

# 基于PLC的变频恒压供水系统\*

张莹<sup>1</sup>, 周炬<sup>1</sup>, 阳璞琼<sup>2</sup>

(1. 南华大学 机械工程学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 南华大学 电气工程学院, 湖南 衡阳 421001)

**摘要:** 为解决传统供水系统存在的投资大、占用面积大、效率低的问题,将可编程逻辑控制器(PLC)技术和变频技术应用到新型恒压供水系统中。该系统通过PLC控制变频器改变电源频率,来调节水泵电机的转速,使管网压力恒定;分析了该新型恒压供水系统的工作原理,给出了系统的软、硬件实现方法;利用组态软件监视与控制通用系统(MCGS)实现了对该系统的实时远程监控。应用结果表明,该系统确保了供水质量,提高了系统的故障处理能力,并且具有明显的节能效果。

**关键词:** 可编程控制器;变频器;恒压供水

中图分类号: TP391.8; TH31

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)04-0425-03

## Constant pressure water supply system based on PLC and variable frequency control

ZHANG Ying<sup>1</sup>, ZHOU Ju<sup>1</sup>, YANG Pu-qiong<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, University of South China, Hengyang 421001, China;

2. School of Electrical Engineering, University of South China, Hengyang 421001, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of a big investment, space occupancy, and low efficiency on the traditional water supply system, a constant pressure water supply system based on programmable logic controller(PLC) and variable frequency control was designed. In the system, the speed of pump motor was controlled by PLC-based inverter. It kept constant pressure piping. After analysis of the principle, the method of hardware and the software was given. Remote control by visual motoring interface was designed by MCGS. The practice results show that the system ensures the water quality, strengthens the ability of troubleshooting, reduces resource waste.

**Key words:** programmable logic controller(PLC); inverter; constant pressure water supply

## 0 引言

随着我国城市高层建筑群体的扩大及人们对物质生活水平要求的提高,传统的供水设备由于存在基建投资大、占地面积广、维护不方便、能耗大和可靠性低等问题,已经不能满足人们对家庭用水质量的要求。我国传统的住宅区供水主要采用恒速泵加压供水以及水塔高位供水等方式。恒速泵加压供水方式无法对供水管网的压力做出及时反应,水泵的增减都依赖手工操作,自动化程度低,且供水电泵的电能消耗大;水塔高位供水方式存在基建投资大、维护不方便、水泵电机为硬启动、启动电流大等缺点,频繁启动易损坏联轴

器,且能耗大<sup>[1-2]</sup>。因此变频恒压供水系统以其节能、安全、稳定等特点正逐步地取代传统的供水方式。

本研究所设计的系统通过PLC和变频器调控水泵电机在不同时期不同工况下的水量和水压,既能保证供水系统在供水高峰期的稳定性和可靠性,又能实现供水系统在夜间的低功率运行,具有良好的节能性。

## 1 变频恒压供水系统的原理和结构

### 1.1 系统工作原理

变频恒压供水系统采用PLC与变频器控制泵组调速运行,并自动调整泵组的运行台数,完成供水压力的闭环控制,在管网压力变化时保证末端用户的用水需

求并达到节能的目的。变频恒压供水系统框图如图1所示。当用户用水量增大时,导致管网的压力减小,压力传感器将电压信号反馈给PLC。PLC内置的PID控制器计算后调节变频器的频率,频率增大,水泵的旋转速度加快,从而达到一个新的平衡状态;当用户用水量减小时,同理也可以达到平衡状态。

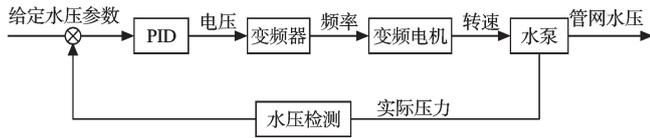


图1 变频恒压供水系统框图

### 1.2 系统结构

该系统包含PLC主机、模拟量输入输出扩展模块、变频器、压力变送器、水泵等,其中PLC具有功能完善、编程简单、抗干扰能力强、体积小、能耗低、性能价格比高<sup>[3]</sup>等优点。整个系统含两台主泵(丹麦格兰富7.5 kW、型号CR20-7)并联供水和一台辅泵(丹麦格兰富3 kW、型号CR10-9)辅助供水。为实现恒压供水,供水系统在全流量范围内通过将变频泵连续调节和工频泵的分级调节相结合,根据用水量大小调节投入水泵台数,使供水压力始终保持为设定值<sup>[4-6]</sup>。当处于用水低谷或夜间小流量时,为进一步减少功耗,本研究采用一台小流量泵来维持正常的泄漏和水压。PLC通过对压力上、下限信号的检测,实现3个水泵变频循环的可靠切换、变频泵连续调节和工频泵的分级调节。同时蓄水池液位传感器(防雷型,综合精度:0.2% FS,输出信号:0~5 V)将检测到的液位上、下限信号输入到PLC中,PLC通过对进水管电动阀的调节来控制进水量<sup>[7]</sup>。

根据流体力学公式:  $(p_1/p_2) = (n_1/n_2)^3$ , 如果一台水泵的额定压力是已知的,设 $P_1$ 是额定转速 $n_1$ 时的输出压力,那么对任意转速时的压力为:  $p_2 = p_1(n_1/n_2)^3$ 。即水泵的输出压力与水泵的转速的3次方成正比,通过调节转速可以达到节省能源,保证系统高效运行的目的<sup>[8]</sup>。本研究通过变频器改变水泵电机的输入频率从而达到维持用户管网中压力恒定的要求,即保证最末端用户的用水需求。变频器的变频范围为20 Hz~50 Hz。针对住宅区每天用水量的特点,一天中有3个高峰,分别为早上7:00~9:00,中午11:00~13:00,晚上17:00~20:00,而夜间用水量却很少。如果用水量加大,导致用户管网的压力减小,压力传感器的电压信号反馈给PLC,PLC输出的直流电压升高,导致变频器输出的频率增大,水泵的转速加快,达到一个新的平衡状态;当用户用水量减小时,致使管网的压力增大,同理PLC通过调节变频器输出频率,使水泵的转速变慢,同样可以达到平衡状态。供水系统构成示意图如图2所示。

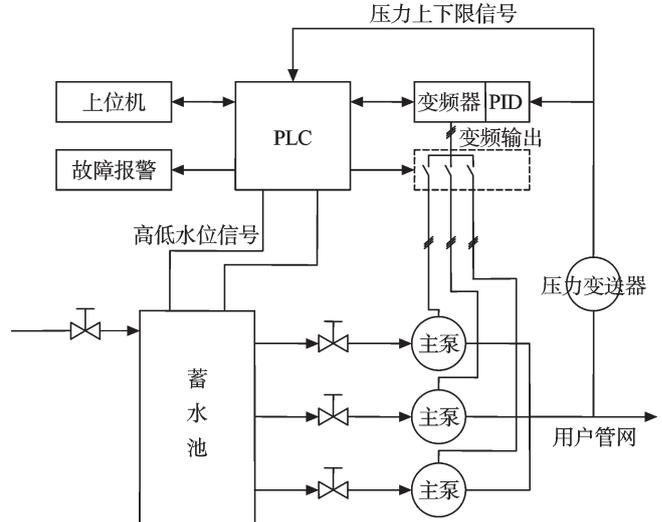


图2 供水系统构成示意图

## 2 系统硬件设计

PLC是整个变频恒压供水控制系统的核心,它来完成对系统中所有输入信号的采集、所有输出单元的控制、恒压的实现以及对外的数据交换。本研究选用德国西门子公司的S7-200 CPU224型PLC。为了方便地将管网压力信号传输给PLC,本研究将比较计算后的相应控制信号传到变频器,该系统选用了EM235模拟量扩展模块。本研究选用的变频器是西门子公司的VVVF-SIEM440型,它采用高性能的矢量控制技术,提供低速高转矩输出和良好的动态性能,同时具有超强的过载能力<sup>[9-10]</sup>。

PLC控制电路如图3所示。该系统共有开关量输入点13点,开关量输出点13点,模拟量输入通道一个,模拟量输出通道一个<sup>[11]</sup>。

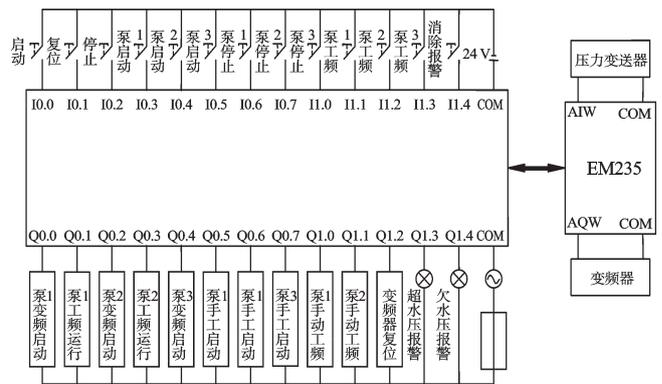


图3 PLC控制电路

在电气布置时,作为主要部件的PLC与变频器安放距离需适中,如果两者距离太远,PLC与变频器的通讯信号易受到外界电磁干扰;如果两者距离太近,变频器会在运行过程中给PLC带来较强的电磁干扰。

### 3 系统软件设计

#### 3.1 主程序的设计

主程序的流程图如图4所示。整个系统以PLC为核心,通过运行程序完成相应设备的供水与故障报警任务,同时泵的切换信号的生成、泵组接触器逻辑信号的综合等均包含在主程序中。该系统由热继电器实现电机过载保护,若电机过载,PLC接收过载保护信号,并发出报警,同时启动“过载处理”对策:若辅泵(泵3)过载,变频启动主泵2;若主泵1过载,则工频启动辅泵(泵3);若主泵2过载,同样工频启动辅泵(泵3)。本研究在系统中不仅设计了软件“互锁”,还实现了控制回路的硬件互锁,即通过在控制回路中串联相应的常闭触点来保持接触器不会同时吸合。为了防止电机空转,本研究在设计上使用液位信号,当水位过低时,PLC接收数字开关信号,采取相应的措施,以防止电机损坏。在夜间时,系统工频启动辅泵(泵3),因为居民在夜间的用水量很低,当水压到达压力设定值时,系统停止使用辅泵(泵3),直至管网的压力低于设定值。

故障诊断和报警输出模块的设计利用了变频器短路、过载等保护功能。当变频器所驱动的水泵电机发

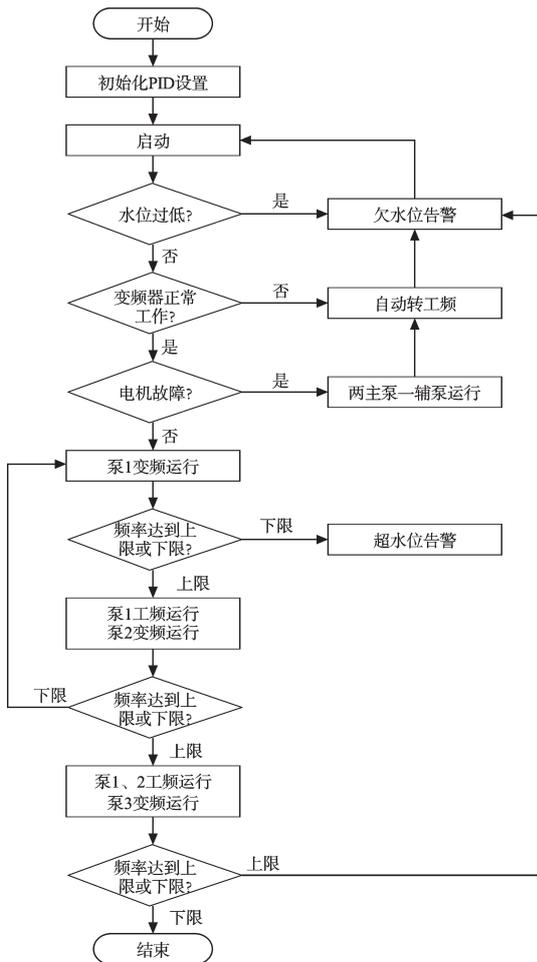


图4 主程序流程图

生短路、过载等故障时,变频器自动切断供电电路、进入保护状态并输出报警信号。

#### 3.2 PID 设置

本研究采用积分分离PID控制算法作为控制策略。积分分离的基本思路是:当系统给定值与输出值存在很大误差时,取消积分的作用,以免积分作用使得系统的稳定性能降低,超调增大,当输出值接近给定值时,引入积分控制,消除静差,提高控制精度。本研究根据实际系统运行效果进行整定后得到PID控制器的参数:  $K_p = 8.59$ ,  $K_i = 12.5$ ,  $K_d = 1.77$ 。

#### 3.3 人机界面的设计

本研究在上位机上针对人机界面的设计采用组态软件。MCGS 5.1组态软件是一个监控系统开发软件,是以标准的工业计算机软、硬件平台构成的新型的工业自动控制系统<sup>[12]</sup>。本研究将这个供水系统划分为监控层、控制层、管理层3个层次结构。本研究通过MCGS 5.1设计主控窗口、设备窗口、用户窗口、实时数据库和运行策略,可以通过画面对现场进行实时监控,还可以对工作方式和相关参数进行设置。组态监控界面如图5所示。

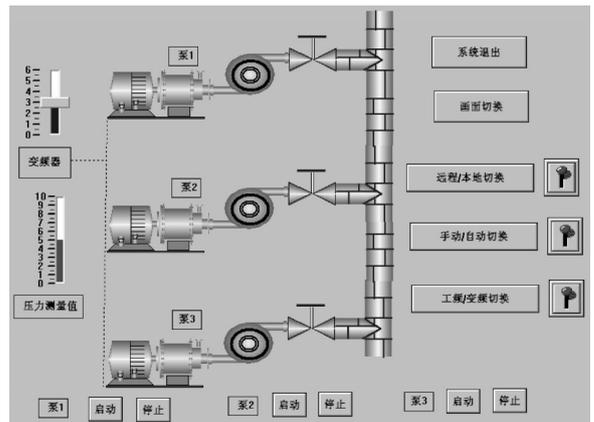


图5 监控界面

### 4 结束语

本研究通过基于PLC的变频恒压供水系统的设计,实现了住宅区的变频恒压供水。经在某小区实际运行试验,证明该系统可以根据用户实际管网水压的变化,通过调节水泵的转速来实现恒压供水,从而实现了供水量与用水量的平衡<sup>[13]</sup>。该系统还具备了超水压、欠水压时有报警的功能。这种供水系统具有投资小和开发周期短等特点,并提高了供水质量,节能效果显著。此外这种供水系统保证了住宅区供水的稳定性、可靠性和抗干扰能力,而且能使供水系统运行于最佳工作状态,是一种取代传统供水方式的新途径。

(下转第446页)

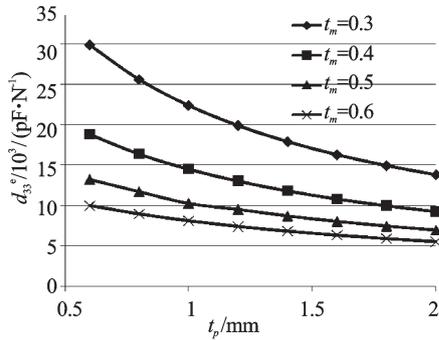


图8 等效压电常数与PZT厚度的关系

而当  $t_p > 1.5 \text{ mm}$  时,压电常数变化缓慢。所以衡量输出电压以及等效压电常数,  $t_p$  值应该取  $1 \text{ mm} \sim 1.5 \text{ mm}$  之间。

### 4 结束语

本研究用 ANSYS 软件建立了 Cymbal 型压电发电装置的有限元模型,并分析了等效压电常数  $d_{33}^{\text{eff}}$ ,得出如下结论:

(1) 金属帽材料选择黄铜,可以得到更大的等效压电常数。等效压电常数与施加力  $F$  的大小无关,随着金属球顶直径增大而减小,随着底直径增大而增大,金属帽厚度增加而减小。

(2) 在 Cymbal 的结构参数(如金属帽的厚度、压电陶瓷片的厚度及直径)确定的情况下,都会存在一个最优的腔体高度  $h$ ,而且针对不同金属帽厚度,其最优值不同。

(3) Cymbal 电压输出随着压电陶瓷厚度增加而增加,其等效压电常数却随着压电陶瓷厚度增加而减少,

对压电陶瓷厚度应进行优化选择。优化后  $t_m$  为  $0.3 \text{ mm}$ ,  $t_p$  为  $1 \text{ mm}$ ,其等效压电常数值为  $22\ 000 \text{ pC/N}$ ,大约是压电陶瓷本身  $d_{33}$  ( $374 \text{ pC/N}$ )的60倍。

### 参考文献(References):

[1] ROUNDY S, WRIGHT P K, RABAHEY J. A study of low level vibrations as a power source for wireless sensor nodes[J]. **Computer Communications**, 2003, 26(11):1131-1144.

[2] ANTON S R, SODANO H A. A review of power harvesting using piezoelectric materials(2003-2006) [J]. **Smart Materials and Struct**, 2007, 16(3):1-21.

[3] PRIYA S, Advances in energy harvesting using low profile piezoelectric transducers [J]. **Electroceram**, 2007, 19(1):167-184.

[4] PLATT S R, FARRITOR S, HAIDER H. On low-frequency electric power generation with PZT ceramics [J]. **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, 2005, 10(2):240-252.

[5] DOGAN A, UCHINO K, NEWNHAM R E. Composite piezoelectric transducer with truncated conical endcaps "Cymbal" [J]. **Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control**, 1997, 44(3):597-605.

[6] KIM H W, PRIYA S, UCHINO K. Piezoelectric energy harvesting under high pre-stressed cyclic vibrations [J]. **Journal of Electroceramics**, 2005, 15(1):27-34.

[7] 刘智, 单小彪, 袁江波, 等. Cymbal 压电换能器发电性能的有限元仿真分析 [J]. **机械设计与制造**, 2010(5):12-15.

[8] 栾桂冬, 张金铎, 王仁乾. 压电换能器和换能器阵(上册) [M]. 北京: 北京大学出版社, 1990.

[编辑:李辉]

(上接第427页)

### 参考文献(References):

[1] 卢中原, 郭兴旺, 宋序彤. 我国城市供排水现状与问题 [J]. **经济研究参考**, 2008(25):8-14.

[2] PETER S, CARTWRIGHT P E. Water purification [J]. **Water Treatment**, 1999(5):69-74.

[3] 张还, 李胜多. 可编程控制器原理与过程控制 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.

[4] 孙立书. 基于 PLC 的软启动变频双恒压无塔供水系统 [J]. **机电工程**, 2011, 28(6):715-718.

[5] 李海波. 基于 PLC 的智能变频恒压供水监控系统的设计 [J]. **机电工程技术**, 2011, 40(3):48-50.

[6] 包西平, 赵颖. 全自动变频恒压供水系统设计 [J]. **机电工程技术**, 2010, 39(7):27-30.

[7] 逢启寿, 黄伟玲, 王忠锋, 等. 基于模糊控制技术的单片机恒

压供水系统 [J]. **自动化技术与应用**, 2006, 25(5):77-78.

[8] MURRAY C J. Flow control improves pump performance [J]. **Water Environment & Technology**. 2005, 17(1):70-73.

[9] 西门子公司. MICROMASTER 440 用户手册 [M]. 西门子公司, 2003.

[10] 陶权, 吴尚庆. 变频器应用技术 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2007.

[11] 张扬, 蔡春伟, 孙明建. S7-200 PLC 原理与应用系统设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.

[12] 廖常初. 可编程控制器应用技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.

[13] EKER L. Operation and control of a water supply system [J]. **ISA Transactions**, 2003, 2(3):461-473.

[编辑:罗向阳]