目　录

第一章　测量仪器的几何光学……（1）

§1—1　概述……（1）

§1—2　光的反射定律及平面反射光学零件……（3）

§1—3　光的折射定律及平面折射光学零件……（6）

§1—4　球面折射光学零件——透镜……（15）

§1—5　光栏的概念……（40）

§1—6　象差概念……（45）

§1—7　光学零件的应用及调整……（51）

第二章　望远镜……（56）

§2—1　眼睛……（56）

§2—2　测量仪器上用的望远镜及其成象原理……（59）

§2—3　望远镜的几个主要组成部分……（63）

§2—4　衡量望远镜光学性能的主要指标及测定方法……（71）

§2—5　望远镜的测距原理及测距误差……（81）

§2—6　内调焦望远镜的调焦镜运行误差及其测定……（87）

§2—7　望远镜的观测误差……（95）

第三章　读数设备……（101）

§3—1　读数设备的组成与分类……（101）

§3—2　度盘……（104）

§3—3　放大镜、显微镜及其在读数设备中的应用……（111）

§3—4　游标……（114）

§3—5　显微估计器、显微光学游标、显微带尺……（116）

§3—6　斜尺测微器……（119）

§3—7　螺旋测微器……（120）

§3—8　单平板玻璃光学测微器……（122）

§3—9　照准部偏心差的概念及度盘对径分划符合读数法的提出……（123）

§3—10　符合读数系统中的测微方法……（130）

§3—11　读数设备的光学数字化结构……（138）

§3—12　光学经纬仪读数设备的检验……（142）

§3—13　各种读数设备的读数误差……（146）

第四章　水准器……（150）

§4—1　水准器的用途、结构原理与分类……（150）

§4—2　水准器的国家标准……（151）

需要全本请访问 www.ertongbook.com

§ 4—3　水准器格（角）值的测定方法……(154)
§ 4—4　水准器的灵敏度及其影响因素……(160)
§ 4—5　带有符合棱镜系统的符合水准器……(164)
§ 4—6　自动安平补偿器的提出与自动安平原理……(165)
§ 4—7　自动安平补偿器……(168)
§ 4—8　经纬仪竖盘指标自动归零补偿器……(192)
§ 4—9　自动安平补偿器的误差问题……(202)
第五章　仪器的机械部分……(208)
§ 5—1　测量仪器机械部分的组成……(208)
§ 5—2　仪器的竖轴及对它的要求……(208)
§ 5—3　竖轴的分类及其优缺点……(210)
§ 5—4　竖轴轴系……(216)
§ 5—5　竖轴系的共轴性与定向误差……(218)
§ 5—6　横轴……(220)
§ 5—7　制动微动机构……(222)
§ 5—8　复测机构和拨盘机构……(226)
§ 5—9　脚螺旋……(230)
§ 5—10　一次安平对中结构及垂球对中结构的问题……(233)
§ 5—11　三脚架……(235)
§ 5—12　仪器的稳定性……(238)
第六章　水准仪及其检修……(240)
§ 6—1　水准仪的种类及我国水准仪的系列标准……(240)
§ 6—2　CSZ-1型水准仪的检修……(242)
§ 6—3　NS3 型水准仪的检修……(255)
§ 6—4　S1 精密水准仪的检修……(263)
§ 6—5　DSZ3 自动安平水准仪简介……(280)
§ 6—6　国外水准仪发展概况……(284)
第七章　经纬仪及其检修……(286)
§ 7—1　经纬仪的分类及系列标准……(286)
§ 7—2　CJY-1型工程（游标）经纬仪的检修……(288)
§ 7—3　DJ6-1型光学经纬仪的检修……(296)
§ 7—4　TDJ6型和TDJ6A型光学经纬仪……(306)
§ 7—5　JGJ2 型光学经纬仪的检修……(315)
§ 7—6　统一设计J2级光学经纬仪……(330)
§ 7—7　DJ07-1型光学经纬仪……(333)
第八章　光学测距仪……(339)
§ 8—1　光学测距仪的基本原理……(339)
§ 8—2　双象光楔测距镜头……(340)

§ 8—3　对数光楔测距装置……(343)
§ 8—4　无标尺测距仪……(350)
§ 8—5　双象自动归算速测仪……(354)
§ 8—6　图解速测仪……(359)
第九章　仪器的附件……(365)
§ 9—1　三架法测量用的附件……(365)
§ 9—2　测量距离用的附件……(366)
§ 9—3　方位测量用的附件……(378)
§ 9—4　大倾角测量用的附件……(388)
§ 9—5　设备安装测量用的附件……(390)
§ 9—6　光学对点器……(394)
第十章　测量仪器几何关系的检查与校正……(399)
§10—1　水准仪几何关系的检查与校正……(399)
§10—2　经纬仪几何关系的检查与校正……(410)
§10—3　平板仪的检查与校正……(424)
§10—4　度盘偏心差的检查与校正……(429)
第十一章　仪器的管理与维护……(439)
§11—1　仪器的管理制度与仪器在库房的维护……(439)
§11—2　仪器的安全运送与仪器在作业过程中的维护……(440)
§11—3　光学仪器的防霉、防雾、防锈……(442)
§11—4　仪器检修的基本知识……(449)

第一章　测量仪器的几何光学

§1—1　概　　述

一、什么叫几何光学

光是自然界的一种普遍现象，是物质存在和运动的一种形式。如白天的太阳光，晚上的电灯光，测距仪上使用的激光等等，都是光的表现形式。

研究光的发生、本质、传播规律及它在各方面应用的科学称为光学。由于研究的内容不同，光学可分为量子光学、物理光学（又称波动光学）及几何光学三门学科。

几何光学是以光的直线传播为基础，研究光的一些基本现象、通过光学系统时的成象原理及其应用，而不考虑光的波动本性，如光在传播过程中产生的干涉和绕射现象以及能量分布等问题。因此，从整个光学的角度来衡量，几何光学有它的局限性、近似性。但在大多数情况下，用几何光学来解释日常生活中经常地、大量地遇到的各种问题已有足够的精度，加上它的计算公式简单，故几何光学仍被人们广泛的应用着。

二、测量人员为什么要学几何光学

图1—1是北京光学仪器厂（以后简称北光厂）生产的DJ6-1型（又称“红旗Ⅱ号”）光学经纬仪的光路与轮廓示意图。粗实线表示仪器的外型轮廓，细实线表示光线进入仪器后所经过的路线。标号1～17表示度盘成象光路上的光学零件，18～21表示望远镜成象光路上的光学零件。

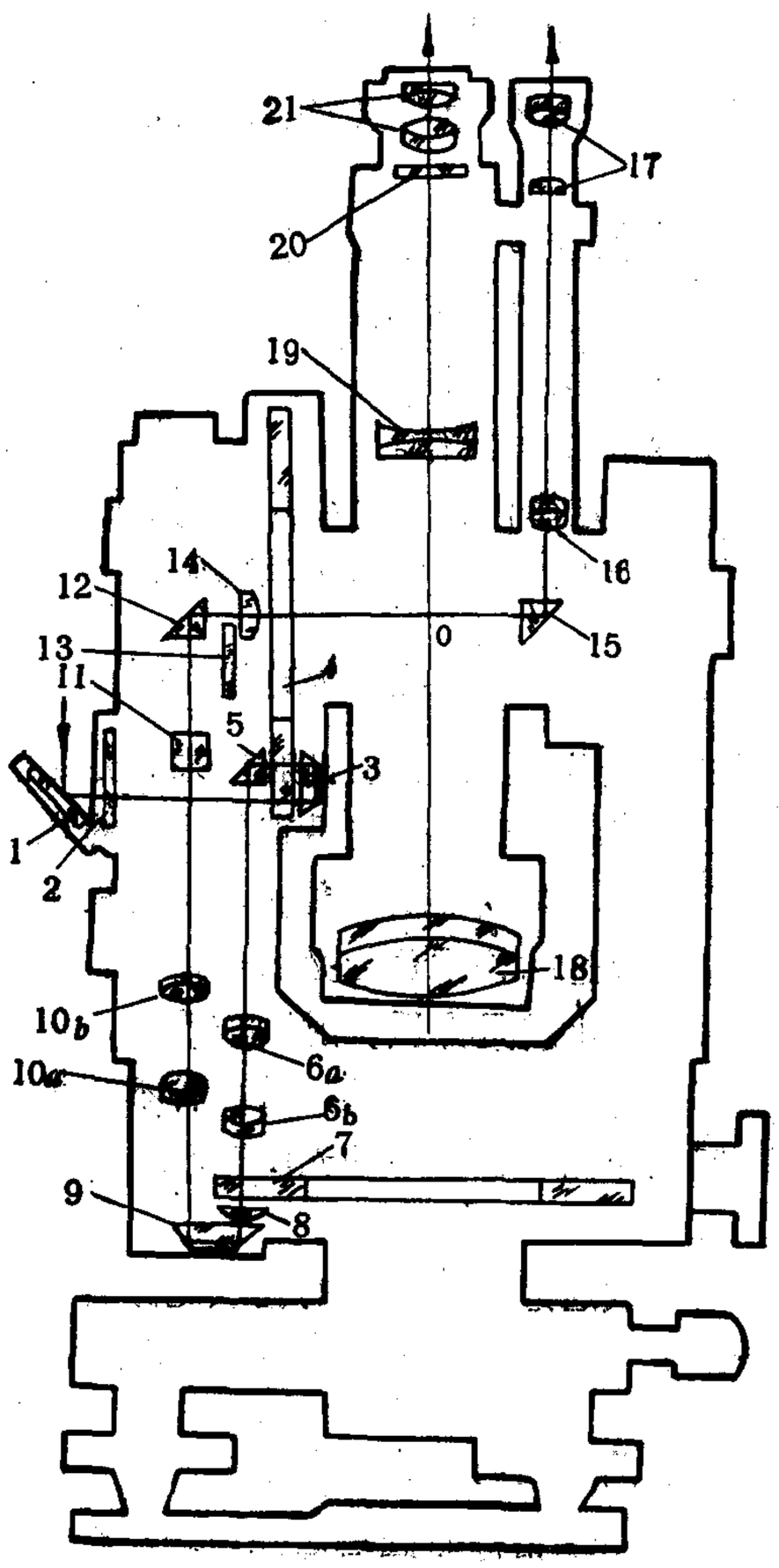


图　1—1

从图中，我们可以提出一连串的问

题，如：

1．光线为什么能在仪器里面左、右、上、下的折来折去？

2．竖直度盘4及水平度盘7的分划线及注记数字是如何成象到读数视场中的？

3．光路中为什么要设置各种外形不同的光学零件？圆形零件中，为什么多数是由两块合在一起的？

4．眼睛通过望远镜之后，为什么能看到远处的物体？从望远镜中所看到的物体为什么变近了，而且目前多数是倒立的？

诸如此类的问题，可以提出很多很多。要弄清楚这些问题，必须学习有关几何光学的基本知识，掌握光线通过光学零件后的变化规律，以便能正确地使用、维护和修理测量仪器，从而减少各种野外观测误差，提高观测速度，延长仪器使用寿命，多快好省地作好测量工作。

三、几何光学的四个基本定律

不管几何光学中所研究的现象如何千变万化，归根到底，都离不开下述四个基本定律：

1．光的直线传播定律；

2．光的独立传播定律；

3．光的反射定律；

4．光的折射定律。

这四个定律构成了整个几何光学的理论基础。测量人员主要是要学会用这些定律去解释仪器中所出现的各种光学现象。

四、关于光的直线传播定律

在看电影时，从放映机射出来的光是沿直线射到银幕上的。黑夜，探照灯射出来的光也是笔直的。这都是光沿直线传播的现象。从大量的现象中，总结出一条规律：光在均匀介质中，是按直线传播的。这就是光的直线传播定律。

光所通过的物质称为光的传播介质。如探照灯的光射向天空，则空气就是介质；光射到水里，水就是介质；射到玻璃里，玻璃就是介质等。而光在非均匀介质中传播的方向就不再是直线了。并且，在两种不同的介质的分界面上还产生反射、折射等现象。因此，用来作光学仪器中的光学玻璃，对其所含的气泡、条纹、杂质等都应作严格的限制。

当光线通过很小很小的孔或缝隙时，会改变直线传播的方向而形成明显的绕射（也称“衍射”）现象。这时，就只能用光的波动理论才能解释清楚。

五、关于光的独立传播定律

如果房子里同时亮着两盏电灯，尽管两盏灯的光同时射到眼睛里，我们感到的不是一盏灯的光，而是两盏灯的光，因为它们在射入眼睛后，是互不干扰的。夜晚，两束探照灯的光，在空中相交后，仍按各自的方向传播。这种不同光源发出的光线（表示光进

需要全本请访问 www.ertongbook.com

行方向的直线称光线）相交后其方向和颜色不发生改变的规律称光的独立传播定律。如图1—1中，望远镜中的光线和读数系统中的光线在0点处相交，但它们互不影响。

§1—2 光的反射定律及平面反射光学零件

一、反射定律

电灯泡的上面安上一个灯罩后，罩下的光就显得亮一些，因为灯罩把向上射的光反射到下面来了。仪器读数系统的光也是通过反射镜1（如图1—1）反射进去的。这都是光的反射现象。

光的反射现象遵循什么规律呢？如图1—2所示，MM'为一块平面反射镜，当光线PO射到镜面O点时，就有光线沿OP'方向反射出来。我们常称PO为入射线，OP'为反射线，O为入射点，过O点而垂直于MM'的直线ON称为法线，入射线和法线所构成的平面为入射面，入射线和法线的夹角i为入射角，反射线和法线的夹角i'为反射角。它们之间遵循如下规律：反射线和入射线位于法线的两侧，且这三条线永远是共面的；反射角i'与入射角i的绝对值相等，由于这两个角都是由光线转向法线，所以它们的符号相反。这就是光的反射定律。由此定律我们可推出以下几点：

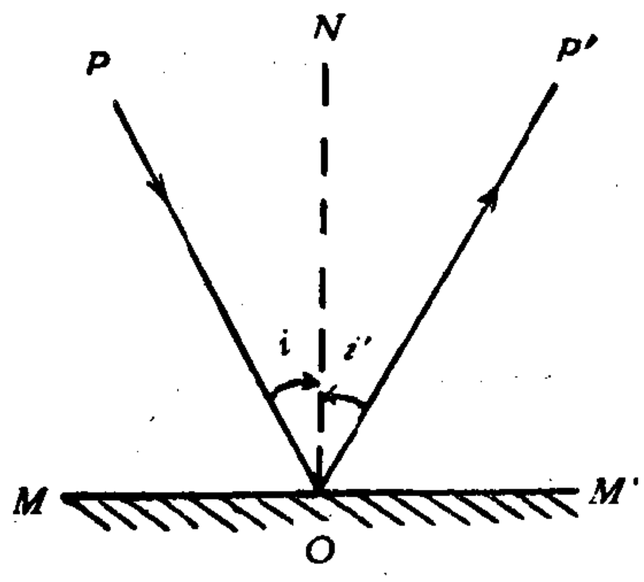


图 1—2

1．若有一条光线沿$P'O$方向射到MM'的O点，则其反射光线必定会沿OP方向射出。这种光的传播方向倒转而光路不变的现象称为光的可逆性。如果甲在平面镜中能看到乙的眼睛，则乙一定能通过此平面镜看到甲的眼睛，这就是光的可逆现象。用望远镜观察物体时，物体的光线都是从望远镜的物镜射进去，从目镜射出来的，但有时为了便于说明问题，就利用光的可逆性，假定光是从目镜射进去，而从物镜射出来的。这种假定，在光的图解说明及公式推导中是经常出现的。

2．当许多条平行的光线射到表面非常平整的反射面时，反射光线也互相平行，仅各自的入射点不同而已。若表面粗糙，尽管入射光线彼此平行，反射光线的方向则是乱七八糟的，这种现象称为乱反射（又称漫反射）。由于漫反射现象的存在，我们就能从不同的方向看到发光物体的漫反射光。如日出前或日落后因天空中尘埃和浮云的漫反射，大地上得到了暂时的明亮。利用光学经纬仪进光窗处的毛玻璃的漫反射（图1—1中之2），使射入仪器后的光线均匀、柔和，亦可消除进光窗外景物的影象对读数的干扰。

二、平面反射光学零件

根据形状，可将反射光学零件分为平面、球面及非球面三种。测量仪器上主要用到的是玻璃材料的、平面形状的反射零件，又称平面反射镜。如经纬仪上观察指标长水准器用的反光镜，水准仪上照亮长水准器用的反射镜，某些自动安平水准仪成象光路上的

平面镜（详见图4—59之3）及家里日常用来梳头的镜子等。这些平面镜，都是在一块透明、无色的平板玻璃的一个面上镀上一层反射率高的材料（如银、铝），再涂上一层漆加以保护。平面镜有两个作用：反光和成象。

（一）平面镜的反光

平面镜反光时，有一个重要特性：当保持入射光线不变的前提下，反射面若转动α角，则反射光线就同方向转动2α角，如图1—3所示。测量仪器修理人员，在调整平面镜位置时，要注意这一特性。使用人员在使用这种结构的仪器时，要特别注意防止因剧烈震动、温度变化过大而引起的平面镜位置移动和镜面变形，以免反射光线产生偏差。

如图1—4所示，光线P通过两块相互平行的平面镜两次反射之后，反射光线P'的方向不变，但平移了一段距离OO'。如果这两块平面镜同时向同一方向转动同一个角度α，这反射光线P''的方向仍然不变，但平移距离随平面镜转动的方向和大小而改变。

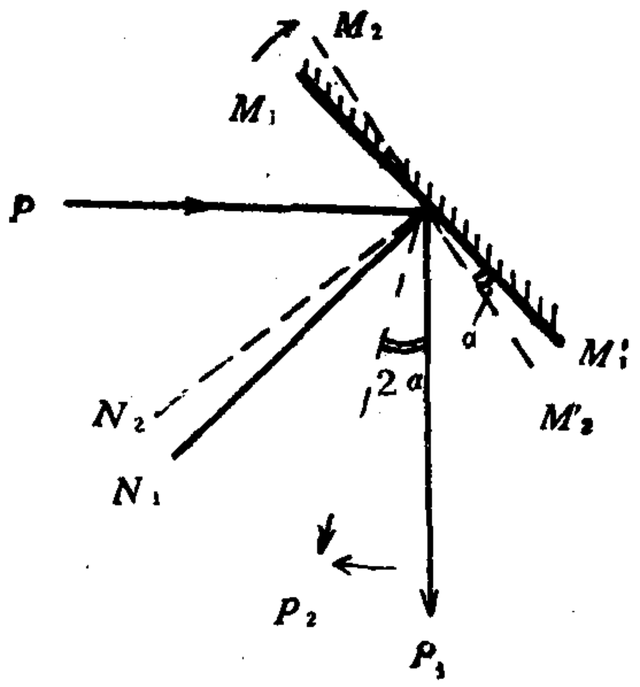


图 1—3

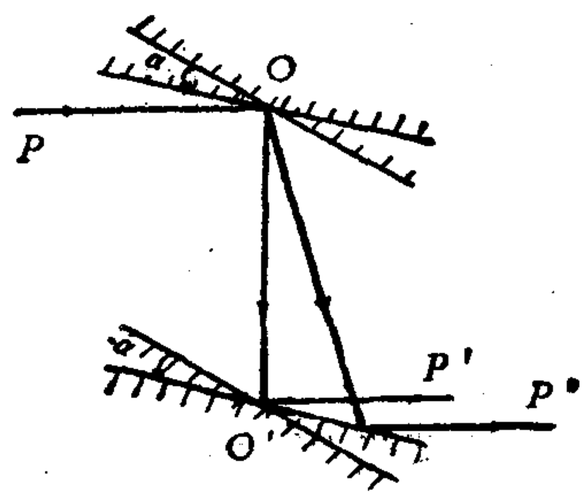


图 1—4

图1—5所示的是一个角式反射镜。两块平面镜的夹角α应等于反射光线P'与入射光线P的夹角δ的一半。当它以两块反射镜的交线为轴旋转某一角度β时，反射光线P'的

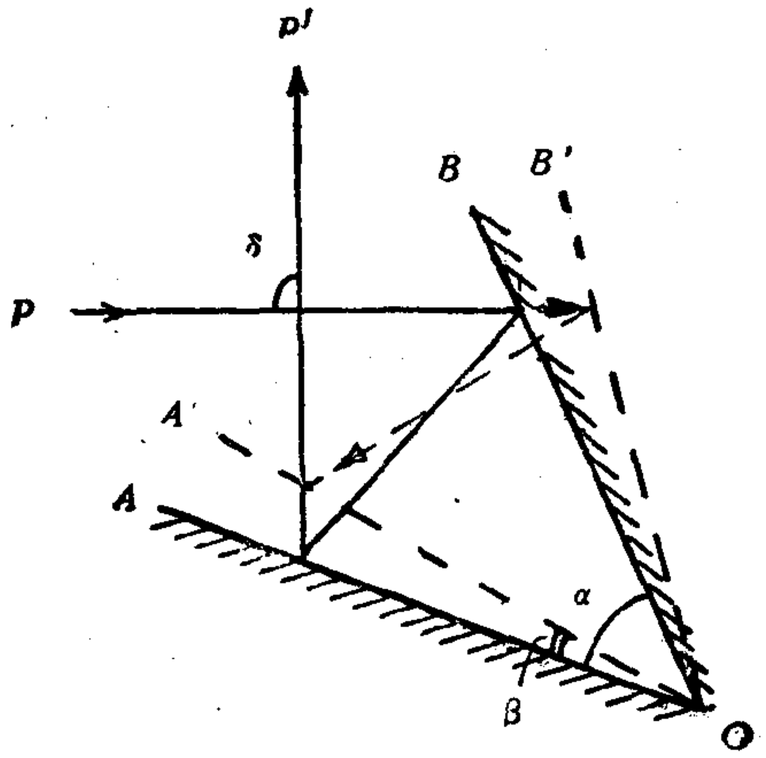


图 1—5

方向不发生改变。如意大利沙漠拉纪5190型自动安平水准仪的物镜前面就应用了这种角式反射镜（如图4—30中之2），其夹角 $\alpha=45°$，$\delta=90°$。

（二）平面反射镜的成象

图1—6中，MM' 为一块平面反射镜。AB 代表一个长水准器，眼睛为什么能通过 MM' 看到 AB 呢？

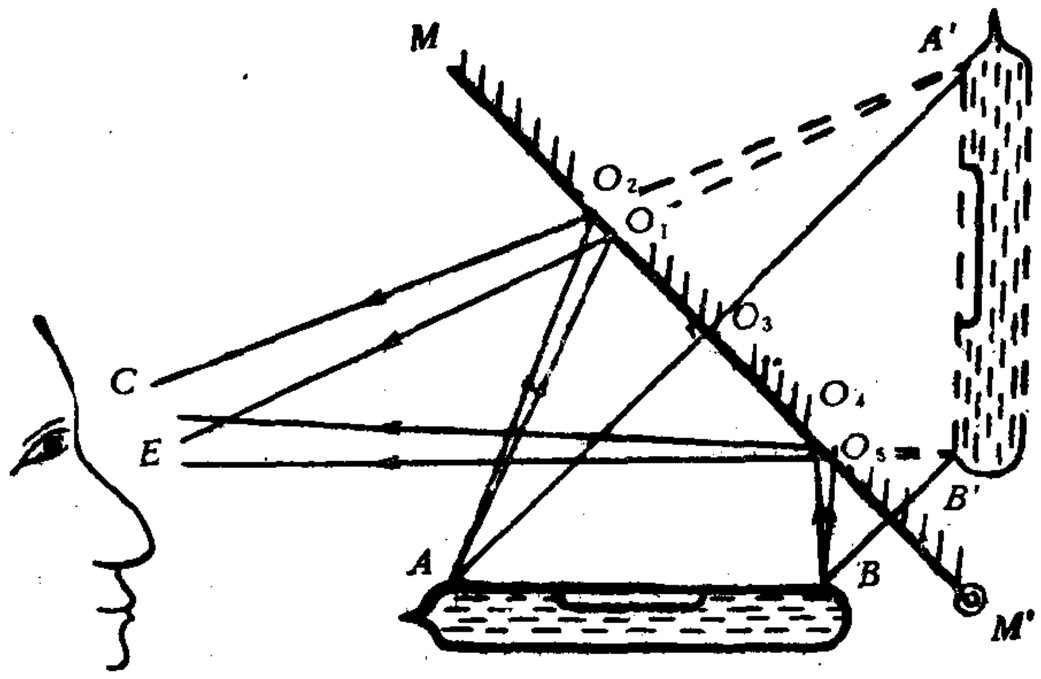


图 1—6

为了便于说明问题起见，我们只取长水准器上的一点 A，在 A 点发出的许多条光线中，又只取其中的三条，即 AO_1、AO_2、AO_3。设 AO_3 是垂直地射向 MM'，根据反射定律可知，光线会沿原光路反回来。设 AO_1、AO_2 是倾斜地射向 MM'，则可作出它们的反射线 O_1E 及 O_2C，反向延长后交于 A' 点。眼睛在 C 点（或 E 点）处就会感到从 A 点发出来的、经反射镜反射到眼睛里的光线好像是从 A' 直接射来的，或者说，看到的 A 点已经处在 A' 点的位置，所以，称 A' 为 A 的象点。而实际光线并不是从 A' 直接射来的，所以，A' 又称为虚象点。平面反射镜所成的象都是虚象，在反射镜中看到的象的位置上并不存在着真正的实物，这是平面镜成象中的一个重要特性。按照上述的办法可以作出 B 点的虚象点 B' 以及其他各点的虚象点，从而得出整个长水准器的虚象 $A'B'$。人站在平面镜前能照见自己，自身的象位于镜子的后面，也是同样的道理。

从图1—6的成象过程中，我们发现 $\triangle AO_1O_3$ 全等于 $\triangle A'O_1O_3$，从而得出 $AO_3=A'O_3$。这就说明：1.虚象和物体大小相等、位置对称于平面反射镜，人在镜前用右手拿一本书，镜里的象是左手拿着书；2.在求 A 点的虚象点 A' 时，只要在垂线 AO_3 的延长线上取 $A'O_3=AO_3$ 就能得到，没有必要象上述的那样去繁琐地作图。如果在物体上取几个特征点，用这种方法即可很简单地求出整个虚象的大小与位置来；3.绕 M' 轴（图1—6）旋转平面镜，镜面相对于观察者视线的角度不同，则所观察到的水准器虚象的位置也不同。图示为最好的观察位置。

无论用平面镜反光或成象，其性能好坏，决定于下列三方面：

1．反射面的平直程度，或者说，实际平面与理想平面的偏差（如图1—7所示）。光学加工上常用“光圈”的多少及分布均匀情况来衡量平面的平直程度。当被检验的平面与标准平面紧密接触时，由于光的干涉作用，会出现一道道红绿相间的同心圈，这些圈

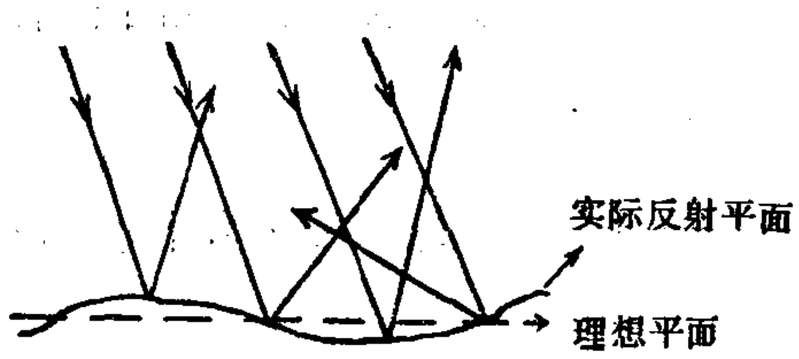


图　1—7

就称为光圈。出现的光圈越少，分布越均匀，平直度就越好。如果出现一个光圈，就说明两平面间相隔只有0.25微米（1微米$=\frac{1}{1000}$毫米）的距离。经纬仪的进光窗处的反光镜，一般为5～10道光圈。普通透明的窗玻璃，如果不经磨平，是不能作反光镜的，因为平直度太差。

2．反射面的光洁度，即光滑与清洁程度。测量仪器上用的平面镜，其光滑程度一般应在∇_{12}以上。而清洁程度则用反光面上麻点、划痕的多少、大小、长短等来衡量。

3．反射面上所镀反射材料的好坏。银、铝、铬三种反光材料中，银的反射率最高，比较常用。如果银层镀得不牢，或保护不好，容易引起氧化与脱落，影响其反射效果。

以上三方面，必须同时兼顾。如果只有好的光洁度，而无相应的平直度，同样会产生如图1—7中所示的漫反射现象，或使所成的象变形。

§1—3　光的折射定律及平面折射光学零件

一、折射定律

（一）折射现象

光的折射现象，对我们来说，并不陌生。如图1—8所示，若在脸盆底上放一个硬币，人后退到硬币刚好被盆边挡住而看不见为止。当盆内倒入清水后，硬币又能重新看见了。因为硬币发出的光线，从水中射到空气中时，产生了偏折。当我们隔着窗子看电线杆时，本来是一根笔直的电线杆，由于窗玻璃不平在光的折射作用下，却变成弯弯曲曲的。在太阳光下，特别是在中午时候，望远镜中的目标象总是在不停的跳动，也是因为天空中的气流变化使直射的光线产生偏折的结果。以上，都是光的折射现象。

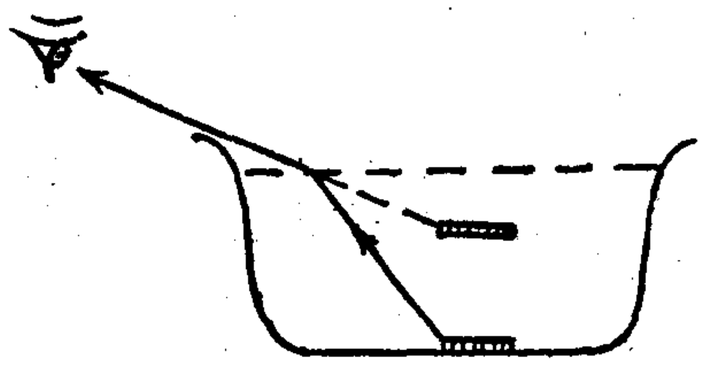


图　1—8

（二）折射定律

图1—9中，MM'代表两种介质的分界面，O为入射点，NN'为法线，入射线PO进入玻璃后，就折向OP'的方向，OP'称折射线，i_2称折射角。折射线转到法线位置时，若是顺时针方向，则i_2取正号，反之，取负号。光线在发生折射时，将遵循下列的规律，即折射定律：

1．入射线、折射线和法线位于同一平面内，且折射线和入射线分居于法线的两侧；

2．无论入射角i_1怎样改变，i_1的正弦与i_2的正弦之比对于给定的两种介质来说是一个常数，即$\sin i_1/\sin i_2=K$（K为常数）。

为了表示不同介质的折光的能力，常常采用折射率这个名词，它的含义是：

$$\text{折射率 } n=\frac{\text{光在真空中的传播速度 } C}{\text{光在该介质中的传播速度 } V}。$$

有时，又称它为绝对折射率。

若第一种介质的折射率为 n_1，第二种介质的折射率为 n_2，则把 n_2/n_1 称为第二种介质对于第一种介质的相对折射率，记为 n_{21}。由折射率定义可以推得出 $n_{21}=\frac{1}{n_{12}}$，即两种介质的相对折射率互为倒数。

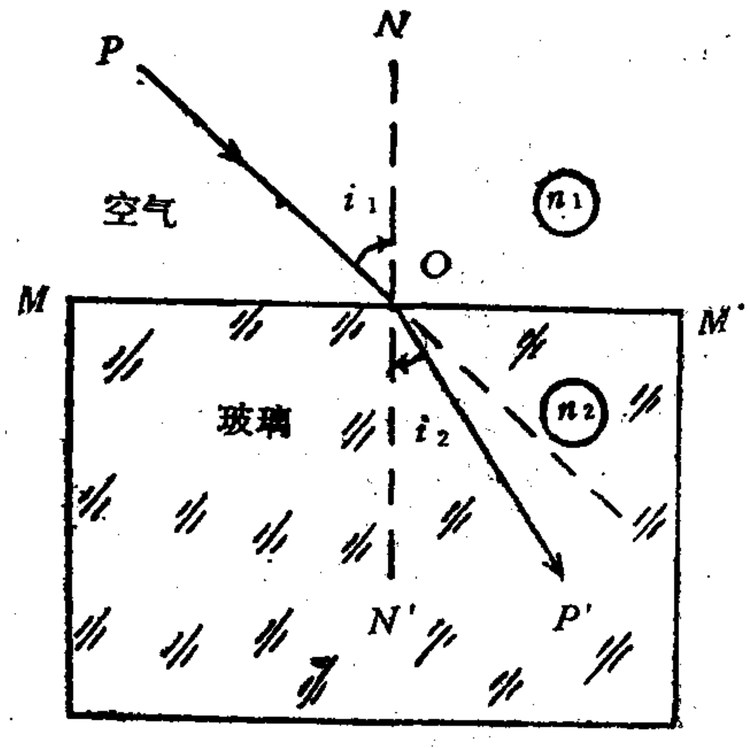


图 1—9

由绝对折射率定义可知，除了真空本身的折射率可以等于1之外，其他介质的折射率都大于1。空气的折射率为1.000292，日常工作中常把它取为1。其它介质的折射率均可从有关表中直接查得。各种牌号不同的光学玻璃的折射率范围是1.5～2.0。

折射率的大小，除了与介质的种类有关外，还与光的波长有关。不同波长（或不同颜色）的光通过同一种介质时，各自的偏折程度是不同的。由七种不同颜色的单色光所组成的白光中，常取黄光的折射率作代表，称为平均折射率，记为 n_D（D代表黄光）。此外，温度的高低、气压的大小也影响着玻璃的折射率。

折射定律如果用数学公式表达，则可写为：

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2}=\frac{V_1}{V_2}=\frac{n_2}{n_1}=\frac{1}{n_{12}}=n_{21}=K\text{（常数）} \qquad (1-1)$$

而经常要用到的形式是：

$$n_1\sin i_1=n_2\cdot\sin i_2 \qquad (1-2)$$

例如：已知光线以30°的入射角从空气射入 K_9 玻璃中，求折射角的大小。

解：因为 $i_1=30°$，所以 $\sin 30°=\frac{1}{2}$。

通过查表*，得知空气的折射率 $n_1=1.00029$，K_9 玻璃的折射率 $n_2=1.5163$。代入公式（1—2）中，得：

$$\sin i_2=\frac{1.00029}{1.5163}\cdot\frac{1}{2}=0.3298$$

反查三角函数表，得 $i_2\approx 19°15'$。

* 《光学仪器设计手册》国防工业出版社 1971年 第410页

从公式（1—2）还可看出：

1．入射角 i_1 越大，则折射角 i_2 也越大；

2．若 $i_1=0$，则有 $i_2=0$。这说明，垂直地射到分界面上的光线进入另一种介质时，其前进方向不发生改变；

3．若以 i_2 代表入射角，i_1 代表折射角，等式同样成立。则说明，光在折射时的光路同样也是可逆的。

二、临界角及全反射

光在两种介质的交界面上产生折射的原因是光在两种介质中传播的速度不同。光在其中传播得快的介质（或折射率较小），称为光疏介质，反之，则称光密介质。玻璃对空气来讲称光密，空气对玻璃则称光疏。

如果光线由光密介质（如玻璃）射向光疏介质（如空气）时，（如图1—10所示）。由于 $n_1>n_2$，就必然有 $\sin i_2>\sin i_1$，即折射角反而比入射角要大。相应于折射角为90°时的那个入射角称为该介质的临界角 i_0。各种玻璃对于空气的临界角范围是38°～42°。由折射率公式还可推得：$\sin i_0=\frac{1}{n_0}$（即一种介质相对于空气的临界角的正弦值等于该介质折射率的倒数）。如 ZF_2 牌号的玻璃的 $n=1.6725$，则它对于空气的临界角为36°42′。

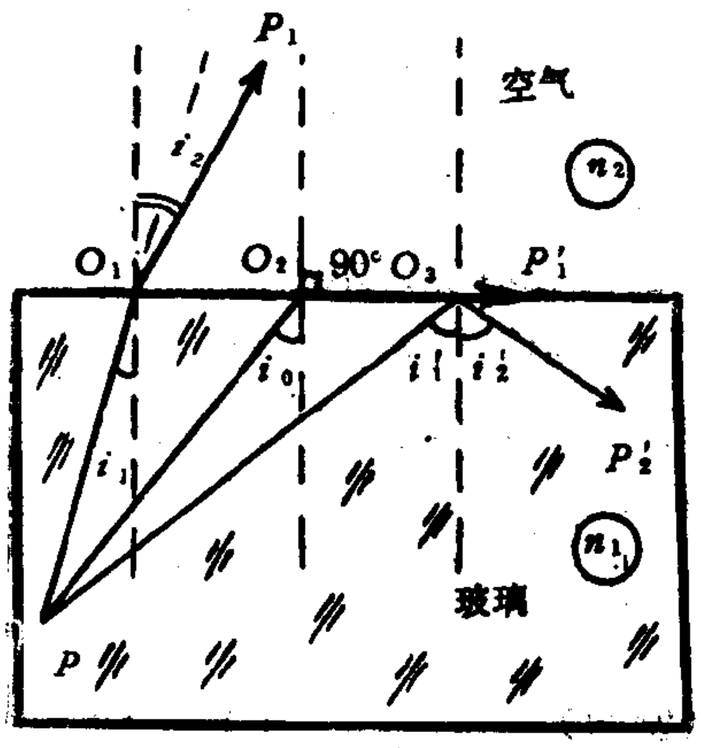


图 1—10

如果在临界角的基础上再继续增大入射角，这时，折射光线会消失，入射光线不再进入第二种介质，而从临界面处全部反射回来。这种现象称为全反射，其反射的规律同样符合反射定律。由此可知，产生全反射必须具备两个条件：1.光线由光密介质射入光疏介质；2.光的入射角要大于光密介质的临界角。以上两条，缺一不可。如果光线是从光密介质射向光疏介质，但入射角小于临界角，又要求产生全反射现象，该怎么办呢？这时，只能在分界面上镀上一层反射材料，如金、银、铝等金属。但这样产生的全反射性能要比自行产生的全反射性能差一些。

在阳光照射下的露珠显得特别的耀眼，水中或玻璃里面的气泡显得格外的明亮。都是由于光线全反射的结果。测量仪器上，利用光的全反射现象，制成各种全反射棱镜。所以，光路中各种形状的棱镜，绝大部分是没有镀反射材料的。如果反射面上有油迹、水汽、霉及其他脏物，分界面就不再是玻璃和空气了，分界面的平直度、光洁度等都会变差，全反射效率也就要下降。因此，全反射棱镜上的反射面必须保持干净。仪器修理人员，在清洁光学零件时，要特别注意清洁好全反射棱镜上的反射面。

三、平面折射光学零件

测量仪器上常用的平面折射光学零件有下列几种：

需要全本请访问 www.ertongbook.com

（一）全反射直角棱镜

这种形式的棱镜，在测量仪器的光路上应用得最多。

由二个以上相交的折射平面或反射平面所组成的透明体称为棱镜。两个平面的交线称为棱，垂直于棱的截面称为主截面。若主截面为等腰直角三角形，则称这种形状的棱镜为直角棱镜。由于入射光线在主截面内时，出射光线也在主截面内，所以，研究光线通过整块棱镜的折射情况时，只要研究光在主截面内折射的情况就可以了。因此，书上也往往只画棱镜的主截面图。

图 1—11(*a*)为直角棱镜的立体图，(*b*) 为它的主截面图。$A'B'$、$B'C'$、$C'A'$都可作为全反射面。

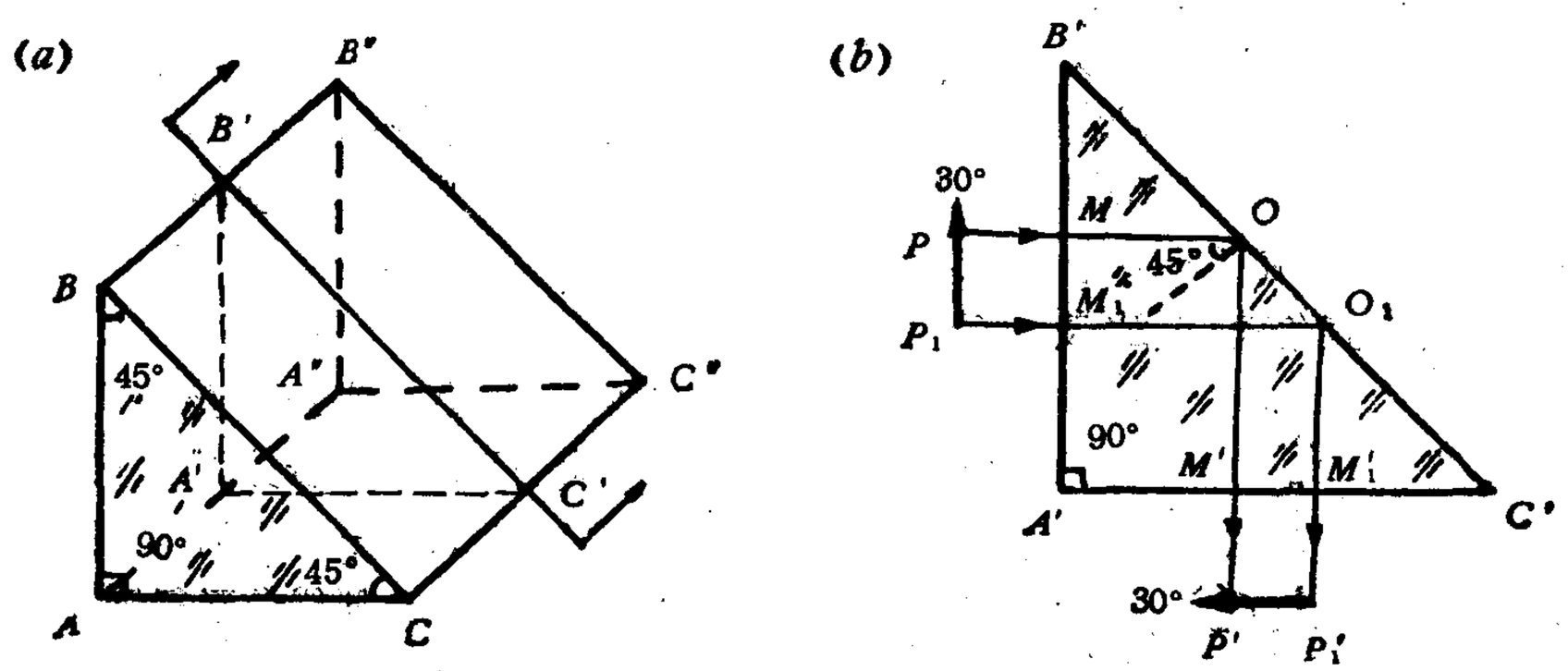


图 1—11

1．用斜面 $B'C'$ 作全反射面

若有一光线 P，垂直地射向 $A'B'$ 面时，由于入射角为 0°，则折射角也为 0°，于是，光线就垂直地通过 $A'B'$ 面。当射到 $B'C'$ 面的 0 点时，由于入射角为 45°，大于玻璃相对于空气的临界角，于是就产生了光的全反射，其反射角也为 45°。最后，光线就垂直地通过 $A'C'$ 面射出来。若有一条平行于 PO 的光线 P_1O_1 射向 $A'B'$ 面时，反射光线也将平行地从 $A'C'$ 面射出。由此，可以推广到一束平行光线通过棱镜时的情况。若 P_{-1} 代表度盘上某一分划线（如30°），该线垂直于棱 AA''和平行于入射面$AA''B''B$（如图 1—11(*a*)），经 $B'C'$ 面的全反射后，分划线的方向改变了90°，由箭头朝上变成箭头朝左。如果分划线是平行于棱 AA''（(*b*)图中不好表示），经 $B'C'$ 面的全反射后，分划线的方向不发生改变。以上说明：光线经过这种三棱镜后，一定折转90°。至于光路中的物象的倒置情况要由物体与棱镜所处相对位置而定。记住以上两点，对分析仪器光路中分划线在成象过程中的位置变化是很有帮助的。

从图 1—11(*b*) 中可以看出：$MO+OM'=M_1O_1+O_1M'_1$，即互相平行的光线在直角棱镜中所走过的路程（简称“光程”）是相等的。不管棱镜如何左、右、上、下地平行移动，其结果，不会因此而引起光程差和导致成象视差(成象面与观察面不重合的误差)。掌握这一点，就能更有效地去调整光路中的反射棱镜。当 $B'C'$ 面转动 α 角度时，出射光线的方向就会因此而改变 2α。在调整仪器中的光学零件时，若有某一直角棱镜的反射

面发生了转动，就会导致视场中亮度产生变化，严重时，可以使得视场中无光。

既然用直角棱镜的斜面来反射光和单块平面反光镜一样，都能使光线改变90°，为什么仪器中却大量采用直角棱镜呢？因为

（1）经过退火处理后的棱镜，其角度的大小、平面质量等受温差、压力不匀及震动等外界因素的影响小；

（2）光的强度因为全反射几乎不会有所损失，而平面镜的反射层将吸收一部分光的能量；

（3）棱镜的形状较之平面镜易于装配、拆卸及调整。

对这种全反射棱镜的基本要求是：

（1）A'、B'、C'这三个角的误差不能太大。对J6级（"J"是经纬仪的"经"字的第一个拼音字母，代表经纬仪，"6"表示这种经纬仪水平方向一测回方向中误差不超过6秒。）经纬仪中的各种棱镜来说，其角度误差一般在±3′～±10′之内；

（2）反射面$B'C'$、透射面$A'B'$及$A'C'$，必须保证一定的平直度和光洁度。J6级仪器中，其平直度在1～5个光圈内。

2．用两个直角面$A'B'$及$A'C'$作反射面

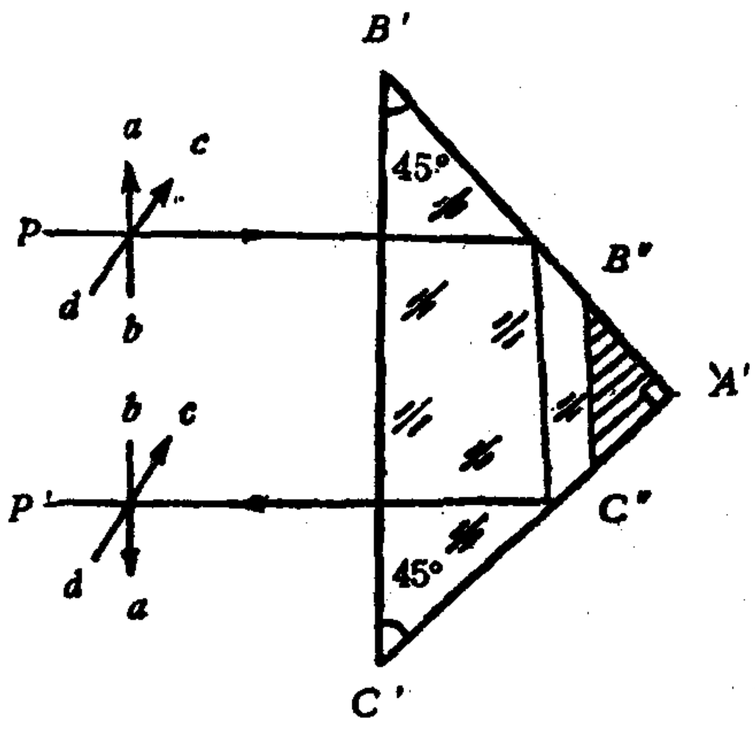


图　1—12

如图1—12所示，入射光线P经两次全反射后，前进的方向改变了180°。若分划线（用ab表示）垂直于棱AA''（见图1—11(a)），则分划线的方向也改变了180°；若分划线是平行于AA''（用cd表示），则方向仍然不变。在入射光线P不变的前提下，若棱镜绕轴线AA''转动某一个角度，反射光线P'的前进方向始终不变，但要发生平行移动。这是两次反射棱镜的一个重要特性，这一特性，和图1—5所示的角式反射镜一样。为了加工、装配及调整的方便，有时把$A'B''C''$这部分切去，变成等腰梯形，称为梯形棱镜。由此可知，梯形棱镜是直角棱镜中的一种特殊形状。梯形棱镜在经纬仪的光路中也是用得很多的，如图1—1中的棱镜3和9。

3．用斜面全反射、两直角面折射

如图1—13所示。入射光线P_1及P_2平行于斜面$B'C'$射入，经两次折射和一次全反射后：(1)光线前进的方向不改变；(2)垂直于棱AA''的物体ab要倒转180°，平行于AA''的物体cd不发生倒转。这种形状的棱镜适用于装在需要光路产生扭转的部分，故称扭转式棱镜，也称道威棱镜。实际中，往往切去$A'B''C''$这一部分，既节省了原料，又不影响反光的效果。测量仪器上仅在个别场合用到这种棱镜。

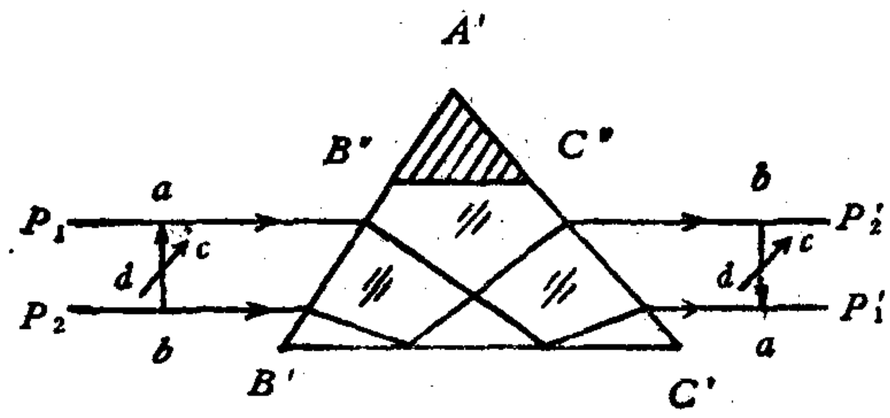


图　1—13

（二）全反射菱形棱镜

全反射菱形棱镜主截面形状如图1—14所示。当入射光线P_1及P_2通过它之后：1.光线前进的方向不变；2.光线平行移动了一段距离h；3.垂直或平行于棱AA'（图中未表示出A'）的物体ab及cd的方向都不倒置；4.只要两个全反射面的平行度好，即使把棱镜转动某一角度，也不会影响出射光线和入射光线的平行性。光学经纬仪上，主要是利用这种棱镜使光线平行移动一段距离，而避开障碍，按原方向继续前进。如北光DJ2-1型、瑞士威尔特厂生产的T1型、T2型、T3型及民主德国蔡司厂生产的Theo 010型等光学经纬仪上都用到这种棱镜。

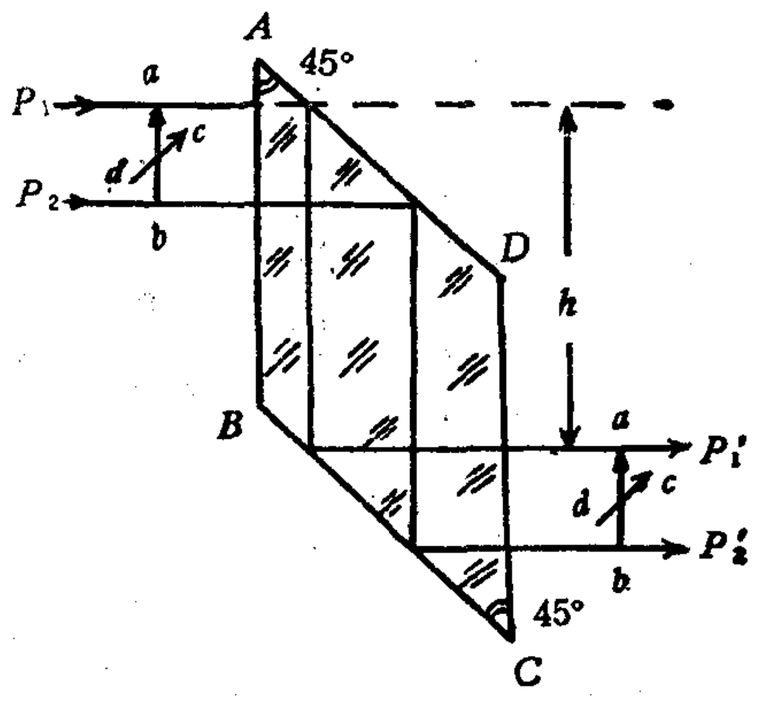


图 1—14

（三）四面体棱镜

图1—15(a)为一个正方体的立体图，把这块正方体的玻璃切下一个角，就得出一个以A、B、C、D四点为顶的四面体棱镜。它的三个反射面ABC、ADC及ABD是互相垂直的。若光线P以任意方向射向割切面BCD时，出射光线P'的方向和P的方向平行(如图1—15(b)所示)。激光测距仪上往往用它来把射程较远的激光平行地反回来。由于它不要求入射光线P和BCD面垂直，所以，使用起来比其他形式的（如平面的、球面的）反光镜要方便。由于它反射出去的光线要经过很长的路程（有的长达几十公里）才能被测距仪接收，所以，两个彼此垂直的面的角度误差必须控制很严（指相对于经纬仪上棱镜的角度误差而言），一般不超过±1″～±5″。实际上反光镜不是只用一块，而是把3块、5块或7块拼成一盘，这样的反光效果更好。

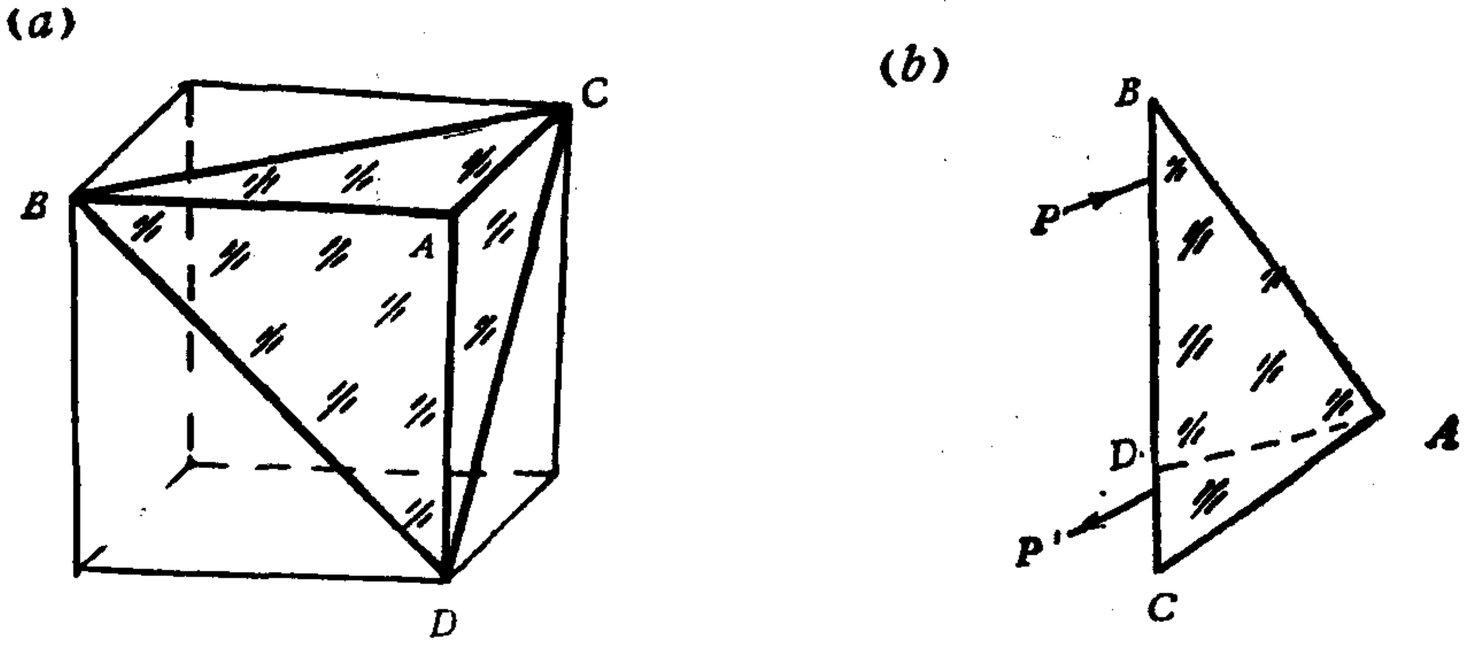


图 1—15

（四）五角棱镜

五角棱镜的主截面形状如图1—16所示。当光线通过它之后：1.光的前进方向改变了90°；2.垂直于AA'棱(图中A'未表示）的物体ab将调转90°，平行于AA'棱的物体cd，其方向不改变；3.在入射光线不变的条件下，将棱镜转动某一角度，则出射光线仍然垂直于入射光线，即光线P'_1垂直于光线P_1，这一点，是五角棱镜特性中最重要的一

条。将以上三点特性，与前述的几种棱镜比较后，我们就能看出：1.，2.两点和用斜面作反射面的直角棱镜的效果相同，但第3点，比直角棱镜要优越，装配与调整起来，感到特别方便，因为入射光线与入射面不垂直时，出射光线仍会垂直于入射光线，而直角棱镜就做不到这一点。所以，往往把这种棱镜用在出射线必须始终垂直于入射线、棱镜装调都比较困难的仪器部位，多用它来作横轴棱镜，即代替图1—1中棱镜15。由于直角棱镜的形状比五角棱镜简单，加工也要方便，光的能量损失也要少，因此，尽管调整起来麻烦一点（必须保证入射光线与入射面垂直），多数情况下，还是采用直角棱镜。必须注意，五角棱镜不是全反射棱镜，它的两个反射面 BC及DE 不能产生全反射，需要镀上一层反射材料与保护层。蔡司 KONi 007 (图4—32之2)及西德奥普通厂生产的 Ni 4(图4—43(a)) 等自动安平水准仪上采用了这种形状的棱镜。

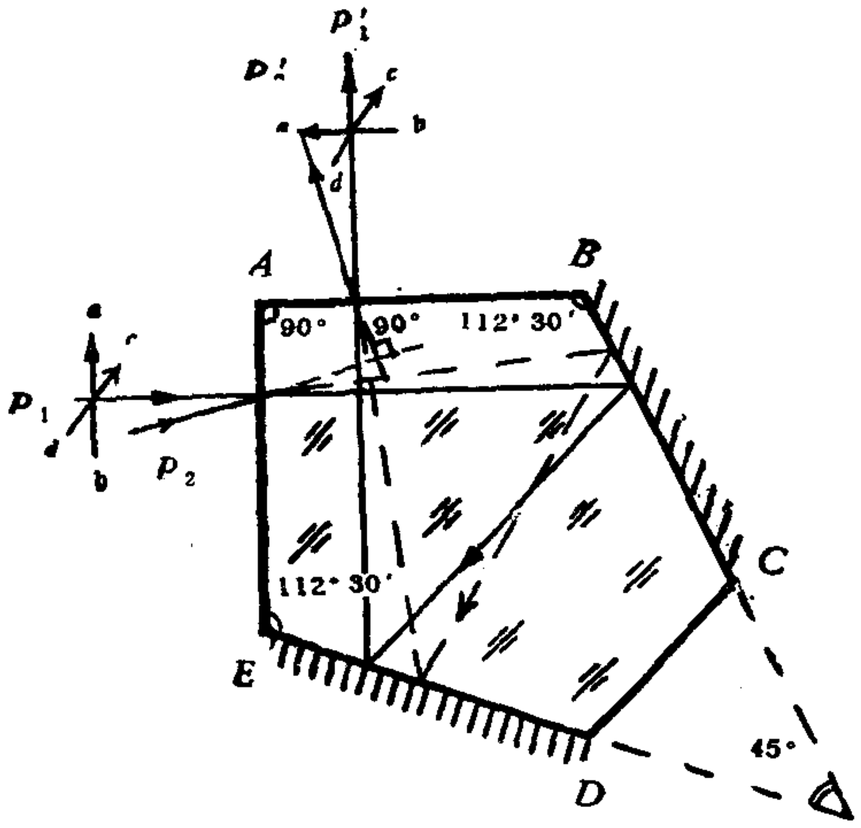


图　1—16

（五）屋脊棱镜

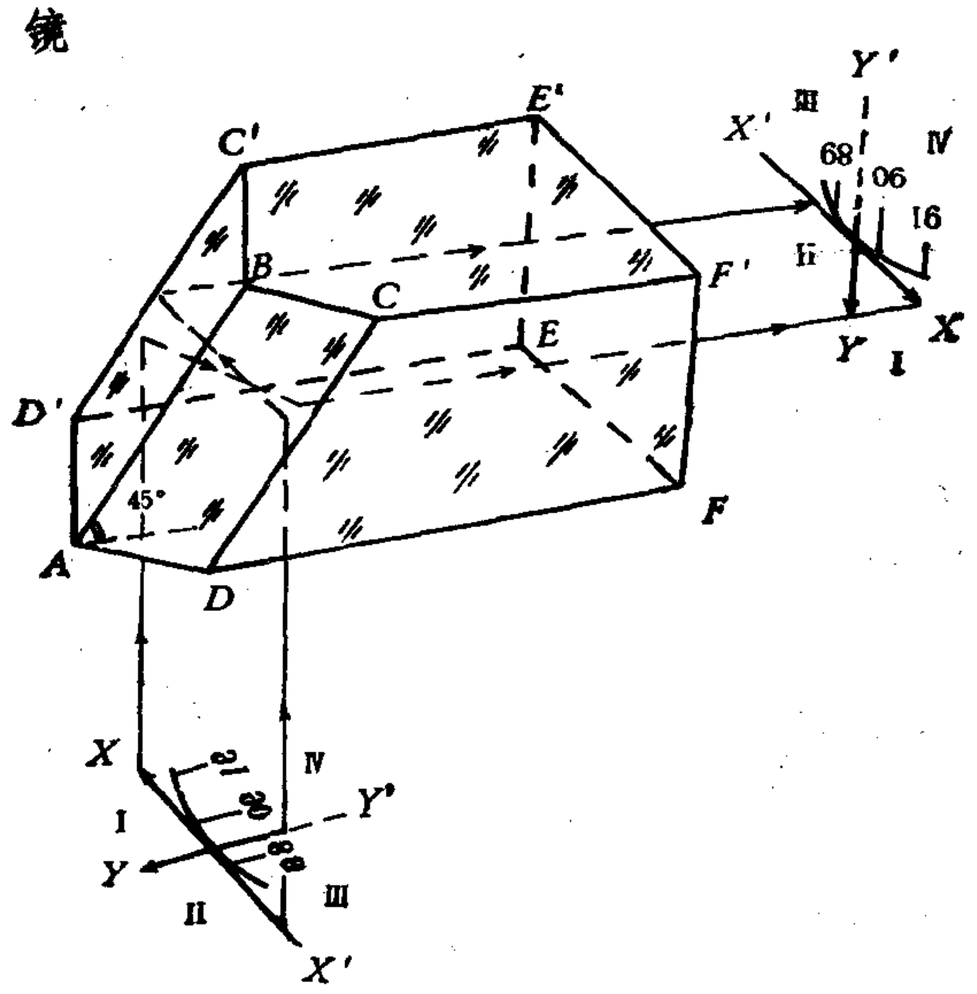


图　1—17

图1—17为屋脊棱镜的立体图。平面 $ADFED'$及$EE'F'F$ 为光的透过面，平面 $ABCD$及$ABC'D'$ 为光的反射面，而反射面的交线 AB 称为“屋脊”，AB与平面 $ADFED'$ 之间夹角为45°。两个反射面必须严格垂直，其不垂直度误差一般不超过 ±5″，否则，一条直的分划线经过它之后，有可能变成一条折线或者双线。由于这两个反射面上不能产生全反射，必须镀上一层反射材料。其余各面之间，一般来说，是互相垂直的。

光线经过它之后的变化是：1.光线的方向改变了90°；2.平行于底面 $ADFED'$ 是垂直于屋脊 AB 的直线（如图中 XX'）要转180°。而平行于 AB 的直线（如图中YY'）要转90°，由平行于底面而变成垂直于底面，且箭头向下。若 XX' 与YY' 组成一个直角坐标，则各象限的变化情况如图中所示。很显然，这一点和前述的几种棱镜是不同的，也是屋脊棱镜的最大特点。

若把屋脊棱镜平行地放在度盘的分划面上，分划线就产生如图所示的倒置情况。因此，常把它用在光学经纬仪的度盘分划线的符合读数系统中。如苏州第一光学仪器厂（以下简称苏一光）生产的 DGJ2型（见图 3—50之6和21）、蔡司 Theo 010 型等中精度光学经纬仪。奥普通厂的 Ni 2 型自动安平水准仪上也用它来进行倒象（见图 4—23）。使用及修理人员，要特别注意保护两个屋脊面上的银层和避免碰坏屋脊棱。

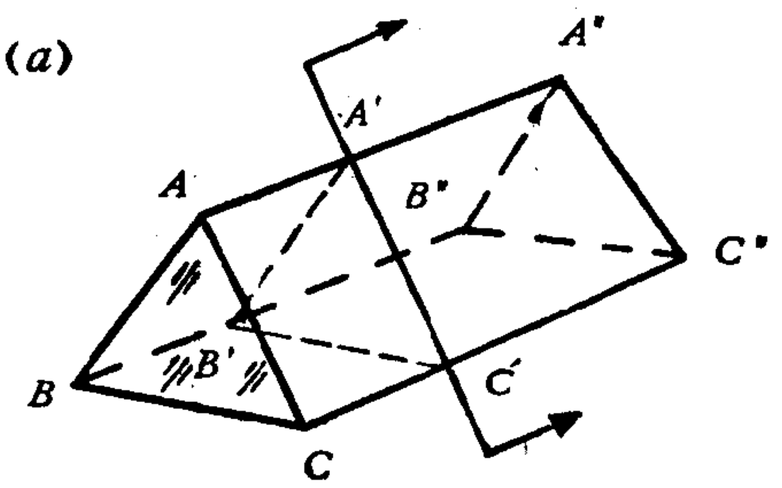


图 1—18

（六）光　　楔

图 1—18(a)为三棱镜的立体图，图(b)为它的主截面。$AA''B''B$ 及$AA''C''C$ 为光的折射面。交线AA''称为折射棱。两折射面的夹角 θ 称为顶角。入射光线 P 和折射光线 P' 的反向延长线的夹角 δ 称为偏向角。顶角 θ 很小（1°左右）的三棱镜称为光楔，光楔的$ABB''A''$平面往往垂直于$BCC''B''$平面。

三棱镜的偏向角 δ 的大小与哪些因素有关呢？

由$\triangle HO_1O_2$得：$\theta = i'_1 + i_2$，　　（1—3）

由$\triangle O_1O_2M$得：$\delta = i_1 - i'_1 + i'_2 - i_2$　（1—4）

根据折射定律可知：

$$\left.\begin{aligned}\sin i_1 &= n\sin i'_1\\ \sin i'_2 &= n\sin i_2\end{aligned}\right\}.\qquad (1-5)$$

对（1—3）和（1—4）改化后得：

$$i_2 = \theta - i'_1,\qquad i'_2 = \delta + \theta - i_1,$$

将它们代入（1—5）式中得：

$$n\sin(\theta - i'_1) = \sin(\delta + \theta - i_1) = \sin[(\delta + \theta) - i_1]$$

将上式展开，因为 θ 一般较小，则 δ 也较小，于是上式可简化为

$$n\theta\cos i'_1 - n\sin i'_1 = (\delta + \theta)\cos i_1 - \sin i_1.$$

由（1—5）第一式可知：$\sin i_1 - n\sin i'_1 = 0$，因此，上式可进一步简化为

$$\delta\cos i_1 = n\cdot\theta\cos i'_1 - \theta\cos i_1,$$

即：

$$\delta = \theta\left(\frac{n\cos i'_1}{\cos i_1} - 1\right).\qquad (1-6)$$

若入射角 i_1 很小时，则折射角i'_1必然也很小，此时有：$\cos i'_1 \approx \cos i_1 \approx 1$，所以，公式最

后可以变为：

$$\delta=\theta(n-1)。\qquad(1-7)$$

上式说明，小折射角的棱镜（其折射率n为定值），当光线垂直入射时，其偏向角仅决定于顶角的大小。对一定形状的小折射角棱镜来说，θ与n均为定值，入射光线经过它之后，产生的偏向角δ是一定的。光学经纬仪中，利用这个特点，作成单光楔测微器及双光楔测微器。或者，把这种光楔，置于度盘的成象光路中，然后进行移动，实现读数视场中对径分划线（如30°与210°称为对径分划线）的符合。有关光楔测微器的测微原理等，详见§3—10。

（七）平 板 玻 璃

两个折射平面互相平行的光学零件称平板玻璃，如图1—19所示。当光线通过它之后：1.出射光线P'和入射光线P的方向一致；2.出射光线P'要平移一段距离h。其值，可从下面推得的公式求出。

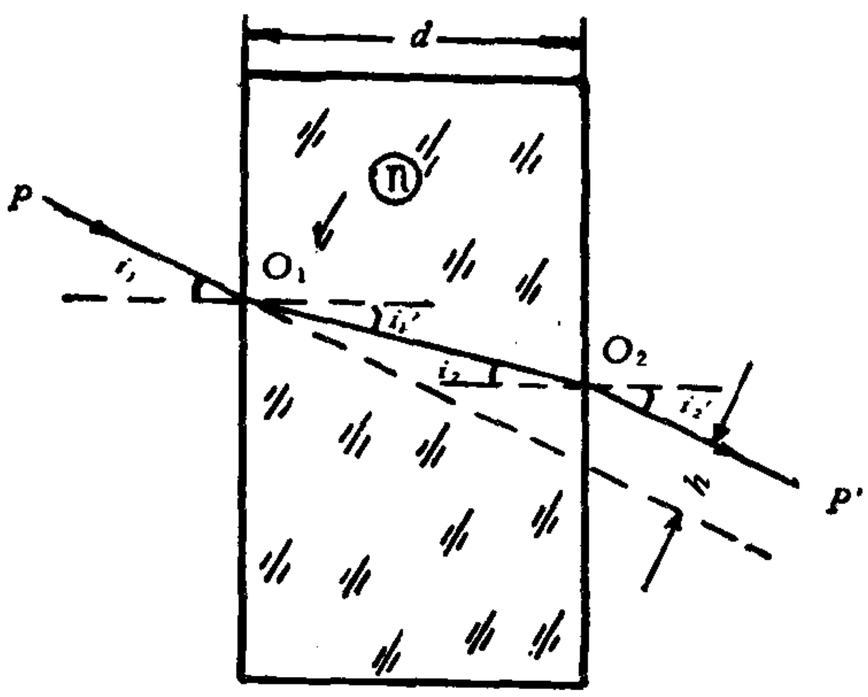


图 1—19

由图1—19可知：$h=O_1O_2\cdot\sin(i_1-i_1')$

而 $O_1O_2=\dfrac{d}{\cos i_1'}$，所以

$$h=\frac{d\cdot\sin(i_1-i_1')}{\cos i_1'}$$

$$=d\left(\sin i_1-\frac{\sin i_1'\cos i_1}{\cos i_1'}\right),\qquad(1-8)$$

上式表明，光线经平板玻璃折射后，平行移动量h随不同的入射角而异。因为

$$\sin i_1'=\frac{1}{n}\sin i_1,$$

$$\sin^2 i_1'+\cos^2 i_1'=1,$$

所以

$$\cos i_1'=\sqrt{1-\frac{1}{n^2}\sin^2 i_1},$$

代入（1—8）式后，得：

$$h=d\sin i_1\left(1-\frac{\cos i_1}{\sqrt{n^2-\sin^2 i_1}}\right).\qquad(1-9)$$

当$i_1=0$时，则$h=0$，这说明光线垂直地射入平板玻璃时，不产生平移。若入射角i_1很小时，则有$\sin i_1\approx i_1$，$\cos i_1\approx 1$，于是，（1—9）式可变化为：

$$h=d\cdot i_1\left[1-\frac{1}{n\sqrt{1-\left(\frac{i_1}{n}\right)^2}}\right].$$

需要全本请访问 www.ertongbook.com