

Advanced Optics Using Aspherical Elements

非球面光学元件的先进制造 和应用技术

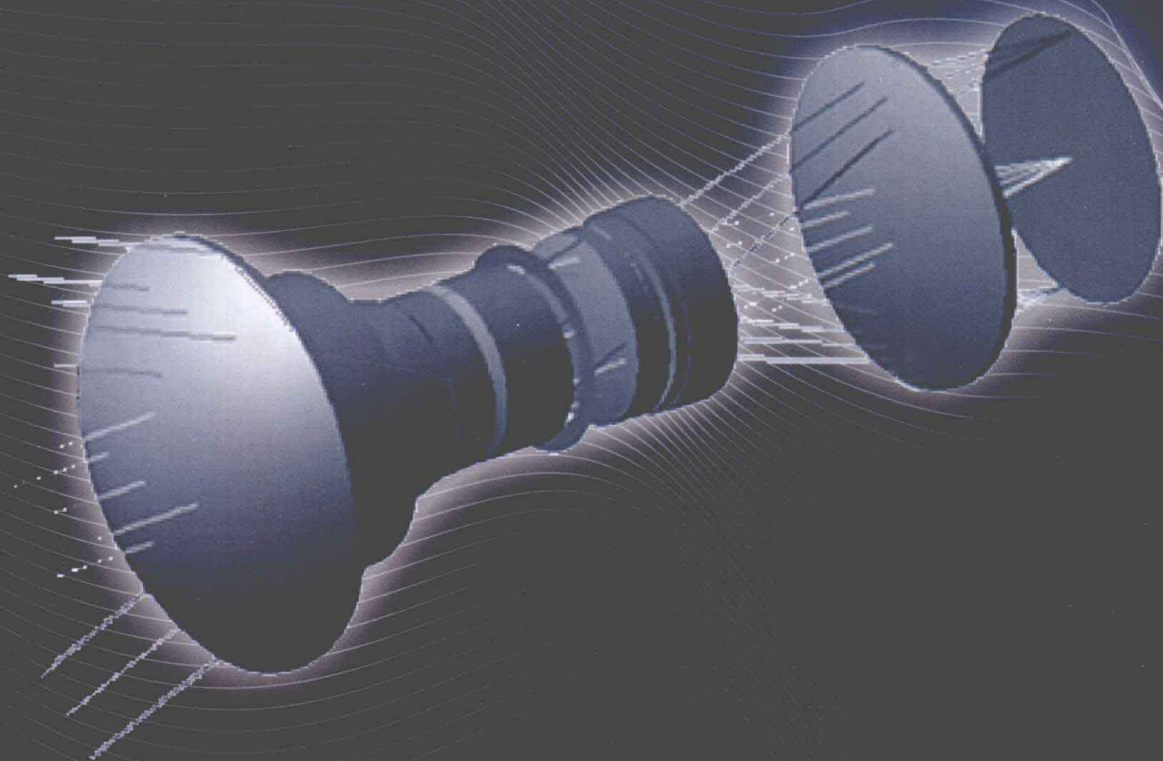
原著〔德〕：本哈德·布朗尼克（Bernhard Braunecker）

吕迪哥·亨沙（Rüdiger Hentschel）

汉斯·弟子阿尼（Hans Tiziani）

田爱玲 王红军 等译

田爱玲 主审



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

Advanced Optics Using Aspherical Elements

非球面光学元件的先进制造和应用技术

原著 (德) 布朗尼克 (Bernhard Braunecker)
亨沙 (Rüdiger Hentschel)
弟子阿尼 (Hans J. Tiziani)

田爱玲 王红军 等译
田爱玲 主审



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

非球面光学元件的先进制造和应用技术 / (德) 布郎尼克, (德) 亨沙, (德) 弟子阿尼著; 田爱玲, 王红军等译.

—杭州: 浙江大学出版社, 2011. 11

书名原文: Advanced Optics Using Aspherical Elements

ISBN 978-7-308-09190-9

I. ①非… II. ①布… ②亨… ③弟… ④田… ⑤王…
III. ①非球面透镜—基本知识 IV. ①TH74

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 210685 号

内容简介

本书分两部分内容。第一部分是技术综述, 第二部分是一些著名企业的总工程师编写的对第一部分更详细的描述, 包括: 1. 最新的光学设计和加工技术; 2. 指出所研究领域的发展趋势和正在进行的研究工作; 3. 不同生产技术的效益和风险分析。

由于非球面有优良的光学特性, 许多现代光学系统都采用非球面设计, 使越来越多的人要了解非球面设计、加工、检测和装配技术。但是目前关于非球面技术应用的书籍几乎没有。本书主要针对目前国内科技界对非球面技术的强烈需求, 面向光学工程学科的研究生、光学企业开发工程师、生产工程师以及管理人员, 介绍一些光学非球面加工和检测技术的普遍理论、技术及应用实例。

本书有助于非球面技术应用的研究工作与教学工作。

非球面光学元件的先进制造和应用技术

原著 (德) 布郎尼克 (Bernhard Braunecker)

亨沙 (Rüdiger Hentschel)

弟子阿尼 (Hans J. Tiziani)

田爱玲 王红军 等译

责任编辑 杜希武

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排版 杭州好友排版工作室

印刷 杭州杭新印务有限公司

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 20.5

字数 499 千

版印次 2011 年 11 月第 1 版 2011 年 11 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978-7-308-09190-9

定价 100.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571) 88925591

本书编译人员

(以姓氏笔画为序)

王红军(西安工业大学副教授)

田爱玲(西安工业大学教授)

刘丙才(西安工业大学讲师)

朱学亮(西安工业大学讲师)

弥 谦(西安工业大学教授)

潘永强(西安工业大学副教授)

译者前言

非球面光学元件有许多优良的光学性能,所以越来越多地被应用到现代光电系统中。但是,由于非球面固有的复杂性,其加工和检测相对于球面光学元件来讲比较困难,成为近十几年来光学技术领域的主要研究方向之一。

国内的非球面技术研究比发达国家起步晚,水平相对滞后。虽然经过了热点研究时期,但目前国内非球面光学元件加工和检测的技术问题并没有很好地解决,生产中大部分使用国外进口设备,我们还没有真正掌握非球面加工和检测的核心技术。因此必须全面了解国内外非球面加工和检测技术的发展现状,认真学习国外的先进技术,才能更有效地研究并解决国内非球面光学元件加工中的实际技术问题。

德国是光学技术发展先进的国家,本书主要由德国的光学专家编著完成。主编 Bernhard Braunecker 博士曾是德国著名 Leica 公司的研究员,有 40 多个光学工程领域的专利;主编 Rüdiger Hentschel 曾是德国 Schott AG 公司光学部门的技术主管;主编 Hans J. Tiziani 是 University of Stuttgart 的著名教授,在光学工程领域有诸多成果。除主编外,还有来自约 60 个光学企业和研究院所的光学专家参与本书的编写。全书共有两部分组成。第一部分由著名光学公司的首席工程师介绍各种技术,并概括了技术的应用;第二部分由光学技术专家具体介绍不同的加工技术和检测方法,分析了应用范围和技术的局限、以及技术研究的进展。本书全面地反映了当前国际上非球面加工和检测技术的发展水平,适合于从事光学研究、开发和生产的工程师使用,也可以作为高校老师和学生的参考书。另外,在每章节的最后,本书给出了许多链接网址,读者可以方便地查找与非球面相关的技术资料,及时跟踪学科前沿和技术发展方向。

参与本书翻译的成员都是西安工业大学的教师,主要从事光学加工和检测方面的教学和科研工作,部分成员一直从事非球面光学元件加工和检测的科研工作,且已经获得相关研究成果。全书共分 17 章,其中第 1、5、12 和 17 章由田爱玲翻译,第 2、3、4、6 和 14 章由刘丙才翻译,第 7 章由弥谦翻译,第 8、9、10、11 和 16 章由王红军翻译,第 13 章由朱学亮翻译,第 15 章由潘永强翻译。田爱玲负责全书的初校、审核和整理工作。

希望本书对读者的学习、研究和开发有所帮助。

在本书翻译过程中,得到了北京理工大学辛启明教授的大力支持,在此表示衷心的感谢。

书中难免存在错误和不妥之处,敬请读者指正。

译 者

于西安工业大学金花校区

2011 年 10 月 13 日

目 录

第一章 绪论	1
§ 1.1 目的和意义	1
§ 1.2 本书概要	2

第一部分 回顾和概要

第二章 基本问题	7
§ 2.1 基本指标	7
2.1.1 光学元件与波前传播	7
2.1.2 光学设计和公差	8
2.1.3 制造与测量误差	8
2.1.4 系统性能指标	9
§ 2.2 非球面光学元件的定义	9
2.2.1 非球面光学元件的基本特点	9
2.2.2 非球面的数学描述	10
2.2.3 非球面光学元件的特有容差	10
2.2.4 表面纹理	11
§ 2.3 图纸标注	12
§ 2.4 非球面元件的参数转换	12
§ 2.5 表面误差的研究	12
2.5.1 非球面激光准直仪	12
2.5.2 不同表面精密加工技术的比较	14
2.5.3 相干光束的传播	15
2.5.4 应用实例:打标仪	16
§ 2.6 参考文献	16
第三章 应 用	17
§ 3.1 物理学因素	17
§ 3.2 成像质量	17

§ 3.3 实 例..... 18

§ 3.4 设计动因..... 23

§ 3.5 分 类..... 23

§ 3.6 技术难题..... 23

 3.6.1 定心..... 23

 3.6.2 稳定性..... 24

 3.6.3 测量的复杂性..... 24

§ 3.7 应用领域..... 24

第四章 非球面材料 25

 § 4.1 玻 璃..... 30

 § 4.2 聚合物..... 30

 § 4.3 微晶陶瓷..... 31

 § 4.4 单晶和多晶陶瓷..... 31

第五章 加工技术 33

 § 5.1 非球面加工:传统方法 33

 5.1.1 回预..... 33

 5.1.2 加工成型..... 33

 5.1.3 抛光..... 35

 5.1.4 模压成型..... 37

 § 5.2 当代加工技术概述..... 37

 5.2.1 加工成型..... 40

 5.2.2 抛光..... 40

 5.2.3 局部修正..... 41

 5.2.4 计算机控制抛光(CCP) 41

 5.2.5 液体射流抛光(FJP) 42

 5.2.6 磁流变抛光(MRF) 42

 5.2.7 离子束抛光(IBF) 43

 § 5.3 非球面加工工艺..... 44

 § 5.4 混合技术..... 44

 § 5.5 模 压..... 45

 5.5.1 精密玻璃模压..... 45

 5.5.2 塑料模压..... 45

 5.5.3 相关——最终表面质量——表面处理..... 46

 § 5.6 参考文献..... 47

第六章 测 量	49
§ 6.1 光学系统性能测量	49
§ 6.2 单表面测量	49
§ 6.3 表面测量	50
6.3.1 光学表面的特性	50
§ 6.4 表面粗糙度和波纹度的测量	51
§ 6.5 表面面形测量	54
6.5.1 未抛光表面的面形测量	55
6.5.2 抛光表面的面形测量	55
§ 6.6 干涉检测	55
6.6.1 基于 CGH 的表面面形测量	56
6.6.2 CGH 的设计与制作	57
§ 6.7 基于夏克—哈特曼波前传感器的表面面形测量	59
§ 6.8 各种方法的比较	60
§ 6.9 参考文献	60
第七章 镀膜技术	62
§ 7.1 概 述	62
§ 7.2 商业市场	62
7.2.1 国际市场	62
7.2.2 镀膜类型	62
7.2.3 镀膜成本	63
7.2.4 国际市场格局	63
§ 7.3 沉积技术、膜系设计及监控	63
7.3.1 沉积技术	63
7.3.2 膜系设计	65
7.3.3 监控技术	65
§ 7.4 塑料光学中的多功能镀膜	66
§ 7.5 实际应用	66
§ 7.6 纳米涂层	67
§ 7.7 小 结	67
§ 7.8 参考文献	68
§ 7.9 补充读物	68
第八章 装配技术	69
§ 8.1 设计和装配的关系	69
§ 8.2 装配方法概述	69

8.2.1 常用球面光学镜头的装配	69
8.2.2 高端球面光学镜头的装配	70
8.2.3 高端非球面光学镜头的装配	71
8.2.4 微光学系统的自动装配	71
§ 8.3 误差和公差	72
8.3.1 元件公差	72
8.3.2 装配公差	72
§ 8.4 补偿器	73
§ 8.5 非球面元件光轴的对准	74
§ 8.6 单片光学	74
§ 8.7 技术描述	75
§ 8.8 参考文献	75
第九章 发展趋势	76
§ 9.1 引 言	76
§ 9.2 初步分析	76
§ 9.3 应 用	77
§ 9.4 材 料	77
§ 9.5 加工技术和计量	79
9.5.1 集成化加工测量	79
9.5.2 零光学元件	80
9.5.3 可替代的测量方法	80
9.5.4 综合技术	80
9.5.5 自适应系统	80
9.5.6 自由曲面	81
9.5.7 液体透镜	81
9.5.8 仿真和建模	81
§ 9.6 镀膜技术	82
§ 9.7 装 配	83
9.7.1 自动化装配	83
9.7.2 胶合及粘接	83
9.7.3 弹性复位垫圈	83
9.7.4 完整装配工艺	83
9.7.5 单片光学	83
§ 9.8 参考文献	84
第十章 数学公式	85
§ 10.1 二次曲面	85

§ 10.2 ISO10110 第 12 部分的基本公式	86
10.2.1 修正	87

第二部分 专家们的技术汇编

第十一章 应 用	91
§ 11.1 照 明	91
11.1.1 数字投影仪和背投电视	91
11.1.2 汽车前灯	92
11.1.3 光学系统	93
11.1.4 设计动因和非球面化程度	96
11.1.5 加工和性能参数	96
11.1.6 展望	98
11.1.7 参考文献	98
§ 11.2 微光学柱形非球面快轴准直仪	99
11.2.1 应用领域	99
11.2.2 光学系统	99
11.2.3 工艺和性能参数	99
11.2.4 材料	101
11.2.5 制造及公差	101
11.2.6 质量控制	101
11.2.7 小结	102
11.2.8 参考文献	103
§ 11.3 成像光学	103
11.3.1 应用领域	103
11.3.2 光学系统	103
11.3.3 设计动因和非球面的推广程度	104
11.3.4 进展和性能参数	104
11.3.5 小结	105
11.3.6 补充读物	105
§ 11.4 大像面镜头中的非球面	105
11.4.1 照相镜头中非球面的应用	105
11.4.2 大广角镜头中非球面的应用	106
11.4.3 目的	106
11.4.4 结果	106
11.4.5 生产:制造工艺	107
11.4.6 精密测量设备	107

11.4.7 展望	108
§ 11.5 紫外和超紫外光刻中的非球面投影镜头	108
11.5.1 引言	108
11.5.2 瑞利判据下的光刻技术	109
11.5.3 高数值孔径镜头中的非球面	109
11.5.4 浸液光刻技术	110
11.5.5 超紫外光刻技术	111
11.5.6 展望	112
11.5.7 致谢	113
11.5.8 参考文献	113
§ 11.6 航测的大画面镜头	114
11.6.1 应用领域	114
11.6.2 光学系统	115
11.6.3 设计动因和非球面的推广程度	116
11.6.4 工艺和性能参数	116
11.6.5 小结	117
11.6.6 参考文献	118
§ 11.7 空间通信中的反射望远镜	118
11.7.1 应用领域:卫星间的光网络	118
11.7.2 光学自由空间通信系统	118
11.7.3 设计动因和非球面的推广程度	119
11.7.4 工艺和性能参数	120
11.7.5 质量保证	121
11.7.6 小结	122
11.7.7 参考文献	122
§ 11.8 望远镜中的自由校正板	122
11.8.1 应用领域	122
11.8.2 设计动因和非球面的推广程度	123
11.8.3 工艺和性能参数	123
11.8.4 小结	124
11.8.5 参考文献	124
第十二章 材 料	125
§ 12.1 低 Tg 玻璃($n_d < 1.6, \nu_d > 65$)	125
12.1.1 玻璃的用途	125
12.1.2 玻璃的类型	125
12.1.3 光学特性	126
12.1.4 机械特性	126

12.1.5	化学特性	127
12.1.6	热学特性	128
12.1.7	应用及局限	128
12.1.8	参考文献	128
12.1.9	相关链接	129
12.1.10	研究与开发	129
§ 12.2	低 T_g 玻璃($1.6 < n_d < 1.9, 40 < \nu_d < 65$)	129
12.2.1	玻璃的用途	129
12.2.2	玻璃的类型	129
12.2.3	光学特性	130
12.2.4	机械特性	130
12.2.5	化学特性	131
12.2.6	热学特性	131
12.2.7	应用及局限	132
12.2.8	参考文献	132
12.2.9	相关链接	132
12.2.10	研究与开发	132
§ 12.3	低 T_g 玻璃($1.8 < n_d, 30 > \nu_d$)	132
12.3.1	玻璃的用途	132
12.3.2	玻璃的类型	133
12.3.3	光学特性	133
12.3.4	机械特性	134
12.3.5	化学特性	134
12.3.6	热学特性	135
12.3.7	应用及局限	135
12.3.8	参考文献	135
12.3.9	相关链接	135
12.3.10	研究与开发	136
§ 12.4	紫外光学玻璃	136
12.4.1	玻璃的用途	136
12.4.2	玻璃的类型	136
12.4.3	光学特性	137
12.4.4	机械特性	137
12.4.5	化学特性	138
12.4.6	热学特性	139
12.4.7	供货形式	140
12.4.8	应用及局限	141
12.4.9	参考文献	141

12.4.10	相关链接	141
12.4.11	研究与开发	141
§ 12.5	熔石英	141
12.5.1	玻璃的用途	141
12.5.2	玻璃的类型	141
12.5.3	光学特性	142
12.5.4	机械特性	142
12.5.5	化学特性	142
12.5.6	热学特性	142
12.5.7	供货形式	143
12.5.8	应用及局限	143
12.5.9	参考文献	143
12.5.10	相关链接	143
12.5.11	研究与开发	143
§ 12.6	光学聚合物	144
12.6.1	聚合物的用途	144
12.6.2	聚合物的类型	144
12.6.3	光学特性	144
12.6.4	机械特性	145
12.6.5	化学特性	145
12.6.6	热学特性	146
12.6.7	供货形式	146
12.6.8	应用及局限	147
12.6.9	参考文献	147
12.6.10	相关链接	147
§ 12.7	紫外光学晶体	148
12.7.1	晶体的用途	148
12.7.2	晶体的类型	148
12.7.3	光学特性	148
12.7.4	机械特性	149
12.7.5	化学特性	149
12.7.6	热学特性	149
12.7.7	供货形式	150
12.7.8	应用及局限	150
12.7.9	研究与开发	150
§ 12.8	红外光学晶体	150
12.8.1	晶体的用途	150
12.8.2	晶体的类型	150

12.8.3	光学特性	151
12.8.4	机械特性	151
12.8.5	物理和化学特性	152
12.8.6	热学特性	152
12.8.7	供应形式	153
12.8.8	应用及局限	153
12.8.9	研究和开发	153
§ 12.9	玻璃陶瓷	153
12.9.1	玻璃陶瓷的用途	153
12.9.2	玻璃陶瓷的各种类型	153
12.9.3	光学性能	154
12.9.4	机械性能	154
12.9.5	化学性能	154
12.9.6	热学性能	155
12.9.7	供货形式	155
12.9.8	应用及局限	156
12.9.9	链接(企业信息)	156
12.9.10	链接(研究和开发)	156
§ 12.10	光学陶瓷	156
12.10.1	光学陶瓷的类型	156
12.10.2	光学特性	157
12.10.3	机械特性	157
12.10.4	热学特性	158
12.10.5	供应形式	158
12.10.6	应用范围与其局限性	158
12.10.7	相关链接	158
§ 12.11	红外光学玻璃	159
12.11.1	红外光学玻璃的特定用途	159
12.11.2	红外光学玻璃类型	159
12.11.3	光学特性	160
12.11.4	机械特性	161
12.11.5	化学特性	161
12.11.6	热学特性	162
12.11.7	供应形式	163
12.11.8	应用及局限	163
12.11.9	参考文献	163
12.11.10	相关链接	163
12.11.11	研究与进发	163

第十三章 加工技术	164
§ 13.1 环带研磨加工	164
13.1.1 技术简介	164
13.1.2 技术的预期目的	164
13.1.3 技术特点	164
13.1.4 研磨过程描述	165
13.1.5 最新进展	166
13.1.6 工艺参数	167
13.1.7 小结	168
13.1.8 补充读物	168
13.1.9 相关链接	168
§ 13.2 环带抛光	169
13.2.1 技术简介	169
13.2.2 技术的预期目的	169
13.2.3 技术特点	170
13.2.4 抛光过程	170
13.2.5 最新进展	171
13.2.6 工艺参数	171
13.2.7 小结	172
13.2.8 补充读物	172
13.2.9 相关链接	173
§ 13.3 磁流变抛光	173
13.3.1 技术简介	173
13.3.2 技术的预期目的	174
13.3.3 技术特点	174
13.3.4 磁流变抛光过程	174
13.3.5 最新进展	175
13.3.6 工艺参数	176
13.3.7 小结	177
13.3.8 补充读物	177
13.3.9 相关链接	177
§ 13.4 计算机控制抛光	178
13.4.1 技术简介	178
13.4.2 技术的预期目的	178
13.4.3 技术特点	179
13.4.4 抛光过程	179
13.4.5 最新进展	179

13.4.6	抛光的工艺参数	180
13.4.7	小结	181
13.4.8	补充读物	181
13.4.9	相关链接	181
§ 13.5	子孔径自动抛光	182
13.5.1	技术简介	182
13.5.2	技术目的	182
13.5.3	技术特点	182
13.5.4	抛光过程	184
13.5.5	工艺参数	185
13.5.6	小结	185
13.5.7	最新发展	185
13.5.8	补充读物	186
§ 13.6	计算机辅助射流抛光	186
13.6.1	技术简介	186
13.6.2	技术目的	186
13.6.3	技术特点	187
13.6.4	抛光过程	187
13.6.5	最新进展	187
13.6.6	性能及应用	187
13.6.7	工艺参数	189
13.6.8	小结	189
13.6.9	补充读物	189
13.6.10	相关链接	189
§ 13.7	离子束抛光	189
13.7.1	技术简介	189
13.7.2	技术目的	190
13.7.3	技术特点	190
13.7.4	抛光过程	191
13.7.5	最新进展	192
13.7.6	抛光的工艺参数	192
13.7.7	小结	193
13.7.8	补充读物	193
§ 13.8	精密玻璃模压	193
13.8.1	技术简介	193
13.8.2	技术目的	193
13.8.3	技术特点	194
13.8.4	模压过程	194

13.8.5	工艺参数	197
13.8.6	小结	198
13.8.7	现状	199
§ 13.9	精密玻璃压型模具	199
13.9.1	技术简介	199
13.9.2	技术目的	200
13.9.3	技术特点	200
13.9.4	模具制造的过程	201
13.9.5	工艺参数	203
13.9.6	小结	204
§ 13.10	高精密聚合物光学元件的注塑成型	204
13.10.1	技术简介	204
13.10.2	技术应用	204
13.10.3	技术特点	205
13.10.4	注塑成型过程	205
13.10.5	注塑成型的工艺参数	211
13.10.6	补充读物	212
13.10.7	相关链接	213
§ 13.11	基于晶圆技术的非球面微透镜加工技术	213
13.11.1	技术简介	213
13.11.2	技术目的	214
13.11.3	技术特点	214
13.11.4	加工过程	215
13.11.5	工艺参数	217
13.11.6	小结	217
13.11.7	现状	217
13.11.8	补充读物	218
第十四章	测 量	219
§ 14.1	探针式轮廓测量	219
14.1.1	技术简介	219
14.1.2	技术应用	219
14.1.3	技术特点	219
14.1.4	测量过程	220
14.1.5	最新进展	221
14.1.6	探针式轮廓测量的基本参数	222
14.1.7	相关链接	223