

高校计算机教学系列教材

检测技术与系统

樊尚春 乔少杰 编著



北京航空航天大学出版社

高校计算机教学系列教材

检测技术与系统

樊尚春 乔少杰 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

较系统地介绍了检测技术的主要基本内容,包括检测技术的基本概念、功能、要求;检测系统的静、动态特性、描述及数据处理;一些测量典型参数的传感器,包括结构组成、应用特点、误差补偿等;微机械传感器和智能传感器;以各种传感器为核心的典型检测系统等等。

本书可作为仪器科学与技术、测控技术与仪器、电气工程与自动化、信息工程、自动化、机械工程、机械电子工程等专业本科生、专科生的教材或参考书,也可供相关专业的师生和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

检测技术与系统/樊尚春等编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2005.6

(高校计算机教学系列教材)

ISBN 7-81077-618-5

I. 检… II. 樊… 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(2005)第 019252 号

检测技术与系统

樊尚春 乔少杰 编著

责任编辑 许传安

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhp@263.net

涿州市新华印刷有限公司印制 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:19 字数:486千字

2005年6月第1版 2005年6月第1次印刷 印数:5000册

ISBN 7-81077-618-5 定价:26.00元



总 前 言

科教兴国,教育先行,在全国上下已形成共识。在教育改革过程中,出现了多渠道、多形式、多层次办学的局面。同时,政府逐年加大教育的投入力度。教育发展了,才能有效地提高全民族的文化、科学素质,使我们中华民族屹立于世界民族之林。

计算机科学与技术的发展日新月异,其应用领域迅速扩展,几乎无处不在。社会发展的需求,促使计算机教育生气蓬勃。从普通高校的系统性教学,到远距离的电视、网上教学;从全面讲述,到不同应用领域的、星罗棋布的培训班;从公办的到民办的;从纸介教材到电子教材等等,可以说计算机教学异彩纷呈。要进行教学,就必须有教材。

面对我们这么大的国家和教学形势,在保证国家教学基本要求的前提下,应当提倡教材多样化,才能满足各教学单位的需求,使他们形成各自的办学风格和特色。为此,我们组织北京工业大学、北京航空航天大学、北京理工大学、南开大学、天津工业大学等高校的有丰富教学经验的教师编写了计算机教学系列教材,将陆续与师生见面。

系列教材包括以下各项。

(一) **基础理论**:离散数学等。

(二) **技术基础**:电路基础与模拟电子技术;数字逻辑基础;计算机组成与体系结构;计算机语言(拼盘,选择使用),包括 C++ 程序设计基础、Visual Basic 程序设计基础、Matlab 程序设计基础、Java 程序设计基础、Delphi 语言基础、汇编语言基础等;数据结构;计算机操作系统基础;计算方法基础;微机与接口技术;数据库技术基础等。

(三) **应用基础**:计算机控制技术;网络技术;软件工程;多媒体技术等。

(四) **技术基础扩展**:编译原理与编译构造;知识工程——网络计算机环境下的知识处理等。

(五) **应用基础扩展**:计算机辅助设计;单片机实用基础;图形、图像处理基础;传感器与测试技术;计算机外设与接口技术等。

本系列教材主要是针对计算机教学编写的,供普通高校、社会民办大学、高等职业学校、业余大学等计算机或相应专业本科或专科选用。其中一部分也适合非计算机专业本科教学使用。在这些教材的内容简介或前言中对使用范围均作了说明。

本系列教材在编写时,注重以下几点:(1) 面对计算机科学与技术动态发展的现实,在内容上应具有前瞻性;(2) 面对学以致用,既有系统的基础知识,又具有应用价值的实用性;(3) 具有科学性、严谨性。另外,力求使有限的版面具有最大的信息量,以使读者得到实惠。

能否实现这些愿望,只有师生在教学实践中评价。我们期望得到师生的批评和指正。



高校计算机教学系列教材编委会成员

主 任:赵沁平

副 主 任(常务):陈炳和

顾 问:麦中凡

委 员(以姓氏笔划为序):

吕景瑜(北工大教授)

乔少杰(社长,教授)

麦中凡(北航教授,教育部工科计算机基础教学指导委员会副主任、中专计算机
教学指导委员会顾问)

苏开娜(北工大教授)

陈炳和(北工大教授)

张鸿宾(北工大博导)

郑玉明(北工大副教授)

金茂忠(北航博导)

赵沁平(北航博导,国务院学位办主任)



前 言

检测技术是人们认识客观世界的一种基本方法,在日常生活、科学研究、工农业生产、交通运输、医疗卫生及国防建设中发挥着基础性作用。检测技术的水平与发展状况充分反映了人类认识客观世界的能力与程度。

本教材以检测技术所涉及到的基础知识、信息敏感变换原理、测试系统性能分析与处理为基础,以参数检测为目的,介绍位移、速度、加速度、转速、振动、力、转矩、压力、温度、流量等参数的测量系统。在此基础上,详细介绍了几种典型的测试系统。

本教材的特色体现在:注重检测技术涉及到的基础知识的介绍;注重典型的、常规的检测系统在工业领域中应用;注重在应用实例计算、分析过程中介绍,并传授知识点。

通过本教材对检测技术的学习,使学生能够基本掌握检测技术涵盖的基本内容,了解检测技术领域中的新进展、新内容;同时使学生了解、掌握检测技术在工业领域中的典型应用。

本教材共分19章,由樊尚春教授与乔少杰教授共同编写。

第1章介绍了有关检测技术的基本概念、功能、研究的主要内容,构成检测系统的基本要求等。

第2,3章介绍检测系统静、动态特性的描述与数据处理,包括静、动态特性的描述方法;静、动态测试数据的获取过程;典型的静、动态数据处理过程等。同时对检测系统的噪声及其减小的方法进行了简要介绍。

第4~7章介绍电位器式、应变式、压阻式和热电阻式等传感器。在电位器式传感器中,介绍其基本构造、工作原理、输出特性;阶梯特性和阶梯误差、非线性电位器的特性及其实现;电位器的负载特性、负载误差以及改善措施;电位器的结构与材料等。在应变式传感器部分,介绍金属电阻丝产生应变效应的机理;金属应变片的结构及应变效应、应变片的横向效应及减小横向效应的措施;电阻应变片的温度误差及补偿方法,并详细介绍电桥原理、差动检测原理及其应用特点等。在压阻式传感器部分,介绍半导体材料产生压阻效应的机理;单晶硅的晶面、晶向;单晶硅的压阻系数等。在热电式传感器部分,重点介绍金属热电阻和半导体热敏电阻的特性、应用特点及测温电桥;同时有针对性地介绍温度的概念、温度测量中常用的热电偶、半导体P-N结传感器的测温原理;常用的非接触测温系统等。

第8章介绍电容式传感器,包括电容式变换元件的基本结构形式、特性、等效电路以及典型的信号转换线路;电容式传感器的抗干扰问题等。

第9章介绍变磁路式传感器,包括电感式和差动变压器式变换元件的基本结构形式、特性、等效电路以及典型的信号转换线路;电涡流效应、霍尔



效应等。

第10章介绍压电式传感器,包括石英晶体、压电陶瓷、聚偏二氟乙烯等常用压电材料的压电效应及应用特点,压电换能元件的等效电路及信号转换电路。

第11章介绍谐振式传感器,包括机械谐振敏感元件的谐振现象及其评估、谐振式传感器(闭环自激)系统的基本结构及幅值、相位的实现条件、谐振式传感器的输出信号的检测等。

第12章介绍近年来迅速发展起来的微机械与智能化传感器。重点介绍了智能化传感器的组成原理、功能以及典型的微机械传感器和智能化传感器。

在第4~12章中介绍一些测量典型参数的传感器,包括其结构组成、应用特点、误差补偿等。

第13章介绍航空大气数据测量系统,包括有关的大气基本知识以及由气压式高度表、升降速度表、空速表、马赫数表、迎角传感器与总温传感器等组成的大气数据测量系统。

第14章介绍现代汽车微机测控系统,包括以现代汽车传感器为核心的汽车电子测控技术、汽车用传感器的分类、性能与特点、现代汽车传感器的发展趋势与汽车用传感器的选用原则。

第15章介绍环境监测技术中的空气监测与噪声监测,包括空气污染源监测和空气污染物测定为主介绍空气监测;以噪声的评价体系、噪声的测量仪器与监测为主介绍噪声监测。

第16章介绍桥梁监测技术,包括桥梁的静载荷试验、动载荷试验;桥梁施工过程中的测控与长期监测技术等。

第17章介绍轧制过程中的线检测技术,包括线材、圆钢和板材等重要几何参数的在线检测问题。

第18章介绍无损检测技术,包括超声波检测、涡流检测、激光全息检测、声振检测、微波检测和声发射检测等。

第19章介绍张力的在线检测技术,包括张力的直接检测方法、间接检测方法、张力控制的基本方法等。

第13~19章介绍的是以各种传感器为核心的典型检测系统。通过这些章节的学习,基本了解、掌握在主要工业领域中应用的一些典型的检测系统的结构组成、系统实现与关键技术等。

在教材编写过程中,参考、引用了许多专家学者的教材与论著,在此一并表示衷心感谢。

检测技术领域内容广泛,且发展迅速,由于编著者学识、水平有限,教材中的错误与不妥之处,敬请读者批评指正。

作者

2004年11月

联系方式:shangcfan@vip.sina.com;010-82332166;010-82317859



目 录

第 1 章 绪 论	1	2.4.8 迟 滞	15
1.1 检测的作用与功能	1	2.4.9 重复性	16
1.2 检测的分类	1	2.4.10 综合误差	17
1.2.1 电量与非电量电测技术	1	2.4.11 计算实例	18
1.2.2 检测原理的分类	2	思考题与习题	19
1.2.3 检测方法的分类	2	第 3 章 检测系统的动态特性	21
1.3 检测系统	2	3.1 检测系统动态特性方程	21
1.3.1 检测系统的组成	2	3.1.1 微分方程	21
1.3.2 检测系统的分类	3	3.1.2 传递函数	22
1.3.3 对检测系统的要求	3	3.2 检测系统动态响应及动态性能指标	22
1.4 检测系统的发展	3	3.2.1 检测系统动态误差的描述	22
1.4.1 传感器技术的发展	3	3.2.2 检测系统时域动态性能指标	23
1.4.2 检测方法的发展	5	3.2.3 检测系统频域动态性能指标	26
1.5 本教材的主要内容与特点	6	3.3 检测系统动态特性测试与标定	29
思考题与习题	6	思考题与习题	30
第 2 章 检测系统的静态特性	7	第 4 章 电位器式传感器	31
2.1 检测系统静态特性的一般描述	7	4.1 概 述	31
2.2 检测系统的误差	7	4.2 线绕式电位器的特性	32
2.2.1 误差的描述	7	4.2.1 灵敏度	32
2.2.2 误差产生的原因	7	4.2.2 阶梯特性与误差	32
2.2.3 误差的分类	8	4.2.3 分辨率与分辨率	33
2.2.4 确定测量误差的基本方法	10	4.3 非线性电位器	33
2.3 检测系统的静态标定	11	4.3.1 功 用	33
2.3.1 静态标定条件	11	4.3.2 实现途径	33
2.3.2 检测系统的静态特性	12	4.4 电位器的负载特性及负载误差	35
2.4 检测系统的主要静态性能指标及其计算	12	4.4.1 电位器的负载特性	35
2.4.1 测量范围	12	4.4.2 电位器的负载误差	36
2.4.2 量 程	12	4.4.3 减小负载误差的措施	37
2.4.3 静态灵敏度	12	4.5 电位器的结构与材料	38
2.4.4 分辨率与分辨率	13	4.5.1 电阻丝	38
2.4.5 漂 移	13	4.5.2 电 刷	38
2.4.6 温 漂	13	4.5.3 骨 架	39
2.4.7 线性度	13	4.6 典型的电位器式传感器	40
		4.6.1 电位器式压力传感器	40



4.6.2 电位器式加速度传感器	40	7.3 热电偶测温	76
思考题与习题	41	7.3.1 热电效应	76
第5章 应变式传感器	43	7.3.2 热电偶的工作机理	77
5.1 应变式变换原理	43	7.3.3 热电偶的基本定律	78
5.2 金属应变片	44	7.3.4 热电偶的误差及补偿	83
5.2.1 结构及应变效应	44	7.3.5 热电偶的组成、分类及特点	85
5.2.2 横向效应及横向灵敏度	45	7.4 半导体P-N结测温传感器	87
5.2.3 电阻应变片的种类	47	7.5 非接触式温度测量系统	87
5.2.4 电阻应变片材料	48	7.5.1 全辐射测温系统	88
5.2.5 应变片的主要参数	49	7.5.2 亮度式测温系统	88
5.3 应变片的温度误差及其补偿	50	7.5.3 比色测温系统	89
5.3.1 温度误差产生的原因	50	思考题与习题	90
5.3.2 温度误差的补偿方法	51	第8章 电容式传感器	92
5.4 电桥原理	52	8.1 基本电容式敏感元件	92
5.4.1 电桥的平衡	53	8.2 电容式敏感元件的主要特性	93
5.4.2 电桥的不平衡输出	53	8.2.1 变间隙电容式敏感元件	93
5.4.3 差动电桥	54	8.2.2 变面积电容式敏感元件	94
5.4.4 采用恒流源供电电桥	55	8.2.3 变介电常数电容式敏感元件	95
5.5 典型的应变式传感器	56	8.3 电容式变换元件的信号转换电路	96
5.5.1 应变式力传感器	56	8.3.1 运算放大器式电路	96
5.5.2 应变式加速度传感器	60	8.3.2 交流不平衡电桥	96
5.5.3 应变式转矩传感器	62	8.3.3 变压器式电桥线路	97
思考题与习题	63	8.3.4 二极管电路	98
第6章 压阻式传感器	64	8.3.5 差动脉冲调宽电路	99
6.1 压阻式变换原理	64	8.4 典型的电容式传感器	101
6.2 典型的压阻式传感器	65	8.4.1 电容式压力传感器	101
6.2.1 压阻式压力传感器	65	8.4.2 电容式加速度传感器	102
6.2.2 压阻式加速度传感器	67	思考题与习题	102
思考题与习题	68	第9章 变磁路式传感器	103
第7章 热电式传感器	69	9.1 电感式变换原理	103
7.1 概述	69	9.1.1 简单电感式原理	103
7.1.1 温度的概念	69	9.1.2 差动电感式变换元件	106
7.1.2 温标	69	9.2 差动变压器式变换元件	107
7.1.3 测温方法与测温仪器的分类	70	9.3 电涡流式变换原理	109
7.2 热电阻测温传感器	71	9.4 霍耳效应及元件	109
7.2.1 金属热电阻	72	9.4.1 霍耳效应	109
7.2.2 半导体热敏电阻	74	9.4.2 霍耳元件	110
7.2.3 测温电桥电路	75	9.5 典型的变磁路式传感器	111
		9.5.1 电涡流式振动位移传感器及其应用	111



9.5.2 差动电感式压力传感器	111	思考题与习题	137
9.5.3 磁电式涡轮流量传感器	112	第 12 章 微机械与智能化传感器	138
思考题与习题	112	12.1 概 述	138
第 10 章 压电式传感器	113	12.2 几种典型的硅微机械传感器	139
10.1 石英晶体	113	12.2.1 硅电容式集成压力传感器	139
10.1.1 石英晶体的压电机理	113	12.2.2 硅电容式微机械加速度传感器	140
10.1.2 石英晶体的压电常数	114	12.2.3 硅谐振式压力微传感器	141
10.1.3 石英晶体的性能	115	12.3 智能化传感器中的软件技术	142
10.2 压电陶瓷	116	12.3.1 标度变换技术	142
10.2.1 压电陶瓷的压电机理	116	12.3.2 数字调零技术	142
10.2.2 压电陶瓷的压电常数	116	12.3.3 非线性补偿	142
10.2.3 常用压电陶瓷	117	12.3.4 温度补偿	142
10.3 压电换能元件的信号转换电路	117	12.3.5 数字滤波技术	143
10.3.1 压电换能元件的等效电路	117	12.4 几种典型的智能化传感器	143
10.3.2 电荷放大器	118	12.4.1 智能化差压传感器	143
10.3.3 压电元件的并联与串联	119	12.4.2 智能化流量传感器系统	144
10.4 典型的压电式传感器	120	思考题与习题	145
10.4.1 压电式加速度传感器	120	第 13 章 航空大气数据测量系统	146
10.4.2 压电式温度传感器	122	13.1 有关大气的基本知识	146
思考题与习题	123	13.1.1 大气层	146
第 11 章 谐振式传感器	124	13.1.2 大气的密度、温度和压力	147
11.1 谐振状态及其评估	124	13.1.3 大气的密度、温度、压力与高度的关系	148
11.1.1 谐振现象	124	13.1.4 国际标准大气与大气的物理性质	149
11.1.2 谐振子的机械品质因数 Q 值	125	13.2 气压高度表	150
11.2 闭环自激系统的实现	126	13.2.1 飞行高度的定义	150
11.2.1 基本结构	126	13.2.2 气压高度表的基本工作原理	152
11.2.2 闭环系统的实现条件	127	13.2.3 气压式高度表的使用	153
11.3 敏感机理及特点	127	13.3 升降速度表	153
11.3.1 敏感机理	127	13.3.1 升降速度表的基本工作原理	154
11.3.2 谐振式测量原理的特点	128	13.3.2 升降速度表的结构	155
11.4 频率输出谐振式传感器的测量方法比较	128	13.4 空速表	156
11.5 典型的谐振式传感器	129	13.4.1 空速与动压、静压和气温的关系	156
11.5.1 谐振弦式压力传感器	129	13.4.2 测量指示空速的原理	158
11.5.2 振动筒式压力传感器	131	13.4.3 测量真空速的原理	159
11.5.3 谐振膜式压力传感器	133		
11.5.4 石英谐振梁式压力传感器	133		
11.5.5 谐振式科里奥利直接质量流量传感器	135		



13.5 马赫数表	160	思考题与习题	207
13.6 迎角传感器	161	第 16 章 桥梁检测	208
13.6.1 风标式迎角传感器	162	16.1 静载检测	208
13.7 大气数据系统	163	16.1.1 静载检测的目的	208
思考题与习题	167	16.1.2 静载检测的程序	209
第 14 章 汽车用传感器	168	16.1.3 桥梁结构静载检测的方案设计	210
14.1 汽车测控技术	168	16.1.4 桥梁桩基础静载检测	214
14.1.1 汽车电子测控技术的应用现状与发展趋势	168	16.2 桥梁动载检测	218
14.1.2 汽车电子测控技术的基本组成与工作	173	16.2.1 动载试验的方法与程序	218
14.2 汽车用传感器的分类、性能及特点	176	16.2.2 桥梁结构动力响应的测试	220
14.2.1 汽车传感器的组成与分类	176	16.2.3 动测数据分析与评价	224
14.2.2 汽车用传感器的性能与要求	177	16.3 桥梁施工控制与长期监测	225
14.2.3 汽车用传感器的特点	178	16.3.1 桥梁施工监控的基本概念	225
14.3 汽车用传感器的发展趋势	181	16.3.2 桥梁施工监控的工作内容	226
14.3.1 光纤传感器受到人们的重视	181	16.3.3 桥梁施工监控方法	227
14.3.2 增强车辆安全性的传感器系统	182	16.3.4 影响桥梁施工监控的因素	229
14.3.3 汽车用传感器与微计算机接口	183	16.3.5 桥梁施工监控系统	230
14.4 汽车用传感器的选用原则	184	16.3.6 桥梁结构长期监测与健康诊断技术	231
思考题与习题	184	思考题与习题	233
第 15 章 空气监测	185	第 17 章 钢材轧制在线检测技术	235
15.1 大气和空气污染	185	17.1 线材和圆钢直径的在线测量	235
15.1.1 大气和空气污染的基本概念	185	17.1.1 在线测径仪的工作原理	235
15.1.2 空气污染物的种类和存在状态	186	17.1.2 在线测径仪结构	236
15.1.3 主要空气污染源及污染物	188	17.2 板带材厚度的在线测量	237
15.2 空气污染监测方案的制订	188	17.2.1 放射性测厚仪	237
15.2.1 空气监测规划与网络设计	188	17.2.2 激光测厚仪	243
15.2.2 空气采样方法和技术	194	17.2.3 高频电感测厚仪	246
15.3 烟道气测试技术	198	17.2.4 超声波测厚仪	247
15.3.1 监测的目的、要求和内容	198	17.2.5 差动变压器接触式冷轧薄带材厚度测量仪	247
15.3.2 采样位置和采样点的确定	199	17.3 板带材宽度的在线测量	248
15.3.3 烟气状态参数的测量	200	17.4 板带材长度的在线测量	249
		17.4.1 激光测长仪的结构和原理	249
		17.4.2 激光测长仪的应用	251
		思考题与习题	251
		第 18 章 无损检测	252
		18.1 超声波检测	252



18.1.1 概 述	252	19.1.2 利用压磁式传感器检测张力	277
18.1.2 超声场的特性	254	19.1.3 利用压电式传感器检测张力	278
18.1.3 超声波的传播	255	19.2 张力的间接检测方法	279
18.1.4 超声波在介质中的传播特性	257	19.2.1 几种转矩传感器介绍	279
18.1.5 超声波换能器	258	19.2.2 张力的间接检测方法	280
18.1.6 超声波检测方法	261	19.3 张力控制的基本方法	281
18.1.7 超声波探伤仪	262	19.3.1 直接张力闭环控制	281
18.1.8 超声波检测应用实例	265	19.3.2 张力的扰动补偿控制	282
18.2 涡流检测	266	19.3.3 复合控制	282
18.2.1 涡流探伤的特点	267	19.3.4 张力控制的几种方案	282
18.2.2 影响涡流检测的要素	268	19.4 典型举例	283
18.3 激光全息无损检测	270	思考题与习题	284
18.3.1 激光全息检测的特点与原理	270	附 录	285
18.3.2 激光全息检测方法	271	附录 A 基本常数	285
18.3.3 激光全息检测的应用	273	附录 B 国际制词冠	285
思考题与习题	275	附录 C 国际单位制(SI)的主要单位	286
第 19 章 张力的在线检测技术	276	参考文献	291
19.1 张力的直接检测方法	276		
19.1.1 以带材的位置检测张力	276		



第1章

绪论



1.1 检测的作用与功能

检测是含义更广的测量。测量、测试、检测具有相近的含义,在不强调它们之间细微差别的一般工程技术应用领域中,它们可以相互替代。

测量是一个基本概念,通常可定义为“以确定被测量值为目的的一组操作”,是“利用各种装置对可观测量(或称被测参数)进行定性和定量的过程”。

测试是测量与试验(实验)的简称。试验是在真实情况或模拟条件下对研究对象的特性进行测量和度量的研究过程。

检测包含有测量、检验的意义,也有对被测对象有用信号检出的含义。检验常常仅需要分辨出参数量值所属的某一范围带,以此来判别被测参数合格与否或具有某一特征现象的有、无等。

总之,检测的基本任务是获取信息。检测技术是信息科学的重要分支。

检测总是需要一定的测试设备,而检测系统是把被测参数自动转换成具有可直接观测的指示值或等效信息的测试设备,其中关键部件是传感器。传感器是由敏感元件直接感受被测量,并把被测量转变为可用电量(电信号)的一套完整的测量装置。因此,传感器是检测技术的重要支撑技术之一。

人类的日常生活、生产活动和科学实验都离不开检测技术。从本质上说,检测的功能是人们感觉器官(眼、耳、鼻、舌、身)所生产的视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉的延伸和替代。



1.2 检测的分类

检测的目的就是反映、揭示客观世界存在的各种运动状态的规律。检测过程、检测技术涉及到的内容非常丰富。因此对检测的分类也有许多种,这里仅列出最常用的几种。

1.2.1 电量与非电量电测技术

从对被测的信号来分类,可分为电量与非电量电测技术两大类。

非电量的检测比电量检测要复杂得多、困难得多。目前主流方向是非电量的电测技术,即通过各种传感器把非电量转换成电信号输出,再用电测的方法检测出反映非电量的电量信号。这种方法的优点是:不同的被测非电量转换成电量后,可用相同的仪器仪表实现检测;变换成电量后便于远距离传输和远距离控制与操作;进而有利于与计算机接口,从而实现对检测结果



的进一步分析与处理。

1.2.2 检测原理的分类

按检测原理,可以分为物性型和结构型两大类。为了将非电量转变为电量,可以依赖各种物理的、化学的、生物的原理和有关的功能材料的特性来实现。常用的物性型检测原理有:电磁法、光电法、微波法、超声法、核辐射法和某些半导体效应以及电化学分析、色谱分析与质谱分析等方法。而结构型检测原理以结构(如形状、尺寸等)为基础,利用某些物理规律来感受被测量,并将其转换为电信号。

1.2.3 检测方法的分类

为了实现对各种被测量的检测,从不同角度,在检测上有多种分类方法。例如根据在测量过程中是否对被测对象施加能量而分为有源式和无源式,也称主动式和被动式;根据在测量过程中是否直接接触被测对象而分为接触式和非接触式;根据在测量过程中是否直接得到被测量而分为直接法和间接法;根据在测量过程中被测量与单位的比较方式而分为平衡法(零值法)与不平衡法(偏差法)以及替代法与计算法;根据在测量过程中被测量的变化快慢而分为静态检测法与动态检测法,等等。

1.3 检测系统

1.3.1 检测系统的组成

基于检测的作用与功能,检测系统的首要环节就是获取原始被测量的传感器或有关的敏感元件,实现一次变换。考虑到它们的敏感、变换原理或特性的限制以及外界影响,一次变换后的信号通常满足不了测量与控制的要求。因此总要经过一些中间环节进行处理,实现信号放大、阻抗匹配、干扰抑制、滤波等功能。这样可以按照一定的规律或方式构成开环或闭环检测系统。

图 1.3.1 为开环检测系统示意图。 x 为被测量,即系统的输入量; y 为系统的输出量; K_1 , K_n 分别为一次敏感环节 T 和显示环节 D 的灵敏度; $K_2 \sim K_{n-1}$ 为中间环节的灵敏度,于是系统的输入、输出特性可以描述为

$$y = \prod_{i=1}^n K_i x = K_T x \quad (1.3.1)$$

式中 K_T ——检测系统的灵敏度, $K_T = \prod_{i=1}^n K_i$ 。

开环检测系统结构简单、易于实现、可靠性较高。但由式(1.3.1)可知:开环检测系统各环节的误差以及由它们引入的干扰都将直接影响检测结果,因此对每一个环节的准确度和抗干扰能力都要求较高。为此,发展了闭环检测系统。

图 1.3.2 为典型的闭环检测系统,其中(a)为有差检测系统结构示意图,(b)为无差检测系统结构示意图。图中 K_1 , β , K_2 分别为一次敏感环节 T、反馈环节 B 和信号正向通道 A 的灵敏度。通常有差系统有显示环节 D,而无差系统有具有记忆功能的元件,如伺服电机、继电器、



双稳态触发器或保持电路等构成保持环节 R, 它既起显示作用, 又可以使反馈量与输入量之间的偏差 $\Delta F = F_x - F_y$ 达到零, 实现无差。

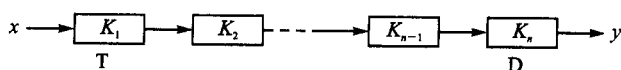


图 1.3.1 开环检测系统示意图

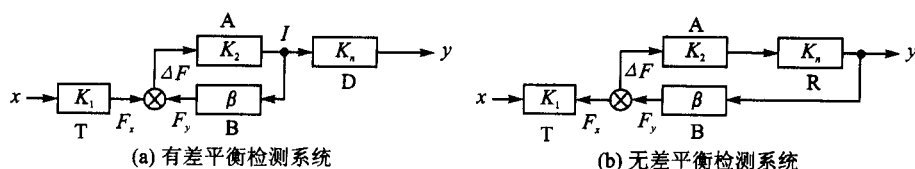


图 1.3.2 闭环检测系统示意图

1.3.2 检测系统的分类

检测系统可以按多种方式进行分类。按信号传输方式可以分为: 开环检测系统、闭环有差检测系统、闭环误差检测系统; 按实现方式可以分为: 手动检测系统、自动检测系统; 按应用场合可以分为: 生产过程现场用检测系统和科学试验用检测系统。

1.3.3 对检测系统的要求

检测任务不同, 对检测系统的要求也不一样, 但在设计、综合和配置检测系统时, 应考虑以下要求。

- 1) 性能稳定: 即系统的各个环节具有时间稳定性。
- 2) 精度符合要求: 精度主要取决于传感器、信号调节采集器等模拟变换部件。
- 3) 有足够的动态响应: 现代检测中, 高频信号成分迅速增加, 要求系统必须具有足够的动态响应能力。
- 4) 具有实时和事后数据处理能力: 能在试验过程中处理数据, 便于现场实时观察分析, 及时判断试验对象的状态和性能。实时数据处理的目的是确保试验安全、加速试验进程和缩短试验周期。系统还必须具有事后处理能力, 待试验结束后能对全部数据做完整、详尽的分析。
- 5) 具有开放性和兼容性: 主要表现为检测设备的标准化。计算机和操作系统具有良好的开放性和兼容性, 可以根据需要扩展系统硬件和软件, 便于使用和维护。

1.4 检测系统的发展

当今, 检测技术在科学试验、生产实践中发挥着日益重要的作用。基于检测系统的组成, 这里重点介绍传感器技术与检测方法的发展趋势。

1.4.1 传感器技术的发展

近年来迅速发展起来的现代信息技术的三大技术基础是信息的获取、信息的传输和信息的分析处理。也就是传感器技术、通信技术和计算机技术, 它们分别构成了信息技术系统的



“感官”、“神经”和“大脑”。20世纪70年代以来,由于微电子技术的大力发展与进步,极大地促进了通信技术与计算机技术的快速发展,相对而言,传感器技术发展却十分缓慢,被称为技术发展的瓶颈。这种发展不协调的状况以及由此带来的负面影响在近几年科学技术的大发展过程中表现得尤为突出,制约了现代信息的整体发展与进步。因此,许多国家都把传感器技术列为重点发展的关键技术之一。美国曾把20世纪80年代看成是传感器技术时代,并列为20世纪90年代22项关键技术之一;日本把传感器技术列为20世纪80年代十大技术之首。从20世纪80年代中后期开始,我国也把传感器技术列为国家优先发展的技术之一。可见传感器技术是一项与现代技术密切相关的尖端技术,近年来的发展主要表现在以下几个方面。

1. 新材料、新功能的开发与应用

传感器材料是传感器技术的重要基础,选择恰当的材料来制作传感器至关重要,而且要求所使用的材料具有优良的机械特性,不能有缺陷。在传感器技术领域,所应用的新型材料主要有以下各类。

1) 半导体硅材料包括单晶硅、多晶硅、非晶硅、硅蓝宝石等。硅具有相互兼容的优良的电学特性和机械特性,因此,采用硅材料研制各种类型的硅微结构传感器。

2) 石英晶体材料包括压电石英晶体和熔凝石英晶体(又称石英玻璃),具有极高的机械品质因数和非常好的温度稳定性,同时,天然的石英晶体还具有良好的压电特性,因此,采用石英晶体材料研制各种微型化的高精密传感器。

3) 功能陶瓷材料目前已经能够按着人为的设计配方,制造出所要求性能的功能材料。特别是对于气体传感器,用不同配方混合的原料,在精密调制化学成分的基础上,经高精度成型烧结而成为对某一种或某几种气体进行识别的功能识别陶瓷,用以制成新型气体传感器。

此外,一些化合物半导体材料、复合材料、薄膜材料、形状记忆合金材料等,在传感器技术中得到了成功的应用。

2. 微机械加工工艺的发展

传感器有逐渐小型化、微型化的趋势,这些为传感器的应用带来了许多方便。以IC制造技术发展起来的微机械加工工艺可使被加工的敏感结构的尺寸达到微米、亚微米级,并可以批量生产,从而制造出既微型化,又便宜的传感器。微机械加工工艺主要包括:

1) 平面电子加工工艺技术,如光刻、扩散、沉积、氧化、溅射等;

2) 选择性的三维刻蚀工艺技术、各向异性腐蚀技术、外延技术、牺牲层技术、LIGA技术(X射线深层光刻、电铸成型、注塑工艺的组合)等;

3) 固相键合工艺技术,如Si-Si键合,实现硅一体化结构;

4) 机械切割技术将每个芯片用分离切断技术分割开来,以避免损伤和残余应力;

5) 整体封装工艺技术将传感器芯片封装于一个合适的腔体内,隔离外界干扰对传感器芯片的影响,使传感器工作在较理想的状态。

3. 传感器的多功能化发展

常规的传感器多测量单个参数,近年来,出现了利用一个传感器实现多参数测量的多功能传感器。如一种同时检测 Na^+ 、 K^+ 和 H^+ 离子的传感器,可检测血液中的钠、钾和氢离子的浓度,对诊断心血管疾病非常有意义。该传感器的尺寸为 $(2.5 \times 0.5 \times 0.5) \text{ mm}^3$,可直接用导管



送到心脏内进行检测。

4. 传感器的智能化发展

随着微处理器技术的进步,传感器技术正在向智能化方向发展,这也是信息技术发展的必然趋势。所谓智能化传感器就是将传感器获取信息的基本功能与专用的微处理器的信息分析、处理功能紧密结合在一起,并具有诊断、数字双向通信等新功能的传感器。由于微处理器具有强大的计算与逻辑判断功能,故可以方便地对数据进行滤波、变换、校正补偿、存储记忆与输出标准化(甚至是具有标准通信协议的总线式输出模式)等;同时实现必要的自诊断、自检测、自校验以及通信与控制等功能。

5. 传感器模型及其仿真技术

针对传感器技术的上述发展特点,传感器技术充分体现了其综合性。涉及到敏感元件输入输出特性规律的参数,影响传感器输入输出特性的不同环节的参数越来越多。因此,分析、研究传感器的特性,设计、研制传感器的过程,甚至在选用、对比传感器时,都要对传感器的工作机理进行有针对性的建立模型和深入细致的模拟计算。

总之,有理由相信:传感器技术的大力发展与进步,必将为检测技术领域的新发展、新进步带来新的动力与活力。

1.4.2 检测方法的发展

近年来检测方法的发展相当快,主要体现在以下几个方面。

1. 主动检测法

为了充分掌握被测对象内在的运动特征,对被测对象施加有针对性的激励信号,通过深入分析所得到的响应,实现获取有用信号的目的。

2. 非接触法检测法

基于光电、超声、微波与射线等技术,实现非接触检测。非接触检测的最大特点是检测过程尽可能简单或不与被测对象进行能量交换,从而不干扰被测对象自身的运动状态。

3. 非电信号的检测

为了提高检测过程的抗干扰能力、保密程度与防爆能力,充分利用非电量测量方法,例如采用光纤技术,特殊功能材料的物理特性,可以充分利用非电信号的检测优点。

4. 多功能检测

基于多功能传感器技术,实现单只传感器多参数的测量,从而带动与促进多功能检测方法的发展。

5. 自动检测技术

基于计算机技术的快速发展,在传感器技术智能化、集成化、接口技术与总线技术等配合下,充分发挥计算机信息处理的强大功能,实现自动检测技术。完成对大型、复杂对象的多路与多参数的检测;或者实现系统的快速巡回检测、实时检测与同步检测;同时实现大量数据的存储、传输、分析与处理等功能。

总之,今后的检测系统将采用标准化的模块设计,大量采用光导纤维作为传输总线,并用多路复用技术同时传输测试数据、图像和语音,向着多功能、大信息量、高度综合化和自动化的方向发展。