

现行光学元件

检测与国际标准

徐德衍 王 青 高志山 编著
陈 磊 何 勇 朱日宏



科学出版社
www.sciencep.com

现行光学元件检测与国际标准

徐德衍 王 青 高志山 编著
陈 磊 何 勇 朱日宏

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书重点介绍了光学元件检测领域的近期进展、方法、技术和需求。全书共 10 章,主要论述了现代光学的发展对光学元件检测的需求;计量概念与误差及精度的必要知识;光学元件检测基础;光学元件的参数检测和性能检测的现行技术,侧重对特殊元件、光学表面面形、表面缺陷及表面粗糙度等内容的叙述;介绍了光学元件技术要求和检测要求的国际标准(ISO10110)的最新内容和相关的辅助资料。本书附录汇总了光学检测中 4 个常用的资料及相关的参考书籍。

本书可供从事光学、光学工程(尤其光学制造技术与检验)的科技人员与工艺技术人员参考,也可供大专院校有关专业的师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

现行光学元件检测与国际标准/徐德衍等编著. —北京:科学出版社,2009
ISBN 978-7-03-025083-4

I. 现… II. ①徐… III. ①光学元件-检测 ②光学元件-国际标准
IV. TH74

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 127817 号

责任编辑:孙芳 于宏丽 / 责任校对:钟洋
责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 7 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)
2009 年 7 月第一次印刷 印张:20
印数:1—3 000 字数:386 000

定价:50.00 元

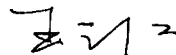
(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

光学元件的传统检测方法与技术已沿用了数十年。

近十多年来,随着光学元件产量的猛增、品种的多样性及技术性能要求的变异和提升,与之相适应的光学元件检测内容、技术,甚至标准也在更新与发展。《现行光学元件检测与国际标准》一书正是旨在适应这一新形势而编写的。例如,在光学表面面形新旧标准的读解方面,在光学表面粗糙度的认识和测量方面,在光学表面缺陷的划分和转换方面,在透镜中心偏几种参数分析方面,在毫米级,甚至亚毫米级口径非球面及类似的小镜头的检测,以及计算全息图检验柱面镜等许多方面,该书都注入了以往从未涉及的新内容。另外,该书对光学元件技术要求和检验要求,以及近些年来推行的国际标准也做了全面、简要的解读,这在光学技术与产业日益国际化的今天一定有其现实的意义。

四十年来,徐德衍研究员主要从事以神光Ⅰ、神光Ⅱ装置为主的光学和光学元件检测,也参与了神光Ⅲ的部分光学元件检测工作。近十年来,他用很多时间和精力深入实践在多个光学工厂车间、光学公司企业的一线,耳闻目睹,甚至阅读许多国外图纸并亲自检测一些元件,深知国际光学产业市场和国内外重大光学工程的需求,以及当前光学加工检测能力与水平的现状。另外,参加编写该书的几位南京理工大学的教授多年来活跃在以干涉术为牵引的光学检测教学、科研领域,并取得了令人瞩目的成绩。因此,该书在内容的选编上,主要特点是具有现实性、新颖性和实用性,特向读者推荐。



2008年11月20日

前 言

光学元件的需求与发展从未像今天如此的丰富多彩!从未像今天如此的数量繁多!与之相适应的光学元件的现行检测方法、技术和仪器,以及性能参数也从未像今天如此的花样翻新、深刻全面!

本书内容选编是基于在校学生和工厂员工已有一定的光学检测基础和实践的前提下进行的,即相当于为已学习完中级“光学检测”的读者在其广度上和深度上再提高而编写。同时,也兼顾了社会上从事光学制造与检测技术人员需要进修和提高而增添了若干最新的相关光学检测内容。

全书共分 10 章。第 1 章的目的是引领读者站在较高、较宽的视野上,综观现代光学元件发展的特点,在对光学元件检测的一些全新的、特殊的、国际化的要求的高度上来确立自己永无止境的进取和追求目标。第 2 章和第 3 章是在较高层次上的光学检测基础的归纳与描述。计量基础、误差分析及检测结果的数据处理的基本知识等是第 2 章的重点;第 3 章除了光学材料的技术指标必须清楚外,对光源、接收器及常用的光学检测元部件与仪器应有一个概括性的了解,还对光学检测中常用的激光准直技术等做了必要的介绍。第 4 至第 7 章重点对光学元件几个主要的、棘手的、易混淆的几何参数和性能参数进行了详细介绍。例如,当前面形检测常用的现代检测技术与方法,即数字干涉仪测试结果的读解与习惯参数的转换;透镜中心偏的定义、转换和检验;光学表面缺陷与粗糙度的认识及检测;光学平板、棱镜角偏差、柱面的全息检测及非球面,尤其小口径非球面的现行检测等内容,均给予全面的、较新的阐述。第 8 章全面地介绍了光学元件和光学系统的质量检验和评定中常用的几种检测技术和方法,以及应用中值得注意的问题。这些是读者向光学检测领域广度和深度进修中必须掌握和应用的基础知识。第 9 章全面读解了光学元件技术要求和检测方法的最新国际标准(ISO10110)。在国内外光学工程技术与光学元件产品日益密切交往的今天,这对读者的深化工作将是非常有益的——这也是相当多从事光学职业的国内同行渴求了解的。第 10 章制订了 8 个实验实习课,对培养读者独立动手、巩固已学知识和编写综合技术报告的能力等方面是有益的。

书后还附有 5 个附录:①总结和归纳了一些光学检测中的经验、法则、提示及常用的术语和参数,旨在便于读者查找与记忆;②汇总了某些通用干涉系统干涉图形比例因子与测量参数的关系;③将数字干涉解析中的术语、字符及与 ISO10110 中的 3/A、B、C 的关系列表做了归纳和汇总,以便应用者辨析;④对必要的、但篇幅颇多的 ISO14999:2005 译出中文目录,以供读者追索或精读相关部分;⑤列出

光学检测方面的参考书籍。

本书编写安排为:第1、7(除7.5节)、9章、附录及2.4节、3.4节、4.2节、5.5节、8.5节由徐德衍编写;第2(除2.4节)、4(除4.2节)、10章由王青编写;第3(除3.4节)、5章(除5.5节)由高志山编写;第6章由何勇编写;第8章(除8.5节)及7.5节由陈磊编写;全书由徐德衍和朱日宏通稿。

针对从事光学检测工作的现实需求和本着急用先学和少而精的实用精神,作者对书中的内容进行了有针对性的选编。因此,光学检测范畴内的许多内容并未提及,从这个角度上讲,本书不是一本系统的光学检测书籍,但本书所涉及的几方面内容对光学车间的高级工艺及检测人员、光学公司的技术及营销人员、大专院校的师生们或许都有其现实的参考价值。本书可单独节选某一章节并根据读者的需求进行深浅不同程度的讲授和学习。

编写本书是作者近十多年来的梦想,因为它可以将近些年来在科研工作和生产实践中积累的成果、经验、心得及国内外最新信息和进展都收集和浓缩在本书中,奉献给国内同行和光学界的朋友们,或许是有益的。现在,作者的梦想即将变成现实。感谢南京理工大学电光学院的领导们为我们提供的机会和对我们的支持,还要特别感谢光学前辈王之江院士,当他一听到作者的想法和计划时,就给予充分的肯定和热情的支持,并为本书写序。

在本书编写过程中,参考了国内外同行的一些成果,引用了作者与同事们多年来的合作论文。中国科学院上海光学精密机械研究所的有关同事,南京理工大学电光学院的老师,恒益光学精密机械有限公司、上海嘉光光学集团、SANEX(上海)公司等多家院所、企业的有关领导和技术人员,他们对本书的完成给予了协助和支持。南京理工大学电光学院的沈华、郭仁慧等及袁群、韩志刚、孙文卿和周旻超等在图表的绘制和整理上付出了辛劳,在此一并表示衷心的感谢!

在构思、撰写本书的过程中,恰逢作者应邀参与了全国光学和光子学标准化技术委员会(SAC/TC103)组织的几个国家光学标准的起草、审定工作。在此过程中,有幸结识了国家光学仪器质量监督检验中心、上海理工大学、凤凰光学集团有限公司、宁波永新光学股份有限公司、南京江南永新光学有限公司、贵阳新天光电科技有限公司等十几个单位的专家,他们紧跟光学的时代潮流,并为我提供基层资料和信息,尤其该委员会秘书长章慧贤高级工程师及时为我提供了最新版本的国际标准,使得本书注入了最新的信息和国际标准的最新内容,在此向所有的专家一并表示诚挚的感谢。

鉴于作者学识疏浅,加之编写时间有限,内容的取舍,文词的运用,尤其对一些全新内容的理解与表达等,不妥之处在所难免,敬请读者不吝赐教。

徐德衍

2009年2月28日于南京理工大学华园

目 录

序

前言

第 1 章 概论光学元件的现代发展及其对光学检测的需求	1
1.1 现代光学检测的重要性	1
1.1.1 光学元件检测的重要性	1
1.1.2 光学元件检测仪器与技术现状	1
1.2 现代光学元件制造发展的特点	2
1.2.1 以多功能、精密化为特点的大型化甚至巨型化光学工程和仪器牵引着 现代光学制造业的发展	2
1.2.2 以大批量化、产业化为特征的小型 and 超小型化的光学元件及大型和超 大型化的光学元件需求量猛增	7
1.2.3 以多样化、高精度为特点的各种光学元件对光学制造与检测提出了 全新的要求	9
1.3 现代光学元件检测技术的需求	10
1.3.1 大平面光学元件的检测	10
1.3.2 大球面光学元件的检测	11
1.3.3 小非球面镜的检测	13
1.3.4 柱面镜元件的检测	15
1.3.5 角锥棱镜的检测	17
1.3.6 批量生产的小光学元件的检测	18
1.4 光学元件技术要求和检验要求的国际标准(ISO10110)	19
1.4.1 ISO10110 的产生背景	19
1.4.2 基本内容及简要说明	22
1.4.3 学习 ISO10110 的重要性	24
参考文献	25
第 2 章 计量的基本概念与误差理论知识	28
2.1 计量法律法规知识	28
2.1.1 计量法知识	28
2.1.2 国防计量监督管理条例知识	29
2.1.3 法定计量单位简介	29

2.1.4	单位使用中的方法及规定	30
2.2	计量学的基本知识	31
2.2.1	测量与计量	31
2.2.2	计量器具	33
2.2.3	计量器具的误差	34
2.2.4	测量方法	34
2.3	误差理论基本知识	35
2.3.1	真值与误差	35
2.3.2	误差在测量值中的表现规律	38
2.3.3	随机误差的处理——算术平均值	40
2.3.4	系统误差的处理——发现与减小	43
2.3.5	粗大误差的处理——判别与剔除	47
2.3.6	测量列数据处理实例	49
2.4	精度、误差及测量的可靠性	51
2.4.1	测量精度概念的解析	51
2.4.2	测量可靠性的认识	53
2.4.3	测量不确定度	54
2.5	数据处理	56
2.5.1	有效数字	56
2.5.2	有效数字的数值计算规则	56
2.5.3	误差合成的方和根法	56
2.5.4	微小误差的取舍	57
2.5.5	不同测量之间的数据比较——En 评定	58
	参考文献	59
第3章	光学元件检测基础	60
3.1	光源与接收器	60
3.1.1	光学检测中常用的光源	60
3.1.2	光接收器	61
3.2	国内外光学材料主要性能与指标	64
3.2.1	应力双折射	64
3.2.2	气泡与杂质	64
3.2.3	非均匀性与条纹	64
3.2.4	材料非均匀性、波差及元件厚度关系的列线图	65
3.3	光学检测中典型的部件与仪器	66
3.3.1	平行光管	66

3.3.2 自准直目镜和自准直仪	67
3.3.3 测微目镜	68
3.3.4 内调焦望远镜的原理和应用	69
3.4 光束准直的检测技术	72
3.4.1 单平行平板作为剪切干涉仪检测光束的准直性	72
3.4.2 单楔板作为剪切干涉仪检测光束的准直性	76
3.4.3 提高单楔板作为剪切仪检测光束准直性的其他技术	78
参考文献	84
第4章 光学元件面形偏差的检测	86
4.1 面形偏差的基本概念及检测方法概述	86
4.1.1 面形、波面与干涉图	87
4.1.2 样板法	88
4.1.3 条纹法	90
4.1.4 多幅干涉图的移相干涉原理	91
4.1.5 高精度的绝对检验	92
4.2 波面的数字指标	93
4.2.1 PV、Power 及 RMS 描述面形偏差	94
4.2.2 光圈(N)和局部光圈(ΔN)	96
4.2.3 A 、 B 、 C 与 $PV(pv)$ 、Power 及与 N 、 ΔN 的关系	98
4.2.4 稳定性峰谷值 PV_r	101
4.3 平面面形偏差检测	102
4.3.1 平面面形的等级及其使用条件	102
4.3.2 温度	103
4.3.3 气流	105
4.3.4 振动	106
4.3.5 数字干涉仪检测时应注意的问题	107
4.4 球面面形偏差检测	112
4.4.1 球面干涉仪	112
4.4.2 干涉仪标准球面镜头及其选择	113
4.4.3 样板法球面面形检测应预先考虑的问题	114
4.5 非球面面形偏差检测	115
4.5.1 非球面检测方法概述	115
4.5.2 用计算全息图检验非球面	118
4.5.3 轮廓仪对非球面表面的检测	119
4.5.4 采用干涉仪直接测量非球面镜头质量	121

4.5.5 检验分辨率评价非球面镜头	122
4.5.6 柱面面形的计算全息法干涉检测	122
参考文献	124
第5章 光学透镜半径、厚度及中心偏的测量	126
5.1 球面曲率半径的测量	126
5.1.1 样板半径的真实性及其半径公差	126
5.1.2 球面曲率半径的几种测量方法	126
5.1.3 几种测量方法对 Askania 球径仪标准样块的测量比较	131
5.2 球面厚度测量	132
5.3 球面透镜中心偏	133
5.3.1 中心偏定义及其转换关系	133
5.3.2 中心偏图例	134
5.4 球面透镜及透镜组定中心	135
5.4.1 透镜定中心	135
5.4.2 透镜组定中心	137
5.5 柱面镜厚度、中心偏等几何偏差的检测	140
5.5.1 柱面镜的一般技术性能与检验	140
5.5.2 柱面镜中心偏差的检测	140
5.5.3 柱面镜平行性和垂直性的检测	142
5.5.4 关于柱面镜柱面曲率半径的控制和测量	143
参考文献	144
第6章 平板及棱镜角偏差的测量	145
6.1 平行平板玻璃平行性测量	145
6.1.1 双像法	145
6.1.2 干涉法	147
6.1.3 测量中应注意的问题	153
6.1.4 单楔形板的角度测量	154
6.2 棱镜及直角角偏差测量	155
6.2.1 直角棱镜测量	155
6.2.2 长方体直角误差测量	157
6.2.3 屋脊棱镜测量	158
6.3 角锥棱镜的角偏差经典测量	165
6.3.1 角锥棱镜的特点	165
6.3.2 在高精度自准直仪上批量检测角锥棱镜角偏差	166
6.4 数字波面干涉仪测量元件角偏差	168

6.4.1 数字波面干涉仪	168
6.4.2 平行度测量	170
6.4.3 直角测量	171
6.4.4 屋脊棱镜测量	173
6.4.5 角锥棱镜角偏差测量	173
参考文献	175
第7章 光学元件表面缺陷与表面粗糙度的检测	176
7.1 澄清基本概念和正确使用	176
7.2 表面缺陷标准	176
7.2.1 研究表面缺陷技术指标的必要性	176
7.2.2 我国“表面缺陷”标准	177
7.2.3 美、德、日等国家及地区“表面缺陷”标准	178
7.2.4 我国某公司自制的表面缺陷比较标样	181
7.2.5 表面缺陷新旧标准的大致转换关系	182
7.2.6 目视检验及其他	183
7.3 光学元件表面粗糙度的基本概念和定义	183
7.3.1 表面起伏的空间波长和取样长度	183
7.3.2 表面微观形貌与光学镜面表面的定义和划分	184
7.3.3 光学元件表面粗糙度基本定义、表达形式及其之间的关系	185
7.3.4 国标表述方式的局限和最高数值的限制	187
7.3.5 不同光学元件表面粗糙度的具体数值	187
7.3.6 我国现用的表面粗糙度标准不适于光学元件国内外发展的要求	188
7.4 光学表面粗糙度的测量	189
7.4.1 两种不同的测量原理与测量仪器	189
7.4.2 仪器使用中的取样部位与取样数目	191
7.4.3 超光滑表面粗糙度的测量	191
7.4.4 光学表面粗糙度测量待统一的问题	194
7.5 波前 PSD 的检测	195
7.5.1 波前 PSD 概念的引出	195
7.5.2 波前 PSD 的定义	196
7.5.3 波前 PSD 的测量	198
参考文献	199
第8章 光学系统性能评价与光学测试	201
8.1 分辨率的测试	201
8.1.1 分辨率的瑞利判据及艾里斑	201

8.1.2	新旧分辨率图案	201
8.1.3	有限距离的分辨率测量	204
8.1.4	无限距离的分辨率测量	205
8.2	调制传递函数	207
8.2.1	调制传递函数的引出	207
8.2.2	MTF 的简单测量	207
8.3	干涉测量	208
8.3.1	从宏观上掌握干涉检测光学元件的知识	208
8.3.2	从细节上注意影响干涉检测结果的若干方面	209
8.3.3	使用干涉仪测量光学系统像质评价指标	210
8.3.4	干涉仪测量光学系统时需要注意的一些问题	213
8.3.5	点衍射干涉仪	216
8.4	其他测试	218
8.4.1	星点检验与弥散圆测量	218
8.4.2	傅科检验与刀口阴影法	222
8.4.3	哈特曼检验与夏克-哈特曼波前传感器	223
8.4.4	低频光栅与朗奇检验	225
8.5	口径 1.58m 天文镜面的综合检测实例	227
8.5.1	基本参数	228
8.5.2	几项检测及其结果	228
	参考文献	231
第 9 章	光学元件国际标准 (ISO10110) 的基本内容	233
9.1	第一部分 一般规范	233
9.1.1	基本规定	233
9.1.2	图纸说明	233
9.1.3	光学材料技术说明	239
9.1.4	公差及其不同特性的表示	239
9.1.5	光学图纸的附加说明	239
9.2	第二部分 材料缺陷——应力双折射	242
9.2.1	可允许的应力双折射	242
9.2.2	图纸表示	242
9.2.3	选择应力双折射值	243
9.3	第三部分 材料缺陷——气泡与杂质	243
9.3.1	可允许的气泡和其他杂质	243
9.3.2	图纸表示	244

9.4 第四部分 材料缺陷——非均匀性和条纹	245
9.4.1 定义	245
9.4.2 技术说明	245
9.4.3 图纸表示	246
9.5 第五部分 表面形状公差	246
9.5.1 表面形状偏差公差的技术说明	247
9.5.2 图纸表示	248
9.5.3 公差标示举例	249
9.5.4 弧矢偏差公差与曲率半径公差间的关系	250
9.5.5 关于 ISO10110 中所确定的公差的解释与评定	250
9.5.6 ISO14999—4:2007 附录:干涉图形的目视分析	254
9.6 第六部分 中心偏差	261
9.6.1 几个基本定义	261
9.6.2 技术说明	262
9.6.3 图纸表示	262
9.6.4 举例说明	263
9.7 第七部分 表面缺陷公差	264
9.7.1 定义	264
9.7.2 图纸表示	264
9.8 第八部分 表面微观形貌	267
9.8.1 定义	267
9.8.2 表面微观形貌描述	268
9.8.3 图纸表示	269
9.9 第九部分 表面处理与镀膜	270
9.9.1 定义	270
9.9.2 图中说明	270
9.9.3 实例	271
9.10 第十部分 光学元件和胶合组件参数的列表表述	272
9.10.1 列表栏目	272
9.10.2 标题栏目	275
9.10.3 列表表述示例	275
9.11 第十一部分 自由公差数据	275
9.12 第十二部分 非球面	276
9.12.1 说明	276
9.12.2 非球面的数学描述	276

9.12.3	图纸表示	278
9.12.4	实例说明	279
9.13	第十三部分 激光辐射损伤阈值	281
9.13.1	符号规定	281
9.13.2	技术要求	282
9.13.3	图纸表示	282
9.13.4	举例说明	282
	参考文献	283
第 10 章	实验实习技术	285
10.1	实验 1:单平板的光束准直技术	285
10.1.1	实验目的	285
10.1.2	实验内容和所用的工具	285
10.1.3	实验原理和方法	285
10.1.4	思考内容	286
10.1.5	实验要求	286
10.2	实验 2:平面干涉仪的原理和主要应用	286
10.2.1	实验目的	286
10.2.2	实验内容和所用的工具	286
10.2.3	实验原理和方法	286
10.2.4	思考内容	287
10.2.5	实验要求	287
10.3	实验 3:球面干涉仪的原理和主要应用	287
10.3.1	实验目的	287
10.3.2	实验内容和所用的工具	287
10.3.3	实验原理和方法	287
10.3.4	思考内容	288
10.3.5	实验要求	288
10.4	实验 4:内调焦望远镜测量凸、凹球面曲率半径	288
10.4.1	实验目的	288
10.4.2	实验内容和所用的工具	288
10.4.3	实验原理和方法	288
10.4.4	思考内容	289
10.4.5	实验要求	289
10.5	实验 5:刀口阴影法检验表面和透镜像差	289
10.5.1	实验目的	289

10.5.2 实验内容和所用的工具	289
10.5.3 实验原理和方法	289
10.5.4 思考内容	289
10.5.5 实验要求	290
10.6 实验 6:在光具座上进行焦距与分辨率测量及星点检验	290
10.6.1 实验目的	290
10.6.2 实验内容和所用的工具	290
10.6.3 实验原理和方法	290
10.6.4 思考内容	290
10.6.5 实验要求	291
10.7 实验 7:曲率半径的测量:球径仪与干涉测长的比较	291
10.7.1 实验目的	291
10.7.2 实验内容和所用的工具	291
10.7.3 实验原理和方法	291
10.7.4 思考内容	291
10.7.5 实验要求	292
10.8 实验 8:移相式菲佐平面干涉仪和球面干涉仪的原理和功能	292
10.8.1 实验目的	292
10.8.2 实验内容和所用的工具	292
10.8.3 实验原理和方法	292
10.8.4 思考内容	292
10.8.5 实验要求	292
附录	293
I:光学检测中应记住的常用常数、公式、经验、术语与提示等 (内容不按重要性排布先后)	293
II:某些通用干涉系统中干涉图形比例因子及其与测量参数的差异	295
III:数字波面干涉检测中术语、定义及其与 $3/A(B/C)$ 的关系汇总	297
IV:关于 ISO/TR 14999—1/—2/—3 的内容目录译文	298
V:光学检测参考书籍汇总	301

第1章 概论光学元件的现代发展及其对光学检测的需求

1.1 现代光学检测的重要性

1.1.1 光学元件检测的重要性

光学科学技术与产业发展至今,从事光学检测的人们形成了一个共识——现代光学元件的检测比现代光学元件的制造更具有挑战性。也就是说,一个能胜任从事现代光学元件的制造者一定首先要胜任和解决现代光学元件的各种检测方法和技术。光学元件的制造过程及一些极端的制造能力就是光学元件的检测过程及一些极端的检测能力的展现。

有人说,“如果你不能测量它,那么你就不能制造它”,“如果你能测量它,那么你就能制造它”。可以说,光学检测是一种认识世界的工具和改造世界的手段,光学检测是光学科学与工程的重要组成部分^[1]。

光学元件检测的任务十分繁多而重要。其一,元件涉及的材料种类多,普通光学玻璃、熔融石英光学玻璃、氟化钙(CaF_2)、激光钕玻璃、磷酸二氢钾(KDP)、磷酸二氘钾(KD^*P)等材料层出不穷;其二,被测元件口径相差很大,大到几米,小到一两毫米甚至毫米以下,口径相差数千倍,且数量极其大;其三,被测元件的种类繁多,有平板、球面透镜、非球面靶镜、衍射光栅元件、倍频晶体和开关晶体、偏光片、角锥棱镜、柱面透镜、玻璃球珠等;其四,为了满足上述三方面的要求,测试技术、仪器、设备必须精密而品种多样,研究和掌握这些测试技术的难度也是不言而喻的。

光学元件检测面临着如此种类繁多、性能与尺寸迥异的形形色色的重要任务,要求我们去应对、去探讨、去完成。

1.1.2 光学元件检测仪器与技术现状

现今,我国不仅拥有国产、进口的大口径 $\Phi 600\text{mm}$ 移相干涉仪近十台,而且还拥有 $\Phi 800\text{mm}$ 移相干涉仪一台,而口径 $\Phi 100\sim\Phi 450\text{mm}$ 移相干涉仪已有150多台。对于光学元件表面特性的分析与检测,我国不仅普遍拥有一般的触针式表面轮廓仪、粗糙度测试仪,还有非接触式的利用显微干涉术原理的表面粗糙度测试仪,以及桥式的大型非接触式表面微轮廓(粗糙度)测试仪。另外,精密数字式球径

仪、精密中心偏测试仪、LAMDA 分光光度计、大口径透反射率测试仪、激光损伤测量及预处理系统、消光比测试仪、定量应力仪等多种仪器亦不在少数。

当然,我们在光学检测仪器和技术上还存在较多不足。

以神光工程的光学元件检测为例,科研工程尚有一些检验问题有待进一步解决,如相对孔径 1:30 左右、焦距 20m 左右透镜的长焦距高精度测量;光学元件表面缺陷的客观、定量、快速检验;金刚石车床车削 KDP、DKDP 晶体出现的表面波纹度的测量等都属于还没有得到满意解决的光学元件检测课题。这些科研工程检测与产业化的光学元件检测具有相当的差异,如涉及神光工程的光学元件检测,就应该建立和完善如下的光学检测平台:光学元件几何参数检测系统平台、光学元件波前质量检验系统平台、光学元件表面质量检验平台、光学薄膜透反射率与均匀性检验平台、光学薄膜损伤阈值检测平台、大口径 KDP 晶体元件检测平台、位相光学元件检测平台等。当然,有些平台可以共用和互动。

产业化的光学元件检测也有许多难点。例如,产业化的非球面,尤其小口径非球面透镜的检测,虽然已采用了一些方法(将在 4.4.3 节叙述),但技术人员仍在致力于寻找更有效、便捷的方法。再如,产业化中的镜面表面缺陷的检验,往往花费了大量的检验人力和工时而却常常出现争议的现象:国内各家的“经验标准”难以统一,以及与国外标准的对应转换难以把握。又如,除非特殊指明要求提供镜面表面光学表面粗糙度的数值外,很少有人注意光学镜面表面这一数值的确切大小,一概是笼统为 $\nabla 14$ (或全部是 $0.012\mu\text{m}$)。某些光学系统存在分辨率低下、视场不清晰、焦斑弥散等情况,很多人没有注意到另一根本原因,造成这些现象的是系统中光学元件表面粗糙度较差,尽管元件表面面形等其他性能参数都满足了要求。

上述问题仍未解决,更不用说我们为什么尚难以研制用于检验非球面反射镜的质量为 13000kg、体积为 $3.2\text{m(W)} \times 2.1\text{m(D)} \times 3.3\text{m(H)}$ 的如此庞大的点衍射干涉仪(point diffraction interferometer, PDI)^[2~6]。同样地,我们尚不能制造类似于 ZYGO NewView™ 6000 系列的精密、高速、非接触 3D 表面轮廓仪来测量大口径光学元件表面微观的形貌等。可以说,我们的光学检测现状离国际顶尖水平还有不小的差距^[7,8]。

1.2 现代光学元件制造发展的特点

1.2.1 以多功能、精密化为特点的大型化甚至巨型化光学工程和仪器牵引着现代光学制造业的发展

1. NIF 工程——世界光学史上空前的巨型光学工程^[9~15]

美国 NIF(National ignition facility)工程是当今世界光学史上最庞大的激光