

多台并联变频调速水泵的控制方式

吕 文¹, 陈洪亮²

(1. 英维思楼宇系统上海公司, 上海 200129;
2. 上海交通大学 电气工程系, 上海 200050)

摘要: 首先以 2 台变频水泵为例, 介绍了常用的控制方法。然后分析了水泵频率与功率的关系, 介绍了 1 台水泵单独运行和 2 台水泵并联运行的功率系统、流量关系、等功率和等流量曲线, 得出结论: 在等功率和等流量曲线的交点上方 2 台水泵同时工作比较节能, 而在交点下方应只使用 1 台水泵。改进了多台水泵的控制方式, 即根据系统用水量改变水泵频率从而控制水泵的运行情况。工程实例证明了其有效性。

关键词: 变频调速; 并联水泵; 节能控制

中图分类号: TP 273; TU 821.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6047(2005)04-0089-03

随着变频器技术的日趋成熟, 产量的迅猛增加以及价格的不断下降, 变频器的应用场合不断扩大。目前, 在大型楼宇、生产厂房的供水及冷热源系统中, 传统的多台定速泵并联运行, 或多台定速泵加一台变频泵并联运行的系统配置方式, 已经逐渐被多台变频调速水泵, 并联供水的方式所取代。本文根据水泵的特性曲线, 对这种多台并联调速水泵系统的控制方式进行了探讨。

1 系统组成

一般的多台变频泵供水系统如图 1 所示。离心式水泵(图中只画出 2 台)分别由各自的变频器驱动, 在供水总管接近末端 1/3 处, 或在系统的最不利点, 安装 1 个水压力传感器。系统控制器(可编辑逻辑控制器或直接数字控制器)根据此水压力传感器与设定值的偏差, 通过 PID 调节方式, 改变水泵的转速及投入运行的水泵数量, 维持此水压力传感器读数的稳定, 以此保证对整个系统的稳定供水。由于水压力传感器安装在远离水泵出口, 所以从本质上讲, 整个系统为变压力、变流量供水方式。

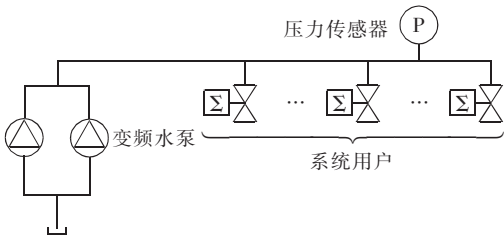


图 1 供水系统示意图

Fig.1 The water supply system

1.1 常用的控制方法

以 2 台变频水泵为例, 介绍其控制方法。

- a. 当系统用水量增加时, 主泵的频率逐渐上升到 50 Hz^[1], 并保持此频率一段时间之后, 备泵投入运行。2 台水泵作同频率运行(初始频率记为 f_L), 直至频率都增加为 50 Hz。
- b. 当系统用水量减少时, 2 台泵同时从高频率往下降, 当降至比 f_L 略低, 并保持此频率一段时间后, 主泵退出运行, 备泵升至略低于 50 Hz, 再根据水压力逐渐减速。
- c. 为使 2 台水泵的磨损尽可能一致, 还需定期或按照每台泵的累计运行时间来切换 1 台水泵为主泵, 另 1 台为备泵。

1.2 方法的不足之处

上述控制方式,一般能满足系统中各用户对供水压力及流量的要求。但从节能的角度分析,还有待改进。对大多数系统而言,更节能的方法是并不需要等主泵频率升至 50 Hz 时,才启动备泵。而是存在某一频率 f_T ,当主泵的频率大于 f_T 时,即可将备泵投入运行。下面详细分析 f_T 的求法。

2 节能的控制方式

2.1 水泵频率与功率的关系

离心式水泵的负载转矩与转速平方成比例^[2]。对三相异步电动机而言,稳定运行时,定子电流与转矩成正比,即定子电流与转速平方成正比。常用的电压型正弦脉宽调制变频器,是采用变频变压控制方式,其输出电压在水泵的工作频率范围内(一般为 25~50 Hz),与频率成正比,即 $U/f = C$ ^[2]。因此,在理想情况下可以推出:

$$P \propto f^3$$

式中 P, f 分别为电动机消耗的功率和运行频率。

2.2 1 台水泵与 2 台水泵运行的功率关系

设 1 台水泵的额定功率为 P_N ,额定频率为 50 Hz,变频运行时的频率为 f_1 ,变频运行时的功率为 P_1 ,则

$$P_1 = (f_1 / 50)^3 \times P_N$$

设 2 台水泵同时运行时的频率为 f_2 ,同时运行时的总功率为 P_2 ,由于 2 台泵型号完全一样,则

$$P_2 = 2 \times (f_2 / 50)^3 \times P_N$$

设 1 台水泵运行在 f_1 时与 2 台水泵同时运行在 f_2 时的总功率一致,即 $P_1 = P_2$,则在忽略变频器损耗的情况下, f_1 与 f_2 的关系为

$$f_1 = \sqrt[3]{2} f_2 \approx 1.26 f_2$$

在理想情况下,1 台水泵运行在 50 Hz 时所消耗的功率,与 2 台水泵同时运行在 39.7 Hz 时所消耗的功率是相等的。据此,可得到 1 台泵与 2 台泵的等功率曲线,见图 2。

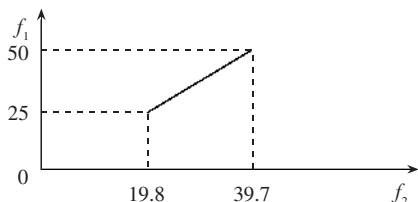


图 2 1 台水泵与 2 台水泵运行的等功率曲线图

Fig.2 The equipower curve of sole-pump and dual-pump operations

2.3 1 台水泵和 2 台水泵运行的流量关系

水泵在一个供水系统中的工作点是水泵的扬程特性曲线与管阻特性曲线的交点^[1],见图 3(图中 H, Q 分别为扬程和流量)。

图中,曲线 1 为 1 台水泵运行在频率 f_{X1} 下的扬程曲线,曲线 2 为 2 台水泵同时运行在频率 f_{X1} 下的扬程曲线,曲线 3 为 1 台水泵在频率 f_{X2} 下的扬程曲线,曲线 4 为系统在某一特定工况下的管阻特性曲线。

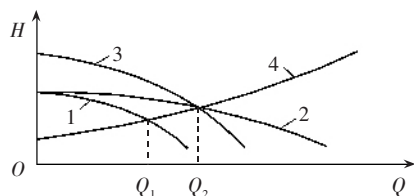


图 3 水泵工作点

Fig.3 The working points of pump

曲线 2 实际上是将曲线 1 的横坐标值乘 2 所得。图 3 中,1 台水泵单独运行时的流量为 Q_1 ,2 台水泵并联运行时的流量为 Q_2 ,很显然, $Q_2 < 2Q_1$ 。引入比例系数 K_Q :

$$K_Q = Q_2 / Q_1$$

在水泵工作频率内(一般为 25~50 Hz), $1 < K_Q < 2$ 。而且在一个供水系统中,随着系统用水量的增加,即水泵频率的增加,管阻特性曲线由陡峭变平坦。即随着水泵频率的增加, K_Q 值增大。

根据工程经验,在一个变压力、变流量的供水系统中,当保持供水总管接近末端 1/3 处,或系统最不利点的压力不变时, K_Q 值以近似 2 次方的规律随水泵频率的提高而增加。

2.4 1 台水泵与 2 台水泵运行的等流量曲线

设 1 台水泵单独以 f_{X1} 频率工作时,其向系统输出的流量与 2 台水泵同时以 f_{X2} 频率运行时一致,都为 Q_2 ,根据水泵的比例定律^[3],有

$$Q_2 / Q_N = f_{X1} / f_N, Q_2 = f_{X1} Q_N / f_N$$

式中 Q_N, f_N 分别为水泵的额定流量和额定频率。

同时,1 台水泵单独运行在 f_{X2} 频率时, Q_1, K_Q 也可写为

$$Q_1 = f_{X2} Q_N / f_N, K_Q = f_{X1} / f_{X2}$$

根据 K_Q 的变化功率,可以画出 1 台水泵与 2 台水泵之间的等流量曲线,见图 4。可以看到,当频率较小时, $K_Q \approx 1$;当频率增加时, K_Q 以较快速率增加。图中,等流量曲线与等功率曲线相交于点 E,其对应的 1 台水泵的频率为 f_{T1} ,2 台水泵的频率为 f_{T2} 。

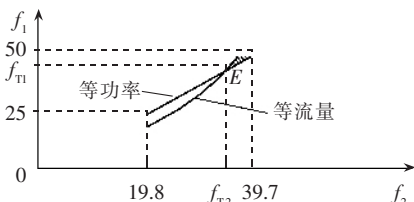


图 4 1 台水泵与 2 台水泵运行的等功率、等流量曲线

Fig.4 The equipower and equiflow curves of sole-pump and dual-pump operations

2.5 小结

由图 4 可知,在 E 点的上方,2 台水泵同时工作比较节能;在 E 点的下方,应只使用 1 台水泵。

大多数并联变频调速水泵的供水系统中,要从理论上求得等流量曲线是比较困难的,可以通过实验获得。具体的做法是:将系统中所有用户的阀门固定在某一开度,只开 1 台水泵,调节水泵频率,使

压力传感器的读数达到设定值,记录下此时的运行频率 f_1 ;2台水泵同频率运行,调节频率,当压力传感器的读数也达到设定值时,记录下此时的运行频率 f_2 。这样就得到等流量曲线上的一个点。逐步改变阀门的开度,直至求出整个等流量曲线。将等功率与等流量曲线画在同一张图上,求出交点。设交点处1台水泵的频率为 f_{T1} ,2台水泵的频率为 f_{T2} 。于是2台水泵的控制方式可改为如下两种。

a. 当系统用水量增加时,1台水泵的频率逐渐上升,当增至比 f_{T1} 略高,并保持此频率一段时间之后,另1台水泵投入运行。2台水泵作同频率运行,直至频率都增加为50 Hz。

b. 当系统用水量减少时,2台水泵同时从高频率往下降,当降至比 f_{T2} 略低,并保持此频率一段时间之后,1台水泵退出运行,另1台水泵升至 f_{T1} 附近,再根据水压力逐渐往下降。

由于第2台水泵较早的投入运行,使得用电量减少,因此,从长期看,这种控制方法的节能效果比较可观。

对于2台以上的并联变频调速水泵系统,也可参照以上方法,求出水泵运行台数切换时的阈值频率。

3 工程实例

某芯片制造厂的工艺冷冻水系统有3台变频水泵,每台水泵的额定流量为4 546 L/min,功率40 kW,缓冲罐容积27 276 L,总管道远端压力设定值约为 (0.62 ± 0.013) MPa。经过多次现场测试,得到3台泵的运行时数切换频率为:35 Hz,42 Hz。即第1台水泵频率达到35 Hz后还无法达到设定点,第2台水泵启动,2台水泵以同样的频率维持管道压力,若频率到达42 Hz后还无法达到设定点,则启动第3台水泵,直到3台水泵都到50 Hz,达到最大流量。

为使3台水泵的磨损尽可能一致,在PLC中还编写了水泵的自动轮换程序。每台水泵的累计运行时间分别存于PLC寄存器中,当需要新增1台水泵运行时,累计运行时间少的水泵先投入运行;同样,当需要1台水泵退出运行时,累计运行时间多的水泵先退出。

节能量估算:这种控制方法的节能量与图4中阴影部分的面积成正比,同时还与水泵在这一区域的运行时间有关。经过较长时间的观测,节能量约为3%~5%。由于只是增加了系统的调试时间,不需额外的投资,这种控制方法还是收到了较好的效果。

参考文献:

- [1] 张燕宾. 电动机变频调速图解[M]. 北京:中国电力出版社,2003.
- [2] 谭弗娃,金如麟. 大功率电子学和电机控制[M]. 上海:上海交通大学出版社,1999.
- [3] 张世芳. 泵与风机[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- [4] 赵永成,许立,刘日明. 水泵变频调速节能分析[J]. 大连铁道学院学报,1995,16(2):86-88,100.
ZHAO Yong-cheng, XU Li, LIU Ri-ming. The analysis of water pump economizing on energy of frequency conversion adjusting speed [J]. *Journal of Dalian Railway Institute*, 1995, 16(2): 86-88, 100.
- [5] 汤利华,丁琨. 水泵调速机组配置中若干问题的研究[J]. 安徽建筑工业学院学报(自然科学版),1996,4(1):5-8.
TANG Li-hua, DING Kun. Several problems in collocating an adjustable speed pump setup [J]. *Journal of Anhui Institute of Architecture(Natural Science)*, 1996, 4(1): 5-8.
- [6] 柯水洲,张云,尚耀宗. 变频调速水泵几个问题的探讨[J]. 给水排水,2001,27(9):75-77.
KE Shui-zhou, ZHANG Yun, SHANG Yao-zong. Several problems in frequency conversion adjusting speed pump [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2001, 27(9): 75-77.

(责任编辑:李玲)



吕文

作者简介:

吕文(1968-),男,上海人,工程师,从事自动控制方面的工作(E-mail:lwlp@public6.sta.net.cn);

陈洪亮(1945-),男,上海人,教授,长期从事网络智能以及控制方面的研究。

Control scheme for parallel variable-frequency speed-governing pumps

LÜ Wen¹, CHEN Hong-liang²

(1. Invensys Building System, Shanghai Company, Shanghai 200129, China;

2. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200050, China)

Abstract: The common control scheme for two variable-frequency pumps are introduced as an example. The relationship between frequency and power is analyzed. The relationships between sole pump operation and dual parallel pump operation in power, flow, equipower curve and equiflow curve are described. It is concluded that above the intersection of equipower and equiflow curves, dual pump operation is more economical, while below it, sole pump operation is suitable. The control scheme for multi pump operation is thus improved, which changes pump frequency and controls pump operation according to water consumption. The practical project verifies its effectiveness.

Key words: variable frequency; parallel pumps; energy saving control