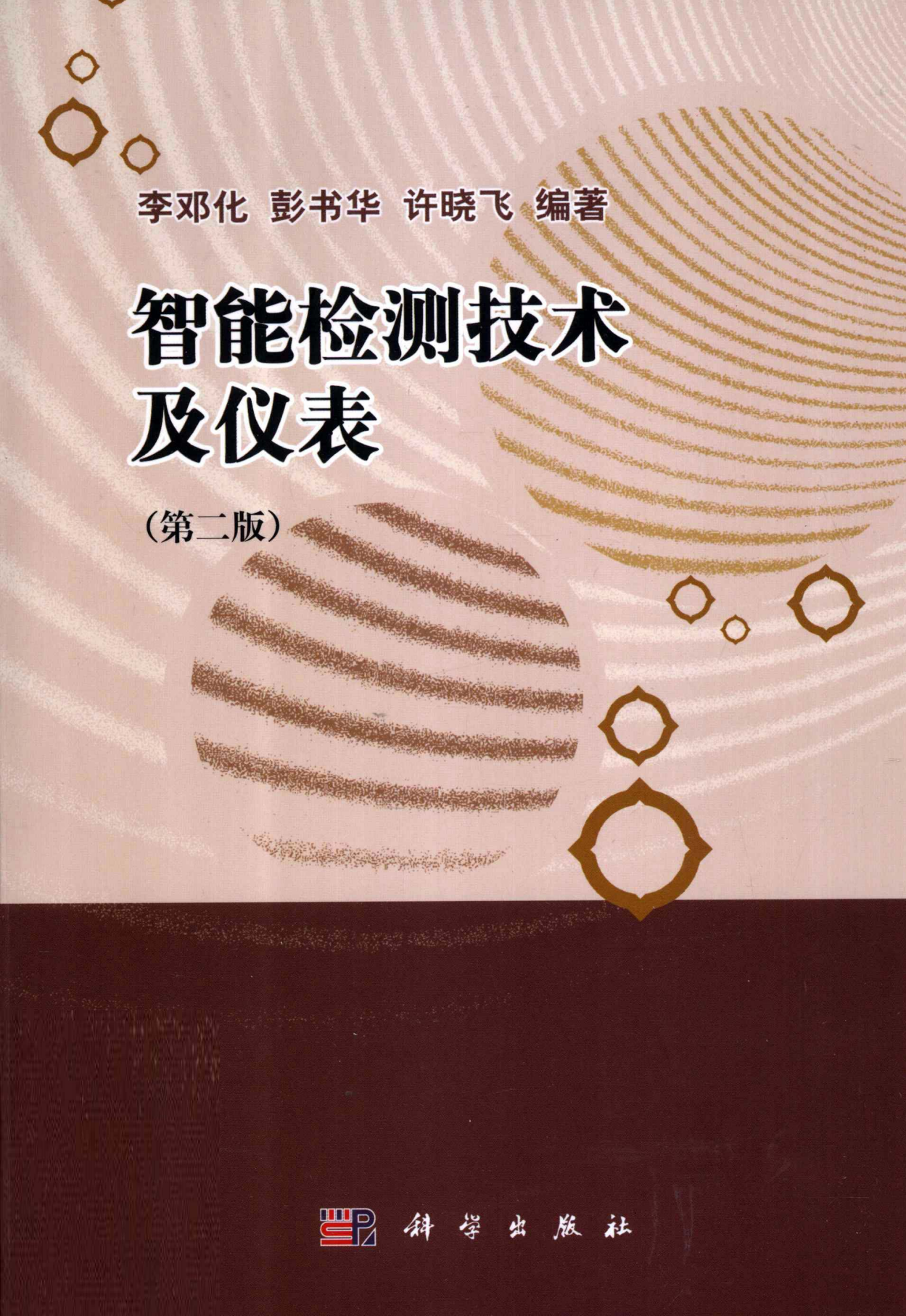




李邓化 彭书华 许晓飞 编著

智能检测技术 及仪表

(第二版)



科学出版社

智能检测技术及仪表

(第二版)

李邓化 彭书华 许晓飞 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书旨在全面介绍智能检测技术的基本原理及典型应用。全书共分13章,第1章主要介绍检测技术的基本知识与智能检测系统的基本组成;第2~8章分别介绍了各种常用传感器的基本原理与应用,主要包括热敏传感器、电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、压电式传感器、光电与光纤传感器、集成数字化传感器;第9章介绍模拟及数字仪表的基本原理及基本构成;第10章介绍多传感器信息融合技术;第11章介绍智能仪器与虚拟仪器技术;第12章介绍智能检测技术领域的新技术;第13章介绍典型前向神经网络在检测技术中的应用。书后还附有一些主要章节的思考和练习题。全书以应用为核心,体现了理论教学与实践教学并重的宗旨。

本书图文并茂,突出了与工程应用技术相关的主要内容,并含有大量的应用实例,可作为高等学校电子信息类及仪器仪表类专业的教材或参考用书,也可供有关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能检测技术及仪表/李邓化,彭书华,许晓飞编著.—2版.—北京:科学出版社,2012.1

ISBN 978-7-03-033118-2

I. ①智… II. ①李… ②彭… ③许… III. ①自动检测-高等学校-教材 ②智能仪器-高等学校-教材 IV. ①TP274②TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 270107 号

责任编辑:孙 芳 / 责任校对:宋玲玲

责任印制:赵 博 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年3月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2012年1月第 二 版 印张:23 1/2

2012年1月第四次印刷 字数:456 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

第二版前言

检测技术是传统行业实现信息化的第一个环节,它本质上是获取信息的技术,检测技术的创新能够引发新的经济增长点。在美国,检测仪器行业在国民生产总值中所占比重为 10%左右,并拉动 60%以上的经济增长;在我国,目前该行业占国民生产总值的 1%左右,还有很大的发展空间。从技术上来看,检测技术的发展依赖于信息技术(光、电、计算机、控制、通信)、材料技术(功能材料)、精密机械加工等技术的发展,这些支撑技术的进展为检测技术的发展提供了基础。

自本书第一版出版以来,得到了读者们的广泛关注和积极响应,许多读者提出了中肯的意见和建议,作者对此不胜感激。本书是在第一版的基础之上充分吸纳了读者的建议,并结合近几年的最新研究成果和教学体会修订而成。与第一版相比,本书主要在以下方面进行了改动:修改了第一版中叙述不妥当之处;将第一版中第 10 章“模拟及数字式仪表”提到第 9 章;删除了第一版的第 9 章“智能传感器及应用”,将其部分内容并入到第 12 章;增加了“多传感器信息融合”和“典型前向神经网络及其应用”两章;将第一版的第 11 章和第 12 章进行了整合;更新了“智能检测新技术”一章。本书秉承了第一版中“以应用为核心”、“理论教学与实践教学并重”为宗旨的特点。其中,第 1~9 章及第 13 章由李邓化编写,第 10~12 章由彭书华编写,思考和练习题由许晓飞编写。

本书可供自动化、电子信息工程、通信工程、智能科学与技术、检测技术与自动化装置、测试计量技术与仪器等专业的本科生和硕士生作为教材或参考书使用,也适用于相关专业的工程技术人员。不同学校与专业的学生也可根据实际情况和课时需要选学部分内容。

感谢“北京市属市管高等学校人才强教计划资助项目”(PHR200907124, PHR201107218)对本书提供的资助。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,诚恳欢迎各位读者批评指正,可 E-mail 至 greatbeijing@163.com,欢迎赐教,不胜感激。

作 者

2011 年 12 月

第一版前言

智能检测是伴随着自动化技术、计算机技术、检测技术和智能技术的深入发展而产生和形成的新的研究领域,智能检测与智能仪表是未来检测技术的主要发展方向。智能检测是将传统学科和新技术进行综合集成和应用的一门学科,体现了多学科的交叉、融合和延拓,其应用范围遍布国民经济的诸多方面。

本书是在作者多年教学实践的基础上,结合现有的教学讲义和最新技术发展编写而成的,书中融入了作者多年来大量的科研工作与成果。本书在内容安排上以检测技术基本原理为基础,结合智能检测技术的最新发展,以应用为核心,重点介绍了检测技术的基本原理和工程实现方法,体现了理论教学和实践教学并重的宗旨。

本书旨在全面介绍智能检测技术与仪表领域的基本原理及典型应用,全书共分13章,第1章主要介绍了检测技术的基本知识与智能检测系统的基本组成;第2~9章分别介绍了各种常用传感器的基本原理与应用,主要包括热敏传感器、电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、压电式传感器、光电与光纤传感器、数字化传感器、智能传感器等;第10章介绍了模拟与数字仪表的设计及应用;第11、12章分别介绍了智能仪器与虚拟仪器技术;最后一章介绍了智能检测领域的主要新技术。其中,第1~8章由李邓化编写,其余部分由彭书华和许晓飞编写。

本书可作为自动化专业、智能科学与技术、检测技术与自动化装置、测试计量技术与仪器等专业的本科生和硕士生的教材或参考书,也适用于相关专业的工程技术人员。不同院校与专业的学生也可根据实际情况和课时需要选学部分内容。

由于时间仓促,水平有限,书中难免有不足之处,诚恳欢迎各位读者对本书提出批评指正,可 E-mail 至 psh01@163.com,欢迎赐教,不胜感激。

作 者

2007年1月

目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 检测技术基础	1
1.1 基础知识	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 检测仪表(传感器)的品质指标	3
1.1.3 量值传递与仪表的校准	8
1.2 测量误差与数据处理基础.....	10
1.2.1 测量误差及其分类	10
1.2.2 系统误差的消除方法	14
1.2.3 随机误差及其估算	16
1.2.4 测量误差的合成及最小二乘法的应用	21
1.2.5 测量结果的数据处理	28
1.3 智能检测系统.....	35
1.3.1 智能检测系统中的传感器.....	35
1.3.2 数据采集.....	40
1.3.3 输入输出通道处理电路	45
1.3.4 智能检测系统中的软件	48
第 2 章 热敏元件、温度传感器及应用	49
2.1 热电偶.....	49
2.1.1 热电效应.....	49
2.1.2 热电偶的基本法则	52
2.1.3 热电偶冷端温度及其补偿.....	54
2.2 热电阻.....	59
2.2.1 铂电阻	60
2.2.2 铜热电阻.....	60
2.2.3 其他热电阻	60
2.3 热敏电阻.....	61
2.3.1 NTC 热敏电阻的温度特性	61
2.3.2 NTC 热敏电阻的温度系数	62

2.3.3	NTC 热敏电阻的伏-安特性	62
2.3.4	NTC 热敏电阻的安-时特性	63
第 3 章	应变式电阻传感器及应用	64
3.1	应变式电阻传感器的工作原理	64
3.2	测量电路	67
3.2.1	直流电桥	67
3.2.2	交流电桥	73
3.3	应变式传感器的温度特性	75
3.3.1	使应变片产生热输出的因素	75
3.3.2	电阻应变片的温度补偿方法	76
3.4	应变式电阻传感器的应用	78
3.4.1	几种常见的弹性元件的应变值 ϵ 与外作用力 F 之间的关系	78
3.4.2	应变式电阻传感器的应用	80
第 4 章	电感式传感器及应用	82
4.1	变磁阻式传感器	82
4.1.1	工作原理	82
4.1.2	输出特性	83
4.1.3	测量电路	85
4.1.4	变磁阻式传感器的应用	87
4.2	差动变压器式传感器	88
4.2.1	工作原理	88
4.2.2	基本特性	90
4.2.3	差动变压器式传感器测量电路	90
4.2.4	差动变压器式传感器的应用	94
4.3	电涡流式传感器	94
4.3.1	工作原理	95
4.3.2	基本特性	95
4.3.3	电涡流形成范围	96
4.3.4	电涡流式传感器的应用	98
第 5 章	电容式传感器及应用	101
5.1	电容式传感器的工作原理和结构	101
5.1.1	变极距型电容式传感器	101
5.1.2	变面积型电容式传感器	103
5.1.3	变介质型电容式传感器	103
5.2	电容式传感器的灵敏度和非线性	104

5.3 电容式传感器的信号调节电路	106
5.3.1 运算放大器式电路	106
5.3.2 电桥电路	107
5.3.3 脉冲宽度调制电路	108
5.3.4 调频测量电路	110
5.4 电容器式传感器的应用	111
5.4.1 电容式位移传感器	111
5.4.2 电容式荷重传感器	112
5.4.3 电容式压力传感器	112
第6章 压电传感器及应用	114
6.1 压电效应	114
6.1.1 压电材料的主要特性参数	114
6.1.2 压电晶体的压电效应	115
6.1.3 压电陶瓷的压电效应	117
6.2 压电方程	118
6.2.1 电场为零	118
6.2.2 应力为零	119
6.3 电荷放大器	119
6.3.1 电荷放大器的输出电压	119
6.3.2 实际电荷放大器的运算误差	121
6.3.3 电荷放大器的下限截止频率	122
6.3.4 电荷放大器的噪声及漂移特性	123
6.4 压电传感器的应用	124
6.4.1 压电水下声学接收换能器——水听器	124
6.4.2 压电式加速度传感器	128
6.4.3 压电式压力传感器	131
第7章 光电与光纤传感器及应用	132
7.1 光电效应	132
7.1.1 外光电效应	132
7.1.2 内光电效应	132
7.2 光敏电阻	133
7.2.1 光敏电阻的原理和结构	133
7.2.2 光敏电阻的主要参数和基本特性	134
7.2.3 光敏电阻与负载的匹配	136
7.3 光电池	138

7.3.1	光电池的结构原理	138
7.3.2	基本特性	139
7.3.3	光电池的转换效率及最佳负载匹配	141
7.4	光敏二极管和光敏三极管	142
7.4.1	光敏管的结构和工作原理	142
7.4.2	光敏管的基本特性	143
7.4.3	光敏晶体管电路的分析方法	146
7.5	光电传感器的类型及应用	147
7.5.1	光电传感器的类型	147
7.5.2	应用	148
7.6	光纤传感器	152
7.6.1	光导纤维导光的基本原理	153
7.6.2	光纤传感器及其应用	156
第8章	集成化与数字化传感器及应用	161
8.1	集成传感器	161
8.1.1	概述	161
8.1.2	集成压阻式传感器	162
8.1.3	集成霍尔式传感器	166
8.2	数字传感器	183
8.2.1	概述	183
8.2.2	振弦式传感器	183
8.2.3	压电式谐振传感器	187
8.2.4	光栅传感器及应用	189
第9章	模拟及数字式仪表	197
9.1	模拟式显示仪表	197
9.1.1	动圈式显示仪表	197
9.1.2	自动平衡电位差计	207
9.1.3	自动平衡电桥	213
9.2	数字式显示仪表	218
9.2.1	概述	218
9.2.2	数字式显示仪表的构成及工作原理	219
9.2.3	数字显示仪表举例——热电偶数字温度表	235
第10章	多传感器信息融合	241
10.1	概述	241
10.1.1	多传感器信息融合技术的产生与发展	241

10.1.2	多传感器信息融合的必要性	242
10.1.3	多传感器信息融合的定义	242
10.2	多传感器信息融合的层次与结构模型	242
10.2.1	信息的融合的层次模型	243
10.2.2	信息融合的结构模型	245
10.3	多传感器信息融合算法	247
10.3.1	算法分类	247
10.3.2	贝叶斯推理算法	249
10.3.3	D-S 证据推理算法	250
10.3.4	神经网络融合算法	252
10.4	多传感器信息融合的应用	255
第 11 章	智能仪器与虚拟仪器	258
11.1	智能仪器概述	258
11.1.1	智能仪器的工作原理	258
11.1.2	智能仪器的特点	259
11.1.3	智能仪器的基本结构	261
11.1.4	智能仪器的现状与发展趋势	262
11.2	智能仪器的数据采集与处理	264
11.3	智能仪器的人机接口	267
11.4	虚拟仪器概述	268
11.5	虚拟仪器的数据采集	270
11.5.1	被测信号的实时采集	270
11.5.2	数据采集卡的性能指标	271
11.5.3	数据采集卡功能及应用	273
11.6	典型控制算法在虚拟仪器中的实现	273
11.6.1	数字 PID 控制算法原理	273
11.6.2	基于位置式 PID 控制算法的转盘转速控制系统	275
第 12 章	智能检测新技术	279
12.1	智能传感器与网络智能传感器	279
12.1.1	概述	279
12.1.2	智能传感器网络化的实现	282
12.1.3	网络化智能传感器技术标准 IEEE1451	288
12.2	软测量技术简介	294
12.2.1	概述	294
12.2.2	软测量技术的构成要素	295

12.2.3 软测量技术的实现与应用	298
12.3 基于混沌理论的微弱信号检测技术简介	298
第 13 章 典型前向神经网络及其应用	303
13.1 生物神经网络	303
13.2 人工神经元	304
13.3 人工神经网络	307
13.4 感知器网络	310
13.4.1 感知器的网络结构及其功能	311
13.4.2 感知器权值的学习规则与训练	312
13.5 自适应线性元件	317
13.5.1 自适应线性神经元模型和结构	317
13.5.2 W-H 学习规则及其网络的训练	318
13.6 BP 网络	319
13.6.1 BP 网络模型与结构	319
13.6.2 BP 算法	321
13.6.3 BP 网络的设计	323
13.6.4 BP 网络的限制与不足	325
13.7 人工神经网络的应用举例	325
思考与练习题	330
参考文献	361

第 1 章 检测技术基础

1.1 基础知识

1.1.1 概述

1. 工业过程检测

工业过程检测是指在生产过程中,为及时掌握生产情况和监视、控制生产过程,而对其中一些变量进行的定性检查和定量测量。

检测的目的是获取各过程变量值的信息。根据检测结果可对影响过程状况的变量进行自动调节或操纵,以达到提高质量、降低成本、节约能源、减少污染和安全生产等目的。

检测技术涉及的内容非常广泛,包括被检测信息的获取、转换、显示及测量数据的处理等技术。随着科学技术的不断进步,特别是随着微电子技术、计算机技术等高新科技的发展及新材料、新工艺的不断涌现,检测技术也在不断发展,并且已经成为一门实用性和综合性很强的新兴学科。

检测技术及仪表作为人类认识客观世界的重要手段和工具,应用领域十分广泛,工业过程是其最重要的应用领域之一。工业过程检测具有如下特点:

(1) 被测对象形态多样。有气态、液态、固态介质及其混合体,也有的被测对象具有特殊性质(如强腐蚀、强辐射、高温、高压、深冷、真空、高黏度、高速运动等)。

(2) 被测参数性质多样。有温度、压力、流量、液位等热工量,也有各种机械量、电工量、化学量、生物量,还有某些工业过程要求检测的特殊参数(如纸浆的打浆度)等。

(3) 被测变量的变化范围宽。如被测温度可以是 1000°C 以上的高温,也可以是 0°C 以下的低温甚至超低温。

(4) 检测方式多种多样。既有断续测量,又有连续测量;既有单参数检测,又有多参数同时检测;还有每隔一段时间对不同参数的巡回检测,等等。

(5) 检测环境比较恶劣。在工业过程中,存在着许多不利于检测的影响因素,如电源电压波动,温度、压力变化,以及在工作现场存在水汽、烟雾、粉尘、辐射、振动等。

为适应工业过程检测的上述特点,要求检测仪表不但具有良好的静态特性和动态特性,而且要针对不同的被测对象和测量要求采用不同的测量原理和测量手

段。因此,检测仪表的种类繁多,而且为了适应工业过程对检测技术提出的新要求,还将有各式各样的新型仪表不断涌现。

2. 检测仪表

检测仪表是能确定所感受的被测变量大小的仪表,它可以是传感器、变送器和自身兼有检出元件和显示装置的仪表。

传感器是能接收被测信息并按一定规律将其转换成同种或别种性质的输出变量的仪表。输出为标准信号的传感器称为变送器。所谓标准信号,是指变化范围的上下限已经标准化的信号(如 $4\sim 20\text{mA DC}$ 等)。

检测仪表可按下述方法进行分类:

(1) 按被测量分类。可分为温度检测仪表、压力检测仪表、流量检测仪表、物位检测仪表、机械量检测仪表及过程分析仪表等。

(2) 按测量原理分类。可分为电容式、电磁式、压电式、光电式、超声波式、核辐射式检测仪表等。

(3) 按输出信号分类。可分为输出模拟信号的模拟式仪表、输出数字信号的数字式仪表及输出开关信号的检测开关(如振动式物位开关)等。

(4) 按结构和功能特点分类。可按照测量结果是否就地显示分为测量与显示功能集于一身的一体化仪表和将测量结果转换为标准输出信号并远传至控制室集中显示的单元组合仪表;或者按照仪表是否含有微处理器而分为不带微处理器的常规仪表和以微处理器为核心的微机化仪表,后者的集成度越来越高,功能越来越强,有的已具有一定的人工智能,常被称为智能化仪表。目前,有的仪表供应商又推出了“虚拟仪器”的概念。所谓“虚拟仪器”,是指在标准计算机的基础上加一组软件或(和)硬件,使用者操作这台计算机,即可充分利用最新的计算机技术来实现和扩展传统仪表的功能。这套以软件为主体的系统能够享用普通计算机的各种计算、显示和通信功能。在基本硬件确定之后,就可以通过改变软件的方法来适应不同的需求,实现不同的功能。虚拟仪器彻底打破了传统仪表只能由生产厂家定义、用户无法改变的局面。用户可以自己设计、自己定义,通过软件的改变来更新自己的仪表或检测系统,改变传统仪表功能单一或有些功能用不上的缺陷,从而节省开发、维护费用,减少开发专用检测系统的时间。

不同类型检测仪表的构成方式不尽相同,其组成环节也不完全一样。通常,检测仪表由原始敏感环节(传感器或检出元件)、变量转换与控制环节、数据传输环节、显示环节、数据处理环节等组成。检测仪表内各组成环节可以构成一个开环测量系统,也可以构成闭环测量系统。开环测量系统是由一系列环节串联而成,其特点是信号只沿着从输入到输出的一个方向(正向)流动,如图 1-1 所示。一般较常见的检测仪表大多为开环测量系统。例如,图 1-2 所示的温度检测仪表,以被测

温度为输入信号,以毫伏计指针的偏移作为输出信号的响应,信号在该系统内仅沿着正向流动。闭环测量系统的构成方式如图1-3所示,其特点是除了信号传输的正向通路外,还有一个反馈回路。在采用零值法进行测量的自动平衡式显示仪表中,各组成环节即构成一个闭环测量系统。

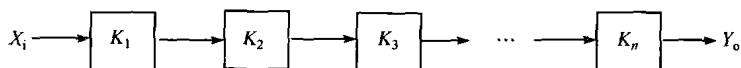


图 1-1 开环测量系统的构成方式

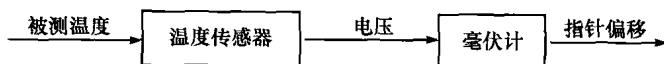


图 1-2 温度检测系统示意图

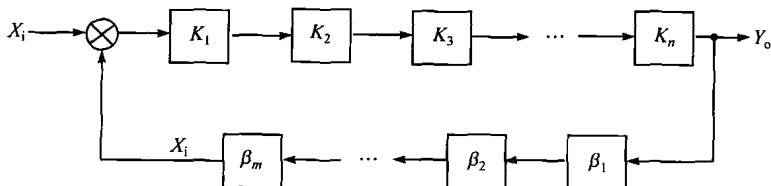


图 1-3 闭环测量系统的构成方式

1.1.2 检测仪表(传感器)的品质指标

1. 灵敏度

灵敏度(sensitivity)是指检测仪表在到达稳态后,输出增量与输入增量之比,即

$$K = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (1-1)$$

式中, K 为灵敏度; ΔY 为输出变量 Y 的增量; ΔX 为输入变量 X 的增量。

当仪表的输出-输入关系为线性时,其灵敏度 K 为常数,如图1-4所示。反之,当仪表具有非线性时,其灵敏度将随着输入变量的变化而改变,以 dy/dx 表示,如图1-5所示。

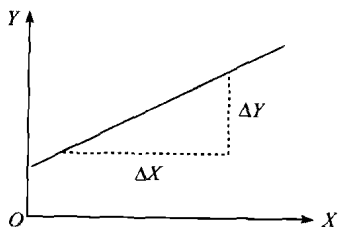


图 1-4 输出-输入关系为线性

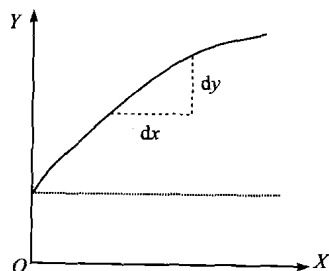


图 1-5 输出-输入关系为非线性

2. 线性度

线性度又称非线性,是表征仪表输入-输出校准曲线与所选定的拟合直线(作为工作直线)之间的吻合(或偏离)程度的指标,如图 1-6 所示。通常用相对误差来表示线性度,

$$\delta_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{Y_{F.S.}} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中, $\Delta L_{\max}$ 为校准曲线与拟合直线间的最大偏差; $Y_{F.S.}$ 为理论满量程输出值。

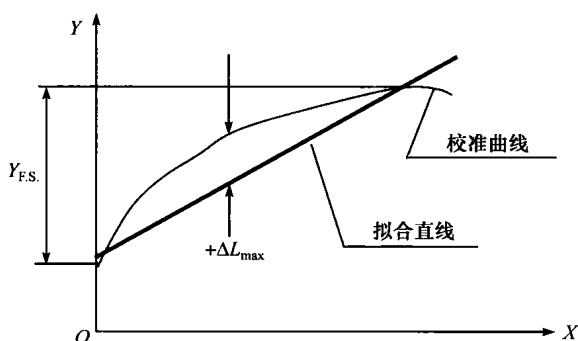


图 1-6 校准曲线与所选定的拟合直线

3. 分辨率

分辨率(resolution)反映仪表能检测出被测量的最小变化的能力,又称分辨能力。当输入变量从某个任意值(非零值)缓慢增加,直至可以观测到输出变量的变化时为止的输入变量的增量即为仪表的分辨率。分辨率可以用绝对值也可以用满刻度的百分比来表示,如角度传感器,满量程输出为 $10^\circ/1000\text{mV}$,若其分辨率为 0.01° ,即每变化 0.01° ,其输出就应有 1mV 的变化。

4. 迟滞度

在外界条件不变的情况下,当输入变量上升(从小到大)和下降(从大到小)时,仪表对于同一输入所给出的两个相应输出平均值间(若无其他规定,则指全行程范围内)的最大差值 $\Delta H_{\max}$ 即为迟滞度(hysteresis)也叫回差,如图 1-7 所示。通常以输出量程的百分数来表示,

$$\delta_H = \pm \frac{1}{2} \frac{\Delta H_{\max}}{Y_{F.S.}} \times 100\% \quad (1-3)$$

回差是由于仪表内有吸收能量的元件(如弹性元件、磁化元件等),机械结构中

有间隙及运动系统的摩擦等原因所造成的。

5. 重复性

在同一工作条件下,对同一输入值按同一方向连续多次测量时,所得输出值之间的相互一致程度为重复性(repeatability),如图1-8所示。

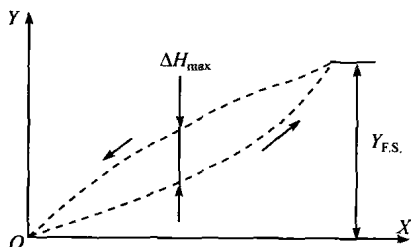


图 1-7 输入-输出的迟滞关系

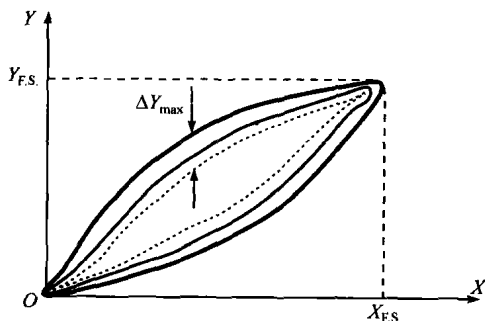


图 1-8 输入-输出的重复性

仪表的重复性用全测量范围内的各输入值所测得的最大重复性误差来确定。所谓重复性误差,是对全范围行程在同一工作条件下,从同方向对同一输入值进行多次连续测量所得输出值的两个极限值之间的代数差或均方根误差,它反映的是校准数据的离散程度,属随机误差,因此,应根据标准偏差计算。

$$\delta_R = \pm \frac{a\sigma_{\max}}{Y_{F.S.}} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中, $\sigma_{\max}$ 为各校准点正行程与反行程输出值的标准偏差中之最大值; a 为置信系数,通常取2或3, $a=2$ 时,置信概率为95.4%, $a=3$ 时,置信概率为99.73%。

一般,用贝塞尔公式法计算标准偏差。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$$

式中, y_i 为某校准点之输出值; $\bar{y}$ 为输出值的算术平均值; n 为测量次数。

6. 精确度

被测量的测量结果与(约定)真值间的一致程度称为精确度(accuracy)。仪表按精确度高低划分成若干精确度等级。根据测量要求,选择适当的精确度等级是检测仪表选用的重要环节。

7. 长期稳定性

长期稳定性(long term stability)是仪表在规定时间内保持不超过允许误差范

围的能力。

随着时间的增加,传感器的特性将发生变化,对于同一输入量,即使环境条件不变,所得的输出量也不同,输出量向一定方向偏离,这种现象叫漂移,即使输入为零,漂移也是存在的。

漂移包括零点漂移和灵敏度漂移,零点漂移和灵敏度漂移又可分为时间漂移和温度漂移。时间漂移是指在规定条件下,零点或灵敏度随时间的缓慢变化;温度漂移为周围温度变化引起的零点或灵敏度漂移。

8. 动态特性

动态特性(dynamic characteristics)指被测量随时间迅速变化时,仪表输出随被测量变化的特性。

很多被测量要在动态条件下检测,被测量可能以各种形式随时间变化。只要输入量是时间的函数,则输出量也将是时间的函数,其间关系要用动态特性来说明,即用动态误差来说明。

动态误差包括两个部分:

(1) 输出量达到稳定状态以后与理想输出量之间的差别。

(2) 当输入量发生跃变时,输出量由一个稳态到另一个稳态之间的过渡状态中的误差。

由于实际测试时输入量是千变万化的,且往往事先并不知道,故工程上通常采用输入“标准”信号函数的方法进行分析,并据此确立若干评定动态特性的指标。常用的“标准”信号函数是正弦函数与阶跃函数,因为它们既便于求解又易于实现,从而仪表(或传感器)的性能指标里就出现了频率响应(仪表对正弦输入的响应)和阶跃响应(仪表对阶跃输入的响应)。

1) 频率响应特性

由物理学可知,在一定条件下,任意信号均可分解为一系列不同频率的正弦信号。也就是说,一个以时间作为独立变量进行描述的时域信号,可以变换成一个以频率作为独立变量进行描述的频域信号。一个复杂的被测实际信号,往往包含了许多种不同频率的正弦波。如果把正弦信号作为仪表的输入,然后测出它的响应,就可以对仪表(或传感器)的频域动态性能做出分析和评价。

将各种频率不同而幅值相等的正弦信号输入传感器,其输出正弦信号的幅值、相位与频率之间的关系称为频率响应特性。

设输入幅值为 X 、角频率为 ω 的正弦量关系为

$$x = X \sin(\omega t)$$

则获得的输出量为

$$y = Y \sin(\omega t + \varphi)$$