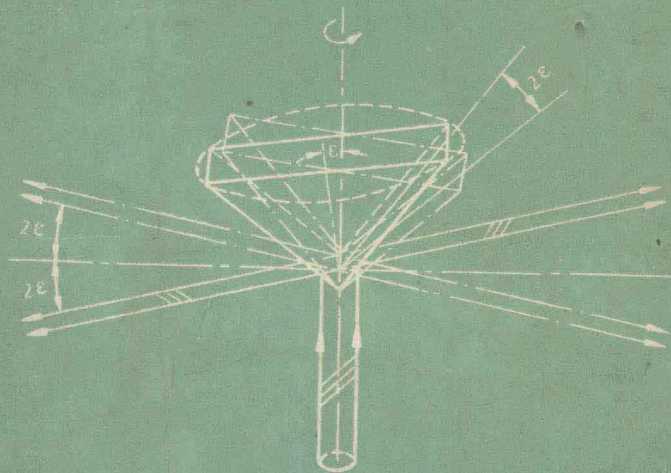


测绘专业用书

测绘光学基础

刘贤德 麻英暖
唐家让 张效仁 编著



苏联科学与技术杂志社

测绘光学基础

刘贤德 麻英暖
唐家让 张效仁 编著

苏联科学与技术杂志社

1986·哈尔滨

责任编辑：刘明扬

测 绘 光 学 基 础

刘贤德 麻英暖 编著
唐家让 张效仁

苏联科学与技术杂志社出版（内部发行）

（哈尔滨南岗银行街30号）

哈尔滨铁路局印刷厂印刷

开本：16开 印张：14 字数：341千字

1986年11月第一版 1986年11月第一次印刷

印数：0001—3,550册 定价：4.00元

业经黑龙江省出版局（82）黑出管字第016号登记备案

序 言

近年来, 由于激光器的应用, 光学领域发生了很大的变化, 与光学息息相关的测绘技术也随之有了很大的发展。为了适应迅速发展的测绘技术的要求, 测绘技术人员需要一本与现代测绘技术有关的基础光学参考书。为此, 哈尔滨冶金测量专科学校、黑龙江省测绘科学研究所、长春地质学校和阜新煤炭工业学校在各校测绘专业分别试用多年的光学教材的基础上, 联合编写了《测绘光学基础》一书。参加拟定本书编写提纲、议稿、审稿的还有哈尔滨测绘职工中专、长沙有色金属专科学校、南京地质学校、郑州测绘学校、辽宁省冶金地质学校、长春冶金地质专科学校、吉林大学和东北师范大学等大专院校。

这本书不仅详细地阐明了常用测绘仪器的基本光学原理及其应用知识, 而且对测绘工作中应用到的有关现代光学的知识也进行了简明的阐述。

本书可作为专科和中专测绘专业的教材或教学参考书, 也可供高等院校测绘专业师生和测绘技术人员参考。

本书第一、二、三、四、五和十一章由刘贤德同志编写; 第六、八、九章由唐家让同志编写; 第七章由张效仁同志编写; 第十章由麻英暖同志编写。全书由刘贤德同志主编定稿。

本书承蒙吉林省光学会副理事长王继少教授审阅, 在此谨致以衷心的感谢。由于编者水平所限, 书中错误与疏漏之处在所难免, 希望读者不吝指正。

编者 一九八六年六月

目 录

第一章 几何光学基础知识	(1)
§ 1—1 几何光学的基本概念	(1)
§ 1—2 几何光学的基本定律	(2)
§ 1—3 全反射	(4)
§ 1—4 大气折光及其对测量的影响	(6)
§ 1—5 平面镜和平面镜系统	(7)
§ 1—6 球面镜	(10)
§ 1—7 平板玻璃	(12)
§ 1—8 棱镜	(15)
§ 1—9 楔镜(或称光楔)之应用	(19)
§ 1—10 色散	(21)
第二章 理想光具组	(26)
§ 2—1 轴上点细光束经单球面的成象规律	(26)
§ 2—2 薄透镜	(28)
§ 2—3 理想光具组的基本概念	(33)
§ 2—4 共轴理想光具组的基点和基面	(34)
§ 2—5 理想光具组成象的作图法	(36)
§ 2—6 理想光具组的物象关系式	(38)
§ 2—7 角放大率和轴向放大率及其与横向放大率的关系	(40)
§ 2—8 光学系统的组合	(42)
第三章 光阑和象差	(47)
§ 3—1 光阑	(47)
§ 3—2 实际光具组的象差	(52)
第四章 光学仪器原理	(60)
§ 4—1 人类的眼睛	(60)
§ 4—2 放大镜 目镜	(66)
§ 4—3 显微镜	(69)
§ 4—4 望远镜	(71)
§ 4—5 摄影物镜	(79)

§ 4—6	投影仪器	(83)
§ 4—7	J ₆ 级光学经纬仪光学系统简介	(84)
第五章	光具组中光能的传播	(89)
§ 5—1	光度学简介	(89)
§ 5—2	光具组的光强度	(92)
§ 5—3	望远镜的亮度	(95)
§ 5—4	光具组内光能的损失	(97)
第六章	光的干涉	(102)
§ 6—1	光的干涉现象	(102)
§ 6—2	光程、决定明暗条纹的干涉条件	(105)
§ 6—3	薄膜干涉	(109)
§ 6—4	空气楔 牛顿环	(111)
§ 6—5	增透膜	(115)
第七章	光的衍射	(119)
§ 7—1	光的衍射现象 惠更斯—菲涅耳原理	(119)
§ 7—2	单缝衍射	(121)
§ 7—3	衍射光栅	(123)
§ 7—4	圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	(127)
§ 7—5	菲涅耳衍射 波带片	(129)
第八章	光的偏振	(134)
§ 8—1	偏振光与自然光	(134)
§ 8—2	反射光和折射光的偏振	(138)
§ 8—3	光的双折射现象	(141)
第九章	光的本性	(147)
§ 9—1	光的电磁本性	(147)
§ 9—2	光的粒子性	(148)
§ 9—3	光的波粒二象性	(153)
第十章	现代光学及其在测绘技术中的应用	(155)
§ 10—1	激光的基础知识	(155)
§ 10—2	激光在测绘技术中的应用	(164)
§ 10—3	全息照相	(176)
§ 10—4	付里叶光学概述	(179)
§ 10—5	光学信息处理及其在测绘中的应用	(186)
第十一章	摄影学简介	(191)

§ 11—1	感光材料·····	(191)
§ 11—2	摄影机的基本结构·····	(198)
§ 11—3	一般摄影规则·····	(201)
§ 11—4	黑白负片的处理·····	(203)
§ 11—5	印相与放大·····	(205)
§ 11—6	彩色摄影简介·····	(208)
	习题答案·····	(211)

第一章 几何光学基础知识

§ 1—1 几何光学的基本概念

光学的研究对象是光的本性和光的现象。几何光学是撇开光的本性，把光看成是射线，这样来研究光在透明介质中的传播规律的光学。几何光学的任务，主要论证光学系统（或称光具组）的理论，说明视觉器官工作受限制的原因和改善我们视觉的办法。在发现光的波动本质以前，人们运用几何光学，已经把望远镜、显微镜和照相机等复杂的光学仪器设计并制造出来了，而且达到了相当完善的程度。用几何光学解决实际问题，十分简便，但只能给出近似的结果。然而，在许多实际应用方面并不需要严格的解。所以几何光学（或称射线光学）至今仍为研究光传播问题的有力工具。

把光的概念和几何学中的点、线、面有机地联系起来，就形成了几何光学的几个基本概念。应用这些概念，许多光学问题可以简化为几何学的问题。

一、发光点

从物理光学的观点来看，光源是一个光的辐射体。当光源的大小和其辐射能的作用距离相比可略去不计时，就称它为发光点。例如太阳、星球等，对于地球上的观察者来说，都可以认为是发光点。然而，在几何光学中，认为发光点是一个只有几何位置，而没有大小的点光源。任何成象的物体（包括本身发光或由外界照明而反光的物体）都可认为是由无数个发光点所组成的。

二、光线

在黑暗处，如果打开手电筒，就可以看到一道光柱。如果光柱的横截面直径比光柱的长度小得多，从物理光学的观点来说，这种细而长的光柱就称之为光线。而几何光学把这个光柱的轴线，也就是光线传播方向的几何线理解为光线。

几何光学所论述的发光点和光线只是抽象的概念，这些几何化的概念可使我们处理的光学问题大为简化。利用这些概念，不仅能将本质上十分复杂的光能传播和成象问题归结为简单的数学（或作图）问题，而且在实用上能达到令人满意的结果。

几何光学所定义的光线和物理光学中的光线之间有着对应的关系。物理光学谈及，光是一种电磁波，光的振动方向垂直于传播方向。在传播途径中，具有相同振动位相的点所形成的曲面称为波面^①，辐射能是沿着波面法线方向传播的。几何光学所定义的光线实质上就是物理光学中所说的波面的法线。

^①参考附录1—3简谐波

三、光束

一个位于均匀介质中的点光源，它所发出的光波是以发光点为球心的球面波。显然，波面的法线束就是几何光学中的光线束（简称为光束）。这种发自一点或会聚于一点的光束称之为同心光束（见图1—1a）。若光波是平面波，则波面的法线彼此平行，与这种平面波所对应的光束称为平行光束（见图1—1b）。

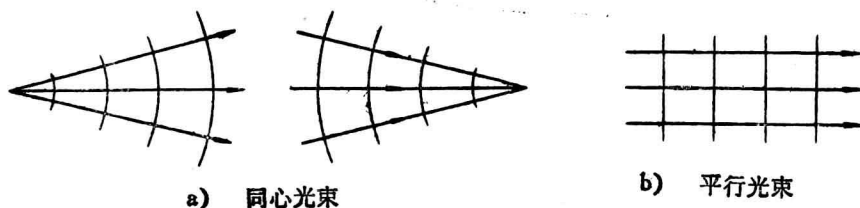


图1—1

几何光学主要研究光的传播规律和成像原理。为此，首先应该搞清楚每一条光线的传播途径，这种途径称为光路。可是，一个点光源发出光线为无数条，不可能对每一条光线都求出其光路。实际的做法是从光束中取出一个适当的截面，求出其上几条线的光路，成像问题就可得到解决，通常称这种截面为光束截面。

§ 1—2 几何光学的基本定律

几何光学是以下面几个基本定律为基础的：

一、光的直线传播定律

在各向同性的均匀介质内，光沿直线传播。。这就是光的直线传播定律。这一定律是大量宏观现象（例如日蚀和月蚀、本影和半影的形成等等）的总结。天文测量、大地测量和其它许多测量中，都把这一定律看成是精确的。但是，当光在传播过程中遇到很小的障碍物时，将有违反此定律的现象出现^①。

二、光的独立传播定律

不同的光线以不同的方向通过空间某一点时（例如两束探照灯光在空中相交时），彼此不发生影响，对其中的一光线而言犹如没有其他光线存在那样来传播，在这一点上，其作用是相加的。这就是光的独立传播定律。

这一定律对于由不同辐射中心发出的光（非相干光）来说是正确的。但若两条光线发自同一个辐射中心，只是以不同的途径射到同一点时，则在这一点上两条光线的作用也可能相减。这是由于光干涉的结果^②。

三、光的反射和折射定律

当一束光射到两种透明介质的光滑分界面时，光就被分成两部分。一部分光在分界面上

^① 详见第七章光的衍射

^② 详见第六章光的干涉

被反射回原介质，称为反射光线。一部分光折入另一介质，称为折射光线。这两条光线的进行方向遵循反射定律和折射定律。

如图1—2所示，设两种介质的分界面为平面MM。入射光线AO射在分界面内的O点处。通过点O作平面MM的法线NN。 $\angle AON$ 称为入射角，用字母*i*表示。反射光线OB和法线ON之间的夹角 $\angle BON$ 称为反射角，用字母*r*表示。折射光线OC和法线ON之间的夹角 $\angle CON$ 称为折射角，用字母*i'*表示。现将反射定律和折射定律分述如下：

(一) 反射定律

反射定律的内容是：1) 反射光线在由入射光线和法线所决定的平面内；2) 反射光线入射光线分居于法线的两侧；3) 反射角*r*和入射角*i*的绝对值相等。

(二) 折射定律

折射定律的内容是：1) 折射光线在由入射光线和法线所决定的平面内；2) 折射光线和入射光线分线分居于法线的两侧；3) 入射角的正弦和折射角的正弦之比，对一定的二种介质来说，是一个和入射角大小无关的常数。即：

$$\frac{\sin i}{\sin i'} = n_{21} \quad (1-1)$$

式中 n_{21} 为一常数，称为介质2对介质1的相对折射率。

介质对真空的相对折射率称为绝对折射率（绝对二字经常省略），以*n*表示之。当同时论到几种介质时，则再缀以脚注。例如介质1的折射率记为*n*₁。

介质的折射率与光线的波长及温度和压强等条件都有关。表1—1所列的是几种介质在标准状况下，对波长为589.3纳米（nm）^①的光线的折射率：

表1—1

金刚石	2.42	轻冕牌玻璃	1.52	冰	1.31
重火石玻璃	1.80	甘油	1.47	盐酸	1.25
红宝石	1.76	熔融石英	1.46	氧	1.038
二硫化碳	1.63	酒精	1.36	水蒸气	1.026
水晶	1.54	乙醚	1.35	氢	1.015
加拿大树胶	1.53	水	1.33	空气	1.0003

真空的绝对折射率为1，而气空的绝对折射率为1.0003，两者比较，差之甚微。所以介质对空气的相对折射率与其绝对折射率相差极小，因此通常用介质对空气的相对折射率表示该介质的绝对折射率。

实验证明：相对折射率 n_{21} 等于第一种介质中的光速*v*₁与第二种介质中的光速*v*₂之比。即：

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$$

同理，某种介质的绝对折射率等于真空中的光速*C*与某种介质中的光速之比。即：

$$n_1 = \frac{C}{v_1}, \quad n_2 = \frac{C}{v_2}$$

^① 1 纳米 = 10⁻⁹ 米，nm是纳米的国际代号。

$$\text{所以: } n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{C}{n_1}}{\frac{C}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1-2)$$

(1—2) 式说明介质 2 对介质 1 的相对折射率 n_{21} 等于它们绝对折射率之比。所以只要晓得各介质之绝对折射率即可。

将 (1—2) 式代入 (1—1) 式, 则得:

$$n_1 \sin i = n_2 \sin i'$$

通常, 设 $n_1 = n$, $n_2 = n'$, 上式写成

$$n \sin i = n' \sin i' \quad (1-3)$$

这就是折射定律的表达式。此式较 (1—1) 式便于记忆, 应用起来也很方便。

四、光的可逆性

若在反射光线和折射光线的光路中各放一与传播方向垂直的反光镜, 如图 1—3, 则光线必按与原来相反的方向返回。光的传播方向倒转时光路不变的特性称为光的可逆性。光的可逆性是光在传播过程中, 遵守上述四个基本定律的必然结果。

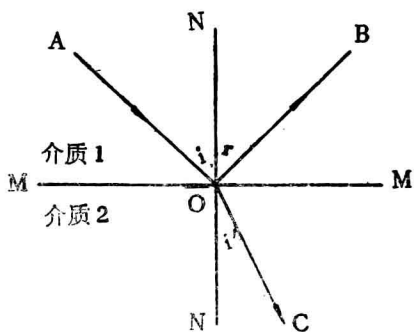


图 1—2

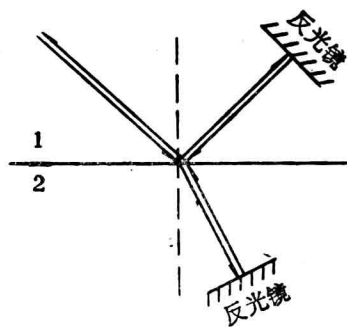


图 1—3

§ 1—3 全反射

在一般情况下, 光线在两种介质的分界面发生反射时, 都必然会伴随着部分光线的折射。但是光线由光密介质到光疏介质时, 在一定的条件下, 可以将入射光线全部反射, 而不产生任何折射, 这种现象即称为完全内反射或全反射。

在图 1—4 中, MM 表示折射率为 n 和 n' 的两种介质的分界面。而且 $n > n'$, 由公式 $n \sin i = n' \sin i'$ 可知折射角应大于入射角。继续增大入射角, 使其到某一角度 i 时, 折射角 i' 可以等于 90° , 折射线即沿分界面 MM 进行。这时有 $n \sin i_c = n' \sin 90^\circ$

$$\text{所以 } \sin i_c = \frac{n'}{n} \quad (1-4)$$

若光线是由某种介质射入空气 ($n' = 1$) 时, 则:

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

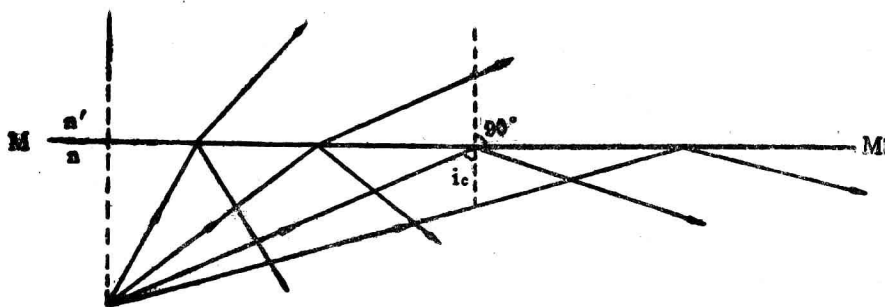


图1—4 光的全反射

折射线沿介质分界面进行时的入射角 i_c ，称为全反射的临界角，如果入射角 i 大于临界角 i_c ，就会产生全反射现象。

由公式(1—4')可算得：对于折射率 $n=1.5$ 的玻璃 $i_c=42^\circ$ ，对于 $n=1.33$ 的水 $i_c=48^\circ 36'$ 。

全反射现象在光学仪器中已被广泛应用，用全反射棱镜来代替平面镜有下列几点好处：

1. 光经棱镜全反射它的亮度不损失。而光在平面镜的镀银面上反射时亮度要损失6~10%，且时间愈久镀银面的反射性能愈减弱。

2. 棱镜之棱角和界面形状能经常保持正确。而平面镜所组成的光具组中，角度容易变化。

3. 容易装配。

夜间照明光学仪器目镜前面的分划镜和分划的原理，也基于全反射现象。其方法如图1—5所示：由光源 S 发出的光线，进入 AB 面后，几乎都以大于临界角的角度投射到 AC 和 BD 面上，因此，这些光线射不进垂直于 AC 、 BD 面观察的眼睛。所以在黑暗背景中，则觉得平板是黑的，而刻线 m 却是亮的。因为射到刻线处的光线的入射角小于临界角，折射线可以射出来被观察者看到。

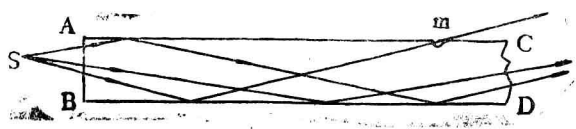


图1—5

有的刻线 m 中填满不透明的黑色的颜料。当观看时，在白天将看见亮背景上有黑线，在黑夜则看见黑背景上有明亮的刻线，这是投射到线条上的光线，被不透明的颜料向各方向漫射的结果。

近年来发展很快的光学纤维，大部分是利用全反射规律而使光线沿着弯曲路程传播的光学元件。一般使用的光学纤维是由直径约几微米的多根或单根玻璃（或透明塑料）纤维组成的，每根纤维分内外两层，内层材料的折射率为1.8左右，外层材料的折射率为1.4左右。这样当光由内层射到两层纤维的界面时，入射角小于临界角的那些光线，根据折射定律逸出纤维，而入射角大于临界角的光线，由于全反射，在两层界面上经历多次反射后传到另一端〔图1—6(a)〕。

图1—6(b)中表示出一条临界光线，它在两层界面上的入射角等于临界角 i_c 。显然，由折射率为 n_0 的介质中经端面进入纤维的光线，只有入射角小于 i 的那些，才在纤维中传播。

当纤维在空气中时， $n_0=1$ 。

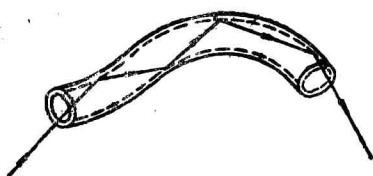


图 1-6 (a)

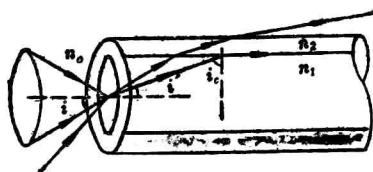


图 1-6 (b)

则
$$i = \sin^{-1} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1-5)$$

证明：根据临界角公式 $\sin i_c = \frac{n_2}{n_1}$ 和折射定律 $n_0 \sin i = n_1 \sin i'$

可得：
$$n_0 \sin i = n_1 \sin \left(\frac{\pi}{2} - i_c \right) = n_1 \cos i_c = n_1 \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1^2}}$$

因为 $n_0 = 1$ ，所以 $\sin i = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

由 (1-5) 式可见，为了使更大范围内的光束能在纤维中传播，应选择 n_1 和 n_2 的差值较大的材料来制造光学纤维。

由于光学纤维柔软，不怕震，而且当纤维束弯曲时也能传光传象，所以它在国防、医学、自动控制和通讯等许多领域正在得到日益广泛的应用。

§ 1-4 大气折光及其对测量的影响

地球表面包围的大气，其密度是随高度的增加而递减的。而气体的折射率跟它的密度有关，密度越大时，其折射率也越大。因此大气的折射率随高度增加而连续的减小。所以，当光从高空斜射向地面时，其传播方向不再为直线，而呈凹向地面的弧线，如图1-7。这种现象称为大气折光现象。

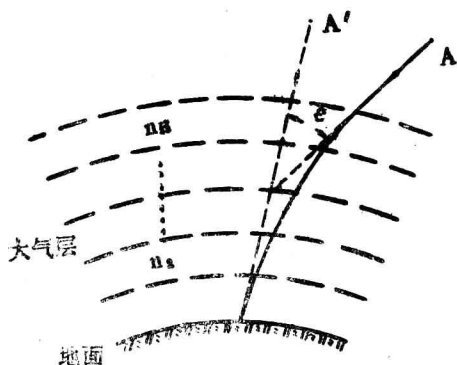


图1-7

其道理很容易用折射定律来说明。我们设想大气是由许多薄层组成，各层的折射率为 $n_1 > n_2 > n_3 > \dots > n_H$ 。从高空斜射向地面的光线，每经过一层时（见图1-8），都会向下方偏折一个小角度 $\Delta \epsilon$ 。光经无限多薄层时，经连续偏折就形成了凹向地面的曲线。曲线两端之切线的夹角即是总的偏向角 ϵ （如图1-7）。在地面观察者感到在 A' 点方向的星，实际该星位置是在 A 点的方向上。星球之光沿水平方向射向地面时，其偏向角 ϵ 最大，可达35分。

进行较精确的测量时，大气折光的影响是必须考虑的。例如测垂直角时，如图1-9，在观测目标 B 点射出的光，沿凹向下的弧线到达观测点 A 。观测时好象目标在 B' 点。因此使所

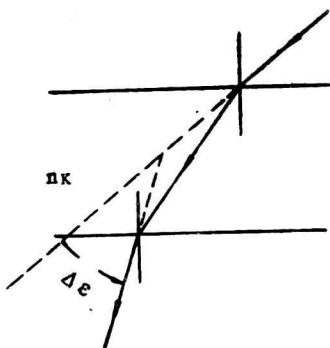


图1—8

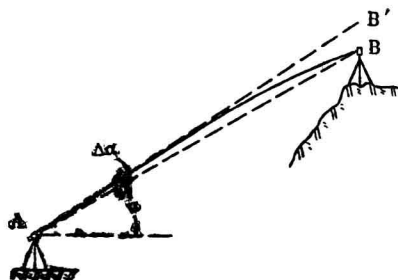


图1—9

测得的垂直角较正确值 α 增加了 $\Delta\alpha$ 角。

又如在航空摄影测量中，从高空对地面摄影时，由于大气折光的影响，在底片上会引起象点位移 A_0A' 。如图1—10，A点的象不是沿 A_0 直线方向成在底片 A_0 上，而是沿折光曲线ABO在O点的切线方向成象在 A' 点。 $\angle A_0OA'$ 为折光差角。

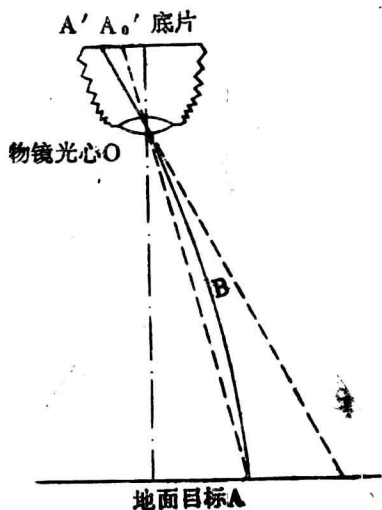


图1—10

再有，在大地测量中，有时由于地面局部温度或测量目标的温度很高，引起局部空气发生剧烈对流，使空气密度发生改变因而折射率变化不定，以致通过的光线所受的折射情况也变化不定，造成望远镜中影像跳动的现象。这也将影响测量的精度。

太阳光通过大气层到达地面，一部分是直射光；一部分照射在尘埃和水蒸气的微粒上，形成偏离原来方向而向四面八方传播的散射光。地面景物的向阳面，主要是受太阳的直射光照射，反射光较强；而景物背光的阴影部分是受太阳的散射光照射，所以反射光就较弱。直射光和散射光是随太阳高度角的增大而增强的，但增长率却不相同，实验证明直射光增长得快，而散射光增长得较慢。所以在中午摄影的象片反差较大，而在早晨和傍晚摄影的象片反差较小。

§ 1—5 平面镜和平面镜系统

平面反射镜简称平面镜。是光学系统中常用的元件。测绘仪器中常用的平面镜，是以精密磨光的平面玻璃板，在一个面上镀上一层反射膜制成的，反射膜通常以银或铝为材料。在光学仪器内，平面镜用来改变光路方向。

一、平面镜的成象

由图1—11所示，物点S发出一同心光束，取其任一条光线SA经平面镜PP反射后沿AB方向出射。另一条光线SO垂直于镜面入射，并由原路反射。反射光线OS和AB反方向延长相交得 S' 点。因为SA光线是任意取的，所以由S点发出的任何其它光线经平面镜反射后，其

反射光线的后延线也都交于 S' 点,此 S' 点为 S 点的虚象。当人眼向着 BA 方向观看时,似乎看到了由镜后 S' 点发出的光束,实际上光束并不是从 S' 点发出的,因此 S' 点称为 S 点的虚象。

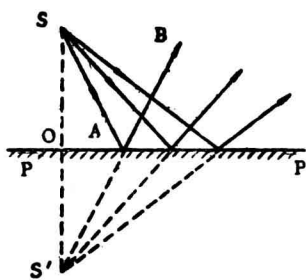


图1—11

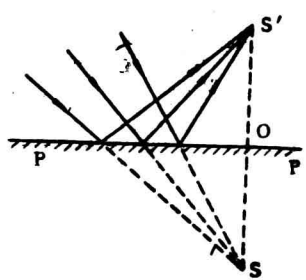


图1—12

若物点是虚物点,则平面镜可以产生实象。图1—12所示情况是从某光学系统中出射的同心光束(会聚于 S 点)被镜面 PP 反射而会聚于 S' 的,此点就是虚物点 S 的实象。

根据光的反射定律可以证明: $SO = S'O$ 。这就是说,物点和象点相对于反射镜的位置是对称的。

任何物体都可看作是由许多物点组成的。每个物点在镜后都有一个与之相应的象点,这些象点就构成了整个物体的象。平面镜所成的虚象与原物大小相等、相互对称,犹如人的左右手,这种象称为镜象。这种对称性可用坐标系表示,如图1—13右手坐标系 $O—XYZ$ 代表

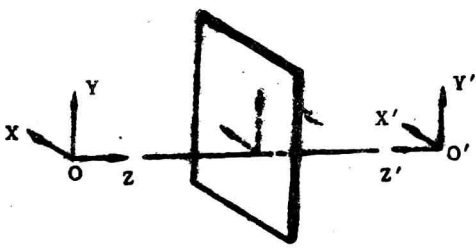


图1—13

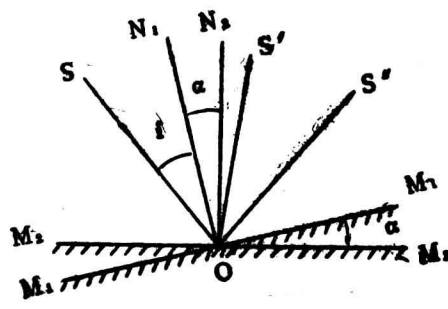


图1—14

一个物体的空间方向(OX 轴表示左右、 OY 轴表示上下、 OZ 轴表示前后)。经平面镜反射后所成的象 $O'—X'Y'Z'$ 为左手坐标系。象和物相比,上下、左右两个方向一致,前后方向倒置。

如果第一个平面镜所成的象再通过第二个平面镜成象,则左手坐标系又变成右手坐标系,和原物相比,座标系统相同。通常称和原物座标一致的象为一致象。易于推论,物体经奇数个平面镜成象,则为镜象,而经偶数个平面镜成象,则为一致象。

由上面的讨论可知,平面镜是一种能成完善象(物为一点时,其象亦为一点,象与物完全相似。)的光学元件。在光学系统中加入平面镜,不影响象的清晰度,而且象的大、小形状也不改变。

二、平面镜的反光

平面镜反光时，有一个重要特性：即保持入射光线的方向不变，把平面镜转动 α 角时，则反射光线就同方向转动 2α 角。这是因为平面镜转一角度时，入射角与反射角各增大（或减小）同一角度之故，现证明如下：

如图1—14，当平面镜在 M_1M_1 位置时入射线 SO 与反射线 $S'O$ 所夹之角 SOS' 等于 $2i$ 。而当平面镜转动 α 角到 M_2M_2 位置时，入射线 SO 与其反射线 $S''O$ 的夹角则为 $2(i + \alpha)$

$$\therefore \angle SOS'' - \angle SOS' = 2(i + \alpha) - 2i = 2\alpha$$

$$\text{即 } \angle S'OS'' = 2\alpha$$

平面镜的这种性质应用的实例是很多的。在矿山测量中，平面镜用于罗盘仪、倾角仪和磁性仪器之上，用以精确测量磁针偏角之用。在这种仪器上，小的平面镜 PP （见图1—15）安在支承在针尖的磁针上，而在镜面的一定距离外安有一带指标线的窥管 Z 和一支尺 MN ，将窥管对在镜面上，使尺上零线 O 的影象和指标线相符合。当镜面 PP 转动 α 角时，则反射光旋转角度 2α ，而指标线落在 MN 尺的 m 处。

设 $OQ = 1$ ， $Om = h$ 则得：

$$\text{tg } 2\alpha = \frac{h}{1}$$

若 2α 很小，并以弧度为单位，则有 $\alpha = \frac{h}{2 \cdot 1}$ 。因此，尺上的读数是和倾角成正比例的。

三、角镜

一对平面镜，若其反射面组成固定不变的二面角 α ，则称为角镜。某一光线，在角镜两面连续反射两次后，方向改变的角度 ω 等于 2α 。

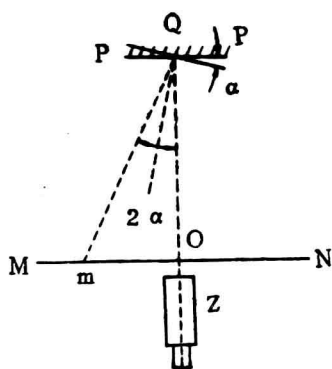


图1—15

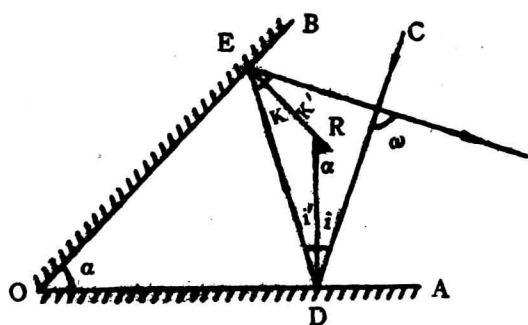


图1—16

设 AOB 为角镜在图平面上的截线〔图1—16〕，并设二面角棱垂直于图平面。入射线 CD 与 AO 面法线组成入射角 i ，反射线 DE 与 AO 面法线组成反射角 $i' = i$ ，又与 BO 面法线组成入射角 K ，二次反射线的方向由等于 K 的 K' 角决定，该反射线与原始方向间夹角为 ω ，由图中有： $\omega = 2(K + i)$ 镜面法线间夹角等于 α ，但 α 又为三角形 RDE 的外角。所以，

$$\alpha = K + i' \quad \text{因此，} \omega = 2\alpha$$

由此可知角 ω 与入射线的方向无关。如果角镜以二面角之棱为轴转动时，则由它产生的

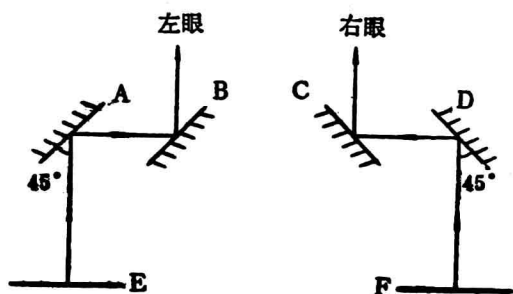


图1—17 反光立体镜光路

物点的象保持不动。

在支距测量中定垂线所用的设角器就是利用 $\alpha = 45^\circ$ 的角镜来构成的。

四、反光立体镜

在航测作业中，观察立体象对^①的一种反光立体镜是由A、B与C、D两对相互平行的平面镜组成的。如图1—17所示。镜面A、D分别与物面E（左象片）、F（右象片）成 45° 角。因为是经偶数个平面镜成像，所以眼睛看到的是一致象。经过左眼看左片，右眼看右片，双眼同时分别观看两张象片，便可观察到和物（起伏的地面）完全相似的立体象了。

§ 1—6 球 面 镜

反射面是球面一部分的反射镜称为球面镜。通常是在精密磨光的金属（或玻璃）球形面上，再镀上银或铝的反射膜而制成的。利用凹面作反射面的球面镜叫做凹面镜；利用凸面作反射面的则叫凸面镜。蔡司010型经纬仪的望远镜物镜中，就使用了凹面镜和凸面镜。参看图4—20。

一、轴上点经球面镜的反光成像情况

图1—18中的MNM'表示球面镜的主截面。球面镜的中心点N称为顶点，O为曲率中心，r为曲率半径，通过O和N的直线称为球面镜的主轴，通过球心O点和镜面其它点的直线叫做副轴，包含主轴的平面叫做主截面。主轴对于所有的主截面具有对称性。因而我们只须讨论一个主截面内光线的反射情况就够了。

设在主轴上的物点A（称轴上点）射出的同心光束入射到这个球面镜上。沿主轴进行的光线AN，垂直入射到反射镜上，而沿相反方向反射。与轴成角 α 的入射光线AM，射到M点时，入射角为 i ，反射角为 i' 。这两条反射光线相交于点A'。如果由A点射出的和主轴成任意角 α 的全部光线，反射后均会聚于A'，则此点就是物点A的象。

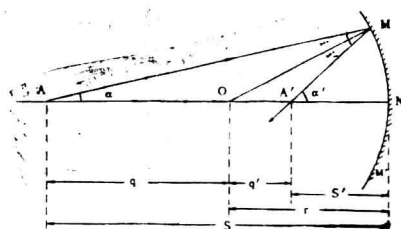


图1—18

现在我们来求象点A'的位置和物点A位置之间的关系。也就是在已知 α 和 r 的条件下求出 s 和 s' 之间的关系。设物和象的位置均由顶点N算起，AN称为物距以 s 表示。A'N称为象距以 s' 表示。由曲率中心O到物点和象点的距离分别以 q 和 q' 表示。

根据正弦定律，在三角形AMO内有：

$$\frac{q}{r} = \frac{\sin i}{\sin \alpha} \text{ 或 } q = r \frac{\sin i}{\sin \alpha}$$

① 立体象对是由不同摄影站拍摄的具有重迭影象的两张象片。