

# 光电检测技术

高稚允 高岳 编著

国防工业出版社

# 光电检测技术

高雅允 高岳 编著

国防工业出版社

·北京·

## 图书在版编目(CIP)数据

光电检测技术/高稚允, 高岳编著. —北京:国防工业出版社, 1995. 6

ISBN 7-118-01320-X

I. 光… I. ①高… ②高… III. 光电子学-检测-技术  
IV. TN206

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 06293 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 15 $\frac{1}{8}$  397 千字  
1995 年 6 月第 1 版 1995 年 6 月北京第 1 次印刷  
印数:1—3 000 册 定价:20.60 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,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. 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,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科技现代化和国防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,密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。

4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作,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,由国防工业出版社列选出版。

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,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工业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

## 第二届评审委员会组成人员

名誉主任委员	怀国模		
主任委员	黄宁		
副主任委员	殷鹤龄	高景德	陈芳允
	曾铎		
秘书长	刘琯德		
委员	尤子平	朱森元	朵英贤
(按姓氏笔划为序)	刘仁	何庆芝	何国伟
	何新贵	宋家树	张汝果
	范学虹	胡万忱	柯有安
	侯迁	侯正明	莫梧生
	崔尔杰		

# 前 言

光电检测技术是目前迅速发展光电技术的重要组成部分,是对光量及大量非光物理量进行测量的重要手段。它已深入到军事技术、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,并得到日益广泛的应用。

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。本书从基本的系统要求出发,对光电检测的基本原理、研究方法和工程应用中的技术问题进行了分析和介绍,为读者设计和应用各种用途的光电检测系统打下必要的基础。

本书经两位作者密切配合、共同努力,在广泛收集有关国内外资料的基础上,结合多年来的科研实践编写而成。但因作者的学术水平有限,书中的缺点和错误诚恳希望读者批评指正。

编著者

## 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。

本书从基本原理到工程技术应用,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:检测量的误差及数据处理;光源及辐射源;光电及热电探测器;检测信号处理和常用电路;光学系统及专用光学元件;光电探测器的校正;信号调制技术;光纤技术及应用;光学量和非光物理量的光电检测等。这些内容为有关科技人员应用和设计光电检测系统,提供了必要的基础知识、参考数据、性能曲线及计算方法。

本书的读者对象为从事光学技术、光电技术、检测及控制技术等领域的科技工作者,也适合于上述专业的高等学校学生阅读。



7-77  
3

# 目 录

第一章 绪论 .....	1
一、光电检测系统的基本工作原理 .....	1
二、光电检测技术的主要应用范围 .....	7
三、光电检测技术的现代发展 .....	9
第二章 检测量的误差及数据处理 .....	11
§ 2.1 检测过程及误差分类 .....	11
§ 2.2 随机误差 .....	15
§ 2.3 系统误差 .....	28
第三章 光源及辐射源 .....	37
§ 3.1 光源选择的基本要求和光源的分类 .....	37
§ 3.2 热光源 .....	42
§ 3.3 气体放电光源 .....	52
§ 3.4 固体发光光源 .....	58
§ 3.5 激光光源 .....	65
第四章 光电及热电探测器 .....	74
§ 4.1 光电倍增管 .....	76
§ 4.2 光电导器件 .....	96
§ 4.3 光电池和光电二极管 .....	120
§ 4.4 CCD 像传感器的工作原理 .....	147
§ 4.5 热电探测器 .....	163
第五章 光电检测的信号处理和常用电路 .....	172
§ 5.1 噪声 .....	172
§ 5.2 前置放大器 .....	188
§ 5.3 常用电路介绍 .....	194
第六章 光学系统及专用光学元件 .....	213
§ 6.1 光电检测中的光学系统 .....	213

§ 6.2	常用物镜简介 .....	220
§ 6.3	探测器辅助光学系统 .....	227
§ 6.4	光电检测中的计量部件 .....	241
§ 6.5	角反射器与极性分析器 .....	266
第七章	光电探测器的校正 .....	275
§ 7.1	变光度的实现 .....	275
§ 7.2	漫射体及其在光电检测中的应用 .....	286
§ 7.3	光谱校正及应用 .....	298
第八章	光电技术中的调制技术 .....	308
§ 8.1	一般光电信号的调制 .....	308
§ 8.2	专用调制盘 .....	371
§ 8.3	利用物理光学原理实现的光调制技术 .....	324
第九章	光纤技术及应用 .....	340
§ 9.1	光学纤维的基本工作原理及分类 .....	340
§ 9.2	光纤器件主要参量的光电检测 .....	350
§ 9.3	光纤制品的一般应用 .....	356
§ 9.4	光纤传感器及其应用 .....	364
第十章	光度量和辐射度量的检测 .....	377
§ 10.1	照度计的工作原理 .....	378
§ 10.2	亮度测量及亮度计 .....	384
§ 10.3	辐射测量与测温 .....	389
第十一章	非光物理量的光电检测 .....	417
§ 11.1	光强型光电检测系统 .....	417
§ 11.2	脉冲型光电检测系统 .....	436
§ 11.3	相位型和频率型光电检测系统 .....	449
§ 11.4	利用物理光学原理的光电检测系统 .....	457
§ 11.5	其它光电检测系统 .....	463
参考文献	.....	472

# 第一章 绪 论

## 一、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脑技术的发展,使光电检测系统的内容愈加丰富,应用越来越广,目前已渗透到几乎所有工业和科研部门。

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,经菲涅尔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。其原理如图 1-1 所示。人体红外辐射经红外菲涅尔物镜  $L$  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。

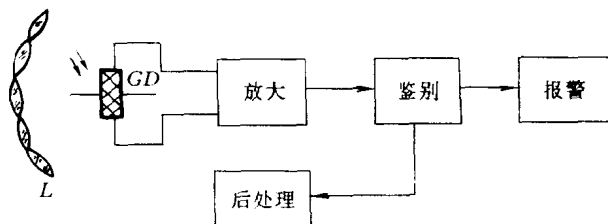


图 1-1 红外防盗装置框图

1107493

同时也可以利用报警信号进行其它后处理的控制,如关门、摄像、开高压等。

## 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;街口汽车的流量等。图 1—2 所示为传送带上对产品进行计数的装置原理。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

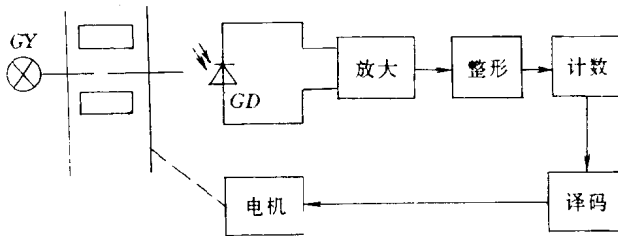


图 1—2 光电计数器框图

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。如需进行定量计数,每 100 件打一包,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

在标志锅炉水位玻璃管的两侧,按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。

## 4. 稳定光源发光照度的自控系统

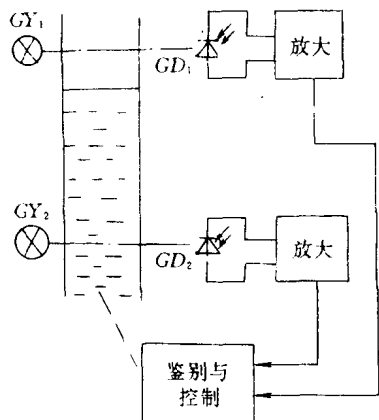


图 1-3 光电控制水位框图

稳定光源自控系统工作原理如图 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, 由电阻为  $R_G$  的光敏电阻  $GD$  所接收,  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_{w2}$  和  $R_G$  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,  $U_A = U_B$ ,  $R_G = (R_1/R_2)R_{w2}$ , 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  $R_G$  减小, 使  $R_G < (R_1/R_2)R_{w2}$ , 对应  $U_A < U_B$ , 这时有负信号输入放大器, 放大信

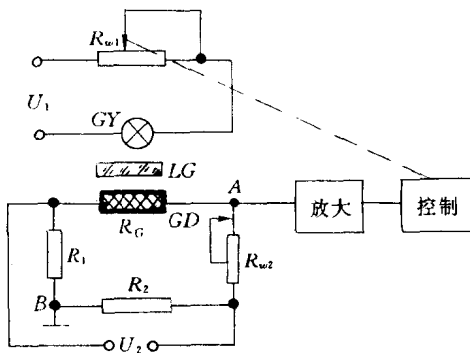


图 1-4 稳定光源自控系统

号经控制器调整  $R_{wi}$ , 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目的。

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部分和原理框图。如图 1-5 所示。其基本组成部分可分为: 光源、被检测对象及光信号的形成、光信号的匹配处理、光电转换、电信号的放大与处理、微机、控制系统和显示等部分。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

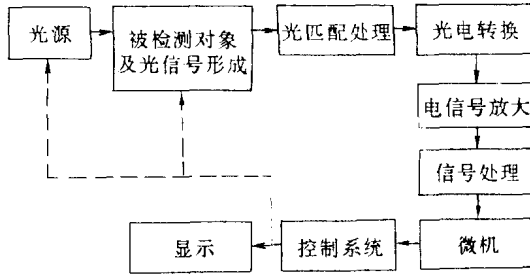


图 1-5 光电检测系统框图

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, 上图只表征基本原理, 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, 下面对框图中主要部分给予简单说明。

(1) 光源: 光源是光电检测系统中必不可少的一部分。在许多系统中按需要选择一定辐射功率、一定光谱范围和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它非光物理量, 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,其原理如图 1-6 所

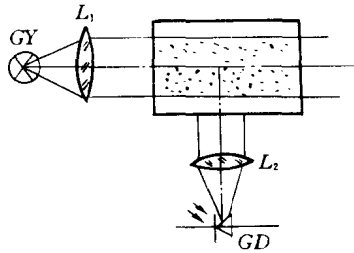


图 1-6 利用散射测定含尘量

示。光源  $GY$  发出光束经物镜  $L_1$  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。

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,则需要进行均匀化的处理;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更好获得待测量的信息,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。光电检测不同于其它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:这一部分主要是由各种电子线路所组成。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。这样的系统又可叫作智能化的光电检测系统。目前随着单片机、单板机及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。



## 二、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

光度学的量是以平均人眼视觉为基础的量,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量和辐射度量。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。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象转换的核心器件。这些系统的性能也是由表征系统的若干特性参量来确定。如系统的亮度增益、最小可分辨温差等。这些光电参量的