

离心泵的流量调节与节能控制

王 宇 龙秉文 黄 海 杨祖荣
(北京化工大学化学工程学院, 北京 100029)

摘 要: 利用自行开发的离心泵性能测定平台, 考察了 IHG32-125 型离心泵的出口阀调节、单泵及双泵变速调节、定速泵与变速泵组合操作等不同方式的调节特性及能耗损失, 并进行了对比研究。实验发现, 对于单泵, 当输送量由 $5.8 \text{ m}^3/\text{h}$ 降至 $4.7 \text{ m}^3/\text{h}$ 时, 变速调节能耗仅为阀门调节能耗的 62%; 对于双泵, 当输送量由 $10 \text{ m}^3/\text{h}$ 降至 $7 \text{ m}^3/\text{h}$ 时, 双泵变速调节能耗为阀门调节能耗的 46%, 为定速泵与变速泵组合操作调节能耗的 61%。因此利用变频技术而实现的变速流量调节的方式节能效果最为显著, 且经济可行。

关键词: 离心泵; 流量调节; 变频技术; 节能

中图分类号: TE9

引 言

离心泵是一种通用的流体输送机械, 广泛地应用于城市供水、供热, 工业用水、物料输送等系统。作为流体外加功的输入设备, 离心泵的运行需要消耗一定的能量, 据统计, 目前离心泵的耗电量已经占到全国总用电量的 $1/5$, 其中一个重要的原因就是我国离心泵的运行效率远远低于国外先进国家, 使得大量能源浪费^[1]。离心泵的运行效率与泵自身设计和运行工况有关, 从现有水平改进设计, 欲提高效率的难度已愈来愈大^[2], 而通过优化泵的运行工况与调节方式来提高效率尚有空间, 人们对此方面的研究也越来越为重视^[3-4]。

流体的输送任务是由离心泵和管路共同完成的, 工作状态与离心泵和管路二者紧密相关。流量的调节可通过调节阀门开度以改变管路特性, 或通过调节离心泵的转速以改变泵的特性, 两种调节方式使得调节后的流量与压头均发生变化, 从而引起能耗的差别, 当输送量相同时, 变速调节运行条件下的输送压头较低, 节能效果显著^[5-6]。

当单泵输送液体量达不到指定要求时, 工业上常采用多泵的串联或并联组合操作, 其组合方式的选择需根据输送任务与管路情况确定, 通常对于高

阻管路, 串联优于并联; 对于低阻管路, 并联更为适宜^[7]。就离心泵组合操作而言, 其流量调节方式较单泵更为多样化, 如对于常用的双泵并联操作可采用出口阀调节, 亦可采用定速泵与变速泵的并联运行, 或采用双泵调速的并联运行方式完成输送任务。对于一定的输送任务, 采用以上哪种调节方式能够更好的节能是一个值得深入研究的问题, 其结果也具有有很强的工业指导意义。本文通过对离心泵的特性分析, 结合变频调速技术, 实验考察了在满足输送任务的条件下不同调节方式的运转特性及运行效率, 提出了优化的节能控制手段。

1 实验流程与装置

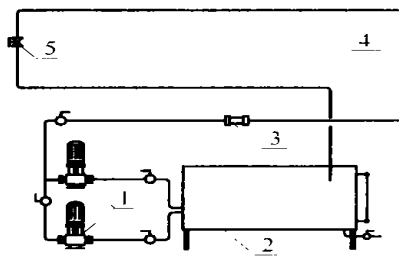
本文所有的实验工作均通过我校自行开发的计算机在线数据测控离心泵性能测试平台而完成, 平台的实验流程如图 1 所示, 主要由 IHG32-125 型离心泵、管路系统、流量调节阀、涡轮流量计、变频器及在线数据测控系统组成。实验介质为清水, 循环使用, 最大流量为 $12 \text{ m}^3/\text{h}$; 为了防止测压口与流量计的堵塞以及液体倒流, 在离心泵的吸入口前分别加装有过滤网和止逆阀。实验过程中的数据采集和参数控制可由计算机在线数据测控系统完成, 该系统由变频器、AI 人工智能仪表和温度、压力、流量及功率变送器, 以及利用 Visual basic 语言编写的计算机测控软件组成。本实验平台可对单台离心泵的性能进行研究, 考察其不同转速下的特性曲线、不同出口阀开度时的管路特性曲线; 也可考察双泵并联时不同运行工况下泵的运转特性及运行效率。

收稿日期: 2006-09-06

基金项目: 2006 年北京市高校教改项目

第一作者: 男, 1976 年生, 讲师

E-mail: yuwang@mail.buct.edu.cn



1—离心泵及变频器;2—水箱;3—涡轮流量计;
4—管路系统;5—流量调节阀

图 1 实验平台流程示意图

Fig. 1 Schematic illustration of the experimental platform

2 结果与讨论

2.1 单泵操作优化调节

利用实验平台,首先测定了 IHG32-125 型离心泵在转速为 2900 r/min 时的特性曲线,结果示于图 2。由实验可知,该泵的最高效率约为 35%,其最佳工作范围是 4.5~6.5 m³/h,与生产厂家出示的测试数据一致。

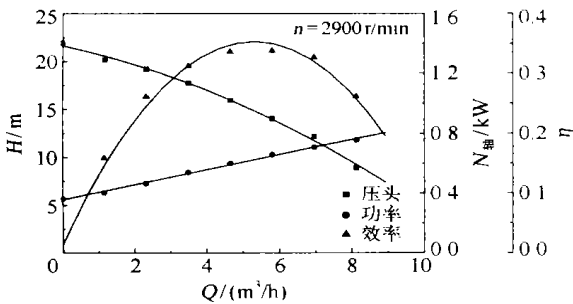


图 2 IHG32-125 型离心泵的特性曲线

Fig. 2 Characteristic curve of the IHG32-125 centrifugal pump

图 3 为不同流量调节方式的特性分析,初始工作点为图中 A 点,流量为 5.8 m³/h,输送压头为 14 m,效率约为 34%,实验进一步分别通过关小出口阀开度和减小离心泵转速,将流量减小 20% (4.7 m³/h) 进行考察。图 3 中曲线 I 为关小出口阀后的管路特性曲线,点 B 即为调节后的工作点,其输送压头为 15.8 m,轴功率为 0.61 kW;曲线 II 为改变泵的转速后,离心泵在 2300 r/min 时的特性曲线,工作点沿管路特性曲线向左下移动,与调节后的泵的特性曲线交于 C 点,此时离心泵的输送压头为 9.0 m,其轴功率为 0.38 kW。

实验结果表明,调节出口阀开度的方法操作简便、灵活,但阀门关小增加了管路阻力,使增大的压头消耗于阀门的附加阻力上,额外消耗了功率,经济

上不合理。随着变频技术的发展,对于中小型离心泵,利用变频器可较为便捷的改变转速,运行更为经济,克服了因关小阀门而产生的压头损失,使其输送压头减小了 6.8 m,节省能耗 38%。

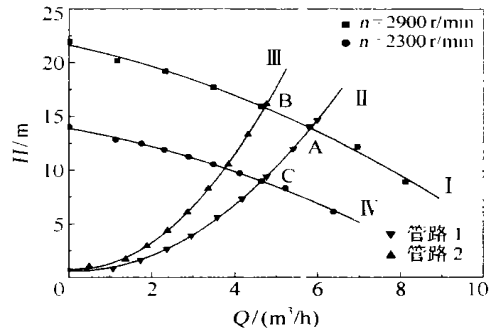


图 3 流量调节方式的特性分析

Fig. 3 Characteristics of different ways of regulating the flow on a single pump

2.2 双泵并联操作

双泵并联操作时测定的特性曲线如图 4 所示,曲线 I 为单泵的特性曲线,曲线 II 为双泵并联的特性曲线,曲线 III 为输送管路的管路特性曲线。测定结果表明,在相同输送压头下,双泵并联的输送能力是单泵的两倍,但在同一输送管路中工作时,由于能量损失随流量的增大而增加,致使管路所需输送压头提高,实际输送量会有所减小(如图中的 M 点和 N 点)。

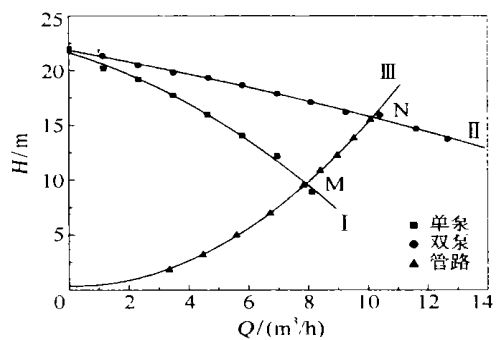


图 4 双泵并联操作的特性曲线

Fig. 4 Characteristic curves of double pumps connected in parallel

对于双泵并联操作的流量调节方式仍可如单泵调节方式,采用出口阀调节和变频调节技术,测定结果示于图 5,其调节特性与单泵调节特性类似,采用变频调节方式比出口阀调节更为节能。

2.3 定速泵与变速泵组合操作

在实际生产中,还可利用定速泵与变速泵的组

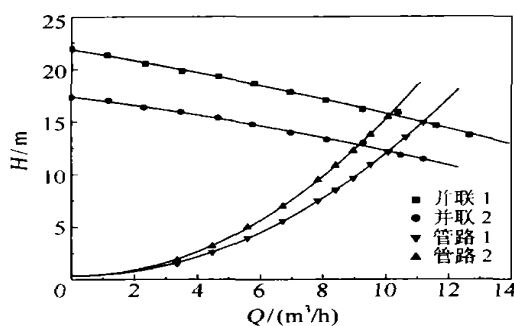


图 5 双泵并联流量调节特性分析

Fig. 5 Characteristics of different ways of regulating the flow for double pumps connected in parallel

合实现双泵组合操作的流量调节,图 6 示出了测定的定速泵 ($n = 2900 \text{ r/min}$) 与变速泵不同转速运行条件下的特性曲线,组合 1、2、3 中变速泵转速分别为 2600、2300、2000 r/min 。其特性曲线明显的分为两段,两段曲线均为抛物线形,曲线相交处有一个拐点,在拐点前保持着与单台泵定速操作时 ($n = 2900 \text{ r/min}$) 相同的特性,其输送能力与单台泵相同;在拐点后其变化趋势变缓,此区域即为操作的有效范围,通过调节变速泵的转速,可以改变输送量。随着变速泵转速的变化,可有不同的泵组合操作特性曲线,形成一系列不同的工作状态,以满足流量调节的要求。

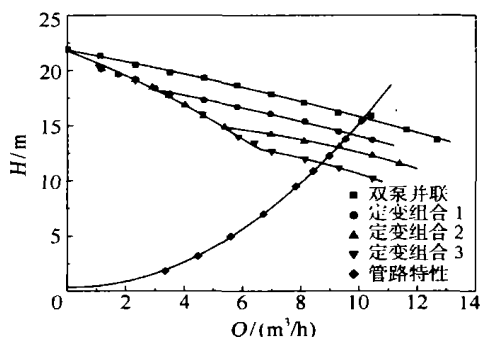


图 6 定速泵与变速泵组合特性分析

Fig. 6 Characteristic curve for a combination of a fixed-frequency pump and a variable-frequency pump

2.4 不同操作方式的能耗比较

对于单泵运转,前面已经分析说明,因关小出口阀使管路阻力增加,额外消耗能量,采用调节离心泵转速的方法更为节能,且随着变频调节技术的发展,对于中小型离心泵通过改变电机输入电源的频率实现电机转速的调节已广泛地应用在各种场合。对于双泵组合操作,本文对阀门调节、双泵并联变速调

节、定速泵与变速泵组合操作三种调节方式进行了实验研究,图 7 给出了不同操作方式下能耗与输送量的变化关系,三种调节方式的能耗均随输送量的减小而减小,但其减幅各不相同,在测试过程中,将输送量由 $10 \text{ m}^3/\text{h}$ 减至 $7 \text{ m}^3/\text{h}$,调节阀门的方式电机功率只减小 0.19 kW ,降幅仅为 13%;定速泵与变速泵组合操作能使电机功率减小 0.51 kW ,降幅约为 35%;双泵并联变速调节可使电机功率减小 0.87 kW ,降幅接近 60%;此时,双泵并联变速调节能耗仅为阀门调节能耗的 46%,为定速泵与变速泵组合操作能耗的 61%。

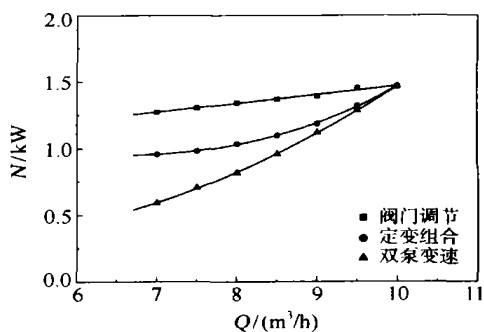


图 7 不同操作方式的能耗比较

Fig. 7 Energy consumptions of the different methods

三种操作方式能耗不同的主要原因是,阀门调节方式改变了管路特性曲线,增加了额外的阻力,使能耗最大。双泵并联变速调节与定变组合操作均是基于离心泵变速调节的机理,改变了泵的特性曲线,而未使管路特性曲线发生变化,故其能量消耗均小于阀门调节方式。但就后两种调节方式而言,双泵并联变速调节在改变输送量时,双泵转速同时降低,其功率亦同时减小;而定变组合操作则不然,其各泵功率随输送量的变化关系如图 8 所示,变速泵的功

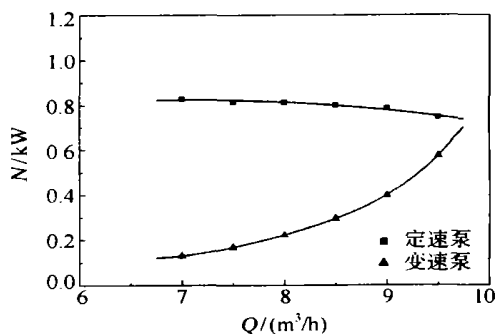


图 8 定变组合操作能耗特性分析

Fig. 8 Energy consumption of the combination of a fixed-frequency pump and a variable-frequency pump

率随输送量的减小而明显减小,但定速泵的功率却随输送量的减小而有所增加。随着输送量逐渐减小,两泵的运转效率均将下降,且变速泵流量变化明显,降幅较大,运行效率将会很低;定速泵则随输送量的减小,功率逐渐增加,若输送量调节范围较大,亦可能超过额定功率,致使电机过热等现象产生。

3 结论

离心泵流量调节的实质是工作点的调节,可通过改变离心泵的特性曲线或管路特性曲线得以实现。利用变频技术实现的变速调节是一种简便快捷的调节方式,对于单泵运行,其节能效果优于阀门调节;对于双泵并联运行,双泵并联变速调节与定速泵变速泵组合操作的节能效果都较阀门调节方式为优,且双泵并联运行节能效果最为显著。随着变频技术的逐渐发展及能源问题的日益严峻,变频系统的投资费用可随其显著的节能效果,而快速回收于

所节省的能耗费用中。因此,无论对于单泵或是双泵并联运行方式,采用变频调节都是经济可行的。

参考文献:

- [1] 陈苹,李合,许洪元. 离心泵、管路串并联及其优化和节能研究[J]. 水泵技术, 2004(3): 31 - 35.
- [2] 谈明高,袁寿其,刘厚林. 离心泵性能预测的研究现状与展望[J]. 水泵技术, 2005(3): 23 - 25.
- [3] 黄禹忠,诸林,何红梅. 离心泵的调节方式与能耗分析[J]. 化工设备与管道, 2003, 40(6): 29 - 31.
- [4] 郭俊忠,常连玉,高胜. 注水系统运行方案优化研究[J]. 系统工程理论与实践, 2002(12): 127 - 130.
- [5] 陈敏恒,丛德滋,方图南,等. 化工原理[M]. 上册. 北京:化学工业出版社, 1999.
- [6] 赵国相,李岩成,贾国奇,等. 离心泵的变频调速与节能[J]. 石油矿场机械, 2005, 34(5): 107 - 108.
- [7] 叶长,阮奇,李玲. 离心泵组合操作方式的简易判据[J]. 化工设备与管道, 2005, 42(4): 38 - 40.

Flow control of a centrifugal pump and its energy-saving operation control

WANG Yu LONG BingWen HUANG Hai YANG ZuRong

(College of Chemical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Different ways of controlling the flow in a centrifugal pump and the associated energy consumption under a constant flow, including outlet valve control, single pump control, double-pump frequency conversion control and a combination of fixed-frequency pump and variable-frequency pump control, have been experimentally investigated. The results show that for a single pump, the energy consumption of variable-frequency control is 62 % of that of outlet valve control when the flow is decreased from $5.8 \text{ m}^3/\text{h}$ to $4.7 \text{ m}^3/\text{h}$; for double pumps, the former is only 46 % of the latter, and is 61 % of that of a combination of fixed-frequency pump and variable-frequency pump control when the flow is decreased from $10 \text{ m}^3/\text{h}$ to $7 \text{ m}^3/\text{h}$. It is therefore concluded that using frequency conversion technology to convert the speed of a pump gives the best performance and the lowest energy cost, irrespective of the number of pumps.

Key words: centrifugal pump; flow control; frequency converting technology, energy-saving