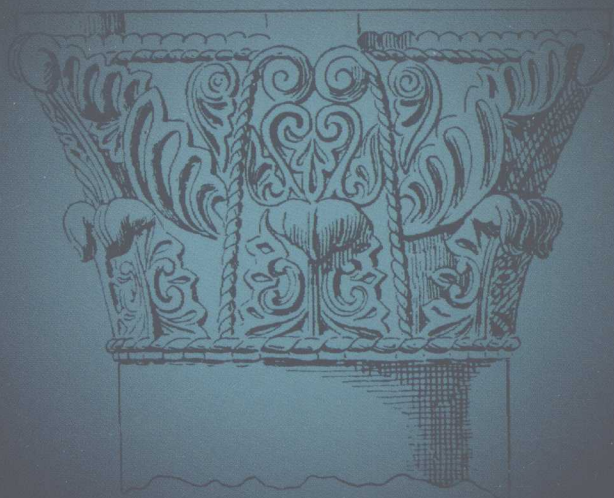


21世纪高等职业教育电气信息类规划教材

自动检测技术

Zidong Jiance Jishu

- 刘杰 主编
- 张华龙 杨莉荣 副主编
- 王兆义 主审



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21 世纪高等职业教育电气信息类规划教材

自动检测技术

刘 杰 主编

张华龙 杨莉荣 副主编

王兆义 主审

人民邮电出版社

样 书

专 用 章

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

自动检测技术 / 刘杰主编. —北京: 人民邮电出版社,
2009. 9
(21世纪高等职业教育电气信息类规划教材)
ISBN 978-7-115-20816-3

I. 自… II. 刘… III. 自动检测—高等学校: 技术学校—
教材 IV. TP274

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第062424号

内 容 提 要

本书以温度、压力及力、物位、厚度、位移、光电、气体成分及浓度/湿度等参数的检测为主线, 结合实物照片讲述了常用传感器的结构、基本工作原理及其在工业生产和生活中的自动检测应用实例, 同时对检测技术及传感器的基本知识、误差理论及抗干扰技术等知识也进行了介绍。全书共分为 8 章, 参考学时为 50 学时左右 (含实验), 每章后面均附有小结及思考与练习题。

本书可作为高等职业教育电气自动化、仪器仪表、电子技术、机电技术等专业的教材, 也可供其他专业学生和专业技术人员参考。

21 世纪高等职业教育电气信息类规划教材

自动检测技术

-
- ◆ 主 编 刘 杰
 - ◆ 副 主 编 张华龙 杨莉荣
 - 主 审 王兆义
 - 责任编辑 刘 朋
 - ◆ 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>
北京昌平百善印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13.75
字数: 329 千字
印数: 1—3 000 册
 - 2009 年 9 月第 1 版
2009 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-20816-3/TN

定价: 25.00 元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

前 言

当前,电气信息技术在国民经济中发挥着越来越重要的作用,已经成为衡量一个国家科技和工业发展水平的重要标志之一。伴随着产业规模的持续扩大,社会急需大批高技能型电气信息技术专业人才,而技术的快速发展又需要加快院校的学科建设和专业改革,以实现学校教育 with 上岗就业的无缝衔接。电气信息类专业已成为我国高等职业教育重点建设和发展的专业方向之一,很多高职工科院校都开设有此类专业。根据教育部高等职业教育教学改革精神,我们组织有关人员在深入系统地调查研究的基础上,充分结合教学实际需要,编写了这套“21 世纪高等职业教育电气信息类规划教材”。

这套教材在编写时紧密结合电气控制技术的实际应用和发展情况,坚持以“淡化理论,够用为度,培养技能,重在应用”为原则,注重学生对应用性知识的学习和能力的培养,力求使基础理论与工程实际紧密结合,突出针对性、实用性和先进性,达到“教师好教,学生好学”的目的。书中在讲解理论知识的同时还提供了大量的应用实例,并注意反映当前电气信息技术领域的新知识、新工艺和新方法。本书在叙述上由简到繁、深入浅出、主次分明、详略得当,并采用了大量的插图,尽可能体现高等职业教育教材的特色。参加教材编写工作的人员均为一线教师,其中一部分教师来自企业并做过大量的工程项目,其他的教师则长期指导高职高专学生的实验和实训,实践经验非常丰富。

随着科学技术的发展,传感器技术、通信技术和计算机技术构成了现代信息产业的三大支柱产业,分别充当信息系统的“感官”、“神经”和“大脑”,它们构成了一个完整的自动检测系统。以传感器为核心的检测系统源源不断地向人类提供各种信息,目前几乎渗透到所有的领域,成为人们认识自然和改造自然的有力工具。

本书从使用者的角度出发,立足基本理论,面向应用技术,以必需、够用为尺度,以掌握概念、强化应用为重点,着眼于提高学生的应用能力和解决实际问题的能力,力图使学生在学完本课程后能掌握传感器的基本知识和基本应用技能。本书结合大量实物照片介绍了传感器的结构和工作原理,并给出了许多传感器应用方面的实例,目的是融实际与理论于一体,保证了知识的先进性与前沿性,突出了高职高专教材的实用性。本书语言简洁、精炼,通俗易懂。

全书共分为 8 章,总学时为 50 学时左右(含实验)。第一章介绍检测技术及传感器的基础知识;第二章至第七章重点介绍的是检测常用参数的各种传感器的结构、工作原理及应用,如温度传感器、压力及力传感器、物位传感器、厚度传感器、位移传感器、光电传感器、超声波传感器、压电传感器、气敏传感器和湿敏传感器等;第八章介绍的是抗干扰技术。每章后面均附有小结和思考与练习题,书后附有部分实验内容,可供读者选用。

本书由廊坊职业技术学院刘杰担任主编,张华龙、杨莉荣担任副主编。绪论、第二章及附录由刘杰编写,第一章由广西机电职业技术学院刘义军编写,第三章由河北石油职业技术



学院杨莉荣编写，第四章由廊坊职业技术学院曹伟编写，第五章由邢台职业技术学院李丽荣编写，第六章和实验部分由廊坊职业技术学院张华龙编写，第七章由鹤壁职业技术学院李王辉编写，第八章由廊坊职业技术学院王磊编写。刘杰负责全书的统稿工作。廊坊职业技术学院的王兆义以高度负责的态度审阅了本书内容，提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

由于传感器技术发展较快，而且自动检测技术涉及的知识面非常广泛，加之作者的水平有限，在接触领域和理解上又有一定的局限性，所以，书中难免有遗漏和不妥之处，殷切希望广大读者批评指正。

编著者

目 录

绪论	1
一、检测技术与传感器	1
二、检测技术的应用	2
三、检测系统	3
四、本课程的学习要求与建议	4
本章小结	4
思考与练习题〇	5
第一章 检测技术的基础知识	6
第一节 测量方法	6
一、按照测量手段分类	7
二、按照测量方式分类	7
第二节 测量误差	8
一、误差的表示方法	8
二、误差的分类	10
第三节 测量装置——传感器	12
一、传感器的组成	12
二、传感器的分类与基本特性	13
三、弹性敏感元件的特性、材料及分类方法	15
四、变换力的敏感元件	16
五、变换压力的敏感元件	18
本章小结	21
思考与练习题一	23
第二章 温度检测	25
第一节 概述	25
一、温标	25
二、测温方法介绍	26
第二节 膨胀式温度计	27
一、玻璃液体温度计	27
二、固体膨胀式温度计——双金属温度计	28

三、压力式温度计	29
第三节 热电阻式传感器	30
一、热电阻	30
二、热敏电阻	33
第四节 热电偶传感器	37
一、测温原理	37
二、热电偶的种类和结构	40
三、热电偶的冷端温度补偿	43
四、热电偶的应用	45
第五节 其他温度传感器	46
一、集成温度传感器	46
二、辐射式温度传感器	48
三、光纤温度传感器	50
本章小结	52
思考与练习题二	53
第三章 压力及力的检测	56
第一节 概述	56
一、压力的单位及表述	56
二、压力/力检测的主要方法及仪表	57
第二节 电阻应变式传感器	59
一、应变片	59
二、测量电路	63
三、温度补偿	64
四、电阻应变式传感器的应用	66
第三节 电容传感器	69
一、电容器的构成	70
二、电容传感器的类型	70
三、差动电容传感器	72
四、测量电路	73
五、电容传感器的应用	76
第四节 压电传感器	79
一、压电效应	79
二、压电材料	81
三、压电片	82
四、测量电路	83
五、压电传感器的应用	83
第五节 霍尔传感器	86
一、霍尔效应	86

二、霍尔元件	87
三、集成霍尔元件	88
四、霍尔传感器的应用	89
本章小结	92
思考与练习题三	93
第四章 物位及厚度的检测	97
第一节 浮力式液位计	98
第二节 差压液位计	99
第三节 超声波传感器	100
一、超声波检测的基本原理	100
二、超声波换能器	101
三、超声波传感器的应用	103
第四节 核辐射传感器	108
一、核辐射基础	108
二、核辐射传感器的结构	109
三、核辐射传感器的应用	110
第五节 电涡流传感器	111
一、电涡流传感器的工作原理	111
二、电涡流传感器的结构	112
三、测量电路	112
四、电涡流传感器的应用	113
第六节 电容物位计	116
本章小结	118
思考与练习题四	119
第五章 位移检测	122
第一节 电感式传感器	122
一、自感传感器	123
二、差动变压器式传感器	127
三、电感式传感器的应用	129
第二节 电位器式传感器	133
一、电位器式传感器的类型与结构	133
二、电位器式传感器的工作原理	136
三、电位器式传感器的应用	137
第三节 数字式传感器	138
一、光电编码器	139
二、光栅传感器	142
三、感应同步器	146

本章小结	149
思考与练习题五	150
第六章 光电检测	153
第一节 光电效应	153
第二节 常见的光电元件	154
一、光电管与光电倍增管	154
二、光敏电阻	156
三、光敏二极管和光敏三极管	158
四、光电池	159
五、光电耦合器件	159
第三节 光电传感器的应用	162
本章小结	165
思考与练习题六	166
第七章 其他传感器	168
第一节 气敏电阻传感器	168
一、气敏电阻的工作原理	169
二、常见的气敏电阻	169
三、气敏电阻的应用	172
第二节 湿敏传感器	174
一、湿度的表示方法	175
二、常用的湿敏传感器	175
三、湿敏传感器的选用	179
四、湿敏传感器的应用	180
本章小结	181
思考与练习题七	182
第八章 自动检测的抗干扰技术	183
第一节 干扰的类型及来源	184
一、噪声、干扰与信噪比	184
二、常见的干扰类型	184
第二节 干扰信号的耦合	186
一、干扰的耦合方式	186
二、电子测量装置的两种干扰	187
第三节 干扰的抑制技术	188
一、常用的干扰抑制技术	189
二、供电系统的抗干扰设计	193
三、其他抗干扰技术	194

本章小结.....	194
思考与练习题八.....	195
附录一 DICE-CG1 传感器试验仪实验指导	196
实验一 温度传感器实验	196
实验二 电阻应变片性能实验	197
实验三 差动变压器的应用	199
实验四 电涡流传感器的应用	200
实验五 差动电容传感器的应用	202
实验六 霍尔传感器的应用	202
附录二 工业热电阻分度表.....	204
附录三 镍铬—镍硅热电偶分度表（冷端温度为 0℃）	206
附录四 常用传感器中英文对照	208
参考文献.....	209

绪 论

本章要点提示

本章主要介绍检测技术的重要性及应用场合、检测技术的概念和自动检测系统的组成等。

应知内容

- ① 检测技术的应用领域。
- ② 检测系统的组成。

应会内容

- ① 掌握检测技术的概念。
- ② 明白本课程的学习目标。

人类对客观世界的认识和改造总是以检测作为基础的。检测即检查和测量，是利用各种物理效应，选择合适的方法与装置，对生产、生活、科研等领域中的有关信息进行定性或定量的过程。人类在早期是通过感官接收外界的信息，人的大脑对感受到的信息进行分析、处理，以维持与指导人类的正常生活和生产活动。但是，感官感受的外界信息范围很窄。例如耳朵能听到频率在音频段的声音，但却听不到超低频段或超高频段的声音；眼睛能辨别出自然光或白光中的主要光波的颜色，但却无法辨别出红外光或紫外光；身体能感觉出温度的高低或压力的大小，但却不能给出定量的结果。所以，单靠人的感官的功能是远远不够的，需要借助于某种仪器设备，这种仪器设备就是传感器。传感器就是人类感官的延伸。借助传感器和检测手段，人类可以探测感官无法获取的信息。例如，用超声波探测海水深度，用红外遥感器从高空探测地球上的植被和污染情况，等等。

一、检测技术与传感器

自动检测技术是以研究自动检测系统中的信息提取、信息转换及信息处理的理论和技术为主要内容的一门应用技术学科。

广义地讲，检测技术是自动化技术的4个支柱之一，其任务为：寻找与自然信息具有对应关系的各种形式的信号，以及确定的定性、定量关系；从反映某一信息的多种信号中挑选出所处条件下最为合适的表现形式，以及寻求最佳的提取、转换、处理、传输、存储、显示的方法和相应的设备。

信息提取与信息转换——需采用传感器，其任务是从自然界诸多被测量（物理量、化学量、生物量与社会量等）中提取有用的信息，并对所提取的信息进行电量形式的幅值、功率等的转换，以驱动后续电路。

信息传输——在排除干扰的情况下经济地、准确无误地对信息进行远、近距离的传递。

信息处理——主要采用计算机进行处理，其任务是视输出环节的需要，对变换后的电信号进行数字运算（求均值、极值等）及模拟量/数字量变换等处理。

其中，传感器是实现自动检测和自动控制的首要环节。没有传感器对原始信息进行精确可靠的捕捉和转换，就没有现代化的自动检测和自动控制系统；没有传感器就没有现代科学技术的迅速发展。随着科学技术的发展，传感器技术、通信技术和计算机技术构成了现代信息产业的三大支柱，分别充当信息系统的“感官”、“神经”和“大脑”，它们构成了一个完整的自动检测系统。

二、检测技术的应用

检测技术的发展程度标志着一个国家的信息化水平和工业发展程度。目前，检测技术几乎已经渗透到所有的领域，上至茫茫太空，下至海底、井下，大到工业生产系统，小到家用电器、个人用品，我们都可以发现检测技术的具体应用。

1. 科技方面

科学技术的发展和突破往往是以检测技术的水平为基础，同时科学技术的发展又促进检测技术发展。俄国化学家门捷列夫指出“科学是从测量开始的”。广义地说，任何科学实验的结论都是对实验数据统计推断的结果，而数据的获得只有靠检测来完成。

2. 工业生产

检测技术是实现生产自动化的前提和基础，只有及时、准确地测出生产过程中的温度、压力、流量等参数，生产才能安全进行，产品质量才能得到保证。一座大型炼钢厂需要 2 万多个传感器和检测仪表，大型的石油化工厂需要 6000 多个传感器和检测仪表。

例如，化工、电力等行业中的锅炉是一种动力设备，其产品就是蒸汽。在生产蒸汽的过程中，关系到生产的安全性和产品质量的一个重要参数是锅炉汽包内的水位。水位过高，蒸汽中含有水滴，产品质量下降，也会冲击汽轮机的叶片，易造成生产事故；水位过低，锅炉容易被烧干，易发生爆炸。因此，在生产过程中应时刻检测锅炉水位并加以控制。

再如加工工件的机床，为了控制工件的加工质量，必须对机床的许多静态、动态参数（如工件的加工精度、刀具的切削速度、床身振动等）进行在线检测。

3. 交通领域

一辆现代化的汽车装备的传感器就有几十种，分别用以检测车速、方位、转矩、振动、油压、油量、温度等。美国研制成功的无人驾驶飞机和正在试验的无人驾驶汽车，则需用到更多的传感器。

一架飞机大概需要 3600 个传感器及其配套监测仪表。研究飞机的强度，就要在机身、机翼上贴上成百上千的电阻应变片，在试飞时要检测发动机的转速、转矩、温度、振动等参数。一架飞机上特征点的应力、温度、振动、管道内的压力和流量也需要同时监测。

道路路口的“电子眼”能准确地检测车辆闯红灯、越线、超速等违规行为。

4. 国防领域

在军事方面，可以这样说，现代战争是科技战争，是传感器战争。从 20 世纪初的探测地雷到现代的阻击导弹，从 20 世纪末的海湾战争到本世纪初的美伊之战，打的都是传感器技术战争。

5. 家用电器

电冰箱、空调器中都装有温度、湿度传感器，洗衣机上装有液位、振动及湿度传感器，电饭锅中装有热电传感器，抽油烟机中装有防煤气泄漏的气敏传感器和防火灾的烟雾传感器，一台复印机需要 20 多个传感器，收录机、录像机、VCD 机、电视机中也都装有很多传感器。

6. 医疗卫生

众多的检查项目和仪器都采用了传感器，如同位素扫描、B 超、磁振、脑电图、心电图、血压计等。还可以利用生物传感器对人体血液内的糖、尿含量进行检测，以便确诊病情。现在还有一种非常小的传感器，可以用注射器注入人体的血管内，用来检测血管壁的厚度、血压、血栓、动脉硬化情况以及心脏内部结构等。

7. 海洋工程

海洋占地球表面积的 70%，海洋是人类 21 世纪重点开发的新的生存空间，是蕴藏巨大自然资源的宝库，是未来高新技术条件下局部战争的主要战场。要开发、利用海洋，必须首先认识海洋。对海底重力场、磁场强度、地形地貌、地质断层、矿藏种类及含量的检测，对海洋水文信息、气象信息、化学成分以及对潮汐、潮流的检测都要用到传感器。特别是 5000m 以下的深海那里有许多值得开采的矿藏，如锰结核等探测主要依赖于各种传感器。此外，近海的石油钻探和开采也需要传感器。

此外，在考古方面用传感器探测古迹遗址，检测、鉴定文物制造年代、化石形成时间等。人们还制造出了电子鼻、电子复眼等仿生传感器。至于智能机器，若要模仿人的视觉、听觉、嗅觉、触觉和味觉，则要用到多种传感器，这里不再一一详述。

在实际工业生产中，检测技术的内容极为广泛，见表 0-1。

表 0-1

检测技术涉及的内容

被测量类型	被 测 量	被测量类型	被 测 量
热工量	温度、压力（压强）、压差、真空度、流量、流速、物位、液位、界面等	物体的性质和成分量	气体、液体、固体的化学成分、浓度、黏度、湿度、浊度、透明度、颜色等
机械量	直线位移、角位移、速度、加速度、转速、应力、应变、力矩、振动、噪声、质量（重量）等	状态量	工作机械的运动状态（启停等）、生产设备的异常状态（超温、过载、泄漏、变形、磨损、堵塞、断裂等）
几何量	长度、厚度、角度、直径、间距、形状、平行度、同轴度、粗糙度、硬度、材料缺陷等	电工量（电量）	电压、电流、功率、电阻、阻抗、频率、脉宽、相位、波形、频谱、磁场强度、电场强度、材料的磁性能等

由于需检测的参数中大多数是非电量，而一般的电工仪表和电子仪器只能测量电量，故非电量需要转化成与其有一定关系的电量，再进行测量，实现这种转换的器件就是传感器。采用传感器的非电量电测法是目前应用最广泛的检测技术，所以本书只向读者介绍基本非电量的检测技术。

三、检测系统

目前，非电量的检测多采用电测法，即首先将各种非电量转换为电量，然后经过一系列的处理，最后以适当的形式输出，如图 0-1 所示。

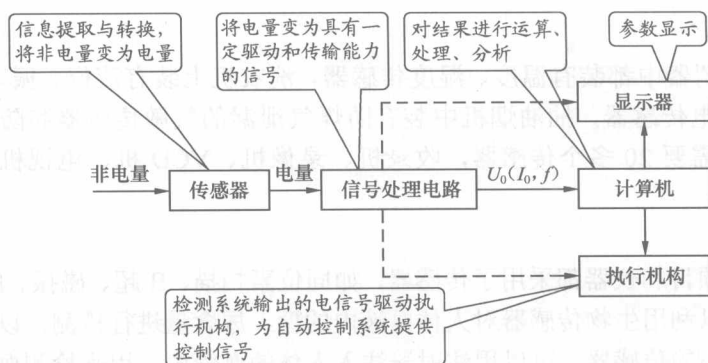


图 0-1 检测系统原理框图

传感器是检测系统中的首要部件，是连接被测对象和检测系统的接口，其性能的好坏直接影响着系统的性能。数据处理装置为微处理器、单片机、微机，处理的结果通常送到显示器和执行机构中去，以显示处理的各种数据及控制各种被控对象。而在不带数据处理装置的检测系统中，显示器和执行机构由信号处理电路直接驱动，如图 0-1 中的虚线所示。

四、本课程的学习要求与建议

与本课程有关的基础课程有数学、物理学、电工技术、电子技术等，因为传感器的原理主要是基于各种物理现象和物理效应，而各种测量电路又是以电工和电子技术为基础的。

通过本课程的学习应达到以下几点要求。

- ① 识记检测技术的基本概念、误差和传感器基础知识。
- ② 理解常用传感器的工作原理和结构。
- ③ 掌握传感器的应用，能分析、设计简单的检测系统。
- ④ 能够根据要求正确选择、使用、安装和调试传感器。
- ⑤ 能够处理常见故障。
- ⑥ 了解抗干扰技术。

学习本课程时可参考以下建议。

- ① 各种传感器运用的物理原理不同，希望加强课后复习。
- ② 着重理解常用传感器的工作原理和结构，学会应用传感器。
- ③ 重视传感器名称中包含的信息以及各种物理效应的材料、条件和现象。
- ④ 能够根据要求正确选择、使用、安装和调试传感器。
- ⑤ 查阅相关参考书、资料和网络资源，多了解传感器前沿知识，拓展知识面。

本章小结

在进入信息时代的今天，以传感器为核心的检测技术源源不断地向人类提供各种各样的信息，成为人们认识自然和改造自然的有力工具，并已广泛应用于生产和生活的各个领域。

本章主要介绍了检测技术的概念及其与传感器的关系、检测技术的应用领域、检测系统的组成和本课程的学习要点及建议。通过学习,读者应熟悉检测技术的重要性、应用领域和概念,了解检测系统的有关知识。

第一章 绪论

思考与练习题

示测系基章本

1. 举例说明传感器在工程中的应用。
2. 结合目录分析本书的主要内容。

一、填空题

1. 检测技术是指对被测对象的物理量、化学量、生物量、信息量等进行测量、分析和处理的技术。

二、选择题

1. 检测技术是工程技术的()。A. 基础 B. 核心 C. 关键 D. 支撑

2. 检测技术是工程技术的()。A. 基础 B. 核心 C. 关键 D. 支撑

第二章 检测技术

检测技术是工程技术的核心,是工程技术人员必须掌握的基本技能。本章主要介绍了检测技术的基本概念、检测系统的组成、检测技术的应用领域、检测系统的组成和本课程的学习要点及建议。通过学习,读者应熟悉检测技术的重要性、应用领域和概念,了解检测系统的有关知识。

第一章 检测技术的基础知识

本章要点提示

本章主要介绍检测技术的基础知识,包括测量方法的分类、误差理论和传感器的基础知识(组成、分类、基本特性指标及弹性敏感元件),为学习后面的任何一种传感器打下基础。

应知内容

- ① 各种测量方法的区别及选用。
- ② 传感器的基本特性指标。

应会内容

- ① 测量方法的两种分类方法。
- ② 误差公式的运用及分类。
- ③ 传感器组成。
- ④ 常用弹性敏感元件及其作用。

测量是人们借助专门的技术和设备,通过实验的方法将被测量与同性质的标准量进行比较,从而确定被测量是标准量的多少倍,并用数字表示这个倍数的过程。测量结果可以是一定的数据、一条曲线或某种图形,应包括数值和单位。

测量过程应具有三要素:一是测量单位;二是测量方法,即被测量与标准量比较的实验方法;三是测量仪器或设备,即为了求取倍数而实际使用的一些仪器设备。

第一节 测量方法

一个参数的测量可以通过不同的方法来实现。测量方法的选择正确与否,直接关系到测量结果的可信赖程度,也关系到测量工作的经济性和可行性。若测量方法不当或采用错误的测量方法,除了得不到正确的测量结果外,甚至还会损坏仪器和被测设备。只有根据不同的被测对象、测量要求和测量条件,选择正确的测量方法和合适的测量仪器,构成实际测量系统,进行细心的操作,才能得到理想的测量结果。测量方法的分类形式多种多样,下面介绍几种常见的分类方式。

一、按照测量手段分类

1. 直接测量

直接由仪表的读数得到测量结果称为直接测量，例如用温度计测量温度、用电压表测量电压等。直接测量是工程上广泛采用的方法，其优点是直观、简便、快捷，缺点是不易达到很高的精度。

2. 间接测量

仪表的读数不是测量结果，根据仪表的读数经过计算得到测量结果的方法称为间接测量。例如导线电阻率的测量，由于 $\rho = \pi R d^2 / (4l)$ （其中 R 、 d 、 l 分别为导线的电阻值、直径和长度），只有先采用万用表、千分尺和刻度尺经过直接测量得到 R 、 d 、 l 的数值后，再代入上述公式计算，才能得到 ρ 值。间接测量步骤多，花费的时间长，有时可以得到较高的测量精度。当被测量不便于直接测量或没有相应直接测量的仪表时才采用间接测量方法。

3. 联立测量

被测量必须经过求解联立方程组才能得到测量结果的方法称为联立测量。联立测量多用于精密测量及科学实验中。

二、按照测量方式分类

1. 偏差式测量

直接以仪表指针相对于刻度起始点的位移（即偏差）的大小来表示被测量的测量方法称为偏差式测量。例如，用磁电式电压表测量电压，用弹簧秤测量物体质量等。

偏差式测量法简单、迅速，但精度不高，这种测量方法广泛应用于工程测量中。偏差式指示仪表如图 1-1（a）所示。

2. 零位式测量

用指零仪表的“0”位来表示测量系统的平衡状态，从而判定被测量数值等于已知标准量的方法称为零位式测量。例如用天平测量物体质量，用电位差计测量未知电压。

零位式测量法的特点是精度高，但平衡过程复杂，多适用于缓慢变化信号的测量。零位式指示仪表如图 1-1（b）所示。

3. 微差式测量

这是综合了偏差式测量法和零位式测量法的优点而提出的测量方法。这种测量方法的过程为：欲测被测量，先找一个和它很接近的已知标准量并与之相减，差值通常很小（称为微差）；只需测出此微差，就可以由标准量求得被测量数值。

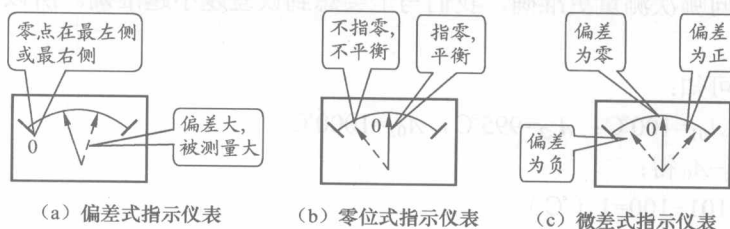


图 1-1 3 种测量方法的指示仪表