

第1章 绪 论

计算机控制是自动控制理论与计算机技术相结合而产生的一门新兴学科，计算机控制技术是随着计算机技术的发展而发展起来的。自动控制技术在许多工业领域获得了广泛的应用；但是由于生产工艺日益复杂，控制品质的要求越来越高，简单的控制理论有时无法解决复杂的控制问题。计算机的应用促进了控制理论的发展，先进的控制理论和计算机技术相结合，推动计算机控制技术不断前进。计算机控制系统是以微型计算机作为控制器的过程自动控制系统。计算机控制系统不但实现了被控参数的数字采集、数字显示和数字记录等功能，而且其中信息的分析、控制量的计算以及系统的管理等均实现了软件化。

计算机一问世就与控制学科结下了不解之缘。1946年在美国宾夕法尼亚大学诞生的人类第一台电子计算机主要用于军事领域的科学计算，由人根据计算结果对相应的军事装备和技术等进行干预。这种工作方式在某种程度上和现代计算机离线控制工作方式相似。计算机技术的发展，为控制系统的发展开辟了新的途径，控制理论与计算机结合以后，就出现了计算机控制系统。在国外，20世纪50年代初期化工领域出现了计算机自动测量与数据处理方法，中期出现了计算机开环控制系统，后期美国一个炼油厂建起了第一台生产过程闭环计算机控制装置。60年代初期，美国的一个氨厂用Rw-300计算机实现了计算机监控功能，英国的一个碱厂建成了一个直接数字控制系统（DDC）。60年代中后期，计算机控制进入普及阶段。小型计算机的出现，使控制系统可靠性不断提高，成本逐年下降，计算机在生产控制中的应用得到很大的发展，但这个阶段仍然主要是集中式的计算机控制系统。在高度集中控制的情况下，如果计算机出现故障，将给整个生产过程带来严重影响。70年代以来，针对一些工业的高度连续化、大型化的特点，加上高可靠性、高性能、可远程通信、价格便宜、使用方便灵活的微型计算机（简称微机）的出现，集散式微机控制系统得以发展，从而可以使用系统工程的方法实现最优控制和综合管理。70年代后期掀起的单片机热（单片机即单片微型计算机的简称），为微机控制技术的应用注入了新的活力。单片机体积小、功能多、性能稳定可靠、环境适用性好、价格低廉。20多年的实践表明，以单片机为主机的微机控制系统，在实现面向生产过程的控制功能方面可以取得和其他类型计算机做主机时的同等控制效果，而以软件代替硬件方面则有更强的优势和功效。由此，计算机控制系统产生了新的设计思想和方法。

近年来，随着计算机技术、自动控制技术、检测与传感器技术、网络与通信技术、微电子技术、CRT显示技术、现场总线智能仪表、软件技术及自控理论的高速发展，计算机控制的技术水平大大提高，计算机控制系统的应用突飞猛进。利用计算机控制技术，人们对现场的各种设备进行远程监控，完成常规控制技术无法完成的任务；因此微型计算机控制已经被广泛地应用于军事、农业、工业、航空航天以及日常生活的各个领域。可以说，21世纪是计算机和控制技术获得重大发展的时代，大到载人航天飞船的研制成功，小到家用电器，甚至计算机控制的家庭主妇机器人，到处可见计算机控制系统的应用。

1.1 计算机控制系统概述

1.1.1 微机控制系统的特征

从模拟控制系统过渡到微机控制系统，控制器结构、控制器中的信号形式、系统的过程通道内容、控制量的产生方法、控制系统的组成观念等均发生了重大变化。微机控制系统在系统结构方面有自己独特的内容，在功能配置方面呈现出模拟控制系统无可比拟的优势，在工作过程与方式等方面存在其必须遵循的规则。因此，通过了解微机控制系统的特征可以建立起微机控制系统的基本概念。

1. 结构特征

控制器和执行机构是任何控制系统都不可缺少的内容。执行机构是系统用来操作、改变、管理被控对象的工具，而控制器为执行机构提供执行方式和执行量值等。

模拟控制系统的控制器通过以运算放大器为基本运算电路的模拟电路计算执行量值，决策执行方式。通常一套决策方案、一种计算方法对应一组专用生成电路，改变决策方案和计算方法就必须改变生成电路。计算机控制系统用计算机作为控制器，执行量值的计算、执行方式的决策等都是通过计算机程序来实现的。将控制器用微型计算机来代替，便构成了微机控制系统，即其结构特征主要表现为系统控制器由微型计算机担当，系统参数分析和控制量值计算等均由微机完成。

微机控制系统的抽象结构和作用在本质上与其他控制系统没有什么区别，同样存在微机开环控制系统、微机闭环控制系统等不同类型的微机控制系统。模拟系统控制器中的信号形式是连续量，而微机作为控制器只能处理离散量。因此，当微机要给模拟执行机构提供控制量时，要将离散量或数字量转换为连续量或模拟量，即要进行 D/A（数字/模拟）转换；为了将被控制的模拟量变为计算机能接受，并可进行处理的数字信号形式，在闭环反馈通道上要设置 A/D（模拟/数字）转换环节。以微机为控制器的闭环控制系统抽象结构如图 1.1 所示。

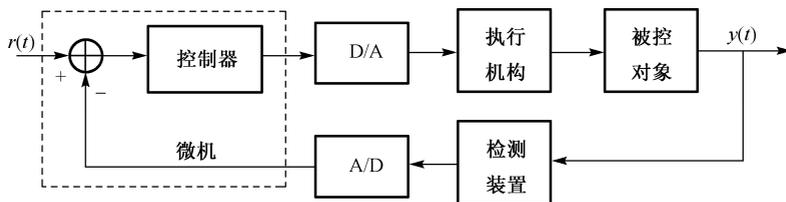


图 1.1 微机闭环控制系统抽象结构

按微机控制系统中信息的传输方向，系统包含三条基本信息通道：第一条是含 D/A 转换环节的通道，称之为后向通道或输出过程通道；第二条是含有 A/D 转换环节的通道，称之为前向通道或输入过程通道；第三条是人机对话或交互通道。微机通过输出过程通道向被控对象或工业现场提供控制量，通过输入过程通道获取被控对象或工业现场信息。系统操作者通过人机交互通道向微机控制系统发布相关命令，提供操作参数，修改设置内容等；微机则可通过人机交互通道向系统操作者显示相关参数、系统工作状态、对象控制效果等。

当微机控制系统没有输入过程通道时，称之为微机开环控制系统。在微机开环控制系统中，微机的输出只随给定值而变化，不受被控参数影响，通过调整给定值达到调整被控参数的目的。但当被控对象出现扰动时，微机无法自动获得扰动信息，因而无法消除扰动，导致控制性能较差。当微机控制系统仅有输入过程通道时，称之为微机数据采集系统。在微机数据采集系统中，微机的作用是对采集来的数据进行处理、归类、分析、储存、显示与打印等，而微机的输出与系统输入过程通道输出的参数有关，但不影响或改变生产过程的参数，所以这样的系统可认为是开环系统，但不是开环控制系统。

2. 功能特征

与模拟控制系统相比，微机控制系统的重要功能特征表现为以下几方面。

(1) 以软件代替硬件

以软件代替硬件的功能主要体现在两方面：一方面是改变控制对象，微机及其相应的过程通道硬件只需少量的变化，甚至不需任何变化，而面向新对象重新设计一套新控制软件便可；另一方面是可以软件来代替逻辑部件的功能实现，从而降低系统成本，减小设备体积。

(2) 数据保存

现代微机已具备多种数据保存方式，例如，脱机保存方式有软盘、U 盘、移动硬盘、磁带、光盘、纸质打印、纸质绘图等，联机保存方式有固定硬盘、EEPROM、RAM 休眠等，其工作特点是系统断电不会丢失数据。正是由于有了这些数据保护措施，使得人们在研制微机控制系统中，可以从容对付突发问题，在分析解决问题时可以大量减少盲目性，从而提高了系统的研发效率，缩短研发周期。

(3) 状态、数据显示

微机具有强大的显示功能。显示设备类型有 CRT 显示器、LED 数码管、LED 矩阵块、LCD 显示器、LCD 模块、LCD 数码管、打印机、绘图仪等；显示模式包括数字、字母、符号、图形、图像、虚拟设备面板等；显示方式有静态、动态、二维、三维等；显示内容涵盖给定值、当前值、历史值、修改值、状态值、系统工作波形、系统工作轨迹仿真图等。人们通过显示内容可以及时了解系统的工作状态、被控对象的变化情况、控制算法的控制效果等。

(4) 联网管理

一般微机都具有串行通信或联网功能。利用这些功能，可实现多套微机控制系统的联网管理，资源共享，优势互补；可构成分级分布式集散控制系统，以满足生产规模不断扩大，生产工艺日趋复杂，可靠性、灵活性更高，操作更简便可靠的大系统综合控制的要求；可实现生产进行过程（动态）的最优化和生产规划、组织、决策、管理（静态）的最优化的有机结合。

3. 工作过程特征

图 1.1 表明，微机闭环控制系统在工作过程中，由检测装置将被控对象的模拟参数送至 A/D 转换环节，微机把从 A/D 转换环节获得的数据与给定值 $r(t)$ 比较，然后对其偏差按某种控制算法进行计算，得出新的控制量数据，经 D/A 转换驱动执行机构改变被控对象。整个过程可归纳为三个步骤：数据采集，数据处理与决策，控制输出。当被控对象处于动态时，如果不能及时获得信息，及时给出决策，及时调整输出，就有可能失去控制效果和意义。而微机控制系统控制过程的三个步骤都是通过程序来实现的，因此微机控制系统的工作过程特征表

现在对三个步骤都有实时性要求。

所谓“实时”，是指在规定的时间内完成规定的任务。实时又有及时、即时、适时的意思。就微机控制系统而言，要求微机能够在规定的时间内以足够快的速度进行数据采集、分析处理、对被控对象做出相应的控制操作，否则就会失去控制机会，微机在控制系统中也就没有存在的实际意义了。不同的对象实时时间是不相同的，如炼钢的炉温控制，由于时间惯性很大，输出延迟几秒仍然是实时的；而轧钢机的拖动电机控制，一般需在几毫秒或更短的时间内完成对电流的调节，否则电流失控将造成事故。

(1) 实时数据采集

检测装置将被控对象（温度、湿度、黏度、压力、流量、速度、位移等）的信息转换成相应的模拟电信号，送到 A/D 环节输入端；微机按规定的时间启动 A/D 转换器对被控对象进行采样，并在规定的时间内完成采样，以数字信号形式将采样结果存入存储器。

(2) 实时控制决策

采样数据反映被控对象的状态信息，微机必须在规定的时间内完成对它的前置处理（如有效性检查、数字滤波等），然后进行数据分析，判断被控参数是否偏离预定值，是否达到或超过安全极限值。如果被控参数处于可调范围，则按选定的控制算法程序进行控制量值计算。总之是按预定控制规律进行运算并做出控制决策。

(3) 实时控制输出

实时控制输出有两方面内容：一是被控对象参数处于可调节范围内，微机将决策结果（新的控制量值）及时送至执行机构调整被控对象的被控参数；二是在决策环节分析出被控对象参数达到或超过安全极限值，这时应在最短的时间内启动报警装置，即进行实时报警。

系统的实时报警除来自被控对象的辨析结果外，若系统设备出现异常情况，微机也应能及时发出声光报警信号，并自动地或由人工进行必要的处理。

数据采集、运算决策、输出控制三个阶段占用时间之和若满足实时性要求，则该系统具有实时性。而系统是否满足实时性，最终体现在不影响系统的控制正确性。运算决策在三个阶段中占用时间最长，因此，要缩短控制的延时，应从合理选择控制算法、优化控制程序、选用运算速度较高的微机等方面加以解决。此外，在微机硬件方面应具备实时时钟和优先级中断信息处理电路；在软件方面应具备完善时钟管理和中断处理程序。实时时钟和优先级中断系统是保证微机控制系统实时性的必要条件。

4. 工作方式特征

微机通过两种方式与通道、被控对象结合以组成微机控制系统，一种是在线工作方式，另一种是离线工作方式。

在线工作方式又称“联机”工作方式。以该方式工作的微机在控制系统中直接参与控制或交换信息，而不通过其他中间记录介质，如磁盘、U 盘、光盘、磁带等。

离线工作方式又称“脱机”工作方式。以该方式工作的微机不直接参与对被控对象的控制，或不直接与被控对象交换信息，而仅是将有关控制信息记录或打印出来，再由人来联系，按照微机提供的信息完成相应的控制操作。

离线工作方式无实时性可谈。要使系统具有实时性，微机必须以在线方式工作，但在线不一定就具有实时性。例如，微机水温测试系统与微机水温测试控制系统，前者微机可以在

线工作也可以离线工作，后者微机必须在线工作。对于前者，微机在线工作时也不一定要具有实时性，因为微机仅采集水温，不调节水温，从而对采集时间不需要进行严格要求；微机离线工作时，微机根据其他水温记录装置提供的数据进行分析，得出控制参数，然后由人依据微机提供的控制参数来实施水温调节。对于后者，由于存在自动控制目标，微机必须对水温的变化进行精确采集，及时调节，因此微机不但要在线工作，而且微机水温测试控制系统一定要具有实时性，否则达不到控制目标。

1.1.2 微机控制系统硬件组成

被控对象千差万别，控制任务和控制要求随被控对象的不同而不同，即便是同一个被控对象也可提出多种多样的控制任务或控制要求。因此，微机控制系统的具体组成是因事而变的。尽管如此，根据微机控制系统的结构特征，不同任务的微机控制系统有着相同的抽象结构。图 1.2 所示是具有一定综合性的微机控制系统硬件结构示意图，它不仅包括了模拟信息的输入/输出过程通道，还含有开关量输入/输出通道、操作控制台与接口、微机 I/O 设备与接口等，因而更具一般性。由图 1.2 可知，微机控制系统的硬件体系由工业生产过程（也可以是非工业生产过程，如家庭用的温度、湿度测控）、过程通道、接口、主机、操作控制台、微机 I/O 设备等组成。

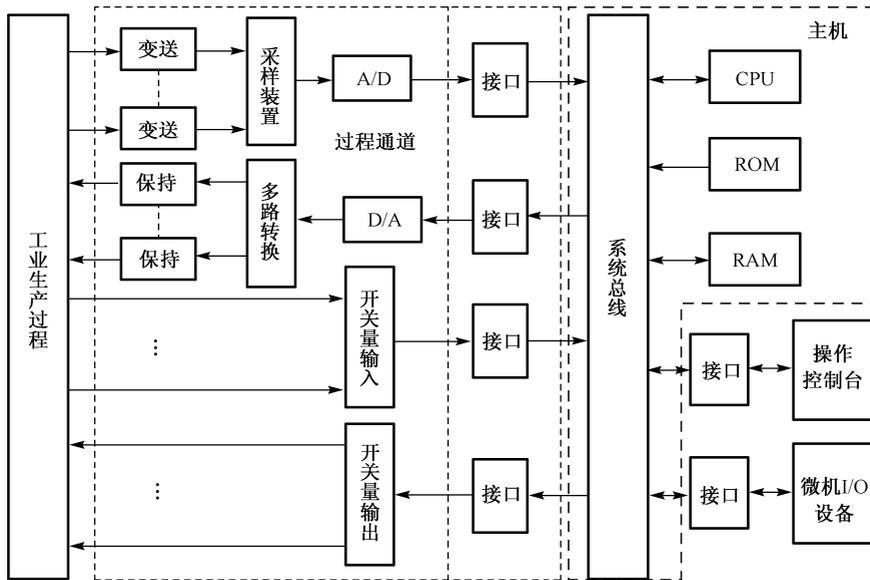


图 1.2 微机控制系统硬件结构示意图

1. 工业生产过程

工业生产过程是指在生产现场把原材料变成成品或半成品，或通过原材料获得某些所需参数的工序实现。这种工作规范包括工艺流程、参与设备、人员数量与作用、结果指标等。被控对象来源于工业生产过程。在工业生产过程中，被控对象可以是一个，也可以是多个。例如，数控钻床的被控对象主要是钻头的定位，而炼钢过程的被控对象包括炉温、配料计量、加料传送等。被控对象的信息通过在生产现场的适当位置安设相应的传感器来获得。

2. 过程通道

过程通道包括模拟量输入、输出通道, 开关量输入、输出通道。过程通道处于工业生产过程与主机接口之间, 担负着生产过程与主机交换信息的任务。当被控对象为模拟对象时, 由变送器将被控对象的能量存在形式转变为采样装置所能接收的电能形式, 然后由采样装置规范成 A/D 转换器所能接收的电量, 最后由 A/D 转换器转变成微机能够接收的数据送至计算机。如果被控参数是非电物理量, 则变送器为传感器; 如果被控参数为电量, 则变送器或为放大器, 或为衰减器。工业生产过程的被控参数以连续变化的非电物理量居多。如果执行机构需要连续的模拟量操纵, 则微机输出的数字控制量必须进行 D/A 转换; 当用一个 D/A 转换器为多个控制点提供控制信号时, 要设置保持器。当工业生产过程有数字数据信号或数字状态信号要送主机时, 可通过开关输入通道传送; 当主机有数字数据信号或数字控制信号等要送工业生产过程时, 可通过开关输出通道传送。

3. 接口

接口是连接主机与过程通道的数字中介装置。主机通过接口可连接不同类型、不同数量的通道, 也可连接各种外设以及操作控制台等。接口种类主要分为并行、串行两大类。接口是数字中介装置的集合, 其中的元素是端口。主机给每个端口分配一个地址。当端口地址与主机的 I/O 输出控制信号配合时, 对应的端口称为输出端口; 当端口地址与主机的 I/O 输入控制信号配合时, 对应的端口称为输入端口。同一个端口地址与不同的 I/O 控制信号配合, 既可作为输入通道端口, 也可作为输出通道端口。按迄今已出现的接口硬件结构情况, 可将接口分为三大类: 第一类是单独的通用可编程接口芯片, 第二类是与 CPU 集成在一起的可编程接口, 第三类是用基本逻辑部件根据需要搭接的可编程接口。

4. 主机

主机采用微型计算机, 是微机控制系统的标志性内容。主机由 CPU、ROM、RAM 和系统总线等组成。开发者将系统的相关程序存入 ROM, 系统启动后, 通过输入通道从生产现场获得过程参数, 并由控制程序进行处理、分析、运算、决策等得出相应的控制信息, 又经输出通道把控制信息回送到生产过程, 进而调节被控参数, 使之达到并维持预计目标。控制程序是依据控制算法, 结合主机的指令系统和通道端口地址而设计的, 不仅要反映控制参数与被控参数之间的数学关系, 还要满足控制的实时性要求。

在工业生产过程中, 处于在线的主机又称为工业控制计算机, 简称工业控制机或工控机, 其特点是可靠性高, 可维修性好, 环境适用性强, 控制实时性好, 输入/输出通道完善, 软件丰富等。本书中的主机均指工控机。

5. 操作控制台

操作控制台(操作台)是人与微机控制系统交换信息的中介设备, 对于工业生产过程的微机控制系统是不可缺少的。通常, 微机的 I/O 设备摆放在控制台上或周围, 这样一来, 在操作台上工作人员既可看到来自工业现场的运行状态以及被控参数的直接显示和记录, 也可观察到由计算机提供的显示内容。当系统出现故障而报警时, 操作人员可在控制台上及时获得

信息, 及时进行处理, 如根据操作台提供的故障信息对现场设备进行快速处理、检修, 或在控制台对计算机程序、控制参数、试验参数等进行修改和调整等。一般而言, 操作控制台应具有以下功能。

(1) 显示

显示范围应尽量涵盖工业生产过程中各重要环节、过程通道的各关键部位、辅助及供电设备等。显示装置应根据具体情况来选用。例如, 如果希望有图文显示, 可配置 CRT、LCD 显示器等; 如只需显示参数, 可配置 LED、LCD 数码管等; 如果希望脱机分析数据, 可配置打印机、记录仪等; 如需及时显示状态或报警, 可配置相应的指示灯及发声器。

(2) 操作

在操作台除了微机键盘, 还应配有相应的可直接操作控制系统的开关、按钮、扳键等, 以便在遇到紧急情况时可在操作台上直接强制处理, 或在控制台上对系统相关部分进行直接操作或实验。

(3) 数据保存

如果微机控制系统的数量大, 控制台可增设光盘刻录机、磁带机、U 盘口、移动硬盘口等用于扩展存储容量的设备。

(4) 远程信息交换

随着计算机网络技术的普及, 对微机控制系统实行联网管理的技术渐趋成熟。因此, 操作控制台应设置远程信息交换口, 可随时使本系统加入大规模集散系统中。

1.1.3 微机控制系统软件

微机控制系统的软件可分为两大类, 一类是系统软件, 一类是应用软件。

系统软件根据参与控制的微机类型以及在系统中层次的不同而不同。如果工业控制微机为单片机, 其系统软件最小结构为监控程序, 根据情况还可增加系统诊断软件、系统加密软件及系统的其他管理软件, 鉴于这类微机系统容量的局限性, 系统程序不宜过大。如果工业控制微机采用 PC, 则 PC 的系统软件资源只要是对控制系统有利的均可使用, 如 BIOS、Windows、EDIT、相关语言的编译器或解释器等。工业控制微机以上层次的微机一般通过串行通信或网络通信与下层微机交换信息, 它们的系统软件无特殊之处。

应用软件是根据被控对象和系统功能的要求来设置的, 种类繁多。从程序的功能看, 应用程序可分为监测软件、控制算法程序、控制执行软件、人-机联系程序、外设管理服务程序等。应用软件的设计涉及对被控对象、生产工艺、生产设备、控制要求、控制工具、控制规律等的深入理解。首先, 以工业生产过程中的环节关系、被控对象的变化规律、控制量的计算模型及控制要求等为依据, 综合各种因素和参数确定控制算法与控制功能; 然后, 根据控制算法和控制功能编写相应的应用软件。

为了加快系统的开发速度, 应尽可能选用已有的成熟的功能软件模块及软件技术, 特别是应用软件要充分使用系统软件中的功能模块。另外, 在不影响系统实时性要求及系统结构的前提下, 应尽可能以软件代替硬件实现其功能, 以降低系统硬件成本开销并缩小系统体积。只有软件和硬件相互配合、相互促进, 才能充分发挥计算机的优势。

1.2 计算机控制系统的典型形式

尽管不同被控对象的微机控制系统在原理上有着共同的抽象结构和相似的基本工作过程，但面临不同的被控对象、不同的功能要求、不同复杂程度的生产过程、不同的系统管理方法等，微机控制的应用方法、微机控制系统的结构是不同的。以下简介几种微机控制的典型应用系统。

1.2.1 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，这类控制系统属于开环控制结构。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。其典型结构图如图 1.3 所示。

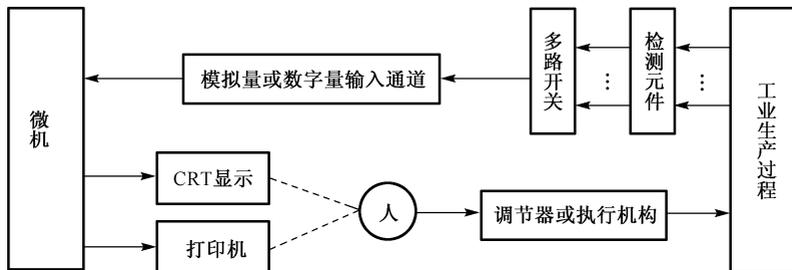
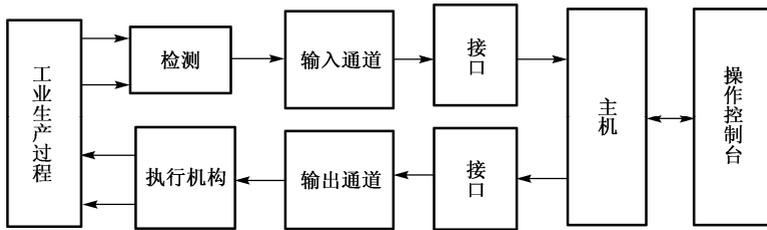


图 1.3 操作指导控制系统典型结构图

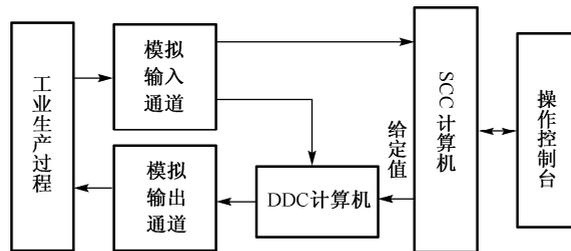
1.2.2 直接数字控制系统

将计算机得出的控制量直接用于调节生产过程中的被控参数，这类控制系统称为直接数字控制（Direct Digital Control, DDC）系统，它一般为在线实时闭环控制系统，其基本结构如图 1.4 所示。工业生产过程中的被控参数或状态信息经检测环节进入输入通道，主机通过接口从输入通道接收这些数字信息，并用既定的方法对数字信息进行处理、加工，按选用的控制规律进行运算决策，将决策结果经接口、输出通道送至执行机构，进而调节生产过程中的被控参数或进行控制操作。在控制过程中，控制操作台在主机的控制下进行规定的跟踪显示。系统的检测、决策及执行必须是实时性的。检测可以是单路，也可以是多路；可以是模拟对象，也可以是开关对象；可以是非电物理量，也可以是电磁类物理量。执行对象可以是单个，也可以是多个。调节参数可以是模拟量，也可以是开关量。DDC 系统的功能可分为 4 类：①检测输入功能，这类功能与数据采集及处理系统基本相同；②运算决策功能，即微机可将采集到的相关数据进行预定控制规律的运算、决策；③调节被控参数的执行功能，多体现在功率驱动及其控制方面；④操作控制台功能，主要体现在调整被控参数的给定值，工业现场紧急情况的直接处置以及显示、保存和打印采样值，声光报警等。DDC 系统是工业生产计算机控制系统中使用得最广泛的一种系统应用形式。



1.2.3 监督式计算机控制系统

将 DDC 系统的被控参数给定值用另外一台计算机根据对工业生产过程相关参数进行检测、分析来产生，这类计算机控制系统称为监督式计算机控制（Supervisory Computer Control, SCC）系统，其基本结构如图 1.5 所示。由图可知，这类系统为两级微机控制系统：第一级是 DDC 系统，微机完成生产过程的直接数字控制；第二级为 SCC 系统，微机根据生产过程的工艺信息和预定的给定值计算方法，进行优化分析，产生最优化给定值，送给 DDC 系统。SCC 计算机承担高级控制与管理任务，要求数据处理功能强、存储容量大等，一般采用较高档的计算机。一台 SCC 计算机可监督控制多台 DDC 系统，这类系统具有较高的运行性能和可靠性。有时 DDC 系统也可用模拟调节器代替，其给定值由 SCC 计算机提供，详细内容请参阅相关资料。



1.2.4 集散控制系统

集散控制系统（Distributed Control System, DCS）又称计算机分布式控制系统或分散控制系统，它是生产过程监视、控制技术发展和计算机与网络技术应用的产物。集散控制系统（DCS）指的是一种多机系统，它是由集中管理部分、分散控制监测部分和通信部分组成的。DCS 最基本的特征是实现了系统的分散控制和集中管理。

DCS 的目标是对生产设备或装置的运行状态进行直接的自动控制，以优化这些设备或装置的生产效率，达到保证生产设备或装置运行的安全以及人身安全、增加产量、提高质量、降低能源消耗、减少环境污染的目的。由于是计算机直接对生产过程进行控制，因此要针对被控过程建立数学模型，以便计算机根据模型进行计算并实施控制。

DCS 体系结构是由 DDC 系统发展而来的，其主要特点是面向现场的自动控制，减少人工干预，如闭环控制（Close Loop Control）系统。通常分为 3 级：分散过程控制级，集中操作监控级，综合信息管理级。各级之间由通信网络连接，各级内各站或单元之间由本级的通信网络进行通信联系。典型的 DCS 体系结构如图 1.6 所示。

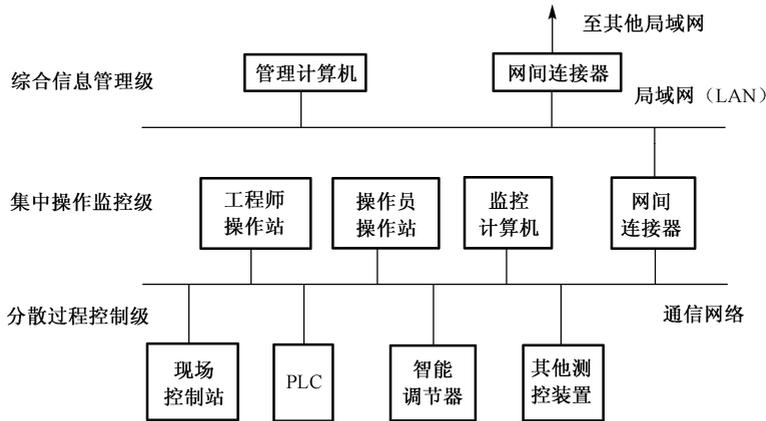


图 1.6 典型的 DCS 体系结构

目前 DDC 系统常采用的网络结构有两种：Bus 总线结构和环流网络结构。其中，Bus 总线结构是指所有 DDC 控制器均通过一条 Bus 总线与集中控制电脑相连，它的最大优点是系统简单，通信速度较快，对一些中小型工程较为适用；缺点是在大型工程中会导致布线复杂。为此，目前有些公司又推出了支路 Bus 总线结构网络，它是通过一个通信处理设备（NCU）后产生支路 Bus 总线，这样各支路又可带数个现场 DDC 控制器，对一个大区域而言，只需几个 NCU 与系统 Bus 总线相连即可，这样可大大简化该系统。对于环流网络结构，它利用两根总线形成一个环路，每个环路可带数个 DDC 控制器，多个环路之间通过环路接口相连，因此这种系统最大的优点就是扩充能力较强。

1.2.5 现场总线控制系统

现场总线是随着智能现场仪表而发展起来的一种开放型的数字通信技术，其发展的初衷是用数字通信代替一对一的 I/O 连接方式，把数字通信网络延伸到工业过程现场。根据 IEC 和美国仪表协会（ISA）的定义，现场总线是连接智能现场设备和自动化系统的数字式、双向传输、多分支结构的通信网络，它的关键标志是能支持双向、多节点、总线式的全数字通信，如图 1.7 所示。

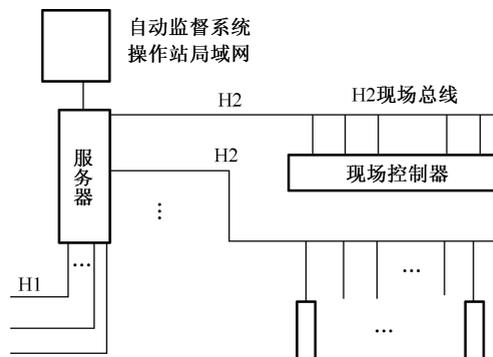


图 1.7 现场总线控制系统

随着现场总线技术与智能仪表管控一体化（仪表调校、控制组态、诊断、报警、记录）的发展，这种开放型的工厂底层控制网络构造了新一代的网络集成式全分布计算机控制系统，

即现场总线控制系统 (Fieldbus Control System, FCS)。传统的 DCS 系统由各种工作站通过局域网连接而成, 操作站和信息管理站完成系统的组态、监控和运行管理, 现场测控站则完成生产过程信息的采集和控制。DCS 的主要问题是开放性差, 分散不够, 需要用大量的电缆传递信号。FCS 则突破了 DCS 系统中通信由专用网络的封闭系统来实现所造成的缺陷, 把基于封闭、专用的解决方案变成了基于开放、通用标准化的解决方案, 把集散系统结构变成了新型全分布式结构, 把 DCS 控制站中基本且可独立的功能块彻底下放到现场智能仪表中去, 从而构成虚拟控制站, 更好地体现了 DCS 思想的精华。

简而言之, 现场总线把控制系统最基础的现场设备变成网络节点连接起来, 从而实现自下而上的全数字化通信, 可以认为是通信总线在现场设备中的延伸, 把企业信息沟通的覆盖范围延伸到了工业现场。

1.3 计算机控制系统的发展概况和趋势

将数字计算机用作控制器的思想萌生于 20 世纪 50 年代初, 有人试图在飞行器控制中应用计算机, 但由于当时通用机体积大、能耗大、可靠性差而未被使用。此后, 计算机控制的主要进展是在工业过程控制领域。美国首先用计算机实现了过程的巡回检测和数据采集。20 世纪 50 年代后期已成功地实现了计算机在线闭环控制。1962 年英国实现了计算机的直接数字控制, 充分利用计算机的高速分时运算能力, 替代多台控制功能较单一的常规模拟控制仪表。20 世纪 70 年代微型计算机的诞生, 使计算机控制系统的应用进入一个新阶段。在工业过程控制领域, 不久就出现了控制上分散、操作管理上集中的分散控制。直至 20 世纪 90 年代, 集散控制系统一直是世界各国在计算机控制方面的重要发展方向, 至今世界上已有数万套集散控制系统在现场运行, 取得了可观的经济效益。微型计算机控制系统技术还迅速渗透到机电控制领域, 不仅在航空航天、军事装备、机器人、机械生产中得到了广泛应用, 而且在家庭生活设施 (如洗衣机、微波炉、空调机、电视机等) 中, 都有由微型计算机 (单片机) 构成的控制系统。计算机控制将在以下方面得到发展: ①推广应用成熟的先进技术, 普及应用可编程控制器 (PLC), 广泛使用智能调节器, 采用新型的 DCS 和 FCS; ②大力研究和发

展智能控制系统, 当前最流行的控制系统包括分级递阶智能控制系统、模糊控制系统、专家控制系统、学习控制系统、神经控制系统。

1. 以工业 PC 为基础的低成本工业控制自动化将成为主流

20 世纪 90 年代以来, 由于基于 PC 的工业计算机 (简称工业 PC) 的发展, 由工业 PC、I/O 装置、监控装置、控制网络组成的基于 PC 的自动化系统得到了迅速普及, 成为实现低成本工业自动化的重要途径。近年来, 工业 PC 在我国得到了迅速发展。由于基础自动化和过程自动化对工业 PC 的运行稳定性、热插拔和冗余配置要求很高, 现有的工业 PC 已经不能完全满足要求, 将逐渐退出该领域, 取而代之的将是 Compact PCI-based 工控机, 而工业 PC 将占据管理自动化层。与 PLC 一样, 工业 PC 市场在过去的两年内保持平稳。与 PLC 相比, 工业 PC 软件很便宜。据 Frost & Sullivan 公司估计, 在全世界每年 7 亿美元工业 PC 市场中, 大约 8500 万美元为控制软件, 1 亿美元为操作系统, 并以每年 10%~15% 的速度增长, 工业 PC 市场变得非常可观。

2. PLC 在向微型化、网络化发展

长期以来, PLC 始终是工业控制自动化领域的主战场, 为各种各样的自动化控制设备提供非常可靠的控制方案, 与 DCS 和工业 PC 形成了三足鼎立之势。同时, PLC 也承受着来自其他技术产品的冲击, 尤其是工业 PC 所带来的冲击。微型化、网络化、PC 化和开放性是 PLC 未来发展的主要方向。随着软 PLC (Soft PLC) 控制组态软件的进一步完善和发展, 安装有软 PLC 组态软件和基于 PC 的控制系统市场份额将逐步得到增长。当前, 过程控制领域的发展趋势之一就是 Ethernet 技术的扩展, PLC 也不例外。现在越来越多的 PLC 供应商开始提供 Ethernet 接口。可以相信, PLC 将继续向开放式控制系统方向转移, 尤其是基于工业 PC 的控制系统。

3. 面向测控管一体化设计的 DCS 系统

集散控制系统 (DCS) 问世于 1975 年, 生产厂家主要集中在美、日、德等国。近些年, 特别是“九五”以来, 我国 DCS 系统研发和生产发展很快。据统计, 到 2005 年, 我国石化行业有 1000 多套装置需要应用 DCS 控制; 电力系统每年新装 1000 多万千瓦发电机组, 需要 DCS 实现监控。小型化、多样化、PC 化和开放性是未来 DCS 发展的主要方向。今后小型 DCS 可能首先与 PLC、工业 PC、FCS 三种系统融合。基于 PC 的控制系统将更加广泛地应用于中小规模的过程控制, 各 DCS 厂商也将纷纷推出基于工业 PC 的小型 DCS 系统。开放性的 DCS 系统将同时向上和向下延伸, 使来自生产过程的现场数据在整个企业内部自由流动, 以实现信息技术与控制技术的无缝连接, 向测控管一体化方向发展。

4. 控制系统正在向现场总线控制系统 (FCS) 方向发展

由于 4C (Computer, Control, Communication, CRT) 技术的发展, 过程控制系统将由 DCS 发展到 FCS。FCS 可以将 PID 控制彻底分散到现场设备 (Field Device) 中。基于现场总线的 FCS 又是全分散、全数字化、全开放和可互操作的新一代生产过程自动化系统, 它将给传统的工业自动化控制系统体系结构带来革命性的变化。计算机控制系统的发展在经历了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以及集散控制系统 (DCS) 后, 将朝着现场总线控制系统 (FCS) 的方向发展。工业以太网以及现场总线技术作为一种灵活、方便、可靠的数据传输方式, 在工业现场得到了越来越多的应用, 并将在控制领域中占有更加重要的地位。

5. 计算机控制软件正向先进控制方向发展

自 20 世纪 80 年代初期诞生至今, 工业控制软件已有 30 多年的发展历史。工业控制软件主要包括人机界面软件 (HMI)、基于 PC 的控制软件和生产管理软件等。工业控制软件将从人机界面和基本策略组态向先进控制方向发展。在未来, 计算机控制软件将继续向标准化、网络化、智能化和开放性方向发展。

本章小结

计算机控制系统的组成与连续模拟控制系统的组成的主要区别是计算机控制系统中的控制器使用数字计算机和 A/D 转换器、D/A 转换器来实现。尽管计算机控制系统与常规连续模

拟控制系统有许多相似之处，但计算机参与控制使得计算机控制系统的理论分析和设计具有许多不同的特点。与连续模拟控制系统相比，计算机控制系统具有许多优点。计算机是一种可编程的智能元件，控制算法由软件编程实现，因此计算机控制系统可实现复杂的和智能化的算法，构成一种柔性的智能化系统。

计算机技术（特别是计算机硬件技术）的发展，促使计算机控制技术得到了迅速发展。计算机控制系统伴随着计算机技术的发展，从早期的数据采集、监控系统，经过了几个不同的发展阶段，已发展成为今天广泛用于国防、国民经济各个领域不可替代的各种系统。

思考与练习

- 1.1 什么是计算机控制系统？它由哪几部分组成？
- 1.2 微型计算机控制系统的特点是什么？
- 1.3 计算机控制系统结构有哪些类型？指出这些类型的结构特点和主要应用场合。
- 1.4 计算机控制系统的控制过程是怎样的？
- 1.5 实时、在线方式和离线方式的含义是什么？
- 1.6 操作指导控制系统、DDC 系统和 SCC 系统的工作原理是什么？它们之间有何区别和联系？
- 1.7 计算机控制系统的发展趋势是什么？