

# 污水处理厂水泵选型及节能技术的研究

郑州轻工业学院材料与化工学院 (河南 450002) 周 军

郑州轻工业学院研究生处 (河南 450002) 王艳军

同济大学环境科学与工程学院 (上海 200092) 陈绍伟

**【摘 要】** 水泵是污水处理厂的关键设备, 对其优化选型和节能降耗是一项重要工作。探讨了对水泵优化选型的方法, 评述了变频调速、水泵优化组合和污水源热泵等三项高效的节能降耗技术。

**【关键词】** 优化选型 节能 变频调速 水泵 污水源热泵

## 一、前言

水泵是污水处理厂能源消耗的重要设备之一, 其耗电量约占全厂总电能用量的 37% ~ 39%<sup>[1]</sup>。水泵运行高效与否对污水处理厂的污水处理效率和运行成本有着至关重要的影响。但实际生产中, 水泵运行往往处于低效状态, 能耗大和控制方式落后。因此, 水泵的优化选型即合理确定流量  $Q$  和扬程  $H$  值<sup>[2]</sup> 及采用节能降耗的新技术对降低污水处理厂的运行成本具有实质性的意义和作用。

## 二、水泵的优化选型

在污水处理厂中, 水泵在整个污水处理运行过程中起着不可估量的作用, 其主要用于进水的提升、污泥的回流、剩余污泥的排放和处理污水的外排等<sup>[3]</sup>。污水处理厂由于其进水水质特点, 大多使用专用的污水泵, 如潜水排污泵和立式污水泵等。所以, 对污水处理厂水泵进行优化选型不仅对污水处理投资影响很大, 而且与节约能源、降低成本及提高经济效益都密切相关。污水处理厂水泵的优化选型应遵循以下原则。

- 1) 在设计年份内, 泵应满足扬程和流量的技术要求, 其运行工作点, 应在高效区范围内。
- 2) 水泵在长期运行中, 多年平均扬程下的装置效率高, 运用费用少。
- 3) 在校核最高扬程下, 水泵正常高效工作。

基于以上原则, 对水泵进行优化选型, 可从以下几方面入手。

### 1. 泵稳定运行工作点的确定

当水泵安装到特定的管路系统中工作时, 实际工作扬程和流量不仅与泵本身的性能有关, 还与管路的特性有关, 即泵稳定运行时的工作点由泵性能曲线  $H-Q$  与管路特性曲线  $H_e-Q_e$  决定 (如图 1), 两曲线的交点 ( $Q_e, H_e$ ) 即为运行工作点。图 1 中  $\eta-Q$  为泵的效率曲线, 其上有一最大值点为泵的最高效率点; 通常, 泵运行的工作点应该位于泵的最高效率区内, 一般为最高效率点的 92% 左右, 这样, 泵才能够高效运行。

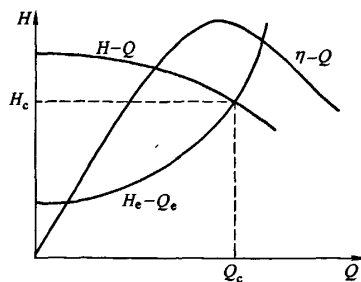


图 1 泵与管路特性曲线关联图

$H-Q$  曲线由水泵生产厂家提供;  $H_e-Q_e$  曲线由具体的管路系统自然形成, 具有固定性, 可根据具体的管路进行流体力学计算, 曲线方程一般具有下列通式形式<sup>[5]</sup>, 即

$$H_e = K + BQ^2$$

与  $H-Q$  曲线方程进行联立求解, 即可解得泵的工作点 ( $Q_e, H_e$ )。

## 2. 流量 $Q$ 的选定

对于流量变化不大的场合,水泵流量的选定比较容易,直接根据流量确定即可;但对污水处理厂来说,污水主要来自工业废水、生活污水和雨水径流等,水量具有在时间段上的不确定性,即在不同的时间段内,流量差异较大,此时如果按某一峰值流量  $Q_{\max}$  作为泵选型时所需的流量  $Q$  值,结果可能造成所选泵大部分时间都运行在小流量工作点上,偏离高效区,增加运行费用和能量损失。如图2所示,由于  $Q$  偏大,为了使泵能稳定运行于  $Q_c$  点,只有减小出口调节阀的开度,人为增加  $\Delta h$  的能量损失,增加运行费用。因此对于污水处理厂这种变流量的场合而言,一般可取  $Q_c = Q_{\max}/1.2$  较为合适。

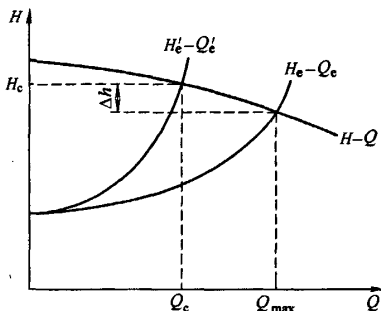


图2 流量控制管路特性变化曲线

## 3. 扬程 $H$ 的确定

泵流量  $Q$  确定后,就可以确定泵进出口管径,完成整个管路系统的布置。管路装置的扬程  $H_s = K + BQ^2$  也能确定,得到  $(Q_c, H_c)$  点。目前我国进行污水处理厂的设计时,水头损失普遍偏高,导致水泵的扬程计算值偏高。从水泵的有效功率  $N_e = rQH$  可以看出,  $r$ 、 $Q$  一定时,  $N_e$  与  $H$  成正比,因此降低水泵的扬程,会有显著的节能效果。降低水泵的扬程可以采取以下措施。

- 1) 各个构筑物总体布置要紧凑,连接管路要短且直,管材阻力系数尽量要小,减少水头损失。
- 2) 改非淹没式的堰为淹没式的堰,水流的落差可以减小25cm。
- 3) 利用自然地势实现污水自流,补偿部分污水管路水头损失。

## 4. 选型

根据以确定的流量  $Q_c$  和扬程  $H_c$  从泵的样本或产品目录中选出合适的型号。选用流量与扬程尽量达到设计

要求且效率高的污水泵,如液下泵和潜污泵,与普通卧式离心泵相比,安装形式简单,而且当直接能耗相同时,间接能耗要低得多;另外,水泵机组尽量采用同一泵型,以便维修管理,不同流量大小搭配的水泵,型号尽量一致<sup>[4]</sup>。

在实际选泵的过程中,所选出的泵所能提供的流量和扬程无需与管路所要求的流量  $Q_c$  和扬程  $H_c$  完全相符。对于如何选用一个最优规格的水泵,原则上就是视  $H_s-Q_c$  曲线与  $H-Q$  曲线的交点与  $(Q_c, H_c)$  点的接近程度,最接近的即是最优规格的。但该过程实施起来,有时是比较繁琐的,此时可借助一些专用的泵选型软件,提高工作效率,合理地对泵进行优化选型。

## 三、水泵的节能技术

水泵是污水处理厂重要的耗能设备之一,因此采取一定措施,对它进行节能降耗,将会产生实质上的效果。除了对泵进行优化选型可以提高节能效果外,目前较为常用且效果较为明显的节能技术是流量调节技术<sup>[5,6]</sup> (包括管路机构调节、水泵叶轮调整改造和变频调速技术等)、水泵优化组合技术和污水源热泵技术等。其中,流量调节技术中的变频调速技术是一项新兴的且节能效果十分明显的节能技术。仅对水泵的变频调速、优化组合和污水源热泵这三项高效的节能技术加以探讨和评述。

### 1. 变频调速节能技术

异步电动机的变频调速是通过改变定子的供电电源频率来改变旋转磁场的同步转速,从而改变转子的转速。它不产生任何附加损耗,是一种比较理想的调速方法。异步电动机的变频调速一般通过变频器实现。变频调速节能的实质是通过调速来改变泵的性能曲线,从而改变泵工作点,使之在高效区内运行,达到节能降耗的目的。所以在污水处理厂中,应用变频调速装置,不仅有助于水泵设备的合理匹配,节省设备购置费用,又可以改善水泵的运行质量,消除设备负荷不均衡产生的“水锤效应”,减小对电网的冲击。同时,水泵的节能效果可达40%以上<sup>[7]</sup>。

污水处理厂中变频调速技术的应用模型如图3所示。其原理是由现场可编程控制器(PLC)测控终端通过有线通信方式和设置在污水处理厂的中央管理计算机组成分部、集散型测控管理系统;水泵由变频器驱

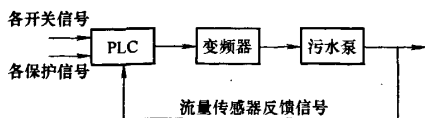


图3 变频控制系统原理图

动,根据污水集水池进水流量变化进行控制,流量传感器反馈信号与流量设定信号输入PLC后,经可编程序控制器内部PID控制程序的计算,输给变频器一个转速控制信号。变频器为电动机提供可变频率的电源,使电动机获得无级调速所需的电压和频率,从而直接改变和控制电动机的输出轴功率,保证污水泵机组一直运行在高效区,水泵机组运行效率可保持在75%以上<sup>[8]</sup>。

所以,近些年来,变频调速技术在污水处理厂中得到广泛应用,通过对原有泵类设备进行变频技术改造,来实现节能降耗的目的,并且效果十分明显。广州经济技术开发区污水处理厂<sup>[9]</sup>引入了PLC控制、变频控制,对各污水收集泵站进行了自动化改造,泵站的平均输水效率从改造前的 $9\text{m}^3/\text{kW}\cdot\text{h}$ ,通过泵的合理调配和改造提高到了 $13\text{m}^3/\text{kW}\cdot\text{h}$ ,通过自动化改造采用变频输水后,输水效率又进一步提高到 $17\text{m}^3/\text{kW}\cdot\text{h}$ ,运行人员从28人减少到12人,并使得进入处理厂的污水的水质和水量基本平稳,进一步降低了厂区内的污水的处理成本,保证了水处理厂的正常运行;漳州市东区污水处理厂<sup>[10]</sup>采用变频技术对进水泵站的4#泵进行改造,采用变频调速技术后电动机节能可达到30%以上,2003年投入运行后实际节约电费35 795.39元,3年可回收全部投资10.6万元;文昌沙水质净化厂<sup>[11]</sup>采用变频调速技术对其两台污泥回流泵进行技术改造,改造后,日节电 $539.8\text{kW}\cdot\text{h}$ ,节电率44%,年节电可达 $197\,027\text{kW}\cdot\text{h}$ (折合电费约14万元),7.4个月可回收全部投资;绍兴污水处理厂<sup>[12]</sup>采用变频调速技术,年节电可达23万元,达到了节能增效的目的,并收回了投资。

## 2. 水泵优化组合节能技术

水泵优化组合也是一项较好的系统节能技术。虽然变频调速技术可以实现高效的节能,但污水处理系统往往是多台水泵并联输水,又由于变频调速技术投资昂贵,不可能将所有水泵全部调速,所以水泵优化组合可以通过将不同台数,不同运行速度的水泵并联运行来满足工况的不断变化。这种方式要求污水处理厂泵站内大

小水泵合理搭配,可以配合变频调速技术,能达到更好的节能效果。

郑州市中法原水公司<sup>[12]</sup>对其输水泵站进行水泵组合节能改造后,在设计水位条件下运行,满足供水量的同时,平均能源单耗降低39%,即使在最不利的运行条件下,平均能源单耗也能降低21.6%,节能效果明显。重庆市涪陵二水厂4台进水泵并联运行,配合变频技术,采用3用1备,1定2调的组合方案,系统能量利用率明显提高,一年能节约电费124.5万元,节能效果十分可观。四川省遂宁市第二水厂采用大、小泵搭配的优化输水方案,机泵的效率由原来的77.5%提高到81%,能耗由原来的 $7\,720\text{kW}\cdot\text{h}$ 降至 $6\,836\text{kW}\cdot\text{h}$ ,节能效果显著。

## 3. 污水源热泵节能技术

污水源热泵节能技术是另一项新兴的节能技术,它利用污水即使在夏天也能保持在 $22^\circ\text{C}$ 左右的特点,使降温或者升温的水通过全封闭的管道流动,在整个过程中只是水温发生变化,不会对环境造成污染,也不会影响室外温度。城市污水是一种很适宜的热泵水源,在冬季可作为供暖系统热源,而在夏天为空调系统提供冷源。这种技术节能效果十分明显,相对于用空气作为交换介质的空调,“污水空调”可以节能25%。

污水处理厂中污水源热泵系统应用如图4所示。其运行流程是污水经潜污泵进入水源热泵系统进行热量交换,在另一端循环泵的作用下,从污水中收集的能量,由水源热泵进入末端换热器,进行制冷或供暖,使污水中的潜在能量得到利用,从而达到节能的目的。

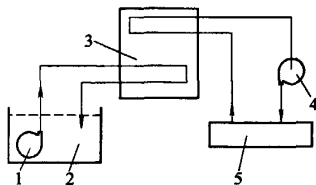


图4 污水源热泵系统应用模型

1. 潜污泵 2. 污水池 3. 水源热泵 4. 循环泵 5. 末端散热器

城市污水中蕴含的能量是相当可观的,利用污水源热泵技术回收这些潜在能量,进行制冷或供暖,可以有效节约污水处理厂在这方面的能耗开支,并会取得良好的经济效益。所以,这种技术在污水处理厂中正逐步推广实施,并取得了良好的节能效果。据有关报道,北京

高碑店等污水处理厂在用污水热泵技术代替其他供暖、供冷方式后,电耗大大降低,仅北小河污水处理厂一个夏天就可节电6万kW·h;天津纪庄子污水处理厂采用污水源热泵技术进行供暖,与其他供暖系统相比,其电耗是燃油费用的1/3,是燃气锅炉的1/2,节能30%~60%,充分体现了污水源热泵高效节能的特点;秦皇岛污水处理厂<sup>[13]</sup>利用污水源热泵技术进行供暖和制冷,使得冬季室内温度为20~24℃,夏季室内温度为22~26℃,而且可以利用污水源热泵系统一机多用的特点,省去锅炉房、冷却塔,减少了对环境的污染,节省了设备初期投资和运行费用,节能效果十分明显;孟富春<sup>[14]</sup>等在探讨某污水处理厂的中水-高温热泵供暖设计方案时指出,若该厂以中水作为热源,利用高温热泵可提供温度高达70℃的出水,夏季还可以提供348kW制冷量,2年即可回收整个工程的投资。

#### 四、结语

水泵是污水处理厂运行的重要设备,对水泵进行优化选型是污水处理厂优化设计和经济运行的一项重要工作,而且与节约能源,降低成本,提高经济效益都密切相关。而对水泵采用变频调速、优化组合和污水源热泵等先进而又高效的节能技术,将会大大降低污水处理厂的能耗,节约运行成本,而且会取得良好的经济效益。所以,对于污水处理厂来讲,今后首先应加强对泵的优化选型工作,努力确保泵能够高效运行;其次,运用先进而又高效的节能技术对泵类设备进行节能技术改造,从而达到节能降耗的目的。这些工作开展和措施的实行,将对污水处理厂今后的生存与发展大有裨益。

#### 参考文献

- [1] 徐庆华. 污水处理厂水泵节电技术的实践与研究 [J]. 通用机械, 2007, 58 (7): 21-23.
- [2] 任明达, 王伟业, 程政. 泵的优化选型 [J]. 机电工程, 2004, 21 (7): 59-60.
- [3] 蔡芝斌, 张志峰, 奚晓东, 等. 污水处理厂水泵应用与节能改造 [J]. 环境科学与管理, 2006, 31 (2): 114-116.
- [4] 吴慧芳, 孔火良. 城镇小型生活污水处理设备及其展望. 工业安全与环保, 2003, 29 (5): 17-20
- [5] 王朝晖, 耿光辉, 宋生奎. 泵节能的探讨 [J]. 中外能源, 2006, 11 (5): 73-76.
- [6] 林荣忱, 李金河, 林文波. 污水处理厂泵站与曝气系统的节能途径 [J]. 中国给水排水, 1999, 15 (1): 21-23.
- [7] 李双祥, 王健飞, 关建平. 变频调速器在泵站设备动力的应用及节能 [J]. 应用能源技术, 2004 (3): 32.
- [8] 林琰. 变频调速在污水提升泵上的节能应用 [J]. 节能, 2004 (3): 50-51.
- [9] 陈颖, 杨富强. 污水收集泵站 PLC 控制变频节能与无线监控调度系统 [J]. 通用机械, 2004 (9): 39-42.
- [10] 魏炎光. 变频技术在城市污水处理厂生产控制中的应用 [J]. 漳州师范学院学报 (自然科学版), 2005 (2): 74-76.
- [11] 黄兆龙. 污泥回流泵变频改造及节能分析 [J]. 变频器世界, 2005 (4): 110-113.
- [12] 夏龙兴, 吴蓉. 低扬程取水泵站节能技术与优化运行 [J]. 给水排水, 200430 (10): 96-98.
- [13] 高月芬. 水源热泵系统在污水处理厂的应用 [J]. 供热制冷, 2003 (4): 17-19.
- [14] 孟富春, 朱颖秋, 董明, 等. 某污水处理厂的中水-高温热泵供暖设计方案 [J]. 电力机械, 2006, 27 (5): 44-46. GM

(收稿日期: 2008/03/04)

### 葆光研发中国原生污水源热泵系统技术

近日, 从大连市经委、大连经济开发区发展改革局共同组织召开的原生污水源热泵技术应用推广会上了解到, 大连葆光首创的中国原生污水源热泵系统技术, 已经在大连开发区友谊商城成功运行了近半年。辽宁省建设厅有关负责人称, 该技术在经过了由大连建委组织、中国建筑科学研究院教授吴元炜主持的专家鉴定委员会的严格审核和用户的实际应用后, 实为国内首创、国际

先进, 开创了我国原生污水源热泵技术的先河, 具有极大的推广价值。

我国城市污水量巨大, 冬暖夏凉, 且水温、水量相对稳定。2006年全国污水排放量共计537亿t, 预计到2010年将达到730亿t左右。如果用原生污水源热泵回收这些污水中的废热, 可以解决至少30亿m<sup>2</sup>建筑物冬季采暖问题。