

基于 PLC 的泵站供水控制系统的设计

刘宜¹, 方桂笋¹, 李晨晨¹, 刘景伟²

(1. 兰州理工大学 流体动力与控制学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 扶沟县城关镇第一初级中学, 河南 扶沟 461300)

摘要: 针对恒速系供水系统中依靠节流调节维持水压稳定的一些缺陷, 为了从根本上解决系统用电效率低、供水压力波动大等疑难问题, 以 PLC 和变频器为控制中心, 设计了一套变频调速恒压供水系统。在此系统中, PLC 将压力设定值与测量值的偏差经 PID 运算后得到的控制量作用到变频器, 从而系统可通过变频器控制水泵的转速来调节管网的压力, 实现恒压供水的目的。该系统供水压力稳定, 自动化程度高, 节能效果显著, 长期运行稳定可靠。

关键词: 泵站; 可编程控制器; 供水; 变频调速; 节能

中图分类号: TH311; S277 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-6254(2007)06-0017-04

Design of water supply control system based on PLC

LIU Yi¹, FANG Gui-sun¹, LI Chen-chen¹, LIU Jing-wei²

(1. School of Fluid Power and Control Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, Gansu 730050, China; 2. The First Primary School of Chengguan Town in Fugou County, Fugou, Henan 461300, China)

Abstract: The automatic water supply system with speed adjusted by PLC and VVVF (Variable Voltage and Variable Frequency) was introduced. PLC was used to process the logical and PID control, and VVVF was used to adjust the feed water pump speed. For this water supply system under constant pressure it is designed a suit of PLC controlling system based on variable frequency speed regulating technology. The system consists of pressure sensors, transducer, pumps, relays, contact device and so on. By comparing the setting value and measuring value of pressures, the deviation is obtained. Then the control volume is obtained by the PID operation to affect the transducer. Thus the pump rotational speed is controlled through transducer to adjust the pressure of the pipe net work and to realize the constant pressure water supply goal. The constant feed water pressure with highly automatic operation could be provided. The control system was energy-saving with steady work conditions.

Key words: pump station; PLC; water supplying; variable-frequency speed regulation; energy saving

据统计,从1998~2000年,我国人均日生活用水量(包括城市公共设施等非生产用水)增长37.6%,与此同时,我国城市家庭人均日生活用水量也在逐年提高^[1]。在用水量高峰期时供水量普遍不足,造成城市公用管网水压浮动较大。用水低峰期时供水压力过高,不仅十分浪费能源,而且存在事故隐患,例如容易造成爆管事故等。

针对以上问题,作者设计了一套以 PLC 控制为核心、变频调速技术为基础的双恒压供水控制系统。将 PLC 用于恒压供水系统中,不仅简化了系统的硬件,减少了系统在硬件上出现故障的次数,提高了硬件系统的抗干扰能力,而且,随着社会的发展和进步、通信技术的快速发展,为实现系统的远程控制奠定了基础,同时,也解决了城市高层建筑和居民小区

收稿日期: 2007-06-18

作者简介: 刘宜(1955-),男,甘肃兰州人,高级工程师,硕士生导师,主要从事流体机械开发的研究。
方桂笋(1981-),男,安徽安庆人,硕士研究生,主要从事流体机械现代控制技术的研究。

的供水问题^[2]。

1 水泵调速运行时的节能原理

图1中,水泵运行工况点D是泵的特性曲线 n_N 与管路阻力曲线 R_1 的交点。当用阀门控制时,由于要减小流量,则关小阀门开度,使阀门的摩擦阻力变大,阻力曲线从 R_1 移到 R_2 ,扬程则从 H_0 上升到 H_1 ,流量从 Q_N 减小到 Q_1 ,运行工况点从D点移到A点。

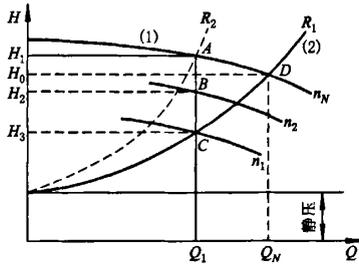


图1 水泵调速的 $H-Q$ 曲线

当调速控制时,阻力曲线 R_1 不变,泵的特性取决于转速,如果将转速由 n_N 变到 n_1 ,结果运行工况点从D点移到C点,扬程从 H_0 降到 H_3 ,流量从 Q_N 减小到 Q_1 ,泵在A点、C点运行时的轴功率分别为

$$P_A = \frac{Q_1 H_1 \rho}{102 \eta}, P_C = \frac{Q_1 H_3 \rho}{102 \eta}$$

式中, P 为泵使用工况点轴功率,kW; Q 为使用工况点的流量, m^3/s ; H 为使用工况点的扬程,m; ρ 为输出介质单位体积质量, kg/m^3 ; η 为使用工况点的泵效率,%。

将 P_A 与 P_C 两式相减得出使用调速控制时节省的功率:

$$\Delta P = P_A - P_C = \frac{Q_1 (H_1 - H_3) \rho}{102 \eta}$$

Q, H, P, n 之间的关系为^[3]

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2; \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

由此可知,若所需流量为额定流量的80%,则轴功率仅为额定轴功率的51.2%,节能效果相当显著^[4]。

2 系统组成

本系统采用PLC构成自动控制系统,可实现手动开环调节、自动闭环调节、远程控制及本地控制。每台电机均设置单独的控制面板,具有频率显示、工作状态显示功能;变频器故障、PLC故障都可实现声

光报警^[5]。变频调速器采用西门子公司的ECO系列变频器,可实现电机转速的平滑调节;变频调速器加装交流电抗器及直流电抗器,确保变频器电源侧谐波分量小于5%。PLC采用西门子公司S7-300系列PLC,该种PLC是模块化中小型PLC系统,能满足用户中等性能要求的应用;各种功能模块可以很好地满足和适应自动控制任务。由于简单实用的分散式结构和多界面网络能力,使得应用十分灵活;当控制任务增加时,可自由扩展。系统构成见图2,图中1#~6#为给水泵。

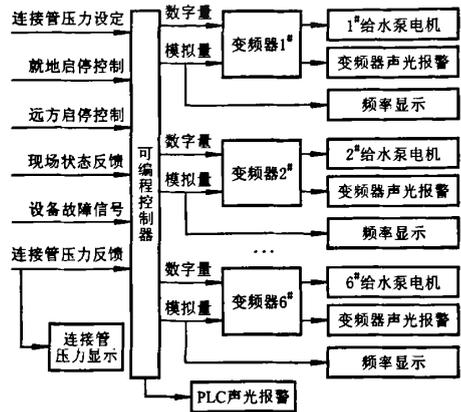


图2 恒压供水系统构成图

3 控制方案及工作原理

3.1 控制方案

给水泵站控制系统根据现场需要,需要配备1套S7-300 PLC,3台ECO1-132K/3变频器,3台ECO1-5500/3。其中变频器用于给水泵的控制,PLC用于控制各给水泵之间的切换顺序与启/停操作。给水泵既可以通过现场控制柜的操作按钮进行手动控制,也可以由PLC进行自动控制。手动控制时可以控制任一给水泵的启/停。自动控制时给水泵的启动顺序为先启动功率大的给水泵,再启动功率小的给水泵;停止顺序为,先停功率小的给水泵,再停功率大的给水泵^[6]。

3.2 控制系统工作原理

3.2.1 自动闭环控制过程

当系统处于自动调节状态时,自动控制指示灯亮,系统进入自动控制状态。系统以给水连接管上的压力变送器的输出作为反馈信号。反馈信号采取16 mA电流信号,给水连接管压力值可在PLC中人为设定,通过其内部的PID控制功能,调节变频器的

输出频率^[7]。系统控制原理见图3。



图3 系统控制原理方框图

控制系统给水泵电机的运行切换是根据设定的压力与给水连接管压力变送器测定的现场压力的差值 Δp 来控制的。当 $\Delta p \neq 0$ 时, PLC 内部的 PID 功能块对 Δp 进行 PID 运算, 按照事先整定好的调节规律改变 PLC 的输出值, 来改变变频器的输出频率, 从而改变电机转速, 进而改变连接管的给水压力。经过调整至 $\Delta p = 0$, PID 输出不再变化, 给水泵电机在一个新的转速下稳定下来。此时, 连接管实际压力在设定值附近波动, 可以保证连接管供水压力恒定。控制系统采用 PID 调节规律可以减小控制静态误差和缩短系统调节时间。为了减小切换时的电流冲击, 只有当变频器输出达到 50 Hz 时, 才切换至电网。如果实际压力太小, 某台调速泵调整到 50 Hz 运行供水仍不足以使 $\Delta p = 0$, 则该台变频泵切换为工频, 而使下一台泵转为变频工作; 如果实际压力过大, 本台调速泵调整到最小频率 5 Hz 运行仍不足以使 $\Delta p = 0$, 则关闭上次转换成工频的水泵, 再进行上述 PID 运算、转速调整, 直至连接管压力达到设定值, $\Delta p = 0$ 。整套系统的切换顺序为先开后停, 后开先停, 使大功率泵提供基本负荷流量, 而让小功率泵担当流量负荷调峰任务, 合理利用系统资源。系统状态切换流程图如图4所示^[8]。

3.2.2 手动开环控制过程

该系统也可进行手动开环运行。如果连接管压力传感器出现故障时, 人为将手动/自动开关置于手动位置, 系统处于手动调节状态, 手动指示灯亮, 可在控制面板实现频率的手动设定, 并变频启动水泵。手动控制主要用于系统调试, 同时也可以在生活中/消防供水时, 根据实际情况人为调节水泵运行来达到恒压供水的目的^[9]。

4 实际运行效果

甘肃省兰州市某水厂在集输系统安装6台变频器, 分别对6台不同型号的离心泵进行变频控制。经过实际应用表明, 变频调速泵的使用周期明显延长, 维修率大大降低, 在节能降耗和装置的平稳性上取得了明显的效果, 经济效益明显。

该系统应用前后机泵耗电量的对比见表1。安装变频调速系统后的节电率为

$$\frac{676.9 - 419.046}{676.9} \times 100\% = 38.093\%$$

表1 电机消耗功率对比

机泵序号	电机消耗功率/kW	
	变频前	变频后
1 [#]	30.51	16.246
2 [#]	14.70	6.452
3 [#]	56.49	32.492
4 [#]	212.10	117.995
5 [#]	183.90	121.405
6 [#]	179.20	124.456
合计	676.90	419.046

由表1数据可见, 节能效果显著。

5 结论

1) 采用 PLC 实现多台水泵的投入和切换, 可靠性好, 灵活性大, 抗干扰能力强。另外, 通过 PLC 和变频器还可实现对系统过热和过流、电源欠压和过压、短路、瞬间断电、过载等的保护功能, 对启动和运行过程中出现的各种故障均能给出相应的状态指示和报警信号。

2) 系统有自动和手动两种工作方式, 便于调试和检修, 并可在出现故障时切换到手动控制方式, 保证连续供水。

3) 变频器容量远远小于系统容量, 从而大大降低了电控系统的造价。采用变频调速方式调节水

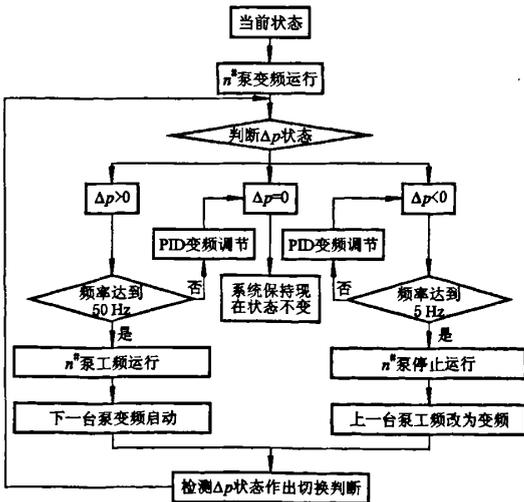


图4 系统状态切换流程图

压,可较好地节约能源^[10]。

实际应用表明,以 PLC 为核心的变频调速控制系统,成本低,工作可靠,抗干扰能力强,节能效果显著。该控制系统开创了一种取代传统供水方式的新途径,具有很高的推广应用价值。

参考文献(References)

- [1] 宋序彤.我国城市用水发展和用水效率分析[J].中国水利,2005(13):40-43.
- [2] 李秀忠.基于 PLC 和变频器控制的智能小区供水系统设计[J].机电产品开发与创新,2004,17(4):85-87.
- [3] 赵 军.计算机与变频控制器总线通讯技术应用[J].排灌机械,2004,22(5):35-37.
- [4] 任国樑.泵变频调速节能的理论分析与应用[J].计

算技术与自动化,1994,13(4):37-39,43.

- [5] 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,2003.
- [6] 王占奎.交流变频调速技术[M].北京:科学出版社,1994.
- [7] 姚厚伟.变频器在供水系统中的应用与节能[J].大众用电,1997(5):6-8.
- [8] 李永刚.几种变频供水设备的应用与控制[J].给排水,2001,27(9):77-80.
- [9] Szychta L. System for optimising pump station control - Part II[J]. World Pumps, 2004(454):32-34.
- [10] 刘家春,白建国.加强泵站管理减少能源消耗[J].排灌机械,2004,22(2):30-33.

(责任编辑 张文涛)

(上接第 12 页)

即

$$(p_1 - p_2)V_T = p_{\text{atm}}V_L \quad (4)$$

式中 p_1, p_2 分别为被测工件开始检测时及检测结束时的压力, Pa; V_T 为被测系统的容积, m^3 ; p_{atm} 为标准大气压 101 325 Pa; V_L 为在标准大气压下, 泄漏到工件中气体的体积, m^3 。

将 $\Delta p = p_1 - p_2$ 代入式(4)得

$$\Delta p V_T = p_{\text{atm}} V_L \quad (5)$$

在小泄漏条件下,而且测量时间短,则

$$V_L = \delta t_m \quad (6)$$

式中 δ 为标准大气压下的泄漏率, m^3/min ; t_m 为测量时间, min。

把式(6)代入式(5)得

$$\Delta p = \frac{101\ 325\ \delta t_m}{V_T} \quad (7)$$

式(7)中已知参数 $\Delta p, t_m, V_T$, 就可以求出参数 δ 的值。将该值与计算机的设定值进行比较, 就可以判断被测零件是否泄漏^[4]。

5 新旧方法优缺点对比

新旧方法的优缺点对比见表 1。

表 1 新、旧方法优缺点对比表

对比内容	旧方法	新方法
生产率/(只/h)	4	12
检测准确率/%	80	99
产生二次污染	会产生锈蚀二次污染	不会
劳动强度	大	小
生产成本	高	低
自动化程度	低	高

注:旧方法指水压增压检漏或气增压加刷水检漏;新方法指新型潜水电泵的密封检漏。

从表 1 可以清楚地看出,新方法远比旧方法好。

6 结 论

采用潜水泵密封检漏系统代替气压水检密封检漏方法,不会产生二次污染,工件也不会锈蚀;自动化程度高,提高了生产效率;检测准确率高,应用方便。因此,新型潜水泵密封检漏系统具有极高的生产实用价值。

参考文献(References)

- [1] JB/T 8857—2000,离心式潜污泵[S].
- [2] JB/T 10179—2000,混流式、轴流式潜水泵[S].
- [3] 孙泽刚,陈次昌,黄泽沛,等.机械密封实验台数据采集系统研制[J].排灌机械,2005,23(2):45-48.
- [4] 徐 灏,邱宣怀.机械设计手册(第 5 卷)[M].北京:机械工业出版社,1992.

(责任编辑 张文涛)