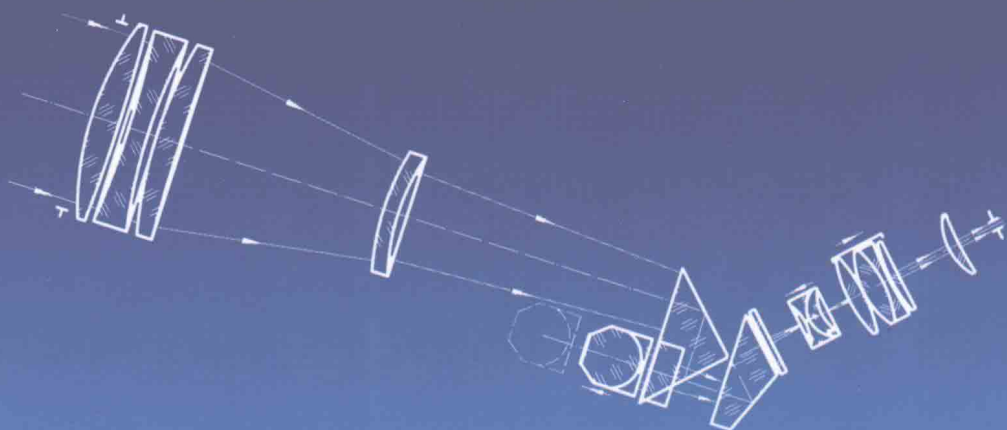


# 应用光学 与光学设计基础

Applied Optics and Elements of Optical Design

迟泽英 陈文建 编著



东南大学出版社  
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

# 应用光学与光学设计基础

迟泽英 陈文建 编著

东南大学出版社

·南京·

## 内容简介

本书是一本涵盖应用光学成像基本理论、典型实用光学系统以及应用 ZEMAX 软件进行光学设计基本方法等丰富内容的专业技术基础性教材与参考书。全书分四篇共 15 章,第一篇为几何光学的基本定律与成像基本理论(第 1~7 章),主要介绍光学成像基本理论,基本光学成像元件以及目视光学系统工作原理等;第二篇为光度学与色度学基础(第 8~9 章);第三篇为典型与实用光学系统(第 10~13 章),介绍望远镜、显微镜、照相与投影系统、纤维光学与光纤传像系统;第四篇为应用 ZEMAX 软件进行光学设计的基本方法与光学系统的像质评价(第 14~15 章)。

本书具有较宽的专业适应性和良好的工程实践指导性,可作为光学仪器、光电信息工程与技术,光信息科学与技术等专业的专业(技术)基础课教材;部分提高性内容可供光学工程、仪器仪表、电子科学与技术等学科的研究生选修,或作为高年级本科生的小学分专业选修课内容;全书还可供从事光学工程与光电技术类研发工作的科技工作者作为研发设计的自学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

应用光学与光学设计基础/迟泽英,陈文建编著. —南京:东南大学出版社,2008. 11

ISBN 978 - 7 - 5641 - 1438 - 1

I. 应… II. ①迟…②陈… III. ①应用光学 - 教材②光学仪器 - 计算机辅助设计 - 教材 IV. O439 TH740.2 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 165473 号

### 应用光学与光学设计基础

---

出版发行 东南大学出版社

出版人 江汉

社址 南京市四牌楼 2 号

邮编 210096

---

经 销 江苏省新华书店

印 刷 通州市印刷总厂有限公司

开 本 787mm × 1092mm 1/16

印 张 33.25

字 数 768 千字

版 次 2008 年 11 月第 1 版

印 次 2008 年 11 月第 1 次印刷

印 数 1—3000 册

书 号 ISBN 978 - 7 - 5641 - 1438 - 1/O · 93

定 价 55.00 元

---

(本社图书若有印装质量问题,请与读者服务部联系。电话:025-83792328)

# 前 言

应用光学是光学工程学科中一个历史悠久、然而又富有朝气和生命活力的经典分支学科。在长期的教学、科研与生产实践中,已经形成了一套全面、系统、严密的理论体系;同时,它又在实践中不断充实、深化、发展着,应用领域不断扩大。如今,应用光学已深入到国民经济与科学研究、民用与军用的广泛应用领域;从广义的光学工程、光电技术、仪器仪表、电子信息与光通信、天文仪器、各种医疗与检测仪器等大量民用仪器与技术,到航天以及陆海空各军兵种的可见光、红外、微光、激光、光纤等大量侦察、探测、观瞄与光电测控仪器,都与应用光学的理论与技术广泛而紧密地相联系。这种客观的广泛需求,促进了推出一种新风格应用光学教材,即具有较坚实的应用光学成像理论基础,涵盖较广泛的应用方向和解决问题的多种技术手段,能将成像的基本理论与应用先进软件进行光学设计结合起来,掌握实用的光学设计与像质评价基本方法。

本书是在对作者1984年为南京理工大学(原华东工学院)工程光学专业编写出版的《应用光学》专业基础课教材修改提高的基础上写成的。1984年版《应用光学》教材历经十余届的教学实践,取得了良好的教学效果,受到学生欢迎,曾得到有关高校专家的好评,并曾先后获得学校与原兵器部部级优秀教材奖。为适应形势发展的需要,在充分总结多年教学与科研实践经验的基础上,精炼、优化原有教材内容,适当充实、更新部分新发展的内容,将应用光学有关成像的基本理论与光学设计的基本方法两者有机结合,形成一本兼顾本科生与研究生的教学需要以及广大光学工程与光电技术科技工作者工程设计实践需要的教材与参考书,显得十分必要而迫切。

新版的《应用光学与光学设计基础》教材,除继续保持原教材的基础理论系统完整、内容翔实、便于理解和自学等风格优点之外,考虑到光学工程与光电技术的迅速发展,应用领域的不断扩大,在教材内容上作了较大的扩充、更新与深化,体系上作了更合理的调整,同时压缩精简了部分相对过时的内容。全书根据内容的性质科学地分为四篇,分别为:几何光学的基本概念与成像理论;光度学与色度学基础;典型与实用光学系统;光学系统的像质评价与应用ZEMAX软件进行光学设计的基本方法。相对于原教材和国内已有的应用光学教材,新版教材的主要变化有:系统介绍了矩阵方法与矢量分析方法在近轴光学与平面反射系统中的应用;在介绍光度学概念的基础上,新增加了重要的色度学基础概念与现行重要的表色系统以及色度计算方法;较全面地介绍了四大类应用最广泛的实用光学系统:充实调整了望远镜的体系与内容,丰富了有关显微镜的实用化内容,增加了变焦距照相物镜、数码照相光学系统以及现代新型投影系统,推出了纤维光学与无源光纤传像系统的全新内容;特别重要的是,新增了具有重要实用价值的、利用先进的ZEMAX软件进行光学设计、优化像质、进行像质评价等重要内容。

本书具有较宽的专业适应性和较强的工程设计实用指导性,主要适用对象为:光学仪器、光电信息工程与技术、测控技术与仪器、光信息科学与技术、光电子技术、自动化仪表等本科专业,用作“应用光学”或“工程光学”专业基础课程的教材(作为本科学习的基本内容,在目录中未加标注;视情况可选学的内容加注\*) ;部分提高性内容可供光学工程、电子科

学与技术、仪器仪表等学科的研究生选修,或构成小学分的高年级本科生专题选修课以及供从事光学工程与光电技术行业研发设计的科技工作者参考(目录中注★者)。

本书的编写力图体现如下主要特色:内容充实,涵盖应用光学的主要基础理论与较广的应用方向,并努力反映当代这一领域的新进展;理论密切联系实际,理性与感性相结合,具有较好的工程设计实用指导性。全书配有大量的图、表、例题与习题。特别是将运用光学成像基本理论构建光学系统、进行外形尺寸计算,与利用先进的 ZEMAX 软件进行光学设计、评价像质相结合;体系衔接科学合理,循序渐进,图文并茂,具有良好的可读性;在光度学、色度学等有关内容方面,重视贯彻现行的国家标准与相应的国际标准;教材内容在主要反映民用与通用技术的同时,还注意适当反映军工应用需求以及自身的科研成果。

多年来在蕴酿和编写本教材的过程中,作者始终密切关注并认真学习国内陆续出版的各种风格与体系的应用光学教材与相关专著,同时也广泛查阅浏览了国内外的相关专著与资料,从中吸取营养,受到诸多教益和启发,获益匪浅。可以说,本书是在继承和学习应用光学领域的先辈和同行经验与成果的基础上写成的。在本书即将出版的时候,衷心感谢多年来在这一领域不断给作者以多方面启迪、鼓励和支持的北京理工大学袁旭沧教授、连铜淑教授、苏大图教授;同时也对中国计量科学研究院徐大刚研究员以及南京理工大学孙培家教授在编写本书过程中给予的热情和大力支持表示由衷的谢意!

本书的第一篇(第 1、2、3、4、5、6、7 章)、第二篇(第 8、9 章)和第三篇的第 10、11、13 章由南京理工大学迟泽英编写;第三篇的第 12 章和第四篇(第 14、15 章)由陈文建编写。全书由迟泽英主编。

认真总结三十余年教学科研的有益经验,为年轻的学子和广大科技工作者奉献一本内容充实、有实用参考价值和质量优良的《应用光学与光学设计基础》,是作者多年的宿愿,期望并相信本书能对读者们有所帮助。但由于作者水平所限,书中的缺点和错误肯定会不少,恳请各位专家和读者不吝赐教。

衷心感谢曾对本书出版给予大力支持、鼓励以及付出辛勤劳动的所有同志!也深深感谢亲人们在背后的默默奉献和鼎力支持。

作者

2008 年 10 月

# 绪 论

光作为一种物质,存在于自然界,人们无时无刻不在感受着它,而且也时刻离不开它。由于光(日光,月光,灯光……)的作用,在人眼中产生视觉,因而使人们可以看见周围的物体,欣赏到大自然的五颜六色,绚丽多彩。人们在生活和生产中用到大量的光学仪器,借助于这些光学仪器丰富了我们的生活,扩大、延伸了我们的视觉,增强了人们改造自然的能力。因此,研究光的本质、特性、规律及其应用具有重要意义。

光学这门学科,具有悠久历史,它包含了人类约三千多年生产劳动和科学研究的丰硕成果与智慧。早在古埃及就有了应用光学原理的铜镜。我国先秦时代的《墨经》(约在公元前400年)中,就有了关于几何光学的八条记载。古希腊的哲学家亚里士多德即开始了对光的本性的探讨。公元前300年欧几里德也在他的《反射光学》一书中,发表了反射定律。这些都反映了人类对光学现象的早期认识。经过了一段较长时间的沉寂,进入17世纪以后,光学这门学科获得了蓬勃的发展。1610年前后,望远镜和显微镜相继由荷兰人李普塞、琼森以及开普勒发明,伽里略将他的望远镜应用于天文研究,作出了重要贡献。随后斯涅尔(1621年)和笛卡尔发现并总结出了具有重要意义的折射定律,从而打开了研究近代应用光学的大门。17世纪后半叶到17世纪,对光的本性的研究十分活跃。牛顿提出了微粒说;惠更斯则创立了波动学说;尔后麦克斯韦的电磁理论进一步证明了光是一种电磁波;1900年普朗克提出量子论,1905年爱因斯坦发展了普朗克的量子概念,提出光子的观点,从而可圆满地解释光电效应,这就形成了一种新形式的微粒说——光的量子学。近四百年以来,人们对光的本性的认识,经历了上述由低级到高级的几个阶段而逐步深化。发展到今天,现代物理学认为,光是一种具有波粒二象性的物质,即它同时具有波动性和微粒性:在它的传播过程中主要表现出波动的性质,在光与其它物质的相互作用时则主要表现出其微粒性。从整体来说,光既不是波,也不是微粒,更不是它们的某种混合物,而是物质存在的一种形式。近代的量子物理学的系统理论可以解释光物质的这种波粒二象性特点。当然,随着科学技术的发展,人们对光的本性的认识,仍将不断深化。

进入20世纪50年代以来,随着人们对光的认识的深化,光学成为一门十分活跃的学科,在很多领域中获得了长足的发展。无线电通讯理论和技术引入到光学中,推动了光学信息处理的发展;光学传递函数被应用于评价光学系统的成像质量;高速电子数字计算机的出现为设计复杂的、高质量的光学系统(诸如电视、电影摄影变焦距镜头,精密微缩镜头)创造了有利条件;纤维光学在光纤传像系统特别是在通讯系统中得到广泛应用;激光技术的出现和发展为光学的应用开辟了一个广阔的天地。此外,薄膜光学,空间光学,大气光学,光学材料等领域也都取得了很大的成就。

虽然,有关光的本性的认识相当复杂,光学的内容十分丰富,但是,作为整个光学最基础理论的仍是应用光学与物理光学。在解决实际问题时,可以根据需要,采用不同精密程度的理论。如果所考察的问题涉及光的本性,涉及光的波动性质,应该采用物理光学的波动理论来解决;但对光学仪器中所发生的大多数现象和问题,则均可运用应用光学的理论来解决。

“应用光学”是研究光在各种介质和光学仪器中传播与成像规律的理论,用以指导光学

仪器、光学系统的设计与制造。应用光学的理论主要是建立在几何光学原理基础上的,其内容主要包括:几何光学的基本原理,光学成像的一般理论,光学仪器原理,共轴球面系统成像缺陷的像差理论以及光学系统的设计方法与光学自动设计。

“几何光学”是利用“光线”的概念来研究光在介质中传播的光学理论。因此,又可称之为“光线光学”。它的理论基础是由实验所确立的几个基本定律:光的直线传播定律;光的独立传播定律;光的反射定律和光的折射定律。利用“光线”的概念,从上述几个基本实验定律出发,经过严格的演绎推导,即构成几何光学的基本原理。

应当指出,几何光学原理相对于实际发生的情况具有一级近似的意义。这是因为作为几何光学基础的光的直线传播定律,本身就是近似的,只在一定条件下才得以成立。“光线”的概念可由实际光束通过小孔光阑而分割出细光束得到,在小孔直径  $D \rightarrow 0$  的极限情况下,即可得到像几何线一样的“光线”。由波动光学理论可知,实际光束通过小孔光阑时要发生衍射(绕射)现象,衍射角  $\alpha \approx \frac{\lambda}{D}$  (指向第一个极小值)。要使衍射现象不产生,即遵守光的直线传播规律,势必要求  $\lambda \rightarrow 0$  (这只是抽象的数学概念,而不具有实际的物理意义。),或者  $D \gg \lambda$ 。一般情况下,  $\lambda$  为有限值,且以一定大小的光束通过光学系统成像,由于  $D \gg \lambda$ ,因而衍射实际上不能觉察,光线可以近似视为按直线传播,因而以此为基础的几何光学原理在一般实用的情况下是成立的,从实用观点看,也可以认为是严密的。几何光学具有重要的实用意义,这是因为借助于几何光学的概念,可以利用比较简单的数学方法或作图方法来解决光的传播与成像问题,并导出各种光学系统的设计计算方法,而且这样设计出的光学系统具有优良的质量,可以得到令人满意的结果。

几何光学不考虑光的干涉和衍射现象,因而具有一定的近似性和局限性。但是,对大多数情况下与光学仪器中所看到的现象是相符合的。当然,有些问题:例如光学仪器的分辨本领、显微镜的成像理论、以及光学系统的成像质量等问题则不能完全依靠几何光学,还必须与波动光学的理论相结合才能得到圆满的解决。但是,正因为几何光学理论可以用比较简单明确的方法,正确地解决应用光学领域中的大部分问题,因而,作为应用光学基础的几何光学理论至今仍保持其旺盛的生命力,显然学好应用光学、几何光学仍具有十分重要的意义。

# 目 录

## 绪 论

## 第一篇 几何光学的基本概念与成像理论 ..... (1)

### 第 1 章 几何光学基本定律与成像基本概念 ..... (2)

#### 1.1 几何光学的基本概念 ..... (2)

##### 1.1.1 光波 ..... (2)

##### 1.1.2 光源(发光体,发光点)..... (2)

##### 1.1.3 波面 ..... (3)

##### 1.1.4 光线 ..... (4)

##### 1.1.5 光束 ..... (4)

#### 1.2 光的传播规律——几何光学的基本定律 ..... (5)

##### 1.2.1 光的直线传播定律 ..... (5)

##### 1.2.2 光的独立传播定律 ..... (5)

##### 1.2.3 反射定律与折射定律 ..... (6)

##### 1.2.4 折射率 ..... (8)

##### 1.2.5 反射光与折射光的能量分布 ..... (10)

##### 1.2.6 全反射(完全内反射)及其应用..... (11)

##### 1.2.7 光路的可逆原理 ..... (13)

##### 1.2.8 光线在折射率连续变化的非均匀介质中的传播规律 ..... (13)

#### 1.3 费马原理(\*) ..... (15)

#### 1.4 马吕斯定律 ..... (18)

#### 1.5 光学系统及成像的基本概念 ..... (18)

##### 1.5.1 光学系统的基本概念 ..... (18)

##### 1.5.2 成像的基本概念 ..... (19)

### 习题 1 ..... (21)

### 思考题 1 ..... (21)

### 第 2 章 共轴球面系统的成像理论 ..... (22)

#### 2.1 子午面内实际光线经共轴球面系统折射的光路计算公式 ..... (23)

##### 2.1.1 符号规则 ..... (23)

##### 2.1.2 实际光线经(单折射)球面折射的光路计算公式 ..... (24)

##### 2.1.3 实际光线经共轴球面系统的光路计算公式 ..... (26)

##### 2.1.4 轴上单色物点经单折射球面成像性质的分析 ..... (27)

#### 2.2 单折射球面的近轴光路计算公式与近轴成像规律 ..... (31)

##### 2.2.1 单个折射球面的近轴光路计算公式 ..... (31)



2.2.2 单折射球面的近轴成像规律 .....	(34)
2.3 共轴球面系统的近轴像面位置与放大率的计算 .....	(39)
2.3.1 共轴球面系统近轴区的转面过渡公式组 .....	(39)
2.3.2 共轴球面系统近轴像面位置的计算 .....	(40)
2.3.3 共轴球面系统近轴区的拉—赫不变式与放大率计算 .....	(41)
2.4 球面反射镜的成像规律 .....	(42)
2.4.1 球面反射镜的物像位置关系式 .....	(42)
2.4.2 球面反射镜的成像放大率与拉—赫不变式 .....	(43)
2.4.3 球面反射镜的应用 .....	(44)
<b>习题 2</b> .....	(44)
<b>思考题 2</b> .....	(45)
<b>第 3 章 理想光学系统的成像理论</b> .....	(46)
3.1 理想光学系统与“共线成像”的基本概念 .....	(46)
3.2 共轴理想光学系统的基点、基面与焦距 .....	(47)
3.2.1 主面和主点 .....	(47)
3.2.2 焦点和焦面 .....	(48)
3.2.3 焦距 .....	(49)
3.2.4 节点、节面 .....	(49)
3.3 理想光学系统物像间的解析关系 .....	(51)
3.3.1 决定光学系统物像共轭点位置的基本公式 .....	(52)
3.3.2 理想光学系统拉—赫不变式与系统物方、像方的焦距比 .....	(54)
3.3.3 理想光学系统的诸放大率及其相互关系 .....	(55)
3.3.4 光束的会聚度与光学系统的光焦度、屈光度 .....	(59)
3.4 理想光学系统的图解求像方法 .....	(61)
3.4.1 光线描述图解法 .....	(61)
3.4.2 直角坐标图解法(*) .....	(65)
3.5 理想光学系统的物像关系特性曲线 .....	(69)
3.5.1 物像位置共轭特性曲线 .....	(69)
3.5.2 放大率特性曲线 .....	(71)
3.6 光学系统的基本类型 .....	(72)
3.6.1 焦距 $f$ 和 $f'$ 具有相反符号的系统——第一型系统 .....	(73)
3.6.2 焦距 $f$ 和 $f'$ 具有相同符号的系统——第二型系统 .....	(73)
3.7 理想光学系统的组合 .....	(74)
3.8 透 镜 .....	(80)
3.8.1 单折射球面的基点、基面位置与焦距 .....	(80)
3.8.2 透镜(厚透镜)的基点位置与焦距计算公式 .....	(81)
3.8.3 薄透镜与薄透镜组 .....	(87)
3.9 理想光学系统共轴多光组复合的实用方法 .....	(90)
3.9.1 正切算法 .....	(90)
3.9.2 截距算法 .....	(92)

3.10 实际光学系统基点位置和焦距的计算 .....	(93)
3.10.1 求像方基点位置与焦距——正向光路计算 .....	(94)
3.10.2 求物方基点位置与焦距——反向光路计算 .....	(95)
<b>习题 3</b> .....	(96)
<b>思考题 3</b> .....	(100)
<b>第 4 章 矩阵方法在近轴光学中的应用( * ★ )</b> .....	(101)
4.1 共轴球面系统的作用矩阵 .....	(102)
4.1.1 折射矩阵 .....	(102)
4.1.2 传递矩阵 .....	(103)
4.1.3 共轴球面系统的作用矩阵 .....	(104)
4.2 共轴球面系统的物像关系矩阵 .....	(106)
4.3 矩阵方法在薄透镜系统中的应用 .....	(112)
<b>习题 4</b> .....	(114)
<b>第 5 章 平面元件与棱镜系统</b> .....	(115)
5.1 平面折射与平行平板玻璃的成像性质 .....	(115)
5.1.1 光线经过平面的折射 .....	(115)
5.1.2 光线经平行平板玻璃的折射 .....	(116)
5.1.3 平行平板玻璃的“等效空气层”概念 .....	(118)
5.2 折射棱镜 .....	(120)
5.3 楔 镜 .....	(125)
5.4 平面反射镜与平面镜系统 .....	(127)
5.4.1 平面镜的成像特性 .....	(128)
5.4.2 平面镜的旋转效应 .....	(129)
5.4.3 两面角镜的成像特性 .....	(130)
5.5 反射棱镜 .....	(131)
5.5.1 反射棱镜的基本概念 .....	(131)
5.5.2 反射棱镜的视场角 .....	(134)
5.5.3 平面反射系统的转像规律分析 .....	(135)
5.5.4 反射棱镜的展开及其理论结构尺寸的计算 .....	(141)
5.5.5 棱镜的偏差 .....	(147)
5.6 光学铰链 .....	(150)
5.7 矢量计算方法在平面镜系中的应用( ★ ) .....	(152)
5.7.1 矢量形式的反射定律 .....	(153)
5.7.2 矢量形式的折射定律 .....	(155)
5.7.3 矢量绕定轴转动公式 .....	(156)
5.8 平面反射系统中物像关系的矩阵表示方法( ★ ) .....	(160)
<b>习题 5</b> .....	(167)

<b>第 6 章 眼睛与典型目视光学系统的工作原理</b> .....	(169)
6.1 眼睛 .....	(169)
6.1.1 眼睛的构造和主要光学常数 .....	(169)
6.1.2 模型眼与简化眼 .....	(172)
6.1.3 眼睛的主要特性 .....	(172)
6.2 放大镜和显微镜系统的工作原理 .....	(184)
6.2.1 放大镜的工作原理 .....	(184)
6.2.2 显微镜的工作原理 .....	(186)
6.3 望远系统的工作原理 .....	(188)
6.3.1 望远系统的工作原理与主要性质 .....	(188)
6.3.2 望远系统的视角放大率 .....	(191)
6.3.3 望远(镜)系统的基本类型 .....	(192)
6.4 目视光学仪器的视度调节 .....	(194)
6.5 理想光学系统的分辨率 .....	(196)
<b>习题 6</b> .....	(198)
<b>第 7 章 光学系统中光束的限制</b> .....	(199)
7.1 实际光学系统中的光阑及其作用 .....	(199)
7.2 光学系统的孔径光阑、入射光瞳和出射光瞳 .....	(200)
7.3 视场光阑、窗以及渐晕的概念 .....	(202)
7.3.1 视场光阑、入射窗和出射窗 .....	(202)
7.3.2 渐晕 .....	(203)
7.4 光阑设置的原则和几种典型系统光束限制的分析 .....	(207)
7.4.1 光阑设置的原则 .....	(207)
7.4.2 几种典型系统的光阑设置与光束限制 .....	(208)
7.5 远心光路(焦阑光路)(*) .....	(211)
7.5.1 物方远心光路 .....	(211)
7.5.2 像方远心光路 .....	(212)
7.6 场镜 .....	(213)
7.7 物空间在平面上成像的清晰深度——光学系统的景深 .....	(215)
7.7.1 照相物镜 .....	(216)
7.7.2 望远系统 .....	(219)
<b>习题 7</b> .....	(220)
<b>第二篇 光度学与色度学基础</b> .....	(222)
<b>第 8 章 光度学的基本概念与光学系统中光能损失的计算</b> .....	(223)
8.1 光能与光度学的基本概念 .....	(223)
8.1.1 立体角的概念与计算 .....	(224)

8.1.2	辐[射能]通量、光谱光视效率(视见函数)与光通量	(225)
8.1.3	发光强度	(230)
8.1.4	[光]照度	(233)
8.1.5	光出射度	(235)
8.1.6	[光]亮度	(236)
8.1.7	光度学各主要光度量名称、单位及其换算关系	(240)
8.2	光学系统中光通量与光亮度的传递(★)	(243)
8.2.1	光束在均匀透明的同种介质中的传播	(244)
8.2.2	光束在介质分界面折射、反射后,光亮度的变化规律	(244)
8.3	光学系统中光能损失的计算	(246)
8.3.1	光学系统中光能损失的分析与计算	(246)
8.3.2	光学系统透过率的计算	(250)
8.4	像平面的照度	(251)
8.4.1	轴上像点照度公式	(251)
8.4.2	轴外像点的照度公式	(252)
8.5	眼睛直接观察与通过仪器观察时像的主观亮度	(254)
8.5.1	眼睛直接观察物体时像的主观亮度	(254)
8.5.2	通过仪器观察时像的主观亮度	(255)
习题 8		(258)
<b>第 9 章</b>	<b>色度学基础(★)</b>	(260)
9.1	颜色视觉与色度学的基本概念	(260)
9.1.1	人眼的颜色视觉特性	(260)
9.1.2	颜色的分类与彩色的三特性	(263)
9.1.3	颜色的混合与匹配	(265)
9.2	标准色度系统与色度计算	(271)
9.2.1	CIE1931 - RGB 色度系统	(271)
9.2.2	CIE1931 标准色度系统	(273)
9.2.3	CIE1964 补充标准色度系统	(279)
9.2.4	均匀色品图及均匀颜色空间	(281)
9.2.5	CIE 标准施照体与标准光源	(284)
9.2.6	CIE 色度计算举例	(287)
<b>第三篇</b>	<b>典型与实用光学系统</b>	(298)
<b>第 10 章</b>	<b>望远镜与望远系统外形尺寸计算</b>	(299)
10.1	望远镜中的转像系统	(299)
10.1.1	棱镜式转像系统	(299)
10.1.2	透镜转像系统	(300)
10.2	望远镜的变倍——可变放大率的望远镜	(301)
10.2.1	间断变倍望远系统	(302)

10.2.2	连续变倍望远系统 .....	(304)
10.3	望远系统的调焦方式 内调焦望远镜 .....	(305)
10.3.1	外调焦系统 .....	(305)
10.3.2	内调焦系统——内调焦望远镜 .....	(306)
10.4	光学测距原理与系统(★) .....	(308)
10.4.1	单眼(合像)测距仪 .....	(308)
10.4.2	双眼体视测距仪 .....	(310)
10.5	望远(镜)系统的光学性能与技术要求 .....	(312)
10.5.1	分辨率 $\alpha$ .....	(313)
10.5.2	视放大率 $\Gamma$ .....	(314)
10.5.3	视场角 $2\omega$ .....	(315)
10.5.4	出瞳直径 $D'$ .....	(315)
10.5.5	出瞳距离 $l'_z$ .....	(316)
10.6	望远系统的物镜和目镜 .....	(316)
10.6.1	望远物镜的光学特性和类型 .....	(316)
10.6.2	望远系统目镜的特点及常用类型 .....	(318)
10.7	望远系统的外形尺寸计算 .....	(319)
10.7.1	光学系统外形尺寸计算的主要任务与内容 .....	(319)
10.7.2	望远系统的外形尺寸计算举例 .....	(321)
<b>第 11 章</b>	<b>显微镜</b> .....	<b>(330)</b>
11.1	概述 .....	(330)
11.2	显微镜光学系统的基本组成与光学连接尺寸 .....	(330)
11.2.1	显微镜光学系统的基本组成 .....	(330)
11.2.2	显微镜的光学连接尺寸 .....	(331)
11.3	显微镜的光学特性与主要光学性能指标(*) .....	(333)
11.3.1	显微镜的光束限制结构特点 .....	(333)
11.3.2	显微镜的视场光阑和视场 .....	(334)
11.3.3	显微镜的分辨率 .....	(335)
11.3.4	显微镜的放大倍率及适用放大倍率 .....	(337)
11.3.5	显微镜的成像深度(景深) .....	(339)
11.4	显微镜的物镜和目镜(*) .....	(342)
11.4.1	显微物镜 .....	(342)
11.4.2	显微目镜 .....	(346)
11.5	显微镜的照明系统(*) .....	(348)
11.5.1	对照明系统的要求 .....	(348)
11.5.2	主要的照明方式与照明系统 .....	(349)
<b>第 12 章</b>	<b>照相与投影系统</b> .....	<b>(357)</b>
12.1	照相机的工作原理 .....	(357)
12.2	照相物镜的主要性能与基本类型 .....	(358)
12.2.1	照相物镜的主要性能 .....	(358)

12.2.2	照相物镜的基本类型	(362)
12.2.3	变焦距照相物镜(★)	(365)
12.3	照相机的分类和基本结构(★)	(368)
12.3.1	照相机的分类	(368)
12.3.2	传统胶片式单反照相机的基本结构	(369)
12.3.3	数码照相机的原理、主要性能参数及特点	(370)
12.4	放映投影系统的工作原理及其类别	(374)
12.5	投影系统与投影物镜的主要光学性能参数	(376)
12.6	微显示投影机(★)	(378)
<b>第13章</b>	<b>纤维光学与光纤传像系统(★)</b>	<b>(385)</b>
13.1	阶跃光纤的传光机理与主要性能参数(★)	(386)
13.1.1	阶跃光纤中光波传播规律分析——表面波机理	(386)
13.1.2	光在阶跃直圆柱光纤中的传播规律及主要性能参数	(389)
13.2	阶跃多模光纤与单模光纤	(396)
13.2.1	阶跃多模光纤传输的模式与归一化波导常数 $V$	(396)
13.2.2	单模光纤	(398)
13.3	渐变折射率光纤的传光机理与自聚焦透镜的成像特性	(400)
13.3.1	非均匀介质中的光线理论——程函方程与光线微分方程	(401)
13.3.2	平方律分布的自聚焦光纤中的光线传播轨迹与规律分析	(402)
13.3.3	自聚焦透镜的成像规律——近轴成像	(406)
13.4	光纤传像原理、器件与系统	(410)
13.4.1	光纤传像束的传像机理与主要性能指标	(410)
13.4.2	光纤传像系统(光纤望远系统,光纤内窥镜)	(415)
<b>第四篇</b>	<b>光学系统的像质评价与</b>	
	<b>应用 ZEMAX 软件进行光学设计的基本方法(★)</b>	<b>(421)</b>
<b>第14章</b>	<b>光学系统的像质评价</b>	<b>(422)</b>
14.1	用几何像差表征光学系统像质的基本概念与方法	(422)
14.1.1	轴上点的光束结构与像差	(423)
14.1.2	轴外点的子午与弧矢光束结构与像差表示	(426)
14.1.3	垂轴几何像差	(433)
14.2	几何点列图的像质评价方法	(435)
14.3	光学系统成像质量的波像差表示与瑞利判据	(437)
14.4	基于点扩散函数的空域像质评价方法(中心点亮度)与斯特列尔准则	(438)
14.5	光学传递函数评价像质的基本概念	(442)
14.6	典型光学系统成像质量评价与指标	(444)
14.6.1	望远镜与显微镜成像质量评价	(445)
14.6.2	照相系统与摄影物镜像质评价	(448)
14.7	ZEMAX 中的像质评价方法	(450)

---

<b>第 15 章 应用 ZEMAX 的光学自动设计原理与方法</b> .....	(455)
15.1 光学自动设计基本概念 .....	(455)
15.1.1 光学自动设计基本原理 .....	(455)
15.1.2 阻尼最小二乘法 .....	(458)
15.1.3 评价函数的构成与权因子 .....	(460)
15.2 ZEMAX 评价函数 .....	(461)
15.2.1 ZEMAX 评价函数的构建 .....	(461)
15.2.2 ZEMAX 评价函数中的操作符 .....	(463)
15.2.3 默认评价函数 .....	(474)
15.3 常用几何像差控制在评价函数中的实现 .....	(479)
15.3.1 ZEMAX 中内建几何像差控制符与特点 .....	(479)
15.3.2 评价函数中常用独立几何像差复合控制操作符的构建 .....	(480)
15.4 利用 ZEMAX 像质优化与设计举例 .....	(486)
15.4.1 消色差双胶合望远镜物镜设计 .....	(486)
15.4.2 光路中有棱镜的望远物镜设计 .....	(493)
15.4.3 显微物镜设计 .....	(497)
15.4.4 目镜设计 .....	(504)
15.4.5 变焦物镜设计 .....	(510)
<b>参考文献</b> .....	(516)

[附注] 目录中未加标注的章节,可作为本科“应用光学”专业基础课(4 学分)的基本教学内容,加注(※)的章节可视教学时间可能性作为选讲内容;加注(★)的章节可作为研究生选修内容,或可作为高年级本科生小学分的专题选修课内容,也可供相关行业从事研发的科技工作者自学参考。

## 第一篇

---

### 几何光学的基本概念与成像理论

本篇系统地讨论了共轴球面系统成像的基本理论与光学元件特性,是全书的理论基础。在介绍几何光学基本定律的基础上,重点讨论了共轴球面系统的近轴光学与理想光学系统的成像理论,用解析法和图解法研究了物像共轭关系的规律;介绍了透镜、球面反射镜、平面反射镜以及棱镜等基本光学元件的成像特性;研究了眼睛与基本目视光学系统的成像原理以及光学系统成像有效光束的选择;此外,还讨论了矩阵方法在共轴球面系统与平面反射系统中的应用。



# 第 1 章 几何光学基本定律与成像基本概念

## 1.1 几何光学的基本概念

### 1.1.1 光波

1871 年麦克斯韦提出电磁场学说,发表了著名的麦克斯韦方程组。他的这一理论在 1888 年亦为实验所证实。根据这一理论,认为光本质上就是电磁波,是电磁波的一种,因而光波与电磁波同为横波,其振动方向与传播方向垂直。图 1.1 表示了光波的传播,通常选用电矢量  $E$  来代表光的振动。

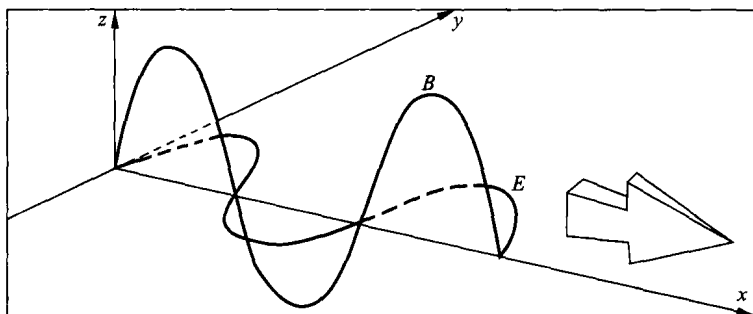


图 1.1 光波传播示意图

光波与一般无线电波的区别仅在于波长的数量级大小不同。图 1.2 表示了从  $\gamma$  射线到无线电波的“电磁波谱”。由于分布范围太大,因而图中的波长与频率均采用对数标尺。在电磁波谱中,只有波长  $400\text{nm} \sim 760\text{nm}$  的一小段电磁波,能为人眼所感觉,因而称为“可见光”;超出这个范围人眼就感觉不到。图中波长  $\lambda$  所采用的单位有如下关系:

$$1\text{nm}(\text{纳米}) = 10^{-3}\mu\text{m}(\text{微米}) = 10^{-7}\text{cm}(\text{厘米})$$

光学领域中多采用纳米(nm)表示波长。

在可见光谱中,不同波长引起不同的颜色感觉。具有单一颜色(理想情况指单一波长)的光称为“单色光”。表 1.1 给出 7 种常用的重要单色谱线数据(用夫朗和菲谱线作为“特征单色谱线”)。将若干种单色光混合得到的光称为“复色光”,用红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫 7 种单色光按一定比例混和即可得到白光。

不同波长的电磁波在真空中具有完全相同的速度,其值为:  $c \approx 3 \times 10^8 \text{m/s}$ , 在空气中也近似如此;在水、玻璃等透明介质中光的传播速度比在真空中慢,且速度随波长不同而改变。

### 1.1.2 光源(发光体,发光点)

根据物理学的观点,凡能辐射光能的物体即称为“光源”或“发光体”。从研究光的传播