

高等学校教材

智能仪表原理与设计

李昌禧 编著



化学工业出版社
教材出版中心

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

智能仪表原理与设计/李昌禧编著. —北京: 化学工业出版社, 2005. 2

高等学校教材

ISBN 7-5025-6444-6

I. 智… II. 李… III. 智能仪器-高等学校-教材 IV. TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 137209 号

高等学校教材

智能仪表原理与设计

李昌禧 编著

责任编辑: 唐旭华

文字编辑: 朱磊 徐卿华

责任校对: 凌亚男

封面设计: 潘峰

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京市彩桥印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 17¼ 字数 436 千字

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6444-6/G · 1652

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

测量是信息获取技术，是信息技术的源头；仪表则是测量的物质手段。今天，仪表不仅已成为生产自动化与军事装备的基础，也是科学研究的“尖兵”，还是计量管理和贸易结算的“法官”，而且正在深入应用到人们生活的各个方面。

随着微计算机技术的快速发展，以嵌入式系统为核心的智能仪表综合运用各种现代技术，不断提高其性能和增强其功能，将完全取代传统的仪表装置，成为一种广泛应用的电子产品。因此，各高校有关专业都开设了智能仪表课程，为智能仪表的研究、开发、设计和应用培养高层次人才。

本书的主要内容包括：智能仪表原理，智能仪表的技术特点和设计原则，智能仪表的主要接口逻辑、时序关系及控制方式，智能仪表的数据采集技术与各种测量、控制算法，智能仪表的可靠性设计技术与开发技术，多单片机构成智能仪表方法与数字通信技术，智能仪表常用的智能技术等。书中还列举了多种智能仪表实例，分析了它们的主要技术特点和设计思想。

以本书作为本科教材的参考教学时数为30~40学时。使用本书时应注意先安排学习相关的课程，如电子技术、微机原理、单片机原理及应用、传感器原理、检测技术、控制理论、软件工程等课程，为本教材的学习打好必要的基础。学习时还应注意结合实际，分析一定的实例，进行必要的实验，完成一些习题。研究生教学应安排课程设计，以便联系实际，加强设计与调试训练，提高学习效果和解决问题的能力。

本书编写过程中应用了作者多年的科研和教学积累，考虑了智能仪表的发展方向与热点技术。编写本书旨在给测控技术与仪器、自动化等专业的本科生及控制科学与工程等学科的研究生提供一本新颖实用的教材（或教学参考书）；同时与从事仪表开发、设计和应用的工程技术人员进行相关技术的交流，共同促进检测技术与仪器仪表的发展。

本书由华中科技大学控制科学与工程系李昌禧教授编著。要特别感谢华东理工大学吴勤勤教授等人提出的宝贵意见和建议，以及为本书稿的整理和画图做了大量工作、付出辛勤劳动的研究生卢月琼，还要感谢做资料收集工作的研究生代勇和王兵。

本书内容的电子文档可为使用本教材的大专院校制作教学课件时提供参考，如有需要可与编者联系，联系方法为：changxilee@yeah.net。

由于作者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

编著者

2004年9月于武汉

目 录

绪论	1
1 智能仪表原理与设计基础	4
1.1 智能仪表原理	4
1.2 设计基础	4
1.2.1 需求分析与方案论证	4
1.2.2 机型选择与嵌入式系统	6
1.2.3 总线与结构	8
1.3 设计原则与设计内容	14
1.3.1 总体设计原则	15
1.3.2 硬件设计	16
1.3.3 软件设计	23
1.3.4 产品设计步骤	27
思考题与习题	28
2 人机接口的设计	29
2.1 开关及接口	29
2.1.1 开关的基本形式	29
2.1.2 互锁式开关	29
2.1.3 数字拨码盘	30
2.1.4 开关接口的工作方式	30
2.2 按键、键盘及接口	30
2.2.1 按键及其接口	30
2.2.2 键盘及其接口	33
2.3 LED 显示器及接口	37
2.3.1 LED 数码显示器	37
2.3.2 LED 数码显示器与 CPU 的接口	38
2.4 键盘、显示器接口设计	41
2.4.1 由 I/O 端口支持的键盘、显示器接口电路	41
2.4.2 键盘显示器专用接口芯片 8279	42
2.4.3 键盘显示器专用串行接口芯片 zlg7289A	47
2.5 液晶显示器 (LCD) 及其接口	57
2.5.1 液晶显示器的原理	57
2.5.2 段码式液晶显示器	58
2.5.3 字符点阵式液晶显示器及其接口	60
2.5.4 图形点阵式液晶显示器	62
2.6 打印机及其接口	63
2.6.1 GPI6 微型打印机及其接口	64

2.6.2 通信与集中打印	66
思考题与习题	66
3 数据采集技术与输入输出接口	67
3.1 概述	67
3.2 检测信号与数据放大器设计	68
3.2.1 检测信号的形式	68
3.2.2 集成运算放大器选择	69
3.2.3 数据放大器的设计	74
3.3 多路开关及其与微机的连接	75
3.3.1 干、湿舌簧继电器与半导体多路开关	75
3.3.2 常用半导体多路开关芯片	77
3.3.3 多路开关的扩展	78
3.3.4 多路开关芯片与微机连接	78
3.4 采样保持器及其与微机的连接	79
3.4.1 采样保持器工作原理	80
3.4.2 常用采样保持器芯片	81
3.4.3 采样保持器与微机的连接	82
3.4.4 保持电容器的选择	82
3.5 A/D、D/A 转换器与微机的接口	83
3.5.1 D/A 转换器与微机的连接	84
3.5.2 PWM 输出 (D/A)	85
3.5.3 A/D 转换器与微机的连接	86
3.5.4 A/D、D/A 转换的输入、输出形式与基准电压	92
3.6 微机控制式 A/D 转换器	94
3.6.1 微机控制间接比较型 A/D 转换器	94
3.6.2 微机控制组合式高分辨率 A/D 转换器	95
3.7 频率相位信号的采集及其接口	96
3.7.1 V/F 转换原理及特点	96
3.7.2 V/F 转换器芯片	97
3.7.3 频率信号的采集方式与接口	98
3.7.4 相差信号的采集	100
3.8 数据采集缓存器的设置与保护	101
3.8.1 双端口 RAM 数据缓存器	101
3.8.2 1 位 RAM 数据缓存器	103
3.8.3 数据缓存区设置	103
3.8.4 缓存区数据的保护	104
3.9 数据采集系统的结构形式	105
3.9.1 多芯片构成数据采集系统的几种形式	105
3.9.2 单片数据采集系统	106
3.9.3 嵌入式系统	107
思考题与习题	107

4	数据处理技术	108
4.1	概述	108
4.2	标度变换等处理技术与程序设计	109
4.2.1	极值判断、分段测量技术及程序	109
4.2.2	标度变换处理技术及程序	110
4.3	数字滤波技术及其程序设计	112
4.3.1	噪声的分析方法和分类	113
4.3.2	叠加平均(总体平均)滤波法	114
4.3.3	几种常用静态滤波程序	114
4.3.4	自相关法滤波	116
4.3.5	低通数字滤波器模型及程序	117
4.3.6	其他数字滤波器	118
4.4	数字线性化技术与程序设计	118
4.4.1	连续函数拟合法	119
4.4.2	插值法(分段拟合法)	120
4.4.3	查表法	123
4.5	零点漂移与增益误差的处理技术	124
4.5.1	误差模型	124
4.5.2	自校准电路	125
4.5.3	测量系统的校准	127
4.5.4	环境因素综合补偿技术与程序设计	128
4.6	控制技术及其算法	130
4.6.1	闭环(反馈式)仪表与控制技术	130
4.6.2	控制算法	131
4.7	相关测量及其算法	137
4.7.1	相关测量原理	137
4.7.2	相关算法与相关器	139
	思考题与习题	146
5	多单片机系统与通信总线	147
5.1	概述	147
5.2	多单片机系统的结构与通信	148
5.2.1	单片机串行口直接连接式	148
5.2.2	SPI总线连接与通信式	148
5.2.3	多端口存储器连接式	149
5.2.4	共享总线式	149
5.2.5	并口连接式	151
5.2.6	多单片机系统的通信	152
5.3	智能仪表的对外通信与标准总线	153
5.3.1	数据通信与接口总线	153
5.3.2	RS-232C串行接口总线标准	155
5.3.3	RS-422、RS-423、RS-485接口总线标准	158

5.3.4	USB 接口总线	159
5.3.5	IEEE-488 并行接口总线标准	163
5.3.6	IEEE-488 接口	166
5.4	现场总线与智能仪表	168
5.4.1	现场总线的产生与发展	168
5.4.2	现场总线的定义与特点	169
5.4.3	现场总线仪表 (智能仪表)	170
5.4.4	现场总线通信技术	173
5.5	TCP/IP 协议与智能仪表上网	178
5.5.1	TCP/IP 协议与以太网概述	178
5.5.2	协议与标准	179
5.5.3	智能仪表接入 Internet	181
	思考题与习题	184
6	智能技术	185
6.1	概述	185
6.1.1	数值处理技术与符号处理技术	185
6.1.2	智能技术的产生与发展	186
6.1.3	智能程序设计语言	186
6.2	模糊控制技术	187
6.2.1	模糊集合	188
6.2.2	隶属函数及其确定	188
6.2.3	模糊集合中的基本定义和基本运算	189
6.2.4	模糊关系	190
6.2.5	模糊推理	191
6.2.6	模糊控制器的设计	194
6.2.7	模糊控制器设计实例	197
6.3	软测量技术	199
6.3.1	软测量技术的意义	199
6.3.2	软测量技术的内容	200
6.3.3	软测量技术的建模	202
6.3.4	软测量技术应用实例	203
6.4	专家系统	207
6.4.1	概述	207
6.4.2	知识的表示与获取	209
6.4.3	基于知识的推理	213
6.4.4	专家系统应用实例	215
	思考题与习题	219
7	可靠性设计技术	220
7.1	可靠性设计基础	220
7.1.1	可靠性的基本概念	220
7.1.2	影响仪表可靠性的因素	222

7.2	可靠性保障基本技术	224
7.2.1	系统方案设计时的可靠性原则	224
7.2.2	元器件的合理选用	224
7.2.3	元器件的筛选	227
7.2.4	降额设计	228
7.2.5	系统可靠性保障的其他问题	229
7.3	电磁兼容性设计	231
7.3.1	电磁干扰的基本分析	231
7.3.2	电源抗干扰设计	233
7.3.3	屏蔽与接地	235
7.3.4	抗串模干扰的措施	236
7.3.5	抗共模干扰的措施	238
7.3.6	总线的可靠性设计	239
7.4	软件抗干扰技术	240
7.4.1	CPU 抗干扰技术	240
7.4.2	输入输出的抗干扰技术	243
7.5	软件可靠性设计	244
7.5.1	软件设计过程中的可靠性	244
7.5.2	软件可靠性设计的一些具体措施	245
7.5.3	人机界面的容错技术	247
7.6	智能仪表的自诊断技术	249
7.6.1	CPU 的自诊断	250
7.6.2	ROM 的自诊断	250
7.6.3	RAM 的自诊断	250
7.6.4	数据采集通道的诊断	251
7.6.5	模拟输出通道的诊断	251
7.6.6	人机界面的诊断	252
7.6.7	自诊断程序	253
	思考题与习题	253
8	智能仪表的仿真与调试	254
8.1	智能仪表的建模	254
8.2	智能仪表的建模与仿真实例	255
8.2.1	力(力矩)平衡机构式智能仪表	255
8.2.2	内旋转式浓度变送器简介	255
8.2.3	内旋转式浓度变送器的模型	256
8.2.4	内旋转式浓度变送器的动态特性分析	258
8.2.5	内旋转式浓度变送器的数字仿真	259
8.3	智能仪表中的 CPLD 应用设计	260
8.3.1	CPLD 概述	260
8.3.2	CPLD 器件及描述语言	260
8.3.3	CPLD 设计举例	261

8.4 智能仪表的开发调试	264
8.4.1 通用 MDS 开发	264
8.4.2 简易 MDS 开发	265
8.4.3 自开发	266
8.4.4 JTAG 调试	266
参考文献	272

绪 论

(1) 智能仪表的产生与发展

测量、控制技术与仪表行业是应用计算机最早、成就最显著的领域之一。在计算机诞生的最初年代，人们就开始利用计算机对测量结果进行统计、分析、加工处理。随后出现的以小型机为基础的自动测试系统，就可将各种被测参数、生产工况，通过模数转换送入计算机，使测量数据得到及时的处理、存储和打印，并用来指导生产。在某些场合，数据处理的结果还直接用来干预生产过程，组成计算机闭环控制系统。这些早期的计算机自动测量系统、自动控制系统在 20 世纪 60 年代末曾得到迅速发展，但由于当时尚未出现微型计算机，这类计算机系统都程度不同地存在着体积大、价格高、结构复杂、可靠性差的弊病，难以大范围推广应用。进入 20 世纪 80 年代以后，这种局面迅速转变。一方面，由于各种通用标准总线接口的出现，解决了仪表与仪表之间，仪表与计算机之间的统一连接问题，改善了计算机系统的功能与可靠性，促使以计算机为中心，由多台可编程仪表组成的成套装置大量涌现；另一方面，微电子技术的发展与微机的问世，使仪表由原来从属于计算机系统的被动地位逐步发展成与微机结合，相互渗透，并形成了仪表微机化的趋势。以工业自动化仪表为例，经历过由机械式仪表到电动单元组合仪表（Ⅰ型、Ⅱ型到Ⅲ型），再到组装式电子单元仪表的长时间发展过程，直至微机大量应用后，才产生了微机化工业自动化仪表（如集散系统的仪表），并正在发展适合现场总线控制、各种分布式控制和网络控制的智能仪表。

在我国，与仪表这两词的应用并无严格的区别，因此用仪表一词足以表达这类装置的意思。所谓微机化仪表（microcomputer based instrument），是指微机与传统仪表有机结合的产物。这种“内藏”微机的仪表具有总线结构和通信能力；能进行许多自动处理和故障自诊断自处理工作；应用“以软代硬”技术；促使仪表向结构简化、体积缩小、功耗降低、功能增加、性能提高的方向发展。由于这些特点它能组成中大规模、高度自动化、高可靠性的系统，也为智能仪表（intelligent instrument）奠定了基础。前些年，国内外书刊常以智能称谓上述新一代的仪表。

随着微电子技术和微机技术的进一步发展，嵌入式系统、含微机的仪表专用集成电路、高级的测量与控制软件和智能技术水平的不断提高，加上先进的工艺技术，仪表正进一步提高其性能和功能，真正的智能仪表已经形成。今后，智能仪表在其设计、制造、应用等方面将会有更大的进步和更快的发展。

(2) 智能仪表的结构与特点

智能仪表是具备测控功能的特殊微机系统。由于承担的任务，应用的场合不同，各种智能仪表的硬、软件系统差别很大。简单的只含几个芯片和少量程序，如井下压力计、温度显示调节器等；复杂的含大量芯片，丰富的软件和齐全的外设，甚至使用多个单片机；有的智能仪表的复杂程度甚至超过通用型个人计算机，如色谱质谱仪。尽管如此，由于它们都具有内藏处理器或单片机这一基本特征，因此在结构上仍然存在一些共同之处，那就是图 0.1 所示典型的智能仪表结构。该典型结构由三个层次构成。

① 微处理器（单片机） 它是整个智能仪表的核心，具有基本的算术运算、逻辑分析能

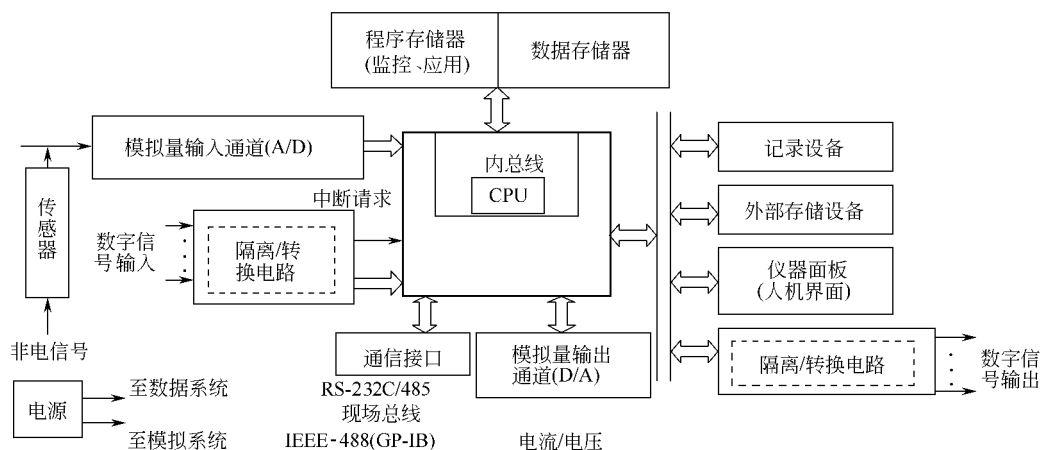


图 0.1 智能仪表基本结构框图

力。通常，微处理器需要时钟电路和复位电路，能支持存储器 I/O 口的扩展和外部中断，有些单片机（如 AD836、80C196）还带有片内存储器、定时/计数器、串行通信口以及 A/D 转换器等。它的时钟频率、字节长度、指令功能与执行速度、外部扩展能力等对整个仪表的性能有直接影响。

② 微型计算机 将片外存储器（EPROM、FLASH 等）、I/O 接口芯片、外部设备等通过地址、数据、控制三总线与微处理器连接，即组成微型计算机。为了提高性能和降低成本，大多数定型的智能仪表往往使用嵌入式系统；或应用微处理器内核，再根据需要配置相应的存储器、接口和其他电路，形成专用集成电路。

③ 智能仪表 在微型计算机的基础上，根据仪表的性能、功能要求，设计出测量电路和数据采集接口、过程控制电路与接口，再参照仪表的使用环境、习惯和特点设计出其他结构和电路，以及通信、显示和操作部分硬软件，并构成良好的外形和安装结构，然后再将它们组成完整的智能仪表。由于各种仪表功能、性能要求不一，工作环境不同，面向的被测量千差万别，因此，数据采集和过程控制接口的设计以及数据处理技术与程序实现往往成为整台仪表设计的重点与难点。

应当说明，图 0.1 所示的只是从硬件角度反映了智能仪表的共性与差异，毋庸置疑，软件作为智能仪表的重要组成部分，其结构亦有特点，对仪表的影响至关重要，限于篇幅，这里暂不讨论。

与传统仪表相比，智能仪表有许多突出特点。由于它具有自动测量、实时在线测量、综合测量的能力，并可通过数据处理实现自动补偿、自动校准、自动分段、数字滤波、统计分析、相关分析、智能处理等，从而大大提高了系统的测量与控制精度，拓宽了仪表的应用范围。而智能仪表所特有的人机对话、数据通信、故障诊断、掉电保护、大容量存储等功能更是常规仪表无法比拟的。

(3) 课程的主要内容与教学方法

随着智能仪表的迅速发展和广泛应用，“智能仪表原理与设计”已成为检测技术与自动化装置、仪器科学与技术等学科硕士研究生的专业核心课程，也是测控技术与仪器、自动化、生物医疗仪器等本科专业的主要专业课之一。

本教程为课程准备了最基本和最主要的内容，对智能仪表的硬、软件结构与主要技术方

法作了详细的介绍，其中将重点分析测量电路、控制电路及其与微机的接口技术，测量算法，控制算法的数学模型与程序实现；智能技术原理及其程序设计；智能仪表的可靠性设计技术等内容。

智能仪表是在常规仪表的基础上发展起来的，它融合了常规仪表涉及的技术和微机技术、智能技术等现代技术，因此学习该课程之前不仅要有扎实的电子技术和微机技术基础，还要有丰富的传感器原理、自动检测技术、控制原理等专业课知识。该课程的教学强调结合实际，即列举一定的实例，进行一定的实验，完成一定的习题，也可以结合一定的机型，以便加强理解，提高学习效率。该课程介绍一种不限于某种芯片、不限于某种机型和某种语言的通用技术和通用设计方法。

1 智能仪表原理与设计基础

1.1 智能仪表原理

传统仪表的性能主要取决于仪表内部元器件的精密性和稳定性，元器件的温度漂移（包括零点和增益漂移）和时间漂移都会反映到测量结果和仪表输出中去。另外，传统仪表对其内部故障缺乏诊断和处置能力，往往在故障情况下给出结果，显然这种结果是不可能正确的。

智能仪表提高性能、增强功能的原理十分清楚，主要在于应用了新的处理技术和新的硬件平台，使仪表精度、可靠性、可维护性和可测试性都得到了提高。按照事先的安排（体现在编制的程序上），微机可以对仪表的主要元器件进行自动检测，对故障进行定位，还可以对故障部分进行隔离或对系统进行重组，大大提高了仪表的容错性和可靠性。微机具有自动处理功能，可以自动进行量程转换、零点和增益误差补偿，测量特性的自动校准，按照一定的规律自动寻找最优的算法参数，从而极大地提高了仪表的性能。减小测量误差（包括随机误差、系统误差和粗大误差）是提高仪表精度的关键，利用微机进行数据处理从而减小误差的方法愈来愈成熟（包括数字滤波，相关计算等统计分析处理）。模糊识别与模糊控制、人工神经网络建模与识别、专家系统、多传感器信息融合处理方法等智能技术水平在不断地提高，它们给智能仪表注入了新的灵魂，使智能仪表相对于传统仪表而言具有智能。

1.2 设计基础

智能仪表设计是一项复杂的技术工作。它要求设计者综合运用所掌握的电子技术，微机硬件、软件知识，传感器原理与检测系统技术，数据处理和自动控制的理论与方法，仪表设计技能与使用经验等，经过建模与仿真、原理设计、样机调试、修改设计等多个步骤甚至反复才能够完成。进行一项成功的设计既要了解国内外现状与水平，尽量采用先进技术，充分利用已有成果，还要求设计者要孜孜不倦地付出创造性努力。若是较为复杂的项目，则常常需要多人通力合作，任何一个环节的失误，都有可能带来全局性的影响。因此，当接受一项设计任务时，不要急于进行具体电路的设计和编程，而应集中精力，先完成总体方案论证等一系列前期工作。

1.2.1 需求分析与方案论证

(1) 需求分析

明确需求，才有设计的依据。需求的调查对象是用户。用户可能是一个实际的单位，也可能是一个更大的系统（分解任务的大系统）。用户的要求不一定是合理的，一定要把握尺度，不合理的要协商调整。

需求分析还应弄清智能仪表的发展动向，元器件、材料和开发装置的市场情况等信息，才能确定智能仪表的总体方案。通过需求分析确定的智能仪表任务要求应包括以下几点。

① 功能要求

a. 测量功能。哪些量？有实时在线要求否？什么输出形式（显示、打印、传输、通信……）？

b. 控制功能。什么对象？模型为何？哪些状态？需构成什么系统（随动、恒值、串级……控制）？

c. 管理功能。操作要求、数据库要求、打印报表、决策分析、统计分析……

② 性能要求

a. 测量范围；

b. 测量精度；

c. 测量灵敏度（分辨率）；

d. 稳定性、可靠性要求（MTBF）；

e. 响应速度；

f. 动态特性；

g. 数据库浏览（查询）方式、容量、安全性。

③ 对象特性

a. 输入输出关系（传递函数、用户以往的经验、作法、其他图纸资料）；

b. 各变量的性质（幅度、变化率、分布性等）；

c. 生产使用规律。

④ 环境条件

a. 温、湿度；

b. 电源条件、干扰情况（电磁环境）；

c. 粉尘、水、油情况；

d. 力学环境、冲击振动情况、安装条件；

e. 使用人员的素质、维护力量（硬、软件）；

f. 用户经济能力。

⑤ 其他 用户长远发展规划、扩展、升级的计划。

⑥ 调查研究的结果应形成需求分析报告，以便设计方案。

(2) 设计方案论证

完成需求分析之后就应设计多个总体方案。设计总体方案是一件很重要的事，总体方案好就为成功打下了坚实的基础。总方案包括测量（工作）原理，智能仪表的系统组成，总体的硬、软件结构，主要性能、功能的计算、分析和说明。设计总体方案是一件复杂的工作，一般需要有多方面的知识和丰富的工程经验。如有多个方案则还要经过决策、综合、优化才能确定最终方案。在评价不同方案的时候，应综合项目组成员和有关专家的意见，采用科学的方法进行论证和决策。

从事过微机应用研究的人都懂得，微机是“物”不是“神”，并非任何工程技术问题只要用上它就能圆满解决的。例如，设计一个数据采集系统，若测量方法选择不当，配上再好的微机也无法得出真实的数据。因此，测量（工作）原理，系统组成与硬、软件结构都是十分重要的。在进行总体方案设计时，既要仔细研究仪表的功能要求、技术指标、环境条件等因素，还要与可以达到的技术水平，设备、资金的拥有量，必要的实验场地，必备的元器件来源以及投入的人力和规定的完成时间等条件相比较，在此基础上确立总体方案的可行性。

1.2.2 机型选择与嵌入式系统

(1) 机型选择

机型的选择首先是指选择 CPU 型号。型号不同的 CPU，其字节长度、指令功能及执行时间、寻址空间与存储器、I/O 口扩充能力和中断能力、兼容芯片的品种与价格等悬殊很大。表 1.1 列出了几种常用微处理器和单片机的 CPU 主要性能指标。

表 1.1 常用微处理器、单片机的 CPU 主要性能指标

型 号	Z80	8088	8051	80C196	PIC
推出年份	1976	1978	1960	1988	1990
字长	8 位	准 16 位	8 位	16 位	8 位
制造工艺	NMOS	HMOS	HMOS	CHMOS	CMOS
时钟频率/相数	2.5MHz/1	5MHz/1	12MHz/2	16MHz/2	20MHz
加法时间	1.6 μ s	0.4 μ s	1 μ s	0.5 μ s	0.05 μ s
指令条数	158	133	111	112	35
ROM/RAM 空间	64KB	1MB	64KB/64KB	64KB	16KB/256B (堆栈不占空间)
I/O 空间	256B	64KB	映射方式	映射方式	可独立编程
制造商	Zilog	Intel	Intel	Intel	Microchip

当然，这里的机型是指智能仪表内所实际使用的微处理器或单片机或 DSP 的机型。由于单片机片内资源丰富、体积小、功耗低、可靠性高、价格便宜，非常适合于在小规模仪表中使用。

从 8 位单片机诞生至今，已近 30 年，在百花齐放的单片机家族中，80C51 系列一直扮演着一个独特的角色。回顾历史，在 Intel 公司推出了 MCS-51 不久便实施了最彻底的技术开放政策；在众多电器商、半导体商的积极参与下，将 MCS-51 发展成了众多型号系列的 80C51 MCU 家族。MCS-51 的经典体系结构、极好的兼容性和 Intel 公司的开发政策不仅使众多厂家参与发展，也诱使半导体厂家对 MCS-51 实行为所欲为的改造。由于 MCS-51 提供的最佳兼容性，使 MCS-51 在被“肢解”式改造后，还能以不变的指令系统、基本单元的兼容性保持着 8051 内核的生命延续，并在未来 SOC 发展中，担任 8 位 CPU 内核的重任。

在 8 位单片机中，80C51 系列形成了一道独特的风景线。它既具有经典性，又不乏生命力。总结 80C51 系列的发展历史，可以看出单片机的 3 次技术飞跃。第 1 次飞跃是以 Philip 公司为主力，将以“单片微型计算机”形态的 MCS-51 系列迅速推进到 80C51 的 MCU 时代，形成了可满足各种嵌入式应用要求的单片机系列产品；第 2 次飞跃则是 ATMEL 公司以其先进的 FLASH ROM 技术推出 AT89CXX 系列形成的引领单片机 FLASH ROM 潮流；而当前 Cygnal 公司推出的 C8051F 则是将 80C51 系列从 MCU 推向 SOC 时代的第 3 次飞跃。

Cygnal 公司的 C8051F 对 80C51 的重要技术发展如下。

① 大力提高指令运算速度。随着单片机技术的发展，MCS-51 已成为 8 位机中运行最慢的系列。为了提升速度，采用将机器周期从 12 个时钟周期缩短到 4 个和 6 个，但速度提升有限。Cygnal 公司在提升 8051 速度上采取了新的途径，推出了 CIP-51 的 CPU 模式。在这种模式中，废除了机器周期的概念，指令以时钟周期为运行单位。平均每个时钟可以执行完

1 条单周期指令。与 8051 相比，在相同时钟下，周期指令运行速度为原来的 12 倍，全指令集平均运行速度为原来的 9.5 倍。C8051F 进入了 8 位高速单片机行列。

② I/O 从固定方式到交叉开关配置。迄今为止，I/O 端口大多是固定为某个特殊功能的输入/输出口，这种固定方式的 I/O 端口，占用端子多，配置又不够灵活。Secinx 公司在推出的 8 位 SX 单片机系列中，曾采取虚拟外设的方法将 I/O 的固定方式转变为软件设定方式；而在 Cygnal 公司的 C8051F 中，则采用开关网络以硬件方式实现 I/O 端口的灵活配置。在这种通过交叉开关配置的 I/O 端口系统中，单片机外部为通用 I/O 口，如 P0 口、P1 口和 P2 口；内部有输入/输出电路单元，通过相应的配置寄存器控制的交叉开关配置到所选择的端口上。

③ 为单片机提供了一个完善的时钟系统。早期的单片机都是用 1 个时钟控制片内所有步序。进入 CMOS 时代后，由于低功耗设计的要求，出现了在一个主时钟下，CPU 运行速度可选择在不同的时钟频率下操作；或设置高、低两个主时钟，按系统操作要求选择合适的时钟速度或关闭时钟。而 Cygnal 公司的 C8051F 则提供了一个完整而先进的时钟系统。在这个系统中，片内设置有一个可编程的时钟振荡器（无需外部器件），可提供 2MHz、4MHz、8MHz 和 16MHz 时钟的编程设定；外部振荡器也可选择 4 种方式。

16 位 CPU 的单片机多用于 8 位机难以满足要求的场合。通常，8 位 CPU 需通过多字节的数据处理来保持数据采集所取得的精度，付出的代价是降低了运行速度。当仪表功能复杂、数据量大、精度与实时性要求都较高时，8 位机无法胜任。此时如使用 16 位机往往能达到事半功倍的效果。此外，当芯片价格或设备投资在整个仪表的硬、软件研制费用中处于辅助地位时，为了减少软件研制的工作量，加快仪表设计进程，也应使用 16 位机。当然，为了解决精度、速度、可靠性及成本之间的矛盾，采用 8 位单片机组成多单片机系统也是一种可取的方案。

80C196 系列单片机是 Intel 公司在 8096BH（8098）之后推出的高性能 16 位单片机（8XC196XX）。由于采用 CHMOS 工艺技术，芯片耗电少，除正常工作外还可工作于两种节电方式，进一步减少芯片功耗。80C196 的状态周期由时钟信号 2 分频形成，因此在相同频率的时钟信号情况下，其操作速度至少比 8098 的速度高 1/3。另外，执行 80C196 的大部分指令所需状态周期数要略比 8098 的小。8XC196KC/KD 增加了外设事务服务器，大大提高了响应外设中断的速度，减少了 CPU 在处理外设事务上的开销。它还提高了 A/D 转换器的性能，增加了 PWM 输出通道数。此外，它还可以通过窗口控制增加片内 RAM 的容量。总之，80C196 系列单片机与 8098 单片机相比，其功能和资源又有了大幅度的提高。

机型选择也可以考虑微机系统的安装结构形式，或自行设计，或使用定型产品。定型产品又分嵌入式单板机、标准总线多板机等。单板机结构简单，使用简便，价格低廉，适合于开发样机或直接作为智能仪表的微机使用。定型产品功能齐全，资源丰富，支持多种高级语言程序设计，可直接用于工业现场，因而适用于以数据处理为主要功能的智能仪表。

在功能与性能特殊，或由于批量生产而要求严格限制成本的场合，智能仪表全部硬、软件都应自行设计。此时，机型的选择还应兼顾开发手段、板间连接、资源利用以及设计人员对某种机型的熟悉程度等诸多因素。

（2）嵌入式系统（embedded system）

上面已多次提到嵌入式系统、MCU 和 SOC 的概念，下面对它们集中作一说明。

为了区别于原有的通用计算机系统，人们把嵌入到对象体系中的专用计算机称为嵌入式

计算机系统，简称嵌入式系统。嵌入性、专用性和计算机系统是嵌入式系统的三个基本要素。对象系统则是指嵌入式系统所嵌入的宿主系统，如内含嵌入式系统的智能仪表。

嵌入式系统必须满足对象系统（智能仪表）提出的环境要求，包括外形要求（小型、贴片等），电特性要求（抗干扰、低功耗等）和成本低的要求，才能体现其嵌入性。而嵌入式系统的专用性则表现为软、硬件的灵活配置与裁减性，可满足对象的最小硬件配置要求和程序在系统编制与固化使用。嵌入式系统作为计算机系统而不仅仅是嵌入式微处理器，而且必须配置适合对象要求的存储器、接口电路及外设。

嵌入式系统按其外形分为板级（如嵌入式 PC104，PⅢ级嵌入式 SBC）和芯片级（如单片机，MCU，SOC），前者主要应用在计算量大，有网络应用或多媒体应用要求的情况，后者主要应用在选择体积小、功耗低、功能相对简单的情况。

嵌入式系统作为计算机技术的两大分支之一，其发展方向是更好的嵌入性，更高的可靠性和单芯片化结构，而不是总线速度的无限提升，存储容量的无限扩大。嵌入式系统不仅在智能仪表中获得大量的应用，还在家电、机器人、手机等设备上不断应用。

（3）微控制器与 SOC

单片机（Single Chip Microcomputer，SCM）是寻求最佳单片形态嵌入式系统的最初体系结构，走出了与通用计算机完全不同的发展与应用道路。为了满足嵌入式应用的进一步要求，微控制器（Micro Controller Unit，MCU）在单片机基础上扩展了各种外围电路与接口电路，使其测控能力大幅上升。如前所述，Philip 公司在将 Intel 公司的 8051 单片机发展为微处理器方面做出了很大贡献。SOC（System On Chip）则是单片机发展的又一趋势，是应用系统在芯片上的最大化解决。

1.2.3 总线与结构

总线是智能仪表中单片机与外围芯片、电路板与电路板、智能仪表与其他设备之间相互连接的桥梁与纽带。对智能仪表来说，除了某些简单场合以外，多数情况下都要根据仪表的功能与要求，在选择机型、确定结构的同时，设计选用适当的总线。

总线有自行定义的非标准总线与权威机构规定的标准总线之分。计算机设备采用标准总线或是提供标准总线接口，正如模拟仪表使用标准信号制一样，可以简化设计，方便连接，改善其可扩充性和可维护性，并有助于提高其可靠性。因此，不少智能仪表采用了标准总线结构。标准总线不只是一簇无源导线的简单汇集，它对于信号根数、排列方式、连接件形式、信号的名称、性质及传送方向、定时关系等都有明确而严格的规定。通常某一标准总线规约需通过相应的逻辑电路或特定的接口芯片来实现。

总线按照使用范围有内总线与外总线之分。

（1）内总线

用于计算机设备内部板与板之间连接的总线称为内总线。智能仪表根据需要可采用如下三种内部连接形式。

① 单板结构 单板结构不存在板与板之间的连接问题。采用这种结构可以简化设计、降低成本、缩小占用的立体空间。由于单板结构无对外连接的总线，设计样机时，需先考虑好怎样进行硬件、软件开发调试。此外，由于所有元器件集中在一块板上，必须合理地布局 and 走线，以减少有害的耦合与发热的影响；同时，合理的采用 I²C，SPI 等芯片间总线，进行单片机之间，单片机与存储器之间以及单片机与接口之间的快速通信，可减少连线，提高