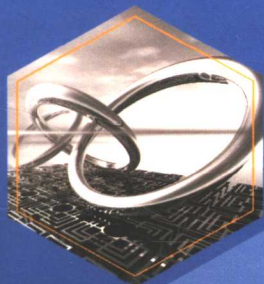


现代传感器技术是什么？是科学技术的“前沿哨所”，是应用于多学科多领域的一门学问。



■ 王俊峰 孟令启 等编著

现代传感器应用技术

Xiandai
Chuan gan qi
Yingyong Jishu



现代传感器应用技术

王俊峰 孟令启 等编著



机械工业出版社

本书共 20 章, 主要介绍了红外线传感器、声音传感器、超声波传感器、光敏传感器、湿敏传感器、磁敏传感器、气敏传感器、热敏传感器、压电传感器、压力传感器、电感式传感器、机械传感器、机器人传感器、光纤传感器、核辐射传感器、激光传感器、数字传感器及智能传感器等多种类型的传感器及其应用 100 余例。

本书内容丰富, 突出新颖性、系统性、技术性、知识性、趣味性、实用性和可操作性。

本书可供从事产品开发的设计人员、广大电子爱好者使用; 也可作为大专院校毕业设计、课程设计、电子制作大赛选题及传感器课程的教学参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代传感器应用技术/王俊峰等编著. —北京: 机械工业出版社, 2006.8

ISBN 7-111-19672-4

I. 现... II. 王... III. 传感器—基本知识 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 085947 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 吉 玲 版式设计: 霍永明 责任校对: 李汝庚

封面设计: 张 静 责任印制: 李 妍

北京中兴印刷有限公司印刷

2006 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·16.5 印张·402 千字

0 001—4 000 册

定价: 28.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

编辑热线电话(010)88379768

封面无防伪标均为盗版

前 言

传感器技术（非电量测量技术）是现代科学技术的一个重要分支，它是信息科学阵地的“前沿哨所”，是信息捕捉的必要手段。在当今信息时代中，随着自动检测、控制技术的发展，传感器技术显得越来越重要。

传感器技术是测量和控制技术的基础。通常，信息载体的物理量不是电学量，必须用传感器将非电量转换成电量。可以说，如果没有传感器对原始信息进行精确可靠地捕获和转换，那么一切测量和控制都是不可能实现的。

全书共 20 章。主要内容包括现代传感器应用基础、红外线传感器、声音传感器、超声波传感器、光敏传感器、湿敏传感器、磁敏传感器、气敏传感器、热敏传感器、压电传感器、压力传感器、电感式传感器、机械传感器、机器人传感器、光纤传感器、核辐射传感器、激光传感器、数字传感器及智能传感器等多种类型的传感器及其应用 100 余例。

全书内容丰富，突出新颖性、系统性、技术性、知识性、趣味性、实用性和可操作性。每章第一节介绍传感器的类型、结构、特性、原理、技术参数和选用方法，然后用大量篇幅介绍传感器的应用电路，这些电路涉及生活、生产、工业、农业、医疗、保健、文化、娱乐、安全报警、节能、环保等多领域。使读者知其道、明其理、会其用、受其益。

本书可供从事产品开发的设计人员、广大电子爱好者使用；也可作为大专院校毕业设计、课程设计、电子制作大赛选题及传感器课程的教学参考用书。

本书在编写过程中，得到了李传光、薛鸿德、吴慎山等专家的热心指导；同时得到了李晓媛、任慧的大力支持与帮助，他们对本书的编写提出了许多宝贵的意见，在此一并表示感谢。

本书第三、四、五、七、八、九、十四、十六、十八、十九、二十章由王俊峰编写；第一、十、十一、十二、十三、十五、十七章由孟令启编写；第二、六章由王海燕编写。文字录入和绘图工作由王娟、薛素云等完成。

由于编者水平有限，书中错误和不足之处在所难免，敬请广大读者指正。

编 者

目 录

前言

第一章 现代传感器应用基础 1

- 第一节 传感器的组成与分类 1
- 第二节 传感器的基本特性 4
- 第三节 传感器的标定 8
- 第四节 传感器的选用 10

第二章 红外线传感器应用电路 15

- 第一节 红外线传感器 15
- 第二节 红外线调光控制电路 25
- 第三节 红外线遥控电路 26
- 第四节 红外线多功能控制器 28
- 第五节 红外线“商品导购员” 29
- 第六节 红外线防盗报警器 31
- 第七节 红外线节能控制器 32
- 第八节 热释电红外线探测与控制电路 35

第三章 声音传感器应用电路 37

- 第一节 声音传感器 37
- 第二节 声音控制节电开关电路 41
- 第三节 声控防盗报警器 43
- 第四节 车胎漏气检测仪 44
- 第五节 声控自动门 45
- 第六节 声控玩具车 46

第四章 超声波传感器应用电路 49

- 第一节 超声波传感器 49
- 第二节 超声波遥控开关电路 56
- 第三节 超声波直接探测电路 57
- 第四节 超声波防碰撞电路 58
- 第五节 超声波治疗仪 59
- 第六节 超声波测距电路 60
- 第七节 多路超声波控制电路 63
- 第八节 超声波钻孔机电路 65

第五章 光敏传感器应用电路 68

- 第一节 光敏传感器 68
- 第二节 光控照明电路 77
- 第三节 光电寻迹器 78
- 第四节 亮度计与比色计 80
- 第五节 光敏电阻器延时节电开关 81

- 第六节 光电控制催眠曲电路 82

- 第七节 光控淋浴节水器 83

- 第八节 粮食害虫检测报警器 84

- 第九节 光控自动窗帘 85

- 第十节 光电池应用电路 86

第六章 湿敏传感器应用电路 88

- 第一节 湿敏传感器 88
- 第二节 汽车玻璃自动化冰电路 92
- 第三节 湿度检测器 93
- 第四节 粮食湿度检测器 94
- 第五节 湿度测量报警器 95
- 第六节 自动控制加湿器 95
- 第七节 农田灌溉自动控制电路 97

第七章 磁敏传感器应用电路 99

- 第一节 磁敏传感器 99
- 第二节 磁控式开关电路 101
- 第三节 安全监视磁控电路 103
- 第四节 电磁调速电路 106
- 第五节 霍尔电子点火器 107
- 第六节 微波炉控制器 108

第八章 气敏传感器应用电路 112

- 第一节 气敏传感器 112
- 第二节 有害气体检测报警器 117
- 第三节 可燃气体报警器 118
- 第四节 火灾烟雾报警器 119
- 第五节 天然气(煤气)泄露报警器 120
- 第六节 有害气体自动排除控制电路 121

第九章 热敏传感器应用电路 123

- 第一节 热敏传感器 123
- 第二节 温度测量方法 130
- 第三节 温度测量电路 131
- 第四节 恒温控制器 132
- 第五节 自动温度控制电路 133
- 第六节 电饭煲温度控制器 134
- 第七节 多路温度巡回检测控制电路 136
- 第八节 高精度温度传感器测量电路 137

第十章 压电传感器应用电路 139

第一节 压电传感器	139	第三节 激光二极管遥控开关电路	206
第二节 压电传感器等效电路与 测量电路	142	第四节 激光探测防盗报警电路	207
第三节 加速度测量电路	144	第五节 激光焊接	208
第十一章 压力传感器应用电路	146	第十八章 数字传感器应用电路	211
第一节 压力传感器	146	第一节 数字传感器	211
第二节 电容式接近控制电路	150	第二节 数字传感器的温度控制	215
第三节 液位压力测量电路	151	第三节 数字传感器控制与测量电路	219
第四节 压力测量电路	154	第四节 数字显示及计数电路	220
第十二章 电感式传感器应用电路	155	第五节 数字电脑绣花机	221
第一节 电感式传感器	155	第十九章 智能传感器应用电路	224
第二节 电感测厚电路	159	第一节 智能传感器	224
第三节 差动变压器测量电路	160	第二节 智能传感器的应用	229
第十三章 机械传感器应用电路	162	第三节 LM76 型智能温度传感器温度 控制系统	229
第一节 机械传感器	162	第四节 智能测量仪表	232
第二节 接近开关传感器	163	第五节 智能饮水机	234
第三节 接近传感器在工业检测控制中的 应用举例	168	第六节 智能电源	235
第十四章 机器人传感器应用电路	171	第二十章 其他传感器应用电路	239
第一节 机器人传感器	171	第一节 彩色传感器	239
第二节 机器人在日常工作生活中的 应用	177	第二节 陀螺传感器	241
第三节 机器人在工业上的应用	179	第三节 旋转编码器	242
第四节 新型机器人	183	第四节 调制型光电传感器	243
第十五章 光纤传感器应用电路	185	附录	245
第一节 光纤传感器	185	附录 A 红外发光二极管、光敏二极管、 光敏晶体管的主要参数	245
第二节 光纤传感器检测技术应用	190	附录 B 常用温度传感器的主要参数	246
第三节 光纤传感器对位移、振动频率和 转速的测量	192	附录 C 力与压力传感器的主要参数	247
第四节 光纤传感器对济南黄河大桥健康 监测实例	194	附录 D 湿敏传感器的主要参数	248
第十六章 核辐射传感器应用电路	195	附录 E 红外光电开关的主要参数	249
第一节 核辐射	195	附录 F 常用热敏传感器的主要参数	250
第二节 核辐射传感器	197	附录 G MYG02 型压敏电阻器的主要 参数	252
第三节 核辐射测厚仪	199	附录 H 金属电阻应变片常用金属材料的 主要特性	253
第十七章 激光传感器应用电路	201	附录 I 常用磁敏二极管及磁敏晶体管的 主要参数	254
第一节 激光传感器	201	参考文献	255
第二节 激光测量	203		

第一章 现代传感器应用基础

传感技术是研究传感器的材料、设计、工艺、性能和应用的一门综合技术。同时，它又是一门边缘技术，涉及物理学、数学、化学、材料对其敏感元件的研究，以及开发芯片的研究和应用。

传感器是信息采集系统的一种能将物理量、化学量、生物量等非电量转换成电量的器件。输出信号有不同形式，如电压、电流、频率、脉冲等，能满足信息传输、处理、记录、显示、控制要求，在多学科、多领域得到了广泛应用。世界上许多发达国家都在加快对传感器新技术的研究与开发，并且都已取得重大突破。

在科学研究和基础研究中，传感器能获取人类感官无法获得的大量信息。如利用传感器和传感技术，可以观察到 10^{-10}cm 的微粒；能测量 10^{-24}s 的时间；一艘宇宙飞船可以看作是一个高性能传感器的集合体，可以捕捉和收集宇宙之中的各种信息；一辆小轿车上所用的传感器多达百余种，利用传感器可以测量油温、水温、水压、流量、排气量、车速、状态等。

传感器的技术水平是衡量一个国家综合经济实力和科学技术水平的标志之一，它的发展水平、生产能力和应用领域已成为一个国家科学技术进步水平的重要标志。国外有的专家认为，谁支配了传感器，谁就支配了当前新时代。传感器技术（非电量测量技术）是现代科学技术的一个重要分支，它是信息科学阵地的“前沿哨所”，即信息捕捉的必要手段。在当今信息时代中，随着自动检测、自动化技术的发展，传感器技术显得越来越重要，它掌握着系统的命脉，推动着科学技术的进步；没有传感器就没有现代科学技术的快速发展。

本章介绍传感器技术的有关知识，为以后各章选用不同类型的传感器提供思路、理论依据和方法。

第一节 传感器的组成与分类

在工程技术领域里，传感器是人体“五官”的工程模拟物，是一种能把特定的被测非电量信息（包括物理量、化学量、生物量等）按一定规律转换成电量的器件或装置。

一、传感器的组成

传感器是一种能把非电输入信息转换成电信号输出的器件或装置。传感器又叫变换器、换能器或探测器。传感器一般是由物理、化学和生物等学科的某些效应或原理按照一定的制造工艺研制出来的，它能“感知”被控量或被测量的大小与变化并进行处理。传感器由敏感元件、转换元件、信号调节电路和其他辅助电路组成，如图 1-1 所示。

（一）敏感元件

在完成非电量到电量的转换时，并非所有的非电量都能用现有的技术直接转换为电量，而是先进行预转换，然后再转换为电量。敏感元件是直接感受被测非电量，并按一定规律转换成与被测量有确定对应关系的其他量（一般仍为非电量）的元件。通常把这种能完成预转换的元件称为敏感元件。如热敏电阻是敏感元件，它能将温度的变化预转换为电阻的变化，

再转换为电压或电流的变化。

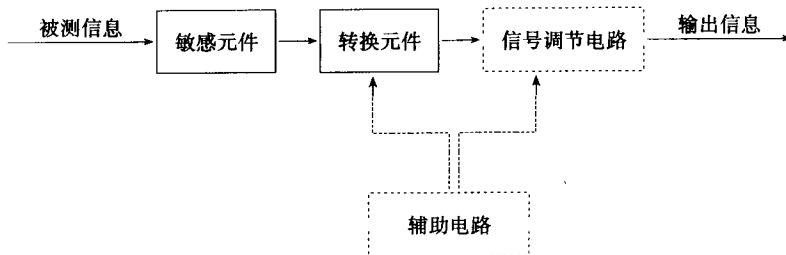


图 1-1 传感器构成框图

（二）转换元件

转换元件又叫变换器，是能将敏感元件感受到的非电量直接转换成电量的元件。信号的转换元件是构成传感器的核心。转换元件又可分为一次转换型（直接转换）和二次转换型（间接转换）。

1. 一次转换型

对物性型传感器而言，一般都可一次完成，即可实现“被测非电量—有用电量”的直接转换。

2. 二次转换型

对于结构型传感器来说，通常必须通过前置敏感元件预转换后才能完成，亦即实现“被测非电量—有用非电量—有用电量”的二次转换。

（三）信号调节电路

信号调节电路，把转换元件输出的电信号转换为便于显示、记录、处理和控制的电信号的电路。

（四）辅助电路

通常指电源电路（交、直流）及其外围电路。

在实际应用中，传感器的具体构成方法视被测对象、转换原理、使用环境及性能要求等具体情况的不同而有很大差异。

二、传感器的分类

（一）传感器的分类

传感器虽种类繁多，但都是根据物理学、化学、生物学等学科的规律、特性和效应设计而成的。一种被测量对象可以用不同传感器来测量，而同一原理的传感器通常又可测量多种非电量，因此分类方法各不相同。目前尚无统一的分类方法，一般常用的分类方法有以下几种。

1. 按工作原理分类

现有传感器主要是依据物理学中的各种定律和效应，以及化学原理和固体物理学理论进行测量的。如根据电阻定律，相应的有电位计式、应变式传感器；根据变磁阻原理工作的有电感式、差动变压器式、电涡流式传感器；根据半导体有关理论，相应的则有半导体力敏、热敏、光敏、气敏等固态传感器。

2. 按能量关系分类

从能量的观点来分,可将传感器分为有源传感器和无源传感器。

有源传感器将非电量转换为电量,称之为能量转换型传感器,也叫换能器(只转换能量本身而不转换能量信号的装置),如压电式、热电式、电磁式等。通常和测量电路、放大电路配合使用。

无源传感器又称为能量控制型传感器。它本身不是一个换能器,被测非电量仅对传感器中的能量起控制或调节作用,所以必须具有辅助电源(电能)。次类传感器有电阻式、电容式和电感式等,常用于电桥和谐振等电路的测量。

3. 按输入量分类

按输入量可分为温度、压力、位移、速度、湿度等传感器。这种分类方法给使用者提供了方便,使大家容易根据被测量对象来选择所需的传感器。

4. 按输出量分类

按输出量分类有模拟式传感器和数字式传感器。模拟式传感器的特点是输出的信号为模拟量;数字式传感器的特点是输出的信号为数字量。数字传感器便于和计算机联用,且抗干扰性强,如盘式角度数字传感器、光栅传感器等。

5. 其他分类

(1) 结构型,主要是通过机械结构的几何形状或尺寸的变化,将外界被测量转换为相应的电阻、电感、电容等物理量的变化,从而检测出被测量信号。这种传感器在目前应用得最为普遍。

(2) 物性型,利用某些材料本身物理性质的变化而实现测量。它是以半导体、电介质、铁电体等作为敏感材料的固态器件。

(二) 技术要求

无论何种传感器,作为测量与控制系统的首要环节,都必须具有快速、准确、可靠且又经济地实现信息转换的基本特点,因此,对传感器有以下几点技术要求。

- (1) 传感器的工作范围或量程足够大,具有一定的过载能力。
 - (2) 匹配性好,转换灵敏度高,线性程度好。
 - (3) 反应快速,工作可靠性好。
 - (4) 稳定性好,即传感器的静态响应与动态响应的准确度能满足要求,并长期稳定。
 - (5) 适应性强,即动作能量小,对被测量的状态影响小;低噪声且抗外界干扰的影响,使用安全。
 - (6) 成本低、寿命长,使用、维修和校准方便。
- 传感器的分类见表 1-1。

表 1-1 传感器的分类

传感器分类		转换原理	传感器名称	典型应用
转换形式	中间参量			
电参数	电阻	移动电位器角点改变电阻	电位器传感器	位移
		改变电阻丝或片的尺寸	电阻丝应变传感器、半导体应变传感器	微应变、力、负荷

(续)

传感器分类		转换原理	传感器名称	典型应用
转换形式	中间参量			
电参数	电阻	利用电阻的温度效应（电阻的温度系数）	热丝传感器	气流速度、液体流量
			电阻温度传感器	温度、辐射热
			热敏电阻传感器	温度
		利用电阻的光敏效应	光敏电阻传感器	光强
		利用电阻的湿敏效应	湿敏电阻	湿度
	电容	改变电容的几何尺寸	电容传感器	力、压力、负荷、位移
		改变电容的介电常数		液位、厚度、含水量
	电感	改变磁路几何尺寸、导磁体位置	电感传感器	位移
		涡流去磁效应	涡流传感器	位移、厚度、含水量
		利用压磁效应	压磁传感器	力、压力
		改变互感	差动变压器	位移
			自整角机	位移
			旋转变压器	位移
	频率	改变谐振回路中的固有参数	振弦式传感器	压力、力
			振筒式传感器	气压
			石英谐振传感器	力、温度等
	计数	利用莫尔条纹	光栅	大角位移、大直线位移
		改变互感	感应同步器	
		利用拾磁信号	磁栅	
	数字	利用数字编码	角度编码器	大角位移
电能量	电动势	温差电动势	热电偶	温度热流
		霍尔效应	霍尔传感器	磁通、电流
		电磁感应	磁电传感器	速度、加速度
		光电效应	光电池	光强
	电荷	辐射电离	电离室	离子计数、放射性强度
		压电效应	压电传感器	动态力、加速度

第二节 传感器的基本特性

传感器的特性是指传感器的输入量和输出量之间的对应关系。通常把传感器的特性分为静态特性和动态特性。

一、传感器的静态特性

静态特性表示传感器在被测输入量的各个值处于稳定状态时的输入—输出关系。传感器可完成将某一输入量转换为可用信息的功能，因此，总是希望输出量能不失真地反映输入量。在理想情况下，式(1-1)给出的是线性关系，但在实际工作中，由于非线性（高次项的

影响)和随机变化量等因素的影响,不可能是线性关系。所以,衡量传感器静态特性的主要技术指标包括线性度、迟滞、重复性和灵敏度等。

1. 线性度

线性度又称非线性误差,是表示传感器输出量—输入量与校准曲线之间吻合(或偏离)的程度,如图 1-2 所示。通常用相对误差来表示线性度,即

$$E = \pm \frac{\Delta_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中, $\Delta_{\max}$ 为输出量和输入量实际曲线与拟合直线之间的最大偏差; y_{FS} 为理论满量程输出。

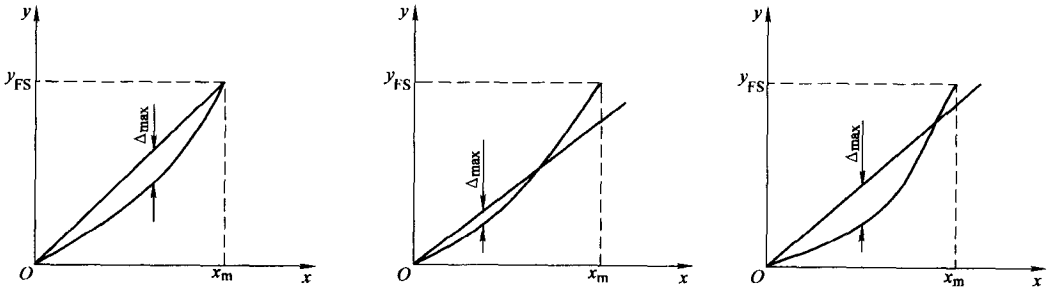


图 1-2 传感器的线性度

2. 迟滞(滞后)

迟滞是反映传感器正(输入量增大)、反(输入量减小)行程过程中输入—输出曲线的不重合程度(见图 1-3)。通常用正反行程中输出的最大偏差量 $\Delta_{\max}$ 与满量程输出 y_{FS} 之比的百分数来表示,即

$$E_{\max} = \frac{\Delta_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1-2)$$

3. 重复性

重复性是衡量传感器输入量按同一方向全量程连续做多次测量时,所得特性曲线间不一致的程度。各条特性曲线越重合,重复性就越好。传感器输出特性的不重复性是由传感器机械部分的磨损、间隙松动及电路中元器件的老化,温度变化引起的漂移等原因所致。重复性误差反映的是校准数据的离散程度,属于随机误差,因此,可根据标准偏差来计算

$$e_R = \pm \frac{a\sigma_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中, $\sigma_{\max}$ 为各校准点正行程和反行程输出值标准偏差中之最大值; a 为置信系数,通常取 2 或 3, $a=2$ 时,置信概率为 95.4%; $a=3$ 时,置信概率为 99.73%。

传感器的重复特性如图 1-4 所示。

计算标准偏差 σ 常用以下两种方法。

(1) 贝赛尔公式法。计算公式为

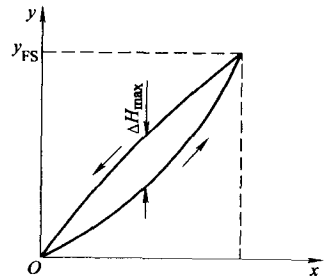


图 1-3 迟滞现象

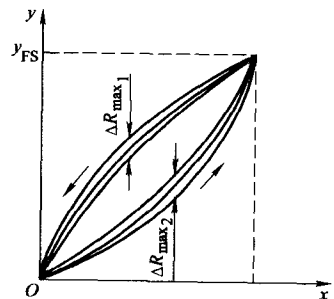


图 1-4 传感器的重复特性

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (1-4)$$

式中, y_i 为某校准点的输出值; $\bar{y}$ 为输出值的算术平均值; n 为测量次数。这种方法精度较高, 但计算繁杂。

(2) 极差法。所谓极差法是指某一校准点校准数据中的最大值与最小值之差。计算偏差的公式为

$$\sigma = \frac{w_n}{d_n} \quad (1-5)$$

式中, w_n 为极差; d_n 为极差系数, 其值与测量次数 n 值有关, 可由表 1-2 查得。

表 1-2 极差系数

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_n	1.41	1.91	2.24	2.48	2.67	2.88	2.96	3.08	3.18

这种方法计算较简便, 常用于 $n \leq 10$ 的场合。在采用上述两种方法时, 若有 m 个校准点, 正、反行程共可求得 $2m\sigma$ 个, 应取其中最大者 $\sigma_{\max}$ 来计算重复性误差。按上述方法计算得到的重复性误差不仅反映了传感器输出的一致性程度, 而且还代表了在一定置信概率下的随机误差极限值。

4. 灵敏度

灵敏度是指传感器的输出增量与被测输入量增量之比, 即

$$s = \Delta y / \Delta x \quad (1-6)$$

显然, 对于线性传感器, 灵敏度是拟合直线的斜率, $s = y/x$ 表示, 如图 1-5a 所示。对于非线性传感器, 灵敏度不是常数, 应以 dy/dx 表示, 如图 1-5b 所示。

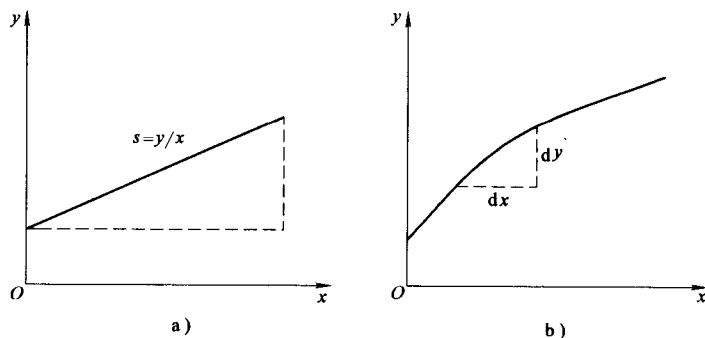


图 1-5 灵敏度

实际上无源传感器的输出量与供给传感器的电源电压有关, 其灵敏度的表达式往往需要包括电源电压的因素。

5. 分辨力

分辨力是指传感器在规定测量范围内所能检测出被测输入量的最小变化量。有时对该值用相对满量程输入值的百分数表示, 称为分辨率。

6. 阈值

阈值是能使传感器的输出端产生可测变化量的最小被测输入量值，即零点附近的分辨能力。有的传感器在零位附近有严重的非线性，形成所谓“死区”，此时将死区的大小作为阈值。更多情况下阈值量要取决于传感器噪声的大小，因而有的传感器只给出噪声电平。

7. 稳定性

稳定性又包括长期稳定性和短期稳定性。对传感器常用长期稳定性来描述，即在相当长的时间内仍保持其原性能的能力。稳定性一般以在室温条件下，经过一个相当长的时间间隔后，传感器的输出与起始标定的输出之间的差异。有时也可用不稳定性来描述，不稳定性越小，表明稳定度越好。

8. 漂移

漂移是指在一定的时间间隔内，传感器的输出存在着与被测输入量无关的、不需要的变化。漂移通常包括零点漂移和灵敏度漂移。

零点漂移或灵敏度漂移又可分为时间漂移和温度漂移，又称时漂和温漂。时漂是指在规定的条件下，零点或灵敏度随时间有缓慢的变化；温漂是指由周围温度变化所引起的零点或灵敏度的变化。

9. 静态误差

它是评价传感器静态特性的综合指标，是指传感器在满量程内，任一点输出值相对其理论值可能偏离的程度。

二、传感器的动态特性

(一) 动态特性

传感器的动态特性是对输入激励的输出响应特性。一个特性好的传感器，其输出随时间变化的关系能复现输入量随时间变化的关系，但实际上除了具有理想比例特性环节外，输出信号与输入信号的不一致性，使输出与输入之间产生动态误差，对这种误差性质的研究称为动态特性分析。

(二) 传感器动态特性的研究方法

1. 动态特性的标准函数

由于传感器在实际工作中随时间变化的输入信号是千变万化的，往往事先并不知道其特性，工程上通常采用常用的标准信号函数（正弦函数和阶跃函数）方法来研究，这是因为它们既便于求解又便于实现，并据此确定若干评定动态特性的指标。

对于非正弦周期信号，可以利用傅里叶级数分解为多次谐波的正弦函数；对其他非正弦非周期的函数可通过傅里叶变换分解各次正弦谐波来分析。阶跃信号是瞬时发生的变化，它有可能是输入信号中最坏的一种，传感器如能复现这种信号，就能较容易地复现其他输入信号，所以将它作为标准信号函数。

2. 动态特性的分析方法

(1) 瞬态响应法。当输入信号为阶跃函数时，因为它是时间的函数，故传感器的响应是在时域内发生的，因此称为瞬态响应法。

(2) 频率响应法。当输入信号是正弦函数时，因为它是频率的函数，故传感器的响应是在频域内发生的，因此称为频率响应法。

这两种分析方法内部存在着必然联系，可在不同场合根据实际需要来选择不同的方法。

3. 阶跃函数响应特性曲线

在采用阶跃函数作输入, 研究传感器的动态特性时, 常用响应曲线的上升时间 t_{rs} 、响应时间 t_{st} 、超调量 c 等参数作为评定指标。阶跃响应特性如图 1-6 所示。

(1) 上升时间 t_{rs} 是指输出值从最终稳定值的 5% 或 10% 变到最终稳定值的 90% 或 95% 所需的时间。

(2) 响应时间 t_{st} 是指输入量开始其作用到进入稳定值所规定范围所需的时间。最终稳定值的允许范围常取所允许的测量误差值 $\pm \epsilon$ 。

(3) 超调量 c 是指输出第一次达到稳定值又超出稳定值而出现的最大偏差, 常用相对最终值的百分比来表示。

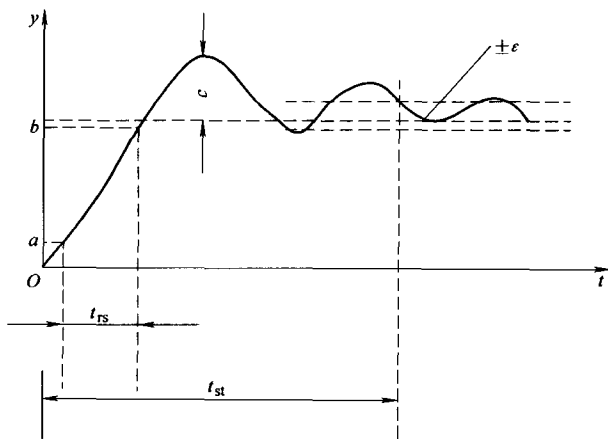


图 1-6 阶跃响应特性

在采用正弦输入来研究传感器的动态特性时, 常用频率特性 (即幅频特性和相频特性) 来描述, 其重要指标是频带宽度 (简称带宽)。带宽是指增益变化不超过某一规定分贝值的频率范围。

第三节 传感器的标定

在选用传感器之前, 必须对其进行标定, 以保证在生产使用过程中信号的准确传递。新研制或生产的传感器需对其技术性能进行全面检定, 经过一段时间存储或使用的传感器也需对其性能进行复测, 以保证其性能指标达到要求。对出现故障的传感器, 经修复可继续使用的仍需进行重新标定试验。由此看来, 传感器的标定, 对保证传感器的质量, 进行准确的量值传递, 改善传感器的性能等方面来说都是必须进行的。

传感器的标定分为静态标定和动态标定。

一、传感器的静态标定

传感器的静态标定用于确定传感器的静态性能指标。必须以国家和地方计量部门有关检定规程为依据, 选择正确的标定条件和适当的仪器设备, 并按照一定的程序进行。

静态标定主要用于检验、测试传感器 (或传感器系统) 的静态特性指标, 如静态灵敏度、非线性度、滞后、重复性等。

(一) 标定条件与仪器精度

进行静态标定首先要建立静态标定系统。静态标定系统的关键在于被测非电量的标准发生器及标准测试系统。

1. 静态标准条件

静态标准条件是指没有加速度、振动、冲击 (除非这些参数本身就是被测量), 环境温度一般为 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, 相对湿度不大于 85%, 大气压力为 $(101.32 \pm 7.998)\text{kPa}$ 的情况。

2. 标准仪器设备精度等级的确定

按照国家规定,各种量值传递系统在标定传感器时,所用的标准仪器及设备至少要比被标定传感器的精度高一个等级。为保证标定精度,必须选用与被标定传感器精度相适应的标准器具。只有这样,通过标定确定的传感器的静态性能才是可靠的,所确定的精度才是可信的。

(二) 静态特性标定的方法

对传感器进行静态特性标定时,首先要创造一个静态标准条件,其次是选定与被标定传感器精度要求相适应的具有一定等级的标定用仪器设备,然后才能对传感器的静态特性进行标定。标定过程及步骤如下:

(1) 将被标定传感器的量程分成若干点(一般等距分布)。

(2) 根据传感器量程分点的情况,先由小到大逐点地输入标准量值,再由大到小逐点减小标准量值,如此正、反行程往复循环多次,逐次逐点记录下各输入值相对应的输出值。

(3) 将得到的输入—输出测试数据用表格列出或画成曲线。

(4) 对测试数据进行必要的处理,根据处理结果,可以确定传感器的线性度、灵敏度、滞后和重复性等静态特性指标。静态标定举例(弹簧压力计式压力标定机和活塞压力计标定压力传感器)分别如图 1-7 和图 1-8 所示。

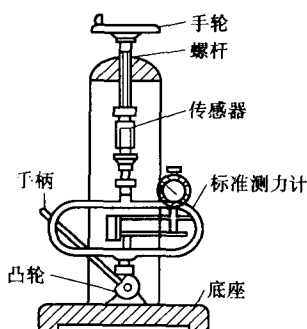


图 1-7 弹簧压力计式压力标定机

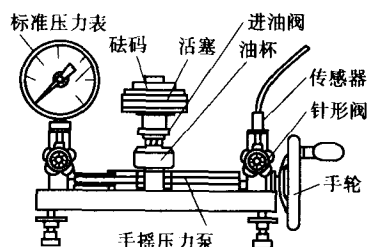


图 1-8 活塞压力计标定压力传感器

二、传感器的动态标定

传感器的动态标定主要用于检验、测试传感器的动态特性,如动态灵敏度、频率响应和固有频率等。传感器的动态特性可用传递函数描述。已知传递函数,就可知传感器的阶跃响应和频率响应特性。因此,传感器动态特性的标定实质上是传感器传递函数的确定。

常用动态标定设备包括振动台、电磁式激振器、压力发生器等。

传感器的动态标定方法有绝对标定法和比较法。绝对标定法精度较高,但所需设备复杂,标定不方便,常用于高精度传感器与标准传感器的标定。比较法则是由灵敏度已知的标准传感器与待标定传感器同时感受相同的被测信号。

同静态标定一样,在对传感器进行动态标定时,需对传感器输入一种标准激励信号。常用的标准激励信号有周期性信号(正弦信号、三角波信号、方波脉冲信号)和瞬时变化信号(阶跃信号、半正弦波等),并测出其在动态输入信号激励时响应的输出量值,然后绘出响应曲线。

利用上述标定系统采用逐点比较法可以标定待标定传感器的频率响应。

随着技术的进步,在上述方法的基础上,出现了连续扫描法。连续扫描法的原理是,将标准被测量与内装或外加的标准传感器组成闭环扫描系统,使待标定传感器在连续扫描过程中被测量,并记下待标定传感器的输出随频率变化的曲线。通常频率偏差以参考灵敏度为准,各点灵敏度相对于该灵敏度的偏差用分贝数给出。这种方法操作简单,效率很高。

需要说明的是,由于传感器种类繁多,标定设备与方法各异,各种传感器的标定项目也有所区别。此外,随着技术的不断进步,不仅标准发生器与标准测试系统在不断改进,利用微型计算机进行数据处理、自动绘制特性曲线以及自动控制标定过程的系统也在各种传感器的标定中出现。

动态标定举例:用微波管法产生的阶跃压力来标定压力传感器。微波管标定装置系统如图1-9所示。它由微波管、入射微波测速系统、标定测量系统及气源等四部分组成。入射微波测速系统由两个测速压力传感器、测速前置级及数字频率计组成。

当激波经过测速压力传感器A时,测速压力传感器A的输出信号经测速前置级加到数字频率计,数字频率计开始计数。当微波经过测速压力传感器B时,它输出一信号使数字频率计停止计数。

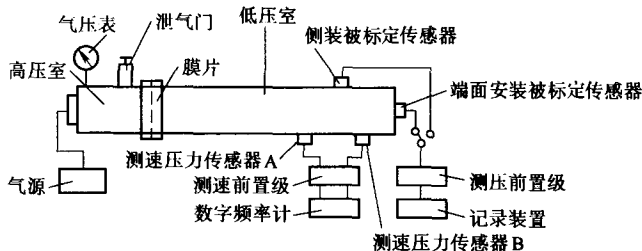


图 1-9 微波管标定装置系统

第四节 传感器的选用

传感器的种类很多,在选用过程中,应体现出灵活性。根据传感器的使用目的、技术指标、环境条件和成本等限制条件,可从实际需要出发,从不同的侧重点,优先考虑它的主要条件。

一、选用原则

如何根据测试目的和实际条件,合理地选用传感器,是经常会遇到的问题。为此,本节在常用传感器初步知识的基础上,就合理选用传感器的一些注意事项,作一大概介绍。

选择传感器总的原则是,在满足对传感器所有要求的前提下,价格低廉、工作可靠、便于维修。

二、选择要求

对于同一种被测物理量,可允许选用不同的传感器。例如被测物理量是位移,可选用电阻应变式传感器、电容式传感器,也可选用电感式传感器。通常,选用传感器应从以下几个方面考虑:第一,测试条件,主要包括测量目的;被测试物理量特征;测量范围、输入信号的极值和频宽以及测量精度、测量时间等。第二,传感器自身性能,主要包括精度、稳定性、响应速度、输出量类别(到底是模拟信号还是数字信号)、对被测物体产生的负载效应、校正周期、输入端保护等。第三,使用条件,主要包括设置场地的环境条件(如温度、湿度、振动等)、测量时间、所需功率容量,与其他设备的连接匹配、备件与维修服务等。具体要求如下:

(一) 灵敏度高

(1) 一般来说, 传感器灵敏度越高越好。灵敏度高, 传感器所能感知的变化量越小。被测量稍有微小变化, 传感器就有较大的输出。但应防止外界干扰信号混入, 与测量信号同时被放大器放大。这时既要检测微小量值, 又要干扰小。为保证这一点, 往往要求信噪比越大越好。

(2) 矢量测量时, 要求传感器在该方向灵敏度越高越好, 而横向灵敏度越小越好。在测量多维矢量时, 还应要求传感器的交叉灵敏度越小越好。

(3) 输入量(被测量、干扰量)不能进入非线性区域。最大输入量不应使传感器进入非线性区域, 更不能进入饱和区域。这时对传感器来讲, 其输入量不仅包括被测量, 也包括干扰量; 两者之和也不能进入非线性区域。过高的灵敏度会缩小其适用的测量范围。

(二) 精确度适宜

传感器的精确度表示传感器的输出与被测量真值一致的程度。传感器处于测试系统的输入端。传感器能否真实地反映被测量值, 对整个测试系统具有直接的影响。然而, 也并非要求传感器的精确度越高越好, 因为还应考虑到经济性。传感器的精确度越高, 价格就越昂贵。因此, 应从实际出发, 尤其应从测试目的出发来选择传感器。

首先应了解测试目的, 判定是定性分析还是定量分析。如果是属于相对比较的定性试验研究, 只需获得相对比较值即可, 无要求绝对量值, 那么应要求传感器的精密度高。如果是定量分析, 必须获得精确量值, 因而要求传感器有足够高精确度。

(三) 可靠性好

可靠性是指仪器、装置等产品在规定的条件下, 在规定的时间内可完成规定功能的能力; 只有产品的性能参数(特别是主要性能参数)均处于规定的误差范围内, 方能视为可完成规定的功能。

为了保证传感器在应用中具有较高的可靠性, 事先必须选用设计、制造良好, 使用条件适宜的传感器。在使用过程中, 应严格保持规定的使用条件, 尽量减小使用条件的不良影响。

例如电阻应变式传感器, 湿度会影响其绝缘性; 温度会影响其零漂; 长期使用会产生蠕变现象。又如, 对于变间隙型的电容传感器, 环境湿度或浸入间隙的油剂, 会改变介质的介电常数。光电传感器的感光表面有尘埃或水蒸气时, 会改变光通量、偏振性或光谱成分。对于磁电式传感器或霍尔效应元件等, 当在电场、磁场中工作时, 亦会带来测量误差。滑线电阻式传感器表面有尘埃时, 将引入噪声。

在机械工程中, 有些机械系统或自动化加工过程, 往往要求传感器能长期地使用而不需经常更换或校准。而其工作环境又比较恶劣, 尘埃、油剂、温度、振动等干扰严重, 例如, 热轧机系统控制钢板厚度的 γ 射线检测装置, 用于自适应磨削过程的测力系统或零件尺寸的自动检测装置等, 在这种情况下, 应对传感器的可靠性有严格的要求。

(四) 线性范围宽

任何传感器都有一定的线性范围, 在线性范围内输出与输入成比例关系。线性范围越宽, 则说明传感器的工作量程越大。

传感器工作在线性区域内, 是保证测量精确度的基本条件。例如, 机械式传感器中的测力弹性元件, 其材料的弹性限度是决定测力量程的基本因素。当超过弹性限度时将产生线性误差。