

面向  
**21**世纪  
高级应用型人才

中国高等职业技术教育研究会推荐  
高职高专系列教材

# 智能化仪器原理及应用

曹建平 主编



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

## 内 容 简 介

智能化仪器(也称智能仪器)是计算机技术、现代测量技术、通信技术以及网络技术相结合的产物。无论在测量速度、精确度、灵敏度、自动化程度和性能价格比等方面,智能仪器都具有传统仪器所不能比拟的优点。它已成为仪器、仪表的发展方向。

本书从培养应用型人才的目标出发,注重理论与实践的结合,突出应用能力的培养。本书除介绍智能仪器的发展过程外,重点阐述了智能仪器的典型处理功能及其实现方法,其中包括仪器故障的自检功能、自动测量功能、测量误差及典型的误差处理方法以及数字滤波等;本书还介绍了智能仪器制造、应用过程中的常见故障、干扰及其处理方法;并以三种智能仪器的典型实例论述了智能仪器的组成原理、结构特点以及应用方法,目的是使学生掌握智能仪器的一般分析方法和提高实际应用的能力,能够做到举一反三,融会贯通。

本书每章均配有思考题与习题,可作为高职高专院校电类、机电类专业课教材,亦可供工程技术人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

智能化仪器原理及应用/曹建平主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2004.8  
ISBN 7 - 5606 - 1420 - 5

(高职高专系列教材)

I. 智… I. 曹… III. 智能仪器-高等学校:技术学校-教材 N. TP23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 056619 号

策 划 马晓娟

责任编辑 刘宇坤 马晓娟

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 西安文化彩印厂

版 次 2004年8月第1版 2004年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 14.375

字 数 335千字

印 数 1~4000册

定 价 16.00元

ISBN 7 - 5606 - 1420 - 5/TP · 0758(课)

**XDUP 1691001 - 1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

# 序

1999 年以来，随着高等教育大众化步伐的加快，高等职业教育呈现出快速发展的形势。党和国家高度重视高等职业教育的改革和发展，出台了一系列相关的法律、法规、文件等，规范、推动了高等职业教育健康有序的发展。同时，社会对高等职业技术教育的认识在不断加强，高等技术应用型人才及其培养的重要性也正在被越来越多的人所认同。目前，高等职业技术教育在学校数、招生数和毕业生数等方面均占据了高等教育的半壁江山，成为高等教育的重要组成部分，在我国社会主义现代化建设事业中发挥着极其重要的作用。

在高等职业教育大发展的同时，也有着许多亟待解决的问题。其中最主要的是按照高等职业教育培养目标的要求，培养一批具有“双师素质”的中青年骨干教师；编写出一批有特色的基础课和专业主干课教材；创建一批教学工作优秀学校、特色专业和实训基地。

为解决当前信息及机电类精品高职教材不足的问题，西安电子科技大学出版社与中国高等职业技术教育研究会分两轮联合策划、组织编写了“计算机、通信电子及机电类专业”系列高职高专教材共 100 余种。这些教材的选题是在全国范围内近 30 所高职高专院校中，对教学计划和课程设置进行充分调研的基础上策划产生的。教材的编写采取公开招标的形式，以吸收尽可能多的优秀作者参与投标和编写。在此基础上，召开系列教材专家编委会，评审教材编写大纲，并对中标大纲提出修改、完善意见，确定主编、主审人选。该系列教材着力把握高职高专“重在技术能力培养”的原则，结合目标定位，注重在新颖性、实用性、可读性三个方面能有所突破，体现高职教材的特点。第一轮教材共 36 种，已于 2001 年全部出齐，从使用情况看，比较适合高等职业院校的需要，普遍受到各学校的欢迎，一再重印，其中《互联网实用技术与网页制作》在短短两年多的时间里先后重印 6 次，并获教育部 2002 年普通高校优秀教材二等奖。第二轮教材预计在 2004 年全部出齐。

教材建设是高等职业院校基本建设的主要工作之一，是教学内容改革的重要基础。为此，有关高职院校都十分重视教材建设，组织教师积极参加教材编写，为高职教材从无到有，从有到优、到特而辛勤工作。但高职教材的建设起步时间不长，还需要做艰苦的工作，我们殷切地希望广大从事高等职业教育的教师，在教书育人的同时，组织起来，共同努力，编写出一批高职教材的精品，为推出一批有特色的、高质量的高职教材作出积极的贡献。

中国高等职业技术教育研究会会长

李宗尧

# IT类专业系列高职高专教材编审专家委员会名单

**主任:** 高林 (北京联合大学副校长, 教授)

**副主任:** 温希东 (深圳职业技术学院电子通信工程系主任, 教授)

李卓玲 (沈阳电力高等专科学校信息工程系主任, 教授)

李荣才 (西安电子科技大学出版社总编辑, 教授)

**计算机组:** 组长: 李卓玲(兼) (成员按姓氏笔画排列)

丁桂芝 (天津职业大学计算机工程系主任, 教授)

王海春 (成都航空职业技术学院电子工程系副教授)

文益民 (湖南工业职业技术学院信息工程系主任, 副教授)

朱乃立 (洛阳大学电子工程系主任, 教授)

李虹 (南京工业职业技术学院电气工程系副教授)

陈晴 (武汉职业技术学院计算机科学系主任, 副教授)

范剑波 (宁波高等专科学校电子技术工程系副主任, 副教授)

陶霖 (上海第二工业大学计算机学院教授)

徐人凤 (深圳职业技术学院计算机应用工程系副主任, 高工)

章海鸥 (金陵科技学院计算机系副教授)

鲍有文 (北京联合大学信息学院副院长, 副教授)

**电子通信组:** 组长: 温希东(兼) (成员按姓氏笔画排列)

马晓明 (深圳职业技术学院电子通信工程系副主任, 副教授)

于冰 (宁波高等专科学校电子技术工程系副教授)

孙建京 (北京联合大学教务长, 教授)

苏家健 (上海第二工业大学电子电气工程学院副院长, 高工)

狄建雄 (南京工业职业技术学院电气工程系主任, 副教授)

陈方 (湖南工业职业技术学院电气工程系主任, 副教授)

李建月 (洛阳大学电子工程系副主任, 副教授)

李川 (沈阳电力高等专科学校自动控制系副教授)

林训超 (成都航空职业技术学院电子工程系主任, 副教授)

姚建永 (武汉职业技术学院电子信息系主任, 副教授)

韩伟忠 (金陵科技学院龙蟠学院院长, 高工)

**项目总策划:** 梁家新

**项目策划:** 马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

**电子教案:** 马武装

# 前 言

智能仪器是一种典型的微机(大多数为单片机)应用系统,它是计算机技术、现代测量技术、通信技术以及网络技术相结合的产物。无论在测量速度、精确度、灵敏度、自动化程度和性能价格比等方面,都是传统仪器所不能比拟的。它已成为仪器、仪表的发展方向。

我国在智能仪器的开发和应用方面,近年来已取得了不少可喜的成果。然而,与工业发达国家相比仍存在一定的差距,但是这种差距正在逐步缩小。单片微型计算机(又称为单片微控制器)作为计算机的一个重要的分支,近年来发展极其迅猛,已成为新一代电子设备不可缺少的核心部件,得到了广泛的应用。特别是在智能仪器仪表、工业测控、家用电器和机电一体化等领域,其更是随处可见。以单片机和可编程器件相结合构成的新一代智能化电子仪器,已成为一项新型的工程应用技术。因而,对于电子、电气工程技术人员以及其他工程技术人员来说,了解和熟悉智能化电子仪器的工作原理与应用技术,具备智能仪器的设计能力,特别是调试、维护与应用能力是非常必要的。

鉴于目前适合于高职高专学生的智能仪器应用技术的书籍还不多,为此,我们在参考了大量的资料,并结合作者长期从事智能仪器和单片机应用技术的教学和产品开发经验的基础上编写了本书。本书在教材内容的选取、结构的安排上力求从应用的角度出发,改变了传统教材以较大篇幅讲解单片机原理的方法,着重通过应用实例阐述智能仪器的基本原理、典型的处理功能以及应用技术。本书的内容经过几届学生、多个专业的使用,取得了良好的效果,现经过适当修改后,把它献给广大读者,期望能起到抛砖引玉的作用,为促进我国高职高专智能仪器应用技术的教学尽一点微薄之力。

本书在编写过程中,从培养应用型人才的目标出发,遵循“淡化理论,培养技能,拓展思维,突出应用”的原则。全书着力体现以下特色:

(1) 理论知识以必要、够用为原则,不强调理论的系统性。本书对智能仪器的设计原理和单片机的内部结构等理论概念不作要求,仅对智能仪器的基本结构和典型智能化处理方法进行较为详细的介绍,使学生了解智能仪器与常规仪器的本质区别。

(2) 采用模块化结构,适应单元教学的要求。本书各个章节的内容都是相对独立的,不同类型的学校、不同的专业或不同的教学要求都可以根据具体情况选择讲授内容,不会影响学生对教学内容的理解与掌握。

(3) 注重应用能力的培养。本书力求在降低理论难度的同时,通过具体的智能仪器实例的介绍和常见故障的分析,使学生在智能仪器的实际应用和维护能力上得到提高。

(4) 介绍新技术,拓宽知识面。为了学生就业的需要和提高学生的综合职业能力,本书专门对几种近年来出现的新型智能仪器作了介绍,使学生对智能仪器的最新进展以及发展趋势有一个初步的了解。

全书共分8章。第1章为导论,主要介绍智能仪器的发展过程、基本组成、功能特点以

及智能仪器未来的发展趋势等。第2章阐述智能仪器的典型处理功能及实现方法,其中包括故障自检功能、自动测量功能、测量误差及典型的误差处理方法以及数字滤波等。第3章介绍智能仪器中数据通信的基本概念以及几种典型的标准数据通信总线,分析了各种标准总线的应用特点和技术性能。第4章~第6章着重介绍智能型温度测量仪、智能型电压测量仪及智能型电子计数器等三类典型智能仪器的组成原理、结构特点及其应用实例,使学生熟悉智能仪器的基本结构以及各主要功能部件的作用,掌握智能仪器的一般分析方法和实际应用的能力,能够做到举一反三,融会贯通。第7章详细论述智能仪器使用中的常见故障、干扰及其处理方法。第8章着重阐述个人仪器、虚拟仪器以及现场总线仪器等三种智能仪器的最新发展,使学生了解智能仪器的技术前沿状况,为今后的工作或继续学习奠定良好的基础。

为便于学生的学习和组织教学,每章都安排了“本章学习要点”和“思考题与习题”等环节。

本书由南京工业职业技术学院副教授、高级工程师曹建平主编,赵燕老师参编。其中,曹建平编写了第1、2、3、4、7、8章,赵燕编写了第5、6两章的大部分内容,全书由曹建平副教授统稿。在本书的编写过程中,倪英、王丹、杨燕等同志协助做了大量的文字录入、校对和图稿整理工作,在此一并表示衷心的感谢!

由于智能化仪器技术的发展日新月异,加之编者学识和水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,敬请同仁与读者批评指正。

编者

2004年3月

# 目 录

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| <b>第 1 章 导论</b> .....              | 1  |
| 1.1 智能仪器概述 .....                   | 1  |
| 1.1.1 智能仪器的发展概况 .....              | 1  |
| 1.1.2 智能仪器的基本组成 .....              | 3  |
| 1.1.3 智能仪器的主要功能和特点 .....           | 4  |
| 1.1.4 智能仪器的发展趋势 .....              | 5  |
| 1.2 智能仪器应用实例简介 .....               | 6  |
| 1.2.1 电话遥控的基本原理 .....              | 7  |
| 1.2.2 智能型电话遥控器的电路结构及工作原理 .....     | 7  |
| 1.3 本课程的内容、教学目标及要求 .....           | 9  |
| 1.3.1 课程内容及教学目标 .....              | 9  |
| 1.3.2 课程学习要求 .....                 | 9  |
| 本章小结 .....                         | 10 |
| 思考题与习题 .....                       | 10 |
| <br>                               |    |
| <b>第 2 章 智能仪器典型处理功能及实现方法</b> ..... | 11 |
| 2.1 智能仪器故障的自检 .....                | 11 |
| 2.1.1 自检方式的种类及特点 .....             | 12 |
| 2.1.2 自检的方法 .....                  | 12 |
| 2.1.3 自检软件的结构及特点 .....             | 16 |
| 2.2 自动测量功能 .....                   | 17 |
| 2.2.1 自动零点调整 .....                 | 17 |
| 2.2.2 自动量程转换 .....                 | 18 |
| 2.2.3 自动校准 .....                   | 20 |
| 2.3 测量误差及典型的误差处理方法 .....           | 20 |
| 2.3.1 测量误差的表示及误差的分类 .....          | 20 |
| 2.3.2 随机误差的处理方法 .....              | 22 |
| 2.3.3 系统误差的处理方法 .....              | 24 |
| 2.3.4 粗大误差的处理方法 .....              | 29 |
| 2.4 数字滤波 .....                     | 31 |
| 2.4.1 中值滤波法 .....                  | 31 |
| 2.4.2 平均滤波法 .....                  | 32 |
| 2.4.3 低通数字滤波法 .....                | 35 |
| 2.4.4 复合滤波法 .....                  | 36 |

|                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 本章小结 .....                                                | 37        |
| 思考题与习题 .....                                              | 38        |
| <b>第 3 章 智能仪器的数据通信技术 .....</b>                            | <b>39</b> |
| 3.1 串行数据通信技术 .....                                        | 39        |
| 3.1.1 串行通信的基本概念 .....                                     | 39        |
| 3.1.2 RS - 232 标准串行接口总线 .....                             | 42        |
| 3.1.3 RS - 422A 与 RS - 423A 标准串行接口总线 .....                | 45        |
| 3.1.4 RS - 485 标准串行接口总线 .....                             | 46        |
| 3.2 并行数据通信技术 .....                                        | 48        |
| 3.2.1 Centronics 标准并行接口 .....                             | 48        |
| 3.2.2 GP - IB(IEEE 488)总线 .....                           | 49        |
| 3.2.3 VXI 总线(VMEbus Extensions for Instrumentation) ..... | 54        |
| 3.3 USB 总线技术 .....                                        | 57        |
| 3.3.1 USB 的系统描述 .....                                     | 58        |
| 3.3.2 USB 总线协议 .....                                      | 59        |
| 3.3.3 USB 数据流 .....                                       | 59        |
| 3.3.4 USB 的容错性能 .....                                     | 60        |
| 3.3.5 USB 设备 .....                                        | 60        |
| 3.3.6 USB 系统设置 .....                                      | 61        |
| 3.3.7 USB 系统中的主机 .....                                    | 61        |
| 本章小结 .....                                                | 61        |
| 思考题与习题 .....                                              | 62        |
| <b>第 4 章 智能型温度测量仪 .....</b>                               | <b>64</b> |
| 4.1 智能型温度测量仪的原理 .....                                     | 64        |
| 4.1.1 智能型温度测量仪的基本功能 .....                                 | 65        |
| 4.1.2 智能型温度测量仪的基本结构与工作流程 .....                            | 65        |
| 4.2 智能型温度测量仪的电路结构及特点 .....                                | 67        |
| 4.2.1 主机电路 .....                                          | 67        |
| 4.2.2 温度检测电路 .....                                        | 69        |
| 4.2.3 过程输入输出通道 .....                                      | 71        |
| 4.2.4 人一机接口部件 .....                                       | 73        |
| 4.2.5 智能仪表的硬件抗干扰电路 .....                                  | 76        |
| 4.3 软件结构和程序框图 .....                                       | 77        |
| 4.3.1 监控程序的结构 .....                                       | 77        |
| 4.3.2 中断管理程序的结构 .....                                     | 80        |
| 4.3.3 测量控制方法 .....                                        | 81        |
| 4.4 典型智能型温度测量仪实例 .....                                    | 82        |
| 4.4.1 智能型温度巡检仪 .....                                      | 83        |
| 4.4.2 温度仪表使用、维护后的检定 .....                                 | 88        |
| 本章小结 .....                                                | 90        |
| 思考题与习题 .....                                              | 90        |



|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>第 5 章 智能型电压测量仪</b> .....     | 92  |
| 5.1 智能型 DVM 的功能、技术指标及特点 .....   | 92  |
| 5.1.1 智能型 DVM 的结构 .....         | 92  |
| 5.1.2 智能型 DVM 的功能及主要技术指标 .....  | 93  |
| 5.1.3 智能型 DVM 的特点 .....         | 95  |
| 5.1.4 智能型 DVM 的分类 .....         | 95  |
| 5.2 智能型 DVM 的原理 .....           | 96  |
| 5.2.1 输入电路 .....                | 96  |
| 5.2.2 智能型 DVM 中的 A/D 转换技术 ..... | 98  |
| 5.2.3 典型智能 DVM 产品介绍 .....       | 104 |
| 5.3 智能型 DMM 原理及应用 .....         | 104 |
| 5.3.1 智能型 DMM 的工作原理 .....       | 104 |
| 5.3.2 典型智能 DMM 实例介绍 .....       | 108 |
| 5.4 电压表的使用 .....                | 120 |
| 5.4.1 电压表选择的一般原则 .....          | 120 |
| 5.4.2 电压表的正确使用 .....            | 120 |
| 本章小结 .....                      | 121 |
| 思考题与习题 .....                    | 121 |
| <br>                            |     |
| <b>第 6 章 智能型电子计数器</b> .....     | 123 |
| 6.1 电子计数器的主要技术性能 .....          | 123 |
| 6.1.1 电子计数器的分类 .....            | 123 |
| 6.1.2 电子计数器的主要技术性能 .....        | 124 |
| 6.2 通用电子计数器的基本组成 .....          | 124 |
| 6.2.1 基本组成 .....                | 124 |
| 6.2.2 控制电路的工作过程 .....           | 127 |
| 6.2.3 通用电子计数器的基本功能 .....        | 127 |
| 6.3 通用电子计数器的测量原理 .....          | 128 |
| 6.3.1 测量频率 .....                | 128 |
| 6.3.2 测量周期 .....                | 129 |
| 6.3.3 测量频率比 .....               | 130 |
| 6.3.4 测量时间间隔 .....              | 130 |
| 6.3.5 累加计数 .....                | 132 |
| 6.3.6 自校 .....                  | 132 |
| 6.3.7 通用计数器测量误差的类型 .....        | 133 |
| 6.4 电子计数器中的智能技术 .....           | 134 |
| 6.4.1 多周期同步测量技术 .....           | 134 |
| 6.4.2 内插模拟扩展技术 .....            | 137 |
| 6.5 典型智能电子频率计实例 .....           | 138 |
| 6.5.1 频率计的系统结构 .....            | 138 |
| 6.5.2 主要电路工作原理 .....            | 139 |
| 6.5.3 软件设计 .....                | 140 |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 6.5.4 提高测量准确度的方法 .....          | 141        |
| 本章小结 .....                      | 143        |
| 思考题与习题 .....                    | 143        |
| <b>第7章 智能仪器常见故障与调试 .....</b>    | <b>145</b> |
| 7.1 智能仪器常见故障诊断与处理 .....         | 145        |
| 7.1.1 常见故障类型 .....              | 145        |
| 7.1.2 故障诊断的基本方法 .....           | 146        |
| 7.1.3 故障的处理方法 .....             | 148        |
| 7.1.4 仪器设备故障诊断步骤 .....          | 150        |
| 7.2 智能仪器的调试方法 .....             | 155        |
| 7.2.1 硬件电路调试方法 .....            | 155        |
| 7.2.2 软件调试方法 .....              | 156        |
| 7.2.3 软、硬件联合调试 .....            | 157        |
| 7.3 智能仪器抗干扰技术及使用注意事项 .....      | 158        |
| 7.3.1 干扰及干扰的抑制 .....            | 158        |
| 7.3.2 智能仪器抗干扰实用技术 .....         | 161        |
| 本章小结 .....                      | 176        |
| 思考题与习题 .....                    | 177        |
| <b>第8章 新型智能仪器 .....</b>         | <b>178</b> |
| 8.1 个人仪器 .....                  | 178        |
| 8.1.1 个人仪器的原理及特点 .....          | 178        |
| 8.1.2 典型个人仪器实例 .....            | 181        |
| 8.2 虚拟仪器 .....                  | 187        |
| 8.2.1 虚拟仪器的原理及特点 .....          | 187        |
| 8.2.2 Lab VIEW 虚拟仪器开发平台简介 ..... | 191        |
| 8.2.3 虚拟仪器开发举例 .....            | 196        |
| 8.3 现场总线仪器 .....                | 198        |
| 8.3.1 现场总线技术 .....              | 198        |
| 8.3.2 现场总线仪器的原理及特点 .....        | 204        |
| 8.3.3 现场总线仪器实例 .....            | 213        |
| 本章小结 .....                      | 218        |
| 思考题与习题 .....                    | 219        |
| <b>参考文献 .....</b>               | <b>220</b> |

# 第 1 章 导 论

## 本章学习要点

1. 了解智能仪器的发展过程、现状及未来发展的趋势；
2. 掌握智能仪器的组成原理、基本结构及主要性能特点；
3. 明确本课程学习的主要目标、内容及要求，为课程的学习作好充分准备。

## 1.1 智能仪器概述

随着微电子技术的不断发展，微处理器芯片的集成度越来越高，使用的领域也越来越广泛，这些都对传统的电子测量仪器带来了巨大的冲击和影响。尤其是单片微型计算机（以下简称单片机）的出现，引发了仪器仪表结构的根本性变革。单片机自 20 世纪 70 年代初期问世不久，就被引进了电子测量和仪器仪表领域，其作为核心控制部件很快取代了传统仪器仪表的常规电子线路。借助单片机强大的软件功能，可以很容易地将计算机技术与测量控制技术结合在一起，组成新一代的全新的微机化产品，即“智能仪器”，从而开创了仪器仪表的一个崭新的时代。

智能仪器并不是传统仪器与微处理器的简单结合。传统观念上的仪器所指的是将大量的分立元件、中小规模集成电路用硬接线的方式连接起来，形成一定的功能。由于这是采用硬接线，因此一旦电路定型，这部分器件就只能用于某一专门的用途，如果需要增加功能，就需另外增添器件，修改电路或重新设计，而且，仪器要求的功能越多，所需的器件数就越多，设计和制造既费时、费工，又容易出错。智能仪器的出现，可以很好地解决这一问题，智能仪器实质上是一种硬件和软件相结合的设计，并且充分利用了软件技术的强大功能。它把仪器的主要功能集中存放在程序存储器 ROM 中，因而，当需要增加功能时，不需要全面改变硬件设计，而只要修改存放在 ROM 中的软件内容就可以很方便地改变仪器的功能。这种结构与功能的灵活性使得智能仪器在各个领域得到了广泛的应用。由此可见，微处理器的应用使得仪器仪表的结构、性能以及应用领域发生了巨大的变革。

### 1.1.1 智能仪器的发展概况

智能仪器是一类新型的、内部装有微处理器或单片机的微机化电子仪器，它是由传统的电子仪器发展而来的，但在结构和内涵上已经发生了本质的变化。

回顾电子仪器的发展历程，我们可以发现，从仪器使用的器件来看大致经历了三个阶段，即真空管时代/晶体管时代/集成电路时代。若从仪器的工作原理来看，又可以分为以下几个阶段：

第一代，模拟式电子仪器（又称指针式仪器）。这一代仪器应用和处理的信号均为模拟

量,如指针式电压表、电流表、功率表及一些通用的测试仪器,均为典型的模拟式仪器。这一代仪器的特点是:体积大、功能简单、精度低、响应速度慢。

第二代,数字式电子仪器,如数字电压表、数字式测温仪、数字频率计等。它们的基本工作原理是将待测的模拟信号转换成数字信号并进行测量,测量结果以数字形式输出显示。数字式电子仪器与第一代模拟式电子仪器相比,具有精度高、速度快、读数清晰、直观的特点。其结果既能以数字形式输出显示,还可以通过打印机打印输出。此外,由于数字信号便于远距离传输,因此数字式电子仪器适用于遥测遥控。

第三代,智能型仪器。这一代仪器是计算机科学、通信技术、微电子学、数字信号处理、人工智能、VLSI等新兴技术与传统电子仪器相结合的产物。智能型仪器的主要特征是仪器内部含有微处理器(或单片机),它具有数据存储、运算和逻辑判断的能力,能根据被测参数的变化自动选择量程,可实现自动校正、自动补偿、自寻故障,以及远距离传输数据、遥测遥控等功能,可以做一些需要人类的智慧才能完成的工作。也就是说,这种仪器具备了一定的智能,故称为智能仪器。

本书将要讨论的智能仪器主要是采用单片机作为核心控制部件的智能化电子仪器。单片机引入传统的电子仪器以后,大大加快了仪器仪表智能化的进程。此外,与多芯片组成的微型计算机相比,单片机具有体积更小、功耗更低、功能更强大、价格也较便宜的优点。用单片机开发的各类智能化产品周期短、成本低,在仪器仪表微机化设计中,有着一般微型计算机无法比拟的优势。本书重点介绍采用当前流行的由高档8位单片机MCS-51组成的智能仪器的组成原理、智能化处理功能、故障诊断与抗干扰技术、典型电路及其应用等。

Intel公司生产的MCS-51系列单片机功能强、可靠性高,用它作为智能仪器的核心部件,具有以下优点。

#### 1) 硬件结构简单

一般要求智能仪器中有大量的I/O口,并且需要有定时或计数功能,有的还需要通信功能,而MCS-51单片机片内具有32根I/O口线、两个16位定时/计数器,还有一个全双工的串行口。这样,在使用MCS-51单片机后可大大简化仪器的硬件结构,降低仪器的造价。

#### 2) 运算速度快

一般仪器仪表均要求在零点几秒内完成一个周期的测量、计算和输出操作,如许多测量仪器都是动态显示的,即要求它们能对测量对象的参数进行实时测量显示。由于人的反应时间一般小于0.5s,故要求在0.5s内完成一次测量显示。如果要求采用多次测量取平均值,则速度要求更高。而不少仪器的计算比较复杂,不仅要求有浮点运算功能,还要求有函数(如正弦函数、开平方等)计算能力,这就对智能仪器中的微处理器的运算能力和运算速度提出了较高的要求。MCS-51单片机的时钟可达12MHz,大多数运算指令执行时间仅1 $\mu$ s,并具有硬件乘法、除法指令,运算速度很高。

#### 3) 控制功能强

智能仪器的测量过程和各種测量电路均由单片机来控制,一般情况下这些控制端都是一根I/O线。由于MCS-51单片机具有布尔处理功能,包括一整套位处理指令、位控制转移指令和位控制I/O功能,这使得它特别适用于仪器仪表的控制。

## 1.1.2 智能仪器的基本组成

智能仪器一般是指采用了微处理器(或单片机)的电子仪器。由智能仪器的基本组成可知,在物理结构上,微型计算机包含于电子仪器中,微处理器及其支持部件是智能仪器的一个组成部分;但是从计算机的角度来看,测试电路与键盘、通信接口及显示器等部件一样,可看作是计算机的一种外围设备。因此,智能仪器实际上是一个专用的微型计算机系统,它主要由硬件和软件两大部分组成。

硬件部分主要包括主机电路、模拟量(或开关量)输入输出通道、人一机联系部件与接口电路、串行或并行数据通信接口等,其组成结构如图 1-1 所示。

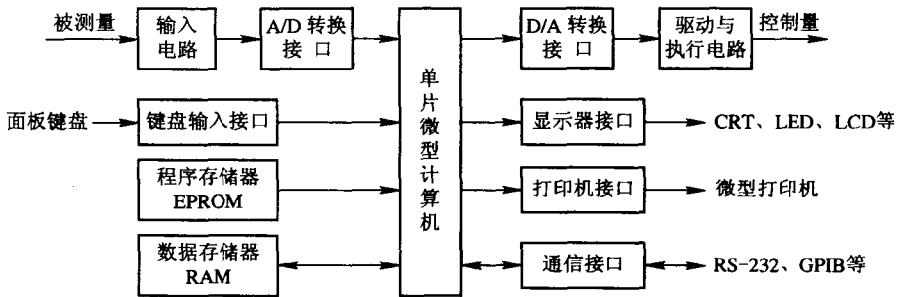


图 1-1 智能仪器硬件组成框图

智能仪器的主体部分是由单片机及其扩展电路(程序存储器 EPROM、数据存储器 RAM 及输入输出接口等)组成的。主机电路是智能仪器区别于传统仪器的核心部件,用于存储程序、数据,执行程序并进行各种运算、数据处理和实现各种控制功能。输入电路和 A/D 转换接口构成了输入通道;而 D/A 转换接口及驱动电路则构成了输出通道;键盘输入接口、显示器接口及打印机接口等用于沟通操作者与智能仪器之间的联系,属于人一机接口部件;通信接口则用来实现智能仪器与其他仪器或设备交换数据和信息。

智能仪器的软件包括监控程序和接口管理程序两部分。其中,监控程序主要是面向仪器操作面板、键盘和显示器的管理程序。其内容包括:通过键盘操作输入并存储所设置的功能、操作方式与工作参数。通过控制 I/O 接口电路对数据进行采集;对仪器进行预定的设置;对所测试和记录的数据与状态进行各种处理;以数字、字符、图形等形式显示各种状态信息以及测量数据的处理结果等。接口管理程序主要面向通信接口,其作用是接收并分析来自通信接口总线的各种有关信息、操作方式与工作参数的程控操作码,并通过通信接口输出仪器的现行工作状态及测量数据的处理结果来响应计算机的远程控制命令。

智能仪器的工作过程是:外部的输入信号(被测量)先经过输入电路进行变换、放大、整形和补偿等处理,然后再经模拟量通道的 A/D 转换接口转换成数字量信号,送入单片机。单片机对输入数据进行加工处理、分析、计算等一系列工作,并将运算结果存入数据存储器 RAM 中。同时,可通过显示器接口送至显示器显示,或通过打印机接口送至微型打印机打印输出,也可以将输出的数字量经模拟量通道的 D/A 转换接口转换成模拟量信号输出,并经过驱动与执行电路去控制被控对象,还可以通过通信接口(例如 RS-232、GPIB 等)实现与其他智能仪器的数据通信,完成更复杂的测量与控制任务。

以上只是智能仪器的基本组成和简单工作过程,至于智能仪器各组成部分的软、硬件结构及仪器的典型处理功能,将在以后的各章节中详细阐述。

### 1.1.3 智能仪器的主要功能和特点

单片机的出现与应用,对科学技术的各个领域都产生了极大的影响,与此同时也导致了一场仪器仪表技术的巨大变革。单片机在智能仪器中的具体功能可归结为两大类:对测试过程的控制和对测试数据、结果的处理。

单片机对测试过程的控制主要表现在单片机可以接受来自面板键盘和通信接口传来的命令信息,解释并执行这些命令。例如,发出一个控制信号给测试电路,以启动某种操作、设置或改变量程、工作方式等,也可通过查询方式或设置成中断方式,使单片机及时了解电路的工作情况,以便正确地控制仪器的整个工作过程。

对智能仪器测试数据、结果的处理,主要表现在采用了单片机以后,大大提高了智能仪器的数据存储和数据处理能力。在不增加硬件的情况下,利用软件对测试数据进行进一步加工、处理,如数据的组装、运算、舍入,确定小数点的位置和单位,转换成七段码送显示器显示,或按规定的格式从通信接口输出等。因此,单片机的应用使智能仪器具有以下主要特点。

#### 1) 具有友好的人—机对话功能

智能仪器使用键盘代替了传统仪器中的切换开关,操作人员只需通过键盘输入命令,就能实现某种测量功能。与此同时,智能仪器还可以通过显示屏将仪器的运行情况、工作状态以及对测量数据的处理结果及时告诉操作人员,使仪器的操作更加方便、直观。

#### 2) 自动校正零点、满度和切换量程

智能仪器的自校正功能大大降低了因仪器的零点漂移和特性变化所造成的误差,而量程的自动切换又给使用带来了很大的方便,并可以提高测量精度和读数的分辨率。

#### 3) 多点快速检测

智能仪器能对多个参数(模拟量或开关量信号)进行快速、实时检测,以便及时了解生产过程的各种工况。

#### 4) 自动修正各类测量误差

许多传感器的固有特性是非线性的,且受环境温度、压力等参数的影响,从而给智能仪器带来了测量误差。在智能仪器中,只要能掌握这些误差的规律,就可以依靠软件进行修正。常见的有测温元件的非线性校正、热电偶冷端温度补偿、气体流量的温度压力补偿等。

#### 5) 数字滤波

通过对主要干扰信号特性的分析,采用适当的数字滤波算法,可以有效地抑制各种干扰(例如低频干扰、脉冲干扰)的影响。

#### 6) 数据处理

智能仪器能实现各种复杂运算,对测量数据进行整理和加工处理,例如统计分析、查找排序、标度变换、函数逼近和频谱分析等。

#### 7) 各种控制规律

智能仪器能实现PID及各种复杂的控制规律,例如,可进行串级、前馈、解耦、非线性

性、纯滞后、自适应、模糊等控制，以满足不同控制系统的需要。

#### 8) 多种输出形式

智能仪器的输出形式有数字(或指针)显示、打印记录和声光报警，也可以输出多点模拟量(或开关量)信号。

#### 9) 数据通信

智能仪器配有 GP-IB、RS-232、RS-485 等标准的通信接口，可以很方便地与其他仪器和计算机进行数据通信，以便构成不同规模的计算机测量控制系统。

#### 10) 自诊断和故障监控

在运行过程中，智能仪器可以自动地对仪器本身各组成部分进行一系列的测试，一旦发现故障即能报警，并显示出故障部位，以便及时处理。有的智能仪器还可以在故障存在的情况下，自行改变系统结构，继续正常工作，即在一定程度上具有容忍错误存在的能力。

#### 11) 掉电保护

仪器内部装有后备电池和电源自动切换电路。当掉电时，能自动地将电池接至 RAM，使数据不致丢失。也可以采用电可改写只读存储器 EEPROM 来代替 RAM，存储重要数据，以实现掉电保护的功能。

也许在一些常规仪器中，通过增加器件或变换电路也能或多或少地实现以上的一些功能，但往往要付出较大的代价。性能上的些许提高，会使仪器的成本大大增加。而在智能仪器中，性能的提高、功能的扩大是比较容易实现的，往往不会使仪器成本大幅度增加。因此，低廉的单片机芯片使得智能仪器具有较高的性能价格比。

### 1.1.4 智能仪器的发展趋势

近年来，由于微电子技术、计算机技术和网络技术的不断发展，使得智能仪器的发展出现了新的趋势，具体表现在以下几个方面。

#### 1. 微型化

智能仪器的微型化是指将微电子技术、微机械技术、信息技术等综合应用于智能仪器的设计与生产中，从而使仪器成为体积较小、功能齐全的智能仪器。它能够完成信号采集，线性化处理，数字信号处理，控制信号的输出、放大，与其他仪器接口以及与人交互等功能。微型智能仪器随着微电子技术、微机械技术的不断发展，其技术不断成熟，价格不断降低，因此其应用领域也必将不断扩大。它不但具有传统仪器的功能，而且能在自动化技术、航天、军事、生物技术、医疗等领域起到独特的作用。例如，目前要对一个病人的几个不同的参量同时测量，并进行某些参量的控制，通常病人的体内要插进多个管子，这就增加了病人感染的机会。微型智能仪器能同时测量多个参数，而且体积小，可植入人体，使得这些问题得到了解决。

#### 2. 多功能化

多功能本身就是智能仪器的一个特点。例如，为了设计速度较快和结构较复杂的数字系统，仪器生产厂家制造了具有脉冲发生器、频率合成器和任意波形发生器等多种功能合一的函数发生器。这种多功能的综合型产品不但在性能上(如准确度)比专用脉冲发生器和频率合成器高，而且在各种测试功能上提供了较好的解决方案。

### 3. 人工智能化

人工智能是计算机应用的一个崭新领域,利用计算机模拟人的智能,用于机器人、医疗诊断、专家系统、推理证明等各个方面。智能仪器的进一步发展将含有一定的人工智能,即代替人的一部分脑力劳动,从而在视觉(图形及色彩辨读)、听觉(语音识别及语言领悟)、思维(推理、判断、学习与联想)等方面具有一定的能力。这样,智能仪器可以无需人的干预而自主地完成检测或控制功能。显然,人工智能在现代仪器中的应用,使我们不仅可以解决用传统方法很难解决的一类问题,而且还可望解决用传统方法根本不能解决的一些问题。

### 4. 部分结构虚拟化

测试仪器的主要功能都是由数据采集、数据分析和数据显示等三大部分组成的。随着计算机应用技术的不断发展,人们利用 PC 机强大的图形环境和在线帮助功能,建立了图形化的虚拟仪器面板,完成了对仪器控制、数据采集、数据分析和数据显示等功能。因此,只要额外提供一定的数据采集硬件,就可以与 PC 机组成测量仪器。这种基于 PC 机的测量仪器称之为虚拟仪器。在虚拟仪器中,使用同一个硬件系统,只要使用不同的软件编程,就可以得到功能完全不同的测量仪器。可见,软件系统是虚拟仪器的核心,因此,也有人称“软件就是仪器”。

传统的智能仪器主要在仪器技术中采用了某种计算机技术,而虚拟仪器则强调在通用的计算机技术中吸收仪器技术。作为虚拟仪器核心的软件系统具有通用性、通俗性、可视性、可扩展性和可升级性,能为用户带来极大的利益。因此,虚拟仪器具有传统的智能仪器所无法比拟的应用前景和市场。

### 5. 通信与控制网络化

随着网络技术的飞速发展,Internet 技术正在逐渐向工业控制和智能仪器仪表设计领域渗透,实现智能仪器系统基于 Internet 的通信能力,以及对设计好的智能仪器系统进行远程升级、功能重置和系统维护。

在系统编程技术(In-System Programming,简称 ISP 技术)是对软件进行修改、组态或重组的一种最新技术。ISP 技术消除了传统技术的某些限制和连接弊病,有利于在板设计、制造与编程。ISP 硬件灵活且易于软件修改,便于设计开发。由于 ISP 器件可以像任何其他器件一样在印刷电路板(PCB)上处理,因此编程 ISP 器件不需要专门的编程器和较复杂的流程,只要通过 PC 机、嵌入式系统处理器,甚至 Internet 远程网就可进行编程。

另外,EMIT 嵌入式微型因特网互连技术也是一种将单片机等嵌入式设备接入 Internet 的新技术。利用该技术,能够将 8 位和 16 位单片机系统接入 Internet,实现基于 Internet 的远程数据采集、智能控制、上传/下载数据文件等功能。

## 1.2 智能仪器应用实例简介

综上所述,智能仪器由于采用了智能芯片单片机,使功能得到了充分的扩展,性能得到了极大的提高,因此,仪器的智能化已成为必然的趋势。下面通过一个具体的应用实例介绍仪器智能化的过程。



随着电话网络的飞速扩大和家用电器的不断增加,现代家庭自动化技术的应用已越来越为人们所关注。利用电话远距离遥控家用电器这一研究已经取得了较大的进展,遥控装置的中心控制部件已从早期的分立元件、集成电路逐步发展到现在的单片微型计算机,使电话遥控器从简单的开、关遥控操作发展到遥测、遥视、遥控等多功能系统,智能化程度大大提高。本节主要介绍一种采用 MCS-51 系列单片机作为核心控制部件的智能型电话遥控器。

### 1.2.1 电话遥控的基本原理

电话遥控的最初目的是想利用电话线路,实现远距离操纵家用电器电源的接通或断开。其遥控接收控制器(即电话遥控器)的基本结构如图 1-2 所示。

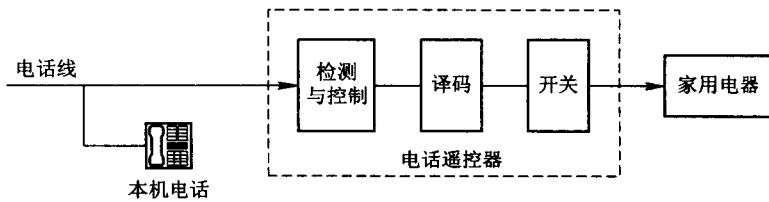


图 1-2 电话遥控器的组成

电话遥控器的基本工作原理是,当远处的遥控者通过电话线路拨通本机电话时,遥控器的检测与控制电路根据设定的振铃次数自动地将电话线路与译码电路接通,遥控者即可通过远处的电话机的按键向电话遥控器输入开、关家用电器的密码信号。当译码电路收到按键信号并确认为正确的命令后,直接控制开、关电路动作,以打开或关闭家用电器的电源开关;如果接收的是非法命令,则立即挂机,从而实现了家用电器远距离遥控的功能。

然而,随着人们生活质量的提高以及需求的不断增加,人们已经不能满足于只是简单地打开或关闭家用电器的开关,而是要求随时能了解家用电器的工作状态,遥控空调的温度,监听住宅的情况以及家中出现异常情况的自动转移报警等,即希望电话遥控的智能化、多功能化。面对如此多的实际需求,若再采用常规的分立元件和集成电路来实现已非常困难。而采用单片计算机作为遥控器的核心控制部件,并利用其软件的强大功能来设计电话遥控器,则能满足其智能化和多功能化的需求。

### 1.2.2 智能型电话遥控器的电路结构及工作原理

根据上述电话遥控的基本原理,遥控的命令是通过电话线路传递给遥控接收器的。当命令的内容改变且密码的位数较多时,采用常规元器件组成的电话遥控器的译码电路将随密码位数的增加而成倍增加,电路结构复杂、体积增大,实现起来困难且成本提高了很多,同时可靠性也会降低。而采用单片计算机作为中心控制部件后,则可以利用软件的分析、计算及存储等灵活的功能,在基本不增加硬件的情况下,实现遥控过程的智能化和多功能化。根据这一原理设计的智能型电话遥控器的结构框图如图 1-3 所示。图中单片机的主要功能是接收由电话线路传输的控制命令或外部电路输入的其他信号,对这些命令或信号进行分析、识别、计算,并将结果作相应的处理(包括存储、显示或输出相应的控制信号等)。