



高等职业教育机电类专业“十二五”规划教材

传感器原理及应用

陈 庆 黄克亚 主 编
尤凤翔 主 审



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

TP212
201713

阅 览



高等职业教育机电类专业“十二五”规划教材

传感器原理及应用

主 编 陈 庆 黄克亚
副主编 程 望 林健荣 郑 蕾
主 审 尤凤翔



2015年3月第1次印刷

2015年3月第1次印刷

第1次印刷

第1次印刷

16开

1

ISBN 978-7-113-14603-1

28.00元

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书体现了工学结合的高职教育人才培养理念,强调“实用为主,理论知识以必需和够用为度”的原则,在知识与结构上有所创新,不仅符合高职学生的认知特点,而且紧密联系一线生产实际,真正实现学以致用。

本书介绍了常用传感器的原理、特性及在实践中的应用,主要内容包括电阻传感器、热电式传感器、压电式传感器、电容传感器、磁电传感器、光电式传感器及检测系统中的抗干扰技术。本书共分为10个项目,除项目一、项目十之外,其他项目均具有相对独立性,可供不同专业教学选用。参考学时为68学时。

本书适合作为高职院校的检测技术、应用电子技术、机电应用技术、工业自动化等专业的教材,也可供相关领域工程技术人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理及应用 / 陈庆,黄克亚主编. —北京:
中国铁道出版社,2012.9
高等职业教育机电类专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-113-14903-1

I. ①传… II. ①陈… ②黄… III. ①传感器-高等
职业教育-教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 192429 号

书 名: 传感器原理及应用
作 者: 陈 庆 黄克亚 主编

策 划: 张永生
责任编辑: 张永生 徐学锋
封面设计: 刘 颖
责任印制: 李 佳

读者热线: 400-668-0820

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.51eds.com>

印 刷: 北京海淀五色花印刷厂

版 次: 2012年9月第1版

2012年9月第1次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印张: 12.75 字数: 309 千

印 数: 1~3 000 册

书 号: ISBN 978-7-113-14903-1

定 价: 26.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话:(010)63550836

打击盗版举报电话:(010)63549504

教材建设是高校教育教学工作的重要组成部分,高职教材作为体现高等职业教育特色的知识载体和教学的基本工具,直接关系到高职教育能否为一线工作岗位培养符合要求的应用型人才。本书体现了工学结合的高职教育人才培养理念,强调“实用为主,理论知识以必需和够用为度”的原则。

全书着重介绍工业中常用传感器的工作原理及其应用,同时简要介绍检测技术的基本概念、抗干扰技术在检测系统中的应用。在考虑教材的取材深度和广度时,主要着眼于提高学生的应用能力和工艺知识水平,故压缩了理论推导,突出了实际应用案例,并注意尽量反映检测技术领域中的新技术、新动态。每章均附有习题,便于学生巩固知识。

传感器作为测控系统中对象信息的入口,它在现代化事业中的重要性已被人们所认识。随着信息时代的到来,国内外已将传感器技术列为优先发展的科技领域之一。针对近年来传感器新技术飞速发展的现状,本书通过精选内容,在有限的篇幅中尽量扩大知识的覆盖面,在不削弱传统的较为成熟传感器基本内容的前提下,增加了新型传感器的内容,并紧跟高新技术的发展,以适应传感器开发、应用的实际需要。

本书适合作为高职院校检测技术、仪器仪表、工业自动化等专业的教材,也可以作为相关专业人员的参考书。

本书由苏州大学自动控制系统组织编写,陈庆、黄克亚担任主编,程望、林健荣、郑蕾担任副主编。具体编写分工:陈庆编写单元一、二、三、四,黄克亚编写单元五、六,程望编写单元七、八,林健荣编写单元九,郑蕾编写单元十。全书由陈庆负责统稿,由尤凤翔教授主审。

本书在编写过程中,得到了苏州大学同事的大力支持和帮助,在此深表谢意。传感器技术涉及的学科众多,书中难免存在错误和不足之处,恳请读者批评指正。

编者
2012年6月

单元一 测量的基础知识	1	思考与练习题	89
项目一 测量的基本概念及误差理论分析	1	单元六 磁电传感器原理及应用	90
项目二 传感器及其基本特性	7	项目一 电感传感器在自动报纸架中的应用	90
小结	15	项目二 电涡流传感器微距测量系统的原理与设计	103
思考与练习题	16	项目三 霍尔传感器的转速测量	113
单元二 电阻式传感器的原理及应用	17	小结	122
项目一 数字式电子秤的原理与设计	17	思考与练习题	123
项目二 瓦斯报警器的原理与设计	27	单元七 光电式传感器的原理及应用	124
小结	35	项目一 烟雾报警器的原理与设计	124
思考与练习题	35	项目二 光电开关及其应用	137
单元三 热电式传感器的原理及应用	36	小结	143
项目一 空调温控开关的原理与设计	36	思考与练习题	144
项目二 智能热电偶测温系统的原理与设计	47	单元八 超声波传感技术及应用	145
小结	57	项目一 超声波测距系统的原理与设计	145
思考与练习题	58	项目二 超声波无损探伤检定系统的原理与设计	155
单元四 压电式传感器的原理及应用	59	小结	163
项目 玻璃打碎报警装置的原理与设计	59	思考与练习题	163
小结	71	单元九 汽车传感器及其应用	165
思考与练习题	71	项目一 汽车 ABS 系统的设计	165
单元五 电容传感器的原理及应用	73	项目二 汽车安全气囊的原理及应用	174
项目一 电容接近开关的原理与设计	73	小结	183
项目二 电容湿度计的原理与设计	80	思考与练习题	183
小结	88	单元十 检测系统中的抗干扰技术	184
		小结	197
		思考与练习题	197
		参考文献	198

(1) 函数的统计解释等),这是传统定义的进阶。

(2) 虽然通过测量不能获得真值,但是,通过定义使测量值符合定义则是可能的。通过测量来验证理论,进而发现理论的真理性。测量是科学认识的重要途径,也是科学研究的重要手段。测量是科学认识的重要途径,也是科学研究的重要手段。测量是科学认识的重要途径,也是科学研究的重要手段。

单元一 测量的基础知识

1. 绝对误差:测量值与真值之差。绝对误差是测量值与真值之差。

绝对误差是测量值(A)与真值(A_0)之间的差值,用 ΔA 表示。

项目一 测量的基本概念及误差理论分析



学习目标

2. 相对误差

(1) 掌握测量的基本概念和测量方法。

(2) 了解测量误差的分类和基本概念。

(3) 掌握误差理论的分析方法。

(4) 了解测量结果的数据统计处理。



知识准备

一、测量的基本概念

测量是人们借助专门的技术和设备,通过实验的方法取得某一客观事物量值的认识过程,即将被测量与同性质的、作为测量单位的标准进行比较,从而确定被测量是标准的若干倍或几分之几的比较过程,用天平测量物体的质量就是一个比较典型的例子。

测量结果可以表现为一定的数字,也可表现为一条曲线或显示成某种图形等,测量结果总包含有数值(大小和符号)以及单位。例如,测量人的身高 h ,先选定测量单位为 cm (厘米),然后用 cm 去度量人的身高,若确定 h 是测量单位 cm 的165倍,则测量结果就表示为 $h=165\text{ cm}$ 。

二、测量的基本方法

根据测量的手段的不同,测量可分为直接测量与间接测量。用标定的仪表直接读取被测量的结果,该方法称为直接测量。例如,用万用表测量电流、电压、电阻的大小;用酒精测量仪测量酒精的浓度。间接测量的过程比较复杂。首先要对几个与被测量有确定函数关系的量进行直接测量,将测量值代入函数关系式,经过计算测得被测量。例如,为了求圆的面积,必须测得它的半径 r ,然后根据公式

$$s = \pi r^2$$

(1-1)

求得圆面积。

根据测量时是否与被测量接触,测量可分为接触测量与非接触测量。例如,利用红外辐射温度计测量人体温度,就属于非接触测量。

根据被测量是否随时间变化,测量可分为静态测量与动态测量。例如,测量车床车刀切削力的变化,就是动态测量。

另外,为监测生产过程,或在生产流水线上监视产品质量的测量称为在线测量,反之称为非在线测量。

根据测量的具体手段,测量又分为偏差式测量、零位式测量和微差式测量。

1. 偏差式测量

在测量过程中,被测量作用于仪表的比较装置,使该比较装置产生偏移量,直接以仪表的偏移量表示被测量的测量方式称为偏差式测量。在这种测量方式中,必须事先用标准量具对仪表刻度进行校正。显然,采用偏差式测量的仪表不包括标准量具。偏差式测量易产生灵敏度漂移和零点漂移。

2. 零位式测量

在测量过程中,被测量作用于仪表的比较装置,并被比较装置中的标准量所抵消,当测量系统达到平衡时,用已知标准量的值决定被测量的值,这种测量方式为零位式测量。在零位式测量仪表中,标准量具是装在测量仪表内的。用调整标准量来进行平衡作过程,当两者相等时,用指零仪表的零位来指示测量系统额的平衡状态。

3. 微差式测量

微差式测量是检测技术中运用较多的测量方式,它综合了偏差式测量迅速和零位式测量精度高的优点。测量时,被测量作用于仪表的比较装置,被测量的大部分被比较装置中的标准量所抵消,然后再用类似于偏差式的方法来测出上述两者比较结果的剩余差值。

三、真值

旧标准对真值的定义:当某量能被完善地确定并能排除测量上的缺陷时,通过测量所得到的量值。当对某量的测量不完善时,通常就不能获得真值。从测量的角度讲,真值不可能确切获知。一个量的真值,是在被观测时本身所具有的真实大小,它是一个理想的概念。

最新国家标准真值的定义:与给定的特定量的定义一致的值。同时强调了三点:

- (1) 量的真值只有通过完善的测量才有可能获得;
- (2) 真值按其本性是不确定的;
- (3) 与给定的特定量的定义一致的值不一定只有一个。

新旧定义的共同点:认为量的真值只有通过完善的测量才有可能获得,但实际测量是不完善的,因此实际测量就不能获得真值,即“从测量的角度讲,真值不可能确切获知”。

新旧定义的区别有如下两点。

(1) 新定义强调了量在被观测时本身所具有的真实大小的真值按其本性是不确定的,这个论点符合当今人们对微观物质世界的认识和量子力学的原理(如海森伯的不确定关系、玻恩

对波函数的统计解释等),这是传统定义的进步。

(2) 虽然通过测量不能获得真值,但是,通过定义使量值符合定义则是可能的。例如,在国际单位制中,定义保存在巴黎国际计量局的铂-铱合金的国际千克原器的质量为 1 kg,定义光在真空中(1/299 792 458)s 时间间隔内所经路径的长度为 1 m,水的三相点的热力学温度为 273.16 K,这些与定义一致的值就是真值,其误差为零。还有一种真值是理论真值,如平面三角形三内角之和恒为 180°,此值也可表述为 π rad。

四、测量误差的表示方法

1. 绝对误差

绝对误差是指测量值(A_x)与被测量真实值(即真值 A_0)之间的差值,用 Δ 表示

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

修正值是与绝对误差的绝对值大小相等,但符号相反的量值,用 C 表示

$$C = A_0 - A_x \quad (1-3)$$

修正值必须在仪器检定的有效期内使用,否则要重新检定,以获得准确的修正值。

2. 相对误差

相对误差就是绝对误差 Δ 除以被测量的真值(约定真值),用 γ_0 表示

$$\gamma_0 = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

示值相对误差是绝对误差 Δ 除以被测量 A_x 的百分比,用 γ_x 表示

$$\gamma_x = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-5)$$

在正常工作条件下,仪表的最大绝对误差多数是不变的,而示值相对误差 γ_x 随示值的减小而增大。

满度相对误差是用测量仪表的绝对误差 Δ 与仪器量程 A_m 的百分比,用 γ_m 表示

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (1-6)$$

3. 准确度

准确度是最大绝对误差与满度量程的比值的百分数,用 A 表示

$$A = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-7)$$

仪表的准确度在工程中也称为精度。

当 Δ 取仪表的最大绝对误差值 Δ_m 时的引用误差常被用来确定仪表的准确度等级,用 S 表示

$$S = \left| \frac{\Delta_m}{A_m} \right| \times 100 \quad (1-8)$$

准确度等级习惯上称为精度等级,见表 1-1。常用的精确度等级档次为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0、5.0。例如,0.5 级的仪表表示其允许的最大使用的误差为 0.5%。

表 1-1 准确度等级误差表

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差/%	±0.1	±0.2	±0.5	±1.0	±1.5	±2.5	±5.0

可以从仪表的使用说明书上读得仪表的准确度等级,也可以从仪表面板上的标志判断出仪表的等级。

【例 1】 有一精确度为 1.0 级、量程为 800~1 200 °C 的温度计,它的最大绝对误差是多少? 测量时最大绝对误差为 5 °C,问此温度计是否合格?

解:由准确度定义表达式 $A = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\%$, 且 $A = 1.0\%$, $A_m = (1\ 200 - 800)^\circ\text{C}$

所以 $\Delta_m = A \times A_m = 1.0\% \times (1\ 200 - 800)^\circ\text{C} = 4^\circ\text{C}$

此温度计的最大允许绝对误差为 4 °C,测量点最大绝对误差为 5 °C,比 4 °C 大,所以此温度计不合格。

【例 2】 欲测 220 V 的电压,要求测量示值相对误差不大于 0.8%,问:若选用量程为 250 V 电压表,其准确度应选哪一级? 若选量程为 300 V 和 500 V 的电压表,其准确度又分别选哪一级?

解:由示值定义表达式 $\gamma_x = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\%$ 且 $A_x = 220\text{ V}$, $\gamma_x = 0.8\%$ 得

$$\Delta = \gamma_x \times A_x = 0.8\% \times 220 = 1.76\text{ V}$$

$$S_1 = \left| \frac{\Delta}{A_{m1}} \right| \times 100 = \left| \frac{1.76}{250} \right| \times 100 = 0.704$$

$$S_2 = \left| \frac{\Delta}{A_{m2}} \right| \times 100 = \left| \frac{1.76}{300} \right| \times 100 \approx 0.586$$

$$S_3 = \left| \frac{\Delta}{A_{m3}} \right| \times 100 = \left| \frac{1.76}{500} \right| \times 100 = 0.352$$

所以量程为 250 V 时选 0.5 级;量程为 300 V 时选 0.5 级;量程为 500 V 时选 0.2 级。

【例 3】 已知待测拉力为 120 N,现在有两只测力仪表,一只为 1.0 级,测量范围为 0~250 N;另一只为 1.5 级,测量范围为 0~100 N,请问选哪一只测力仪表较好? 为什么?

解:由准确度等级表达式 $S = \left| \frac{\Delta_{m1}}{A_{m1}} \right| \times 100$ 且 $S_1 = 1.0$, $A_{m1} = 250\text{ N}$

所以 $\Delta_{m1} = \frac{S \times A_{m1}}{100} = \frac{1 \times 250}{100} = 2.5\text{ N}$

$$S_2 = \left| \frac{\Delta_{m2}}{A_{m2}} \right| \times 100, \text{ 且 } S_2 = 1.5, A_{m2} = 100\text{ N}$$

$$\Delta_{m2} = \frac{S_2 \times A_{m2}}{100} = \frac{1.5 \times 100}{100} = 1.5\text{ N}$$

$$\gamma_{x1} = \frac{\Delta_{m1}}{A_x} \times 100\% = \frac{2.5}{120} \times 100\% \approx 2.1\%$$

$$\gamma_{x2} = \frac{\Delta_{m2}}{A_x} \times 100\% = \frac{1.5}{120} \times 100\% \approx 1.25\%$$

计算表明,用 1.0 级表的示值相对误差比用 1.5 级表的示值相对误差大,所以选 1.5 级较

好。由上例可知,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。

五、测量误差的分类

(一) 按误差性质分类

1. 粗大误差

明显偏离真值的误差称为粗大误差。粗大误差主要是由于测量人员的粗心大意及电子测量仪器受到突然而强大的干扰所引起的,如测错、读错、记错、外界过电压尖峰干扰等造成的误差。

2. 系统误差

在一定条件下,误差数值的大小和正负号或者固定不变,或者按一定规律变化的误差就是系统误差。这种误差可以通过实验或分析的方法,查明其变化的规律及产生的原因,并在确定其数值后,可以在测量结果中予以修正,或在新的一次测量前,采用一定措施改善测量条件,或改进测量方法,从而使之减小或排除,但是系统误差不能依靠增加测量次数的办法减小或消除。系统误差的存在决定了测量的“准确”程度,因为它的存在歪曲了测量结果的真实面目。系统误差有以下几个来源。

(1) 工具误差。工具误差是由于所使用的测量工作结构上不完善,或零部件制造时存在缺陷与偏差所造成的。例如,微分螺钉的死程、温度计分度的不均匀、天平两臂长的不等以及度盘的偏心等。

(2) 调整误差。调整误差是由于测量前未能将仪器或待测件安装在正确位置(或状态)所造成的。例如,使用未经校准零位的千分尺测量零件,使用零点调不准的电器仪表作检测工作等。

(3) 习惯误差。习惯误差是由于测量者的习惯所造成的系统误差。例如,用肉眼在刻度上估读时习惯偏向一个方向;或者凭听觉鉴别时,在时间判断上习惯地提前或者滞后等。

(4) 条件误差。条件误差是由于测量过程中条件的改变所造成的。例如,测量工作开始与结束时的一些条件按一定规律发生变化(如温度、气压、湿度、气流、振动等)后带来的系统误差。

(5) 方法误差。方法误差是由于所采用的测量方法或数学处理方法不完善而产生的。例如,在长度测量中采用了不符合阿贝原则的测量方法,或者在计算时采用了近似计算方法等。

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。这种误差数值的大小和符号正负的出现具有随机的性质,不能事先知道,因而也就无法从测量过程中予以修正或把它们消除,但是根据随机误差本身客观存在的规律,即它在多次重复测量中出现的规律,在一定的条件下,人们可以用增加测量次数的方法加以控制,从而减小对测量结果的影响。之所以要密切重视随机误差,是因为它的存在决定了测量工作中的“精密度”,查明测量中随机误差的大小,就能确定该测量结果的可靠度。

随机误差主要由以下三个方面原因造成:

(1) 由测量工具带来的误差。由于所使用的测量仪器结构上不完善或零部件制造不精密,会给测量结果带来随机误差。例如,由于轴和轴承之间存在间隙,因而润滑油在一定的条件下所形成的油膜不均匀现象会给圆珠笔分度测量带来随机误差。

(2) 由测量方法带来的误差。测量方法的不完善或不合理会给测量带来随机误差,例如,用目镜瞄准被测物时,因瞄准的不精密造成的读数误差等。

(3) 由测量条件带来的误差。由于测量环境或条件不稳定等无法控制的因素(如温度的微小波动、温度与气压的微量变化等)会给测量带来随机误差。例如,在恒温标准温度 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下,由于允许温度在 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内有微小的波动,便会给测量带来一定的随机误差。

(二) 按测量的静态特性和动态特性分类

1. 静态误差

在被测量不随时间变化时所产生的误差称为静态误差。我们前面讨论的误差多属于静态误差。

2. 动态误差

当被测量随时间速度变化时,系统的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。例如,被测水温突然上升到 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$,玻璃水银温度计(属于一阶系统)的水银柱不可能立即上升到 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。



知识拓展

自动检测系统的组成

非电量的检测多采用电测法,即首先将各种非电量转变为电量,然后经过一系列的处理,将非电量参数显示出来。自动检测系统原理框图如图 1-1 所示。



图 1-1 自动检测系统原理框图

(1) 系统框图。将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。在产品说明书、科技论文中,利用框图可以较简明、清晰地说明系统的构成及工作原理。对具体的检测系统或传感器而言,必须将框图中的各项内容赋以具体的内容。

(2) 传感器(Transducer)。指一个能将被测的非电量变换成电量的器件。

(3) 信号调理电路。信号调理电路包括放大(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、图像显示及记录仪等。模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表示读数的,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)和液晶显示器(LCD)等,以数字的形式来显示读数。前者亮度高、耐震动、可适应较宽的温度范围,后者耗电小、集成度高。目前还研制出了带背光板的LCD,便于在夜间观看LCD的内容。

图像显示是用CRT或点阵LCD来显示读数或被测参数的变化曲线、图表或彩色图,来反映整个生产线上的多组数据。

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实验数据进行处理、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。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,它们在电路中是起通断、控制、调节、保护等作用的电器设备。许多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。

项目二 传感器及其基本特性

学习目标

- (1) 了解传感器的定义。
- (2) 了解传感器的组成和分类。
- (3) 掌握传感器基本特性。

知识准备

一、传感器的定义及组成

传感器由敏感元件、传感元件及测量转换电路三部分组成,如图1-2所示。有时还需要加辅助电源。

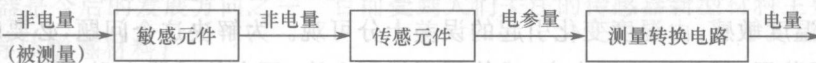


图 1-2 传感器的组成框图

(1) 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利用现有的手段直接变换为电量,往往是将被测非电量预先变换为另一种易于变换成电量的非电量,然后再变

换成电量。能够完成预变换的器件称为敏感元件,又称预变换器。如在传感器中各种类型的弹性元件常被称为敏感元件,并统称为弹性敏感元件。

(2) 转换元件。将感受到的非电量直接转换为电量的器件称为转换元件,例如压电材料、热电偶等。

需要指出的是,并非所有的传感器都包括敏感元件和转换元件。如热敏电阻、光电元件等。而另外一些传感器,其敏感元件和转换元件可合二为一,如固态压阻式压力传感器等。

(3) 测量电路。将转换元件输出的电量变成便于显示、记录、控制和处理的有电信号的电路称为测量电路。测量电路的类型视转换元件的分类而定,经常采用的有电桥电路及其他特殊电路,如高阻抗输入电路、脉冲调宽电路、振荡回路等。

二、传感器的发展趋势

(一) 改善传感器性能的技术途径

1. 差动技术

差动技术是传感器中普遍采用的技术。它的应用可显著地减小温度变化、电源波动、外界干扰等对传感器精度的影响,抵消了共模误差,减小了非线性误差。不少传感器由于采用了差动技术,灵敏度变得更大。

2. 平均技术

在传感器中普遍采用平均技术可产生平均效应,其原理是利用若干个传感单元同时感受被测量,其输出则是这些单元输出的平均值。若每个单元可能带来的误差均可看作随机误差且服从正态分布,根据误差理论,总的误差将减小为

$$\delta_{\Sigma} = \pm \delta / \sqrt{n} \quad (1-9)$$

式中 n ——传感单元数。

可见,在传感器中利用平均技术不仅可使传感器误差减小,且可增大信号量,即增大传感器灵敏度。

3. 补偿与修正技术

补偿与修正技术的运用大致针对两种情况:

- (1) 传感器本身特性;
- (2) 传感器的工作条件或外界环境。

对于传感器特性,可找出误差的变化规律,或者测出其大小和方向,采用适当的方法加以补偿或修正。

针对传感器工作条件或外界环境进行误差补偿,也是提高传感器精度的有力技术措施。不少传感器对温度敏感,由温度变化引起的误差十分可观。为解决这个问题,必要时可以控制温度,架设恒温装置,但往往费用太高,或使用现场不允许,而在传感器内引入温度误差补偿又常常是可行的。这时应找出温度对测量值影响的规律,然后引入温度补偿措施。

4. 屏蔽、隔离与干扰抑制

传感器大都要在现场工作,而现场的条件往往是难以充分预料的,有时甚至是极其恶劣

的。各种外界因素可能影响传感器的精度与各性能。为了减小测量误差,保证其原有性能,就应设法削弱或消除外界因素对传感器的影响。其方法有:

- (1) 减小传感器对影响因素的灵敏度;
- (2) 降低外界因素对传感器实际作用的程度。

对于电磁干扰,可以采用屏蔽、隔离措施,也可用滤波等方法抑制。对于如温度、湿度、机械振动、气压、声压、辐射甚至气流等,可采用相应的隔离措施,如隔热、密封、隔振等,或者在变换成为电量后对干扰信号进行分离或抑制,减小其影响。

5. 稳定性处理

传感器作为长期测量或反复使用的器件,其稳定性显得特别重要,其重要性甚至胜过精度指标,尤其是对那些很难或无法定期标定的场合。

造成传感器性能不稳定的原因是:随着时间的推移和环境条件的变化,构成传感器的各种材料与元器件性能将发生变化。

提高传感器性能的稳定性措施主要有:对材料、元器件或传感器整体进行必要的稳定性处理。如永磁材料的时间老化、温度老化、机械老化及交流稳磁处理、电气元件的老化筛选等。

在使用传感器时,若测量要求较高,必要时也应对附加的调整元件、后续电路的关键元器件进行老化处理。

(二) 传感器的发展动向

1. 开发新型传感器

新型传感器包括:

- (1) 采用新原理生产的传感器;
- (2) 填补传感器空白的新产品;
- (3) 仿生传感器。这三者之间是互相联系的。

传感器的工作机理是基于各种效应和定律,由此启发人们进一步探索具有新效应的敏感功能材料,并以此研制出具有新原理的新型物性型传感器件,这是发展高性能、多功能、低成本和小型化传感器的重要途径。结构型传感器发展得较早,目前日趋成熟,这种传感器一般结构复杂,体积偏大,价格偏高。物性型传感器大致与之相反,具有不少独特的优点,加之过去发展也不够,因此世界各国都在物性型传感器研究方面投入大量人力、物力,从而使它成为一个值得注意的发展动向。

2. 开发新材料

传感器材料是传感器技术的重要基础,由于材料科学的进步,人们在生产材料时,可任意控制它们的成分,从而设计制造出用于各种传感器的功能材料。用复杂材料来制造性能更加良好的传感器是今后的发展方向之一。目前受到人们关注的传感器新型材料主要有:

- (1) 半导体敏感材料;
- (2) 陶瓷材料;
- (3) 磁性材料;
- (4) 智能材料。

例如,半导体氧化物可以制造各种气体传感器;而陶瓷传感器工作温度远高于半导体;光

导纤维的应用是传感器材料的重大突破,用它研制的传感器与传统传感器相比有突出的特点。采用有机材料制造传感器的研究,引起了国内外学者的极大兴趣。

3. 采用新工艺

发展新型传感器离不开新工艺的采用。新工艺的含义很广,这里主要指与发展新型传感器联系特别密切的微细加工技术。该技术又称微机械加工技术,是近年来随着集成电路工艺发展起来的,它是将离子束、电子束、分子束、激光束和化学刻蚀等用于微电子加工的技术,目前已越来越多地用于传感器领域。

例如,利用半导体技术制造出压阻式传感器,利用薄膜工艺制造出快速响应的气敏、湿敏传感器,日本横河公司利用各向异性腐蚀技术进行高精度三维加工,在硅片上构成孔、沟棱锥、半球等各种开头,制作出全硅谐振式压力传感器。

4. 集成化、多功能化

为同时测量几种不同被测参数,可将几种不同的传感器元件复合在一起,做成集成块,例如,一种温、气、湿三功能陶瓷传感器已经研制成功。

把多个功能不同的传感元件集成在一起,除可同时进行多种参数的测量外,还可对这些参数的测量结果进行综合处理和评价,可反映出被测系统的整体状态。

同一功能的多元件并列化,即将同一类型的单个传感元件用集成工艺在同一平面上排列起来,如 CCD 图像传感器。

多功能一体化,即将传感器与放大、运算以及温度补偿等环节一体化,组装成一个器件。

5. 智能化

传感器的智能化是指传感器对外界信息具有检测、数据处理、逻辑判断、自诊断和自适应能力,这种传感器具有与主机互相对话的功能,可以自行选择最佳方案,能将已获得的大量数据进行分割处理,实现远距离、高速度、高精度传输等。

智能传感器是传感器技术与大规模集成电路技术相结合的产物,它的实现取决于传感技术与半导体集成化工艺水平的提高与发展。这类传感器具有多功能、高性能、体积小、适宜大批量生产和使用方便等优点,是传感器重要的发展方向之一。

三、传感器的分类

传感器的种类很多,分类也不尽相同,一般常采用的分类方法如下:

1. 按被测量分类

按被测量分类,可分为位移、力、力矩、转速、振动、加速度、温度、压力、流量、流速等传感器。

2. 按测量原理分类

按测量原理分类,可分为电阻、电容、电感、光栅、热电偶、超声波、激光、红外、光纤等传感器。

3. 按结构型和物性型分类

结构型传感器是通过机械结构的几何形状或尺寸的变化,将外界被测参数转换成相应的电阻、电感、电容等物理量的变化,从而检测出被测信号。物性型传感器则是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。

4. 按输出信号的性质分类

根据传感器输出信号的性质,可将其分为模拟传感器和数字传感器两大类。前者输出模拟信号,如果要与计算机连接,则需要引入模-数转换环节,而后者则不需要。数字传感器一般将被测量转换成脉冲、频率或二进制码输出,抗干扰能力强。

四、传感器的基本特性

传感器的特性分为静态特性和动态特性。静态特性是指被测物理量不随时间变化或随时间变化极其缓慢(在所观察的时间间隔内,其随时间的变化可忽略不计)时,传感器输出与其输入之间的关系。在静态测试中,这种关系一般是一一对应的,通常可将其描述为

$$y = \sum_{i=1}^n a_i x^i = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \cdots + a_n x^n \quad (1-10)$$

式中 x ——传感器的输入;

y ——传感器的输出;

a_i ——传感器的特性参数。

当式(1-10)可写成式(1-11)时,传感器的输出输入关系为一直线,该传感器称为线性传感器。

$$y = a_0 + a_1 x \quad (1-11)$$

式中 a_0 ——传感器的零位输出;

a_1 ——传感器的静态增益(灵敏度)。

对于线性传感器,若通过零位补偿使 $a_0 = 0$,则传感器有理想的线性输出、输入关系:

$$y = a_1 x \quad (1-12)$$

(一) 静态特性指标

1. 测量范围

传感器所能测量到的最小输入量 $x_{\min}$ 与最大输入量 $x_{\max}$ 之间的范围称为传感器的测量范围。

2. 灵敏度

传感器的灵敏度是输出变化量与相应的输入变化量之比,或者说是单位输入下所得到的输出。此处,输入量的变化必须很慢且不致引起输出量的动态响应。如果有动态响应则必须采用达到稳态后的输出量。灵敏度 K 表示为

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-13)$$

线性传感器的灵敏度为常数,非线性传感器的灵敏度是变量。灵敏度是重要的性能指标,可根据测量范围、抗干扰能力等进行选择。

4. 精度

传感器的精度是指测量结果的可靠程度,是测量中各类误差的综合反映。工程技术中简化传感器精度的表示方法,形成了精度等级的概念。精度等级以一系列

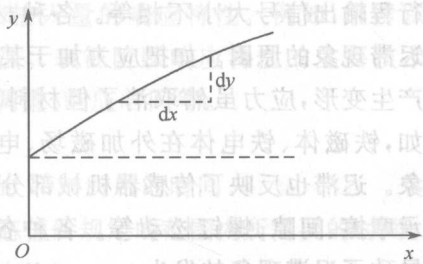


图 1-4 传感器灵敏度的定义

标准百分比数值分档表示,代表传感器测量的最大允许误差,即相对误差。

5. 线性度

所谓传感器的线性度,是指传感器的输出量与输入量之间的关系曲线偏离理想直线的程度。在非线性误差不太大的情况下,通常采用直线拟合的方法来线性化。这样,线性度就用输入-输出关系曲线与拟合直线之间最大偏差与满量程输出的百分比表示:

$$\gamma_L = \frac{\Delta L_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% \tag{1-14}$$

式中 $\Delta L_{\max}$ ——非线性最大误差(最大偏差);

y_{FS} ——满量程输出值。

常用的直线拟合方法有理论拟合、端点拟合等,如图 1-5 所示。采用不同的方法选取拟合直线,可以得到不同的线性度。

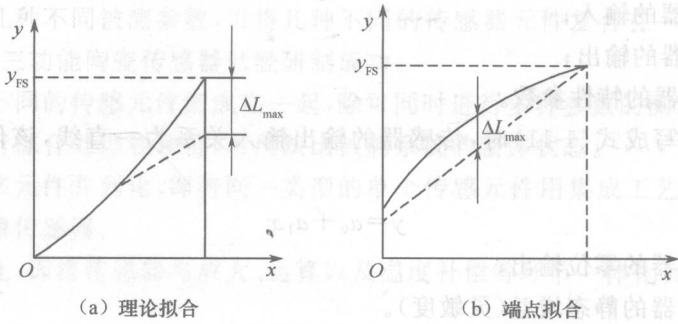


图 1-5 直线拟合方法

6. 分辨力和阈值

分辨力是指传感器能检测到的最小的输入增量。有些传感器,当输入量连续变化时,输出量只作阶梯变化,则分辨力就是输出量的每个“阶梯”所代表的输入量的大小。分辨力用绝对值表示,用其与满量程的百分数表示时称为分辨率。在传感器输入零点附近的分辨力称为阈值。

7. 迟滞

传感器在正(输入量增大)反(输入量减小)行程期间其输出-输入特性曲线不重合的现象称为迟滞,如图 1-6 所示。也就是说,对于同一大小的输入信号,传感器的正反行程输出信号大小不相等。各种材料的物理性质是产生迟滞现象的原因。如把应力加于某弹性材料时,弹性材料产生变形,应力虽然取消了但材料不能完全恢复原状;又如,铁磁体、铁电体在外加磁场、电场作用下均有这种现象。迟滞也反映了传感器机械部分不可避免的缺陷,如轴承摩擦、间隙、螺钉松动等。各种各样的原因混合在一起导致了迟滞现象的发生。

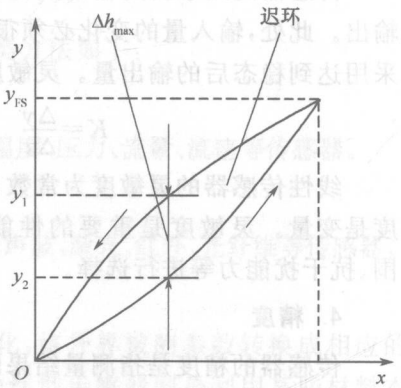


图 1-6 迟滞性

迟滞大小通常由实验确定。迟滞误差 γ_H 可由下式计算