

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。

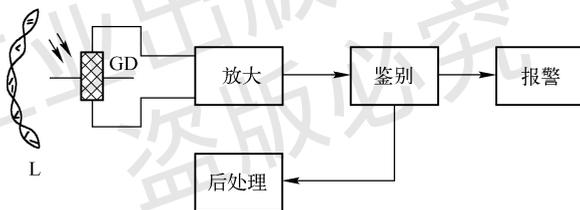


图 1-1 红外防盗报警系统原理框图

(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

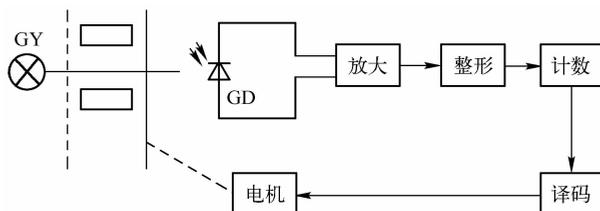


图 1-2 光电计数器原理框图

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。

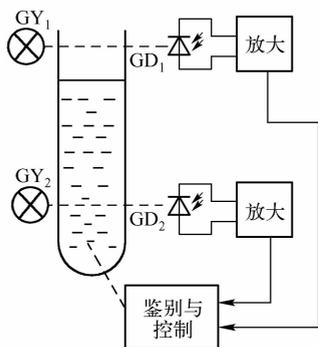


图 1-3 光电控制水位的原理框图

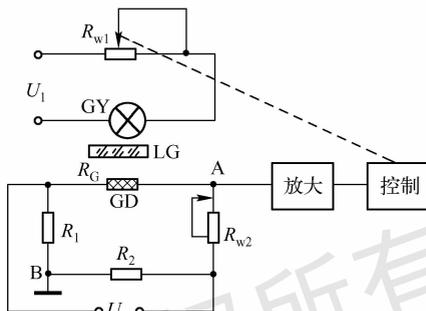


图 1-4 稳定光源发光强度自控系统原理框图

(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_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 的值减小,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。

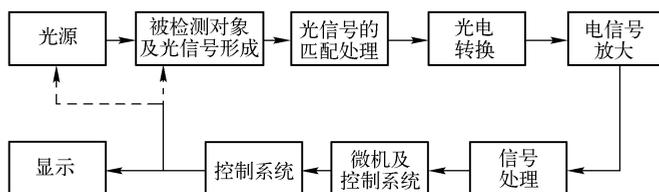


图 1-5 光电检测系统原理框图

(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。

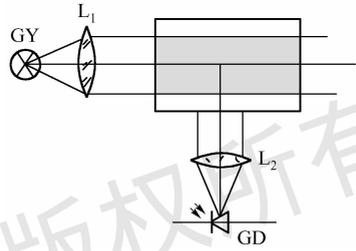


图 1-6 利用散射测定含尘量原理示意图

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地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度的大小。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度和辐射度量度。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、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,这一过程相当于手动动作。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。

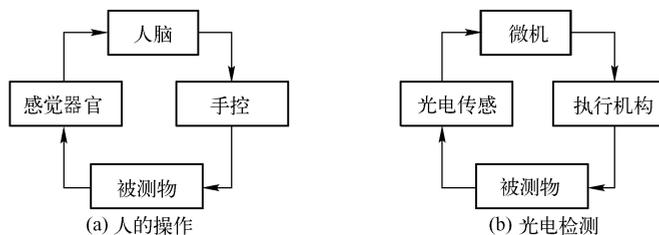


图 1-7 光电检测系统与人的操作功能比较框图

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。