

利用活性初沉池提高生物脱氮除磷能力的研究

王佳伟 张道友 卢爱国 常江 甘一萍 周军

(北京城市排水集团有限责任公司, 北京 100124)

摘要 目前, 设有初沉池的污水处理厂在同步生物脱氮除磷时碳源普遍不足, 而通过将传统初沉池改造为活性初沉池可以增加进入生物反应池的碳源。分析了泥龄和循环比对活性初沉池中污泥水解发酵效果的影响, 并对比了分别采用活性初沉池、传统初沉池或取消初沉池对生物脱氮除磷和能耗的影响。结果表明, 活性初沉池中的污泥停留时间从 2 d 增加到 5 d 时对 BOD_5/TN 和 VFA/TP 的影响不显著, 但污泥循环比从 10% 增加到 30% 时, BOD_5/TN 明显提高。在泥龄为 3.5 d 和循环比为 20% 的条件下, 活性初沉池出水的 BOD_5 、 COD_{Cr} 、 VFA 的浓度分别高于传统初沉池出水 41.3%、30.8% 和 24%, COD_{Cr} 浓度低于总进水 15%, VSS/SS 值比初沉进水高 0.29。因此, 将传统初沉池改造为活性初沉池可同时实现节能和强化生物脱氮除磷。

关键词 活性初沉池 碳源 脱氮除磷 水解发酵 节能降耗

0 前言

我国 90 年代建设的污水处理厂大都设有初沉池以降低进水有机物浓度并节约曝气的能耗。2003 年我国开始执行新的《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002), 以防止水体富营养化。然而, 生物脱氮除磷需要足够的碳源, 传统初沉池出水中的碳源通常难以满足营养物去除的要求。虽然取消初沉池能够提高碳源的总体数量, 降低二级出水中的 TN 浓度, 而且, 取消初沉池已经在国内成为提高进入生物反应池的碳源的常用措施。但取消初沉池会导致过量的无机物和有机物进入曝气池, 因

此增加剩余污泥产量和曝气能耗。

通过初沉污泥水解发酵, 在污水处理厂内部可以产生易生物降解的有机物。初沉污泥含有 40%~60% 的蛋白质, 25%~50% 的碳水化合物, 8%~12% 的油和脂肪^[1], 这些长碳链物质经过水解发酵转化为乙酸、丙酸、丁酸等短链脂肪酸, 水解发酵后污水特性更适宜于强化生物脱氮除磷。初沉污泥水解发酵工艺包括活性初沉池、淘洗污泥浓缩池、连续流污泥水解发酵池等, 其中, 活性初沉池是构造最为简单、造价最低的一种水解发酵和淘洗方式^[2]。国外, 许多污水处理厂已经采用了初沉污泥水解发酵来强化生物脱氮除磷^[3,4]。因此, 在国内利用活性初沉池进行污泥水解发酵具有很好的应用前景。目前, 国内还缺乏在中试规模上利用活性初沉污泥水

国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2008ZX07314-008); 北京市优秀人才培养资助计划 (PYZZ090428001289)。

- 10 于涵, 胡建英, 金晓辉, 等. 北方某水厂原水和处理过程中邻苯二甲酸酯类的监测. 给水排水, 2005, 31(6): 20~22
- 11 林兴桃, 陈明, 王小逸, 等. 污水处理厂中邻苯二甲酸酯类环境激素分析. 环境科学与技术, 2004, 17(6): 79~81
- 12 Bodzek M, Dudziak M, Luks-Betlej K. Application of membrane techniques to water purification: removal of phthalates. Desalination, 2004, 162(1-3): 121~128
- 13 Kiso Y, Kon T, Kitao T, et al. Rejection properties of alkyl phthalates with nanofiltration membrane. Journal of Membrane Science, 2001, 182(1-2): 205~214
- 14 倪明. 邻苯二甲酸酯的污染现状及去除研究进展. 水处理技术,

2010, 36(4): 9~13

- 15 于美波, 陈红英, 王增长. 水中邻苯二甲酸酯类内分泌干扰物的去除方法. 山西能源与节能, 2010, 59(2): 62~68

✉ 通讯处: 100124 北京朝阳区北京工业大学建工学院
电话: 13720086701

E-mail: qkzhang1986@163.com

收稿日期: 2010-11-08

修回日期: 2011-06-10

解发酵提高生物脱氮除磷效果的分析研究^[5,6]。因此,本研究将传统初沉池改造成为活性初沉池,为污水处理厂升级改造以提高营养物去除效果提供有力的技术支持。

本研究利用活性初沉池中试装置试验了泥龄和循环比对初沉污泥水解发酵效果的影响,并对比分析了分别采用活性初沉池、传统初沉池或取消初沉池对生物脱氮除磷和能耗的影响。

1 试验装置与方法

试验装置的结构及相关参数见图 1 和表 1。活性初沉池由初沉池、排泥泵、污泥循环泵、可编程逻辑控制器(PLC)和在线泥位计组成。在初沉池池底经水解发酵后的初沉污泥通过污泥循环泵与进水混合后再次进入初沉池中,水解发酵所生成的易生物降解有机物被淘洗出来进入生物反应池。传统初沉池是北京市高碑店污水处理厂的一座实际生产运行的初沉池。活性初沉池的污泥停留时间控制在 2 d、3.5 d、5 d 三个水平,污泥循环比控制在 10%、20%、30%三个水平(28.8 m³/d,57.6 m³/d,86.4 m³/d),试验时温度在 20~23 ℃。样品测试按照国家标准方法执行,挥发性脂肪酸(VFA)采用气相色谱法测定。

表 1 传统初沉池和活性初沉池的设计和运行参数

活性初沉池		传统初沉池	
项目	数值	项目	数值
池边水深	2.8 m	池边水深	3.8 m
污泥斗深度	2.5 m	池长	75 m
直径	3.9 m	池宽	14 m
有效容积	43.4 m ³	有效容积	4 108 m ³
流量	288 m ³ /d	流量	17 000 m ³ /d

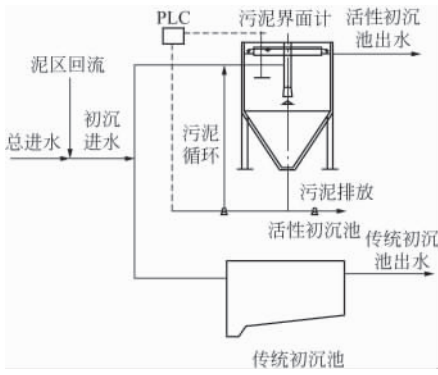


图 1 活性初沉池和传统初沉池装置

2 结果与讨论

2.1 泥龄和循环比的影响

强化生物脱氮除磷工艺的处理效果主要取决于五日生化需氧量与总氮的比值(BOD₅/TN)和挥发性脂肪酸与总磷的比值(VFA/TP)^[7]。由于回流污泥中的硝酸盐会首先消耗进水中的 VFA,因此,进水 BOD₅/TN 的比值比 VFA/TP 的比值对生物脱氮除磷的影响更为明显。泥龄为 2 d、3.5 d、5 d,循环比例为 10%、20%、30%的情况下,活性初沉池出水中 BOD₅/TN 值的变化情况见表 2。由表 2 可见,在不同的泥龄下,活性初沉池出水中的 BOD₅/TN 值没有明显的变化。其原因可能是由于高碑店污水处理厂的污水管网长度长达 20 km,在污水管网中已形成部分水解发酵细菌。

表 2 不同泥龄和不同循环比例下 BOD₅/TN 的值

泥循环比/%	水解酸化泥龄					
	2 d		5 d		3.5 d	
	BOD ₅ /TN	VFA/TP	BOD ₅ /TN	VFA/TP	BOD ₅ /TN	VFA/TP
10	3.69 (0.07)	7.41 (0.18)	3.63 (0.03)	7.5 (0.06)	3.7 (0.05)	7.45 (0.05)
20	3.8 (0.2)	7.72 (0.19)	3.74 (0.08)	7.45 (0.27)	3.81 (0.25)	7.13 (0.14)
30	3.86 (0.12)	7.53 (0.05)	4.04 (0.12)	7.29 (0.22)	3.84 (0.03)	7.69 (0.28)

注:括号中为标准差。

另外,从泥区的回流液中也含有一定数量的水解发酵细菌,因此水解发酵的效果没有受到泥龄的明显影响。

然而,较高的污泥循环比例(SRR)能够有效地提高活性初沉池出水的 BOD₅/TN 值。这是因为水解发酵后悬浮固体的沉淀速度明显慢于未水解发酵的进水污泥的沉降速度(见图 2)。

可见,活性初沉池出水中 BOD₅ 的增加主要是由于含有有机物的悬浮固体的增加造成。沉降速度慢的有机物可以被快速地生物降解,而沉降速度快的有机物其生物降解的速度比较慢^[8]。

因此,当循环比例(SRR)升高时,更多可快速降解的有机物能够被淘洗进入活性初沉池出水中。然而由于溶解性有机物或悬浮性有机物中的氮在微生物的作用下很容易被转化成为溶解性的氨氮^[2],可

见,悬浮固体的增加不会显著影响活性初沉池出水中的 TN 浓度。

另一方面,悬浮固体的增加提高了活性初沉池出水中颗粒态磷的浓度。因此,VFA/TP 的比值并没有随着污泥循环量的增加而增加。

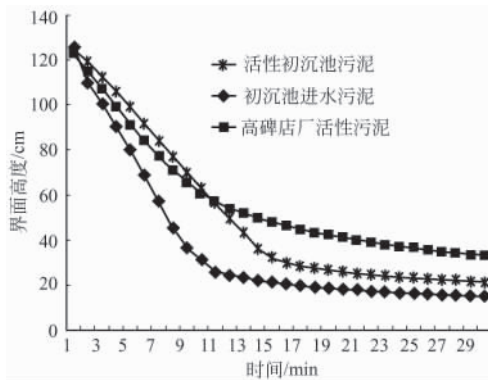


图2 不同污泥的沉降特性

2.2 水质特性变化分析

考虑到实际工程的经济效益,本研究在水解发酵泥龄为 3.5 d 和循环比为 20% 的条件下详细分析水质特性的变化情况(见表 3)。由表 3 可见,传统初沉池出水和活性初沉池出水的水质特性明显不同。活性初沉池出水的 BOD_5 、 COD_{Cr} 、VFA 的浓度分别高于传统初沉池出水 41.3%、30.8% 和 24%,可见经过水解发酵和淘洗增加了活性初沉池出水的有机物含量。活性初沉池出水中 BOD_5 增加了 57 mg/L,SS 增加了 53 mg/L,而 $SBOD_5$ 仅增加了 17.1 mg/L,可见,活性初沉池出水中碳源的增

表3 初沉污泥水解发酵对水质特性的影响效果

(泥龄 3.5 d,循环比 20%)

项目	总进水 /mg/L	初沉池进水 /mg/L	活性初沉池出 水/mg/L	传统初沉池 出水/mg/L
BOD_5	185	225	195	138
COD_{Cr}	408	476	346	266
TP	5.39	7.97	6.72	5.29
TN	49.1	52.1	51.8	51.3
SS	254	373	188	141
VSS	116	229	169	128
$SBOD_5$		59.1	82.4	65.5
SCOD		78.6	105.6	95.4
VFA	28.9	34.5	50	40.4

加,主要是由所增加的含有机物的悬浮固体的贡献的。活性初沉池出水和传统初沉池出水的 TN 浓度基本相同,仅增加了 1%,但 TP 浓度增加了 27%。因此,与传统初沉池相比,活性初沉池会增加进入生物反应池的有机物和 TP 的浓度,但是对 TN 的影响并不大。

总进水、初沉池进水、活性初沉池出水、传统初沉池出水中挥发性脂肪酸(VFA)的组成情况见图 3。

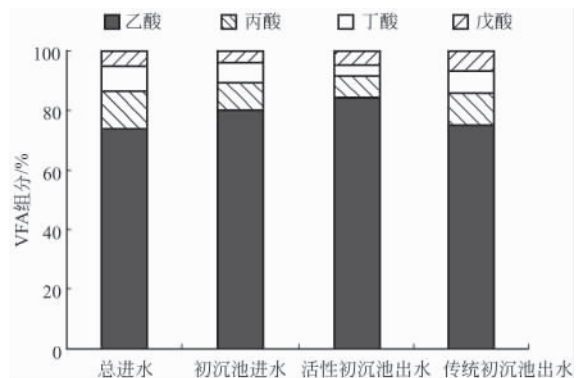


图3 不同采样点的 VFA 组分构成比例(泥龄 3.5 d,循环比 20%)

所有采样点的发酵产物主要是乙酸(74%~85%),其次是丙酸。这是由于不同采样点所产生的 VFA 都是由同一起来源的污泥产生,因此,其发酵产物的组成基本相同^[9]。但活性初沉池中发酵产生的乙酸占发酵产物的 85%,明显高于传统初沉池的 75%,这说明活性初沉池具有一定的发酵效果。污水处理厂初沉排泥量占进水量的比例一般为 0.5% 左右,由于两级完全混合发酵工艺出水的 VFA 含量一般为 600 mg/L^[10],经计算相当于增加了进入生物池 VFA 3 mg/L,低于本试验中活性初沉池出水增加的 VFA 浓度(9.6 mg/L)。可见,与单独设置水解发酵池相比,利用活性初沉池水解发酵的工艺参数虽然较难控制,但是由于全部进水中的有机物都经历了水解发酵过程,因此,进入生物反应池中的发酵产物总量与单独设置污泥发酵池的发酵产物总量相差不大,甚至更高。

2.3 对生物脱氮除磷的影响

如表 3 所示,由于活性初沉池对有机物、TN 和 TP 具有不同的去除效果,使活性初沉池出水中 BOD_5 /TN 值为 3.8,高于传统初沉池出水(2.7),因

此活性初沉池出水可以达到较高生物脱氮效率^[11]。然而,尽管活性初沉池出水的 VFA 浓度从 40.4 mg/L 增加到了 50 mg/L,但其出水 VFA/TP 值仅为 7.4,与传统初沉池出水的 7.6 相近。因此,与传统初沉池相比,活性初沉池的主要作用是增加了进入生物反应池的 BOD₅/TN 值。

与取消初沉池相比,总进水中 VSS/SS 的值为 0.46,初沉进水中为 0.61,传统初沉池出水和活性初沉池出水中分别为 0.91 和 0.9,因此活性初沉池对无机物的去除与传统初沉池相似。与初沉进水相比,进入生物反应池的 VSS/SS 的比值提高了 0.29,从而可以有效减少无机物贡献的剩余污泥排放量,并可减少好氧池所需的体积并保障硝化所需的泥龄。

而且,活性初沉池出水与总进水相比 COD_{Cr} 的去除率为 15%,与初沉进水相比为 27%,仍然具有较好的 COD_{Cr} 去除效果,因此,可以有效减少曝气能耗。如果根据实际情况组合使用传统初沉池和活性初沉池,可以同时达到节能和强化生物脱氮除磷的目的。

3 结论

(1) 泥龄在 2~5 d 范围内活性初沉池的水解发酵效果没有明显变化,但随着污泥循环比例的增加而增加。

(2) 把传统初沉池改造为活性初沉池可以有效增加进入生物池的有机物负荷,其负荷的增加来自悬浮固体的增加和 VFA 的增加两方面的贡献,其产生的 VFA 总量与单独设置水解发酵池类似。

(3) 把传统初沉池改造为活性初沉池可以明显增加进水 BOD₅/TN 的比值,但是对进水 VFA/TP 的比值影响不明显。与取消初沉池相比,活性初沉池可以有效减少进入生物池的无机物和有机物负荷。

(4) 将传统初沉池改造成为活性初沉池可以提高生物脱氮除磷的能力,并部分保留传统初沉池具有的去除无机物和有机物的功能,可以同时达到节

能和强化生物脱氮除磷的目的,是污水处理厂升级改造的可选工艺。

参考文献

- 1 Tchobanoglous G, Burton F, Stensel D. Wastewater engineering treatment and reuse. McGraw Hill Higher Education, 2002
- 2 Chanona J, Ribes J, Sccco A, et al. Optimum design and operation of primary sludge fermentation schemes for volatile fatty acids production. Water Research 2006, 40: 53~60
- 3 Andreasen K, Petersen G, Thomsen H, et al. Reduction of nutrient emission by sludge hydrolysis. Wat. Sci. Tech., 1997. 35 (10): 79~85.
- 4 Latimer R, Pitt P, van Niekerk A. Review of Primary Sludge Fermentation Performance in South Africa and the USA. Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2007, 1651~1671
- 5 吴一平, 王旭东. 初沉污泥作为生物脱氮除磷快速碳源的转化因素研究. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2004, 37(4): 501~504
- 6 吕鉴, 赵永志, 王佳伟, 等. 初沉污泥水解酸化对 A²/O 工艺强化除磷影响. 北京工业大学学报, 2008, 34(9): 981~985
- 7 Henze M, Harremoës P, Jansen J L, et al. Wastewater treatment biological and chemical processes. Third edition, Springer, Berlin, Germany, 1997.
- 8 Vollertsen J, Hvitved-Jacobsen T. Aerobic microbial transformations of resuspended sediments in combined sewers-A conceptual model. Wat Sci Tech., 1998. 37(1): 69~76
- 9 Ueisisik A, Henze M. Biological hydrolysis and acidification of sludge under anaerobic conditions: The effect of sludge type and origin on the production and composition of volatile fatty acids. Water Research, 2008, 48: 3729~3738
- 10 Banerjee A, Elefsiniotis P, Tuhtar D. Effect of HRT and temperature on the acidogenesis of municipal primary sludge and industrial wastewater. Wat Sci Tech, 1998. 38(8-9): 417~423.
- 11 Grady C L Daigger G T Lim H C. Biological Wastewater Treatment, Second Edition, Revised and Expanded. New York, NY. Marcel Dekker Inc, 1998

✉ 通讯处: 100124 北京朝阳区高碑店村甲 1 号

电话: (010) 51352883

E-mail: wangjiawei@bdc.cn

收稿日期: 2010-10-14