

教育部职业教育与成人教育司推荐教材配套教学用书
电子信息、电气控制应用技术培训用书

传感器技术及应用

赵珺蓉 主编



 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

教育部职业教育与成人教育司推荐教材配套教学用书
电子信息、电气控制应用技术培训用书

传感器技术及应用

Chuanganganqi Jishu ji Yingyong

赵珺蓉 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是教育部职业教育与成人教育司推荐教材配套教学用书,根据“任务引领、工作过程导向”的项目教学理念编写而成。

本书分为三章,第一章介绍传感器的特点、结构、基本工作原理等基础知识。第二章通过若干个实训项目,讲述电路的设计过程,介绍各类常见传感器的工作原理及特点,测量转换电路,温度补偿等知识,以“做中学,学中做”为目的,突出培养和训练学习者的应用设计能力。第三章介绍使用传感器时需注意的抗干扰问题。附录部分列出了当前市场上常用的部分厂家生产的传感器类型,供读者参考。

本书附学习卡/防伪标,按照书末“郑重声明”下方的使用说明进行操作,可查询图书真伪,也可登录 <http://sve.hep.com.cn>,上网学习,下载资源。

本书内容简明扼要、深入浅出,可作为中等职业学校传感器应用技术课程的教材,也可作为电子信息、电气控制应用技术或机电工程技术人员的培训用书。

191571

图书在版编目(CIP)数据

传感器技术及应用/赵珺蓉主编. —北京:高等教育出版社, 2010.6

ISBN 978-7-04-029088-2

I. ①传… II. ①赵… III. ①传感器-专业学校-教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 091394 号

策划编辑 李宇峰 责任编辑 许海平 封面设计 于涛 责任绘图 尹莉
版式设计 张岚 责任校对 俞声佳 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 河北省财政厅票证文印中心

开本 787×1092 1/16
印张 14.5
字数 350 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2010年6月第1版
印次 2010年6月第1次印刷
定 价 23.70元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 29088-00

目 录

第一章 传感器的基本工作原理	1	项目十三 汽车中的传感器应用 ...	168
项目一 传感器及其检测	1	项目十四 机器人中的传感器应用 ...	178
项目二 测量方法、误差及分类	8	第三章 检测技术的抗干扰技术	193
第二章 常用传感器及其应用	14	项目一 干扰的产生	193
项目一 电子健康秤	14	项目二 干扰的抑制	199
项目二 太阳能水温自动控制	30	附录	212
项目三 煤气报警器	47	附录一 热敏电阻分度表	212
项目四 光控路灯照明开关	66	附录二 常用光敏电阻规格参数 ...	215
项目五 转速测量	73	附录三 TLOS 系列超声波 传感器	216
项目六 音乐娃娃	89	附录四 YDYT9800 电涡流 传感器	218
项目七 简易汽车倒车报警器	97	附录五 空调温度及压力传感器 ...	219
项目八 汽车油箱液位控制	113	附录六 ROBO 探险家机器人	220
项目九 简易手持金属探测器	127	主要参考文献	222
项目十 机械振动测试仪	139		
项目十一 打印机精确定位	149		
项目十二 空调器中的传感器应用 ...	158		

第一章 传感器的基本工作原理

项目一 传感器及其检测

项目目标

1. 掌握传感器的概念及其基本特性。
2. 掌握传感器检测系统的概念及其构成。

一、认识传感器及其检测电路

取一只光敏电阻，如图 1.1.1 所示。用万用表测量其在光线充足状态下的电阻值，得到数据 R_{G1} ；遮住其感光部位，再万用表测量其电阻值，得到数据 R_{G2} ，比较两次测量的结果，会发现 $R_{G1} < R_{G2}$ ，这就是光敏电阻的特性。光敏电阻对光线十分敏感，它在无光照射时，呈高阻状态；当有光照射时，其电阻值迅速减小。

可以利用光敏电阻设计居民楼梯间的光控照明电路，当天亮时灯光自动熄灭，当天黑或光线较暗时灯自动开启照明。设计电路如图 1.1.2 所示。图中所用元器件比较少，电路简单。

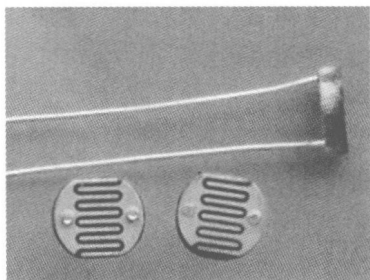


图 1.1.1 光敏电阻

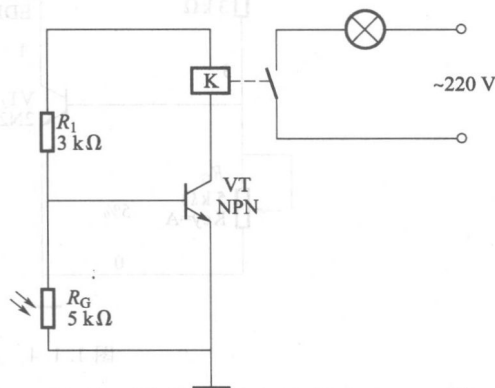


图 1.1.2 光敏电阻控制灯光电路

工作原理分析：光敏电阻的电阻值因光线的变化而变化。当周围环境光线变弱时，光敏电阻 R_G 的电阻值会随之增大，通过分压电路，三极管因基极电压 U_B 升高而导通，继电器 K 线圈得电，从而继电器触点闭合，使灯所在回路得电，灯点亮；反之，灯熄灭。

对该电路进行仿真^①，光敏电阻 R_G 用电位器代替，得到的结果如图 1.1.3 和图 1.1.4 所示。图 1.1.3 为光线较暗情况下，照明灯亮。图 1.1.4 为光线充足情况下，照明灯灭。

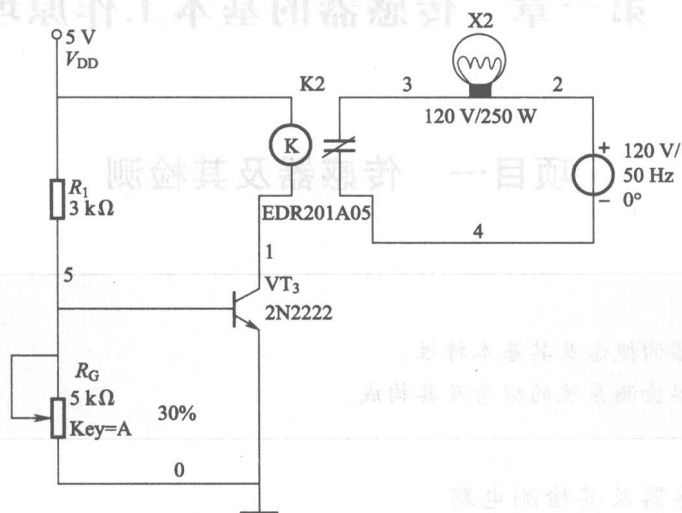


图 1.1.3 光线较暗情况下灯亮

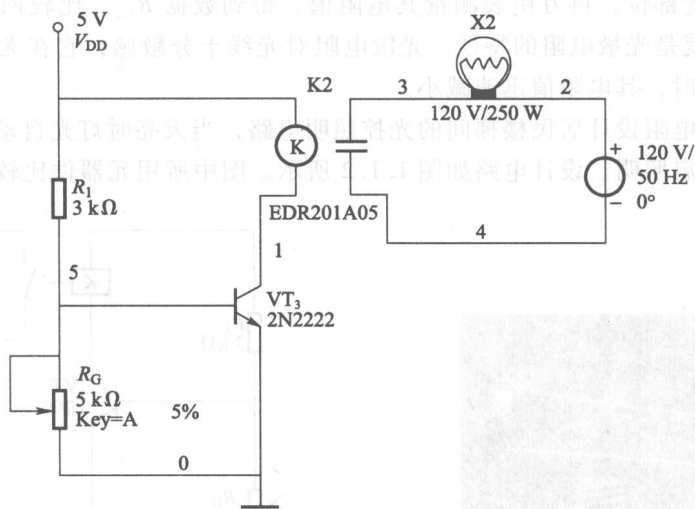


图 1.1.4 光线充足情况下灯灭

图 1.1.2 电路的电流驱动能力较弱，而继电器线圈的吸合电流较大，故实用性较差。实际应用电路可采用如图 1.1.5 所示电路。图中用到的元器件有：一只光敏电阻 R_G ，1 只 PNP 三极管 VT_1 ，1 只 NPN 三极管 VT_2 ，两只电阻 R_1 和 R_2 ，继电器 K，灯 HL 以及直流电源。实用电路也可参考第二章项目四。

① 如无特殊说明，本书所用仿真软件为 Multisim。

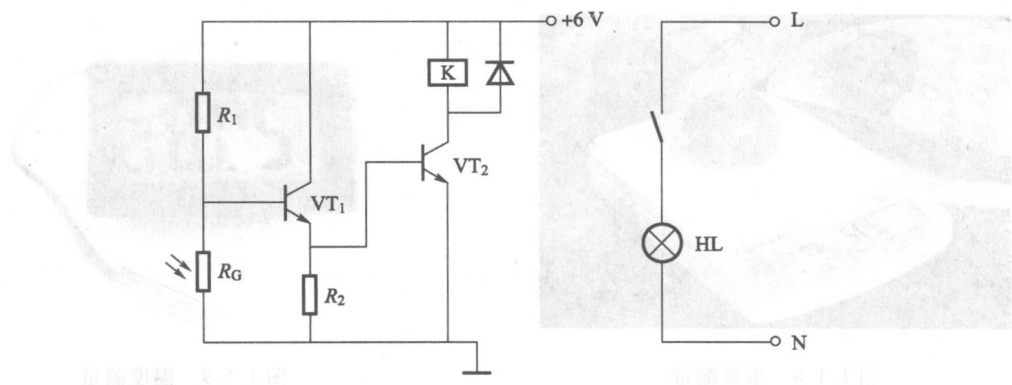


图 1.1.5 光控照明电路

二、传感器及其基本特性

传感器技术是一门知识密集型技术，它与许多学科有关。传感器是把非电学物理量（如位移、速度、压力、温度、湿度、流量、声强、光照度等）按照一定的规律转换成易于测量、传输、处理和控制的电学量或电路通断的一种元件。输出量可以分成两类：一类是模拟量，如电阻、电压、电流等，便于计量，如光敏电阻测量电路就属于这一类；另一类是开关量，如电路的通与断，便于实现控制的功能，如干簧管测量电路就属于这一类。

传感器的测量原理各种各样，其种类十分繁多，分类方法也很多，但目前一般采用两种分类方法：一是按被测参数分类，如温度、压力、位移、速度、重量等，如图 1.1.6 ~ 图 1.1.9 等所示；二是按传感器的工作原理分类，如应变式、电容式、压电式、磁电式等。

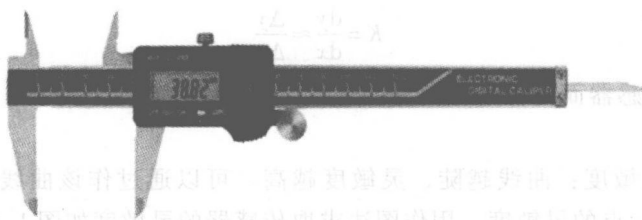


图 1.1.6 测量长度



图 1.1.7 雷达测车速

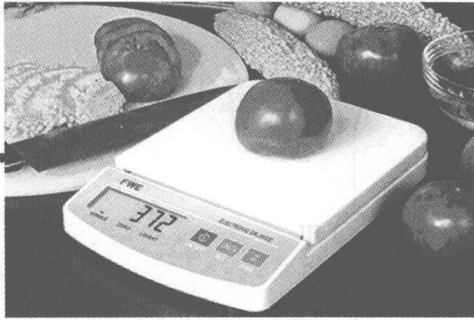


图 1.1.8 重量测量

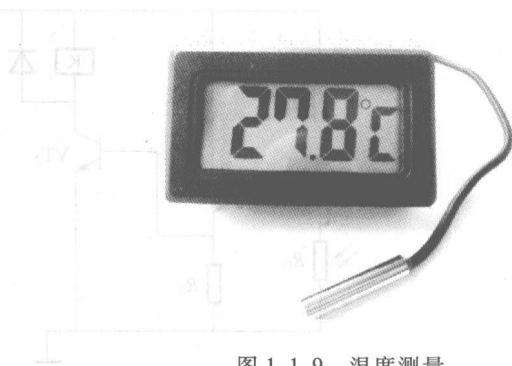


图 1.1.9 温度测量

通常传感器由敏感元件和转换元件组成。其中，敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分，转换元件是指传感器中将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的电信号部分。由于传感器的输出信号一般都很微弱，因此需要有信号调理与转换电路对其进行放大、运算、调制等。随着半导体器件与集成技术在传感器中的应用，传感器的信号调理与转换电路可以安装在传感器的壳体里或与敏感元件一起集成在同一芯片上。此外，信号调理与转换电路以及某些传感器工作必须有辅助的电源，因此，信号调理与转换电路以及所需的电源都应作为传感器组成的一部分。

传感器的静态特性是指被测量的值处于稳定状态时的输入与输出关系。只考虑传感器的静态特性时，输入量与输出量之间的关系式中不含有时间变量。衡量静态特性的重要指标是灵敏度、分辨力、线性度、迟滞和稳定性等。

(一) 灵敏度

$$K = \frac{dy}{dx} \approx \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-1-1)$$

结论：对线性传感器而言，灵敏度为一常数；对非线性传感器而言，灵敏度随输入量的变化而变化。

从输出曲线看灵敏度：曲线越陡，灵敏度越高。可以通过作该曲线的切线的方法（作图法）来求得曲线上任一点的灵敏度，用作图法求取传感器的灵敏度如图 1.1.10 所示。由切线的

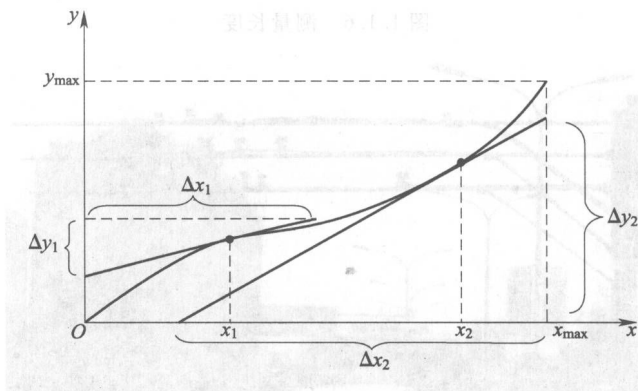


图 1.1.10 用作图法求取传感器的灵敏度

斜率可以看出, x_2 点的灵敏度比 x_1 点高。

(二) 分辨力

分辨力是指传感器能检出的被测信号的最小变化量, 是有量纲的数。当被测量的变化小于分辨力时, 传感器对输入量的变化无任何反应。

对数字仪表而言, 如果没有其他附加说明, 一般可以认为该表的最后一位所表示的数值就是它的分辨力。一般情况下, 不能把仪表的分辨力当作仪表的最大绝对误差。

仪表或传感器中, 还经常用到“分辨率”的概念。将分辨力除以仪表的满量程就是仪表的分辨率, 分辨率常以百分比或几分之一表示, 是量纲为 1 的数。

(三) 线性度

人们总是希望传感器的输入与输出的关系呈正比, 即为线性关系。这样可使显示仪表的刻度均匀, 在整个测量范围内具有相同的灵敏度, 并且不必采用线性化措施。但大多数传感器的输入与输出特性总是具有不同程度的非线性。

线性度又称为非线性误差, 是指传感器实际特性曲线与拟合直线(有时也称为理论直线)之间的最大偏差与传感器最大测量范围内的输出百分比, 多取其正值。它可用下式表示

$$\gamma_L = \frac{\Delta_{L\max}}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100\% \quad (1-1-2)$$

(四) 迟滞

迟滞是指传感器正向特性和反向特性的不一致程度, 可用下式表示

$$\gamma_H = \frac{1}{2} \times \frac{\Delta_{H\max}}{y_{\max}} \times 100\% \quad (1-1-3)$$

(五) 稳定性

稳定性包含稳定度和环境影响量两个方面。稳定度指的是仪表在所有条件都恒定不变的情况下, 在规定的时间内能维持其示值不变的能力。稳定度一般以仪表的示值变化量和时间的长短之比来表示。环境影响量是指由外界环境变化而引起的示值变化量。示值的变化由两个因素构成: 一是零点漂移; 二是灵敏度漂移。零点漂移是指仪表调零后, 在受外界环境影响后, 输出不再等于零, 而是有一定的漂移量。灵敏度漂移则是指仪表的输入/输出曲线的斜率发生变化。造成环境影响量的因素有温度、湿度、气压、电源电压、电源频率等。

三、传感器的作用及发展方向

“没有传感器技术就没有现代科学技术”的观点现在已为全世界所公认。信息采集的关键是传感器, 传感器的性能在很大程度上决定着整个信息的性能, 所以传感器技术已成为现代信息技术的重要支柱之一。传感器技术在当代科学技术中占有十分重要的地位, 是高新技术竞争的核心技术之一, 其开发、研究和生产能力与应用水平直接影响到科学技术的发展和运用。

科学技术越发达、自动化程度越高, 对各种传感器的需求就越大。上世纪实现的工业生产的自动化, 几乎主要依靠传感器来监视和控制生产过程的各个参数, 使设备和系统正常运行在最佳状态, 保证生产的高效率和高质量。

现代传感器既是高科技的结晶, 又在高科技中起举足轻重的作用。如美国“阿波罗”登

月飞行器安装的各种传感器达 3 200 个, 一辆现代化汽车所用传感器达数十种。

20 世纪 80 年代以来, 现代高科技对传感器技术提出更高、更新的要求(传统的应变式、电容式、电感式传感器难以做到)。科学家不断研究新原理、开发新材料、采用新工艺(微细加工技术, 纳米技术, 集成技术, 低温超导技术等), 以扩大传感器的功能与应用范围。

四、传感器检测的概念及系统构成

(一) 传感器检测的概念

自动检测技术是指能够自动地完成整个检测处理过程的技术。自动检测系统中要用到各种各样的传感器, 传感器检测是指利用各种物理、化学效应, 选择合适的方法与装置, 将生产、科研、生活等方面的有关信息通过检查与测量的方法赋予定性或定量结果的过程。

自动检测涉及的内容较广泛, 常见的自动检测涉及的内容如表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 常见的自动检测涉及的内容

被测量类型	被 测 量
热工量	温度、热量、比热容、热流、热分布、压力(压强)、压差、真空度、流量、流速、物位、液位、界面
机械量	直线位移、角位移、速度、加速度、转速、应力、应变、力矩、振动、噪声、质量(重量)
几何量	长度、厚度、角度、直径、间距、形状、平行度、同轴度、粗糙度、硬度、材料缺陷
物体性质和成分量	气体、液体、固体的化学成分、浓度、黏度、湿度、密度、酸碱度、浊度、透明度、颜色
状态量	工作机械的运动状态(启停等)、生产设备的异常状态(超温、过载、泄漏、变形、磨损、堵塞、断裂等)
电工量	电压、电流、功率、电阻、阻抗、频率、脉宽、相位、波形、频谱、磁场强度、电场强度、材料的磁性能

(二) 自动检测系统的构成

(1) 系统原理框图 将自动检测系统中的主要功能或电路的名称画在方框内, 按信号的流程, 将几个方框用箭头联系起来, 有时还可以在箭头上标出信号的名称。利用框图可以简明、清晰地说明自动检测系统的构成及工作原理。对具体的自动检测系统或传感器而言, 必须将框图中的各项赋以具体的内容。图 1.1.11 为自动检测系统原理框图。

(2) 传感器 能将被测的非电量转换成电量的元件。

(3) 信号处理电路 信号处理电路包括放大(或衰减)电路、滤波电路、隔离电路等。其中放大电路的作用是把传感器输出的电量变成具有一定驱动和传输能力的电压、电流或频率信号等, 以推动后级的显示器、数据处理装置及执行机构。

(4) 显示器 目前常用的显示器有四类: 模拟显示、数字显示、图像显示及记录仪。模

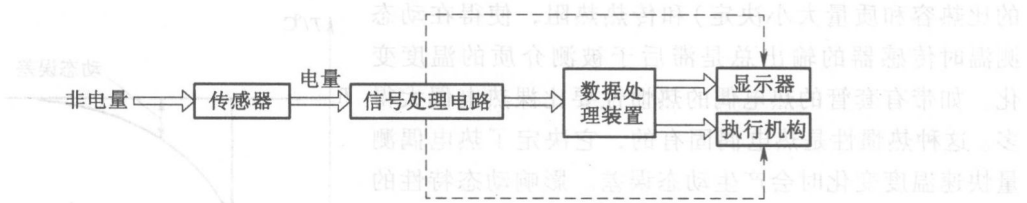


图 1.1.11 自动检测系统原理框图

拟量是指连续变化量。模拟显示是利用指针对标尺的相对位置来显示数据的，常见的有毫伏表、微安表、模拟光柱等。

数字显示目前多采用发光二极管(LED)和液晶(LCD)等，以数字的形式来显示数据。前者亮度高、耐振动、可适应较宽的温度范围；后者耗电省、集成度高。目前还研制出了带背光板的LCD，便于在夜间观看。

图像显示是采用CRT或点阵LCD来显示数据、被测参数的变化曲线、图表或彩色图等形式来反映整个生产线上的多组数据的。

记录仪主要用来记录被检测对象的动态变化过程，常用的记录仪有笔式记录仪、高速打印机、绘图仪、数字存储示波器、磁带记录仪、无纸记录仪等。

(5) 数据处理装置 数据处理装置用来对测试所得的数据进行处理、运算、逻辑判断、线性变换，对动态测试结果作频谱分析(幅值谱分析、功率谱分析)、相关分析等，完成这些工作必须采用计算机技术。

(6) 执行机构 所谓执行机构通常是指各种继电器、电磁铁、电磁阀门、电磁调节阀、伺服电动机等，它们在电路中起通断、控制、调节、保护等作用。许多自动检测系统能输出与被测量有关的电流或电压信号，作为自动控制系统的控制信号，去驱动这些执行机构。

五、知识拓展

传感器的动态特性

传感器的动态特性是指其输出对随时间变化的输入量的响应特性。当被测量随时间变化是时间的函数时，则传感器的输出量也是时间的函数，其间的关系要用动态特性来表示。一个动态特性好的传感器，其输出将再现输入量的变化规律，即具有相同的时间函数。实际上除了具有理想的比例特性外，输出信号将不会与输入信号具有相同的时间函数，这种输出与输入间的差异就是所谓的动态误差。

为了说明传感器的动态特性，下面简要介绍动态测温的问题。在被测温度随时间变化或传感器突然插入被测介质中以及传感器以扫描方式测量某温度场的温度分布等情况下，都存在动态测温问题。如把一支热电偶从温度为 T_0 的环境中迅速插入一个温度为 T_1 的恒温水槽中(插入时间忽略不计)，这时热电偶测量的介质温度从 T_0 突然变到 T_1 ，而热电偶反映出来的温度从 T_0 变化到 T_1 需要经历一段时间，即有一段过渡过程，如图1.1.12所示。热电偶反映出来的温度与介质温度的差值就称为动态误差。

造成热电偶输出波形失真和产生动态误差的原因，是因为温度传感器有热惯性(由传感器

的比热容和质量大小决定)和传热热阻,使得在动态测温时传感器的输出总是滞后于被测介质的温度变化。如带有套管的热电偶的热惯性要比裸热电偶大得多。这种热惯性是热电偶固有的,它决定了热电偶测量快速温度变化时会产生动态误差。影响动态特性的“固有因素”任何传感器都有,只不过它们的表现形式和作用程度不同而已。

动态特性除了与传感器的固有因素有关之外,还与传感器输入量的变化形式有关。也就是说,在研究传感器动态特性时,通常是根据不同输入变化规律来考察传感器的响应的。

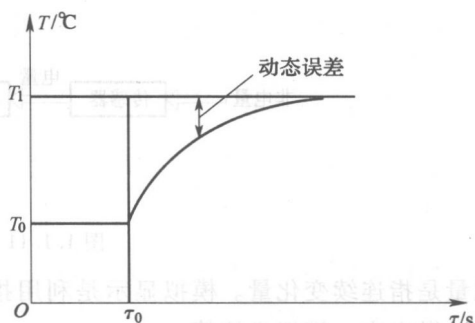


图 1.1.12 动态测温

六、知识测评

(一) 填空题

- 自动检测系统由_____、_____、_____、_____和_____组成。
- 传感器的分类方法很多,目前一般采用两种分类方法:一是按被测参数分类,如温度、压力、位移、速度等,二是按_____分类,如应变式、电容式、压电式、磁电式等。
- 通常传感器由_____和_____组成。
- 传感器的静态特性指标有_____和_____、_____、_____、_____。
- 传感器是把非电学物理量,如_____、速度、_____、_____、湿度、流量、声强、光照度等按照一定的规律转换成易于测量、传输、处理和控制的_____量或电路的通断的元件。

(二) 简答题

- 传感器静态特性和动态特性有何区别?
- 简述自动检测系统各部分的功能。

项目二 测量方法、误差及分类

项目目标

- 掌握绝对误差、相对误差的含义及其计算方法。
- 知道测量误差分类及误差合成方法。

一、认识测量

某化工厂生产中用到如图 1.2.1 所示的差压式流量计来测量管道中液体的流量,其原理是根据物理学中的伯努利定律,管道中流体流速越高,压力就越小。流体流过孔板后因流速高而

压力小，而节流装置(孔板)两侧压差与通过的流量有关。流量 q_v 与压差 $\Delta p = p_1 - p_2$ 之间的关系为

$$q_v = a\varepsilon A \sqrt{2\Delta p/\rho} \quad (1-2-1)$$

式中 a ——流量系数；

ε ——流体的膨胀系数，液体的 $\varepsilon = 1$ ；

A ——节流装置的开口面积；

p_1, p_2 ——节流前后的压力；

ρ ——流体密度。

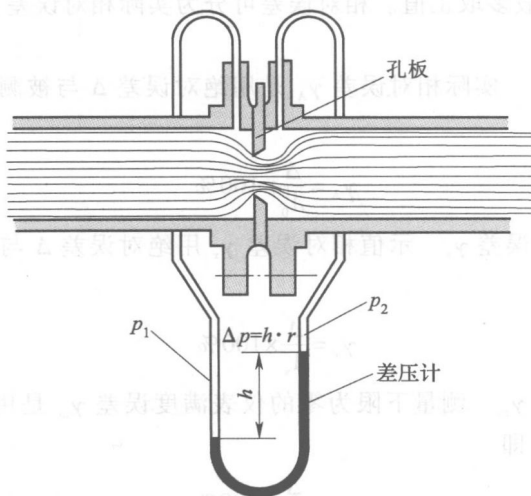


图 1.2.1 流量计

故测量流量的关键是测量孔板前后的压力值，然后将相关参数代入式(1-2-1)即可求出流量。在实际应用中，可设计一流量检测系统，采用压力传感器将压力值变为电量，然后进行 A/D 转换，再送入单片机进行数据计算，最后将流量计算结果通过显示器显示出来。

二、测量方法

测量是指借助于专门仪器设备，通过一定的方法，求出被测量的数值和测量单位的过程。测量是检测技术的主要功能，测量得到的是定量的结果。

对于测量方法，从不同角度，有不同的分类。根据获得测量值的方法，可分为直接测量、间接测量和组合测量；根据测量的精度，可分为等精度测量与非等精度测量；根据测量方式，可分为偏差式测量、零位法测量与微差法测量；根据被测量变化的快慢，可分为静态测量与动态测量；根据测量敏感元件是否与被测介质接触，可分为接触测量与非接触测量；根据测量系统是否向被测对象施加能量，可分为主动式测量与被动式测量等。

三、测量误差、分类及数据处理

某采购员分别在三家商店购买 100 kg 大米、10 kg 苹果、1 kg 巧克力，发现均缺少约 0.5 kg，该采购员对卖巧克力的商店意见最大，是什么原因？这涉及测量的误差问题。

测量的目的是希望通过测量求取被测量的真值。所谓真值是指在一定条件下被测量客观存在的实际值。测量值与真值之间的差值称为测量误差。测量误差可按其不同特征进行分类。

(一) 绝对误差和相对误差

1. 绝对误差

绝对误差 Δ 是指测量值 A_x 与真值 A_0 之间的差值, 即

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

2. 相对误差

有时绝对误差不足以反映测量值偏离实际真值的程度, 所以引入了相对误差。相对误差用百分比的形式来表示, 一般多取正值。相对误差可分为实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差等。

(1) 实际相对误差 γ_A 实际相对误差 γ_A 是用绝对误差 Δ 与被测量的真值 A_0 的百分比来表示的, 即

$$\gamma_A = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-2-3)$$

(2) 示值(标称)相对误差 γ_x 示值相对误差 γ_x 用绝对误差 Δ 与被测量 A_x 的百分比来表示, 即

$$\gamma_x = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-2-4)$$

(3) 满度(引用)误差 γ_m 测量下限为零的仪表满度误差 γ_m 是用绝对误差 Δ 与仪器满度值 A_m 的百分比来表示的, 即

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-2-5)$$

式(1-2-5)中, 当 Δ 取仪表的最大绝对误差值 Δ_m 时, 引用误差常被用来确定仪表的准确度等级 S , 即

$$S = \left| \frac{\Delta_m}{A_m} \right| \times 100 \quad (1-2-6)$$

我国的模拟仪表有下列七个准确度等级, 准确度等级的数值越小, 仪表就越昂贵。表 1.2.1 为仪表的准确度等级和基本误差。

表 1.2.1 仪表的准确度等级和基本误差

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1.0\%$	$\pm 1.5\%$	$\pm 2.5\%$	$\pm 5.0\%$

例如, 在正常情况下, 用 0.5 级、量程为 100 °C 的温度计来测量温度时, 可能产生的最大绝对误差为

$$\Delta_m = (\pm 0.5\%) \times A_m = \pm (0.5\% \times 100) \text{ °C} = \pm 0.5 \text{ °C}$$

例 1.2.1 某压力表准确度等级为 2.5 级, 量程为 0 ~ 1.5 MPa。求 (1) 可能出现的最大满度相对误差 γ_m ; (2) 可能出现的最大绝对误差 Δ_m 为多少 kPa? (3) 测量结果显示为 0.70 MPa 时, 可能出现的最大示值相对误差 γ_x 。

解 (1) 可能出现的最大满度相对误差可以从准确度等级直接得到, 即 $\gamma_m = \pm 2.5\%$ 。

$$(2) \Delta_m = \gamma_m \times A_m = \pm 2.5\% \times 1.5 \text{ MPa} = \pm 0.0375 \text{ MPa} = \pm 37.5 \text{ kPa}$$

$$(3) \gamma_x = \frac{\Delta_m}{A_x} \times 100\% = \frac{\pm 0.0375}{0.70} \times 100\% \approx \pm 5.36\%$$

由上例可知, γ_x 的绝对值总是大于(在满度时等于) γ_m 。

例 1.2.2 现有准确度等级为 0.5 级、量程为 0~300 °C 的和准确度等级为 1.0 级、量程为 0~100 °C 的两只温度计, 要测量 80 °C 的温度, 试问采用哪一只温度计测量更好?

解 计算用 0.5 级表和 1.0 级表测量时, 可能出现的最大示值相对误差分别为 $\pm 1.88\%$ 和 $\pm 1.25\%$ 。计算结果表明, 用 1.0 级表比用 0.5 级表测量的示值相对误差的绝对值更小, 所以更合适。

由上例得到的结论: 在选用仪表时应兼顾准确度等级和量程, 通常希望示值落在仪表满度值的 2/3 以上的区域。

(二) 粗大误差、系统误差和随机误差

根据误差产生的原因及性质可分为粗大误差、系统误差和随机误差。

1. 粗大误差

明显偏离真值的误差称为粗大误差。当发现粗大误差时, 应予以剔除。

2. 系统误差

凡误差的数值固定或按一定规律变化的, 均属于系统误差。按其表现的特点, 可分为恒值误差和变值误差两大类。恒值误差在整个测量过程中, 其数值和符号都保持不变。例如, 各种刻度尺的热胀冷缩, 表盘的刻度不准确等都属于系统误差。大部分系统误差属于变值误差。例如, 由于测量者的生理特点, 比如反应速度, 分辨能力, 甚至固有习惯等在测量中造成的误差属于变值误差。再如, 环境温度的波动, 电子元器件的老化, 机械零件的变形等也属于变值误差。

系统误差是有规律性的, 因此, 可以通过实验的方法或引入修正值的方法计算修正, 也可以重新调整测量仪表的有关部件使系统误差尽量减小。

3. 随机误差

在同一条件下, 多次测量同一被测量, 有时会发现测量值时大时小。误差的绝对值及正、负以不可预见的方式变化, 该误差称为随机误差。随机误差反映了测量值离散性的大小。引起随机误差的因素称为随机效应。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。

存在随机误差的测量结果中, 虽然单个测量值误差的出现是随机的, 但多数随机误差都服从正态分布规律。就误差的整体而言, 服从一定的统计规律。因此可以通过增加测量次数, 利用概率论的一些理论和统计学的一些方法, 掌握看似毫无规律的随机误差的分布特性, 并进行测量结果的数据统计处理。

例 1.2.3 用核辐射式测厚仪对钢板的厚度进行 6 次等精度测量, 所得数据如表 1.2.2 所示, 请指出哪几个数值为粗大误差? 在剔除粗大误差后, 用算术平均值 \bar{x} 公式求出钢板厚度。

解

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \\ &= \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n}{n} \\ &= \frac{8.04 + 8.02 + 7.96 + 7.98}{4} \\ &= 8\end{aligned}$$

表 1.2.2 钢板测量结果的数据列表

n	x_i/mm	n	x_i/mm
1	8.04	4	5.99
2	8.02	5	9.33
3	7.96	6	7.98

(三) 静态误差和动态误差

根据误差的表现形式可分为静态误差和动态误差。

1. 静态误差

静态误差是指当测量器件的测量值(或输入值)不随时间变化时,测量结果(或输出值)会有缓慢的漂移。静态误差是指误差的幅值和方向是恒定的,或者是按一定规律缓变的(变化周期大于装置调整周期),即不需要考虑时间因素对误差的影响。

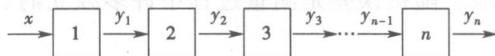
2. 动态误差

控制系统在任意的输入信号作用下达到稳态时的误差称为动态误差。通常,动态误差的概念都假定是在线性定常系统的情形下加以讨论的。与稳态误差(当系统从一个稳态过渡到新的稳态,或系统受扰动作用又重新平衡后,系统可能会出现偏差,这种偏差称为稳态误差。)不同,动态误差是以时间为变量的函数,能提供系统为稳态时误差随时间变化的规律。

引起动态误差的原因很多。例如用笔式记录仪记录心电图时,由于记录笔有一定的惯性,所以记录的结果在时间上滞后心电的变化,有可能记录不到特别尖锐的窄脉冲。

(四) 测量系统静态误差的合成

由 n 个环节串联组成的开环系统如图 1.2.2 所示。输入量为 x , 输出量 $y_o = f(x)$ 。

图 1.2.2 由 n 个环节串联组成的开环系统

若第 i 个环节的满度误差为 γ_i , 则输出端的满度误差 γ_m 与 γ_i 之间的关系可用以下两种方法来确定。

(1) 绝对值合成法(误差的估计偏大)

$$\gamma_m = \sum_{i=1}^n \gamma_i = \pm (|\gamma_1| + |\gamma_2| + \cdots + |\gamma_n|) \quad (1-2-6)'$$

(2) 方均根合成法

$$\gamma_m = \pm\sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \dots + \gamma_n^2} \quad (1-2-7)$$

四、知识测评

(一) 简答题

- (1) 我国模拟仪表的精确度等级有哪些?
- (2) 测量系统静态误差的合成方法有哪些?
- (3) 测量误差是如何分类的?
- (4) 已知待测拉力约为 70 N, 现有两只测力仪表, 一只为 0.5 级, 测量范围为 0 ~ 500 N; 另一只为 1.0 级, 测量范围为 0 ~ 100 N。问选用哪一只测力仪表测量较好? 为什么?

(二) 计算题

用核辐射钢板测厚仪测钢板厚度, 已知 PIN 型 γ 射线二极管的测量误差为 $\pm 5\%$, 微电流放大器的测量误差为 $\pm 2\%$, 指针表的测量误差为 $\pm 1\%$, 求测量的总误差。