

Biostyr[®] 曝气生物滤池中试研究

孙漓青¹ 甘一萍² 魏 薇² 陈晓华¹

(1 威立雅水系统北京代表处, 北京 100027; 2 北京市城市排水集团, 北京 100022)

摘要 为了确认 Biostyr[®] 曝气生物滤池工艺在中国的适应性, 在高碑店污水处理厂进行了中试。记录和总结了 2002 年 1 月至 2003 年 10 月间的试验结果。取高碑店污水处理厂 3 系列初沉池出水为试验用水, 试验期间水温在 9~29℃。试验经历经典硝化/反硝化和同时硝化/反硝化的运行模式。以 GB 18918—2002 为准, Biostyr[®] 滤池出水中化学耗氧量、总悬浮固体、氨基态氮、总氮等污染物均可达到其一级 B 标准。

关键词 Biostyr[®] 曝气生物滤池 经典硝化/反硝化 同时硝化/反硝化

Pilot study of Biostyr[®] in Gaobeidian Wastewater Treatment Plant

Sun Li-qing¹, Gan Yi-ping², Wei Wei², Chen Xiao-hua¹

(1. Veolia Water Systems Beijing Office, Beijing 100027, China;

2. Beijing Municipal Drainage Group Co., Ltd., Beijing 100061, China)

Abstract: It is presented the process performance results obtained during the trials period from January 2002 to October 2003, which took place in Gaobeidian WWTP, Beijing, in order to confirm the technological feasibility of the Biostyr[®] process. The influent entering the pilot process was the plant primary effluent (after the primary sedimentation tank). The temperature of the effluent in the pilot plant during the trial period was ranged from 9 to 29 degree Centigrade. Two schemes were conducted in the sequence of the classical nitrification/denitrification and the simultaneous nitrification/denitrification. The trials have shown that all the Biostyr[®] configurations produced an effluent compliant with the required consents on the basic control items of the Class I Standard B of the National discharge standard of water pollutants for municipal wastewater treatment plant (GB 18918—2002).

Keywords: Biostyr[®] biological aerated filter; Classical nitrification/denitrification; Simultaneous nitrification/denitrification

0 引言

Biostyr[®] 曝气生物滤池是一种上向流淹没式生物滤池, 其滤料为密度小于水的球形颗粒并漂浮在水中。此工艺可以用于污水的二级处理, 也可以用于污水深度处理。最早的一座应用 Biostyr[®] 生物滤池技术的污水处理厂 1990 年建造于法国。此工艺具有运行可靠、出水水质好、抗冲击能力强和节约能耗的特点, 被称为第二代 BAF 工艺。Biostyr[®] 以单位体积生物量多, 设计紧凑而著称。对于相同的处理水量, Biostyr[®] 将生化反应器与滤池相结合, 无需

二沉池, 较传统方法可以节省大量占地面积。

Biostyr[®] 生物滤池对污染物的去除主要通过两个途径: 一是依靠附着在滤料上的大量微生物对污水中的溶解性有机物进行降解、硝化/反硝化, 如与其他物化方法结合可同时实现除磷目的。二是由于滤池本身具有物理截留过滤的功能, 所以对游离性的污染物通过物理截留来去除。它既可用于污水的二级处理和水需回用的污水深度处理, 也可以用于微污染水源水处理等。

自从 20 世纪 90 年代以来, 许多学者^[1~5] 展开

了对 Biostyr® 工艺的小试、中试, 目前在上世界上已有大小规模处理厂几十座, 取得了宝贵的设计和维护运行经验, 为 Biostyr® 工艺在中国的推广提供了有力的保证。本次中试的主要目的在于论证 Biostyr® 曝气生物滤池对市政污水的二级处理性能, 并为此种工艺在中国城市污水处理中的应用提供设计依据。

1 试验装置与测定方法

1.1 试验装置

试验场地选址在高碑店污水处理厂区内第 18 号初沉池和第 18 号曝气池之间的过道上, 包括主体反应器和可移动式实验室在内共占地约 100 m²。

用潜水泵将高污厂第 3 系列初沉池出水送入中试系统。污水首先进入一个 1.5 m³ 的缓冲水箱, 由 1 台流量可调的螺杆泵提升进入试验装置。系统出水由滤池上方溢流至反冲洗水箱, 以备反冲洗之用。反冲洗水箱设置了溢流口, 多余的滤池出水排放至就近的排水井。采用穿孔管曝气。整个系统的动力设备包括: 空压机、进水泵、回流泵、鼓风机和反洗泵等。试验设备及流程详见图 1。曝气生物滤池为全不锈钢圆柱形构筑物。塔内水层高 6.5 m, 滤料层高 3.5 m。滤池表面直径约为 0.9 m。中试流量为 1~2 m³/h。

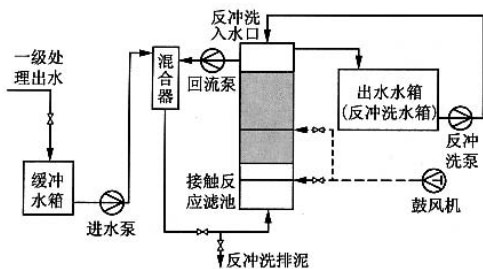


图1 Biostyr® 曝气生物滤池中试设备系统流程示意

Biostyr® 中试设备有以下 4 种不同的运行模式, 可以适合不同的水质和处理要求, 见图 2。

在硝化模式下, 空气从滤床底部进入反应器, 整个滤床处于好氧状态。出水无回流。主要以去除 COD_{Cr} 和氧化氨氮为主。硝化模式可以和后置反硝化模式相结合实现脱氮, 也可以单独作为三级处理进一步去除氨氮。

在经典硝化/反硝化模式中, 供气系统被安装在

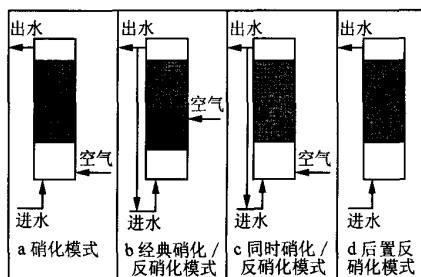


图2 Biostyr® 运行模式

滤床的中部, 因而将滤床分为上部好氧段和下部缺氧段两部分。上部主要发生硝化反应, 下部为反硝化段。原水从滤池底部进入反应器, 首先流经反硝化段, 再流经硝化段, 即为滤池出水。部分出水被内循环泵回流至进水端, 为反硝化区提供硝酸盐。同时, 原水中的碳源可以被反硝化菌利用进行反硝化反应。

同时硝化/反硝化模式是为脱氮而开发的更为经济的处理工艺。反洗用气与工艺用气同用一套下部曝气管, 整个滤池处于好氧状态。但是反应器内的溶解氧必须加以控制, 创造滤料的载体表面的局部缺氧环境, 为反硝化提供必要条件。出水部分回流以补充进水端的硝酸盐。

后置反硝化模式可以保证 Biostyr® 出水满足更为严格的总氮浓度标准。经过脱碳和硝化的污水从下端进入反应器, 在缺氧(不曝气)的环境中进行反硝化反应, 除去硝酸盐。如果反硝化所需的碳源不足, 需要引入部分碳源。

本文主要阐述中试系统在硝化/反硝化模式下的运行结果。经典硝化/反硝化将滤池分为上下两个区域, 上段好氧, 下段厌氧。同时硝化/反硝化中滤池厌氧、好氧并不截然分开, 通过控制曝气量来实现生物膜表面局部好氧与厌氧的环境。

高负荷生物滤池以高效高负荷著称, 水在主要反应器内的停留时间很短, 要达到一定的除磷效果, 需要物化处理工艺辅助^[6]。

1.2 测定方法

2 台自动取样器分别从生物滤池的进出水口取样, 每 24 h 采集的水样混合后作为日平均水样。

由现场工艺工程师负责对采集到的水样进行化学分析, 采用快速测定仪对 COD_{Cr}, NH₃-N 和 NO₃⁻-N 等水质指标进行检测, BOD₅ 与 SS 等水质

指标委托北京市排水集团水质化验中心进行检测。

各项指标的测定方法为: COD_{Cr} , 重铬酸钾法; BOD_5 , 稀释碘量法; SS , 过滤称重法; $\text{NH}_3 - \text{N}$, 纳氏试剂比色法; $\text{NO}_3^- - \text{N}$, 酚二磺酸分光光度法。

2 结果与讨论

2.1 原水水质

高碑店污水处理厂的上游来水属于市政污水, 包括生活污水及东郊化工厂(现已部分迁出)、酒精厂等工业废水^[7]。中试工厂的进水为高碑店污水处理厂平流式初级沉淀池出水, 水质情况见表 1。

表 1 Biostyr® 中试厂进水水质

指标	最低值	最高值	平均值
$\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{mg/L}$	160	500	250
$\text{BOD}_5/\text{mg/L}$	80	180	130
$\text{SS}/\text{mg/L}$	60	220	110
$\text{NH}_3 - \text{N}/\text{mg/L}$	21	58	44
$\text{NO}_3^- - \text{N}/\text{mg/L}$		<1	
$\text{TN}/\text{mg/L}$	49	67	54
水温/ $^{\circ}\text{C}$	9	30	19

2.2 菌种的驯化与培养

菌种驯化期间的水温为 $21 \sim 23^{\circ}\text{C}$, 在连续通入初沉池出水, 并同时引入少量高碑店污水处理厂回流污泥作为菌种, 16 d 后, 出水氨氮小于 1 mg/L , 而且出水硝酸盐氮浓度占进水氨氮浓度的 90% 以上, 达到了完全硝化状态。

2.3 Biostyr® 处理效果

在高碑店污水处理厂进行的 Biostyr® 中试先后完成了经典硝化/反硝化和同时硝化/反硝化工艺。

2.3.1 经典硝化/反硝化

本模式的试验期间为 2002 年 8 月 22 日~2003 年 5 月 16 日, 历时 8 个多月, 包括整个冬季。在最冷的季节里, 系统出水稳定, 低温对处理效果的负面影响非常小。由于实际进水的碳氮比与反硝化正常进行所需要的理论碳氮比相比较低, 试验前期曾一度遇到脱氮效率低的问题, 于是加入甲醇作为外加碳源。

2.3.2 同时硝化/反硝化

在同时硝化/反硝化模式中, 原水同样从滤池底部进入反应器, 不同的是供气系统被安装在滤床的底部, 而非中部。这样工艺用气可以与反冲洗用气

共用同一个供气系统, 可以大大降低供气管路的投资成本。滤池整体处于好氧状态, 用一个比例积分微分调节阀控制滤池内的溶解氧浓度, 使在滤池表面形成局部缺氧环境, 为反硝化创造条件。在同时硝化/反硝化模式中, 出水部分回流, 但回流比较低经典硝化/反硝化低。

2.4 试验结果

中试期间的试验结果见图 3~图 8。其中, 图 3、图 5、图 7 表示各种污染物在出水中的浓度分布。图中纵坐标所示为累计频度百分数, 表明不同出水浓度要求下系统所能达到的合格天数百分比。通过比较出水中不同污染物浓度的分布, 可以对比不同运行状态下的处理效果。图 4、图 6 和图 8 表示在不同的进水负荷下, Biostyr® 生物滤池对不同污染物的去除程度。

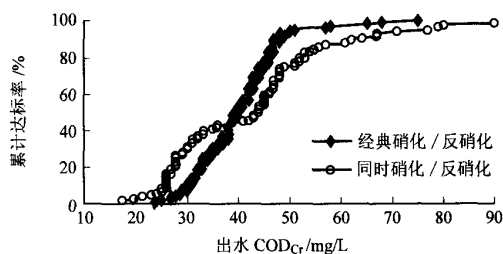


图 3 COD_{Cr} 处理效果频度汇总

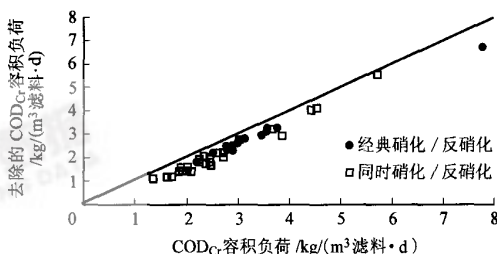


图 4 不同 COD_{Cr} 进水负荷下的去除效果

2.4.1 COD_{Cr} 去除效果

如前所述, 尽管经历了寒冷的冬季, 在经典硝化/反硝化模式下, COD_{Cr} 的去除效果十分稳定可靠。滤池出水 COD_{Cr} 在 95% 的天数里在 51 mg/L 以下, 在 90% 的天数里在 48 mg/L 以下。相比之下, 同时硝化/反硝化模式下的出水 COD_{Cr} 分布略宽。出水 COD_{Cr} 在 95% 的天数里保持在 70 mg/L 以下, 在 90% 的天数里在 62 mg/L 以下。数据表明经典硝化/反硝化超标可能性更低。

试验结果表明,Biostyr®生物滤池可以承受较高的 COD_{Cr} 冲击负荷。在同时硝化/反硝化模式下,当 COD_{Cr} 进水负荷高达 $5.5 \text{ kg}/(\text{m}^3 \text{ 滤料} \cdot \text{d})$,去除率仍可保持在 90% 以上。在经典硝化/反硝化模式下,当 COD_{Cr} 进水负荷在 $7.7 \text{ kg}/(\text{m}^3 \text{ 滤料} \cdot \text{d})$,去除率为 86%。

2.4.2 硝化效果

根据中试积累的经验,硝化过程是容易控制的。其限制因素主要为进水负荷和供气量。只要进水流量的波动限制在一定峰值以下(系数小于 1.8),并且气量充足,出水氨氮可以保持在 5 mg/L 以下。在实际试验过程中,为了摸索溶解氧对硝化及反硝化的影响程度,有意地将气量多次降至硝化菌所能承受的极限,因此牺牲了一些硝化效率。多次降低气量(溶解氧)的试验并没有提高反硝化的效率,反而限制了硝化效果。结果表明对于反硝化反应,碳源是比溶解氧更为重要的参数。

与图 3 相似,就总的硝化数据来看,经典硝化/反硝化比同时硝化/反硝化处理效果更佳见图 5。在经典硝化/反硝化模式下,出水氨氮浓度在 85% 的天数里可以达到 8 mg/L 以下。而在同时硝化/反硝化模式下,出水氨氮浓度在 70% 的天数里可以达到 8 mg/L 以下。

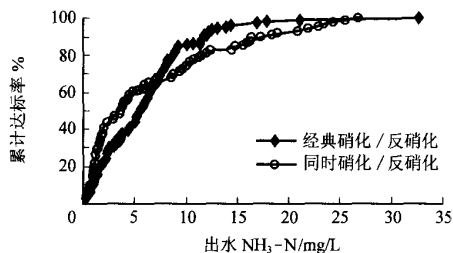


图 5 氨氮处理效果频度总汇

Biostyr®生物滤池对氨氮进水负荷有一定的要求。根据本中试得到的结果,氨氮的进水最大负荷最好保持在 $1 \text{ kgNH}_3 - \text{N}/(\text{m}^3 \text{ 滤料} \cdot \text{d})$ 以下,以保证去除率在 80% 以上,见图 6。

2.4.3 反硝化效果

图 7 中的曲线表示不同条件下的脱氮作用。在同一种操作模式下,未加甲醇和加甲醇的情况出水总氮的浓度分布是截然不同的。在经典硝化/反硝化模式下,加入甲醇可使出水总氮平均降低 7~8

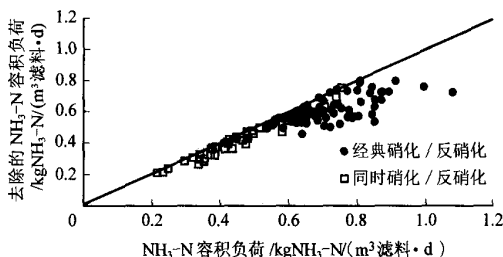


图 6 不同的氨氮进水负荷下的去除效果

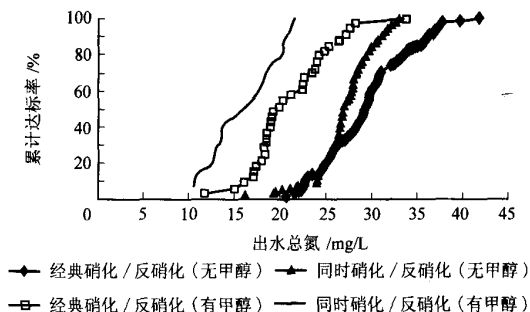


图 7 总氮处理效果频度总汇

mg/L , 在 50% 的天数中达到 20 mg/L 以下;在同时硝化/反硝化模式下,加入甲醇可使出水总氮平均降低 12~13 mg/L ,在 80% 的天数中达到 20 mg/L 以下。加入甲醇的同时硝化/反硝化模式下,总氮的去除效率最高。

反硝化是异养菌对硝态氮的还原作用,需要在厌氧条件下进行,以有机碳作为电子供体,硝态氮作电子受体,将硝态氮还原成氮气。因此反硝化的顺利进行离不开厌氧环境和有机碳作供体这两个条件。在试验进行过程中,曾一度出现反硝化效率低的问题。提高回流比和降低反应池内的溶解氧并不能有效地改善反硝化效率。在加入工业级甲醇之后,反硝化效率有了明显的提高,而且出水中其他污染物浓度并未受到不良影响,滤池出水达到 GB 18918—2002 中所规定的一级 B 标准,见图 8。在无论是在经典硝化/反硝化还是同时硝化/反硝化模式下,加入外加碳源都有利于反硝化的进行,去除的硝酸盐负荷明显提高。

在传统活性污泥生化处理工艺(A^2/O)中,要实现一定的脱氮水平,原水中的 BOD_5 与总氮浓度之比常常成为限制因素。而许多试验研究^[8-10]也表明,碳氮比是影响反硝化效率的重要指标。在此中试中,不加任何外加碳源的情况下,原水中的溶解态

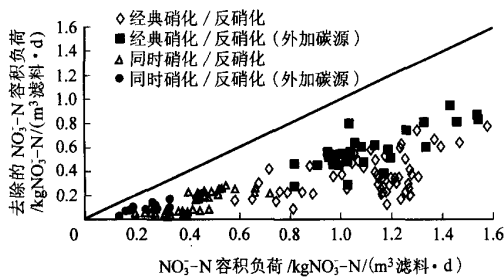


图8 不同硝酸盐负荷下的反硝化效果

COD_{Cr}与氨基态氮的浓度比一般在2~3。在经典硝化/反硝化模式下,适量加入甲醇将此比值升至4,对总氮的去除率可以达到70%。而在同时硝化/反硝化模式下,则需将比值升至7,才可以达到同样的去除水平。这是因为在后一种操作模式下,碳源与氧气共同从滤池的下方进入,其中有一部分COD_{Cr}不可避免地先期氧化,无法被反硝化菌所利用。

2.4.4 反洗污泥的性质

与传统活性污泥相比,生物膜法工艺的另一个特点是产泥量低。随着过水时间的延长,生长在滤料表面的生物膜逐渐变厚,同时物理截留在滤池内的颗粒污染物越来越多,需要定期进行反冲洗。中试中反洗频率控制在每日一次,每次7 min,反洗用水大约占总出水的10%左右。

反洗出水其实类似于传统工艺的排泥过程。反洗出水经过检测,其MLSS为400~500 mg/L,MLVSS/MLSS=0.7~0.8,与城市污水性质十分类似,可在设计中将这一部分反洗污泥混入污水处理厂的进水段再处理。反洗出水的SVI为60~80,说明污泥的沉降性能很好,也可以考虑将反洗水进行沉淀,上清液进入生化处理的前端。

3 结论

中试系统对有机物和颗粒物表现出很好的去除性能。总悬浮颗粒物去除率平均值大于90%。COD_{Cr}出水可保持在60 mg/L以下,平均达到86%的去除率。出水氨氮浓度介于0~8 mg/L,平均为2.5 mg/L,去除率为94%。基于中试系统进水总氮浓度在40~50 mg/L,在不加辅助碳源的条件下,出水总氮浓度一般保持在20~30 mg/L。加入适当剂量的甲醇,可以强化反硝化效果,达到出水总氮20 mg/L的标准。试验表明,在适宜的碳氮比条件

下,反硝化过程总氮的去除率高于70%,出水总氮浓度低于17 mg/L。

经典硝化/反硝化工艺和同时硝化/反硝化工艺各有其独特的优点。选用何种工艺取决于当地的水质状况、出水要求和投资成本。

根据在高碑店污水处理厂的试验结果,经典硝化/反硝化工艺与同时硝化/反硝化工艺相比有以下优势:更高的硝酸盐去除率;更少的甲醇用量;无须溶解氧反馈控制。同时硝化/反硝化工艺的优势在于:工艺曝气和反洗气共用一套系统,节省供气系统的成本;回流量少,节省能耗;耗气量减少约40%,节省能耗。

参考文献

- 1 Bruno Lacamp, Flemming Hansen, Philippe Penillard, et al. Wastewater nutrient removal with advanced biofilm reactors. Wat Sci Tech, 1993, 27(5/6):263~276
- 2 K H Sorensen, D Thornberg, K F Janning. Using advanced control, post-denitrification and equalization to improve the performance of a submerged filter. Wat Sci Tech, 2000, 41(4/5): 177~184
- 3 N Puznava, S Zeghal, E Reddet. Simple control strategies of methanol dosing for post-denitrification. Wat Sci Tech, 1998, 38(3):291~297
- 4 M Payraudeau, C Paffoni, M Gousailles. Tertiary nitrification in an up flow biofilter on floating media: influent of temperature and COD load. Wat Sci Tech, 2000, 41(4/5):21~27
- 5 T Thogerson, R Hansen. Full scale parallel operation of a biological aerated filter (BAF) and activated sludge (AS) for nitrogen removal. Wat Sci Tech, 2000, 41(4/5):159~168
- 6 Slim Zeghal, Nelu Puznava, Jean Philippe Subra, et al. Process control for nutrients removal using lamella sedimentation and floating media Filtration. Wat Sci Tech, 1998, 38(3):227~235
- 7 张建新, 王洪臣. 北京市高碑店污水处理厂污泥膨胀的研究及控制对策. 给水排水, 2003, 29(7):8~12
- 8 张小玲, 彭党聪, 王志盈. 传统与短程反硝化的影响因素及特性研究. 中国给水排水, 2002, 18:1~8
- 9 周健, 罗固源, 刘国涛, 等. 碳氮比、污泥浓度及水温对城市污水生物脱氮的综合影响. 中国给水排水, 1998, (14):52~54
- 10 曹国民, 赵庆祥, 高广达. 生物除磷脱氮工艺研究. 中国环境科学, 1996, (1):68~72

◎通讯处:100027 北京朝阳区霄云路38号盛世大厦17层1702单元

电话:(010)84538986-132

收稿日期:2003-12-30