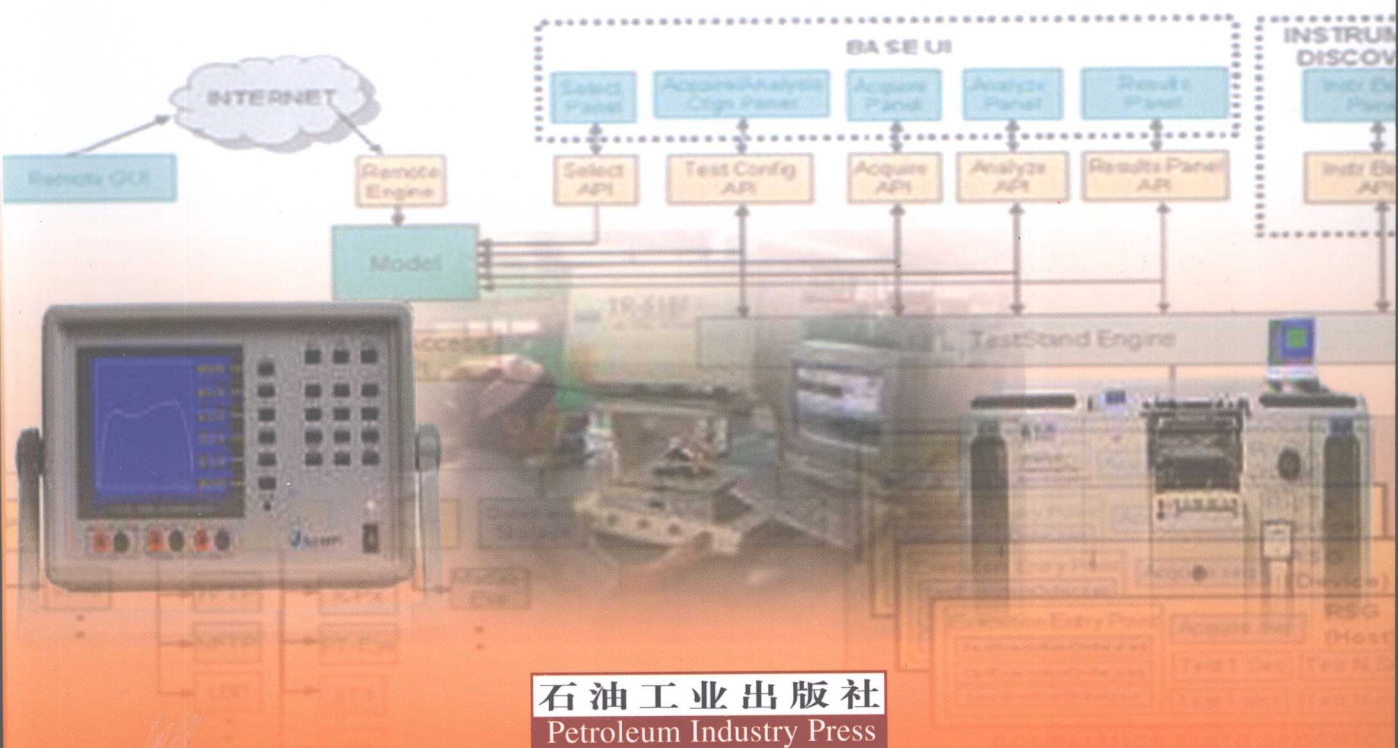


高职高专规划教材

自动测试与检测技术

阎相环 王伟华 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高职高专规划教材

自动测试与检测技术

阎相环 王伟华 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

全书共分十章,讲述了目前国内常用的温度、压力、流量、物位、位移、速度及加速度、磁场与成分、光电等参数的检测方法;常用传感器的工作原理、转换电路、综合应用等。每章附有复习思考题。本书可供高职高专院校电气运行与控制、仪器仪表自动化等专业师生使用,也可作为相关岗位职工技能鉴定与培训的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

自动测试与检测技术/阎相环,王伟华主编.

北京:石油工业出版社,2009.7

高职高专规划教材

ISBN 978-7-5021-7207-7

I. 自…

II. 阎…

III. 自动检测

IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 092143 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:<http://www.petropub.com.cn>

编辑部:(010)64523546 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技有限公司

印 刷:中国石油报社印刷厂

2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:14

字数:354 千字

定价:22.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

本书是根据高职高专规划教材大纲审定会制定的《自动测试与检测技术》教学大纲编写而成。在内容的选择上,突出高职高专教育的职业性、技术性、应用性原则,按照传感器功能组织教材,介绍了目前国内常用的参数检测方法,常用传感器的工作原理、转换电路、综合应用等知识,对检测技术的基本概念、测试数据处理、抗干扰技术等也做了介绍。同时,又兼顾了前瞻性、先进性的特点,注意理论与实践的结合。

全书主要根据被测参数进行分类讲解,以便于读者学会根据被测参数选取相应的传感器。全书共分为十章:第一章是检测技术的基本知识;第二章到第九章介绍了常用参数的检测方法,包括温度、压力、流量物位等;第十章介绍了抗干扰技术的知识。

本书在内容上力求深入浅出,着眼于为实际服务。为便于学习,每章末附有复习思考题,以帮助读者学习时练习与思考。本书主要作为高职高专院校电气运行与控制、电子信息、测试技术与仪器仪表及计算机等类专业的教材,由于教材中各章节具有一定的独立性,其他有关专业,如数控、机械、汽车等专业也可根据需要选用不同的章节。本书也可对从事生产运行、技术管理的人员及参加有关专业技能鉴定的职工提供参考。

本书由阎相环、王伟华主编,孙如田任副主编。参加本书编写的有:克拉玛依职业技术学院孙如田、王波,渤海石油职业学院阎相环、王伟华、郭巧占、李仕卫、王亚欣、管树强,长春职业技术学院杜贵明。其中,孙如田编写第一章和第二章;孙如田、王波编写第三章、第四章;王伟华编写第五章;郭巧占编写第六章;李仕卫编写第七章;王亚欣、王伟华编写第八章;管树强编写第九章;阎相环、杜贵明编写第十章。

由于作者水平有限,书中错误、不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2009年5月

目 录

第一章 检测技术的基础知识	(1)
第一节 检测技术的基本概念	(1)
第二节 测量方法和测量误差	(3)
第三节 传感器的基本特性	(9)
复习思考题	(12)
第二章 温度测量	(13)
第一节 温标及测温方法	(13)
第二节 膨胀式温度计	(15)
第三节 电阻式温度传感器	(17)
第四节 热电偶传感器	(19)
第五节 辐射式温度传感器	(31)
第六节 光纤传感器	(35)
第七节 集成温度传感器	(41)
复习思考题	(44)
第三章 压力检测	(46)
第一节 压力的概念及单位	(46)
第二节 应变式压力计	(47)
第三节 压电式压力传感器	(53)
第四节 压磁式压力传感器	(59)
第五节 电容式压力传感器	(60)
第六节 霍尔式压力计	(64)
第七节 智能型差压变送器	(69)
复习思考题	(70)
第四章 流量检测	(72)
第一节 流量的检测方法	(72)
第二节 差压式流量计	(73)
第三节 容积式流量计	(80)
第四节 速度式流量计	(84)
第五节 漩涡流量计	(88)

第六节 电磁流量计	(90)
第七节 质量式流量计	(92)
复习思考题	(96)
第五章 物位与厚度检测	(97)
第一节 浮力式液位计	(98)
第二节 静压式液位计	(103)
第三节 电容式物位计	(106)
第四节 雷达式液位计	(109)
第五节 超声传感器及物位、厚度检测	(110)
第六节 核辐射物位与厚度检测	(114)
第七节 电涡流传感器与厚度检测	(116)
复习思考题	(120)
第六章 位移检测	(121)
第一节 电感式传感器与位移检测	(121)
第二节 电位器式传感器	(126)
第三节 感应同步器	(129)
第四节 光栅位移测试	(133)
第五节 码盘式传感器	(136)
第六节 电涡流式位移计	(139)
第七节 电容式位移传感器	(140)
复习思考题	(142)
第七章 速度及加速度检测	(144)
第一节 磁电感应式速度传感器	(144)
第二节 光电式转速计	(149)
第三节 测速发电机及电磁脉冲式转速计	(151)
第四节 加速度传感器	(156)
复习思考题	(159)
第八章 磁场与成分参数检测	(160)
第一节 磁敏传感器	(160)
第二节 磁场检测	(163)
第三节 气体成分检测	(165)
第四节 气敏传感器	(171)
第五节 湿度和含水量检测	(174)

第六节 液体浓度检测	(176)
复习思考题	(177)
第九章 光电检测	(178)
第一节 光电效应及光电器件	(178)
第二节 光电耦合器件	(185)
第三节 电荷耦合器件	(190)
第四节 数码照相机	(196)
复习思考题	(201)
第十章 抗干扰技术	(202)
第一节 干扰的类型及产生	(202)
第二节 干扰信号的耦合方式	(204)
第三节 抗干扰技术	(207)
复习思考题	(214)
参考文献	(215)

第一章 检测技术的基础知识

第一节 检测技术的基本概念

一、检测技术的概念

在工业生产过程中,为了正确地指导生产操作,确保安全,保证产品质量和实现生产过程自动化,首先需要准确而及时地检测过程状况的各个有关参数,诸如压力、流量、温度、物位等。检测就是利用传感器将压力、流量、温度、物位等参数转换成为易于测量、传输和处理的电信号。目前微型计算机的应用使得对于上述参数实现了自动检测。自动检测的目的主要是完成两项任务:一是将被测参数直接测量并显示出来,告诉人们或其他系统有关被控对象参数的变化情况;二是用做自动控制系统的前端系统,以便根据参数的变化情况做出相应的控制对策,实现自动控制。因此,检测技术就是人们为了对被控对象所包含的信息进行定性分析和定量掌握所采取的一系列的技术。

二、检测技术的作用

1. 应用检测技术检验和控制产品质量

借助检测工具对产品进行质量评价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主动检测技术或称为在线检测技术使检测和生产加工同时进行,及时地应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而且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. 应用检测技术对大型设备安全经济运行进行监测

电力、石油、化工、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,为此,通常设置故障监测系统对温度、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。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到故障自诊断系统,应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. 自动检测和转换装置的作用

任何生产过程都可以看作是由“物流”和“信息流”组合而成,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。人们为了有目的地进行控制,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,就是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

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,现代化检测手段所能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越高,提供的信息越丰富、越可靠,科学研究取得突破性进展的可能性就越大。此外,理论研究的一些成果,也必须通过实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要求和课题,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,发挥着越来越大的作用。

三、检测系统的组成

一个完整的检测系统或检测装置通常是由传感器、信号调理、信号分析与处理,以及计算机等环节组成,或经信号调理环节后,直接显示和记录。

图 1-1 给出了检测系统的结构框图。

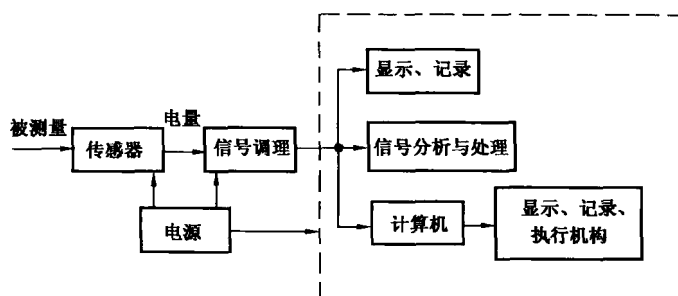


图 1-1 检测系统结构框图

传感器是把被测量(如物理量、化学量等)转换成电学量的装置,显然,传感器是实现自动检测和自动控制的首要环节。

信号调理的作用是将传感器的输出信号转换成易于测量的电压信号或电流信号。通常传感器输出信号是微弱的,就需要由测量电路加以放大,以满足显示记录装置的要求。根据需要测量电路还能进行阻抗匹配、微分、积分、线性化补偿等信号处理工作。

对于动态信号的测量,即动态测试,在现代测试中已经占了很大比例,常常需要对测得的信号进行分析、计算和处理。这个领域中采取的仪器有频谱分析仪、波形分析仪、快速傅里叶变换等,而计算机控制技术在信号处理中已被广泛应用。

第二节 测量方法和测量误差

一、测量方法

测量是在有关理论的指导下,用专门的仪器或设备,通过实验和必要的数据处理,求得被测量的值。在工业生产过程中,测量的目的是为了在限定的时间内,尽可能准确地收集被测对象的未知信息,以便掌握被测对象的参数,进而控制生产过程,例如,炼油厂中合成塔反应层温度的检测。

测量方法的正确与否直接关系到测量工作是否能正常进行,能否符合规定的技术要求。因此,必须根据不同的测量任务要求,找出切实可行的测量方法,然后根据测量方法选择合适的测量工具,组成测量装置,进行实际测量。如果测量方法不合理,即使有高级精密的测量仪器或设备,也不能得到理想的测量结果。

测量方法的分类多种多样,根据在测量过程中,被测量是否随时间变化,分动态测量和静态测量;按测量手续分类,可分为直接测量、间接测量和组合测量;按测量方式分类,可分为偏差式测量法、零位式测量法和微差式测量法等。除了上述分类外,还有另外一些分类方法,例如,按测量敏感元件是否与被测介质接触,可分为接触式测量与非接触式测量;按测量系统是否向被测对象施加能量,可分为主动式测量和被动式测量;按被测性质,可分为时域测量、频域测量、数据域测量和随机测量。

1. 直接测量、间接测量和组合测量

1) 直接测量

用按已知标准标定好的测量仪器,对某一未知量直接进行测量,得出未知量的数值,这类测量称为直接测量。例如,用温度计测量室内温度,用弹簧管压力表测量压力,用磁电式电表测量电压或电流等。

直接测量并不意味着就是用直读式仪表进行测量,许多比较仪器,例如,电桥、电位差计等,虽然不一定能直接从仪器读盘上获得被测量的值,但因参与测量的对象就是被测量本身,所以仍属于直接测量。

直接测量直观、简便、迅速,是工程技术中采用的比较广泛的测量方法。

2) 间接测量

对几个与被测量有确切函数关系的物理量进行直接测量,然后通过已知函数关系的公式、曲线或表格,求出该未知量,这类测量称为间接测量。例如,在直流电路中,直接测出负载的电流 I 和电压 U ,根据功率 $P = UI$ 的函数关系,便可以求得负载消耗的电功率。

间接测量方法手续较烦琐,花费的时间也较多,一般在直接测量很不方便、误差较大及缺乏直接测量的仪器等情况下才采用。这类方法大多在实验室使用,但工程中有时也用。

3) 组合测量

在测量中,各个未知量以不同的组合形式出现,根据直接测量和间接测量所得到的数据,通过解一组联立方程而求出未知量的数值,这类测量称为组合测量,又称为联立测量。组合测量中,未知量与被测量存在已知的函数关系(表现为方程组)。例如,为了测量电阻的温度系数,可利用电阻值与温度间的关系公式,即

$$R_t = R_{20} + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2 \quad (1-1)$$

式中 R_t ——电阻的阻值, Ω ;

R_{20} ——电阻在 20°C 时的阻值, Ω ;

α, β ——电阻的温度系数;

t ——测试时的温度, $^\circ\text{C}$ 。

为了测出电阻的 α, β 值, 采用改变测试温度的办法, 在三种温度 t_1, t_2 及 t_3 下, 分别测得对应的电阻值 R_{t_1}, R_{t_2} 及 R_{t_3} , 然后代入式(1-1), 得到一组联立方程, 解此方程组后, 便可求得 α, β 和 R_{20} 。

组合测量的测量过程比较复杂, 测量时间较长, 但能够达到较高的精度, 是一种特殊的精密测量方法, 一般适用于科学实验或特殊场合。

2. 偏差式测量法、零位式测量法和微差式测量法

1) 偏差式测量法

在测量过程中, 用仪表指针相对于刻度线的位移(偏差)来直接表示被测量, 这种方法称为偏差式测量法, 它的测量过程比较简单、迅速, 但测量精确度较低, 被广泛用于工程测量。

如图 1-2 所示, 隔离膜片在被测介质压力作用下发生变形, 产生一个反作用力, 密封液被压, 形成一个相当于 p 的压力, 传导至压力仪表, 这时指针偏移在标尺对应的刻度值, 此值就表示被测介质压力值。

2) 零位式测量法

用已知的标准量去平衡或抵消被测量的作用, 并用指零式仪表的零位指示检测测量系统的平衡状态, 从而判定被测量值等于已知标准量的方法称为零位式测量法。例如, 用电位差计测量待测电动势, 如图 1-3 所示为直流电位差计简化等效电路图。测量前先将被测电路断开, 在电动势 E 的作用下, 调节 R_{P_1} , 校准回路的工作电流 I , 从而在电阻 R_P 上可得到某一基准电压 U_x 。测量时调整电位器 R_P 的活动触点, 使检流计 G (作为零指示) 回零, 即 $I_g = 0$, 则 $U_k = U_x$, 这样, 基准电压 U_k 的值就表示了被测未知电压 U_x 。

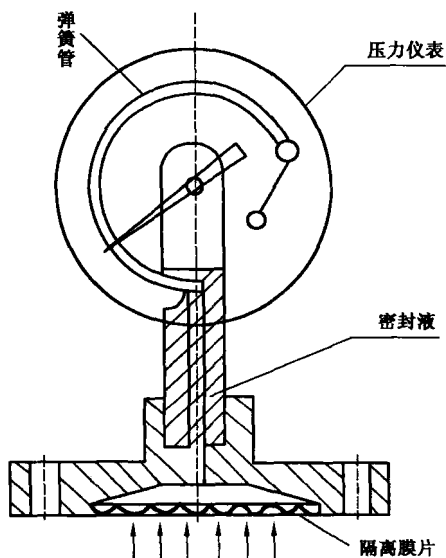


图 1-2 隔膜压力表

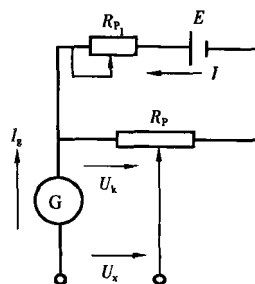


图 1-3 直流电位差计原理图

在零位式测量中,标准量具处于测量系统中,它提供一个可调节的标准量,被测量能够直接与标准量相比较,测量误差主要取决于标准量的误差。只要零指示器的灵敏度足够高,就可以获得较高的测量精度。但是这种方法需要平衡操作,测量过程较复杂,花费时间长,即使采用自动平衡操作,反应速度也受到限制,因此只能适用于变化缓慢的被测量,而不适于变化较快的被测量。

3) 微差式测量法

微差式测量法是综合了零位式测量法和偏差式测量法的优点而提出的一种测量方法,它将被测的未知量与已知量的标准进行比较,并取得差值,然后用偏差式测量法求得此偏差值。

这种方法的基本思路是将被测量 x 的大部分作用先与已知标准量 N 的作用相抵消,剩余部分即两者差值 $\Delta = x - N$,这个差值再用偏差法测量。微差式测量中,总是设法使差值 Δ 很小,因此可选用高灵敏度的偏差式仪表测量,即使差值的测量精度不高,但最终结果仍可达到较高的精度。例如,图 1-4 所示为利用高灵敏度电压表和电位差计,采用微差法测量稳压电源负载变化时,输出电压

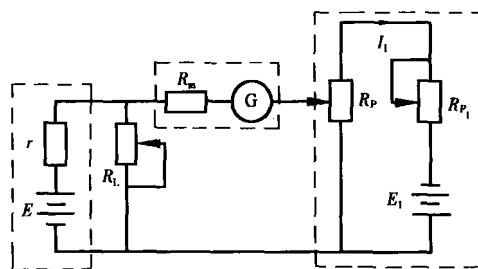


图 1-4 微差法测量稳压电源输出电压的微小变化

的微小变化值。在图 1-4 中, r 和 E 表示稳压电源的等效内组合电动势, R_L 表示稳压电源的负载电阻; R_P , R_F 和 E_1 组成电位差计, G 和 R_m 为高灵敏度电压表头和内阻。在测量之前,应预先调整 R_F 值,使电位差计工作电流 I_1 为基准值。然后,使稳压电源的负载 R_L 为额定值,进而调整 R_P 的活动触点位置,使高灵敏度电压表指零。增加或减小 R_L 值,这时高灵敏度电压表偏差示值,就是使负载变化时所引起的稳压电源输出的微小波动值。

需要注意的是,在这种电路中,要求高灵敏度电压表的内阻 R_m 足够大,即要求 $R_m \gg R_P$, R_F , R_L 及 r , 否则测量误差会较大。

微差式测量法的优点是反应速度快,测量精度高,不需要进行反复的平衡操作,所以特别适合于在线控制参数的测量。

二、测量误差

对周围所发生的量变现象,常常要借助于不同的实验与测量来完成。在实际测量中,由于测量仪器的不准确,测量方法的不完善,以及测量环境、测量人员本身等造成各种因素的影响,会使实验中测得的值和它的真实值之间造成差异,即产生测量误差。误差公理告诉我们:任何实验结果都是有误差的,误差自始至终存在于一切科学实验和测量之中,被测量的真值是永远难以得到的。尽管如此,仍然可以设法改进检测工具和实验手段,并通过对检测数据的误差分析和处理,使测量误差处在允许的范围之内,或者说,达到一定的测量精度。这样的测量结果就被认为是合理的、可信的。

测量误差的主要来源可以概括为工具误差、环境误差、方法误差和人员误差等。

在分析测量误差时,人们采用的被测量真值是指在确定的时间、地点和状态下,被测量所表现出来的实际大小。一般来说,真值是未知的,所以误差也是未知的,但有些值可以作为真值来使用。例如,理论真值,它是理论设计和理论公式的表达值。还有计量学约定真值,它是由国际计量学大会确定的长度、质量、时间等基本单位。另外,考虑到多级计量网中计量标准

的传递,高一级标准器的量值也可以作为相对真值。

为了便于对误差进行分析和处理,人们通常把测量误差从不同角度进行分类。按照误差的表示方法可以分为绝对误差和相对误差;按照误差出现的规律,可以分为系统误差、随机误差和粗大误差;按照被测量与时间的关系,可以分为静态误差和动态误差等。

1. 绝对误差与相对误差

1) 绝对误差

绝对误差是某量值的给出值与其真值之差。设真值(指在一定的时间和空间范围内被测量的真实大小)为 x_0 ,给出值(包括测量值、示值、标称值、近似值等)为 x ,则绝对误差 Δx 为

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1-2)$$

由于真值 x_0 一般来说是未知的,所以在实际应用时,常用实际值 A 来代替真值 x_0 ,并采用高一级标准仪器的示值作为实际值,即通常用

$$\Delta x = x - A \quad (1-3)$$

来表示绝对误差。绝对误差有符号和单位,它的单位与被测量相同。

在实际测量中,还经常用到修正值这个名称,它的绝对值与 Δx 相等,但符号相反,用符号 c 表示,即

$$c = -\Delta x = A - x \quad (1-4)$$

对高准确度的仪器仪表,常给出修正值,利用修正值可求出被测量的准确的实际值,即真值

$$A = x + c \quad (1-5)$$

修正值给出的方式可以是具体的数值,也可以是一条曲线、公式或数表。有些智能化仪表中,修正值预先被编制成相关程序,储存在仪器中,所得测量结果已自动对误差进行修正。

绝对误差越小,说明指示值越接近真值,测量精度越高。但这一结论只适用于被测量值相同的情况,而不能说明不同值的测量精度。例如,某测量长度的仪器,测量10mm的长度,绝对误差为0.001mm,另一仪器测量200mm长度,误差为0.01mm,这就很难按绝对误差的大小来判断测量精度高低了,这是因为后者的绝对误差虽然比前者大,但它相对于被测量的值却显得较小。为此,人们引入了相对误差的概念。

2) 相对误差

相对误差是绝对误差 Δx 与真值 A 的比值,常用百分数表示,即

$$\gamma = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% \approx \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-6)$$

由于绝对误差可能为正值或负值,所以相对误差也可能出现正值或负值。绝对误差通常用于衡量测量的准确度。

3) 引用误差

引用误差是一种简化和实用方便的相对误差,常在多挡和连续刻度的仪器仪表中应用。这类仪器仪表可测范围不是一个点,而是一个量程,这时如果按式(1-6)计算,由于分母是变量,随被测量的变化而变化,所以计算很麻烦。为了计算和划分准确度等级的方便,通常采用引用误差,它是从相对误差演变过来的,其分母为常数,取仪器仪表中的满刻度值,采用了引用误差的概念。引用误差 γ_m 为

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% = \frac{x - A}{x_m} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 x_m ——仪器仪表的满刻度值。

对于多挡仪器仪表,其满刻度值应和量程范围相对应,即

$$\gamma'_m = \frac{kx - A}{kx_m} \times 100\% \quad (1-8)$$

式中 k ——不同量程式的比例系数。

由引用误差的定义可知,对于一个确定的仪器仪表,它的最大引用误差值也是确定的,这就为仪器仪表划分准确度等级提供了方便。仪表就是按引用误差 γ_m 之值进行分级的。我国过程检测控制仪表的精度等级有 0.005, 0.02, 0.1, 0.35, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 4.0 等。一般工业检测用仪表为 0.1 ~ 4.0 级。级数越小,精度(准确度)就越高。

如果仪表为 N 级,则说明该仪表的最大引用误差不超过 $N\%$, 即 $|\gamma_m| \leq N\%$, 但不能认为它在各刻度上的示值误差都具有 $N\%$ 的准确度。

结合式(1-6)和式(1-7)能看出,如果某电表为 N 级,满刻度值为 x_m , 测量点为 x , 则电表在该测量点的最大相对误差 γ 可以表示为

$$\gamma = \frac{x_m}{x} \times N\% \quad (1-9)$$

因 $x \leq x_m$, 所以当 x 越接近于 x_m 时,其测量准确度越高。在使用这类仪表测量时,应选择指针尽可能接近满刻度值的量程,一般最好能工作在不小于满刻度值 $2/3$ 以上的范围。

例如,某待测电流约为 100mA, 现有 0.5 级量程为 0 ~ 300mA 和 1.5 级量程为 0 ~ 100mA 的两个电流表,用哪一个电流表测量较好?

解:用 0.5 级量程为 0 ~ 300mA 时,最大相对误差为

$$\gamma_1 = \frac{x_m}{x} \times N\% = \frac{300}{100} \times 0.5\% = 1.5\%$$

用 1.5 级量程为 0 ~ 100mA 时,最大相对误差为

$$\gamma_2 = \frac{x_m}{x} \times N\% = \frac{100}{100} \times 1.5\% = 1.5\%$$

结果说明,如果选择合适的量程,即使用 1.5 级仪表进行测量,也可以与 0.5 级仪表同样准确。所以,在选用仪表时,应根据被测量的大小,兼顾仪表的级别和测量上限,合理地选择,不要单纯地追求高等级的仪表。

2. 误差的分类和来源

根据误差的性质可分为:系统误差、随机误差和粗大误差。

1) 系统误差

在相同的条件下,多次测量同一量时,所出现误差的绝对值和符号保持不变,或在条件改变时,与某一个或多个因素成函数关系有规律的误差,称为系统误差。例如,仪表的刻度误差和零位误差,其误差的数值和符号不变的称为恒值系统误差。应变片电阻随温度的变化,称为变值系统误差,产生的主要原因是检测装置制造、安装,或使用测量方法不正确、测量者对仪器使用不当、环境条件的变化等。

系统误差表明了一个测量结果偏离真值或实际值的程度。系统误差越小,则测量结果的准确度越高。因此,系统误差经常用来表征测量准确度的高低。

2) 随机误差

在相同条件下,多次测量同一量时,其误差的大小和符号以不可预见的方式变化,这种误差称为随机误差,又称为偶然误差。随机误差是测量过程中,许多独立的、微小的、偶然的因素引起的综合结果。在任何一次测量中,只要灵敏度足够高,随机误差总是不可避免的。而且在同一条件下,重复进行的多次测量中,它或大或小,或正或负,既不能用实验方法消除,也不能修正。但对多次测量的总体却服从统计规律,通过对测量数据的统计处理,能在理论上估计随机误差对测量结果的影响。

随机误差的大小表明测量结果重复一致的程度,即测量结果的分散性。通常,用精密度表示随机误差的大小。随机误差大,测量结果分散,精密度低。反之,测量结果的重复性好,精密度高。

如图 1-5 所示射击比赛结果分布图的例子形象地说明随机误差和测量结果的影响,也能说明准确度、精密度和精确度的含义。

图 1-5(a)的系统误差小,准确度较高,但随机误差较大,精密度较低。图 1-5(b)的系统误差大,准确度较低,但随机误差较小,精密度较高。图 1-5(c)的系统误差和随机误差都较小,精确度高。



图 1-5 射击比赛结果分布图

在测量中,希望得到精确度高的结果。需要说明的是,在任何一次测量中,系统误差与随机误差一般都是同时存在的,而且两者之间并不存在绝对的界限。随着人们对误差来源及其变化规律认识加深,就有可能把以往认识不到而归为随机误差的某项误差明确为系统误差;反之,如果认识不足,测试条件有限时,也常把系统误差当作随机误差,并在数据上进行统计分析处理。

3) 粗大误差

粗大误差是一种显然与实际值不服的误差,简称粗差。如测错、读错、记错以及实验条件未达到预定的要求而匆忙实验等,都会引起粗差。含有粗差的测量值称为坏值或异常值,在处理数据时应剔除掉。所以坏值剔除后,测量重要估计的误差只有系统误差和随机误差两类。

误差的来源是诸多方面的,例如,测量用的工具不完善(称为工具误差);测试的设备和电路的安装、布置、调整不完善(称为装置误差);测量方法本身的理论根据不完善(称为方法误差);测量环境,如温度、湿度、气压、电磁场等变化(称为环境误差)等。

第三节 传感器的基本特性

一、传感器的概述

1. 传感器的定义

传感器的定义是:能感受规定的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。定义中的被测量就是各类非电量,包括物理量、化学量、生物量等;可用输出信号就是便于处理和传输的电量,即电压量和电流量。

2. 传感器的组成

传感器通常由敏感元件和转换元件组成,如图 1-6 所示。



图 1-6 传感器的组成方框图

敏感元件就是传感器中能够直接感受或响应被测量(输入的非电量)的部分。

转换元件就是传感器中能将敏感元件输出的非电量转换成适于传输和测量的电量信号的部分。

需要说明的是:有些传感器敏感元件和转换元件两部分是分开的,如热敏电阻,电容式传感器等。有些是合二为一,如压电传感器、霍尔传感器等,将非电量直接转换成电量。

3. 传感器的分类

传感器的种类很多,分类方法也不统一,这里仅介绍常用的分类方法。

按基本效应可分为:物理型、化学型、生物型等,它们分别以转换中物理效应、化学效应等命名。

按工作原理可分为:电阻式、电感式、光电式、热电式等,它们以传感器转换信号的工作原理命名。

按输入量可分为:温度、压力、流量、加速度、位移等,它们以被测量命名。

按输出信号的形式可分为:模拟式、数字式,分别以模拟信号和数字信号命名。

按能量关系可分为:能量转换型(传感器的输出量直接由被测量能量转换而得)、能量控制型(传感器的输出量有外源供给,但受被测量输入量控制)。

按结构原理可分为:结构型(以转换元件结构参数变化实现信号转换)、物理型(以转换元件物理特性变化实现信号转换)。

二、传感器的基本特性

根据被测对象的变化状态,可以把传感器的输入量分为静态量和动态量两类。静态量是指传感器的输入量为稳定状态信号或变化极其缓慢的准静态信号;动态量是指传感器的输入量为周期信号、瞬变信号或随机信号等随时间变化的信号。无论是静态量还是动态量,传感器的输出电量都必须不失真地重视被测非电量的变化,这取决于传感器的基本特性,即输入—输出特性。传感器的基本特性可用静态特性和动态特性来描述。

1. 静态特性

传感器质量的好坏,通过若干性能指标来表示。

1) 量程和范围

量程范围是正常工作条件下,检测系统或以表示能够测量的被测量值的总范围,通常以测量范围的下限值和上限值来表示。例如,某温度计的测量范围是 $-10 \sim +100^{\circ}\text{C}$ 。

量程是指测量上限和下限的代数差;范围是指仪表能按规定精确度进行测量的上限和下限的区别。例如,一个位移传感器的测量下限是 -5mm ,测量上限 $+5\text{mm}$,则这个传感器的量程为 $5 - (-5) = 10\text{mm}$ 。

2) 线性度

线性度是用实测的检测系统输入—输出特性曲线与拟合直线之间的最大偏差 Δ_m 与满量程输出 Y_{FS} 的百分比来表示,即

$$E_f = \frac{\Delta_m}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-10)$$

由于线性度(非线性误差)是以所参考的拟合直线为基准算得的,所以基准线不同,所得线性度就不同。拟合直线的选取方法很多,采用理论直线作为拟合直线,确定的检测系统线性度,称为理论线性度。理论直线通常取连接理论曲线坐标零点和满量程输出点的直线,如图 1-7 中直线 1 所示。

采取不同的方法选取拟合直线,还可以得到不同的线性度。例如,使拟合直线通过实际特性曲线的起点和满量程点,可以得到端基线性度。使拟合直线与特性曲线上各点偏差的平方和为最小,可得到最小二乘法线性度等,如图 1-7 曲线 2 所示。

3) 迟滞

迟滞特性表明检测系统在正向(输入量增大)和反向(输入量减小)行程期间,输入—输出特性曲线不一致的程度。也就是说,对同样大小的输入量,检测系统在正、反行程中,往往对应两个大小不同的输出量。通过实验,找出输出量的这种最大差值,并以满量程输出 Y_{FS} 的百分数表示,就得到了迟滞的大小,如图 1-8 所示。

$$E_t = \frac{\Delta_m}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-11)$$

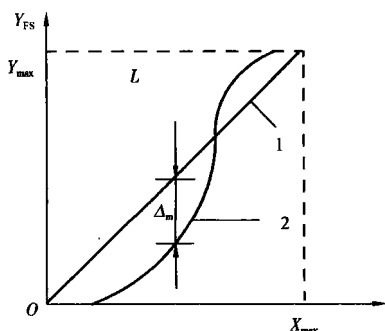


图 1-7 理论线性度示意图

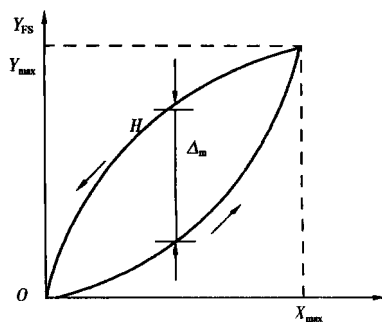


图 1-8 迟滞特性示意图