生物脱氮除磷工艺好氧区硝化功能的强化试验

Intensive Test on Nitrification of Aerobic Zone of Biological Denitrification and Phosphorus Removal Process

毕学军　高廷耀　(同济大学环境工程学院,上海　200092)
Bi Xuejun　Gao Tingyao　(School of Environmental Engineering, Tongji University shanghai　200092)

摘要　在活性污泥法脱氮除磷工艺系统的好氧段投放高硬度聚乙烯悬浮小球作为生物载体,可以强化系统的硝化功能,提高处理系统的脱氮除磷效率,同时避免产生填料间污泥结团。经两套试验装置的5种工况条件下平行对照试验结果表明:好氧区全池投放聚乙烯悬浮小球,装填密度在10%~15%,TKN去除率达98.2%,TN去除率达到86%,TP去除率达到91%。

关键词:生物脱氮除磷工艺　硝化　悬浮生物载体　强化

Abstract　When the suspended balls of high hardness polyethylene, the suspended biological supporter were put into the aerobic zone of biological nitrogen and phosphorus removal process, function of nitrification could be enhanced and the efficiency of nitrogen and phosphorus removal were increased. This method could prevent the sludge to be intercepted by the filler. Under five kinds of operating mode conditions, two sets of experimental equipment, parallel contrast experimental result showed that the filling density of suspended balls in the whole aerobie zone was 10%~15%, removal rates of TKN was 98.2%, of TN was 86% and of TP was 91%

Key words: Biological denitrification and phosphorus removal process　Nitrification　Suspended biological supporter　Intensification

1　前言

在城市污水生物脱氮除磷工艺系统中通常存在着泥龄矛盾,好氧自养型硝化菌世代时间较长,而异养型聚磷菌和反硝化菌世代时间较短,当两类微生物共处一个回流污泥系统时,就不得不将系统的泥龄控制在一个较窄的范围内,致使两类微生物难以发挥各自的优势。

为解决生物脱氮除磷工艺系统中存在的泥龄矛盾,可以在脱氮除磷工艺系统好氧段投放填料,增加好氧段的生物量,降低污泥的负荷,强化系统的硝化功能[1,2]。但由于在活性污泥系统中投放固定型填料,容易发生填料间污泥结团等现象,导致活性污泥法系统处理效果下降。本试验采用高硬度聚乙烯悬浮小球作为生物载体,将活性污泥法和生物膜法相结合,同时避免产生填料间污泥结团等问题。

2　实验材料与方法

本试验在污水厂现场进行,试验过程中有意的降低污泥泥龄,使处理系统的硝化功能下降,以考察处理系统好氧区投加悬浮填料后对硝化功能的影响。

实验采用上海某污水处理厂沉砂池出水作为处理对象。生物载体为高硬度聚乙稀悬浮小球填料。实验期间污水水质见表1。

表1　实验期间进水水质(mg/L)
Table 1　Quality of influent in test period

COD_{Cr}	BOD_5	NH_4^+-N	TKN	TP
600~1200	200~500	30~90	40~100	4.0~18.0

高硬度聚乙烯悬浮小球的物理性能见表2。

本研究采用如图1所示的两套完全相同的试验装置进行实验,生化反应池有效容积为77.4L,A_2:A_1:O的有效容积比为1:1:2。为了方便对比,实验以系统2作为对照与系统1(好氧段投放悬浮填料)平行运行。此后改变运行方式,使系统1和系统2分别以不同的填料装填密度与不同的装填位置作对比运行。

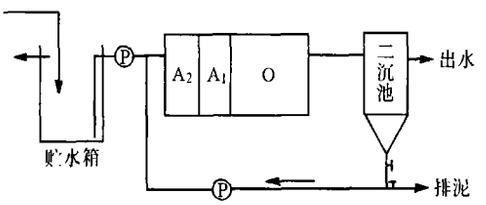
第一作者毕学军,男,1969年生,1998年毕业于同济大学,硕士,讲师,现为同济大学在读博士生。

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

表2 高硬度聚乙烯悬浮小球物理性能

Table 2 Physical characteristics of the suspended balls of high hardness polyethy lene

外观特征	物理特性	充氧性能	在水中的状态
空心球形,内有多重叶瓣,表面略粗糙,直径25mm。	亲水性,比表面积460m²/m³,比重略小于1。	K_{La}=81.2h⁻¹。填料氧转移系数较大,氧的传递速率较高。	(1)在静水中呈悬浮状态。(2)在动水中小球作不规则运动,特别在一定的曝气强度下小球在水中上下翻滚,分布均匀。



A1-厌氧段 A2-缺氧段 O-好氧段

图1 实验系统流程

Figure 1 Flow chart of test system

试验期间,原水由污水厂的沉砂池出水区进入贮水箱,贮水箱内一直保持进水、出水、溢流同时进行状态,起到短时初沉池的作用,而后通过泵从贮水箱提升进入试验装置。试验装置好氧段采用穿孔管曝气,缺氧段、厌氧段采用机械搅拌。

在好氧段后部有机物大部分被降解,较适宜于自养型硝化菌的生长,硝化反应在此进行,实验开始阶段在好氧段后半部投放填料,这样可以使硝化菌在悬浮载体上生长挂膜,而缺氧区全部和好氧区前半部不投放填料,该两区段有机基质较为丰富,悬浮活性污泥可以在此得到优先的增殖机会。

悬浮小球在曝气池内保持均匀分布的旋流状态,曝气混合搅动较好,控制DO在2.0~5.0mg/L之间,约20d后,好氧区悬浮小球空心及叶瓣表面生长出灰黄色生物膜,厚度比较均匀,大约在0.5mm左右,系统出水水质稳定,于是进入正式实验。由于试验系统反应池水深只有20cm,稍加曝气可满足好氧段DO的要求,在实验过程中,为了保证悬浮小球在曝气池中呈旋流状态,加大了曝气量,导致好氧段DO水平相应较高。

3 实验结果与讨论

实验的基本工艺条件和结果见表3(a、b)。

为了考察在好氧区投放填料后对该工艺硝化功能的影响,本试验将泥龄控制在较短的5d。以下讨论不同的运行方式对系统运行效果的影响。

3.1 COD的去除

对于本试验研究工艺系统,不论在好氧区投放填料与否,在不同的运行条件下,COD去除率均高达90%以上,不同工况对COD去除率影响不大。

3.2 硝化功能

本工艺系统在好氧区投放填料与不投放填料以及填料的装填密度和位置在硝化功能上有比较大的差别,首先第一、二工况两组平行对比试验泥龄控制在5d,在其它运行条件相同情况下,好氧区投放填料的系

表3(a) 各试验工况参数[1](阶段平均值)

Table 3(a) Parameters of operating mode (Average)

工况序号	系统	水温(℃)	溶解氧(mg/L)	MLSS(mg/L)	污泥指数(mL/g)	好氧段填料装填密度[2](%)	污泥含磷量[mg(P)/g(VSS)]	污泥含氮量[mg(N)/g(VSS)]	容积负荷[kg(COD)/m³·d]	TP/COD	TKN/COD
第一工况	1	24	3.0	1942	154	40(1/2)	30.5	88.8	1.83	1/139.0	1/14.4
	2	24	3.5	2014	99		31.0	108.1	1.83	1/139.0	1/14.4
第二工况	1	27.5	3.0	1671	239	20	55.0	95.6	1.94	1/71.1	1/11.9
	2	27.5	2.5	2048	107		41.9	76.4	1.94	1/71.1	1/11.9
第三工况	1	32	3.0	3125	163	10	49.8	89.7	2.40	1/139.6	1/19.3
	2	32	2.5	2507	148	20(1/3)	44.8	99.4	2.40	1/139.6	1/19.3
第四工况	1	32	2.0	2804	178	10	43.3	96.8	3.08	1/59.4	1/14.8
	2	32	2.5	2604	108	20(1/2)	50.8	115.8	3.08	1/59.4	1/14.8
第五工况	1	26	3.8	1727	98.4	10	30.3	87.6	2.54	1/64.7	1/9.4
	2	26	3.6	1705	99.7	15	33.1	98.5	2.54	1/64.7	1/9.4

1) 水力停留时间8h;泥龄5d;污泥回流比第一、二、三工况2.0,第四、五工况3.0。

2) 括号内的数据为填料装填容积占好氧段容积的比例,均从好氧段后段计起。

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

表3(b)　试验结果(阶段平均值)(mg/L)
Table3(b)　Results of test(Average)

工况序号	系统	COD			NH_4^+-N			NO_3^--N		NO_2^--N		PO_4^{3-}-P		TKN			TN			TP		
		进水	出水	去除率(%)	进水	出水	去除率(%)	进水	出水	进水	出水	进水	出水	进水	出水	去除率(%)	进水	出水	去除率(%)	进水	出水	去除率(%)
第一工况	1	611	31.3	94.9	35.0	1.3	96.2	0	8.10	0	0.47	2.2	1.0	42.6	2.4	94.4	42.6	10.9	74.2	4.4	1.05	76.1
	2	611	38.7	93.7	35.0	16.6	52.6	0	1.85	0	0.75	2.2	0.22	42.6	16.8	60.6	42.6	19.4	54.5	4.4	0.58	86.8
第二工况	1	648	21.6	96.7	38.6	0.84	98.6	0	9.52	0	0.33	4.54	1.0	54.7	2.3	95.8	54.7	12.1	77.7	9.12	1.1	87.4
	2	648	27.0	95.6	38.6	12.0	79.5	0	2.14	0	0.63	4.54	0	54.7	12.8	76.4	54.7	15.6	71.3	9.12	0.45	95.0
第三工况	1	800	28.0	96.5	42.1	0.50	98.8	0	6.84	0	0	4.80	0.1	41.5	1.9	95.4	41.5	8.78	78.8	5.73	0.14	97.6
	2	800	28.0	96.5	42.1	6.30	85.0	0	4.03	0	3.08	4.80	0	41.5	7.2	82.7	41.5	14.3	65.5	5.73	0.31	94.6
第四工况	1	1027	27.2	97.4	34.8	4.44	87.2	0	4.65	0	0.19	3.33	0.32	69.2	6.4	90.8	69.2	11.2	83.8	17.3	0.48	97.2
	2	1027	35.0	96.6	34.8	8.54	75.5	0	2.86	0	0.37	3.33	0.05	69.2	9.8	85.1	69.2	13.0	81.2	17.3	0.25	98.6
第五工况	1	847	50.4	94.0	75.3	0.31	99.6	0	9.45	0	1.48	3.92	0.87	89.8	1.6	98.2	89.8	12.6	86	13.1	1.39	89.4
	2	847	54.4	93.6	75.3	0.60	99.2	0	11.6	0	1.03	3.92	0.72	89.8	2.1	97.7	89.8	14.6	83.7	13.1	1.18	91.0

统1硝化能力明显提高，硝化率达94%，出水NH_4^+-N、TKN在1.5、2.5mg/L以下，而好氧区不投放填料的系统2硝化率仅为60%～76%，出水NH_3^--N、TKN则高达16.6、16.8mg/L，由此可以说明好氧区内投放填料确实可以强化硝化功能。但对于填料的投放位置及装填密度是值得注意的问题，从第一、二组工况来看，好氧区后半部投放填料与好氧区全池投放填料均达到比较高的硝化率，而且从填料投放总量上看是相同的，但在好氧段投放填料后亦产生了搅拌问题，为使填料在曝气池内保持比较好的与气、水充分接触状态，需要保证一定的曝气量，使填料处于悬浮状态(并不是浮于水面，而是浸没于水中或在水中呈旋流状态)，在相同填料投放总量下，局部投加势必增大装填密度，需增大供气量加大搅拌强度，从而导致溶解氧水平较高，在回流系统中携带大量溶解氧进入缺氧区，影响前置反硝化能力的发挥，而全池投放则可以降低装填密度，从而可以缓解矛盾，得到了比较好的硝化效果，因此在第三、四组工况中考察了不同填料密度及投加位置对硝化功能的影响，从第三、四组工况看，在好氧段后1/3、1/2段投放填料，装填密度为20%，结果系统的硝化率仅为83%，85%，出水NH_4^+-N、TKN分别为6.3、7.2mg/L和8.54、9.8mg/L，而且出水NO_2^--N高达3.1mg/L，说明在好氧段后1/3段投放填料不能达到完全硝化，甚至出现NO_2^--N积累，导致硝化率下降，与平行试验全池投加填料，装填密度为10%相比，硝化率下降12.7%和5.7%。在第五组工况下，平行对比试验均全池投放，装填密度为10%、15%，硝化率分别达98.2%、97.7%，因此，在保证高硝化率的情况下，可以通过减少填料投放总量，降低装填密度，以改善搅拌效果。在好氧区投放填料可以强化系统的硝化功能，达到比较高的硝化率，在一定条件下全池投放填料比局部投放填料对硝化更为有利，在该工艺中全池投放填料装填密度可控制在10%～20%左右。

3.3 脱氮功能

从第一到第三组工况来看，在好氧区投放填料，提高了系统的硝化功能，保证了高硝化率，但反硝化能力比较差，致使出水NO_3^--N最高达11.6mg/L，究其原因为：(1)为了考察试验系统的硝化功能，将活性污泥法系统的泥龄控制在5d，使混合液悬浮固体浓度比较低，导致其中异养反硝化菌的总量减少，测得该工艺条件下活性污泥的比反硝化速率高达9.20mg(N)/g·(VSS)·h，是同期8d泥龄下的中试试验系统活性污泥的比反硝化速率3.60mg(N)/g·(VSS)·h的2.5倍，表明了导致反硝化能力下降的主要原因是反硝化菌数量的减少。(2)由于好氧区的出水溶解氧水平比较高，致

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

使回流污泥中携带大量的溶解氧进入缺氧段，使缺氧程度不充分，影响了反硝化反应的正常进行。而在试验第四组工况下，由于试验期间进水浓度比较大，COD、TN、TP都比较高，微生物增殖快，MLSS相应提高，而且好氧区内溶解氧水平适中，两个系统出水NO_3^--N均明显降低，脱氮效率明显提高。从上述五组工况比较可以看出，在一定条件下，通过提高污泥回流比，可以提高反硝化脱氮率，从而提高TN去除率，污泥回流比由2.0提高到3.0，TN去除率提高5%～10%。

3.4 除磷功能

由表3第一组工况可以看出，系统1与系统2均在5d泥龄下，除磷能力却有一定的差别，特别是在好氧区后半部投放填料，装填密度为40%的情况下，系统1的TP去除率与系统2相比降低了10%左右，而在第二组工况下系统1的TP去除率与系统2相比降低了7.0%，由此可以看出在悬浮填料投放量比较大的情况下，好氧区投放填料对活性污泥法系统中悬浮活性污泥的生长与结构产生了一定的影响，致使TP去除率降低，实验通过减少填料投放量，降低填料装填密度，这种不利的影响得到降低甚至消除，这从第三、四组工况的活性污泥含磷量可以看出，在总的填料装填密度为10%的条件下，活性污泥含磷量高达45mg(P)/g·(VSS)，反映了聚磷菌的生长具有很强的优势，系统的除磷率达93%以上，出水TP在0.5mg/L以下，而第五组工况由于进水水质的剧烈波动，在活性污泥含磷量比较低而且活性污泥浓度亦相对比较低的情况下，进水TP突然升高，整个系统的除磷能力有限，致使出水TP在1.0mg/L以上，但TP去除率仍达90%，因此可以认为对于本试验研究工艺系统，在好氧段控制一定的填料装填密度，并不会对悬浮活性污泥的生长造成不利影响。

3.5 污泥沉降性能

在试验过程中发现，在好氧区投放填料，填料装填密度比较大时，由于悬浮填料对活性污泥絮体产生强烈的扰动，可能会造成活性污泥结构的破坏，使整个系统的污泥沉降性能下降，污泥指数上升。但通过降低填料装填密度，这些影响得到减轻甚至消除，使污泥沉降性能有所改善。由于悬浮小球在好氧区保持比较好的旋流状态，在不同填料装填密度下，从未发生填料内污泥大量结团，造成悬浮活性污泥越来越少的问题，这也是本研究在强化处理系统硝化功能的同时希望尽量避免的问题。

4 结论

4.1 悬浮生物载体——高硬度聚乙烯悬浮小球比表面积大，生物膜挂膜均匀，且脱膜容易，不易堵塞，只要投加的量和小球的比重适当，在正常的曝气量即可保持良好的悬浮状态，可以增加微生物量，并且不会产生活性污泥结团的问题。

4.2 在生物脱氮除磷工艺系统的好氧区投放悬浮生物载体——高硬度聚乙烯悬浮小球，并控制一定的装填密度，可增加硝化菌的数量，达到强化硝化功能的目的，不会对悬浮活性污泥的生长构成不利影响，可以达到令人满意的脱氮除磷效果。

4.3 建议悬浮生物载体全池投加，投放填料装填密度控制在10%～20%左右。

5 参考文献

1 Wanner J et al. Activated sludge process combined with biofilm cultivation. Wat. Res., 1988, 22(2): 207～215.

2 Jean-Paul Nicol et al. Activated sludge system with biomass particle support structures. Biotechnology and bioengeering, 1988, 31: 682～695.

责任编辑 钟月华 (收到修改稿日期: 2000—01—17)

(上接第182页)

8 Spain J C et al. Monohydroxylation of phenol and 2,5-dichlorophenol by toluene dioxygenase in *Pseudomonas putida* F1. Appl Environ Microbial, 1989, 55: 2648.

9 Haggblom M M. Bioremediation of chlorophenol-contaminated ground water. FEMS Microbiol Rev, 1992, 103:29.

10 Oldenhuis R et al. Kinetics of chlorinated hydrocarbon degradation by methylosinus trichosporium OB3b and toxicity of trichloroethylene. Appl Environ Microbiol, 1991, 57(1): 7.

11 沈东升，徐向阳，冯孝善. 微生物共代谢在氯代有机物生物降解中的作用. 环境科学，1994，15(4)：84～87.

12 陈勇生，庄源益，戴树桂. 氯代芳香化合物的微生物降解研究. 环境科学进展，1997，5(2)：18～24.

13 Chatterjee D K and Chakrabarty A M. Plasmids in the biogredation of PCBs and chlorobenzoates. Mol Gen Genet, 1982, 188: 279～285.

14 Rojo R et al. Assemblage of ortho cleavage porte for simultaneous degradation of chloro-and methyl-aromatics. Science, 1987, 238: 1395～1398.

15 Strandberg G W et al. Degradation of trichlorethylene and trans-1, 2-dichloroethylene by a methantrophic consortium in a fixed-film packed- bed bioreactor. Environ Sci. Technol, 1989, 23(11): 1422.

16 周岳溪，郝丽芳，张寒霜. 升流式厌氧污泥床处理含五氯酚废水的工艺特性. 环境科学，1998，18 (5)：419～422.

17 张洪林. 氯代有机物的处理技术进展. 水处理技术，1998，24: 259～263.

18 Phelps T J et al. Aerobic mineralization of vinyl chloride by a bacterium of the order actinomy cetales. Environ Sci. Technol, 1991, 25(8): 1461.

责任编辑 陆文浩 (收到修改稿日期: 1999—11—22)

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