

传感器是能感受被检测量并按照一定规律将其转换成可用输出信号的器件或装置。检测的基本任务是利用传感器获得有用的信息,这些信息主要反映被测对象中的被测量。工程研究、产品开发、生产监督、质量控制和性能试验等都与检测技术息息相关,特别是近代广泛应用的自动控制技术。检测装置往往是控制系统的前端,因此,检测技术已经成为控制系统的重要组成部分,各种仪器仪表作为控制系统的感觉器发挥着关键作用。传感器和检测技术是机电行业中的支撑技术之一。

一、检测技术基础

信息总是蕴涵在某些物理量之中,并依靠它们来传输。这些物理量就是信号,就具体物理性质而言,有电信号、光信号和力信号等。其中,电信号在变换、处理、传输和运用等方面都有明显的优点,因而其已成为目前应用最广泛的信号。各种非电信号往往也被转换成电信号,而后传输、处理和运用。传感器的作用一般是将非电信号转换为电信号,是检测中的转换器件。

《传感器通用术语》(GB/T 7665—2005)对传感器的定义是“能感受被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成”。即传感器是一种检测装置,能感受到被测量的信息,并能将感受到的信息按一定规律转换成为电信号或其他所需形式的信息输出,以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。它是实现自动检测和自动控制的首要环节。

传感器另外一个定义是“从一个系统接受功率,通常以另一种形式将功率送到第二个系统中的器件”。根据这个定义,传感器的作用是将一种形式的能量转换成另一种形式的能量,所以可认为“换能器”即“传感器”。

有关传感器还有以下几个概念。

(1)变送器。当传感器输出为规定的标准信号时,称为变送器。常用的标准信号为 $0\sim 5\text{ V}$ / $0\sim 10\text{ V}$ 电压信号或 $4\sim 20\text{ mA}$ 电流信号。此外,以输出数字量为特征,满足某种传输协议(如现场总线协议)的变送器,也在各种工业检测领域大量应用。

(2)微传感器。利用微细加工工艺,尤其是硅微加工工艺制作的传感器称为微传感器。其具有尺寸微小的特性,一般指那些外形尺寸小于毫米量级的传感器。

(3)智能传感器。将敏感元件、信号处理电路、处理单元和通信单元等集成一体的传感器称为智能传感器。其可看做计算机化的传感器,具有自我诊断、数据处理和自适应等功能。

测量是指用特定的工具或仪器直接获得被测对象的特性数据,结果是数据,如用秤称重量、用尺量长度。测试是指用一系列的方法(包括仪器仪表、工具或计算等)检查特定的对象的性能是否满足所预期的要求,获得的结果是合格或不合格。检测就是借助专门的技术工具通过试验、计算而获得被测量的值(大小和方向),将被测量与同性质的标准量进行比较,并确定出被测量对标准量的倍数。根据以上各有关定义,测量、测试和检测概念的主要区别在于侧重点和结果不同,测量主要用于利用仪器直接获得量值属性,测试则面向设计并检验是否达到要求,而检测是利用仪器间接获得量值属性,中间增加了分析环节。工业中,中间的细微差别往往为使用者忽略,在不影响结果的基础上,本书中使用检测作为上述三种名词的统称。

1. 检测技术的重要性与发展趋势

人们为了从外界获取信息,必须借助于感觉器官。而单靠人们自身的感觉器官,在研究自然现象和规律以及在生产活动中它们的功能就远远不够了。为适应这种情况,就需要借助于传感器。因此,传感器是人类五官的延伸,又将其称为“电五官”。

1)检测技术的重要性

在人类各项生产活动和科学试验中,为了了解和掌握整个过程的进展及其最后结果,经常需要对各种基本参数或物理量进行检查和检测,从而获得必要的信息,作为分析判断和决策的依据。因此,可以认为检测技术是人们为了对被测对象所包含的信息进行定性的了解和定量的掌握而采取的一系列技术措施,是以信息的获取、转换、显示和处理为主要内容的一项技术。检测技术已经发展成为一门完整的技术学科,在促进生产发展和科技进步等广阔领域发挥着重要作用。其主要应用如下。

(1)检测技术是产品检验和质量控制的重要手段。借助于检测工具对产品进行质量评价是人们十分熟悉的,这是检测技术重要的应用领域。但传统的检测方法只能将产品区分为合格品和废品,起到产品验收和废品剔除的作用。这种被动检测方法,对废品的出现并没有预先防止的能力。在传统检测技术基础上发展起来的在线检测技术使检测和生产加工同时进行,能及时地利用检测结果对生产过程主动地进行控制,使之适应生产条件的变化或自动地调整到最佳状态。这样检测的作用已经不只是单纯的检查产品的最终结果,还要过问和干预造成这些结果的原因,从而进入质量控制的领域。

(2)检测技术在设备安全经济运行监测中得到广泛应用。电力、石油、化工和机械等行业的一些大型设备通常在高温、高压、高速和大功率状态下运行,保证这些关键设备安全运行在国民经济中具有重大意义。因此,通常设置故障监测系统以对温度、压力、流量、转速、振动和噪声等多种参数进行长期动态监测,以便及时发现异常情况,加强故障预防,达到早期诊断的目的。这样做可以避免严重的突发事故,保证设备和人员安全,提高经济效益。另外,在日常运行中,这种连续监测可以及时发现设备故障前兆,采取预防性检修。随着计算机技术的发展,这类监测系统已经发展为故障自诊断系统,可以采用计算机来处理检测信息,进行分析、判断,及时诊断出设备故障并自动报警或采取相应的对策。

(3)检测技术和检测装置是自动化系统中不可缺少的组成部分。任何生产过程都可以看做是“物流”和“信息流”组合而成的。反映物流的数量、状态和趋向的信息流则是人们管理和控制物流的依据。人们为了能够有目的地对其进行控制,首先必须通过检测获取有关信息,然后才能进行分析判断以便实现自动控制。所谓自动化是指用各种技术工具与方法代替人来完成检测、分析、判断和控制工作。一个自动化系统通常由多个环节组成,分别完成信息获取、信息转换、信息处理、信息传送及信息执行等功能。在实现自动化的过程中,信息的获取与转换是极其重要的组成环节,只有精确、及时地将被控对象的各项参数检测出来,并转换成易于传送和处理的信号,整个系统才能正常地工作。因此,自动检测与转换是自动化技术中不可缺少的组成部分。

(4)检测技术的完善和发展推动着现代科学技术的进步。人们在自然科学各个领域内从事的研究工作,一般是利用已知的规律对观测、试验的结果进行概括、推理。从而对所研究的对象取得定量的概念并发现它的规律性,然后上升到理论。因此,现代化检测手段所达到的水平在很大程度上决定了科学研究的深度和广度。检测技术达到的水平愈高,提供的信息愈丰富、愈可靠,科学研究取得突破性进展的可能性就愈大。此外,理论研究的一些成果也必须通过试验或观测来加以验证,这同样离不开必要的检测手段。

从另一方面来看,现代化生产和科学技术的发展也不断地对检测技术提出新的课题和要求,成为促进检测技术向前发展的动力。科学技术的新发现和新成果不断应用于检测技术中,也有力地促进了检测技术自身的现代化。

检测技术与现代化生产和科学技术的密切关系,使它成为一门十分活跃的技术学科,几乎渗透到人类的一切活动领域,发挥着愈来愈大的作用。新技术革命的到来,世界开始进入信息时代,在利用信息的过程中,首先要解决的就是要获取准确可靠的信息,而传感器是获取自然信息和生产领域中信息的主要途径与手段。

传感器和检测技术早已渗透到诸如工业生产、宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程、甚至文物保护等极其广泛的领域。可以毫不夸张地说,从茫茫的太空到浩瀚的海洋,以至各种复杂的工程系统,几乎每一个现代化项目,都离不开各种各样的传感器和检测装置。

由此可见,传感器技术在发展经济、推动社会进步等方面的重要作用,是十分明显的。世界各国都十分重视这一领域的发展。相信不久的将来,传感器技术将会出现一个飞跃,达到与其重要地位相称的新水平。

2)检测技术的发展趋势

随着世界各国现代化步伐的加快,对检测技术的大量需求与日俱增,而科学技术,尤其是大规模集成电路技术、微型计算机技术、机电一体化技术、微机械和新材料技术的不断进步,大大促进了现代检测技术的发展。目前,现代检测技术发展总的趋势大体有以下几个方面。

(1)检测范围不断拓展,检测精度和可靠性不断提高。随着科学技术的发展,对检测仪器和检测系统的性能要求,尤其是精度、检测范围和可靠性指标要求愈来愈高。以温度为例,为满足科研试验需求,研制测温下限接近绝对零度($-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$)的高精度超低温检测仪表。同时,某些场合需连续检测液态金属的温度或长时间连续检测 $2\ 500\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 3\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高

温介质温度,目前虽然已能研制和生产最高上限超过 $2\ 800\ ^\circ\text{C}$ 的热电偶,但其测温范围超过 $2\ 500\ ^\circ\text{C}$,准确度将下降,且极易氧化而严重影响其使用寿命和可靠性。因此,寻找能长时间连续准确检测上限超过 $2\ 000\ ^\circ\text{C}$ 被测介质温度的新方法是急需研究的课题。

几十年前,如果在长度、位移检测中仅存在 $0.01\ \text{mm}$ 以下的检测误差,会被大家认为是高精度检测;但随着近几年许多国家大力开展微机电系统、超精细加工等高技术研究,微米、纳米技术很快成了人们熟知的词汇,这就意味着科技的发展迫切需要有达到纳米级,甚至更高精度检测技术和检测系统的出现。

各行各业随着自动化程度的不断提高,其高效率的生产更依赖于各种检测、控制设备的安全可靠。努力研制在复杂和恶劣检测环境下能满足用户所需精度要求,且能长期稳定工作的各种高可靠性检测仪器和检测系统,将是检测技术的一个长期发展方向。对用于航空、航天和武器装备系统等特殊用途的检测仪器的可靠性要求更高,例如,在卫星上安装的检测仪器,不仅要求其体积小、重量轻,而且要求其既能耐高温,又能在极低温和强辐射的环境下长期稳定工作,因此,所有检测仪器都应有极高的可靠性和尽可能长的使用寿命。

(2)传感器逐渐向集成化、组合式和数字化方向发展。以往传感器与信号调理电路分开,微弱的传感器信号在通过电缆传输的过程中容易受到各种电磁干扰信号的影响,且各种传感器的输出信号形式众多,使检测仪器与传感器的接口电路无法统一和标准化,实施起来颇为不便。随着大规模集成电路技术与产业的迅猛发展,采用贴片封装方式,体积大大缩小的通用和专用集成电路愈来愈普遍。因此,目前已有不少传感器实现了敏感元件与信号调理电路的集成和一体化,对外直接输出标准电信号,成为名副其实的变送器。这对检测仪器整机研发与系统集成提供了很大的方便,从而也使得这类传感器身价倍增。

其次,一些厂商把两种或两种以上的敏感元件集成于一体,成为可实现多种功能新型组合式传感器。例如,将热敏元件、湿敏元件和信号调理电路集成在一起,一个传感器可同时完成温度和湿度的检测。还有些厂商把敏感元件与信号调理电路、信号处理电路统一设计并集成化,成为能直接输出数字信号的新型传感器,进一步增强了信号的稳定性。如美国DALLAS公司推出的数字温度传感器DS18B20,可检测温度范围为 $-55\ ^\circ\text{C}\sim 150\ ^\circ\text{C}$,精度为 $0.5\ ^\circ\text{C}$,封装和形状与普通小功率三极管十分相似。

(3)重视非接触式检测技术的研究。在检测过程中,往往把传感器置于被测对象表面上,检测敏感被测量的变化,这种接触式检测方法通常比较直接、可靠,检测精度高。但在某些情况下,因传感器加入会对被测对象的工作状态产生干扰,影响检测精度;在有些被测对象上,根本不允许或不可能安装传感器,如检测高速旋转轴的振动、转矩以及工件内部裂纹等。因此,各种非接触式检测技术的研究愈来愈受到重视,目前已商品化的光电式传感器、电涡流式传感器、超声波检测仪器、核辐射检测仪器等正是在这种背景下不断发展起来的。在这些应用场合,不仅需要改进和克服非接触式检测仪器易受外界干扰及绝对精度较低等问题,而且对一些难以采用接触式检测,或无法采用接触方式进行检测,尤其是那些具有重大军事、经济或其他应用价值的非接触检测技术课题的研究投入会不断增加,非接触检测技术的研究、发展和应用步伐都将明显加快。

(4)检测系统智能化。近十年来,由于微处理器、单片机等大规模集成电路的成本和价格不断降低,功能和集成度不断提高,使得许多以单片机、微处理器或微型计算机为核心的现代检测仪器实现了智能化,这些现代检测仪器通常具有系统故障自测、自诊断、自调零、自

校准、自选量程、自动测试和自动分选功能、自校正功能、强大数据处理和统计功能、远距离数据通信和输入、输出功能,可配置各种数字通信接口,传递检测数据和各种操作命令等,可方便地接入不同规模的自动检测、控制与管理信息网络系统。与传统检测系统相比智能化的现代检测系统具有更高的精度和性价比。

正是由于智能化检测仪器、检测系统具有上述优点,所以其市场占有率多年来一直维持强劲的上升趋势。

2. 检测系统的组成

一般来说,检测工作的全过程所包含的环节有以适当的方式激励被测对象、信号的检测和转换、信号的调理、分析与处理、显示与记录,以及必要时以电量形式输出检测结果。检测系统可采用如图 0-1 所示的方式来表示。

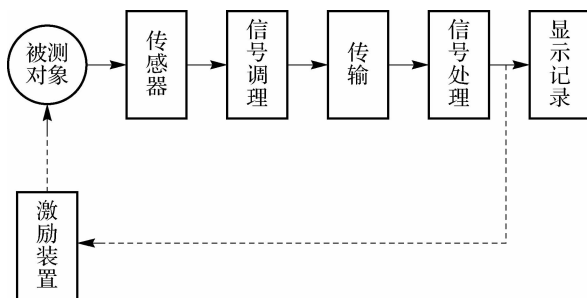


图 0-1 检测系统

客观事物多种多样,检测工作所希望获取的信息,有可能存在于某种可检测的信号中,如位移、温度信号等;也有可能尚未载于可检测的信号中,需要采用合适的方式对被测对象进行激励,使其性能能够充分表现出来并能被检测,如结构的共振频率等,就需要对结构施加一定频率的力或位移,检测其振动值,间接反映其振动性能,为高速条件下的加工提供试验依据。因此,激励装置在检测系统特别是动态检测中是必要的,某些情况下,可以采用现场检测方法作为激励,如检测汽车悬挂系统的平顺性,可以路面为激励装置,在车辆行进中对其进行动态力大小的检测。激励装置有时候需要调整参数,如激振频率和振幅,这种调整往往以检测结果的趋势为依据改变激励装置参数,如寻找共振频率,所以有时需要引入检测结果信号至激励装置中。

传感器直接作用于被测量并按一定规律将被测量转换成同种或别种量值输出,这种输出通常是电信号,如电压或电流等。事实上,这种检测方法还可称为非电量的电测法。

信号调理环节把来自传感器的信号转换成更适合于进一步传输和处理的形式。当所检测的信息经过传感器变换后成为电参量(如电压或电流等)时,这类信号往往很微弱,难于直接显示或传递。因此,在传感器后一般均有放大电路。在信号放大的过程中,不可避免地会出现其他不必要的干扰信号也被放大的情况,以至于影响真实信号的检测,所以一般后续电路均有过滤干扰的措施。这些电路一般集合封装为一体,形成专用模块。有时候,还需要将这些信号转换为计算机能够识别的数字信号通过工业总线网络传给控制器(如 PLC 等),或将这些信号进行分析变换,成为更容易反映被测量本质特性的量值,这种分析就是信号处理技术。

调理后的信号传输到信号分析模块。在检测工作的许多场合中,忽略信号的具体物理性质,而将其抽象为变量之间的函数关系,特别是时间函数或空间函数进行分析研究,从中得出一些具有普遍意义的理论。这些理论极大地发展了检测技术,并成为检测技术的重要组成部分。事实上,这些分析往往是很多经验公式的来源,也是很多理论的试验依据。

信号显示、记录环节以观察者易于识别的形式来显示检测的结果,或者将检测结果存储,供必要时使用。

背景知识:传感器产业

传感器产业是国内外公认的具有发展前途的高技术产业,它以技术含量高、经济效益好、渗透能力强、市场前景广等特点为世人瞩目。其应用领域涉及机械制造、工业过程控制、汽车电子产品、通信电子产品、消费电子产品和专用设备。世界上传感器品种达 3 万余种,美、日、英、法、德等国都把传感器技术列为国家重点开发的关键技术之一。

目前,全世界约有 40 个国家从事传感器的研制、生产和应用开发,研发机构有 6 000 余家。其中以美、日、俄等国实力较强,他们建立了包括物理量、化学量、生物量三大门类的传感器产业,研发生产单位有 4 000 余家,产品达 20 000 余种,对应用范围广的产品已实现规模化生产,大企业的年生产能力已达到几千万件到几亿件。

世界传感器市场正在以持续稳定的增长之势向前发展,2003—2008 年的实际增长率达到 4.5%~5%。就世界范围而言,传感器市场上增长最快的是汽车市场,占第二位的是过程控制市场,另一个前景看好的是通信市场。高精度、快响应、高可靠性、宽温度范围、微型化、微功耗及无源化、智能化、集成化、网络化的传感器将成为未来市场中的宠儿。

Frost&Sullivan 公司对世界各类传感器市场的发展进行了如下概括:光纤传感器市场由 1998 年的 1.75 亿美元增长到 2008 年的 3.5 亿美元;温度传感器市场由 1998 年的 17.4 亿美元增长到 2006 年的 33.26 亿美元,这一增长速度还将持续;半导体传感器市场由 1998 年的 126 亿美元增长到 2008 年的 218 亿美元。MEMS 传感器将成为全世界增长最快的产品之一,其可靠性、技术附加值高,市场回报率大于传统产业。

传感器材料是传感器技术的重要基础,材料科学的进步使传感器技术越来越成熟,种类越来越多。采用纳米材料制作的传感器具有庞大的界面,提供大量物质通道,导通电阻很小,有利于传感器向微型化发展。纳米技术传感器主要包括纳米化学/生物传感器、纳米气体传感器和其他类型的纳米传感器(如压力、温度和流量传感器等)。开发纳米传感器的厂家有安捷伦、波音、国际商用机器公司、洛克希德马丁、摩托罗拉和三星,还有像纳诺米克斯这样的新兴公司。

二、误差分析

由于仪器、试验条件、环境等因素的限制,检测不可能无限精确,物理量的检测值与客观存在的真实值之间总会存在着一定的差异,这种差异称为测量误差。误差不同于错误,错误是应该而且可以避免的,而误差是不可能避免的。从试验的原理、试验所用的仪器及仪器的调整,到对物理量的每次检测,都不可避免地存在误差,并贯穿于整个试验始终。

1. 误差的概念

检测值与真实值之差称为误差。设被测量的真实值(真正的大小)为 A ,检测值为 x ,误差为 Δ ,则有

$$x - A = \Delta \quad (0-1)$$

事实上,由于不可能事先知道被测量的真实值,误差值多由统计估计值和实际检测值的差表示。一般的估计值选用平均值。

在实际工程应用中,相对误差比绝对误差更能表现测量的精度。相对误差分为实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差等。

实际相对误差是指绝对误差(即上述误差)与测量值的百分比

$$\gamma_A = \frac{\Delta}{A} \times 100\% \quad (0-2)$$

式中, γ_A 为实际相对误差。

如采购员分别在三家商店要购买 100 kg 大米,10 kg 苹果,1 kg 巧克力,他们的标称值分别为 99.75 kg,9.75 kg,0.75 kg。绝对误差均为 0.25 kg,实际相对误差分别为 0.25%,2.5%,25%,卖巧克力商店的实际相对误差最大。

实际值往往不能准确取得,一般采用测量值作为相对误差中式(0-2)中的分母,所得到的相对误差称为示值相对误差。即

$$\gamma_x = \frac{\Delta}{x} \times 100\% \quad (0-3)$$

满度相对误差是指绝对误差与测量的量程即满度的百分比值。即

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{x_m} \times 100\% \quad (0-4)$$

式中, x_m 为量程。显然,满度相对误差在相当程度上代表了测量仪器的性能。实际上,最大绝对误差与仪器量程比值的百分比值就是通常意义上的精度。即

$$S = \left| \frac{\Delta_m}{x_m} \right| \times 100\% \quad (0-5)$$

式中, S 为仪器或者测量系统的精度; Δ_m 为最大绝对误差值。精度一般规定取一系列标准值,精度等级越小,则测量系统的相对测量误差越小。

检测时,由于各种因素会造成少许的误差,这些因素必须去了解,并有效地解决,方可使整个检测过程中误差减至最小。检测时的误差主要有系统误差和随机误差,而系统误差包括误读、误算、视差、刻度误差、磨损误差、接触力误差、挠曲误差、余弦误差、阿贝误差和热变形误差等。系统误差的大小在检测过程中是不变的,可以用计算或试验方法求得,可以预测并可修正或调整使其减小。

随机误差又称为偶然误差,是指检测结果与同一待测量的大量重复检测值的平均结果之差。“同一待测量的大量重复检测值的平均结果”是指在重复条件下得到待测量的期望值或所有可能测得值的平均值。它的特点是大小和方向都不固定,无法检测或校正。随机误差的性质是随着测定次数的增加,正负误差可以相互抵偿,误差的平均值将逐渐趋于零。其产生因素十分复杂,如电磁场的微变,零件的摩擦、间隙,热起伏,空气扰动,气压及湿度的变化,检测人员感觉器官的生理变化等,以及它们的综合影响都可以成为产生随机误差的因素。

2. 误差来源及减小误差的一般方法

导致误差的原因可归纳为四大类,详细内容叙述如下。

(1)方法误差。方法误差的产生原因是方法不完善、不适当,原理上的近似及定义不严密等因素在检测结果表达式中没有得到反映,而在实际检测中对结果有影响作用。

(2)设备误差。设备误差的产生原因是检测所使用仪器或量具不准确。

(3)环境误差。环境误差的产生原因是环境偏离了检测工具所规定的条件,如温度、湿度、气压、电磁场、电源电压等。

(4)人为误差。人为误差的产生原因是检测人员的素质、生理特点、工作责任心、检测知识水平、操作习惯等。

检测完毕后,所得数据可根据原理和经验进行坏值(明显与事实不符的检测值)剔除,如检测振动过大引起检测值出现明显误差,或检测条件发生重大改变,这时应予以重新检测。除以上物理方法判别检测值外,处理数据还可采用统计办法,即在一定的置信概率下确定一个置信界限,凡超过此界限的误差可判为粗大误差(坏值),其结果予以剔除。其中,最常用的为 3σ 方法,即如果某一个数值超过所得测量数值的标准差的3倍,则可以认为是异常数值,这种数值产生的原因大多为人为因素,如工作不认真等。根据这种统计学方法,产生了 6σ 管理方法。

提高检测准确度意味着减小或消除误差,因此可在检测装置的设计制造方面采取措施,但对于使用者更为有效的方法是改进检测方法,校正测量手段和数据处理等方面。系统误差往往与检测原理有关,是有规律可循的,因此,应按规律引入校正补偿;随机误差的出现有统计规律,据此可对检测结果进行统计修正,减小分散性;粗大误差则应依据检测原理予以剔除。

三、信号描述

信号(也称为讯号)是运载消息的工具。在传感器和检测技术中,承载信息的物理参量可统称为信号,如电阻应变片传感器将物体表面应变变量转换为电阻变化,然后经过电路转换为电压变化,由电压变化转换为数字量。这些参量的共同特点是它们是由应变引起本身量值的变化,均与应变变量相关。

显然,信号除包含真实信号外,还包含其他误差因素信号,如上面电阻应变片例子中,由于电流热效应造成电阻值变化折算入检测信号中,引起检测结果不准确。从信号中分析出真实信号是信号处理的一个目的。另外,检测动态参量(如振动值)时,得到的往往是时间序列上的一系列数值,但这些数值是无法直接观察得出结论的,需要转换为频率的变化,以各个不同频段的变化揭示事物的本质特征。

1. 信号的分类

根据信号变化情况可分为确定信号和不规则信号两类。

确定信号是可用适当的方法预测其波形的信号,相反,不规则信号的波形无论用什么样的方法都不能完全预测。波形被确定为不规则变化的信号有很多不规则信号的性质。对时间性质不变的不规则信号称为恒定的不规则信号。不规则信号的性质即使进行周期分析,在进行多次相同的处理时,其处理结果每次都是波动而不确定的。检测技术中,一个信号往往包含确定性信号和不确定信号,大多数情况下,不确定性信号由噪声和不确定性因素引起,需要从信号中剔除,保留确定性信号,而后者则是由于物理或者其他自然规律支配的现象,是检测的最终目的。

信号根据数学关系、取值特征、能量功率、处理分析、所具有的时间函数特性、取值是否为实数等,可以分为连续信号和离散信号(即模拟信号和数字信号)、能量信号和功率信号、

时域信号和频域信号、时限信号和频限信号、实信号和复信号等。

传感器信号在工程上还有一种分类方法,即以信号特征为基础,将其分为以下三种形式的信号。

(1)开关信号。开关信号又称为逻辑信号,指的是非0即1的变化信号,一般可描述的有开关、明暗和有无等变化量。事实上,这类信号在工业工程中应用最为广泛,使用量最大。

例如,工件是否安装在空间某一个位置可以看做是一个信号,这个信号可以由传感器将工件的有无转换为电路是否接通,如果接通,则有电压存在,否则电压为0,这样,传感系统就将工件有无转换为了电压是否存在,用逻辑数学的语言,称为1-0开关信号。这类信号检测简单,物理含义明确,在工程环境下的耐用度(鲁棒性)要远远超过其他种类的传感器,而且由于简单价格也大大降低。所以,这类信号大量存在于工业环境中是工业逻辑的必然。

(2)模拟信号。模拟信号是指在一定范围内连续变化的量,即变量在一定范围(定义域)内可以取任意值,反映在检测电路中一般是指电压或电流的变化,这类信号可以描述井口水位、运动位移、受力变化等,在工程中常用于检测精度要求较高的领域。例如,锅炉中的温度变化可以使用热电偶将温度转换为电压变化,这个电压随着电炉温度的提高连续变化,这种连续变化的信息就是模拟信号,模拟信号所携带的信息又常称为模拟量。在工业中,大多数指针式仪表以及和流量、力、压力等数值的测量均是模拟信号。显然,模拟信号的比开关信号蕴含的信息要更加丰富和精确,但是,这种精确性很容易受到电路噪声的影响,比如,电路的热效应使得电路温度上升,反应到测量结果则有可能会产生误差,这种误差在精确性较高的测量中是难以接受的。

(3)数字信号。数字信号是分立量,而不是连续变化量,只能取二进制数字变量,其大多由模拟信号经过A/D转换器转换为数字信号,数字信号的好处是信号传递稳定可靠,不会出现失真,易于和控制系统连接。由于电子计算机的大量应用以及软件算法的突飞猛进,现代检测大多要将信号转换为计算机能够接受的信号,这时,模拟信号需要转换数字信号。同时,由于转换为数字信号,在每一位上的信号实际上就是逻辑开关量信号,显著提高了信号的稳定,不易受到工业现场环境的影响,如果采用数据总线,使用2根线就可以连接几十台或者几百台自动化设备,明显提高现代工业效率和自动化水平。因此,目前大多数检测设备均有数字接口。

2. 信号时域和频域描述

直接观测或记录到的信号一般是以时间为独立变量的,称为时域描述信号。它能反映信号幅值随时间变化的关系,而不能明显揭示信号的频率组成关系。

为了研究信号的频率结构和各频率成分的幅值、相位关系,应对信号进行频谱分析,把信号的时域描述通过适当方法变成信号的频域描述,即以频率为独立变量来表示信号。

数学上,这两种信号可通过傅里叶无穷积分相互转换。在信号分析中,将组成信号的各频率成分找出来,按序排列,得到信号的频谱。以频率为横坐标,以幅值或者相位为纵坐标,便得到了信号的幅频谱或相频谱图。

信号的时域描述直观地反映信号瞬时值随时间的变化关系,频域描述则反映信号的频率组成及幅值、相位关系。为了解决不同的问题,往往需要掌握信号的不同方面的特征,因而可采用不同的信号描述方式。例如,评定机器振动强度,需要振动速度的均方根值作为判据。如速度信号采用时域描述,就能求得均方根值。在寻找振动源头时则需要掌握振动信号的频

率分量,这就需要采用频域描述。实际上,这两种方法可互相转换,且含有同样的信息量。

四、检测装置的基本特性

为了获得准确的检测结果,对检测装置提出多方面的性能要求。这些性能大致上可分为静态特性和动态特性两方面。对于那些用于静态检测的检测装置,一般只需利用静态特性指标考察其质量。在动态检测中,不仅需要用静态特性指标而且需要用动态特性指标来描述检测仪器的质量,因为两方面的特性都将影响检测结果。

1. 检测装置的静态特性

1) 线性度

从使用的角度,总是希望输入和输出近似线性,这样即可用拟合直线来表示传感器的特性,由此造成的误差称为线性误差 δ 。线性误差多采用相对值的方法进行描述,其表达式为

$$\delta = \frac{\Delta y_m}{y_p} \times 100\% \quad (0-6)$$

式中, Δy_m 为实际曲线与拟合曲线间的最大偏差; y_p 为检测系统的满量程输出,即最大检测值与最小检测值之差。

线性度反映了检测中输入和输出变化的均匀性,是衡量检测系统的重要指标,线性度如图 0-2 所示,图中曲线代表真实的输入和输出,直线代表其拟合后的关系。

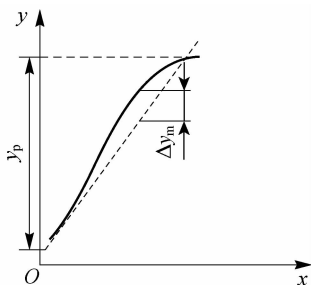


图 0-2 线性度

2) 灵敏度

灵敏度是指系统在稳态下输出变化与输入变化之比 K ,其表达式为

$$K = \frac{dy}{dx} \quad (0-7)$$

式中, dy 为输出变化量,已知理论公式情况下为输出量的微分,或为输出量与输入量的差值; dx 为输入变化量,已知理论公式情况下为输入量的微分,或为输入量的差值。表示单位输入量的变化所引起传感器输出量的变化,显然,灵敏度 K 值越大,表示传感器越灵敏,如图 0-3(a) 所示。通常情况下传感器系统的输入和输出为非线性,其灵敏度为工作点处的切线斜率,如图 0-3(b) 所示。

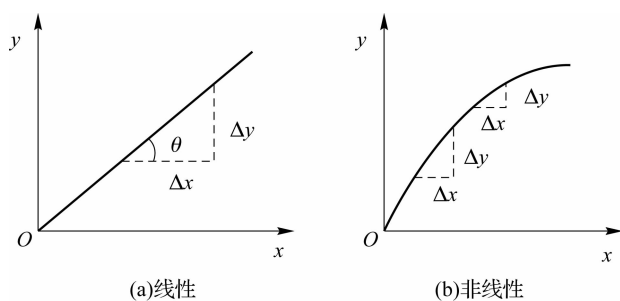


图 0-3 系统灵敏度

一般情况下,灵敏度高说明检测系统很小的输入变化即可引起较大的输出量变化,检测系统能较好地反映输入信号的变化,但过于灵敏则会造成检测系统不易稳定的问题。

3) 分辨力

分辨力是指系统能检测到被测量的最小变化的能力,也称为阈值。检测系统间隙和内部噪声常常使得系统难于感知微小的输入变化,分辨力是衡量检测系统分辨这种微小变化范围的特性。

4) 回程误差

回程误差是指当被测量由小变大或由大变小时,具有两条不重合的输入输出曲线,其中最大差值称为回程误差。这是由于系统有死区,且有滞后特性的元件(如磁性元件和弹性元件)所致,主要原因是由于传感器敏感元件材料的物理性质和机械零部件的缺陷所造成的。例如,弹性敏感元件弹性滞后、运动部件摩擦、传动机构的间隙、紧固件松动等。回程误差又称为迟滞,如图 0-4 所示。

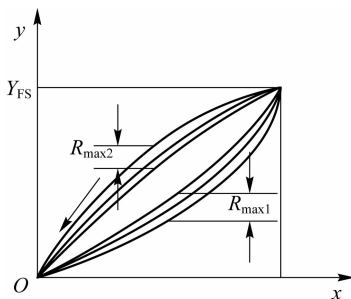


图 0-4 回程误差特性

5) 稳定度和漂移

稳定度是指检测装置在规定条件下保持其检测特性恒定不变的能力。通常在不指明影响量时,稳定度是指装置不受时间变化影响的能力。如果是用其他影响量来考察稳定度时,则需要特别说明。

检测装置的检测特性随时间的缓慢变化称为漂移。在规定条件下,对一个恒定的输入在规定时间内输出变化,称为点漂;标定范围内最低值处的点漂,称为零点漂移或零漂。最常见的漂移是温度漂移,即周围环境温度变化而引起输出量的变化,温度漂移主要表现为温度零点漂移和温度灵敏度漂移。温度漂移通常用传感器工作环境温度偏离标准环境温度

(一般为 20℃)时的输出值的变化量与温度变化量之比(ξ)来表示,即

$$\xi = \frac{y_t - y_{20}}{\Delta t} \quad (0-8)$$

式中, Δt 为工作环境温度 t 与偏离标准环境温度 t_{20} 之差,即 $\Delta t = t - t_{20}$; y_t 为传感器在环境温度 t 时的输出; y_{20} 为传感器在环境温度 t_{20} 时的输出。

2. 检测装置的动态特性

传感器的动态特性是指传感器对于随时间变化的被测量的响应特性,是传感器的输出值能够真实地再现变化着的被测量能力的反映。动态特性好的传感器,其输出量随时间变化的曲线与相应被测量随时间变化的曲线相同或近似,即输出一被测量有相同类型的时间函数,因此可以实时反映被测量的变化情况。这一指标对于如动态测控系统等对实时性要求较高的场合至关重要。例如,检测控制热处理炉温前端的温度传感器和检测系统,如果检测过程过长,就会失去炉温控制的时机,这种相位(即时间滞后)检测系统的动态性能难于保证检测的实时性。在这个例子中,当前检测到的炉温是前一个时刻的温度,如果检测系统稳定,那么可以根据温升曲线和检测系统的动态性能预测当前的温度,也可改善检测性能,然而这一切的前提是检测装置具有良好的动态性能。

数学上,动态特性与静态特性的描述形式不同。静态特性反映稳定状态下传感器对被测量输入信号的响应能力,与时间无关。如具有线性特性的传感器的静态特性可表示为

$$y = Ax + B \quad (0-9)$$

式中, x 为输入信号; y 为输出信号; A 为拟合直线的斜率; B 为零点偏移量。

式(0-4)没有时间项。动态特性则反映传感器对动态输入的响应情况,如零阶及一阶传感器的动态特性可分别表示为

$$\text{零阶} \quad y(t) = kx(t) \quad (0-10)$$

$$\text{一阶} \quad a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = x(t) \quad (0-11)$$

式中, t 为时间; k 为动态灵敏度; a_0 、 a_1 为一阶系统响应函数的系数。

由式(0-10)和式(0-12)扩展, n 阶传感器的动态特性用 n 阶微分方程描述为

$$a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = x(t) \quad (0-12)$$

由于被测量往往是随机变化的,方程不易求解。实际应用中,更有意义的是这种微分方程所代表的特性,即输出量和输入量的比值,使用拉普拉斯或者傅里叶变换求得传递函数,通过研究传递函数的性质揭示检测装置的动态特性,有关的研究和工程实践已经成为一个广阔的检测领域。

检测装置的动态特性和静态特性不相关,良好的静态特性并不一定能带来良好的动态特性。但是,静态特性恶劣的系统其动态特性一定不好,所以静态特性良好是动态特性的基础。在实际生产中,一般首先要确定检测系统的静态特性,如果需要,再测试系统的动态特性。

对于测试系统,动态性能往往不是一次就能调整好的,需要不断提高传感器和测试系统的性能,主要的方法有。

1) 采用线性化技术

要保证传感器的输出能够不失真地复现被测量,要求传感器的输出与输入必须具有线性关系,而实际的传感器特性或多或少都具有不同程度的非线性,这就要求在设计和制造传感器时对其输出输入特性进行必要的线性化处理,以提高和改善传感器的性能。如在一定条件下忽略某些高次项,或者以直线代替曲线等。

2) 采用闭环技术

利用电子技术和自动控制理论中的闭环反馈控制理论,采用传感器、放大电路等组成闭环反馈测量控制系统,可以有效地改善测量精度和控制系统性能。

3) 采用补偿和校正技术

在传感器产生误差的规律比较复杂时,可以设法找出产生误差的特点,从而进行补偿。如进行温度补偿、应用计算机软件实行误差修正等。

4) 采用差动技术

用两个相同的传感器,使其输入信号大小相等而方向相反,并且使两个传感器的输出相减,则差值中的非线性项将只存在奇次项,差值输出曲线关于坐标原点对称,并且在坐标原点附近的一定范围内近似为直线。这种方法不仅可以减小非线性误差,还能很好地抵消共模误差,使灵敏度提高1倍。差动技术在电阻应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器等传感器中得到了广泛应用。

此外,采用平均技术,零位法和微差法,集成化和智能化,抗干扰技术,稳定性处理技术等方法,对改善传感器的性能,提高其技术指标都有着积极的意义。

3. 传感器的校准与标定

利用某种标准器具产生已知的输入,确定传感器输出量和输入量之间关系的过程,称为标定(定度)。传感器在使用前或使用一段时间后,必须对其性能参数进行复测或作必要的调整和修正,以确保传感器的检测精度。这个复测调整过程称为校准。

为确保各种量值准确一致,应按国家有关计量部门规定的标准、检定规程和管理办法对检测装置进行标定。如图0-5所示力值传递系统,只能按此系统,用上一级标准装置检定下一级传感器及配套仪表,如果待标定传感器精度高,也可跨级使用更高一级的标准装置。工程检测所使用的传感器标定应在条件相似的情况下进行。有时为了获得较高的标定精度,可将传感器及其所配套使用的电缆、滤波器、放大器等环节组成的检测系统一起标定。有些传感器标定时,应注意规定的安装条件(如水平、垂直度等要求)。

当一个传感器或检测系统设计完成并标定后,有时工业上需要给出如前所述的精度。它是以测量范围中最大的绝对误差(测量值与真实值的差和该仪表的检测范围之比)来计算的,这种比值称为相对百分误差。如温度传感器的刻度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$,则量程范围为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$,若在这个测量范围内,最大测量误差不超过 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,则相对百分误差为 0.5% ,去掉“%”,称为仪表的精确度。它划分为若干等级,如0.1级、0.2级、0.5级等,以上例子中的温度传感器精度等级即为0.5级。

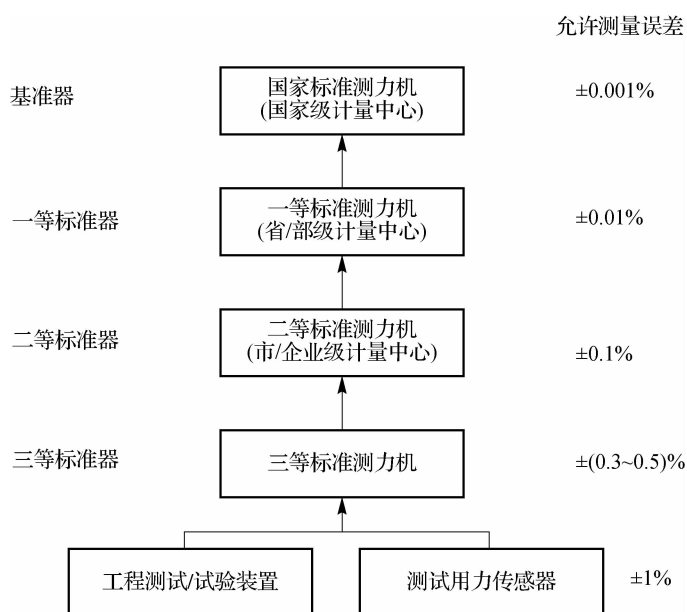


图 0-5 力值传递系统



思考与练习

1. 测量一个圆柱体的直径,请想出尽可能多的测量方法,并分析这些方法中的误差影响因素和大小。
2. 请举例说明动态特性和静态特性的区别。
3. 说明传感器与检测技术的发展趋势。
4. 说明频域分析能解决的问题。

工业中大量出现使用开关量检测的情况,如检查工件有无、物体移动是否到位等,这些信号均可以认为是开关量。事实上,工业中很多控制并不是复杂的模拟量或者数字量信号,而是简单的开关量,指示工作系统如何进行运转。很多复杂的控制量也可分解为几个简单的开关量,如物料运输,可以将距离控制转换为几个控制点的开关量,物料到,则相应的传感器变换,这样可以简化生产控制,增强系统的稳定性,减少生产成本。

将工业信号转换为开关量,应用简单的传感原理实现电路的通断或者电平的高低变化做成专门的开关量传感器,可以避免复杂的后续电路,能有效地提高传感器的适应能力并减少检测成本,尽管开关量传感器传递信息量较其他种类的传感器少,但它却是传感器中使用量最多的种类。因此,开关量检测是工业中的基本检测环节。

工业上,开关量检测结果可以方便地通过放大电路输出到继电器中,形成简单的通用控制器。行业中多使用开关型继电器作为检测和控制器件,如限位开关、液位开关、接近开关等,这些器件集合传感器、继电器和后续电路为一体,使用方便稳定,在工业中的灵活使用可有效地改善控制状态,降低检测难度,增加系统稳定性。

任务一 认识接近开关



知识目标

通过对接近开关电路的分析与实践例子制作,理解和掌握接近开关的基本工作原理,了解各种接近开关的环境特性和使用方法,并能识别接近开关的基本参数,能使用简单的工具判断接近开关工作是否正常。



技能目标

通过试验光电型接近开关的检测和通断特性,了解接近开关的使用方法。



知识链接

接近开关又称为无触点行程开关,它的任务是检查特定环境下的特定工件有无状态,输

入信号一般为工件与传感器之间的距离,输出信号一般为电压。由于其使用方便、稳定可靠,在工业中得到大量使用。使用时安置传感器敏感面与移动物体距离小于一定值时,输出电压信号,由于检测精度不高,通常采用 6~36 V 开关电源供电。如图 1-1 所示,接近开关种类众多,按照传感原理,一般有霍尔、感应、光电和电容等形式,为适应于不同工业环境,均有连接螺纹或者螺纹孔,便于安装调试,多直接从传感器本体给出信号引线,连接电源和负载。



图 1-1 接近开关

一、霍尔效应型接近开关

霍尔效应型接近开关是将检测磁性物体的霍尔效应元器件集成至一个传感器继电器中。由于普通情况下磁场很难自然生成,所以这种传感器检测灵敏且很少产生误报现象。但是,霍尔效应型接近开关只能检测磁性物体。霍尔效应型接近开关具有无触点、无磨损、无火花、低功耗、寿命长、灵敏度高、工作频率高等特点,能在各种恶劣环境下可靠稳定地工作。

1. 霍尔效应

霍尔效应的产生是由于运动电荷在磁场作用下受到洛伦兹力作用的结果。如图 1-2 所示,把 N 型半导体薄片放在磁场中,通以固定方向的电流 i (从 a 点至 b 点),那么半导体中的载流子(电子)将沿着与电流方向相反的方向运动。从物理学上讲,任何带电质点在磁场中沿磁力线垂直方向运动时,均受到磁场力的作用,这个力又称为洛伦兹力。由于洛伦兹力,电子向一边偏移,并形成电子积累,而另一边则积累正电荷,于是形成了电场。该电场将阻止运动电子继续偏移,当电场力与洛伦兹力相等时,电子的积累便达到了动态平衡。这时元件 c 、 d 两端之间建立的电场称为霍尔电场,相应的电动势称为霍尔电动势(V_h),其大小为

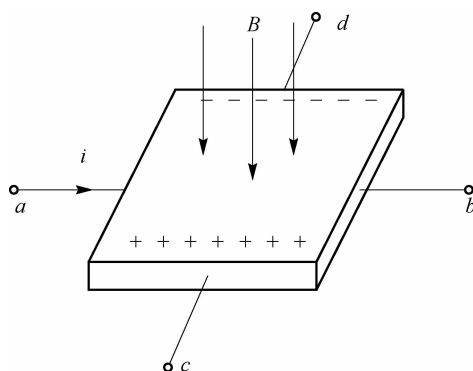


图 1-2 霍尔效应

$$V_h = K_h i B \sin \alpha \quad (1-1)$$

式中, K_h 为霍尔常数(m^3/C), 其取决于材质、温度、元件尺寸; i 为电流大小(A); B 为磁感应强度(T); α 为电流与磁场方向之间的夹角($^\circ$)。

霍尔常数等于霍尔片材料的电阻率与电子迁移率的乘积。若要霍尔效应强, 则希望有较大的霍尔系数, 因此要求霍尔片材料有较大的电阻率和载流子迁移率。一般金属材料载流子迁移率很高, 但电阻率很小; 而绝缘材料电阻率极高, 但载流子迁移率极低, 故只有半导体材料才适于制造霍尔片。目前常用的霍尔元件材料有: 锗、硅、砷化钢、锑化钢等半导体材料。其中 N 型锗容易加工制造, 其霍尔系数、温度性能和线性度都较好。N 型硅的线性度最好, 其霍尔系数、温度性能同 N 型锗。锑化钢对温度最敏感, 尤其在低温范围内温度系数大, 但在室温时其霍尔系数较大。砷化钢的霍尔系数较小, 温度系数也较小, 输出特性线性度好。

根据式(1-1), 如果改变 K_h 或者 i , 或者两者同时改变, 就可以改变 V_h 值。运用这一特性, 可以把被测参数转换为电压量的变化, 如利用 K_h 变化引起霍尔电动势 V_h 变化检测不同材质, 同样也可以应用于检测磁性物体的接近程度。

2. 霍尔元件

霍尔元件是根据霍尔效应, 使用半导体材料制成的元件。一般具有对磁场敏感、结构简单、输出电压变化较大及寿命长等优点。其可分为线性霍尔元件和开关型霍尔元件两种。线性霍尔传感器由霍尔元件、线性放大器和射极跟随器组成, 输出为模拟量; 开关型霍尔传感器由稳压器、霍尔元件、差分放大器和施密特触发器等组成, 输出为开关量。据此, 只要设定磁场位置, 就可以检测位移、速度、压力、压差和加速度等参量。

霍尔元件的结构简单, 由霍尔片、四根引线和壳体组成, 如图 1-3(a) 所示。霍尔片是一块矩形半导体单晶薄片, 引出四根引线: 1、1' 两根引线加激励电压或电流, 称为激励电极(或控制电极); 2、2' 引线为霍尔输出引线, 称为霍尔电极。霍尔元件的壳体是用非导磁金属、陶瓷或环氧树脂封装的。在电路中, 霍尔元件一般可用两种符号表示, 如图 1-3(b) 所示。

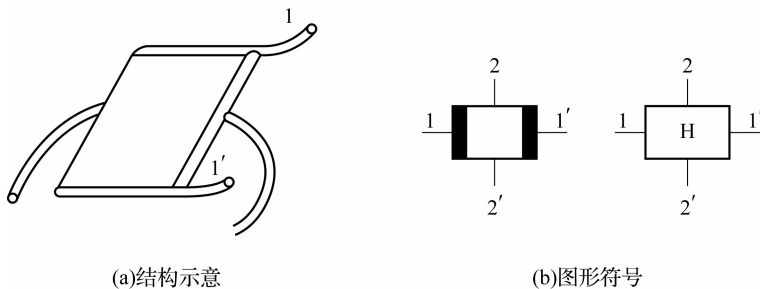


图 1-3 霍尔元件

通常, 霍尔电动势的转换效率比较低, 为了获得更大的霍尔电动势输出, 可以将若干个霍尔元件串联起来使用。而在霍尔元件输出信号不够大的情况下, 可以采用运算放大器对霍尔电动势进行放大, 如图 1-4 所示。当然, 最好还是采用集成霍尔传感器。

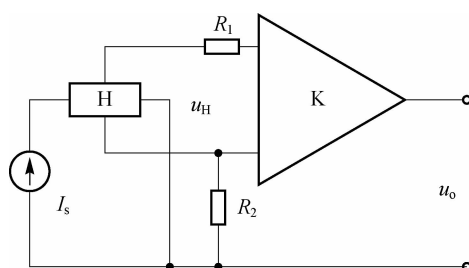


图 1-4 霍尔电动势的放大

图 1-5 所示为一种微型的霍尔集成传感器,正面为敏感面,导线由金属薄片所形成,各个金属薄片上均附有半导体结晶片(通常为硅芯片),而在结晶体中利用集成电路技术形成有霍尔组件及信号处理电路。为防止整个组件性能的劣化,通常利用树脂加以封闭,另外为了方便施加磁场,其厚度也尽量减薄。

这种霍尔元件可置于传感模块中,实现各种无接触传感器功能。只要磁场强度与霍尔元件正面的夹角小于 90° ,当磁场接近霍尔元件时,磁场信号转换成电气信号。此信号经在同一元件中的信号处理电路放大后,取出信号电压。需要注意的是,由于半导体材料的温度特性有较大的非线性,如果需要较高精度的检测,可采用差动检测的办法,选用两个霍尔元件串联使用的晶片作为传感器。

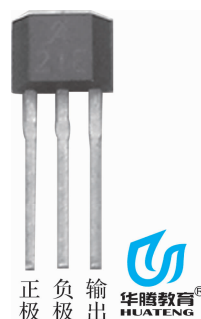


图 1-5 霍尔元件

3. 霍尔原件的性能参数

1) 额定激励电流

使霍尔元件温升 10°C 时所施加的激励电流称为额定激励电流。以元件允许最大温升为限制所对应的激励电流称为最大允许激励电流。因霍尔电势随激励电流增加而线性增加,所以使用中希望选用尽可能大的激励电流以获得较高的霍尔电势输出,但是由于受到最大允许温升的限制,可以通过改善霍尔元件的散热条件,使激励电流增加。

2) 灵敏度 K_H

霍尔元件在单位磁感应强度和单位激励电流作用下的空载霍尔电势值,称为霍尔元件的灵敏度。

3) 输入电阻和输出电阻

霍尔元件激励电极间的电阻值称为输入电阻。霍尔电极输出电势对电路外部来说相当于一个电压源,其电源内阻即为输出电阻。以上电阻值是在磁感应强度为零,且环境温度在 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 时所确定的。

4) 不等位电动势和不等位电阻

当磁感应强度为零,霍尔元件的激励电流为额定值时,则其输出的霍尔电动势应该为零,但实际不为零,用直流电位差计可以测得空载霍尔电动势,这时测得的空载霍尔电动势称为不等位电动势。

产生不等位电动势的主要原因有:①霍尔电极安装位置不对称或不在同一等电位面上;②半导体材料不均匀造成了电阻率不均匀或是几何尺寸不均匀;③激励电极接触不良造成

激励电流不均匀分布等。

5) 寄生直流电动势

在外加磁场为零、霍尔元件用交流激励时,霍尔电极输出除了交流不等位电动势外,还有一直流电势,称为寄生直流电动势。

产生寄生直流电动势的原因有:①激励电极与霍尔电极接触不良,形成非欧姆接触,造成整流效果;②两个霍尔电极大小不对称,则两个电极点的热容不同,散热状态不同而形成极间温差电动势。

寄生直流电动势一般在 1 mV 以下,它是影响霍尔片温漂的原因之一。

6) 霍尔电动势温度系数

在一定磁感应强度和激励电流下,温度每变化 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,霍尔电动势变化的百分率称为霍尔电动势温度系数。它同时也是霍尔系数的温度系数,与霍尔元件的材料有关,一般约为 $0.1\text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ 左右。

4. 霍尔开关

霍尔开关是在霍尔效应原理的基础上,利用集成封装和组装工艺制作而成,可把磁输入信号转换成实际应用中的电信号,同时具备工业场合实际应用易操作和可靠性的要求。霍尔开关的输入端是以磁感应强度 B 来表征的,当磁场达到一定值后,霍尔开关内部的触发器翻转,霍尔开关的输出电平状态也随之翻转。霍尔开关的外形如图 1-6 所示,当有磁性物体或者电磁场与图 1-6 中左下方的敏感端接近至一定距离时,信号灯亮,输出电平发生翻转。



图 1-6 霍尔开关

霍尔开关输出端采用晶体管输出,主要类型有 NPN 型、PNP 型、常开型、常闭型、锁存型(双极性)和双信号输出型等。PNP 与 NPN 型传感器一般有三条引出线,即电源线 V_{CC} 、 0 V 线和 OUT 信号输出线。以常用的 NPN 型接近开关为例,一般有 NO 和 NC 型两种。对于 NPN-NO 型,在没有信号触发时,输出线是悬空的,就是 V_{CC} 电源线和 OUT 线断开;有信号触发时,输出线发出与 V_{CC} 电源线相同的电压,也就是 OUT 线和电源线 V_{CC} 连接,输出高电平 V_{CC} 。对于 NPN-NC 型,在没有信号触发时,输出线发出与 V_{CC} 电源线相同的电压,也就是 OUT 线和电源线 V_{CC} 连接,输出高电平 V_{CC} 。当有信号触发后,输出线是悬空的,就是 V_{CC} 电源线和 OUT 线断开。

霍尔开关具有无触点、低功耗、使用寿命长、响应频率高等特点,内部采用环氧树脂封装为一体元器件,所以能在各类恶劣环境下可靠地工作。霍尔开关可应用于接近开关和里程表等仪器中。

5. 霍尔传感器的应用

1) 霍尔式位移传感器

霍尔元件具有结构简单、体积小、动态特性好和寿命长的优点,它不仅用于磁感应强度、有功功率及电能参数的测量,也在位移测量中得到广泛应用。

图 1-7 给出了一些霍尔式位移传感器的工作原理图。图 1-7(a)是磁场强度相同的两块永久磁铁,同极性相对地放置,霍尔元件处在两块磁铁的中间。由于磁铁中间的磁感应强度

$B=0$, 因此霍尔元件输出的霍尔电势 U_H 也等于零, 此时位移 $\Delta x=0$ 。若霍尔元件在两磁铁中产生相对位移, 霍尔元件感受到的磁感应强度也随之改变, 这时 U_H 不为零, 其量值大小反映出霍尔元件与磁铁之间相对位置的变化量。这种结构的传感器, 其动态范围可达 5 mm, 分辨率为 0.001 mm。

图 1-7(b)所示的是一种结构简单的霍尔位移传感器, 是由一块永久磁铁组成磁路的传感器, 在霍尔元件处于初始位置 $\Delta x=0$ 时, 霍尔电动势 U_H 不等于零。

图 1-7(c)所示的是一个由两个结构相同的磁路组成的霍尔式位移传感器, 为了获得较好的线性分布, 在磁极端面装有极靴, 霍尔元件调整好初始位置时, 可以使霍尔电动势 $U_H=0$ 。

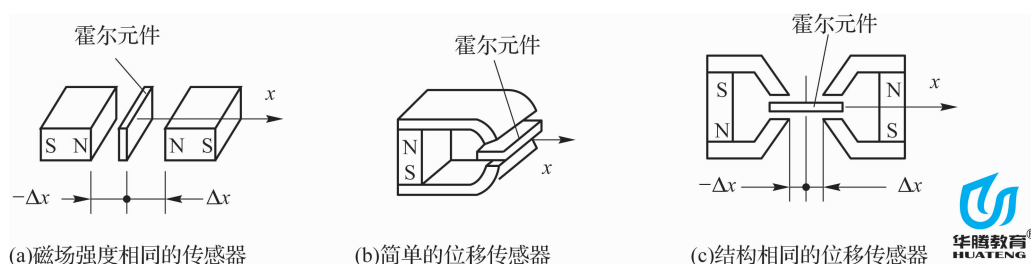


图 1-7 霍尔式位移传感器的工作原理图

这种传感器灵敏度很高, 但它所能检测的位移量较小, 适合于微位移量及振动的测量。

2) 霍尔式转速传感器

图 1-8 所示的是几种不同结构的霍尔式转速传感器。转盘的输入轴与被测转轴相连, 当被测转轴转动时, 转盘随之转动, 固定在转盘附近的霍尔传感器便可在每一个小磁铁通过时产生一个相应的脉冲, 检测出单位时间的脉冲数, 便可知被测转速。根据磁性转盘上小磁铁数目多少就可确定传感器测量转速的分辨率。

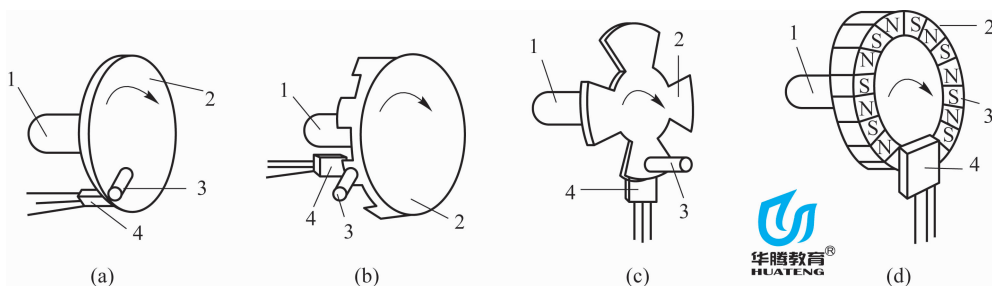


图 1-8 几种霍尔式转速传感器的结构

1—输入轴; 2—转盘; 3—小磁铁; 4—霍尔传感器

3) 霍尔计数装置

霍尔集成元件是将霍尔元件和放大器等集成在一块芯片上。它由霍尔元件、放大器、电压调整电路、电流放大输出电路、失调调整及线性度调整电路等几部分组成, 有三端 T 形单端输出和八脚双列直插型双端输出两种结构。它的特点是输出电压在一定范围内与磁感应强度成线性关系。霍尔开关传感器 SL3501 是具有较高灵敏度的集成霍尔元件, 能感受到很

小的磁场变化,因而可对黑色金属零件进行计数检测。图 1-9 所示的是对钢球进行计数的
工作示意图和电路图。当钢球通过霍尔开关传感器时,传感器可输出峰值 20 mV 的脉冲电
压,该电压经运算放大器($\mu\text{A}741$)放大后,驱动半导体三极管 VT(2N5812)工作,输出端便
可接计数器进行计数,并由显示器显示检测数值。

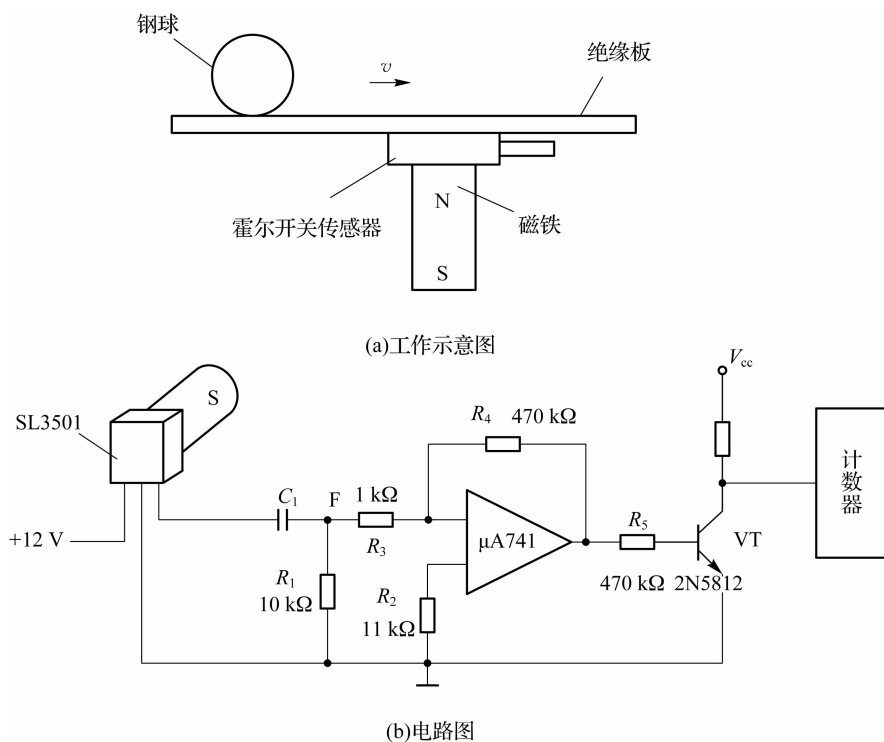


图 1-9 霍尔计数装置

二、光电效应型接近开关

光电效应开关属于光电式传感器的一种。光电式传感器就是将光信号转化成电信号的一种器件,简称光电器件。要将光信号转化成电信号,必须经过两个步骤:一是先将非电量的变化转化成光量的变化;二是通过光电器件的作用,将光量的变化转化成电量的变化。这样就实现了将非电量的变化转化成电量的变化。

光电效应型接近开关是利用光电效应原理将光学量转换为电量的一种检测控制器件,是利用被检测物对光束的遮挡或反射,由光敏元件控制电路通断,从而检测物体有无。被检测物体不限于金属,所有能反射光线的物体均可被检测。但是光电效应型接近开关对于环境的依赖性较强,在不良光学环境下容易产生错误信号。

1. 光电效应

光照射到某些物质上,引起物质的电性质发生变化,这类光致电变的现象统称为光电效应,如图 1-10 所示。更确切地讲,光电效应是指金属表面在光辐射作用下发射电子的效应,发射出来的电子称为光电子。光电效应分为光电子发射、光电导效应和光生伏打效应三种。前一种现象发生在物体表面,称为外光电效应;后两种现象发生在物体内部,称为内光电效

应。光电现象是 1887 年赫兹在试验研究麦克斯韦电磁理论时偶然发现的。1888 年,德国物理学家霍尔瓦克斯证实光电效应是由于在放电间隙内有电荷出现的缘故。

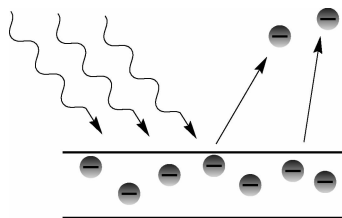


图 1-10 光电效应

光电效应在现代物理发展中具有极为重要的意义,爱因斯坦通过研究光的电动力学而获得诺贝尔物理学奖。

光电效应制作的器件称为光电器件,也称光敏器件。光电器件的种类很多,但其工作原理都是建立在光电效应这一物理基础上的。光电器件的种类主要有光电管、光电倍增管、光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管、光电池、光电耦合器件。

2. 光电管

光电管的典型结构如图 1-11 所示。它由玻璃壳、两个电极(光电阴极 K 和阳极 A)、引出插脚等组成。光电管将球形玻璃壳抽成真空,在内半球面上涂上一层光电材料作为阴极 K,球心放置小球形或小环形金属作为阳极 A。当阴极 K 受到光线照射时便发射电子,电子被带正电位的阳极 A 吸引,朝阳极 A 方向移动,这样就在光电管内产生了电子流,从而在外电路中便产生了电流。

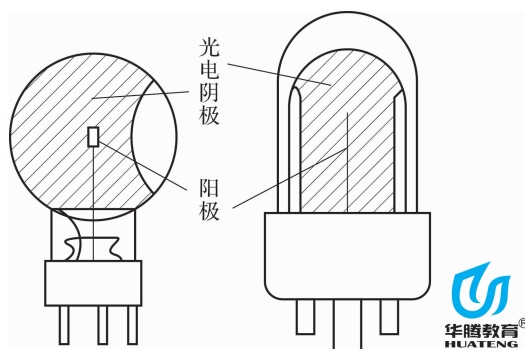


图 1-11 光电管的典型结构

光电管分为真空光电管和充气光电管两种。充气光电管的结构与真空光电管的结构基本相同,所不同的是充气光电管球内充了低压惰性气体。当光电极被光线照射时,光电子在飞向阳极的过程中与气体分子碰撞而使气体电离,从而使阳极电流急速增加,因此增加了光电管的灵敏度。

光电管的伏安特性曲线是指当光通量一定时,阳极电流与阳极电压之间的关系曲线。如图 1-12 所示为真空光电管的伏安特性曲线;而图 1-13 所示为充气光电管的伏安特性曲线。通过观察这两种伏安特性曲线图,在阳极电压的一段范围内,阳极电流不随阳极电压的变化而变化,达到了比较稳定的饱和区。这就是光电管的工作静态点。选择光电管的工作

参数点时,就应选在光电流与阳极电压无关的区域内。

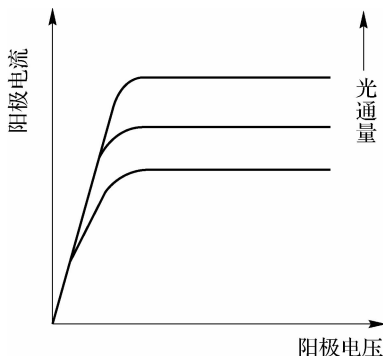


图 1-12 真空光电管的伏安特性曲线

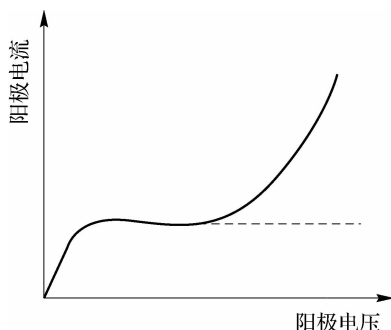


图 1-13 充气光电管的伏安特性曲线

对两种光电管的比较而言,充气光电管的优点是灵敏度较高,但是灵敏度随电压变化的稳定性,以及频率特性比真空光电管差。总的而言,光电管的缺点是灵敏度低、体积大、易破损,适用于对比较强的光信号检测,使用时要注意防震动等事项。

3. 光电倍增管

光电倍增管是一种常用的灵敏度很高的光探测器,顾名思义是把微弱光信号转变成电信号且进行放大的器件,光电倍增管的典型结构和工作原理如图 1-14 所示。光电倍增管主要由玻璃壳、光阴极 K、阳极 A、倍增极 D、引出插脚等组成,并根据要求采用不同性能的玻璃壳进行真空封装。依据分装方法,可分成端窗式和侧窗式两大类。端窗式光电倍增管的阴极通常为透射式阴极,通过管壳的端面接收入射光,如图 1-14(a)所示。侧窗式阴极则是通过管壳的侧面接收入射光,它的阴极通常为反射式阴极,其工作原理如图 1-14(b)所示。

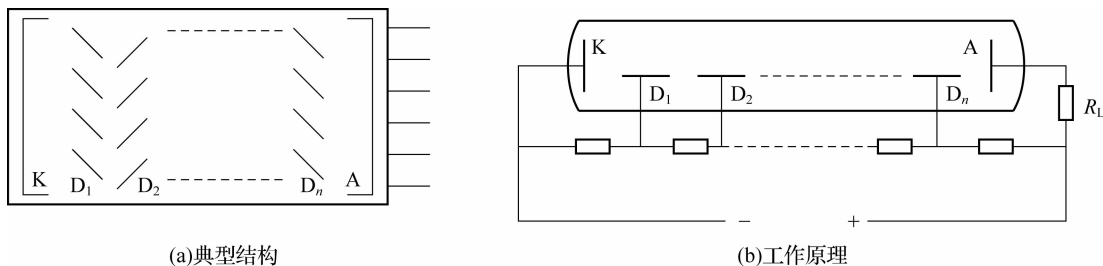


图 1-14 光电倍增管的典型结构和工作原理

光阴极通常由脱出功较小的铯铷或钠钾铯铷的薄膜组成,光阴极接负高压,各倍增极的加速电压由直流高压电源经分压电阻分压供给,灵敏检流计或负载电阻接在阳极 A 处,当有光子入射到光阴极 K 上,只要光子的能量大于光阴极材料的脱出功,就会有电子从阴极的表面逸出而成为光电子。在 K 和 D_1 之间的电场作用下,光电子被加速后轰击第一级倍增极 D_1 ,从而使 D_1 产生二次电子发射。每一个电子的轰击约可产生 3~5 个二次电子,这样就实现了电子数目的放大。 D_1 产生的二次电子被 D_2 和 D_1 之间的电场加速后轰击 D_2 ...这样的过程一直持续到最后一级倍增极 D_n ,每经过一级倍增极,电子数目便被放大一次,倍增极的数目有 8~13 个,最后一级倍增极 D_n 发射的二次电子被阳极 A 收集,其电子数目可达光

阴极 K 发射光电子数的 10^6 倍以上。这使光电倍增管的灵敏度比普通光电管要高得多,可用来检测微弱光信号。光电倍增管高灵敏度和低噪声的特点,使它在红外、可见和紫外波段检测微弱光信号是最灵敏的器件之一,被广泛应用于微弱光信号的测量、核物理领域及频谱分析等方面。

若将灵敏检流计串接在阳极回路中,则可直接测量阳极输出电流,若在阳极串接电阻 R_L 作为负载,则可测量 R_L 两端的电压,此电压正比于阳极电流。

光电倍增管的测量原理如图 1-15 所示。标准光源发出的光经过聚光系统被聚焦在单色仪的入射狭缝 S_1 上,通过单色仪的色散作用,在其出射狭缝处可以获得单色光。此单色光功率被光电倍增管所接收放大后,在阳极 A 上产生相应的电信号,可以由数字电压表直接读出。调整单色仪的色散系统(鼓轮),可以改变单色仪输出光的波长,就可以得到光电倍增管在不同波长的光照射下产生的阳极电信号。

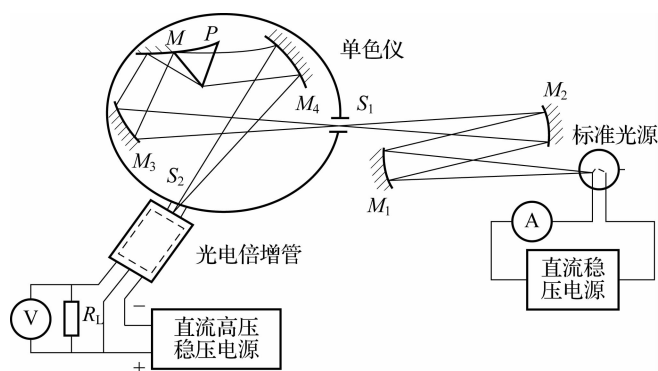


图 1-15 光电倍增管的测量原理

显然,光电倍增管在科学发现和太空领域具有很重要的价值。

4. 光敏电阻

光敏电阻是一种基于光电效应制成的光电器件,光敏电阻没有极性,相当于一个电阻器件。光敏电阻的测量原理如图 1-16 所示。在光敏电阻的两端加直流或交流工作电压的条件下,当无光照射时,光敏电阻电阻率变大,从而光敏电阻值 R_G 很大,在电路中电流很小;当有光照射时,由于光敏材料吸收了光能,光敏电阻率变小,从而光敏电阻 R_G 呈低阻状态,在电路中电流很大。光照越强,阻值越小,电流越大。当光照射停止时,光敏电阻 R_G 又逐渐恢复高电阻值状态,电路中只有微弱的电流。光敏电阻的外型与结构如图 1-17 所示,由一块两边带有金属电极的光电半导体组成,电极和半导体之间组成欧姆接触。

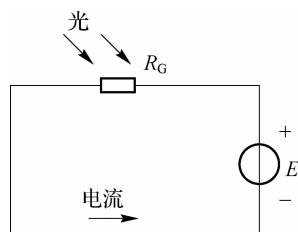


图 1-16 光敏电阻的测量原理

由于半导体吸收光子而产生的光电效应,仅仅照射在光敏电阻表面层,因此光电导体一般都做成薄层。

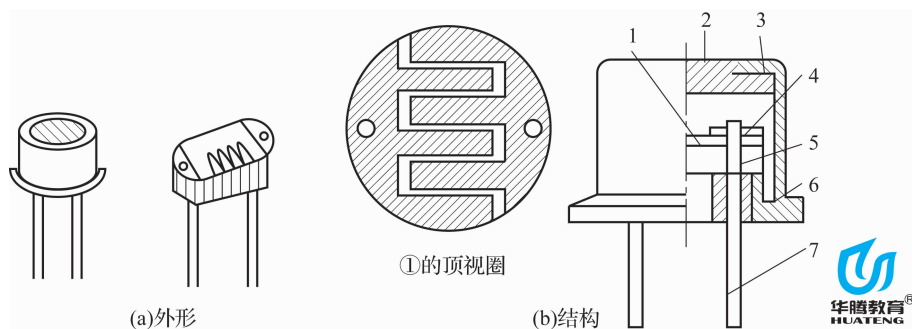


图 1-17 光敏电阻的外形与结构

1—光电导层；2—玻璃；3—金属壳；4—电极；
5—绝缘衬底；6—黑色绝缘玻璃；7—引线

光敏电阻具有灵敏度高,可靠性好以及光谱特性好,精度高、体积小、性能稳定、价格低廉等特点。因此,广泛应用于光探测和光自控领域。如照相机、验钞机、石英钟、音乐杯、礼品盒、迷你小夜灯、光声控开关、路灯自动开关以及各种光控动物玩具,光控灯饰灯具等方面。

5. 光电二极管和光电三极管

光电二极管和光电三极管是电子电路中广泛采用的光敏器件。光电二极管具有单向导电性质,某些材料经过处理后对光线敏感,当光线照射时,二极管处于导通状态,否则电阻值极大,接近于断路状态。

光敏二极管的结构与一般的二极管相似,其 PN 结对光敏感。将其 PN 结装在管的顶部,上面有一个透镜制成的窗口,以便使光线集中在 PN 结上。光敏二极管是基于半导体光生伏特效应的原理制成的光电器件。光敏二极管的结构和工作原理如图 1-18 所示。光敏二极管工作时外加反向工作电压,在没有光照射时,反向电阻很大,反向电流很小,此时光敏二极管处于截止状态。当有光照射时,在 PN 结附近产生光生电子和空穴对,从而形成由 N 区指向 P 区的光电流,此时光敏二极管处于导通状态。当入射光的强度发生变化时,光生电子和空穴对的浓度也相应发生变化,因而通过光敏二极管的电流也随之发生变化,光敏二极管就实现了将光信号转变为电信号的输出。在家用电器、照相机中光敏二极管用来作自动测光器件。

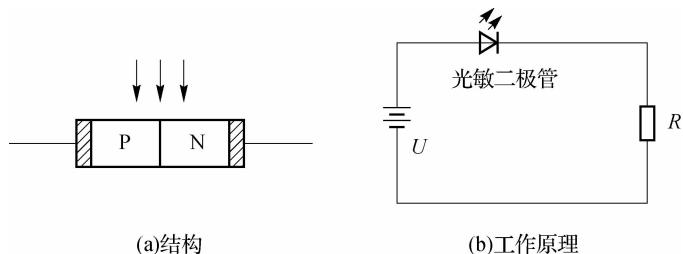


图 1-18 光敏二极管的结构和工作原理

光电二极管是在反向电压作用下工作的,没有光照时,反向电流极其微弱,称为暗电流;有光照时,反向电流迅速增大到几十微安,称为光电流。光的强度越大,反向电流也越大。光敏三极管有 NPN 和 PNP 型两种,是一种相当于在基极和集电极之间接有光电二极管的

普通晶体三极管,外形与光电二极管相似。

光敏三极管工作原理与光敏二极管很相似。光敏三极管的结构和工作原理如图 1-19 所示,具有两个 PN 结。当光照射在基极-集电结上时,就会在集电结附近产生光生电子-空穴对,从而形成基极光电流。集电极电流是基极光电流的 β 倍。这一过程与普通三极管放大基极电流的作用很相似。所以光敏三极管放大了基极光电流,它的灵敏度比光敏二极管高出许多。采用三极管形式可将工作电流增加至几十毫安。光电二极管的外形如图 1-20 所示。

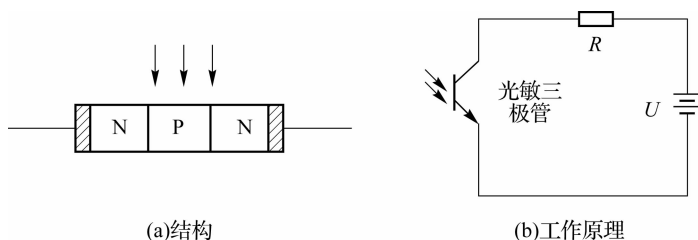


图 1-19 光敏三极管的工作原理和结构

光电二极管和光电三极管可用于光线有无的检测,也可利用光的稳定性,采用电—光—电的转换形式,增加信号采集的稳定性,这种器件一般称为光电耦合器件。光电耦合器件的用途很广,除作为传感器以外,还可作为信号传输器件,如在制造工业中由于采用大功率器件较多造成电力不稳定,对检测系统会产生较大的影响,还有可能损坏检测器件,而采用光电耦合器件作为中间信号传递,可避免强电电路对一般弱电信号的干扰作用。



图 1-20 光电二极管

6. 光电耦合器件

光电耦合器件是由发光元件(如发光二极管)和光电接收元件合并使用,以光作为媒介传递信号的光电器件。光电耦合器中的发光元件通常是半导体的发光二极管,光电接收元件有光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管或光敏复合管等。根据其结构和用途不同,又可分为用于实现电隔离的光电耦合器和用于检测有无物体的光电开关。

1) 光电耦合器

光电耦合器的发光和接收元件都封装在一个外壳内,一般有金属封装和塑料封装两种。光电耦合器常见的组合形式如图 1-21 所示。

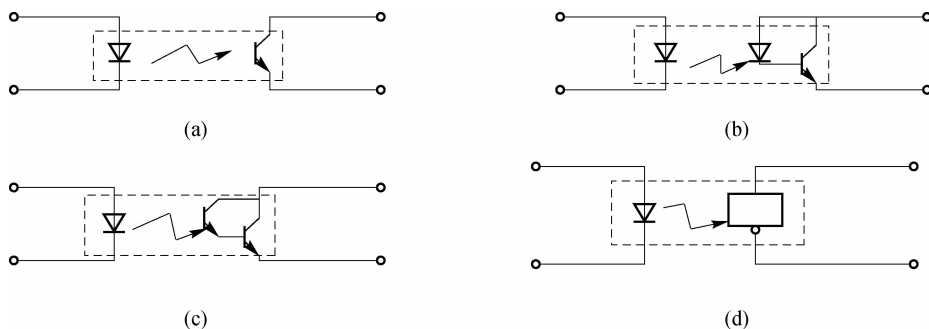


图 1-21 光电耦合器常见的组合形式

图 1-21 (a)所示的组合形式结构简单,成本较低,且输出电流较大,可达 100 mA,响应时间为 $3\sim 4\ \mu\text{s}$ 。图 1-21(b)所示的形式结构简单,成本较低、响应时间快,约为 $1\ \mu\text{s}$,但输出电流小,在 $50\sim 300\ \mu\text{A}$ 。图 1-21(c)所示的形式传输效率高,但只适用于较低频率的装置中。图 1-21(d)所示的是一种高速、高传输效率的新颖器件。对图中所示无论何种形式,为保证其有较佳的灵敏度,都考虑了发光与接收波长的匹配。

光电耦合器实际上是一个电量隔离转换器,它具有抗干扰性能和单向信号传输功能,广泛应用于电路隔离、电平转换、噪声抑制、无触点开关及固态继电器等场合。

2) 光电开关

光电开关(光电传感器)是光电接近开关的简称,它是利用被检测物对光束的遮挡或反射,由同步回路选通电路,从而检测物体有无的。物体不限于金属,所有能反射光线的物体均可被检测。光电开关将输入电流在发射器上转换为光信号射出,接收器再根据接收到的光线的强弱或有无对目标物体进行探测。

同霍尔型开关一样,光电开关使用电压一般在 $6\sim 36\ \text{V}$,也有 PNP 和 NPN 等种类的输出装置,如图 1-22 所示为光电开关的外形结构。需要说明的是,光电开关对材料要求不高,原理上只要能反射光,即可使用光电开关作为传感器。但光电开关对环境要求较高,如环境有粉尘、飞溅物体等,有可能使得光电开关产生信号,影响传感的正确性。因此,在一些要求可靠性比较高的场合,需要根据环境情况斟酌使用光电开关。



图 1-22 光电开关

用光电开关检测物体时,大部分只要求其输出信号有“高-低电平”(1-0)之分即可。图 1-23 是光电开关基本电路的示例。图 1-23(a)、图 1-23(b)表示负载为 CMOS 比较器等高输入阻抗电路时的情况,图 1-23(c)表示用晶体管放大光电流的情况。

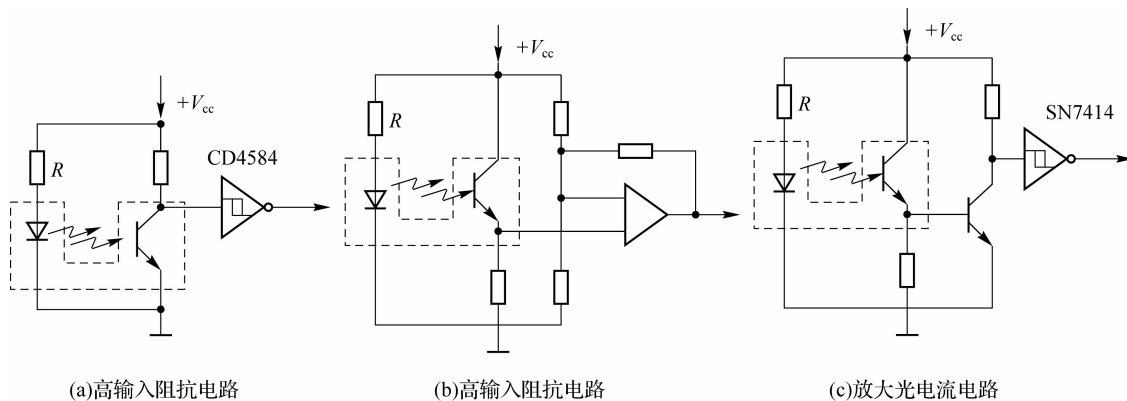


图 1-23 光电开关的基本电路

三、感应型接近开关

置于变化磁场中的块状金属导体或在磁场中作切割磁力线的块状金属导体,则在此块状金属导体内将会产生旋涡状的感应电流的现象称为电涡流效应,该旋涡状的感应电流称为电涡流,简称涡流。

感应式传感器也称为涡流式传感器,由振荡器、开关电路及放大输出电路三部分组成。振荡器产生一个交变磁场,当金属目标接近这一磁场,并达到感应距离时,在金属目标内产生涡流,涡流反作用于接近开关,使接近开关振荡能力衰减,内部电路的电磁感应参数发生变化,由此识别出有无金属物体接近,进而控制开关的通断。

如图 1-24 所示,将一个通以正弦交变电流 $\dot{I}_1$,频率为 f 的扁平线圈置于金属导体附近,则线圈周围空间将产生一个正弦交变磁场 $\dot{H}_1$,使金属导体中感应电涡流 $\dot{I}_2$, $\dot{I}_2$ 又产生一个与 $\dot{H}_1$ 方向相反的交变磁场 $\dot{H}_2$ 。根据楞次定律, $\dot{H}_2$ 的反作用必然削弱线圈的磁场 $\dot{H}_1$ 。由于磁场 $\dot{H}_2$ 的作用,涡流要消耗一部分能量,导致传感器线圈的等效阻抗发生变化。线圈阻抗的变化取决于被测金属导体的电涡流效应。而电涡流效应既与被测体的电阻率、磁导率以及几何形状有关,还与线圈的几何参数、线圈中激磁电流频率 f 有关,同时还与线圈与导体间的距离有关。

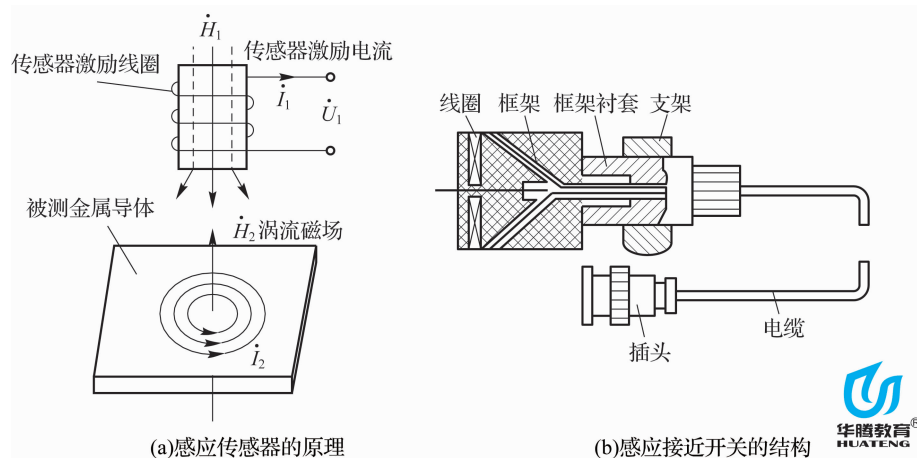


图 1-24 感应接近开关原理

这种接近开关所能检测的物体必须是铁磁性金属物体。振荡器振荡及停振的变化被后级放大电路处理并转换成开关信号,触发驱动控制器件,从而达到非接触式的检测目的。所以,这种接近开关所能检测的物体必须是导体。

感应型接近开关的外形与其他种类的接近开关相似。

实训一 接近开关的特性检测

一、实训目标

探索和熟悉接近开关的性能特征,包括检测敏感距离和回程误差,了解光电型接近开关的一般使用方法,掌握普通三线制接近开关的接线规则。

二、实训内容

以三线制 NPN 型光电常开型接近开关为实训认识对象,如图 1-25 所示,图中方框为接近开关,方框中左边符号为接近开关敏感元件符号,右边为接近开关输出状态,图中为常开

型接近开关,即当传感器敏感面没有信号时,负载处为断开状态,否则为接通状态。

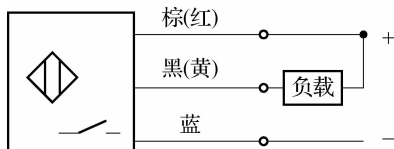


图 1-25 NPN 型接近开关

接近开关接 24 V 直流电源,电源正极连接于图1-25 中的“+”极符号,电源负极连接于“-”极符号,正负极符号对应的接线为棕色和蓝色电缆线,黑色电缆线为信号线,与正极共同构成了输出信号。一般接近开关的标示铭文均有类似于图 1-25 的使用方法和电路,使用时需要仔细阅读。

按照图 1-25 所示连接 24 V 直流电源进行接线,在信号线和电源正极(若为其他形式的传感器,按铭文图例为准)之间的负载处连接万用表的电压挡。按照图 1-26 所示的结构装配接近开关和被检测物体,在一个滑台上设置固定的接近开关支架,被测物体安放在滑台上的滑块上。需要说明的是,被检测物体和接近开关周围需要一定的空间,以使得检测信号能够反映被测量的真实状态。

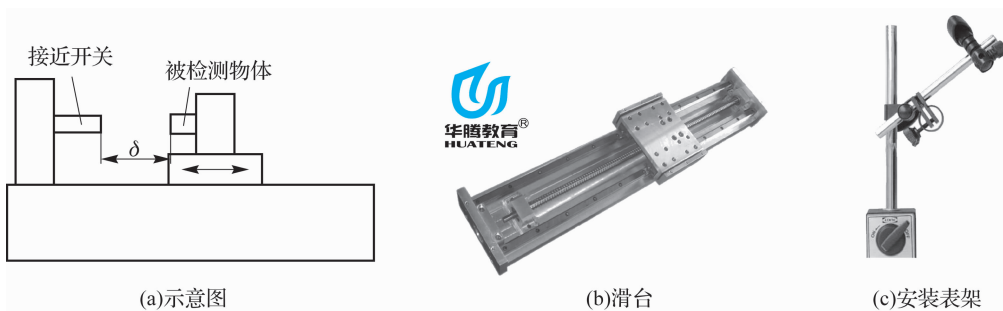


图 1-26 检测装置

检测中,使被测物体逐渐靠近接近开关,同时观察万用表中电压的变化,在出现很大变化时,即为开关信号输出,使用游标卡尺记录反应距离 δ ,如图 1-26(a)所示。然后,再使得被测物体逐渐离开接近开关,同时观察电表电压的变化,在出现很大变化时,同样记录 δ 。这两个 δ 值之差反映了回程误差的大小。

第二个需要检测的特性是接近 δ 值的稳定性,即接近信号在不同检测状态下的均匀程度。具体方法是将滑台从远处移动至传感开关近处,当电压表中电压发生很大变化时,记录 δ ,然后将滑台移至远处,重复以上过程,记录对比 8~10 次的 δ 值,并分别计算其方差,此值的稳定性即反映了接近开关的重复精度。

三、需用器材

器 材	选型建议
光电接近开关	检测距离 10 mm, 输出形式 NPN, 10~36 V DC
小滑台	单轴, 移动行程 30 mm 以上, 配手轮和装夹支架附件(或磁力表架)
游标卡尺	量程>50 mm, 精度 0.02 mm
检测材料	长方体木块
电源	24 V DC
导线	若干, 接线端子排, 鳄鱼夹 2 个
万用表	数字式或指针式万用表, 有 0~30 V 电压挡

四、操作步骤

(1) 将滑台安放于一平面上并加以固定。把接近开关安装于装夹支架的孔中, 使敏感面朝向滑台方向, 拧紧接近开关的安装螺丝。将木块固定在滑台的移动滑块上。调整装夹支架使得接近开关的敏感面对准木块。转动手轮使得滑块和接近开关敏感面的距离为 15~25 mm。

(2) 按图 1-25 所示进行接线, 将接近开关的棕色、黑色和蓝色引出线分别接至端子上, 棕色和蓝色端子相对应端接至电源的 24 V 正极和负极端口, 蓝色和黑色端子引线使用鳄鱼夹接至万用表的“V”端和“com”端, 调节万用表挡位至直流电压检测范围 0~30 V。检查电路连接正确后通电。

(3) 摇动手轮使滑台上的木块缓慢接近接近开关的敏感面, 同时观察万用表示值, 当示值出现很大的跃升变化时停止手轮移动, 使用游标卡尺检测图 1-26(a) 所示的值并记录; 然后反向摇动手轮使木块返回起始位置, 再次重复以上过程 5 次。对比 5 次检测结果的二次均方根误差, 用于表示接近开关检测的稳定性。衡量接近开关是否符合敏感距离的标识值, 用于反映接近开关在特定环境下的敏感距离变化。

(4) 将滑台摇动至起始位置, 重复以上步骤检测值并记录。然后反向摇动滑台, 并观察万用表中的示值变化, 当出现电压突然大幅降低时, 检测值并记录, 将两次记录之差取绝对值, 即为此接近开关的回程误差。重复以上步骤 4 次, 验证回程误差的稳定性程度。

五、注意事项

- (1) 安装接线时, 需要注意电源正负极不能接反, 接线时应避免与滑台产生干涉。
- (2) 接近开关敏感面应正对木块, 应选择木块较为光滑的面作为检测面, 检测面应垂直于位移方向。
- (3) 试验中滑台应尽可能缓慢移动, 否则会产生惯性误差, 影响检测结果的准确性。

任务二 接近开关的应用(一)



知识目标

不同种类接近开关对不同材料的敏感度有较大区别,如光电接近开关对物体的表面状态敏感程度不尽相同,霍尔接近开关对磁性物体才会输出信号,而感应型接近开关只能检测金属物体,并且对不同的金属敏感度也各不相同。因此,对不同材料的敏感度是在特定应用场合下选择传感器的主要依据。

通过了解不同材料对接近开关的敏感特性,熟悉在特定场合中应用接近开关的特点,从而掌握应用接近开关进行工业检测的一般规律。



技能目标

通过铁质材料、铝材料、铜材料、木块、小磁体等对不同接近开关的敏感性检测,试验各种材料对接近开关的通断性能的影响。从不同材料的敏感距离测定中得出选择合适接近开关传感器的规律。



知识链接

一、开关电源的基础知识

开关电源是利用现代电力电子技术,控制开关晶体管开通和关断的时间比率,维持稳定输出电压的一种电源。其作用就是把一个高电压等级的工频交流电变换成一个低电压等级的直流电。其功能是将电能质量较差的原生态电源(粗电),如市电电源或蓄电池电源,转换成满足设备要求的质量较高的直流电压(精电)。直流开关电源的核心是 DC/DC 转换器。

开关电源的工作过程是“斩波”,即把输入的直流电压斩成幅值等于输入电压幅值的脉冲电压。脉冲的占空比由开关电源的控制器来调节。一旦输入电压被斩成交流方波,其幅值就可以通过变压器来升高或降低。通过增加变压器的二次绕组数就可以增加输出的电压组数。最后这些交流波形经过整流滤波后就得到直流输出电压。

开关电源一般由主电路、开关电源控制电路、检测电路和辅助电源四大部分组成。

1. 主电路

主电路实现交流电到直流电的转换,其过程是:交流电压经整流电路及滤波电路整流滤波后,变成含有一定脉动成分的直流电压,该电压进入高频变换器被转换成所需电压值的方波,最后再将这个方波电压经整流滤波变为所需要的直流电压。主电路包含的主要功能模块如下。

- (1) 冲击电流限幅。限制接通电源瞬间输入侧的冲击电流。
- (2) 输入滤波器。其作用是过滤电网存在的杂波及阻碍本机产生的杂波反馈回电网。
- (3) 整流与滤波。将电网交流电源直接整流为较平滑的直流电。
- (4) 逆变。将整流后的直流电变为高频交流电,这是高频开关电源的核心部分。
- (5) 输出整流与滤波。根据负载需要,提供稳定可靠的直流电源。

2. 控制电路

控制电路一方面从输出端取样,与设定值进行比较,然后去控制逆变器,改变其脉宽或

脉频,使输出稳定;另一方面,根据测试电路提供的数据,经保护电路鉴别,提供控制电路对电源进行各种保护措施。

3. 检测电路

检测电路提供保护电路中正在运行中的各种参数和各种仪表数据。

4. 辅助电源

辅助电源实现电源的软件(远程)启动,为保护电路和控制电路(PWM 等芯片)工作供电。

一般工业使用的开关电源如图 1-27 所示,一般有一个 220 V 电源接口,一个或多个电压输出接口,在接线中应注意电源接口和输出接口的接线不能有短接现象,否则会出现事故。

开关电源的主要性能指标是使用电压和功率。如一般工业信号电压多为 5 V、10 V、12 V、24 V 等规格,可选用相应输出电压的开关电源。功率主要对应使用中的电流,如 5 V 信号电压并且电路中电流为 5 A,则可选择 25 W 的开关电源。开关量信号大多采用 6~36 V 电源作为输入电压,24 V 的开关电源是一般接近开关的合适电源电压。

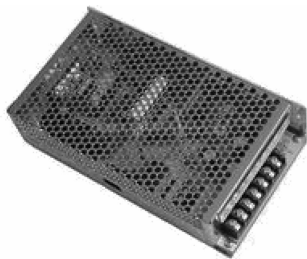


图 1-27 开关电源

开关电源由于结构简单、效率高、成本低廉,已经深入到日常生活中,如普通计算机使用的电源即为开关电源。工业中低压设备如工业信号传输的供电一般也大量采用开关电源。

二、开关电源的选择与使用

使用上,开关电源工作效率一般可达到 80% 以上,远高于一般稳压器 35%~60% 的转换效率,故在其输出电流的选择上,应准确检测或计算用电设备的最大吸收电流,并且按照此电流的 1.5~1.8 倍选择开关电源的额定电流或者功率,以使被选用的开关电源具有高的性价比。

开关电源比线性电源会产生更多的干扰,对共模干扰敏感的用电设备,应采取接地和屏蔽措施,按 ICE1000、EN61000、FCC 等 EMC 限制,开关电源均采取 EMC 电磁兼容措施,因此开关电源一般应带有 EMC 电磁兼容滤波器,将其中 FG 端子接地或接用户机壳,方能满足上述电磁兼容的要求。

开关电源一般均具有过流、过热、短路等保护功能,使用时应注意保护电路的技术参数应与用电设备的工作特性相匹配,以避免损坏用电设备或开关电源。一般开关电源的接线方法如下。

L:接 220 V 交流火线。

N:接 220 V 交流零线。

FG:接地。

G:直流输出的地。

+5 V(以 5 V 为例,其他同理):输出 +5 V 电压的端口。

ADJ:在一定范围内调节输出电压,开关电源上输出的额定电压本来出厂时是固定的,也就是标称额定输出电压,设置此电位器可以让用户根据实际使用情况在一个较小的范围

内调节输出电压,一般情况下不需要调整。

实训二 接近开关对不同材料的敏感性检测

一、实训目标

探索多种接近开关对不同材料的敏感特性,检测其敏感距离,了解不同接近开关的一般使用特点,掌握工业实践中检测系统组装的初步方法。

二、实训内容

以实训一图 1-26 所示为检测基础,更换不同的接近开关以及被测材料,检测各接近开关对不同材料的敏感距离。

具体检测方法如图 1-28 所示,使用开关电源的 24 V 接口连接接近开关的电源线,信号线和电源正极分别接入万用表,万用表拨至 0~30 V 的电压挡位,连接中需注意万用表的正负极。

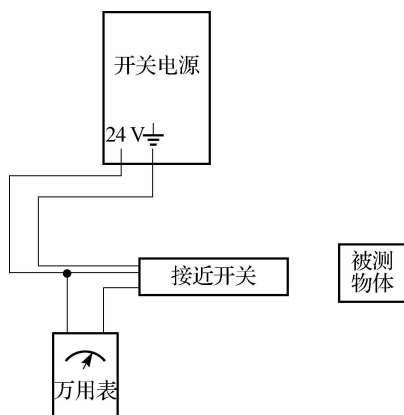


图 1-28 接近开关检测方法

将被测物体和接近开关按照图 1-26 的形式配置。缓慢摇动手轮,使被测物体逐步靠近接近开关,当万用表电压值出现突变时,停止被测物体的运动并使用游标卡尺检测接近开关到被测物体的距离,此距离即为敏感距离。

如果万用表电压值不发生改变,则说明所检测的被测物体对本类接近开关没有敏感作用,则说明此种传感器不适合作为检测被测材料的物体。

分别检测不同的接近开关与不同材料之间的相互敏感性,填入表 1-2。

表 1-2 不同材料对不同种类接近开关的敏感性检测(无敏感者填“×”) 单位:mm

接近开关	钢	铝	铜	木 块	磁 体	玻 璃
霍尔接近开关						
光电型接近开关						
感应性接近开关						

三、需用器材

器 材	选型建议
霍尔接近开关	检测距离 10 mm,输出形式为 NPN 型,电源 10~36 V DC
光电接近开关	
感应接近开关	
小滑台	单轴,移动行程 30 mm 以上,配手轮和装夹支架附件
检测材料	长方体钢、铝、铜、木块、小磁体、玻璃
游标卡尺	量程 50 mm 以上
万用表	包含 0~30 V 电压检测挡位
开关电源	输出 24 V DC,功率 50 W
导线	若干,鳄鱼夹 2 个

四、操作步骤

(1)按照任务一步骤,装配滑台和检测物体,将开关电源放置在装夹支架附近,以便能减少导线使用量,首先使用霍尔开关和钢作为传感器和检测材料。

(2)按图 1-28 所示进行接线,将接近开关的棕色、黑色和蓝色引出线分别接至端子上,棕色和蓝色端子相对应端接至开关电源的 24 V 正极和负极端口,蓝色和黑色端子引线使用鳄鱼夹接至万用表的“VDC”端和“com”端,调节万用表挡位至直流电压量程 0~30 V。开关电源使用 220 V 供电,检查电路连接正确后通电。

(3)摇动手轮,使得钢块缓慢接近霍尔开关的敏感面,同时观察万用表示值变化,直到示值发生明显变化,使用游标卡尺测量敏感面到钢块相对面的距离,此距离即为敏感距离,填入表 1-2 中的相应位置,如果直到钢块接触霍尔开关的敏感面而万用表示值无明显变化,在表 1-2 相应位置画“×”。然后分别更换表中检测材料,重复以上过程。最后按照表 1-2 所示更换接近开关传感器,重复以上过程,直到将表 1-2 空格填满。

五、注意事项

- (1)接线时,需要注意开关电源中的动力线和输出不能混接。
- (2)接近开关敏感面应正对检测材料的对应面,检测面应垂直于位移方向,否则会产生检测误差。更换检测材料时,长方体和接近开关对应面应保持不变。
- (3)试验中,滑台应尽可能缓慢移动,否则会产生惯性误差,影响检测结果的准确性。

任务三 接近开关的应用(二)



知识目标

接近开关广泛应用于工业领域,如使用接近开关联合数显表进行物料个数的统计,为控制系统提供信号是接近开关的基本作用,常应用于生产线的分袋包装,如食品个数或重量达

到一定值后进行分袋包装,又如微小型原料准备个数统计等,均可利用接近开关传感器系统进行统计。

通过了解接近开关的应用规律,进一步掌握应用接近开关进行工业计数检测的方法。初步练习使用简单传感器解决复杂问题,培养解决工业开关量问题的能力。



技能目标

配合使用数显表,使用霍尔接近开关完成转动次数的测量,了解一般工业中使用接近开关的计数统计功能。



知识链接

一、数显表简介

数字或字母显示的仪表称为数显表(或数显表头),是工业中常用的显示器件。数显表输入信号一般为开关量和模拟量,信号经过计数电路或者模/数转换(A/D转换),采用数码发光二极管(LED)或液晶屏幕来完成显示功能,作为检测器件的显示终端和人机界面。由于LED数码管显示稳定可靠、成本低廉、灵活多样而在工业领域中被广泛采用。如图1-29所示为常用数显表的外形,在显示面板后面是连接端子,包括数显表本身需要的电源以及信号输入和输出端子。



图 1-29 数显表

不同类型的数显表其输入量各不相同,一般输入量多为模拟量,其中以电压和电流信号为多,通过模/数转换后在LED数码管上显示检测值。有一些数显表还具有控制功能,如可预设值,当所检测的值达到预设值时则数显表本身的继电器常闭触点发生改变,作为控制信号驱动其他执行器(如电机等)工作。

除模拟量外,还有一种数显表带有计数功能,在输入端每有一个电压脉冲,数显表显示数字自动加1,所以又称其为计数器。大多数计数器可调整预设值,当计数器显示数值达到预设值时,计数器的常开触点闭合,这种功能可以应用于多个物体计数包装的工业环境中,也可应用于材料定长剪切等控制系统中。

随着现代计算机和网络技术的发展,逐渐出现了带有各种接口的数显表装置,如带有RS232串口或485总线结构的数显表,可以方便地连接到计算机网络或者PLC等控制器件,使得各个控制系统能够通过软件协调工作,从而形成如生产线或者复杂操作等类型的整体多工序或者流程控制,扩展了数显表的应用领域。

二、数显表规格与应用

按照工业中传感器使用的数显表进行分类,一般可分为温度表、压力表、智能变送器与

控制表、光柱与光带表等,数显表多使用于流程工业,在一般加工行业(如生产线)也有大量应用。发展趋势上,数显表有向集成化、多功能和高精度发展的趋势。以下介绍两种常用的数显表。

1. 东崎 SV8 智能传感器和变送器控制专用数显表

图 1-30 所示为东崎 SV8 系列智能传感器和变送器控制专用数显表。其特点有以下几点。

- (1)开关电源 100~240 V AC 供电。
- (2)输入多种标准信号,有 0~50 mV、0~10 V、4~20 mA、可变电阻、TC/RTD 等,并能使用软件自动进行调节。
- (3)具有小数点设定、比率、量程及零点自由调整功能。
- (4)带隔离变送功能,隔离 485 通信功能。
- (5)带 24/12 V DC 辅助电源,两路报警输出。
- (6)精度等级为 $\pm 0.3\%$ FS。
- (7)应用范围有二线制变送器、压力传感器、四线制称重传感器等,具有 mA、mV 和 V 输出或者电阻类检测的传感器检测设备。图 1-31 所示为传感器型号的分类标示说明。



图 1-30 东崎 SV8 系列智能传感器专用数显表

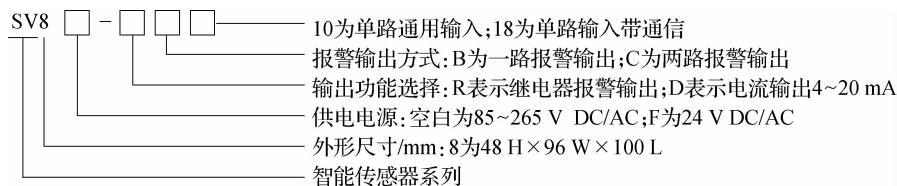


图 1-31 传感器型号的分类标示说明

数显表的前端面板如图 1-32 所示。在前端面板上有 4 个键的键盘可以对数显表进行操作。在显示方式下,按“SET”键可进入报警方式设定菜单,按“◀”键移位至修改位,数码管闪动,按“▼”或“▲”键进行修改,然后按“SET”确认。在修改设定时,如 25 s 内无任何操作,则自动返回至检测状态。

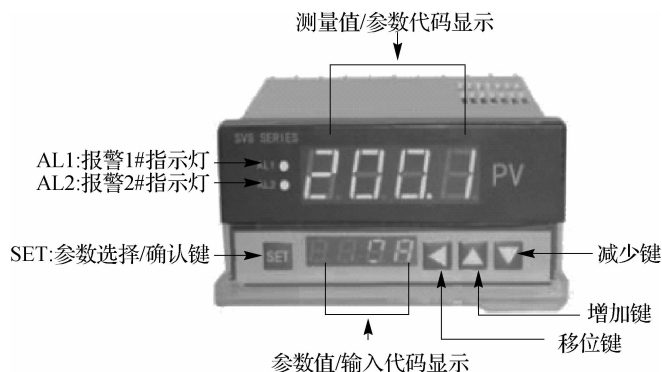


图 1-32 数显表的前面板

2. DTR-600 系列智能光柱调节仪

光柱调节仪(显示表)使用光柱长短或高低替代数字,并且可以自行调节合格范围。光柱显示仪表可以很方便地应用在各个行业中。图 1-33 所示为 DTR-600 系列智能光柱调节仪,其主要与各类传感器、变送器配合使用,可对温度、压力、液位、流量、重量等工业过程参数进行检测、显示、报警控制、变送输出、数据采集及通信。其特点是:有万能输入功能,自动校准和人工校准功能;多重保护、隔离设计、抗干扰能力强;可靠性高;有良好的软件平台;具备二次开发能力,以满足特殊的功能;具有模块化结构,功能组合、系统升级方便。



图 1-33 DTR-600 系列智能光柱调节仪

DTR-600 系列智能光柱调节仪的主要技术指标如下。

基本误差:0.5%FS 或 0.2%FS $\pm$ 1 个字。

分辨率:1/20 000、14 位 A/D 转换器。

显示方式:双排四位 LED 数码管和双排光柱同时显示。

采样周期:0.2 s。

报警输出:二限报警或四限报警,报警方式、报警灵敏度可设置,继电器输出触点容量为 220 V AC/3 A 或 220 V AC/1 A。

变送输出:4~20 mA、0~10 mA、1~5 V、0~5 V。

精度: $\pm$ 0.1%FS,12 位 D/A。

通信输出:接口方式为隔离串行双向。

通信接口:RS485/RS422/RS232/Modem。

波特率:300~9 600 bps 内部自由设定。

馈电输出:24 V DC/30 mA。

电源:开关电源为 85~265 V AC。

功耗:4 W 以下。

其端子接线如图 1-34 所示。

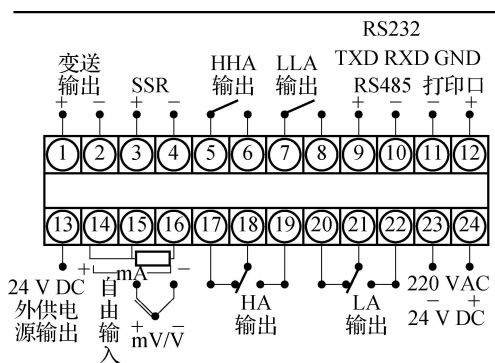


图 1-34 DTR-600 系列智能光柱调节仪接线图

需要注意的是,输入信号为热电偶、电压信号时,接线方式相同;输入信号为热电阻、远传电阻时,必须三线制接入;对于有特殊要求的仪表,接线方式应以随机接线图为准。

此种仪表可配 RS232、RS422/485 接口,直接与计算机通信,数据格式为 1 个起始位、8 个数据位、无奇偶校验、1 个停止位,共 11 位。所有数字变成 ASCⅡ 码传输。

三、数显表的选用

挑选一个适用、经济和性价比最佳的数显表与设备配套应从以下几个方面考虑。

(1) 如果旧设备改造,需要充分了解原来设备的用途、型号、原来使用表头的外形尺寸和型号、配合的传感器等,这是进行设备改造的基础。

(2) 若是研制新型产品,需要设定检测需要达到的目标值。包括需要检测控制的最小值和最大值;需要达到的控制精度,如果普通试验室的烘箱为 $\pm 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,而基准温度使用的恒温槽为 $\pm 0.005\text{ }^{\circ}\text{C}$;结构安装尺寸,在相同条件下,尽可能选用表盘较大的显示仪表,容易观察和读数;考虑传感器情况;考虑工作电源;考虑通信接口等。

在认真了解以上内容后,针对仪表的用途、特点和技术参数,在同一系列数显表中逐一比较,选择合适产品定型。如果不能确认具体参数,需要选择智能仪表。

实训三 使用接近开关检测转动次数

一、实训目标

在直流电动机转轴上设置小磁体,使用霍尔开关检测转动周数,将其信号接入数显表,通过数显表显示在一定时间内的转动次数。

二、实训内容

测量转动次数的霍尔接近开关计数系统如图 1-35 所示,直流电动机(80~120 rpm)驱动转轴转动,调节驱动电压值调整转轴转速,转轴孔与直流电动机输出轴配合安装在电动机上,使用胶水将小磁体粘到转轴外圈上,霍尔开关正对小磁体时,输出高电平信号,否则输出低电平信号。霍尔开关输出为一系列方波信号,此信号作为霍尔开关测量的转动周数信号。

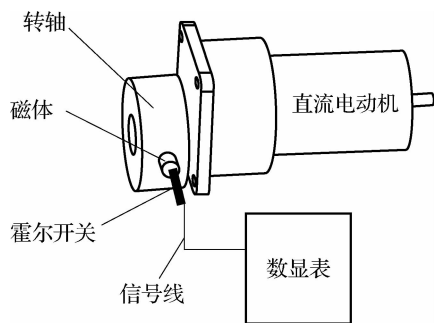


图 1-35 接近开关计数系统

转轴径向上,安放一个霍尔开关,霍尔开关的输出信号连接至数显表上。安装完毕后,转动转轴调整霍尔开关敏感面与小磁体的对应位置,使霍尔开关输出信号能在数显表示值上发生变化,每转动一圈,数显表数值自动加 1。

调试后,调节数显表示值为 0,起动直流电动机,并开始使用停表计时至 60 s,停转直流电动机,记录数显表的示值,即为电动机在 60 s 内的转动周数。重复以上过程,分别测量电动机在 100 s,200 s 内的转动周数并记录,分析转动频率(转速)不尽相同的原因。

三、需用器材

器 材	选型建议
霍尔接近开关	检测距离 10 mm,输出形式为 NPN 型,电源 10~36 V DC
减速直流电机	功率 50 W,主轴转速 80~120 rpm,带控制器
检测材料	小磁体,直径 ≤ 6 mm
电源	开关电源,24 V DC,功率 50 W
数显表	包含计数功能
支架	装夹支架,调整霍尔接近开关与小磁体的相对位置
导线	若干
停表	电子停表

四、操作步骤

(1)在一个平面上安放直流电动机,电动机输出轴上使用胶水粘接一个小磁体。连接电动机引线到控制器输出端并接入 220 V 交流电源。检查接线,确保动力线和输出线没有接混,然后通电试验电机旋转,调节控制器使电动机转速约 60 rpm。

(2)将霍尔开关装夹在支架上,调节支架位置和姿态,使霍尔开关敏感面正对转动径向,并使得霍尔开关敏感面接近磁体对应面为 5~8 mm。

(3)按实训二所述的接线方法连接霍尔开关电路,霍尔开关电源采用开关电源,将霍尔开关两根输出线连接至数显表的输入接口上,数显表动力线连接至 220 V 交流电源中。根据说明书,调节数显表至计数模式。

(4)初步调节系统,观察当电动机转动时数显表示值变化情况,如果出现示值无变化或

不稳定,则按第(2)步调节霍尔开关敏感面与磁体对应面的位置距离,直至数显表示值变化稳定可靠。

(5)将数显表示值调整为0,启动直流电动机,同时开始计时,计时60 s后停止计数,记录数显表示值。重复以上过程,分别记录100 s和200 s后数显表的示值。

五、注意事项

(1)数显表、开关电源和直流电动机控制器的电源相和输出(入)相严禁混接,在接线完毕后应进行检查。

(2)电机输出轴粘接小磁体时,以输出轴上的键表面作为基准。调整霍尔开关敏感面与小磁体对应面的位置和姿态时,应遵循由远至近的原则,防止电动机输出轴和霍尔开关产生碰撞的现象。

(3)一般多功能数显表拥有多种不同模式,对应于不同的测量方式。在计数测量时,需要调整模式代码,设定专用的计数模式,才能在测量中正确地显示数值。



思考与练习

1. 设想一个使用光电接近开关测量转速的方案。
2. 使用数显表配合接近开关设计一个方案,测量传送带上输运物料的个数。
3. 上网查找一个接近开关的生产厂家,并介绍其生产接近开关的型号和应用场合。

位移检测是机械量检测的基础,很多机械量可由其演化而得到,如速度是位移对时间的一阶导数,加速度是位移对时间的二阶导数,长度为具有零点的位移量等。和开关量传感器相比,模拟量位移传感器给出了具体的位置数值,在应用上更具有明确意义,给出的信息量更多,可广泛应用于自动化行业,作为控制系统的前端。

位移检测一般分为线位移检测和角位移检测两种。线位移检测直线位移,角位移检测转动角度,工业中这两种检测均有重要应用。例如,机械加工中工件与刀具相对位置和姿态,就可用位移传感器进行精确地确定。

量程和精度是位移检测中最重要的因素。随着检测技术水平的提高,现代检测中,光栅式传感器已经实现了 10 m 以上量程和 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下精度的检测。光栅式传感器的光栅栅距已经减少到微米级别,而且现代精密刻蚀技术使得栅距的均匀性显著提高,刻蚀边缘的清晰度也有很大提高,光学技术的发展也改进了光栅检测的精度,现代光栅的精度甚至可以达到纳米级。另外,价格低廉、性能稳定的传感器,如电阻尺、超声波等也日渐流行。

任务一 认识位移传感器



知识目标

通过熟悉各种位移传感器,了解位移传感器检测的一般方法,掌握各种位移传感器的量程、精度等检测性能。



技能目标

通过实践操作和训练理解,初步认识各种位移传感器及其检测适应性,了解工业中常用的位移检测特点及位移传感器的基本选用原则。



知识链接

位移传感器又称为线性传感器,是将位移量转换为电量(如电压或电流)的传感器。位移检测时应根据不同的检测对象,选择合适的检测点和检测系统。其中,位移传感器选择是否恰当对检测精度影响很大。

依据中间转换原理不同,位移传感器分类见表 2-1。位移检测系统的输入量为位移,输出量一般是电压、电流或者脉冲计数,输出量可通过专门的电路变化在数显表中表现为数字量。

表 2-1 位移传感器

类 型	传感原理	典型检测范围	典型产品	特 点
电阻式传感器	利用滑线变阻器的原理,通过改变电阻接触点实现检测	1~1 000 mm	电阻尺、拉绳式位移传感器	分辨力好,可用于静态或动态检测,检测精度差,接触检测
电感式传感器	利用电感公式,通过改变铁芯位置实现检测	2.5~250 mm	涡电流传感器(感应接近)、差动变压器、同步器	小位移检测,分辨力好,受物料材料影响大,可动态非接触检测,检测精度高
电容式传感器	通过改变电容极板间距离或极板相对面积对应电容值的变化实现检测	0.01~100 mm	电容位移传感器、容栅尺	分辨力较好,检测范围小,线性度差,受介电常数等环境因素影响大
霍尔式传感器	霍尔效应原理	3 mm	霍尔位移传感器	结构简单,动态性能好
感应同步器、旋转变压器	利用感生电动势检测	0.001~10 000 mm	感应同步器、旋转变压器	环境要求低,工作可靠,抗干扰能力强,精度高,维护简单,寿命较长
计量光栅	莫尔效应光学放大位移	0.001~1 000 mm	光栅尺	工作可靠,分辨力高,数字显示,维护简单
角度编码器	沿圆周开槽透光,通过光敏元件接收透光次数,计算旋转角度	0°~360°	编码器	分辨力好,可靠性高,数字显示

一、电阻尺

将被测量转换为电阻变化是电阻传感器的基本思路,电阻式位移传感器由位移转换为电阻的原理如图 2-1(a)所示。对于一般的导体电阻有如下公式

$$R = \rho \frac{l}{S} \tag{2-1}$$

式中, R 为电阻阻值(Ω); ρ 为电阻率($\Omega \cdot \text{mm}$); l 为导体长度(mm); S 为导体截面积(mm^2)。

某些被测量可以使得导体的长度或者截面积发生改变,从而引起电阻变化。常用的电阻式传感器有随 l 变化的变阻器,随 S 变化的碳堆电阻,随 ρ 、 S 和 l 变化的应变电阻。

由导线或者电阻丝绕制成的变阻器是利用与导线接触的电刷滑动,以改变接入电路的导线长度,从而改变电阻值的大小。一般随电刷滑动,接入长度变化是均匀的,特殊需要可设计成非均匀的。

电刷滑动时,导线是一圈一圈被接入的,长度变化是不连续的,其与电刷滑动量之间呈现阶跃特性。这种跃变限定了变阻器的静态灵敏度,而动态灵敏度则由电刷的质量或转动惯量决定,变阻器的跃变特性如图 2-1(b)所示。

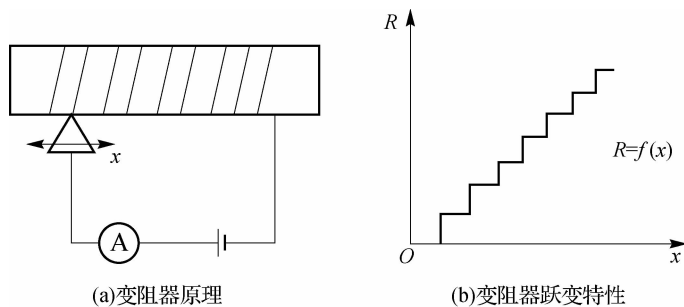


图 2-1 变阻器原理及其特性

需要注意的是,使用滑线变阻器进行位移检测时,电刷滑动时会产生动态接触电阻,接触电阻阻值一般不确定,这会对检测精度产生难以忽略的影响。

为改善以上两个问题,工业中通常使用直线导电塑料作为变阻器材料,消除了阶跃误差效应,将变阻器和电刷施加一定的预紧力装配成一个部件,外加金属封装,形成如图 2-2 所示的电阻尺,又称为导电塑料电位计或电压分配计等。

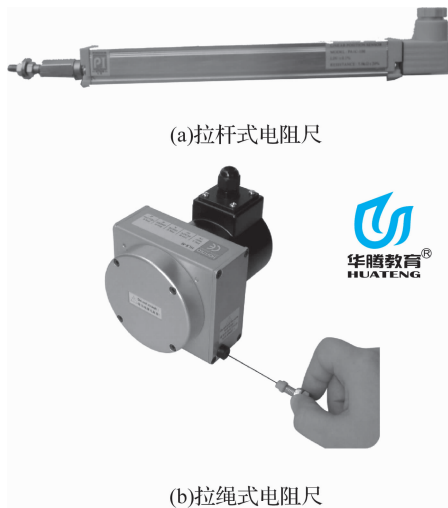


图 2-2 电阻尺

为了扩大电阻尺的应用范围,出现了其他形式的电阻尺如图 2-3 所示。图 2-3(a)是圆环式电阻尺,当接触指针旋转时,AB 点之间形成一个可变电阻,对应于指针的旋转角度,这种方法可以测量角位移。图 2-3(b)是一种非线性电阻尺,一般采用定制,主要应用于位移和电阻为某种特定函数的场合。

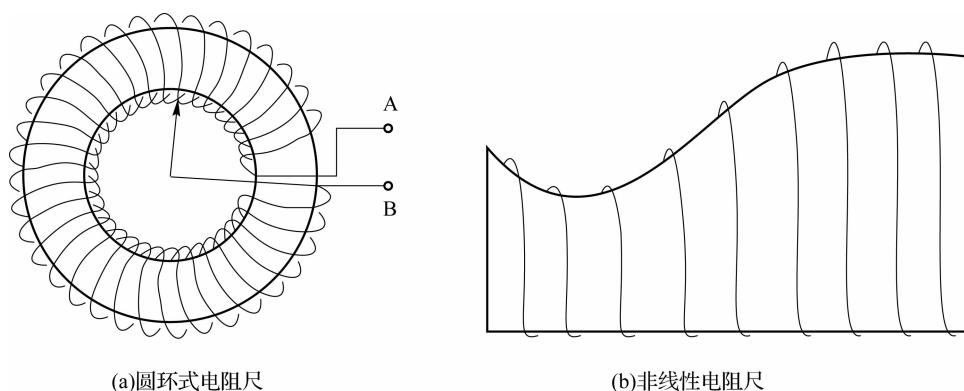


图 2-3 电阻尺的扩展形式

检测中,电阻尺实际上就是一个分压器,或者滑线变阻器,以相对电压来显示所检测物体的实际位置。电阻尺的使用要求包括以下几个方面。

(1)供电电压稳定。工业电源稳定性要求在 $\pm 0.1\%$,例如,基准电压 10 V ,允许有 $\pm 0.01\text{ V}$ 的波动。否则,会导致显示幅度出现较大波动。如果显示波动幅度不超过波动电压的波动幅度,电阻尺属正常。需要说明的是,在较为精密的模拟量检测中,采用比开关电源更为精密的线性电源是更好的选择,或者对电源进行滤波等处理,以求能够消除由电源引起的误差,得到更为真实的检测结果。

工业上,很多电阻尺生产商为了使用方便已经自带稳压电路和变送模块(将一般模拟信号转换为标准模拟信号的装置),将低电压输出信号转换为 $0\sim 10\text{ V}$ 或者 $4\sim 20\text{ mA}$ 的标准模拟电压信号或者电流信号,这种情况下可采用一般的开关电源,所以应用时需要仔细阅读说明书中的电源要求。

(2)外界干扰小,包括静电干扰和高频干扰。设备的强电路与电阻尺信号线应分开线槽安装,如果无法分开,则应使用屏蔽线连接电阻尺传递信号。电阻尺应强制安装接地支架,且使外壳良好接地,信号线应使用屏蔽线,且在检测电箱的一端将屏蔽线接地或接直流电源负极。

静电干扰时,一般万用表的电压测量非常正常,但显示数字跳动;高频干扰时其现象相同。静电干扰时可用一段电源线将电阻尺的封盖螺丝与机器上某一点金属短接,短接后静电干扰即可消除。

(3)注意电阻尺的三条线连接。图 2-4 所示为电阻尺接线电路,电阻尺内部为一导电塑料,两端接电源,电刷端和两端之一为输出电压。电阻尺接线一旦接错,将出现线性误差大、控制精度差、容易显示跳动等现象。

(4)安装要合乎规范。如果安装误差偏大,由于电阻尺内电刷和导电塑料导轨间接触状态发生改变,电阻值相应改变,会导致显示数字跳动。在这种情况下,可用万用表电压挡检测电压波动。

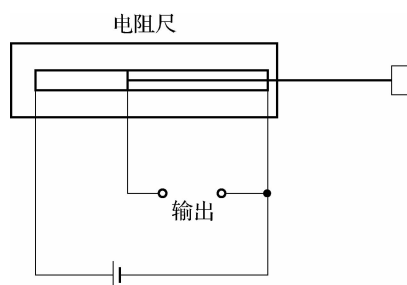


图 2-4 电阻尺接线电路

二、感应同步器

感应同步器是利用电磁原理将位移转换成电信号的一种装置。根据用途可将感应同步器分为直线式和旋转式两种,分别用于检测线位移和角位移。在高精度数字显示系统或数控闭环系统中,圆盘式感应同步器用以检测角位移信号,直线式感应同步器用以检测线位移信号。图 2-5 所示为感应同步器在机床定位中的应用示例,滑尺与机床滑台一同运动,定尺固定在机床基础部分,使用时感应同步器需要配合专用数显表,数显表提供电源,并显示滑尺在定尺上的位置。测长精确度可达 $3\text{ }\mu\text{m/m}$ 。

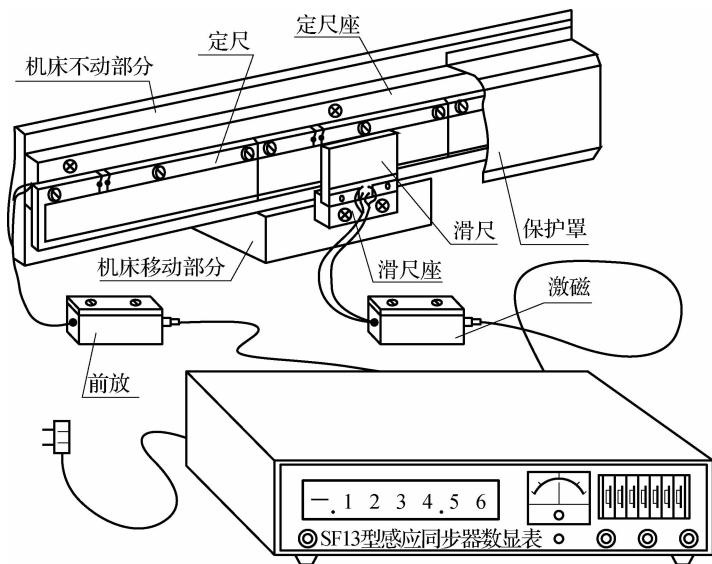


图 2-5 感应同步器

感应同步器具有如下优点。

(1)精度高。因为定尺的节距误差有平均自补偿作用,所以尺子本身的精度较高。直线感应同步器对机床位移的检测是直接检测,不经过任何机械传动装置,检测精度主要取决于尺子的精度。感应同步器的灵敏度取决于一个周期进行电气细分的程度,灵敏度的提高受到电子细分电路中信噪比的限制,只要对线路进行精心设计和采取严密的抗干扰措施,就可以把电噪声减到很低,并获得很高的稳定性。

(2)检测长度不受限制。当检测长度大于 250 mm 时,可以采用多块定尺接长,相邻定尺间隔可用块规或激光测长仪进行调整,使总长度上的累积误差不大于单块定尺的最大偏差。行程为几米到几十米的中型或大型机床中,工作台位移的直线检测,大多数采用直线式感应同步器来实现。

(3)较高的环境适应能力。因为感应同步器金属基板和床身铸铁的热胀系数相近,当温度变化时,由于感应同步器材质和床身热变形相近,能获得较高的重复精度。另外,感应同步器是非接触式器件,对防护要求低,可选择耐温性能良好的非导磁性涂料作保护层,加强感应同步器的抗温防湿能力。

(4)维护简单,寿命长。感应同步器的定尺和滑尺互不接触,因此无任何摩擦和磨损,使用寿命长,且无须担心元件老化等问题。

(5)抗干扰能力强,工艺性好,成本较低,便于复制和成批生产。

由于以上优点,感应同步器广泛应用于高精度伺服转台、雷达天线、火炮和无线电望远镜的定位跟踪、精密数控机床等恶劣环境下的高精度位置检测系统中。

如图 2-6 所示为感应同步器原理,感应同步器由两个磁耦合部件组成,其工作原理类似于一个多极对的正余弦旋转变压器。感应同步器的定尺和滑尺相互平行放置,其间有一定的气隙,一般应保持在 $(0.25 \pm 0.05) \text{ mm}$ 范围内,当滑尺上的正弦绕组和余弦绕组分别以 $1 \sim 10 \text{ kHz}$ 的正弦电压激磁时,将产生同频率的交变磁场;该交变磁场与定尺绕组耦合,在定尺绕组上将产生同频率的感应电动势。感应电动势的大小除了与激磁频率、激磁电流和两绕组之间的间隙有关外,还与两绕组的相对位置有关。

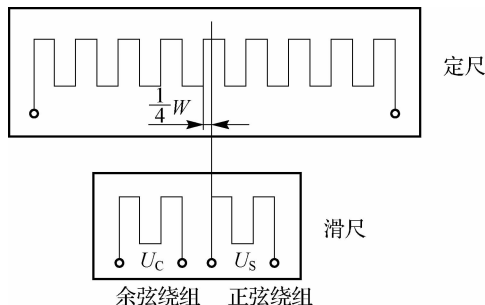


图 2-6 感应同步器原理

定尺的感应电动势随滑尺的相对移动呈周期性变化,这样便把机械位移和感应电动势相互联系起来。假设在滑尺的正弦或余弦绕组上单独施加的正弦激磁电压为

$$u_i = U_m \sin \omega t \quad (2-2)$$

则正弦或余弦绕组在定尺上相应产生的感应电动势分别为

$$e_s = k\omega U_m \sin \omega t \cos \frac{2\pi x}{W} \quad (2-3)$$

$$e_c = k\omega U_m \sin \omega t \sin \frac{2\pi x}{W} \quad (2-4)$$

式中, k 为电磁耦合系数; ω 为励磁频率(1/s); U_m 为励磁电压的幅值(V); x 为机械位移(m); W 为绕组节距(m)。

定尺上总的感应电动势为式(2-3)和式(2-4)的和,其值取决于滑尺的相对位移 x 。通过对此信号的检测处理,便可检测出直线位移量。超过绕组节距的位移可使用计数方法扩展其检测范围。

旋转式感应同步器由定子和转子两部分组成,它们呈圆片形状,用直线式感应同步器的制造工艺制作两绕组,如图 2-7 所示。定子、转子分别相当于直线式感应同步器的主尺和滑尺。目前旋转式感应同步器的直径一般有 50 mm、76 mm、178 mm 和 302 mm 等几种。径向导体数(极数)有 360、720 和 1 080 几种。

转子是绕转轴旋转的,通常采用导电环直接耦合输出,或者通过耦合变压器,将转子初级感应电势经气隙耦合到定于次级上输出。旋转式感应同步器在极数相同情况下,同步器的直径越大,其精度越高。

对于由感应同步器组成的检测系统,可以采取不同的励磁方式,并对输出信号采取不同

的处理方式。

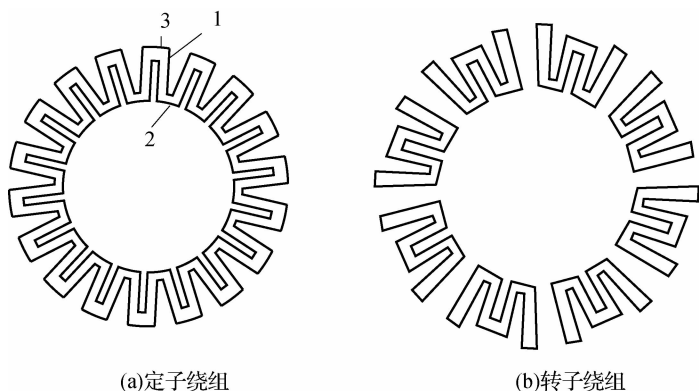


图 2-7 旋转式感应同步器

1—有效导体；2—内端部；3—外端部

从励磁方式来说,可分为滑尺励磁,由定尺输出感应电动势信号;定尺励磁,由滑尺输出感应电动势信号。

根据对输出感应电动势信号的处理方式不同,可把感应同步器的检测系统分成相位工作状态和幅值工作状态,它们的特征是有输出感应电动势的相位和幅值来进行处理。

鉴相处理又称为相位处理,是根据输出感应电动势的相位来鉴别感应同步器定滑尺间相对位移量的方法。鉴幅处理是根据感应电动势的幅值来鉴别位移。采用同频率、同相位、不同幅值的交流电压,对感应同步器滑尺两相绕组进行励磁,就可以根据定尺绕组输出感应电动势的幅值来鉴别定滑尺间的相对位移值,即为感应同步器输出信号的鉴幅处理。

如图 2-8 所示,脉冲发生器发出频率一定的脉冲系列,输出参考信号方波和指令信号方波,指令信号方波使励磁供电线路产生振幅频率相同而相位差为 90° 的正弦信号电压和余弦信号电压,供给感应同步器滑尺或者定尺绕组。在定尺上产生感生电动势,经过放大整形后的信号同样为方波信号,反馈至鉴相器与参考信号进行比较。鉴相器输出是感应电动势与参考信号的相位差,即对应的位移值。

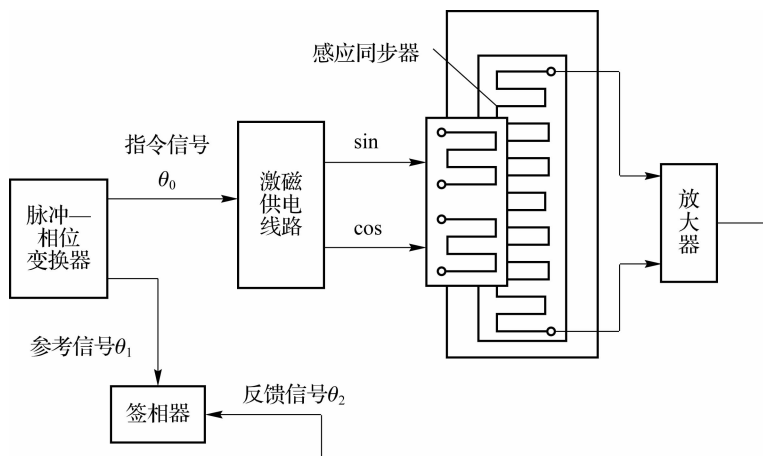


图 2-8 感应同步器的鉴相控制图示例

三、磁栅尺

与录音技术相似,通过记录磁头在磁性尺(或盘)上录制出间隔严格相等的磁波,称为磁栅。磁栅相邻栅波间隔距离称为磁栅的波长,又称为磁栅节距(栅距)。S极和N极均匀间隔排列在磁栅尺上,通过读数头读取S极和N极的变化来记数。显然,波长就是磁栅尺的长度计量单位,任一被测长度都可用与其对应的若干磁栅波长之和来表示。

磁栅尺的尺体可由满足一定要求的硬磁合金制成,也可由表面镀上一层硬磁合金的磁性材料制成,常用的硬磁合金是Cu-Ni-Fe合金或Fe-Cr-Co合金,磁性镀层的成分是Ni、Co、P。磁栅尺的长度可达32 m,移动速度最大为25 m/s,精度一般在0.01 mm或更高,且磁栅尺有非常好的恶劣环境适应能力,对粉尘等不敏感,非常适合大型机床或者建筑机械等设备中使用。

图2-9所示的磁栅尺在使用时,需要将磁栅尺带粘接到设备表面,图中磁栅尺上为移动的读数头,可以连接于专用的数显表或者数据采集卡中。除图中显示的磁栅尺结构外,还有和前述电阻尺相类似的封装为体的磁栅尺结构。

磁栅的一个重要特点是磁栅尺与磁头处于接触式的工作状态。磁栅的工作原理是磁电转换,为保证磁头有稳定的输出信号幅度,考虑到空气的磁阻很大,磁栅尺与磁头之间不允许存在较大和可变的间隙,最好是接触式的。因此,带型磁栅在工作时磁头是压在磁带上的,这样即使带面有些平整,磁头与磁带也能良好的接触。线型磁栅的磁栅尺和磁头之间约有0.01 mm的间隙,由于装配和调整不可能达到理想状态,故实际上线型磁栅也处于准接触式的工作状态。



图 2-9 磁栅尺

扩展知识:球栅尺

球栅尺如图2-10所示,是20世纪90年代出现的产品,原产地为英国。它是利用导磁介质的变化实现电磁/磁电转换的。球栅尺的尺身由高等级无缝钢管和若干个精密钢球密闭组合而成。由感应器产生的电磁切割钢管中的精密球,把它分割成2 450份,每份5 μm 。由于球栅尺是密闭结构,所以其最大的优点是不怕油、水和灰尘,整体尺身长度可达8 m,拼接可达30 m;而且使用寿命长,安装简单,对使用环境要求低。

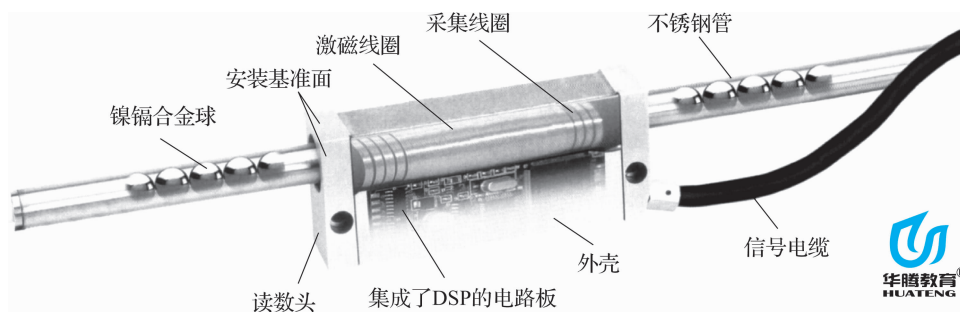


图 2-10 球栅尺示意

球栅尺应用如图2-11所示,只需要配合数显仪表就可使用,信号与其他机床信号相同,

互换性很强。

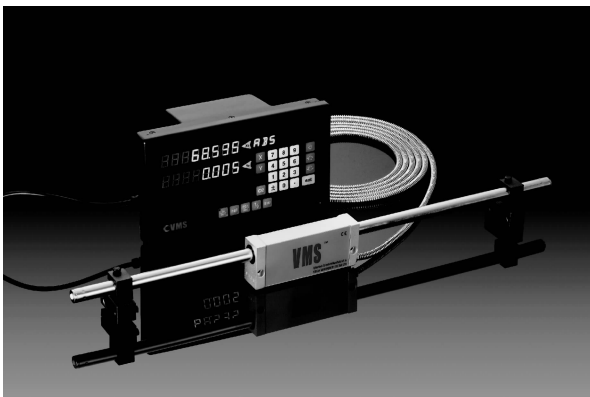


图 2-11 球栅尺应用套件

球栅尺的安装十分简单,一般是将球栅尺两端用专用支架固定在机床上,读数头固定在机床的走刀架上,与球栅尺相对运动。有时小机床也可把读数头固定,球栅尺相对读数头做运动。3 m 以上的球栅尺(含 3 m)要在尺的中间加装弹性支架。一般每隔 1.5 m 距离装一个弹性支架。8 m 以下的(含 8 m)球栅尺不用接长,8 m 以上的尺需要接长,如 10 m 的球栅尺要取两根 4.9 m 的钢管,各在一端内径车扣,再取 0.2 m 的钢管一根,两端都在外径上车扣,然后把它们都装上等量的钢球拧上即可。

安装数显表时要注意尽可能远离机床的电动机,以避免产生不必要的干扰信号。由于球栅尺最长可以做到 30 m,所以特别适合安装在大型或超大型机床上,如龙门铣床、镗床等。一般机床安装球栅尺后可提高工效 20% 以上,镗床精加工可节约工时 30%。安装球栅尺的成本 90 天即可收回。一台装有球栅尺高约 9 m 的立式车床平均提高工效 38%,仅半年节约工时费即达 20 万元,一台英国镗床半年节约工时达 30 万元之多。又由于球栅尺对安装环境没有特殊要求,精度高、操作简单、耐使用,所以非常适合对老工业企业的各式机床的改造,是一种投资少、见效快的改造方案。

四、光电编码器

编码器(encoder)是将信号或数据进行编制、转换为可用以通讯、传输和存储的信号形式的设备。编码器把角位移或直线位移转换成电信号,前者称为码盘,后者称为码尺。按照读出方式编码器可以分为接触式和非接触式两种;按照工作原理编码器可分为增量式和绝对式两类。增量式编码器是将位移转换成周期性的电信号,再把这个电信号转变成计数脉冲,用脉冲的个数表示位移的大小。绝对式编码器的每一个位置对应一个确定的数字码,因此它的示值只与测量的起始和终止位置有关,而与测量的中间过程无关。

光电编码器是以光学开关为基本检测量的编码器。

1. 增量式光电编码器

光电编码器是一种通过光电转换将输出轴上的机械几何位移量转换成脉冲或数字量的传感器,是目前角位移检测中应用最多的传感器。增量式光电编码器由光栅盘(码盘)和光电检测装置组成。光栅盘是在一定直径的圆板上等分地开通若干个长方形孔。由于光电编

码盘自身有旋转轴,当旋转轴旋转时,经光电二极管等电子元件组成的检测装置检测输出若干脉冲信号,通过计算每秒光电编码器输出脉冲的个数就能反映编码器轴的转速或者加速度。光电编码器系统结构如图 2-12 所示。为判断旋转方向,码盘提供相位差 90° 的两组透光孔,组成辨向系统,通过电路判断正转还是反转,在一般的光电编码系统中,这两组编码称为 A、B 相,如图 2-13 外圈和中圈虚线所示。另外,为了实现定位,增加了 Z 相作为基准,由 Z 相发出零位脉冲,作为转动的起始点,如图 2-13 内圈虚线所示。

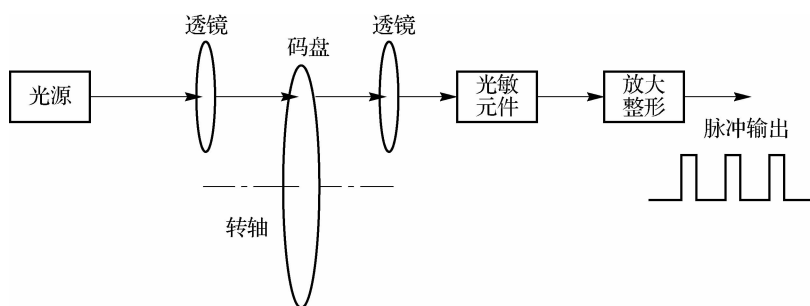


图 2-12 光电编码器系统结构

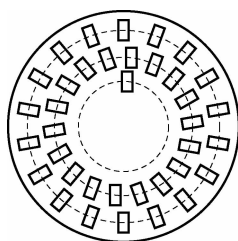


图 2-13 A、B、Z 三相光电编码盘

由以上编码盘组成的编码器,称为增量式光电编码器。其优点是构造简单,机械平均寿命可在几万小时以上,抗干扰能力强,可靠性高,适用于长距离传输;缺点是无法输出轴转动的绝对位置信息,由于光电系统有可能产生丢失脉冲信号的现象,会产生累积误差,不适合高速检测。

2. 绝对式光电编码器原理

除了增量式光电编码器之外,还有一种绝对式光电编码器,其原理如图 2-14 所示。绝对式编码器是直接输出数字量的传感器,在它的圆形码盘上沿径向有若干同心码道,每条道上由透光和不透光的扇形区相间组成。外圈码道的扇区将相邻内圈扇区分为两倍,码盘上的道数就是它的二进制数码的位数,在码盘的一侧是光源,另一侧对应每一码道有一光敏元件;当码盘处于不同位置时,各光敏元件根据受光照与否转换出相应的电平信号,形成二进制数。这种编码器的特点是不要计数器,在转轴的任意位置都可读出一个固定的与位置相对应的数字码。显然,码道越多,分辨率就越高,对于一个具有 N 位二进制分辨率的编码器,其码盘必须有 N 条码道。目前国内已有 16 位的绝对式编码器产品,图 2-15 所示为编码器实物图。

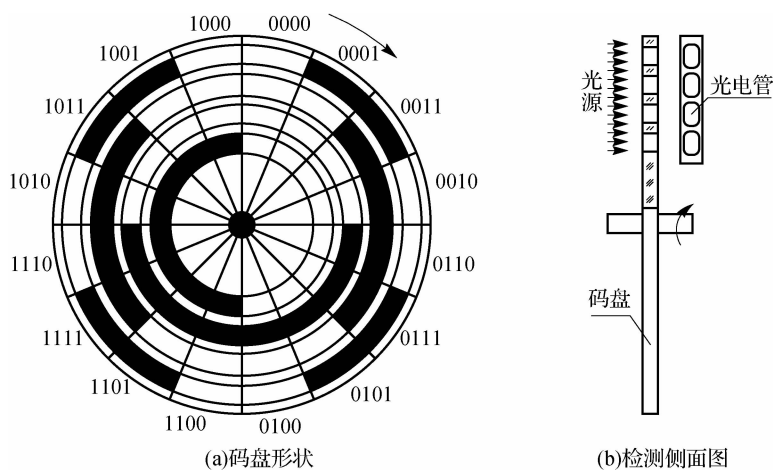


图 2-14 绝对式光电编码器原理

显然,绝对式编码器与增量式编码器的不同之处在于圆盘上有无透光、不透光的线条图形,绝对式编码器可有若干编码,根据读出码盘上的编码,检测绝对位置(见图 2-14)。编码的设计可采用二进制码、循环码、二进制补码和格雷码等。不同编码的共同特点是可以直接读出角度坐标的绝对值;没有累积误差;电源切除后位置信息不会丢失。但是绝对式编码器的分辨率是由二进制的位数来决定的,也就是说精度取决于位数,目前有 10 位、14 位等多种。绝对式光电编码器的优点是允许转速高,精度和码道数量相关;缺点是结构复杂,价格高。

光电编码器的输出是脉冲量和数字量,容易使用检测计算机网络传输,且技术成熟,应用简单可靠,在转角检测领域应用中极为广泛,如何伺服电动机的反馈回路检测均为光电编码器。

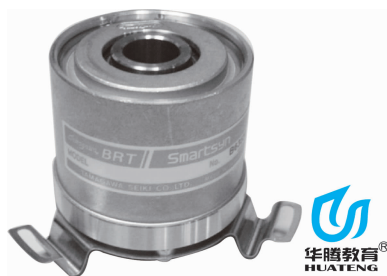


图 2-15 编码器实物图

实训一 认识电阻式位移传感器

一、实训目标

通过电阻尺传感器的特性试验,了解和掌握一般位移传感器的正确使用和调试方法。

二、实训内容

按照图 2-4 所示的连接方法,使用 24 V 开关电源供电。在电源的负极和信号输出端接至数显表的对应信号输入端,调整数显表为电压模拟量 0~10 V 输入模式。在接线过程中,需要注意电源线和信号线不能混接在一起,信号线分别对应于电阻尺和数显表信号正负端。

连线完毕后,通电检查数显表显示数字状态,移动电阻尺拉杆,观察数字变化的情况。将 220 V 的电源线移动靠近信号线的地方,观察数显表有无变化,试验交流电磁场对电阻尺信号的扰动。

移动电阻尺拉杆并使用游标卡尺测量拉杆不同的伸出长度,观察拉杆不同伸出长度下数显表的显示数字,在表 2-2 进行记录,表中位移为以拉杆最短伸出长度为基准,数字差为不同拉杆伸出长度数显表相应的差值。

表 2-2 拉杆位移与数显表显示数字关系

拉杆伸出长度	位 移	数显表显示数字	数 字 差

以拉杆伸出长度作为纵坐标,数显表示值作为横坐标,将各个点分别标于坐标纸中,并拟合出一条直线,观察各个位置和数显表示值的线性对应关系。

使用位移测量值除以数字差,即为线性度,检验各位移状态的线性度是否一致,可作为检查电阻尺传感器的误差稳定性的检验数据。

三、需用器材

器 材	选型建议
数显表	支持模拟量和数字量输入,标准电压 0~10 V
电阻尺	量程<300 mm,输入 24 V DC 电压,输出 0~10 V 标准信号
光栅尺	量程<500 mm,光栅尺专用数显表
小滑台	包含导轨、手柄和丝杆等,附带安装螺钉若干
电源	开关电源,24 V DC,功率 50 W
万用表	1 块
导线	若干
游标卡尺	200 mm 量程,精度 0.02 mm
坐标纸	若干

四、操作步骤

(1)分别测量电阻尺引出线之间的电阻值,并在测量时移动拉杆,观察电阻变化在万用表中的反应,根据变化选择 2 个触点作为检测点,并将电阻尺输出端和数显表头输入端连接。

(2)调整数显表为电压测量模式,并根据电阻尺中的最大电阻值和开关电源的电压确定测量范围。接线结束后可通电检测电阻尺拉杆移动时,数显表头读数值的变化,如果读数不正常则检查连接线的可靠程度、电路电流的大小等,必要时可采用差动法测量以提高检测精度。

(3)将电阻尺通过连接件(如弯形板)用安装螺钉分别固定于小滑台的移动台面上和固定端面上,通过手柄转动移动小滑台台面,注意观察电阻尺拉杆移动是否顺畅,如不顺畅则调整螺钉。

(4)使用游标卡尺检测电阻尺拉杆伸出长度,并在表 2-2 中记录不同长度下数显表读数,试验完毕后断电,拆卸数显表头和电阻尺。使用坐标纸分别绘制游标卡尺检测值与数显表读数之间的线性关系,并求得直线度误差值。

五、注意事项

(1)连接电阻尺时,需要限制通过电阻尺的电流。电流越大,电阻的热效应也越大,结果会使得电阻传感器的温度漂移现象急剧增加,带来较大误差;电流越小,则测量量越不敏感,使得测量难于进行,同时如强电磁场等影响因素的敏感性增高,测量的稳定性降低。因此,一般的电阻尺均有一定的限制电流的说明,在连线时需要计算电路电流,必要时电路可增加电阻以减小电流。

(2)安装时需要注意传感器移动轴和模块定位需要依据安装基准,使用螺纹进行准确安装。

(3)检测或者检测传感器性能时,需要旋转手轮缓慢连续移动滑台台面。

(4)在安装时,需要注意导线不能过短,以免不能完成满量程测量;导线也不能处于自由状态,以免和导轨发生挤压、摩擦而产生短路现象,进而损坏设备。

任务二 直线型光栅位移传感器的应用



知识目标

针对直线型光栅尺的一般应用,掌握直线型位移传感器的使用方法,确保检测的精度和稳定性。



技能目标

练习装配使用光栅尺位移传感器应用系统,学习光栅尺检测的一般方法,使用高精密度位移传感器实现精密定位。



知识链接

工业现场中,位移传感器是最基本的检测设备。在各种现代自动化机床或生产线中,定位控制的基础是采用可靠位移传感器提取位置信息,以确定控制节奏和控制手段。因此,位移传感器的稳定性和可靠性是此类传感器中最重要的性能。其中,最常采用的位移传感器为光栅尺位移传感器,其功能如下。

(1)原点定位。光栅尺中除 A、B 相位以外,还存在一个 Z 相位,专门用于确定零点,因此,在机床启动时,只要找到 Z 相信号,就可确定机床的稳定零点,或者在一段距离区间内作为修正误差的依据。

(2)辨向。光栅尺中采用如前所述的 A、B 相位差 $1/4$ 周期,联合控制数显表中脉冲的正负,代表光栅尺中的前进或者后退。

一、光栅尺

光栅是一种在基体上刻制有等间距均匀分布条纹的光学元件,用于位移检测的光栅称为计量光栅。光栅尺外形如图 2-16 所示,由移动部分和不动部分组成,移动部分带有输出信号端

和电源引线,可通过专用的数显表显示目前的位置,一般光栅尺的精度可以达到微米级别,很多高级光栅尺甚至可达到 $0.001\ \mu\text{m}$ 的检测精度,因为它的稳定性和大检测范围,在工业制造领域得到了广泛的应用。图 2-16 所示的光栅类型也称为厚尺,通过金属外壳将光栅尺中的检测器件封闭起来,也有外露型的光栅尺,也称为薄尺,大多应用在试验室等干净的环境中。

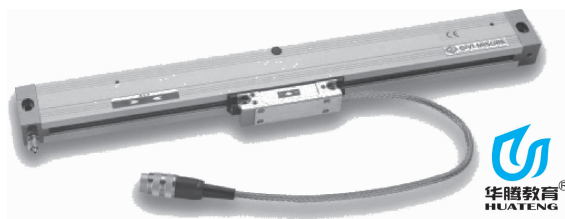


图 2-16 光栅尺

光栅传感器主要由标尺光栅、指示光栅、光路系统和光电元件组成。透射光栅的光路如图 2-17 所示,从上向下透过两个光栅在光电传感器上产生莫尔条纹,通过光电传感器的明暗变化次数实现检测。标尺光栅的有效长度即为检测范围。必要时,标尺光栅还可以接长,以扩大检测范围。指示光栅比标尺光栅短得多,两者刻有同样的栅距。使用时两光栅互相重叠,两者之间有微小的空隙,使其中一片固定,另一片随被测物体移动,即可实现位移检测。除了透射光栅传感器,还有反射光栅传感器同样可以实现位移检测。图 2-17 所示的透射光栅的标尺光栅和指示光栅均有刻制条纹,条纹密度一般为每毫米 100 线、50 线、25 线或 10 线。

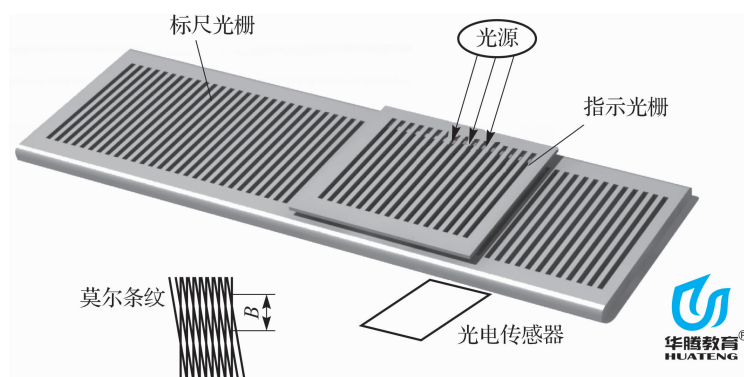


图 2-17 透射光栅的光路

光栅式传感器具有分辨力高、检测范围大、动态范围宽的特点,易于实现数字化检测和自动控制,是数控机床和精密检测中应用较广泛的一种检测元件。其缺点是对使用环境要求较高,在现场使用时要求密封,以防止油污、灰尘和铁屑的污染。

1. 光栅检测原理

当指示光栅和标尺光栅的条纹相交一个微小的夹角时,由于挡光效应或光的衍射效应,在与光栅条纹大致垂直的方向上产生明暗相间的条纹,这种条纹称为莫尔条纹。莫尔条纹有如下重要特性。

(1)莫尔条纹由光栅的大量刻线共同形成,对线纹的刻画误差有平均抵消作用,能在很大程度上消除短周期误差的影响。也就是说,光栅上刻画的条纹误差对明暗条纹的影响相

对降低,这样可更容易制造光栅。

(2)两个光栅相对运动时(光栅条纹的垂直方向),莫尔条纹也在上下运动,移动一个栅距(两个光栅条纹之间的距离),在光电传感器上某一点的光强也变化一个周期。

(3)莫尔条纹的间距与两个光栅条纹夹角的关系为

$$B = \frac{W}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \approx \frac{W}{\theta} \quad (2-5)$$

式中, B 为莫尔条纹的间距(m); W 为光栅栅距(m); θ 为两个光栅之间的夹角($^{\circ}$)。

可以看出, W 一定时, θ 越小,则 B 越大,相当于把栅距放大了 $1/\theta$ 倍。这是一个很大的放大倍数,如果 θ 为 3° ,此值可达到19.1,因此可以将移动方向的微小位移变化转换为明暗条纹的明显变化。光电元件接收莫尔条纹移动时光强的变化,则将光信号转换为如图2-18所示的光强信号,在光电传感器的固定位置上,光强弱的信号实际上是由明暗位置关系决定的(如图2-18上部所示某一光电器件部位的光接收信号,黑色代表无光,白色代表有光),换句话说,也即由标尺光栅和指示光栅的相对位置决定的,所以,明暗位置关系可以由光强信号间接显示。进一步由光电传感器转换为电压或者电流信号,将此电压或者电流信号经过放大、整形变为方波,经过微分电路转换成脉冲信号,再经过辨向电路和可逆计数器计数,则可在显示元件上以数字形式实时地显示出位移量的大小。位移量为脉冲数与栅距的乘积。当栅距为单位长度时,所显示的脉冲数则直接表示出位移量的大小。

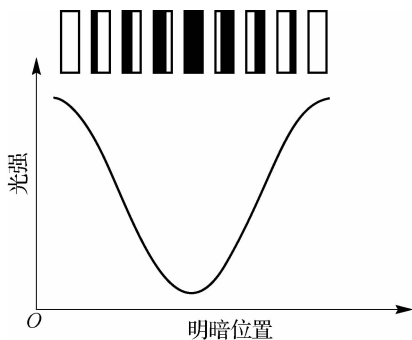


图 2-18 光栅位移明暗位置与光强之间的关系

2. 辨向原理

在实际应用中,被测物体的移动方向往往是不固定的。无论标尺光栅还是指示光栅向前或是向后移动,在光电传感器中观察的结果均是莫尔条纹做明暗交替变化。因此,只根据一条莫尔条纹信号无法判别光栅的移动方向。这时,需要用两个有相位差的莫尔条纹进行辨向。

为了判断方向,可以使用两套光电转换装置。令它们在空间的相对位置有一定的关系,从而保证它们产生的信号在相位上相差 $1/4$ 周期,如图2-19所示,标尺光栅可分为上下两个部分,两个部分栅距相同,下光栅比上光栅错后 $1/4$ 栅距,即 $1/4$ 周期。同样,在接收光强的地方设置两个光电传感器,分别为光敏元件1和光敏元件2。

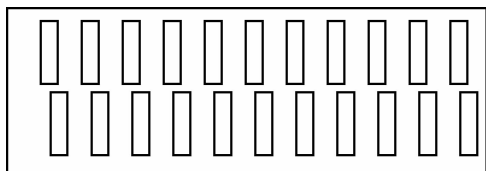


图 2-19 两个相位差 $1/4$ 周期的标尺光栅

如图2-20所示,当光栅正向移动时,光敏元件2比光敏元件1先感光,此时,与门Y1有

输出,它控制加减触发装置,使可逆计数器的加法母线为高电位。同时 Y1 上的输出脉冲又经或门送到可逆计数器的计数输入端,计数器进行加法计数。反转时,光敏元件 1 比光敏元件 2 先感光,计数器进行减法计数。以光敏元件 1 输出信号为 A,光敏元件 2 输出信号为 B,则如图 2-21 所示,A 相位在 B 相位前 $1/4$ 周期,光栅正向移动,反之则反向移动。这样根据加减法计数既能区别方向又能自动进行加法或减法计数,每次反映的都是相对于上次的栅距增量,所以这种检测属于增量式检测。

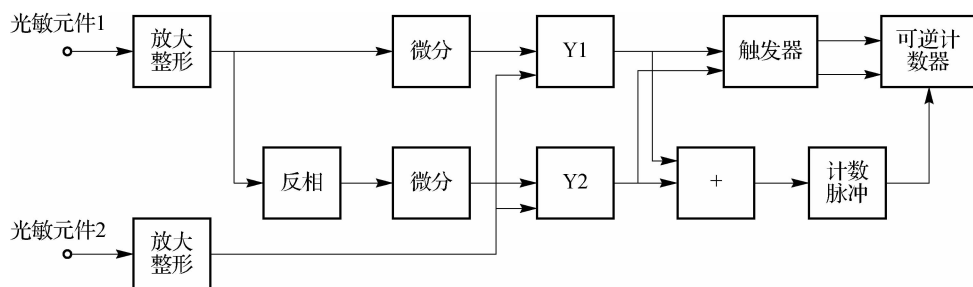


图 2-20 辨向系统流程

这种辨向方法应用很广,几乎所有的栅型传感器都使用此种方式进行辨向,经常应用的除光栅尺以外,还包括磁栅尺、编码器和容栅尺等。此种方法不但可以进行线位移的辨向,也同样可以对角位移进行辨向。

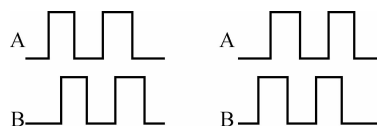
实际上,利用这种方法也可以实现一定程度上的细分功能。以光栅正向移动为例,光栅输出的 A 相信号的相位超前 B 相 90° ,则在一个周期内,两相信号共有 4 次相对变化,即“00—10—11—01—00”(0 为低电位,1 为高电位)。这样,如果每发生一次变化,可逆计数器便实现一次加计数,一个周期内共可实现 4 次加计数,从而实现正转状态的 4 倍频计数。这样,把原来一个栅距的计数扩大成了 4 次,因此可以实现 4 倍频计数,增加了光栅传感器的精度。对比前述的感应同步器,就会发现在计数型的检测传感器当中,这种采用 A、B 相位方向辨别的方法在工业中相当普遍,而相似的零点寻找方法多使用 Z 相作为误差和零点位置的判别方法。

3. 细分技术简介

目前,国内外在长度计量方面所用长光栅的栅距大多在 $4\ \mu\text{m}$ 以上,圆光栅的角节距大多在 $20''$ 以上,但用光栅系统检测长度的分辨率往往要求达到 $0.1\ \mu\text{m}$,测角系统的分辨率往往要求达到 $0.1''$,因此仅靠栅距本身分辨率满足不了精密检测的高分辨率要求,必须采用细分技术来提高光栅系统的分辨率。

莫尔条纹的细分方法有光学细分法、机械细分法和电子细分法等几种。为了自动检测和检测结果的数字显示,光学细分法和机械细分法都离不开电子技术。实际应用中,电子细分法应用最为广泛。有时,在仪器对细分倍数要求很高时,为了减轻电子细分的工作量或适应某些特殊场合,可对信号先进行光学细分或机械细分,再进行电子细分。

莫尔条纹的光学细分是用光学的方法使光栅在一个栅距的位移内发出多个周期的莫尔条纹信号以达到提高分辨率的目的。



(a) 光栅正向移动 (b) 光栅反向移动

图 2-21 光栅传感器输出信号

机械细分在细分原理上与光学细分完全不同,光学细分的实质是使信号频率倍增,而机械细分则是用微动对准来准确地测取栅距的小数部分。机械细分的最大优点是对莫尔条纹信号波形无严格要求,而且细分倍数大(可达几百);其缺点是检测比较麻烦,需手动对零,并且不能做连续动态检测,使应用范围受到限制。

莫尔条纹电子细分法是根据莫尔条纹信号的周期性,在一个周期内进行插值,获得一个信号周期的高分辨力。从频率角度来看,信号的重复频率提高了,因此又称为倍频,由于细分是在信号一个周期内插进许多个计数脉冲,所以也把细分称为内插或插补,完成细分的电路装置又称为插补器。

电子细分方法具有读数迅速,易于实现检测过程和数据处理自动化,并能用于动态检测等特点,因而得到广泛应用。莫尔条纹的某些电子细分法已不限于光栅系统,而且已被应用到激光、感应同步器及磁栅等检测系统的细分之中。

二、光栅检测系统的几个关键问题

1. 检测精度

光栅线位移传感器的检测准确度,首先取决于标尺光栅刻线划分度的质量和指示光栅扫描的质量(栅线边沿清晰至关重要),其次才是信号处理电路的质量和指示光栅沿标尺光栅导向的误差。影响光栅尺检测准确度的因素主要是在光栅整个检测长度上的位置偏差和光栅一个信号周期内的位置偏差。

光栅尺精度用准确度等级表示为在任意 1 m 检测长度区段内建立在平均值基础上的位置偏差的最大值 $F_{\max}$ 均落在 $\pm\alpha\ \mu\text{m}$ 之内,则 $\pm\alpha$ 为准确度等级,划分为 $\pm 0.1\ \mu\text{m}$ 、 $\pm 0.2\ \mu\text{m}$ 、 $\pm 0.5\ \mu\text{m}$ 、 $\pm 1\ \mu\text{m}$ 、 $\pm 2\ \mu\text{m}$ 、 $\pm 3\ \mu\text{m}$ 、 $\pm 5\ \mu\text{m}$ 、 $\pm 10\ \mu\text{m}$ 和 $\pm 15\ \mu\text{m}$,工业应用上,这是很高的一个要求,现在除几个高端光栅尺生产厂家(如英国的 Taylor 和 Renishaw、德国的 Heidenhain 等)外,很少能够达到这一水平,国内和国际上大多光栅尺生产厂家的精度多随检测长度增加而降低。

玻璃透射光栅和金属反射光栅的栅距只采用 $20\ \mu\text{m}$ 和 $40\ \mu\text{m}$,对衍射光栅栅距采用 $4\ \mu\text{m}$ 和 $8\ \mu\text{m}$ (1 nm 光栅除外),光学二倍频后信号周期为 $2\ \mu\text{m}$ 和 $4\ \mu\text{m}$ 。高级光栅尺要求开式光栅一个信号周期的位置偏差仅为 $\pm 1\%$,闭式光栅仅为 $\pm 2\%$,光栅信号周期及位置偏差见表 2-4。

表 2-4 光栅信号周期及位置偏差

光栅类别	一个信号周期内的位置偏差/ μm
几何光栅 $20\ \mu\text{m}$ 和 $40\ \mu\text{m}$ 开式光栅尺	$\pm 1\%$, 即 $\pm 0.2 \sim \pm 0.4$
封闭式光栅尺	$\pm 2\%$, 即 $\pm 0.4 \sim \pm 0.8$
衍射光栅 $2\ \mu\text{m}$ 和 $4\ \mu\text{m}$ 开式光栅尺	$\pm 1\%$, 即 $\pm 0.02 \sim \pm 0.04$
封闭式光栅尺	$\pm 2\%$, 即 $\pm 0.02 \sim \pm 0.08$

2. 信号处理

光栅检测是将一个周期内的绝对式检测和周期外的增量式检测结合在一起,也就是说在栅距的一个周期内将栅距细分后进行绝对的检测,超过周期的量程则用连续的增量式检

测。为了保证检测的精度,除了对光栅的刻划质量和运动精度有要求外,还必须对光栅的莫尔条纹信号的质量加以要求,因为这影响电子细分的精度,也就是影响光栅检测信号的细分数(倍频数)和检测分辨力(检测步距)。栅距的细分数和准确性也影响光栅检测系统的准确度和检测步距。对莫尔条纹信号质量的要求主要是信号的正弦性和正交性要好,信号直流电平漂移要小。对读数头中的光电转换电路和后续的数字插补电路要求频率特性好,才能保证检测速度大。

在机床使用中,有专门为光栅传感器和 CNC 相联结设计的光栅倍频器,也就是将光栅传感器输出的正弦信号(一个周期是一个栅距)进行插补和数字化处理后给出相位相差为 90° 的方波,其细分数(倍频数)有 5、10、25、50、100、200 和 400,再考虑到数控系统的 4 倍频后对栅距的细分数有 20、40、100、200、400、800 和 1 600,能实现检测步距从 1 nm 到 5 μm ,倍频数取决于光栅信号一个栅距周期的质量。随着倍频数的增加光栅传感器的输出频率要下降,倍频器的倍频细分数和输入频率的关系见表 2-5。

表 2-5 倍频器的倍频细分数和输入频率的关系

倍频细分数	0	2	10	25	50	100
输入频率/kHz	600	500	200	100	50	25

选择不同的倍频数可以得到不同的检测步距。在数显表中可以设置 15 种之多的倍频数,最高频数可达 1 024,而在计算机上用的数据采集卡中最高倍频数可达 4 096。

3. 光栅的参考标记和绝对坐标

1) 光栅绝对位置的确立

光栅检测是增量检测,光栅尺的绝对位置是利用参考标记(零位)确定的。参考标记信号的宽度和光栅一个栅距的信号周期一致,经后续电路处理后参考信号的脉冲宽度和系统一个检测步距一致。为了缩短回零位的距离,一般设计了在检测全长内按距离编码的参考标记,每当经过两个参考标记后就可以确定光栅尺的绝对位置,如栅距为 4 μm 和 20 μm 的光栅尺扫描单元相对于标尺移动 20 mm 后就可确定绝对位置,栅距为 40 μm 的光栅尺要移动 80 mm 才能确定绝对位置。

2) 绝对坐标传感器

为了在任何时刻检测到绝对位置,如海德汉公司设计制造了类似于编码器的 LC 系列绝对光栅尺,它是用 7 个增量码道得到绝对位置,每个码道是不同的,刻线最细码道的栅距有两种,一种是 16 μm ,另一种是 20 μm ,其分辨力都可为 0.1 μm ,准确度为 $\pm 3 \mu\text{m}$ 。检测长度可达 3 m,最大速度为 120 m/min。它所采用的光电扫描原理和常用的透射光栅原理一样,是具有四场扫描的影像检测原理。

4. 光栅制作材料及热性能

光栅尺在 $20^\circ\text{C} \pm 0.1^\circ\text{C}$ 的环境中制造,光栅的热性能直接影响到检测精度,在使用上,光栅尺的热性能最好和检测的对象的热性能一致。考虑到不同的使用环境,光栅尺刻度的载体具有不同的热膨胀系数。现用的材料有玻璃、钢和零膨胀的玻璃陶瓷。普通玻璃的膨胀系数为 8 ppm/K,钢为 10 ppm/K,现在已出现了具有和钢膨胀系数一样的玻璃。这些材料对振动、冲击不敏感,具有确定的热特性,并对气压和湿度的变化也不会有影响。对检测

长度在 3 m 以下的光栅尺载体材料采用玻璃、玻璃陶瓷和钢,超过 3 m 以上的则用钢带。通过对标尺载体所用材料和相应结构的选择,可使光栅尺与被测对象的热性能达到最佳的匹配。

5. 光栅尺故障及处理

光栅尺在使用过程中,经常出现的问题和解决方法见表 2-6。

表 2-6 光栅尺常见故障及解决方法

故障现象	故障原因	故障排除
数显表不显示	电源线未接好	检查电源线,然后接通电源
	电源开关未合上	合上电源开关
	电源电压不合适	电源电压应为 100~250 V
	光栅尺内部电源短路	拔下光栅尺接头
	保险管熔断	检查更换保险管
数显表外壳带电	机床、数显表外壳未良好接地	机床、数显表外壳应良好接地
	220 V 电源对地漏电	检查 220 V 电源
数显表有一轴不计数	光栅尺或数显表故障	与另一轴的光栅尺对调操作后,若计数正常则是光栅尺故障,若计数仍不正常则是数显表故障
	数显表处于某种特殊功能	退出特殊功能
数显表计数不准(出错),显示的操作距离与实际距离不符	机床、数显表外壳未良好接地	机床、数显表外壳应良好接地
	机床设备自身精度不良	检修机床设备
	机床设备的运行速度过快	降低机床设备的运行速度
	光栅尺的安装不符合要求,精度不够	按要求重装光栅尺
	数显表的分辨率与光栅尺不符	重置数显表的分辨率
	操作尺寸单位与公/英制显示不符	转换公/英制显示
	数显表线性误差补偿设置不当	重置数显表的线性误差补偿
	光栅尺超过长度使用范围,读数头撞坏	调整机床或光栅尺的安装,维修或更换光栅尺
光栅尺不计数或有时不计数	固定读数头或尺身的螺母松动	拧紧所有的固定螺丝
	光栅尺超过长度使用范围,读数头撞坏	调整机床或光栅尺的安装,维修或更换光栅尺
	光栅尺内有脏物	维修光栅尺,并改善其使用环境
	光栅尺内部线路短路或断路	维修光栅尺
数显表抗干扰不好	机床、数显表外壳未良好接地	机床、数显表外壳应良好接地
	光栅尺输入的屏蔽线与金属外壳连通不良	重接光栅尺的屏蔽线,使其连接可靠

扩展知识:栅式检测技术简介

1. 栅式检测系统概述

从 20 世纪 50 年代到 70 年代,栅式检测系统从感应同步器发展到光栅、磁栅、容栅和球栅检测系统,这 5 种检测系统都是将一个栅距周期内的绝对式检测和周期外的增量式检测结合起来,检测单位不是像激光一样的是光波波长,而是通用的米制(或英制)标尺。它们有各自的优势,相互补充,在竞争中都得到了发展。由于光栅检测系统的综合技术性能优于其他 4 种,而且制造费用又比感应同步器、磁栅、球栅低,因此光栅检测系统发展得最快,技术性能最高,市场占有率最大。光栅在栅式检测系统中的占有率已超过 80%,光栅长度检测系统的分辨力已覆盖微米级、亚微米级和纳米级,检测速度从 60 m/min 达到 480 m/min,检测长度从 1 m、3 m 达到 30 m 和 100 m。

2. 光栅检测技术发展回顾

计量光栅技术的基础是莫尔条纹,1874 年由英国物理学家瑞利首先提出这种图案的工程价值,直到 20 世纪 50 年代人们才开始利用光栅的莫尔条纹进行精密检测。1950 年德国海德汉首创“DIADUR”复制工艺,也就是在玻璃基板上蒸发镀铬的光刻复制工艺,这才能制造高精度、价廉的光栅刻度尺,使得光栅计量仪器才能为用户所接受,进入商品市场。1953 年英国弗兰提公司提出了一个 4 相信号系统,可以在一个莫尔条纹周期实现 4 倍频细分,并能鉴别移动方向,这就是 4 倍频鉴相技术,这也是光栅检测系统的基础,并一直广泛应用至今。

德国海德汉公司于 1961 年开始开发光栅尺和圆栅编码器,并制造出栅距为 $4\text{ }\mu\text{m}$ (250 线/毫米)的光栅尺和 10 000 线/转的圆光栅检测系统,能实现 $1\text{ }\mu\text{m}$ 和 $1''$ 的检测分辨力。1966 年制造出了栅距为 $20\text{ }\mu\text{m}$ (50 线/毫米)的封闭式直线光栅编码器。在 20 世纪 80 年代又推出“AURODUR”工艺,是在钢基材料上制作高反射率的金属线纹反射光栅。并在光栅一个参考标记(零位)的基础上增加了距离编码。在 1987 年又提出一种新的干涉原理,采用衍射光栅实现纳米级的检测,并允许较宽松的安裝。1997 年推出用于绝对编码器的 EnDat 双向串行快速连续接口,使绝对编码器和增量编码器一样很方便地应用于检测系统。现在光栅检测系统已十分完善,应用的领域很广泛,全世界光栅直线传感器的年产量在 60 万件左右,其中封闭式光栅尺约占 85%,开启式光栅尺约占 15%。

3. 当今采用的光电扫描原理及其产品系列

光栅根据形成莫尔条纹的原理不同分为几何光栅(幅值光栅)和衍射光栅(相位光栅),又可根据光路的不同分为透射光栅和反射光栅。微米级和亚微米级的光栅检测是采用几何光栅,光栅栅距为 $100\text{ }\mu\text{m}$ 至 $20\text{ }\mu\text{m}$,远于光源光波波长,衍射现象可以忽略,当两块光栅相对移动时产生低频拍现象形成莫尔条纹,其检测依据影像原理。纳米级的光栅检测是采用衍射光栅,光栅栅距是 $8\text{ }\mu\text{m}$ 或 $4\text{ }\mu\text{m}$,栅线的宽度与光的波长很接近,则产生衍射和干涉现象形成莫尔条纹,其检测原理称干涉原理。现以较为先进的 3 种检测原理介绍如下。

1) 四场扫描的影像检测原理

采用垂直入射光学系统均为 4 相信号系统,是将指示光栅(扫描掩膜)开 4 个窗口分为 4 相,每相栅线依次错位 $1/4$ 栅距,在接收的 4 个光电元件上可得到理想的 4 相信号,这称为具有四场扫描的影像检测原理(透射法)。海德汉公司的 LS 系列产品均采用此原理,其栅距