

全国普通高校电子信息与电气学科规划教材



Automatic detection technology and application

自动检测技术及应用



林敏 ◎主编

Lin Min

于晓海 姜绍君 王延平 ◎副主编

Yu Xiaohai Jiang Shaojun Wang Yanping

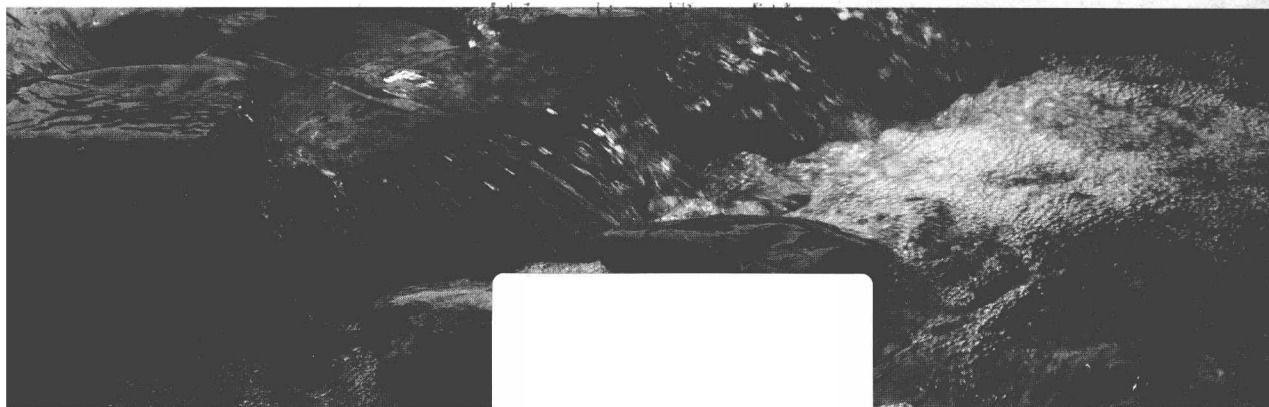
清华大学出版社



全国普通高校电子信息与电气学科规划教材

Automatic detection technology and application

自动检测技术及应用



林 敏 ◎主 编

Lin Min

于晓海 姜绍君 王延平 ◎副主编

Yu Xiaohai Jiang Shaojun Wang Yanping

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书面向应用型本科人才培养模式的新需求,立足于生产过程中自动化测控系统的设计成套、运行维护能力的培养。首先讲述检测技术的基本概念、系统组成和测量误差的分析与处理;然后按被测参数分门别类地加以阐述,既包括连续过程类五大参数中的温度、压力、流量、物位和成分分析,也包括机械加工类常用的位移、转速等参数,各种参数测量均介绍了常用的五种以上的传感器或测量仪表的工作原理、结构组成及使用特点,而且列举了传感器在测控系统中的工程应用;最后介绍了几种全新概念的现代检测技术。

本书既注重传统知识的讲授,又兼顾新技术、新成果的应用,力求基础理论与实践创新相交融,系统性、实用性与先进性、前瞻性相结合。

本书内容全面,适用面广,既可以作为自动化、电气工程及其自动化、电子信息工程、测控技术与仪器、通信工程、机械设计制造及其自动化、物联网工程、车辆工程、交通工程、计算机应用等专业教材,也可作为从事传感器与检测技术相关领域应用和设计开发的研究人员、工程技术人员的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

自动检测技术及应用/林敏主编.--北京:清华大学出版社,2016

全国普通高校电子信息与电气学科规划教材

ISBN 978-7-302-44419-0

I. ①自… II. ①林… III. ①自动检测—高等学校—教材 IV. ①TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 168686 号

责任编辑:梁颖

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:15

字 数:362千字

版 次:2016年9月第1版

印 次:2016年9月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:35.00元

产品编号:065807-01

人类已经进入了科学技术空前发展的信息社会,信息科学与技术深深地改变着社会生产生活的各个方面,社会生产力的发展和人们生活质量的提高越来越得益于和依赖于信息科学与技术的发展。人们时时处处都离不开对信息的获取、分析、处理、控制和应用,而这正是检测技术涉及的研究内容。

自动检测技术是电子信息与电气学科的一个重要分支,以传感器为核心的检测技术,与自动控制技术、计算机技术等一起构成了信息技术的完整学科,而且正在成为自动化系统、物联网与信息领域的源头与基石。有权威研究机构称,仪器仪表工业总产值只占工业总产值的百分之几,但它对国民经济的影响却达到百分之六、七十。可见,仪器仪表产业对国民经济有着巨大的倍增和拉动作用。我国政府高度重视仪器仪表产业的发展,紧紧抓住第三次信息技术浪潮的历史机遇,力推物联网等战略性新兴产业。国家发展规划中,已把传感器与检测技术相关内容列入国家中长期科技发展规划的重点领域及其优先主题。当前,我国仪器仪表技术的研究与产业都取得了重大进展,在产品微型化、集成化、无线化、智能化、网络化等方向上紧跟国际发展步伐。毫无疑问,自动检测技术是现代化领域中最有发展前途的热门技术之一。而传感技术的研发、检测系统的设计、仪器仪表的使用与维护都需要大批的专门人才作为支撑。因此,自动检测技术成为高校大部分工科专业学生的必修专业基础课实属必然,尤其是当下,社会对人才培养的目标和内容也提出了与时俱进的新要求。

本书是以培养应用型本科人才为目标而编写的,本着厚基础、重能力、求创新的总体思想,遵循“以行业为导向、以能力为本位、以学生为中心”的基本思路,着眼于培养学生宽泛的专业理论知识和实践创新能力。全书按照“问题驱动”的教学理念,融入贴近实践的工程实例,提出问题、分析问题、解决问题,从而达到学生能综合运用检测技术的基本理论和知识来分析和解决工程实际问题的人才培养目标。

本书的编者是既讲授自动化、电子信息专业系列理论课程,又从事于自动测控系统和电子产品设计和研制的双师型教师,具有丰富的教学和实践经验。本书特别注重基本概念、基本原理的阐述分析和基本方法、基本技能的培养强化,力争理论知识做到三用一新,即实用、适用、够用和创新,在满足基本教学要求的基础上,适当降低了难度,压缩了公式推导及繁琐的计算,代之以大量的图示、例题和工程案例,真正做到了理论知识与实训内容融为一体,相辅相成。

本书面向应用型本科人才培养模式的新需求,立足于生产过程中自动化测控系统的设计成套、运行维护能力的培养,也即面对一个生产流程或被测对象,如何通过选用或者设计合适的传感器/检测仪表并据此完成一个性价比高、精准合格的自动检测装置(系统)的设计。因此,是完全按照被测参数(变量)来分类介绍的。

本书共分10章:第1章绪论,包括检测技术的概念及检测系统的组成、分类和发展;第2章检测技术基础知识,包括误差分析、处理和检测系统基本特性;后面7章按被测参数分门别类地加以阐述;第3~7章,分别是连续过程类五大参数测量中的温度、压力、流量、物位和成分分析;第8章和第9章,分别是机械加工类常用的位移和转速等参数测量;而各种参数测量均介绍了五种以上的传感器或测量仪表的工作原理、结构组成及使用特点,而且列

II 自动检测技术及应用

举了传感器在检测控制系统中的工程应用；第10章现代检测技术，包括虚拟仪器、软测量技术、传感器网络、视觉检测技术等。

本书由大连理工大学城市学院林敏编写第1、2、3、5章，于晓海编写第6、7、9章，姜绍君编写第4、8章，大连工业大学王延平编写第10章。全书最后由林敏整理定稿。

本书的编写力求基础理论与实践创新相交融，系统性、实用性与先进性、前瞻性相结合，既注重传统知识的讲授，又兼顾新技术、新成果的应用。

本书内容全面，适用面广，既可以作为自动化、电气工程及其自动化、电子信息工程、测控技术与仪器、通信工程、机械设计制造及其自动化、物联网工程、车辆工程、交通工程、计算机应用等专业教材，也可作为从事传感器与检测技术相关领域应用和设计开发的研究人员、工程技术人员的参考用书。

在本书编写过程中，参考吸纳了许多作者编著的优秀作品以及生产厂家的产品资料，在此表示由衷的感谢！

由于编者的学识和水平有限，加之自动检测技术既内容丰富又应用广泛，且技术本身还在不断地发展创新，因此，书中的疏漏和错误在所难免，诚望广大读者提出宝贵意见。

编者

2016年5月

| | |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 检测技术的概念 | 1 |
| 1.2 检测系统的组成 | 2 |
| 1.3 检测系统的分类 | 3 |
| 1.3.1 按检测参量分类 | 3 |
| 1.3.2 按检测原理分类 | 3 |
| 1.3.3 按检测方法分类 | 3 |
| 1.3.4 按使用性质分类 | 4 |
| 1.4 检测技术的发展 | 4 |
| 1.5 学习检测技术的目的 | 5 |
| 思考题与习题 | 6 |
| 第 2 章 检测技术基础知识 | 7 |
| 2.1 误差分析基础 | 7 |
| 2.1.1 测量参照值 | 7 |
| 2.1.2 误差的表示方法 | 8 |
| 2.1.3 误差的分类 | 10 |
| 2.2 误差的数据处理 | 11 |
| 2.2.1 随机误差的处理方法 | 11 |
| 2.2.2 系统误差的消除方法 | 17 |
| 2.2.3 粗大误差的判别与舍弃 | 21 |
| 2.2.4 测量误差的合成 | 22 |
| 2.3 检测系统基本特性 | 24 |
| 2.3.1 检测系统静态特性 | 24 |
| 2.3.2 检测系统动态特性 | 28 |
| 思考题与习题 | 32 |
| 第 3 章 温度检测 | 35 |
| 3.1 概述 | 35 |
| 3.1.1 温度及其测量原理 | 35 |
| 3.1.2 温标及其表示方法 | 35 |
| 3.1.3 测温方式及其原理 | 37 |
| 3.2 热膨胀式测温 | 38 |
| 3.2.1 玻璃管液体温度计 | 38 |
| 3.2.2 双金属温度计 | 39 |

IV 自动检测技术及应用

| | |
|----------------------------|-----------|
| 3.2.3 压力式温度计 | 40 |
| 3.3 热电偶测温 | 41 |
| 3.3.1 热电偶测温原理 | 41 |
| 3.3.2 热电偶的应用定则 | 43 |
| 3.3.3 常用热电偶种类 | 44 |
| 3.3.4 热电偶的冷端温度补偿 | 46 |
| 3.3.5 热电偶的结构 | 49 |
| 3.3.6 热电偶的测温回路 | 51 |
| 3.4 热电阻测温 | 51 |
| 3.4.1 热电阻测温原理 | 51 |
| 3.4.2 常用热电阻种类 | 52 |
| 3.4.3 热电阻的结构 | 53 |
| 3.4.4 热电阻测温电路 | 54 |
| 3.4.5 热敏电阻 | 55 |
| 3.5 集成温度传感器测温 | 57 |
| 3.5.1 集成温度传感器的基本工作原理 | 58 |
| 3.5.2 电压输出型温度传感器 | 58 |
| 3.5.3 电流输出型集成温度传感器 | 58 |
| 3.6 非接触式测温 | 60 |
| 3.6.1 辐射温度计 | 61 |
| 3.6.2 亮度温度计 | 61 |
| 3.6.3 比色温度计 | 62 |
| 3.7 工程应用 | 62 |
| 3.7.1 整机电路组成 | 62 |
| 3.7.2 前向通道电路设计 | 63 |
| 思考题与习题 | 65 |
| 第4章 压力检测 | 66 |
| 4.1 概述 | 66 |
| 4.1.1 压力单位及表示方法 | 66 |
| 4.1.2 压力检测方法分类 | 67 |
| 4.2 应变式压力测量 | 70 |
| 4.2.1 电阻应变片的工作原理 | 71 |
| 4.2.2 电阻应变片的结构与种类 | 71 |
| 4.2.3 应变片的特性 | 72 |
| 4.2.4 电阻应变片的测量电路 | 74 |
| 4.2.5 应变式压力传感器的应用 | 76 |
| 4.3 压阻式压力测量 | 77 |
| 4.3.1 压阻式传感器的工作原理 | 78 |

| | | |
|--------------|-------------------|-----------|
| 4.3.2 | 压阻式传感器类型 | 78 |
| 4.3.3 | 测量电路及温度补偿 | 79 |
| 4.3.4 | 压阻式压力传感器的应用 | 80 |
| 4.4 | 电容式压力测量 | 81 |
| 4.4.1 | 电容器的结构及电容量 | 81 |
| 4.4.2 | 单电容压力传感器 | 82 |
| 4.4.3 | 差动式电容压力传感器 | 82 |
| 4.4.4 | 电容式传感器的测量电路 | 83 |
| 4.4.5 | 电容式压力传感器的应用 | 83 |
| 4.5 | 压电式压力测量 | 84 |
| 4.5.1 | 压电效应 | 84 |
| 4.5.2 | 压电式传感器的测量电路 | 84 |
| 4.5.3 | 压电式压力传感器的应用 | 87 |
| 4.6 | 集成式压力测量 | 88 |
| 4.6.1 | 压阻式集成压力传感器 | 88 |
| 4.6.2 | 电容式集成压力传感器 | 88 |
| 4.7 | 压力检测仪器的使用 | 89 |
| 4.7.1 | 测压仪器的选用 | 89 |
| 4.7.2 | 测压仪器的连接 | 90 |
| 4.7.3 | 测压仪器的校验 | 90 |
| | 思考题与习题 | 91 |
| 第 5 章 | 流量检测 | 93 |
| 5.1 | 概述 | 93 |
| 5.1.1 | 流量的概念 | 93 |
| 5.1.2 | 流量的检测方法 | 94 |
| 5.2 | 容积式流量计 | 95 |
| 5.2.1 | 椭圆齿轮流量计 | 95 |
| 5.2.2 | 腰轮流量计 | 96 |
| 5.2.3 | 旋转活塞流量计 | 97 |
| 5.2.4 | 刮板流量计 | 97 |
| 5.2.5 | 容积式流量计的应用 | 98 |
| 5.3 | 差压式流量计 | 99 |
| 5.3.1 | 节流式流量计 | 99 |
| 5.3.2 | 转子流量计 | 107 |
| 5.4 | 速度式流量计 | 109 |
| 5.4.1 | 涡轮流量计 | 109 |
| 5.4.2 | 电磁流量计 | 110 |
| 5.5 | 质量流量计 | 112 |

VI 自动检测技术及应用

| | | |
|------------|-------------------|------------|
| 5.5.1 | 推导式质量流量测量 | 112 |
| 5.5.2 | 直接式质量流量测量 | 114 |
| 5.6 | 工程应用 | 115 |
| 5.6.1 | 整机电路组成 | 115 |
| 5.6.2 | 检测电路 | 115 |
| 5.6.3 | 检测算法 | 116 |
| | 思考题与习题 | 116 |
| 第6章 | 物位检测 | 118 |
| 6.1 | 概述 | 118 |
| 6.1.1 | 物位的定义 | 118 |
| 6.1.2 | 常用物位检测方法 | 118 |
| 6.2 | 静压式液位计 | 119 |
| 6.2.1 | 测量原理 | 119 |
| 6.2.2 | 零点迁移 | 120 |
| 6.2.3 | 安装方式 | 123 |
| 6.3 | 浮力式液位计 | 124 |
| 6.3.1 | 钢带浮子式液位计 | 124 |
| 6.3.2 | 磁浮子式液位计 | 124 |
| 6.3.3 | 浮筒式液位计 | 125 |
| 6.4 | 超声波物位计 | 127 |
| 6.4.1 | 声波的组成 | 127 |
| 6.4.2 | 测量原理 | 127 |
| 6.4.3 | 应用举例 | 128 |
| 6.5 | 电容式物位计 | 129 |
| 6.5.1 | 测量原理 | 129 |
| 6.5.2 | 电容式液位计 | 130 |
| 6.5.3 | 电容式料位计 | 131 |
| 6.5.4 | 应用举例 | 131 |
| 6.6 | 射频式物位计 | 132 |
| 6.7 | 物位开关 | 133 |
| 6.7.1 | 测量原理及分类 | 133 |
| 6.7.2 | 微波式物位开关 | 134 |
| 6.7.3 | 电导式物位开关 | 135 |
| 6.8 | 工程应用 | 137 |
| 6.8.1 | 系统概述 | 138 |
| 6.8.2 | 硬件电路 | 138 |
| 6.8.3 | 程序设计 | 139 |
| | 思考题与习题 | 140 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 第 7 章 成分分析检测 | 141 |
| 7.1 概述 | 141 |
| 7.1.1 成分分析原理及分类 | 141 |
| 7.1.2 自动分析仪表系统的构成 | 142 |
| 7.2 热导式气体分析仪 | 142 |
| 7.2.1 热导率概念 | 143 |
| 7.2.2 工作原理 | 143 |
| 7.3 红外式气体分析仪 | 145 |
| 7.3.1 工作原理 | 145 |
| 7.3.2 应用举例 | 146 |
| 7.4 半导体气敏传感器 | 146 |
| 7.4.1 概述 | 146 |
| 7.4.2 工作原理 | 147 |
| 7.4.3 应用举例 | 148 |
| 7.5 氧量分析仪 | 149 |
| 7.5.1 工作原理 | 149 |
| 7.5.2 工作条件及安装方式 | 151 |
| 7.5.3 应用举例 | 151 |
| 7.6 色谱分析仪 | 152 |
| 7.6.1 工作原理 | 153 |
| 7.6.2 应用举例 | 154 |
| 7.7 湿度检测 | 155 |
| 7.7.1 湿度的含义与表示方法 | 155 |
| 7.7.2 干湿球湿度计的工作原理 | 156 |
| 7.7.3 汽车后窗自动除湿装置 | 157 |
| 7.8 工程应用 | 158 |
| 思考题与习题 | 159 |
| 第 8 章 位移检测 | 160 |
| 8.1 概述 | 160 |
| 8.1.1 位移传感器的类型 | 160 |
| 8.1.2 位移传感器性能比较 | 160 |
| 8.2 电容式位移测量 | 161 |
| 8.2.1 工作原理 | 161 |
| 8.2.2 测量电路 | 163 |
| 8.2.3 应用举例 | 165 |
| 8.3 自感式位移测量 | 165 |
| 8.3.1 测量原理 | 166 |

Ⅷ 自动检测技术及应用

| | | |
|------------|-------------------|------------|
| 8.3.2 | 差动式结构 | 166 |
| 8.3.3 | 测量电路 | 167 |
| 8.3.4 | 应用举例 | 168 |
| 8.4 | 互感式位移测量 | 169 |
| 8.4.1 | 测量原理 | 169 |
| 8.4.2 | 输出特性 | 170 |
| 8.4.3 | 测量电路 | 171 |
| 8.4.4 | 应用举例 | 173 |
| 8.5 | 光栅式位移测量 | 173 |
| 8.5.1 | 光栅的结构与种类 | 173 |
| 8.5.2 | 工作原理 | 174 |
| 8.5.3 | 辨向与细分电路 | 175 |
| 8.5.4 | 应用举例 | 177 |
| | 思考题与习题 | 178 |
| 第9章 | 转速检测 | 179 |
| 9.1 | 概述 | 179 |
| 9.1.1 | 转速的定义 | 179 |
| 9.1.2 | 转速测量方法 | 179 |
| 9.2 | 离心式转速测量 | 180 |
| 9.3 | 测速发电机 | 181 |
| 9.3.1 | 结构与种类 | 181 |
| 9.3.2 | 测速原理 | 182 |
| 9.4 | 磁电式转速测量 | 182 |
| 9.4.1 | 电磁感应原理 | 182 |
| 9.4.2 | 变磁通式磁电传感器 | 183 |
| 9.5 | 霍尔式转速测量 | 184 |
| 9.5.1 | 霍尔效应 | 184 |
| 9.5.2 | 霍尔元件 | 184 |
| 9.5.3 | 测量电路 | 185 |
| 9.6 | 光电式转速测量 | 186 |
| 9.6.1 | 光电式传感器 | 186 |
| 9.6.2 | 测量电路 | 187 |
| 9.7 | 旋转编码器式转速测量 | 187 |
| 9.7.1 | 结构与分类 | 187 |
| 9.7.2 | 绝对编码器 | 188 |
| 9.7.3 | 增量编码器 | 190 |
| 9.8 | 工程应用 | 191 |
| 9.8.1 | M法测转速 | 191 |

| | |
|---|------------|
| 9.8.2 T 法测转速 | 191 |
| 思考题与习题 | 192 |
| 第 10 章 现代检测技术 | 193 |
| 10.1 虚拟仪器 | 193 |
| 10.1.1 虚拟仪器概述 | 193 |
| 10.1.2 虚拟仪器系统的构成及其特点 | 194 |
| 10.1.3 虚拟仪器在测控系统中的应用 | 196 |
| 10.2 软测量技术 | 197 |
| 10.2.1 软测量技术概述 | 197 |
| 10.2.2 软测量技术的实现方法 | 198 |
| 10.2.3 软测量仪表的工业应用 | 201 |
| 10.3 传感器网络 | 202 |
| 10.3.1 传感器网络的定义和组成 | 202 |
| 10.3.2 传感器网络的功能与特点 | 203 |
| 10.3.3 传感器网络的关键技术 | 205 |
| 10.3.4 传感器网络的延展和应用 | 207 |
| 10.4 视觉检测技术 | 210 |
| 10.4.1 视觉检测系统组成 | 211 |
| 10.4.2 视觉检测系统的应用 | 215 |
| 思考题与习题 | 216 |
| 附录 A 常用铂铑₁₀-铂热电偶(S 型)$E(t)$分度表 | 217 |
| 附录 B 铂热电阻(Pt100 型)$R(t)$分度表 | 222 |
| 参考文献 | 225 |

教学目标

通过本章的学习,读者应理解检测技术的基本概念及广泛应用,掌握检测系统的组成和工程上常用的几种分类方法,明确学习检测技术的目的。

1.1 检测技术的概念

在当今信息社会的一切活动领域中,无论是生产过程还是科学实验甚至日常生活,时时处处都离不开检测。检测是利用各种物理、化学或生物效应,采用合适的方法与装置,将生产、科研、生活等各方面的有关信息通过检查与测量的方法赋予定性或定量结果的过程。

有几个含义相近的词汇:测量、测试、检测。测量是一个基本概念,是指以确定被测对象属性和量值为目的的全部操作,即将被测的未知量与同性质的标准量进行比较,确定被测量对标准量的倍数,通过数字表示出这个倍数的过程;测试即测量与试验,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;检测即检验与测量,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区间范围,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。在一般的工程技术应用领域中,对它们三者并不加以严格区分而可以互为替代。

总之,检测的基本任务是获取信息。一个完整的检测过程包括信息的提取、信号的转换存储与传输、信号的显示记录和信号的分析处理。能够自动地完成整个检测处理过程的技术称为自动检测与转换技术,简称(自动)检测技术。

检测技术在工农业生产、科学研究、医疗卫生、交通运输、经济贸易以及当今方兴未艾的物联网等领域都起着举足轻重的作用。例如,化工、电力行业中,需要随时对生产流程中的温度、压力、流量、物位等工艺参数进行实时检测与优化控制,以取得安全、高效、稳定的运行;机械制造行业中,通过对机床的刀具位置、切削速度、床身振动等动、静态参数进行在线检测,从而保证加工精度;国防科研中,在飞机、导弹和卫星的研制与飞行过程中,检测技术用得更多,需要准确获知飞行速度、加速度、姿势、航向、气压、构件所受强度等几百个状态数据;交通调度管理系统中,也少不了对交通流量、流向、车速、车种等的监视;还有近年来家电行业的发展、数字家居的兴起、物联网的问世,已经使检测技术进入了无所不在的人们生活之中。

据美国国家标准技术研究院(National Institute of Standard and Technology, NIST)的统计,美国为了质量认证和控制、自动化及流程分析,每天完成 2.5 亿项检测,相关费用占国民生产总值的 3.5%。要完成这些检测,需要大量的、种类繁多的检测和分析仪器。美国商业部国家标准局(National Bureau of Standards, NBS)于 20 世纪 90 年代初评估仪器仪表工业对美国国民经济总产值的影响作用时所提出的调查报告中称:仪器仪表工业总产值只占工业总产值的 4%,但它对国民经济的影响却达到 66%。可见,仪器仪表对国民经济有着巨

大的“倍增器”和拉动作用。

显而易见,检测技术已成为现代化领域中最有发展前途的热门技术之一,它给人们带来巨大的经济效益并促进科学技术的飞跃发展,因此在国民经济发展中占有十分重要的地位。

1.2 检测系统的组成

检测总是要借助于一定的检测手段或设备,能完成这种将被测参量转变为电学量,并最终将其显示和输出的装置或系统称为检测仪表或检测系统。如图 1-1 所示,一个完整的检测系统通常是由传感器、测量电路、输出单元等几部分组成的,分别完成信息的获取、转换、处理和输出等功能。



图 1-1 检测系统的组成

1. 传感器

传感器是一种能将被测参量(物理量、化学量、生物量)转换为与之有确定对应关系的电学量输出的装置。它由敏感元件、转换元件和转换电路三部分组成,敏感元件能够灵敏地直接感受被测参量的变化并作出响应,转换元件进一步将其响应转换成电路参数,转换电路再转换为便于传输和后续环节处理的电量信号。显然,传感器获得信息的准确与否,关系到整个检测系统的精度,如果传感器的误差较大,即便后续环节精度很高,也难以提高整机的检测精度。

在不同的学科领域,传感器又被称为检测器、转换器、发讯器,或者进一步输出某种标准电量信号的变送器。这些不同提法只是反映了在不同的技术领域的一种称谓习惯,其内涵是相同或相似的。

2. 测量电路

测量电路的作用是对传感器输出的信号进行加工,把传感器输出的微弱电量变成具有一定驱动和传输能力的电压、电流和频率信号等,以推动后级的输出单元。其中的信号处理电路也有多种组成形式,通常由传感器类型而定,同时也要与各种输出单元相匹配。

3. 输出单元

输出单元可以是指示仪、显示器、记录仪、累加器、报警器、数据处理装置、执行机构等。根据后续所配接的不同单元,检测系统又可细分为其他几种称谓。若输出单元是指示仪、显示器或记录仪,则该测试系统为自动检测系统;若输出单元是计数器或累加器,则该测试系统为自动计量系统;若输出单元是报警器,则该测试系统为自动保护系统或自动诊断系统;若输出单元是数据处理装置,则该测试系统可以是部分数据分析系统,也可以是部分自动控制系统。

显然,传感器是检测系统的核心和关键部件。传感器的种类繁多,原理各异,所以以传感器为核心的检测系统的分类、发展和特性等概念与传感器的分类、发展和特性基本是一致的。

1.3 检测系统的分类

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。检测过程和检测技术涉及的内容非常丰富,其分类方法也很多,工程上常用的几种分类方法如下。

1.3.1 按检测参量分类

常用的检测参量可分为以下几类:

- (1) 电工量 电压、电流、电功率、电阻、电容、频率、磁场强度、磁通密度等;
- (2) 热工量 温度、热量、比热容、热流、热分布、压力、压差、真空度、流量、流速、物位、液位、界面等;
- (3) 物性和成分量 气体成分、液体成分、固体成分、浓度、酸碱度、盐度、比重、密度、粒度、粘度等;
- (4) 机械量 位移、形状、力、应力、力矩、重量、质量、转速、线速度、加速度、振动、噪声等;
- (5) 几何量 长度、厚度、角度、直径、间距、形状、平行度、同轴度、粗糙度、硬度等;
- (6) 光学量 光强、光通量、光照度、辐射能量等;
- (7) 状态量 颜色、透明度、磨损、裂纹、缺陷、泄漏、堵塞、变形、超温、过载等。

严格地说,状态量包括的范围很广,但是有些状态量已按习惯归入热工量、机械量或成分量中,因此不再重复列出。

本书主要讨论面向生产过程中的自动检测和控制领域的被测参量,也即非电量的检测。

1.3.2 按检测原理分类

检测参量绝大多数是非电量,通常需要用检测装置即依赖物理的、化学的或生物的原理和有关的功能材料特性来实现非电量到电量的转换。常用的检测原理可分为以下几大类:

- (1) 电磁转换 电阻式、应变式、压阻式、热阻式、电感式、互感式、电容式、阻抗式、磁电式、热电式、压电式、霍尔式、振频式、感应同步器、磁栅等;
- (2) 光电转换 光电式、激光式、红外式、光栅式、光导纤维式等;
- (3) 其他能/电转换 声/电转换(超声波式)、辐射能/电转换(X射线式、 β 射线式、 γ 射线式)、化学能/电转换(各种电化学转换)等。

1.3.3 按检测方法分类

对于检测方法,从不同的角度出发,又有许多不同方式的分类,诸如:

- (1) 有源式与无源式(主动式与被动式) 根据检测过程中是否对被测对象施加能量而分;
- (2) 接触式与非接触式 根据检测过程中是否与被测对象接触而分;
- (3) 直接式与间接式 根据检测过程中能否直接得到被测量而分;
- (4) 静态式与动态式 根据检测过程中被测量是否随时间变化而分;
- (5) 在线式与离线式 根据检测过程中是否在生产线上监测产品质量而分;
- (6) 平衡式与不平衡式(零位式与偏差式) 根据检测过程中被测量与测量单位的比较

4 自动检测技术及应用

方式而分；

(7) 模拟式与数字式 根据检测过程中被测量的信号显示方式而分。

1.3.4 按使用性质分类

按使用性质检测仪表通常可分为：标准表、实验室表和工业用表三种。

(1) 标准表 是各级质量技术监督部门专门用于精确计量、校准送检样品和样机的标准仪表。标准表的精度等级必须高于被检样品、样机(实验室表或工业用表)所标称的精度等级；而其本身又根据量值传递的规定，必须经过更高一级法定部门的定期检定、校准，由更高精度等级的标准表检定之，并出具重新核定的合格证书，方可依法使用。

(2) 实验室表 是用于各类实验室中，其应用环境条件较好，往往无特殊的防水、防尘、防震等防护措施，因而对于温度、湿度、振动等的允许范围也较小。这类检测仪表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的测量与读数。

(3) 工业用表 是长期使用在实际工业生产现场的检测仪表与检测系统。根据安装的地点与功能不同，又有现场仪表和控制室仪表之分。前者应有可靠的防护以抵御恶劣的环境条件。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和稳定性。在某些场合(如易燃易爆环境)下，还要求仪表具备相应等级的防爆性能。

1.4 检测技术的发展

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、信息的传输和信息分析处理。也就是(传感器)检测技术、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”。自20世纪70年代以来，由于微电子技术的迅猛发展，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)检测技术发展却缓慢得多，严重制约了现代信息技术的整体发展与进步。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。我国也从20世纪80年代中后期开始，把(传感器)检测技术列为国家优先发展的技术之一，其近年来的发展表现在以下几个方面。

1. 不断提高检测系统的各项性能指标

近年来，研制出许多高精度、宽量程、高可靠性、长寿命的检测仪器。例如，用直线光栅测量直线位移时，测量范围可达二三十米而分辨力可达微米级；现已研制出能测量低至几帕的微压力和高到几千兆帕高压的压力传感器；开发了能够测出极微弱磁场的磁敏传感器等。

从20世纪60年代开始，人们对传感器的可靠性和故障率的数学模型进行了大量的研究，使得检测系统的可靠性及寿命大幅度的提高。现在许多检测系统可以在极其恶劣的环境下连续工作数十万小时。

2. 开发新型传感器扩大检测领域

检测原理大多以各种物理效应为基础，人们根据新原理、新材料和新工艺研究所取得的成果，将研制出更多品质优良的新型传感器，如光纤传感器、液晶传感器、以高分子有机材料为敏感元件的压敏传感器、微生物传感器等。近代物理学的成果，如纳米、激光、红外线、超声波、微波、化纤、放射性同位素等的应用，都为检测技术的发展提供了更多的途径，如图像

识别、激光测距、红外测温、超声波无损探伤、放射性测厚、中子探射爆炸物等非接触测量的迅速发展。另外,代替视觉、嗅觉、味觉和听觉的各种仿生传感器和检测超高温、超高压、超低温和超高真空等极端参数的新型传感器,将是检测技术研究和发展的一个重要方向。

20世纪70年代以前,检测技术主要用于工业部门,如今正扩大到整个社会需要的各个方面,不仅包括工程、海洋开发、航空航天等尖端科学技术和新兴工业领域,而且已开始进入人们的日常生活设施之中。

3. 发展集成化、功能化、智能化的传感器

随着超大规模集成电路技术的发展,硅电子元件的集成化已向传感器领域渗透,将传感器与测量电路制作在同一块硅片上,得到体积更小、性能更好、功能更强的集成传感器。例如,已研制出的高精度的PN结测温集成传感器;又如,将排成阵列的成千上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(charge-coupled device,电荷耦合元件)数码照相机、摄像机和手机等。

传感器的智能化就是把传感器与微处理器及模糊理论、知识集成技术相结合,使之不仅具有检测功能,还具有信息处理、逻辑判断、自动诊断以及通信与控制功能,如ST-3000型智能传感器,采用半导体工艺在同一芯片上制作了CPU和静压、差压、温度等多个敏感元件。今后,人们会在光、磁、温度、压力等更多领域开发出新型的集成化、功能化、智能化的传感器,实现“信息识别+信息处理+信息存储+信息提取”的一体化。

4. 发展网络化传感器及检测系统

随着现场总线技术在测控领域的广泛应用和测控网络与信息网络融合的强烈应用需求,测控系统的网络化得以迅速发展,即要求远在千里之外能随时随地浏览现场工况,实现远程调试、远程故障诊断、远程数据采集和实时操作。这主要表现在两个方面:一是为了解决现场总线的多样性问题,IEEE 1451.2工作组建立了智能传感器接口模块(smart transducer interface module,STIM)标准,该标准描述了传感器网络适配器和微处理器之间的硬件和软件接口,为传感器和各种网络的链接提供了条件和方便;二是以IEEE 802.15.4(ZigBee)为基础的无线传感器网络技术得以迅速发展,它具有以数据为中心、极低的功耗、组网方式灵活、低成本等诸多优点,在军事侦测、环境监测、智能家居、医疗健康、科学研究等众多领域具有广泛的应用前景,是目前一个炙手可热的技术热点。

总之,检测技术的蓬勃发展适应了国民经济发展的迫切需要,是一门充满希望和活力的新兴技术。

1.5 学习检测技术的目的

通过对本课程检测技术的学习,学生应达到如下目的。

(1) 了解和掌握检测系统中测量误差的基本分析方法,以提升对测量误差进行数据分析和处理的计算能力,在一定条件下尽量减小或消除误差并获得更接近于真值的数据。

(2) 了解和熟知各种检测传感器和主要参数的检测原理、性能特点和适用范围,以提升在实际工程中选用传感器的能力,使自动检测系统获得较高的性价比。

(3) 了解和掌握检测系统的构成原理,以提升仪表应用和系统集成能力,能根据实际工程需要制定正确的检测方案,设计适用的检测系统,合理选择、正确使用各种检测仪表。

(4) 了解和掌握微弱电信号的采集、传输、转换和显示技术,以提升设计信号调理与显