



国际制造业先进技术译丛

CRC Press
Taylor & Francis Group

光学设计手册

Handbook of Optical Design

原书第**3**版
Third Edition

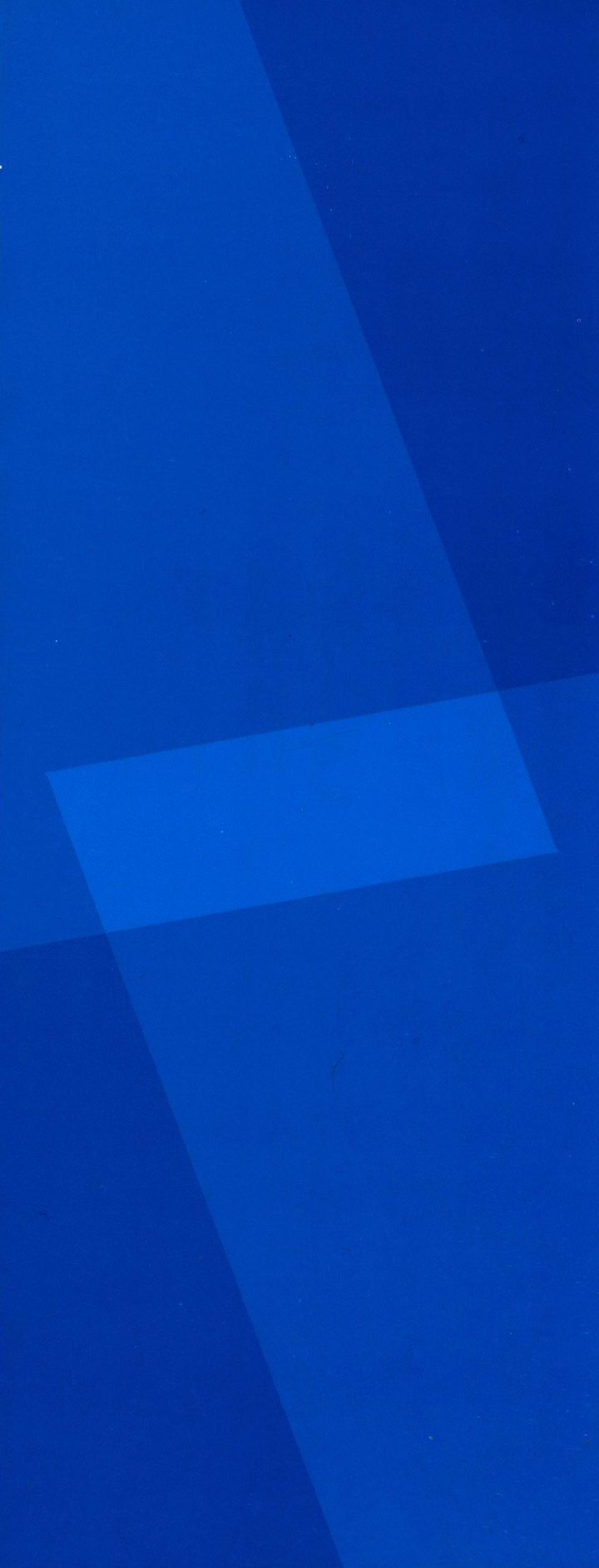
丹尼尔·马拉卡纳·赫尔南德斯
(Daniel Malacara-Hernández) 著
[墨] 扎卡里亚斯·马拉卡纳·赫尔南德斯
(Zacarias Malacara-Hernández)
邢廷文 廖志杰 等 译



“一本紧随当前技术发展的优秀工具书，一本涵盖光学设计和几何光学的基本理论以及实用细节的综合手册。”

——詹姆斯 C. 怀恩特 (James C. Wyant)
美国亚利桑那大学光学科学学院

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际制造业先进技术译丛

光学设计手册

(原书第3版)

[墨] 丹尼尔·马拉卡纳·赫尔南德斯

(Daniel Malacara - Hernández)

[墨] 扎卡里亚斯·马拉卡纳·赫尔南德斯

(Zacarías Malacara - Hernández)

著

冯 婕 邢廷文 江海波 杜 猛 杨丽娟
按姓氏笔画排序 周 超 侯梦晗 姚政鹏 殷可为 黄 杨 译
黄金苹 廖志杰



机械工业出版社

本书包含了几何光学的基本原理及其在透镜设计中的应用，其中既包含了镜头设计的经典部分，也包含了重要的现代方法、工具和仪器，包括当代天文望远镜、高斯光束及计算机镜头设计。在受人尊敬的学者们的镜头设计课程中已经用本书进行了广泛的课堂教学。

本书简明扼要地解释了光学系统的设计和评价的复杂性。书中还讨论了元件的选择、优化和整合，并形成了有效的光学装置。本书分析了多种光学材料、元件和系统的性能，从简单的放大镜到复杂的摄影镜头、眼科光学设备、望远镜、显微镜、投影系统。

第3版更新的内容：

- 改进了插图，其中32张换成了彩图。
- 整体进行了更新，反映了在该领域的研究进展。
- 新添加了Buchdahl高阶像差的资料。
- 扩展并改进了基于光程计算波前像差的方法。
- 更新了附录中的光学材料的列表。
- 初级像差的描述更详细明确。
- 增加了重要的新出版物的引用。
- 按新的光学玻璃更新光学系统设计实例。
- 增加了25个新的设计实例。

结合光学系统设计的基本理论和实用细节，本书可供学生们使用，同时，对科学家和光学仪器工程师们来说也极具参考价值。

译 丛 序

一、制造技术长盛永恒

先进制造技术是 20 世纪 80 年代提出的，它由机械制造技术发展而来，通常可以认为它是将机械、电子、信息、材料、能源和管理等方面的技术，进行交叉、融合和集成，综合应用于产品全生命周期的制造全过程，包括市场需求、产品设计、工艺设计、加工装配、检测、销售、使用、维修、报废处理、回收利用等，以实现优质、敏捷、高效、低耗、清洁生产，快速响应市场的需求。因此，当前的先进制造技术是以产品为中心，以光机电一体化机械制造技术为主体，以广义制造为手段，具有先进性和时代感。

制造技术是一个永恒的主题，它与社会发展密切相关，是设想、概念、科学技术物化的基础和手段，是所有工业的支柱，是国家经济与国防实力的体现，是国家工业化的关键。现代制造技术是当前世界各国研究和发展的主题，特别是在市场经济高度发展的今天，它更占有十分重要的地位。

把信息技术引入制造技术，使制造技术产生了革命性的变化，出现了制造系统和制造科学。制造系统由物质流、能量流和信息流组成，物质流是本质，能量流是动力，信息流是控制；制造技术与系统论、方法论、信息论、控制论和协同论相结合就形成了新的制造学科。

制造技术的覆盖面极广，涉及机械、电子、计算机、冶金、建筑、水利、电子、交通运输、农业以及化学、物理学、材料学、管理科学等领域。各个行业都需要制造业的支持，制造技术既有普遍性、基础性的一面，又有特殊性、专业性的一面，既具有共性，又有个性。

我国的制造业涉及以下三方面的领域：

- 机械、电子制造业，包括机床、专用设备、交通运输工具、机械设备、电子通信设备、仪器等；
- 资源加工工业，包括石油化工、化学纤维、橡胶、塑料等；
- 轻纺工业，包括服装、纺织、皮革、印刷等。

目前世界先进制造技术沿着全球化、绿色化、高技术化、信息化、个性化和服务化、集群化六个方向发展，在加工技术上主要有超精密加工技术、纳米加工技术、数控加工技术、极限加工技术、绿色加工技术等，在制造模式上主要有自动化、集成化、柔性化、敏捷化、虚拟化、网络化、智能化、协作化和绿色化等。

二、图书交流源远流长

近年来，国际间的交流与合作对制造业技术进步领域的发展及重大关键技术的

IV 光学设计手册 (原书第3版)

突破起到了积极的促进作用,制造业科技人员需要及时了解国外相关技术领域的最新发展状况、成果取得情况及先进技术应用情况等。

必须看到,我国制造业与工业发达国家相比,仍存在较大差距。因此必须加强原始创新,在实践中继承和创新,学习国外的先进的制造技术和经验、引进消化吸收创新,提高自主创新能力,形成自己的创新体系。

国家、地区间的学术、技术交流已有很长的历史,可以追溯到唐朝甚至更远一些,唐玄奘去印度取经可以说是一次典型的图书交流佳话。图书资料是一种传统、永恒、有效的学术、技术交流方式,早在20世纪初期,我国清代学者严复就翻译了英国学者赫胥黎所著的《天演论》,其后学者周建人翻译了英国学者达尔文所著的《物种起源》,对我国自然科学的发展起到了很大的推动作用。

图书是一种信息载体,图书是一个海洋,虽然现在已有网络、光盘、计算机等信息传输和储存手段,但图书更具有广泛性、适应性、系统性、持久性和经济性,看书总比在计算机上看资料要方便习惯,不同层次的要求可以参考不同层次的图书,不同职业的人员可以参考不同类型的技术图书,同时它具有比较长期的参考价值和收藏价值。当然,技术图书的交流具有时间上的滞后性,不够及时,翻译的质量也是个关键问题,需要及时、快速、高质量的出版工作支持。

机械工业出版社能够在先进制造技术的引进、消化、吸收和创新方面为广大读者做出贡献,为我国的制造业科技人员引进、纳新国外先进制造技术的出版资源,翻译出版国际上优秀的制造业先进技术著作,从而能够提升我国制造业的自主创新能力,引导和推进科研与实践水平的不断进步。

三、选择严谨质高面广

(1) 精品重点高质 本套丛书作为我社的精品重点书,在内容、编辑、装帧设计等方面追求高质量,力求为读者奉献一套高品质的丛书。

(2) 专家选择把关 本套丛书的选书、翻译工作均由国内相关专业的专家、教授以及工程技术人员承担,充分保证了内容的先进性、适用性和翻译质量。

(3) 引纳地区广泛 主要从制造业比较发达的国家引进一系列先进制造技术图书,组成一套“国际制造业先进技术译丛”。当然其他国家的优秀制造科技图书也在选择之内。

(4) 内容先进丰富 在内容上应具有先进性、经典性和广泛性,应能代表相关专业的技术前沿,对生产实践有较强的指导、借鉴作用。本套丛书尽量涵盖制造业各行业,例如机械、材料、能源等,既包括对传统技术的改进,又包括新的设计方法、制造工艺等技术。

(5) 读者层次面广 面对的读者对象主要是制造业企业、科研院所的专家、研究人员和工程技术人员,高等院校的教师和学生,可以按照不同层次和水平要求各取所需。

四、衷心感谢不吝指教

首先要感谢许多积极热心支持出版“国际制造业先进技术译丛”的专家学者，感谢积极推荐国外相关优秀图书，仔细评审外文原版书，推荐评审和翻译的知名专家，特别要感谢承担翻译工作的译者，对各位专家学者所付出的辛勤劳动表示深切的敬意，同时要感谢国外各家出版社版权工作人员的热心支持。

本套丛书希望能对广大读者的工作提供切实的帮助，欢迎广大读者不吝指教，提出宝贵意见和建议。

机械工业出版社

原书前言

这本书的前两版已经广泛应用于我们的学生们的透镜设计课程中。这种经历推动我们在每一次版本更新中去改进这本书。在第3版中，做出了一些重要修订。

为了使图片更加清晰，更有吸引力，所有的图片都用彩色形式重新绘制。本书在许多方面做了更新以使其包含近些年发表的一些重要成果，其中包括一些由我们的学生和读者建议的新材料。另外更新的参考文献中加入了一些最近发表的重要文章，以使这本书更加完整，更加契合时代。

本书中额外增加了一些材料，我们只举几个例子：对 Buchdahl 高级像差进行了描述；对基于光程的波前像差计算的部分进行了扩充和改进；书里提到的大多数光学系统用新的可用玻璃重新设计；更新了附录中的光学材料列表，更加清楚和详细地描述了初级像差。

感谢使用先前版本的朋友和同学们，尤其感谢 Armando Gomez - Vieyra 博士给予的极大帮助与支持。

Daniel Malacara – Hernández
Zacarías Malacara – Hernández

原书第 2 版前言

这本书的第 1 版已经在我们学生的透镜设计课程中使用了多年。基于这些经验，本书在几个方面有了很大的改进。

第 1 版的第 2 章中的大部分材料是重要和有用的参考。然而，为使镜头设计入门课程更流畅简单，大部分材料作为附录转移到书的结尾处。第 1 版的其他几个部分也以同样的目标进行了重组。

部分修改包括一些读者建议的澄清和对一些概念更完整的解释。增加了部分额外的材料，包括额外的新的参考资料，以使本书更完整并包含最新的信息。我们只举几个例子：一些梯度折射率系统现在有更详细的描述；引入了一种高斯函数阵列的新方法表示波前；Delano 图的部分增加了内容；两个正交方向曲率不同的像散曲面增加了更多的细节。

我们要感谢我们的朋友和学生使用本书的第 1 版。他们为我们提供了许多建议，并指出了几个印刷错误，从而完善了本书。

Daniel Malacara – Hernández
Zacarías Malacara – Hernández

原书第 1 版前言

这是一本关于光学设计主题的书，针对几何光学领域的学生和从事光学仪器研究的工程师。当然，这不是该领域的第一本书。一些经典的、著名的书已经绝版，也缺乏现代的话题。另一方面，大多数现代书籍的范围一般都很有有限，不包括重要的经典甚至现代细节。

这本书不是光学设计的百科，但是本书试图覆盖大部分镜头设计的经典部分，同时介绍了一些现代的方法、工具和仪器，如当代天文望远镜、高斯光束和计算机辅助的镜头设计。

第 1 章向读者介绍几何光学的基本原理。第 2 章讲述球面和非球面光学表面与精确的斜光线追踪。第 3 章和第 4 章讲解了透镜设计理论中的一阶和三阶近似。在第 5 章~第 7 章中讲述了共轴光学系统初级像差理论的基本概念。在第 8 章、第 9 章和第 10 章中描述光学系统中的衍射效应和透镜设计中波像差与几何像差的评估方法。第 11 章~第 17 章描述了一些主要的经典光学仪器及其光学设计技术。最后，第 18 章研究了计算机辅助光学镜头设计的方法与像质评价方法。

总之，这本书不仅只有基本的理论，而且给出了一些实际光学系统设计的许多细节。我们希望这本书将成为光学学生有用的教科书，以及光学科学家和工程师有用的参考书。

我们非常感谢许多朋友和同事对手稿的仔细阅读和改进建议。这些朋友中我们要提到的是 Raul Casas 教授、Manuel Servin 教授、Ricardo Flores 教授和我们的几个学生。光学研究协会中大量的研究人员提供了许多有益的帮助，提出了许多建设性的意见和建议。他们的人数很多，我们不想只仅仅提到几个人的名字，这是不公平的。我们感谢光学研究中心及其总经理在资金上的支持和热情帮助。最后一点也非常重要，作者们非常感谢家人的鼓励和理解。作者之一 (D. M.) 特别感谢他的儿子 Juan Manuel 和 Miguel Angel，他们帮助处理了部分章节中许多的图片和部分文字。

Daniel Malacara – Hernández
Zacarías Malacara – Hernández

目 录

译丛序	
原书前言	
原书第2版前言	
原书第1版前言	
第1章 几何光学原理	1
1.1 光的波动性与费马原理	1
1.2 反射和折射定律	6
1.2.1 反射定律	6
1.2.2 折射定律	7
1.2.3 折射定律的矢量形式	8
1.3 基本子午光线追迹方程组	8
1.3.1 子午光线追迹的 $L-U$ 方法	11
1.3.2 子午光线追迹的 $Q-U$ 方法	11
1.4 高斯光学或者一阶光学	12
1.5 成像	14
1.6 孔径光阑、光瞳和主光线	16
1.7 德拉诺关系	20
1.8 光学正弦定理	20
1.9 拉格朗日不变量	22
1.10 赫歇尔不变量和成像放大率	23
参考文献	25
第2章 薄透镜和球面镜	26
2.1 薄透镜	26
2.2 薄透镜的成像公式	28
2.3 薄透镜的节点	29
2.4 会聚透镜的成像	30
2.5 发散透镜的成像	30
参考文献	31
第3章 透镜组和厚透镜	32
3.1 焦距和光焦度	32

3.2	厚透镜或透镜系统的成像	33
3.3	基点	34
3.4	倾斜或弯曲物体的成像	36
3.5	厚透镜	38
3.6	薄透镜系统	40
3.7	薄透镜系统中的拉格朗日 - 亥姆霍兹不变式	42
3.8	物或者光阑的平移效应	43
3.8.1	光阑的移动	43
3.8.2	物和像平面的移动	44
3.9	德拉诺 $y - \bar{y}$ 图	45
3.9.1	光阑的移动	47
3.9.2	物和像的移动	47
	参考文献	48
第4章	色差	50
4.1	引言	50
4.2	近轴色差 (位置色差)	51
4.2.1	薄透镜的近轴色差	52
4.2.2	消色差双胶合透镜	53
4.2.3	两块具有一定空气间隔的薄透镜组的消色差系统 (消色差双分离透镜)	54
4.2.4	同种材料制造的两块透镜校正轴向色差	54
4.2.5	色球差	56
4.3	用 $D - d$ 方法消色差	57
4.4	二级光谱	58
4.5	倍率色差	60
4.5.1	光阑位置对色差的影响	61
4.5.2	倍率色差的校正	62
4.5.3	同种材料制造的透镜校正倍率色差	64
	参考文献	65
第5章	球差	67
5.1	球差计算	67
5.2	初级球差	70
5.2.1	薄透镜的球差	72
5.2.2	薄透镜系统	75
5.2.3	会聚光通过平行平板的球差	75
5.3	非球面	76

5.4	非球面的球差	76
5.5	无球差的面	77
5.5.1	折射球面	77
5.5.2	二次曲面的反射	78
5.5.3	笛卡儿卵形	78
5.6	球差的多项式展开	79
5.7	高阶球差	82
5.8	用梯度折射率校正球差	84
	参考文献	85
第 6 章	单色轴外像差	86
6.1	介绍	86
6.1.1	轴外像差介绍	86
6.1.2	倾斜光线	87
6.1.3	轴外像差定义	90
6.2	佩兹伐场曲	91
6.3	彗差	93
6.3.1	反正弦条件	93
6.3.2	每个面的彗差贡献	95
6.3.3	单个薄透镜的彗差	95
6.4	像散	96
6.4.1	Coddington 方程	97
6.4.2	佩兹伐场曲和像散间的关系	100
6.4.3	有彗差和像散的像	101
6.5	齐明面	105
6.5.1	球面透镜的齐明面	105
6.5.2	Wassermann - Wolf 齐明面	106
6.6	畸变	106
6.7	齐明面上的轴外像差	108
6.8	对称原则和 Bow - Sutton 条件	110
6.9	光阑平移方程	111
6.10	光瞳像差	113
	参考文献	114
第 7 章	像差多项式和高阶像差	117
7.1	光学系统中的波面	117
7.2	几何像差和波像差	117

XII 光学设计手册 (原书第3版)

7.3 波像差多项式	118
7.3.1 共轴系统的霍普金斯波像差多项式	119
7.3.2 共轴系统的 Kingslake 波像差多项式	121
7.3.3 共轴系统的塞德尔波像差多项式	123
7.3.4 共轴系统的高阶 Buchdahl 像差多项式	123
7.3.5 非共轴对称系统的波像差多项式	126
7.4 泽尼克多项式	128
7.5 波面变形拟合到多项式	132
7.6 高斯函数阵列表示波面	133
7.7 折射面的波像差	134
7.8 反射面的波像差	139
7.9 Aldis 理论	142
参考文献	143
第8章 光学系统的计算机评估	145
8.1 横向像差多项式	145
8.1.1 轴向像差曲线	146
8.1.2 子午像差曲线	147
8.1.3 弧矢像差曲线	148
8.2 横向像差的 H. H. Hopkins, Seidel 和 Buchdahl 系数	150
8.2.1 球差	150
8.2.2 彗差	150
8.2.3 像散	151
8.2.4 畸变	152
8.3 子午光线的追迹和光阑位置的分析	153
8.4 点列图	155
8.4.1 几何光点尺寸	155
8.4.2 径向能量分布	158
8.5 波阵面的形变	159
8.5.1 通过横向像差计算	159
8.5.2 通过光程直接计算	159
8.5.3 Conrady 方法计算波阵面的形变	161
8.6 点扩散函数和线扩散函数	162
8.7 光学传递函数	164
8.8 像差的容限	165
参考文献	166
第9章 光学系统中的衍射	168
9.1 惠更斯-菲涅耳原理	168

9.2 菲涅耳衍射	169
9.3 夫琅禾费衍射	171
9.3.1 圆形孔径	172
9.3.2 环形孔径	173
9.4 存在像差的衍射像	174
9.5 斯特列尔比	175
9.6 光学传递函数	176
9.7 分辨率标准	179
9.8 高斯光束	181
参考文献	182
第 10 章 棱镜	185
10.1 展开图	185
10.2 偏转光束	185
10.3 图像变换	186
10.4 棱镜的偏转和变换	188
10.4.1 偏转棱镜	188
10.4.2 反射系统	189
10.5 保向变换棱镜	191
10.5.1 上下镜像和左右镜像棱镜	191
10.5.2 转像棱镜组	192
10.6 分束棱镜	195
10.7 色散棱镜	195
10.7.1 等边棱镜	196
10.7.2 恒偏向棱镜	197
10.7.3 不偏转的色散棱镜	198
10.8 非成像棱镜	199
参考文献	199
第 11 章 基本的光学系统和简单照相镜头	201
11.1 光学系统分类	201
11.2 放大镜和单片成像镜头	202
11.2.1 放大镜	202
11.2.2 双目放大镜	204
11.2.3 单片成像镜头	206
11.3 风景镜头	209
11.4 周视镜头	211

11.5	消色差风景镜头	212
11.6	双胶合透镜	214
11.6.1	未消球差的双胶合透镜	214
11.6.2	双分离透镜	217
11.6.3	消球差双胶合透镜	219
11.6.4	复消色差透镜	220
11.7	激光准直器	220
11.8	球面和抛物面反射镜	222
11.8.1	球面镜的离轴像差	223
11.8.2	凹球面镜	224
11.8.3	凹抛物面镜	226
11.8.4	凸球面镜	227
11.9	一些反射和折反系统	229
11.9.1	孟琴反射镜	229
11.9.2	戴森 (Dyson) 系统	230
11.9.3	奥夫纳 (Offner) 系统	231
11.10	$f-\theta$ 透镜	231
11.11	菲涅耳透镜和伽柏平板	232
	参考文献	233
第12章	复杂摄影镜头	235
12.1	引言	235
12.2	不对称系统	236
12.2.1	佩兹伐镜头	236
12.2.2	远摄镜头	237
12.2.3	库克 (Cooke) 三片式镜头	239
12.2.4	天塞 (Tessar) 镜头	243
12.3	对称去像散系统	244
12.3.1	Dagor 镜头	244
12.3.2	分离镜头	246
12.3.3	双高斯镜头	246
12.4	可变焦面镜头和变焦镜头	248
	参考文献	252
第13章	人眼和眼镜	255
13.1	人眼	255
13.2	眼镜片	257
13.3	眼镜片设计	260

13.3.1 Tscherning 椭圆	262
13.3.2 非球面眼镜片	263
13.4 楔形镜片	264
13.5 球柱镜片	265
参考文献	266
第 14 章 天文望远镜	268
14.1 分辨率和集光能力	268
14.1.1 衍射效应和大气扰动	268
14.1.2 望远镜的视觉限制	269
14.1.3 望远镜的拍摄和 CCD 限制等级	269
14.2 双反射式相机镜头和望远镜	270
14.2.1 双反射镜系统的一阶近似设计	271
14.2.2 双反射镜望远镜遮光罩	273
14.3 折反相机镜头	273
14.3.1 施密特相机镜头	274
14.3.2 鲍沃斯 (Bouwers) 相机镜头	276
14.3.3 鲍沃斯 - 马克苏托夫相机镜头	277
14.3.4 去像散同心施密特 - 卡塞格林相机镜头	277
14.3.5 平面场去像散施密特 - 卡塞格林相机镜头	278
14.4 天文望远镜	280
14.4.1 牛顿望远镜	280
14.4.2 卡塞格林望远镜	281
14.4.3 RC 望远镜	284
14.4.4 达 - 客 (Dall - Kirkham) 望远镜	286
14.4.5 格里 (Gregory) 望远镜	286
14.4.6 施密特 - 卡塞格林望远镜	287
14.4.7 马克苏托夫 - 卡塞格林望远镜	288
14.4.8 折轴焦点结构和内氏焦点结构	289
14.5 像场校正镜	289
14.5.1 单视场致平器	290
14.5.2 罗斯 (Ross) 校正器	290
14.5.3 韦恩 (Wynne) 校正器	291
14.5.4 非球面校正器	291
14.6 多镜面望远镜	293
14.7 主动光学和自适应光学	294
参考文献	295