

21

21 SHIJI GAOZHIGAOZHUAN DIANZI JISHU GUIHUA JIAOCAI
世纪高职高专电子技术规划教材

检测与传感技术

冯柏群 祁和义 主 编
曹 翯 陈艳红 副主编

- 引入工程实践
- 突出基本概念
- 注重技能训练

免费提供
电子教案
习题解答

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21 世纪高职高专电子技术规划教材

检测与传感技术

冯柏群 祁和义 主 编

曹 翺 陈艳红 副主编

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

检测与传感技术 / 冯柏群, 祁和义主编. —北京: 人民邮电出版社, 2008.4

21 世纪高职高专电子技术规划教材

ISBN 978-7-115-17465-9

I. 检… II. ①冯…②祁… III. ①自动检测—高等学校: 技术学校—教材②传感器—高等学校: 技术学校—教材 IV. TP274. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 016480 号

内 容 提 要

本书以传感器的应用技术为主线安排内容, 全书共分为 14 章, 第 1 章介绍传感器的基础知识、基本概念, 第 2 章至第 11 章分别介绍应变式传感器、电容式传感器、电感式传感器、压电式传感器、磁电式传感器、光电式传感器、超声波传感器、半导体传感器、辐射式传感器、微波传感器、数字式传感器和智能传感器的工作原理、性能、测量电路及典型应用, 第 12 章、第 13 章介绍信号的放大及处理电路、信号转换电路, 第 14 章介绍一个典型检测系统。本书还设有实训项目, 可帮助学生提高操作技能。

本书适合于高职高专院校应用电子、工业自动化、测控技术与仪器、机电一体化等工科专业学生使用, 也可作为相关专业工程技术人员的参考书。

21 世纪高职高专电子技术规划教材

检测与传感技术

-
- ◆ 主 编 冯柏群 祁和义
副 主 编 曹 翀 陈艳红
责任编辑 赵慧君
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 14.75
字数: 353 千字 2008 年 4 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2008 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-17465-9/TN

定价: 25.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

21 世纪高职高专电子技术规划教材

编 委 会

主 任 王俊鹏

副主任 张惠敏 向 伟

编 委 (以姓氏笔画为序)

朱乃立 阮友德 许恒玉 苏本庆 余本海

李存永 肖 琰 邱寄帆 张新成 林训超

胡修池 胡起宙 赵慧君 曾令琴 韩 丽

程 勇 潘春燕

丛书出版前言

遵照教育部提出的高职高专教育以就业为导向,从专业本位向职业岗位和就业为本转变的指导思想,人民邮电出版社与一些高职高专院校和相关企业共同开发了 21 世纪高职高专电子技术规划教材。

随着职业教育改革的不断深化,各高职高专院校越来越关注人才培养模式与专业课程设置,越来越关心学生将来的就业岗位,并开始注重培养学生的职业能力。但是我们看到,高职高专院校所培养的人才与市场上需要的技术应用型人才仍存在差距。如何在保证知识体系完整的同时,能在教材中体现正在应用的技术和前沿的技术成了本套教材探讨的重点,为此我们在如下几个方面做了努力和尝试。

1. 针对电子类专业基础课程内容较经典,知识点又相对统一、固定的特点,采取本科老师与高职高专老师合作编写的方式,借助本科老师在理论方面深厚的功底,在写作质量上进行把关,高职高专老师则发挥其熟悉职业教育教学需求的优势把握教材的广度与深度,力图解决专业基础课程理论与应用相结合的目的。

2. 高职高专教育培养的人才面向生产、管理第一线的应用型人才,基础课程的教学应以必需、够用为原则,以掌握概念、强化应用为教学重点,注重岗位能力的培养。本套教材在保证基本知识点讲解的同时,按照“突出基本概念,注重技能训练,强调理论联系实际,加强实践性教学环节”的原则,在内容安排上避免复杂的数学推导和计算。

3. 专业课程引入工程实例,强化培养职业能力。让学生了解在实际工作中利用单片机和 PLC 做项目的流程,并通过一系列小的实例逐步让学生产生学习兴趣,最后通过一个大的完整案例对学生进行综合培训,从而达到对学生职业能力的培养。

以上这些仅是我们对高职高专教材出版工作的初步探索。如何配合学校做好为国家培养人才的工作,出版高质量的教材将是我们不断追求和奋斗的目标。

我们衷心希望,关注高等职业教育的广大读者能对本套教材的不当之处给予批评指正,提出修改意见,同时也热切盼望从事高等职业教育的老师、企业专家和我们联系,共同探讨相关专业的教学方案和教材编写等问题。来信请发至 zhaohuijun@ptpress.com.cn。

21 世纪高职高专电子技术规划教材编委会

2005 年 8 月

前 言

我国高职高专教育事业在蓬勃发展,如何既保证学生基础知识的学习,又能使学生具有较强的职业能力,编写适用性较强的高职教材成为当务之急。

“检测与传感技术”课程现用的教材理论知识较多,不适合高职高专教育的需要。如何将理论与实践一体化是我们编写此教材的出发点。

一、突出实用性

(1) 书中部分章节配备了实训内容;

(2) 最后一章给出综合应用实例,使学生能所学即所用。

二、注重基础知识

目前一些高职院校为加强对学生职业能力的培养,过于强调操作能力,而忽略了基础知识的讲授,使学生在实际工作中后劲不足,上升空间受限。

为此,本书给出相关的、必要的基础理论知识,并以此为起点,增加实训和应用性内容。

本书建议学时 76 课时左右,可根据不同专业适当调整。

本书由平顶山工业职业技术学院冯柏群、开封大学祁和义任主编,冯柏群编写第 9 章、第 10 章、第 14 章,开封大学祁和义、陈艳红编写第 4 章、第 11 章及附录部分,平顶山工业职业技术学院黄颖辉编写第 2 章、第 3 章,郑州铁路职业技术学院的常仁杰编写第 12 章、第 13 章,平顶山工业职业技术学院的曹翮编写第 1 章、第 7 章,济源职业技术学院的赵占全编写第 5 章、第 6 章、第 8 章。全书由冯柏群整理定稿。河南理工大学的宋运忠教授参与审阅,并提出宝贵意见,在此深表谢意。

由于编者水来有限,书中的不足和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2008 年 1 月

目 录

第 1 章 检测与传感技术基础	1
1.1 检测技术基础	1
1.1.1 检测技术的概念与作用	1
1.1.2 检测技术的基本组成	2
1.1.3 检测技术的发展趋势	3
1.2 测量方法及其分类	3
1.2.1 概述	3
1.2.2 直接测量、间接测量和组合测量	4
1.2.3 偏差式测量法、零位式测量法和微差式测量法	5
1.3 测量系统	6
1.3.1 测量系统构成	6
1.3.2 开环测量系统和闭环测量系统	7
1.4 测量误差	8
1.4.1 测量误差的表示方法	8
1.4.2 测量误差的性质	10
1.5 传感器的组成、分类和性能指标	11
1.5.1 传感器的组成	11
1.5.2 传感器的分类	12
1.5.3 传感器的静态特性	13
本章小结	15
思考题和习题	16
第 2 章 应变式传感器	17
2.1 工作原理	17
2.2 应变片的种类、材料及粘贴	19
2.2.1 金属电阻应变片的种类	19
2.2.2 金属电阻应变片的材料	21
2.2.3 金属电阻应变片的粘贴	21
2.2.4 应变片的温度误差及补偿	22
2.3 电阻应变片的测量电路	24
2.3.1 直流电桥	24
2.3.2 交流电桥	27
2.4 应变式传感器的应用	29
2.4.1 柱(筒)式力传感器	29

2.4.2 应变式压力传感器	30
2.4.3 应变式容器内液体重量传感器	30
2.4.4 应变式加速度传感器	31
2.4.5 半导体力敏应变片在电子皮带秤上的应用	32
本章小结	33
思考题和习题	33
第3章 电容式传感器	35
3.1 电容式传感器的工作原理和结构	35
3.1.1 变极距型电容传感器	36
3.1.2 变面积型电容式传感器	37
3.1.3 变介质型电容式传感器	37
3.2 电容式传感器的测量电路	39
3.2.1 调频电路	39
3.2.2 运算放大器式电路	40
3.2.3 二极管双T形交流电桥	40
3.2.4 环形二极管充放电法	41
3.2.5 脉冲宽度调制电路	42
3.3 电容式传感器的应用	44
3.3.1 电容式加速度传感器	44
3.3.2 电容式压力传感器	44
3.3.3 差动式电容测厚传感器	45
本章小结	45
思考题和习题	46
第4章 电感式传感器	48
4.1 变磁阻式传感器	48
4.1.1 工作原理	48
4.1.2 测量电路	50
4.1.3 变磁阻式传感器的应用	51
4.2 差动变压器式传感器	52
4.2.1 差动变压器式传感器的工作原理	52
4.2.2 差动变压器式传感器的测量电路	53
4.2.3 差动变压器式传感器的应用	54
4.3 电涡流式传感器	54
4.3.1 电涡流式传感器的工作原理	54
4.3.2 电涡流式传感器的结构	55
4.3.3 电涡流式传感器的测量电路	56
4.3.4 电涡流式传感器的应用	57
本章小结	58
思考题和习题	59

第 5 章 压电式传感器	62
5.1 压电效应和压电材料	62
5.1.1 正、逆压电效应	62
5.1.2 石英晶体	63
5.1.3 压电陶瓷(多晶体)	64
5.2 压电式传感器及测量电路	64
5.2.1 压电式传感器	64
5.2.2 测量电路	65
5.3 压电式传感器的应用	66
5.3.1 压电式测力传感器	66
5.3.2 压电式加速度传感器	67
5.3.3 压电式金属加工切削力测量	67
5.3.4 构成报警器电路	68
本章小结	68
思考题和习题	69
第 6 章 磁电式传感器	71
6.1 磁电感应式传感器	71
6.1.1 工作原理	71
6.1.2 测量电路	72
6.1.3 应用举例	73
6.2 霍尔式传感器	74
6.2.1 霍尔效应及霍尔元件	74
6.2.2 霍尔元件的应用	76
本章小结	78
思考题和习题	78
第 7 章 光电式传感器	80
7.1 光电器件	80
7.1.1 外光电效应	80
7.1.2 内光电效应及相应的器件	82
7.1.3 光电耦合器件	87
7.1.4 光电传感器的应用	88
7.2 光纤传感器	91
7.2.1 光纤结构及传光原理	91
7.2.2 光纤的基本特性	93
7.2.3 光纤传感器	94
本章小结	97
思考题和习题	97
第 8 章 超声波传感器	101
8.1 超声波及其物理性质	101

8.1.1 超声波的波型及其传播速度	101
8.1.2 超声波的反射和折射	102
8.2 超声波传感器的原理	103
8.3 超声波传感器应用	105
8.3.1 超声波物位传感器	105
8.3.2 超声波流量传感器	106
8.3.3 超声波自控淋浴开关电路	107
本章小结	108
思考题和习题	108
第9章 半导体传感器	109
9.1 气敏传感器	109
9.1.1 概述	109
9.1.2 半导体气敏传感器的机理	110
9.1.3 半导体气敏传感器类型及结构	110
9.1.4 气敏传感器应用	112
9.2 湿敏传感器	115
9.2.1 氯化锂湿敏电阻	115
9.2.2 半导体陶瓷湿敏电阻	116
9.2.3 湿敏传感器的应用	118
本章小结	121
思考题和习题	122
第10章 辐射式传感器	124
10.1 红外线传感器	124
10.1.1 红外辐射	124
10.1.2 红外探测器	125
10.1.3 红外传感器的应用	126
10.2 核辐射传感器	134
10.2.1 核辐射及其性质	135
10.2.2 核辐射探测器	136
10.2.3 核辐射传感器的应用	139
本章小结	142
思考题和习题	142
第11章 其他类型传感器	143
11.1 微波传感器	143
11.1.1 概述	143
11.1.2 微波传感器的原理与分类	143
11.1.3 微波传感器的组成	144
11.1.4 微波传感器的应用	145
11.2 热电式传感器	147

11.2.1 热电偶	148
11.2.2 热电阻传感器	155
11.2.3 热敏电阻	157
11.2.4 PN 结和集成温度传感器	161
11.3 数字式传感器	162
11.3.1 光栅传感器	162
11.3.2 编码器	166
11.3.3 感应同步器	168
11.4 智能传感器	170
11.4.1 智能传感器的概述	170
11.4.2 智能传感器的分类	171
11.4.3 智能传感器的功能	173
11.4.4 智能传感器的特点	173
11.4.5 智能传感器的应用	173
本章小结	174
思考题和习题	175
第 12 章 信号的放大与调理电路	177
12.1 信号的放大电路	177
12.1.1 电桥与电桥放大器	177
12.1.2 高输入阻抗放大器	178
12.1.3 电荷放大器	180
12.1.4 低漂移直流放大器	181
12.2 信号处理电路	182
12.2.1 绝对值检测电路	182
12.2.2 峰值保持电路	184
12.2.3 真有效值检测电路	186
本章小结	189
思考题和习题	189
第 13 章 信号的转换	190
13.1 D/A 转换电路	190
13.1.1 DAC 的基本概念及原理	190
13.1.2 T 形电阻网络 DAC	191
13.1.3 倒 T 形电阻网络 DAC	192
13.1.4 DAC 的主要技术指标	193
13.1.5 集成 DAC 器件简介	193
13.2 A/D 转换电路	194
13.2.1 A/D 转换的一般步骤和取样定理	194
13.2.2 取样—保持电路	195
13.2.3 逐次逼近型 A/D 转换器	195

13.2.4 双积分型 ADC	197
13.2.5 ADC 的主要技术指标	199
13.2.6 集成 A/D 转换器及其应用	199
13.3 U/F 转换电路	201
本章小结	204
思考题和习题	205
第 14 章 典型检测系统简介	206
14.1 单片机自动测温系统	206
14.1.1 硬件设计	206
14.1.2 软件设计	208
14.2 超声波汽车测距告警装置	210
14.2.1 概述	210
14.2.2 工作原理分析	210
14.2.3 软件设计	211
附录 A 常用传感器的性能及选择	213
附录 B 中华人民共和国法定计量单位	215
附录 C 本书涉及的部分计量单位	218
附录 D 工业热电阻分度表	221
附录 E 工业热电偶分度表	222
参考文献	224

第 1 章

检测与传感技术基础

1.1 检测技术基础

1.1.1 检测技术的概念与作用

检测技术是人们为了对被测对象所包含的信息进行定性了解和定量掌握所采取的一系列技术措施,它是产品检验和质量控制的重要手段。人们十分熟悉借助于检测工具对产品进行质量评价,这是检测技术最重要的应用领域。另外,随着新型检测技术的不断成熟和发展,它在大型设备安全经济运行和检测中得到了越来越广泛的应用。例如,电力、石油、化工、机械等行业的一些大型设备,通常都在高温、高压、高速和大功率状态下运行,保证这些关键设备的运行具有十分重要的意义。为此,通常设置故障检测系统对温度、压力、流量、转速、振动和噪声等多种参数进行长期动态检测,以便及时发现异常情况,加强故障预防,达到早期诊断的目的。这样做可以避免严重的突发事件,保证设备和人员的安全,提高经济效益。随着计算机技术的发展,这类检测系统已经发展成故障自诊断系统。可以采用计算机来处理检测信息,进行分析、判断,及时诊断出故障并自动报警或采取相应的对策。

检测技术也是自动化系统中不可缺少的组成部分。任何生产过程都可以看作是由物流和信息流组合而成的,反映物流的数量、状态和趋向的信息流则是管理和控制物流的依据。为了有目的地进行控制,首先必须通过检测获取有关信息,然后才能进行分析判断以便实现自动控制。因此,自动检测技术与转换是自动化技术中不可缺少的组成部分。

检测技术的发展和完善推动着现代科学技术的进步。人们在自然科学各个领域内从事的研究工作,一般是利用已知的规律对实验的结果进行概括、推理,从而对所研究的对象取得定量的概念,并发现它的规律性,然后上升到理论。因此,现代检测手段所达到的水平在很大程度上决定了科学研究的深度和广度。检测技术达到的水平越高,提供的信息越丰富、越可靠,科学研究取得突破性进展的可能性就越大。从另一方面看,现代化生产和科学技术的发展也不断地对检测技术提出新的要求和课题,成为促进检测技术向前发展的动力。科学技术的新发现和新成果不断应用于检测技术中,也有力地促进了检测技术自身的现代化。

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,发挥着越来越重要的作用。

1.1.2 检测技术的基本组成

一个完整的检测系统或装置通常是由传感器、测量电路和显示记录装置等几部分组成,分别完成信息获取、转换、显示和处理等功能。当然,其中还包括电源和传输通道等不可缺少的部分,图 1-1 所示为检测系统组成框图。

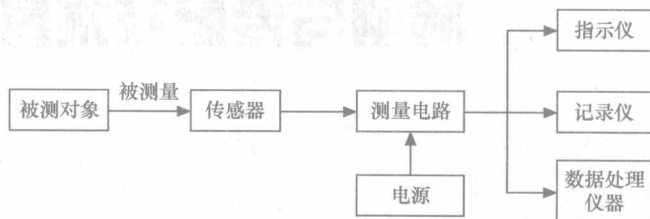


图 1-1 检测系统组成框图

1. 传感器

传感器是把被测量转换成电化学量的装置。显然,传感器是检测系统与被检测对象直接发生联系的部件,是检测系统最重要的环节。检测系统获取信息的质量往往是由传感器的性能决定的,因为检测系统的其他环节无法添加新的监测信息,并且不易消除传感器所引入的误差。检测技术中使用的传感器种类繁多,分类的方法也不同。从传感器应用的目的出发,可以按被测量的性质将传感器分为:机械量传感器,如位移传感器、力传感器、速度传感器、加速度传感器等;热工量传感器,如温度传感器、压力传感器、流量传感器等;化学量传感器;生物量传感器等。

从传感器研究的目的出发,着眼于变换过程的特征,可以将传感器按输入量的性质分为以下两种。

(1) 参量型传感器。它的输出量是电阻、电感、电容等无源电参量,相应的有电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器等。

(2) 发电型传感器。它的输出是电压或电流,相应的有热电偶传感器、光电传感器、磁电传感器、压电传感器等。

2. 测量电路

测量电路的作用是将传感器的输出信号转换成易于传输的电压或电流信号。通常传感器输出信号微弱时,就需要由测量电路加以放大,以满足显示记录装置的要求。根据需要测量电路还能进行阻抗匹配、微分、积分、线性化补偿等信号处理工作。

3. 显示记录装置

显示记录装置是检测人员和监测系统联系的主要环节,其主要作用是使人们了解被测量的大小或变化的过程。常用的有模拟显示、数字显示和图像显示 3 种。

模拟显示是利用指针对标尺的相对位置来表示被测量的大小,如各种指针式电器测量仪表。其特点是读数方便、直观、结构简单,价格低廉,在检测系统中一直被大量应用。但这

种显示方式的精度受标尺最小刻度限制,而且读数时易引入主观误差。

数字显示则直接以十进制数字形式来显示读数,实际上是专用的数字电压表,它可以附加打印机,打印记录测量数值;并且易于和计算机连机,使数据处理更加方便。

图像显示,如果被测量处于动态变化之中,用显示仪表读数就十分困难,这时可以将输出信号送至记录仪,从而描绘出被测量随时间变化的曲线,作为检测结果,供分析使用。常用的自动记录仪器有笔式记录仪、光线示波器、磁带记录仪等。

1.1.3 检测技术的发展趋势

科学技术的迅猛发展,为检测技术的现代化创造了条件,主要表现在以下两个方面。

(1) 人们研究新原理、新材料和新工艺所取得的成果,将产生更多品质优良的新型传感器,如光纤传感器、液晶传感器、以高分子有机材料为敏感元件的压敏传感器、微生物传感器等。

另外,代替视觉、嗅觉、味觉和听觉的各种仿生传感器和检测超高温、超高压、超低温和超高真空等极端参数的新型传感器将是今后传感器技术研究和发展的方向。新型传感器技术除了采用新原理、新材料和新工艺之外,还向着高精度、小型化和集成化的方向发展。传感器集成化的一个方向是具有同样功能的传感器集成化,从而使对一个点的测量变成对一个平面和空间的测量;而另外一个方向是不同功能的传感器集成化,从而使一个传感器可以同时测量不同种类的多个参数,如测量血液中各种成分的多功能传感器;除了传感器自身的集成化之外,还可以把传感器和后续电路集成化。传感器和集成电路的集成化可以减少干扰,提高灵敏度,方便使用。如果将传感器和数据处理电路集成在一起,则可以方便地实现实时数据处理。

(2) 检测系统或检测装置目前正迅速地由模拟式、数字式向智能化方向发展。带有微处理器的各种智能化仪表已经出现,这类仪表选用微处理器作控制单元,利用计算机可编程的特点,使仪表内的各个环节自动地协调工作,并且具有数据处理和故障诊断功能,成为新一代崭新仪表,把检测技术自动化推进到一个新的水平。

1.2 测量方法及其分类

1.2.1 概述

测量是在有关理论的指导下,用专门的仪器或设备,通过实验和必要的数据处理,求得被测量的值。在工业生产中,测量的目的是为了在限定的时间内,尽可能准确地收集被测对象的未知信息,以便于掌握被测对象的参数,进而控制生产过程,例如,在电厂中对锅炉水位的检测,钢厂中对热风炉风温的检测等。

测量方法的正确与否十分重要,它直接关系到测量工作是否能正常运行,能否符合规定的技术要求。因此必须根据不同测量任务的要求,找出切实可行的测量方法,然后根据测量方法选择合适的测量工具,组成测量装置,进行实际测量。如果测量方法不合理,即使有高级精密的测量仪器和设备,也不能得到理想的测量结果。

测量方法的分类多种多样,例如,根据在测量过程中,被测量是否随时间变化,可分为静态测量和动态测量;根据测量手段分类,可分为直接测量、间接测量和组合测量;按测量方式分类,可分为偏差式测量、零位式测量和微差式测量等。除了上述分类外,还有另外一些分类方法,例如:按测量敏感元件是否与被测介质接触,可分为接触式测量和非接触式测量;按测量系统是否向被测对象施加能量,可分为主动式测量和被动式测量;按测量性质可分为时域测量、频率测量、数据测量和随机测量等。

1.2.2 直接测量、间接测量和组合测量

1. 直接测量

用按已知标准标定好的测量仪器,对某一未知量直接进行测量,得出未知量的值,这类测量称为直接测量。例如,用弹簧压力表测压力,用磁电式电表测量电压或电流等。

直接测量并不意味着就是用直读式仪表进行测量,许多比较式仪器如电桥、电位差计等,虽然不一定能直接从仪器度盘上获得被测量的值,但因参与测量的对象就是被测量本身,所以仍属于直接测量。

直接测量的优点是测量过程简单且迅速,是工程技术中采用较为广泛的测量方法。

2. 间接测量

对几个被测量有确切函数关系的物体物理量进行直接测量,然后通过已知函数关系的公式、曲线或表格,求出该未知量,这类测量称为间接测量。例如,在直流电路中测出负载的电流 I 和电压 U ,根据功率 $P = IU$ 的函数关系,便可求得负载消耗的电功率。

间接测量方法手段较麻烦,花费时间也较多,一般在直接测量很不方便、误差较大及缺乏直接测量的仪器等情况下采用。这类方法多用在实验室,工程中有时也用。

3. 组合测量

在测量中,使各个未知量以不同的组合形式出现(或改变测量条件来获得这种不同的组合),根据直接测量和间接测量所得到的数据,通过解一组联立方程而求出未知量的数值,这类测量称为组合测量,又称联立测量。组合测量中,未知量与被测量存在已知的函数关系(表现为方程组)。

例如,为了测量电阻的温度系数,可利用电阻值与温度间的关系公式,即

$$R_t = R_{20} + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2 \quad (1-1)$$

式中: α 、 β ——电阻温度系数;

R_{20} ——电阻在 20°C 时阻值;

t ——测试时的温度。

为了测出电阻的 α 与 β 值,采用改变测试温度的方法,在 3 种温度 t_1 , t_2 及 t_3 下,分别测出对应的电阻值 R_{t1} , R_{t2} 及 R_{t3} ,代入上述公式,得到一组联立方程,解此方程后便可求得 α 、 β 和 R_{20} 。

组合测量的测量过程比较复杂,费时较多,但易达到较高的精度,因此被认为是一种特殊的精密测量方法,一般适用于科学实验和特殊场合。

1.2.3 偏差式测量法、零位式测量法和微差式测量法

1. 偏差式测量法

在测量过程中,用仪表指针相对于刻度线的位移(偏差)来直接表示被测量,这种方法称为偏差式测量法。它的测量过程比较简单、迅速,但测量精确度较低,被广泛应用于工程测量。

如图 1-2 所示的压力表就是偏差式测量仪表。由于被测介质压力作用使弹簧变形,产生一个弹簧反作用力,当被测介质压力产生的作用力与弹簧变形反作用力相平衡时,活塞达到平衡,这时指针偏移在标尺所对应的刻度值,就表示被测介质压力值。显然压力表的指示精度取决于弹簧质量及刻度校准情况,由于弹簧变形力不是力的标准量,必须用标准重量校准弹簧,因此这类仪表的精确度不高于 0.5%。

2. 零位式测量法

零位式测量法(又称补偿式或平衡式测量法)是在测量过程中,用指零仪表的零位指示来检测测量系统是否处于平衡状态,当测量系统达到平衡时,用已知的基准量决定被测未知量的量值。例如用电位差计测量待测电势。

图 1-3 所示为直流电位差计简化等效电路。测量前先将被测电路断开,在电势 E 的作用下,调节电位器(RP_1),校准回路的工作电流 I ,从而在电位器上可得某一基准电压 U_k 。测量时调节电位器的活动触点,使检流计 G (作为零示器)回零($I_g = 0$),则 $U_k = U_x$,这样,基准电压 U_k 的值就表示被测未知电压值 U_x 。

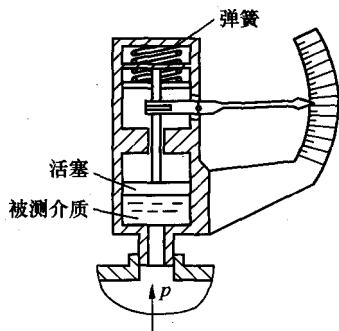


图 1-2 压力表

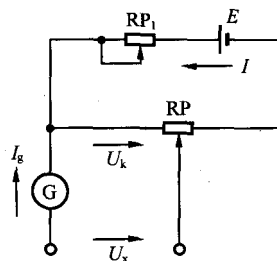


图 1-3 直流电位差计原理电路图

只要零示器的灵敏度足够高,零位式测量法可以获得较高的灵敏度,因为它主要取决于标准量的精度。但此法在测量过程中要进行平衡操作,费时较多,所以不适宜于测量变化迅速的信号,只适用于测量变化缓慢的信号。它在工程实践和实验室中应用很普遍。

3. 微差式测量法

微差式测量法是综合了偏差式测量法和零位式测量法的优点而提出的一种测量方法,它将被测未知量与已知的标准量进行比较,并取出差值,然后用偏差式测量法求出此偏差值。

设 N 为标准量, x 为被测量,另 Δ 为两者之差, $\Delta = x - N$, 经移项后得 $x = N + \Delta$, 即被测