

高等学校教材

检测技术 及应用

张朝晖 主 编



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE



高等学校教材

检测技术及应用

张朝晖 主 编



中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

检测技术及应用/张朝晖主编. —北京: 中国计量出版社, 2005.10

ISBN 7-5026-2211-X

I. 检… II. 张… III. 技术测量 IV. TG806

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 099916 号

内 容 提 要

本书涵盖了检测技术的概念、检测系统的构成、性能评价、十二大类传感器、十大类参数的基本测量、软测量技术和应用技术。阐述的检测技术基本理论和方法, 具有相当的深度、广度和系统性, 在包容传统检测技术的基础上, 跟踪了本领域的最新发展。

本书适于高等学校的测控技术及仪器、自动化、电子信息等专业的师生阅读。可以作为“检测技术”、“参数测量”等两门相关课程的教材, 也可供有关工程技术人员参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

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

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm×1092 mm 16 开本 印张 29.5 字数 711 千字

2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷

*

印数 1—3 000 定价: 48.00 元

前 言

本书为高等学校测控技术及仪器专业、自动化专业的教学要求而编写，其主要内容如下：

第一章概述，介绍检测技术的概念、方法综述和检测系统构成；第二章检测技术的评价指标，主要介绍了功能指标、性能指标和物理指标；第三章传感器，针对电阻式、电感式、电容式、电势式、微波式、光电式、射线吸收式、声波式、光纤式、半导体式、电化学式和微机电系统（MEMS）等 12 大类传感器，分别介绍了它们的原理、构成和特性；第四章参数检测技术，介绍了热工量、机械量、电量、环境量等 10 大类参数的检测技术，属于传感器的基本应用；第五章软测量技术，介绍了动态设备的故障诊断、静态设备的无损检测及虚拟仪器，是传感器的综合应用；第六章应用技术，提炼出检测技术应用中的共性问题，介绍了信号获取方式、检测仪表选择、提高检测精确度的途径、调理电路、信号传输与通信及电磁兼容等内容。

本书可以作为“检测技术”、“参数测量”等两门相关课程的教材，便于前后衔接和相互查阅。

在本书编写过程中力图展现以下特点：

1. 检测技术的系统性。书中全面介绍了检测技术所涵盖的主要内容，同时重视突出其规律性和共性，使读者对检测技术有一个完整、系统的把握，对检测技术的创新和研发有一定的指导作用。

2. 加强和突出应用技术。学习检测技术的主要目的，除去研发外还在于应用。为此，在第二章中介绍了在实际应用中所关心的评价指标；在第四章中介绍了检测技术在参数测量中的应用；第五章介绍了检测技术在比较复杂场合的应用实例；第六章综合介绍了多种应用技术。

3. 反映检测技术的最新发展。检测技术既是信息领域的重要分支，也是一门多学科综合技术，近年来的发展非常迅速。为此，本书必须引入检测技术的最新发展。除介绍成熟的、传统的检测技术内容外，还增加了 MEMS 传感器、虚拟仪器、现场总线等较新内容。

本书由北京科技大学、北京化工大学、北京联合大学的教师承担编写工作。张朝晖教授为主编；陈先中博士、蒋蔚副教授、王建林教授为副主编。第一章、第三章第 1 节、第六章第 1、2、3、5 节由赵家贵教授编写；第二章和第五章第 1、2 节由张朝晖教授编写；第三章第 2、4 节由史雪飞讲师编写；第三章第 3、5、8 节由康瑞清副教授编写；第三章第 6、7、10 节和第六章第 6 节由蒋蔚副教授编写；第三章第 9、11、12 节和第四章第 6~11 节由陈先中博士编写；第三章第 13 节、第五章第 2 节、第六章第 4 节由蓝金辉博士编写；第四章第 1~3 节由王建林教授编写；第四章第 4、5 节由李永霞博士编写；第五章第 4 节由张东副教授编写。全书由赵家贵教授主审。

本书编写中参考了大量文献，在此对文献作者致以谢意！

由于编者水平有限，书中不妥、错漏之处在所难免，恳请读者指正。

编者

2005 年 6 月

目 录

第一章 概述	(1)
1. 检测技术	(1)
1.1 检测技术的含义	(1)
1.2 检测技术的应用	(1)
1.3 检测技术的发展	(1)
2. 检测方法	(2)
2.1 按检测手续分类	(2)
2.2 按检测方式分类	(3)
2.3 按检测敏感元件是否与被测量介质接触分类	(4)
2.4 按被测量的变化快慢分类	(4)
2.5 按检测系统是否向被测对象施加能量分类	(4)
3. 检测系统的构成	(5)
3.1 敏感元(部)件	(5)
3.2 信号处理电路	(6)
3.3 显示电路与显示器	(6)
3.4 信号的传输	(7)
第二章 检测技术的评价指标	(8)
1. 指标	(8)
2. 功能指标	(8)
3. 性能指标	(9)
3.1 描述输入输出关系的性能指标	(10)
3.2 保障输入输出关系的性能指标	(14)
4. 物理指标	(16)
第三章 传感器	(17)
1. 概述	(17)
1.1 传感器的分类	(17)
1.2 传感器的发展趋势	(18)
2. 电阻式传感器	(19)
2.1 应变式电阻传感器	(19)
2.2 热电阻传感器	(29)

3. 电感式传感器	(36)
3.1 自感式传感器	(36)
3.2 线性可调差动变压器 LVDT	(42)
3.3 电涡流传感器	(46)
4. 电容式传感器	(51)
4.1 电容式传感器的工作原理及类型	(51)
4.2 电容式传感器的灵敏度及非线性	(53)
4.3 电容式传感器的特点	(54)
4.4 电容式传感器的转换电路	(56)
4.5 电容式传感器的应用	(59)
5. 电势式传感器	(60)
5.1 压电传感器	(60)
5.2 霍尔传感器	(67)
5.3 热电传感器	(74)
6. 微波式传感器	(83)
6.1 微波的有关概念	(83)
6.2 微波的特性与特点	(83)
6.3 微波器件	(84)
6.4 微波半导体器件	(85)
6.5 微波传感器	(86)
6.6 微波检测技术的应用	(87)
7. 光电式传感器	(92)
7.1 光谱	(92)
7.2 光电效应	(95)
7.3 光电电阻	(96)
7.4 光电池	(102)
7.5 光电二极管和光电三极管	(108)
7.6 电耦合器件 CCD	(116)
8. 射线吸收式传感器	(123)
8.1 X射线式	(124)
8.2 β 射线式	(124)
8.3 γ 射线式	(126)
8.4 中子式	(127)
8.5 射线吸收式传感器	(127)
8.6 放射性辐射的防护问题	(131)
9. 声波式传感器	(131)
9.1 超声波传感器	(131)
9.2 声表面波 SAW 传感器	(144)
10. 光纤传感器	(150)

10.1 光纤的结构及传光原理	(150)
10.2 光纤调制技术与光纤传感器	(158)
10.3 光纤连接耦合技术	(172)
11. 半导体传感器	(175)
11.1 半导体气敏传感器	(175)
11.2 半导体湿敏传感器	(180)
12. 电化学气体传感器	(184)
12.1 气体传感器简介	(184)
12.2 气体传感器的主要特性	(184)
12.3 电化学式气体传感器的分类	(185)
12.4 半导体气体传感器	(185)
12.5 电化学型气体传感器	(186)
12.6 接触燃烧式气体传感器	(188)
12.7 电化学传感器的制造与趋势	(189)
13. MEMS 传感器	(189)
13.1 概述	(189)
13.2 MEMS 加速度计	(191)
13.3 MEMS 陀螺	(196)

第四章 参数检测技术

1. 概述	(200)
1.1 参数检测的意义	(200)
1.2 参数检测应考虑的问题	(200)
1.3 常见的检测参数	(201)
2. 温度的检测	(201)
2.1 概述	(201)
2.2 主要测温方法和测温仪表	(202)
2.3 接触式测温	(205)
2.4 辐射式测温	(214)
3. 流体压力的检测	(219)
3.1 概述	(219)
3.2 弹性元件与弹性式压力计	(221)
3.3 远传式压力变送器	(222)
3.4 压力测量仪表的选用	(223)
4. 流量的检测	(225)
4.1 概述	(225)
4.2 差压式流量计	(227)
4.3 罗茨流量计	(231)
4.4 科里奥利流量计	(233)

4.5 多相流量计	(238)
4.6 超声流量计	(239)
4.7 流量检测仪表的选用	(246)
5. 物位检测	(248)
5.1 概述	(248)
5.2 差压式液位计	(250)
5.3 超声波式液位计	(251)
5.4 射频导纳液位计	(252)
5.5 放射性物位计	(254)
5.6 物位检测仪表的选用	(256)
6. 力、重量和质量的检测	(257)
6.1 常见力的检测方法	(258)
6.2 常用的电子秤	(260)
7. 位移的检测	(262)
7.1 常见的位移检测方法	(263)
7.2 节流式气动测量仪	(263)
7.3 位移—数字式传感器	(263)
8. 速度和振动的检测	(265)
8.1 速度的检测	(265)
8.2 振动的检测	(269)
9. 物体几何尺寸的检测	(272)
9.1 长度的检测	(272)
9.2 厚度的检测	(273)
9.3 宽度的检测	(276)
9.4 直径的检测	(276)
10. 电量测量	(277)
10.1 电流的测量	(277)
10.2 电压的测量	(281)
10.3 功率的测量	(287)
10.4 电场的测量	(294)
11. 环境量监测	(297)
11.1 噪声监测	(297)
11.2 空气质量监测	(300)
11.3 水质监测	(305)
11.4 电磁辐射监测	(309)

第五章 软测量技术

1. 概述	(314)
2. 动态设备的故障诊断	(314)

2.1 机械故障的原因及伴随的现象	(315)
2.2 常用的故障诊断方法	(315)
2.3 机械故障的振动信号分析	(317)
2.4 旋转设备的故障诊断	(318)
2.5 振动信号分析的其他应用——机器人手臂设计	(320)
3. 设备的无损检测	(322)
3.1 射线检测	(322)
3.2 涡流检测	(324)
4. 虚拟仪器简介	(327)
4.1 虚拟仪器的接口总线	(328)
4.2 虚拟仪器的开发环境	(337)

第六章 应用技术

1. 获取信息(号)方式的选择	(347)
1.1 被测参数的选择	(347)
1.2 采样点的选择	(347)
2. 传感器的选择	(348)
2.1 量程与分辨力的选择	(348)
2.2 精确度的选择	(348)
2.3 反应速度与频率范围的选择	(348)
2.4 稳定性	(349)
2.5 安全性	(349)
2.6 结构、尺寸与安装	(349)
3. 提高检测精确度的方法	(349)
3.1 随机误差的处理	(349)
3.2 系统误差的处理	(352)
3.3 缓变误差的处理	(356)
3.4 粗大误差的处理	(356)
4. 信号调理电路	(357)
4.1 概述	(357)
4.2 测量电桥与转换电路	(358)
4.3 调制与解调	(365)
4.4 滤波	(369)
4.5 模数转换技术	(372)
4.6 电压/电流/频率变换技术	(374)
4.7 电压和电流放大变换技术	(375)
4.8 MEMS传感器的信号调理	(379)
5. 智能传感器的通信技术	(386)
5.1 数据通信系统的组成	(386)

5.2 数据通信及总线 (387)

5.3 常用的标准串行接口总线 (388)

5.4 几种有影响的现场总线 (392)

6. 电磁兼容技术 (428)

6.1 噪声与干扰 (428)

6.2 噪声的耦合方式 (431)

6.3 抑制电磁干扰的基本方法 (434)

6.4 抑制电磁干扰的基本措施 (434)

6.5 抗干扰技术的应用 (443)

习题及思考题 (451)

参考文献 (455)

第一章 概 述

1 检测技术

1.1 检测技术的含义

检测技术是人们为了对自然界物质进行定量掌握或定性判断所采取技术措施的总称。它是在测量、检验、检定等概念和技术基础上发展起来的综合性技术学科。测量是以确定量值为目的的一组操作，它是将被测参数的量值与作为单位的标准量进行比较，得出相应倍数，即测量结果的数值。检验是用来判断或分辨出被检物质参数是否合格或某种现象的有无，它区分的是被检参数量值所属的某一范围带，而不是一个具体量值。检定，则是常用来对使用仪器仪表定期与标准仪器仪表进行比对，判定被检仪器仪表的准确度是否合格的一种操作。检测技术涵盖了上述诸项概念，广泛地应用于静态或动态的对象的定量和定性分析。

1.2 检测技术的应用

检测的目的是为了获得定量分析和定性判断的信息，检测技术则被广泛地应用于生产，试验和科学研究的各个领域。

在工业生产中，为了保证产品质量，需要对产品的半成品或成品的技术指标进行检测或检验；有的还需要对生产过程参数如温度、压力、流量、转速进行检测，以便提供监控依据、保证生产工艺的运行。在现代化农业生产中，需要对种子质量、土壤的湿度和酸碱度等指标进行监控，还需对产品质量进行分析化验。在医疗卫生方面，药品生产的各个环节需采用检测手段进行生产过程的监控；药品的质量需严格地检验；人们看病，需要相应的检测设备并进行诊断和治疗。在科学试验和科学研究过程中，更需要大量试验检测数据作为分析判断、寻求规律或确认新发现的依据。在人们的生存环境中，为了不受或少受污染，需要对水质、空气质量、噪声、光等进行监测和控制。可见在人们生产、生活的各领域都会应用到检测技术，社会离不开检测技术，人们需要检测技术。

1.3 检测技术的发展

1.3.1 科学技术是检测技术发展的动力

检测技术是随着科学技术的不断发展而进步的。例如尺寸检测，最初人们只能用米尺进行长度的检测。随着电子技术的发展，出现了电子管、半导体管仪表。微电子技术的出现和发展，又有了大规模集成电路和微处理器，随之发展起小型化、多功能、智能化的检测仪器仪表。

由于科学技术的高速发展，在深度的和广度上不断地提出新的检测要求，所以才有效地促进了检测技术的发展。例如，在没有实现生产过程自动化时，生产产品的质量检测，只需

静态检测，用常规的检测仪器，采用人工操作就能满足要求。随着生产过程自动化的实现，产品在不停的运动过程中生产出来；在这样的条件下，静态检测已不能满足要求，促使人们研究解决在线动态检测，检测技术又有了新的进步。当前科学技术向宇宙空间和微观世界发展，检测技术同样会接受宇宙空间（失重、真空等）环境和微观世界（极微小尺寸和新的物理现象等）的挑战，大大地促进了检测技术的发展。

1.3.2 检测技术的发展趋向

(1) 在线实时检测是主攻方向

检测的目的是实时、准确地获取信息。随着过程自动化的普及，大量的实时在线检测问题需要解决，以提供过程控制的依据和中间产品的相关质量参数。需要解决的主要问题将是实时采样。检测器的环境适应性和可靠性。

(2) 向宏观、微观两极发展

人们为了认识和了解世界，除了加深对生产和生活中的具体事物和现象的认识外，同时还向宏观的领域（如地球、太空）和微观的领域发展。适用于宏观领域的技术有遥感技术，空间探测技术等。适用于微观领域的技术有，与纳米技术相关尺寸检测和理化性能检测等等。

(3) 环境检测是个重要领域

保护环境是个世界性的课题。环境污染主要指大气、水、噪声和光的污染。为了保护环境和治理污染，首先要对环境状况作出评价，这就需要对环境的各项指标参数进行检测。通过检测得到具体的实时数据作为环境质量评价的依据。目前治理环境污染的重点是空气污染和水质污染。空气污染又有大气污染和室内空气污染之分，国家分别制定了相应的空气质量标准。检测环境污染的仪器设备，目前在品种、质量上还不能满足要求，特别是那些小量程仪器更显得不足，在品种和稳定性上更需要大力发展。

(4) 新技术、新原理、新材料的应用，促进了检测技术的发展

检测技术的发展是建立在新技术、新原理、新材料的基础之上的。它们的出现，大大地促进了检测技术的发展和进步。微电子技术的发展和应用，随之出现了智能仪表、虚拟仪表和软测量技术；功能材料的出现，为新型传感器的开发提供了可能性；半导体集成技术的发展，引导出了集成式传感器，如此等等。新技术、新原理和新材料的不断出现，随之就会应用到检测技术上，使检测技术产生同步的发展和进步。

2 检测方法

检测是将被检测量与标准量进行比较的过程，得出被检测量为标准量的倍数即为检测结果值。这里所说的标准量应该是与被检测量具有同类性质的法定计量单位或导出单位。

检测方法是实施检测所采用的具体方法。检测方法对检测工作非常重要，它关系到检测任务是否能完成。因此，需针对不同检测任务，进行认真而具体地分析，确定切实可行的检测方法并选择合适的检测工具。如果检测方法不当，即使选择检测工具再高级，也不会得到满意的检测结果。

对于检测方法，从不同的角度出发，有各种不同的分类方法。

2.1 按检测手续分类

从检测手续看，可以分为直接、间接和联立法检测。

(1) 直接法

在使用仪表进行检测时,对仪表读数不需要经过任何运算,就能直接表示出所需要的结果,称为直接检测。例如,用磁电式电流表检测电路的支路电流,用弹簧管式压力表检测流体压力。直接检测的优点是简单而迅速,缺点是检测精度不容易达到很高。这种检测方法是工程上广泛采用的方法。

(2) 间接法

在使用仪表进行检测时,首先对与被测量有确定函数关系的几个量进行检测,然后将检测值代入函数关系式,经过计算得到所需要的结果,这种方法称为间接法。在这种检测过程中,手续较多,花费时间较长,但往往可以得到较高的检测精度。间接检测多用于科学试验中的实验室检测,工程检测中亦有应用。

(3) 联立法(也称组合法)

在应用仪表进行检测时,若被测的量必须经过求解联立方程组,才能得到最后结果,则称这样的方法为联立法。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需要的数据。

对联立法,在检测过程中应用,操作手续很复杂,花费时间很长,是一种特殊的精密检测方法。它多适用于科学试验或特殊场合。

2.2 按检测方式分类

从获取检测数据的方式出发,检测可分为偏差式、零位式和微差式。

(1) 偏差式

在检测过程中,用仪表指针的位移(即偏差)决定被测量的方法称为偏差式检测法。应用这种方法进行检测时,标准量具不装在仪表内,而是事先用标准量具对仪表刻度进行校准。在检测时,输入被测量,按照仪表指针在标尺上的示值来决定被测量的数值。它是以直接方式实现被测量与标准量的比较,检测过程比较简单、迅速,但是,检测结果的精度较低。这种方法广泛用于工程检测中。

(2) 零位式(又称补偿式或平衡式)

在检测过程中,用指零仪表的零位指示检测系统的平衡状态;在检测系统达到平衡时,用已知的基准量决定被测未知量的方法,称为零位式检测法。应用这种方法进行测量时,标准量具装在仪表内,在测量过程中,标准量直接与被测量相比较;调整标准量直到被测量与标准量相等,使指零仪表回零。用平衡电桥检测电阻、电容、电感就是典型的应用实例。

零位式检测法的优点是可以获得比较高的检测精度。但是,检测过程比较复杂,要进行平衡操作,花费时间长。采用自动平衡操作以后,可以加快检测过程,但它的反应速度由于受工作原理所限,不会很高。因此,这种检测方法不适用迅速变化的信号,只适用于变化较缓慢的信号。这种检测方法在工程实践和实验室中应用很普遍。

(3) 微差式

微差式检测法是综合了偏差式与零位式的优点而提出的检测方法。这种方法将被测的未知量与已知的标准量进行比较,并取得差值后,用偏差法测得此差值。应用这种方法进行检测时,标准量具装在仪表内,并且在检测过程中,标准量直接与被测量进行比较。由于二者的值很接近,因此,检测过程中不需要调整标准量,而只需要检测二者的差值。

设 N 为标准量, x 为被测量, Δ 为二者之差, 则 $x = N + \Delta$, 即被测量是标准量与偏差值之和。

由于 N 是标准量, 其误差很小, 并且 $\Delta \leq N$, 因此, 可选用高灵敏度的偏差式仪表测量 Δ 。即使检测 Δ 的精度较低, 但因 $\Delta \leq x$, 故总的检测精度仍很高。

微差式检测法的优点是反应快且检测精度高, 它特别适用于在线控制参数的检测。

2.3 按检测敏感元件是否与被测量介质接触分类

这种分类方法是将被检测系统分为接触式和非接触式两种。

(1) 接触式

接触式检测法是将仪表的敏感元件与被测量相接触。敏感元件从被测物体得到能量或被带动产生运动, 使得敏感元件产生转换作用。如用热电偶检测物体的温度、电感式测厚仪都是接触式检测。接触式检测法适用静态或运动速度缓慢的物质参数检测。

(2) 非接触式

非接触式检测仪表的敏感元件不与被测物质进行有机械接触。它是通过仪表辐射能量随被测参数(如 X 射线测厚仪中 X 射线强度随厚度衰减)变化或被测量的能量(如红外测温仪中仪表接受的红外线随被测温度变化)变化。这种检测方法适用于高速运动或环境恶劣的场合。

2.4 按被测量的变化快慢分类

按照被测量的变化快慢, 分为静态检测和动态检测两类。

(1) 静态检测

静态检测是指对于被测信号相对于仪表的动态特性变化缓慢。检测系统的输入输出关系用代数方程描述即可, 被测量的检测数值是一个稳定的值。这种检测系统的响应速度(时间)远快于被测信号的变化速度。它适用于被测值不变化(如成品的尺寸)或变化缓慢(如室内温度)信号的检测。

(2) 动态检测

对于变化速度快或需要观察变化过程的被测信号, 为了保证结果真实可靠, 需要检测系统具有足够的快速反应能力。被测信号和检测系统的输入输出关系一般都需要用含时间变量的微分方程描述; 在检测系统的采样周期内保证被测量保持不变(在允许的误差范围内), 采样周期必然很短, 即需快速采样。只有满足这种要求的检测系统, 才能实时地检测出被测信号的变化情况。这种检测称为动态检测。为了实现动态检测, 除了敏感元件具有快速转换功能外, 信号变换电路的动态响应要好, 同时还应有快速记录、记忆器件。

2.5 按检测系统是否向被测对象施加能量分类

按检测系统是否需要向被测对象施加能量分类, 检测系统可分为主动式和被动式两类。

(1) 主动式

在检测过程中, 主动式检测需要外加辅助能源。因为检测系统的输出信号强弱(大小)除了反应被测量的大小, 还依赖于辅助能源的大小; 检测系统施加的能量会影响信号大小, 故称其为主动式检测。如用霍尔元件检测磁场强度 B , 需要外加一个稳定的电流 I 。霍尔电

势 $U_H = KBI$, U_H 除了正比于被测量 B 以外, 还正比于辅助电流。

(2) 被动式

在检测过程中, 检测系统的输出只与被测量有关, 即只从被测对象处获取能量, 不需要加入辅助能源, 故称其为被动式检测。如用热电偶检测温度, 热电偶只从被测温度场获取热能、通过热电效应转换为热电势, 热电势是温度的单值函数关系, 没有其他辅助能量成分。

3 检测系统的构成

检测过程需要完成的工作是从被测对象中获得代表其特征的信号; 对已获得的信号进行转换和放大; 对已获得的足够大的信号按需要进行变换, 使其成为所需要的表现形式并与标量进行比较; 把检测结果以数字或刻度的形式显示、记录或输出。要完成这些工作, 一般用简单敏感转换元件是不够的, 需要用多个环节或部件构成一个检测系统来实现。检测系统主要由敏感元(部)件、信号的转换与处理电路、显示电路、显示器和信号输出电路组成。标准量的选取及其比较过程, 则是通过仪器仪表的检定(标定)来实现。

3.1 敏感元(部)件

敏感元(部)件是检测系统从被测对象获取代表被测对象特征信号的首要环节。它是按照物理定律(如热电、光电、压电等)和某种转换规律将被测量转换成为易于变换和处理的信号形成(电、光等)。敏感元(部)件是一个广义的概念, 它可以是一个简单的元件, 也可以是结构复杂的传感器、变换器。它所完成的功能是变换, 从能量变换角度分析, 可将变换功能分为单形态能量变换和双形态能量变换。

(1) 单形态能量变换

这种变换形式是将 A 形态能量(反映被测量)作用于物体, 遵照一定物理定律转换成 B 形态能量(反映变换后的物理量), 其框图示于图 1-1。这种变换的特点是变换时所需的能量取自于被测介质, 不需要从外界补充能量。因此, 这种变换的前提条件是从被测介质中取走变换所需的能量后, 不应影响被测介质的物理状态。这种变换的结构与形式都比较简单, 但要求变换器中消耗的能量应尽量少。

(2) 双形态能量变换

这种变换形式是将 A 形态量(反映被测量)和 B 形态能量(参比量)同时作用于物体, 按照一定的物理定律变换成 B 形态或 C 形态能量(反映变换后的物理量), 其框图示于图 1-2。例如, 利用霍尔效应进行磁场检测。将霍尔元件置于被测磁场 B 中, 在霍尔元件上通以电流 I , 这时霍尔元件上有霍尔电热 E_H 产生, 也就是说将磁场能量和电能同时作用于霍尔元件, 通过霍尔效应转换成电能输出, 如图 1-3 所示。

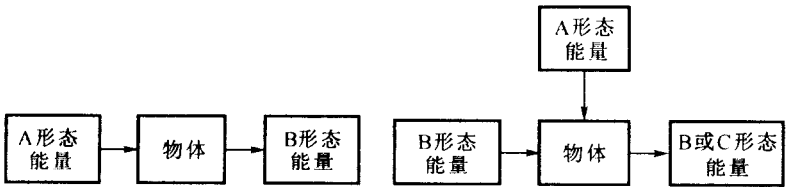


图 1-1 单形态能量变换

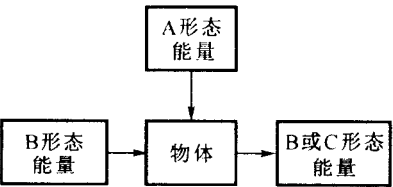


图 1-2 双形态能量变换

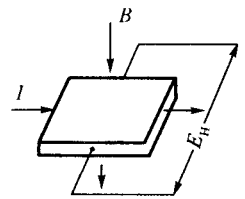


图 1-3 霍尔元件测磁场

这种变换形式的特点是变换过程所需要的能量不从被测对象（磁场）取得，而是从附加的能源（参比电流源）取得。其优点是附加能源的电平高，从而使变换后所得信号较强。由于不从被测介质取出能量，这种变换不破坏被测介质的物理状态。这种变换器的结构一般较复杂。

研究敏感元件的变换机理是很重要的课题。设法将新发现的物理定律引入传感器中，作为物理量变换的依据，往往会产生崭新的传感器和检测方法。传感器的变换规律、结构和应用，将在第三章中详细介绍。

3.2 信号处理电路

信号处理电路所完成的功能是将敏感元件（部件）所获取的代表被测量特征的信号变换成能进行显示或输出的信号，主要有以下几方面的转换：

（1）信号形态的变换

敏感元件（部件）不一定能将被测对象直接转换成电流或电压的形态，如电感式位移传感器，敏感部分是位移通过可移动铁芯转换为电感量 L 的变化，半导体压力传感器是将被测的压力先转换成电阻的变化。信号处理电路的功能，首先是将电感 L ，电阻 R 等不易变换、处理、传输的信号形态变换成易于传输和处理的电流、电压形态。

（2）放大或阻抗变换

敏感元件或传感器将被测对象一次转换得到的信号，虽然是电压或电流信号，但是其很微弱或较弱（如 mV 级、 μV 级）并兼有高内阻（如 $10^7 \Omega$ ）。这时需要对这种微弱信号进行放大或阻抗变换（变换成具有一定电平输出、内阻又小的形式）。信号处理电路将承担信号放大或阻抗变换的功能。如热电偶测温，其输出为 mV 级，需要信号处理电路将其放大到 V 级的量值；压电式传感器压电片的输出信号为电荷量且输出阻抗很高（在 $10^8 \sim 10^9 \Omega$ ），信号处理电路的任务是将电荷量转换成电流或电压并使输出变为低阻抗输出。

信号形态变换、放大或阻抗变换的信号处理电路又被称为前置（放大）电路、接口电路、信号调理电路等。常见的电路有电桥、电荷放大器、测量放大器、隔离放大器和程控增益放大器等。

（3）功能性变换

经过放大处理的信号，按照检测的要求，还需进行一定的变换或处理，若被测信号为模拟信号，而输出或显示需要变为数字量时，信号处理电路则完成模拟到数字的信号转换（即 A/D 变换）；若放大器输出与被测对象存在非线性关系，而又需要显示或输出与被测对象为线性关系，这就需要加入线性化电路。根据检测系统的功能，来确定相应的信号处理电路。

信号处理电路的作用与功能依敏感元（部）件或传感器的原理与结构及检测系统的功能而定，具体将在第六章的“信号调理电路”中介绍。

3.3 显示电路与显示器

显示电路与显示器的作用是将被测对象以人能感知的形式表现出来。显示的形式有模拟式和数字式两大类型。

（1）模拟式

模拟式显示是把被测对象变换成为表针的线位移或角位移，其值从刻度盘上表针对应的

位置读出。刻度盘的形状有条形和圆盘形，其刻度有均匀型（线性）和非均匀型（非线性，如模拟式万用电阻档刻度）。显示电路的作用是把被测对象的量值变换成能驱动表针运动的电流值，这种电路一般比较简单。

（2）数字式

数字式显示是把被测量变换成为数字的形式显示出来，使人一目了然，也比较准确。显示数字的位数由检测精度来决定，例如显示检测值不低于千分之一（即 0.1%），需要显示值位数为 $3\frac{1}{2}$ 位，即最大显示值位数为 1999，显示误差为“1”，其相对误差为 0.05%，满足要求。由于微电子技术的发展，数字式显示系统较容易提供图形显示、数据存储和数据显示等。数字显示电路要将模拟信号转换为数字量、并进行显示的译码与驱动。

3.4 信号的传输

检测系统的输出，一是以数字的形式显示出来，二是为上位系统或自动控制系统提供数据。这时往往需要将信号（数据）传送一定距离，这就是信号传输问题。信号的传输，按信号的类型分为模拟型和数字型；按传输介质类型分为有线型和无线型。

（1）模拟信号与数字信号的传输

模拟信号传输可以是电压信号，也可以是电流信号；一般电流信号传输比电压信号传输更有利（如电流信号比电压信号的抗干扰能力强）。数字信号传输可以是脉冲序列，也可以是某种形式的编码信号。通常数字信号传输比模拟信号传输抗干扰能力强。

（2）信号的有线传输与无线传输

信号的有线传输是用导线传输信号。根据检测精确度的不同，传输信号选用的导线也不同。如果传输距离近且要求不高时，一般选用普通导线就可以了；如果传输距离较远且应有一定抗电磁干扰能力时，需选用双绞线；对于频率高或信号较弱，抗干扰性能要求高时，需选用相应的屏蔽电缆或同轴电缆。

信号的无线传输是通过高频信号作为载波、被传输的信号作为调制信号，调制后的信号以无线电波的形式进行信号传输的。这种信号传输方式用于信号传输的距离远或不宜使用导线的场合。

测控系统的信号传输技术将在第六章“信号传输与通信”中较详细地介绍。