



高等学校“十一五”规划教材

# 检测与转换技术

Jiance Yu Zhuanhuan Jishu

童敏明 唐守锋 编著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

高等学校“十一五”规划教材

# 检测与转换技术

童敏明 唐守锋 编著

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

本书从实际应用技术的角度出发,在简单介绍检测技术和误差分析基本知识的基础上,较为详细地介绍了电阻应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器、温度传感器和霍尔传感器等几种常用传感器的工作原理和典型应用,并就信号变换电路、抗干扰、数据采集、检测信号智能化处理等方面的知识与技术进行了详细讲述。最后简要介绍了检测技术应用方法,并列出了应用实例。

本书可作为电气工程、自动化、电子科学技术等专业学生的专业基础课教材,亦可供有关专业师生、从事测试工程工作的工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

检测与转换技术/童敏明,唐守锋编著. —徐州:中国矿业大学出版社, 2008. 8

ISBN 978 -7- 5646 - 0048 - 8

I. 检… II. ①童…②唐… III. ①自动检测②传感器  
IV. TP274 TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 127459 号

书 名 检测与转换技术

编 著 童敏明 唐守锋

责任编辑 何 戈

责任校对 杜锦芝

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 江苏淮阴新华印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 19 字数 472 千字

版次印次 2008年8月第1版 2008年8月第1次印刷

定 价 28.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

## 前 言

检测技术是信息技术的核心之一。本书可作为电气工程、自动化、电子科学技术专业学生的专业基础课教材,也可供有关专业师生、从事测试工程工作的工程技术人员参考。

从实际应用技术的角度出发,本书主要包括传感器技术、误差理论基础、信号变换、智能检测基础和抗干扰技术等内容。全书共分十二章,第一章是检测技术基本知识,第二章是误差分析基础,第三至第七章是传感器及其应用技术,第八章是信号变换技术,第九章是抗干扰技术,第十和第十一章是智能检测技术,第十二章是创新设计方法及案例。

从培育学生实际应用和创新能力出发,本书力求突出以下特点:

(1) 每章结构上按照本章要点、学习要求、本章内容、相关知识(或创新、设计与应用)、本章小结、思考题和习题的形式编写。

(2) 本教材属专业基础教学用书,内容涉及面较宽,侧重基本概念、基本原理和应用方法,尽可能减少一些繁琐的理论推导和公式演算。

(3) 传感器作为检测技术的关键,种类很多,本教材主要介绍了电阻应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器、温度传感器和霍尔传感器等几种常用的传感器,主要目的是借此介绍传感器应用的基本方法。

(4) 为了适应创新应用型人才的培养要求,本教材在章节内容中或习题中设计了一些创新思考的问题,并特别增加了创新设计方法及案例的章节。

由于编写时间仓促,书中难免有不妥之处,殷切希望各院校师生及广大读者提出宝贵意见。

编 者

2008年1月

<b>目 录</b>	
绪论.....	1
<b>第一章 检测技术基础</b> .....	3
第一节 测量方法及检测装置的基本性能.....	3
第二节 检测系统的静态特性.....	8
第三节 检测系统的动态特性 .....	14
相关知识 .....	17
本章小结 .....	17
思考题和习题 .....	18
<b>第二章 误差分析基础</b> .....	19
第一节 测量与误差 .....	19
第二节 测量误差的分类 .....	21
第三节 误差的判断与处理方法 .....	24
第四节 测量误差的合成与分配 .....	38
创新与思考 .....	41
相关知识 .....	42
本章小结 .....	44
思考题和习题 .....	44
<b>第三章 传感器概述</b> .....	45
第一节 传感器的基本知识 .....	45
第二节 传感器的分类 .....	49
第三节 传感器的发展趋势 .....	53
第四节 传感器的标定与校准 .....	56
相关知识 .....	58
本章小结 .....	58
思考题和习题 .....	59
<b>第四章 电阻应变式传感器</b> .....	60
第一节 电阻应变式传感器的工作原理 .....	60

第二节 电桥原理及电阻应变片桥路 .....	83
第三节 电阻应变式传感器的典型应用 .....	92
创新设计 .....	97
本章小结 .....	97
思考题和习题 .....	98
<b>第五章 电容式传感器</b> .....	<b>99</b>
第一节 电容式传感器的工作原理 .....	99
第二节 电容式传感器的工作特性 .....	100
第三节 电容式传感器的结构及抗干扰问题 .....	108
第四节 电容式传感器的测量电路 .....	111
第五节 电容式传感器的应用 .....	119
创新设计 .....	122
相关知识 .....	123
本章小结 .....	123
思考题和习题 .....	124
<b>第六章 电感式传感器</b> .....	<b>125</b>
第一节 自感式传感器 .....	125
第二节 互感式传感器 .....	132
第三节 电涡流式传感器 .....	138
第四节 电感式传感器的应用 .....	142
创新设计 .....	147
本章小结 .....	147
思考题和习题 .....	148
<b>第七章 其他常用传感器及其应用</b> .....	<b>149</b>
第一节 热电阻式传感器 .....	149
第二节 热电偶传感器 .....	158
第三节 集成温度传感器 .....	166
第四节 霍尔传感器 .....	173
第五节 光电式传感器 .....	182
本章小结 .....	196
思考题和习题 .....	197
<b>第八章 信号变换电路</b> .....	<b>198</b>
第一节 直流—交流—直流变换 .....	198
第二节 电压—电流变换 .....	201
第三节 电流—电压变换 .....	206

第四节 电压—频率和频率—电压变换	207
第五节 数模变换与模数变换	211
相关知识	223
本章小结	223
思考题和习题	224
<b>第九章 抗干扰技术</b>	<b>225</b>
第一节 电磁干扰及其危害	225
第二节 干扰的分类	231
第三节 干扰的耦合方式	235
第四节 屏蔽技术	238
第五节 隔离技术	241
第六节 接地技术	243
第七节 相关函数	245
第八节 抗干扰设计举例	247
相关知识	252
本章小结	252
思考题和习题	253
<b>第十章 传感器数据采集技术</b>	<b>254</b>
第一节 传感器数据采集装置的功能	254
第二节 数据采集装置的结构配置	255
第三节 多路模拟开关和采样/保持器	256
第四节 数据采集装置的技术性能	261
第五节 数据采集系统设计	261
相关知识	266
本章小结	266
思考题和习题	267
<b>第十一章 检测信号智能化处理技术</b>	<b>268</b>
第一节 数字滤波技术	268
第二节 标度变换	273
第三节 非线性补偿技术	275
相关知识	278
本章小结	280
思考题和习题	281
<b>第十二章 创新设计方法及案例</b>	<b>283</b>
第一节 检测技术创新设计方法	283

第二节 检测技术创新设计案例.....	284
相关知识.....	288
创新设计.....	289
参考文献.....	292



# 绪 论

## 一、本教材的性质和内容

检测与转换技术是自动检测技术和自动转换技术的总称,是当今信息技术的重要组成部分。它是研究信息提取、信息转换和信息处理的应用技术学科。

检测与转换技术的信息提取是从自然界、社会、生产过程中或科学实验中获取人们需要的信息,如压力、重量、速度、温度等等;信息的转换是将采集的信息转换成可以进行传输、显示及其他便于处理的信号。信息处理的目的是人们把已经获得的信息进行加工、运算、分析或综合,以便进行显示、报警、预测、计量、保护、控制、调度和管理等,达到预防自然灾害或事故的发生、实现生产和管理的自动化、提高生产效率和产品质量、顺利完成科学研究的试验探索等任务。

检测与转换技术不仅是一门实用性很强的学科,而且是一门综合性、边沿性的学科。其综合性表现在它综合了传感器技术、误差理论、信号处理、电子技术、单片机技术、人工智能、模糊处理等理论和技术;边沿性表现在检测技术渗透在各个不同的学科领域,如机械、电气、信息、采矿、勘探、环保、化工、建筑、生物、医学等等。

## 二、检测与转换技术的广泛应用及发展前景

检测技术是人类感觉器官的扩展和延伸,是人类观察自然和测量自然界各种现象的电路手段。人类通过视觉、听觉、嗅觉、触觉和味觉获得外部信息,而检测技术则通过不同的传感器获得外部信息,其范围和能力远远超过人类。比如:人的视觉能力是非常有限的,但是激光传感器却可以非常精确地探测地球至月球的距离,其测量误差已达毫米级;红外传感器可以清晰地观察夜间的事物;超声波传感器可以“听”见人耳听不见的超声波;人的嗅觉只能识别少量有刺激性的气味,但气体传感器不仅识别的气体种类多,而且可以非常准确地识别气体的浓度,比如大家所熟悉的煤气,当煤气泄漏时,人们之所以能够嗅出,是有意在煤气中人为掺入了少量的硫化氢,而真正燃烧的气体 CO 是没有气味的,但是传感器却可以非常灵敏地检测出这些气体;传感器的触觉比人更敏感和准确,比如人们一般会用手触摸额头,以判断是否发烧,但这种判断是不准确的,因此医生要用体温表或测温仪对人体进行较精确的测试;此外对压力、重量等的测量也是如此,先进的检测手段能够精确地对压力、重量等进行计量;人的味觉能够大致地识别酸甜苦辣,但是味觉传感器却能够非常精确地识别食品的含糖量、酸碱度等等。

检测技术的应用是非常广泛的,检测技术在军事方面的应用发明了许多先进的军事武器,如各种命中率高的导弹、飞弹、导弹防御系统、武器瞄准系统、智能地雷、无人驾驶飞机等等;检测技术在医疗方面的应用生产了许多先进的医疗诊断设备,如 X 光透射仪、超声波诊断仪、CT 诊断仪、核磁共振诊断仪等等;检测技术在工矿安全方面的应用,对保障生产安全发挥了重要的作用,如矿井顶板监测、煤与瓦斯突出预测、可燃易爆气体泄漏的监测等等;检

测技术是生产自动化中必不可少的重要环节,如自动机床、食品的自动配料生产控制、各种电子设备的自动装配生产线等等;检测技术还广泛地应用在航天、机器人等先进的研究领域中,并发挥着重要的作用。

检测技术虽然得到广泛应用,但是检测技术还在不断地发展,还存在许多需要解决的问题。比如目前人们可以检测的是地震发生后的规模,即准确地检测出地震的级别,但是如何在地震发生前进行预报,还是一个世界级的难题。为什么有些动物在地震发生前有异常的行为,这说明肯定有一些反映地震发生的前兆,是电磁场的变化?是地球内壳发出的某种声波?人们正在进行积极的研究,相信很快就能得到解决。目前人们探测火灾主要采用离子或光电式的烟雾传感器和温度传感器,这些检测技术只能对火灾发生后的状态进行监测报警。如何在火灾发生前进行监测预警,对避免或减小火灾的损失是非常重要的,人们正在对此进行研究,也提出了各种有效的方案,比如分析火灾发生前的气体就是一种很有前途的火灾预警方法。癌症及其他一些诸如肿瘤等疑难疾病,发现得越早,越有希望治愈。但是目前有些疾病难以早期发现,比如胰腺癌,一旦发现便是晚期,治愈率很低,是否可以利用先进的检测技术解决这个问题,人们对此进行了大量的研究,并发现在人体内细胞病变时,往往其局部温度要高于周围的温度,如果能够探测这一温度的变化,完全可以早期发现癌症及肿瘤,以尽早采取措施进行治疗;人体生物电信息检测是一个具有广泛应用前景的研究课题,其中有一个应用涉及到“学习”问题。人们有一个梦想,如果能够将人们通过感觉器官获到知识的生物电信息检测出来,则完全可以将书本的内容转换成相应的电信息给人的大脑输送,那时候,学习的模式将产生巨大的变化。在高速公路上,由于汽车速度较快,在天气不好,能见度较差的时候,经常发生汽车追尾碰撞事故,即前面一辆汽车一停下来,后面的汽车一辆接一辆地撞向前一辆,这种安全问题可以利用超声波、激光测距等检测技术去解决。

### 三、本教材的目的

使学生掌握检测与转换技术的基本概念、基本理论以及常用传感器的工作原理、检测电路和典型应用,熟悉和了解信号处理变换及抗干扰等常用技术,为今后的工作及其他专业课程的学习奠定基础。

## 问题与思考

1. 在我们的日常生活中,检测技术的应用无所不在,冰箱、空调、洗衣机等家用电器中,检测技术是如何应用的?它们发挥了哪些作用?
2. 在我们周围还有什么可以应用检测技术解决的新问题?

# 第一章 检测技术基础

**【本章要点】** 测量方法及检测装置的基本性能;检测系统的静态特性和动态特性。

**【学习要求】** 掌握各种检测方法的基本原理和基本概念;了解检测系统的静态特性和动态特性的特点。

检测技术是以研究检测系统中的信息提取、信息转换以及信息处理的理论与技术为主要内容的一门应用技术学科。检测技术涉及的主要内容包括被测量的测量原理、测量方法、测量系统和数据处理等四个方面。

测量原理是指用什么样的原理去测量被测量。因为不同性质的被测量要用不同的原理去测量,同一性质的被测量亦可用不同的原理去测量。测量原理决定后,就要考虑用什么方法去测量被测量,这就是我们所要研究的测量方法。确定了被测量的测量原理和测量方法后,就要设计或选用装置组成测量系统,有了已标定过的测量系统,就可以实施实际的检测工作。在实际检测中得到的数据必须加以处理,即数据处理,以得到正确可信的检测结果。

## 第一节 测量方法及检测装置的基本性能

### 一、测量方法的分类

测量是以确定量值为目的的一系列操作。采用各种手段将被测量与同类标准量进行比较,从而确定出被测量大小的方法称为测量方法。测量方法对测量工作是十分重要的,它关系到测量任务是否能完成。因此要针对不同测量任务的具体情况进行分析后,找出切实可行的测量方法,然后根据测量方法选择合适的检测工具,组成测量系统,进行实际测量。对于测量方法,从不同的角度出发,有不同的分类方法。按测量手段和获得测量结果的方法不同进行分类,主要有直接测量、间接测量和组合测量三种测量方法。

#### (一) 直接测量、间接测量和组合测量

##### 1. 直接测量

在使用仪表进行测量时,对仪表读数不需要经过任何运算,就能直接表示测量所需要的结果,称为直接测量。例如,用磁电式电流表测量电路的支路电流,用弹簧管式压力表测量锅炉压力,汽车油位表、暖气管道的压力表等等就是直接测量。直接测量的优点是测量过程简单、迅速,测量结果直观,缺点是测量精度不容易做到很高。这种测量方法是工程上大量采用的方法,如图 1-1 所示。

##### 2. 间接测量

有的被测量无法或不便于直接测量,但可以根据某些规律找出被测量与其他几个量的函数关系。这就要求在进行测量时,首先对与被测物理量有确定函数关系的几个量进行测量,然后将测量值代入函数关系式,经过计算得到所需的结果,这种方法称为间接测量。例

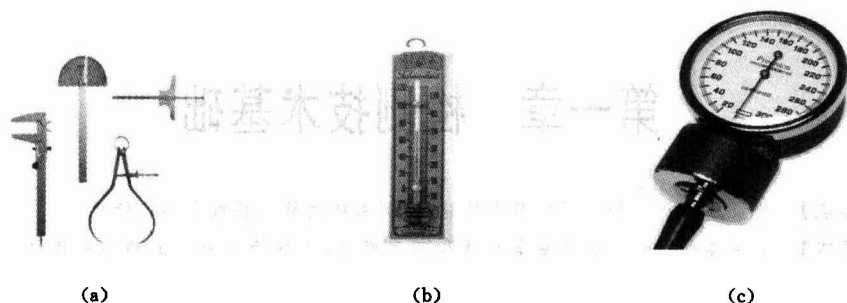


图 1-1 各种直接测量的实例  
(a) 各种卡尺;(b) 温度计;(c) 血压计

如,对生产过程中的纸张或地板革的厚度进行测量时无法直接测量,只得通过测量与厚度有确定函数关系的单位面积重量来间接测量。因此间接测量比直接测量来得复杂,但是有时可以得到较高的测量精度。

例如:测量一根导体的电阻率,根据公式  $\rho = \pi d^2 R / 4L$ ,只需测量导体的直径、长度和阻值,就可以计算出电阻率。间接测量方法能够获得许多不能通过直接测量获得的信息,或者通过间接测量方法能够得到比直接测量方法精度更高的结果。

### 3. 组合测量

又称“联立测量”,即被测物理量必须经过求解联立方程组才能导出最后测量结果。在进行联立测量时,一般需要改变测试条件,才能获得一组联立方程所要的数据。

对联立测量,在测量过程中,操作手续很复杂,花费时间很长,是一种特殊的精密测量方法。它一般适用于科学实验或特殊场合。例如:测量一金属导线的温度系数。

电阻与温度的关系可近似表示为:  $R_T = R_0(1 + \alpha_T T)$

将该金属导线置于不同的温度  $T_1$  和  $T_2$  下,测得不同的阻值  $R_{T_1}$  和  $R_{T_2}$ ,然后联立求解以下方程组,便可求得温度系数  $\alpha_T$ 。

$$\begin{cases} R_{T_1} = R_0(1 + \alpha_T T_1) \\ R_{T_2} = R_0(1 + \alpha_T T_2) \end{cases}$$

在实际测量工作中,一定要从测量任务的具体情况出发,经过具体分析后,再决定选用哪种测量方法。

### (二) 等精度测量和不等精度测量

根据测量条件相同与否,测量可分为等精度测量和不等精度测量。

#### 1. 等精度测量

在测量过程中,在影响测量误差的各种因素不改变的条件下进行的测量,称为等精度测量。

例如:在相同的环境条件下,由同一个测试人员,在同样仪器设备下,采用同样的方法对被测量进行重复测试。这样做的目的主要是为了提高测量精度。

#### 2. 不等精度测量

在多次测量中,对测量结果精确度有影响的一切条件不能完全维持不变的测量称为不等精度测量,即不等精度测量的测量条件发生了变化。

例如:为了检验某些测量条件对测量仪器的影响,通过改变测量条件进行测量比较。

一般情况下,等精度测量常用于科学实验中对某参数的精确测量,不等精度测量常用于对新研制仪器的性能检验。

3. 应用举例

(1) 采用等精度测量方法测量某物质的燃点温度

采用同一测温仪器,用相同的测量方式,在相同的条件下测量多次,取测量数据的平均值可以得到较高的测量精度,测量结果见表 1-1 所示,表中显示五次温度测量的平均值 1 008 °C 可以较准确地表示被测温度。

表 1-1 温度测量数据

测量次数	1	2	3	4	5	平均值
测量温度/°C	1 010	1 009	1 012	1 005	1 002	1 008

(2) 采用不等精度测量方法对甲烷检测仪器进行温度试验

采用相同的甲烷检测仪器,在不同的温度条件下对 1%浓度的甲烷气体进行测量,以检查该仪器测量误差受环境温度影响的程度,测量结果见表 1-2 所示,表示在 0~40 °C 的环境温度中,甲烷检测仪器的最大检测误差为 0.02%。

表 1-2 甲烷检测仪器温度试验数据

试验温度/°C	0	20	40
检测结果/%	0.96	1.00	1.02
绝对误差/%	-0.02	0	0.02

(三) 其他测量方法

1. 接触测量和非接触测量

接触被测对象的测量称为接触测量;远离被测对象的测量称为非接触测量。例如:测量物体的压力或重量一般采用接触测量方法;利用激光测量远距离物体的距离则是用非接触测量方法。

2. 静态测量和动态测量

静态测量是测量对象的稳态值,如重量、压力等等;动态测量是测量对象随时间的变化值,如振动、加速度等等。

3. 偏差式测量、零位式测量与微差式测量

用仪表指针的位移(即偏差)决定被测量的量值,这种测量方法称为偏差式测量。应用这种方法测量时,仪表刻度事先用标准器具标定。在测量时,输入被测量,按照仪表指针在标尺上的示值,决定被测量的数值。这种方法测量过程比较简单、迅速,但测量结果精度较低。

用指零仪表的零位指示检测测量系统的平衡状态,在测量系统平衡时,用已知的标准量决定被测量的量值,这种测量方法称为零位式测量。在测量时,用已知标准量直接与被测量相比较,已知量应连续可调,指零仪表指零时,被测量与已知标准量相等,如天平、电位差计

等。零位式测量的优点是可以获得比较高的测量精度,但测量过程比较复杂,费时较长,不适用于测量迅速变化的信号。

微差式测量是综合了偏差式测量与零位式测量的优点而提出的一种测量方法。它将被测量与已知的标准量相比较,取得差值后,再用偏差法测得此差值。应用这种方法测量时,不需要调整标准量,而只需测量两者的差值。设: $N$  为标准量, $x$  为被测量, $\Delta$  为二者之差,则  $x=N+\Delta$ 。由于  $N$  是标准量,其误差很小,且  $\Delta \ll N$ ,因此可选用高灵敏度的偏差式仪表测量  $\Delta$ ,即使测量  $\Delta$  的精度较低,但因  $\Delta \ll x$ ,故总的测量精度仍很高。

微差式测量的优点是反应快,而且测量精度高,特别适用于在线控制参数的测量。

以上介绍的几种测量方法中,除了等精度测量和不等精度测量的方法常用于科学试验或对新测量仪器性能的检验外,其他方法均在工程测量中得到广泛的应用。需要注意的是,有时候,对同一测量对象,往往可以采用不同的测量方法,而不同的检测方法在不同的应用场合具有不同的特点。比如体温的测量,医院对病人体温的常规测量是采用水银体温计进行接触性检测;但在流行性疾病的监测中(如防“非典”时期),对车站、机场等人流量较大的公共场所的人群进行体温检测时,则采用非接触的红外体温检测方法。显然,前者的特点是可靠性高,成本较低,后者成本较高,但使用更方便。利用温度参数监测大型电机的故障状态时,往往采用接触式检测方法,将微小的温度传感器紧贴在电机壳上,检测的温度过高时可以及时地发出信号,对电机进行保护。如采用非接触测温方法,则不仅成本高,还存在安装困难、易受各种外界因素干扰等缺点。此外,在利用温度检测对大型电机进行保护时,检测方法还可采用静态测量和动态测量两种方式。采用静态测量是根据电机的温度是否达到预设值来判断电机是否发生故障;动态测量则根据电机温度的上升速度来判断故障。显然,采用动态测量可以更早地发现故障(如断相故障会引起电机温度的急剧上升),及时发出信号进行保护。

## 二、真值与平均值

### (一) 真值

真值是指某物理量客观存在的确定值,即被测量本身所具有的真正值。测量的真值是一个理想的概念,它通常是未知的。但在某些特定情况下,真值又是可知的,如一个整圆周角为  $360^\circ$  等。

由于误差的客观存在,真值一般是无法测得的。测量的目的在于寻求被测量的真值。由于测量仪器的误差、测量技术的不完善和人们观察能力的限制,测量结果总是与被测量的真值存在误差。

测量次数无限多时,根据正负误差出现的概率规律,它们的平均值极为接近真值。故在科学实验中常用平均值代替真值。

### (二) 算术平均值

算术平均值是最常用的平均值。设  $x_1, x_2, \dots, x_n$  为各次的测量值, $n$  代表测量次数,则测量的算术平均值为:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1-1)$$

### 三、检测装置的基本性能

衡量检测装置的性能有许多指标,但最主要的是精度和稳定性。

#### (一) 精度

检测装置的精度包括精密度、准确度和精确度三个内容。

(1) 精密度:在相同条件下,对同一个量进行重复测量时,精密度表示这些测量值之间的相互接近程度。

(2) 准确度:它表示测量仪器指示值对真值的偏离程度。

(3) 精确度:它是精密度和准确度的综合反映。

图 1-2 通过打靶形象地表示了精密度、准确度和精确度的概念。其中图 1-2(a) 所示打靶结果的精密度和准确度都较差;图 1-2(b) 所示打靶结果的精密度较好,但准确度较差;图 1-2(c) 所示打靶结果的精密度和准确度都较高,即精确度高。

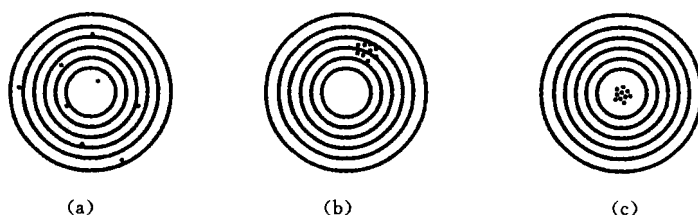


图 1-2 打靶示意图

#### (二) 稳定性

检测装置的稳定性是指测量值随时间的变化程度。影响检测装置稳定性的指标主要包括零点漂移和标定测值的变化。

(1) 零点漂移:在一定条件下,保持输入信号不变,输出信号随时间而变化称为零点漂移。产生零点漂移的原因很多,如环境温度、湿度的影响,检测电路中传感器和元器件的影响等等,零点漂移会增加检测结果的误差。对一些非连续进行检测的仪器,往往接通电源后需要先调整零点再进行测量;对一些长期安装在工作环境中的监测仪器,则需要定期进行零点的调整,以保证检测的可靠性。也可以采用一些零点自动调整技术,从而避免零点漂移对检测精度的影响。

(2) 标定测值的变化:任何检测仪器在出厂前都必须进行标定,即在标准被测量的条件下调整测量显示值,使仪器能够真正反映被测量。但是随着仪器使用时间的延长,由于传感器灵敏度的衰减或其他的原因,仪器的标定值要发生变化,它直接影响检测的精度。在许多情况下,仪器标定值的稳定性与传感器的使用寿命有关,传感器的使用寿命越短,其灵敏度衰减得越快,标定值的变化也越大,要保证测量的准确性,需要定期对仪器进行标定。

由于检测装置测值变化的主要原因是传感器的变化,因此检测装置的稳定性往往取决于传感器在一个较长时间内保持其性能参数的能力。理想的情况是,不管什么时候传感器的灵敏度等特性参数不随时间变化。但实际上,随着时间的推移,大多数传感器的特性会改变。这是因为传感元件或构成传感器的部件的特性随时间推移发生缓慢变化。即使长期放置不用的传感器也会缓慢地发生变化。因此,检测装置必须定期进行校准。

## 第二节 检测系统的静态特性

### 一、检测系统特性概述

这里要讨论的检测系统特性主要是传感器的输出特性,它决定着检测系统的特性指标。传感器作为感受被测量信息的器件,总是希望它能按照一定的规律输出有用信号,因此需要研究其输出输入的关系及特性,以使用理论指导其设计、制造、校准与使用。理论和技术上表征输出输入之间的关系通常是以建立数学模型来体现,这也是研究科学问题的基本出发点。由于传感器可能用来检测静态量(即输入量是不随时间变化的常量)或动态量(即输入量是随时间而变化的量),理论上应该用带随机变量的非线性微分方程作为数学模型,但这将在数学上造成困难。由于输入信号的状态不同,传感器所表现出来的输出特性也不同,所以实际上,传感器的静、动态特性可以分开来研究。

#### (一) 传感器静态特性的方程表示方法

静态数学模型是指在静态信号作用下(即输入量对时间  $t$  的各阶导数等于零)得到的数学模型。传感器的静态特性是指传感器在静态工作条件下的输入输出特性。所谓静态工作条件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的工作状态,这时,输出量为输入量的确定函数。在不考虑滞后、蠕变的条件下,或者传感器虽然有迟滞及蠕变等但仅考虑其理想的平均特性时,传感器的静态模型的一般式在数学理论上可用  $n$  次方代数方程式来表示,即:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n \quad (1-2)$$

式中  $x$ ——传感器的输入量,即被测量;

$y$ ——传感器的输出量,即测量值;

$a_0$ ——零位输出;

$a_1$ ——传感器线性灵敏度;

$a_2, a_3, \cdots, a_n$ ——非线性项的待定常数。

$a_0, a_1, a_2, a_3, \cdots, a_n$  决定了特性曲线的形状和位置,一般通过传感器的校准试验数据经曲线拟合求出,它们可正可负。

在研究其特性时,可先不考虑零位输出,根据传感器的内在结构参数不同,它们各自可能含有不同项数形式的数学模型,理论上为了研究方便,式(1-2)可能有以下四种情况,如图 1-3 所示,这种表示输出量与输入量之间关系的曲线称为特性曲线。

(1) 理想的线性特性通常是所希望的传感器应具有的特性,只有具备这样的特性才能正确无误地反映被测的真值,这时,传感器的数学模型如图 1-3(a)所示。由图 1-3(a)有:

$$a_0 = a_2 = a_3 = \cdots = a_n = 0$$

因此得到:

$$y = a_1x$$

因为直线上任何点的斜率均相等,所以传感器的灵敏度为:

$$S = \frac{y}{x} = a_1 = \text{常数}$$



(2) 仅有奇次非线性项,如图 1-3(b)所示。其数学模型为:

$$y = a_1x + a_3x^3 + a_5x^5 + \dots$$

具有这种特性的传感器,一般在输入量  $x$  相当大的范围内具有较宽的准线性,这是较接近理想线性的非线性特性,它相对坐标原点对称的,即  $y(-x) = -y(x)$ ,所以它具有相当宽的近似线性范围。通常,实际特性也可能不过零点。

(3) 仅有偶次非线性项,如图 1-3(c)所示。其数学模型为:

$$y = a_1x + a_2x^2 + a_4x^4 + \dots$$

方程仅包含一次方项和偶次方项,因为它没有对称性,所以线性范围较窄。一般传感器设计很少采用这种特性。通常,实际特性可能不过零点。

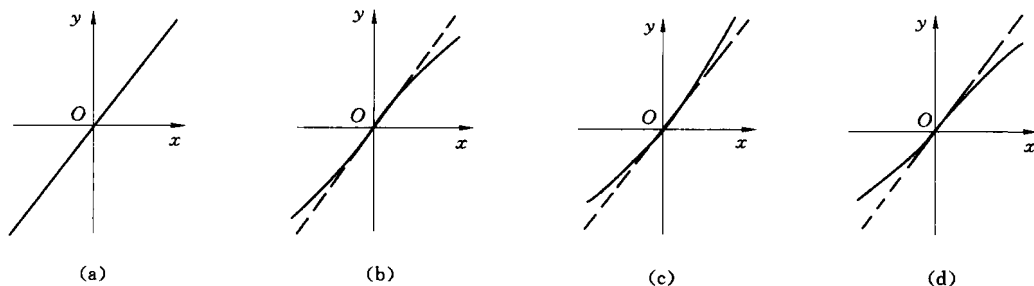


图 1-3 传感器的静态特性

(a)  $y = a_1x$ ; (b)  $y = a_1x + a_3x^3 + \dots$ ; (c)  $y = a_1x + a_2x^2 + \dots$ ; (d)  $y = a_1x + a_2x^2 + \dots$

(4) 一般情况下传感器的数学模型应包括多项式的所有项数,即:

$$y = a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots$$

如图 1-3(d)所示。这是考虑了非线性和随机等因素的一种传感器特性。

当传感器的特性出现了图 1-3(b)、(c)、(d)所示的非线性的情况时,就必须采用线性补偿措施,以减少检测中产生的非线性误差。

(二) 静态特性数据的列表表示法

列表法就是把传感器的输入输出数据按一定的方式顺序排列在一个表格之中。列表法的优点是:简单易行;形式紧凑;各数据易于进行数量上的比较;便于进行其他处理,如绘制曲线、进行曲线拟合、进行插值计算、求一组数据的差分或差商等。

(三) 静态特性的求法

传感器的静态特性主要通过校准试验来获取。所谓校准试验,就是在规定的试验条件下,给传感器加上标准的输入量而测出其相应的输出量。在传感器的研制过程中,也可以通过其已知元部件的静态特性,采用图解法或解析法求出传感器可能具有的静态特性。

## 二、传感器的主要静态性能指标

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。

传感器可完成将某一输入量转换为可用信息,因此,总是希望输出量能不失真地反映输