

927020

# 微机化仪表 原理及设计

吴勤勤 都志杰等编著



华东化工学院出版社



# 微机化仪表原理及设计

吴勤勤 都志杰  
朱康余 单青 编著

华东化工学院出版社

责任编辑 范荷英

责任校对 潘乃琦

**微机化仪表原理及设计**

**Weijihua Yibiao Yuanli ji Sheji**

吴勤勤 都志杰 等编著

华东化工学院出版社出版

(上海市梅陇路 130 号)

新华书店上海发行所发行

江苏省句容排印厂排版

上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 18.25 字数 440 千字

1991 年 4 月第 1 版 1991 年 4 月第 1 次印刷

印数 1-2500 册

---

**ISBN 7-5628-0124-X/TP·12 定价 4.75 元**

# 目 录

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| <b>1 微机化仪表设计概述</b> .....             | 1  |
| 1.1 微机化仪表的功能和组成 .....                | 1  |
| 1.1.1 微机化仪表的主要功能 .....               | 1  |
| 1.1.2 微机化仪表的基本组成 .....               | 2  |
| 1.2 微机化仪表的设计思想和研制步骤 .....            | 4  |
| 1.2.1 微机化仪表的基本设计思想 .....             | 4  |
| 1.2.2 微机化仪表的设计研制步骤 .....             | 5  |
| 1.3 微机化仪表器件的选择 .....                 | 8  |
| <b>2 主机电路——仪表硬件电路设计之一</b> .....      | 11 |
| 2.1 由 Z80 器件构成的主机电路 .....            | 11 |
| 2.1.1 Z80CPU.....                    | 11 |
| 2.1.2 Z80PIO 和 CTC ... ..            | 16 |
| 2.1.3 主机电路 .....                     | 20 |
| 2.2 由单片微机构成的主机电路 .....               | 22 |
| 2.2.1 MCS-51 单片微型计算机 .....           | 22 |
| 2.2.2 主机电路 .....                     | 39 |
| <b>3 过程输入、输出通道——仪表硬件电路设计之二</b> ..... | 44 |
| 3.1 模拟量输入通道 .....                    | 44 |
| 3.1.1 模拟量输入通道的结构 .....               | 44 |
| 3.1.2 A/D 转换芯片及其与微处理器(机)的接口 .....    | 45 |
| 3.1.3 模拟量输入通道的其它器件 .....             | 61 |
| 3.1.4 模拟量输入通道设计举例 .....              | 66 |
| 3.2 模拟量输出通道 .....                    | 69 |
| 3.2.1 模拟量输出通道的结构 .....               | 69 |
| 3.2.2 D/A 转换芯片及其与微处理器(机)的接口 .....    | 69 |
| 3.2.3 带手动操作电路的模拟量输出通道 .....          | 76 |
| 3.2.4 模拟量输出通道设计举例 .....              | 77 |
| 3.3 开关量输入输出通道 .....                  | 78 |
| 3.3.1 开关量输入输出通道的结构 .....             | 79 |
| 3.3.2 开关量输入输出通道设计举例 .....            | 79 |
| <b>4 人-机接口电路——仪表硬件电路设计之三</b> .....   | 82 |
| 4.1 LED 显示器接口.....                   | 82 |
| 4.1.1 7 段 LED 显示器.....               | 82 |

|       |                                   |     |
|-------|-----------------------------------|-----|
| 4.1.2 | 点阵式 LED 显示器 .....                 | 86  |
| 4.2   | 键盘接口 .....                        | 86  |
| 4.2.1 | 键盘结构和类型 .....                     | 86  |
| 4.2.2 | 抖动与串键 .....                       | 87  |
| 4.2.3 | 非编码键盘接口电路 .....                   | 88  |
| 4.2.4 | 编码式键盘接口电路 .....                   | 91  |
| 4.3   | 打印机接口 .....                       | 100 |
| 4.3.1 | 打印原理 .....                        | 100 |
| 4.3.2 | GP-16 微型打印机接口 .....               | 100 |
| 4.3.3 | PP-40 彩色描绘器接口 .....               | 103 |
| 5     | 通信接口电路——仪表硬件电路设计之四 .....          | 109 |
| 5.1   | 串行通信接口 .....                      | 109 |
| 5.1.1 | RS-232C 标准 .....                  | 109 |
| 5.1.2 | 串行通信接口电路 .....                    | 113 |
| 5.1.3 | MCS-51 单片机与 IBM-PC 计算机的数据通信 ..... | 119 |
| 5.1.4 | RS-422、RS-423 标准 .....            | 123 |
| 5.2   | 并行通信接口 .....                      | 123 |
| 5.2.1 | IEEE-488 标准 .....                 | 123 |
| 5.2.2 | 并行通信接口器件 .....                    | 129 |
| 6     | 微机化仪表硬件电路的抗干扰 .....               | 132 |
| 6.1   | 干扰与噪声源 .....                      | 132 |
| 6.1.1 | 外部干扰 .....                        | 132 |
| 6.1.2 | 数字电路的干扰 .....                     | 134 |
| 6.2   | 抗干扰措施 .....                       | 136 |
| 6.2.1 | 串模干扰的抑制 .....                     | 136 |
| 6.2.2 | 共模干扰的抑制 .....                     | 138 |
| 6.2.3 | 过程通道的抗干扰 .....                    | 139 |
| 6.2.4 | 电源与电网干扰的抑制 .....                  | 148 |
| 6.2.5 | 地线系统干扰的抑制 .....                   | 149 |
| 7     | 监控程序——仪表功能的软件实现之一 .....           | 151 |
| 7.1   | 软件设计概述 .....                      | 151 |
| 7.1.1 | 软件设计的特点与一般方法 .....                | 151 |
| 7.1.2 | 结构化设计与编程 .....                    | 151 |
| 7.1.3 | 软件功能测试 .....                      | 154 |
| 7.1.4 | 软件的运行、维护和改进 .....                 | 155 |
| 7.2   | 监控程序设计 .....                      | 155 |

|       |                            |     |
|-------|----------------------------|-----|
| 7.2.1 | 概述 .....                   | 155 |
| 7.2.2 | 监控主程序 .....                | 157 |
| 7.2.3 | 初始化管理 .....                | 158 |
| 7.2.4 | 键盘管理 .....                 | 158 |
| 7.2.5 | 显示管理 .....                 | 163 |
| 7.2.6 | 中断管理 .....                 | 164 |
| 7.2.7 | 时钟管理 .....                 | 166 |
| 7.2.8 | 手-自动控制 .....               | 167 |
| 7.2.9 | 自诊断处理 .....                | 167 |
| 8     | 测量算法——仪表功能的软件实现之二 .....    | 169 |
| 8.1   | 克服随机误差的软件算法(数字滤波) .....    | 169 |
| 8.1.1 | 程序判断法 .....                | 169 |
| 8.1.2 | 中位值滤波法 .....               | 171 |
| 8.1.3 | 算术平均滤波法 .....              | 172 |
| 8.1.4 | 递推平均滤波法 .....              | 174 |
| 8.1.5 | 加权递推平均滤波法 .....            | 175 |
| 8.1.6 | 一阶惯性滤波法 .....              | 176 |
| 8.1.7 | 复合滤波法 .....                | 178 |
| 8.2   | 克服系统误差的软件算法 .....          | 179 |
| 8.2.1 | 系统误差的模型校正法(非线性校正) .....    | 179 |
| 8.2.2 | 系统误差的标准数据校正法 .....         | 195 |
| 8.2.3 | 仪表零位误差和增益误差的校正方法 .....     | 196 |
| 8.2.4 | 传感器温度误差的校正方法 .....         | 197 |
| 8.3   | 量程自动切换与工程量变换 .....         | 198 |
| 8.3.1 | 量程自动切换 .....               | 198 |
| 8.3.2 | 工程量变换(标度变换) .....          | 200 |
| 9     | 控制算法——仪表功能的软件实现之三 .....    | 202 |
| 9.1   | PID 控制算法 .....             | 202 |
| 9.1.1 | 概述 .....                   | 202 |
| 9.1.2 | 完全微分型 PID 控制算法 .....       | 204 |
| 9.1.3 | 不完全微分型 PID 控制算法 .....      | 208 |
| 9.1.4 | PID 算法的改进 .....            | 209 |
| 9.1.5 | PID 调节器参数的整定及采样周期的选择 ..... | 211 |
| 9.2   | 复杂控制算法 .....               | 214 |
| 9.2.1 | 前馈控制算法 .....               | 214 |
| 9.2.2 | 纯滞后补偿算法(Smith 预估) .....    | 216 |
| 9.2.3 | 差拍控制与 Dahlin 算法 .....      | 217 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 9.2.4 解耦算法 .....            | 219        |
| 9.3 智能控制算法 .....            | 221        |
| 9.3.1 PID 参数自整定 .....       | 222        |
| 9.3.2 模糊控制算法 .....          | 223        |
| <b>10 微机化仪表设计实例</b> .....   | <b>231</b> |
| 10.1 设计准则 .....             | 231        |
| 10.2 设计实例 .....             | 233        |
| 10.2.1 温度程序控制仪 .....        | 233        |
| 10.2.2 色谱分析数据处理仪 .....      | 245        |
| 10.3 仪表调试 .....             | 255        |
| 10.3.1 常见故障 .....           | 255        |
| 10.3.2 调试方法 .....           | 256        |
| <b>附录1 思考题与习题</b> .....     | <b>260</b> |
| <b>附录2 Z80 指令表</b> .....    | <b>263</b> |
| <b>附录3 MCS-51 指令表</b> ..... | <b>271</b> |
| <b>附录4 常用集成芯片引脚图</b> .....  | <b>276</b> |

# 1 微机化仪表设计概述

微型计算机技术的迅速发展,引起了仪器仪表结构的根本性变革,即以微型计算机(简称微机)为主体,代替传统仪表的常规电子线路,成为新一代的具有某种智能的灵巧仪表。这类仪表的设计重点,已经从模拟和逻辑电路的设计转向专用的微机模板或微机功能部件、接口电路和输入输出通道的设计,以及应用软件的开发。传统模拟式仪表的各种功能是由单元电路实现的,而在以微机为主体的仪表中,则由软件完成众多的数据处理和控制任务。

在测量、控制仪表中引入微机,不仅能解决传统仪表不能解决或不易解决的问题,而且能简化电路、增加功能、提高精度和可靠性、降低售价以及加快新产品的开发速度。由于这类仪表已能实现人脑的一部分功能,例如四则运算、逻辑判断、命令识别等,有的还能够进行自校正、自诊断,并具有自适应、自学习的能力,因此,人们习惯上称它们为智能仪表。但智能的水平高低不一,目前所见的大部分这类产品,智能化的程度还较低,故将具有不同智能水平的仪表通称为微机化仪表更为确切。当然,随着科学技术的进一步发展,微机化仪表所具有的智能水平将会越来越高。

## 1.1 微机化仪表的功能和组成

### 1.1.1 微机化仪表的主要功能

将微机引入仪表中,能解决的问题是多方面的,大体上可实现如下一些功能:

(1) 自动校正零点、满度和切换量程 微机化仪表的自校正功能大大降低了因仪表零漂和特性变化造成的误差,而量程的自动切换又给使用带来了方便,并可提高读数的分辨率。

(2) 多点快速检测 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瞬变工况。

(3) 自动修正各类测量误差 许多传感器的特性是非线性的,且受环境温度、压力等参数变化的影响,从而给仪表带来误差。在微机化仪表中,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等。

(4) 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,可抑制各种干扰(例如低频干扰、脉冲干扰等)的影响。

(5) 数据处理 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等。

(6) 各种控制规律 能实现 PID 及各种复杂控制规律,例如可进行串级、前馈、解耦、非线性、纯滞后、自适应、模糊等控制,以满足不同控制系统的需要。

(7) 多种输出形式 输出形式有数字(或指针)显示、打印记录、声光报警,也可以输出



多点模拟量或数字量(开关量)信号。

(8) 数据通信 能与其它仪表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。

(9) 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。一旦发现故障即能告警,并显示出故障部位,使能及时处。

(10) 掉电保护 仪表内装有后备电池和电源自动切换电路。掉电时,能自动将电池接向 RAM,使数据不致丢失。也可采用电可改写只读存储器 E<sup>2</sup>ROM,来代替 RAM,存储重要数据,以实现掉电保护的功能。

在一些不带微机的常规仪表中,通过增加器件和变换线路,亦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。性能上的些许提高,会使仪表的成本大大增加。而在微机化仪表中,性能的提高,功能的扩大是比较容易实现的,低廉的微机芯片使这类仪表具有较高的性能价格比。

### 1.1.2 微机化仪表的基本组成

微机化仪表由硬件和软件两大部分组成。

硬件部分包括主机电路、过程输入输出通道(模拟量输入输出通道和开关量输入输出通道)、人机联系部件和接口电路以及串行或并行数据通信接口等,如图 1.1.1 所示。主机电路用来存储数据、程序,并进行一系列运算处理,它通常由微处理器( $\mu$ P 或 CPU)、只读存储器(ROM)、读写存储器(RAM)、输入输出(I/O)接口和定时/计数电路(CTC)等芯片组成,或者它本身就是一个单片微型计算机。模拟量输入输出通道(分别由模/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;而开关量输入输出通道则用来输入输出开关量信号。人机联系部件的作用是沟通操作者与仪表之间的联系。通信接口则用来实现仪表与外界交换数据。

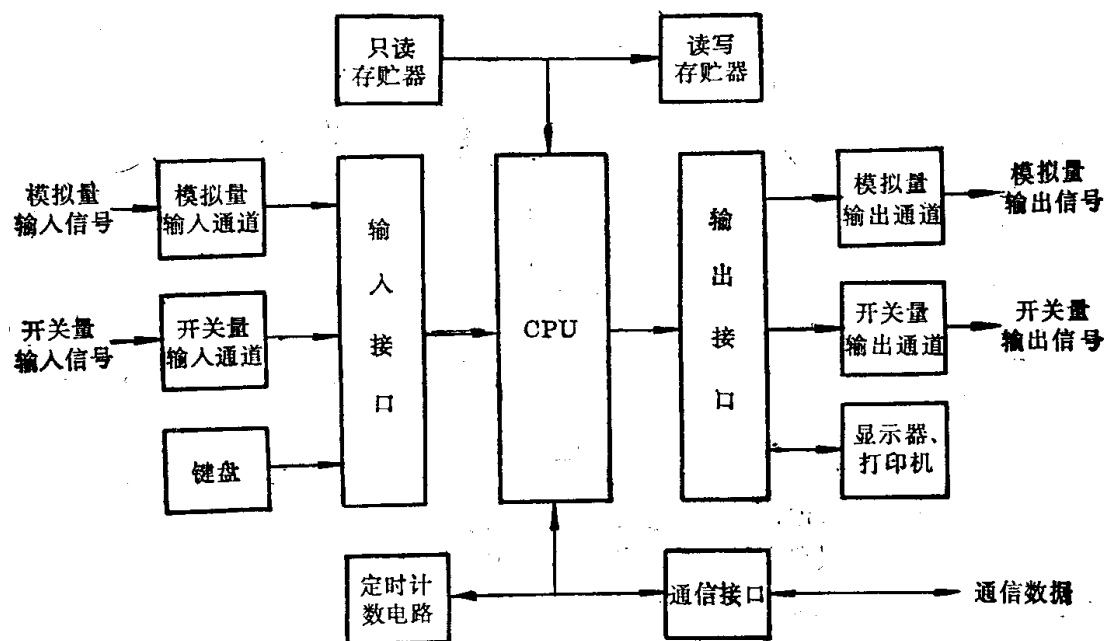


图 1.1.1 微机化仪表硬件组成框图

微机化仪表的工作过程可用图 1.1.2 来表示。输入信号先在过程输入通道的预处理电

路中进行变换、放大、整形、补偿等项处理。对于模拟量信号,尚需经模拟量通道的A/D转换器转换成数字信号,再通过接口送入缓冲寄存器,以保存输入数据。然后由CPU对输入数据进行加工处理、计算分析等一系列工作,并将运算结果存贮在RAM中。同时可通过接口由输出缓冲器送至显示器或打印机,也可输出开关量(数字)信号和经模拟量通道的D/A转换器转换成模拟量输出信号。还可通过串行标准接口(例如RS-232等)或并行标准接口(例如IEEE-488等)实现数据通信,完成更复杂的测量、控制任务。仪表的整个工作是在软件控制之下进行的,工作程序应预先编制好,写入EPROM中。必要的参数、命令可由键盘输入,存于RAM中。

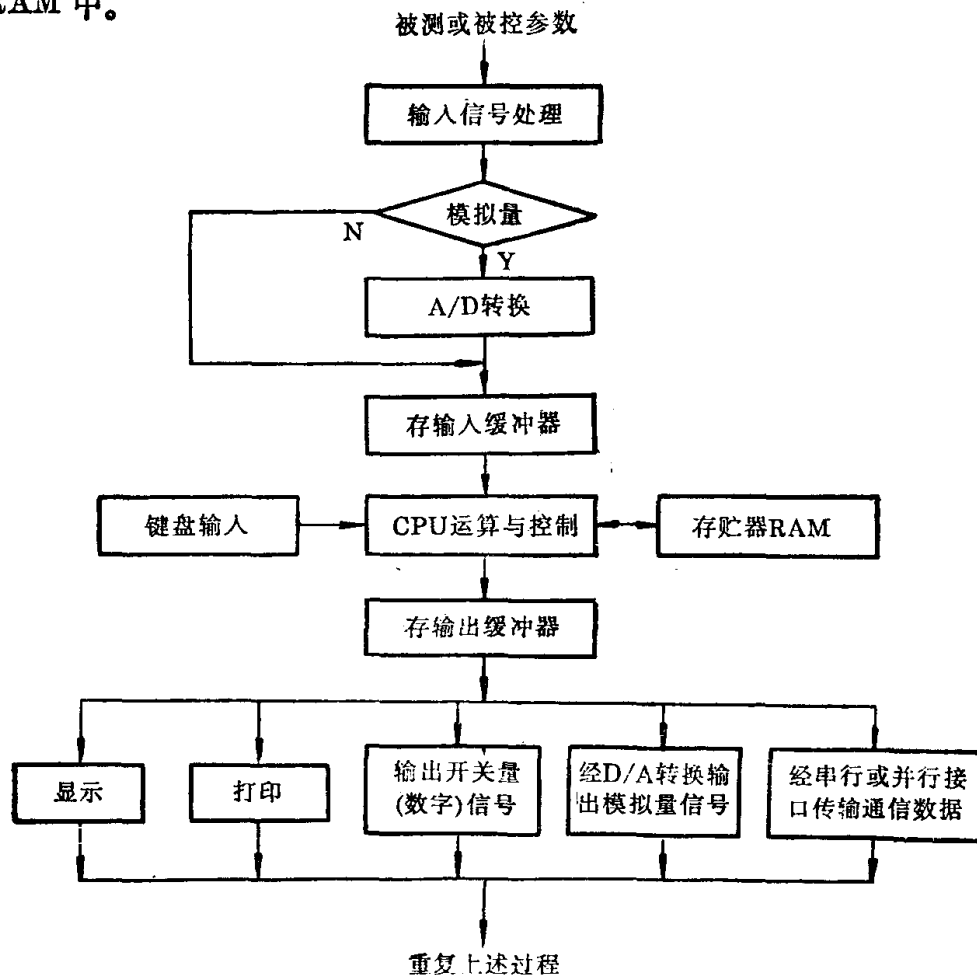


图 1.1.2 微机化仪表工作流程简图

微机化仪表的软件包括监控程序、中断处理(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;中断处理程序是在人机联系部件或其它外围设备提出中断申请,并为主机响应后直接转去执行的程序,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、非线性校正等)和控制算法(例如PID控制、前馈控制、纯滞后控制、模糊控制等)。

以上只是微机化仪表的大致组成。至于仪表内部的具体线路和硬、软件的设计方法,将在以后各章节中详细阐述。

微机化的测量和控制仪表近年来发展很快。在国内,已开发出带有微机的各类仪表,例如能自动进行温压补偿的节流式流量计,能对测量元件、检测装置或执行机构进行快速测试和校核的各种校验设备,能对各种谱图进行分析和数据处理的色谱数据处理仪,能进行程

序控温的多段温度控制仪、以及能实现 PID 和复杂控制规律的数字式调节器、智能式控制器等等。

国外一些厂商也不断推出新的产品。例如美国霍尼韦尔公司开发了具有复合功能的 DSTJ-3000 系列智能式变送器,它在半导体硅单晶片上配置了差压、静压和温度三种传感元件,进行差压值状态的复合测量,可对变送器本体的温度、静压实现自动补偿,从而获得较高的测量精度( $\pm 0.1\%FS$ )。该变送器还可利用遥控操作器远距离地进行零位校准、阻尼调整、测量范围的变更,以及线性或平方根输出的选择,它不需要到现场进行校验,一切均可在仪表控制室内进行远距离设定,使用和维护十分方便。

日本横河公司研制了模拟数字混合式记录仪,它不用传统的闭环随动测量原理,而用开环扫描测量方法,所以没有伺服放大器、平衡电机、滑线电阻等部件。测量信号经多路开关扫描输入后,进行前置放大和 A/D 转换,再在微机控制下,发出相应的脉冲数驱动步进电机,由步进电机带动打印头作横向移动而画出模拟曲线,也可操作打印头针点的动作,打出数据和表格。这种记录仪的测量精度比传统记录仪高,它能进行模拟或数字显示和记录,还具有自诊断、自校正、求差、报警等功能,并带有通信接口。

美国福克斯波罗公司推出了一种数字化的自整定调节器。它除具有模拟式调节器的特点外,能自行计算 PID 参数,并使过程的恢复时间减到最小值。该调节器所具有的控制方法是人工智能式的,它采用了“专家系统”技术,像有经验的控制工程师那样能应用操作经验来整定调节器,工作迅速、准确。自整定调节器组态灵活,操作方便,节省了控制系统的投入时间,特别当对象特性变化频繁或在非线性系统中,由于它能自动改变参数,始终保持系统品质最佳,因此大大提高了系统运行的经济效率。

## 1.2 微机化仪表的设计思想和研制步骤

研制一台微机化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拟制总体设计方案,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等。为保证仪表质量和提高研制效率,设计人员应在正确的设计思想指导下进行仪表研制的各项工作。

### 1.2.1 微机化仪表的基本设计思想

#### 1.2.1.1 模块化设计

依据仪表的功能要求和技术经济指标,自顶向下(或由大到小)地按仪表功能层次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,这就是设计仪表的基本思想。

如前所述,通常把硬件分成主机、过程通道、人机联系部件、通信接口和电源等几个模块;而把软件分成监控程序(包括初始化、键盘、显示管理、中断管理、时钟管理、自诊断等)、中断处理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。模块化设计的优点是:无论是硬件还是软件,每一个模块都相对独立,故能独立地进行设计、研制、调试和修改,从而使复杂的研制工作得以简化。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

提高工作效率和仪表的研制速度。

#### 1.2.1.2 模块的连接

上述各种软、硬件模块的研制、调试完成之后,还需要将它们按一定的方法连接起来,才能构成完整的仪表,以实现数据采集、传输、处理和输出等各项功能。软件模块的连接一般是通过监控主程序调用各种功能模块,或采用中断的方法实时地执行相应的服务模块来实现。并且按功能层次继续调用下一级模块。模块之间的联系是由数据接口(数据缓冲器和标志状态)来完成的。

硬件模块(模板)的连接有两种方法:一种是以主机模块为核心,通过设计者自行定义的内部总线(数据总线、地址总线和控制总线)连接其它模块;另一种是采用标准总线(例如STD总线、S-100总线等)来连接所有模块。第一种方法由设计人员自行研制模板,电路结构简单,硬件成本低;第二种方法,设计人员可选用商品化的模板(也可自行研制),配接灵活、方便,研制周期短,但硬件成本高。

### 1.2.2 微机化仪表的设计研制步骤

设计、研制一台微机化仪表大致上可以分为三个阶段:确定任务、拟制设计方案阶段,硬件、软件研制阶段,仪表总调、性能测定阶段(见图1.2.1)。以下对各阶段的工作内容和设计原则作一简要的叙述。

#### 1.2.2.1 确定任务、拟制设计方案

##### A 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。例如仪表是用于过程控制呢还是数据处理,其功能和精度如何;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,并行还是串行;仪表的成本应控制在多少范围之内等等。以此作为仪表硬、软件的设计依据。另外,对仪表的内部结构、外形尺寸、面板布置、使用环境情况以及制造维修的方便性须给予充分的注意。设计人员在对仪表的功能、可靠性、可维护性及性能价格比进行综合考虑的基础上,提出仪表设计的初步方案,并将其写成“仪表功能说明书(或设计任务书)”的书面形式。“功能说

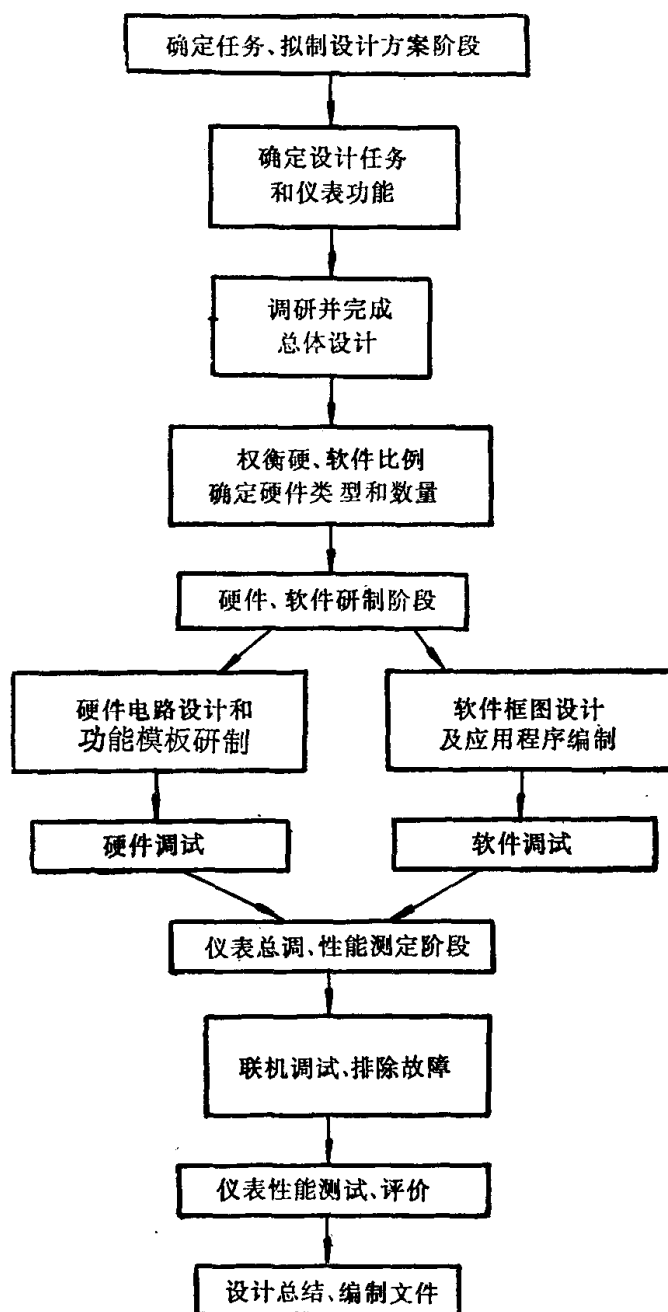


图 1.2.1 微机化仪表开发过程

说明书”主要有以下三个作用：

- ① 作为用户和研制单位之间的合约，或研制单位设计仪表的依据；
- ② 反映出仪表的功能和结构，作为研制人员设计硬件、编制软件的基础；
- ③ 作为将来验收时的依据。

#### B 完成总体设计，选择确定硬件类型和数量

通过调查研究对方案进行论证，以完成微机化仪表的总体设计工作。在此期间应绘制仪表系统总图和软件总框图，拟订详细的工作计划。完成了总体设计之后，便可将仪表的研制任务分解成若干课题(子任务)，去做具体的设计。

选择微处理器时，需考虑字长、寻址范围与寻址方式、指令的功能、中断能力、直接存贮器存取(DMA)的能力，以及微处理器的支持器件——LSI 外围电路是否齐全等等。

在确定存贮器容量时，主要依据整个装置所需要的存贮量、数据量以及堆栈的大小。

在仪表所需的硬件中，输入、输出通道往往占有很大的比重，因此在估计和选择输入、输出所需的硬件时，应考虑输入输出通道数、串行操作或是并行操作、数据的字长、传输率以及数据传输方式等等。

由于硬件和软件具有互换性，设计人员要反复权衡仪表硬件和软件的比例。多用硬件可以简化软件设计工作，并使装置的性能得到改善。然而，这样会增加元器件数，成本相应提高。若采用软件来代替一部分硬件功能，虽可减少元器件数，但将增加编程的复杂性，并使系统的速度相应降低。所以应当从仪表性能、器件成本、软件费用、研制周期等各方面考虑，对硬、软件比例作出合理的安排，从而确定硬件的类型和数量。

近几年逐渐为人们所重视的单片微机，内部具有 CPU、RAM、ROM、I/O 接口、CTC 等电路，在有的单片机上，还集成有 A/D 转换器、D/A 转换器和模拟多路开关，因而它实际上是一个完整的微型计算机。与多芯片组成的微机相比，单片机的体积小、功耗低，价格也较便宜，故在微机系统和仪表中的应用已日趋增多，不过目前流行的 8 位单片微机，RAM 容量较小，I/O 接口不多。所以在内存容量要求不大、外部设备要求不多的微机化仪表中采用单片机较为适宜。如果在 8 位单片机的基础上外接一些存贮器和接口电路，或者直接采用 16 位单片机，则可扩大其应用范围，研制出功能完善、性能优良的微机化测控仪表。

#### 1.2.2.2 硬件和软件的研制

在开发过程中，硬件和软件工作应该同时进行，如图 1.2.1 所示，在设计硬件、研制功能模板的同时，完成软件设计和应用程序的编制。两者同时并进，能使硬、软件工作相互配合，充分发挥微机特长，缩短研制周期。

#### A 硬件电路的设计、功能模板的研制和调试

硬件电路的设计包括主机电路、过程输入输出通道、人机接口电路和通信接口等的设计。在完成电路设计之后，即可制作相应的功能模板。在设计、研制功能模板时，要保证技术上可行、逻辑上正确、并注意布局合理、连线方便。先描制逻辑电路图，经反复核对，线路无差错，才绘制成布线图，再加工成印刷电路板。制成电路板后仍须仔细校核，以免发生差错，损坏器件。

由于主机部分是通过各种接口与键盘、显示器、打印机等人机联系部件相连接的，并通过输入输出通道经测量元件和执行器直接连至被测或被控对象，因此人机接口电路和输入输出通道的设计是研制仪表硬件的重要环节，力求可靠实用。



在研制硬件时,若采用单片微机或者采用商品化的微机模板(例如 STD 模板),则研制工作可以简化。究竟采用何种器件,应当由如上所述的仪表性能、成本、研制期限等各种因素决定。

如果逻辑电路设计正确无误,印刷电路板加工完好,那么功能模板的调试一般来说是比较方便的。模板运行是否正常,可通过测定一些重要的波形来确定。例如可检查微处理器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。

为加快硬件研制进程,迅速查出故障,可采用微机开发装置(例如具有调试、开发手段的单板机,在线仿真器等)将其与功能模板相连,再编制一些调试检查程序,即可较方便地完成硬件部分的查错和调试任务。

## **B 软件框图的设计、程序的编制和调试**

将软件总框图中的各个功能模块具体化,逐级画出详细的框图,作为编制程序的依据。编写程序可用机器语言、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,大多用汇编语言来编写,因为从减少存贮容量、降低器件成本和节省机器时间的观点来看,这样做比较合适。程序编制后,再通过具有汇编能力的计算机或开发装置生成目标程序,经模拟试验通过后,可直接写入可编程只读存贮器(EPROM)中。

在程序设计过程中还必须进行优化工作,即仔细推敲、合理安排,利用各种程序设计技巧使编出的程序所占内存空间较小,而执行时间又短。

目前已广泛使用微机开发装置来研制应用软件。利用开发装置丰富的硬件和软件系统来编程和调试,可大大减轻设计人员的工作强度,并帮助设计者积累研制各种软件的经验,这不仅可缩短研制周期,而且有助于提高应用软件的质量。

如前所述,在开发微机化仪表过程中,硬、软件工作是同时并进的,两者相辅相成,联系十分紧密。因此,设计人员不仅要懂得系统的硬件,而且还要熟悉软件,这样才能设计出理想的仪表来。

### **1.2.2.3 仪表总调、性能测定**

研制阶段只是对硬件和软件分别进行了初步调试和模拟试验。样机装配好后,还必须进行联机试验,识别和排除样机中硬件和软件两方面的故障,使其能正常运行。待工作正常后,便可投入现场试用,使系统处于实际应用环境中,以考验其可靠性。在总调中还必须对设计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,则应变动硬件或修改软件,重行调试,直至满足要求为止。

研制一台微机化仪表大致上需经历上述几个阶段。经验表明,仪表性能的优劣和研制周期的长短同总体设计是否合理,硬件选择是否得当,程序结构的好坏,开发工具完善与否以及设计人员对仪表结构、电路和微机硬、软件的熟悉程度等等有关。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(特别是在用汇编语言编写时),应当尽可能采用结构化设计和模块化方法编制应用程序,这对查错、调试、增删程序十分有利。实践证明,设计人员如能在研制阶段把住硬、软件的质量关,则总调阶段将能顺利进行,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,这项工作是十分重要的,因为这不仅是仪

表研制工作的总结,而且是以后仪表使用、维修以及再设计的需要。因此,人们通常把这一技术文件列入微机化仪表的重要软件资料。

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;

性能测定和现场试用报告;

使用者操作说明;

硬件资料,包括硬件逻辑图、电路原理图、元件布置和接线图、接插件引脚图和印刷线路板图;

程序资料,包括软件框图和说明、标号和子程序名称清单、参量定义清单、存贮单元和输入输出地址分配表以及程序清单。

### 1.3 微机化仪表器件的选择

微处理器(或微处理机,以下同)是微机的核心部件,它的结构、特性对所研制仪表的性能有很大影响。所以要成功地研制一台微机化仪表,首先应选择合适的微处理器。选定微处理器(或单片微机)后,再按设计要求确定与其配套的外围芯片。在选择微处理器时应考虑如下的主要特性。

(1) 用途 微处理器是一种通用器件,如果给予足够的外部支持电路和处理时间,它几乎可以完成任何任务。数据处理和控制是微处理器的两个主要用途。数据处理要求它有较强的算术运算能力。一般兼有数据处理任务的控制类微机化仪表大多采用数据处理型的微处理器。微处理器的用途可以根据对其字长、指令系统、支持硬件和支持软件等进行考察后作出判断。单片微机既适用于控制,也可进行数据处理。

(2) 字长 微处理器的字长取决于并行数据总线的数目。通常使用4位、8位或16位的微处理器来研制微机化仪表或微机应用系统。4位字长的微处理器一般设计成简单的控制器。8位微处理器则设计成既可用于数据处理,也可用于控制。用于数据处理时,可进行双倍精度或三倍精度运算。16位的运算精度适合于大多数的数据处理工作,因此16位微处理器大多用于复杂的数据处理和控制在。由于8位微处理器或单片微机适用范围广,价格也不高,故为目前多数微机化仪表所采用。随着微机技术的进展,已出现带有16位微处理器或单片机的高性能测控仪表,并将越来越多地应用于生产过程中。

不同字长微处理器的成本、特点和应用范围如表1.3.1所示。

表 1.3.1 不同字长微处理器的特性

|      | 4 位                                      | 8 位                             | 16 位                                |
|------|------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| 成本   | 低                                        | 中                               | 高                                   |
| 特点   | 指令少, 功能弱, 速度慢                            | 适宜于字符、数据处理, 双倍字长精度运算时速度要降低      | 具有多种指令, 功能强, 速度快                    |
| 应用范围 | 适合于计算精度低, 对处理时间要求不高的场合, 如计算器、家用电器、简单控制器等 | 用于测量、监视、数据处理、实时控制以及计算机外围设备和终端设备 | 与一般小型计算机用途相同, 可用于数值计算、较复杂的数据处理和实时控制 |

(3) 寻址范围和寻址方式 微处理器的地址长度反映了微机可寻地址的范围,它表示系统中可存放的程序和数据量。例如,8位标准微处理器,其地址长度为16位,可寻址的范围为64K。设计人员应根据仪表要求确定合理的存贮容量。

微处理器有多种寻址方式,如直接、间接、相对、变址寻址等。选择恰当的寻址方式,能使程序量大为减少,从而可节省存贮空间和加快程序的执行速度。

(4) 指令的功能 一般说来,指令条数多的微处理器,其操作功能要强些,这可使编程灵活。但是一个微处理器的功能究竟丰富与否,不能单由指令的数量确定,而要看每一条指令的具体内容。因为每一个厂家都有它自己计算指令的方式。

所选取的微处理器,其指令功能应该面向所要处理的问题。用于控制的仪表,要特别注意访问外部设备(或接口)指令的功能。用于数据处理的仪表,还应注意数据操作指令的功能,例如算术和逻辑运算、十进制调整、位操作指令、控制转移等指令的功能是否齐全。

80年代推出的单片微机,由于吸收了各类微处理器的长处,其指令功能较为完善。例如MCS-51系列单片微机,具有较强的算术和逻辑运算能力,且擅长位处理,它还具有乘法和除法指令,编程灵活、方便。

(5) 执行速度 微处理器的执行速度可用时钟周期数或机器周期数来表示。大多数微处理器要多个乃至十多个时钟周期才能执行一条指令。不能单从时钟速率来衡量微处理器的执行速度,因为不同类型的微处理器以不同的方法执行指令,有些微处理器采用高速时钟和许多微操作(例如8051和Z80),另一些微处理器则采用低速时钟和少量强有力的操作(例如6800和6502)。指令的执行时间应从时钟速率和执行该指令所需的周期数算得。

执行速度的选择要区别不同的对象。对于采样周期较短而有大量实时计算的数据处理或过程控制系统,应选择速度高的微处理器。

(6) 功耗 功耗由器件工艺、器件的复杂性和时钟速率所支配。字长较宽的微处理器,因器件电路复杂,其功耗比字长较窄而工艺相同的微处理器要大。从器件工艺来说,高速双极性微处理器要消耗更多的功率,NMOS和PMOS的微处理器消耗中等的功率,而CMOS的微处理器所消耗的功率最少。时钟速率也影响着一些微处理器的功耗,较慢的时钟速率,微处理器消耗的功率较小。应按器件所允许的温度范围和仪表使用环境等条件来选择不同功耗的微处理器。

(7) 中断能力和DMA能力 在实际应用中,外部设备常要求微处理器暂时转去执行一个为其服务的子程序。为了满足这一要求,微处理器必须具有较强的中断能力。对于快速、多通道实时处理的对象,应选择中断功能丰富的微处理器。

直接存贮器存取(DMA)是一种数据传输方式。其数据传输不是由微处理器控制的,而是由DMA控制部件暂时“接管”微机CPU,通过总线对存贮器进行直接访问。DMA能力对于大块数据传输很有用,它解脱了由微处理器控制传输数据时必须执行一个数据传输程序的负担,因此DMA传输比程序控制数据传输快得多。如果要求大量的高速数据传输,则必须选择一个具有DMA能力的微处理器。

(8) 硬、软件支持 选择微处理器时,应考虑该器件有否足够的硬软件支持。从硬件来说,构成一个微机化仪表要有足够的LSI外围芯片,例如串行接口、并行接口、定时计数器,A/D和D/A转换器等。对于单片微机要考虑应有配套的扩展芯片供应。

从软件来说,应用软件研制的费用往往超过元器件成本。为此,应选择那些具有大量基

本软件(编辑程序、汇编程序、高级语言等)支持的微处理器,以便采用微机开发装置来调试微机化仪表的硬件和软件,缩短研制周期。当然,对于较小的应用系统,就不一定需要丰富的支持软件。

(9) 成本 微机化仪表的成本是优先考虑的指标之一,特别在生产成批仪表时更是如此。当然,估计成本应从整台仪表考虑,而不仅仅是微处理器的成本。但是,是否正确地选择微处理器或单片微机,又直接影响到整个仪表的成本。因此必须仔细权衡、全盘考虑。特别是由于微机技术发展得非常快,必须经常关心微处理器、单片微机和其它芯片以及有关外部设备的现行价格,合理地进行选择。

在设计微机化仪表时,外围芯片、器件的选择同样是十分重要的。例如,输入通道中A/D转换器的类型、转换速度、输出位数(字长)、精度,输出通道中D/A转换器的类型、字长、精度等的选择。设计人员应根据仪表的功能、整机精度、采样周期等的要求来选定外围芯片、器件,以便在保证仪表设计指标的前提下降低成本,简化结构。而不要一味追求器件的宽字长、高速度和高精度。各种外围芯片的具体选择,将在后面各章叙述。