

第 1 章 集散控制系统基础知识

1.1 集散控制系统的结构与功能

学习内容	1. 掌握典型 DCS 系统整体硬件结构与功能。
	2. 掌握典型 DCS 各种组态软件、监控软件操作方法。
	3. 了解冗余技术。
操作技能	1. 现场控制站的认识。
	2. 操作站的认识与操作。
	3. 常用软件安装与操作。
	4. 冗余的识别。

1.1.1 集散控制系统的体系结构

如图 1-1 所示为一个 DCS 的典型体系结构。按照 DCS 各组成部分的功能分布，自下而上分别是现场控制级、过程控制级、过程管理级和经营管理级。与这四层结构相对应的四层局部网络分别是现场网络（Field Network）、控制网络（Control Network）、监控网络（Supervision Network）和管理网络（Management Network）。

1. 现场控制级

现场控制级设备直接与生产过程相连，是 DCS 监控的基础。现场控制级设备是各类传感器、变送器和执行器，它们将生产过程中的各种工艺变量转换为适宜于计算机接收的电信号（如常规变送器输出的 4~20mA DC 电流信号或现场总线变送器输出的数字信号），送往过程控制站或数据采集站等；过程控制站又将输出的控制器信号（如 4~20mA DC 信号或现场总线数字信号）送到现场控制级设备，以驱动控制阀或变频调速装置等设备，实现对生产过程的控制。现场控制级设备的任务主要有以下几个方面。

- ① 完成过程数据采集与处理。
- ② 直接输出操作命令、实现分散控制。
- ③ 完成与上级设备的数据通信，实现网络数据库共享。
- ④ 完成对现场控制级智能设备的监测、诊断和组态等。

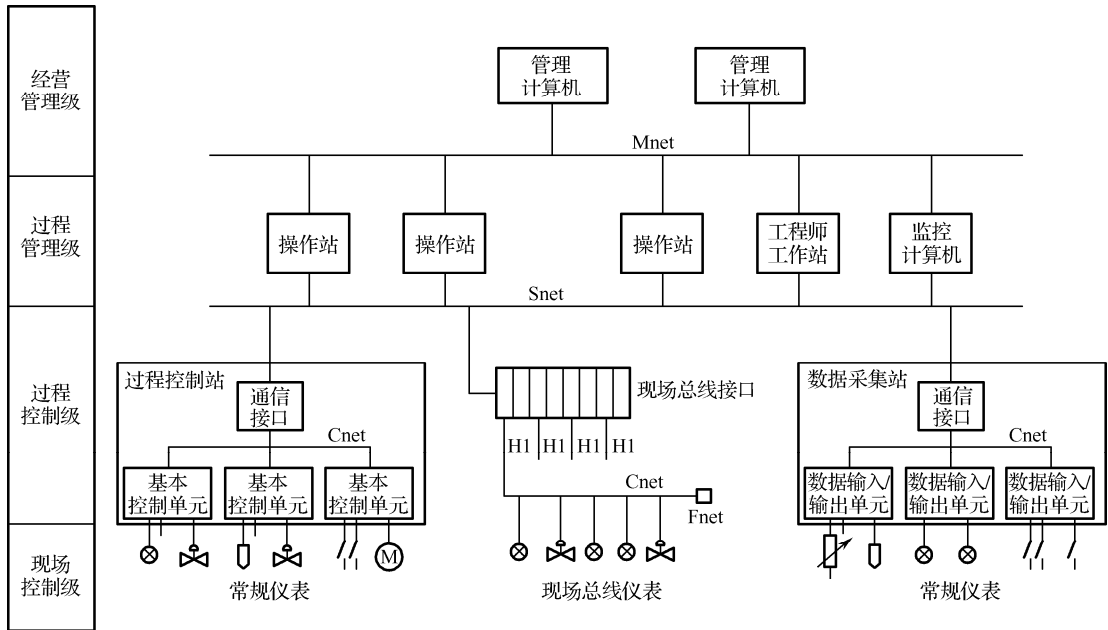


图 1-1 集散控制系统的体系结构

现场网络的信息传递有三种方式，第一种是传统的模拟信号（如 4~20mA DC 或者其他类型的模拟量信号）传输方式；第二种是全数字信号（现场总线信号）传输方式；第三种是混合信号（在 4~20mA DC 模拟量信号上，叠加调制后的数字量信号）传输方式。

2. 过程控制级

过程控制级主要由过程控制站、数据采集站和现场总线接口等构成。在 DCS 中，各种现场检测仪表（传感器、变送器等）送来的过程信号均由过程控制级各单元进行实时的数据采集，滤除噪声信号，进行非线性校正及各种补偿运算，折算成相应的工程量，根据组态要求还可进行上下限报警及累积量计算。所有测量值和报警值经过通信网络传送到操作站，供实时显示、优化计算、报警打印等。在过程控制单元，根据过程控制组态，还可进行各种闭环反馈控制、批量控制与顺序控制等，并可接收操作站发来的各种手动操作命令进行手动控制，从而提供了对生产过程的直接调节控制功能。

过程控制站接收现场控制级设备送来的信号，按照预定的控制规律进行运算，并将运算结果作为控制信号，送回到现场的执行器中去。过程控制站可以同时实现反馈控制、逻辑控制或顺序控制等功能。

过程控制级的主要功能表现在以下几个方面：一是采集过程数据，进行数据转换与处理；二是对生产过程进行监测和控制，输出控制信号，实现反馈控制、逻辑控制、顺序控制和批量控制功能；三是现场设备及 I/O 卡件的自诊断；四是与过程操作管理级进行数据通信。

3. 过程管理级

过程管理级的主要设备有操作站、工程师站和监控计算机等。操作站是操作人员与 DCS 相互交换信息的人机接口设备，是 DCS 的核心显示、操作和管理装置。工程师站是为了控制工程师对 DCS 进行配置、组态、调试、维护所设置的工作站。工程师站的另一个作用是对各种设计文件进行归类和管理，形成各种设计、组态文件，如各种图样、表格等。监控计算机的



主要任务是实现对生产过程的监督控制,如机组运行优化和性能计算,先进控制策略的实现等。

4. 经营管理级

经营管理级所面向的使用者是厂长、经理、总工程师等行政管理或运行管理人员。厂级管理系统的主要功能是监视企业各部门的运行情况,利用历史数据和实时数据预测可能发生的各种情况,从企业全局利益出发,帮助企业管理人员进行决策,帮助企业实现其计划目标。经营管理级也可分为实时监控和日常管理两部分。

5. 控制网络

控制网络是一个高速通信网络,处理器模块利用这个网络来与过程控制站的其他模块交换信息。控制网络一般是可冗余的,有两个独立的通道,处理器模块可同时通过两个通道来发送和接收信息,并检查两个通道的一致性,这样就可及时发现故障,使通信故障造成的影响减至最低。

DCS 的硬件系统主要由集中操作管理装置、分散过程控制装置和通信接口设备等组成,通过通信网络系统将这些硬件设备连接起来,共同实现数据采集、分散控制和集中监视、操作及管理等功能。

集中操作管理装置的主要设备是操作站,而分散过程控制装置的主要设备是现场控制站。

1.1.2 现场控制站

1. 现场控制站的硬件

分散过程控制装置主要包括现场控制站、数据采集站、顺序逻辑控制站和批量控制站等。

现场控制站中的主要设备是现场控制单元。它的主要任务是进行数据采集及处理,对被控对象实施闭环反馈控制、顺序控制和批量控制。用户可以根据不同的应用需求,选择配置不同的现场控制单元以构成现场控制站。现场控制站是一个可独立运行的计算机检测控制系统。由于它是专为过程检测、控制而设计的通用型设备,所以其机柜、电源、输入/输出通道和控制计算机等与一般的计算机系统有所不同。

(1) 机柜

现场控制站的机柜内部均装有多层机架,以供安装各种模块及电源之用。为了给机柜内部的电子设备提供完善的电磁屏蔽,其外壳均采用金属材料(如钢板或铝材),并且活动部分(如柜门与机柜主体)之间要保证有良好的电气连接。同时,机柜还要求可靠接地,接地电阻应小于 4Ω 。

(2) 电源

为了保证电源系统的可靠性,通常采取以下几种措施。

- ① 每一个现场控制站均采用双电源供电,互为冗余;
- ② 如果现场控制站机柜附近有经常开关的大功率用电设备,应采用超级隔离变压器,将其初级、次级线圈间的屏蔽层可靠接地,以克服共模干扰的影响;
- ③ 如果电网电压波动很严重,应采用交流电子调压器,快速稳定供电电压;
- ④ 在石油、化工等对连续性控制要求特别高的场合,应配有不间断供电电源 UPS,以保证供电的连续性。现场控制站内各功能模块所需直流电源一般为 $\pm 5V$ 、 $\pm 15V$ (或 $\pm 12V$)及 $+24V$ 。为增加直流电源系统的稳定性,一般可以采取以下几条措施。

- ① 为减少相互间的干扰,给主机供电与给现场设备供电的电源要在电气上隔离。

② 采用冗余的双电源方式给各功能模块供电。

③ 一般由统一的主电源单元将交流电变为 24V 直流电供给柜内的直流母线，然后通过 DC-DC 转换方式将 24V 直流电源变换为子电源所需的电压，主电源一般采用 1:1 冗余配置，而子电源一般采用 $N:1$ 冗余配置。

(3) 控制计算机

控制计算机是现场控制站的核心，一般由 CPU、存储器、输入/输出通道等基本部分组成。

① CPU。现场控制站大多采用 Motorola 公司 M68000 系列和 Intel 公司 80X86 系列的 CPU 产品。为提高性能，各生产厂家大都采用 32 位微处理器。由于数据处理能力的提高，因此可以执行复杂的先进控制算法，如自动整定、预测控制、模糊控制和自适应控制等。

② 存储器。控制计算机的存储器也分为 RAM 和 ROM。在控制计算机中 ROM 占有较大的比例。有的系统甚至将用户组态的应用程序也固化在 ROM 中，只要一加电，控制站就可正常运行，使用更加方便，但修改组态时要复杂一些。

在一些采用冗余 CPU 的系统中，还特别设有双端口随机存储器，其中存放有过程输入/输出数据、设定值和 PID 参数等。两块 CPU 板均可分别对其进行读/写，保证了双 CPU 间运行数据的同步。当原先在线主 CPU 板出现故障时，原离线 CPU 板可立即接替工作，这样对生产过程不会产生任何扰动。

③ 总线。计算机总线分内部总线（如 SPI、SCI）、外部总线（如 RS-232C/485、USB）和片内总线 [如 ISA、PCI 和 DB（数据总线）、AB（地址总线）、CB（控制总线）] 三种。常见的控制计算机总线有 Intel 公司的多总线 MULTIBUS，EOROCARD 标准的 VME 总线和 STD 总线，前两种总线都支持多主 CPU 的 16 位/32 位总线。

④ 输入/输出通道。过程控制计算机的输入/输出通道一般包括模拟量输入/输出 (AI/AO)、开关量输入/输出 (SI/SO) 或数字量输入/输出 (DI/DO) 以及脉冲量输入通道 (PI) 等。

➤ 模拟量输入/输出通道 (AI/AO)。生产过程中的连续性被测变量（如温度、流量、液位、压力、浓度、pH 值等），只要在在线检测仪表将其转变为相应的电信号，均可送入 AI 通道，经过 A/D 转换后，将数字量送给 CPU。而模拟量输出通道一般将计算机输出的数字信号转换为 4~20mA DC（或 1~5V DC）的连续直流信号，用于控制各种执行机构。

➤ 开关量输入/输出通道 (SI/SO)。开关量输入通道主要用来采集各种限位开关、继电器或电磁阀连动触点的开、关状态，并输入至计算机。开关量输出通道主要用于控制电磁阀、继电器、指示灯、声光报警器等只具有开、关两种状态的设备。

➤ 脉冲量输入通道 (PI)。许多现场仪表（如涡轮流量计、罗茨式流量计以及一些机械计数装置等）输出的测量信号为脉冲信号，它们必须通过脉冲输入通道才能送入计算机。

2. 现场控制站的功能

现代 DCS 的现场控制站是多功能型的，其基本功能包括反馈控制、逻辑控制、顺序控制、批量控制、数据采集与处理和数据通信等功能。

(1) 反馈控制

现场控制站的反馈控制功能主要包括输入信号处理、报警处理、控制运算、控制回路组态和输出信号处理等。

① 输入信号处理。对于过程的模拟量信号，一般要进行采样、A/D 转换、数字滤波、合理性检验、规格化、工程量变换、零偏修正、非线性处理、开方运算、补偿运算等。对于数字



信号则进行状态报警及输出方式处理。对于脉冲序列，需进行瞬时值变换及累积计算。

② 报警处理。集散控制系统具有完备的报警功能，使操作管理人员能得到及时、准确又简洁的报警信息，从而保证了安全操作。DCS 的报警可选择各种报警类型、报警限值和报警优先级。

③ 控制运算。常用的算法有常规 PID、微分先行 PID、积分分离、开关控制、时间比例式开关控制、信号选择、比率设定、时间程序设定、Smith 预估控制、多变量解耦控制、一阶滞后运算、超前-滞后运算及其他运算等。

④ 控制回路组态。现场控制站中的回路组态功能类似于模拟仪表的信号配线和配管。由于现场控制站的输入、输出信号处理、报警检验和控制运算等功能是由软件实现的，这些软件构成了 DCS 内部的功能模块，或者称作内部仪表。根据控制策略的需要，将一些功能模块通过软件连接起来，构成检测回路或控制回路，这就是回路组态。

⑤ 输出信号处理。输出信号处理功能有输出开路检验，输出上下限检验、输出变化率限幅、模拟输出、开关输出、脉冲宽度输出等功能。

(2) 逻辑控制

逻辑控制可以直接用于过程控制、实现工艺连锁，也可以作为顺序控制中的功能模块，进行条件判断、状态转换等。

(3) 顺序控制

顺序控制就是按预定的动作顺序或逻辑，依次执行各阶段动作程序的控制方法。在顺序控制中可以兼用反馈控制、逻辑控制和输入/输出监视的功能。实现顺序控制的常用方法有顺序表法、程序语言方式和梯形图法等三种。

(4) 批量控制

批量控制就是根据工艺要求将反馈控制与逻辑、顺序控制结合起来，使一个间歇式生产过程得到合格产品的控制。

(5) 现场控制站的辅助功能

除了以上各种功能外，过程控制装置还必须具有一些辅助性功能才可以完成实际的过程控制。

① 控制方式选择。DCS 有手动、自动、串级和计算机等四种控制方式可供选择，其中，手动方式 (MAN) 由操作站经由通信系统进行手动操作；自动方式 (AUT) 以本回路设定值为目标进行自动运算，实现闭环控制；串级方式 (CAS) 以另一个控制器的输出值作为本控制器的设定值进行自动运算，实现自动控制；计算机方式 (COMP) 监控计算机输出的数据，经由通信系统作为本控制器设定值的控制方式，或者作为本控制器的后备，直接控制生产过程的方式。

② 手动与自动的无扰动切换。测量值跟踪；输出值跟踪。在自动方式时，手操器的输出值是始终跟踪控制器的自动输出值的，因此，从自动切换到手动时，手操器的输出值与 PID 的输出值相等，切换是无扰动的。

1.1.3 操作站

1. 操作站硬件

DCS 操作站一般分为操作员站和工程师站两种。其主要功能为过程显示和控制、系统生成与诊断、现场数据的采集和恢复显示等。工程师站主要是技术人员与控制系统的人机接口，

或者对应用系统进行监视。工程师站上配有组态软件，为用户提供了一个灵活的、功能齐全的工作平台，通过它来实现用户所要求的各种控制策略。为了实现监视和管理等功能，操作站必须配置以下设备。

(1) 操作台

操作台用来安装、承载和保护各种计算机和外部设备。目前流行的操作台有桌式操作台、集成式操作台和双屏操作台等，用户可以根据需要选择使用。

(2) 微处理机系统

DCS 操作站的功能越来越强，这就对操作站的微处理机系统提出了更高的要求。一般来讲，DCS 操作站采用 32 位或 64 位微处理机。

(3) 外部存储设备

为了很好地完成 DCS 操作站的历史数据存储功能，许多 DCS 的操作站都配有一到两个大容量的外部存储设备，有些系统还配备了历史数据记录仪。

(4) 图形显示设备

当前 DCS 的图形显示设备主要是 LCD，有些 DCS 还在使用 CRT。有些 DCS 操作站配有厂家专用的图形显示器。

(5) 操作键盘和鼠标

① 操作员键盘。操作员键盘一般都采用具有防水、防尘能力、有明确图案或标志的薄膜键盘。这种键盘从键的分配和布置上都充分考虑到操作直观、方便，外表美观，并且在键体内装有电子蜂鸣器，以提示报警信息和操作响应。

② 工程师键盘。工程师键盘一般为常用的击打式键盘，主要用来进行编程和组态。

现代的 DCS 操作站已采用了通用 PC 系统，因此，无论是操作员键盘，还是工程师键盘都在使用通用标准键盘和鼠标。

(6) 打印输出设备

有些 DCS 操作站配有两台打印机，一台用于打印生产记录报表和报警报表；另一台用来复制流程画面。

2. 操作站的基本功能

操作站的基本功能主要表现为显示、操作、报警、系统组态、系统维护和报告生成等几个方面。

(1) 显示

在显示器上，工艺设备和控制设备等的开关状态，运行、停止及故障状态，回路的操作状态（手动、自动、串级），顺序控制、批量控制的执行状态等能以字符方式、模拟方式、图形及色彩等多种方式显示出来。

(2) 操作

操作站可对全系统每个控制回路进行操作，对设定值、控制输出值、控制算式中的常数值、顺控条件值和操作值进行调整，对控制回路中的各种操作方式（如手动、自动、串级、计算机、顺序手动等）进行切换。对报警限值的设定值、顺控定时器及计数器的设定值进行修改和再设定。为了保证生产的安全，还可以采取紧急操作措施。

(3) 报警

操作站以画面方式、色彩（或闪光）方式、模拟方式、数字方式及音响信号方式对各种



变量的越限和设备状态异常进行各种类型的报警。

(4) 系统组态

DCS 实际应用于生产过程控制时, 需要根据设计要求, 预先将硬件设备和各种软件功能模块组织起来, 以使系统按特定的状态运行, 这就是系统组态。

DCS 的组态分为系统组态和应用组态两类, 相应的有系统组态软件和应用组态软件。系统组态软件包括建立网络、登记设备、定义系统信息和分配系统功能, 从而将一个物理的 DCS 构成一个逻辑的 DCS, 便于系统管理、查询、诊断和维护。应用组态软件用来建立功能模块, 包括输入模块、输出模块、运算模块、反馈控制模块、逻辑控制模块、顺序控制模块和程序模块等, 将这些功能模块适当组合, 而构成控制回路, 以实现各种控制功能。应用组态方式有填表式、图形式、窗口式及混合式等。

(5) 系统维护

DCS 的各装置具有较强的自诊断功能, 当系统中的某设备发生故障时, 一方面立刻切换到备用设备, 另一方面经通信网络传输报警信息, 在操作站上显示故障信息, 蜂鸣器等发出音响信号, 督促工作人员及时处理故障。

(6) 报告生成

根据生产管理需要, 操作站可以打印各种班报、日报、操作日记及历史记录, 还可以复制流程图画面等。

1.1.4 集散控制系统软件

一个计算机系统的软件一般包括系统软件和应用软件两部分。由于集散控制系统采用分布式结构, 在其软件体系中既包括了上述两种软件, 还增加了诸如通信管理软件、组态生成软件及诊断软件等, 如图 1-2 所示。主要软件构成包含操作系统、各种组态软件操作使用以及监控软件。

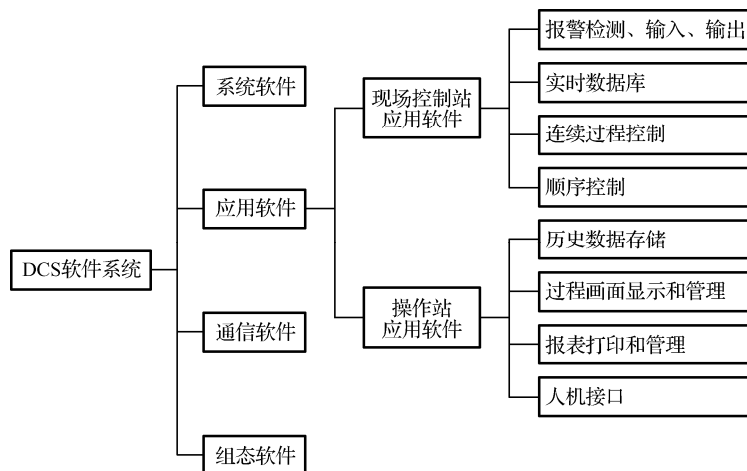


图 1-2 集散控制系统软件

1. 集散控制系统的系统软件

集散控制系统的系统软件是由实时多任务操作系统、面向过程的编程语言和工具软件等

部分组成。

操作系统是一组程序的集合，用来控制计算机系统中用户程序的执行顺序，为用户程序与系统硬件提供接口软件，并允许这些程序（包括系统程序和用户程序）之间交换信息。用户程序也称为应用程序，用来完成某些应用功能。在实时工业计算机系统中，应用程序用来完成功能规范中所规定的功能，而操作系统则是控制计算机自身运行的系统软件。

2. 集散控制系统的组态软件

DCS 组态是指根据实际生产过程控制的需要，利用 DCS 所提供的硬件和软件资源，预先将这些硬件设备和软件功能模块组织起来，以完成特定的任务。DCS 提供的组态软件包括系统组态、过程控制组态、画面组态、报表组态，用户的方案及显示方式由它来解释并生成 DCS 内部可理解的目标数据。从大的方面讲，DCS 的组态功能主要包括硬件组态（又叫配置）和软件组态两个方面。

DCS 软件一般采用模块化结构。系统的图形显示功能、数据库管理功能、控制运算功能、历史存储功能等都有成熟的软件模块。但不同的应用对象，对这些内容的要求有较大的区别。因此，一般的 DCS 具有一个（或一组）功能很强的软件工具包（即组态软件），该软件具有一个友好的用户界面，使用户在不需要什么代码程序的情况下便可以生成自己需要的应用“程序”。

软件组态的内容比硬件配置还丰富，它一般包括基本配置的组态和应用软件的组态。基本配置的组态是给系统一个配置信息，如系统的各种站的个数、它们的索引标志、每个现场控制站的最大测控点数、最短执行周期、最大内存配置、每个操作站的内存配置信息、磁盘容量信息等。而应用软件的组态则具有更丰富的内容，如数据库的生成、历史数据库（包括趋势图）的生成、图形生成、控制组态等。

随着 DCS 的发展，人们越来越重视系统的软件组态和配置功能，即系统中配有一套功能十分齐全的组态生成工具软件。这套组态软件通用性很强，可以适用于很多应用对象，而且系统的执行程序代码部分一般是固定不变的，为适应不同的应用对象只需要改变数据实体（包括图形文件、报表文件和控制回路文件等）即可。这样，既提高了系统的成套速度，又保证了系统软件的成熟性和可靠性。

硬件配置包括下列几个方面的内容：工程师站的选择（包括机型、CRT 尺寸、内存、硬盘、打印机等）；操作员站的选择（包括操作员站的个数和操作员站的配置，如 CRT 尺寸及是否双屏、主机型号、内存配置、磁盘容量的配置、打印机的台数和型号等）；现场控制站的配置，包括现场控制站的个数、地域分布，每个现场控制站中所配的各种模板的种类及数量，电源的选择。

3. JX-300 的主要应用软件

组态软件包中包括 SCKey（系统组态）、SCDraw（流程图绘制）、SCControl（图形化组态）、SCDiagnose（系统诊断）等工具软件，同时还有用于过程实时监控、操作、记录、打印、事故报警等功能的实时监控软件 AdvanTrol/AdvanTrol-Pro。

PIMS（Process Information Management Systems）软件是自动控制系统监控层一级的软件平台和开发环境，以灵活多变的组态方式提供了良好的开发环境和简捷的使用方法，各种软件模块可以方便地实现和完成监控层的需要，并能支持各种硬件厂商的计算机和 I/O 设备，是理想的信息管理网开发平台。



1.1.5 冗余技术

冗余 (Redundancy) 用多个相同的模块或部件实现特定功能或数据处理。冗余技术是提高 DCS 可靠性的重要手段。当 DCS 中某个环节发生故障时, 仅仅使该环节失去功能, 而不会影响整个系统的功能。因此, 通常只对可能影响系统整体功能的重要环节或对全局产生影响的公用环节, 有重点地采用冗余技术。自诊断技术可以及时检出故障, 报告给操作人员及时确认处理, 但是要使 DCS 的运行不受故障的影响, 主要还是依靠冗余技术。

1. 冗余方式

DCS 的冗余技术可以分为多重化自动备用和简易的手动备用两种方式。多重化自动备用就是对设备或部件进行双重化或三重化设置, 当设备或部件万一发生故障时, 备用设备或部件自动从备用状态切换到运行状态, 以维持生产继续进行。

多重化自动备用还可以进一步分为同步运转、待机运转、后退运转三种方式。

同步运转方式就是让两台或两台以上的设备或部件同步运行, 进行相同的处理, 并将其输出进行核对。两台设备同步运行, 只有当它们的输出一致时, 才作为正确的输出, 这种系统称为“双重化系统” (Dual System)。三台设备同步运行, 将三台设备的输出信号进行比较, 取两个相等的输出作为正确的输出值, 这就是设备的三重化设置, 这种方式具有很高的可靠性, 但投入也比较大。

待机运转方式就是使一台设备处于待机备用状态。当工作设备发生故障时, 启动待机设备来保证系统正常运行。这种方式称为 1:1 的备用方式, 这种类型的系统称为“双工系统” (Duplex System)。与之类似, 对于 N 台同样设备, 采用一台待机设备的备用方式就称为 $N:1$ 备用。在 DCS 中一般对局部设备采用 1:1 备用方式, 对整个系统则采用 $N:1$ 的备用方式。待机运行方式是 DCS 中主要采用的冗余技术。

后退运转方式就是使用多台设备, 在正常运行时, 各自分担各种功能运行。当其中之一发生故障时, 其他设备放弃其中一些不重要的功能, 进行互相备用。这种方式显然是最经济的, 但相互之间必然存在公用部分, 而且软件编制也相当复杂。

简易的手动备用方式是采用手动操作方式实现对自动控制方式的备用。当自动方式发生故障时, 通过切换到手动工作方式, 来保持系统的控制功能。

2. 冗余措施

DCS 的冗余包括通信网络的冗余、操作站的冗余、现场控制站的冗余、电源的冗余、输入/输出模块的冗余等。通常将工作冗余称为“热备用”, 而将后备冗余称为“冷备用”。DCS 中通信系统至关重要, 几乎都采用“一备一用”的配置; 操作站常采用工作冗余的方式。对现场控制站, 冗余方式各不相同, 有的采用 1:1 冗余, 也有的采用 $N:1$ 冗余, 但均采用无中断自动切换方式。DCS 特别重视供电系统的可靠性, 除了 220V 交流供电外, 还采用了镍镉电池、铅钙电池以及干电池等多级掉电保护措施。DCS 在安全控制系统中, 采用了三重化, 甚至四重化冗余技术。

除了硬件冗余外, DCS 还采用了信息冗余技术, 就是在发送信息的末尾增加多余的信息位, 以提供检错及纠错的能力, 降低通信系统的误码率。

冗错就是允许在一定的范围内出错, 也就是说, 在允许的范围内出错都是可以接受的措施。



练习题

一、填空题

- DCS 硬件体系结构自下而上可以分为 ()、()、()、()。
- DCS 中四层网络分别是 ()、()、()、()。
- 全厂自动化系统的最高一层为 ()。
- 过程管理级主要设备有 ()、()、()、()。
- DCS 的软件构成包括 () 软件、() 软件、() 软件。

二、判断题

- 功能参数表示功能模块与外部连接的关系。 ()
- 控制管理级主要是实施生产过程的优化控制。 ()
- 工程师站与操作站在硬件上有明显的界限。 ()
- DCS 的地域分散是水平型分散。 ()
- 顺序表法是由继电器逻辑电路图演变而来的。 ()
- 上位机只进行系统管理, 不参与系统控制活动。 ()
- DCS 的负荷分散是由于负荷能力不够而进行负荷分散的。 ()
- 实现先进控制方案常采用面向问题的语言。 ()
- 过程显示画面有利于了解整个 DCS 的系统连接配置。 ()
- 程序语言方式是通过语言编程来实现顺序控制的。 ()
- 流程图画面不是标准操作显示画面。 ()
- 报警类型只有两种, 即绝对值报警和偏差报警。 ()
- 逻辑控制是根据输入变量的状态, 按逻辑关系进行的控制。 ()
- 顺序控制就是按预定的动作顺序或逻辑, 依次执行各阶段动作程序的控制方法。 ()
- 操作站的基本功能是报警和系统组态。 ()

三、选择题

- 从生产过程角度出发, () 是集散控制系统四层结构模式最底层一级。
A. 生产管理级 B. 过程控制级 C. 经营管理级 D. 控制管理级
- () 具有协调和调度各车间生产计划和各部门的关系功能。
A. 生产管理级 B. 过程控制级 C. 经营管理级 D. 控制管理级
- DCS 显示画面大致分成四层, () 是最上层的显示。
A. 单元显示 B. 组显示 C. 区域显示 D. 细目显示
- () 有利于对工艺过程及其流程的了解。
A. 仪表面板显示画面 B. 历史趋势画面
C. 概貌画面 D. 流程图画面
- () 具有协调和调度各车间生产计划和各部门的关系功能。
A. 生产管理级 B. 过程控制级 C. 经营管理级 D. 控制管理级
- 控制器参数整定的工程方法主要有经验凑试法、衰减曲线法和 ()。
A. 理论计算法 B. 临界比例度法 C. 检测法 D. 经验法



7. 在下列拓扑结构中, () 具有电缆长度短, 易于布线的优点。
 A. 星状拓扑 B. 总线拓扑 C. 环状拓扑 D. 树状拓扑
8. () 是实时监控操作画面的总目录。
 A. 控制分组画面 B. 历史趋势画面 C. 系统总貌画面 D. 流程图画面
9. 下列哪一个参数用于给出顺序事件的主要报警源 ()。
 A. 报警优先级参数 B. 报警链中断参数 C. 最高报警选择参数
10. 下列哪种控制策略主要用于工艺连锁 ()。
 A. 批量控制 B. 顺序控制 C. 逻辑控制 D. 反馈控制

四、简答题

1. 简述集散控制系统的体系结构及各层次的主要功能。
2. 操作员键盘由哪几部分组成? 各部分的作用是什么?
3. 操作站的功能有哪些?
4. 集散控制系统的软件系统包括哪些软件?
5. 现场控制站有哪些基本功能?
6. 工程师站要做的组态定义包括哪些方面?
7. 何为冗余和冗错?



1.2 DCS 信号处理过程

学习内容	1. DCS 信号处理过程。
	2. 数字滤波方法。
	3. 报警处理相关概念。
	4. PID 控制算法。
操作技能	1. 理想 PID 离散化处理。
	2. 积分分离操作。
	3. 微分先行操作。

1.2.1 信号处理过程

DCS 信号处理主要有输入/输出处理功能、控制功能和报警功能等。

由数字计算机构成的控制系统, 在本质上是一个离散时间系统。在连续量控制系统中, 控制信号、反馈信号和偏差信号都是连续型的时间信号; 而在计算机控制系统中, 计算机的输入、输出都是离散型的时间函数。在实际的控制系统中, 被控变量大多是在时间上连续的信号, 因此, 需要对同一系统中的两种不同类型的信号进行采样和信号变换, 如图 1-3 所示。在计算机控制系统中, 首先要对现场的各种模拟信号 OUT 进行采集, 然后通过 A/D 转换器将模拟信号转换为数字信号 DS1, 以便送到计算机进行运算和处理。计算机将输入的测量信号 DS1 与预置的设定值 SV 进行比较、运算, 将结果以数字信号 DS2 的形式输出, 经 D/A 转换器后输出模拟信号 AS2 去控制执行器。

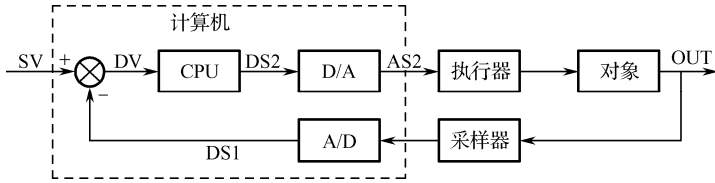


图 1-3 计算机控制系统的描述图

1.2.2 输入信号处理

为了实现计算机对生产过程的控制，需要将对象的各种测、控变量按要求送入计算机，以便运算和处理。被控对象所提供的信息是纷繁复杂的，其种类、性质及大小等各不相同，因此需要通过某种装置将生产过程中的各种被测变量转换成计算机能够接收的信号，这种在计算机与生产过程之间，起着信号转换并向计算机传送信息的装置称为输入通道。输入通道的信号处理包括数字量输入信号处理和模拟量输入信号处理。

1. 数字量输入信号处理

计算机不能直接接收生产现场的状态量（如开关、电平高低、脉冲量等），因此，必须通过输入通道将状态信号转变为数字量送入计算机。

典型的开关量输入通道通常由信号变换电路、整形电路、电平变换电路和接口电路等几部分组成。信号变换电路将过程的非电开关量转换为电压或电流的高低逻辑值。整形电路将混有干扰毛刺的输入高低逻辑信号或其信号前后沿不合要求的输入信号整形为接近理想状态的方波或矩形波，然后再根据系统要求变换为相应形状的脉冲。电平变换电路将输入的高低逻辑电平转换为与 CPU 兼容的逻辑电平。接口电路协调通道的同步工作，向 CPU 传递状态信息。

过程开关量（数字量）大致可分为三种形式：机械有触点开关量、电子无触点开关量和非电量开关量。不同的开关量要采用不同的变换方法。

开关量输入模件接收由现场输入的开关量信号，对其进行预处理后，将反映开关量状态变化的数字量信号经 I/O 总线送往处理器模件。

开关量输入模件由输入隔离电路、阈值判别电路、控制逻辑电路、模件状态监测电路、I/O 总线接口等部分组成。

脉冲量输入模件的作用是将来自生产过程中的脉冲量信号进行处理，存储并通过 I/O 总线传送给处理器模件。一个脉冲量输入模件可以接收多个脉冲量输入信号。

脉冲量输入模件有三种工作方式：积算方式、频率方式和周期方式。其中积算方式用于累积脉冲的总数，一般用于流量或电量的积算。频率方式用于测量脉冲的频率，也就是单位时间内脉冲的个数，其典型应用是转速的测量。周期方式是测量两个脉冲之间的时间间隔，事实上周期是频率的倒数，当脉冲的频率很低时，为了提高测量精度，常常采用测周期的方式。

2. 模拟量输入信号处理

模拟量输入信号的采集必须通过模拟量输入通道。模拟量输入通道一般由传感器、变送器、多路转换开关、放大器、采样保持器、A/D 转换器以及接口电路等组成。典型的模拟量输入通道的结构如图 1-4 所示。

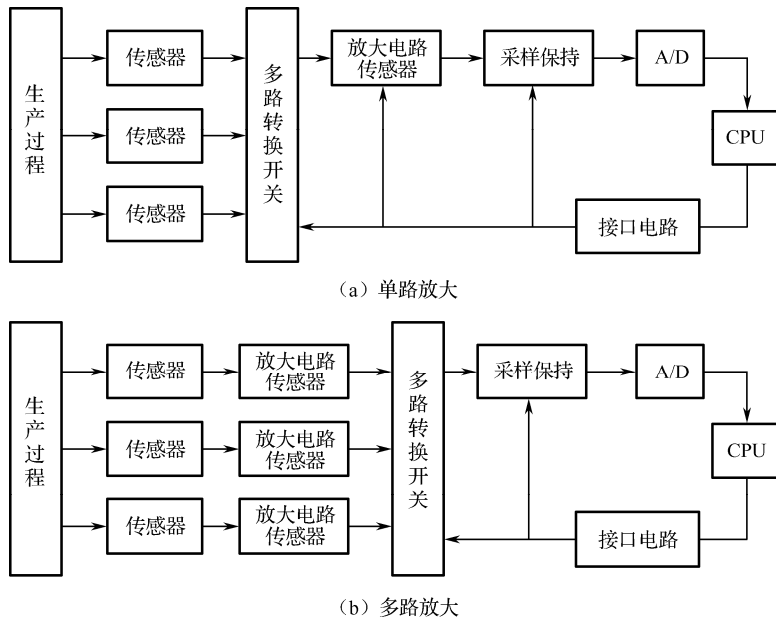


图 1-4 模拟输入通道的结构

在模拟量输入通道中，传感器用来检测各种非电量过程变量，并将其转换为电信号。多路转换开关用来将多路模拟信号按要求分时输出。放大器将传感器输出的微弱电信号放大到 A/D 转换器所需要的电平。采样保持器对模拟信号进行采样，在 A/D 转换期间对采样信号进行保持。一方面，保证 A/D 转换过程中被转换的模拟量保持不变，以提高转换精度；另一方面，可将多个相关的检测点在同一时刻的状态量保持下来，以供分时转换和处理，确保各检测值在时间上的一致性。A/D 转换器将模拟信号转换为二进制数字信号。接口电路提供模拟量输入通道与计算机之间的控制信号和数据传送通路。

3. 模拟量输入信号采样过程

计算机对某个随时间变化的模拟量进行采样，是利用定时器控制的开关，每隔一定时间使开关闭合而完成一次采样。开关重复闭合的时间间隔 T 称为采样周期，其倒数 $f_s=1/T$ 称为采样频率。所谓采样过程，是指将一个连续的输入信号经开关采样后，转变为发生在采样开关闭合瞬时 $0, T, 2T, \dots, nT$ 的一连串脉冲输出信号 $f^*(t)$ ，如图 1-5 所示。

$$f^*(t) = \sum_{k=0}^{\infty} f(kT)\delta(t - kT) \quad (1-1)$$

式中， $f^*(t)$ 为输出脉冲序列； $f(kT)$ 为输出脉冲数值序列； $\delta(t - kT)$ 为发生在 $t = kT$ 时刻上的单位脉冲。

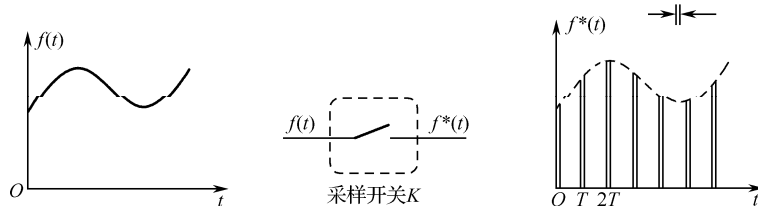


图 1-5 采样过程

单位脉冲函数的定义为

$$\delta(t-kT) = \begin{cases} \infty, t = kt \\ 0, t \neq kt \end{cases} \quad (1-2)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t-kT) dt = 1$$

根据理想单位脉冲函数的定义式 (1-2)，在采样开关闭合时， $f(kT)$ 与 $f(t)$ 的瞬时值相等，式 (1-1) 还可改写成如下形式：

$$f^*(t) = f(t) \sum_{r=0}^{\infty} \delta(t-kT) \quad (1-3)$$

式 (1-3) 说明，数字控制系统中的采样过程可以理解为脉冲调制过程。在这里，采样开关只起着理想脉冲发生器的作用，通过它将连续信号 $f(t)$ 调制成脉冲序列 $f^*(t)$ 。

4. 香农采样定理

一个连续时间信号 $f(t)$ ，设其频带宽度是有限的，其最高频率为 f_{\max} ，如果在等间隔点上对该信号 $f(t)$ 进行连续采样，为了使采样后的离散信号 $f^*(t)$ 能包含原信号 $f(t)$ 的全部信息量，则采样频率只有满足下面的关系：

$$f_s \geq 2f_{\max} \quad (1-4)$$

采样后的离散信号 $f^*(t)$ 才能够无失真地复现 $f(t)$ 。式中， f_s 为采样频率， f_{\max} 为 $f(t)$ 最高频率。

采样定理表明，采样频率 f_s 的选择至少要比 f_{\max} 高两倍，对于连续模拟信号 $f(t)$ ，我们并不需要无限多个连续的时间点上的瞬时值来决定其变化规律，而只需要有各个等间隔点上的离散抽样值就够了。另外，在实际工程中采样频率的选择还跟采样回路数和采样时间有关，一般根据具体情况选用。

$$f_s \geq (5 \sim 10)f_{\max} \quad (1-5)$$

1.2.3 数字滤波

在计算机控制系统的过程输入信号中，常常包含着各种各样的干扰信号。为了准确地进行测量和控制，必须设法消除这些干扰。对高频干扰，可采用 RC 低通滤波网络进行模拟滤波，而对于中低频干扰分量（包括周期性、脉冲性和随机性的）采用数字滤波是一种有效方法。数字滤波是通过编制一定的计算或判断程序，减少干扰在有用信号中的比重，提高信号真实性的滤波方法。与模拟滤波方法相比，数字滤波具有以下优点。

- ① 数字滤波是用程序实现的，不需要硬件设备，所以可靠性高、稳定性好。
- ② 数字滤波可以滤除频率很低的干扰，这一点是模拟滤波难以实现的。
- ③ 数字滤波可以根据不同的信号采用不同的滤波方法，使用灵活、方便。

常用的数字滤波方法有：程序判断滤波、中位值法滤波、递推平均滤波、加权递推平均滤波和一阶惯性滤波等。

1. 程序判断滤波

在控制系统中，由于在现场采样，幅值较大的随机干扰或由变送器故障所造成的失真，将引起输入信号的大幅度跳码，从而导致计算机控制系统的误动作。为此，通常采用编制判断程序的方法去伪存真，实现程序判断滤波。



程序判断滤波的具体方法是通过比较相邻的两个采样值，如果它们的差值过大，超出了变量可能的变化范围，则认为后一次采样值是虚假的，应予以废除，而用前一次采样值送入计算机。判断式为：

当 $|y(n)-y(n-1)| \leq b$ 时，则取 $y(n)$ 输入计算机。

当 $|y(n)-y(n-1)| > b$ 时，则取到 $y(n-1)$ 输入计算机。

式中， $y(n)$ 为第 n 次采样值， $y(n-1)$ 为第 $n-1$ 次的采样值。 b 为给定的常数值。

应用这种方法，关键在于 b 值的选择。而 b 值的选择主要取决于对象被测变量的变化速度，例如，一个加热炉温度的变化速度总比一般的压力或流量的变化速度要缓慢些，因此可以按照该变量在两次采样的时间间隔内可能的最大变化范围作为 b 值。

2. 中位值法滤波

中位值法滤波就是将某个被测变量在轮到它采样的时刻，连续采 3 次（或 3 次以上）值，从中选择大小居中的那个值作为有效测量信号。

中位值法对消除脉冲干扰和机器不稳定造成的跳码现象相当有效，但对流量对象这种快速过程不宜采用。

3. 递推平均滤波

管道中的流量、压力或沸腾状液面的上下波动，会使其变送器输出信号出现频繁的振荡现象。若将此信号直接送入计算机，会导致控制算式输出紊乱，造成控制动作极其频繁。甚至执行器根本来不及响应，还会使控制阀因过分磨损而影响使用寿命，严重影响控制品质。

上下频繁波动的信号有一个特点，即它始终在平均值附近变化，如图 1-6 所示。

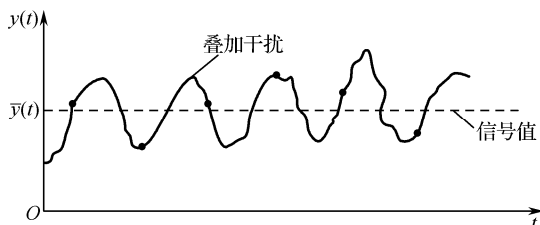


图 1-6 上下频繁波动的信号

图中的黑点表示各个采样值。对于这类信号，仅仅依靠一次采样值作为控制依据是不正确的，通常采用递推平均的方法，即第 n 次采样的 N 项递推平均值是 $n, (n-1), \dots, (n-N+1)$ 次采样值的算术平均。递推平均算式为：

$$\bar{y}(n) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} y(n-i) \quad (1-6)$$

式中， $\bar{y}(n)$ 为第 n 次 N 项的递推平均值； $y(n-i)$ 为往前递推第 i 项的测量值； N 为递推平均的项数。

也就是说，第 n 次采样的 N 项递推平均值的计算，应该由 n 次采样往前递推 $(N-1)$ 项。

N 值的选择对采样平均值的平滑程度与反应灵敏度均有影响。在实际应用中，可通过观察不同 N 值下递推平均的输出响应来决定 N 值的大小。目前在工程上，流量常用 12 项平均，压力取 4 项平均，温度没有显著噪声时可以不加平均。

4. 加权递推平均滤波

递推平均滤波法的每一次采样值，在结果中的比重是均等的，这对时变信号会引入滞后。为增加当前采样值在结果中所占的比重，提高系统对本次采样的灵敏度，可采用加权递推平均方法。一个 N 项加权递推平均算式为：

$$\bar{y}(n) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} C_i y(n-i) \quad (1-7)$$

式中， C_i 为加权系数，各项系数应满足下列关系：

$$0 \leq C_i \leq 1 \quad \text{且} \quad \sum_{i=0}^{N-1} C_i = 1$$

5. 一阶惯性滤波

一阶惯性滤波器的动态方程式为：

$$T \frac{d\bar{y}(t)}{dt} + \bar{y}(t) = y(t) \quad (1-8)$$

式中， T 为滤波时间常数； $\bar{y}(t)$ 为输出值； $y(t)$ 为输入值。

令 $d\bar{y}(t) = \bar{y}(n) - \bar{y}(n-1)$ ， $d(t) = T_s$ （采样周期）， $\bar{y}(t) = \bar{y}(n)$ ， $y(t) = y(n)$

有 $\frac{T}{T_s} [\bar{y}(n) - \bar{y}(n-1)] + \bar{y}(n) = y(n)$

$$\frac{T + T_s}{T_s} \bar{y}(n) = y(n) + \frac{T}{T_s} \bar{y}(n-1) \quad (1-9)$$

$$\bar{y}(n) = \frac{T_s}{T + T_s} y(n) + \frac{T}{T + T_s} \bar{y}(n-1) \quad (1-10)$$

令 $a = \frac{T}{T + T_s}$ ，则有

$$\bar{y}(n) = (1-a)y(n) + a\bar{y}(n-1) \quad (1-11)$$

式中， a 为滤波常数， $0 < a < 1$ ； $\bar{y}(n)$ 为第 n 次滤波输出值， $\bar{y}(n-1)$ 为第 $n-1$ 次滤波输出值， $y(n)$ 为第 n 次滤波输入值。

一阶惯性滤波对周期性干扰具有良好的抑制作用，适用于波动频繁的变量滤波。

在实际应用上述几种数字滤波方法时，往往先对采样信号进行程序判断滤波，然后再用递推平均、加权递推平均或一阶惯性滤波等方法处理，以保持采样的真实性和平滑度。

1.2.4 输出信号处理

经过计算机运算处理后的各种数字控制信号也要变换成适合于对生产过程或装置进行控制的信号。因此，在计算机和执行器之间必须设置信息传递和变换的装置，这种装置就称为过程输出通道。

1. 数字输出信号的处理

数字信号的输出必须通过数字量输出通道。数字量输出通道的任务是根据计算机输出的数字信号去控制接点的通、断或数字式执行器的启、停等，简称 DO (Digital Output) 通道。根据被控对象的不同，其输出的数字控制信号的形态及相应的配置也不相同。其中最为常用的



数字控制信号是开关量和脉冲量信号，图 1-7 所示为开关量输出通道的结构图。

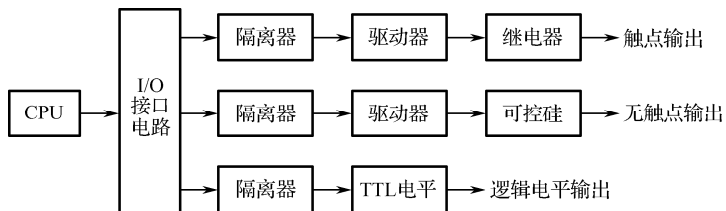


图 1-7 开关量输出通道的结构图

隔离器一般采用光电隔离器，如 TLP521 系列；输出驱动器将计算机输出的信号进行功率放大，以满足被控对象要求；继电器、晶闸管（或大功率晶体管）、TTL 电平输出等为需要开关量控制信号的执行机构，通过这些开关器件的通、断去控制被控对象。

在应用中，有些执行器需要按一定的时间顺序来启动和关闭，这类元件需采用一系列电脉冲来控制，这种将计算机发出的控制指令转变成一系列按时间关系连续变化的开关动作脉冲信号的电路称为输出通道。它一般具有可编程和定时中断等功能。

开关量输出模件通过 I/O 总线接收处理器模件输出的开关量信号，经该模件输出，以便控制现场的开关量控制设备。

开关量输出模件由输出寄存器、输出选择器、输出驱动电路、状态缓存器、故障控制逻辑、故障状态寄存器、总线故障监测电路等部分组成。

2. 模拟输出信号的处理

模拟信号的输出必须通过模拟量输出通道来完成。模拟量输出通道是计算机控制系统实现控制的关键。它的任务是把计算机输出的数字量转换成模拟电压或电流信号，以便驱动相应的执行机构、达到控制的目的。模拟量输出通道一般由输出接口电路、D/A 转换器、V/I 变换等组成。

① 一个通路设置一个 D/A 转换器。微处理器和通路之间通过独立的接口缓冲器传送信息，这是一种数字保持的方案，如图 1-8 所示。它的优点是转换速度快、工作可靠，即使某一路 D/A 转换器有故障也不会影响其他通路的工作。缺点是使用硬件较多，成本高。但随着大规模集成电路技术的发展，这个缺点正在逐步得到克服。这种方案较易实现。

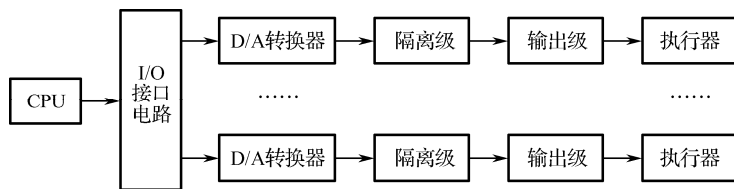


图 1-8 独立的多通道 D/A 转换器

② 多个通路共用一个 D/A 转换器的形式。图 1-9 所示为多路信号共用一个 D/A 转换器，因此它必须在微型机控制下分时工作。即依次把 D/A 转换器转换成的模拟电压（或电流），通过多路模拟开关传送到下一级电路。这种结构节省了 D/A 转换器，但因是分时工作，只适用于通路数量多且速度要求不高的场合。因为多路共用一个 D/A 转换器，所以可靠性较差。

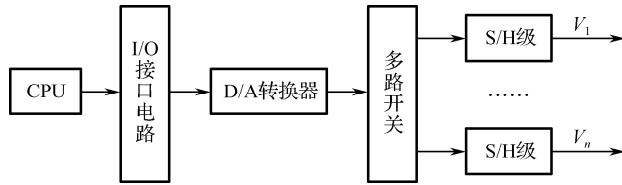


图 1-9 多路信号共用一个 D/A 转换器

1.2.5 报警处理

集散控制系统具有完备的报警功能，使操作管理人员能得到及时、准确又简洁的报警信息，从而保证了安全操作。DCS 的报警可选择各种报警类型、报警限值和报警优先级。

1. 报警类型

报警类型通常可分为仪表异常报警、绝对值报警、偏差报警、速率报警以及累计值报警等。

① 仪表异常报警。仪表异常报警是指当测量信号超过测量范围上限或下限的规定值（如超过上限 110%，超过下限-10%）时，可认为检出元件或变送器出现断线等故障，发出报警信号。

② 绝对值报警。当变量的测量值或控制输出值超过上限、下限报警设定值时，发出报警信号。

③ 偏差报警。当测量值与报警设定值之差超过偏差设定值时，发出报警信号。

④ 速率报警。为了监视过程变化的平稳情况，设置了“显著变化率报警”。当测量值或控制输出值的变化率（一定时间间隔的变化量）超过速率设定值时，发出报警信号。

⑤ 累计值报警。对要求累加的输入脉冲信号进行当前值累计，并每次与累计值报警设定值相比较，超限时即发出报警信号。

2. 报警限值

为了实现预报警，DCS 中通常还设置了多重报警限值，如上限、上上限、下限、下下限等。

3. 报警优先级

常用的报警优先级控制参数有报警优先级参数、报警链中断参数和最高报警选择参数等。设置这些参数，主要是为了使操作管理人员能从众多的报警信息中分出轻重缓急，便于按报警信号进行管理和操作。

① 报警优先级参数。表示当超限报警发生时，报警信号的优先级别。它与过程变量的重要程度有关，与报警限值参数相对应，如测量值上限报警优先级、偏差值上限报警优先级等。

报警优先级由高到低依次是危险级、高级、低级、报表级和不需要报警。危险级的报警信号在所有的报警总貌画面中都显示。高级的报警信号在区域报警画面和单元报警画面中显示。低级的报警信号只在单元报警画面中显示。报表级的报警信号只在报表中记录，并不送往操作站。不需要报警这一级，连报表都不予打印。对前三级的报警信号，操作站会以不同的声响、灯光进行报警。

② 报警链中断参数。用于给出顺序事件的主要报警源。当某一关键过程变量首先报警而引发出一系列后继报警时，为了使操作管理人员能及时找准首先发生的报警源，做出正确处理。



报警链中断参数及时切断一系列次要的后继报警信号,为操作管理人员提供准确的关键报警信息。例如,某反应器由于进料量的猛增,超出报警限值,不仅使液面升高,同时因反应加剧,温度升高、釜压升高;也就是说由于进料流量的报警,引发了液面、温度、压力等一系列的报警,如果全部报警必然使操作管理人员眼花缭乱。采用报警链中断参数,可以把引发的一系列后继报警都切断,只给操作管理人员提供首先发生的流量报警信号,使报警信号简洁明了。在信息管理中,被切断的那些报警信息,仍可在报警日志中记录和显示。

③ 最高报警选择参数。当某个数据点的几个报警变量同时处于报警状态时,最高报警选择参数会确定最危险的那一个报警变量,并在报警画面中显示。这种情况常见于同时组态了 PV 绝对值报警、PV 变化率报警、PV 坏值报警的场合。

1.2.6 PID 控制算法

1. 理想 PID 控制算法

按偏差的比例、积分和微分控制(以下简称 PID 控制),是控制系统中应用最广泛的一种控制规律。在系统中引入偏差的比例控制,以保证系统的快速性,引入偏差的积分控制以提高控制精度,引入偏差的微分控制来消除系统惯性的影响。其控制结构如图 1-10 所示。

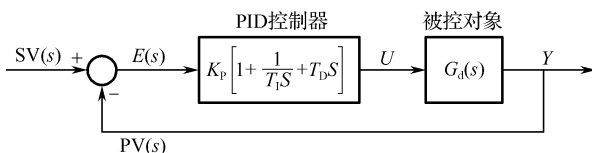


图 1-10 理想 PID 控制结构图

在 PID 控制系统中,控制器将根据偏差 $e=sv-pv$ (设定值 sv 与测量值 pv 之差),给出控制信号 $u(t)$ 。在时间连续的情况下,理想 PID 常用以下形式表示:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1-12)$$

$$U(s) = K_p E(s) \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] \quad (1-13)$$

式中, K_p 为控制器比例增益; T_i 为积分时间; T_d 为微分时间。

由于在计算机控制系统中,计算机只能每隔一定的时间(采样周期 T)才能完成一次检测、计算并输出控制,因此必须将原来的 PID 微分方程经过差分处理后变成相应的差分方程。

$$\begin{aligned} \Delta u(n) &= u(n) - u(n-1) \\ &= K_p \left\{ e(n) - e(n-1) + \frac{T}{T_i} e(n) + \frac{T_d}{T} [e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)] \right\} \end{aligned} \quad (1-14)$$

输出采用增量算式时,控制量可按下式计算

$$u(n) = u(n-1) + \Delta u(n) \quad (1-15)$$

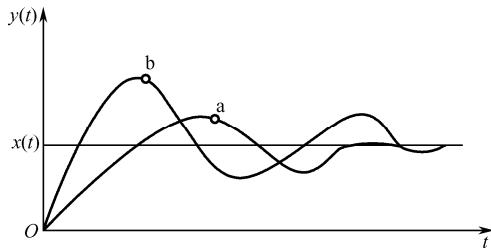
2. 理想 PID 控制算法的改进应用

(1) 积分分离

在一般的 PID 控制中,当启动、停车或大幅度改变给定值时,由于在短时间内产生很大

的偏差，往往会产生严重的积分饱和现象，以致造成很大的超调和长时间的振荡。为了克服这个缺点，可采用积分分离方法，即在被控制量开始跟踪时，偏差大于某个设定值 B 时，取消积分作用；而当被控制量接近给定值时，偏差小于某个设定值 B 时才将积分作用投入以消除静差。

$$\Delta u(n) = \begin{cases} K_p \left\{ e(n) - e(n-1) + \frac{T_D}{T} [e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)] \right\} & |e(n)| \geq B \\ K_p \left\{ e(n) - e(n-1) + \frac{T}{T_i} e(n) + \frac{T_D}{T} [e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)] \right\} & |e(n)| < B \end{cases} \quad (1-16)$$



a-积分分离式的 PID 控制过程；b-普通的 PID 控制过程

图 1-11 两种控制效果比较

在单位阶跃信号的作用下，将积分分离式的 PID 控制与普通的 PID 控制响应结果进行比较，如图 1-11 所示。可以发现，前者超调小，过渡时间短。

(2) 微分先行

微分先行是只对被控变量求导，而不对设定值求导。这样，在改变设定值时，输出不会突变，而被控变量的变化，通常总是比较和缓的。此时控制算法为：

$$\Delta u_d(k) = -K_D [y(k) - 2y(k-1) + y(k-2)] \quad (1-17)$$

微分先行的控制算法明显改善了随动系统的动态特性，而静态特性不会产生影响，所以这种控制算法在模拟式控制器中也在采用。

与常规 PID 运算（见图 1-12）相比较，微分先行 PID 运算规律（见图 1-13）中，PV 值经微分运算，而 SV 只经 PI 运算。

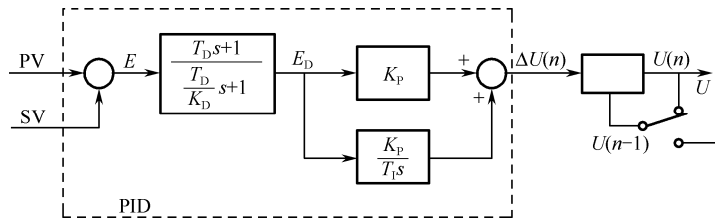


图 1-12 常规 PID 运算方框图

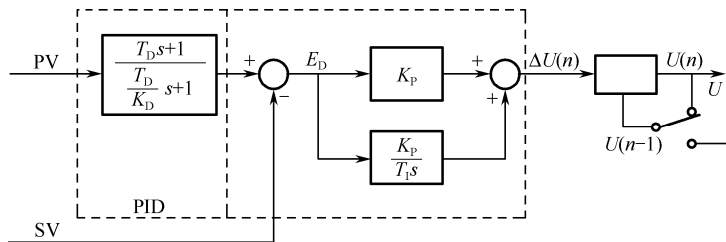


图 1-13 微分先行 PID 运算方框图

控制器输出 $U(S)$ 可用下式表示：