



21世纪全国本科院校电气信息类**创新型**应用人才培养规划教材

传感器技术及应用电路 项目化教程

钱裕禄 编著



教学内容形象生动，集“教、学、做”于一体，便于自主研究性学习
问题探究型教学，围绕着现实生活中的典型应用案例展开，生动有趣
网络资源丰富，提供课程配套素材、课件、题库和研究性学习方案等



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材

传感器技术及应用电路项目化教程

钱裕禄 编 著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书内容主要包括：现代检测技术及传感器基础知识；手机和 iPad 2 中的传感器应用；汽车控制中的传感器应用；典型传感器及其应用（如超声波传感器、光电传感器、红外传感器、霍尔传感器、气敏传感器、温度传感器、湿度传感器和智能化传感器等）；无线传感器网与物联网；传感器在现代检测系统中的应用。本书整体编写思路是“模块化+项目化”，模块化突出的是以“被测物理量为研究对象”，每个模块由若干个项目组成，每个项目以某一个具体传感器应用设计为依托。

本书可以作为普通高等院校电子信息工程、自动控制、电子工程、应用电子技术、电气工程、工业自动化等相关专业的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

传感器技术及应用电路项目化教程/钱裕禄编著. —北京：北京大学出版社，2013.2

(21世纪全国本科院校电气信息类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-22110-5

I. ①传… II. ①钱… 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(2013)第 024988 号

书 名：传感器技术及应用电路项目化教程

著作责任者：钱裕禄 编著

策划编辑：郑 双 程志强

责任编辑：郑 双

标准书号：ISBN 978-7-301-22110-5/TP·1273

出版发行：北京大学出版社

地 址：北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址：<http://www.pup.cn> 新浪官方微博：@北京大学出版社

电子信箱：pup_6@163.com

电 话：邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

印 刷 者：北京宏伟双华印刷有限公司

经 销 者：新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 348 千字

2013 年 2 月第 1 版 2013 年 2 月第 1 次印刷

定 价：30.00 元

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究

举报电话：010-62752024 电子信箱：fd@pup.pku.edu.cn

前 言

传感技术是现代信息技术三大支柱之一，与通信技术、计算机技术一起构成信息技术系统的“感官”、“神经”和“大脑”。当前，随着利用新材料、新原理和新工艺等制成的各种新型传感器的不断开发，MEMS 技术的发展和智能传感器的使用，传感器技术在工控自动化、家用电器、医疗电子、汽车测控、机器人、环境保护、航空航天和军事应用等传统领域的应用得到了迅猛发展。随着无线传感器网的广泛应用和物联网的迅速发展，传感器技术的应用空间得到了拓展和深入，而智能手机中各种传感器应用带来的“功能革命”，更是让我们感受到身边充满了传感器技术的各类应用。

在课程创新教学改革和实践中，让学生“学什么”、“怎么学”和“如何更好地学”是必须要认真思考的问题，而如何有效结合学生本身特点、社会对人才的需求和专业培养目标等来开展课程教育改革创新是成功的关键。能力表现是多方面的，如人际交往能力、协作能力、学习能力、实验实践动手能力、工科报告撰写能力、考试能力等。同时创新也是多方面的，包括教学内容革新、教学模式及落实措施的改进、教育理念创新等。学生是学习的主体，如何有效地调动他们的主观能动性和学习兴趣是关键，而教师在学习中的位置更多是“引”和“导”，学习不应该是给学生多少“水”的问题，而应该是让他们“学会学习”，去更好地找“水源”，发现问题、研究问题并最终解决问题。如何有效地构建“教师导学和学生主动学习的新型教与学关系”和形成师生间课程学习的“良性互动”，除了制度、规则等的保障外，好的“剧本”——教材更是关键，本书正是基于这样的理念和出发点而编写的。

总体来说，本书淡化传感器数学模型及公式推算、内部构造及制造工艺、复杂的系统模型设计和过多的体系强调等内容，突出的是对传感器的“认识”、“在哪里用”、“如何用”、“应用中需要注意什么问题”和“应用前端、中间处理端及后端关系”等。

书中知识点的落实载体是日常生活中的应用实例，整体编写思路是“模块化+项目化”，模块化突出的是以“被测物理量为研究对象”，每个模块由若干个项目组成，每个项目以某一个具体传感器应用设计为依托。让学生对现代典型传感器和检测技术有一定的了解，熟悉各类典型传感器的选型、基本工作原理、基本应用电路和应用注意事项等，同时能从“工程”角度独立构建一个基本检测控制系统等；为了使知识点更深入，加强学生检测系统应用的批判质疑能力培养，这一模块主要依据“项目化”内容的团队协作研讨、应用电路制作及调试等来落实。

对于每个教学项目，从传感器的参数入手，设计出具体的应用电路，分析了电路的工作原理，并对电路的制作与调试作了阐述；突出“实训过程”，通过各项目学习，可以提高学生的动手能力及分析、解决问题的能力，从而培养学生的职业能力，实现“教、学、做”一体化。

本书内容中第一部分即为第 1 章“现代检测技术及传感器基础知识”，它由测量及误差的基本知识、现代测试系统概述和传感器基础知识和基本接口电路三个知识模块组成；第二部分包括“手机和 iPad2 中的传感器应用”和“汽车控制中的传感器应用”两章，这两章的设置主要是结合生活中的典型应用来进行有效引导，让学生进入角色；“典型传感器及其应



用”是第三部分，内容包括超声波传感器、光电传感器、红外传感器、霍尔传感器、气敏传感器、温度传感器、湿度传感器和智能化传感器等，也就是第4~11章，它是本书内容的主体所在，在知识点安排上首先是介绍传感器基础背景知识和工作原理等，然后通过“项目化”实施来拓展和深化知识点，最后是必要的应用拓展；第四部分内容为“无线传感器网与物联网”，即第12章，这部分内容围绕着无线传感器网和物联网的相关知识点展开，是作为传感器技术应用的纵深和拓展；“传感器在现代检测系统中的应用”作为最后一部分，即第13章，本章以传感器在智能建筑中的应用为例，从系统应用角度展开知识点的阐述。

在具体教学实施上，理论讲解主要是教师的“引”和“导”，课内学时分配为12学时，其中第一、二、四、五部分为4学时，第三部分为8学时，而课外则以BBS作业的形式提前让学生围绕问题进行探究。

围绕“典型传感器及应用”开展的研究性学习和合作研讨，课内分配学时为12学时。具体研讨主要围绕下列话题展开，具体研究性学习和合作研讨方案详见教学论坛。

- (1) 红外传感器、声音传感器的应用电路设计；
- (2) 声、光、电一体化控制实现；
- (3) 超声波传感器、光敏传感器的应用电路设计；
- (4) 倒车雷达工作机理；
- (5) 光敏传感器有关DIY制作；
- (6) 蔬菜大棚温、湿度控制系统；
- (7) 霍尔传感器的生活应用；
- (8) 温、湿和磁敏传感器的应用；
- (9) 气体监控报警系统的设计；
- (10) 传感在智能楼宇中的应用；
- (11) 传感在现代汽车中的应用；
- (12) 传感器与单片机接口问题；
- (13) 检测系统与传感器应用；
- (14) 传感器在机器人中的应用；
- (15) 传感器在数控机床中的应用；
- (16) 手机和iPad2中的传感器应用。

而实验实践环节分为课内实验和课外开放创新实践两部分，学时为“课内8学时+课外16学时”，以“模块化+项目化”的形式展开教学活动。

实验序号	实验项目名称	实验性质	学时
实验一	555报警应用电路的制作	设计	4
实验二	(1) 光电传感器的基本测试	验证	
	(2) 光控报警电路的设计	综合	
实验三	(1) 酒精气体传感器的测试	验证	2
	(2) 酒精报警电路的设计	综合	
实验四	(1) 温、湿度传感器的验证	验证	2
	(2) 温、湿度检测模块的设计	设计	

目前有的课外开放创新实践项目如下所示，这些项目也就是本书中的各“应用项目”。

- (1) 超声波测距模块的设计；
- (2) 声光控延时开关电路的设计；
- (3) 光敏二极管在路灯控制器中的应用；
- (4) 热释电传感器在照明控制中的应用；
- (5) 红外感应烘手器的组装与调试；
- (6) 霍尔开关传感器在转速仪中的应用；
- (7) 酒精检测模块的设计；
- (8) 可燃气体泄漏报警和控制电路设计；
- (9) 测温电路应用制作和实现；
- (10) 湿敏电阻在简易湿度计中的应用。

实际操作中，每位同学选上述项目的其中 1 至 2 个项目独立完成电路设计与制作，并完成报告的撰写，最后是展示结果并接受同学提问等。

课程教学 BBS 为 <http://cg.js.zwu.edu.cn/bbs>，所有课件、数字资源和其他相关资料均共享在论坛上，同时这也是我们展开教学过程实施和研讨的场所，须实名注册。

编者

2012 年 10 月

目 录

第 1 章 现代检测技术及传感器基础知识	1
1.1 测量及误差的基本知识.....	2
1.1.1 测量方法	2
1.1.2 测量误差	3
1.1.3 精密度、准确度和精确度	5
1.2 现代测试系统概述.....	6
1.2.1 现代测试系统基本结构与类型	6
1.2.2 现代测试技术的发展趋势	9
1.2.3 现代测试系统应用示例简介	10
1.3 传感器基础知识和基本接口电路.....	11
1.3.1 传感器基础知识	12
1.3.2 传感器接口电路	18
第 2 章 手机和 iPad2 中的传感器应用	21
2.1 手机中的传感器应用.....	22
2.1.1 手机中的摄像头	22
2.1.2 手机中的光线传感器	25
2.1.3 手机中的磁控传感器	28
2.1.4 手机中的电阻屏和电容屏	31
2.1.5 手机中的电子罗盘	36
2.1.6 手机中的其他传感器	39
2.2 iPad2 中的传感器应用	40
第 3 章 汽车控制中的传感器应用	43
3.1 汽车传感器的应用概述及分类.....	44
3.1.1 汽车传感器的应用概述	44
3.1.2 汽车传感器的种类	45
3.2 汽车发动机控制传感器.....	45
3.2.1 空气流量传感器	45
3.2.2 曲轴位置传感器	49
3.2.3 进气歧管压力传感器	52
3.2.4 温度传感器	53
3.2.5 节气门位置传感器	54
3.2.6 氧传感器	57



3.2.7 爆燃传感器	59
3.2.8 车速传感器	61
3.3 汽车车身控制传感器	63
第4章 超声波传感器及其应用	67
4.1 声波的分类	68
4.2 超声波探头及其基本工作原理	70
4.2.1 超声波探头	70
4.2.2 超声波传感器基本工作原理	72
4.3 超声波传感器项目化应用	73
4.4 超声波传感器的其他应用	79
第5章 光电传感器及其应用	85
5.1 光电效应及对应典型器件	86
5.1.1 外光电效应及对应器件	86
5.1.2 光电导效应及对应器件	87
5.1.3 光生伏特效应对应器件	88
5.2 典型光电器件的项目化应用	94
5.3 光电传感器典型应用	105
第6章 红外传感器及其应用	110
6.1 红外传感器	111
6.2 典型红外器件的项目化应用	113
第7章 霍尔传感器及其应用	126
7.1 霍尔效应与霍尔传感器	127
7.1.1 霍尔元件	128
7.1.2 集成霍尔传感器	130
7.2 集成霍尔传感器的项目化应用	132
7.3 霍尔传感器的典型应用	137
7.3.1 霍尔传感器在汽车电子中的应用	137
7.3.2 霍尔式无刷电动机	139
7.3.3 霍尔式接近开关	140
7.3.4 霍尔电流表	141
第8章 气敏传感器及其应用	143
8.1 半导体气敏传感器	144
8.2 气敏传感器的项目化应用	147
8.3 气敏传感器的其他典型应用	156



第 9 章 温度传感器及其应用.....	162
9.1 温度传感器.....	163
9.1.1 阻式温度传感器.....	164
9.1.2 热电偶.....	167
9.1.3 集成温度传感器.....	169
9.2 温度传感器项目化应用.....	173
第 10 章 湿度传感器及其应用.....	179
10.1 湿度传感器.....	180
10.1.1 湿度的表示方法.....	180
10.1.2 湿度传感器的分类.....	181
10.1.3 湿度传感器的工作原理.....	181
10.2 湿度传感器的项目化应用.....	182
10.3 湿度传感器的典型应用.....	186
第 11 章 智能化传感器及其应用.....	190
11.1 智能传感器的基本概念.....	191
11.2 典型智能传感器及其应用.....	192
11.2.1 多功能式湿度/温度/露点智能传感器系统.....	192
11.2.2 多功能式浑浊度/电导/温度智能传感器系统.....	194
11.2.3 烟雾检测报警 IC.....	196
11.2.4 生物传感器.....	197
11.3 智能传感器的发展趋势.....	201
第 12 章 无线传感器网与物联网.....	205
12.1 无线传感器网.....	206
12.1.1 无线传感器网(Wireless Sensor Networks, WSN)简介.....	206
12.1.2 基于射频识别的传感器网络.....	207
12.2 物联网.....	208
12.2.1 物联网技术.....	209
12.2.2 国内外物联网发展现状.....	211
12.2.3 物联网认识方面的误区.....	213
12.2.4 物联网在物流业中的应用.....	213
12.2.5 未来物联网在物流业的应用将出现的几大趋势.....	215
12.2.6 物联网在物流业应用和发展中需要注意的几大问题.....	216
12.2.7 物联网的其他成功应用案例.....	216
第 13 章 传感器在现代检测系统中的应用.....	219
参考文献.....	229

第1章

现代检测技术及传感器基础知识



教学目标

本部分内容主要以“测量及误差的基本知识”、“现代测试系统概述”和“传感器基础知识和基本接口电路”三大知识模块的形式来落实的。主要学习内容有关检测技术中的测量方法、误差及其处理方法；现代测试系统的类型与结构、典型应用及其发展趋势和现代检测技术的特点等；现代传感技术的相关知识，包括传感器技术应用，传感器的定义、组成、分类、特性参数和选用原则等，同时说明现代传感器技术的发展和趋势。

通过本章的学习，读者会对测量的各种方法有大体的了解，同时能根据现有的现象来判别具体属于哪种误差；熟悉现代测试系统的基本结构和分类，同时了解现代检测技术的发展趋势和现实应用情况；理解传感器的定义和基本工作原理，并在此基础上理解传感器的各项静态技术指标，熟悉实际使用中传感器的选用原则，了解传感器信号的特点和对应的接口电路的设置。



教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
测量及误差的基本知识	(1) 了解不同的测量方法 (2) 熟悉误差的分类	(1) 测量 (2) 误差
现代测试系统概述	(1) 熟悉现代测试系统的结构与类型 (2) 了解现代检测技术发展趋势和应用	(1) 现代测试系统 (2) 检测技术
传感器基础知识	(1) 理解传感器的特性和技术指标 (2) 熟悉传感器的选择考虑依据 (3) 了解传感器基本接口电路	(1) 传感器基础知识 (2) 基本接口电路



测试的基本任务是获取有用的信息,即借助专门的设备、仪器来设计合理的实验方法与必需的信号分析及数据处理方法,获得与被测对象有关的信息,最后将结果进行显示或输入到其他信息处理装置、控制系统。

完整的测试过程包括的要素有被测对象、测试方法、数值和计量单位、测量误差等。在这过程中,如何准确地获取第一手被测对象的信息资料是十分关键的,而担当这个角色的主要是传感器,这当中传感技术使用得当与否直接影响到测试的实际结果。应该说,传感器是连接外界测试对象和测试系统内部处理的第一道关。

1.1 测量及误差的基本知识

本知识模块主要学习测量方法、误差分类、测量结果的数据统计处理,以及传感器的基本特性等,它们是检测与转换技术的理论基础。同时在完整的测试过程中,这两方面是必不可少的,下面结合大家以前学过的相关知识来概要地回顾和说明一下,为后阶段更好地理解 and 掌握测试系统打下基础。

1.1.1 测量方法

1. 直接测量和间接测量

直接测量是指用已标定的仪器,直接地测量出某一待测未知量的量值,如电子卡尺的应用;而间接测量是指对与未知待测量 y 有确切函数关系的其他变量 x (或 n 个变量)进行测量,然后再通过函数,计算出待测量 y ,也就是说对多个被测量进行测量,经过计算求得被测量,如阿基米德对皇冠的密度测量等。

2. 接触式测量和非接触式测量

接触式测量顾名思义其测量方式是接触的,如常见的少儿体温测量等;而非接触式测量避免了对被测对象的影响采用非接触的方式,如红外测温、倒车雷达和车载电子警察等。

3. 静态测量和动态测量

静态测量是对不随时间变化的(静止)或变化缓慢的被测量进行测量,如最高、最低温度测量等;而动态测量是对随时间变化的被测量进行测量,需确定被测量的瞬时值及其随时间变化的规律,如地震测量、实时心电监护等。

4. 离线测量和在线测量

离线测量,也就是说离开生产现场去进行的产品测量,如产品质量检验等测量过程;而在线测量,如生产流水线上的有关测量,在流水线上边加工、边检验,可提高产品的一致性和加工精度。



1.1.2 测量误差

1. 测量误差相关的基本概念

真值:指被测量在一定条件下客观存在的、实际具备的量值。真值是不可确切获知的,实际测量中常用“约定真值”和“相对真值”。约定真值是用约定的办法确定的真值,如砝码的质量。相对真值是指具有更高精度等级的计量器的测量值。

标称值:指计量或测量器具上标注的量值,如标准砝码上标注的质量数等。

示值:指由测量仪器(设备)给出的量值,也称测量值或测量结果。

测量误差:指测量结果与被测量真值之间的差值。

误差公理:指一切测量都具有误差,误差自始至终存在于所有科学实验的过程之中。研究误差的目的是找出适当的方法减小误差,使测量结果更接近真值。

准确度:测量结果中系统误差与随机误差的综合,表示测量结果与真值的一致程度,由于真值未知,准确度是个定性的概念。

测量不确定度:表示测量结果不能肯定的程度,或者说是表征测量结果分散性的一个参数。它只涉及测量值,是可以量化的,经常由被测量算术平均值的标准差、相关量的标定不确定度等联合表示。

重复性:指相同条件下,对同一被测量进行多次测量所得到的结果之间的一致性。相同条件主要包括相同的测量程序、测量方法、观测人员、测量设备和测量地点等。

2. 误差的表示方法

绝对误差 ΔA 是示值 A_x 与真值 A_0 之差,即 $\Delta A = A_x - A_0$,其中 ΔA 也称为修正值或补值。由于真值 A_0 一般无法求得,因而绝对误差只有理论意义。

相对误差是指绝对误差与真值之比,即

$$\gamma_0 = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\% \quad (1-1)$$

在误差较小时,可以用测量值代替真值,称为示值相对误差 γ_x 。

$$\gamma_x = \frac{\Delta A}{A_x} \times 100\% \quad (1-2)$$

引用误差是绝对误差与测量仪表量程之比,按最大引用误差将电测量仪表的准确度等级分为7级,指数 α 分别为0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0。

$$\gamma_n = \frac{\Delta A}{A_m} \times 100\%, \quad \gamma_{nm} = \frac{|\Delta A|_m}{A_m} \times 100\% \leq \alpha\% \quad (1-3)$$

所以电测量仪表在使用中的最大可能误差为: $\Delta A_m = \pm A_m \times \alpha\%$ 。

思考一下:

1. 某采购员分别在三家商店购买100kg大米、10kg苹果、1kg巧克力,发现均缺少约0.5kg,但该采购员对卖巧克力的商店意见最大,是何原因?

2. 某1.0级电压表,量程为300V,求测量值 U_x 分别为100V和200V时的最大绝对误差 ΔU_m 和示值相对误差 γ_{Ux} 。



3. 测量误差的分类

1) 按产生原因分类

测量误差按产生原因可以分为方法误差、环境误差、装置误差、数据处理误差和随机误差等。

方法误差：指由于检测系统采用的测量原理与方法本身所产生的测量误差，是制约测量准确性的主要原因。

环境误差：指由于环境因素对测量影响而产生的误差。例如，环境温度、湿度、灰尘、电磁干扰、机械振动等存在于测量系统之外的干扰会引起被测样品的性能变化，使检测系统产生的误差。

装置误差：指检测系统本身固有的各种因素影响而产生的误差。传感器、元器件与材料性能、制造与装配技术水平等都直接影响检测系统准确性和稳定性产生的误差。

数据处理误差：检测系统对测量信号进行运算处理时产生的误差，包括数字化误差、计算误差等。

随机误差：相同条件下测量产生的偶然误差(重复测量)。

2) 按误差性质分类

测量误差按误差性质可以分为系统误差、随机误差、粗大误差和动态误差等。

系统误差：指在重复条件下，对同一物理量无限多次测量结果的平均值减去该被测量的真值。系统误差大小、方向恒定一致或按一定规律变化。

系统误差也称装置误差，它反映了测量值偏离真值的程度，例如，夏天摆钟变慢的原因是什么？凡误差的数值固定或按一定规律变化者，均属于系统误差。系统误差是有规律性的，因此可以通过实验的方法或引入修正值的方法计算修正，也可以重新调整测量仪表的有关部件予以消除。

随机误差：在同一条件下，多次测量同一被测量时，有时会发现测量值时大时小，误差的绝对值及正、负以不可预见的方式变化，该误差称为随机误差，也称偶然误差，它反映了测量值离散性的大小。

随机误差是测量过程中许多独立的、微小的、偶然的因素引起的综合结果。产生原因主要是温度波动、振动、电磁场扰动等不可预料和控制的微小变量。测量示值减去在重复条件下同一被测量无限多次测量的平均值，随机误差具有抵偿特性，存在随机误差的测量结果中，虽然单个测量值误差的出现是随机的，既不能用实验的方法消除，也不能修正，但是就误差的整体而言，多数随机误差都服从正态分布规律。

粗大误差：主要是由于测量人员的粗心大意及电子测量仪器受到突然而强大的干扰所引起的明显超出规定条件下预期的误差，它是统计异常值，也叫过失误差。

粗大误差产生的原因主要是读数错误、仪器有缺陷或测量条件突变、外界过电压尖峰干扰等造成的，如打雷导致的示波器测试数据异常。就数值大小而言，粗大误差明显超过正常条件下的误差，当发现粗大误差时，应予以剔除。

动态误差：指当被测量随时间迅速变化时，系统的输出量在时间上不能与被测量的变化精确吻合，这种误差称为动态误差，如由心电图仪放大器带宽不够引起的误差等。

4. 测量误差的常见处理

系统误差的消除通常是根据不同测量目的,对测量仪器和仪表、测量条件、测量方法及步骤等进行全面分析,发现系统误差,采用相应的措施来消除或减弱它:分析系统误差产生的根源,从产生的来源上消除,如仪器、环境、方法、人员素质等;分析系统误差的具体数值和变换规律,利用修正的方法来消除,如通过资料、理论推导或者实验获取系统误差的修正值,最终测量值=测量读数+修正值;针对具体测量任务可以采取一些特殊方法,从测量方法上减小或消除系统误差,如差动法、替代法。特别强调:多次测量求平均值不能减小系统误差。

随机误差常采用平均值处理方法,即被测样品的真实值是当测量次数 n 为无穷大时的统计期望值。以算术平均值作为检测结果比单次测量更为准确,而且在一定测量次数内,测量精度将随着采样次数的增加而提高。直接采样信号的平均值就是系统对检测信号的最佳估计值,可用平均值代表其相对真值;如果被测量与直接采样信号函数关系明确,将各直接量的最佳估计值代入该函数,所求出值即为被测量的最佳估计值。

粗大误差的剔除方法:物理判别法,即测量过程中,由于人为因素(读错、记录错、操作错)或不符合实验条件、环境突变(突然振动、电磁干扰等)引起的,采用随时发现、随时剔除、重新测量的方法;统计判别法是指测量完毕,按照统计方法处理数据,在一定的置信概率下确定置信区间,超过误差限的判为异常值,予以剔除。

1.1.3 精密度、准确度和精确度

测量中所测得数值重现性的程度,称为精密度,它反映随机误差的影响程度,精密度高就表示随机误差小。

测量值与真值的偏移程度,称为准确度,它反映系统误差的影响精度,准确度高就表示系统误差小。

精确度(精度)反映测量中所有系统误差和随机误差综合的影响程度。在一组测量中,精密度高的准确度不一定高,准确度高的精密度也不一定高,但精确度高,则精密度和准确度都高。

精密度与准确度的关系可以用如图 1.1 所示的打靶例子来说明,图 1.1(a)中表示精密度和准确度都很好,则精确度高;图 1.1(b)表示精密度很好,但准确度却不高;图 1.1(c)表示精密度与准确度都不好。

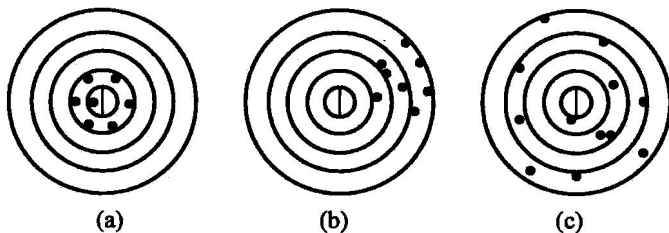


图 1.1 精密度和准确度的关系



1.2 现代测试系统概述

本知识模块主要讲述现代测试系统的基本结构、典型类型、具体应用和现代测试技术的发展趋势等，主要从宏观上把握现代测试系统的相关知识点。

1.2.1 现代测试系统基本结构与类型

现代检测系统可分为智能仪器、个人仪器和自动测试系统三种基本结构体系。现代测试系统的基本结构与类型示意图如图 1.2 所示。

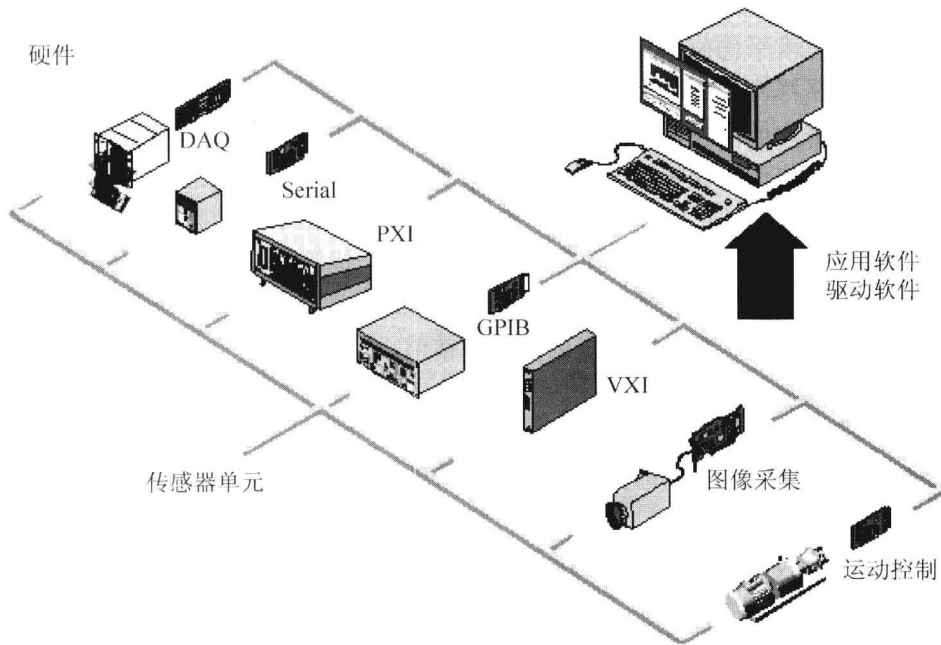


图 1.2 现代测试系统基本结构与类型示意图

将诸如微处理器、存储器、接口等芯片与传感器融合在一起，可组成智能仪器。它有小键盘、开关、按键及显示屏等，多使用汇编语言，体积小，专用性强。当前市场上这一类电子产品还是比较多的。

个人仪器又称个人计算机仪器系统，它是以个人计算机(必须符合工控要求)配以适当的硬件电路与传感器组合而成的检测系统。组装个人仪器时，将传感器信号传送到相应的接口板(或接口盒)中，再将接口板插到工控机总线扩展槽中或将接口盒的 USB 插头插入计算机相应的插座上，编写相应的软件就可以完成自动检测功能。

自动测试系统，传统意义上来说是指以工控机为核心，以标准接口总线为基础，以可编程的多台智能仪器为下位机组合而成的一种现代检测系统。当然一个自动测试系统还可以通过各种标准总线成为其他级别更高的自动测试系统的子系统。许多自动测试系统还可以作为服务器工作站加入到 Internet 网络中，成为网络化测试子系统，从而实现远程监测、远程控制、远程实时调试等。

现代测试系统通常可以分为基本型、标准通用接口型和闭环控制型三种，下面对这三种类型作简要的说明。

1. 基本型

基本型测试系统结构示意图如图 1.3 所示，此处参量指的是各个待测的信号，如温度、压力、光强等。

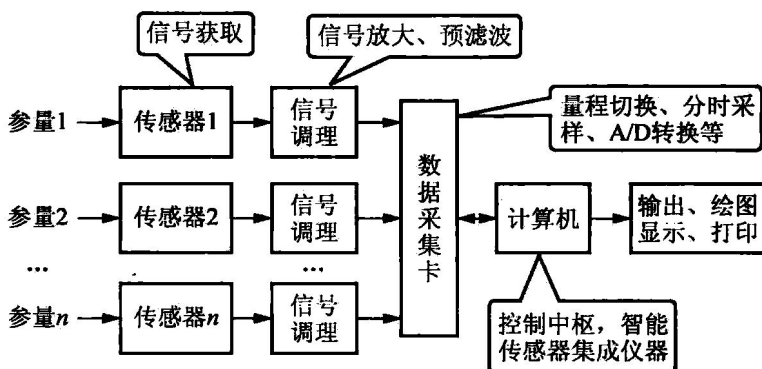


图 1.3 基本型现代测试系统结构示意图

基本型现代测试系统主要是通过数据采集卡采集经过信号调理的各路传感器检测信号，然后在数据采集卡中经过量程切换、分时采样和 A/D(模/数)转换等相关处理，最后通过智能传感器集成仪器等来进行计算和处理的。

基本型对应的典型应用如 PC-DAQ 系统，其基本组成结构示意图如图 1.4 所示。基于 PC-DAQ 组成的虚拟仪器测控系统，通用的构建方法是在计算机上插入数据采集(DAQ)卡，并由驱动软件驱动硬件，通过应用程序构建虚拟面板和发送通信命令，这种类型在当前应用还具有一定的市场，尤其是 DAQ 技术、LabVIEW 编程实现和虚拟仪器技术的发展和综合应用开发，未来的市场前景也会不错的。

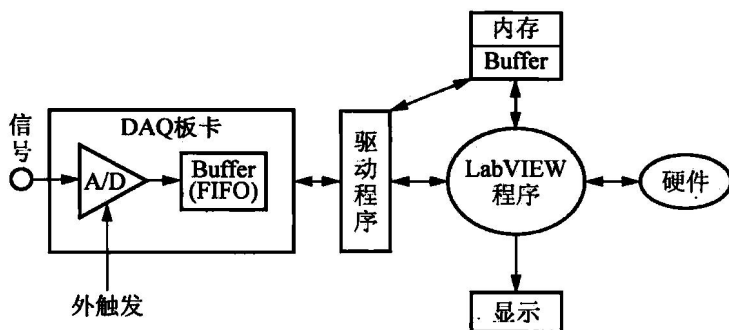


图 1.4 PC-DAQ 系统基本组成结构示意图

2. 标准通用接口型

标准化总线是利用总线技术，进而大大简化系统结构，增加系统的兼容性、开放性、



可靠性和可维护性，便于实行标准化以及组织规模化的生产，从而显著降低系统成本。

所谓总线是指计算机、测量仪器、自动测试系统内部以及相互之间信息传递的公共通路，是计算机和内部测试系统的重要组成部分，是计算机、自动测试系统乃至网络系统的基础。

总线的类别很多，分类方式多样，仅按应用的场合可分为芯片总线、板内总线、机箱总线、设备互连总线、现场总线及网络总线等多种类型。这里简要介绍基于 PC 的测试系统的总线技术：测量仪器机箱总线、测量仪器机箱(机柜)与计算机之间的互连总线。

测量仪器机箱总线是指系统各种机箱的底板总线。在总线底板插槽上插入模拟量输入/输出、数字量输入/输出、频率和脉冲量输入/输出等功能插件，可组成具有不同规模和功能的自动测试系统。这种总线可以分为两类：经有关标准化组织发布的标准总线和各公司设计的专用总线，如 STD 和 CAMAC 总线、ISA 总线、VXI 总线等；各公司设计的专用总线如 PCI、Compact PCI 及 PXI 总线等。

与计算机相对独立的测控机箱或机柜需要用相应的总线(或标准接口)与计算机连接，以组成计算机控制的自动测试系统或网络。实际应用时可采用串行总线或者并行总线两种方式进行连接。

串行总线是指按位传送数据的通路，其连接线少、接口简单、成本低、传送距离远，被广泛用于 PC 与外围设备的连接和计算机网络。常用串行总线有 RS-232C、RS-422A、RS-485、USB 及 IEEE-1394 等。

RS-232C(Recommended Standard)串行接口是计算机与外围设备之间以及计算机与测试系统之间最简单、最普遍的连接方法。采用 23 线连接器，最高的单向数据传输率为 20kb/s，此时的最大传输距离为 15m。适当降低速率，其最大传输距离可达 60m。但它只是一对一的传输，仅用于简单或低速的系统，在实际应用中有一定的市场。

通用串行总线 USB(Universal Serial Bus)是由美国多家公司在 1995 年提出的一种高性能串行总线规范，具有传输速率高、即插即用、热切换(带电插拔)和可利用总线传送电源等特点，能连接 127 个装置。其电缆只有一对信号线和一对电源线，最高传输速率为 480Mb/s，轻巧便宜，适用于传递文件数据和音响信号，新的 PC 都已配上 USB 总线接口。

为提高数据传输速率，在集成式自动测试系统中大多采用并行总线进行连接。并行总线分为标准的和非标准的两类，常用的并行标准总线有通用接口总线 GPIB(IEEE-488)和 SCSI 总线。

3. 闭环控制型

闭环控制型现代测试系统能实现实时数据采集、实时判断决策、实时控制等功能。典型的闭环控制型现代测试系统结构框图如图 1.5 所示。

另外图 1.5 中所谓“执行机构”，通常是指各种继电器，如电磁铁、电磁阀门、电磁调节阀、伺服电动机等，它们在电路中是起通断、控制、调节、保护等作用的电气设备。

现代测试系统主要特点：高精度和高分辨率；高速实时数据分析处理；高可靠性和稳定性；多功能扩展；自校准和自动故障诊断；多种形式输出和存储结果。