

上海市教育委员会高校重点教材建设项目

上海市教育委员会组编

工程光学

李湘宁 主编



科学出版社

www.sciencep.com

上海市教育委员会高校重点教材建设项目
上海市教育委员会组编

工 程 光 学

李湘宁 主 编

李湘宁 贾宏志 编
朱维涛 曹俊卿

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书系统地介绍了几何光学和波动光学的基础理论。全书共分14章。前9章以几何光学为基础,介绍了几何光学的基本定律、球面系统和平面系统的成像规律、高斯光学的基本理论及像差的基本概念,并介绍了典型光学系统和部分现代光学系统的原理和特性;第10~14章以波动光学为基础,介绍了光的电磁理论,光的干涉、衍射、偏振等波动性质及应用,并介绍了现代光学的发展。两部分内容构成了经典光学的完整体系。本书针对相关内容的重点和难点,作了深入浅出的阐述,并精心安排了有代表性的例题,部分章节附有习题,并在书末附有部分习题答案。

本书可作为高等院校光学工程、测控及电子信息等相关专业的本科生和研究生的专业基础课教材,还可作为有关工程技术人员的参考或学习用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程光学/李湘宁主编. —北京:科学出版社,2005

ISBN 7-03-015500-9

I. 工… II. 李… III. 工程光学—高等学校—教材 N. TB133

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第045591号

责任编辑:马长芳 姚庆爽 / 责任校对:钟 洋

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

原创阳光印业有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年8月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2005年8月第一次印刷 印张:22

印数:1—3 000 字数:433 000

定价:29.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

自 20 世纪 60 年代初期激光的出现,开始了现代光学的发展进程,出现了许多新的学科分支。现代工程光学在认识世界、改造世界的实践中已取得了一系列变革性的进展,并正在对高科技、国防建设、国民经济与人民生活产生巨大的影响。但是,现代光学仍然离不开作为基础理论的几何光学和波动光学。随着现代光学成为 21 世纪的重要学科,人们也愈加重视工程光学的普及教育。

本书是工程光学的专业基础课教材,全书分为几何光学和波动光学两大部分。第 1~9 章为几何光学篇,系统地介绍了几何光学的基本定律、光学系统基本成像元件的成像规律和高斯光学理论,介绍了光学系统的光束限制及其应用、像差的基本概念,在这些基本理论的基础上介绍了典型光学系统的工作原理、主要性能和特点,并介绍了部分现代光学系统的原理及应用;第 10~14 章为波动光学篇,介绍了光的电磁理论,光的干涉、衍射、偏振等波动性质及应用,并介绍了激光及非线性光学等光学新成就。这两大部分内容构成了经典光学的完整体系。本教材在着重介绍经典光学基本理论的基础上,增加了现代光学的部分内容,目的是让读者在掌握工程光学基本理论的同时,也对现代光的理论及现代光学系统的原理有一定的了解,拓宽知识面,并使读者在了解这些内容后有自己接受和理解日新月异的新成果和新技术。

本书从面向应用的角度,在几何光学和波动光学两大部分的比例安排上选择了侧重前者,二者比例为 3 : 2,有别于目前国内的一些同类教材,这样的安排与目前很多学校的相关专业(如测控技术与仪器、电子信息、机电工程、医疗器械等)实际对“工程光学”课程的教学计划需求相一致。本教材的参考学时为几何光学 48 学时(3 学分),波动光学 32 学时(2 学分)。

本书的主要参编者,均具有多年从事工程光学课程的本科生、研究生教学经验及相关的科研工作实践经验。我们认为,作为工科学生,基本理论的掌握和实际应用应该是并重的,因此对这本针对工科学生的教材,我们在编写中尽量避免繁难的数学推导,强调物理概念的阐述,理论联系实际,注重实用性和先进性。在写作方法上力求深入浅出、循序渐进,尽可能地将抽象的概念形象化和通俗化,便于读者阅读和自学。为了加深对教材内容的理解和掌握,提高解决实际问题的能力,在主要的章节里都选编了例题,部分章节附有习题,并在书末给出了部分习题的参考答案,以满足读者的自学需求。

本书是上海市教育委员会组编的高校重点教材建设项目,李湘宁任主编,贾宏

志、朱维涛、曹俊卿等也参加了编写。具体分工为,李湘宁编写第1~6章,朱维涛编写第7、8章,李湘宁和朱维涛共同编写第9章,贾宏志编写第10~12、14章,曹俊卿编写第13章。上海理工大学贺莉清教授和滕家炽教授分别审阅了几何光学和波动光学的书稿,并为本书的撰写提出了许多建设性的意见,郭汉明、徐欢、周果为本书的附图、习题等付出了辛勤的劳动,在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中,参阅了大量的参考文献,在此也向这些文献作者表示谢意。

由于时间仓促及作者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编者

2005年5月

目 录

前言

第 1 章 几何光学的基本定律和物像概念	1
1.1 几何光学的基本定律	1
1.2 光学系统的物像概念	6
习题.....	7
第 2 章 共轴球面光学系统	9
2.1 符号规则	9
2.2 物体经单个折射球面的成像.....	11
2.3 单个反射球面的成像.....	19
2.4 共轴球面系统的成像.....	20
习题	23
第 3 章 理想光学系统	25
3.1 理想光学系统的共线理论.....	25
3.2 理想光学系统的基点与基面.....	26
3.3 理想光学系统的物像关系.....	30
3.4 理想光学系统的多光组成像.....	39
3.5 实际光学系统的基点和基面.....	50
习题	56
第 4 章 平面系统	59
4.1 平面镜.....	60
4.2 反射棱镜.....	63
4.3 平行平板.....	68
4.4 折射棱镜和光楔.....	75
习题	78
第 5 章 光学系统的光束限制	81
5.1 概述.....	81
5.2 孔径光阑.....	83
5.3 视场光阑.....	87
5.4 渐晕光阑及场镜的应用.....	91
5.5 景深和焦深.....	95

习题	100
第 6 章 像差概论	103
6.1 轴上点球差	103
6.2 彗差	109
6.3 细光束像散	113
6.4 细光束场曲	116
6.5 畸变	118
6.6 色差	121
习题	127
第 7 章 光度学与色度学基础	129
7.1 眼睛的结构及其视觉特性	129
7.2 辐射度量和光度量及其单位	131
7.3 光度学中的基本定律	136
7.4 光学成像系统像面的光照度	140
7.5 人眼的颜色视觉理论	142
7.6 颜色视觉特性参数描述	143
7.7 CIE 标准色度系统	144
7.8 均匀颜色空间及色差计算	151
习题	154
第 8 章 典型光学系统	155
8.1 眼睛的光学成像特性	155
8.2 放大镜	161
8.3 显微镜系统	164
8.4 望远镜系统	174
8.5 目镜	178
8.6 摄影系统	180
8.7 投影系统	186
习题	190
第 9 章 现代光学系统	192
9.1 光纤光学系统	192
9.2 激光光学系统	201
9.3 红外光学系统	208
第 10 章 光的电磁理论基础	219
10.1 光的电磁性质	219
10.2 几种简单的光波场	223

10.3	光波的叠加	228
10.4	平面光波在两种电介质分界面上的反射和折射	232
	习题	242
第 11 章	光的干涉	245
11.1	光波干涉条件和杨氏干涉实验	245
11.2	干涉条纹的可见度	248
11.3	平板的双光束干涉	254
11.4	平板干涉的应用	262
11.5	平行平板的多光束干涉及其应用	268
11.6	光学薄膜	275
	习题	279
第 12 章	光的衍射	281
12.1	光波的标量衍射理论	282
12.2	菲涅耳衍射	285
12.3	夫琅和费衍射	289
12.4	光学成像系统的衍射和分辨本领	297
12.5	衍射光栅	299
	习题	302
第 13 章	光的偏振	305
13.1	矢量波、矢量波的数学描述和偏振光概述	305
13.2	晶体的双折射	308
13.3	晶体偏振器件及其数学描述	314
13.4	偏振光的干涉	320
	习题	323
第 14 章	激光原理及非线性光学简介	325
14.1	激光原理	325
14.2	非线性光学	333
	习题答案	338
	参考文献	343
	附录	344

第 1 章 几何光学的基本定律和物像概念

光学是研究光的本性、光的传播、光与物质的相互作用以及光的实际应用的科学。近代物理学的观点认为,光具有波粒二象性,然而,除了在研究光的发射和吸收等与物质相互作用的情况下必须考虑光的粒子性及运用量子理论之外,光主要以波动的形式存在着。光的本质是电磁波,波谱范围通常是从远红外到真空紫外,而其中的可见光波段仅仅处在 $0.4\sim 0.76\mu\text{m}$,当光的外观表现为波动性时,光以波的方式传播,遵循波动理论。

研究光的传播离不开光学系统。光学系统的主要作用是传输光能和对研究的目标成像,用波动光学理论能够很精确地讨论光经过光学系统的传播规律和成像问题,但具有相当的复杂性。通常在解释光学成像和设计光学系统时,采用几何光学的研究方法。所谓几何光学,就是把光的概念和几何学中的点、线、面有机地联系起来,利用简便而实用的几何学方法来研究光的传播以及目标经过光学系统后的成像规律。几何光学忽略了光的波动本性,以某种近似来研究光的传播,这种方法对于所研究对象的尺寸远大于光的波长的场合是成立的。工程应用中的大多数光学系统的结构尺寸都远大于波长,用几何光学得出的结果与宏观现象非常吻合,因此,在这些情况下应用几何光学来研究光学系统具有足够的精度。尽管用几何光学对光的研究只是真实情况的一种近似,但由于研究和解决问题的方法较之波动光学简单得多,使得这一理论得以广泛地应用和不断地发展。本书前 9 章的内容就是以几何光学为基础来讨论光的传播规律及光学系统的成像特性。

1.1 几何光学的基本定律

1.1.1 几何光学的点、线、面

几何光学把光源和物体看作是由许多几何发光点组成,经过光学系统所成的像也由许多的几何点组成。物面或像面上的每一点,代表着该点附近的小面元。

在波动光学中,光波沿着波面的法线方向传播。几何光学将光波的传播抽象成几何线一样的光线,这些光线相当于波面的法线,它代表了光的传播方向。一个点光源发出的光波由一束光线(法线束)表示,根据光波的特点,平面波对应于平行光束,球面波对应于同心光束,像散波对应于像散光束,各类光束及对应的波面见图 1-1。

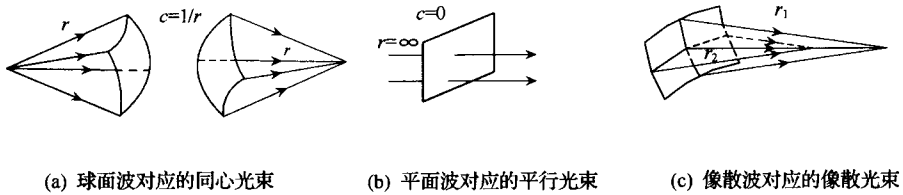


图 1-1 光束的分类

1.1.2 几何光学的基本定律

几何光学的基本定律决定了光线在通常情况下的传播方式,它是我们研究光学系统成像规律以及进行光学系统设计的理论依据。

1. 光的直线传播定律

在各向同性的均匀介质中,光沿着直线传播,这就是光的直线传播定律。根据这一定律,光在均匀介质和空气中走的都是直线。这一定律忽略了光作为电磁波的衍射特性。用光的直线传播定律可以解释日食、月食等自然现象,也可以解释光照射物体时为什么会出现影子等类似问题,小孔成像正是利用了光的直线传播定律。

2. 光的独立传播定律

当两束或多束光在空间相遇时,各光线的传播不会受其他光线的影响,这就是光的独立传播定律。按照这一定律,光束相交处的光强是一种简单的叠加,忽略了光作为电磁波的相干特性。应用这一定律在分析光线的传播时,不必考虑光线之间的相互影响。

3. 光的折射定律和反射定律

当一束光线由折射率为 n 的介质射向折射率为 n' 的介质时,在两种透明介质的分界面上,一部分光线将被反射,另一部分光线将被折射,如图 1-2 所示。反射光线和折射光线的传播方向遵循反射定律和折射定律。

1) 反射定律

反射定律指出入射光线、光线在界面入射点处的界面法线以及反射光线三者共面,入射光线与反射光线分居于法线的两侧,且入射角 I 与反射角 I'' 绝对值相等,即

$$I = -I'' \quad (1-1)$$

入射角与反射角的符号是这样确定的:由光线转向法线,顺时针为正,逆时针为负。

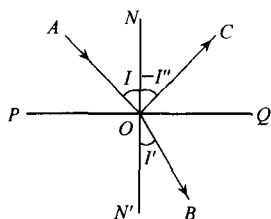


图 1-2 光线的折射与反射

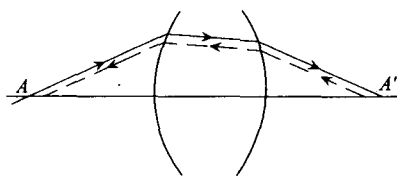


图 1-3 光路的可逆性

反射定律表明,入射光线与反射光线对称于法线,负号表示两者的传播方向相反。

2) 折射定律

折射定律指出,入射光线、光线在界面入射点处的界面法线以及折射光线三者共面,入射角 I 与折射角 I' 之间满足下列关系式:

$$n \sin I = n' \sin I' \quad (1-2)$$

折射定律说明,光线折射后将发生偏转,当光线从低折射率介质射向高折射率介质(如从空气射向玻璃)时,光线向靠近法线的方向偏转(折射角小于入射角),反之则偏离法线(折射角大于入射角)。

在折射定律(1-2)中,若令 $n' = -n$,则得到反射定律(1-1),因此,可以将反射定律看作是折射定律的一个特例。根据这一特点,在光线反射的情况下,只要令 $n' = -n$,所有对折射光线传播的计算也适用于反射光线。

根据以上几何光学的基本定律,可以得出光线的传播具有可逆性。如图 1-3 所示,光线遵循几何光学的基本定律从 A 点沿一定路径(图中实线)传播到 A' 点,若此时从 A' 点沿到达光线的反方向射出一条光线(图中虚线),按照光的直线传播定律和折射定律,很容易判断得出,光线将沿同一路径的反方向到达 A 点,光线的这种传播特性称为光路的可逆性。利用这一特性,我们不但可以确定物体经光学系统所成的像,也可以反过来由像确定其目标的位置。在光学系统的计算和设计中,经常利用光路的可逆性来计算和设计光学系统,提高计算的精度。

3) 全反射

按照折射定律,当光线从光密介质射向光疏介质,即 $n > n'$ 时,折射角大于入射角,当入射角逐渐增大达到某一角度 I_c 时,光线的折射角增大至 90° ,光线经界面掠射。继续增大入射角,折射光线消失,所有的光线将反射回原介质中,这种现象称为全反射,如图 1-4 所示。 I_c 称为全反射的临界角,由折射定律可得

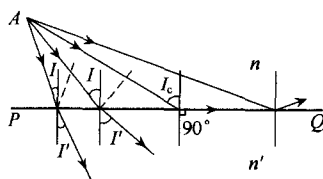


图 1-4 光线的全反射

$$I_c = \arcsin \frac{n'}{n} \tag{1-3}$$

光线发生全反射必须同时具备两个条件：①光线由光密介质射向光疏介质；②光线的入射角大于临界角 I_c 。

全反射具有很重要的应用，下面列举两种全反射的应用实例。

全反射棱镜 如图 1-5 所示为一直角棱镜，光线从棱镜的一个界面入射，折射后射向棱镜的斜面，在该斜面上满足全反射的两个条件而发生全反射，再经棱镜的另一个面出射，该直角棱镜使垂直入射的光线传播方向改变了 90° 。利用全反射棱镜来反射光线较之用普通平面反射镜有更高的反射率(一般认为全反射的反射率为 1)，且反射面在玻璃内部受到保护，不易被空气中的化学成分腐蚀。

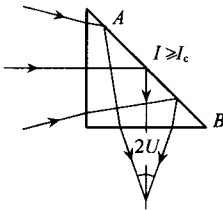


图 1-5 全反射棱镜

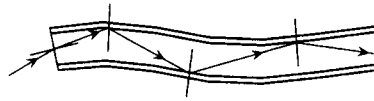


图 1-6 全反射光纤

全反射光纤 如图 1-6 所示为一光纤的截面，在一个折射率较高的玻璃纤维外包裹着一层较低折射率的介质，光线经光纤的一端射入，在玻璃纤维的边界处受到全反射，连续不断的全反射使光线从纤维的一端传播到另一端。光纤细且柔软，许许多多的光纤组成的光纤束能做成内窥镜探入人体内部，用于传播光能和图像。在通信系统中光纤也替代了传统的电缆广泛应用于现代通信。

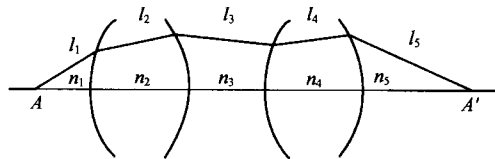


图 1-7 光线路径与光程

1.1.3 费马原理

费马原理与几何光学的基本定律一样，也是描述光线传播规律的基本理论。它以光程的观点描述光传播的规律，涵盖了光的直线传播和光的折射、反射规律，具有更普遍的意义。

根据物理学，光在介质中走过的几何路程与该介质折射率的乘积定义为光程。

设介质的折射率为 n , 光在介质中走过的几何路程为 l , 则光程 s 表示为

$$s = nl$$

在图 1-7 中, 如果光线从 A 点传播到 A' 点, 经过了 k 个介质, 走过的路径各为 l_1, l_2, \dots, l_k , 则光线经历的光程为

$$s = \sum_{i=1}^k n_i l_i$$

若光线经历的介质变化是连续的, 则光程可用积分表示为

$$s = \int_A^B n dl$$

费马原理指出, 光从一点传播到另一点沿的是极值光程路径。即光沿光程为极大值、极小值或常量值的路径传播, 其数学表示为光程的一阶变分为 0, 即

$$\delta s = \delta \int_A^B n dl = 0 \quad (1-4)$$

至于光程走的是极大值还是极小值, 这要取决于折射表面的曲率及两点之间的位置, 大多数情况下是极小值。费马原理可以用来证明光的直线传播定律和光的折射、反射定律。例如, 在均匀介质中, 两点间以直线距离为最短, 故按照费马原理, 光线应当走直线, 光的直线传播定律即可得到证明。费马原理同时也能说明光在非均匀的介质中走的是曲线, 如图 1-8 所示。

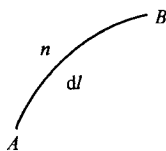


图 1-8 光在非均匀介质中的曲线传播路径

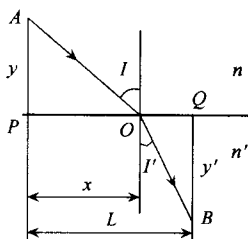


图 1-9 用费马原理证明折射定律

例 1-1 用费马原理证明光的折射定律。

证明 光线在两透明介质表面的折射情况如图 1-9 所示, 从 A 点和 B 点分别作界面的垂线 AP 、 BQ , 并令其长度分别为 y 和 y' , 则 A 点到 B 点的光程为

$$(AOB) = nAO + n'OB = n\sqrt{x^2 + y^2} + n'\sqrt{(L-x)^2 + y'^2}$$

光程为极值的条件为

$$\frac{d(AOB)}{dx} = \frac{n2x}{\sqrt{x^2 + y^2}} + \frac{-n'2(L-x)}{\sqrt{(L-x)^2 + y'^2}} = 0$$

将上式化简,并注意到 $\sin I = \frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}$, $\sin I' = \frac{L-x}{\sqrt{(L-x)^2+y'^2}}$,代入上式并整理得

$$n \sin I = n' \sin I'$$

即得到证明。读者可以自己证明光的反射定律。

1.2 光学系统的物像概念

光学系统的主要功能之一是对物体目标成像。要掌握光学系统的成像规律就必须首先理解物和像的概念。

光学系统对目标物体成像,目标发出的光线在未经过光学系统传播之前都称为物方光线,物方光线的会聚点称之为物,经过光学系统传播之后的光线则称为像方光线,像方光线的会聚点称之为像。按照光线传播的方向,物体有实物和虚物之分,像也有实像和虚像之分。从几何光学的意义上说,实际光线能够相交的点为实点,实际光线延长后才能相交的点为虚点。因此,物方光线实际相交的点为实物点,物方光线延长后相交的点为虚物点。同样,像方光线实际相交的点为实像点,延长后相交的点为虚像点。客观存在的物体由于能实际发光(可以自身发光,也可以是受照后发光),都被看作是物方光线的会聚点,因此都是实物,而虚物一般不会独立存在,往往产生于前一光学系统所成的实像,这一实像相对于下一成像系统成了虚物,见例题 1-2。实像因为有实际光线相交,可以用接收屏得到其图像,如照相底片、电影银幕等。而虚像得不到实际的光线会聚点则无法用屏接收,但虚像可以用眼睛观察,如望远镜成像和反射镜成像。图 1-10 中分别表示了物体成像的四种不同情况。

物空间是物体所在的介质空间,而像空间则是像所在的介质空间,每个空间的介质形式上都是以界面分割的。但由于物和像都可能存在实或虚的情况,因此,随着任一空间的光线的延长(注:计算和分析时常需要延长光线),该空间也被认为可以延伸其空间范围。例如,光线在进入光学系统前(折射、反射前),无论向哪个方向延长,都认为是物方光线,光线的延长相当于延伸了物方空间,计算该光线时应采用物方空间介质的折射率。同样,光线经光学系统出射后(折射、反射后),无论向哪个方向延长,都认为是在像方空间,应使用像方空间介质的折射率计算。

光学系统的物和像具有广义,它们都是相对于某一成像系统而言的,如果一个物体依次经过几个系统成像,则前一个系统所成的像便成为下一系统的物,如此不断成像后得到最终的像。因此物和像的概念并不是绝对的。对于连续成像的系统,物与像的角色在具体情况下发生变化,计算时应取相应空间介质的折射率。下面我们通过例题说明光学系统的物像关系。

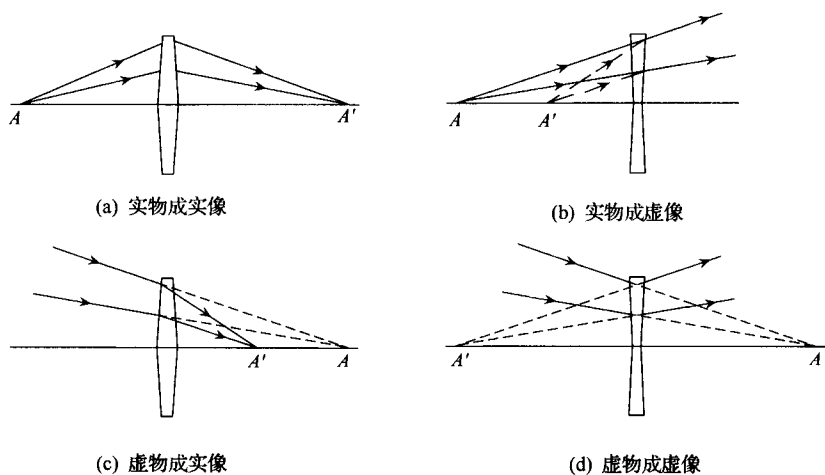


图 1-10 光学系统的几种物像关系

例 1-2 光学系统由图 1-11 中四个子系统 I、II、III 和 IV 组成,对 A 物体成像。根据图中的成像光线,说明各子系统的物、像关系。

解 光学系统将物点 A 最终成像于 A' ,因此 (A, A') 分别是整个系统的物和像,而 (A_1, A'_1) 、 (A_2, A'_2) 、 (A_3, A'_3) 和 (A_4, A'_4) 分别是子系统 I、II、III 和 IV 的物和像。其中 A_1 是系统 I 的实物,也是整个系统的实物 A ; A'_1 是子系统 I 的虚像,又是系统 II 的实物 A_2 ; 系统 II 的实像 A'_2 , 又是系统 III 的虚物 A_3 ; 系统 III 的实像 A'_3 , 又是系统 IV 的实物 A_4 ; 最后, A'_4 是系统 IV 的实像,也是整个系统的实像 A' 。

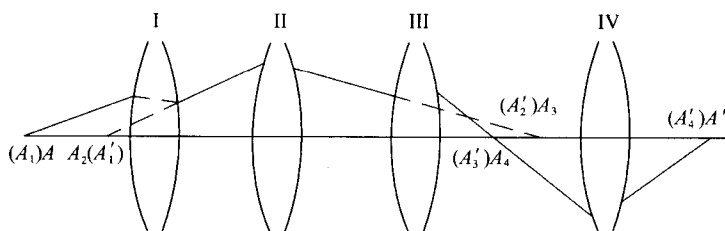


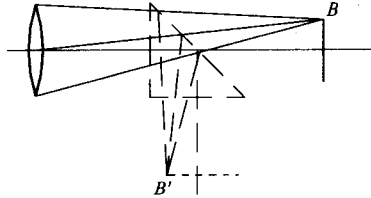
图 1-11 多光组系统的成像与物像关系

习 题

1-1 举例说明光传播中符合几何光学各基本定律的现象和应用。

1-2 光线由水中射向空气,求在界面处发生全反射时的临界角。当光线由玻璃内部射向空气时,临界角又为多少? ($n_{\text{水}}=1.333, n_{\text{玻璃}}=1.52$)。

1-3 如图所示,某通光口径为 15mm 的透镜出射的一束光线会聚于像方的 B 点, B 点所在面距透镜 100mm。现用一个 $n=1.5163$ 的直角反射棱镜转折光线 90° ,若要使经透镜出射的光束能被棱镜全部反射,问光束的中心光线(称主光线)的最大角度(称视场角)为多少?



第 1-3 题图

1-4 一根没有外包层的光纤折射率为 1.3,一束光线以 u_1 为入射角从光纤的一端射入,利用全反射通过光纤,求光线能够通过光纤的最大入射角 $u_{1\max}$ 。实际应用中,为了保护光纤,在光纤的外径处加一包层,设光纤的内芯折射率为 1.7,外包层的折射率为 1.52,问此时光纤的最大入射角 $u_{2\max}$ 为多少?

1-5 在习题 1-4 中,若光纤的长度为 2m,直径为 $20\mu\text{m}$,设光纤平直,问以最大入射角入射的光线从光纤的另一端射出时,经历了多少次反射?

1-6 利用费马原理验证反射定律。

1-7 证明光线通过两表面平行的玻璃平板,出射光线与入射光线的方向永远平行。

1-8 一个等边三角棱镜,假定入射光线和出射光线关于棱镜对称,出射光线对入射光线的偏转角为 40° ,求棱镜的折射率。

第 2 章 共轴球面光学系统

光学系统由一系列光学零件组成。它们按照一定的方式组合,对物体发出的光线进行折射和反射,按照需要传播光线和对物体成像。常用的光学零件有透镜、反射镜、棱镜及平行平板等,它们的界面绝大多数都采用球面形状(平面可看作是半径为无穷大的球面)。如果光学系统中的所有界面均由球面构成,则该光学系统称为球面系统。在球面光学系统中,如果所有的球心都位于同一条直线上,这类光学系统则称为共轴球面系统,连接各球面球心的直线称为系统的光轴,它是整个系统的对称轴。大多数光学系统都采用这种结构。

共轴球面系统是我们理解光学系统成像规律的基础,系统对物体的成像过程是各个透镜对光线作用的过程,因此,对球面系统成像过程的讨论具有普遍意义,本章将对此做详细介绍,我们首先讨论物体经单个折射球面的成像,再逐步过渡到整个共轴球面系统的成像。

2.1 符号规则

在成像过程中,为了说明物、像的虚实和正倒,并能清楚确定光路中光线的方向、球面的凹凸以及球心位置等状况,几何光学对描述物像的位置和大小,以及系统的参数等都使用了代数数量,并在光路计算中建立了如下符号规则(图 2-1)。

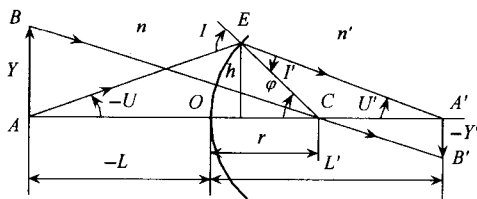


图 2-1 符号规则及其标注

2.1.1 光路方向

光路方向即为光线行走的方向,光线计算总是依照光路的正向设定符号规则。通常规定,光线从左到右传播定为光路正向,反之取负。因此,一般情况下,总是将物体放在光学系统的左面,使物体从左到右传播光线或经过系统成像。如果在实际分析中需要对光线作逆向计算,例如,在投影系统中常需由像计算物,即光线从右