

悬浮填料强化硝化及其工程应用效果研究

杨敏¹ 孙永利¹ 郑兴灿¹ 李鹏峰¹ 鲍立新² 刘伟群²

(1 国家城市给水排水工程技术研究中心,天津 300074; 2 无锡市排水总公司,无锡 214000)

摘要 通过低温下的硝化速率试验并结合芦村污水处理厂升级改造实例,对新型 SPR-1 悬浮填料的生产性强化硝化效果进行了分析。结果表明:在 37% 的填料填充率下,与不投加悬浮填料相比,系统硝化速率和硝化效果分别提高 123% 和 99%,悬浮填料的投加强化了系统硝化;在填充率 37% 的悬浮填料—活性污泥复合系统中,悬浮填料表面上的附着硝化菌和混合液悬浮硝化菌对系统硝化速率的贡献分别为 68.5% 和 31.5%;悬浮填料的工程应用效果良好,在 47% 的填料填充率下,低温季节系统的生产性硝化效果得到强化,平均提高 60%。

关键词 污水处理厂 升级改造 悬浮填料 强化硝化 硝化速率

Enhanced nitrification of suspended filler and its engineering application effects

Yang Min¹, Sun Yongli¹, Zheng Xingcan¹, Li Pengfeng¹, Bao Lixin², Liu Weiqun²

(1. National Engineering Research Center for Urban Water and Wastewater, Tianjin 300074, China; 2. Wuxi Drainage General Company, Wuxi 214000, China)

Abstract: This paper carried out the nitrification rate experiment under low temperature to study a new type of SPR-1 suspended filler enhanced nitrification effects, and analyzed the productive enhanced nitrification effects of suspended filler by taking the Lucun Wastewater Treatment Plant upgrading reconstruction project as case study. The results showed: with the filling rate of 37%, compared with the no-suspended-filler system, the system nitrification rate and effects of this measure increased by 123% and 99% respectively, which meant the suspended filler improved the systematic nitrification effects; in the combined system of suspended filler-activated sludge with 37% filling rate, the contribution from the nitrobacteria adhered to the filler surface and suspended in the mixture liquid to nitrification rate was 68.5% and 31.5% respectively; the engineering application effects of suspended filler was satisfying, with the 47% filling rate, the productive nitrification effects under low temperature was improved by 60% on average.

Keywords: Wastewater treatment plant; Upgrading and reconstruction; Suspended filler; Enhanced nitrification; Nitrification rate

随着城市污水处理厂出水排放标准越来越严格,我国大多污水处理厂都面临升级改造的问题。由于在实际升级改造工程中受到生物池容积严重不足的限制,通常向曝气池中投加悬浮填料以强化生

物硝化^[1~6],尤其在低温季节悬浮填料的强化硝化作用更为重要。悬浮填料是一种生物载体,其表面能附着生长世代时间长的硝化细菌,能解决传统活性污泥法处理污水除磷与脱氮的泥龄矛盾,具有比表面积大、硝化能力强、价格较低、易于工程操作等优点^[7]。目前,国内的相关研究主要集中于悬浮填料的开发及其强化硝化的中试研究^[1,2,8~11],而基于

“十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAC19B05); 国家高技术研究发展计划(863)项目(2009AA063802)。

硝化速率试验的悬浮填料强化硝化及其工程应用效果的研究较少。因此,本研究在 SBR 中进行,通过硝化速率试验,对 SPR - 1 新型悬浮填料的强化硝化进行研究,并对其在实际提标改造工程中的应用效果进行分析,以期为城市污水处理厂的新建和升级改造中悬浮填料的投加提供理论参考和技术支持。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

硝化速率试验分别在 3 个相同的有机玻璃柱($\varnothing 200\text{ mm} \times 350\text{ mm}$)中进行,通过反应器底部的 2 个曝气头曝气,使系统处于一定的好氧状态,并且在系统中增设了搅拌装置,确保悬浮填料充分流化。

试验温度为 $15.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,试验用悬浮填料和活性污泥混合液均取自无锡芦村污水处理厂三期 8# 生物池填料段,去填料活性污泥混合液的 MLSS 为 $3\ 300\text{ mg/L}$, MLVSS 为 $2\ 060\text{ mg/L}$,悬浮填料挂膜良好,自投加后已稳定运行 15 个月。试验用 SPR - 1 悬浮填料的性能见表 1。

表 1 SPR - 1 悬浮填料性能参数

外观	直径/mm	高/mm	密度/ g/cm^3	比表面积/ m^2/m^3
圆柱体	25	10	0.96	500

1.2 试验方法

向 3 个相同的试验装置中分别加入去填料的活性污泥混合液 6 L、填料(填充率为 37%)与活性污泥混合液的混合样 6 L 和填料(填充率为 37%)与水的混合样 6 L,再向 3 份混合液中加入一定量的 NH_4Cl 和 NaHCO_3 ,保证硝化反应试验过程中有充足的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和碱度,分别在一定的 DO(3 mg/L 、 5.5 mg/L 和 5.5 mg/L) 条件下进行硝化速率试验,于试验的 0 min、10 min、20 min、30 min、40 min 和 50 min 分别对 3 个试验装置进行取样,并对混合液离心后进行 $\text{NO}_3\text{-N}$ 测试,从而得出三种不同情形下的硝化速率。

2 结果与讨论

2.1 悬浮填料强化硝化研究

活性污泥系统、悬浮填料—活性污泥复合系统和悬浮填料系统的硝化速率试验结果见图 1~ 图 3。

由图 1~ 图 3 可见,三种情形下的硝化反应均呈零级反应,氨氮浓度对硝化速率基本上没有影

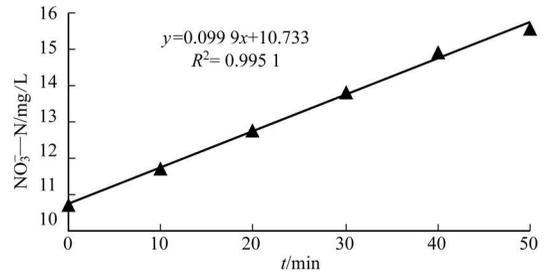


图 1 活性污泥系统硝化速率

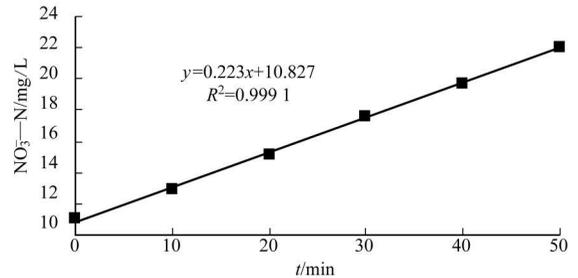


图 2 37% 填充率下悬浮填料—活性污泥复合系统硝化速率

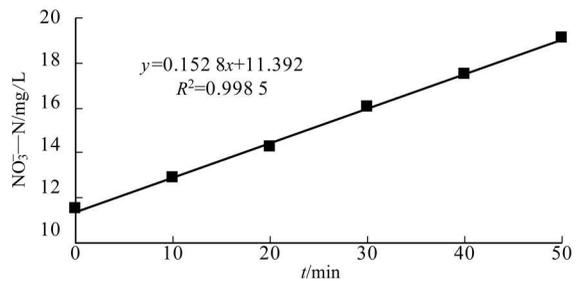


图 3 37% 填充率下悬浮填料系统硝化速率

响,这和已有的报道^[2]是一致的。活性污泥系统和悬浮填料—活性污泥复合系统的硝化速率分别为 $0.0999\text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{min})$ 和 $0.223\text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{min})$,通过投加填充率为 37% 的悬浮填料,系统的硝化速率得到了较大提高,提高了 123%,分析其原因,是因为悬浮填料具有较大的比表面积,其上附着生长着大量世代时间长的硝化细菌,增加了生物系统中的污泥浓度^[2],导致系统的硝化速率得到提高。而 37% 填充率下悬浮填料系统的硝化速率可达到 $0.1528\text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{min})$,为悬浮填料—活性污泥复合系统硝化速率的 68.5%,则在悬浮填料—活性污泥复合系统中,活性污泥混合液所表现的硝化速率就为系统总硝化速率的 31.5%,所以悬浮填料对系统硝化速率的贡献是活性污泥的 2.17 倍。从而可以推测,系统悬浮填料表面上的附着污泥浓度折合为混合液挥发性悬浮污泥浓度 MLVSS 后,其应是

系统混合液悬浮污泥浓度的 2.17 倍,而活性污泥混合液的 MLSS 为 3 300 mg/L, MLVSS 为 2 060 mg/L, 则悬浮填料表面上的附着生物膜折合为 MLVSS 后的值为 4 470 mg/L, 又由于悬浮填料表面上的附着生物膜基本都是挥发性的, 则悬浮填料—活性污泥复合系统的总 MLSS 为 7 770 mg/L, 投加填充率为 37% 的填料后, 系统 MLSS 增加了 4.47 g/L, 而在国外的研究^[3,4]中, 通过向曝气池中投加 15%~30% 容积的填料, 系统增加的固定 MLSS 量更大, 为 10~19 g/L, 甚至高达 30 g/L。

虽然通过向传统活性污泥曝气池中投加悬浮填料能提高系统的硝化速率, 但悬浮填料的投加也会占用曝气池的一部分有效体积, 从而缩短曝气池的实际水力停留时间。填料段的实际水力停留时间和填料的填充率密切相关。填料的填充率是填料的堆积体积占填料段有效体积的比例。对 SPR-1 悬浮填料来说, 一般 3.5 L 的堆积体积相当于 1 L 的实际体积, 所以 37% 填充率下填料与含填料混合液的实际体积比为 10.6%。根据硝化速率试验结果, 对悬浮填料的强化硝化效果进行了分析, 结果见表 2。

表 2 悬浮填料的强化硝化效果

填充率/%	硝化速率 / mg/(L·min)	HRT/min	NO ₃ -N 增加量/mg/L
0	0.099 9	<i>t</i>	0.099 9 <i>t</i>
37	0.223	0.89 <i>t</i>	0.198 5 <i>t</i>

由表 2 可见, 与不投加悬浮填料相比, 37% 填充率下悬浮填料—活性污泥复合系统的硝化效果提高了 99%。通过投加悬浮填料, 虽然缩短了一定的水力停留时间, 但却能较大地提高硝化速率, 而且由于填料具有较大的空隙率, 水力停留时间减小幅度较小, 对系统硝化效果的影响较小, 系统硝化效果的变化主要取决于含填料混合液的硝化速率的变化。可见, 悬浮填料的投加能强化传统活性污泥法的硝化效果, 尤其在低温季节硝化速率较低和生物池容积限制的情形下, 悬浮填料的强化硝化作用显得尤为重要。

2.2 悬浮填料强化硝化的工程应用效果

因太湖流域城镇污水处理厂提标改造的需要, 无锡芦村污水处理厂于 2008 年底完成了三期

规模 10 万 m³/d 污水处理工程的升级改造, 为强化系统硝化和脱氮, 采取了向好氧中段投加 SPR-1 悬浮填料的措施, 填料填充率为 47%, 改造完成运行一年来, 好氧段硝化效果良好, 出水 NH₃-N 一般都小于 1 mg/L, 能稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准。

为研究低温季节悬浮填料的生产性强化硝化效果, 在 13~15.7℃ 时, 对芦村污水处理厂三期 8# 生物池好氧段的好氧前段(未投加填料)及好氧中段(投加填料)的硝化效果分别进行了测试和分析, 结果见表 3。

表 3 悬浮填料生产性强化硝化效果分析

次数	好氧前段 NO ₃ -N 增加量/mg/L	好氧中段 NO ₃ -N 增加量/mg/L	好氧中段与前段 NO ₃ -N 增加量之比
1	1.59	9.30	5.85
2	1.46	9.43	6.46
3	0.99	6.82	6.89
4	1.38	8.69	6.30

由于原好氧中段的有效体积是好氧前段的 4 倍, 而且试验期间生物段进水 COD_{Cr} 很低, 可利用有机物在缺氧段基本完全消耗, 从而好氧前段和好氧中段的有机负荷都很低, 可以认为在未投加填料的情形下两好氧段的硝化速率是相同的, 所以假如好氧中段未投加填料, 则好氧中段的硝化效果应是好氧前段的 4 倍, 而投加填料后, 由表 3 可见, 生产性实测好氧中段的硝化效果是好氧前段的 5.85~6.89 倍, 平均为 6.38 倍, 与改造前相比, 好氧中段的硝化效果平均提高了 60%。可见, 通过投加悬浮填料, 低温季节好氧中段的硝化效果确实得到了强化, 为生物系统的反硝化脱氮提供了保证, 从而实现低温季节出水稳定达标。

3 结论

(1) 悬浮填料的投加强化了系统硝化, 在 37% 的填料填充率下, 与不投加悬浮填料相比, 悬浮填料—活性污泥复合系统的硝化速率和硝化效果分别提高 123% 和 99%。

(2) 在填充率 37% 的悬浮填料—活性污泥复合系统中, 悬浮填料表面上的附着硝化菌和混合液悬浮硝化菌对系统硝化速率的贡献分别为 68.5% 和 31.5%, 悬浮填料表面上的附着硝化菌污泥浓度是

小城镇人工快渗工艺污水处理厂投资及运行成本探讨

王艳华 郑春燕 简亮 陈才高 刘权 吴瑜红 何飞 张怀宇

(中国市政工程中南设计研究总院, 武汉 430010)

摘要 人工快渗(CRI)污水处理工艺近年来在我国中小城镇及农村小型污水处理厂逐渐得到广泛应用。结合重庆市龙溪河流域水污染综合整治工程中9座采用该工艺的污水处理厂实际情况,分析了CRI工艺在不同规模条件下应用投资与运行成本的主要影响因素。

关键词 小城镇 人工快渗工艺 技术经济指标 运行成本

人工快渗(CRI)污水处理工艺流程简单,不曝气、不用污泥回流和污泥处理,污水经过一级处理沉淀后就可以直接进入人工快渗池进行二级生化处理,只有少量的初沉池污泥(泥沙)产生,所以不必建设过多的污泥处理设施,通常只要简单干化即可,因此其建设成本较省、运营成本较低。基于以上优点,我国在小城镇污水处理中已经开始采用此工艺。然

而目前国内针对小城镇污水处理工程的专项建设标准还不完善,特别是技术经济指标方面,如果套用大标准,必然造成投资浪费和运行成本较高。鉴于此,笔者以刚编制完成的已通过国家发改委审查的9个重庆市CRI小型污水项目为背景,尝试对不同小规模污水处理厂投资与运行成本作简要的分析。

1 项目背景

1.1 工艺简介

重庆市龙溪河流域水污染综合整治工程是纳入国务院2008年1月批准的《三峡库区及其上游水污

国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07317-008-03)。

混合液悬浮硝化菌污泥浓度的2.17倍,并且生物系统MLVSS增加4.47 g/L。

(3) 悬浮填料的工程应用效果良好,通过投加47%的悬浮填料,低温季节生物系统的生产性硝化效果得到强化,平均提高60%,为生物系统反硝化脱氮提供了保证。

参考文献

- 1 林铸炉,盛兆琪,夏伟根. 普通活性污泥系统曝气池中投加浮动填料提高硝化能力的研究. 环境科学, 1998, 19(1): 62~ 65
- 2 何国富,周增炎,高廷耀. 投加悬浮填料强化传统活性污泥法的脱氮功能试验研究. 环境工程, 2003, 21(4): 15~ 17
- 3 Morper M R. Upgrading of activated sludge system for nitrogen removal by application of the LINPOR - CN process. Wat. Sci. Technol., 1994, 29(12): 167~ 176
- 4 Morper M R, Wildmoser A. Improvement of existing wastewater treatment plants, efficiencies without enlargement of tankage by application of the LINPOR - CN process. Wat. Sci. Technol., 1990, 22(7-8): 207~ 215
- 5 Reddy M P, Pagilla K R, Senthilnathan P R, et al. Estimation of

- biomass concentration and population dynamics in a CAPTOR activated sludge process. Wat. Sci. Technol., 1994, 29(7): 149~ 152
- 6 Golla P S, Reddy M P, Simms M K, et al. Three years of full-scale CAPTOR process operation at Moundsville WWSP. Wat. Sci. Technol., 1994, 29(10-11): 175~ 181
- 7 刘雨,赵庆良,郑兴灿. 生物膜法污水处理技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000
- 8 刘宇航,陆晓中,赵明,等. PVF 悬浮填料的制备及其污水处理效果的研究. 北京化工大学学报, 2006, 33(1): 36~ 40
- 9 刘宇航,陆晓中,赵明,等. EVA 悬浮填料的制备及硝化反应的研究. 中国塑料, 2005, 19(11): 26~ 30
- 10 夏四清,高廷耀,周增炎,等. EVA 悬浮填料生物反应器去除有机污染物和氨氮的中试研究. 给水排水, 2000, 26(2): 42~ 45
- 11 何国富,周增炎,高廷耀. 悬浮填料活性污泥法的脱氮效果及影响研究. 中国给水排水, 2003, 19(6): 6~ 8
- 12 饶应福,夏四清,陈轶波,等. 悬浮填料生物反应器处理低浓度氨氮的动力学特性分析. 环境工程, 2005, 23(5): 7~ 10

& E-mail: 707180297@qq.com

收稿日期: 2010-08-26