

现代检测技术 及应用



教育部高等学校自动化专业
教学指导分委员会规划
工程应用型自动化专业系列教材

李现明 主编
李现明 陈振学 胡冠山 编



教育部高等学校自动化专业
教学指导分委员会规划
工程应用型自动化专业系列教材

现代检测技术 及应用

Xiandai Jiance Jishu ji Yingyong

李现明 主编

李现明 陈振学 胡冠山 编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书首先介绍了自动检测技术的共性基础知识,然后按被测参数划分章节,依次阐述各种典型参数的常用检测技术和应用案例。全书共分12章。第1章扼要阐述自动检测技术的共性基础知识;第2至11章分别阐述位移、厚度、力和重量、转速、电流和电压、温度、压力、流量、物位、物性与成分含量等典型参数的常用检测技术;第12章重点从系统集成的角度讲述自动检测系统的设计问题。

本书以“应用”为目标,兼顾宽度与深度的统一、共性与个性的统一,注重基础性与先进性相结合、学科性与实用性相结合、检测技术与检测装置(产品)相结合。在阐述典型参数的检测技术时,首先对该参数的常用检测方法进行一般性讲解和纵横比较,以满足宽度方面的要求;然后选择其中一种或两种方法进行较深入的阐述,包括传感原理、调理电路、性能特点、选用要点、安装、校验、故障处理等,以满足深度方面的要求。所选被深入阐述的检测方法,覆盖电阻式、电感式、电容式、热电式、压电式、霍尔式、电磁式、超声式等常用的传感原理。在深入剖析这些典型传感原理的同时,也充分展示了传感检测的共性关键技术。

本书适用于高等院校自动化、计算机、电气工程、机电一体化等相关专业,也可供在测量、控制等技术领域从事工程设计、产品开发的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代检测技术及应用 / 李现明主编; 李现明, 陈振学, 胡冠山编. —北京: 高等教育出版社, 2012. 6

ISBN 978-7-04-034320-5

I. ①现… II. ①李… ②陈… ③胡… 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 (2012) 第 063929 号

策划编辑 欧阳舟
责任校对 陈旭颖

责任编辑 欧阳舟
责任印制 朱学忠

封面设计 张雨薇

版式设计 范晓红

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 北京佳信达欣艺术印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 23
字 数 530千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2012年6月第1版
印 次 2012年6月第1次印刷
定 价 35.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究
物料号 34320-00

工程应用型自动化专业 课程体系研究与教材建设委员会

主任委员：吴 澄（清华大学）

副主任委员：韩九强（西安交通大学）

萧德云（清华大学）

薛安克（杭州电子科技大学）

专 家 委 员（按姓氏笔画）：

王 普（北京工业大学）

刘小河（北京信息科技大学）

吴晓蓓（南京理工大学）

赵光宙（浙江大学）

彭 瑜（上海工业自动化仪表研究院）

韩力群（北京工商大学）

任德祥（上海宝钢集团）

吴重光（北京化工大学）

张德江（长春工业大学）

凌志浩（华东理工大学）

谢克明（太原理工大学）

戴先中（东南大学）

委 员（按姓氏笔画）：

于微波（长春工业大学）

王 俊（合肥学院）

王再英（西安科技大学）

王建华（上海应用技术学院）

艾 红（北京信息科技大学）

张丽香（山西大学工程学院）

李现明（山东大学）

陈在平（天津理工大学）

周亚军（杭州电子科技大学）

胡向东（重庆邮电大学）

聂诗良（西南科技大学）

黄 坚（南京工程学院）

韩 颖（高等教育出版社）

孔亚广（杭州电子科技大学）

王万良（浙江工业大学）

王存旭（沈阳工程学院）

白 晶（北华大学）

许晓峰（沈阳工程学院）

李全利（哈尔滨理工大学）

汪贵平（长安大学）

陈桂友（山东大学）

罗 敏（湖北汽车工业学院）

徐昱琳（上海大学）

崔桂梅（内蒙古科技大学）

黄江平（华东交通大学）

薛为民（北京联合大学）

秘 书：韩 颖（兼）（高等教育出版社）

出版说明

为了适应高等工程教育改革,满足社会对工程应用型自动化专业人才的需要,在“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”主任委员吴澄院士的领导下,设立了“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设”专项研究课题,从全国高等院校遴选了既有工程研究实践背景、又有教材编写经验的专家教授,以及企业界知名特邀代表共 40 余人,对工程应用型自动化专业的课程体系、教学内容进行系统深入的调查、分析和研究,提出了工程应用型自动化专业课程体系结构和系列教材的三级目录。采用个人报名、专家推荐、“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会”匿名评审相结合的方式,组织编写出版一套工程应用特点明显、国内一流的工程应用型自动化专业系列教材。

工程应用型自动化专业系列教材力求达到理论与应用相统一、教学与实际相结合、工程应用特点明显、国内一流。通过对人才市场需求、专业培养定位、自动化技术发展动态的分析研究,提出从实际工程应用自动化系统出发,结合系统中涉及的单元技术与理论方法,聚类归纳工程应用型自动化专业的课程体系结构,凝练解决自动化应用系统问题的每门课程的内容与知识点,使学生能够学以致用,能够解决工程实际应用问题。经过 40 多位专家教授的辛勤劳作,第一批 18 本工程应用型自动化专业系列教材于 2010 年陆续出版。为了满足不同应用背景、不同应用层次的工程需要,部分应用面广的同类教材有两种版本可供选用。

本系列教材主要内容覆盖自动化应用系统涉及的实用技术、理论与方法、器件与工具等内容。第一批教材包括针对自动化系统数据获取部分的机器视觉技术及应用、现代检测技术及应用等;系统驱动部分的电机与拖动、电力电子技术、电力拖动自动控制系统等;系统控制方法部分的自动控制原理、过程控制、运动控制等;控制器硬件设计部分的单片机原理、嵌入式系统、DSP 原理、可编程控制器等;自动化系统部分的计算机控制、自动化系统集成、自动控制工程设计、自动化专业实践初步等;数据处理部分的控制工程数据库技术等。

本系列教材的主要特色在于注重课程体系的应用系统性和技术先进性,注重培养学生的自动化系统的集成组态设计能力和前瞻意识。课程体系按系统单元划分,教材章节按解决问题所需的知识安排,培养学生解决工程实际应用问题的针对性和有效性。在教材章节上尽可能引入相关新技术、新理论、新方法和新器件,培养学生利用新知识解决问题的思维方式和实际应用能力。

如何培养适应信息时代要求的工程师是我国高等工程教育改革的核心,也是本系列教材编写的主导思想。通过本系列教材的学习,使学生能够具备一个工程师进行自动化系统或相应系统设计开发以及选型集成的基本创新能力。本系列教材主要面向工程应用型自动化及相关专业

的大学生和研究生。我们希望本套工程应用型系列教材的出版，能够有力促进我国高等院校工程应用型自动化专业人才培养质量的提高，也能为广大科技工作者和工程技术人员提供参考和帮助。

感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持。欢迎提出宝贵批评意见和建议，请将您的建议反馈至 hanying@hep.com.cn。

工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会

2009年12月

序 一

自动化技术在我国现代化建设进程中具有重要地位。五十多年来，自动化技术对我国社会主义现代化建设的众多领域发挥了重要作用，产生了深远影响。最具代表性的两弹一星的成功发射、载人飞船的顺利返回、嫦娥探月的环绕飞行等充分体现了自动化技术在国家重大工程应用中的示范作用。自动化技术也有力地推动着我国整体工业的发展和改变着人们的生活方式，如集成制造系统的普及推广使机械加工制造自动化程度达到了更高的水平，服务机器人代替家政进入了家庭，改善了人们的生活环境，如此等等。

我国正在全面建设小康社会，走新型工业化道路，促进信息化与工业化的“两化”融合，实现工业、农业、国防和科学技术现代化。在此进程中，自动化技术起着不可替代的桥梁作用。这就迫切需要高等学校自动化专业办学机构和广大教师进行深入研究和探索，如何能够为各行各业输送大量具有工程实践能力和应用创新能力的工程应用型自动化专业高级技术人才。在“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”主任委员吴澄院士领导下，针对我国高等教育发展快、规模大、社会各行各业对工程应用型自动化专业人才需求量大特点，按照大众化高等教育阶段分类指导的思想和原则，抓住有利时机，成立了“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会”，对工程应用型自动化专业的知识体系、课程体系、能力培养等进行了有益的探索，为工程应用型自动化专业人才培养、教材建设奠定了基础。

工程应用型自动化专业涉及面广、行业多，其人才培养模式与课程体系涉及的因素众多复杂，包括如何结合通识教育，拓宽应用口径、突出专业重心、强化实践教学、理论联系实际、提高应用创新能力等，其中构建既不照搬研究型、也不雷同技能训练型的工程应用型自动化专业课程体系，编写一套有利于促进面向不同行业、应对不同层次问题的工程应用型学生个性发展的一流教材尤为重要，着力培养学生由解决工程实际问题到提出新问题的探索思维方式，即运用知识的创新能力。“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”在对工程应用型自动化专业课程体系研究的基础上，从全国遴选有工程应用背景、有教材编写经验的教授与专家，组织编写了这套工程应用型自动化专业系列教材，这对工程应用型自动化专业人才的创新能力培养具有重要意义。作为长期从事自动化专业高等教育和研究队伍中的一员，在本系列教材即将

付印之际，我谨向参与本系列教材规划、组织、编写工作的各位老师致以崇高的敬意！

希望广大教师、学生和科技人员积极使用这套教材，并提出宝贵意见。



2009 年 12 月于北京

吴启迪：教育部原副部长，同济大学教授、博士生导师。

序 二

工程应用型自动化专业系列教材是“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”在组织实施全国高等学校自动化专业系列教材之后，按照《自动化学科专业发展战略研究报告》分层次、多模式、多规格培养的指导思想和原则，结合《高等学校本科自动化指导性专业规范》实施的又一套工程应用特点明显、国内一流的自动化专业系列教材。该系列教材力求达到教学与实际相结合、理论与应用相统一、案例教学与知识传授并举，培养学生解决实际问题的能力和运用新知识的集成创新能力，使工程应用型自动化专业的学生能够真正成为解决实际工程应用问题的工程师。

我国工程应用型自动化专业以往的课程体系与知识体系基本照搬研究型自动化专业课程体系，带有浓厚的“理论的应用、应用的理论”内容，工程应用特点不明显。这也正是规划工程应用型自动化专业系列教材所面临的主要问题。为此，设立了“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设”的专项研究课题，成立了以西安交通大学韩九强教授、杭州电子科技大学薛安克教授、清华大学萧德云教授负责的联合研究小组，介入的高校达 40 多所，从全国遴选出 40 多名有工程实际背景和教材编写经历的教授和企业界知名代表。通过对工程应用型自动化专业的课程体系的深入研究，提出从实际工程应用自动化系统涉及的技术与理论方法出发，按自动化系统的组成，归纳分类工程应用型自动化专业的课程体系结构；分应用层次和对象功能凝练解决自动化应用系统中工程问题的知识内容与教材体系，建立知识传授与创新能力培养相结合的课程体系结构。以此为基础，组织规划了涵盖自动化应用系统涉及的数据获取、系统驱动、控制方法、数据处理、控制器设计、系统集成等 20 多门课程内容的系列教材。从数据获取到数据处理，从控制方法到控制器设计，从系统集成到组态工具，从课程体系到三级目录起草，先后经过了 6 次全国会议的认真研讨，凝聚着 40 多位专家教授的辛劳。教材主编采取个人申请，“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会”匿名评审确定，至此，第一批审定通过的 18 本工程应用型自动化专业系列教材于 2010 年陆续出版问世。

工程应用型自动化专业系列教材的出版，对工程应用型自动化专业知识体系的更新、教学方式的变化、工程实践的强化将起到积极的推动作用。但本系列教材从体系结构到每本教材的

三级目录组成，以至每本教材的具体内容都可能存在许多不当之处，恳请使用本系列教材的老师、学生及各界人士不吝批评指正。

教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会主任委员



2009 年 12 月于清华大学

吴澄：中国工程院院士，清华大学教授，博士生导师，教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会主任委员。

前言

本书以“精选内容、突出应用、便于教学”为指导思想，遵循工程应用型本科人才的培养模式，力求基础性与先进性相结合、系统性与实用性相结合、检测技术与检测装置（产品）相结合。为此，编者征求了部分企业的自动化技术人员对本课程的意见与建议，现将他们的意见和建议归纳如下：

① 课程目标：学生应该掌握最基本的非电量到电量的传感原理；掌握常见非电量的检测技术；能够进行传感测量系统的安装、调试、标定、校验、维护和常见故障的处理；在不断变化的市场上合理选用传感器、测量电路、配套仪器组成所需要的检测系统。当市场上没有合适的传感器、检测仪表时，应能从基本传感原理出发，提出测量方案，完成测量系统的设计；适当学习一点可靠性、标准化、抗干扰等基本常识；培养学生自主学习、发现问题、分析问题、解决问题的能力。

② 课程体系：一部分技术人员认为传感原理重于传感器产品，应该按传感原理组织课程体系。持这种观点的同志，大多工作在研发岗位；另一部分技术人员认为传感原理的具体应用更重要，应该按被测参数组织课程体系。持这种观点的同志，大多工作在生产第一线。

同时，编者查阅大量文献资料，对国内外传感器检测技术方面的优秀教材进行了认真研究，发现本课程主要有两种知识体系：

① 按检测原理划分章节，其章节顺序为电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、压电式传感器等，突出课程的基础性，有利于学生从根本上掌握传感检测技术。

② 按被测参数划分章节，其章节顺序为温度检测、压力检测、流量检测、物位检测等，有利于初学者针对具体的被测参数选用传感器和检测仪表。

国内最近几年还出现了一种“二合一”体系，教材前半部分按检测原理划分章节，后半部分按被测参数划分章节。兼顾了传感检测技术的基础性和实用性。但教材篇幅较大，所需学时增多；而且由于检测原理与被测量之间具有交叉关联，导致内容有些重复。

基于拓宽应用口径、突出专业重心、强化实践教育、理论联系实际、提高应用创新能力的总要求，在上述调研的基础上，确定本书以被测参数划分章节。所涉及的被测参数应包括位移、厚度、力和重量、转速、电流和电压、温度、压力和差压、流量、物位、成分与含量等典型的运动控制和过程控制参数。

对于每种被测参数，存在若干种传感原理可以检测它；每种传感原理都有很丰富、深入的具体内容；这些传感原理除了能够检测这种被测参数外，还可以检测其他参数。因此，无法对每一种传感原理都进行较深入的阐述。本教材尝试“面上选点，以点带面”的方法。在阐述典

型参数的检测技术时，首先对该参数的常用检测方法进行一般性讲解和纵横比较；然后选择其中一种或两种方法作为示例，进行较深入的阐述，包括传感原理、调理电路、性能特点、选用要点、安装、校验、故障处理等。

本书依据如下原则选“点”：所选的“点”，在该参数的所有检测方法当中，占据比较重要的位置。例如，在力参数的测量中，选择电阻应变片作“点”；各个“点”所依据的传感原理不重复。例如，电阻应变片已经在力参数检测中选为“点”，它虽然也是一种比较重要的位移检测方法，但在位移检测中，不再选它为“点”；各个“点”的集合，组成“常用传感原理”的集合，囊括电阻式、电感式、电容式、热电式、压电式、霍尔式、电磁式、超声式等最常用的传感原理。

为扩展教学内容，本书的课后习题设计了以下几种类型的题目：通过互联网，查询某些传感器、检测仪表的产品信息；检索某些传感器、检测仪表的国家标准；检索某些检测系统设计、安装、调试、维护、故障处理的论文；给出测量任务，让读者通过检索相关资料，提出技术方案。

本教材由山东大学李现明、陈振学和山东交通学院胡冠山合编，李现明主编。其中，第2章、第3章由陈振学编写，第8章、第11章由胡冠山编写，其余各章由李现明编写。本教材课堂教学参考学时为50学时，建议另加实验教学10学时。

在本书编写过程中，参考了多种同类教材、著作，在此向原作者和出版社致谢！合肥工业大学徐科军教授于百忙之中审阅了全部书稿，并提出许多宝贵意见，在此表示诚挚的谢意！

本教材最终需要接受教学实践的检验并在使用过程中不断完善、改进，期待老师们、同学们的批评、指正。

编者

2012年3月1日

目 录

第 1 章 自动检测技术的共性基础理论	1
1.1 自动检测技术概论	1
1.1.1 自动检测技术在自动化专业中的地位与作用	1
1.1.2 自动检测系统的基本组成	3
1.1.3 传感器的分类、命名与图形符号	4
1.2 量值的传递和溯源	5
1.2.1 计量学的定义、分类、特点	5
1.2.2 法定计量单位	6
1.2.3 量值传递	6
1.3 测量方法	9
1.3.1 直接测量、间接测量、联立测量	10
1.3.2 偏差式测量、零位式测量、微差式测量	10
1.3.3 接触式测量、非接触式测量	11
1.4 传感器的一般特性	11
1.4.1 传感器的静态特性与静态特性指标	11
1.4.2 传感器的动态特性与动态特性指标	17
1.4.3 传感器的标定与校准	18
1.5 测量误差与数据处理	19
1.5.1 测量误差的概念和分类	19
1.5.2 粗大误差的判别和分类	21
1.5.3 系统误差的处理	23
1.5.4 随机误差的处理	26
1.6 测量不确定度评定	28

1.6.1 测量不确定度的定义及其与测量误差的比较	29
1.6.2 测量不确定度的评定	30
1.6.3 测量结果的表示和处理方法	33
习题和思考题	36
第 2 章 位移检测	39
2.1 常用位移检测方法	39
2.1.1 电阻式位移检测	39
2.1.2 电感式位移检测	40
2.1.3 电容式位移检测	42
2.1.4 光电式位移检测	43
2.1.5 CCD 器件式位移检测	47
2.1.6 光栅式位移检测	50
2.1.7 感应同步器式位移检测	53
2.1.8 各种位移检测方法性能比较及用途、特点	53
2.2 位移检测技术示例——差动变压器式位移检测	54
2.2.1 差动变压器式位移传感器的基本结构	54
2.2.2 差动变压器式位移传感器的工作原理	55
2.2.3 差动变压器式位移传感器的测量电路	57
2.2.4 差动变压器式位移传感器应用举例	59
2.3 位移检测技术示例——感应同步器	60
2.3.1 感应同步器的种类和结构	60

2.3.2 感应同步器的工作原理	62	5.1.3 数字式转速检测	109
2.3.3 感应同步器的信号调理	63	5.1.4 各种转速检测方法的性能 比较及用途、特点	111
2.3.4 感应同步器应用举例	64	5.2 转速检测技术示例——编码器	112
习题和思考题	65	5.2.1 直接编码器	112
第3章 厚度检测	67	5.2.2 增量编码器	114
3.1 常用厚度检测方法	67	习题和思考题	115
3.2 厚度检测技术示例——电容式 厚度检测	68	第6章 电流、电压检测	117
3.2.1 检测原理	68	6.1 电流检测	117
3.2.2 信号调理	73	6.1.1 传感电阻法	117
习题和思考题	80	6.1.2 电流互感器	118
第4章 力和重量检测	81	6.1.3 霍尔效应法	119
4.1 常用力、重量检测方法	81	6.2 电压检测	126
4.1.1 电阻应变式力和重量检测	81	6.2.1 电压互感器	126
4.1.2 电容式力和重量检测	82	6.2.2 霍尔集成电压传感器	127
4.1.3 压电式力检测	82	习题和思考题	128
4.1.4 压磁式力和重量检测	83	第7章 温度检测	129
4.1.5 振弦式力和重量检测	84	7.1 常用温度检测方法	129
4.2 力和重量检测技术示例 ——电阻应变片	85	7.1.1 双金属温度检测	129
4.2.1 电阻应变片的工作原理 ——应变效应	85	7.1.2 压力式温度检测	131
4.2.2 电阻应变片的结构、种类	87	7.1.3 热电偶温度检测	132
4.2.3 电阻应变片的主要特性	88	7.1.4 热电阻温度检测	132
4.2.4 电阻应变片的粘贴技术	91	7.1.5 非接触式温度检测	135
4.2.5 电阻应变片的典型应用方式	92	7.1.6 各种温度检测方法的 比较与选择	139
4.2.6 电阻应变片的信号调理	93	7.2 温度检测技术示例——热电偶	142
4.2.7 电阻应变式力、重量检测 方法的应用举例	101	7.2.1 热电偶的工作原理	142
4.2.8 电阻应变式力传感器的 选用与故障处理	103	7.2.2 热电偶的基本定律	145
习题和思考题	105	7.2.3 热电偶的冷端补偿	147
第5章 转速检测	107	7.2.4 标准化热电偶	149
5.1 常用转速检测方法	107	7.2.5 热电偶的结构形式	152
5.1.1 模拟式转速检测	107	7.2.6 单片热电偶冷端温度 补偿电路	153
5.1.2 同步式转速检测	108	7.2.7 热电偶、热电阻的 安装与校验	158
		7.2.8 热电偶温度变送器	160

7.2.9 热电偶的常见故障原因 及处理方法	162	9.2.2 差压式流量计的分类与 结构	208
习题和思考题	165	9.2.3 差压式流量计的主要 特点和选用	212
第 8 章 压力检测	166	9.2.4 差压式流量计的安装 注意事项	213
8.1 常用压力检测方法	166	9.2.5 差压式流量计的使用 注意事项	217
8.2 压力测量用弹性元件	168	9.2.6 差压式流量计的故障处理	218
8.3 压力检测技术示例——扩散 硅压力变送器	171	9.3 流量检测技术示例——电磁 流量计	219
8.3.1 工作原理——半导体 压阻效应	171	9.3.1 电磁流量计的工作 原理与分类	219
8.3.2 扩散硅压力变送器	172	9.3.2 电磁流量计的主要特点	221
8.4 压力检测技术示例——压电式 压力传感器	176	9.3.3 电磁流量计的正确选用	222
8.4.1 工作原理	176	9.3.4 电磁流量计的正确安装	225
8.4.2 测量电路	180	9.3.5 电磁流量计的正常 维护与故障处理	228
8.4.3 常见压电式压力传感器	182	9.3.6 电磁流量计的应用实例	230
8.5 压力仪表的选择、安装和使用	183	9.4 流量测量仪表的校验	233
8.5.1 压力量值传递	183	9.4.1 流量测量仪表的校验 方法概述	233
8.5.2 压力检测仪表的选择与 安装	186	9.4.2 流量测量仪表的现场校验	234
8.5.3 压力检测仪表的校验	189	习题和思考题	236
8.6 压力检测系统的常见故障 处理示例	190	第 10 章 物位检测	238
8.6.1 弹簧管压力表的故障 排除方法	190	10.1 常用物位检测方法	238
8.6.2 压力测量系统的故障分析	191	10.1.1 浮力式液位检测	238
习题和思考题	193	10.1.2 压力式液位检测	240
第 9 章 流量检测	195	10.1.3 电容式物位检测	240
9.1 常用流量检测方法	195	10.1.4 超声式物位检测	240
9.1.1 流量的基本概念	195	10.1.5 射线式物位检测	240
9.1.2 常用体积流量检测方法	196	10.1.6 雷达式物位检测	241
9.1.3 常用质量流量检测方法	203	10.1.7 磁致伸缩式液位检测	242
9.1.4 流量测量仪表的选用	205	10.1.8 各种物位检测方法的 用途、特点和选用	243
9.2 流量检测技术示例——差压式 流量计	206	10.2 物位检测技术示例 ——电容式物位检测	245
9.2.1 差压式流量计的工作原理	206		

10.2.1	检测原理	245	11.3.4	维护	276
10.2.2	电容式物位检测的 应用实例	247		习题和思考题	277
10.2.3	电容式物位检测装置安装、 调试与故障处理实例	251	第 12 章	自动检测系统设计	278
10.3	物位检测技术示例——超声式 物位检测	252	12.1	自动检测系统的设计步骤	278
10.3.1	检测原理	252	12.1.1	自动检测系统的设计原则	278
10.3.2	检测装置	254	12.1.2	自动检测系统的设计步骤	279
10.3.3	超声式物位检测的特点 和应用注意事项	256	12.2	自动检测系统的性能估计	283
10.3.4	超声式物位检测的 应用实例	257	12.2.1	分辨力与量程的预估	284
	习题和思考题	258	12.2.2	动态性能的预估	284
第 11 章	物性参数与成分含量检测	259	12.2.3	静态性能的预估	286
11.1	常用物性检测方法 with 仪表	259	12.3	自动检测系统的抗干扰	288
11.1.1	含水量检测	259	12.3.1	测量系统中的干扰问题	288
11.1.2	湿度检测	260	12.3.2	噪声耦合方式	292
11.1.3	密度检测	261	12.3.3	主要抗干扰措施	296
11.1.4	浓度检测	263	12.4	自动检测系统的温度补偿	309
11.1.5	黏度检测	264	12.4.1	温度补偿的必要性	309
11.1.6	pH 测量	265	12.4.2	温度补偿原理	310
11.2	常用成分含量检测方法 with 仪器	267	12.5	自动检测系统的设计举例	316
11.2.1	在线液体成分含量检测 方法与仪器	267	12.5.1	空气压缩机曲轴工作 应力测试系统	316
11.2.2	在线气体成分含量检测 方法与仪器	270	12.5.2	机车制动智能压力 检测系统	321
11.3	物性、成分含量在线检测的 共性问题	275	12.5.3	中国先进研究堆热工 过程测量系统	324
11.3.1	取样与预处理	275	12.5.4	人造板密度在线检测系统	327
11.3.2	测量滞后	276	12.5.5	灌浆与压水自动检测系统	331
11.3.3	标定	276	12.5.6	啤酒瓶残留清洗液在线 检测系统	334
			12.5.7	胶囊装药量自动检测系统	342
			12.5.8	地下玉米种自动检测系统	345
				习题和思考题	349
				参考文献	350

第1章 自动检测技术的共性基础理论

随着本书的展开和课程的进行,读者将会逐步认识到“自动检测”这门“技术”具有以下特点:被测参数繁多、检测原理各异、涉及学科多门、应用场合无限。这种多样性、分散性正是自动检测技术博大精深、用途广泛的外在表现,但它也往往使初学者感到有些支离破碎、逻辑性差、系统性差,难以抓住重点。

事实上,既然各种具体的检测技术都被归入“自动检测技术”这一大框架之内,它们之间就必然存在内在联系与共性。这些内在联系与共性体现了“自动检测技术”作为一门技术的整体性。本章将要阐述这种共性内容的最基本部分,主要包括:自动检测技术的内涵;自动检测系统的基本组成;传感器的分类与命名方法;传感器的静态特性、动态特性和性能指标体系;测量方法的分类;量值的传递和溯源;有关测量误差和测量不确定度的基本知识。本章内容是其各章的基础。

1.1 自动检测技术概论

1.1.1 自动检测技术在自动化专业中的地位与作用

根据国际通用计量学的基本名词定义,测量(Measurement)是以确定量值(Value of a Quantity)为目的的一组操作。这组操作实质上是一个比较过程——将被测参数(Measurand)的量值与作为单位的标准量进行比较,通过比较得出的倍数即为测量结果。操作可以由人工完成,也可以自动进行。测量有时也称为计量。

与测量相近的概念是检验,它常常只需分辨出被测参数的量值是否在某一范围之内,从而判别被测对象是否合格、关注的某种现象是否存在等。

检测涵盖了检验和测量两个方面的内容。在自动化领域中,需要对某些重要参数进行实时、自动的检验和测量。这类无需人工操作而自动完成的检测,称为自动检测。自动检测技术的核心是如何将各种非电量转换为电信号,通过对该电信号的测量来确定原非电量。因此,自动检测技术又常被称为非电量电测技术。

现代化工业生产过程是在工艺类专业、设备类专业、能源动力类专业、自动化类专业等诸多专业技术人员的密切协作下得以完成的。下面以啤酒生产过程为例,说明自动化专业在现代工业生产过程中的地位与作用以及自动检测技术在自动化专业中的地位与作用。前者阐述实现生产过程自动控制的重要意义,后者强调实现自动检测是实现自动控制的必要条件。