

主编◎李桂华

传感与检测技术 项目式教程

CHUANGAN YU JIANCE JISHU
XIANGMUSHI JIAOCHENG

传感与检测技术项目式教程

主 编	李桂华			
副主编	荣红梅	刘晓军	张 震	焦新伟
参 编	孙红霞	张秀芹	李晓燕	
主 审	唐西光			



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书从实用角度出发,以实施的项目为载体,主要介绍传感器的工作原理、基本结构、信号处理及基本应用,以项目拓展的形式对相应传感器的内容进行延伸。

全书共分15个教学项目,每个项目分为项目描述、知识准备、项目实施、项目拓展、项目小结和项目训练6个部分。本书主要介绍了比较常用的传感器、现代新型传感器以及比较先进的智能传感器,每个项目都提供了应用实例,对本部分内容进行了梳理、归纳、总结,以帮助读者理清知识体系。最后附有课后习题。

本书主要适用于高等院校机电一体化、电气自动化及相近专业的教学用书,也可作为其他相关专业技术人员学习参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

传感与检测技术项目式教程 / 李桂华主编. —北京:北京理工大学出版社, 2018. 1
ISBN 978 - 7 - 5682 - 3756 - 7

I. ①传… II. ①李… III. ①传感器 - 高等学校 - 教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 247770 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 17.5

字 数 / 412 千字

版 次 / 2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

定 价 / 59.00 元

责任编辑 / 陈莉华

文案编辑 / 陈莉华

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 施胜娟

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前言

Preface

本书采用了综合化、模块化和项目化的编写思路,在编写过程中本着理论知识够用,面向应用、面向发展的原则,本着培养学生在实践工作中观察问题和独立分析、解决问题的综合能力为目的,根据高等院校培养应用型人才的基本要求,注重拓宽学生知识面,尽量减少数学推导,降低理论深度,以便教师讲授和学生自学。

本书设置了若干个应用型的项目,每个项目均有若干个具体典型工作任务,每个任务将相关知识和实践过程相结合,力求体现理论实践一体化的教学理念。本书结构合理、脉络清晰,内容排列由易到难,由简到繁,通俗易懂,梯度明晰。

本书共分 15 个项目,分别为:项目一 认识传感器与自动检测系统;项目二 原始电子秤的安装、调试与标定;项目三 Pt100 热电阻测温传感器的安装与调试;项目四 湿敏电阻传感器的调试;项目五 电容位移传感器的安装与调试;项目六 差动变压器位移传感器的安装与调试;项目七 电涡流位移传感器的安装与测试;项目八 热电偶测温传感器的安装与测试;项目九 压电式振动传感器的安装与测试;项目十 光电传感器的安装与测试;项目十一 霍尔式位移传感器的安装与测试;项目十二 光纤位移传感器的安装与调试;项目十三 远红外传感器的安装与测试;项目十四 超声波遥控电灯开关的设计与调试;项目十五 数字式温度计的设计与制作;附录 传感器与检测技术配套实验指导。

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

本书以传感器的应用为目的,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。书中适当插入一些传感器实物照片和工作现场,增加了内容的直观性和真实感。

本书由李桂华担任主编,荣红梅、刘晓军、张震、焦新伟担任副主编。其中,李桂华编写了项目一、项目二、项目三、项目四、项目五、项目七、项目八和实验部分;荣红梅编写了项目六、项目十三;刘晓军编写了项目九、项目十;张震编写了项目十一和项目十四;焦新伟编写了项目十二和项目十五;全书由李桂华统稿。

参加本书资料收集、校对的还有孙红霞、张秀芹、李晓燕等老师，在此表示衷心的感谢。

本书由唐西光主审，他对全书进行了认真、仔细审阅，提出了许多具体、宝贵的意见，谨在此表示诚挚的感谢！

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中不妥之处在所难免，恳切希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

Contents

► 项目一 认识传感器与自动检测系统	1
项目描述	1
任务一 传感器的基本知识	1
一、传感器的定义	1
二、传感器的技术要求与应用	2
三、传感器的组成	3
四、传感器的分类	3
五、传感器的特性参数	4
任务二 认识传感器与检测技术综合实验台	6
一、概述	6
二、装置特点	7
三、设备构成	7
► 项目二 原始电子秤的安装、调试与标定	9
项目描述	9
任务一 知识准备	10
一、敏感元件	10
二、电阻应变传感器	16
任务二 项目实施	22
原始电子秤的安装、调试与标定	22
任务三 项目拓展	24
一、应变传感器应用实例	24
二、固态压阻传感器	27
项目小结	28
项目训练	29
► 项目三 Pt100 热电阻测温传感器的安装与调试	30
项目描述	30
任务一 知识准备	30
一、热电阻传感器	30
二、半导体热敏电阻传感器和集成温度传感器	34

任务二 项目实施	37
Pt100 热电阻测温传感器的安装与调试	37
任务三 项目拓展	42
热电阻的应用	42
项目小结	44
项目训练	44
► 项目四 湿敏电阻传感器的调试	46
项目描述	46
任务一 知识准备	46
一、湿敏电阻传感器	46
二、气敏电阻传感器	50
任务二 项目实施	52
湿敏电阻传感器的调试	52
任务三 项目拓展	53
气敏、湿敏电阻传感器的应用	53
项目小结	55
项目训练	56
► 项目五 电容位移传感器的安装与调试	57
项目描述	57
任务一 知识准备	58
电容传感器概述	58
任务二 项目实施	63
一、电容传感器的安装与调试	63
二、电容传感器测量振动	65
任务三 项目拓展	66
电容传感器的应用	66
项目小结	70
项目训练	71
► 项目六 差动变压器位移传感器的安装与调试	72
项目描述	72
任务一 知识准备	72
一、自感式传感器	73
二、差动变压器式传感器	77
任务二 项目实施	82
差动变压器式位移传感器的安装与测试	82
任务三 项目拓展	83

电感传感器的应用·····	83
项目小结·····	85
项目训练·····	86
► 项目七 电涡流位移传感器的安装与测试 ·····	87
项目描述·····	87
任务一 知识准备·····	87
电涡流传感器的基本结构和工作原理·····	87
任务二 项目实施·····	91
电涡流位移传感器的安装与测试·····	91
任务三 项目拓展·····	93
电涡流传感器的应用·····	93
项目小结·····	95
项目训练·····	96
► 项目八 热电偶测温传感器的安装与测试 ·····	97
项目描述·····	97
任务一 知识准备·····	97
一、熟悉热电效应·····	97
二、认识热电偶的基本结构·····	102
三、热电偶实用测温线路和温度补偿·····	106
任务二 项目实施·····	110
热电偶测温传感器的安装与测试·····	110
任务三 项目拓展·····	111
热电偶传感器的应用·····	111
项目小结·····	114
项目训练·····	114
► 项目九 压电式振动传感器的安装与测试 ·····	116
项目描述·····	116
任务一 知识准备·····	117
一、认识压电效应及压电材料·····	117
二、压电传感器测量电路·····	121
任务二 项目实施·····	122
压电式振动传感器的安装与测试·····	122
任务三 项目拓展·····	123
压电传感器的应用·····	123
项目小结·····	126
项目训练·····	126

► 项目十 光电传感器的安装与测试	128
项目描述	128
任务一 知识准备	129
认识光电效应及光电元器件	129
任务二 项目实施	145
光电式转速传感器的安装与测试	145
任务三 项目拓展	146
光电传感器的应用	146
项目小结	150
项目训练	150
► 项目十一 霍尔式位移传感器的安装与测试	152
项目描述	152
任务一 知识准备	152
一、熟悉霍尔效应及霍尔元件	152
二、集成霍尔传感器	157
任务二 项目实施	159
霍尔式位移传感器的安装与调试	159
任务三 项目拓展	160
一、霍尔传感器的应用	160
二、其他磁敏传感器	162
项目小结	167
项目训练	168
► 项目十二 光纤位移传感器的安装与调试	169
项目描述	169
任务一 知识准备	169
光纤传感器的结构和原理	169
任务二 项目实施	172
光纤位移传感器的安装与调试	172
任务三 项目拓展	174
光纤传感器的应用	174
项目小结	176
项目训练	177
► 项目十三 远红外传感器的安装与测试	178
项目描述	178
任务一 知识准备	178

红外传感器	178
任务二 项目实施	182
热释电远红外传感器的安装与测试	182
任务三 项目拓展	183
红外传感器的应用	183
项目小结	187
项目训练	188
► 项目十四 超声波遥控电灯开关的设计与调试	190
项目描述	190
任务一 知识准备	191
一、认识超声波及其物理性质	191
二、超声波探头及耦合技术	193
任务二 项目实施	197
超声波遥控电灯开关的设计与调试	197
任务三 项目拓展	198
超声波传感器的应用	198
项目小结	204
项目训练	204
► 项目十五 数字式温度计的设计与制作	206
项目描述	206
任务一 知识准备	207
传感器与微机接口技术	207
任务二 项目实施	213
数字式温度计的设计与制作	213
任务三 项目拓展	219
一、认识 and 了解智能传感器	219
二、智能传感器的应用	223
项目小结	226
项目训练	226
► 附录 传感器与检测技术配套实验指导	227
一、概述	227
二、装置特点	227
三、设备构成	227
四、实验项目	228
► 参考文献	270

项目一

认识传感器与自动检测系统

项目描述

本项目主要包含了传感器的基本概念、组成分类、作用及其相关参数，通过本项目的学习，了解传感器的基本知识，并知道检测技术综合实验台的组成及使用方法。

知识目标：

- (1) 了解传感器的基本概念。
- (2) 熟悉传感器的基本组成部分及其分类。
- (3) 掌握传感器的特性参数。

能力目标：

- (1) 能识别实验台配置的各种传感器。
- (2) 能说出实验台各模块的作用及面板功能。
- (3) 能正确选择仪表进行测量。

任务一 传感器的基本知识

一、传感器的定义

传感器是一种能把物理量或化学量转变成便于利用的电信号的器件。国际电工委员会(IEC)将传感器定义为：“传感器是测量系统中的一种前置部件，它将输入变量转换成可供测量的信号”。

德国和俄罗斯学者认为传感器应是由两部分组成的，即直接感知被测量信号的敏感元件部分和初始处理信号的电路部分。按这种理解，传感器还包含了信号成形器的电路部分。

传感器与人的组织结构有密切联系，常将传感器的功能与人类五大感觉器官相比拟：光敏传感器相当于视觉；声敏传感器相当于听觉；气敏传感器相当于嗅觉；化学传感器相当于味觉；压敏、温敏、流体传感器相当于触觉。与当代的传感器相比，人类的感覺能力好得多，但也有一些传感器比人的感觉功能优越，如人类没有能力感知紫外线或红外线辐射，感觉不到电磁场、无色无味的气体等。

二、传感器的技术要求与应用

实际生产过程中，对传感器设定了许多技术要求，有一些是对所有类型传感器都适用的，也有只对特定类型传感器适用的特殊要求。针对传感器的工作原理和结构，在不同场合均需要的基本要求是高灵敏度、抗干扰的稳定性（对噪声不敏感）、线性、容易调节（校准简易）、高精度、高可靠性、无迟滞性、工作寿命长（耐用性）、可重复性、抗老化、高响应速率、抗环境影响（热、振动、酸、碱、空气、水、尘埃）的能力、选择性、安全性（传感器应是无污染的）、互换性、低成本、宽测量范围、小尺寸、质量轻和高强度、宽工作温度范围。

目前，传感器早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。可以毫不夸张地说，从茫茫的太空到浩瀚的海洋，乃至各种复杂的工程系统，几乎每个现代化项目，都离不开各种各样的传感器。如图 1-1 所示为传感器的应用。

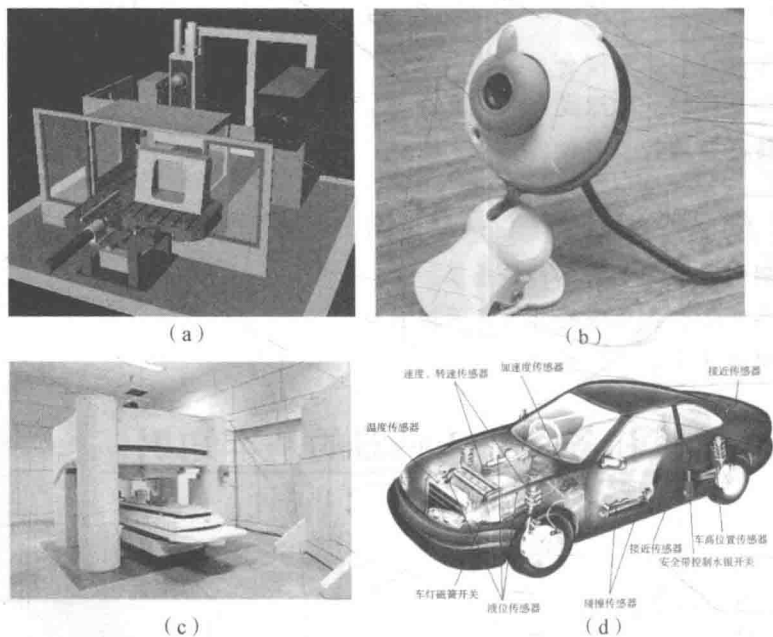


图 1-1 传感器的应用

(a) 机床加工精度测量；(b) 摄像头：CCD 传感器；
(c) 传感器在医学上的应用；(d) 传感器在汽车上的应用

三、传感器的组成

图 1-2 所示为传感器的组成框图。



图 1-2 传感器的组成框图

1. 敏感元器件

敏感元器件是能够直接感知被测量，并按一定规律转换成与被测量有确定关系的其他量的元器件。例如，应变式压力传感器的弹性膜片就是敏感元器件，其作用是将压力转换成弹性膜片的变形，它是直接感受被测量，并且使输出量与被测量成确定关系的某一物理元器件。

2. 转换元器件

转换元器件是指能将敏感元器件的输出量直接转换成电量输出的元器件，一般情况下不直接感知被测量（特殊情况例外）。例如，应变式压力传感器中的应变片就是转换元器件，其作用是将弹性膜片的变形转换成电阻值的变化。

3. 转换电路

转换电路又称“信号调节电路”，也称为“二次仪表”，是把转换元器件输出的电信号放大，转换为便于显示、记录、处理和控制的有电信号的电路。这些电路的类型视传感器类型而定，通常采用的有电桥电路、放大器电路、变阻器电路、A/D 与 D/A 转换电路、调制电路和振荡器电路等。

4. 辅助电源

有的传感器需要外部电源供电，有的传感器则不需要外部电源供电，如压电传感器。实际上，传感器的组成因被测量、转换原理、使用环境及性能指标要求等具体情况的不同而有一定的差异。最简单的传感器由一个敏感元器件（兼转换元器件）组成，它感知被测量时直接输出电量，如热电偶。有些传感器由敏感元器件和转换元器件组成，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器件，压电片是转换元器件。有些传感器的转换元器件不止一个，要经过若干次转换。

如果所要测量的非电量正好是某传感器能转换的那种非电量，而该传感器转换出来的电量又正好能为后面的显示、记录电路所利用，那么只要由这种传感器和显示仪表便可构成一个非电量测量系统。例如，热电偶测量温度时产生的热电势可以驱动动圈式毫伏计。

四、传感器的分类

传感器一般是根据物理学、化学、生物学等特性、规律和效应设计而成的。由某一原理设计的传感器可以同时测量多种非电量，而有时一种非电量又可用几种不同的传感器测量，

因此传感器的分类方法有很多,一般可按以下几种方法进行分类。

1. 按被测物理量的性质进行分类

按被测物理量的性质进行分类,可分为温度传感器、湿度传感器、压力传感器、位移传感器、流量传感器、液位传感器、力传感器、加速度传感器、转矩传感器等。

2. 按工作原理进行分类

这种分类方法是以工作原理,将物理和化学等学科的原理、规律和效应作为分类依据,将其分为参量传感器、发电传感器、脉冲传感器及特殊传感器。其中参量传感器有触点传感器、电阻传感器、电感传感器、电容传感器等;发电传感器有光电传感器、压电传感器、热电偶传感器、磁电传感器、霍尔传感器等;脉冲传感器有光栅、磁栅、感应同步器、码盘等;特殊传感器是不属于以上3种类型的传感器,如光纤传感器、超声波传感器等。

3. 按输出信号的性质进行分类

按输出信号的性质分为模拟传感器和数字传感器,即传感器的输出量为模拟量或数字量。数字传感器便于与计算机连用,且抗干扰性强。例如,盘式角压数字传感器、光栅传感器等。

另外,根据传感器输出的能量可分为有源传感器和无源传感器。

前者将非电能量转换为电能,称之为能量转换型传感器。通常配合有电压测量电路和放大器,如压电式、热电式、电磁式等。无源传感器又称能量控制型传感器。它本身不是一个换能器,被测非电量仅对传感器中能量起控制或调节作用。所以,它们必须有辅助电源,这类传感器有电阻式、电容式、电感式等。由于按工作原理的分类方法具有较为系统、避免名目过多等优点,所以本课程中主要采用这种分类方式对各种常用传感器进行介绍。

五、传感器的特性参数

传感器的基本特性可用其静态特性和动态特性来描述。本课程主要就其静态特性进行介绍。传感器的静态特性是指传感器转换的被测量数值处在稳定状态时,传感器的输出与输入的关系。传感器静态特性的主要技术指标有灵敏度、线性度、频率响应特性、稳定性、精度等。

1. 灵敏度

灵敏度表示传感器的输入增量 Δx 与由它引起的输出增量 Δy 之间的函数关系。即灵敏度 K 等于传感器输出增量与被测增量之比,它是传感器在稳态输出输入特性曲线上各点的斜率,用下式表示:

$$K = \frac{dy}{dx} = \frac{df(x)}{dx} = f'(x) \quad (1-1)$$

灵敏度 K 表示单位被测量的变化所引起传感器输出值的变化量。 K 值越高表示传感器越灵敏。

传感器的灵敏度越高,可以感知越小的变化量,即被测量稍有微小变化时,传感器即有较大的输出。但灵敏度很高时,与测量信号无关的外界噪声也容易混入,并且噪声也会被放大。因此,对传感器往往要求有较大的信噪比。

对于线性传感器，它的灵敏度就是它的静态特性的斜率。非线性传感器的灵敏度为一变量，灵敏度随输入量的变化而变化，如图 1-3 所示。从输出曲线看，曲线越陡，灵敏度越高。

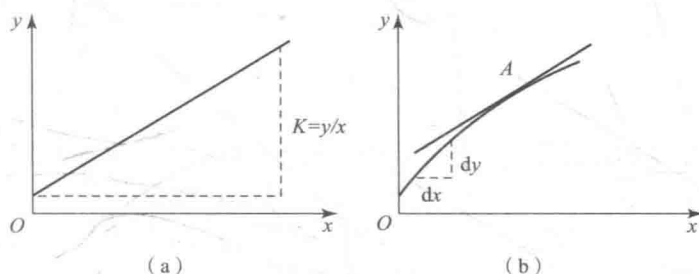


图 1-3 传感器特性曲线
(a) 线性传感器特性曲线；(b) 非线性传感器特性曲线

2. 线性度

传感器的线性度是指传感器输出与输入之间的线性程度。

从理论上讲，在线性范围内，灵敏度保持定值。传感器的线性范围越宽，则其量程越大，并且能保证一定的测量精度。在选择传感器时，当传感器的种类确定以后首先要看其量程是否满足要求。

但实际上，任何传感器都不能保证绝对的线性，其线性度也是相对的。当所要求测量精度比较低时，在一定的范围内，可将非线性误差较小的传感器近似看作线性的，这会给测量带来极大的方便。

传感器的理想输出—输入特性是线性的，它具有以下优点：

- (1) 可大大简化传感器的理论分析和设计计算。
- (2) 为标定和数据处理带来很大方便，只要知道线性输出—输入特性上的两点（一般为零点和满度值）就可以确定其余各点。
- (3) 可使仪表刻度盘均匀刻度，因而制作、安装、调试容易，提高测量精度。
- (4) 避免了非线性补偿环节。

3. 频率响应特性

传感器的频率响应特性决定了被测量的频率范围，必须在允许频率范围内保持不失真的测量条件，实际上传感器的响应总有一定延迟，希望延迟时间越短越好。传感器的频率响应高，可测的信号频率范围就宽，而由于受到结构特性的影响，机械系统的惯性较大，因而频率低的传感器可测信号的频率较低。

在动态测量中，应考虑到信号的特点（稳态、瞬态、随机等）响应特性，以免产生过大的误差。

4. 稳定性

稳定性是传感器长时间工作情况下输出量发生的变化。影响传感器稳定性的因素是时间与环境。

为了保证稳定性，在选用传感器之前，应对使用环境进行调查，以选择合适的传感器类

型。例如，电阻应变式传感器，湿度会影响其绝缘性，温度会影响其零漂，长期使用会产生蠕变现象。又如，对于变极距型电容传感器，环境湿度或油剂浸入间隙时，会改变电容器介质。光电传感器的感光表面有灰尘或水泡时，会改变感光性质。对于磁电传感器或霍尔效应元件等，当在电场、磁场中工作时，亦会带来测量误差。滑线电阻传感器表面有灰尘时，将会引入噪声。

5. 精度

精度用于评价系统的优良程度，传感器的精度是指测量结果的可靠程度。工程技术中为简化传感器精度的表示方法，引用了“精度等级”概念。精度等级以一系列标准百分比数值分档表示，如压力传感器的精度等级分别为 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 等。设计和出厂检验传感器时，其精度等级代表的误差是指传感器测量的最大允许误差。

除了上述特性参数外，传感器的迟滞、重复性及环境特性也是选用传感器时应考虑的重要因素。

任务二 认识传感器与检测技术综合实验台

传感器与检测技术综合实验台如图 1-4 所示。

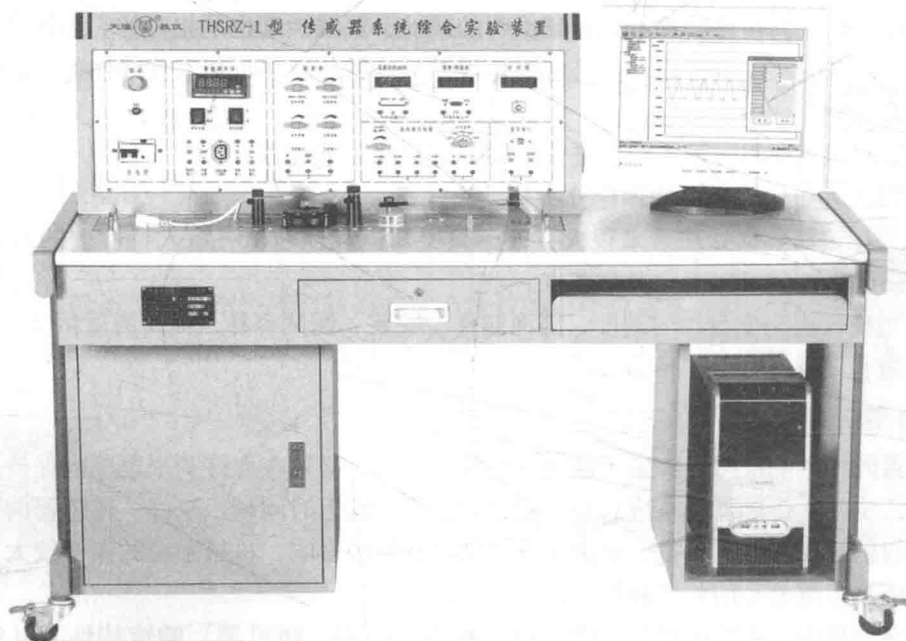


图 1-4 传感器与检测技术综合实验台

一、概述

“THSRZ-1 型传感器系统综合实验装置”是将传感器、检测技术及计算机控制技术有机地结合，开发成功的新一代传感器系统实验设备。适用于各大、中专院校开设“传感器

原理”“非电量检测技术”“工业自动化仪表与控制”等课程的实验教学。

二、装置特点

实验台桌面采用高绝缘度、高强度、耐高温的高密度板,具有接地、漏电保护,采用高绝缘的安全型插座,安全性符合相关国家标准。

完全采用模块化设计,将被测源、传感器、检测技术有机地结合,使学生能够更全面地学习和掌握信号传感、信号处理、信号转换、信号采集和传输的整个过程;紧密联系传感器与检测技术的最新进展,全面展示传感器相关的技术。

三、设备构成

实验装置由主控台、检测源模块、传感器及调理(模块)、数据采集卡组成。

1. 主控台

- (1) 信号发生器: 1~10 kHz 音频信号, $U_{p-p}=0\sim17\text{ V}$ 连续可调。
- (2) 1~30 Hz 低频信号, $U_{p-p}=0\sim17\text{ V}$ 连续可调,有短路保护功能。
- (3) 四组直流稳压电源: +24 V, $\pm15\text{ V}$ 、+5 V、 $\pm2\sim\pm10\text{ V}$ 分五挡输出, 0~5 V 可调,有短路保护功能。
- (4) 恒流源: 0~20 mA 连续可调,最大输出电压为 12 V。
- (5) 数字式电压表: 量程 0~20 V, 分为 200 mV、2 V、20 V 三挡,精度 0.5 级。
- (6) 数字式毫安表: 量程 0~20 mA, 三位半数字显示,精度 0.5 级,有内测外测功能。
- (7) 频率/转速表: 频率测量范围为 1~9 999 Hz, 转速测量范围为 1~9 999 r/min。
- (8) 计时器: 0~9 999 s, 精确到 0.1 s。
- (9) 高精度温度调节仪: 多种输入输出规格,人工智能调节以及参数自整定功能,先进控制算法,温度控制精度为 $\pm0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2. 检测源

加热源: 0~220 V 交流电源加热,温度可控制在室温~120 $^{\circ}\text{C}$ 。

转动源: 0~24 V 直流电源驱动,转速可调在 0~3 000 r/min。

振动源: 振动频率为 1~30 Hz (可调),共振频率为 12 Hz 左右。

3. 各种传感器

包括应变传感器、差动变压器、差动电容传感器、霍尔位移传感器、扩散硅压力传感器、光纤位移传感器、电涡流传感器、压电加速度传感器、磁电传感器、PT100、AD590、K 型热电偶、E 型热电偶、Cu50、PN 结温度传感器、NTC、PTC、气敏传感器(酒精敏感,可燃气体敏感)、湿敏传感器、光敏电阻、光敏二极管、红外传感器、磁阻传感器、光电开关传感器、霍尔开关传感器。

选配包括扭矩传感器、光纤压力传感器、超声位移传感器、PSD 位移传感器、CCD 电荷耦合传感器、圆光栅传感器、长光栅传感器、液位传感器、涡轮式流量传感器。

4. 处理电路

包括电桥、电压放大器、差动放大器、电荷放大器、电容放大器、低通滤波器、涡流变