

传感技术

钱浚霞 郑坚立 编著

浙江大学出版社

传感技术

钱浚霞 郑坚立 编著

浙江大学出版社

内容简介

本书主要介绍传感技术的基本知识,各种结构型、物理型传感器。在基本知识方面共分3章,主要叙述传感技术中选择信号的方式,传感器的静、动态特性,标定等;还介绍了传感技术的发展动向。在介绍各种传感器方面,共分10章叙述,内容包括电阻应变式、电感式(含电涡流式)、电容式、电动式、谐振式、光电式、光导纤维式、力敏(含压电、压阻、声表面波、磁弹性等)、磁敏、其它物性型等传感器的基本工作原理、性能特点、设计方法和应用的领域等。

本书内容全面、新颖。既有理论分析,又更注重实用;对传感器的设计者和使用者都有较大的实用价值。可用作高等学校仪器仪表类与测试专业的教科书,也可供各种从事传感技术工作的科技人员、高校师生使用。

传感技术

钱浚霞 郑坚立 编著

责任编辑 束 焱

* * *

浙江大学出版社出版

(杭州玉古路20号 邮政编码310027)

浙江大学出版社电脑排版中心排版

德清第二印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

* * *

787×1092 16开 15.75印张 433千字

1995年10月第1版 1995年10月第1次印刷

印数 0001—1000

ISBN 7-308-01621-8/TN·039 定价:12.00元

序

当今,世界已进入信息技术时代,作为获取信息主要工具的传感器以及传感技术,在工业发达的国家中受到了高度重视,被认为是高技术竞争的核心技术。传感技术、通讯技术和计算机技术被称为现代信息技术的三大支柱。在我国,随着经济和技术的发展,对传感技术也日趋重视。最近十多年来,很多部门在进行传感技术的研究,我国也将传感技术列为重点发展的科学技术项目,并提出了“传感技术应用与微电子技术相结合,与计算机技术、LSI 技术、通讯技术相适应协调发展”的方针。

要发展学科,提高技术水平,关键在于人才的培养。在培育人才的过程中,也需要有好的教材与参考书。浙江大学设立关于传感技术方面的课程,在国内大学中是比较早的。这项工作早在 50 年代后期就开始了,当时国内还没有一本比较系统地介绍传感器及传感技术的书籍,于是我们参阅资料,编写教材,在教学实践中不断给予改进、完善。并于 1983 年由机械工业出版社出版了我们与兄弟院校合编的《非电量电测技术》一书。该书在 1987 年被评为机、电、兵工类优秀教材二等奖。技术在进步,教学在改革,教材也应相应地提高,《传感技术》一书的产生,正是在过去的基础上,不断充实新技术的内容,更适应当前发展的需要的结果。我与钱浚霞同志在 60 年代初期就开始了在传感器的教学、科研上的合作,以前的几本教材,她均参与了编写工作。后来,我调任省科委、省教委从事行政工作,虽然还指导研究生,但在专业中关于传感器及传感技术的教学、科研工作主要是由她承担负责,她写了不少教材、著作,完成了一些传感器方面的科研成果。这次她以 30 多年来的教学和科研实践经验,以及收集的丰富资料,写了这本《传感技术》。既保持了传感技术的系统性,又增加了不少新的内容;既能为有关专业根据需要内容选用,也能为从事传感技术的科技人员参阅。因此我对本书的出版感到非常欣慰,愿本书能为我国仪器仪表工业及自动检测技术的发展做出一点贡献,也希望国内有更多的关于传感器及传感技术方面的著作问世。

谭祖根

1955 年 4 月

前 言

传感技术是当今获取信息的主要工具,它与通信技术及计算机技术统称为现代信息技术的三大支柱,被列为优先发展的高技术。传感技术之所以有这样重要的位置,是由于它能把各种非电量(包括物理量、化学量、生物量等)转变成便于传输、接收和处理的信息(目前一般为电量),是自动检测系统、自动控制系统以及工业生产自动化中不可缺少的重要组成部分。

80年代以来,传感技术获得了飞速发展,一方面是各种敏感元器件及其相应的新型传感器的大量涌现和新的传感原理的应用;另一方面是微电子技术和计算机技术在传感技术中的普遍应用。因此,为了既能保持传感技术的系统性,又能反应新技术的发展,作者在本书的内容选择方面作了考虑和安排,使它既不是包罗万象,过于冗长;但又能在有限的字数内介绍尽量多的传感技术,并用较大篇幅介绍各种新型传感器。

全书主要介绍传感技术的基本知识,各种结构型、物理型传感器。将传感器分为“结构型”和“物性型”主要是根据各种传感器的原理、结构、材料等主导方面而定的,二者没有截然不同的界线。书中各章均有一定的独立性,作为教科书,各专业可以根据需要选用不同章节,对于从事各种检测技术的科技人员亦将十分适用。

本人从事传感技术方面的科研和教学工作30多年,积累了较为丰富的技术资料 and 实践经验,写作过程中尽量使本书内容全面、新颖、既有理论分析,又更注重实用,期望能达到对传感器设计者和使用者都有较多实用价值的目的。

本书的第一稿印刷后曾在教学上试用,并提供一些单位参考使用,在此基础上又作了大量的修改和压缩后完成了本书。在整个写作过程中,谭祖根教授给予了极大的支持与帮助;并为本书撰写了序;丁力工程师为本书初稿的整理给予了热情的帮助,马涟、虞虹和宋宇等同志为本书的几百张插图化费了很多时间和精力,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,错误和不妥之处在所难免,恳请读者指正。

钱浚霞

写于1995年春

目 录

第一篇 传感技术的基本知识

第一章 概论	3
§ 1-1 传感器的定义和任务	3
§ 1-2 传感器的组成	3
§ 1-3 传感器的分类	4
§ 1-4 对传感器的基本要求以及传感器选择信号的方式	5
§ 1-5 传感器与被测对象间的关系	8
§ 1-6 传感技术的发展动向	9
§ 1-7 本课程内容以及与其它课程的关系	10
第二章 传感器的特性	11
§ 2-1 传感器的静态特性	11
§ 2-2 传感器的动态特性	14
§ 2-3 传感器性能与噪声	20
第三章 传感器的标定	24
§ 3-1 概述	24
§ 3-2 传感器的静态特性标定和动态特性标定	24
§ 3-3 压力传感器的标定	27
§ 3-4 振动传感器的标定	31
§ 3-5 温度传感器的标定	34
第二篇 结构型传感器	
第四章 电阻应变式传感器	37
§ 4-1 电阻应变效应	37
§ 4-2 金属电阻应变片	37
§ 4-3 电阻应变式传感器	47
第五章 电感式传感器	58
§ 5-1 自感式传感器	58
§ 5-2 差动变压器式传感器	66
§ 5-3 电涡流式传感器	74
第六章 电容式传感器	91
§ 6-1 电容式传感器的工作原理及结构形式	91
§ 6-2 电容式传感器的等效电路	92
§ 6-3 电容式传感器的误差及减小误差的设计要点	93
§ 6-4 电容式传感器的特点和应用	94

第七章 电动式传感器	97
§ 7-1 工作原理和基本结构	97
§ 7-2 设计中的几个问题	99
§ 7-3 电动式传感器的应用	101
第八章 谐振式传感器	103
§ 8-1 振弦式传感器	103
§ 8-2 振筒式传感器	108
§ 8-3 振膜式、振梁式传感器	112
§ 8-4 石英晶体谐振式传感器	114

第三篇 物性型传感器

第九章 光电式传感器	121
§ 9-1 光电效应	121
§ 9-2 常用光电探测器和光源	124
§ 9-3 光电式传感器的基本类型及应用举例	135
§ 9-4 固体图象传感器	141
§ 9-5 光电位置敏感器件	147
§ 9-6 光电色敏器件	151
第十章 光导纤维传感器	156
§ 10-1 光导纤维的基本知识	156
§ 10-2 光纤传感器的分类和工作原理	160
§ 10-3 光纤传感器的应用	170
第十一章 力敏传感器	182
§ 11-1 压电式传感器	182
§ 11-2 声表面波传感器	202
§ 11-3 压阻式传感器	205
第十二章 磁敏传感器	223
§ 12-1 霍尔元件及其传感器	223
§ 12-2 半导体磁阻元件及其应用	231
§ 12-3 磁敏二极管和磁敏三极管	234
参考文献	241

第一篇

传感技术的基本知识

第一章 概 论

§ 1-1 传感器的定义和任务

传感器是一种信号的采集与变换装置。它的定义是：借助于检测器件接收一种形式的信息，并按一定规律将它转换成另一种信息的装置。它获取的信息可以为各种物理量、化学量和生物量，而转换成的信息也可以有各种形式，目前的传感器输出大多为电信号。因而，从狭义上讲，传感器也可定义为把被测的输入信号变换为电信号的装置。为了能正确地进行信号采集，必须使传感器在检测过程中只采集有用的信号，同时能阻止或剔除无用的信号。

传感器是测量装置和控制系统的首要环节。如果没有传感器对原始信息进行精确可靠的转换，就没有精确可靠的自动检测和控制技术发展到了崭新阶段。但是如果各种精确可靠的传感器去检测各种原始数据并提供真实的信息，那么，电子计算机将无法发挥应有的作用。因此，人们往往把计算机比喻为“大脑”，把传感器看作为“五官”。只有计算机与传感器的协调发展，科学技术才能发展。

现代科学技术的发展，进入了许多新的领域：例如在宏观上要观察上千光年的茫茫宇宙，微观上要观察小到 10^{-13}cm 的粒子世界，纵向上要观察长达数十万年的天体演化，短到 10^{-24}s 的瞬间反应。此外，还出现了对深化物质认识，开拓新能源、新材料等具有重要作用的各种极端技术的研究，如超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场、超弱磁场等等。显然，要获取大量人类五官无法获取的信息，没有相适应的传感器是不可能的。许多基础科学研究的障碍，首先就在于对象信息的获取存在困难，而一些新机理和高灵敏度的传感器的出现，往往会导致该领域内的突破。

目前，传感技术早已渗透到诸如工业生产、宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、健康管理、生物工程、甚至文物保护等等极其广泛的领域中。可以毫不夸张地说，从茫茫的太空，到浩瀚的海洋，以至各种复杂的工程系统，几乎每一个现代化项目，都离不开各种各样的传感器。

§ 1-2 传感器的组成

一般而言，传感器由敏感元件、传感（转换）元件和其它辅助件组成，有时也将信号调节和转换电路、辅助电源等做在一起，共同作为传感器的组成部分。图 1-1 为它的组成框图。



图 1-1 传感器基本组成框图

敏感元件——直接感受被测量（一般为非电量），并输出与被测量成确定关系的其它量。例如电阻变式压力传感器中的弹性体就属敏感元件，它直接感受被测压力，并把所感受的压力变为与压力成一定关系的应变变量。

传感（转换）元件——它往往不直接感受被测量，而是将敏感元件的输出作为它的输入，

并把此输入转换成电量(或电路参数)后输出。例如电阻应变式压力传感器中的电阻应变片就属传感元件。传感元件有时也直接感受被测量,由它输出与被测量成确定关系的电路,例如热电偶和热电阻等。

信号调节与转换电路——能把传感元件输出的信号进一步转换(或放大)成便于显示、处理和控制的有用电信号。电路的种类视传感元件的类型而定,常用的有电桥、振荡器、阻抗变换器等。

最简单的传感器由一个传感元件组成,由它直接把被测量变换成电量输出,例如热电偶能把温度直接变换成电压。但是,这种直接的变换未必都是容易的。例如压力传感器就是如此。如果使用的压电元件,则可直接转为电量,可是由于这种传感器适应性较差,绝缘电阻有限,所以使用的条件受到限制,对小压力测量不甚合适。对此,可采用弹性体,使其一定面积受压产生变形,再把变形转换为电量,这种方法使用相当广泛,这也就是将压力变换成位移,再把位移变换成电量的二次变换,有的甚至经过三次变换后才是电量输出。由此使传感器设计的自由度增加了,可以设计出适应各种各样条件的传感器来。

容易变换成电量的物理量有位移、光量、热量(温度)等。对于位移传感器,由于要求测量位移的情况较多,长期以来研究了各种各样的方案,无论对接触型还是非接触型都在进行开发。作为光传感器长期以来一直使用光电管,可是近年来出现了硅太阳能电池、光电二极管等,特别是光电二极管受光面积小,应用范围更广。

由此可见,某种量的传感器,如果在构成方法上狠下功夫,很多情况下便可构成多种量的传感器的一部分。利用位移、光、热等传感器可测的量的例子,列于表 1-1。

表 1-1 可利用中间变换的量

中间变换量		待 测 量
位 光	移 量	力、压力、热 位移、回转数、浓度 温度、真空度
	热	

敏感元件与传感元件在结构上常是装在一起的,而转换电路为了减少外界的影响也希望和它们装在一起,不过由于空间的限制或者其它原因,转换电路常另成一体。尽管如此,因为不少传感器要在通过转换电路之后才能输出电信号,从而决定了转换电路是传感器的组成环节之一。一般情况下,转换电路后面的后续电路,如信号放大、处理、显示等电路就不再也应该包括在传感器范围之内了。

§ 1-3 传感器的分类

传感器是一个知识密集、技术密集的领域,它与许多学科有关,它的种类也十分繁多。因此可以从各个不同角度对它进行分类,以迎合各个不同领域的需要。下面将目前常采用的分类方法作些简单介绍。

首先,根据传感器的工作机理,可分为结构型传感器与物性型传感器两大类。

结构型传感器是利用物理学中场的定律和运动定律等构成的。物理学中的定律一般是以

方程式给出。对于传感器来说,这些方程式也就是许多传感器在工作时的数学模型。这类传感器的特点是传感器的传感性能与它的结构材料没有多大关系。以差动变压器为例,无论是使用坡莫合金或铁钒氧做铁芯,还是使用铜线或其它导线做绕组,都是作为差动变压器而工作的。

物性型传感器是利用物质法则构成的。物质法则是表示物质某种客观性的法则。这种法则,大多数是以物质本身的常数形式给出。这些常数的大小,决定了传感器的主要性能。物性型传感器的性能随材料的不同而异。例如,所有半导体传感器,以及所有利用各种环境变化而引起的金属、半导体、陶瓷、合金等性能变化的传感器,都属于物性传感器。

其次,根据传感器的能量转换情况,可分为能量控制型传感器和能量转换型传感器。

能量控制型传感器,输出的电量需要外电源供给,而不是由被测对象提供的。被测对象的信号控制着由外电源提供给输出端的能量,并且把输出电量作为与被测量相对应的输出信号。如电阻、电感、电容等电路参数传感器都属于这一类。对于这种能量控制型传感,因为被控制电能大于控制端的能量,所以这种传感器具有一定的放大作用。有的把这类传感器称之为主动型传感器。

能量转换型传感器,同时又是能量转换元件,它不需要外电源。如基于压电效应、热电效应、光生伏特效应等的传感器都属此类。有的把这类传感器称之为被动型传感器。

第三,按工作原理分类,这就是我们熟知的诸如电阻应变式、压电式、光电式传感器等。这种分类方法有利于传感器专业工作者从原理与设计上作归纳性的分析研究,使设计和应用更加灵活。

另外,根据传感器输出是模拟信号还是数字信号,可分为模拟传感器和数字传感器;根据转换过程可逆与否,可分为双向传感器和单向传感器等。

本书将结合第一、第三种分类方法逐章介绍各种传感技术。

各种传感器由于原理、结构不同,使用条件不同,技术指标亦不相同。必须指出,即使测量同一个未知量,也可以用各种各样的传感器。由于测量目的不同,要求的测量精度、响应特性等就不相同,测量环境也是各种各样的。所以,一种传感器只能在相应的个别条件下使用,万能传感器是不存在的。

§ 1-4 对传感器的基本要求以及传感器选择信号的方式

静态精度、动态特性和可靠性是对传感器的三个基本要求,由此提出了传感器的基本性能指标。因为人们是从传感器的输出信号中获得关于被测对象的信息,如果传感器不能满足这三个基本要求,即使对于同样的输入量,所得的输出量也是各不相同的,甚至给出错误的结果。不能满足这三个基本要求的原因固然有各种各样,但是对于不同的传感器却存在着许多共同的因素。因此,在解决办法中通用技术也是能适用的。

为了满足对传感器的基本要求,必须使传感器对被测信号的选择功能充分,即使传感器的输出只与输入一一对应。在传感器的设计中,是将其完善的信号选择功能以结构的形式使之具体化。以金属导线的电阻变化为例,电阻是金属的种类、纯度、尺寸、温度、应力等的函数,如果只选择根据温度而变化的方案时,便是电阻温度传感器。或者,如果只选择根据尺寸或应力而变化时,便成为应变片。将两者的构造相对比,可以看出,在温度传感器中有防止变形影响的机构,而在应变片中则有防止温度影响的机构,支配着传感器的性能。下面介绍几种常用的选择信号方式:

一、固定方式

把被测量以外的变量固定为一定值,或者采用某种控制手段使其为定值。例如测温热电偶,对被测温度以外的变量都固定:冷端温度确定零度;热电极的材料纯度严加控制;热电偶经常放入保护管中使用,这就避免了由于环境条件和周围气体等的影响。又如位移传感器不允许有变形和挠曲的结构。

二、补偿方式

把被测量 x_1 和干扰量共同作用的函数称为第一函数量,把只有干扰量作用的称为第二函数量。补偿方式就是指利用第一函数量和第二函数量之差或之比来消除干扰量影响的一种方式(见图 1-2),与这种方式相对应的传感器组成框图如图 1-3 所示。

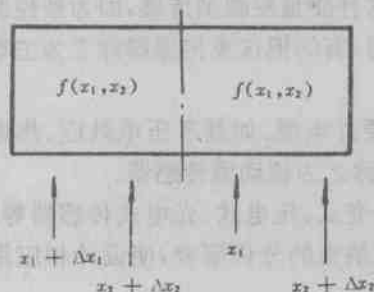


图 1-2 补偿方式

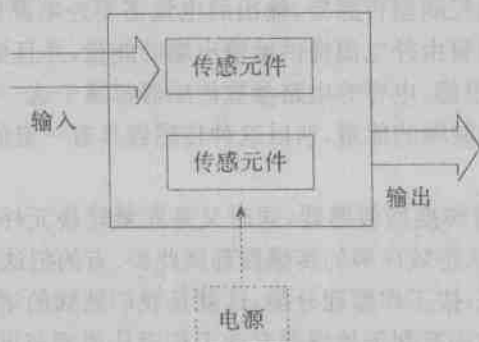


图 1-3 补偿式传感器组成框图

相对于被测量,如果干扰量的作用效果是相加的,则取其差来进行补偿;如果是相乘的,则不能取其差,而必须取比进行补偿,下面试作一定量的分析。

x_1 为被测量, x_2 为无用变量即干扰量。现在,把 x_1, x_2 作用的第一个函数量用 $f(x_1, x_2)$ 函数表示。若加上 x_1 原微小变化 $\Delta x_1, x_2$ 的微小变化 Δx_2 时,则函数为 $f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2)$ 。其次,若 x_1 不起作用,则有 x_2 的变化 Δx_2 起作用,则有第二个函数量 $f(x_1, x_2 + \Delta x_2)$ 。将其分别在 x_1, x_2 的附近展开,到二次项为止,于是有

$$f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2) = f(x_1, x_2) + \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 + \frac{1}{2!} \left\{ \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} (\Delta x_1)^2 + 2 \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} (\Delta x_1 \Delta x_2) + \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} (\Delta x_2)^2 \right\} \quad (1-1)$$

$$f(x_1, x_2 + \Delta x_2) = f(x_1, x_2) + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 + \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} (\Delta x_2)^2 \quad (1-2)$$

取式(1-1)与式(1-2)之差

$$\begin{aligned} & f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2) - f(x_1, x_2 + \Delta x_2) \\ &= \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{1}{2!} \left\{ \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} (\Delta x_1)^2 + 2 \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} (\Delta x_1 \Delta x_2) \right\} \end{aligned} \quad (1-3)$$

式(1-3)的第一项是由于 Δx_1 的输出信号。 Δx_2 的项,由于两式相减时被消失,所以在输出中没有出现。 Δx_1 的二次项是输入与输出间非线性项, $(\Delta x_1, \Delta x_2)$ 项是不能进行补偿的 Δx_2 的影响项。

若函数 f 是关于 x_1 和 x_2 相加的函数关系时,如

$$f(x_1, x_2) = a_1 f_1(x_1) + a_2 f_2(x_2) \quad (1-4)$$

此时,因为 $\partial^2 f / (\partial x_1 \partial x_2) = 0$, x_2 的影响在输出中完全不出现,即是说,达到了完全的补偿目的。但是,函数 f 如果是关于 x_1 和 x_2 相乘的函数关系时,如

$$f(x_1, x_2) = af_1(x_1)f_2(x_2) \quad (1-5)$$

此时, $\partial^2 f / \partial x_1 \partial x_2 \neq 0$, 其结果是不完全的补偿。但是, 若取其比, 则能得到完全的补偿。

$$f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2) = af_1(x_1 + \Delta x_1)f_2(x_2 + \Delta x_2) \quad (1-6)$$

$$f(x_1, x_2 + \Delta x_2) = af_1(x_1)af_2(x_2 + \Delta x_2) \quad (1-7)$$

将式(1-6)与式(1-7)相比, 则得输出为

$$\frac{f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2)}{f(x_1, x_2 + \Delta x_2)} = \frac{f(x_2 + \Delta x_2)}{f_1(x_1)}$$

输出中 x_2 的影响消除了。

图 1-4 所示为用差压计测量密封罐内液面高度的方法。罐底压力为 p_1 时, 则有以下式

$$p_1 = p + \rho gh \quad (1-8)$$

式中, ρ 为液体的密度; g 为重力加速度; h 为液面高度; p 为罐内空气压力。

h 是被测量, p 是无用变量(即干扰量), 而 h 和 p 如式(1-8)所示, 是相加的关系。因此, 在液面上部测量 p_2 并取差, 因 $p_2 = p$, 根据其压差 $p_1 - p_2$ 便可以求得 h 。这样, 在罐内的空气压力变化就全面地被补偿了。

三、差动方式

将被测量在反对称方向上作用, 干扰量在对称方向上作用, 以此构成的两个状态量取其差, 从而选择被测量的一种方式, 即为差动方式。如图 1-5 所示, 这可以作为补偿法的特殊情况来研究。具体的说, 在以天称为典型的许多测量装置和传感器中, 普遍地可以看到空间对称结构, 用它实现补偿。与这种方式相应的传感器组成框图如图 1-6 所示。

把被测量定为 x_1 , 干扰量定为 x_2 , 采用与式(1-1)同样的方法, 将这两个量表示成差动方式, 其差由下式给出, 即

$$\begin{aligned} & f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2) - f(x_1 - \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2) \\ &= 2 \frac{\partial f}{\partial x_1}(\Delta x_1) + 2 \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2}(\Delta x_1 \Delta x_2) \end{aligned} \quad (1-2)$$

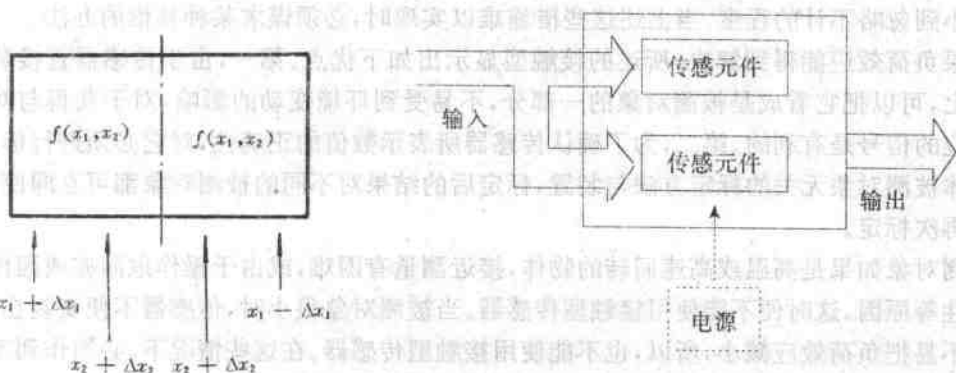


图 1-5 差动方式

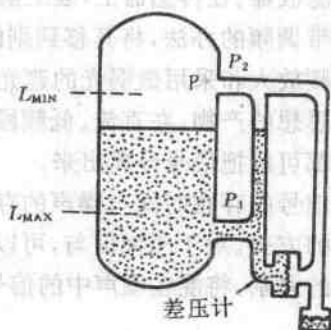


图 1-4 密封罐液面高度测量

图 1-3 补偿式传感器组成框图

如果将式(1-9)与补偿方式的式(1-3)作一下比较可知,被测量的输出提高1倍,所以S/N得到改善。并且表示输入输出间非线性的 Δx_1 的偶次项被消去,非线性也得到改善。

x_1 和 x_2 的函数,如果是相加的,则由于 $\partial^2 f / (\partial x_1, \partial x_2) = 0$,使干扰量 x_2 影响完全得以消除。

四、频率域及时间域的选择

补偿方式和差动方式是利用被测量与干扰量的性质,特别是静态特性与空间特性,把信号与噪声分离开来的一种手段。如果对被测量与干扰量的时间特性,即动态特性清楚了,利用它们的差,就能有效地选择信号。

这种动态特性,是在时间域或频率域中描述的,也就是说,关于被测量与干扰量的动态数学模型,是把时间或频率作为自变量而存在的。被测量(信号)与干扰量(噪音)的频带,在不相同的场合下,利用滤波器可将其分开。在这里,常使用的是滤波器或调谐电路,与传感器本身相比它们多用在信号处理系统中。一提到滤波器与调谐电路,总是联想起电子电路,可是也有机械式的滤波器。在传感器上,装上防振橡胶来完成的。当信号与噪声的频带相重合时,通过对信号的频带调频的办法,将其移到别的频率范围,从而使信号与噪声频带分开。采用包含直流信号的调频放大和采用微弱光的遮光器(如用扇形板法)使其变为断续光等放大的方式,都是基于上述思想的产物。在直流、低频段温度漂移、放大元件的 $1/f$ 噪声以及由杂散光等所引起的干扰中都可以把信号分离出来。

当信号的存在时间与噪声的存在时间不同时,可采用只有当信号存在时将信号窗打开读入信号的方式。对于周期信与,可以取出特定的相位成分。同步检波和同步加法等都是利用时间特性的差别,将混在噪声中的信号检测出来的一种信号处理方式。

§ 1-5 传感器与被测对象间的关系

当被测对象是固体时,可把传感器直接安装在被测对象上,把这种安装方法叫做接触型。当把传感器或敏感元件装在被测对象上面时,被测对象上就承受了某些新的负荷,其结果是被测对象的状态或特性不可避免地将产生变化。即使象位移型传感器那样只是与被测对象机械的接触,情况也是如此。

由于这种负荷效应,就很难得到精确的测量结果。如果将传感器的体积、刚度、热容量等与负荷效应有关的参数变小,则加在被测对象上的负荷就减轻了。实际上,有时对被测对象的影响可以小到忽略不计的程度。当上述这些措施难以实现时,必须谋求某种补偿的办法。

如果负荷效应能得到解决,所述的接触型显示出如下优点。第一,由于传感器直接装在被测对象上,可以把它看成是被测对象的一部分,不易受到环境变动的影响,对于获得与对象状态相对应的信号是有利的。第二,为了确认传感器所表示数值的正确性,对它必须进行标定,使用与具体被测对象无关的标定方法与装置,标定后的结果对不同的被测对象都可立即使用,无需现场再次标定。

被测对象如果是高温或高速回转的物体,接近测量有困难,或由于操作危险亦或因传感器材料特性等原因,这时便不能使用接触型传感器。当被测对象很小时,传感器不便安装在上面,而且也不易把负荷效应减小,所以,也不能使用接触型传感器。在这些情况下,必须作到不与被测对象接触就能将信号取出。为此,要使用非接触型传感器。

用非接触型传感器从被测对象上获得信号,有以下两种方法:一种是,接收由被测对象发出的光或电磁波等,由此而得到必要的信号;另一种方法是从传感器向被测对象发射信号或者构成电位差等,然后用传感器接收与其相对应的响应,从而获得必要的信号。例如,接收从高温

物体发出的辐射热,由此而得知被测物体的温度,这是属于前一种方法;使定向极板与被测对象之间距离改变,由此转换成电容的变化,这是属于后一种方法。

非接触型的负荷效应,不可忽视的情况虽然也有,但是一般因为其很小,实际上可不加考虑。

另一方面,非接触型检测也存在着以下缺点:被测对象的放射性,被测对象与传感器之间的介质特性,或者在传感器附近设置其它物件等都会使输出受到影响。对于辐射温度传感器(辐射高温计),如果对被测对象的辐射率不清楚,温度就无法得知;对于电容型位移传感器,如果极板间介质的介电系数发生变化时,则传感器的输出也势必发生变化。还有,因传感器与被测对象间的距离变动,使传感器输出亦发生变化。

诚然,非接触型传感器的安装位置在某种程度上是任意的,但是安装位置若不固定,往往就不能进行标定,因此,象接触型传感器那样事先标定未必是可行的,必须在使用现场进行标定。因为这不单是决定于传感器的安装位置,而且还决定于被测对象的形状、尺寸以及与其相关的参数。

因接触型与非接触型两者的优缺点往往是不一致的,所以必须根据具体的使用目的选择之。两者的不同之处归纳如表 1-2 所示。另外,还有一种非接触型传感器,它的一部分是安装在被测对象上的,如激光干涉仪就是把反光镜片装在被测物体上,用来测得位移信号的。对于这种情况,就有必要考虑负荷效应了。

表 1-2 接触型与非接触型的比较

项 目	接触型	非接触型
负荷效应	大	小
环境影响	不容易受影响	容易受影响
安装位置	固 定	可以移动
标 定	预 先	现 场
分布检测	困 难	容 易

§ 1-6 传感技术的发展动向

传感技术虽然已得到广泛应用,但是随着科学技术的发展,对它的要求愈来愈高,并正在迅速发展,其发展动向有以下几方面。

一、开发新型材料及传感元件

新型传感元件及材料的开发与应用是当前传感技术中的一项迫切任务,因为传感技术的应用领域已扩大到各个部门,要获得的信息种类是那么多,同时进入到人们生活中去的传感器又要求有低廉的价格,因此必须开发新型的传感材料及元件。

二、研究新型原理的传感器

由于科学技术的发展,需要测量极端参数值(正如高压、超高温、超低温)和特种参数(如识别颜色、味觉、嗅觉)等,因此促使人们不断地在探讨新的测量机理,以研制新型原理的传感器,新原理的采用往往给传感技术的发展带来质的飞跃。这方面目前除研究利用新的物理效

应、化学反应和生物功能外,还不断研究仿生学,仿照生物的感觉功能和人的视、听、触、嗅、味五官感觉,开发未来的新型传感器。例如研究狗的鼻结构来探索嗅觉传感器,因为狗辨别气味的能力是相当高的,它可以从 14 ~ 15 种混杂的气味中找出特定的一种气味;它能感受普通人嗅觉千万分之一的稀释液的气味。又如鸟的方位感觉很强,一种海燕能从 4910km 外飞回来,对这种归巢性研究,希望能得到一种方位传感器。

三、研究多维化、多功能化的传感器

有时往往需要测量在一条线上或一个面上的参数,则相应地需用一维、二维甚至三维的传感器。又有些场合,希望能在某一点同时测得两个参数,甚至更多的参数。因此就要求能测量多个参数的传感器,为此在探索和寻求一些传感材料和元件,它能同时感受两个以上参数并转换成不同的电量,而且互不影响。如利用钛酸钡-钛酸锶组成的多孔陶瓷,其电容量与湿度有关,电阻量则与温度成函数关系,这样从测得的电容和电阻分别可以知道温度和湿度值。

四、微电子技术与传感技术结合,使传感技术智能化

微电子技术、微处理器与传感器结合形成的智能传感器将是传感技术发展的新趋势。所谓智能传感器一般是指带微芯片的传感器,使它不仅具有检测信息的功能,而且具有判断和处理信息的能力。由于微电子技术的发展,微型信号调节与微机接口电路、信号处理电路(包含微处理器)可与传感器封装成一体。只要传感器本身的性能稳定,即使一个性能指标不高的传感器,做成智能化后,可大大地提高传感器的精度,同时还可以作温度补偿、线性化处理自动校正、自选量程等一系列使传感器功能优化的工作。

§ 1-7 本课内容以及与其它课程的关系

传感技术是与现代科学技术紧密相连的正在发展的一门新兴学科,其种类繁多,涉及的工作原理十分广泛。并且传感技术是测量和自动控制系统的首要环节,与生产实际和科学研究的关系十分密切。因此,决定了传感技术课程是一门综合性、理论性和实践性都很强的课程。

本课程将首先介绍传感技术的基本知识,例如传感器的特性、传感器的标定等。然后较详细地介绍各种传感器,使学生掌握各类传感器的基本理论(工作原理、主要性能及其特点)、结构和应用,从而能合理地选择和使用传感器;还将介绍传感器的工程设计方法和实验研究方法,从而使学生能从事一般传感器的设计工作,并对新型传感器具有初步研究开发能力以及了解传感技术的发展动向。

本课程涉及到机、电、光等方面的知识,因此它直接与下列课程有关:数学、物理学、工程力学、精密机械设计基础、误差理论与数据处理、电路原理、模拟、数字电子技术基础、智能仪器设计基础等。如果要进一步学习和研究传感器的设计、制造,还需要有一定的仪表材料、制造工艺、化学和生物学等方面的知识。