



工业和信息化部“十二五”规划教材




光电信息科学与工程类专业规划教材

光电检测技术与系统

(第3版)

王霞 王吉晖 高岳 金伟其 编著

 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

工业和信息化部“十二五”规划教材
北京市高等教育精品教材立项项目
光电信息科学与工程类专业规划教材

光电检测技术与系统

(第3版)

王霞 王吉晖 高岳 金伟其 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

综合利用近代各种先进技术,采用光电方法对多种光的、非光的物理量进行检测是光电检测技术的基本内容。全书从基本原理到工程应用,系统地介绍了光电检测技术的组成,主要组成部分的功能、实际应用和当前发展的情况。主要内容包括:光电检测技术基础、光源及辐射源、光电探测器及其校正技术、光学系统及专用光学元件、光电信号的变换及检测技术、光纤技术及应用、非光物理量的光电检测、现代光电检测技术与系统。

本书内容全面,叙述简明扼要,既重视理论性,也讲究实用性。可作为信息工程类理工科本科生、研究生的教材,也可供相关领域科技工作者参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

光电检测技术与系统/王霞等编著. —3版. —北京:电子工业出版社,2015.3
光电信息科学与工程类专业规划教材
ISBN 978-7-121-25458-1

I. ①光… II. ①王… III. ①光电检测-高等学校-教材 IV. ①TP274

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第020210号

责任编辑:韩同平 特约编辑:李佩乾

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:19.25 字数:550千字

版 次:1995年5月第1版

2015年3月第3版

印 次:2015年3月第1次印刷

定 价:49.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及
购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

光电检测技术是建立在现代光、机、电、计算机等科技成果基础上的综合学科,它所涉及的基础理论和工程技术内容十分广泛,是对光量及大量非光物理量进行测量的重要手段。随着相关学科的进步和发展,光电检测技术领域也在不断地涌现出新思想、新器件、新方法,并且已渗透到军事技术、空间技术、环境科学、天文学、生物医学及工农业生产的许多领域中,已成为适应信息社会需求而迅速发展的新兴分支学科。

本书第2版于2009年出版,为北京市高等教育精品教材立项项目,并于2013年入选工业和信息化部“十二五”规划教材。

这次的第3版,在保持第2版基本特色、框架结构的基础上,结合目前光电检测技术发展现状,主要补充了以下内容:光电检测器件的基本物理效应;光源的基本特性参数、标准照明体和标准光源、新型半导体光源;光子计数器、微光像增强器、位敏传感器;光电图像检测技术的应用。

本书总体上,具有以下几个方面的特色:

(1)体系结构清晰,内容全面,叙述简明扼要。本书从光电检测系统的基本要求出发,简明阐述测量误差及数据处理、辐射度学和光度学等基础理论;针对典型光电检测系统的基本组成,对各环节分章节进行分析和介绍;针对应用特点,对光量及非光物理量的光电检测进行分类描述。力求主线突出,使学生能够把握光电检测技术的总体框架。

(2)注重内容的先进性与科学性。本书凝聚了作者数十年教学科研经验,注重理论与实际相结合,理论方面力求简明易懂,选材方面力求紧跟技术发展动向。例如,此次修订,理论方面增加了光电探测器的基本物理效应和标准光源的介绍,系统方面增加了一些新型的光源和探测器以及应用实例。

(3)根据光电信息科学与工程类专业课程结构特点和要求,注重与其他基础课程内容的衔接,例如,第5章就涉及到应用光学的知识,第6章涉及模拟与数字电路技术相关知识,一些典型应用还涉及到物理光学的知识。因此本书在编写过程中,力求内容深入浅出、应用性强和可读性好,适宜组织教学。

全书共9章。第1章绪论,介绍了光电检测系统的基本工作原理、主要应用范围和现代发展;第2章光电检测技术基础,介绍了检测量的误差及数据处理、辐射度光度基础和光电检测器件的基本物理效应及其特性参数;第3章光源及辐射源,介绍了光源基本要求及选用原则和常用光源的基本原理及特性;第4章光电探测器及其校正技术,介绍了常用光电探测器的基本原理及特性,阐述了光电探测器在应用中的校正技术;第5章光学系统及专用光学元件,介绍了光电检测系统中的常用光学系统、计量部件和专用元件;第6章光电信号的变换及检测技术,介绍了光电信号检测电路的噪声、常用电路、调制技术和光学图像的扫描;第7章光纤技术及应用,介绍了光学纤维的基本工作原理及分类、主要参量检测方法、智能光纤传感技术和光纤传感器的应用;第8章非光物理量的光电检测,介绍了采用光强、脉冲、相位、频率和物理光学原理进行非光物理量的检测实例;第9章现代光电检测技术与系统,介绍了光谱仪器原理、光度量辐射度量测量方法、莫尔形貌测试技术、条形码技术、三角法测试

技术、光电图像检测技术。

本书第1、2章由王霞编写,第3、4、5、6章由王霞、高岳编写,第7、8章由王吉晖编写,第9章由王霞、金伟其编写,全书由王霞统稿。课程建议48学时,其中36学时为课堂讲授,12学时为实验。本书可供信息工程类理工科本科生、研究生作教材选用,并可以兼顾从事光电检测技术研究的科技工作者的需要。

感谢装甲兵学院张智诠教授和北京理工大学林家明教授对本书的指导与建议。同时,本书在编写过程中参考了大量国内外优秀教材和文献,再次向被引文献作者表示衷心的感谢。本书在撰写过程中,得到电子工业出版社、北京理工大学教务处和光电学院有关老师和同学的支持与帮助,在此一并表示感谢。

光电检测技术是一门重要的工程基础学科,技术发展迅速,应用广泛渗透到各个领域,因此,要编写一本全面、完整、成熟的教材是比较困难的。因水平有限,书中的缺点和错误诚恳希望读者批评指正。

作者 E-mail:wx_may@263.net

作者
于北京理工大学

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可,复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为;歪曲、篡改、剽窃本作品的行为,均违反《中华人民共和国著作权法》,其行为人应承担相应的民事责任和行政责任,构成犯罪的,将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序,保护权利人的合法权益,本社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为,本社将奖励举报有功人员,并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话:(010)88254396;(010)88258888

传 真:(010)88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址:北京市万寿路173信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编:100036

目 录

第1章 绪论	1	3.4 固体发光光源	60
1.1 光电检测系统的基本工作原理	1	3.4.1 电致发光屏	60
1.2 光电检测技术的主要应用范围	4	3.4.2 发光二极管	62
1.3 光电检测技术的现代发展	5	3.5 激光光源	63
习题与思考题	6	3.5.1 气体激光器	64
第2章 光电检测技术基础	7	3.5.2 固体激光器	65
2.1 检测量的误差及数据处理	7	3.5.3 可调谐染料激光器	66
2.1.1 检测过程及误差分类	7	3.5.4 半导体激光器	67
2.1.2 随机误差	9	3.6 新型半导体光源	68
2.1.3 系统误差	15	3.6.1 新型电调制红外光源	68
2.2 辐射度量与光度量基础	19	3.6.2 超辐射发光二极管	70
2.2.1 辐射度量	19	3.6.3 掺杂光纤超荧光宽带光源	73
2.2.2 光度量	22	习题与思考题	74
2.2.3 朗伯辐射体及其辐射特性	23	第4章 光电探测器及其校正技术	75
2.3 光电探测器的基本物理效应	24	4.1 概述	75
2.3.1 能带理论	24	4.2 光电子发射探测器	76
2.3.2 热平衡状态下的载流子	26	4.2.1 光电倍增管	76
2.3.3 半导体对光的吸收	27	4.2.2 光子计数器	85
2.3.4 非平衡状态下的载流子	29	4.3 光电导器件	89
2.3.5 载流子的扩散与漂移	30	4.4 光电池和光电二极管	99
2.3.6 半导体的光电效应	31	4.5 热电探测器	112
2.4 光电检测器件的特性参量	37	4.5.1 热探测器的基本原理	112
2.4.1 响应度	38	4.5.2 热电探测器	114
2.4.2 噪声及其评价参数	40	4.6 成像探测器	118
习题与思考题	42	4.6.1 CCD 图像传感器的	
第3章 光源及辐射源	44	工作原理	118
3.1 光源的基本要求和光源的		4.6.2 微光像增强器	124
选择	44	4.7 光电探测器的校正	126
3.1.1 光源的基本特性参数	44	4.7.1 变光度的实现	127
3.1.2 光源选择的基本要求和		4.7.2 漫射体及其在光电检测中的	
光源的分类	45	应用	132
3.1.3 标准照明体和标准光源	48	4.7.3 光谱校正及应用	138
3.2 热光源	51	习题与思考题	142
3.2.1 黑体及黑体光强标准器	51	第5章 光学系统及专用光学元件	143
3.2.2 白炽灯	56	5.1 光电检测中的光学系统	143
3.2.3 其他	56	5.2 常用物镜简介	146
3.3 气体放电光源	57	5.3 探测器辅助光学系统	150
3.3.1 开放式气体放电光源	57	5.4 光电检测中的计量部件	156
3.3.2 气体灯	58	5.4.1 计量光栅	156

5.4.2	电子细分技术的基本原理	160	应用	216
5.4.3	光学码盘及编码	164	7.3.3	光纤制品在传像方面的应用
5.5	角反射器与极性分析器	167		217
	习题与思考题	171	7.4	智能光纤传感技术
第6章	光电信号的变换及检测技术	172		219
6.1	光电信号检测电路的噪声	172	7.4.1	智能结构
6.1.1	噪声的分类及性质	172		219
6.1.2	主要的噪声类型	173	7.4.2	光纤传感器在智能结构中的应用
6.1.3	噪声等效参量	175		219
6.1.4	前置放大器的噪声	177	7.4.3	光纤智能结构的应用
6.2	前置放大器	180		222
6.3	常用电路介绍	182	7.5	光纤传感器及其应用
6.3.1	选频放大器	183		225
6.3.2	相敏检波器(相敏整流器、相敏解调器)	184	7.5.1	光纤传感器的优点及类型
6.3.3	相位检测器(鉴相器)	185		225
6.3.4	鉴频器	186	7.5.2	光强调制型光纤传感器
6.3.5	脉宽鉴别器	187		226
6.3.6	积分、微分运算器	188	7.5.3	相位干涉型光纤传感器
6.3.7	锁相环及锁相放大器	189		227
6.4	光电技术中的调制技术	191	7.5.4	偏振态型光纤传感器
6.4.1	一般光电信号的调制	191		230
6.4.2	专用调制盘	195	7.5.5	分布式光纤传感器
6.4.3	利用物理光学原理实现的光调制技术	198		230
	习题与思考题	204	7.5.6	用于构成分布式光纤传感器的主要技术
第7章	光纤技术及应用	205		234
7.1	光学纤维的基本工作原理及分类	205	7.5.7	其他光纤传感器及应用
7.1.1	光纤的基本工作原理及分类	205		236
7.1.2	主要的光纤制品	208		习题与思考题
7.1.3	光纤的耦合	211		237
7.2	光纤器件主要参量的光电检测	211	第8章	非光物理量的光电检测
7.2.1	光纤器件数值孔径的测量	212		238
7.2.2	光纤器件透射比的测量	213	8.1	光强型光电检测系统
7.2.3	光纤器件刀口响应的测量	214		238
7.2.4	光纤器件色散特性的测量	214	8.1.1	直接测量法
7.3	光纤制品的一般应用	215		238
7.3.1	光纤通信	215	8.1.2	差动测量法
7.3.2	光纤在直接导光方面的应用	216		239
			8.1.3	补偿测量法
				241
			8.1.4	补偿式轴径检测装置
				244
			8.1.5	利用比较法检测透明薄膜的厚度
				245
			8.1.6	利用 α 射线测量块规厚度的装置
				245
			8.1.7	圆形物体偏心度的光电检测
				245
			8.1.8	利用补偿法测量线材直径
				246
			8.1.9	对圆柱形零件的外观检查
				247
			8.2	脉冲型光电检测系统
				247
			8.2.1	物体长度分检装置原理
				247
			8.2.2	液位高度控制器
				248
			8.2.3	光电探测信号码的工作原理
				249
			8.2.4	气体流量自动检控装置
				249
			8.2.5	利用测量脉冲频率测定转盘转速
				250
			8.2.6	利用脉冲持续时间测定零件尺寸
				250

8.2.7	全脉冲法测定零件尺寸	251	9.1	光谱仪器	264
8.2.8	光栅数字测径仪	252	9.1.1	单色光的产生	264
8.2.9	脉冲激光测距	252	9.1.2	光谱仪器的分类	265
8.3	相位型和频率型光电 检测系统	253	9.1.3	分光光度计	265
8.3.1	激光相位测距法	253	9.1.4	傅里叶变换光谱仪	266
8.3.2	激光光波比长仪	254	9.1.5	成像光谱仪	268
8.3.3	双频激光干涉测长系统	254	9.2	光度量和辐射度量检测技术	271
8.3.4	激光流速计	256	9.2.1	照度的测量	271
8.4	利用物理光学原理的光电 检测系统	257	9.2.2	亮度的测量	273
8.4.1	利用衍射测量细丝的直径	257	9.2.3	辐射测量与测温	274
8.4.2	利用全反射检测液面的 装置	258	9.3	莫尔形貌(等高线) 测试技术	278
8.4.3	利用偏振光全反射检测 液面的装置	258	9.3.1	照射型莫尔法	278
8.4.4	利用双折射和干涉原理的 测力计	258	9.3.2	投影型莫尔法	279
8.5	其他光电检测系统	259	9.3.3	莫尔条纹级次与凹凸判断	280
8.5.1	利用示波器检测线材 直径的方案	259	9.3.4	几何可测深度	280
8.5.2	光电跟踪装置的工作原理	260	9.4	条形码技术	281
8.5.3	石英沙色选机	262	9.5	三角法测试技术	285
	习题与思考题	263	9.5.1	三角法测试技术基础	285
第9章	现代光电检测技术与系统	264	9.5.2	三角法测试技术的应用	286
			9.6	光电图像检测技术	288
			9.6.1	图像的预处理技术	288
			9.6.2	光电图像检测技术的应用	293
				习题与思考题	298
				参考文献	299

第 1 章 绪 论

1.1 光电检测系统的基本工作原理

所谓光电检测系统是指对待测光学量或由非光学待测物理量转换成的光学量,通过光电变换和电路处理的方法进行检测的系统。光电检测技术是各种检测技术中的重要组成部分。特别是近年来,各种新型光电探测器件的出现,以及电子技术和微电子技术的发展,使光电检测系统的内容更加丰富,应用越来越广,目前已渗透到几乎所有工业和科研部门。

1. 光电检测系统实例

下面通过一些简单的例子来说明光电检测系统的主要构成和原理。

(1) 红外防盗报警系统

这是一种利用行动中人体自身的红外辐射,经菲涅耳透镜产生调制光信号,再经光电变换及电路处理,从而获得信息,产生报警的装置。其原理框图如图 1-1 所示。人体红外辐射经红外菲涅耳物镜 L 会聚到光电探测器 GD 上,随着人的运动,转换为交变的电信号输出。电信号经放大、鉴别后,控制警灯、警铃等装置进行报警。同时也可以利用报警信号进行其他后处理的控制,如关门、摄像、开高压等。

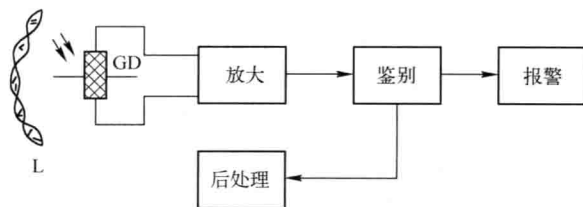


图 1-1 红外防盗报警系统原理框图

(2) 光电计数器

对需要进行连续计数的场合,均可采用光电计数器来完成。如统计进门参加会议的人数;统计传送带上产品的数量;路口汽车的流量等。图 1-2 所示为传送带上对产品进行计数的光电计数器的原理框图。将光源 GY 和光电探测器 GD 相对地安装在传送带的两侧,光源发出的光直接照射到光电探测器上。当有产品通过时,将上述光路切断,对应在光电探测器上产生暗脉冲,该脉冲信号经放大和整形后,由计数器计数并通过显示器输出。若需进行定量计数,如每 100 件

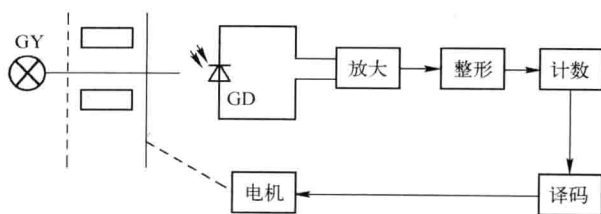


图 1-2 光电计数器原理框图

打1包,则可将计数信号通过译码器产生规定量的信号,用该信号去控制打包和换空包的
动作。

(3) 锅炉水位的光电控制

在标志锅炉水位的玻璃管的两侧,在所要求的最高和最低水位处,安装两组光源——光电器件对。由于水能透过可见光,所以常用水吸收很强的红外光源和对红外敏感的探测器。其工作原理框图如图 1-3 所示。当水位高过上限时,挡住了光源 GY_1 射向光电探测器 GD_1 的红外光束,产生控制信号,该信号经放大后,控制进水阀门使之关闭。相反,水位低于下限时,光源 GY_2 发出的红外光束照到光电探测器 GD_2 上,产生另一个控制信号,该信号经放大后,控制出水口关闭并打开进水阀门。

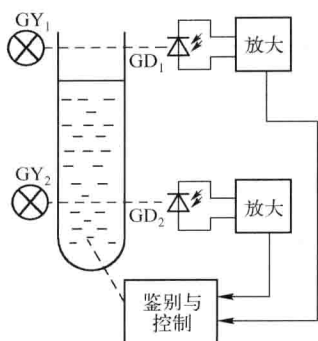


图 1-3 光电控制水位的原理框图

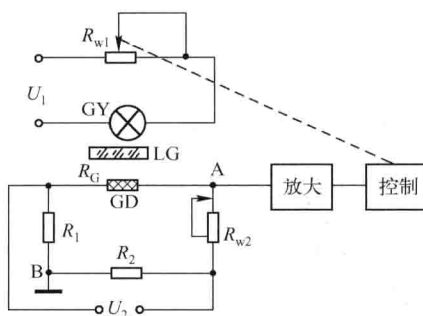


图 1-4 稳定光源发光强度自控系统原理框图

(4) 稳定光源发光强度的自控系统

该系统工作原理框图如图 1-4 所示。光源 GY 在外加电压 U_1 驱动下工作, R_{w1} 可调整光源的发光强度。光源发光的一部分经特征滤光片 LG 后,由电阻值为 R_C 的光敏电阻 GD 所接收, R_1 、 R_2 、 R_{w2} 和 R_C 构成电桥,在达到所要求的光强时,通过调整 R_{w2} ,使电桥平衡, $U_A = U_B$, $R_C = (R_1/R_2)R_{w2}$,这时无信号输入放大器。当由于某种外界原因光源发光强度增加时,光敏电阻 R_C 的值减小,使 $R_C < (R_1/R_2)R_{w2}$,对应 $U_A < U_B$ 。这时有负信号输入放大器,放大信号经控制器调整 R_{w1} ,使之增大,同时相应光源发光强度减小,回到所要求的稳定值。同样当光源发光强度变小时,经与上述相反的调整过程,使之恢复到要求的稳定值,起到稳定光源发光强度的作用。

2. 光电检测系统组成

从上述几个简单的光电检测系统的例子中,可以大致归纳出这类系统的基本组成,其原理框图如图 1-5 所示。按照不同的需要,实际的光电检测系统可能简单些,也可能还要增加某些环节。在有些系统中可能前后排列不同,或者几个环节是合在一起的,很难把它们分开。总之,图 1-5 只表征基本原理,而实际系统的形式是多样的,复杂的。

为了对光电检测系统有个大致的认识,下面对图 1-5 中主要部分给予简单说明。

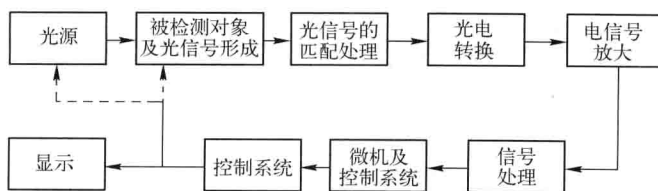


图 1-5 光电检测系统原理框图

(1) 光源

光源是光电检测系统中必不可少的部分。在许多系统中按需要选择一定辐射功率、一定光谱范围及一定发光空间分布的光源,以此发出的光束作为携带待测信息的物质,如图 1-2 和图 1-3 所示的系统。有时光源本身就是待测对象,如图 1-1 和图 1-4 所示的系统。这里所指的光源是广义的,它可以是人工光源,也可以是自然光源。如图 1-1 的系统中,人体辐射就是光源。此外光源也可以是其他非光物理量,通过某些效应转换出来的发光体,例如利用荧光质来完成将电子束或各种射线转换为发光的过程,通过对发光功率等特性的测量,将达到对电子射线或各种射线特性检测的目的。这里的荧光质也就是该系统的光源。

(2) 被检测对象及光信号的形成

被检测对象即待测物理量,它们是千变万化的。这里所指的是上述光源所发出的光束在通过这一环节时,利用各种光学效应,如反射、吸收、折射、干涉、衍射、偏振等,使光束携带上被检测对象的特征信息,形成待检测的光信号。例如,利用散射测定某气体中的含尘量,其原理示意图如图 1-6 所示。光源 GY 发出的光束经物镜 L_1 形成平行光束,在光束经过待测含尘气体时,光与尘埃作用产生各方向的散射光,利用物镜 L_2 和光电探测器检测其散射光的量,就可测定气体中含尘量的大小。该装置中含尘气体就是被检测对象,光束通过这一环节后,使散射光携带了被测对象的特征信息。图 1-2 和图 1-3 的例子其实质也是这样的过程,这时检测对象的待测物理量是传送带上的产品和水位的高低。

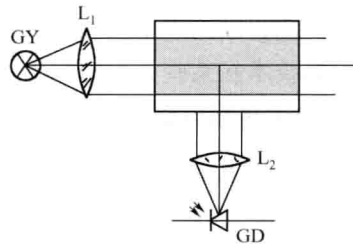


图 1-6 利用散射测定含尘量原理示意图

光通过被检测对象这一环节,能否使光束准确地携带上所要检测量的信息,是决定所设计检测系统成败的关键。

(3) 光信号的匹配处理

这一工作环节的位置可以设置在被检测对象前面,也可设在其后部,应按实际要求来决定。通常在检测中表征待测量的光信号可以是光强度的变化、光谱的变化、偏振特性的变化、各种干涉和衍射条纹的变化,以及脉宽或脉冲数等。要使光源发出的光或产生携带各种待测信号的光与光电探测器等环节间实现合理的甚至是最良好的匹配,经常需要对光信号进行必要的处理。例如,利用光电探测器进行光度检测时,需要对探测器的光谱特性按人眼视见函数进行校正;当光信号过强时,需要进行中性减光的处理;当入射信号光束不均匀时,则需要均匀化的处理;当进行交流检测时,需要对信号光束进行调制处理等。归纳起来可以说,光信号匹配处理的主要目的是为了能够更好地获得待测量的信息,以满足光电转换的需要。光信号的处理主要包括:光信号的调制、变光度、光谱校正、光漫射,以及会聚、扩束、分束等。

以上讨论的三个环节往往紧密结合在一起,目的是把待测信息合理地转换为适于后续处理的光信息。

(4) 光电转换

该环节是实现光电检测的核心部分。其主要作用是将光信号转换为电信号,以利于采用目前最为成熟的电子技术进行信号的放大、处理、测量和控制等。光电检测不同于其他光学检测的本质就在于此。完成这一转换工作主要是依靠各种类型的光电和热电探测器,随着各类探测器的发展和新型探测器的出现,都为光电检测技术的发展提供了有力的基础。

(5) 电信号的放大与处理

这一部分主要由各种电子线路组成。为实现各种检测目的,可按需要采用不同功能的电路

来完成,对具体系统进行具体分析。应当指出,虽然电路处理方法多种多样,但必须注意整个系统的一致性。也就是说,电路处理与光信号获得、光信号处理,以及光电转换均应统一考虑和安排。

(6) 微机及控制系统

通常把显示系统也包括在这一环节当中。许多光电检测系统只要求给出待测量的具体值,即将处理好的待测量电信号直接经显示系统显示。

在需要利用检测量进行反馈后去实施控制的系统中,就要附加控制部分。如果控制关系比较复杂,则可采用微机系统给以分析、计算或判断等处理后,再由控制部分执行。这样的系统又可叫做智能化的光电检测系统。目前随着单片机和小型微机的迅速发展,对稍复杂的光电检测系统都考虑尽可能实现智能化的检测。

1.2 光电检测技术的主要应用范围

光电检测技术已应用到各个科技领域中,它是近代科技发展中最重要方面之一。下面介绍光电检测技术在某些方面的应用。

1. 辐射度量和光度量的检测

光度量的测量是以平均人眼视觉为基础,利用人眼的观测,通过对比的方法可以确定光度量的大小。但由于人与人之间视觉上的差异,即使是同一个人,由于自身条件的变化,也会引起视觉上的主观误差,这都将影响光度量检测的结果。至于辐射度量的测量,特别是对不可见光辐射的测量,是人眼所无能为力的。在光电方法没有发展起来之前,常利用照相底片感光法,根据感光底片的黑度来估计辐射量的大小。这些方法手续复杂,只局限在一定光谱范围内,且效率低、精度差。

目前大量采用光电检测的方法来测定光度和辐射度量。该方法十分方便,且能消除主观因素带来的误差。此外光电检测仪器经计量标定,可以达到很高的精度。目前常用的这类仪器有光强度计、光亮度计、辐射计,以及光测高温计和辐射测温仪等。

2. 光电元器件及光电成像系统特性的检测

光电元器件包括各种类型的光电、热电探测器和各种光谱区中的光电成像器件。它们本身就是一个光电转换器件,其使用性能是由表征它们特性的参量来决定的。例如,光谱特性、光灵敏度、亮度增益等。而这些参量的具体值则必须通过检测来获得。实际上,每个特性参量的检测系统都是一个光电检测系统,只是这时被检测的对象就是光电元器件本身罢了。

光电成像系统包括各种方式的光电成像装置,如直视近红外成像仪、直视微光成像仪、微光电视、热释电电视、CCD 成像系统,以及热成像系统等。在这些系统中,各自都有一个实现光电图像转换的核心器件。这些系统的性能也是由表征系统的若干特性参量来确定的,如系统的亮度增益、最小可分辨温差等。这些光电参量的检测也是由一个光电检测系统来完成的。

3. 光学材料、元件及系统特性的检测

光学仪器及测量技术中所涉及的材料、元件和系统的测量,过去大多采用目视检测仪器来完成,它们是以手工操作和目视为基础的。这些方法有的仍有很大的作用,有的存在着效率低和精度差的缺点。这就要求用光电检测的方法来代替,以提高检测性能。随着工程光学系统的发展,还有一些特性检测很难用手工和目视方法来完成。例如,材料、元件的光谱特性,光学系统的调制传递函数,大倍率的减光片等。这些也都需要通过光电检测的方法来实现测量。



此外,随着光学系统光谱工作范围的拓宽,紫外、红外系统的广泛使用,对这些系统的性能及其元件、材料等的特性也不可能再用目视的方法来检测,而只能借助于光电检测系统来实现。

光电检测技术引入光学测量领域后,许多古典光学的测量仪器正得到改造,如光电自准直仪、光电瞄准器、激光导向仪等,使这一领域产生了深刻的变化。

4. 非光物理量的光电检测

这是光电检测技术当前应用最广、发展最快且最为活跃的应用领域。

这类检测技术的核心是如何把非光物理量转换为光信号。主要方法有两种:

(1) 通过一定手段将非光量转换为发光量,通过对发光量的光电检测,实现对非光物理量的检测。

(2) 使光束通过被检测对象,让其携带待测物理量的信息,通过对含有待测信息的光信号进行光电检测,实现对待测非光物理量的检测。

这类光电检测所能完成的检测对象十分广泛。例如,各种射线及电子束强度的检测;各种几何量的检测,其中包括长、宽、高、面积等参量;各种机械量的检测,其中包括重量、应力、压强、位移、速度、加速度、转速、振动、流量,以及材料的硬度和强度等参量;各种电量与磁量的检测;以及对温度、湿度、材料浓度及成分等参量的检测。

在上述的讨论中,涉及的应用范围只是光电检测的对象,而检测的目的并未涉及,因为这又是一个更为广泛的领域。有时对同一物理量的检测,由于目的不同,就可能成为完全不同的光电检测系统。例如,对红外辐射的检测,在红外报警系统中,检测的作用是发现可疑目标及时报警;在红外导引系统中,检测的作用是通过红外目标,如飞机喷口的光电检测,控制导弹击中目标。在测温系统中,检测的作用是测定辐射体的温度。可见结合光电检测的应用目的,其内容将更为丰富。

以上讨论并未包括全部的光电检测技术的应用范围,有些工作还在迅速发展之中。

1.3 光电检测技术的现代发展

现代检测技术是一切科技及工业部门正常运转的基础之一。而光电检测技术不仅是现代检测技术的重要组成部分,而且随着发展其重要性越来越明显。主要原因是光电检测技术的特点完全适应了近代检测技术发展的方向和需要。

(1) 近代检测技术要求向非接触化方向发展。这就可以在不改变被测物性质的条件下进行检测。而光电检测的最大优点是非接触测量。光束通过被测物,不会改变其特性(当然也有例外)。这是人们更多地注意这种检测方式的重要原因。

(2) 现代检测技术要求获得尽可能多的信息量。而光电检测中的光电成像型检测系统,恰能提供待测对象信息含量最多的图像信息。

(3) 现代检测技术所用电子元件及电路向集成化方向发展;检测技术向自动化方向发展;检测结果向数字化方向发展;检测系统向“智能”化方向发展。所有这些发展方向也正是光电检测技术的发展方向。可见光电检测技术完全满足现代技术发展的需要,因此有着广阔的前景。

总的来说光电检测系统可与人的操作功能相比较,其对应关系如图 1-7 所示。光电传感部分相当于人身的感觉器官;将传感部分获得的信息经微机处理,这一功能相当于人脑分析、判断过程。微机输出的控制信号驱动执行机构,使之完成所要求的动作或控制被测对象,这一过程相当于手控动作。这只是功能上的比较,实际上光电检测系统比人工控制系统在速度、精度及功能等方面都要强得多。

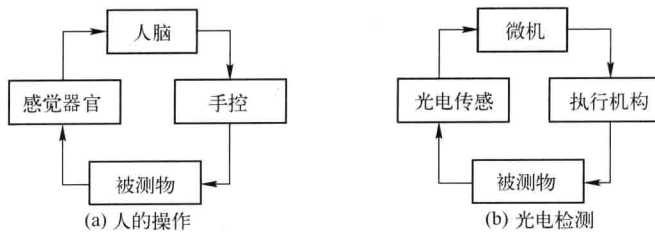


图 1-7 光电检测系统与人的操作功能比较框图

为了使光电检测技术的应用面不断扩大,使其能检测更多的被测对象,这就要求光电传感器的品种不断增多,同时要求检测光信号的获得方式不断增加。这将涉及有关物理学原理的应用和现代科技成果的应用。光电检测技术的另一个重要发展方面是各种微机在系统中的应用,这不仅可极大地提高检测效率,也使十分复杂的计算、修正和控制关系变得轻而易举。调节和执行机构的发展,使控制方式变得多种多样,将完成许多高难度的控制过程。总之,光电检测技术的发展离不开现代科技的发展,而光电检测技术的发展必将进一步促进现代科技的发展。

本书将重点介绍实现光电检测的各个主要部分。其主要内容包括:检测量的数据处理、光源及辐射源、光电及热电探测器、信号处理和常用电路、探测器的校正、光电检测中的光学系统、探测器的辅助光学系统及光学附件、光纤技术及其应用、光调制技术、光电检测的基本方法及各种类型检测系统举例等。

习题与思考题

1-1 简述光电检测系统的基本组成,各部分的主要作用。

第2章 光电检测技术基础

2.1 检测量的误差及数据处理

在光电检测技术中,许多情况下需要检测出待测量的具体数值。例如,对光度量和辐射度量的测量;光学零件透射比、反射比或漫射特性的测量;光电或热电器件灵敏度、增益等参量的测量;零件几何尺寸的测量;运动物体的线速度、转速及流体的流速等的测量。而在有些光电检测系统中,检测量作为控制的信号,看起来并不需要直接给出检测量的具体大小,但在控制系统的工作范围、控制精度及可靠性的估算中,也离不开具体量值的隐含检测。所以不论是隐含还是显含,检测量的测量都是必需的。

要获得检测量就要通过检测器具来进行,这就不可避免地要带进检测误差。因此在光电检测技术中必须讨论和分析有关检测量的误差,从中得到检测数据的一般处理方法。

2.1.1 检测过程及误差分类

本节主要介绍检测过程、检测标准、误差的产生、置信限和置信概率等问题。

1. 检测过程及标准

光电检测过程与一般物理量的测量过程相类似,是用待测量直接或间接与另一个同类已知量相比较,并以同类已知量的单位为单位,测定出待测量的具体值。例如,使用照度计测定某受光面的照度,这是直接测量法的例子,待测量是受光面的照度,而已知量及单位隐含在经标定后的照度计读数之中。又如,测定某像管的增益 G ,它是荧光屏亮度 L_a 与阴极面照度 E_k 的比值,即 $G = L_a/E_k$ ($\text{cd}/\text{m}^2 \cdot \text{lx}$)。具体检测时,用照度计直接测定 E_k ,用亮度计直接测定 L_a ,通过计算得到待测量 G 的大小,这是间接测量的例子。

由检测过程可知,必须有已知量作为比较或参考的标准,才能进行检测工作。比较标准通常有以下三类:

(1) 真值 A_0

真值是指某物理量的理论值或定义值。例如,真空中的光速;某元素某谱线的波长等。这种参考标准只存在于纯理论之中,而不存在于实际检测之中。要检测这些标准量(如光速),则又必须以其他参考量作为标准。所以可以认为在检测技术中,绝对的真值是不可知的,但是随着技术的发展,又可以获得逐步逼近真值的测量值。

(2) 指定值 A_s

指定值是由国家设立的各种尽可能维持不变的实物基准或标准原器所规定的值。例如,长度实物基准、国家黑体光度标准器等。指定值作为国家标准,常在国际间进行比对和修正,成为各检测量比较的基准。

(3) 实用值 A

实际检测过程中不可能都直接与国家基准进行比较测量。因此采用计量标准传递的方法将指定值、基准量逐级传递到各级计量站,以及具体的检测仪器中。各级计量站或检测仪器在进行比较测量时,把上一级标准器的量值当做近似的真值,把它们都叫做实用值、参考值或传递值。

例如照度值的传递,由国家光度标准器的发光强度作为指定值,转移传递并寄存在各级计量站的标准光源中,标准光源通过光轨转换为不同距离上的照度标准。一般照度计在上级计量站的光轨上进行标定,而照度的测量又是用标定好的照度计进行的。在上述序列中,每传递一次都把传递者所具有的值叫做实用值。如一级站向二级站传递时,把一级站的值叫实用值;二级站向照度计传递时,二级站的值也叫实用值;照度计进行测量时,照度计的指示值仍叫实用值。

2. 误差的产生及分类

在各种检测过程中,不可避免地存在着误差。这是由于在检测过程中各种不稳定因素综合影响的结果。例如,测量方法存在原理性误差;被测物由于测量本身带来变化;各种检测量的无规则起伏和一些意外的原因等。由此造成各瞬间所测结果不同。即在条件相同的情况下,多次测量的结果也不相同。

设某被测量的真值为 A_0 , 而测得值为 x , 于是有

$$\Delta x = x - A_0 \quad (2-1)$$

式中, Δx 为检测的绝对误差或误差。

$$A_0 = x - \Delta x \quad (2-2)$$

当 Δx 很小时,可以认为 $A_0 = x$ 。所谓很小是相对于检测目的和允许精度范围而言的。

检测误差可按不同属性进行分类。

(1) 误差按检测结果分类

可分为绝对误差和相对误差。绝对误差 $\Delta x = x - A_0$ 。相对误差通常又可用两种表示方法。一种叫做实际相对误差,表达式为

$$\frac{\Delta x}{x} \approx \frac{\Delta x}{A_0} \times 100\%$$

另一种叫做额定相对误差,表达式为

$$\frac{\Delta x}{x_{\max}} \times 100\%$$

式中, x_{\max} 为最大测量值。例如在电工仪表中,表头的误差就采用额定相对误差表示。例如,电表为 0.5 级,是指该电表各示值的误差值不超过满度值的 0.5%。

通常鉴定某种测量仪表的精度或误差,是在一系列附加工作条件下得出的,如环境温度、相对温度、大气压强和外磁场大小等。按鉴定测量仪表的不同要求,相应规定具体的检测条件。

(2) 误差按它们的基本特性分类

可分为系统误差、随机误差和过失误差。其中过失误差在认真的检测中只是偶然出现,通常可以避免。即使它们偶然出现,也可以按一定准则给以剔除,其方法将在后面给以介绍。这里着重讨论前两种误差。

① 系统误差

在检测过程中产生恒定不变的误差(叫恒差),或者按一定规律变化的误差(叫变差),统称为系统误差。系统误差产生的原因有工具误差、装置误差、方法误差、外界误差和人员误差等。

在任何一个检测系统中,都必须估计这类误差的可能来源,并尽力消除它们;或者估计它们的可能值,并在结果中给以修正。检测系统的准确度或叫精确度,即测量值与真值间的偏差在一定条件下由系统误差决定。系统误差越小,表明仪器检测的准确度越高。

系统误差的处理一般来说是技术处理问题,通过采用适当的方法,可以消除或减小这类误差。

② 随机误差

在尽力消除并改正了一切明显的系统误差之后,对同一待测量进行反复多次的等精度测量,