

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2014.03.020

半淹没式旋转孔板污水取水机水力特性 数学模型及运行分析

刘志斌, 马良栋, 张吉礼

(大连理工大学 建设工程学部, 辽宁 大连 116024)

摘要:针对污水源热泵系统中过滤除污装置流量稳定性差、不易调节并影响换热器效率的问题,介绍了新型半淹没式旋转孔板污水取水机,研究了其工作原理,通过建立数学模型分析了污水中污染物浓度、污水的液面高度、孔板的旋转周期对其过流量、过滤负荷、滤面堵塞系数的影响。结果表明:污水液面高度、孔板旋转周期一定的条件下,污水浓度增加将导致孔板过流量减小,滤面堵塞系数增加;通过调整液面高度和孔板旋转周期可调节由于污水中污染物浓度变化对孔板过流量的影响,且孔板旋转周期调节效果优于液面高度。

关键词:污水源热泵;过流量;过滤负荷;堵塞系数

中图分类号:TU831.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2014)03-0123-06

Mathematical Model and Operation Analysis of Semi-submerged Rotary Orifice Sewage Source Heat Pump Intake Machine

Liu Zhibin, Ma Liangdong, Zhang Jili

(Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning, P. R. China)

Abstract: To solve the flow instability and adjustment difficulty of filtering dirt-removing device in the sewage source heat pump system, which affect the efficiency of heat exchanger, semi-flooded rotary orifice sewage auto-strainer was generated. According to establishing the mathematical model, the effect is analysed of pollutant concentration and liquid level height of sewage and rotation period of orifice plate to filtered flow rate, filtered load and filtering surface block coefficient. The result shows that: in the certain condition of sewage liquid level height and orifice plate rotation period, the increase of sewage will decrease the filtered flow rate of orifice plate, and increase filtering surface block coefficient; The effect of pollutant concentration change in the sewage to orifice plate filtered flow rate could be adjusted by regulating the sewage liquid level height and orifice plate rotation period, and the moderating effect of orifice plate rotation period is better than that of sewage liquid level height.

Key words: sewage source heat pump; filtered flow rate; filtered load; blockage coefficient

利用热泵回收城市污水及地表水(江、河、湖、海污水)中的低品位热能节能环保意义重大^[1-2]。城市原生污水具有流量稳定、分布合理、取排简便、热容量大、换热效率较高、冬夏温度适宜的优点,针对它的

收稿日期:2013-12-01

基金项目:中央高校基本科研业务费重大类研究型培育项目(DUT11ZD105);新疆建设兵团科技局(2011AB025);“十二五”国家科技支撑计划(2011BAJ03B12-3);江苏省科技支撑计划(BE2010645)。

作者简介:刘志斌(1979-),男,博士生,主要从事污水热能资源化研究,(E-mail)zhibin01@126.com。

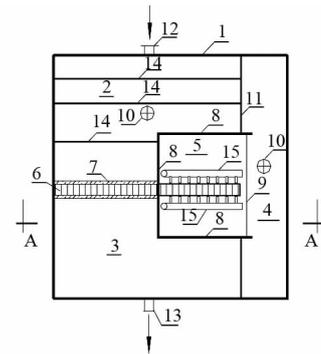
通讯作者:张吉礼(通信作者),男,教授,博士生导师,(E-mail)zhangjili@hit.edu.cn。

研究和应用正在快速发展^[3-8]。城市原生污水含有各种尺度的污染物,利用过程中为保证换热设备不被堵塞,需采用合理的过滤除污技术,例如旋转式筛分器^[9]、多滤面水力反冲洗系统、旋转式连续除污过滤器、自动清洗滤水装置^[10]等。上述过滤除污装置采取机械刮剥、人工定期刷洗等方法来解决污水取水过程中污染物过滤和清除问题,存在工作量大、运行工况不稳定的缺点。在中国,基于滤面水力连续再生装置的水力反冲洗技术在多个工程中得到了应用^[11]。该装置存在流量稳定性较差、不易调节、取排水易混合而影响换热器效率的问题^[12]。文献^[13]针对开式取水机工作原理建立的数学模型,分析了其运行特性,但未准确给出过滤孔堵塞系数和孔板过流量的计算方法,从而无法分析取水机的调节和控制特性。因此,本文从便于设计和运行控制角度出发,介绍了半淹没式旋转孔板污水取水除污机工作原理,通过建立半淹没式旋转孔板污水取水除污机的数学模型来分析结构参数和运行参数对其设计和运行特性的影响。

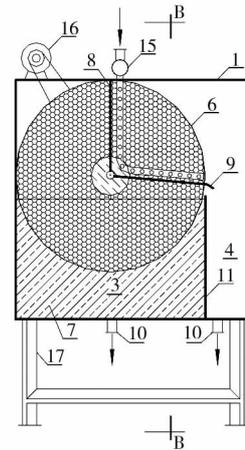
1 工作原理

半淹没式旋转孔板污水取水除污机结构如图 1 所示。该设备由箱体、杂质分离腔、蓄水腔、排污腔、清洗腔、旋转孔板、隔板、污水进水管等组成。孔板由电机通过皮带传动在箱体内做旋转运动。孔板由隔板分成 2 部分,如图 1(d)所示。分区隔板将孔板分成 2 部分,I 部分(过滤区)滤面浸没在污水中,将水箱分成杂质分离腔和蓄水腔 2 部分,污染物被孔板阻挡在杂质分离腔内;II 部分(清洗区)裸露在清洗腔内,由清洗管将附着在旋转孔板上的污染物清洗掉使孔板恢复清洁状态,清洗掉的污染物将滑落在排污腔同污水一起排回污水取水点下游。为保证可利用污水流量稳定,过滤区内孔板的过滤面积应保持稳定,通过电机带动孔板旋转,使孔板在过滤区和清洗区内更替,保证污水取水换热系统的稳定运行^[13]。

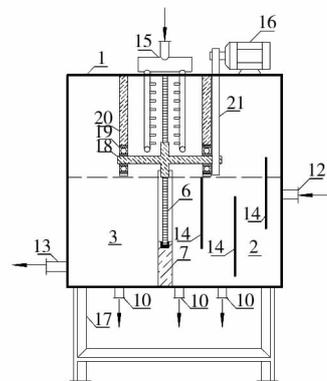
可以看到,处于过滤区内的每一个过滤孔在过滤区内始终处于一种“渐变的非完全堵塞状态”,虽然每一点的滤面在不断更换,但处于这一位置的滤面堵塞状态是相同的。因此,半淹没式旋转孔板污水取水机具有如下特点:1)过滤孔板被分成过滤区和清洗区 2 部分,其中过滤区淹没于污水中;2)孔板连续旋转,保证 2 部分孔板连续更替;3)过滤区孔板达到动态平衡,各位置的堵塞情况是稳态的。



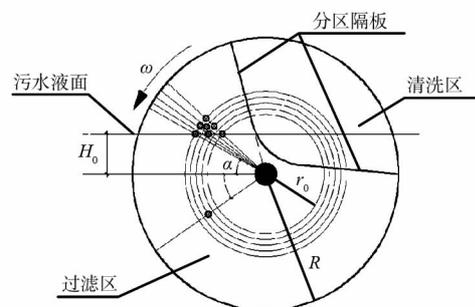
(a) 内部腔体结构示意图



(b) A-A 剖面图



(c) B-B 剖面图



(d) 过滤孔板坐标及相应几何参数

- 1.箱体 2.杂质分离腔 3.蓄水腔 4.排污腔 5.清洗腔 6.旋转孔板
7.孔板隔板 8.清洗腔侧隔板 9.清洗腔底板 10.排污管 11.溢流板
12.污水进水管 13.污水出水管 14.撞击板 15.清洗管 16.电机
17.支架 18.传动轴 19.轴承 20.隔板 21.传动皮带

图 1 半淹没式旋转孔板污水取水机结构

2 半淹没式旋转孔板污水取水机的数学模型

2.1 关键变量的定义

半淹没式旋转孔板污水取水机运行物理模型(图1(d)),对半淹没式旋转孔板污水取水机内的关键变量作如下定义:

1)孔板过流量 V :在过滤区通过旋转孔板的污水流量, m^3/s 。

2)过滤孔流速 u :在过滤区内任意时刻污水通过过滤孔的流速, m/s 。

3)孔板截面系数:设 A' 为全部过滤孔过流面积, A 为具有过滤孔的孔板总面积,孔板截面系数 $s = A'/A$ 。

4)过滤孔污物密度 σ :单位面积过滤孔上积存污物的量, kg/m^2 。

5)过滤孔失效污物密度 σ_m :过滤孔完全被堵塞时的污物的量, kg/m^2 。

6)网眼堵塞系数: $\varphi = \sigma/\sigma_m, 0 \leq \varphi \leq 1$;

7)污杂物浓度 C :污水中大于网眼直径的污物单位体积的质量, kg/m^3 。

8) H_0 为污水液面到孔板轴心的垂直距离; α 为过滤孔入口角度, $\alpha = \arcsin\left(\frac{H_0}{r}\right)$; ω 为孔板旋转速度, $\omega = \frac{2\pi}{T}$, T 为孔板旋转周期; r_0 为孔板内径, R 为孔板外径。

2.2 条件假设

数学模型建立过程中作了如下假设:

1)假设污水中各种尺度污杂物是均匀、连续分布的,取水机液面稳定。

2)假设污水流经孔板时,大于过滤孔直径的污杂物全部被截流并覆盖在孔板上,造成孔板堵塞^[14]。

3)假设过滤孔的堵塞过程是一个连续的渐变过程,因此过滤孔的堵塞程度可以用堵塞系数来表达。

4)孔板很薄时,过滤孔过滤满足孔口出流条件,只要孔板两侧的压差不变,则过滤孔的流速 u 不随堵塞情况而变。

2.3 动态数学模型

根据上述的假设和定义可知旋转孔板上任意过滤孔进入过滤区到离开过滤区的时间为 τ ,网眼的污杂物密度 σ 可表示为

$$\sigma = C \cdot \int_0^{\tau} u \cdot (1 - \varphi) d\tau \quad (1)$$

其中

$$u(\tau) = \mu \cdot \sqrt{2gH} \quad (2)$$

式(2)中 μ 为流量系数,可表示为

$$\mu = 0.60[1 + 0.64 \cdot s^2]^{[16]} \quad (3)$$

式中, s 为孔板的截面系数。

根据图1(d)可知

$$H = H_0 + r \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot \tau - \alpha\right) \quad (4)$$

式(4)中 r 为过滤孔在孔板上的径向位置; T 为孔板旋转周期; H_0 为污水液面到孔板轴心的垂直距离;

α 为过滤孔入口角度, $\alpha = \arcsin\left(\frac{H_0}{r}\right)$ 。

过滤区内任意过滤孔堵塞系数 φ 可表示为

$$\varphi = \frac{\sigma}{\sigma_m} = \frac{C \cdot \int_0^{\tau} u \cdot (1 - \varphi) \cdot d\tau}{\sigma_m} \quad (5)$$

对于任意时刻 τ_0 经过一微元时间段 $d\tau$,过滤孔堵塞系数的变化量 $d\varphi$ 可以表示为

$$d\varphi = \frac{C}{\sigma_m} \cdot u(\tau) \cdot (1 - \varphi(\tau)) d\tau \quad (6)$$

引入初始条件 $\tau = \tau_0, \varphi = \varphi_0$ 解得

$$\varphi(\tau) = 1 - (1 - \varphi_0) \exp\left(-\frac{C}{\sigma_m} u(\tau - \tau_0)\right) \quad (7)$$

由式(7)可知过滤孔的堵塞系数成指数变化。

任意时刻孔板的过滤量 V 可表示为

$$V = \sum_{i=1}^n u_i \cdot (1 - \varphi_i) \cdot A_u \quad (8)$$

式中: n 为孔板上处于过滤区的过滤孔数目; u_i 和 φ_i 分别为对应过滤孔的过流速度和堵塞系数; A_u 为过滤孔的截面积, m^2 。

利用式(8)计算孔板的过流量需明确过滤孔在孔板的空间位置,因此本文给出了旋转孔板针对位置的稳态数学模型。

2.4 稳态数学模型

针对位置的稳态数学模型首先对过滤区孔板内过滤孔进行如下划分:

设孔板逆时针旋转,过滤区内任意位置过滤孔由 (i, j) 表示, i 为过滤孔所处的环序数, $i = 1$ 表示最内侧圆环, $i = [1, m]$,其中 $m = \text{int}\left[\frac{R - r_0}{l_{u,r}}\right]$ 为孔板最外侧圆环序数; j 表示每一环上相对过滤孔序数,设每环第一个进入液面的过滤 $j = 1, j = [1, n_i], n_i = \text{int}\left[\frac{(\pi + \alpha) \cdot (r_0 + i \cdot l_w)}{l_{u,c}}\right]$; $l_{u,r}$ 为过滤孔间径向距离, m ; $l_{u,c}$ 为过滤孔间环向距离, m 。

任意过滤孔的流速可表示为

$$u_{i,j} = \mu \cdot \sqrt{2g(H_0 + (r_0 + i \cdot l_{u,r}) \cdot \sin(\theta_j - \alpha))} \quad (9)$$

其中, θ_i 为过滤孔进入过滤区的角度。各过滤孔进入过滤区到离开过滤区旋转角度与时间 τ 应为一一对应关系, 即 $\theta_i = \frac{2\pi}{T} \cdot \tau$ 。设同一环内相邻过滤孔间的夹角为 $\Delta\theta_i$, 间隔进入过滤区的时间为 $\Delta\tau_i$, 则 $\Delta\theta_i = \frac{2\pi}{T} \Delta\tau_i$ 。对于第 j 个过滤孔对应的夹角 $\theta_{ij} = (n_i - j) \cdot \frac{2\pi}{T} \Delta\tau_i$ 带入式(9)得

$$u_{i,j} = \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot \sqrt{2g \left(H_0 + (r_0 + i \cdot l_{u,r}) \cdot \sin \left((n_i - j) \cdot \frac{2\pi}{T} - \alpha_i \right) \right)} \quad (10)$$

过滤孔堵塞系数 φ_{ij} 表示为

$$\varphi_{i,j} = 1 - (1 - \varphi_{i,j-1}) \exp \left(-\frac{C}{\sigma_m} u \cdot \Delta\tau_{i,j} \right) \quad (11)$$

将式(10)和(11)带入式(8)即可解得孔板的过流量 V

$$V = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} u_{i,j} \cdot (1 - \varphi_{ij}) \cdot A_u \quad (12)$$

孔板的过滤负荷 M 可表示为

$$M = C \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} [u_{i,j} \cdot (1 - \varphi_{i,j})] \cdot A_u \quad (13)$$

由式(11)可知网眼在过滤区阻塞系数的逐时变化, 当离开过滤区时, 各网眼阻塞系数均达到各自最大值, 即

$$\varphi(i, 1) \Big|_{T=T_c} = 1 \quad (14)$$

此时过滤孔失效, 对应的时间 T_c 为孔板旋转的临界周期。

将 $\varphi(m, n_i) \Big|_{T=T_c} = 0$ 和 $\varphi(m, 1) \Big|_{T=T_c} = 1$ 带入式(11), 通过计算可解得孔板旋转周期 T_c 。

在孔板结构参数 $R, r_0, s, l_{u,r}, l_{u,c}, d$ 和运行参数 C, H_0, σ_m, T_c 确定的情况下即可确定 φ, V 和 M 。

3 半淹没式旋转孔板污水取水机的运行特性

污水取水机投入运行后其结构参数已经确定, 运行过程中污水浓度是随机变化的, 如何根据污水浓度值的变化及时调整其它运行参数(例如液面高度、孔板旋转周期)来保证取水除污机内孔板过流量值稳定, 是取水除污机调节和控制的关键。

根据一实际应用的取水机的结果参数作为数值模拟的基础数据, 分析污水浓度、液面高度及孔板旋转周期对其过流量、过滤负荷、孔板堵塞系数的影响。半淹没式旋转孔板污水取水机的结构参数如表 1 所示。

表 1 半淹没式旋转孔板污水取水机的结构参数

孔板外径 R/mm	孔板内径 r_0/mm	截面 系数 s	孔径向距离 $l_{u,r}/\text{mm}$	孔环向距离 $l_{u,c}/\text{mm}$	孔直径 d/mm
350	200	0.293	7	7	4

通常, 城市污水中 $\geq 4 \text{ mm}$ 的污物溶度为 $C = 1.1 \text{ kg/m}^3$, 实验测得的 $\sigma_m = 1.2 \text{ kg/m}^2$ [14], 令 $\varphi(m, 1) = 0.95$, 计算得 $T_c = 5.45 \text{ s}$, 取水机设计工况下孔板过流量 $24.9 \text{ m}^3/\text{h}$, 孔板过滤负荷 27.42 kg/h , 孔板平均堵塞系数 0.8175 , 过滤区内过滤孔数目 2331 个。

3.1 污水浓度对孔板过流量、过滤负荷和堵塞系数的影响

污水浓度对孔板过流量的影响如图 2 所示。随着污水浓度的增大, 固定转动周期下, 孔板过流量逐渐降低, 污水浓度由 1.1 kg/m^3 增加至 1.3 kg/m^3 时, 变化 18% , 孔板过流量降低 14.6% , 降低为 $21.24 \text{ m}^3/\text{h}$ 。相同污水浓度条件下, 不同旋转周期的孔板过流量具有如下关系 $V_{T=1.25T_c} < V_{T=T_c} < V_{T=0.75T_c}$ 。

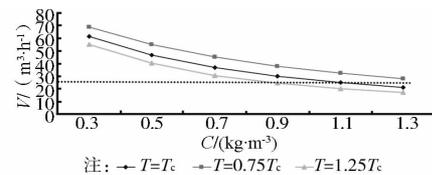


图 2 污水浓度对孔板过流量的影响

污水浓度对孔板过流负荷的影响如图 3 所示。污水浓度增加, 孔板过滤负荷增加并趋于饱和。相同污水浓度条件下, 不同旋转周期的孔板过流量具有如下关系 $M_{T=1.25T_c} < M_{T=T_c} < M_{T=0.75T_c}$ 。

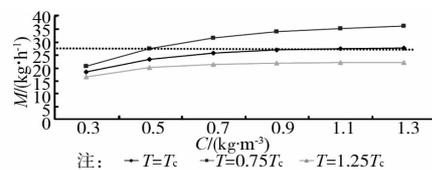


图 3 污水浓度对孔板过滤负荷的影响

污水浓度对平均堵塞系数的影响如图 4 所示。随着污水浓度增加孔板的平均堵塞系数呈上升趋势, 旋转周期大, 堵塞系数大。

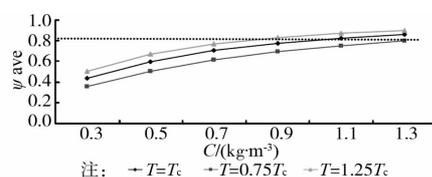


图 4 污水浓度对孔板平均堵塞系数的影响

图2~4说明,污水浓度对孔板过流量、过滤负荷和堵塞系数影响明显;污水浓度对孔板性能的影响可通过调整孔板旋转周期进行调节。

3.2 取水机液面高度对孔板过流量、过滤负荷和堵塞系数的调节作用

污水取水机的设计过程中,溢流板(见图1)的高度决定了取水机的最大液面高度,如何确定溢流板的高度,应首先分析液面高度对孔板过流量的影响。由上节分析可知,污水浓度变化将影响孔板过流量,污水中污染物浓度低于设计工况,孔板堵塞系数降低,过流量加大,液面高度将下降;污水中污染物浓度高于设计工况,孔板堵塞系数升高,过流量减小,液面高度将上升。

取水机液面高度对孔板过流量的调节作用如图5所示。当污水浓度由设计工况下 1.1 kg/m^3 增加至 1.3 kg/m^3 时,变化18%;污水液面高度由 $0.5r_0$ 增加至 $0.8r_0$ 时变化60%,可使孔板过流量达到设定值;同样,当污水浓度由设计工况下 1.1 kg/m^3 降低至 0.9 kg/m^3 时,将污水液面高度由 $0.5r_0$ 降低至0可使流量达到设定值。

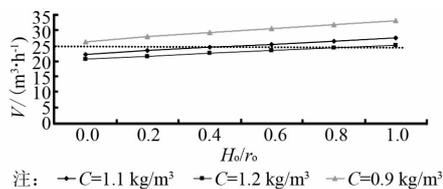


图5 取水机液面高度对孔板过流量的影响

取水机液面高度对孔板过滤负荷的影响如图6所示。液面高度增加,孔板过滤负荷增加。相同液面高度的情况下,不同污水浓度孔板过滤负荷变化不大。

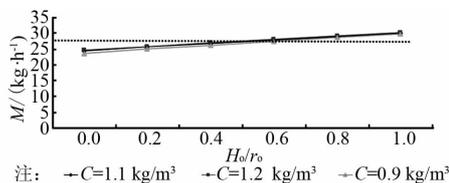


图6 取水机液面高度对孔板过滤负荷的影响

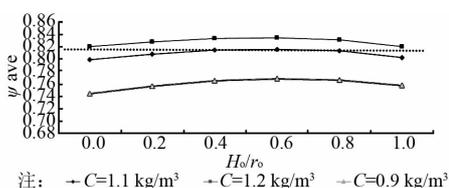


图7 取水机液面高度对孔板平均堵塞系数的影响

取水机液面高度对孔板平均堵塞系数如图7所示。液面高度增加,孔板平均堵塞系数先增加然后出现降低趋势。根据式(2)和(5)可知,污水液面高度增加,过流孔流速增加,在额定转速的情况下过流孔堵塞系数迅速增加;但根据取水机结构特点可知,污水液面升高,过流区内过滤孔数目也将增加,例如污水液面高度 $H_0 = 0$ 时,过滤区过滤孔数目为1932个,污水液面高度 $H_0 = r_0$ 时,过滤区过滤孔数目为2709个。当污水液面高度增加至一定高度时,过滤孔堵塞系数对孔板过流量影响低于过滤孔数目增加对孔板过流量的影响,孔板平均堵塞系数变呈现下降趋势。

图5~7说明,取水机液面高度增加将提高过滤孔过流速度和过滤区内过滤孔数目,可用于调节孔板的过流量。

3.3 孔板旋转周期对孔板污水过滤量、过滤负荷、堵塞系数的调节作用

孔板旋转周期对孔板过流量的影响如图8所示。设计工况下,孔板过流量为 $24.9 \text{ m}^3/\text{h}$;在相同旋转周期的调节下,污水浓度变化18%增加至 1.3 kg/m^3 时,孔板过流量为 $21.2 \text{ m}^3/\text{h}$,降低14.8%;污水浓度降低18%降低至 0.9 kg/m^3 时,孔板过流量为 $29.9 \text{ m}^3/\text{h}$,增加20.0%。当旋转周期由 T_c 调整至 $0.8 T_c$ 时,即旋转周期调整20%可以满足由于浓度增加18%引起孔板过流量的影响。同样,旋转周期由 T_c 调整至 $1.2 T_c$ 时,可以满足由于污水浓度降低引起孔板过流量的变化。

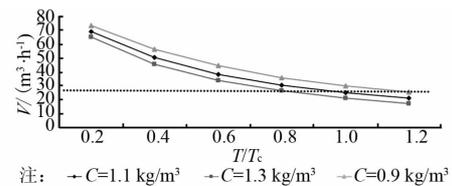


图8 孔板旋转周期对孔板过流量的影响

孔板旋转周期对孔板过滤负荷的影响如图9所示。旋转周期增加,过滤负荷降低,并趋于饱和,且污水浓度的变化对过滤负荷的影响降低。

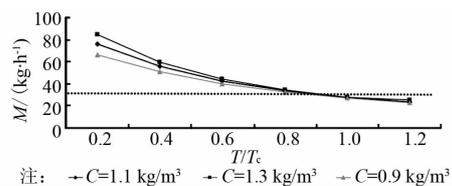


图9 孔板旋转周期对孔板过滤负荷的影响

孔板旋转周期对孔板平均堵塞系数的影响如图10所示。旋转周期增加,孔板堵塞系数增加,不同

污水浓度条件下,堵塞系数的增加趋势基本相同。

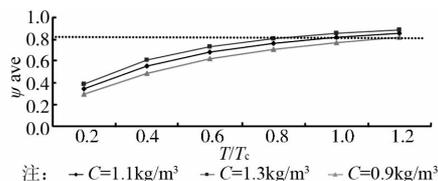


图10 孔板旋转周期对孔板平均堵塞系数的影响

图8~10说明,孔板旋转周期对孔板过流量的调节作用优于取水机污水液面高度。

4 结论

1)建立了半淹没式旋转孔板污水取水机过滤区过滤孔的动态数学模型和稳态数学模型。

2)污水浓度对孔板过流量影响明显,相同污水浓度条件下,孔板过流量具有如下关系 $V_{T=T_c} < V_{T=1.25T_c} < V_{T=T_c} < V_{T=0.75T_c}$ 。

3)取水机内污水液面高度增加将提高过滤孔过流速度和过滤区内过滤孔数目,可用于调节孔板的过流量。

4)孔板旋转周期对孔板过流量的调节作用优于取水机污水液面高度。

参考文献:

- [1] 张吉礼,马良栋. 污水源热泵空调系统污水侧取水、除污和换热技术研究进展[J]. 暖通空调, 2009, 39(7): 41-47.
- Zhang J L, Ma L D. Study progress in intaking water, defouling and heat transfer in sewage water source heat pump air conditioning systems [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2009, 39(7): 41-47.
- [2] 杨灵艳,朱清宇,路宾,等. 污水源热泵中心能源站设计研究[J]. 暖通空调, 2012, 42(4): 31-34.
- Yang L Y, Zhu Q Y, Lu B, et al. Design of central energy station with sewage source heat pump [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2012, 42(4): 31-34.
- [3] Lindström H O. Experiences with a 3.3 MW heat pump using sewage water as heat source [J]. Journal of Heat Recovery Systems, 1985, 5(1): 33-38.
- [4] Arashi N, Inaba A. Evaluation of energy use in district heating and cooling plant using sewage and one using air as heat source [J]. Journal of the Japan Institute of Energy, 2000, 79(5): 446-454.
- [5] Cho Y, Yun R. A raw water source heat pump air-conditioning system [J]. Energy and Buildings, 2011 (43): 3068-3073.
- [6] Liu L B, Fu L, Jiang Y. Application of an exhaust heat recovery system for domestic hot water [J]. Energy, 2010(35): 1476-1481.
- [7] Baek C, Shin U C, Yoon J H. A study on the design and analysis of heat pump heating system using wastewater as a heat source [J]. Solar Energy, 2005 (78): 427-440.
- [8] 孙德兴,张承虎,庄兆意. 污水源热泵供暖空调中的新概念与新名词[J]. 暖通空调, 2010, 40(6): 126-129.
- Sun D X, Zhang C H, Zhuang Z Y. New conceptions and terms of sewage source heat pump technology [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2010, 40(6): 126-129.
- [9] Funamizu N, Iida M, Sakakura Y. Reuse of heat energy in waste water: implementation examples in Japan [J]. Water Science and Technology, 2001, 43 (10): 277-286.
- [10] 刘志斌. 双级泵无外挡板污水采集装置防阻塞特性的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
- [11] 赵玺灵,付林,张世钢,等. 城市原生污水源热泵系统的应用[J]. 太阳能学报, 2010, 31(11): 1458-1462.
- Zhao X L, Fu L, Zhang S G, et al. Application of urban untreated sewage source heat pump system [J]. Acta Energy Solaris Sinica, 2010, 31(11): 1458-1462.
- [12] 张承虎,吴荣华,刘志斌,等. 污水源热泵系统双级水泵运行特性研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(10): 1601-1605.
- Zhang C H, Wu R H, Liu Z B, et al. The operating characteristic research on sewage heat-pump system with tow-stage pumps [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2007, 39(10): 1601-1605.
- [13] Qian J F. Operational analysis of open intake technology in untreated sewage source heat pump system. Mechanic automation and control engineering (MACE) [C]// 2010 International Conference on Wuhan, June 26-28, 2010.
- [14] 张吉礼. 开式循环集成式污水取水机: 中国 [P]. 200710012772. 7.
- [15] 张承虎,吴荣华,庄兆意,等. 城市污水固态成分相关概念定义与参数测定[J]. 可再生能源, 2006(4): 66-69.
- Zhang C H, Wu R H, Zhuang Z Y, et al. Parameter definition and measurement of the solid contaminant in untreated urban sewage [J]. Renewable Energy, 2006 (4): 66-69.
- [16] 蔡增基. 流体力学泵与风机[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.