



国防特色学术专著·仪器科学与技术

“十一五”国家重点图书
出版规划项目

现代光学计量与测试

XIANDAI GUANGXUE JILIANG YU CESHI

杨照金 范纪红 王雷 编著

北京航空航天大学出版社

北京理工大学出版社 哈尔滨工业大学出版社
哈尔滨工程大学出版社 西北工业大学出版社



国防特色学术专著·仪器科学与技术

“十一五”国家重点图书
出版规划项目

现代光学计量与测试

杨照金 范纪红 王 雷 编著

北京航空航天大学出版社

北京理工大学出版社 哈尔滨工业大学出版社
哈尔滨工程大学出版社 西北工业大学出版社

内 容 简 介

本书较系统地介绍了光学计量测试的基础理论、计量基准、计量标准和光学参数测量方法,涉及光辐射、激光参数、光辐射探测器参数、光学材料参数、成像光学、微小光学和微光夜视等方面的计量与测试技术。

本书可作为从事光学计量测试工作的科技人员的业务参考书,也可作为工程光学专业和测试计量技术与仪器专业研究生教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代光学计量与测试/杨照金,范纪红,王雷编著.

--北京:北京航空航天大学出版社,2010.5

ISBN 978-7-5124-0041-2

I. ①现… II. ①杨… ②范… ③王… III. ①光学—
计量 IV. ①TB96

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 041465 号

版权所有,侵权必究。

现代光学计量与测试

杨照金 范纪红 王 雷 编著
责任编辑 张军香 刘福军 朱红芳

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316936

印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:21 字数:538 千字

2010 年 5 月第 1 版 2010 年 5 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-0041-2 定价:65.00 元

前 言

光学计量是计量学的十大专业之一,是围绕光学物理量测量技术和量值传递开展工作的。其主要任务是不断完善光学计量单位制,复现物理量单位,研究新的计量标准器具和标准装置,建立量值传递系统和传递方法,发展新的测试技术,以及研究新的光学计量理论。随着科学技术的进步,光学计量测试技术得到飞速发展,已成为光学产业重要的支撑技术。

本书是作者在为西安应用光学研究所培养硕士和博士研究生编写的教材基础上整理而成的,是作者多年从事光学计量测试研究工作的总结,也是对国防科技工业光学一级计量站 20 多年科研工作的总结。在介绍光学计量测试基本原理、计量基准、计量标准和光学参数测试方法的基础上,尽可能反映当前光学计量科学研究的最新成果。

书中内容共分为 8 章。第 1 章介绍光学计量的发展历史和发展趋势,以及计量学通用的一些知识。第 2 章为光辐射计量与测试,介绍从紫外到红外全波段辐射计量基准、计量标准和测量方法。用较大篇幅介绍了红外热像仪校准技术,红外光谱辐射计校准技术和瞬态光辐射校准技术。第 3 章为激光参数计量与测试,介绍激光计量基准、计量标准和主要参数测量方法,并系统介绍了强激光计量测试及激光测距机主要参数校准技术。第 4 章为光辐射探测器参数计量与测试,介绍了单元探测器和多元探测器评价参数和参数测量方法,对红外探测器和红外焦平面阵列探测器测量进行了重点介绍。第 5 章为光学材料参数计量与测试,介绍了可见光材料和红外光学材料主要参数的测量方法,其中重点介绍了折射率测量的各种方法。第 6 章为成像光学计量与测试,介绍了成像光学系统像质评价、光学元件波像差测试与校准、光学元件主要参数测试方法等。第 7 章为微小光学计量与测试,介绍了集成光学、梯度光学和光纤元件主要参数测量方法,以及偏振保持光纤参数测量和单模光纤偏振模色散测量技术。第 8 章为微光夜视参数计量与测试,介绍了微光像增强器、微光夜视仪和微光夜视镜的主要参数测量方法。

第 2 章和第 4 章部分内容 by 范纪红编写,第 3 章和第 5 章部分内容 by 王雷编写,其余章节均由杨照金编写,全书由杨照金进行统稿。

西安应用光学研究所许多同事参与了本书的编写与整理,岳文龙高工、胡铁力高工、史继芳高工、王芳高工、王生云高工、杨红研究员等参与部分内容的整理。

郭羽、解琪同志参与插图的整理。北京理工大学苏大图教授、西安电子科技大学安毓英教授通读了全书,提出许多建设性意见和建议。本书采用了作者所在科研集体许多科研成果,也参考和引用了国内许多专家、学者的书籍和文献。西安应用光学研究所领导的关心与支持使得作者能在较短的时间内完成本书。在此一并表示衷心的感谢。

由于作者知识面和水平有限,不妥之处望广大读者批评指正。

编著者

2010年2月于西安

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 光学计量测试的研究范畴与发展历程	1
1.2 光学计量测试技术的发展趋势	2
1.3 计量学主要名词术语	4
第 2 章 光辐射计量与测试	6
2.1 光辐射计量的基本物理量	6
2.2 实现光辐射绝对测量的主要途径	7
2.2.1 黑体辐射源	7
2.2.2 低温辐射计	11
2.2.3 硅光电二极管自校准技术	16
2.2.4 双光子相关技术	17
2.2.5 同步辐射源	20
2.3 光辐射标准	22
2.3.1 光谱辐亮度和辐照度标准	22
2.3.2 中温黑体辐射源标准装置	28
2.3.3 面源黑体校准	32
2.3.4 低温黑体校准	39
2.3.5 以同步辐射源为基础的紫外辐射标准	40
2.4 红外热像仪参数计量测试	43
2.4.1 红外热像仪概述	43
2.4.2 红外热像仪评价参数	44
2.4.3 红外热像仪参数测量装置	46
2.4.4 红外热像仪调制传递函数测量	48
2.4.5 红外热像仪噪声等效温差测量	49
2.4.6 红外热像仪最小可分辨温差测量	51
2.4.7 红外热像仪最小可探测温差测量	53
2.4.8 红外热像仪信号传递函数测量	54
2.4.9 红外热像仪参数测量装置的溯源与校准	55
2.5 材料发射率测量	60
2.5.1 材料发射率测量概述	60
2.5.2 半球积分发射率测量	61
2.5.3 法向光谱发射率测量	63
2.6 红外目标模拟器校准	65

2.6.1	红外目标模拟器校准概述	66
2.6.2	红外目标模拟器校准装置	66
2.6.3	红外目标模拟器校准数学模型	67
2.6.4	红外目标模拟器校准方法	69
2.7	红外光谱辐射计校准	73
2.7.1	红外光谱辐射计概述	73
2.7.2	红外光谱辐射计校准方法	76
2.7.3	红外光谱辐射计校准过程	78
2.8	瞬态光辐射源参数测量与校准	81
2.8.1	瞬态光及其评价参数	81
2.8.2	瞬态光谱测量	82
2.8.3	瞬态有效光强测量	84
2.8.4	瞬态光辐射参数校准	85
2.9	光度计量与测试	86
2.9.1	光度学基本概念	87
2.9.2	光度学基准	89
2.9.3	光度计量标准	90
2.9.4	光度学测量仪器	94
第3章	激光参数计量与测试	99
3.1	激光计量参数	99
3.2	激光参数计量基准	100
3.2.1	激光功率基准	100
3.2.2	激光能量基准	102
3.3	激光参数计量标准	104
3.3.1	激光功率标准	104
3.3.2	激光能量标准	106
3.3.3	脉冲激光峰值功率标准	109
3.3.4	激光平均功率和能量标准装置	111
3.4	激光参数测量技术	112
3.4.1	激光功率能量测试技术	112
3.4.2	高能激光功率与能量测量技术	117
3.4.3	绝对式测量法中影响因素分析	120
3.4.4	激光空域特性测量技术	131
3.4.5	强激光空域特性测量技术	135
3.4.6	激光时域特性测试	138
3.4.7	激光损伤阈值测试	142
3.5	激光测距机参数校准	143
3.5.1	激光测距机概述	143

3.5.2	最大测程校准	145
3.5.3	最小测程校准	149
3.5.4	测距准确度校准	149
第4章	光辐射探测器参数计量与测试	151
4.1	光辐射探测器概述	151
4.2	光辐射探测器性能的主要表征量	151
4.2.1	描述探测器灵敏度特性的主要表征量	152
4.2.2	描述探测器探测弱信号能力的主要表征量	153
4.2.3	其他表征量	154
4.3	光辐射探测器光谱响应度测量	155
4.3.1	相对光谱响应度测量	155
4.3.2	绝对光谱响应度测量	158
4.4	探测器面响应度均匀性测量	158
4.4.1	探测器面响应度均匀性的定义	158
4.4.2	探测器面响应度均匀性的测量原理及装置	159
4.5	光辐射探测器响应度直线性测量	160
4.5.1	双孔法测量	160
4.5.2	多光源法测量	161
4.6	光辐射探测器时间特性与温度特性测量	162
4.6.1	时间特性测量	162
4.6.2	温度特性测量	162
4.7	红外探测器参数测量	163
4.7.1	黑体响应率测量	163
4.7.2	噪声测量	165
4.7.3	探测率测量	166
4.7.4	噪声等效功率测量	166
4.7.5	频率响应测量	166
4.7.6	红外探测器参数测量装置的校准	167
4.8	红外焦平面阵列参数测量	167
4.8.1	特性参数及相关量的定义	168
4.8.2	响应率、噪声、探测率和有效像元率等参数测量	170
4.8.3	噪声等效温差测试	175
4.8.4	动态范围测试	176
4.8.5	相对光谱响应测试	177
4.8.6	串音测试	178
第5章	光学材料参数计量与测试	180
5.1	光学材料折射率和色散系数计量测试	180

5.1.1	光学材料折射率和色散系数测量方法	180
5.1.2	光学材料折射率计量标准	187
5.2	光学材料折射率温度系数测量	188
5.2.1	光学玻璃折射率温度系数测量	188
5.2.2	红外材料折射率温度系数测量	190
5.3	光学材料应力双折射计量测试	192
5.3.1	简易偏光仪法	192
5.3.2	单 1/4 波片法	194
5.3.3	数字移相全场测量法	195
5.3.4	光学材料应力双折射计量标准	196
5.4	光学材料传输特性测量	198
5.4.1	透射比测量	199
5.4.2	光谱反射比测量	200
5.4.3	光吸收系数测量	202
5.4.4	光学材料散射系数测量	203
5.5	光学材料均匀性测量	204
5.5.1	平行光管测试方法	204
5.5.2	干涉测量方法	205
5.6	光学材料其他参数测量	206
5.6.1	光学材料消光比测量	207
5.6.2	光学材料线膨胀系数测量	207
5.6.3	光学材料条纹度测量	208
5.6.4	光学玻璃气泡度检测	208
5.6.5	材料非线性光学性能测试	209
5.6.6	椭圆偏振仪测量薄膜厚度和折射率	211
第 6 章	成像光学计量与测试	215
6.1	成像光学系统像质评价	215
6.1.1	像质评价基本概念	215
6.1.2	光学传递函数基本概念	221
6.1.3	光学传递函数基本测量方法	230
6.1.4	光学傅里叶分析法传递函数测量装置	231
6.1.5	光电傅里叶分析法传递函数测量装置	233
6.1.6	数字傅里叶分析法	238
6.1.7	光学传递函数测量装置的检定	239
6.1.8	光学传递函数标准装置	244
6.1.9	离散采样系统光学传递函数测量	246
6.2	光学元件波像差测量	248
6.2.1	光的干涉基础	248

6.2.2	光学元件波像差标准装置	250
6.2.3	红外光学零件表面面形及光学系统波像差测量	254
6.3	光学系统和元件主要参数测量	257
6.3.1	焦距测量	257
6.3.2	相对孔径测量	258
6.3.3	视场测量	259
6.3.4	透过率测量	260
6.3.5	杂光系数测量	261
第 7 章	微小光学计量与测试	263
7.1	集成光学计量与测试	263
7.1.1	集成光学概述	263
7.1.2	集成光波导参数测量	264
7.1.3	铌酸锂集成光学器件参数测量	268
7.2	梯度折射率光学计量与测试	272
7.2.1	梯度折射率光学概述	272
7.2.2	自聚焦透镜折射率分布测量	272
7.2.3	自聚焦透镜数值孔径测量	276
7.2.4	自聚焦透镜焦距测量	277
7.2.5	自聚焦透镜聚焦光斑测量	278
7.3	光导纤维参数测量	279
7.3.1	纤维光学概述	279
7.3.2	光纤元件数值孔径的测量	280
7.3.3	光纤元件透射比测量	281
7.3.4	光纤元件刀口响应测量	282
7.3.5	光导纤维损耗测量	283
7.3.6	光纤色散测量	285
7.3.7	单模光纤截止波长测量	286
7.4	偏振保持光纤参数测量	288
7.4.1	偏振保持光纤概述	288
7.4.2	保偏光纤偏振串音测量	289
7.4.3	保偏光纤拍长测量	290
7.5	单模光纤偏振模色散测量	292
7.5.1	偏振模色散的产生	292
7.5.2	偏振模色散测量方法	293
第 8 章	微光夜视参数计量与测试	296
8.1	微光夜视技术概述	296
8.2	微光像增强器参数测量	296

8.2.1	光阴极光灵敏度和辐射灵敏度测量	297
8.2.2	亮度增益测量	298
8.2.3	等效背景照度测量	299
8.2.4	输出信噪比测量	300
8.2.5	调制传递函数测量	302
8.2.6	分辨力测量	303
8.2.7	放大率测量	309
8.2.8	畸变测量	310
8.3	微光夜视仪参数测量	310
8.3.1	微光夜视仪视场测量	311
8.3.2	微光夜视仪视放大率测量	313
8.3.3	微光夜视仪相对畸变测量	314
8.3.4	微光夜视仪分辨力测量	315
8.3.5	微光夜视仪的亮度增益测量	317
8.4	微光夜视镜参数测量	318
8.4.1	微光夜视镜视场测量	318
8.4.2	微光夜视镜放大率测量	318
8.4.3	微光夜视镜畸变测量	319
8.4.4	微光夜视镜分辨力测量	319
8.4.5	微光夜视镜亮度增益测量	320
8.4.6	微光夜视镜光轴平行性测量	320
参考文献		321

第1章 绪 论

1.1 光学计量测试的研究范畴与发展历程

计量学是研究测量,保证测量统一和准确的科学。计量学作为一门科学,研究的具体内容包括:

- 研究计量单位及其计量标准的建立、复现、维护、保存和使用;
- 研究计量器具的计量特性评定;
- 研究量值传递与量值溯源的方法;
- 研究基本物理常数和常量的准确测定;
- 研究标准物质特性的准确测定;
- 研究测量理论和测量结果处理方法;
- 研究计量法制和管理;
- 研究计量人员进行计量的能力培养与考核方法;
- 研究与测量有关的一切理论、方法和实际应用问题。

计量的概念起源于商品交换,最早开始于长度、容量和重量。计量是没有国界的,全球经济化的发展使世界各国之间计量单位与计量数据的统一越来越重要。随着生产的发展和科学技术的进步,计量学研究的内容不断丰富,目前已突破传统的物理量的范畴,扩展到化学量和工程量,乃至生理量和心理量。

工作中,有时将计量与测试混淆,实际上两者有很大区别。测试是针对产品某一参数或性能进行测量或试验,是对产品性能进行评价。而计量的对象是测试所用设备,是对测试所用设备的测量准确度和性能作出判断和校正,这就是通常所说的计量检定和校准。

在我国,计量学划分为十大专业:几何量、热学量、力学量、电磁学、时间频率、无线电电子学、光学、化学、声学、电离辐射。

光学计量是计量学的十大专业之一,它是围绕光学物理量测量技术和量值传递开展工作。其主要任务是不断完善光学计量单位制,复现物理量单位,研究新的计量标准器具和标准装置,建立量值传递系统和传递方法,发展新的测试技术,研究新的光学计量理论。随着科学技术的进步,光学计量技术得到飞速发展,已成为光学产业重要的支撑技术。光学计量的波段范围已由可见光发展到紫外光和红外光。

最早的光学计量主要是光度学计量,即对光源的光通量、发光强度、光亮度和光照度进行准确测量,针对的是可见光,波长范围为 380~780 nm。

随着人们对红外光和紫外光的认识,光学计量从可见光向红外光和紫外光两个方向扩展。由于红外光和紫外光人眼是看不到的,其辐射量是纯物理量,不再包含人眼的视觉特性,因此,在光度学计量的基础上,出现了光辐射度计量分专业。

20 世纪 60 年代诞生了激光,激光的卓越特性推进了物理学、化学、生物学的研究,加深了对物质及其运动规律的认识,已经形成和正在形成一些新的学科分支,如量子光学、激光物理

学、激光化学、激光生物学等。由于激光特有的单色性、准直性和高亮度性,常规的光辐射计量满足不了需要,出现了激光参数计量分专业。

20 世纪 70 年代以后,由于半导体激光器和光导纤维技术的重大突破,导致了以光纤通信为代表的光信息技术的蓬勃发展,促进了相应各学科的发展和彼此间的相互渗透,形成了光电子学。由此出现了光纤参数计量。在此基础上相继出现了微小光学计量和集成光学计量。

随着红外热成像技术、光电制导技术、光电检测技术等的发展,对光电探测器计量提出了需求,由此出现了光电探测器参数计量。

到目前为止,光学计量涉及的分专业有:光度计量、光谱光度计量、色度计量、光辐射计量、激光参数计量、光学材料参数计量、成像光学计量、光电探测器参数计量、光纤参数计量、微光夜视计量等。

可见,光学计量技术既是现代光学技术发展的基础,同时也是光学技术发展的支撑和保障,两者密不可分。光学技术每一个新的发展,都伴随着新的光学计量技术的发展。

1.2 光学计量测试技术的发展趋势

随着科学技术的进步,光学技术得到了飞速的发展,目前已发展成为强大的光学工业和光学技术领域,并渗透到其他各个科学领域。如空间科学、天体物理学、光生物学、光化学等都通过光学技术获得大量的有用信息,为国民经济建设服务。近几十年来发展起来的红外技术、激光技术在军事上得到广泛应用,如红外制导、红外预警、红外成像、激光制导、激光测距、激光雷达等,尤其是光纤技术给光通信和光传感器带来了一次巨大革命。由此看来,现代光学技术已不仅仅局限于制造望远镜、显微镜等简单光学仪器,而是发展并具备了观察、分析、测量、控制、信息传递和处理等多种功能,成为包含可见光、红外光、紫外光、激光、全息、光通信、光电子、光存储等多波段和各种先进技术密切结合的蓬勃发展的科学技术领域,成为未来信息社会的重要支柱。其相应的计量测试技术也将有新的发展。

1. 量值传递方式的变革

目前,在光度和辐射度计量方面,仍然是标准黑体辐射源和标准灯组作为基准和传递标准,按检定系统表逐级向下进行量值传递。近二十年来,英、美研制成功低温绝对辐射计,大大提高了光辐射的测量准确度,不确定度达到 0.01%。由于硅光电二极管自校准技术的成熟,对国际、国内相继研制成功的陷阱探测器,通过硅光电二极管的内量子效率求得绝对光谱响应,可得到 0.05% 的准确度。与此同时,还把自校准硅光电二极管与低温绝对辐射计进行了辐射功率测量比对,取得了较好的一致性。这为辐射计量传递方式的变革创造了条件。可以把低温绝对辐射计作为计量辐射量基准,而把通过低温辐射计校准后的探测器(包括硅光二极管探测器)作为传递标准。可以缩短量值传递链,简化测量过程,扩大测量范围,减小测量不确定度,无论是对量值传递还是在实际应用中都很有意义。

2. 扩展量限和提高准确度

随着科学技术的进步,要求光学计量参数的量限范围和波段范围不断扩展,测量准确度要求越来越高。例如,激光杀伤武器的研究需要超大功率的计量测试,微光夜视仪器的研制,又

需要给出 $1 \times 10^{-7} \text{ lx}$ 的极弱照度量值。航天摄像技术的发展要求成像光学的光学传递函数测量和波像差测量装置向超大口径方向发展。而用于光纤耦合器、医用内窥镜的自聚焦透镜的直径小到 1 mm。在激光时域参数的测量中正在由 ns 向 ps 和 fs 的瞬时激光时域特性的测试发展。

因此,光学计量的量限将向两端扩展,超大、超小,超强、超弱是今后研究的重点。

科学技术和高新武器性能水平的提高,要求计量测试准确度也越来越高,这就需要对现有计量标准进行提升和改造,以满足现代光学技术对计量测试的要求。

3. 重视紫外计量测试

紫外辐射源、紫外激光参数、紫外光学系统参数、紫外光学材料参数等计量与测试越来越重要。

在军事上,紫外制导、紫外侦察告警将逐渐引起重视。

在深空探测中,紫外技术发挥着重要作用,由于太空温度很低,红外信号很弱,而紫外信号很强,这就要求使用紫外相机、紫外地平仪和紫外星敏感器。这些应用都要求建立紫外计量标准和紫外测量仪器。

紫外激光在半导体光刻工艺中的应用,对紫外脉冲激光参数计量提出了新的要求,要求把激光计量的工作波长向紫外延伸。

4. 研究校准新技术和新方法

新型材料和新型传感器件的发展,带动了一批新的光学技术的发展。目前光纤材料已在各个领域得到普遍应用,与之相关的光通信和光信息处理技术也得到快速发展,促进了集成光学技术的研究与开发。近年来新型探测器件不断出现并应用于光电系统之中。不仅应用波段范围不断扩大,而且从单元化向多元化发展,如面阵 CCD 器件,红外焦平面探测器件,已在成像技术中得到广泛应用,并取得较好效果。计量测试技术应根据最新技术的发展加强先期研究,以实现技术基础跨越式发展。

5. 从单项参数计量测试向综合参数计量测试发展

为了满足光学系统在研制过程中组装调校、现场实验、综合性能检测等需求,需要研制许多综合参数测量系统。例如望远镜综合参数测试仪、激光测距机测试系统、红外热像仪评价系统、微光夜视仪整机特性测试系统等,这些测试系统是保证整机性能质量的基础,其本身必须通过计量检定、确保测试数据的准确可靠。目前这类仪器越来越多,保证其测试数据的准确可靠是计量部门今后承担的重要任务。

6. 计量测试系统向自动化和智能化发展

随着计算机技术在各领域的广泛应用,自动化测量技术也得到突飞猛进的发展。为了提高准确度,减少人为误差,减轻操作人员劳动强度,许多计量标准装置和测试系统不断地向自动化方面改进,向光、机、电、算一体化、智能化方向发展。

传统的光学仪器,如望远镜、显微镜、照相机等都是用眼睛观察,像分辨率测量、焦距测量、干涉图观察等过去都是用眼睛观察或用照相干板记录,现在都实现了自动化测量。典型的应

用如干涉图分析,通过 CCD 器件记录,计算机分析处理,自动给出测量结果。

面对新的发展趋势,传统的计量测试手段和计量标准体系正在经历新的变革,这就要求我们研究新的计量测试方法,建立新的计量测试体系。

1.3 计量学主要名词术语

1984 年由国际计量局、国际电工委员会、国际标准化组织及国际法制计量组织联合制定了《国际通用计量学基本名词》,1993 年又发布了修订版《国际通用计量学基本术语》。1996 年由国际法制计量组织发布了《法制计量学基本名词》。

我国于 1982 年由国家计量局制定了 JJG 1001—82《常用计量名词术语及定义》,1991 年修订为 JJG 1001—91《通用计量名词及定义》。

下面介绍书中各章用到的一些主要计量学名词术语。

(1) 计量学(metrology)

定义:测量的科学。

计量学研究量与单位、测量原理与方法、测量标准的建立与溯源、测量器具及其特性,以及与测量有关的法制、技术和行政的管理。计量学也研究物理常量、标准物质和材料特性的测量。

(2) 测量(measurement)

定义:以确定量值为目的的一组操作。

量值是通过测量来确定的。测量要有一定的手段,要由人去操作,要用一定的测量方法,要在一定的环境下进行,并且必须给出测量结果。

(3) 测量标准(measurement standard)

为了定义、实现、保存或复现量的单位或一个或多个量值,用做参考的实物量具、测量仪器、参考物质或测量系统。

(4) 国际(测量)标准(international measurement standard)

国际协议承认的,作为国际上对有关量的其他测量标准定值依据的测量标准。

(5) 国家(测量)标准(national measurement standard)

国家承认的,作为国家对有关量的其他测量标准定值依据的测量标准。国家计量标准也称为计量基准。

(6) 校准(calibration)

定义:在规定条件下,为确定测量仪器或测量系统所指示的量值,或实物量具、标准物质所代表的量值,与对应的由计量标准所复现的量值之间关系的一组操作。

校准的对象是测量仪器、实物量具、标准物质或测量系统,也包括各单位、各部门的计量标准装置。校准的目的是确定被校对象示值所代表的量值。如 $1\ \Omega$ 的标准电阻,虽然其标称值为 $1\ \Omega$,但经校准其量值为 $0.9\ \Omega$ 。校准的方法是用测量标准去测量被校量。

(7) 检定(verification)

定义:由法定计量技术机构确定与证实测量器具是否完全满足要求而做的全部工作。

在国际标准化组织制定的 ISO/IEC 导则 25 中定义为:通过检查和提供客观证据表明已满足规定要求的确认。对测量设备管理而言,检定是检查测量器具的示值与对应的被测量的

已知值之间的偏移是否小于标准、规程或技术规范规定的最大允许误差。根据检定结果可对测量设备作出继续使用、进行调整、修理、降级使用或声明报废的决定。

(8) 测试、试验(testing, test)

定义:对给定的产品、材料、设备、生物体、物理现象、过程或服务,按照规定的程序确定一种或多种特性或性能的技术操作。

测试的对象涉及面很宽,在工业部门主要是材料和产品。校准与检定的目的是为了保证测量设备准确可靠,而测试是为了确定材料或产品的性能或特性而进行的测量或试验。

(9) 检验(inspection)

定义:对产品的一个或多个特性进行的诸如测量、检查、试验或度量,并将结果与规定要求进行比较,以确定每项特性是否符合所进行的活动。

(10) 测量误差(error of measurement)

测量结果与被测量的真值之差值。即

$$\text{测量误差} = \text{测得值} - \text{真值}$$

(11) 测量不确定度(uncertainty of measurement)

与测量结果相关联的、用于合理表征被测量值分散性大小的参数,它是定量评定测量结果的一个重要质量指标。

(12) 测量结果(result of measurement)

由测量所得的赋予被测量的值。

(13) 测量结果的重复性(repeatability of measurement result)

在相同测量条件下,对同一被测量连续进行多次测量所得结果之间的一致性。

(14) 测量结果的复现性(reproducibility of measurement result)

在变化的测量条件下,同一被测量的测量结果之间的一致性。

(15) 稳定性(stability)

测量器具保持其计量特性持续恒定的能力。

第2章 光辐射计量与测试

光辐射计量是光学计量最基本的组成部分,其基本计量参数有辐[射]强度、辐[射]亮度、辐[射]照度、辐射温度、辐射通量及发射率等,波长为 $10\text{ nm}\sim 1\,000\text{ }\mu\text{m}$,覆盖了可见、紫外及红外的全部光波长范围。

传统的光辐射计量以辐射源为基础。随着光电子技术的发展,世界各国开始研究以探测器为基础的光辐射量值传递体系,具有代表意义的是英国国家物理实验室(NPL)建立的以低温辐射计为基础对各种辐射计进行校准的量值传递体系。从此,使光学计量的各分专业——光度、光谱光度、光辐射、激光、光纤及微光等结合起来,均溯源于低温辐射计。

本章先介绍光辐射计量的基本物理量和光辐射绝对测量方法,然后介绍光辐射标准装置、校准装置和测量装置等。

2.1 光辐射计量的基本物理量

(1) 辐[射]能

辐[射]能(Q)为以辐射的形式发射、传播或接收的能量。单位:J。

(2) 辐[射]通量

辐[射]通量(Φ)又称为辐[射]功率(P),是以辐射的形式发射、传播和接收的功率。单位:W,定义 $1\text{ W}=1\text{ J/s}$ 。

(3) 辐[射]强度

辐[射]强度(I)为在给定方向上的立体角元内,离开点辐射源(或辐射源面元)的辐射通量 $d\Phi$ 除以该立体角元 $d\Omega$,用于描述点源发射的辐射功率在空间的分布特性。单位:W/sr。

(4) 辐[射]亮度

扩展源在某一方向的辐[射]亮度(L),就是源在该方向上的单位投影面积向单位立体角发射的功率。单位:W/(sr·m²)。

(5) 辐[射]出[射]度

辐[射]出[射]度(M)为离开辐射源表面一点处的面元的辐射通量 $d\Phi$ 除以该面元的面积 dS 。单位:W/m²。

(6) 辐[射]照度

辐[射]照度(E)就是照射到表面一点处的面元上的辐射能通量除以该面元的面积。单位:W/m²。

(7) 光谱辐射通量

光谱辐射通量(Φ_λ)是辐射源发出的光在波长 λ 处的单位波长间隔内的辐射通量。单位:W/nm。

(8) 光谱辐射强度

光谱辐射强度(I_λ)是辐射源在波长 λ 处的单位波长间隔内的辐射强度。单位:W/(sr·nm)。