

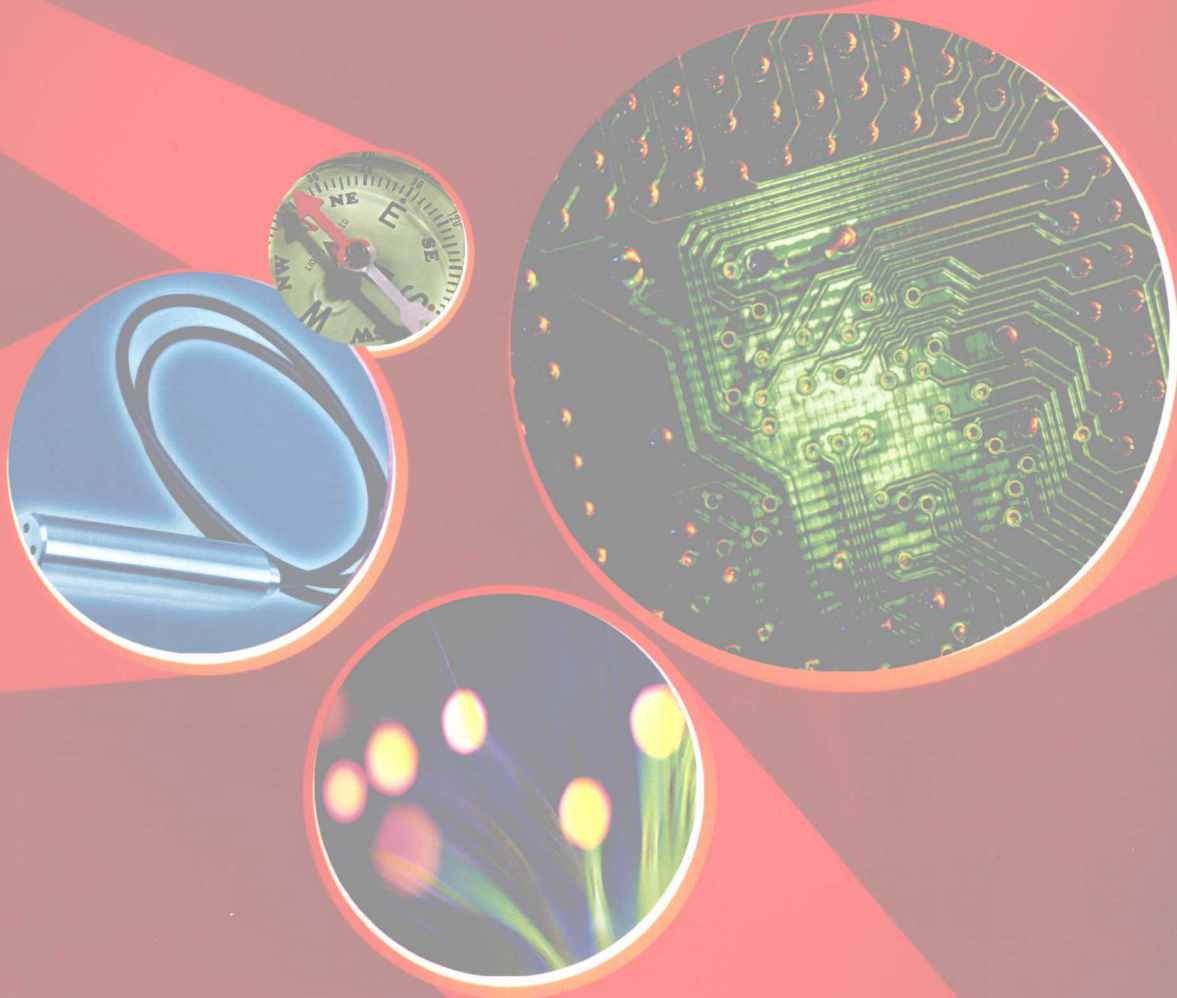


高职高专“十一五”规划标准化教材

检测技术理论与实践

主 编 张庆玲

副主编 张一波 付 骞 赵孟文



北京航空航天大学出版社

内容简介



高职高专“十一五”规划标准化教材

检测技术理论与实践

主 编 张庆玲

副主编 张一波 付 骞 赵孟文

检测技术理论与实践

张庆玲 编 主

张孟文 张一波 付 骞 编 副主

张 王 编 参

北京航空航天大学出版社

北京市昌平区学院路37号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82326202

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: buaapress@163.net

北京市印刷厂承印 北京印刷厂承印 北京印刷厂承印

北京航空航天大学出版社

ISBN 978-7-3-81131-01-0

内 容 简 介

本书共分 10 章,分别介绍电阻型传感器、电容型传感器、电感型传感器、压电型传感器、光电型传感器、霍尔型传感器及热电偶型传感器的基本概念和应用实例;并介绍光纤型传感器、超声波传感器、谐振型传感器及磁电型传感器的原理、应用和新型传感器的概念。每章后均有思考题或习题,并在书后附有答案,还为授课教师配有 CAI 教学课件。

本书可作为高等学校、高职高专学校的电气工程类、自动化类、仪器仪表类、电子工程类和机电一体化类等专业的教材,也可供有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

检测技术理论与实践/张庆玲主编. —北京:北京航空航天大学出版社,2007.8

ISBN 978-7-81124-045-0

I. 检… II. 张… III. 技术测量 IV. TG806

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 1006618 号

检测技术理论与实践

主 编 张庆玲

副主编 张一波 付 骞 赵孟文

责任编辑 王 实

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpess@263.net

北京市松源印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:12 字数:307 千字

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-81124-045-0

定价:19.00 元

前言

本书是作者在多年给电气自动化专业、仪器仪表专业、电子技术应用专业、机电一体化专业的本科生和高职高专生讲授的传感器课程讲义的基础上修改补充而成的。其内容丰富,层次清晰,重点突出,由浅入深,压缩了理论推导,增加了实际应用方面的知识,着重于实践,便于初学者理解和掌握。

传感器种类繁多,涉及面广,要在有限的篇幅内作较全面的介绍有很大难度。本书主要介绍各种传感器的基本概念和应用实例,并且大部分章节配有传感器综合训练项目,引导学生的课外制作,进行传感器实践活动,激发学生的学习热情,培养学生的实际应用能力,并尽可能反映国内外检测技术领域的新成果和新进展。

本书共分10章。第1章简单介绍传感器和测量基本概念;第2章介绍电阻型(电阻应变式、热电阻、电位器、热敏电阻、气敏电阻及湿敏电阻)传感器的原理及应用实例;第3章介绍电容型(变间隙、变面积及变介电常数)传感器的原理及应用实例;第4章介绍电感型(自感、差动电感、差动变压器及电涡流)传感器的原理及应用实例;第5章介绍压电型(石英晶体和压电陶瓷)传感器的原理及应用实例;第6章介绍光电型(光电管、光电倍增管、光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管及光敏晶闸管)传感器的特性及应用实例;第7章介绍霍尔型传感器的基本概念和应用实例;第8章介绍热电偶型传感器的基本概念和应用实例;第9章介绍光纤型传感器的原理与应用、超声波传感器的原理与应用、谐振型传感器的原理与应用及磁电型传感器;第10章介绍新型(液晶、超导体、指纹、遥感地球及能源等)传感器的概念。章节中所配传感器综合训练项目是西安航空技术高等专科学校历届相关专业的学生参加课程设计的作品。

本书由西安航空技术高等专科学校张庆玲担任主编,西安东风仪表厂张一波、西安航空技术高等专科学校付骞和赵孟文担任副主编,并由西安航空技术高等专科学校杨勇教授主审。西安航空技术高等专科学校罗庚合、王美丽、何红、杨亚平、唐征兵、刘振廷参加了本书的编写工作。在本书的编写过程中还得到了西安航空技术高等专科学校权养利、米国际、雷少刚、刘安枕、郝宏武、贡雪梅、刘雨棣、周武等老师的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,本书所存在的错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

另外,本书为授课教师提供 CAI 教学课件和课堂演示实验仪器一套,如需要可与北京航空航天大学出版社教材推广中心联系。

通信地址:北京海淀区学院路 37 号北京航空航天大学出版社教材推广部

邮 编:100083

电 话:010-82317027

传 真:010-82328026

E-mail: bhkejian@126.com



目 录

第 1 章 传感器和测量基本概念	1
1.1 传感器基本概念	1
1.2 测量的基本概念	3
1.3 传感器特性	5
1.4 传感器分类及选用	8
习 题	10
第 2 章 电阻型传感器	11
2.1 电阻应变式传感器	11
2.2 热电阻式传感器	18
2.3 电位器式传感器	20
2.4 热敏电阻	24
2.5 气敏电阻传感器	27
2.6 湿敏电阻传感器	29
2.7 电阻型传感器应用	31
2.8 电阻型传感器综合训练	33
习 题	40
第 3 章 电容型传感器	42
3.1 电容型传感器工作原理及结构	42
3.2 电容型传感器应用	48
习 题	50
第 4 章 电感型传感器	52
4.1 自感传感器	52
4.2 差动电感传感器	55
4.3 差动变压器式传感器	56
4.4 电涡流式传感器	58
4.5 电感型传感器的应用	60
4.6 电感型传感器综合训练	62
习 题	63
第 5 章 压电型传感器	65
5.1 压电效应	65
5.2 石英晶体的压电效应	66
5.3 压电陶瓷的压电效应	67
5.4 压电元件的等效电路和电荷放大器	68



5.5 压电型传感器应用·····	69
习 题·····	71
第6章 光电型传感器 ·····	73
6.1 外光电效应·····	73
6.2 光电管特性·····	74
6.3 光电倍增管·····	75
6.4 光敏电阻·····	77
6.5 光敏二极管、光敏三极管、光敏晶闸管·····	78
6.6 光电型传感器应用·····	80
6.7 光电型传感器综合训练·····	83
习 题·····	85
第7章 霍尔型传感器 ·····	87
7.1 霍尔元件的结构及工作原理·····	87
7.2 霍尔元件的基本电路及主要参数·····	88
7.3 霍尔集成电路·····	90
7.4 霍尔型传感器应用·····	92
7.5 霍尔型传感器综合训练·····	95
习 题·····	96
第8章 热电偶型传感器 ·····	98
8.1 热电偶型传感器工作原理·····	98
8.2 中间导体定律·····	99
8.3 中间温度定律·····	100
8.4 标准电极定律·····	101
8.5 热电偶的种类·····	101
8.6 热电偶冷端延长·····	103
8.7 热电偶冷端补偿·····	104
8.8 热电偶型传感器应用·····	107
8.9 热电偶型传感器综合训练·····	109
习 题·····	111
第9章 其他类型传感器 ·····	112
9.1 光纤传感器原理与应用·····	112
9.2 超声波传感器原理与应用·····	115
9.3 谐振型传感器·····	120
9.4 磁电型传感器·····	126
9.5 其他类型传感器综合训练·····	127
习 题·····	132



第 10 章 新型传感器	133
10.1 液晶传感器	133
10.2 超导体传感器	135
10.3 最新型传感器介绍	137
附录 A 习题参考答案	142
附录 B 热电阻及热电偶分度表	156
附录 C PCB 图	168
附录 D 部分产品介绍	169
参考文献	184

第1章 传感器和测量基本概念

在当今高新技术迅速发展的信息时代,获取准确可靠的信息成为做好一切工作的前提。近20年来,传感器技术获得了长足的进步,在国民经济相关的领域中得到了广泛的应用。传感器作为信息采集和转换的重要部件,构成了测量和控制系统的首要环节。传感器技术成为测试、计量和工业自动化、智能化的关键技术。在世界范围内,一个国家在一项工程中所用传感器的数量和水平直接标志着其技术的先进程度,因此,传感器技术成为信息时代的焦点。

测量是人类认识事物本质不可缺少的活动。在科学试验和生产活动中都离不开测量,人们可以通过测量对事物获得定量的概念并可发现事物的规律性。在自动化系统中,人们为了有目的地进行控制,首先要通过检测获取生产流程中的各种相关信息,然后进行分析判断,以便进行自动控制。

所以,自动化就是用各种技术工具替代人们进行检测、分析判断和控制的过程,而实现这些功能的技术工具称为自动化装置。在众多自动化装置构成的系统中,自动检测是必不可少的。在机械工业的自动检测中有机械加工过程中的自动检测和机械运行过程中的自动检测(监测)。自动检测装置中最初感受被测量并将它转换成可用信号输出的器件叫传感器,又称为探测器、换能器等。实质上,它就是代替人们的五种感觉(视、听、嗅、味、触)器官的装置。

1.1 传感器基本概念

1. 检测技术在国民经济中的地位和作用

检测技术是现代化领域中很有发展前途的技术,在国民经济中起着极其重要的作用。

在机械制造行业中,通过对机床的许多静态和动态参数如工件的加工精度、切削速度及床身振动等的在线检测来控制加工质量。在化工、电力等行业中,如果不随时对生产工艺过程中的温度、压力和流量等参数进行自动检测,生产过程将无法控制甚至会发生危险。在汽车行业中,一辆现代化汽车装备的传感器有几十种,分别用以检测车速、方位、转矩、振动、油压、油量、温度和接近等参数。在国防科研中,检测技术用得更多,许多尖端的检测技术都是因国防工业需要而发展起来的。例如,研究飞机的强度,就要在机身、机翼上贴上几百片应变片并进行动态测量。在导弹、卫星的研制中,检测技术就更为重要,必须对导弹或卫星的每个构件进行强度和动态特性的测试。近年来,随着家电行业的兴起,检测技术也进入了人们的日常生活中。例如,自动检测并调节房间的温度、湿度等。

近30年来,自动控制理论、计算机技术迅速发展,并已广泛应用到生产和生活的各个领域。但是,由于作为“感觉器官”的传感器技术没有与计算机技术协调发展,出现了信息处理功能发达,检测功能不足的局面,因此直接影响了计算机技术的推广应用。目前,这个问题已得到世界各国的高度重视,检测技术在国民经济中的地位也日益提高。

2. 检测系统的组成

自动检测系统通常由传感器、信号处理器、显示器、数据处理装置及执行机构组成。其原



理框图如图 1-1 所示。目前,非电量的检测多采用电测量法,即首先将各种非电量转变为电量,然后经过一系列处理,将非电量参数显示出来。

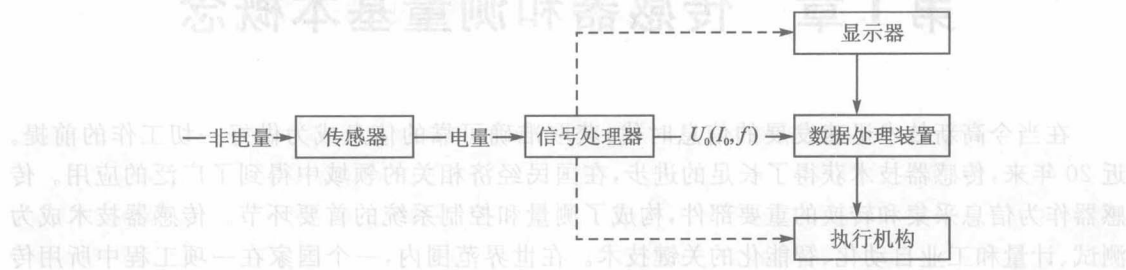


图 1-1 自动检测系统原理框图

传感器(transducer)指一个能把被测的非电量转换成电量的器件。信号处理电路的作用是把传感器输出的电量变成具有一定功率的电压或电流、频率信号等,以推动后级的显示电路、数据处理电路及执行机构。

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、微安表和模拟光柱等。数字显示目前多采用发光二极管(LED)和液晶(LCD)等以数字的形式来显示读数。前者亮度高,后者耗电省。图像显示是用 CRT 或 LCD 屏幕来显示读数或被测参数的变化曲线,有时还可用图表和彩图等形式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的动态变化过程,常用的记录仪有笔式记录仪、光线示波器、磁带记录仪及快速打字机等。

数据处理装置用来对测试所得的实验结果进行处理、运算和分析,对动态测试结果作频谱分析、幅值谱分析和能量谱分析等。完成以上工作必须采用计算机技术。

数据处理的结果通常送到显示器和执行机构中去,以显示运算处理的各种数据及控制各种被控对象。而在不带数据处理装置的自动检测系统中,显示器和执行机构由信号处理电路直接驱动,如图 1-1 中的虚线所示。

所谓执行机构通常指在电路中起通断、控制、调节及保护等作用的电器设备,如各种继电器、电磁铁、电磁阀门和伺服电动机等。许多检测系统能输出与被测量有关的电流或电压信号,去驱动执行机构,从而为自动控制系统提供信号。

现在的检测系统越来越多地使用计算机来控制执行机构的工作。检测技术、计算机技术与执行机构等配合就能构成工业中的某些控制系统。

3. 检测技术发展趋势

近年来,随着半导体和计算机技术的发展,新型或具有特殊功能的传感器不断涌现出来,检测装置也向小型化、固体化及智能化方向发展,应用领域也越加宽广。上至茫茫太空,下至海底、井下;大至工业生产系统,小至家用电器、个人用品等,都有检测技术的运用。当前,检测技术的发展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,用直线光栅测量直线位移时,测量范围可达二三十米;而分辨率可达微米级。人们已研制出能测量小到几十帕微压和大到几千兆帕高压的



压力传感器,开发了能够测出极微弱磁场的磁敏传感器。从20世纪60年代开始,人们对传感器的可靠性和故障率的数学模型进行了大量研究,使检测系统的可靠性及寿命大幅度提高,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。目前,人们正在不断努力以求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。

检测原理大多以各种物理效应为基础,近代物理学的进展如激光、红外线、超声波、微波、光纤及放射性同位素等新成就都为检测技术的开发提供了更多依据,如激光测距、红外测温、超声波无损探伤和放射性测厚等非接触测量得到迅速发展。20世纪70年代前,检测技术主要用于工业部门,而今,检测的领域正扩大到整个社会的各个方面,不仅包括核工程、海洋开发、宇宙航行等尖端科学技术和新兴工业领域,而且涉及生物、医疗、环境污染监测等方面,并开始渗透到人们日常生活的各种设施之中。

③ 发展集成化、功能化的传感器。

随着半导体集成电路技术的发展,硅电子元件的集成化已大量向传感器领域渗透。如将传感元件与信号处理电路制作在同一块硅片上,即可做出体积小、性能好、功能强的传感器,目前已研制出的有高精度的PN结测温集成电路、霍耳集成测温电路;又如,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,即可制成CCD摄像机。今后,还将在光、磁、温度、压力和遗传学等领域开发新型的集成化、功能化传感器。

④ 采用计算机技术,使检测技术智能化。

从20世纪70年代微处理器问世后,人们已逐渐将计算机技术应用到测量技术中,使检测仪器智能化,从而扩展了功能,提高了精度和可靠性,目前新研制的检测系统大都带有微处理器。

总之,检测技术的蓬勃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,且进展十分瞩目,并将有更大的飞跃。

1.2 测量的基本概念

1. 测 量

(1) 定 义

将被测量与同性质的标准量用专门的技术和设备进行比较,获得被测量对比该标准量的倍数,从而在量值上给出被测量的大小和符号。这个过程称为测量。

(2) 表达式

根据测量的定义得出如下表达式:

$$x = A \times x_0$$

式中: x ——被测量;

x_0 ——标准量;

A ——比值(无量纲)。

标准量必须有单位,单位越小, A ($A=x/x_0$)数值越大,测量精度越高。例如:以mm为最小分格,还是以cm为最小分格,视测量精度高低而定。

(3) 标准量

国际或国家特定机构所指定的量称为标准量。



例如:时间,国际标准定在英国格林威治天文台,而国家标准北京时间定在陕西省蒲城县境内的国家授时中心。米尺,国际单位制(SI)是在米-千克-秒单位制(MKS)基础上加电流单位安[培](A)、热力学温度单位开[尔文](K)、物质的量单位摩[尔](mol)和发光强度单位坎[德拉](cd)共七个基本单位为基础的单位制,经1960年第十一届国际计量大会决议通过,并且ISO制定了ISO1000国际标准加以确立。长度单位为米,1米等于光在真空中,在 $1/299\,792\,458$ 秒的时间间隔内运行距离的长度。再如,国家有计量局,省有计量局,各工厂有计量室,这些部门有权发放校验合格证。生产一线的仪器仪表应在工厂计量室校验,而工厂计量室的较高精度仪器仪表应在省计量局校验,而省计量局的高精度仪器仪表应在国家计量局校验,甚至到国际计量局进行校验。

(4) 测量方法

直接测量(如电压表测电压):从事先分度好的表盘上读取被测量的数值。

间接测量(如伏安法测电阻):利用被测量与某中间量之函数关系,先测出中间量,再通过函数关系计算被测量。

2. 测量仪表的精确度与分辨率

(1) 精确度

精确度又称精度,指标有三个:精密度、准确度、精度等级。

- 精密度(随机误差):描述测量仪表指示值不一致程度的量。例如测量条件相同的重复测量。它可提高有效数字位数。
- 准确度(系统误差):描述仪表指示值有规律地偏离真值程度的量。例如测量结果偏离真值的大小。

精确度是精密度和准确度的总和,以测量误差相对值反映测量仪表的优良程度。

- 精度等级:仪表在规定工作条件下,最大绝对允许误差值相对仪表测量范围的百分数。其表达式为

$$A\% = \left(\frac{\Delta_{\text{gmax}}}{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}} \right) \times 100\%$$

式中: Δ_{gmax} ——最大允许误差值;

$X_{\text{max}}, X_{\text{min}}$ ——测量范围的上、下限;

A ——精度等级,以标准百分数分档,可分为0.001,0.005,0.02,0.05,...,1.5,2.5,4.0和6.0等。

(2) 分辨率

显示仪表能够检测到被测量最小变化量的能力称为分辨率。指针式仪表显示最小刻度的一半为读数误差;而数字式仪表则以显示的最后一位数字为读数误差。

3. 直接测量的三种方法

零位法:被测量与已知标准量在比较仪器中进行比较,使这两种量对仪器的作用抵消为零(例如天平测量砝码,已知标准量)。这种测量法测量精度高。

偏差法:测量仪表的指针相对于表盘上刻度线的位移直接表示被测量的大小(用标准量标定过,例如弹簧秤)。这种测量法测量精度不高。

微差法:零位法与偏差法的结合。先将被测量与一个已知标准量进行比较,为不彻底的零



位法;其不足部分(即被测量与标准量之差)再用偏差法测出(例如长度测量)。这种测量法误差小,不需反复平衡操作。

4. 测量误差及分类

(1) 绝对误差和相对误差

1) 绝对误差

测量值 A_x 与真值 A_0 之间的差值称为绝对误差。其表达式为

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (\text{修正值 } \alpha = -\Delta)$$

2) 相对误差

相对误差包括:

① 实际相对误差 γ_A 绝对误差 Δ 与被测量真值 A_0 的百分比。其表达式为

$$\gamma_A = \Delta / A_0 \times 100\%$$

② 示值相对误差 γ_x 绝对误差 Δ 与被测量 A_x 的百分比。其表达式为

$$\gamma_x = \Delta / A_x \times 100\%$$

③ 满度相对误差 γ_m 绝对误差 Δ 与满度值 A_m 的百分比。其表达式为

$$\gamma_m = \Delta / A_m \times 100\%$$

④ 精度等级 s 当 Δ 取最大值 $\Delta_{\max}$ 时的满度相对误差。其表达式为

$$s = \left| \frac{\Delta_{\max}}{A_m} \right| \times 100\%$$

我国电工仪表分为 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5 和 5.0 七个级别。

(2) 粗大误差、系统误差和随机误差

粗大误差:明显偏离真值的误差,应剔除。

系统误差:误差数值固定或按一定规律变化的。

随机误差:误差的绝对值和正负以不可预见的方式变化,服从统计规律。

(3) 静态误差和动态误差

静态误差:被测量不随时间变化。

动态误差:被测量随时间迅速变化时,系统输出在时间上不能与被测量的变化吻合。

1.3 传感器特性

1. 传感器的一般特性

传感器能否不失真地将被测量的变化转换成相应电量取决于传感器本身的基本特性,即输出-输入特性。

(1) 静态特性

静态特性指当被测量的数值处于稳定状态时,传感器的输出与输入的变化关系。

静态特性技术指标包括线性度、灵敏度、迟滞性和重复性。

① 线性度(非线性误差):实际输出-输入特性曲线(实际曲线)与理论曲线之间的最大偏差再与输出满度值之比,如图 1-2 所示。其表达式为

$$r_L = \pm \frac{\Delta_{\max}}{y_m} \times 100\%$$



式中: r_L ——线性度;

$\Delta_{\max}$ ——最大非线性绝对误差;

y_m ——输出满度值。

② 灵敏度: 传感器在稳定状态条件下, 输出变化量与输入变化量的比值 K (输出变化量 Δy 与引起该变化的输入变化量 Δx 之比, 校正曲线斜率。线性传感器 K 为常数)。其表达式为

$$K = \frac{\text{输出变化量}}{\text{输入变化量}} = \frac{dy}{dx}$$

③ 迟滞性(实验方法测得): 输入量增大行程期间和减小行程期间, 测得的输出-输入特性曲线不重合的程度, 如图 1-3 所示。其表达式为

$$y_H = \pm \frac{1}{2} \times \frac{\Delta_{\max}}{y_m} \times 100\%$$

式中: $\Delta_{\max}$ ——正、反行程输出最大差值。

④ 重复性: 输入量在同一方向(增加或减少)做全量程内连续重复测量, 测得输出-输入特性曲线不一致的程度, 如图 1-4 所示。

$$Y_r = \pm \frac{\Delta_{\max}}{y_m} \times 100\%$$

式中: $\Delta_{\max}$ —— Δ_{m1} 、 Δ_{m2} 之较大者。

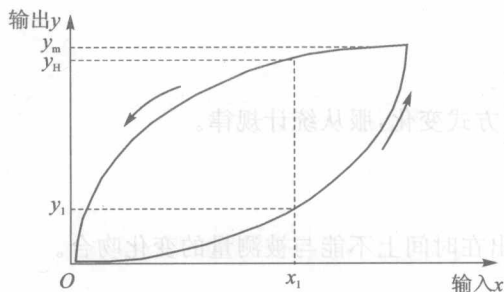


图 1-3 迟滞特性曲线

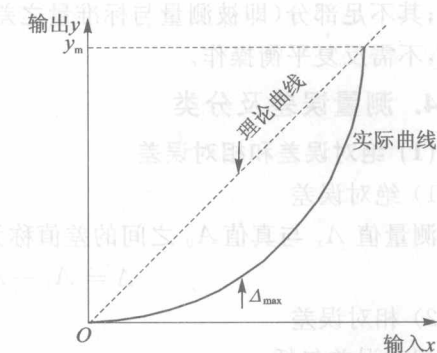


图 1-2 线性度

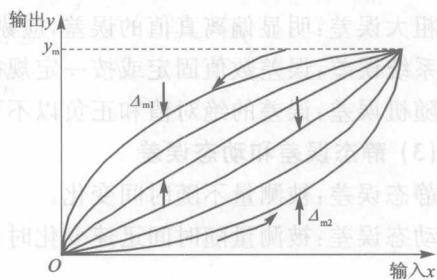


图 1-4 重复性特性曲线

(2) 动态特性

动态特性是当测量动态信号时, 输出对输入的响应特性。实际中, 大量的被测量的是随时间变化的动态信号; 若输出量随时间变化的规律能再现输入量随时间变化的规律, 说明重复性能好。

动态误差: 实际传感器的输出信号与输入信号不会具有相同的时间常数(对随时间变化的输入量的响应特性)。

2. 传感器中的弹性敏感元件

传感器一般由敏感元件、传感元件、转换电路及辅助电路组成, 如图 1-5 所示。

(1) 敏感元件

敏感元件直接感受被测非电量, 并按一定规律转换为与被测量有确定关系的其他量(一般仍为非电量)的器件。例如膜片将被测压力转换为位移量。



图 1-5 传感器的组成

(2) 传感元件

传感元件是将敏感元件感受到的非电量转换为其他非电量的器件。例如电阻应变片将应变(位移)转换为电阻的变化。

(3) 转换电路

转换电路将传感元件输出的电信号转换为便于显示、记录、处理和控制的有用电信号。例如电桥、放大器及振荡器等。

然而,并不是所有传感器必须包括敏感元件和传感元件。如果敏感元件输出的是电量,就同时兼为传感元件。如果传感元件直接感受被测非电量而输出与之成确定关系的电量,则此传感器无敏感元件。例如压电晶体、热电偶及热敏电阻等,将敏感元件与传感元件合二为一。

机械弹性敏感元件的输入量,可以是集中的力、力矩、流体压力和温度等各种非电量。而输出量是弹性元件本身的变形,如应变、位移和转角等。

如图 1-6 所示为弹性元件刚度曲线。刚度指弹性元件在外力作用下抵抗变形的能力,是弹性元件受外力后变形大小的量度,即

$$K = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta x} = \frac{dF}{dx}$$

式中: F ——作用在弹性元件上的力, N;

x ——作用力为 F 时,弹性元件所产生的变形, mm。

若弹性特性是线性,即 $K = \frac{F}{x}$ (常数, 曲线 2), 则曲线

1 的 A 处的刚度为

$$K = \tan \theta = \frac{dF}{dx}$$

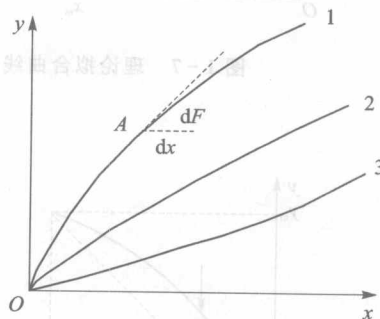


图 1-6 刚度曲线

弹性元件灵敏度是单位力作用下弹性元件所产生的变形,用刚度的倒数表示,即

$$S = \frac{1}{K} = \frac{dx}{dF}$$

弹性元件分为两大类,即变换力和变换压力。

- 变换力 力变换成应变或位移的弹性元件。
- 变换压力 压力变换成应变或位移的弹性元件。

总之,传感器的特性主要指输出与输入之间的关系。当输入量随时间变化为常量或变化极慢时,这一关系就称为静态特性。当输入量随时间变化时,这一关系就称为动态特性。静态特性可以看做是动态特性的瞬态。静态特性曲线可由实际测试获得。当测得特性曲线后,可以说传感器的特性已经掌握。但为了标定和数据处理方便,希望得到线性关系。进行线性化处理可采用多种方法,包括计算机硬件或软件补偿。但这些办法都较复杂。所以,在非线性的



端占连线作拟合直线

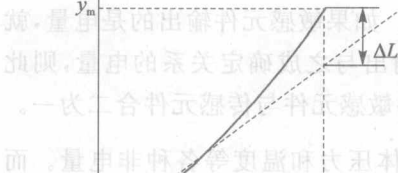


图 1-7 理论拟合曲线

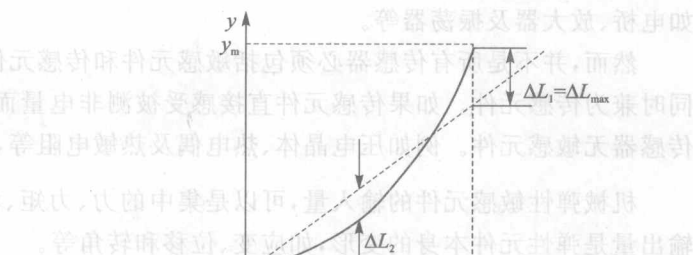


图 1-8 过零旋转拟合

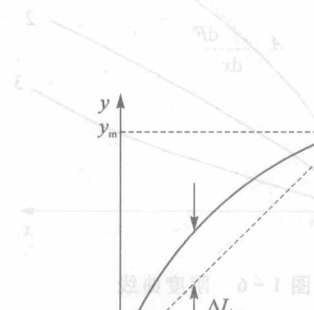


图 1-9 端点拟合

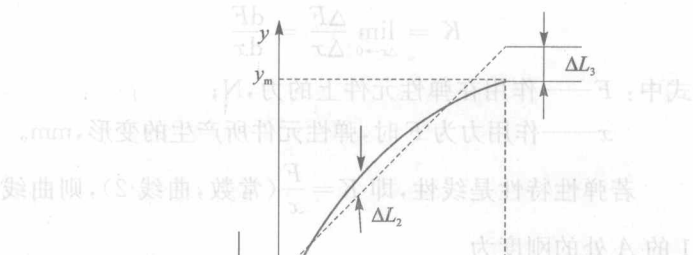


图 1-10 端点平移拟合

变频器分类及选用

传感器的分类方法很多。

① 位移传感器,又分为直线位移传感器和角位移传感器;用于长度、厚度、应变、振动及偏转角等参数的测量。

② 速度传感器,又分为线速度传感器和角加速度传感器;用于线速度、振动、流量、动量



转速、角速度及角动量等参数的测量。

③ 加速度传感器,又分线加速度传感器和角加速度传感器;用于线速度、振动、冲击、质量、应力、角加速度、角振动、角冲击及力矩等参数的测量。

④ 力、压力传感器;用于力、压力、质量、力矩及应力等参数的测量。

这种分类方法只表明了传感器的用途,把不同工作原理的传感器归并为一类,不利于从工作原理的物理基础上认识传感器的内在规律,从学习的角度看不宜如此分类。

(2) 按工作原理划分

① 电阻式传感器,利用移动电位器触点改变电阻值或电阻丝(片)的几何尺寸的原理制成;主要用于位移、力、压力、应变、力矩、气流流速和液体流量等参数的测量。

② 电感式传感器,利用改变磁路几何尺寸、磁体位置来改变电感和互感的电感量或压磁效应原理制成;主要用于位移、压力、力、振动和加速度等参数的测量。

③ 电容式传感器,利用改变电容的几何尺寸或改变电容介质的性质和含量,从而改变电容量的原理制成;用于位移、压力、液位、厚度和含水量等参数的测量。

④ 谐振式传感器,利用改变机械的或电的固有参数来改变谐振频率的原理制成;主要用于测量压力。

以上四种属于电参数式传感器,还有电量传感器,包括:电势型传感器,利用热电效应、光电效应、霍耳效应和电磁感应等原理制成,主要用于温度、磁通、电流、速度、光强和热辐射等参数的测量;电荷传感器,利用压电效应原理制成,主要用于力和加速度的测量。

此外,也有将光电传感器和半导体传感器分出来另列一类的。光电传感器,利用光电效应和几何光学原理制成,主要用于光强、光通量和位移等参数的测量;半导体传感器,利用半导体的压阻效应、内光电效应和磁电效应与气体接触而发生性质改变等原理制成,多用于温度、压力、加速度、磁场及有害气体和气体泄漏的测量。

(3) 按名称划分

本教材按名称划分,有以下几种:

① 电阻型传感器,主要介绍电阻应变式传感器、热电阻传感器、热敏电阻传感器、气敏电阻传感器和电位器传感器等。

② 电容型传感器,主要介绍变间隙式传感器、变面积式传感器和变介电常数式传感器等。

③ 电感型传感器,主要介绍自感式传感器、差动电感传感器、差动变压器式传感器和电涡流式传感器等。

④ 压电型传感器,主要介绍压电效应原理、压电材料和压电元件的等效电路等。

⑤ 光电型传感器,主要介绍外光电效应、光电管特性、光电倍增管、光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管和光敏晶闸管等。

⑥ 霍耳型传感器,主要介绍霍耳元件的结构及工作原理、霍耳元件的基本电路和霍耳集成电路等。

⑦ 热电偶型传感器,主要介绍热电偶工作原理、中间导体定律、中间温度定律、参考电极定律、热电偶种类、热电偶冷端延长和热电偶冷端补偿。

此外,还在其他类型传感器中介绍了光纤型传感器、超声波传感器、谐振型传感器和磁电型传感器等;同时,对新型传感器也进行了介绍,例如:液晶传感器、超导体传感器和一些最新型的传感器。