绪　论

近二十多年来，随着我国国民经济的快速增长，电力工业也得到了迅猛的发展，达到了前所未有的水平。随着电力工业的进一步发展，电力电能的生产、输送、销售突显了几个特点：一是电网的总容量大；二是电源分布更加合理，各区域网间的横向联系愈来愈多，电能的输送线路更长，如国家的西电东输计划等；三是组成电网的电能生产方式更加多样化，包括了水力发电、火力发电、热能发电、核能发电、风力发电、太阳能发电、潮汐能发电、垃圾发电、抽水蓄能发电等多样化的发电方式；四是多样化的电力用户对电力部门供电的可靠性、稳定性和电能质量提出了更高的要求。诸如这些特点，就对电力系统的生产管理提出了更高的要求，而常规的控制手段与管理方法已无法满足这些要求。特别是水电厂，由于其生产过程所具有的特点及近代水电厂规模的扩大，使得提高水电厂自动化水平变得非常必要。

一、水电厂生产过程的特点

水电厂的生产过程有以下一些特点，这些特点对水电厂的运行方式和自动化的任务与要求有很大的影响。

1. 水电厂发电计划取决于水情及水库的调度计划

水电厂能源全部储存在水库中，水能多少是由水文情况、降雨过程和上下游水利设施用水情况所决定的，不可能按照电力系统的负荷需要而给予稳定的供应。特别是水电厂除发电以外，还承担防洪、灌溉、航运、供水、养殖以及旅游等任务，而这些任务对水电厂提出的要求通常是不一样的，有时甚至是矛盾的。如汛前防洪与发电矛盾，枯水期发电与航运、发电与旅游的矛盾，梯级水电厂厂内经济运行与厂际经济运行之间的矛盾，等等。而不同调节性能的水库其运行计划的制定也不同。如何合理地完成水电厂的各项任务，结合好不同时期的不同任务对水的要求及对水情准确的预测和对水库合理准确的调度是至关重要的。

2. 水电厂的机电系统监控功能复杂，要求高

大中型水电厂特别是具有良好调节性能的水电厂或抽水蓄能电厂，通常在电力系统中承担峰荷或腰荷，有的是作为执行电力系统频率控制任务的主要电厂，有的是电力系统故障时的重要后备电源。另外，当水电厂距离负荷中心较远时，还必须考虑长距离输电的稳定性和无功功率的控制问题，这就对水电厂的机电运行管理及自动化系统提出了很高的要求。

由于水电厂生产过程的上述特点，在实现水电厂自动化时，不仅要实现机组一级的自动化，还要实现厂级自动化；既要对水电厂机电系统进行自动监控，也要考虑水力系统对运行方式的制约，实现能与水库优化调度计划相协调的优化控制；既要考虑本水电厂的运行要求，也要考虑梯级水电厂或跨流域水电厂，甚至电力系统内其他发电厂的运行方式对

本厂的影响，来实现水电厂的自动化运行。所有这些要求要得到满足，依靠传统的自动控制技术显然无法实现。而现代计算机性能的迅速提高，以及现代控制测量技术的进步，为计算机在水电厂的自动化控制中的应用提供了可靠的技术保障。

二、水电厂计算机监控技术的应用

水电厂计算机监控系统是利用数字电子计算机对水电厂的电能生产过程进行控制的一种设备集成。采用计算机控制的目的，是为了提高水电厂的自动化水平，以保证水电厂的发电质量、安全运行水平、劳动生产率和经济效益。

在水电厂计算机监控系统中，人们用电子计算机代替传统自动控制中的控制器和控制方法,使控制过程更合理、更灵活、更及时。因此,计算机控制比传统的自动控制和自动化技术有更多的优越性。但是，计算机控制的实现仍然与传统的自动控制技术有着密切的联系，可以说，计算机控制系统是传统的自动控制技术与计算机技术相结合的产物。

水电厂计算机监控系统是一门涉及多个学科和新技术的综合性科学技术，近年来有了较大的进展。尤其是随着数字电子计算机（以下简称计算机）性能不断提高，价格不断降低，使得计算机在工业生产过程控制，以及水电厂自动化中的应用更为广泛。它的应用给水电厂生产带来了巨大的效益，标志着自动化技术发生的重大变革。

水电厂监控系统的发展经历了人工监控、电话调度和远动化(遥测、遥信、遥调、遥控)以及以计算机为核心、以现代数据通信为基础的计算机监控等三个阶段。20 世纪 60 年代,美国首先将计算机用于水电厂监控系统,由于当时的计算机体积大、性能差、缺乏高级软件支持，所以监控系统只能承担电厂运行参数的记录和报警等。1974 年,美国在哥伦比亚河梯级电站的大古力水电站（装机容量为 600 万 kW）实现了闭环控制。尽管该控制系统存在许多不足，直到现在还在不断地改进，但它是水电站计算机控制发展史上的一个重要里程碑。70 年代以后，随着计算机技术的不断发展，许多工业发达国家在水电站中逐步采用计算机监控系统,并取得了显著的效益。从应用的水平上看,美国、日本、法国等国家处于领先地位。

在我国，水电厂自动化应用计算机起步较晚。1979 年,水利电力部在福建省古田召开了全国水电站自动化技术经验交流会，总结了我国水电厂自动化的经验，确定了水电厂自动化的试点电站。“六五”期间,开始了重点水电厂计算机监控、水轮发电机调速、励磁调节、水情自动测报等方面的科研和应用试点工作。如以浑江梯级及永定河梯级水电站、富春江及葛洲坝水电厂为代表的计算机监控系统的试点；在个别电厂进行的以微机调速和励磁调节的试点，黄龙滩的水情自动测报、松花江的水情自动测报及水库调度自动化的试点等，都取得了一定的成效。1987年 10 月，水利电力部在南京召开了全国水电厂自动化技术总结和规划落实工作会议,在总结经验的基础上,制定了《“七五”期间水电厂自动化计算机应用规划》。按照规划要求,“七五”期间,我国将有包括葛洲坝、鲁布革、白山、浑江、永定河等近 30个水电厂实现计算机监控和经济运行,其中 5个水电站梯级实现实时经济调度,一个水电厂将试点无人值班。并且明确了通过“七五”规划的实现,促使我国水电厂在自动化方面应用计算机技术从科研试验走上实用推广的战略目标。通过执行“七五”规划的近 10 年来,我国水电厂自动化水平有了很大的提高,先后有太平湾、长甸、下苇

甸、葛洲坝二江电厂的计算机监控系统和发电控制装置通过了原电力部主持的“无人值班（少人值守）”验收。

三、水电厂应用计算机监控技术的优点

水电厂应用计算机监控系统对提高自动化水平，保证安全运行，提高经济效益，改善劳动条件，促进技术进步都具有十分重要的意义。

首先，实施计算机监控技术有利于提高水电厂运行可靠性。水电厂机组起停频繁，工况和出力变化迅速，特别是梯级水电厂机组台数相对较多，分布范围广，运行方式复杂，这些均要求水电厂必须具有较高的自动化水平。实现全厂或全梯级的计算机监控，不仅能对影响全厂、全梯级安全运行的设备进行可靠的监视，并能对故障、事故的发生给予自动报警和登录，给出故障处理指导。这不仅有利于及时排除故障，而且可以防止误操作。对于威胁安全运行的事故则能自动实施停机保护，防止事故的扩大，保证设备的安全。

其次，实施计算机监控有利于提高水电厂的经济运行水平。经济运行是水电厂（特别是梯级水电厂）提高经济效益的重要保证。梯级水电厂的经济运行包括水库的优化调度，梯级各站的负荷优化分配和厂内机组的优化组合。监控系统的经济运行和相应的控制软件，能够根据水情测报系统提供的实时信息自动完成以上各级优化，从而大大提高了水能利用率同时，可以减少机组起停次数和因此而引起的无益空转时间，达到节水多发电的目的。对于梯级水电厂而言，实现计算机监控经济运行，至少可提高经济效益 2%。例如，法国罗讷河梯级水电厂改用计算机集中监控之后，效益增加了 4%；杜朗斯河—维尔登河电厂群采用计算机监控后的效益增幅达 16%。对于大中型电厂和梯级电厂，实施计算机监控的效益是极为可观的。

最后，实施计算机监控有利于提高劳动生产率。与水电开发较早和自动化水平较高的国家相比，我国水电管理模式和职工劳动生产率处于一个相对较低的层次。据统计，国际上水电装机万千瓦占用职工人数，先进的达 0.1～0.7 人/万 kW；在我国，较好的是广州抽水蓄能电厂为 0.7 人/万 kW，而有些水电厂则超过 50 人/万 kW，甚至更多。为适应现代电力工业生产的需要，改革水电厂长期以来落后的管理局面，原电力工业部正式提出水电厂实现“无人值班（少人值守）”的装备政策，以此带动整个水电厂生产管理体制的改革，促进水电厂的技术进步，提高水电厂的安全经济运行水平，达到提高经济效益和社会效益的目的。

从世界的范围来看，水电厂的计算机监控系统还处于不断更新、变化的阶段，还没有形成典型的系统，各国的计算机监控系统很少是完全相同的。随着计算机科学飞速的发展，硬件和软件的更新换代周期不断减小，可以预计，这将会对水电厂计算机监控系统带来新的变革，产生更为深远的影响。

四、基本名词解释

（1）电站级（或主控级）（Power Plant Level）：指水电厂中央控制。

（2）数据（Data）：数字量或模拟量含义的数值表示。

（3）比特串（Bit Rate）：传送二进制位的速度，单位为每秒传送的位数。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

(4)波特(Baud)：信号传输速度的一种单位，它等于每秒内离散状态或信号事件的个数。在每个信号事件表示一个二进制位的情况下，波特和每秒比特数一样，在异步传输中，波特是调制串的单位，它是单位间隔的倒数。若单位间隔的宽度是 20 ms,则调制串是 50 波特。

(5)信 息(Information)：根据数据表示形式中所用的约定赋予数据的意义。

(6)报 文(Message)用于传递信息的字符有序序列。

(7)事 件(Event)系统或设备状态的离散变化

(8)分 辨 率(Resolution)被测量可能被识别的最小值。

(9)事件分辨率(Event Resolution)：事件发生时间的可识别的最小值。

(10)状态(State)指元件或部件所处的状态。例如,逻辑"0"或"1"。

(11)状况(Status)：描述一个点或一台设备或一个软件工作状况的信息。例如，点报警状态、点禁扫状态。

(12)禁止(Disable)：阻止某个特定事件处理的命令或条件。

(13)允许(Enable)：允许某个特定事件处理的命令或条件。

(14)人工操作(Manual Operation)：通过人机接口对被控设备进行操作。

(15)响应时间(Response Time)：从起动某一操作到得到结果之间的时间。

(16) 平均故障间隔时间(Mean Time Between Failures(MTBF)) 工作设备的故障之间所能期望的间隔时间(小时)。

(17)平均维修时间(Mean Time to Repair(MTTR))使故障设备恢复正常工作所能期望的时间(小时)。

(18)电磁相容性(Electromagnetically Compatibility(EMC))：设备对外界电磁场容忍能力的一种量度。

(19)电磁干扰(Electromagnetic Interference(EMI))：从设备中辐射出的电磁场的一种量度。

(20)有功功率联合控制(Joint Control of Active Power)在电厂内调整有功功率以如此方式进行，即让被控制的多台发电机组的行为同单台机组的行为一样。其发电机联合组成和执行控制规律是按照电厂控制任务特性来确定的。

(21)无功功率联合控制(Joint Control of Reactive Power)在电厂内调整无功功率以如此方式进行，即让被控制的多台发电机组的行为同单台机组的行为一样。其发电机联合组成和执行控制规律是按照电厂控制任务特性来确定的。

(22)厂内自动发电控制(Automatic Generation Control (AGC))水电站自动发电控制是电力系统自动发电控制的一个子系统。它的任务是：在满足各项限制条件的前提下，以迅速、经济的方式控制整个电站的有功功率来满足系统的需要。

(23)厂内自动电压控制(Automatic Voltage Control)：水电站自动电压控制是电力系统自动电压控制的一个子系统。它的任务是按厂内高压母线电压及全厂的无功功率进行优化实时控制，以满足电力系统的需要。

第一章　概述

第一节　计算机监控系统概论

一、计算机监控系统基本类型

(一)按计算机在水电厂监控系统中的作用分类

根据计算机在水电厂监控系统中的作用及其与常规设备的关系，水电厂采用的计算机监控系统主要类型有 取消常规设备、以计算机为基础的监控系统 以计算机为主、常规设备为辅的监控系统；以常规设备为主、计算机为辅的监控系统。

1. 以计算机为基础的监控系统(CBSC)

以计算机为基础的监控系统可以让水电厂的主要监控功能均由计算机监控完成，常规的控制装置可以取消。但为了提高整个控制系统的可靠性，也可以保留一小部分现地操作控制设备作为在特殊情况下的备用。采用这种模式，对计算机监控系统的性能有很高的要求。随着计算机技术的迅速发展，应用冗余技术，配置双 CPU、多 CPU 的装置均能满足水电厂监控系统可靠性的要求，使监控系统的利用率接近 100%。CBSC系统是水电厂实现计算机监控的主要发展方向。目前，国内许多大中型水电厂均采用这种系统。

2. 计算机辅助监控系统(CASC)

采用这种模式时，水电厂的控制操作主要仍由常规的自动装置来完成，计算机监控系统主要实行运行监视、数据采集、数据处理、事件记录、打印制表和经济运行计算等功能。这样可提高水电厂的安全运行和自动化管理水平，并可取得一定的经济效益。采用这种模式，运行中计算机监控部分即使发生故障，水电厂仍能维持正常运行，只是部分功能暂时不能实现。这种模式对计算机监控系统的性能要求可以低些，因而投资也较低，比较容易实现。

3. 计算机与常规装置双重监控系统（CCSC)

采用 CCSC系统，水电厂具有两套各自独立的监控系统，相互备用。由于设置两套各自独立的监控系统，因此其可靠性高，但价格偏贵。而且随着计算机监控系统技术的日趋成熟完善，使用两套各自独立的监控系统显得多余和浪费。因此 CCSC 系统只能作为一种由 CASC 方式向 CBSC 方式过渡的一种系统。

分析以上三种系统形式可以看出，以常规自动化装置为基础的计算机辅助监控系统（CASC）的优点为当计算机系统发生故障时，仍能维持电厂的正常运行，只是暂时失掉计算机系统功能(如数据采集、处理等功能）;缺点是整个系统的功能比较低，对整个水电厂自动化水平的提高有一定限制。因此这种系统只是一种过渡模式。

计算机与常规装置双重监控系统（CCSC）的最大优点是可靠性很高 缺点是由于保留

着较完善的常规控制系统,使系统复杂化,并增加了设计、安装、调试等工作量及自动化系统的造价。CCSC系统同CASC系统一样，随着计算机技术的发展，特别是计算机系统可靠性的大大提高,两者都会逐渐向 CBSC系统转化。

以计算机为基础的监控系统(CBSC)是水电厂实现计算机监控的主要方向。目前，国内外大中型水电厂基本都采用这种模式

(二)按计算机在水电厂监控系统中执行的功能分类

按照计算机在水电厂监控系统中所执行的主要不同功能来分类，水电厂计算机监控系统有计算机数据采集与监视系统，计算机直接数字控制系统，计算机监控系统。

1. 计算机数据采集监视系统

计算机在数据采集处理时，主要对水电厂生产过程大量的物理参数（包括电量和非电量)进行巡回检测、数据记录、数据计算、数据统计和处理,参数的越限报警及对大量的数据进行积累和实时分析，并将结果以表格或图形形式显示在显示屏（CRT)上,定时通过打印机打印一些重要参数。如图 1-1 所示。

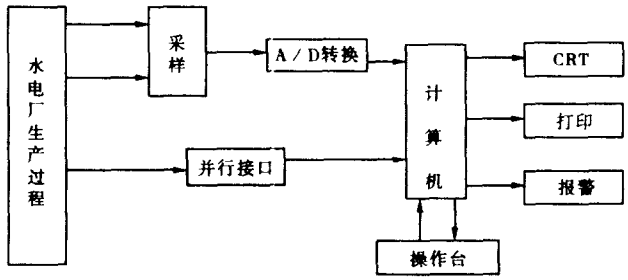

图 1-1 计算机数据采集监视系统

这种应用方式中，计算机不直接参与水电厂的生产过程控制，但其对水电厂生产过程的控制有指导作用。首先，由于计算机具有速度快等特点，在生产过程参数的测量和记录中可以代替大量的常规显示和记录仪表，对整个生产过程进行集中监视；同时由于微处理器具有运算、逻辑判断能力,可以对大量的输入数据进行必要的集中、加工处理,并能以有利于指导生产过程控制的方式表示出来，所以它能起到指导水电厂生产过程的作用。另外,计算机有存储大量数据的能力,可以预先存入一些参数的上、下限值,在数据处理过程中进行参数的越限报警等工作。例如，水情测报、大坝观测、梯级水电站的经济调度等。作为指导水电厂厂内经济运行的要求，计算机根据所采集到的有关功率和频率等信息，按最优准则，实时地计划应开机组台数，提出各台机组负荷最佳分配的数据。另外，也可根据系统给定的无功和控制测点的电压信息，按无功经济运行准则和各台机组的无功特性，确定各台机组无功分配的数据。再如报警，它可根据有事件发生前的某一瞬间对运行在一段时间的变化规律进行自动分析，来预测未来发展趋势，提出预防性措施，如安排停机检修等。

计算机数据采集与监视系统的一个优点是比较灵活和安全，它使运行人员能随时了解水电厂生产过程的状态，并可根据自己的判断对计算机系统提供的操作信息有选择地采纳。

2. 计算机直接数字控制系统(DDC)

计算机直接数字控制系统是计算机在工业应用中最普遍的一种方式。它是根据对生产过程的实际测量值与给定值相比较的偏差值作为计算机的输入，计算机按照规定的控制规律所描绘的数学模型(如 PID 控制规律）进行运算，计算出控制量后输出作用在执行元件上在控制过程中计算机是参加闭环控制过程的。如图 1-2 所示。

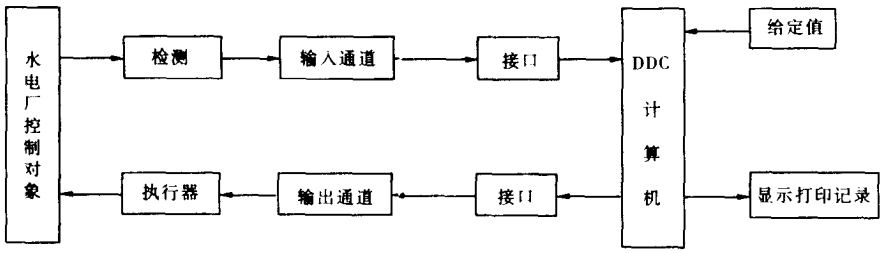

图 1-2 计算机直接数字控制系统

在 DDC 系统中,计算机不仅可完全取代模拟调节器,实现对生产过程的控制,还可以实现最优化控制和多回路的 PID 调节,并具有结构简单的优点,而且不需要改变硬件,只需通过改变软件就可以有效地实现较复杂的控制算法。一般的 DDC 系统有一个功能齐全的运行操作台，给定显示、报警等集中在此控制台上。

水电厂自动化采用 DDC 系统可以用来完成如下的功能：①作为调速器，对水轮发电机组进行有功和频率的调节;②作为励磁调节器，对机组无功和励磁电流进行调节；③进行同期并列操作;④对运行设备进行保护。

3. 计算机监督控制系统(SCC)

在计算机直接数字控制方法中，对水电厂生产过程产生直接影响的被控参数给定值是预先设定的，并直接存入计算机的内存。这个给定值不能根据过程条件和生产信息的变化及时得到修改，只能用人工的方法根据需要进行调整，因此直接数字控制方法无法实现对电厂生产过程的最优控制。计算机监督控制系统如图 1-3 所示。

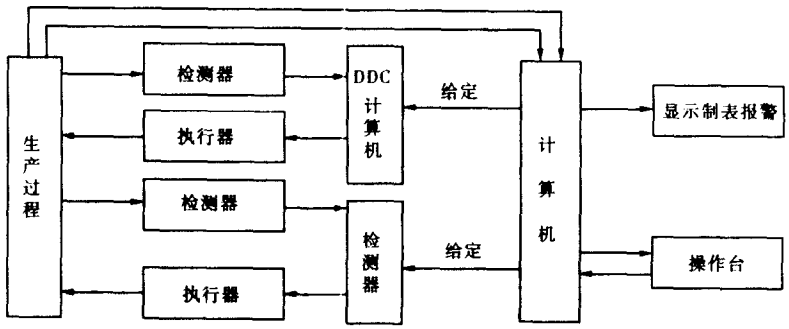

图 1-3 计算机监督控制系统

在计算机监督控制系统(SCC)中,计算机可以根据生产信息的变化和其他参数,按照描述生产过程的数学模型或其他方法自动地改变被控参数的给定值，使水电厂生产过程始终处于最优工况。如保证在系统受到扰动的情况下，使过渡过程有满意的动态响应

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

SCC控制方式的控制效果主要取决于数学模型的精度。若水电厂生产过程的数学模型能使其达到最优状态,则 SCC 控制方式就能实现最优控制。当然若数字模型不理想，控制效果则会变差。计算机监督控制系统（SCC）执行的控制任务主要有：

(1)正常运行控制。如自动发电控制(AGC)、自动电压控制(AVC),控制水轮发电机组的起动和停机操作,以及运行方式改变的操作(如发电转调相、调相转发电等)。

(2)紧急控制。当系统和设备发生异常情况时，监控计算机能作出判断，并采取相应的处理措施 当系统发生扰动时,能迅速采取校正对策,以保证运行的稳定。

(3)恢复控制。当事故发生后能尽快地处理，恢复到正常运行的状态，以尽可能地缩小事故的范围和损失。如调整机组的出力，将解列的机组重新并列等。迅速和正确地恢复控制对安全和经济运行都是很必要的。

二、计算机监控系统结构

计算机监控系统结构模式的划分，主要与其控制方式，或者说布局有关。在水电厂它涉及的因素很多，诸如电站的装机容量和机组台数，电站在电力系统中的地位，计算机在电站自动化中的功能，选用的计算机机型及性能，等等，都会对监控系统的布局方式产生影响。因此，计算机监控系统结构布局的具体实现，必须充分考虑多方面的因素，进行科学的分析论证，以保证系统运行的安全经济，管理维护方便。以水电站应用过程的实际情况来划分计算机监控系统，主要有集中式监控系统、分散式监控系统、分布式监控系统和全开放的分布式监控系统。但不管是哪一种结构模式，其过程控制的计算机系统硬件组成是基本一致的。

(一)计算机监控系统的组成

计算机监控系统包括硬件设备、控制软件和计算机通信网络 3 个部分。这里主要简单介绍硬件和软件，通信网络在下一节再具体介绍。

1. 硬件

计算机监控系统的硬件组成框图如图 1-4所示。其中计算机装置的主要组成部分是主机,过程输入、输出通道和人机联系装置。

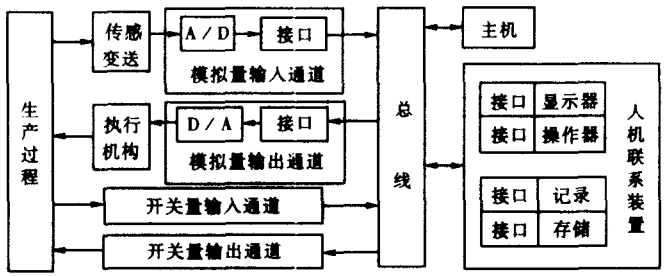

图 1-4 计算机监控系统硬件组成

1)主机

主机由中央处理器 CPU 和内存储器 RAM、ROM 组成。

中央处理器由运算器、控制器等部分组成，它承担逐条取出程序指令、译码及执行指

令等任务。

内存储器用于存放数据采集、数据处理、控制运算等任务的程序与数据。

2)过程输入、输出通道

计算机处理的是数字信息，而生产过程的被控参数是各种连续的物理量。物理量通过传感器、变送器转换成连续的模拟电信号，这些信号与主计算机之间需通过模拟量输入通道进行信息传输。

主机由模拟量输入通道获得生产过程的实时信息后，通过执行程序，完成数据处理与控制运算，并输出控制信息。主机输出的控制信息是数字量，它需通过模拟量输出通道提供执行机构所需的模拟信息。

开关量输入通道用于输入开关量信号或数字量信号。开关量输出通道用于输出开关量信号或数字量信号。

总之，输入、输出通道是主机与生产过程之间进行信息传输的桥梁。各种输入、输出通道均需设置合理的接口电路，方可通过总线与主机连接。

3)人机联系装置

计算机监控系统用于对水电厂生产过程进行自动控制，系统投入运行之前的系统组态、参数设定、系统起动过程，以及系统运行过程中监视、调整等工作均要有操作人员参与。操作员与计算机装置之间的信息交换是通过人机联系装置进行的。

计算机过程控制系统的操作员分为系统操作员和生产操作员两种。前者负责编制程序和系统组态等建立控制系统的工作；后者负责保证生产过程正常运行的监视与操作。

人机联系装置包括显示、操作、记录与存储等设备。

2. 软件

计算机监控系统的硬件只是控制系统的躯体，它只有配置了必要的软件，才能针对生产过程的运行状态，按照要求进行自动控制，完成预定功能。

计算机监控系统的软件通常分为两大类：系统软件和应用软件。

1)系统软件

系统软件是主机基本配置的软件，一般包括操作系统、监视程序、诊断程序、程序设计系统、数据库系统、通信网络软件等。系统软件由计算机装置设计者和制造厂提供。控制系统设计人员要了解并学会使用系统软件，利用系统提供的环境，针对某一控制系统的具体任务，为达到控制目的进行应用软件的设计工作。

2)应用软件

应用软件是针对水电厂生产程序，按照系统设计人员的设计思想，为达到控制目的而设计的程序。应用软件一般包括基本运算、逻辑运算、数据采集、数据处理、控制运算、控制输出、打印输出、数据存储、操作处理、显示管理等程序。

数据采集、数据处理程序服务于过程输入通道；控制输出程序服务于过程输出通道；控制运算程序是应用软件的核心，是实施系统控制方案的关键。随着计算机硬件技术的日臻完善，软件工作的重要性日益突出。同样的硬件，配置高性能软件，可取得良好控制效果 反之,可能达不到预定控制目的。

(二)计算机监控系统结构

计算机监控系统的结构也是其布局问题目前水电厂计算机监控系统主要有以下几种结构模式。

1. 集中式监控系统

如图 1-5 所示。该结构是全厂只设置一台或二台计算机对整个水电厂进行集中监视、控制,构成集中式监控系统。由于水电厂所有信息都要送到计算机进行处理，所有操作、控制命令都由计算机发出,因而计算机故障,将导致全系统瘫痪 其次,生产过程所需采集的状态和参数均直接引入计算机,当机组台数较多时,使现场敷设电缆过多、过长。随着微机技术的发展,计算机价格日益降低,目前大中型水电厂均不采用集中式监控系统方式 在一些机组台数不多、控制功能要求较简单的小型水电厂中，仍然可以采用这种方式的监控系统。为了确保水电厂的安全运行,集中式监控系统一般考虑 2种典型配置方式。

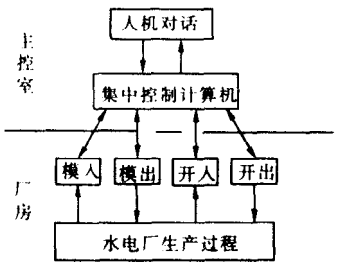

图 1-5　集中式监控系统结构

1)以常规控制系统为备用的配置方式

这种系统多出现在现已装有常规控制设备的运行电站,为改造和提高水电站的自动控制功能,对电站进行技术改造，重新配置了一套计算机监控系统作为主要控制系统，但不淘汰原有的常规控制系统装置，将其作为计算机监控系统的备用系统，在计算机监控系统出现故障无法运行时，常规控制系统可以投入运行。

2 双计算机控制系统

这种系统采用 2台计算机并列设置,一台工作,一台备用。当工作机故障时，可投入备用计算机。这种系统明显提高了系统运行的可靠性。双计算机配置的计算机系统有三种备用方式。

(1)冷备用方式。在系统正常工作时，备用计算机空闲，可用来处理一些离线的任务。当工作机故障时，备用机投入运行。因为备用机投入切换过程会造成部分信息的丢失，对控制的实时性有一定不良作用。因此，在计算机价格已有较大幅度降低的今天，该备用方式一般不用。

(2)暖备用方式。在系统正常工作时，备用计算机也处于运转状态，但只接收输入的实时数据，不介入工作计算机的输出信息。当工作机故障时，备用机不需起动就能投入工作，避免了切换过程的信息丢失，提高了系统控制的实时性。

(3)热备用方式。在系统正常工作时，两台计算机并列运行，确定其中一台为工作机，另一台为备用机。当工作机故障时，备用机自动投入运行控制状态，工作机退出实时监控状态。这种备用方式要求计算机系统有强的自检测判断能力，以保证正确的切换和恢复。

2. 分散式监控系统

分散式监控系统是指以功能分散为主要特征,使控制系统实现负载分散、危险分散、功能分散、地域分散。就水电厂生产过程监控系统的功能而言,主要是数据采集、控制调节和事件记录等功能,因此可以按照这些功能设立多套相应的设备,独立完成各自的功能。

功能分散式监控系统并没有解决信息过于集中的问题,某个单功能装置计算机出故障,则全厂有关这部分的功能将全部丧失,影响较大。因此,近年来,分散式监控系统多为分布

式监控系统所替代。

3. 分布式监控系统

分布式监控系统(如图 1-6 所示）是指以控制对象分散为主要特征，就水电厂而言控制对象主要是水轮发电机组、开关站、公用设备、闸门及船闸等，按控制对象为单元设置多套相应的装置，构成水电厂的现地控制单元，完成控制对象的数据采集和处理、机组等主要设备的控制和调节及装置的数据通信等功能。

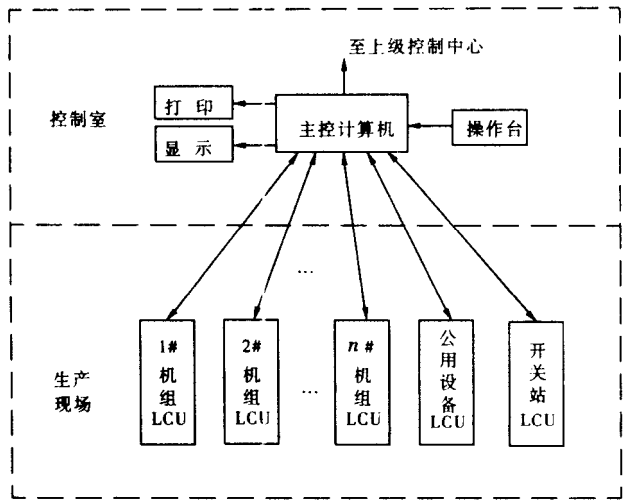

图 1-6 分布处理计算机控制系统

水电厂采用分布式处理一般与电厂分层控制结合起来，形成水电厂分层、分布式控制系统。这种模式在国内外水电厂得到日益广泛的应用。该系统有以下特点：

(1)可使水电厂受控设备大量的信息实现了就地采集处理并完成控制任务，提高了信息处理的效率和实时性，避免了因向中控室传送大量信息而使电缆线过多导致的一些不良后果。

(2)受控设备可以独立完成其功能。当某一台受控设备的控制系统出现故障时，不影响全厂其他设备的正常工作，而当主控计算机出现故障时，虽说全厂的功能会受到影响，但各子系统依然能够照常工作。

4. 全开放、全分布式监控系统

这是近年来发展并得到广泛采用的一种工业控制系统。开放系统概念的形成经历过不少阶段，计算机硬件的飞速发展，致使应用系统面临淘汰的危险。为此，广大计算机用户提出了全新的开放系统观念，即：①应用软件可移植性；②不同系统之间的相互操作性；③用户的可移植性。这种新系统是围绕着应用软件接口标准、网络通信接口标准和用户操作接口标准，遵循国际组织 IEEE、ISO、IEC 等的有关标准组成一个开放式的总线网络，采用以 UNIX 操作系统为基础的操作系统；根据分布控制对象而设置的现地控制单元(LCU)，也按标准通用规约接入总线网络。这样形成的系统，除了具有上述各类模式的优点外，最大的特点是具有开放性，同时系统扩展、升级更新都非常方便，其应用软件可以在新设备、新环境下运行，保护了用户的利益，实现了应用软件的移植。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

三、计算机监控系统的性能要求

用于过程监控的计算机系统与通用的计算机在原理和性能上是基本一致的。但由于水电厂生产的特殊要求，使得计算机监控系统的性能要足以保证水电厂生产的安全稳定与可靠。对水电厂计算机监控系统的要求主要有以下几个方面。

1．计算机监控系统的可靠性及有效利用率

计算机系统及设备的可靠性，是指在给定条件下系统和设备能够持续保持正确工作的能力或正确的功能可维持的时间，它常用“平均故障间隔时间”(MTBF)来衡量,单位为h 除了可靠性外，衡量一个计算机系统和设备还应考虑当出现故障后的可维护性。所谓可维护性，是指系统和设备进行维护、修理的难易程度，它是用“平均故障修复时间”(MTTR)来衡量的,单位为 h。综合以上两方面的因素计算机系统的有效利用率‘A’可用下式来表征：

$$A = \mathrm{MTBF}/(\mathrm{MTBF} + \mathrm{MTTR}) \qquad (1\text{-}1)$$

国外对工业控制机的有效利用率提出 99.95%的指标，即要求一年中停机时间不得超过 4h。我国在 1995 年 12 月制定的“水电厂计算机监控系统基本技术条件”DL/T578－95中对可靠性和可维修性指标也有明确规定：

(1)系统中任何设备的单个元件故障不应造成关键性故障（或使外部设备误动作）。

(2)系统设备的 MTBF 应满足如下要求：主控计算机（含磁盘）>8 000h; 现地控制单元装置> 16 000h。

(3)可维修性参数平均修复时间(MTTR)由制造单位提供,当不包括管理辅助时间和运送时间时,一般可取 0.5～1h。

(4)系统在电厂验收的可用性指标（或有效利用率）分为 99.9%、99.7%和 99.5%三档。

提高计算机可靠性及有效利用率的方法很多，如采用高可靠性器件和部件，应用冗余技术，以及系统的重构技术等。

2．实时响应性

水电厂控制系统对实时性要求非常高，特别是直接数字控制系统担负着过程调节的功能，关系到过渡过程的品质。此外，作为监控系统的一个重要指标，在发生事故的情况下,也要求其对事件记录的分辨率能够达到 5ms 以下。为了满足实时性的要求，计算机必须有足够高的时钟频率，品质优良的操作系统和丰富的指令，多级的优先中断，合理的控制系统布局等。对系统实时性要求一般为：

(1)状态和报警点采集周期:1s 或 2s。

(2)模拟点采集周期 电量 1s 或 2s 非电量 1～30s。

(3)事件顺序记录点(SOE)分辨率:1 级< 20ms;2 级< 10ms;3 级< 5ms。

(4)现地控制单元级装置接受控制命令到开始执行的时间应小于 1s。

(5)供事件顺序记录使用的时钟同步精度应高于所要求的事件分辨率。

(6) 电站级的响应能力应该满足系统数据采集、人机接口、控制功能和系统通信的时间要求。

(7)电站级数据采集时间，包括单元级数据采集时间和相应数据再采入电站级数据库的时间,后者应不超过 1～2s。

(8)人机接口响应时间：调用新画面的半图形显示响应时间小于 2s(90%画面)；调用新画面的全图形显示响应时间小于 3s(90%画面）。在已显示画面上实时数据刷新时间从数据库刷新后算起不超过 1～2s；操作员执行命令发出到控制单元回答显示的时间不超过 1～3s;报警或事件产生到画面字符显示和发出音响的时间不得超过 2s。

(9）电站级控制功能的响应时间：有功功率联合控制任务执行周期可取 3～15s;无功功率联合控制任务执行周期可取6s、12s、3min；自动经济运行功能处理周期时间可取5～16min。

3. 可适应性和可扩展性

水电厂依赖于自然条件和电力系统的结构，不同电厂其自动化系统都可能有一些不同，甚至是很大的差别。一个成熟的计算机监控系统，不仅体现在对电站实现控制及有良好的工作特性，而且能够在做少量的软、硬件加工后就能适应另一类水电厂的开发应用，这会给设计者和用户带来很大的方便，并且能节约资金，缩短投运的周期

另外，要求计算机系统无论在硬件和软件上都有可能方便地进行功能和性能扩展有些工作,如画面重构、控制功能的增减等,甚至可由用户自己来完成。

对控制计算机定型化和系列标准化，我国有关部委主管部门和研制单位已做了一定的工作。然而，由于计算机工业高速发展，以及控制理论研究成果日新月异，计算机系统通用化还很难实现。尽管如此，目前一些成果和产品，已充分考虑到用户的需要，采用总线制、硬件和软件的模块化等，以便于计算机系统的形成和扩展。

4. 良好的抗干扰和防振性能

水电厂计算机监控系统处在一个不良的环境条件下工作，一般都存在有强电磁场干扰。整个厂房，包括中控室和计算机房均有明显的机械振动、机械传感设备所处环境温度较高等。这些环境条件对计算机提出了附加要求，在系统设计和装置技术上必须妥善处理，稍稍疏忽都会带来严重后果。

5. 灵活方便的人机联系功能

水电厂是在运行人员的监护下工作的，控制系统必须向运行人员随时提供反映设备运行工况的信息，同时又能随时接受运行人员的各种命令。一个好的控制系统必须具备灵活方便的人机联系功能，这就要求计算机系统有完善的硬件配置和相应的软件支持。

水电厂因设备和对象不同对计算机控制系统的要求是不一样的，应该以保证实现其基本功能为主要目的，系统结构应以满足功能要求为前提，力求简单实用。不应该盲目地追求各方面的高标准要求，因为这会过分增加系统的复杂程度和资源的浪费。一般来说，根据实际情况应有所侧重。

第二节　计算机网络基础知识

一、计算机网络知识简介

计算机网络是计算机技术与通信技术相结合的产物。它是将地理位置不同、具有独

立功能的多个计算机系统用通信设备和线路连接起来，按照网络协议进行数据通信，实现网络系统中信息、数据库、软件、硬件等资源共享，是一个互连的独立计算机的集合，各计算机之间可实现信息的交换和资源共享。在这个网络中的计算机是相互独立的，相互间没有明显的主从关系，即一台计算机不能强制地起动、中止或控制网络中的另一台计算机。因此，带有大量终端和外部设备的计算机系统及具有一个控制单元和许多从属单元的计算机系统不能算是计算机网络。

计算机网络根据其涉及地理范围的不同，可分为局域网、广域网。

(1)局域网：指在地理上距离较近的网络，通常距离只在数公里以内。

(2)广域网 指在地理上距离较远的网，如某一城市的几个地区、各个城市、省、国家之间的通信网。

计算机网络由计算机系统、通信链路和网络节点组成，如图 1-7所示。

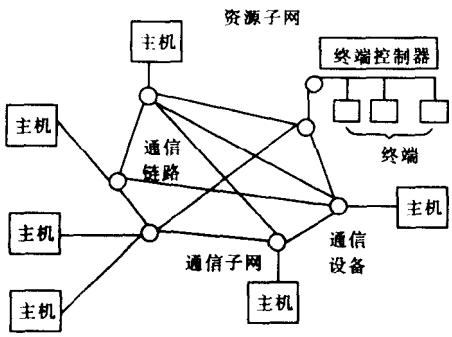

图 1-7 计算机网络组成

由图 1-7 可见，从逻辑功能上看，一个计算机网络可以分成两个子网，即资源子网和通信子网。用户通过终端或计算机系统控制台访问计算机网络。

(一)资源子网

资源子网的主要任务是提供资源共享所需的硬件、软件及数据等资源，提供访问计算机网络和处理数据的能力。它由主机系统（CPU、存储器和外部设备等组成的系统）、终端和终端控制器组成。

主计算机负责处理数据，运行各种应用程序并提供用户访问的数据库。它通过高速通道和通信子网的节点相连。

终端控制器对一组终端从链路管理到拆装信息进行控制，控制功能很广。终端是人与计算机网络的界面，是计算机网络面向用户的窗口。其功能是将人们的信息变换为机器传输、处理的数据。若终端具有一定的存储、处理信息的能力，则称为智能终端。

(二)通信子网

通信子网的主要功能是完成数据的传输、交换以及控制，提供计算机网络的功能。它包括传输线路、节点交换机、网控中心等设备，它是一个计算机网络性能好坏的关键。网络中的主要设备是节点交换机，它事实上是一台专用的计算机，负责数据的转接及提供用户入网的接口。管理全网运行及用户入网等业务的是网控中心，一个网络的初始化、差错恢复、扩充、拓扑更改、用户入网登记等业务均由网控中心统一管理。

对于局域网，由于其传输距离有限，入网主机不多，因此，大多不采用通信子网和用户资源子网分工的主网方式，而是使用一个统一的全网服务工作站，所有通信服务均由工作站处理，每个入网的主机通过网络接口设备接入网络。所以，通信子网是针对远程网络而言的。

(三)计算机网络和拓扑结构

所谓网络和拓扑结构系指网络的链路（Link)和节点(Node)在地理上所形成的几何

构成。拓扑(Topology)是一种研究与大小、形状无关的线和面特性的方法。网络拓扑学则研究各类网络构成的基本特性。

链路是指两个相邻节点之间的通信线路。节点为网络中某分支的端点或网络中若干条分支的公共交汇点。节点往往和工作站联系在一起，即是说，一台工作站既可是一台带终端的计算机，也可是外围设备。节点在具体系统中常称为通信处理机（CP)或接口信息处理机(IMP)或通信接口单元(CIU）或适配器(Adapter)。所以说，一台工作站就指主计算机加上通信处理机。

如图 1-8所示,常见的计算机网络拓扑结构主要有总线形、环形、星形、树形以及点到点互连模式等五种结构。

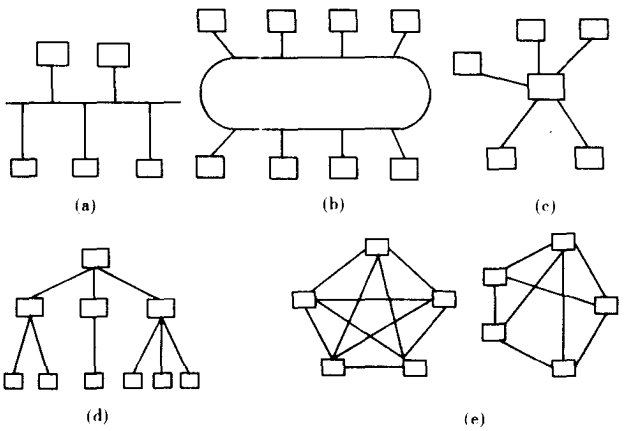

图 1-8 分散控制系统网络的拓扑结构

(a)总线形;(b)环形;(c)星形;(d)树形;(e)点到点互连模式

1. 总线形

如图 1-8(a)所示,所有节点都并行地连接到公共总线上,各个节点都要通过这条总线来互相通信。总线形网络中信息从发送节点向两个方向分别传送，直到总线的两个端点，控制的惟一要求是信息中要有地址，各节点要识别报文地址，把以本节点为目的地址的信息接收下来。这种网络结构简单，扩展方便，初始建立成本以及维修费用比较低，某个节点发生故障不会对整个系统造成严重威胁，系统仍可降低使用，继续工作。它的主要问题在于，如果总线出现故障会造成整个系统瘫痪，可以采用冗余措施进行补救。

2. 环形

如图 1-8(b)所示，环形网络形成一个简单的闭合回路，任何两个节点之间都要通过环路互相通信。信息传递是从发送节点依次经过各节点，最后回到发送节点。环形结构的突出优点是：结构简单，控制逻辑简单，挂接或摘除设备比较容易，网络的投资也较低。环形网络的主要问题是可靠性，当某个节点或环形数据通道出现故障时，会给整个系统的工作造成威胁。为此需要考虑提高可靠性的措施，诸如采用双向环形数据通道，或在节点(站设备)上加‘旁路通道’等。

3. 星形

如图 1-8(c)所示,在星形网络中,仅仅一个节点和其余所有的节点相连接,称这个节

点为主节点(中心节点),除了主节点外,其余所有节点均不相互连接。所有节点来的信息都集中到主节点，信息交换由主节点集中进行，主节点具有中断交换信息的功能，它中断来自各节点的信息，并把集中到主节点的信息转发到相应的节点。由于主节点与其他各节点之间的链路是专用的，因此线路的传输效率高，便于程序集中研制和资源共享，通信也简单但从可靠性的角度来看，若主节点出现故障，将产生广泛的影响。另外，这种网络通信线路不能共用,利用率低,不经济,一般适合小规模控制系统。

4. 树形

如图 1-8(d)所示，在树形网络中，主节点又叫做树根节点，由根节点开始向下分级的从节点，又叫做枝节点或叶节点等。所以，带树根形的信号流通路是分级组成的，即从树根开始分级向下连接树形网络的主要问题在于可靠性差，主节点有故障时影响较大。与星形网络相比,其最大优点是成本较低(通信线路较短)。

树形和星形也称为集中式网络,因为其处理功能集中于主节点(中心节点)。

5. 点到点互连模式

点到点相互连接模式有两个基本类型，即全点到点相互连接模式和部分点到点相互连接模式图 1-8(e) 中列出了两种情况。在全点到点相互连接模式中，每一个节点都直接和网络中的所有其他节点相连。在部分点到点相互连接模式中，直接的通路只是某些节点对，并不是所有的节点对都有直接通路。部分点到点相互连接模式的价格低于全点到点模式，但可靠性不如全点到点的高，这是因为任何一条通路的故障都可能把整个系统分成两部分。所以，部分点到点相互连接模式应保证每一个节点至少能和另外两个节点相连，以提高可靠性、

上述五种典型的网络拓扑各有优缺点，星形、树形网络结构的主要问题在于可靠性较差，点到点相互连接模式由于拓扑结构较复杂，所以在分散控制系统中很少见。从目前所推出的分散控制系统产品来看，几乎全部采用总线形或环形网络结构，当然这两种结构也有不足之处，如节点连接固定、可靠性不如某些结构等。除了上述五种拓扑结构之外，还有其他类型的拓扑结构，如立方体结构等，但这些拓扑结构基本上是由上述五种基本结构派生出来的。

(四)计算机网络功能

计算机网络具有以下一些重要的功能：

(1)能够对地域分散的业务部门提供实时集中控制。例如，在 OA 系统中,通过计算机网络可以实现整个系统管理的自动化。

(2)能够做到资源(包括软件、硬件和数据资源)共享。例如,某些专用处理程序在一处研制好之后,可供别处调用,或用来处理别处送来的数据,然后将结果再送回原处 在少数地点设置的数据库可提供全网服务；一些具有特殊功能的计算机和外部设备可以面向全网,对外地送来的数据进行处理(应用本地软件或外地软件),然后将结果送回原处。资源共享使得网络中各地的资源能够互通有无、分工协作，使资源的利用率大大提高，处理能力大大加强，数据处理的平均费用下降。

(3) 能够提高计算机的可靠性及可用性。在单机使用的情况下，假如没有备用机，计算机的某一部分一旦发生故障便会引起停机；如果使用备用机，则费用会随之增加。当一

台计算机连成网络后，各计算机可以通过网络互为后备。当某一处计算机发生故障时，可由别处的计算机代为处理。也可以在网络的一些点上设置一定备用设备，起全网公用后备的作用。另一方面，当网中某一计算机的负担过重时，可将新的作业转到网中另一较空闲的计算机去处理，从而减少了用户的等待时间，均衡了各计算机的负担。计算机网络能提高可靠性和可用性，正像许多发电厂连成电力系统后能提高供电可靠性和保证不间断供电的作用一样。

(4)能够进行分布处理。在计算机网络中，用户可根据问题的性质和要求选择网内最合适的资源来处理，以便能迅速而经济地得到解决。对于综合性的大型问题可以采用合适的算法，将任务分到不同的计算机上进行分布处理。利用网络技术还可以将许多小型机或微型机连成具有高性能的系统，使它具有解决复杂问题的能力，从而使费用大为降低。

二、水电站计算机网络应用原理

水电站计算机监控系统的网络通常与计算机局域网设计是一样的。它是由挂在“高速数据公路”上具有不同功能的‘站’构成的,这些‘站’也称为网络的基本单元或节点。在计算机监控系统中,主要是由主控机、现地控制单元、图形工作站、操作员工作站、工程师工作站、培训工作站等各种智能单元(即具有不同专职功能的微处理机),用通信线路互连而形成。由于各微处理机在水电站的物理位置不同，其通信线路的连接根据要求可以有不同的选择。目前在水电站计算机监控系统的网络拓扑结构中，对于大型水电站，网络拓扑结构可以有星形网络、环形网络和总线形网络。对中小型水电站，一般采用的是总线形网络结构。在确立了计算机监控系统的网络拓扑结构形式后，网络存取控制方式的确定、网络层次结构的设计和介质的选用需要同时考虑。

(一)网络存取控制方式

在研究计算机监控系统时，除了考虑网络拓扑结构的选择外，更重要的是采用什么样的存取控制方式，而存取控制方式的选择与网络结构又有一定的关系。各种计算机控制系统的网络存取控制方式并不统一，大致有两种类型，一种是存储转发式，另一种是广播式。

1 存储转发式

存储转发式通常可采用询问方式，在星形网络中就用这种方式。由主节点依次问询普通节点，普通节点把信息送给主节点，主节点再把信息转发给所需接收的普通节点，这种控制方式的信息响应较慢。另外一种存储转发式用于环形网，在同一时间内，挂接在网络上的所有节点都可发送信息和接收信息。当一个节点发送信息时，该信息被环路中的每一个节点接收和转送，即每个节点都要储存检查，最后回到发送节点，信息在发送节点被冲掉。

2. 广播式

广播式的重要标志是在同一时间内，只有一个节点在发送信息，而其他节点都在收听信息。在环形网络和总线形网络中采用广播式比较多。广播式又可分为自由竞争、令牌、时间片等几种方式。

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com