



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 智能仪器设计基础

王 祁 ○ 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 智能仪器设计基础

主 编 王 祁  
副主编 赵永平  
主 审 王跃科 张礼勇



机械工业出版社

本书是教育部高等学校仪器仪表学科教学指导委员会选定的“十一五”国家级规划教材。

本书在讲述智能仪器工作原理的基础上,介绍智能仪器的设计方法。主要内容有智能仪器的输入输出通道、外设及其控制技术、通信接口等。以提高学生设计能力为目标,介绍智能仪器总体设计、电路设计及实现、软件设计、抗干扰措施及减少测量误差的设计方法。本书介绍智能仪器的一些新技术,理论联系实际,实用性强。

本书是测控技术与仪器、自动化及相关专业本科生教材,也可供测控技术、自动化、电子、电力、机电一体化、计算机应用等领域的工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

智能仪器设计基础/王祁主编. —北京:机械工业出版社, 2009.12  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
ISBN 978-7-111-28792-6

I. 智… II. 王… III. 智能仪器—设计—高等学校—教材 IV. TP216

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第239034号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王小东 责任编辑:王小东 杨作良 版式设计:张世琴

封面设计:王伟光 责任校对:刘志文 责任印制:杨曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2010年3月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16.25印张·396千字

标准书号:ISBN 978-7-111-28792-6

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

仪器仪表是信息获取的重要工具，它能获得准确的测量数据，用数值描述客观事物，使人们从数量关系上认识客观世界。在自动化、信息化社会中，仪器仪表的作用越来越重要。

智能化是仪器仪表的发展方向。智能仪器是一种新型仪器，它是测量技术、传感器、计算机、微电子、信息处理、人工智能等多种技术相结合的产物。智能仪器功能强，性能指标高，具有自校准、自诊断等功能，目前广泛应用于工业、国防军事、科学研究等部门。

智能仪器是测控技术与仪器专业的主要专业课之一，通过这门课程的学习，可以使学生会利用微处理器和电子线路设计测量仪器和测量系统的方法。本书在讲解智能仪器工作原理的基础上，介绍智能仪器的设计方法，讲述如何根据功能指标的要求进行智能仪器总体设计、电路设计及器件的选择；讲述智能仪器的软件设计方法；介绍抗干扰措施及减少测量误差的设计方法。本书介绍一些智能仪器的新技术和常用的新型电子器件，突出实用性，使学生通过课程学习能够掌握智能仪器及系统的设计方法。

微处理器是智能仪器的核心。随着计算机和电子技术的飞速发展，各种高档单片机、数字信号处理器（DSP）和嵌入式系统（如 ARM 等）都在智能仪器中得到应用，使智能仪器的功能和指标得到很大提高。考虑到本科教学计划和课程设置，本教材主要介绍以单片机为主的智能仪器设计。书中对 DSP 和 ARM 进行简单介绍。学生只要掌握智能仪器的设计方法，在熟悉 DSP 和 ARM 的基础上，完全可以设计基于 DSP 和 ARM 的智能仪器。

全书共分 9 章，第 1 章绪论，简要介绍智能仪器的结构和特点，智能仪器的现状和发展；第 2 章介绍智能仪器中常用的微处理器，包括各种单片机、DSP 和 ARM 等；第 3 章数据采集技术，介绍测量放大器、模拟多路开关、采样保持器、常用的 A/D 转换器及其接口电路；第 4 章模拟量与控制信号输出系统，介绍 D/A 转换器及其接口电路、光耦合器和继电器输出与接口电路；第 5 章智能仪器外设及控制技术，介绍键盘处理技术、LED、LCD 显示处理技术、点阵式微型打印机和触摸屏处理技术；第 6 章智能仪器中的通信接口技术，介绍串行和并行通信接口，包括 RS-232C、RS-485 标准串行接口、GP-IB（IEEE—488）总线、USB 通用串行总线，并简要介绍了以太网接口技术、现场总线 CAN 和蓝牙接口技术；第 7 章智能仪器的自检与抗干扰技术，介绍硬件故障的自检，在分析干扰源的基础上简要介绍智能仪器常用的硬件抗干扰技术和软件抗干扰技术；第 8 章数据处理及程序设计，介绍查表、链表的插入、删除、查找、排序等非数值处理方法和系统误差及随机误差的处理方法，介绍量程自动转换电路的设计，介绍智能仪器系统软件设计，包括监控主程序、键盘管理、中断管理及处理和子程序模块；第 9 章介绍智能仪器的设计方法，并通过智能工频电参数测量仪、智能温度数显表及智能混合气体识别仪实例，讲述智能仪器的设计过程。

本书是作者和哈尔滨工业大学电测教研室多年来从事智能仪器教学和科研工作的总结。1990 年赵新民教授主编了《智能仪器原理及设计》，是国内较早出版的关于智能仪器的教材。1999 年对原书进行修改，出版了《智能仪器设计基础》（原机械工业部“九五”重点教材）。本书是教育部高等学校仪器仪表学科教学指导委员会选定的“十一五”国家级规划教



材。本书第1、2章由王祁编写，第3、4章由赵永平编写，第5章由魏国编写，第6~9章由冯志刚、丁明理、国添栋、王鑫编写。全书由主编王祁统稿审定，赵永平为副主编。

本教材的主审国防科技大学王跃科教授和哈尔滨理工大学张礼勇教授在百忙中审阅了本书，并提出许多宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢。

本书编写过程中得到机械工业出版社高教分社领导和编辑的大力支持，谨向他们表示诚挚的谢意。

由于作者的水平有限，加之时间仓促，错误和不足之处在所难免，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

## 第 1 章 绪论 ..... 1

### 1.1 概述 ..... 1

#### 1.1.1 仪器仪表的重要性 ..... 1

#### 1.1.2 从传统仪器到智能仪器 ..... 1

### 1.2 智能仪器的结构和特点 ..... 2

#### 1.2.1 智能仪器的结构 ..... 2

#### 1.2.2 智能仪器的主要特点 ..... 3

### 1.3 智能仪器的发展 ..... 5

#### 1.3.1 智能仪器的发展趋势 ..... 5

#### 1.3.2 促进智能仪器发展的新技术 ..... 6

#### 1.3.3 基于知识的高级智能仪器 ..... 9

### 思考题与习题 ..... 10

## 第 2 章 智能仪器中的微处理器 ..... 11

### 2.1 智能仪器中微处理器的选择 ..... 11

### 2.2 MCS-51 系列单片机 ..... 11

#### 2.2.1 基本型单片机 ..... 12

#### 2.2.2 精简型单片机 ..... 12

#### 2.2.3 精简增强型单片机 ..... 13

#### 2.2.4 高档型单片机 ..... 14

### 2.3 PIC 系列单片机 ..... 15

### 2.4 68 系列单片机 ..... 17

### 2.5 MSP-430 系列单片机 ..... 17

### 2.6 ARM 单片机 ..... 18

#### 2.6.1 AT91 系列 ARM 单片机 ..... 19

#### 2.6.2 LPC2100/LPC2200 系列 ARM 单片机 ..... 19

#### 2.6.3 EP 系列 ARM 单片机 ..... 20

#### 2.6.4 ARM 单片机的选择 ..... 21

#### 2.6.5 ARM 单片机的应用 ..... 21

### 2.7 数字信号处理器 ..... 22

#### 2.7.1 DSP 的特点 ..... 22

#### 2.7.2 TI 公司的 TMS320 系列 DSP ..... 23

#### 2.7.3 TMS320C2000 系列 DSP 简介 ..... 24

#### 2.7.4 DSP 在智能仪器中的应用 ..... 24

### 思考题与习题 ..... 25

## 第 3 章 数据采集技术 ..... 26

### 3.1 概述 ..... 26

### 3.2 测量放大器 ..... 28

#### 3.2.1 基本要求 ..... 28

#### 3.2.2 通用测量放大器 ..... 29

#### 3.2.3 可编程测量放大器 ..... 30

#### 3.2.4 隔离放大器 ..... 30

#### 3.2.5 放大器的设置 ..... 31

### 3.3 模拟多路转换器 MUX ..... 33

#### 3.3.1 模拟多路转换器的功能 ..... 33

#### 3.3.2 模拟多路转换器的配置 ..... 33

#### 3.3.3 常用的半导体多路转换器芯片 ..... 34

#### 3.3.4 多路测量通道的串音问题 ..... 37

### 3.4 采样保持电路 ..... 38

#### 3.4.1 采样保持器设置原则 ..... 38

#### 3.4.2 采样保持器工作原理 ..... 39

#### 3.4.3 常用采样保持器芯片 ..... 40

#### 3.4.4 保持电容器的选择 ..... 42

### 3.5 A/D 转换器 (ADC) 及其接口 设计 ..... 42

#### 3.5.1 ADC 的主要技术指标 ..... 42

#### 3.5.2 与单片机接口的考虑 ..... 43

#### 3.5.3 ADC 的选择 ..... 44

#### 3.5.4 抑制系统误差的方法 ..... 45

### 3.6 逐次逼近型 A/D 转换器及其接口 ..... 47

#### 3.6.1 逐次逼近型 A/D 转换器的 基本原理 ..... 47

#### 3.6.2 TLC2543 介绍及其与微机的 接口 ..... 47

### 3.7 双积分 A/D 转换器及其接口 ..... 53

#### 3.7.1 双积分 A/D 转换器的原理 ..... 53

#### 3.7.2 ICL7135 硬件描述与输出波形 ..... 55

#### 3.7.3 ICL7135 与 MCS-51 单片机 I/O 直接连接接口 ..... 56

### 3.8 $\Sigma$ - $\Delta$ 型 A/D 转换器及其接口 ..... 59

#### 3.8.1 $\Sigma$ - $\Delta$ 型 A/D 转换器的工作原理 ..... 59

#### 3.8.2 $\Sigma$ - $\Delta$ 式 AD7703 介绍 ..... 62

#### 3.8.3 AD7703 与单片机的接口 ..... 64



3.9 数据采集系统设计	66	5.4.2 LCD 显示器驱动方式	112
3.9.1 数据采集系统的特性	66	5.4.3 段码式 LCD 显示器的静态和 动态驱动接口	114
3.9.2 数据采集系统误差分析	67	5.4.4 字符点阵式 LCD 显示器接口	116
3.9.3 数据采集系统的误差分配举例	69	5.5 打印处理技术	125
思考题与习题	73	5.5.1 点阵式微型打印机的工作原理	125
<b>第 4 章 模拟量与控制信号输出系统</b>	<b>74</b>	5.5.2 GP-16 微型打印机及其应用	126
4.1 概述	74	5.6 触摸屏处理技术	129
4.1.1 输出通道的结构	74	5.6.1 触摸屏的结构及特点	129
4.1.2 输出通道的特点	75	5.6.2 触摸屏控制器 ADS7843	132
4.2 模拟量输出与接口	75	5.6.3 ADS7843 接口方法	135
4.2.1 D/A 转换器原理	75	5.6.4 实际应用时应注意的问题	136
4.2.2 技术特性	76	思考题与习题	136
4.3 集成 DAC 及其应用	77	<b>第 6 章 智能仪器中的通信接口技术</b>	<b>138</b>
4.3.1 DAC 的分类	77	6.1 数据通信基础	138
4.3.2 单片集成 DAC 举例	77	6.1.1 数据通信的基础知识	138
4.3.3 DAC 的应用	80	6.1.2 差错控制技术	140
4.4 数字量输出与接口	83	6.1.3 通信规程与同步技术	141
4.4.1 光耦合器及其接口	83	6.2 串行通信接口	143
4.4.2 继电器及其接口	86	6.2.1 串行通信基本概念	143
思考题与习题	90	6.2.2 RS-232C 标准串行接口	143
<b>第 5 章 智能仪器外设处理技术</b>	<b>92</b>	6.2.3 RS-422A 与 RS-423A 标准 串行接口	146
5.1 键盘处理技术	92	6.2.4 RS-485 标准串行接口	147
5.1.1 按键类型	92	6.2.5 智能仪器间串行通信实例	149
5.1.2 键抖动、键连击及串键的处理	92	6.3 并行通信接口	153
5.1.3 键盘处理步骤	93	6.3.1 Centronics 标准并行接口	153
5.1.4 键盘的组织形式和工作方式	94	6.3.2 GP-IB (IEEE-488) 总线	153
5.1.5 非编码键盘的处理	94	6.4 USB 通用串行总线	156
5.1.6 编码键盘的处理	98	6.4.1 USB 的特点	156
5.2 LED 显示处理技术	98	6.4.2 USB 的系统描述	156
5.2.1 LED 数码显示器结构与原理	98	6.4.3 USB 总线协议	157
5.2.2 硬件译码与软件译码	100	6.4.4 USB 数据流	158
5.2.3 静态显示与动态显示	100	6.4.5 USB 的容错性能	158
5.3 通用键盘/显示器接口芯片		6.4.6 USB 设备	159
HD7279A	102	6.4.7 USB 系统设置	159
5.3.1 引脚功能、串行接口及其 电特性	102	6.4.8 USB 系统中的主机	160
5.3.2 HD7279A 的时序	103	6.4.9 基于 USB 总线的数据采集 设备的设计实例	160
5.3.3 HD7279A 的控制指令	105	6.5 其他通信接口技术	161
5.3.4 HD7279A 的应用与注意事项	108	6.5.1 以太网接口技术	161
5.3.5 HD7279A 的接口程序设计 实例	109	6.5.2 现场总线 CAN	165
5.4 LCD 显示处理技术	111	6.5.3 蓝牙接口技术	166
5.4.1 LCD 显示器结构与原理	112		



思考题与习题 .....	166	8.3.5 低通数字滤波 .....	215
<b>第7章 智能仪器的自检与抗干扰技术</b> .....	167	8.4 量程自动转换 .....	216
7.1 硬件故障的自检 .....	167	8.4.1 一般要求 .....	216
7.1.1 自检方式 .....	167	8.4.2 自动量程转换电路举例 .....	216
7.1.2 自检算法 .....	167	8.4.3 量程自动转换电路的控制 .....	217
7.1.3 自检软件 .....	169	8.4.4 量程自动转换电路的保护 .....	218
7.2 常见干扰源分析 .....	171	8.5 智能仪器系统软件的组成与设计 .....	220
7.2.1 串模干扰、共模干扰及电源干扰 .....	171	8.5.1 监控主程序 .....	220
7.2.2 数字电路的干扰 .....	172	8.5.2 键盘管理 .....	221
7.3 智能仪器硬件抗干扰技术 .....	174	8.5.3 中断管理及处理 .....	222
7.3.1 串模干扰的抑制 .....	174	8.5.4 子程序模块 .....	223
7.3.2 共模干扰的抑制 .....	176	思考题与习题 .....	224
7.3.3 输入/输出通道干扰的抑制 .....	177	<b>第9章 智能仪器设计及实例</b> .....	226
7.3.4 总线的抗干扰设计 .....	180	9.1 智能仪器设计的基本要求及原则 .....	226
7.3.5 地线干扰的抑制 .....	181	9.1.1 智能仪器设计的基本要求 .....	226
7.4 智能仪器软件抗干扰技术 .....	182	9.1.2 智能仪器的设计原则 .....	226
7.4.1 CPU 抗干扰技术 .....	182	9.2 智能仪器的设计研制过程 .....	227
7.4.2 输入/输出的抗干扰技术 .....	186	9.3 智能工频电参数测量仪的设计 .....	228
7.4.3 系统的恢复 .....	187	9.3.1 总体设计及系统工作原理 .....	228
思考题与习题 .....	189	9.3.2 输入电路设计及误差分析 .....	231
<b>第8章 数据处理及程序设计</b> .....	190	9.3.3 CPU 及采样保持、A/D 转换电路的设计 .....	233
8.1 测量数据的非数值处理 .....	190	9.3.4 锁相倍频电路的设计 .....	235
8.1.1 数据结构 .....	190	9.3.5 RS-485 串行通信接口电路设计及通信协议 .....	236
8.1.2 线性表查表技术 .....	191	9.3.6 电磁兼容设计 .....	237
8.1.3 链表的插入、删除和查找 .....	195	9.4 基于热电偶的智能温度数显表的设计 .....	238
8.1.4 排序 .....	198	9.4.1 总体设计 .....	238
8.2 系统误差的数据处理 .....	201	9.4.2 主要电路设计 .....	239
8.2.1 系统误差模型的建立 .....	201	9.4.3 软件设计 .....	242
8.2.2 系统误差的标准数据校正法 .....	205	9.5 智能混合气体识别仪的设计 .....	243
8.2.3 非线性校正 .....	206	9.5.1 总体设计 .....	243
8.2.4 零位误差和增益误差的校正 .....	209	9.5.2 电路设计 .....	244
8.2.5 温度误差的补偿 .....	210	9.5.3 气体识别及检测算法 .....	246
8.3 数字滤波技术 .....	210	9.5.4 软件设计 .....	246
8.3.1 限幅滤波 .....	210	思考题与习题 .....	248
8.3.2 中位值滤波 .....	211	<b>参考文献</b> .....	249
8.3.3 算术平均值滤波 .....	212		
8.3.4 滑动平均值滤波 .....	213		



# 第1章 绪论

## 1.1 概述

仪器仪表是人类认识世界的重要工具，是信息采集、信息测量和处理的重要手段和设备。仪器仪表广泛地应用在经济建设、科学研究和国防军工等多个部门。科学技术是第一生产力，而仪器仪表是推动科技进步和国民经济迅速发展的关键技术之一。

### 1.1.1 仪器仪表的重要性

#### 1. 仪器仪表是信息获取的工具

仪器仪表是信息获取的源头，是重要的测量工具。仪器仪表通过测量获取数据，定量准确地描述被测对象的特性，并可以实现对测量数据的存储、显示、处理和传输。仪器仪表是人类认识世界的重要工具，假如没有仪器仪表，就不能定量地认识工业生产过程、环境和产品，就不可能进行检验、控制或处理。在信息“采集—传输—处理”的信息获取中，仪器仪表是源头，因此人们越来越认识到仪器仪表的重要性。正如钱学森院士所说的那样，“新技术革命的关键是信息技术。信息技术是由测量技术、计算机技术、通信技术三部分组成，其中，测量技术则是关键和基础。”

#### 2. 仪器仪表在经济建设和国防军工中发挥巨大作用

现代化工业生产过程离不开仪器仪表，自动化程度越高，需要的仪器仪表和传感器就越多。仪器仪表作为实现采集、测量、处理和控制的重要手段和设备，对现代化生产具有先导作用，对国民经济有着巨大的影响力和辐射能力。

“神七”的成功发射以及航天员出舱遨游太空的实现，是我国科技发展的新里程碑。从飞船的发射到返回整个过程，哪一个环节都离不开准确可靠的测量数据，离不开仪器仪表。各国在军备竞赛中大力发展精确打击武器，各种武器系统的打击精度首先取决于测量的准确度。

仪器仪表和测量控制技术是新技术革命的先导和基础，先进的科学仪器设备既是知识创新和技术创新的前提，也是创新研究的主要内容和创新成果的体现。在诺贝尔物理和化学奖中，大约有四分之一与科学仪器有关，如电子显微镜、CT断层扫描仪、扫描隧道显微镜等。

关于仪器仪表的重要作用，还可以举出许多实例，总之，仪器仪表的发展水平是国家技术水平和综合国力的重要体现，能不能创造高水平的新式科学仪器和设备，体现了一个民族、一个国家的创新能力。因此，各国都非常重视仪器仪表的发展。

### 1.1.2 从传统仪器到智能仪器

智能仪器是一类新型的电子仪器，它由传统电子仪器发展而来，但又同传统的电子仪器有很大区别。特别是微处理器的应用，使电子仪器发生了重大的变革。



回顾电子仪器的发展过程，从使用的元器件来看，它经历了真空管时代—晶体管时代—集成电路时代三个阶段。从电子仪器的工作原理来看，电子仪器的发展过程经历了三代：

第一代是模拟式电子仪器，它基于电磁测量原理，基本结构是电磁式的，利用指针来显示最终的测量结果。传统的指针式的电压表、电流表、功率表等，均是典型的模拟式仪器。这一代仪器功能单一，精度低，响应速度慢。

第二代是数字式电子仪器，它的基本原理是利用 A/D 转换器将待测的模拟信号转换为数字信号，测量结果以数字形式输出显示。它的精度高、速度快、读数清晰、直观，测量结果可打印输出，也容易与计算机技术相结合。因为数字信号便于远距离传输，所以数字式电子仪器可用于遥测和遥控。

第三代就是智能仪器，是计算机技术与电测技术相结合的产物。它是在数字化的基础上利用微处理器进行测量过程管理和数据处理，使仪器具有运算、逻辑判断、数据存储能力，并能根据被测参数的变化自选量程；可自动校正、自动补偿、自寻故障等，即具备了一定的初级智能，因此被成为智能仪器。本书讨论的智能仪器是指含有微处理器的电子测量仪器。

## 1.2 智能仪器的结构和特点

### 1.2.1 智能仪器的结构

智能仪器按其结构可分为两种类型，即微处理器内嵌式和微处理器扩展式。微处理器内嵌式是将单个或多个微处理器安装在仪器内部，它与其他电子元器件有机地结合在一起。微处理器是仪器的核心，担负测量过程控制和数据处理任务。这种仪器的外形和传统仪器没有区别，其主要特点是体积小，也可做成便携或手持式，使用方便。由于在设计中充分考虑到电磁兼容，因此能适应恶劣环境。另外它带有各种接口，可以与计算机或网络连接。目前，微处理器内嵌式智能仪器已经被广泛应用于工业生产、科学研究、国防军事等部门，其基本组成结构如图 1-1 所示。

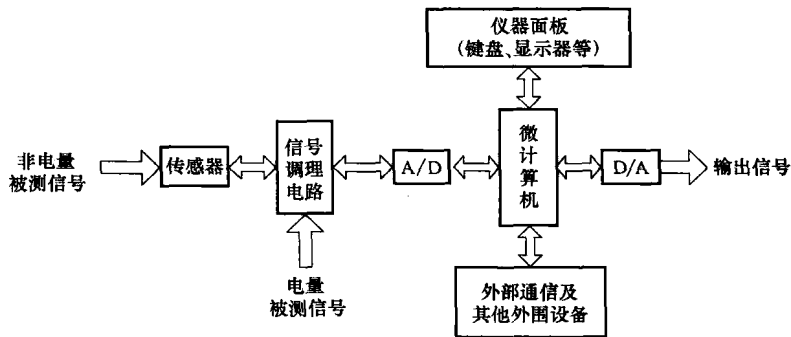


图 1-1 微处理器内嵌式智能仪器基本组成结构

图 1-1 中微处理器内嵌式智能仪器以单片机或 DSP 等微处理器为核心，通过总线及接口电路与被测量输入通道、信号输出通道、仪器面板及外设相连。

微处理器扩展式智能仪器是以个人计算机 (PC) 为核心的测量仪器。由于 PC 的应用已

十分普遍，其价格也不断下降，因此从 20 世纪 80 年代起就在 PC 上配置不同的模拟通道，使之符合测量仪器的要求，并称其为个人计算机仪器（PCI）或微机卡式仪器。PCI 的优点是使用灵活，可以利用 PC 已有的硬件和软件资源。更重要的是 PC 的数据处理功能及内存容量远大于微处理器内嵌式仪器，因此 PCI 可以用于更复杂的、更高层次的信息处理，从而使仪器的功能更强大。此外，PCI 还可以利用 PC 本身已有的软件包，进行数据处理。如果将仪器的面板及各种操作按钮以图形形式显示在 CRT 显示器上，就可得到软面板，构成虚拟仪器。图 1-2 所示为个人计算机式智能仪器的基本结构。

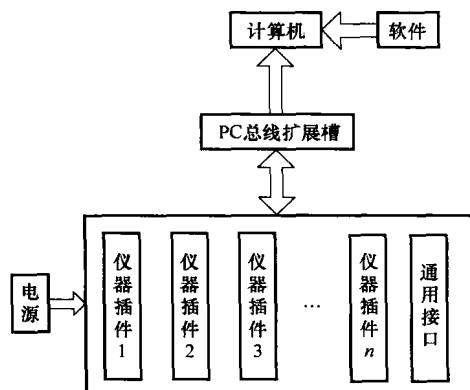


图 1-2 个人计算机式智能仪器基本组成结构

与 PCI 相配的模拟通道有两种类型：一种是插卡式，即将所配用的模拟量输入通道以印制电路板的插板形式，直接插入 PC 机箱内的接线空槽中；另一种是插件箱式，即将各种功能插件集中在一个专用的机箱中，机箱备有专用的电源，必要时也可以有自己的微机控制器。这种结构适用于多通道、高速数据采集或一些有特殊要求的仪器。现在 VXI、PXI 总线机箱和计算机相连，也可认为是一种智能仪器系统。

个人计算机是大批量生产的成熟产品，功能强而价格便宜；个人仪器插件是个人计算机的扩展部件，设计相对简单，并有各种标准化插件供选用。因此，在许多场合，采用个人仪器结构的智能仪器比采用内嵌式的智能仪器具有更高的性价比，且研发周期短，研发成本低。个人仪器可选用厂家开发的专用软件（这种软件往往比用户精心开发的软件更完善），即使设计者自己开发软件，由于基于 PC 平台，有操作系统的支持，开发十分方便。另外，个人仪器可通过其 CRT 显示器向用户提供功能菜单，用户可通过键盘等进行功能、量程选择。个人仪器还可以通过 CRT 显示数据，通过打印机打印测试结果（而显示和打印的驱动程序也是现成的，不用用户操心），因此用户使用十分方便。但这种仪器的电磁兼容性不如内嵌式智能仪器，很难获得高性能指标。个人仪器能充分运用个人计算机的软硬件资源，发挥个人计算机的巨大潜力，可获得较高的性价比。内嵌式智能仪器大都是各种专用仪器，体积小，性能指标高。用户可以根据需要选择这两种不同结构的仪器。

### 1.2.2 智能仪器的主要特点

计算机技术与测量仪器的结合产生了智能仪器，由于使用了计算机，仪器的功能得以扩展，性能指标大大提高，而且呈现出某些智能特点，具有很大的发展潜力。智能仪器具有以下几方面的特点。

#### 1. 智能仪器汇集各种高新技术

俄国著名化学家门捷列夫曾说过：“没有测量就没有科学。”人们为了准确、深刻、全面地认识自然界，必须利用一切先进的科学原理和技术手段来研制、开发各种新型的仪器，通过先进的仪器发现并认识新的现象、规律和原理。智能仪器就是随着各种新技术的发展而发展的，是电子技术、计算技术、传感技术、信号处理、网络等领域的新技术相融合的产物。



新原理、新设计概念、新器件、新材料和新工艺技术都在智能仪器中得到应用，智能仪器汇集了各种高新技术。

## 2. 测量过程的软件控制

智能仪器中的微处理器可以对测量过程进行控制，实现测量自动化。如可实现自稳零放大、自动极性判断、自动量程切换、自动报警、过载保护、多点巡回检测等等。测量过程用软件控制之后，简化了原有数字化仪器的硬件结构，缩小了体积及功耗、提高了可靠性、增加了灵活性，使仪器的自动化程度更高。智能仪器在软件的控制下，可以方便地实现人机对话、自检、自诊断、自校准以及 CRT 显示及输出打印和制图等功能。这就是人们常说的“以软（件）代硬（件）”的效果。

软件在智能仪器中占有举足轻重的作用，它给智能仪器的设计带来很大的方便。当需要改变功能时，只需改变程序，而不需要改变硬件结构，因此，灵活性非常强。但工作速度相对硬件逻辑较慢，这是软件控制的特点。现在高档单片机的速度较快，一般都能满足智能仪器实时性的要求。

## 3. 强大的数据处理功能

对测量数据进行运算、存储及数据处理是智能仪器最突出的特点，通过数据处理可以改善测量精确度并对测量结果再加工。

在提高测量精确度方面，大量的工作是对随机误差及系统误差进行处理。过去传统的方法是用手工的方法对测量结果进行事后处理，不仅工作量大，效率低，而且往往会受到一些主观因素的影响，使处理的结果不理想。在智能仪器中采用软件对测量结果进行及时的、在线的处理可收到很好的效果，不仅方便、快速，而且可以避免主观因素的影响，使测量的精确度及处理结果的质量都大为提高。由于可以实现各种算法，不仅可实现各种误差的计算及补偿，而且使在线测量仪器中常遇到的诸如非线性校准等问题也易于解决。

对测量结果的再加工，可使智能仪器提供更多高质量的信息。例如，一些信号分析仪器在微计算机的控制下，不仅可以实时采集信号的实际波形，在 CRT 上复现，并可在时间轴上进行展开或压缩；还可对所采集的样本进行数字滤波，将淹没于干扰中的信号提取出来；也可对样本进行时域的（如相关分析、卷积、反卷积，传递函数等）或频域的（如幅值谱、相位谱、功率谱等）分析。这样就可以从原有的测量结果中提取更多的信息。这类智能仪器在生物医疗、语音分析、模式识别和故障诊断等各个方面都有广泛的应用。

## 4. 多功能化

传统的电子仪器的功能仅取决于硬件，仪器的结构、电路是按照特定目标设计的，功能比较单一。智能仪器中的微处理器可以进行测量过程控制及数据处理，因此容易实现多功能化，这是智能仪器的主要特点之一。例如，智能化电度表测量出电流、电压、相位后，通过计算很容易求出有功功率、无功功率、视在功率、电能、功率因数等，还可进行分时计费，预置用电量需求，具有自动记录、打印、报警及控制等许多功能。如果不用微机控制，在一台仪器中是很难实现多功能的。

## 5. 操作自动化

智能仪器的自动化程度高，通常都能自动选择量程、自检、自校准，有的还具有很强的自测试和自诊断功能。它能测试自身的功能是否正常，如果不正常，还能判断发生故障的部位，并给出提示，大大提高了仪器的可靠性，给使用和维修带来了很大的方便。

## 6. 对外开放性

智能仪器具有各种接口,可方便地进行扩展和对外通信,能很方便地接入自动测试系统中,接受遥控,实现自动测试。

随着网络技术的发展,智能仪器迅速地朝着网络化方向发展。分布在不同地点的不同仪器仪表通过网络联系在一起,实现数据传输与资源共享,进行网络化测量。

# 1.3 智能仪器的发展

## 1.3.1 智能仪器的发展趋势

智能仪器总体发展趋势是朝着小型化(微型化)、集成化、数字化、多功能化、智能化、网络化、自动化的方向发展。仪器的性能、精度、灵敏度、稳定性、可靠性等指标将不断提高。当前仪器的微型化、智能化和网络化尤其受到人们的关注。

### 1. 技术指标不断提高

提高仪器仪表的技术指标是测量技术永恒的追求,其技术指标的高低标志着一个国家测量技术的水平。现在仪器仪表的测量范围不断扩大,测量量值朝着极大、极小两个方向发展。如电压从纳伏至几百万伏;电阻从超导至 $10^{14}\Omega$ ;谐波测量从基波至超过50次谐波;加速度为 $10^{-14}\sim 100g$ ;频率测量至 $10^{12}\text{Hz}$ ;压力测量至 $10^8\text{Pa}$ ;温度测量从接近绝对零度至 $10^8\text{ }^\circ\text{C}$ 等。测量的准确度、灵敏度、响应速度不断提高。智能化技术有助于仪器仪表功能的扩展和技术指标的提高。

### 2. 小型化、微型化

随着微电子技术的迅速发展,大规模和超大规模集成电路的集成度越来越高,体积越来越小。嵌入式微处理器和计算机的功能日趋强大,体积也不断缩小,为智能仪器的小型化、微型化提供了条件。智能仪器的小型化、微型化对航天、航空、医疗等有重要意义。

仪器仪表的小型化,也使得各种便携式、手持式仪器走进千家万户。特别是随着社会发展和生活水平的提高,人们对自己的生活质量和健康水平日益关注,为了食品安全和保健,检测食品质量的便携式仪器仪表以及健康状况和疾病警示仪器仪表将有较大发展。

### 3. 智能化

现在的智能仪器能自动地对测量过程进行控制,自动对测量数据进行处理、分析、判断,能实现自校准、自诊断,被认为具有一定的智能。但这类智能仅仅是低级的智能,与人类的智能行为还相距甚远。人们一直在研究如何利用计算机实现人类的智能行为,使机器像人那样思维、分析、推理、判断、学习。这正是人工智能研究的内容和追求的目标。随着人工智能的发展,智能仪器的智能水平也将不断提高,将具有更高层次的智能。

### 4. 系统化

随着科学技术的发展和生产自动化程度的提高,系统中需要测量的物理量越来越多,被测量物理量的分布空间也不断扩大。例如一个大型水电站的测控系统,仅检测大坝安全性的传感器就达数千个,而且分布在整个大坝的不同位置上。又如为了保证飞船、卫星正常运行,安装大量传感器进行实时监测,各种测控装置构成一个完整的自动测试系统。对于复杂的测量任务,几台仪器无法完成,需要多台仪器和大量传感器组成测试系统。测量技术向着



系统化的方向发展。

## 5. 网络化

随着计算机和网络技术的发展,测量技术向网络化的方向发展。智能仪器安装网络接口,可以通过网络方便地将分布在不同地域的仪器连接起来,组成分布式测量系统。特别是 Internet 的出现,促进了网络化仪器的发展。网络化仪器可以实现资源共享,使一台仪器为更多的用户使用,降低了测量成本。网络化仪器扩大了被测量的空间分布范围,可以实现跨地域测量,高效地完成各种复杂艰巨的测量控制任务。对于远程的、有危险的、环境恶劣的被测对象可以通过网络中的仪器进行测量,并将测量数据通过网络传给用户。

### 1.3.2 促进智能仪器发展的新技术

仪器仪表学科是一门多学科相融汇的综合学科,智能仪器的发展,更依赖于现代科学技术。传感技术、微电子、计算机、激光、超导、通信、网络、人工智能、信息处理等对智能仪器的发展起了极大的推动作用。因此,在研究智能仪器时,必须时刻紧跟科技发展的步伐,关注各种新理论、新技术的发展动向,及时地将各种新成果应用到智能仪器的研发过程中,不断提高智能仪器的水平。

目前仪器仪表学科涉及的新技术包括:传感技术、计算技术、微电子技术、嵌入式系统(单片机、DSP、ARM)、可编程器件、网络及通信技术、智能理论等。

#### 1. 现代传感技术

传感器是信息获取的源头。传感器将各种被测信号转换成电量,为智能仪器提供输入信号,是智能仪器的重要组成部分。如测量温度的智能仪器必须有温度传感器,测量压力的智能仪器要安装压力传感器。智能仪器的发展与传感技术密切相关。

传感器的种类很多,可按不同方法分类。按工作原理可分为物理型传感器、化学型传感器、生物型传感器三大类。按具体工作原理分为电容式、电阻式、谐振式等。按被测的物理量可分为温度、湿度、压力、流量、速度、加速度、转速、位移传感器等,这种分类方法直接反映出传感器的输入信号,使用起来比较方便。传感技术是当代科技的热点之一,发展非常迅速,各种新型传感器不断涌现。传感器向着微型化、数字化、智能化、网络化的方向发展。传感技术的进步极大地促进了智能仪器的发展。

#### 2. 以 A/D 转换器为代表的新型元器件

A/D 转换器(ADC)是智能仪器的核心器件,它将采集的模拟信号转换为数字信号。ADC 的转换精度、分辨率、转换速度等指标直接影响仪器的性能。目前,ADC 器件向着高速、低功耗、高分辨率、高性能的方向发展。随着微电子技术的发展,目前不仅可以把 A/D 转换等模拟电路与微处理器集成在一起(称为混合电路),而且还能将一些传感器与控制电路集成在一块芯片上,这将大大地缩小体积,增强可靠性。现在仪器仪表的主要性能指标(如工作频率、测量准确度、分辨率、稳定性和低功耗等)的提高,在很大程度上取决于关键器件及芯片水平的提高。因此必须关注以 ADC 为代表的新型元器件的发展。

#### 3. 计算机及智能芯片

计算机、微处理器以及单片机、DSP 和 ARM 等智能芯片是智能仪器的核心。

单片机在一般的智能仪器设计中得到广泛的应用。近年来,随着超大规模集成电路技术日新月异的发展,单片机的性能有了很大的增强,仍然保持着智能仪器主流机型的地位。这

些性能的增强首先体现在指令执行速度有了很大的提升。其次,目前的单片机竞相集成了大量的片上 Flash 存储器,集成密度高并实现了 ISP(在系统烧录程序)和 IAP(在应用烧录程序)。许多公司还采用了数字—模拟混合集成技术,将 A/D、D/A、锁相环以及 USB、CAN 总线接口等都集成到单片机,大大减少了片外附加器件的数目,进一步提高了系统可靠性。

现在智能仪器和测试系统中越来越多地使用数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)。由于 DSP 芯片是通过硬件来完成乘法和加法运算,数据处理功能很强。TI(Texas Instruments)公司的 2000 系列 DSP 芯片中还含有 A/D 转换器,可以方便地进行数据采集和信号处理。因此,采用 DSP 芯片可极大地增强了智能仪器的信号处理能力并简化仪器的结构。单片机和数字信号处理器的性能指标不断提高,是智能仪器设计中使用较多的优良器件。

#### 4. 可编程逻辑器件和可编程模拟器件

可编程器件改变了电路的设计和实现方式。它的最大特点就是现场可编程,即可由用户通过编程来配置器件内部的连接和元件参数,进行电路设计,以获得所需要的功能。可编程器件分为可编程逻辑器件(Programmable Logic Device, PLD)和可编程模拟器件(Programmable Analog Device, PAD)。

(1) 可编程逻辑器件 可编程逻辑器件包括现场可编程门阵列 FPGA(Field Programmable Gate Array)和复杂可编程逻辑器件 CPLD(Complex Programmable Logic Device),适合于时序、组合等逻辑电路设计,目前单片逻辑门数已达到数十万门,可以替代几十甚至上百块通用 IC 芯片。它所能实现的功能也越来越强,可以实现大规模系统集成。

这种芯片的功能可由用户编制程序实现,而且方案容易改动。设计人员在实验室里通过相关的软硬件环境完成芯片的最终功能设定,实现电路或系统设计。设计用的软件包不但有各种输入工具和仿真工具,而且还有版图设计和编程器等工具。设计人员不但在很短的时间内就可以完成电路的输入、编译、优化、仿真,直到最后芯片的制作(物理版图映射),而且设计过程中修改非常方便,从而大大加快了新产品的试制速度,降低研发费用,还可以有效地保护知识产权。

FPGA/CPLD 芯片和 EPROM 配合使用时,用户可以反复地编程、擦除、使用。在不改变外围电路的情况下,使用不同的 EPROM 即可实现不同的功能。

典型的可编程逻辑器件有 Xilinx 公司的 FPGA 器件系列和 Altera 公司的 CPLD 器件系列。它们开发较早,占据了 PLD 市场较大的份额。

(2) 可编程模拟器件 可编程模拟器件是近年来崭露头角的新型集成电路。它既属于模拟集成电路,又同可编程逻辑器件一样,可由用户通过现场编程和配置来改变其内部连接和元件参数,从而获得所需要的电路功能。设计时需使用相应的开发工具,其设计和使用均可与可编程逻辑器件同样方便、灵活和快捷。

目前,可编程模拟器件已在数据采集、信号处理、仪器仪表、控制与监测、人工神经网络等领域得到应用,其典型应用包括信号调理、模拟计算、人工神经网络等。由于可编程模拟器件问世不久,有关的技术与产品仍显稚嫩,因此应用还不够广泛。随着微电子技术的发展,可编程模拟器件的技术必将逐渐成熟,器件品种必将日益丰富,最终成为模拟电路设计和应用中的首选器件,并促进智能仪器设计水平的提高。



## 5. 微电子技术

微电子学是固体物理、硅器件工艺与电子学三者交叉的新技术学科。微电子学和微电子技术一般指以集成电路技术为代表,制造和使用微小型电子元件、器件和电路,实现电子系统功能的新型技术学科,它也特指大规模集成电路的制造和运用技术。集成电路技术的发展突破了整机、电路与元器件之间的界限。器件问题、电路问题和整机系统问题已经结合在一起,综合实现于一小块硅片上。因此微电子技术具有强大的生命力,是信息技术的基石。利用微电子技术,未来的智能仪器可能用一块或几块芯片实现。

(1) ASIC ASIC(Application Specific Integrated Circuits)是专用集成电路,是指应特定用户要求和特定电子系统的需要而设计、制造的集成电路。ASIC的特点是面向特定用户的需求,与通用集成电路相比具有体积更小、功耗更低、可靠性更高、性能提高、保密性增强、成本降低等优点,一般都是批量生产。ASIC分为全定制和半定制两类。

全定制设计需要设计者完成所有电路的设计,灵活性好,但需要大量人力物力,开发效率较低下。

半定制使用标准逻辑单元库里的标准逻辑单元(Standard Cell),设计时可以从库中选择SSI(门电路)、MSI(如加法器、比较器等)、数据通路(如ALU、存储器、总线等)、存储器甚至系统级模块(如乘法器、微控制器等)和IP核,这些逻辑单元已经布局完毕,而且设计得较为可靠,设计者可以较方便地完成系统设计。

智能仪器设计中采用ASIC可以降低仪器的功耗和提高可靠性,减小体积和重量,降低仪器的综合成本,提高产品的保密程度和竞争能力。如果设计较为理想,全定制能够比半定制的ASIC芯片运行速度更快。

(2) 系统级芯片 系统级芯片(System On Chip,简称SOC)是微电子技术的最新发展。由于IC设计与工艺技术水平不断提高,集成电路规模越来越大,复杂程度越来越高,已经可以将整个系统集成成为一个芯片。SOC就是将整个系统集成在一个IC芯片上的系统级芯片。进一步可以将各种物理的、化学的和生物的敏感元件与信息处理系统、执行器集成在一起,从而实现从信息获取、处理、存储、传输到执行的系统功能,这样就能在SOC上制成一个智能仪器。这种仪器在性能指标、可靠性、知识产权保护等方面具有明显优势。目前,SOC技术已经崭露头角,21世纪将是SOC技术真正快速发展的时期,将在智能仪器中得到应用。

## 6. 计算机软件技术

在智能仪器中,软件占有举足轻重的地位,数据的自动处理,对测量结果的分析、判断等智能行为全靠软件实现。在智能仪器的设计和调试中,软件占有限当大的比例。因此,智能仪器的发展与软件技术息息相关。例如NI(National Instruments)公司开发的LabVIEW图形化软件技术可以方便快捷地完成仪器面板、仪器的控制、数据采集、数据分析、数据显示等程序设计,降低开发费用。软件技术的发展将极大推动智能仪器的进步。

## 7. 网络与通信技术

网络技术极大地推动了社会的进步,影响了人类的生活方式,同时促进了科学和技术各个领域的发展。网络技术综合了计算技术、通信技术、信息技术,智能仪器和传感器通过网络连接在一起,可以组成分布式测量系统,进行跨地域的测量,实现测量资源和信息共享。在网络技术的推动下,传感器网络、网络化仪器得到飞速发展,是智能仪器的发展方向。





## 8. 智能理论和技术

目前的智能仪器是以计算机为核心进行数据处理,而更高层次的智能则以知识处理为基础。高级智能仪器是测量技术和人工智能相结合的产物,它的智能水平取决于智能理论和技术的发展。人工智能、计算智能、智能信息处理等智能理论和技术将对智能仪器的发展产生巨大影响。

### 1.3.3 基于知识的高级智能仪器

#### 1. 关于智能仪器的智能

目前广泛应用的各种智能仪器采用了计算机技术,具有一定的智能,主要表现在测量过程的自动化和数据处理方面,例如仪器可以自动选择量程,自动存储、显示、打印,具有自校准、自诊断功能等。

智能是人类的思维活动,是知识和智力的总和。智能行为包括分析、判断、推理、自学习等。多年来人们一直在研究如何利用计算机模拟、实现人类的智能,这就是人工智能研究的内容。目前各种智能仪器,虽然冠之以“智能”二字,但其智能行为和人类智能相差甚远。

中国仪器仪表学会在对我国仪器仪表市场需求的分析报告中指出:“未来10年,更高层次的智能化应包括理解、推理、判断与分析等一系列功能,是数值、逻辑与知识的综合分析结果,智能化的标志是知识的表达与应用”。这种基于知识的仪器将具有更高的智能,这是未来智能仪器的发展方向。

#### 2. 关于高级智能仪器功能的展望

高级智能仪器具有类似人类的更高层次的智能,它不仅能够对被测对象进行测量,而且具有强大的信息处理功能;它不仅处理数据,而且处理知识。智能仪器可以对测量数据进行分析,并利用智能仪器知识库中的知识进行分析、推理、判断。仪器输出的不仅是数据,还有对数据分析的结果,以及经过思维、分析后得到的对被测对象更全面的认识。

自学习是智能仪器的重要功能,人类通过学习不断积累知识和经验,实现自我完善。未来的智能仪器和智能测试系统将具有自学习功能,它能够在测量过程中对被测对象状态作出估计,建立关于被测对象、环境及外界干扰的数学模型,用来充实、更新知识库中的知识。这样就可以在测量测试过程中,根据以往的经验 and 积累的知识,选择最佳的测量方法和策略,并进行误差补偿,提高测量精度。

高级智能仪器可以实现自主测量,人们只需要将测量任务告诉智能仪器,而不必告诉它怎样测量,智能仪器就可以自主地完成交给的测量任务。

#### 3. 实现高级智能仪器的理论方法

智能仪器智能水平的提高取决于智能理论和技术的发展。自1956年人工智能(Artificial Intelligence)诞生以来,各国科学家和科技工作者一直努力探索用机器实现人类智能。尽管面临着许多困难和挑战,但人工智能的研究已获得十分可喜的成就。近年来人们借鉴仿生学思想,基于生物进化、神经网络等某些机制,用数学语言抽象描述,模仿生物体系和人类的智能机制,产生了计算智能(Computational Intelligence);模拟人类或自然界其他生物处理信息的行为,研究出各种智能信息处理方法。这些智能理论和方法都是模仿人类智能机制,但是人类思维的奥秘还有待于探索,实现人类智能还有很长的路。