

工作压力对污泥淤砂分离器分离效能的影响

吉芳英, 晏 鹏, 范剑平, 宗述安

(重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘要: 工作压力直接影响污泥淤砂分离器的分离效果, 是污泥淤砂分离器最重要的控制参数, 试验结果表明, 随着工作压力的增加, 分离器处理能力呈显著的线性增长(判定系数 $R^2=0.988\ 9$), 分流比呈显著的指数衰减($R^2=0.993\ 1$); 分离效率、富集率呈先增加后稳定的趋势, 运用 Boltzmann 函数模型进行拟合, 其 R^2 分别为 0.975 7 和 0.987 8. 工作压力为 0.150~0.200 MPa 时可以获得较高的分离效能, 且当工作压力为 0.175 MPa 时污泥淤砂分离器的分离效能最高. 锥角 20° 、溢流口直径 22 mm、底流口直径 13 mm 的污泥淤砂分离器在工作压力为 0.175 MPa 的情况下分离效率为 48%, 其分流比为 0.17. 如果将底流污泥作为外排污泥, 则可以增加淤砂的排放, 有助于缓解污水厂的淤砂问题.

关键词: 污泥淤砂分离器; 工作压力; 旋流分离; 分离效能; 影响因素

中图分类号: X703

文献标志码: A

Effect of Working Pressure on Separation Performance of Grit Separation Module

Ji Fangying, YAN Peng, FAN Jianping, ZONG Shu'an

(Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment of the Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: Working pressure P which directly influenced separation performance of grit separation module was the most important control parameter. Experimental results show that with the increasing of the working pressure, the processing capacity increases significantly linearly ($R^2=0.988\ 9$) and the split ratio exponentially ($R^2=0.993\ 1$). Separation efficiency and enrichment ratio increase first and then remain stable. Boltzmann function model was employed to fit the trend, the R^2 being 0.975 7 and 0.987 8, respectively. Better separation performance can be obtained when the work pressure controls between 0.15~0.2 MPa, and the best separation performance can be obtained when the working pressure is 0.175 MPa. The separation efficiency η of the grit

separation module is 48% and the split rate g is 0.17 under the condition that the cone angle is 20° , the overflow hole diameter $\Phi\ 22\ \text{mm}$, underflow port diameter $\Phi\ 13\ \text{mm}$ and the working pressure is 0.175 MPa. If we drain the underflow sludge, which can increase grit discharge, thus the grit problem can be relieved.

Key words: grit separation module; working pressure; hydrocyclone separation; separation performance; influencing factors

近年来我国许多城镇污水处理厂活性污泥(混合液悬浮固体)的 ρ_{MLVSS} (混合液挥发性悬浮固体质量浓度)与 ρ_{MLSS} (混合液悬浮固体质量浓度)比值普遍较低, 该现象在进水含砂量较高的山地城市尤为突出, 对重庆市 8 个典型的污水处理厂进行调研后发现, 其活性污泥的 $\rho_{\text{MLVSS}}/\rho_{\text{MLSS}}$ 为 0.25~0.40^[1]. 这些活性污泥中除含有与生物基质相关的无机物之外, 还含有大量的特细无机颗粒物(砂). 该特细无机颗粒物被包裹、嵌入以及游离于活性污泥中, 并且与生物基质存在一定的密度差和粒径差. 大量的特细砂存在于活性污泥中不仅影响污水处理效果, 而且还加速设备的磨损. 如何实现污泥中有机质和无机淤砂的分离已成为污水处理系统一个亟待解决的难题. 在查阅资料范围内发现, 美国 Usfilter 公司的专利设备污泥选择分离机(Solids Separation Module)实现了污泥中有机物和惰性无机物的分离^[2]. 但迄今为止国内尚无相关技术的研究和应用的报道. 重庆大学根据旋流分离模型及原理^[3-15]开发了基于污水处理厂生物污泥与特细无机颗粒物(砂)之间的密度、粒径差异的污泥淤砂分离器^[16], 并实现了低 $\rho_{\text{MLVSS}}/\rho_{\text{MLSS}}$ 污泥的生物基质和污泥淤砂的有效分离. 前期研究发现, 工作压力是污泥淤砂分离器最重要的控制参数, 它不仅影响分离器单位时间污泥处

收稿日期: 2012-10-19

基金项目: 国家水体污染控制与治理重大科技专项(2009ZX07318-008-003); 重庆市重大科技专项(CSTC, 2008AB7133)

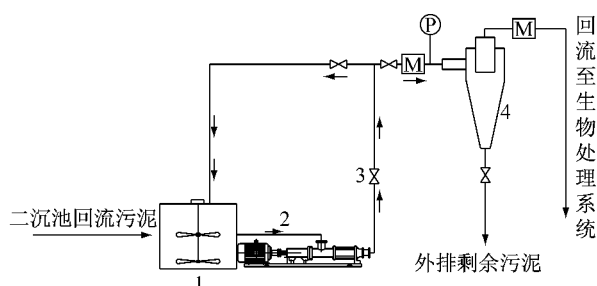
第一作者: 吉芳英(1964—), 女, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为水污染控制理论及技术. E-mail: jfy@cqu.edu.cn

理量即处理能力,还直接影响分离效果^[17].而工作压力本身又是污泥淤砂分离的动力来源,如何确定合适的工作压力已成为污泥淤砂分离器取得良好的分离效果、降低能耗以及减缓磨损的关键.因此本文重点讨论污泥淤砂分离器的工作压力 P 对特细无机颗粒物分离效果的影响,从而为污泥淤砂分离器的进一步优化以及分离器的节能降耗奠定数据和技术基础.

1 试验材料与试验方法

1.1 试验系统与运行方式

污泥淤砂分离试验系统由贮泥箱(含污泥搅拌机)、污泥淤砂分离器、污泥泵(额定排量 $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)、电磁流量计(KDLD-25 型电磁流量计,设定量程 $0 \sim 10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,精度级 0.5 级)、压力表(YPF 型压力表,额定量程 $0 \sim 0.4 \text{ MPa}$)及阀门等构件组成,试验工艺流程如图 1 所示.试验时将污水厂回流污泥泵入贮泥箱备用,启动污泥搅拌机缓慢搅拌,避免污泥及淤砂沉降;在进行污泥淤砂分离时,由污泥泵将污泥泵入污泥淤砂分离器,并通过调节阀门、电磁流量计等控制进料压力及污泥处理量.



1-贮泥箱; 2-污泥泵; 3-调节阀; 4-污泥淤砂分离器; M-电磁流量计; P-压力表

图 1 污泥淤砂分离系统工艺流程

Fig.1 Pilot-scale experimental set-up for grit separation module of activated sludge

1.2 试验方法

选用的分离器的锥角为 20° 、进料口直径为 15 mm、溢流口直径为 22 mm、底流口直径为 13 mm、筒身直径为 75 mm.调节阀控制分离器工作压力分别为 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.175, 0.200 MPa.在每个压力下对进料污泥、溢流污泥、底流污泥同时进行 3 次采样,将样品混合后再进行相关指标测定.

1.3 试验污泥

试验污泥取自重庆市某污水厂(日处理水量 $6 \times$

10^5 m^3)二沉池回流污泥.试验所用污泥的 SV_{30} (污泥沉降比)、 $\rho_{\text{MLVSS}}/\rho_{\text{MLSS}}$ 和进料污泥质量浓度 ρ_{TSS} 分别为 15%, 0.31 和 $15 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

1.4 检测项目与方法

检测项目为 ρ_{MLVSS} 、 ρ_{MLSS} 、流量、压力. ρ_{MLVSS} 、 ρ_{MLSS} 检测参照《城市污水处理厂污泥检测方法》^[18]进行测定,流量与压力分别从电磁流量计与压力表中直接读取.

2 试验结果

2.1 工作压力对分离器处理能力的影响

图 2 为进料流量 Q_i (处理能力)、溢流流量 Q_o 及底流流量 Q_u 随工作压力的变化关系.从图中可知:工作压力从 0.025 MPa 增至 0.200 MPa 的过程中,分离器处理能力、溢流流量以及底流流量分别从 0.96, 0.78 和 $0.18 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ 增至 1.66, 1.38 和 $0.28 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$,且三者与工作压力之间呈显著的线性关系,其判定系数 R^2 分别达到 0.988 9, 0.988 9 和 0.978 4.试验所得到的进料流量与工作压力的关系与根据最大切线速度轨迹法理论所得到的水力旋流器的进料流量与工作压力的 $1/2$ 次方成正比的关系不同.这是由于污泥淤砂分离器的分离对象、分离模式以及结构与传统水力旋流器不一样所造成的.污泥淤砂分离器的分离对象存在细微差异的活性污泥与特细无机颗粒,其模式为固、固、液分离模式;而基于这两点所研发的污泥淤砂分离器的结构与水力旋流器明显不同.因此,污泥淤砂分离器工作压力对其处理能力的影响明显不同于传统水力旋流器.

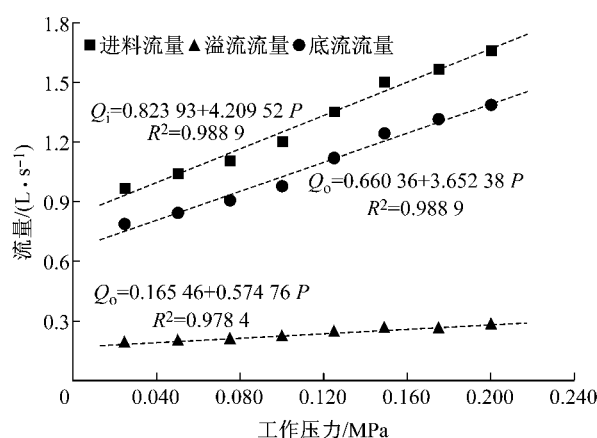


图 2 工作压力对流量的影响

Fig.2 Effect of working pressure on separator's treatment capacity

分流比 $g = Q_u/Q_i$.从图 3 可知,随着工作压力

的增加,分流比先降低后逐渐趋于稳定,并呈显著的指数衰减关系(R^2 为 0.993 1). 工作压力从 0.025 MPa 增至 0.200 MPa 的过程中,分流比从 0.194 降低到了 0.169.

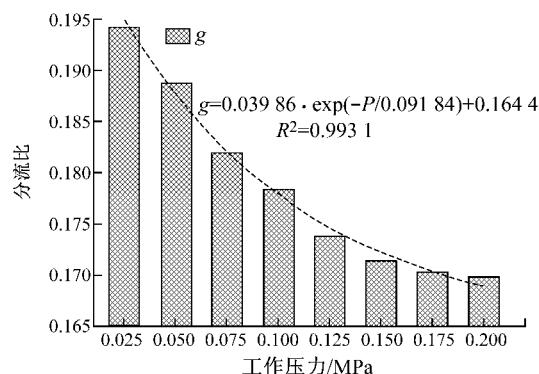


图 3 工作压力对分流比的影响

Fig.3 Effect of working pressure on split ratio

2.2 工作压力对分离效果的影响

2.2.1 挥发性悬浮固体与悬浮固体质量浓度的比值

污泥的 ρ_{MLVSS} 、 ρ_{MLSS} 是衡量污泥中有机组分和无机组分(包括特细砂)相对含量的指标,是展现污泥淤砂分离器分离效果的最直观的参数. 经过污泥淤砂分离器分离后所产生的溢流污泥和底流污泥的 ρ_{MLVSS}/ρ_{MLSS} 值随工作压力的变化趋势如图 4. 从图 4 可以看出,随着工作压力的增加,溢流污泥的 ρ_{MLVSS}/ρ_{MLSS} 值逐渐增加、底流污泥的 ρ_{MLVSS}/ρ_{MLSS} 值逐渐降低,两者的 ρ_{MLVSS}/ρ_{MLSS} 差异越来越大,即富集率 F ($F=V_o/V_u$, 其中 V_o 为溢流污泥 ρ_{MLVSS}/ρ_{MLSS} , V_u 为底流污泥 ρ_{MLVSS}/ρ_{MLSS}) 越大. 富集率和工作压力的关系见图 5. 用 Boltzmann 函数模型对 V_o 、 V_u 随工作压力 P 变化的曲线进行拟合,其 R^2 分别达到了 0.989 1 和 0.978 9. 在 V_i (进料污泥 ρ_{MLVSS}/ρ_{MLSS}) 为 0.31 的前提下,工作压力从 0.025 MPa 增至 0.200 MPa 的过程中,分离后的 V_o 从 0.36 增加到 0.42, V_u 从 0.22 降低到 0.13. 压力在 0.05~0.18 MPa 时, V_o 与 V_u 变化较为明显.

F 反映了污泥有机质 ρ_{MLVSS} 在溢流污泥中的富集程度. 从图 5 可知,随着工作压力的不断增大,富集率呈先增大后逐渐稳定的趋势;用 Boltzmann 函数模型进行拟合,其 R^2 达到了 0.987 8. 工作压力从 0.025 MPa 增至 0.200 MPa 的过程中,富集率从 1.65 变化到 3.33,其中富集率的最大、最小值分别为 3.39 和 1.65 且分别在 0.175 MPa 和 0.025 MPa 时获得. 以上结果足以表明,污泥淤砂分离器实现了对

底流淤砂和溢流污泥有机质的富集和分离.

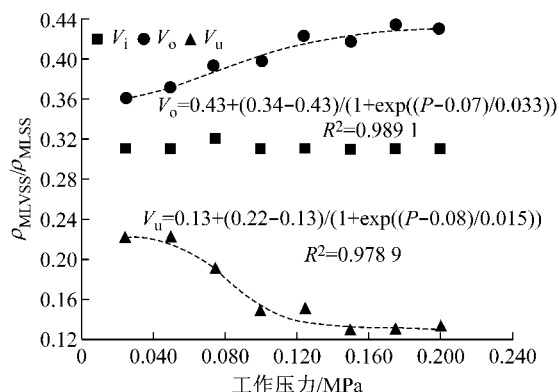


图 4 工作压力对污泥 ρ_{MLVSS}/ρ_{MLSS} 的影响

Fig.4 Effect of working pressure on sludge's

ρ_{MLVSS}/ρ_{MLSS}

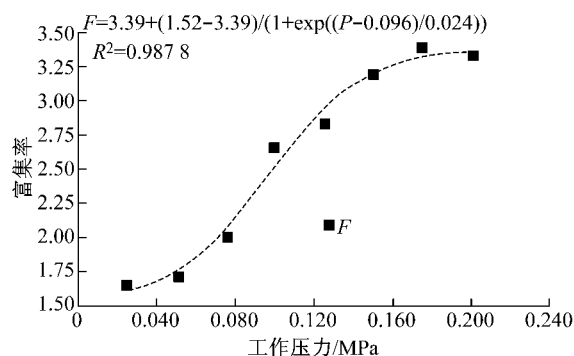


图 5 工作压力对富集率的影响

Fig.5 Effect of working pressure on concentration factor

2.2.2 分离效率

污泥淤砂分离器的分离效率 η 特指进入污泥淤砂分离器底流部分的污泥无机组分(包括特细砂)占进料中污泥无机组分的质量分数,是直接反映污泥淤砂分离器分离效能的最重要的参数. $\eta = g \times C_u / C_e$, 其中 C_u 为底流污泥无机组分质量浓度, C_e 为进料污泥无机组分质量浓度. 图 6 显示工作压力对分离效率的影响. 从图中可以看出,随着工作压力的不断增大, η 先增加后逐渐稳定. 运用 Boltzmann 函数模型进行拟合,其 R^2 达到了 0.975 7. 当压力较低时,淤砂由于受到的驱动力较小不足以克服其阻力到达分离器器壁,从而不能实现淤砂的分离,因此分离效率较低;而随着压力的不断增大,淤砂在分离器中的驱动力不断增强,大部分淤砂能够克服阻力而被分离出来,因此分离效率显著增加;当压力达到一定水平后,细颗粒淤砂已经能克服水的阻力而被分离出来,继续增大压力反而造成一定的湍流使得流态趋于不稳定并且会使浓缩作用加强、粘度增加,使

得悬浮液中的颗粒受到的阻力增加,因此不能进一步提升分离效果.工作压力从 0.025 MPa 增加到 0.200 MPa 的过程中,分离效率从 40.6% 增加到了 47.3%;且当压力为 0.175 MPa 时,其分离效率取得最大值 48.0%,在此时富集率也达到最大值 3.39 且分流比仅为 0.170(分流比最小值为 0.169),加上本文首要的目的是实现污泥有机质与淤砂的富集分离,因此工作压力为 0.175 MPa 是最佳条件.在该条件下,污泥淤砂分离器可以使原污泥中携带的质量分数为 48% 的淤砂进入分流体积(底流体积)约占进料体积 17% 的底流液中.如果将底流污泥作为外排污泥,则可以增加淤砂的排放,有助于缓解污水厂的淤砂问题.且底流污泥具有无机物含量高、有机物含量低的特点,将其作为外排污泥进行处理处置,势必会简化脱水、稳定等污泥处理处置的工艺过程,从而克服常规剩余污泥处理处置工艺复杂、建设和运行

费用高的缺点.表 1 对本文与国外其他类似污泥淤砂分离研究获得的分离效率进行了对比,可见污泥淤砂分离器对活性污泥中的砂显示了良好的分离效率.

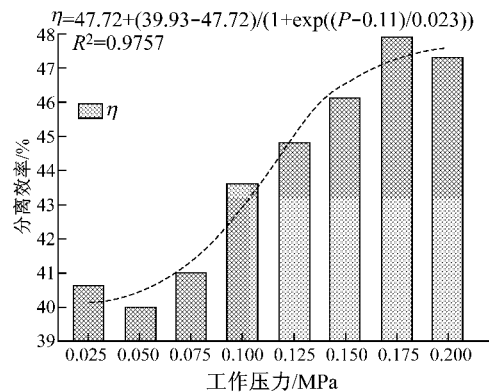


图 6 工作压力对分离效率的影响

Fig. 6 Effect of f working pressure on separation efficiency

表 1 不同研究中的分离器平均分离效率和最高分离效率对比

Tab.1 Comparison of separation efficiency in different researches

分离设备	分离对象	工作压力/MPa	平均分离效率/%	最高分离效率/%	来源
污泥淤砂分离器	污泥中的砂	0.025~0.200	43.9	47.9	本文
普通旋流分离器	污泥中的砂	0.128~0.148	17	21	文献[19]

3 结论

(1)工作压力从 0.025 MPa 变化到 0.200 MPa 的过程中,分离效率、富集率、溢流 ρ_{MLVSS}/ρ_{MLSS} 和分离器处理能力分别从 40.6%, 1.65, 0.36 和 0.96 $L \cdot s^{-1}$ 变化到了 47.3%, 3.33, 0.42 和 1.66 $L \cdot s^{-1}$;分流比和底流 ρ_{MLVSS}/ρ_{MLSS} 分别从 0.19 和 0.22 变化到了 0.17 和 0.13. 因此,工作压力的变化对污泥淤砂分离器的性能参数有着显著的影响.

(2)工作压力与污泥淤砂分离器处理能力呈显著的线性关系, R^2 达到 0.988 9;工作压力对污泥淤砂分离器的影响模式有别于水力旋流器. 运用 Boltzmann 函数模型分别对工作压力与分离效率、富集率、底流 ρ_{MLVSS}/ρ_{MLSS} 、溢流 ρ_{MLVSS}/ρ_{MLSS} 之间的关系进行拟合,其 R^2 均达到 0.975 7 以上.

(3)基于污泥淤砂分离器的分离效率随工作压力的变化关系,为了使污泥淤砂分离器在获得较好的分离效能同时达到降低能耗的目的,建议工作压力控制为 0.150~0.200 MPa. 此时分离器的分离效率和分离器单位时间的处理能力较高,分别为 46.1%~47.9% 和 1.49~1.66 $L \cdot s^{-1}$. 工作压力为 0.175 MPa 是本文试验的最佳条件. 在该条件下,污

泥淤砂分离器可以使原污泥中携带的质量分数为 48% 的无机物组分进入分流体积(底流体积)约占进料体积 17% 的底流液中. 如果将底流污泥作为外排污泥,则可以增加淤砂的排放,有助于缓解污水厂的淤砂问题,底流污泥具有无机物含量高、有机物含量低的特点,将其作为排放污泥进行处理处置,势必会简化脱水、稳定等污泥处理处置的工艺过程,从而克服常规剩余污泥处理处置工艺复杂、建设和运行费用高的缺点.

参考文献:

- [1] 吉芳英,晏鹏. 山地城市排水管网特细颗粒物特性及变化规律[J]. 环境科学研究, 2012, 25(3): 322.
JI Fangying, YAN Peng. Characteristics and variation of superfine particles in a drainage pipe network of a mountainous city[J]. Research of Environmental Sciences, 2012, 25(3): 322.
- [2] Ruth R, Ron S, Bruce J, et al. Sludge minimization technologies-doing more to get less[C]//Proceedings of the 79th Annual Water Environment Federation Technical Exposition and Conference. [S. l.]: Alexandria Water Environment Federation, 2006: 506-525.
- [3] 庞学诗. 水力旋流器技术与应用[M]. 北京: 中国石化出版社, 2010.

(下转第 1541 页)