



普通高等教育“十五”国家级规划教材

自动检测技术 与装置

张宏建 蒙建波 主编



化学工业出版社
教材出版中心

普通高等教育“十五”国家级规划教材

自动检测技术与装置

张宏建 蒙建波 主 编
戴克中 张志君 副主编
李海青 主 审



化学工业出版社
教材出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

自动检测技术与装置/张宏建, 蒙建波主编. —北京:
化学工业出版社, 2004

普通高等教育“十五”国家级规划教材

ISBN 7-5025-4269-8

I. 自… II. ①张…②蒙… III. 自动检测-高等学
校-教材 IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 043338 号

普通高等教育“十五”国家级规划教材

自动检测技术与装置

张宏建 蒙建波 主 编

戴克中 张志君 副主编

李海青 主 审

责任编辑: 唐旭华

文字编辑: 廉 静

责任校对: 王素芹

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京彩桥印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×960mm 1/16 印张 29 $\frac{3}{4}$ 字数 556 千字

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4269-8/G·1134

定 价: 40.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

本书是为高等学校自动化专业编写的国家“十五”规划教材，也可以作为测控技术与仪器等相关专业开设的“传感技术”、“检测技术”等专业课程的教材。随着信息技术的飞速发展，信息的获取、信息的处理、信息的传输、信息的显示已成为信息领域的关键技术。基于这个思想，本书以广义信息论为主线，介绍和讨论自动检测技术和自动化仪表中的信息技术。本书的主要特点有：

(1) 力求将最新的传感技术、仪表技术及信息传输和处理技术等及时反映在教材中，同时还增加了软测量、图像检测和虚拟检测等现代检测技术；

(2) 以信息为主线，围绕信息的获取、信息的变换、信息的处理、信息的传输和信息的显示等方面来讨论检测技术与检测系统；

(3) 将传感技术与检测技术和自动化仪表结合起来，读者在通过本书的学习后不仅能理解一个个独立的传感器的原理，而且可以掌握由传感器及其他环节（仪表）构成的完整的检测系统。

根据作者多年来的教学实践的体会，在结合本书教学时采用自学讨论这样的一种教学方式较为合适。课堂教学主要讲一些有关检测技术及仪表的共性问题，然后布置思考题和习题，让学生在习题和回答思考题的过程中看书，参考其他教材，学生之间相互讨论；教师可选择部分有代表性的思考题让学生上台来回答、讨论甚至争论，最后教师进行归纳和总结。如有条件，教师可以引导学生根据自己的爱好和特点撰写小论文、小报告。通过这样的教学活动，可以提高学生的学习积极性和学习兴趣，保证教学质量和教学效果。在教学内容安排上，教师可以根据专业特点选择本教材的章节。对于自动化专业，建议将本书的第1、第2和第3章作为教学重点内容，第4、第5章作为选学内容。

参加本书编写的有：第1章张宏建、戴克中、杨先麟；第2章张志君、张宏建；第3章张宏建、戴克中、冀海峰、韩雪飞；第4章蒙建波；第5章冀海峰、张志君。全书由张宏建整理定稿，韩雪飞和程路也参加了部分章节的整理工作。全书由李海青教授审定。

虽然编者对书稿作了多次校核，但由于水平有限，书中难免存在问题和错误，恳请读者批评指正。

编者

2004年4月于杭州浙大求是园

内 容 提 要

本书是国家“十五”规划教材。全书以信息为主线，从信息的获取、信息的变换、信息的处理、信息的传输和信息的显示等角度介绍检测技术、检测仪表和检测系统。本书内容包括：检测技术的一般概念和检测仪表的测量误差、准确度等；各种检测元件的检测原理和使用特点；各种常见参数的检测方法和检测仪表；以及检测系统中的信息处理、信息传输技术和检测技术的最新进展（包括软测量技术和图像检测技术等）。

本书可作为自动化、测控技术与仪器、仪器仪表、电子及机械等相关专业的教材，也可以作为从事检测技术及仪表的研究生、科研工作者及工程技术人员的参考用书。

目 录

1 检测技术基础	1
1.1 检测技术的基本概念	1
1.2 检测仪表的基本概念	1
1.2.1 检测仪表的定义	1
1.2.2 检测仪表的分类	4
1.2.3 检测仪表的基本性能	7
1.3 测量误差的理论基础	12
1.3.1 测量误差的分类及产生原因	13
1.3.2 误差的估计和评价处理方法	16
1.3.3 消除和减少误差的一般方法	25
思考题与习题	27
参考文献	28
2 检测技术与检测元件	29
2.1 检测技术的原理与方法	29
2.1.1 自然规律与检测技术	29
2.1.2 基础效应	31
2.1.3 参数检测的一般方法	32
2.2 机械式检测元件	34
2.2.1 弹性式检测元件	34
2.2.2 其他机械式检测元件	40
2.3 电阻式检测元件	42
2.3.1 应变式检测元件	42
2.3.2 热电阻式检测元件	49
2.3.3 其他电阻式检测元件	51
2.4 电容式检测元件	55
2.4.1 电容式检测元件的工作原理	55
2.4.2 电容元件的结构和特性	56
2.4.3 电容式检测元件的温度补偿及其抗干扰	59
2.5 热电式检测元件	60

2.5.1	热电偶检测元件	60
2.5.2	晶体管温度检测元件	63
2.6	压电式检测元件	65
2.6.1	压电效应与压电材料	65
2.6.2	压电式检测元件的等效电路	67
2.6.3	压电式检测元件的误差	68
2.7	光电式检测元件	69
2.7.1	光电效应	69
2.7.2	光电器件的基本特性	70
2.7.3	光敏元件及特性	71
2.8	磁电式检测元件	77
2.8.1	磁电感应式检测元件	77
2.8.2	霍尔检测元件	82
2.9	磁弹性式检测元件	85
2.9.1	磁弹性效应	85
2.9.2	磁弹性式检测元件的结构及工作原理	86
2.10	核辐射式检测元件	89
2.10.1	放射源	89
2.10.2	探测器	90
2.10.3	核辐射式检测元件的误差	94
	思考题与习题	94
	参考文献	95
3	检测仪表	96
3.1	检测仪表的构成和设计方法	96
3.1.1	检测仪表的组成和检测系统的结构形式	96
3.1.2	检测仪表的设计方法	97
3.1.3	检测仪表中常见的信号变换方法	112
3.2	温度检测仪表	132
3.2.1	概述	132
3.2.2	热电偶温度计	135
3.2.3	热电阻温度计	143
3.2.4	其他接触式温度检测仪表	146
3.2.5	非接触式温度检测仪表	151
3.3	压力检测仪表	157

3.3.1	概述	157
3.3.2	液体压力计	159
3.3.3	弹性式压力检测仪表	162
3.3.4	电远传式压力检测仪表	164
3.3.5	物性型压力传感器	174
3.3.6	压力检测仪表的使用	177
3.4	物位检测仪表	183
3.4.1	概述	183
3.4.2	静压式液位计	184
3.4.3	浮力式液位计	188
3.4.4	电容式物位计	191
3.4.5	超声波物位计	193
3.4.6	其他物位计	196
3.4.7	物位检测的使用	202
3.5	流量检测仪表	203
3.5.1	概述	203
3.5.2	节流式流量计	205
3.5.3	转子流量计	219
3.5.4	涡街流量计	222
3.5.5	电磁流量计	225
3.5.6	容积式流量计	229
3.5.7	质量流量计	232
3.5.8	其他流量计	235
3.6	气体成分分析仪表	242
3.6.1	概述	242
3.6.2	氧量分析仪	243
3.6.3	热导式气体分析仪	245
3.6.4	红外式气体分析仪	248
3.6.5	色谱仪	251
3.7	机械量测量仪表	257
3.7.1	概述	257
3.7.2	位移测量仪表	258
3.7.3	厚度测量仪表	261
3.7.4	力测量仪表	264

3.7.5	转矩测量仪表	264
3.7.6	振动与加速度测量仪表	266
3.7.7	转速表	268
3.8	变送器	269
3.8.1	变送器的共性问题	269
3.8.2	差压变送器	275
3.8.3	温度变送器	280
3.8.4	智能变送器	289
3.9	显示记录仪表与装置	294
3.9.1	概述	294
3.9.2	模拟式显示及记录仪表	296
3.9.3	数字式显示及记录仪表	312
3.10	检测仪表的检定	320
3.10.1	检测仪表检定的一般要求和方法	320
3.10.2	检测仪表的检定	328
	思考题与习题	339
	参考文献	341
4	检测技术中的信息处理与传输技术	343
4.1	信息论基础	343
4.1.1	信息的概念	343
4.1.2	信息论研究的内容	347
4.1.3	信息论发展简况	349
4.2	自动检测中的信号处理技术	351
4.2.1	测量系统的信号与噪声	351
4.2.2	随机信号的处理方法和统计特征量	352
4.2.3	基于随机处理的参数检测方法	360
4.3	自动检测与控制系统中的信息传输	361
4.3.1	信息传输系统的构成	362
4.3.2	模拟信息的调制	365
4.3.3	数字信息的调制	373
4.4	信息传输标准化与国际规范	380
4.4.1	信息传输的标准化	380
4.4.2	现场总线数字通讯规范	384
	思考题与习题	385

参考文献	386
5 现代检测技术	387
5.1 软测量技术	387
5.1.1 软测量技术的概念	387
5.1.2 软测量技术的实现方法	388
5.1.3 软测量技术应用举例	400
5.2 图像检测系统	402
5.2.1 图像检测系统的构成及设备	403
5.2.2 图像的描述	407
5.2.3 数字图像处理技术	410
5.3 智能检测与虚拟仪器	425
5.3.1 智能检测	425
5.3.2 虚拟仪器检测技术	431
思考题与习题	438
参考文献	439
附录 1 热电偶的分度表	440
附录 2 主要热电偶的参考函数和逆函数	458
附录 3 热电阻分度表	462
附录 4 压力单位换算表	466
附录 5 节流件和管道常用材质的热膨胀系数 $\lambda \cdot 10^6$ [mm/(mm · °C)]	467

1 检测技术基础

1.1 检测技术的基本概念

门捷列也夫（Л. И. Менделеев）说，检测是认识自然界的主要手段，有检测才有科学。西门子（W. Von. Siemens）更干脆地说，检测就是去认识。

从信息论的角度讲，检测就是获得信息的过程。人类时刻都在用自己的五官感受周围的声音、图像、气味等大量信息，由于这些信息的获取，不断丰富人的知识。事实上，世界上几乎所有的生物都有检测周围环境信息的器官，这些器官是生物赖以生存的必要条件。

在科学研究、工业生产和军事等领域中，检测是必不可少的过程。例如，在自动控制系统中，检测是其中的一个非常重要的环节。典型的闭环控制系统的控制器是根据给定值与被控变量（经测量变送）之间的差值，经一定的运算形成输出去控制操纵变量。控制器输出值的变化使被控变量逐渐接近给定值，直到两者相等。可以看出，如果没有检测手段检测出被控变量的变化，就不可能组成一个自动控制系统；如果被控变量的检测误差很大，那么这个控制系统就不可能实现精确的控制。又例如，在反弹道导弹系统中，快速、准确地测出对方导弹的飞行速度、飞行高度、飞行方向等信息，是能否摧毁对方导弹的关键。

通常所讲的检测是指使用专门的工具，通过实验和计算，进行比较，找出被测参数的量值或判定被测参数的有无。也就是说，检测的结果可能是一个具体的量值，也可以是一个“有”或者“无”的信息。而完全以确定被测对象量值为目的的操作称为“测量”。由于二者有相同之处，所以在本书的文字描述中会根据需要有时用“检测”，有时用“测量”。

检测技术是研究如何获取被测参数信息的一门科学，涉及到数学、物理学、化学、生物学、材料学、机械学、电子学、信息学和计算机科学等很多学科。因此，这些学科的进展都会不同程度地推进检测技术的发展。

一般来说，检测的过程就是用敏感元件将被测参数的信息转换成另一种形式的信息，通过显示或其他形式被人们所认识。

1.2 检测仪器的基本概念

1.2.1 检测仪器的定义

由本章 1.1 所述可知，检测仪器通常包括两个过程（见图 1.1）：一是能量

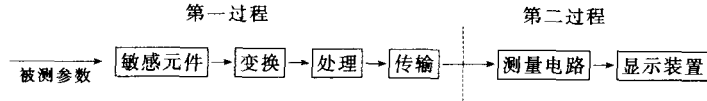


图 1.1 检测仪表的组成框图

(信息)形式一次或多次的转换,这一过程的目的是将人们无法感受的被测信息转换成可以被人直接感受(或利用已有成熟的仪表可以感受)的信息(如机械位移、电压、电流等),它一般包括敏感元件、信号变换、信号传输和信号处理等四个部分;二是根据规则将被测参数与相应的单位进行比较,通过合适的形式给出被测参数的具体信息,如数值显示、带刻度的指针显示、声音的变化等,这个过程包括显示装置和与显示装置配套的相关测量电路。

因此,在检测过程中检测仪表要完成的主要任务有物理量的变换、信号的放大传输和处理、测量结果的显示等。任何一个检测仪表必须要有敏感元件和显示装置,其余的环节视测量的要求和敏感元件的性能等不同而异。

一般来说,一台检测仪表是一个相对独立使用的整体,它能实现某个参数的检测。即一台仪表能测一个参数,这也就是传统意义上的“一一对应”。例如,用电压表可以测量电压,用温度计可以测量温度。

迄今为止,并不是所有参数的检测都能用单台检测仪表就能实现的,有些参数的检测需采用多个检测仪表,并通过一定的数学模型运算后才能得到。例如,在测量电功率时,需要用一只电流表和一只电压表接入被测电路中,把电流表和电压表的读数相乘后才能得到电功率。这种利用若干个检测仪表实现某一个或多个参数测量所构成的系统称为检测系统。因此,检测仪表是检测系统的基本单元,一台检测仪表可以构成一个检测系统,也可以是系统中的一个环节。

检测系统并不都是由检测仪表所构成,有时,一个检测系统是由若干个敏感元件以及相应的信号变换、传输和处理以及显示装置等部分组成,如图 1.2 所示。

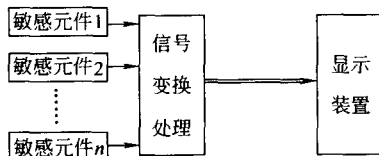


图 1.2 由若干个敏感元件组成的检测系统框图

随着科学技术的不断发展,有些专用的检测系统已被集成化,并把它们集成为一台检测仪表,这种检测仪表称为多参数检测仪表。因此,检测仪表与检测系统之间没有很明显的界线。检测仪表或检测系统和它们必需的辅助设备所构成的总体称检测装置。

在学习检测技术过程中,除了检测仪表

外，经常会看到其他一些名称，如传感器、变送器等。为了便于今后的学习，以下介绍本书的主要名称术语。

① 敏感元件(sensor) 也称检测元件，是一种能够灵敏地感受被测参数并将被测参数的变化转换成另一种物理量的变化的元件。例如，用铜丝绕制而成的铜电阻能感受其周围温度的升降而引起电阻值的增减，所以铜电阻是一种敏感元件。又由于它能感受温度的变化，故称这种铜电阻为温度敏感元件。

② 传感器(transducer) 它能直接感受被测参数，并将被测参数的变化转换成一种易于传送的物理量。很显然，有些传感器就是一个简单的敏感元件，例如，上面提到的铜电阻。由于很多敏感元件对被测参数的响应输出不便于远传，因此，需要对敏感元件的输出进行信号变换，使之能具有远传功能。这种信号变换可以是机械式的、气动式的，更多的是电动式的。例如，作为检测压力常用的膜片（详见后面章节有关内容）是一种压力敏感元件，虽然它能感受压力的变化并引起膜片的形变（位移），但由于该位移量非常小（一般为微米级），不便于向远方传送，所以它只是一个敏感元件，不是传感器。如果把该膜片与一固定极板构成一对电容器极板，则膜片中心的位移将引起电容器电容量的变化，这样它们就构成了输出响应是电容量的压力传感器。

目前，绝大部分的传感器的输出是电量形式，如电势（电压）、电流、电荷、电阻、电容、电感、电脉冲（频率）等。有的传感器的输出则是气压（压缩空气）或光强形式。

③ 变送器(transmitter) 是一种特殊的传感器，它使用的是统一的动力源，而且输出也是一种标准信号。所谓标准信号是指信号的形式和数值范围都符合国际统一的标准。目前，变送器输出的标准信号有：4~20mA 直流电流（Ⅲ型仪表）；0~10mA 直流电流（Ⅱ型仪表）；0~5V 直流电压以及 20~100kPa 空气压力（气动仪表）。

④ 被测参数(measured) 也称被测量，是指用敏感元件直接感受的测量参数。

⑤ 待测参数(parameter to be measured) 也称待测量，是指需要获取的测量参数。在大多数情况下，被测参数就是待测参数，例如，用铜电阻测量温度，温度既是被测参数，也是待测参数。但在间接测量中，两者就有不同的含义。

⑥ 直接测量(direct measurement) 指不必测量与待测参数有函数关系的其他量，而能直接得到待测量的量值。在这种情况下，被测参数就是待测参数。

⑦ 间接测量(indirect measurement) 通过测量与待测参数有函数关系（甚至没有函数关系）的其他量，经一定的数学处理才能得到待测参数的量值。在这

种情况下，被测参数一般就不是待测参数。例如，通过测量长度确定矩形面积，长度是被测量，面积是待测量，这种通过用长度测量来获得面积的方法称为间接测量。

1.2.2 检测仪表的分类

检测仪表按照技术特点或使用范围的不同有各种的分类方法，以下是常见的分类方法。

① 按被测参数分类，每个检测仪表一般被用来测量某个特定的参数，根据这些被测参数的不同，检测仪表可分为：温度检测仪表（简称温度仪表）、压力检测仪表、流量检测仪表、物位检测仪表等。

② 按对被测参数的响应形式分类，检测仪表可分为连续式检测仪表和开关式检测仪表。前者是指检测仪表的输出值随被测参数的变化按比例地连续改变。例如，常见的水银温度计，当温度计附近温度发生变化时，温度计中的水银因热胀冷缩而导致水银高度的变化，改变了温度计的读数，因此，这是一种连续式的检测仪表。开关式检测仪表是指在被测参数整个变化范围内其输出响应只有两种状态，这两种状态可以是电路的“通”或“断”，可以是电压或空气压力的“高”和“低”。例如，冰箱压缩机的间歇启动；电饭煲的自动保温等都是利用开关式的温度仪表实现的。

③ 按仪表中使用的能源和主要信息的类型分类，检测仪表可分为机械式仪表、电式仪表、气式仪表和光式仪表。

机械式仪表一般不需要使用外部能源，通常利用敏感元件的惟一带动仪表的传动机构，使指针产生偏转，通过仪表盘上的刻度显示被测参数的大小。这种仪表一般安装在现场，属就地显示式仪表。

电式仪表又称电动仪表，这类检测仪表用电源作为仪表能源，其输出信号也是电信号。现在绝大部分使用的检测仪表都为电式仪表，因为电式仪表所需电源容易得到，输出信号可以方便地传输和显示；信号的远传采用导线，成本较低。

气式仪表多用压缩空气作为仪表的能源和信号的传递。由于仪表中没有使用电源，这类仪表可以使用在周围环境有易燃易爆气体或粉尘的场所。但是用压缩空气传递信号，滞后比较大；传递信号的气管路上的任何泄露或堵塞会导致信号的衰减或消失。

光式仪表是近年来发展起来的一种新型检测仪表，它不仅有气式仪表的优点，而且信号传递的速度非常快。目前，光电结合形成了新的光电式仪表，它充分利用了光的良好抗干扰和绝缘隔离能力，以及电的易放大和处理能力强的特点，实现仪表的信号处理、信号隔离、信号传输和信号显示。

④ 按是否具有远传功能分类，检测仪表可分为就地显示仪表和远传式仪表。

有些检测仪表的敏感元件与显示是一个整体，例如，日常生活中经常看到的玻璃温度计；有些检测仪表的敏感元件将被测参数转换成位移量，而位移的变化进一步通过机构装置带动指针或机械计数装置直接指示被测参数的大小，例如，家用的水表、电表，把这类仪表称为就地显示仪表。就地显示仪表的特点是显示装置与敏感元件不能分离，仪表不具有其他形式的输出功能。

远传式仪表是指显示装置可以远离敏感元件。在这种检测仪表中，敏感元件在信息变换后，进一步进行信号的放大和转换，使之成为可以远传的信号。远传信号的形式一般有空气压力、电压、电流、电抗、光强等。随着科学技术的发展，远传信号还可以是无线的。为了便于现场观察和维护，有些远传式的检测仪表不仅能将信号远传，在远距离显示被测参数值，而且在就地也有相应的显示装置。

⑤ 按信号的输出（显示）形式分类，检测仪表可分为模拟式仪表和数字式仪表。模拟式仪表是指仪表的输出或显示是一个模拟量，人们通常看到的带指针式显示的仪表，如电压表、电流表等，均为模拟式仪表。数字式仪表是指仪表的显示直接以数字（或数码）的形式给出，或是以二进制等编码形式输出和传输。由于目前绝大多数的敏感元件、传感器以及变送器都是模拟式的，所以在数字式仪表中一般要有模/数（A/D）转换器件，实现从模拟信号到数字信号的变换。也有一些传感器的输出直接是数字量，而不需要 A/D 转换，例如，用来测风速的风速仪将风速转换成叶片的转动速度，而叶片每转动一周，风速仪就输出一个脉冲，其频率正比于风速的大小。随着计算机技术的应用日益普遍，数字式仪表将迅速增多。另外，为了满足不同使用者的需要，有些仪表既有数字功能，同时又有模拟式仪表的功能。例如，现在使用的很多变送器除了有现场数字显示（参数设定）功能外，它还能产生可以远传的 4~20mA 的模拟信号。这类仪表一般也归到数字仪表，但严格说应该是数字-模拟混合型仪表。20 世纪 90 年代发展起来的总线式仪表被认为是全数字式的仪表。

⑥ 按应用的场所，检测仪表也有各种分类方法。根据安装场所有无易燃易爆气体及危险程度，检测仪表有普通型、隔爆型及本安型。普通型仪表不考虑防爆措施，只能用在非易燃易爆场所；隔爆型仪表在内部电路和周围易燃介质之间采取了隔爆措施，允许使用在有一定危险性的环境里；本安型仪表依靠特殊设计的电路保证在正常工作及意外故障状态下都不会引起燃爆事故，可用在易燃易爆严重的场所。对隔爆型和本安型仪表的具体要求以及相应的等级详见国家有关标准的规定。

根据使用的对象，检测仪表有民用的、工业用的和军事用的。民用仪表一般在常温、常压下工作，对仪表的准确度要求较低。工业用仪表由于应用场合的千差万别，一般对仪表的被测对象的温度、压力、腐蚀性有各自的规定，从而出现

了许多系列性仪表，如耐高温仪表、耐腐蚀仪表、防水仪表等。工业用仪表一般对仪表准确度和可靠性均有较高的要求。军事用仪表的性能有更高的要求，除了工业用仪表中要考虑的各种因素外，还要特别考虑仪表的抗振性能、抗电磁干扰的性能，另外还要求仪表有很高的可靠性和较短的响应时间。

⑦ 按仪表的结构方式分类，检测仪表可分为开环结构仪表和闭环结构仪表。由于结构形式的不同，这两类仪表的性能有较大的差别。下面分别作一介绍。

(1) 开环结构仪表

图 1.3 所示为开环结构仪表框图。这种仪表由若干个环节串联组成，进入仪表的信息和变换只沿一个方向传递，每个环节的传递函数 K_i （在只考虑静态情况下，为放大倍数 k_i ）都与输出量 y 有关，同时，每个环节上的干扰 u_i 也直接影响输出量。只有当每个环节的准确度很高，抗干扰能力较强时，整个仪表的测量准确度才能得到保证。因此，开环结构的仪表一般为简易仪表，准确度较低。

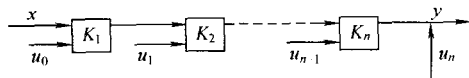


图 1.3 开环结构仪表框图

从图 1.3 中可看出开环结构仪表的传递函数 K 为各环节传递函数之积，即

$$K = K_1 K_2 \cdots K_n = \prod_{i=1}^n K_i \quad (1.1)$$

设各环节的相对误差为 δ_i ，则整台仪表的相对误差 δ 等于各环节相对误差之和，即

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \cdots + \delta_n = \sum_{i=1}^n \delta_i \quad (1.2)$$

这进一步说明整个仪表的误差取决于各个环节的误差。环节越多，误差也越容易增大。

(2) 闭环结构仪表

图 1.4 所示为闭环结构仪表框图，闭环式仪表也称平衡变换式仪表。

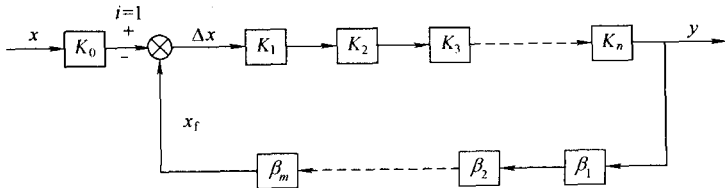


图 1.4 闭环结构仪表框图

闭环结构仪表的信息传递有两个通道，一个是正向通道，另一个是反馈通道。被测参数 x 在经过检测元件变换后为闭环系统的输入量 x_0 和反馈量 x_f 相比较。产生的偏差 Δx 为闭环系统正向通道的输入量；仪表的输出是 y 。 $K_1 \cdots K_n$ 和 $\beta_1 \cdots \beta_m$ 分别为正向通道和反馈通道的传递系数。根据反馈理论，仪表输出 y 与被测参数 x 之间有以下关系。

$$y = \frac{KK_0}{1+K\beta} x = \frac{K_0}{\frac{1}{K} + \beta} x \quad (1.3)$$

式中， $K = \prod_{i=1}^n K_i$ 为正向传递回路的总传递函数； K_0 为检测元件的传递系数； $\beta = \prod_{i=1}^m \beta_i$ 为反馈回路的总传递函数。当 $K\beta \gg 1$ 时，有

$$y \approx \frac{K_0}{\beta} x \quad (1.4)$$

可以进一步推出，闭环结构仪表的相对误差 δ 为

$$\delta = \delta_{K_0} - \delta_f \quad (1.5)$$

式中， δ_{K_0} 为检测元件的相对误差； δ_f 为反馈通道的相对误差。

由上述公式可知，如果闭环结构仪表的正向总传递函数 K 很大（一般总能满足），则仪表特性主要取决于反馈通道的特性，主通道各环节的性能对仪表的输出影响很小。因此，在仪表制造中，只要精心制作反馈通道就可以获得较高的准确度和灵敏度。但是，闭环结构的仪表无法克服或减小检测元件的任何误差。

1.2.3 检测仪表的基本性能

评定检测仪表的技术性能有很多质量指标，以下是常用的一些术语。

(1) 测量范围和量程

每台检测仪表都有一个测量范围，仪表工作在这个范围内，可以保证仪表不会被损坏，而且仪表输出值的准确度能符合所规定的值。这个范围的最小值和最大值分别称为测量下限和测量上限。测量上限和测量下限的代数差称为仪表的量程，即

$$\text{量程} = \text{测量上限值} - \text{测量下限值}$$

例如，一台温度检测仪表的测量上限值是 1000°C ，下限值是 -100°C ，则其测量范围为 $-100 \sim 1000^\circ\text{C}$ ，量程为 1100°C 。仪表的量程在检测仪表中是一个非常重要概念，它除了表示测量范围以外，还与它的准确度、准确度等级有关，与仪表的选用也有关。