

• 计算机技术 •

# 杭州市九溪水厂自控系统的特色及大型水厂的建设体会

蒋继申 杜英杰

提要 杭州市九溪水厂是国际上最先进的水厂之一。它的自控系统从招标、设计、建设、调试都有其特点,设计思想采取了先进的冗余技术和90年代国际新技术。介绍了自控系统的主要考核指标、参数的定量值以及在大型水厂建设中的体会。

关键词 水厂 自控系统 性能性招标 双机热备 冗余技术 质量控制

## 1 自控系统概况

杭州市九溪水厂工程,是利用世界银行贷款,采用性能国际竞争性招标方式建设的现代化水厂。其自控系统由法国得利满公司承包完成,设计及主要设备都由得利满公司提供,工程具有90年代国际先进水平。

九溪水厂自控系统采用集散型控制系统(DCS系统),该系统由一个水厂生产调度室和进水、加药、滤池1、滤池2、滤池3、出水、综合泵房等7个PLC站组成(见图1)。在DCS系统内部采用常规的三级控制方式,即:调度室集中控制、分控站PLC控制、就地手动控制。

可编程控制器采用法国SCHNEIDER公司的TSX系统PLC产品,组态软件采用美国Wonderware公司的InTouch软件。

## 2 自控系统的特色

由于集散型控制系统具有极高的可靠性和灵活的系统配置能力,因此在建设10万 $m^3/d$ 以上的水厂时,自控系统一般都采用DCS系统。

集散型控制系统基本的特征就是实现集中管理和分散控制。常规的集散型控制系统从结构上分为三级:现场级、控制级和管理信息级,局部网络则将三者联系起来(见图2)。

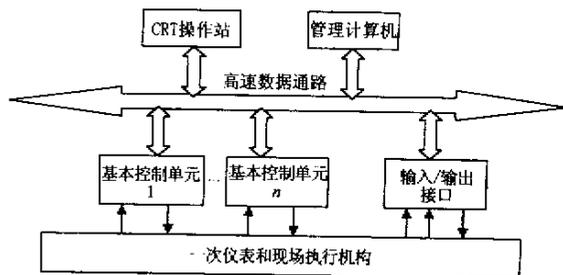


图2 集散型控制系统的结构框图

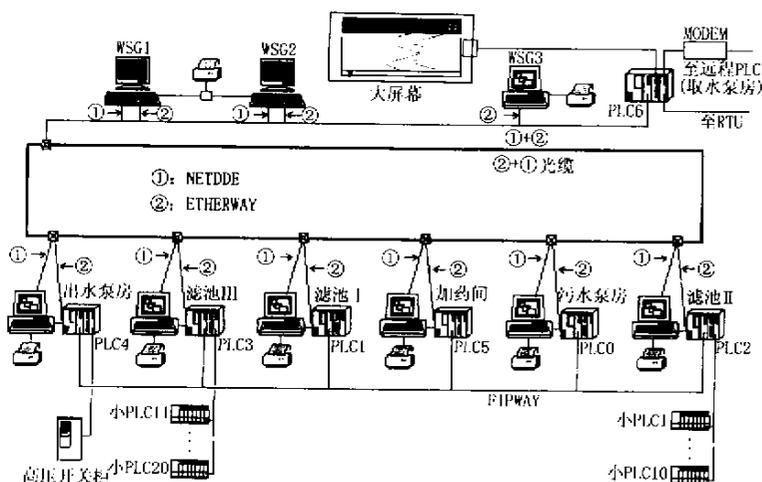


图1 九溪水厂自控系统

现场级是指一次仪表和现场执行器组成的信号输入、输出级。控制级是指控制信息的集中操作和管理。管理信息级是指全系统的信息综合管理。

在集散型控制系统中,单元控制器安装在工业现场,就地实现回路控制,主控机将信息集中起来,综合管理,在结构上形成一种既分散又集中的控制形式。

分散控制的含义是:分散智能、分散显示、分散数据库、分散通讯功能、分散供电和分散负荷。

集中管理的含义是:具有很强的信息综合管理能力。可以实现所谓“四化”

目标:生产过程自动化,工厂自动化,实验室自动化,办公室自动化。

九溪水厂的 DCS 系统,保持了常规 DCS 系统的“集中管理、分散控制”的优点外,还具有以下特色。

## 2.1 双机热备结构的调度主机

### 2.1.1 设计思想

九溪水厂 DCS 系统由三个相对独立的层次构成:PLC 系统、通信网络和监控主机。要提高整个 DCS 系统的无故障工作时间(MTBF),也就从提高这三个层次的 MTBF 着手。

对于 PLC 系统来说,目前它的 MTBF 水平已经达到  $2 \times 10^5$  h,通信网络的 MTBF 也达到  $1 \times 10^5$  h。相比较,最容易发生故障的是监控主机,目前最优秀的台式机的 MTBF 大约为  $4 \times 10^4$  h,差不多比 PLC 系统和网络系统低了一个数量级。要提高整个 DCS 系统的无故障工作时间,就必须对最薄弱环节进行补偿,即提高监控主机的 MTBF。在该系统中,主机按照双机热备结构进行配置,这样在切换时,既不会丢失数据,又使它的 MTBF 提高到原先的 1.5 倍,即可使主机的 MTBF 从  $4 \times 10^4$  h 提高到  $6 \times 10^4$  h。

### 2.1.2 工作原理

两台工作主机通过网卡与 ETHERWAY 网络相连接,具有相同的数据库,并且同时从 PLC6 读取数据。平时一台主机执行 Master 任务,即执行接收数据、监视 Slave 方、发送命令,一旦 Slave 方有故障,进行出错报警。另一台执行 Slave 任务,即从 PLC6 读取数据、监视 Master 方,在 Master 方工作不正常情况下,把自己从 Slave 方升级为 Master 方,同时进行报警。

#### 2.1.2.1 计算机启动

当 WSG1 启动时,探测 WSG2 是否在正常运行:是,且 WSG2 为 Master,则 WSG1 为 Slave;否,则 WSG1 为 Master,WSG2 为 Slave。

当 WSG2 启动时,探测 WSG1 是否在正常运行:是,且 WSG1 为 Master,则 WSG2 为 Slave;否,则 WSG2 为 Master,WSG1 为 Slave。

#### 2.1.2.2 正常状态

假定 WSG1 为 Master,WSG2 为 Slave。

WSG1 在一定时间间隔内从 PLC6 将数据写入自己相应目录,监视自身程序运行(主要手段是监视报表数据的正常性),同时监视 WSG2 工作是否正常,若 WSG2 工作不正常,则报警。

WSG2 在一定时间间隔内从 PLC6 将数据写入自己相应目录,并检测 WSG1 运行状态。当发现 WSG1 有故障时,把自己升级为 Master,同时报警。

#### 2.1.2.3 故障发生

假定此时 WSG1 有故障,WSG2 正常。

当 WSG2 发现 WSG1 有故障时,把自己升级为 Master,执行 Master 任务,同时报警。

WSG1 修复后加入到新系统中去,探测 WSG2 是否存在,并检测其状态。若 WSG2 仍为 Slave,则 WSG1 设为 Master,否则被设为 Slave,执行 Slave 任务。

## 2.2 高可靠的网络结构

### 2.2.1 网络结构

DCS 系统的通讯网络是三级控制的神经和桥梁,采用高可靠性的网络结构,目标是将网络系统的可靠性提高到  $1 \times 10^5$  h,实现除了主要操作人员在服务器的中央控制,也可以实现在维护时就地控制。

为了提高运行速度和可靠性,不采用单一形式的通讯网,而是配置了高可靠的网络结构。具体是:各 PLC 站之间采用高可靠的 FIPWAY 网络实现联接,完成 PLC 之间的数据通讯,PLC 与 RTU 之间通过 MODBUS 通讯协议,实现与总公司的数据通讯;各控制站计算机利用 ETHERWAY 高流量通讯网络和 NETDDE 互相联接,实现计算机之间的快速信息交换。

在常规情况下,各 PLC 站之间经过 ETHERWAY 通信。当 ETHERWAY 网络发生故障时,切换到 FIPWAY 高速网络通信。因此在该系统中,FIPWAY 高速网络实际上还是信息的备用通道。

通信介质采用光纤,网络信息经过光电转换转换成光信号,在光纤中进行传输。光纤通信的特点是不受电磁场的影响,适用于恶劣的环境,同时还具有重量轻、体积小、安装简单的优点。信号在不同系统和介质中的通信速率是不相同的,在 ETHERWAY 中的通信速率为  $10 \sim 100$  Mb/s,在 FIPWAY

中的通信速率为 57 Kb/s。

这种网络结构的优点是充分保证了 DCS 内部三级控制方式之间的故障不受影响,各级网络之间又是隔离的,具有更快的信息交换速度和更高的可靠性。当其中某一个网络发生故障时,可以自动改变通信传送链路进行信号传输,使系统控制的影响减到最小。

### 2.2.2 工作原理

(1)整个系统的正常动作为操作人员指令通过两台服务器中的一台发出,各就地工作站发出的指令,仅仅是维护或排错时使用。

(2)在正常操作模式下,现场工作站通过 NET-DDE 链路连接其中一个服务器,不是直接从 PLC 接收数据。服务器主控着一个刷新其它计算机的实时数据库。同时,这个实时数据库通过 ETHERWAY 协议在两个服务器(WSG1 和 WSG2)上从 PLC 取得数据并进行刷新。

报表管理站(WSG3)在凌晨 1:00 打开,生成报表,耗时不超过 3min。

(3)当数据库在 PLC 内改变时,它首先刷新服务器 WSG1 和 WSG2;之后通过 NETDDE 链路在现场工作站刷新,数据的获取来自服务器中的数据库(上述操作约耗时 3s)。

(4)当操作员将指令从其中一台服务器发送到 PLC 时,软件首先刷新服务器中的数据库;之后将指令送到 PLC(上述操作约耗时 3s)。

(5)当操作员将指令从其中一个现场工作站发送到 PLC 时,软件首先通过 NETDDE 链路刷新现用服务器中的数据库;之后现用的服务器将该指令发送给各 PLC(上述操作约耗时 3s)。

(6)当发生通信故障时,处理分以下三个步骤:通过现有服务器,检测通信故障;改变链路,连接到后备服务器;若后备服务器绕过服务器失败,改变链路,直接连接到就地 PLC(上述操作约耗时 2min)。

该系统设计能从任一现场工作站提供整个水厂的画面,每个现场工作站能控制其对应的就地 PLC。当维护需要时,每个现场工作站不但可以控制就地 PLC,还可以控制其它 PLC。

### 2.3 完善的辅助系统

辅助系统的重要不容忽视,它是自控系统正常

运行、加强集中管理力度的保证。

为了适应全自动水厂管理的需要,在全厂范围内配置了监测系统,该系统由 7 台室外摄像机、5 台室内摄像机和 4 台显示屏组成,对生产关键部位实现全方位和全天候监测。

考虑到杭州处于雷电多发区,配置了完善的避雷系统,包括防直接雷系统、防感应雷的电源避雷、网络避雷、信号避雷、一次仪表避雷系统等,有效地避免了雷击引起的故障,为控制系统提供了一个安全的运行环境。

### 2.4 新版本的 InTouch 工业组态软件

InTouch 是一套面向对象的图形人机界面应用开发软件,它可运行在 Windows NT 或 Windows 95 环境下。新的 InTouch 7.0 版本具有面向对象的图形功能,动画链接功能,标准用户界面,精灵图库功能,动态参数功能等。使用新的功能后,具有画面立体感强,操作误码率小等优点。

InTouch 软件的核心是运行数据库,它也称为标签名辞典(Tagname Dictionary)。

运行时,数据库内包含所有信息项的实时值。它是通过建立各种不同的变量来实现的,每个变量都有一个标签名以及其类型。InTouch 数据库中的标签名类型有以下三种:

(1)内存型标签名。该类标签名存在于 InTouch 应用程序的内部,可以用它们来创建系统常量和仿真量,还可用于创建被其它 Windows 程序访问的计算变量。该类标签名又可分成内存型数字量、内存型整数量、内存型实数量和内存型信息量四类。

(2)I/O 型标签名。该类标签名用于读/写来自另一个 Windows 程序的数据。I/O 标签名的存取通过 Microsoft 的动态数据交换(DDE:Dynamic Data Exchange)或 Wonderware 的 SuiteLink 通讯协议进行。该类标签名也可分为四类:I/O 型数字量、I/O 型整数量、I/O 型实数量和 I/O 型信息量。

(3)杂合型标签名。该种类型的标签名中有些是特殊标签名,用于执行比较复杂的功能,如创建动态报警显示、监视和控制每个历史曲线要打印的标签名等。还有些是非直接标签名,它们用于多数据源。

### 3 水厂建设过程中的体会

九溪水厂在 1999 年 6 月进入试运行。但由于在系统完善、故障排除等一些问题上有待解决,一直到 2000 年 6 月才通过自控系统的性能测试,比合同延迟了整一年时间。在九溪水厂自控系统建设中,我们得出以下体会。

#### 3.1 应该制定自来水行业自控系统的考核指标和参数标准

自控系统的考核指标,是衡量一个水厂自控系统的极其重要的性能参数。但目前没有统一的考核标准,多数水司采用模糊的处理方法。对九溪水厂这种涉外工程项目,在性能测试中,因为无明确的验收规范,给性能测试和竣工验收带来困难。我们参考了电力部门的规定,并结合九溪水厂实际,制定了一套量化的考核指标和参数,认为检验和衡量给水行业自控系统的考核指标,应该包括以下九项内容:

(1)操作指令的执行时间。从操作人员敲击键盘到命令执行的平均时间 $\leq 3s$ 。

(2)冗余系统的切换时间。当主设备发生故障,后备设备自动取代主设备的间隔时间 $\leq 30s$ 。

(3)计算机画面上数据刷新周期。计算机显示数据刷新时间 $\leq 500ms$ 。

(4)在 72h 内容许的通信故障发生的累计时间和一次故障的最长时间。广义的通信故障分为两类,一类是指使系统失去监测和控制功能的通信故障,故障不能自选消除,这类通信故障是不允许发生的,这类通信故障发生的次数为 0。另一类是计算机之间发生的暂时的通信中断,这种通信中断是由于以太网(ETHERNET)协议(IEEE802.3)的特性决定的,它对系统的监测和控制功能没有影响,而且可以自行恢复,这类故障发生的累计时间不超过 30s,一次最长时间不大于 10s。

(5)数据通信负载容量和考核方法。平均负荷 $\leq 2\%$ ,峰值负荷 $\leq 10\%$ 。可由现场使用的硬件网络测试器测得。

(6)故障发生到屏幕显示时间。从故障发生到显示在计算机上的时间 $\leq 3s$ (不包括非协调性故障或获得通信故障的时间)。

(7)PLC 控制器对一次仪表数据的采集周期。

一次仪表数据采集周期 $\leq 20s$ 。

(8)PLC 控制器之间询问时间和等待时间。PLC 扫描周期由 InTouch 设定,常规值为 1~2s。

(9)计算机之间询问时间。计算机间请求和等待时间由 Windows NT 及 NET DDE 设定,请求时间常规值为 1s,等待时间常规值为 5s。

#### 3.2 使用规范的软件是提高自控系统可靠性的关键

自控系统是硬件设备和软件功能的有机结合,自控系统的硬件设备的数量和技术指标容易被重视和掌握,而软件的技术功能指标,同样是衡量一个自控系统可靠性、先进性的主要依据。控制软件的可靠性、实时性、完善性、可操作性、容错技术和自诊断功能是自控系统的关键技术。

目前,应该强调的是自控系统软件的质量。在自来水行业中应用的软件种类繁多,使用规范的软件是提高自控系统可靠性的关键,系统的二次开发应该在规范的软件上进行。在这里,规范是指采用成熟的工业组态软件,在成熟的工业组态软件上进行二次开发,才能保证整个自控系统的质量。

#### 3.3 大型水厂自动化设计中应注意的问题

对于大型水厂来说,由于投资大,对供水影响大,因此正确的决策非常重要。以往的实践证明,最大的失误往往是设计阶段的失误。在九溪水厂的建设中,我们认为在设计阶段应该注意把握住以下问题。

##### 3.3.1 硬件配置

给水行业的自动控制是一个整体概念,硬件配置是重要的组成部分。一个优良的自控系统,追求的并不是配置的豪华和造价的昂贵,而是从系统模式和整体设计上都符合净水、供水、售水的需要,各个子系统之间,在设计上满足合理配合和联系,在系统功能、性能指标、经济指标、可靠度要求等综合数据考核上,达到工艺的需要,追求最佳的性能价格比。

在目前的情况中,还要重点注意:主机的工作频率、通信卡的质量、光缆光电接头的质量等容易受忽略的但又重要的部分。

##### 3.3.2 网络结构和数据交换

自控系统的信息传输是通过网络来实现的,网络同时还实现系统之间或系统内部的数据交换。网

络是系统的神经,它的逻辑结构对系统的特性有重要影响。不合理的配置容易导致通信故障的产生,进而影响整个系统功能。九溪水厂建设中我们体会到:①要测试网络中数据通信负载容量。网络中的平均负荷 $\leq 2\%$ ,峰值负荷 $\leq 10\%$ 。由现场使用的硬件网络测试器测得,以保证系统运行畅通不堵。②在系统中应该配置网络的冗余结构,以保证网络有较高的可靠性指标。

### 3.3.3 防雷保护

我国处于温带多雷地区,一年中平均雷击日为25~100d,每天因雷击灾害遭受的损失很大,对于自控系统,由于其设备和仪表大部分是微电子设备,雷击容易导致这些设备或仪表严重损坏,因此采取有效的防雷技术是自控系统的必不可少的措施。

防雷措施包括直击雷防护措施、感应雷防护措施和等电位接地系统三部分。应该符合相关的国家标准,通过验收。

### 3.4 自动化建设中的质量控制

自动化建设中的质量控制十分重要,否则会进入“开始自动—不久手动—最后不动”的模式。要抓住的主要环节是:

(1)设计最好请专家咨询审查,施工安装一定要实施招投标。由于水厂自动化具有其自身的特殊性,应当选择那些对水厂自动化有成功经验并有良好信誉的设计和安装单位来承接工程。

(2)设备选择。选用国外著名厂家的产品,是自动化成功应用的重要基础。由于自动化系统本身的设计制造与国家的整体工业水平有关,目前我国生产的产品尚不能完全满足自来水应用的需要。

(3)设备的供应商的选择。应考虑在中国有服务基地,能提供良好售后服务,业主容易获得备件和技术咨询等条件。

(4)管理人才的配备。从建设阶段就要考虑这个问题,没有管理就没有自动化。

### 3.5 自动化和维护管理问题

自动化的维护管理工作应该采取社会化分工的办法。自来水行业自动化对自来水管公司的管理工作提出了比以往高得多的需求,为了确保自动化系统的稳定运行,维护工程师包括计算机、仪表、网络、软件方面的人员,对大部分水司来说,现有的技术力量

并不能完全胜任自动化系统的维护、开发和管理工作。各自来水公司可以和大专院校或专业公司联合,充分依靠国内专业公司或兄弟水司提供的技术咨询和服务,采取社会化分工来实现高质量的维护、开发、提高工作。

### 3.6 自动化的联机应用

一个水厂的自动化做得好,仅仅在本厂管理和生产上发挥作用,为了充分发挥自控系统的作用,创造更大的效益,应该实现与其它系统的联机应用,如DCS系统与公司的SCADA系统,与公司的管理网络、管网信息管理系统、公司服务热线等。

九溪水厂工程现在已经投产近两年,自控运行也有一年时间,整个水厂职工60人,其中第一线管理人员30人。目前各项设备运行正常,出厂水浊度一直在0.5NTU以下。为满足杭州市供水需要发挥了重要作用,取得了良好的社会效益和经济效益。

---

△作者通讯处 310009 杭州市建国南路168号  
杭州市自来水总公司  
电话(0571)7815788-81408  
修回日期 2001-3-13