

中等专业学校教学用书

测量仪器及检修

瞿俊良 编

40.7

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书从几何光学原理出发,对测量仪器各主要部件的构造与工作原理做了简要地阐述,并通过实例介绍了水准仪、经纬仪的拆装、检修及故障排除方法。本书着眼在基本原理与基本知识,侧重于检修方法。在叙述中结合实例并绘有大量插图。书末还附有国内常见的32种光学经纬仪的主要技术参数及光路图。

本书系煤炭中等专业学校煤矿测量专业教材,亦可供矿山生产技术人员及测量工人参考。

责任编辑:王大彰

中等专业学校教学用书

测量仪器及检修

瞿俊良 编

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ 印张 $14^{3/4}$
字数 348 千字 印数 1—5,220
1984年6月第1版 1984年6月第1次印刷
书号 15035·2630 定价 1.60元

前 言

本教材系根据煤炭部教育司一九八一年审定的煤炭中等专业学校煤矿测量专业《测量仪器及检修》教学大纲编写的。全书共八章，主要介绍水准仪和光学经纬仪的基本原理与检修方法。编写时力求做到内容简明扼要，文字通俗易懂。本书是煤炭中等专业学校煤矿测量专业的教学用书，亦可供测量仪器检修人员及测量工人参考。

本书编写过程中得到了阜新煤矿学校、徐州煤矿学校、阜新矿业学院等院校的大力帮助；书稿蒙中国矿业学院聂恒庄副教授审阅，提出不少宝贵意见，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中纰漏之处难免，敬希读者批评指正。

编 者

1983年9月于北京煤校

目 录

第一章 几何光学	1
第一节 概述	1
第二节 光的反射定律及平面反射镜	2
第三节 光的折射定律及全反射	4
第四节 平面光学零件——棱镜、三棱镜与楔镜、玻璃平板	7
第五节 球面光学零件——透镜	11
第六节 透镜之象差	28
第七节 光栏的作用	32
第八节 测量仪器的光学系统	36
第二章 测量仪器上的望远镜	39
第一节 眼睛的构造及其特点	39
第二节 望远镜的作用与原理	41
第三节 望远镜的对光与分类	43
第四节 望远镜的组成部分	45
第五节 望远镜的光学性能	50
第三章 水准器及自动安平补偿器	60
第一节 水准器概述	60
第二节 水准器的灵敏度	63
第三节 自动安平原理及自动安平水准仪	67
第四节 经纬仪竖盘指标自动归零原理及自动归零补偿器	73
第四章 光学读数设备	81
第一节 读数设备的分类	81
第二节 度盘的构造与刻制	82
第三节 放大镜和显微镜	84
第四节 显微估计器和带尺显微镜	87
第五节 单玻璃平板光学测微器	88
第六节 度盘对径分划符合读数的原理及其光学系统	90
第七节 双玻璃平板光学测微器	96
第八节 双楔镜(光楔)光学测微器	97
第九节 数字化读数设备的光学结构	100
第五章 测量仪器的机械部分	102
第一节 竖轴	102
第二节 横轴	108
第三节 制动-微动机构	109
第四节 复测机构	112
第五节 拨盘机构	114
第六节 脚螺旋	115

第七节 对中结构	117
第八节 仪器的稳定性	119
第六章 测量仪器的维护及一般检修知识	121
第一节 测量仪器的维护	121
第二节 测量仪器检修基本知识	123
第七章 水准仪的检修	133
第一节 水准仪概述	133
第二节 上海CSZ-1型水准仪的构造与拆卸	134
第三节 江西NS ₃ 型水准仪的构造与拆卸	139
第四节 水准仪的常见故障与检修	143
第八章 经纬仪的检修	150
第一节 经纬仪概述	150
第二节 北京DJ ₆ -1型光学经纬仪的构造、拆卸与调整	152
第三节 我国统一设计的TDJ ₆ A型光学经纬仪	159
第四节 我国统一设计TDJ ₂ 型光学经纬仪的构造与调整	166
附录 国内常见光学经纬仪简介	176
主要参考书目	229

第一章 几何光学

第一节 概 述

人类生活离不开光，依靠光我们才能看清周围的物体。光和我们的关系是如此的密切，以致在很久以前，人们就开始研究它了。到现在为止，人类在劳动实践中已经积累了很丰富的关于光的知识，创造出各种光学仪器。借助这些仪器，人类扩大了眼界，认识了我们感官无法辨识的许多现象。随着生产的发展，人类对光的认识也越来越深刻，光学是一门既古老又年轻的科学。

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。根据研究的内容不同，光学又可分为几何光学、物理光学、生理光学和量子光学等学科。

几何光学以光的直线传播性质为基础，研究光的一些基本现象和光通过光学系统时的成像原理及其应用，而不考虑光的本性，如光在传播过程中产生的干涉、衍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，几何光学有它的近似性和局限性。但在大多数情况下，几何光学理论已能充分解释日常生活中所遇到的光学问题，以及各种光学仪器中的一系列特性，尤其是它的计算公式简单，原理通俗易懂，故几何光学一直被人们广泛地应用着。

在几何光学中，首先把光的传播看作是具有方向的几何线——“光线”，进而找出这些光线的传播规律。自然界中光的传播现象虽说是千差万别，但是用几何光学的观点来分析，可以归纳为以下四点特性。这四点通常就被称为“几何光学的四个基本定律”：

一、光的直线传播定律

放映电影时，我们看到从放映机里射出的光，是按直线射到银幕上的。从探照灯射出的光线，也是笔直的。从大量的现象中可以总结出一条规律：光在同一种均匀介质中，是按直线传播的。这就是光的直线传播定律。

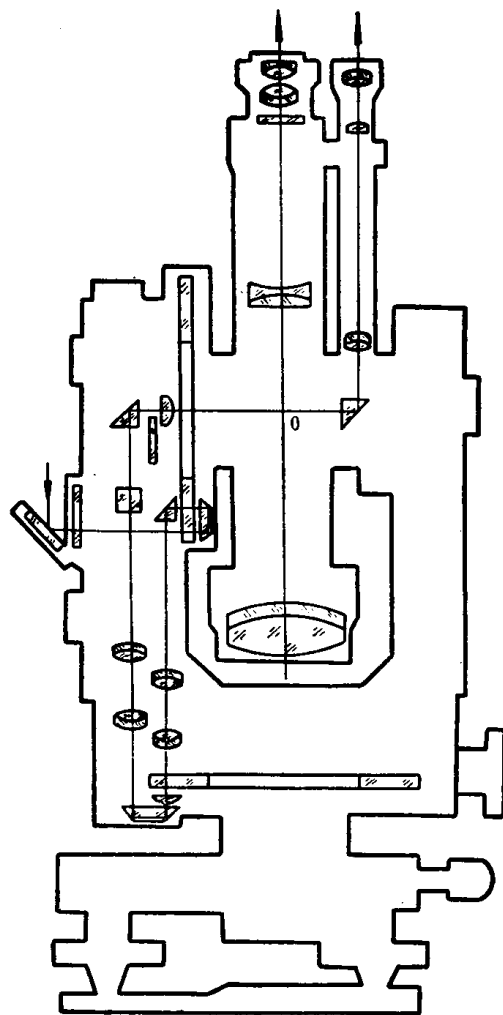


图 1-1 仪器中的光线互不影响和干扰

光所通过的物质，称为光的传播介质（媒质）。如探照灯的光射向天空，则空气就是介质；光射入玻璃里，玻璃就是介质等等。而光在非均匀介质中传播的方向，就不再是直线了，这一点必须注意。

当光线通过很小的孔或缝隙时，会改变直线传播的方向而形成明显的衍射现象。这时，就只能用物理光学的理论才能解释清楚。

二、光的独立传播定律

夜晚，两束探照灯的光在空中相交后，彼此互不干扰，仍按各自的方向传播。这种不同光源发出的光线，相交后其方向和颜色不发生改变规律，称为光的独立传播定律。又如在图1-1中，望远镜中的光线和读数系统中的光线在O点处相交，但它们互不影响，仍按各自的方向传播并分别成象。

三、光的反射定律

四、光的折射定律

光的反射定律及折射定律，将在下面两节中详细地介绍。

以上四个定律，构成了整个几何光学的理论基础。几何光学的主要内容，就是在这四个定律的基础上，用数学的方法研究光的传播问题。对于测量人员来说，必须学会应用这些定律去解释光学仪器中所出现的各种光学现象。

第二节 光的反射定律及平面反射镜

一、光的反射定律

当光线穿过两种均匀介质的分界面时，其中一部分光线，在分界面上将反射回原来的介质，这部分反射光线的传播规律，就是光的反射定律。

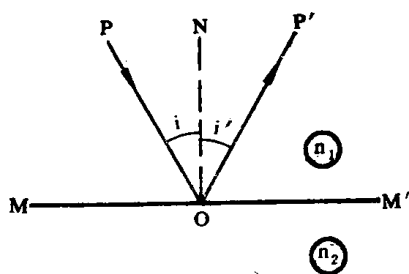


图 1-2 光的反射

如图1-2所示， MM' 为两种均匀介质的分界面。当光线 P 射到分界面的 O 点时，就沿 OP' 方向反射出来。我们称 PO 为入射光线； OP' 为反射光线； O 为入射点；过 O 点而垂直于分界面 MM' 的直线 ON 称为法线；入射光线和法线的夹角 i 为入射角；反射光线和法线的夹角 i' 为反射角。则我们得到反射定律如下：

1) 反射光线和入射光线位于法线的两侧，且这三条线在同一平面之内；

2) 反射角 i' 与入射角 i 的绝对值相等。

由反射定律我们还可以推出以下两个规律：

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。例如，若某甲在平面反射镜中能看到乙的眼睛，则乙也一定能通过此平面反射镜看到某甲的眼睛，这就是光的可逆现象。

2) 一组平行的光线，射到表面平整的介质分界面 MM' 时，其反射光线也互相平行，仅各自的入射点 O 不同而已。但若分界面粗糙，尽管入射光线彼此平行，而

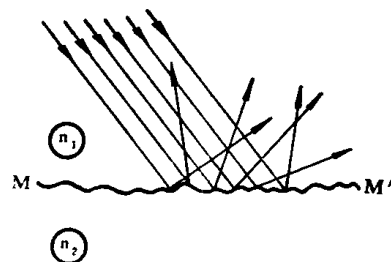


图 1-3 光的漫反射

反射光线的方向则是散乱的（如图1-3）。这种现象称为乱反射，或称漫反射。

二、平面反射镜

利用光的反射定律而制成的平面反射镜（又称平面镜或反射镜、反光镜等）应用极广。如家庭日常用的梳妆镜子，水准仪上照亮长水准器用的反射镜及光学经纬仪上用来照亮读数设备的照明反射镜等等。这些反射镜，大多是在玻璃平板的一个面上，镀上一层反射率较高的材料，如银、铝等。平面反射镜有两个作用，即反光和成象。

1. 平面反射镜的反光

平面反射镜反光时，有一个重要特性，即当保持入射光线不变的前提下，反射面若转动 α 角，则反射光线就会同向转动 2α 角，如图1-4所示。测量仪器修理人员，在调整平面反射镜的位置时，要注意这一特性。

光线P通过两块相互平行的平面反射镜反射之后，反射光线P'的方向不变，但上下平移了一段距离h，如图1-5所示。如果这两块平面反射镜，同时再向同一方向转动一个角度 α ，则反射光线P''的方向仍然不变，但平移距离要随平面反射镜转动的方向和大小而改变。

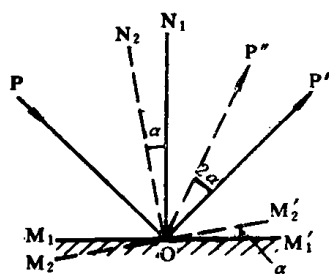


图 1-4 平面反射镜反光的一个特性

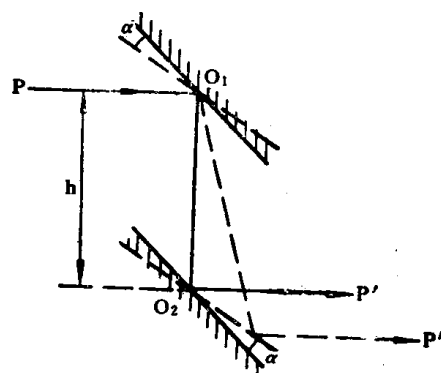


图 1-5 两块平行平面反射镜的反光

图1-6所示，是由两块平面反射镜按一定角度组成的角式反射镜，称为角镜。两块平面反射镜的夹角 α 和反射光线的偏向角 δ 之间的关系，可以用几何方法求得：

在 $\triangle CO_1O_2$ 中

$$\delta = 2(i_1 + i_2)$$

在 $\triangle O_1O_2A$ 中

$$90^\circ + i_1 = (90^\circ - i_2) + \alpha$$

将此式化简，并代入上式即得

$$\delta = 2\alpha \quad (1-1)$$

因此，光线经过角镜两次反射以后，反射光线的偏向角 δ ，却与光线的入射角 i_1 、 i_2 无关，而仅决定于两反射镜之间所组成的夹角。由此可见，当角镜以两块反射镜的交线为轴旋转某一角度时，反射光线的方向并不改变，这是角镜的一个重要特点。在测量仪器上应用较多的是，两块反射镜之间的夹角为 45° 或 90° 的角镜。

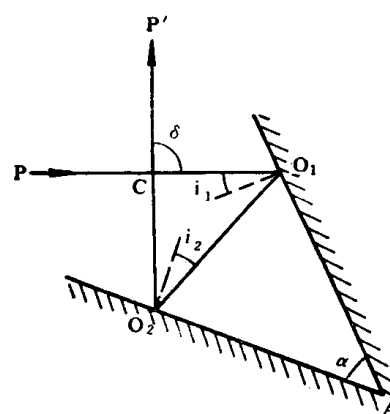


图 1-6 角镜

2. 平面反射镜的成像

物体怎样通过平面反射镜成像呢？为了便于说明问题，在图1-7中我们先取一物点P。图中MM'为一块平面反射镜。在P点发出的一束光线中，我们只取两条，即 PO_1 和 PO_2 。它们的反射光线分别为 O_1C 和 O_2D ，将反射光线反向延长后相交于 P' 点。眼睛在C、D处，看上去就好像光线是从 P' 处直接射出来的一样。所以，我们就把 P' 叫做物点P的象。但实际上这一束光线并不是真的从 P' 处射出来的，它只是光线 CO_1 和 DO_2 延长后的交点，反射镜的后面也并不存在这样一个实际的光点 P' ，我们把具有这种性质的象，叫做物点P的虚象。

从图1-7的成像过程中，我们不难用几何方法证明， PP' 垂直于 MM' ，且 PO_3 等于 O_3P' 。由此我们还可推知以下两点：

1) 在求P点的虚象点时，只要在垂线 PO_3 的延长线上截取 $P'O_3 = PO_3$ 就能得到 P' ，这样做可以省去烦琐的作图。而对于任何物体的成像，只要取物体的几个特征点即可。这样就可以很方便地求出整个虚象的位置与大小来（如图1-8）；

2) 虚象和物体的大小相等，位置则对称于平面反射镜。

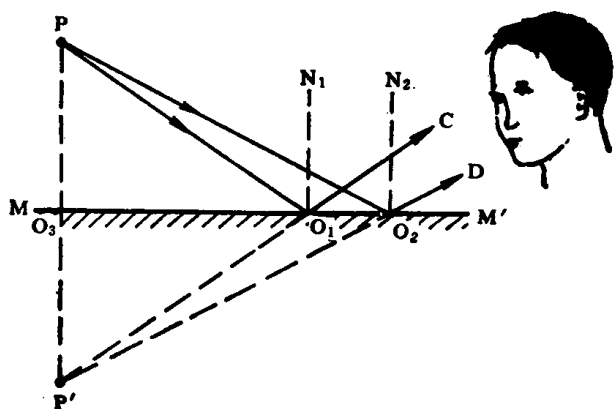


图 1-7 平面反射镜的成像

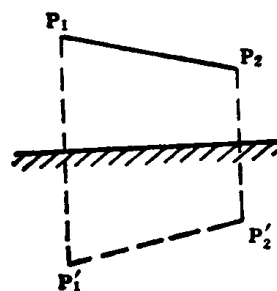


图 1-8 求物体 P_1P_2 的虚象

用平面反射镜反光或成像，其质量与性能的好坏，决定于以下因素：

1) 反射面的平直程度 反射面应该是一个理想的平面，但实际上总会或多或少地存在凹凸，这就影响了成像的质量。例如，家庭用的镜子，往往会发现照出的人象是严重变形的，其原因多半是由于镜面的平直程度太差所引起。测量仪器上用的平面反射镜，对反射面的平直程度，有很严格的要求。

2) 反射面的光洁度 光洁度系指光滑与清洁的程度。测量仪器上用的平面反射镜，其光洁度一般应在 $\nabla 12$ 以上（符号 ∇ 代表光洁度；12代表等级，其数值越大，等级则越高）。

3) 反射面上所镀反射材料的好坏及镀的质量 在常用的银、铝和铬三种反射材料中，银的反射率最高，比较常用。但银层如果镀的不牢，容易引起氧化与脱落，影响反射效果。

第三节 光的折射定律及全反射

一、光的折射定律

当光线穿过两种透明介质时，其中有一部分光线将在分界面处改变其方向而进入第二

种介质内, 这种现象叫做光的折射。这部分折射光线的传播规律, 就叫做光的折射定律。

如图1-9所示, MM' 代表两种介质的分界面, O 为入射点, NN' 为法线; 入射光线 PO 进入第二种介质后, 就折向 OP' 的方向, OP' 称为折射光线, i' 称为折射角。我们得到折射定律如下:

1) 折射光线和入射光线分别位于法线的两侧, 且这三条线在同一平面之内;

2) 入射角的正弦和折射角的正弦之比为一定数。

即

$$\frac{\sin i}{\sin i'} = K$$

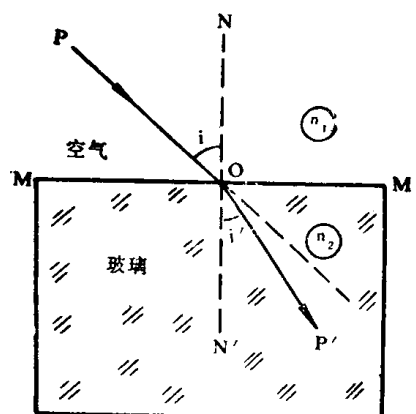


图 1-9 光的折射

这个常数 K 称为第二介质对于第一介质的相对折射率。

假如光线是由真空进入某一种透明的介质, 那么, 入射角正弦和折射角正弦的比值, 就叫做绝对折射率 (常用符号 n 来表示)。因为在这种情况下, 折射角一般均较入射角为小, 所以各种透明介质的绝对折射率都大于 1。这里我们列举一些常见介质的绝对折射率如下:

各种介质的绝对折射率 n

空气	1.00029
水	1.3330
酒精	1.3618
K ₉ 牌号冕牌玻璃	1.5163
ZF ₁ 牌号火石玻璃	1.6475

因为空气的绝对折射率近于 1, 故在研究光线由空气进入介质的现象时, 均可采用该介质的绝对折射率以代替相对折射率。

折射定律用数学公式来表达, 可写成以下形式。

$$\frac{\sin i}{\sin i'} = \frac{n_2}{n_1} = K \quad (1-2)$$

或

$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin i' \quad (1-3)$$

式中 n_1 、 n_2 分别为第一、第二种介质的绝对折射率。

[例题1] 已知入射光线以 30° 的入射角从空气射入 K₉ 号玻璃中, 求折射角的大小。

解1: 当采用较为严格的算法时, 就得取空气的折射率 $n_1 = 1.00029$ 。已知 K₉ 号玻璃的折射率 $n_2 = 1.5163$ 。 $i = 30^\circ$, 所以 $\sin 30^\circ = 1/2$ 。代入公式 (1-3) 中得:

$$\sin i' = \frac{1.00029}{1.5163} \times \frac{1}{2} = 0.329846$$

得 $i' = 19^\circ 15' 34''$

解2: 通常进行近似计算时, 可以取空气的折射率 $n_1 = 1$, 这时候的计算就简便得多:

$$\sin i' = \frac{1}{1.5163} \times \frac{1}{2} = 0.32975$$

得 $i' = 19^\circ 15' 13''$

可见, 近似计算时, 能够准确到“分”, 而在“秒”位数上将受到很大的影响。然而, 一般计算到“分”也就可以了。

从公式(1-3) 还可以看出:

- 1) 入射角 i 越大, 则折射角 i' 也越大;
- 2) 若 $i = 0^\circ$, 则有 $i' = 0^\circ$ 。这时, 光线的方向不发生改变;
- 3) 若以 i' 代表入射角, i 代表折射角, 则等式同样成立。说明了光在折射时的光路, 同样也是可逆的。

还必须指出, 介质的折射率虽然取决于介质的性质, 但也与入射光的波长有关。不同波长的光通过同一种介质时, 各自的偏折程度是不同的。由七种单色光所组成的白光中, 以红色光的折射率为最小, 而以紫色光的折射率为最大。一般我们常取黄色光的折射率作为代表, 即所谓“平均折射率”。

光的反射现象和折射现象, 是光在两种透明介质的分界面上同时产生的, 也就是说, 其中一部分光被反射回去, 而另一部分光则进入第二种介质。光量的分配要由介质的性质和入射角的大小来决定。例如, 光从空气中以垂直方向照射到玻璃面时, 反射的光量大约占2.5%, 而折射的光量大约占97.5%; 当光从空气中以 30° 的入射角照射到玻璃面时, 反射的光量将占8.7%, 而折射的光量占91.3%。就是说, 当入射角增大时, 反射光的光量也跟着增加, 而折射光的光量却减少了。又如, 当光从空气中以垂直方向照射到水面时, 此时反射的光量约占1.8%, 而折射的光量约占98.2%。这说明了不同的介质, 光量的分配也是不同的。

二、光的全反射

光在两种介质分界面上产生折射的原因, 是由于光在两种介质中传播的速度不同。光在其中传播速度较快的一种介质 (即折射率较小), 称为光疏介质; 传播速度较慢的一种介质, 称光密介质。例如, 空气对玻璃来讲称为光疏, 玻璃对空气来讲称为光密。

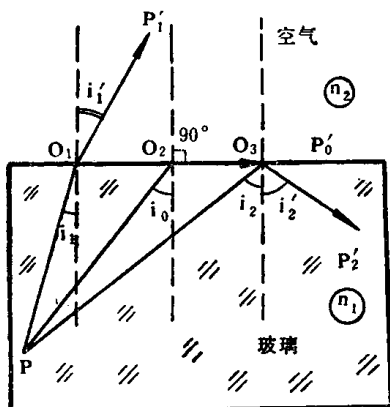


图 1-10 光的全反射

如果光线由光密介质射向光疏介质时 (如图1-10所示), 由于 $n_1 > n_2$, 就有 $\sin i_1' > \sin i_1$ 。即折射角反而比入射角要大。当折射角为 90° 时的入射角, 称为该介质的临界角 i_0 。由折射定律公式 (1-3) 可以推得, 某介质对应于空气 (看作真空) 的临界角值为:

$$\sin i_0 = \frac{1}{n} \quad (1-4)$$

例如, K_9 号玻璃对于空气的临界角为: $\sin i_0 = 1/1.5163$, 即 $i_0 = 41^\circ 16'$ 。

各种光学玻璃对于空气的临界角范围, 大致是 $32^\circ \sim 42^\circ$ 。

当入射角大于临界角时, 折射光线将会消失, 入射光线从分界面处全部反射回来, 这种现象叫做全反射。其反射的规律, 则服从于反射定律。

全反射现象的特点，首先是光量100%的反射，而利用平面反射镜反射时，光量要损失掉6~10%；其次是全反射并不需要镀反射材料。因此，利用光的全反射现象制成的各种光学器件，已普遍地代替了平面镜，在测量仪器上得到了广泛的应用。然而，对全反射面的要求却比较严格。如果反射面上有油迹、水汽、霉斑及其他脏物时，分界面就不再是玻璃和空气了，其全反射效率也就要大大下降。因此，全反射的反射面，必须保持干净。仪器修理人员在清洁光学零件时，要特别注意这一点。

第四节 平面光学零件——棱镜、三棱镜与楔镜、玻璃平板

测量仪器上常用的平面光学零件有以下几种：

一、直角棱镜

具有两个或两个以上相交的折射平面（或反射平面）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。若主截面为直角三角形时（通常都为等腰直角三角形），则称这种形状的棱镜为直角棱镜。当入射光线在主截面内时，其出射光线也一定在主截面内。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。

图1-11a)为直角棱镜的立体图，b)为它的主截面图。直角棱镜的三个面A'B'、B'C'、C'A'，都可作为全反射面。

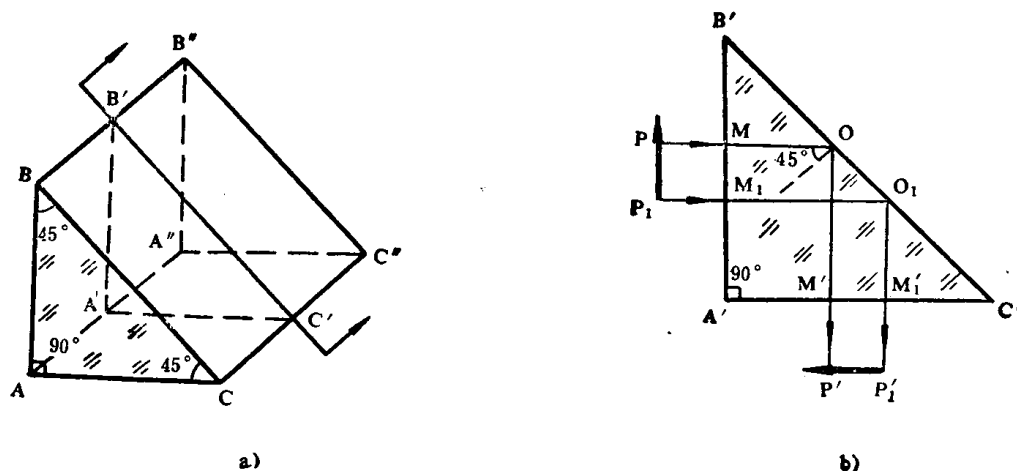


图 1-11 直角棱镜

1. 用斜面B'C'作全反射面

如图1-11b)所示，若有光线P垂直地射向A'B'面时，由于入射角为 0° ，则折射角也为 0° 。当射到B'C'面的O点时，由于入射角为 45° ，大于玻璃对于空气的临界角，于是就产生了全反射。其反射角也为 45° 。最后，光线就垂直地通过A'C'面射出来。从以上分析可知，当用斜面作全反射面时，可以归纳出以下几点：

- 1) 垂直于A'B'面的光线，经过这种三棱镜以后，将折转 90° 射出；
- 2) 主截面内物体的箭头方向，将由向上变成朝左；
- 3) 在棱镜中的光程相等（即： $MO + OM' = M_1O_1 + O_1M_1'$ ）；
- 4) 当B'C'面转动一小角 α 时，出射光线的方向就会改变 2α 角。

从以上几点可以看出,用直角棱镜的斜面作全反射面时,和单块平面反射镜的反射作用相同。而在测量仪器内之所以大量采用直角棱镜的原因,除了前面已提到的几点外,还由于经过退火处理后的棱镜,其角度的大小、平面质量等受温度变化、压力不匀及震动等外界因素的影响较小。而且棱镜较之平面反射镜更易于装配、拆卸及调整。

2. 用两个直角面 $A'B'$ 及 $A'C'$ 作全反射面

如图1-12所示,从图中可以得出以下几点:

- 1) 入射光线 P 经两次全反射后,光线的方向改变了 180° ;
- 2) 平行于棱 AA'' (见图1-11a)的箭头 dc ,其箭头方向仍然不变;而垂直于棱 AA'' 的箭头 ba ,则箭头方向改变了 180° ;
- 3) 在入射光线 P 不变的前提下,若棱镜绕轴线 AA'' 转动某一个小角度,则反射光线 P' 的前进方向始终不变,但要发生平行移动(如图中虚线所示)。

有时为了便于加工、装配和调整,把多余的 $A'B'C''$ 这部分切去,变成等腰梯形,称为梯形棱镜,但它的作用并没有改变。梯形棱镜在经纬仪的光路中应用也很广。

二、菱形棱镜

菱形棱镜主截面形状如图1-13所示。当入射光线 P_1 及 P_2 通过它之后:

- 1) 出射光线 P_1' 及 P_2' 前进的方向不变;
- 2) 出射光线平行移动了一段距离 h ;
- 3) 垂直或平行于棱 AA'' 的物体 ab 及 cd ,其箭头方向都不变;
- 4) 若棱镜转动某一小角度,也不会影响出射光线和入射光线的平行性。

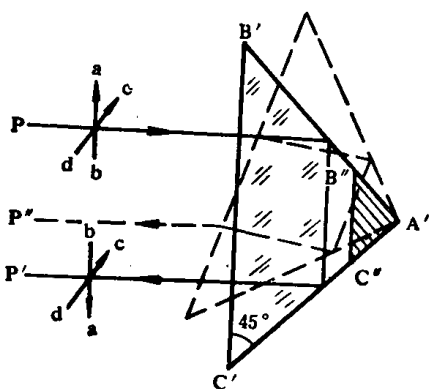


图 1-12 用两个直角面作全反射的直角棱镜

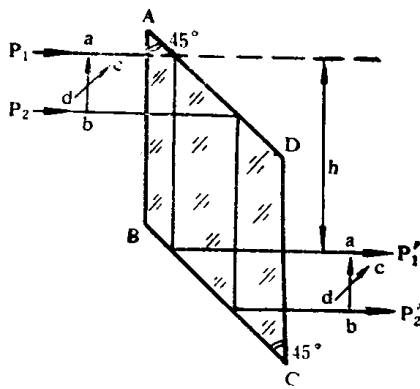


图 1-13 菱形棱镜

在光学经纬仪上,利用菱形棱镜,能使光线平行移动一段距离,以避开障碍仍按原方向继续前进。由于这种棱镜的 AB 和 CD 两面闲置不用,因此有时也做成两对角为 45° 的平行四边形的形状,但其作用仍然不变。

三、五角棱镜

五角棱镜的主截面形状如图1-14所示。当光线通过它之后:

- 1) 光线的前进方向改变了 90° ;
- 2) 垂直于棱 AA'' 的物体 ab ,将调转 90° ;而平行于棱 AA'' 的物体 cd ,其箭头方向不变;
- 3) 在入射光线不变的条件下,若棱镜转动某一角度,则出射光线仍然垂直于入射光

线。这一点，是五角棱镜最重要的一个特性。而用斜面作反射面的直角棱镜就做不到这一点。因此，往往把这种五角棱镜用在出射光线必须严格地垂直于入射光线且装调都比较困难的仪器部位。例如，有的仪器用它来作为横轴棱镜就是这个原因。然而，五角棱镜的加工比较麻烦，成本高，而且五角棱镜不是全反射棱镜，它的两个反射面BC及DE必须镀上一层反射材料与保护层。光量损失也较多。因此，它远不如直角棱镜应用广泛。

四、屋脊棱镜

图1-15为屋脊棱镜的立体图。平面ABCD及ABC'D'为光的两个反射面，两个反射面的交线AB称为屋脊棱。两个反射面的夹角为 90° ，其中BA、CD、C'D'与底面的夹角为 45° ，其余各面之间，一般是互相垂直的。

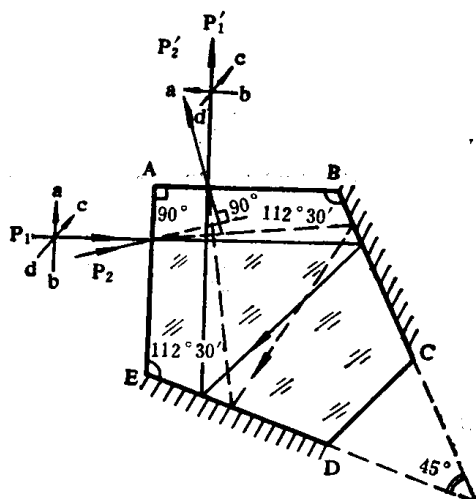


图 1-14 五角棱镜

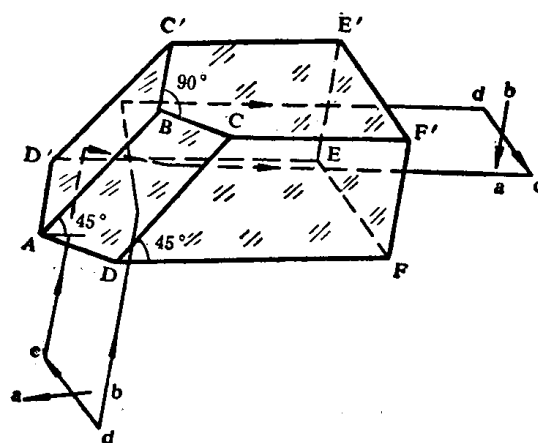


图 1-15 屋脊棱镜

光线通过屋脊棱镜之后：

- 1) 光线前进的方向改变了 90° ；
- 2) 平行于棱AB的物体ab要倒转 90° ，图中的箭头由向左变为箭头向下；垂直于棱AB的物体cd，其箭头方向要调转 180° 。这一点是屋脊棱镜最重要的特点。

屋脊棱镜常用于J₂级光学经纬仪的度盘对径分划符合读数系统。如东德蔡司Theo 010型及我国苏州第一光学仪器厂的JGJ₂型等。这种棱镜的加工工艺较为复杂，要求很严格，两个反射面的垂直程度一般不超过 $\pm 5''$ ，否则一条笔直的分划线经过它之后，就有可能变成一条折线或双线。对于仪器修理人员来说，要特别注意保护两个屋脊面，同时不要碰坏屋脊棱。

五、三棱镜与楔镜

图1-16 a) 为三棱镜的主截面图。入射光线P经三棱镜的两个折射面A'B'和A'C'折射后，由P'方向射出。两折射面之间的夹角 α 称为折射棱角；入射光线P和折射光线P'的反向延长线的夹角 δ ，称为光线偏向角。我们来讨论这个光线偏向角的大小与哪些因素有关。

从图1-16 a) 中不难看出：

$$\delta = i_1 + i_2' - (i_1' + i_2) = i_1 + i_2' - \alpha$$

根据折射定律可知：

$$\sin i_1 = n \sin i_1' \text{ 及 } \sin i_2' = n \sin i_2$$

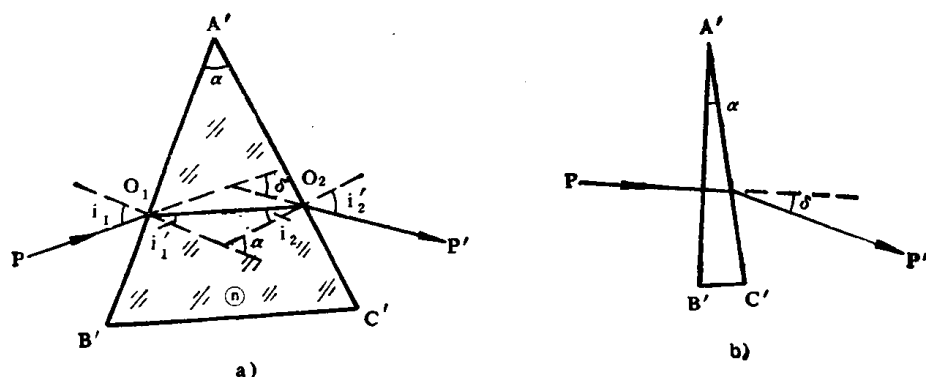


图 1-16 三棱镜与楔镜

将它们代入上式后，即得

$$\delta = n(\sin i_1' + \sin i_2) - \alpha$$

现在我们来研究一种特殊的情况，当三棱镜的折射棱角 α 很小时（一般在 $0 \sim 2^\circ$ 左右），我们把这种三棱镜称之为楔镜（楔镜在测量界也称光楔）。假如此时光线P的入射角 i_1 也相当小，即入射光线近似与法线重合时，那么它的折射角 i_1' 也一定很小。此时就有：

$$\sin i_1' \approx i_1' \quad \text{和} \quad \sin i_2 \approx i_2$$

将它们代入上式后，得

$$\delta = n(i_1' + i_2) - \alpha$$

由于 $(i_1' + i_2) = \alpha$ ，因此，上式可化简为

$$\delta = \alpha(n - 1) \quad (1-5)$$

式中 n ——玻璃折射率。

公式(1-5)说明，对一定形状的楔镜来说，由于 α 与 n 均为定值，因此入射光线经过楔镜之后，产生的偏向角 δ 是一定的。一般来说，由于 n 大致为1.5左右，因此，偏向角 $\delta \approx \frac{\alpha}{2}$ 。要注意的是，经过楔镜折射后的出射光线 P' ，将向楔镜厚的一边偏斜一个角度 δ 。

楔镜能使光线偏斜一个很小角度的特性，在测量仪器上得到广泛的应用。例如，在光学经纬仪中，用它来作单楔镜测微器及双楔镜测微器等。

六、玻璃平板

玻璃平板（或称平板玻璃），它是两个折射面相互平行的平面光学零件，如图1-17所示。当光线通过玻璃平板之后：

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 。当光线的入射角 i_1 很小时，其平移量 h 可以用近似公式计算：

$$h = d \cdot i_1 \left(\frac{n - 1}{n} \right) \quad (1-6)$$

式中 i_1 ——入射角，单位是弧度。

公式推导如下：由图1-17可得出

$$h = O_1 O_2 \cdot \sin(i_1 - i_1')$$

以及 $O_1O_2 = \frac{d}{\cos i_1'}$

将 O_1O_2 代入上式, 得

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

由于 $\sin i_1' = \frac{1}{n} \sin i_1$, 及 $\sin^2 i_1' + \cos^2 i_1' = 1$, 所以 $\cos i_1' = \sqrt{1 - \frac{1}{n^2} \sin^2 i_1}$.

代入上式后, 即得

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

当入射角 i_1 很小时, 则有: $\sin i_1 \approx i_1$, $\cos i_1 \approx 1$. 代入上式, 并考虑到 $\left(\frac{i_1}{n}\right)^2 \approx 0$, 最后即得

$$h = d \cdot i_1 \left(\frac{n-1}{n} \right)$$

式中 d ——玻璃平板的厚度;

n ——玻璃的折射率。

〔例题 2〕 已知 K_9 号玻璃平板的厚度为 10mm, 试计算光线入射角 $i_1 = 5^\circ$ 时, 出射光线的平移量。

解: K_9 玻璃的折射率 $n = 1.5163$, 代入式 (1-6) 得

$$h = 10 \times \frac{5}{57.296} \left(\frac{1.5163 - 1}{1.5163} \right) = 0.30 \text{ mm}$$

即 出射光线的平移量为 0.30mm。

从式 (1-6) 可知, 当光线的入射角较小时, 光线的平移量 h 与入射角 i_1 成正比。玻璃平板的这一特性, 在光学经纬仪及精密水准仪的测微器中被广泛应用。

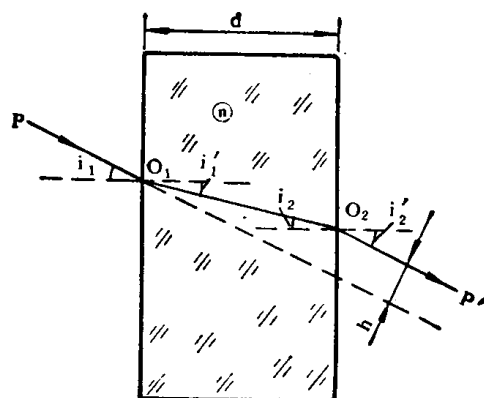


图 1-17 玻璃平板

第五节 球面光学零件——透镜

具有两个折射球面, 或一个球面和一个平面的光学零件称为透镜。透镜可分为两大类, 即凸透镜(正透镜)和凹透镜(负透镜)。凡是中央比边缘厚的透镜, 都称为凸透镜; 反之, 则称为凹透镜。凸透镜又可分为双凸、平凸、正弯月(凹凸)等三种形式。凹透镜也可分为双凹、平凹、负弯月(凸凹)等三种形式, 如图1-18所示。

通过透镜两个球面曲率中心(即球心) C_1 、 C_2 的直线, 称为透镜的光轴。光轴和球面的交点, 称为透镜的顶点。光轴上有一特殊点, 光线通过该点时其方向不变, 这一特殊点称为透镜的光心, 以符号 O 表示。

从物方(透镜的左边)射来的一组平行于光轴的光线, 经过透镜以后, 汇交于光轴(或反向延长相交)于一点 F' , 这一交点 F' 称为透镜的象方焦点(见图 1-19a) b)。光心 O 到象方焦点 F' 的距离, 称为透镜的象方焦距, 用符号 f' 表示。反之, 若从象方(透镜的右边)射来一组平行于光轴的光线, 经过透镜以后, 汇交于光轴上一点(或反向延长相交)点 F , 称为物方焦点(图 1-19c) d); 该点至光心的距离称为物方焦距, 用符号 f

表示。凸透镜的两个焦点都是实的，而凹透镜的两个焦点由于是出射光线反向延长相交而得出，因而都是虚的。

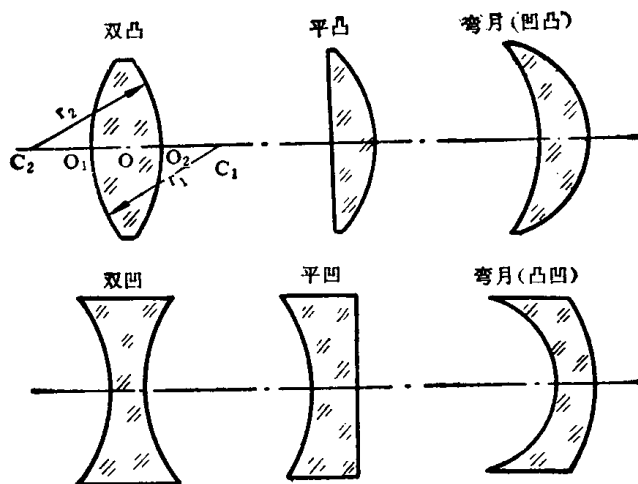


图 1-18 透镜

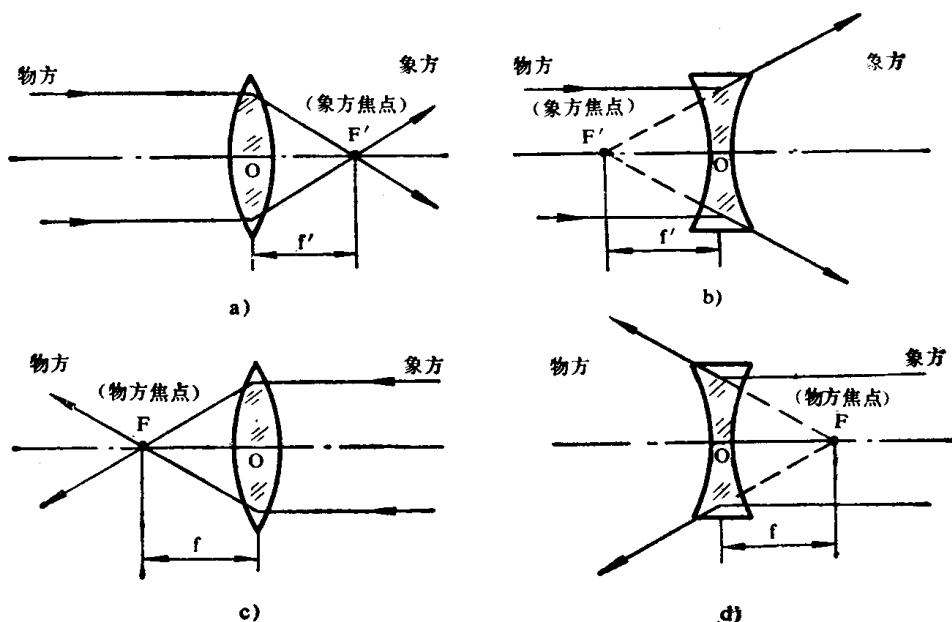


图 1-19 透镜的焦点和焦距

通过焦点而垂直于光轴的平面，称为透镜的焦平面。每块透镜都有物方和象方两个焦平面，如图1-20中的MN和M'N'。焦平面的一个重要特性是，从任意方向射来的一组平行光线，经过透镜后，其汇聚点(F'')一定落在焦平面上。反之，从焦平面上任意一点发出的一束光线，经过透镜后，一定相互平行。凸、凹透镜都有这种特性(见图1-20)。

一、薄透镜

若透镜的厚度比透镜两球面的曲率半径小很多时，称这样的透镜为薄透镜。求薄透镜的成像要比求厚透镜的成像简单得多。因此，在不需要进行精确计算时，往往也可把厚透镜当作薄透镜看待。所以，薄透镜的成像原理及计算公式应用很广泛。