

中小型水厂自动化技术的实现方法

陈虹 史旺旺 唐鸿儒 刘正意

提要 根据目前几种现场总线技术,提出用 LonWorks 技术实现水厂自动化,通过网络实现测、控、管一体化,并用遗传算法实现变频调速供水的优化,使水厂的自动化水平达到一个新的高度。

关键词 现场总线控制系统(FCS) 水厂自动化 遗传算法 变频调速 网络

城市供水在改革开放的二十几年中得到了大发展与大提高。据统计,到 1999 年底我国城乡供水普及率已达到 52.3%^[1]。在供水事业发展的同时要考虑节约用水,因为我国还是一个缺水的国家,加之目前在水质处理、工艺设施和管网建设上,与发达国家相比还有一定差距。因此有必要提高城市水厂的自动化程度。

据有关部门调查,近 10 年来建设的自来水厂自动化模式无论是 PLC+PC(可编程控制器+工业计算机)还是 DCS(集散控制系统)都属于第四代计算机过程控制系统。但由于各水厂的水源基本远离净水厂区,同时厂区内各种控制设备也比较分散,笔者认为目前采用自动控制的水厂应使用现场总线技术,这有利于解决远距离通讯和现场检测与控制。

控制是实现混凝投药这一复杂的非线性系统控制的一种有效途径。

(3)神经网络具有高度的并行结构和并行实现能力,因而有较好的耐故障能力和较快的总体处理能力,可实现混凝投药系统在线实时控制。

4 结语

采用神经网络内模控制对混凝投药过程进行控制,在理论上是可行的,特别是针对混凝投药这一大滞后、非线性系统,更有着较传统控制方法更明显的优势,但要将其应用于工程实际中,还要作好以下几件事:

(1)选择适合的网络输入输出参数、网络类型及学习算法,加快网络学习的收敛速度。

(2)权系数初值的选择。正确选择权系数初值是实现自动控制模式平滑转换的关键。

(3)权系数的限幅。在进行在线实时控制时,可

该控制系统又称为现场总线控制系统(FCS)。其实质是将每一个控制点当成控制网络节点,连接成开放式、数字化、多点通信的底层控制网络。

1 现场总线控制系统(FCS)的特点^[2]

1.1 FCS 的基本内容

FCS 改变了传统控制系统的结构,形成新型的网路集成式全分布控制系统。这是继基地式仪表控制系统、电动单元组合式模拟仪表控制系统、集中式数字控制系统和集散式控制系统之后的第五代计算机控制系统。它将水厂的电量、非电量的传感器、仪表、执行器与控制器等“现场”设备经现场控制网络联系,通过网络上的“对话”,组成一个功能极为强大的开放式控制系统。在其构成中,除现场智能仪表外,软件占的比重增加很多,这将使系统具有灵活的

能会由于权系数饱和使系统失去应有的学习能力。

衷心希望有兴趣的读者与笔者一起探讨这个问题。

参考文献

- 1 Dentel S K, Kingery K M. Using streaming current detector in water treatment. AWWA, 1989, 81(3): 85~94
- 2 H Bernhardt, H Schell. Control of flocculants by use of a streaming current detector (SCD). Water STR-Aqua, 1993, 42(4): 239~251
- 3 P J Jackson, E J Tomlinson. Automatic coagulation control-Evaluation of strategies and techniques. Wat Supply, 1986, 4: 55~67
- 4 赵振宇,徐用懋.模糊理论和神经网络的基础与应用.北京:清华大学出版社,1997

△作者通讯处:150080 哈尔滨市南岗区汉阳街 54 号 263 信箱

电话:(0451)6323815 6282175

E-mail: bh70@sina.com

收稿日期:2001-5-15

组合性和开放性。总之,现场总线采用全数字式通信,使得现场设备具有数字计算和数字通信能力,采集信号的准确性和远距离传输大大提高,克服了水厂高湿度环境以及各种酸、碱等腐蚀性有害物质对信号传输带来的种种不利,提高了抗干扰能力,有效地节省信号与控制电缆,并实现多变量数据的双向传输。

1.2 现场总线的发展

现场总线技术起源于 20 世纪 80 年代,有专家预测它将代表 21 世纪计算机控制技术的主流。目前现场总线的标准有 5 种: CAN(控制局域网), LonWorks(局域操作网络), PROFIBUS(过程现场总线), HART(可寻址远程传感器数据通信), FF(现场总线基金会)。因 LonWorks 技术组网灵活,编程方便,价格低廉,下面就 LonWorks 现场总线技术来讨论水厂自动化技术。

1991 年美国 Echelon 公司推出了 LonWorks 现场总线,到 1995 年已有 500 多家生产商,例如 Honeywell, IBM, AT&T 等。应用范围包括工业控制、过程数据采集、电力、化工等领域。LonWorks 现场总线技术是针对控制对象研制的新型网络,其特点是与通信介质无关,适用于短捷控制通信,实现现场通信网络与控制系统的集成。

1.3 LonWorks 现场总线技术^[3]特点

(1)网络结构简单,可根据用户需要构成总线型或星型等拓扑结构。不需要象原来水厂自动控制的方案中将取水泵房、加矾加氯, V 型滤池和供水泵站构成 PLC 子站或 DCS 测控站,将计算机控制的三层结构改成二层结构。

(2)安装方便。网络节点之间不仅可用同轴电缆,光纤作为网络电缆,而且可用射频,廉价的双绞线或现有供电电源线载波作为信息载体,解决布线问题,节约安装经费。

(3)网络通信协议(LonTalk)固化在神经元芯片上,神经元芯片内含介质访问处理器、网络处理器与应用处理器这三个超大规模的 CPU,1 个多任务的操作系统,可编程的事件驱动逻辑程序和 1

个灵活的输入/输出接口。系统开发容易,应用程序简单,开发周期大大缩短。

(4)系统扩展方便,组态灵活,增加或减少控制节点不必改变网络的物理结构,如某一个控制节点发生故障不会造成系统工作瘫痪。加之采用扩频技术,抗干扰能力强,系统可靠性高。

(5)接口模板齐全,能直接接收和转换、传送各种传感器、变送器或其它智能仪器、仪表的开关量、数字量和模拟量等信息。特别适用水厂各机电设备的自动检测,设备管理和控制系统组网。

2 LonWorks 现场总线技术水厂自动控制总体方案

江苏油田邵真水厂设计供水能力 5 万 m^3/d , 现供水量为 2.5 万 m^3/d , 全厂有原水泵房(在京杭大运河边,距离净水厂 2 km), 加药车间, 4 个机械搅拌澄清池, 2 个重力式无阀滤池, 2 个清水池, 供水泵站和供电车间。

采用 LonWorks 现场总线技术构成的水厂自控系统结构见图 1。

2.1 水厂现场操作计算机(PC)

主要实现现场总线管理的各种功能: 采用 LonWorks 节点图形化算法对现场智能节点(含智能测控仪表)的工作方式组态、记录每次组态信息、更改时间、节点登录; 采用 LonWorks 网络管理软件进行

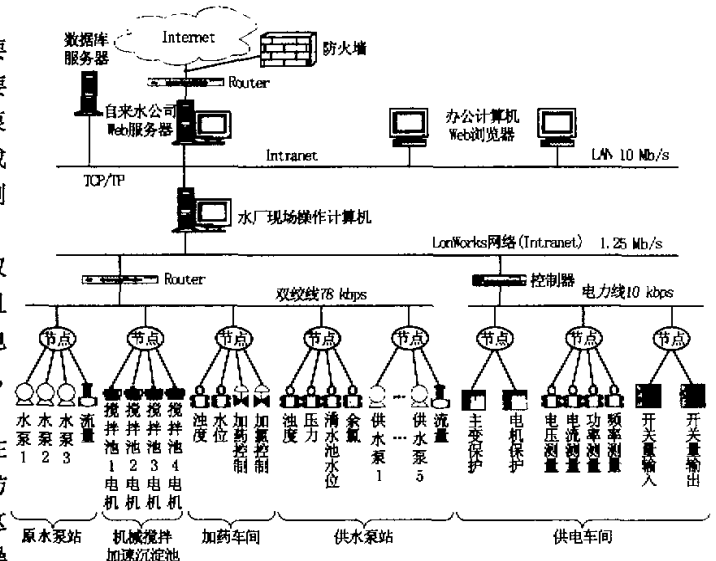


图 1 水厂自控系统结构

测量值、误差值标定;接受 LonWorks 节点传来的现场设备故障信息并进行报警、故障诊断,同时提示用户进行相应处理;用 OnLon 编写自定义控制算法,编译下载各 LonWorks 节点的运行状态,实现对某些节点的手动操作或控制;采用 VisualLon 网络管理软件对 LonWorks 节点进行安装、替换、测试、程序加载、网络变量绑定,实现节点的网络变量读取;并用人机界面软件及驱动程序完成各种工艺流程图的显示和报表打印等。

2.2 原水泵站与供水泵站的自动控制

原水车站和供水车站中的水泵机组是水厂供水的主要设备,保证正常供水并达到节能目的是许多厂家关心的问题。

水泵变频调速供水具有节能效果好、水压稳定、控制方便等优点,得到了越来越广泛的应用^[4~5]。变频调速的变频器采用 SPWM 技术,调频调压均由逆变器完成,同时采用全数字化 PLC 控制技术,选用无测速机的转速闭环矢量控制,并具有电流转矩限制功能,变频器的 PLC 通过网关与 LonWorks 节点联网,构成控制系统。该系统共控制 5 台性能相同,功率 90 kW,流量 400 m³/h,扬程 50 m 的水泵。其中有 3 台水泵处于变频调速状态,其它为工频恒速或停机等待。控制信号为管网供水压力值,变频器根据此值输出一定的交流电压至水泵电机,拖动水泵稳定运行,并输出与压力对应的供水流量保证管网压力平衡。为防止管网对水泵的反冲击,下限频率设定在 30 Hz 左右。一旦平衡打破,将用压力差值控制变频器的输出功率,实现电机的速度调节,改变水泵流量,保证供水管网压力始终稳定在给定值附近,实现变频调速恒压供水。

2.3 加药车间自动加药、测量与控制

加药车间使用的混凝剂主要采用碱式氯化铝,贮药池均装有液位计随时检测碱式氯化铝溶液的高度,并采用计量泵加药方式。计量泵行程由流动电流仪(SCD)值控制,在加药运行过程中控制贮药池搅拌机运行,以防止氯化铝药液沉淀,改变药液浓度。对计量泵考虑 1 用 1 备,防止在加药时计量泵故障。在自动控制的同时设计了手动控制,保证加药工作的正常运行。加氯系统采用了德国产的真空加氯机,在滤前、滤后均设有投加点,滤前加氯量按

机械搅拌滤池出口流量控制,流量计装在滤池蝶形阀处,滤后加氯量按清水池出口流量和余氯量控制,余氯信号由装在供水泵房的余氯分析仪在线检测出,通过对投药的自动控制可以提高工效,节约投加量,也避免了因人为因素而引起的出厂水质不稳定的缺点。

2.4 供电车间的自动控制^[6]

一般水厂均有供电车间,其作用是对变压器、水泵进行保护和实现各条回路的电压、电流、有功、无功和电度测量,另外还要解决断路器、隔离开关的自动控制。为此还需获得如下信息:①断路器及隔离开关的开/合命令;②各种电量和非电量值与状态信息;断路器及隔离开关的位置、状态;保护动作情况;事故状态下的测量值;③保护及自动装置的整定值。对 LonWorks 节点来说获取这些信息非常方便。

通过上述 LonWorks 现场总线的节点对水、电各种变量的测量与控制,实现实时信息的多方面应用,可以提高生产效率,降低能耗。

3 变频调速系统的优化决策

为了得到水泵机组的最高运行效率,除了调速外,还辅以机组台数切换。这时既要确定最优运行机组台数,又要确定转速;既有连续变量,又有离散变量,大大增加了变频机组并联运行的复杂性。利用遗传算法可较好地解决这一问题。遗传算法是生物进化过程和基因操作的计算机模拟,既不需要对象的特定知识,也不需要对象的搜索空间连续可微,并具有全局寻优的能力。本文在采用遗传算法优化时将连续变量和离散变量统一编码,离散变量和连续变量的优化合二为一,不需要任何近似假设,简化了优化过程。仿真结果表明,遗传算法用于既有连续变量,又有离散变量的水泵这种具有非线性特性的优化决策是非常有效的。

3.1 遗传算法的基本原理^[7]

遗传算法(Genetic Algorithm)是基于自然选择和基因遗传学原理的随机搜索算法,它将“优胜劣汰,适者生存”的生物进化原理引入待优化参数形成的编码串群体中,按照一定的适应度函数和一系列复制、交叉和变异等遗传操作对各个个体筛选,从而使适应度高的个体被保留下来,组成新的群体,新的群体包含上一代的大量信息,并且增加了优于上一

代的个体。这样周而复始,群体适应度不断提高,直至满足一定的极限条件。群体中适应度最高的个体即是待优化参数的最优解。可以看出遗传算法从多点开始并行操作,可防止收敛于局部最优解,因此能在复杂空间进行全局优化搜索,并具有较强的鲁棒性;遗传算法对待优化的函数基本无限制,适应范围广。

3.2 优化模型的建立

对于采用变频调速的恒压供水系统,水泵扬程变化很小,此时水泵流量 Q 和效率 η 仅受水泵转速的影响,根据相似定律水泵在转速变化时的特性表示为:

$$H = as^2 - bQ^2 \quad (1)$$

s 为水泵实际转速和额定转速的比值,即相对转速。效率与流量之间的关系曲线可由给定扬程下的水泵特性曲线上的一组 η 和 Q 点拟合求得,拟合用 n 次多项式表示,如

$$\eta = a_0 + a_1Q + a_2Q^2 + \dots + a_nQ^n \quad (2)$$

实际计算表明, $n=2\sim 4$ 已足够精确。

在给定恒压供水系统的压力条件下,最优准则为使水泵总功率为最低,同时满足流量和功率约束,即

$$\text{目标函数 } \min F = \sum_{i=1}^n \gamma Q_i H / \eta_i \quad (3)$$

$$\text{约束条件 } \sum_{i=1}^n Q_i = Q_t \quad (4)$$

$$P_i = \gamma Q_i H / \eta_i \leq P_{\max} \quad (5)$$

式中 F ——所有机组的总功率;

Q_i ——第 i 台水泵的流量;

η_i ——第 i 台水泵的效率;

P_i ——第 i 台水泵的功率;

Q_t ——水泵总流量即总用水量;

n ——水泵台数;

P_{\max} ——电机的最大输出功率;

γ ——水的比重。

3.3 遗传算法的实现

恒压供水系统水泵的流量和效率由水泵转速决定,因此对每台水泵转速编码即可,采用二进制编码,每台水泵用 8 位编码,考虑有的水泵可能不运行,保留 8 位中的最高位作为运行和不运行的标志,

最高位为 1 表示运行,为 0 表示不运行。后 7 位表示 127 种转速状态,0 表示最低转速 S_{\min} ,127 表示最高转速 S_{\max} ,即额定转速。

编码确定后,需计算编码对应的适应度函数以确定该编码对应的个体的优劣,对约束条件采用惩罚函数法,经过仿真比较,本文采用如下适应度函数:

$$\text{fitness} = a_0(P_{\max} - P_i)/P_{\max} + a_1f_1 + a_2f_2 \quad (6)$$

式中 P_{\max} ——所有水泵可能出现的最大总功率;

P_i ——所有水泵的实际总功率;

f_1 ——流量惩罚项;

f_2 ——功率惩罚项;

a_0, a_1, a_2 ——加权系数。

$$f_1 = 1 - e^{-\left(\left|\sum_{i=1}^n Q_i - Q_t\right|\right)/Q_t} \quad (7)$$

f_1 用一指数函数表示,实际流量与给定流量差越大,惩罚越强。功率约束对应的惩罚项为

$$f_2 = \sum_{i=1}^n c_i$$

当 $P_i \leq P_{\max}$ 时, $c_i = 1$; $P_i > P_{\max}$ 时, $c_i = 0$ (8)

3.4 算例

为了验证上述遗传算法的有效性,对邵阳水厂供水站的 5 台调速水泵的并联运行进行仿真计算,水泵特性曲线方程为

$$H = 100s^2 - 0.002Q^2 \quad (9)$$

流量单位为 L/s, s 为比转速。这样 5 台水泵的编码总长度为 40 位,优化计算时取群体总数为 100,交叉概率为 0.5,变异概率为 0.001,取设定水压为 70 m,设定流量为 800 L/s 时的考虑功率最小优化结果见表 1,表 2 为仅考虑流量约束,不考虑功率的优化结果。

比较表 1 和表 2 可以看出,考虑功率最小时虽然流量误差稍大,但功率优化效果是明显的。由于

表 1 考虑功率最小的优化结果

项目	1#泵	2#泵	3#泵	4#泵	5#泵	实际总值
运行情况	运行	不运行	不运行	恒速	运行	
相对转速	0.892			1.0	0.918	
流量/L/s	140.79			390.00	266.59	797.38
功率/kW	40.58			89.48	69.80	199.86

表2 不考虑功率的优化结果

项 目	1*泵	2*泵	3*泵	4*泵	5*泵	实际总值
运行情况	运行	恒速	不运行	不运行	运行	
相对转速	0.97	1.0			0.859	
流量/L/s	325.57	390.0			136.13	800.28
功率/kW	77.06	89.48			61.18	227.72

水泵在流量 250 L/s 左右效率最高,考虑功率最小时 3 台水泵的流量均在此值附近,因而总功率较小;当不考虑功率最小时 3 台水泵的流量与此值偏差较大,因而总功率较大。

4 测、控、管网络技术

水厂只是自来水公司的一个组成部分,它必须向公司提供每日生产净水的全部生产数据,有实时的,也有离线信息。在公司也可以通过网络远程控制水厂的生产过程。基于水厂的底层网络是 FCS,它与公司相联构成的网络可以称之为“*Intranet*”,利用 Internet 的 Web 应用技术就可以实现“测控管”一体化,因此水厂的 control 网络必须采用基于 TCP/IP 协议的网络技术和基于 WWW 协议的 Web 技术,才可能与公司的 MIS(信息管理系统)集成,将现场的检测、反馈与操作信息通过全集成的、开放的、全厂综合自动化平台,把水厂的横向通信和与公司的纵向通信紧密联系在一起,通过对经营决策、管理、计划、调度、过程优化、故障诊断、现场控制信息进行综合处理,真正实现企业“管”、“控”数据流之间的无缝连接。这样就构成了基于 Internet 技术的 *Intranet* 信息网络(见图 1)。

水厂的所有实时数据由各个节点通过 LonWorks 网络送至控制室现场操作计算机(PC)。PC 机中插有与网络接口的网络适配器,工控机通过这样一个接口实现了对 LonWorks 节点的信息收集,在 PC 机里进行数据处理,远距离测控。由于网络适配器是 PC 机和 LonWorks 节点的数据交换中心,一方面收集网络与各个节点发来的数据传递给 PC 机,另一方面将 PC 机的命令和数据转发给网络上各个节点,并同时完成对来自各现场节点的部分数据的整理工作,减轻工控机的部分工作,均衡网络有关部件的负荷,解决高速传送数据可能出现的通信堵塞现象,提高系统的实时性^[8-9]。

在 PC 机中应建立相应的实时数据库,也可将

实时数据通过局域网不断地传到水厂实时数据库服务器中,由它建立实时数据库可以实现下列功能:①取出实时数据,按组态要求,每隔规定的秒数建立实时数据表和趋势图数据表,每隔 5 min 建立历史数据表;②利用实时数据分类并进行计算,得出在线的各种经济指标值,此类数据也以表格数据的形式储存;③根据实时数据,与组态设定的报警值进行比较归类、存储,建立报警数据表。最后经过数据变换处理后,原始数据转变成实时数据库中的各类数据表供 WWW 服务器实时程序调用,这样就可以通过自来水公司的局域网供其它子系统调用,为用户用浏览器通过 Internet 网对这些信息访问创造了条件。

为保证不至于发生实时数据转换和写数据错误,还必须考虑系统的优化数据传递和转换程序,提高数据处理速度。同时提供维护功能,保证实时测控网络可以随时增减 LonWorks 节点,修改数据结构。

5 结语

通过对水厂的自动化分析可以看出,现场总线技术的发展改变了计算机控制系统的结构,推动了测、控、管一体化网络的发展,利用 TCP/IP 协议的网络技术和基于 WWW 协议的 Web 技术,就可以逐步发展成城市自来水公司的“企业综合自动化”的 MIS(管理信息系统),为企业上网做好充分的准备。

参考文献

- 肖绍雍. 论城镇供水事业发展形势与展望. 给水排水, 2001, 27(1): 102~104
- 阳宪惠. 现场总线技术及其应用. 北京: 清华大学出版社, 1999
- 陈虹, 等. 现场总线控制系统. 扬州大学学报, 2000(2): 57~62
- 蒋志坚, 王锡仲. 水泵组合优化变频调速给水系统. 中国给水排水, 2000(2): 32~34
- 吴凡松. 供水系统调节方式的节能选择. 中国给水排水, 1999(3): 42~45
- 何正友, 等. 基于 LonWorks 技术的变电站自动化系统. 电力自动化设备, 2000(4): 28~30
- 易继德, 侯媛彬. 智能控制技术. 北京: 北京工业大学出版社, 1999
- 唐鸿儒, 等. 现场总线设备管理技术. 自动化仪表, 2000(5): 1~4
- 唐鸿儒, 等. 现场总线网络技术展望. 测控技术, 2000(12): 1~4

△作者通讯处: 225009 扬州大学工学院电气工程系
 电话: (0514)7978383 (0)13004321038
 刘正意 225261 江苏油田水电讯处
 电话: (0514)6760066 7978698(H)
 收稿日期: 2001-6-19