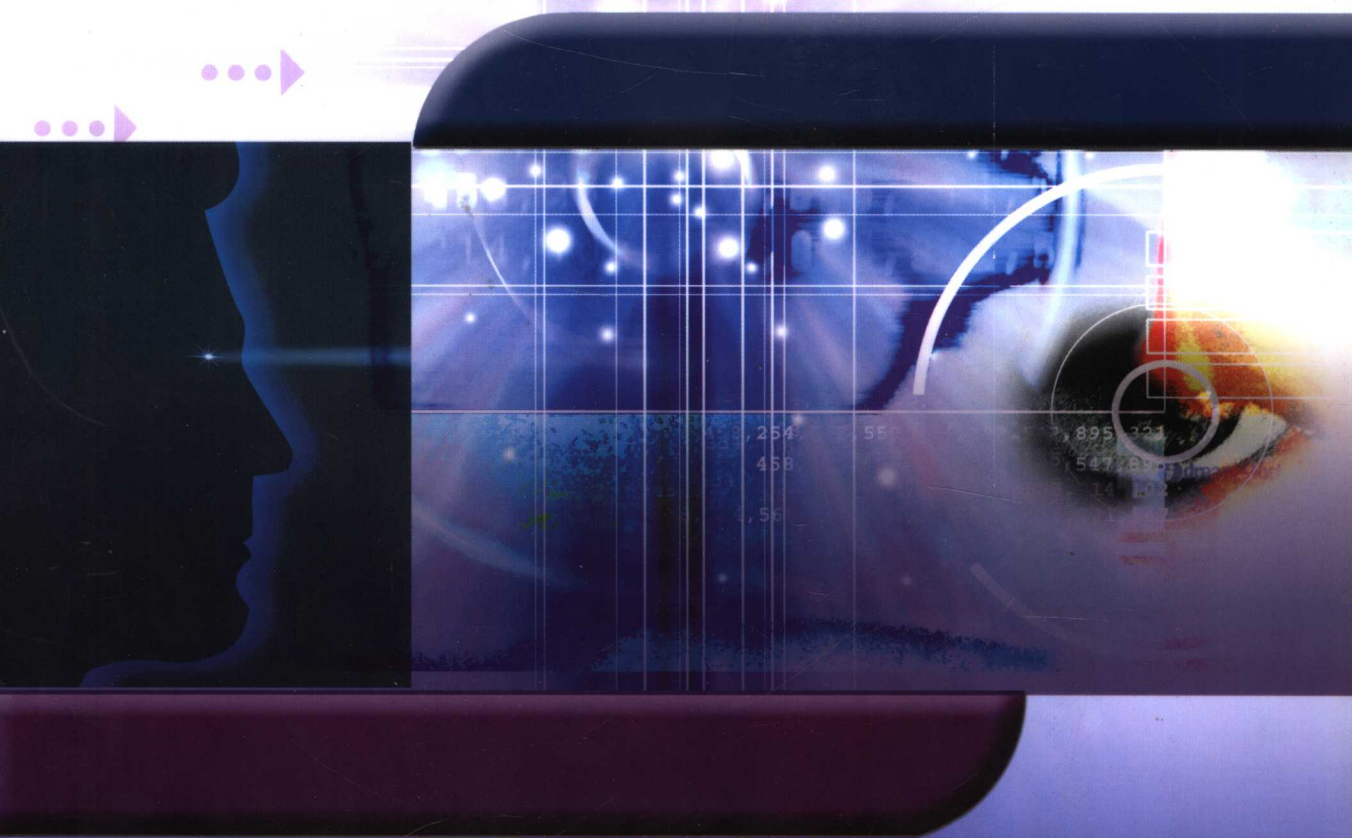


全国卫生院校高职高专教学改革实验教材

眼应用光学基础

(眼视光技术专业用)

● 主编 宋慧琴



高等教育出版社

全国卫生院校高职高专教学改革实验教材

眼应用光学基础

(眼视光技术专业用)

主 编	宋慧琴
副主编	陈世豪
编 者	(以姓氏拼音为序)
陈世豪	温州医学院
高祥璐	天津医科大学
宋慧琴	天津医科大学
陶育华	温州医学院
王淮庆	金陵科技学院
武 红	北京理工大学
张志芹	德州卫生学校
秘 书	黄 静 天津医科大学

高等教育出版社

内容提要

本书以眼应用光学为脉络,将与眼视光技术专业相关的几何光学、物理光学、眼镜光学和光学仪器的基础知识有机地融合在一起,内容的选取以应用为目的,以必需、够用为度,以适应行业要求为准,并与相应的国家职业资格标准相衔接,具有鲜明的职业教育特色。

本书适用于高职高专眼视光技术专业学生,也可作为本专业从业人员(包括验光师、配镜师)的培训用书,还可供眼科医师、眼保健工作者参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

眼应用光学基础/宋慧琴主编. —北京:高等教育出版社,2005.9

眼视光技术专业用

ISBN 7-04-017563-0

I. 眼… II. 宋… III. 眼科学:应用光学-高等学校:技术学校-教材 IV. R778.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 093064 号

策划编辑 杨 兵 责任编辑 陈海柳 封面设计 王 睢 责任绘图 朱 静
版式设计 马静如 责任校对 王 超 责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京人卫印刷厂

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>

开 本 787×1092 1/16
印 张 10.5
字 数 250 000
插 页 2

版 次 2005 年 9 月第 1 版
印 次 2005 年 9 月第 1 次印刷
定 价 22.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 17563-00

眼视光技术专业教材编写委员会

主任委员 瞿 佳

委 员 (以姓氏拼音为序)

陈 浩 温州医学院

管怀进 南通大学临床医学院

刘晓玲 温州医学院

吕 帆 温州医学院

瞿 佳 温州医学院

宋慧琴 天津医科大学

唐罗生 中南大学湘雅医学院

王光霁 美国新英格兰视光学院

王勤美 温州医学院

邢怡桥 武汉大学人民医院

徐国兴 福建医科大学附属第一医院

袁援生 昆明医学院第一附属医院

袁志兰 南京医科大学第一附属医院

秘 书 叶恬恬 温州医学院

前 言

为积极推进高职高专课程和教材改革,开发和编写反映新知识、新技术、新工艺、新方法,具有职业教育特色的课程和教材,针对高职高专眼视光专业培养从事验光配镜工作的高等技术应用型人才的目标,结合教学实际,高等教育出版社组织有关专家、教师及从业一线人员编写了此套高职高专眼视光技术专业教学改革实验教材。

伴着我国经济的腾飞,近年来,眼视光技术专业高职高专教育已出现群芳争艳的蓬勃发展局面,一批卫生院校相继根据自身特点,审时度势,以不同层面、不同模式在这一教育领域里开拓耕耘。本教材即是旨在满足眼视光技术专业高职高专教育的教学需要。

众所悉知,眼镜是用于矫正眼屈光不正和一些视觉功能异常的光学工具,具辅助视力不足、护眼防眩、提高视功能之效,可视之为医疗保健工具。眼应用光学与眼镜的配用、视觉器官的生理、光学、验配技术等紧密关联,人称之为交叉边缘学科,所以眼应用光学课程是一门重要的基础课。

本教材结合了编著者多年的教学积累,存精拔萃、融会整编而成,囊括了与眼视光技术专业相关的几何光学、物理光学、眼镜光学和光学仪器的基础知识,理论以“必需、够用”为度,且以适应行业要求为准,质重实用,并与相应的国家职业资格标准衔接,具有鲜明的职业教育特色;阐述由浅入深,详略恰当,全书图文并茂,书中名词术语采用全国科学技术名词审定委员会审定的名词,并在重要处附原文称谓,俾便参考。

本书共分四章,由天津医科大学宋慧琴教授主编暨编写第三章第二、七节;温州医学院陶育华老师编写第一章,陈世豪老师编写第二章第一至五节;金陵科技学院王淮庆老师编写第二章第六、七节及第三章第一节;德州卫生学校张志芹老师编写第三章第三、四节;天津医科大学高祥瑞老师编写第三章第五、六节;北京理工大学武红老师编写第四章。

在教材编写中,编写秘书黄静在文字打印整理、插图绘制修正及全书编集安排方面都做了大量工作,付出了巨大努力,在此谨致由衷谢忱!

本书编写过程中,疏漏在所难免,深望各位同道不吝教正,幸甚!感甚!

宋慧琴 谨识

2005年4月

目 录

第一章	几何光学相关基础知识	1
第一节	几何光学的基本定律	1
第二节	球面和共轴球面系统的理想成像	8
第三节	光学系统中的光阑	24
第四节	几何像差概述	28
第二章	物理光学相关基础知识	39
第一节	光的波粒二象性	39
第二节	光的干涉	41
第三节	光的衍射	46
第四节	光的偏振	51
第五节	光的散射与眩光	55
第六节	光度学基础	59
第七节	色度学基础	65
第三章	眼镜光学基础	71
第一节	球面透镜	71
第二节	柱面透镜	81
第三节	球柱面透镜	95
第四节	环曲面透镜	106
第五节	薄透镜与厚透镜	110
第六节	棱镜	117
第七节	眼镜放大倍率	128
第四章	眼视光器械常用组合光学系统	144
第一节	目视光学系统的基本要求	144
第二节	放大镜系统	147
第三节	显微镜系统	150
第四节	望远镜系统	153
参考文献		158

第一章 几何光学相关基础知识

几何光学是光学中最早发展起来的一门系统、周密而又严谨的独立学科,在几何光学中,撇开光的波动性质,不考虑光与物质的相互作用,仅以光线的概念为基础,研究光在透明介质中的传播规律和现象。

本章先从介绍几何光学的基本定律和基本成像概念开始,然后讨论光线经平面和球面及共轴球面系统的成像性质和特点、理想光学系统的成像性质和特点、光学系统的光阑及其作用,这些是几何光学中最基本的概念和知识。本章最后对主要的几何像差作了简单的概述,以便对光学成像中出现的各种成像缺陷有一个初步的认识。

第一节 几何光学的基本定律

这里先介绍一些基本概念。

一、基本概念

(一) 光波与波面

光是一种电磁波,且具有波粒二象性。因此,在通常情况下,又常把光称为光波。如图 1-1-1 列出的电磁波谱中,光波的波长范围约为 $10 \sim 10^6$ nm,其中波长为 380 ~ 760 nm 的光波能被人眼所见,称为可见光。在可见光区内,光波的波长不同,光的颜色不同。单一波长且具有特定颜色的光,称为单色光。由几种单色光相混合后产生的光称为复色光。白光是一种复色光。不同颜色的光对应的波长范围及表示符号如图 1-1-2 所示。

不同波长的光波在真空中均以相同的速度传播,其值为 $c = 3.0 \times 10^8$ m/s。空气中的光速大约比真空中小 87 km/s。由于此差值很小,所以通常认为空气中的光速近似于真空中的光速。光在水、玻璃等透明介质中的传播速度比在真空中要慢,且速度随波长不同而改变。光在真空中的光速 c 与其在相应介质中的光速 v 之比,称为该介质的折射率,即

$$n = \frac{c}{v}$$

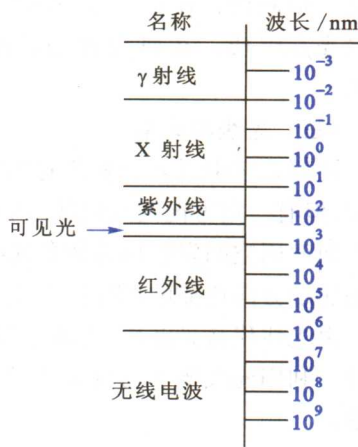


图 1-1-1 电磁波谱

(1-1-1)

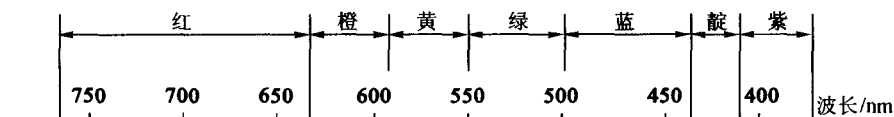


图 1-1-2 光波的波长不同,光的颜色不同

光学介质折射率 n 的大小与介质本身的光学性质和光的波长有关,它表示了介质折光能力的强弱。折射率高的介质折光能力强,但光速慢,称为光密介质;折射率低的介质折光能力弱,但光速快,称为光疏介质。不同的介质都有各自相应的折射率;但同一介质,对不同波长的色光具有不同的折射率。波长长的色光折射率低,波长短的色光折射率高。

光是一种横波。自点光源向四周辐射的光波,在某一瞬时,光振动位相相同的各点构成一曲面,也就是光波在某一时刻所达到的某一特定位置,称为波面(wave surface)。波面按形状不同可分为球面、平面和任意曲面(为不规则波面)。在均匀介质中,由点光源发出的光波是一系列以点光源为中心的同心球面波。平行光波为平面波。由不规则曲面光波形成的波面,称为变形波面。

(二) 发光体和发光点

在几何光学中,一切自身发光的物体(如太阳、恒星、照明灯等)或被照明而发光的物体均可视为发光体。当发光体的大小与辐射光能的作用距离相比可忽略时,则此发光体可认为是发光点或为点光源。几何光学中,这些发光点被认为是既无体积和线度,而只有空间位置的发光几何点,这里不考虑发光点所包含的物理概念(如光能密度等),所以,这只是一种假设,在自然界中不存在这样的点光源。任何被成像的物体(发光体)均由无数个发光点组成。在研究光的传播和成像问题时,常用物体上某些特定的几何发光点进行讨论。

(三) 光线与光束

几何光学中通常把复杂的光能传播看作简单的光线传播。这种光线被认为是既无直径又无体积,但有一定方向的几何线,用来表示光能传播的方向。几何光学认为,发光点发光就是由发光点向四周空间发射出无数条光线,光能就沿着光线的方向传播。在均匀介质中,光能是沿着波面的法线方向传播的,因此,光线就相当于该光波的波面法线(图 1-1-3)。

由光线代替光波后,光波本身的衍射特性被忽略,因此,用光线表示光的传播带有一定的近似性。利用光线概念的意义在于可以把复杂的光能传输和光学成像问题归结为简单的几何运算问题。

若光线在折射率为 n 的介质中传播距离为 l ,则乘积 nl 就称为该光线的光程。

有一定关系光线的集合,称为光束。

光束 { 非同心光束——像散光束(图 1-1-4)
同心光束 { 发散光束(图 1-1-5(a))
 { 会聚光束(图 1-1-5(b))
 { 平行光束(图 1-1-5(c))

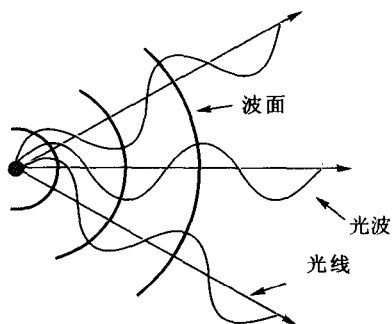


图 1-1-3 光波、波面与光线

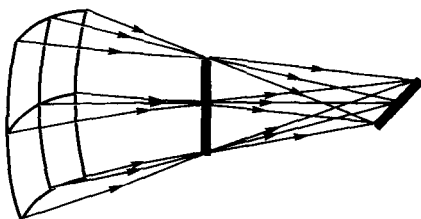


图 1-1-4 像散光束

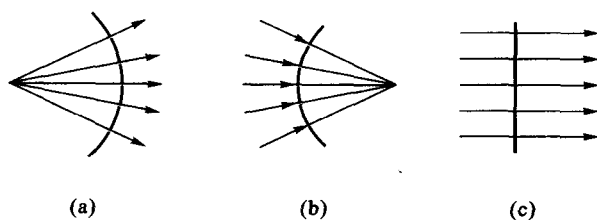


图 1-1-5 同心光束
(a) 发散光束; (b) 会聚光束; (c) 平行光束

二、几何光学的基本定律

在自然界中,光的传播现象按几何光学理论可归结为以下四个定律,它们是光学系统成像理论的基础。

(一) 光的直线传播定律

在各向同性的均匀介质中,光是沿着直线传播的。

这个定律可以解释许多自然现象,例如影子的形成、日食、月食等现象。该定律的常用验证实验有小孔成像实验。

(二) 光的独立传播定律

来自不同方向的光线在传播途中相遇时,彼此互不影响,各自独立地传播;在相交处,其相互作用是简单地相加。

例如,两支手电筒光束相交时互不影响,在相交处光能量相加,通过相交处后,各光束仍按原来的方向传播。

(三) 光的反射定律和折射定律

这两个定律就是研究光线经两种均匀透明介质光滑分界面时的传播定律。当一束光投射到这两种介质的光滑分界面上时,有一部分经界面反射回到原来介质的光线,称为反射光线;另一部分光线则通过分界面射入第二种介质,但偏折原来的方向,称之为折射光线(图 1-1-6)。这里,我们把入射光线与界面法线 N 之间的夹角 i 称为入射角;反射光线与界面法线之间的夹角 i'' 称为反射角;折射光线与界面法线之间的夹角 i' 称为折射角。并且规定,角度符号以锐角来量

度,由光线为起始轴转向法线,顺时针方向转成的角度为正,反之则为负。光线的反射和折射分别遵守反射定律和折射定律。

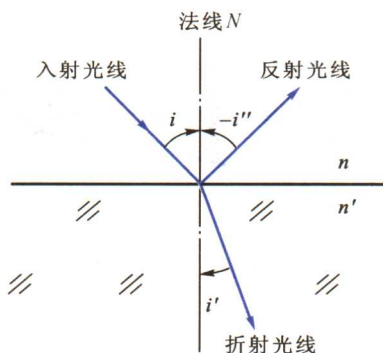


图 1-1-6 光的反射和折射

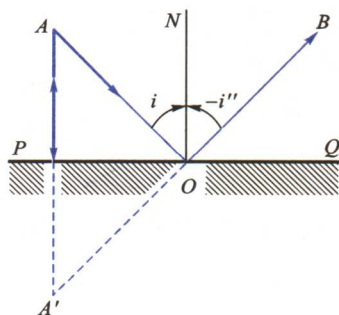


图 1-1-7 平面镜成像

1. 反射定律

入射光线、反射光线和分界面入射点处的法线三者位于同一平面内,入射角(i)和反射角(i'')二者绝对值相等且符号相反,即入射光线和反射光线分别位于法线的两侧,其表示式为

$$i = -i'' \quad (1-1-2)$$

例 1 平面镜成像。

解: PQ 是一个和图面垂直的平面镜(图 1-1-7), A 是一任意物点,由 A 点发出的任意光线 AO 经平面镜反射后,其反射光线 OB 的延长线和另一条垂直入射且按原路反射的光线 AP 的延长线相交于 A' 点,此即为物点 A 被平面镜所成之像。

2. 折射定律

入射光线、折射光线和分界面入射点处的法线三者位于同一平面内,入射角(i)和折射角(i')的正弦之比为一常数,即为两种介质的折射率之比,其表示式为

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

式中: n, n' ——分别为两种介质的折射率。

以上四个定律是几何光学中仅有的物理定律,利用它们能够说明自然界中光线的各种传播现象,因此,我们称它们为几何光学的基本定律。几何光学的所有内容,就是在这些定律的基础上运用数学方法来研究光线的传播问题。

例 2 当光线以 30° 入射角从空气射向水面,水的折射率为 1.33,问其反射光线和折射光线的方向?

解: 已知 $i = 30^\circ$, $n_{\text{空}} = 1$, $n_{\text{水}} = 1.33$, 代入反射定律公式(1-1-2), 得反射角为

$$i'' = -i = -30^\circ$$

代入折射定律公式(1-1-3), 可求得折射角为

$$i' = \arcsin\left(\frac{n}{n'} \sin i\right) = \arcsin\left(\frac{1}{1.33} \sin 30^\circ\right) = 22.08^\circ$$

(四) 光路可逆原理

一条光线从空间的 A 点沿着一定的路径传播到 B 点(图 1-1-8(a) 和 (b))。如果我们在 B 点投射一条与 B 点出射光线方向相反的光线,则此反向光线必沿原先的同一条路径通过 A 点,光线传播的这种性质称为**光路可逆原理**。在几何光学中,任何一条光线的光路都是可逆的。

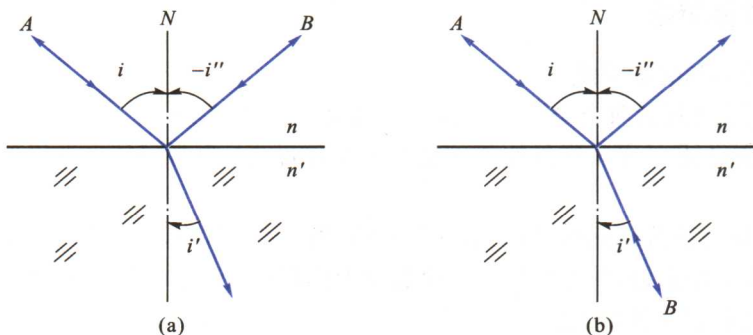


图 1-1-8 光的可逆性

(五) 光的全反射

在一般情况下,当光线在两种均匀介质分界面上折射时,必然会伴随有部分光线的反射;且随着光线入射角的增大,反射光线的强度逐渐增强,而折射光线的强度则逐渐减弱。

如图 1-1-9 所示,设光线由光密介质进入光疏介质,因为 $n > n'$,根据折射定律得到 $i' > i$ 。当入射角 i 增大时,相应的折射角 i' 也增大;同时,反射光线的强度随之增大,而折射光线的强度逐渐减小。当入射角增大到某一角度 i_m 时,折射光线沿分界面掠射出,即折射角 $i' = 90^\circ$,且强度趋近于零。当入射角 $i > i_m$ 时,折射光线不再存在,入射光线全部反射回原介质中。此现象即称为**光的全反射**。折射角 $i' = 90^\circ$ 所对应的入射角 i_m 称为**临界角**(或称**全反射角**),其可由下式求出:

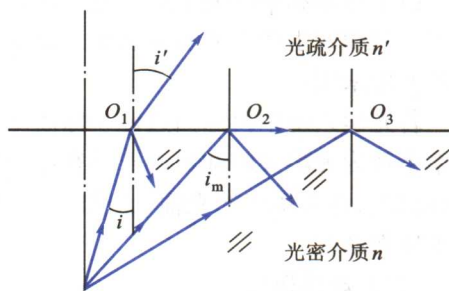


图 1-1-9 光的全反射

$$i_m = \arcsin\left(\frac{n'}{n}\right)$$

(1-1-4)

由上述分析可知,产生全反射现象必须满足下面两个条件:

- (1) 入射光线必须由光密介质射向光疏介质,即 $n > n'$;
- (2) 入射角必须大于临界角,即 $i > i_m$ 。

例 3 当光线从水中射向空气时,水的折射率为 1.33,问其产生全反射时的临界角是多少?

解: 已知 $i' = 90^\circ$, $n_{\text{空}} = 1$, $n_{\text{水}} = 1.33$,代入公式(1-1-4),得临界角为

$$i_m = \arcsin\left(\frac{n'}{n}\right) = \arcsin\left(\frac{1}{1.33}\right) = 48.75^\circ$$

全反射优于镜面反射,因为镜面的金属镀层对光有吸收作用,全反射在理论上则无光能损失。因此,全反射在光学仪器和光学技术中有着重要而又广泛的应用。例如,常利用全反射棱镜代替平面反射镜来转折光路,如图 1-1-10 所示。另外,用来导光和传像的光学纤维,也都是应用了全反射原理。

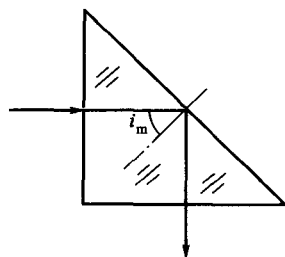


图 1-1-10 全反射棱镜

三、基本成像概念

(一) 光学元件和光学系统

人们所设计制造的各种光学仪器,其核心部分是光学系统。所有光学系统都是由若干光学零件按照一定方式组合而成。最常用的光学零件主要有:

1. 透镜

这里主要指折射面为球面的透镜,故也称球镜,按其作用和形状可分为两大类:一类为正透镜,又称凸透镜或会聚透镜,其作用是对光束起会聚作用;另一类为负透镜,又称凹透镜或发散透镜,其作用是对光束起发散作用。

2. 反射镜

按形状特征可分为平面反射镜和球面反射镜。球面反射镜又可分为凸面镜和凹面镜,其中凹面镜的作用同凸透镜,而凸面镜的作用同凹透镜。

3. 棱镜

按其作用和性质,可分为反射棱镜和折射棱镜。

由于球面和平面便于加工生产,因此,目前使用的光学零件,其光学表面多数由球面或平面构成。但随着生产工艺水平和加工技术的提高,光学成像性能优异的非球面光学零件正在被越来越多地采用。

若光学系统单由球面透镜和球面反射镜组成,称之为球面系统,在此系统中,平面可看作是曲率半径为无限大的球面。若所有球面的球心均处于同一条直线上,则该直线就是整个系统的对称轴线,称为系统的光轴,这样的系统称为共轴球面系统。目前使用的绝大部分光学系统都是共轴球面系统。

(二) 成像概念

凡是被成像的物体,其表面均可认为是由无数个发光点组成的。在均匀介质中,每个发光点均向光学系统发射出一束波面为球面的同心光束。

光学系统的基本作用是进行光束变换,也就是接收由物体表面各点发出的同心光束,经过系统的一系列折射和反射后,变换成为一个新的同心光束,最终生成物体的像,被人眼或其他接收器接收。

如图 1-1-11 所示,由物点 A 发出的一束发散光束,经过含有 k 个光学面的光学系统后,出射成为一束会聚于像点 A' 的会聚光束。这里, A' 是物点 A 的唯一像点,因此, A 和 A' 之间具有一一对应关系,称之为物像共轭关系。物点、像点之间的沿轴距离称为共轭距。这种入射为一同心光束,出射系统后仍为一同心光束,称为光学系统的完善成像。此时,物点、像点之间所有光线的光程相等,因此,等光程是光学系统理想成像的条件。若一同心光束经光学系统出射后变为非同轴光束(如像散光束),则称为不完善成像。此时,就得不到一个清晰点像,而只能是一个模糊的

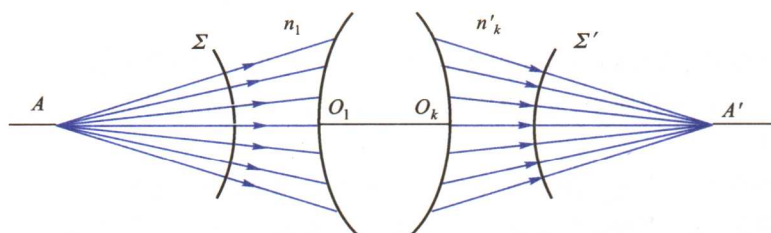


图 1-1-11 理想成像系统

弥散光斑。

由实际光线会聚的点称为实像点,由这样的点构成的像称为实像。实像可以直接被像屏、底片或光电器件等接收或记录。由实际光线的延长线相交所形成的物点或像点称为虚物点或虚像点,由这样的点构成的物或像称为虚物或虚像。虚像能被眼睛观看,但不能被像屏或其他接收面所接收。

图 1-1-12 所示为四种物像关系:(a)是实物成实像;(b)是虚物成实像;(c)是实物成虚像;(d)是虚物成虚像。

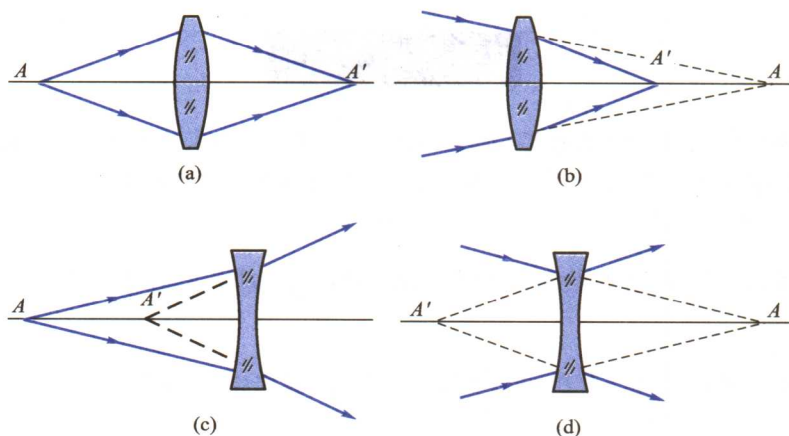


图 1-1-12 四种物像关系

(a) 实物成实像; (b) 虚物成实像; (c) 实物成虚像; (d) 虚物成虚像

值得注意的是:物和像是相对的,前面光学系统所生成的像,即为后一个光学系统的物。例如,虚物通常就是前面一个光学系统所成的像。

通常把物体(包括虚物)所在的空间称为物空间;像(包括虚像)所在的空间称为像空间。几何光学中规定光线自左向右传播,则整个光学系统第一面左方的空间为实物空间,第一面右方的空间为虚物空间;整个光学系统最后一面右方空间为实像空间,最后一面的左方空间为虚像空间。显然,物空间或像空间都是可以向整个空间无限扩展的。那种认为只有光学系统第一面左方的空间是物空间,光学系统最后一面的右方空间才是像空间的看法,显然是错误的。

小结

(1) 几何光学中,光线被认为是既无直径又无体积,但有一定方向的几何线,用来表示光能传播的方向。在均匀介质中,光是沿着波面的法线方向传播的,因此,光线就相当于光波的波面法线。

(2) 若光线在折射率为 n 的介质中传播距离为 l ,则乘积 nl 就称为该光线的光程。

(3) 光束分同心光束和非同心光束。同心光束所对应的光波是以发光点或会聚点为球心的球面波,同心光束就是这些球面波波面的法线束。非同心光束中,像散光束的特点是其光束会聚后会产生前、后两条互相垂直但不相交的焦线。

(4) 几何光学理论的四个基本定律是光学系统成像理论的基础。

(5) 光的全反射须满足的两个条件:① 入射光线必须由光密介质射向光疏介质,即 $n > n'$;② 入射角必须大于临界角,即 $i > i_m$ 。

(6) 光学系统的完善成像条件就是入射为一同心光束,出射系统后仍为一同心光束,即物像共轭点之间所有光线的光程相等。

思考题

(1) 试举出日常生活所见有哪些符合几何光学四个基本定律的例子,并说明其应用。

(2) 一块折射率为 1.5 的直角等腰棱镜,浸没在折射率为 1.33 的水中,光自一个直角棱面垂直入射,问能否发生全反射?

(3) 小孔成像实验中,如果物体与其像相距 120 cm,而且其像高是物高的 $\frac{1}{3}$,问小孔的位置离物体有多远?

(4) 光线能从弯曲的光学纤维一端传递至另一端,这是否与光在均匀介质中的直线传播定律相矛盾?

第二节 球面和共轴球面系统的理想成像

实际中使用的光学系统绝大部分是共轴球面系统,常见的如单透镜成像或组合透镜成像,其成像问题(本节主要讨论其理想成像问题)实质上就是光线的传播问题。由于光线经过光学系统时是逐面进行折射或反射的,所以光线的光路计算也是逐面进行,最后确定出像的位置和大小,因此,这里首先对单个折射球面的成像进行讨论。之后,再过渡到整个光学系统,并对理想光学系统的成像问题展开讨论。

一、单折射球面的成像

在图 1-2-1 中,折射球面的半径为 r ,经过球心 C 的直线称为光轴,光轴与球面的交点 O

称为该折射球面的顶点,处于折射球面两边的介质折射率分别为 n 和 n' 。从位于光轴上的任一物点 A 发出的入射光线,将遵循几何光学基本定律所确定的规律传播,经球面折射后,出射光线与光轴相交于 A' 点,此 A' 点即称为物点 A 的像。当折射球面的结构参数(n, r, n')已知时,只要能够由入射光线的位置求出其相应的出射光线位置,即可确定其成像问题。

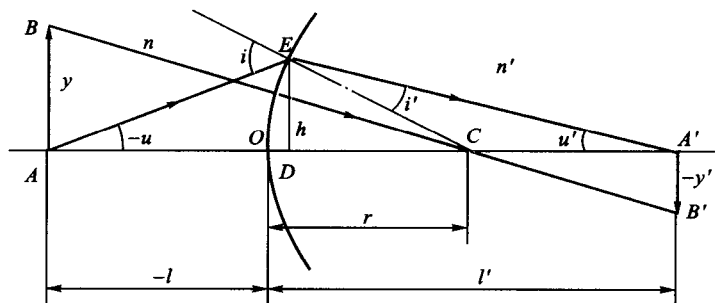


图 1-2-1 单球面折射

我们把包含光轴的平面,称为子午面,上面的图平面就是子午面。对于子午面内的物方入射光线 AE ,其位置可由两个参量来确定,一个是折射面顶点 O 到轴上物点 A 的距离 OA ,称为物距,以 l 表示;另一个是入射光线与光轴的夹角 $\angle EAO$,称为物方孔径角,以 u 表示。光线 AE 经球面折射后,其对应的像方出射光线 EA' 仍在子午面内,其位置也可由相应的两个参量来表示,其中一个为折射面顶点 O 到轴上像点 A' 的距离 OA' ,称为像距,以 l' 表示;另一个是出射光线与光轴的夹角 $\angle EA'O$,称为像方孔径角,以 u' 表示。

(一) 符号规则

以上对光线的描述实际上还不够确切,因为光线和光轴的交点在折射面顶点 O 的左边还是右边,光线在光轴之上还是在光轴之下均未加以区分,此外,折射球面可以是凸的,也可以是凹的。为了使确定光线的参量具有更确切的含义,并使下面将要导出的光线成像计算公式及其他计算公式,对所有的各种成像情况都能普遍适用,必须对这些光线成像计算有关量的符号加以规定。

1. 线段

其符号与数学中所采用的笛卡儿坐标方向一样,规定由左向右为正,由下向上为正;反之则为负。光线传播方向,我们规定为自左向右传播。

沿轴线段:如 l, l' 和 r 以折射面顶点为原点,如果由原点到光线与光轴的交点或球心的方向与光线的传播方向相同,其值为正,反之为负。

垂轴线段:如物高 y 和像高 y' 以光轴为界,向上者为正,反之为负。

2. 角度

一律以锐角来度量,规定顺时针方向为正,逆时针方向为负。各角度参量的起始轴和转动方向为:

物方孔径角 u 和像方孔径角 u' ——以光轴为起始轴转到光线;

入射角 i 和折射角 i' ——以光线为起始轴转至法线。

值得注意的是,一般光路图中的所有几何量都以绝对值标注,因此,对于负的线段和角度必须在表示该几何量的字母或数字前加一负号。

(二) 单球面近轴区的物像关系

通常,单球面成像是**不完善的**。从一定位置的轴上物点 A 发出的不同孔径角 u 的光线,经单球面折射后将与光轴交于不同的位置(图 1-2-2)。

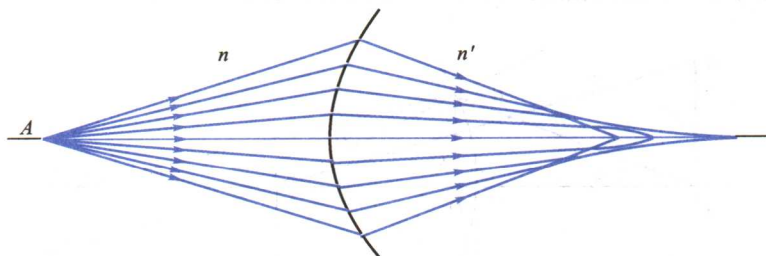


图 1-2-2 单球面成像的不完善性

当 u 很小时,即它的正弦值可近似地用弧度值来代替,此时的光线很靠近光轴,通常称之为**近轴光线**。近轴光线所在的区域称为**近轴区**。

假如轴上物点仅以近轴光线成像,则其像点位置 l' 只随物点位置 l 而变化,而与孔径角 u 无关。这就是说,在近轴区内其成像是完善的,即一个物点对应于一个唯一的像点,物像之间具有共轭关系。通常把近轴光线所成的像点称为**高斯像点**。通过高斯像点且垂直于光轴的像面称为**高斯像面**。近轴区中,物像共轭的常用位置关系式为

$$\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n' - n}{r} \quad (1-2-1)$$

上式也称为单球面的高斯公式。当折射球面的结构参数 n, r, n' 已知时,由公式(1-2-1)可知,像点位置随物点位置不同而变化。

近轴区中的物像大小关系一般由**横向放大率**(也称垂轴放大率) β 来确定,此即像高与物高之比,结合图 1-2-1 中的几何关系,可得其关系式为

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{nl'}{n'l} \quad (1-2-2)$$

此式表明,折射球面的横向放大率仅取决于介质的折射率和物体的位置,而与物体的大小无关。当 n 和 n' 一定时,像的位置和大小随着物体的位置改变而变化。对于确定的一对共轭面,则横向放大率为一常数,这表明像与物相似。

对横向放大率 β 的讨论:

(1) 当 $\beta < 0$ 时, l 与 l' 异号,即物、像分居折射面两侧;此时表示成倒像,像的虚实与物一致,即实物成实像或虚物成虚像。

(2) 当 $\beta > 0$ 时, l 与 l' 同号,即物、像位于折射面的同侧;此时表示成正像,像的虚实与物相反,即实物成虚像或虚物成实像。

(3) 当 $|\beta| > 1$ 时,表示成放大像; $|\beta| < 1$ 时,表示成缩小像。

(三) 单球面的焦距和焦度

位于无穷远($l = -\infty$)的轴上物点,即光线平行于光轴入射,被折射球面所成的像点称为**像**

方焦点(也称后焦点或第二焦点),以 F_2 表示(图 1-2-3)。折射球面顶点 O 至像方焦点 F_2 的距离 OF_2 ,称之为像方焦距(也称后焦距或第二焦距),以 f' 表示,其表示式为

$$f' = \frac{n' r}{n' - n} \quad (1-2-3)$$

与之相应,能使球面对其成像于像方无穷远的光轴上(即其像方出射光线平行于光轴出射所对应)的物点,称为物方焦点(也称前焦点或第一焦点),以 F_1 表示;而对应于 $l' = \infty$ 的物距 OF_1 ,称为物方焦距(也称前焦距或第一焦距),以 f 表示为

$$f = -\frac{n r}{n' - n} \quad (1-2-4)$$

在公式(1-2-1)中,对于给定物距 l 的物点,随球面半径 r 和两边介质折射率 n 和 n' 的不同,其所成像的位置 l' 也不同。因此,此公式右边的项 $\frac{n' - n}{r}$ 是一个表征折射球面光学特性的量,称为单折射球面的屈光力(也称光焦度,简称焦度),用字母 F 表示,其单位为屈光度(D)。1 屈光度定义为在空气中焦距为 1 m 的单折射球面的屈光力。

比较以上两个公式,可得单折射球面的屈光力和焦距之间的关系为

$$F = \frac{n' - n}{r} = \frac{n'}{f'} = -\frac{n}{f} \quad (1-2-5)$$

由以上公式可知,当 $f' > 0$ 时像方焦点位于球面顶点右边,此是由实际平行光束会聚而成的实焦点;反之,若 $f' < 0$ 时,则像方焦点位于球面顶点的左边,这是由发散光束的延长线相交而成的虚焦点。所以,焦距或屈光力的正负决定了折射面对光束的会聚或发散特性,即当 $F > 0$ 时,折射面对光束起会聚作用;当 $F < 0$ 时,折射面对光束起发散作用。

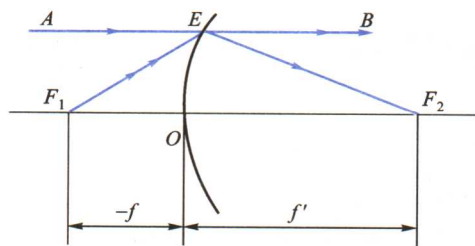


图 1-2-3 单球面的焦点和焦距

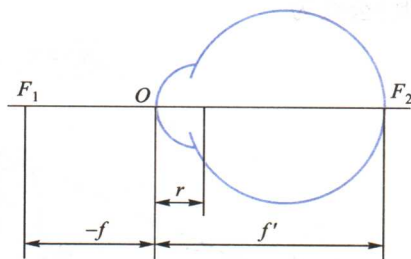


图 1-2-4 简略眼示意图

例 1 有一简略眼(图 1-2-4),已知角膜的曲率半径 $r = 5.6 \text{ mm}$,眼内屈光介质的折射率为 1.33,问:

- (1) 此简略眼的前、后焦距和总屈光力分别为多少?
- (2) 如果有一大小为 50 mm 的视标位于眼前 5 m 处,其在眼内所成的理想像的位置和大小是多少?

解: 已知 $r = 5.6 \text{ mm}$, $n' = 1.33$, $n = 1$ 。