



中等职业学校电子信息类教材 **电气运行与控制专业**

自动检测与 转换技术

姚毅军 主编
程周 主审

74
4



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

中等职业学校电子信息类教材(电气运行与控制专业)

自动检测与转换技术

姚毅军 主编

程周 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书依据教育部最新颁布的“电气运行与控制专业教学指导方案”编写而成。全书从应用的角度,详实地介绍了自动检测与转换技术的内容。它包括:检测技术的基本概念、应变传感器、热电阻传感器、气敏湿敏电阻传感器、自感传感器、差动变压器传感器、电涡流传感器、电容式传感器、压电传感器、超声波传感器、霍尔传感器、热电偶传感器、光电式传感器以及自动检测与转换技术中的抗干扰技术和自动检测与转换技术的综合应用等内容。为了加强对学生动手能力的培养,本教材还编排了有关电容、电感、金属箔式电阻应变片传感器的三个特性实验。在重点分析基本技术与应用问题的基础上,注重对学生分析问题和解决问题能力的培养,强调基本原理以“必需”、“够用”为尺度,强化基本技能的培养和训练,使读者通过阅读本教材后,能够掌握基本分析方法,学会基本技能。

本书可供中等职业教育电气运行与控制专业、机电技术应用专业、电子技术应用专业、仪表类专业及相关专业使用,同时对于工程技术人员来说也是一本很好的自学教材和参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

自动检测与转换技术/姚毅军主编. —北京:电子工业出版社,2003.6

中等职业学校电子信息类教材·电气运行与控制专业

ISBN 7-5053-8223-3

I. 自… II. 姚… III. ①自动检测—专业学校—教材 ②转换器—专业学校—教材 IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 040714 号

责任编辑:陈晓明

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phci.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1 092 1/16 印张:11 字数:282 千字

版 次:2003 年 6 月第 1 版 2003 年 6 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:15.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077

前 言

为了配合“电气运行与控制教材编审委员会”专业教材改革和专业建设的需要，由电子工业出版社组织编写了该专业系列教材，本书为该系列教材之一。本教材充分考虑到电气运行与控制对自动检测与转换技术的要求，力求突出针对性、实用性和先进性。在教材编写方法上由简到繁，深入浅出，主次分明，详略得当，并充分体现系列教材的特色，与该专业其他9本专业教材从内容、形式到结构，都能够有机地结合在一起。

本书从应用的角度，详实地介绍了自动检测与转换技术的内容。它包括：检测技术的基本概念、应变传感器、热电阻传感器、气敏湿敏电阻传感器、自感传感器、差动变压器传感器、电涡流传感器、电容式传感器、压电传感器、超声波传感器、霍尔传感器、热电偶传感器、光电式传感器，以及自动检测与转换技术中的抗干扰技术和自动检测与转换技术的综合应用等内容。为了加强对学生的动手能力的培养，本教材还编排了有关电容、电感、金属箔式电阻应变片传感器的三个特性实验。在重点分析基本技术与应用问题的基础上，注重对学生分析问题和解决问题能力的培养，强调基本原理以“必需”、“够用”为尺度，强化基本技能的培养和训练，使读者通过阅读本教材能够掌握基本分析方法，学会基本技能。

本书可供中等职业教育电气运行与控制专业、机电技术应用专业、电子技术应用专业、仪表类专业及相关专业使用，同时对于工程技术人员来说也是一本很好的自学教材和参考书。

在本书编写之前，电子工业出版社在杭州召开了编写大纲研讨会，会上“电气运行与控制专业教材编审委员会”的各位专家对该书及该系列教材的深度、广度及相互衔接等问题进行了详细的讨论，并形成如下共识：

1. 为了适应中等职业教育的要求，针对中职电类以及和电类联系较密切专业的需要，对教材内容重新定位，拓宽知识面，增加实践性内容。

2. 以《中华人民共和国职业技能鉴定规范》中的中、高级维修电工鉴定内容为依据，坚持“考什么，教什么”的原则，内容覆盖工种《规范》范围，是对《规范》的细化。

3. 依照中、高级维修电工（相对更注重中级维修电工）所必须的知识要求、技能要求和工作实例，在保持知识连贯性的基础上，着眼于技能操作，力求浓缩精炼，突出针对性、典型性和应用性。

4. 按照教育部颁布的“电气运行与控制专业教学指导方案”内容，使教材更加规范，更加符合当前中等职业教育的要求。

本书由北京二轻工业学校姚毅军老师任主编，并编写了绪论及第1、2章；长春市职业技术学院裴蓓老师编写了第4、5、6、7、8章；上海新桥职业技术学院余宙老师编写了第9、10、11、12、13章；广州市轻工业学校栾承萍老师编写了第3、16章；广州市轻工业学校蔡继锋老师编写了第14、15章。全书由姚毅军统稿。

本书由安徽省轻工业学校程周老师任主审，主审以严谨的科学态度和高度负责的精神认真阅读书稿，提出了许多修改意见。在“电气运行与控制专业”系列教材编写大纲研讨会上，程

周、张涛、姚锡禄、饶庆和、吴国经、荣俊昌对本书编写提出大量建设性意见，在此一并向他们表示衷心的感谢。

因编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，恳请使用本书的广大读者批评指正。

编者
2003年3月

目 录

绪论	(1)
第 1 章 检测技术的基本概念	(5)
1.1 测量的概念和方法分类	(5)
1.1.1 测量的基本概念	(5)
1.1.2 测量方法分类	(5)
1.2 误差的概念与处理方法	(7)
1.2.1 系统误差、随机误差和疏失误差	(7)
1.2.2 基本误差和附加误差	(8)
1.2.3 静态误差和动态误差	(9)
1.2.4 误差的消除与处理方法	(9)
1.3 绝对误差、相对误差和精度的计算	(10)
1.3.1 绝对误差	(10)
1.3.2 相对误差	(10)
1.3.3 仪表的准确度	(11)
1.4 传感器的分类组成及特性	(12)
1.4.1 传感器的作用	(12)
1.4.2 传感器的分类	(13)
1.4.3 传感器的组成	(14)
1.4.4 传感器的基本特性	(14)
本章小结	(16)
思考题与习题	(17)
第 2 章 应变传感器	(18)
2.1 应变的基本概念及电阻应变片	(18)
2.1.1 应变效应与电阻应变片原理	(18)
2.1.2 应变片的分类及特点	(19)
2.1.3 应变片的粘贴方法	(20)
2.1.4 应变片的测量误差来源及抑制	(21)
2.2 转换力的弹性敏感元件	(22)
2.2.1 变换力的弹性敏感元件	(22)
2.2.2 变换压力的弹性敏感元件	(25)
2.3 电桥测量电路	(26)
2.3.1 直流电桥电路	(27)
2.3.2 检测电桥的灵敏度	(27)
2.4 应变式传感器及应用	(28)

2.4.1	应变式加速度传感器	(28)
2.4.2	应变式荷重传感器	(29)
2.5	固态压阻式压力传感器原理及应用	(30)
2.5.1	压阻效应	(30)
2.5.2	固态压阻传感器测量电路及应用	(30)
	本章小结	(31)
	思考题与习题	(32)
第3章	热电阻传感器	(33)
3.1	热电阻	(33)
3.1.1	常用热电阻	(34)
3.1.2	热电阻的结构和类型	(36)
3.1.3	热电阻的测温电路	(37)
3.2	热敏电阻	(38)
3.2.1	热敏电阻的结构	(38)
3.2.2	热敏电阻的温度特性	(38)
3.3	热电阻传感器的应用	(39)
3.3.1	金属热电阻传感器的应用	(39)
3.3.2	半导体热敏电阻的应用	(41)
	本章小结	(43)
	思考题与习题	(43)
第4章	气敏、湿敏电阻传感器	(44)
4.1	气敏电阻传感器的原理与结构	(44)
4.1.1	气敏电阻的构成	(44)
4.1.2	气敏电阻的原理及特性	(45)
4.2	气敏电阻传感器的应用	(46)
4.2.1	气敏电阻传感器的电路组成	(46)
4.2.2	气敏电阻传感器的应用举例	(48)
4.3	湿敏电阻传感器的原理与结构	(48)
4.3.1	湿敏电阻的构成	(49)
4.3.2	湿敏电阻的原理及特性	(49)
4.4	湿敏电阻传感器的应用	(52)
4.4.1	电路组成	(52)
4.4.2	湿度传感器的应用	(52)
	本章小结	(53)
	思考题与习题	(54)
第5章	自感传感器	(55)
5.1	自感传感器原理与结构	(55)
5.1.1	自感传感器的基本概念	(55)
5.1.2	变隙型自感传感器	(55)
5.1.3	螺线型自感传感器	(57)

5.1.4	差动螺线管式电感传感器	(57)
5.2	自感传感器的测量电路	(58)
5.2.1	普通交流电桥	(58)
5.2.2	带相敏整流的交流电桥	(59)
5.3	自感传感器的应用	(61)
5.3.1	自感压力传感器	(61)
5.3.2	自感式测厚仪	(61)
	本章小结	(62)
	思考题与习题	(62)
第6章	差动变压器传感器	(64)
6.1	差动变压器传感器原理与结构	(64)
6.1.1	差动变压器的结构	(64)
6.1.2	差动变压器的工作原理	(64)
6.1.3	差动变压器的主要特性	(66)
6.2	差动变压器传感器测量电路	(66)
6.2.1	差动相敏检波电路	(66)
6.2.2	差动整流电路	(68)
6.3	差动变压器传感器的应用举例	(69)
6.3.1	振动和加速度的测量	(69)
6.3.2	差动变压器式微压变送器	(69)
	本章小结	(70)
	思考题与习题	(70)
第7章	电涡流传感器	(72)
7.1	电涡流传感器的原理与结构	(72)
7.1.1	电涡流的产生方式	(72)
7.1.2	电涡流传感器的基本原理	(73)
7.1.3	高频反射涡流传感器的结构形式	(74)
7.2	电涡流传感器转换电路简介	(75)
7.2.1	电桥测量电路	(75)
7.2.2	谐振测量电路	(75)
7.3	电涡流传感器的应用	(77)
	本章小结	(79)
	思考题与习题	(80)
第8章	电容式传感器	(81)
8.1	电容式传感器的原理与结构	(81)
8.1.1	电容式传感器的工作原理	(81)
8.1.2	电容式传感器的结构分类	(81)
8.2	电容式传感器转换电路	(84)
8.3	电容式传感器的应用	(87)
	本章小结	(89)

思考题与习题	(89)
第9章 压电式传感器	(91)
9.1 压电元件及压电式传感器	(91)
9.1.1 压电效应	(91)
9.1.2 压电材料及特点	(91)
9.1.3 压电式传感器的基本原理	(92)
9.1.4 压电式传感器的等效电路	(94)
9.2 压电式传感器的测量电路	(95)
9.3 压电式传感器应用举例	(96)
9.3.1 压电式力传感器	(96)
9.3.2 加速度测振传感器	(96)
本章小结	(98)
思考题与习题	(98)
第10章 超声波传感器	(100)
10.1 超声波传感器原理简介	(100)
10.2 超声波传感器的使用	(101)
10.3 超声波传感器应用举例	(103)
本章小结	(104)
思考题与习题	(105)
第11章 霍尔传感器	(106)
11.1 霍尔元件的工作原理及结构	(106)
11.1.1 霍尔效应	(106)
11.1.2 霍尔元件	(106)
11.1.3 霍尔元件工作原理及参数	(107)
11.1.3 霍尔元件的主要技术指标	(108)
11.2 霍尔传感器测量电路	(110)
11.3 霍尔传感器应用举例	(111)
11.4 霍尔式接近开关应用简介	(112)
本章小结	(115)
思考题与习题	(115)
第12章 热电偶传感器	(116)
12.1 热电偶的基本原理	(116)
12.1.1 热电效应	(116)
12.1.2 导体的接触电势、温差电势和热电势	(116)
12.2 热电偶结构	(118)
12.2.1 热电偶结构形式	(118)
12.2.2 热电偶的种类特点及选用方法	(119)
12.3 热电偶传感器的应用举例	(121)
12.4 使用热电偶冷端延长的方法及补偿导线的使用	(123)
本章小结	(124)

思考题与习题	(125)
第 13 章 光电式传感器	(126)
13.1 光电效应及光电元件	(126)
13.1.1 光电效应	(126)
13.1.2 光电元件及特性、参数	(127)
13.2 光电转换电路	(130)
本章小结	(133)
思考题与习题	(133)
第 14 章 自动检测与转换技术中的抗干扰技术	(135)
14.1 测试系统信号的传输与噪声	(135)
14.1.1 信号的传输	(135)
14.1.2 噪声源	(136)
14.1.3 信噪比	(137)
14.2 噪声的耦合途径	(137)
14.3 测试系统的抗干扰技术	(140)
14.3.1 屏蔽技术	(141)
14.3.2 接地技术	(142)
14.3.3 浮空技术	(144)
14.3.4 滤波器和脉冲电路中的噪声抑制	(144)
本章小结	(144)
思考题与习题	(145)
第 15 章 自动检测与转换技术的综合应用	(146)
15.1 智能化仪表	(146)
15.2 传感器在数控机床中的应用	(148)
15.3 工控机组成的检测系统	(150)
15.4 单片机组成的智能化检测系统	(152)
本章小结	(157)
思考题与习题	(157)
第 16 章 实验	(158)
实验一 金属箔式电阻应变片传感器特性实验	(158)
实验二 电感传感器特性实验	(161)
实验三 差动变面积式电容传感器特性实验	(163)
参考书目	(165)

绪 论

进入 21 世纪后，人类社会已从工业化社会步入信息化社会。对于每一种信息都有一个检测、转换、存储和加工的过程，检测与转换已经成为获取信息的重要组成部分。换句话说，信息社会的一切活动，无论是日常生活还是社会生产活动和科学实验，时时处处都离不开检测技术。

一、检测技术与传感器

检测是利用各种物理效应和被测量的物理性质，选择合适的方法与手段，将人类的生产、科研、生活等等活动中的有关信息，通过检验与测量的方法赋予定性或定量结果的过程。能够自动地完成这一处理过程的技术称为自动检测与转换技术。

检测技术是现代化生产领域中最有发展前景的技术之一，它在人类生产活动中起着极其重要的作用。

在现代生产过程中为了保证产品质量，提高生产效率，降低生产成本和能源消耗，一方面要对涉及生产的各种因素进行开发与研究以获得更为先进的工艺方案；另一方面为了使生产过程安全有序的进行，就必须对生产过程进行检验、测量、监督和控制。这一系列信息的获取过程都离不开检测技术。例如，在化工、电力、温室型农业等行业中，要随时对工艺流程和生产过程中的流量、温度、压力、液位、界面等物理量或参数进行自动检测。假如没有这些检测，生产过程将无法进行甚至发生危险。又如，在机械制造行业中，运用传感器对机床工件的加工精度、切削速度、刀具位移、床身振动等许多静态、动态参数进行检测，从而控制加工质量。再如汽车行业，一辆现代化的汽车装配有十几种各式各样的传感器，分别用来检测车速、转矩、方位、油压、油量、振动、温度、防盗报警等，没有运用这些检测技术进行检测的汽车档次将大大降低。

在国防工业里，飞机制造、导弹卫星的研制、新型战车的设计更是离不开检测技术。近年来随着人们生活水平的提高，智能型家用电器逐渐进入了人们的家庭。全自动洗衣机、电冰箱、空调、全自动豆浆机等家用电器都应用着各种各样的传感器做检测与控制。综上所述，现代人们的生产、生活已离不开检测技术。而传感器则是检测技术的核心部件。

什么是传感器？传感器是一个完整的测量装置（传感器可以自成一个系统），它能把被测物理量转换为与之有确定的一一对应关系的电量然后输出，用以满足信息的传输、处理、记录、显示、反馈和控制等需求。传感器是实现自动检测和自动控制的首要环节。由传感器将被测物理量的参数感知出来，这个信息或信号经过转换与处理可以显示出来或提供给控制系统。可以说，没有精确可靠的传感器就不可能有自动检测和控制系统。

现代科学技术发展的目的，一是用机器代替人的劳动，二是用机器做人不能做的事，这就产生了现代的“智能机器人”。将“智能机器人”的活动过程与人的活动相类比，来看一看传感器的作用和它的重要性。图 1 所示是人与“智能机器人”的对应关系。

人通过五官：视觉、触觉、听觉、嗅觉和味觉感知外界信号（信息），然后把这些信号

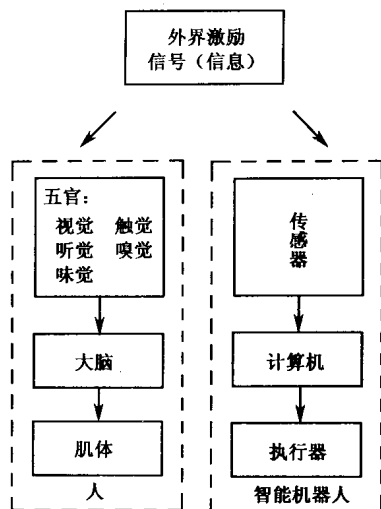


图1 人与智能机器人的对应关系

传递给大脑，大脑将这些信号进行分析、归纳、提炼处理，然后下达执行命令。并将执行命令传达给肌体，肌体根据大脑的决定做出反应。“智能机器人”的活动过程与人十分相似，它由各种各样的传感器感知外界信号(信息)，然后把这些信号发送给计算机。计算机将这些信号进行分析、归纳、提炼、处理，然后给出执行信号并将该信号发送给执行器。由执行器对外界的激励信号做出反应。从图1中的类比可以看出，计算机相当于人的大脑，执行器相当于人的肌体，传感器则相当于人体的五官即人的感觉系统。人若失去了整个感觉系统，将无法存世。一个自动控制系统如果没有传感器，这个系统的性能将大为降低。由此可见传感器对现代工业控制是不可缺少的基本部件之一。目前世界各国对传感器在信息社会中的作用都有了新的认识和评价，并十分重视新一代传感器的研制与发展。例如，美国早在20世纪80年代就将传感器技术列入高技术领域，认为80年代已是传感器时代。日本也在20世纪80年代将传感器技术列为十大科技之首。我国已将传感器技术列为国家重点科技攻关项目之一。

二、工业检测技术所涉及的内容

工业检测技术所涉及的内容比较广泛，它包涵了信息检取与测量、信号变换与处理、自动检测装置的结构与构成、误差的运算与分析、干扰的防范与抑制等内容，其重点则是怎样把信息检拾出来。换句话说，就是运用物理的、化学的或其他的原理性质和效应，通过传感器将某些载有工业信息的被测物理量转换成便于传输处理和测量的电量。因此在有些书中也将工业检测技术称为“非电量的电测法”。

在工业领域中，常见的被检测物理量有以下几种。

1. 热工量

温度、热量、比热、热流、热分布、压力、压差、压强、真空度、流量、流速、容量、物位、液位、界面等。

2. 机械量

直线位移、角位移、速度、加速度、转速、力、应力、应变、力矩、振动、噪声、质量(重

量)等。

3. 几何量

长度、厚度、角度、直径、间距、形状、斜率、平行度、同轴度、粗糙度、硬度、材料缺陷等。

4. 物体的性质与成分量

气体、液体、固体的化学成分、浓度、粘度、湿度、密度、比重、酸碱度、盐度、浊度、透明度、颜色等。

5. 状态量

工作机械的运行状态——启动、停止。

生产设备的异常状态——超温、过载、泄漏、变形、磨损、堵塞、断裂等。

非常明显,在实际工业生产中被检测的物理量远不止以上所举。例如,物体中的水分含量、食物的新鲜程度等,我们还可以列举出很多很多。随着工业生产的发展,将对检测技术提出越来越高的新要求。本书仅向读者介绍检测技术的基本原理与方法。

三、自动检测系统的组成

一个自动检测系统总是由传感器、信号处理与数据处理装置以及记录显示执行装置三大部分组成,如图2所示。

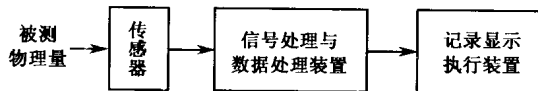


图2 组成自动检测系统的三大部分

传感器是一种能够把某种信息从被测物理量中检拾出来,并且将它转换成电信号的测量装置,它是获得信息与信号的手段。它的灵敏度、精确度、稳定性直接影响着整个测量系统的性能。

信号处理与数据处理装置,能够将传感器输出的电量变换成具有一定功率的电压、电流或频率信号,然后对这些信号进行处理、运算、分析。这些分析包括:对数据进行数理统计分析和曲线拟合,特别是对动态测试结果做频谱分析、幅值谱分析和能量谱分析等。信号与数据处理的结果通常被送到显示器或执行机构中去。完成上述工作一般采用计算机技术,也就是说:现代电子计算机已经成为自动检测技术的核心部件。

记录显示与执行装置实质上具有两部分功能,即记录显示功能和执行功能。记录显示装置的作用是将处理后的信号不失真地记录下来并且显示出来。记录和显示可以在同一个装置中实现,例如光线示波器;也可以用不同的装置分别实现记录与显示,例如磁记录器,它仅能记录而不能显示,又如普通电子示波器只能显示而不能记录。常用的记录显示装置有四类:模拟显示装置、数字显示装置、图像显示装置及记录仪等。模拟显示装置最常见的是利用指针与标尺的相对位置来表示读数的大小,如磁电系测量机构、电磁系测量机构和电动系测量机构等。数字显示装置大多采用发光二极管显示屏或液晶显示屏等以数字的形式来显示读数。图像显示是

采用阴极射线管（包括示波管和显像管）或液晶屏来显示图像或被测参数变化曲线，有时还可以显示图表或工艺流程。记录仪主要用来记录被测物理的动态变化过程，常见的记录仪有：磁记录仪、笔式记录仪、带有半导体存储器的记录仪等。

执行装置也称执行机构，它的作用是根据数据处理装置传来的指令，控制、调节、保护、通断各种设备，使各种设备安全正常运行。执行机构通常由各种各样的继电器、接触器、电磁阀、伺服电机、步进电机、可逆电机等组合而成。

随着现代科学技术的发展，计算机技术的运用越来越普及深入，检测系统已经广泛地使用微机来控制执行机构，这样使得自动检测系统的精确度和检测速度都有了大幅度的提高。另外，一些检测系统使用了单片机技术，实现了智能化检测。智能化检测是今后自动检测系统发展的方向。

第 1 章 检测技术的基本概念

通过检测来获取物体或事物的信息，在这一过程中必然要用到测量。可以说测量是人类认识事物的本质不可缺少的手段。在科学技术里有很多新的发现和技术的突破都是以测量实验为基础的，许多新的工艺过程、新机器、新仪器的研制都离不开测量各种数据与参数。因此，没有测量就没有科学，离开了测量人类生产活动将无法进行。目前测量技术已经广泛地应用在工农业生产的各个领域、科学研究的各个部门以及人们的日常生活之中。本章将讨论测量的基本概念和测量方法分类、误差的基本概念和分类、误差的计算与处理以及传感器的组成与分类。

1.1 测量的概念和方法分类

1.1.1 测量的基本概念

测量就是借助于专用的技术工具通过实验或计算对被测对象收集信息的过程。在实际操作过程中，测量是把被测量与同种性质的基准单位进行比较，从而获得被测量为基准单位的多少倍数这一信息，这就是测量的定义。上述定义可以用数学公式来表示

$$x = Ax_0 \quad (1-1)$$

式中， x 为被测量，

x_0 为基准单位；

A 为被测量所包含的基准单位。

显然，基准单位确定之后，被测量 x 在数值上将等于比值 A 。这表明，测量过程包括两个含义，其一是确定基准单位；其二是将被测量与基准单位作比较。整个测量过程中所使用的专门工具就是检测仪表。

在实际测量中，有时有些被测对象无法直接借助于通常的测量仪表与基准单位进行比较。这时必须做适当的变换，将被测量转换成有确定函数关系的另一个可比较的物理量，然后对该物理量进行比较测得结果，最后根据函数关系来确定被测量的大小。这就是信息检出变换的过程。

在实际测量中的另一些场合，除了要对被测量进行检出变换外，还要对这些信息进行分析、处理、运算、判断、控制、显示等等。这是一个有机统一的综合过程。一般将只有检出、变换环节的测量称为狭义测量，而将具有检出、变换、分析、运算、控制、执行等多个环节的测量称为广义测量。在广义测量系统中，有以检出信号为目的的检出部分，有以转换信号提高测量效率为主的变换部分、以及分析部分、运算部分、反馈部分、控制部分、执行部分、显示部分等多个环节。

1.1.2 测量方法分类

测量方法多种多样，分类方法也各不相同。在测量中可以根据被测量是否随时间变化，分

为静态测量与动态测量；可以根据测量时敏感元件是否与被测量接触，分为接触式测量与非接触式测量；还可以根据产品的生产过程，分为在线测量与非在线测量等等。这里所讨论的是最常见的分类方法，即直接测量和间接测量。

1. 直接测量

利用预先标定好的仪表对被测量进行测量的过程，称为直接测量。直接测量时可以从仪表的显示结果获得测量参数的具体数值。值得注意的是，不要把直接测量和直读式仪表测量这两个概念混淆起来。直接测量包含了直读式仪表测量。例如，用电压表测电压、用万用表测电阻，这些测量都是直读式仪表测量。又如用电位差计测电压，是比较式仪表测量。而两者均是直接测量。直接测量又有三种测量方法。

(1) 偏差法。当测量仪表用指针相对于刻度的位移（偏差）来直接表示被测量大小时，这种方法就是偏差式测量法，简称偏差法。测量仪表的刻度线是预先用标准仪器标定校准好的，偏差的大小直接反映了被测量所包含的多少基准单位数。

指针式仪表是最为常用的一种偏差测量法。被测量直接驱动仪表指针偏转，通过指针与标定的刻度线重合位置确定被测量大小。由于刻度线的精确度不可能做得很高，所以这种测量方法的测量精度一般不高于 0.5%，特殊考虑时精度可达 0.1%。偏差法的优点是：直观，简便，相应的仪表结构比较简单。缺点是：精度较低，量程较窄。

(2) 零位法。在测量过程中，将被测量与标准量进行比较，二者差值为零时，标准量的读数就是被测量的大小，这种测量方法称作为零位法。在零位法测量过程中，要求标准量是连续可调、可变化的，并且具有精细的分度，同时要有有一个灵敏度很高的指零机构。零位法中，测量结果的误差主要取决于标准量的误差大小，因此零位法的测量精度一般比偏差法要高。

零位法在工程测量中应用得比较广泛。测量时常用的电位差计就是一种典型的零位法测量仪表。图 1.1 是电位差计原理示意图，图中， E 是高稳定度的稳压电源； RP 是可调电阻，用它可以调节稳压电源回路的工作电流 I_S ，使其达到标准值。电位器 R 上产生标准电势 E_S ，

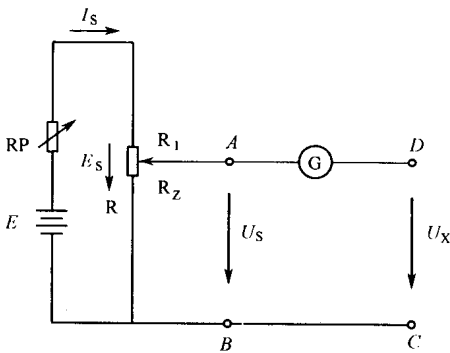


图 1.1 电位差计原理示意图

电位器滑动端 A 点和电路 B 点之间将产生标准电压降 U_S ，被测电压 U_X 接入 D 、 C 两点，由图可见被测电压通过检流计 G （检零机构）并联在 A 、 B 两端，调节 R 的滑动端使检流计 G 指零。检流计 G 指零表明 A 、 D 支路中没有电流流过，换句话说 A 、 D 等电位，则 $U_X = U_S$ 。从图中又可知：

$$U_S = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E_S \quad (1-2)$$

所以

$$U_X = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E_S \quad (1-3)$$

这样被测量就可由标准量来表示。上述方法就是零位法的测量原理。零位法虽然具有很高的测量精度，但是由于测量时要进行调节、平衡，所以测量时间较长，不能测量快速变化的信号，所以使用的场合受到了一定的限制。

(3) 微差法。微差法是零位法和偏差法同时应用的一种组合测量方法。测量过程中将被测量的大部分用标准信号去抵消，而剩余的部分采用偏差法来测量。微差法的典型例子就是用

不平衡电桥来测量电阻。桥路中被测电阻的基本部分（静态电阻）使电桥处于平衡状态，而变化的电阻将使电桥失去平衡而产生相应的输出电压。这样，电桥输出电压的变化，只反映电阻的变化部分。被测电阻将是基本部分和由输出电压确定的电阻变化部分两者的和。又如将图 1.1 中的检流计 G 换成毫伏表，用它来测量 U_X 和 U_S 的差值，这就是一个用微差法测电压的例子，图中被测电压 U_X 的大部分被 U_S 抵消，很少的一部分被毫伏表读出。被测电压等于标准电压 U_S 与毫伏表读数之和。

采用微差法进行测量，可以使测量精度大为提高。这是因为被测量的主要部分采用了零位法测量，零位法测量具有很高的测量精度；尽管使用偏差法测量剩余部分时会造成一定的误差，但是这部分误差相对于整个被测量而言将是非常微小的，因此微差法兼有测量精度高、响应快的特点。

2. 间接测量

所谓间接测量就是不直接测量被测量，而是对与被测量有确切函数关系的一个或几个物理量进行直接测量，然后通过已知的函数关系求出被测量的大小，这种测量方法称为间接测量。例如，要测量电功率 P ，人们可不直接用仪表测功率 P ，而是根据 $P = IU$ 的函数关系通过测量 I 和 U ，然后经过计算求得 P 的值。又例如，要想测定导体的电阻率 ρ ，必须先测定导体的长度 l 、截面积 S 、导体的电阻 R ，然后用公式 $\rho = \frac{RS}{l}$ 计算求得相应的电阻率。类似的例子还可以举出很多，这些测量方法就是间接测量。

一般来说，间接测量比直接测量要复杂一些。因此，只有当被测量没有相应的测量仪表可以测量时，或者由于工作条件的限制直接测量有一定的困难、测量结果误差太大时才会采用间接测量方法。随着计算机技术的普及与应用，测量仪表向智能化方向发展，间接测量方法的应用也正在逐步扩大，测量过程中的数据处理完全由计算机准确完成，这使得间接测量方法变得既直观又简单。

1.2 误差的概念与处理方法

人们对客观世界的认识总是带有一定的局限性，与客观事物的本来面貌存在着差异。测量也是如此，测量是一个变换、选择、放大、比较、显示诸功能的综合作用，又是一个对比、示差、平衡、读数的比较过程。如果这些过程是在理想的环境条件下进行，换句话说：一切能够影响测量的因素都不存在时，测量是万分精确的，或者说没有误差。但是，这种理想的环境和条件在实际测量工程中是不存在的。不论是测量设备、测量仪表，还是测量对象、测量方法以及测量者本身，都不同程度地受到本身因素的影响或周围各种因素的影响，当这些因素发生变化时，必然会影响到被测量的大小，使仪表的指示值与被测量的实际值（也称为真值）之间产生差异，这个差异就是测量误差。

误差产生的原因和类型很多，其表现形式也不尽相同。在测量中根据造成误差的不同原因采用不同的解决方法，尽量减少误差的影响。下面对一些误差及处理误差的方法做一些介绍。

1.2.1 系统误差、随机误差和疏失误差

这一类误差是根据误差所出现的规律划分的，它属于测量误差。无论是采用什么样的测量