



目 录

第一章 计算机控制系统概述	(1)
第一节 计算机控制系统简介	(1)
第二节 计算机控制系统的分类	(7)
第三节 计算机控制理论	(12)
第四节 计算机控制系统应用实例	(14)
第五节 计算机控制的发展前景	(16)
第二章 工业控制器简介	(20)
第一节 工业控制机的特点	(20)
第二节 工业控制机分类	(21)
第三节 总线	(22)
第四节 计算机控制系统总线	(24)
第五节 现场总线(Fieldbus)	(29)
第六节 IPC 的基本组成	(40)
第七节 可编程控制器 PLC	(42)
第八节 单片机	(44)
第九节 数字控制器	(45)
第三章 计算机控制系统的硬件设计技术	(48)
第一节 开关量输入	(48)
第二节 开关量输出	(52)
第三节 模拟量输入	(55)
第四节 模拟量输出	(65)
第五节 工业计算机 I/O 模板	(67)
第六节 计算机控制系统中的电源	(70)
第七节 应用实例	(77)
第四章 计算机控制系统的数据处理	(79)
第一节 数字滤波	(79)
第二节 数据处理	(83)
第三节 采样与量化	(89)
第五章 计算机控制的 PID 控制设计方法	(98)
第一节 标准 PID 控制	(98)
第二节 标准 PID 算法的改进	(103)



第三节	数字 PID 参数的选择	(107)
第四节	数字 PID 控制的工程实现	(113)
第五节	S7-300/400 PID 功能模块	(117)
第六章	计算机控制的直接设计方法	(124)
第一节	直接设计方法的基本原理	(124)
第二节	最小拍控制器的设计方法	(125)
第三节	最小拍控制器的工程化改进	(131)
第四节	数字控制器的程序实现	(137)
第七章	计算机控制的复杂设计方法	(145)
第一节	补偿纯迟延的常规控制	(145)
第二节	Smith 预估补偿控制	(147)
第三节	Dahlin 算法	(152)
第四节	先进控制方案	(158)
第八章	触摸屏与组态软件	(170)
第一节	触摸屏	(170)
第二节	组态软件	(175)
第三节	组态软件 MCGS 和 WinCC 介绍	(184)
第九章	计算机控制系统的设计	(194)
第一节	计算机控制系统设计的基本要求和特点	(194)
第二节	计算机控制系统的可靠性与抗干扰技术	(202)
第十章	计算机控制系统应用实例	(211)
第一节	电阻炉温度控制系统	(211)
第二节	随动控制系统	(223)
参考文献		(234)



第一章 计算机控制系统概述

工业控制是计算机的一个重要应用领域,计算机控制正是为了适应这一领域的需要而发展起来的一门专业技术,它主要研究如何将计算机技术、通信技术和自动控制理论应用于工业生产过程,并设计出所需要的计算机控制系统。

控制理论、电子技术、计算机技术、软件技术和网络通信技术的不断飞速发展,为计算机控制的发展和应用提供了必需的技术条件。计算机控制系统可以完成常规控制方法不能完成的控制任务,满足现代工业及其他领域对控制指标和系统可靠性更高更复杂的要求,而且使用户的操作和维护更加方便。

本章主要介绍计算机控制系统的概念、结构和组成,计算机控制系统的分类,计算机控制理论,计算机控制系统的发展前景等基本概念。



第一节 计算机控制系统简介

计算机控制系统(Computer Control System,简称 CCS)是应用计算机参与控制并借助一些辅助部件与被控对象相联系,以获得一定控制目的而构成的系统。这里的计算机通常指数字计算机,可以有各种规模,如从微型到大型的通用或专用计算机。辅助部件主要指输入输出接口、检测装置和执行装置等。与被控对象的联系和部件间的联系,可以是有线方式,如通过电缆的模拟信号或数字信号进行联系;也可以是无无线方式,如用红外线、微波、无线电波、光波等进行联系。被控对象的范围很广,包括各行各业的生产过程、机械装置、交通工具、机器人、实验装置、仪器仪表、家庭生活设施、家用电器和儿童玩具等。控制目的可以是使被控对象的状态或运动过程达到某种要求,也可以是达到某种最优化目标。

一、计算机控制系统的发展

在生产过程中采用数字计算机的思想出现在 20 世纪 50 年代中期,1956 年 3 月,美国 TRW 航空公司与美国德克萨斯州的一个炼油厂合作,进行计算机控制的研究,他们设计出了一个利用计算机控制实现反应器供料最佳分配,根据催化剂活性测量结果来控制热水的流量以及确定最优循环的系统。

这项具有跨时代意义的工作为计算机控制技术的发展奠定了基础。从此,计算机控制技术迅速发展,并被各行各业广泛应用。伴随着计算机技术的飞速发展,计算机控制技术也



紧随其后,迅猛地发展起来,其发展过程大致可以分为四个阶段。

(1)开创时期(1952—1962年)

1952年开始把计算机用于生产过程,实现了自动测量和数据处理,为操作人员提供了对管理有用的信息。1954年用计算机构成了开环控制系统,能够帮助操作人员对一部分被控参量进行调节。1957年采用计算机构成闭环控制系统,最初应用于石油蒸馏过程的调节;一年后,又在—个电站和—个炼油厂采用直接数字控制方式,实现了计算机闭环定值控制,这是计算机在线过程控制系统。1960年,在合成氨和丙烯腈生产过程中完成了计算机监督控制,计算机开始侧重于最优控制,并逐步向分级控制和网络控制方向发展。虽然每隔二、三年计算机应用于生产过程控制就有一些新发展,但在1965年以前基本上处于单项工程试验阶段。

(2)直接数字控制时期(1962—1967年)

由计算机直接控制过程变量,完全取代了原来的模拟控制,称为直接数字控制系统,简称DDC(Direct Digital Control)。

1962年,英国的帝国化学工程公司利用计算机完全代替了原来的模拟控制。该计算机控制系统实现了244个数据采集量和129个阀门控制。

(3)小型计算机时期(1967—1972年)

在试验阶段用于控制的计算机基本上还是模拟常规调节仪表所采用的调节规律,只在控制形式上由连续变为离散,因而调节效果得不到明显改善。直到60年代后期出现了小型机,才使计算机控制得以普及。由于小型机具有体积小、速度快、工作可靠、价格较便宜等特点,所以使得计算机控制系统不再只是大型企业的工程项目,对于较小的工程问题也能利用计算机来控制了。这一时期主要是计算机集中控制,即用—台计算机控制尽可能多的调节回路。在高度集中控制时,若计算机出现故障,将对整个生产产生严重影响。提高可靠性的措施就是采用多机并用的方案,即增加小型机数目。因此由于小型机的出现,过程控制计算机的台数迅速增长。这一时期为实用及普及阶段。

(4)微型计算机时期(1972至今)

随着计算机技术的发展,出现了微型计算机,从而使计算机控制技术进入了崭新的阶段。

这一时期以微型机为主体。在控制结构上,对于简单生产过程或装置,采用单台微型机独立控制,如以单片机、工业控制机、可编程控制器为核心的计算机控制系统;对复杂生产过程或装置则采用集散型控制系统,将计算机分散到生产装置中去,采用多级分布式结构,从下而上分为过程控制级、控制管理级、生产管理级和经营管理级,进行分散控制、集中操作、分级管理、—协调的工作,既能使危险分散,又能实现整体的协调和优化,大大提高了系统的安全可靠性和通用灵活性。所以这一时期也是大量推广和分级控制阶段。



连续控制系统的典型结构如图 1-1 所示,系统中各处的信号均为连续信号。

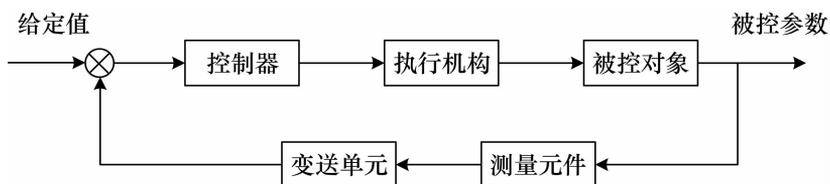


图 1-1 连续控制系统的典型结构

图 1-1 中,给定值与反馈值经过比较器比较产生偏差,控制器对偏差进行调节计算,产生控制信号驱动执行机构,从而使被控参数的值达到期望值。

将连续控制系统中的比较器和控制器的功能用计算机来实现,就组成了一个典型的计算机控制系统,其基本框图如图 1-2 所示。在计算机控制系统中,计算机的输入信号和输出信号都是数字信号,而被控对象的被控参数一般都是模拟量,执行器的输入信号也大多是模拟量。因此,需要将模拟信号转换为数字信号的 A/D 转换器,以及将数字信号转换为模拟信号的 D/A 转换器。

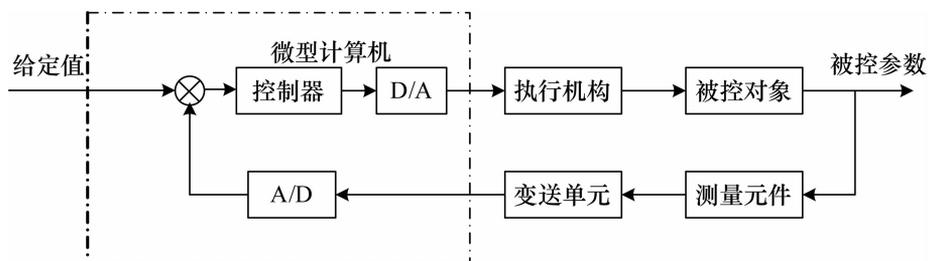


图 1-2 计算机控制系统基本框图

从本质上看,计算机控制系统的工作原理可归纳为以下三个步骤:

1. 实时数据采集:对来自测量元件、变送单元的被控量的瞬时值进行检测和输入。
2. 实时控制决策:对采集到的被控量进行分析和处理,并按已定的控制规律,决定将要采取的控制行为。
3. 实时控制输出:根据控制决策,适时地对执行机构发出控制信号,完成控制任务。

过程中的实时概念,是指信号的输入、计算和输出都要在一定时间(采样间隔)内完成。上述过程的不断重复,使整个系统能够按照一定的品质指标工作,并且对被控参数和设备本身所出现的异常状态及时进行监测并作出迅速处理。

二、计算机控制系统的组成

计算机控制系统的硬件主要包括:计算机主机、过程输入/输出控制通道、操作控制台和常用的外设,应该指出的是,随着计算机网络技术的快速发展,网络设备也成为计算机控制



系统硬件不可缺少的一部分。

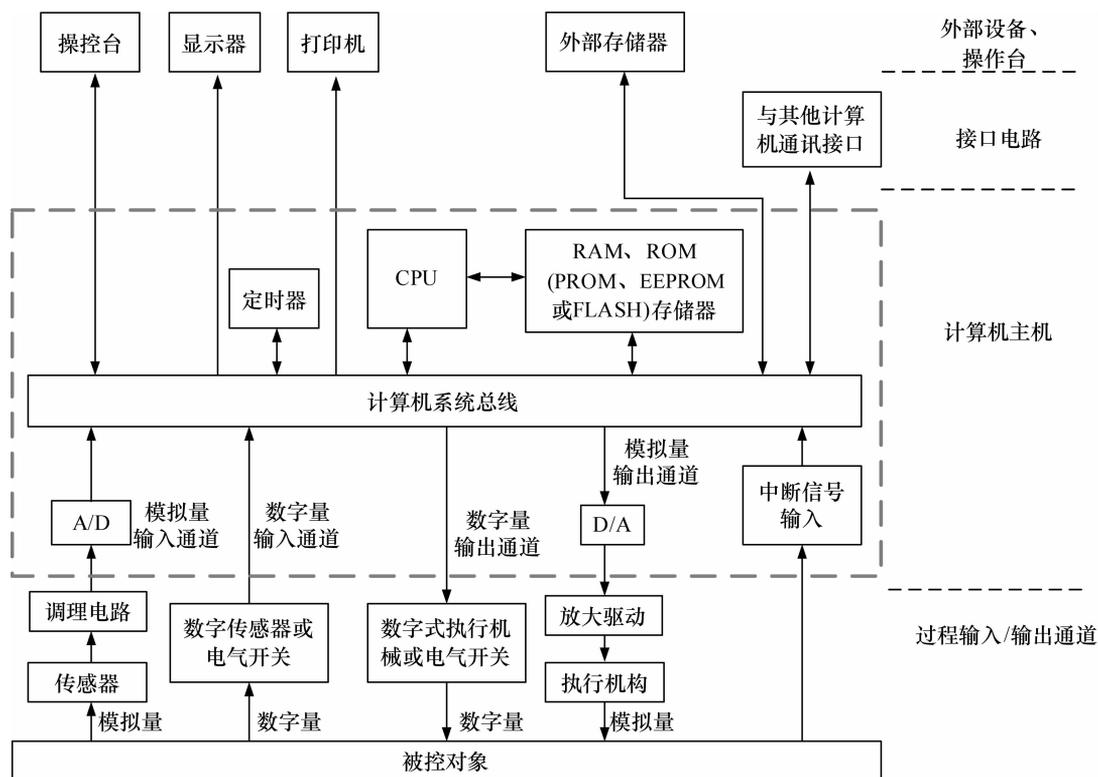


图 1-3 计算机控制的基本组成

(一) 计算机控制系统的硬件部分

1. 主机

组成: 中央处理器(CPU)和内存存储器(RAM 和 ROM)。

作用: 根据输入通道送来的被控对象的状态参数, 进行信息处理、分析、计算, 作出控制决策, 通过输出通道发出控制命令。

2. 接口电路

作用: 计算机主机与外部设备、输入、输出通道进行信息交换时, 通过接口电路的协调工作, 实现信息的传送。

3. 过程输入/输出通道

作用: 主机和被控对象实现信息传送与交换的通道。

输入/输出通道分为模拟量输入通道(AI)、模拟量输出通道(AO)、数字量输入通道(DI)、数字量输出通道(DO)。

4. 外部设备

外部设备按功能可分成三类: 输入设备、输出设备和外存储器。

常用的输入设备有键盘、磁盘驱动器、纸带输入机等, 输入设备主要用来输入程序和



数据。

常用的输出设备有显示器、打印机、绘图仪等。输出设备主要用来把各种信息和数据以曲线、字符、数字等形式提供给操作人员,以便及时了解控制过程。

外存储器有磁盘、磁带等,主要用来存储程序和数据。

5. 操作台

一般操作台有 CRT 显示器或液晶(LCD)显示器,用以显示系统运行的状态;有功能键,以便操作人员输入或修改控制参数和发送命令。

(二) 计算机控制系统的软件部分

计算机控制系统的软件是指控制系统中使用的所有程序的总称。软件通常又可分为系统软件和应用软件。

1. 系统软件

系统软件是给用户使用、维护和管理计算机专门设计的一类程序,它具有一定的通用性。计算机控制系统软件主要由操作系统、语言加工系统、应用软件三部分组成。

(1) 操作系统

操作系统就是对计算机本身进行管理和控制的一种软件。从功能上看,可把操作系统看作是资源的管理系统,实现对处理器、内存、设备以及信息的管理,例如对上述资源的分配、控制、调度和回收等。

(2) 语言加工系统

语言加工系统就是将用户编写的源程序转换成计算机能够执行的机器代码(目的程序)的软件的总称。语言加工系统主要由编辑程序、编译程序、连接、装配程序、调试程序及子程序库组成。

① 编辑程序

建立源程序文件的过程就是由编辑程序完成的。该程序可对一个程序进行插入、增补、删除、修改、移动等编辑加工,并且在磁盘上建立源程序文件。

② 编译程序

将源程序“翻译”成机器代码。

③ 连接、装配程序

使用连接、装配程序可将不同计算机语言编写的程序模块连接起来,成为一个完整的可运行的绝对地址目标程序。

④ 调试程序

调试程序用来检查源程序是否符合程序设计者的设计意图。

⑤ 子程序库

为了用户编程方便,系统软件中都提供了子程序库。了解这些子程序的功能和调用条



件之后,就可方便地在程序中调用它们。

(3) 诊断系统

诊断系统是用于诊断维护计算机的软件。

2. 应用软件

应用软件是用户为了完成特定的任务而编写的各种程序的总称。包括控制程序、数据采集及处理程序、巡回检测程序和数据管理程序等。

(1) 控制程序

主要实现对系统的调节和控制,它根据各种控制算法和被控对象的具体情况来编写,控制程序的主要目标是满足系统的性能指标。

(2) 数据采集及处理程序

包括:数据可靠性检查程序——用来检查是可靠输入数据还是故障数据;

A/D 转换及采样程序;

数字滤波程序——用来滤除干扰造成的错误数据或不宜使用的数据;

线性化处理程序——对检测元件或变送器的非线性特性用软件进行补偿。

(3) 巡回检测程序

包括:数据采集程序——完成数据的采集和处理;

限报警程序——用于在生产中某些量超过限定值时报警;

事故预告程序——根据限定值,检查被控量的变化趋势,若有可能超过限定值,则发出事故预告信号;

画面显示程序——用图、表在显示器上形象地反映生产状况。

(4) 数据管理程序

这部分程序用于生产管理,主要包括:统计报表程序;产品销售、生产调度及库存管理程序;产值利润预测程序等。

三、计算机控制系统的特点

计算机控制系统与连续控制系统相比,具有以下特点:

1. 在连续控制系统中,各处的信号是连续模拟信号。而在计算机控制系统中,除仍有连续模拟信号外,还有离散信号、数字信号等多种信号。因此,计算机控制系统是模拟和数字的混合系统。

2. 在连续控制系统中,控制规律是由模拟电路实现的,控制规律越复杂,所需要的模拟电路往往越多。如果要修改控制规律,一般必须改变原有的电路结构。而在计算机控制系统中,控制规律是由计算机(或数字控制器)通过程序实现的,修改一个控制规律,只需修改程序,一般不对硬件电路进行改动,因此具有很大的灵活性和适应性。

3. 计算机具有丰富的指令系统和很强的逻辑判断功能,能够实现模拟电路不能实现的



复杂控制规律。

4. 在连续控制系统中,给定值与反馈值的比较是连续进行的,控制器对产生的偏差也是连续调节的。而在计算机控制系统中,计算机每隔一定时间间隔,向 A/D 转换器发出启动转换信号,并对连续信号进行采样,经过计算机处理后,产生控制信号通过 D/A 转换输出,将离散信号转换成连续信号,作用于被控对象。因此,计算机控制系统并不是连续控制的,而是离散控制的。

5. 在连续控制系统中,一般是一个控制器控制一个回路。而在计算机控制系统中,由于计算机具有高速的运算处理能力,一个数字控制器经常可以用来用分时控制的方式,同时控制多个回路。

6. 采用计算机控制,如分级计算机控制、集散控制系统、计算机网络等,便于实现控制与管理一体化,使工业企业的自动化程度进一步提高。

第二节 计算机控制系统的分类

一、操作指导控制系统

在操作指导控制系统中,计算机的输出不直接作用于生产对象,属于开环控制结构。计算机根据数学模型、控制算法对检测到的生产过程参数进行处理,计算出各控制量应有的较合适或最优的数值,供操作员参考,这时计算机就起到了操作指导的作用。操作指导控制系统的构成如图 1-4 所示。

操作指导控制系统的主要功能有数据采集、数据处理、给出操作指导信息。

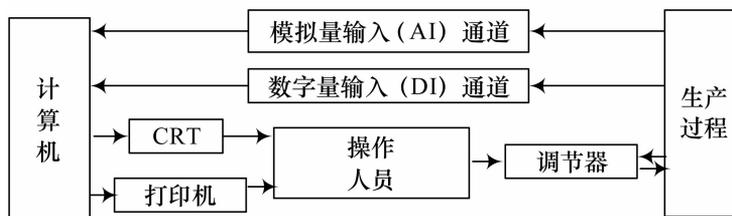


图 1-4 操作指导控制系统的结构图

操作指导控制系统优点是结构简单,控制灵活和安全可靠。缺点是要由人工进行操作,操作速度受到了人为的限制,并且不能同时控制多个回路。该系统常用在计算机控制系统设计与调试阶段,进行数据检测、处理及试验新的数学模型,调试新的控制程序等。

二、直接数字控制系统 DDC(Direct Digital Control)

DDC 系统就是通过检测元件对一个或多个被控参数进行巡回检测,经输入通道送给计



算机,计算机将检测结果与设定值进行比较,再进行控制运算,然后通过输出通道控制执行机构,使系统的被控参数达到预定的要求。

DDC 系统是闭环系统,是计算机在工业生产中最普遍的一种应用形式。DDC 系统的构成如图 1-5 所示。

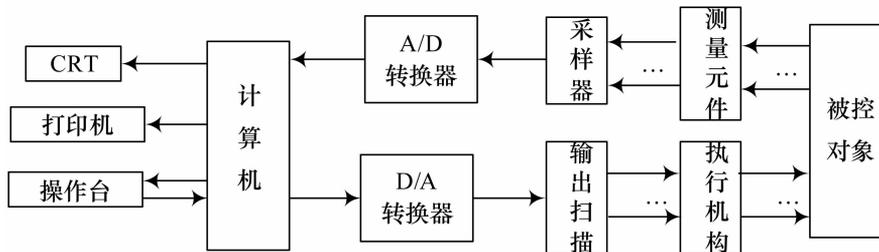


图 1-5 直接数字控制系统

DDC 系统的优点是灵活性大。在常规模拟调节器控制系统中,控制器一经选定,其控制方法也就确定了,要改变控制方法就必须改变硬件,这往往难度较大。而在 DDC 系统中,由于计算机代替了常规模拟调节器,因此要改变控制方法,只要改变程序就可以实现了,无须对硬件线路作任何改动。另外,计算机计算能力强,可以有效地实现较复杂的控制,用来改善控制质量,提高经济效益。当控制回路较多时,采用 DDC 系统比采用常规控制器控制系统要经济合算,因为一台计算机可代替多个模拟调节器。

在 DDC 系统中的计算机参与闭环控制过程,它不仅能取代模拟调节器,实现多回路的 PID(比例、积分、微分)调节,而且,只通过改变程序就能有效地实现较复杂的控制,如前馈控制、非线性控制、自适应控制、最优控制等。

三、监督控制系统 SCC(Supervisory Computer Control)

监督控制系统比 DDC 系统更接近生产变化的实际情况,因为在 DDC 系统中计算机只是代替模拟调节器进行控制,系统不能运行在最佳状态,而 SCC 系统不仅可以进行给定值控制,而且还可以进行顺序控制、最优控制以及自适应控制等,它是操作指导控制系统和 DDC 系统的综合与发展。监督控制系统的结构形式如图 1-6 所示。

监督计算机控制系统有两种不同的结构形式。一种是 SCC+模拟调节器系统;另一种是 SCC+DDC 系统。

(一) SCC+模拟调节器系统

该系统原理图如图 1-6(a)所示。在此系统中,计算机对系统的被控参数进行巡回检测,并按一定的数学模型对生产工况进行分析,计算出被控对象各参数的最优给定值送给模拟调节器。此给定值在模拟调节器中与检测值进行比较,偏差值经模拟调节器计算后输出给执行机构,以达到调节被控参数的目的。当 SCC 计算机出现故障时,可由模拟调节器独立



完成操作。

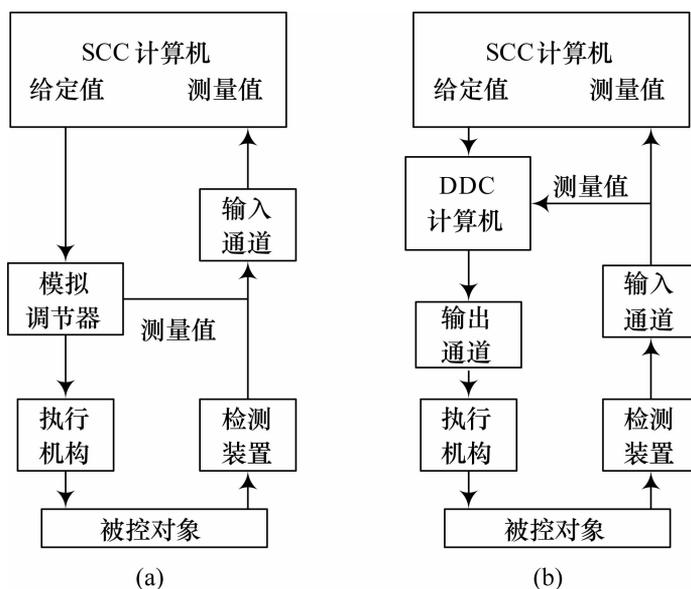


图 1-6 监督计算机控制系统

(a) SCC+模拟调节器控制系统原理图;(b) SCC+DDC 控制系统原理图

(二) SCC+DDC 系统

该系统原理图如图 1-6(b)所示。在此系统中,SCC 与 DDC 组成了二级控制系统,一级为监督控制级 SCC,其作用与 SCC+模拟调节器系统中的 SCC 一样,完成车间或工段等高一级的最优化分析和计算,给出最佳给定值,送给 DDC 级计算机直接控制生产过程。SCC 级计算机与 DDC 级计算机之间通过接口进行信息传送,当 DDC 级计算机出现故障时,可由 SCC 级计算机代替,因此,大大提高了系统的可靠性。

四、分散型控制系统 DCS(Distributed Control System)

DCS 系统是采用积木式结构,以一台主计算机和两台或多台从计算机为基础的一种结构体系,所以也叫主从结构或树形结构,从机绝大部分时间都是并行工作的,只是必要时才与主机通信。DCS 系统的结构如图 1-7 所示。

DCS 系统采用分散控制、集中操作、分级管理、分而自治和综合协调的设计原则,把系统从下到上分为分散过程控制级、集中操作监控级、综合信息管理级,形成分级分布式控制。

该系统代替了原来的中小型计算机集中控制系统,它具有如下特点:

1. 可靠性高

分布式计算机控制系统能实现地理上和功能上分散的控制,使每台计算机的任务相应减少,功能更明确,组成也更简单,因此可靠性提高了。



2. 速度快

分布式计算机控制系统各级并行工作,很多采集和控制功能都分散到各个子环节中,仅在必要时才通过高速数据通道与监督计算机进行信息交换,因此减少了数据集中串行处理的时间,也减少了信息传递的次数,所以处理速度提高了。

3. 结构灵活,易于扩展

分布式计算机控制系统采用的是模块化结构,即把任务相同的部分做成一个模块,系统结构灵活,可大可小,便于操作、组装和调度,容易扩展。

4. 设计、开发、维护简便

由于系统采用模块式结构,且具有自诊断和错误检测系统,所以设计、开发及维护都很方便,并能实现高级复杂规律控制。

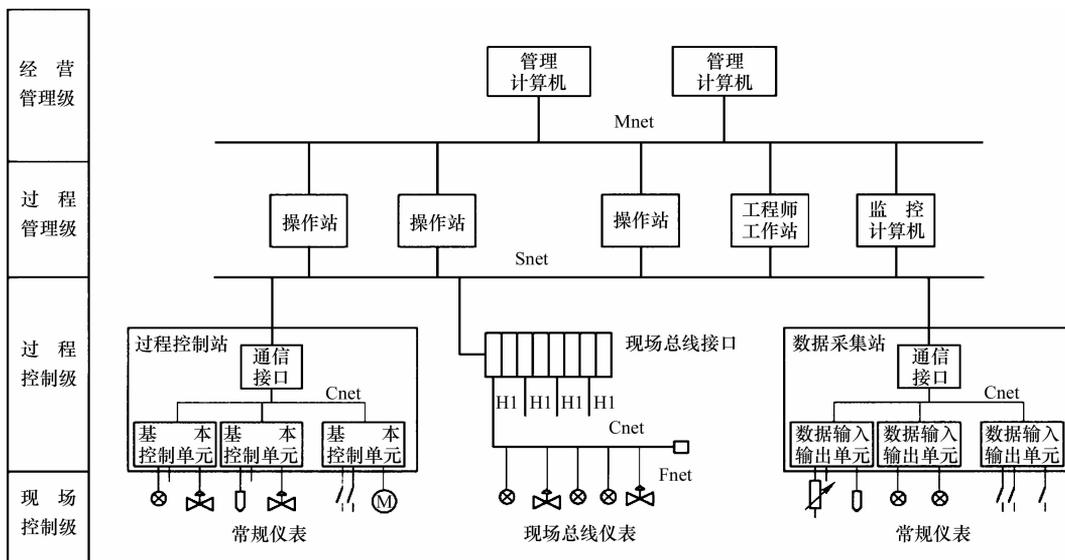


图 1-7 DCS 控制系统结构图

五、现场总线控制系统 FCS(Fieldbus Control System)

DCS 结构模式为:“操作站—控制站—现场仪表”三层结构,系统成本较高,而且各厂商的 DCS 有各自的标准,不能互联。

FCS 结构模式为:“工作站—现场总线智能仪表”二层结构,FCS 用二层结构完成了 DCS 中的三层结构功能,降低了成本,提高了可靠性,国际标准统一后,可实现真正的开放式互连系统结构。系统结构如图 1-8 所示。

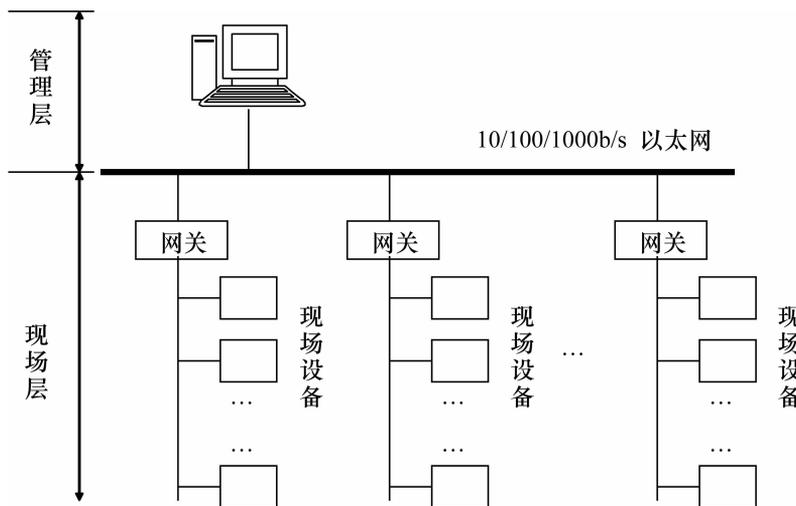


图 1-8 FCS 控制系统结构图

六、分级计算机控制系统

生产过程中既存在控制问题,也存在大量的管理问题。而且,设备一般分布在不同的区域,其中各工序、各设备并行工作,基本相互独立,故整个系统比较复杂。过去,由于计算机价格高,复杂的生产过程控制系统往往采取集中型控制方式,以便充分利用计算机。这种控制方式任务过于集中,一旦计算机出现故障,将会影响全局。使用价格低廉而功能完善的微型计算机,可以实现由若干个微处理器或微型计算机分别承担部分任务而组成的计算机控制系统,称为分级(或分布式)计算机控制系统。该系统有代替集中控制系统的趋势。该系统的特点是将控制任务分散,用多台计算机分别执行不同的任务,既能进行控制又能实现管理。图 1-9 所示的分级计算机控制系统是一个四级系统,各级计算机的任务如下:

1. 装置控制级(DDC 级)。对生产过程或单机直接进行控制,如进行 PID 控制或前馈控制等,使所控制的生产过程在最优的工况下工作。

2. 车间监督级(SCC 级)。根据厂级下达的命令和通过装置控制级获得的生产过程的数据,进行最优化控制。它还担负着车间内各个工段的协调控制并担负着对 DDC 级的监督。

3. 工厂集中控制级。根据上级下达的任务和本厂情况,制订生产计划、安排本厂工作、进行人员调配及各车间的协调,并及时将 SCC 级和 DDC 级的情况向上级反映。

4. 企业经营管理级。制订长期发展规划、生产计划、销售计划,发布命令至各工厂,并接受各工厂发回来的数据,实行全企业的总调度。

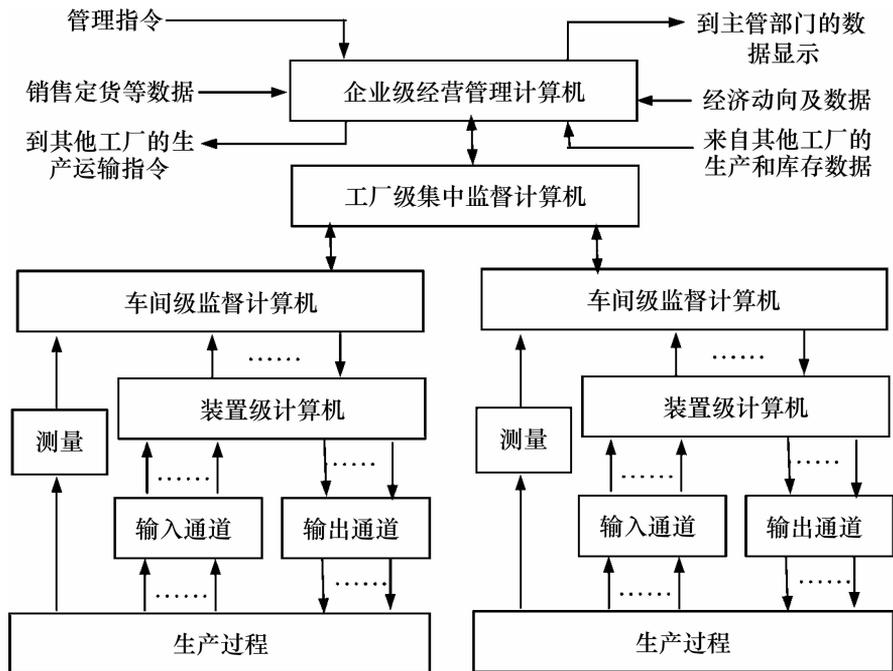


图 1-9 分级计算机控制系统

第三节 计算机控制理论

计算机控制系统与通常的连续控制系统的差别在于,控制规律是由计算机通过软件来实现的。由于计算机具有很强的计算、逻辑判断及存储信息能力,因此它可实现连续控制系统难以实现的复杂的控制规律,如非线性控制、模糊控制、自适应控制和自学习控制等。计算机控制系统除了包含连续信号外,还包含数字信号。由于数字信号所固有的时间上离散、幅值上量化的效应,从而使得计算机控制系统与连续控制系统在本质上有许多不同的性质。当采样周期比较小(时间上的离散效应可忽略)并且计算机转换及运算字长比较长(幅值上的量化效应可忽略)时,可以用连续控制系统的分析和设计方法来研究计算机控制系统的问题。然而当采样周期比较大(选取较大的采样周期可降低对计算机的要求)并且幅值上的量化效应不可忽略时,必须有专门的理论来分析和设计计算机控制系统。

早期人们习惯于用连续控制系统理论来设计计算机控制系统。当采样周期较大时,用连续控制系统理论设计的计算机控制系统,其实际系统的性能往往比设计时所预期的要差。然而,当采用直接离散化的设计方法时,计算机控制系统就可以比相应的连续控制系统达到更好的性能。例如,对于一个具有双重积分的控制对象,如图 1-10(a)所示,若采用连续控制方法,其典型的阶跃动态响应如图 1-10(b)所示。而采用计算机控制系统,并用直接离散化的设计方法,可以获得如图 1-10(c)所示的动态响应。



如图 1-10 所示,在最大控制量相同的情况下,采用数字控制可以获得更满意的动态响应,输出量经过两拍的时间即完全达到稳态,且系统无超调。

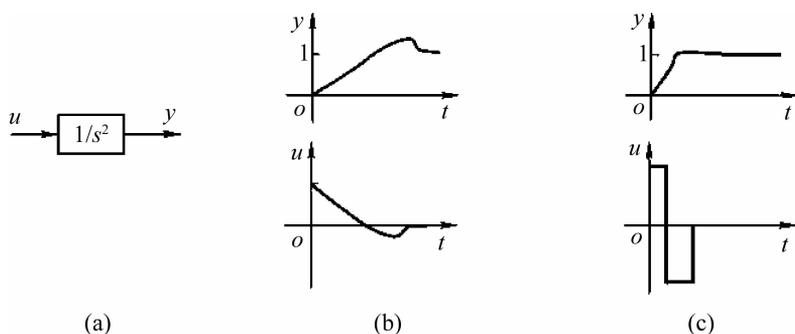


图 1-10 双重积分控制对象的阶跃响应

(a)双重积分控制对象;(b)连续控制;(c)数字控制

但是,对于简单的一阶惯性被控对象,只采用比例控制,若采用连续控制方法,无论比例增益多大,系统总是稳定的。而如果采用计算机控制,则可能在某个比例增益下,系统产生幅度不大的自持振荡。这是应用连续系统的理论甚至离散系统的理论所不能解释的。这是由于数字信号幅值上量化效应所引起的特殊问题。

可见,对于计算机控制系统的分析和设计,不能只是简单地推广连续系统的理论,同时也需要一些专门理论来对它进行研究。计算机控制系统理论主要包括离散控制系统理论、采样系统理论及数字系统控制理论。

离散控制系统理论主要指对离散系统进行分析 and 设计的各种方法的研究,主要包括以下几点:

1. 差分方程及 z 变换理论。利用差分方程、 z 变换及脉冲传递函数等数学工具来分析离散系统的性能和稳定性。

2. 常规设计方法。以传递函数作为数学模型对离散系统进行常规设计的各种方法的研究。如最小拍控制、根轨迹法设计、离散 PID 控制及直接解析设计等。

3. 极点配置设计法。其中包括基于传递函数模型及基于状态空间模型的两极配置设计法。在利用状态空间模型时,它包括按极点配置设计控制规律及设计观测器两方面的内容。

4. 最优设计方法。主要包括线性二次型最优控制及状态的最优估计两方面内容,简称 LQG(Linear Quadratic Gaussian)问题。

5. 系统辨识及自适应控制。

采样系统理论除了包括离散系统的理论外,还包括以下一些内容:

1. 采样理论。主要包括香农(Shannon)采样定理、采样频谱及混叠、采样信号的恢复以及采样系统的结构图分析等。



2. 连续模型及性能指标的离散化。为了使采样系统能变成纯粹的离散系统来进行分析和设计,需将采样系统中的连续部分进行离散化。首先需要将连续环节的模型离散化。由于模型表示主要采用传递函数和状态方程两种形式,因此,连续模型的离散化也主要包括这两个方面。由于实际的控制对象的参数是连续的,性能指标函数也常常以连续的方式给出,因此也需要将连续的性能指标进行离散化。

3. 采样控制系统的仿真。

4. 采样周期的选择。

5. 数字信号整量化效应的研究,如整量化误差、非线性特性的影响等控制器实现中的一些问题,如计算延时、控制算法编程等。

数字系统控制理论主要有:

1. 数字 PID、有限拍设计技术。

2. 离散状态空间分析法,包括线性离散系统的离散状态空间分析法。

第四节 计算机控制系统应用实例

计算机控制系统的应用领域非常广泛,不但是国防、航空航天等高精尖学科必不可少的组成部分,而且在现代化的工、农、医等领域也发挥着非常重要的作用。例如,通信卫星的姿态控制、电气传动装置的控制,以及数控机床、工业机器人、智能温室和医疗设备的控制等。

一、计算机控制在医学领域的应用实例

在计算机逐渐渗入到医学领域的同时,计算机控制技术也随之在医学领域中广泛应用开来。无论是临床医学、中医学还是医学设备上都有计算机控制技术的影子。下面将介绍计算机控制在中药生产中的应用。

根据我国现状,中药生产企业,一般把综合间歇控制系统分成两部分来搞,即生产管理部分(例如:ERP)和实时控制部分。这里讨论的中药提取计算机控制系统指实时控制部分也就是程序间歇控制系统。

1. 设计中药提取计算机控制系统可供选择的设计目标

生产过程远程计算机控制、监视、操作和控制灵活、迅速、准确、一致,缩短每批产品的生产周期,优化控制,提高原料、能源和设备利用率,减少废品率,计算机控制参数管理,计算机生产历程数据存储、查询和报表打印,过程连锁,可靠的安全连锁控制,报警,电子签名。

2. 典型的控制系统方案

典型的中药提取工艺和中药提取生产线:



传统中药工艺:药材→水洗→烘干→切碎→水提取三次→过滤→储存→减压浓缩→喷雾造粒→收膏→低温干燥→再次浓缩→沉淀→分离→减压浓缩→再沉淀;

提取有效成分的现代中药制备工艺:药材→水洗→烘干→切碎→水提取三次→过滤→树脂吸附→水洗涤→洗脱→减压浓缩→醇沉→过滤→减压浓缩→低温干燥或喷雾干燥→成品。

中药提取生产线一般可设计为专用的单生产流程线;专用的多生产流程线;可重组、多生产流程线。生产线常采用两种布局方式,流水线布局和分区式布局。采用流水线布局,工艺过程及设备排布一目了然,而分区域布局较为节省空间。

二、计算机控制技术在农业领域的应用实例

在农业日趋机械化及自动化的今天,自动控制技术在农业中的应用也越来越广泛,利用计算机控制技术管理控制农业生产已成为目前研究的一个重点。农业大棚、智能化养殖场等等都是计算机控制技术在农业生产领域应用的鲜明例子。

智能温室大棚中利用计算机进行远程监控和操作,还可设计自动控制无人管理温室大棚。根据远程传感器搜集来的温度、湿度、光照等模拟信息,经输入通道进行 AD 转换,传入计算机。计算机既可以利用这些数据进行监视,同时又可以利用这些数据对大棚进行控制,进行加湿、加温、增加光照等控制,从而实现温室大棚的自动化智能控制。

三、计算机控制技术在航空航天领域的应用实例

近几年来,从我国载人航天技术成功以来,航空航天技术已经得到越来越多的国人关注,一个又一个瞩目成绩的取得离不开自动化控制技术的发展,而这其中计算机控制技术又占据着重要的位置。航天器姿态控制中,计算机控制技术的使用使姿态控制更加精确,实现了实时检测和实时控制。

四、计算机控制技术在工业领域的应用实例

1. 工业炉控制的典型情况(图 1-11)

为了保证燃料在炉膛内正常燃烧,必须保持燃料和空气的比值恒定。它可以防止空气太多时,过剩空气带走大量热量;也可防止当空气太少时,由于燃料燃烧不完全而产生过多一氧化碳或碳黑。

为了保持所需的炉温,将测得的炉温送入计算机,进而控制燃料和空气阀门的开度。

为了保持炉膛压力恒定,避免在压力过低时从炉墙的缝隙处吸入大量过剩空气,或在压力过高时大量燃料通过缝隙逸出炉外,必须采用压力控制回路。测得的炉膛压力送入计算机,进而控制烟道出口挡板的开度。

为了提高炉子的热效率,还须对炉子排出的废气进行分析,一般是用氧化锆传感器测量



烟气中的微量氧,通过计算而得出其热效率,并用以指导燃烧控制。

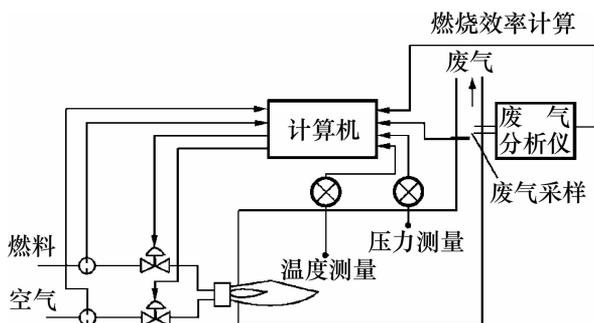


图 1-11 工业炉的典型控制

2. 计算机用作顺序控制的例子

图 1-12 所示是一个原料混合和加热的控制系统,该装置的任务是:

- (1)装入原料 A,使液面达到贮槽的一半;
 - (2)装入原料 B,使液面进一步升到 75%;
 - (3)开始搅拌并加热到 95℃,在此恒定温度上维持 20min;
 - (4)停止搅拌和加热,开动排料泵抽出混合液,一直到液位低于贮槽的 5%为止。
- 上述过程由计算机自动控制,按照一定的顺序重复进行,完成原料混合和加热控制。

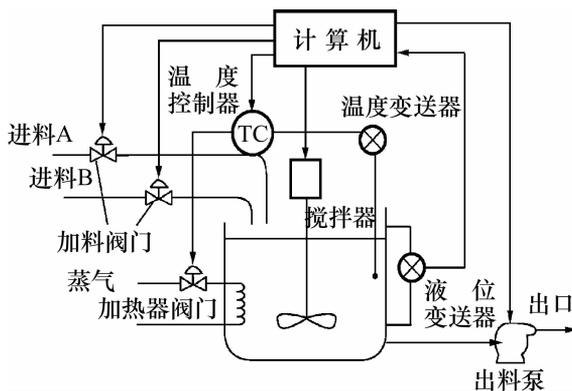


图 1-12 计算机顺序控制

第五节 计算机控制的发展前景

计算机控制系统的未来发展主要从深度和广度两个方面发展。

在深度方面更小型化,超大容量,高速稳定的计算机应用,使复杂控制系统和大系统的控制能够有效得以实现。现代控制和近代控制理论,将会越来越多应用于实际的控制工程中去。在广度方面,现代管理技术同计算机、网络技术的发展,使计算机控制同生产、企业管理融为一体,自动化程度大大提高。



计算机控制系统的发展趋势可以概括为网络化、集成化、智能化和标准化。

一、计算机控制技术的网络化

随着计算机技术和网络技术的迅猛发展,各种层次的计算机网络在控制系统中的应用也越来越广泛,规模越来越大,控制系统的网络化时代渐渐到来。除了先前提到的集散控制系统以外,现场总线控制系统(FCS)也是计算机控制技术网络化下诞生的一个新的控制结构。

将控制系统网络化,使控制作用的实现不再局限于传统意义上的控制系统,而是由各种仪表单元分别独立完成各自的工作,然后再通过网络进行彼此间的信息交换和组织,并相互协作,最终实现预定完成的控制任务。这种近似于模块化的思想,可以使各部分独立工作,不产生干扰,又可以根据需要增减控制网络中的个体,大大增强了系统的实用性。

二、计算机控制技术的集成化

20世纪80年代中期以来,计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System,简称CIMS)是在新的生产组织原理和概念指导下形成的一种新型生产模式,具有生产效率高、生产周期短、产品质量高等一系列极有吸引力的优点。CIMS将成为21世纪占主导地位的新型生产方式,世界上很多国家包括我国都已经把发展CIMS定为本国制造业的发展战略,并制定了许多由政府或工业界支持的计划,用以推动计算机集成制造系统的开发与应用。计算机控制系统的集成化也已经成为当今计算机控制技术的又一发展趋势。

三、计算机控制技术的智能化

所谓智能化就是智能控制。智能控制是一类无需人的干预就能独立驱动智能机器实现其目标的自动控制。对自主机器人的控制就是一例。目前的典型智能控制方法有:模糊控制、专家控制、神经网络控制等。

各种智能控制方法各有优缺点,因此,将各种控制策略相互渗透,相互结合,取长补短,发展成更新型更实用的合成智能控制策略已经成为了计算机控制技术的必然趋势之一。

四、计算机控制技术的标准化

任何技术的发展最终都会趋向于标准化,计算机控制技术也不例外,将计算机控制技术标准化,可大大促进计算机控制技术的发展。目前国际公认的标准尚未建立,但已有很多厂商愿意采用一些通用性较强的产品,相信不久的将来,计算机控制技术必将建立一套国际化通用标准。

习题与思考题

1. 计算机控制系统是由哪几部分组成的?画出方框图并说明各部分的作用。



2. 计算机控制的硬件由几部分组成? 各部分作用是什么?
3. 试说明计算机控制系统的工作原理。
4. 计算机控制系统有哪几种典型形式? 各有什么主要特点?
5. 计算机控制系统与连续控制系统主要区别是什么? 计算机控制系统有哪些优点?
6. 试举出几种计算机控制系统的例子。

相关知识

CIMS 是英文 Computer Integrated Manufacturing Systems 或 contemporary 的缩写, 直译就是计算机/现代集成制造系统。计算机集成制造——CIM 的概念最早是由美国学者哈林顿博士提出的, 其基本出发点是:

- 1) 企业的各种生产经营活动是不可分割的, 要统一考虑;
- 2) 整个生产制造过程实质上是信息的采集、传递和加工处理的过程。

CIMS 的定义: CIMS 是通过计算机硬、软件, 并综合运用现代管理技术、制造技术、信息技术、自动化技术、系统工程技术, 将企业生产全部过程中有关的人、技术、经营管理三要素及其信息与物流有机集成并优化运行的复杂的大系统。

因此, 企业作为一个统一的整体, 必须从系统的观点、全局的观点广泛采用计算机等高新技术, 加速信息的采集、传递和加工处理过程, 提高工作效率和质量, 从而提高企业的总体水平。

制造业的各种生产经营活动, 从人的手工劳动变为采用机械的、自动化的设备, 并进而采用计算机是一个大的飞跃, 而从计算机单机运行到集成运行是更大的一个飞跃。作为制造自动化技术的最新发展、工业自动化的革命性成果, CIMS 代表了当今工厂综合自动化的最高水平, 被誉为是未来的工厂。

从 CIM 的概念的提出到现在已有 20 余年了。20 多年来, CIM 的概念已从美国等发达国家传播到发展中国家, 已从典型的离散型机械制造业扩展到化工、冶金等连续或半连续制造业。

CIM 概念已被越来越多的人所接受, 成为指导工厂自动化的哲理, 有越来越多的工厂按 CIM 哲理, 采用计算机技术实现信息集成, 建成了不同水平的计算机集成制造系统。

CIMS 与计算机综合自动化制造系统是同义词, 后者是 CIMS 在中国早期的另一种叫法, 虽然通俗些, 但因此无法表达集成的内涵, 使用得较少。

CIMS 是自动化程度不同的多个子系统的集成, 如管理信息系统(MIS)、制造资源计划系统(MRP II)、计算机辅助设计系统(CAD)、计算机辅助工艺设计系统(CAPP)、计算机辅助制造系统(CAM)、柔性制造系统(FMS), 以及数控机床(NC, CNC)、机器人等。CIMS 正是在这些自动化系统的基础之上发展起来的, 它根据企业的需求和经济实力, 把各种自动化系统通过计算机实现信息集成和功能集成。当然, 这些子系统也使用了不同类型的计算机, 有



的子系统本身也是集成的,如 MIS 实现了多种管理功能的集成,FMS 实现了加工设备和物料输送设备的集成等等。但这些集成是在较小的局部,而 CIMS 是针对整个工厂企业的集成。CIMS 是面向整个企业,覆盖企业的多种经营活动,包括生产经营管理、工程设计和生产制造各个环节,即从产品报价、接受订单开始,经计划安排、设计、制造直到产品出厂及售后服务等的全过程。

在当前全球经济环境下,CIMS 被赋予了新的含义,即现代集成制造系统(Contemporary Integrated Manufacturing Systems)。将信息技术、现代管理技术和制造技术相结合,并应用于企业全生命周期各个阶段,通过信息集成,过程优化及资源优化,实现物流、信息流、价值流的集成和优化运行,达到人(组织及管理)、经营和技术三要素的集成,以加强企业新产品开发的 T、Q、C、S、E,从而提高企业的市场应变能力和竞争力。



第二章 工业控制器简介

工业控制计算机是将 PC 机的高速处理性能和良好的开放式的总线结构体系引入到控制领域,是工业自动化设备和信息产业基础设备的核心。传统意义上,将用于工业生产过程的自动测量、控制和管理的计算机统称为工业控制计算机,包括计算机和过程输入、输出通道两部分。但随着开放的、模块化的主流工业控制计算机总线技术的不断发展,如 PCI、PC/104、CompactPCI 等,工业控制计算机的内涵已经远不止这些,其应用范围也已经远远超出工业过程控制,如电子眼、监控器、ATM 机、彩票机等设备。因此,工业控制计算机是“应用在国民经济发展和国防建设的各个领域,具有恶劣环境适应能力,能长期稳定工作的加固型计算机”,简称“工控机”。

从系统的观点来看,计算机控制系统的体系结构已从集中式发展到分布式,认识和理解工业控制计算机对计算机控制系统的硬件集成十分重要。因此有必要阐述和介绍计算机控制系统中工业控制计算机、总线技术、嵌入式产品、PLC,这些是计算机控制系统硬件集成技术的重要组成部分。



第一节 工业控制机的特点

工业控制机也称工业计算机 IPC(Industrial Personal Computer,以下简称工控机)。它是自动化和信息产业的核心设备,主要用于工业过程测量、控制、数据采集、DCS 操作员站等方面。与通用的计算机相比有以下一些特殊要求:可靠性高,适应工业应用环境,实时性好,完善的 I/O 通道,较强的中断处理能力,容易使用和维护,通用性和可扩展性好等。

1. 可靠性高

工控机通常用于控制不间断的生产过程,在运行期间不允许停机检修,一旦发生故障将会导致质量事故,甚至生产事故。因此要求工控机具有很高的可靠性,也就是说要有许多提高安全可靠性的措施,如印制电路板合理布线、元器件老化筛选、采用工业电源、密封机箱正压送风、带有“看门狗”系统的支持板等,以确保平均无故障工作时间(MTBF)达到几万小时,同时尽量缩短故障修复时间(MTTR),以达到很高的运行效率。

2. 适应工业应用环境

工业现场环境恶劣,电磁干扰严重,供电系统也常受大负荷设备启停的干扰而波动,其接“地”系统复杂,共模及串模干扰大。因此要求工控机具有很强的环境适应能力,如对温



度/湿度变化范围要求高;要有防尘、防腐蚀、防振动冲击的能力;要具有较好的电磁兼容性和高抗干扰能力以及高共模抑制的能力。

3. 实时性好

工控机对生产过程进行实时控制与监测,因此要求它必须实时地响应控制对象各种参数的变化。当过程参数出现偏差或故障时,工控机能及时响应,并能实时地进行报警和处理。为此工控机有时需配有实时多任务操作系统(RTDOS)。

4. 完善的 I/O 通道

完善的 I/O 通道是指工控机中的模板功能单一,有标准的 I/O 通道,如 CPU 板、存储器板、A/D 转换板、D/A 转换板、开关量 I/O 板等,便于系统故障的诊断与维护,也便于用户的选用,方便冗余配置。

5. 系统扩充性好

对于生产过程控制,需要有大量的输入/输出通道,如模拟量、开关量、脉冲量、频率量等输入/输出模板。具有多种类型的信号调理功能,如隔离型和非隔离型信号调理;各类热电偶,热电阻信号输入调理;电压(V)和电流(mA)信号输入和输出信号的调理等。由于工控机总线是面向 I/O 设计的,有很强的扩展功能,非常便于输入和输出功能模板的系统扩展。

6. 系统开发性好

工控机具有开放性体系结构,软件吸收、兼容了 PC 机的全部功能,可直接运行 PC 机的各种应用软件。硬件采用开放式的总线结构体系,无论是主机还是配套的各种 I/O 模板和通信模块(网卡)都是按照一定的标准生产的,在市场上可以很容易购买到所需的产品。由于开放性可替换性比较好,所以进行计算机控制系统硬件集成比较容易。

7. 软件包功能强

工控软件包要具备人机交互方便、画面丰富、实时性好等性能;具有系统组态和系统生成功能;具有实时及历史的趋势记录与显示功能;具有实时报警及事故追忆等功能。此外尚需具有丰富的控制算法,除了常规 PID(比例、积分、微分)控制算法外,还应具有一些高级控制算法,如模糊控制、神经元网络、优化、自适应、自整定等算法,并具有在线自诊断功能。目前一个优秀的控制软件包往往将连续控制功能与断续控制功能相结合。

第二节 工业控制机分类

工业控制机是由微处理器、存储器、各种输入/输出接口电路以及外部设备等部件组成,各部件间要经常进行大量而高速的信息交换,才能实现总体功能。这就要求部件间建立高速可靠的信息交换信道。总线(BUS)是功能部件之间实现互连的一组公共信号线,用作相



互间信息交换的公共信道。

在工业控制机系统中,利用总线实现芯片内部、印制电路板各部件之间、机箱内各插件板之间、主机与外部设备间或系统与系统之间的连接与通信。依赖于某种标准总线,按工业标准化设计,由主机板以及各种 I/O 模板等组成,用于工业控制等目的的计算机称为总线式工控机。总线式工控机采用标准并行底板总线,其特点是能以简单的硬件支持高速的数据传送和处理,且使系统具有标准化、模块化、组合化的开放式结构,能适应各种不同的控制对象,应用极为广泛。

按照所采用的总线标准类型可将工业控制机分成下列四类:

①PC 总线工控机 有 ISA 总线、VESA 局部总线(VL-BUS)、PCI 总线、CPCI 总线、PC104 总线等几种类型工控机,主机 CPU 类型有 X86、Pentium、双核等。

②STD 总线工控机 它采用 STD 总线,主机 CPU 类型有 80386、80486、Pentium 等,另外与 STD 总线相类似的尚有 STE 总线工控机。

③VME 总线工控机 它采用 VME 总线,主机 CPU 类型以 MOTOROLA 公司的 M68000、M68020 和 M68030 为主。

④多总线工控机 它采用 MultiBus 总线,以 Intel 工控机为代表,主机 CPU 类型有 80386、80486 和 Pentium 等。

广义而言,工控机的类型更广些,主要有 IPC 工控机、PLC 可编程控制器、专用控制机以及其他类型的工控机,如单回路或多回路智能控制器等。

第三节 总线

1. 总线的概念

总线在物理形态上就是一组公用的导线,是各种信号线的集合,许多器件挂接其上传输信号。为了在各模块间实现系统信息交换和信息共享,总线由传输信息的物理介质和一套管理信息传输的通用规则所构成。它是计算机中传送信息代码的公共通信线,在工业控制机总线中,各种信息代码是用电平的高、低来表示的,在任意时刻,只允许一个发送门被打开向总线发送信息,而不允许多个发送门同时向总线发送信息代码,总线是分时复用的。

2. 总线的类别

总线的类别很多。按其传送数据的方式可分为串行总线和并行总线;按应用的场合可分为芯片总线、板内总线、机箱总线、设备互连总线、现场总线及网络总线等;按用途可分为计算机总线、外部设备总线和控制系统总线;按总线的作用域可分为全局总线和本地总线;按标准化程度可分为标准总线和非标准化(专用)总线等。



计算机中的总线可分为内部总线和外部总线。内部总线是计算机内部功能模板之间进行通信的总线,它按功能又可分为数据总线、地址总线、控制总线和电源总线四部分,每种型号的计算机都有自身的内部总线。外部总线是计算机与计算机之间或计算机与其他智能设备之间进行通信的连线,又称为通信总线。常用的外部总线有 IEEE488 并行总线和 RS-232C 串行总线。如果数据在信号线上是以位为单位进行传输,则称为串行总线;如果数据在信号线上是以字节甚至多个字节为单位进行传输,则称为并行总线。

下面介绍计算机内部总线及功能。总线结构示意图如图 2-1 所示。

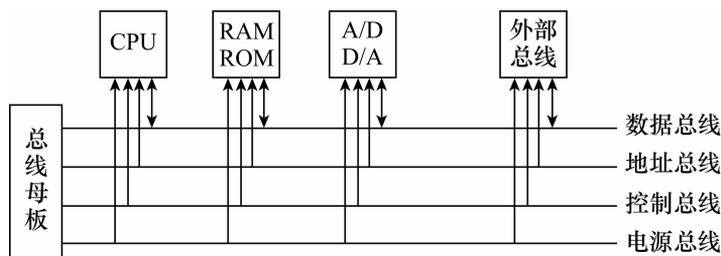


图 2-1 总线结构示意图

(1) 数据总线

数据总线用于 CPU 与其他部件之间传送信息(数据和指令代码)。具有三态(高阻、1 和 0 三种状态)控制功能,而且是双向传输的,即 CPU 通过数据总线可以接收来自其他部件的信息,也可以通过数据总线向其他部件发送信息。数据线的宽度表示了总线数据传输的能力,反映了总线的性能。如 ISA 总线数据线是 16 位,PCI 总线是 32 位或 64 位。

(2) 地址总线

地址总线用来传送 CPU 要访问的存储单元或 I/O 接口地址信号。地址信号一般由 CPU 发往其他芯片,属于单向总线,但也具有三态控制功能。地址总线的数据位数决定了该总线构成的微机系统的寻址能力。例如,ISA 总线有 24 位地址线,可寻址 16MB;PCI 总线有 32 位地址线,可寻址到 4GB。地址总线的宽度视 CPU 所能直接访问的存储空间容量而定。

(3) 控制总线

控制总线用于传输控制命令和状态信息。根据不同的使用条件,控制总线有的为单向,有的为双向;有的为三态,有的为非三态。控制总线用于传送控制信息、时序信息和状态信息,比如,I/O 读写信号、存储器读写信号和中断信号等。控制总线是最能体现总线特色的信号线,它决定总线功能的强弱和适应性。

(4) 电源线与地线

电源线与地线为挂在总线上的模块或设备提供了电能及电流通路。电源的区别在一定程度上也体现了总线标准的特色。例如,ISA 采用 +12V 和 +5V,PCI 采用 +5V 和 +3V。



一般来说,越是先进的总线标准,采用的电压越低。

通常,微机系统总线都做成多个插槽的形式,各插槽相同的引脚通过总线连在一起。总线接口引脚的定义、传输速率的设定、驱动能力的限制、信号电平的规定、时序的安排以及信息格式的约定等,都有统一的标准。外部总线则使用标准的接口插头,其结构和通信规约也是标准的。

第四节 计算机控制系统总线

系统总线是构成完整的计算机系统的内部信息枢纽。由于历史的原因,目前存在多种总线标准,国际上已正式公布或推荐的总线标准主要有 VME 总线、MultiBus 总线、STD 总线、PC 总线及 PCI 总线等。这些总线标准都是在一定的历史背景和应用范围内产生的。早期的工业控制计算机多采用 STD 总线,这是一种专为工业控制设计的一种 8 位总线,具有小模板、开放式结构的特点,但受其 8 位结构以及总线速度的制约,后虽经改进可扩展到 16/32 位,但已渐渐跟不上当前电子技术特别是 CPU 技术的发展,逐步被更通用、软/硬件资源更丰富的 PC 及 PCI 总线所替代。

PC 总线是 IBM PC 总线的简称,PC 总线因 IBM PC 及其兼容机的广泛普及而成为全世界用户承认的一种事实上的标准。随着 CPU 的更新换代,PC 总线也随之扩充,诸如支持 80286CPU 的 ISA 总线、支持 80486 和奔腾系列的 VESA 总线、PCI 总线等。目前,工业控制用的 PC 总线已逐渐演变为一种总线系统的总称,包括 ISA 总线(PC/AT 总线)、PCI 总线和 PC/104 总线等。

描述总线的指标主要有两个:一个是总线宽度,指总线一次操作可以传输的数据位数值,如 IBM PC 总线为 8 位,PCI 总线为 32 位;另一个是总线频率,指总线工作时的最高时钟频率,如 ISA 总线为 8MHz、PCI 总线为 33.3MHz。显然,时钟频率越高,单位时间可传送的数据量越大。

1. STD 总线

STD 总线是 Prolog 和 Mostek 公司联合开发于 1978 年 12 月推出的 8 位工业微机总线,正式标准为 IEEE961 标准。这是一种结构坚固、功能很强的模块化互连方法,以小尺寸模板(插件板)结合大规模集成电路技术,建立了一种以功能模块方法来进行面向控制的系统设计,主要应用于以微处理器为核心的工业测控领域。自从它问世以来,以其优越的性能和强大的生命力在工业控制领域中受到了广泛的欢迎并得到了迅速的发展,并被定名为 IEEE961。STD 总线不仅是国外流行的工业控制机标准总线,也是我国工业控制机的标准总线。实践证明,STD 总线能修改和发展以适应新技术的要求。

STD 总线开始推出时,是针对当时的 8 位微型计算机的,随着技术的发展和应用的需



要,STD 总线经过修订和改进,利用总线周期窃取和复用技术,在原定义的 56 个总线信号之下,实现了 STD 总线支持 20 位地址,寻址 1MB 的直接寻址能力。在保证同现有 I/O 插件板兼容的条件下,提供全 16 位数据的传送能力。STD 总线已由 56 个信号发展到 114、136 个信号。1989 年美国的 EAITECH 公司开发出了 32 位的 STD32,为高档的 STD 微机系统的发展提供了有利的条件。目前,国内工业自动控制领域中比较有影响的工控产品公司如航天部 502 所康拓公司、北京宏拓公司等仍在批量生产 STD 总线系列产品。

STD 总线的特点如下:

①STD 总线具有较好的兼容性,可以向上向下兼容。例如,8 位的 STD 产品可以与新标准的 16 位或 32 位 STD 产品一起工作。

②STD 总线的电路板采用小板结构,因此,它的机械强度大,抗振动、冲击能力强。此外,小板结构成本低,易于被中小用户接受。小板结构还有一个优点是功耗小、散热容易,而且机柜尺寸小。

③STD 总线采取一整套高可靠性措施,这是因为 STD 开始就是作为一种工业控制总线而推出的,使该总线构成的工业控制机可以长期可靠地工作于恶劣环境之下。

④STD 总线结构简单,并能支持多微处理器系统,是一种规模小且性能好的系统总线。

2. ISA 总线

ISA 总线是在 PC 总线的基础上,由 Intel 公司、IEEE 和 EISA 集团共同推出的一种总线标准。因为 PC 总线是 8 位数据总线,而当时 16 位数据总线的 IBM AT 机已经推出,必须有一种新的总线标准,以便可以制造和 16 位个人计算机的总线匹配的外部接口卡。这种总线标准在 1984 年后就慢慢形成,1987 年 IEEE 正式制定了 ISA 总线标准。前面已经提到,目前在微型计算机中使用的系统总线有 ISA 总线和 PCI 总线。实际上,PCI 总线本身就是局部总线,ISA 总线在现代的微机中已经不是系统总线了,只是用来连接一些采用 ISA 总线标准的外部设备。虽然,ISA 总线已经被 PCI 总线所取代,但是 ISA 总线代表着一个时代,在主板中依然保留着 ISA 总线的特性,也是学习和使用系统总线的基础。

16 位的 ISA 总线规范要求与 8 位 PC 向下兼容。总线插槽由两部分组成:8 位基本插槽和 16 位扩充插槽,如图 2-2 所示。8 位基本插槽有 62 芯,16 位扩充插槽有 36 芯。基本插槽可以独立使用,但只能有 8 位的数据宽度和 20 位的地址。如果需要 16 位的数据或者需要 20 位以上的地址,则需要采用 8 位基本地址加 16 位扩充的方式,但是 16 位扩充插槽不能独立工作。16 位扩充部分除了增加数据宽度和地址宽度以外,还扩充了中断和 DMA 请求信号。ISA 共有 98 根信号线,数据线宽度为 16 位,地址线宽度为 24 位,总线时钟为 8MHz,中断源为边沿触发,尤其是硬件配置技术性强,欠灵活。ISA 总线主要用于基于 Intel 处理器 80×86(或兼容产品)的 PC 机,它的信号组与 Intel 系列处理器和控制器的信号组非常相似。

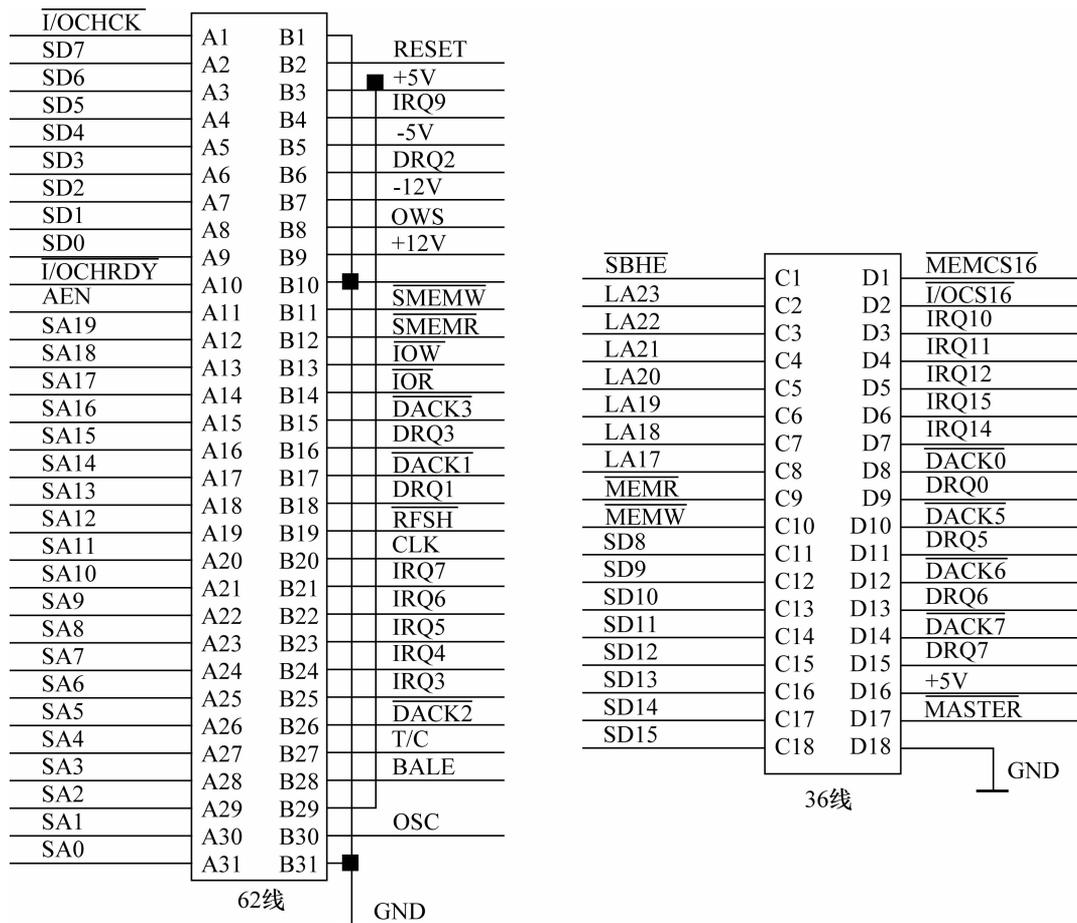


图 2-2 ISA 总线引脚图

3. PCI 总线

PCI 是 Peripheral Component Interconnect(外部设备部件互连)的缩写。1991 年下半年, Intel 公司首先提出了 PCI 的概念, 并联合 IBM、Compaq、AST、HP、DEC 等 100 多家公司成立了 PCI 集团, 其英文全称为: Peripheral Component Interconnect Special Interest Group, 简称 PCISIG。1992 年 6 月推出了 PCI1.0 版, 1995 年 6 月又推出了支持 64 位数据通路, 66MHz 工作频率的 PCI2.1 版。PCI 是作为一种先进的局部总线提出来的, 在现代微型计算机的多总线结构中, 已成为连接外部设备的主要总线。或者说, 在现代微型计算机系统中, 作为用户来说直接接触的不是系统总线, 而是类似 PCI 这样的局部总线。在有些资料中, 也把这样的总线称为系统总线。目前, 在工控机上已普遍应用 PCI 总线。和 ISA 总线相比, PCI 总线具有以下这些特点。

(1) 高性能

PCI 总线宽度为 32 位, 并可升级为 64 位, 所以是一种 32 位/64 位总线; 而 ISA 总线只是 8 位/16 位总线; PCI 总线工作频率为 33MHz, 因而总线最大传输率为 $32 \times 33 / 8 \text{ Mbit/s} =$



132Mbit/s,升级为 64 位后可达 264Mbit/s,可以满足一般的多媒体接口和网络接口对于传输速率的要求。

PCI 标准支持一种称为线性突发的数据传送模式,可快速地连续传输数据。这种突发模式可以由一个地址开始读写大量数据,每次只需将地址自动加一,便可接收数据流内下一个字节的数据,而不需要重新进行寻址操作。

(2)通用性好

PCI 总线是一种不依附于某个具体 CPU 的局部总线,不会因为 CPU 的更新换代而失效。一组 PCI 总线可以连接 10 台外部设备。如果需要,还可以通过多 PCI 总线,连接更多的设备。PCI 总线也支持总线主控技术,允许具有处理器能力的设备在需要时取得总线控制权,以加速数据传送。

(3)低成本

一般印象中 PCI 的接口设备比 ISA 的同类设备贵。但是,成本是要相对性能而言的。PCI 总线设计时尽量考虑降低成本,通过使用专用的 PCI 组件,提高电路和器件的集成度,减少模块之间的连线,减少印制电路板的大小,降低制造成本。

PCI 部件的部分引脚采用了分时复用技术。具体来说,地址总线和数据总线是复用引脚,这样就减少了引脚的数量,优化了设计,也有利于降低成本。

(4)使用方便

PCI 总线独立于 CPU 的结构,形成一种独特的中间缓冲器的设计,将 CPU 系统与外部设备分开,外部设备的接入不会降低系统的性能和可靠性。通过缓冲器的设计,用户可以随意增添多种外部设备,也不用担心 CPU 的速度和外部设备速度不一致的时候引起的性能下降。

PCI 总线能够自动配置参数,支持 PCI 总线扩展板和部件。PCI 部件内置有配置暂存器,系统启动时会利用常驻软件自动设定配置。安装扩展卡时,就不需要工人调整跨接线或者 DIP 开关。

PCI 总线的系统结构示意图如图 2-3 所示。

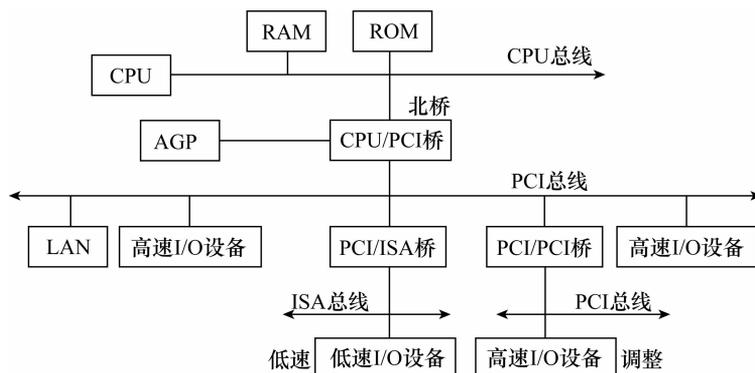


图 2-3 PCI 总线的系统结构示意图



图 2-3 不仅表示了 PCI 总线和其他总线的关系,也显示了 PCI 总线本身也可以是一种多级总线的结构,以便连接更多的高速外部设备。

PCI 总线的引脚数是 120 个。包括必选信号引脚 49 个,备选信号引脚 51 个,还有电源、地址和保留引脚 20 个。

必选信号是 32 位 PCI 总线所必须具有的信号线,备选的信号线主要是扩展到 64 位总线后所必需的。图 2-4 所示是 PCI 总线的信号线分布的示意图。

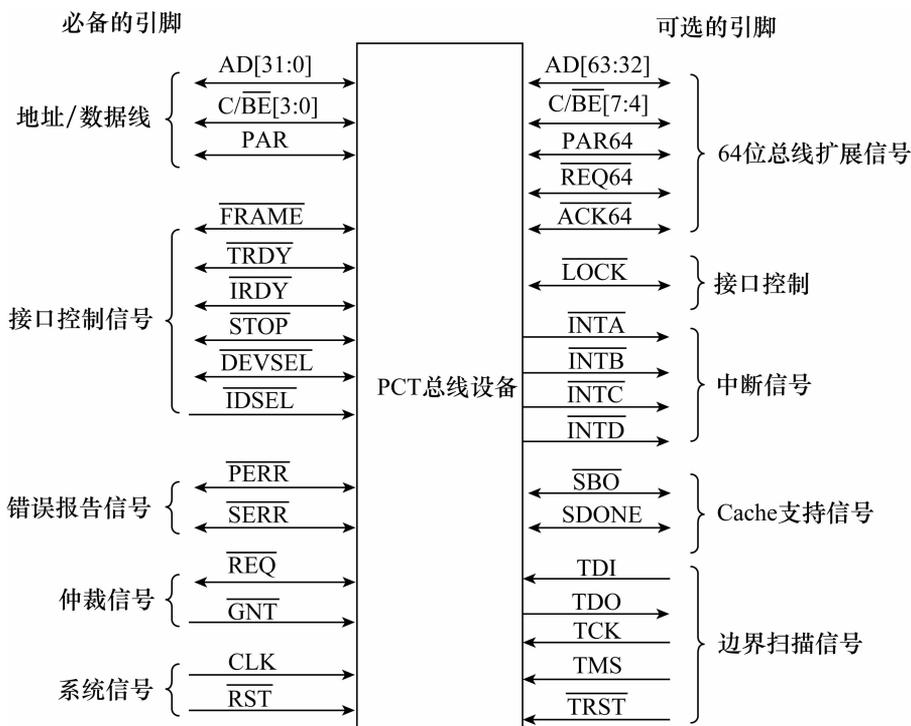


图 2-4 PCI 总线的信号线分布示意图

4. PC/104 总线

传统的工控机采用 48.26cm(19 英寸)的工控机机箱,因尺寸太大不能够满足嵌入式的需要,但又不想摆脱 PC 机的标准硬件软件和体系结构,这样,美国 AMPRO 公司率先推出 PC/104 的嵌入式标准。1992 年初,几家嵌入式厂商成立了 PC/104 协会,并把 PC/104 模块定为 IEEE P996.1 国际标准。

现在,国际上 140 多家公司开发了几百种 PC/104 模块。

PC/104 总线是超小型 PC 微机所用的总线标准。这种超小型 PC 微机体积小,结构紧凑,在各种工业控制和通信控制中很受欢迎。它可以嵌入到对体积和功耗要求都很高的产品中,例如工业测控、医疗仪器、军用电子设备、通信设备、商用终端和机器人等,因此 PC/104 总线又称为嵌入式 PC 机。这种微机有两个总线插头,其中 P1 有 64 个引脚,P2 有 40 个引脚,共有 104 个引脚,故称之为 PC/104 总线。总线和整机除小型化的结构外,在硬件和



软件上与 PC 总线完全兼容,实质上是为了更好地满足工业控制及小型化设备的要求而开发出来的 PC/XT/AT、386、486、Pentium 的小型化机型。由于众多厂商为个人计算机 PC 提供各种兼容的 CPU、套件以及相关设备,使 PC 体系结构成为通用的平台。PC 体系结构已经成为熟知的“工业标准体系结构”。因此,将这种体系结构用于嵌入式应用就意味着节约大量的开发时间和经费的开销,降低成本,易于维护和技术支持。这就使嵌入式计算机应运而生,它特别适合在机电设备、车载系统、数控机床、机器人及其他机电一体化系统产品中使用。

PC/104 总线工控机的特点:

①使用超小型的模块,包括 CPU 模块在内,全部模块都按着 PC/104 标准设计。标准尺寸为 $90\text{mm}\times 96\text{mm}$,采用挂接式、模块化结构;采用自堆总线结构,取消了底板及插槽,利用模板的堆装总线插头座,把各模板堆叠连接在一起。整个系统结构紧凑,体积小,抗干扰性强,可靠性高。

②总线驱动电流小(6mA),低功耗($1\sim 2\text{W}$)。为适应小型化的要求,各模板采用 VLSI 器件、门阵列、ASCI 专用集成芯片及大容量的 SDD 固态电子盘。

③PC/104 总线与通用 PC 系列微机兼容。PC/104 总线所构成的微机系统的软件都是与 PC 机兼容的。目前,具有奔腾 133MHz 的 CPU 卡,卡上有两个串口,两个可以都是 RS-232 标准串行口,也可以选择其中一个为 485 串行口;还有并行口、键盘接口。目前,Chip Disk 的 Flash ROM 组成的电子盘可达到 $4\sim 288\text{MB}$ 。其他配套模块有模数转换和定时器卡、输入/输出卡、软盘和硬盘、显示(VGA)驱动卡、平板显示器、LCD 驱动卡、电子盘卡等。

第五节 现场总线(Fieldbus)

现场总线技术是现场控制技术与现代电子、计算机、通信技术相结合的产物,它的发展与应用引起了工业控制领域一场深刻的变革。现场总线(Fieldbus)是在过程自动化或制造自动化中,实现智能化设备(例如变送器、执行器、控制器)与高层设备(例如主机、网关、人机接口设备)之间互连的、全数字、串行、双向的通信系统。通过它可以实现跨网络的分布式控制。

国际电工学会 IEC61158 标准对现场总线的定义是:现场总线是一种用于底层工业控制和测量设备之间连接的数字式、串行、多点通信的数据总线。由于现场总线是用于现场测控目的的网络系统,故也称之为现场总线控制系统。在一般的情况下,现场总线和现场总线控制系统是不区分的。

在现场装置之间进行完全透明和高效率的通信,以及保证与上层网络之间进行正确有效的沟通是现场总线通信协议最基本的要求。这些基本要求综合起来包括以下几方面:



①通信介质的多样性。支持多种通信介质,以满足不同场合与环境的要求。

②信息传递的实时性、确定性和完整性。这是工业控制系统中的通信和一般通信的最大区别。现场总线系统中的通信不允许有较大的延时或不确定性,它要求系统对控制过程中出现的任何情况都能作出快速的响应,所以它对系统实时性的要求非常苛刻;另外它的通信必须要在保证质量的情况下有确定的联系对象。

③可靠性。应具备各种抗干扰的能力和完善的自诊断及纠错能力。

④互操作性。不同厂商制造的总线设备可在同一个总线系统中互相通信和操作。

⑤开放性。基本符合 OSI 参考模型,形成一个开放系统。

具有七层结构的 OSI 参考模型是一个通用参考模型,它有着广泛的适应性。但是,由于复杂的层间操作与转换、高成本的网络接口和过大的时间开销,使得完全按照 OSI 参考模型设计的现场总线并不适合工业现场的需求。为了满足工业现场的实时性要求和降低成本,现场总线常采用简化的 OSI 参考模型。

针对工业现场的应用环境,现场总线对 OSI 参考模型进行了优化,将其中通用的、非时间关键性的应用层次从模型中省略,只保留物理层、数据链路层和应用层,同时考虑到现场装置的控制功能和具体应用又增加了用户层。需要明确指出的是,在现场总线通信协议模型中,虽然没有了 OSI 的 3~6 层,但这并不是说完全抛弃了这些层的功能,而是根据实际需要把一些有用的功能上移到了应用层,把另一些有用的功能下移到了数据链路层,这种简化是在形式上和实际内容上进行的。IEC61158 现场总线网络协议模型如图 2-5 所示。



图 2-5 IEC61158 现场总线通信协议模型

其各层的功能及定义如下:

第一层:物理层(Physical Layer),该层提供机械、电气的功能和规程特性。它定义了网络信道上的信号连接方式、传输介质、传输速率,每条线路上连接仪表及装置的数量、最大传输距离、电源等,以便在数据链路实体之间建立、维护和拆除物理连接。物理层通过物理连接在数据链路实体之间提供透明的位流传输。当处于数据发送状态时,该层接收数据链路