

21世纪高等学校精品规划教材

自动检测与转换技术

ZIDONG JIANCE YU ZHUANHUAN JISHU

■ 主 编 杨 琳
■ 副主编 陈小艳 马 剑
■ 主 审 王诗军

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

21 世纪高等学校精品规划教材

自动检测与转换技术

主 编 杨 琳

副主编 陈小艳 马 剑

主 审 王诗军

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书主要介绍在工业、科研、生活等领域常用传感器的工作原理及特性、测量转换电路、信号处理技术及传感检测技术的应用等方面的知识。

本书反映了传感器技术在自动检测领域中的应用,书中介绍的传感器及其应用技术具有很好的代表性和实用性。同时,每章均附有习题与思考题,在帮助学生巩固基础知识的同时,还具有一定的启发性、实用性和拓展性。

本书可作为高等学校自动化专业的教材,也可供其他相关专业及工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

自动检测与转换技术/杨琳主编. —北京:北京理工大学出版社, 2010. 2
ISBN 978 - 7 - 5640 - 3017 - 9

I. ①自… II. ①杨… III. ①自动检测 - 高等学校 - 教材②传感器 - 高等学校 - 教材 IV. ①TP274②TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 015582 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>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中画美凯印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 12

字 数 / 242 千字

版 次 / 2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2000 册

定 价 / 26.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

本书是顺应高等教育的发展趋势，配合高等学校人才培养目标及教学改革，促进自动化专业的教材建设，在总结多年的教学经验基础上编写而成的。

根据高等学校人才培养目标的要求，本书编写注重知识的系统性和完整性。全书共分8章，第1章介绍了自动检测与转换技术的基础知识，包括检测的基本概念、传感器的分类及常用的弹性敏感元件；第2章介绍了参量型传感器，包括电阻、电感、电容等参量传感器，从工作原理、测量转换电路及应用等方面作了介绍；第3章介绍发电型传感器，主要介绍了压电式传感器、霍尔式传感器和热电偶传感器的工作原理、测量转换电路及应用；第4章介绍数字式传感器，包括光栅、磁栅、容栅传感器和数字式角编码器，从工作原理、转换电路及应用等方面进行了介绍；第5章介绍了目前比较新型的传感器，如CCD图像传感器、触觉传感器，光纤传感器、磁性传感器和集成温度传感器；第6章为其他传感器简介，除前几种类别以外，介绍工业上常用的光电传感器、超声波传感器、红外线传感器、激光传感器等；第7章介绍自动转换与信号处理技术，主要包括电桥电路、调制解调电路、A/D与D/A转换及连接通道、信号的抗干扰技术及自动检测系统中的微机接口等；第8章介绍了自动检测与转换技术在实际中的具体应用。

全书从认知规律出发，本着教育、教学的科学性、先进性和实用性的原则，压缩了繁琐的公式推导和计算，着重介绍了工业、企业、科研及日常生活等方面常用传感器的工作原理、测量转换电路、信号处理技术及传感检测技术的应用。要求学生在熟悉各种传感器工作的物理效应及特性的基础上，能够正确地选择、使用传感器。同时，要求学生掌握常用的信号处理技术及传感检测技术，具备一定的专业技能，能够解决一些工业、企业、科研及日常生活等方面的实际问题。

在编写过程中，编写组查阅、收集、整理了大量的资料，走访了一些专家、学者，对毕业生和用人单位进行了调研，力图通过本教材的学习，能够获得作为专业技术人员必须具备的传感器基础知识，掌握基本的转换电路与信号处理技术，具备检测技术应用的基本能力。

本书在编写过程中力求体现以下特点：

1. 易学易懂。本书按照认知规律来介绍，避开了繁杂的数理推导，注重基础知识与基本技能，降低了学习难度。

2. 行文简洁。本书知识体系完整，叙述简洁，逻辑合理，概念清晰明了，突出知识与能力主线，贯彻了少而精的特点。

3. 内容充实。全书选材合理，反映了本学科在近年来最新技术成果，基本涵盖了本学



科常用的传感器。内容由浅入深，循序渐进，知识面广。

4. 结合实际。本书的内容与实践紧密结合，突出实用性，在掌握基础知识的基础上，注重能力的培养。

本书由杨琳主编，陈小艳、马剑担任副主编，由王诗军主审。参加编写工作的有：杨琳（前言、简介、第1章、第6章的6.3、6.4节、第7章、第8章）、陈小艳（第5章）、马剑（第3章）、王斌（第4章）、刘平（第2章的2.3节、第6章的6.1、6.2节）、许文稼（第2章的2.1、2.2节），全书由杨琳统稿。在编写、整理、统稿、校对审核及出版过程中，得到许多专家、同行及相关人员的帮助，在此深表感谢。

本书可以作为高等学校自动化类、应用电子技术类、仪器仪表类、数控技术类、机电一体化类的专业教材，也可供相关工程技术人员参考。本书的参考学时为48~64学时。

由于传感技术发展较快，作者水平有限，不妥之处敬请批评指正。

编 者

目 录

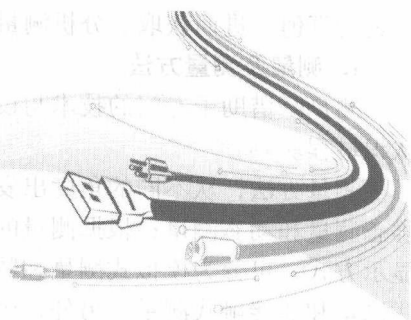
第 1 章 自动检测的基础知识	1
1.1 检测的基本概念	1
1.2 传感器的组成、分类及基本特性	6
1.3 常用弹性敏感元件.....	11
习题与思考题	15
第 2 章 参量型传感器	16
2.1 电阻应变式传感器.....	16
2.2 电感式传感器.....	22
2.3 电容式传感器.....	27
习题与思考题	34
第 3 章 发电型传感器	36
3.1 压电型传感器.....	36
3.2 霍尔式传感器.....	44
3.3 热电偶传感器.....	53
习题与思考题	64
第 4 章 数字式传感器	66
4.1 光栅传感器.....	66
4.2 磁栅传感器.....	73
4.3 容栅传感器.....	76
4.4 数字式角编码器.....	78
习题与思考题	84
第 5 章 新型传感器简介	86
5.1 CCD 图像传感器	86
5.2 触觉传感器.....	92
5.3 光纤传感器.....	95
5.4 磁性传感器	102



5.5 集成温度传感器	108
习题与思考题	113
第6章 其他传感器简介	114
6.1 光电式传感器	114
6.2 超声波传感器	123
6.3 红外传感器	128
6.4 激光传感器	132
习题与思考题	137
第7章 传感器接口电路与信号处理	139
7.1 电桥电路	139
7.2 放大电路	142
7.3 噪声干扰的抑制	143
7.4 调制与解调电路	146
7.5 D/A、A/D 转换电路及接口	150
习题与思考题	157
第8章 自动检测与转换技术的综合应用	158
8.1 传感器的选用	158
8.2 传感技术在家用电器中的应用	161
8.3 传感技术在数控机床中的应用	163
8.4 传感技术在智能楼宇中的应用	168
习题与思考题	176
附录	177
附录 A 镍铬-镍硅(镍铝) K 型热电偶分度表	177
附录 B 常用传感器的性能及选择	178
附录 C 几种常用磁敏二极管的主要参数	181
附录 D 几种常用磁敏三极管的主要参数	181
附录 E 几种常用集成温度传感器的特性	182
参考文献	183

第 1 章

自动检测的基础知识



1.1 检测的基本概念

检测是利用各种物理、化学效应,选择合适的方法与装置,将生产、科研、生活等各个方面的有关信息通过检查与测量的方法赋予定性分析或定量计算的过程。能够自动地完成整个检测处理过程的技术称为自动检测与转换技术。

检测技术是现代化领域中很有发展前景的技术,它在国民经济中起着极其重要的作用,是产品检验和质量控制的重要手段。在机械制造行业中,通过对机床的许多动、静态参数(如工件的加工精度、切削速度、机械震动等)等进行在线检测,从而控制加工质量;在化工、电力等行业,通过对生产工艺过程中的温度、压力、流量等参数的自动检测来控制生产过程的安全;在交通领域,一辆现代汽车中的传感器就有很多种,分别用来检测车速、方位、负载、震动、油压、油量、温度、燃烧过程等;在国防科技中,检测技术用的更多,许多尖端的检测技术都是因国防工业的需要而发展起来的。同时,随着家电工业的兴起,检测技术也走进了人们的日常生活,如:自动检测并调节房间温度、湿度的空调机,自动检测衣服污度与重量、利用模糊技术的智能洗衣机等。

有人形象地把计算机比喻为人脑的延续,称之为“电脑”,而把传感器比喻为人的感觉器官的延续,称之为“电五官”(视觉、听觉、味觉、嗅觉、触觉),没有“电五官”就没有自动检测,就没有自动化。随着自动控制技术、计算机技术的迅速发展,作为“感觉器官”的传感器技术尤其重要,是自动检测系统不可缺少的重要组成部分,是一门具有希望与活力的新兴技术。

1.1.1 测量、测量误差及分类

测量是检测技术的主要组成部分,测量得到的是定量的结果,测量的目的是为了求取被



测量的真值，进而获取、分析测量误差，提高测量的精度及测量的准确性。

1. 测量及测量方法

测量是借助于专门的技术与设备，采用一定的方法，取得某一客观事物定量数据资料的认识过程。

测量方法，从不同的角度出发有不同的分类方法。根据被测量是否随时间变化，可分为静态测量和动态测量；根据测量的手段不同，可分为直接测量与间接测量；根据测量结果的显示方式，可分为模拟式测量和数字式测量；根据测量时是否与被测对象接触，可分为接触式测量和非接触式测量。另外，为了监视生产过程，或在生产流水线上监视产品质量的称为在线测量，反之称为离线测量。

2. 测量误差

在检测过程中，被测对象、检测系统、检测方法和检测人员都会受到各种因素的影响。而且，对被测量的转换有时也会改变被测对象原有的状态信息，这就造成了检测结果（测量值）与真值之间存在一定的差值，这个差值就称为测量误差。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。

所谓真值，是指在一定条件下被测量客观存在的实际值。真值有理论真值、约定真值、相对真值之分。如，三角形三个内角之和为 180° ，这种真值称理论真值。又如，水的三相（固体、液体、气体）点的温度是 273.16 K ，银的凝固点是 $961.78\text{ }^\circ\text{C}$ ，这类真值称为约定真值。凡是精度高一级或几级的测量装置的误差是精度低的测量装置的误差的三分之一以下时，则精度高一级或几级的测量装置的测量值可以作为精度低的测量装置的相对真值。相对真值在误差测量中的应用最为广泛。

3. 测量误差的分类

为了便于对误差进行分析与处理，人们通常对测量误差从不同的角度进行分类。按照误差的表示方法，可分为绝对误差和相对误差；按照误差出现的规律，可分为系统误差、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 Δ 是指测量值 A_x 与真值 A_0 之间的差值。用公式表示为：

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1.1)$$

绝对误差是有符号和单位的量，其单位与被测量相同。绝对误差越小，说明测量值越接近真值，即测量精度越高。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情况。如，某一测量仪器测量 10 mm 的长度，绝对误差为 0.001 mm ；另一仪器测量 200 mm 的长度，误差为 0.01 mm 。这就很难按绝对误差的大小来判断测量精度的高低了，虽然后者的绝对误差比前者大，但相对于被测量的值却显得较小。为此，引入了相对误差的概念。

(2) 相对误差可以准确反映出测量值偏离真值的程度。相对误差用百分数来表示，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。

实际相对误差是指绝对误差 Δ 与真值 A_0 的百分比。用公式表示为：

$$\gamma_0 = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1.2)$$

在实际测量中，由于被测量的真值是未知的，而测量值又很接近真值。因此，可以用测量值来代替真值来计算示值相对误差。用公式表示为：

$$\gamma_x = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1.3)$$

对于测量下限为零的仪表，满度相对误差是指绝对误差 Δ 与仪表满度值 A_M 的百分比。用公式表示为：

$$\gamma_M = \frac{\Delta}{A_M} \times 100\% \quad (1.4)$$

对于测量下限不为零的仪表而言，式 (1.4) 中 A_M 可以用量程 ($A_{\max} - A_{\min}$) 来代替。当 Δ 取最大值 Δ_M 时，满度相对误差常被用来确定仪表的精度等级 S ，用公式表示为：

$$S = \left| \frac{\Delta_M}{A_M} \right| \times 100 \quad (1.5)$$

根据精确度等级 S 及量程范围，可以推算出该仪表可能出现的最大绝对误差 Δ_M 。我国工业仪表常见的精度等级有 7 种：0.1 级、0.2 级、0.5 级、1.0 级、1.5 级、2.5 级、5.0 级。它们分别表示对应仪表的满度相对误差不应超过的百分比。等级的数值越小，仪表的价格就越贵。

显然，精度等级已知的测量仪表只有在被测量的值接近满量程时，测量精度最高。因此，使用测量仪表时，应当根据被测量的大小和测量精度要求，合理地选择仪表量程和精度等级。

2) 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，误差的大小和符号保持不变或按照一定的规律变化，这种误差称为系统误差。系统误差又称装置误差，它反映了测量值偏离真值的程度。

系统误差是有规律性的，一般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予以消除。

(2) 随机误差。在相同的条件下，多次测量同一量时，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。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。

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，是不可避免的，既不能用实验的方法消除，也不能修正，但其符合一定的统计规律。因此，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，可以掌握看似毫无规律的随机误差分



布特性，并进行测量结果的数据统计处理。多数随机误差都服从正态分布规律。

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。

精确度是测量的正确度和精密度的综合反映，精确度高意味着系统误差和随机误差都很小，精确度简称精度。

(3) 粗大误差。明显偏离真值的误差称为粗大误差，也叫过失误差。粗大误差主要是由于测量人员的粗心大意及测量仪器受到突然强大干扰所引起的。如测错、读错、记错、外界干扰等造成的误差。就数值大小而言，粗大误差明显超过正常条件下的误差。一般发现粗大误差时，都予以剔除。

3) 静态误差和动态误差

(1) 静态误差。当被测量不随时间变化或变化很缓慢时所产生的误差称为静态误差。

(2) 动态误差。当被测量随时间迅速变化时，输出量在时间上不能与被测量的变化精确吻合，这种误差称为动态误差。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。

此外，按测量仪表的使用条件分，还可以将误差分为基本误差和附加误差；按测量技能和手段分，又可将误差分为工具误差和方法误差等。

1.1.2 自动检测系统的组成

在自动检测系统中，各组成部分通常以信息流来划分，主要包括信息的获取、转换、显示和处理。一个完整的自动检测系统，主要由传感器、信号处理电路、数据处理装置、记录显示装置、执行机构等五部分构成，其组成框图如图 1-1 所示。

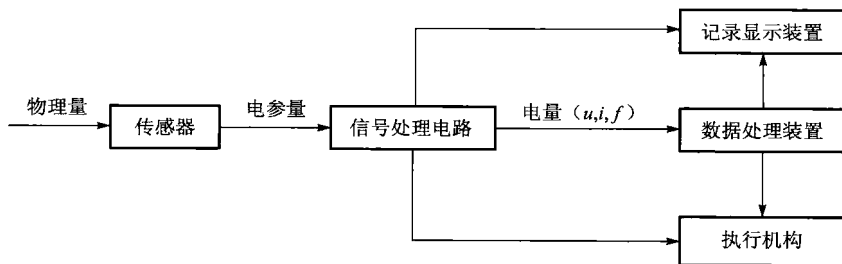


图 1-1 自动检测系统的组成框图

1. 传感器

传感器的作用是将被测的物理量转变为电参量，是获取信息的手段，是自动检测系统的首要环节，在自动检测系统中占有重要的位置。



2. 信号处理电路

信号处理电路的作用把传感器输出的电参量转变成具有一定驱动和传输功能的电压、电流和频率信号，以推动后续的记录显示装置、数据处理装置及执行机构。

3. 记录显示装置

记录显示装置是把信号处理电路转换来的电信号进行记录、显示，便于人机对话。记录装置主要用来记录被检测对象的动态变化过程，有模拟记录仪和数字采集记录仪等；显示装置主要用来显示被测对象的变化结果，常用的显示方式有模拟显示、数字显示及图像显示等。

4. 数据处理装置

数据处理装置的作用是把信号处理电路转换来的数据进行处理、运算、逻辑判断、线性变换等，对动态测试的结果进行分析。这些工作的完成必须采用计算机技术。数据处理的结果通常送到记录显示装置和执行机构中去，以显示运算处理的结果或控制各种被控对象。在不带数据处理装置的自动检测系统中，记录显示装置和执行机构由信号处理电路直接驱动。

5. 执行机构

执行机构通常是指各种继电器、电磁铁、电磁阀、伺服电动机等，它们在电路中起通断、控制、保护、调节等作用。自动检测系统能输出与被测量有关的信号，作为自动控制系统的控制信号，去驱动执行机构。

1.1.3 自动检测技术的发展趋势

科学技术特别是微电子技术和微型计算机技术的迅猛发展与普及，为传感器与检测技术的发展创造了条件。目前，在研究最大限度地提高现有检测系统的精确度、灵敏度、性价比、可靠性，扩大检测范围的同时，还应寻求传感检测技术发展的新途径，主要表现在以下两个方面。

1. 不断研究、开发新型传感器

(1) 利用新材料研制新型传感器。随着材料科学的进步、新材料的开发，出现了许多新型传感器。如：半导体材料研究的进展，促进了半导体传感器的迅速发展；压电半导体材料的出现，为集成压电传感器提供了方便；高分子压电薄膜的出现，使得机器人的触觉系统更接近人的感觉器官——皮肤。而在不久的将来，随着新型敏感材料的出现，将导致更新型传感器的出现。

(2) 采用新原理研制新型传感器。检测技术的检测原理大多以各种物理效应为基础，近代物理物理学的进展（如纳米、激光、红外线、超声波、光纤等新技术）为检测技术的发展提供了更多的依据，使得检测领域扩大到整个人类社会活动的各个方面。20世纪70年代以前，检测技术主要用于工业部门。目前，不仅在海洋开发、航空航天等尖端科学技术和新兴工业领域，还在生物、医疗、环境检测、日常生活等方面得到了很好的应用。



(3) 利用新的加工工艺研制新型传感器。随着加工方法的进步,使许多新型传感器的生产成为现实。采用微细机械加工技术、光刻技术、扩散技术及各向异腐蚀等方法,生产微型、集成化传感器,目前已经制成了注射器针尖上的压力传感器、成分传感器等。

2. 检测技术的集成化、智能化、网络化

(1) 随着半导体集成电路技术的发展,电子元件的高度集成化大量向检测技术领域渗透。人们将传感元件与信号处理电路集成在一块硅片上,从而制作出体积更小、性能更好、功能更强的传感器。

(2) 随着 20 世纪 70 年代微处理器的出现,人们迅速将计算机技术应用到检测技术中,出现了带有微处理器的各种智能化仪表。这类仪表选用微处理器作为控制元件,利用计算机可编程的特点,使仪表内的各个环节自动地协调工作,并且具有数据分析和故障诊断功能,使得检测技术推进到智能水平。

(3) 随着微电子技术的发展,现在已经可以将十分复杂的信号处理和电路集成到单块芯片中去。传感器的输出不再是单一的模拟量,而是符合某种协议格式(如可以即插即用)的数字信号,从而可以通过网络实现多个系统之间的数据交换和共享,实现检测系统的网络化。

总之,检测技术的发展适应了国民经济发展的迫切需要,是一门充满希望和活力的新兴技术,已经取得了十分瞩目的成就,今后还将有更大的飞跃。

1.2 传感器的组成、分类及基本特性

传感器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。常用传感器的输出信号多为易于处理的电信号,如电压、电流和频率等。

传感器是自动检测系统的重要组成部分,是自动检测系统获取信息的重要手段。它可视为人体感觉器官的延伸,用于检测系统本身及作业对象、作业环境的状态,为有效地控制系统的正常运行提供信息。

1.2.1 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、传感元件及测量转换电路三部分构成,其组成框图如图 1-2 所示。

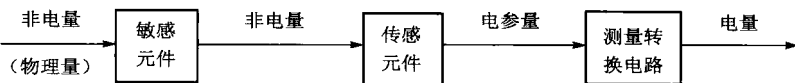


图 1-2 传感器的组成框图

图 1-2 中,敏感元件是传感器中直接感受被测量的元件,即被测量通过传感器的敏感元件转换成与被测量有确定关系、易于转换的非电量;传感元件是将敏感元件输出的非电量转换成电参量;测量转换电路的作用是将传感元件输出的电参量转换成易于处理的电量(电压、电流或频率)。应当指出,不是所有的传感器都有敏感元件、传感元件之分,有些传感器是将两者合二为一的。

例如图 1-3 所示,为一台测量压力的电位器式压力传感器的结构简图。其中,弹簧管为敏感元件,它将压力的变化量转换成角位移的变化量;电位器为传感元件,它将角位移转换为电参量(电阻的变换量)。当电位器的两端加上电源后,电位器就组成分压比电路,其输出量与压力的变化成一定的关系,因此,在这个例子中,电位器同时又属于测量转换电路。

该电位器式压力传感器的工作原理是:当被测压力增大时,弹簧管被撑直,并通过齿条带动齿轮转动,从而带动电位器的电刷产生角位移,再通过电位器组成的分压比电路将角位移转换为电信号。

另外,一般情况下,测量转换电路的后续电路,如信号放大、数据处理、显示等电路就不应该包括在传感器的组成范围之内。

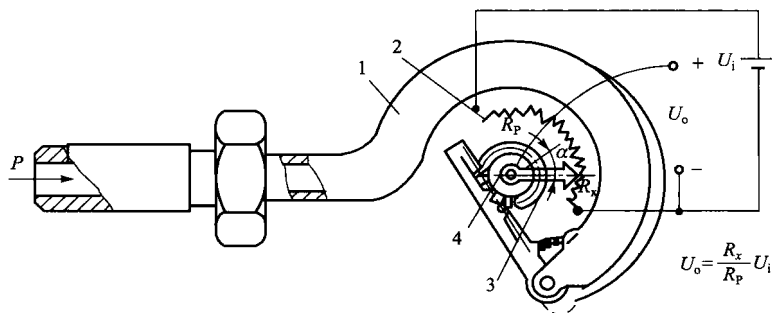


图 1-3 电位器式压力传感器

1—弹簧管; 2—电位器; 3—电刷; 4—传动机构

1.2.2 传感器的分类

传感器种类名目繁多,分类不尽相同。常用的分类方法如下。

1. 按被测量分类

传感器按被测量分类,可分为位移、力、力矩、转速、震动、加速度、温度、压力、流速、流量等传感器。这种分类方法明确表明了传感器的用途,使用者很容易根据测量对象来选择所需要的传感器。



2. 按测量原理分类

传感器按测量原理分类,可分为电阻、电容、电感、热电偶、压电、超声波、红外线、激光、光栅、磁栅等传感器。这种分类方法表明了传感器的工作原理,有利于传感器的设计与应用。

3. 按传感器转换能量供给方式分类

传感器按其转换能量供给方式分类,可分为能量变换型(发电型)传感器和能量控制型(参量型)传感器两类。能量变换型(发电型)传感器在进行信号转换时不需要另外提供能量,就可以将输入信号变换为另一种信号输出,如热电偶传感器、压电传感器等;能量控制型(参量型)传感器工作时必须有外加电源,如电阻传感器、电容传感器、电感传感器等。本书在第2章、第3章单独介绍这两类传感器。

4. 按传感器工作机理分类

传感器按其工作机理分类,可分为结构型传感器和物性型传感器两类。结构型传感器是指被测量变化时引起传感器结构发生变化,从而引起输出量变化;物性型传感器是利用传感器材料的物理或化学特性随被测参数变化原理而构成,一般没有可动结构部分,易于小型化。

5. 按输出量的种类分类

传感器按其输出量的种类分类,可分为模拟式传感器和数字式传感器。模拟式传感器输出信号是与被测量成一定关系的模拟信号,数字式传感器输出的是数字信号。本书在第4章单独介绍数字式传感器。

1.2.3 传感器的基本特性

传感器的基本特性是衡量传感器工作状态好坏的标准,主要是指输出与输入之间的关系,分静态特性和动态特性。

1. 静态特性

静态特性是指当输入量为常量或变化极慢时,即被测量各个值处于稳定状态时的输出与输入之间的关系。

(1) 线性度。传感器的线性度表示的是传感器输出与输入之间关系的线性程度。线性度也称非线性误差,是指传感器实际特性曲线与拟合直线(也称理论直线或理想直线)之间的最大偏差与传感器满量程输出之比。用公式表示为:

$$\gamma_L = \frac{\Delta L_{\max}}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100\% \quad (1.6)$$

式中, ΔL_{\max} 为非线性最大偏差; $y_{\max} - y_{\min}$ 为输出范围。

传感器的线性度示意图如图1-4所示。输出与输入之间的关系可分为线性关系和非线性关系。从传感器的性能看,希望具有线性关系,即具有理想的输出输入关系。但实际上大



多数传感器的输出与输入之间关系为非线性。设计者和使用者希望线性误差越小越好，这样传感器的静态特性接近直线，同时传感器容易标定，也不容易引起读数误差。

(2) 灵敏度。传感器的灵敏度是指传感器在稳态下的输出变化量与引起此变化的输入变化量的比值。用公式表示为：

$$K = \frac{dy}{dx} \approx \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1.7)$$

对于线性传感器，它的灵敏度是常数，灵敏度就是特性曲线的斜率；而对于非线性传感器，其灵敏度为一变量。它们的灵敏度特性曲线如图 1-5 所示。

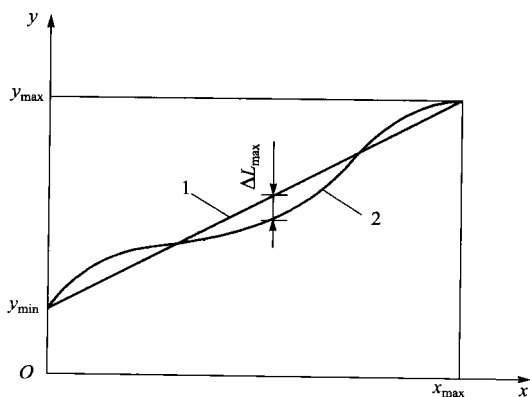


图 1-4 传感器的线性度示意图
1—拟合直线；2—实际输出特性曲线

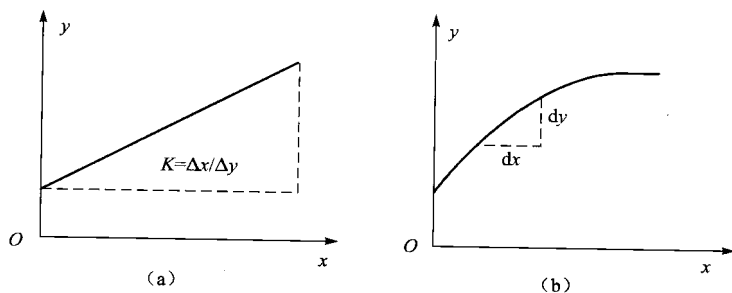


图 1-5 传感器的灵敏度
(a) 线性传感器；(b) 非线性传感器

一般希望灵敏度在整个的测量范围内保持为常数。这样，可以得到均匀刻度的标尺，使读数方便，同时也便于分析和处理测量结果。

如果检测系统由多个环节串联组成，则整个系统的灵敏度系数为各环节的灵敏度系数的乘积。

(3) 迟滞。传感器的迟滞是指传感器的正向（输入量增加）特性曲线与反向（输入量减少）特性曲线的非一致性。也就是说，对于同样大小的输入量，在正、反特性中，往往对应两个大小不同的输出量，如图 1-6 所示。

产生这种现象的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造成的。通过实验的方法，可以找出同一输入量下，正、反两个输出量之间的最大差值。这一输出最大差值与满量程输出之比的百分数就是传感器迟滞的大小。用公式表示为：



$$\gamma_H = \frac{\Delta H_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1.8)$$

(4) 重复性。重复性是指传感器在输入量按同一方向作全量程连续多次变化时, 所得特性曲线的不一致的程度。其特性曲线如图 1-7 所示。

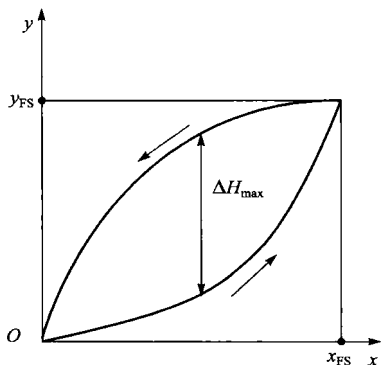


图 1-6 传感器的迟滞示意图

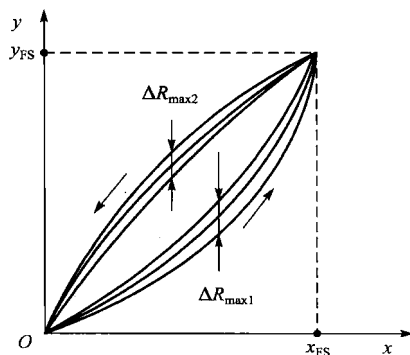


图 1-7 传感器重复性示意图

重复性误差属于随机误差, 通常取正、反行程中的最大重复性偏差与满量程输出的百分比。用公式表示为:

$$\gamma_R = \frac{\Delta R_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1.9)$$

(5) 稳定性。稳定性包括稳定度和环境影响量两个方面。

稳定度是指传感器在所有条件都不变的条件下, 能在规定时间内维持其示值不变的能力, 通常以示值的变化量与时间长短的比值来表示。

环境影响量是指由于外界环境变化而引起的示值变化量。主要是由温度、湿度、气压、震动、电源电压及电源频率等外界环境因素引起的。

(6) 分辨率与分辨力。分辨率与分辨力都是用来表示传感器能够检测到的最小量值的性能指标。分辨率是以最大量程的百分数来表示的, 是一个比率量; 而分辨力是以最小量程的单位来表示的, 是一个有量纲的量。

2. 动态特性

动态特性是指输入量随时间变化的响应特性。传感器除了满足静态特性的要求之外, 还应对变化中的被测量保持足够的响应, 即要具有良好的动态特性。

在实际工作中, 传感器的动态特性通常可用实验的方法求得。可以根据传感器对一些标准输入信号的响应来评定其动态特性, 因为传感器对标准输入信号的响应和它对任意输入信号的响应之间存在一定的关系。在时域内, 研究动态特性时常用阶跃信号来分析传感器的瞬态响应, 如超调量、上升时间、响应时间、振荡次数等。在频域内, 研究动态特性时则采用