现代光学

XIAN DAI GUANG XUE

内蒙古人民出版社

现 代 光 学

A. K. 加塔克 K. 塞格雷健 著

蒙 文 林 译 徐 大 雄 校

内蒙古人民出版社

1985 · 呼和浩特

A · K · Ghatak and K · Thyagarajan

Contemporary Optics

Plenum Press, New York, 1978.

现代光学

A · K · 加塔克　K · 塞格雷健　著

蒙文林　译　徐大雄　校

内蒙古人民出版社出版

（呼和浩特市新城西街82号）

内蒙古新华书店发行　内蒙古蒙文印刷厂印刷

开本：850×1168　1/32　印张：18.75　字数：474 千

1986年6月第一版　1987年8月第1次印刷

印数：1—12,625 册

统一书号：7089·440　每册：3.95 元

译者的话

本书是加塔克(A.K.Ghatak)和塞格雷健(K.Thyagarajan)教授根据印度理工学院应用光学的硕士研究生的讲义编写而成的。书中讨论了现代光学中的基本问题和某些前沿问题，并从数学的角度得出了各种光学现象的基本规律，对实际应用也给予了相当大的注意。具体有以下几个突出的特点：

1. 从经典的麦克斯韦的电磁理论出发，以严谨，简捷的数学方法，阐述现代光学中的基本现象和规律；

2. 物理图象清晰、明了，文字叙述通俗易懂；

3. 讨论了某些前沿的内容，如自焦聚，光波导等；

4. 从数学上讨论了近轴光线光学，象差，和特征函数（在一般的现代光学书中是不含这些内容的）。

基于以上特点，本书可作为理工科大学本科高年级选修课和专业课教材，也可作为硕士研究生的基础课教材，对于光学方面感兴趣的且具有一定基础知识的自学者，也是一本适用的自学教材。

为学习本书的内容不会产生数学上的困难，译者特地编写了三章数学，以作为学习本书的数学基础。其主要内容为：第一章特殊函数概述，其中包括光学上常用的一些特殊函数（阶跃函数，符号函数，矩形函数，等变率函数，三角状函数，Sinc函数，Sinc^2函数，高斯函数，圆柱状函数），δ函数（包括梳状函数），

贝塞耳函数（包括Γ函数，礼帽函数）；第二章卷积（包括一维函数和二维函数的卷积）；第三章傅里叶变换（包括直角坐标系中的一维和二维函数的傅里叶变换及极坐标系中的汉克尔变换）。

译者对书中已发现的错误均作了改正，除特殊情况外，一般未加说明。由于译者水平所限，译文与译者附录中肯定有不少不当甚至错误之处，敬请读者给予指正。

1985年9月

序　言

随着激光的出现，它的许多的应用如光信息处理、全息和光通讯已得到发展．这些应用使科学家和工程师们必需进行光学研究．本书是为高年级大学生和一年级研究生所用，书中介绍了对许多这些应用进行了解所必需的基本概念．本书是根据新德里印度理工学院应用光学的硕士研究生的讲义编写而成．

一——三章讨论几何光学,展述光线追踪,象差计算的基本理论．由一些基本原理导出各种象差的公式．我们应用从哈密顿方程组出发的**Luneburg**处理法，因为我们相信这种方法容易理解．

四——八章讨论现代物理光学的最重要方面，即衍射,相干,傅里叶光学，和全息．作为讨论的基础是标量波动方程．空间频率滤波和全息的许多应用也进行了讨论．

由于大功率激光束的获得，许多非线性光学现象已被研究．在各种非线性现象中，由于介电常数对光强的非线性依赖关系而引起的光束的自聚焦（或离焦）已受到相当大的注意．在第九章中我们将详细地讨论定态光束自聚焦．

在第十章中，我们相当详细地讨论梯度折射率光波导．由于在一些光通讯系统中应用激光光束，使得这个题目深受重视．虽然着重分析折射率以抛物线型变化为特征的光波导，但是这种分析可引出光波导的许多显著性质．

在第十一章中，我们讨论在电磁理论中占有重要地位的倏逝波；尤其着重于Goos—Hänchen位移.

可能还应包含许多其他有趣的课题，但限于本书的篇幅，不能一一涉及.

已解问题和未解问题是本书的重要组成部分. 某些现象以问题形式提出（而不单独分节讨论)为的是使读者能够跳过它们(如果需要的话）而不致于对连续性有任何影响.

我们设法不涉及原始著作;而力求参考一些现代观点的文章，专论，学术研究论文，而这些资料在大多数图书馆内通常是备有的，并会使读者对这一学科获得更多的了解.

在此对M. S. Sodha教授的关心和大力支持，以及他的许多宝贵的建议表示衷心地感谢. 还对 Kehar Singh博士，I. C. Goyal博士，Arun Kumar博士，Anurag Sharma先生，E. Khular女士，Aruna Rohra女士，Anjana Gupta博士，和B. D. Gupta先生的许多鼓舞性的讨论表示感谢. 还对D. Radhika女士，K. K. Shankari女士，T. N. Gupta先生和N. S. Gupta先生在原稿整理中给予的帮助表示感谢.

我们对E. Wolf教授，H. Kogelnik博士，R. S. Sirohi博士，K. K. Gupta先生，和Anurag Sharma先生为本书提供出某些照片表示感谢，对各位编辑和出版者欣然允许我们使用他们出版的材料表示感谢. 最后我们对德里印度理工学院院长，N. M. Swani教授对本书给予的关心和支持表示衷心地谢意.

新德里

A. K. 加塔克

K. 塞格雷健

目　　录

第三章 特征函数

第四章 衍射

第七章　傅里叶光学 II．光学传递函数

第八章　全息学

第九章　自聚焦

第十章 梯度折射率波导

第十一章 倏逝波和Goos-Hänchen效应

附录

译者附录

第一章 某些特殊函数概述

第一章　近轴光线光学㊀

1.1. 引　　言

光是一种电磁波，由于应用麦克斯韦方程组可完全地描写电磁波，从原则上讲，要得到作为麦克斯韦方程组的解的光的全部传播定律似乎是可能的。问题是，一般说来，求解麦克斯韦方程组是困难的，只是对某些简单系统可以得到严格解．① 因此我们来考虑某些近似，这些近似可以给出某些容易理解的解，同时还能很好地描述现象．其中一个近似是应用这样的事实，即当光的波长远小于与它相互作用的系统的线度时，在相当好的近似程度上，我们可以略去波长的有限长度．的确，波动光学的零波长近似称为几何光学．

几何光学应用光线的概念，它定义为在 $\lambda \rightarrow 0$ 的极限情况下能量的传播方向。正如在第四章中要证明的，由于衍射而引起的光束的扩展完全是由于波长的有限长造成的．但是，当假定波长趋于零时这些衍射效应也趋于零，所以我们能够构成无限细的光束，这种无限细的光束被定义为光线．

在1.2节中我们将引入作为极值原理的费马原理，从费马原理出发我们可在一般媒质中追踪光线(即所谓的光线追迹——译者)．

①举例来说，为了求解平面电磁波经平面电介质表面的反射和折射是不困难的；另一方面，求解某些平面光波经曲面的反射是相当困难的．(经曲柱面反射的一般规律，Snyder 和 Mitchell，1974，已进行了讨论．)

㊀也称为傍轴光线光学．——译者

这个原理是与经典力学中的哈密顿变分原理相似的光学中的变分原理．我们将举几个例子，在这些例子中光线在两点间的光程是极大值，极小值，或稳定值．

从费马原理出发，我们可提出两种并行的近似方法：拉格朗日近似法（1.3节）和哈密顿近似法（1.4节）．后者将在第二章中用来讨论各种象差．拉格朗日近似将给出光线方程．为了得到非均匀媒质（即媒质的性质在空间上依赖于折射率的变化）中的各光路，需要解光线方程．

在1.6节中我们通过用小波长近似解标量波动方程得到程函方程；这种近似，称为程函近似，它与量子力学中的 WKB 近似相似．然后我们把程函方程变为光线方程．还将给出从程函方程导出费马原理．在1.7节中，我们将用从经典力学过渡到量子力学相似的方法讨论从几何光学过渡到波动光学．

1.2． 费马原理

与经典力学中的哈密顿最小作用原理［例如，参看 Goldstein (1950)，第 2 章］相类似，在光学中，我们有费马原理，从费马原理出发，几何光学的全部定律都可导出．与在经典力学中一样，我们能够从变分原理导出两个相关的近似法，一个包含着拉格朗日近似，另一个为哈密顿近似．

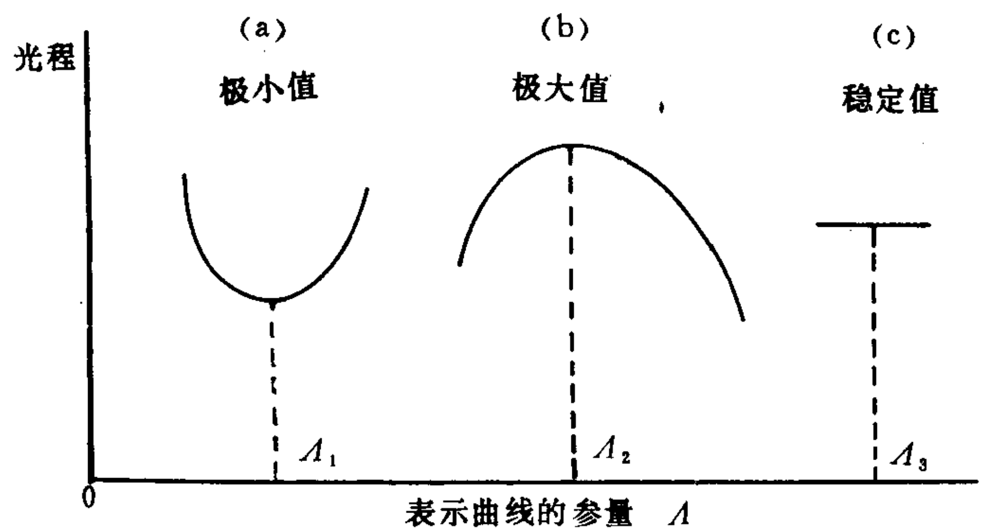
在介绍费马原理之前，必须引入光程的概念。给定任意两点 P 和 Q 及连接它们的曲线 C，我们可把两点之间的几何路程定义为位于在两点之间的曲线的长度 $\int_P^Q ds$，式中积分是沿曲线 C 从 P 到 Q 进行，而 ds 表示无限小弧长。光程被定义为

$$光程 = \int_{P \underset{C}{\to} Q} n(x, y, z)\, ds \qquad (1.2\text{— }1)$$

式中$n(x, y, z)$是折射率函数而积分仍然沿曲线C实行．在均匀媒质这种简单的情况中，光程恰好等于几何路程乘以媒质的折射率．在一般情况下，光程除以C（自由空间中的光速）表示沿给定曲线光从P传播到Q所需要的时间．

现在我们可以叙述费马原理了，按照费马原理，连接两给定点P和Q可能有很多不同的路线，光线将沿着两点之间的光程为极值的路线传播，即

$$\delta\int_{P}^{Q} n(x,y,z)\,ds = 0 \qquad (1.2—2)$$



两点间的光程随A变化曲线，A表示确定光路的参量．三条曲线表示当两点间的光程为极小值，极大值，稳定值时确定的实际光线的三种情况．（a）中实际光路对应于$A = A_1$；（b）中实际光路对应于$A = A_2$；而在（c）中在靠近$A = A_3$值处的所有光路都是可能的．

图1.1.

式中积分的变分（δ）意味着为使两端点P和Q固定时积分光路的变分。应当指出费马原理要求光程是极值，它可以是极小值（最经常遇到的就是这种情况），极大值，或稳定值．马上就清楚，在均匀媒质中，这些光线是一些直线，因为两点间最短的光程是沿