

第1章 绪 论

自 1946 年第一台电子计算机问世以来, 计算机技术便逐渐成为影响现代科学技术发展的重要因素, 并在科学技术、社会生产与日常生活等各个方面引起了一场深刻的革命。工业控制领域是较早应用计算机技术的一个重要领域。计算机的产生与发展, 不仅是对传统控制技术的重要变革, 加速了工业自动化进程, 同时也有力地促进了现代控制理论的发展与实际应用。计算机控制系统已成为现代自动化技术的重要内容与具体形式。本章将简要介绍计算机控制系统的有关基本概念、组成、典型应用类型及其所涉及的基本理论问题。

1.1 计算机控制系统概述

计算机控制系统作为计算机在工业控制工程中的重要应用形式, 与传统的非计算机控制系统相比有何异同或优势? 本节将从计算机控制系统的基本概念出发来回答这个问题。

1.1.1 计算机控制系统的一般概念

计算机控制系统是在自动控制理论与计算机技术的基础上发展起来的, 因此, 计算机控制系统的相关概念与传统的自动控制系统是密切相关的。

一般而言, 自动控制系统就系统的结构形式而言, 主要可归纳为两类, 即开环控制系统与闭环控制系统, 如图 1.1 所示。

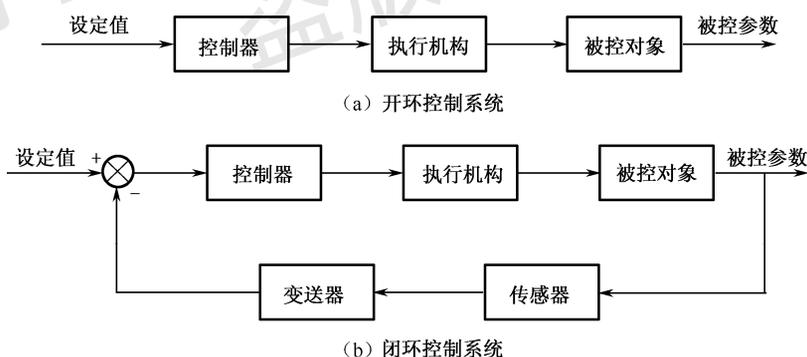


图 1.1 控制系统的一般结构

图 1.1(a) 为开环控制系统, 其控制器根据输入的指令信号, 依据事先确定的控制规律, 产生相应的控制信号, 直接控制执行机构或被控对象工作。开环控制系统结构简单, 所能实现的控制动作或控制策略也相对单一, 其控制性能相对较差。开环控制结构一般要求被控过程的物理特性、运行规律及其相应的控制策略均简单、明确, 且系统不存在扰动或扰动事先已知, 因此不适合于复杂和高精度的被控过程。

与开环控制结构不同, 图 1.1(b) 所示的闭环控制结构通过测量元件对被控对象的被控参数进行测量, 由变送器将被测参数变换成相应的电信号, 并反馈到控制器的输入端, 与系统的给定值 (即参考

输入或期望输出)进行比较,控制器根据给定值与反馈值之间的偏差情况产生相应的控制信号来驱动执行机构工作,以使被控参数的值与给定值保持一致。与开环控制系统相比,引入负反馈的闭环控制系统不仅具有更好的控制精度,而且能够有效克服闭环系统内有关扰动对系统输出的影响。因此,闭环控制结构是自动控制系统的主要形式。

尽管绝大部分控制系统均采用了闭环控制结构,而开环控制结构由于简单且易于实现,仍然有相应的应用领域。因此,计算机控制系统也同样有开环控制与闭环控制两种基本结构。如图 1.2 所示,不论是开环还是闭环形式,所谓计算机控制系统,就是由计算机去取代传统控制系统中控制器的相关功能。由于计算机的输入和输出均为数字信号,而被控对象的被控参数及执行机构的输入信号一般为模拟量,因此,需要设置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。

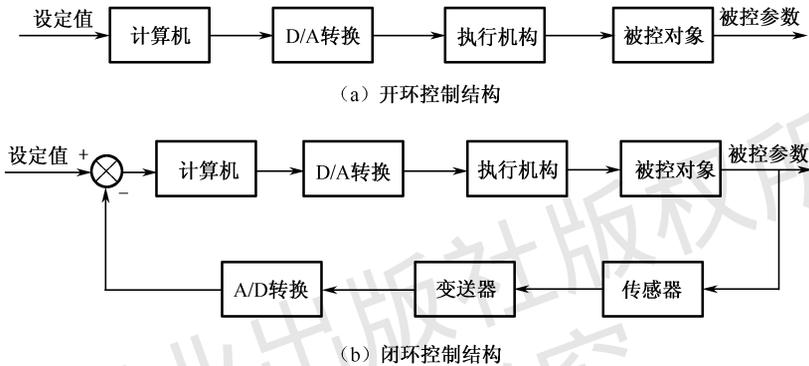


图 1.2 计算机控制系统

对于大部分计算机控制系统,其被控过程通常为连续时间系统,因此,需要经过对连续信号的采样过程,将连续信号离散化,以便计算机对其进行处理,这样的系统也称为采样控制系统。可见,采样控制系统中包含了各种不同类型的信号。严格说来,这与仅处理离散时间数值序列的离散时间系统是有区别的,但是,对于一般的采样控制系统,在大多数情况下,只描述系统在采样时刻的行为就足够了,此时,采样控制系统就可等同于离散时间系统来处理。因此,离散时间系统的相关理论也就是计算机控制系统的一个重要基础。

由于引入了计算机与数字信号,计算机控制系统的控制过程可以归结为以下三个基本步骤:

- (1) 实时数据采集。对被控参数进行实时检测,并输入计算机。
- (2) 实时决策。对采集到的数据进行实时处理、分析,并按事先确定的控制规律,决定需要采取的控制策略与控制信号。
- (3) 实时控制。根据控制决策,实时地向执行机构发出控制信号。

以上三个步骤按顺序执行,并不断循环,从而使整个系统按照一定性能指标的要求进行工作,同时对系统有关异常现象及时做出处理,以达到预期的控制目标。

传统的连续控制系统从控制原理角度分析,也可分为信号输入、处理与决策、控制信号输出三个步骤。由于其控制器由模拟电路构成,一般不存在计算延迟与传输延迟,所有步骤均可认为是瞬时完成的,并连续不断地工作,因此,三个步骤在时间上先后顺序不明显,一般认为是同时进行的。

对于计算机控制系统,由于控制过程中的每一个步骤均需要计算机参与完成,计算机处理总需要一定的时间,因此,上述三个步骤在时间上有明确的先后顺序。同时,由于每个步骤均需要一定的计

算机处理时间,这样从信号的输入到控制作用的产生就会有一定的延迟时间,为了达到期望的控制效果,这个延迟时间必须足够小,即要求“实时”。这里的所谓“实时”,就是指信号的输入、分析与处理和输出控制都要在一定的时间内完成,即计算机对信号的采样与处理要有足够快的处理速度,并在一定时间内做出反应或实施控制,超出这个时间,就会失去控制的有效时机,控制也就失去了意义。实时的具体度量与具体的被控过程密切相关。比如一个高炉炼钢的炉温控制系统,其控制的延迟时间一般为秒级,仍被认为是实时的;而对于一个导弹跟踪控制系统,当目标状态发生变化时,一般必须在毫秒级甚至更短的时间内做出反应,否则就不能命中目标。

计算机用于控制系统,可以有“在线”与“离线”两种方式。计算机直接连接到控制系统中,即计算机直接与生产过程的设备相连,并进行相应的输入/输出及决策操作,称为“在线”方式或“联机”方式;计算机不直接控制生产过程设备,而是通过中间记录介质,靠人工进行联系并进行相应操作的方式,称为“离线”方式或“脱机”方式。显然,离线方式不能对被控系统进行实时控制,一个实时控制系统必定是在线系统,但一个联机系统则不一定是实时控制系统。

1.1.2 计算机控制系统的主要特点

相对于传统的连续控制系统而言,计算机控制系统主要具有以下特点:

(1) 计算机控制系统既包含有计算机等数字部件,一般又包含连续的模拟部件(如绝大多数被控对象、执行部件、测量部件等),同时还包含相应的信号变换装置(如A/D与D/A转换器等),因此,计算机控制系统通常为模拟与数字部件的混合系统。

(2) 在连续控制系统中,各点信号均为连续的模拟信号,而在计算机控制系统中,除连续的模拟信号以外,一般还存在离散时间模拟信号、离散信号、数字信号等多种信号形式。

(3) 在连续控制系统中,控制器通常由模拟电路构成,且每个控制器只能控制一个回路;在计算机控制系统中,一台计算机可以采用分时控制的方式,同时控制多个回路,各个回路的控制规律由相应的控制算法来完成。

(4) 在连续控制系统中,如果要修改控制规律,一般需要修改原控制器的电路结构;而在计算机控制系统中,控制规律由计算机程序实现,修改控制规律,只需修改相应的程序,一般不改变其硬件电路,因此具有较好的灵活性与适应性。

(5) 计算机控制系统中的核心控制规律都是由软件来实现的,借助于计算机强大的算术与逻辑运算功能,能够较为方便地实现常规控制器难以实现的复杂控制规律,如最优控制、自适应控制、模糊控制等。

(6) 利用计算机的超强数据处理能力与互联技术,可以将整个生产过程的各部分有效地联结成一个有机的整体,以实现整个生产过程的综合自动化。

(7) 计算机控制系统一般都设有监控、报警、自诊断甚至容错与自恢复功能,因此,系统具有较好的可维护性。系统一旦出现故障,能迅速找到故障点及相应的解决方案,以便快速修复。

由于计算机控制系统是一个混合信号与混合电路系统,从理论上讲,其系统的抗干扰性能会受到较大影响,因此,计算机控制系统的抗干扰技术也是其系统设计中需要面对的一个重要课题。随着各类有效的软、硬件抗干扰技术与相关器件技术的发展,计算机控制系统的抗干扰能力得到很大提高,已能够适应大多数复杂环境中的应用。

总之,随着现代计算机与控制技术的不断进步,对控制系统的功能要求也在不断提高,与传统的连续控制系统相比,计算机控制系统的优越性也越来越明显。计算机控制已成为现代各类自动化及控制系统中的首要形式或必然选择。

1.2 计算机控制系统的组成

从系统结构而言，一个完整的计算机控制系统一般包括计算机系统、过程输入/输出通道与被控过程等三大部分。另一方面，从系统设计的角度而言，由于有计算机参与控制，因此其基本组成又涉及硬件与软件两个方面。下面将分别简要介绍计算机控制系统的硬件与软件组成。

1.2.1 计算机控制系统的硬件组成

计算机控制系统的硬件组成框图如图 1.3 所示，主要包括计算机、过程输入/输出通道、人机交互设备以及与被控过程直接相连的检测与执行装置等几个部分。

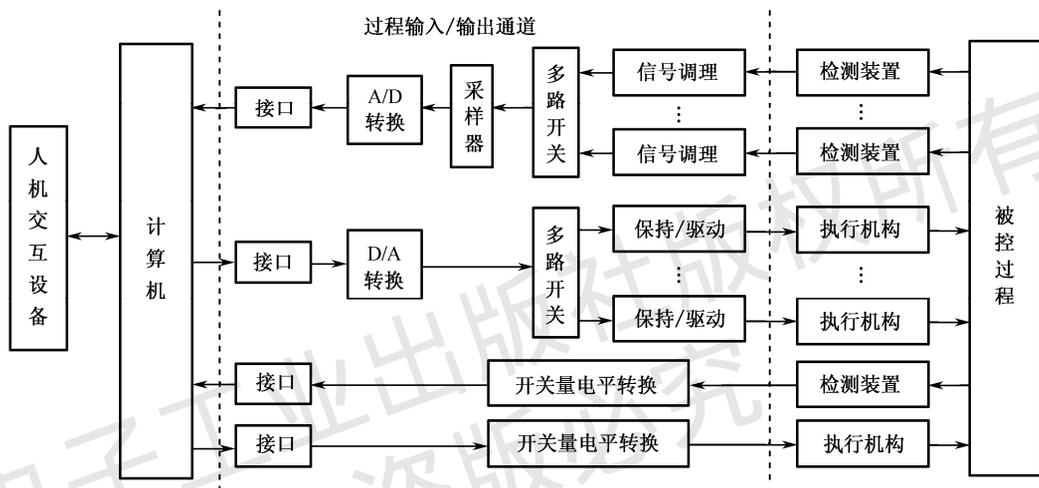


图 1.3 计算机控制系统的硬件一般组成框图

1. 计算机

计算机是计算机控制系统的核心。通过相应的接口，计算机可以向控制系统的各个部分发出各种指令，同时对被控对象的被控参数进行实时检测及处理。计算机的主要功能是通过执行相应的程序来控制整个被控系统，对相关现场信息进行实时采集与处理，按设定的控制规律进行各种数值计算与逻辑判断，并根据运算结果做出控制决策，然后输出给执行机构。根据不同被控过程的需求，计算机应具备足够强的数据处理（算术、逻辑运算）与信息存储能力。

2. 过程输入/输出通道

过程输入/输出通道是实现计算机与被控过程之间信息传送和转换的连接通道。过程输入通道把被控过程的被控参数转换成计算机可以处理的数字信息，并通过相应的接口输入计算机。过程输出通道把计算机由接口输出的控制指令与数据转换成被控过程执行机构可以接受的控制信号，并送给相应的执行机构。根据信号形式的不同，过程通道一般可分为模拟量输入/输出通道与开关量（或数字量）输入/输出通道。

3. 检测与执行装置

检测与执行装置是直接与被控过程相连接的各种过程仪表，它们是被控过程的信号输入/输出单

元。检测装置一般包括传感检测单元与变送单元,即通过传感器件将被控参数的非电量转换成电信号,再经过变送单元将其转换成易于传输的统一、标准的电信号(0~5V 电压信号或 4~20mA 电流信号),以便后续处理。执行机构是直接连接于被控过程的控制或驱动部件,其功能是根据来自计算机的控制指令信号,产生相应的动作,以调节或改变被控过程的某些状态,使生产过程符合预期的要求。

4. 人机交互设备

人机交互设备提供一个供操作人员或工程师与计算机控制系统之间进行交互的平台,主要体现在一个便于操作人员完成相关工作的操作台,操作台一般设置有键盘、鼠标、操作按钮、各种显示或指示设备、打印或图形绘制设备等输入/输出设备。操作人员通过来自于各种显示设备或打印设备的相关图表、数据或视频信息,及时了解控制过程的有关情况,并可通过相应的输入设备完成控制操作,如输入或修改控制参数、设置控制规律和发送控制命令等。

1.2.2 计算机控制系统的软件组成

计算机控制系统的软件是指计算机中使用的、能够完成计算机控制系统所要求的各种功能的计算机程序总和。它是计算机控制系统的神经中枢,整个系统的动作都是在软件的指挥下进行工作的。软件系统一般由系统软件与应用软件两大部分组成。

1. 系统软件

系统软件一般是由计算机设计者或生产厂商提供的一套专门用来使用、维护和管理计算机的一类程序,并具有一定的通用性。系统软件一般包括操作系统、语言加工系统与诊断系统等。其中操作系统是整个软件系统的基础,并对整个系统性能具有较大影响。对于不同的计算机控制系统、不同的控制需求或处于不同地位的控制计算机,其操作系统可以是通用操作系统、实时操作系统或嵌入式操作系统等。

2. 应用软件

应用软件是面向用户需求而设计的程序,即根据用户要解决的实际问题而设计的各种程序。对于计算机控制系统而言,应用软件主要是指完成控制系统中各种任务的程序,一般包括控制算法程序、巡回检测与事故处理程序、数据处理与信息管理程序、人机交互程序、公共服务程序以及必要的数据库系统等。

1.3 计算机控制系统的典型应用形式

计算机控制系统有许多不同的应用形式,这与具体的被控过程特性和控制目的密切相关,对于不同的被控过程和不同的控制要求,采用不同的控制方案,从而构成了不同形式的计算机控制系统。从计算机控制系统的发展历程与实际应用角度看,主要有以下几类典型的应用形式。

1.3.1 数据采集与操作指导系统

数据采集与操作指导系统的结构如图 1.4 所示。在这种应用形式下,计算机不直接参与过程控制,即计算机的输出不直接控制被控对象。计算机主要用于对被控过程的现场状态进行实时数据采集和处理,然后进行必要的集中记录、显示、报警或打印输出,即对现场状况集中监视,并为操作人员提供操作指导信息。操作人员根据这些结果去改变调节器的给定值或直接操作执行机构,以达到控制的目的。

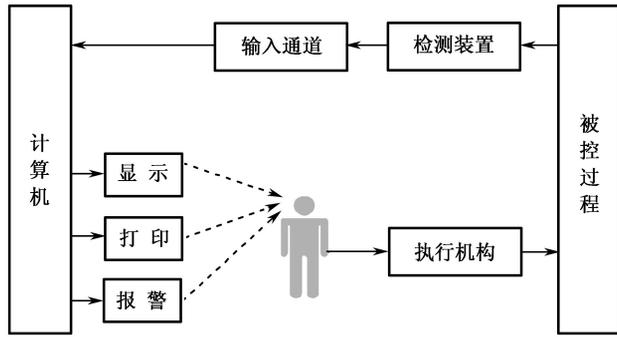


图 1.4 数据采集与操作指导系统

作为计算机在控制系统应用的初级形式，数据采集与操作指导系统具有结构简单、控制灵活、安全等优点，但由于需要人工操作，其速度受到一定限制，一般只适合于慢过程的监控。

随着计算机及数据处理与决策技术的发展，这种初级的计算机控制形式的有关概念与应用领域已得到了很大的拓展，仍然是当前计算机控制系统中一种十分重要的典型应用形式，如各种形式的需要人工干预的监控中心等，其本质上仍是数据采集与操作指导系统。

1.3.2 直接数字控制系统

直接数字控制（Direct Digital Control, DDC）系统是计算机应用于工业过程控制最普遍的一种形式，其一般结构如图 1.5 所示。计算机通过检测单元对一个或多个过程参数进行巡回检测，并经过输入通道将检测数据输入计算机，计算机按照一定的控制规律进行运算，得到相应的控制信息，并通过输出通道去控制执行机构，从而使系统的被控参数达到期望的要求。

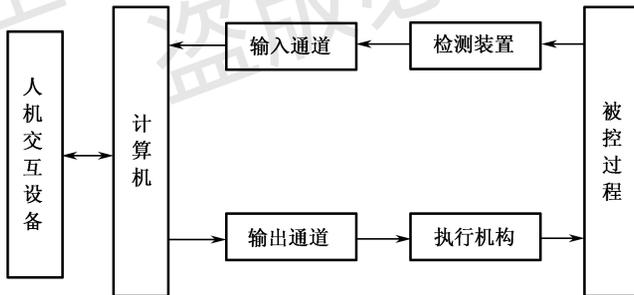


图 1.5 直接数字控制系统

DDC 系统是典型的计算机闭环控制系统，并可实现多回路控制，同时，只要通过改变算法程序还可实现较复杂的控制规律，如串级控制、前馈控制、非线性控制、最优控制、自适应控制等。

由于在 DDC 系统中计算机直接参与控制过程，因此要求计算机系统具有较好的实时性与可靠性。

1.3.3 监督计算机控制系统

对于普通的 DDC 系统，其控制参数（包括控制规律与相关参数取值）都是事先设定好的，在一次具体的控制过程中是不能被修改的，这对于一些变化比较大的复杂被控过程而言，是难以取得满意的控制效果的。在监督计算机控制（Supervisory Computer Control, SCC）系统中，通过一台专用的监督计算机，根据原始工艺信息与现场采集的其他相关参数，结合描述被控过程的数学模型，计算出生产过程的最优设定值，再将设定值输送给具体的控制单元（如模拟调节器或 DDC 系统），由控制单元

控制生产过程,从而使生产过程始终处于最优工作状态。在 SCC 中,设定值(即控制规律与相关参数)可以根据当前被控过程的状态与工艺要求,由监督计算机自动进行调整,因此,SCC 对于变化比较复杂的过程具有较好的适应能力。

根据所采用的控制单元的不同,SCC 系统有两种不同的结构形式。

1. SCC + 模拟调节器

如图 1.6 所示,在该系统结构中,监督计算机对被控过程的参数进行巡回检测,并按一定的数学模型对生产状况进行分析,计算出控制系统的最优设定值,再送入模拟调节器,由模拟调节器完成具体的控制任务。而当监督计算机发生故障时,可由模拟调节器独立完成操作。

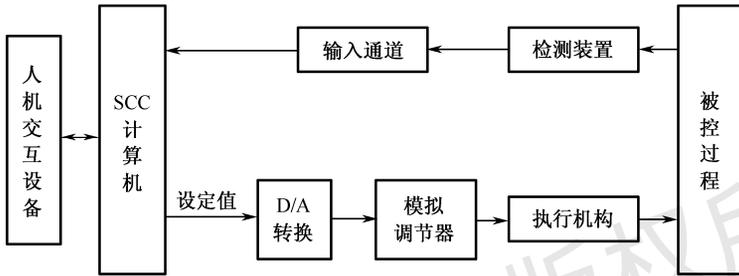


图 1.6 SCC + 模拟调节器控制系统

2. SCC + DDC

如图 1.7 所示,在此系统结构中,SCC 与 DDC 组成了一个二级控制系统,一级为监督控制级 SCC,其作用是完成被控过程现场状况的分析与最优参数的计算,并输出最优设定值给直接控制级 DDC,由 DDC 直接控制被控过程。在这种结构中,当两级计算机中任何一级发生故障时,均可由另一级暂时替代而独立完成工作,从而提高了系统的可靠性。

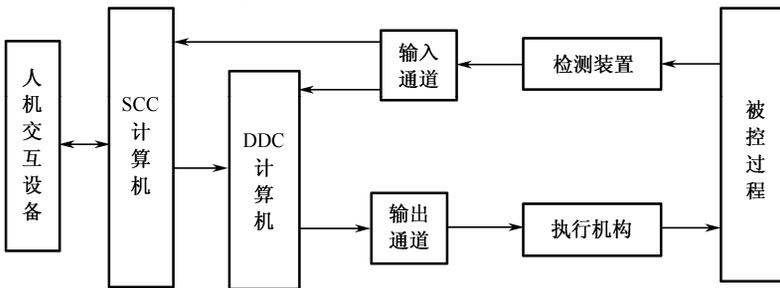


图 1.7 SCC + DDC 控制系统

1.3.4 计算机分级分布式控制系统

以上的数据采集与操作指导系统、直接数字控制与监督计算机控制均采用集中型结构,即一台计算机控制(或检测)尽可能多的控制回路,实现集中检测、集中控制、集中管理。随着计算机与控制理论不断发展,计算机控制系统的规模也在不断扩大,集中型已难以适应这类需求,于是出现了采用多台计算机构成的分级分布式控制系统。集散控制系统(Total Distributed Control System, TDCS),也称分布式控制系统(Distributed Control System, DCS),是分级分布式控制的一类典型应用形式,如图 1.8 所示。这类系统采用分级分散型控制原理、集中操作、分级管理、分

分散控制、综合协调的设计原则，将系统由下至上分为现场分布式控制级、过程控制集中监控级、生产管理级及企业经营管理级等，各级之间通过高速通信通道相互连接，传递信息，协调工作。其中，现场分布式控制级由分布于被控过程的各现场控制站构成，直接对被控过程的相关参数进行检测与控制；集中监控级主要负责生产过程的集中监视与优化控制；生产管理级主要根据上级下达的任务与本部门生产的具体情况，制定具体的生产计划、工作安排、人员与物料调配及监控级的协调等；企业经营管理级负责企业长期规划与生产计划、销售计划，将任务分解给下属部门，并对来自下级的各类数据进行分析，实行全局总调度。可见，分级分布式控制系统能较好地适应生产过程综合自动化的发展需求。

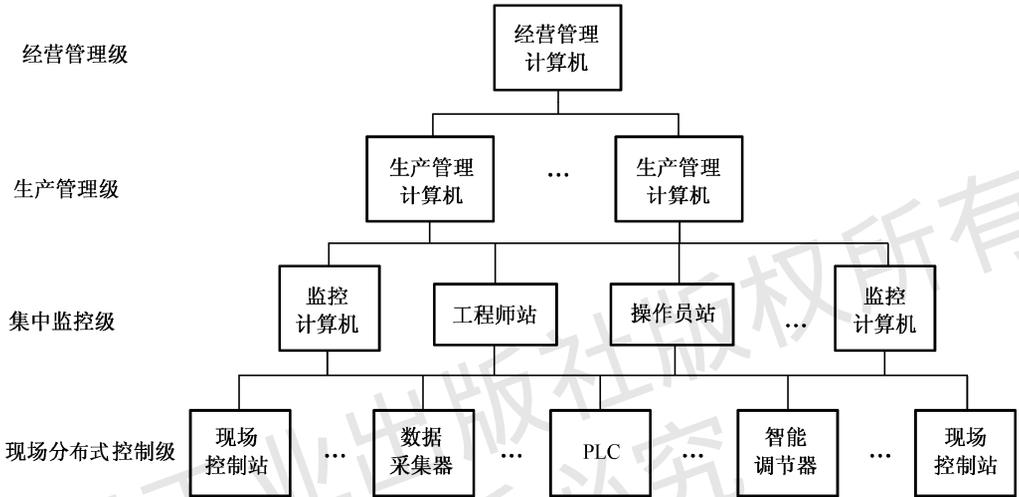


图 1.8 计算机分级分布式控制系统

1.3.5 数据采集与监督控制系统

如果说 DCS 是集中式直接数字控制面向分布式复杂控制任务的发展结果，那么数据采集与监督控制（Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA）系统则是由数据采集与操作指导系统面向分布距离较远、生产单位分散的数据采集与监督控制任务而产生的一类以计算机为基础的自动化监控系统。也就是说，SCADA 系统是对分布距离远、生产单位分散的生产系统进行数据采集、集中监视和分散控制的一种计算机控制系统，它可以实现远程数据采集、设备控制、测量、参数调节以及各类信号报警等各项功能，其核心是对现场信息进行远程检测与采集，并集中监视，同时进行必要的远程控制或报警处理。SCADA 系统的一般组成结构示意图如图 1.9 所示。主要包括远程终端单元（Remote Terminal Unit, RTU）、通信网络系统及中央主站系统等。中央主站系统一般由性能先进的计算机与服务器构成，一个庞大的主站系统通常包括众多工作站与多个服务器，如工程师站、生产调度站、各种监控工作站、实时数据库服务器、历史数据库服务器以及 Web 服务器等。通信网络系统是 SCADA 系统中连接远程终端与中央主站的重要桥梁，其具体构成根据具体应用背景或环境具有多种不同的形式，如有线的有音频、载波、光纤、电力载波通信等，无线的有电台、微波、卫星通信等，还有基于计算机网络的形式，如常见的互联网（Internet）与移动无线网 GPRS 网络等。RTU 一般由通信处理模块、各种数据采集模块与各种数据量（模拟量、开关量等）输出模块等构成。

与 DCS 相比，SCADA 系统主要强调对分布距离较远的现场设备与系统进行远程数据采集与集中

监视功能，而 DCS 强调的是对复杂被控对象的分散控制功能，其分布距离常局限于车间或工厂内部。但随着技术的发展，这两类控制系统具有越来越多的相似之处，常常可以合二为一。

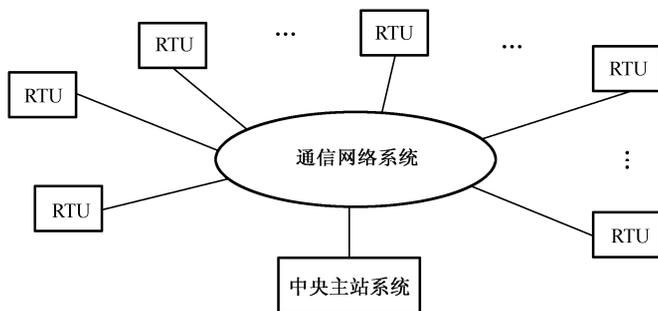


图 1.9 SCADA 系统一般组成结构示意图

1.3.6 现场总线控制系统

现场总线控制系统 (Fieldbus Control System, FCS) 是在 DCS 基础上发展起来的一种高级形式，其核心是引入了现场总线。现场总线是连接过程控制现场各种智能设备 (包括各种检测仪表与执行装置) 与中央监控室之间的全数字、开放式双向通信网络，是一种专门面向工业控制现场的实时、高可靠性数据传输网络。目前国际上流行的现场总线标准有多种，包括 CAN、ProfiBus、HART、FF、LONWORKS 等，它们各有其重点应用领域。

FCS 中的现场智能设备为具有标准协议现场总线接口的数字化多功能仪表，采用总线供电，具有本质安全性，一般具备良好的互换性与互操作性。

与传统的 DCS 比较，FCS 主要改变了现场控制层的结构，摒弃了传统 DCS 中的相对集中现场控制站，而将其化整为零，分散于各种现场仪表与现场设备，并通过现场总线构成相应的控制回路，实现了真正的分散控制，图 1.10 所示是一个简单的现场总线控制系统结构示意图。

以上简要介绍了几类较为典型计算机控制系统，但这并不是一种严格的分类，具体的应用形式还与其具体应用背景和需求有关，比如计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS) 是针对计算机在制造业管控一体化应用中的一种专门形式，它进一步强化了任务调度、企业生产经营管理等功能。

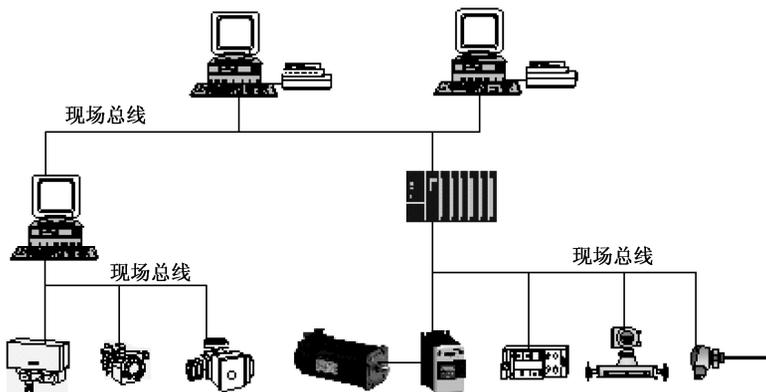


图 1.10 现场总线控制系统

1.4 计算机控制系统的发展概况

计算机控制系统是自动控制理论与计算机技术相结合的产物，它的发展自然离不开控制理论与计算机技术的发展。特别是计算机及其相关技术，对计算机控制系统的发展进程与发展趋势具有重要的影响。

1.4.1 计算机控制系统的发展历程

计算机控制系统的产生与发展是与计算机技术的发展密不可分的，随着20世纪40年代中期数字计算机的问世，经历50年代至60年代的计算机实用阶段，到70年代初微型机的诞生，计算机控制的发展也大致经历了三个阶段，即开创与实验阶段、推广应用阶段与全面发展阶段。

20世纪50年代初至60年代中期是计算机控制开创与实验阶段。20世纪50年代初，利用计算机首先在化工生产中实现了自动测量与数据处理。1954年出现了计算机开环控制系统。1959年在美国得克萨斯州的一家炼油厂诞生了第一套计算机闭环控制系统——聚合装置计算机控制系统。1960年美国孟山都公司的氨厂实现了计算机监督控制。1962年孟山都公司的乙烯工厂在线运行了工业控制中的第一个直接数字控制（DDC）系统。

DDC的出现引起了学术界与产业界对计算机技术与计算机控制技术的极大关注，从而促进了计算机控制理论的研究与发展。到20世纪60年代中期，DDC技术有了很大发展，计算机厂家与用户一起制定了DDC系统技术指标，并对各种控制算法及采样周期选择等问题进行了广泛的研究，使DDC的基本理论框架逐步成熟。

20世纪60年代中期至70年代初期，以DDC为主的计算机控制进入逐步推广应用阶段。随着DDC相关理论的日趋成熟，结合当时的小型计算机技术的发展，使得计算机控制在工业过程控制中的应用得到较快发展。一些计算机厂商生产出了各种类型的适合于工业过程控制的小型计算机，由于其体积小、速度快、可靠性高和价格便宜，因此，对于较小的工程项目也能利用计算机来控制。由于经济与技术上的原因，这个时期的计算机控制系统主要采用集中型控制结构。

随着1972年微型计算机的出现，计算机控制系统也进入一个崭新的发展阶段。由于微型计算机的价格更加便宜、体积更小，因此以微型计算机为核心的DDC系统得到普遍应用。20世纪70年代中期，随着微处理器技术的发展，特别是以单片微型计算机为代表的多功能微控制器的出现，促使了以微控制器为基础的分散型计算机控制系统的诞生，将这些分散的控制器通过数据网络实现集中管理，即发展为集散控制系统（即DCS）。到20世纪80年代中后期，集散控制系统得到了快速发展与应用，特别是随着20世纪90年代网络技术的迅猛发展，DCS得到了更为广泛的应用，并占据了工业控制领域的主导地位。

20世纪80年代逐渐兴起的计算机集成制造系统（CIMS）技术，旨在通过采用信息技术实现集成制造，以提高企业的生产效率与竞争能力，是信息技术、管理技术与制造技术密切结合的产物。CIMS的理念与应用对现代制造技术产生了重要的影响。

传统工业自动化系统一般有两类控制，即常规的闭环控制（如PID调节）和继电逻辑控制。前面主要讨论了计算机取代常规控制器构成的计算机控制系统。而微型计算机与微电子技术的发展同样对传统的继电逻辑控制带来了深刻影响。20世纪70年代，以微处理器为核心，通过存储于存储器中的程序，实现开关量的逻辑运算与延时等功能，从而构成了完全可以替代传统继电逻辑控制的可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller, PLC）。PLC技术很快便在工业控制中获得了巨大的成功，并得到飞速发展，现今的PLC已经远远超越了传统的继电逻辑控制功能，并具备各种常规控制、复杂控制与网络功能等。

在制造业的机床加工领域有一类重要的控制技术称为数值控制 (Numerical Control) 技术, 其概念诞生得比计算机还早许多。数值控制通过数值计算方法确定加工轨迹的所有中间点的坐标, 从而确定坐标进给路线。早期的数值控制是将事先计算好的坐标进给路线指令制成磁带或穿孔纸带的形式输入控制系统, 从而实现了对加工轨迹的控制。随着计算机技术的发展, 将计算机与数值控制直接在线结合起来, 形成了计算机数值控制 (Computer Numerical Control, CNC), 计算机不仅用于加工路线的在线计算, 同时还直接参与控制, 完成各种复杂的控制功能, 并随着计算机与控制技术的发展而不断发展。CNC 已成为数控加工机床的一种重要支撑技术。

近年来, 随着计算机与网络技术的迅速发展, 基于网络的计算机控制技术正受到普遍关注。基于网络的控制系统致力于采用统一的网络协议与结构模型, 实现由单一的封闭网络到开放式网络, 由基于局域网的控制到基于广域网的控制, 相关研究取得了积极成果, 并已有不少成功应用案例。

1.4.2 计算机控制系统的发展趋势

随着计算机技术、网络技术、控制技术等的飞速发展, 计算机控制已经由最初的主要面向工业控制领域逐渐延伸到社会生产与生活的各个领域, 计算机控制技术不仅是现代计算机技术与控制技术的重要内容, 而且正在成为现代社会的一种重要支撑技术。目前, 计算机控制系统主要有以下几个发展趋势。

1. 嵌入式控制系统普遍应用

各种嵌入式芯片与嵌入式软件技术的发展, 为计算机控制在人们日常生活、工农业生产过程和军事应用等各个领域中的普遍应用提供了更好的技术条件。嵌入式控制系统将一个以微型计算机为核心的计算机控制系统嵌入到一个具体的应用系统中, 作为该应用系统所固有的一个有机组成部分, 一般具备成本低、体积小、功能完备、速度快、功耗低、可靠性好等特点。这类嵌入式控制系统在各种智能家电、智能仪器设备中应用最为普遍。针对各类典型应用开发的各种嵌入式控制系统标准模块将为其更为广泛的应用奠定坚实的基础。同时, 这类嵌入式控制单元还可作为其他复杂控制系统的基本控制单元。

2. 可编程逻辑控制器的功能更为精细与强大

可编程逻辑控制器 (PLC) 作为一类较为成熟的专业级控制设备, 已经在制造业及其他流程控制中得到普遍应用。随着相关技术的进步与应用需求, PLC 已经不再局限于原有的逻辑控制功能, 还具备较为完善的数据处理、故障自诊断、PID 运算及联网等功能, 在功能上更为精细与强大, 其模块化的结构特点使其可以适应不同形式的应用, 从而大大拓展了 PLC 的应用范围。因此, PLC 不仅可以作为专业级的控制设备应用于各类控制系统中, 还将作为一类重要的通用控制单元, 应用于各种大规模的复杂控制系统中。

3. 现场总线控制系统趋于标准化

随着实际应用需求中控制规模的不断扩大, 集散型控制结构已经得到普遍认可和广泛应用。但传统的分布式控制系统 (DCS) 一般是一个相对封闭与专业的控制系统, 其通用性还不是很理想。同时, 传统的 DCS 在现场级也还没有真正做到彻底分散, 其安全性与可靠性仍然有一定限制。在传统 DCS 基础上发展起来的现场总线控制系统 (FCS), 利用现场总线技术, 使得传统 DCS 中控制站的部分功能可以向下分散到现场级各个控制与检测单元中, 从而减轻了控制站的负担, 使得控制站可以专门负责执行复杂的高层次控制算法。现场总线控制系统已经成为并将继续作为工业控制中的主要应用形式。

尽管目前仍然还是多种现场总线标准并存，但制定相对单一且开放的现场总线标准，形成真正的开放式互联控制系统一直都是控制业界追求的目标。

4. 网络控制系统日臻成熟

随着互联网技术的高度发展，基于网络的控制系统（简称网络控制系统）正在受到普遍关注。网络控制系统是以网络为媒介对被控对象实施远程检测、远程控制、远程操作的一种新兴计算机控制系统。在网络控制系统中，上层的管理决策、任务调度、优化控制等可以方便地与各种现场设备连接在一起，从而实现全系统的整体自动化与性能优化。在有些人不易操作或无法到达的场合，如强辐射、高热、易燃易爆、深海等环境下作业，可以通过基于网络的遥控方式实现有效的控制。此外，网络控制系统还可用于一些特殊的远程控制场合，如医疗领域的远程病理诊断、专家会诊、远程手术等。近年来，随着无线传感器网络（Wireless Sensor Network，也称物联网，即 The Internet of Things）技术的兴起与发展，更为网络控制系统注入了新的技术与内容。可以预见，在不久的将来，随着相关技术的发展与进步，基于网络的控制系统将被广泛用于社会生产与日常生活的各个领域之中。

除上述几个主要发展趋势之外，以计算机集成制造系统（CMIS）为代表的实现企业经营管理与生产控制综合优化的相关技术与理念，也将得到进一步深化发展与广泛应用。

同时，上述几个方面也是相互关联、互为支撑的，在一个大规模的综合自动化系统中，往往可能包含以上所有方面的内容。

1.5 计算机控制系统的理论与设计问题

从概念上讲，计算机控制系统是从常规的连续控制系统基础上通过计算机的参与而得到的，连续控制系统的相关理论与方法在某些情况下也可用于计算机控制系统的分析与设计，但计算机控制系统也有许多特殊问题是常规的连续控制理论无法解决的，因此需要有计算机控制系统的相关理论与方法。

1.5.1 计算机控制系统的理论问题

计算机控制系统由计算机及其相应的一些信号变换与接口装置取代了原来连续控制系统中的常规控制器，其被控过程本身是一个连续的过程，通过采样过程将连续时间信号离散化，即构成所谓的采样控制系统。一般情况下，当采样时间间隔足够小时，该系统可以与其相应的连续控制系统相当。因此，已经发展得比较成熟的连续控制系统理论自然成为计算机控制系统分析与设计的一个重要基础。但是，由于采样过程及离散信号处理的存在，使得计算机控制系统并不能与原来的连续控制系统完全等价，所产生的一些新问题也是一般连续控制系统理论难以解决的，需要探讨离散时间信号系统的相关理论。

采样过程的存在是采样控制系统的重要特征，它可能会带来一些特殊问题，如假频现象、差拍现象等，这些都必须依据信号采样理论才能得以解释。因此，信号采样理论是理解离散时间系统出现的某些特殊现象的真正基础。

采样与采样周期对计算机控制系统的性能具有重要影响。一个原本完全稳定的连续控制系统，采用计算机控制后，其稳定性可能下降，甚至变得不稳定；一个状态完全可控的连续控制系统，若采样周期取得不合适，则可能会变得不可控。同时，一个稳定的连续控制系统进入到无误差的稳态所需的时间，理论上时间 t 应趋于无穷，即需要有足够长的调节时间，而在计算机控制系统中则可以进行有限拍控制，即在有限个采样周期内结束过渡过程，进入稳态。这些也需要由建立在信号采样理论基础上的 z 变换理论才能得以分析和解释。

在不含纯滞后环节的连续系统中，模拟信号的传递可以认为是瞬时完成的，即系统的输出反映同一时刻输入响应。而计算机控制系统中，由于 A/D 转换、计算机运算、D/A 转换均需要花费一定的时间，因此系统某时刻的输出，实际上不是当前时刻输入的响应，这就是所谓的“计算机信号时延”。计算机信号时延对系统性能会有一定影响。此外，计算机控制系统还存在一个有限字长的问题，它们也会引起一些特殊现象，如量化效应、极限环振荡等，这些则需要依据数字系统的相关理论才能进行有效分析与处理。

综上所述，尽管计算机控制系统的某些特性可以用连续控制系统理论解释，但还有很多现象是不能用连续系统理论加以分析和解释的，还必须依据其他相关的理论。除连续控制系统理论之外，在这里，计算机控制系统理论主要还包括以信号采样与 z 变换为基础的采样系统理论，以及与计算机及数字信号相关的数字系统理论。

1.5.2 计算机控制系统的设计问题

由于计算机控制系统是一个混合信号系统，同时，连续控制系统理论又相对比较成熟，因此计算机控制系统的设计方法也可分为两大类，即基于连续系统理论的设计方法与离散域直接设计方法。

基于连续系统理论的设计方法，是把计算机控制系统视为一个连续系统，基于连续控制系统理论与数字控制器（数字控制算法）等价的连续控制器（如图 1.11 所示），然后采用相应的一些离散化的方法将该等价连续控制器离散化（即数字化），以便于计算机实现。这种离散化将会产生误差，并与采样周期的有关，所以这种方法是一种近似实现方法。由于连续域的设计方法已比较成熟，所以该方法是比较常用的一种设计方法。

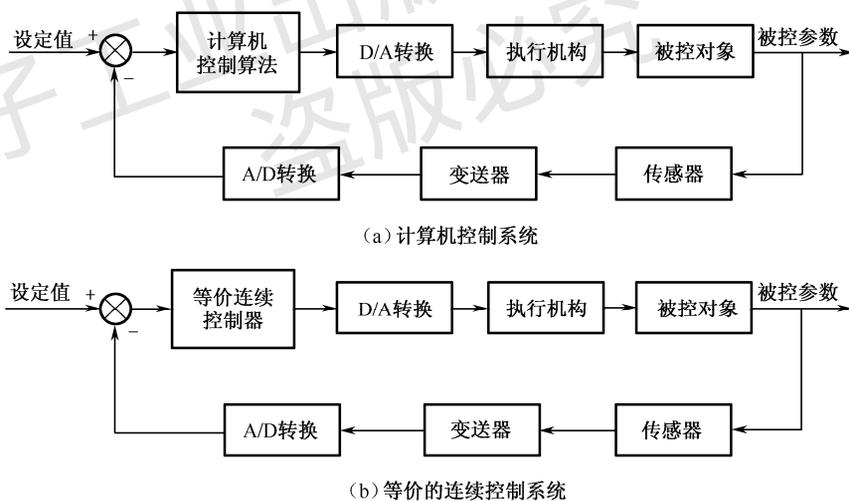


图 1.11 基于连续系统理论的数字控制器设计

离散域直接设计方法，是把计算机控制系统视为一种离散时间信号系统，先将系统中所有连续部分离散化，然后直接在离散域进行设计，得到相应的数字控制器，并在计算机中实现。这种方法是一种较为准确的设计方法，无须再对控制器进行近似离散化，因而日益受到人们重视。

另外，从设计中使用的数学描述方法不同，还可分为基于 z 传递函数的经典设计方法与基于系统离散状态空间描述的状态空间设计方法。

以上关于计算机控制系统的理论与设计问题也正是构成本书的主要内容，即本书将主要讨论以常规反馈控制结构为主的计算机控制系统的相关理论分析与设计方法。

本章小结

计算机控制系统是以计算机及其相应的输入/输出信号变换装置和控制算法取代常规控制系统中的控制器而构成的一类控制系统。其中控制过程包括实时数据采集、实时数据处理与决策及实时控制三个基本步骤，且三个步骤按顺序循环执行。

计算机控制系统直接参与实际被控过程的控制，要求具备较好的实时性，即系统的数据采集、处理与决策及输出控制均要求在一个较短的时间内完成，否则系统将失去有效的控制作用。

常用的计算机控制系统形式包括数据采集与操作指导系统、直接数字控制（DDC）系统、监督计算机控制系统（SCC）、集散控制系统（DCS）、数据采集与监督控制（SCADA）系统与现场总线控制系统（FCS）等多种典型类型，每种形式各有其特点与适用范围。

计算机控制系统不仅涉及经典的连续控制理论，还涉及离散系统理论与数字系统理论，特别是涉及采样系统理论，这些理论形成了计算机控制系统的基本理论框架。

由于计算机控制系统的被控过程通常为连续过程，因此计算机控制系统的设计方法也可分为基于连续系统理论的设计方法和基于离散系统理论的设计方法两大类。

习题与思考题

- 1.1 什么是计算机控制系统？它与连续控制系统有何区别？
- 1.2 简述计算机控制系统的控制过程的基本步骤。
- 1.3 什么是计算机控制系统的实时性？为什么要强调实时性？
- 1.4 简述计算机控制系统的硬件组成及各部分的基本功能。
- 1.5 计算机控制系统一般有哪些典型应用形式？各有何特点？
- 1.6 简述计算机控制系统的发展趋势。