

• 施工、材料与设备 •

主要结构参数对污泥淤砂分离器分离效能的影响

林于廉¹ 王 静¹ 晏 鹏^{2,3} 吉芳英⁴ 陈猷鹏^{2,3} 郭劲松^{2,3} 张 红^{2,3} 李勇志^{2,3} 张 雷^{2,3}

(1 重庆建筑工程职业学院, 重庆 400072; 2 中国科学院重庆绿色智能技术研究院, 重庆 400714; 3 中国科学院
水库水环境重点实验室, 重庆 400714; 4 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 为了实现污泥淤砂分离器的结构优化, 重点探讨了污泥淤砂分离器主要结构参数(底流口直径 d_u 与溢流口直径 d_o)对污泥淤砂分离器分离效能的影响。试验结果表明: 随着溢流口直径的减小或底流口直径的增加, 底流污泥 $\rho(\text{MLVSS})/\rho(\text{MLSS})$ 逐渐增加, 有机质富集率 F_{VSS} 、淤砂富集率 F_{ISS} 逐渐减小, 分离效率 η 逐渐增加。富集除砂所需要的溢流口、底流口直径与获得较高分离效率所需溢流、底流口直径是不一致的。在实际运行时应选择适合的溢流口、底流口直径, 在优先保证富集排砂的前提下, 提高分离器分离效率。

关键词 溢流口直径 底流口直径 活性污泥 污泥淤砂分离器 旋流分离 分离效能

DOI:10.13789/j.cnki.wwe1964.2015.0177

Effect of main structure parameters on separation performance of grit separation module

Lin Yulian¹, Wang Jing¹, Yan Peng^{2,3}, Ji Fangying⁴, Chen Youpeng^{2,3},

Guo Jinsong^{2,3}, Zhang Hong^{2,3}, Li Yongzhi^{2,3}, Zhang Lei^{2,3}

(1. Chongqing Vocational College of Architectural Engineering, Chongqing 400072, China; 2. Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology, Chinese Academy of Sciences, Chongqing 400714, China; 3. Key Laboratory of Reservoir Aquatic Environment, Chinese Academy of Sciences, Chongqing 400714, China; 4. Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: In order to achieve the goal of the structure optimization of the grit separation module, this paper studied the impacts of important structure parameters (overflow outlet diameter and underflow outlet diameter) on the separation efficiency of the grit separation module. The results showed that with the decrement of the overflow outlet diameter or the increment of the underflow outlet diameter, the underflow sludge's $\rho(\text{MLVSS})/\rho(\text{MLSS})$ gradually increased and the F_{VSS} , F_{ISS} gradually decreased but the separation efficiency (η) gradually increased. This indicated that the diameters for overflow outlet diameter and underflow outlet for the enrichment degrit were different from those for high separation efficiency. The suitable diameters of overflow outlet and underflow outlet were selected to achieve simultaneously enrichment degrit and high separation efficiency in practical operation.

Keywords: Overflow outlet diameter; Underflow outlet diameter; Activated sludge; Grit separation module; Hydrocyclone separation; Separation performance

国家水体污染控制与治理重大科技专项(2009ZX07315-02-01); 重庆市科委项目(城科学 2012 第 3-1 号); 重庆市基础与前沿研究计划项目(cstc2013jcyjA20020)。

活性污泥工艺已成为世界上最主要的污水处理方式^[1,2]。活性污泥主要成分分为有机部分和无机部分,其中有机部分包括生物质、内源代谢产物和惰性有机物,而无机部分包括金属离子、化学沉淀以及进水中的砂^[3,4]。这些无机物是不能生物降解的,并会在污泥絮体中积累影响污染物的去除。通常活性污泥中的混合液挥发性悬浮固体浓度与混合液悬浮固体浓度的比值 $\rho(\text{MLVSS})/\rho(\text{MLSS})$ 在 0.7 左右。但在我国,大部分地区的城镇污水处理厂活性污泥的 $\rho(\text{MLVSS})/\rho(\text{MLSS})$ 普遍较低,通常只有 0.3~0.5^[5]。该现象在进水含砂量较高的山地城市尤为突出;这些活性污泥中除含有与生物基质相关的无机物外,还含有大量的特细砂^[6]。大量的特细砂存在于活性污泥之中不仅影响污水处理效果,而且特细砂在活性污泥中集聚将加速设备的磨损,增加运行维护费用。如何实现活性污泥中有机质和无机砂的分离已成为污水处理系统一个亟待解决的难题。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]。但迄今为止,国内尚无相关技术的研究和应用的报道。为此课题组根据旋流分离模型及原理^[8~20]开发了一种基于污水处理厂生物污泥与特细砂之间的密度、粒径差异的污泥淤砂分离器^[21],并实现了低 $\rho(\text{MLVSS})/\rho(\text{MLSS})$ 值污泥的生物基质和污泥淤砂的分离。前期研究发现,分离器的主要结构参数(底流口与溢流口直径)是影响污泥淤砂分离器分离效能的重要因素^[22]。因此,本文将重点探讨污泥淤砂分离器的主要结构参数对特细砂分离效果的影响,从而为污泥淤砂分离器的结构优化奠定基础。

1 试验材料与试验方法

1.1 试验系统与运行方式

污水处理厂活性污泥淤砂分离系统如图 1 所示^[22]:它由储泥箱(含污泥搅拌器)、污泥淤砂分离器、污泥泵(额定排量 $5 \text{ m}^3/\text{h}$)、电磁流量计(KDLD-25 型电磁流量计,设定量程 $0\sim 10 \text{ m}^3/\text{h}$,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,核心设备为自主开发的污泥淤砂分离器。试验时,先将污水处理厂回流污泥泵入带污泥搅拌器的储泥箱,通过调节阀门控制污

泥混合液进入污泥淤砂分离器的进料压力,污泥混合液通过分离器后被分离为溢流污泥和底流污泥。其中,底流污泥被输送至污泥脱水机进行脱水,溢流污泥被回流至生物反应池。

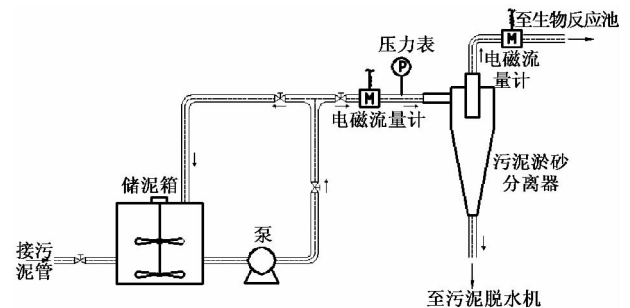


图 1 污泥淤砂分离系统

1.2 试验方法

试验采用的污泥淤砂分离器的主要结构参数为:筒体直径为 75 mm ,筒体长度为 100 mm ,溢流管插入深度为 88 mm ,锥角为 20° ,并配置了直径为 8 mm 、 10 mm 、 13 mm 、 15 mm 的底流口,直径为 15 mm 、 18 mm 、 20 mm 、 22 mm 、 25 mm 的溢流口,泥淤砂分离器结构如图 2 所示。在进料压力为 0.2 MPa 的条件下,分别采用固定溢流管直径改变底流口直径($\varnothing 15$ 、 $\varnothing 13$ 、 $\varnothing 10$ 、 $\varnothing 8$)、或固定底流口直径变更溢流口直径($\varnothing 25$ 、 $\varnothing 22$ 、 $\varnothing 20$ 、 $\varnothing 18$ 、 $\varnothing 15$)的组合方式,来测试溢流口直径 d_1 与底流口直径 d_2 对污泥淤砂分离器分离效能的影响。

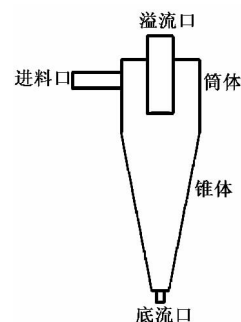


图 2 污泥淤砂分离器结构示意图

1.3 试验污泥

试验污泥为重庆市某污水处理厂(日处理水量 60 万 m^3)二沉池回流污泥。试验所用污泥的 $\rho(\text{MLSS})$ 、 $\rho(\text{MLVSS})/\rho(\text{MLSS})$ 和 SVI(污泥体积指数)分别为 12 g/L 、 0.39 和 42 。可以看出,该污水处理厂污泥 $\rho(\text{MLVSS})/\rho(\text{MLSS})$ 处于较低

状态。

1.4 检测项目与方法

检测项目： $\rho(\text{MLVSS})$ 、 $\rho(\text{MLSS})$ 、流量、压力。

$\rho(\text{MLVSS})$ 、 $\rho(\text{MLSS})$ 检测参照《城市污水处理厂污泥检测方法》^[23]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。

1.5 分离器分离效能的评价指标

评价污泥淤砂分离器的分离效能的指标主要包括：污泥有机质富集率、淤砂富集率、分离效率等。

(1)污泥有机质富集率 F_{VSS} 。污泥有机质富集率定义为溢流污泥有机质含量与底流污泥有机质含量之比，它反映了污泥有机质在溢流污泥中的富集程度，计算公式见式(1)：

$$F_{\text{VSS}} = f_o / f_u \quad (1)$$

式中 f_o ——溢流污泥的 $\rho(\text{MLVSS}) / \rho(\text{MLSS})$ ；

f_u ——底流污泥的 $\rho(\text{MLVSS}) / \rho(\text{MLSS})$ 。

(2)淤砂富集率 F_{ISS} 。淤砂富集率定义为底流污泥含砂量与溢流污泥含砂量之比，它反映了淤砂在底流污泥中的富集程度，计算公式见式(2)：

$$F_{\text{ISS}} = \frac{1 - f_u}{1 - f_o} \quad (2)$$

(3)分离效率 η 。分离效率是分离器最重要的性能参数，它被定义为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)所占进料中污泥无机组分的百分数，计算公式见式(3)：

$$\eta = \frac{Q_u C_u}{Q_i C_i} \quad (3)$$

式中 C_u ——底流含砂量，g/L；

C_i ——料含砂量，g/L；

Q_u ——底流流量，L/s；

Q_i ——溢流流量，L/s。

2 结果与讨论

2.1 溢流口直径对分离器分离效能的影响

2.1.1 溢流口直径对底流污泥 $\rho(\text{MLVSS}) / \rho(\text{MLSS})$ 的影响

污泥的 $\rho(\text{MLVSS}) / \rho(\text{MLSS})$ 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(衡量污泥活性的重要指标)，是展现污泥淤砂分离器分离效果最直观的参数。淤砂通过分离器分离后经底流口排出，底流污泥的无机淤砂相对含量越高

(底流污泥的 $\rho(\text{MLVSS}) / \rho(\text{MLSS})$ 越低)对系统富集排砂更为有利，因此，底流污泥的 $\rho(\text{MLVSS}) / \rho(\text{MLSS})$ 是衡量分离器除砂效果的重要参数。溢流口直径对底流污泥 $\rho(\text{MLVSS}) / \rho(\text{MLSS})$ 的影响如图3所示，可以看出，随着溢流口直径的减小，底流污泥 $\rho(\text{MLVSS}) / \rho(\text{MLSS})$ 呈现逐渐增加的趋势，且在不同的底流口直径下呈现出相同的规律。以底流口直径 15 mm 为例，溢流口直径从 25 mm 变化到 15 mm 过程中，其底流污泥 $\rho(\text{MLVSS}) / \rho(\text{MLSS})$ 从 0.26 逐渐上升到 0.33。底流污泥 $\rho(\text{MLVSS}) / \rho(\text{MLSS})$ 越高表示其含砂量越低。因此，溢流口直径的减小不利于系统富集排砂。

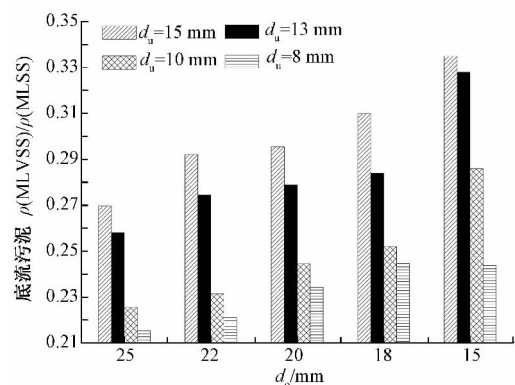


图3 溢流口直径对底流污泥 $\rho(\text{MLVSS}) / \rho(\text{MLSS})$ 的影响

2.1.2 溢流口直径对富集率的影响

F_{VSS} 、 F_{ISS} 分别反映了污泥有机质在溢流污泥中的富集程度和污泥无机物在底流污泥中的富集程度。 F_{VSS} 、 F_{ISS} 和溢流口直径的关系见图4。从图4可以看出， F_{VSS} 、 F_{ISS} 两者都随着溢流口直径的减小呈现逐渐减小的趋势。以底流口直径 13 mm 为例，溢流口直径从 25 mm 变化到 15 mm 过程中， F_{ISS} 和 F_{VSS} 分别从 1.34 下降到 1.16 和从 1.73 下降到 1.28。从其变化趋势可以看出：溢流口直径对 F_{ISS} 和 F_{VSS} 的影响程度是不一样的， F_{ISS} 和 F_{VSS} 的下降幅度分别为 13.4% 和 26.0%， F_{VSS} 的下降幅度基本上是 F_{ISS} 的两倍，所以溢流口直径对 F_{ISS} 影响较小而对 F_{VSS} 影响较大，溢流口直径大小对污泥有机质在溢流污泥中的富集有显著作用。

2.1.3 溢流口直径对分离效率的影响

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所占进料中污泥

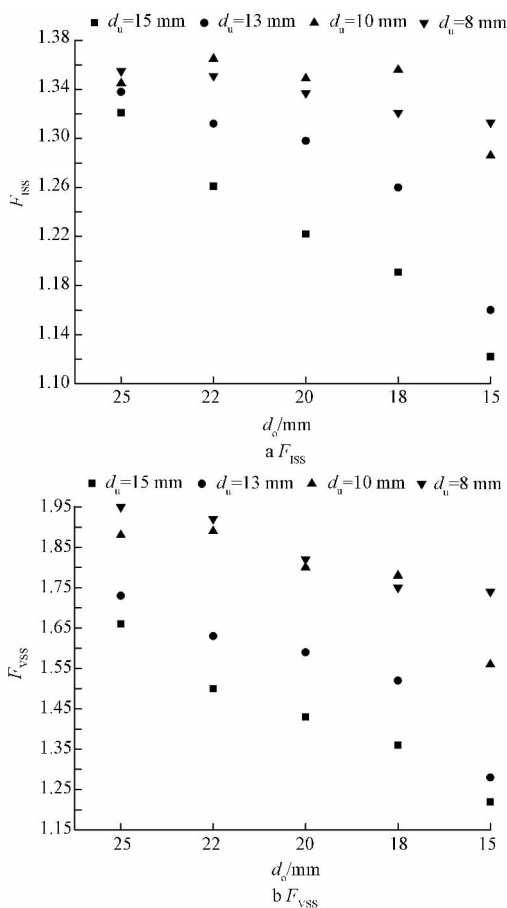


图4 溢流口直径对富集率的影响

无机组分的百分数,它是直接反映污泥淤砂分离器分离效能的最重要的参数。图5为溢流口直径对分离效率的影响,可以看出,随着溢流口直径的不断减小,分离效率 η 呈逐渐增加的趋势,以底流口直径13 mm为例,溢流口直径从25 mm变化到15 mm过程中,分离效率 η 从25.9%逐渐上升到42.9%。因此,溢流口直径的减小有利于分离效率的提高,但溢流口直径的减小却不利于底流污泥中砂的富集(F_{ISS} 是逐渐减小,底流污泥 $\rho(MLVSS)/\rho(MLSS)$ 是逐渐升高)。这个现象的出现主要是因为溢流口直径减小,大量的污泥从底流口排除,所以,此时分离效率 η 的增加完全缘于底流污泥量的增加而不是缘于底流含砂量的增加。该现象表明:富集除砂所需要的溢流口直径和获得较高分离效率所需溢流口直径是不一致的。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。因此,在实际运行时,应选择适合的溢流口直径首先

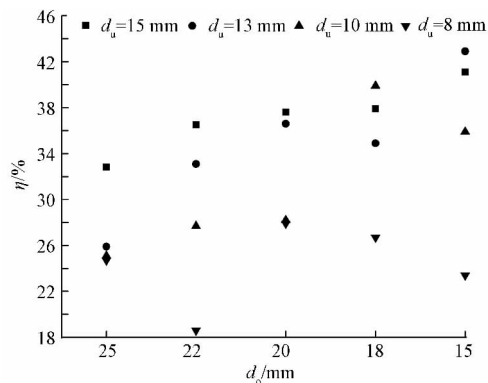


图5 溢流口直径对分离效率的影响

保证底流污泥具有较低 $\rho(MLVSS)/\rho(MLSS)$,再考虑获得较大的分离效率。

2.2 底流口直径对分离器分离效能的影响

2.2.1 底流口直径对底流污泥 $\rho(MLVSS)/\rho(MLSS)$ 的影响

图6显示了底流口直径对底流污泥 $\rho(MLVSS)/\rho(MLSS)$ 的影响,可以看出:随着底流口直径的增加,底流污泥 $\rho(MLVSS)/\rho(MLSS)$ 呈现逐渐增加的趋势,且在不同的溢流口直径下呈现出相同的规律。以溢流口直径15 mm为例,底流口直径从8 mm变化到15 mm过程中,其底流污泥 $\rho(MLVSS)/\rho(MLSS)$ 从0.24逐渐上升到0.33。底流污泥 $\rho(MLVSS)/\rho(MLSS)$ 越高表示其含砂量越低。因此,底流口直径的增加不利于系统富集排砂。此外在这个过程中,底流污泥 $\rho(MLVSS)/\rho(MLSS)$ 上升幅度较大,底流污泥 $\rho(MLVSS)/\rho(MLSS)$ 的增加幅度达到37.5%,所以底流口直径对底流污泥 $\rho(MLVSS)/\rho(MLSS)$ 的影响十分显著。因此,底流口直径是影响底流污泥 $\rho(MLVSS)/\rho(MLSS)$ 的重要参数。

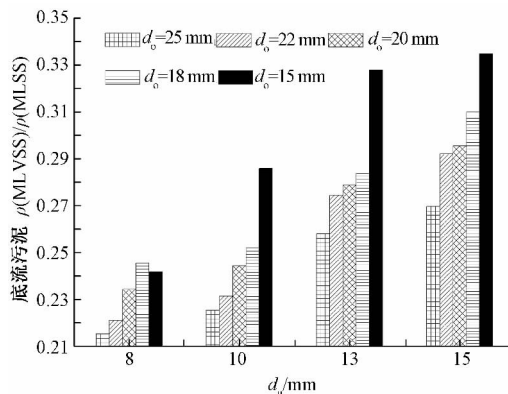


图6 底流口直径对底流污泥 $\rho(MLVSS)/\rho(MLSS)$ 的影响

2.2.2 底流口直径对富集率的影响

F_{VSS} 、 F_{ISS} 和底流口直径的关系见图 7,可以看出, F_{VSS} 、 F_{ISS} 两者都随着底流口直径的增加呈现逐渐减小的趋势。以溢流口直径 20 mm 为例,溢流口直径从 8 mm 变化到 15 mm 过程中, F_{ISS} 和 F_{VSS} 分别从 1.33 下降到 1.22 和从 1.82 下降到 1.43。从其变化趋势可以看出:底流口直径对 F_{ISS} 和 F_{VSS} 的影响程度是不一样的, F_{ISS} 和 F_{VSS} 的下降幅度分别为 8.2% 和 21.4%, 所以底流口直径对 F_{ISS} 影响较小而对 F_{VSS} 影响较大,底流口直径大小对污泥有机质在溢流污泥中的富集有显著作用。

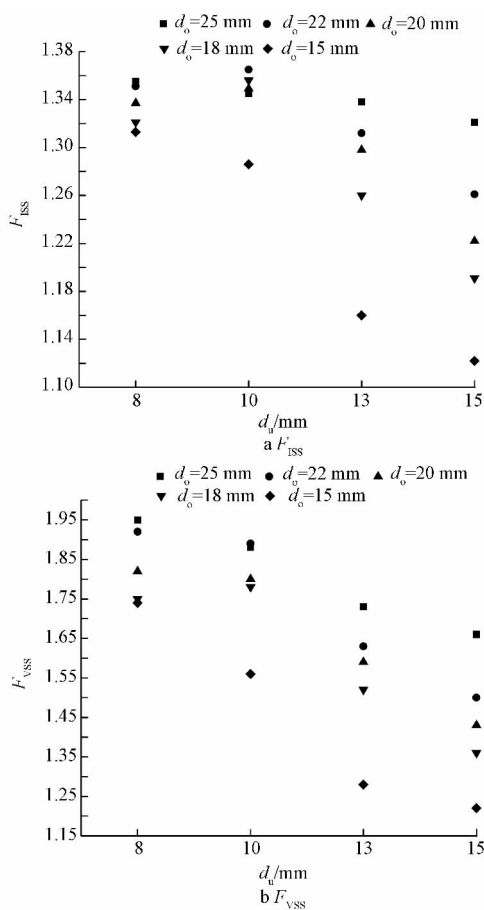


图 7 底流口直径对富集率的影响

2.2.3 底流口直径对分离效率的影响

图 8 为底流口直径对分离效率的影响,可以看出,随着底流口直径的不断增加,分离效率 η 呈逐渐增加的趋势,以溢流口直径 15 mm 为例,底流口直径从 8 mm 变化到 15 mm 过程中,分离效率 η 从 23.4% 逐渐上升到 41.1%。因此,底流口直径的增

加有利于分离效率的提高,但底流口直径的增加却不利于底流污泥中砂的富集(F_{ISS} 是逐渐减小,底流污泥 $\rho(MLVSS)/\rho(MLSS)$ 是逐渐升高)。这时分离器分离效率的增加来至底流污泥量的增加并不是由于底流污泥中砂含量的增加。与溢流口直径对分离效率和底流污泥富集率的影响规律一样,富集除砂所需要的底流口直径和获得较高分离效率所需底流口直径是不一致的。因此,在实际运行运行中选择合适的底流口直径十分重要,使其既保证富集除砂又能获得较高的分离效率。

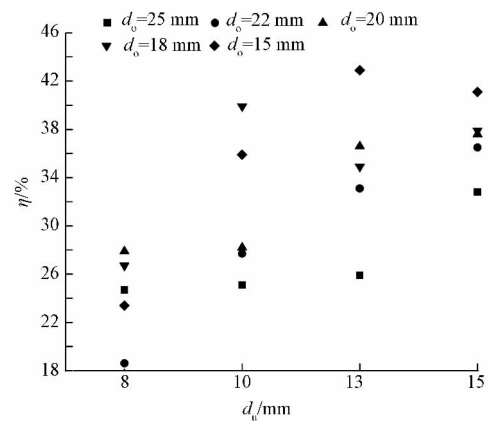


图 8 底流口直径对分离效率的影响

3 结论

(1) 溢流口直径和底流口直径的变化对底流污泥 $\rho(MLVSS)/\rho(MLSS)$ 、 F_{VSS} 、 F_{ISS} 和分离效率有显著的影响,两者是影响污泥淤砂分离器分离效能的主要结构参数。

(2) 随着溢流口直径的减小或底流口直径的增加,底流污泥 $\rho(MLVSS)/\rho(MLSS)$ 呈现逐渐增加的趋势, F_{VSS} 、 F_{ISS} 呈现逐渐减小的趋势,分离效率 η 呈逐渐增加的趋势。

(3) 富集除砂所需要的溢流口、底流口直径与获得较高分离效率所需溢流、底流口直径是不一致的。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。因此,在实际运行时应选择适合的溢流口、底流口直径,在优先保证富集排砂的前提下,提高分离器分离效率。

参考文献

1 Tamis J, Van Schouwenburg G, Kleerebezem R, et al. A full scale worm reactor for efficient sludge reduction by predation in

- a wastewater treatment plant. *Water Research*, 2011, 45(18): 5916~5924
- 2 Yang S S, Guo W Q, Zhou X J, et al. Optimization of operating parameters for sludge process reduction under alternating aerobic/oxygen-limited conditions by response surface methodology. *Bioresource Technology*, 2011, 102(21):9843~9851
 - 3 Geoffrion M M, Dold P L, Lamarre D, et al. Characterizing hydrocyclone performance for grit removal from wastewater treatment activated sludge plants. *Minerals Engineering*, 2010, 23(4): 359~364
 - 4 Yan P, Ji F Y, Fan J P, et al. Grit separation module performance and influencing factors for grit removal efficiency from activated sludge. *Separation Science and Technology*, 2014, 49(1): 121~129
 - 5 郑兴灿,孙永利,尚巍,等. 城镇污水处理功能提升和技术设备发展的几点思考. *给水排水*, 2011, 37(9): 1~5
 - 6 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. *环境科学研究*, 2012, 25(3): 322~327
 - 7 Ruth R, Ron S, Bruce J, et al. Sludge minimization technologies-doing more to get less. In: Proceedings of the 79th annual water environment federation technical exposition and conference. Alexandria Virginia, Water Environment Federation, 2006. 506~525
 - 8 庞学诗. *水力旋流器技术与应用*. 北京:中国石化出版社, 2010
 - 9 Schubert H. Which demands should and can meet a separation model for hydrocyclone classification. *International Journal of Mineral Processing*, 2010, 96(1-4): 14~26
 - 10 Geoffrion M M, Dold P L, Lamarre D, et al. Characterizing hydrocyclone performance for grit removal from wastewater treatment activated sludge plants. *Minerals Engineering*, 2010, 23(4): 359~364
 - 11 Wang L Y, Zheng Z C, Wu Y X, et al. Numerical and experimental study on liquid-solid flow in a hydrocyclone. *Journal of hydrodynamic*, 2009, 21(3): 408~414
 - 12 Saengchan K, Nopharatana A, Songkasiri W. Enhancement of tapioca starch separation with a hydrocyclone: effects of apex diameter, feed concentration, and pressure drop on tapioca starch separation with a hydrocyclone. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2009, 48(1): 195~202
 - 13 Dueck J, Pikushchak E, Minkov L, et al. Mechanism of hydrocyclone separation with water injection. *Minerals Engineering*, 2010, 23(4): 289~294
 - 14 Wang Z B, Ma Y, Jin Y H. Simulation and experiment of flow field in axial-flow hydrocyclone. *Chemical Engineering Research and Design*, 2011, 89(6): 603~610
 - 15 Delgadillo J A, Rajamani R K. Exploration of hydrocyclone designs using computational fluid dynamics. *International Journal of Mineral Processing*, 2007, 84(1-4): 252~261
 - 16 Kashiwaya K, Noumachi T, Hiroyoshi N, et al. Effect of particle shape on hydrocyclone classification. *Powder Technology*, 2012, 226: 147~156
 - 17 Doby M J, Nowakowski A F, Yiu I, et al. Understanding air core formation in hydrocyclones by studying pressure distribution as a function of viscosity. *International Journal of Mineral Processing*, 2008, 86(1-3): 18~25
 - 18 Sriprya R, Kaulaskar M D, Chakraborty S, et al. Studies on the performance of a hydrocyclone and modeling for flow characterization in presence and absence of air core. *Chemical Engineering Science*, 2007, 62(22): 6391~6402
 - 19 Hararah M A, Endres E, Dueck J, et al. Flow conditions in the air core of the hydrocyclone. *Minerals Engineering*, 2010, 23(4): 295~300
 - 20 Bai Z H, Wang H L, Tu S t. Experimental study of flow patterns in deoiling hydrocyclone. *Minerals Engineering*, 2009, 22(4): 319~323
 - 21 重庆大学. 一种适用于去除污水处理厂活性污泥中淤砂的分离. 中国, CN201110159013. X, 2012-01-04
 - 22 吉芳英,晏鹏,范剑平,等. 污泥淤砂分离器的分离效能及影响因素. *同济大学学报(自然科学版)*, 2013, 41(3): 42~46
 - 23 CJ/T221-2005 城市污水处理厂污泥检测方法

♀ 通讯作者:王静

E-mail: wangjing111152@126.com

收稿日期: 2015-02-11

修回日期: 2015-03-10

东莞拟用 10 年彻底整治城市内涝

目前《东莞市市区排水专项规划(近、中、长期 2014~2025)》已经市政府批复,拟用 10 年时间彻底解决城市内涝问题。

地势低洼,下水道窄小是内涝黑点通病,当地水务部门挖宽泄水口,增加排水口,也仅能解一时之急。为解决包括兴贤街等街道的易涝积水,2012 年 11 月,东莞投资 3 个亿建设市区内涝整治工程。除了老城区,一些后开发路段也存在内涝。南城雅园桥下穿路是广东科技学院师生出行必经之路,由于地势低洼,这里也是内涝黑点。

根据规划,东莞市未来 10 年将对市区 4 个街道排水系统工程进行规划建设。近期主要对内涝成因相对简单、影响较大、改造相对容易、改造后效果明显的内涝点进行应急整治。面对将近的汛期,三期(新开河系统)北侧分流工程已基本完工,预计位于新开河系统的东纵路、兴贤街和罗沙市场等 3 个内涝黑点的内涝状况将大大改善。

至于城区其他内涝点,要求各街道做好排水设施的日常管理和维护工作,编制应急细则,推行“一纸式预案”,并开展经常性的安全隐患排查。