高等学校
电子信息类 规划教材

非电量检测技术

何远虑 编著
樊鑫瑞
古天祥 主审

电子科技大学出版社

内 容 提 要

本书主要介绍各类传感器的基本原理、基本结构、基本特性、基本电路，以及传感器的校准，非电量的自动检测方法及智能非电量检测系统的组建原理。

该书内容广泛，内容新颖，结构合理，语言精炼，重点突出。可作为高等院校电子仪器与测量技术、应用电子技术、电子工程、自动控制、仪器仪表等专业的教学用书，也可作为有关工程技术人员的技术参考书。

出 版 说 明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作，根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》，我们组织各有关高等学校、中等专业学校、出版社、各专业教学指导委员会，在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上，根据当代电子信息科学技术的发展和面向21世纪教学内容和课程体系改革的要求，编制了《1996～2000年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报，经各学校、出版社推荐，由各专业教学指导委员会评选，并由我部教材办协商各专指委、出版社后，审核确定的。本轮规划教材的编制，注意了将教学改革力度较大、有创新精神、特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需、尚无正式教材的选题优先列入规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时，选择了一批对学科发展具有重要意义，反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划，以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验，这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足，希望使用教材的学校、教师、同学和广大读者积极提出批评和建议，以不断提高教材的编写、出版质量，共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子工业部教材办公室

前　言

本教材系按电子工业部的《1996～2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》，由电子仪器与检测技术专业教学指导委员会编审、推荐出版。本教材由桂林电子工业学院何远虑教授编写，责任编委兼主审为华中理工大学樊鑫瑞教授与电子科技大学古天祥教授。

本教材的参考学时数为 48 学时。主要从非电量检测的角度出发，系统地介绍近代传感器技术及各种非电量的电测方法。全书共分八章，第一章为绪论，概述非电量检测系统的结构、意义及发展趋势；第二章为非电量检测技术的基本知识，介绍非电量检测系统的静态及动态特性；第三章为机械量的检测，介绍电阻式、电感式、电容式、压电式、磁敏式传感器及机械量的检测方法；第四章为物性、成分及状态量检测，介绍光电传感器及物性、成分、状态量的检测方法；第五章为热工量及物性量检测，介绍热电势式、热电阻式、超声波式与放射线传感器及热工量的检测方法；第六章为气体类别及成分检测，介绍半导体气体传感器及气体类别与成分检测；第七章为传感器的校准与选择，第八章介绍非电量计算机检测系统的结构、多功能化及其应用。各章均附有适量的习题与思考题，以资说明教学上的基本要求，使学生巩固所学内容。本书取材广泛，深度符合高校电子类本科教学要求。

目前国内的非电量检测技术教材就其结构而言基本可分为两大类：较早的一类是非电量检测类，它是将传感器与非电量检测分为前后两篇，虽然两部分内容都可系统充分论述，但这两部分内容相隔甚远，结构上既不便于教也不利于学；二是传感器类，它是将传感器按工作原理分类，主要论述传感器的原理、结构、特性及典型应用，这种结构对传感器论述很有利，但对非电量检测的论述很分散，难于使读者形成系统完整的概念，因此，一些教材便直接称为“传感器”。我们在深入分析研究上述两种结构的基础上，取长补短，提出了本书采用的第三种结构，本结构可用较小的篇幅，详细而自然地介绍各种传感器的精髓，系统和充分地阐述非电量的检测问题。应该指出，由于传感器的多功能性，这种归类虽然早已被人们接受和应用，但是是不够严格的。对于某一具体的非电量，有时可能选择其他类的传感器更好，因此在确定选用某种传感器时必须作多方面的周密思考。

本书责任编委兼主审樊鑫瑞教授、古天祥教授及专业教学指导委员会陈光禹教授、莫玮教授等对本书提出了许多宝贵意见，在此表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编　者

2000 年 10 月

目　录

第一章　绪论 …… 1

§1.1　非电量检测技术在国民经济中的作用 …… 1
§1.2　非电量检测系统的结构及分类 …… 2
1.2.1　系统结构 …… 2
1.2.2　分类 …… 3
§1.3　非电量检测技术的发展趋势 …… 4

第二章　非电量检测技术的基本知识 …… 6

§2.1　测量系统的静态特性 …… 6
§2.2　测量系统的动态特性 …… 8
2.2.1　动态特性的一般数学模型 …… 9
2.2.2　传感器的动态特性 …… 9
习题与思考题 …… 12

第三章　机械量的检测 …… 13

§3.1　电阻式传感器 …… 13
3.1.1　电位器式传感器 …… 13
3.1.2　应变片式传感器 …… 15
§3.2　集成压力传感器 …… 20
§3.3　电感式传感器 …… 23
3.3.1　可变磁阻式传感器 …… 23
3.3.2　差动变压器式传感器 …… 25
3.3.3　非接触式涡流传感器 …… 27
3.3.4　电感式传感器的测量电路 …… 28
§3.4　电容式传感器 …… 30
3.4.1　电容式传感器的工作原理 …… 30
3.4.2　电容式传感器的结构特点 …… 33
3.4.3　测量电路 …… 34
§3.5　压电式传感器 …… 36
3.5.1　压电式传感器的工作原理 …… 36
3.5.2　压电式传感器的测量电路 …… 40
§3.6　磁敏式传感器 …… 41

3.6.1 霍尔效应、霍尔器件与集成霍尔传感器 …… 41
3.6.2 磁敏二极管与磁敏三极管 …… 47
3.6.3 铁磁性金属膜磁敏元件(MR) …… 49
3.6.4 磁电感应式传感器 …… 51
§3.7 机械量的检测 …… 53
3.7.1 尺寸及其派生量的检测 …… 53
3.7.2 力、压力的测量 …… 56
3.7.3 速度及转速测量 …… 64
3.7.4 振动测量 …… 67
习题与思考题 …… 72

第四章 物性、成分及状态量检测 …… 75

§4.1 外光电效应及其器件 …… 75
4.1.1 外光电效应 …… 75
4.1.2 光电材料 …… 75
4.1.3 外光电效应器件 …… 76
§4.2 内光电效应及其器件 …… 78
4.2.1 内光电效应 …… 78
4.2.2 内光电效应器件 …… 79
4.2.3 半导体光电元件的特性 …… 82
§4.3 光纤传感器 …… 85
4.3.1 光导纤维 …… 86
4.3.2 光纤传感器 …… 87
§4.4 红外光传感器 …… 91
4.4.1 红外光的特征 …… 91
4.4.2 红外辐射的基本定律 …… 91
4.4.3 红外光传感器 …… 92
4.4.4 红外光探测器的典型结构 …… 92
§4.5 栅式数字传感器 …… 92
4.5.1 光栅式数字传感器 …… 93
4.5.2 光栅传感器的测量电路 …… 94
§4.6 光电编码器 …… 94
4.6.1 编码器分类 …… 94
4.6.2 光电式编码器 …… 95
4.6.3 脉冲盘式数字传感器 …… 95
§4.7 物性、成分及状态量检测 …… 96
4.7.1 光源特性检测 …… 96
4.7.2 表面缺陷检测 …… 97
4.7.3 尺寸及转速检测 …… 98

4.7.4 浓度检测 …… 99
4.7.5 光电隔离器 …… 100
4.7.6 彩色识别器 …… 100
4.7.7 条形码阅读器 …… 101
4.7.8 二维温度分布的测定 …… 101
4.7.9 光电开关 …… 102
习题与思考题 …… 102

第五章 热工量及物性量检测 …… 104

§5.1 热电偶 …… 104
5.1.1 热电动势 …… 104
5.1.2 热电极材料及常用热电偶 …… 106
5.1.3 热电偶的冷端处理 …… 108
§5.2 热电阻传感器 …… 109
5.2.1 热电阻 …… 110
5.2.2 半导体热敏电阻 …… 110
§5.3 集成温度传感器 …… 110
5.3.1 晶体管测温原理 …… 110
5.3.2 集成温度传感器原理 …… 112
5.3.3 集成温度传感器 …… 113
§5.4 超声波传感器 …… 114
5.4.1 超声波的特性 …… 114
5.4.2 超声波传感器 …… 117
§5.5 放射线传感器 …… 120
5.5.1 放射线及其与物质的相互作用 …… 120
5.5.2 放射线传感器 …… 122
§5.6 热工量及物性量检测 …… 125
5.6.1 温度的检测 …… 125
5.6.2 流量的检测 …… 131
5.6.3 液位、界面的检测 …… 138
5.6.4 物性分析 …… 140
习题与思考题 …… 142

第六章 气体类别及成分量检测 …… 143

§6.1 气体传感器概述 …… 143
6.1.1 气体的检测方法 …… 143
6.1.2 吸附型气体传感器的分类 …… 143
§6.2 吸附型气体传感器的工作原理 …… 144
6.2.1 工作原理 …… 144

6.2.2 气敏选择性 …… 146
§6.3 电阻型气体传感器 …… 147
6.3.1 结构分类 …… 147
6.3.2 气体传感器 …… 148
6.3.3 湿度传感器 …… 149
§6.4 电容型湿度传感器 …… 150
6.4.1 Al_2O_3 膜湿度传感器 …… 150
6.4.2 高分子湿敏膜湿度传感器 …… 151
§6.5 固体电解质气体传感器 …… 151
6.5.1 固态离子导电 …… 151
6.5.2 氧化锆氧传感器 …… 151
§6.6 调频型气体传感器 …… 152
§6.7 接触燃烧式传感器 …… 152
§6.8 热导率变化式气体传感器 …… 153
6.8.1 热线式气体传感器 …… 153
6.8.2 热敏电阻式气体传感器 …… 153
§6.9 气体参量检测 …… 154
6.9.1 检测领域、内容及方法 …… 154
6.9.2 典型检测实例 …… 155
习题与思考题 …… 159

第七章 传感器的校准与选择 …… 160

§7.1 传感器的校准方法 …… 160
7.1.1 绝对校准法 …… 160
7.1.2 比较校准法 …… 160
§7.2 力传感器的校准 …… 161
7.2.1 力传感器的静态校准 …… 161
7.2.2 压力传感器的动态校准 …… 162
§7.3 加速度传感器的校准 …… 164
7.3.1 加速度传感器的校准设备 …… 164
7.3.2 加速度传感器的校准方法 …… 165
§7.4 温度计的校准 …… 166
7.4.1 比较法 …… 166
7.4.2 定点法 …… 167
§7.5 流量计的校准 …… 167
§7.6 传感器的选择 …… 168
习题与思考题 …… 169

第八章　非电量的计算机测量…… 170

§8.1　智能非电量检测系统结构原理 …… 170
8.1.1　微处理器(μP)在非电量检测系统中的作用 …… 170
8.1.2　智能非电量检测仪的结构 …… 170
8.1.3　测量通道的结构 …… 171
§8.2　智能非电量检测系统的多功能化原理 …… 173
8.2.1　标度变换 …… 173
8.2.2　自动量程选择 …… 174
8.2.3　巡回检测 …… 175
8.2.4　综合检测 …… 175
8.2.5　自诊断、自纠错…… 175
8.2.6　非线性矫正及补偿 …… 175
8.2.7　零点及增益漂移校准 …… 177
8.2.8　噪声及其抑制技术 …… 177
§8.3　非电量计算机测量举例 …… 180
8.3.1　计算机多点温度检测仪 …… 180
8.3.2　反射式生化分析仪及其误差校正 …… 183
8.3.3　扩散硅压力传感器的综合补偿 …… 185
8.3.4　机器人快速材料识别系统 …… 187
8.3.5　数字式精密孔径测量系统 …… 190
8.3.6　分布式制药过程监控系统 …… 192
习题与思考题…… 195
参考文献…… 196

第一章 绪 论

本章主要介绍非电量检测系统的意义、结构、分类及发展趋势。

§1.1 非电量检测技术在国民经济中的作用

非电量检测(或电测)技术是先将被测非电量通过适当的传感器转换为电量,然后再用电子测量技术进行测量的技术。简言之,传感技术加电子测量技术就是非电量检测技术。该技术是近二十年才产生和发展起来的现代化非电量检测技术。与旧式的非电量测量技术相比,它具有精度高、量程广、测速快、可遥测、自动化,可与计算机联机工作,具有智能特性等突出优点。因而在国民经济的各部门中迅速地被推广应用。

在机械制造工业中,对于机床,以前只是测量一些静态或稳态下的性能参数,现在还要测量动态特性。如在切削状态下的动态稳定性、自激现象、加工精度等。因此就要利用压电加速度计、力传感器和速度传感器等非电量检测仪器,测量刀架、床座等有关点的振动、机械阻抗等参数来检验其动态特性,找出薄弱环节提出改进意见。

在自动化的机床中,采用大量的传感器检测生产过程中工件的尺寸、形状及表面质量,以便自动控制机床的行程、开关和倒向。

在电力、石油工业中,通常有两类参数必须加以检测。一类是为了保证生产过程能正常高效地进行,对工艺参数(温度、压力、流量等)的检测和控制。例如化工厂合成塔中氮气和氢气合成氨,压力和温度是这个化学反应的主要因素,它们将影响化学反应速度,必须加以测量与控制。另一类是动力设备的检测,由于现代化工业的生产规模越来越大,为确保生产安全,防止事故发生,对于动力设备的检查成为十分重要的内容。例如对汽轮机的轴向位移和径向振动的监视,对压力容器和蒸汽锅炉的泄漏、裂纹的检测等。这些均需要非电量检测仪器,目前已形成了监视系统或保护系统。随着微处理机和微型电子计算机的发展,现在又发展形成了故障诊断系统。

在国防工业中,非电量检测技术用得更多。例如研制一架飞机,从设计开始到样机试飞,都要经过严格的测试。为了研究飞机的强度,要在机身、机翼上贴上几百片的应变片;为了研究它的特性,必须进行多点激振和机械阻抗测定;在试飞时要测量发动机的参数(转速、转矩、振动……),机上有关的应力、温度、振动,管道内的压力、流量等。对这些参数,不仅是测量,而且还要记录下来进行分析,这就需要采用非电量检测技术。

在其他各个科学研究和工程部门,也都需要用非电量检测仪器测量有关参数。如海洋工程中用来测量波浪压力、海水深度及海水盐分等。环境工程中用来测量噪声、大气成分、水质污染等。

从上面的一些例子可以看出非电量检测技术的重要性及其应用的广泛性。

§1.2 非电量检测系统的结构及分类

1.2.1 系统结构

非电量检测系统至少包括传感器，测量电路、放大器、指示器、记录仪等几部分。在多参数检测及波形采集中，还需有单片机数据采集及处理系统。非电量检测系统的结构如图 1.1 所示。

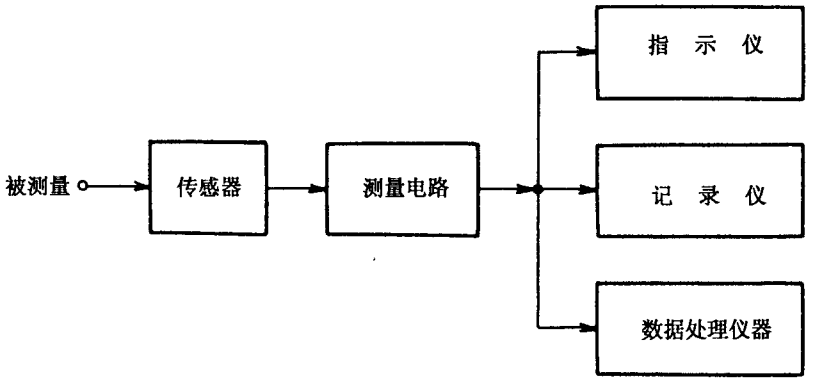


图 1.1 非电量检测系统的结构

传感器(Transducer)是一个把被测的非电量变换成电量的装置，是一种获得信息的手段。因而它在非电量检测系统中占有重要的位置，它获得信息的准确与否，关系到整个测量系统的精度。如果传感器的误差很大，后面的测量电路、放大器、指示仪等的精度再高也难以提高测量系统的精度。传感器以前也称为变送器、发送器、换能器，现在已统一为传感器。而把输出为标准信号的传感器称为变送器(Transmitter)。

测量电路的作用是把传感器的输出量变成电压或电流信号，使之能在指示仪上指示或在记录仪中记录。测量电路的种类常由传感器的类型而定，如电阻式传感器需采用一电桥电路把电阻值变换成电压值输出。由于测量电路的输出信号一般比较小，为了能使指示仪工作或记录机构启动，常常要将信号加以放大，所以在测量电路中一般还带有放大器。

测量的目的是使人们了解要测的数值，所以必须有显示装置。显示方式目前常用的有三类：模拟显示、数字显示和图像显示。模拟显示就是利用指针对标尺的相对位置来表示读数。数字显示是用数字形式来显示读数。图像显示是用屏幕显示读数或显示被测参数的变化曲线。在测量过程中有时不仅要读出被测参数的数值，而且还要了解它的变化过程，特别是动态过程的变化。那么就要把信号送至记录仪自动记录下来，常用的自动记录仪器有笔式记录仪、光线示波器、磁带记录仪、电传打字机等。

随着科学技术的发展，测控问题越来越多，越来越复杂，以单片机或个人计算机为中心设计的计算机数据采集及处理仪器也越来越普及。这种用计算机数据采集及处理仪器进行的测量称为计算机测量，它具有功能强、可靠性高、成本低及智能化等突出优点。

1.2.2 分类

非电量检测仪器分类的方法很多，常用的有两种：一种是以被测量分；另一种是以非电量变成电量的方法来分。

一、以被测量分

可以分为以下几类：

(1)热工量

温度、热量、比热、热流、热分布；压力、压差、真空度；流量、流速、风速；物位、液位、界面。

(2)机械量

位移、尺寸(长度、厚度、角度)、形状；力、应力、力矩；重量、质量；转速、线速度；振动、加速度、噪声。

(3)物性和成分量

气体化学成分、液体化学成分；酸碱度、盐度、浓度、粘度；密度、比重。

(4)状态量

颜色、透明度、磨损量、裂纹、缺陷、泄漏、表面质量。

严格地说，前三类中的一些量应是状态量，但是习惯上不少量已归纳为热工量、机械量、成分量等，因此在这里指的状态量是除了上面三类中所列的一些量以外的状态量。

二、以非电量变成电量的方法分

主要是以传感器的原理来区分，因为其他几个部分的工作都是以电量为基础的，只有传感器把非电量转换成电量。非电量转换的方法很多，归纳起来，可以分为下列几类：

(1)电磁检测

电阻式：电位计式、应变丝式、压阻式、热电阻式；电感式：自感式、互感式(差动变压器)；电容式；阻抗式(电涡流式)；磁电式；热电式；压电式；霍尔式；振频式：振频式、振筒式、振片式；感应同步器；磁栅。

(2)光学检测

光电式、激光式、红外式、光栅式、光导纤维式。

(3)超声波检测

(4)同位素检测

(5)微波检测

(6)电化学检测

此外还有核磁共振及相关技术等。

作为一台非电量检测仪器，以被测参数分类时，对使用者比较明确，而以测量方法分类时，则对仪器的原理比较清楚。现在习惯上常把两者结合起来称呼，如光电式转速计、压电式加速度计、振弦式压力计等。

本教材首先对各种变换方法按被测量进行分章次，然后在介绍该类非电量检测中常用的传感器时，则按其工作原理进行分节，最后以大量用不同传感器设计的检测实例阐述该类非电量的检测技术及传感器的典型应用。应当指出对各种转换方法按被测量进行分类是不

严格的，因为几乎所有的测量方法都是多用途的。因而很难准确说该转换方法是属于热工量类，还是机械量类，正确选择转换方法的关键是对各种转换方法的深刻理解和广泛比较。

§1.3 非电量检测技术的发展趋势

非电量检测技术虽然已经得到广泛的应用，但是随着现代科学技术的发展，对它提出了愈来愈高的要求，因此仍然在不断地向前发展。当前除不断提高性能及可靠性外，总的趋向是小型轻量化，测量与放大一体化，无接触化，智能化，具体地说可以有以下几个方面。

一、不断提高仪器的技术性能及可靠性，扩大应用范围

随着科学技术的发展，对仪器仪表性能的要求也相应地在提高，同时需要研究解决极端参数测量用的仪器。例如，固体表面高温测量，极低温度测量，脉动流量测量；微差压（几十帕）测量，超高压测量，高精度（0.02%）称重，大吨位测量等。所以仪器要在原有的基础上不断地提高技术性能指标，扩大应用范围。

仪器仪表的可靠性是仪表质量的重要因素。从60年代开始，已在对仪表可靠性进行研究，这方面内容包括仪表可靠性研究；仪表可靠性和故障率的数学模型和计算方法；仪表可靠性设计、分配、预测、检验和分析试验；仪表系统组件可靠性对仪表整机性能的影响和确定整机可靠性的方法等。

二、研究材料、器件、电路一体化的仪表

传感器与测量电路分开，常会受到电缆干扰信号的影响，而且也不方便，所以希望能把传感器与测量电路合在一起。随着半导体技术的发展，这些设想已开始实现，最简单的如压阻传感器。近年来国外在研究的一种物性型检测传感器，就是在半导体技术基础上，进一步实现“材料、器件、电路、系统一体化”的新型仪表。它们是利用不同材料的物理、化学、生物效应做成器件，直接测量对象物的信息，而且把电路也做在一起。它与一般的传感器相比，具有构造简单，体积小，无可动部件，反应快，灵敏度高，稳定性好的特点。

三、研究无接触测量技术

在测量过程中，把传感器置于被测对象上，多少会影响测量的精度，而在有些被测物上，根本不可能安装传感器。因此国际上都在研究采用无接触式的测试技术。目前已采用的光电式传感器，电涡流式传感器，超声波仪表，同位素仪表都是在这个要求上发展起来的。微波技术原来是用于通信的，现在也被用来作为非电量检测技术的一种手段。此外用其他的原理和方法来进行无接触式测量的方法还在继续研究。

四、采用微处理机，使仪器智能化

从70年代以大规模集成电路为基础的微处理器问世后，已逐步地应用到测量技术中，使测量仪器智能化，把传统的测量仪器变成了智能仪器，从而扩展了功能，提高了精度。

当前，国内外的各种非电量自动测试系统方案中，VXI总线自动测控系统方案是很值得注意的。在这方面，国内很多单位都在积极开展研究工作，不少单位已能研制、生产这种不

同用途的高性价比的 VXI 总线自动测试系统。

五、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（超高压、高温、超低温）和特种参数（如测光的明暗、识别颜色、判断距离、味觉、嗅觉）等，因此促使人们不断地在探讨新的测量原理，研制新原理传感器和仪表。这方面目前除研究利用新的物理效应外，还不断研究仿生学，仿照生物的感觉功能和人的视、听、触、嗅、味五官感觉开发新型传感器。

第二章　非电量检测技术的基本知识

本章主要介绍非电量检测系统的静态特性及动态特性。

§2.1　测量系统的静态特性

静态特性是指测量系统处于稳定状态时的输入/输出特性，并常用下列技术指标来表示。

一、线性度

对于一个没有回差及蠕变的测量系统，其输入/输出关系可用下列方程表示：

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n \tag{2-1}$$

式中　x——输入量；

y——输出量；

$a_0, a_1, a_2, \cdots, a_n$——常数。

理想情况为

$$y = a_1x \tag{2-2}$$

这是一条通过坐标原点，斜率为 a_1 的直线。

一般说来，传感器的特性方程是非线性的。实际工作中，常把实际曲线的某一段用其切线或割线来逼近(如图 2.1 所示)。所谓线性度是指实际特性曲线和其拟合直线间的最大偏差 Δ_{max} 与系统的满量程输出 y_{FS} 之比，即

$$r_m = \pm \frac{\Delta_{max}}{y_{FS}} \times 100\% \tag{2-3}$$

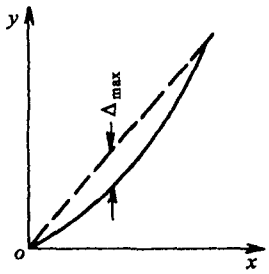


图 2.1　传感器特性的线性逼近

当测试系统为智能系统时，通过软件进行非线性校正可得较高精度。

二、灵敏度

灵敏度定义为测量系统在稳态条件下，输出变化量与输入变化量之比，即

$$K = \frac{dy}{dx} \tag{2-4}$$

在线性系统中，K＝常数；在非线性系统中，K 是输入量 x 的函数。

三、回差

回差说明测量系统的输入量正向增加和反向减小时，输出特性的差别。回差 r_{1m} 定义为

正反向输出特性的最大偏差 Δ_{max} 和满量程输出 y_{FS} 之比(如图 2.2 所示),即

$$r_{lm} = \pm \frac{\Delta_{max}}{y_{FS}} \times 100\% \tag{2-5}$$

显然,回差特性越小越好,理想情况为零。

四、重复性

重复性说明测量系统在输入量按同一方向作全量程连续多次变动时,所得输出特性的差别(如图 2.3 所示)。差别越小,重复性越好,测量误差也越小。由于重复性误差属于随机误差,一般按随机误差进行处理。

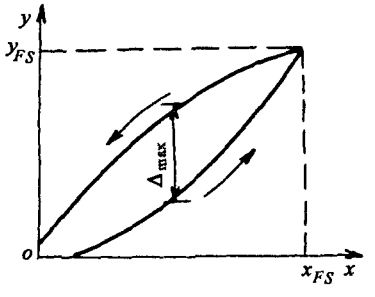


图 2.2 回差特性

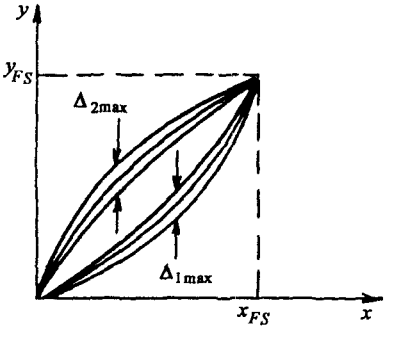


图 2.3 测量系统的重复性

重复性可表示为

$$r_{re} = \frac{(2 \sim 3)\sigma_m}{y_{FS}} \times 100\% \tag{2-6}$$

式中 σ_m——正向或反向输出的最大标准偏差。

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$$

式中 y_i——第 i 次测量值;

$\bar{y}$——各测量值的算术平均值;

n——总测量次数。

五、精度

测量系统的精度表示传感器在规定条件下,最大允许绝对误差对测量系统满量程输出的百分数,可表示为

$$\alpha = \frac{\Delta A}{y_{FS}} \times 100\% \tag{2-7}$$

式中 α——测量系统的精度;

ΔA——测量范围内最大允许绝对误差;

y_{FS}——满量程输出。

工程技术中为简化测量系统精度的表示方法,引用了精度等级概念。精度等级用一系列

标准百分比值表示。如压力传感器的精度等级分别为 0.05,0.1,0.2,0.3,0.5,1.0,1.5,2.0 等。

传感器设计和出厂检验时,其精度等级数是指传感器的最大允许误差。

六、最小检测量

最小检测量是指测量系统能确切测量的最低极限量。最小检测量愈小,表示测量系统检测微量的能力愈高。

由于测量系统的最小检测量易受噪声的影响,所以一般用相当于噪声电平若干倍的被测量为最小检测量,用公式表示为

$$M = \frac{CN}{K} \tag{2-8}$$

式中 M——最小检测量;

C——系数(一般取 1～5);

N——噪声电平;

K——测量系统器的灵敏度。

例如,电容式压力传感器的噪声电平为 0.2mV,灵敏度 K 为 5mV/mmH_2O,若取$C=2$,则根据式(2-8)计算出最小检测量为 0.08mmH_2O。

七、零点漂移

测量系统无输入(或输入值不变)时,每隔一段时间进行读数,其输出偏离零值(或原指示值),即为零点漂移,简称零漂。

$$\text{零漂} = \frac{\Delta Y_0}{y_{FS}} \times 100\% \tag{2-9}$$

式中 ΔY_0——最大零点偏差(或相应偏差);

y_{FS}——满量程输出。

八、温漂

温漂表示温度变化时,对应于恒定的输入量,测量系统输出值的偏离程度。一般以温度变化 1℃时,输出最大偏差与满量程的百分比表示

$$\text{温漂} = \frac{\Delta_{max}}{y_{FS}\Delta T} \times 100\% \tag{2-10}$$

式中 Δ_{max}——输出最大偏差;

ΔT——温度变化范围;

y_{FS}——满量程输出。

§2.2 测量系统的动态特性

动态特性是指测量系统对随时间变化的输入量的响应特性。测量系统所检测的非电量信号大多数是时间的函数,这就要求测量系统不仅有良好的静态特性,而且还应有良好的动