

变频技术在水泵控制系统中的应用

邱 俊

(长沙民政职业技术学院 电子信息工程系, 湖南 长沙 410004)

摘 要: 根据原单位南区供水系统改造的实例, 从系统结构分析、节能原理、控制方式、系统设计及变频调速后的节能效果等几个方面, 介绍了变频调速技术在供水系统中的应用。

关键词: 变频技术; 供水系统; 扬程; 流量; MicroMaster430

中图分类号: TP273

文献标识码: B

Application of frequency conversion technology in constant pressure water supply control system

QIU Jun

(Department of Electronic and Information Engineering, Changsha Social Work College, Changsha 410004, China)

Abstract: Taking south area water supply system transformation for example, from system structure analysis, energy conservation principle, control mode, system design and frequency conversion velocity modulation energy conservation effect and so on several aspects, this paper introduced the frequency conversion velocity modulation technology in the water supply system application.

Key words: frequency conversion technology; water supply system; lifting; current capacity; MicroMaster430

笔者原所在单位是一个拥有 5 000 多职工的国有企业, 近一万人的饮用水全靠后山顶上的水塔供给, 这样的供水系统往往使系统里的水压不恒定, 而且水塔会引起二次污染。2003 年企业倒闭后, 小区修建了水泵房, 其控制方式是: 根据用水量调节开停泵数量, 压力偏小时加泵, 压力偏高时减泵, 而且完全由人工手动控制。这样的操作和管理方式落后, 无法建立严格的科学管理体制, 设备运行不合理, 维修量大, 能耗高, 机械磨损也较大。

众所周知, 电力负载中风机和泵类负载的用电量约占总用电量的 60%~70%。向这类负载供电的突出矛盾表现在: 电网负荷率偏低, 电力系统峰谷差很大, 高峰电力往往严重不足。因此风机和泵类的节能问题就显得尤为重要。为了提高能源的利用率, 且考虑到几千的下岗职工生活都很艰难, 2007 年组成了一个四人设计改造小组, 准备将南区的水泵房改用变频调速恒压供水控制系统。2008 年 7 月正式投入使用。

1 系统简介

1.1 恒压供水系统分析

恒压供水是指在供水网系中用水量发生变化时, 出

口压力保持不变的供水方式。这样既可以满足各个部位的用户对水的需求, 又不使电机空转, 造成能量浪费。而系统中, 流量是供水系统的基本控制对象, 而供水量的大小取决于扬程, 但扬程难以进行具体测量和控制。为了实现上述目标, 需要变频器根据给定压力信号和反馈压力信号调节水泵转速, 从而达到控制管网中水压恒定的目的。

水泵运行工作点位置与水泵负载有关, 在水泵负载经常变化的情况下, 水泵不能总处在高效区域中工作。为使水泵适应外界负载变化的要求, 可采用变速调节, 即在管网特性曲线基本不变时, 采用改变水泵转速来改变泵的 Q-H 特性曲线^[1], 从而改变它的工作点, 达到既改变流量又能保证水泵恒定和输入功率减少的目的。系统变速运行图如图 1 所示。

图 1 中, 横坐标为水泵流量 Q , 纵坐标为水泵扬程 H 。泵的扬程和出水压力是线性关系, 因此可以近似表示为出水压力 P 。EA 是恒压线, n_1 、 n_2 、 n_3 是不同转速下的流量/压力特性。可见在 n_1 转速下, 如果通过控制阀门的开度, 使流量从 Q_a 减少到 Q_c 时, 压力将沿 n_1 曲线升高到 D 点。所以, 在流量减少的同时, 提高了压力。如

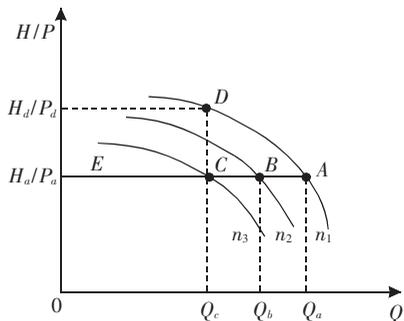


图1 系统变速运行图

果从转速 n_1 降低到 n_3 ，则流量沿着恒压力线从 Q_a 减少到 Q_c 时，而压力没变。可见，在一定范围内，可以在保持出水压力恒定的前提下，通过改变转速来调节流量，并且没有压力升高带来的损失。这种特性表明，调节水泵转速，改变出水流量，使压力稳定在恒压线上，就能够完成流体的恒压供水。

1.2 变频恒压供水的构成

整个系统采用一台变频器控制水泵电动机，一主两辅供水系统，如图2所示。实际扬程 $HA=30$ m，要求供水压力保持在 0.5 MPa，压力变送器的量程是 $0\sim 1$ MPa。原主泵电动机为 25 kW、 45.5 A、 1470 r/min；辅泵电动机为 5.5 kW、 11.6 A、 1440 r/min。现将主泵电动机由变频器控制，辅泵电动机直接接到工频电源上。

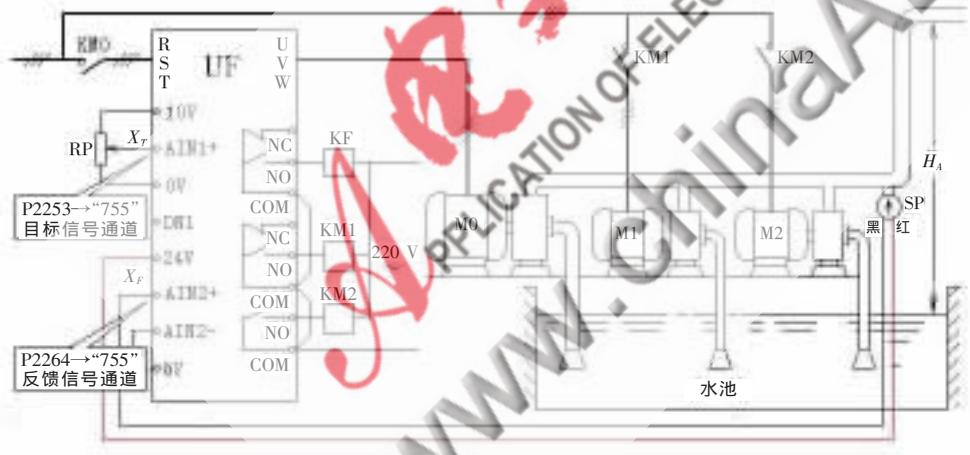


图2 恒压供水系统构成图

为了完成特定的控制任务，对每一种驱动装置都有特定的控制要求。对变频器驱动装置的要求是能够方便和灵活地实现各式各样应用系统的控制特性。MicroMaster430变频器具有模块式结构设计，它通过调节速度来控制水泵的流量，取代了传统的用阀门和挡板截流控制的解决方案，进而节约了大量的能源。而且它具有以下功能：线性 v/f 控制，并带有增强电机动态响应和控制特性的磁通电流控制(FCC)，多点 v/f 控制；内置PID控制器；快速电流限制，防止运行中不应有的跳闸；多泵切换。它完全能够满足应用系统控制灵活性的要求。这

种变频器的特点是能源的利用效率高，有较多的输入和输出端子，而且对操作面板进行了优化，便于手动操作方式和自动操作方式之间的切换。因此配用西门子MM430系列、29 kW(适配电动机为25 kW)、45 A的变频器控制主泵电动机。

图3为系统方框图^[2]，图中水泵电机是输出环节，转速由变频器控制，实现变流量恒压控制。MicroMaster430接收给定和反馈信号后经过PID调节，输出运转频率指令。压力传感器检测管网出水压力，并将其转变为变频器可接收的模拟信号进行调节。

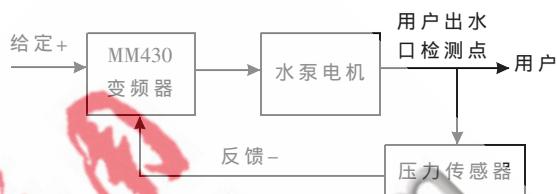


图3 系统方框图

控制系统的工作原理：变频调速恒压供水控制最终是通过调节水泵的转速来实现的，水泵是供水的执行单元，通过调速能实现水压恒定是由水泵特性来决定的。

1.3 系统节能调节方法

1.3.1 调节流量的方法

如图4所示，曲线1是阀门全部打开时，供水系统的阻力特性；曲线2是额定转速时，泵的扬程特性。此时供水系统的工作点为A，流量为 Q_a ，扬程为 H_a ，电动机的轴功率与面积 $0-Q_a-A-H_a-0$ 成正比。如果要将流量减少为 Q_b 主要的调节方法有两种：

(1) 传统的方法是电动机(和水泵)的转速保持不变，将阀门关小，这时阻力特性如曲线3所示，工作点移至B点：流量为 Q_b ，扬程为 H_b ，电动机的轴功率与面积 $0-Q_b-B-H_b-0$ 成正比。

(2) 阀门的开度不变，降低电动机(和水泵)的转速，这时扬程特性曲线如曲线4所示：工作点移至C点，流量仍为 Q_b ，但扬程为 H_c ，电动机的轴功率与面积 $0-Q_b-C-$

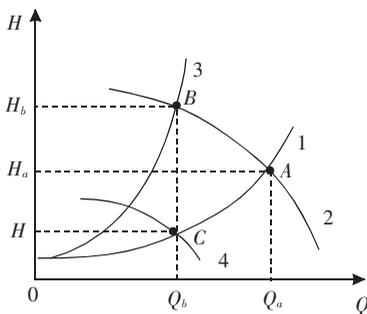


图4 H-Q曲线

H_c-0 成正比。

1.3.2 两种调节流量方法的比较

水泵在改变转速时，其内部几何尺寸并没有改变，根据水泵的相似原理^[3]可知：变速前后流量、扬程、功率与转速之间关系为：

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

式中 P_1, H_1, Q_1 为转速 n_1 时的功率、扬程、流量； P_2, H_2, Q_2 为转速 n_2 时的功率、扬程、流量。

当速度变化时，流量与转速成正比，扬程与转速的平方成正比，轴功率与转速的三次方成正比。从这一比例定律关系可看出：同一台泵在转速变化时，泵的主要性能参数将按上述比例定律变化，并且在变化过程中保持效率基本不变。由此可见，当水泵在变负荷工作情况下，采用变频器调节水泵电机转速时，轴功率随转速比的三次方关系进行变化，调节流量电动机所取用的功率将大为减少，因而是一种能够显著节约能源的好方法，节电效果明显。

2 功能预置

2.1 基本功能和相关功能及保护功能预置^[2]

变频调速系统的性能往往和生产机械并未很好地吻合，因此，针对水泵的具体情况对变频器的各项功能进行了如下的调整，如表 1 所示。

表 1 基本功能和相关功能及保护功能预置

功能码	功能名称	数据码	数据码含义
P0210	供电电压	380 V	
P0290	变频器过载时的措施	0	降低频率,防止跳闸
P1080	最低频率	30	下限频率为 30 Hz
P1082	最高频率	50	上限频率为 50 Hz
P1120	斜坡上升时间	20 s	
P1121	斜坡下降时间	20 s	
P1300	变频器的控制方式	2	二次方律转矩提升方式
P1312	起始提升	10%	提升量为额定电流的 10%
P0640	电动机过载因子	95%	即电流取用比
P1200	捕捉再启动	1	从给定频率开始搜索
P1202	捕捉再启动电流	110%	小于 110%IMN 即捕捉成功
P1203	捕捉再启动搜索速率	100%	每 ms 改变转差频率的 2%
P1210	自动再启动	5	故障后重合闸
P1211	再启动重试的次数	3	允许重合闸 3 次

2.2 转矩提升功能设置

西门子变频器的 U/f 线设置^[4]，如图 5 所示。

3 加、减泵切换控制过程

3.1 加、减泵控制分析

一主两辅加、减泵控制分析图如图 6 所示。

3.2 功能预置^[4]

功能预置如表 2 所示。

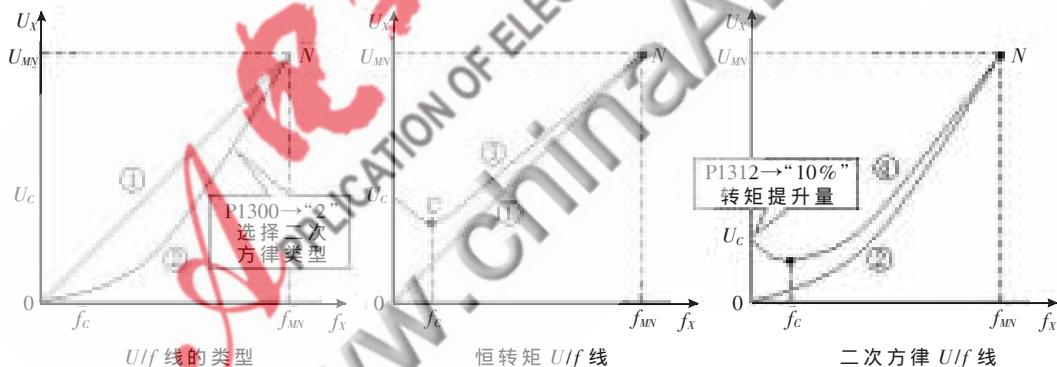


图 5 西门子变频器的 U/f 线

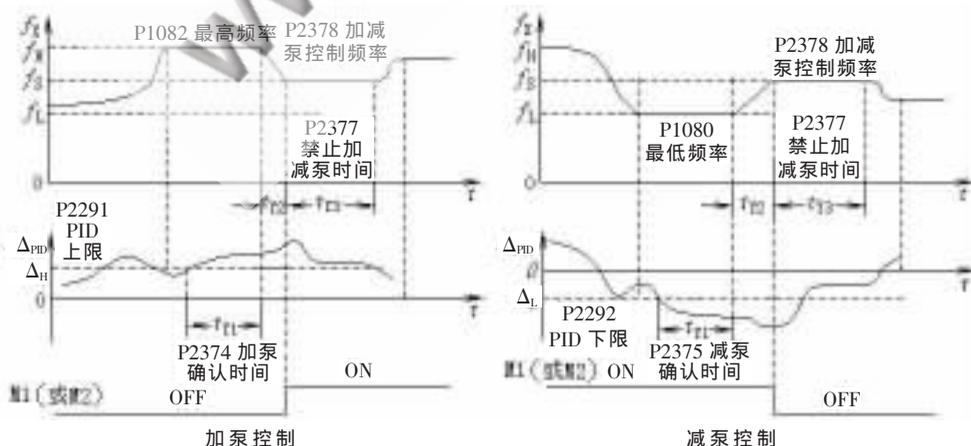


图 6 一主两辅加、减泵控制分析图

表 2 功能预置

功能码	功能名称	数据码	数据码含义	说明
P2371	辅助泵分级控制	2	M1+M2	有 2 台辅助泵参与控制
P2372	辅助泵分级循环	1	分级循环	运行时间短者先加后减
P2373	PID 回线宽度	20%	上下限宽度	即 Δ_{H1} 和 Δ_{L1} 之间的宽度
P2374	加泵延时	300s	加泵确认时间, 图中的 t_{Y1}	
P2375	减泵延时	300s	减泵确认时间, 图中的 t_{Y1}	
P2376	PID 调节量极限	40%	Δ_{PID} 超过极限时, 立即加、减泵	
P2377	禁止加、减泵时间	400s	Δ_{PID} 未回到正常范围时不能加、减泵(图中的 t_{Y3})	
P2378	加、减泵控制频率	85%	切换过渡频率, 即图中的 $t_s(42.5 \text{ Hz})$	

4 经济效益

(1)对水泵进行调速运行,不仅是对供水流量与压力进行调节,而且有着非常显著的节能效果。当变频泵运行 45 Hz 时,比工频运转节电 27%。

(2)变频调速可以根据用水量对水泵流量进行无级调整,减少开停工变频泵的次數,减少对电网及水泵机械的冲击,延长设备的使用寿命,大大减少爆管的危险,减少工程维修费用和跑水的浪费,间接节约了成本。

(3)系统运行半年多的时间了,从运行数据分析,其直接节电率在 12% 以上。考虑减少维修费用,延长设备使用寿命,提高管理水平和自动化监控能力等间接节能效率,总节能率可达 18% 以上。

变频调速恒压供水控制装置能够极大地改善给水管网的供水环境,该系统可根据管网瞬间压力变化,自动调节水泵电机的转速和多台水泵电机的投入及退出,使管网主干出口端保持在恒定的设定压力值,整个供水系统始终保持高效节能和运行在最佳状态,大大提高了系

统的自动化程度,减少了能源浪费。

参考文献

- [1] 张燕宾.变频调速应用实践[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [2] 西门子.西门子 MM430 风机水泵负载专用变频器使用说明.北京:西门子(中国)有限公司,2003.
- [3] 吕志斗.适用广谱变频节能技术[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2000.
- [4] 石秋洁.变频器应用基础[M].北京:机械工业出版社,2007.

(收稿日期:2009-04-02)