

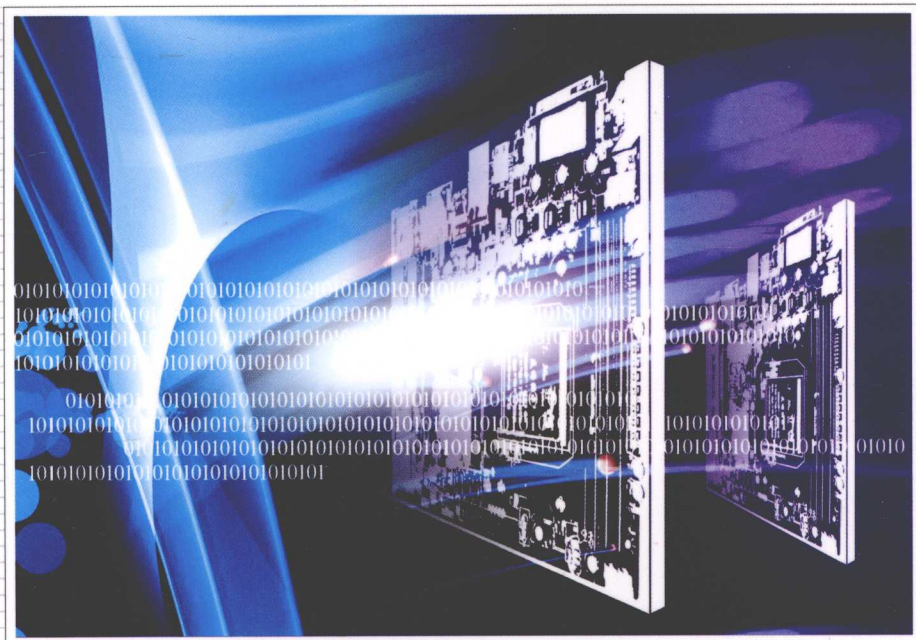


中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

传感器及应用

chuanganqi ji yingyong

■ 主编 陈 键



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21世纪中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

传感器及应用

主 编 陈 键

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书是根据教育部颁布的《中等职业教育电子电器应用与维修专业教学指导方案》中主干课程《传感器及其应用教学基本要求》，并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准编写的，其任务是使学生掌握从事电子电器应用与维修工作所必需的基本技能，初步形成解决实际问题的能力，为学习专业知识和培训职业技能打下基础。

为了使读者对传感器及其应用有一个较为全面的认识，系统阐述了各种传感器的工作原理及常用测量电路。本书力求避免深奥生涩的理论推导，通过典型应用实例深入浅出地分析传感器应用系统的基本组成和工作原理，以期使广大读者理解书中所涉及的内容。本书理论与实践并重，内容浅显易懂，可作为中等职业学校仪器仪表、自动控制、电子技术和机电技术等专业的教科书，也可供从事检测、控制技术等相关专业的工程技术人员参考。

版权专用 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

传感器及应用/陈键主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2009. 7

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2364 - 5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 107833 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / [http://www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京通县华龙印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 9

字 数 / 230 千字

版 次 / 2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

定 价 / 15.00 元

责任校对/陈玉梅

责任印制/母长新

出版说明

中等职业教育是以培养具有较强实践能力,面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育,是职业技术教育的初级阶段。目前,中等职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据教育部关于要求发展中等职业技术教育,培养职业技术人才的大纲要求,北京理工大学出版社组织编写了《21世纪中等职业教育特色精品课程规划教材》。该系列教材是中等职业教育课程改革项目研究成果。坚持以能力为本位,以就业为导向,以服务学生职业生涯发展为目的的指导思想。主要从以下三个角度切入:

1. 从专业建设角度

该系列教材摒弃了传统普通高等教育和传统职业教育“学科性专业”的束缚,致力于中等职业教育“技术性专业”。主体内容由与一线技术工作相关联的岗位有关知识所构成,充分体现职业技术岗位的有效性、综合性和发展性,使得该系列教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性,而且突出知识的实用性、综合性,把就业岗位所需要的知识和实践能力的培养融于一炉。

2. 从课程建设角度

该系列教材规避了现有的中等职业教育教材内容上的“重理论轻实践”、“重原理轻案例”,教学方法上的“重传授轻参与”、“重课堂轻现场”,考核评价上的“重知识的记忆轻能力的掌握”、“重终结性的考试轻形成性考核”的倾向,力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容,加强实践性教学环节,注重案例教学和能力的培养,使职业能力的提升贯穿于教学的全过程。

3. 从人才培养模式角度

该系列教材为了切合中等职业教育人才培养的产学结合、工学交替培养模式,注重有学就有练、学完就能练、边学边练的同步教学,吸纳新技术引用、生产案例等情景来激活课堂。同时,为了结合学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的实际,注重对新知识、新工艺、新方法、新标准引入,在培养学生创造能力和自我学习能力的培养基础上,力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了贯彻和落实上述指导思想,在本系列教材的内容编写上,我们坚持以下一些原则:

1. 适应性原则

在进行广泛的社会调查基础上,根据当今国家的政策法规、经济体制、产业结

构、技术进步和管理水平对人才的结构需求来确定教材内容。依靠专业自身基础条件和发展的可行性,以相关行业和区域经济状况为依托,特别强调面向岗位群体的指向性,淡化行业界限、看重市场选择的用人趋势,保证学生的岗位适应能力得到训练,使其有较强的择业能力,从而使教材有活力、有质量。

2. 特色性原则

在调整原有专业内容和设置专业新兴内容时,注意保留和优化原有的、至今仍适应社会需求的内容,但随着社会发展和科技进步,及时充实和重点落实与专业相关的新内容。“特色”主要是体现为“人无我有”,“人有我精”或“众有我新”,科学预测人才需求远景和人才培养的周期性,以适当超前性专业技术来引领教材的时代性。结合一些一线工作的实际需要和一些地方用人单位的区域资源优势、支柱产业及其发展方向,参考发达地区的发展历程,力争做到专业课内容的成熟期与人才需求的高峰期相一致。

3. 宽口径性原则

拓宽教材基础是提高专业适应性的重要保证之一。市场体制下的人才结构变化加快,科技迅猛发展引起技术手段不断更新,用人机制的改革使人才转岗频繁,由此要求大部分专门人才应是“复合型”的。具体课程内容应是当宽则宽,当窄则窄。在紧扣本专业课程内容基础上延伸或派生出一些适应需求的与其他专业课相关的综合技能。既满足了社会需求又充分锻炼学生的综合能力,挖掘了其潜力。

4. 稳定性和灵活性原则

中职职业教育的专业课程都有其内核的稳定性,这种内核主要是体现在其基本理论,基础知识等方面。通过稳定性形成专业课程教材的专业性特点,但同时以灵活的手段结合目标教学和任务教学的形式,设置与生产实践相切合的项目,推进教材教学与实际工作岗位对接。

为了更好地落实本教材的指导思想和编写原则,教材的编写者都是既有一定的教学经验、懂得教学规律,又有较强实践技能的专家,他们分别是:相关学科领域的专家;中等职业教育科研带头人;教学一线的高级教师。同时邀请众多行业协会合作参与编写,将理论性与实践性高度统一,打造精品教材。另外,还聘请生产一线的技术专家来审读修订稿件,以确保教材的实用性、先进性、技术性。

总之,该系列教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力的成果,希望本系列教材能为职业教育的提高和发展作出贡献。

北京理工大学出版社

前 言



传感器是新技术革命和信息社会的重要技术基础，是现代科技的开路先锋，发达国家都把传感器技术列为国家重点开发的关键技术之一。在我国，科学技术的发展和社会进步的需要，推动着传感器技术迅猛发展，研制开发各种传感器，运用传感器技术服务于社会发展已成燎原之势。

本书是根据教育部颁布的《中等职业教育电子电器应用与维修专业教学指导方案》中主干课程《传感器及其应用教学基本要求》，并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准编写的，其任务是使学生掌握从事电子电器应用与维修工作所必需的基本技能，初步形成解决实际问题的能力，为学习专业知识和培训职业技能打下基础。

为了使读者对传感器及其应用有一个较为全面的认识，系统阐述了各种传感器的工作原理及常用测量电路。本书力求避免深奥生涩的理论推导，通过典型应用实例深入浅出地分析传感器应用系统的基本组成和工作原理，以期使广大读者理解书中所涉及的内容。本书理论与实践并重，内容浅显易懂，可作为中等职业学校仪器仪表、自动控制、电子技术和机电技术等专业的教科书，也可供从事检测、控制技术等相关专业的工程技术人员参考。

由于传感器技术是一门交叉学科，涉及知识面相当广泛，加之编者水平所限，书中难免有不当与错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

模块一 传感器的基本概念	1
第一节 传感器的定义与分类	1
第二节 传感器的基本特性	3
第三节 传感器的基本误差	6
第四节 传感器中的弹性敏感元件	9
模块二 常用传感器及测量转换电路	14
第一节 电阻应变式传感器	14
第二节 热电阻传感器	20
第三节 热电偶传感器	24
第四节 电涡流式传感器	30
第五节 电容式传感器	34
第六节 电感式传感器	37
第七节 压电式传感器	43
第八节 磁电式传感器	47
第九节 光电式传感器	50
第十节 数字式传感器	58
第十一节 霍尔传感器	64
第十二节 差分变压器式传感器	66
第十三节 气敏传感器	69
模块三 抗干扰技术	74
第一节 干扰的来源与途径	74
第二节 抗干扰技术	76

模块四 传感器的信号处理	80
第一节 传感器信号的预处理	80
第二节 仪表放大器及 A/D 转换器的选择	83
第三节 传感器信号非线性校正及标度变换	85
模块五 传感器在机电设备中的应用	89
第一节 传感器在汽车工业中的应用	89
第二节 家用电器中的传感器	94
模块六 检测仪表概述	102
第一节 检测仪表的基本概念	102
第二节 常用检测仪表	104
第三节 集成传感器	111
第四节 智能传感器	114
模块七 实 验	118
实验 1 应变式传感器测力实验	118
实验 2 热电式传感器温度测量实验	120
实验 3 电容式传感器的位移试验	121
实验 4 霍尔传感器的应用	122
实验 5 光电转速传感器的转速测量实验	123
附 录	125

传感器的基本概念



本章概述

传感器是一种检测装置,能感受到被测量的信息,并能将检测感受到的信息,按一定规律变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。



学习目标

本章力求通过对传感器的作用与分类、传感器的基本特性、传感器测量误差与精度以及弹性敏感元件的简要介绍,使读者对传感器技术涉及的一些基本概念有一些了解。

* * * * *

第一节 传感器的定义与分类

一、传感器的定义

国家标准 GB7665—1987 对传感器下的定义是:“能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用信号的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成。”

二、传感器的分类

可以用不同的观点对传感器进行分类:它们的转换原理(传感器工作的基本物理或化学效应);它们的用途;它们的输出信号类型以及制作它们的材料和工艺等。

1. 根据传感器工作原理,可分为物理传感器和化学传感器两大类

(1)物理传感器 应用的是物理效应,诸如压电效应,磁致伸缩现象,离化、极化、热电、光电、磁电等效应。被测信号量的微小变化都将转换成电信号。

(2)化学传感器 包括那些以化学吸附、电化学反应等现象为因果关系的传感器,被测信号量的微小变化也将转换成电信号。

有些传感器既不能划分到物理类,也不能划分为化学类。大多数传感器是以物理原理为基础运作的。化学传感器技术问题较多,例如可靠性问题,规模生产的可能性,价格问题等,解决了这类难题,化学传感器的应用将会有巨大增长。

2. 按照其用途分类

压力敏和力敏传感器、位置传感器、液面传感器、能耗传感器、速度传感器、热敏传感器、加速度传感器、射线辐射传感器、振动传感器、湿敏传感器、磁敏传感器、气敏传感器、真空度传感器、生物传感器等。

3. 以其输出信号为标准分类

(1) 模拟传感器 将被测量的非电学量转换成模拟电信号。

(2) 数字传感器 将被测量的非电学量转换成数字输出信号(包括直接和间接转换)。

(3) 膺数字传感器 将被测量的信号量转换成频率信号或短周期信号的输出(包括直接或间接转换)。

(4) 开关传感器 当一个被测量的信号达到某个特定的阈值时,传感器相应地输出一个设定的低电平或高电平信号。

在外界因素的作用下,所有材料都会作出相应的、具有特征性的反应。它们中的那些对外界作用最敏感的材料,即那些具有功能特性的材料,被用来制作传感器的敏感元件。

4. 从所应用的材料观点出发分类

(1) 按照其所用材料的类别分 金属 聚合物 陶瓷 混合物

(2) 按材料的物理性质分 导体 绝缘体 半导体 磁性材料

(3) 按材料的晶体结构分 单晶 多晶 非晶材料

5. 与采用新材料紧密相关的传感器开发工作,可以归纳为下述三个方向

- 在已知的材料中探索新的现象、效应和反应,然后使它们能在传感器技术中得到实际使用。

- 探索新的材料,应用那些已知的现象、效应和反应来改进传感器技术。

- 在研究新型材料的基础上探索新现象、新效应和反应,并在传感器技术中加以具体实施。

现代传感器制造业的进展取决于用于传感器技术的新材料和敏感元件的开发强度。传感器开发的基本趋势是和半导体以及介质材料的应用密切关联的。

6. 按照其制造工艺分类

(1) 集成传感器 用标准的生产硅基半导体集成电路的工艺技术制造的。通常还将用于初步处理被测信号的部分电路也集成在同一芯片上。

(2) 薄膜传感器 则是通过沉积在介质衬底(基板)上的,相应敏感材料的薄膜形成的。使用混合工艺时,同样可将部分电路制造在此基板上。

(3) 厚膜传感器 利用相应材料的浆料,涂覆在陶瓷基片上制成的,基片通常是 Al_2O_3 制成的,然后进行热处理,使厚膜成形。

(4) 陶瓷传感器 采用标准的陶瓷工艺或其某种变种工艺(溶胶-凝胶等)生产。

完成适当的预备性操作之后,已成形的元件在高温中进行烧结。厚膜和陶瓷传感器这两种工艺之间有许多共同特性,在某些方面,可以认为厚膜工艺是陶瓷工艺的一种变型。

每种工艺技术都有自己的优点和不足。由于研究、开发和生产所需的资本投入较低,以及传感器参数的高稳定性等原因,采用陶瓷和厚膜传感器比较合理。

第二节 传感器的基本特性

一、传感器静态特性

传感器的静态特性是指对静态的输入信号,传感器的输出量与输入量之间所具有的相互关系。因为这时输入量和输出量都与时间无关,所以它们之间的关系,即传感器的静态特性可用一个不含时间变量的代数方程,或以输入量作横坐标,把与其对应的输出量作纵坐标而画出的特性曲线来描述。表征传感器静态特性的主要参数有:线性度、灵敏度、分辨力和迟滞等。

1. 测量范围和量程

传感器所能测量的最大被测量的数值为测量上限,最小被测量称为测量下限。测量上限和测量下限所构成的区间称为测量范围。测量上限和测量下限的代数差称为量程,即

$$\text{量程} = \text{测量上限} - \text{测量下限}$$

2. 传感器的线性度

理想情况下,如图 1-1 所示,传感器的静态特性输出是条直线;但通常情况下,传感器的实际静态特性输出是条曲线而非直线。在实际工作中,为使仪表具有均匀刻度的读数,常用一条拟合直线近似地代表实际的特性曲线,如图 1-2 所示。线性度(非线性误差)就是用来描述实际特性曲线和拟合直线之间的相似程度的一个性能指标。它采用实际特性曲线与拟合直线之间的最大偏差与满量程输出的百分比表示:

$$Ef = \frac{\Delta y_m}{y_{FS}} \times 100\%$$

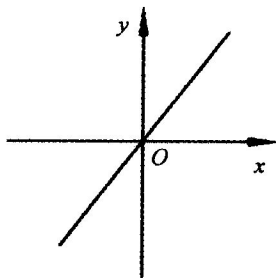


图 1-1 传感器理想线性特性图

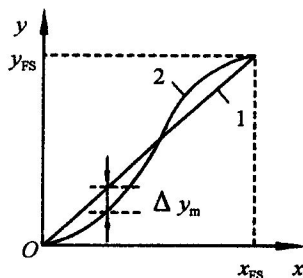


图 1-2 特性曲线与线性度关系曲线

1—拟合曲线;2—实际特性曲线

拟合直线的选取有多种方法。如将零输入和满量程输出点相连的理论直线作为拟合直线;或将与特性曲线上各点偏差的平方和为最小的理论直线作为拟合直线,此拟合直线称为最小二乘法拟合直线。

3. 传感器的灵敏度

灵敏度是指传感器在稳态工作情况下输出量变化 \$\Delta y\$ 对输入量变化 \$\Delta x\$ 的比值。其表达式为

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

它是输出—输入特性曲线的斜率。如果传感器的输出和输入之间呈线性关系,则灵敏度 \$S\$ 是一个常数。否则,它将随输入量的变化而变化。

灵敏度的量纲是输出、输入量的量纲之比。例如,某位移传感器,在位移变化 1 mm 时,输出电压变化为 200 mV,则其灵敏度应表示为 200 mV/mm。

当传感器的输出、输入量的量纲相同时,灵敏度可理解为放大倍数。

提高灵敏度,可得到较高的测量精度。但灵敏度愈高,测量范围愈窄,稳定性也往往愈差。

4. 传感器的分辨力

分辨力是指传感器可能感受到的被测量的最小变化的能力。也就是说,如果输入量从某一非零值缓慢地变化,当输入变化值未超过某一数值时,传感器的输出不会发生变化,即传感器对此输入量的变化是分辨不出来的。只有当输入量的变化超过分辨力时,其输出才会发生变化。

通常传感器在满量程范围内各点的分辨力并不相同,因此常用满量程中能使输出量产生阶跃变化的输入量中的最大变化值作为衡量分辨力的指标。上述指标若用满量程的百分比表示,则称为分辨率。分辨率与传感器的稳定性有负相关性。

5. 迟滞

迟滞现象是指传感器正向特性曲线(输入量增大)和反向特性曲线(输入量减小)的不一致程度。如图 1-3 所示。迟滞一般用两曲线之间的最大差值 Δy_m 与满量程输出 y_{FS} 的百分比表示。即 $E_t = \left(\frac{\Delta y_m}{y_{FS}} \right) \times 100\%$ 。迟滞可由传感器内部元件存在能量的吸收造成。

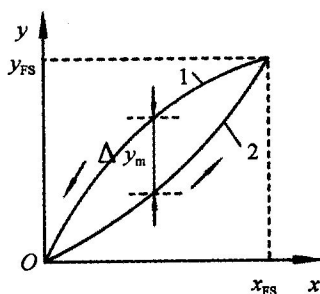


图 1-3 迟滞特性图

1—正向;2—反向

6. 传感器的精度等级

传感器的精度等级是为了简单表示传感器测量结果的可靠程度而引用的。常见的精度等级有 0.1 级、0.2 级、0.5 级、1.0 级、1.5 级、2.0 级、2.5 级、5.0 级。数值越小,精度等级越高,测量越精确。

二、传感器动态特性

所谓动态特性,是指传感器在输入变化时,它的输出的特性。在实际工作中,传感器的动态特性常用它对某些标准输入信号的响应来表示。这是因为传感器对标准输入信号的响应容易用实验方法求得,并且它对标准输入信号的响应与它对任意输入信号的响应之间存在一定的关系,往往知道了前者就能推定后者。最常用的标准输入信号有阶跃信号和正弦信号两种,所以传感器的动态特性也常用阶跃响应和频率响应来表示。

1. 阶跃响应

输入为阶跃信号时,传感器的响应被称为阶跃响应。从阶跃响应中我们可以得到传感器在时间域内的响应特性。如图 1-4 所示输入信号是幅值为 A 的阶跃信号,此时传感器阶跃响应如图 1-5 所示。

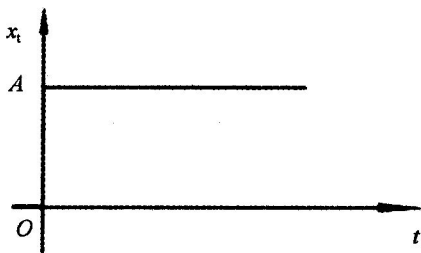


图 1-4 幅值为 A 的阶跃信号

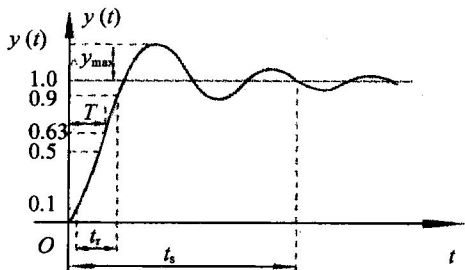


图 1-5 传感器阶跃响应

整个响应分为动态响应和稳态响应两个过程。动态响应是指传感器从初始状态到最终状态的输出响应过程。稳态响应是指传感器经过足够长的时间状态稳定后的输出响应。阶跃响应主要是通过分析动态响应过程来研究传感器的动态特性。主要参数有时间常数 T 、上升时间 t_r 、响应时间 t_s 、超调量 δ 、震动次数 N 、稳态误差 e_s 等。

(1) 时间常数 T 指输出量上升到稳态值的 63% 所需的时间。

(2) 上升时间 t_r 通常是指输出量由稳态值的 10% 上升到 90% 所需的时间。它反映了传感器的响应速度, t_r 越小响应速度越快。

(3) 响应时间 t_s 响应时间是指从输入量开始起作用到输出进入稳定值所需的时间。一般情况下 $t_s \approx (3 - 5)T$ 。

(4) 超调量 δ 它是指在过渡过程中,输出量与稳态值的最大偏差,与稳态值之比的百分数,超调量反映了传感器的动态精度,超调量越小,说明传感器的过渡过程进行得越平稳。

(5) 振荡次数 N 它是指在响应时间内,输出量在稳态值上、下摆动的次数。振荡次数越少,传感器的稳定性越好。

(6) 稳态误差 e_s 它是指当传感器输出稳定以后,传感器的实际输出值与期望值之差,它反映了传感器的稳态精度。

2. 频率响应

将各种频率不同而幅值相等的正弦信号输入到传感器,传感器的输出正弦信号的幅值、相位与频率之间的关系称为频率响应特性。其中输出信号的幅值与输入信号的频率的关系称为幅频响应;输出信号的相位与输入信号的频率的关系称为相频特性。频率响应是通过研究稳态过程来分析传感器的动态特性的,它可以通过对传感器在频域响应过程中的波形参数进行计算,并对响应特性曲线进行分析;也可通过对频率响应性能指标(如频率响应范围、幅值误差、相位误差等)的考核来完成。

第三节 传感器的基本误差

一、传感器的基本误差

任何测量都不可能绝对准确,都存在误差,只要误差在允许范围内即可认为符合标准,传感器也不例外。所谓传感器的误差,即传感器的输出值与理论输出值的差值。因此要求设计与制造传感器时,允许有误差,但必须在规定误差的范围之内。为了使传感器能满足一定的精度要求,我们要掌握误差的种类及分析产生误差的原因、克服与减少误差的方法。

1. 测量误差的基本概念

由传感器的定义得知,传感器是将未知的物理量转换成人们可知的电信号,实际上传感器就是一种测量器具,所以传感器的误差也就是测量误差。下面介绍有关测量的部分名词。

(1)真值 被测量本身所具有的真正值称之为真值。量的真值是一个理想的概念,一般是不知道的。但在某些特定情况下,真值又是可知的,例如一个整圆的圆周角为 360° 等。

(2)约定真值 由于真值往往是未知的,所以一般用基准器的量值来代替真值,这就称作约定真值,它与真值之差可以忽略不计。

(3)实际值 误差理论指出,在排除了系统误差的前提下,对于精度测量,当测量次数为无限多时,测量结果的算术平均值接近于真值,因而可将它视为被测量的真值。但是测量次数是有限的,故按有限测量次数得到的算术平均值只是统计平均值的近似值。而且由于系统误差不可能完全被排除掉,故通常只能把精度更高一级的标准器具所测得的值作为“真值”。为了强调它并非是真正的“真值”,故把它称为实际值。

(4)标称值 测量器具上所标出来的数值。

(5)示值 由测量器具读数装置所指示出来的被测量的数值。

(6)测量误差 用器具进行测量时,所测量出来的数值与被测量的实际值之间的差值。

2. 误差的分类

在测量中由不同因素产生的误差是混合在一起同时出现的。为了便于分析研究误差的性质、特点和消除方法,下面将对各种误差进行分类讨论。

(1)按表示方法分类

①绝对误差——指示值 A_x 与约定真值 A_0 的差值,即 $\Delta = A_x - A_0$ 。在计量中常使用修正值 α , $\alpha = A_0 - A_x = -\Delta$ 。只要得到修正值 α 、示值 A_x ,便可得知约定真值 A_0 。

②相对误差——针对绝对误差有时不足以反映示值偏离约定真值大小程度而设定的,在实际测量中相对误差有下列表示形式:

a. 实际相对误差 γ_A ——用绝对误差 Δ 与约定真值 A_0 的百分比表示,即

$$\gamma_A = \pm \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$$

b. 标称相对误差 γ_x ——用绝对误差 Δ 与示值 A_x 的百分比表示,即

$$\gamma_x = \pm \frac{\Delta}{A_x} \times 100\%$$

c. 满度(或引用)相对误差 γ_m ——用绝对误差 Δ 与仪器满刻度值 A_m 的百分比表示,即

$$\gamma_m = \pm \frac{\Delta}{A_m} \times 100\%$$

在上式中,当 Δ 取为满度时的 A_m 时,满度(或引用)相对误差就被用来确定仪表的精度等级 S (如 $0.5\% < \text{满度相对误差} \leq 1\%$ 时,则称精度等级为1级),即

$$S = \frac{|\Delta_m|}{A_m} \times 100$$

当仪表显示值下限不为零时,精度等级 S 应用下式表达:

$$S = \pm \frac{|\Delta_m|}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100$$

其中 $A_{\max}$ 和 $A_{\min}$ 分别为仪表刻度盘的上限与下限。我国电工仪表等级分为七级,即0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0级。

【例1】今有0.5级的 $0^\circ\text{C} \sim 300^\circ\text{C}$ 和1.0级的 $0^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 两个温度计,要测 80°C 的温度,试问采用哪一个温度计好?

解:用0.5级仪表测量时,最大标称相对误差为

$$\gamma_{x1} = \frac{\Delta_{m1}}{A_x} \times 100\% = \frac{300 \times (\pm 0.5\%)}{80} \times 100\% = \pm 1.875\%$$

用1.0级仪表测量时,最大标称相对误差为

$$\gamma_{x2} = \frac{\Delta_{m2}}{A_x} \times 100\% = \frac{300 \times (\pm 1.0\%)}{80} \times 100\% = \pm 1.25\%$$

$$\gamma_{x2} < \gamma_{x1}$$

显然用1.0级仪表比用0.5级仪表更合适。因此在选用传感器时应兼顾精度等级和量程。

③容许误差——根据技术条件的要求,规定某一传感器误差不应超过的最大范围。

(2)按误差出现的规律分类

①系统误差——指误差的数值是一个常数或按一定规律变化的值。它又可分为恒值误差和变值误差。

恒值误差是指在一定条件下,误差的数值及符号都保持不变的系统误差;变值误差是指在一定条件下,误差按某一确定规律变化的系统误差。系统误差主要由以下几个因素引起的:材料、零部件及工艺缺陷;环境温度和湿度;压力变化及其他外界干扰。

系统误差表明了一个测量结果偏离真值和实际值的程度。系统误差愈小,测量愈准确,所以常常用准确度来表征系统误差大小。系统误差是有规律的,它可以通过实验方法或引入修正值方法予以修正。

②随机误差——由于偶然因素的影响而引起的,其数值大小和正负号不定,而且难以估计。但是总体仍服从一定统计规律,它不能通过实验方法加以消除,但能运用统计处理方法减少其影响。随机误差表现了测量结果的分散性。在误差理论中常用精密度来表征随机误差的大小。随机误差愈小,精密度愈高。

③粗大误差——指在一定的条件下测量结果显著地偏离其实际值时所对应的误差。从性质上看,粗大误差并不是单独的类别,它本身既具有系统误差的性质,也可能具有随机误差的性质,只不过在一定测量条件下其绝对值特别大而已。粗大误差是由于测量方法不妥、各种随机因素的影响以及测量人员粗心所造成的。

(3)按被测量随时间变化的速度分类

①静态误差——指在测量过程中,被测量随时间变化很缓慢或基本不变时的测量误差。

②动态误差——在被测量随时间变化时所测得的误差。例如用笔式记录仪测得的结果,由于记录笔有惯性量,输出量在时间上不能与被测量的变化一致,而造成的误差就属于动态误差。动态误差是在动态测量时产生的,动态测量的优点是检测效率高和环境影响小。

(4)按使用条件分类

①基本误差——指检测系统在规定的标准条件下使用时所产生的误差。所谓标准条件指一般传感器在实验室、制造厂或计量部门标定刻度时所保持的工作条件,如电源电压 $220\text{ V}(\pm 5\%)$; 温度 $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$; 湿度小于 80% ; 电源频率 $50\text{ Hz} \pm 1\text{ Hz}$ 等。基本误差是检测仪表在额定条件下工作所具有的误差,检测仪表的精度就是由基本误差决定的。

②附加误差——当使用条件偏离规定标准条件时,除基本误差外还会产生附加误差,例如由于温度超过标准引起的温度附加误差、电源附加误差以及频率附加误差等。这些附加误差在使用时会叠加到基本误差上去。

二、仪表精度与测量精度

1. 仪表精度与测量精度的关系

仪表精度一般分为七个等级,实际上就是取最大满度(引用)相对误差,对于数字仪表和光学仪表等还具有更高精度的等级。一般而言,七个等级在工业仪表中是具有代表性的。而真正反映测量精度的是实际相对误差。从最大满度(引用)误差和实际相对误差的定义公式不难看出,被测量的大小愈接近量程,相对误差就愈接近于最大满度(引用)误差,因此对于同等级精度的仪表,选择适当的量程,使被测量位于仪表量值的上限附近,将能充分利用仪表精度获得较精确的测量结果。

2. 附加误差对实际测量精度的影响

在检测仪表的技术说明书中,除了给出基本误差外,还给出了工作条件变化时可能产生的附加误差。如果实际工作条件不是仪表规定的标准状态,这时必须考虑到附加误差的影响,那么仪表的测量误差究竟是多少?下面我们举例加以说明。

【例2】例1中1.0级温度仪表最大标称相对误差为 $\pm 1.25\%$,若电源电压变化为 $\pm 10\%$ 时产生的附加误差 $\leq \pm 0.5\%$,试估算实际测量误差。

解:按最坏的情况考虑,每次误差都达到技术指标规定的极限值,即

基本误差 $\gamma_{x1} = \pm 1.25\%$

附加误差 $\gamma_{x2} = \pm 0.5\%$

若两项误差按相同的符号同时达到上述极限值,则应把上述误差相加,得

$$\gamma_x = \gamma_{x1} + \gamma_{x2} = \pm (1.25\% + 0.5\%) = \pm 1.75\%$$

计算结果和实际校验情况显然不符。这是因为各项误差不可能同时按相同的符号出现最大值,有的甚至互相抵消。实践证明,考虑附加误差的影响时按概率统计的方法将得到比较切合实际的结果,即求得各项误差的均方根值来估算测量误差:

$$\gamma_x = \pm \sqrt{\sum \gamma_{xi}^2} = \pm \sqrt{(1.25\%)^2 + (0.5\%)^2} = \pm 1.35\%$$

这样处理的结果比较符合实际情况。测量误差 $\gamma_x = \pm 1.35\%$ 也就代表了测量精度。

第四节 传感器中的弹性敏感元件

一、弹性敏感元件的基本特性

物体因外力作用而改变原来的尺寸或形状称为变形,如果在外力去掉后能完全恢复其原来的尺寸和形状,那么这种变形称为弹性变形,具有这类特性的物体称为弹性元件。在传感器中用于测量的弹性元件称为弹性敏感元件。

弹性敏感元件是许多传感器及检测仪表中的基本元件,它往往直接感受被测物理量(如力、压力等)的变化,并将其转化为弹性元件本身的应变或位移,然后由各种形式的传感元件把它转变为电量。

弹性敏感元件的输入量与输出量之间的关系,称为弹性敏感元件的基本特性。弹性敏感元件的基本特性包括刚度、灵敏度、弹性滞后和弹性后效等,其中刚度和灵敏度是表征弹性敏感元件的重要指标。

1. 刚度

刚度是使弹性敏感元件产生单位变形所需要的外部作用力(或压力),其表达式为

$$k = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta F}{\Delta x} \right) = \frac{dF}{dx}$$

式中 k ——刚度;

F ——作用于弹性元件上的外力;

x ——弹性元件产生的变形。

图 1-6 中弹性特性曲线上某点 A 的刚度可通过 A 点作曲线的切线求得,此切线与水平线夹角的正切就代表该弹性元件在 A 点处的刚度。如果弹性特性是直线,显然它的刚度是一个常数。

2. 灵敏度

灵敏度是刚度的倒数,它表示弹性敏感元件在承受单位输入量(力、压力等)时所产生的变形大小,一般用 K 表示,即在非电量检测中往往希望弹性灵敏度为常数,此时弹性敏感元件的弹性特性是线性的,即

$$K = \frac{dx}{dF}$$

在非电量检测中往往希望弹性灵敏度为常数,此时弹性敏感元件和弹性特性是线性的,即 $K = x/F = \text{常数}$ 。

对于不同的弹性敏感元件,由于其输入量的形式不同,所以灵敏度的具体含义也不同。

二、弹性敏感元件的形式及应用范围

根据弹性敏感元件在传感器中的作用,对它提出了一些要求,如具有好的弹性特性、足够的精度、长期使用和温度变化时的稳定性等。因而对制作弹性敏感元件的材料提出了多方面的要求,如弹性模量的温度系数要小、线膨胀系数小且恒定、有良好的机械加工和热处理性能等。我国通常使用合金钢、碳钢、铜合金和铝合金等材料。

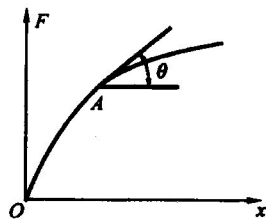


图 1-6 弹性特性曲线