

# 变频调速技术在低压管道输水灌溉中的应用

李治勤<sup>1</sup>, 樊贵盛<sup>1</sup>, 郎旭东<sup>2</sup>

(1. 太原理工大学; 2. 晋中市水利局)

**摘 要:** 针对低压管道输水灌溉系统水井水量与电能利用率低的问题, 根据低压管道输水灌溉系统的特点, 提出应用变频调速技术使水泵实现“恒量变压”变频运行的设想。并以试验为依据, 对该设想的可行性及其节能效果进行了分析论证。结果表明, 管道各出水口的出水量可一直保持与井的设计出水量相等, 水泵可一直保持在其最优工况区, 该次试验的节能效果达到 37.3%~82.6%。

**关键词:** 低压管道输水灌溉; 变频; 恒量变压; 节能

**中图分类号:** S275.1; S275.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2003)02-0089-04

## 1 引言

低压管道输水常用于地面灌溉系统。该系统一般与井泵相联接, 沿灌溉管道每隔一定距离(一般为 50 m)设一出水口, 其运行特点是灌溉时一般只有一个出水口出水。

由于管道输水可以减少灌溉水的沿途损失, 且供水速度快, 深受农民欢迎。可以预测, 低压管道输水是我国今后节水灌溉中采用的主要技术之一。

低压管道输水条件下, 各出水口的出水量与出水口到供水井的距离成反比。实际运行中, 当水泵型号一定时, 出水口离水井越远, 出水量越小。当管道输水距离较长时, 可能出现出水量远小于水井供水能力的情况, 水井的利用效率会很低。同时, 由于出水口流量的减少, 导致灌溉单宽流量减小, 降低水流在畦田上的推进速度, 影响灌水效果, 尤其是降低田间灌溉水的利用率。而如果在水泵配套时选用扬程较高的水泵使较远处出水口的出水量与井的设计出水量相接近, 那么较近处出水口的出水量势必远大于井的设计出水量, 这时我们不得不关闭水泵出口阀门以限制流量, 从而使得水泵的一部分能量白白消耗在阀门上, 造成能量浪费; 反之, 如果在水泵配套时选用扬程较低的水泵使较近处出水口的出水量与井的设计出水量相接近, 那么较远处出水口的出水量势必小于井的设计出水量, 从而不能充分利用水井资源。

为了使管道不同出水口出水时, 其出水量都能与井的设计出水量相接近, 达到最大限度利用水井资源, 同时又能减少能量损耗的目的, 我们试图将变频调速技术应用于管道系统, 并使水泵以“恒量变压”的方式变频运行。这样, 在管道系统中配套水泵时, 可按离井较远处出水口的出水量与井的设计出水量相接近所需的扬程选

择配套水泵。当离井较近的出水口出水时, 通过变频调速技术降低水泵转速, 从而减小出水量, 以达到“恒量”的目的。这样即可解决上述矛盾。

变频调速技术, 其原理是利用变频器改变输入电机的电源频率, 从而达到调整电机转速的目的。变频调速供水系统示意图如图 1 所示。该系统可以按“恒压变量”和“恒量变压”两种变频方式运行。前者是指在管道上(一般为泵出口处)安装压力传感器, 变频器根据压力传感器检测到的压力信号自动提高或降低泵的转速, 使压力检测点的压力始终保持恒定——等于设定的压力值, 而出水量则发生相应变化。后者是指在管道上安装流量传感器, 变频器根据流量传感器检测到的流量信号自动提高或降低泵的转速, 使流量检测点的流量始终保持恒定——等于设定的流量值, 而压力则发生相应变化。

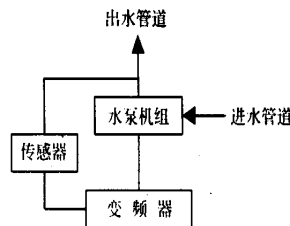


图 1 变频调速供水系统示意图

Fig 1 Sketch map of frequency-control and water supply system

目前流量传感器比较昂贵, 本文提出了一种使用压力传感器使水泵进行“恒量变压”运行的方法, 并以试验为依据, 分析变频调速技术在低压管道输水灌溉中使水泵以“恒量变压”方式变频运行的可行性及其节能效果。

## 2 试验系统

试验系统的管道布置示意图如图 2, 管道总长 558 m, 其上共 10 个出水口, 选择其中第 1、3、5、8 及第 10 个出水口进行试验。图中标出了各出水口高程及其距水泵出口的距离, 其中高程零点为水泵出口管道中心线, 图中单位为 m。

收稿日期: 2002-09-04 修订日期: 2002-12-26

基金项目: 国家重大科技产业工程项目: 井渠结合灌溉类型区农业高效用水模式及产业化示范项目(99-021-01-08)

作者简介: 李治勤, 太原 太原理工大学建筑与环境工程学院, 030024

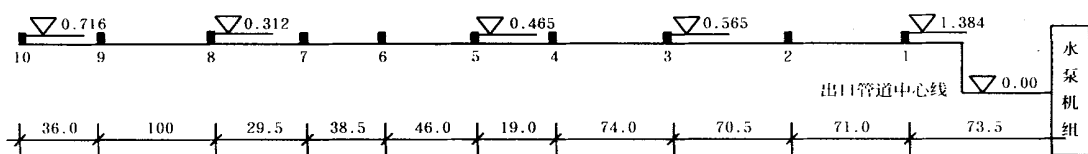


图 2 试验管道布置示意图(单位:m)  
Fig 2 Layout of test pipeline

系统中水泵为 SL S65-160 立式离心泵, 其额定流量为  $25\text{ m}^3/\text{h}$ , 额定扬程为  $32\text{ m}$ , 最高效率  $63\%$ 。最优工况区流量范围为  $17.5\sim 32.5\text{ m}^3/\text{h}$ 。电机功率  $4\text{ kW}$ 。

水泵电机与变频器及传感器连接如图 1, 其中传感器为压力传感器, 变频器上设有调压旋钮, 可根据工作出水口的位置随时人工调整设定压力值, 达到改变水泵转速的目的。

### 3 试验结果及其分析

试验对水泵在工频(即: 水泵电机始终在  $50\text{ Hz}$  的电源频率下工作, 此时水泵的转速基本保持其额定转速)及变频(即: 水泵电机在低于  $50\text{ Hz}$  的各种电源频率下工作, 此时水泵的转速随电源频率的不同而变化, 与电源频率成正比)运行情况下 5 个出水口分别出水时的耗电量、水泵出口压力、水泵流量、转速等物理量进行了测试。

#### 3.1 水泵“恒量变压”运行分析

图 3 为水泵工频运行情况下各出水口分别出水时, 系统工况点的变化情况, 其中每一出水口出水时, 调节 4~5 种不同的泵出口阀门开度改变该出水口的出水量。图中粗实线为水泵厂家提供的水泵性能曲线。

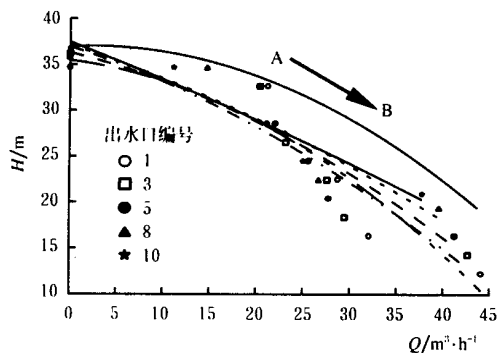


图 3 水泵工频运行系统工况点变化  
Fig 3 Changes in the system operating points with pump operating at  $50\text{ Hz}$

图 4 为水泵变频运行情况下各出水口分别出水时, 系统工况点的变化情况, 其中每一出水口出水时, 都将泵出口阀门开至最大开度, 通过调节变频压力改变该出水口的出水量。

从图 3 与图 4 可以看出:

1) 水泵工频运行时, 不论是同一泵出口阀门开度由不同出水口出水, 还是不同泵出口阀门开度由同一出

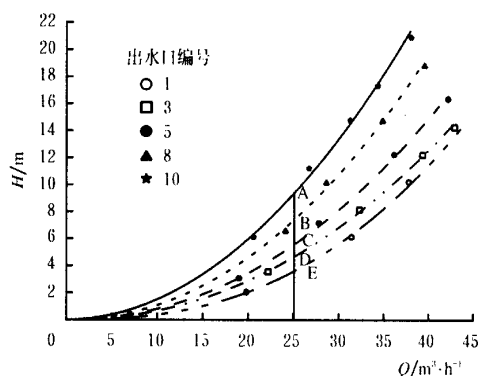


图 4 水泵变频运行系统工况点变化  
Fig 4 Changes in the system operating points with pump operating at varied frequencies

水口出水, 水泵性能曲线都不发生变化, 变化的是管道特性曲线, 故各种情况下的系统工况点都沿水泵性能曲线方向分布;

2) 由于水泵工频运行时其性能曲线不发生变化, 当由远至近的出水口依次出水时, 系统工况点将由 A 向 B 方向移动(图 3), 在同一泵出口阀门开度情况下, 其出水量将依次增加, 如表 1, 表中给出了泵出口阀门全开情况下水泵工频运行时各出水口的出水量。要使各出水口都与最远处的第 10 个出水口具有相同的出水量, 当这些出水口出水时, 必须减小阀门的开度;

表 1 水泵工频运行时各出水口的最大流量

Table 1 Maximum discharge at each outlet with pump operating at  $50\text{ Hz}$

出水口	1	3	5	8	10
最大流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	44.10	42.66	41.28	39.60	37.80

3) 当水泵变频运行时, 可将泵阀门开至最大开度, 通过调节变频压力改变各出水口的出水量。此时对某一出水口而言, 管道特性曲线不发生变化, 而水泵转速将随着变频压力的增加而增大, 随着变频压力的减小而降低, 故此时变化的是泵的性能曲线。由于不同出水口出水时其管道特性曲线不同, 故各出水口出水时系统工况点明显分开;

4) 由于水泵变频运行时, 其性能曲线可以发生变化, 故当不同的出水口出水时, 可以通过改变水泵的性能曲线而不是通过调阀门的开度来改变系统工况点, 从而使各出水口的出水量保持相等。如图 4 所示, 可使水泵工况点由 A 向 B、C、D、E 依次移动来保证第 10、8、

5.3.1 出水口具有相同的出水量  $25\text{ m}^3/\text{h}$ , 从而达到使水泵以“恒量变压”方式变频运行的目的;

5) 要使水泵以“恒量变压”方式变频运行, 需要通过改变水泵的性能曲线来改变系统工况点, 而改变水泵的性能曲线实际需要改变水泵的转速。要达到此目的, 可通过两种方法实现: 第一种为在系统中安装“流量传感器”, 使系统根据流量传感器的信号自动调节水泵转速, 该方法由于“流量传感器”的价格较高而需要较大的投资; 第二种为通过人工调节变频压力来调节水泵转速(工频), 该方法不需增加任何额外的投资。表 2 为 5 种流量时各出水口所需的变频压力值。

表 2 5 种流量时各出水口所需的变频压力

Table 2 Pressures at each outlet with 5 discharges $10^5\text{Pa}$					
流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	出 水 口				
	1	3	5	8	10
6.25	0.115	0.244	0.297	0.405	0.594
17.5	1.477	2.176	2.609	3.489	4.592
25.0	3.577	4.641	5.538	7.357	9.326
32.5	6.856	8.102	9.633	12.735	15.705
37.5	9.776	10.978	13.030	17.179	20.868

3.2 流量与耗电量关系

水泵不论在工频状态下运行, 还是在变频状态下运行, 其耗电量都将随着流量的增加而增大, 但二者又有所不同。

- 1) 水泵工频运行时, 即使将其出口阀门全部关闭使得出流量为零, 水泵也会消耗一部分能量; 水泵变频运行时, 当出流量为零时, 其耗电量也为零;
- 2) 随着某出水口流量的增大, 水泵工频与变频运行的耗电量都将增加, 但水泵变频运行时的耗电量明显小于水泵工频运行时的耗电量。当流量增大至该出水口的最大流量时, 二者的耗电量达到同一数值。

3.3 水泵“恒量变压”运行时的节电量

图 5 为各出水口流量为  $25\text{ m}^3/\text{h}$  时整个试验管道上水泵工频运行及变频运行时的耗电量, 图中实线为水泵工频运行时的耗电量, 虚线为水泵变频运行时的耗电量, 两条线所包围的面积与对应管道长度之比则为试验管道上各出水口在该流量下工作时的平均节电量。

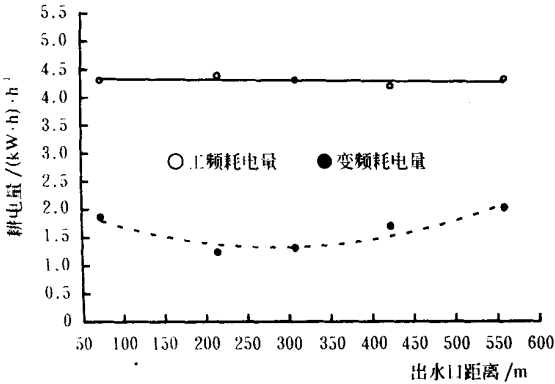


图 5 水泵“恒量变压”运行时的节电量

Fig 5 Power saving with pump operating under the condition of constant discharge at varied pressures

表 3 为 5 种流量时试验管道上的平均节电量及节电效果。

表 3 水泵“恒量变压”运行时的节电效果

Table 3 Power consumption and power saving with pump operating under the conditions of constant discharge at varied pressures

项 目	流 量/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$				
	6.250	17.50	25.0	32.5	37.50
工频耗电量/ $(\text{kW} \cdot \text{h}) \cdot \text{h}^{-1}$	2.519	3.656	4.290	4.847	5.180
节电量/ $(\text{kW} \cdot \text{h}) \cdot \text{h}^{-1}$	2.470	3.019	2.725	1.807	0.805
节电/%	98.040	82.565	63.530	37.273	15.543
水泵效率/%	24	54	66	60	57

从表 3 可以看出:

- 1) 流量较小时, 节电较多, 反之, 则节电较少。这是因为小流量只需要较小的变频压力即可达到, 而较小的变频压力时水泵转速较低, 耗电量较小, 故节电量就较多;
- 2) 尽管流量较小时节电量较多, 但太小的流量将使水泵工作在其“最优工况区”以外, 同时水井资源的利用率也低, 故在实际运行时不应采用;
- 3) 水泵在其“最优工况区”工作时, 本试验的节电量为  $37.3\% \sim 82.6\%$ 。

4 结论及存在问题

- 1) 在低压管道输水系统中应用变频调速技术实现水泵以“恒量变压”方式变频运行是可行的;
- 2) 水泵以“恒量变压”方式变频运行时, 能保证各出水口分别出水时, 系统的工况点都落在水泵的“最优工况区”内;
- 3) 本次试验水泵以“恒量变压”方式变频运行时的节电效果在  $37.3\% \sim 82.6\%$  之间;
- 4) 要使水泵以“恒量变压”方式变频运行时做到由变频调速系统自动对水泵进行调速处理, 需要在系统中安装“流量传感器”。目前该传感器价格较贵, 应探求新的“流量传感”途径;
- 5) 在不安装“流量传感器”的情况下, 可通过人工改变各出水口出水时的变频压力值达到使水泵“恒量变压”变频运行的目的, 但实施时比较麻烦一点。

[参 考 文 献]

[1] 曹晓波, 黄玉龙. 交流变频调速技术的发展与应用[J]. 冶金矿山设计与建设, 1996, 3

[2] 许广银, 高正中等. 智能型变频恒压供水控制器的研制[J]. 山东矿业学院学报, 1998, 9

[3] 胡 宁. 风机应用变频调速技术节能效果明显[J]. 浙江电力, 2001, 3

[4] 崔金贵. 变频调速恒压供水在建筑给水应用的理论探讨[J]. 兰州铁道学院学报(自然科学版), 2000, 2

[5] 王锡仲, 蒋志坚等. 变频优化调压节能供水装置的研制[J]. 给水排水, 1998, 10

[6] 姚志强. 关于变频调速恒压供水几个问题的探讨[J]. 西安公路交通大学学报, 1997, 6

## Application of frequency control technique to surface irrigation under low-pressure pipeline of water delivery

Li Zhiqin<sup>1</sup>, Fan Guisheng<sup>1</sup>, Lang Xudong<sup>2</sup>

(1. *Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;*

2. *Bureau of Water Resources of Jinzhong City, Yuci 030600, China*)

**Abstract:** In view of the fact that the availability of well water and the electric energy comprehensive utilization rate are low in surface irrigation under low pressure pipeline of water delivery; a new idea of applying frequency control technology to a low pressure pipeline was proposed in this paper, which allows the pump to operate under the condition of constant discharge at varied pressures. On the basis of the field experiments, the energy-saving feasibility and effectiveness of the idea were analyzed. The experimental result shows that the capacity of pipeline water outlets consistently equals the design capacity of the water supply well; the water supply well pump can continually operate at the optimal working condition region; and the energy-saving rate of this experiment is 37.3% ~ 82.6%.

**Key words:** surface irrigation under low pressure pipeline of water delivery; frequency control technique; constant discharge with varied pressures; energy-saving