

## 序 言

晶体光学是研究晶体物质光学性质的科学。它具有丰富而完整的理論体系，并已經广泛地运用在很多科学技术的实际工作中。

在岩石学中，主要是运用晶体光学的基本原理与方法，研究鑑定造岩矿物。所以本书只介紹了透明矿物薄片在偏光显微镜下所呈現的晶体光学現象，并着重介紹了这些現象的鑑定方法和光性原理，以便为学习岩石学及深入钻研晶体光学打下基础。本书的内容和份量适用于找矿、勘探、石油及水文等地质类专业，也可作为岩矿鑑定工作者的参考。

必須指出：晶体光学中的某些基本理論，已在物理学和結晶学中介紹过了，本书未予重述。但学习本书时，必須在它們的基础上来进行。

本书是在院党委的直接领导下，根据我室晶体光学讲义再度修編而成的。在修編过程中，吸取了北京地质学院、长春地质学院晶体光学讲义中的許多优点，和她们提供的宝贵意見。本书内容份量是按 40 学时安排的，建議讲课为 16 学时，实验为 24 学时。

本书写成后，經地质部地质科学院陈正工程师詳細审查，提出了許多宝贵意見，編者根据这些意見进行了修改，使本书质量得到一定提高，特此致謝。

本书由李德惠、韓昭文、张长俊、馮国荣等担任編写工作。編写过程中胡崇堯老师曾仔細校閱过初稿。

成都地质学院岩石教研室

1961年7月



|            |                                |     |
|------------|--------------------------------|-----|
| 第十节        | 消光类型及消光角的测定                    | 65  |
| 第十一节       | 晶体延性符号的测定                      | 69  |
| 第十二节       | 双晶的观察                          | 70  |
| 附思考题       |                                | 72  |
| 第五章        | 锥光镜下晶体光学性质                     | 73  |
| 第一节        | 锥光镜的装置及特点                      | 73  |
| 第二节        | 一轴晶干涉图及光性正负的测定                 | 76  |
| 第三节        | 二轴晶干涉图及光性正负的测定                 | 90  |
| 第四节        | 各种干涉图的应用范围                     | 103 |
| 第五节        | 锥光镜下色散现象的观察                    | 104 |
| 第六节        | 偏光面旋转的现象的观察                    | 110 |
| 第六章        | 薄片造岩矿物的系统鉴定及颗粒大小、含量的测定         | 111 |
| 第一节        | 薄片造岩矿物的系统鉴定                    | 111 |
| 第二节        | 矿物颗粒大小及含量的测定                   | 113 |
| 第七章        | 油浸法概述                          | 122 |
| 第一节        | 油浸法的原理                         | 122 |
| 第二节        | 浸油的配制                          | 125 |
| 第三节        | 油浸法测定碎屑矿物折光率的方法                | 129 |
| 附晶体光学实验指导书 |                                | 132 |
| 实验一        | 偏光显微镜                          | 132 |
| 实验二        | 解理的观察、解理角的测定及多色性现象的观察          | 133 |
| 实验三        | 折光率高低的比较法                      | 135 |
| 实验四        | 消光与干涉现象、干涉色及干涉色升高降低的观察         | 135 |
| 实验五        | 矿物切片上光率体椭圆半径方向、名称及干涉色级序、双折率的测定 | 138 |
| 实验六        | 消光类型、消光角及延长符号的测定               | 139 |
| 实验七        | 一轴晶干涉图                         | 139 |
| 实验八、九      | 二轴晶干涉图                         | 141 |
| 实验十        | 非均质体矿物的系统鉴定                    | 142 |
| 实验十一、十二    | 油浸法                            | 142 |

高等学校教材試用本

# 晶体光学

成都地质学院岩石教研室編

中国工业出版社



54.935  
229

26582/11

# 目 录

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 序言.....                              | 5  |
| 第一章 晶体光学基础 .....                     | 6  |
| 第一节 自然光及偏光 .....                     | 6  |
| 第二节 光在均质体和非均质体中的传播方式 .....           | 6  |
| 第三节 光率体 .....                        | 10 |
| 第四节 光率体在晶体中的位置——光性方位 .....           | 19 |
| 第五节 色散 .....                         | 21 |
| 附思考题 .....                           | 23 |
| 第二章 偏光显微镜及薄片磨制法 .....                | 23 |
| 第一节 偏光显微镜的构造 .....                   | 24 |
| 第二节 偏光显微镜的调节 .....                   | 27 |
| 第三节 偏光显微镜的保养 .....                   | 31 |
| 第四节 薄片磨制法 .....                      | 33 |
| 第三章 单偏光镜下晶体光学性质 .....                | 33 |
| 第一节 矿物的形态 .....                      | 34 |
| 第二节 解理及角的测定 .....                    | 35 |
| 第三节 颜色与多色性 .....                     | 38 |
| 第四节 薄片中心矿物的边缘、糙面及突起 .....            | 41 |
| 第五节 贝克线及色散效应 .....                   | 44 |
| 附思考题 .....                           | 46 |
| 第四章 正交偏光镜间晶体光学性质 .....               | 47 |
| 第一节 正交偏光镜的装备及特点 .....                | 47 |
| 第二节 正交偏光镜间矿物的消光现象和消光位 .....          | 47 |
| 第三节 正交偏光镜间的干涉现象 .....                | 49 |
| 第四节 干涉色及色谱表 .....                    | 52 |
| 第五节 异常干涉色及光性异常 .....                 | 56 |
| 第六节 消色法则及各种消色器 .....                 | 57 |
| 第七节 非均质矿片上，光率体椭圆半径方向与<br>名称的测定 ..... | 60 |
| 第八节 干涉色顺序的测定 .....                   | 62 |
| 第九节 双折率的测定 .....                     | 63 |

06003

|         |                                |     |
|---------|--------------------------------|-----|
| 第十节     | 消光类型及消光角的测定                    | 65  |
| 第十一节    | 晶体延性符号的测定                      | 69  |
| 第十二节    | 双晶的观察                          | 70  |
|         | 附思考题                           | 72  |
| 第五章     | 锥光镜下晶体光学性质                     | 73  |
| 第一节     | 锥光镜的装置及特点                      | 73  |
| 第二节     | 一轴晶干涉图及光性正负的测定                 | 76  |
| 第三节     | 二轴晶干涉图及光性正负的测定                 | 90  |
| 第四节     | 各种干涉图的应用范围                     | 103 |
| 第五节     | 锥光镜下色散现象的观察                    | 104 |
| 第六节     | 偏光面旋转的现象的观察                    | 110 |
| 第六章     | 薄片造岩矿物的系统鉴定及颗粒大小、含量的测定         | 111 |
| 第一节     | 薄片造岩矿物的系统鉴定                    | 111 |
| 第二节     | 矿物颗粒大小及含量的测定                   | 113 |
| 第七章     | 油浸法概述                          | 122 |
| 第一节     | 油浸法的原理                         | 122 |
| 第二节     | 浸油的配制                          | 125 |
| 第三节     | 油浸法测定碎屑矿物折光率的方法                | 129 |
|         | 附晶体光学实验指导书                     | 132 |
| 实验一     | 偏光显微镜                          | 132 |
| 实验二     | 解理的观察、解理角的测定及多色性现象的观察          | 133 |
| 实验三     | 折光率高低的比较法                      | 135 |
| 实验四     | 消光与干涉现象、干涉色及干涉色升高降低的观察         | 135 |
| 实验五     | 矿物切片上光率体椭圆半径方向、名称及干涉色级序、双折率的测定 | 138 |
| 实验六     | 消光类型、消光角及延长符号的测定               | 139 |
| 实验七     | 一轴晶干涉图                         | 139 |
| 实验八、九   | 二轴晶干涉图                         | 141 |
| 实验十     | 非均质体矿物的系统鉴定                    | 142 |
| 实验十一、十二 | 油浸法                            | 142 |

## 序 言

晶体光学是研究晶体物质光学性质的科学。它具有丰富而完整的理論体系，并已經广泛地运用在很多科学技术的实际工作中。

在岩石学中，主要是运用晶体光学的基本原理与方法，研究鑑定造岩矿物。所以本书只介绍了透明矿物薄片在偏光显微镜下所呈现的晶体光学现象，并着重介绍了这些现象的鑑定方法和光性原理，以便为学习岩石学及深入钻研晶体光学打下基础。本书的内容和份量适用于找矿、勘探、石油及水文等地质类专业，也可作为岩矿鑑定工作者的参考。

必須指出：晶体光学中的某些基本理論，已在物理学和結晶学中介绍过了，本书未予重述。但学习本书时，必須在它們的基础上来进行。

本书是在院党委的直接领导下，根据我室晶体光学讲义再度修編而成的。在修編过程中，吸取了北京地质学院、长春地质学院晶体光学讲义中的許多优点，和她们提供的宝贵意見。本书内容份量是按 40 学时安排的，建議讲课为 16 学时，实验为 24 学时。

本书写成后，經地质部地质科学院陈正工程师詳細审查，提出了許多宝贵意見，編者根据这些意見进行了修改，使本书质量得到一定提高，特此致謝。

本书由李德惠、韓昭文、张长俊、馮国荣等担任編写工作。編写过程中胡崇堯老师曾仔細校閱过初稿。

成都地質学院岩石教研室

1961年7月



# 第一章 晶体光学基础

## 第一节 自然光及偏光

光波根据振动的特点，可分为自然光与偏光。

自然光是一切从实际光源发出的普通光波，如太阳光，灯光等。其振动的特点，是在垂直于光波传播方向的平面内作任何方向的振动，而且是均匀对称（图1 A）的。

自然光波经过反射、折射、双折射及吸收等作用，可以成为只在一个方向上振动的光波，这种光波一般称为偏光或偏振光（图1 B）。光波振动方向与传播方向所构成的平面称为振动面，平行传播方向而与振动面垂直的面称偏光面。

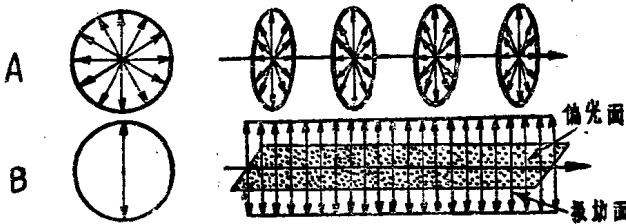


图 1 自然光及偏光的振动特点

A—自然光；B—偏光

偏光显微镜中装有特制的偏光镜，主要是利用双折射与选择吸收产偏光的原理制成的。自然光通过偏光镜后，即成为振动方向固定的偏光。

## 第二节 光在均质体和非均质体中的传播方式

根据晶体的光学性质不同，可以把物质分为均质体和非

均质体两大类。一切不結晶的物质与等軸晶系矿物的光学性质各方向相同，称为光性均质体，或簡称为均质体。如空气、玻璃、加拿大树胶及螢石等。其他各晶系矿物晶体的光学性质随方向而异，称为光性非均质体，或簡称为非均质体。

当光綫由空气射入水或油液，或由油液射入玻璃及透明均质矿片等，如所周知光在两个介质交界处将发生折射現象。图 2 A 中，設  $TT_1$  表示两个介质的分界面，它和紙面垂直， $S$  与  $S_1$  代表入射光綫， $R$  与  $R_1$  代表折射光綫， $V_i$  表示光綫在入射介质中的速度， $V_r$  代表光綫在折射介质中的速度。

依据惠更斯原理，設在  $t_1$  瞬間，光綫  $S$  和  $S_1$  到达  $Aa_1$  面上，从此面开始，光綫  $S_1$  繼續在入射介质中传播，而光綫  $S$  已經在折射介质中传播了。到了  $t_2$  瞬間时，光綫  $S_1$  刚到达  $TT_1$  交界面上，而  $S$  光綫将在折射介质中前进了一个单位光波，其半徑  $AB = V_r(t_2 - t_1)$ 。自  $B_1$  点向以  $AB$  半徑所作圓弧引一切綫，則  $BB_1$  为  $t_2$  瞬間， $S$  与  $S_1$  光綫同时到达的波前，从  $A$  向切点  $B$  引一直綫  $AB$ ，即表示折射光綫的方向。

图中  $\angle SAP = i$  叫作入射角，为入射光綫与分界面法綫  $PP_1$  之夾角。

$\angle RAP_1 = r$  叫作折射角，为折射光綫与分界面法綫之夾角。

$$\text{在 } \triangle AA_1B_1 \text{ 中 } \angle A_1AB = i, \quad A_1B_1 = AB_1 \sin i \quad (1)$$

$$\triangle ABB_1 \text{ 中 } \angle AB_1B = r, \quad AB = AB_1 \sin r \quad (2)$$

据(1)和(2)得：
$$\frac{A_1B_1}{AB} = \frac{\sin i}{\sin r} \quad \text{即} \quad \frac{V_i(t_2 - t_1)}{V_r(t_2 - t_1)} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

簡化之即 
$$\frac{V_i}{V_r} = \frac{\sin i}{\sin r} = N$$

$N$  值系第二介质对于第一介质的折光率。由上式可知第二介质的折光率  $N$  和其速度  $V_r$  成反比。即介质的折光率愈大，光的传播速度愈小，反之折光率愈小则光速愈大。折光率又与介质的密度成正比，故介质密度愈大，折光率亦愈大，而光的传播速度愈小。反之，亦然。

当  $V_i > V_r$ ，则  $N$  大于 1；亦即  $\sin i > \sin r$ ，故  $i > r$ 。光线由密度较小的介质射入密度较大的介质时将永远发生折射。

当  $V_i < V_r$ ，则  $N$  小于 1；即  $\sin i < \sin r$ ，故  $i < r$ 。当折射角  $r$  增大时， $i$  亦随之增大，当  $r > 90^\circ$ ，光线即不再射入第二介质中，而全部从分界面上返回到第一介质之中，产生所

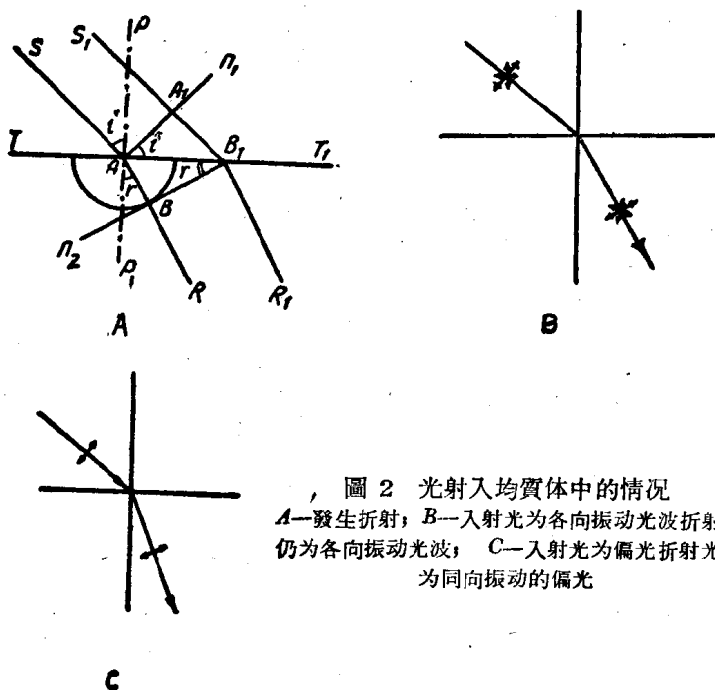


圖 2 光射入均質體中的情況  
 A—發生折射；B—入射光為各向振動光波，折射光仍為各向振動光波；C—入射光為偏光，折射光仍為同向振動的偏光

謂全反射。当  $r=90^\circ$  时， $i$  角称为全反射角（临界角）。由是知光綫由密度較大的介质射入密度較小的介质中，将发生折射和全反反射。

为了更好地比較各种物质的折光率，第一种介质（入射介质）通常用真空或空气（空气对真空的折光率为1）。任意物质与真空或空气比較而得的折光率叫作絕對折光率，而与其余别的介质比較而得的折光率称为相对折光率。

当光綫由某一介质（不是空气，而是如油液等）射入另一介质（如矿物等），則第二介质的絕對折光率 ( $N$ ) 等于入射介质絕對折光率 ( $N_1$ ) 乘以相对折光率 ( $n$ )，即公式  $N = nN_1$ 。

光射入均质体中，发生折射，一般不改变光波的振动性质（图 2 B, C）。光在均质体中向任何方向振动时其折光率大小相同。

实验証明，光射入非均质体中，发生双折射，产生振动互相垂直而折光率不等的两种偏光（图 3）。很显然，非均质体的折光率大小随光波的振动方向不同而有变化，每一种振动方向都有其相应的折光率值。

必須特別指出：并不是光沿任何方向射入非均质体中，都能发生双折射。实验証明：当光沿非均质体的特殊方向射入时，不发生双折射，也不改变光波的振动性质（如沿中級晶族晶体的  $e$  軸方向射入），这是很重要的現象。在非均质体中这种不发生双折射的特殊方向称为光軸。这种光軸在中級晶族晶体中只有

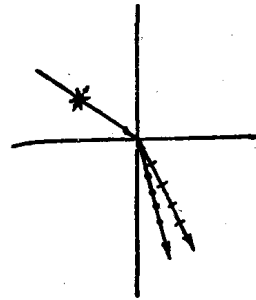


圖 3 光射入非均質体中的双折射現象

一个，故称一軸晶。低級晶族晶体中有两个，故称二軸晶。

光射入一軸晶中，由双折射所产生的两种偏光，其一振动方向永与光軸垂直，各方向折光率相等，称为常光。以符号  $O$  表示。另一种偏光，其振动方向包括在光波传播方向与光軸所构成的平面上，其折光率随方向而異，称为非常光。以符号  $e$  表示。

### 第三节 光 率 体

光率体是表示晶体中光波振动方向与折光率之間关系的一种光性指示体。在光波的振动方向上，按比例截取折光率值，再把各綫段端点联結起来即成为光率体。显然它能反映在光波振动方向上的折光率值。光率体是根据晶体的不同方向的切片，在仪器上测出的各个光波振动方向上的相应折光率大小所作出来的立体图。它反映了各类晶体光性中最本质的特点，即为光波振动方向和折光率关系的最一般的立体图形，因之它是从物质中抽象得出的概念，而不是人們所臆造的。它的形状簡單，应用方便，成为解释一切晶体光学現象的基础。因为各类晶体的光学性质不同，所构成的光率体形状亦不同，茲分述如下：

光在均质体中，向任何方向振动，其折光率皆相等。所以均质体的光率体是一个球体。

#### 一、一軸晶光率体

一軸晶光率体是一个旋轉橢球体，而且有正負之分。茲以石英和方解石为例来分別說明。

当光綫垂直石英  $c$  軸射入晶体时，发生双折射，产生两种偏光。其一为常光，振动方向垂直  $c$  軸，折光率为 1.544，以  $N_o$  表示。另一为非常光，其振动方向平行  $c$  軸，折光率

为1.553, 以  $N_e$  表示。在平行  $c$  轴的方向上截取  $N_e=1.553$ , 垂直  $c$  轴的方向上截取  $N_o=1.544$ , 以此二线段为长短半径可构成一个垂直入射光的椭圆切面 (图 4 A)。垂直  $c$  轴其他任何方向射入的光线均可构成相同的椭圆切面。将这一系列的椭圆切面联系起来, 便构成一个以  $c$  轴为旋转轴的长形旋转椭球体。此为石英的光率体 (图 4 B)。

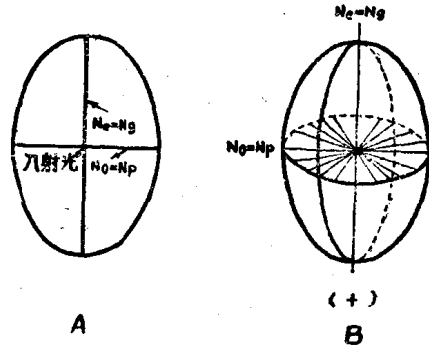


圖 4 一軸晶正光性光率体的構成

这种光率体的特点, 是其旋转轴为长轴。

亦即其光轴。沿光轴振动的折光率, 总比垂直于光轴振动的折光率大些, 即  $N_e > N_o$ , 我们称它为一轴晶正光性光率体。凡属一轴晶矿物而具有此种特点的, 皆称为正光性矿物。

当光线垂直方解石的  $c$  轴(光轴)入射时, 发生双折射, 其  $N_o=1.658$ ,  $N_e=1.486$ , 同上作法构成的光率体是一个以  $c$  轴为旋转轴的扁形旋转椭球体 (图 5)。它的特点与前者相反, 旋转轴为短轴, 凡沿光轴方向振动的折光率, 总比垂直

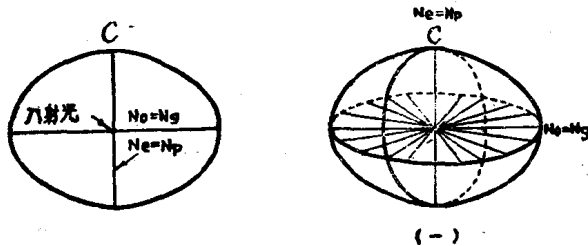


圖 5 一軸晶負光性光率体的構成

于光軸振动的折光率小些，即  $N_e < N_o$ ，称为一軸晶負光性光率体。具有此种特点的一軸晶矿物，皆称为負光性矿物。

無論正光性或負光性光率体，其直立軸永为  $N_e$ ，水平軸永为  $N_o$  (图 6)。  $N_e$  与  $N_o$  代表一軸晶矿物折光率的最大与最小值。一般折光率的最大值以  $N_g$  表示；最小值以  $N_p$  表示之。故当  $N_e = N_g$  时，光性为正 (图 6A)；  $N_e = N_p$  时，光性为負 (图 6B)。  $N_e$  与  $N_o$  之差，为一軸晶矿物的最大双折率。

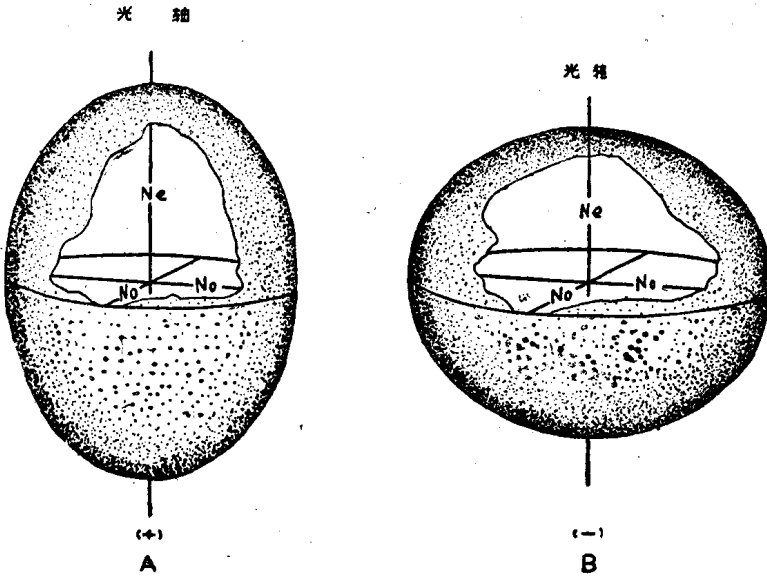


圖 6 一軸晶光率体

在晶体薄片的研究工作中，我們常常遇到的是光率体各个方向的切面。在一軸晶矿物晶体中主要有下列三种：垂直光軸(直立軸)的切面为圓切面，其半径等于  $N_o$ 。平行光軸的切片为橢圓，其半径之一为  $N_o$ ；另一个为  $N_e$ ，是一軸晶

的主切面。斜交光軸的切面均为橢圓，长短半径中有一个必为  $N_o$ ；另一个半径长短变化于  $N_e$  与  $N_o$  之間，一般以  $N_e'$  表示。 $N_e'$  視光性正負或大于  $N_o$  或小于  $N_o$ 。

根据上述概念，可进一步应用光率体确定光波传播方向、振动方向与相应折光率值之間的关系。

当光平行光軸射入时，垂直于入射綫的光率体切面既为圓切面，則沿光軸的入射綫，可以平行任意圓半径振动，其折光率皆等于  $N_o$ ，故不发生双折射。沒有双折率。

当光垂直光軸射入时，垂直于入射綫的光率体切面則为主切面（橢圓）。其长短半径方向即为入射綫发生双折射后二偏光的振动方向，半径的

长短代表相应的折光率值（即主折光率  $N_e$  与  $N_o$ ），半径之差为二偏光的双折率，即一軸晶的最大双折率。

当光斜交光軸射入时，垂直于入射綫的光率体切面仍为橢圓；橢圓长短半径方向亦代表双折射后二偏光的振动方向，半径长短亦代表其相应的折光率值（ $N_o$  与  $N_e'$ ），但半径之差所代表的双折率不是最大值（图 7）。

由上可知，当入射光方向已定，則垂直此方向在光率体中可切出橢圓或圓切面。橢圓切面的长短半径分別代表入射

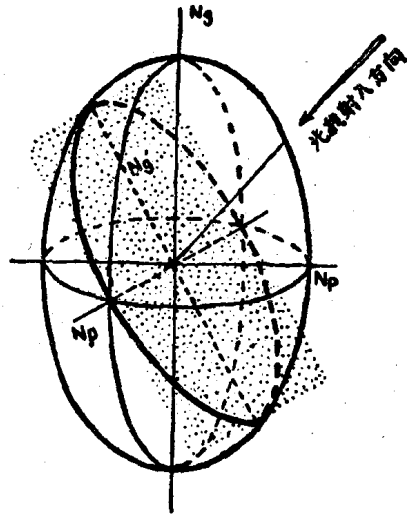


圖 7 光的傳播方向、振动方向与相应折光率之間的关系



光发生双折射后两种偏光的振动方向；其长度代表相应的折光率值，长短半径之差代表双折率。光沿光轴射入时，双折率为零；垂直光轴射入，双折率最大；斜交光轴射入，双折率变化于零与最大值之间。

## 二、二轴晶光率体

二轴晶光率体是一个三轴椭球体。兹以斜方晶系鎂橄欖石为例，来说明二轴晶光率体。

光沿  $c$  轴射入晶体，发生双折射，产生两种偏光，經測定其中一种偏光振动方向平行  $a$  轴，折光率約等于 1.715；另一种偏光平行  $b$  轴，折光率約等于 1.651。在  $a$  轴方向上截取 1.715，在  $b$  轴方向上截取 1.651，以此二綫段为半径可得一个垂直入射綫（即  $\perp c$  轴）的椭圆切面（图 8 A）。

光沿  $a$  轴射入晶体，发生双折射，其中一种偏光振动平行  $b$  轴，折光率为 1.651；另一种偏光振动平行  $c$  轴，折光率为 1.680。同样构成一个垂直入射光（ $\perp a$  轴）的椭圆切面（图 8 B）。

光沿  $b$  轴射入晶体，发生双折射，其中一种偏光振动平行  $a$  轴，折光率为 1.715；另一种偏光振动平行  $c$  轴，折光率为 1.680。同样构成一个垂直入射光（即  $\perp b$  轴）的椭圆切面（图 8 C）。

把这三个椭圆切面，按照他們在空間的位置联系起来，即为鎂橄欖石的光率体，它是一个三轴椭球体（图 8 D）。

从鎂橄欖石的三个主要方向切面，可以看出它有平行  $a$ 、 $b$ 、 $c$  结晶轴的大、中、小三个主折光率，分別以  $N_g$ 、 $N_m$ 、 $N_p$  表示之。其他二轴晶矿物也都有大、中、小三个主折光率。只是它們在晶体中的振动方向各有一定，其折光率值各不相同。正因为如此，乃成为今后鑑定工作中的主要依据。