

高等学校规划教材

智能仪器技术及其应用

方彦军 孙 健 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

智能仪器技术及其应用/方彦军,孙健编著. —北京:
化学工业出版社, 2004. 1
高等学校规划教材
ISBN 7-5025-5017-8

I. 智… II. ①方…②孙… III. 智能仪器-高等
学校-教材 IV. TP23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 126501 号

高等学校规划教材
智能仪器技术及其应用

方彦军 孙 健 编著
责任编辑: 唐旭华 陈逢阳
文字编辑: 徐卿华
责任校对: 李 林
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
中国纺织出版社印刷厂印刷
三河市宇新装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 19½ 字数 478 千字

2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5017-8/G · 1326

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

目 录

1 绪论	1
1.1 智能仪器的基本组成	1
1.2 智能仪器的功能特点	2
1.3 智能仪器与传统仪表的比较	3
习题	5
2 MCS-51 单片机简介	6
2.1 MCS-51 单片机的内部机构	6
2.2 MCS-51 单片机的端子及其功能	8
2.3 MCS-51 单片机的存储器结构	9
2.4 MCS-51 单片机的 CPU 结构	11
2.5 MCS-51 单片机的并口	13
2.6 MCS-51 单片机的串行接口	15
2.7 MCS-51 单片机的定时器/计数器	20
2.7.1 定时器/计数器工作方式及控制	21
2.7.2 定时器/计数器的工作方式	22
2.7.3 定时器/计数器应用举例	24
2.8 MCS-51 单片机的中断系统	25
2.9 MCS-51 单片机的指令系统	29
2.9.1 MCS-51 单片机的指令格式	29
2.9.2 MCS-51 单片机的寻址方式	29
2.9.3 MCS-51 单片机的指令	32
习题	39
3 智能仪器的硬件设计	41
3.1 键盘接口技术	41
3.1.1 键盘接口要解决的问题	41
3.1.2 非编码键盘	42
3.1.3 编码键盘	43
3.2 显示器接口技术	44
3.2.1 七段 LED 显示器	45
3.2.2 点阵式 LED 显示器	48
3.3 8279 可编程键盘/显示器芯片接口技术	48
3.3.1 8279 的数据输入、显示输出及命令格式	49
3.3.2 8031 与 8279 构成编码键盘系统	51
3.4 LCD 液晶数码显示接口技术	55
3.4.1 LCD 工作原理和驱动方式	55

3.4.2	LCD 显示器的驱动接口	56
3.4.3	点阵式 LCD 液晶显示接口	59
3.5	打印输出接口技术	62
3.5.1	点阵打印记录	62
3.5.2	绘图打印记录	64
3.6	模拟信号放大电路	68
3.6.1	模拟信号放大及集成运放简介	69
3.6.2	放大电路实例	71
3.7	DAC 接口	73
3.8	ADC 接口	76
3.8.1	ADC 芯片与微机接口的一般方法	76
3.8.2	ADC0809 与 MCS-51 单片机的接口	78
3.8.3	AD574 (逐次逼近型) 与 8031 单片机的接口	81
3.9	数据采集	83
	习题	88
4	智能仪器的软件设计	90
4.1	软件设计过程	90
4.1.1	系统定义	90
4.1.2	绘制流程图	91
4.1.3	编写程序	92
4.1.4	软件测试	92
4.1.5	文件编制	93
4.1.6	软件维护	93
4.2	软件设计方法	94
4.2.1	模块化设计	94
4.2.2	“自顶向下”设计	94
4.2.3	结构化设计	95
4.3	监控程序结构	96
4.3.1	监控程序组成	96
4.3.2	监控主程序	96
4.4	键盘管理	97
4.4.1	键值获取方法	97
4.4.2	一键一义的键盘管理	98
4.4.3	一键多义的键盘管理	99
4.5	显示管理	106
4.6	中断、时钟管理	107
4.6.1	中断管理	107
4.6.2	时钟管理	109
4.7	初始化、自诊断管理	110
4.7.1	初始化管理	110

4.7.2 故障自诊断管理	111
习题	120
5 智能仪器的通信接口技术	122
5.1 串行通信接口	122
5.1.1 RS-232 标准	122
5.1.2 RS-422 标准	126
5.1.3 RS-485 标准	127
5.2 并行通信接口	131
5.2.1 IEEE-488 接口系统的基本特性	131
5.2.2 IEEE-488 总线结构	131
5.2.3 IEEE-488 基本接口功能要素	132
5.2.4 消息及其编码	133
5.2.5 接口功能	134
5.2.6 IEEE-488 接口芯片	135
5.3 USB 接口	135
5.3.1 USB 的物理接口和电气特性	136
5.3.2 USB 系统组成	136
5.3.3 USB 通信流	137
5.3.4 USB 的传输方式	139
5.3.5 USB 交换的包格式	139
5.3.6 USB 典型器件	141
5.4 现场总线接口	146
5.4.1 HART 协议	147
5.4.2 PROFIBUS DP 协议	150
5.4.3 PROFIBUS 通信接口开发	152
5.4.4 MODBUS 协议	156
5.5 以太网接口	162
5.5.1 传输通信协议	162
5.5.2 嵌入式以太网的解决方案	163
5.5.3 以太网控制器简介	164
5.5.4 基于 RTL8019AS 的嵌入式设备网络互联设计方案	168
习题	169
6 智能控制器及其算法	170
6.1 数字 PID 控制器	170
6.1.1 PID 算法的程序流程	170
6.1.2 应用实例	172
6.2 基于复杂算法的控制器	174
6.2.1 大纯滞后的 Smith 补偿控制器	174
6.2.2 前馈控制算法	177
6.2.3 解耦控制器	179

6.2.4	差拍控制与 Dahlin 算法	180
6.3	模糊控制器	184
6.3.1	模糊控制系统的基本组成	186
6.3.2	模糊控制器的实现	186
6.4	神经网络控制器	187
6.4.1	神经网络的特征和能力	187
6.4.2	神经网络控制系统的结构	187
	习题	190
7	智能仪器的抗干扰技术	191
7.1	干扰的产生及分类	191
7.1.1	干扰来源	191
7.1.2	干扰的耦合方式	191
7.1.3	干扰的分类	192
7.2	电源抗干扰技术	193
7.2.1	电源抗干扰的基本方法	193
7.2.2	电源滤波器的构造及抗干扰特性	194
7.2.3	电源滤波器的装配布线	195
7.3	接地与隔离技术	195
7.3.1	接地技术	195
7.3.2	隔离技术	198
7.4	数字电路的抗干扰技术	203
7.4.1	TTL 电路输出中产生振荡原因及抑制	203
7.4.2	CMOS 电路输出中产生振荡原因及抑制	204
7.5	微处理器的抗干扰技术	206
7.5.1	系统受到干扰后软件处理方法	206
7.5.2	系统中各部分的安排及相互连接	209
7.5.3	电源瞬时变动对系统干扰的抑制	211
7.5.4	存储器部分产生噪声的抑制	212
7.6	信号在长传输中的抗干扰措施	213
7.6.1	信号在长传输中共模噪声的抑制	213
7.6.2	信号在长传输中常模干扰的抑制	214
7.6.3	传输中的平衡措施	215
7.6.4	长线传输的反射干扰及其抑制	215
7.7	仪器的防雷技术	218
7.7.1	雷电的特性	218
7.7.2	装置内仪器遭受雷击的可能性	219
7.7.3	雷击防护器的原理	219
7.7.4	避雷器的选用及设置	221
7.7.5	防雷接地措施	222
7.8	防辐射技术	224

1 绪 论

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，已经可以在一块芯片上同时集成 CPU、存储器、定时器/计数器、并行和串行接口以及 A/D 转换器等。人们把这种超大规模集成电路芯片称作“单片微控制器”，简称为单片机。单片机的出现，引起了仪器仪表结构的根本性变革。以单片机为主体取代传统仪器仪表的常规电子线路，可以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“智能仪器”。这种新型的智能仪器在测量过程自动化，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，几乎没有不考虑采用微处理器使之成为智能仪器的，而在仪器仪表中使用得最多的微处理器就是单片机。在测量控制仪表中采用单片机技术使之成为智能仪器后能够解决许多传统仪表不能或不易解决的难题，同时还能简化仪表电路，提高仪表的可靠性，降低仪表的成本以及加快新产品的开发速度。这类仪器的设计重点已经从模拟和逻辑电路的设计转向专用的单片机模板或功能部件、接口电路以及输入输出通道的设计、通用或专用软件程序的开发。目前，这类智能化测量控制仪表已经能够实现四则运算、逻辑判断、命令识别、自诊断自校正甚至自适应和自学习的功能。随着科学技术的进一步发展，这类仪器的智能程度必将会越来越高。

1.1 智能仪器的基本组成

以单片机为核心的智能仪器的基本组成如图 1.1 所示。当大型的仪表要进行复杂的数据处理，复杂的控制功能时就需要在单片机外部片外扩展存储器。被测量的模拟信号经过 A/D 转换之后，进入单片机内部；单片机根据由键盘置入的各种命令，或者送往打印机打印，或者经 D/A 转换后成为能够完成某种控制功能的模拟电压。通信接口的功能是通过 GPIB 或者 RS-232 接口总线与其他的仪器仪表甚至计算机作远距离通信，以达到资源共享的目的。智能仪器的整个工作过程都是在软件程序的控制下自动完成的。装在仪器内部 EPROM 中的监控程序由许多程序模块组成，每一个模块完成一种特定的功能，例如实现某种算法、执行某一中断服务程序、接受并分析键盘输入命令等。编制完善的监控程序中的某些功能模块，能够取代某些硬件电路的功能。需要指出的是，直接获取被测信号的传感器部分，仍应

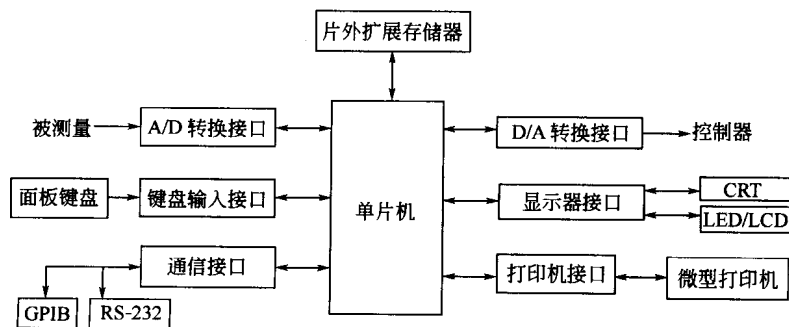


图 1.1 智能仪器的基本组成

给予充分的重视，有时提高整台仪器性能的关键仍然在于测试电路，尤其是传感器的改进。现在传感器也正在受着微电子技术的影响，不断发展变化。传感器正朝着小型固态、多功能和集成化的方向发展。有许多国家正致力于将微处理器与传感器集成于一体，以构成超小型、廉价的测量仪器。

1.2 智能仪器的功能特点

智能仪器是新型的电子仪器，它由传统仪器发展而来，但又跟传统仪器有很大区别。

电子仪器已有好几十年的历史了，今天的电子测量仪器与几十年前的相比，有着天渊之别，特别是微处理器的应用，使电子仪器发生了重大的变革。

电子仪器的发展过程从使用的器件来看，经历了从真空管时代—晶体管时代—集成电路时代三个阶段。若从仪器的工作原理来看，它经历了以下三代。

第一代是模拟式电子仪器，大量指针式的电压表、电流表、功率表及一些通用的测试仪器，均是典型的模拟式仪器。这一代仪器功能简单，精度低，响应速度慢。

第二代是数字式电子仪器，它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，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，结果可打印输出，也容易与计算机技术相结合。同时，因数字信号便于远距离传输，所以数字式电子仪器适用于遥测、遥控。

第三代就是智能仪器，它是在数字化的基础上用微机装备起来的，是计算机技术与电子仪器相结合的产物。它具有数据存储、运算、逻辑判断能力，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，可以做一些需要人类的智慧才能完成的工作，即具备了一定的智能，故称为智能仪器。具体地说，本书讨论的智能仪器是指含有微机和自动测试系统通用接口 GPIB 的电子测量仪器。

微处理器的出现，对于科学技术的各个领域都产生了极大的影响，同样也引起了一场仪器技术的革命。微处理器在智能仪器中的作用，可归结为两大类：对测试过程的控制和对测试数据的处理。

对测试过程的控制，就是微处理器可接受来自键盘和 GPIB 接口的命令，解释并执行这些命令，如发出一个控制信号给测试电路，以规定功能、设置量程、改变工作方式。通过查询或测试电路向微处理器发出中断请求，使微处理器及时了解电路的工作情况，控制仪器的整个工作过程。

对测试数据的处理，即电子仪器引入微处理器后，大大提高了数据存储和处理能力，硬件电路只要具备最基本的测试能力，提供少量的原始数据。至于对数据的进一步加工处理，如数据的组装、运算、舍入、决定小数点位置和单位、转换成七段码送到显示器显示或按规定格式从 GPIB 接口输出等工作均可由软件来完成。正是微处理器的这些作用，使智能仪器具有下列主要特点。

(1) 仪器的功能强 如前所述，智能仪器内含微机，它具有数据存储和处理能力，在软件的配合下，仪器的功能可大大增强。例如传统的频率计数器，能测量频率、周期、时间间隔等参数，带有微处理器和 A/D 转换器的通用计数器还能测量电压、相位、上升时间、空度系数、压摆率、漂移及比率等多种电参数；又如传统的数字多用表只能测量交流与直流电压、电流及电阻，而带有微处理器的数字多用表，除此之外，还能测量百分率偏离、偏移、比例、最大/最小、极限、统计等多种参数。仪器如果配上适当的传感器，还可测量温度、

压力等非电参数。智能仪器多功能的特色，主要是通过微处理器的数据存储和快速计算进行间接测量实现的。

(2) 仪器的性能好 智能仪器中通过微处理器的数据存储和运算处理，可很容易地实现多种自动补偿、自动校正、多次测量平均等技术，以提高测量精度。通过执行适当和巧妙的算法，常常可以克服或弥补仪器硬件本身的缺陷或弱点，改善仪器的性能。智能仪器中，对随机误差通常用求平均值的方法来克服，对系统误差，则根据误差产生的原因采用适当的方法处理。例如，HP3455 型数字电压表的实时自动校正是先进行三次不同方式的测量，然后由微处理器自动把测量数据代入自校准方程进行计算，以消除由漂移及放大器增益不稳定所带来的误差。借助于微处理器，不仅能校正由漂移、增益不稳定等引起的误差，还能校正由各种传感器、变换器及电路引起的非线性或频率响应等误差。智能仪器还可自动选择一种最佳的测量方法，以获得很高的精度。

(3) 操作自动化 智能仪器的自动化程度高，因而被称为自动测试仪器。传统仪器面板上的开关和旋钮均被键盘所代替。仪器操作人员要做的工作仅是按键，省却了繁琐的人工调节。智能仪器通常都能自动选择量程、自动校准，有的还能自动调整测试点，这样既方便了操作，又提高了测试精度。

(4) 具有对外接口功能 通常都具备 GPIB 接口，能很方便地接入自动测试系统中接受遥控，实现自动测试。

仪器中采用微处理器后能实现“硬件软化”，使许多硬件逻辑都可用软件取代。例如，传统数字电压表的数字电路通常采用了大量的计数器、寄存器、译码显示电路及复杂的控制电路，而在智能仪器中，只要速度跟得上，这些电路都可用软件取代。显然，这可使仪器降低成本、减小体积、降低功耗和提高可靠性。

智能仪器均采用面板显示，除了用简单的 LED 指示灯外，多用七段 LED 显示器来显示十进制数字和其他字符，有的用点阵式 LED 或 CRT 显示器来显示各种字符，面板显示字迹清晰、直观。

智能仪器通常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，如不正常还能判断故障的部位，并给出指示，大大提高了仪器工作的可靠性，给仪器的使用和维修带来很大方便。常见的自测试有开机自测试、周期性自测试和键控自测试。

1.3 智能仪器与传统仪表的比较

传统测控仪表对于输入信号的测量准确性完全取决于仪表内部各功能部件的精密性和稳定性水平。图 1.2 所示是一台普通数字电压表的原理框图，滤波器、衰减器、放大器、A/D 转换器以及参考电压源的温度漂移电压和时间漂移电压都将反映到测量结果中去。如果仪表所采用器件的精密性高些，则这些漂移电压会小些，但从客观上讲，这些漂移电压总是存在的。另外，传统仪表对于测量结果的正确性也不能完全保证。所谓正确性是指仪表应在其各个部件完全无故障的条件下进行测量，而传统仪表在其内部某些部件发生故障时仍然继续进行测量，并继续给出测量结果值，显而易见这时的测量结果将是不正确的。智能仪器的出现使上述两个问题的解决有了突破性的进展。

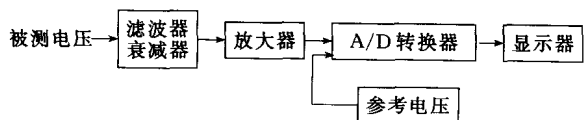


图 1.2 普通数字电压表的原理框图

智能仪器可以采用自动校准技术来消除仪器内部器件所产生的漂移电压。如图 1.3 所示，在每次进行实际测量之前，单片机发出指令使开关 S 接地，此时仪器的输入为零，仪器的测量值即是仪表内部器件（滤波器、衰减器、放大器和 A/D 转换器等）所产生的零点漂移值，将此值存入单片机的内部数据存储单元 RAM 中；然后单片机发出指令使开关 S 接入被测电压进行实际测量，由于漂移的存在，实际测量值中包含有零点漂移值，因此，只要将测量值与零点漂移值相减，即可获得准确的被测电压值。

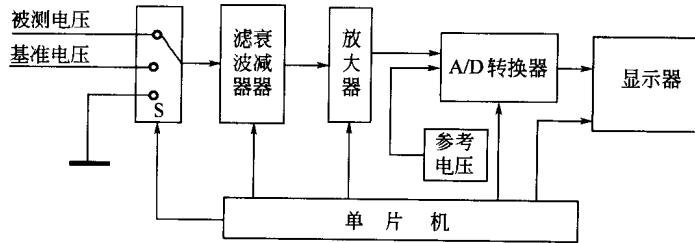


图 1.3 智能化数字电压表的原理框图

众所周知，任何仪表都必须进行周期性的校准，以保证其额定精度的合法性。传统仪表的校准通常是采用与更高一级的同类仪表进行对比测量来实现的。这种校准方法费时费力，而且校准后，在使用时还要反复查对检定部门给出的误差修正值表，给用户造成很大的不便。智能仪器提供了一种先进而方便的自动校准方法。如图 1.3 所示，校准时，单片机发出指令使开关 S 接到基准源上（基准源可以从仪器外部加入的标准量，也可以是仪器自带的标准基准电压），此时仪器的输入为标准电压，仪器将对这一标准电压的测量值存入表内的非易失性 RAM 中（一个采用镍镉电池供电的非易失性 RAM 中的信息可保存 10 年以上），作为表内标准，从而可以在以后的各次实际测量中，用这一标准值对测量值进行修正。这种校准方法完全基于单片机的计算与存储功能，校准时间短，操作方便，不用打开机盖，不需调整任何元件，非专业人员也可操作，因此深受仪器使用者的欢迎。自动校准是智能仪器的一大功能特点，它可降低仪器对于内部器件（如衰减器、放大器等）稳定性的要求，这点对于仪器的设计和制造都有重大意义。

在提高仪器的可靠性，保证测量结果的正确性方面，智能仪器也明显优于传统仪表。通常智能仪器都设置有自检功能。所谓自检，就是仪器对其自身各主要部件进行的一种自我检测过程，目的是检查各部件的状态是否正常，以保证测量结果的正确性。自检一般可分为开机自检、周期性自检和键控自检三类。

开机自检是每当接通电源或复位时，仪器即进行一次自检过程。周期性自检是在仪器的工作过程中，周期性地插入自检操作，它是完全自动的，通常在仪器工作的间歇期间插入，不干扰正常测量过程（除非是检查到故障），它是不为仪器操作者所察觉的。键控自检是在仪器的面板上设置一个专门的自检按键，需要时可由操作人员启动仪器进行自检。

仪器自检的内容比较广泛，自检项目与仪器的功能和特性密切相关。通常自检的对象包括 RAM、ROM、A/D 转换器、显示器以及一些特殊功能部件等。对于不同的自检对象和目的，检查的方法也不相同。对于 RAM 的自检可采用写入数据和读出数据是否一致的方法进行，如果写入的数据与读出的数据不一致，则说明该 RAM 器件存在故障。对于显示器自检可让其全部发光，如果某一显示器不发光，则说明它存在故障。对于 A/D 转换器的自检可给其施加一个标准电压，如果此时的 A/D 转换结果数据在预期的范围之内，则说明 A/D

转换器工作正常。对于 ROM 的自检可采用校验的方法进行，如图 1.4 所示，在将程序代码写入 ROM 时，保留一个单元（一般为最后一个单元）不写程序代码，而是写入“校验字”，利用这个校验字使 ROM 的每一竖列都具有奇数个“1”，这样就使 ROM 的每一竖列的校验和全为“1”。当进行 ROM 自检时，如果程序的出口参数（即校验和）为“11111111”，则说明该段程序代码没有丢失。

在进行自检的过程中，如果检测到仪器的某一部分存在故障，仪器将以某种特殊的显示方式提醒操作人员注意，并显示当前的故障状态或故障代码，从而使仪器的故障定位更加方便。一般来说，仪器的自检项目越多，则使用和维修也就越方便，但是相应的自检硬件和软件也就越复杂。

ROM 地址	ROM 内容
1	01011010
2	10100110
3	11000101
4	00111110
5	00000010
6	11110000
7	11101101
8	11100111

程序代码

校验字
校验和

图 1.4 ROM 中的程序代码和校验字

智能仪器内含单片机，可以充分利用单片机对于数据的处理能力，最大限度地消除仪器的随机误差和系统误差。随机误差存在于每一次测量过程之中，而且其大小、符号都是不确定和不可预知的，但是 N 个测量数据中所包含的随机误差具有统计规律。概率统计理论证明，随机误差服从正态分布。 N 个测量值中包含的随机误差具有对称性或相消性，因此，可以用统计平均的方法来消除随机误差。概率统计理论还证明，对于 N 个带有随机误差的测量数据，当 N 逐步增大时，其平均值是真值的无偏估计值。因此，在智能仪器完成一次测量，实际上是对被测量进行了 N 次采样之后，取这 N 次采样值的平均值。对于仪器系统误差的消除可以采用前面介绍的自动校准方法。利用单片机对于测量数据的计算处理能力，是智能仪器提高测量和控制准确度的一个重要方法。此外还可以用这种方法来进行仪器的非线性特性校正。根据仪器功能的不同，数据处理的方法也多种多样，详细内容将在本书第 7 章和第 8 章讨论。智能仪器除了具有上述功能之外，还可以带有串行或并行通信接口，从而使之具有数据远传和远地程控的能力。利用若干台带有 GPIB 接口的智能仪器，可以方便地组成一个自动测控系统。

智能仪器是科学技术发展到今天的最新产物，尽管目前这类仪器的智能化程度还不是很高，但是可以预计随着微电子技术、信息技术、计算机技术以及人工智能技术的不断发展和完善，这种新一代的智能仪器的智能程度必将越来越高。

习 题

- 1.1 叙述智能仪器基本组成及其功能。
- 1.2 仪器从工作原理来看经历了怎样的发展过程？
- 1.3 智能仪器有哪些特点？
- 1.4 叙述智能仪器的自动校准方法。
- 1.5 在提高仪器的可靠性，保证测量结果的正确性方面，智能仪器是怎样实现的？

2 MCS-51 单片机简介

目前,很多仪表生产厂家在研制开发智能化测量控制仪表时,都趋向于采用 8 位微处理器,如 Z80 微处理器、MCS-51 系列单片机。8 位微处理器具有 64K 的寻址能力,这对于一般的测量控制仪表已经足够。尤其是 MCS-51 系列单片机,它不仅可寻址 64K 的程序空间,还可寻址 64K 的数据空间,即在物理结构上可以具有两个寻址空间,这点对于要求测量控制过程较为复杂、程序或表格较为庞大、测量数据较多、实时数据处理较复杂的场合尤为适用。

MCS-51 系列单片机是 20 世纪 80 年代由美国 Intel 公司推出的一种高性能 8 位单片机。它的片内集成了并行 I/O、串行 I/O、16 位定时器/计数器等。片内的 RAM 和 ROM 都比较大, RAM 可达 256B, ROM 可达 4~8KB。由于片内 ROM 空间大, BASIC 语言等都可固化在单片机内,如 8052AH-BASIC 芯片等。现在 MCS-51 系列单片机已有许多品种,典型的为 8031、8051 和 8751。

MCS-51 系列单片机从其制造工艺上可分为 HMOS 型和 C-HMOS 型两种。从其功能结构上可分为 Intel 8051/8751/8031 和 8052/8032 和 8044/8744/8344 三档。

Intel 8051/8751/8031, 它们的结构基本相同,其主要差别反映在内部程序存储器有所不同。8051 内部设有 4KB 的掩膜 ROM 程序存储器。8751 是将 8051 内部的 ROM 换成 EPROM。8031 为片内无 ROM 的 8051。

2.1 MCS-51 单片机的内部机构

MCS-51 单片机是在一块大规模集成电路上集成了 CPU、ROM、RAM、定时器/计数器和 4×8 位并行 I/O, 一个串行 I/O 线等一台微型机的基本部件,其内部的部件和特性如下。

- ① 8 位 CPU, 片内振荡器。
- ② 4K 字节 ROM, 128 字节 RAM。
- ③ 21 个特殊功能寄存器。
- ④ 32 根 I/O 口线。
- ⑤ 可寻址各 64K 的外部程序、数据存储器空间。
- ⑥ 2 个 16 位的定时器/计数器。
- ⑦ 中断结构: 具有 5 个中断源, 2 个优先级。
- ⑧ 一个全双工串行口。
- ⑨ 有位寻址功能, 适于布尔处理的位处理机。

由此可见,单片机的基本组成和一般微型计算机是相同的,不同的只是进行了单片集成化而已。

表 2.1 列出了 MCS-51 系列单片机的主要品种和性能。

图 2.1 所示是 MCS-51 单片机的基本结构。每个单片机都包括中央处理器 CPU; 内部数据存储器 RAM, 用以存放可以读写的数据; 内部程序存储器 ROM, 用以存放程序指令

表 2.1 MCS-51 系列单片机的主要品种和性能

型 号			片内 ROM, RAM	片外 ROM, RAM	定时/ 计数器	串行接口	中 断 源	8 位 I/O	特殊功能特性
无 ROM	ROM	EPROM							
8031AH	8051AH	8751BH	4K, 128	64K, 64K	2×16 位	UART	5	4	NMOS
8032AH	8052AH	8752BH	8K, 256	64K, 64K	3×16 位	UART	6	4	NMOS
80C31B	80C51B	87C51	4K, 128	64K, 64K	2×16 位	UART	5	4	CMOS
80C32	80C52	87C52	8K, 256	64K, 64K	3×16 位	UART	6	4	CMOS
80C51FA	83C51FA	87C51FA	8K, 256	64K, 64K	3×16 位	UART	7	4	PCA 阵列
80C51GA	83C51GA	87C51GA	4K, 128	64K, 64K	2×16 位	UART	7	4	A/D, WDT, OFD
80C552	83C552	87C552	8K, 256	64K, 64K	3×16 位	UART, I ² C	15	6	A/D, WDT, PWM, I ² C

或某些常数表格；4 个 8 位的并行 I/O 接口 P0、P1、P2 和 P3，每个口都可以用作输入或者输出；2 个（8051）或 3 个（8052）定时器/计数器，用来作外部事件计数器，也可用来定时，根据计数或定时的结果进行各种控制；内部中断系统具有 5 个中断源，2 个优先级的嵌套中断结构，可实现二级中断服务程序嵌套，每一个中断源都可用软件程序规定为高优先级中断或低优先级中断；一个串行接口电路，可用于异步接收发送器；内部时钟电路，但晶体和微调电容需要外接，最高允许的振荡频率为 12MHz。以上各部分通过内部总线相连接。

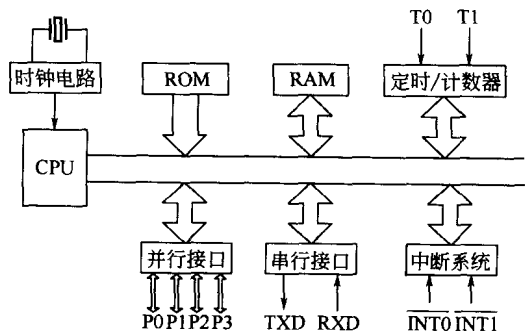


图 2.1 MCS-51 单片机的基本结构

在很多情况下，单片机还要和外部设备或外部存储器相连接，连接方式采用三总线（地

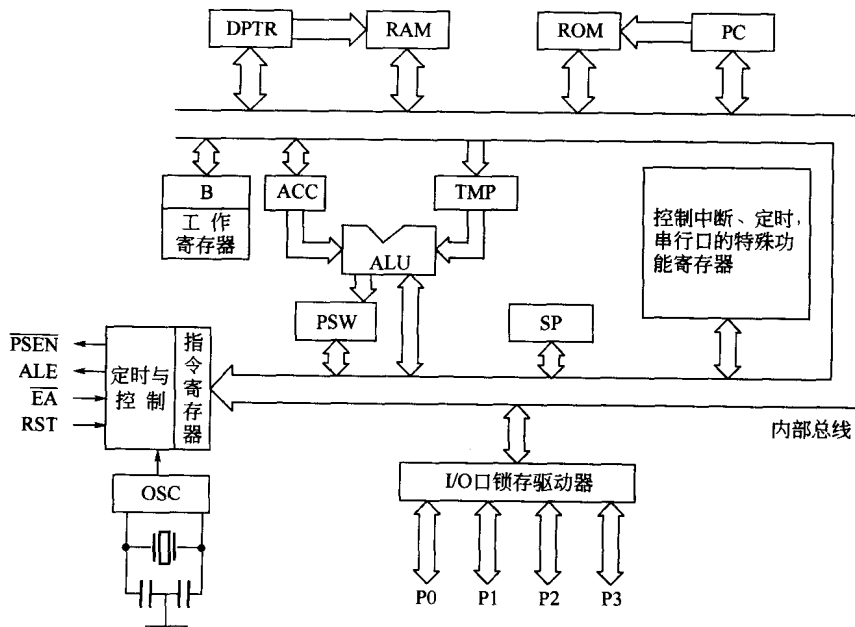


图 2.2 8051 单片机的内部结构

址、数据、控制)方式。但在 MCS-51 单片机中,没有单独的地址总线和数据总线,而是与通用并行 I/O 口中的 P0 口及 P2 口公用的, P0 口为低 8 位地址线和 8 位数据线, P2 口则作为高 8 位地址线用,所以也是 16 条地址线和 8 条数据线。但是一定要建立一个明确的概念,单片机内的地址线和数据线都不是独立的总线,而是与并行 I/O 口公用的,这是 MCS-51 单片机结构上的一个特点。

图 2.2 所示为 8051 单片机内部结构。与一般的微处理器相比,除了增加接口部分之外,基本结构相似。如图中的程序状态字寄存器 PSW 就相当于一般微处理器的标志寄存器。但也有一些不同的地方,如图中的数据指针寄存器 DPTR 是专门为指示 RAM 地址而设置的。尤其值得指出的是,图中除了寄存器 TMP 之外,其余各寄存器实际上都不是独立的寄存器,而只是内部数据 RAM 区的一部分。因此,要了解 8051 单片机的内部结构,还应了解其中的存储器结构。

2.2 MCS-51 单片机的端子及其功能

HMOS 工艺制造的 MCS-51 单片机都采用 40 端子双列直插封装 (DIP) 方式, CMOS 工艺制造的 80C51/80C31 除采用 DIP 封装方式外,还采用方形封装方式。

图 2.3 所示是 DIP 封装方式单片机的端子配置图。许多端子具有双重功能,其中有些第二功能是 8751 芯片所专有的。各端子功能简要叙述如下。

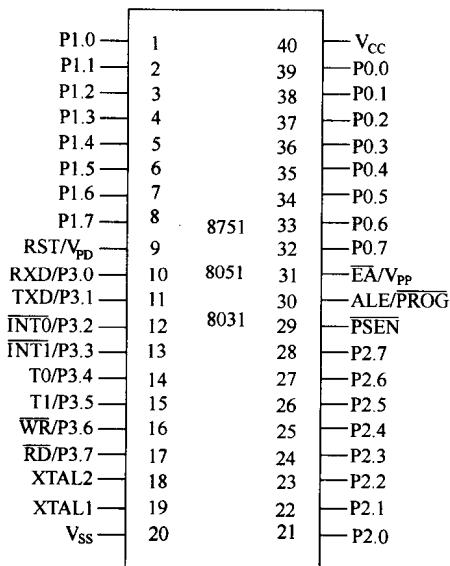


图 2.3 MCS-51 系列单片机端子

$\overline{\text{ALE/PROG}}$ (30): ALE 是地址锁存允许信号,在访问外部存储器时,用来锁存由 P0 口送出的低 8 位地址信号。在不访问外部存储器时, ALE 以振荡频率的 1/6 的固定速率输出脉冲信号。因此,它可用作对外输出的时钟。但要注意,只要外接有存储器,则 ALE 端输出的就不再是连续的周期脉冲信号了。第二功能 $\overline{\text{PROG}}$ 是用于对 8751 片内的 EPROM 编程的脉冲输入端。

$\overline{\text{PSEN}}$ (29): 它是外部程序存储器 ROM 的读选通信号。在执行访问外部 ROM 指令的时候,会自动产生 $\overline{\text{PSEN}}$ 信号,在访问外部数据存储器 RAM 或访问内部 ROM 时,不产生 $\overline{\text{PSEN}}$ 信号。

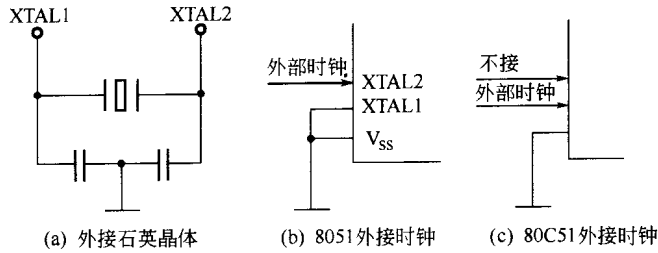


图 2.4 MCS-51 单片机的时钟接法

$\overline{EA}/V_{PP}(31)$: 访问外部存储器的控制信号。当 \overline{EA} 为高电平时, 访问内部程序存储器; 但当程序计数器 PC 的值超过 0FFFH (对 8051/80C51/8751) 或 1FFFH (对 8052) 时, 将自动转向执行外部程序存储器内的程序。当 \overline{EA} 保持低电平时, 则只访问外部程序存储器, 不管是否有内部程序存储器。第二功能 V_{PP} 为对 8751 的片内 EPROM 的 21V 编程电源输入。

P0.0~P0.7 (39~32): 通道 0, 双向 I/O 口。第二功能是在访问外部程序存储器时, 可分时候作低 8 位地址和 8 位数据线; 在对 8751 编程和校验时, 用于数据的输入和输出。P0 口能以吸收电流的方式驱动 8 个 LSTTL 负载。

P1.0~P1.7 (1~8): 通道 1, 双向 I/O 口。能驱动 (吸收或输出电流) 4 个 LSTTL 负载。在对 EPROM 编程和程序验证时, 它接收低 8 位地址。在 8052 单片机中, P1.0 还用作为定时器 2 的计数触发输入端 T2, P1.1 还用作为定时器 2 的外部控制端 T2EX。

P2.0~P2.7 (21~28): 通道 2, 双向 I/O 口。可以驱动 (吸收或输出电流) 4 个 LSTTL 负载。第二功能是在访问外部存储器时, 输出高 8 位地址。在对 EPROM 编程和校验时, 它接收高位地址。

P3.0~P3.7 (10~17): 双向 I/O 口。每条端子都有各自的第二功能, 详见表 2.2。P3 口能驱动 (吸收或输出电流) 4 个 LSTTL 负载。

表 2.2 P3 口的第二功能

端 口	第 二 功 能	端 口	第 二 功 能
P3.0	RXD(串行输入口)	P3.4	T0(定时器 0 外部输入)
P3.1	TXD(串行输出口)	P3.5	T1(定时器 1 外部输入)
P3.2	$\overline{INT0}$ (外部中断 0 输入)	P3.6	\overline{WR} (外部数据存储器写脉冲输出线)
P3.3	$\overline{INT1}$ (外部中断 1 输入)	P3.7	\overline{RD} (外部数据存储器读脉冲输出线)

2.3 MCS-51 单片机的存储器结构

图 2.5 所示为 MCS-51 系列单片机的存储器结构。在物理上它有 4 个存储空间: 片内程序存储器和片外程序存储器, 片内数据存储器 and 片外数据存储器。从使用者的角度来看, 它有三个存储器地址空间: 片内外统一的 64KB 的程序存储器, 128B (对 51 子系列) 或 256B (对 52 子系列) 的内部数据存储器, 以及 64KB 的外部数据存储器。在访问这几个不同的存储器时应采用不同形式的指令。此外, CPU 的控制器专门提供一个控制信号 \overline{EA} 用来区分内部 ROM 和外部 ROM 的公用的地址: 当 \overline{EA} 接高电平时, 单片机从片内 ROM 的 4KB 字节存储器区取指令, 而当指令地址超过 0FFFH 后, 就自动的转向片外 ROM 取指令; 当 \overline{EA} 接

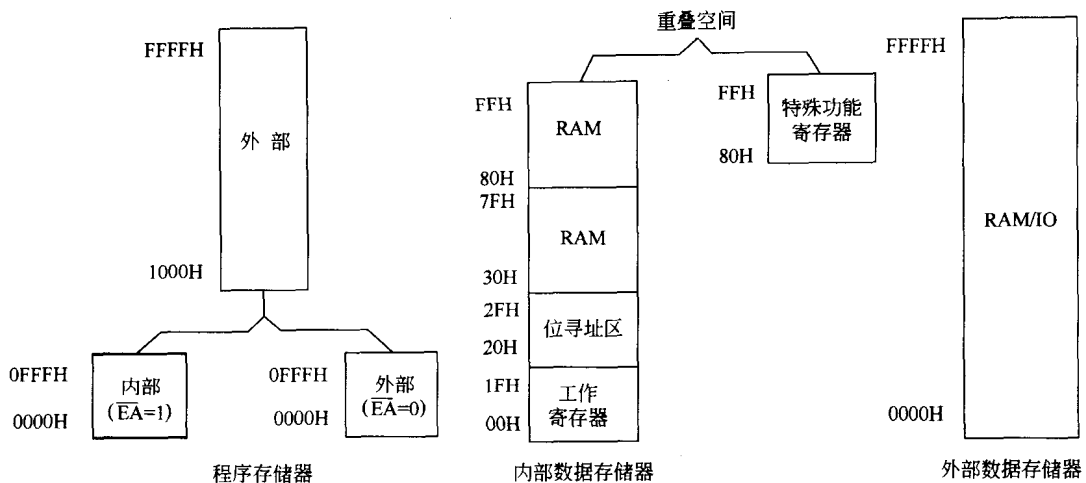


图 2.5 MCS-51 系列单片机的存储器结构

低电平时所有的取址操作均对片外程序存储器进行。程序存储器某些单元是保留给系统使用的：0000~0002H 单元是所有执行程序的人口地址，复位后 CPU 总是从 0000H 单元开始执行程序；0003~002AH 单元均匀地分为 5 段，用于 5 个中断服务程序的人口，用户程序不应进入这一区域。

数据存储器 RAM 也有 64KB 的寻址区，在地址上是与 ROM 重叠的。MCS-51 单片机通过不同的信号来选通 ROM 和 RAM。当从外部 ROM 中取指令时，用选通信号 \overline{PSEN} ；而从外部 RAM 中读写数据时则采用读写信号 \overline{RD} 和 \overline{WR} 来选通，因此不会因地址重叠而发生混乱。在某些特殊的应用场合，如单片机的开发系统等，需要执行存放在数据存储器 RAM 内的程序，这时可采用将 \overline{PSEN} 和 \overline{RD} 信号作逻辑与的方法将 8051 单片机的外部程序存储器和数据存储器空间合并，与所得的结果产生一个低电平有效的读选通信号，用于合并的存储器空间寻址。

MCS-51 系列单片机的片内 RAM 虽然字节数不很多，但却起着十分重要的作用。256 个字节被分为两个区域：00~7FH 是真正的 RAM 区，可以读写各种数据；80~FFH 是专用寄存器（SFR）区。对于 51 系列单片机安排了 21 个特殊的功能寄存器，对 52 系列单片机则安排了 26 个。每个寄存器均为 8 位（一个字节），所以实际上这 128 个字节并未全部利用。表 2.3 所示为 8051 单片机特殊功能寄存器地址及符号。表中带 * 号的为可位寻址的特殊功能寄存器。

对于片内的 RAM 的低 128 字节（00~7FH）还可以分为三个区域。从 00~1FH 安排了 4 组工作寄存器，每组占用 8 个 RAM 字节，记为 R0~R7。在某一时刻，CPU 只能使用其中任意一组工作寄存器，究竟选择哪一组工作寄存器由程序状态字寄存器 PSW 中的两位 RS0 和 RS1 决定，见表 2.4。

工作寄存器的作用就相当于一般微处理器中的通用寄存器，单片机的这一特点使之在编程时带来了极大的方便。第二区域是位寻址区，占用地址 20~2FH，共 16 个字节 128 位。这个区域除了可以作为一般的 RAM 单元进行读写之外，还可以对各个字节的每一位进行操作，并且对这些位都规定了位地址（见图 2.6）。

表 2.3 8051 单片机特殊功能寄存器一览

符号	地址	注 释
* ACC	E0H	累加器
* B	F0H	乘法寄存器
* PSW	D0H	程序状态字
SP	81H	堆栈指针
DPL	82H	数据存储器指针(低 8 位)
DPH	83H	数据存储器指针(高 8 位)
* IE	A8H	中断允许寄存器
* IP	B8H	中断优先寄存器
* P0	80H	通道 0
* P1	90H	通道 1
* P2	A0H	通道 2
* P3	B0H	通道 3
PCON	87H	电源控制及波特率选择
* SCON	98H	串行口控制器
SBUF	99H	串行数据缓冲器
* TCON	88H	定时器控制
TMOD	89H	定时器方式选择
TL0	8AH	定时器 0 低 8 位
TH0	8BH	定时器 0 高 8 位
TL1	8CH	定时器 1 低 8 位
TH1	8DH	定时器 1 高 8 位

表 2.4 RS1、RS0 与工作寄存器组的关系

RS1	RS0	工作寄存器组
0	0	0 组(00~07H)
0	1	1 组(08~0FH)
1	0	2 组(10~17H)
1	1	3 组(18~1FH)

RAM 地址	MSB									LSB
7FH										127
2FH	7F	7E	7D	7B	7A	79	78	7C		47
2EH	77	76	75	74	73	72	71	70		46
2DH	6F	6E	6D	6C	6B	6A	69	68		45
2CH	67	66	65	64	63	62	61	60		44
2BH	5F	5E	5D	5C	5B	5A	59	58		43
2AH	57	56	55	54	53	52	51	50		42
29H	4F	4E	4D	4C	4B	4A	49	48		41
28H	47	46	45	44	43	42	41	40		40
27H	3F	3E	3D	3C	3B	3A	39	38		39
26H	37	36	35	34	33	32	31	30		38
25H	2F	2E	2D	2C	2B	2A	29	28		37
24H	27	26	25	24	23	22	21	20		36
23H	1F	1E	1D	1C	1B	1A	19	18		35
22H	17	16	15	14	13	12	11	10		34
21H	0F	0D	0E	0C	0B	0A	09	08		33
20H	07	06	05	04	03	02	01	00		32
1FH	工作寄存器 3 区								31	
18H	工作寄存器 3 区								24	
17H	工作寄存器 2 区								23	
10H	工作寄存器 2 区								16	
0FH	工作寄存器 1 区								15	
08H	工作寄存器 1 区								8	
07H	工作寄存器 0 区								7	
00H	工作寄存器 0 区								0	

图 2.6 8051 单片机内 RAM 位地址

对于需要进行按位操作的数据，可以存放在这个区域。第三个区域就是一般的 RAM，地址为 30~7FH，共 80 个字节。所以留给用户使用的片内 RAM 单元并不多，对于 52 系列单片机，片内多安排了 128 个字节的 RAM 单元，地址也为 80~FFH，与 SFR 区地址重叠，但在使用时，可通过指令加以区别。

内部 RAM 中的各个单元，都可以通过其地址来寻找，而对于工作寄存器，则一般直接使用 R0~R7 表示，对于特殊功能寄存器，也是用其符号名较为方便。对于 SFR 区中可位寻址的特殊功能寄存器，可用“寄存器名·位”来表示，如 ACC·1，PSW·3 等。

2.4 MCS-51 单片机的 CPU 结构

单片机最核心的部分是 CPU，可以说 CPU 是单片机的大脑和心脏。CPU 的功能是产生控制信号，把数据从存储器或输入口传送到 CPU 或反向传送，还可对输入数据进行算术逻辑运算以及位操作处理，故 CPU 内包含了运算器、控制器以及布尔处理器。

(1) 运算器

运算器以算术/逻辑部件 ALU (Arithmetic Logic Unit) 为核心，加上累加器 ACC