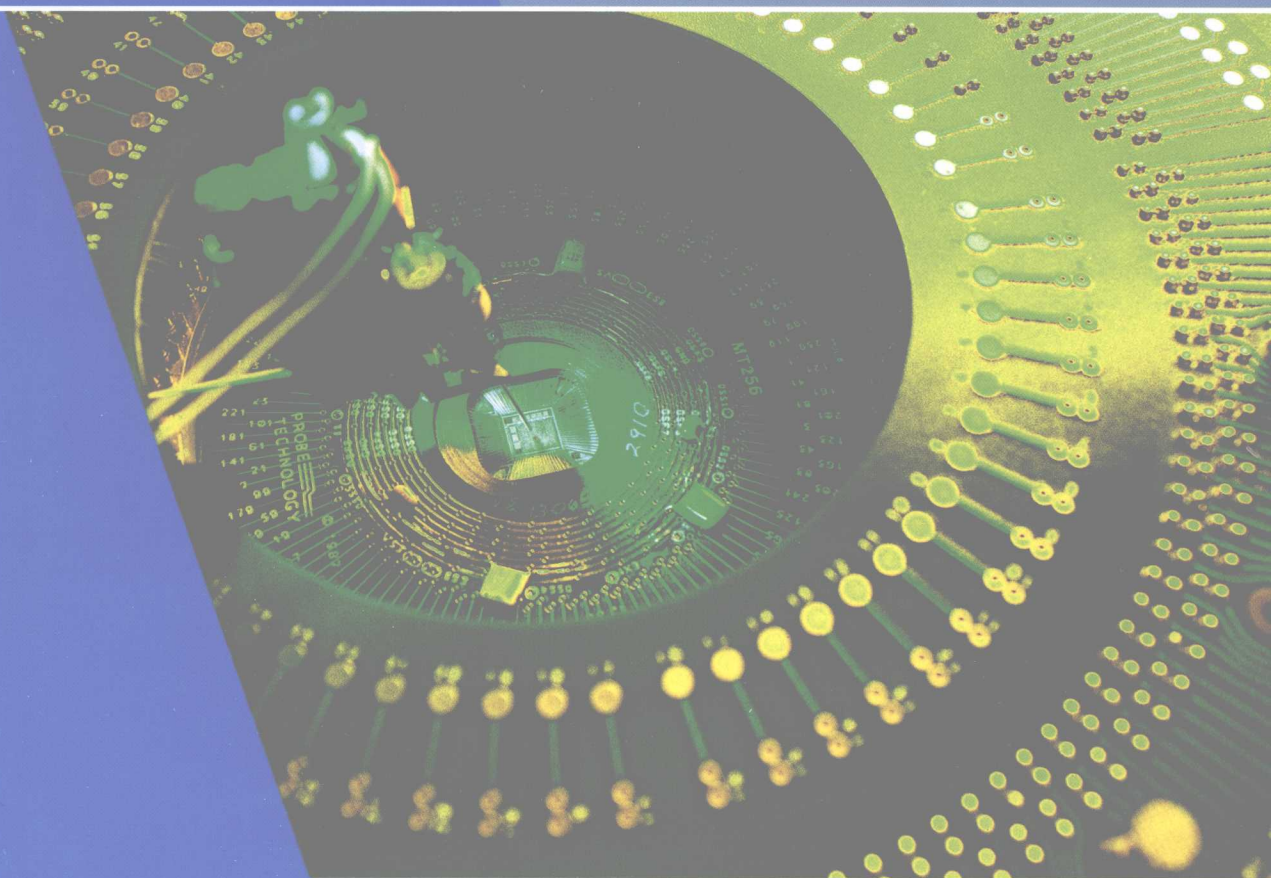


# 单片机原理 及C51应用

刘小成 吴清 夏春明 ©编著



华东理工大学出版社  
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

TP366  
192  
1

# 单片机原理及 C51 应用

刘小成 吴 清 夏春明 编著

 华东理工大学出版社  
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

1340457

## 图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及 C51 应用/刘小成,吴清,夏春明编著. 上海:华东理工大学出版社,2009. 1

ISBN 978-7-5628-2411-4

I: 单... II. ①刘... ②吴... ③夏... III. 单片微型计算机-高等学校-教材 IV. TP368. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 164143 号

## 单片机原理及 C51 应用

---

编 著 / 刘小成 吴 清 夏春明

责任编辑 / 李国平

责任校对 / 张 波

封面设计 / 陆丽君

出版发行 / 华东理工大学出版社

地址:上海市梅陇路 130 号,200237

电话:(021)64250306(营销部)

传真:(021)64252707

网址:www.hdlgpress.com.cn

印 刷 / 常熟华顺印刷有限公司

开 本 / 787mm×1092mm 1/16

印 张 / 19.25

字 数 / 465 千字

版 次 / 2009 年 1 月第 1 版

印 次 / 2009 年 1 月第 1 次

印 数 / 1—3050 册

书 号 / ISBN 978-7-5628-2411-4/TP·162

定 价 / 35.00 元

(本书如有印装质量问题,请到出版社营销部调换。)

# 前 言

1976年,Intel公司推出第一款8位单片机MCS-48,宣告了单片机时代的到来。短短几十年里,单片机技术获得了长足的发展,在越来越广泛的领域内大显身手。

随着科学技术的日新月异变化,单片机也从刚开始的8位单片机发展到16位、32位等诸多系列。其中,51系列单片机由于其灵活方便、价格便宜的优点,在众多制造厂商的支持下发展成为具有上百个品种的大家族。至今为止,其他任何一个单片机系列均未发展到如此的规模。

采用单片机C51语言编程具有很多的优越性。如果你不懂得单片机的指令集,也能够编写完美的单片机程序;无须懂得单片机的具体硬件,也能够编出符合硬件实际的专业水平的程序;不同函数的数据实行覆盖,有效利用片上有限的RAM空间;程序具有坚固性:数据被破坏是导致程序运行异常的重要因素,C语言对数据进行了许多专业性的处理,避免了运行中间非异步的破坏;C语言提供复杂的数据类型(数组、结构、联合、枚举、指针等),极大地增强了程序处理能力和灵活性;提供auto、static、const等存储类型和专门针对8051单片机的data、idata、pdata、xdata、code等存储类型,自动为变量合理地分配地址;提供small、compact、large等编译模式,以适应片上存储器的大小;中断服务程序的现场保护和恢复,中断向量表的填写,是直接和单片机相关的,都由C编译器代办;提供常用的标准函数库,以供用户直接使用;头文件中定义宏、说明复杂数据类型和函数原型,有利于程序的移植和支持单片机的系列化产品的开发;有严格的句法检查,错误很少且可容易地在高级语言的水平上迅速地被排除;可方便地接受多种实用程序的服务:如片上资源的初始化有专门的实用程序自动生成;再如,有实时多任务操作系统可调度多道任务,简化用户编程,提高运行的安全性等。

本书是在多年来从事单片机课程教学的基础上编写的。书中总结了教学中的经验和教训,并针对学生在学习过程中遇到的困难和提出的问题。该书的特点是:通俗易懂,适于自学;由浅入深,便于理解;概念明确,语言简洁;例题丰富,内容全面。由于在教学中发现一些学生偏重于C语言学习,而另一些学生又偏向于汇编语言学习,因此为了更有利于初学者或本科学生学习单片机,本书不仅同时详述了C语言及汇编语言,并且在书中例题程序都给出了C语言及汇编语言两种程序解答,这样一来,无论学生偏向于何种语言都能理解书中例题,另一方面也可以对两种语言的编写方式、结构、实现效率等特点做出比较,让学生能自主选择编程语言,提高编程效率。本书编写时在详细阐述理论知识的同时,也相当注重对学生知识应用和研究的培养,所以在书中给出了许多典型实例供学生自主学习和实践。

本书共分为两个部分,第一部分为控制技术发展状况;第二部分详述单片机知识(分为十一章),基本覆盖了51单片机的主要方面。

在本书的编写过程中,借鉴了许多现行教材的宝贵经验,在此,谨向这些作者表示诚挚的感谢。同时,本书的编写得到了广州周立功单片机发展有限公司、上海求远电子有限公司

的资助,在这里一并表示感谢,该公司推出的 DP-51PROC 单片机综合仿真实验仪可作为本书的配套实验设备。在本书的资料收集整理过程中,蔡梅华、杨正宜、吴钦、刘锐等给予了很大的帮助,在此表示感谢。由于时间及编者水平有限,书中有错误或是不足之处敬请广大读者批评指正。

# 目 录

绪论	1
控制技术发展状况	1
1. 继电逻辑控制	1
2. 过程仪表控制	3
3. 集散控制系统(DCS)	4
4. 可编程控制器(PLC)	5
5. 微型计算机(PC和IPC)	7
6. 可编程逻辑器件(CPLD和FPGA)	11
单片机简述	12
1. CUP的发展	13
2. 片内存储器的发展	13
3. 片内输入输出接口功能	14
4. 在线编程目前有两种不同方式	15
5. 功耗、封装及电源电压的进步	15
6. 工艺上的进步	16
7. 可靠性技术发展	16
8. 单片机常用外围接口介绍	17
9. 单片机软件的发展	17
<b>第一章 单片机基础知识</b>	<b>18</b>
1.1 单片机中的数	18
1.2 单片机的硬件基础	23
1.3 单片机的特点	31
1.4 单片机在机电一体化中的应用	36
小结	37
思考题与习题	38
<b>第二章 MCS 51 单片机结构</b>	<b>39</b>
2.1 单片机的引脚功能	39
2.2 存储空间	42
2.3 CPU时序	48
小结	52
思考题与习题	52

<b>第三章 指令系统</b> .....	54
3.1 程序设计语言简介 .....	54
3.2 指令格式和寻址方式 .....	54
3.3 指令系统 .....	57
3.4 程序设计 .....	73
小结 .....	91
思考题与习题 .....	97
<b>第四章 C51 基础</b> .....	102
4.1 C 语言简介 .....	102
4.2 数据及运算 .....	109
4.3 C 程序结构 .....	116
4.4 函数 .....	127
4.5 数组、指针和结构 .....	131
<b>第五章 并行 I/O 口</b> .....	138
5.1 P0 口 .....	138
5.2 P1 口 .....	139
5.3 P2 口 .....	139
5.4 P3 口 .....	140
5.5 应用举例 .....	141
思考题与习题 .....	146
<b>第六章 定时器</b> .....	147
6.1 定时器的结构及工作原理 .....	147
6.2 定时器的控制 .....	148
6.3 定时器的工作方式 .....	150
6.4 定时器的应用 .....	153
思考题与习题 .....	165
<b>第七章 串行接口</b> .....	167
7.1 串行通信 .....	167
7.2 8051 单片机的串行口 .....	169
7.3 串行接口通信举例 .....	178
思考题与习题 .....	185
<b>第八章 中断系统</b> .....	186
8.1 中断的概念 .....	186
8.2 51 单片机的中断系统中断源及其优先级管理 .....	186

---

8.3 单片机中断处理过程 .....	190
8.4 中断请求的撤除 .....	191
8.5 关于外部中断 .....	191
8.6 中断程序编程举例 .....	192
思考题与习题 .....	199
<b>第九章 RAM/ROM 扩展系统 .....</b>	<b>201</b>
9.1 概述 .....	201
9.2 最小系统与程序存储器的扩展 .....	203
9.3 数据存储器扩展 .....	212
思考题与习题 .....	216
<b>第十章 I/O 扩展系统及应用设计 .....</b>	<b>217</b>
10.1 I/O 地址译码技术 .....	218
10.2 简单 I/O 口扩展 .....	220
10.3 8255A 可编程并行 I/O 口扩展 .....	221
10.4 8155 可编程并行 I/O 口扩展 .....	226
10.5 通过串行口扩展 .....	232
10.6 单片机系统扩展 .....	234
10.7 单片机的接口应用 .....	235
思考题与习题 .....	257
<b>第十一章 单片机系统的开发 .....</b>	<b>259</b>
11.1 单片机系统开发工具总体介绍 .....	260
11.2 原理图和 PCB 设计的计算机辅助软件 .....	261
11.3 调试仿真软件 .....	271
<b>附录 MCS - 51 指令速查表 .....</b>	<b>297</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>298</b>



# 绪 论

## 控制技术发展状况

控制系统的发展经历了继电逻辑控制、基地式气动仪表控制系统、电动单元组合式模拟仪表控制系统、集中式数字控制系统、可编程控制器(PLC)、集散控制系统(DCS)、嵌入式控制器(单片机和 DSP)后,一方面朝着现场总线控制系统(FCS)和以太网控制系统等新技术的方向发展,另一方面上述控制技术仍将长期并存并进一步发展。为此,了解控制技术的现状将有助于了解单片机和其他控制技术的差异及联系。

### 1. 继电逻辑控制

通过开关、按钮、继电器、接触器等电器触点的接通或断开来实现的各种控制叫做继电-接触器控制,这种方式构成的自动控制系统称为继电-接触器控制系统。典型的控制环节有点动控制、单向自锁运行控制、正反转控制、行程控制、时间控制等。如图 0-1 所示为鼠笼式电动机正反转电路工作原理。

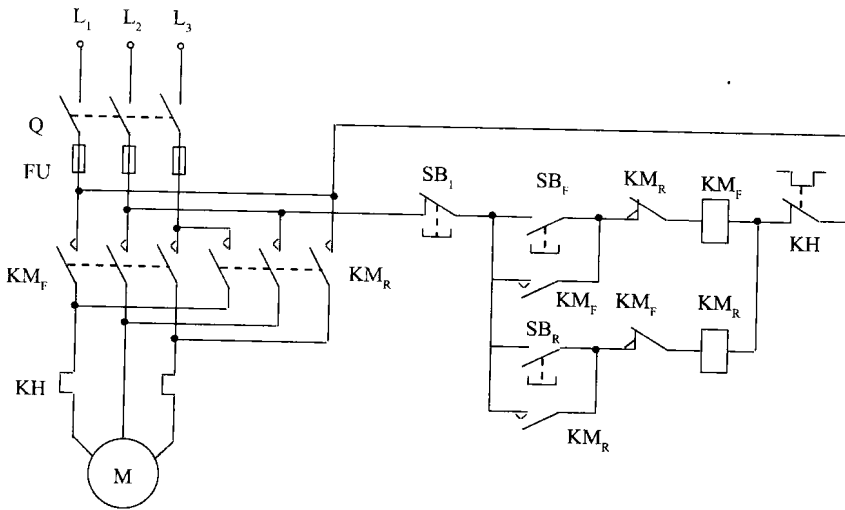


图 0-1 鼠笼式电动机正反转电路

对电动机和生产机械实现控制和保护的电工设备叫做控制电器。控制电器的种类很多,按其动作方式可分为手动和自动两类。手动电器的动作是由工作人员手动操纵的,如刀开关、组合开关、按钮等。自动电器的动作是根据指令、信号或某个物理量的变化自动进行的,如各种继电器、接触器、行程开关、时间继电器等。

刀开关:又叫闸刀开关,一般用于不频繁操作的低压电路中,用作接通和切断电源,或用来将电路与电源隔离,有时也用来控制小容量电动机的直接启动与停机。刀开关由闸刀

(动触点)、静插座(静触点)、手柄和绝缘底板等组成。刀开关的种类很多。按极数(刀片数)分为单极、双极和三极;按结构分为平板式和条架式;按操作方式分为直接手柄操作式、杠杆操作机构式和电动操作机构式;按转换方向分为单投和双投等。刀开关一般与熔断器串联使用,以便在短路或过负荷时熔断器熔断而自动切断电路。刀开关的额定电压通常为250V和500V,额定电流在1500A以下。

刀开关的额定电流应大于其所控制的最大负荷电流。用于直接起停3kW及以下的三相异步电动机时,刀开关的额定电流必须大于电动机额定电流的3倍。

组合开关:组合开关又叫转换开关,是一种转动式的闸刀开关,主要用于接通或切断电路、换接电源、控制小型鼠笼式三相异步电动机的启动、停止、正反转或局部照明。

组合开关有若干个动触片和静触片,分别装于数层绝缘件内,静触片固定在绝缘垫板上,动触片装在转轴上,随转轴旋转而变更通、断位置。

按钮:按钮主要用于远距离操作继电器、接触器接通或断开控制电路,从而控制电动机或其他电气设备的运行。

按钮的触点分常闭触点(动断触点)和常开触点(动合触点)两种。常闭触点是按钮未按下时闭合、按下后断开的触点。常开触点是按钮未按下时断开、按下后闭合的触点。按钮按下时,常闭触点先断开,然后常开触点闭合;松开后,依靠复位弹簧使触点恢复到原来的位置。按钮内的触点对数及类型可根据需要组合,最少具有一对常闭触点或常开触点。

交流接触器:线圈通电时产生电磁吸引力将衔铁吸下,使常开触点闭合,常闭触点断开。线圈断电后电磁吸引力消失,依靠弹簧使触点恢复到原来的状态。

根据用途不同,交流接触器的触点分主触点和辅助触点两种。主触点一般比较大,接触电阻较小,用于接通或分断较大的电流,常接在主电路中;辅助触点一般比较小,接触电阻较大,用于接通或分断较小的电流,常接在控制电路(或称辅助电路)中。有时为了接通和分断较大的电流,在主触点上装有灭弧装置,以熄灭由于主触点断开而产生的电弧,防止烧坏触点。

接触器是电力拖动中最主要的控制电器之一。在设计它的触点时已考虑到接通负荷时的启动电流问题,因此,选用接触器时主要应根据负荷的额定电流来确定。如一台Y112M-4三相异步电动机,额定功率4kW,额定电流为8.8A,选用主触点额定电流为10A的交流接触器即可。除电流之外,还应满足接触器的额定电压不小于主电路额定电压。

中间继电器:中间继电器通常用来传递信号和同时控制多个电路,也可用来直接控制小容量电动机或其他电气执行元件。中间继电器的结构和工作原理与交流接触器基本相同,与交流接触器的主要区别是触点数目多些,且触点容量小,只允许通过小电流。在选用中间继电器时,主要是考虑电压等级和触点数目。下层金属膨胀系数大,上层的膨胀系数小。当主电路中电流超过容许值而使双金属片受热时,双金属片的自由端便向上弯曲超出扣板,扣板在弹簧的拉力下将常闭触点断开。触点是接在电动机的控制电路中的,控制电路断开便使接触器的线圈断电,从而断开电动机的主电路。

时间继电器:通电延时空气式时间继电器利用空气的阻尼作用达到动作延时的目的。吸引线圈通电后将衔铁吸下,使衔铁与活塞杆之间有一段距离。在释放弹簧作用下,活塞杆向下移动。在伞形活塞的表面固定有一层橡皮膜,活塞向下移动时,膜上面会造成空气稀薄的空间,活塞受到下面空气的压力,不能迅速下移。当空气由进气孔进入时,活塞才逐渐下

移。移动到最后一位置时,杠杆使微动开关动作。延时时间即为从电磁铁吸引线圈通电时刻起到微动开关动作时为止的这段时间。通过调节螺钉调节进气孔的大小就可调节延时时间。

吸引线圈断电后,依靠复位弹簧的作用而复原。空气经出气孔被迅速排出。此时间继电器有两个延时触点:一个是延时断开的常闭触点,一个是延时闭合的常开触点,此外还有两个瞬动触点。

由上述元件通过硬接线方式构成逻辑控制电路,逻辑关系难以根据生产改变,不能满足现代化对控制的要求,但实际的被控对象有一些要求较低,使用继电逻辑控制简单可靠,仍将长期存在。

## 2. 过程仪表控制

在过程控制中,仪表控制系统仍占据较大比例,这与控制仪表的特点和微机在仪表产品中的大量应用有关。

### 1) 气动控制仪表的特点

结构简单,性能稳定可靠,维护方便,价格便宜,并且具有本质安全防爆性能,特别适用于石油、化工等有爆炸危险的场所。

### 2) 电动控制仪表的特点

可以实现无滞后的远距离传送,同时又具有能源简单、便于和计算机配合的特点。由于采取安全火花防爆措施解决了防爆问题,电动仪表同样也能应用于易燃易爆的危险场所,因此在工业生产过程中得到越来越广泛的应用。

### 3) 模拟式仪表

传输信号通常为连续变化的模拟量,其线路简单,操作方便,价格较低,可分以下几种。基地式仪表:

- 一般与检测装置、显示装置一起组装在一个整体之内
- 同时具有检测、控制与显示的功能
- 结构简单、价格低廉、使用方便
- 通用性差,信号不易传递
- 一般应用于简单控制系统中

### 单元组合式仪表:

按各组成环节的不同功能和使用要求,将整套仪表分为若干单元,各单元能独立实现某种功能,使用时可以按生产工艺的不同要求挑选需要的单元加以组合,其特点是应用灵活,通用性强,使用维护方便,特别适用于中、小企业的过程控制系统。

### 组件组装式仪表:

这是在单元组合式仪表的基础上发展起来的一种成套仪表装置,结构上包括控制机柜和显示操作盘两部分,它的主要特点是功能分离,结构组件化,特别适用于要求组成各种复杂控制和集中显示操作的大、中型企业的过程控制系统。

### 4) 数字式仪表

它以微型计算机为核心,功能完善,性能优越,能解决模拟式仪表难以解决的问题,满足现代生产过程的高质量控制要求。它可实现连续生产过程、断续生产过程的控制,也可以通

过在 PLC 中加入 PID 等控制功能,实现批量控制。

#### 5) 可编程调节器

具有比传统模拟式仪表更为丰富的运算和控制功能,它可以提供多种软件功能模块,由用户根据生产控制的要求通过组态完成各种运算处理和复杂控制,具有很大的应用灵活性,但其软件系统比较复杂。

信号制——指在成套仪表系列中,各个仪表的输入输出间采用何种统一联络信号来进行信号传输的问题。

气动控制仪表: 0.02~0.1MPa

电动控制仪表: 0~10mA(DC) 电流信号作为电动Ⅱ型仪表

4~20mA(DC) 电流信号

1~5V(DC) 电压信号作为电动Ⅲ型仪表

传输方式: 进出控制室的传输信号采用电流信号,控制室内部各仪表间联络信号采用电压信号。

DDZ-Ⅲ型 PID 控制器的特点: 元器件以线性集成电路为主,大大提高了可靠性,降低了功耗;提高了控制器的操作性能;易于控制器功能的扩展;采用安全火花防爆措施,提高了稳定性和可靠性。同时,DDZ-Ⅲ型 PID 控制器中采用的运算放大器是高增益高输入阻抗的,因此具有较高的积分增益和良好的保持特性。

DDZ-Ⅲ型 PID 控制器有两个基型品种:全刻度指示控制器和偏差指示控制器。

### 3. 集散控制系统(DCS)

DCS 是分散控制系统(Distributed Control System)的简称,国内一般习惯称为集散控制系统。它是一个由过程控制级和过程监控级组成的以通信网络为纽带的多级计算机系统,综合了计算机(Computer)、通讯(Communication)、显示(CRT)和控制(Control)等 4C 技术,其基本思想是分散控制、集中操作、分级管理、配置灵活、组态方便。DCS 具有以下特点。

#### 1) 高可靠性

由于 DCS 将系统控制功能分散在各台计算机上实现,系统结构采用容错设计,因此某一台计算机出现的故障不会导致系统其他功能的丧失。此外,由于系统中各台计算机所承担的任务比较单一,可以针对需要实现的功能采用具有特定结构和软件的专用计算机,从而使系统中每台计算机的可靠性也得到提高。

#### 2) 开放性

DCS 采用开放式、标准化、模块化和系列化设计,系统中各台计算机采用局域网方式通信,实现信息传输,当需要改变或扩充系统功能时,可将新增计算机方便地连入系统通信网络或从网络中卸下,几乎不影响系统其他计算机的工作。

#### 3) 灵活性

通过组态软件根据不同的流程应用对象进行软硬件组态,即确定测量与控制信号及相互间连接关系、从控制算法库选择适用的控制规律以及从图形库调用基本图形组成所需的各种监控和报警画面,从而方便地构成所需的控制系统。

## 4) 易于维护

功能单一的小型或微型专用计算机,具有维护简单、方便的特点,当某一局部或某个计算机出现故障时,可以在不影响整个系统运行的情况下在线更换,迅速排除故障。

## 5) 协调性

各工作站之间通过通信网络传送各种数据,整个系统信息共享,协调工作,以完成控制系统的总体功能和优化处理。

## 6) 控制功能齐全

控制算法丰富,集连续控制、顺序控制和批处理控制于一体,可实现串级、前馈、解耦、自适应和预测控制等先进控制,并可方便地加入所需的特殊控制算法。DCS 的构成方式十分灵活,可由专用的管理计算机站、操作员站、工程师站、记录站、现场控制站和数据采集站等组成,也可由通用的服务器、工业控制计算机和可编程控制器构成。处于底层的过程控制级一般由分散的现场控制站、数据采集站等就地实现数据采集和控制,并通过数据通信网络传送到生产监控级计算机。生产监控级对来自过程控制级的数据进行集中操作管理,如各种优化计算、统计报表、故障诊断、显示报警等。随着计算机技术的发展,DCS 可以按照需要与更高性能的计算机设备通过网络连接来实现更高级的集中管理功能,如计划调度、仓储管理、能源管理等。以下是我国市场上流行的几家 DCS 产品:

横河 CS3000	横河公司
霍尼韦尔 TDC3000, TPS	霍尼韦尔公司
FOXBORO I/A	FOXBORO 公司
YAMATAKE	山武-霍尼韦尔公司
浙大中控 JX-300	浙大中控公司
和利时 HS-2000	和利时公司
威盛自动化	威盛自动化公司
FISHER-ROSEMOUNT DELTA-V	FISHER-ROSEMOUNT 公司

#### 4. 可编程控制器(PLC)

PLC 即可编程控制器(Programmable Logic Controller),是指以计算机技术为基础的新型工业控制装置。在 1987 年国际电工委员会(International Electrical Committee)颁布的 PLC 标准草案中对 PLC 作了如下定义:

“PLC 是一种专门为在工业环境下应用而设计的数字运算操作的电子装置。它采用可以编制程序的存储器,用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序运算、计时、计数和算术运算等操作的指令,并能通过数字式或模拟式的输入和输出,控制各种类型的机械或生产过程。PLC 及其有关的外围设备都应该按易于与工业控制系统形成一个整体,易于扩展其功能的原则而设计。”

## 1) PLC 的特点

(1) 可靠性高,抗干扰能力强 PLC 由于采用现代大规模集成电路技术,采用严格的生产工艺制造,内部电路采取了先进的抗干扰技术,具有很高的可靠性。一些使用冗余 CPU 的 PLC 的平均无故障工作时间则更长。从 PLC 的机外电路来说,使用 PLC 构成控制系统,

和同等规模的继电器接触器系统相比,电气接线及开关接点已减少到数百甚至数千分之一,故障也就大大降低。此外,PLC 带有硬件故障自我检测功能,出现故障时可及时发出报警信息。在应用软件中,应用者还可以编入外围器件的故障自诊断程序,使系统中除 PLC 以外的电路及设备也获得故障自诊断保护。

(2) 配套齐全,功能完善,适用性强 PLC 发展到今天,已经形成了大、中、小各种规模的系列化产品。可以用于各种规模的工业控制场合。除了逻辑处理功能以外,现代 PLC 大多具有完善的数据运算能力,可用于各种数字控制领域。近年来 PLC 的功能单元大量涌现,使 PLC 渗透到了位置控制、温度控制、CNC 等各种工业控制中。加上 PLC 通信能力的增强及人机界面技术的发展,使用 PLC 组成各种控制系统变得非常容易。

(3) 易学易用,深受工程技术人员欢迎 PLC 作为通用工业控制计算机,是面向企业的工控设备。它接口容易,编程语言易于为工程技术人员接受。梯形图语言的图形符号与表达方式和继电器电路图相当接近,只用 PLC 的少量开关量逻辑控制指令就可以方便地实现继电器电路的功能。为不熟悉电子电路、不懂计算机原理和汇编语言的人使用计算机从事工业控制打开了方便之门。

(4) 系统的设计、建造工作量小,维护方便,容易改造 PLC 用存储逻辑代替接线逻辑,大大减少了控制设备外部的接线,使控制系统设计及建造的周期大为缩短,同时维护也变得容易起来。更重要的是使同一设备经过改变程序改变生产过程成为可能。这很适合多品种、小批量的生产场合。

(5) 体积小,质量轻,能耗低 以超小型 PLC 为例,新近出产的品种底部尺寸小于 100mm,质量小于 150g,功耗仅数瓦。由于体积小很容易装入机械内部,是实现机电一体化的理想控制设备。

## 2) PLC 的应用领域

目前,PLC 在国内外已广泛应用于钢铁、石油、化工、电力、建材、机械制造、汽车、轻纺、交通运输、环保及文化娱乐等各个行业,使用情况大致可归纳为如下几类。

(1) 开关量的逻辑控制 这是 PLC 最基本、最广泛的应用领域,它取代传统的继电器电路,实现逻辑控制、顺序控制,既可用于单台设备的控制,也可用于多机群控及自动化流水线。如注塑机、印刷机、订书机械、组合机床、磨床、包装生产线、电镀流水线等。

(2) 模拟量控制 在工业生产过程当中,有许多连续变化的量,如温度、压力、流量、液位和速度等都是模拟量。为了使可编程控制器处理模拟量,必须实现模拟量(Analog)和数字量(Digital)之间的 A/D 转换及 D/A 转换。PLC 厂家都生产配套的 A/D 和 D/A 转换模块,使可编程控制器用于模拟量控制。

(3) 运动控制 PLC 可以用于圆周运动或直线运动的控制。从控制机构配置来说,早期直接用于开关量 I/O 模块连接位置传感器和执行机构,现在一般使用专用的运动控制模块。如可驱动步进电机或伺服电机的单轴或多轴位置控制模块。世界上各主要 PLC 厂家的产品几乎都有运动控制功能,广泛用于各种机械、机床、机器人、电梯等场合。

(4) 过程控制 过程控制是指对温度、压力、流量等模拟量的闭环控制。作为工业控制计算机,PLC 能编制各种各样的控制算法程序,完成闭环控制。PID 调节是一般闭环控制系统中用得较多的调节方法。大中型 PLC 都有 PID 模块,目前许多小型 PLC 也具有此功能模块。PID 处理一般是运行专用的 PID 子程序。过程控制在冶金、化工、热处理、锅炉控制

等场合有非常广泛的应用。

(5) 数据处理 现代 PLC 具有数学运算(含矩阵运算、函数运算、逻辑运算)、数据传送、数据转换、排序、查表、位操作等功能,可以完成数据的采集、分析及处理。这些数据可以与存储在存储器中的参考值比较,完成一定的控制操作,也可以利用通信功能传送到别的智能装置,或将它们打印制表。数据处理一般用于大型控制系统,如无人控制的柔性制造系统;也可用于过程控制系统,如造纸、冶金、食品工业中的一些大型控制系统。

(6) 通信及联网 PLC 通信含 PLC 间的通信及 PLC 与其他智能设备间的通信。随着计算机控制的发展,工厂自动化网络发展得很快,各 PLC 厂商都十分重视 PLC 的通信功能,纷纷推出各自的网络系统。新近生产的 PLC 都具有通信接口,通信非常方便。

### 3) PLC 的国内外状况

1968 年美国 GM(通用汽车)公司提出取代继电器控制装置的要求,第二年,美国数字公司研制出了基于集成电路和电子技术的控制装置,首次采用程序化的手段应用于电气控制,这就是世界上公认的第一代可编程控制器。限于当时的元器件条件及计算机发展水平,早期的 PLC 主要由分立元件和中小规模集成电路组成,可以完成简单的逻辑控制及定时、计数功能。20 世纪 70 年代初出现了微处理器。人们很快将其引入可编程控制器,使 PLC 增加了运算、数据传送及处理等功能,完成了真正具有计算机特征的工业控制装置。为了方便熟悉继电器、接触器系统的工程技术人员使用,可编程控制器采用和继电器电路图类似的梯形图作为主要编程语言,并将参加运算及处理的计算机存储元件都以继电器命名。此时的 PLC 为微机技术和继电器常规控制概念相结合的产物。

20 世纪 70 年代中末期,可编程控制器进入实用化发展阶段,计算机技术已全面引入可编程控制器中,使其功能发生了飞跃。更高的运算速度、超小型体积、更可靠的工业抗干扰设计、模拟量运算、PID 功能及极高的性价比奠定了它在现代工业中的地位。20 世纪 80 年代初,可编程控制器在先进工业国家中已获得广泛应用。这个时期可编程控制器发展的特点是大规模、高速度、高性能、产品系列化。这个阶段的另一个特点是世界上生产可编程控制器的国家日益增多,产量日益上升。这标志着可编程控制器已步入成熟阶段。

20 世纪末期,可编程控制器的发展特点是更加适应于现代工业的需要。从控制规模上来说,这个时期发展了大型机和超小型机;从控制能力上来说,诞生了各种各样的特殊功能单元,用于压力、温度、转速、位移等各式各样的控制场合;从产品的配套能力来说,生产了各种人机界面单元、通信单元,使应用可编程控制器的工业控制设备的配套更加容易。目前,可编程控制器在机械制造、石油化工、冶金钢铁、汽车、轻工业等领域的应用都得到了长足的发展。我国市场上流行的有如下几家 PLC 产品:

施耐德公司,包括早期天津仪表厂引进莫迪康公司的产品,目前有 Quantum、Premium、Momentum 等产品;罗克韦尔公司(包括 AB 公司)PLC 产品,目前有 SLC、Micro Logix、Control Logix 等产品;西门子的产品,目前有 SIMATIC S7 - 400/300/200 系列产品;GE 公司的产品;日本欧姆龙、三菱、富士、松下公司产品。

## 5. 微型计算机(PC 和 IPC)

1) PC 技术推动了嵌入式工业控制机技术的发展

当今,市场上每年销售大约 30 亿个嵌入式 CPU,其中绝大部分是 8 位和 16 位的 CPU。

与此同时,嵌入式工控机的市场也在迅速增长。嵌入式工控机是嵌入在工业系统内部,在工业极端环境里能够连续长期稳定可靠工作的工业型计算机。随着 Intel CPU 和 Microsoft DOS/Windows 架构演变成事实上的标准,ISA/PCI 总线加固型工业 PC(IPC)开始向工业领域渗透。IPC 虽然经过了工业化改造(如取消了大母板,采用无源背板、插卡式模板,工业电源,全钢密封机箱微正压散热,温度自动检测和调整等),但其本质上仍然不是工业型 PC,不能从根本上解决大母板水平放置、抗震动冲击能力差、非均匀散热、元器件失效率高、平均修复时间(MTTR)长、维护困难等问题,难以满足工业控制任务的苛刻要求。为了满足市场对工业型计算机的要求,产生了一系列基于 PC 的、与 ISA/PCI 总线标准兼容的嵌入式工控机,其中比较有代表性的是 CompactPCI/PXI 总线、AT96 总线、STD 总线、STD32 总线、PC/104 和 PC/104-Plus 总线嵌入式工业控制机。

## 2) 各种总线的嵌入式工控机向高性能、高可靠方向发展

现在工业控制机已经发生了很大的变化,过去专用的封闭式的架构迅速被 PC 技术的开放式架构所取代,其中最重要的原因之一就是软件的兼容性。工业控制机用户过去和现在都希望使用与所熟悉的桌面 PC 机相同的操作系统和开发工具,这就导致了开放式桌面 PC 在工业环境中的直接应用。然而,桌面 PC 机技术是面向每年 2 000 亿美元的商用机市场的,而不是相对较小的工业计算机市场的,它不具备工业级性能:抗强震动、冲击、高温、潮湿和具有快速修复能力(MTTR 一般小于 5 分钟)。由桌面 PC 技术衍生的 ISA 总线加固型计算机在工业上得到了相当广泛的应用。

### PCI/ISA 总线工控机:

1992 年 6 月,Intel 公司开发了快速的开放式 PCI 总线规范,作为局部和低层次的内部处理器总线。在两年之内几乎每个处理器制造商都将 PCI 作为计算机内部芯片级互连总线,而且自然地发展成了板级互连总线。1995 年 6 月 PCI SIG 正式公布了 PCI 局部总线规范 2.1 版,同时 PICMG 推出了第一个标准 PCI/ISA 无源背板总线标准,这样,加固性 PCI/ISA 总线工控机问世了。目前,PCI/ISA 工控机主要制造商有:Texas Microsystems、Teknor Industrial Computers、Industrial Computer Source、Trenton Terminals、I-Bus 以及台湾的衍扬(AAEON)、研华(ADVANTEC)、磐仪(Arbor)、大众、北京康拓等公司。

### CompactPCI 总线工控机:

CompactPCI 总线工控机仍然是工控机中的贵族产品,为了将 PCI SIG 的 PCI 总线规范地用在工业控制计算机系统,1995 年 11 月 PCI 工业计算机制造者联合会(PICMIG)颁布了 CompactPCI 规范 1.0 版,以后相继推出了 PCI-PCI Bridge 规范、Computer Telephony TDM 规范和 User-defined I/O pin assignment 规范。简言之,CompactPCI(以后简称CPCI)总线 = PCI 总线的电气规范 + 标准针孔连接器(IEC-1076-4-101) + 欧洲卡规范(IEC297/IEEE 1011.1)。

基于 Wintel 架构的 CPCI 总线工控机,是为高可靠性应用而设计的,其低价位(相对 VME 总线)、高可靠、热插拔、热切换、多处理器能力等特点在设计之初就引起了可靠性要求较高的电信和工业自动化工业领域的普遍关注。在电信和工业自动化领域,PCI/ISA 工控机由于可靠性低和可维护性差等原因,应用的数量很小,市场急需满足应用要求的新产品问世。由于 CPCI 总线工控机良好地解决了可靠性和可维护性问题,加上工控机设计者一般都掌握基于 PC 的嵌入式软硬件设计技术,而且基于 Microsoft 的软件和开发工具的价位比



较低。

PC/104 总线工控机：

在 20 世纪 80 年代末, Ampro Computers 发明了 PC/104 总线。1992 年 3 月 PC/104 总线联合会发布了 PC/104 规范 1.0 版, 几经修改, 于 1996 年 6 月公布了 PC/104 规范 3.2 版。PC/104 总线采用自层叠互联方式和  $3.6\text{in} \times 3.8\text{in}$  的小板结构, 抛弃了 PC 机的大母板, 使其更适合在尺寸和空间受到限制的嵌入式环境中使用, 如消费类电子产品: 洗衣机、烘干机、洗碗机、收款机等。近来, 由于紧凑加固性设计的 PC/104 工控机在军工产品中开始采用, 如火箭、导弹和战斗机等。

另外, 有多种功能模板可供选用, 大大减少了硬件设计工作量; 系统中可运行多种操作系统及系统开发的支持软件, 使控制软件开发的难度大幅降低。因此, 在用总线进行控制系统设计的主要硬件设计工作是选择合适的标准化功能模板, 并将这些模板通过总线连接成所需的控制装置。下面分别介绍各种模板的特点。

(1) 数字量 I/O 模板 数字量 I/O 模板用于处理开关信号的输入和输出, 其主要功能是滤波、电平转换、电气隔离和功率驱动等。工业上常用的开关信号有 BCD 码、计数和定时信号、各种开关的状态、指示灯的亮和灭、晶闸管的导通和截止、电动机的启动和停止等等。这些开关信号可通过数字量 I/O 模板经总线与 CPU 模板相连。针对不同的开关信号, 有各种各样的数字量 I/O 模板可供选用。图 0-2 是一种典型的数字量 I/O 模板电路原理。

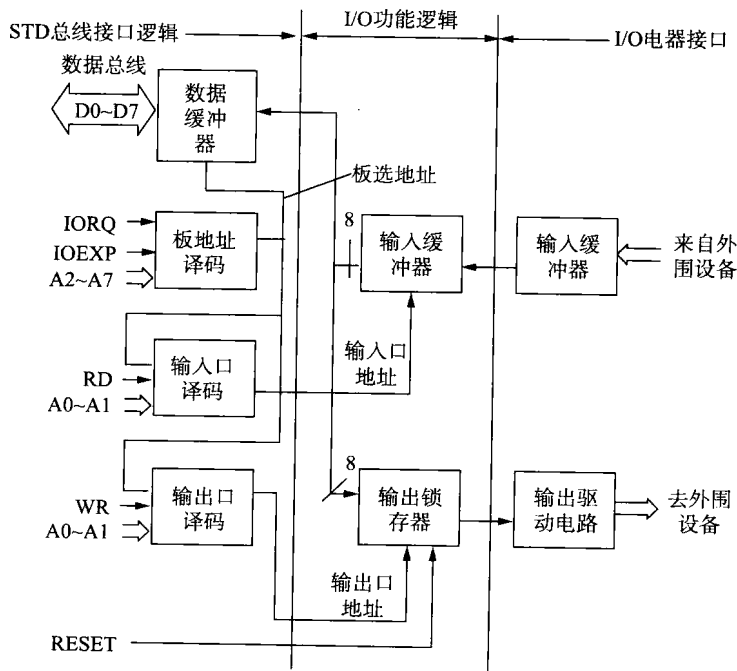


图 0-2 数字量 I/O 模板电路原理框图

(2) 模拟量 I/O 模板 模拟量 I/O 模板用于处理模拟信号的输入和输出, 其主要功能是对微处理机和被控对象之间的模拟信号进行 A/D 和 D/A 转换。总线工控机也有多种多