

结晶学及矿物学实验指导书

许建国 编

焦 作 工 学 院

前 言

《结晶学及矿物学实验指导书》是在 1991 年 1 月版的基础上,经补充和修改部分内容而成的,供煤田地质与勘探专业、珠宝鉴定与加工专业和水文地质与工程地质专业同学实验之用(水文专业可将部分实习合并进行)。

结晶学及矿物学内容比较抽象,实践性较强,因此,希望引起同学们的足够重视。为圆满完成实验任务,对同学们提出下列要求:

1、实验前要认真复习教材有关内容,认真预习实验指导书,明确实验目的和要求,理解内容,掌握方法。

2、实验中要仔细观察晶体模型、标本,勤动手,多用脑,反复练习,牢固掌握方法。并认真填写实验报告,务于当日提交。要十分爱惜模型、标本,不许刻划或带出实验室。

3、实验完成后,要以组为单位整理好模型、标本,经老师检查后,方可离开。

4、要遵守实验室规则,不大喧哗,不扔废物,不吐痰,做好卫生值日,保持室内卫生。

由于水平所限,书中错误和不当之处在所难免,热忱希望同学们批评指正,以期改进。

编 者

2001 年 8 月

目 录

实验一 晶体的对称	(1)
实验二 认识单形	(8)
实验三 聚形分析	(13)
实验四 高级晶族晶体定向	(15)
实验五 中级晶族晶体定向	(15)
实验六 低级晶族晶体定向	(15)
实验七 等大球体的最紧密堆积和典型结构分析	(20)
实验八 双晶分析	(24)
实验九 矿物的形态	(27)
实验十 矿物的物理性质	(31)
实验十一 自然元素大类和卤化物大类	(39)
实验十二 实验十三 硫化物及其类似化合物大类	(41)
实验十四 实验十五 氧化物和氢氧化物大类	(43)
实验十六 岛状、环状结构硅酸亚类	(45)
实验十七 链状结构硅酸盐亚类	(47)
实验十八 层状结构硅酸盐亚类	(49)
实验十九 架状结构硅酸盐亚类	(51)
实验二十 碳酸盐类	(53)
实验二十一 其它含氧盐类	(55)
参考文献	(57)

实验一 晶体的对称

一、目的要求

- 1、深入理解晶体对称的概念,掌握对称操作方法;
- 2、学会利用对称操作,在晶体模型上找出全部对称要素;
- 3、掌握对称型的书写方法和确定所属晶族和晶系。

二、准备工作

1、复习教材有关章节内容,重点掌握对称要素、对称操作和晶体的对称分类。

2、预习实验指导书,重点掌握内容方法和注意事项。

3、自带教材、实验指导书、实验报告、铅笔和橡皮。

三、内容方法

(一)利用对称操作,找出晶体上存在的全部对称要素。

1、找对称面(P)——利用反映对称操作

对称面是通过晶体中心的假想平面,它能将晶体分成两个互成镜象反映关系的全等*部分。即在该平面反方向等距离处为全等部分。如图1中的P平面。

如果一平面将晶体分成两全等部分,而这两部分对于该平面并不呈镜象反映关系,那么该平面不是对称面,如图1中Q平面。

在晶体上,对称面存在的可能位置是,通过晶体的几何中心,且为:

①垂直平分某些晶面且垂直平分某些晶棱的平面,如图2中的 P_1 平面。

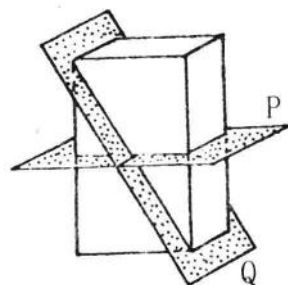


图1 判断对称面图解

* 全等系指形状相同、大小相等、性质相同。

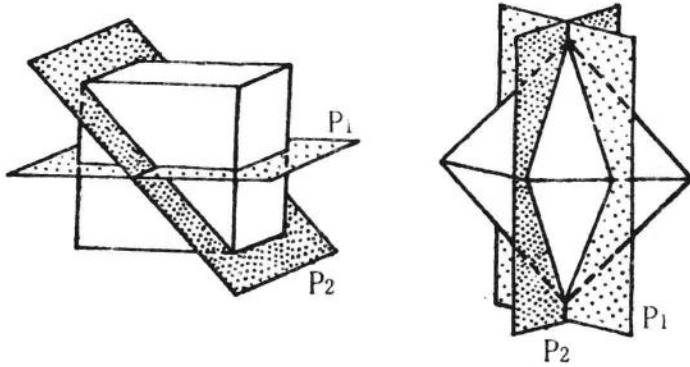


图 2 晶体对称面存在的可能位置

②包含某些晶棱的平面,如图 2 中的 P_2 平面。

以上可能位置的平面是否对称面,还须借助反映对称操作加以验证,具体做法是,假想可能位置上的平面将晶体分为两个部分,观察和证明这两个部分是否全等,是否呈镜象反映关系(距该平面反方向等距离处有无全等部分),若结果是肯定的,则可确定该平面为对称面,反之亦然,如此遍试所有可能位置的平面,直至找出全部对称面。

在一个晶体上,可能有对称面,也可能没有,可能有一个,也可能有多个,但最多不超过 9 个。

2、找对称轴(L^n)—利用旋转对称操作

对称轴是通过晶体几何中心的一条假想直线,晶体绕此直线旋转一定角度后,能使晶体的相同部分以相同位置重复出现或重合。旋转一周(360°)相同部分重复的次数称为轴次(n),使相同部分重复出现的最小转角称为基转角(α),轴次与基转角有如下关系:

$$n = \frac{360^\circ}{\alpha}$$

在晶体上,对称轴存在的可能位置是,通过晶体的几何中心,并且为:

- ①两个晶面中心的连线(图 3A 中的 L^4);
- ②两个晶棱中点的连线(图 3A 中的 L^2);
- ③两个角顶的连线(图 3A 中的 L^3);

④无对称中心存在时,晶面中心、晶棱中点和角顶三者中任意二者的连线(图 3B、C、D)。

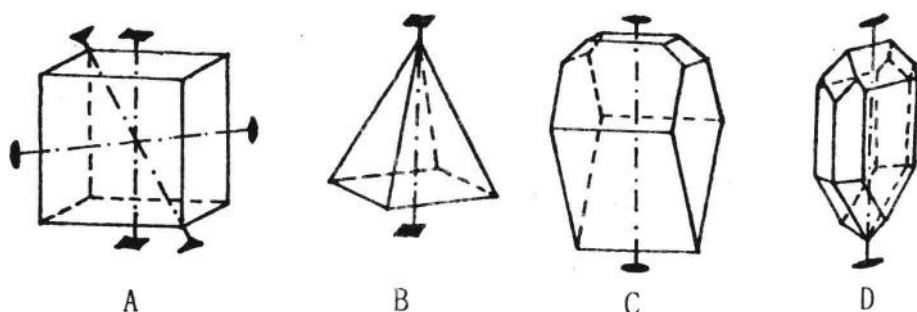


图 3 晶体中对称轴存在的可能位置

确定对称轴时,可使晶体绕上述某一可能位置上的直线进行旋转操作,观察晶体在旋转一周过程中相同部分重复出现的次数,从而确定对称轴的轴次,如此遍试所有可能位置的直线,找出全部对称轴。

晶体上可能出现的对称轴有 L^1 、 L^2 、 L^3 、 L^4 和 L^6 ,由于 L^1 在任何晶体上均可出现,只具有分类意义,无实际意义,因此,只有在无其它对称要素的情况下才考虑,并写入对称型,在具有其它对称要素的情况下 L^1 不必考虑,也不必写入对称型。实际上,找寻确定对称轴,就是要寻找确定 L^2 、 L^3 、 L^4 和 L^6 。

在一个晶体上,可能有对称轴,也可能没有,可能有一种,也可能有多种,一种对称轴可以有一个,也可以有多个。

3、找对称中心(C)——利用反伸对称操作

对称中心是与晶体的几何中心重合的一个假想点,晶体上任一部分通过对于该点的反伸操作,必定与距该点反方向、等距离处的相同部分重复。也就是说对称中心好比拍摄原大物体照片的相机镜头,物体上的任一部分通过对于镜头焦点的反伸,与距镜头反方向、等距离处像的相同部分重复。

可见,位于对称中心两侧,反方向、等距离处的两个相同部分(晶面、晶棱、角顶)互成等大的物像关系。即两相同部分大小相等,形状相同,前后、左右、上下方向相反(图 4)。据此可以观察判断对称中心的存在。

真正理解对称中心概念之后,可利用下述依据判断对称中心的有无:如果一

个晶体的所有晶面均成对平行、反向、全等,那么该晶体具有对称中心。反桩亦然。

晶体的对称中心一定是晶体的几何中心,而晶体的几何中心不一定是对称中心。

在一个晶体上,可能有一个对称中心,也可能没有。

4、找旋转反伸轴(L_i^n)——利用旋转反伸复合对称操作

旋转反伸轴是通过晶体几何中心的一条假想直线,晶体绕此直线旋转一定角度,再对晶体的几何中心(该点必在此假想直线上)进行反伸,可使晶体上相同部分重复。

具有实际意义的旋转反伸轴只有 L_4^4 和 L_6^6 两种,它们存在的可能位置和确定方法如下:

① L_4^4 :当晶体无对称中心时, L^2 可能是 L_4^4 ,究竟是不是,需要利用对称操作加以验证。具体做法是:晶体绕 L^2 旋转 90° ,观察判断旋转后晶体的任一部分通过对于晶体的几何中心的反伸,能否与旋转前晶体的相同部分重复,如能,则此 L^2 应为 L_4^4 。反之亦然。

例如:四方四面体,无对称中心,具 L^2 ,晶体绕 L^2 旋转 90° ,然后通过对于晶体几何中心的反伸操作,与旋转前晶体的相同部分重复。见图 5-A、B、C,即图

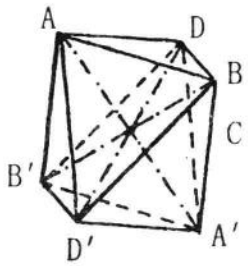


图 4 判断对称中心图解

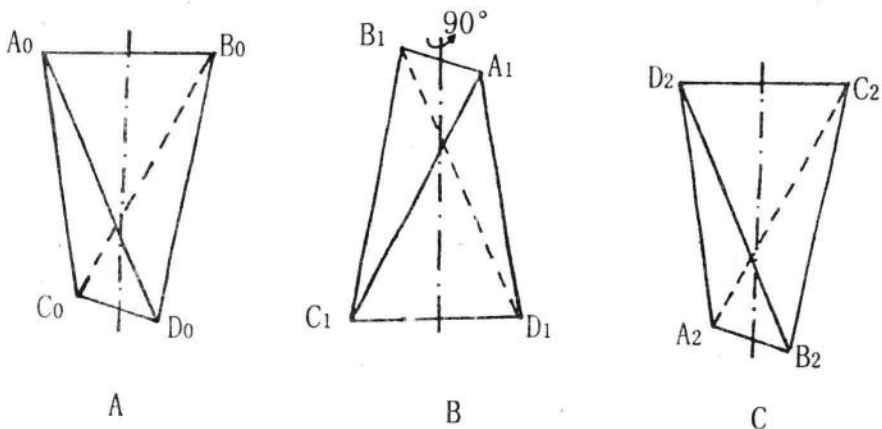


图 5 确定四方四面体具有 L_4^4 图解

A、旋转反伸前的位置 B、旋转 90° 后的位置 C、旋转反伸后的位置

A 中的 $\triangle B_0C_0D_0$ $\xrightarrow{\text{旋转 } 90^\circ}$ B 图中的 $\triangle B_1C_1D_1$ 位置 $\xrightarrow{\text{反伸后}}$ 则成为 $\triangle B_2C_2D_2$ 位置, 此位置重复了图 A 的 $\triangle A_0B_0D_0$ 位置, 旋转反伸前后的其它部分也完全重复, 因此可确定四方四面体的 L^2 为 L_4^4 。

② L_4^6 : 当晶体无对称中心时, L^3 可能是 L_4^6 , 因为 $L_4^6 = L^3 + P_\perp$, 所以, 当晶具有一个 L^3 , 并具有与 L^3 垂直的对称面 P, 此 L^3 应为 L_4^6 。还可以通过旋转反复合对称操作确定 L_4^6 。

例如: 三方柱晶体无对称中心, 这时 L^3 可能是 L_4^6 , 由于三方柱具有一个 L^3 。并具有与 L^3 垂直的 P, 因此, 可确定此 L^3 , 为 L_4^6 。也可以利用旋转反伸复合对称操作加以确定, 记住晶体旋转反伸前的位置(图 6-A), 绕 L^3 旋转 60° (图 6-B), 再对晶体的几何中心进行反伸操作(图 6-C), 与晶体旋转反伸前位置重复, 因此, 可确定 L^3 为 L_4^6 。

与 L_4^4 重合的 L^2 和 L_4^6 所包含的 L^3 以及与之垂直的 P 不再写入对称型。

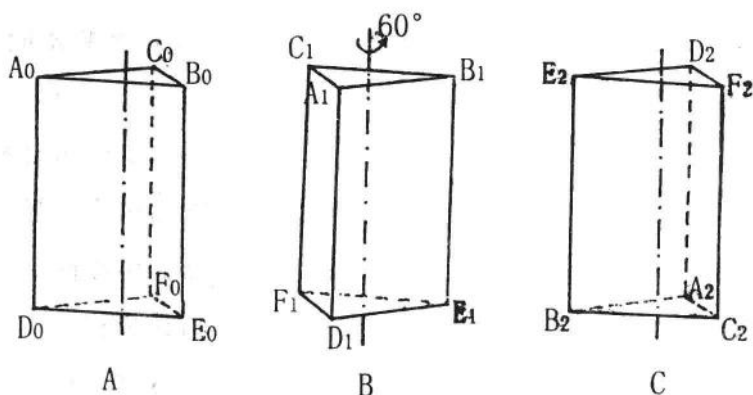


图 6 确定三方柱具有 L_4^6 图解

A、旋转反伸前位置 B、旋转 60° 后位置 C、旋转反伸后位置

(二) 书写对称型

对称型的写法: 先写对称轴和旋转反伸轴, 再写对称面, 后写对称中心, 写对称轴和旋转反伸轴按轴次由高到低书写(除 $3L^24L^33PC$ 外), 各种对称要素的数目用阿拉伯数字写在对称要素符号之前。例如: 立方体晶体的对称型为 $3L^44L^36L^29PC$ 。

(三)划分晶族和晶系

根据晶体的对称特点,划分晶族和晶系。

(四)查表核对

查教材 P24 表 3-5,核对所确定对称型、晶族和晶系,若与表不符,肯定是错了,但与表相符,并不能肯定地说是对的,因此,还需把主要注意力放在对称操作上,这样才能找全找对对称要素。

四、报告格式

表 1

模型号	对 称 轴				旋转反伸轴		对称面	对称心	对 称 型	晶 族	晶 系
	L^6	L^4	L^3	L^2	L_i^6	L_i^4	P	C			
立方体	-	3	4	6	-	-	9	1	$3L^4 4L^3 6L^2 9PC$	高级	等轴

五、注意事项

1、为了找对找全对称要素,以免重复和遗漏,寻找对称要素时,应把一种找完,再找另一种;一种可能位置找完,再找另一种可能位置。

2、在旋转、反映和反伸这三种基本对称操作中,只有旋转对称操作可以借助于绕某一直线的旋转,得以具体实施。而反映和反伸对称操作都不可能借助于任何一种实在的动作来具体实施,只能依靠观察,判断晶体相同部分间的关系来完成。不要把绕某一直线旋转 180° 当作反映或反伸对称操作。

3、寻找对称面和对称中心时,可把模型放在桌子上进行观察,不要乱动。

寻找对称轴时,可用左手拇指(在下)和食指(在上)拿稳晶体模型上可能存在对称轴的出露端点,并使其处于直立状态,选择特征明显的晶体界线要素正对自己,然后进行旋转操作。

寻找旋转反伸轴时,可使用两个同种模型,一个按前述要求拿在左手,以帮助记忆旋转前的位置,另一个模型拿在右手,进行旋转反伸复合对称操作。

4、要爱惜模型,严禁使用刀、笔等工具在模型上刻划。

六、思考问题

1、如何利用对称操作寻找对称面、对称轴、对称中心和旋转反伸轴?

2、怎样书写对称型？

3、各晶族和各晶系的对称特点分别是什么？

4、如果一个平面能把晶体分成两个全等图形，那么此平面是不是对称面？为什么？

5、晶体，有一端通过晶棱中点的直线，可能是几次轴？一对相互平行的正方形晶面中心的连线，能否是 L^3 或 L^6 ？为什么？

实验二 认识单形

一、目的要求

- 1、认识 47 种单形,并掌握 47 种单形在各晶族晶系中的分布。
- 2、熟练掌握 20 种常见单形。

二、准备工作

1、复习教材第一章第一节有关内容,查阅南大《结晶学导论》P90~95 或武地《结晶学及矿物学》(上册)P56~59 内容。

2、携带一本参考书。

三、内容方法

(一)认识单形

对照参考书中 47 种单形特点,逐一观察单形模型,掌握单形特点,记忆单形名称,20 种常见单形要填写实习报告。

认识单形要从以下三个方面进行观察:

①、晶面特点:包括晶面数目,晶面形状,晶面间的相互关系(成对平行、上下正对、上下相差一定角度)。

例如:菱面体晶面数目为 6,晶面形状为菱形,成对平行,上下晶面相差 60° 正对。

②、晶体界线要素与对称轴的关系:对中、低级晶族,注意观察晶面与对称轴的关系(平行、垂直、上下晶面交于对称轴);对高级晶族,注意观察对称轴出露位置。

例如:四方柱所有晶面和晶棱与 L^4 平行;菱形十二面体 L^2 出露于晶面中心, L^3 、 L^4 出露于角顶;而五角十二面体 L^2 出露于晶棱中点, L^3 出露于角顶,根据有无 L^4 或 L^2 出露位置可区别这两种单形。

③、单形横截面形状:一般指通过晶体几何中心的横截面形状。

例如:复三方双锥和六方双锥通过晶体中心的截面形状分别为复三方形和正六边形。观察单形几何特征时,要注意下列相似单形的区别:

- ①三方双锥、菱面体和三方偏方面体。
- ②斜方双锥、四方双锥、八面体和四方偏方面体。
- ③斜方四面体、四方四面体和四面体。
- ④斜方柱和四方柱。
- ⑤复三方柱和六方柱。
- ⑥复三方双锥、六方双锥、复三方偏三角面体和六方偏方面体。
- ⑦三角三八面体、四角三八面体和偏方复十二面体。
- ⑧菱形十二面体和五角十二面体。

所有单形均有各自的名称,单形名称是依据单形的一种或两种几何特征命名的。了解单形的命名依据,对于记忆单形名称和掌握单形几何特征具有很大的帮助。

①、根据晶面数目命名的:有单面、双面、四面体、八面体、六八面体、六四面体和四六面体

②、根据晶面形状命名的:有菱面体。

③、根据截面形状和立体形态命名的:有立方体,各种柱类、单锥类、双锥类。如,四方柱截面形态为正方形(四方形),立体形态为柱状。

④、根据晶面形状和晶面数目命名的:有三角三四面体,四角三四面体,五角三四面体,三角三八面体,四角三八面体,五角三八面体、菱形十二面体,五角十二面体和偏方复十二面体。

⑤、根据截面形状和晶面形状命名的:有三方偏方面体,四方偏方面体,六方偏方面体、四角偏三角面体和复三方偏三角面体。

⑥、根据截面形状和晶面数目命名的:有斜方四面体(菱方四面体)和四方四面体。

⑦、根据晶面间关系和晶面数目命名的:有平行双面。

(二)、判断单形类型

1、开形与闭形

开形是指仅仅由一个单形本身的全部晶面不能围成封闭空间的单形。单面、平行双面以及各种柱和锥等 17 种单形,属于开形。

闭形是指由一个单形本身的晶面就能围成封闭空间的单形。如四方双锥。除 17 种开形外,其余 30 种单形均为闭形。

2、左形和右形

左右形是指两个互成镜象反映关系、但不能以旋转操作使之重合的同种单形。常见的左右形的单形有:三方偏方面体,四方偏方面体,六方偏方面体,五角三四面体,五角三八面体等 5 种。

判断单形左、右形的方法是:

①、对于偏方面体类单形,上部晶面两个不等长的晶棱中,长晶棱在左者为左形,长晶棱在右者为右形(见图 7)。

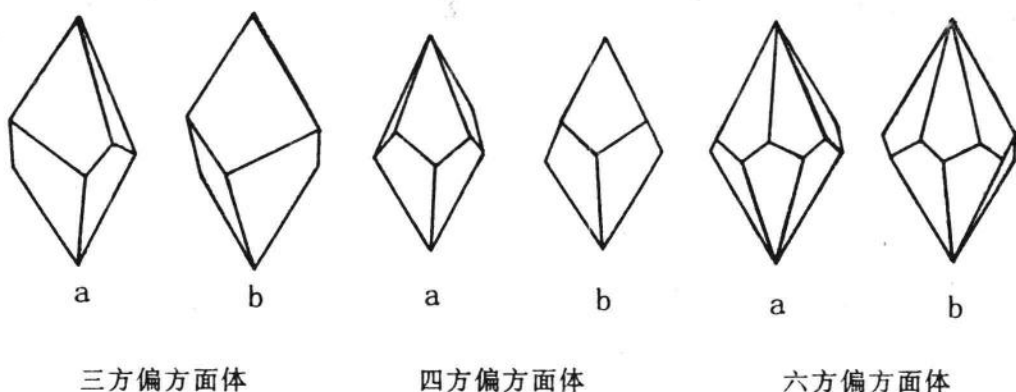


图 7 偏方面体的左形(a)和右形(b)

②、对于五角三四面体, L^3 出露的两角顶间为三条晶棱组成的一条折线,如果,最下面的一条晶棱位于两角顶连线的左侧,则为左形;如果位于右侧,则为右形(见图 8)

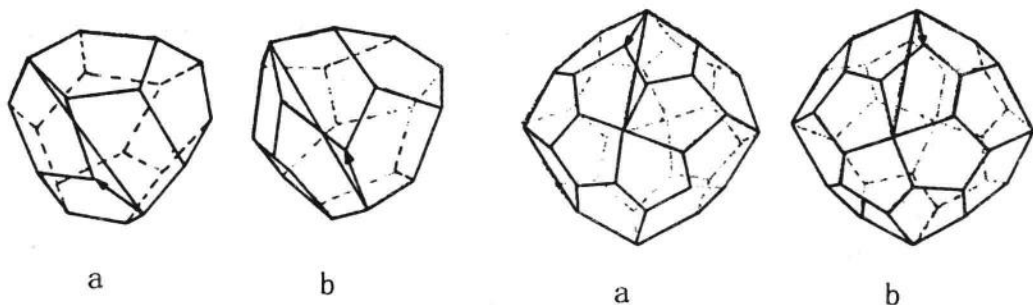


图 8 五角三四面体的左形(a)和右形(b) 图 9 五角三八面体的左形(a)和左形(b)

③、对于五角三八面体, L^4 出露的两角顶间为三条晶棱组成的一条折线, 如果, 最上面的一条晶棱位于两角顶连线的左侧, 则为左形; 反之, 则为右形(见图 9)。

(三)、了解 47 种单形在各晶族、晶系中的分布

47 种单形在各晶族、晶系中的分布见表 2、3、4。

表 2 低级晶族各晶系所属单形

单形数目 ^①	晶系	单形名称		
7	三斜	* 单面(开) ^② * 平行双面(开)	双面(开) * 斜方柱(开)	斜方锥(开) * 斜方双锥 斜方四面体
	单斜			
	斜方			

注: ①不含重复单形数目 ②为开形, 未加注明的均为闭形 * 为常见单形, 表 3、4 同。

表 3 中级晶族各晶系所属单形

单形数目	晶系	柱类 (开)	锥类		偏方面体类	偏三角面体类	其它	
			单锥类 (开)	双锥类			四方四面体	单面 (开) 平行双面 (开)
25	四方	* 四方柱 复四方柱	四方锥 复四方锥	* 四方双锥 * 复四方双锥	四方偏方面体	四方偏三角面体		
	三方	* 三方柱 复三方柱	* 三方锥 复三方锥	三方双锥 复三方双锥	* 三方偏方面体	* 复三方偏三角面体	* 菱面体	
	六方	* 六方柱 复六方柱	六方锥 复六方锥	* 六方双锥 复六方双锥	六方偏方面体			

表 4 高级晶族等轴晶系所属单形

单形数目	单形名称				
15	* 八面体	三角三八面体	四角三八面体	五角三八面体	六八面体
	* 四面体	三角三四面体	* 四角三四面体	五角三四面体	六四面体
	* 立方体	* 菱形十二面体	* 五角十二面体	偏方复十二面体	四六面体

四、报告格式

表 5

模型号	单形名称	单形特征					所属晶系
		晶面数目	晶面形状	晶面间关系	晶体界线要素与对称轴间关系	截面形状	
例	菱面体	6	菱形	成对平行,上下晶面相差 60°	上、下晶面分别交于 L^3	正六边形	三方
例	菱形十二面体	12	菱形	成对平行,上下正对,与中部晶面相差 45°	L^2 :晶面中心 L^3 、 L^4 :角顶		等轴

五、注意事项

1、晶面形状指的是单形单独存在的晶面形状,而开形不能单独存在,因此不必描述。实习所用柱类、单锥类模型为观察单形与 4 单面或平行双面的聚形,不要误以为单面或平行双面也是观察单形的晶面。

2、描述晶面形状和截面形状,术语要准确、规范。请使用下列术语:不等边三角形、等腰三角形、等边三角形、菱形、正方形、偏方形(两条邻边相等的四边形)、两对邻边相等的四边形、四条边相等的五边形、两对邻边相等的五边形、正六边形、复三方形、复四方形和复六方形。

3、等轴晶系中多数单形截面形状复杂,特征不明显。因此,对这些单形可以不考虑截面形状。

六、思考问题

1、菱形十二面体和五角十二面体的几何特征是什么?如何区分它们?

2、有一单形,由六个晶面组成,晶面呈菱形,成对平行,且上下晶面绕 L^3 相差 60° 正对,上、下晶面分别相交于对称轴 L^3 上,通过晶体几何中心的横截面为正六边形。该单形的名称是什么?

3、属于四方晶系的所有单形(除单面、平行双面外)的晶面数目总是 4、8 或 16,这是为什么?其它晶系的单形是否也有类似的规律性?

实验三 聚形分析

一、目的要求

- 1、深入理解聚形概念。
- 2、学会聚形分析方法。

二、准备工作

- 1、复习从晶体模型上寻找对称要素的方法,掌握常见单形的名称和几何特征。
- 2、复习教材第四章第二节内容,理解聚形概念以及单形相聚的原则。

三、内容方法

1、确定对称型和划分晶系

采用实验一的方法,在聚形晶体模型上找出全部对称要素,确定对称型,并根据对称特点划分所属晶系。

2、确定单形数目

聚形晶体上,每一种同形等大的晶面,都各自构成一个单形。因此,只要观察聚形模型上有几种同形等大的晶面,就可确定单形数目为几。

3、逐一确定单形名称

首先观察其中的一个单形,根据该单形的晶面数目、晶面间的相互关系、晶体界限要素与对称轴的关系,以及假想此单形的各晶面延展彼此相交,将其它单形的晶面淹没后所恢复出的独立存在时的形状,定出此单形名称。

同样,逐一观察其它所有的单形,确定出它们的名称。

4、查表核对

教材 P30 表 4-1 列出了各晶系每一对称型可能出现的所有单形,我们将聚形模型的晶系、对称型及所属全部单形与表 4-1 核对,如发现不符,说明有错误。需重新分析,直至核对相符。

举例:如图 10 所示晶体模型的聚形分析

①确定对称型和划分晶系:该聚形对称型为 L^44L^25PC ,属四方晶系。

②确定单形数目:由观察发现模型上有两种形状大小不同的晶面(图 10a、b)。因此,该聚形由两种单形组成。

③确定单形名称:由四个 a 种晶面围成的单形,晶面成对平行,晶面与 L^4 平行,截面为正方形,该单形应为四方柱;由八个 b 种晶面围成的单形,晶面成对平行,上、下晶面分别交于 L^4 上,想象延展平行,b 种晶面彼此相交的,晶面呈等腰三角形,截面呈正方形,立体形态为双锥体,因此,该单形应为四方双锥。

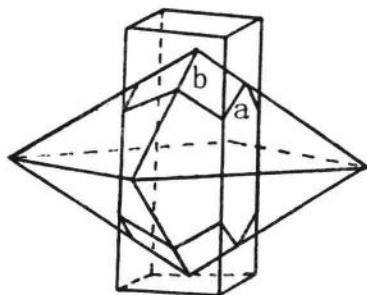


图 10 四方柱和四方双锥的聚形

④查表核对:在教材 P30 表 4-1 四方晶系 L^44L^25PC 对称型的单形中,查到所确定的四方柱和四方双锥两种单形,分析结果与表相符。

四、报告格式

表 6

模型号	对称型	晶系	单形数目	单形名称(晶面数目)
例: 图 10 模型	L^44L^25PC	四方	2	1、四方柱(4) 2、四方双锥(8)

五、注意事项

1、在聚形中,由于各个单形的晶面相互切割,常常可以使单形的晶面形状与它单独存在时的晶面形状不同。因此聚形分析时,不能把晶面形状作为确定单形名称的依据。

2、既同形又等大的晶面,才属同一个单形,不要错计单形数目。

六、思考问题

1、如何在聚形模型上确定单形名称?

2、四方柱与八面体、斜方柱与四方双锥分别能组合成聚形吗?为什么?