

基于 PLC 的软启动变频双恒压无塔供水系统

孙立书

(浙江东方职业技术学院 工程系, 浙江 温州 325011)

摘要: 针对传统双恒压无塔供水系统电机使用寿命较短的问题, 设计出了一种新型的双恒压无塔供水系统。新型双恒压无塔供水系统采用可编程逻辑控制器(PLC)、软启动器和变频器控制技术, 其软启动器能够实现平滑启动、对电机无冲击, 可以延长电机寿命。实践结果表明, 新型供水系统比传统供水系统更节能, 节电率 17% 以上, 而且还能提高供水质量和供水可靠性。

关键词: 可编程逻辑控制器; 软启动器; 变频器; 双恒压; 无塔; 供水系统

中图分类号: TP39; TH39

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)06-0715-04

Double constant pressure water supply system without tower based on PLC and soft starter and variable voltage variable frequency inverter

SUN Li-shu

(Department of Engineering, Zhejiang Dongfang Vocational Technical College, Wenzhou 325011, China)

Abstract: Aiming at the problem of short life of the motor on the traditional two-constant pressure water supply system without the tower, a new two-constant pressure water supply system without the tower was designed. Programmable logic controller(PLC), soft starter and frequency control technology was used in the new two-constant pressure water supply system, so the smooth start will take place. Because there is no impact on the motor, the motor life was extended. The result shows that there will be more energy efficiency in the new water supply system than traditional water supply system, energy-saving rate of 17% or more, and also excellent water quality and water supply reliability.

Key words: programmable logic controller(PLC); soft starter; variable voltage variable frequency inverter; double constant pressure; no tower; water supply system

0 引言

在过去的双恒压无塔供水系统的电气设计中, 人们常常采用基于 PLC 的“单台变频器控制多台水泵切换的控制系统”, 以节约投资^[1]。但是这种控制系统存在较明显缺陷: 比如在某台电机从变频运行向工频运行切换的过程中, 由于在变频驱动切断后电机处于滑停运转方式, 此时, 电机处于感应发电状态, 存在着感应发电相位、频率、幅值与工频电源的相位、频率、幅值不一致, 造成在向工频切换时出现电流冲击现象。近年来, 国内外为解决这一问题进行了相关研究, 对提高电机和变频器的使用寿命, 提高供水可靠性具有重要的现实意义^[2]。针对这方面的要求, 出现了基于

PLC、软启动器和变频器的双恒压无塔供水系统。双恒压供水系统是指在供水网中用水量发生变化时, 出口压力保持不变的供水方式。供水网压力值时根据用户需求确定的。随着变频调速技术的日益成熟和广泛应用, 利用变频器(带 PID 控制)、传感器、PLC、软启动器等器件的有机结合, 构成控制系统, 调节水泵的输出流量, 实现恒压供水^[3-4]。

本研究探讨了基于 PLC 的软启动变频双恒压无塔供水系统。

1 工艺流程

系统结构框图如图 1 所示。

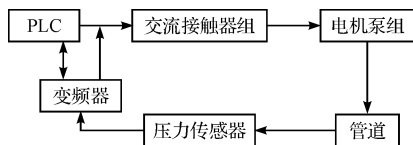


图1 系统结构图

该控制系统是一个三泵生活/消防双恒压无塔供水系统,工艺流程如图2所示。

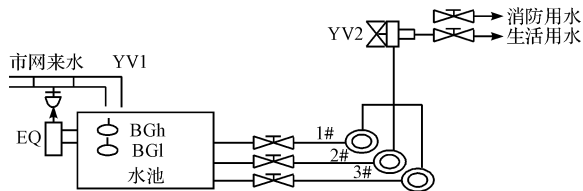


图2 生活/消防双恒压无塔供水系统工艺流程图

市网自来水用高低水位控制器 HL 来控制注水阀 YV1,能够自动把水注满储水池,只要水位低于高水位,则自动往水池中注水。水池的高低水位信号通过传感器检测送给 PLC,作为低水位报警用。为保证供水的连续性,水位上下限传感器高低距离不能相差很大。生活用水和消防用水共用 3 台泵,电磁阀 YV2 平时处于失电状态,关闭消防管网,3 台泵根据生活用水的多少,按一定的控制逻辑进行,使生活供水在恒压状态(生活用水低恒压值)下进行,当有火灾发生时,电磁阀 YV2 得电,关闭生活用水管网,3 台泵供消防用水使用,并根据用水量的大小,使消防供水也在恒压状态(消防用水高恒压值)下进行。火灾结束后,3 台泵再改为生活供水使用。

2 系统控制要求

对 3 泵生活/消防双恒压供水系统的基本要求是:

- (1) 生活供水时,系统应在低恒压值运行,消防供水时系统应在高恒压值运行;
- (2) 3 台泵根据恒压的需要,采取“先开先停”的原则接入和退出;
- (3) 3 台泵在启动时要有软启动功能;
- (4) 要有完善的报警功能;
- (5) 对泵的操作要有手动控制功能,手动只在应急或检修时临时使用。

3 控制系统硬件设计

3.1 系统工作流程及技术要求

通过分析,本研究确定输入/输出点数分别为 7 个和 13 个,PLC 输入/输出地址分配表如表 1 所示。

表 1 I/O 分配表

输入信号			输入信号		
地址	代码	功能	地址	代码	功能
I0.0	SF0	消防信号	I0.4	SF9	消铃按钮
I0.1	BGL	水池水位下限信号	I0.5	SF10	试灯按钮
I0.2	BGH	水池水位上限信号	AIW0	Up	远程压力表模拟量电压值
I0.3	KFU	变频器报警信号			
输出信号			输出信号		
地址	代码	功能	地址	代码	功能
Q0.0	KM1,L1	1#泵工频运行接触器及指示灯	Q1.1	L7	水池水位下限报警指示灯
Q0.1	KM2,L2	1#泵变频运行接触器及指示灯	Q1.2	L8	变频器故障报警指示灯
Q0.2	KM3,L3	2#泵工频运行接触器及指示灯	Q1.3	L9	火灾报警指示灯
Q0.3	KM4,L4	2#泵变频运行接触器及指示灯	Q1.4	PB	报警电铃
Q0.4	KM5,L5	3#泵工频运行接触器及指示灯	Q1.5	KF	变频器频率复位控制
Q0.5	KM6,L6	3#泵变频运行接触器及指示灯	AQW0	Vf	控制变频器频率电压信号
Q1.0	MB2	生活/消防供水转换电磁阀			

3.2 PLC 系统选型

PLC 控制单元选用西门子 s7-200 系列,该系列可编程控制器具有高可靠性,抗干扰能力强,性价比高等特点。s7-200 系列 PLC 可用梯形图、语句表和功能块图进行编程,指令丰富,功能强,操作方便。从上面的 I/O 分配表可以知道,系统共有开关量输入点 6 个,开关量输出点 12 个;模拟量输入点 1 个,模拟量输出点 1 个,总体配置硬件如下:

- (1) 中央处理模块(CPU)选用 CPU222(8 入/6 继电器输出)1 台;
- (2) 数字量输出模块:EM222(8 点继电器输出)1 台;
- (3) 模拟量输入输出模块:EM235(4AI/1AO)1 台。

3.3 电气控制系统工作原理

电气控制系统原理图包括主电路图、控制电路图和 PLC 外围接线图。

(1) 主电路图。三泵循环主电路控制原理图如图 3 所示^[4]。3 台电动机分别为 MA1、MA2、MA3。接触器 KM1、KM3、KM5 分别控制 MA1、MA2、MA3 的工频运行;接触器 KM2、KM4、KM6 分别控制 MA1、MA2、MA3 的变频运行,FR1、FR2、FR3 分别为 3 台水泵电动机过载保护用的热继电器;FU1、FU2、FU3、FU4、FU5、FU6、FU7、FU8、FU9 为电动机工频运行短路保护的熔

断器。 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 分别为变频器和 3 台水泵电动机主电路的隔离开关; Q_1 为主电源电路总开关, VVVF 为西门子 MM440 变频器^[5]。ATS48 为软启动器。

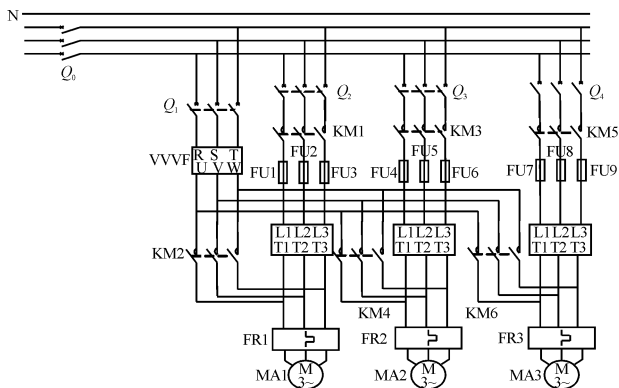


图3 3泵循环主电路控制原理图

(2) 控制电路图:3 泵循环 PLC 控制回路原理图如图 4 所示。图中 SF 为手动/自动转换开关, SF 打在 1 的位置为手动控制状态;打在 2 的状态为自动控制状态。手动运行时,可用按钮 SF1 ~ SF8 控制 3 台泵的启/停和电磁阀 MB2 的通/断;自动运行时,系统在 PLC 程序控制下运行。由于电磁阀 MB2 没有触点,所以要使用一个中间继电器 KF1 间接控制 MB2,来实现 MB2 的手动自锁功能。图中的 PG10 为自动运行状态电源指示灯。对变频器频率进行复位时只提供一个干触点信号。由于 PLC 为 4 个输出点可作为一组共用一个 COM 端,而该系统又没有剩下的单独的 COM 端输出组,所以通过一个中间继电器 KF 的触点对变频器进行复位控制。图中的 Q0.0 ~ Q0.5 及 Q1.0 ~ Q1.5 为 PLC 的输出继电器触点。

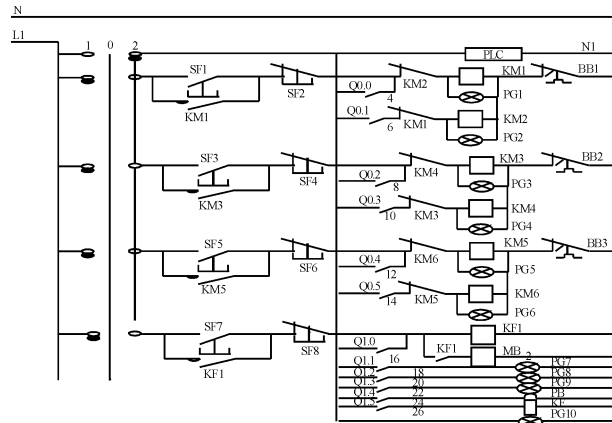


图4 PLC 控制回路原理图

(3) 软启动器的工作过程:软启动器采用三相反并联晶闸管作为调压器,将其接入电源和电动机定子之间。使用软启动器启动电动机时,晶闸管的输出电压逐渐增加,电动机逐渐加速,直到晶闸管全导通,电

动机工作在额定电压的机械特性上,实现平滑启动,降低启动电流,避免启动过流跳闸。待电机达到额定转数时,启动过程结束。软启动器同时还提供软停车功能,软停车与软启动过程相反,电压逐渐降低,转数逐渐下降到零,避免自由停车引起的转矩冲击^[6]。

软启动与传统的减压启动方式的不同之处是:①无冲击电流,软启动器在启动电机时,通过逐渐增大晶闸管导通角,使电机启动电流从零线性上升到设定值,对电机无冲击,延长机器使用寿命。②有软停车功能,即平滑减速,逐渐停机。它可以克服瞬间断电对机械的冲击,避免供水系统的“水锤效应”,减少设备损坏。③启动参数可调,根据负载情况及电网继电保护特性选择,可自由地无极调整至最佳启动电流。

由图 4 可见,采用的一控三方式,每台电机水泵既可以变频运行,又可以工频运行,但系统运行中始终只有一台变频电机水泵运行,其他电机水泵根据实际需要来决定是否工频运行。变频器恒压供水系统采用电位器设定压力,采用压力传感器检测管网中压力,压力传感器将采集信号送入 PID 回路, PID 回路处理之后,送出水量增加或减少信号,控制电动机转速。如在一定延时时间里,压力还是不足或过大,则通过 PLC 作工频/变频处理,供水泵数量增加/减少,使实际管网压力与设定压力相一致,另外,随着用水量的减少,供水泵投入运行数量减小,变频器自动减少输出频率,达到了节能的目的^[7]。3 台水泵根据用水量的多少,按一定的控制逻辑运行,使供水在恒压状态下进行^[8]。3 台泵的具体工作流程如图 5 所示。

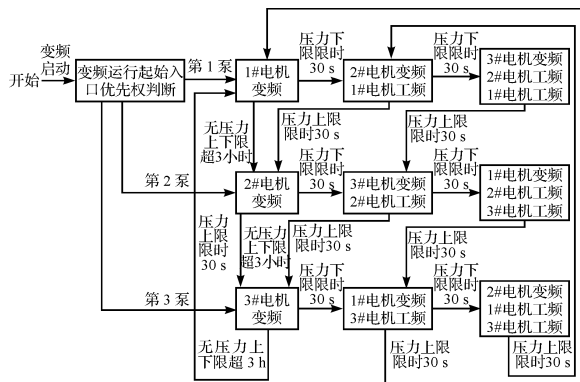


图5 3台泵的工作流程图

假如压力低,给 PLC 一个压力下限信号,PLC 启动变频器,根据优先权判断哪一个泵先启动。以 1# 泵为例说明工作过程:使 1# 泵处于变频工作状态,输出的频率逐渐增大,经过一段时间的调节,如压力还低时,PLC 让 1# 泵处于工频状态工作,2# 泵变频工作状态,如压力还低,让 1# 泵处于工频状态工作,2# 泵处于

工频状态工作使 3#泵处于变频工作状态。当压力达到上限报警值时,变频器频率降低,低到频率下限设定值时,变频器给出一个频率下限信号给 PLC,PLC 根据先启先停的原则控制泵的运行顺序。例如,PLC 收到频率下限信号时,系统中泵的状态是 1#工频、2#工频、3#变频,这时 1#泵最先启动,所以先停,接着如果压力还高,则停 2#泵。系统采用了每次都进行低速启动、高速运行以提高运行效率^[9-10]。

当某台电机故障或需要检修某台电机水泵时,控制系统将退减到 2 泵循环方式自动工作;当变频器出

现故障时,控制系统将采用工频驱动方式控制泵的运行与停止,来保证供水的压力在一定的范围内,但系统无法满足压力值的恒定,同时发出报警蜂鸣声响,通知操作人员进行处理;当消防信号到来时,PLC 控制将转入子程序段执行,关断生活用水,打开消防供水阀,实现对消防管道补充供水目的,系统将根据在 PLC 程序中设置的消防供水压力设定值自动地完成恒定稳压消防供水。当消防信号解除后,系统自动恢复到变频恒压供水工作状态。

(4) PLC 外围接线图如图 6 所示。

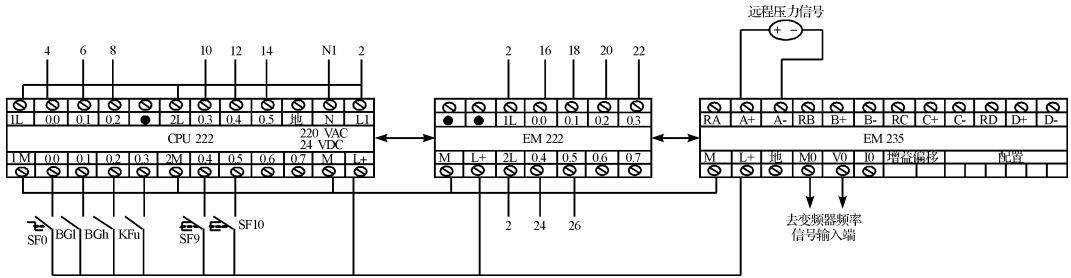


图 6 恒压供水控制系统 PLC 及扩展模块外围接线

4 控制系统软件设计

系统程序分为 3 部分:主程序、子程序和中断程序^[11]。

逻辑运算及报警处理等放在主程序,系统初始化的一些工作放在初始化子程序中完成。利用定时器中断功能实现 PID 控制的定时采样及输出控制。生活供水时系统设定值为满量程的 80%,消防供水时系统设定值为满量程的 80%。该系统中只采用 P(比例)和 I(积分)控制,其回路增益和时间常数可通过工程计算初步确定。经过计算得到的时间常数为:增益 $K_c = 0.25$;采用时间 $T_s = 0.2\text{ s}$;积分时间 $T_i = 30\text{ min}$ 。以 1#电动机为例,启动程序流程图如图 7 所示。

5 系统实施效果

系统投入使用的是 1#、2#、3# 3 台水泵工作,其中 3#泵是小功率泵,则通过运行观察,统计出 3 台泵利用停止泵运转方式,工作一天的运行时间为:3#泵 24 h,1#泵大致运行 10 h,2#泵仅运行 13 h。其中,1#泵、2#泵的额定功率是 30 kW,3#泵的额定功率是 15 kW。

运行功率为:

$$[(15 \times 24) + (30 \times 10) + (30 \times 13)] \times 360 = 475\ 200 (\text{kW} \cdot \text{h})$$

采用变频器的恒压供水系统,在变频器作用下,系统节约的功率可用经验公式表示,即:

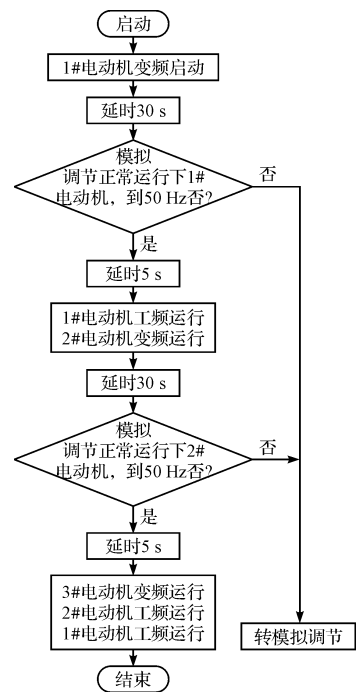


图 7 启动程序流程图

$$\Delta p = p_0 (0.4 + 0.6\chi - \chi^3)$$

$$\text{且: } \chi = Q/Q_0$$

式中: Q —实时水量, Q_0 —满负荷的水量, p_0 —满负荷时的功率。

利用变频工作时,1#泵工作 9 h,2#泵工作 5 h,3#泵工作 15 h。如果水量调到 80%,即实时水量是满负荷水量的 0.8,则 3 个泵的节电量为:

(下转第 731 页)

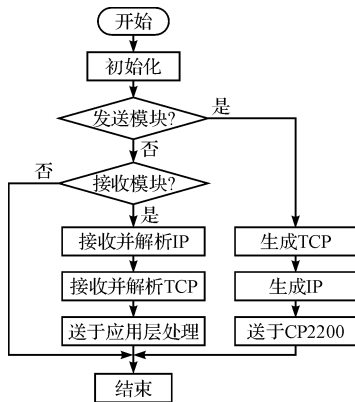


图9 网络互连程序流程图

5 结束语

本研究在电子实验室完成泊车引导装置的软件、硬件设计和测试,泊车引导装置基于MSP430和CP2200,具有空闲车位引导、状态实时检测、远距离数据传输等功能,包括LED显示模块、红外车位探测模块、中央控制器(PC)、主副MCU、车位占用灯模块和传输模块,有效解决“车主无法了解车位相关信息,花许多时间寻找空车位,造成停车难、停车时间长”等问

题,可以在停车场入口处实时显示各区或各层的车位使用情况和最佳的路径,方便司机找寻快捷的空闲停车位,可以提高司机的停车效率,值得在社会上推广。

参考文献(References):

- [1] Texas Instrument. MSP430F21x1 Architecture Summary[Z]. Texas Instrument, 2007.
- [2] Texas Instrument. MSP430F21xx Family User's Guide[Z]. Texas Instrument, 2007.
- [3] Texas Instrument. MSP-FET430 Flash Emulation Tool(FET) User's Guide[Z]. Texas Instrument, 2007.
- [4] 沈建华. MSP430系列16位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2001.
- [5] 何锐波,赵英俊. 一种以太网与8位单片机的连接方法[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2002(7): 15-17.
- [6] 付冲,陈英. 一种通用嵌入式系统以太网接口的设计以实现[J]. 山东大学学报:自然科学版, 2005, 6(3): 93-97.
- [7] Silicon Laboratories Inc.. CP2200/1 Complete Datasheet[Z]. USA: Silicon Laboratories Inc., 2006.

[编辑:李辉]

(上接第718页)

$$p \times t = (360 \times 14 \times 30 + 15 \times 15 \times 360) \times (0.4 + 0.6 \times 0.8 - 0.8^3) = 85\,449 (\text{kW} \cdot \text{h})$$

$$\text{节电率} = \text{变频节电量} / \text{停止泵运转耗电量} = 85\,449 / 475\,200 = 17.8\%$$

6 结束语

本研究采用PLC、变频器和软启动器实现双恒压无塔供水系统。实践结果证明,在“一控三”方式中,每台电机水泵既可以变频运行,又可以工频运行,但系统运行中始终只有一台变频电机水泵运行,其它电机水泵根据实际需要来决定是否工频运行。与以往工程相比,节电率达到17%以上,起到很好的节能效果。软启动器不仅实现平稳启动,而且启动电流低,对水泵及管道无冲击,同时也避免了某台电机从变频运行向工频运行切换过程中所造成的电流冲击现象。

参考文献(References):

- [1] 杨友平,翁惠辉. 用PLC实现分段式恒压供水系统的控制[J]. 机电工程技术, 2010, 39(9): 46-48.
- [2] 李方园. 变频器自动化工程实践[M]. 北京:电子工业出

版社, 2007.

- [3] COULBECK B, TENNANT S. Development of a demand prediction program for use in optimal control of water supply[J]. *Systems Science*, 1985, 11(1): 762-780.
- [4] 戴仙金. 西门子S7-200系列PLC应用与开发[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2007.
- [5] 西门子公司. MICROMASTER 440用户手册[M]. 西门子公司, 2003.
- [6] 王仁祥. 常用低压电器原理及其控制技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2007.
- [7] 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.
- [8] 周力. 基于PLC的变频恒压供水模糊控制系统设计[J]. 机电工程, 2005, 22(3): 4-7.
- [9] 马宁,孔红. S7-300PLC和MM440变频器的原理与应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2006.
- [10] 王永华. 现代电气控制及PLC应用技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2008.
- [11] 西门子公司. SIMATIC S7-200可编程序控制器系统手册[M]. 西门子公司, 2004.

[编辑:张翔]