



世纪高职高专规划教材
高等职业教育规划教材编委会专家审定

ZIDONG CESHI
YU JIANCE JISHU

自动测试与检测技术

李红星 主编



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

TP274
272
12

21 世纪高职高专规划教材

高等职业教育规划教材编委会专家审定

自动测试与检测技术

主 编 李红星

副主编 李永霞 马靖宇

北京邮电大学出版社

· 北 京 ·

内 容 摘 要

本书共分12章。内容包括检测基础的知识;误差分析与数据处理基础知识;工业参数(温度、力、流量、液位、位移、速度、加速度、成分等)检测传感器的工作原理、基本特性和测量方法;光电传感器的工作原理和应用;现代自动化领域中检测的新技术、新方法、新成就;抗干扰技术。本着理论够用为度,以应用为本,从实用角度出发,本书提供了大量的传感器应用实例和应用电路,学以致用。

本书可作为高职电气自动化类、仪器仪表类及相近专业的教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动测试与检测技术/李红星主编. —北京:北京邮电大学出版社,2008.3

ISBN 978-7-5635-1622-3

I. 自… II. 李… III. 自动检测 IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 010266 号

书 名: 自动测试与检测技术

主 编: 李红星

责任编辑: 崔 珞

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

发 行 部: 电话 010-62282185 传真 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京忠信诚胶印厂

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 18.25

字 数: 429 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2008 年 5 月第 1 版 2008 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-1622-3

定 价: 29.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

21 世纪高职高专规划教材

编审委员会

- 主 任 高 林(北京联合大学副校长)
- 副 主 任 鲁宇红(金陵科技学院副院长)
- 鲍 泓(北京联合大学信息学院院长)
- 孙建京(北京联合大学自动化学院院长)
- 郁建中(金陵科技学院信息技术学院副院长)
- 华永平(南京信息职业技术学院电子信息系主任)
- 杜庆波(南京信息职业技术学院通信工程系主任)
- 黄伟文(宁波职业技术学院华建信息学院副院长)
- 刘连青(北京信息职业技术学院电子工程系主任)
- 朱运利(北京电子科技职业学院工程系主任)
- 刘 威(北京电子科技职业学院电信系主任)
- 姚建永(武汉职业技术学院电信学院院长)
- 章 讯(长江职业学院工学院院长)
- 吕玉明(天津电子信息职业技术学院电子系主任)
- 丁学恭(杭州职业技术学院机电工程系主任)
- 韩春光(宁波大红鹰职业技术学院应用电子系主任)
- 李锦伟(浙江交通职业技术学院信息与管理系主任)
- 倪 勇(浙江机电职业技术学院电子信息工程系主任)
- 龚赤兵(广东水利电力职业技术学院计算机系副主任)
- 朱祥贤(淮安信息职业技术学院信息通信系主任)
- 委 员 (排名不分先后)
- | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 陈传军 | 许学梅 | 吴志荣 | 楼晓春 | 刘大会 |
| 黄一平 | 王 川 | 石建华 | 万少华 | 冯友谊 |
| 何正宏 | 陈 卉 | 王建生 | 任力颖 | 卢孟夏 |
| 李红星 | 张益农 | 李 媛 | 钱琳琳 | 李永霞 |
| 白桂银 | 马靖宇 | 杨 菁 | 齐连运 | 杨 帆 |
- 执行编委 王志宇

21 世纪高职高专规划教材

参编院校

北京联合大学

东北电力大学

宁波职业技术学院

北京电子科技职业学院

长江职业学院

天津电子信息职业技术学院

宁波大红鹰职业技术学院

浙江机电职业技术学院

江西九江职业技术学院

常州信息职业技术学院

吉林电子信息职业技术学院

武汉交通职业技术学院

南京交通职业技术学院

金陵科技学院

南京信息职业技术学院

北京信息职业技术学院

武汉职业技术学院

湖北交通职业技术学院

杭州职业技术学院

浙江交通职业技术学院

浙江工商职业技术学院

广东水利电力职业技术学院

淮安信息职业技术学院

沈阳职业技术学院

武汉船舶职业技术学院

南京正德职业技术学院

前 言

检测问题广泛存在于各行各业,检测技术的发展日新月异,本教材以培养学生从事实际工作的基本能力和基本技能为目的,以“淡化理论,够用为度,培养技能,重在应用”为编写原则,精选了最基本、最常用、最重要的内容,突出技术的实际运用,力图使高职电类专业学生通过本课程的学习,获得具有从事生产一线的技术人员和操作人员所必需掌握的传感器、检测技术和抗干扰技术等方面的基本知识和技能。

本教材考虑到高职学生的特点,着重介绍常用传感器的工作原理及其应用,测量转换电路及其应用。在内容组织方面,重点考虑了实用知识和基本技能,压缩了大量的理论推导,在每一章中都安排了实训方面的内容,最后一章安排了传感器在检测系统中的综合应用案例介绍,同时又注重检测技术的新知识和新发展。

全书共分12章,每章具有一定的独立性,第1章对检测技术的基本知识作了较详细的介绍;第2章至第9章按检测参数分类介绍了各种类型传感器的基本原理、测量电路及其典型应用;第10章介绍了现代检测技术;第11章介绍了干扰的来源和传播方式、抑制电磁干扰的措施、智能检测系统的抗干扰技术;第12章介绍了传感器在检测系统中的综合应用。

本书由李红星任主编,李永霞、马靖宇任副主编。绪论、第1章的部分由北京联合大学自动化学院李红星编写,第1章的部分、第2章和第10章由北京联合大学自动化学院李永霞编写,第3、4、5、12章由湖北交通职业技术学院计算机系马靖宇编写,第6、7、8章和第9章的部分由北京联合大学自动化学院龙浩编写,第9章的主要部分由北京联合大学自动化学院蒋巍编写,第11章由北京联合大学自动化学院李媛编写。全书的统稿工作由李红星和李永霞完成。北京联合大学自动化学院梁岚珍教授仔细审阅全文,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

本书在编写过程中,得到参编老师所在单位领导的大力支持和帮助,参编的各位老师 在繁重的日常工作中,不辞辛苦,积极配合,共同努力按时完成了本书的编写任务,编写中参考和应用了许多专家、学者的著作,在此一并表示衷心感谢。

由于作者的水平有限、时间仓促,检测技术涉及的知识面非常广泛,发展很快,不断在推陈出新,疏漏和错误在所难免,恳请读者批评指正。

编 者



目 录

绪论	1
第 1 章 检测技术基本知识	
1.1 概述	5
1.1.1 检测	5
1.1.2 检测技术	6
1.1.3 检测技术的作用	6
1.1.4 检测过程	6
1.2 检测系统基本构成	7
1.2.1 检测系统构成	7
1.2.2 传感器	8
1.3 检测方法	10
1.4 误差分析及数据处理基础	11
1.4.1 误差的基本概念	11
1.4.2 误差的分类及来源	12
1.4.3 系统误差、随机误差和粗大误差的处理	13
1.4.4 精密度、精确度、准确度	13
1.4.5 多次测量结果的表达	14
1.4.6 测量误差的合成	16
1.4.7 有效数字	16
1.5 传感器基本特性	18
1.5.1 传感器静态特性	18
1.5.2 传感器动态特性	20
本章小结	21
实训 1	21
实训 1.1 认识传感器	21
实训 1.2 数据处理	21
思考与习题 1	21
第 2 章 温度检测	
2.1 温度检测基本知识	23



2.2 热膨胀式温度计	25
2.3 压力式温度计	26
2.4 电阻式温度计	28
2.4.1 金属热电阻温度计	28
2.4.2 半导体热敏电阻温度计	31
2.5 热电偶传感器	35
2.5.1 热电偶测温原理	35
2.5.2 热电偶定则	38
2.5.3 常用热电偶及热电偶材料	39
2.5.4 热电偶结构	39
2.5.5 热电偶特点	40
2.5.6 热电偶的补偿导线	40
2.5.7 热电偶的冷端温度补偿	41
2.5.8 热电偶常用测温电路	43
2.5.9 注意事项	44
2.6 半导体 PN 结型温度传感器	45
2.6.1 热敏二极管和三极管	45
2.6.2 电流输出型集成温度传感器 AD590	46
2.6.3 电压输出型集成温度传感器	49
2.7 辐射式温度传感器	49
2.7.1 辐射式测温原理	49
2.7.2 辐射测温方法	51
2.7.3 红外热辐射温度计	52
2.8 光纤温度传感器	53
2.8.1 光纤传感原理	53
2.8.2 光纤温度传感器	55
本章小结	57
实训 2	57
实训 2.1 热敏电阻测温实验	57
实训 2.2 热电偶原理及现象	58
实训 2.3 PN 结温度传感器测温实验	58
实训 2.4 集成温度传感器 AD590 测温实验	59
思考与习题 2	60

第 3 章 压力及力检测

3.1 压力的基本概念	61
3.2 应变式压力计	62



3.2.1	电阻应变效应	62
3.2.2	电阻应变片	63
3.2.3	电阻应变片的粘贴及温度补偿	65
3.2.4	测量转换电路——不平衡电桥	66
3.2.5	应变效应的应用	67
3.3	压电式压力及力传感器	70
3.3.1	压电效应	70
3.3.2	压电材料	70
3.3.3	测量转换电路	71
3.3.4	压电式压力传感器的应用	73
3.4	压磁式压力传感器	74
3.4.1	压磁式传感器工作原理	74
3.4.2	压磁元件	75
3.4.3	压磁式传感器测量电路	76
3.4.4	压磁式测力传感器应用	77
3.5	电容传感器	77
3.5.1	电容式传感器的工作原理	77
3.5.2	测量转换电路	79
3.5.3	电容式力传感器	82
3.6	霍尔式压力计	83
3.6.1	霍尔效应	83
3.6.2	霍尔元件的误差及补偿	84
3.6.3	霍尔传感器的应用	86
3.7	电子秤	86
3.7.1	电子秤的原理	87
3.7.2	电子秤的特点及应用	87
	本章小结	88
	实训 3	88
	实训 3.1 金属箔应变片电桥性能	88
	实训 3.2 压电式传感器检测实训	89
	思考与习题 3	90
第 4 章 流量检测		
4.1	流量的基本概念	91
4.2	差压式流量计	92
4.2.1	节流装置的工作原理	92
4.2.2	标准节流装置	93
4.2.3	取压方式	94



4.2.4 差压计	95
4.3 电磁流量计	96
4.3.1 电磁流量计的工作原理	96
4.3.2 电磁流量计的结构	97
4.3.3 电磁流量计的应用	97
4.4 卡门涡街式流量计	98
4.4.1 卡门涡街工作原理	98
4.4.2 漩涡发生体	99
4.4.3 卡门涡街流量计结构及应用	100
4.5 容积式流量计	101
4.5.1 容积式流量计的工作原理	101
4.5.2 容积式流量计的类型与应用	101
4.6 质量流量的测量	103
4.6.1 间接式质量流量计	104
4.6.2 直接式质量流量计	104
本章小结	106
实训4 差压式流量计的使用	106
思考与习题4	109
第5章 物位、厚度检测及无损探伤	
5.1 直读、浮力、压力式物位检测	110
5.1.1 直读式物位检测	110
5.1.2 浮力式物位检测	111
5.1.3 压力式物位检测	112
5.2 电容式物位计	113
5.2.1 电容式物位计工作原理及结构	114
5.2.2 电容式物位计应用	115
5.3 超声传感器及物位、厚度检测	117
5.3.1 超声检测原理	117
5.3.2 超声换能器	119
5.3.3 超声传感器测物位	122
5.3.4 超声传感器测厚度	124
5.4 核辐射物位与厚度检测	125
5.4.1 核辐射的基本特性	125
5.4.2 核辐射探测器	127
5.4.3 核辐射传感器的应用	130
5.5 电涡流传感器	131



5.5.1 电涡流传感器工作原理	131
5.5.2 电涡流传感器结构	132
5.5.3 测量转换电路	133
5.5.4 电涡流传感器应用	134
5.6 无损探伤	135
5.6.1 无损探伤的基本概念	135
5.6.2 无损探伤的方法	135
本章小结	139
实训 5 超声波倒车防撞报警集成电路	140
思考与习题 5	141
第 6 章 位移检测	
6.1 电感式位移测量	142
6.1.1 电感式传感器的工作原理	143
6.1.2 电感式传感器的输出特性	143
6.1.3 差动电感式传感器原理	144
6.1.4 电感式位移计	145
6.2 差动变压器位移计	147
6.2.1 差动变压器的工作原理	147
6.2.2 差动变压器位移计	147
6.3 光栅位移测量	149
6.3.1 光栅的结构及分类	150
6.3.2 光栅传感器的工作原理	150
本章小结	153
实训 6 差动变压器	154
思考与习题 6	154
第 7 章 速度、加速度检测	
7.1 磁电感应式速度测量	155
7.1.1 磁电感应式传感器工作原理	155
7.1.2 磁电感应式传感器测量电路	156
7.2 电磁脉冲式转速计	157
7.3 应变片式加速度计	157
本章小结	158
实训 7 磁电感应式转速传感器的应用	158
思考与习题 7	159



第8章 成分参数检测

8.1 气体成分检测	160
8.1.1 热导式检测技术	161
8.1.2 热磁式检测技术	163
8.1.3 红外线式检测技术	164
8.2 水分和湿度的检测	167
8.2.1 水分和湿度的定义及表示方法	167
8.2.2 固体湿度的电测法	167
8.2.3 气体湿度的电测法	168
8.3 密度和浓度的检测	170
8.3.1 密度的电测法	170
8.3.2 浓度的电测法	171
本章小结	173
实训8 自制简单的CO气体报警器	173
思考与习题8	173

第9章 光电式传感器

9.1 光谱	174
9.2 光电器件	176
9.2.1 光敏电阻	176
9.2.2 光电池	180
9.2.3 光电二极管	183
9.2.4 光电三极管	186
9.2.5 光电式传感器的应用	191
9.3 电耦合器件	194
9.3.1 耦合器件CCD的基本原理	195
9.3.2 电荷耦合器件的特性参数	198
9.3.3 CCD摄像器件类型	199
9.3.4 CCD的应用	201
本章小结	202
实训9 光敏二极管特性	202
思考与习题9	203

第10章 现代检测技术

10.1 检测技术的自动化	204
10.1.1 传统检测系统构成	205



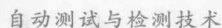
10.1.2	自动检测系统构成	205
10.1.3	自动检测系统的工作模式	206
10.1.4	自动检测技术研究内容	206
10.1.5	自动测试与检测技术的发展	207
10.2	现代自动检测技术的发展	210
10.2.1	智能仪器	210
10.2.2	现场总线智能仪表	212
10.2.3	基于 PC 的虚拟仪器	214
10.2.4	虚拟仪器构成	215
10.2.5	虚拟仪器发展趋势	218
10.3	现代自动检测技术的特点	219
10.4	现代自动检测系统组建的关键技术	220
10.5	现代自动检测技术的新进展	221
	本章小结	222
	实训 10 温度传感器实验设计	222
	思考与习题 10	225

第 11 章 抗干扰技术

11.1	干扰的来源及分类	226
11.1.1	干扰与噪声	226
11.1.2	干扰的分类	226
11.1.3	干扰的传导模式	228
11.1.4	干扰噪声耦合方式	228
11.1.5	电磁干扰的 3 个要素	229
11.2	抑制电磁干扰的基本方法和措施	230
11.2.1	基本方法	230
11.2.2	基本措施	230
11.3	自动测试与检测系统的抗干扰技术	237
11.3.1	硬件抗干扰技术	237
11.3.2	软件抗干扰技术	239
	本章小结	244
	思考与习题 11	244

第 12 章 传感器综合应用实例

12.1	传感器的选用原则	246
12.2	传感器在数控机床中的应用	247
12.3	传感器在高速公路智能化管理中的应用	250





息前味会能特谷前是人前前受前 (5)

; 里投前息前 (6)

; 前节前续 (1)

; 前曲前前续前续, 示显前工续前续 (2)

; 警前前站 (3)

; 前查前前续前续 (7)

表前前作 (8)

绪 论

【本章重点】

1. 检测系统及监测系统;

2. 检测的分类;

3. 检测技术的发展;

4. 本教材的内容与特点。

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)所产生的视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉的延伸和替代。检测就是利用各种物理效应,选择合适的方法与装置,将日常生活、生产活动和科学实验中的有关信息通过检查与测量的方法赋予定性和定量结果的过程。自动检测技术以信息的获取、转换、处理和显示为主要内容,现已经发展成为一门完整的技术学科。

在工业生产中,有很多的参数需要检测,常见有温度、压力、流量、转速、声音、物位、成分、密度等。这些参数的检测对于保证产品的产量与质量,对于企业节能降耗增效,提高市场竞争力,对于保障安全生产,都起着十分重要的作用。

检测是生产过程自动控制系统的重要组成部分。对任何一种设备要实施控制,首要问题是要准确及时地把被控参数检测出来,并变换成相应的标准工业信号,作为控制装置判断生产过程的依据。因此,检测是实现生产过程自动化、改善工作环境、提高劳动生产率的重要环节。

检测技术是信息技术、自动化技术和通信技术的基础。现代化的检测手段在很大程度上决定了生产和科学技术的发展水平,而科学技术的发展又为检测技术提供了新理论、新方法和新工艺,同时对检测技术提出了更高的要求。

1. 检测系统与监测系统的组成

检测系统的主要功能就是测量各种参数以用于显示或控制。一般检测系统都包括以下几部分:传感器、测量电路、显示或输出部分。当然,根据传感器输出测量信号的形式不同及测量系统的功能不同,检测系统的构成也相应地有所区别。在检测系统中,传感器是首要环节,它一般将各种非电量转换成为电信号,如电压、电流或电路参数(电阻、电感、电容)等实现一次变换。测量电路的功能是将传感器输出的微弱电信号经过必要的调节、转换和处理,使之成为容易传输、处理,可以存储记录和显示,具有驱动能力的形式。显示输出部分的功能是检测系统将检测的结果(测量值)显示或输出。显示或输出部分包含显示和打印记录装置、数据处理和控制装置等。目前,显示方式可分为指针式、数字式、屏幕式3种。检测系统不仅可以用于实时检测,而且可以实现对被测对象的闭环控制。

监测系统的主要功能是对生产过程的参数和工况进行巡回检测,简化的系统图如图1所示。监测系统的主要功能包括:

(1) 对生产过程采集相关数据;



- (2) 接受操作人员的各种指令和信息;
- (3) 信息预处理;
- (4) 数据存储;
- (5) 数据和工况显示,形成趋势图或曲线;
- (6) 故障报警;
- (7) 历史数据的查询;
- (8) 打印报表。

监测系统的信息处理只是将采集的生产过程信息进行必要的处理,如滤波、平滑、分类等,以适应显示和打印的需要。监测系统的输出是通过有关的外部设备和人机接口设备提供信息的显示和报道,供操作人员分析、判断,以便于掌握生产情况和监视生产过程。监测系统的输出不直接参与系统控制,也不直接影响生产过程,它是一个开环监测系统。生产过程的控制和调节由人工或自动控制系统完成。

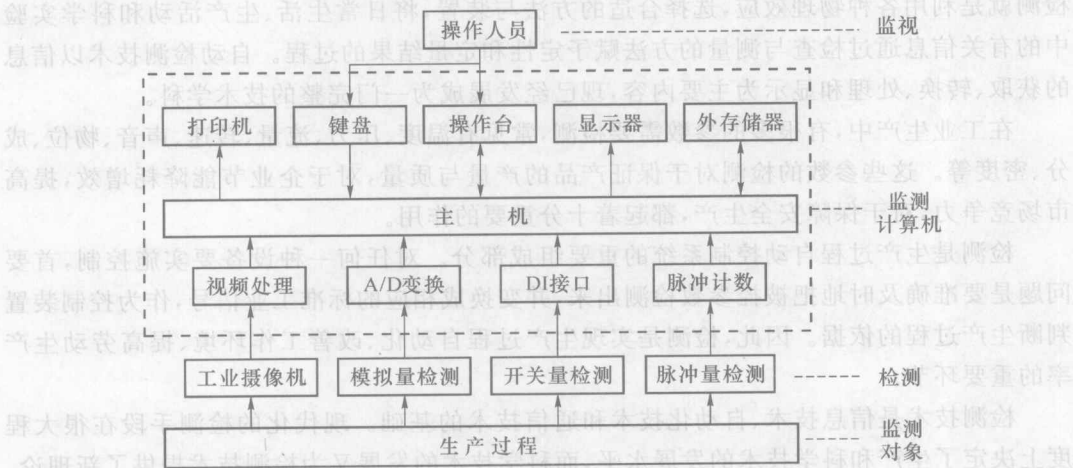


图1 计算机监测系统框图

2. 检测的分类

在工业生产中,生产流程复杂多样,被测对象多样性和复杂化对检测系统提出了诸多要求。从企业的原材料和燃料进厂、生产过程、安全、环保、产品监控、库存、产品出厂等环节,均涉及检测问题。因此检测的分类方法有许多种,这里仅列出最常用的几种。

(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检测技术两大类。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。转换成电信号后便于传输、分析、处理、存储、显示和具有驱动能力。

(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。物性型检测原理是利用物质所具有的各种物理的、化学的、生物的原理和有关的功能材料的特性来实现非电量转变为电量。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。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。

(3) 检测方法的分类

由于检测对象、检测环境和被测量千差万别,相应的也有不同的检测方法。从不同的角度出发,有许多分类方法。如根据在测量过程中是否与被测对象接触可分为接触式和非接触式;根据在测量过程中是否能够直接得到被测量而不需要经过任何运算可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可分为平衡法(零值法)和不平衡法(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可分为静态检测法与动态检测法等。

3. 检测技术的发展

随着半导体技术、计算机技术的发展,新型或具有特殊功能的传感器不断涌现出来,检测装置也向微型化、固体化、多功能化及智能化方向发展。应用领域越来越广,航空航天、海洋工程、工农业生产、军事、人类生活等。当前,检测技术的发展主要表现在以下几个方面。

(1) 不断提高测量精度、量程范围、可靠性,延长使用寿命

随着科学技术的不断发展,对检测系统测量精度的要求也在不断提高。测量精度越高,反映被测量的情况越真实,更有利于做出准确的决策或控制。在一些特殊的情况下,需要测量范围的进一步扩大,如为满足超低温技术发展的要求,利用超导体的约瑟夫逊效应已开发出能测量 10^{-6} K 的超低温传感器。

对于检测系统,如果不能对原始信息进行精确、可靠的捕获和转换,则一切测量和控制都是不可能实现的。对于测量环境既复杂又恶劣的情况下,可靠性更重要。如“嫦娥一号”卫星上安装的测量仪器,既要能耐高温,又要能在极低温和强辐射的环境下保持正常工作,所以它必须有极高的可靠性和工作寿命。

(2) 研发集成化、多功能化的传感器

随着半导体技术的发展,集成化的传感器是将敏感元件与信号调节电路制作在同一块硅片上。这样的传感器体积更小、性能更好、功能更强、使用更方便。常规的传感器基本都是测量单个参数,现在已有利用一个传感器实现多参数测量的多功能传感器。另外,也有把多个敏感元件集成在一块芯片上可实现多功能测量。如将排成阵列的上千万个光敏元件及扫描放大电路制作在一块芯片上,制成彩色 CCD 数码照相机和摄像机。

(3) 检测技术正向着智能化方向发展

随着微处理器技术的发展,检测技术正在向智能化方向发展。这也是现代化工业生产和信息技术发展的必然趋势。将传感器与微处理器集成在同一芯片上组成智能仪表不仅具有信号检测、转换功能,还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等;同时能够实现必要的自诊断、自检测、自校验、通信和控制等功能。

20 世纪 80 年代末期,美国 NI(National Instrument)公司提出了虚拟仪器的概念。在通用计算机系统、硬件板卡、功能模块和组态软件组成的硬件平台下,利用软件在屏幕上生成虚拟仪器的面板,可以进行信号采集、运算、分析和处理,实现传统仪器的各种功能。从而,可以组建自己专用的测量仪器,打破了传统测量仪器由厂家定义而用户无法改