

污泥淤砂分离器的分离效能及影响因素

吉芳英, 晏 鹏, 宗述安, 范剑平

(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: 为了消除污水处理厂淤砂对污水处理系统的影响, 开发了一种污泥淤砂分离器, 并以重庆某污水厂污泥为研究对象进行了现场中试研究. 试验结果表明: 分离器的排口比 K (底流口直径与溢流口直径之比) 是影响分离效果最重要的结构参数; 提高分离器的工作压力 P , 可以提高淤砂分离效果和分离器的处理能力. 用锥角为 20° 、溢流口直径 $\Phi 22$ mm、底流口直径 $\Phi 13$ mm 的污泥淤砂分离器、在工作压力为 $0.15 \sim 0.20$ MPa 的情况下对污泥进行了淤砂分离, 分离产生的溢流污泥 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} (挥发性悬浮固体浓度与总悬浮固体浓度之比) 为底流污泥的 3 倍、底流污泥 ρ_{ISS}/ρ_{TSS} (无机悬浮固体浓度与总悬浮固体浓度之比) 为溢流污泥的 1.5 倍, 污泥淤砂分离器实现了污泥淤砂的分离和富集.

关键词: 淤砂; 污泥淤砂分离器; 旋流分离; 分离效能; 影响因素

中图分类号: X703

文献标志码: A

Separation Performance and Influencing Factors of Grit Separation Module

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

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

Abstract: In order to eliminate the grit effect to the sewage treatment system, a grit separation module was developed and a field test research was carried out at the pilot scale in a wastewater treatment plant in Chongqing. The results show that the outlet ratio K of the separation module, the ratio between the underflow outlet and the overflow outlet diameter, is the most important structural parameter. Improving the working pressure P can increase separation performance and processing ability. The grit separation module with a cone angle 20° , overflow outlet diameter $\Phi 22$ mm and underflow outlet diameter $\Phi 13$ mm is used to separate grit from the sludge under the working pressure $0.15 \sim 0.20$

MPa. ρ_{VSS}/ρ_{TSS} is 3 times to the underflow, in which ρ_{VSS} is the overflow sludge volatile suspended solids concentration and ρ_{TSS} is the total suspended solids concentration; ρ_{ISS}/ρ_{TSS} is 1.5 times to the overflow, in which ρ_{ISS} is the underflow sludge inorganic suspended solids concentration. With the grit separation module, the grit separation and enrichment are realized.

Key words: grit; grit separation module; cyclone separation; separation performance; influencing factors

近年来,旨在减少污水处理厂剩余污泥产生量的以隐性生长^[1-2]、解偶联生长^[3]、生物捕食作用^[4]为基础的污泥源头减量技术的研究取得了显著的成效.但是,研究过程中发现伴随着剩余污泥排放量减少的同时,惰性无机物质(淤砂)却又逐渐积聚在污水处理系统中.这种现象还在没有设置初沉池的污水处理厂^[5]或基于碳源策略而超越初沉池的污水处理厂^[6]显现出来,较为直观的现象就是污水厂污泥的 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} (挥发性悬浮固体浓度与混合液悬浮固体浓度比值)较低,有的甚至低至 $0.2 \sim 0.3$.显然,这种情况不仅影响污水处理效果,而且污泥淤砂的集聚将加速设备的磨损.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又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 Solids separation module (污泥选择分离机)实现了污泥中有机物和惰性无机物的分离^[7].但是,迄今为止,国内尚无相关技术的研究和应用.

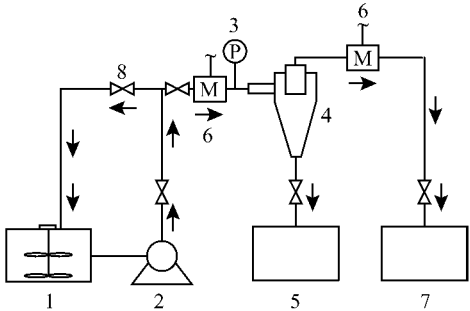
课题组基于旋流分离技术开发了一种污泥淤砂分离设备,并以重庆某污水厂污泥为研究对象进行了现场中试研究.本文重点研究污泥淤砂分离器锥角 α 、溢流口直径 D_o 、底流口直径 D_u 等主要结构参数以及污泥淤砂分离器的工作压力 P 对分离效果的

影响,为进一步研发污泥淤砂分离器奠定基础.

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(含污泥搅拌器)、污泥淤砂分离器、螺杆泵(IIBB 型螺杆泵,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 $0\sim10\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,精度级 0.5 级)、压力表(YPF 型压力表,额定量程 $0\sim0.4\text{ MPa}$)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,启动污泥搅拌器缓慢搅拌,避免污泥及淤砂沉降;进行污泥淤砂分离时,通过调节阀门、电磁流量计等控制进料压力及污泥处理量.试验过程分别同时对贮泥箱污泥、溢流收集箱污泥、底流收集箱污泥进行采样并测定相关指标.



1-贮泥箱;2-螺杆泵;3-压力表;4-污泥淤砂分离器;5-底流收集箱;6-电磁流量计;7-溢流收集箱;8-调节阀。

图 1 污泥淤砂分离系统工艺流程示意图

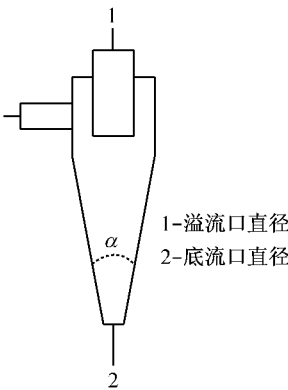
Fig.1 Grit separation module system process chart

1.2 污泥淤砂分离器

试验用污泥淤砂分离器是课题组委托某离心机厂用铝合金材料定做的定型设备,其结构示意图和实物图分别如图 2—3 所示.分离器核心分离区是由圆筒状结构与圆锥状结构共同组成,进料口与圆柱形筒身呈切线,顶端为可调节式溢流出泥口,中部为圆柱型筒身,下部为圆锥形分离区,底端为可调节式底流出砂口,圆柱段直径为 75 mm,壁厚 6 mm,进料口直径 15 mm,分离器的锥角有 10° 、 20° 、 60° 三种(从左至右分别为 60° 、 20° 、 10° 的污泥淤砂分离器)、溢流口直径有 $\Phi 25$ 、22、20、18、15 mm 五种、底流口直径有 $\Phi 15$ 、13、10、8 mm 四种,分别配置了不同规格的配件.

1.3 试验污泥

试验污泥取自重庆市某污水厂(日处理水量 60



1-溢流口直径;2-底流口直径

图 2 污泥淤砂分离器结构示意图

Fig.2 Grit separation module structure chart



图 3 污泥淤砂分离器

Fig.3 Grit separation module

万立方米)二沉池回流污泥.试验期间,污泥的主要性能参数见表 1.表中, SV_{30} (污泥沉降比)是指污泥混合液在量筒静止沉降 30 min 后污泥所占的体积百分比.从表中数据可知,该污水厂污泥 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 处于极低状态.

表 1 试验污泥主要性能指标

Tab.1 Sludge main performance indexes

污水厂污泥浓度 $\rho_{TSS}/(g\cdot L^{-1})$	$SV_{30}/\%$	ρ_{VSS}/ρ_{TSS}	贮泥箱污泥浓度 $\rho_{TSS}/(g\cdot L^{-1})$
5~7.2	15~23	0.28~0.40	15~23.5

1.4 检测项目与方法

检测项目: ρ_{TSS} 、 ρ_{VSS} 、流量、压力

ρ_{TSS} 、 ρ_{VSS} 检测参照《水和废水监测分析方法》^[8]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 分离器锥角对淤砂分离效果的影响

在固定分离器溢流口直径为 22 mm、底流口直

径为 10 mm、进料压力为 0.15 MPa 的情况下,分别测试了分离器锥角为 10° 、 20° 、 60° 的三种污泥淤砂分离器的淤砂分离效果(图 4). 和原污泥的 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 相比,经过分离器分离后得到的溢流污泥的 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 明显增加、底流污泥的 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 明显下降. 表明课题组开发的分离器实现了污泥中有机与无机淤砂的分离. 分离器锥角的大小对小粒径固体颗粒的分离效率有一定的影响,但不是很明显. 相对而言,锥角为 20° 的污泥淤砂分离器的分离效果较好,在运行条件下产生的溢流污泥的 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 从原来的 0.304 增加到了 0.427,底流污泥则降低至 0.121. 结合分流污泥 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 比值以及分流比 f (底流流量 Q_u /进料流量 Q_e) 可以计算出污泥淤砂分离器的除砂效率 η ($\eta = fC_{su}/C_{se}$, 其中 f 为分流比、 C_{su} 为底流淤砂浓度、 C_{se} 为进料淤砂浓度)(图 5). 从图 5 可以看出,锥角为 20° 的污泥淤砂分离器可以使原污泥携带 46% 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.

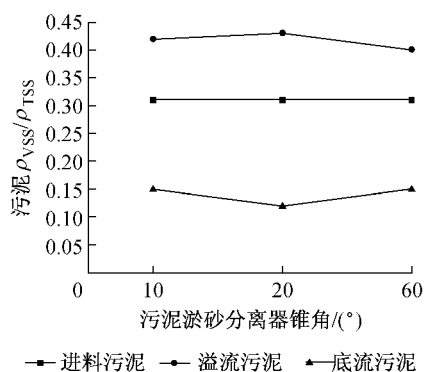


图 4 污泥淤砂分离器锥角对分流污泥 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 的影响
Fig.4 Effect of grit separation module cone angle on split sludge ρ_{VSS}/ρ_{TSS}

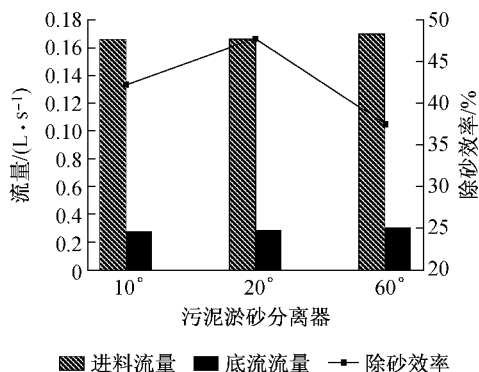


图 5 污泥淤砂分离器锥角对除砂效率的影响
Fig.5 Effect of grit separation module cone angle on grit removal efficiency

2.2 分离器底流、溢流口直径对淤砂分离效果影响

在固定分离器锥角为 20° 、进料压力为 0.2 MPa 的情况下,通过固定溢流口直径变更底流口直径 ($\Phi 15$ 、13、10、8 mm)、或固定底流口直径变更溢流口直径 ($\Phi 25$ 、22、20、18、15 mm) 的方式组成了系列不同规格污泥淤砂分离器,并分别测定了它们对污泥淤砂的分离性能. 图 6 是固定溢流口直径为 $\Phi 22$ mm 变换底流口直径、图 7 是固定底流口直径为 $\Phi 10$ mm 变换溢流口直径时分离器对 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 为 0.39 的污水厂污泥进行分离的情况.

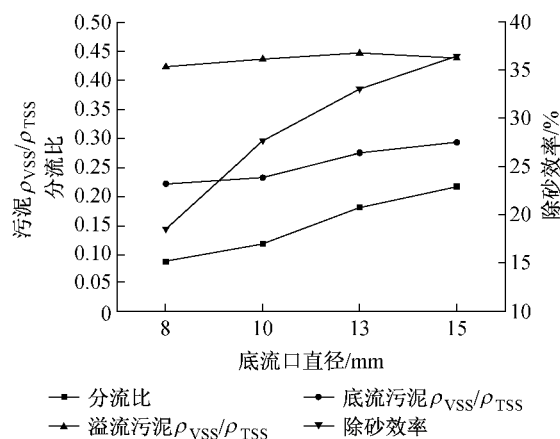


图 6 分离器底流口直径对淤砂分离效果的影响

Fig.6 Effect of grit separation module underflow outlet diameter on grit separation performance

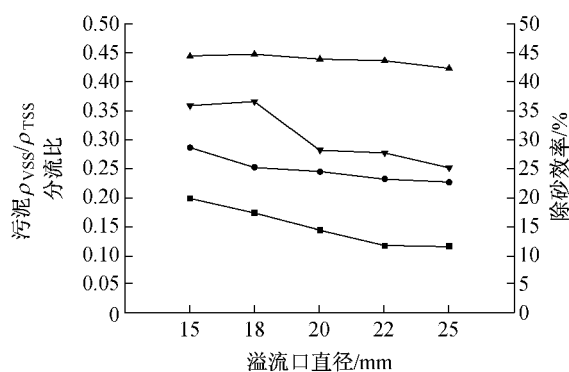


图 7 分离器溢流口直径对淤砂分离效果的影响

Fig.7 Effect of grit separation module overflow outlet diameter on grit separation performance

从图 6—7 可以看出:增加底流口直径使分流比 f 和除砂效率 η 增大;增加溢流口直径使分流比 f 和除砂效率 η 下降;底流口直径越小或溢流口直径越大分离得到的底流污泥的 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 就越低,即底流污泥对淤砂的富集率更高. 实验发现:无论怎样组合分离器的溢流口直径 D_o 和底流口直径 D_u ,只要

两口径的比值 K 相当,其分离效能也相当,图8表示是分离器排口比 $K(K=D_u/D_o)$ 与分离效能的关系,从图可以看出:排口比 K 越大,分流比 f 和除砂效率 η 越大,底流污泥 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 也越高,它们之间存在较显著的线性相关关系。

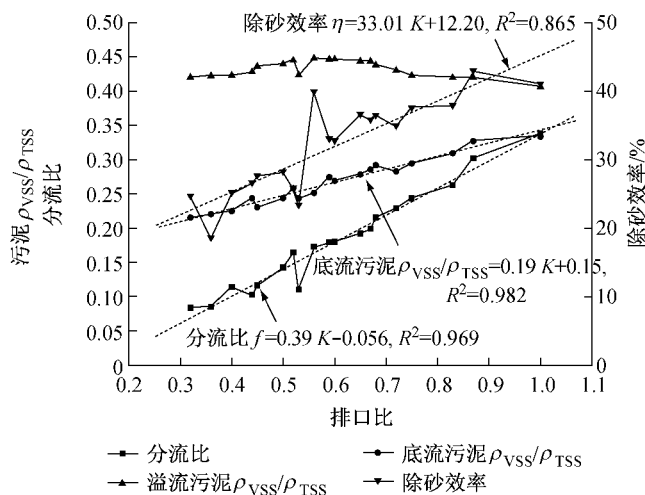


图8 分离器排口比对淤砂分离效果的影响

Fig.8 Effect of grit separation module outlet ratio on grit separation performance

值得关注的是分离器除砂效率 η 较大时,底流污泥 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 也较高,表明淤砂没有在底流污泥中得到富集,此时获得较大的除砂效率 η 完全缘于较大的分流比 f 的作用。显然富集除砂即分离产生 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 比值低的底流污泥所需要的排口比和获得较高除砂效率所需排口比不一致。由于污泥淤砂分离器的工作目标是使淤砂富集在底流污泥中,实现淤砂的富集排放。故建议在实际运行时优先保证底流污泥具有较低 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 的情况下,再提高分流比,获得较大的除砂效率。

2.3 分离器排口比对污泥淤砂富集程度的影响

溢流污泥 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 和底流污泥 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 的比值 $F_{VSS}(F_{VSS}=V_o/V_u)$,其中 V_o 为溢流污泥 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 、 V_u 为底流污泥 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 反映了污泥有机质在溢流污泥中的富集程度,底流污泥 ρ_{ISS}/ρ_{TSS} (无机悬浮固体浓度与总悬浮固体浓度之比)和溢流污泥 ρ_{ISS}/ρ_{TSS} 的比值 $F_{ISS}(F_{ISS}=I_o/I_u)$,其中 I_o 为溢流污泥 ρ_{ISS}/ρ_{TSS} 、 I_u 为底流污泥 ρ_{ISS}/ρ_{TSS} 反映了污泥无机物(粗略表示污泥淤砂)在底流污泥中的富集程度。 F_{VSS} 、 F_{ISS} 和排口比 K 的关系见图9。从图9可知: K 值越小,分离得到的溢流污泥有机质相对含量和底流污泥的无机淤砂相对含量都越高。表明排口比 K 较小的分离

器具有更好的淤砂和有机质分离效果。但是在运行过程中发现,小排口比的分离器较容易出现底流口堵塞的情况。基于此,建议中试规模污泥淤砂分离器的排口比控制在0.4~0.6为宜。

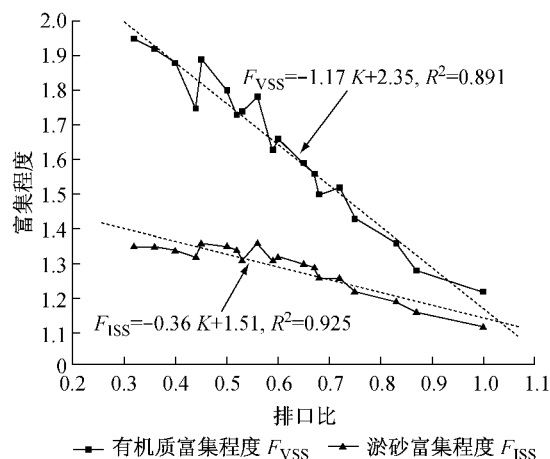


图9 分离器排口比对淤砂及有机质富集程度的影响

Fig.9 Effect of grit separation module outlet ratio on enrichment degree of grit and organic matter

2.4 工作压力对分离效果的影响

根据污泥淤砂分离器工作原理知:工作压力直接影响旋流体的离心力,压力过低分离效果不好,压力过高又将加快分离器的磨损速率并增加给料泵的选择难度^[9]。试验时通过调节压力阀测定不同工作压力下分离器对污泥淤砂分离效果的影响。实验条件为分离器锥角 20°、溢流口直径 $\Phi 22$ mm、底流口直径 $\Phi 13$ mm;进料污泥 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 为 0.31、含水率为 98.6%时其试验结果如图10—11所示。

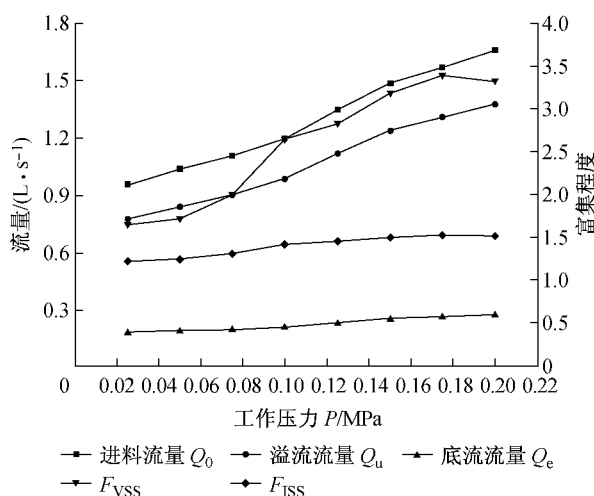


图10 工作压力对处理能力及富集程度的影响

Fig.10 Effect of working pressure on processing ability and enrichment degree

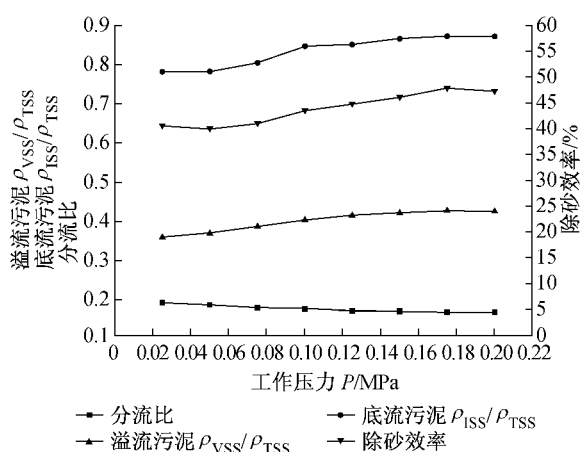


图11 工作压力对分流比及除砂效率的影响

Fig. 11 Effect of working pressure on split ratio and grit removal efficiency

试验结果表明:同一分离器单位时间的处理能力 Q_0 和工作压力 P 有关,压力越大、处理能力就越强;伴随着 Q_0 的增加,溢流 Q_u 和底流 Q_d 也同时增加,但溢流流量增加更显著,形成了底流分流比 f 随压力 P 增大而缓慢下降的趋势。随着工作压力的增加,溢流污泥 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 、底流污泥 ρ_{ISS}/ρ_{TSS} 及分离器的除砂效率都呈现逐渐增加的态势,表明提高工作压力对提高分离器的淤砂分离效果有利。在综合考虑分流比等因素的情况下,建议工作压力控制在 0.15~0.20 MPa 为宜,此时 F_{VSS} 为 3, F_{ISS} 为 1.5。

3 主要结论

(1) 基于旋流分离技术开发的污泥淤砂分离器可以实现污水厂污泥淤砂的分离和富集。分离器的排口比 K 是影响分离效果最重要的结构参数。

(2) 排口比 K 越大,分流比 f 和除砂效率 η 越大,底流污泥 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 越高,污泥淤砂在底流污泥中的富集程度 F_{ISS} 以及污泥有机质在溢流污泥中的富集程度 F_{VSS} 越小,它们之间都存在显著的线性相关关系。建议中试规模的污泥淤砂分离器排口比设计为 0.4~0.6。

(3) 提高污泥淤砂分离器的工作压力 P ,可以提高污泥淤砂的分离效果、提高分离器单位时间的处理能力,建议工作压力控制在 0.15~0.20 MPa。

(4) 用锥角为 20°、溢流口直径 $\Phi 22$ mm、底流口直径 $\Phi 13$ mm 的污泥淤砂分离器、在工作压力为

0.15~0.2 MPa 的情况下分离污水厂污泥淤砂,产生的溢流污泥 ρ_{VSS}/ρ_{TSS} 比值为底流污泥的 3 倍、底流污泥 ρ_{ISS}/ρ_{TSS} 的比值为溢流污泥的 1.5 倍,污泥淤砂分离器实现了污泥淤砂的分离和富集。

(5) 当处理规模较大时,则可以将多个污泥淤砂分离器进行并联,在并联过程中应注意各个分离器工作压力分配均衡的问题。

参考文献:

- [1] Dytczak M A, Londry K L, Siegrist H, et al. Ozonation reduces sludge production and improves denitrification [J]. Water Research, 2007, 41(3): 543.
- [2] Oh Y K, Lee K R, Ko K B, et al. Effects of chemical sludge disintegration on the performances of wastewater treatment by membrane bioreactor [J]. Water Research, 2007, 41(12): 2665.
- [3] Ichinari T, Ohtsubo A, Ozawa T, et al. Wastewater treatment performance and sludge reduction properties of a household wastewater treatment system combined with an aerobic sludge digestion unite [J]. Process Bioche, 2008, 43(7): 722.
- [4] Liang P, Huang X, Qian Y, et al. Determination and comparison of sludge reduction rates caused by microfaunas' predation [J]. Bioresource Technology, 2006, 97(6): 854.
- [5] 邵林广. 城市污水处理中初沉池的设置 [J]. 给水排水, 2001, 27(9): 5.
SHAO Linguang. On the primary sedimentation tank in urban WWTP [J]. Water & Wastewater Engineering, 2001, 27(9): 5.
- [6] 袁泉. 城市污水厂初沉池的设置方式及运行效果 [J]. 环境科学与管理, 2008, 33(1): 126.
YUAN Quan. The first clarifier of circulate result and establish a way inquiry into in WWTP [J]. Environmental Science and Management, 2008, 33(1): 126.
- [7] 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. Alexandria: Water Environment Foundation, 2006: 506-525.
- [8] 国家环境保护总局.《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法 [M]. 4 版. 北京: 环境科学出版社, 2002.
State Environmental Protection Administration, Water and Exhausted Water Monitoring Analysis Method Editorial Committee. Water and exhausted water monitoring analysis method [M]. 4th ed. Beijing: Environmental Science Press, 2002.
- [9] 赵庆国, 李伟卿, 何伟. 新型固液旋流器压降特性实验研究 [J]. 工程热物理学报, 2010, 31(1): 61.
ZHAO Qingguo, LI Weiqing, HE Wei. Experimental study of pressure drop characteristics of a novel solid/liquid hydrocyclone [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2010, 31(1): 61.