

普通高等教育材料科学与工程专业规划教材

非电量电测技术

兰州理工大学 徐建林 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育材料科学与工程专业规划教材

非电量电测技术

徐建林 编
王智平 审



机械工业出版社

本书是根据国家教育部 1998 年调整的最新专业目录编写而成的。针对材料研究与成形过程中材料物性参数和主要工艺参数的测量,本书介绍了常用传感器的工作原理、基本结构、主要性能、测量电路和应用方法,注重材料科学与工程中应用实例的介绍,同时尽量反映非电量电测技术领域的新技术、新动向。全书简明、实用、知识面宽、信息量大,具有很强的实践性,并配有多媒体教学课件。

本书可作为材料科学与工程专业、材料成形及控制工程专业、冶金工程专业本科生、研究生教材,对材料领域的科技工作者亦有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

非电量电测技术/徐建林编. —北京:机械工业出版社, 2005. 1

普通高等教育材料科学与工程专业规划教材

ISBN 7-111-15740-0

I. 非... II. 徐... III. 非电量测量—高等学校—教材 IV. TM938

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 126053 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:冯春生 版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:张静 责任印制:洪汉军

北京瑞德印刷有限公司印刷

2006 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5 · 9 印张 · 347 千字

定价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68326294

编辑热线电话(010) 88379711

封面无防伪标均为盗版

前 言

材料是工业产品的物质基础。通过适合的工艺,可提高材料的力学性能与使用性能,从而充分利用和发挥材料的潜力,达到提高产品质量、延长使用寿命、提高技术与经济效益的目的。在研究新材料或材料成形的工艺时,需要掌握材料的力学性能以及实现生产的自动化,这都要涉及到大量的材料物性参数、生产工艺参数的检测。为此,可以说非电量电测技术是科学技术与生产过程发展到自动检测、自动控制阶段的产物。

本书是根据国家教育部 1998 年调整的最新专业目录编写的教材。在编写的过程中,始终贯彻以宽平台为基础,够用为度,尽量做到删繁就简、由浅入深,着重分析非电量电测技术的基本原理及其应用,进而使理论性、系统性、适用性兼顾得当。

本书介绍了测量的基本知识和测量误差、各种常用传感器的基本原理和特点及其应用、测温技术。全书力求简明、实用、知识面宽,以适应宽口径、少学时的教学体系。本书由兰州理工大学徐建林编写,由兰州理工大学博士生导师王智平教授担任主审。

本书可作为材料科学与工程专业、材料成形及控制工程专业、冶金工程专业本科生、研究生教材,对材料领域的科技工作者亦有参考价值。

由于编者的学识和水平有限,书中错误和不当之处在所难免,恳请读者和同行提出宝贵意见。

编 者

目 录

前言

绪论	1
第一章 测量系统和测量误差	6
第一节 测量系统的组成与特性	6
第二节 测量方法	14
第三节 测量误差	16
第四节 随机误差的处理方法	20
第五节 粗大误差的检验与坏值的取舍	24
第六节 系统误差的判定与消除方法	26
第二章 电阻式传感器	31
第一节 电位器式电阻传感器	31
第二节 电阻应变式传感器	36
第三节 电阻应变片的测量电路	42
第四节 电阻应变片应用实例	51
第三章 电感式传感器	68
第一节 自感式传感器	68
第二节 互感式传感器	79
第三节 涡流式传感器	88
第四章 电容式传感器	99
第一节 电容式传感器的工作原理	99
第二节 电容式传感器的测量电路	107
第三节 影响测量误差的因素及消除	114
第四节 电容式传感器的应用	116
第五章 电势式传感器	123
第一节 磁电式传感器	123
第二节 压电式传感器	132
第三节 光电式传感器	143
第六章 常用半导体传感器	157
第一节 霍尔传感器	157
第二节 气敏传感器	170
第三节 湿敏传感器	182
第七章 测温技术	194

第一节 概述	194
第二节 热电偶	204
第三节 热电阻	237
第四节 光辐射式测温仪表	243
第五节 测温技术应用举例	252
附录	263
附录 A 热电偶分度表	263
附录 B 热电阻分度表	276
参考文献	278

绪 论

一、检测技术的含义、作用和地位

随着人类社会进入信息时代,科学技术突飞猛进和工业生产的大规模化、高度自动化,生产过程的各种信息已成为产品质量和自动线生产的关键因素,为了及时了解生产工况、掌握生产过程和了解产品质量等信息,需要对各种工艺参数、材料性能等基本参数进行检查和测量,只有在大量准确、可靠的信息基础上,通过合理的分析、数据处理和科学判断,才能认识和掌握工业生产和科学研究中的各种现象和变化的规律,为进一步提高和控制生产过程或科学研究与实验的方法提供可靠的依据,最终实现人类改造世界、推动现代科学技术的高速发展。换言之,工业生产过程的自动化面临的首要问题是检测技术,而各种传感器是实现检测的关键设备,通过它来检测科学实验和生产过程的各个静态参数以及动态参数,使设备与系统以及科学研究工作能正常运行和处于最佳状态,保证科研工作的成功与生产的高效率、高质量。目前检测技术已经发展成为一门完整的技术科学,它以信息的获取、转换、显示和处理为主要内容,在推动科技进步和促进生产力的发展起着越来越重要的作用,其应用主要有以下四个方面:

1) 测量是判断事物质量指标的重要手段,而检测技术是实现产品检验和质量控制的方法。通常人们借助于检测工具对产品进行质量评价。任何质量指标都要通过一定的数量来表示,例如材料在加热与冷却过程中的变形等,人们需要借助一定的测量仪器来判定该变化量,这对保证铸件质量、焊接质量、控制热处理形变具有重要意义。检测在生产中的方式一般分为两种。一是被动检测技术,这种传统的检测方法常常是在产品已制造出来后判断产品是否合格。该方法对一些关键零件的质量检验起到非常重要的作用。例如,一些航空器件在使用中不允许出现微裂纹等缺陷,可用磁粉探伤等检测技术来检测该类缺陷。二是主动检测技术,也称为在线检测技术,它是在产品生产过程中对相关的工艺参数进行测量,以调整生产工况达到最佳状态,保证产品的最终质量。主动检测也是工业技术进步的产物,它不仅可对产品的最终质量进行检查,还可通过调整生产相关工艺参数来预防废品的产生,为大规模、高质量的工业生产奠定了物质基础。例如,铸件质量与其熔炼密切相关,过去铸铁的熔炼很难精确控制,现在通过测量熔炼温度、风压和成分等实现了可靠的控制,铁液生产的可靠性大大提高,铸件的成品率也得到相应提高。

2) 是大型设备安全经济运行的保障。在工业生产中许多设备通常在高速、

大功率、高温和高压状态下运行，这些设备的安全运行对保证工业生产具有重要意义。在这些设备上通常设置检测装置，对转速、温度、压力、流量等参数进行长期动态监测，及时发现设备出现的异常情况，避免设备故障，以保证设备和人员的安全，实现生产的可持续性与经济性协调发展。例如，在热力发电厂中根据一些热工参数的测量保证发电机组的安全运行，在材料厂对化学热处理炉的压力和成分检测既可保证产品质量又可确保设备安全运行，这些测量数据均是技术人员操作的依据，可为自动化装置准确及时地提供信号和运行的经济性计算提供数据。因此，检测技术是保证大型设备安全、经济运行及实现自动化的必要条件，也是经济管理、环境保护、研究新型生产系统和设备的重要手段。

3) 测量技术是生产过程自动化的先决和必要条件，也是自动化系统中不可缺少的组成部分。为了改善劳动条件、提高生产效率和产品质量，工业生产的自动化是必然的结果，测量是自动控制的依据，控制是测量的目的，只有知道生产工艺参数和产品状态才能实现自动控制。生产过程自动化，就是根据测量设备所提供的信号来发出指令，对设备进行必要的操作，使生产过程按预定的、最安全和最经济的工况运行。利用检测技术和动态检测生产工艺参数和产品信息，并由此来对生产环节进行相应地调整，以保证产品质量。例如，浮法玻璃的生产其自动化程度要求很高，工艺参数控制很严格，它随着自动化技术的发展其大规模生产才成为可能。在现代材料领域中，检测为工业生产自动化服务的场合比比皆是，如焊接机器人、微机控制零件的渗碳、铸造负压生产线和轧钢生产线等。在这些自动化生产线上，检测设备是信息获取的首要环节，检测的准确性直接影响着控制品质，如零件渗碳时，碳势的动态检测一直是制约该系统成功应用的环节，直到氧探头的出现才实现了零件渗碳的可控性。总之，自动检测是自动化系统的必要组成部分，它直接影响着控制质量。

4) 检测技术的完善和发展推动着现代科学技术的进步。在所有的自然科学和工程技术领域中所进行的一切研究活动，就其目的而言，均是揭示客观事物的发展规律，要对研究对象有深入的了解必须借助于各种测量系统。人类社会是在不断认识世界、改造世界中发展的，要认识世界就需要从客观世界中掌握足够的信息来形成一定的规则、推理和理论，在此基础上通过实际得以验证，因此，从客观实际中掌握信息是至关重要的，检测技术应运而生。例如，纳米技术的发展得益于原子力显微镜的出现，现在人类不但发现了纳米现象，而且纳米技术的应用将使人类社会和科学技术发生重大变化。因此，现代科学研究的深度和广度在很大程度上取决于检测技术水平的高低。检测技术水平越高，科学研究得到的信息越丰富、越可靠，取得突破性进展的可能性就愈大。此外，科学研究得到的一些理论成果，在实际验证时必须通过检测来观测。总之，科学技术的发展与检测技术相辅相成，科学的发展是检测技术发展的动力，检测技术推动着科学技术的

进步。无论在科学实验中还是在生产过程中，人们一旦离开了测量就必然会给工作带来盲目性。同样，在人们的日常生活中离开了测量也将会引起不可思议的混乱。

检测技术在科学研究、工业自动化、非电量电测仪表、医用仪器、家用电器、航空航天、军事技术等方面起着极为重要的作用。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，并且发挥着越来越重要的作用。

二、非电量电测技术的特点

非电量电测技术是科学技术与生产过程发展到自动检测、自动控制阶段的产物。在大量的科学研究或生产过程中，需要测量各种物理量，其中多数是非电量，例如位移、速度、加速度、压力、流量等。这些物理量可以利用机械、气动等方法来测量，也可以利用非电量电测技术来实现。

非电量电测技术就是把被测的非电量物理量通过一定的器件或装置，将其变换成与它有关的电信号（如电压、电流、电容等），然后通过一些测量电路获取该电信号，从而来确定被测的物理量。从检测系统的组成来看，各种被测物理量常常通过传感器将其转换为电量，因此，各种传感器在非电量电测技术中占有非常重要的地位。

非电量电测法的主要优点如下：

- 1) 能够自动连续地对被测量进行测量和记录，并能根据测量结果，配合调节装置，进行自动调节和自动控制。
- 2) 电子装置惯性小、精确度高、频率响应好，不仅适于测量静态参量，还可配合适当的装置来测量动态参量，甚至瞬态测量。
- 3) 通过调节电子测量装置上的一些器件可方便地改变量程，因此测量的范围广。
- 4) 电信号可以远距离传输，便于实现远距离测量和集中控制。
- 5) 可以方便地与计算机相连，实现数据处理、误差校正和智能决策等功能。

三、非电量电测技术的发展方向

非电量电测技术虽已得到广泛的应用，但随着现代科学技术的发展，对测量技术提出了越来越高的要求。当前非电量电测技术除不断提高性能和可靠性外，它的发展趋势主要反映在以下几个方面：

(1) 新型传感器的研制 随着科学技术的进步，新材料不断涌现，新的现象不断被发现，这些新发现是发展各种新型传感器的基础。例如，日本夏普公司利用超导技术研制成功的高温超导磁传感器是传感器技术的重大突破，其灵敏度比霍尔传感器高，可用于磁成像技术领域，具有广泛推广价值。又如目前发展最

迅速的智能材料、磁性材料、光导纤维等新材料，这些材料的开发，使力、热、光、磁、湿度、气体、离子等方面的一些参量的测量成为现实。还值得注意的一个发展动向是仿生传感器的研究，特别是在机器人技术向智能化高级机器人发展的今天，人们正在致力于发展如视觉传感器、听觉传感器、嗅觉传感器、味觉传感器等多种传感器，以满足科学技术发展的需要。

(2) 传感器的小型化、集成化 小型化、集成化是传感器发展的另一个趋势。随着半导体材料及工艺的发展，出现了许多体积小的半导体传感器，加上采用集成电路技术，使检测仪表向小型轻量化、功能一体化及数字化方向发展。如日本丰田公司开发出可同时检测 Na^+ 、 K^+ 和 H^+ 等多种离子的传感器，该传感器芯片尺寸为 $2.5\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ ，仅仅用一滴血液就可同时快速检测出其中 Na^+ 、 K^+ 和 H^+ 的浓度，医院临床使用非常方便。总之，微电子学、微细加工技术和集成化工艺等方面的进展，出现了多种集成化传感器。这类传感器或是同一功能的多个敏感元件排列成线形、面形的传感器，或是多种不同功能的敏感元件集成一体，成为可同时进行多种参量测量的传感器，或是传感器与放大、运算、温度补偿等电路集成一体的器件。

(3) 传感器的数字化、远程化和智能化 近年来，以大规模集成电路为基础的微处理器和微型计算机出现后，已逐步应用到非电量电测技术中，使测量仪器数字化、远程化和智能化。这使非电量电测技术产生了巨大变化，大幅度地提高了系统的精确度、测量能力和工作效率。同时，引进许多新的分析手段和方法，使测试系统具有实时分析、记忆、逻辑决断、自校、自适应控制和某些补偿能力，向着智能化发展。

(4) 非接触式测量 非接触式测量是指传感器不直接与被测对象接触来进行测量，其主要应用在传感器容易受到被测介质腐蚀、磨损或高温等场合，或者与被测对象接触时可能影响被测对象的状态导致测量误差大的场合，因此要求进行无接触的检测，如一些新型化学传感器便是满足此项要求而研制的。

四、本课程的性质与要求

材料科学与工程非电量电测技术是指在材料的加工过程中，对工艺参数和工艺因素及时进行检查和测量，从而获得必要的信息，作为质量控制、工艺决策的依据以及加工过程自动控制的输入量。可以认为，材料科学与工程非电量电测技术是为了对材料加工过程中的“物流”所包含的信息进行定性的了解和定量的掌握所采取的一系列技术措施。主要应用于：材料加工过程自动控制、产品的检验及质量控制、生产过程中的人员及设备的安全保障、新型材料成形工艺开发。

通过学习本课程可掌握材料加工过程中主要工艺参数及工艺因素的测量方法，包括传感器的原理、特性及测量电路；测量的基本知识及误差的概念；对科学研究或一般的工程中的检测问题，能提出合理的方案和选择合适的传感器；通

过相关实验，掌握材料加工中常用非电量电测仪器的正确使用方法。

课程主要讲述检测技术的基本知识。针对材料加工过程中主要工艺参数及工艺因素的测量，介绍常用传感器的工作原理、基本结构、主要性能、测量电路和应用方法，注重材料科学与工程中应用实例的介绍，尽量反映非电量电测技术领域内的新技术、新动向，因此也介绍了一些新型传感器。同时，本课程具有很强的实践性，注重在学习中密切与实际相联系，在明确基本概念基础上加强实验，这样才能真正掌握有关理论。学生只有通过大量的实验才能具备应有的实验技能，才能将非电量电测技术成功、灵活地应用到材料科学与工程学科中去，具备处理实际测试工作的能力。

第一章 测量系统和测量误差

第一节 测量系统的组成与特性

一、检测系统的组成

检测系统的分类方式一般有两种，即从功能上来划分和根据被测参量来划分。

1. 从功能上划分

一个完整的检测系统组成框图如图 1-1 所示。它通常是由传感器、测量电路和显示仪组成，分别完成信息获取、转换、显示和处理等功能。

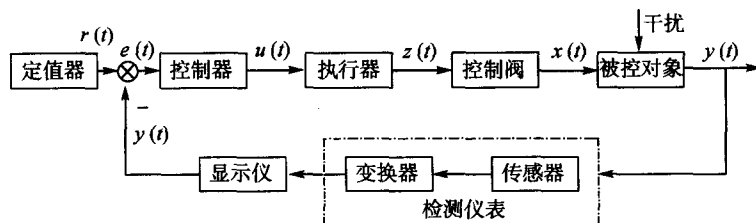


图 1-1 检测系统的组成框图

(1) 传感器 传感器又称为感受件、敏感元件、一次元件或发送器。传感器是用来感受被测对象某些状态变化的器件，可将感受到的被测量信号转换成相应的信号输出。如常用的水银温度计，当被测介质的温度发生变化引起其体积发生变化时，该变化用一定的度量标准则可反映出被测温度的高低。根据传感器的使用特点，其应具有的性能要求为：

1) 传感器的输出信号必须随被测量的变化而变化，两者之间为可复现的稳定关系。

2) 传感器的输出信号只能随被测量发生变化，如果其他因素的变化会影响传感器的输出，在这种情况下，要么保持这些参数恒定，要么加补偿装置以减小这些干扰因素的影响，否则，传感器的输出信号不能准确地反映出被测参量。

3) 传感器的输出信号与被测参量必须是一一对应的关系，而且最好为线性关系。

4) 传感器应能够及时感受到被测参量的变化并形成输出信号。

传感器只有满足上述要求才能将被测参量的变化准确、及时地输送出去。传感器按输出信号能量的来源可分为能量转换型和能量控制型，前者也称为发生器型或有源传感器，它工作时将产生电动势，如光电池、热电偶等，后者又称为无源传感器，它工作时仅仅是自身状态参数发生变化，如膨胀式温度计、电阻应变片等传感器；若按被测参量的种类分有温度传感器、压力传感器和流量传感器等；按输出信号的形式分有模拟式传感器和准数字式传感器，前者的输出信号是连续变化的模拟量，如电容式位移传感器，后者的输出信号为频率式准数字信号，如涡轮流量计等。

(2) 变换器 变换器也称为传送仪或变送器，其作用是根据显示仪的要求将传感器的输出信号传送到显示仪。变换器有信号传输和转化的功能。

1) 信号传输作用。变换器可将传感器的输出信号送给显示仪，最简单的形式是传输导线。

2) 量程变换作用。传感器的输出信号有时不能满足显示、记录装置的测量范围或者无法远距离传输，此时要对信号量程进行变换，例如，当变换器是放大器时可对信号进行放大。

3) 信号转化作用。在实际中一些显示设备或调节装置需要标准的输出信号才能正常工作，如计算机的 A/D 转换接口接收的是标准的电压信号，其他形式的电信号必须通过一定的电路转化成标准要求的电压信号，因此，变换器作为信号转化器件时，其形式灵活多变，可以是各种测量、转化电路。

(3) 显示仪 其主要的作用是将被测参量以一定的形式显示出来，使人们了解检测数值的大小或变化的过程。显示仪是检测人员和检测系统联系的主要环节。显示仪根据功能不同可分为以下几种：

1) 显示被测参量瞬时值的显示仪表。按显示方式不同可分为模拟显示仪表、数字显示仪表和图像、图形显示仪表。

2) 记录被测参量动态变化过程的记录仪表。被测参量的动态变化过程用普通的显示仪表无法指示出来，而是要将信号在一些特定的记录仪器中记录下来，常用的记录仪有 X-Y 函数记录仪和磁带记录仪等。现代技术还可将被测参量信号传送到计算机进行存储，并可形成各种各样的显示图形或报表。

3) 信号式仪表。它可以显示出被测参量是否超过允许的标准值，当被测参量达到或超出所规定的限值时，仪表可发出声、光等信号，以便操作人员采取相应的措施。该仪表有煤气报警器等。

4) 积算仪表或积算器。它可以显示出被测参量对时间的积分关系，如家用电表和水表均为积算仪表。

5) 显示和调节一体化仪表。该类仪表也称为带调节的显示仪表，它不仅仅将被测参量显示出来，还可根据被测参量与规定值的偏差量对被测对象进行调节

与控制,使被测参量保持为设定值。典型的仪表有温度调节式动圈表。

2. 按检测参量划分

(1) 温度检测仪表 用来检测温度、温度差的仪表。主要有以下几种:

1) 膨胀式温度仪表。根据材料受热膨胀的性质检测温度的变化,如液体膨胀式温度计、压力式温度计、杆式温度计和双金属温度计等。

2) 热电式温度仪表。该类仪表主要是热电偶,它由两种不同的导体组成闭合回路,当两接点温度不等时,回路中就会产生电动势,电动势的大小与温度有关,因此根据电动势的大小可确定温度的高低。热电偶是现代工业中应用最广泛的温度检测仪表。

3) 热电阻温度仪表。根据材料的电阻随温度变化而变化的特性制成,主要包括金属丝热电阻和半导体热电阻。

4) 热辐射温度仪表。物体高于绝对零度时均会向外界空间发射出各种射线,射线的种类和能量与物体的温度有关,根据该特性可制成各种热辐射温度仪表,如光电比色高温计和全辐射温度计等。

(2) 压力、应力和应变检测仪表 主要用于测量工程中的各种压力和应力,它是利用传感器在外力的作用下发生变形、位移等现象制成。如液柱式压力计是根据液柱的静压力等于外压力制成,电阻应变片根据外力使电阻丝由于变形而导致电阻发生变化的特性制成。该类传感器种类较多,应用范围较广。

(3) 位移和速度检测仪表 用于测定物体的位移和运动速度的大小,由于位移、速度和加速度三者之间存在微分或积分的关系,因此测定出某一参量后可通过积分和微分电路求出另外两个参量。

(4) 流量检测仪表 用于测定流体在单位时间内流过单位截面的体积或质量,因此有体积流量表和质量流量表,常见的有转轮式流量计、涡轮式流量计和转子流量计等。

(5) 气体成分分析仪表 在材料成形与改性过程中,经常会存在各种气体,这些气体对生产过程和零件性能具有很大的影响。如冲天炉中的气体成分会影响燃烧状况,热处理炉中的气体对零件造成氧化、渗碳等现象。对其测量的常用仪器有氧探头、二氧化碳分析仪和露点仪等。

传感器还有其他的分类方法,如根据它在测量时是否与被测介质相接触可分为接触式测量仪表和非接触式测量仪表。接触式测量仪表具有测量准确度高、动态响应快的优点;非接触温度测量仪表具有受介质干扰小,测量范围广的优点。

二、检测系统的静态特性

检测系统的特性一般分为静态特性和动态特性两种。

传感器的静态特性系指传感器在静态工作状态下的输入-输出特性。所谓静态工作状态是指传感器的输入量恒定或缓慢变化,而输出量也达到相应的稳定值

时的工作状态。这时，输出量为输入量的确定函数。传感器的静态特性是通过各静态性能指标来表示的，它是衡量传感器静态性能优劣的重要依据。静态特性是传感器使用的重要依据。传感器的出厂说明书中一般都列有其主要的静态性能指标的额定数值。静态特性主要包括以下几个方面：

1. 灵敏度

灵敏度是指传感器或检测系统在稳态下输出信号的变化量相对于输入信号的变化量的比值，可表示为

$$S = \frac{\text{输出信号变化量}}{\text{输入信号变化量}} \quad (1-1)$$

当输出信号随输入信号线性变化时，即对于线性系统，其灵敏度为

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-2)$$

这表示如果系统的输出和输入之间有线性关系，则灵敏度 S 是一个常数，如图 1-2a 所示，也就是该输出直线的斜率。

对于非线性系统，灵敏度可用如下公式表示

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

它实际上就是系统的输入-输出特性曲线（拟合曲线）上某点的斜率，如图 1-2b 所示。因此，对于非线性系统，灵敏度 S 是一个变量，在该类系统中提到灵敏度时，应指出是在哪一点上的灵敏度。

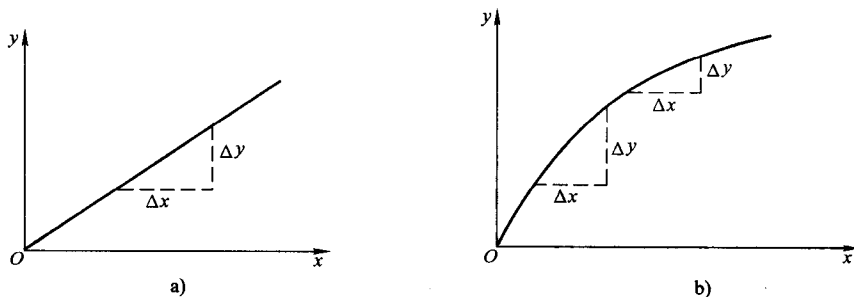


图 1-2 检测系统的灵敏度

根据灵敏度的表达式可以看出，它实质上是具有量纲的放大倍数，它体现了传感器对被测变量的微小变化放大成输出信号显著变化的能力。由于输入和输出信号一般都有不同的量纲，所以灵敏度的量纲也可能在不同情况下有所变化。如压力传感器，输入量是压力，单位是帕斯卡，输出量是电压，单位是毫伏，因此压力传感器灵敏度的量纲是毫伏/帕斯卡。有些仪表灵敏度具有另外的含义，如频率计的灵敏度是指能使仪器正常工作的最小输入的幅度（例如 0.3mA），它与

频率计输出的示值没有关系。因此,在使用仪表时,必须查对其说明书,以了解其含义。如果输入量与输出量是同类量,则此时 S 可理解为放大倍数。因此,灵敏度比放大倍数有更广泛的含义。

对于开环串联检测系统,如图 1-3 所示,各环节的灵敏度分别为 S_1 、 S_2 、 S_3 ,则整个系统的灵敏度可用下式表示

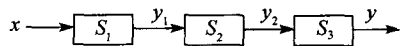


图 1-3 开环串联检测系统

$$S = S_1 S_2 S_3$$

在检测系统中,灵敏度的提高往往可提高测量系统的精确度,但高的灵敏度也会带来系统抗干扰性能的降低,同时减小系统的测量范围。

2. 分辨率

分辨率是指测量仪器可能测出被测信号最小变化的能力,即输入量从某个任意值(非零值)缓慢增加,直到可以测量到输出量的变化为止,此时的输入量就是分辨率。在精确度较高的指示型仪表上,为了提高分辨率,刻度盘上的刻度总是又密又细的。它可以用绝对值,也可以用量程的百分数来表示。它说明了检测仪表响应与分辨输入量微小变化的能力。灵敏度越高,分辨率越好。一般模拟式仪表的分辨率规定为最小刻度分格值的一半,数字式仪表的分辨率则为最末位数字的数量级。

3. 线性度

线性度也称为非线性误差,用来表示检测系统实际的输入-输出特性曲线和理论特性直线之间的符合程度。它定义为实际特性曲线与理想直线的最大偏差 $\Delta_{\max}$ 与系统的输出范围 Y_{FS} 的比值,即通常用相对误差表示其大小,表达式为

$$L = \pm \frac{\Delta_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中, L 为非线性误差(线性度); $\Delta_{\max}$ 为输出平均值与基准拟合直线的最大偏差; Y_{FS} 为传感器满量程输出平均值。

由此可见,非线性误差大小是以一定的拟合直线或理想直线作为基准直线算出来的,基准直线不同,所得出的线性度就不一样。因此,同一检测系统可能会有不同的线性度。此外,线性度还与系统的测量范围有关,即使同类型的检测系统,由于量程的不同,也会有不同的线性度。常见的基准直线有以下两种:

(1) 理论直线 理论直线一般是指坐标原点与输入-输出特性曲线量程的端点之间的连线,如图 1-4a 所示。

(2) 端基直线 端基直线是指输入-输出特性曲线首、末端点之间的连线,如图 1-4b 所示。

4. 变差

输出信号随输入信号的增大而上升,与随输入信号的减小而下降的两条特性

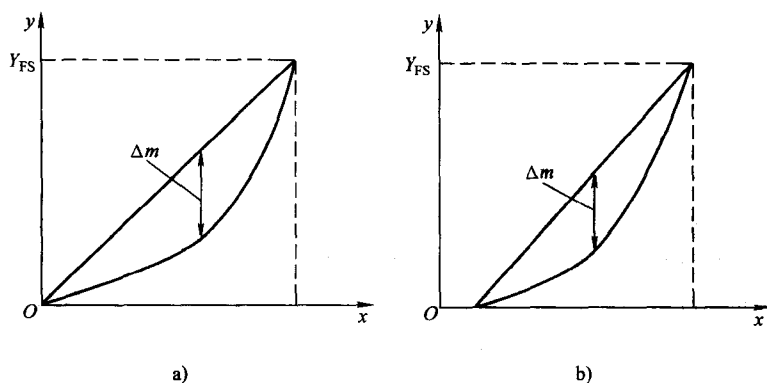


图 1-4 检测系统的线性度

曲线不重合时, 则仪表存在变差或回差, 该现象也叫迟滞。两条特性曲线在起始点与终点汇合形成一个闭合曲线, 故也称为滞环, 如图 1-5 所示。变差为两条特性曲线间的最大差值 $\Delta_{\max}$ 与仪表量程 Y_{FS} 范围之比值, 用 H 表示

$$H = \frac{\Delta_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (1-5)$$

变差大小一般由实验确定。造成变差的原因很多, 例如仪表的机械结构存在间隙、摩擦或阻尼特性、磁性材料的磁滞等。变差作为一种静态指标, 是无量纲的。

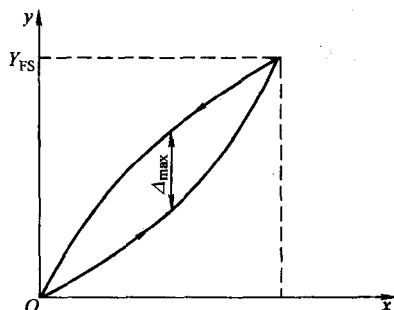


图 1-5 检测系统的变差

5. 测量范围与量程

测量范围是对连续作用的传感器来说, 在正常工作条件下, 检测系统或仪表能够按规定的精确度进行传感的被测变量的范围。测量范围通常用下限值和上限值来表示。如 $0 \sim 100^\circ\text{C}$; $-30 \sim +100^\circ\text{C}$ 。

测量范围的上限值与下限值的代数差称为量程。如上述两例的量程分别为 100°C 和 130°C 。给出测量范围即给出了被测量的上、下限, 也给出了量程。反之, 如果仅仅给出量程, 却无法判断检测系统的测量范围。

6. 重复性

重复性是指在相同的测量条件下, 对某一输入信号进行多次重复测量时, 其测量结果的一致程度。测量系统迟滞效应的存在, 导致系统的输入信号按不同方向变化时其输出量也不同, 如图 1-6 所示, 图中上升曲线或下降曲线之间不重合也表明同方向测量的不一致性。为了便于比较和度量, 通常以上升的各条曲线间