



21世纪高职高专规划教材·机械系列



# 传感器与 检测技术

穆亚辉 主 编

杨一平 张亮亮 副主编

国防科技大学出版社

21 世纪高职高专规划教材

机械系列

# 传感器与检测技术

穆亚辉 主 编

杨一平 张亮亮 副主编

国防科技大学出版社

**【内容简介】**本书是为高职高专机械类专业编写的教材。

本书介绍了检测技术基础知识,电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、压电式传感器、霍尔传感器、热电偶传感器、光电式传感器和新型传感器的结构和工作原理,检测装置的信号处理及检测装置的干扰抑制技术等内容。本书整体结构紧凑、内容连贯,通过理论结合实际讲解和每章的技能实训,使学生能很好地掌握所学知识。

本书适合高职高专教学使用,也可供相关技术人员参考。

#### **图书在版编目(CIP)数据**

传感器与检测技术/穆亚辉编著. —长沙:国防科技大学出版社,2010.2

ISBN 978-7-81099-738-6

I. 传… II. 穆… 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(2010)第 013451 号

出版发行:国防科技大学出版社

网 址: <http://www.gfkdcbs.com>

责任编辑:徐 飞 特约编辑:马子涵

印 刷 者:北京振兴源印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:13.75

字 数:343 千字

版 次:2010 年 2 月第 1 版

印 次:2010 年 2 月第 1 次印刷

定 价:22.00 元

## 21 世纪高职高专规划教材·机械系列

# 编审委员会

**主 任** 李文珍 清华大学机械工程系  
中国铸造学会学术工作委员会委员

**副 主 任** 冯国明 西安交通大学机械工程学院  
中国工程图学会全国理事  
霍忠义 长安大学理学院

**委 员** (以姓氏笔画为序)

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王 艳 | 尹 楠 | 吕 勇 | 朱 磊 | 刘良瑞 |
| 刘品潇 | 吴志强 | 苏 辉 | 杨一平 | 李河水 |
| 李爱敏 | 连晓峰 | 辛会珍 | 陈建刚 | 苟向锋 |
| 苟维杰 | 赵晓东 | 贾 敏 | 浦艳敏 | 陶春生 |
| 常建啟 | 鲁昌国 | 穆亚辉 |     |     |

**课程审定** 周 岩 哈尔滨工业大学机电工程学院  
王 娜 兰州交通大学机电工程学院

**内容审定** 汪 净 兰州交通大学机电工程学院  
陈智刚 江西现代职业技术学院机械学院  
宗 琳 沈阳化工学院机械工程学院

# 出版说明

高职高专教育作为我国高等教育的重要组成部分,承担着培养高素质技术、技能型人才的重任。近年来,在国家和社会的支持下,我国的高职高专教育取得了不小的成就,但随着我国经济的腾飞,高技能人才的缺乏越来越成为影响我国经济进一步快速健康发展的瓶颈。这一现状对于我国高职高专教育的改革和发展而言,既是挑战,更是机遇。

要加快高职高专教育改革的步伐,就必须对课程体系和教学模式等问题进行探索。在这个过程中,教材的建设与改革无疑起着至关重要的基础性作用,高质量的教材是培养高素质人才的保证。高职高专教材作为体现高职高专教育特色的知识载体和教学的基本工具,直接关系到高职高专教育能否为社会培养并输送符合要求的高技能人才。

为促进高职高专教育的发展,加强教材建设,教育部在《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》中,提出了“重点建设好3 000种左右国家规划教材”的建议和要求,并对高职高专教材的修订提出了一定的标准。为了顺应当前我国高职高专教育的发展潮流,推动高职高专教材的建设,我们精心组织了一批具有丰富教学和科研经验的人员成立了21世纪高职高专规划教材编审委员会。

编审委员会依据教育部高教司制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》,调研了百余所具有代表性的高等职业技术学院和高等专科学校,广泛而深入地了解高职高专的专业和课程设置,系统地研究了课程的体系结构,同时充分汲取各院校在探索培养应用型人才方面取得的成功经验,并在教材出版的各个环节设置专业的审定人员进行严格审查,从而确保了整套教材“突出行业需求,突出职业的核心能力”的特色。

本套教材的编写遵循以下原则:

(1) 成立教材编审委员会,由编审委员会进行教材的规划与评审。

(2) 按照人才培养方案以及教学大纲的需要,严格遵循高职高专院校各学科的专业规范,同时最大程度地体现高职高专教育的特点及时代发展的要求。因此,本套教材非常注重培养学生的实践技能,力避传统教材“全而深”的教学模式,将“教、学、做”有机地融为一体,在教给学生知识的同时,强化了对学生实际操作能力的培养。

(3) 教材的定位更加强调“以就业为导向”,因此也更为科学。教育部对我国的高职高专教育提出了“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则。根据这一原则,本套教材在编写过程中,力求从实际应用的需要出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论灌输,充分体现“以行业为导向,以能力为本,以学生为中心”的风格,从而使本套教材更具实用性和前瞻性,与就业市场结合也更为紧密。

(4) 采用“以案例导入教学”的编写模式。本套教材力图突破陈旧的教育理念,在讲解的过程中,援引大量鲜明实用的案例进行分析,紧密结合实际,以达到编写实训教材的

目标。这些精心设计的案例不但可以方便教师授课,同时又可以启发学生思考,加快对学生实践能力的培养,改革人才的培养模式。

本套教材涵盖了公共基础课系列、财经管理系列、物流管理系列、电子商务系列、计算机系列、电子信息系列、机械系列、汽车系列和化学化工系列的主要课程。目前已经规划的教材系列名称如下:

#### 财经管理系列

- 财经管理基础课
- 工商管理类
- 财务会计类
- 经济贸易类
- 财政金融类
- 市场营销类

#### 机械系列

- 机械基础课
- 机械设计与制造类
- 数控技术类
- 模具设计与制造类
- 机电一体化类

#### 计算机系列

- 公共基础课
- 计算机专业基础课
- 计算机网络技术类
- 计算机软件技术类
- 计算机应用技术类

#### 公共基础课系列

#### 物流管理系列

#### 电子商务系列

#### 电子信息系列

#### 化学化工系列

#### 汽车系列

对于教材出版及使用过程中遇到的各种问题,欢迎您通过电子邮件及时与我们取得联系(联系方式详见“教师服务登记表”)。同时,我们希望有更多经验丰富的教师加入到我们的行列当中,编写出更多符合高职高专教学需要的高质量教材,为我国的高职高专教育做出积极的贡献。

21 世纪高职高专规划教材编审委员会

# 序

21 世纪是科技和经济高速发展的重要时期,随着我国经济持续快速健康的发展,各行各业对高技能专业型人才的需求量迅速增加,对人才素质的要求也越来越高。高职高专教育作为我国高等教育的重要组成部分,在加快培养高技能专业型人才方面发挥着重要的作用。

与国外相比,我国高职高专教育起步时间短,这种状况与我国经济发展对人才大量需求的现状是很不协调的。因此,必须加快高职高专教育的发展步伐,提高应用型人才的培养水平。

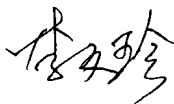
高职高专教育水平的提高,离不开课程体系的完善。相关领域人才的培养需要一批兼具前瞻性和实践性的优秀教材。教育部高教司针对高职高专教育人才培养模式提出了“以就业为导向”的指导思想,这也正是本套高职高专教材的编写宗旨和依据。

如何使高职高专教材既突出行业的需求特点,又突出职业的核心能力?这是教材在编写过程中必须首先解决的问题。本系列教材编委会深入研究了高职高专教育的课程和专业设置,并对以往的教材进行了详细分析和认真考察,力图在不破坏教材系统性的前提下,加强教材的创新和实践性内容,从而确保学生在学习专业知识的同时多动手,增强自己的实践能力,以加强“知”与“行”的结合。

本系列教材根据高职高专教育的要求,注重学生能力的培养,使学生在理论学习的同时更主要的是理论结合实践。本系列教材设置了“本章小结”和“习题”模块,方便学生学习并掌握所学知识;而且根据科目的不同配有实践环节和实验环节等。通过这些栏目的设计,使本系列教材的内容更加丰富、条理更为清晰,为老师的讲授和学生的学习都提供了很大的便利。

经过辛勤努力,本系列教材终于顺利出版了。我们相信本系列教材一定能够很好地适应现代高职高专教育的教学需求,也一定能够在高职高专教育机械课程的改革中发挥积极的推动作用,为社会培养更多优秀的应用型人才。

清华大学机械工程系材料加工技术研究所副所长  
中国铸造学会学术工作委员会委员



# 前 言

随着计算机辅助设计技术、微电子技术、光纤技术和信息技术的发展,获取各种信息的传感器技术已经成为各个应用领域,特别是自动检测、自动控制领域中不可缺少的重要技术,成为信息社会赖以生存和发展的技术基础。因此,在当今信息时代掌握传感器与检测技术尤为重要。

要及时正确地获取各种信息,解决工程、生产及科研中遇到的各种检测问题,就必须了解和熟悉传感器,同时还要学会合理选择和应用各种传感器。本书以典型的传统传感器为主,介绍了传感器的工作原理、结构特点、测量转换电路以及传感器在工业生产、日常生活中的实际应用,同时还增加了对新型传感器的介绍。

本书在编写过程中始终坚持两项原则:一是精选内容,选择一些实际工程中必然要用到的内容,不选过时的内容;二是突出技术的实际运用,加强技能实训方面的内容以及应用案例的介绍,省去烦琐的理论分析。全书共分11章,第1章介绍了检测技术的基础知识;第2~8章分别介绍了电阻式、电感式、电容式、压电式、霍尔、热电偶、光电式传感器的工作原理、测量转换电路及应用;第9章介绍了两种新型传感器;第10章介绍了检测装置的信号处理;第11章介绍了检测装置的干扰抑制技术。

本书由许昌职业技术学院穆亚辉任主编,杨一平、张亮亮任副主编。其中第1~4章由穆亚辉编写,第5~8章由张亮亮编写,第9~11章由杨一平编写。全书由穆亚辉统稿。

本书在编写过程中参考了许多专家、学者的资料,得到了宁玉伟副教授、蒋万翔等的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

本书可作为高职高专机电类、仪表类等专业的教材,也可供有关专业技术人员参考,或作为自学用书。

鉴于传感器与检测技术发展较快、知识面广,加之编者水平有限,书中难免有疏漏与不足,恳请各位读者批评指正。

编 者

# 目 录

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| <b>第 1 章 检测技术基础知识 .....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1 测量概述 .....               | 1         |
| 1.1.1 测量的定义 .....            | 1         |
| 1.1.2 测量方法的分类 .....          | 2         |
| 1.2 测量误差及其分类 .....           | 3         |
| 1.2.1 测量误差的概念 .....          | 3         |
| 1.2.2 测量误差的分类 .....          | 3         |
| 1.3 传感器基本知识 .....            | 7         |
| 1.3.1 传感器的概念 .....           | 7         |
| 1.3.2 传感器的组成 .....           | 7         |
| 1.3.3 传感器的分类 .....           | 9         |
| 1.3.4 传感器的特性 .....           | 9         |
| 1.4 检测系统的组成 .....            | 15        |
| 1.5 技能实训 .....               | 16        |
| 本章小结 .....                   | 17        |
| 习题 1 .....                   | 17        |
| <b>第 2 章 电阻式传感器 .....</b>    | <b>19</b> |
| 2.1 电阻应变式传感器 .....           | 19        |
| 2.1.1 电阻应变式传感器的工作原理 .....    | 19        |
| 2.1.2 电阻应变片的类型结构、粘贴与特性 ..... | 20        |
| 2.1.3 电阻应变式传感器的测量转换电路 .....  | 24        |
| 2.2 热电阻式传感器 .....            | 26        |
| 2.2.1 金属热电阻式传感器 .....        | 26        |
| 2.2.2 半导体热敏电阻式传感器 .....      | 28        |
| 2.3 气敏电阻式传感器 .....           | 30        |
| 2.3.1 气敏电阻式传感器的工作原理 .....    | 30        |
| 2.3.2 气敏电阻式传感器的结构和分类 .....   | 30        |
| 2.4 湿敏电阻式传感器 .....           | 32        |
| 2.4.1 大气湿度与露点 .....          | 33        |
| 2.4.2 湿敏电阻式传感器的分类 .....      | 34        |
| 2.5 电阻式传感器的应用 .....          | 36        |
| 2.5.1 电阻应变式传感器的应用 .....      | 36        |

|              |                           |           |
|--------------|---------------------------|-----------|
| 2.5.2        | 热电阻式传感器和热敏电阻式传感器的应用 ..... | 39        |
| 2.5.3        | 气敏电阻式传感器的应用 .....         | 41        |
| 2.5.4        | 湿敏电阻式传感器的应用 .....         | 42        |
| 2.6          | 技能实训 .....                | 43        |
|              | 本章小结 .....                | 44        |
|              | 习题 2 .....                | 45        |
| <b>第 3 章</b> | <b>电感式传感器 .....</b>       | <b>46</b> |
| 3.1          | 自感式传感器 .....              | 46        |
| 3.1.1        | 自感式传感器的工作原理 .....         | 46        |
| 3.1.2        | 自感式传感器的测量转换电路 .....       | 49        |
| 3.2          | 差动变压器式传感器 .....           | 51        |
| 3.2.1        | 差动变压器式传感器的工作原理 .....      | 51        |
| 3.2.2        | 差动变压器式传感器的测量转换电路 .....    | 52        |
| 3.3          | 电涡流式传感器 .....             | 54        |
| 3.3.1        | 电涡流效应 .....               | 54        |
| 3.3.2        | 电涡流式传感器的工作原理 .....        | 55        |
| 3.3.3        | 电涡流式传感器的测量转换电路 .....      | 56        |
| 3.4          | 电感式传感器的应用 .....           | 58        |
| 3.4.1        | 自感式传感器的应用 .....           | 58        |
| 3.4.2        | 差动变压器式传感器的应用 .....        | 60        |
| 3.4.3        | 电涡流式传感器的应用 .....          | 61        |
| 3.5          | 技能实训 .....                | 63        |
|              | 本章小结 .....                | 65        |
|              | 习题 3 .....                | 65        |
| <b>第 4 章</b> | <b>电容式传感器 .....</b>       | <b>66</b> |
| 4.1          | 电容式传感器的工作原理 .....         | 66        |
| 4.1.1        | 变面积式电容传感器 .....           | 67        |
| 4.1.2        | 变极距式电容传感器 .....           | 68        |
| 4.1.3        | 变介电常数式电容传感器 .....         | 69        |
| 4.2          | 电容式传感器的测量转换电路 .....       | 70        |
| 4.2.1        | 桥式电路 .....                | 70        |
| 4.2.2        | 调频电路 .....                | 71        |
| 4.2.3        | 运算放大器电路 .....             | 71        |
| 4.2.4        | 二极管双 T 形电桥电路 .....        | 72        |
| 4.3          | 电容式传感器的应用 .....           | 73        |
| 4.3.1        | 电容测厚仪 .....               | 73        |
| 4.3.2        | 电容式压力传感器 .....            | 73        |
| 4.3.3        | 电容式加速度传感器 .....           | 74        |

|              |                     |           |
|--------------|---------------------|-----------|
| 4.3.4        | 油箱油量检测系统 .....      | 75        |
| 4.3.5        | 电容式接近开关 .....       | 76        |
| 4.4          | 技能实训 .....          | 77        |
|              | 本章小结 .....          | 78        |
|              | 习题 4 .....          | 79        |
| <b>第 5 章</b> | <b>压电式传感器 .....</b> | <b>80</b> |
| 5.1          | 压电式传感器的工作原理 .....   | 80        |
| 5.1.1        | 压电效应 .....          | 80        |
| 5.1.2        | 压电材料 .....          | 81        |
| 5.2          | 压电式传感器的测量转换电路 ..... | 83        |
| 5.2.1        | 压电元件的等效电路 .....     | 83        |
| 5.2.2        | 压电元件的连接方式 .....     | 84        |
| 5.2.3        | 电荷放大器 .....         | 84        |
| 5.2.4        | 电压放大器 .....         | 85        |
| 5.3          | 压电式传感器的应用 .....     | 86        |
| 5.3.1        | 压电式加速度传感器 .....     | 86        |
| 5.3.2        | 压电式测力传感器 .....      | 88        |
| 5.3.3        | 压电式血压传感器 .....      | 89        |
| 5.3.4        | 压电式流量计 .....        | 89        |
| 5.3.5        | 高分子压电材料的应用 .....    | 89        |
| 5.3.6        | 集成压电式传感器 .....      | 90        |
| 5.4          | 技能实训 .....          | 91        |
|              | 本章小结 .....          | 92        |
|              | 习题 5 .....          | 92        |
| <b>第 6 章</b> | <b>霍尔传感器 .....</b>  | <b>93</b> |
| 6.1          | 霍尔传感器的工作原理 .....    | 93        |
| 6.1.1        | 霍尔效应 .....          | 93        |
| 6.1.2        | 霍尔元件的主要参数 .....     | 94        |
| 6.2          | 霍尔传感器的测量转换电路 .....  | 95        |
| 6.2.1        | 霍尔传感器的基本电路 .....    | 95        |
| 6.2.2        | 霍尔传感器的集成电路 .....    | 96        |
| 6.2.3        | 基本误差及补偿 .....       | 98        |
| 6.3          | 霍尔传感器的应用 .....      | 100       |
| 6.3.1        | 霍尔位移传感器 .....       | 100       |
| 6.3.2        | 霍尔压力传感器 .....       | 100       |
| 6.3.3        | 霍尔加速度传感器 .....      | 101       |
| 6.3.4        | 霍尔转速传感器 .....       | 101       |
| 6.3.5        | 霍尔计数器 .....         | 102       |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 6.4 技能实训 .....            | 102        |
| 本章小结 .....                | 103        |
| 习题 6 .....                | 104        |
| <b>第 7 章 热电偶传感器 .....</b> | <b>105</b> |
| 7.1 热电偶传感器的工作原理 .....     | 105        |
| 7.1.1 热电效应 .....          | 105        |
| 7.1.2 热电偶的基本定律 .....      | 106        |
| 7.2 热电偶的材料、结构及种类 .....    | 108        |
| 7.2.1 热电偶的材料 .....        | 108        |
| 7.2.2 热电偶的结构及种类 .....     | 108        |
| 7.3 热电偶的冷端补偿 .....        | 110        |
| 7.3.1 补偿导线法 .....         | 110        |
| 7.3.2 冷端恒温法 .....         | 111        |
| 7.3.3 计算修正法 .....         | 111        |
| 7.3.4 电桥补偿法 .....         | 112        |
| 7.4 技能实训 .....            | 113        |
| 本章小结 .....                | 114        |
| 习题 7 .....                | 114        |
| <b>第 8 章 光电式传感器 .....</b> | <b>116</b> |
| 8.1 光电效应与光电元件 .....       | 116        |
| 8.1.1 光电效应 .....          | 116        |
| 8.1.2 光电元件 .....          | 117        |
| 8.2 光电元件的基本应用电路 .....     | 122        |
| 8.2.1 光敏电阻的基本应用电路 .....   | 122        |
| 8.2.2 光敏二极管的基本应用电路 .....  | 122        |
| 8.2.3 光敏三极管的基本应用电路 .....  | 123        |
| 8.3 光电式传感器的应用 .....       | 124        |
| 8.3.1 被测物体发光的应用实例 .....   | 125        |
| 8.3.2 被测物体透光的应用实例 .....   | 127        |
| 8.3.3 被测物体反光的应用实例 .....   | 127        |
| 8.3.4 被测物体遮光的应用实例 .....   | 128        |
| 8.4 技能实训 .....            | 129        |
| 本章小结 .....                | 130        |
| 习题 8 .....                | 130        |
| <b>第 9 章 新型传感器 .....</b>  | <b>131</b> |
| 9.1 光纤传感器及其应用 .....       | 131        |
| 9.1.1 光纤的基本概念 .....       | 131        |

|               |                          |            |
|---------------|--------------------------|------------|
| 9.1.2         | 光纤传感器的结构原理 .....         | 133        |
| 9.1.3         | 光纤传感器的分类 .....           | 133        |
| 9.1.4         | 光纤传感器的应用 .....           | 135        |
| 9.2           | 超声波传感器及其应用 .....         | 138        |
| 9.2.1         | 超声波的物理性质 .....           | 138        |
| 9.2.2         | 超声波传感器的应用 .....          | 139        |
| 9.3           | 技能实训 .....               | 142        |
|               | 本章小结 .....               | 143        |
|               | 习题 9 .....               | 143        |
| <b>第 10 章</b> | <b>检测装置的信号处理 .....</b>   | <b>145</b> |
| 10.1          | 调制与解调 .....              | 146        |
| 10.1.1        | 调制与解调的概念 .....           | 146        |
| 10.1.2        | 幅值调制与幅值解调 .....          | 147        |
| 10.1.3        | 频率调制与频率解调 .....          | 150        |
| 10.2          | 信号的放大 .....              | 152        |
| 10.2.1        | 比例放大器 .....              | 152        |
| 10.2.2        | 电桥放大器 .....              | 155        |
| 10.2.3        | 线性放大器 .....              | 156        |
| 10.2.4        | 交流电压同相放大器 .....          | 156        |
| 10.2.5        | 测量放大器 .....              | 157        |
| 10.2.6        | 程控增益放大器 .....            | 158        |
| 10.2.7        | 隔离放大器 .....              | 159        |
| 10.3          | 信号在传输过程中的转换技术 .....      | 159        |
| 10.3.1        | A/D 转换 .....             | 160        |
| 10.3.2        | D/A 转换 .....             | 167        |
| 10.4          | 信号的非线性校正 .....           | 169        |
| 10.4.1        | 校正曲线的求取 .....            | 170        |
| 10.4.2        | 模拟量的非线性校正 .....          | 170        |
| 10.4.3        | 数字量的非线性校正 .....          | 171        |
| 10.5          | 技能实训 .....               | 172        |
|               | 本章小结 .....               | 174        |
|               | 习题 10 .....              | 174        |
| <b>第 11 章</b> | <b>检测装置的干扰抑制技术 .....</b> | <b>175</b> |
| 11.1          | 干扰的产生和来源 .....           | 175        |
| 11.1.1        | 干扰和噪声的概念 .....           | 175        |
| 11.1.2        | 干扰的来源 .....              | 176        |
| 11.2          | 电磁干扰概述 .....             | 180        |
| 11.2.1        | 电磁干扰的概念 .....            | 180        |

|        |                    |     |
|--------|--------------------|-----|
| 11.2.2 | 电磁干扰的分类 .....      | 180 |
| 11.2.3 | 电磁干扰的产生 .....      | 181 |
| 11.3   | 差模干扰和共模干扰 .....    | 184 |
| 11.3.1 | 差模干扰 .....         | 184 |
| 11.3.2 | 共模干扰 .....         | 185 |
| 11.4   | 抗干扰的措施 .....       | 186 |
| 11.4.1 | 屏蔽 .....           | 186 |
| 11.4.2 | 隔离 .....           | 188 |
| 11.4.3 | 滤波 .....           | 190 |
| 11.4.4 | 接地 .....           | 191 |
| 11.4.5 | 长线传输干扰的抑制 .....    | 195 |
| 11.4.6 | 其他常用的抗干扰措施 .....   | 196 |
| 11.5   | 抗干扰措施的设计 .....     | 197 |
| 11.5.1 | 供电系统的抗干扰设计 .....   | 197 |
| 11.5.2 | 信号传输通道的抗干扰措施 ..... | 198 |
| 11.5.3 | 局部产生误差的消除 .....    | 198 |
| 11.5.4 | 接地问题的处理办法 .....    | 198 |
| 11.5.5 | 软件滤波 .....         | 199 |
| 11.6   | 技能实训 .....         | 200 |
|        | 本章小结 .....         | 201 |
|        | 习题 11 .....        | 201 |
|        | <b>参考文献</b> .....  | 202 |

# 第 1 章 检测技术基础知识

科学技术的发展与检测技术的发展是密切相关的,现代化的检测手段所具有的水平在很大程度上决定了科学技术的发展水平。检测技术达到的水平越高,科学技术的水平也就越高。另一方面,科学技术的进步又为检测技术提供了新的发展方向和有力保证。

检测技术就是利用传感器,将生产科研需要的电量和非电量信息转化成为易于测量、传输、显示和处理的电信号的过程。

传感器处于研究对象与测控系统的接口位置,是感知、获取与检测信息的窗口。在一切科学实验和生产过程中,特别是在自动检测和自动控制系统中获取的信息,都要通过传感器转换为易于传输与处理的电信号。

为了更好地掌握传感器与检测技术,需要对测量的基本概念、测量误差、传感器特性等方面的理论以及工程方法进行学习和研究。只有了解和掌握了这些基本理论,才能更有效地完成检测任务。

## 1.1 测量概述

在工程实践和科学实验中要获取检测对象信息的大小,即被测量的大小,就必须正确、及时地掌握各种信息。因此,信息采集的主要含义就是测量以及取得结果。

在工程中,需要将传感器与多台仪表组合在一起,才能完成信号的检测,这样便形成了测量系统。随着计算机技术及信息处理技术的发展,测量系统所涉及的内容不断得到充实。

### 1.1.1 测量的定义

测量是检测技术的重要组成部分,是以确定被测量值为目的的一系列操作。测量能够帮助人们获得对客观事物定性的认识及定量的信息,寻找并发现客观事物的发展规律。在工业现场,测量更进一步的目的是利用测量所获得的信息来控制某一生产过程,通常这种控制作用是检测系统紧密相关的。

测量过程实质上是一个比较过程,是一种把物理参数转换成具有意义的数字的过程。也就是说,测量是将被测量与同种性质的标准量进行比较,从而确定被测量相对于标准量的倍数。其数学表达式为

$$x = Ax_0 \quad (1-1)$$

式中, $x$  为被测量; $A$  为测量值; $x_0$  为标准量。

式(1-1)称为测量的基本方程式。它说明测量值  $A$  与标准量  $x_0$  有关, $x_0$  越小, $A$  越大。因此,一个完整的测量结果应包含  $A$  和  $x_0$  两部分内容。

### 1.1.2 测量方法的分类

针对不同测量任务进行具体分析以找出切实可行的测量方法,这对测量工作来说是十分重要的。从不同角度测量方法有不同的分类。

#### 1. 按测量过程的特点分

测量方法按测量过程的特点可分为直接测量法、间接测量法和组合测量法。

##### 1) 直接测量法

直接测量法是指在使用仪表或传感器进行测量时,不需要经过任何运算就能直接从仪表或传感器上读出测量结果的方法,如用电位差计测电动势等。直接测量法的优点是测量过程简单、迅速,缺点是测量精度不高。

##### 2) 间接测量法

间接测量法是指用直接测量法测得与被测量有确切函数关系的一些物理量,然后通过计算求得被测量的方法,如通过测量电压  $U$  和测量电流  $I$  求功率  $P$  等。间接测量法的中间过程较多,花费时间较长,一般用在不方便直接测量或者缺少直接测量手段的场合。

##### 3) 组合测量法

组合测量法是指被测量必须经过求解联立方程组,才能得到最后结果的方法。组合测量法是一种特殊的精密测量方法,不但操作起来复杂,而且花费时间长,因此,多用于科学实验或特殊场合。

#### 2. 按测量仪表的特点分

测量方法按测量仪表的特点可分为接触测量法和非接触测量法。

##### 1) 接触测量法

接触测量法是指传感器与被测量直接接触,承受被测量参数的作用,感受其变化,从而获得信号,并测量其信号大小的方法,如用体温计测体温等。

##### 2) 非接触测量法

非接触测量法是指传感器不与被测量直接接触,只是间接承受被测量参数的作用,感受其变化,从而获得信号并测量其信号大小的方法,如用辐射式温度计测量温度和用光电转速表测量转速等。非接触测量法不干扰被测量,既可进行局部点检测,又可进行整体扫描,特别是对于运动的对象、腐蚀性介质及危险场合的参数检测,显得更为方便、安全和准确。

#### 3. 按测量对象的特点分

测量方法按测量对象的特点可分为静态测量法和动态测量法。

##### 1) 静态测量法

静态测量法是指当被测量处于稳定情况下所进行的测量。此时被测量参数不随时间的变化而变化,故又称为稳态测量。

##### 2) 动态测量法

动态测量法是指被测量处于不稳定的情况下进行的测量。此时被测量参数随时间的变化而变化,因此,这种测量必须瞬时完成,才能得到动态参数的测量结果。

由于过程检测中被测量参数多是随时间变化的,因此,过程检测实际上就是动态测量。但如果被测量参数随时间的变化很缓慢,而测量所需时间相对又很短,则过程检测可近似作为稳态测量。这种近似处理也是产生测量误差的原因之一。

## 1.2 测量误差及其分类

### 1.2.1 测量误差的概念

测量既是一个转换、选择、放大、比较、显示诸功能综合作用的过程,又是一个对比、示差、平衡、读数的比较过程。如果这些过程是在理想的环境、条件下进行,即假设一切影响因素都不存在,测量将是十分精确的。但是,这种理想的环境和条件在实际中是不存在的,无论是测量设备还是测量对象、方法,都不同程度地受到本身和周围各种因素的影响。当这些因素变化时,必然会影响到测量值的大小,使测量值与被测量的真值之间产生差异,这个差异就是测量误差。

真值是指在一定的时间及空间(位置或状态)条件下,被测量所体现的真实数值。通常所说的真值可以分为理论真值、约定真值和相对真值三种。

#### 1) 理论真值

理论真值又称为绝对真值,是指在严格的条件下,根据一定的理论按定义确定的数值。如三角形的内角和恒为 $180^\circ$ 。一般情况下,理论真值是未知的。

#### 2) 约定真值

约定真值是指用约定的办法确定的最高基准值,它被认为充分接近于真值,因而可以代替真值来使用,如基准“米”的定义为光在真空中 $1/299\,792\,458\text{ s}$ 的时间间隔内的行程。测量中修正过的算术平均值也可作为约定真值,这是因为误差对称分布时正负误差出现的机率相等,在没有系统误差(或系统误差用校正法可以消除)的情况下,各次测量值相加以后求平均值,就能得到极接近于真值的数值。由于测量次数总是有限的,所以平均值还不是真值,只能将它称为约定真值。

#### 3) 相对真值

相对真值又称为实际值,是指将测量仪表按精度不同分为若干等级。高等级的测量仪表的测量值即为相对真值,如标准压力表所指示的压力值相对于普通压力表所指示的压力值而言,即可认为是被测压力的相对真值。通常,高一级测量仪表的误差若为低一级测量仪表误差的 $1/10\sim 1/3$ ,即可认为前者的测量值是后者的相对真值。相对真值在测量误差中的应用较为广泛。

测量的最终目的是求得被测量的理论真值,但是理论真值是永远测量不到的,只能以不同的精度接近理论真值。在实际中对给定的测量任务只需达到规定的精度即可,而不是精度越高越好。盲目地提高测量精度的做法,往往会带来相反的效果。

在解决生产过程中的测量任务时,必须根据测量的目的,全面考虑测量的可靠性、精度、经济性和使用简便性,而在科研工作中测量精度的要求是放在第一位的。

### 1.2.2 测量误差的分类

在测量中由不同因素产生的误差是混合在一起同时出现的。为了便于分析研究误差的性质、特点和消除方法,可对各种误差进行分类。