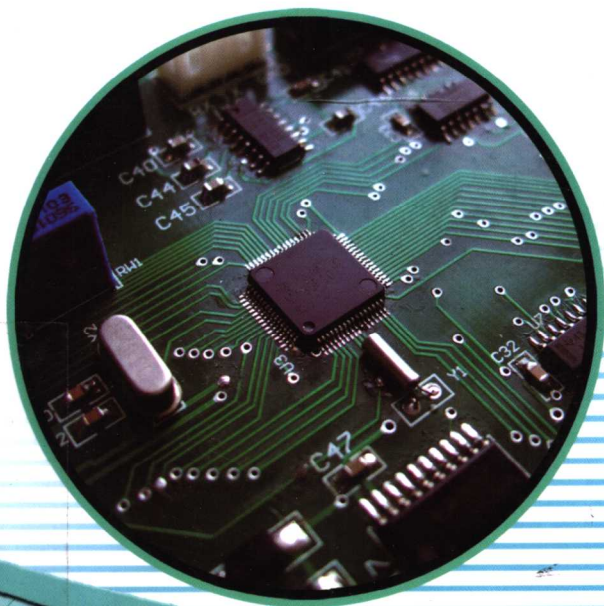


智能仪表设计 实用技术及实例

张元良 吕艳 王建军 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TP216/53

2008

智能仪表设计实用技术及实例

张元良 吕 艳 王建军 编著

机械工业出版社

本书介绍了基于微控制器 (Micro Control Unit, MCU) 的智能仪表设计实用技术及实例, 主要涉及了各主流微控制器 (包括 8 位和 16 位单片机、嵌入式微控制器 ARM 以及数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP)) 的特点及性能参数。本书还介绍了智能化测量控制仪表的输入输出通道设计、人机接口、通信接口设计、电源的选用等, 并给出了若干系统的设计实例。

本书内容丰富, 深入浅出, 可以帮助读者解决在设计和应用智能仪表时所遇到的实际问题, 具有很高的实用价值。本书可作为科研人员、工程技术人员、大学高年级本科生、研究生及智能仪器仪表设计开发者的自学用书和参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

智能仪表设计实用技术及实例/张元良, 吕艳, 王建军编著. —北京: 机械工业出版社, 2008.4

ISBN 978-7-111-23608-5

I. 智… II. ①张…②吕…③王… III. 智能仪器 IV. TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 028170 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: 徐明煜

责任编辑: 朱 林 责任校对: 陈延翔

封面设计: 王奕文 责任印制: 洪汉军

北京振兴源印务有限公司印刷厂印刷

2008 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17.5 印张 · 429 千字

0001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-23608-5

定价: 32.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379764

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着电子技术和微控制器（包括单片机、DSP、ARM 等）技术的不断发展和普及，在实时检测和自动控制领域中，仪器仪表的智能化已成必然趋势。用微控制器研制开发的各种智能化测量控制仪表，周期短，成本低，具有其他微型计算机无法比拟的优势，因此广大从事测量控制技术工作的工程技术人员和科研工作者都迫切希望了解和掌握微控制器在智能化测量控制仪表中的实用开发技术。目前，市场上介绍单片机、DSP 以及 ARM 微控制器原理及应用的书籍很多，但缺乏实用性。本书就是为了弥补市场上这类书在介绍微控制器实用技术方面的不足，根据我们在研制开发智能化测量控制仪表的经验体会而编写的。

如何选择最合适的微控制器及其外围电路是工程技术人员在设计智能仪表时经常面临的问题。设计人员由于对目前市场上能提供的微控制器和基准电源等其他芯片的种类及性能了解不全，在芯片的合理选择上就受到了很大的限制。本书在相关章节中给出了目前市场上出现的各种型号的微控制器、基准电源、A/D 转换器等性能表，设计人员可以根据本书的介绍，轻松地做出合理的选择。

本书最主要的特点之一是实用性强。常用芯片的应用电路和程序都是作者在研制智能仪表时实际使用过的。本书的另一个特点是尽量介绍市场上能买到的、常用的、最近几年新面市的芯片。

全书共有 8 章。第 1 章概述了智能仪表的功能和组成及一般设计步骤；第 2 章介绍了世界各著名公司的微控制器产品，包括 8 位和 16 位单片机、ARM 以及 DSP，便于用户参考，从而做出合适的选择；第 3 章介绍了常用输入输出接口电路，包括常用的几种 A/D、D/A 转换器，常用的几种开关量输入输出接口电路，以及常用的几种信号调理电路；第 4 章介绍了键盘及显示接口电路；第 5 章介绍了通信接口与总线，包括 RS232C 总线、RS442 总线、RS485 总线以及现场总线，举例介绍了 RS485 总线的程序设计；第 6 章介绍了智能仪表中常用的线性集成稳压器、开关集成稳压器以及直流集成基准电源，并给出了常用器件的技术参数和典型应用电路，供读者参考；第 7 章介绍了几种传感器；第 8 章介绍了 7 个设计实例，每个实例都比较全面地介绍了项目的总体方案设计、软硬件的设计过程。

本书可作为科研人员、工程技术人员及智能仪器仪表设计开发者的自学用书和设计参考用书，也可作为大学高年级本科生、研究生等相关课程（如“微机化仪器仪表设计”、“仪表设计”、“自动化与智能测试技术”等）的教材，同时，也可作为本科生课程“单片机原理及应用”的参考书。

本书主要由张元良、吕艳、王建军编写，参加编写工作的还有洪绍君、吕忠科、姜镇军、谢跃清、郎庆阳、李金英、修伟、杨小乐、张刚、王君明、崔世界等，他们对本书的编写工作提出了宝贵的意见，在此对他们表示感谢！

限于作者的水平和经验，书中难免存在错误和不足之处，欢迎广大读者给予指正。

作者
2008 年 1 月

目 录

前言

第1章 智能仪表设计概述	1
1.1 智能仪表行业的现状	1
1.2 智能仪表的功能和组成	2
1.2.1 智能仪表的功能	2
1.2.2 智能仪表的基本组成	3
1.3 智能仪表的研制步骤	4
1.3.1 制定设计方案	4
1.3.2 硬件、软件研制及仪表结构设计	4
1.3.3 仪表总调试和性能测定	5
第2章 微控制器的选择	7
2.1 微控制器概述	7
2.1.1 微控制器的概念和组成	7
2.1.2 当前微控制器的主要特点	7
2.1.3 微控制器的分类	8
2.2 常用的8位单片机	10
2.2.1 Intel公司的MCS-51单片机	10
2.2.2 Winbond公司的8位单片机	10
2.2.3 SST公司的SST89系列单片机	13
2.2.4 NXP半导体公司的8位单片机	14
2.2.5 Cygnal公司的C8051F单片机	16
2.2.6 Atmel公司的AT89单片机	19
2.2.7 Atmel公司的AVR单片机	21
2.2.8 Microchip公司的PIC单片机	23
2.2.9 Freescale公司的8位单片机	28
2.3 常用的16位单片机	32
2.3.1 MSP430系列单片机	33
2.3.2 Freescale公司的16位单片机	35
2.3.3 PIC24系列单片机	37
2.3.4 MCS196系列单片机	38
2.3.5 SPMC75系列单片机	40
2.4 ARM	41
2.4.1 ARM简介	41
2.4.2 NXP半导体公司的ARM	41
2.4.3 Atmel公司的ARM	44
2.4.4 ST公司的ARM	45
2.4.5 Samsung公司的ARM	46

2.5 DSP	47
2.5.1 DSP简介	47
2.5.2 DSP选型	48
2.6 微控制器的选择	50
第3章 输入输出接口	52
3.1 概述	52
3.2 常用A/D转换器及其应用	52
3.2.1 ADC0832芯片	53
3.2.2 TLC2543芯片	57
3.2.3 AD7705芯片	60
3.3 常用D/A转换器及其应用	65
3.3.1 MAX518芯片	67
3.3.2 TLC5618芯片	69
3.4 开关量通道设计	72
3.4.1 光隔离	72
3.4.2 继电器输入接口	72
3.4.3 LED及蜂鸣器输出	72
3.4.4 继电器输出接口	73
3.4.5 晶闸管输出接口	73
3.4.6 固态继电器输出接口	74
3.5 信号调理电路	74
3.5.1 I/V变换电路	74
3.5.2 调零调满	75
3.5.3 限幅电路	75
第4章 人机接口	78
4.1 键盘	78
4.1.1 键盘的分类	78
4.1.2 键盘接口	78
4.1.3 键盘电路结构	79
4.2 显示接口	86
4.2.1 LED接口电路	86
4.2.2 LCD接口电路	92
第5章 通信接口与总线	108
5.1 概述	108
5.1.1 通信接口与总线	108
5.1.2 通信和总线的相关概念	109
5.1.3 总线的作用	110

5.2 常用的总线	110	7.1.1 热电偶的分类	165
5.2.1 常用的内部总线	110	7.1.2 热电偶的特性参数	165
5.2.2 常用的系统总线	111	7.1.3 常用的热电偶	165
5.2.3 常用的外部总线	112	7.1.4 热电偶测温及冷端补偿	166
5.3 RS 232C 总线	113	7.1.5 热电偶专用集成电路	166
5.3.1 RS 232C 总线标准	113	7.2 热电阻	168
5.3.2 RS 232C 与 TTL 转换	115	7.2.1 常用的热电阻	168
5.3.3 串行接口通信接线方法	116	7.2.2 热电阻的测量电路	169
5.4 RS 422 总线	118	7.3 DS18B20 温度传感器	171
5.5 RS 485 总线	118	7.3.1 DS18B20 温度传感器性能简介	171
5.5.1 RS 485 总线标准	118	7.3.2 DS18B20 的温度测量	172
5.5.2 RS 485 与 TTL 转换	119	7.3.3 DS18B20 的温度转换过程	172
5.5.3 RS 485 与 RS 232C 转换	121	7.3.4 DS18B20 的应用	172
5.5.4 RS 485 的通信接线方法	122	7.4 电流传感器	175
5.5.5 RS 485 总线的抗干扰设计	122	7.4.1 CSN 系列闭环电流传感器	175
5.6 串行通信举例	123	7.4.2 CLSM-25 电流传感器	177
5.7 串行通信接口的扩展	132	7.4.3 TDC-E 系列直流漏电流传感器	177
5.7.1 扩展一个串行接口	132	7.4.4 CT 系列电流互感器	177
5.7.2 扩展多个串行接口	134	7.4.5 LQZJ4-0.66 电流互感器	179
5.7.3 模拟串行接口通信	135	7.5 电压传感器	180
5.8 VB 中利用 MSComm 控件实现 PC 串行接口通信	138	7.5.1 DCV-100 直流电压传感器	180
5.9 现场总线	142	7.5.2 LV 25-P 电压传感器	180
5.9.1 LONworks	143	7.5.3 HB-BDLD 型电压传感器	182
5.9.2 ProFiBus	143	7.5.4 BTR-VJ18 单相交流电压 传感器	182
5.9.3 HART	144	7.6 超声波传感器	183
5.9.4 FF	145	7.6.1 超声波传感器的工作原理	183
5.9.5 CAN	145	7.6.2 超声波传感器的基本结构	184
第 6 章 智能化仪表电源	147	7.6.3 超声波传感器的主要特性	184
6.1 线性集成稳压器	147	7.6.4 超声波传感器常用器件	185
6.1.1 三端固定正集成稳压器	147	第 8 章 智能仪表设计实例	190
6.1.2 三端可调集成稳压器	150	8.1 电动阀门智能控制器	190
6.1.3 低压差线性集成稳压器	151	8.1.1 项目背景	190
6.2 开关集成稳压器	153	8.1.2 设计目标	190
6.2.1 降压型开关集成稳压器及应用	154	8.1.3 总体方案的设计	191
6.2.2 升压型开关稳压器及应用	156	8.1.4 硬件系统设计	192
6.2.3 反极型开关集成稳压器及应用	158	8.1.5 软件系统设计	201
6.3 直流集成基准电压源	159	8.1.6 远程监控中心 PC 的软件设计	201
6.3.1 集成基准电压源的分类	159	8.2 智能精密水压力发生器	202
6.3.2 基准电压源的选择和技术指标	160	8.2.1 项目背景	202
6.3.3 常见基准电压源介绍	161	8.2.2 设计目标	203
第 7 章 常用的传感器	165	8.2.3 总体方案的设计	204
7.1 热电偶	165	8.2.4 硬件系统设计	205

8.2.5 控制面板的设计	212	8.5.3 总体方案的设计	236
8.2.6 软件系统设计	212	8.5.4 硬件系统设计	237
8.2.7 监控中心 PC 的软件设计	214	8.5.5 S3C44B0X 与 PC 的远程通信	249
8.3 纵跳高度测距仪	215	8.5.6 软件系统设计	250
8.3.1 项目背景	215	8.6 空气压缩机性能参数检测仪	251
8.3.2 设计目标	215	8.6.1 项目背景	251
8.3.3 总体方案的设计	216	8.6.2 设计目标	251
8.3.4 硬件系统设计	218	8.6.3 总体方案的设计	251
8.3.5 软件系统设计	225	8.6.4 硬件系统设计	252
8.3.6 总结	225	8.6.5 软件系统设计	257
8.4 人体身高测量仪	226	8.7 起重机电力矩限制器	258
8.4.1 项目背景	226	8.7.1 项目背景	258
8.4.2 设计目标	226	8.7.2 设计目标	259
8.4.3 总体方案的设计	226	8.7.3 总体方案的设计	259
8.4.4 硬件系统设计	227	8.7.4 硬件系统设计	260
8.4.5 软件系统设计	233	8.7.5 软件系统设计	268
8.5 闸门开度荷重测控仪	235	参考文献	271
8.5.1 项目背景	235		
8.5.2 设计目标	236		

第1章 智能仪表设计概述

智能仪表是指仪表中配有微控制器,使其具有对数据、命令等进行存储、运算、逻辑判断及自动化操作等功能。随着微控制器(包括单片机、DSP、ARM等)技术的不断进步和普及,智能仪表得到了迅猛的发展。新型智能仪表在测量过程自动化、测量结果的数据处理以及功能的多样化方面,都取得了巨大的进展。目前,在研制高精度、高性能、多功能的测量控制仪表时,几乎都会考虑采用微控制器,使之成为智能仪表。随着智能技术的发展,这类仪表的应用将会越来越广。

本章在简要回顾智能仪表发展过程的基础上,对智能仪表的现状及其发展趋势作了分析,同时介绍了智能仪表的主要功能和基本组成,并提出了智能仪表的研制步骤。

1.1 智能仪表行业的现状

当今世界正面临一场以应用微电子技术和计算机技术为核心的信息革命,它涉及的范围非常广泛。仪器仪表行业率先受到了深刻的影响,极大地改变了产品的面貌,出现了结构上以微控制器为核心,并具有信息采集、显示、处理和优化控制功能的智能仪表。

我国的智能仪表工业经过30多年的努力,已经形成了一个门类比较齐全、布局比较合理、具有一定技术基础和生产规模的工业体系。据不完全统计,在我国目前仪器仪表生产企业中,年产值高于500万的有近4000多家,智能仪表设计人员近150万人,预计到2010年将达到300万人。近几年来,我国仪器仪表行业发展很快,据统计,2006年我国仪器仪表生产企业的工业总产值超过2000亿元。通过攻关和研究开发,一批技术先进的、具有国际竞争力的产品不断涌现。仪器仪表产品出口创汇也迅速增长,2006年出口总额达65亿美元。出口产品中已经包含有技术含量较高的工业控制系统和精密科学仪器。智能仪表行业是一个极具发展潜力的新兴行业,智能仪表已经渗透到了各行各业。

虽然我国仪器仪表产业有了较大的发展,但由于起步晚、水平低,与发达国家相比差距较大。我国的仪器仪表企业规模小,绝大多数是中小企业,因此在人力、财力上都不能在市场上与外国跨国集团抗衡。截止2006年,全行业年销售收入超过1000万元的企业不足1000家。国产仪器仪表产品大部分属于中低端产品,技术水平相当于20世纪90年代初中期的国际水平,高端大型仪器几乎全部依赖进口。首先国产产品的可靠性较差,现有国内产品与国外产品的寿命大致要相差1~2个数量级;产品的性能、功能落后,现有国内产品在测量精度上要与外国产品相差1个数量级。其次在功能上,目前外国产品智能化程度相当高,通过对原始信息的数字处理,更好地排除了外部干扰对信息的影响,提高了产品的耐环境性和测量真实性,而国内现有产品普遍智能化程度较低。另外,产品的网络化在国外已经进入实用阶段,而我国基本上处在摸索阶段。产品技术更新的周期慢。当今国外仪器仪表产品的更新周期大约在2~3年,新技术的储备往往可以提前10年。而我国企业往往通过引进外国技术来实现一代产品的更新,引进后又不能很好地消化吸收,在新产品开发方面原创性成果很

少。科研院所在跟踪新技术方面虽然有成果，但与企业结合产业化相当艰难。由此可见，我国的智能仪表行业还远远不能满足国民经济、科学研究、国防建设以及社会发展等各个方面日益增长的迫切需求。

在这种形势下，智能仪表行业从业人员面临的挑战则非常的严峻。我们必须认真加以思考，制定有利于发展的政策，促进智能仪表的发展，并带动整个仪器仪表行业的发展。

1.2 智能仪表的功能和组成

1.2.1 智能仪表的功能

由于将微控制器引入到测量控制仪表中，使得智能仪表不仅能够解决传统仪表不能解决或不易解决的问题，而且还能够实现诸如记忆存储、四则运算、逻辑判断、命令识别、自诊断、自校正、自适应、自学习等智能化工作。总结起来，智能仪表大体上能够实现如下一些功能：

1. 自动校正零点、满度和切换量程

智能仪表的自校正功能降低了因仪表零漂等因素造成的误差。而量程的自动切换可提高读数的分辨率，满足系统精度的要求。

2. 可进行多通道、多参数巡回检测

能对多个参数进行快速、实时地检测，以满足系统的实时性要求。

3. 自动修正各类测量误差

许多传感器的输出信号都是非线性的，且受环境温度、压力等参数的影响，从而产生测量误差。在智能仪表中，只要掌握这些误差的规律，就可依靠软件进行修正。常见的有测温元器件的非线性校正、热电偶冷端温度补偿、气体流量的温度压力补偿等。

4. 数字滤波及数据处理

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，可抑制各种干扰的影响。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。

5. 控制算法

能实现各种复杂的控制算法，如 PID、自学习、自适应、模糊控制等。

6. 多种输出形式

输出形式有数字显示、图形显示、打印记录、模拟量输出、开关量输出、声光报警等。

7. 数据通信

可方便地与网络、外设及其他设备进行数据通信。

8. 自诊断

在运行过程中，可对仪表本身各组成部分进行一系列测试，发现故障后报警，并指示出故障部位，以便及时处理。

在一些不带微控制器的常规仪表中，通过增加元器件和变换线路，也能或多或少地具有上述的某种功能，但往往要付出较大的代价。性能上的一点提高，会使仪表的成本大大增加。而在智能仪表中，性能的提高，功能的扩大，是比较容易实现的。低廉的微控制器芯片

使这类仪表具有较高的性能价格比。

1.2.2 智能仪表的基本组成

智能仪表由硬件和软件两大部分组成。

硬件部分包括微控制器及其接口电路、模拟量输入输出电路、开关量输入输出电路、数据通信接口电路、人机交互通道（如键盘、显示器接口电路等），以及其他外围设备，如打印机等接口电路，如图 1-1 所示。微控制器及其接口电路，包括微控制器、程序存储器、数据存储器、输入输出接口电路及扩展电路组成。模拟量输入输出电路，包括信号处理电路、模/数（A/D）转换器、数/模（D/A）转换器等构成，用来输入输出模拟量信号；而开关量输入输出电路，则包括输入信号处理及输出功放电路。通信接口则用来实现仪表与外界交换数据。

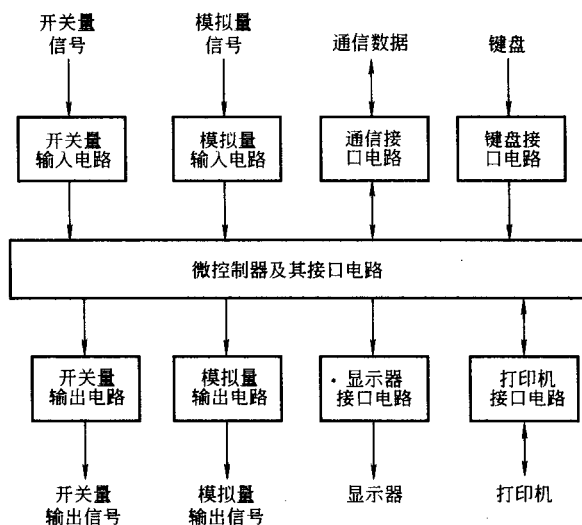


图 1-1 智能仪表硬件组成框图

智能仪表的工作过程如下：输入信号要经过开关量输入电路或模拟量输入电路进行变换、放大、整形、补偿等处理。对于模拟量信号，需经 A/D 转换器转换成数字信号，再通过接口送入微控制器。由 CPU 对输入数据进行加工处理、计算分析等一系列工作，通过接口送至显示器或打印机，也可以输出开关量信号或经模拟量输出电路的 D/A 转换器转换成模拟量输出信号。还可以通过串行接口（例如 RS232C 等）实现数据通信，完成更复杂的测量和控制任务。

智能仪表的软件，包括监控程序、中断服务程序以及实现各种算法的功能模块。监控程序是仪表软件的中心环节，它接受和分析各种命令，并管理和协调整个程序的执行；中断服务程序是在人机接口或其他外围设备提出中断申请，并为微控制器响应后直接转去执行，以便及时完成实时处理任务；功能模块用来实现仪表的数据处理和控制在功能，包括各种测量算法（例如数字滤波、标度变换、非线性修正等）和控制算法（例如 PID 控制、前馈控制、模糊控制等）。

以上是智能仪表的大致组成。

1.3 智能仪表的研制步骤

研制一台智能仪表是一个复杂的过程,这一过程包括分析仪表的功能要求和制定总体设计方案,确定硬件结构和软件算法,研制逻辑电路和编制程序,以及仪表的调试和性能的测试等。

根据仪表的功能要求和技术经济指标,按仪表功能把硬件和软件分成若干个模块、分别进行设计和调试,然后把它们连接起来,进行总调试,这就是设计仪表的基本思想。

如前所述,通常把硬件部分分成微控制器、输入输出通道、人机交互通道、通信接口及电源等几个模块;而把软件分成监控程序、中断服务程序以及各种测量和控制算法等功能模块。这些硬件、软件模块还可继续细分,由下一层次的更为具体的模块来支持和实现。模块间的相对独立也有助于研制任务的分解和设计人员之间的分工合作,这样可以提高工作效率。

设计、研制一台智能仪表大致上可以分为3个阶段:确定任务、拟定设计方案阶段;硬件、软件研制及仪表结构设计阶段;仪表总调试、性能测定阶段。

1.3.1 制定设计方案

1. 确定设计任务和仪表功能

首先确定仪表所要完成的任务和应具备的功能,如仪表是用于过程控制,还是数据处理,并都有哪些功能;确定技术经济指标,如仪表要求的精度如何,仪表的开发成本和生产成本应控制在多少范围之内;仪表输入信号的类型、范围和处理方法如何;过程通道为何种结构形式,通道数是多少,是否需要隔离;仪表的显示格式如何,是否需要打印输出;仪表是否具有通信功能。以此作为仪表软、硬件的设计依据。另外,对仪表的使用环境及维修的方便性应给予充分的考虑。设计人员在对仪表的功能、可维护性、可靠性及性能价格比综合考虑的基础上,提出仪表设计的初步方案,并形成书面文件。

2. 选择确定硬件类型和数量

通过调查研究对方案进行论证,以完成智能仪表的总体设计工作。在此期间应绘制仪表系统总框图和软件总框图,拟定详细的工作计划。

微控制器及其接口电路是智能仪表的核心,为确保仪表的性能指标,在选择微控制器(如单片机)时,需要考虑内部存储器容量的大小,I/O接口是否足够,硬件配套是否齐全,以及芯片的价格等等。在内存容量要求不大,外部设备要求不多、速度要求不高的智能仪表中,可采用8位或16位微控制器。若要求仪表运算功能强、处理精度高、运行速度快,则可选用16位或32位微控制器。

在智能仪表硬件电路中,输入输出通道一般占有很大的比重。在选择输入输出通道所需的硬件时,应考虑输入输出通道数,是串行操作还是并行操作,精度、传输速率及传输方式等等。

总体设计方案完成后,应绘制仪表系统总框图,拟定详细的工作计划。

1.3.2 硬件、软件研制及仪表结构设计

1. 硬件电路的设计、研制和调试

硬件电路的设计包括微控制器接口电路、输入输出通道、人机交互接口电路和通信接口

电路等功能模块。设计电路时，应尽可能采用典型的电路，力求标准化；电路中的相关器件性能须匹配；扩展器件较多时，须设置电路驱动器；为确保仪表能长期可靠地运行，还须采取相应的抗干扰措施。包括去耦滤波、合理的走线、通道隔离等。

完成电路设计并绘制好布线图后，应反复核对，确认电路无差错时，才可加工印制电路板。制成电路板后仍须仔细校核，以免发生差错，损坏元器件。

由于微控制器是通过各种接口与键盘、显示器、打印机等部件相连接的，并通过输入输出通道，经测量元器件和执行器直接连至被测和被控对象。因此，人机交互接口电路和输入输出通道的设计是研制仪表的重要环节，力求可靠实用。

如果逻辑电路设计正确无误，印制电路板加工完好，那么功能模块的调试一般来说是比较顺利的。模块运行是否正常，可通过测定一些重要的波形来确定。例如可以检查微控制器及扩展器件几个控制信号的波形与硬件手册所规定的指标是否相符，由此断定其工作正常与否。

通常采用开发工具来调试硬件，将其与功能模块相连。再编制一些调试程序，即可迅速地排除故障，较方便地完成硬件部分的查错和调试任务。

2. 应用软件设计、程序编制和调试

将软件总框图中的各个功能模块具体化，逐级地画出详细的框图，作为编制程序的依据。编写程序可以用机器语言、汇编语言或各种高级语言。究竟采用何种语言则由程序长度、仪表的实时性要求及所具备的研制工具而定。对于规模不大的应用软件，可以采用汇编语言来编写，这样可减少存储容量、降低成本、提高实时性。研制较复杂的软件且运算任务较重时，可使用高级语言来编程。C51 编译软件是近年来较为流行的一种软件开发工具。它采用 C 语言编写源程序，编程方便，软件可读性强，易于修改和扩充。该软件功能强，编译效率高，有助于开发规模大、性能更完善的应用软件。编完程序，经汇编或编译生成目标码，再经调试通过后，可直接写入程序存储器中。

在软件设计时，要注意结构清晰，存储区规划合理，编程规范化，以便于调试和移植。同时，为了提高仪表的可靠性，应实施软件抗干扰措施。

在编制和调试应用软件时，同样可以使用开发工具，利用开发工具丰富的硬件和软件系统来编程和调试，可以提高工作效率及应用软件的质量。

3. 仪表结构设计

结构设计是研制智能仪表的重要内容，包括仪表造型、壳体结构、外形尺寸、面板布置、模块固定和连接方式等。应尽可能地做到标准化、规范化、模块化。此外，对仪表使用的环境和制造维护的方便性也应给予充分的重视，使研制的产品既美观大方，又便于用户操作和维修。

1.3.3 仪表总调试和性能测定

研制阶段只是对硬件和软件进行初步调试和模拟试验。样机装配好后，还必须进行联机调试，排除样机中硬件和软件两方面的故障。待工作正常后，再进行现场安装、调试，使系统处于实际应用环境中，以考验其可靠性。在总调试中，要对所要求的全部功能进行测试和评价，以确定仪表是否符合预定的性能指标，并写出性能测试报告。若发现某一项功能或指标达不到要求时，则应修改硬件或软件、重新调试，直至满足要求为止。

研制一台智能仪表大致需要经历上述几个阶段。经验表明，仪表性能的优劣和研制周期的长短与总体设计是否合理，硬件选择是否得当，程序结构的好坏，开发工具的完善与否，以及设计人员对仪表结构、电路、测控技术和计算机硬、软件的熟悉程度等有很大的关系。在仪表开发过程中，软件设计的工作量往往比较大，而且容易发生差错，应当尽可能地采用模块化方法编制应用程序，这对查错、调试和修改程序十分有利。实践证明，设计人员如能在研制阶段把住硬件、软件的质量关，则总调试阶段的工作就可能比较顺利，从而可及早制成符合设计要求的样机。

在完成样机之后，还要进行设计文件的编制。这项工作也是十分重要的，因为这不仅是仪表研制工作的总结，也是仪表使用、维修以及产品升级的需要。因此，人们通常把这一技术文件列入智能仪表的重要软件资料中。

设计文件应包括：设计任务和仪表功能的描述，设计方案的论证，性能测定和现场使用的报告，使用者操作说明，硬件资料和程序资料等。

第2章 微控制器的选择

2.1 微控制器概述

微控制器已经渗透到了我们生活的各个行业和领域。卫星定位系统、飞机上各种仪表、汽车内部控制系统、计算机的数据传输、工业自动化过程的实时控制、各种智能卡、数码相机、MP3、全自动洗衣机等内部都包含微控制器。人们对现代化、智能化的强烈需求，促使微控制器产品技术得到迅猛的发展，并且在未来一段时间内，这种势头将持续下去。

2.1.1 微控制器的概念和组成

微控制器（MCU）诞生于1976年，是将计算机的基本部件微型化并集成到一块芯片上的微型计算机，通常包含微处理器、存储器（存放程序或数据的ROM和RAM）、总线、定时器/计数器、输入/输出接口（I/O口）、中断控制、系统时钟和其他多种功能部件，具有一般计算机数字处理等基本功能，根据实际应用配置外围电路并编写软件程序。在国内，人们普遍把微控制器称作“单片机”，尤其是指4位、8位和16位的微控制器。在本书中，为了符合大多数人们的习惯，仍将4位、8位和16位的微控制器称作“单片机”。

微控制器通常由以下几部分组成：

1. 中央处理器

中央处理器是微控制器的核心组成部分，包括运算器、控制器、内部寄存器组和中断控制部件。不同微控制器的中央处理器字长不同，运算速度和数据处理能力具有很大的差别。

2. 存储器

包括程序存储器和数据存储器。程序存储器是用来存储用户开发好的程序代码，其中的内容不会因掉电而丢失。数据存储器是用来存储程序运行所需要的数据。

3. 内部总线

内部总线是一组能为多个部件分时共享的信息传送线，是连接中央处理器、存储器和I/O设备的桥梁，各部件通过总线交换信息。微控制器内部总线可以分为地址总线、数据总线和控制总线，分别用来传递地址信息、数据信息和控制命令。

4. I/O接口及外设

I/O接口是微控制器与外部器件通信的纽带。微控制器为了突出控制功能，提供了众多的I/O接口和片内外设，如通用的I/O、A/D转换器、串行通信接口、CAN总线接口等，功能强大，可以通过软件和硬件灵活地配置，自由使用。

2.1.2 当前微控制器的主要特点

微控制器具有集成度高、可靠性高、便于扩展、控制功能强、体积小、性价比高、应用广泛、易于产品化等特点，在自动化装置、工业控制、航空航天、智能仪器仪表、通信设

备、导航系统、家用电器、医疗器械等许多领域得到日益广泛的应用。微控制器以微处理器技术及超大规模集成电路技术的发展为先导，以广泛的应用领域为拉动，经过 30 多年不断地研究发展，历经 4 位、8 位，到现在的 16 位及 32 位，甚至 64 位，产品越来越成熟，性能得到很大提高，应用范围变得更加广泛。目前，微控制器主要具有以下特点：

1. 速度越来越快

一些 MCS-51 系列单片机采用了改善的内部时序，在不提高时钟频率的条件下，使运算速度提高了很多，如 Winbond 公司的 W77E58 微控制器工作频率可以达到 40MHz，一个机器周期仅需要 4 个时钟周期，在同样晶体振荡器下，速度是普通 8051 单片机的 3 倍。MSP430 系列微控制器则使用了锁相环技术和内部倍频技术，使内部总线速度大大高于时钟产生器的频率。

2. 低功耗

低功耗的微控制器适合于一些需要使用电池的场合中，例如便携产品和安防系统等。降低功耗就意味着降低维护成本，还可以防止系统过热而造成其他故障。几乎所有的微控制器都有省电运行方式，允许使用的电源电压范围也越来越宽。

3. 更多的系统功能模块

现在的微控制器在自身内部集成了更多的系统功能模块，可以完成的系统管理功能越来越完善，如电源时序、启动控制、EEPROM 读写、实时时钟、通信接口、DMA、A/D 转换、D/A 转换、LCD 驱动、温度管理等，能够满足很多应用领域对硬件的功能要求，使得应用系统设计更加简单。

4. 低噪声与高可靠性技术

为了提高微控制器系统的抗干扰能力，满足电磁兼容（EMI）性方面更高的要求，使产品能在恶劣的环境下稳定工作，现代微控制器内部电路中都采取了很多新的技术措施，如增加了片内看门狗定时器、内部锁相环模块、抗 EMI 电路、电源监测模块等。

5. 编程调试技术得到很大改进

传统高价的仿真器、烧写器增加了开发成本。当前微控制器通常都采用了 JTAG 技术、ISP（In System Programming，在系统可编程）技术，通过微控制器上引出的编程线、串行数据、时钟线等对微控制器编程，为开发调试提供了方便，并使微控制器系统的远程调试和升级成为现实。

2.1.3 微控制器的分类

目前，全世界微控制器的品种众多，可以根据不同的分类方法对微控制器进行分类。

1. 按微控制器适用范围分类

按微控制器适用范围来区分，可以分为通用型和专用型。例如，AT89C52 微控制器不是为某种专用用途设计的，是通用型微控制器；专用型微控制器是针对一类产品甚至某一个产品设计生产的，例如来电显示电话中配有液晶驱动器接口的微控制器。由于专用型微控制器应用领域特定，不具有广泛性，因而本书着重介绍通用型微控制器。

2. 按存储器类型分类

按存储器类型来区分，微控制器可分为 MASK（掩模）ROM 型、OTP（一次性可编程）ROM 型、Flash 型等。MASK ROM 型的微控制器价格便宜，但程序在出厂时已经固化，适合

程序固定不变的应用场合；OTP ROM 型的微控制器，拥有一次性可编程能力，具有一定灵活性，且成本较低；Flash 型的微控制器程序可以反复电擦除/编程，灵活性很强，开发方便。对于 MASK ROM 型和 OTP ROM 型的微控制器，是用相应的 Flash 型的微控制器作为开发芯片，或者使用相应的仿真器进行开发，开发成功之后，再对芯片进行烧写。对于 Flash 型的微控制器，大部分内部都集成了 JTAG 调试接口，可以直接使用 JTAG 调试器将程序下载到目标芯片中，配以 PC 调试软件进行调试开发。这样一个价格低廉的 JTAG 调试器就替代了传统的仿真器和编程器，且使得调试过程简单方便。Flash 型的微控制器是本书介绍的重点。

3. 按中央处理器字长和数据总线位数分类

按中央处理器的字长和数据总线的位数将微控制器分为 4 位、8 位、16 位、32 位以及 64 位微控制器。

微控制器的开发和应用最早是从 4 位微控制器开始的，一般的微控制器厂家均有自己的 4 位微控制器产品，如美国 National Semiconductor 公司的 COP420 系列，NEC 公司的 75006 系列、EPSON 公司的 SMC62 系列等。4 位微控制器结构简单、价格低廉、功能灵活，具有较高的性价比，至今仍有广泛的市场，大部分应用于计算器、车用仪表、电子玩具、呼叫器、无线电话、LCD 驱动控制器、磅秤、充电器等，特别适合于控制功能简单的家电类消费产品。

8 位微控制器是目前品种最为丰富、应用最为广泛的微控制器，有着体积小、功能强、功耗低、性价比高、易于推广应用等显著优点，主要分为 MCS-51 系列兼容机和非 MCS-51 系列微控制器。MCS-51 兼容产品开发方便，占据主导地位，Atmel、NXP、Winbond（华邦电子股份有限公司）、ST 等著名公司都是其主要生产厂家。非 MCS-51 系列微控制器应用较广的有 Freescale 的 HCS08 系列、Microchip 的 PIC 系列单片机以及 Atmel 的 AVR 单片机等。8 位微控制器在电动玩具、自动化装置、智能仪器仪表、过程控制、家用电器、传真机、键盘等许多领域都得到广泛的应用。

16 位微控制器采用 16 位的 CPU 和数据总线，在操作速度及数据处理能力上比 8 位微控制器有较大提高，并且具有更多的片上资源，甚至比 32 位微控制器还要丰富，接口方便，价格低廉，受到广大电子产品开发商的青睐。它主要应用于工业控制、智能仪器仪表、通信设备、便携式设备等场合。各大微控制器生产厂家都在不断地推出新的 16 位微控制器，以满足客户的多样化需求。

当今时代，在数码相机、MP3、MP4、PDA、手机等手持设备以及各种新概念家电产品应用中，需要强大的多媒体功能支持；对存储空间的需求也越来越大；对于互联网接入功能的需求也日趋明显，需要微控制器可以运行以太网或者其他通信协议；随着应用功能的增多，对于操作系统的支持提出了更高的要求。32 位微控制器可以支持大容量的存储器，从而可以容纳越来越大的程序来满足复杂的控制需求；可以提供大量的 I/O 接口，节省许多外围器件；提供更多的片上外围资源，简化了外围系统设计；并且由于工艺技术的改善，32 位微控制器的价格进一步降低；随着第三方开发工具性能的提高和价格的降低，32 位微控制器得到更加广泛的推广应用。目前 32 位微控制器主要有各个厂家的 ARM 产品、MIPS 公司的 MIPS、IBM 公司的 Power PC 等。在 32 位微控制器市场上，基于 ARM 内核的微处理器在市场上处于绝对的领导地位。随着互联网和无线数字传输技术的发展和运用，32 位微控

制器的应用得到了长足、迅猛的发展，主要用在手机、PDA、便携式多媒体播放机、机顶盒、网络安全等产品当中。

图 2-1 为相关人员对微控制器选型比例的市场调查结果，从中可以看到 8 位单片机仍是市场主流产品，但 32 位单片机发展很迅速。

目前，世界上主要的微控制器厂商有 Atmel、Freescall（原 Motorola 半导体部）、Microchip、TI、ST、Philips、NXP（原 Philips 半导体）、Winbond、Samsung 等。各大公司都有很多不同系列的微控制器，每个系列的微控制器品种繁多，可以实现的功能越来越多，性能也越来越稳定，如何选择合适的微控制器用于产品开发，是智能仪器仪表设计者面临的一个首要问题。以下将介绍世界著名公司的微控制器产品，便于用户参考，从而作出合适的选择。

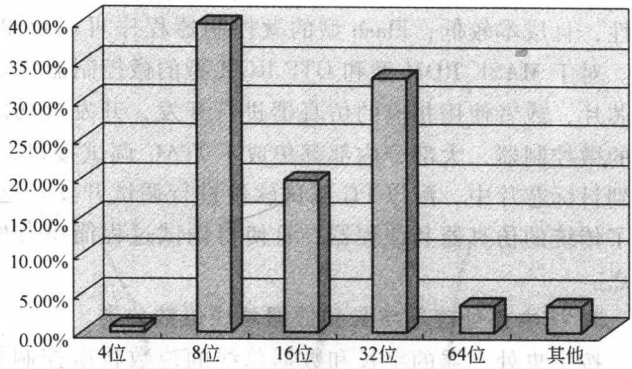


图 2-1 微控制器选型比例

2.2 常用的 8 位单片机

尽管更复杂、更强大的 16 位和 32 位微控制器已经出现，并且这些产品也带来了性能优势，但 8 位单片机在电子行业仍然广为应用，具有很大的市场份额，这主要是因为 8 位单片机技术成熟，性能得到很大的改良，具有了更多的外围器件，并且成本极具竞争性。

2.2.1 Intel 公司的 MCS-51 单片机

MCS-51 系列单片机是 Intel 公司 1980 年推出的 8 位单片机，也是最早推出的 8051 单片机。目前，Intel 公司主要把精力放在 CPU 的生产上。但是继 Intel 公司推出了 MCS-51 系列单片机之后，多家公司就购买了 Intel 公司的 8051 内核。目前，许多公司都以 MCS-51 单片机核心技术为基础，结合现代电子技术和半导体技术，推出各具特色的 MCS-51 兼容单片机，使得以 8051 为内核的单片机在世界上得到了广泛的推广和应用。

MCS-51 系列单片机部分产品性能和参数如表 2-1 所示。

2.2.2 Winbond 公司的 8 位单片机

华邦电子股份有限公司于 1987 年成立于我国台湾省，该公司有着优越的研发实力，其单片机产品有众多型号。Winbond 的 8 位单片机与 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机完全兼容，性能却更加优越。多数单片机每个指令周期只需要 4 个时钟周期，在同样的外部晶体振荡器下，速度是原来的 3 倍，工作频率最高可达 40MHz；片上功能更强，增加了 WDT 看门狗功能，增多了 UART 数量等；存储空间更大，一般无须外扩存储器；保密措施更好，不容易被解密；电源电压更宽泛；功耗得到了有效的降低。