



21 世纪高等学校规划教材

21Shiji Gaodeng Xuexiao Guihua Jiaocai

检测技术及应用

Jiance Jishu Ji Yingyong

■ 周祥才 朱兆武 主编

JIANCE JISHU JI
YINGYONG



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE



21 世纪高等学校规划教材

21Shiji Gaodeng Xuexiao Guihua Jiaocai

第2版 (2012) 目次

检测技术及应用

Jiance Jishu Ji Yingyong

■ 周祥才 朱兆武 主编

JIANCE JISHU JI
YINGYONG



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

检测技术及应用/周祥才, 朱兆武主编. —北京: 中国计量出版社, 2009. 1

(21 世纪高等学校规划教材)

ISBN 978 - 7 - 5026 - 2954 - 0

I. 检… II. ①周…②朱… III. 技术测量—高等学校—教材 IV. TG806

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 209228 号

内 容 提 要

本书以过程参量检测为主线, 系统介绍了检测技术理论基础、温度测量、力和压力检测、流量检测、物位和厚度检测、机械量检测、光电检测、数字化测量技术、仪表测控系统、抗干扰技术等内容。

本书根据测控技术与仪器、产品质量工程及机电类工科专业的特点, 较系统完整地介绍了检测技术的内容、测量与控制的手段和方法。在内容上力求将传统测量仪表与传感器技术相结合, 检测技术与仪表控制相结合; 在内容编排上注意基础知识、技术、应用的有机联系。通过本教程的学习, 使读者有一个完整的检测技术和仪表控制的知识体系和理论基础。

本书可作为测控技术与仪器、产品质量工程、机电类等应用型本科专业教材, 也可作检测技术类专科或相关工程技术人员教材或参考书。

中国计量出版社 出版

地 址 北京和平里西街甲 2 号 (邮编 100013)

电 话 (010) 64275360

网 址 <http://www.zgjl.com.cn>

发 行 新华书店北京发行所

印 刷 北京市媛明印刷厂印刷

开 本 787mm × 1092mm 1/16

印 张 17.75

字 数 427 千字

版 次 2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

印 数 1—3 000

定 价 32.00 元

如有印装质量问题, 请与本社联系调换

版权所有 侵权必究

前 言

检测技术是工程检测和自动控制的基础。随着传感器技术、电子技术和计算机技术的发展,无论是检测技术的内容,还是检测手段都有了非常大的变化,从某种程度上改变了传统的测量和控制的手段和方法。

本书根据测控技术与仪器、产品质量工程及机电类工科专业的特点,在课程体系结构上力求完整;在课程内容上兼顾相关课程内容的衔接,考虑了传统测量仪表与传感器技术的结合和检测技术与仪表控制的结合;在内容编排上注意基础知识、技术、应用的有机联系,在一些章节中,适当减少理论的分量,增加应用设计举例,目的在于增强知识的应用性。通过本教程的学习,使读者有一个完整的检测技术和仪表控制的知识体系和理论基础,掌握检测技术的基本内容和方法。

全书共分十章。分别介绍了检测技术理论基础、温度测量、力和压力检测、流量检测、物位和厚度检测、机械量检测、光电检测、数字化测量技术、仪表测控系统、抗干扰技术等内容。本书由常州工学院周祥才、中国计量学院朱兆武两位老师任主编。其中第1,8章由常州工学院周祥才编写;第2,4章由河北大学方立德编写;第3,10章由常州工学院潘雪涛编写;第5,6章由中国计量学院朱兆武编写;第7章由湖北工业大学刘文超编写;第9章由常州工学院周祥才、孟飞编写。

此书在编写过程中,得到了中国计量出版社副总编辑刘宝兰、参编教师所在院校领导的支持和帮助,中国计量学院杨其华教授对本书提出了许多宝贵的意见,谨在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平和能力,本书一定存在不足或不妥之处,恳请广大读者批评和指正。

编 者

2009年1月

目 录

第一章 检测技术理论基础	(1)
第一节 检测技术概论	(1)
一、检测技术概念	(1)
二、检测技术的基本内容	(4)
三、检测技术及其方法分类	(5)
四、检测系统组成	(6)
五、检测系统的一般特性	(8)
第二节 测量误差与数据处理	(17)
一、测量误差分析	(17)
二、测量误差的处理方法	(20)
三、测量误差的合成	(26)
四、测量不确定度	(29)
第三节 信号的分析和处理	(31)
一、信号的概述	(31)
二、连续信号的傅里叶变换	(32)
三、离散信号的傅里叶变换	(35)
四、信号采样定理与频谱混叠	(37)
习题与思考题	(39)
第二章 温度测量	(40)
第一节 温度检测概述	(40)
一、温度的基本概念	(40)
二、温标的建立	(40)
三、温标的发展	(41)
第二节 温度的检测	(44)
一、测温方法与测温仪器分类	(44)
二、接触式测温方法	(44)
三、非接触式测温方法	(55)
四、新型测温传感器简介	(57)
第三节 温度测量的常用仪表	(57)

一、热电阻测温仪表	(57)
二、热电偶测温仪表	(62)
三、辐射测温仪表	(65)
四、温度计的检定	(67)
第四节 温度检测系统设计举例	(67)
一、温度检测系统设计的基本过程	(67)
二、温度检测系统设计举例——电冰箱温度检测系统设计	(68)
习题与思考题	(71)
第三章 力和压力检测	(72)
第一节 力和压力检测概述	(72)
第二节 力的检测	(72)
一、力的基本概念	(72)
二、测力的基本原理及方法	(73)
三、力的测量装置	(74)
第三节 压力的检测	(83)
一、压力的基本概念	(83)
二、压力的表示方法及单位	(83)
三、压力检测方法及装置	(84)
四、压力检测仪表的选择与校验	(95)
习题与思考题	(96)
第四章 流量检测	(98)
第一节 流量检测概述	(98)
一、流量的基本概念	(98)
二、流量测量的理论基础	(99)
三、流量的检测方法、分类及测量系统组成	(104)
第二节 体积流量检测方法	(105)
一、容积式流量检测	(105)
二、差压式流量检测	(108)
三、速度式流量检测	(116)
第三节 质量流量检测方法	(122)
第四节 流量测量装置的检定与校准	(124)
一、液体流量标准装置	(124)
二、气体流量标准装置	(125)
习题与思考题	(126)

第五章 物位和厚度检测	(127)
第一节 物位检测的基本方法和类型	(127)
一、物位的概念	(127)
二、物位测量的特点和方法	(127)
第二节 物位的检测	(128)
一、浮力式液位计	(128)
二、电容式物位计	(130)
三、光纤式液位计	(132)
四、超声波物位计	(134)
五、微波式物位计	(137)
六、射线式物位计	(138)
七、物位测量仪表的选用	(139)
第三节 厚度的测量	(140)
一、电容测厚仪	(140)
二、高频涡流测厚仪	(141)
三、微波测厚仪	(141)
习题与思考题	(142)
第六章 机械量检测	(144)
第一节 位移检测	(144)
一、光栅式位移传感器	(144)
二、电感式位移传感器	(149)
第二节 速度和加速度的检测	(156)
一、速度的检测	(156)
二、加速度的检测原理	(159)
第三节 转速的检测	(165)
一、感应脉冲式转速表	(165)
二、光电式转速表	(166)
三、频闪转速表	(166)
第四节 机械振动的检测	(167)
一、测振系统的组成	(167)
二、振动系统的合理选用	(169)
三、传感器的安装	(170)
习题与思考题	(171)
第七章 光电检测	(173)
第一节 光电检测概述	(173)
一、光电检测系统的基本工作原理	(173)

二、光电检测技术的主要应用范围	(175)
三、光电检测技术的现代发展	(177)
第二节 光电式传感器及其应用	(177)
一、光电管与光电倍增管	(178)
二、光敏电阻	(181)
三、光敏二极管和光敏晶体管	(185)
四、光电电池	(188)
五、光电式传感器的应用	(191)
六、CCD 及应用	(192)
第三节 红外检测技术	(196)
一、红外传感器	(196)
二、红外测温	(198)
三、红外无损检测	(199)
习题与思考题	(200)
第八章 数字化测量技术	(202)
第一节 模拟信号的数字化技术	(202)
一、模拟信号的离散化和量子化	(202)
二、动态的测量方法	(203)
三、数字模拟转换器 D/A	(203)
四、模拟数字转换器 A/D	(207)
第二节 数据采集技术	(216)
一、数据采集技术概述	(216)
二、模拟多路开关	(218)
三、前置放大器	(220)
四、采样/保持器 (SHA)	(224)
第三节 数字式测量仪表	(225)
一、数字式测量仪表的发展概述	(225)
二、数字式测量仪表的主要技术特点	(226)
三、电子计数器的原理及其应用	(227)
四、直流数字电压表及其功能扩展	(229)
五、数字电压表的误差及其表示	(234)
习题与思考题	(234)
第九章 仪表测控系统	(236)
第一节 仪表测控系统概述	(236)
一、仪表测控系统分类	(236)
二、仪表测控系统的结构	(237)
三、仪表测控系统的分析方法	(237)

第二节 变送器	(240)
一、变送器工作原理	(240)
二、电量变送器	(241)
三、非电量变送器	(242)
第三节 调节控制器	(244)
第四节 仪表控制系统	(248)
一、电动控制仪表	(248)
二、PLC 可编程序控制器	(249)
三、计算机仪表控制系统	(250)
习题与思考题	(252)
第十章 抗干扰技术	(254)
第一节 干扰源及干扰耦合的方式	(254)
一、干扰的类型及产生	(254)
二、信噪比和干扰叠加	(256)
三、干扰的耦合方式	(257)
第二节 差模干扰与共模干扰	(259)
一、差模干扰	(259)
二、共模干扰	(259)
三、共模干扰抑制比	(260)
第三节 干扰抑制技术	(261)
一、接地技术	(261)
二、屏蔽技术与双绞线传输	(264)
三、隔离技术	(266)
四、滤波技术	(268)
五、灭弧技术	(268)
六、电源干扰的抑制	(269)
第四节 软件抗干扰技术	(270)
一、数字滤波技术	(271)
二、设置自检程序	(272)
习题与思考题	(272)
参考文献	(273)

第一章 检测技术理论基础

第一节 检测技术概论

一、检测技术概念

(一) 测量的概念

1. 测量的定义

人们在科学研究、生产活动、商品贸易及其日常生活中，会遇到各种各样的事情。为了认识它们，需要对它们进行一定程度的定性分析，更需要对它们进行一定程度上的定量研究，获得量值，这正是测量所完成的主要使命。

测量是以确定量值为目的的一组操作。测量就是用标准量与被测量进行比较，获得被测量对标准量倍数的量值。标准量是经过严格定义的单位，是量值的基本大小，而获得的测量倍数只是一个标量，没有单位的量值是没有任何意义的。

设被测量为 X ，单位量为 x_0 ，经过测量获得被测量对单位量的倍数为 A_{x0} ，则被测量 X 可表示为

$$X = A_{x0} x_0 \quad (1-1)$$

可见，一个被测量的测量值应有两个量来表示，即单位和量值。若采用不同单位，则获得的量值也是不同的。设同样的被测量 X ，单位量为 x_{01} ，则获得的相应量值为 A_{x1} ，则被测量也可表示为

$$X = A_{x1} x_{01} \quad (1-2)$$

因此

$$\begin{aligned} A_{x0} x_0 &= A_{x1} x_{01} \\ \frac{A_{x1}}{A_{x0}} &= \frac{x_0}{x_{01}} = k \\ x_0 &= k x_{01}, \quad A_{x1} = k A_{x0} \end{aligned} \quad (1-3)$$

式中， k 为单位换算因数。

从式 (1-3) 可以看到，采用不同单位，获得被测量的量值是不同的。当单位制不同时， k 值表示两种不同单位制的换算系数；当采用同一单位制时， k 值表示同一单位的倍率。例如：电压单位有“伏特 (V)”，“毫伏 (mV)”。若被测某电压值 X 可表示为

$$X = A_{x0} x_0 = 10.1 \text{ (V)}$$

或

$$X = A_{x1} x_{01} = 10\,100 \text{ (mV)}$$

则

$$k = \frac{A_{x1}}{A_{x0}} = \frac{x_0}{x_{01}} = 1\,000$$

即

$$1 \text{ V} = 1\,000 \text{ mV}$$

2. 单位制

单位制是为给定量制按给定规则确定的一组基本单位和导出单位。单位制是人们在认识实践中形成的便于量值表示的单位体系。它是由选定的一组基本单位和根据定义方程式由它们及一定的比例因数而确定的导出单位所构成。选定的基本单位不同，依据的定义方程式不同，确定的单位制就不同。例如，以厘米、克、秒基本单位形成的厘米·克·秒制（CGS制）；以米、千克、秒基本单位形成的米·千克·秒制（MKS制）等等。单位制的形成和发展是与科技的进步，社会经济发展密切相关的，也是在协商和认同的基础上建立起来的。目前，被国际上认同并采用的单位为国际单位制单位。国际单位制是经1960年第十一届国际计量大会正式命名的单位制，以米、千克、秒、安培、开尔文、坎德拉和摩尔为基本单位，并经后来的国际计量大会充实和完善。国际单位制由SI单位、SI词头和SI单位的十进倍数和分数单位三部分组成，构成体系如下：

$$\text{国际单位制 (SI)} \begin{cases} \text{SI 单位} \begin{cases} \text{SI 基本单位} \\ \text{包括 SI 辅助单位在内的具有专门名称的 SI 导出单位} \end{cases} \\ \text{SI 单位的倍数单位} \end{cases}$$

我国的法定计量单位，是由国际单位制单位和可与国际单位制单位并用的我国法定计量单位组成。可与国际单位制单位并用的我国法定计量单位如表1-1所示。

表1-1 可与国际单位制单位并用的我国法定计量单位

量的名称	单位名称	单位符号	量的名称	单位名称	单位符号
时间	分	min	速度	节	kn
	[小] 时	h	质量	吨	t
	日, (天)	d		原子质量单位	u
[平面] 角	度	(°)	体积	升	L, (l)
	[角] 分	(')			
	[角] 秒	(")	能	电子伏	eV
旋转速度	转每分	r/min	级差	分贝	dB
长度	海里	n mile	线密度	特 [克斯]	tex
面积	公顷	hm ²			

(二) 检测技术的基本概念

1. 检测的概念

测量是以确定量值为目的的一组操作，而检测是以测量为手段，将被测控对象有用信息的信号检测出来，加以分析、判断和利用。

被测控对象有各种各样的信息，有些信息可以直接测量到，如电流、电压、电阻；有些信息不能直接测量到，如力、温度。虽然人体可以感受到，但有些信息是无用的，而有些是有用的，有用的信息中可能又包含有一些无用的信息，需要对获取的信号进行处理和分析。对于被控对象，不仅要获取被控对象信息，而且要对信息进行分析、比较，并反作用于被控

对象,使被控对象的某种量值维持在某一个变化的范围内。

传感器是获得非电量信息的主要途径,由于传感器输出的信号较弱,有时还包含了一些无用的信号,需要对信号进行放大等调理。调理后的信号包含了被测的信息,可以按测量要求进行分析、处理、显示、记录、输出、判断和控制。因此,一般检测系统应包括从信息的采样与调理,处理与分析,存储与传输,显示和记录,其结构如图 1-1 所示。这种将信息的采样、调理、处理、存储、传送、分析、控制和传输为一体的多种技术称为检测技术。

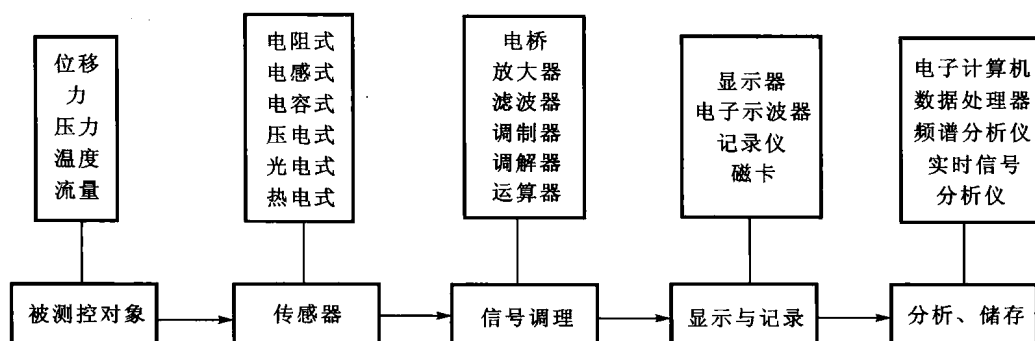


图 1-1 一般检测系统框图

检测技术从功能上分,可分为参数测量功能,以获取被检测参数的信息,测量数据分析、处理和判断功能,以获取与被检测参数相关的特性和特征;参数监测与控制功能,以达到监测被检测参数状态以及控制被检参数在一定变化范围的目的。检测技术更多地偏重工程检测方面,对生产过程和运动对象进行检测,涉及生产过程和半成品某种参数的检测与检验,以及对生产过程中工艺参数的测量与控制。

2. 检测与测量等概念的区别

在检测领域,时常会涉及测量、计量、检验、试验等概念,它们的含义在某种程度上有相似性,但内涵不完全相同。

计量是量值精确统一的测量,是对“量”的定性分析和定量确认的过程,因此,计量是一种测量,但又不同于一般的测量,其对象是计量器具和标准物质,目的是通过测量手段,量值传递的过程对计量器具和标准物质进行定量,对计量器具和标准物质进行合格判定。计量器具具有精确性、一致性、溯源性和法制性的特点,通过计量使量值保持准确和统一,日常工业生产中采用的校准也是计量的一种形式。

检验与计量有相同的测量含义,所不同的是检验的对象是产品,其依据的是产品标准,由于计量具有法定性,计量操作需由法定的计量人员来完成和出具证书,而检验则由单位授权检验员操作完成,根据单位授权性质的不同,检验结果也有不同范围的权威性,国家、省、市产品质量检测所出具的检验报告,第三方检测机构出具的检验报告等,检验结果的权威性不尽相同。

试验是通过某种人为的方法,把被测试对象的某种信息,通过专门的装置,将它激发出来,进行测量,并对测量结果进行比较,其目的是比较被测对象的性能特性,通常用在产品的老化和寿命试验或鉴定中。

二、检测技术的基本内容

从一般的检测系统看,完成一个量的检测需有多个环节,但无论是一台测量仪表,还是一个检测系统,都会涉及测量原理、测量方法、测量系统设计、数据处理等分析方法的选择和比较。

被检测的量往往是复杂的,尤其是科学技术和工程上所要测量的非电量,如机械量、热工量、成分量等。这些物理量具有一定物理属性,人们正是利用这些属性通过相应的传感器,将它转换成可以进行检测和处理的电信号,但被检测对象的同一种参数,可以依据不同原理构成的传感器来获取相应信息的电信号。例如,温度的测量,可以采用热电偶来测量,也可以采用热电阻、热敏电阻、集成温度传感器、光纤温度传感器来测量。由于采用不同传感器测量,获得的信号会引起调理电路、处理方法、影响因素、达到精度不同,也会使完成实现检测的难易性和经济性不同。因此,根据被检测对象不同参数和技术要求经济合理地选用相关的传感器是十分重要的。



图 1-2 传感器输出输入

选定了传感器,并不等于具备了检测技术或方法,还需要确定一定的检测结构,有选择地实现信号的转换和处理。在理想情况下,传感器的输入量 x 与输出量 y 是一一对应的,但在实际情况中,输入量往往不是单一的,而是携带着干扰信号和一些未知的信号,如图 1-2 所示。

为了消除其他不需要信号对测量结果的影响,除了对输入量作适当处理外,可以在选定检测结构上加以抑制,如采用补偿结构和差动结构,如图 1-3 和图 1-4 所示。

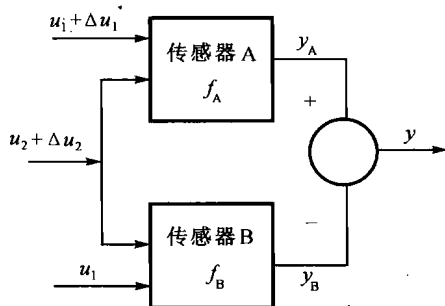


图 1-3 补偿结构

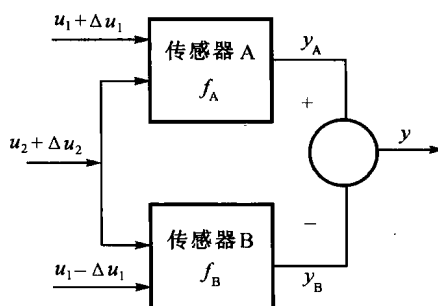


图 1-4 差动结构

检测方法的选择也是非常重要的,根据被检测量的特点和要求,可以选择电测法或非电量法;模拟量测量法或数字测量法;等精度测量或不等精度测量法;静态测量或动态测量法等等,检测方法不同也会对测量带来不同的效果。

检测系统的设计或仪表装置的选择是检测技术的重要内容,由于电子技术的发展,给检测系统的设计或仪表装置的选择带来了较大的选择余地。单从检测系统来看,可以采用集成电路,也可以采用微处理器为核心的系统,有些可直接采用计算机进行检测处理,也有些采用上下位微机配合使用。总之,选用何种方式方法进行检测,除了从技术层面考虑外,还要根据被检测量的要求,并考虑经济性、可靠性、方便性和可行性等问题。

三、检测技术及其方法分类

客观世界万物是千姿百态的，有些是瞬间变化的，反映被检测量信息的信号也是多种多样的。因此，检测的技术和方法也是多种的，应根据变换原理不同设计不同的传感器，根据不同的检测要求采用不同的检测方法，根据不同的检测信号采用不同的分析处理方法。

（一）按被测量的类型分

从获取被测量信息的电信号方法分，可以将被测量划分为电量和非电量两大类，测量技术和方法也可以分为相应的两种。由于电量易于处理、分析、存储、传输、实现和控制，非电量的电测就显得尤为重要：一是因为在工程实现和科学研究中，大部分被检测量为非电量，通过非电测法可以较为精确、快速地获取被测量；二是随着电子技术，计算机技术的发展，为非电测法提供了强大的技术支持，使非电测技术获得广泛的应用。

（二）按检测原理分

非电量变换为电量主要依靠传感器，而传感器的变换依据物理的、化学的、生物学的各种原理来实现。常用的有电磁、光电、半导体效应、电压和压敏效应等原理，组成各种各样的传感器，具体可分为：

- （1）按电参量分，如电阻式、电感式、电容传感器；
- （2）按磁参量分，如磁电感应式、霍尔式、磁栅式传感器；
- （3）按光电式分，如光电式、光栅式、光电码盘式、光导纤维式、红外式传感器；
- （4）按反应效应分，如压电式、热电式、压阻式传感器；
- （5）按材料分，如半导体式传感器；
- （6）按其他原理形成的传感器等。

（三）按获得测量结果方式分

可分为直接测量和间接测量。直接测量是指在测量时，被测量与标准量相比较而获得被测量的大小，其特点是简便。例如，用电压表测量电压，用电位差计测量电动势，电桥测量电阻等。对于指示仪表，读数刻度事前已标度好，对于电位差计或电桥的比较式测量，调节读数盘，使回路达到平衡，获得测量结果。

间接测量是指通过直接测量若干个与被测量有一定函数关系的量之后，通过数据运算而得到测量结果。例如，由测量功率、电压和电流求负载功率因数。间接测量至少需要二次测量，而且被测量的误差需要通过误差合成求得。

（四）按测量方式分

按测量过程中读取数据的方式分，可分为直读式测量和比较式测量。直读式测量是根据测量仪表（仪器）的指示读数直接获取被测量的大小，标准量不直接参与测量，当然，为了保证测量仪表（仪器）的准确可靠，应预先校准好。事实上，各类仪表（仪器）出厂时已检定过，在日常使用时，也需定期检定和校准，以确保仪表（仪器）的量值准确一致。

比较式测量指将被测量与标准量相比较，来获取测量结果。按比较方法不同又可分为零

位法（也称平衡法）、微差法（也称差值法）和替代法。

（1）零位法测量 被测量与标准量比较时，一般是调节标准量使测量回路或某一支流的电流趋向零，并用检流计等指零器指示，通称为达到平衡。此时，被测量等于标准量，即

$$X = A$$

直流电位差计和直流电桥就是采用零位法进行测量的，其特点是测量精度高，而测量精度取决于标准量的精度、指零器的灵敏度。

（2）微差法 用量值大小接近被测量的标准量与被测量比较，取得较小的差值，再用比较仪器测量其差值，获得被测量的大小。设标准量为 A ，差值为 α ，则被测量为

$$X = A + \alpha$$

则测量绝对误差为

$$\Delta X = \Delta A + \Delta \alpha \approx \Delta \alpha$$

测量相对误差为：

$$r_x = \frac{\Delta X}{X} \times 100\% = \frac{\Delta \alpha}{X} \times \frac{\Delta X}{\Delta \alpha} = r_{\text{仪}} \times 10^{-n}$$

其中， $r_{\text{仪}} = \Delta \alpha / \alpha \times 100\%$ 为测量仪器的相对误差， 10^{-n} 为差值 α 与被测量的十进制倍数，只要恰当选取标准量， $n \geq 3$ 是容易做到的。可见，通过微差法测量，可以使测量的相对误差减少几个数量级，大大地提高测量精度。

（3）替代法 用仪器对被测量进行测量一次，再用量值接近被测量的已知标准量替换被测量，再用仪器测量一次，通过两次测量结果进行计算得到被测量。设第一次测量被测量 X 的读数为 α_x ，第二次测量标准量 A 的读数为 α_N ，则

$$X - A = \alpha_x - \alpha_N$$

$$X = (\alpha_x - \alpha_N) + A$$

由于选取 A 与 X 接近，两次测量的状态相近，则结果中可以消除测量仪器中存在的线性系统误差。

四、检测系统组成

（一）检测系统组成

从获取被测量信息的信号到检测结果的输出需多个环节，对于一般的检测系统，它由传感器变换、中间的调理电路处理、信号的分析 and 处理检测结果输出。调理电路处理根据传感器输出信号特点和后续对信号的要求而定，一般有放大、衰减、滤波、检波、比较、整形等电路，信号的分析 and 处理有多种形式，如时域分析、频域分析、硬件电路分析处理、软件分析和处理等等。

由检测的各个环节组成检测系统，而检测系统又依据各环节联接方式不同组成系统结构。

1. 开环检测系统

它是由一系列环节顺序串联而成，如图 1-5 所示。系统的输入量为 X ，输出量为 Y ，各个环节的传递系数为 $k_1, k_2, \dots, k_n$ ，则整个检测系统的传递系数 k 为

$$k = \prod_{i=1}^n k_i \quad (1-4)$$

这种开环系统结构简单、可靠，实现方便，但各环节的误差和各级干扰都得到相应的放大，会影响系统的精度和稳定性，要求各环节有较高的准确度和抗干扰性。

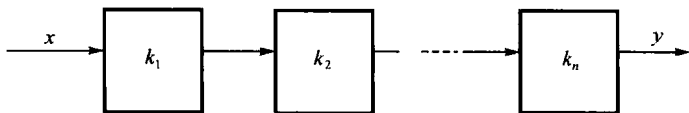


图 1-5 开环检测系统框图

2. 闭环检测系统

在检测信号正向传递的同时，在输出端引入一个反馈信号与系统输入信号比较，获得差值后再经变换，如图 1-6 所示。

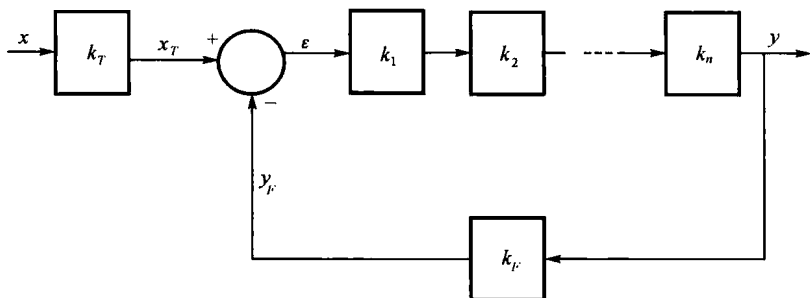


图 1-6 闭环检测系统框图

引入反馈的目的使输入偏差 $\varepsilon = x_T - y_F \rightarrow 0$ ，使系统达到稳定。输入、输出量之间的关系式为

$$\begin{cases} \varepsilon = x_T - y_F \\ y = (k_1, k_2, \dots, k_n) \varepsilon \\ y_F = k_F y \end{cases} \quad (1-5)$$

故系统的传递函数为

$$k = \frac{y}{x} = k_T \cdot \frac{\prod_{i=1}^n k_i}{1 + k_F \prod_{i=1}^n k_i} \quad (1-6)$$

式中， k_T 为测量部分的传递函数； k_F 为反馈部分的传递函数。一般地， $k_F \prod_{i=1}^n k_i \gg 1$ ，故

$$k = \frac{k_T}{k_F} \quad (1-7)$$

从式 (1-7) 可看到，信号处理的各个环节传递系数对输出结果无贡献，这说明引入反馈后，正向变换回路各组成环节不影响输出结果，有效地抑制了各种干扰及误差的影响。

(二) 检测系统的分类

检测系统可按信号传输方式、系统实现方式进行分类，如表 1-2 所示。

表 1-2 检测系统的分类

分 类		系统说明
信号传输方式	开环系统	各环节串联而成
	闭环系统	含有反馈环节，形成闭环回路
系统实现方式	手动	有人参与检测系统
	自动	传统检测系统
		微机检测系统
		不含微机的自动检测系统
		含有微机或计算机的自动检测系统

五、检测系统的一般特性

检测系统由传感器等一系列环节组成，而每一个环节都存在输入、输出关系，环节内部由于存在各种因素的影响，使输入、输出之间关系具有不同的特性，不同的跟随关系，从而形成了整个检测系统的输入、输出特性。通常可以根据被测量随时间变化快慢程度分为静态特性和动态特性，前者是指被测量不随时间变化或变化较缓慢时表现出来的静态特性，而后者是指被测量随时间变化表现出来的动态特性，两种特性从不同侧面反映了检测系统随时间变化的规律。

（一）静态特性

检测系统的输入、输出量具有一一对应的关系，一般总可以表示为一组多项式线性叠加

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n \quad (1-8)$$

式中， x 为输入信号； y 为输出信号； a_0 为零位输出系数； a_1 为线性项系数； $a_2, a_3, \cdots, a_n$ 为非线性项系数。

当 $a_i = 0$ （除 $i=1$ 外）时， $y = a_1x$ ，则为线性变化，输入、输出特性曲线为通过坐标原点的直线，这是最为理想的情况。

当 $a_i = 0$ （除 $i=0, i=1$ 外）时， $y = a_0 + a_1x$ ，这是具有零点迁移的线性特性。

当 $a_i \neq 0$ 时，这是最为一般的情况，输入、输出特性为一组曲线，高次项较多，表明输入、输出特性非线性越严重。

输入、输出特性曲线可由系统的灵敏度、分辨力、线性度、滞环、重复性等来表征。

1. 灵敏度 S

检测系统（或仪器）的灵敏度定义为在稳定下输出的变化量对输入变化量之比。即

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-9)$$

当特性曲线连续变化时，灵敏度为

$$S = \frac{dy}{dx}$$

显然，系统的测量灵敏度是输入、输出特征曲线的斜率，它反映输出量随输入量变化的快慢。

当系统特性曲线为线性时， $S = \frac{\Delta y}{\Delta x} = k$ ， k 为常数，反映系统在整个测量范围内灵敏度相