

# 投加悬浮填料强化传统活性污泥法的脱氮功能试验研究

何国富 周增炎 高廷耀

(同济大学环境科学与工程学院城市污染控制国家工程研究中心,上海 200092)

**摘要** 针对传统活性污泥法生物脱氮除磷功能较差,中试试验采用投加悬浮填料增加其脱氮能力。试验结果表明,在原水力停留时间不变的条件下,投加悬浮填料,不仅系统硝化效果明显,而且总氮去除率也能得到显著提高。投加悬浮填料增加传统活性污泥法的脱氮功能是经济、简便和可行的。

**关键词** 生物脱氮除磷 传统活性污泥法 硝化反应 悬浮填料

## 1 引言

我国现有传统活性污泥法污水处理厂的主要处理对象一般为:有机物(COD、BOD<sub>5</sub>)、悬浮固体(SS)等,并不考虑氮和磷的去除。本课题组研究提出了倒置A<sup>2</sup>/O工艺、同步A<sup>2</sup>/O工艺、时序A<sup>2</sup>/O工艺等来强化传统活性污泥法的脱氮除磷功能。本研究采用向传统活性污泥法曝气池中投加悬浮填料的技术路线,结合活性污泥法和生物膜法工艺特点,探讨投加悬浮填料以增加传统活性污泥法脱氮除磷功能的可行性。

## 2 试验装置、水质

试验规模是中试,试验装置完全模仿上海市天山水质净化厂生产工艺,曝气池也分4格,所不同的主要有:(1)中试系统每格曝气池为完全混合式,而天山水质净化工艺为推流式;(2)是中试系统曝气池中投加悬浮填料;该填料具有巨大的比表面积、不结团、不堵塞,具有理想的空隙率,易于流化,传质效率高,安装、更换、管理方便等特点,填料的投配比为50%,投配方式和投配点可以变化。曝气池采用穿孔管曝气,

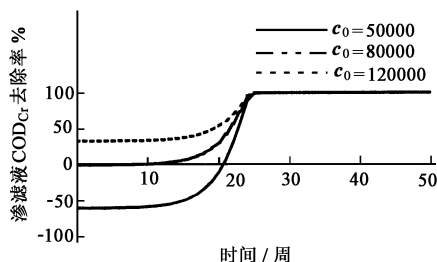


图6 有机负荷对渗滤液中COD<sub>Cr</sub>去除率的影响

## 4 结论

本研究通过填埋场内渗滤液及其溶质运移的一维数学模型,对渗滤液在垃圾填埋层的回灌过程进行模拟,并对回灌工艺中布水系统的参数进行了比较和分析。分析结果得出,在布水系统中入水渗滤液的水力负荷对渗滤液回灌效果的影响最大。因此,在进行渗滤液回灌设计时,建议取水力负荷作为回灌系统的控制指标;并认为,入水的水力负荷越小越好。但在实际应用中,为避免渗滤液积存过多使回灌调蓄池容积过大,回灌的渗滤液量又不宜太小,如何选取最佳的回灌水力负荷,使得既能达到较好的回灌效果又不

增加成本,还需要结合调蓄池的设计进行深入的研究。此外,入水渗滤液中的有机负荷越高,渗滤液COD<sub>Cr</sub>的处理效率就越高。而回灌工艺中布水系统的配水次数对回灌效果的影响并不明显,因此,在实际应用中建议选择成本最低的配水次数。

## 参考文献

- 1 王罗春,李华等.垃圾填埋场渗滤液回灌及其影响.城市环境和城市生态,1999.12(1):44~46.
- 2 Straub W A& Lynch D R.Models of Landfill Leaching:Organic Strength. Journal of Environmental Engineer,1982.108(2):251~269.
- 3 钱学德等.现代卫生填埋场的设计与施工.北京:中国建筑工业出版社,2001.
- 4 唐家富,李国建.垃圾填埋场渗滤回灌处理的影响因素研究.环境工程,1997.(1):14~20.

作者通讯处 罗春泳 310027 浙江省杭州市浙江大学 玉泉校区  
1223信箱 岩土工程研究所  
电话 (0571)87951714  
E-mail Luo chunyoug @sohu.com

每格空气量可控制,试验装置如图 1 所示。污水取自污水厂曝气沉沙池出水,试验污泥接种于该厂生产工艺的回流污泥,实验进水为连续流,流量为  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ ,经过约 30 d 的挂膜,开始正式实验。

### 3 试验结果与讨论

在此研究过程中进行了 3 个工况的研究,试验主要思路是提高系统硝化效果、同步硝化反硝化能力和总氮的去除率。各工况运行参数见表 1。试验结果见表 2。

#### 3.1 工况 1——硝化试验研究

该工况主要运行条件是控制曝气池各格溶解氧较高,以探讨试验工艺脱氮的可行性和脱氮的效果。

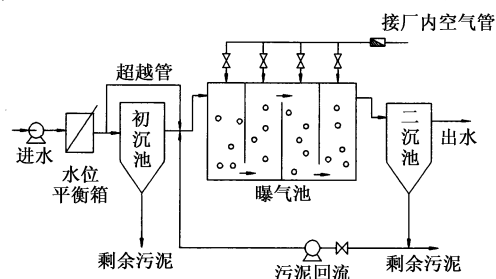


图 1 中试流程简图

表 1 各工况运行参数表

工况	流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	温度/ $^{\circ}\text{C}$	负荷/ $\text{kg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$		DO/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$				回流比 %	MLSS <sub>泥</sub> / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	MLSS <sub>曝</sub> / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	泥龄/ d
			BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> -N	1	2	3	4				
1	24	28.1	0.09	0.023	0.9	1.1	1.8	3.8	100~150	6 318	973	6~8
2	24	29.0	0.09	0.020	0	0.5	0.4	3.4	100~150	6 265	1 062	6~8
3	24	29.0	0.08	0.017	3.1	3.5	3.2	0.1	100~150	6 209	964	6~8

表 2 各工况运行结果

工况		COD <sub>Cr</sub>			NH <sub>3</sub> -N			NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	
		进水	出水	去除率 %	进水	出水	去除率 %	出水	出水	出水	出水
1	范围	238~386	13.8~41.7	86~95	25.1~44.1	1.5~13.6	64~96	0.1~1.1	7.9~25		
	平均值	328.3	34.5	90	36.1	6.4	82	0.4	11.52		
2	范围	220~332	20.3~39.0	86~91	29.5~38.4	7.2~12.0	60~78	0.5~1.7	1.9~3.9		
	平均值	272.1	31.9	88	33.2	8.9	73	1.0	2.95		
3	范围	213~301	31.7~35.7	84~89	25.2~36.8	0.9~3.6	90~96	0.3~0.4	17.9~20.7		
	平均值	249	33.8	86	31.1	1.9	94	0.4	18.7		

表 2 显示, COD<sub>Cr</sub> 的去除率为 90%, 出水平均值为 34.5 mg/L, 说明系统对有机物等常规指标有着很好的去除效果; 系统的硝化能力强, 进水氨氮的变化范围为 25.1~44.1 mg/L, 平均值为 36.1 mg/L, 出水平均值为 6.42 mg/L, 去除率达 82%, 出水能达到上海市的新标准。

试验结果初步显示, 通过投加悬浮填料, 填料的巨大比表面积可增大曝气池的污泥浓度, 且填料提供活性污泥固着生长环境, 有利于增长速率低、世代时间长的硝化细菌生存生长。悬浮填料投加于曝气池中的工艺用于城市二级处理厂的脱氮改造是可行的。

#### 3.2 工况 2——前置反硝化试验研究

工况 1 表明在曝气池中投加悬浮填料的工艺硝化效果非常好, 但表 2 表明, 系统出水的硝酸盐偏高, 平均值为 11.52 mg/L。进水中的氮很大一部分以硝

态氮的形式随出水排出, 不能做到真正的脱氮。另一方面, 曝气池出水硝酸盐浓度过高会影响二沉池的运行效果, 恶化出水水质。

因此, 必须设法降低出水中硝酸盐浓度。试验中进行了前置反硝化的研究, 具体做法是在 4 格曝气池的第 1 格引入少量空气仅起搅拌和流化填料的作用, 而使溶解氧接近零, 为反硝化提供缺氧环境。

该工况的总水力停留时间仍为 6.2 h, 将第 1 格改为缺氧池, COD<sub>Cr</sub> 平均去除率为 88%, 可见尽管好氧水力停留时间减少, 只有 4.6 h, 系统对 COD<sub>Cr</sub> 等常规处理指标的去除效果仍相当好; 系统具有较强的硝化能力, 氨氮进水变化范围为 29.5~38.4 mg/L, 平均值为 33.2 mg/L, 出水平均值氨氮为 8.9 mg/L, 去除率为 73%。

将第 1 格曝气量调小, 仅供流化的需要, DO 浓度

为零,以便为反硝化创造缺氧的环境。图2为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 沿池的变化折线图。1代表进水,2、3、4、5分别为第1、2、3、4格中的浓度,6为出水的浓度。

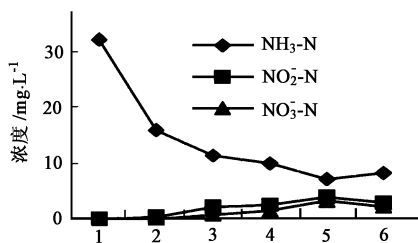


图2 氨氮与硝酸盐浓度沿池推流变化图

图2显示,第1格中的反硝化是非常完全的,碳源充足,反硝化速率高,第1格中的 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 的浓度为0.46 mg/L, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的浓度为0.15 mg/L。各格中硝酸盐很低,出水的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的浓度平均只有2.95 mg/L,这与溶解氧在2、3格曝气池中较低,为同步硝化反硝化的实现所创造的条件是分不开的。它表明,采用投加悬浮填料前置反硝化提高系统总氮的去除率,是有效和可行的。

### 3.3 工况3——后置反硝化试验研究

试验将第4格曝气量调小,仅起流化填料作用,控制为缺氧,让微生物进行内源反硝化,以降低出水的硝酸盐浓度。主要运行参数和运行结果见表1、2。

该工况的HRT仍为6.2 h,前3格为好氧,第4格改为缺氧池, $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 平均去除率为86%,出水 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 完全可以达标;系统的硝化能力强,进水氨氮平均值为31 mg/L,出水只有1.9 mg/L,去除率达94%。硝化非常彻底,这与系统溶解氧比较高有很大的关系。大多数研究者认为,对于活性污泥系统,对硝化反应溶解氧控制在1.2~2.0 mg/L。溶解氧再提高,对硝化速率的提高无明显影响。但对生物膜系统,硝化细菌生存于生物絮体上,溶解氧浓度的增加将提高氧对生物絮体的穿透力,从而提高硝化反应速率。

将第4格的曝气量调小,改为缺氧,使硝化产生的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在缺氧状态下,利用微生物自身作为碳源,进行内源反硝化。图3为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 沿池推流的变化图。1代表进水,2、3、4、5分别为第1、2、3、4格中的浓度,6为出水的浓度。

图3显示系统出水硝酸盐浓度较高,没有像预期

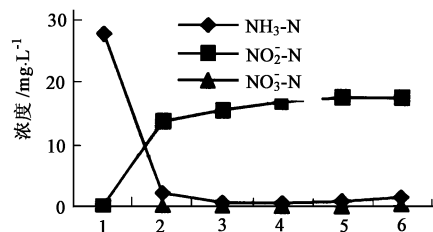


图3 氨氮与硝酸盐浓度沿池变化图

的那样在曝气池第4格发生明显的反硝化反应。分析原因认为,与曝气池后3格的 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{BOD}_5$ 已相当低,第4格无法提供反硝化所需的碳源,而内源反硝化的速率又非常缓慢有密切关系。

试验数据表明,由于存在碳源不足的问题,后置反硝化运行方式在第4格没有发生显著的反硝化反应,系统对总氮的去除率没有提高。由于出水的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 高,二沉池底部极易发生反硝化反应,引起污泥上浮,影响出水水质。因此,仅采用后置反硝化而不辅以其它措施,不能提高系统对总氮的去除率,在试验水质条件下,不适于城市二级处理厂的改造。

### 4 结论

(1)通过投加悬浮填料,填料的巨大比表面积可增大曝气池的污泥浓度,且填料提供活性污泥固着生长环境,有利于增长速率低、世代时间长的硝化细菌成为处理系统中的优势菌群。试验中采用投加悬浮填料前置反硝化不仅系统硝化效果良好,而且能显著提高系统总氮的去除率。

(2)试验水质条件下,将曝气池好氧段HRT减到4.5 h,对 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{BOD}_5$ 、SS等指标去除没有太大的影响;出水完全可以达标。

(3)适当的控制曝气池的溶解氧浓度,有利于该处理系统中发生同步硝化反硝化反应。

### 参考文献

- 何国富,张波,华光辉等.强化AB法的脱氮除磷功能研究.中国给水排水,2002.9.12~15.
- 张波,高廷耀.倒置 $\text{A}^2/\text{O}$ 工艺的原理与特点研究.中国给水排水,2000.7.11~15.
- 同济大学环境工程学院.城市污水脱氮除磷技术培训教材.1998.

作者通讯处 何国富 200092 上海同济大学 0173<sup>#</sup>

电话 (021)65988462

E-mail heguofulz@163.com

## PILOT RESEARCH ON TREATMENT OF AZO DYE 4BS SOLUTION BY A FLUIDIZED BED PHOTOCATALYTIC REACTOR ..... *Li Yaozhong et al* (7)

**Abstract** This paper presents the degradation of azo dye 4BS in a pilot scale fluidized bed photocatalytic reactor using 30~40 mesh  $\text{TiO}_2$ -coated photocatalyst and high pressure Hg lamp as the UV radiation source. The study focuses on evaluating process parameters and reaction kinetics. It was shown that the pilot plant developed is effective for the treatment of 4BS wastewater, and appropriate enhancement of light intensity and dissolved oxygen are favorable to photocatalytic degradation. In addition, catalyst optimal dosage was observed. Results also clearly indicate that the photocatalytic degradation of 4BS solution was characterized by apparent first order reaction kinetics, and the kinetic relation between the apparent reaction rate constant and initial 4BS concentration could be described by nearly negative first order kinetics.

**Keywords** photocatalytic reactor, fluidized bed, 4BS, degradation and pilot scale test

## STUDIES ON LANDFILL LEACHATES TREATED BY COMPOSITE PROCESS OF HYDROLYTIC ACIDIFICATION-SBR-CHEMICAL COAGULATION AND SEDIMENTATION ... *Fan Hongbo et al* (10)

**Abstract** Urban landfill leachates were treated by composite process of hydrolytic acidification-SBR-chemical coagulation and sedimentation, and the optimum processed conditions of the anoxic, SBR and coagulation were achieved. The result showed that the influent with  $\text{COD}_\text{Cr} = 1720 \text{ mg/L}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N} = 127.6 \text{ mg/L}$  were reduced to  $148.4 \text{ mg/L}$  and  $12.2 \text{ mg/L}$  respectively by this process. The removal rates of  $\text{COD}_\text{Cr}$  and  $\text{NH}_3\text{-N}$  were 91.2 % and 90.4 %. This means that the best purification of organic and denitrification have been obtained, and this composite process is reliable and effective.

**Keywords** landfill leachates, hydrolytic acidification, SBR and coagulation

## THEORETICAL STUDY OF SOME PARAMETERS IN LEACHATE RECHARGE DESIGN ..... *Luo Chunyong et al* (13)

**Abstract** Considering biodegradation of a pollutant by microbe, a numerical model describing the transport law of leachate in landfill is set up. Some important parameters, such as hydraulic load, organic load and water distributing frequency, in recharge design are analyzed respectively. These analytical results may be a reference for leachate recharge design.

**Keywords** leachate charge, hydraulic load, organic load and water distributing frequency

## STUDY ON ENHANCED ACTIVATED-SLUDGE PROCESS FOR DENITRIFICATION BY ADDING SUSPENDED FILLER ..... *He Guofu et al* (15)

**Abstract** The biological nitrogen and phosphorus removals of activated sludge process are very limited. In order to enhance the denitrification capability of the system, suspended fillers are added to the pilot scale reactor which remains the same HRT as the on-site activated sludge process. The result of the experiment shows that not only the nitrification of the system but also the removal of total nitrogen are improved sharply, which manifests that the method is economical and feasible.

**Keywords** biological nitrogen and phosphorus removal, traditional activated sludge process, nitrification reaction and suspended filler

## TREATMENT OF DYEING WASTEWATER BY PROCESS OF BIOLOGICAL CONTACT OXIDATION-ELECTROLYSIS ..... *Wen Xueyou et al* (18)

**Abstract** The design and the circulate conditions of an actual example that dyeing wastewater was treated by contact oxidation-electrolysis process were introduced in this paper. The results show when the  $\text{COD}_\text{Cr}$ ,  $\text{BOD}_5$  and color of inlet wastewater were  $764.5 \text{ mg/L}$ ,  $263.7 \text{ mg/L}$  and 420 times respectively, the effluent with  $\text{COD}_\text{Cr}$ ,  $\text{BOD}_5$  and color of  $160.5 \text{ mg/L}$ ,  $48.9 \text{ mg/L}$  and 12 times respectively are obtained and the removal ratios of the  $\text{COD}_\text{Cr}$ ,  $\text{BOD}_5$  and color were 79 %, 81.5 % and 97.1 % respectively. The advantages of this process, such as stable run, convenience maintenance and easy control are remarkable.

**Keywords** dyeing wastewater treatment, contact oxidation and electrolysis

## RESEARCH ON ADVANCED TREATMENT PROCESS FOR OIL REFINERY SEWAGE REUSE ..... *He Qunbiao et al* (20)