

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.05.0018

基于Fuzzy与PID切换控制的恒压供水系统

李 毅, 刘 飞*

(江南大学 轻工过程先进控制教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122)

摘要: 针对传统的供水系统供水不稳定,而且能源浪费严重的问题,提出了基于PLC的Fuzzy与PID切换控制算法而设计的变频恒压供水系统,并设计了系统的硬件电路与软件系统。系统由PLC、变频器、压力变送器、流量计、电器阀柜、上位机等组成;通过Simulink工具对供水系统进行了仿真,从仿真结果上分析了Fuzzy-PID控制和传统PID控制效果的差别;为实现远程监控,提高了管理水平,上位机采用WINCC编写了实时监控界面;通过WINCC组态软件对水泵的运行状态进行了监控与相关参数的记录,同时重点介绍了下位机PLC和上位机组态软件之间通信的实现。研究表明,基于F-PID控制策略的恒压供水系统相对于传统的供水方式更加高效、节能,相对于传统PID控制系统而言控制速度更快、精度更高。

关键词: PLC; 变频; 供水系统; Fuzzy; PID; 监控系统

中图分类号: TH39; TP273

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2013)05-0591-05

Constant pressure water-supply system based on Fuzzy and PID switching control

LI Yi, LIU Fei

(Key Laboratory of Advanced Process Control for Light Industry Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Aiming at the problems that traditional water supply system is not stable and energy is wasted seriously, a switching control method based on Fuzzy and PID, as well as its hardware circuit and software system, were presented to design the variable frequency and constant pressure water-supply system based on PLC. System was composed by PLC, inverter, pressure transmitter, flow meter, electric valve, PC and so on. By analyzing the simulation results obtained using Simulink, the differences of control performance between Fuzzy-PID and traditional PID were illustrated. The picture of monitor system was realized by WINCC, which has realized remote monitor and raised the management level. Through the WINCC configuration software, the operational states of pumps were monitored and the associated parameters were recorded, the way that how to realize the communication between PC and PLC was covered in more detail. The results indicate that the constant pressure water supply system based on the Fuzzy-PID control strategy is more cost-efficient, compared with the traditional water supply method, and it has much faster and more accurate compared with the traditional PID control system.

Key words: PLC; frequency conversion; water-supply system; Fuzzy; PID; monitor system

0 引言

在某发酵厂供水系统中,由于生产工艺的变化所供水量随时间上下浮动,会出现用水量的高峰和低谷,若采用工频水泵供水,在用水高峰时管路压力不足,在用水量低谷时会浪费大量的电能并会造成管路

压力过高,使水泵发生故障的机率大大增加。通过采用恒压供水系统控制策略可以在管网流量变化时达到稳定供水压力和节约电能的目的^[1]。系统采用4台变频器控制4台水泵,PLC采用西门子的CPU315-2DP,通过采集管路压力对变频器进行闭环Fuzzy和PID切换控制,使系统供水压力保持恒定。

收稿日期: 2012-12-04

作者简介: 李 毅(1988-),男,江苏徐州人,主要从事控制工程方面的研究。E-mail:jnliyi_2008@126.com

通信联系人: 刘 飞,男,教授,博士生导师。E-mail:vu@jiangnan.edu.cn

基于某发酵厂供水系统的工艺,笔者研究设计一套恒压供水系统,使其在供水过程中供水压力保持恒定,节省在供水过程中消耗的能源。

1 系统总体构成

该系统采用二层结构,分为监控层与控制层^[2]。监控层主要包括工业计算机(IPC),通过WINCC组态软件对水泵运行状态、流量、管路压力等参数进行监控和记录。控制层主要包括S7300系列PLC,控制层主要完成对现场变频器的调速控制和对仪表数据采集等功能。监控层PC机与控制层PLC通过以太网进行通信,以实现整个监控过程。整个系统的结构如图1所示。

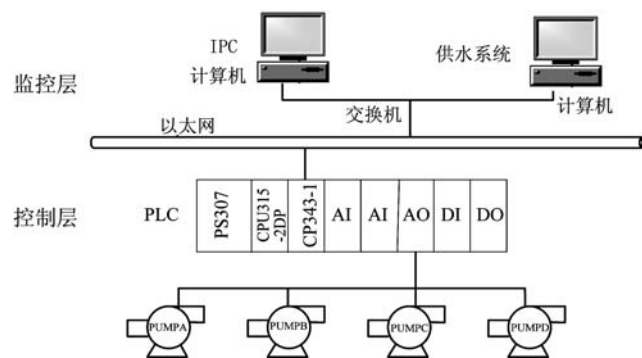


图1 系统结构图

PLC的CPU采用S7-315 2DP,以太网通信模块采用CP343-1,PLC站包括2个AI模块、1个AO模块、1个DI和1个DO模块。现场水泵变频器采用ABB公司的ASC系列变频器,压力变送器选用罗斯蒙特公司的3501系列压力变送器。

2 控制方法

2.1 控制要求

由于工艺用水量变化,该系统需要根据工艺用水量变化随时调整水泵转速与投用台数,以保证供水压力恒定。系统的主要要求有:

- (1)可实现多种变化的启停控制,并保证出水压力恒定;
- (2)系统包括手动、自动、就地操作功能;
- (3)应用PLC对变频器操作实现软起动软停止,以减少泵在启停过程中的磨损,并且要保证变频器输出大于最低安全频率以保护变频器的使用寿命;
- (4)可以对供水过程参数进行任意修改,需实现手动控制输出、压力目标值的任意修改;
- (5)具有完善的电器安全措施,对过压、过流、过载等状况进行报警。

2.2 控制策略

由于恒压供水,系统只对管路压力进行采样控制,通过运用Fuzzy和PID切换控制算法可以充分满足工业供水要求,并且控制过程简单,效果较好。系统通过对压力变送器的压力值的采集,把压力转换为4 mA~20 mA的电信号传入PLC中,利用Fuzzy和PID切换控制进行处理运算,其结果通过AO模块转化为4 mA~20 mA的电信号输出到变频器,以控制水泵的转速。变频器是整个系统的核心,根据给定压力与采集压力之间的偏差来估算所需改变的泵的转速,以实现精确的压力控制^[3]。

系统中包括4台水泵、4台变频器,每台变频器分别控制相应水泵转速,水泵3台投用,1台备用,通过PLC控制每台水泵的投用与切换,当所测管路压力低于设定压力值时,系统自动加快水泵转速,当水泵转速达到最大值,管路压力仍小于设定值时,延时2 min,自动启动下一台水泵,当前水泵转入工频运行,下一台水泵进行变频运行;当所测管路压力大于设定压力时,系统自动降低水泵转速,当水泵转速低于最低安全转速时,延时2 min,自动停止当前水泵,下一台工频运行的水泵转入变频运行,以保证工艺出水压力恒定。整个投切过程采用先启先停的原则,循环启停水泵,使每个水泵的运行时间基本相等,为了减少频繁启停对水泵造成影响,在切换过程中都有相应延时,以保证水泵的寿命最长。在整个自动运行过程中,可以更改任意水泵的运行状态为手动,并手动输入所需要的转速,对水泵进行手动控制。整个控制过程中,由于工艺要求,不能停泵,故当只有一台水泵运行时,即使管路压力高于设定压力,也不停泵,只控制变频器输出最低安全转速,并同时发出报警音提示工作人员进行下一步操作。当水箱液位到达低限时,自动发出报警音,当水箱液位到达低低限时,为保护水泵,系统将自动停止所有水泵,并发出紧急报警音。

2.3 Fuzzy和PID切换控制器的设计

由于水泵的非线性这一特点以及供水系统管网的复杂性,不易建立精确地数学模型,而简单的PID算法也较难整定参数,模糊控制是一种根据长期积累的经验而提出的对现实世界不精确或近似知识的控制方法^[4],本研究采用Fuzzy和PID切换控制方法^[5]。

该系统将水压力的误差及误差变化率作为输入,采用7个模糊集合对其进行模糊化并将其论域量化为7个等级,即 $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$,系统将三角形作为隶属函数,根据现场经验总结的模糊控制规则如表1所示。本研究采用if E and EC then U的形式进行描述,如:if E= PB and EC= PB then U=PB,根据这些规

则总结出模糊控制关系:

$$\tilde{R} = \bigcup_{i=1}^n (\tilde{E}_i \times \tilde{E}_{C_i} \times \tilde{U}_i) \quad (1)$$

本研究根据上述论述计算出 $\tilde{R}$ 后,利用推理合成规则计算 U_{ij} :

$$U_{ij} = (\tilde{E} \times \tilde{E}_C) \circ \tilde{R} \quad (2)$$

本研究离线计算出的 U_{ij} 结果如表2所示,最后对 U_{ij} 进行加权平均法解模糊,最终得到精确输出 u 。

表1 模糊控制规则表

E	EC						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PM	ZO	ZO
NM	PB	PB	PB	PB	PM	ZO	ZO
NS	PM	PM	PM	PM	ZO	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NM	NM	NM	NM
PM	PS	PS	ZO	NM	NM	NM	NM
PB	ZO	ZO	NM	NB	NB	NB	NB

表2 模糊控制查询表

E	EC						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
-3	3	3	3	3	2	0	0
-2	3	3	3	2	0	0	-1
-1	2	2	2	2	0	-1	-1
0	2	2	1	0	-1	-2	-2
1	1	1	0	-1	-2	-2	-2
2	1	1	0	-2	-2	-2	-2
3	0	0	-1	-2	-3	-3	-3

在恒压供水过程中,水泵把水从清水池送到管网中,压力基本上可以认为保持为零,是一个纯滞后过程;在压力上升过程中,水泵把水充满整个管路,压力逐渐增加直至达到稳定,可以认为是一个一阶惯性环节。水泵管道系统的数学模型可以等效为一个带纯滞后的一阶惯性环节,即:

$$G(s) = \frac{K_w}{T_w s + 1} e^{-\tau s} \quad (3)$$

式中: K_w —系统放大倍数, T_w —供水系统惯性时间常数, τ —系统纯滞后时间。

参数 K_w 、 T_w 、 τ 的确定采用离线开环阶跃响应法:在开环系统下,由控制器输出一个适当幅度的阶跃信号,使水泵转速提高到一定幅度,然后记录水压的变化过程,在根据输入、输出数据进行辨识,系统的辨识结果为: $K_w=0.98$, $T_w=10.1$, $\tau=2.53$,由此得到供水系统的近似模型为:

$$G(s) = \frac{0.98}{10.1s + 1} e^{-2.53s} \quad (4)$$

根据以上的Fuzzy和PID切换控制构建仿真模型图,并与传统的PID控制相比较,仿真模型图如图2所示。

根据现场经验,本研究可以得到压力偏差 E 的物理域为 $[-0.3 \ 0.3]$,单位为MPa,由于系统将偏差实际值转化为离散模糊论域中的 n 时用了取整公式 $|n| = \text{int}(|kE| + 0.5)$,其中 k 为量化因子,由这个公式可推出当 $|E| < 0.5k$ 时 n 的取值全部为0,因此,模糊控制就出现了一个盲区^[6-7],根据该系统的实际情况,当压力偏差绝对值小于0.051 MPa的时候采用PID控制,其余的时候采用模糊控制器进行控制。另外,根据现场的实际经验可得:当PID的3个参数分别取 $K_P=30$, $K_I=5$, $K_D=1$ 时,PID的控制效果最佳。

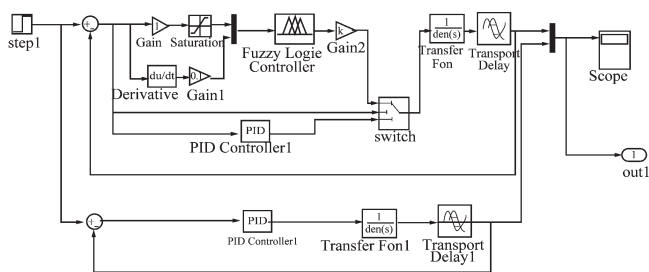


图2 仿真模型图

仿真后Fuzzy和PID的切换控制与传统的PID控制器曲线相比较,如图3所示。经比较分析可知,Fuzzy和PID切换控制效果得到明显的改善,超调量较低、响应速度明显加快,稳态精度得到提高。

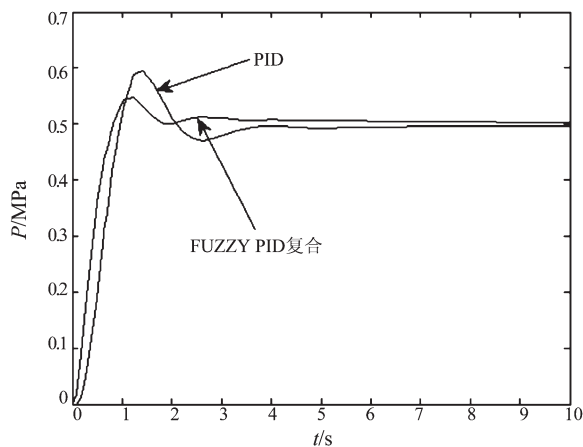


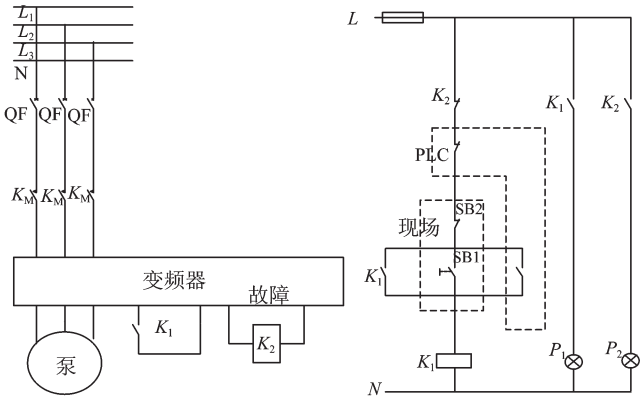
图3 仿真波形对比

3 系统电路设计

系统主要由一台PLC控制4台变频器,来控制泵的转速以达到恒压供水的目的。电路设计采用“起-保-停”控制电路,两点控制泵的启动和停止。每路泵的电路中包含热继电器来保护电机,防止过载过流等情况对泵造成损害。每个泵的电路图如图4所示。

整个电路分为现场控制部分与PLC控制部分,现

场与 PLC 都可以控制水泵的启动和停止。当 K_1 吸合后,变频器自动对水泵进行变频控制。



K_1 —启动控制继电器; K_2 —故障继电器; P_1 —运行指示灯; P_2 —故障指示灯

图 4 水泵控制电路图

4 PLC 程序设计

PLC 和变频器是系统的核心部分,系统稳定运行的关键取决于 PLC 程序的合理性和可行性以及变频器参数的设定^[8-9]。程序部分主要分为控制算法部分、水泵的投用与切换部分和报警部分。

4.1 PLC 输入/输出 (I/O) 口分配

整个系统包括 31 个 I/O 点,其中 AI 点包括压力、流量、水箱液位、泵的转速与电流,AO 点包括泵转速控制,DI 点包括泵的故障与运行信号,DO 点包括泵的启动与停止。本研究对泵的启、停控制采用两点控制。系统详细 I/O 清单如表 3 所示。

表 3 详细 I/O 清单

名称	类型	地址
泵 A~泵 D 电流	AI	PIW288~PIW295
泵 A~泵 D 转速	AI	PIW296~PIW303
压力	AI	PIW272
流量	AI	PIW274
水箱液位	AI	PIW276
泵 A~泵 D 转速控制	AO	PQW304~PQW311
泵 A~泵 D 运行信号	DI	I17.0~I17.3
泵 A~泵 D 故障信号	DI	I17.4~I17.7
泵 A~泵 D 启动信号	DO	Q20.0~Q20.3
泵 A~泵 D 停止信号	DO	Q20.4~Q20.7

4.2 软件设计

软件设计中依据控制要求与控制策略,利用梯形图编写程序,以达到控制泵启停与调速的目的。系统程序流程图如图 5 所示。

程序分为手动和自动两种控制方式,手动方式只由 PLC 输出启停与所设定的转速信号,泵的投切与转速都由人工进行设定。自动控制是由 PLC 根据管路压力自动进行泵的投切,在自动控制过程中,也可以把某台或某几台运行的水泵切换到手动模式,人工地输入想要控制的转速。整个程序包括组织块 OB1, OB35。OB35 中主要实现模糊和 PID 切换控制运算,本研究在 OB35 中主要调用系统库功能块 FB41 来进行 PID 运算和模糊表的查询。OB1 中实现程序的主流程。在 OB1 中,本研究分别调用了模拟量处理功能 FC1,泵控制功能 FC2,报警功能 FC3,手动控制功能 FC6,在泵控制功能中调用了选泵功能 FC4。整个程序

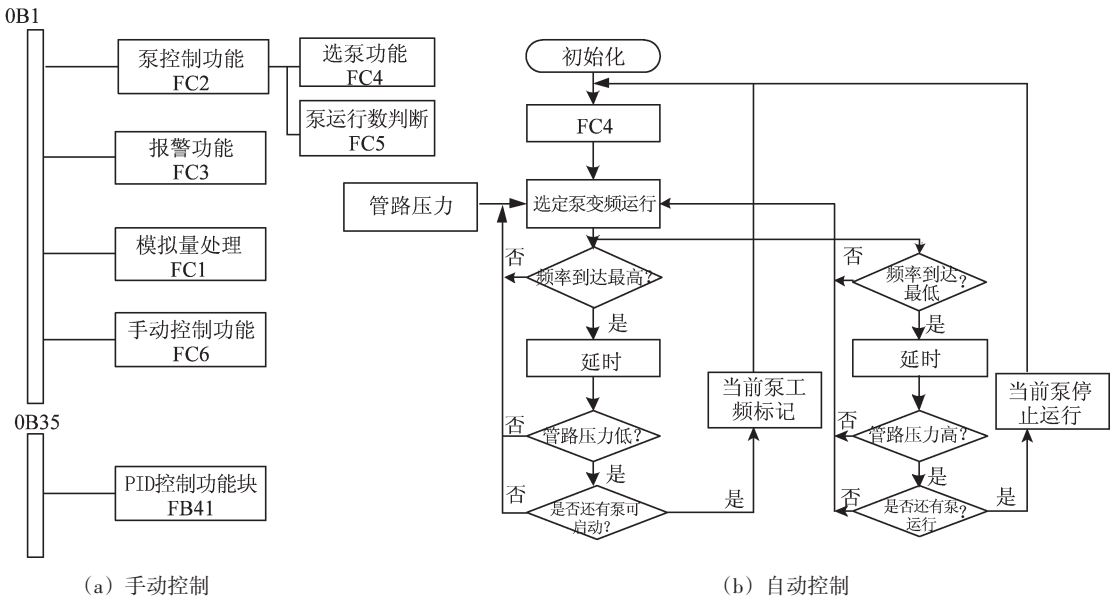


图 5 系统程序流程图

流程如图5所示。

FC1主要把系统的模拟量的输入输出转化为工程量,FC2是整个自动控制的核心程序,其中在增泵与减泵的过程中本研究调用了选泵功能FC4和判断泵运行数量功能FC5,FC4主要实现先启先停的控制策略,以保证各个水泵运行时间大体上一致,延长系统的使用寿命,FC5主要完成对是否有泵可以启动或是否有泵可以停止的判断。FC3主要实现系统参数的报警功能,如液位高低报警,水泵故障报警等功能。FC6主要实现手动控制功能,包括手动启停泵、手动设定泵的转速等功能。

5 上位机监控系统

系统上位机采用WINCC组态软件,WINCC是西门子公司推出的HMI/SCADA软件,WINCC不仅对西门子的PLC有着很好的支持,而且WINCC有着强大的组态功能,灵活、易用^[10]。

系统上位机监控画面主要显示水泵运行状态、水泵转速输出、水箱的液位、管路压力、水泵电流等信息,可实现对水泵的手自动切换、单台水泵的停止功能。对于处于手动状态的水泵,操作员可以输入想要的转速来控制水泵运行。当水泵发生故障和管路压力过高过低时,WINCC都会发出报警音提示操作员进行操作,并记录存档。系统运行期间周期性记录管路压力与电流等数据。

当上位机监控画面组态完毕后,本研究需要与下位机PLC建立通信才能对工业过程进行监控。WINCC与西门子PLC兼容性非常好,并提供了多种驱动用来与PLC进行通信,最常用的就是通过WINCC与PLC之间建立S7连接^[11-12],连接的过程如下:

(1)首先在组态好的WINCC项目窗口中找到“变量管理”右击选择“添加新的驱动程序”在弹出的对话框中选择“SIMATIC S7 Protocol Suite.chn”单击“打开”按钮后就完成了SIMATIC S7的驱动程序的添加。

(2)在SIMATIC S7的下拉菜单中选中MPI项右击选择“新驱动程序的连接”输入连接的名称然后单击属性按钮输入控制器站的地址、机架号、插槽号等。

(3)右击“连接”新建变量,在弹出“变量属性”对话框中设置属性,并单击选择按钮设置地址属性,应设置为此变量在S7 PLC中所对应的变量的地址,单击确定按钮一个外部变量就新建完成。

本研究按照该步骤将所需的变量逐个建立完毕,

就可以实现WINCC与PLC的通信了。

6 结束语

为了解决传统供水系统供水不稳定的问题,本研究提出一种新型的变频恒压供水系统。该系统采用4台变频器控制4台水泵,利用S7-300系列CPU保证了整个供水系统的稳定,实现了根据实际的压力与设定值对水泵转速与投切进行调节,使供水压力恒定在给定值,与工频水泵供水系统相比,节省电能达到了50%以上,水资源也得到了节约。

与传统的PID控制相比较,Fuzzy和PID切换控制在生产实际中控制效果明显优于单一PID控制。本研究设计的恒压供水系统试运行至今,运行状况良好,供水压力稳定。

参考文献(References)

- [1] 张 斌. PLC和变频调速技术在恒压供水系统中的应用[J]. 电力学报,2006,21(4): 465-466.
- [2] 刘正先. PLC和IPC组成的新型控制系统[J]. 控制工程,2002,9(5):34-36.
- [3] JIANG Lin-jie, CHEN Yan, FAN Gao-qi. The design of constant pressure water supply system based on ABB inverter[J]. *Procedia Engineering*, 2011(15):436-442.
- [4] 曾光奇,胡均安,王 东,等. 模糊控制理论与工程应用[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2006
- [5] 邹文栋,魏永强,纪海燕. 基于Fuzzy-PID的PZT微纳扫描控制算法[J]. 仪器仪表学报,2009,30(5):932-937
- [6] 杨海马,刘 瑾,吴文婕. 基于模糊控制的恒压供水智能监控系统的研究[J]. 仪器仪表学报,2006,27(6): 1870-1871,1880.
- [7] 黄良沛,黄 昕,阳小燕. 参数自适应模糊PID控制在恒压供水系统中的应用[J]. 自动化与仪器仪表,2005,120(4): 28-30,55.
- [8] 路 野,周朝晖. 基于PLC和变频调速的恒压供水系统设计[J]. 计算机与数字工程,2009,37(1):162-164.
- [9] 赵鹏飞,陈晓军. 基于PLC和变频调速的分时恒压供水系统设计[J]. 机电工程技术,2011,40(12):26-29.
- [10] 周晓军,刘洪亮,胡 康. WinCC及S7-300在电封闭交流传动测试台中的应用[J]. 控制工程,2010,17(5): 655-657,694.
- [11] 安富平. 本特利机组状态监控系统与WinCC的通信方法[J]. 化工自动化与仪表,2012,39(5):650-652.
- [12] 蔡小亮,罗益民,孙 锋. 基于PLC和WinCC的智能双腔监测换热器系统[J]. 化工自动化与仪表,2010,37(2):81-83.

[编辑:张 翔]