

 21世纪高职高专系列规划教材
 高职高专“十二五”规划教材

机电电气控制专业

机电检测技术

JIDIAN JIANCE JISHU

主 编 ◎ 金 捷
副主编 ◎ 何祥林



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

21世纪高职高专系列规划教材
高职高专“十二五”规划教材

机电电气控制专业

机电检测技术

JIDIAN JIANCE JISHU

主 编 ◎ 金 捷

副主编 ◎ 何祥林

参 编 ◎ 张俊凤 万胜前 孟令海



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

机电检测技术 / 金捷主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2011.3

21世纪高职高专系列规划教材·机电电气控制专业

ISBN 978-7-303-12011-6

I. ①机… II. ①金… III. ①机电工程—检测—高等学校; 技术学校—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第 263717 号

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印 刷: 北京嘉实印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 184 mm × 260 mm

印 张: 10.75

字 数: 244 千字

版 次: 2011 年 3 月第 1 版

印 次: 2011 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 17.00 元

策划编辑: 周光明

责任编辑: 周光明

美术编辑: 高 霞

装帧设计: 国美嘉誉

责任校对: 李 茜

责任印制: 孙文凯

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010—58800697

北京读者服务部电话: 010—58808104

外埠邮购电话: 010—58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010—58800825

前 言

本教材是根据国务院《关于大力发展职业教育的决定》和教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》文件精神而编写的。

本教材以培养学生从事实际工作的基本能力和基本技能为目的,按照突出应用性、实践性和针对性的原则,以项目驱动、任务导入方式反映高职高专课程和教学内容体系改革方向,反映当前教学的新内容,突出基础理论知识的应用和实践技术的培养,以适应职业岗位的需要。本教材力图使高职高专机电类专业学生在学完本课程后能获得具有从事生产一线的技术和运行人员所必须掌握的传感器、自动检测技术等方面的基本知识和基本应用技能。

本教材共4个学习情境,学习情境1信息的获取与转换,学习情境2信号的变换,学习情境3信号的记录,学习情境4综合实践。本书内容以信息的传感、转换、处理为核心,着重介绍常用传感器的工作原理、测量转换电路及其应用。本书内容精炼,主次分明,应用性强,通俗易懂,易于自学,方便教学。

本教材为高职高专院校及成人高校机械、电子、自动化等工程类专业的教学用书,也可作为从事检测技术工作的工程技术人员参考书。

本教材由沙洲职业工学院金捷任主编,鄂州职业大学何祥林任副主编,学习情境1由沙洲职业工学院金捷编写,学习情境2由沙洲职业工学院张俊凤编写,学习情境3由鄂州职业大学万胜前编写,学习情境4由鄂州职业大学何祥林、张家港冠联工程有限公司孟令海编写。

本教材在编写过程中参考了兄弟院校老师编写的有关教材及其他资料,在此表示衷心的感谢。

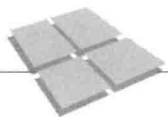
由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中难免有错误和不足,敬请各兄弟院校师生和广大读者批评指正。

编者

2010年12月

目 录

绪 论	(1)	任务 7 热敏传感器	(30)
学习情境 1 信息的获取与转换	(5)	1.7.1 热电偶	(30)
任务 1 传感器的认识与选用	(5)	1.7.2 热电偶的冷端温度补偿	(33)
1.1.1 传感器的作用	(5)	1.7.3 热电阻式	(35)
1.1.2 传感器的组成及分类	(5)	任务 8 压电式传感器	(36)
1.1.3 传感器的发展动向	(7)	1.8.1 压电式传感器的工作	(36)
1.1.4 传感器的选用原则	(7)	原理	(36)
任务 2 电阻式传感器	(9)	1.8.2 压电材料及压电元件	(38)
1.2.1 电位器式传感器	(10)	1.8.3 压电式传感器的测量	(40)
1.2.2 电阻应变式传感器	(11)	电路	(40)
任务 3 电容式传感器	(15)	1.8.4 压电式传感器的应用	(43)
1.3.1 工作原理	(15)	任务 9 光电传感器	(43)
1.3.2 测量电路	(18)	1.9.1 光电效应及分类	(44)
1.3.3 电容式传感器的应用	(19)	1.9.2 光电器件	(44)
任务 4 电感式传感器	(20)	1.9.3 光电传感器的应用	(50)
1.4.1 自感型电感式传感器	(21)	任务 10 光纤与激光传感器	(52)
1.4.2 互感型—差动变压器	(23)	1.10.1 光纤传感器	(52)
1.4.3 电感传感器的应用	(24)	1.10.2 激光传感器	(54)
任务 5 磁电式传感器	(25)	任务 11 其他类型传感器	(62)
1.5.1 动圈式磁电传感器	(25)	1.11.1 超声波传感器	(62)
1.5.2 磁阻式磁电传感器	(26)	1.11.2 红外传感器	(67)
1.5.3 磁电式传感器的应用	(27)	1.11.3 CCD 传感器	(72)
任务 6 磁敏传感器	(28)	1.11.4 生物传感器	(75)
1.6.1 霍尔器件	(28)	1.11.5 智能型传感器	(80)
1.6.2 磁阻器件	(28)	习 题	(82)
1.6.3 磁敏传感器的应用	(29)	学习情境 2 信号的变换	(84)
		任务 1 电桥电路	(84)
		2.1.1 直流电桥	(84)



2.1.2 交流电桥	(88)	力测量	(125)
任务2 信号的调制与解调	(91)	任务2 振动的测量	(126)
2.2.1 调幅及其解调	(92)	4.2.1 振动测量的作用和类别	(126)
2.2.2 调频及其解调	(95)	4.2.2 振动量的测量方法	(126)
任务3 滤波器	(99)	4.2.3 激振信号与激振器	(128)
2.3.1 概述	(99)	任务3 传动扭矩的测量	(131)
2.3.2 理想滤波器与实际滤波器	(100)	4.3.1 由扭矩应变来测量扭矩	(131)
2.3.3 RC模拟式滤波器分析	(103)	4.3.2 利用转轴的扭转变形来测量扭矩	(133)
任务4 模拟——数字转换原理	(106)	4.3.3 4.3.3 遥测扭矩法简介	(134)
2.4.1 模拟—数字转换基本过程	(106)	任务4 位移的测量	(134)
2.4.2 常用A/D转换器转换原理	(108)	任务5 压力的测量	(139)
2.4.3 A/D转换器主要技术指标	(110)	4.5.1 压力测量弹性元件	(139)
习 题	(111)	4.5.2 常见的压力传感器	(141)
学习情境3 信号的记录	(113)	任务6 噪声的测量	(144)
任务1 笔式记录仪	(113)	4.6.1 常用的噪声测量仪器	(145)
3.1.1 磁电式笔记录仪	(113)	4.6.2 噪声的测试方法	(147)
3.1.2 自动平衡式记录仪	(113)	任务7 速度的测量	(149)
任务2 光线示波器	(114)	4.7.1 速度测量的方法和分类	(149)
3.2.1 振动子	(114)	4.7.2 常见的速度测量装置	(150)
3.2.2 光学系统	(115)	任务8 计算机辅助测试	(156)
3.2.3 光线示波器的工作原理	(115)	4.8.1 计算机检测系统的组成	(157)
任务3 磁带记录仪	(116)	4.8.2 计算机检测系统的应用	(162)
3.3.1 结构与工作原理	(116)	习 题	(164)
3.3.2 记录方式	(117)	参考文献	(165)
习 题	(118)		
学习情境4 综合实践	(119)		
任务1 应力的测量	(119)		
4.1.1 主应力方向已知时的应力测量	(119)		
4.1.2 主应力方向未知时的应			

绪 论

1. 检测技术的作用和地位

在人类的各项生产活动和科学实验中为了了解和掌握整个过程的进展及其最后结果,经常需要对各种基本参数或物理量进行检查和测量,从而获得必要的信息,并以此作为分析判断和决策的依据。随着人类社会进入信息时代,以信息的获取、转换、显示和处理为主要内容的检测技术已经发展成为一门完整的技术学科,在促进生产发展和科技进步的广阔领域内发挥着重要的作用。其主要应用如下:

(1)检测技术是产品检验和控制的重要手段

借助于检测工具对产品进行质量评价是人们十分熟悉的,这是检测技术重要的应用领域。但传统的检测方法只能将产品区分为合格品和废品,起到产品验收和废品剔除的作用。在传统检测技术基础上发展起来的主动检测技术或称在线检测技术,使检测和生产加工同时进行,及时、主动地用检测结果对生产过程进行调节和控制,使其达到最佳运行状态,生产出合格产品。

(2)检测技术在大型设备安全经济运行监测中得到广泛应用

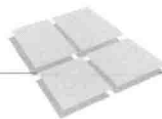
电力、石油、化工、机械等行业的一些大型设备通常在高温、高压、高速和大功率状态下运行,保证这些关键设备安全运行在国民经济中具有重大意义。为此,通常设置故障监测系统对温度、压力、流量、转速、振动和噪声等多种参数进行长期动态监测,以便及时发现异常情况,并对故障进行诊断。这样可以避免严重的突发事件,保证设备的正常和人员的安全,提高经济效益。随着计算机技术的发展,这类监测系统已经发展为故障自诊断系统,可以采用计算机来处理检测信息,进行分析、判断,及时诊断出设备故障并自动报警,或采取相应的对策。

(3)检测技术和装置是自动化系统中不可缺少的组成部分

人们为了有目的地进行控制,首先必须通过检测获取有关信息然后才能进行分析判断,以便实现自动控制。所谓自动,就是用各种技术工具与方法代替人工来完成检测、分析、判断和控制工作。一个自动化系统通常由多个环节组成,分别完成信息获取、信息转换、信息处理、信息传递及信息执行等功能。在实现自动化的过程中,信息的获取与转换是极其重要的组成环节,只有精确及时地将被控对象的各项参数检测出来并转换成易于传送和处理的信号,整个系统才能正常地工作。因此,自动检测与转换是自动化技术中不可缺少的组成部分。

(4)检测技术的完善和发展推动着现代科学技术的进步

人们在自然科学各个领域内从事的研究工作,一般是利用已知的规律对观测、试验的结果进行概括、推理,从而对所研究的对象取得定量的概念并发现它的规律性,然后上升到理论。因此,现代化检测手段所达到的水平在很大程度上决定了科学研究的深度和广度。检测技术达到的水平愈高,所提供的信息愈丰富、愈可靠,科学研究取得突破性进展的可能性就愈大。此外,理论研究的一些成果,也必须通过实验或观测来加以验证,这同样离不开必要的检测手段。



从另一方面看,现代化生产和科学技术的发展也不断地对检测技术提出新的要求和课题,成为促进检测技术向前发展的动力。科学技术的新发现和新成果不断应用于检测技术中,也有力地促进了检测技术自身的现代化。

检测技术与现代化生产和科学技术的密切关系,使它成为一门十分活跃的技术学科,几乎渗透到人类的一切活动领域,发挥着愈来愈大的作用。

2. 检测系统的工作范围

检测技术的应用非常广泛,几乎在所有的行业中都有应用。特别是现代检测技术,几乎应用了所有近代新技术和新理论。从广义的角度来讲,其工作的范围涉及试验设计、模型理论、传感器、信号加工与处理、控制工程、系统辨识、参数估计等诸学科的内容;从狭义的角度来讲,是指对物理信号的获取、变换、传输、处理直至显示、记录或以电量输出测试结果的工作。

在机械工程中,测试的量主要是一些非电的物理量,如长度、位移、速度、噪声等;用现代测试技术测量非电量的方法主要是电测法,即将非电量先转换为电量,然后用各种电测仪表和装置乃至电子计算机对电信号进行处理和分析。在电量中有电能量和电参量之分,电能量如电流、电压、电功率等;电参量如电阻、电容、电感、相位等。由于电参量不具有能量,在测试过程中还需将其进一步转换为电能量。

电测法的主要优点如下:

- (1)能够连续、自动地对被测量进行测量和记录。
- (2)不仅能适用静态测量,还能适用动态测量和瞬态测量。
- (3)电信号可以远距离传输,便于实现远距离测量和集中控制。
- (4)电子测量装置能方便地改变量程,因此测量的范围广。
- (5)可以方便地与计算机相联,进行数据的自动运算、分析和处理。

3. 检测系统的组成

一个完整的检测系统或检测装置通常是由传感器、测量电路和显示记录装置等部分组成,它们分别完成信息获取、转换、显示和处理等功能。当然,其中还包括电源和传输通道等不可缺少的部分。图 0-1 是检测系统的组成框图。

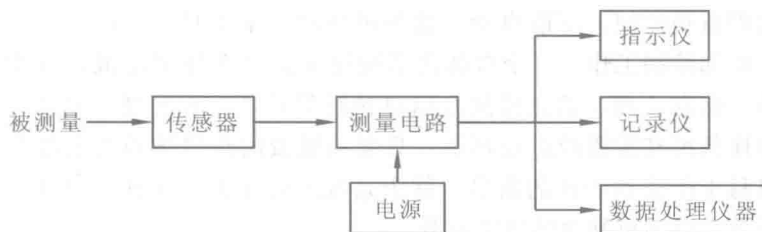


图 0-1 检测系统的组成框图

(1) 传感器

传感器是把被测量(物理量、化学量、生物量等)变换为另一种与这有确定对应关系,并且便于测量的量(通常是电学量)的装置。显然,传感器是检测系统与被测对象直接发生联系的部分。它处于被测对象和检测系统的接口位置,构成了信息输入的主要窗口,为检测系统提供必须的原始信息。它是整个检测系统最重要的环节,检测系统获取信息的质量往往是由传感器的性能一次性确定的,因为检测系统的其他环节无

法添加新的检测信息,并且不易消除传感器所引入的误差。

(2) 测量电路

测量电路的作用是对传感器输出的信号进行加工,是把传感器输出的微弱信号变成具有一定功率的电压、电流或频率信号,以满足显示记录装置的要求。根据需要,测量电路还能进行阻抗匹配、微分、积分、线性化补偿等信号处理工作。

应当指出,测量电路的种类和构成是由传感器的类型决定的,不同的传感器所要求配用的测量电路经常具有自己的特色。

(3) 显示记录装置

显示记录装置的作用是将测量电路输出的被测信号转换成人们可以感知的形式,如指针的偏转、数码管的显示、荧光屏上的图像等。还可以将此电信号记录在适当的介质上,如磁带、记录纸等,以供人们观测和分析。目前常用的显示器有四类:模拟显示器、数字显示器、图像显示器及记录仪。

模拟显示器是用指针对标尺的相对位置表示被测量数值的大小,如各种指针式电气测量仪表。常见的有毫伏表、微安表、模拟光标等。其特点是读数方便、直观,结构简单,价格低廉,在检测系统中一直被大量应用。但这种显示方式的精度受标尺最小分度限制,而且读数时易引入主观误差。

数字显示器则直接以十进制数字形式来显示读数,实际上是专用的数字电压表,它可以附加打印机,打印记录测量数值,并且易于和计算机联机,使数据处理更加方便。这种方式有利于消除读数的主观误差。

图像显示器是采用显示装置用图像显示被测量的变化。如果被测量处于动态变化之中,用一般的显示仪表读数是十分困难的,这时可以将输出信号送到显示装置,用示波器(CRT)或液晶显示器(LCD)屏幕来显示被测参数的变化曲线或读数,有时还可利用图表、彩色图像等形式来反映整个生产线上被测量的多组数据。

记录仪主要用来记录被测量随时间变化的曲线,得出检测结果,供分析使用。常用的记录仪有笔式记录仪、光线示波器、磁带记录仪、快速打印机等。

4. 检测技术的发展方向

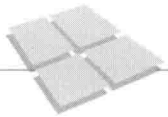
检测技术是随着现代科学技术的发展而迅速发展起来的一门新兴学科。一方面,现代科学技术的发展离不开检测技术,而且不断对检测技术提出新的要求。另一方面,现代检测技术的不断完善、提高又是科学技术发展的结果,两者是互相促进的。科学技术的发展,使检测技术达到了一个新的水平,其主要表现在以下几个方面:

(1) 不断提高检测系统的测量精度、量程范围,延长使用寿命,提高可靠性

随着科学技术的不断发展,对检测系统测量精度的要求也相应地提高。近年来,人们研制出许多高精度的检测仪器以满足各种需要。例如,人们已研制出能测量小至几十个帕的微压力和大到几吉帕高压的压力传感器;开发了能够测出极微弱磁场的磁敏传感器。现在许多检测系统可以在极其恶劣的环境下连续工作数万小时,使得检测系统的可靠性及寿命大幅度地提高。目前人们正在不断努力进一步提高检测系统的各项性能指标。

(2) 应用新技术和新的物理效应,扩大检测领域

检测原因大多以各种物理效应为基础,人们根据新原理、新材料和新工艺研究所



取得的成果,将研制出更多品质优良的新型传感器。例如,光纤传感器、液晶传感器、以高分子有机材料为敏感元件的压敏传感器、微生物传感器等。近代物理学的成果如激光、红外、超声、微波、光纤、放射性同位素等的应用,都为检测技术的发展提供了更多的途径,如激光测距、红外测温、超声波无损探伤、放射性测厚等非接触测量的迅速发展。另外,代替视觉、嗅觉、味觉和听觉的各种仿生传感器和检测超高温、超高压、超低温和超高真空等极端参数的新型传感器,将是今后传感器技术研究和发展的方向。

(3)发展集成化、功能化的传感器

随着超大规模集成电路技术的发展,硅电子元件的集成化有可能大量地向传感器领域渗透。人们将传感器与测量电路制作在同一块硅片上,得到体积小、性能好、功能强的集成传感器,使传感器本身具有检测、放大、判断和一定的信号处理功能。例如,已研制出高精度的PN结测温集成电路。又如,人们已能将排成阵列的成千上万个光敏元件及扫描放大电路制作在一块芯片上,制成CCD摄像机。今后,还将在光、磁、温度、压力等领域开发新型的集成化、功能化的传感器。

(4)采用计算机技术,使检测技术智能化

计算机技术应用到检测系统中,使检测仪器智能化,从而扩展了功能,提高了精度和可靠性。计算机技术在检测技术中的应用,还突出地表现在整个检测工作可在计算机控制下,自动按照给定的检测实验程序进行并直接给出检测结果,构成自动检测系统。其他诸如波形存储、数据采集、非线性校正和系统误差的消除、数字滤波、参数估计等方面,也都是计算机技术在检测领域中应用的重要成果。目前新研制的检测系统大都带有微处理器。

5. 本课程的特点和学习要求

本课程是一门专业基础课程,研究对象主要是机电工程中动态物理量的检测原理、方法及常用的检测装置。通过本课程的学习,使学生能较正确地选用检测装置和初步掌握进行动态测试所需要的基本理论、基本知识和基本技能。

学生在学完本课程后,应具有以下几个方面的知识:

- (1)基本掌握常用传感器的工作原理、基本特性、使用范围,传感器的选用原则。
- (2)掌握常用信号变换方法的原理及应用。
- (3)了解常用记录装置的工作原理及应用。
- (4)掌握各种典型非电量的测量方法和初步学会常用的检测仪器在工程中的应用。

本课程涉及的学科面广,需要有较广泛的基础知识和专业知识,学好这门课的关键在于理论联系实际。要富于设想,善于借鉴,应创造条件加强实验环节。学生只有通过足够和必要的实验才能受到应有的实验能力的训练,才能获得关于动态检测工作的比较完整的概念,也只有这样,才能初步具备处理实际检测工作的能力。

学习情境 1 信息的获取与转换

任务 1 传感器的认识与选用

1.1.1 传感器的作用

在现代工业生产中,尤其是计算机控制过程中,需要各种传感器监视生产过程中的各种参数,并转换成电信号,以便控制生产设备及工艺流程,使其处于最佳状态,从而取得高质量产品,并能极大地提高生产率。可见,若没有众多的优良的传感器,现代化生产也就失去了基础。

现代飞行器上,装备着各种各样的显示与控制系统,以保证各种飞行任务的顺利完成。在这些系统中,传感器首先对反映飞行器的飞行参数、发动机工作状态的各个物理参数加以检测,并将它们显示在各类显示器上,提供给驾驶员和领航员去控制和操作飞行器。例如,“阿波罗 10”运载火箭部分,检测加速度、声学、温度、压力、振动、流量、应变等参数的传感器共有 2 077 个;宇宙飞船部分共有各种传感器 1 218 个。可以断言,没有数量众多的传感器的正常工作,“阿波罗 10”是无法登上月球的。

传感器在生物医学和医疗器械工程方面也显露出广阔的前景。它们可将人体内各种生理信息转换成工程上容易测定的量(一般是电量),从而显示出各种人体生理信息。

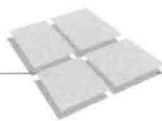
人通过感官来接收外界的信息,并将所接收的信号送入大脑,进行信号处理后获取有用的信息。对现有的或者正在发展中的机械电子装置来说,电子计算机相当于人的大脑(即常称电脑),而相当于人的感官部分的装置就是传感器。所以说,传感器是人类感官的扩展和延伸,借助传感器,人类可以去探索那些无法直接用感官获取的信息。例如,用热电偶可以测得炽热物体的温度,用超声探测器可以探测海水的深度,用红外遥控器可以从高空探测地球上的植被和污染情况,等等。因此可以说,传感器是人们认识自然界的有力工具,是测量仪器与被测事物之间的接口。

传感器是一种获取信息的装置。它的定义是:借助于检测元件接收一种形式的信息,并按一定的规律将所获取的信息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,而转换后的信息也可以有各种形式。但目前,传感器转换的大多为电信号。因而从狭义上讲,传感器定义为:把外界输入的非电信号转换成电信号的装置。所以一般也称传感器为变换器、换能器和探测器,其输出的电信号需继续输送给后续的配套测量电路及终端装置,以进行电信号的调理、分析、记录或显示等。

1.1.2 传感器的组成及分类

1. 传感器的组成

传感器一般由敏感器件与其他辅助器件组成。敏感器件是传感器的核心,它的作用是直接感受被测物理量,并将信号进行必要的转换输出。如应变式压力传感器的弹性膜片是敏感元件,它的作用是将压力转换为弹性膜片的形变,并将弹性膜片的形变



转换为电阻的变化而输出。

一般把信号调理与转换电路归为辅助器件，它们是一些能把敏感器件输出的电信号转换为便于显示、记录、处理等有用的电信号的装置。

随着集成电路制造技术的发展，现在已经能把一些处理电路和传感器集成在一起，构成集成传感器。进一步的发展是将传感器和微处理器相结合，装在一个检测器中形成一种新型的“智能传感器”。它将具有一定的信号调理、信号分析、误差校正、环境适应等能力，甚至具有一定的辨认、识别、判断的功能。这种集成化、智能化的发展，无疑将对现代工业技术的发展发挥重要的作用。

2. 传感器的分类

传感器的种类繁多。在工程测试中，一种物理量可以用不同类型的传感器来检测；而同一种类型的传感器也可测量不同的物理量。

传感器的分类方法很多，概括起来，可按以下几个方面进行分类：

(1)按被测物理量来分，可分为位移传感器、速度传感器、加速度传感器、力传感器和温度传感器等。

(2)按传感器工作的物理原理来分，可分为机械式、电气式、辐射式和流体式等。

(3)按信号变换特征来分，可分为物理型和结构型。

所谓物理型传感器，是利用敏感器件材料本身物理性质的变化来实现信号的检测。例如，用水银温度计测温，是利用了水银的热胀冷缩的现象；用光电传感器测速，是利用了光电器件本身的光电效应；用压电测力计测力，是利用了石英晶体的压电效应等。

所谓结构型传感器，则是通过传感器本身结构参数的变化来实现信号转换的。例如，电容式传感器，是通过电容器的极板间距离发生变化而引起电容量的变化；电感式传感器，是通过活动衔铁的位移引起电感器的自感或互感的变化等。

(4)按传感器与被测量之间的关系来分，可分为能量转换型和能量控制型。

能量转换型传感器(或称为无源传感器)，是直接由被测对象输入能量使其工作。例如，热电偶将被测温度直接转换为电量输出。由于这类传感器在转换过程中需要吸收被测物体的能量，容易造成测量误差。

能量控制型传感器(或称为有源传感器)又分为两种形式。一种是由外部辅助能源供给传感器工作，并且由被测量来控制能量的变化。例如，电阻应变计中电阻接于电桥上，电桥工作能源由外部供给，由被测量变化所引起的电阻变化控制电桥的输出。此外，电阻温度计、电感式测微仪、电容式测振仪等均属于此种类型。另一种是由外部能源供给激励信号发生器，而激励信号发生器以信号激励为被测对象。输入传感器的信号是被测对象对激励信号的响应，它反映了被测对象的性质或状态。例如，超声波探伤、用激光散斑技术测量应变等。

另外，按传感器输出量的性质可分为模拟式和数字式两种。前者的输出量为连续变化的模拟量，而后的输出量为数字量。由于计算机在工程测试中的应用，数字式传感器是很有发展前途的。当然，模拟量也可以通过模/数转换变为数字量。

1.1.3 传感器的发展动向

最近十几年来,由于对传感器在信息社会中的作用有了新的认识和评价,各国都将传感器技术列为重点发展技术之一。

当今,传感器的主要发展动向,一是开展基础研究,重点研究传感器的新材料和新工艺;二是实现传感器的智能化。

1. 利用物理现象、化学反应和生物效应设计制作各种用途的传感器

这是传感器技术的重要基础工作。例如,利用某些材料的化学反应制成的识别气体的“电子鼻”;利用超导技术研制成功的高温超导磁传感器等。

2. 传感器向高精度、一体化、小型化的方向发展

工业自动化程度越高,对机械制造精度和装配精度要求就越高,相应的测量精度要求也就越高。因此,当今在传感器制造上很重视发展微机械加工技术。微机械加工技术除全面继承氧化、光刻、扩散、沉积等微电子技术外,还发展了平面电子工艺技术、各向异性腐蚀、固相键合工艺和机械分断技术。

所谓一体化就是传感器与信号调节电路一体化,即将调节电路直接集成到传感器上,这样既改善了传感器的性能,又使其体积减小。

3. 发展智能型传感器

智能型传感器是一种带有微处理器并兼有检测和信息处理功能的传感器。智能型传感器被称为第四代传感器,这种传感器具有感觉、辨别、判断、自我诊断等功能,是传感器的发展方向。

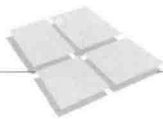
实践证明,传感器技术与计算机技术在现代科学技术的发展中有着密切的关系。而当前的计算机在很多方面已具有了人脑的思维功能,甚至在有些方面的功能已超过了人脑。与此相比,传感器就显得比较落后。也就是说,现代科学技术在某些方面因电子计算机技术与传感器技术未能取得协调发展而面临着许多问题。也正因为如此,世界上许多国家都在努力研究各种新型传感器,改进传统的传感器。开发和利用各种新型传感器已成为当前发展科学技术的重要课题。

基于上述开发新型传感器的紧迫性,目前国际上凡出现一种新材料、新元件或新工艺,就会很快地应用于传感器,并研制出一种新的传感器。例如,半导体材料与工艺的发展,使一批能测很多参数的半导体传感器出现了;大规模集成电路的设计成功,发展了有测量、运算、补偿功能的智能传感器;生物技术的发展,促成了利用生物功能的生物传感器的出现。这也说明了各个学科技术的发展,促进了传感器技术的不断发展;而各种新型传感器的问世,又不断为各个部门的科学技术服务,促使现代科学技术进步。它们是相互依存、相互促进的,这也说明了目前要开发新型传感器不但重要,而且也是可能的。

1.1.4 传感器的选用原则

了解传感器的结构及其发展后,如何根据测试目的和实际条件,正确合理地选用传感器,也是需要认真考虑的问题。下面就传感器的选用问题作一些简介。

选择传感器主要考虑灵敏度、响应特性、线性范围、稳定性、精确度和测量方式六个方面的问题。



1. 灵敏度

一般来说,传感器灵敏度越高越好,因为灵敏度越高,就意味传感器所能感知的变化量越小,即只要被测量有一微小变化,传感器就有较大输出。但是,在确定灵敏度时,要考虑以下几个问题。

(1)当传感器的灵敏度很高时,那些与被测信号无关的外界噪声也会同时被检测到,并通过传感器输出,从而干扰被测信号。因此,为了既能使传感器检测到有用的微小信号,又能使噪声干扰小,要求传感器的信噪比愈大愈好。也就是说,要求传感器本身的噪声小,而且不易从外界引进干扰噪声。

(2)与灵敏度紧密相关的是量程范围。当传感器的线性工作范围一定时,传感器的灵敏度越高,干扰噪声越大,这样难以保证传感器的输入在线性区域内工作。不言而喻,过高的灵敏度会影响其适用的测量范围。

(3)当被测量是一个向量时,并且是一个单向量时,就要求传感器单向灵敏度愈高愈好,而横向灵敏度愈低愈好。如果被测量是二维或三维的向量,那么还应要求传感器的交叉灵敏度愈小愈好。

2. 响应特性

传感器的响应特性是指在所测频率范围内,保持不失真的测量条件的能力。此外,实际上传感器的响应总不可避免地有一定延迟,但总希望延迟的时间越短越好。一般物理型传感器(如利用光电效应、压电效应等的传感器),响应时间短,但工作频率宽;而结构型传感器(如电感、电容、磁电等传感器),由于受到结构特性的影响,往往由于机械系统惯性质量的限制,其固有频率低,影响到传感器的工作频率范围。

3. 线性范围

任何传感器都有一定的线性工作范围。在线性范围内输出与输入成比率关系,线性范围愈宽,则表明传感器的工作量程愈大。

传感器工作在线性区域内,是保证测量精度的基本条件。例如,机械式传感器中的测力弹性元件,其材料的弹性极限是决定测力量程的基本因素。当超出测力元件允许的弹性范围时,将产生非线性误差。

然而,对任何传感器,保证其绝对工作在线性区域内是不容易的。在某些情况下,在许可限度内,也可以取其近似线性区域。例如,变间隙型的电容、电感式传感器,其工作区均选在初始间隙附近,而且必须考虑被测量变化范围,令其非线性误差在允许限度以内。

4. 稳定性

稳定性是表示传感器经过长期使用以后,其输出特性不发生变化的性能。影响传感器稳定性的因素是时间与环境。

为了保证稳定性,在选择传感器时,一般应注意两个问题。其一,根据环境条件选择传感器。例如,选择电阻应变式传感器时,应考虑到湿度会影响其绝缘性。湿度会产生零漂,长期使用会产生蠕变现象等。又如,对变极距型电容式传感器,因环境湿度的影响或油剂侵入间隙,会改变电容器的介质。光电传感器的感光表面有尘埃或水汽时,会改变感光性质。其二,要创造或保持一个良好的环境,在要求传感器长期地工作而不需经常地更换或校准的情况下,应对传感器的稳定性有严格的要求。

5. 精确度

传感器的精确度是表示传感器的输出与被测量的对应程度。如前所述,传感器处于测试系统的输入端,因此,传感器能否真实地反映被测量,对整个测试系统具有直接的影响。

然而,在实际中也并非要求传感器的精确度愈高愈好,这还需要考虑到测量目的,同时还需要考虑到经济性。因为传感器的精度越高,其价格就越昂贵,所以应从实际出发来选择传感器。

在选择传感器时,首先应了解测试目的,判断是定性分析还是定量分析。如果是相对比较性的试验研究,只需要获得相对比较值即可,那么应要求传感器的重复精度高,而不要求测试的绝对量值准确。如果是定量分析,那么必须获得精确量值。但在某些情况下,要求传感器的精确度愈高愈好。例如,对现代超精密切削机床,测量其运动部件的定位精度、主轴的回转运动误差、振动及热变形等时,往往要求它们的测量精确度在 $0.01 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 范围内,欲测得这样的精确量值,必须有高精确度的传感器。

6. 测量方式

传感器在实际条件下的工作方式,也是选择传感器时应考虑的重要因素。例如,接触与非接触测量、破坏与非破坏性测量、在线与非在线测量等,条件不同,对测量方式的要求亦不同。

在机械系统中,对运动部件的被测参数(如回转轴的误差、振动、扭力矩等),往往采用非接触测量方式。因为对运动部件采用接触测量时,有许多实际困难,诸如测量头的磨损、接触状态的变动、信号的采集等问题,这些都不易妥善解决,容易造成测量误差。这种情况下采用电容式、涡流式、光电式等非接触式传感器很方便。若选用电阻应变片,则需配备摇测应变仪。

在某些条件下,可以运用试件进行模拟实验,这时可进行破坏性检验。然而有时无法用试件模拟,因被测对象本身就是产品或构件,这时宜采用非破坏性检验方法。例如,涡流探伤、超声波探伤、核辐射探伤以及声发射检测等。非破坏性检验可以直接获得经济效益,因此应尽可能选用非破坏性检测方法。

在线测试是与实际情况保持一致的测试方法。特别是自动化过程的控制与检测系统,往往要求真实性与可靠性,而必须在现场条件下才能达到检测要求。实现在线检测是比较困难的,对传感器与测试系统都有一定的特殊要求。例如,在加工过程中,实现表面粗糙度的检测,以往的光切法,干涉法、触针法等都无法运用,取而代之的是激光、光纤或图像检测法。研制在线检测的新型传感器,也是当前测试技术发展的一个方面。

除了以上选用传感器时应充分考虑的一些因素外,还应尽可能兼顾结构简单、体积小、质量轻、价格便宜、易于维修、易于更换等条件。

任务 2 电阻式传感器

电阻式传感器是将被测的非电量(如温度、位移、力、加速度等)转换成电阻的变化量的传感元件,并通过对电阻值的测量电路变换为电压或电流,达到检测非电量的



目的。由于它的结构简单、易于制造、价格便宜、性能稳定、输出功率大,故至今在检测技术中应用甚为广泛。

按引起传感器电阻变化的参数不同,可以将传感器分为电位器式传感器和电阻应变式传感器两大类。

1.2.1 电位器式传感器

电位器式传感器又称变阻器传感器,它通过改变电位器触头位置,把位移转换为电阻的变化。根据电阻定律:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1-1)$$

式中, ρ 为电阻率, $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; l 为电阻丝长度, m ; A 为电阻丝截面积, mm^2 。

当电阻丝直径与材质一定时,电阻值的大小随电阻丝的长度 l 而变化。

常用的电位器式传感器有直线位移型、角位移型和非线性型等,其结构如图 1-1 所示。不管是哪种类型的传感器,都由线圈、骨架和滑动触头等组成。线圈绕于骨架上,触头可在绕线上滑动。当滑动触头在绕线上的位置改变时,即实现了将位移变化转换为电阻变化。

图 1-1(a) 为直线位移型电位器式传感器,当被测直线位移变化时,滑动触头的触点 C 沿电位器移动。若移动 x ,则 C 点与 A 点之间的电阻为

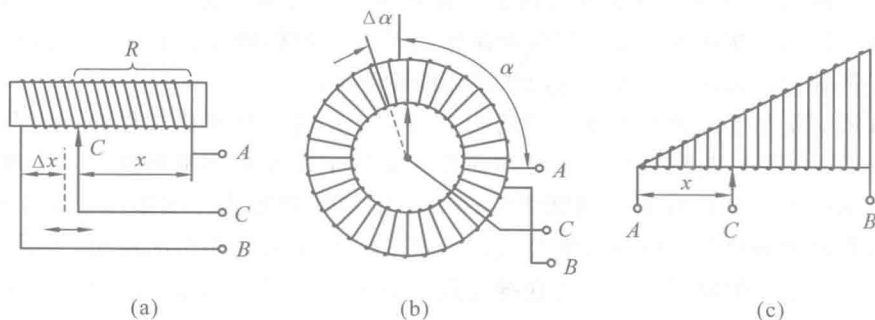
$$R_x = K_l x \quad (1-2)$$

式中, K_l 为单位长度的电阻值。

传感器的灵敏度为

$$S = \frac{dR}{dx} = K_l \quad (1-3)$$

当导线分布均匀时, S 为常数。这时传感器的输出(电阻)与输入(位移)呈线性关系。



(a) 直线位移型; (b) 角位移型; (c) 非线性型

图 1-1 电位器式传感器

图 1-1(b) 为角位移型电位器式传感器,其输出阻值的大小随角度位移的大小而变化,该传感器的灵敏度为

$$S = \frac{dR}{d\alpha} = K_\alpha \quad (1-4)$$

式中, α 为转角, rad ; K_α 为单位弧度对应的电阻值。

图 1-1(c)是一种非线性电位器式传感器,当输入位移呈非线性变化规律时,为了保证输入、输出的线性关系,利于后续仪表的设计,可以根据输入的函数规律来确定这种传感器的骨架形状。例如,若输入量为 $f(x)=Rx^2$,则为了得到输出的电阻值 $R(x)$ 与输入量 $f(x)$ 呈线性关系,电位器的骨架应采用三角形;若输入量为 $f(x)=Rx^3$,则电位器的骨架应采用抛物线形。

电位器式传感器一般采用电阻分压电路,将电参量 R 转换为电压输出给后续电路,如图 1-2 所示。当触头移动 x 距离后,输出电压 e_y 可用下式计算

$$e_y = \frac{e_0}{x_p/x + (R_p/R_L)(1-x/x_p)} \quad (1-5)$$

式中, R_p 为电位器的总电阻; x_p 为电位器的总长度; R_L 为后续电路的输入电阻。

式(1-5)表明,传感器经过后续电路后的实际输出、输入为非线性关系,为减小后续电路的影响,应使 $R_L \gg R_p$ 。此时, $e_y \approx \frac{e_0}{x_p}x$,近似为线性关系。

电位器式传感器的优点是结构简单,性能稳定,使用方便。其缺点是分辨率不高,因为受到骨架尺寸和导线直径的限制,分辨率很难高于 $20\mu\text{m}$ 。由于滑臂机构的影响,使用频率范围也受到限制。它们还有电噪声较大、绕制困难等缺点。

电位器式传感器被用于线位移和角位移的测量,在测量仪器中用于伺服记录仪器或电子电位差计等。

1.2.2 电阻应变式传感器

通过应变片将被测物理量(如应变、力、位移、加速度、扭矩等)转换成电阻变化的器件称为电阻应变式传感器。由于电阻应变式传感器具有结构简单、体积小、使用方便、动态响应快、测量精确度高等优点,因而被广泛应用于航天、机械、电力、化工、建筑、纺织、医学等领域,成为目前应用最广泛的传感器之一。

电阻应变传感器可分为金属电阻应变片与半导体应变片两类。

1. 金属电阻应变片

金属电阻应变片有丝式和箔式两种,其工作原理是电阻应变效应。导体的电阻随着机械变形而发生变化的现象,称为电阻应变效应。

金属丝电阻应变片(又称电阻丝式应变片)出现较早,现仍在广泛使用,其典型结构如图 1-3 所示。它主要由具有高电阻率的金属丝(康铜或镍铬合金等,直径 0.025 mm 左右)绕成的敏感栅、基底、覆盖层和引出线组成。

金属箔式电阻应变片则是用栅状金属箔片代替栅状金属丝。金属箔片采用光刻技术制造,适于大批量生产。其线条均匀,尺寸准确,阻值一致性好。箔片厚约 $1\sim 10\mu\text{m}$,散热好,黏结情况好,传递试件应变性能好。因此目前使用的多数金属箔式应变片,其结构形式如图 1-4 所示。

把应变片用特制胶水粘固在弹性元件或需要测量变形的物

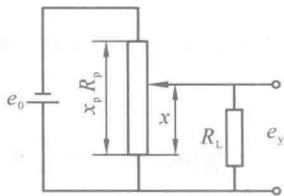
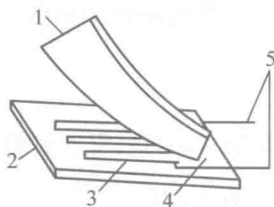


图 1-2 电阻分压电路



1—覆盖层；2—基底；
3—敏感栅(电阻丝)；
4—黏结剂；5—引线

图 1-3 金属丝应变片