

复合式 A²/O 工艺中污泥沉降特性及污泥减量研究

丁永伟¹, 王琳^{1,2}, 王宝贞¹

(1. 哈尔滨工业大学市政及环境工程学院, 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:使用复合式 A²/O 工艺进行了富集的原生动物对污泥沉降特性及污泥产率影响的研究。结果表明:复合式 A²/O 工艺悬浮态污泥的 SVI 低于对照试验 30%, 污泥产率在 0.140~0.413kg 污泥/kgCOD 之间, 是对照试验的 1/2~4/5。填料的存在使原生动物在系统中富集,从而抑制丝状菌的增殖,显著改善污泥的沉降性能。

关键词:活性污泥;生物膜;复合式工艺;A²/O 工艺;污泥膨胀;污泥减量

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1000-3770(2006)08-0030-04

活性污泥理论及工艺在污水生物处理理论和应用中占有重要地位,但其固有的污泥膨胀现象,及大量剩余污泥的处置问题一直是影响污水处理厂稳定和持续运行的主要因素,这在我国小城镇污水厂中表现尤为突出。开发可以抑制或减缓污泥膨胀,并能够实现污泥减量化的污水处理工艺具有很大的应用价值。

对于污泥膨胀,尽管研究人员提出了诸多原因和对策,但是它们都不能完全抑制所有的污泥膨胀现象,仍需采用事后投加杀菌剂或絮凝剂的方法来恢复污泥的沉降性能,带来诸多的负面效应。有关文献^[1,2]报道活性污泥系统中的原生动物能够促进局胶团的形成,提高污泥的沉降性,因此本试验尝试在 A²/O 活性污泥工艺的曝气池中投加载体构成复合式系统,使易附着生长的原生动物在系统中富集,来研究其对悬浮态污泥沉降性能的影响。

对于污泥减量,尽管目前有以微生物隐性生长为基础的热解、氧化剂氧化、生物捕食,以及以解偶联生长等多项污泥减量技术^[3],但从实际效果和从经济角度来看,生物捕食更具可行性。翟小蔚等^[4]采用两段式生物反应器作为原生动物哺育系统,通过接种的方式来消减普通活性污泥系统的剩余污泥产量,表明应用原生动物捕食来消减污泥产量是可行

的。本试验从工程应用角度考虑,在 A²/O 活性污泥工艺的曝气池中投加生物膜载体,促使易附着生长的原生动物在系统中富集,使原生动物哺育系统和捕食反应器合二为一,来研究其对污泥产率的影响。

1 试验装置和方法

1.1 试验装置

试验流程如图 1 所示,采用两套相同的由透明有机玻璃制成的试验装置。一套在好氧段投加悬浮载体,一套不投加载体作为对照,它们共用一个贮水桶。厌氧段、缺氧段和好氧段容积分别为 4L、8L 和 12L。反应器共分为 6 格,优化每格的进出水位置,模拟实际生产的推流式运行。厌氧和缺氧池内设有搅拌器,好氧池内以粘砂块作为曝气装置,鼓风曝气。进水、污泥回流与混和液回流均由蠕动泵来完成。

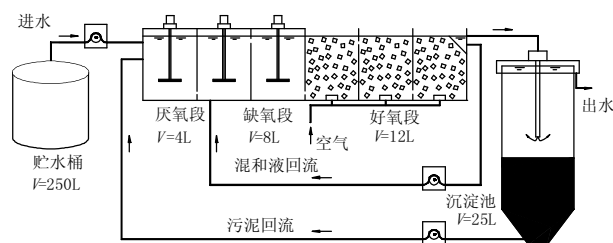


图 1 试验流程示意图

Fig.1 Schematic diagram of pilot test

收稿日期:2005-06-07

作者简介:丁永伟(1975-),男,博士研究生,研究方向为水污染控制理论及技术;联系电话:13645299826;E-mail:dyw01331@126.com。

1.2 填料选择及填充比例

本研究选用了一种聚氨酯网状海绵作为复合式 A²/O 工艺的载体,它是一种常见的过滤器材,类似 Linpor 填料,有较大的孔隙率。其吸水饱和后比重接近于 1,在曝气条件下能够在水中浮动。选用了 30PPI(每英寸长内排列孔的个数)的规格,将其切割成 12.5mm×12.5mm×12.5mm 的方块。

经过多次观察调整后,本试验中采用了 20%的填充比,共 1200 块填料。这是由于试验反应器尺寸的限制,再增大填充比例会造成填料堆积,影响浮动效果。

1.3 试验用水

采用南方某小城镇污水处理厂沉砂池出水作为试验用水,通过添加淀粉、NH₄Cl 和 KH₂PO₄ 来调节各项污染物的浓度,试验水质指标见表 1。该污水厂进水污染物浓度较低,试验用水中人为添加的污染物比例较大。

表 1 试验水质指标

Table 1 The major components of wastewater used in pilot tests			
项目	浓度 (mg/L)	项目	浓度 (mg/L)
总 COD	284~604	TP	2.7~8.9
溶解性 COD	219~527	PO ₄ -P	1.5~7.2
TN	33.3~76.1	SS	31~173
NH ₄ ⁺ -N	24.6~64.9	碱度(以 CaCO ₃ 计)	157~204

1.4 试验方法

取污水厂的具有硝化功能的污泥进行接种,约 30d 系统培养驯化成功,进入稳定运行状态。污泥回流比为 100%,混和液回流比为 200%,进水流量为 1.88L/h,反应器总 HRT 为 12.76h,厌氧段、缺氧段和好氧段 HRT 分别为 2.13h、4.26h 和 6.38h。水温在 12~15℃间,维持好氧段溶解氧浓度在 2~5 mg/L。

通过在好氧段直接排放混和液的方法排放剩余污泥(仅为悬浮态污泥),依次进行 SRT 约 25d、15d 和 5d 的试验。在 SRT 为 5d 的试验结束后,又

将其调高至约 10d,进行了较大 C/N 和 C/P 情况下的试验。SRT 的计算方法为反应器中总的悬浮态污泥量除以每日排放的剩余污泥量。每天测定试验进、出水中各项污染物指标的含 量,同时测定反应器内水温、污泥浓度和污泥沉降比(SV%),对悬浮态污泥进行经常性的显微观察。

2 结果和讨论

2.1 污染物去除效果

表 2 汇总了各试验段(不同 SRT 条件下)复合式 A²/O 工艺和对照试验对污染物的去除情况。复合式 A²/O 工艺对 COD 的去除效果和对照试验相差不大,但对氨氮的去除率高于对照试验 20%~30%。在 SRT=25d 和 15d 的试验中,尽管复合式 A²/O 工艺的硝化效果优于对照试验,但是由于反硝化碳源不足,造成前者系统中硝态氮积累高于后者,使磷的去除效果低于对照试验。在较高 C/N 和 C/P 的 SRT=10d 的试验段中,此问题得到解决,系统具有高效的脱氮除磷效果。

2.2 污泥沉降性能

图 2 表示了各个试验段反应器中悬浮态污泥的 SVI 值变化情况。总体上复合式 A²/O 试验和对照试验的 SVI 值均在 200mL/g 以上,均存在程度不同的污泥膨胀现象,这是由于试验配水中人工添加淀粉的比例太大和试验期间水温较低造成的,这也是人工模拟污水试验中经常发生的现象。在试验段 1 开始的初期,复合式 A²/O 试验的 SVI 和对照试验接近,但是随试验的进行,二者悬浮态污泥 SVI 的差别明显增大,复合式 A²/O 的 SVI 约低于对照试验 30%。在试验段 1 和试验段 2 的末期,对照试验的 SVI 出现了两次明显的突然升高,此时期恰好对应的是气温突降的时间;虽然复合式 A²/O 的 SVI 也随

表 2 试验运行条件和污染物去除性能

Table 2 The operating conditions and pollutants removal performance of the pilot study

SRT (d)	进水污染物平均浓度(mg/L)						编号	MLSS ① (mg/L)	出水污染物平均浓度(mg/L)					
	COD	TN	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	TP			COD	TN	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	TP
25	431.3	42.5	31.4	0	0.05	6.7	H	2173	39.3	15.5	8.8	2.60	2.17	2.1
							C	2241	39.5	19.0	15.0	1.43	1.37	1.9
15	414.5	47.3	35.7	0	0.06	7.4	H	1782	48.2	15.7	9.4	3.44	1.00	2.4
							C	1856	46.3	20.9	18.9	1.36	0.31	1.9
5	435.6	47.6	38.7	0	0.11	3.8	H	1230	35.1	25.1	15.7	3.50	1.41	0.9
							C	1228	33.6	24.4	15.7	3.78	1.13	0.8
10	569.6	55.9	41.9	0	0.20	6.5	H	1646	53.2	23.8	16.7	0.53	1.36	0.38
							C	1742	61.2	28.8	24.6	0.15	0.14	0.45

注:H 代表复合式 A²/O 试验,C 代表对照试验; ①不包括附着态生物膜的生物量。

气温的突降出现升高的趋势,但其幅度远小于对照试验。

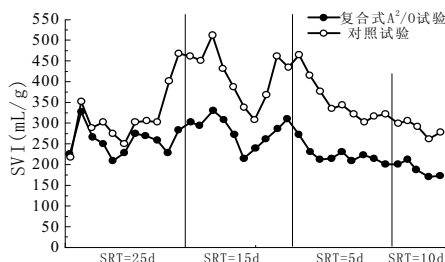


图2 不同试验段悬浮态污泥 SVI 的变化

Fig.2 The SVI variation of suspended sludges in different pilot study phases

一般来说,活性污泥中丝状菌的大量繁殖是造成污泥膨胀的主要原因。本试验中,复合式 A^2/O 和对照试验的悬浮态污泥中均存在丝状菌,后者中丝状菌甚至占优势,这是造成二者出现不同程度污泥膨胀的原因。造成丝状菌大量增殖的主要因素有:低基质浓度、低 DO 、营养缺乏、高硫化物和 pH 不能维持在中性等原因^[4]。在本试验中,排除上述不利影响因素外,气温和水温的交变或突变也是刺激丝状菌大量增长的主要因素,这和李探微等^[5]观察到的现象相似。这可能是当温度和气压交变时,活性污泥中所有的微生物均会受到影响,但丝状菌的适应性要比一些絮成菌强,更容易在系统中占优势,如主要的丝状菌 *Microthrix parvicella* 的生长温度在 $8\sim 35^\circ C$ 间,而且更适宜生长在低温环境^[5]。

在整个试验过程中,复合式 A^2/O 的污泥沉降性好于对照试验,分析的原因可能有三个:第一,填料降低了曝气对活性污泥絮凝体的剪切力,使其凝聚性更强;第二,丝状菌在填料上附着生长,使其在悬浮态污泥中不占优势;第三,填料上的附着生长的原生动动物能够抑制丝状菌的增殖。

有关原生动动物和活性污泥沉降性能的关系,有研究者^[1]认为,在活性污泥中,当细菌生长到一定程度后就凝集成絮状物,这种絮状物为原生动动物提供着生的环境,反过来絮状物上的原生动动物能加速细菌的絮凝过程,提高污泥的沉降性。Curds 等^[1,2]证明纤毛虫能分泌两种物质,一种为 P 物质,是一种多糖类碳水化合物;另一种是属于单糖结构的葡萄糖及阿拉伯糖,表面电荷为负的悬浮颗粒会吸收这种 P 物质,通过悬浮颗粒表面电荷的改变,使悬浮颗粒集结起来,形成絮状物;另外,纤毛虫还能分泌一种粘液,能把絮状物再联结起来。原生动动物分泌的粘液对

悬浮颗粒和细菌均有吸附能力,这就促进了菌胶团的形成,提高了活性污泥的沉降性。在复合式 A^2/O 工艺中,填料的存在极其有利于附着型原生动动物在系统中富集,从而加速了悬浮态污泥中菌胶团的形成,抑制了丝状菌的生长,这可能是第三种原因的解释。王建龙^[6]等通过电镜观察到丝状菌优先附着在多孔悬浮载体内部,可以抑制由丝状菌引起的污泥膨胀^[7]。

填料的投加提高了污泥的沉降性能,抑制或减缓了污泥膨胀,能够提高污水厂运行的稳定性。污泥沉降性能的提高,使二沉池回流污泥浓度增大,在不增大现有二沉池和污泥回流系统的情况下就可提高曝气池内的污泥浓度,降低了系统的污泥负荷率,提高了其处理能力,所以复合式 A^2/O 工艺非常适合现有超负荷污水处理厂的扩容改造。德国 Geiselbulach 污水处理厂采用 Ringlace 填料将原有的工艺改造成复合式 A^2/O 工艺后,其污泥 SVI 值降至 46 mL/g ,在不改动原有二沉池和污泥回流系统的情况下,就能够使曝气池内污泥浓度达到 7400 mg/L ,这在常规的活性污泥工艺中是很难达到的,极大地提高了该污水处理厂的处理能力,并且不占用新的土地,投资较小^[8]。

2.3 污泥减量

可以看出这种形式的填料非常有利于附着型原生动动物的生长,并且具有极佳的水力性能,能够保证污泥混合液和附着生长的原生动动物充分接触。图3是各个试验段平均污泥表观产率 ($\text{kg 污泥}/\text{kg COD}$)。复合式 A^2/O 试验的污泥产率在 $0.140\sim 0.413\text{ kg/kg}$ 之间,是对照试验的 $1/2\sim 4/5$ 。随 SRT 的减小,二者污泥产率均升高,差异变小,这是由于在复合式工艺中,悬浮态污泥的传质阻力小于附着态生物膜^[9],前者首先对污泥负荷变化作出反应,使后者对污泥产率的影响减小。

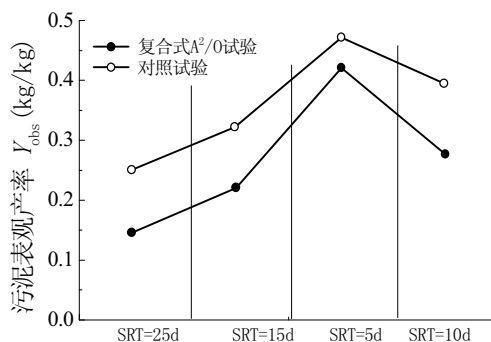


图3 不同试验段平均污泥表观产率的变化

Fig.3 The mean Y_{obs} variation in different test phases

与翟小蔚等^[2]的方法相比,本试验很容易在反应器中富集大量的原生动物,这在工程中易于实现,但是由于填料的堵塞等原因,原生动物和悬浮态污泥不能充分接触可能会限制污泥产量的消减,因此填料的构造形式、孔隙率和反应池内的水力条件是很关键的影响因素。

污泥减量的前提是不能影响系统出水水质,在生物脱氮除磷系统中,磷的去除是通过剩余污泥的排放来实现的,因此污泥减量最可能影响到生物除磷的效能。从表 2 中可以看出,除了在 SRT=25d 和 15d 的试验中,由于反硝化碳源不足使复合式 A²/O 工艺的除磷效果差于对照试验外,其余试验段两工艺对总磷的去除效果接近。尤其在 SRT=10d 的试验段,复合式 A²/O 工艺的硝化效果优于对照试验 20%,但其总磷去除效果高达 90%,且和对照试验没有差异,这说明在复合式 A²/O 工艺中,污泥减量并不显著影响总磷的去除效能。为了更深一步验证上述结论,在 SRT=10d 试验结束后,仍维持两个系统运行,但是复合式 A²/O 试验不排放剩余污泥,对照试验由于污泥膨胀仍向外排泥,维持污泥龄约 5d,共进行了 10d 试验。在这 10d 试验中,复合式 A²/O 试验出水总磷仍一直低于 0.8mg/L,和对照试验几乎相同,但前者的污泥产量远低于后者。这说明利用原生动物捕食来进行污泥减量,不会对出水 TP 造成很大的负面影响。当复合式 A²/O 试验的二沉池中污泥界面过高而影响沉淀过程时,还是需向外排放剩余污泥,所以磷不可能在系统中无限期积累。在试验结束时,对复合式 A²/O 试验和对照试验曝气池末端污泥的含磷量进行了测定,二者均为 4.2%左右,几乎没有差异。这说明在复合式 A²/O 试验中,尽管没有排放剩余污泥,磷会在系统中积累,但是其悬浮态污泥含磷比率不会增加,积累的磷可能是在载体上的生物膜和附着的原生动物中。这验证了生物膜

在好氧环境条件下,由于厌氧微环境的存在,具有生物除磷的能力^[10];同时也说明原生动物对细菌的捕食也使磷向更高营养级中积累。

3 结 论

复合式 A²/O 工艺悬浮态污泥的 SVI 低于对照试验 30%,污泥产率在 0.140~0.413kg/kg 之间,是对照试验的 1/2~4/5。填料的存在使原生动物在系统中富集,从而抑制丝状菌的增殖,显著改善污泥的沉降性能;原生动物对细菌的捕食能够消减 1/5~1/2 的污泥产量,但不会对生物除磷过程造成负面影响。采用复合式 A²/O 工艺可以提高污水厂运行的稳定性,非常适合现有超负荷污水处理厂的扩容改造。

参考文献:

- [1] 李探微,彭永臻,朱晓.活性污泥中原生动物的特征和作用[J].给水排水,2001,27(4):24-27.
- [2] 翟小蔚,潘涛,W Ghyoot,等.利用原生动物消减剩余活性污泥产量[J].中国给水排水,2000,16(11):6-9.
- [3] 魏源送,樊耀波.污泥减量技术的研究及其应用[J].中国给水排水,2002,18(9):4-7.
- [4] 陈丽华,王增长,牛志卿.活性污泥膨胀的相关理论及控制方法[J].科技情报开发与经济,2003,13(2):123-126.
- [5] 李探微,彭永臻,陈志根,等.活性污泥法的生物泡沫形成和控制[J].中国给水排水,2001,17(4):73-76.
- [6] 王建龙,吴立波,钱易.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.
- [7] N. Müller. Implementing Biofilm Carriers into Activated Sludge Process -15 Years of Experience [J]. Wat Sci Tech., 1998, 37(9):167-174.
- [8] 赵庆良.新型复合式生物反应器处理污水[R].哈尔滨建筑大学博士后研究报告,1997.
- [9] 李军,王宝贞,聂梅生.序批式生物膜法除磷机理研究[J].中国给水排水,2002,18(1):1-4.
- [10] 李军,赵琦,聂梅生,王宝贞.淹没式生物膜法除磷生物膜特性研究[J].给水排水,2002,28(4):23-26.

RESEARCH ON SLUDGE SETTLEMENT CHARACTERISTICS AND SLUDGE REDUCTION IN HYBRID A²/O PROCESS

Ding Yong-wei¹, Wang Lin^{1,2}, Wang Bao-zhen¹

(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: The pilot tests of anaerobic/anoxic/hybrid aerobic system (hybrid A²/O process) were conducted to study the effect of enriched protozoan on sludge settlement characteristics and sludge reduction. The results indicated that the suspended sludge SVI in hybrid A²/O process was below the control test by 30%. The sludge yield (Y_{obs}) was 0.140~0.413 kg/kg (kgSS/kgCOD) in hybrid A²/O set, which was 1/2~4/5 of control test. The existence of carriers could make protozoan enriched in reactor, which restrained proliferation of filamentous bacteria, and enhanced sludge settlement characteristics.

Key words: activated sludge; biofilm; hybrid process; anaerobic/anoxic/aerobic system; sludge bulking; sludge reduction