

# 结晶学与矿物学 实验指导书

JIEJINGXUE YU KUANGWUXUE  
SHIYAN ZHIDAOSHU

□ 张 恩 彭明生 编



地质出版社

# 结晶学与矿物学实验指导书

张 恩 彭明生 编

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

## 内 容 提 要

本书是与《结晶学与矿物学》理论教学相配套的实验指导书,分为结晶学与矿物学两大部分。结晶学部分围绕晶体对称性、晶体定向及单形聚形等重点难点,通过模型操作、注意问题、作业和思考题等,使学生加深对理论的理解与掌握;矿物学部分则通过大量的矿物照片、基本资料、明显特征标注及作业与思考题等,加强对矿物的认识和鉴别。

本书可供从事地质学、材料科学、环境科学、宝石学等方面的科研、教学及应用开发的大专院校师生、科技人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

结晶学与矿物学实验指导书/张恩,彭明生编.—北京:地质出版社,2007.1

ISBN 978-7-116-05099-0

I. 结... II. ①张... ②彭... III. ①晶体学—实验—高等学校—教学参考资料②矿物学—实验—高等学校—教学参考资料 IV. ①07-33 ②P57-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第146683号

---

责任编辑:李凯明 孙亚芸

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324569(编辑部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:[zbs@gph.com.cn](mailto:zbs@gph.com.cn)

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京地大彩印厂

开 本:787mm × 1092mm 1/16

印 张:8

字 数:195千字

印 数:1—1500册

版 次:2007年1月北京第1版·第1次印刷

定 价:18.00元

书 号:ISBN 978-7-116-05099-0

---

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

# 前 言 FOREWORD

在中山大学设备与实验室管理处实验教材专项资金和中山大学校级教学改革项目“构筑理论—实验—应用三维一体专业基础课教学模式探索”的支持下，结晶学与矿物学实验指导书得以正式出版。

结晶学与矿物学是地质学重要的专业基础课，同时还与许多应用学科和边缘学科密切相关，例如材料科学、环境科学、生物科学及宝玉石的合成与优化处理等。其内容庞杂，既要求学生深入理解各种概念，掌握基本理论和鉴定矿物的基本技能，还要求学生及时了解矿物的实际应用情况，学习过程中还需要一定的空间想像力和理解力。初次接触这门课程的学生往往觉得难度较大。

本教材根据多年教学积累并参阅了大量的专业教材及部分最新研究成果等编写而成，分为结晶学和矿物学两大部分。结晶学部分配合理论教学，通过实验模型分析、问题思考和作业练习，达到理解、验证、掌握理论知识的目的。矿物学部分则配备了大量不同产地、不同成因、特征明显的矿物照片及标注，以弥补实验室矿物种类少、数量有限及特征不太明显等不足，便于初次接触矿物的学生预习、复习，建立感性认识，培养学生灵活运用所学知识鉴定标本的能力，同时，也有利于培养学生的专业兴趣和创新能力，提高综合素质。至于矿物的其他内容，限于篇幅，需要结合理论教学进行学习。

本教材的编写主要由张恩副教授执笔，彭明生教授主审，张珂副教授提出了许多宝贵的建议，并在出版经费及申请等方面给予了大力支持和帮助，研究生邢铭承担了大量的绘图、照相和图像处理工作。书中所用的矿物照片主要来自克里斯·佩兰特（2003）和 Martin Holden（1991），限于篇幅，书中不再一一标注。在此深表谢忱。

作 者

2006 年于康乐园

# 目 录 CONTENTS

前 言	
《结晶学与矿物学实验》教学大纲 .....	1
实验一 对称要素找寻和晶体对称型的确定 .....	3
实验二 晶体定向及晶面符号的确定 .....	7
实验三 47种几何学单形的认识 .....	11
实验四 聚形分析 .....	14
实验五 认识常见矿物双晶 .....	20
实验六 晶体生长 .....	23
实验七 矿物形态 .....	27
实验八 矿物物理性质 .....	34
实验九 矿物简单化学实验 .....	42
实验十 自然元素及简单硫化物 .....	45
实验十一 硫化物及其类似化合物 .....	55
实验十二 氧化物与氢氧化物 .....	62
实验十三 硫酸盐、磷酸盐和钨酸盐 .....	76
实验十四 卤化物与碳酸盐 .....	84
实验十五 岛状和环状结构硅酸盐 .....	94
实验十六 链状结构硅酸盐 .....	102
实验十七 层状结构硅酸盐 .....	109
实验十八 架状结构硅酸盐 .....	116
主要参考文献 .....	124

# 《结晶学与矿物学实验》教学大纲

## 一、课程简介及基本要求

《结晶学与矿物学实验》为非独立实验课程，实验的安排根据理论知识教学的进展依次进行，根据教学的内容、任务、要求和对象，将实验分为三种类型：技能型、综合型和研究型。技能型实验主要是学生根据所学理论知识，完成实验内容和要求；综合型实验则是在上述实验内容的基础上，灵活运用所学理论知识，进行综合分析，来完成实验内容和要求；研究型实验是在完全掌握所学内容、在前两种实验的基础上，选择合适的测试分析，如X射线粉晶衍射、电子探针等手段，解决一般的实际问题，全面提高学生运用理论知识独立分析问题和解决问题的能力。具体要求如下：

1. 根据所学的基本理论和基本概念，能够熟练确定简单晶体模型的对称型、晶面符号、晶棱符号、晶带及单形符号等，进一步巩固和加深学生对有关晶体基本概念的理解；
2. 能够灵活运用结晶学知识，通过综合分析，解决复杂晶体模型上的有关问题，如聚形分析、实际晶体观察和双晶分析等；
3. 在熟练运用结晶学知识的基础上，熟练掌握常见矿物形态、物理性质及其内涵，并能正确使用有关仪器设备予以准确测试和描述；
4. 能熟练运用矿物的外观鉴定特征，选择正确、简单、有效的鉴定步骤和方法，准确鉴定矿物；
5. 选择合适的测试分析和实验手段，研究、合成、优化处理或开发应用常见矿物，为将来从事相关的工作奠定基础。

## 二、实验课程目的与要求

《结晶学与矿物学实验》是与《结晶学与矿物学》相配套的非独立实验课程。其目的是巩固、深化和补充理论知识，加深学生对结晶学与矿物学理论知识的理解和掌握，便于学生灵活运用理论知识，提高综合分析问题、解决问题及创新能力，同时注意培养学生实事求是、严肃认真的科学作风和良好的实验习惯，为今后相关专业的学习和工作打下良好的基础。所以要求学生不仅要掌握结晶学与矿物学的基本理论知识，而且还需要具备一定的独立工作能力，掌握基本的实验技能和科学研究方法。

## 三、主要仪器设备

放大镜，莫氏硬度计，显微硬度计，双目显微镜，宝石显微镜，折射率仪，偏光仪，电子天

平, 长、短波紫外灯, 温度 1800℃ 左右的马弗炉, 恒温水箱, 干燥箱, 红外吸收光谱仪, X 射线粉晶衍射仪, 计算机, 打印机及无釉瓷板, 各种化学药品等。

### 四、实验方式与基本要求

1. 以验证性实验为主, 与理论课的进度相配套, 实验前学生必须预习理论内容和实验要求, 才能较好地完成实验内容;

2. 实验分组进行, 在规定的时间内, 由学生独立完成作业, 出现问题, 可要求教师进行指导, 不得敷衍了事或照抄他人作业;

3. 每次实验都要按要求完成实验报告, 做到内容准确、专业术语运用恰当, 字体表格清洁美观, 并在下次实验前进行讲评, 以达到应有的教学效果;

4. 实验中要爱护公物, 轻拿轻放, 实验后清点实验标本;

5. 遵守实验室守则, 保持室内安静。

### 五、考核

本课程平时考核学生对实验内容观察、实验要求及实验报告的完成情况, 期末考查学生对实验内容、方法的掌握和应用情况, 并分别按 10% 和 20% 计入总成绩。

## 实验一 对称要素找寻和晶体对称型的确定

### 一、预备知识

1. 晶体的对称、对称操作、对称要素、对称型等概念；
2. 晶体对称组合定律；
3. 晶体的对称分类依据，三大晶族、七大晶系的对称特点。

### 二、目的与要求

1. 通过对晶体模型观察所获得的感性认识，进一步理解和巩固关于晶体的对称及相关概念；
2. 学会对称操作，并能借以在晶体的理想模型上找出其全部对称要素，或根据对称组合定律，系统地找出晶体模型上的全部对称要素，确定出晶体的对称型；
3. 根据晶体的对称特点，确定晶体所属晶族和晶系。

### 三、内容、方法和步骤

1. 观察晶体模型外形上的重复规律，从而确定它的对称要素。具体的方法和步骤如下。

#### (1) 对称中心 (C)

利用反伸对称操作来确定。晶体中如有对称中心存在时，必定位于晶体的几何中心。

在此点反向等距离处均有相同部分出现。所以，凡是具有对称中心的晶体，对于它的每一个晶面（角顶或晶棱）来说，必定都有另一个跟它平行的相同晶面（角顶或晶棱）存在。因此，可以将晶体模型上的每个晶面依次贴置于桌面上，逐一地检查是否各自都有与桌面平行的另一个同形等大、方向相反的晶面存在，如果晶体任意一个晶面找不到这样的对应晶面时，该晶体即不可能有对称中心（为什么？）。

在晶体中可以没有对称中心，如果有，最多只有一个。

#### (2) 对称面 (P)

通过反映对称操作来确定。对称面必将晶体分为两个相等部分，且互成镜像反映，两个条件缺一不可。所以在晶体中，对称面存在的可能位置是：

- ◆ 垂直并等分某些晶面的平面；
- ◆ 垂直并平分某些晶棱的平面；
- ◆ 包含晶棱并平分此晶棱两边晶面夹角的平面。

注意：在整个找寻过程中，最好不要翻动晶体模型，通过视线从各个不同的方向去观察，以免遗漏或重复。



在一个晶体上可以没有对称面，也可以有一个或几个，但最多不会超过9个对称面。

### (3) 对称轴 ( $L^n$ )

利用旋转对称操作来确定。对称轴是一条通过晶体中心的假想直线，晶体围绕它旋转一定角度后，能使晶体相同部分（面、棱、角）以相同位置重复出现或重合。能使晶体重复的最小角度即为该对称轴的基转角 ( $\alpha$ )；旋转  $360^\circ$  时，晶体相同部分以相同位置重复出现或重合的次数，即为该对称轴的轴次 ( $n$ )。

根据晶体对称定律，在晶体中，只可能出现轴次为一次、二次、三次、四次和六次的对称轴，而不可能存在五次及高于六次的对称轴。对称轴在晶体中存在的可能位置是：

- ◆ 某两个平行晶面中心的连线；
- ◆ 某两个晶棱中点的连线，且只可能是二次对称轴；
- ◆ 某两个角顶的连线；
- ◆ 某一晶面中心、晶棱中点及角顶三者中任意两者间的连线，但当晶体具有对称中心时，这种可能位置就不再成立（为什么？）。

找寻对称轴时，可使晶体模型绕上述某一可能位置上的直线进行旋转，观察在旋转一周的过程中，模型外形是否发生图形上的复原及其复原的次数，从而确定该直线是否为对称轴，以及它的轴次是多少。亦可顺着对称轴方向俯视，观察对称轴周边可分为几个相同部分，据此确定对称轴的轴次。如此遍试所有可能位置上的直线，以找出全部对称轴。

注意：一向延长和扁平的晶体，在其延长方向或垂直于扁平的方向，往往有单一的高次轴。垂直于延长方向或平行扁平方向，往往有几个二次轴；在各向等长的晶体上，其直立方向、水平方向、倾斜方向都可能对称轴。不要将一个对称轴的两端分别计算成两个对称轴。在一个晶体上可以没有对称轴，也可以有一个或数个、一种或多种对称轴。

### (4) 倒转轴，旋转反伸轴 ( $L_i^n$ )

利用旋转和反伸两种对称操作的组合才能确定。倒转轴也是一条通过晶体中心的假想直线。晶体围绕它旋转一定角度后再经中心点的反伸方可使晶体的面、棱、角以相同的位置重复出现。当晶体上一定没有对称中心时，才可能有倒转轴（这与倒转轴中包含有倒反变换这一点是否相矛盾？为什么？）。

具有独立意义的倒转轴是  $L_i^4$  和  $L_i^6$ ，它们不能由简单的对称要素来替代。在  $L_i^4$  本身必定包含有一个  $L^2$ ； $L_i^6$  等效于一个  $L^3$  和一个对称面的组合，而且此  $L^3$  与  $L_i^6$  本身重合，对称面则与之垂直。因此，当晶体沿相应位置旋转  $90^\circ$  或  $60^\circ$  后，将晶体颠倒位置（方向不变），则晶体与转动前一致，所以此方向为  $L_i^4$  或  $L_i^6$ 。即，倒转轴的轴次为简单对称轴轴次的两倍。而且当  $L^2$  又是  $L_i^4$ ，或  $L^3$  和  $P$  的组合又是  $L_i^6$  时，则应标作  $L_i^4$  或  $L_i^6$ ，而不标作  $L^2$  或  $L^3$  和  $P$ ，以免重复。

在以上倒反、反映及旋转三种基本的对称变换中，只有旋转变换可以借助于绕某一个轴线的旋转，得以具体实施，而倒反和反映都不可能借助于任何一种实在的动作来具体实施其变换；不要把旋转  $180^\circ$  的操作当作是倒反或反映操作。

2. 进一步根据对称要素之间的组合定律, 系统地确定晶体模型上的全部对称要素 (注意每一步所找出的及推引出的对称要素, 与前几步已经得出的对称要素相互间有无重复? 在三向等长类型中尤其要特别注意)。具体步骤如下:

(1) 观察晶体模型是否在三个相互垂直的方向上等长, 且从此三个方向上看过去晶体是否具有相同的外貌, 从而将晶体模型区分为三向等长和非三向等长两类。

(2) 对于非三向等长的晶体模型, 按照如下步骤进行:

1) 在模型中选出一个与所有其他方向均不一样的特殊方向, 例如特别长或特别短的方向, 确定此方向上存在有几次对称轴。

2) 检查有无平行 (或包含) 以上所找出的  $L^n$  或  $L_i^n$  (以下称它们为主轴) 的对称面  $P$  存在, 假如找到一个, 且主轴为  $L^n$  时, 利用  $L^n \times P_{\parallel} \rightarrow L^n nP$  定律, 则必定有  $n$  个平行于此主轴的对称面同时存在, 且任两个相邻对称面间的夹角  $\delta$  等于此  $L^n$  的基转角之半 ( $\delta = 360^\circ / 2n$ ); 当主轴为  $L_i^4$  和  $L_i^6$  时, 利用  $L_i^n \times P_{\parallel} \rightarrow L_i^n (n/2) L^2 (n/2) P$  定理, 则必定有 2 个或 3 个与主轴平行的对称面同时并存, 且它们间的夹角等于该倒转轴的基转角 ( $\delta = 360^\circ / n$ )。

3) 检查有无垂直主轴的  $L^2$  存在。假如找到一个, 且主轴为  $L^n$  时, 利用  $L^n \times L^2_{\perp} \rightarrow L^n nL^2$  定律, 则必定有  $n$  个共点的  $L^2$  同时垂直于主轴, 且任两个相邻  $L^2$  间的夹角等于此  $L^n$  的基转角之半 ( $\delta = 360^\circ / 2n$ ); 当主轴为  $L_i^4$  和  $L_i^6$  时, 利用  $L_i^n \times L^2_{\perp} \rightarrow L_i^n (n/2) L^2 (n/2) P$  定律, 则必定有 2 个或 3 个共点且与之垂直的  $L^2$  同时存在, 它们间的夹角等于该倒转轴的基转角 ( $\delta = 360^\circ / n$ ), 同时, 任一个  $L^2$  均不与第 2) 步中所找出的对称面相垂直。

4) 确定模型有无对称中心 ( $C$ )。

如果晶体无对称中心时, 应进一步检查特殊方向的  $L^2$  或  $L^3$  是否为  $L_i^4$  或  $L_i^6$ 。

如果晶体有对称中心时, 则晶体中垂直于每个偶次对称轴的平面必定为对称面; 反之, 垂直于每一个对称面的直线必定为偶次对称轴, 且晶体的对称面数目等于偶次对称轴的数目之和。

(3) 对于三向等长的模型, 即在相互垂直的三个方向上等长, 按照如下的步骤进行:

1) 确定有无对称中心;

2) 在相互垂直且等长的三个方向上, 都必定有四次轴 ( $L^4$  或  $L_i^4$ ) 或至少有 3 个  $L^2$  存在, 把它们找出来;

3) 在与上述 3 个四次轴或 3 个  $L^2$  均成等角度相交的方向上必定有  $L^3$  存在, 把它们找出来 (这样的  $L^3$  一共有几个?);

4) 在其他的可能方向上再检查一下, 是否还有其他对称面或  $L^2$  存在, 注意观察这些对称面或  $L^2$  与前述 3 个  $L^4$  之间的相对方位关系, 看看是否有一定的共同规律。

3. 根据所找到的全部对称要素, 确定出晶体的对称型和晶类, 并写出对称型的国际符号。记录一个晶体的全部对称要素时, 按先对称轴和倒转轴, 次为对称面, 最后是对称中心的次序书写; 在对称轴及倒转轴中, 则又以轴次高者在先, 例如  $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$ ; 但对于三向等长类型者 (等轴晶系), 则将相互垂直的三个主轴写在最前, 如  $3L^2 4L^3 3PC$ 。

4. 根据对称型的对称特点 (表 1), 确定晶体的晶类及所属的晶族和晶系。由晶体所确定的对称型必定属于 32 种对称型之一。

表 1 各晶族、晶系的对称要素特点

晶族	晶系	对称要素特点		常见的对称型	晶体外形特点
高级	等轴	高次轴多于 1 个	$4L^3$	$3L^44L^36L^29PC$ $3L^24L^36P$ $3L^24L^33PC$	三向等长粒状
中级	六方	只有 1 个高次轴, 且为直立方向	$L^6(L_6^6)$	$L^66L^27PC$	柱状、针状 (有时为板状)
	四方		$L^4(L_4^4)$	$L^44L^25PC$	
	三方		$L^3$	$L^33L^23PC$ $L^33L^2$ $L^33P$	
低级	斜方	无高次轴	$L^2$ 或 $P$ 多于 1 个	$3L^23PC$	晶体形状一般较复杂
	单斜		$L^2$ 或 $P$ 不多于 1 个	$L^2PC$	
	三斜		无 $L^2$ 和 $P$	$C$	

#### 四、作业及思考题

1. 根据以下记录格式, 完成各个晶体模型的对称要素的找寻、对称型的确定等内容。

模型号	对称轴				对称面	对称中心	对称型	晶族	晶系
	$L^6(L_6^6)$	$L^4(L_4^4)$	$L^3$	$L^2$	$P$	$C$			

- 晶体的几何中心就是对称中心, 这种说法对吗?
- 如果一个平面能将晶体分成为两个几何上的全等图形, 那么此平面是否必定就是对称面? 为什么?
- 至少有一端通过晶棱中点的对称轴, 只能是几次对称轴? 一对相互平行的菱形晶面之中心连线是几次对称轴? 一对相互平行的正四边形晶面之中心连线, 能否是  $L^3$  或  $L^6$ ? 一对相互平行的正六边形晶面之中心连线, 可以是哪些对称轴的可能位置? 为什么?
- 在中级晶族中, 能否有与主轴斜交的对称面或  $L^2$  存在? 为什么?
- 当已确定晶体中的  $L^2$  或  $L^3$  就是  $L_4^4$  或  $L_6^6$  时, 是否晶体中所有同时存在的  $L^2$  或  $L^3$  都是  $L_4^4$  或  $L_6^6$ ? 为什么?
- 没有晶体对称中心的晶体都能找到倒转轴  $L_4^4$  或  $L_6^6$ , 这种说法对吗?
- 对称轴 ( $L$  除外) 能否通过某个晶面的中心或某根晶棱的中心且与此晶面或晶棱斜交? 为什么?
- 当  $n$  为奇数时, 下列对称要素可导致的结果是什么?

$$L^n C; L^n P_{(L)}; L_i^n P_{(i)}; PC$$

## 实验二 晶体定向及晶面符号的确定

### 一、预备知识

1. 熟练掌握晶体的对称分类，整数定律；
2. 熟悉各晶系的晶体几何常数特征；
3. 熟悉晶体的定向法则，并能正确地估计出晶面指数。

### 二、目的与要求

1. 掌握各晶系晶体的定向步骤，并能熟练地确定晶面指数；
2. 了解斜方、单斜、三斜晶系的定向和晶体几何常数特点的共同点和不同点；
3. 正确表达晶面符号的书写方式；
4. 熟悉晶体中晶面指数的含义，要求看到这些晶面符号就能想像出它们在晶体上的空间方位。

### 三、内容、方法和步骤

晶体定向的工作包括两项任务：选择结晶轴和确定轴率。晶面符号的确定应在完成晶体定向的基础上进行，首先要建立坐标系。所以对每个具体的晶体来说，要明确如何选择结晶轴，安置于何处。至于晶面指数，只要了解其晶体几何常数特征，就可以进行一般的相对估计。其次是如何正确表达晶面符号：一要注意与相应的坐标系对应；二要符号规范（最简单的整数比，数字间不加点，注意正、负）；三要注意总结规律。

具体步骤如下：

1. 找出全部对称要素，确定晶体（模型）的对称型和晶系，写出对应晶系的晶体几何常数特点。
2. 根据晶体定向法则选出3个或4个结晶轴，并按规定的方位进行相应的安置。
3. 逐一地定出各晶面之米氏符号。

(1) 对于三轴定向的晶体，确定其晶面符号的方法如下：

1) 设想使晶面延展，与3个结晶轴相截，然后估计其截距。截距正负的规定是： $a$ 轴前正后负； $b$ 轴右正左负； $c$ 轴上正下负。若晶面与某一结晶轴平行，则相应于该轴的截距值即为 $\infty$ ；

2) 若晶面在 $a$ 轴、 $b$ 轴、 $c$ 轴上的截距依次为 $\overline{OA}$ 、 $\overline{OB}$ 、 $\overline{OC}$ ，此晶面对应于 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 轴的晶面指数为 $h$ 、 $k$ 、 $l$ 。则得出：

在等轴晶系中： $h:k:l = \frac{1}{\overline{OA}} : \frac{1}{\overline{OB}} : \frac{1}{\overline{OC}}$ ，即等轴晶系的晶面指数可以直接由截距的倒数比

确定，截距相等指数亦相等，截距不等指数亦不等；

在四方晶系中： $h:k:l = \frac{a}{OA} : \frac{a}{OB} : \frac{c}{OC}$ ，若晶面与 $x$ 、 $y$ 轴的截距相等，而与 $z$ 轴的截距不等，但此晶面符号也可为 $(111)$ ；

在低级晶族中： $h:k:l = \frac{a}{OA} : \frac{b}{OB} : \frac{c}{OC}$ 。

(以上三个公式的具体形式为什么会存在有差异?)

将晶面指数按顺序连写，并置于小括号内 $(hkl)$ ，即成为该晶面的米氏符号。

注意：

◆ 在本实习中，上式中的 $a:b:c$ 或 $a:c$ 都是未知的。因此，不可能得出具体的晶面指数值。这种情况下可以采用 $(hkl)$ 形式来表示；负值的指数其负号置于上方，例如 $(h\bar{k}l)$ ；

◆ 在低级晶族晶体中，只与一个轴相交的晶面符号可以为 $(100)$ 、 $(010)$ 、 $(001)$ 等，但不同晶系晶体的结晶轴夹角不同，晶面的空间特点不同；如单斜晶系中 $(001)$ 晶面倾斜才能与 $x$ 轴平行；同样， $(111)$ 表示相应晶面在 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 三轴上的截距系数相同，但截距长度不等；

◆ 如果晶面平行于某个结晶轴，即相应的晶面指数该值为0时，就必须写成0，不得再用字母来表示。例如晶面平行 $b$ 轴时，就应写为 $(h0l)$ ；

◆ 在中、高级晶族中，当某个晶面的两个晶面指数值相等且对应轴单位相等时，两者应以相同的字母来代表，例如 $(hhl)$ ；

◆ 晶面指数应是一组无公约数的整数。因此，一方面，诸如 $(h00)$ 、 $(hh0)$ 、 $(hhh)$ 等符号应写为更简单的 $(100)$ 、 $(110)$ 、 $(111)$ 等形式；而另一方面，诸如 $(h0l)$ 、 $(hhl)$ 等符号则不能简化(为什么?)；

◆ 同一晶面符号中，决不能同时有文字与数字，如不能写成 $(h02)$ 。

(2) 对于六方和三方晶系的晶体，则进行四轴定向(图1)，确定晶面符号的方法如下：

1) 设想使晶面延展，与4个结晶轴相截，然后估计其截距。此项截距的正负对于3个水平结晶轴来说是： $a$ 轴左前正右后负， $b$ 轴右正左负， $d$ 轴左后正右前负， $c$ 轴则仍是上正下负。

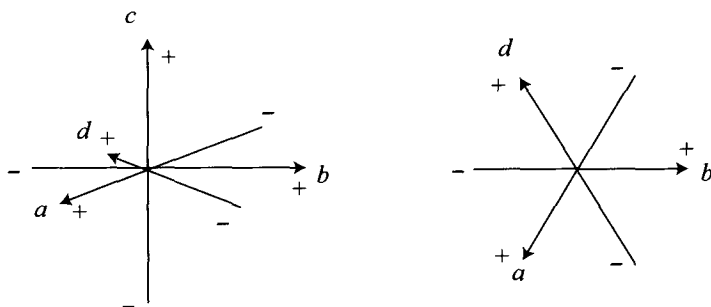


图1 四轴定向中，结晶轴的相对位置及其正负端的分布

2) 若晶面在 $a$ 轴、 $b$ 轴、 $d$ 轴、 $c$ 轴上的截距依次为 $\overline{OA}$ 、 $\overline{OB}$ 、 $\overline{OD}$ 及 $\overline{OC}$ ，则此晶面的晶面指数 $h$ 、 $k$ 、 $i$ 、 $l$ 应为：

$$h:k:i:l = \frac{a}{OA} : \frac{a}{OB} : \frac{a}{OD} : \frac{c}{OC}$$

将晶面指数按顺序连写，并置于小括号内 ( $hkl$ )，即成为该晶面的米氏符号。

由于3个水平结晶轴相对应的前3个晶面指数，它们的代数和永远等于0，即

$$h+k+i=0$$

因此，若已知这三者中的任意两者，即可求得第三者。据此，在实际工作中可以只估计其中较易于确定的两者，而由上述关系来求得第三者。

在四轴定向的情况下，一般形式的晶面符号是 ( $hkl$ )。当晶面平行于某个结晶轴时，相应的指数应记为0；当两个指数等值时，则用同一字母来代表；当一个指数为另一指数确定的简单倍数时，则应将前者写成后者倍数的形式。例如：当  $i = -2h$  时，就应写为 ( $hh\bar{2}hl$ ) 的形式（可否写成 ( $hk\bar{2}hl$ )？为什么？）。

#### 四、提示

在估计某些晶面的指数时，应尽量利用对称关系来确定。例如，假设在某个晶体中，其  $a$  轴和  $b$  轴对称地分布在某一对称面的两侧，相互成镜像反映的关系时，那么，此时对于任一垂直于此对称面的晶面来说，它们在  $a$  轴和  $b$  轴上的截距必定相等，因为  $a$  轴和  $b$  轴上的截距对于此对称面而言，也必须是对称相等的。又例如，假设垂直  $c$  轴有一对称面存在，而某两个晶面对于此对称面成对称分布，那么，如果其中一个晶面的米氏符号为 ( $hkl$ )，则另一晶面的米氏符号就必然是 ( $h\bar{k}l$ )。（在具有对称中心的晶体中，如某一晶面之符号为 ( $hkl$ ) 时，则相对一侧与之平行的晶面的米氏符号应是什么？）。

#### 五、注意

1. 虽然在实际中结晶轴往往可能和晶面法线方向一致，但从原则上讲，一般不选择晶面法线作为结晶轴。为什么？
2. 单斜晶系晶体的  $L^2$  或对称面法线不是作为  $c$  轴而是作为  $b$  轴。
3. 一般情况下，只有在没有  $L^2$  时，才考虑选对称面的法线作为结晶轴，但在  $L^6_3L^2_3P$  对称型中则是一个例外，它不选  $3L^2$  而选3个对称面的法线分别作为  $a$ 、 $b$ 、 $d$  轴。
4. 有些晶体模型在选择结晶轴时可以有不止一种的选法，但一旦选定以后，在以下进行的步骤中就不允许再作变动，一个晶体只能用—个坐标系统。

#### 六、作业

对所给晶体模型进行定向，并确定其所有晶面的晶面符号。按下表格式记录。

模型编号	对称型	晶系	定向		晶面符号
			晶轴的安置	晶体几何常数	

## 七、思考题

1. 设在某一正交晶系的晶体上有一晶面，它在3个结晶轴上的截距之比为1:1:1，试问此晶面的米氏符号应写为(111)还是写为(hkl)？如果此晶体属于四方晶系的话，此时晶面的米氏符号应写成什么？如果是等轴晶系时又如何？为什么？

2. 在四轴定向时，除(0001)外能否有全部是正指数的晶面符号，如(1121)、(1011)等？为什么？

3. 晶面 $(2\bar{1}35)$ 是否肯定在c轴上的截距最短？对于3个水平晶轴来说，是否肯定在d轴上的截距最短？为什么？

4. 试比较晶棱符号与晶面的米氏符号在构成形式和指数含义上的异同。

## 实验三 47种几何学单形的认识

### 一、预备知识

1. 单形的概念及其特点；
2. 代表晶面的选择及单形符号的确定；
3. 146种结晶学单形与47种几何学单形及其关系。

### 二、目的与要求

1. 认识47种几何上不同的单形的形状，以及单形中晶面与对称要素间的关系，从而进一步理解有关单形的概念，熟悉不同单形的形态；
2. 掌握不同单形在各个晶族、晶系中的分布；
3. 熟练掌握常见的单形及其单形符号的确定。

### 三、内容、方法和步骤

1. 借助于单形的晶面数目、各晶面之间的几何关系以及晶面与对称要素间的相对位置关系，来认识47种几何上不同的单形，了解单形的名称来源。

(1) 表明晶面数目的，如单面、双面、四面体、八面体等；

(2) 表明晶面间关系的，如3个或3个以上相同的晶面相交于一点的称为锥，3个或3个以上相同的晶面相交的晶棱互相平行的称为柱；

(3) 表明晶面形状的，如菱面体、三方偏方面体、五角十二面体等；

(4) 表明断面形状的，如斜方柱、四方柱、三方柱、六方柱、复三方柱、复四方柱、复六方柱。

2. 认识左形、右形。

只有不具对称面、对称中心的对称型才有左右型。斜方四面体，偏方面体（三方、四方、六方），五角三四面体，五角三八面体均有左右形之分。区分左右形的方法各不相同，详见教材有关章节。

3. 认识单形与晶族、晶系的对应关系，尤其是注意属于一定对称型的单形。

(1) 单面、平行双面两种单形在中、低级晶族各晶系中皆可出现；

(2) 三方晶系也可出现六方柱、复六方柱、六方单锥、六方双锥；

(3) 六方晶系也可出现三方柱、复三方柱、三方双锥、复三方双锥。

但某些单形只属于一定晶系，如：菱面体属三方晶系；立方体和八面体属于等轴晶系。根据这些单形可迅速地确定晶体的晶系。可见，熟记47种几何学单形在各晶系、晶族中的分布非常重要。

4. 确定单形符号。



(1) 进行晶体定向；

(2) 对于中、低级晶族的晶体，按照先上、次前、后右的规则；对于高级晶族的晶体，则按照先前、次右、后上的规则，选出单形的代表晶面，在三轴定向中，前、右、上的标准是  $a$  轴正端所指的方向为前， $b$  轴正端为右， $c$  轴正端为上，在四轴定向中则是  $a$  轴正端与  $d$  轴负端间的分角线方向为前，右和上的标准与三轴定向的相同；

(3) 确定代表晶面的晶面指数，并置于大括号内，如  $\{hkl\}$ ，即成为该单形的单形符号。

#### 四、提示

1. 在认识 47 种几何学单形时，可以列表归类记忆，尤其要熟练掌握常见的单形（表 1，表 2）

表 1 常见的中、低级晶族单形

单形特点		三方晶系	六方晶系	四方晶系	斜方晶系 单斜晶系	晶面与结晶轴的关系
横断面的基本形状		等边三角形	正六边形	正方形	菱形	
柱类	一向延伸 晶棱互相 平行	三方柱	六方柱	四方柱	斜方柱	在中级晶族中柱面永远平行于 $z$ 轴；低级晶族的柱类单形则不一定
锥类	晶棱相交 于一点	三方单锥 复三方单锥				锥面与 $z$ 轴相交
双锥类	上下晶棱 各相交于 一点	菱面体 复三方偏 三角面体	六方双锥	四方双锥 复四方双锥	斜方双锥	锥面与 $z$ 轴相交
平行 双面	两个面互 相平行	中级晶族中，平行双面永远和 $z$ 轴垂直，而在低级晶族中则不一定				

表 2 常见等轴晶系单形

单形名称	晶面形状	晶面数目	晶面分布特点	单形符号
四面体	等边三角形	4	晶面之间互不平行	$\{111\}$
立方体	正方形	6	两两平行且相互垂直	$\{100\}$
八面体	等边三角形	8	上下 4 个面各相交于一点	$\{111\}$
菱形十二面体	菱形	12	上下 4 个面各交于一点且由 4 个面相间隔	$\{110\}$
五角十二面体	非正五边形	12	似由立方体的各个面被拉成两个面	$\{hk0\}$
四角三八面体	不等边四边形	24	似由八面体的各个面拉成三个面	$\{hkk\}$

2. 对于高级晶族的单形，在选择代表晶面以确定单形符号时，利用对称关系来判断某些晶面