

节水灌溉系统变频控制的节能研究与应用

武鹏林¹, 张向东²

(1. 太原理工大学; 2. 水利部山西水利水电勘测设计研究院)

摘要: 以供水系统的扬程特性、管阻特性为基础, 分析了变频调节供水系统与阀门调节供水系统的节能效果并作出比较。提出了变频自动控制在节水灌溉中的应用方案, 改变了传统的调整阀门开度及人工启停电机来满足供水需要的操作方法。实践证明, 在节水灌溉特别是在塑料大棚滴灌系统中采用变频调节来自动控制供水系统, 与阀门调节供水系统相比, 可节能 20% ~ 69% (大小与控制流量有关), 对延长设备的使用寿命、提高供水流量及供水压力的稳定性、减少人工操作的失误等方面均有积极的意义。

关键词: 节水灌溉; 供水系统; 阀门控制; 变频控制; 节能

中图分类号: S275

文献标识码: A

文章编号: 100226819(2002)0420022204

在节水灌溉园区, 特别是温室大棚内的滴灌系统中, 由于各大棚内作物的种植结构和种植时间不同, 各大棚的灌水时间、灌水定额及整个园区的需水量均可视为随机的, 而各大棚在灌溉时所需的压力是一定的, 即属于恒压变流供水。故在供水系统的设计与运行中, 通常以需水流量和压力为控制对象。目前, 供水系统在未采用变频器时存在的主要问题如下:

1) 一般供水系统中, 水泵的配套电机为三相异步电机, 电机的投运采用了 ~ 3 (三角形~ 星形) 变换后, 以 Δ 方式投入正常运行, 启动电流非常大, 对电网形成了冲击, 大大地增加了变压器的容量, 消耗了大量的电能。

2) 一般通用电机在常规情况下无法实现转速调节。在实际运行中我们经常碰到: 由于电机的转速不能降下来, 当用水流量或用水量达到要求时, 只好调整阀门的开度以增加管道阻力来改变供水流量和减小管道压力, 或马上停机, 但停机后在其他用户要求供水时, 电机很快又启动投入运行。前者系统一直处于额定工作状态, 造成了大量的电能浪费; 后者电机处于频繁的启动状态, 降低了系统中设备的使用寿命。

3) 电机的启停, 完全是靠人工来控制, 而操作人员对流量或水量的观察实际上是无法做到实时跟踪的, 只能凭借系统运行的经验或用户的通知来实现操作, 因而流量、水量及压力是无法与实际需要较好地吻合。

4) 当供水系统有时一台水泵工作时, 其流量或水量不能满足用户的需要, 就需要再投入一台或几台水泵运行, 但有时多投入运行的水泵水量又用不完, 造成了水量和能量的浪费。

在实际灌溉过程中, 一般用户不根据用水流量来调节阀门的开度, 在大多数情况下, 阀门是全开的。一般用户只是在所需流量相差较大的情况下, 通过切换开机台数来粗略地调节供水流量。

1 供水系统的基本特性

1) 扬程特性 当管路中阀门开度不变, 水泵电机在某一转速时, 全扬程 H_T 与流量 Q 之间的关系曲线 $H_T = f(Q)$, 称为扬程特性曲线, 如图 1 中曲线所示。由于阀门的开度和电机的转速不变, 流量的大小主要取决于用户的用水情况。因此, 扬程特性所反映的是全扬程 H_T 与用水流量 Q_U 的关系 $H_T = f(Q_U)$ 。扬程特性的近似表达式为^[1]

$$H_T = H_0 - (H_0 - 1)Q^2 \quad (1)$$

式中 H_0 ——空载扬程。

2) 管阻特性 当水泵的转速不变, 阀门在一定的开度下, 全扬程 H_T 与流量 Q 的关系曲线称为管阻特性曲线, 如图 1 中曲线所示。阀门开度的改变, 实际上是改变了在某一扬程下供水系统向用户的供水能力。因此, 管阻特性所反映的是全扬程 H_T 与供水流量 Q_G 的关系 $H_T = f(Q_G)$ 。扬程特性的近似表达式为^[1]

$$H_T = H_B + (1 + H_B)Q^2 \quad (2)$$

式中 H_B ——基本扬程。

3) 工作特性 扬程特性曲线和管阻特性曲线的交点, 称为供水系统的工作点, 如图 1 中的 N 点。在这一点, 供水系统既满足了扬程特性, 也符合了管

收稿日期: 2002203219

基金项目: 国家重大科技产业化工程项目(992021201208)

作者简介: 武鹏林(1960-), 男, 硕士, 副教授, 山西太原市迎泽西大街 79 号 太原理工大学建筑与环境工程学院, 030024

阻特性, 即用户的用水流量 Q_U 和系统的供水流量 Q_G 处于平衡状态, 系统稳定运行。如阀门的开度为 100%, 电机的转速为 100%, 则系统处于额定状态, 这时的工作点称为额定工作点(如图 1 中 N 点)。供水系统向用户供水时所做的功率以及水泵的输出功率 P_G

$$P_G = K_P H_T Q \quad (3)$$

式中 K_P ——比例系数。

如图 2, 在额定工作点(N 点)下, 供水功率 P_G 与面积 $OANG$ 成正比。

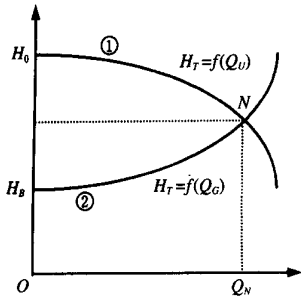


图 1 水泵系统的特性曲线

Fig 1 The characteristic curve of pump system

2 供水系统的节能分析

如上所述, 在供水系统中, 通常是以流量为控制对象的。常见的控制方法有阀门控制法和转速控制法两种, 采用变频调速的供水系统属于转速控制法。设节水园区需水流量的范围为 $0 \sim Q_N$, 正常工作时水泵出口所需的压力范围为 $H_B \sim H_0$ (此压力可根据水泵特点及灌溉要求任意设定), 如图 2。通过对以上两种控制方法结果进行比较, 可对于节能效果的分析^[2]。

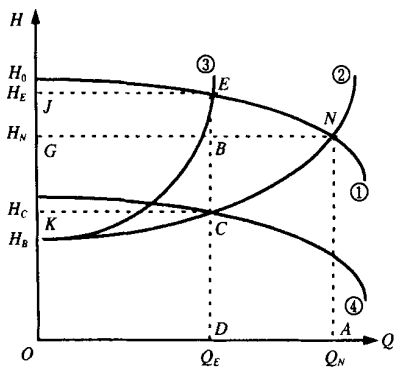


图 2 节能分析

Fig 2 Energy saving analysis

1) 阀门控制法 即通过调整阀门的开度来调节流量大小, 而电机转速不变(常为额定转速)。阀门控制阀法的实质是通过改变水路中的阻力大小来改变流量。管阻特性将随阀门开度的改变而改变, 但扬

程特性不变。

设用户所需流量为 $60\% Q_{SN}$, 当通过关小阀门来实现时, 管阻特性曲线将由 改变为 , 而扬程特性曲线则仍为 , 供水系统的工作点则移至 E 点, 如图 2 所示。这时, 流量减小为 $Q_E (Q_E = 0.6Q_N)$ 扬程增加为 H_E , 由式 3 知, 供水功率 P_E 与面积 $OEDJ$ 成正比。

因为 E 点在扬程特性曲线 上, 全扬程的相对值应通过式(1)来计算

$$H_{TE} = H_0 - (H_0 - 1)Q_E^2 \quad (4)$$

2) 转速控制法 即通过改变水泵的转速来调节流量, 而阀门的开度保持不变(通常为最大开度)。转速控制法的实质是通过改变水流的势能来改变流量的, 所以, 当水泵的转速改变时, 扬程特性将随之改变, 而管阻特性则不变。

仍以用户所需流量为 $60\% Q_N$ 为例, 当通过降低转速使 $Q_E = 0.6Q_N$ 时, 扬程特性曲线变为 , 管阻特性曲线则仍为 , 故工作点移至 C 点。这时, 流量减小为 $Q_E (Q_E = 0.6Q_N)$ 扬程减小为 H_C , (此扬程仍满足设计要求) 供水功率 P_E 与面积 $ODCK$ 成正比。

因为 C 点是在管阻特性曲线 上, 全扬程的相对值应通过式(2)来计算

$$H_{TC} = H_B - (1 - H_B)Q_E^2 \quad (5)$$

3) 两种方法的比较 由上述两种调节流量的方法可看出: 在所需流量 Q 相同, ($Q < 100\% Q_N$), 压力满足设计要求的情况下, 转速控制法的扬程比阀门控制阀小得多, 所以前者所需的供水功率也比阀门控制方式小得多。两者之差 $\$P_0$ 便是转速控制方式节约的供水功率, 它与面积 $KCEJ$ 成正比。当供水系统的设计压力为 H_N 时, 转速控制方式节约的供水功率与面积 $GBEJ$ 成正比。这就是变频调速供水系统具有节能效果的基本原理。

3 系统设计

以山西省榆次市演武村塑料大棚滴灌为例来说明变频调节系统的设计。

演武村有塑料大棚 258 个, 占地 33.33 hm^2 , 4 个井控制其灌溉用水量, 单井出水量为 $20 \text{ m}^3/\text{oh}$, 单个大棚灌水定额为 $5 \text{ m}^3/\text{oh}$, 一次灌水时间为 5 h, 灌水周期为 9 d, 由于各大棚的作物品种、种植时间均不同, 故需水时间及需水量也不相同, 经水力计算, 要求水泵出水口的压力范围为 $0.25 \sim 0.3 \text{ MPa}$ 。

3.1 系统组成

4 个井的变频由一台计算机控制, 组成一套系统。系统主要由上位机、下位机、变频器等组成。上位机是奔腾, 计算机, 下位机是西门子的

S72300型 PLC 机,变频器是西门子 6E32 型。

3.2 系统功能^[3]

1) 上位机 主要是对整个系统进行监视,对各种实时状态进行记录、存储,并根据操作者的要求,在画面上显示出所需要的运行参数,并提供打印功能。

2) PCL PCL 实现对系统的运行数据进行采集、运算及处理,同时根据需要将相关的操作命令发给执行机构(变频器或阀门),对系统运行状态进行控制。S72300 的功能强且由于 CPU 的容量较大,因而不但能满足采集的需要和具备了运算功能,而且安装、调试简便,抗干扰能力强,可靠性高。

3) 变频器 主要是根据现场的需要,由 PCL 发出指令,实现对电机的变频调节,达到调速的目的。其工作过程流程图如图 3 所示。

4) 电动执行机构 实现对供水流量和压力的控制及系统的自动保护,以保证系统的安全、正常运行。

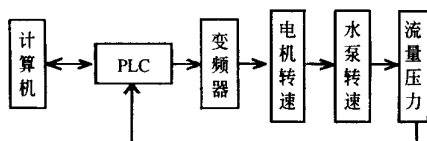


图 3 系统控制流程图

Fig. 3 The flow chart of system control

3.3 系统自动控制的实现

由前面分析可知,水泵压力与流量的关系(扬程特性)曲线是以水泵转速为参数的一族抛物线,对于不同的电机转速,其特性曲线不同,转速降低特性曲线向下平移,同一流量下的压力值降低,如图 2 中的、曲线。在给定的压力范围(或给定的压力值)内,通过调节水泵的转速,总能找到一族(或一条)扬程特性曲线,其流量满足需水要求。因此可以通过测试水泵出口的压力,调节电机的转速,使压力(扬程)与流量满足用户要求。

演武村大棚滴灌系统,采用两台 4 kW 的水泵运行。水泵出口处压力允许范围为 0.25~0.3 MPa,以此压力作为控制水泵转速的取样点,而供水流量则是随用水大棚的数量决定的。其控制过程工作流程图如图 4 所示。

我们将系统设计成自动和人工设定两种功能。“自动”设定由软件完成,“人工”设定通过键盘由操作人员输入。此外,自动设定时,0.25~0.3 MPa(或某一值)的压力要求除了满足大棚滴灌之外,还可使变频器工作在一个较为稳定的频率范围,避免了震荡现象的发生,从而使电机、水泵处于相对稳定的工

作状态,这样对设备的工作寿命是有很大大益处的。

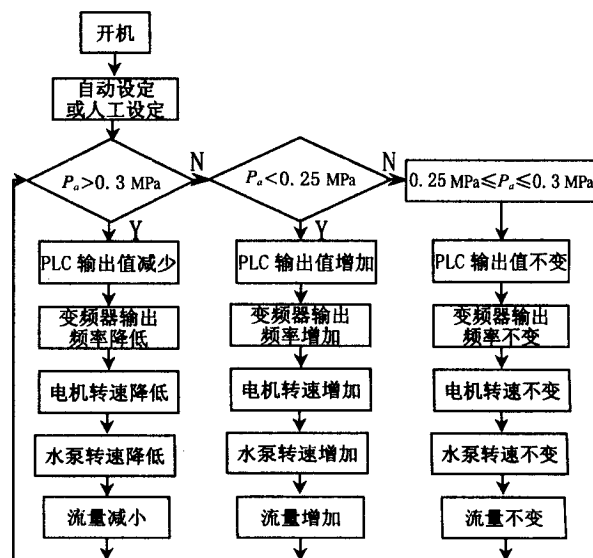


图 4 自动控制过程流程图

Fig. 4 The flow chart of auto control process

3.4 软件设计

上位机软件主要完成下列功能:

- 1) 对各流量点每隔 1 s 采样一次,实现实时监控,作出趋势曲线,并进行保存,也可通过打印设备输出。
- 2) 对水井的动水位、水泵、变频器及各大棚的用水状态甚至各大棚的用水流量进行自动监控。
- 3) 对变频器(并通过变频器对电机、水泵)进行自动、软手动操作和硬手动操作控制。
- 4) 在计算机屏幕上显示上述各设备的运行状况。

4 变频自动控制效能

采用变频器后,通过对变频器的控制可实现对电机以及水泵的转速控制,从而圆满地解决了用户要求恒压变流的供水问题。

- 1) 变频器可以从“0 Hz 开始启动,省去了一套—3 变换装置,同时对电网无冲击现象。
- 2) 变频器对电机转速的控制是通过改变变频器的输出频率来实现的。变频器的输出频率,可方便地由 PLC 的模拟量输出来控制(由变频器模拟量输入端输入,同时设变频器工作在模拟量工作状态),而 PLC 模拟量输出的值,是通过水泵出口的压力(也可以是供水流量)来控制的(可通过 PLC 软件编程来实现)。这样就很好地实现了压力(流量)对变频器的控制,进而达到了对电机转速的控制,实现了系统对流量的自动控制。由于系统对压力(流量)数据的采集是每秒钟取样一次,实行自动跟踪,适时监控,因此完全避免了人为操作带来的不稳定性。

3) 变频器的变化几乎是连续的(可以精确到 0.1 Hz) 及对电机转速的调节可以精确到 3 r/min, 该精度完全满足节水灌溉要求。此外, 连续变化的频率, 使电机的转速可以从“0”到电机额定转速范围内任意改变, 从而使电机(随同水泵) 转速方便地随流量的变化而变化, 避免了电机的频繁启动以及大量的水量和能源的浪费。

5 实验结论与分析

设有变频控制时要求的工作压力为 0.25~ 0.3 MPa, 不同流量情况下, 分别采用阀门控制和变频控制方式进行实测, 其结果如表 1。由表 1 可以看出, 采用变频调节供水系统, 其节能效果视控制流量的大小能节省 20% ~ 69%, 节能效果非常明显。笔者利用上述方法进行了计算, 其结果与上表基本相符。

表 1 两种控制方法节能效果统计表

Table 1 The energy saving effect statistics of two control methods

控制方式	计算项目	$Q \text{ (m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$							
		0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	
阀门控制	效率%	0.98	0.94	0.89	0.82	0.73	0.62	0.49	
	功率/kW	0.99	0.97	0.95	0.92	0.89	0.86	0.84	
转速控制	转速 $r \cdot \text{min}^{-1}$	0.94	0.88	0.82	0.76	0.70	0.64	0.58	
	效率%	0.99	0.98	0.97	0.94	0.90	0.84	0.74	
	功率/kW	0.79	0.61	0.46	0.35	0.27	0.19	0.15	
节能效果		0.20	0.36	0.49	0.57	0.62	0.67	0.69	

注: 表中流量、转速及功率均为额定工况点的相对值。

若采用传统的阀门控制法来控制灌溉流量, 水泵运行寿命按 15 年计, 管理人员工资 0.5 万元/年, 电费 1 万元/年, 运行期内静态总费用 22.5 万元; 而本变频设备全套系统一次性投资 4.5 万元, 电费按上述的 60% 计, 为 0.6 万元(变频器本身耗电功率为 2W), 运行期内静态总费用 13.5 万元。由此也可看出采用变频自动控制的优越性。

6 结 论

由于实现了自动控制, 避免了人工操作, 同时也避免了电机的频繁启动, 节省了启动电量, 延长了系统的使用寿命, 提高了系统运行的稳定性。

变频技术现已广泛用于工业生产和控制工程中, 但用于节水灌溉上还不多见, 本文就变频技术在节水灌溉的供水系统中恒压变流的应用作了一些有益的工作, 取得了良好的效果。事实上, 采用变频器不但可实现恒压变流, 还可以实现恒流变压, 甚至变流变压的供水方式(通过 PLC 软件编程实现), 以满足不同用户的要求。

[参 考 文 献]

[1] 关 冶, 陈景良. 数值计算方法[M]. 北京: 中国青年出版社, 1990. 120~ 135

[2] 中国电工技术学会, 电控系统与装置专业委员会. 风机水泵交流调速节能技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990. 98~ 110

[3] 方彦军. 楼宇集中空调变频调节节能研究[J]. 自动化博览, 2000, 6: 5~ 7.

Research and Application of Energy-Saving Resulted From Frequency Conversion Control in Water-Saving Irrigation System

Wu Penglin¹, Zhang Xiangdong²

(1. College of Architecture and Environment Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2 Shanxi Hydroelectric Investigation & Design Institute, Ministry of Water Resources, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Based on the lift and pipe characteristics of a water supply system, the energy saving effects of frequency conversion control and valve control were analyzed and applied in water saving irrigation system. The traditional method to adjust the valve opening and to turn on or turn off the pump engine by people to meet the need of water supply was improved. It has the energy saving effect of 20% ~ 69%, but also has the benefit in prolonging the service life of equipment, improving the stability of water amount and water pressure and reducing human errors in their operation. The control of a water supply system by frequency conversion are realized.

Key words: water saving irrigation system; water supply system; valve control; frequency conversion control; energy saving