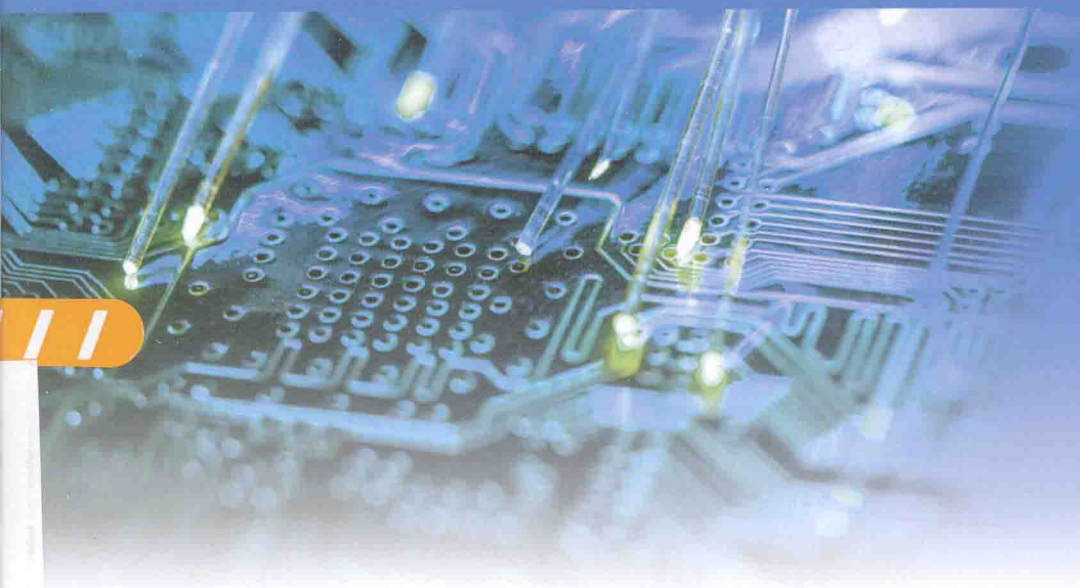




21世纪高等学校精品规划教材

检测技术

程 瑛 方彦军 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21 世纪高等学校精品规划教材

检测技术

程 瑛 方彦军 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

检测技术是一门集电子技术、通信技术、仪表技术、计算机技术、网络技术,以及误差理论、信号处理、信号与系统等于一体的跨学科的专业技术课程。

本书系统、深入地介绍了现代检测技术与系统方面的知识。全书分为8章,主要包括绪论、检测系统基本特性、测量与误差、参数检测技术、信号调理电路、检测系统的过程通道、检测中数字信号分析与处理、检测系统抗干扰技术。

本书适用于高校信息类及相关专业本科生和研究生,也适用于工矿企事业单位从事检测技术与系统研究、开发、设计、服务、维护等方面的工程技术人员。

图书在版编目(CIP)数据

检测技术 / 程瑛, 方彦军编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2015. 1
21世纪高等学校精品规划教材
ISBN 978-7-5170-2875-8

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第014211号

策划编辑: 雷顺加

责任编辑: 宋俊娥

封面设计: 李 佳

书 名	21 世纪高等学校精品规划教材 检测技术
作 者	程 瑛 方彦军 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 20 印张 490 千字
版 次	2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	39.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

检测技术是一门集电子技术、通信技术、仪表技术、计算机技术、网络技术,以及误差理论、信号处理、信号与系统等学科于一体的综合学科的专业技术课程。在当今信息化时代,人们所从事的生产和科研活动可归结为对信息资源的开发、传输、处理和获取。作为信息技术三大支柱之一的检测技术,其重要性已越来越被人们所重视,并深深地渗透到人类的科学研究、工程实践和日常生活的各个方面。“科学是从测量开始的”、“没有检测技术就没有现代科学技术”已被人们所共识,检测技术与系统的研究已日益成为工程界和科学界所普遍关注的重要问题。因此,了解和熟悉检测技术与系统的工作原理、设计方法、发展方向等都是十分重要和必要的。

目前,系统、深入地介绍现代检测技术与系统的书籍并不多,为此,作者对多年来从事检测技术与系统的教学与科研成果进行整理,并充实了一些新成果与新技术,撰写了本书,以满足广大读者学习现代检测技术与系统的愿望。

本书内容共分8章。第1章为绪论,主要介绍检测技术的基本概念与发展趋势;第2章介绍检测技术与系统的静态和动态特性;第3章介绍测量误差理论;第4章介绍工程中常见参数的检测方法;第5章介绍经传感检测后电信号的各种调理电路;第6章介绍检测系统中的各种不同信号的输入输出电路;第7章介绍检测系统中数字信号分析与处理的常用方法;第8章介绍检测系统中的抗干扰技术。

本书适用于高校信息类及相关专业本科生和研究生,也适用于工矿企事业单位从事检测技术与系统研究、开发、设计、服务、维护等方面的工程技术人员。

由于作者水平有限,且本书涉及内容面宽广,很多理论和实践的问题还在不断的发展中,并且有待进一步探讨,因此书中错误和不足之处在所难免,希望读者批评指正。

作 者
2014年8月

目

录

前言

第1章 绪论	1
1.1 检测技术的作用	1
1.2 检测系统的组成	2
1.3 检测系统的分类	4
1.4 检测系统的发展过程	7
1.5 检测技术与系统的发展趋势	8
第2章 检测系统基本特性	11
2.1 概述	11
2.2 检测系统的静态特性	12
2.2.1 静态数学模型	12
2.2.2 线性度	13
2.2.3 灵敏度	14
2.2.4 重复性	14
2.2.5 迟滞性	15
2.2.6 准确度	16
2.2.7 分辨率	16
2.2.8 漂移	17
2.2.9 量程及测量范围	17
2.3 检测系统的静态标定	17
2.4 检测系统的动态特性	18
2.4.1 动态数学模型	19
2.4.2 典型检测系统的动态特性	20
2.4.3 动态特性参数的测定	26
2.5 检测系统无失真测试条件	28
2.6 动态误差修正	29
2.6.1 频域修正方法	29
2.6.2 时域修正方法	30
第3章 测量与误差	31
3.1 测量误差的综述	31
3.1.1 测量的几个名词术语	31
3.1.2 测量误差的定义	32
3.1.3 测量误差的来源	33
3.1.4 测量误差的分类	33

3.1.5 测量的方法	34
3.2 随机误差分析	36
3.2.1 随机误差的统计特性和概率分布	36
3.2.2 等精度测量随机误差的数据处理	37
3.2.3 不等精度测量随机误差的数据处理	41
3.3 系统误差分析	43
3.3.1 系统误差的产生原因	43
3.3.2 系统误差的消除方法	44
3.4 粗大误差分析	45
3.5 测量误差的合成	47
3.5.1 系统误差的合成	47
3.5.2 随机误差的合成	49
3.5.3 综合误差的合成	50
3.5.4 测量结果的表示	51
第4章 参数检测技术	52
4.1 温度检测	52
4.1.1 测温方法及温标	52
4.1.2 热电偶测温	54
4.1.3 热电阻测温	61
4.1.4 其他测温方法	66
4.2 压力检测	71
4.2.1 概述	72
4.2.2 弹性式压力检测	73
4.2.3 电测式压力检测	76
4.2.4 测压仪表的使用	82
4.3 物位检测	83
4.3.1 物位检测方法和分类	84
4.3.2 静压式物位检测	84
4.3.3 浮力式物位检测	88
4.3.4 其他物位检测	89
4.4 流量检测	95
4.4.1 流量检测方法和分类	95
4.4.2 体积流量检测方法	97

4.4.3 质量流量检测方法	114	6.1.3 程控增益放大器	230
4.5 成分检测	119	6.1.4 模数转换电路及参数设计和选择	235
4.5.1 热导式气体分析仪	120	6.1.5 模数转换电路应用举例	239
4.5.2 氧分析仪	123	6.2 模拟量输出通道	239
4.5.3 红外线气体分析器	129	6.2.1 输出保持器	239
4.5.4 色谱分析仪	131	6.2.2 滤波电路	241
4.6 机械量检测	134	6.2.3 D/A 转换电路及参数设计和选择	242
4.6.1 位移检测	135	6.2.4 模拟量输出通道应用举例	250
4.6.2 转速检测	140	6.3 开关量输入输出通道	251
4.6.3 加速度与振动检测	142	6.3.1 开关量输入输出通道的结构	251
第5章 信号调理电路	146	6.3.2 开关量输入输出单元电路	252
5.1 测量电桥	146	6.3.3 开关量输入去抖动	254
5.1.1 电桥的分类	147	6.4 频率量检测通道	257
5.1.2 直流电桥	148	6.4.1 频率量检测的基本方法	257
5.1.3 交流电桥	155	6.4.2 多路频率量检测	260
5.1.4 双电桥	161	6.5 多路温度检测通道	262
5.2 信号转换电路	162	6.5.1 热电阻多路温度检测	263
5.2.1 电容与电压的转换	162	6.5.2 热电偶多路温度检测	266
5.2.2 电流与电压的相互转换	166	第7章 检测系统中数字信号分析与处理	270
5.2.3 电压与频率的相互转换	170	7.1 量程转换	270
5.3 放大电路	175	7.2 标度变换	273
5.3.1 电荷放大电路	175	7.3 零位和增益误差校正	273
5.3.2 仪器放大电路	178	7.4 非线性校正	275
5.3.3 程控放大器	180	7.4.1 查表法	276
5.3.4 隔离放大电路	184	7.4.2 插值法	276
5.4 滤波电路	187	7.4.3 拟合法	279
5.4.1 滤波器的分类	188	7.5 数字滤波	282
5.4.2 模拟有源滤波器	192	7.5.1 限幅滤波	282
5.4.3 开关电容滤波器	197	7.5.2 中位值滤波	283
5.5 非线性校正电路	202	7.5.3 平均滤波	284
5.5.1 模拟量的非线性校正法	202	7.5.4 低通滤波	286
5.5.2 模拟非线性校正环节的实现	206	7.5.5 复合滤波	287
5.6 调制与解调	213	第8章 检测系统中的抗干扰技术	289
5.6.1 幅度调制和解调	213	8.1 干扰的形成	289
5.6.2 频率调制与解调	219	8.1.1 干扰的分类	289
第6章 检测系统过程通道	222	8.1.2 干扰的耦合	290
6.1 模拟量输入通道	222	8.2 硬件抗干扰措施	293
6.1.1 采样/保持	222	8.2.1 接地技术	294
6.1.2 多路模拟开关	226	8.2.2 屏蔽技术	298

8.2.3 共模干扰及其抑制.....	299	8.3.2 软件陷阱	303
8.2.4 串模干扰的抑制.....	301	8.3.3 “看门狗”技术.....	306
8.2.5 其他抗干扰措施.....	301	8.3.4 故障自动恢复程序.....	307
8.3 软件抗干扰措施.....	302	参考文献.....	310
8.3.1 软件冗余技术	302		

第1章 绪论

1.1 检测技术的作用

检测技术是自动控制技术、微电子技术、通信技术、计算机科学和物理学等学科有机结合、综合发展的产物,是工业生产的耳目,是监视、控制、保证和提高产品质量的重要手段。随着现代工业的科学技术的发展,检测技术的重要性越来越被人们所重视。检测技术对于产品生产过程中控制和改进产品的质量、保证设备的安全运行以及提高生产率、降低成本等方面都起着重要的作用,是发展现代工业和科学技术必不可少的重要措施之一。目前,检测技术已经广泛应用于化工、冶金、水利、电力、电子、航空、轻工、纺织和楼宇自动化等行业。

随着现代科学技术的迅速发展,人类社会步入信息时代。在信息时代中,人们的社会活动将主要依靠对信息资源的开发及获取、传输与处理。而检测通常包含了测量、计量、计算、检测、判断等多层含义,其目的是采用物理、化学或生物的方法,获取被检测对象运动或变化的信息,通过信息转换的处理,使其成为易于人们阅读和识别表达(信息显示、转换和运用)的量化形式。可以这样说,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。

检测技术是科学研究的先行官,在现代科学研究中起着越来越重要的作用。科学技术的发展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”。我国著名科学家钱学森院士在新技术革命的论述中提到“新技术革命的关键技术是信息技术,信息技术由测量技术、计算机技术和通信技术三部分组成。测量技术则是关键和基础”。广义地说,任何实验科学的结论,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。

检测技术是现代工业生产的推动器,是带动国民经济增长的一个关键领域。检测技术或系统在工业生产中起着把关者和指导者的作用,如在生产过程中产品质量的控制、节能和生产过程的自动化等,这些都要从生产现场获取各种参数,运用科学规律和系统工程的做法,综合有效地利用各种先进技术,通过自控手段和装备,使每个生产环节得到优化,进而保证生产规范化、提高产品质量、降低成本、满足需要、保证安全生产。

检测技术是现代国防军事的战斗,在国防中对检测技术的应用更多、要求更高。研制一架飞机,从设计零部件到样机试飞,都要经过许许多多严格的检测,如为研究飞机强度,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,以及机上特征点的应力、温度,振动、管道内的压力、流量等也需要同时监测,并要自动存储、记录下来,供进一步分析。一架飞机大概需要 3600 只传感器及其配套监测仪表。在导弹与卫星的研制和控制过程中,则所需要动态检测的参量更多、要求更高。

在各种现代装备系统的设计和制造工作中,检测技术已占到首位。检测系统的成本已达到该装备系统总成本的 50%~70%,它是保证现代工程装备系统实际性能指标和正常工作的重要手段,是其先进性能及实用水平的重要标志。以火力发电厂为例,为了实现安全高效发电,

火力发电厂除了实时监测电网电压、电流、功率因素、频率、谐波分量等电气量外,还要实时监测发电机、汽轮机各个部位的振动(振幅、速度、加速度)以及动力系统当中的各种设备运行中非电量参数如压力、温度、流量、液位等(对于一台 300MW 的发电机组,各类测量点数达一万多点),并实时分析处理、判断决策、调节控制,以使系统处于最佳工作状态。

可以说,今天作为信息技术三大支柱(检测控制技术、计算机技术和通信技术)之一的检测技术,已经深深地渗透到人类的科学研究、工程实践和日常生活的各个方面。

1.2 检测系统的组成

尽管检测仪器、检测系统种类、型号繁多,用途与性能也千差万别,但它们都是被用作参量检测,用来获取有关参量的信息,所以其组成通常以信号的流程来划分。一般可分为:

- 信号的摄取——传感器(变送器)。
- 信号的调理、转换——信号放大、滤波、A/D、D/A 及其他转换电路等。
- 信号的处理——微处理器、单片机、微机。
- 信号的显示及传输——信号的显示有模拟显示、数字显示、屏幕显示、打印机、记录仪、绘图仪等,信号的传输有通过串行、并行口或采用总线及网技术的传输方式等。

以上环节加上系统所必需的交、直流稳压电源和必要的输入设备如开关、按钮、拨盘、键盘等便组成了一个完整的检测系统,其各部分关系如图 1.1 所示。

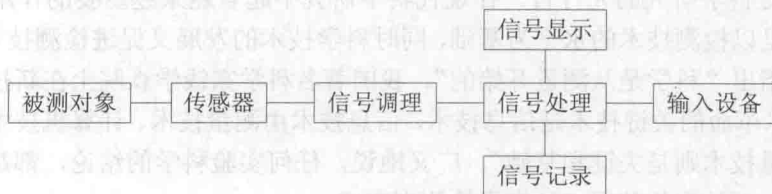


图 1.1 检测系统的组成

(1) 传感器。它是检测系统与被测对象直接发生联系的部分。它的作用是感受被测参量的变化,直接从对象中获取反应被测量变化的信息,并转换成一个相应的、便于显示或传递的输出信号。例如半导体应变片式传感器能把被测对象受力后微小的变形感应出来,通过一定的桥路转换成相应的电压信号输出。这样通过测量传感器输出电压便可知道被测对象的受力情况,传感器的输出是检测系统的信号源。它的好坏直接影响检测系统的精度和其他指标,是检测系统中十分重要的环节。通常对传感器有如下要求:

1) 准确性。传感器的输出信号必须准确地反应其输入量,即被测量变化。因此,传感器的输出与输入关系必须是严格的单值函数关系,即只有被测量的变化对传感器有作用,非被测量则没有作用。真正做到这点十分困难,一般要求非被测参数对传感器的影响很小,可以忽略不计。

2) 稳定性。传感器的输入与输出的单值函数关系不随时间和温度变化,且受外界其他因素的干扰影响很小,工艺上可准确地复现。

3) 灵敏度。即要求较小的输入量便可得到较大的输出信号。

4) 其他。如经济性、耐腐蚀性、低能耗等。往往传感器也被称为敏感元件、一次元件等。

(2) 信号调理。它在检测系统中的作用是对传感器输出微弱信号进行滤波、放大、线性化、传递和转换,以便于显示或供进一步处理,例如工程上常见的热电偶型温度检测系统(仪表),其传感器输出信号(即热电偶电势)仅为 mV 级,且信号中往往夹杂着 50Hz 工频等噪声电压,故后续电路通常包括滤波、放大、冷端补偿、线性化等环节。若是数字显示仪表,还应加上 A/D 转换环节,把模拟电压转换成数字信号。需要远传的话,通常采取 D/A 转换后,再转换成标准的 $4\sim 20\text{mA}$ 或 $0\sim 10\text{mA}$ 信号远传。检测系统种类繁多,简单、复杂差异很大,信号的形式也多种多样,各系统的精度、性能指标要求各不相同,它们所配置的信号调整电路也不尽一致。对信号调理电路的一般要求是:

1) 能准确、稳定、可靠地传输、放大和转换信号。

2) 抗干扰性能要好。

(3) 信号显示。通常人们都希望知道被测量的瞬时值、累积值或其随时间的变化情况。因此,一般的检测系统均有各种形式的显示、记录设备或两者兼而有之。显示器和记录设备是检测系统与人联系的主要环节之一,显示器一般可分为指示式、数字式和屏幕式三种。

1) 指示式显示,又称模拟式显示。被测量数值大小由指示器或指针在标尺上的相对位置来表示。指示式仪表结构简单、价格低廉、显示直观,一直被大量应用。有的还带记录机构,以曲线形式给出被测量随时间变化的数据,但这种仪表读数的精度和仪器的灵敏度等受标尺最小分度的限制,且读数会引入主观误差。

2) 数字式显示。直接以数字形式给出被测量的数值大小,也可附加打印设备,打印出数据。数字式显示减少了读数主观误差,提高了读数的精度,还能方便地与计算机连用。这种仪表正越来越多地被采用。

3) 屏幕显示。它结合了上述两种显示方式的优点,具有形象性和易于读数的优点,又能同时在屏幕上显示一个被测量或多个被测量的大量数据,有利于对它们进行比较分析。

(4) 信号记录。检测系统常用的记录设备有:

1) 打印机。打机型型号众多,体积和性能差异很大,通常是根据需要选用定型的(作为产品批量生产)打印机,作为检测系统的外部设备配合工作。检测系统安排有相应的硬件接口和软件驱动程序。

2) 磁带记录用盒式录音机或磁带机作检测系统的外部记录设备。经转换的信息进入录音机或磁带机,存储在磁带上。

3) 绘图仪。绘图仪形式型号多样,有的需要模拟信号驱动,有的只能接受数字信号,有的模拟和数字信号可任选,选用时要仔细阅读说明书。

(5) 信号处理。检测仪表与检测系统种类繁多,用户对仪表和系统的要求也各式各样,因此对检测信号的信号处理环节来说只要能满足用户对信号处理的要求,则是愈简单、愈可靠、成本愈低愈好。对一些简单的检测系统,用户只要求被测量不要超过某一上限值,一旦越限,送出声(喇叭或蜂鸣器)或光(指示灯)信号即可。这种系统的信号处理电路,只需设置一个比较电路,一端为被测信号,另一端为表示上限值的固定电平,当被测信号小于设定固定电平值,比较器输出为低,声或光报警器不动作,一旦被测信号电平大于固定电平,比较器翻转,经功率放大驱动扬声器或指示灯工作。这种简单系统的信号处理都很简单,只要一片集成比较

器芯片和几个分立元件就可构成。但对于如热处理炉的炉温检测控制系统来说,其信号处理电路将大大复杂化,因为用户不仅要求系统高精度地实时测量炉温,而且需要系统根据热处理工件的热处理工艺制订的时间——温度曲线进行实时控制(调节)。类似这一类检测系统,其信号处理任务均需要有以单片机、微处理器为核心的处理功能板(模块)支持。

由于微处理器、单片机和大规模集成电路技术的迅速发展和这类芯片价格的不断降低,对稍复杂一点的检测系统(仪器)都应采用微处理或单片机从而使所设计的检测系统具有较高的性能价格比。

(6) 输入设备。输入设备是操作人员和检测系统联系的另一主要环节,用于输入参数、下达有关命令等。最常用的输入设备是各种键盘、拨码盘等,也有通过磁带机、录音机接口输入信息和数据的。最简单的输入设备是各种开关、按钮等。模拟量输入控制,往往需要借助电信器进行。

(7) 电源。一个检测系统往往既有模拟电路部分又有数字电路部分,因此需要多组要求各异的稳定电源。这些电源在检测系统使用现场一般无法直接提供,现场一般只能提供 AC 220V 工频电源或 DC 24V 电源。检测系统的设计者需要根据使用现场的供电电源情况及检测系统内部的实际需要,统一设计各组电源,供系统各部分使用。

另外,在进行检测系统设计时,与以上各环节具体相联的传输通道的设计也很重要。传输通道的作用是联系仪表的各环节,并给它们的输入、输出信号提供通路。它可以是导线、管路(如光导纤维)以及信号所通过的空间等。信号传输通道比较简单易被人所忽视,如果不按规定的要求布置及选择,则易造成信号的损失、失真及引入干扰等。例如,微量成分分析时,如管路选择不当,会造成信号的大量损失。又如传输电信号时,若传输导线阻抗不匹配,则可能导致仪表的灵敏度降低、电信号失真等。

1.3 检测系统的分类

随着科技和生产的迅速发展,检测系统(仪表)的种类不断增加,种类繁多。其分类方法很多,工程上常用的几种分类法如下:

(1) 按被测参量分类。常见的被测量可分为以下几类:

1) 热工量。

温度、热量、比热、热流、热分布;

压力、压差、真空度;

流量、流速、风速;

物位、液位、界面。

2) 机械量。

位移、尺寸(长度、厚度、角度)、形状;

力、应力、力矩;

重量、质量;

转速、线速度;

振动、加速度、噪声。

3) 物性和成分量。

气体成分, 液体成分, 固体成分;
酸碱度、盐度、浓度、粘度、粒度;
密度、比重。

4) 状态量。

颜色、透明度、磨损量、裂纹、缺陷、泄漏、表面质量。

严格地说, 上述的一些量都是状态量, 但是习惯上有些状态量已分别归入热工量、机械量、分量中, 因此, 在这里指的状态量是除了上面所列的一些量以外的状态量。

(2) 以被测量的检测转换方法分类。被测量通常是非电量, 需传感器把被测量转换成电量, 被测量转换成电量的方法很多, 最主要的有下列几类:

1) 电磁检测。

电阻式、电位计式、应变丝式、压阻式、热电阻式;

电感式、自感式、互感式(差动变压器)、电容式、阻抗式(电涡流式)、磁电式、热电式、压电式、霍尔式;

振频式、振弦式、振桶式、振片式、感应同步器、磁栅。

2) 光学检测。光电式、激光式、红分式、光栅、光导纤维式。

3) 超声波检测。

4) 同位素检测。

5) 微波检测。

6) 电化学检测。

(3) 按使用性质分类。常见的有标准表、实验室表和工业用表三种。

1) 标准表。顾名思义是专门用于校准非标准仪表和系统的, 它本身必须经过有关计量部门的定期检定, 并具有检定合格证书, 方可使用。标准表的精度等级必须高于被校表, 而其本身又是根据量值传递的规定, 由更高一级的标准表检定之。

2) 实验室表。多用于实验室中, 它的使用环境条件较好, 故往往无特殊的防水防尘措施, 对于温度、相对湿度、机械振动等的允许范围也较小。这类检测仪表与系统的精度等级虽较工业用表为高, 但使用条件要求较严, 只适于实验室条件下读数, 不适于远距离观察及传送信号等。

3) 工业用表。它是长期安装使用于实际工业生产现场上的检测仪表与系统。这类仪表与系统为数最多, 据安装地点的不同, 又有现场安装及控制室安装之分, 前者应有可靠的防护, 能抵御环境条件恶化的影响, 其显示也应醒目。工业用表的精度一般不很高, 但要求能长期连续工作, 并具有足够的可靠性。在某些场合下使用, 还必须保证不因仪表引起事故, 如在易燃易爆环境条件下使用时, 各种检测仪表应有很好的防爆能力等。

(4) 按测量方法或仪表各环节的连接方式分类。前已叙及, 检测系统是由传感器、信号调理及显示器等环节所组成的, 这些环节可以是开环或串联方式连接, 也可是闭环或反馈方式连接, 因此有开环或串联式系统及闭环或反馈式系统之分。

1) 开环式系统, 又称串联式系统。系统中各个环节按照串联方式或开环方式连接, 系统中前一个环节的输出是后一个环节的输入, 首尾衔接成一串, 信号从系统输入端到其输出端经过各个环节沿一个方向传递, 其方块图如图 1.2 所示。

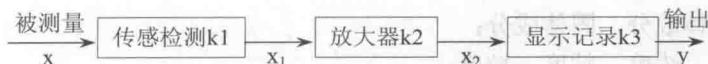


图 1.2 开环式仪表方块图

设各个环节的传递系数或灵敏为 k_1 、 k_2 和 k_3 ，各环节的输入输出如图 1.2 所示，则有：

$$y = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot x = k \cdot x \quad (1.1)$$

式中 x 和 y ——整个系统的输入和输出量；

k ——整个系统的传递系数或灵敏度，它是各环节传递系数的乘积。

式 (1.1) 表明了系统输出与输入信号之间的关系。为了使系统能够准确进行测量，输出与输入量之间必须是单值的线性函数关系，因此， k 值应是常数。但对开环式系统来说，这个条件很难保证，因为各个环节传递系数的变化均会引起 k 值的变化，而且各个环节对整个系统均有同等程度的直接的影响，从而造成系统的测量误差。因此，对开环式系统中的各个环节均要求有较高的精度与稳定性等。

根据式 (1.1) 还可知，如开环系统中的某个环节具有非线性特征，即其输入输出是非线性关系，则可人为地选定另一些非线性环节提供补偿，使整个系统具有线性特性。另外与此相类似，当环境温度波动引起某个环节的特性漂移时，可在另一环节人为地引入反方向的漂移，两者相互抵消就可使温漂引起的误差抑制在较小的范围内。

开环式系统实际上是依据上述的“非零”测量方法而工作的。

由于其固有的缺点，企图用环节串联方式制成高精度的系统是相当困难的，因为每个环节都会引起误差，它们的累积会造成更大的误差。要真正做到各环节的相互补偿并不容易，特别是当被测量要经过多次变换，以致必须有多环节串联时，更难实现。为此，精度要求较高的系统应当采用下述闭环方式工作。

2) 闭环式系统，又称反馈式系统，其方块图如图 1.3 所示， k_1 、 k_2 及 k_3 为串联各个环节的传递系数， β 为反馈环节的传递系数。

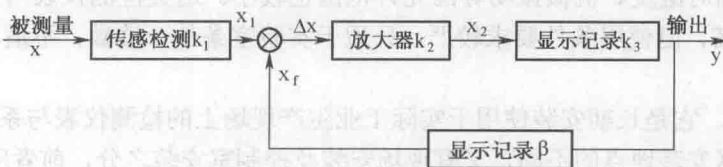


图 1.3 闭环式仪表方块图

由图 1.3 可见，闭环式系统是在某几个串联环节上又并联了一个反馈环节 β 。显然，在闭环式仪表中，信号不再是单方向传送，而是有正反两方向的传输通路。一方面，输入信号通过各串联环节正向传输到输出端；另一方面，输出信号又通过反馈环节反向传输到输入端。反馈信号 x_f 如果加强了原有的输入信号 x_1 ，则称为正反馈；如果削弱了原有输入信号 x_1 ，则称为负反馈。闭环式系统就是具有负反馈环节的系统，它是根据前述的零位测量原理而工作的。

在图 1.3 中，由于是负反馈，系统的实际输入信号是原有输入信号与反馈信号的差值，称之为差值信号或净输入信号，记为 Δx 。系统的输出信号为 y ，至此，可得如下一组方程式：

$$\begin{aligned}\Delta x &= x - x_f \\ x_f &= \beta y \\ y &= k_2 \cdot k_3 \cdot \Delta x\end{aligned}\quad (1.2)$$

求解上述联立方程式, 可得:

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

式中, 闭环式系统的传递系数为 $K = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$ 。当 $K\beta \gg 1$ 时, 它可由下式表示:

$$y \approx \frac{1}{\beta} x \quad (1.4)$$

由此可见, 闭环系统的最大特点是整个系统的传递系数或灵敏度 K 只与反馈环节的传递系数 β 有关, 而与其他各个环节无关。或者说, 闭环式系统的特性只取决于反馈环节的特性, 而很大程度上消除了其他各个环节的影响。当然, 对其他各个环节仅要求有足够大的灵敏度或放大倍数, 至于具体数值和稳定性无严格要求, 这点是容易实现的。另外, 寻找一个环节担任精确而稳定的负反馈环节, 特别是线性环节, 也是不难的。这个特点使得系统的设计和制造尤为方便, 更重要的是大大提高了闭环系统的精确度。因此, 闭环式系统是精密检测系统的发展方向。

在闭环系统中同样可以进行线性化或者某种自动补偿, 只要在反馈环节中设计适当的元件或电路即可。不过要注意 K 与 β 之间是互为倒数关系, 例如, 当系统需具备开方特性时, 应在反馈通道中设置乘方规律的环节, 如此类推, 各种运算均按相反关系处理。

此外, 按检测系统的显示方式可分为指示式 (主要是指针式)、数字式、屏幕式三类。其余检测系统还可分为模拟式、数字式、混合式、智能式 (以 CPU 为核心, 具有常规数字系统所没有的性能) 等。

1.4 检测系统的发展过程

纵观检测系统的发展过程, 大致可归结为如下几个阶段。

(1) 原始人工数据采集与计算阶段。在工业生产早期, 人们对检测对象的数据获取和处理都是靠人工来完成的, 甚至处理随机误差和系统误差都以人工方法进行。这种检测方式有很多的局限性, 例如一些高温、高压等极端条件下的参数往往无法直接获取, 只能靠经验来估计数据, 大大降低了检测的真实性, 并且这种方法工作量大、效率低, 而且往往因一些人为因素, 使处理的结果很不理想。

(2) 基于电子仪器的人工抄表与计算阶段。电子技术出现以后, 各种检测仪器和仪表相继问世。人们把各种各样的检测仪器和仪表安装在工业现场, 这时人们所要做的工作只是定时到工业现场记录下仪表所显示的数据, 然后对数据进行处理。这时的检测技术大大提高了测量应用的场合, 数据的准确度也大大提高了。但是这时的检测仪器仍然未摆脱独立使用、手动操作的模式, 对于较复杂的场合, 使用起来很不方便, 其局限性非常明显。

(3) 自动测试系统阶段。数字电子、单片机技术的发展, 使得在人工最少参与情况下进行测量和处理数据并以所需方式输出测试结果成为可能。带微处理器或微机的各种测量装置即智能仪器均具有自动测试系统的基本特征, 故它们都属于自动测试系统范畴。大规模集成电路

技术使电子计算机从过去的庞然大物缩小到能置入仪器内部,其结果使测量仪器在测量准确度、灵敏度、可靠性、自动化程度、运用能力以及解决测量技术问题的深度和广度等方面都有了巨大进步——传统的仪器经加装微机或微处理器改造后,功能和性能明显增强。传统的便携式万用表采用单片机控制后,功能更多,使用也更方便、可靠,而且准确度也大为提高。而且这时的测试系统都具有通信功能模块,能通过某种方式与主计算机进行数据交换。

(4) 计算机数据采集系统阶段。计算机数据采集系统是计算机技术与检测技术相结合的产物,它由数据采集卡和计算机组成。数据采集卡上装有信号调理电路、采样保持电路、模数转换电路等系统的前向通道各单元,同时还设置有数据输出的后向通道。这种数据采集卡可直接插入计算机内的任意总线扩展槽中。

(5) 现场总线系统阶段。现场总线检测是近年来发展起来的一种应用于生产现场,在微机化测量设备之间实现双向多点数字通信的系统。现场总线可以看作是一种互联现场自动化设备及系统的双向数字通信协议,而一个现场总线系统可以看成是由一个数字通信设备和监控设备组成的分布式系统,实际上,现场总线就是一种计算机网络,这个网络上的每一个节点就是一个智能化设备。组成现场总线系统之间的各个节点间可以通过总线自由的交换数据。其特点在于节点上的设备实现总线化、全数字化、双向通信。

(6) 虚拟仪器系统阶段。随着微电子学和计算机技术的发展,虚拟仪器技术应运而生。虚拟仪器是利用图形化编程语言在计算机上开发的一种仪器,它结合了简单易用的图形式开发环境和灵活强大的编程语言,为用户提供了一个直觉式环境。由于虚拟仪器充分地利用了计算机、模块化数据采集调理电路、数据总线等当代先进的科技产品和技术,具有编程简单、容易实现和功能强大的函数库与开放式开发平台等特点,使其在科研、生产、过程监控、科学实验等领域越来越显示出潜在作用和优越性。虚拟仪器检测与控制技术不但能进行数据采集、分析和处理,还能对被测对象进行实时监控。

(7) 基于工业以太网技术的网络化检测系统阶段。由于以太网具有成熟的技术、开放和统一的标准、广泛应用和高速的传输速率等优势,工业以太网作为一种新兴、统一、快速发展的标准,其产生与发展及其在检测技术与系统中的应用赋予了检测技术及其系统新的含义与更广阔的发展空间,同时也使得将大批量的数据实时快速地传送成为了可能。

1.5 检测技术与系统的发展趋势

随着微电子技术、微处理器技术、信息处理技术、DSP 技术、通信技术、计算机科学和材料技术飞速发展并不断变革,检测技术发展呈现出下列几种发展态势。

(1) 高度集成化。传感器与测量电路互相分开,传输过程中电缆时常会受到干扰信号的影响,因此人们希望能把传感器与测量电路合并在一起。随着半导体技术的发展,硅压阻传感器在这方面已开始实现,近年来正在研究的一种物性型检测传感器,就是在半导体技术基础上,进一步实现“材料、器件、电路、系统一体化”的新型仪表。它利用某些固体材料的物性变化(机械特性、电特性、磁特性、热特性、光特性、化学特性)来实现信息直接变换,也就是说利用不同材料的物理、化学、生物效应做成器件,直接测量被测对象的信息。而且把电路也做在一起,这样它与一般传感器相比,具有构造简单、体积小、无可动部件、反应快、灵敏度高、稳定性好等特点。

(2) 非接触化。在检测过程中,把传感器置于被测对象上,就相当于在被测对象上加了负载,这样会影响测量的精度。此外,在有些被测对象上,根本不可能安装传感器,例如测量高速旋转轴的振动、转矩等。因此,国际上都在研究非接触式测试技术,光电式传感器、电涡流式传感器、超声波仪表以及同位素仪表都是在这个要求下发展起来的。微波技术原来是用于通信的,现在也被用来作为非接触检测技术的一种手段。有关其他原理与方法的非接触式测量技术目前还在不断探索中。

(3) 多参数融合化。随着检测技术的发展,人们对检测系统的要求不再满足于对单一参数的测量,而是希望能实现对系统中的多个参数进行融合测量。即利用先进的测量技术,对系统中的多个参数进行单次测量,然后通过一定的算法对数据进行处理,分别得到各个参数。多传感器信息融合技术就因其立体化的多参数测量性能而广泛应用于军事、地质科学、机器人、智能交通、医学、工业等众多领域。

伴随着各种新技术的出现,在现代工业生产、仪器仪表高度自动化和信息管理现代化的过程中,大量以计算机为核心的信息处理与过程检测相结合的实用检测系统相继问世。其检测系统发展趋势大致为下列几个特征。

(1) 综合化。电子测量仪器、自动化仪表、自动化检测系统、数据采集系统在过去分别属于不同的应用领域,并各自独立发展。然而,由于生产自动化的需求,使它们在发展中相互靠近,功能相互覆盖,差异逐渐缩小,体现出一种信息流综合管理的特点。其综合的目的是为了提高人们对生产过程全面的监视、检测、控制与管理等多方面的能力。与此同时,对检测技术本身提出了更高的技术要求,如高灵敏度、高精度、高分辨率、高响应性、高可靠性、高稳定性及高自动化性等,这就要求提高系统的综合设计能力,综合利用内在规律,使系统向功能更强和层次更高的方向发展。

(2) 智能化。现代检测系统,或多或少地趋于智能化这个特点。所谓智能,是指随外界条件的变化,具有确定正确行动的能力,也即具有人的思维能力以及推理并做出决策的能力。而智能化仪表或系统,可以在个别部件上、局部或整体系统上,使之具有智能特征。例如智能化检测仪表,它能在被检测参数变化时,自动选择测量方案,进行自校正、自补偿、自检测、自诊断,还能进行远程设定、状态组合、信息存储、网络接入等,以获取最佳测试结果。为了更有效地利用被测量,在检测时往往需要附加一些分析与控制功能,如采用实时动态建模技术、在线辨识技术等,以获得实时最优和自适应特性。

(3) 系统化及标准化。现代检测任务,更多地涉及到系统的特征。所谓系统是指相互间具有内在关联的若干个要素构成一个整体,由它来完成规定的功能,以达到某一特定目标。因而在系统内部,需要设立多台计算机,它们之间不是互不相干,而是要构成相互联系的整体,这就形成了各种多计算机系统。即使是利用单台进行集中管理,也要通过标准总线和各个部件发生联络。例如作为采集检测用的前端机或仪表,它需要与生产设备的主机、辅机合成一体,相互建立通信联系,有时还需要以一个车间、一个工厂作为系统的整体。由此形成了各种集散式、分布式数据采集,以适应系统开放、复杂工程及大系统的需要。在研究集散与分布式系统中,要设计数据通信,计算机网络技术及系统分层递阶控制技术等知识。在向系统化发展的同时,还涉及系统部件接口的标准化、系列化与模块化,以便搭建通用系统。

(4) 虚拟化。虚拟仪器(Virtual Instrument, VI)是随着计算机技术和现代测量技术的发展而产生的一种新型高科技产品,代表着当今仪器发展的新方向。虚拟仪器的概念是由美国国

家仪器(National Instruments, NI)公司首先提出,它是对传统仪器的重大突破。VI是利用现有的PC计算机,加上特殊设计的仪器硬件和专用软件,形成既有普通仪器的基本功能,又有一般仪器所没有的特殊功能的新型计算机仪器系统。VI的主要工作是把传统仪器的控制面板移植到普通计算机上,利用计算机的资源,实现相关的测控需求。由于VI技术给用户提供了一个充分发挥自己才能和想象力的空间,用户可以根据自己的需求来设计自己的仪器系统,从而满足了多种多样的应用要求,具有极好的性价比,它可广泛应用于试验、科研、生产、军工等的检测。

(5) 网络化。智能检测可以用一台计算机来实现也可以由多台计算机来实现。尤其在计算机网络技术迅速发展和普及的今天,将一个智能检测系统接入计算机网络,无疑会进一步增强其功能和活力。检测系统网络通常包含两个层面:传感器网络与检测系统网络。前者是将现场总线系统技术和嵌入式技术应用到传感器当中,将众多的传感器组成一个局部网络。后者是将传统的以太网技术(或工业以太网技术)直接应用到检测系统中,实现批量数据的快速传递与共享。