

曾如婷,张鸿涛,黄黛诗,等. 2013. 活性滤料滤池过滤性能研究[J]. 环境科学学报,33(10):2699-2703

Zeng R T, Zhang H T, Huang D S, et al. 2013. Filtration performance of active medium filter[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,33(10):2699-2703

活性滤料滤池过滤性能研究

曾如婷¹, 张鸿涛^{1,*}, 黄黛诗¹, 吴春旭¹, 程林波²

1. 清华大学 环境学院,北京 100084

2. 北京国环清华环境工程设计研究院有限公司,北京 100084

收稿日期:2013-01-02 修回日期:2013-02-28 录用日期:2013-04-13

摘要:为了研究进水浓度、水力停留时间和供气量对活性滤料滤池过滤性能的影响,以石英砂作为过滤介质,以高岭土悬浊液模拟配水进行试验,测试不同条件下滤池对 SS 的去除效果. 结果表明:有效过滤高度为 700 mm 的活性滤料滤池在 HRT 为 10 min、SS 为 45 mg·L⁻¹ 左右时,砂循环周期应为 24 h 以内;进水 SS 的浓度和供气量基本不影响活性滤料滤池的过滤性能;随着停留时间的增加,活性滤料滤池对 SS 去除率逐渐增加;活性滤料滤池用于出水 SS 由一级 B 标准提高到一级 A 标准的合理停留时间应为 7.5 ~ 10 min,最佳供气范围为 7.96 ~ 26.53 L·m⁻²·min⁻¹.

关键词:水力停留时间;去除率;气量;砂循环周期

文章编号:0253-2468(2013)10-2699-05 中图分类号:X703 文献标识码:A

Filtration performance of active medium filter

ZENG Ruting¹, ZHANG Hongtao^{1,*}, HUANG Daishi¹, WU Chunxu¹, CHENG Linbo²

1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084

2. Guohuan Tsinghua Environment Engineering Design & Research Institute Co., Ltd, Beijing 100084

Received 2 January 2013; received in revised form 28 February 2013; accepted 13 April 2013

Abstract: In order to study the influences of influent concentration, hydraulic retention time (HRT) and air flow on the filtering performance of active medium filter, a series of performance experiment schemes were designed, with the siliceous sand (SS) as lifting medium and the suspending liquid of kaolin as the target, to analyze the removal efficiency of SS under different conditions. The results showed that the cyclic period of sand was within 24 h while the height of the bed was 700 mm and HRT = 10 min & SS = 45 mg·L⁻¹. Influent concentration and air flow didn't affect the filtering performance of active medium filter, with the increase of the HRT, the removal efficiency of SS increased gradually. While active medium filter used for upgrade and reconstruction of SS from Standard B to Standard A, the reasonable HRT was 7.5 ~ 10 min and the optimal air flow range was 7.96 ~ 26.53 L·m⁻²·min⁻¹.

Keywords: hydraulic retention time; removal rate; air flow; cyclic period of sand

1 引言(Introduction)

活性滤料滤池是 1978 年由瑞典公司 Nordic Water 发明的,作为一种集混凝、澄清、过滤于一体的高效过滤工艺,活性滤料滤池具有设计简单、无需停机反冲洗、一次性投资低、运行维护费用低等优势(李俊生,2010),在污水深度处理和提标改造中占据着越来越重要的地位,在国内外均有应用(梅从明等,2009; Taylor, 2006; Kramer et al.,

2009). 它一般采用石英砂滤料,且处于连续运行状态,故又被称为流砂过滤器、活性砂滤池、连续砂滤池等.

活性滤料滤池系统的运行遵循逆流原理(Wouters et al., 2004; Sin et al., 2008),污水从底部经过滤床过滤净化后由位于顶部的溢流口流出. 被截留的污染物则随滤层缓慢向下移动,并在底部被压缩空气提升到位于顶部的洗砂器中,通过水、气、砂三相的紊流作用使污染物与滤料实现分离. 污染

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(No. 2009AA063805)

Supported by the National High Technology Research and Development Program of China (No. 2009AA063805)

作者简介: 曾如婷(1988—),女,E-mail: crt06@mails.tsinghua.edu.cn; * 通讯作者(责任作者),E-mail: zhnght@mail.tsinghua.edu.cn

Biography: ZENG Ruting (1988—), female, E-mail: crt06@mails.tsinghua.edu.cn; * Corresponding author, E-mail: zhnght@mail.tsinghua.edu.cn

物随反洗水排出,滤料则回落至砂床顶部继续过滤。

本文以石英砂作为过滤介质,在实验室水平上对活性滤料滤池的过滤性能进行测试,分析了进水浓度、水力停留时间和供气量对其过滤性能的影响,确定了活性滤料滤池用于出水 SS 由一级 B 到一级 A 的提标改造的最佳运行参数。

2 试验装置与方法 (Test device and method)

2.1 试验装置

试验装置及试验工艺流程如图 1 所示. 装置尺寸为 300 mm (直径) × 1400 mm, 由有机玻璃粘接而成, 侧边设有取样口, 底部设有放空管. 提砂管置于装置中心, 直径为 10 mm, 采用底端进气方式布气. 进水通过环形布水器均匀分布后逆流通过滤床, 出水溢流口设计成高度可调状态, 方便试验中通过调节出水与洗砂器溢流口的高差来控制洗砂水量. 以石英砂 (粒径为 1.25 ~ 2.0 mm, 真密度为 2.625 g·cm⁻³) 作为过滤介质, 填充于装置内部, 滤床有效过滤高度为 700 mm, 过滤面积为 0.063 m².

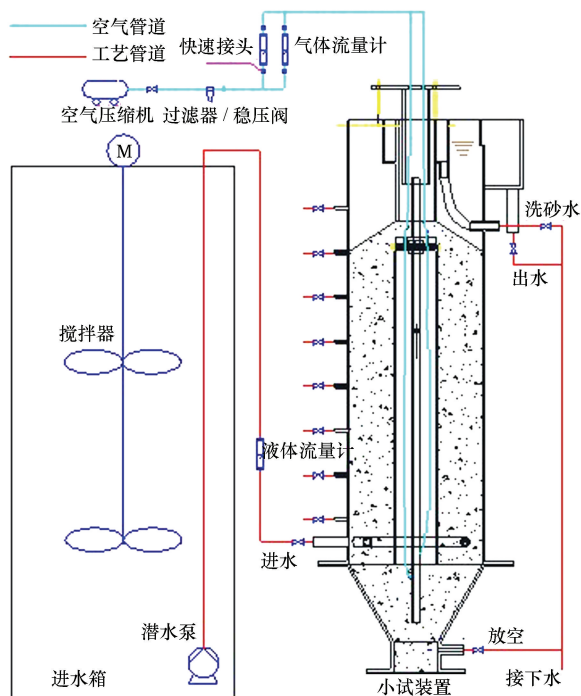


图 1 试验装置工艺流程图

Fig. 1 Schematic diagram of test equipment

采用 1500 目的高岭土和自来水配制模拟污水进行过滤试验. 自配水使用搅拌桨持续搅拌, 并由潜水泵提升进入装置, 通过进水阀门控制进水量, 进水流量计则用于计量处理流量. 试验采用空压机供气, 空压机出口设置过滤器及稳压阀, 经过油水

分离器和稳压调节后的压缩空气以一定压强和流量进入提砂装置的提砂管, 通过气体流量计和阀门进行供气量的计量和调节. 流量计选用 2 个量程, 用于不同气量的计量. 出水和洗砂器的反洗水排水则通过管道汇合后接入实验室下水管道。

2.2 试验方法

以高岭土悬浊液模拟污水处理厂二级生物处理出水的微污染水进行过滤试验. 试验中同时对进出水进行取样, 采用重量法 (参见国标 GB 11901—89) 测试其 SS, 计算装置对 SS 的去除效率。

试验中以浓度、停留时间、供气量分别作为单因素变量, 研究各因素对活性滤料滤池过滤性能的影响, 从而确定该工艺用于一级 B 到一级 A 提标的最佳工艺参数。

3 结果 (Results)

3.1 过滤周期分析

在 300 L·h⁻¹ 的流量下进行试验, 进水 SS 控制在 45 mg·L⁻¹ 左右. 试验过程中不供气、不提砂, 连续运行 36 h, 每隔 30 min 测定进出水 SS. 图 2 给出了静态条件下的 SS 去除效果。

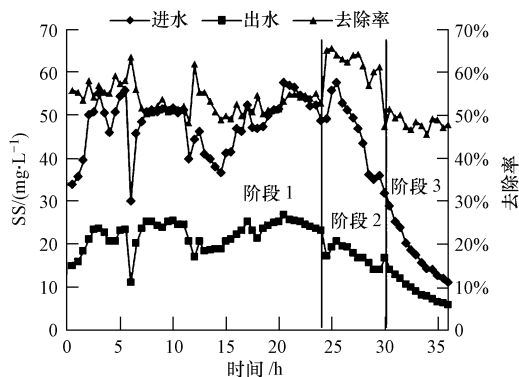


图 2 SS 去除效果图

Fig. 2 Removal efficiency curve of SS

在 300 L·h⁻¹ 的处理量下, 有效停留时间为 10 min. 由图 2 可知, 进出水的 SS 浓度具有很好的相关性. 过滤曲线可以很明确地分为 3 个过滤阶段: 在前 24 h 内 (图 2 中阶段 1), SS 的去除率基本不随进水浓度的波动而变化, 稳定在 50% ~ 60% 之间; 而在 24 ~ 30 h 之间 (图 2 中阶段 2), 活性滤料滤池对 SS 的去除率反而有一段较明显的提高; 在 30 h 后 (图 2 中阶段 3) 则有逐渐下降的趋势。

形成上述过滤状态变化的原因如下: 在过滤的初始阶段 (阶段 1), 主要是靠砂床对污染物的截留

实现过滤功能,高岭土颗粒在过滤过程中不停地沉积到滤料表面;由于沉积到滤料表面的颗粒具有较高的活性,能够吸附水中的悬浮物,故而当沉积的污染物达到一定程度后(阶段2),整个滤料滤池对SS的去除率反而有所上升.但是,随着污染物颗粒沉积量的不断增加,滤料孔隙内流速也逐渐增大,水力冲刷作用也越来越强烈,使已沉积在滤料表面的颗粒解脱出来重新进入到水中的趋势增加,到一定程度后(阶段3),出水的SS即达到泄露点,从而导致滤池的去除率逐渐下降.

在该条件下,滤池在24 h时对SS的去除率有所上升,30 h时达到其泄露点.由于污水处理厂的提标改造在SS的去除要求上主要是将二级生物处理出水由 $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下降低到 $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以内,故而只要活性滤料滤池对SS能稳定地具有50%以上的去除率即可满足要求.在活性滤料滤池连续运行时,被污染的砂床也被同步清洗,以使滤池的过滤性能稳定停留在滤床截留过滤阶段(图2中阶段1),故该装置的砂循环周期应在24 h以内,也即当有效过滤高度为700 mm、处理量为 $300 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 、进水SS为 $45 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,砂循环周期应在24 h内.

3.2 进水浓度对过滤性能的影响

在 $300 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 的流量下进行试验,以 $2 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 的气压、 $80 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 的气量供气,连续运行1个月,试验过程中逐渐改变进水浓度,每天测定进出水SS浓度.图3给出了不同进水浓度下的SS去除效果.

从图3可以看出,进出水SS浓度呈现相同的变化趋势.并且在进水SS浓度逐渐升高的过程中,SS的去除率始终在一个较稳定的范围内波动.当处理量为 $300 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,活性滤料滤池对SS的去除率基

本稳定在54%~61%之间,不随进水SS浓度的变化而变化.

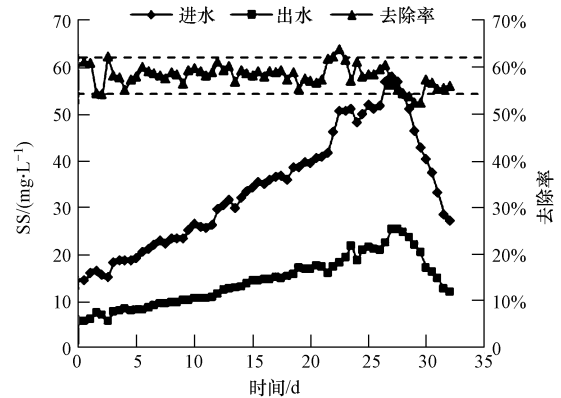


图3 不同进水浓度下SS去除效果图

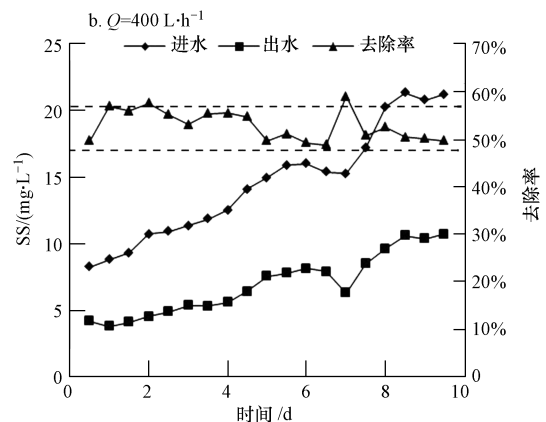
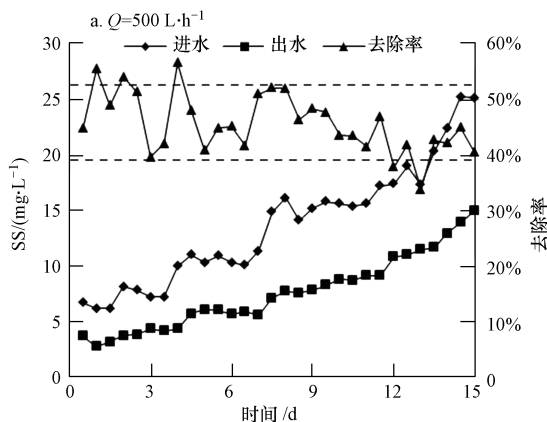
Fig. 3 Removal efficiency curve of SS under different concentrations

故可以认为,进水SS的浓度基本不影响活性滤料滤池对SS的去除率,在有效停留时间为10 min的条件下,活性滤料滤池对SS的去除率可以稳定在50%以上,能够满足污水处理厂出水一级B到一级A的提标要求.

3.3 停留时间对过滤性能的影响

在不同的进水流量下进行试验,以 $2 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 的气压、 $80 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 的气量供气,装置连续运行,试验过程中逐渐改变进水浓度,每天测定进出水的SS浓度.图4给出了不同流量下SS的去除效果.

由图4和图3可知,进出水SS浓度呈现相同的变化趋势.在进水SS浓度逐渐升高的过程中,SS的去除率不随进水SS浓度的变化而变化;随着处理量的降低,停留时间随之增加,活性滤料滤池对SS去除率逐渐增加,其变化如表1所示.



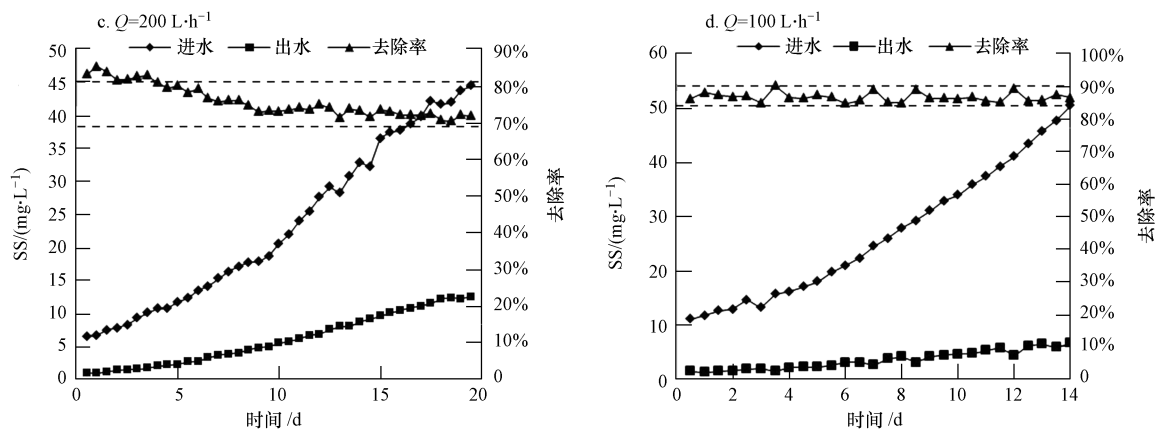


图 4 不同进水流量下 SS 去除效果图

Fig. 4 Removal efficiency curve of SS under different influent quantities

表 1 不同停留时间下 SS 去除效果

Table 1 Removal efficiency of SS under different HRT

处理量 / (L·h ⁻¹)	停留时间 /min	去除率范围	平均去除率
500	6	40% ~ 54%	47.0%
400	7.5	48% ~ 57%	52.5%
300	10	54% ~ 61%	57.5%
200	15	70% ~ 82%	76.0%
100	30	85% ~ 90%	87.5%

由表 1 可知,活性滤料滤池的 SS 平均去除率随着停留时间的增加而增加. 本试验针对污水一级 B 提标至一级 A, 要求 SS 从 20 mg·L⁻¹ 降至 10 mg·L⁻¹ 以下, SS 的去除率需要稳定在 50% 以上, 故应保证有效停留时间在 7.5 min 以上. 由于停留时间的增加意味着投资成本的增加, 而合理的停留时间要求能够保证 SS 的处理效果且确保建设投资的合理性, 故活性滤料滤池用于 SS 由一级 B 提标到一级 A 的有效停留时间应为 7.5 ~ 10 min.

3.4 供气量对过滤性能的影响

在 300 L·h⁻¹ 的流量下进行试验, 保持进水浓度基本稳定, 以 2 kg·cm⁻² 的气压供气, 逐渐提高供气量, 连续运行 1 个月, 每天测定进出水 SS 浓度. 图 5 给出了不同供气量下的 SS 去除效果.

由图 5 可知, 在 300 L·h⁻¹ 的处理量下, 在进水保持在 20 mg·L⁻¹ 左右时, 出水始终维持在 10 mg·L⁻¹ 的水平下, 能够满足一级 B 到一级 A 的提标要求. 在不同的气量下, 污水的 SS 去除率基本都在 50% ~ 60% 之间波动, 不受供气量的影响. 与上述第 3.2 节中在 300 L·h⁻¹ 处理量下的试验结果相符.

虽然, 供气量不直接影响活性滤料滤池的过滤性能, 但供气量的变化直接影响装置内砂和水的提

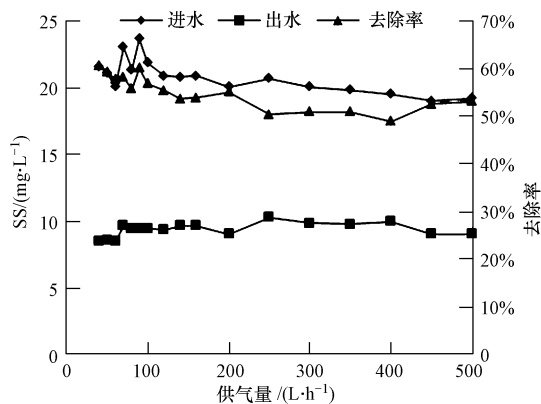


图 5 不同供气量下 SS 去除效果图

Fig. 5 Removal efficiency curve of SS under different air flows

升量, 从而影响滤池的砂循环周期和产水率, 供气量对滤池滤床移动速率和砂循环周期的影响如图 6 所示.

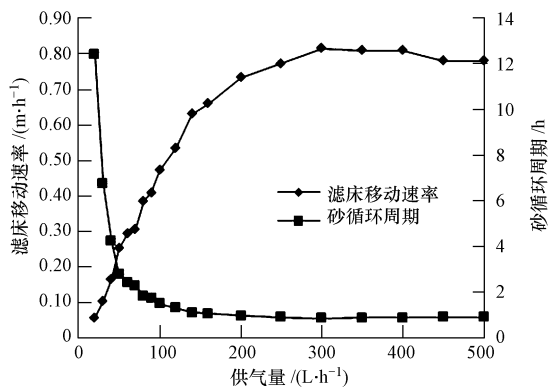


图 6 不同供气量下提砂效果图

Fig. 6 Sand lift-up curve under different air flows

由图 6 可知, 随着供气量的增加, 滤床的移动速率逐渐增加而砂循环周期则逐渐减小. 在供气量小

于 $100 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,滤床移动速率随着气量的增加而快速增加;在供气量为 $100 \sim 300 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,滤床移动速率随着气量的增加而增加的速率逐渐变缓;而在 $300 \sim 400 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,随着气量的增加滤床移动速率基本维持不变;在供气量大于 $400 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,随着气量的增加滤床移动速率反而略有下降。

供气量的大小直接决定了活性滤料滤池运行的成本和被提升的水的量,而后者将直接影响砂子的清洗效率,甚至如果被提升的水量大于通过液位差控制的反洗水量则会导致有一部分污水未被过滤直接混入出水,形成部分短流,影响出水水质。这也是图 5 中在气量大于 $100 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 以后,反应器对 SS 的去除率略有降低的原因。如果要保证污水不混入出水中,则需增加反洗水的量,而这将直接导致装置产水率的降低。过大的供气量是对能源的浪费,但太低的供气量提供的能量不足清洗污砂甚至难以提升滤料。因此,通过上述试验,结合洗砂条件和砂循环周期考虑,将本反应器的供气量定为 $30 \sim 100 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 较为合适,此范围内的砂循环周期为 $6.75 \sim 1.5 \text{ h}$,均在 24 h 以内,满足滤池的反洗要求;当进水 SS 为 $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,合适的装置单位面积平均供气量为 $7.96 \sim 26.53 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

4 结论(Conclusions)

本文以石英砂为过滤介质,分析了进水浓度、水力停留时间和供气量对活性滤料滤池过滤性能的影响。试验结果表明:

1) 在 $300 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ 的处理量下,进水 SS 在 $45 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右时,无反洗状态下活性滤料滤池能够稳定保持 $50\% \sim 60\%$ 的 SS 去除率,滤池在运行 30 h

后达到泄露点,故该条件下有效过滤高度为 700 mm 的活性滤料滤池的砂循环周期应为 24 h 以内。

2) 进水 SS 的浓度和供气量基本不影响活性滤料滤池的过滤性能,随着停留时间的增加,活性滤料滤池对 SS 去除率逐渐增加,活性滤料滤池用于 SS 由一级 B 提标到一级 A 的合理停留时间应为 $7.5 \sim 10 \text{ min}$ 。

3) 供气量直接影响系统的砂水提升量,从而影响滤池的砂循环周期和产水率,当进水 SS 为 $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,试验确定最佳的供气范围为 $7.96 \sim 26.53 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

责任作者简介:张鸿涛(1961—),清华大学环境学院副教授,教授级高工。主要从事污水再生利用、城镇污水处理、环境保护及市政工程技术应用等方面的研究。E-mail: zhanght@mail.tsinghua.edu.cn。

参考文献(References):

- 李俊生. 2010. 活性砂过滤器在城镇污水厂节能减排中的应用[J]. 中国给水排水, 26(1): 57-59
- Kramer J P, Wouters J W, Rosmalen P. 2009. 帕克活性生物砂滤脱氮的四年运行经验[J]. 中国建设信息: 水工业市场, (3): 63-66
- 梅从明,魏思宇,刘峰. 2009. 活性砂滤池在污水处理厂提标改造中的应用[J]. 环境科技, 22(4): 44-47
- Sin G, Weijma J, Spanjers H, *et al.* 2008. Dynamic model development and validation for a nitrifying moving bed biofilter: Effect of temperature and influent load on the performance [J]. Process Biochemistry, 43(4): 384-397
- Taylor C. 2006. Continuous sand filters in Saudi Irrigation project: international [J]. SA Irrigation, 28(4): 26-27
- Wouters H, Jones W. 2004. Moving bed tertiary biofilters-an upgrade for WwTWs [J]. Filtration & Separation, 41(10): 25-27