

第一部分 DCS 的选型应用

第1章 概 述

1.1 DCS 的发展

自1946年第一台电子管式的电子数字计算机问世以来,已过了半个世纪。这五十年可以说是被称为第二次工业革命的信息革命从孕育、发展直到蓬勃成长的一段时期。在人类历史上,总有一些看似普通的事件被以后的历史证明是引发人类社会发生巨人变革的起因。正如火的受控使用引发了农业革命,蒸汽动力的发现和蒸汽机的发明引发了第一次工业革命一样,电子数字计算机——这一以人类智力的扩充、增强和延伸为主要目标的机器——则宣布了信息革命的开端。而这次信息革命的发展速度,对人类社会各方面影响之深远,则都是前所未有的。

电子数字计算机在其出现之前,已经有很多以代替人类脑力劳动为目标的出色发明,例如古老的算盘,近代的计算尺直到电子数字计算机之前的机械式计算机。这些发明尽管出色,但都没有引起人类社会革命性的变化。只有在以数字化的处理(而非模拟方式)和自动的程序执行这二大原理为主要特点的电子数字计算机问世之后,才真正宣布了信息革命的开端。

在电子数字计算机出现的初期,其主要用途是数值计算,这是因为数值计算所处理的对象就是数字,对于电子数字计算机来说是最合适不过的。而后,由于文字和其它各种信息的数字化技术逐步成熟,电子数字计算机的应用逐步扩展到信息的处理和各种事物处理。近年来,在工业生产过程中出现的各种过程信息,主要是各种反映生产过程状态的物理量,如温度、压力、电流、电压等,随着这些信息的数字化技术逐步发展成熟,电子数字计算机的应用领域又扩展到了工业过程及生产制造领域。很明显,电子数字计算机的应用是和数字化技术密切相关的,数字化技术深入到哪个领域,电子数字计算机的应用就会扩展到那里。近几年对声音、图象的数字化技术发展就带来了当前尽人皆知的电子数字计算机的最新应用——多媒体处理。

电子数字计算机在工业过程及生产制造领域的应用可以细分为很多类,而且站在不同的角度,分类的方法也有所不同,主要的分类方法有以下几种。

1 以控制算法划分

可以分为逻辑控制、数值控制和混合控制三种。逻辑控制是以逻辑状态的判别为基础的,其过程的输入是一些表示过程状态的开关量,这些量在计算机中进行各种逻辑条件的判别与逻辑运算,如逻辑与、逻辑或、逻辑非,其运算结果及控制输出也是一些控制过程状态的开关量,目前广泛使用的可编程逻辑控制器(PLC)就是一种典型的逻辑控制计算机。

数值控制是以数值的运算为基础的,其输入是各种现场测量值,经过计算机的数值计算,得到数值的控制结果并输出。数值控制需要依据被控过程的动态特性及传递函数,得出控制算法的“数学模型”,其用途主要是对连续过程进行调节与控制。混合控制则综合了逻辑控制和数值控制的算法,其输入、输出量既包括状态,也包括数值,而计算机的处理也包含了逻辑运算和数值计算这两方面的内容。

2 以控制方式划分

可以分为开环控制、闭环控制和监督控制三种。开环控制是一种预定程序的控制方法,它根据预先确定的控制步骤一步一步地实施控制,而被控过程的状态并不直接影响控制程序的执行。闭环控制则要根据被控过程的状态决定控制计算机的内容和实施控制的时机,计算机需要不断检测被控过程的实时状态,并根据这些状态及控制算法得出控制输出,对被控过程实施控制。而监督控制则需要有人工的介入,计算机的任何控制输出都是由人来决定和实施的,计算机并不直接对被控过程实施控制。监督控制一般用于对那些得不出明确控制程序或控制算法的过程,这些过程可能涉及的情况比较复杂,以计算机的能力目前尚不能自动作出控制结果,因此必须由人来做出判断和裁决。

3 以控制对象划分

从被控过程的性质看,基本上可以分为连续过程、离散过程和以批次为基础的过程三种。连续过程是一种不间断的生产过程,其产品形态往往是流体,对这种过程的控制目标主要是产品的产量和质量,对连续过程的控制常常使用闭环的方式,其控制算法也是以数值控制为主。离散过程是一种单件形态产品的生产过程,这种生产过程往往分成许多道工序,对离散过程的控制就是要对每道工序进行控制,使工件在生产线上经过各道工序的加工逐步从原料变成半成品、成品。对离散过程的控制方式多为开环形式,而控制算法多为逻辑控制。批次的过程则兼有连续控制和离散控制的特点,它是以一个批次的生产为基础,在一个批次内的生产以连续过程为主,而批次的转换则以离散过程为主,对于批次的过程处理往往还附带有很多生产管理方面的功能,如产品的数量、原料、能源消耗的统计,成本的核算,等等。

4 以控制功能划分

基本上可分为直接数字控制(DDC)和设定值控制(SCC)两种。DDC和SCC都是闭环控制系统,但控制层次有所不同,DDC是指计算机根据过程输入,通过控制算法得到控制输出后直接通过计算机与过程现场的输出接口进行输出,以对被控过程实施控制的计算机控制系统,一般用于较小的单回路控制。SCC则是由计算机根据过程输入,通过控制算法得到一个指导性的设定值,由此设定值来规定回路控制的目标值,再由回路控制设备实施具体的控制输出。回路控制设备可以是自动化仪表,也可以是DDC级的计算机,SCC一般完成较大范围的控制协调,控制优化功能,属于高层控制的范围。

5 以系统结构划分

无论哪种计算机控制,在控制系统本身,都可分为集中结构(CCS)和分散结构(DCS)两种。所谓集中结构,是指由单一的计算机完成控制系统的所有功能和对所有被控对象实施控制的一种系统结构,显然,这种结构对计算机的要求极高,首先它必须有足够的处理能力和极高的可靠性,以保证功能的实现和系统的安全。集中系统的好处是系统的整体性、协调性好,由于是集中的方式,所有现场状态集中在一个计算机中处理,因此中央计算机

可以根据全面情况进行控制计算和判别,在控制方式、控制时机的选择上可以进行统一的调度和安排。而 DCS 则在系统的处理能力和系统安全性方面明显优于集中系统,这是由于 DCS 使用了多台计算机分担了控制的功能和范围,使处理能力大大提高,并将危险性分散。DCS 由于以上优点,现在已成为计算机控制系统的主流结构,但 DCS 面临的关键问题是系统的整体协调性的解决,由于一个系统中有多台计算机在工作,各个计算机如何协调工作,特别在涉及到全局性的控制问题时如何实现,是 DCS 要解决的主要问题。经过多年的发展,DCS 目前都采用了多层次的结构,即将系统分为现场控制层、协调控制层、管理控制层,等等。这些层次各完成不同的功能,如现场控制层主要完成 DDC 的功能,协调控制层完成 SCC 的功能,而管理控制层完成范围更广泛、更高层的管理控制功能等。在同一层次中,各个计算机的地位、功能是等同的,它们分别完成整个控制范围中的某一部分,而它们之间的协调,一部分靠与同层次中其它计算机的数据通信实现,而主要则依赖于上一层次的计算机,这样可以较好地满足计算机控制系统的可靠性、可用性及整体协调性等要求。

在实际应用中不同用途的计算机控制系统还有很多差异。如对现场过程量的 I/O,就可以分为近程 I/O 和远程 I/O 两种。近程 I/O 是将过程量直接通过信号电缆引入计算机,而远程 I/O 则必须通过远程终端单元(RTU)实现现场 I/O,在 RTU 和计算机之间通过远程的通信线路实现连接和信息的交换。又如近年来现场控制测量仪表的智能化技术发展很快,智能化仪表实际上就是传统仪表和小规模的 DDC 计算机结合而成的产品。智能化仪表的出现使得计算机控制系统的现场控制层更加分散,更加深入到生产设备,因此整个系统的结构也发生了相应的变化,特别是现场总线技术逐步成熟后,计算机控制系统的分散化、智能化更成为一种必然的发展趋势。

本书将从 DCS 入手,详细介绍计算机控制系统的功能、具体产品以及实际系统的实现方法,也根据当前技术的发展讨论计算机控制系统的发展趋势。

1.2 DCS 的组成及体系结构

DCS 即所谓分布式控制系统,在其它一些资料中称之为集散系统,是相对于集中式控制系统而言的一种新型计算机控制系统,它是在集中式控制系统的基础上发展、演变而来的。在这里我们不对 DCS 的结构作学术式的探讨,即先不去管它应该是什么样的结构,而是从实际出发,根据现有的、应用比较广泛的若干种 DCS 的结构进行总结归纳,从而说明 DCS 实际是一种什么样的结构,进而根据其实际应用的情况分析、比较 DCS 的各种特点。

在生产过程自动化领域中,集中式控制系统是指那种将过程数据输入输出(PIO)、实时数据库的管理、实时数据的处理与保存、历史数据库的管理、历史数据处理与保存、人机界面的处理(MMI),报警与日志记录、报表直至系统本身的监督管理等所有功能集中在一台计算机中的那种系统。集中式控制系统的优点是结构简单、清晰,集中式的数据库很容易管理,并容易保证数据的一致性。但其缺点很多:①各种功能集中在一台计算机中,使得软件系统相当庞大,各种功能要由很多实时的任务去完成,而任务数量的增加导致系统开销增大,计算机运行效率下降;②由于集中式的系统需要庞大而复杂的软件体系,使得

系统的软件可靠性下降,实际运行情况表明,集中式系统在现场运行时出现的故障有 70% 以上是由于设计不良或存在缺陷的软件造成的,因此尽管很多集中式系统为了保证硬件可靠性而精心设计了双重冗余与备份,但仍然避免不了故障的出现,甚至加了冗余的系统故障率反而高于没有冗余的系统,究其原因,均是软件引起的问题;③系统的可扩性差。限于计算机硬件的配置与能力,一个系统在建立时基本上就已经确定了其最终能力。如果能预见到其规模的扩充,只有预留计算机的处理能力,这将造成很大的投资上的浪费;④集中式的系统将所有的功能、所有的处理集中在一台计算机上,大大增加计算机失效或故障对整个系统造成的危害性,所有实时信息、历史数据和处理功能集于一身,一旦出现问题,造成的后果都是全局性的。

鉴于集中式控制系统存在的种种问题,人们开始针对这些问题寻求解决方案,其中有几点思路是非常具有建设性的,事实上这也成了日后 DCS 设计的基本原则:

- 1 针对过量程的输入、输出处理过于集中的问题,设想使用多台计算机共同完成所有过量程的输入、输出。每台计算机只处理一部分实时数据,而每台计算机的失效只会影响到自己所处理的那一部分实时数据,不至于造成整个系统失去实时数据。

- 2 用不同的计算机去处理不同的功能,使每台计算机的处理尽量单一化,以提高每台计算机的运行效率,而且单一化的处理在软件结构上容易做得简单,提高了软件的可靠性。

- 3 用计算机网络解决系统的扩充与升级的问题。与计算机的内部总线相比,计算机网络具有设备相对简单、可扩性强、初期投资较小的特点,只要选型得当,一个网络的架构可以具有极大的伸缩性,从而使系统的规模可以在很大程度上实现扩充而并不增加很多费用,换句话说,就是系统的成本可以随着规模的扩充基本上呈线性增长的趋势。

- 4 网络中的各台计算机处于平等地位,在运行中互相之间不存在依赖关系,以保证任一计算机的失效只影响自身。

事实上,被控过程本身具有层次性和可分割性,上述设想是符合被控过程自身的内在规律的,因此基于上述设想的 DCS 出现后,很快地得到了广泛的承认和普遍的应用,并且在短短二十几年中取得了相当人的进展。

这里我们不难看出,DCS 的关键是计算机的网络技术,我们可以认为 DCS 的结构其实质就是一个网络结构。如何充分利用网络资源,如何通过网络协调 DCS 中各台计算机的运行,如何在多台计算机共同完成系统功能的过程中保证所处理信息的实时性、完整性和一致性,则成为了 DCS 设计中的关键问题。

下面,我们简要介绍 DCS 的基本构成和各个组成部分。

1.2.1 DCS 的基本组成部分

DCS 自 70 年代问世以来,很多公司各自推出了多种不同设计、风格各异的 DCS,即使是同一厂家,其早期产品和近期产品也有不少的差异。但是,尽管种种 DCS 千差万别,其核心结构却基本上是一致的,我们可以简单地将其归纳为“三点一线”式的结构。“一线”是指 DCS 的骨架计算机网络,“三点”则是指连接在网络上的三种不同类型的节点。这三种不同类型的节点是:面向被控过程现场的现场 I/O 控制站;面向操作人员的操作站;面向 DCS 监督管理人员的工程师站。

一般情况下,一个DCS中只需配备一台工程师站,而现场I/O控制站和操作员站的数量则需要根据实际要求配置。这二种节点通过系统网络互连接并互相交换信息,协调各方面的工作,共同完成DCS的整体功能。

1.2.1.1 DCS的系统网络 SNET

用于DCS的计算机网络在很多方面的要求不同于通用的计算机网络。首先,它是一个实时网络,也就是说,网络需要根据现场通信实时性的要求,在确定的时限内完成信息的传送。这里所说的“确定”的时限,是指无论在何种情况下,信息传送都能在这个时限内完成,而这个时限则是根据被控制过程的实时性要求确定的。

根据网络的拓扑结构,大致可以分为星形、总线形和环型三种。星形网由于其必须设置一中央节点,各个节点之间的通信必须经由中央节点进行,这种变相的集中系统不符合DCS的设计原则,因此星形网基本上不被各DCS厂家采用。目前应用最广的网络结构是环形网和总线型网。在这两种结构的网络中,各个节点可以说是平等的,任意两个节点之间的通信可以直接通过网络进行,而不需其它节点的介入。

从信息传送的实时性讲,星形网应该是最高的,因为这种拓扑结构没有共用传输介质的问题。DCS之所以不采用这种结构,仅仅是由于其中中央节点的存在使危险性集中了的缘故,另外两种拓扑结构不存在这个问题,但它们存在着另一个问题,就是共用传输介质的问题,这是影响网络传输实时性的关键。

为了实现传输介质共享,对于多个节点传送信息的请求必须采用分时的方法,以避免信息在网络上的碰撞。日前各种网络解决碰撞的技术不外两种,一种是以令牌的方式划分各个节点的时间片,使每一瞬间只有一个节点使用物理传输介质,即所谓Token Ring(对于环形网)或Token Passing(对总线形网)方式。令牌实际是一个标识信号,它规定了要使用物理传输介质的节点标识,只有符合标识的节点(节点的标识号在系统中是唯一的)才能使用网络。这样就避免了某个节点传送信息时被其它节点干扰,当传送信息的节点完成传送之后,即刻释放网络,并产生一个令牌,将网络让给其它节点。这种令牌方式的网络要求各个节点用网络的时间是限定时间,即每个令牌从得到到释放的时间是确定的,这样才能保证通信的实时性,对于较多的数据传送请示,就有可能被分割成多个令牌周期分几次完成传送。另一种解决碰撞的技术是载波侦听与碰撞检测技术,即CSMA/CD方式,这种方式不规定时间片,需要使用网络的节点首先需要对网络线进行侦听,测试网络是否忙,如果忙就等待,直到网络空闲。如果两个节点同时向网络发送数据,就会造成两个节点的数据传送同时出错的情况,这时,各个需要使用网络的节点就需要延迟一个随机的时间,然后再去试图占用网络。这种网络运行机制并不具备“在确定时限内完成信息传送”的特点,因此在DCS中很少用CSMA/CD方式的网络作为SNET而多采用TOKEN方式的网络。但是在更高一层的管理网络中,CSMA/CD方式的网络使用比较普通,这是由于当网络上节点较多时,TOKEN方式的网络开销比较大,使得网络节点的增加受到一定限制,同时在传送数据包的长度较大时,TOKEN网完成一次传送的时间会拉得很长,而在高层管理网中往往节点数量较多,被传送的数据包较大,而且在这种场合实时性的要求相对没有那么严格,主要需考虑的是可以方便地增加实时性要求不太高的网络节点,在这些方面CSMA/CD网显然更具有优越性。

1.2.1.2 现场 I/O 控制站

现场 I/O 控制站是完成对过程现场 I/O 处理并实现直接数字控制(DDC)的网络节点,主要功能有三个:①将各种现场发生的过程量(流量、压力、液位、温度、电流、电压、功率以及各种状态等)进行数字化,并将这些数字化后的量存在存储器中,形成一个与现场过程量一致的、能一一对应的、并按实际运行情况实时地改变和更新的现场过程量的实时映像;②将本站采集到的实时数据通过网络送到操作员站、工程师站及其它现场 I/O 控制站,以便实现全系统范围内的监督和控制,同时现场 I/O 控制站还可接收由操作员站、工程师站下发的信息,以实现对现场的人工控制或对本站的参数设定;③在本站实现局部自动控制、回路的计算及闭环控制、顺序控制等,这些算法一般是一些经典的算法,也可下载非标准算法、复杂算法。

要实现上述三项功能,首先要实现现场过程量的 I/O。由于计算机的处理是以二进制数字为基础的,因此第一步是实现现场过程量的数字化处理,这是实现其它功能的基础。对于状态量数字化的过程比较简单,一般都是用电气接点表示各种状态,通过数字量的输入、输出即可实现数字量和状态之间的转换。而对于其它物理量,就需要一些特殊的转换方法。从总体看,物理量基本上可分为两种,一种是物理量的瞬时值(流量、压力、液位、温度、电流、电压、功率等),另一种是累计值(流量的累计,电能的累计等)。瞬时值可以通过模拟数字变换(A/D 或 D/A)实现数字化,这种变换是通过检测元件或执行元件,将物理量用电信号(如电流、电压)表示出来,然后通过计算机内部的 A/D 变换器将电信号变成数字量或由 D/A 变换器将数字量变成电信号。而累计量可以用两种方法实现变换,一种是利用瞬时值,通过计算机内部的积分运算计算出累计值,如流量的累计,可利用孔板式流量计取得流量瞬时值(m^3/s),分时段进行积分,变成立方值。时段分得越细,其结果精度越高,如图 1.2.1 所示。



图 1.2.1 对流量的积分运算

图中每个竖直条为一个时段,阴影部分的面积即为物理量的累计值,由图中可以看出,每个时段的累计与实际量是有误差的,这个误差随着时段的变小而减少,在积分时间较长时,由于正负误差的抵销,其精度不断提高,而逐渐接近实际值。

取得累计值的第二个方法是使用称为“脉冲量”输入的方法,即使用具有累计功能的检测元件,并将累计的结果以脉冲的方式送给计算机处理,例如采用齿轮式流量计,由于齿轮每转动一定角度就表示有相应数量的液体通过,只要在齿轮上附一个脉冲发送装置,由计算机对脉冲进行计数,即可得到流量的累计值。当然,用这种方法得到的累计值只是一个脉冲数量,还必须乘上一个“脉冲当量”(每个脉冲所代表的液体体积),方可得到实际的流量累计。

由于各种物理量的检测元件或执行元件所使用的原理和方法不同,数字化后的物理量

往往存在非线性,这就需要通过非线性补偿算法对其进行修正,以得到正确的物理量。例如温度测量元件使用热电偶,温度的变化引起热电偶两端电压变化,通过对其电压的测量即可得到温度。但由于热电偶两端电压并不是随温度的变化而线性变化的,因此必须对其进行非线性补偿(或称为线性化)。常用的线性化方法有多项式曲线逼近法和查表法两种,多项式曲线逼近法由于需要大量的计算而效率不高,较少采用。查表法实际上是分段线性插值法,它需要在计算机中存入若干点的温度电压对照值,根据实测电压值和表中该值上下两点的对照值,利用等比算法得出温度的近似值,如图 1.2.2 所示。

如果实测电压为 V_i , 则

$$T_i = \frac{T_2 - T_1}{V_2 - V_1} \cdot V_i \quad (1.2.1)$$

Δt 为线性化误差。可以看出,温度电压对照表分段越细,线性化的精度越高,即 Δt 越小,当然这就需要占用更多的存储量。对于某些特性曲线的变化率较大的测量元件,为减少存储量的占用,还可使用不等分段的对照表,当然用不等分的对照表进行线性化处理要复杂一些。

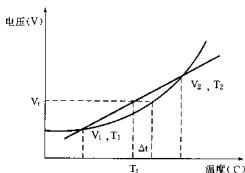


图 1.2.2 等比算法示意图

除了上述过程量输入输出的基本功能外,现场 I/O 控制站还需要实现下述功能:

(1) 为一些无源的测量元件提供电源,最常用的是 24V 直流电源。

(2) 由于现场情况复杂,环节很多,现场信号的输入线上稍有不慎就会串入高电压或感应干扰,因此现场信号的输入输出回路必须配备完善良好的隔离电路和保护电路,常用的隔离电路有光电隔离、通道开关隔离、采样电容(飞跃电容)隔离、隔离放大器隔离等,常用保护电路包括熔丝、压敏电阻、隧道二极管等。

(3) 对于一些重要的控制输出量,必须具备断电保护和上电跟随特性,而不致因断电和上电或由于偶然故障而对现场发出错误的控制信号,造成生产过程的失稳甚至事故。

(4) 由于现场 I/O 控制站是与现场直接打交道的部分,因此其可靠性显得尤为重要,一般要求其平均无故障时间 MTBF 不小于 3×10^4 h,出现故障后的故障修复时间 MTTR 应尽量短,一般不大于 3h,这样才能可以保证系统可用率达到 99.99%。

(5) 对于分布式控制系统来讲,现场 I/O 控制站应该是一个独立运行单位,它具备了直接数字控制(DDC)所需的一切条件,因此现场 I/O 控制站应具备不依赖 DCS 其它部分独立运行的能力(DCS 系统初始启动时除外),这样在 DCS 其它部分失效的情况下,仍能对现场执行最基本的控制。具体的实现方法将在下一节讨论。

1.2.1.3 操作员站

DCS 的操作员站是处理一切与运行操作有关的人机界面(OI, Operator Interface)或 MMI-Man Machine Interface 功能的网络节点,其主要功能就是为系统的运行操作人员提供人机界面,使操作员可以通过操作员站及时了解现场运行状态、各种运行参数的当前值、是否有异常情况发生等。并可通过输入设备对工艺过程进行控制和调节,以保证生产过程

的安全、可靠、高效、高质。

操作员站的主要人机界面设备在计算机输出方面是彩色 CRT, 在计算机输入方面则为工业键盘和光标控制设备(鼠标器或轨迹球)。

在 CRT 上输出的内容包括:

(1) 生产过程的模拟流程图(即用模拟图形表示的生产装置或生产线), 其中标有各关键数据、控制参数及设备状态的当前实时状态。对于一些较复杂的模拟流程图, 可利用屏幕画面的滚动功能分区域显示。

(2) 报警窗口: 以倒排时间顺序的方式(即最新出现的报警排在窗口的最上端)列出所有生产过程出现的异常情况, 如数值超限、异常状态的出现等。报警窗口中的报警列表应包括异常出现的时间、异常状态或异常数据的值、当前状态或数据的值、该异常是否已经操作员确认该异常的简要说明。在报警状态解除并经过操作员确认后, 相应的报警信息应从报警队列中删除。

(3) 最关键数据的常驻显示: 对于生产过程至关重要的极少数关键数据需要在 CRT 屏幕的固定位置上显示, 并且不随屏幕显示内容的改变或画面的滚动而改变, 使操作员在任何时候都可以一眼看到这些最重要的关键数据。

(4) 实时趋势显示: 可对一个或几个生产过程数据的最近一段时间的变化趋势用曲线表示出来, 以便操作员对这个或这些数据的发展变化有所了解, 并可帮助操作员分析生产过程的运行情况。一般可在同一个坐标系中显示 4—8 个数据的趋势曲线。这样可以对比各个有关数据, 使对现场情况的分析更加一目了然。

(5) 检测及控制仪表的模拟显示: 这对于习惯在模拟仪表前进行的操作员来说是一种很好的显示方式。它可以提高操作员对实时数据所表示的内容及表达意义的反应速度, 减少因反应迟钝而造成的失误。

(6) 多窗口显示能力: 有时需要将几个不同的生产过程现场模拟图放在同一个屏幕上显示, 以对照了解它们之间的互相影响及变化情况, 这就需要操作员站的 CRT 显示具有多窗口显示能力, 可将不同工况模拟图通过不同的窗口显示在同一个屏幕上。

(7) 灵活方便的画面调用方法, 画面切换、翻页方法及“热点”功能。所谓“热点”, 就是在画面上有一些模拟按钮或特殊表示区域, 当将光标移至这些区域并单击光标控制键时, 即可弹出一个窗口或切换到另一个画面。这种操作可大大方便操作员的画面选择操作, 而且直观简单, 不需记忆特殊操作规则。

(8) 音响报警装置, 主要用于提醒操作员注意观察 CRT 上的报警窗口, 及时了解报警情况, 操作员站的输入设备主要是工业键盘和光标控制设备。一般在工业现场中使用的光标控制设备多为轨迹球, 因其工作较为可靠并且操作起来比较容易控制。工业键盘的操作比较简单明了, 可以做到一次按键完成一个功能, 但有些较复杂的操作如操作选择项较多时, 键盘操作就显得比较烦琐, 而在这种情况下就不如使用轨迹球。一般在操作员站上经过精心设计, 合理搭配键盘和轨迹球的使用, 可以达到良好的效果。根据键盘的特点, 可以将一些最常用的确定性操作(如主画面的调出, 主菜单的调出, 最新报警的确认, 画面翻页, 常用画面的调用, 等等), 定义为若干功能键, 在需要时只按一个键即可实现预定的功能。对一些选择项较多的操作, 如选点显示时, 可以在画面中定义多个“热点”, 用光标选择后调出, 则比键盘操作简便得多。

调度员除了使用键盘和轨迹球实现显示画面的调用、翻页滚动外,更重要的功能是通过这些输入设备实现对现场的调节与控制,如对控制回路在线进行调整、启动或中止某个控制回路,甚至手工调节某个回路或控制某个现场设备动作。上面这些操作,多是通过 CRT 上的模拟图形及模拟调节钮、模拟按键实现的。如一个 III 型调节仪表,可在 CRT 上模拟其表盘的盘面布置,操作员可以看到测量值指示表、设定值指针和设定按钮。操作员可以通过轨迹球直接在 CRT 模拟图中点击调节按钮以改变设定值,实现对调节参数的设定。

除了人机界面功能外,操作员站还应具有历史数据的处理功能,这主要是为了形成运行报表和历史趋势曲线。一般的运行报表可分为时报、班报、日报、周报、月报和年报若干种,这些报表均要调用历史数据库,并按用户要求进行排版并打印输出。历史趋势曲线主要是能了解过去某时间段内某个或某几个数据的变化情况,有时还要求与当前数据的变化情况相对照,以得到一些概念性的结论,使操作员在进行控制和调节时更具有目标性。例如,可以将某个现场测量值的前一天数值按分钟为间隔制成曲线,并与今天该点的实时测量值变化对照,以预测下一个时间段中该测量值会产生什么变化,并预先采取调整措施,在有些 DCS 中将此功能连同历史库存储与管理功能放在一起形成一种专用的站,但就其本质来说,这类功能也属于 IO 的范围,报表只不过是打印在纸上的显示信息,报表的优点是可以长期保存,且查阅方便不必借助计算机即可进行,但其缺点是检索困难,尤其是长年累积形成数目庞大的报表库时更是如此,这时就需要借助操作员站的历史库检索功能由计算机来完成这项工作。

1.2.1.4 工程师站

工程师站是对 DCS 进行离线的配置、组态工作和在线的系统监督、控制、维护的网络节点。其主要功能是提供对 DCS 进行组态,配置工作的工具软件(即组态软件),并在 DCS 在线运行时实时地监视 DCS 网络上各个节点的运行情况,使系统工程师可以通过工程师站及时调整系统配置及一些系统参数的设定,使 DCS 随时处在最佳的工作状态之下。

1 工程师站所提供的组态功能

工程师站的最主要功能是对 DCS 进行离线的配置和组态工作。我们知道,在 DCS 进行配置和组态之前,只是一个硬件、软件的集合体,它对于实际应用来说是毫无意义的,只有在经过对应用过程进行了详细透彻的分析、设计并按设计要求正确地完成了组态工作之后,DCS 才成为一个真正适于某个生产过程使用的应用控制系统。在 DCS 工程师站中,至少应提供如下功能:

- 硬件配置组态功能:其中包括定义各个现场 I/O 控制站的站号,网络节点号等网络参数,站内的 I/O 配置,如各个 I/O 点信号性质,信号调理类型。
- 数据库组态功能:定义系统中数据库的各种参数,系统的数据库包括实时数据库和历史数据库,实时数据库组态主要对各数据库点逐点定义其名称、工程量转换系数、上下限值、线性化处理、报警特性、报警条件等,历史数据库组态需要定义各个进入历史库的点的保存周期。
- 控制回路组态功能:该功能定义各个控制回路的控制算法、调节周期及调节参数、某些系数等。进行控制回路的组态,最常用的为功能块图组态语言,它是用标准功能块(或称算法块)互相级联,用上一块的输出作为下一块的输入,每一块完成一种特定的处理或计

算,经过组合,形成一个完整的控制回路。

- 逻辑控制及批控制组态,这种组态定义预先确定的处理过程。一般使用梯形图语言进行定义(Ladder 语言),该语言可以用图形表示各种处理条件及各处理互相之间的联接关系。

- 控制算法语言的组态: 在有些情况下,特别是一些较特殊的控制处理,使用若干程序语句来处理可以更简单明了,因此工程师站应具有控制算法处理程序,以便进行算法语言定义。算法语言的主要方法是用一些类似程序语言的语句组合来描述一个控制过程,以实现预定的控制功能。

- 操作员站显示画面的生成: 使用在 CRT 屏幕上以人机交互方式直接作图的方法生成显示画面,这种方式的优越性在于其工作效率极高,全部定义工作直观具体,实现了“所见即所得”的定义方法。与一般商用绘图软件不同,操作员站的显示画面生成软件,除了具有标准的绘图功能之外,还应该具有实时动态点的定义功能。因此实时画面是由两部分组成的,一部分是静态画面,常称为背景图;另一部分是动态点,包括实时更新的状态和检测值、“热点”活动按钮、设定值使用的滑动杆或滚动条等。另外,还需定义各种窗口显示特性。

- 报表生成组态,类似于显示画面生成,利用 CRT 屏幕以人机交互方式直接设计报表,包括表格形式及各个表项中所包含的实时数据和历史数据。利用 CRT 设计的报表基本上可以和实际打印出的报表格式一致,因此工作效率很高,而且具有极大的灵活性。

- 组态数据的编译和下装,由于各种组态的定义是按文本文件储存的,而实际运行中所需要的是二进制文件,如果在运行中随着使用的要求对定义好的组态文本文件解释执行,势必增加计算机的开销,使运行效率降低。尽管这种方法使修改扩充变得十分容易,可以随时进行,但由于实时系统是以实时性为主要目标的,因此应该采用编译的方法,将文本文件的定义预先通过一些专用的程序编译成二进制文件,在以后运行中只需要直接使用就可以了,这会大大的改进系统的实时响应性。特别是显示图形,预编译后进一步采取压缩措施,可以节省相当多的存储空间。所有定义数据编译完成后,将被下装到对应的操作员站和现场 I/O 控制站中,以在实际运行中使用。

- 操作安全保护组态,对于操作人员来说,最重要的是要保证操作的正确性,防止误操作,特别是在一些比较重要的、带有一定危险性的生产过程现场,操作员的操作更需十分谨慎。除了防止误操作外,还要防止越权操作,即不在操作员权限范围内的操作应该闭锁,因此操作员站必须有口令字保护,以确保操作安全性,并要对操作员的所有操作命令进行记录。对于一些重要的操作命令还需进行口令字复核和操作复核,防止意外发生,操作安全保护组态的功能就是定义每个操作员的口令字,操作权限及操作范围,以便在运行时进行检查和记录。

2 工程师站对系统的监控功能

与操作员站不同,工程师站必须对 DCS 本身的运行状态进行监视,包括各个现场 I/O 控制站的运行状态、各操作员站的运行情况、网络通信情况,等等,一旦发现异常,系统工程师必须及时采取措施,进行维修或调整以使 DCS 能保证长时间连续运行,不会因对生产过程的失控造成损失,另外有些对组态的在线修改功能,如上下限设定值的改变、控制参数的调节、对某个检测点或若干个检测点,甚至对某个现场 I/O 站的离线直接操作。

1.2.2 DCS 的基础硬件

根据上节所述, DCS 主要由三种节点组成, 现场 I/O 控制站、操作员站和工程师站通过局域网互联形成一个系统。每个部分都是由一个或若干个相同类型的网络节点所组成。对于局域网来说, 所有的节点都没有什么本质的原则区别, 它们都具有自己特定的网络地址(节点号), 都可以通过局域网发送或接收数据, 因此所有节点都必须有一个中央处理器 CPU 和一个局域网接口。但由于它们的功能不同, 每种节点的硬件配置还存在有很大的差别。

1 现场 I/O 控制站的基础硬件

现场 I/O 控制站的主要功能是对现场检测进行输入, 对现场控制设备进行输出和实现回路控制或流程控制(顺序控制, 批量控制或逻辑控制), 因此现场 I/O 控制站中最重要的硬件就是过程量 I/O 设备, 其中包括数字量的输入(DI)、数字输出(DO)、模拟量输入(AI)、模拟量输出(AO)、脉冲量输入(PI)、脉冲量输出(PO)及其它一些针对特殊过程量的输入输出板。

由于被控过程现场的信号种类繁多, 虽然它们可以归结为上述几大类, 但每一类中还有不少细微差别, 例如模拟量输入, 现在经常用到的就有 II 型表的 $0 \sim 10V$, $\pm 5V$, $\pm 1mA$, III 型表的 $4 \sim 20mA$, 热电阻型(包括 50Ω 铜电阻、 100Ω 铂电阻等), 热电偶型(包括 K 型、J 型、E 型、R 型、S 型、F 型等)及某些特殊的非标准型, 等等, 这些模拟量输入均可使用相同的方法进行数字化变换(A/D 转换), 但由于信号的类型, 幅值大小不同。必须将它们首先预处理成为统一的类型、统一的幅值, 这就是所谓的“信号调理”。信号调理一般都通过一块专门的信号调理板用硬件实现, 经过信号调理的信号仍然是模拟信号, 到了模拟量输入板中, 经过 A/D 变换后成为数字信号。在有些比较高级的模拟量输入板中, 设计了程序控制增益的线性放大器, 因此可将部分信号调理的工作放在模拟量输入板上完成。

除了模拟量输入、输出的信号调理外, 现场 I/O 控制站还应有开关量输入、输出和脉冲量输入、输出的信号调理板。

为了保证现场 I/O 通道不受外界的干扰和偶然出现的高电压、大电流串扰信号的破坏, 现场 I/O 控制站中必须配备各种隔离和保护电路, 如开关量输入、输出通道的光电隔离, 模拟量输入的隔离放大器隔离及飞跃电容隔离。安装在各个 I/O 通道现场端的熔丝、压敏电阻或隧道二极管等都是有效的隔离与保护措施。

现场 I/O 控制站的电源也是比较讲究的, 由于它不仅要为自己提供电源, 还要为现场检测元件设备提供电源, 以使这些检测元件或设备能够提供出符合要求的电信号, 这两种电源(用于现场 I/O 控制站本身的电源和用于现场的电源)必须互相隔离, 尤其不可共地, 以免干扰信号通过电源回路耦合到 I/O 通道中去。

2 操作员站的基础硬件

操作员站由工业微型计算机或工作站、工业键盘、轨迹球、大屏幕 CRT 和操作控制台组成, 这些设备除工业键盘外, 均属通用型设备, 一般不需特殊制造。工业键盘主要要根据系统的功能用途及应用现场的要求进行设计和安排, 例如功能键的设置、盘面的布置安排及特殊功能键的定义, 等等。由于有了轨迹球, 很多功能可以通过屏幕操作实现, 因此工业键盘的作用更侧重于特殊功能键, 用以实现若干个重要的确定性的功能。

操作员站的操作控制台的设计相当重要, 由于 DCS 的操作员的主要工作基本上都是通

过 CRT、工业键盘和轨迹球完成的,因此,操作控制台必须设计合理,使操作员能长时间工作不感到吃力。CRT 的高度、倾斜角、工业键盘的位置、轨迹球的位置等都要仔细安排,特别是 CRT 屏幕的光线,首先应避免 CRT 屏幕对向直射光线,这样会造成屏幕反光,使操作员看不清画面,同时也对 CRT 的寿命不利。第二要注意 CRT 的亮度和对比度,最好将这两个调整旋钮放在便于调节的地方,以根据调度室实际情况调整,一般亮度在中等就可以了,太亮会使操作员长期观看屏幕时产生疲劳,太暗会影响观察效果。

在操作控制台一般还应留有安放打印机的位置,以便放置报警打印机或报表打印机。

3 系统工程师站的基础硬件

系统工程师站的硬件没有什么特殊要求,选用通用的微型计算机工作站就可以了,其基本要求为:

CPU:	32 位字长运算能力 10Specint92 以上
内存:	8M 或以上
外存:	270M 字节以上
显示器:	14" 彩色,分辨率 640 × 480 或以上
标准键盘	
轨迹球或鼠标器	
电源:	200W

由于工程师站放在计算机房内,工作环境条件较好,因此不一定非要选用工业型的机器,但由于工程师站要长期连续在线运行,因此其可靠性要求较高。

1.2.3 DCS 的基础软件

DCS 的基础软件包括两大部分:第一部分是现场在线运行部分的软件,称为运行系软件;第二部分是生成运行系软件而离线运行的那部分软件,称为开发系软件。

运行系软件是建立在实时操作系统之上的一套应用软件,实时操作系统是专门用于实时控制的操作系统,它具有以下基本特点:

- 多任务并行处理
- 按优先级的抢占处理机的任务调度方式
- 事件驱动
- 多级中断响应及处理
- 任务之间同步和信息交换
- 资源共享的互锁机制
- 设备与自动服务
- 文件管理与服务
- 网络通信服务

运行系的软件主要在现场 I/O 控制站和操作员站上运行,运行于现场 I/O 控制站上的软件包括:

- 实时数据采集软件,包括工程师站转换、报警条件判断、实时数据的线性化、零值死区、数字滤波等处理。
- 通过系统网络 Snet 将实时数据送给其它站。

- 完成各种回路控制、批控制、顺序控制及特殊要求控制的计算及实际完成对现场的输出。

- 从 Snet 上接受操作员站下发的信息，解释这些信息并按要求对这些信息进行处理。例如利用下装的信息改变控制回路的参数设置。

运行在操作员站上的软件包括图形显示、动态实时数据刷新、报警显示、趋势显示、历史数据库存储、报表打印处理、事件记录打印及报警处理(发出报警音响、弹出报警窗口、将报警信息记入文件、接受操作员的报警确认等)。操作员站上还应具有操作安全保护控制软件，以保证操作员的任何控制或操作命令都是在其相应的权限和范围之中的。

与运行系软件不同，开发系软件并不要求实时性，因此建立开发系所需的操作系统可以是通用的操作系统。为了减少一个系统中选用过多种类的产品，也可选用与运行系一致的操作系统。

开发系的软件运行于操作员站，这部分软件主要包括：

- 硬件配置组态：定义 DCS 中各种站的数量及其标识、参数。
- 数据库生成：定义各个数据库点。
- 历史库生成：定义需保留的各个数据点及保存方法。
- 引用生成：定义有数据交换的各站，以建立通信连接。
- 控制回路组态：定义各个控制回路，包括算法、流程、原始数据和结果输出等。
- 梯形图组态：定义顺序控制或批控制的控制顺序和流程，以及进行各步操作的条件。
- 控制算法语言组态：使用结构化文本语言编制特殊控制步骤和方法，以实现控制回路组态和梯形图组态难以实现的功能。
- 各种定义文件的编译、连接和下装，成为现场 I/O 控制站和操作员站在运行时使用的组态定义。

1.3 当今流行的 DCS 一览

1.3.1 Honeywell 公司的 TDC3000

1.3.1.1 系统结构

TDC3000 主干网络称为局部控制网络(Local Control Network, LCN)在 LCN 上可以挂接通用操作站、历史模块、应用模块、存档模块、各种过程管理站及各种网关接口。TDC3000 的下层网称为通用控制网络(Universal Control Network, UCN)，在 UCN 上连接各种 I/O 与控制管理站。为了与 Honeywell 公司老的产品 Data Hi-way 相兼容，在 LCN 上设有专门的接口模块，而在 Data Hi-Way 上可以接有操作员站、现场 I/O 及控制站等。TDC3000 结构示意图见图 1.3.1。

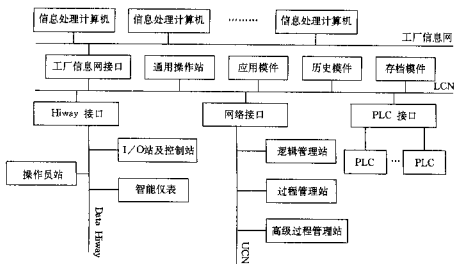


图 1.3.1 TDC3000 结构示意图

1.3.1.2 TDC3000 的主要组成部分

(1) 通用操作站(Universal Station, US)

完成人机接口功能,由监视器和带有用户定义的功能键盘组成。它可以监测控制过程和系统,通过组态实现控制方案、生成系统数据库、用户画面和报告、检测和诊断故障、维护控制室和生产过程现场的设备,评估工厂运行性能和操作员效率。

(2) 历史模件(History Module, HM)

收集和存储包括常规报告、历史事件和操作记录在内的过程历史。作为系统文件管理员,提供模块、控制器和智能变送器、数据库、流程图、组态信息、用户源文件和文本文件等方面的系统储存库,完成趋势显示、下载批处理文件、重新下载控制策略、重新装入系统数据等功能。

(3) 存档模件(Archive Replay Module, ARM)

完成数据存取、数据分析功能、存档模件中所处理的数据包括连续历史数据、系统报表和 ASC 文件等。这些归档数据可在微机或在通用操作站上重现。

(4) 应用模件(Application Module, AM)

完成高级控制策略,应用模件通过最佳算法,先进控制应用及过程控制语言执行过程控制器的监督控制策略。工程师可以综合过程控制器(过程管理站、高级过程管理站和逻辑管理站)的数据,完成多单元控制策略,进行复杂运算。

(5) 进程管理站(Process Manager, PM)

提供常规控制、顺序控制、逻辑控制、计算控制以及结合不同控制的综合控制功能。

(6) 高级过程管理站(Advanced Process Manager, APM)

除提供 PM 的功能外,还可提供马达控制、事件顺序记录、扩充的批量和连续量过程处理能力以及增强的子系统数据一体化。

(7) 逻辑管理站(Logic Manager, LM)

适用于快速逻辑、连锁、顺序控制、批量处理和马达控制。LM 可以控制离散的设备(包

括非 Honeywell 的 ASCII 设备在内)并将其与 TDC3000 功能一体化。LM 可用继电器梯形图编程。

1.3.1.3 TDC3000 的功能与特点

TDC3000 任何新的功能都是在原有系统基础上开发出来的。Honeywell 根据“渐进发展”的原则,通过不断地改进来满足用户对技术要求的变化。系统中设有分布式模块共享的全局数据库,并为非 Honeywell 产品提供数据存取途径。TDC3000 系统综合了数据采集、常规过程控制、先进过程控制、过程和商业信息一体化各个层次的技术,为企业提供经营、管理和决策所必需的数据。系统提供与 DECnet-VAX 的接口与通用微机的接口、PLC 接口及 Honeywell 前一代产品的接口,并允许将多个 TDC3000 系统通过网络连接在一起,其应用领域包括造纸、石化、发电,等等。

1.3.2 Bailey 的 INFI-90

1.3.2.1 系统结构

INFI-90 是 Bailey 公司在其 NetWork90,即 N-90 分散控制系统的基础上推出的新一代分散控制系统, Bailey 公司称之为决策过程管理系统(Strategic Process Management System)。

INFI-90 采用 10MHz 的环形网作为系统网络,称为 INFI-NET,通信方式采用“存储-转发”的环状通信方式。每个环可以挂接 250 个节点,而每个节点处可以是一个子环网,这样,整个系统的理论最大容量为 $250 \times 250 = 62500$ 个节点。在 INET-NET 的下层是总线形的 Control-way 网络,该网络具有 1MHz 的速率,可挂接 32 个设备,即 INFI-90 的控制模块 MFP。MFP 中具有子总线 Slave Bus 控制器。通过 Slave Bus 挂接各种 I/O 模块。INFI-90 的系统结构如图 1.3.2 所示。

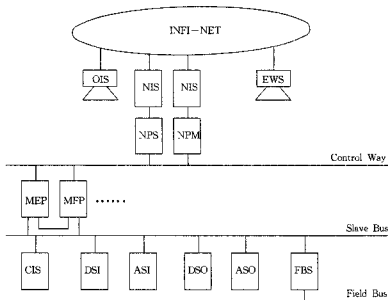


图 1.3.2 INFI-90 系统结构示意图

1.3.2.2 INFI-90 的主要组成部分

(1) 操作员接口站 (Operator Interface Station, OIS)

OIS 完成流程图显示、操作、管理、存储数据的功能。OIS 提供有效的窗口来观察过程和系统、操作过程和系统以及管理过程和系统。它提供画面显示、图形显示、趋势显示、报警显示等显示功能;数据存储与管理功能、系统操作功能。

(2) 工程师工作站 (Engineer Work Station, EWS)

EWS 是对 INFI-90 系统进行组态的工具, 又是对现场进行监视的计算机设备。它提供对过程控制单元、OIS、网络通信系统等进行组态的功能。

(3) 多功能处理器 (Multi-Function Processor, MFP)

MFP 是 INFI-90 系统适应过程控制的核心模块, 它能完成回路控制、顺序控制等功能。MFP 可以实现 1:1 冗余。MFP 通过子总线与各种 I/O 子模块相连接。

(4) 模拟量输入子模块 FBS

FBS 是专门处理模拟量输入的智能模块, 它可对高电平信号有采取双斜率 A/D 转换电路, 精度为 14B 加符号, 对热电偶、热阻、mV 信号的 A/D 转换采用了 16 位高分辨率电路。对线性化的补偿采用了五级多项式运算方法。

(5) 控制 I/O 模块 CIS

CIS 有 4 个模入、2 个模出、3 个数字输入、4 个数字输出通道的能力, 并可通过硬件设置 AI 为差动输入、单端输入、内供或外供 24V 电源等不同方式以及控制输出回路的输出隐含值, 如 0%, 100%或当前值, 以便在 MFP 故障时使输出保持在安全值。

(6) 模拟量输出子模块 ASO

ASO 具有 14 个输出通道, 每一通道可分别组态成 1—5V, 4—20mA 输出, 并可设置隐含输出值为 0%、100%或当前值, 以便在 MFP 发生故障时使输出保持在安全值。

(7) 数字输入子模块 DSI、DSM

DSI 适用于二位或数字信号的输入。DSM 适用于脉冲信号的输入。

(8) 数字输出子模块 DSO

DSO 具有多种输出类型, 分别适用于继电器输出、集电极输出等方式

(9) 频率计数器子模块 FCS

FCS 可用于频率计数和周期数据的采集。

(10) 液压伺服子模块 HSS

HSS 可用于位置控制, 如汽轮机节流阀和控制阀等设备的位置控制。

(11) 模拟主模块 AMM

AMM 支持数据采集功能, 特别是热电偶、热电阻、mV 等小信号, 完成 A/D 转换、线性化、远距离冷端补偿等。

1.3.2.3 INFI-90 的功能与特点

INFI-NET 环路通信系统是一个无主形、封闭环路、缓冲器插入型的环形通信网络。网络上的节点类型包括过程控制单元、操作员接口站和计算机接口单元。环网支持多达 250 个节点, 并支持子网使最大节点数可达 62500 个。在网络上的各个节点均可组成冗余配置, 在某个节点出现故障时可自动切除该节点, 并不影响系统通信。在网络传输中采用了信息

包技术和例外报告技术,使得网络中信息传输量被人大地压缩。在系统结构上将过程控制单元分解成用子网连接的主控单元 MFP 和各种 I/O 子模块,进一步提高了分散程度和系统可靠性。

1.3.3 Foxboro 的 I/S

1.3.3.1 系统结构

I/S 系统的骨干是采用 OSI 通信规程,它可与 MAP 协议兼容的 I/S 宽带局域网(宽带 LAN)与延伸至 15km 长,通过宽带接口可与 64 条载波带 LAN 相连。载波带 LAN 也与 MAP 兼容,每条长 2km,可挂 100 个节点,故系统总的规模可达 64×100 个节点。节点是系统结构的基本单元。它由各类处理机、LAN 接口(CLI)及网间连接器等站构成,可独立执行各种自动化功能。每一节点内最多可带 32 个站,相互间用节点总线(NODE BUS)连接。由节点内的控制处理机、应用处理机、操作站处理机和通信处理机分别执行控制、管理、操作和通信的功能,控制处理机通过现场总线与现场的智能变送器和执行器相连。I/S 的系统结构见图 1.3.3。

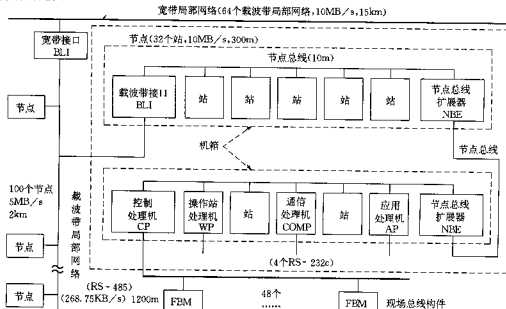


图 1.3.3 I/S 的系统结构

1.3.3.2 I/S 的主要组成部分

I/S 系统的节点主要是由节点总线和节点工作站两部分组成。节点总线采用 IEEE802.3 通信规程,拓扑方式为总线型。它采用点对点串行通信方式使节点工作站互连。一个节点最多可连 32 个工作站,它们具有相同的优先级,通信协议采用自由竞争式。节点工作站分为处理机组件、现场总线组件、接口组件、网间连接器和节点总线扩展组件五类。处理机组件完成集中监视、操作管理和分散控制的功能;现场总线组件是控制处理机与现场传感器、执行器的接口;接口组件实现与载波带 LAN、非 I/A 计算机的接口功能;网间连接器专