

# 光学塑料 非球面制造技术

Manufacturing Technology of Plastic Aspheric Lens

辛企明 著

国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

# 光学塑料非球面制造技术

## Manufacturing Technology of Plastic Aspheric Lens

辛企明 著

国防工业出版社

· 北京 ·

**图书在版编目(CIP)数据**

光学塑料非球面制造技术/辛企明著. —北京: 国防工业出版社, 2005. 1

ISBN 7-118-03636-6

I. 光... II. 辛... III. 光学塑料—非球面透镜—制造—技术 IV. TH74

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 101623 号

**国防工业出版社** 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 850 × 1168 1/32 印张 6 3/8 151 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 23.00 元

---

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

## 致 读 者

**本书由国防科技图书出版基金资助出版。**

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

**国防科技图书出版基金资助的对象是:**

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列出出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金**  
**评审委员会**

# 国防科技图书出版基金 第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员 陈达植

顾问 黄 宁

主任委员 刘成海

副主任委员 王 峰 张涵信 张又栋

秘 书 长 张又栋

副 秘 书 长 彭华良 蔡 镭

委 员 于景元 王小谟 甘茂治 冯允成

(按姓名笔画排序) 刘世参 杨星豪 李德毅 吴有生

何新贵 佟玉民 宋家树 张立同

张鸿元 陈火旺 侯正明 常显奇

崔尔杰 韩祖南 舒长胜

## 序

在光学系统发展的历程中,由于要求获取更多的外部信息和成像质量高度清晰,光学透镜的口径以及相对孔径总是做得尽可能大,而镜头设计的消像差和提高调制传递函数性能的要求使透镜的结构复杂,片数增多。但是,现代光学和光子学技术希望光学制造工业跟上现代微电子技术、微光子技术与光子集成技术的发展,使传统光学元件实现微型化、列阵化和集成化成为可能,甚至使宏观光学元件转化为微光学元件和具有处理功能的集成光学组件,达到传统光学元件达不到的效果,从而推动光学仪器发生根本性的变革。这两者的不同的要求形成鲜明的对照。

当我们考察一些传统的光学仪器时,往往发现一个共同特点是,头部庞大而笨重,身子瘦小。这个头部就是光学镜头(球面透镜、棱镜和球面反射镜)等。身子就是光接受器(探测器、放大器、传感器)等。在新世纪不久的将来,众多光电子元器件如有源光电子器件(如半导体激光器、光放大器、光探测器)与光波导器件(分/合波器、耦合器、滤波器、调制器、光开关等)将会被集成在一块半导体芯片上,构成了一种单片全光功能性器件时,其尺寸将越来越小。大头部和小身子的矛盾会越来越突出。我总有这样的感觉,传统的光学镜头已像瓶颈一样制约着系统向着小型化、微型化发展,改革传统的光学镜头包括它们的设计和制造工艺势在必行,摆在光学制造工业面前是一个巨大的任务。

为克服上述的矛盾,非球面零件、衍射光学零件等新型光学元件应运而生。在现代光电子仪器和军用光电装备小型化、集成化和轻量化的进程中,可以看到越来越多的系统采用非球面零件、衍射光学零件等新型光学元件。特别是军用光电系统,如军用激光、

微光、热成像等装置、导弹的导引头、飞行器的光学头罩等均采用了高精度的非球面光学零件。非球面光学零件在民用光电仪器中的应用更为广泛,我就不一一列举了。

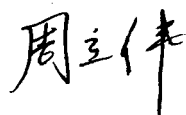
非球面光学零件不论从设计还是从加工技术上它们和传统的光学元件有很大的差别。光学塑料的注射成型技术是大批量制造非球面零件和衍射光学零件的关键技术,至今我国尚未完全掌握。我国每年需要几千万个光学塑料非球面透镜,几乎全部依赖进口。这种状况不仅使我国的非球面零件生产技术大大的落后,而且阻碍了非球面系统在先进光电仪器中的应用。

有鉴于此,辛企明教授撰写了本书——《光学塑料非球面制造技术》。该书共有六章,内容着重介绍光学塑料零件,特别是非球面零件的制造技术。书中对非球面系统设计的特点、光学塑料及其非球面零件的注射成型技术和镀膜技术等有详尽的叙述。这些技术也适用于衍射光学元件等微光学元件的制造。书中不仅深入浅出阐述非球面性质和光学塑料非球面设计的特点及其应用,而且对光学塑料非球面零件的制造技术,特别是注射成型技术和镀膜技术等复杂的工艺技术问题,作了很详尽的叙述,内容是十分丰富和全面的。

本书作者辛企明教授是与我在北京理工大学光电工程系一起工作 40 余年的同事。他治学严谨,数十年来勤奋地工作在教学、科研与生产实践的第一线,在先进光学制造工艺领域造诣高深、卓有成就。他将他在教学和科研工作中长期积累的知识和成果以及相关技术工作中的经验加以总结,编著成书,具有自己的特色。书中的大部分内容反映了当前的最新技术水平。

辛企明教授希望我为本书写一个序,我很惶恐,因我对先进光学制造工艺不甚了了。我拜读辛教授的书后,觉得光学塑料非球面制造技术对现代光学和光子学技术的发展确实十分重要,故不揣自己知识的浅陋,写了上面的话,不对之处,请予指正。但我相信,本书的出版一定会有助于让更多的技术人员掌握光学塑料非球面零件的制造技术,推动光学塑料非球面零件在光电仪器和军

用装备中的广泛应用。特此我向有关从事光学工程、精密机械与仪器、光学制造工艺等专业的大学生、研究生,以及工程技术人员和大学教师推荐,是为序。

A handwritten signature in black ink, reading '周志伟' (Zhou Zhiwei). The characters are written in a cursive, flowing style.

二零零四年九月三十日

# 前 言

由于非球面在简化光电信息采集系统的结构和减小系统的尺寸和重量等方面有显著的作用,因此非球面系统在军用和民用光电仪器中得到越来越广泛的应用。目前在国外,不论在武器火控、制导武器的导引头等军用系统还是在数码相机、光盘读写装置等民用系统中都已成功地应用了该技术。因此,非球面零件的制造技术在光学制造业中的重要性也越来越明显。

不论是设计还是加工和检测技术,非球面光学零件和传统的元件有很大的差别。光学塑料的注射成型技术是大批量制造非球面零件的一种关键技术。对于这些技术我国还几乎是空白,每年需要几千万个光学塑料非球面透镜,几乎全部依赖进口。即使有些国内的外资企业能生产某些零件,但并不掌握核心技术。这种状况不仅使我国的非球面零件生产技术大大地落后,而且阻碍了非球面系统在国产先进光电仪器中的应用。

光学塑料的注射成型技术是一种精密模压技术,它不仅用来大批量制造精密的非球面零件,而且可以用来制造衍射光学元件、菲涅耳透镜、微光学元件阵列、光盘基体和集成光学微结构等光学和光电子器件中的关键零部件。

编者长期从事非球面零件制造技术的教学和研究。最近3年多来,又在我国最新成立的、专门从事非球面光学系统的设计、制造和检测的企业——成都奥晶公司担任技术领导工作,亲身参加了光学塑料非球面零件的生产实践。从而积累了大量的理论和实践知识。虽然作者已在1997年国防工业出版社出版的《近代光学制造技术》一书中对光学塑料成型技术作过叙述,但因篇幅所限,在该书中只作了简单的介绍。编写本书的目的是要详细地介绍与

光学塑料非球面制造技术有关的设计、加工和检测等技术,供在校的研究生和从事光电系统设计、加工和检测的技术人员和操作者阅读和参考,以推动我国光学塑料非球面制造技术的发展。

本书得到浙江大学教授、博士生导师、中国光学学会副理事长唐晋发先生和中国科学院光电研究所研究员、博士生导师、中国光学学会光学制造技术委员会主任委员杨力先生的大力推荐,在此向他们表示衷心的感谢。

本书的出版得到国防科技图书出版基金评审委员会办公室和评委们的指导和支持,在此向他们表示衷心的感谢。

在编写过程中,武宇、贾远林和谢碧莲等奥晶公司的同事对本书的录入和制图等工作提供了很多帮助,在此也向他们表示衷心的感谢。

由于作者的学识有限和新技术发展很快,本书内容不大可能做到全面正确,难免书中有疏漏甚至错误之处,望读者提出宝贵意见。

作者

2004年4月

## 内 容 简 介

本书是一部全面、系统地介绍光学塑料非球面透镜的最新成型加工技术的专著。主要内容包括非球面的性质和非球面零件的应用,光学塑料及其特性和优缺点,含光学塑料非球面透镜的光学系统的设计特点,光学塑料零件的注射成型技术,光学塑料零件表面的镀膜技术和非球面面形的检测等。本书可供从事光电仪器设计和塑料光学零件制造工艺的科技人员及工厂的技术人员参考,也可以用做大专院校有关专业的教师、学生和研究生参考书。

This book is a monograph, in which the latest forming technology of optical plastic aspheric lens is introduced wholly and systematically. In the book, the nature of aspheric surface and the applications of aspheric lens, optical plastics and their characteristics, the design features of optical systems included with optical plastic elements, the injection molding technology of optical plastic elements, the coating technology of optical plastic elements and the testing of aspheric surface are mainly discussed. It can be taken as reference material for researchers or technicians who engaged in the designing and manufacturing opto - electronic devices. It also can be used as a reference book for college or university teachers, undergraduate students and graduate students who studied in related fields.

# 目 录

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| <b>第 1 章 非球面的性质</b> .....           | 1   |
| 1.1 非球面的分类 .....                    | 1   |
| 1.2 非球面的几何参数 .....                  | 2   |
| 1.3 二次非球面的光学性质 .....                | 8   |
| 1.4 非球面制造方法的分类.....                 | 13  |
| <b>第 2 章 非球面光学零件的应用</b> .....       | 17  |
| 2.1 在军用光电系统中的应用.....                | 17  |
| 2.2 在民用光电系统中应用.....                 | 18  |
| 2.3 应用实例.....                       | 19  |
| <b>第 3 章 光学塑料</b> .....             | 31  |
| 3.1 光学塑料的分类.....                    | 31  |
| 3.2 几种主要的光学塑料.....                  | 33  |
| 3.3 光学塑料的主要特性和优缺点 .....             | 42  |
| <b>第 4 章 光学塑料非球面系统设计的特点</b> .....   | 47  |
| 4.1 光学设计的特点 .....                   | 47  |
| 4.2 结构设计的特点 .....                   | 53  |
| 4.3 新产品开发的过程.....                   | 59  |
| <b>第 5 章 光学塑料非球面零件的注射成型技术</b> ..... | 61  |
| 5.1 塑料热成型理论.....                    | 61  |
| 5.2 塑料热成型方法.....                    | 64  |
| 5.3 注射成型机床.....                     | 64  |
| 5.4 注射成型工艺过程.....                   | 73  |
| 5.5 注塑模 .....                       | 78  |
| 5.6 注射成型工艺参数的选择 .....               | 104 |

|            |                               |            |
|------------|-------------------------------|------------|
| 5.7        | 质量控制和提高光学塑料非球面零件成型质量的措施 ..... | 119        |
| 5.8        | 计算机技术在光学塑料注射成型技术中的应用 .....    | 133        |
| <b>第6章</b> | <b>光学塑料零件的镀膜技术 .....</b>      | <b>142</b> |
| 6.1        | 光学塑料的镀膜特性 .....               | 142        |
| 6.2        | 光学塑料零件镀膜前的清洗 .....            | 143        |
| 6.3        | 离子辅助沉积技术 .....                | 144        |
| 6.4        | 光学塑料透镜的减反膜 .....              | 151        |
| 6.5        | 分光膜 .....                     | 155        |
| 6.6        | 其他膜层 .....                    | 155        |
| 6.7        | 膜层质量的检测 .....                 | 156        |
| <b>第7章</b> | <b>非球面面形的检测 .....</b>         | <b>158</b> |
| 7.1        | 非球面零件的质量评价 .....              | 158        |
| 7.2        | 轮廓测量法 .....                   | 159        |
| 7.3        | 二次非球面的检测 .....                | 166        |
| 7.4        | 补偿检测法 .....                   | 168        |
| 7.5        | 剪切干涉法 .....                   | 175        |
| 7.6        | 工具透镜法 .....                   | 177        |
| 7.7        | 各种非球面测量方法的比较 .....            | 177        |

# Table of contents

|                  |                                                                    |    |
|------------------|--------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Chapter 1</b> | <b>Nature of aspheric</b>                                          | 1  |
| 1.1              | Classification of aspheric surfaces                                | 1  |
| 1.2              | Geometrical parameters                                             | 2  |
| 1.3              | Optical features of toric aspheric                                 | 8  |
| 1.4              | Classification of methods of manufacturing                         | 13 |
| <b>Chapter 2</b> | <b>Applications of optical aspheric elements</b>                   | 17 |
| 2.1              | Applications in military opto – electro systems                    | 17 |
| 2.2              | Applications in civil opto – electro systems                       | 18 |
| 2.3              | Examples                                                           | 19 |
| <b>Chapter 3</b> | <b>Optical plastics</b>                                            | 31 |
| 3.1              | Classification of optical plastics                                 | 31 |
| 3.2              | Some principle optical plastics                                    | 33 |
| 3.3              | Main characteristics of optical plastics                           | 42 |
| <b>Chapter 4</b> | <b>Features of designing aspheric system of optical plastics</b>   | 47 |
| 4.1              | Features of optical designing                                      | 47 |
| 4.2              | Features of mechanical designing                                   | 53 |
| 4.3              | Process of developing new products                                 | 59 |
| <b>Chapter 5</b> | <b>Injection – molding technology of plastic aspheric elements</b> | 61 |
| 5.1              | Theory of plastic thermal formation                                | 61 |
| 5.2              | Methods of plastic thermal formation                               | 64 |
| 5.3              | Molding machine                                                    | 64 |
| 5.4              | Technical process of injection molding                             | 73 |

|                  |                                                                                       |            |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.5              | Injection mould .....                                                                 | 78         |
| 5.6              | Selection of technological parameters of injection<br>molding .....                   | 104        |
| 5.7              | Quality control and measures for improving<br>molding quality .....                   | 119        |
| 5.8              | Applications of computer technology in<br>injection molding of optical plastics ..... | 133        |
| <b>Chapter 6</b> | <b>Coating technology .....</b>                                                       | <b>142</b> |
| 6.1              | Coating characteristics of optical plastics .....                                     | 142        |
| 6.2              | Clean optical plastic elements before coating .....                                   | 143        |
| 6.3              | Plasma – ion assisted deposition .....                                                | 144        |
| 6.4              | Anti – reflection film of optical plastic lens .....                                  | 151        |
| 6.5              | Beam – splitting coating .....                                                        | 155        |
| 6.6              | Other kinds of coating .....                                                          | 155        |
| 6.7              | Testing coating quality .....                                                         | 156        |
| <b>Chapter 7</b> | <b>Testing aspheric surface .....</b>                                                 | <b>158</b> |
| 7.1              | Quality evaluation of aspheric element .....                                          | 158        |
| 7.2              | Profilograph .....                                                                    | 159        |
| 7.3              | Testing conicoid .....                                                                | 166        |
| 7.4              | Null testing .....                                                                    | 168        |
| 7.5              | Shearing interferometer .....                                                         | 175        |
| 7.6              | Tool lens .....                                                                       | 177        |
| 7.7              | Comparison of testing methods .....                                                   | 177        |

# 第1章 非球面的性质

## 1.1 非球面的分类

从广义上来讲,除了球面和平面(可以认为是球面的特例,曲率半径为无穷大)以外的其他表面都可以称为非球面,包括非对称性的空间曲面,或称自由曲面(Freeform)。

在光电系统中,已采用或可适用的非球面主要有三大类型:第一类是轴对称非球面,如回转抛物面、回转双曲面、回转高次非球面等;第二类是具有两个对称面的非球面,如柱面、复曲面等;第三类是没有对称性的自由曲面。

光学系统中最常用的是具有近轴区的非球面表面,在该表面中心点是连续的,该点的切线垂直于它的轴线,锥形面是唯一已被采用的、没有近轴区的回转非球面。

在绝大多数情况下,光电成像系统采用轴对称非球面。

非球面用右手直角坐标系描述,其中 $z$ 轴是光轴。直角坐标系的原点与非球面表面的顶点相重合,而且回转轴与系统的光轴重合。除非另有说明, $z$ 轴位于图平面内,并且从左到右。如果只画一个截面, $x$ 轴也位于图平面内,并且方向朝上。

通常我们用下面的普遍公式表示这类“轴对称回转非球面”<sup>[1]</sup>:

$$z(x) = \frac{cx^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2x^2}} + a_3|x|^3 + \cdots + a_n|x|^n \quad (1.1)$$

式中, $x$ 为离非球面轴的径向距离; $z$ 为相应的垂直距离; $c$ 为顶点曲率, $c=1/R_0$ , $R_0$ 为顶点曲率半径; $k$ 为二次常数; $a_n$ 为多项式系数。