

# 概 述



## 学 习 目 标

- 掌握计算机测控系统基本概念
- 了解计算机测控系统发展趋势
- 熟悉计算机测控系统的应用类型
- 掌握计算机测控系统设计原则与方法

## 1.1 计算机测控系统概述

### 1.1.1 计算机测控系统概念

#### 1. 计算机测控系统含义

计算机测控技术是传感技术、自动控制技术、计算机技术、通信技术、计算机网络技术、智能技术和数据库管理技术综合发展的产物。计算机测控技术是现代工业技术中的重要支柱，许多科技领域的重大成果的取得都与测控技术密不可分。随着新技术的不断发展，测控技术相互结合、相互渗透，已成为一个融合机、电、光、算一体化的多学科交叉、综合发展的新学科领域。

计算机测控系统是以测量与控制为目的，在无人直接参与的情况下，应用计算机测控技术实现目标对象的数据采集、信息处理、决策控制、监督管理的综合自动化系统。系统能够自动地按照预定的规律运行，实现预定的目标要求，是测、控、管一体化系统。计算机测控系统包含的内容十分广泛，包括各种仪器仪表、自动测试系统、生产过程控制系统、设备的检测与监控系统。现代测控系统是以计算机为核心的测控系统，实现复杂的数学分析、数据融合、信号处理、控制计算，可以对测控对象实行更有效的测量与控制。

计算机测控技术是现代工业测控发展过程中由仪器仪表测试技术与计算机控制技术形成的综合技术。测试技术包含了测量和试验两方面的含义，综合了具有试验性质的测量与试验。测试仪器早期为简单的模拟式、数字式仪表，20 世纪 70 年代以来，计算机技术发展逐步渗透到仪器仪表技术和测试领域，仪器仪表与测试技术得到迅猛发展，出现了以计算机为核心的自动测试系统，逐步发展到智能化仪表、虚拟仪器等先进仪器设备。卡式仪器、总线式仪器、虚拟仪器等计算机化仪器技术的应用，使组建集中和分布式测试系统变得更为容易。近年来，随着计算机、微电子、通信和网络技术的发展与相互结合，测量与仪器技术有了前所未有的发展空间和机遇，基于网络的测量技术与具备网络功能的新型仪器应运而生，测试系统具有网络化、多功能、智能化、易操作、可靠性高等特点。

计算机控制是以电子、计算机、自动控制理论、控制工程和自动化仪表为基础的自动控制技术，随着科学技术的进步与发展，控制要求的不断提高，控制系统从单输入/输出的简单控制系统到多输入/输出的多变量控制系统，从线性定长控制系统到非线性系统、时变和分布参数控制系统，系统的控制变得越来越复杂，计算机控制技术发展使得自动控制的层次与水平发生巨大变化。



初期的生产数据采集与处理，系统的开环和闭环控制，均采用计算机集中控制方式，主要完成生产过程的局部控制，系统功能相对单一，可靠性不高。20 世纪 80 年代，集散控制系统得到迅速发展，计算机被分散到小范围装置中去实现局部控制，将控制出现故障的危险性分散，提高了系统的控制速度与可靠性，而且技术上容易实现，同时，在控制基础上增加管理功能，控制系统从单一过程、单一对象的局部控制，发展到对整个过程、整个企业全局控制。20 世纪 90 年代，随着控制网络的发展，出现了全分布的智能化控制设备与控制系统，系统具有良好的互操作性、极高的可靠性、很强的开放性，系统向着大系统或系统工程的方向发展，计算机控制技术在深度与广度上得到全面发展，同时也推动了自动控制理论和控制工程的发展，目前计算机控制正向控制信息综合自动化方向发展。

在现代工业发展过程中，计算机测量与控制是不可分割的两个部分，无论是过程控制、状态监测，还是故障诊断、质量检测，都离不开数据检测，控制系统少不了对各种对象特性进行检测与处理，测控对象的控制是依据对被控对象的测量结果而决定，检测的最终目的又是为了更好地利用与控制系统。依据测控系统的任务不同，基于计算机的测量与控制，分为计算机测量系统、计算机控制系统和计算机测控系统。

计算机测控系统以实现测、控、管综合自动化，提高生产效率，降低能耗，减轻人工的劳动强度为最终目标，具有强实时性、可靠性高、功能丰富、可视性高、应用灵活，环境适应性强，以及可维修性好等特点，已被广泛用于现代工业生产、航空、航天工业、国防军事及科学实验，以及办公自动化、商业自动化等人类活动的各个领域。

## 2. 计算机测控系统的基本组成

计算机测控系统具有多样性，典型的计算机测控系统包括测量与控制两大功能，一般工作过程涉及数据采集、控制决策、输出控制、信息传输管理等内容。图 1-1 所示为典型计算机测控系统组成示意图。

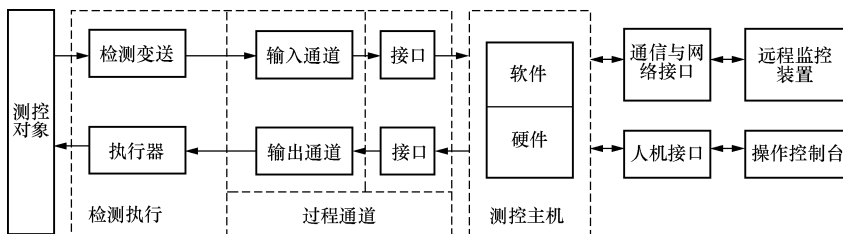


图 1-1 典型计算机测控系统组成示意图

(1) 测控对象。一般指被测控的生产设备或工业生产过程，又称被控对象，如各种类型的换热器、反应器、加热炉、传输设备等。研究和掌握对象的特性和数学描述是设计高质量测控系统的前提和关键之一。用数学方程式定量地表示对象动态特性的形式称测控对象的数学模型，从定量分析和设计角度，测控对象只是被控设备或生产过程中影响对象输入、输出参数的部分因素，并不是设备的全部。例如：在精馏过程控制中，定回流控制系统的控制对象，只涉及设备的回流管道。测控对象输入、输出参数通过对象的内部状态相互联系。测控机理不同，对象的数学模型也不同。在设计和分析测控系统时，一般采用微分方程或状态方程的形式表述测控对象。

### (2) 测控系统硬件。

1) 测控主机。主机是计算机测控系统的核心，指挥整个测控系统有序地工作，主要完成巡回采集、数据分析处理、计算；对系统中的各种数据进行越限报警、事故预报和处理，实现诊断与管理等；根据被控生产过程的特点和控制要求，选择合适的控制方法，包括复杂的先进控制策略，

按照给定的控制策略和生产情况,实现实时控制及输出。

测控主机有工控机、智能仪器、PLC、PAC、嵌入式处理器等类型,它的功能、性能直接影响到系统的优劣。实际应用时依据测控目的任务、应用规模等选用性能价格比高的主机,对于小型控制系统、智能仪表及智能化接口,一般采用嵌入式模式;中等规模的控制系统,为加快系统的开发速度,可以选用 PLC 或工控机;而大型的生产过程控制系统,一般配置专用的 DCS、FCS。

2) 检测与执行机构。测控对象的参数(如温度、压力、流量)通过传感器进行检测,产生与被测参数对应关系的电信号,转换成一种标准形式,通常通过传感变送器转换成 4~20mA 电流或 1~5V 电压标准信号。

执行器是一种执行过程控制的设备,如电动执行器、控制电动机,计算机测控系统根据偏差来控制有关输出部件,达到自动调节被控量(或状态)的目的。

执行机构的控制对生产装置的控制通常是通过对阀门或伺服机构等执行机构进行调节,对泵和电机进行控制来达到的。如电动调节阀通过调节阀门的开度来控制流体的速度,通过继电器接点闭合或电平产生的跳变去启动或停止某个电动机,可采用电压或电流信号驱动执行机构。

3) 过程通道。它是计算机主机与测控对象之间进行信息传递和转换的连接通道,过程通道分为输入通道和输出通道;包括模拟量输入通道、模拟量输出通道、数字量(开关量)输入通道、数字量(开关量)输出通道,过程通道由各种硬件设备组成,通过接口与主机相连,起着信息变换和传递的作用,配合相应的输入、输出控制程序,使主机和测控对象间进行信息交换,从而实现生产过程控制。目前工业上使用最多的是板卡式过程通道与远程 I/O 模块。

4) 通信与网络接口。单机测控系统一般不具有通信功能,即使有通信功能也只是系统扩充。多机测控系统必须具有通信功能,多机测控系统往往是二级及以上系统。上位机与上位机之间一般采用通用的网络通信,如以太网、TCP/IP 等。上位机与下位机之间一般都采用 RS-485 总线式通信网络或具有实时性通信网络及其协议,以确保控制功能的实时性和可靠性。

现今的工业过程控系统一般都采用分级分散式结构,即由多台计算机组成计算机网络系统,共同完成上述的各种任务。各级计算机之间通过通信网络实时地交换信息。此外,有时生产过程控制系统还需要与其他计算机系统,如企业综合信息管理系统进行数据通信。

5) 人机接口。它是操作人员与计算机之间相互交换信息的接口,通过这些接口,操作人员可及时了解测控过程的运行状态、运行参数、报警信号等信息,并通过它向计算机输入程序、修改相关参数,发出各种控制命令或紧急处理某些事件,实现相应的测控任务。计算机和操作人员之间的人机接口,包括 CRT 显示器和键盘,以及操作控制台两类设备,显示生产过程的状况、供操作人员操作、显示操作结果。触摸屏技术发展较快,使用方便,人机界面友好,简化信息输入设备,便于系统维护和改造,已渗透到工业控制的各个领域。操作控制台一般应包括信息显示、信息记忆、工作方式选择和信息输入。

(3) 测控系统软件。测控系统软件是计算机测控系统中与硬件相互依存的部分,软件设计的合理性和可靠性对整个系统的影响非常大。测控系统软件分为系统软件和应用软件两大部分。应用软件是面向测控系统本身的程序,根据系统的具体要求,由用户自己设计,主要包括以下功能:

1) 数据采集、分析及处理。实时数据采集程序,主要完成多路信号的采样、变换、存储等;数据处理程序包括: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用软件补偿;标度变换程序,把采集到的数字量转换成操作人员所熟悉的工程量;数字信号采集与处理程序,对数字输入信号进行采集及码制之间的转换。



2) 控制决策、控制输出。控制算法程序是控制系统中的一个核心程序模块, 主要实现所选控制规律的计算, 产生对应的控制量。它主要实现对系统的调节和控制, 它根据各种各样的控制算法和被控对象的具体情况来编写控制程序, 主要目标是满足系统的性能指标。常用的有数字式 PID 调节控制程序、最优控制算法程序、顺序控制及插补运算程序等。还有运行参数设置程序, 对控制系统的运行参数进行设置。

3) 监控报警。由采样读入的数据或经计算机处理后的数据进行显示或打印, 以便实现对某些物理量的监视; 根据控制策略, 判断是否超出工艺参数的范围, 计算机要加以判别, 如果超越了限定值, 就需要由计算机或操作人员采取相应的措施, 实时地对执行机构发出控制信号, 完成控制, 或输出其他有关信号, 如报警信号等, 确保生产的安全。

4) 数据通信。数据通信程序是用于完成计算机之间、计算机与智能设备之间信息传递和交换。它的主要功能有: 设置数据传送的波特率; 上位机向数据采集站发送机号; 上位机接收和判断数据采集站发回的机号; 命令相应的数据采集站传送数据; 上位机接收数据采集站传送来的数据等。

5) 系统管理。系统管理用来将各个功能模块程序组织成一个程序系统, 并管理和调用各个功能模块程序, 其次用来管理数据文件的存储和输出。系统管理程序一般以文字菜单和图形菜单的人机界面技术来组织、管理和运行系统程序, 用于生产管理部分, 主要包括变化趋势分析、报警记录、统计报表、打印输出、数据操作、生产调度及库存管理等程序。

### 1.1.2 计算机测控系统典型应用类型

计算机测控系统应用类型广泛, 针对不同的应用类型的测控系统设计方式有专用与通用两类。专用测控系统的应用领域专一, 或为某项应用而专门开发设计, 系统软硬件紧凑, 侧重于特定的功能应用, 如智能仪器仪表、家电控制器、数控装置等。通用测控系统主要应用于数据采集和过程控制系统, 选用通用的软硬件资源来构建, 系统功能有许多共性要求, 系统研发费用低, 开发周期短。

#### 1. 基于微处理器的测控系统

基于微处理器的测控系统不仅具有信息采集、数据处理, 输出控制及自动化操作等功能, 还能辅助专家进行推理、分析或决策, 具有一定人工智能功能。由微处理器构建的仪器被称为智能仪器, 由微处理器的测控系统称为智能仪器测控系统, 用于实现对其他设备的控制、监视或管理功能, 随着嵌入式处理器技术的不断发展, 智能仪器已从较为成熟的数据处理向知识处理发展, 实现模糊判断、故障诊断、容错技术、传感器信息融合、机件寿命预测等更高的层次功能。微处理器化测控系统被广泛应用于科学计算、工业控制、现代农业、日常生活等领域。

(1) 微处理器化测控系统组成。微处理器化测控系统基本组成如图 1-2 所示。测控系统一般由嵌入式微处理器、外围硬件设备、接口部件及软件等四个部分组成。微处理器接收来自输入接口的信号、进行逻辑判断和控制算法运算、产生控制输出给各输出接口, 接收来自人机接口的用户输入、控制人机接口输出信息。

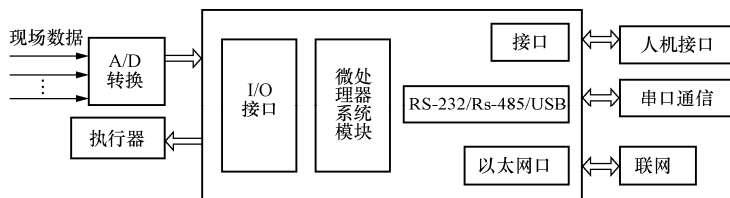


图 1-2 微处理器化测控系统基本组成

嵌入式处理器是测控系统中的最核心部分, 嵌入式处理器分为嵌入式微处理器 (MPU)、嵌

嵌入式微控制器 (MCU)、嵌入式 DSP 处理器、嵌入式片上系统 (SoC) 等几大类, 其中各种档次的 8/16/32/64 位微控制器应用最为广泛。

外围硬件设备包括传感器或检测装置、执行器。传感器或检测装置将物理量转换为电信号。开关状态传感器将设备开关状态转换为开关信号。

接口包括模拟量输入/输出接口、开关量输入/输出接口、人机接口、通信接口。模拟量输入/输出接口: 信号调理、A/D 转换。开关量输入/输出接口: 开关信号转换为数字信号外围硬件。人机接口部分实现用户与系统人机交互的设备。接受输入命令和数据, 输出各种显示和打印信息。系统备有各种标准的通信接口, 能很方便地与 PC 机和其他仪器组成各种近程和远程的测控系统, 完成更复杂的测控任务。测控系统软件包括嵌入式操作系统以及用户的应用程序。

## (2) 微处理器化测控系统的特点。

1) 功能丰富、性价比高。嵌入式处理器的引入使智能仪器的功能较传统仪器有了极大的提高, 采用软件技术实现硬件电路难以解决或根本无法解决的问题, 智能仪器可通过数字滤波、非线性校正、系统误差修正等智能技术来修正和克服智能仪器内的传感器、变换器、放大器等引入的误差和干扰, 从而提高仪器的精度和其他性能指标。

2) 结构紧凑、可靠性高。集成电路的密度越来越高, 体积越来越小, 内部机构越来越复杂, 功能也越来越强大, 大大提高了测控模块以及整个智能仪器系统的集成度。智能仪器由于采用了微处理器, 这样, 仪器简化了结构、功耗低、体积小、降低了成本和提高了可靠性。嵌入式系统应用于小型电子装置, 系统资源相对有限, 广泛应用于机电一体化系统。

3) 具有自测试和自诊断功能。测控系统能自行测试功能是否正常, 自行诊断是否存在故障及故障的部位, 提高了仪器的可靠性, 简化和加快了仪器的维修工作。

4) 系统能实现复杂的运算和控制功能。微处理器的运算速度越来越快, 运算能力越来越强, 这就使智能仪器不仅能实现经典算法, 而且还能实现最优控制和最佳滤波等现代算法。

5) 系统的人机对话能力强。采用键盘、触摸屏输入, 功能强, 操作简单灵活。智能仪器可根据需要采用 LCD、CRT 等方式显示测量结果, 以窗口方式实现人机对话显示清晰、直观、快速。

6) 系统自动化水平高。微处理器能控制仪器的整个测量过程。如键盘扫描, 量程选择, 数据采集、传输、处理及显示记录输出等, 实现了测量过程的自动化。

由于智能仪器都备有各种标准的通信接口, 所以它能很方便地与 PC 和其他仪器一起组成各种近距离和远程的测量系统, 从而完成更复杂的测试任务。

7) 系统构成柔性化。智能仪器强调软件的作用, 选配一个或几个带共性的基本仪器硬件来组成一个通用硬件平台, 通过调用不同的软件来扩展或构成各种功能的智能仪器或系统。

## 2. 基于工控机的测控系统

工控机 IPC 是对工业生产过程及其机电设备、工艺装备进行测量与控制用的计算机, 又称工业计算机。它可以作为一个工业控制器在工业环境中可靠运行。工控机测控系统以工业控制计算机与 I/O 接口设备为基础, 实现测控对象的测试与控制功能。

工控机具有较强的扩展能力、较强的恶劣环境适应能力及较高的工作可靠性。工控机通用测控系统平台的构成如图 1-3 所示, 测控系统 I/O 接口类型丰富, 有内置通用数据采集卡 DAQ (Data Acquisition)、GPIB 通用接口总线, 符合国际标准 (IEEE488.1 和 IEEE488.2), VXI 总线、PXI 总线、RS-232/RS-485 串口、USB 接口等类型。工业计算机测控系统结构简单、价格低廉、组成灵活、标准化程度高、结构开放、配件供应来源广泛、应用软件丰富等特点, 是一种广泛应用的计算机测控系统。工业计算机测控系统主要包括内置板卡测控系统与外接式外总线式测控系



统两种类型。

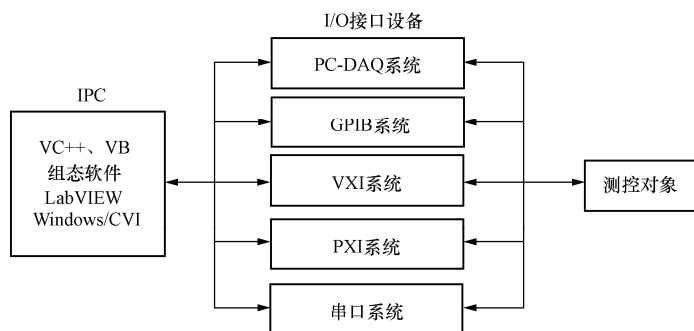


图 1-3 工控机测控平台的构成形式

(1) 内置板卡测控系统。它主要由工控机、数字量输入/输出板卡、模拟量输入/输出板卡、驱动程序和应用软件等构成。工控机结合 I/O 板卡的测控系统结构如上图所示。根据现场的实际需求，进行被控设备与测控系统间的连接，另外，可在扩展槽中插入相应板卡以拓展系统的控制功能。通用 I/O 板卡和 I/O 接线端子板（或现场总线卡、现场总线以及远程 I/O 模块）负责与工业测控现场打交道。

采用工业 PC 及通用的测控板卡构造的测控系统，是基于工业 PC 的集成板卡的测控方案。内插式测控系数将输入/输出接口电路制成插板形式，PC 系统总线，如 ISA、PCI、Compact PCI、PC/104 等，板卡直接插入工业 PC 主机箱内的扩展槽内，通过计算机的各种系统总线与 CPU 交换信息，来自测量电路的测量信号通过板卡与计算机打交道，主机与控制电路系统之间也只通过板卡进行联系，输入/输出板卡直接与 IPC 的系统总线相连，插在计算机主机的扩展槽上。

(2) 外总线式测控系统。外总线式测控系统由工业 PC 通过外总线接口外接现场测控设备组成，组成示意如图 1-4 所示。测控系统以工业 PC 作为主机，测控设备作为从机，构成分布式计算机测控系统。

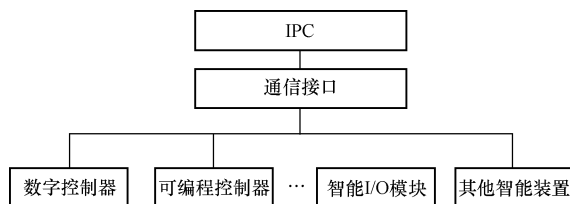


图 1-4 外总线式测控系统组成

现场测控设备一般是由数字控制器、可编程控制器、智能 I/O 模块及其他智能装置组成的，可独立完成数据采集和预处理任务，还可将数据以数字信号的形式传送给上位机。计算机通信接口，如串行总线通信 RS-232C、RS-485、USB 总线、IEEE488 并行总线等。

现场测控设备与工业 PC 之间为主从方式，典型的上、下位机系统及其通信网络组成小型 DCS，重点主要放在集散控制系统的底层与中层二级上。数字调节器、PLC 等现场设备为下位机，作为控制站，对现场物理信号（模拟信号、开关信号）进行实时采集并进行数据处理、控制运算或将结果传送到上位机。上位机工业 PC 作为监控站，实现控制系统的控制操作、过程状态显示、报警状态显示、历史数据的收集和趋势显示及报表生成与打印等。



下位机采用多机并行处理，完成数据采集、处理与分散控制，大大地提高了系统的可靠性，不但可以实现单回路控制，还可以实现串级控制、前馈控制、比例控制等诸多复杂控制方案。测控设备之间通过通信网络实现信息的传送和交换，数据通信通常由上位机控制，确定与哪个测控设备进行数据传送。

工业 PC 具有丰富的软件资源，运算控制功能强、通过软件实现所需功能、具有自诊断功能、带有数字通信功能、具有较有有的人机界面。工业 PC 系统的应用软件可以利用 C、VC++、VB、Delphi 等语言开发，也可采用组态软件作为监控软件，通过对各种资源进行配置，使计算机监控软件按照系统功能的要求，自动执行指定任务，满足控制系统的监视和控制的要求。

3. 集散控制系统

集散控制系统（Distributed Control System，DCS）是随着现代工业生产自动化的不断发展和日益复杂过程控制的要求应运而生的综合控制系统。分布式控制思想的实现得益于网络技术的发展和运用。集散控制系统综合了计算机技术、网络通信技术、自动控制技术、冗余及自诊断技术，多层分级、合作自治的结构形式。自 Honeywell 公司推出的 TDC2000 集散控制系统以来，集散控制系统逐步完善、成熟，20 世纪八九十年代在控制领域中占主导地位。其核心思想是集中管理、分散控制，即管理与控制相分离，上位机用于集中监视管理功能，若干台下位机分散到现场，实现分布式控制，上、下位机之间通过控制网络互联实现相互之间的信息传递。这种分布式的控制体系结构克服了集中式数字控制系统中对控制器处理能力和可靠性要求高的缺陷。

集散控制系统广泛地采用了计算机技术和数据通信技术，完成各种功能站之间的数据通信和联络。建立了包含从工厂现场设备层到控制层、管理层等各个层次的综合自动化网络管控平台，从构建企业综合自动化、企业信息化角度来满足过程控制和管理的要求，大大地提高了系统的可靠性和自动化水平，成为大型生产过程企业的主流控制系统。

(1) DCS 的体系结构。根据管理集中和控制分散的设计思想而设计的 DCS，其体系结构按垂直分解通常可分为三级，体系结构如图 1-5 所示。第一级即分散过程控制级、第二级为集中操作监控级，第三级为综合信息管理级，每一级由若干子系统组成，同一级的各决策子系统可同时对下级施加作用，同时又受上级的干预，子系统可通过上级互相交换信息。各级之间通过通信网络形成一个多级递阶自动控制系统，级内各装置之间由本级的通信网络进行通信联系。

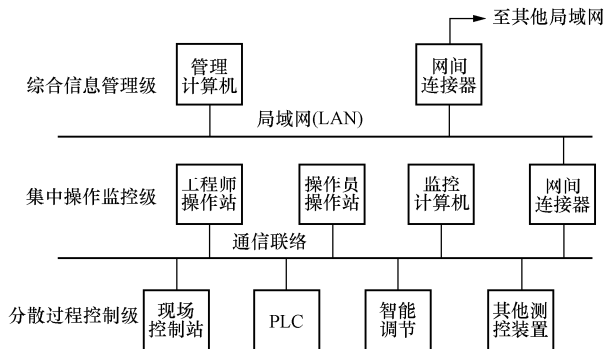


图 1-5 DCS 的体系结构

分散过程控制级也称为过程级，是 DCS 的基础。过程级直接完成生产过程的数据采集、闭环调节控制、顺序控制等功能。该级主要装置有现场控制站，可编程控制器，智能调节器及其他测控装置。过程级向上与监控级进行数据通信，接收操作站下传加载的参数和操作命令，以及将现



场工作情况信息向操作站报告。

集中操作监控级也称为监控级，以操作监视为主要任务，兼有部分管理功能。监控级任务主要包括把过程参数的信息集中化，对各个现场控制站的数据进行收集，并通过简单的操作，进行工程量的显示、各种工艺流程图的显示、趋势曲线的显示以及改变过程参数（如设定值、控制参数、报警状态等信息）。监控级有功能强大的软件支持，确保工程师和操作员对系统进行组态、监视和操作，对生产过程实行高级控制策略、故障诊断、质量评估等。

监控级的主要装置有面向操作人员的操作站、面向监督管理人员的工程师站、监控计算机及网络设备等。通常 DCS 系统只需配备一台工程师站，而操作员站的数量则需要根据实际要求配置。

综合信息管理级也称为管理级，是一个管理信息系统（Management Information Systems, MIS）。管理级是由计算机硬件、软件、数据库、各种规程等组成的工厂自动化综合服务体系和办公自动化系统，主要完成生产管理和经营管理功能。

### （2）集散控制系统特点。

1) 采用分级递阶结构。集散控制系统采用分级递阶结构，从控制、监控到管理的分级结构是从系统工程出发，考虑功能分散、危险分散、提高可靠性、强化系统应用灵活性、减少设备的复杂性与投资成本，一旦过程控制单元出现故障，只影响少量的控制回路，从而在本质上使危险分散，提高了系统的安全性，便于维修和技术更新。通过工业网通信技术可实现对生产过程的优化控制，并实现对生产过程的管理。

2) 采用微处理器技术。集散控制系统以微处理器为基础，实现多种智能技术，系统中的现场控制单元，过程输入/输出接口，显示操作站和数据通信装置等均采用微处理器，有记忆、逻辑判断和数据运算功能，可以实现自适应、自诊断和自检测等功能。

3) 采用工业网络通信技术。集散控制系统的数据通信采用工业局部网络技术，将各个过程控制单元、操作站及上位监控计算机等有机地连接起来，传输实时控制信息，进行全系统信息综合管理，并对分散的现场控制单元、人机接口进行控制和操作管理。

4) 采用高可靠性技术。广泛采用表面安装技术与专用集成电路（ASIC），对每一个元件、部件进行一系列可靠性测试和设计，保证系统高可靠性。采用了冗余、容错技术，使单元影响局部化，采用智能化自检和自诊断技术，具有自修理功能，大大提高了系统运作的可靠性。

5) 具有丰富的软件功能。集散控制系统具有丰富的功能软件包。它能提供控制算法模块、控制程序软件包、过程监视软件包、显示软件包、报表打印和信息检索程序包，至少提供一种过程控制语言，供用户开发高级的应用软件。提供的丰富的标准功能软件包和组态软件包供用户选用，大大减少了用户的软件开发工作量，系统构成灵活，扩展方便。

### 4. 基于现场总线的控制系统

DCS 不是开放系统，控制层具有封闭性和专用性，互操作性差，难以实现数据共享。DCS 一般由操作员站、控制站等组成，系统结构复杂、铺设信号传输电缆量大，布线复杂，成本高，也不便维护。现场信号容易产生衰减，也容易被干扰。

现场总线（Fieldbus）形成于 20 世纪 80 年代末 90 年代初，不同于一般的商用信息网络，现场总线是工业控制网络，是用于自动化领域的现场智能设备互连通信网络。现场总线用数字信号取代模拟信号，把控制功能彻底下放到现场，使设备具有数字计算和数字通信的能力，是工业控制网络向现场级发展的产物，现场总线将现场设备，如传感器、执行器以及控制器等进行互连，在测控设备之间实现双向串行多节点数字通信，是开放式、数字化、多点通信的底层控制网络。现场总线控制系统（Fieldbus Control System, FCS）是以现场总线为基础，是开放式、数字化、多点通信的网络化控制系统。采用现场总线这一开放的、可互操作的网络将现场各控制器及仪表



设备互连,同时控制功能彻底下放到现场,克服了 DCS 的缺点,降低了安装成本和维护费用。现场总线技术使现场级设备的信息作为整个企业信息网的基础,提高了控制系统的信息处理能力和运行可靠性,由现场总线构成的现场总线控制系统已得到越来越广泛的应用。

(1) 现场总线控制系统结构。以基金会现场总线 (FF) 为例,现场总线网络结构如图 1-6 所示。FCS 包含现场总线 H1 与 HSE,以实现不同要求下的数据信息网络通信。FF 现场总线系统分低速和高速 H2 两种通信速率,H2 标准的数据传输速率虽然较 H1 标准有较大的提高,但不支持使用信号电缆线进行供电。为了适应以太网技术的发展,现场总线基金会放弃了原来规划的 H2 高速总线标准,于 2000 年公布了基于 Ethernet 的高速总线技术规范 HSE。

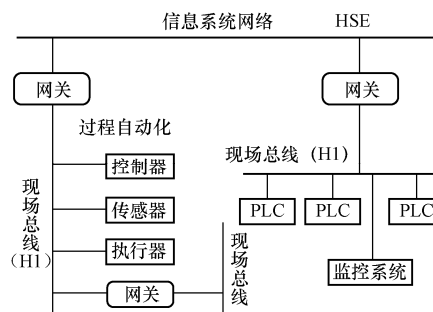


图 1-6 现场总线网络结构

用于过程自动化的 FCS 基本设备包括传感器、执行器、控制器、网桥以及其他辅助设备与监控设备,所有设备共享一条现场总线 H1。传统的控制系统控制器结构复杂,需要对现场模—数信号转换、进行变换和补偿、运算任务繁重。而在现场总线控制系统中,该功能都被集成进了现场总线设备中,现场总线控制器主要完成通信协议转换的功能。

现场总线设备的使用导致了信息处理的现场化,大大简化了整个控制系统的结构,提高了系统控制精度和反应速度,控制系统的组成和重构更加灵活方便。

现场总线控制系统中硬件包括总线电缆,又称为通信线、通信介质。连接在通信线上的设备称为总线设备,也称为总线装置、节点、站点。总线设备主要包括输入设备如传感器与变送器,输出设备如执行器,控制器与监控计算机,网络互连设备如交换机与路由器,以及其他现场总线设备。

软件包括:①系统平台软件,为系统构建、运行以及为系统应用软件编程而提供环境、条件或工具的基础软件。包括组态工具软件、组态通信软件、监控组态软件和设备编程软件;②系统应用软件,为实现系统以及设备的各种功能而编写的软件,包括系统用户程序软件、设备接口通信软件和设备功能软件;③组态工具软件,为用计算机进行设备配置、网络组态提供平台并按现场总线协议/规范 (Protocol/Specification) 与组态通信软件交换信息的工具软件,如 RSNetWorx for DeviceNet、ControlNet、EtherNet/IP;④组态通信软件,为计算机与总线设备进行通信,读取总线设备参数或将总线设备配置、网络组态信息传送至总线设备而使用的软件,如 RSLinx;⑤监控组态软件,运行于监控计算机即上位机上的软件,具有实时显示现场设备运行状态参数、故障报警信息,并进行数据记录、趋势图分析及报表打印等功能;⑥设备编程软件,为系统应用软件提供编程环境的平台软件;⑦系统用户程序软件,根据系统的工艺流程或功能及其他要求而编写的系统级的用户应用程序;⑧设备接口通信软件,根据现场总线协议/规范而编写的用于总线设备之间通过总线电缆进行通信的软件;⑨设备功能软件,使总线设备实现自身功能的软件,不包括现场总线通信部分。

(2) 现场总线控制系统的特点。

1) 全数字化。FCS 的信号传输实现了全数字化,现场总线作为一种数字式通信网络一直延伸到生产现场中的现场设备,使采用点到点式的模拟量信号传输或开关量信号的单向并行传输变为多点一线的双向串行数字式传输,系统测量与控制精度提高,数字化的数据传输使系统具有很高的传输速度和很强的抗干扰能力。



2) 系统开放性。FCS 通信网络为开放式互连网络, 既可与同层网络互连, 也可与不同层网络互连, 可方便地共享网络数据库。通信协议一致公开, 不同厂家的设备之间可实现信息交换, 用户可按自己的需要和考虑, 将不同供应商的产品组成相应的系统, 构建自动化领域的开放互连系统。

3) 互操作性与互换性。互操作性是指实现互连设备间、系统间的信息传送与沟通; 互连设备间、系统间的信息传送与沟通, 更新换代容易, 不同厂商的现场设备既可互连也可互换替换, 实现即插即用, 可以统一组态, 改变了传统 DCS 控制层的封闭性和专用性。

4) 现场设备智能化、功能自治。现场总线设备的智能化、数字化, 与模拟信号相比, 它从根本上提高了测量与控制的准确度, 它将传感测量、补偿计算、工程量处理与控制等功能分散到现场设备中完成, 仅靠现场设备即可完成自动控制的基本功能, 并可随时诊断设备的运行状态。

5) 高度分散性。FCS 废弃了 DCS 的输入/输出单元和控制站, 由现场设备或现场仪表取而代之, 现场设备本身可完成自动控制的基本功能, 使得现场总线已构成一种新的全分布式控制系统的体系结构, 简化了系统结构, 设备与连线减少, 提高了系统的可靠性。

6) 高度环境适应性。现场总线是专为在现场环境工作而设计的, 协议简单、容错能力强、安全性好、成本低。现场总线除了传输信息之外, 还可以完成为现场设备供电的功能。总线供电不仅简化了系统的安装布线, 而且还可以通过配套的安全栅实现本质安全系统, 从而使现场总线控制系统在易燃易爆环境中得以应用。

7) 低成本。相比 DCS, FCS 设计变得简单易行, 安装和校对的工作量大大减少、调试工作灵活方便, 高可靠性大大减小了系统的故障率, 延长了系统正常运行时间, 减少维护停工时间。

8) 信息化。企业信息系统由现场控制层、过程监控层和企业经营管理层构成。现场总线构成了企业信息系统的现场控制层, 构成了企业信息系统的基本框架。现场总线为总线设备及系统的各种运行状态和故障信息、各种控制信息进入公用数据网络创造了条件, 使管理者能得到更多的决策依据, 为管理者做出各种正确决策提供了有力的支持, 使企业获得整体综合效益。

### 5. 工业以太网测控系统

以太网具有传输速度快、低耗、易于安装和兼容性好等方面的优势, 在商业系统中被广泛采用。工业以太网是用于工业控制系统中的以太网技术, 技术上与商用以太网 IEEE802.3 标准兼容, 在实时性、可互操作性、可靠性、抗干扰性、本质安全性和产品的材质强度等方面能满足工业现场的需要。工业以太网是商用以太网技术在控制网络延伸的产物, 已从信息层渗透到工业控制层

和设备层。无论从技术上还是产品价格上, 以太网较之其他类型网络技术都具有明显的优势。

(1) 典型以太网控制系统结构。如图 1-7 所示, 以太网控制系统建立在普通以太网基础上, 以交换式集线器或网络交换机为中心, 利用以太网进行数据采集和监控等工作, 具有相当广泛的应用范围。

对于以太网控制网络, 其控制设备可以是一般的工业控制计算机系统、现场总线控制网络、PLC 及嵌入式控制系统等。一般的工业计算机系统通过以太网接入网络交换机或交换式集线器。现场总线控制网络通过数据网关与以太网控制网

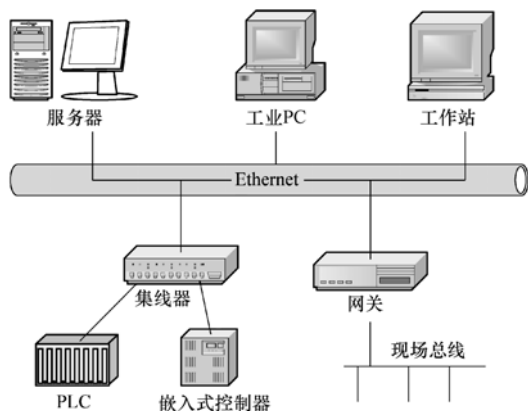


图 1-7 典型以太网的控制网络

络互连。PLC 的接入有两种情况,带有以太网卡的 PLC 可通过以太网卡接入网络交换机或交换式集线器,普通不带以太网的 PLC 要通过转换接入网络交换机或交换式集线器。嵌入式控制系统可通过嵌入式控制器自带的以太网接入网络交换机或交换式集线器。

现场控制设备和带有以太网接口 I/O 模块可以直接连接到以太网,利用嵌入式的软硬件设计,嵌入式控制器完成 TCP/IP 转换与通信控制功能,通过以太网就能方便地对不同设备实行各种数据采集和监控。以太网直接应用于工业现场,构成扁平化的工业控制网络,具有良好的互连性和可扩展性,是真正的全开放的网络体系结构。

#### (2) 工业以太网技术特点。

1) 高度开放性。基于 TCP/IP 的以太网是一种标准的开放式通信网络,不同厂商的设备很容易互联。该特性非常适合于解决控制系统中不同厂商设备的兼容和互操作等问题。以太网是目前应用最广泛的局域网技术,遵循国际标准规范 ISO802.3,得到广泛的技术支持。几乎所有的编程语言都支持以太网的应用开发,如 Java、Visual C++、Visual Basic 等。采用以太网作为现场总线,有多种开发工具和平台供选择。

2) 成本低。与众多的现场总线相比,低成本、易于组网是以太网的优势。以太网网卡价格低廉,以太网与计算机、服务器等接口十分方便。由于以太网的应用最为广泛,现有的大量资源可以极大地降低以太网系统的开发、培训和维护费用,从而可有效降低系统的整体成本,加快系统的开发和推广速度。

3) 数据传输速率高。以太网具有相当高的数据传输速率,如 10Mb/s, 100Mb/s 和 1Gb/s 等,比目前任何一种现场总线都快,可以提供足够的带宽。而且以太网资源共享能力强,利用以太网作现场总线,很容易将 I/O 数据连接到信息系统中,数据很容易以实时方式与信息系统上的资源、应用程序和数据库共享。

4) 易与信息网络集成。由于具有相同的通信协议,以太网能实现办公自动化网络和工业控制网络的无缝连接;随着实时嵌入式操作系统和嵌入式平台的发展,嵌入式控制器、智能现场测控仪表将方便地接入以太控制网络,直至与 Internet 相连;容易与信息网络集成,实现办公自动化网络与工业控制网络的无缝连接,组建统一的企业网络,实现企业管控一体化。

5) 远程测控。Web 技术和以太网技术的结合,可实现生产过程的远程监控、远程设备管理、远程软件维护和远程设备诊断。

6) 介质多样性。以太网支持多种传输介质,包括同轴电缆、双绞线、光缆、无线等,使用户可根据带宽、距离、价格等因素做多种选择。以太网支持总线型和星型等拓扑结构,可扩展性强,同时可采用多种冗余连接方式,提高网络的性能。

#### 6. 基于无线通信的测控系统

现有的测控网络主要基于现场总线、工业以太网、宽带网等固网通信技术,非常适用于通信节点较少,短距离、节点位置较为固定的场合。不能满足企业用户从远程特别是从移动中获取信息的需求。无线通信系统是一种灵巧的数据传输系统,它是从有线网络系统自然延伸出来的一种新技术。无线测控技术是计算机测控技术领域的一个重要分支。

(1) 无线测控系统的网络结构。图 1-8 给出了一种工业无线测控系统的网络结构示意图。无线测控系统主要有低速低能耗无线现场子网、高速无线现场子网与高速无线骨干网。低速低能耗无线现场子网由分布式传感器节点组成,高速无线现场子网主要包括无线接收发送器等,高速无线骨干网由网关、无线控制相关设备组成。

高速现场子网和低速低能耗现场子网二者在物理通信机制和组网方式上都不相同。前者用于具有较高通信频率要求的快速控制应,后者用于具有低通信频率要求的低速控制和监测类应用。



由通信中继和网关构成的无线骨干网将各个控制室的无线现场子网互连起来, 并实现与工厂原有的有线控制和信息网络的连接。

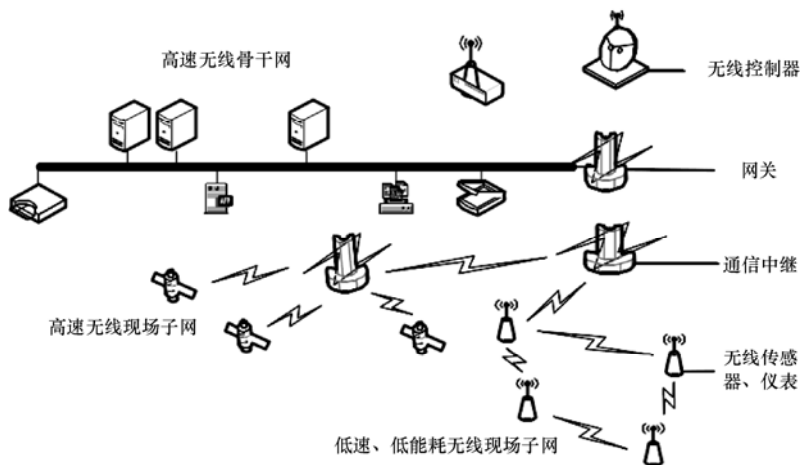


图 1-8 无线测控系统的网络结构

### (2) 无线测控技术特点。

1) 高可靠性。大部分的工业控制应用要求数据传输具有高可靠性。但是在工业现场使用无线通信来实现高可靠传输面临以下挑战。一方面, 工厂环境中往往存在 IEEE802.11、蓝牙 IEEE8.15.4 等多种类型的无线网络。这些网络大都集中在 2.4GHz 的 ISM 共享频段上, 彼此间存在严重干扰, 另一方面工业环境中的射频通信条件较为恶劣, 各种大型器械、管道等对信号的反射、散射造成的多径效应, 以及电气设备产生的电磁噪声, 都会干扰无线信号的正确接收。

2) 严格实时性。对于工业闭环控制应用数据传输延迟与传感器采样时间有严格确定性要求。无线传感器网络成本很低, 通常没有网络基础设施的支撑。设备间的通信需要通过多跳接力的方式进行, 保证端到端通信的确定性比较困难。

3) 低能耗。用于工业感知的无线传感器节点, 由于成本的限制通常不采用外接电源的方式, 而是靠自身携带的电池供电。从运行和维护成本方面考虑节点的电池寿命应达到 3~5 年。无线传感器节点的能耗由感知、计算和通信三部分组成。

4) 安全性。随着工业控制系统网络化进程的推进, 网络安全和数据安全问题日益突出。一些安全漏洞将给工业控制应用造成巨大的损失。无线通信由于信道的开放特征更容易受到攻击, 其安全保障机制将更加复杂。

5) 兼容性。为了保护用户的原有系统, 新型工业无线测控系统要具有与原有的有线控制系统互连和互操作的能力。

### 7. 基于 Internet 的网络测控系统

基于 Internet 的网络测控系统使用 TCP/IP、Web 技术让管理层或调度人员能够看到生产现场的实时信息, 并且能够实现对生产现场的远程调度、指挥决策以及对生产设备的远程在线配置和故障诊断。基于 Web 的远程监控系统充分利用了现代网络通信技术, 数据库技术, 网络安全技术, 实现了工业的远程访问和控制。网络技术在工业控制现场的应用越来越广, 规模越来越大, 大大提高了工业控制的可靠性和生产效率。将 Web 技术应用于远程监控系统, 既简化了操作、延伸了管理范围, 又减少了软件升级和维护费用。图 1-9 所示为基于 Internet 的网络测控系统结构示意图。系统可分为现场测控(智能终端)、监控中心(包括通信模块、数据库服务器、Web 服务器)和

客户端三个子系统。

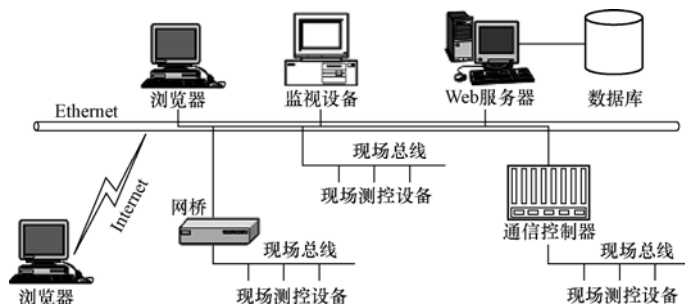


图 1-9 基于 Internet 的网络测控系统

(1) 现场测控设备。它负责数据采集与信号处理，以及收集同时发生在现场数据并处理收集到的原始数据，是一个独立的状态监测系统，管理多个设备，能够对现场设备进行连续的在线实时状态监测。能够自动化数据记录，判断启/停状态，监测报警信号，通过控制面板的用户命令反馈信息，如设备设置参数、备份、实时分析、事后分析。同样，工作站还应该在网络化应用状态下运行，如给网络用户发送实时数据、向网络数据库写入数据。支持对设备进行分析，通过各种参数将各种运行情况反映给用户，实现自动管理和人工维护。智能终端一方面负责采集现场各设备的运行状况数据，并传送给监控中心；另一方面接收监控中心的控制命令，并采取相应的动作。

通过嵌入式 TCP/IP 软件，现场测控设备直接具有 Intranet/Internet 的上网功能，与计算机一样，基于 TCP/IP 的网络化仪器成为网络中的独立节点，能够与就近的网络通信线缆直接连接，实现即插即用，可以将现场测试数据通过网络上传，用户通过浏览器或符合规范的应用程序即可实时浏览到现场测试信息，包括各种处理后的数据、仪器仪表面板图像等，通过 Intranet/Internet 实时发布和共享现场对象的测试数据。

(2) 系统服务器。从功能的角度，系统的服务器可分为数据库服务器、网页服务器、管理服务器、分析与诊断服务器。网络能够平衡数据流分布，实际的硬件平台都是由一个到三个服务器组成的。如一个安装网络化 SQL 数据库的数据库服务器、一个网页服务器、一个分析和管理服务器。

数据库服务器存储历史文件，包括机器运行状态中的报警数据库、启动停止数据库、短/中/长期历史数据库，在线用户通过访问历史数据库监测设备，或对运行状态进行分析。网页服务器提供数据访问接口，用户可以在 Intranet/Internet 中查询机器的运行参数。管理服务器用来完成管理所有状态监测网中的工作站和机器的报警，例如机器配置和各种监测通道的参数设置。分析与诊断服务器负责提供机器的各种实时或历史运行参数的分析和诊断方法。

在监测网络服务器中，系统给用户多种实时在线状态监测和故障诊断方法。数据库中网络数据库为长期工作机器的运行参数提供了方便且可靠的存储和管理手段。许多软件如 LabVIEW，拥有完整的分析库，可以帮助用户完成更多的高级数据分析，这些包含统计学、评估、回归计算、线性代数、信号处理算法、数字滤波器。

监控中心通信模块完成和现场控制器的数据传送任务，Web 服务器完成与客户以及现场子系统的交互，数据库则用于存储现场得到的实时数据。客户子系统由浏览器实现，是用户直接与其交互的部分，它接受用户的输入，从监控中心获取监测数据或通过监控中心发送控制命令。





(3) 远程浏览器。使用 Intranet/Internet 连接后, 现场各种实时运行状态和历史运行数据都可以通过浏览器来查看, 但是浏览器效率收到网络传输速度的影响。网络浏览器是指在 Intranet/Internet 上为终端用户提供的界面管理软件, 即用户端用于 Web 服务的软件。网络浏览器为多种多样的应用平台提供统一的用户界面, 用户通过浏览器, 按被访问的 WWW 地址, 进入并漫游网络世界。浏览器阅读用 HTML 语言书写的文件, 常用的浏览器有多种, 其中包括 IE、Netscape、Hot Java 等。

### 1.1.3 计算机测控系统发展趋势

随着现代科学技术的飞速发展和不断融入, 以计算机应用为核心的信息处理、控制与管理相结合的测控系统成为主流趋势, 各种先进技术的引入提高了测控系统自动化与信息管理层次, 加快了现代测控技术的发展, 主要体现在测控系统智能化、网络化、虚拟化、多样化、标准化等方面。

#### 1. 测控系统的智能化

智能化体现在仪器装置设备、局部系统以及或整个系统多方面。例如智能化仪器仪表运用神经网络、遗传算法、混沌控制等智能技术, 使仪器仪表实现高速、高效、多功能、高机动灵活等性能。仪器仪表能够根据测控外界环境的变化, 自动选择参数测量方案, 进行自校正、自补偿、自检、自诊断, 以获取最佳测量结果。在音频、视频等多媒体信息检测时增加了分析与控制的功能, 采用实时动态建模技术、在线识别技术, 将各种信息进行融合、分析和推理, 可更有效地利用被测信息。例如美国 Honeywell 公司生产的 DSTJ-3000 系列智能变送器, 能进行差压值状态的复合测量, 可对变送器本体的温度、静压等实现自动补偿, foxboro 公司采用了专家系统技术, 生产了数字化自整定调节器, 如同有经验的控制工程师, 能够根据现场参数迅速地整定调节器。

对于控制系统难以适应的复杂对象、环境、控制目标, 系统则依据人的思维能力进行推理决策, 直接运用人工智能 (Artificial Intelligence, AI)、专家系统 (Expert System, ES) 技术, 具有学习、推理的功能, 适应不断变化的环境, 以安全和可靠的方式进行规划执行, 减少测控系统不确定性, 获取系统总体上最优或次优的性能指标。含有人工智能的网络设备能够处理各种网络参数、运行状态信息及故障信息, 能够在设备部件、网络故障等状态下, 独立工作, 提高整个网络化系统的可靠性和容错能力。

#### 2. 测控系统的网络化

通信与网络技术在现代测控领域广泛进行渗透, 使得测控系统逐步地从单机监控向多机、大规模系统发展, 扩大了测控系统应用领域。远程分布式网络化测控系统, 实现远距离测控和资源共享, 网络化测控系统将地域分散计算机、传感器、仪器装置、控制模块等基本功能单元互连起来, 通过测控网络进行信息的传输和交换, 实现测试设备的远距离诊断与维护, 实现多系统协同测试与诊断, 扩展了测控系统功能。

工业计算机网络系统如 DCS、FCS、工业以太网系统以及计算机集成制造 (CIMS) 的出现, 深刻地影响着自动化技术的发展。工业控制网络将向有线和无线相结合方向发展, Ethernet 成为工厂底层控制网络的信息传输主干, Ethernet+TCP/IP 的传感器、变送器可直接成为网络的节点。有线网与无线网结合, 固定网与移动网结合的网络正在成为数据通信网络系统的潮流。

美国著名的 IT 分析公司 GartnerGroup 根据企业发展和企业对供应链管理的需求提出了企业资源规划 (Enterprise Resource Planning, ERP) 的概念。ERP 将供应商和企业内部的采购、生产、销售以及客户紧密联系起来, 集成了企业内部的其他管理功能如人力资源、质量管理、决策支持等, 可对供应链上的所有环节进行有效管理, 并支持国际互联网、企业信息网和电子商务 (E-Business) 等, 实现对企业的动态控制以及多种资源的集成与优化, 达到企业资源合理、高效利用的目的。ERP 系统的成功运用涉及复杂的软件技术和网络技术。企业在建立 ERP 系统时, 既要根据经济现状、企业内外部环境和自身经营状况, 选择合适的 ERP 模式, 要考虑企业网建设。



企业网作为 ERP 的主要支撑系统,其设计、规划与实现应当反映企业现代化、信息化的发展方向。FCS 的应用能为 ERP 的实施提供来自企业和工程最底层的实时信息和生产过程的状态数据,为企业实现 ERP 战略奠定了基础。

### 3. 测控系统的虚拟化

美国国家仪器公司(National Instruments, NI)提出虚拟测量仪器(Virtual Instrument, VI)概念,开创了软件即是仪器的先河。由数据采集卡、计算机、输出及显示器这种结构模式组成仪器通用硬件平台,在此平台基础上调用测试与控制软件,便构成该种功能的测量或控制仪器,成为具有虚拟面板的虚拟仪器,在软件引导下进行信号采集、运算、分析、输出和处理,实现仪器功能并完成测试和控制的功能。例如采用图形组态虚拟系统软件对采集的数据通过测试软件进行标定和数据点的显示,就构成一台数字存储示波器,若对采集的数据利用软件进行 FFT 变换,则构成一台频谱分析仪。

虚拟仪器能同时对多个参数进行实时高效的测量,同时,由于信号的传送和数据的处理几乎都是靠数字信号或软件来实现的,所以大大降低了环境干扰和系统误差的影响。软件技术拓展了系统功能,软件实现原本由硬件完成功能,解决原来用硬件电路难以解决或者根本无法解决的问题,使用虚拟仪器比传统仪器更经济,同时缩短了仪器在改变测量对象时的更新周期,从而降低系统的开发成本和维护成本。作为虚拟仪器核心的软件系统具有通用性、可视性、可扩展性,有助于各种系统的互连、兼容。

### 4. 测控系统的多样化

现代测控系统涉及的新技术、新方法、新器件很多,由于测控对象、参数、测控装置、通信与网络的多样性,测控系统应用系统功能形式具有多样性。如测控主机有基于单片机及嵌入式系统、工业 PC、PLC、PAC 应用系统,测控软件多样化,有面向对象、过程编程语言,组态软件、虚拟仪器开发工具多样性,如 NI 公司的 LabVIEW 和 LabWindows/CVI,微软公司的 VB、VC++ 等,系统总线与测控网络多样性,如 PCI、PXI、VXI、USB 总线,现场总线、工业以太网等。测控系统应用形式有智能仪器测控系统、有线与无线网络测控系统、计算机视觉、雷达、虚拟仪器测控系统等。

从测控系统规模看,小型化与大型化是计算机测控技术的两极发展方向。微电子技术、微机械技术、信息技术等的综合应用为嵌入式系统的开发提供了可靠的保证,使得仪器体积更小、功能更齐全。微机电系统(Micro ElectroMechanical Systems, MEMS)技术的发展开辟了一个全新的技术领域和产业,主要包括微型机构、微型传感器、微型执行器和相应的处理电路等,融合了多种微细加工技术,它是应用现代信息技术的最新成果的基础上发展起来的高科技前沿学科。采用 MEMS 技术制作的微传感器、微执行器、微型构件、微机械光学器件、真空微电子器件、电力电子器件等在航空、航天、汽车、生物医学、环境监控、军事等领域中都有着十分广阔的应用前景。

随着系统监控的参数增加、监控地域延伸,测控范围向立体化、全球化扩展,测控系统综合管理与控制功能与规模增加,综合要求提升,提高人们对生产过程全面的监视、检测、控制、管理、调度与决策等多方面的能力,提高系统综合与设计的能力,多种科学、多种技术的互相融合、互相渗透,使系统功能更强大,向更高层次发展。

### 5. 测控系统的标准化

现代检测与控制的任務具有系统性,若干个相互间具有内在关联的因素,需要构成一个整体来完成规定的功能,系统部件接口涉及标准化、系列化和模块化,各个部件要通过标准总线进行联络,相互联系构成整体系统。开放化、标准化是现代测控技术发展的趋势,也将成为市场应用的主流。标准化测控网络的迅速发展,推动着测控技术向着网络化、分布性和开放性的方向发展趋势,



从而使测控系统功能的扩展更加灵活,性能不断提高,使用将更加简便。

## 1.2 计算机测控系统设计概述

计算机测控系统的设计工作复杂,涉及理论与工程两方面。理论设计包括:建立被控对象的数学模型,确定控制系统的性能指标函数,寻求满足该性能指标函数的控制策略与整定参数;选择适当的软硬件平台及语言进行软硬件设计,并对硬件提出具体要求;提出整个计算机测控系统的技术经济指标;系统的体系结构、相应的计算机网络和数据通信设计;建立相关数据库等。计算机测控系统的工程设计包括:与掌握测控过程的工艺要求;计算机控制系统的硬件与软件的实现,网络工程实施。测控系统设计涉及自动控制理论、计算机技术、检测技术及仪表、通信技术、电气工程、工艺设备和控制室的规划、装修等多个方面。

计算机测控系统的设计内容、方案和技术指标具有多样性,应综合考虑自动化、计算机、检测及网络通信等技术以及发展趋势,无论测控系统规模多大、复杂程度多高,在设计与实现过程中,其设计原则、步骤大体要求基本上是相同的。

### 1.2.1 计算机测控系统设计原则

#### 1. 满足工艺指标要求

应根据生产工艺所提出的各种要求及性能指标进行测控系统设计,设计的系统性能指标不应低于生产工艺要求。测量仪器指标包括精度、测量范围、实时性、工作环境条件、稳定性等。控制系统性能指标要求稳、准、快。稳定性指动态过程的振荡倾向及重新恢复平衡的能力,不稳定系统不能正常工作。快速性指动态过程延续时间,动态过程延续时间短,说明动态过程进行得快,系统恢复到稳态的速度快。准确性是指系统重新恢复平衡后,输出偏离给定值的误差大小。准确性反映了系统的稳态精度,控制系统将根据控制对象对工艺要求,对准确性提出了不同要求。控

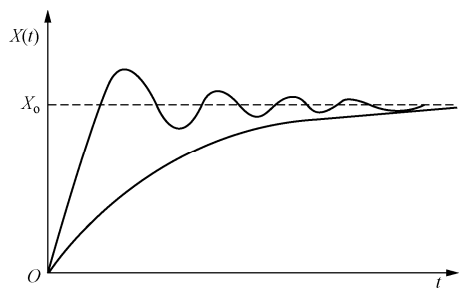


图 1-10 稳定系统的动态响应曲线

制系统动态响应曲线示意如图 1-10 所示。对于工业网络测控系统,还要满足网络性能评价指标,如传输速率、吞吐能力、稳定性、确定性、可靠性和灵活性,它反映了系统数据通过某个网络或信道、接口的速度、数据量、灵活性与可靠性等性能。

#### 2. 可靠性高

系统的可靠性是指系统在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的能力。它直接影响到生产过程连续、优质、经济运行。可靠性是控制对象或生产过程连续运行的根本保证。计算机测控系统通常都是工

作在比较恶劣的环境之中,一旦发生故障,轻则影响生产,带来经济损失,重则会造成严重的人身伤亡事故,产生重大的社会影响。因此,测控系统的设计应当将系统的可靠性放在首位,要求系统能很好地适应高温、腐蚀、振动、冲击、灰尘等环境,工业环境中电磁干扰严重,供电条件不良,要求系统有较高的电磁兼容性,以保证生产安全、可靠和稳定地运行。

可靠性指标一般采用平均无故障工作时间(MTBF)和故障修复时间(MTTR)表示。MTBF反映了系统可靠工作的能力,MTTR则反映了系统出现故障后恢复工作的能力。通常要求 MTBF 有较高的数值,如达到几万小时,同时尽量缩短 MTTR,以达到很高的运行效率。

#### 3. 实时性强

所谓系统的实时性要求是指现场设备之间在最坏情况下完成一次数据交换,系统所能保证的

最小时间。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,系统能及时响应,并能实时地进行报警和处理。实时性是控制对象按规定工艺运行的必要条件之一。对于不同的控制对象、不同的控制参数,其对系统的实时性具有不同的要求。例如流量和压力控制对系统的实时性要求高于温度控制对系统实时性的要求。

#### 4. 系统功能丰富

具有良好的人机界面和丰富的监视画面,控制软件包功能强,能够自动清零,量程自动切换,可根据测量值和控制值的大小改变测量范围和控制范围,其有数字滤波功能,自动修正误差,系统能监测和自复位。可对多种不同参数进行快速测量和控制。能够实现各种复杂的处理和运算功能,可以实现经典的 PID 控制,还具有一些高级控制算法,实现模糊控制、神经网络、优化、自适应等复杂控制规律,具有在线自诊断功能和网络通信功能,便于实现工厂自动化和信息化。

#### 5. 系统通用性好

尽管测控系统对象千变万化,但在测控功能上存在共性。通用性是指所设计出的计算机测控系统能根据各种不同设备和不同控制对象的控制要求,灵活扩充、便于修改。工业控制的对象千差万别,而计算机测控系统的研制开发又需要有一定的投资和周期。计算机测控系统应尽量采用标准化部件,以免受到部件供应商的制约,当设备和控制对象有所变更时,或者再设计一个新控制系统时,通用性好的系统一般稍作更改或扩充就可适应,便于对系统进行输入/输出点数的扩充和系统的功能性扩充。随着工厂自动化水平的提高,控制规模也在不断扩大,系统要具有灵活的扩充性。

计算机测控系统的通用性与灵活性体现在两方面:一是硬件设计方面,首先应采用标准总线结构,配置各种通用的功能板卡或功能模块,并留有一定的冗余,当需要扩充时,只需增加相应功能的通道或模板就能实现。二是软件设计方面,应采用标准模块结构,用户使用时尽量不进行二次开发,只需按要求选择各种功能模块,灵活地进行控制系统组态。

#### 6. 便于操作和维护

要求系统操作简单、便于掌握,显示画面形象直观,降低对操作人员专业知识的要求,在短时间内熟悉和掌握操作方法,有较强的人机对话能力。查排故障容易,硬件上采用标准的功能模块式结构,配有现场故障诊断程序,便于检修人员检查与维修,一旦发生故障,能保证有效地对故障进行定位,以便更换相应的模块,使仪器尽快地恢复正常运行。

#### 7. 性能价格比高

在满足计算机测控系统的技术要求的前提下,尽可能地降低成本,具有较高的性价比。系统的造价,取决于研制成本、生产成本和使用成本。设计时不应盲目追求复杂、高级的方案,在满足性能指标的前提下,应尽可能采用简单成熟的方案,要有市场竞争意识,尽量缩短开发设计周期。

### 1.2.2 计算机测控系统设计步骤

一个计算机测控系统应用项目,需要设计人员认真考虑,反复调研、讨论,明确任务,最后得出合理而实用的方案。尽管测控系统的测控对象、测控方式、系统规模有所差异,但设计的基本内容和主要步骤大致相同。测控系统工程项目的的设计可分为以下四个阶段:

(1) 准备阶段。系统设计之前,必须对企业工艺流程及工作过程有初步的了解,系统设计人员应该和工艺人员密切配合。对系统进行分析 and 归纳,明确具体要求,确定系统所要完成的任务。要综合考虑企业的经济能力、管理要求、系统运行的成本、产生的经济效益。不可一味追求过高的性能指标而忽视设计成本。



按一定的规范、标准和格式,对测控任务和过程进行描述,形成系统初步设计技术文件,作为整个测控系统设计的依据。初步设计技术文件的主要内容包括系统的功能规范,目标系统的性能规范,系统的可靠性和可维护性,系统的运行环境。准备阶段的设计为工控系统定义了外部规约,即系统与外部(生产过程、环境、人等)的接口关系。

### (2) 设计阶段。

1) 总体设计。系统的总体设计是进入实质性设计阶段的第一步,尤其重要和关键。总体方案的好坏会直接影响整个计算机测控系统的成本、性能、设计和开发周期等。在准备阶段基础上,确定系统的测控目标与任务,深入了解生产过程,分析工艺流程及工作环境,熟悉工艺要求,分析测控的工艺参数的数目和测控要求、测控的地理范围的大小、操作的基本要求等,确定具体实施的方法,合理分配资源。

总体设计包括硬件总体设计与软件总体设计。依据技术要求和已做过的初步方案,分别开展系统硬件与软件的总体设计。硬件和软件的设计是有机联系的,相互有影响,因此在设计时要经过多次的协调和反复,最后才能形成合理的总体设计方案。

2) 详细设计阶段。在总体方案确定后,进行系统硬件和软件的具体设计。对于不同类型的设计任务,则要完成不同类型的工作。在进行系统设计时,应充分考虑硬件和软件的特点,合理地进行功能分配。从快速性方面来考虑,多采用硬件可以提高系统的反应速度,简化软件设计工作;从可靠性和抗干扰能力方面考虑,过多地采用硬件,会增加系统元器件数目降低系统的可靠性,同时,硬件的增加也使系统的抗干扰性能下降;从系统成本方面来考虑,多采用软件可以降低成本。随着计算机运行处理速度的不断提高,尽可能地用软件来实现系统的各种功能。对于实际的控制系统,要综合考虑系统速度、可靠性、抗干扰性能、灵活性、成本,合理地分配系统硬件和软件的功能。

计算机测控系统设计须充分利用自身硬件资源,如输入/输出接口、通信等,当固有资源不能满足要求时,就需要扩展。自行开发控制软件时,应先画出程序总体流程图和各功能模块流程图,再选择程序设计语言编制程序。程序编制应先模块后整体。软件设计应考虑编程语言的选择、数据类型和数据结构规划、资源分配、控制软件的设计、程序设计的方法。

(3) 模拟与调试阶段。测控系统软件和硬件设计完成后,要进行系统联调。在实验室里,进行硬件联调、软件联调及样机整机仿真调试,对已知的标准量进行测控模拟比较,检查各个部件安装是否正确,并对其特性进行检查或测试,检验系统的抗干扰能力,验证系统设计是否正确和合理,及时发现问题并修改。

(4) 现场安装调试阶段。在实验室模拟与调试基础上,根据工艺要求进行现场安装调试。通过现场试验,测试各项性能指标,严格按照章程进行操作,进一步修改并且完善程序,直至系统能正常投入运行。一个实际系统很难一次设计完成,通常需要经过多次修改。

### 1.2.3 计算机测控系统设计方法

#### 1. 总体方案设计

测控系统设计首先熟悉对象工艺过程,根据设计要求选定总体方案,确定系统硬件与软件以及通信网络类型,图 1-11 给出了计算机测控系统设计的流程图。系统总体方案反映了整个系统的综合情况,要从合理性、可靠性、可行性、先进性和经济性等角度来设计总体方案。

(1) 确定系统的构成类型。根据主要功能要求、技术指标进行系统结构和类型选择,测控系统类型多、选型范围广,造型要保证性能指标与技术措施,达到或超过技术指标要求。在满足系统需求前提下,选择高性价比系统。

计算机测控系统有简单系统与复杂系统有开环与闭环控制,闭环控制包括单闭环和多闭环控



制。在实际应用时,测控系统可根据实际需求设计成数据采集系统、直接数字控制系统 DDC、DCS、FCS、以太网测控系统、无线网络测控系统、基于 Internet 的测控系统等类型。

根据测控系统构成主要包括网络体系结构设计,主要硬件结构及配置、软件功能设计。系统设计还包括建立必要的数学模型,测控参数的选择、经典控制与智能控制策略,现场设备选择,如传感器,变送器和执行机构的选择,人机联系方式,可靠性和抗干扰设计,系统的机柜或机箱的设计等内容。

(2) 专用测控系统。对于需要实现特殊功能的测控系统,需要设计制作专用设备装置。根据系统功能的要求,从微处理器芯片选择开始,设计完整的系统硬件电路与相应软件,完成印制电路板图设计,最终进行安装调试。这种方案完全根据控制任务的特点和需要设计,系统结构紧凑、性价比高,主要适用于一些专用的、小规模测控系统,如智能测控装置、智能化仪表和各种家用电器。

(3) 通用测控系统。对于通用功能测控系统设计,采用通用计算机测控系统方案,选择硬件、软件资源丰富的测控装置,标准化工业网络、系列化、模块化的测控装置,如现场总线、IPC、PLC、智能调节器、PAC 等。该系统结构开放,人机联系方便,容易实现各种复杂的控制功能,硬件一般只需根据任务要求进行必要的接口扩展,软件开发可在已有的开发平台上进行,系统设计像搭积木般组建系统,一些控制功能既能硬件实现,也能用软件实现,设计工作量小。该方式可提高研制和开发速度,提高系统的技术水平和性能,增加可靠性,容易实现各种复杂的控制功能。

对于大中型规模测控系统的设计,要求设计者具有丰富的专业理论和工程设计能力和经验,系统设计工作量大,过程复杂,通用测控系统是理想的选择。

## 2. 硬件设计

测控系统硬件设计时,在测控对象方面需要考虑物理量、距离、环境、用途等因素,在测控系统方面需要考虑功能、实时性、可靠性、测控精度等因素,涉及类型、容量、速度和接口。

(1) 基本要求。满足应用系统的功能要求,采用新技术,注意通用性,选择典型电路;注重标准化、模块化,有利于模块的商品化生产;系统扩展,并留有适当余地,以便二次开发;工艺设计时要考虑安装、调试、维护;要考虑研制成本、产品成本以及开发周期。

(2) 系统模块设计。对于专用测控系统应用,要进行功能模块设计,需要设计者自行设计制作和调试,根据系统功能的要求,适当配置存储器和接口电路,选择合适的总线,进行相应实验或软件仿真,以确保线路设计的正确性。硬件电路设计一般采用高集成度器件,采用低功耗器件设计,降低系统功耗,提高抗干扰能力。

各模块电路设计时应考虑核心芯片选择、存储器扩展、I/O 接口的扩展、输入/输出通道设计、人机界面的设计、通信电路的设计、电源系统的配置,硬件抗干扰设计,尽量减少芯片的数量,考虑体积、精度、价格、负载能力、功能。要留有一定量的裕量,以备系统扩展。印制电路板的

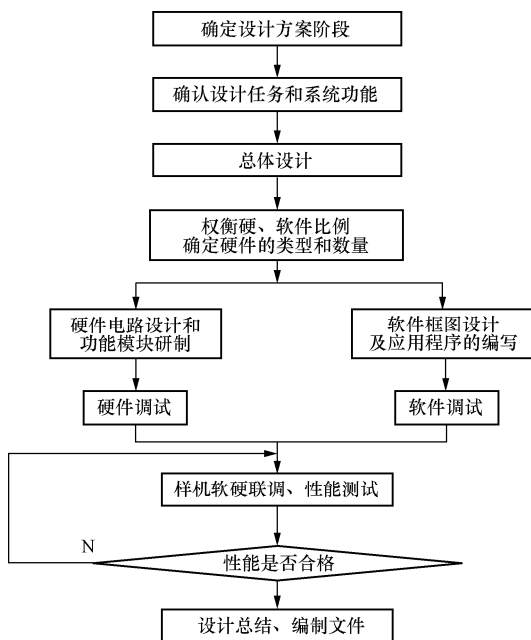


图 1-11 系统设计流程图



设计与制作,采用专业设计软件(如 Protel, OrCAD 等)进行设计,并进行专业化制作、调试等。

(3) 系统设计。系统设计是将硬件系统相对独立的功能模块,按每一功能模块需完成的任务,设计合理的线路。硬件系统采用组态技术,选用标准总线和通用模块单元,有多种标准总线结构的功能模块产品可供选择,一些系统功能既能用硬件实现,也能用软件实现,因此系统设计时,硬件与软件功能的划分要综合考虑。

一个典型总线结构测控系统,采用工控机或者商用机,配置相应的数据采集卡或者远程数据模块,可构建不同功能的测控系统,采用通用软件如 VC++、VB、组态软件设计,即可实现测控任务需要。大大简化硬件系统设计,系统可扩展性好、更新快,一旦出现新的微处理器、存储器芯片和接口电路,只要将这些新的芯片按总线标准研制成各类插件,即可取代原来的模板而升级并更新系统。

在总线式测控系统中,有许多机型,因采用的 CPU 不同而不同,可根据要求合理地进行选型。系统中的输入/输出模板,可按需要进行组合,不管哪种类型的系统,其模板的选择与组合均由生产过程的输入参数和输出控制通道的种类和数量来确定。

### 3. 软件设计

软件是计算机测控系统一个重要的组成部分。设计时,对软件需求分析,明确软件解决问题,在程序运行速度和存储容量许可情况下,用软件实现硬件功能,简化硬件配置。

(1) 软件设计基本要求。可靠性高,当运行参数环境发生变化时,软件能可靠运行并给出准确结果,即软件应具有自适应性;当工业环境极其恶劣,干扰严重,软件必须保证在严重干扰条件下也能可靠运行。实时性强,能及时响应外部事件的发生,并及时给出处理结果。准确性高,算法选择、位数选择等要符合要求。易读性强,容易理解、易维护,具有可测试性。

(2) 应用软件设计内容。一个完整的测控系统不仅要完成测量与控制,而且还应有一个界面美观、操作简单方便的人机对话接口。系统测量与控制程序主要完成数据采集、数据处理、控制算法程序、报警和事故处理、系统自诊断及人机界面程序等功能。

数据采集将现场各工艺参数采集进来,存入对应的存储单元或寄存器中;数据处理对所采集的数据进行数字滤波、标度变换、线性化等处理;控制算法程序完成对系统的调节和控制;报警和事故处理用于当系统工艺参数超出所允许的范围或系统硬件故障时,系统应能立即发出报警信号,并通过软件进行紧急处理;系统自诊断对系统中一些重要硬件进行检查诊断。人机界面程序主要用于完成各种工艺参数和控制参数的给定和修改,控制台控制命令的输入,系统模拟显示,生产过程工艺参数或曲线的显示、打印等功能。

对于复杂的测控系统,软件设计内容涉及面更为广泛。例如 CIMS 模型结构体系中,系统自底向上包括了设备控制层、过程控制层、调度层、管理层与决策层,软件包含了从测量控制到管理决策各个方面。复杂的测控系统软件设计除了常规的数据采集、控制策略、控制输出、报警监视、人机界面功能外,还要对系统数据进行分析管理、实现数据共享等功能。界面图形显示实现设备的数据与计算机图形画面上的各元素关联;报表输出完成各类报表的生成和打印输出;数据存储完成存储历史数据并支持历史数据查询;系统保护措施实现自诊断、掉电处理、备用通道切换;通信功能实现各控制单元间、操作站间、子系统间的数据通信;数据共享是要与第三方程序接口,方便数据共享。

(3) 软件设计方法。编程语言有多种类型。汇编语言是一种高效率的语言,它占用内存少,执行速度快,并可直接对系统硬件进行操作,但其数据处理能力弱,编程较困难,常与高级语言混合编程。高级语言数据处理能力强,但与汇编语言比,软件开销大,执行速度慢,对硬件环境要求高,而 C 语言兼顾了汇编语言和高级语言的特点,支持模块化,结构化程序设计,在 Windows



环境下, C++还支持面向对象程序设计方法, 被广泛使用。对于大型的测控系统, 可采用专门的工业组态软件来进行开发, 如 WinCC、Kinview、Intouch 等, 这些组态软件使程序设计变得简单, 大大缩短了软件开发时间。

程序设计通常包括了问题定义、程序设计、编码、调试、修改和再设计等步骤。程序设计要遵循模块化和结构化程序设计法, 它使得应用程序的维护和修改变为方便。

模块化程序设计法就是把整个程序分成若干子任务模块, 各模块分别设计、调试成功之后装配在一起, 成为一个完整的程序。通常按测控功能把程序分成模块, 先划分成大模块, 再划分成若干个小功能模块, 简单任务不必模块化。划分模块时要注意模块不宜划分得太长或太短; 力求各模块之间界线分明, 逻辑上彼此独立; 模块具有通用性。

模块化程序设计的方法有自底向上模块化设计和自顶向下模块化设计两种。自底向上模块化设计是先对最低层模块进行编码、测试和调试。这些模块正常工作后, 就可以用来开发较高层的模块。汇编语言设计常用该方法。自顶向下模块化设计先对最高层进行编码、测试和调试。为了测试最高层模块, 可以用节点来代替还未编码的较低层模块, 这些节点的输入和输出满足程序的说明部分要求, 但功能少得多。该方法一般适合用高级语言来设计程序。

结构化程序设计可采用三种基本结构表示, 即顺序结构、选择结构和循环结构。顺序结构的程序流程是按语句顺序依次执行, 选择结构是根据给定的条件进行判断, 由判断结果决定执行两支或多支程序中的一支, 循环结构是在给定条件成立的情况下, 反复执行某个程序段。结构化程序由三种基本结构的程序模块组成, 程序模块之间具有清晰的界面。

#### 4. 通信网络设计

总线是在模块与模块之间或者设备与设备之间传送信息的一组公用信号线, 它的特点在于其公用性, 即可同时挂接多个模块或设备。总线是微机系统的组成基础和重要资源, 也是目前自动测控系统的组成基础。随着计算机技术的发展, 先后产生了一批国际标准总线(简称总线)。总线按其规模、功能及应用场合不同, 一般分为片内总线、内总线和外总线。

PC 总线主要有 ISA 总线、EISA 总线、VME 总线、PCI 总线、CompactPCI 总线、RS-232C 串行总线、IEEE1394 总线和 USB 总线。仪器总线的发展和 PC 总线是紧密相连的, 它结合了电子行业的一系列仪器接口标准, 成为仪器与仪器之间和仪器与计算机之间通信的基础。

网络化测控系统类型较多, 系统复杂程度各不相同。选择通信网络方式时, 尽量选择成熟可靠的通信方式和介质。通信设备与介质的选择主要满足数据传输对带宽、实时性和可靠性的要求。对于通信可靠性要求高的场合, 可以考虑不同的通信方式冗余, 如有线通信与无线通信的冗余。

(1) 小型测控系统。系统相对结构简单, 主要实现现场设备之间数字式、双向传输通信, 典型通信方式有并联信号传输连接和串行数据传输连接方式, 如监控计算机与智能仪器或智能外设之间进行通信, 可采用并行通信总线 IEEE-488 和串行通信总线 RS-232C。对于要进行远距离通信系统, 各节点互联通信可选用总线 RS-422 和 RS-485。具体选择哪一种, 要根据通信的速率、距离、系统拓扑结构、通信协议等要求来综合分析确定。

选择通信系统的关键在于掌握并联传输与串联传输两种传输方法的特点, 现场总线实际上是采用串行数据传输和连接的方式代替传统的并联信号传输连接的方法, 依次实现了控制层与现场设备层之间的数据传输。串行数据传输在设计、安装、调试以及连接技术上具有明显的优势, 但在通信方面, 如传输时间、循环时间、传输的确定性, 以及诊断等方面低于并联传输方式。

(2) 大中型测控系统。系统要对底层设备进行信息集成, 进行过程诊断、故障报警, 有远程操作及监控要求, 要实现计算机之间、计算机与各测控单元之间的通信, 测控系统由工业控制网



络完成通信任务,对于大范围长距离通信,要借助于电信固定电话网络或移动通信的无线网络进行数据传输,会造成不可控因素。

工业控制网络技术适用于数据集成有较高要求的分布式测控系统,如要建立车间须监控系统,建立全厂的 CIMS 系统,在底层使用现场总线技术可将大量丰富的分散设备及生产数据集成到管理层,为实现全厂的信息系统提供重要的底层数据。

选择工业控制网络进行测控系统设计要注意以下几点:

1) 工业控制网络的开放性。工业控制网络必须具有开放性,一方面能与不同的测控系统相连,连接不同的现场设备,如输入/输出模块、智能仪器仪表、变频器、控制器;另一方面开放通信,便于用户自行开发。

2) 网络结构设计。要根据系统 I/O 点规模和设备地理分布、功能的相关性等因素确定网络结构。设计各层网络的覆盖范围,支路的数量,支路及分支的长度、各分支的设备数量等,该设计对系统的性能、硬件配置等有重要影响。因此,应根据工艺相关性和现场布置位置情况进行网络分段设计,通常每个网段上挂接的现场总线数量 6~10 个,冗余设置的现场仪表应接入不同网段,工艺上并列运行或冗余配置的设备其相关驱动装置应连接不同网段。应根据工艺流程合理配置总线数量和挂接的现场设备,确保任何一条总线故障时,只产生系统的局部故障,不会引起系统的危急状态,造成整个系统停运,并将这一影响限制到最小。

3) 传输时间。网络的传输速度要求越快越好,但是传输速度不能仅靠提高传输速率来解决。系统传输必须具有确定的时间,即控制器发出控制值的时间间隔及接收现场总线设备实际值的时间间隔必须是一个定值,这样才能保证完成控制和调节的任务。在选择网络时必须注意到传输效率,在传输效率高的前提下,可以选择比较低的传输速率。因为低传输速率数据通信,有较高的抗干扰能力,而且传输距离长,例如 500kb/s 的传输速率,最大传输距离为 400m,而 12Mb/s 的传输速率,最大距离是 100m。

4) 吞吐能力。网络吞吐量是指在某个时刻,在网络中的两个节点之间,提供给网络应用的剩余带宽。令牌环数据吞吐能力高于令牌总线,原因在于控制结构上的差异。令牌总线是广播式,数据、令牌、回答都要独占介质;令牌环是顺序循环访问,一定条件下有并行工作的特性,其数据、令牌、回答可同时传递。

5) 传输介质。一个完整的现场总线系统,除了构成网络的范围,即最大距离,是一个重要的指标外,能否在一个总线系统中实现在不同的总线段之间采用不同的传输介质也是一个重要的因素。它使得系统的构成更灵活、更符合工况实际的要求。

6) 诊断功能。当系统发生故障时,网络依靠诊断功能既能找出错误,不需要特殊的工具就能纠正故障,还能方便地替换故障模块,以减少停机时间,提高工作效率。

使用工业控制网络技术的测控系统和现场智能设备承担的调节功能增加,会使其造价的成本增加。维修中,更换仪表都会有很昂贵的费用。因此要选择信誉较好的厂家、性能好的设备以达到降低生产成本的效果,改善设备运行性能。然后根据现场智能仪表的工艺分布情况、防爆等级要求、测量参数范围及完成的功能等确定一个初步的现场总线结构。

### 5. 抗干扰设计

干扰是影响系统可靠性的主要因素,也是一个非常复杂、实践性很强的问题。测控系统工作环境复杂,系统组成的复杂化和功能的多样化也增大了测控系统受干扰影响的可能。干扰对系统轻则影响测量与控制精度,造成系统的不稳定,重则会引起测控系统死机或误动作,运行失常,造成设备损坏甚至人身伤亡。在测控系统设计与应用必须中,考虑抗干扰问题,主要采取相应的硬件、软件与通信网络方面的措施。

### (1) 硬件抗干扰。

1) 硬件干扰途径。硬件干扰有内部干扰和外部干扰。内部干扰由元器件本身的性能、系统结构、制造工艺、安装等内在原因引起的干扰，外部干扰由外部设备或空间条件引起，主要包括电源干扰（浪涌、尖峰、噪声、断电），空间干扰（静电和电场的干扰、磁场的干扰、电磁辐射的干扰），设备干扰（设备内部或设备之间产生）、机械干扰（如震动、冲击）。内外干扰本质相同，相互作用。硬件抗干扰措施的效率高，但会增加系统的投资和设备的负担。

2) 硬件抗干扰技术。通常采取消除干扰源、避开干扰源、切断干扰传播途径的方法，有效消除干扰，以保证系统可靠地运行。抗干扰的措施很多，主要包括隔离、屏蔽、滤波、电源抗干扰技术、接地抗干扰技术。

隔离是把干扰源与接收系统隔离开来，使有用信号正常传输，而干扰耦合通道被切断，达到抑制干扰的目的。常见的隔离方法有光电隔离、变压器隔离和继电器隔离等。

屏蔽是将干扰源或干扰对象包围起来，从而割断或削弱干扰场的空间耦合通道，阻止其电磁能量的传输。

滤波是构成滤波器对信号实现频率滤波，让所需要的频率成分通过，而将干扰频率成分加以抑制，根据频率特性可分为低通、高通、带通、带阻等滤波器。

电源配置应考虑电源电压数值、波动范围、纹波的大小、输出电流数值，并且电源容量要留有较大裕量，采用开关电源、DC-DC 变换器以及 UPS 供电。

接地技术是将电路、设备机壳等与作为零电位的一个公共参考点（大地）实现低阻抗的连接。系统中接地的目的—是为了安全，即安全接地；二是为了保证控制系统稳定可靠工作，提供一个基准电位的接地，即工作接地。

印制电路板设计要消除布线布局不合理引进的干扰，重视对组件、导线和电线的选择与固定安装，提高电路板可靠性。控制箱柜要进行散热、防尘、防潮、防湿处理。

### (2) 软件抗干扰。

1) 软件干扰途径。在工业现场环境的干扰下，工控软件可能受到破坏，程序无法正常执行，导致工业控制系统的失控，主要表现为干扰叠加在模拟量信号上，导致模拟量数据采集误差加大或超出量程；干扰导致主频晶振频率的变化，导致定时器/计数器的中断频率变化，引起记数错误、时钟异常；通信时序的异常或干扰信号的叠加，引起通信的不正常；干扰导致程序计数器 PC 值改变，引起程序执行混乱；输入/输出接口状态受到干扰，造成控制状态混乱，系统发生死锁，使 RAM 数据区受到干扰，导致 RAM 区数据的改变或丢失。

2) 软件抗干扰技术。数字滤波是提高数据采集系统可靠性最有效的方法，一般在进行数据处理之前先要对采样值进行数字滤波。数字滤波是一种程序滤波，通过一定的计算程序减少干扰信号在有用信号中的比重。数字滤波方法有多种，各有特点，如程序判断滤波法、中值滤波法、算术平均值滤波法、加权平均值滤波、滑动平均值滤波法、惯性滤波法、复合数字滤波。

看门狗 WD (Watch Dog) 使用监控定时器，定时检查某段程序或接口，利用定时中断来监视程序运行状态。当超过一定时间系统没有检查这段程序或接口时，可以认定系统运行出错，通过软件进行系统复位或按事先预定方式运行，帮助系统自动恢复正常运行。

软件“陷阱”技术是把系统存储器 (RAM 和 ROM) 中没有使用的单元用某一种重新启动的代码指令填满，作为软件“陷阱”，以捕获跑飞的程序。当 CPU 执行该条指令时，程序就自动转到某一起始地址，而从这一起始地址开始，存放一段使程序重新恢复运行的热启动程序，该热启动程序扫描现场的各种状态，并根据这些状态判断程序应该转到系统程序的哪个入口，使系统重



新投入正常运行。

软件冗余技术是将测控系统的一次采样、处理控制输出,改为循环采样、处理控制输出。设置自检程序,在测控系统内的特定部位或某些内存单元设状态标志,在运行中不断循环测试,以保证系统中信息存储、传输、运算的高可靠性。

重要数据备份技术对一些关键数据,至少有两个以上的备份副本,当操作这些数据时,可以把主、副本进行比较,如其改变,就要分析原因,采取预先设计好的方法处理。还可以把重要数据采用校验和或者分组校验的方法进行校验。这两种方法一并使用则更如可靠。

### (3) 通信网络抗干扰。

1) 通信网络干扰途径。网络化测控系统通过通信网络互通信息,相互协调实现数据采集和控制与管理任务,当信号在有线通信网络中传输时,受到干扰如传输线的分布电容和分布电感的影响,信号会在传输线内部产生入射波,如果传输线的终端阻抗与传输线的阻抗不匹配,当入射波到达终端时,便会引起反射使信号波形严重地畸变,引起干扰脉冲。

对于基于无线通信(如数字蜂窝移动通信、个人通信、室内无线通信等)测控系统,存在网内外干扰。网内干扰主要来自频率干扰、设备本身性能下降产生的干扰、参数设置不当造成的干扰等。网外干扰主要是各种其他无线电波的干扰,网外干扰多是来自系统外安装的频率干扰器或者外系统设备,以及设备性能下降导致的外来干扰。不管是 GSM 系统还是 CDMA 系统,干扰的大量存在会极大地影响网络的通信质量和系统的容量。

2) 通信网络抗干扰技术。采用分布式通信网络系统,可简化测控系统的结构,任何一个节点的故障都不会造成整个网络的故障,提高了系统的工作可靠性,同时通信网络采取冗余技术,不会引起机组危急状态,造成整个系统停运。根据测控现场情况组成不同的网络拓扑结构,如总线型、环型、星型和层次化网络结构。

对于有线网络采用双绞线作为传输介质,提高抗共模噪声能力,能使各个小环节的电磁感应干扰相互抵消,双绞屏蔽线传输信号在传输过程中会受到电场、磁场和地阻抗等干扰因素的影响,采用接地屏蔽线可以减小电场的干扰。使用光纤具有抗干扰性好、保密性强、使用安全等特点,光纤是非金属介质材料,具有很强的抗电磁干扰能力。

在通信接口加装光电隔离措施,切断测控系统与输入/输出通道电路之间的联系,去除外部的尖峰干扰信号进入系统或测控装置,能有效地抑制尖峰脉冲及各种噪声干扰,使信号传输过程的信噪比大大提高。采用差动平衡驱动和接收电路,由于差动放大器具有很强的抗共模干扰能力,所以两个不同的地线间的电位差形成的共模干扰受到很大的抑制。

无线传输抗干扰技术有扩频技术、功率控制技术、间断传输技术、多用户检测技术等。其中扩频技术是一种抗干扰能力极强并得到广泛应用的先进技术。例如,直接序列扩频(Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS)是用高速率的扩频序列在发射端扩展信号的频谱,而在接收端用相同的扩频码序列进行解扩,把展开的扩频信号还原成原来的信号,从而提高了通信的抗干扰能力。

## 1.3 小结

计算机测控技术是现代工业技术中的重要支柱,计算机测控系统融合了传感技术、自动控制技术、计算机技术、通信技术、计算机网络技术、智能技术和数据库管理技术,其应用类型多,本章重点介绍了计算机测控系统概念、测控系统的发展趋势,给出了测控系统典型应用类型。概括说明了计算机测控系统设计原则、计算机测控系统设计过程与设计方法。

## 思 考 题

1. 简述计算机测控系统的含义。
2. 典型的计算机测控系统由哪几个部分组成？说明各部分功能。
3. 典型的计算机测控系统有哪些类型？
4. 简述计算机测控系统发展趋势。
5. 微处理器化测控系统有何特点？
6. 基于工控机的测控系统有哪些结构形式？
7. 说明 DCS 的体系结构与特点。
8. 与 DCS 相比，现场总线控制系统有何特点？
9. 与现场总线测控系统比较，工业以太网测控系统有哪些特点？
10. 基于 Internet 的网络测控系统由哪几个部分组成，画出其系统结构示意图。
11. 无线测控系统有何特点？画出无线测控系统的网络结构示意图。
12. 简述计算机测控系统设计基本方法。
13. 计算机测控系统设计原则有哪些？
14. 简述计算机测控系统设计步骤。
15. 计算机测控系统通信网络设计应该注意哪些问题？