用复合式工艺提高活性污泥/生物膜法处理效率

丁永伟[1], 王 琳[1,2], 王宝贞[1], 刘 硕[1], 王 正[1]
(1.哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2.中国海洋大学 环境科学与工程学院, 山东 青岛 266003)

摘 要: 研究了用复合式工艺(HY)提高活性污泥(AS)和淹没式生物膜(SBF)工艺处理效率的能力。在COD容积负荷 >1.35 kgCOD/(m^3·d)时,对COD的平均去除率比SBF工艺提高了10%;在NH_3-N容积负荷为0.12～0.39 kgN/(m^3·d)时,对NH_3-N的平均去除率可分别比AS和SBF工艺提高约21%和45%。原工艺的污染物负荷越高,对去除效果的提高程度越大。HY工艺中的悬浮污泥能够缓冲有机负荷升高对硝化过程的不利影响,使在载体上附着生长的硝化菌充分发挥效能,从而弥补了单纯AS或SBF工艺的不足。HY工艺中的微生物种群结构和微环境更为复杂,有利于其协调好氧硝化和缺氧反硝化过程,在进水TN容积负荷为0.09～0.41 kgN/(m^3·d)时,对TN的平均去除率可分别比AS和SBF工艺提高约16%和21%。

关键词: 污水处理; 活性污泥; 淹没式生物膜; 复合式工艺; 脱氮; 同步硝化反硝化
中图分类号: X703.1 **文献标识码**: C **文章编号**: 1000-4602(2006)11-0104-05

Improving Pollutants Removal Efficiency of Activated Sludge/Biofilm Processes Using Hybrid Process

DING Yong-wei[1], WANG Lin[1,2], WANG Bao-zhen[1], LIU Shuo[1], WANG Zheng[1]
(1. *School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin* 150090, *China*; 2. *School of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao* 266003, *China*)

Abstract: A bench-scale hybrid (HY) process was used to investigate its ability to improve pollutants removal efficiency of the activated sludge (AS) and/or submerged biofilm (SBF) systems. Under the conditions of influent COD volumetric load rate >1.35 kgCOD/(m^3·d), the COD mean removal rates of the HY increase by 10% compared with SBF. When the influent NH_3-N volumetric load rate is 0.12-0.39 kgN/(m^3·d), the NH_3-N mean removal rates of the HY increase by about 21% and 45% respectively compared with AS and SBF. The higher pollutants loads in the original systems, the greater enhanced degree of the pollutants removal effects. When the influent COD load increases, the suspended sludge in the HY can moderate the COD load in advance, which is favorable to the nitrifiers growth and associated nitrification in the biofilm of HY. The microbial population and microenvironment in the HY are more complicated than that in the AS and/or SBF systems, which can still better harmonize simultaneous nitrification and denitrification. Therefore, when the influent TN volumetric load rate is 0.09-0.41 kgN/(m^3·d), the TN mean removal rates of the HY increase by about 16% and 21% respectively compared with AS and SBF.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Key words: wastewater treatment; activated sludge; submerged biofilm; hybrid process; nitrogen removal; simultaneous nitrification and denitrification

复合式工艺是以活性污泥或生物膜工艺为原型的新型污水生物处理工艺,许多研究表明该工艺可提高活性污泥工艺的处理效率和运行稳定性,对于现有超负荷运行的污水处理厂的扩容改造具有较高的实用价值。但是,由于各研究者对试验的控制条件不同,所得出的结论差别较大且可比性不强,对复合式工艺中载体上生物膜的特性甚至有相反的结论[1~3],这限制了它在工程中的应用。

采用软性组合纤维填料作为生物膜的载体,设置了复合式(HY)、活性污泥(AS)和淹没式生物膜(SBF)等3套试验装置,进行了处理实际城镇污水的平行试验,考察了复合式工艺提高活性污泥或生物膜工艺处理效率的能力和程度,并对系统中两相微生物的特性进行了分析。

1 试验装置和方法

1.1 试验装置

试验用水为某污水处理厂曝气沉砂池出水,其COD为200～450 mg/L,NH_3-N为20～70 mg/L,TN为30～70 mg/L。试验装置及流程见图1。

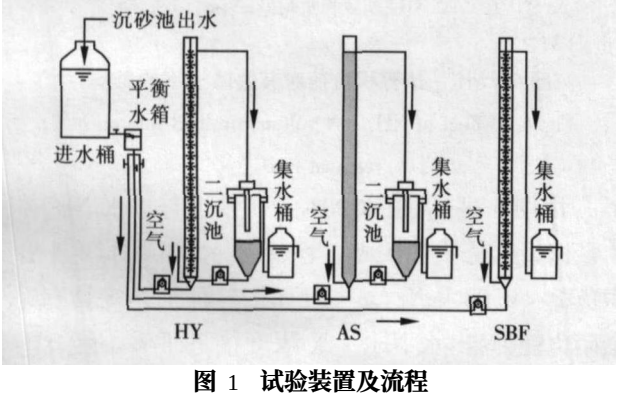

图1 试验装置及流程

Fig 1 Experimental set-up and flow chart

3套试验装置的反应器均是内径为150 mm、有效高度为1 800 mm、有效容积为32 L的透明有机玻璃柱,底部均设有曝气头。HY和AS工艺的二沉池均是内径为300 mm、高度为900 mm、底部设有锥形集泥斗的透明有机玻璃柱;SBF工艺不设二沉池,出水直接进入集水桶。HY和SBF工艺中所悬挂填料的表面积均约57.5 m^2。进水桶容积为200 L,集水桶容积为20 L,进水和污泥回流(HY和AS工艺)均由蠕动泵完成。

1.2 试验方法

接种污泥取自污水处理厂的曝气池,以沉砂池出水驯化约26 d后三个系统的出水水质达到稳定,说明污泥培养驯化成功。试验期间的水温为12～19 ℃,污泥回流比为100%。采用改变水力停留时间(HRT=9.8、8、6、4 h)的方法来改变系统的容积负荷,并依此将试验分为4个阶段。为保证试验数据的有效性,每次改变HRT后先运行2周再进行数据的测定。三种工艺的曝气强度相同,并维持溶解氧≥3 mg/L,但各试验阶段的曝气强度不同[气水比为(3∶1)～(7∶1)]。由于各工艺中的微生物量不同,其溶解氧浓度也有所差异:HY和AS工艺的为3～5 mg/L,SBF工艺的为6～7 mg/L。

以保证沉淀池内的泥位不超过污泥斗上限为准,每日排泥。采用此排泥方式,当HY和AS工艺中悬浮态污泥的沉降特性相近时,两反应器内的悬浮污泥浓度也接近。由于两工艺的容积负荷相同,而HY工艺中还存在附着生长的生物膜,所以其污泥负荷低于AS工艺,污泥产率和每日排放的污泥量也低于AS工艺。若以HY工艺的悬浮态污泥总量与每日排放污泥量的比值作为HY工艺悬浮态污泥的泥龄,它将大于AS工艺的污泥龄。采用此种排泥方式,是为了考察用HY工艺改造AS或SBF工艺时,在维持原工艺的沉淀和污泥回流系统不变的情况下,其对处理效率的提高程度。

1.3 测定方法

水质分析采用国家标准分析方法;比硝化速率(SNR)的测定方法为:取污泥混合液1 L加入1 L氯化铵溶液,配成NH_3-N含量为100 mg/L的混合液,持续曝气以维持溶解氧浓度约为7 mg/L,分别在0、1、2、3、4、5和6 h取样测定其中的亚硝酸盐氮和硝酸盐氮浓度,并将二者之和作为硝态氮的浓度,最后计算得出SNR。

2 结果与讨论

HY和AS工艺的悬浮态污泥沉降性能接近,其浓度均为2 035～2 775 mg/L;SBF工艺的悬浮态污泥很少,浓度仅约为50 mg/L。

2.1 对COD的去除

图2表示了出水COD浓度随进水COD容积负

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

荷的变化情况。

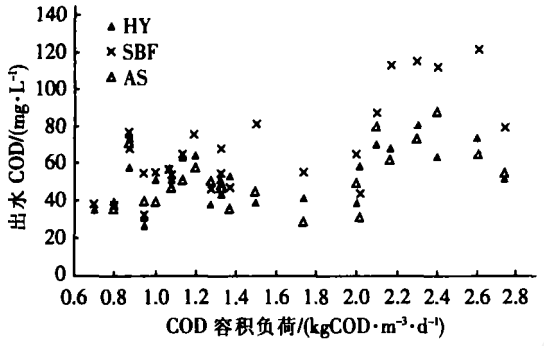

图 2　COD容积负荷对出水 COD的影响

Fig 2　Effect of COD volumetric load rate on effluent COD concentration

由图 2可知,在 COD负荷 < 1. 35 kgCOD/(m³ · d)时,HY工艺的出水 COD为 25 ～70 mg/L,与 SBF、AS工艺无明显差异;当 COD容积负荷 > 1. 35 kgCOD/(m³ · d)并继续增大时,HY工艺的出水 COD浓度在经历了一段稳定过程后呈上升趋势,当 COD容积负荷 > 2 kgCOD/(m³ · d)后,其出水 COD为 40～80 mg/L,AS工艺出水 COD的变化情况与 HY工艺几乎相同,且数值无显著差异,而 SBF工艺的出水 COD浓度在容积负荷 > 1. 35 kgCOD/(m³ · d)后则持续升高 (40～120 mg/L)。

综上所述,若用 HY工艺改造 AS工艺,当进水 COD容积负荷 ≤2. 74 kgCOD/(m³ · d)时,不能显著提高对 COD的去除率;若用 HY工艺改造 SBF工艺,在 COD容积负荷 > 1. 35 kgCOD/(m³ · d)时,对 COD的平均去除率至少可提高约 10%。

HY工艺中,两种不同生长形态的微生物 (活性污泥和生物膜)对底物的利用存在竞争,由于底物在生物膜内的传质阻力大于其在活性污泥中的[1],因此只有当生物膜内、外的底物浓度梯度大于其传质阻力时,底物才能进入生物膜而被去除,用 HY工艺改造 AS工艺才能提高对 COD的去除率。由于试验进水 COD容积负荷较低,故与 AS工艺相比,HY工艺对 COD去除率的提高并不明显。对于 SBF工艺,由于载体表面有限及传质阻力较大,在 COD容积负荷 > 1. 35 kgCOD/(m³ · d)后其去除效果会变差,此时可考虑增设污泥回流系统来增加反应器中的生物量,以提高现有 SBF工艺对 COD的去除率。

2. 2　对氨氮的去除

图 3为出水 NH_3 - N浓度随进水 NH_3 - N容积负荷的变化情况,图 4为不同 NH_3 - N容积负荷下三种工艺对 NH_3 - N的去除速率。

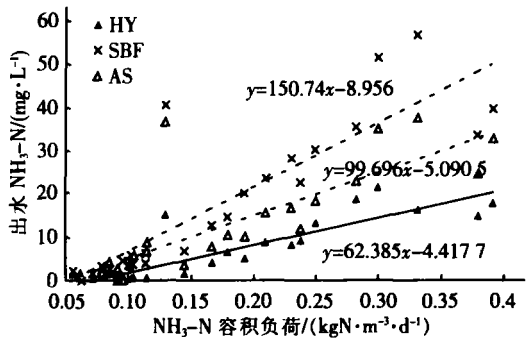

图 3　NH_3 - N容积负荷对出水 NH_3 - N的影响

Fig 3　Effect of NH_3 - N volumetric load rate on effluent NH_3 - N concentration

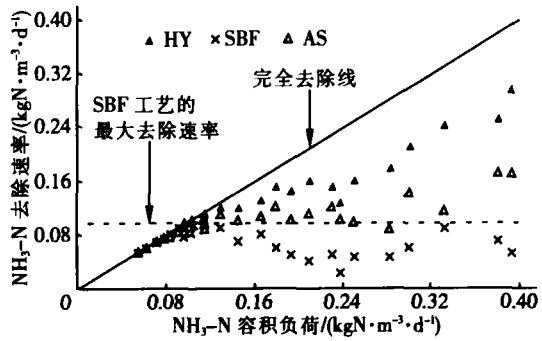

图 4　NH_3 - N容积负荷对其去除速率的影响

Fig 4　Effect of NH_3 - N volumetric load rate on its removal rate

由图 3可见,出水 NH_3 - N浓度与进水 NH_3 - N容积负荷呈线性关系。图 4显示,当 NH_3 - N容积负荷 < 0. 08 kgN/(m³ · d)时,三种工艺均具有完全硝化能力,出水 NH_3 - N浓度接近于零。当 NH_3 - N容积负荷为 0. 08 ～0. 12 kgN/(m³ · d)时,HY工艺的出水 NH_3 - N浓度仍接近于零,而 SBF和 AS工艺的出水 NH_3 - N浓度均略有升高,其中前者的出水平均浓度约为 5 mg/L,后者的约为 4 mg/L。当 NH_3 - N容积负荷为 0. 12～0. 39 kgN/(m³ · d)时,三种工艺对 NH_3 - N的去除效果均明显下降。SBF工艺在 NH_3 - N容积负荷约为 0. 12 kgN/(m³ · d)时对 NH_3 - N的去除速率达到最大 [出水值为 0. 1 kgN/(m³ · d)],之后随 NH_3 - N容积负荷的升高则对其去除速率下降,且表现出不稳定性。而 HY和 AS工艺对 NH_3 - N的去除速率仍随 NH_3 - N负荷

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的升高而增大,但前者比后者平均约高出 32%,说明 HY工艺中的附着态生物膜确实参与了硝化过程。

用 HY工艺改造 AS或 SBF工艺时,对 NH_3-N去除率的提高类似于对 COD去除率的变化。当进水 NH_3-N容积负荷为 0.12～0.39 kgN/(m^3·d)时,HY工艺对 NH_3-N的平均去除率比 AS和 SBF工艺分别提高了约 21%和 45%。

图 5给出了 HRT为 9.8、8、6、4 h的 HY和 AS工艺中悬浮态污泥比硝化速率(SNR)的变化情况。

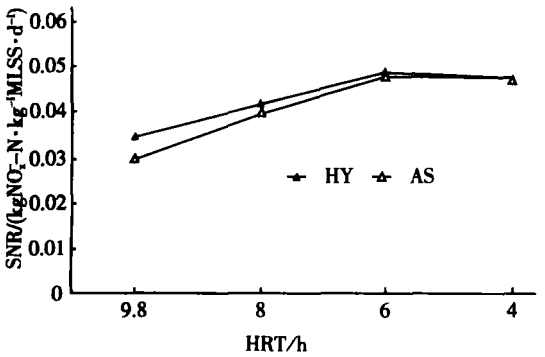

图 5　不同试验段悬浮态污泥 SNR的变化

Fig 5　Change of SNR of suspended sludge in HY and AS system in each test phase

与 HRT为 9.8、8、6、4 h对应的 COD及 NH_3-N平均容积负荷分别为 0.861、1.143、1.307、2.088 kgCOD/(m^3·d)和 0.070、0.105、0.174、0.275 kgNH_3-N/(m^3·d)。一般来说,在碳氧化和硝化共存的系统中,提高 COD容积负荷会使系统的硝化效果下降。但从图 5可以看出,当 HRT>6 h后,随 HRT的减小或平均 COD容积负荷的增大,HY和 AS工艺中悬浮态污泥的 SNR均升高,这是由于在 COD负荷增加的同时,NH_3-N负荷也在增加,且有机物对硝化作用的抑制程度小于 NH_3-N负荷升高对其的促进程度;当 HRT<6 h后,尽管 NH_3-N负荷仍升高,但污泥的 SNR却呈下降趋势,这是由于有机物的抑制作用开始占优势。

污染物负荷越低,HY工艺悬浮态污泥的 SNR比 AS工艺的越大,这种差异可能是由 HY工艺的泥龄大于 AS工艺的泥龄所致。污染物负荷升高时,两工艺的 SNR差异逐渐减小直至为零,这可能是由于高 COD容积负荷对硝化速率的抑制程度大于污泥龄差异对硝化速率的影响程度所致。

在 SBF工艺中,异养菌和硝化菌要共存于生物膜的有效传质区域内才能同时完成对有机物的去除和硝化过程,故二者对填料的可附着表面存在竞争,COD容积负荷升高会促进异养菌的生长,使系统的硝化能力逐渐降低直至消失,这是 SBF工艺对 NH_3-N的去除速率具有最大值又极不稳定的原因。

在 HY工艺中,悬浮态污泥的传质阻力小于附着态生物膜,当环境条件(如有机负荷)发生变化时,悬浮态污泥先进行种群的演变,其结果是大大缓解了不利因素对附着态生物膜的影响,使大量在载体上附着的生长速率较小且对环境敏感的微生物(如硝化细菌)能够在系统中得以生存并发挥效能,这是用 HY工艺改造 SBF或 AS工艺时,在较高 COD容积负荷下其仍具有较强硝化能力的原因。

2.3　对总氮的去除

图 6表示了 TN去除率随进水 TN容积负荷的变化情况。

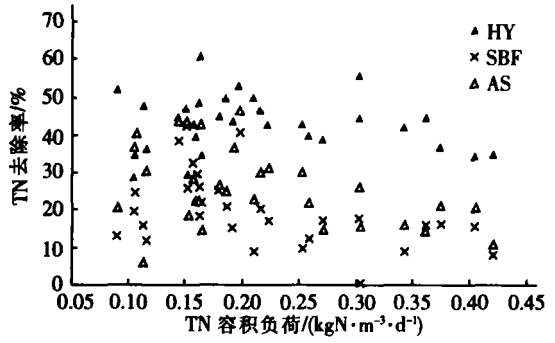

图 6　TN容积负荷对其去除率的影响

Fig 6　Effect of TN volumetric load rate on its removal rate

对 TN的去除主要有两种途径[4]:同化作用及同步硝化反硝化,其中同化作用对氮的去除率最多可达 20%。从图 6可以看出,三种工艺对 TN的去除率均有部分数据大于此值,HY工艺的(30%～55%)更是远大之。除了有部分以颗粒状存在的 TN直接随剩余污泥排出系统造成对 TN的去除率较高外,还可能存在其他除氮途径。

从图 6可以看出,当 TN容积负荷<0.15 kgN/(m^3·d)时,随 TN容积负荷的增大则三种工艺对 TN的去除率均有逐渐升高的趋势。与该 TN容积负荷对应的 NH_3-N容积负荷<0.12 kgN/(m^3·d),从图 3、4可以看出,在此条件下三个系统的硝化能力均较强。因进水 C/N值相对稳定,所以伴随 TN容积负荷同时升高的 COD容积负荷可为

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

系统进行同步反硝化提供更多的碳源,使对 TN的去除率随 TN容积负荷的增大而升高。

在 TN容积负荷升高至 0.15 kgN/(m^3·d)时,SBF工艺对 TN的去除率达到最大值(约为 40%),其后随 TN容积负荷的增大去除率下降,这是由于 COD容积负荷的增加抑制了 SBF工艺的硝化过程,使反硝化因缺乏足够电子受体(硝态氮)而减缓或终止。在 TN容积负荷为 0.15～0.2 kgN/(m^3·d)时,HY和 AS工艺对 TN的去除率达到最大值,较 SBF工艺滞后,这与二者的硝化能力强于 SBF工艺有关。而后二者对总氮的去除率下降,这同样是因为 COD容积负荷的增大影响了硝化过程的进行。

试验中对氮在三种工艺中的转化情况进行了追踪测试,结果表明在 HRT=9.8、8、6 h的条件下,三种工艺均有较好的硝化效果,其中 HY工艺的出水 NH_3-N、TN和硝态氮浓度均是三者中最低的,说明 HY中发生反硝化的程度大于另二者,这与其缺氧微环境比 AS和 SBF工艺复杂有关。而在 HRT=4 h的试验中,由于 COD容积负荷的升高,三种工艺的硝化能力均受到不同程度的抑制,SBF工艺对 TN的去除效果最差,HY工艺的硝化效果远优于 AS和 SBF工艺,其出水的平均 TN浓度最低,这说明 HY工艺在协调硝化和反硝化方面的能力强于 SBF和 AS工艺。

综上所述,当用 HY工艺改造现有的 AS或 SBF工艺时,由于两种不同生长形态的微生物共存,其微生物的种群结构和系统的微环境远比 AS和 SBF工艺复杂,使得 HY工艺更有利于协调好氧硝化和缺氧反硝化过程。整个试验期间,HY工艺对 TN的平均去除率比 AS和 SBF工艺分别高出 16%和 21%。

2.4　对总磷的去除

试验中 TP主要是通过微生物的同化作用去除的。检测结果表明,随着 COD容积负荷与总磷容积负荷比值的增加,三种工艺对总磷的去除率均增大,除了 SBF工艺的去除率稍低外,HY与 AS工艺对总磷的去除效果相差不大。因此,当采用 HY工艺改造 AS或 SBF工艺时,可在 HY工艺前设置厌氧池,通过控制悬浮态污泥龄来获得最佳的生物除磷效果。

3　结论

①　用复合式工艺改造活性污泥和淹没式生物膜工艺,在 COD容积负荷 >1.35 kgCOD/(m^3·d)时,对 COD的平均去除率至少可比淹没式生物膜工艺提高 10%;在 NH_3-N容积负荷为 0.12～0.39 kgN/(m^3·d)时,对 NH_3-N的平均去除率可分别比另二种工艺提高约 21%和 45%。

②　复合式工艺中的悬浮态污泥能够缓冲负荷变化造成的不利影响,使生长缓慢且对环境敏感的微生物(如硝化细菌)能够在系统中得以生存并发挥效能,这恰好弥补了单纯活性污泥或生物膜工艺的不足,采用其对后二者进行改造能够同时提高系统的处理效能和运行的稳定性。

③　复合式工艺的微生物种群结构和系统微环境远比活性污泥和淹没式生物膜工艺复杂,更有利于协调好氧硝化和缺氧反硝化过程。当进水 TN容积负荷为 0.09～0.41 kgN/(m^3·d)时,复合式工艺对 TN的平均去除率比活性污泥和淹没式生物膜工艺分别提高约 16%和 21%。

参考文献:

[1] 赵庆良,黄汝常. 复合式生物膜反应器中生物膜的特性[J]. 环境污染与防治,2000,22(1):4-7.

[2] 王建龙,吴立波,钱易,等. 复合生物反应器处理废水特性的研究[J]. 中国给水排水,1998,14(2):29-32.

[3] 吴立波,王建龙,钱易,等. 复合反应器污泥硝化与反硝化性能的研究[J]. 给水排水,1999,25(5):15-17.

[4] 郑兴灿,李亚新. 污水除磷脱氮技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998.

电话:(0451)86284561

E-mail: dyw01331@126.com

收稿日期:2006-02-20

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net