

中国职业技术教育学会科研项目优秀成果

The Excellent Achievements in Scientific Research Project of Chinese Society of Technical and Vocational Education

高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程”培养方案规划教材



传感器与 检测技术

高等职业技术教育研究会 审定

宋雪臣 主编

单振清 王金花 王道俊 副主编

Sensor and Detection Technology

- ◆ 淡化理论推导
- ◆ 内容简明实用
- ◆ 实训案例丰富

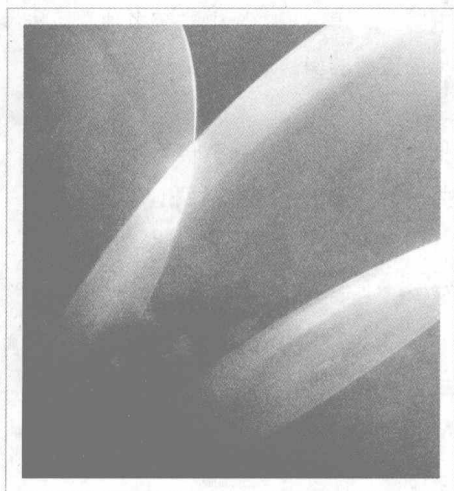


人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中国职业技术教育学会科研项目优秀成果

The Excellent Achievements in Scientific Research Project of Chinese Society of Technical and Vocational Education

高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程”培养方案规划教材



传感器与 检测技术

高等职业技术教育研究会 审定

宋雪臣 主编

单振清 王金花 王道俊 副主编

Sensor and Detection Technology

人民邮电出版社

样书

专用章

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

传感器与检测技术 / 宋雪臣主编. —北京: 人民邮电出版社, 2009. 5
中国职业技术教育学会科研项目优秀成果
ISBN 978-7-115-19765-8

I. 传… II. 宋… III. 传感器—检测—高等学校: 技术学校—教材 IV. TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第027982号

内 容 提 要

本书主要内容包括检测技术的基础知识, 电阻式、电容式、电感式、压电式、光电式等多种常用传感器的工作原理、基本结构、转换电路及应用方法, 并给出了典型的应用实例。最后一章还介绍了传感器信号处理及微机接口技术。

本书以传感器的应用为目的, 避开了过深的理论分析和公式推导, 突出了现代新型传感器及检测技术, 给出了较多的应用实例。书中还适当插入一些传感器实物照片, 增加了内容的直观性和真实感。

本书可作为高等职业教育机电一体化、电子信息等专业的教材, 也可作为成人教育、职业培训的教材, 还可作为生产管理人员及其他工程技术人员的参考用书。

中国职业技术教育学会科研项目优秀成果
高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程”培养方案规划教材

传感器与检测技术

-
- ◆ 审 定 高等职业技术教育研究会
主 编 宋雪臣
副 主 编 单振清 王金花 王道俊
责任编辑 潘春燕
执行编辑 潘新文
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京楠萍印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12.75
字数: 309千字
印数: 1+3 000册
- 2009年5月第1版
2009年5月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-19765-8/TN

定价: 22.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

职业教育与职业资格证书推进策略与
“双证课程”的研究与实践课题组

组 长：

俞克新

副组长：

李维利 张宝忠 许 远 潘春燕

成 员：

李秀忠 周明虎 林 平 韩志国 顾 晔 吴晓苏 周 虹 钟 健
赵 宇 冯建东 散晓燕 安宗权 黄军辉 赵 波 邓晓阳 牛宝林
吴新佳 赵慧君 潘新文 李育民

课题鉴定专家：

李怀康 邓泽民 吕景泉 陈 敏 于洪文

高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程”
培养方案规划教材编委会

主任：李秀忠

副主任：吴晓苏 孙慧平

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 委员： | 徐小增 | 郭建尊 | 王诗军 | 李艳霞 | 王金花 | 蔡冬根 | 林党养 |
| 刘树青 | 娄琳 | 金文兵 | 朱强 | 霍苏平 | 周玮 | 周兰 | 孙小捞 |
| 张伟林 | 贾俊良 | 陈万利 | 杨占尧 | 郑金 | 黄中玉 | 李辉 | 赵宏立 |
| 华满香 | 周建安 | 孙卫锋 | 林宗良 | 金英姬 | 黄义俊 | 董小金 | 戴晓东 |
| 牛荣华 | 丁如春 | 冯锦春 | 刘岩 | 赵仕元 | 张雪梅 | 申晓龙 | 文学红 |
| 毛好喜 | 李本红 | 任成高 | 余慰荔 | 周旭光 | 苏玮 | 刘宏 | 吕永峰 |
| 王雁彬 | 邵萍 | 郭宏彦 | 何全陆 | 张念淮 | 姜庆华 | 张江城 | 冯宁 |
| 吴灏 | 阮予明 | 李振杰 | 李英 | 燕居怀 | 谢海良 | 王浩 | 张中明 |
| 陈桂芳 | 宋雪臣 | 楚忠 | 王双林 | 王广业 | 刘慧 | 孟庆平 | |

审稿委员会

主任：彭跃湘

副主任：胡进德

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 委员： | 米久贵 | 卜燕萍 | 徐立娟 | 陈忠平 | 庄军 | 谭毅 | 谢响明 |
| 汤长清 | 高荣林 | 卜新民 | 罗澄清 | 王德发 | 王德山 | 栾敏 | 谢伟东 |
| 李学 | 张鑫 | 吕修海 | 王达斌 | 周林 | 熊江东 | 王军红 | 邓剑锋 |
| 杨国生 | 周信安 | 叶立清 | 雷云进 | 谷长峰 | 向东 | 葛序风 | 李建平 |
| 刘战术 | 魏东坡 | 肖允鑫 | 李丹 | 张光跃 | 陈玉平 | 林长青 | 王玉梅 |
| 戴晓光 | 罗正斌 | 刘晓军 | 张秀玲 | 袁小平 | 李宏 | 张凤军 | 孙建香 |
| 陈晓罗 | 肖龙 | 何谦 | 周玮 | 张瑞林 | 周林 | 潘爱民 | 徐国洪 |
| 张国锋 | 陈孝先 | 夏光蔚 | 李燕林 | 刘一兵 | 田培成 | 刘勇 | 冯光林 |
| 魏仕华 | 曹淑联 | 孙振强 | 罗伦 | 田晶 | 卜燕萍 | 王少岩 | 山颖 |
| 温钢云 | 蔡超强 | 刘建敏 | 吴京霞 | 张海筹 | 张森林 | 范恒彦 | 朱庚生 |
| 丁明成 | 李华楹 | 孟华峰 | 范恒彦 | 高荣林 | 杨亚辉 | 鞠加彬 | 白福民 |
| 宋丽华 | 王世桥 | 孙岩 | 彭跃湘 | 李明 | 吴春玉 | 吴民 | 张华忠 |
| 牟志华 | 申凤琴 | 孙佳海 | 黎川林 | 孟平 | 杨强 | 麦崇 | 胡进德 |
| 吴德平 | 赵红毅 | 王观海 | 公相 | 王朝红 | 姬红旭 | 吕品 | 李凡 |
| 李江 | | | | | | | |

本书主审：杜晓通 孟平

丛书出版前言

职业教育是现代国民教育体系的重要组成部分，在实施科教兴国战略和人才强国战略中具有特殊的重要地位。党中央、国务院高度重视发展职业教育，提出要全面贯彻党的教育方针，以服务为宗旨，以就业为导向，走产学结合的发展道路，为社会主义现代化建设培养千百万高素质技能型专门人才。因此，以就业为导向是我国职业教育今后发展的主旋律。推行“双证制度”是落实职业教育“就业导向”的一个重要措施，教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》（教高〔2006〕16号）中也明确提出，要推行“双证书”制度，强化学生职业能力的培养，使有职业资格证书专业的毕业生取得“双证书”。但是，由于基于“双证书”的专业解决方案、课程资源匮乏，“双证课程”不能融入教学计划，或者现有的教学计划还不能按照职业能力形成系统化的课程，因此，“双证书”制度的推行遇到了一定的困难。

为配合各高职院校积极实施“双证书”制度工作，推进示范校建设，中国高等职业技术教育研究会和人民邮电出版社在广泛调研的基础上，联合向中国职业技术教育学会申报了职业教育与职业资格证书推进策略与“双证课程”的研究与实践课题（中国职业技术教育学会科研规划项目，立项编号 225753）。此课题拟将职业教育的专业人才培养方案与职业资格认证紧密结合起来，使每个专业课程设置嵌入一个对应的证书，拟为一般高职院校提供一个可以参照的“双证课程”专业人才培养方案。该课题研究的对象包括数控加工操作、数控设备维修、模具设计与制造、机电一体化技术、汽车制造与装配技术、汽车检测与维修技术等多个专业。

该课题由教育部的权威专家牵头，邀请了中国职教界、人力资源和社会保障部及有关行业的专家，以及全国 50 多所高职高专机电类专业教学改革领先的学校，一起进行课题研究，目前已召开多次研讨会，将课题涉及的每个专业的人才培养方案按照“专业人才定位—对应职业资格证书—职业标准解读与工作过程分析—专业核心技能—专业人才培养方案—课程开发方案”的过程开发。即首先对各专业的工作岗位进行分析和分类，按照相应岗位职业资格证书的要求提取典型工作任务、典型产品或服务，进而分析得出专业核心技能、岗位核心技能，再将这些核心技能进行分解，进而推出各专业的专业核心课程与双证课程，最后开发出各专业的人才培养方案。

根据以上研究成果，课题组对专业课程对应的教材也做了全面系统的研究，拟开发的教材具有以下鲜明特色。

1. 注重专业整体策划。本套教材是根据课题的研究成果——专业人才培养方案开发的，每个专业各门课程的教材内容既相互独立、又有机衔接，整套教材具有一定的系统性与完整性。
2. 融通学历证书与职业资格证书。本套教材将各专业对应的职业资格证书的知识和能力要求都嵌入到各双证教材中，使学生在获得学历文凭的同时获得相关的国家职业资格证书。
3. 紧密结合当前教学改革趋势。本套教材紧扣教学改革的最新趋势，专业核心课程、“双

证课程”按照工作过程导向及项目教学的思路编写，较好地满足了当前各高职高专院校的需求。

为方便教学，我们免费为选用本套教材的老师提供相关专业的整体教学方案及相关教学资源。

经过近两年的课题研究与探索，本套教材终于正式出版了，我们希望通过本套教材，为各高职高专院校提供一个可实施的基于双证书的专业教学方案，也热切盼望各位关心高等职业教育的读者能够对本套教材的不当之处给予批评指正，提出修改意见，并积极与我们联系，共同探讨教学改革和教材编写等相关问题。来信请发至 panchunyan@ptpress.com.cn。

前 言

本书是根据各个高职高专院校机电类专业教学改革的需要编写的,着重体现“淡化理论,够用为度,培养技能,重在运用”的指导思想,以培养具有“创造性、实用性”的适应社会需求的应用型人才。针对高职高专学生的理论基础相对薄弱,在校理论学习时间相对较少的特点,本教材压缩了大量的理论推导方面的知识点,将重点放在实用技术的掌握和运用上。在编写过程中,结合作者多年的教学经验,参阅大量有关文献资料,精选内容,突出技术的实用性,加强了实训及应用案例的介绍。

全书共分 10 章。第 1 章详细介绍了检测技术的基本知识;第 2 章至第 10 章按工作原理分类介绍了各种类型传感器的结构、工作原理、转换电路及其典型应用;第 11 章介绍了传感器信号处理及微机接口技术。另外还选编了 9 个基本实训项目,以提高学生的实践动手能力。每一章的后面都附有一定数量的思考练习题,以供学生复习、巩固课堂所学内容。

在内容编写方面,我们注意难点分散、循序渐进;在文字叙述方面,我们注意言简意赅、重点突出;在实例选取方面,我们注意选用最新传感器及检测系统,实用性及针对性强。

本教材总学时为 4 学时左右(包括实训项目),各章的参考学时参见下面的学时分配表。

| 章 号 | 课 程 内 容 | 学 时 数 | | | |
|-----|----------------|-------|-----|-----|-------|
| | | 合 计 | 讲 授 | 实 践 | 复习与评价 |
| 1 | 检测技术基本知识 | 4 | 4 | — | |
| 2 | 电阻式传感器及应用 | 8 | 6 | 2 | 2 |
| 3 | 电容式传感器及应用 | 6 | 4 | 2 | |
| 4 | 电感式传感器及应用 | 10 | 6 | 4 | |
| 5 | 热电偶传感器及应用 | 6 | 4 | 2 | 2 |
| 6 | 光电式传感器及应用 | 8 | 6 | 2 | |
| 7 | 霍尔式传感器及应用 | 6 | 4 | 2 | |
| 8 | 压电式传感器及应用 | 6 | 4 | 2 | 2 |
| 9 | 超声波传感器及应用 | 2 | 2 | — | |
| 10 | 数字式传感器及应用 | 4 | 4 | — | |
| 11 | 传感器信号处理及微机接口技术 | 4 | 4 | — | 2 |
| 总计 | | 64 | 48 | 16 | 8 |

本书由山东水利职业学院宋雪臣主编，副主编有山东水利职业学院单振清、山东水利技术学院王金花、临沂师范学院王道俊。杜晓通和孟平主审了全书，并提出了很多宝贵的修改意见，在此一并表示诚挚的谢意！

由于时间仓促，编写水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2009年2月

目 录

| | | | |
|-----------------------------------|----|----------------------------------|-----|
| 绪论 | 1 | 第 5 章 热电偶传感器及应用 | 87 |
| 第 1 章 检测技术基本知识 | 6 | 5.1 热电偶工作原理 | 87 |
| 1.1 测量与测量误差 | 6 | 5.2 热电偶的结构形式及材料 | 90 |
| 1.2 传感器的组成和特性 | 14 | 5.3 热电偶实用测温线路和 温度补偿 | 93 |
| 思考与练习 | 19 | 5.4 热电偶传感器的应用实例 | 97 |
| 第 2 章 电阻式传感器及应用 | 21 | 思考与练习 | 98 |
| 2.1 弹性敏感元件 | 21 | 实训项目 5 热电偶原理及现象 | 99 |
| 2.2 电位器传感器 | 27 | 第 6 章 光电式传感器及应用 | 101 |
| 2.3 电阻应变式传感器 | 30 | 6.1 光电效应及光电元器件 | 101 |
| 2.4 热电阻传感器 | 37 | 6.2 光电式传感器的实用电路 | 113 |
| 2.5 气敏和湿敏电阻传感器 | 44 | 6.3 光纤传感器 | 116 |
| 思考与练习 | 50 | 6.4 红外传感器 | 119 |
| 实训项目 1 电阻应变式传感器 | 52 | 思考与练习 | 123 |
| 第 3 章 电容式传感器及应用 | 55 | 实训项目 6 光电传感器(反射型) 测转速实验 | 124 |
| 3.1 电容式传感器工作原理及类型 | 55 | 实训项目 7 光纤位移测量 | 125 |
| 3.2 电容式传感器的转换电路 | 59 | 第 7 章 霍尔式传感器及应用 | 128 |
| 3.3 电容式传感器的应用 | 62 | 7.1 霍尔效应及霍尔元件 | 128 |
| 思考与练习 | 64 | 7.2 霍尔传感器实用电路 | 133 |
| 实训项目 2 电容式传感器 | 65 | 思考与练习 | 137 |
| 第 4 章 电感式传感器及应用 | 67 | 实训项目 8 霍尔传感器直流 激励特性 | 138 |
| 4.1 自感式传感器 | 67 | 第 8 章 压电式传感器及应用 | 139 |
| 4.2 差动变压器式传感器 | 73 | 8.1 压电效应及压电材料 | 139 |
| 4.3 电涡流传感器 | 78 | 8.2 压电式传感器测量电路 | 142 |
| 思考与练习 | 83 | 8.3 压电式传感器的应用 | 144 |
| 实训项目 3 电感式传感器—— 差动变压器性能 | 84 | | |
| 实训项目 4 电涡流式传感器的 应用——振幅测量 | 85 | | |

| | | | |
|-------------------------------|-----|---|-----|
| 思考与练习 | 146 | 10.3 感应同步器 | 168 |
| 实训项目 9 压电传感器的动态 响应实验 | 146 | 10.4 频率式数字传感器 | 172 |
| 思考与练习 | 175 | 思考与练习 | 175 |
| 第 9 章 超声波传感器及应用 | 148 | 第 11 章 传感器信号处理及微机 接口技术 | 176 |
| 9.1 超声波及其物理性质 | 148 | 11.1 传感器信号的预处理 | 176 |
| 9.2 超声波探头及耦合技术 | 150 | 11.2 传感器信号的放大电路 | 178 |
| 9.3 超声波传感器的应用 | 153 | 11.3 传感器与微机的接口技术 | 180 |
| 思考与练习 | 157 | 11.4 抗干扰技术 | 185 |
| 第 10 章 数字式传感器及应用 | 158 | 思考与练习 | 190 |
| 10.1 栅式数字传感器 | 158 | 参考文献 | 191 |
| 10.2 编码器 | 164 | | |



绪论

在现代工业生产中为了检查、监督和控制某个生产过程或运动对象，并且使它们处于所选工况最佳状态，就必须掌握描述它们特性的各种参数，这就首先要测量这些参数的大小、方向、变化速度等。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 etc 一起构成了信息技术的完整学科。

“没有传感器就没有现代科学技术”的观点已被全世界所公认。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。

1. 传感器

传感器是人类五官的延长，又称之为电五官。它已渗透到诸如工业生产、宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程、甚至文物保护等极其广泛的领域。从茫茫的太空到浩瀚的海洋，以至各种复杂的工程系统，几乎每一个现代化项目，都离不开各种各样的传感器。

传感器是获取信息的主要途径与手段。没有传感器，现代化生产就失去了基础。

2. 检测的基本概念

所谓检测就是人们借助于仪器、设备，利用各种物理效应，采用一定的方法，将客观世界的有关信息通过检查与测量获取定性或定量信息的认识过程。这些仪器和设备的核心部件就是传感器，传感器是感知被测量（多为非电量），并把它转化为电量的一种器件或装置。检测包含检查与测量两个方面，检查往往是获取定性信息，而测量则是获取定量信息。

3. 自动检测系统

在现代的自动检测系统中，各个组成部分常常以信息流的过程来划分，一般可分为信息的获得、信息的转换、信息的处理和信息的输出等几个部分。作为一个完整的自动检测系统，首先应获得被测量的信息，并通过信息的转换把获得的信息变换为电量，然后进行一系列的处理，再用指示仪或显示仪将信息输出，或由计算机对数据进行处理等，图 0-1 为汽车衡称重自动检测系统。

其原理框图如图 0-2 所示。

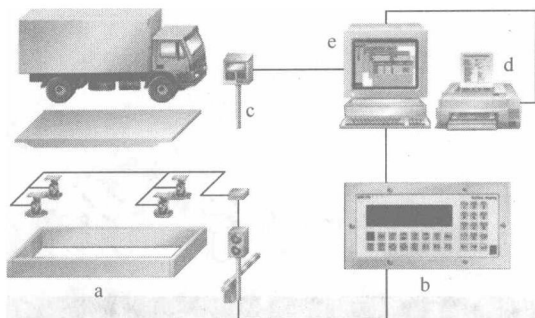


图 0-1 汽车衡称重系统

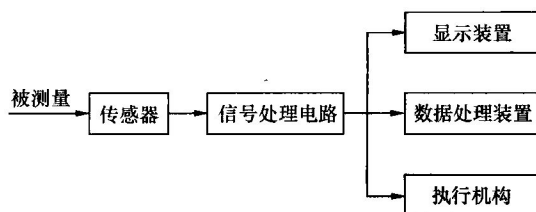


图 0-2 自动检测系统的组成

(1) 传感器

传感器是获取信息的重要手段。它所获取信息的正确与否，关系到整个检测系统的精度，因而在非电量检测系统中占有重要的地位。图 0-1 中 a 部分为电阻应变式传感器，它将汽车的重量转化为相应的电信号。

(2) 信号处理电路

传感器输出的信号常常需要加工和处理，如放大、调制、解调、滤波、运算以及数字化等，通常由信号处理电路来完成。它的主要作用是把传感器输出的电学量变成具有一定功率的模拟电压（电流）信号或数字信号，以推动后级的输出显示或记录设备、数据处理装置及执行机构。图 0-1 中 b 部分为信号处理电路。

(3) 显示装置

测量的目的是使人们了解被测量的数值，所以必须有显示装置。目前常用的显示装置有 4 种：模拟显示、数字显示、图像显示和记录仪。模拟显示是指利用指针对标尺的相对位置来表示读数，如毫伏表、毫安表等；数字显示是指用数字形式来显示读数，目前大多用 LED 或 LCD 数码管来显示；图像显示是指用屏幕显示（CRT）读数或被测参数变化的曲线；记录仪主要用来记录被测量动态过程的变化情况，如笔式记录仪、光线示波器、打印机等。图 0-1 中 c 部分为显示装置，d 部分为打印机。

(4) 数据处理装置和执行机构

数据处理装置用来对被测结果进行处理、运算、分析，对动态测试结果作频谱分析、能量谱分析等，完成这些工作必须使用计算机技术。图 0-1 中 e 部分为数据处理装置（微机）。

在自动控制系统中，经信号处理电路输出的与被测量对应的电压或电流信号还可以驱动某些执行机构动作，为自动控制系统提供控制信号。

随着计算机技术的飞速发展，微机在自动检测系统中已经得到广泛的应用。微机在检测系统中可以控制信号采集，实施快速、多点巡回检测，记录被测信号，处理被测数据，还可以根据要求和被测数据对被测对象进行自动控制等。

4. 自动检测技术在国民经济中的作用和地位

中国有句古话：“工欲善其事，必先利其器”，这句话说明了自动检测技术在现代科学技术中的重要性。所谓“事”，就是指发展现代科学技术的伟大事业，而“器”则是指利用自动检测技术而制造的仪器、仪表、工具等。所以说自动检测技术是科学实践和生产实践的必要手段，

它的水平高低也是科学技术现代化的一个重要标志。

在工业生产中,为了保证生产过程能正常、高效、经济地运行,必须对生产过程的某些重要工艺参数(如温度、压力、流量等)进行实时检测与优化控制。例如城镇生活污水处理厂在污水收集、提升、处理、排放的生产过程中,通常需要实时准确地检测液位、流量、温度、浊度、泥位(泥、水分界面位置)、酸碱度(pH)、污水中溶解氧含量(DO)、化学需氧量(COD)、各种有害重金属含量等多种物理和化学成分参量;再由计算机根据这些实测物理、化学成分参量进行流量、(多种)加药(剂)量、曝气量、排泥优化控制;为保证设备完好及安全生产,需同时对污水处理所需机电动力设备、电气设备的温度、工作电压、电流、阻抗进行安全监测,这样才能实现污水处理安全、高效率 and 低成本运行。

在军工生产和新型武器、装备研制过程中更离不开现代检测技术,对检测的需求更多,要求更高。研制任何一种新武器,从设计到零部件制造、装配到样机试验,都要经过成百上千次严格的试验,每次试验需要高速、高精度地同时检测多种物理参量,测量点经常多达上千个。至于飞机、潜艇等在正常使用时都装备了上百个各种检测传感器,组成十几至几十种检测仪表实时监测和指示各部位的工作状况。在新机型设计、试验过程中需要检测的物理量更多,而检测点通常在5000点以上。在火箭、导弹和卫星的研制过程中,需动态高速检测的参量很多,要求也更高;没有精确、可靠的检测手段,要使导弹准确地命中目标和卫星准确地入轨是根本不可能的。

用各种先进的医疗检测仪器可大大提高疾病的检查、诊断速度和准确性,有利于争取时间,对症治疗,增加患者战胜疾病的机会。

随着生活水平的提高,检测技术与人们日常生活愈来愈密切。例如,新型建筑材料的物理、化学性能检测,装饰材料有害成分是否超标检测;城镇居民家庭室内的温度、湿度、防火、防盗及家用电器的安全检测;这些都不难看出检测技术在现代社会中的重要地位与作用。

5. 检测技术的发展趋势

随着世界各国现代化步伐的加快,人们对检测技术的大量需求与日俱增。而科学技术,尤其是大规模集成电路技术、微型计算机技术、机电一体化技术、微机械和新材料技术的不断进步,则大大促进了现代检测技术的发展。目前,现代检测技术发展总的趋势大体有以下几个方面。

(1) 不断拓展测量范围,努力提高检测精度和可靠性

随着科学技术的发展,对检测仪器和检测系统的性能要求,尤其是精度、测量范围、可靠性指标要求愈来愈高。以温度为例,为满足某些科研实验的需求,不仅要求研制测温下限接近绝对零度 -273.15°C ,且测温范围尽可能达到 15K (约 -258°C)的高精度超低温检测仪表;同时,某些场合需连续测量液态金属的温度或长时间连续测量 $2\,500\sim 3\,000^{\circ}\text{C}$ 的高温介质温度。目前虽然已能研制和生产最高上限超过 $2\,800^{\circ}\text{C}$ 的热电偶,但测温范围一旦超过 $2\,500^{\circ}\text{C}$,其准确度将下降,而且极易氧化从而严重影响其使用寿命与可靠性;因此,寻找能长时间连续准确检测上限超过 $2\,000^{\circ}\text{C}$ 被测介质温度的新方法、新材料和研制(尤其是适合低成本大批量生产)出相应的测温传感器是各国科技工作者许多年来一直努力试图解决的课题。

各行各业随着自动化程度不断提高,其高效率的生产更依赖于各种检测、控制设备的安全可靠。努力研制在复杂和恶劣测量环境下能满足用户所需精度要求且能长期稳定工作的各种高可靠性检测仪器和检测系统将是检测技术的一个长期方向。对于航天、航空和武器装备系统等特殊用途的检测仪器的可靠性要求更高。例如,在卫星上安装的检测仪器,不仅要求体积小、

重量轻,而且既要能耐高温,又要能在极低温和强辐射的环境下长期稳定地工作,因此,所有检测仪器都应有极高的可靠性和尽可能长的使用寿命。

(2) 传感器逐渐向集成化、组合式、数字化方向发展

鉴于传感器与信号调理电路分开,微弱的传感器信号在通过电缆传输过程中容易受到各种电磁干扰信号的影响,各种传感器输出信号形式众多,这使得检测仪器与传感器的接口电路无法统一和标准化,实施起来颇为不便。随着大规模集成电路技术与产业的迅猛发展,采用贴片封装方式,体积大大缩小的通用和专用集成电路愈来愈普遍。因此,目前已有不少传感器实现了敏感元件与信号调理电路的集成和一体化,对外直接输出标准的 $4\sim 20\text{ mA}$ 电流信号;成为名符其实的变送器,这对检测仪器整机研发与系统集成提供了很大的方便,从而使得这类传感器身价倍增。其次,一些厂商把两种或两种以上的敏感元件集成于一体,成为可实现多种功能新型组合式传感器。例如,将热敏元件、湿敏元件和信号调理电路集成在一起,一个传感器可同时完成温度和湿度的测量。

此外,还有厂商把敏感元件与信号调理电路、信号处理电路统一设计并集成化,成为能直接输出数字信号的新型传感器。例如,美国 DALLAS 公司推出的数字温度传感器 DS18B20,可测温度范围为 $-55^{\circ}\text{C}\sim +150^{\circ}\text{C}$,精度为 0.5°C ,封装和形状与普通小功率三极管十分相似,采用独特的一线制数字信号输出。

(3) 重视非接触式检测技术研究

在检测过程中,把传感器置于被测对象上,敏感被测参量的变化,这种接触式检测方法通常比较直接、可靠,测量精度较高;但在某些情况下,因传感器加入会对被测对象的工作状态产生干扰,从而影响测量的精度。而在有些被测对象上,根本不允许或不可能安装传感器,例如测量高速旋转轴的振动、转矩等。因此,各种可行的非接触式检测技术的研究愈来愈受到重视,目前已商品化的光电式传感器、电涡流式传感器、超声波检测仪表、核辐射检测仪表等正是在这些背景下不断发展起来的。今后不仅要解决非接触式(传感器)检测仪器易受外界干扰及绝对精度较低等问题,而且还要对一些难以采用接触式检测、或无法采用接触方式进行的检测,尤其是那些具有重大军事、经济或其他应用价值的非接触检测技术课题的研究投入要不断增加,相信非接触检测技术的研究、发展和应用步伐都将明显加快。

(4) 检测系统智能化

近10年来,由于包括微处理器,单片机在内的大规模集成电路成本和价格不断降低,功能和集成度不断提高,使得许许多多单片机、微处理器或微型计算机为核心的现代检测仪器(系统)实现了智能化,这些现代检测仪器通常具有系统故障自测,自诊断,自调零,自校准,自选量程,自动测试和自动分选功能,自校正功能,强大数据处理和统计功能,远距离数据通信和输入、输出功能,可配置各种数字通信接口,传递检测数据和各种操作命令等,可方便地接入不同规模的自动检测、控制与管理信息网络系统。与传统检测系统相比智能化的现代检测系统具有更高的精度和性价比。

正是由于智能化检测仪器、检测系统具有上述优点,所以其市场占有率多年来一直维持强劲的上升趋势。

6. 本课程的内容、任务和学习方法

传感器与自动检测技术涉及的内容比较广,包括信息的获取、测量方法、信号的变换、处

理和显示、误差的分析以及干扰的抑制、可靠性问题等。因此本课程首先介绍传感器与自动检测技术的基本概念；然后较详细地叙述生产、生活中常用的各类传感器、测量转换电路及其应用；第3部分简要介绍传感器信号处理以及微机接口技术。

通过本课程的学习需达到以下几点要求。

- (1) 掌握常用传感器的工作原理、结构、性能，并能正确选用。
- (2) 熟悉测量误差的基本知识，传感器的基本转换电路和信号处理方法。
- (3) 了解传感器的基本概念和自动检测系统的组成，对常用检测系统应具有一定的分析与维护能力。
- (4) 对工业生产过程中主要工艺参数测量能提出合理的检测方案，具有正确选用传感器及测量转换电路组成实用检测系统的初步能力。

由于传感器应用技术涉及机、电、光等多方面知识，学科面广，因此需要有较广泛的基础知识和专业知识。在学习中只有弄清基本概念，做到理论联系实际，善于联想和借鉴，重视实验和实训，才能有利于提高今后解决实际问题的能力。

第1章

检测技术基本知识

1.1

测量与测量误差

测量是人们借助专门的技术和设备,通过实验的方法,把被测量与作为单位的标准量进行比较,以确定出被测量是标准量的多少倍数的过程,所得倍数就是测量值。测量结果可用一定的数值表示,也可以用一条曲线或某种图形表示。但无论其表现形式如何,测量结果应包括两部分:比值和测量单位。确切地讲,测量结果还应包括误差部分。

1.1.1 测量方法

实现被测量与标准量比较得出比值的方法,称为测量方法。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,对测量工作是十分重要的。

对于测量方法,从不同角度有不同的分类方法。根据获得测量值的方法可分为直接测量、间接测量与组合测量;根据测量的精度因素情况可分为等精度测量与非等精度测量;根据测量方式可分为偏差式测量、零位法测量与微差法测量;根据被测量变化快慢可分为静态测量与动态测量;根据测量敏感元件是否与被测介质接触可分为接触测量与非接触测量;根据测量系统是否向被测对象施加能量可分为主动式测量与被动式测量等。

下面介绍几种常用的分类方法。

1. 按测量手续分类

按测量手续不同可分为直接测量、间接测量和联立测量。

(1)直接测量 直接测量就是用预先标定好的测量仪表直接读取被测量的测量结果。例如用万用表测量电压、电流、电阻等。这种测量方法的优点是简单而迅速,缺点是精度不高。这种测量方法在工程上被广泛采用。

(2)间接测量 间接测量就是利用被测量与某中间量的函数关系,先测出中间量,然后通过相应的函数关系计算出被测量的数值。例如导线电阻率的测量就是间接测量,由于 $\rho = R\pi d^2/4l$, 其