究的学科。用肉眼和光学仪器对自然状态的煤进行的各种研究,都属于煤岩学的范畴。应用煤岩学则是运用煤岩学的观点和方法来分析和处理与煤及其加工有关的问题。应用煤岩学基础着重介绍煤岩学研究方法所涉及的基础理论和知识,以及煤岩学应用中所涉及的基本观点和基本理论。

一、应用煤岩学的任务和主要研究对象

1. 煤的成因、煤的显微成分及其性质的研究 煤是非均一的可燃岩石。它的性质不仅取决于煤化程度,在很大程度上还决定于煤的显微组成。尤其是对于煤化程度相接近的煤,由于成煤条件不同,其显微组成有较大差异,煤的性质也有很大差别,并直接影响煤的加工应用。因此,这方面的研究是应用煤岩学的基本内容之一。

2. 煤岩学研究方法 主要是用普通光学仪器或近代仪器(偏光显微镜、荧光显微镜、扫描电子显微镜和图象分析仪等)鉴定、研究煤及其加工的固体产品,定性和定量分析其显微组分和显微结构特征,也可通过显微镜间接或直接观察研究煤中各显微组分在加热过程中的变化。煤岩学的研究方法,也是应用煤岩学的基本内容。

3. 煤在加热过程中的动态 应用煤岩学中大量工作与煤的热加工有关,因此,用煤岩学的观点和方法研究煤在加热过程中的动态,是应用煤岩学中重要的组成部分。

4. 煤岩学在工业中的应用 目前煤岩学应用所涉及的有关专业较多,本书主要介绍与焦化工业有关的领域的应用。

二、应用煤岩学简史

煤岩学的应用研究始于1830年,古植物学研究者用显微镜的透射光下观察煤的薄片,主要是研究成煤的原始植物和成煤条件。

1919年斯托普斯(M.Stopes)提出烟煤的四种宏观组分,即镜煤、亮煤、暗煤、丝炭,并描述它们的特征和性质之间的区别,将宏观煤岩组分与其工艺性质开始联系起来。

1925年斯塔赫(E.Stach)介绍了光片技术,利用反射光观察煤的光片,并用油浸物镜进行显微鉴定。在油浸物镜下观察光片的方法,其制作样品简单,形象清晰,对以后煤岩学在工艺上的应用研究影响很大。

1932年霍夫曼(E.Hoffmann)等发现镜质组的反射率和煤的变质程度有相互依赖关系。1950年太赫米雷(M.Teichmüller)介绍了测定沉积岩细粒煤包体的反射率,使反射率测定在石油和天然气勘探中显示了它的重要性。以后,很多人对反射率测定方法和装置的逐渐完善,尤其是光电倍增管及各种型号的反射率自动测定装置的研制,为煤岩学在各个领域中的应用和研究作出了重大的贡献,展现了广阔的前景。

1949年斯塔赫编著了《煤的显微镜学》。对煤岩学如何应用到各有关领域,综述了若干具体方法。1951年阿布腊姆斯基(C.Abramski)等编写的《应用煤岩学图册》问世,

内有不同变质程度煤的各种显微组分和煤中矿物的显微照片,共256张。显微照片基本上都采用光片。在五十年代,这本图册对冶金系统的煤岩工作者在光片与薄片的交替中起了有力的指导作用,奠定了煤岩定量和煤岩学应用的基础。

1951年布爾斯特連(E.Burstein)提出煤岩选择加工的理论 and 流程。以后,各国相继结合本国资源进行工作,并把它应用在焦化生产中,取得一定的成效。

1953年成立了国际煤岩学委员会(ICCP),在国际煤岩学委员会与国际标准化组织(ISO)的组织下,基本拟定了煤的显微组分、显微岩石类型与岩石类型的国际分类方案,并且通过《国际煤岩学手册》(1963年第1版,1971年第2版,1976年第2版的补充版)进行了详细描述。目前还有些问题正待解决,如烟煤中一些过渡组分的描述、假镜质组的统一认识,无定形组分的进一步划分,以及褐煤、烟煤与无烟煤岩石学界限等。标准化的制订正在促进煤岩研究成果的交流与推广,并为煤岩学广泛应用奠定坚实的基础。

五十年代以后,各国著名的煤岩学家进行了许多卓有成效的研究工作,如阿莫索夫(И.И.Аммосов),施皮罗(N.Schapiro)等提出煤岩配煤理论。1961年塔洛(G.H.Taylor)在研究澳大利亚一个受接触变质影响的煤层后,提出了结性煤在加热过程中必须经过中间相的理论。这些研究成果丰富了成焦机理,为煤的热加工提供了可靠的理论依据。

近二十年来,由于在矿相显微镜的研制上做了多方面的改进,使焦炭显微结构从定性描述发展到定量研究。目前它已成为研究焦炭质量,控制加工条件以及了解高炉中焦炭动态的重要方法之一。

早在三十年代,我国地质学家谢家荣就进行过煤岩学的研究工作,并发现富集树皮的著名江西乐平煤。五十年代初期,科学院、地质、煤炭和冶金系统都相继配备了人员、设备,按各自不同的目的和要求开展工作,在基础理论和应用方面均获进展,在生产上发挥了作用。近三十年来,我国在对各时代煤田煤岩研究的基础上,总结了主要聚煤期煤的显微煤岩特征,探讨了若干煤田的显微煤岩组成的工艺性质。煤岩学在煤分类、煤岩配煤、煤岩加工、焦炭鉴定、成焦机理、预测煤的可选性以及勘探石油和天然气的研究等方面都取得了不同程度的效果。

1980年和1984年,我国召开两次全国煤岩学学术讨论会,总结了前一时期的工作。第一次会议重点讨论了我国煤的显微成分,显微类型和煤岩类型的命名、分类。它为1988年标准局煤岩学术语统一的讨论奠定基础;第二次会议讨论了镜质组反射率测定的标准化和煤岩学在炼焦配煤、煤的可选性、油气成熟度以及油气远景评价等方面的应用。1980年石油工作者首次出席会议加入煤岩工作者的行列,说明煤岩学应用范围的日益广泛。

70年代以来,煤岩研究工作进展迅速,特别是在研究方法与应用煤岩学方面有较大的发展。由于引进了计算机技术,显著地提高了煤岩分析的效率,使其在工业上的应用具有了广泛的现实性。目前,煤岩分析自动化正沿着两条不同的途径进行探索,即显微光度自动测定法和图象自动分析法。这两种自动化煤岩分析方法,已初步在反射率测定中取得满意的结果,对三大组显微组分测定也取得了较大进展。当前,尽管煤岩分析自动化还存在某些问题,然而已开始为国外一些钢铁公司所采用。

近十几年来,由于装备了高灵敏度光测设备与应用了统计观测方法,使荧光显微镜法获得新生,由简单地定性观察变为定量测定。虽然煤岩荧光光度与光谱测定基本上处于半

定量测定阶段，再现性还不够理想，而且没有实现标准化，但是它的应用已带来了显著的成果。例如，提高了对无定形组分的分辨能力，有效地测定了褐煤与低变质烟煤的煤化程度，这对反射率法是个重要的补充。尤其是煤的荧光性研究揭示出了煤化过程中的“沥青化作用阶段”，从而为探讨某些煤的异常工艺性能和油页岩的成油依据开辟了新的途径。此外，高分辨扫描电子显微镜法也为煤和焦炭的微观结构的研究提供重要资料。

目前，煤岩学方法广泛用于煤炭加工与利用的工业部门，如洗选、炼焦、液化、气化等工业以及煤炭贸易工作中。煤岩方法正在成为重要煤质控制手段。特别是在选煤与炼焦工业中，煤岩分析资料可直接用于评价煤的洗选性能或炼焦性能，用于确定炼焦煤配比，预测焦炭强度及改进工艺流程等。

三、应用煤岩学基础的内容和任务

应用煤岩学是一门较新的学科，也是急待发展的学科。应用煤岩学的发生、发展均与生产息息相关。煤岩学在煤炭、冶金和石油等方面的应用日益广泛。我国在煤岩应用于煤化工方面做了不少工作，但由于多种因素的影响，取得的成绩与要求相比，还有很大的距离。为了使煤岩学在四化建设中起应有的作用，必须使从事煤化工工艺的科技人员和该专业的高等院校学生掌握应有的基础知识。

由于煤化工专业的基础课中没有结晶学和晶体光学的课程，根据煤化工专业及其传统课程安排的特点，应用煤岩学基础应包括以下两部分内容：

1. 煤岩学的光学研究方法及其基础理论

(1) 晶体的特点和晶体光学基础，它是镜下观察各种组分特性所必须的光学基础知识；

(2) 各种光学仪器（偏光显微镜、荧光显微镜、显微光度计）、扫描电子显微镜和图象分析仪的构造、原理及其应用，在其应用方面是结合煤中无机组分、有机组分以及焦炭的显微结构进行叙述的。

2. 煤岩学的应用 目前煤岩学应用所涉及的有关专业较多，这里仅根据煤化工工艺的特点，介绍以下几方面：

(1) 煤岩显微组分、性质及其分离；

(2) 评定煤质的指标及其在分类中的应用；

(3) 煤的可选性；

(4) 煤在加热过程中的动态；

(5) 焦炭的显微结构；

(6) 煤岩配煤和预测焦炭质量。

煤岩学作为煤质及煤炭加工研究的新领域已日益显示出它的重要性。目前，在美国、日本等许多大钢铁公司试验室都装备有完善的煤岩分析与测定设备，用于指导炼焦生产日常操作。预计煤岩学的应用研究今后还将不断扩大和深化，并逐渐完善成为煤化学学科中的一门独立分支学科。

第一篇 煤岩学的光学研究方法及 其基础理论

第一章 晶体及其几何对称性

根据X射线分析结果证明,煤的结构随其变质作用的加深而趋向于石墨的晶体构造。粘结性煤炭化后所得的焦炭,其显微结构具有各向异性的晶体特性。因此,晶体特有的性质,也是鉴定煤及其加工固体产物结构的重要依据。

第一节 晶体的概念

自然界的物质可划分为固体、液体、气体三态,其中固体的绝大部分属于晶体。在液态物质中,也包括称之为液晶的液态晶体。

对于任何一种晶体,不论外形是否规律,它们的内部质点(离子、原子、分子等)呈有规律的排列。从食盐 NaCl 的内部构造(图1-1)可以看出,无论是 Na^+ 或 Cl^- ,在三度空间都是有规律地作周期性重复排列。

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

如果用几何点来表示晶体的构造,将得到既简明又能反映晶体普遍规律的立体几何图形,这种图形称为空间格子(图1-2)。

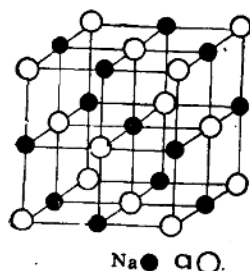


图 1-1 食盐晶体的构造

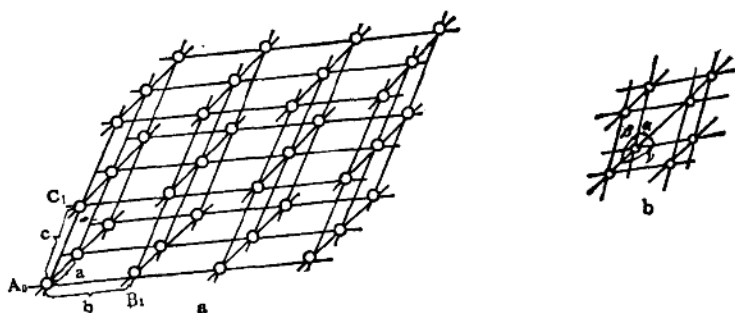


图 1-2 空间格子示意图

a—空间格子; b—平行六面体

空间格子可视为无数个微小相等而平行的六面体在空间毫无间隙地堆砌而形成的几何图形。

空间格子由下列要素组成:

1. 结点 系指空间格子上的点。它代表晶体构造中质点的相应几何位置。

2. 行列 系指任意两个结点的连线 (图1-3)。一个行列中相邻的两个结点之间的最短距离 A_0A_1 (图1-3), 称为结点间距。相互平行的行列, 其结点间距必定相等; 不平行行列, 其结点间距一般是不等的。

3. 面网 系指任意不在同一直线上的三个结点所组成的面, 也就是任意不平行而交于一点的两个行列可决定一个面 (图1-4)。面网单位面积的结点数目, 称为面网密度。同一空间格子中, 彼此平行的面网, 其面网密度相同, 互不平行的面网, 其面网密度一般不同。

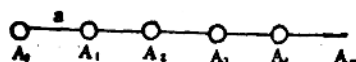


图 1-3 空间格子的行列

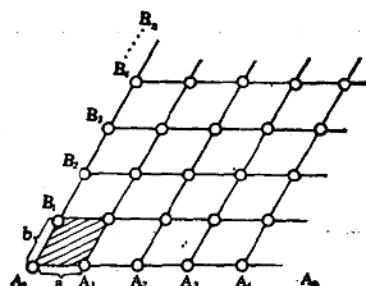


图 1-4 空间格子的面网

4. 平行六面体 它是空间格子的基本构造单位。平行六面体的大小及形状取决于三个主要行列的结点间距 a 、 b 、 c 和其夹角 α 、 β 、 γ , 这些常数称为晶格常数 (见图1-2b)。

各种晶体空间格子的特殊性, 表现在晶格常数上, 在所有晶体构造中, 平行六面体的形状共有七种。因此, 将自然界的晶体分为七个晶系 (表1-1)。

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, 晶体的定义是内部质点在三维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。

第二节 晶体的基本性质

晶体的各项性质都取决于它们的化学组成和内部的格子构造。格子构造是晶体物质的最本质的特性。由空间格子构造所决定的晶体在宏观上的共有性质, 主要表现为如下。

一、自限性

指晶体在适当的条件下能自发地形成几何多面体外形的特性。晶体为平的晶面所包围, 晶面是晶体格子构造中最外层的一个面网, 晶面相交成直的晶棱, 晶棱会聚成尖的角顶。

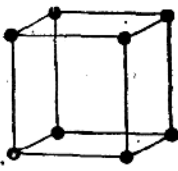
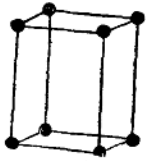
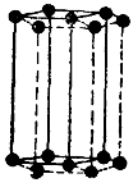
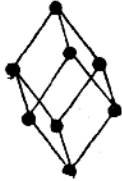
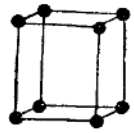
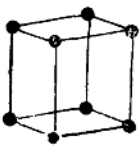
晶体的多面体形态是其格子构造在外形上的直接反映。晶面、晶棱与角顶分别与格子构造中的面网、行列及结点相对应。晶体多面体形态受格子构造制约, 所以这一性质称为自限性。

二、均一性

晶体的任意部位都具有相同的性质。在同一晶体的各个不同部分, 质点的分布是一样的, 所以晶体各部分的物理性质与化学性质也相同, 则称为均一性。

必须指出, 非晶质体也具有均一性, 但非晶质体的质点排列不具有远程规律, 即不具

表 1-1 各晶系的晶格常数特征和类型

晶 系	晶格常数特征和类型名称	晶形举例
等轴晶系	$a=b=c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ 立方格子	
四方晶系	$a=b \neq c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ 四方格子	
六方晶系	$a=b \neq c$ $\alpha=\beta=90^\circ$ $\gamma=120^\circ$ 六方格子	
三方晶系	$a=b \neq c$ $\alpha=\beta=90^\circ$ $\gamma=120^\circ$ 菱面体格子	
斜方晶系 (正交晶系)	$a \neq b \neq c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ 斜方格子	
单斜晶系	$a \neq b \neq c$ $\alpha=\gamma=90^\circ$ $\beta \neq 120^\circ$ 单斜格子	
三斜晶系	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ 三斜格子	

有格子构造，所以其均一性是统计的，近似平均的，故称为统计均一性；而晶体的均一性是取决于其格子构造的，称为晶体均一性。两者有本质的差别，不能混为一谈。液体和气体也具有统计均一性。

三、异向性

晶体在不同的方向上其性质有所差异。这是由于在同一格子构造中，在不同方向上质点的重复方式一般是不相同的，因而在不同方向上晶体的性质也就不同（随方向而异）。如石墨，在不同的方向上硬度和导电性等有显著的差别。

四、对称性

指晶体中的相同部分，如外形上的相同晶面、晶棱和角顶，能够在不同的方向或位置上有规律地重复出现的特性。晶体的对称性取决于它的格子构造，格子构造本身就是质点重复规律的体现。对称性是晶体极重要的性质，是晶体分类的基础。

五、稳定性

晶体的这一性质是指在相同的热力学条件下，以具有相同化学成分的晶体和非晶质体相比，晶体是稳定的，非晶质体则是不稳定的。当物质由液体或气态冷却结晶成晶体时，将放出一定的能量。如1克0℃的水变成0℃的冰（晶体）将放出80卡热，可见晶体内部储藏的能量，要比它处在液态或气态时所蕴藏的能量小，故晶体具有最小的内能，这也是晶体具有更大的稳定性的原因。

第三节 晶体的对称和分类

对称性是晶体的基本性质之一，一切晶体都是对称的，但不同晶体的对称性往往又互有差异。

晶体外形的对称表现为相同的晶面、晶棱和角顶作有规律的重复。晶体的对称与其它物体（生物、建筑物等）的对称不同，晶体的对称取决于其本身的格子构造，因此，晶体的对称性不仅表现于外形的对称，同时也表现于物理性质上的对称。所以，它们对于晶体的分类、识别和了解晶体的一系列性质，以至对晶体的利用都具有重要意义。

一、晶体的对称要素

这里所讨论晶体的对称，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。

欲使晶体相同部分重复，必须通过一定的操作，这种操作称之为对称操作，如反映、旋转和反伸等。在进行对称操作时，所应用的辅助几何要素（点、线、面），称为对称要素。

晶体外形可能存在的对称要素和相应的对称操作如下：

1. 对称面（P） 相应的对称操作是对此平面的反映。

对称面是一个假想的平面，它将图形平分为互为镜象的两个相等部分。如图1-5所示，平面P为对称面，平面Q不是对称面。

晶体中如有对称面存在时，必定通过晶体的几何中心，并能将晶体等分为互成镜象反映的两个相同部分。它们可以垂直等分某些晶面，或是包含某些晶棱的平面（图1-6）。

对称面以P表示。不同晶体中存在对称面的数目一般不同，但最多只能有九个，如立方体晶体（图1-6），少的则一个也没有。一个晶体的对称面数目多写在符号P的前面，如

立方体有九个对称面，记为9P。

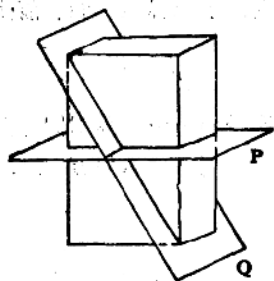


图 1-5 对称面示意图

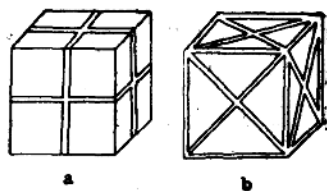


图 1-6 立方体的九个对称面

a—垂直晶面和通过晶棱中点，并彼此互相垂直的三个对称面，
b—包含一对晶棱，垂直斜切晶面的六个对称面

2. 对称轴 (L^n) 相应的对称操作是围绕一根直线的旋转。

对称轴是一根假想的直线，当图形围绕此直线旋转一定角度后，可使相等部分重复，旋转一周重复的次数称为轴次 n ，重复时所旋转的最小角度，称为基转角 α ，两者之间的关系为 $n = 360^\circ / \alpha$ 。

对称轴以 L 表示，轴次 n 写在它的右上角，即为 L^n 。

晶体外形受格子构造的制约，它只能出现 L^1 、 L^2 、 L^3 、 L^4 、 L^6 五种对称轴，没有五次和高于六次的对称轴。一次对称轴 L^1 无实际意义，因为任何晶体绕任意直线旋转一周后必然复原。轴次高于 2 的对称轴，即 L^3 、 L^4 、 L^6 称高次轴。

图 1-7 示出晶体中的对称轴 L^2 、 L^3 、 L^4 和 L^6 。

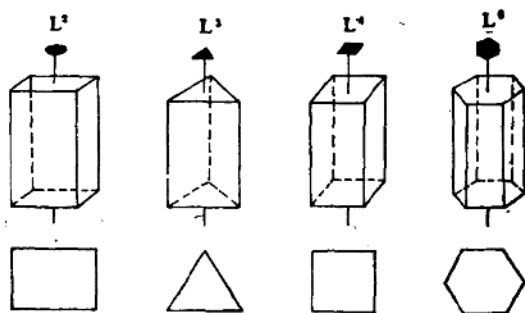


图 1-7 晶体中的对称轴 L^2 、 L^3 、 L^4 和 L^6 举例
(下面的图表示垂直该轴的切面)

不同晶体的对称轴的种类和数目均可不一，对称轴的数目写在符号 L^n 的前面。如 $3L^4$ 、 $6L^2$ 等。

在晶体中如有对称轴存在时，还有可能是某一晶面的中心、晶棱的中点及角顶三者中任意两者之间的连线 (图 1-8)。

3. 旋转反伸轴 (L^n_i) 相应的对称操作是围绕一根直线的旋转和对此直线上的一个点反伸的复合操作。

旋转反伸轴是一根假想的直线，晶体绕此直线旋转一定角度后，再对此直线上的一个

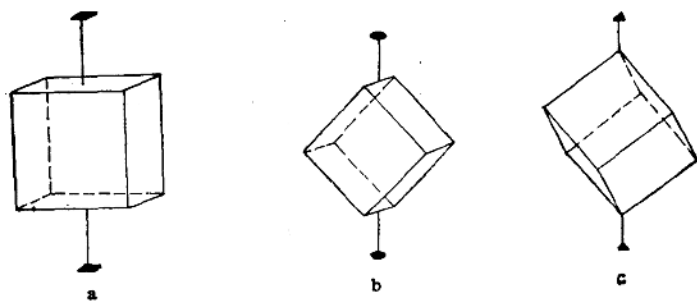


图 1-8 晶体中对称轴出露的位置

a—晶面的中心；b—晶棱的中心；c—角顶上

点进行反伸，可使相等部分重复。旋转反伸轴以 L_i^n 表示， i 表示反伸， n 为轴次。在晶体中具有实际意义的只有四次旋转反伸轴 (L_4^4) 和六次旋转反伸轴 (L_6^6) 两种。

现以 L_4^4 为例来说明。图1-9所示的四方四面体，图形中A、B、C、D绕 L_4^4 旋转 90° 到达A'、B'、C'、D'的位置，再凭借 L_4^4 上的一点C的反伸，使A'、B'、C'、D'分别与旋转前的D、C、A、B相重合，整个图形重复了原来的形象；也可以就一个面来分析， $\triangle ABC$ 绕 L_4^4 旋转 90° 到达 $\triangle A'B'C'$ 位置，再经过 L_4^4 上的C点的反伸与旋转前的一个面 $\triangle DCA$ 重合，其他面依此类推，整个图形重复了原来的形象，旋转 360° 图形有四次重复。

4. 对称中心 (C) 相应的对称操作是对于一个点的反伸。

晶体中的一个假设点，通过该点作任意直线，则在此直线上距对称中心等距离的两端上必定可以找到对应点。图1-10是具有对称中心的平行六面体，C点为对称中心。

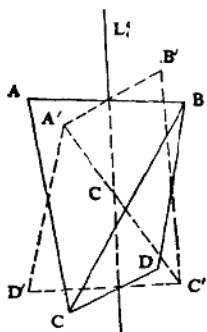


图 1-9 四方四面体具有 L_4^4 的图解

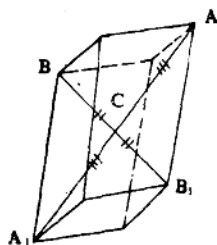


图 1-10 平行六面体的对称中心

在一个晶体中，如果有对称中心时，则只能有一个，其晶面总是两两平行而且相等的。若不符合这一条件，则无对称中心。

对称中心以 C 表示。

二、晶体对称要素的组合及晶系晶族的划分

矿物晶体的对称是多种多样的。有的晶体只有一个对称要素，而大多数晶体都是若干个对称要素按一定规律而组合。某晶体中所有对称要素组合，称为该晶体的对称型。自然界的晶体总共有32种对称型。在32种对称型中，根据晶体中对称面、对称轴等的有无、多少和对称轴轴次的高低，可将晶体划分为七个晶系、三个晶族。现将32种对称型及晶系、晶

表 1-2 晶体的对称分类

晶族名称	晶系名称	三十二种对称型种类	对称特点
低级晶族 (无高次轴)	三斜晶系	1 L^1 2 C^{**}	无 L^2 和 P
	单斜晶系	3 P 4 L^2 5 L^2PC^{**}	L^2 和 P 不多于1个
	斜方晶系 (正交晶系)	6 L^22P 7 $3L^2$ 8 $3L^23PC^{**}$	L^2 和 P 的系数之和 大于或等于 3
中级晶族 (高次轴只有一个)	三方晶系	9 L^3 10 L^3C^* 11 L^33P 12 L^33L^2* 13 $L^32L^23PC^{**}$	有1个 L^3
	四方晶系	14 L^4 15 L^4PC^* 16 L^44P 17 L^44L^2 18 $L^44L^25PC^{**}$ 19 L_i^4 20 $L_i^42L^22P$	有1个 L^4 或 L_i^4
	六方晶系	21 L^6 22 L^6PC^* 23 L^66P 24 L^66L^2 25 $L^66L^27PC^{**}$ 26 L_i^6 27 $L_i^63L^23P$	有1个 L^6 或 L_i^6
高级晶族 (高次轴有多个)	等轴晶系	28 $4L^33L^2$ 29 $4L^33L^23PC^{**}$ 30 $3L_i^44L^26P^*$ 31 $3L_i^44L^26L^2$ 32 $3L_i^44L^26L^29PC$	均有 $4L^3$

* ——常见或较常见的对称型;

** ——很常见的对称型。

族的划分, 以及它们的对称特点列于表1-2。低级晶族没有轴次高于二次的对称轴, 其中三斜晶系没有对称要素或仅有对称中心, 单斜晶系一定有一个对称面或一个二次对称轴, 斜方晶系必定有一个以上的对称面或二次对称轴。中级晶族仅有一个轴次高于二次的对称轴, 其中三方晶系仅有一个三次对称轴, 四方晶系仅有一个四次对称轴或四次反伸对称轴, 六方晶系仅有一个六次对称轴或六次反伸对称轴。高级晶族有数个轴次高于二次的对称轴, 而且必定有四个三次对称轴。

了解晶体的对称规律性, 并以对称为基础将晶体划分为七个晶系, 三个晶族, 其主要

目的是利用这种规律性来鉴定矿物。

第四节 晶体定向及晶面符号

研究晶体的形态时，只知道它的对称型，仍不能确定它的具体形状，因为对称型并不决定晶面、晶棱等在空间的具体取向。如图1-11的两个晶体形状，对称型均为 L^44L^23PC ，且都是由四方柱和四方双锥组成，但由于它们的晶面相对位置不同，以致使其外形有很大差异。另外，在研究晶体的内部构造和性质随方向而异的特性时，也必须确定晶面在空间的相对位置。所以需要确定一个坐标系使晶体定向，同时也确定了晶面在空间的相对位置。

一、晶体定向

它包括两方面内容，即选择坐标轴（晶轴）和确定各坐标轴上单位长度（轴单位）。

1. 选择晶轴 晶轴是通过晶体中心，不在同一平面上的三条或四条假想的直线（图1-12）。它们分别以X（前端为“+”，后端为“-”），Y（右端为“+”，左端为“-”），Z（上端为“+”，下端为“-”）表示，对于三方和六方晶系要增加一个U轴（前端为“-”）各轴之间的夹角称为轴角，分别以 $\alpha(Y \wedge Z)$ 、 $\beta(Z \wedge X)$ 、 $\gamma(X \wedge Y)$ 表示之。

2. 轴单位的确定 轴单位是各相应晶轴方向的行列上的结点间距。X、Y、Z轴上的轴单位分别以a、b、c表示。由于结点间距极小，所以常以晶体的晶面在各晶轴上交截的长度作为相应晶轴的轴单位。轴单位a、b、c及轴角 α 、 β 、 γ 合称为晶体常数。

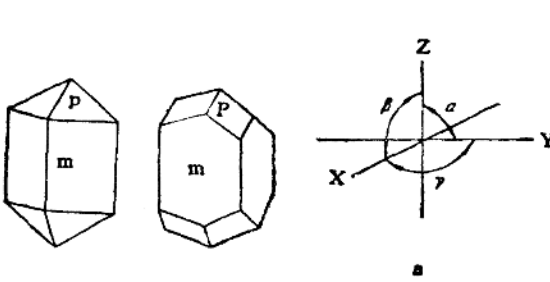


图 1-11 四方柱和四方双锥组合的两个晶形
m—四方柱；P—四方双锥

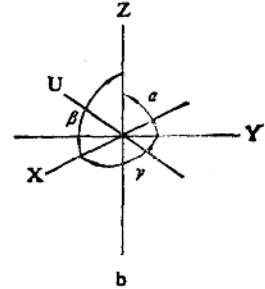


图 1-12 晶轴的安置、轴夹角及晶轴正负的划分
a—三轴；b—四轴

各晶系的对称特点不同，因而也各有其具体选择晶轴的方法，其晶体常数特点也不一样。现将它们综合列于表1-3。

二、晶面符号

晶体定向后，晶面在空间的相对位置即可确定，代表晶面空间方位的符号，称为晶面符号。

晶面符号有不同的类型，通常采用的是米氏符号，系英国米勒尔（W·H·Miller）于1839年所创造的。它是用晶面在各晶轴上的截距系数的倒数比（最小公倍数），并加小括号来表示。现以图1-13为例说明：晶面HKL在晶轴X、Y、Z上的截距分别为 $2a$ 、 $3b$ 、 $6c$ 。2、3、6称为截距系数，其倒数比为：