



教育科学“十五”国家规划课题研究成果

传感器与检测技术

宋文绪 杨帆 主编

第2版

LE MACRO
FMC 049
L6°

30 15
10 5

10
3

2

10

32 22 16 11 6 5 6 4 3 2 1
OFFENDING COMMAND array
5 Avail. 18773 level 2
22 16 11 6 5 4 3 2 1



高等教育出版社



教育科学“十五”国家科技计划研究成果

西安理工大学图书馆



C883321-9

传感器与检测技术

宋文绪 杨帆 主编

第2版



高等教育出版社

ISBN 7-03-018832-1
C883321-9

内容提要

本书针对应用型本科教育的特点,以便于学习和应用为前提,以信息的传感、转换、处理为核心,在讲述检测技术的基本概念、传感器的基本特性、传感器的标定和正确选用的基础上,以温度、压力、物位、厚度、流量、位移、速度、加速度、气体成分、浓度及光电等参数检测为主线,按传感器的用途分章讲述各类传感器的工作原理、结构、技术指标及使用特点。同时对检测系统的组成、现代总线控制技术、虚拟仪器、多传感器信息融合和传感器电路的抗干扰技术进行了讲述。

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

本书可作为电气工程与自动化、自动化、机械电子工程、电子信息工程、测控技术与仪器、机械等专业的教材,也可供其他专业学生和有关的专业技术人员参考使用,或作为自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术/宋文绪,杨帆主编.—2版.—北京:高等教育出版社,2009.11

ISBN 978-7-04-027891-0

I.传… II.①宋…②杨… III.传感器-检测-高等学校-教材 IV.TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 159003 号

策划编辑 韩颖 责任编辑 王莉莉 封面设计 赵阳 责任绘图 尹莉
版式设计 范晓红 责任校对 王超 责任印制 毛斯璐

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
总机 010-58581000
经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 北京中科印刷有限公司

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>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开本 787×1092 1/16
印张 20.5
字数 460 000

版次 2004年1月第1版
2009年11月第2版
印次 2009年11月第1次印刷
定价 27.60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 27891-00

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所以培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型本科人才培养工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成

果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革不断深入,特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

数字时代到来,信息科学将以传感器技术为基础,中医学走出研究室,进入临床,检测技术将成为信息科学中必不可少的重要组成部分,我国一些院校已将检测技术作为信息科学专业的一门重要课程,列入教学计划,这必将使检测技术成为信息科学专业的一门重要课程。

第2版前言

宋文绪

王化祥

检测技术作为信息科学的一个重要分支与计算机技术、自动控制技术和通信技术等一起构成了信息技术的完整科学。在人类进入信息时代的今天,人们的一切社会活动都是以信息获取与信息转换为中心,传感器作为信息获取与信息转换的重要手段,是实现信息化的基础技术之一。“没有传感器就没有现代科学技术”的观点已为全世界所公认。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。传感器与检测技术已成为工科院校大部分专业学生必修的专业基础课。

《传感器与检测技术》第1版于2004年1月出版,至今已被全国许多院校使用,为满足高等教育教学改革的需求,我们在多年使用的基础上对《传感器与检测技术》第1版在体系结构、内容编排以及知识点等多方面进行了修订。本次修订在保持第1版教材原有特色的基础上,突出以下几个特点:

1. 精选教学内容。内容的选取基本上根据我国当前工业生产及科研应用的实际出发,以信息的传感、转换、处理为核心,从基本物理概念入手,阐述热工量、机械量、几何量等参数的检测原理及方法。重点突出,应用性强,注重新技术、新成果的应用。

2. 本教材采用按用途分章的方法进行讲述,便于使用者对传感器类比、选型,突出了教材的实用性,且检测的参数、方法较多,应用领域广泛。

3. 全书以基础知识、科研新成果及发展新动向相结合,以检测系统的器件集成化、信息数字化和测试智能化为主线。

4. 立足基本理论,面向应用技术,以必需、够用为尺度,以掌握概念、强化应用为重点。加强了理论知识和实际应用的统一。

本书涉及领域广泛,包括许多新技术、新器件在检测技术领域里的应用。全书共分十章:第1章是检测技术的基础知识;第2章~第8章为一些常用参数的检测,包括温度、压力、物位、厚度、流量、位移、速度、加速度、成分、光电等参数的检测;第9章讲述了自动检测系统的基本组成;第10章讲述了检测装置的补偿及抗干扰技术。且在每章后都附有一定量的思考题与习题。

本书由北华大学的宋文绪和河北工业大学的杨帆任主编。其中第1、10章由宋文绪编写,第2、4、6章由杨帆编写,第3、5章由北华大学的张秀梅编写,第7、8、9章由河北工业大学的徐舜华编写。

本书由天津大学自动化学院的王化祥教授任主审,王化祥教授对本书的总体结构和内容细节等进行了全面审阅,提出许多宝贵而富有价值的修改意见,在此表示衷心的感谢。

本书在编写和出版过程中,得到了高等教育出版社编辑们的指导和支持,对他们的辛勤劳动和无私奉献表示真挚的谢意。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、不妥之处在所难免,殷切希望广大读者提出宝贵意见。

前 言

编者

2009年4月

本书在编写和出版过程中,得到了高等教育出版社编辑们的指导和支持,对他们的辛勤劳动和无私奉献表示真挚的谢意。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、不妥之处在所难免,殷切希望广大读者提出宝贵意见。

本书在编写和出版过程中,得到了高等教育出版社编辑们的指导和支持,对他们的辛勤劳动和无私奉献表示真挚的谢意。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、不妥之处在所难免,殷切希望广大读者提出宝贵意见。

本书在编写和出版过程中,得到了高等教育出版社编辑们的指导和支持,对他们的辛勤劳动和无私奉献表示真挚的谢意。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、不妥之处在所难免,殷切希望广大读者提出宝贵意见。

本书在编写和出版过程中,得到了高等教育出版社编辑们的指导和支持,对他们的辛勤劳动和无私奉献表示真挚的谢意。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、不妥之处在所难免,殷切希望广大读者提出宝贵意见。

本书在编写和出版过程中,得到了高等教育出版社编辑们的指导和支持,对他们的辛勤劳动和无私奉献表示真挚的谢意。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、不妥之处在所难免,殷切希望广大读者提出宝贵意见。

本书在编写和出版过程中,得到了高等教育出版社编辑们的指导和支持,对他们的辛勤劳动和无私奉献表示真挚的谢意。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、不妥之处在所难免,殷切希望广大读者提出宝贵意见。

本书在编写和出版过程中,得到了高等教育出版社编辑们的指导和支持,对他们的辛勤劳动和无私奉献表示真挚的谢意。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、不妥之处在所难免,殷切希望广大读者提出宝贵意见。

本书在编写和出版过程中,得到了高等教育出版社编辑们的指导和支持,对他们的辛勤劳动和无私奉献表示真挚的谢意。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、不妥之处在所难免,殷切希望广大读者提出宝贵意见。

本书在编写和出版过程中,得到了高等教育出版社编辑们的指导和支持,对他们的辛勤劳动和无私奉献表示真挚的谢意。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、不妥之处在所难免,殷切希望广大读者提出宝贵意见。

第1版前言

检测技术作为信息科学的一个重要分支,与计算机技术、自动控制技术和通信技术等一起构成了信息技术的完整学科。在人类进入信息时代的今天,人们的一切社会活动都是以信息获取与信息转换为中心的,传感器作为信息获取与信息转换的重要手段,是实现信息化的基础技术之一。“没有传感器就没有现代科学技术”的观点已为全世界所公认。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。它广泛地应用于工业、农业、国防和科研等领域,已成为工科院校大部分专业的学生必修的专业基础课。

本书涉及领域广泛,包括许多新技术、新器件在检测技术领域里的应用。全书共分11章:第1章是检测技术的基础知识;第2~8章为一些常用参数的检测,包括温度、压力、流量、物位、厚度、位移、速度、磁场、成分、视觉等参数的检测;第9章介绍了多传感器融合技术;第10、11章讲述了传感器的标定、补偿及抗干扰技术。每章后都附有一定量的思考题与习题。

本书是在充分体现应用型本科教育的特点,提高学生分析问题及解决问题能力的基础上编写的,具有以下特点:

1. 精选教学内容,基本上根据我国当前工业生产及科研应用的实际,以信息的传感、转换、处理为核心,从基本物理概念入手,阐述热工量、机械量、几何量等参数的检测原理及方法。重点突出,应用性强,注重新技术、新成果的应用。

2. 采用按用途分章的方法进行讲述,便于使用者对传感器类比、选型,突出了教材的实用性,且检测的参数、方法较多,应用领域广泛。

3. 力求基础知识、科研新成果及发展新动向相结合,以检测系统的器件集成化、信息数字化和测试智能化为主线。

4. 立足基本理论,面向应用技术,以必需、够用为尺度,以掌握概念、强化应用为重点,加强了理论知识和实际应用的统一。

本书可作为电气工程与自动化、机械设计制造及其自动化、电子信息工程、测控技术与仪器等专业的教材,也可供其他专业学生和有关技术人员参考,或作为自学用书。

本书由宋文绪、杨帆主编,其中第1、10、11章由宋文绪编写,第3、5章由张秀梅编写,第2章由赵玉刚编写,第4、6、7、8、9章由杨帆编写。与本书配套的CAI电子课件由北华大学赵玉刚、刘学庆编写制作。

本书由电子科技大学雷霆教授审阅,雷教授对本书的总体结构和内容细节等进行了全面审订,提出许多宝贵的审阅意见,在此表示衷心的感谢。

本书在编写和出版过程中,得到了高等教育出版社高等理工分社编辑的指导和支持,对他们的辛勤劳动和无私奉献表示真挚的谢意。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、不妥之处在所难免,殷切希望广大读者提出宝贵意见。

编者

2003 年 8 月

本书在编写和出版过程中,得到了高等教育出版社高等理工分社编辑的指导和支持,对他们的辛勤劳动和无私奉献表示真挚的谢意。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、不妥之处在所难免,殷切希望广大读者提出宝贵意见。

目 录

第 1 章 检测技术的基础知识	1
1.1 检测技术的基本概念	1
1.1.1 检测技术	1
1.1.2 自动检测系统	1
1.1.3 传感器	2
1.2 测量误差及修正	4
1.2.1 误差的基本概念及表达方式	4
1.2.2 误差的分类与来源	5
1.2.3 系统误差和随机误差的表达式	6
1.2.4 基本误差和附加误差	6
1.2.5 系统误差的发现与校正	7
1.3 传感器的基本特性	8
1.3.1 传感器的静态特性	9
1.3.2 传感器的动态特性	14
1.4 传感器的标定	18
1.4.1 静态标定	18
1.4.2 动态标定	19
1.5 传感器的选用	20
1.5.1 传感器的指标及选用原则	20
1.5.2 选用条件要求	22
思考题与习题一	22
第 2 章 温度检测	24
2.1 温标及测温方法	24
2.1.1 温标	24
2.1.2 温度检测的主要方法及分类	25
2.2 电阻式温度传感器	26
2.2.1 金属热电阻传感器	26
2.2.2 半导体热敏电阻传感器	29
2.3 薄膜热传感器	32
2.3.1 金属薄膜热电阻	32
2.3.2 多晶硅薄膜热电阻	34
2.4 热电偶传感器	36
2.4.1 热电偶测温原理	36
2.4.2 热电极材料及常用热电偶	40
2.4.3 热电偶的结构	42
2.4.4 热电偶冷端温度补偿	43
2.4.5 热电偶常用测温线路	46
2.5 辐射式温度传感器	48
2.5.1 辐射测温的物理基础	48
2.5.2 辐射测温方法	49
2.6 石英晶体测温传感器	52
2.7 光纤传感器	53
2.7.1 光纤传感原理	53
2.7.2 光纤温度传感器	54
2.8 集成数字温度传感器	57
2.8.1 集成温度传感器工作原理及 分类	57
2.8.2 电压型集成温度传感器 μ PC616A/C	57
2.8.3 电流型集成温度传感器 AD590	59
2.8.4 数字输出型传感器 DS18B20	60
思考题与习题二	64
第 3 章 压力检测	66
3.1 压力的概念及单位	66
3.2 应变式压力计	68
3.2.1 电阻应变效应	68
3.2.2 电阻应变片	69
3.2.3 电阻应变片的粘贴及温度补偿	71
3.2.4 转换电路	72
3.2.5 应变式压力传感器	74
3.3 薄膜应变片	78
3.3.1 薄膜应变片原理	79
3.3.2 薄膜应变片的制作及应用	80
3.4 压电式压力传感器	81

3.4.1 压电效应	81	4.4.1 超声波检测原理	130
3.4.2 压电材料	84	4.4.2 超声波传感器	132
3.4.3 测量电路	86	4.4.3 超声波传感器测物位	133
3.4.4 压电式压力及力传感器	89	4.4.4 超声波传感器测厚度	136
3.5 电容式压力传感器	91	4.5 核辐射物位与厚度检测	137
3.5.1 电容式传感器的工作原理	91	4.5.1 放射源和探测器	138
3.5.2 差动电容式传感器	93	4.5.2 测量电路	141
3.5.3 测量电路	94	4.5.3 核辐射厚度计	142
3.5.4 电容式压力传感器	98	4.5.4 核辐射液位计	143
3.6 霍尔式压力计	100	思考题与习题四	143
3.6.1 霍尔效应	100	第5章 流量检测	145
3.6.2 霍尔式压力计工作原理	101	5.1 流量的检测方法	145
3.6.3 霍尔式压力计的误差及补偿	102	5.1.1 节流差压法	145
3.6.4 霍尔式压力计	105	5.1.2 容积法	145
3.7 电子秤	105	5.1.3 速度法	146
3.7.1 电子秤的原理	106	5.1.4 流体阻力法	146
3.7.2 称重传感器原理	107	5.1.5 流体振动法	146
3.7.3 电子秤的应用	108	5.1.6 质量流量测量	146
3.8 集成压敏传感器	109	5.2 差压式流量计	147
3.8.1 硅电容式集成传感器	109	5.2.1 节流装置的工作原理	147
3.8.2 扩散硅压敏传感器	112	5.2.2 流量方程	148
3.9 数字式压力计	113	5.2.3 流量系数的确定	149
3.9.1 MPX 压力传感器	113	5.2.4 标准节流装置	149
3.9.2 测量电路	114	5.2.5 取压方式	151
思考题与习题三	116	5.2.6 差压计	152
第4章 物位及厚度检测	117	5.2.7 标准节流装置的安装要求	153
4.1 涡流传感器及厚度检测	117	5.2.8 差压式流量计的使用	156
4.1.1 涡流效应	117	5.3 容积式流量计	157
4.1.2 高频反射式涡流传感器	118	5.3.1 椭圆齿轮流量计	157
4.1.3 低频透射式涡流传感器	122	5.3.2 腰轮流量计	158
4.2 电容式物位计	123	5.3.3 旋转活塞式流量计	158
4.2.1 电容式物位计原理	123	5.3.4 刮板式流量计	158
4.2.2 电容式物位传感器	124	5.4 速度式流量计	160
4.2.3 电容式物位传感器应用举例	125	5.4.1 叶轮式流量计	160
4.3 微波物位及厚度检测	126	5.4.2 涡轮式流量计	161
4.3.1 微波传感器的组成及工作 原理	126	5.5 振动式流量计	162
4.3.2 微波传感器测物位与液位	127	5.5.1 漩涡流量计	163
4.3.3 微波传感器测厚度	129	5.5.2 旋进式旋涡流量计	165
4.4 超声波物位及厚度检测	130	5.6 电磁流量计	165
		5.6.1 电磁流量计的工作原理	165

5.6.2 电磁流量计的结构	166
5.7 质量流量的测量	167
5.7.1 推导式质量流量测量	167
5.7.2 直接式质量流量测量	169
思考题与习题五	170
第6章 位移、速度及加速度检测	172
6.1 电感式传感器	172
6.1.1 电感式传感器的工作原理及分类	172
6.1.2 电感式传感器输出特性	173
6.1.3 差动电感传感器原理	174
6.1.4 电感式位移计	176
6.2 差动变压器位移计	177
6.2.1 差动变压器工作原理及特性	178
6.2.2 差动变压器位移计的结构	179
6.2.3 差动变压器位移计的测量电路	179
6.3 电位器传感器	181
6.3.1 电位器传感器基本工作原理	181
6.3.2 电位器传感器输出特性	181
6.3.3 电位器传感器结构	182
6.3.4 电位计式位移传感器	183
6.4 电容式位移传感器	183
6.4.1 单电极的电容式位移传感器及其应用	183
6.4.2 变面积差动电容式位移传感器及其应用	184
6.5 光栅位移测试	186
6.5.1 光栅的基本结构	187
6.5.2 光栅传感器的工作原理	187
6.6 码盘式传感器	191
6.6.1 光电码盘式传感器的工作原理	191
6.6.2 光电码盘	192
6.6.3 光电码盘的应用	195
6.7 激光式传感器	196
6.7.1 激光的特性和稳频方法	196
6.7.2 激光干涉传感器测长原理	198
6.8 磁电感应式速度传感器	199
6.8.1 磁电感应式传感器工作原理及测量电路	199
6.8.2 磁电感应式传感器的灵敏度 K	201
6.8.3 磁电式速度传感器	203
6.9 光电式转速计	205
6.9.1 工作原理	205
6.9.2 基本测量电路	206
6.10 加速度传感器	206
6.10.1 压电式加速度传感器	206
6.10.2 电阻应变式加速度传感器	209
6.10.3 力平衡式加速度传感器	209
思考题与习题六	210
第7章 成分与含量的检测	211
7.1 气敏传感器	211
7.1.1 半导体气敏传感器	211
7.1.2 薄膜气敏传感器	214
7.1.3 红外线吸收式气敏传感器	216
7.2 湿敏传感器	221
7.2.1 湿敏传感器的分类与特性分析	221
7.2.2 干湿球湿度计	223
7.2.3 氯化锂湿敏电阻传感器	223
7.2.4 半导体陶瓷湿敏电阻传感器	224
7.2.5 湿度传感器的应用	225
7.3 液体浓度的检测	226
7.3.1 溶液的电导率与浓度的关系	226
7.3.2 电导检测器及测量电路	227
7.4 生物传感器	227
7.4.1 生物传感器的工作原理和分类	227
7.4.2 酶传感器	229
7.4.3 微生物传感器	230
思考题与习题七	232
第8章 光电检测	234
8.1 光电效应及光电器件	234
8.1.1 外光电效应及器件	234
8.1.2 内光电效应及器件	236
8.1.3 阻挡层光电效应及器件	238
8.2 光电耦合器件	241
8.2.1 光电耦合器件的结构和原理	242

8.2.2 光电耦合器的组合形式	242	9.4.4 多传感器目标识别的信息融合方法	283
8.2.3 光电耦合器的特性曲线	243	9.4.5 信息融合技术的应用	285
8.2.4 光电耦合器的应用	243	思考题与习题九	287
8.3 电荷耦合器件(CCD)	244	第10章 检测装置的补偿及抗干扰技术	289
8.3.1 CCD的基本工作原理	244	10.1 非线性补偿技术	289
8.3.2 CCD器件	247	10.1.1 模拟线性化	289
8.4 图像传感器及其应用	250	10.1.2 数字线性化	294
8.4.1 图像的获取技术	250	10.2 温度补偿技术	296
8.4.2 图像传感器的应用	254	10.2.1 温度补偿原理	296
思考题与习题八	256	10.2.2 温度补偿方式	297
第9章 自动检测系统及其组成	257	10.2.3 温度补偿方法	298
9.1 自动检测系统的基本组成	257	10.3 干扰的类型及产生	299
9.1.1 自动检测系统的基本结构	257	10.3.1 干扰的类型	299
9.1.2 自动检测系统的特点	259	10.3.2 干扰的产生	301
9.1.3 自动检测系统的工作流程	260	10.3.3 信噪比和干扰叠加	301
9.1.4 自动检测系统的主要器件简介	260	10.4 干扰信号的耦合方式	302
9.2 现代测控总线技术	263	10.4.1 静电电容耦合	302
9.2.1 测控总线的类型与标准	263	10.4.2 电磁耦合	302
9.2.2 GPIB总线	264	10.4.3 共阻抗耦合	303
9.2.3 USB总线	267	10.4.4 漏电流耦合	304
9.2.4 VXI总线	269	10.4.5 电子测量装置的两种干扰	304
9.3 虚拟仪器技术	272	10.4.6 共模干扰抑制比	306
9.3.1 虚拟仪器概述	272	10.5 常用的抑制干扰措施	306
9.3.2 虚拟仪器的构成	273	10.5.1 屏蔽技术	306
9.3.3 虚拟仪器在测控系统中的应用	275	10.5.2 接地技术	307
9.4 多传感器信息融合技术	275	10.5.3 浮置	310
9.4.1 多传感器信息融合的定义	276	思考题与习题十	310
9.4.2 多传感器信息融合的特点	277	参考文献	312
9.4.3 多传感器信息融合的分类	278		



第 1 章 检测技术的基础知识

1.1 检测技术的基本概念

1.1.1 检测技术

检测技术是以研究自动检测系统中的信息提取、信息转换以及信息处理的理论和技术为主要内容的一门应用技术学科。

广义地讲,检测技术是自动化技术四个支柱之一。从信息科学的角度考察,检测技术任务为:寻找与自然信息具有对应关系的种种表现形式的信号,以及确定二者间的定性、定量关系;从反映某一信息的多种信号表现中挑选出在所处条件下最为合适的表现形式,以及寻求最佳的采集、变换、处理、传输、存储、显示等的方法和相应的设备。

信息采集是指从自然界诸多被测量(物理量、化学量与生物量等)中提取有用的信息。

信息变换是将所提取出的有用信息进行电量形式的幅值、功率等的转换。

信息处理的任务,视输出环节的需要,可将变换后的电信号进行数值运算(求均值、极值等)、模拟量-数字量变换等处理。

信息传输的任务是在排除干扰的情况下,经济地、准确无误地把信息进行远、近距离的传递。

虽然检测技术服务的领域非常广泛,但是从这门课程的研究内容来看,不外乎是传感器技术、误差理论、测试计量技术、抗干扰技术以及电量间互相转换的技术等。提高自动检测系统的检测分辨率、精度、稳定性和可靠性是本门技术的研究课题和方向。

自动检测技术已成为发达国家最重要的热门技术之一,它可以给人们带来巨大的经济效益并促进科学技术飞跃发展,因此在国民经济中占有及其重要的地位和作用。

1.1.2 自动检测系统

自动检测系统是自动测量、自动计量、自动保护、自动诊断、自动信号处理等诸系统的总称,它的组成如图 1.1.1 所示。在上述诸系统中,都包含被测量、敏感元件和电子测量电路和输出单元,它们间的区别仅在于输出单元。如果输出单元是显示器或记录器,则该系统是自动测量系统;如果输出单元是计数器或累加器,则该系统是自动计量系统;如果输出单元是报警器,则该系统是自动保护系统或自动诊断系统;如果输出单元是处理电路,则该系统是部分数据分析系统、自动管理系统或自动控制系统。

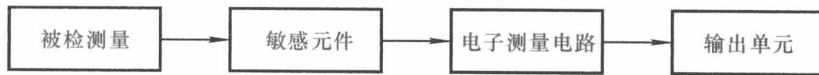


图 1.1.1 自动检测系统框图

1.1.3 传感器

1. 传感器

传感器是一种以一定的精确度把被测量转换为与之有确定对应关系的、便于应用的某种物理量的测量装置。

这一概念包含以下四个方面的含义：

- ① 传感器是测量装置,能完成信号获取任务。
- ② 它的输入量是某一被测量,可能是物理量,也可能是化学量、生物量等。
- ③ 它的输出量是某种物理量,这种量要便于传输、转换、处理、显示等,这种量可以是气、光、电量,但主要是电量。
- ④ 输出输入有对应关系,且应有一定的精确度。

2. 传感器的组成

传感器的功用是一感二传,即感受被测信息,并传送出去。传感器一般由敏感元件、转换元件、转换电路三部分组成,如图 1.1.2 所示。

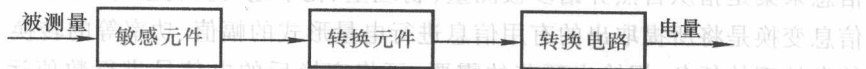


图 1.1.2 传感器组成框图

(1) 敏感元件

它是直接感受被测量,并且输出与被测量成确定关系的某一物理量的元件。

(2) 转换元件

敏感元件的输出就是它的输入,它把输入量转换成电参数。

(3) 转换电路

上述电路参数接入转换电路,便可转换成电量输出。

实际上,有些传感器很简单,有些则较复杂,也有些是带反馈的闭环系统。

最简单的传感器由一个敏感元件(兼转换元件)组成,它感受被测量时直接输出电量,如热电偶。有些传感器由敏感元件和转换元件组成,没有转换电路,如压电式加速度传感器,其中质量块是敏感元件,压电片是转换元件。有些传感器转换元件不止一个,要经过若干次转换。

由于传感器空间限制等其他原因,转换电路常装入箱柜中。然而,因为不少传感器要通过转换电路之后才能输出电量信号,从而决定了转换电路是传感器的组成部分之一。

3. 传感器的分类

目前传感器主要有四种分类方法:根据传感器工作原理分类法;根据传感器能量转换情况分类法;根据传感器转换原理分类法和按照传感器的使用分类法。

表 1.1.1 按传感器转换原理分类,给出了各类型的名称及典型应用。

表 1.1.1 传感器分类表

传感器分类表		转换原理	传感器名称	典型应用
转换形式	中间参量			
电参数	电阻	移动电位器触点改变电阻	电位器传感器	位移
		改变电阻丝或电阻片的尺寸	电阻丝应变传感器、半导体应变传感器	微应用、力、负荷
		利用电阻的温度效应(电阻温度系数)	热丝传感器	气流速度、液体流量
			电阻温度传感器	温度、辐射热
			热敏电阻传感器	温度
		利用电阻的光敏效应	光敏电阻传感器	光强
	利用电阻的湿度效应	湿敏电阻传感器	湿度	
	电容	改变电容的几何尺寸	电容传感器	力、压力、负荷、位移
		改变电容的介电常数		液位、厚度、含水量
	电感	改变磁路的几何尺寸、导磁体位置	电感传感器	位移
		涡流去磁效应	涡流传感器	位移、厚度、硬度
		利用压磁效应	压磁传感器	力、压力
		改变互感	差动传感器	位移
			自整角机	位移
			旋转变压器	位移
	频率	改变谐振回路中固有参数	振弦式传感器	压力、力
			振筒式传感器	气压
			石英谐振传感器	力、温度等
	计数	利用莫尔条纹	光栅	大角位移、大直线位移
		改变互感	感应同步器	
利用拾磁信号		磁栅		
数字	利用数字编码	角度编码器	大角位移	
电量	电动势	温差电动势	热电偶	温度、热流
		霍尔效应	霍尔传感器	磁通、电流
		电磁感应	磁电传感器	速度、加速度
		光电效应	光电池	光强
	电荷	辐射电离	电离室	离子计数、放射性强度
		压电效应	压电传感器	动态力、加速度

1.2 测量误差及修正

人们对客观世界的认识总是带有一定的局限性,与客观事物的本来面貌存在差异。测量是在一定的物质基础上进行的。因此,人们在进行各种实际测量时,尽管被测量在理论上存在真值,但由于客观实验条件的限制,被测量的真值实际上是测不到的,因而测量结果只能是真值的近似值,这样就不可避免地存在着测量误差。

1.2.1 误差的基本概念及表达方式

1. 绝对误差

绝对误差是示值与被测量真值之间的差值。设被测量的真值为 L_0 , 测量值或示值为 x , 则绝对误差 Δx 为

$$\Delta x = x - L_0 \quad (1.2.1)$$

由于真值 L_0 一般来说是未知的,所以在实际应用时,常用实际真值 L 来代表真值 L_0 , 并采用高一标准仪器的示值作为实际真值。故通常用

$$\Delta x = x - L \quad (1.2.2)$$

来代表绝对误差。

在实际测量中,还经常用到修正值这个名称,它的绝对值与 Δx 相等但符号相反,用符号 c 表示,即

$$c = -\Delta x = L - x$$

修正值给出的方式不一定是具体的数值,也可以是曲线、公式或数表。在某些智能化仪表中,修正值预先被编制成有关程序,存储于仪表中,所得测量结果已自动对误差进行了修正。

2. 相对误差

绝对误差的表示方法有不足之处,因为它不能确切地反映出测量的准确程度。例如测量两个电阻,其中 $R_1 = 10 \Omega$, 误差 $\Delta R_1 = 0.1 \Omega$; $R_2 = 1000 \Omega$, 误差 $\Delta R_2 = 1 \Omega$ 。尽管 $\Delta R_1 < \Delta R_2$, 但不能由此得出测量电阻 R_1 比测量电阻 R_2 准确程度高的结论。因为 $\Delta R_1 = 0.1 \Omega$ 相对于 10Ω 来讲是 1% , 而 $\Delta R_2 = 1 \Omega$, 相对于 1000Ω 来讲是 0.1% , 所得结论是 R_2 的测量比 R_1 的测量更准确。因此,为反映测量质量的高低,需引出相对误差的概念,由绝对误差与真值或实际值之比表示相对误差 δ , 即

$$\delta = \frac{\Delta x}{L_0} \times 100\% \approx \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1.2.3)$$

相对误差通常用于衡量测量的准确程度,相对误差越小,准确程度越高。

3. 引用误差

引用误差是一种实用方便的相对误差,常在多挡和连续刻度的仪器仪表中应用。这类仪器仪表测量范围不是一个点,而是一个量程,这时按式(1.2.3)计算,由于分母是变量,随被测量的变化而变化,所以计算很麻烦。为了计算和划分仪表精度等级的方便,通常采用引