基于PLC与组态技术的变频恒压供水系统的设计与实现

针对城市高楼供水压力不足的问题，设计了一套基于可编程序逻辑控制器（Programmable Logic Controller，PLC）与组态技术的恒压供水系统。完成主电路的电气设计，控制电路采用变频循环运行方式，依靠变频器实现三台水泵电动机的软起动和变频调速，以PLC为控制器，运行PID算法控制电动机转速，保持管网压力的稳定。通过组态技术进行系统监控，实现了实时监控与操作。达到了供水系统的压力稳定、可靠、抗干扰性高及能实时监控运行的设计要求。

胡开明[1,2]　王怀平[1,2]　傅志坚[2]/1.东华理工大学放射性地质与勘探技术国防重点学科实验室　2.东华理工大学机械与电子工程学院

胡开明/讲师

关键词/Keywords
恒压供水·
变频调速·
组态技术·

0　引言

“节水节能”已成为当前建设可持续发展社会的重要主题，长期以来我国在高层建筑供水、工厂生产循环供水方面自动化程度很低，造成较大的经济损失。因此研制一个高效节能、稳定可靠的供水系统具有重要的现实意义。而变频调速技术的高速发展带动了变频恒压供水技术的不断发展。目前国内有不少公司在做变频恒压供水的工程，但大多数是直接采用国外的变频器控制水泵的转速，利用水管管网压力的闭环调节及多台水泵进行循环控制[1]。有的是使用某些控制器和相应的软件来实现，但在系统的抗干扰性能、动态性能、稳定性能以及开放性等多方面都远远没有达到用户的要求[2-3]。因此有必要进一步研究和改善变频恒压供水系统的性能，使其能被更好地应用于生活和生产实践。本文以小区供水系统为被控对象，采用可编程序逻辑控制器（Programmable Logic Controller，PLC）和变频器相结合技术，设计一套城市小区恒压供水系统，并引用上位机组态系统对供水系统进行远程监控和管理，在较少人力物力投入下，提高运行效率，从而提高了整个系统安全性、可靠性与可操作性[4]。

国家自然基金项目（61064013）。

1　系统结构与组成

变频恒压供水系统由含PID的PLC控制器、变频器、三台水泵电动机、压力变送器、液位变送器及蓄水池等组成[5-6]。液位变送器用来检测水池的水位，并把数据传送给PLC，如果液位达到水池上限/下限则报警。水泵电动机从蓄水池中抽水，向用户进行供水；变频器控制水泵电动机的转速，从而改变用户管网水的流量。压力变送器用于检测用户管网的压力。设计中以用户管网的压力为被控参数，PLC将压力变送器测得的压力值与设定值进行比较，将所得的偏差进行PID运算，进而改变变频器的输出频率，达到对水泵电动机进行调速的目的。同时将运行的信息传送到上位机组态，实现系统的组态监控，如图1所示。

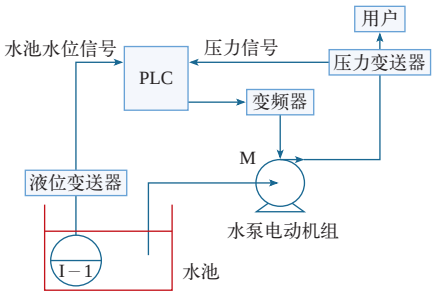

图1　变频恒压供水系统结构图

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

设计中以PLC为控制器保证了系统的可靠与稳定，变频器作为执行器确保系统高效节能与运行平稳，组态技术实现了开放与可操作性。

2　变频恒压供水系统的设计

2.1　主电路设计

设计中采用DS26分体式液位变送器对水池高度进行检测，用Y－100型压力表和XMT－1270数显仪来检测管网的实际压力，并且依靠两路继电器来控制压力的信号，防止其超限，以西门子MM440变频器来驱动水泵电动机。变频恒压供水系统采用的是三台泵做循环的变频运行方式，即3台水泵中只有1台水泵在做调速运行，其余水泵均在50 Hz工频下做恒速运行，如果某台变频泵连续工作时间超过了3 h，则要换下一台水泵做变频运行，使系统具有“倒泵功能”，从而避免因工作时间过长，导致水泵机组运行寿命缩短。三相电源经低压熔断器、隔离开关接至变频器的R、S和T端，变频器的输出端U、V和W通过接触器的主触头接至电动机。当电动机工频运行时，连接至变频器的接触器的主触头与变频器输出端断开，与电网直接相连的接触器主触头接通，如图2所示。

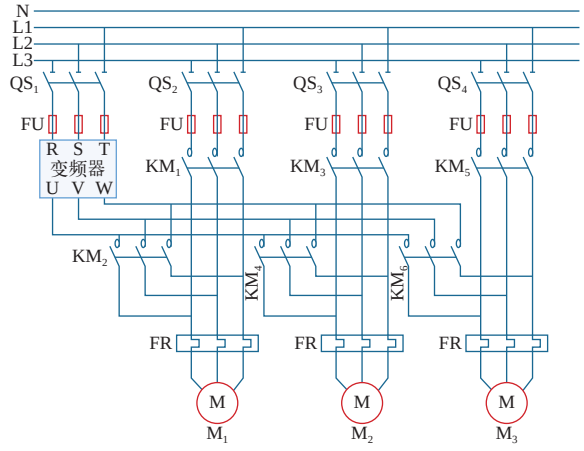

图2　控制系统主电路图

变频和工频不允许同时有效，每个相应的热继电器FR实现对电动机过载保护。工频与变频转换时其接触器主触头需断开，构成互锁。采用软起动器以减少电流。手动控制模式中，降压自耦变压器的作用是用来降压起动，系统在起动、运行和停止时，通过变频器实现软起动和软停止[7]。

2.2　控制电路设计

系统设置手动与自动模式，由单刀双掷开关SA来控制，如图3所示。打向1将起动手动控制，此时三台水泵电动机的运行和停止由开关SB_1～SB_6控制，但均是工频运行。SB_1按下后，接触器KM_1接通，KM_1的常开触头闭合并自锁，电动机开始起动。由于KM_1和KM_2之间存在着互锁，所以只有按下SB_2才能使M_1停止运行。同样的，电动机M_2通过SB_3起动、SB_4停止；电动机M_3通过SB_5起动、SB_6停止。SA打向2将起动自动控制模式，由PLC来控制，设计中采用西门子S7－200PLC的CPU226作为控制器，同时扩展一片EM235完成管网水压的检测与控制，接线如图4所示。PLC输出端口Q0.0～Q0.5分别对应电动机控制的接触器KM_1～KM_6，Q1.1～ Q1.3为指示灯HL_7～HL_9的输出控制。I0.0为供水模式信号输入端，白天为1，夜晚为0，昼/夜两种模式之间的切换依靠开关SA_1来控制。

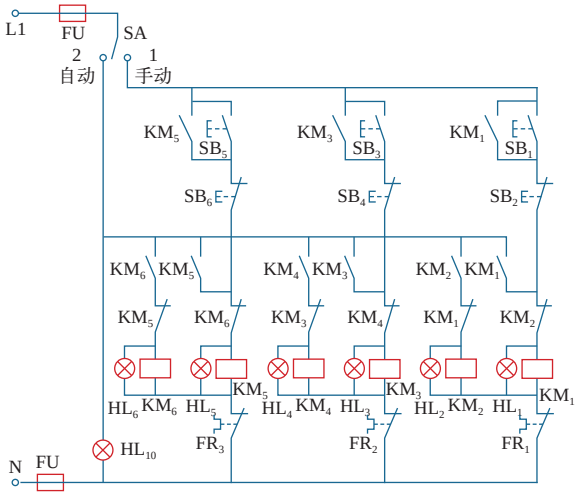

图3　手动自动切换电路

液位变送器将液位信号输入窗口比较器，表示液位上下限，接入I0.1端。I0.2端指示变频器的故障信号。用来控制变频器的输出频率的信号为AQW0，中间继电器KA的作用是对变频器的频率进行复位，由Q1.5控制。工频运行时，Q0.0与KM_1

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

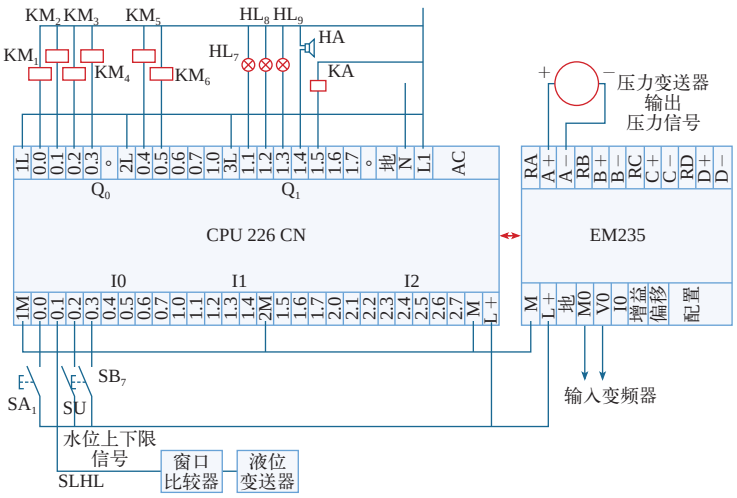

图4 PLC外部接线图

的触头相对应，PLC控制KM_1触头闭合，KM_1线圈带电，1#泵开始工频运行，工频运行指示灯HL_1同时点亮。变频运行：Q0.1与KM_2触头相对应，PLC控制KM_2触头闭合，KM_2线圈通电，由于KM_1和KM_2之间存在着互锁，此时KM_1的线圈将失电，其触头也将断开，工频运行停止，变频运行开始，变频运行指示灯HL_2同时点亮。2#泵和3#泵的工作过程与1#泵相类似。

2.3 控制算法设计与实现

2.3.1 算法设计

变频恒压供水系统的被控对象近视为等效一阶惯性加滞后系统，测量结果为$G_0(s)=\frac{2}{360s+1}e^{-90s}$。

采用Proportional Integral（PI）算法，用Ziegler Nichols（ZN）法整定参数得到PID控制参数为：$K_P=1.111$，$T_I=300$。此时系统单位阶跃响应的仿真曲线如图5所示。

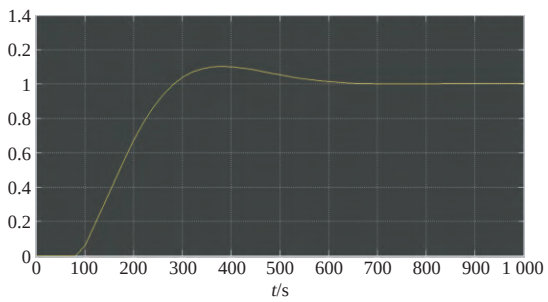

图5 控制系统单位阶跃响应的仿真曲线

由图5可知调节时间$t_s=700$ s，超调量$\sigma\%=10\%$，运行平缓，满足控制要求。

2.3.2 PLC算法实现

PLC算法程序包含主程序、子程序和中断程序。主程序起动时调用初始化子程序，对水泵的切换进行控制，还要实现水泵的“先起先停”的倒泵功能，最后还要有报警功能和故障处理功能。初始化子程序主要实现对系统上电初始化功能，设定各参数的初始值，对PID各参数以及采样时间进行设定。中断程序将AIW0中的采样数据转换成标准数据，转换成0～1之间的小数，经过PID运算后，再将标准数据转化成输出信号，由AQW0输出模拟信号。

3 系统组态设计与调试

3.1 OPC通信

OPC（OLE for Process Control）是一个开放的接口标准，利用OPC技术可以实现不同厂家、不同设备之间的数据交换。本系统中运用OPC技术实现Matlab与组态王之间的通信，Matlab和组态软件通过OPC通信协议实现了相互间的数据交换，借助Matlab OPC 工具箱可以方便地实现Matlab客户端与组态王服务器之间的数据通信。采用GUI方式实现Matlab与组态王之间实现OPC数据交换。在Simulink中需要用到OPC Read读数据模块和OPC Write写数据模块，读模块用于实现组态王对PID参数的设定，写模块用户Matlab将压力信号返送给组态王进行实时曲线显示[8]。连接方法如图6所示。

3.2 组态调试

采用内含OPC接口的亚控科技的组态王6.53软件来实现系统设计。新建一个名为“变频恒压供水组态”的工程创建动态的监控界面。添加PLC设备，定义数据变量，创建与Matlab数据交换的OPC服务器变量[9]。系统运行时的组态监控界面实时显示当前时间，设定的水压值和当前水压值，系统的自动/手动运行情况，三台水泵变频/工频运行状

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

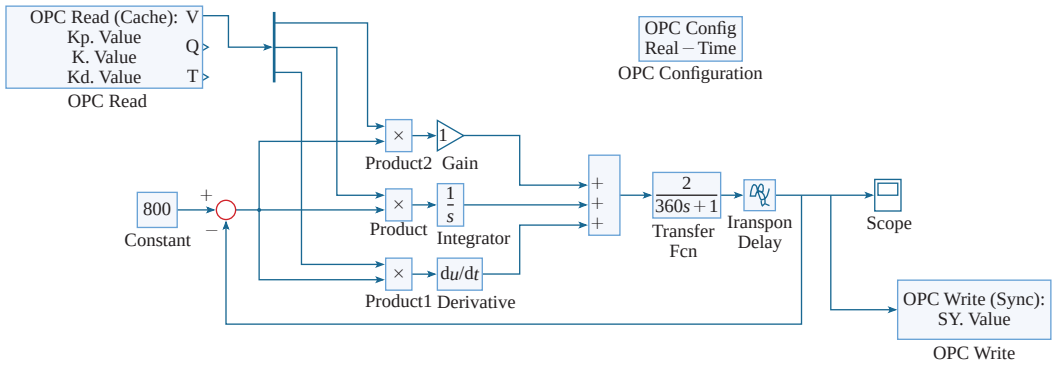

图6　组态与Matlab间OPC通信接口电路

态、转速及运行频率，各设备的故障报警显示等。运行过程中可以根据实际情况，三台水泵进行切换。1#水泵变频，2#和3#水泵工频运行如图7所示。

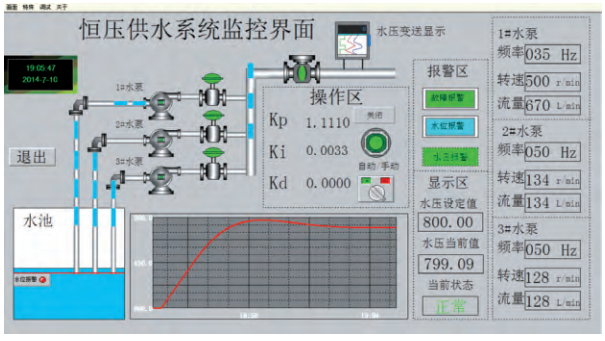

图7　系统组态运行调试界面

从图7可知，压力在较短的时间内达到稳态值，运行平稳，与Matlab仿真结果基本一致，恒压供水系统运行平稳，具有较好的抗扰动能力，直观、开放监控调试效果良好。

4　结束语

本文根据我国城市小区的供水要求，为了解决我国城市供水中普遍存在的压力不足和压力不稳定的问题，设计了这样一套系统。系统根据被控对象管网水压的特性，采用了变频循环供水的方式，由三台水泵电动机进行供水。将液位变送器检测压力信号送至PLC，经过PLC运算后控制变频器，进行达到水泵的运行，循环运行有效地保护了水泵电动机。较好地达到了供水系统的压力稳定、波动小、抗干扰性强与能无级调速运行的要求。同时运用OPC技术对系统进行组态监控，实现了恒压供水系统的直观和开放的特点。

参考文献

[1] 胡盘峰，陈慧敏．基于PLC的新型变频恒压供水系统设计 [J]．机械工程与自动化，2011，165 (2)：141-143．

[2] 王立凤．采用变频调速设计的恒压供水系统 [J]．电机与控制应用，2009，36 (4)：52-54．

[3] Suling Li，Lina Liu，Dawei Chen．Fuzzy control and simulation of the constant pressure water supply system for small-type water works [C]．2011 International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology，2011．

[4] 贺娟，古亮．变频恒压供水系统与监控系统设计 [J]．电气应用，2014，33 (4)：89-92．

[5] 张邦成，王华振，李淼．基于PLC控制的恒压供水系统设计 [J]．计算机测量与控制，2013，21 (8)：2136-2138．

[6] 冯冬青，孔祥伟，许仿．城市恒压变频供水系统的一种智能优化控制策略 [J]．郑州大学学报：工学版，2011，32 (1)：85-88．

[7] 黄永红．电气控制与PLC应用技术 [M]．北京：机械工业出版社，2011．

[8] 胡开明，傅志坚，葛远香．基于OPC与组态技术的自动控制实验教学仿真平台的开发 [J]．实验技术与管理，2013，30 (6)：50-53．

[9] 胡开明，李跃忠，王晓娟．基于PLC与组态技术的管道流量测控系统的研究 [J]．东华理工大学学报，2013，36 (1)：86-89．

（收稿日期：2015－08－08）EA

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net