

# PLC及变频调速技术在泵站恒压供水中的应用

赵勇飞,陈启卷

(武汉大学 动力与机械学院,湖北 武汉 430072)

**摘要:**根据工业恒压供水的要求,采用 PLC与变频调速技术对供水泵组进行控制,并在控制系统中引进了软硬件双重滤波技术和数字 PID在线控制技术。介绍了系统的硬件构成、软件设计、工作原理、运行方式、参数整定等。长时间的运行表明系统的稳定性和安全性很好。

**关键词:**恒压供水;变频调速;水泵;PLC

**中图分类号:**TP273 **文献标识码:**B **文章编号:**1000-0682(2004)04-0051-03

## The application of PLC and VFSR to isobaric water supply

ZHAO Yongfei, CHEN Qi-juan

(School of Power Mechanics, Wuhan University, Hubei Wuhan 430072, China)

**Abstract:** The paper studies the application of PLCs, frequency variable and speed regulating (VFSR) technology to the control of water supply pumps. It introduces hardware and software filtering and digital PID on-line control to a control system whose hardware configuration, software design, working principles, operation modes and parameter tuning are proposed in this paper too. Long-time operations have proved that the system is of high stability and safety.

**Keywords:** isobaric water supply; VFSR; water pump; PLC

## 0 引言

供水系统是国民生产生活中不可缺少的重要一环。传统供水方式占地面积大,水质易污染,基建投资多,而最主要的缺点是水压不能保持恒定,导致部分设备不能正常工作。变频调速技术是一种新型成熟的交流电机无极调速技术,它以其独特优良的控制性能被广泛应用于速度控制领域,特别是供水行业中。由于安全生产和供水质量的特殊需要,对恒压供水压力有着严格的要求,因而变频调速技术得到了更加深入的应用。恒压供水方式技术先进、水压恒定、操作方便、运行可靠、节约电能、自动化程度高,在泵站供水可完成以下功能:(1)维持水压恒定;(2)控制系统可手动/自动运行;(3)多台泵自动切换运行;(4)系统睡眠与唤醒。当外界停止用水时,系统处于睡眠状态,直至有用水需求时自动唤醒;(5)在线调整 PID 参数;(6)泵组及线路保护检测报警,信号显示等。其工作原理如图 1 所示。

将管网的实际压力经反馈后与给定压力进行比较,当管网压力不足时,变频器增大输出频率,水泵

转速加快,供水量增加,迫使管网压力上升。反之水泵转速减慢,供水量减小,管网压力下降,保持恒压供水。

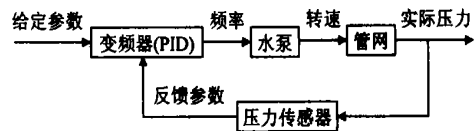


图 1 恒压供水系统的工作原理图

## 1 系统硬件构成

系统采用压力传感器、PLC和变频器作为中心控制装置,实现所需功能。图 2 为 3 台泵恒压供水系统的结构图。

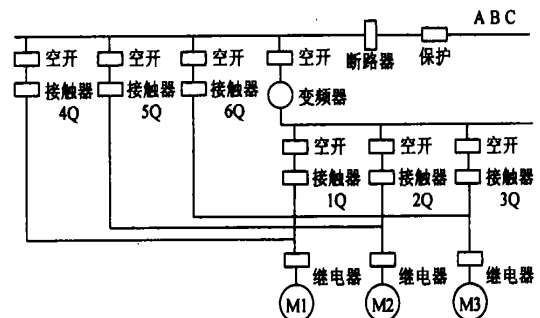


图 2 恒压供水系统的结构图

安装在管网干线上的压力传感器,用于检测管

收稿日期:2003-11-11

作者简介:赵勇飞(1979-),男,硕士生,主要从事水电厂动力设备及控制诊断技术研究。

网的水压,将压力转化为 4~20mA 的电流信号,提供给 PLC 与变频器。

变频器是水泵电机的控制设备,能按照水压恒定需要将 0~50Hz 的频率信号供给水泵电机,调整其转速。ACS 变频器功能强大,预置了多种应用宏,即预先编置好的参数集,应用宏将使用过程中所需设定的参数数量减小到最小,参数的缺省值依应用宏的选择而不同。系统采用 PID 控制的应用宏,进行闭环控制。该宏提供了 6 个输入信号:启动/停止(DI1、DI5)、模拟量给定(AI1)、实际值(AI2)、控制方式选择(DI2)、恒速(DI3)、允许运行(DI4);3 个输出信号:模拟输出(频率)、继电器输出 1(故障)、继电器输出 2(运行);DIP 开关选择输入 0~10V 电压值或 0~20mA 电流值(系统采用电流值)。变频器根据给定值 AI1 和实际值 AI2,即根据恒压时对应的电压设定值与从压力传感器获得的反馈电流信号,利用 PID 控制宏自动调节,改变频率输出值来调节所控制的水泵电机转速,以保证管网压力恒定要求。

根据泵站供水实际情况与需求,利用一台变频器控制 3 台水泵,因此除改变水泵电机转速外,还要通过增减运行泵的台数来维持水压恒定,当运行泵满工频抽水仍达不到恒压要求时,要投入下一台泵运行。反之,当变频器输出频率降至最小,压力仍过高时,要切除一台运行泵。所以不仅需要开关量控制,还需数据处理能力,采用 FX-4AD(4 模拟量入)获得模拟量信号。它在应用上的一个重要特征就是由 PLC 自动采样,随时将模拟量转换为数字量,放在数据寄存器中,由数据处理指令调用,并将计算结果随时放在指定的数据接触器中。通过其可将压力传感器电流信号和变频器输出频率信号转换为数字量,提供给 PLC<sup>[1]</sup>,与恒压对应电流值、频率上限、频率下限(考虑到水泵电机在低速运行时危险,必须保证其频率不低于 20Hz,因此频率上限设为工频 50Hz,下限设为 20Hz)进行比较,实现泵的切换与转速的变化。

系统在设计时应使水泵在变频器和工频电网之间的切换过程尽可能快,以保证供水的连续性,水压波动尽可能小,从而提高供水质量。但元件动作过程太快,会有回流损坏变频器。为了防止故障的发生,硬件上必须设置闭锁保护,即 1Q 与 4Q,2Q 与 5Q,3Q 与 6Q 不能同时闭合。

## 2 系统软件设计

控制系统软件是指用梯形图语言编制的对 3 台泵进行控制的程序。它对 3 台泵的控制,主要解决

系统的手动及自动切换、各元件和参数的初始化、信号及通讯数据的预处理、3 台泵的启动、切换及停止的条件、顺序、过程等问题。

当变频器输出频率达到频率上限,供水压力未达到预设值时,发出加泵信号,投入下 1 台泵供水。当供水压力达到预设值,变频器输出频率降到频率下限时,发出减泵信号,切除在工频运行方式中的 1 台泵。系统刚启动时,情况简单,首先启动一号泵即可。但考虑 3 台泵联合运行时情况复杂,任 1 台或 2 台泵可能正在工频自动方式下运行,而其他泵则可能在变频器控制下运行,因此必须预先设定增减水泵的顺序。即获得加泵信号后,按照 1 号泵、2 号泵、3 号泵的顺序优先考虑。获得减泵信号后,按照 3 号泵、2 号泵、1 号泵的顺序优先考虑。

为了防止故障的发生,软件上也必须设置保护程序,保证 1Q 与 4Q,2Q 与 5Q,3Q 与 6Q 不能同时闭合。在加减泵时必须设置元件动作顺序及延时,防止误动作发生。系统切换泵流程见图 3。

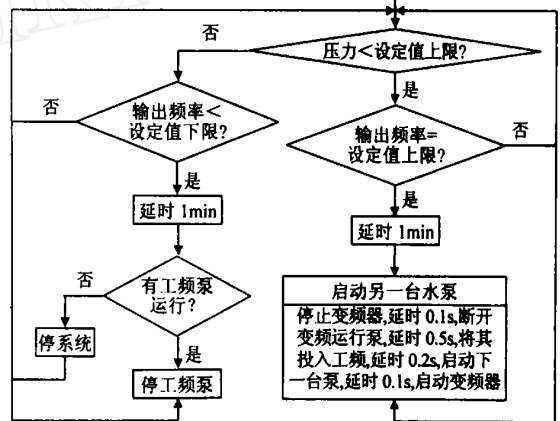


图 3 系统切换泵流程

考虑到系统工作环境对运行状态的影响,在设计中采用硬件、软件上的双重滤波来消除干扰的影响。硬件上变频器提供了滤波时间常数,当模拟输入信号变化时,63%的变化发生在所定义的时间常数中;软件上采用数字滤波的方式,系统采用平均值的方法<sup>[2]</sup>。计算最近 10 次采样的平均值,其计算公式如下:

$$A g = \frac{1}{10} \sum_{i=0}^9 D_i$$

## 3 系统参数的确定

系统变频运行主要靠变频器来实现。变频器有一数量很大的参数群,初始情况下,只有所谓的基本参数可以看到。只需设定简单的几个参数,变频器就可以工作。主要基本参数见表 1。

表1 主要基本参数的设定

代码	名称	含义	设定值
1303	FilterAI1	滤波时间	7.5
2007	MinimumFreq	最小输出频率	20 Hz
2102	StopFunction	停车方式	电机惯性停车
2606	U/FRatio	U/F 比	平方型
9902	ApplicMacro	选择应用宏	PID控制
9908	MotorNOmSpeed	电机额定频率	1 440r/min
9909	MotorNomPower	电机额定功率	36 kW

除基本参数外,还必须对完整参数进行设定。

完整参数的设定主要是 PID 参数的整定,它是按照工艺对控制性能的要求,决定调节器的参数  $K_p, T_I, T_D$ 。控制表达式为:

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

$$U(t) = K_p [ e(t) + (1/T_I) \int e(t) dt + T_D (de(t)/dt) ]$$

其增量式为:

$$U(n) = q_0 e(n) + q_1 e(n-1) + q_2 e(n-2)$$

其中  $q_0 = K_p (1 + T_s/T_I + T_D/T_s)$

$q_1 = K_p (1 + 2 T_D/T_s)$

$q_2 = K_p T_D/T_s$

系统运算程序见图4。

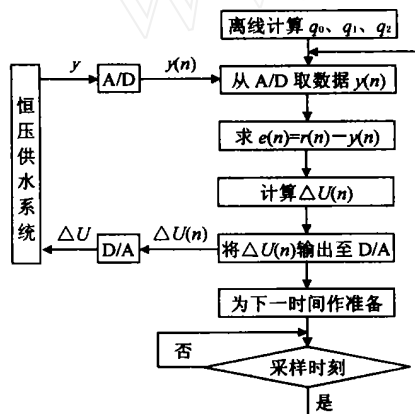


图4 系统运算程序

变频器根据偏差调节 PID 的参数,当运行参数远离目标参数时,调节幅度加快,随着偏差的逐步接近,跟踪的幅度逐渐减小,近似相等时,系统达到一个动态平衡,维持系统的恒压稳定状态<sup>[3,4]</sup>。

### 4 试验结果

由于系统的显示和通讯功能,可以对系统工作情况监测。考虑到管网覆盖面积大,泵站海拔高度相对低,远端供水压力需维持 3kg,因此泵站出水口压力必须维持 5kg。试验条件为管网初始无压力,电磁阀控制一定量相同用水情况下启动系统。

获得的数据经 MATLAB 进行插值拟合可得系统在不同条件下跟踪压力变化的曲线<sup>[5]</sup>。

试验记录的数据显示,系统在未进行滤波和 PID 控制时,响应速度特别慢、误差大、振荡严重,见图5。在未进行滤波而引入数字 PID 控制时,响应速度明显加快,但振荡问题未能得到解决,这是由于喘振现象的存在;当管道压力与设定值近似相当时,水锤效应影响明显,压力波动异常,PID 的参数跟踪整定,形成恶性循环,管道中空气的存在也会导致振荡问题,见图6。引入滤波与数字 PID 控制后,系统控制品质明显好转,响应速度快,克服了振荡问题,见图7。表2为试验数据表。

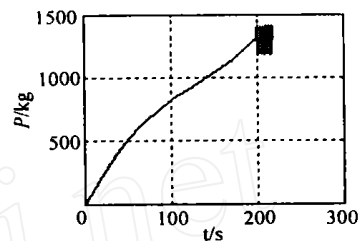


图5 未加入滤波、数字 PID 控制,仅比例参数为 1 情况

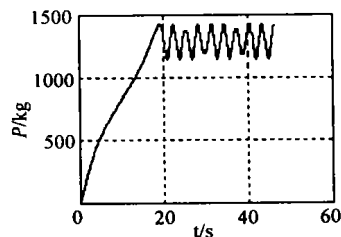


图6 未加入滤波,而加入数字 PID 控制情况

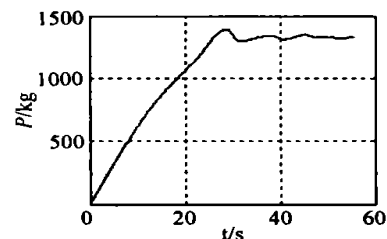


图7 加入滤波、数字 PID 控制情况

表2 试验数据表

	图5	图6	图7
振荡最大峰值	1 411	1 456	仅第 1 次 1383
恒压对应值	1 325	1 325	1 325
	(5kg)	(5kg)	(5kg)
振荡最低谷值	1 173	1 124	1 296
压力到达恒定时间	197	18	26
振荡周期	2.8	2.8	第 1 次 7, 稳定后只有小的抖动
频率振荡区域 (Hz)	37.1 ~ 43.0	36.6 ~ 44.4	仅出现一次较大振荡

(下转第 55 页下)

工作。

采用的干扰抑制措施有:

#### (1) 屏蔽

采用屏蔽技术能有效地抑制来自电场和磁场的干扰。对元器件进行屏蔽(变压器、电感等)减少其对周围电路的电磁干扰;对传输线进行屏蔽,信号线采用屏蔽线,减少外部干扰;对部件进行屏蔽,减少电磁场干扰。

#### (2) 隔离

常用的隔离器件有光电耦合器、继电器等。隔离既解决了器件之间的电平匹配,又抑制了干扰信号。

#### (3) 滤波

滤波是最常用的办法。每个集成电路的电源引脚接1只 $0.1\mu\text{F}$ 的滤波电容,减少该IC的干扰和被干扰信号;当系统有几块印制电路板时,在各印制电路板的电源进线端就近安装滤波电容;系统的供电接相应的电源滤波器。

#### (4) 地线的处理

在单片机控制系统中,接地是抑制干扰的重要内容。在设计时若能将接地和屏蔽正确地结合在一起,可以解决大部分干扰引起的故障。接地包括两部分的内容:一是接地点是否正确;二是接地点是否牢固。接地点选择正确可以防止系统各部分的串扰,接地点牢固可使接地点处于零阻抗,降低接地电位,防止接地系统的共模干扰。单片机控制系统中地线有许多类型,有保护接地和工作接地两大类。保护接地主要是为了避免工作人员因设备绝缘损坏或性能下降时,遭受到触电危险和保证设备的安全,而工作接地则主要是保证控制系统稳定可靠的运行,防止地环路引起的干扰,在单片机控制系统中,地线大致可分为以下几类:a)模拟地 放大器、采样保持器以及A/D转换器和比较器的零电位;b)数字地 也叫逻辑地,是数字电路的零电位;c)交流地 交流电源的零线;d)直流地 直流电源的地线;e)信号地 传感器件的地电平;f)功率地 大电流网络元件功放器件的零电位;g)屏蔽地 一般同机壳相连,为防止静电感应而设置,常和大地相接。不同的

地线有不同的处理方法,要根据系统的实际情况,具体问题具体分析。

A:一点接地和多点接地 在低频电路中,布线和元件之间的电感不会产生太大的影响,常采用一点接地,若采用多点接地,形成地环路,对于干扰更敏感。而在高频电路中,寄生电容和电感影响较大,宜采用多点接地。通常频率小于1MHz时,采用一点接地,频率高于10MHz时采用多点接地。

B:数字地和模拟地必须分开 即使是对于A/D、D/A转换器同一个芯片上的两种接地也最好分开,仅在系统一点上把两种接地连接起来。

C:交流地和信号地不要共用 在电源地线的两点之间的电压会有数毫伏,甚至更大。这个电压对低电平电路将是一个严重的干扰,因此两个地不能相通。

D:浮地和接地 系统浮地,是将系统电路的各个部分地线浮置起来,不与大地相连。这种接法,有一定抗干扰能力。但系统与地的绝缘电阻不能小于50M,一旦绝缘下降,便会带来干扰。通常采用系统浮地、机壳接地,可使抗干扰能力增强,安全可靠。

E:印制电路板地线分布 1)TTL、CMOS器件的地线要呈辐射网状,其他地线不要形成环路;2)地线应尽量宽,最好不要小于3mm;3)旁路电容地线不要太长;4)大规模集成电路最好跨越平行的地址和电源线,以消除干扰。

F:由于传感器和机壳之间容易引起共模干扰,为提高抗共模干扰能力,特别要注意接地方法,一般A/D转换器的模拟地采用浮空隔离,并可采用三线采样双层屏蔽浮地技术,就是将地线和信号线一起采样,这样可有效地抑制共模干扰。

对于单片机应用系统的各种干扰采取上述措施,可大大提高系统的稳定性。

参考文献:

- [1] 涂时亮. 单片机微机控制技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社.
- [2] 张凯. MCS51单片机综合系统及其设计[M]. 北京:科学出版社,1996.

(上接第53页)

该系统是按照工业生产需求设计的,实现了预定的一系列功能,保证了系统的稳定性和安全性,在长时间运行中取得了良好的效果。只需作相应修改就可推广到相关供水系统中。

参考文献:

- [1] 钟肇新. 可编程控制器原理及应用[M]. 广州:华南理

工大学出版社,1993.

- [2] 张建奇. 数字PID变频调速在PLC恒压供水中的应用[J]. 北京:微计算机信息,2002,18(4).
- [3] 任成玉. 计算机控制技术与系统[M]. 北京:水利电力出版社,1985.
- [4] 何克忠. 计算机控制系统分析与设计[M]. 北京:清华大学出版社,1988.
- [5] 孙德宝. 自动控制原理[M]. 北京:化学工业出版社,2002