

高等院校精品课程系列教材

自动检测技术

第3版

刘传玺 袁照平 程丽平◎主编

刘瑞国 毕训银 娄伟 姜海燕◎参编

精
课
程
品

Automatic Detection
Technology Third Edition



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目(CIP)数据

自动检测技术 / 刘传玺, 袁照平, 程丽平主著. —3 版. —北京: 机械工业出版社, 2015.8
(高等院校精品课程系列教材)

ISBN 978-7-111-50828-1

I. 自… II. ①刘… ②袁… ③程… 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 (2015) 第 156985 号

本书介绍自动检测技术的基础知识、检测器件及系统设计, 强调系统性、实用性和先进性。主要内容包
括: 检测技术的基础知识, 传统传感器, 新型传感器, 信号的转换与调理, 传感器与微机接口及系
统信号输出, 现代检测技术, 自动检测系统的设计。每章后都附有习题与思考题。

本书可作为高等院校工业自动化、电气自动化、电子信息工程、机电一体化技术、测控技术及仪
表、机械制造及自动化等专业本、专科生的教材, 也可作为机电类其他专业学生的教材或参考书。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 曲 熠

责任校对: 董纪丽

印 刷: 北京市荣盛彩色印刷有限公司

版 次: 2015 年 8 月第 3 版第 1 次印刷

开 本: 185mm×260mm 1/16

印 张: 20.75

书 号: ISBN 978-7-111-50828-1

定 价: 45.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

第3版前言

检测技术作为信息学科的一个分支,与计算机技术、自动化控制技术等一起构成了完整的信息技术学科。在人类进入信息时代的今天,一切社会活动都是以信息获取与信息转换为中心的,以传感器为核心的检测系统就像神经和感官一样,源源不断地向人类提供宏观与微观世界的种种信息,成为人们认识自然、改造自然的有利工具,广泛地应用于工业、农业、国防和科研等领域。目前,自动检测技术已成为高校大部分工科专业学生的必修专业基础课。

本书第1版于2008年1月出版发行后,编写组在广泛听取同行、专家及广大读者意见的基础上,结合山东省省级精品课程建设及山东省省级教改项目“应用技术主导型自动化本科专业教学改革与实践”研究工作,于2012年2月修订出版了第2版。第2版出版发行三年多来,编写组继续广泛听取各方意见及建议,认为现在有必要对本书做进一步的修改与完善。在第3版的修订过程中,重点是突出内容的系统性、实用性和先进性。在系统性方面,注重信号从传感到采集、转换、处理、传输、记录、显示整个过程中各环节的有机结合;在实用性方面,针对每一种传感器以及检测系统后续各环节,在介绍其基本原理的基础上提供典型且实用的应用范例;在先进性方面,有选择性地将工程应用中的部分新技术、新方法编入教材。同时,我们对本书的整体结构也做了适当调整。一是将原来第3章中“传感器的智能化与微型化”一节调整至第6章,与原第6章的“现场总线”和“虚拟仪器”两节内容共同构成新的第6章——“现代检测技术”,并拓展了现场总线的内容,突出智能传感器与现场总线的结合;二是将原第8章改为附录A供读者参考,不再作为讲授内容。

修订后的第3版共7章,主要内容包括:第1章,检测技术的基础知识;第2章,传统传感器;第3章,新型传感器;第4章,信号的转换与调理;第5章,传感器与微机接口及系统信号输出;第6章,现代检测技术;第7章,自动检测系统的设计。每章后都附有习题与思考题。

本次修订的编写组成员包括:山东科技大学的刘传玺、袁照平、程丽平、刘瑞国、姜海燕,淮海工学院的毕训银,山东农业大学的娄伟。主编为刘传玺、袁照平、程丽平,参编为刘瑞国、毕训银、娄伟、姜海燕。其中,刘传玺编写了第2章,袁照平编写了第3章,程丽平编写了第6章,刘瑞国编写了第5章,毕训银编写了第4章,娄伟编写了第7章,姜海燕编写了第1章及附录部分。全书由刘传玺负责统稿,袁照平负责审校并和姜海燕共同负责制作电子课件。

在本书的修订和出版过程中,得到了许多兄弟院校、相关企业及其技术专家的大力支持和帮助,也得到了机械工业出版社有关专家的指导和支持,在此表示真挚的谢意。同时,对本书参考文献中的有关作者致以诚挚的感谢。

由于编者水平所限,书中错误及不妥之处在所难免,恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2015年6月

第2版前言

检测技术作为信息学科的一个重要分支,与计算机技术、自动控制技术等一起构成了信息技术的完整学科。以传感器为核心的检测系统就像神经和感官一样,源源不断地向人类提供宏观与微观世界的种种信息,成为人们认识自然、改造自然的有利工具,广泛地应用于工业、农业、国防和科研等领域。自动检测技术已成为高校大部分工科专业学生的必修专业基础课。

本书第1版自2008年1月出版以来,得到了广大同行、专家和读者的支持及充分肯定,并于2010年被中国煤炭教育协会评选为“第一届煤炭高等教育优秀教材二等奖”。该书出版三年来,编写组成员在广泛听取同行、专家及广大读者意见和建议的同时,也对该课的教改进行了深入的研究。特别是山东科技大学于2010年承担了山东省省级教改项目《应用技术主导型自动化本科专业教学改革与实践》后,课题组将该专业的主干课程之一《自动检测技术》的教改作为这项省级教改项目的子课题,进行了广泛的调研和深入的分析论证,并对现行使用的《自动检测技术》教材提出了再版的修订方案:一,在结构体系保持原有总体框架及特色的前提下将部分内容重新归类,对排列顺序作适当调整;二,在内容安排上作适当增加与删减;三,将应用举例部分更新为更贴近当前生产、生活中工程应用的新技术实例。

在第2版编写中,对第1版内容作了较大篇幅的充实、修订与调整,主要修改变动的内容是:第1章中增加了检测系统的动态特性分析;第2章中增加了常用流量计一节内容;对原第4章信号的转换与调理进行扩充后调整为第4章信号的转换与调理和第5章传感器与微机接口及系统信号输出两章内容;将原第8章检测技术的发展方向与第9章虚拟仪器系统的应用合并为第6章现场总线与虚拟仪器;将原第5章检测系统中的抗干扰技术合并到第7章自动检测系统的设计;将原第6章自动检测技术应用举例更新调整为第8章工程应用典型产品与系统简介。

修订后的第2版全书共8章,第1章:检测技术的基础知识;第2章:传统传感器;第3章:新型传感器;第4章:信号的转换与调理;第5章:传感器与微机接口及系统信号输出;第6章:现场总线与虚拟仪器;第7章:自动检测系统的设计;第8章:工程应用典型产品与系统简介。每章后面都附有习题与思考题。

本次修订对编写成员也进行了充实和重新分工,由山东科技大学刘传玺、王以忠、袁照平任主编,王进野、程丽平、胡新颜、朱蕾任副主编。其中刘传玺编写了第2章,王以忠编写了第1、4章,袁照平编写了第7章,王进野编写了第8章,程丽平编写了第6章,胡新颜编写了第5章,朱蕾编写了第3章。全书由刘传玺统稿,袁照平负责校对并和朱蕾制作了电子课件。

本书由山东力创科技公司的郝振刚教授担任主审,郝教授对本书的总体结构和内容构成进行了全面审阅,特别对工程应用方面的内容提出了许多宝贵的修改建议,在此表示衷心的感谢。

本书在编写和出版过程中得到了山东力创科技有限公司、翰司纬仪表公司、山东省尤洛卡自动化装备股份有限公司等企业及其技术专家的大力支持和帮助,也得到了机械工业出版社有关专家的指导和支持,在此表示真挚的谢意。同时,对本书参考文献中的有关作者致以诚挚的感谢。

由于编者水平所限,书中错误及不妥之处在所难免,恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2011年8月

第 1 版前言

随着我国经济的飞速发展和教育改革的不断深化,教育结构向着适应经济发展的方向不断调整。在这一调整过程中,应用型本科作为普通高等教育的一个单独的类型被划分出来,随之而来的是应用型本科教学中教材建设问题。本书就是针对应用型本科而编写的一部教材。

自动检测技术是整个自动化技术中的重要基础,是一门理论与实践结合十分密切的技术基础课程,在整个自动化技术学科体系中占有非常重要的地位。检测技术是科学实验和工业生产活动中对信息进行获取、传递、处理的一系列技术的总称。检测的基本任务就是获取有用的信息,通过借助专门的仪器、设备,设计合理的实验方法以及进行必要的信号分析与数据处理,从而获得与被测对象有关的信息,最后将其结果提供显示或输入其他信息处理装置、控制系统。本课程主要是培养学生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能力。

本书共 9 章,第 1 章:检测技术的基本知识;第 2 章:传统传感器,包括传感器基础知识、电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、压电式传感器、磁电式传感器、热电式传感器;第 3 章:新型传感器,包括气敏和湿敏传感器、霍尔传感器、感应同步器、磁栅式传感器、热电型红外线传感器、光电式传感器、光纤传感器、图像传感器、传感器的智能化与微型化等内容;第 4 章:检测系统中信号的转换与调理;第 5 章:检测系统中的抗干扰技术;第 6 章:自动检测技术应用举例;第 7 章:自动检测系统的设计;第 8 章:自动检测技术的发展方向;第 9 章:虚拟仪器系统的应用。每章均附有习题和思考题。

本书由山东科技大学刘传玺、袁照平任主编,参加编写的有王进野、胡新颜、朱蕾。其中第 1、2、3 章由刘传玺编写,第 4 章由袁照平、王进野合编,第 5 章由王进野编写,第 6 章由胡新颜、朱蕾合编,第 7、8 章由袁照平编写,第 9 章由胡新颜编写。全书由刘传玺负责统稿。袁照平、朱蕾负责电子课件的制作。

在本书编写的过程中,参考了一些相关教材和文献资料,在此向所有参考文献的作者表示衷心的感谢。同时得到山东科技大学有关部门的领导和同志们的支持与帮助,在此一并表示感谢。本书的出版得到了机械工业出版社有关专家的指导和支持,在此也表示诚挚的谢意。

本书编写的过程中,力求做到体系结构完整,内容丰富精炼,突出实用性与先进性,叙述方法由浅入深。本书可作为高等院校电气自动化、电子信息工程、机电一体化技术、测控技术与仪表等专业的教材,也可作为机电类其他相关专业学生的教材或参考书。

编 者

2007 年 8 月

教学建议

课程中的地位、作用 and 任务

本课程是测控技术与仪器、工业自动化、电气工程及其自动化、电子信息工程、机电一体化等专业的基础课程，目的是让学生了解自动检测系统的基本组成与特性，传感器基本原理、结构、性能及应用。通过本课程的理论教学和实验实训等实践性教学，使学生能够掌握各种传感器的选型和应用、自动检测系统的设计与构建以及测试结果的处理方法。

学生通过本课程的学习，获得传感器与检测技术必要的基本理论、基本知识、基本工程设计与应用能力，为从事工程技术工作和科学研究工作奠定基础。

课程总体安排

先修课程与要求

本课程教学工作应安排在“电工基础”“模拟电路”“数字电路”“微机原理”等课程学习后，一般以第 6 学期学习为宜。

课程教学环节及组成

本课程是理论教学和实验实训教学相结合，条件允许的情况下安排课程设计和现场教学等。

课程学时及分配

课程总学时：64 学时，其中，理论教学 42 学时，实验实训(含现场教学及参观)教学 22 学时。

理论教学的内容与基本要求

章节	课程教学内容与要求	建议学时
第 1 章 检测技术的基础知识	教学内容：检测系统的组成、静态特性和动态特性；误差的定义、表示方法、指示仪表精度等级的规定；误差的分类及消除方法。 教学重点：检测系统静态特性指标，测量误差的表示方法、精度等级的含义，各类误差产生的原因及消除方法。 基本要求：要求学生了解检测系统的组成及基本特性，掌握测量误差的表示方法及精度等级含义，了解三类误差产生的原因，学会对粗大误差的判别及对随机误差和系统误差的消除方法。	教学：4

(续)

章节	课程教学内容与要求	建议学时
第2章 传统传感器	教学内容：传感器基础知识，包括含义、作用、选型原则及特性，电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、压电式传感器、磁电式传感器、热电式传感器、常用流量计等各种传统传感器的基本原理、结构、特点、测量电路及典型应用举例。 教学重点：各种传感器基本原理、结构特点、测量电路及应用。 基本要求：掌握各种传感器的工作原理、结构形式、应用选型、测量电路及电路连接方式。 实验实训内容：电阻应变式传感器特性验证(含测量电桥应用)、电容式传感器、电感式传感器、磁电感应式传感器、霍尔传感器性能测试及应用。	教学：14 实验(含实训)：8
第3章 新型传感器	教学内容：气敏和湿敏传感器的转换原理、结构，气敏电阻传感器的测量电路、应用举例；感应同步器、磁栅式传感器的结构及工作原理，输出信号的鉴别方式；热电性红外传感器的测温原理、结构类型及应用注意事项；光电效应、光电器件结构及工作原理，光电器件特性及应用；光纤结构及传光原理，光纤传感器的类型、原理及应用；超声波传感器的结构、工作原理及应用；CCD图像传感器的基本结构和工作原理及应用。 教学重点：传感器的原理、结构、特点、测量电路及应用注意事项。 基本要求：掌握各种传感器的工作原理、结构类型及特点，应用选型方法，配套测量电路及连接方法。 实验内容：感应同步器、光电传感器、光纤传感器、超声波传感器性能测试及应用。	教学：6 实验：6
第4章 信号的转换与调理	教学内容：测量放大器、隔离放大器的组成及原理；信号的转换，包括V/I、I/V、V/F等转换器的基本构成及工作原理；信号的调制与解调，滤波电路的基本构成等。 教学重点：典型测量放大器的应用，程控增益放大器的基本构成及工作原理，信号转换器的基本原理及典型应用，信号调制解调的基本原理及应用。 基本要求：熟悉测量放大器的特点及典型测量放大器的接线，程控增益放大器的基本组成及原理，了解各种信号转换电路的工作原理，了解信号的调制与解调的基本方式及应用，了解四种滤波器的特性及基本构成电路。	教学：4
第5章 传感器与微机接口及系统信号输出	教学内容：输入、输出通道的结构类型及特点，多路模拟开关常用芯片的结构及开关作用原理，采样保持器的结构原理及主要技术参数，A/D转换器的主要类型及主要技术参数，接口电路的应用实例；系统信号输出的分类及显示类、指示类和记录类输出方式简介。 教学重点：多路模拟开关结构及原理，采样保持电路的作用、原理及主要技术参数，A/D和D/A转换器的主要类型及技术参数。 基本要求：了解输入、输出通道的结构类型及特点，掌握多路模拟开关及常用芯片的结构、工作原理及特性，掌握采样保持器工作原理及主要参数，了解A/D和D/A转换器的主要类型及主要技术指标，了解信号输出的类型，熟悉显示类、指示类和记录类输出的具体输出方式。	教学：4

(续)

章节	课程教学内容与要求	建议学时
第 6 章 现代检测技术	教学内容：传感器智能化和微型化的概念、特点及实现方法；现场总线的定义、技术特征及分类，现场总线的体系结构及典型现场总线简介，包括 CAN 总线、LonWorks 总线、ProfiBUS 总线、HART 总线、FF 总线、DeviceNet 总线等；现场总线控制系统及应用举例；虚拟仪器的基本概念及构成，虚拟仪器的开发平台图形化语言 LabVIEW 基本应用，虚拟仪器整体设计基本步骤及设计举例。 教学重点：智能传感器的基本构成及实现方法，现场总线的体系结构及各种常用现场总线的特点，虚拟仪器的基本构成，图形化语言 LabVIEW 基本应用。 基本要求：了解智能传感器的特点、基本构成及实现方法，了解现场总线的体系结构及常用现场总线的特点，熟悉虚拟仪器的基本构成，掌握虚拟仪器整体设计步骤，了解 LabVIEW 的基本应用。	教学：6
第 7 章 自动检测系统的设计	教学内容：介绍自动检测系统的设计原则及设计的一般步骤，分析检测系统中的干扰产生的原因、传播路径及抗干扰措施，举例介绍测控系统设计。 教学重点：自动检测系统的设计原则及设计方法步骤。 基本要求：掌握自动检测系统的设计原则及方法步骤，能够设计简单的检测系统。 实训内容：自动检测系统的设计	教学：4 实训(小设计或现场教学)：8

成绩考核方式与评分要求

本课程的总成绩由平时成绩、理论考试成绩和实验成绩三部分组成，其中，平时成绩占 20%，理论考试成绩占 60%，实验实训成绩占 20%。

平时成绩由课堂考勤、提问、作业等方面的情况综合评定，理论考试成绩通过闭卷考试方式评定，实验实训成绩由每次实验实训完成情况及实验实训报告等情况综合评定。

目 录

第3版前言	
第2版前言	
第1版前言	
教学建议	

第1章 检测技术的基础知识	1
1.1 概述	2
1.1.1 检测技术的含义、作用和地位	2
1.1.2 自动检测系统的组成	3
1.1.3 检测技术的发展趋势	4
1.2 检测系统的基本特性	4
1.2.1 静态特性	4
1.2.2 动态特性	6
1.3 测量误差及消除方法	10
1.3.1 测量误差的概念	10
1.3.2 误差的表示方法	10
1.3.3 误差的分类	11
1.3.4 误差处理	13
习题与思考题	18
第2章 传统传感器	19
2.1 传感器基础知识	20
2.1.1 传感器的定义与分类	20
2.1.2 传感器的性能指标	20
2.1.3 传感器的选用原则	20
2.1.4 传感器的发展方向	22
2.2 电阻式传感器	23
2.2.1 电阻应变式传感器	23
2.2.2 电位器式传感器	32
2.3 电容式传感器	37
2.3.1 电容式传感器的基本原理	37
2.3.2 电容式传感器的类型与特性	37
2.3.3 电容式传感器的测量电路	40
2.3.4 电容式传感器应用举例	42
2.4 电感式传感器	45

2.4.1 自感式传感器	45
2.4.2 互感式传感器	48
2.4.3 电涡流式传感器	52
2.4.4 电感式传感器应用举例	54
2.5 压电式传感器	57
2.5.1 压电效应与压电材料	57
2.5.2 压电式传感器工作原理及压电 元件常用结构形式	60
2.5.3 压电式传感器的测量电路	61
2.5.4 压电式传感器应用举例	62
2.6 磁电式传感器	65
2.6.1 磁电感应式传感器	65
2.6.2 霍尔传感器	67
2.6.3 磁电式传感器应用举例	70
2.7 热电式传感器	73
2.7.1 金属热电阻传感器	73
2.7.2 半导体热敏电阻传感器	75
2.7.3 热电偶传感器	75
2.7.4 集成温度传感器	81
2.7.5 热电式传感器应用举例	82
2.8 常用流量计	84
2.8.1 节流式流量计	84
2.8.2 电磁流量计	88
2.8.3 涡轮流量计	91
2.8.4 涡街流量计	93
习题与思考题	96
第3章 新型传感器	98
3.1 气敏和湿敏传感器	99
3.1.1 气敏电阻式传感器	99
3.1.2 离子感烟传感器	103
3.1.3 湿敏电阻式传感器	104
3.2 感应同步器	107
3.2.1 感应同步器的类型及结构	107
3.2.2 感应同步器的工作原理	108

3.2.3 感应同步器输出信号的 鉴别方式	109	4.2 信号转换电路	155
3.2.4 感应同步器的应用	110	4.2.1 电压-电流变换器	155
3.3 磁栅式传感器	111	4.2.2 电流-电压变换器	158
3.3.1 磁栅	111	4.2.3 电压-频率转换	158
3.3.2 磁头及作用原理	111	4.2.4 频率-电压转换	159
3.3.3 信号处理方式	113	4.3 信号的处理	160
3.3.4 磁栅式传感器的应用	114	4.3.1 调制与解调	160
3.4 红外辐射探测器	115	4.3.2 滤波电路	165
3.4.1 红外测温原理	115	4.3.3 线性化	167
3.4.2 常见的红外传感器	116	习题与思考题	169
3.4.3 红外传感器的应用	118		
3.4.4 红外传感器使用中应注意的 问题	121	第5章 传感器与微机接口及系统 信号输出	170
3.5 光电式传感器	121	5.1 传感器与微机的接口	171
3.5.1 光电效应	122	5.1.1 传感器与微机接口的一般 结构	171
3.5.2 光电器件	122	5.1.2 多路模拟开关	174
3.5.3 光电元件的特性	126	5.1.3 采样保持器	175
3.5.4 光电元件的应用	129	5.1.4 A/D转换器(ADC)	177
3.6 光纤传感器	130	5.1.5 D/A转换器(DAC)	180
3.6.1 光导纤维的结构和导光原理	130	5.1.6 传感器与微机接口应用实例	184
3.6.2 光纤传感器的工作原理	131	5.2 系统信号的输出	186
3.6.3 光纤传感器的分类	132	5.2.1 信号输出的形式及分类	186
3.6.4 光纤传感器的应用	133	5.2.2 显示和指示类信号输出	186
3.7 超声波传感器	134	5.2.3 记录类信号输出	188
3.7.1 超声波及特性	134	5.2.4 微机化测量系统应用实例	192
3.7.2 超声波的发射和接收	135	习题与思考题	193
3.7.3 超声波传感器的工作原理	136		
3.7.4 超声波传感器的应用	137	第6章 现代检测技术	194
3.8 图像传感器	140	6.1 传感器的智能化与微型化	195
3.8.1 CCD电荷耦合器件的基本工作 原理	141	6.1.1 智能传感器	195
3.8.2 CCD图像传感器的基本结构 和工作原理	142	6.1.2 传感器的微型化	202
3.8.3 CCD图像传感器的应用	144	6.2 现场总线	207
习题与思考题	145	6.2.1 现场总线技术概述	207
第4章 信号的转换与调理	146	6.2.2 几种典型的现场总线	212
4.1 信号的放大与隔离	147	6.2.3 现场总线控制系统	219
4.1.1 测量放大器	147	6.2.4 现场总线控制系统应用举例	221
4.1.2 程控增益放大器	149	6.3 虚拟仪器	224
4.1.3 隔离放大器	153	6.3.1 虚拟仪器的概述	224
		6.3.2 虚拟仪器图形化语言 LabVIEW	226

6.3.3 虚拟仪器的整体设计	231	7.3.1 温度测控系统的设计要求与组成	252
6.3.4 虚拟仪器应用设计举例	232	7.3.2 温度测控系统的硬件电路	253
习题与思考题	236	7.3.3 温度测控系统的软件设计	258
第7章 自动检测系统的设计	238	习题与思考题	261
7.1 自动检测系统设计原则及步骤	239	附录 A 工程应用典型产品及系统简介	262
7.1.1 自动检测系统设计原则	239	附录 B 标准化热电阻分度表	306
7.1.2 自动检测系统的设计步骤	240	附录 C 标准化热电偶分度表	309
7.2 检测系统中的抗干扰技术	245	参考文献	316
7.2.1 检测系统中的干扰	245		
7.2.2 常用抗干扰技术	247		
7.3 加热炉温度测控系统设计	252		

第1章

检测技术的基础知识

- ◇ 1.1 概述
- ◇ 1.2 检测系统的基本特性
- ◇ 1.3 测量误差及消除方法

1.1 概述

1.1.1 检测技术的含义、作用和地位

在各项生产活动和科学实验中,为了了解和掌握整个过程的进展及其最后结果,经常需要对各种基本参数或物理量进行检查和测量,从而获得必要的信息,作为分析判断和决策的依据,可以认为检测技术就是人们为了对被测对象所包含的信息进行定性的了解和定量的掌握所采取的一系列技术措施。随着人类社会进入信息时代,以信息的获取、转换、显示和处理为主要内容的检测技术已经发展成为一门完整的技术学科,在促进生产发展和科技进步的广阔领域内发挥着重要作用。其主要应用如下:

1) 检测技术是产品检测和质量控制的重要手段。借助于检测工具对产品进行质量评价是检测技术重要的应用。传统的检测方法只能将产品区分为合格品和废品,起到产品验收和废品剔除的作用,是被动检测方法,不能预先防止废品的出现。在传统检测技术基础上发展起来的主动检测技术或称为在线检测技术使检测和生产加工同时进行,可及时地用检测结果对生产过程进行主动控制,使之适应生产条件的变化或自动地调整到最佳状态。这样检测的作用已经不只是单纯检查产品的最终结果,而且要掌控和干预造成这些结果的原因,从而进入质量控制的领域。比如,在机械制造业中,需要测量位移、尺寸、力、振动、速度、加速度等机械量参数,利用非电量电测仪器监视刀具的磨损和工件表面的变化,防止机床过载,控制加工过程的稳定性。在化工行业中,需要在线检测生产过程的温度、压力、流量、物位等热工参数,实现对工艺过程的有效控制,确保生产过程能正常高效地进行,确保安全生产,防止事故发生。

2) 检测技术在大型设备安全经济运行监测中应用广泛。电力、石油、化工、机械等行业的一些大型设备通常在高温、高压、高速和大功率状态下运行,保证这些设备安全运行在国民经济中具有重大意义。为此,通常设置故障监测系统以对温度、压力、流量、转速、振动和噪声等多种参数进行长期动态监测,以便及时发现异常情况,加强故障预防,达到早期诊断的目的。这样做可以避免严重的突发事件,保证设备和人员安全,提高经济效益。即使设备发生故障也可以从监测系统提供的数据中找出故障原因,缩短检修周期,提高检修质量。另外,在日常运行中,这种连续监测可以及时发现设备故障前兆,采取预防性检修。随着计算机技术的发展,这类监测系统已经发展成故障自诊断系统,可利用计算机来分析、判断和处理检测信息,及时诊断出设备故障并自动报警或采取相应的对策。

3) 检测技术和装置是自动化系统中不可缺少的组成部分。任何生产过程都可以看作是由“物流”和“信息流”组合而成,反映物流的数量、状态和趋向的信息流则是人们管理和控制物流的依据。人们为了实现有目的的控制,首先必须通过检测来获取有关信息,然后才能进行分析、判断,从而实现自动控制。所谓自动化,就是用各种技术工具与方法代替人来完成检测、分析、判断和控制工作。一个自动化系统通常由多个环节组成,分别完成信息获取、信息转换、信息处理、信息传送及信息执行等功能。在实现自动化的过程中,信息的获取与转换是极其重要的组成环节,只有精确及时地将被控对象的各项参数检测出来并转换成易于传送和处理的信号,整个系统才能正常地工作。因此,自动检测与转换是自动化技术中不可缺少的组成部分。

4) 检测技术的完善和发展推动着现代科学技术的进步。人们在自然科学各个领域内从事的研究工作,一般是利用已知的规律对观测、试验的结果进行概括、推理,从而对所研究的对象取得定量的概念并发现它的规律性,然后上升到理论。因此,现代化检测手段所达到的水平在很大程度上决定了科学研究的深度和广度。检测技术达到的水平越高,提供的信息

越丰富、越可靠,科学研究取得突破性进展的可能性就越大。此外,理论研究的一些成果,也必须通过实验或观测来加以验证,这同样离不开必要的检测手段。

从另一方面看,现代化生产和科学技术的发展也不断地对检测技术提出新的要求和课题,成为促进检测技术向前发展的动力。科学技术的新发现和新成果不断应用于检测技术中,也有力地促进了检测技术自身的现代化。

检测技术与现代化生产和科学技术的密切关系,使它成为一门十分活跃的技术学科,几乎渗透到人类的一切活动领域,发挥着越来越重要的作用。

1.1.2 自动检测系统的组成

一个完整的检测系统或检测装置通常是由电源、传感器、信号处理电路、显示记录装置、传输通道等几部分组成,有时还有数据处理仪器及执行机构等部分,分别完成信息获取、转换、显示和处理等功能,检测系统的组成如图 1-1 所示。

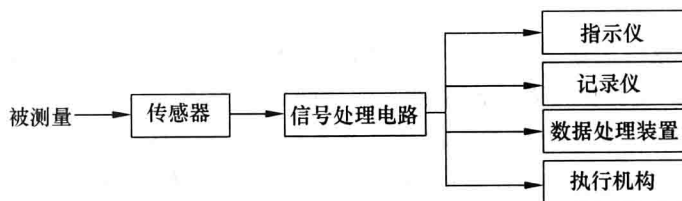


图 1-1 检测系统的组成框图

1. 传感器

传感器是指将被测量(一般为非电量)转换为另一种与之有确定对应关系并便于测量的量(一般为电量)的器件,又称为探测器、换能器等。

传感器使检测系统与被测对象直接发生联系,它处于被测对象和检测系统的接口位置,是信息输入的主要窗口,它为检测系统提供必要的原始信息。它是整个检测系统极其重要的环节,其获得的信息正确与否,关系到整个检测系统的精度。

2. 信号处理电路

通常传感器输出的信号是微弱的,还不能满足显示记录装置或执行机构的要求。信号处理电路的作用就是将传感器的输出信号转换成为易于测量、具有一定功率的电压、电流或频率等信号。根据需求和传感器的类型,信号处理电路不仅能进行信号放大,还能进行阻抗匹配、微分、积分、线性化补偿等信号处理工作。随着半导体器件与集成技术在传感器中的应用,已经实现了将传感器的敏感元件与传导调理转换电路集成在同一芯片上的传感器模块和集成电路传感器。

3. 显示记录及数据处理装置

显示记录装置是检测人员和检测系统联系的主要环节,检测人员通过显示记录装置了解和掌握数据大小及变化的过程。

目前常用的显示装置有模拟显示、数字显示和图像显示。模拟显示是利用指针对标尺的相对位置表示被测量数值的大小,如各种指针式电气测量仪表、模拟光柱等。数字显示是用发光二极管(LED)和液晶(LCD)等以数字的形式显示读数。图像显示一般用 CRT 或 LCD 屏幕来显示数据或显示被测参数的变化曲线,有时还可用图表及彩色图等形式反映多组检测数据。

记录仪的主要作用是记录被测量的动态变化过程,常用的记录仪有笔式记录仪、光线示波器、磁带记录仪、快速打字机等。

数据处理装置用来对检测结果进行处理(如 A/D 转换)、运算、分析,它利用计算机完

成数据处理和控制执行机构的工作。

所谓执行机构通常是指各种继电器、电磁铁、电磁阀门、伺服电动机等在电路中起通断、控制、调节、保护等作用的电气设备。许多检测系统能输出与被测量有关的电流或电压信号，以驱动这些执行机构，从而为自动控制系统提供控制信号。

1.1.3 检测技术的发展趋势

科学技术的迅猛发展，对检测技术提出了更高的要求，同时，又为检测技术的发展创造了条件。检测技术的发展趋势主要表现在以下几个方面：

- 1) 不断提高检测系统的测量精度、量程范围、延长使用寿命、提高可靠性等。
- 2) 应用新技术和新的物理效应，扩大检测领域。
- 3) 采用微型计算机技术，使检测技术智能化。
- 4) 不断开发新型、微型、智能化传感器，如智能传感器、生物传感器、高性能集成传感器等。
- 5) 不断开发传感器的新型敏感元件材料和采用新的加工工艺，提高仪器的性能、可靠性，扩大应用范围，使测试仪器向高精度和多功能方向发展。
- 6) 不断研究和发展微电子技术、微型计算机技术、现场总线技术与仪器仪表和传感器相结合的多功能融合技术，形成智能化测试系统，使测量精度、自动化水平进一步提高。
- 7) 不断研究开发仿生传感器，主要是指模仿人或动物的感觉器官的传感器，即视觉传感器、听觉传感器、嗅觉传感器、味觉传感器、触觉传感器等。
- 8) 参数测量和数据处理的高度自动化。

1.2 检测系统的基本特性

检测系统的特性一般是指检测系统输入量和输出量关系的特性，分为静态特性和动态特性。

当被测量不随时间变化或变化很慢时，可以认为检测系统的输入量和输出量都与时间无关，表示输入量和输出量之间关系的是一个不含时间变量的代数方程，由此方程确定的检测系统性能参数特性称为静态特性。

当被测量随时间变化很快时，输入量和输出量就有一个动态关系，表示这一关系的是一个含有时间变量的微分方程，由此方程确定的检测系统对快速变化的被测量的响应特性称为动态特性。

1.2.1 静态特性

1. 灵敏度

灵敏度是指传感器或检测系统在稳态下，输出量变化值与输入量变化值的比值。用 K 来表示灵敏度，即

$$K = \frac{dy}{dx} \approx \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-1)$$

式中， x 为输入量； y 为输出量。

如果检测系统输出和输入之间是线性关系，则灵敏度 K 是一个常数；否则，它将随输入量的变化而变化。从图 1-2 可见，曲线越陡，灵敏度越高，曲线上任一点处的灵

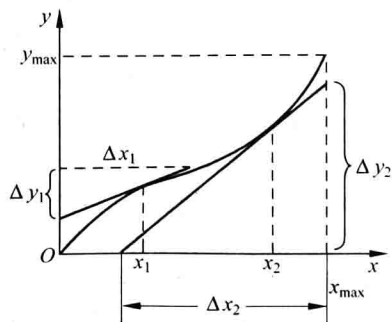


图 1-2 检测系统灵敏度

灵敏度就是在该点所作的曲线切线的斜率。

如果输入和输出的变化量有不同的量纲,则灵敏度也是有量纲的。例如,输入量为温度($^{\circ}\text{C}$),输出量为电压(mV),则灵敏度的量纲为 $\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 。如果输入量和输出量是同类量,则灵敏度是无量纲的,此时也可把灵敏度理解为放大倍数。

提高灵敏度,可得到较高的测量精度,但测量范围窄,稳定性也会变差。

2. 分辨力

分辨力是指检测仪表能精确检测出被测量的最小变化的能力。输入量从某个任意值(一般为非零值)缓慢增加,直到可以测量到输出的变化为止,此时的输入量的增量就是该测量仪表的分辨力。

分辨力可用绝对值表示,也可用量程的百分数表示。一般模拟式仪表的分辨力规定为最小刻度分度值的一半;数字式仪表的分辨力一般可以认为是该表最后一位的一个字。有时也可把仪表的最大绝对误差看作该仪表的分辨力。

分辨力说明检测仪表响应与分辨输入量微小变化的能力,分辨力越好,其灵敏度越高。

3. 线性度

线性度又称非线性误差,是指检测系统实际的输入-输出特性曲线与拟合直线之间最大偏差和满量程输出的百分比。即

$$\gamma_L = \frac{\Delta L_{\max}}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中, $\Delta L_{\max}$ 为非线性最大误差; $y_{\max} - y_{\min}$ 为量程范围。

如图 1-3 所示,由于线性度是以拟合直线为基准线而得出的,所以选取的拟合直线不同,其线性度也不同。拟合直线的选取有多种方法,如拟合直线通过实际特性曲线的起点和满量程点,称为端基拟合直线,由此得到的线性度称为端基线性度;连接理论曲线坐标零点和满量程输出点的直线称为理论拟合直线,由此得到的线性度称为理论线性度。

4. 迟滞

迟滞是指检测系统在输入量增大(正向)和输入量减小(反向)行程间,输入-输出特性曲线不一致的程度。即同样大小的输入量,检测系统在正反行程中,往往对应两个大小不同的输出量,这两个不同输出量的最大差值 Δm 与满量程输出量的百分比即为迟滞量,如图 1-4 所示。

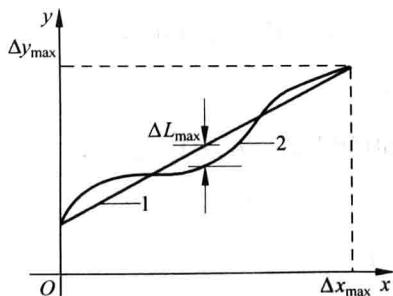


图 1-3 线性度示意图

1—拟合直线; 2—实际特性曲线

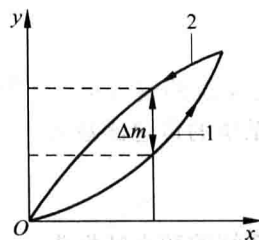


图 1-4 迟滞特性示意图

1—正向特性; 2—反向特性

产生迟滞的主要原因是仪表元件存在能量的吸收和传动机构的摩擦,间隙及紧固件的松动等。一般希望检测系统的迟滞越小越好。



5. 稳定性

稳定性包含稳定度和环境影响量两个方面。稳定度是指检测装置在所有条件恒定不变的情况下,在规定时间内能维持其示值不变的能力,一般用示值的变化量和时间的长短的比值来表示。例如,某仪表示值电压在所有条件不变的情况下,在8 h内的最大变化量为1.3 mV,其稳定度可写成1.3 mV/8 h。环境影响量是指由于外界环境因素的变化而引起的仪表示值变化的变化量。造成环境影响量的因素有温度、湿度、气压、电源电压或频率、电磁场等。表示环境影响量时要同时写出示值偏差及造成这一偏差的影响因素的大小。例如,温度每变化1℃引起示值变化0.3 mV,其环境影响量可表示为0.3 mV/℃;又如电源电压变化±5%时,引起示值变化0.02 mA,其环境影响量可表示为0.02 mA/±5%V。检测系统的稳定性越好,其抗干扰的能力越强。

检测系统的静态特性还包括重复性、可靠性、死区等参数。

1.2.2 动态特性

检测系统要具有良好的动态特性,才能较精确地测出被测量的大小和随时间变化的规律。否则,会引起较大的动态误差。

在实际检测工作中,检测系统的动态特性通常由实验得出。系统对标准输入信号的响应与对任意输入信号的响应之间存在一定的关系,可根据系统对一些标准信号的响应来评定它的动态特性。例如,在时域内,常采用阶跃信号来分析系统的瞬态响应;在频域内,常采用正弦输入信号来分析系统的频率响应等。

对检测系统的动态特性的理论研究,通常是先建立系统的数学模型,通过拉氏变换找出传递函数表达式,再根据输入条件得到响应的频率特性,并以此来描述系统的动态特性。

描述测量系统的动态特性的数学模型一般有微分方程、传递函数和频率特性三种形式。由于系统的动态特性是由其系统本身固有的属性决定的,因此对于线性测量系统而言,只要知道其中一种数学模型,就可以推导出其他两种形式的数学模型。

1. 常见测量系统的数学模型

常见的测量系统都是一阶或二阶的,任何高阶系统都可以等效为若干个一阶和二阶系统的串联或并联。因此,分析并了解一阶和二阶系统的特性是分析和了解高阶复杂系统特性的基础。

(1) 一阶系统

不论是热力学、电学系统,还是力学系统,若它们是一阶系统就可以表示为

$$\tau \frac{dy}{dt} + y = Kx \quad (1-3)$$

式中, y 为系统的输出量; x 为系统的输入量; τ 为时间常数; K 为放大倍数。

一阶系统的传递函数为

$$H(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (1-4)$$

一阶系统的频率特性为

$$H(\omega) = \frac{K}{j\omega\tau + 1} \quad (1-5)$$

(2) 二阶系统

不论是热力学、电学系统,还是力学系统,若它们是二阶系统就可以由标准形式的二阶微分方程来表示,即