

缺氧/好氧强化生物絮凝—生物膜过滤处理生活污水

杨华仙 黄慎勇 马林伟

(中国市政工程西南设计研究院, 成都 610081)

摘要 研究了缺氧/好氧强化生物絮凝—生物膜工艺对生活污水 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP、浊度的去除效能和机理。试验结果表明:缺氧池、絮凝池的最佳 HRT 之比为 3.6/2.4;絮凝池最佳 DO 为 0.5 mg/L;最佳流量为 4 m^3/d 。在最佳工艺运行参数条件下, COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP、浊度的平均去除率分别为 95.05%、44.91%、39.43%、63.46%、71.03%,出水 COD_{Cr} 、SS 达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 标准,TP 接近达标。

关键词 生活污水 生物絮凝吸附 生物膜

Anoxic/oxic enhanced bio-flocculation plus bio-filter process for treatment of sewage

Yang Huaxian, Huang Shenyong, Ma Linwei

(Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610081, China)

Abstract: A full-scale experiment was conducted on treatment of swage by anoxic/oxic enhanced bio-flocculation plus velocity-changed bio-filter process. The experimental results showed that the optimal working conditions were anoxic tank HRT of 3.6 h, oxic tank HRT of 2.4 h and DO of 0.5 mg/L, flow quantity of 4 m^3/d . The removal of COD_{Cr} was 95.05%, those of $\text{NH}_3\text{-N}$, TN, TP and turbid degree were 44.91%, 39.43%, 63.46%, and 71.03% respectively. The quality of the effluent can partially meet the Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant (GB 18918—2002).

Keywords: Sewage; Biological flocculation and adsorption; Biofilm

中小城镇污水处理工艺的选择常常处在环保要求高而初期投资和运行维护费用少的两难境地。针对我国南方地区(尤其是三峡库区)中小城镇量大面广、污水排放规模小,地质、地形复杂,人口相对分散,经济文化落后等特点,开发出了一种能因地制宜的经济适用型小型污水处理技术,即缺氧/好氧强化生物絮凝—生物膜过滤工艺。它结合了生物絮凝吸附和生物膜法的优势,具有效果好,占地省,建设、运行成本低,管理难度小的特点。

中冶赛迪技术开发合同(CISDI2004—15)。

1 试验条件及内容

1.1 试验流程及装置

工艺流程见图 1。试验用水为重庆某大学学生宿舍区生活污水,经钢丝筛网过滤后引入高位水箱,再由重力流进入处理流程。

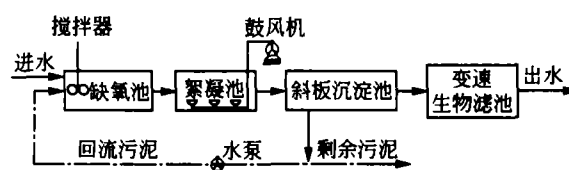


图 1 工艺流程示意

缺氧池、絮凝池、沉淀池容积分别为: 0.3 m^3 、 0.25 m^3 、 0.46 m^3 , 设计流量为 $Q_{\max}=6 \text{ m}^3/\text{d}$, $Q_{\text{平}}=4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

变速生物滤池采用淹没式下向流, 采样口见图2, 中间设置工艺曝气区, 其装填的滤料: 上层填料采用河南郑州某厂家生产的生物页岩陶粒滤料, 粒径为 $2\sim 4 \text{ mm}$; 下层填料采用重庆大学城环学院研制开发的新型酶促填料^[1], 粒径 $4\sim 6 \text{ mm}$ 。

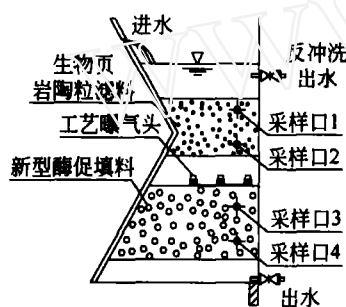


图2 滤池采样口

1.2 试验内容

试验考察各工况下的处理效果, 继而得出工艺的最佳运行参数。三大主试验: ①HRT 之比单因素试验, 考察缺氧池和絮凝池的水力停留时间之比 (HRT_A/HRT_O) 为 $3.2/3$ 、 $3.6/3$ 、 $2.7/2.4$ 、 $3.2/2.4$ 、 $3.6/2.4$ 条件下处理效果的变化规律, 确定最佳的 HRT 之比; ②DO 单因素试验, 在最佳 HRT_A/HRT_O 下, 保持工作流量为 $2 \text{ m}^3/\text{d}$, 分别考察絮凝池 DO 为 0.2 mg/L 、 0.5 mg/L 、 0.8 mg/L 、 1.3 mg/L 、 1.5 mg/L 、 3 mg/L 、 3.6 mg/L 下污染物去除的效果, 确定絮凝池最佳 DO 值; ③流量单因素试验, 在最佳 HRT_A/HRT_O 和絮凝池最佳 DO 条件下, 在 $Q=2\sim 6 \text{ m}^3/\text{d}$ 范围内逐步提高进水流量, 考察流量变化对运行效果的影响, 确定最佳流量值。试验内容及相应条件见表1。

2 试验结果及分析

2.1 HRT 之比单因素试验

缺氧池、絮凝池在不同 HRT 之比下的试验结果见图3; 5 种污染物指标的去除率水平均有高有低, COD_{Cr} 去除率随着 HRT 之比的增大而增大, 但总体增长较平缓。

由图3可知, 在各 HRT 之比下 COD_{Cr} 、TP 和浊度的去除率都比较大, 分别为 $71\%\sim 92\%$ 、 $65\%\sim 83\%$ 和 $88\%\sim 92\%$, $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 的去除率不

表1 试验条件及安排

试验时间	试验内容	试验条件
0512~0601	HRT 之比单因素试验	$Q=2 \text{ m}^3/\text{d}$, 絮凝池 $\text{DO}=2\sim 4 \text{ mg/L}$, 缺氧池 $\text{DO}=0.1\sim 0.3 \text{ mg/L}$, 水温 $5\sim 10^\circ\text{C}$, 絮凝池 $\text{MLSS}=1\ 000\sim 1\ 500 \text{ mg/L}$
0603~0604	DO 单因素试验	$Q=2 \text{ m}^3/\text{d}$, 缺氧池 $\text{DO}=0.1\sim 0.3 \text{ mg/L}$, 水温为 $13\sim 20.5^\circ\text{C}$, 平均为 16°C , 絮凝池 $\text{MLSS}=1\ 174\sim 1\ 850 \text{ mg/L}$, $HRT_A/HRT_O=3.6/2.4$
0604~0605	流量单因素试验	缺氧池 $\text{DO}=0.1\sim 0.3 \text{ mg/L}$, 水温为 $22\sim 28^\circ\text{C}$, 絮凝池 $\text{MLSS}=1\ 900\sim 2\ 000 \text{ mg/L}$, $HRT_A/HRT_O=3.6/2.4$, 絮凝池 $\text{DO}=0.5 \text{ mg/L}$

注: 其间还穿插了变速生物滤池的工艺曝气对比试验, 对滤池的较佳过滤技术条件进行总结。

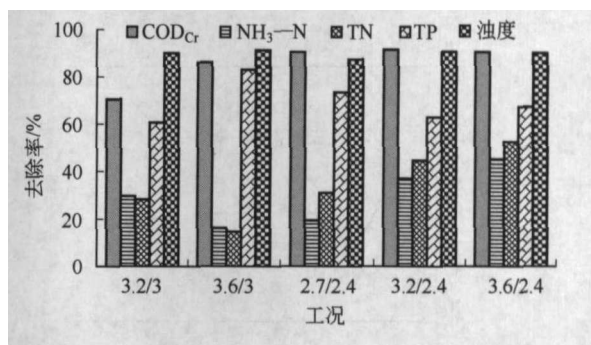


图3 污染物去除率随 HRT_A/HRT_O 变化曲线高, 仅为 $17\%\sim 44\%$ 和 $16\%\sim 57\%$ 。这说明: 冬季天气潮湿、温度低 ($<15^\circ\text{C}$), 硝化细菌的生长受到抑制, 导致脱氮效果较差, 与施永生^[2] 的结论一致; 而 P 的去除受温度的影响较小^[3]。仅由曲线难以判断最佳工况, 运用灰色系统理论^[4] 来综合评判, 从而确定缺氧/好氧池最佳 HRT 之比为 $3.6/2.4$ ^[5]。

2.2 DO 单因素试验

絮凝池 DO 在不同水平下的试验结果见图4。

总体而言, 污染物的去除曲线呈现“双峰”状, $\text{DO}=0.5 \text{ mg/L}$ (低曝气水平) 对应去除率的左峰值点, $\text{DO}=1.5 \text{ mg/L}$ (中高曝气水平) 对应去除率的右峰值点。从图中可以发现 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 去除曲线极为相似, 它们各自的左右峰值几乎等高 (51.2% 与 51.7% 、 57.7% 与 58.1%), 而 COD_{Cr} 、TP 去除曲线的左峰值均高于右峰值。此外, 低溶解氧水平不仅可以强化生物絮凝吸附的能力避免氧化过度并减少能耗, 还诱导发生了自养型好氧反硝化, 获得良好

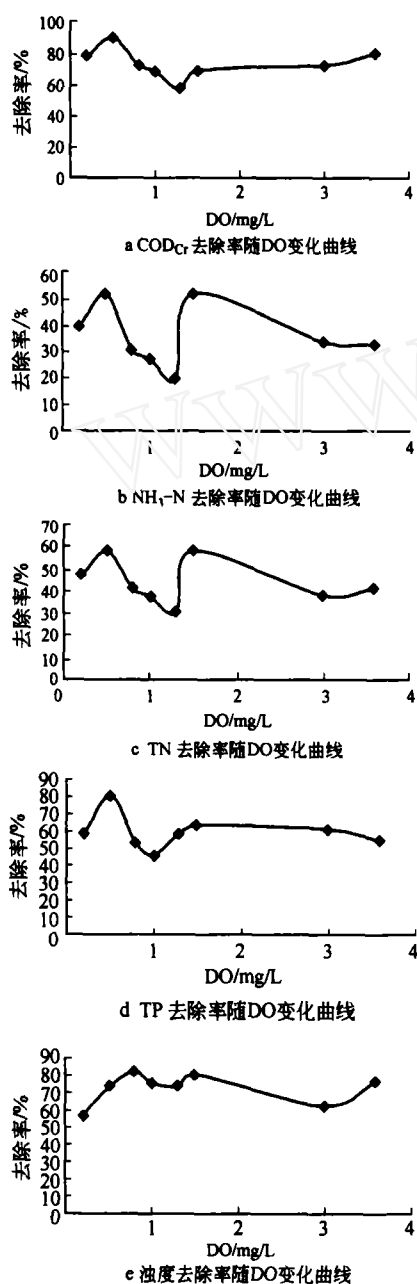


图4 污染物去除率随 DO 变化曲线

脱氮效果^[6]。故而可以认为 $DO=0.5 \text{ mg/L}$ 为絮凝池的最佳 DO 值。

2.3 流量单因素试验

在各流量下,污染物去除规律见图 5。除 TN 的去除率随流量的增加为严格的递减曲线外,其余的都非严格单调递减。

总体上,5 种指标都表现出了平缓的趋势,表明试验的一体化反应装置具有明显抵抗水力冲击负荷并保持相对稳定的去除率的能力。通过曲线可知,

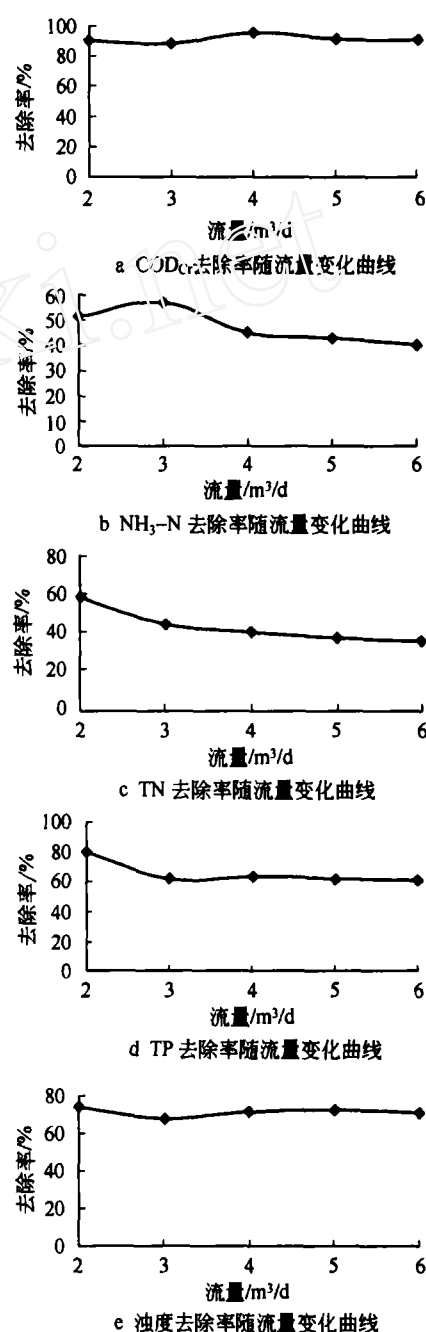


图5 污染物去除率随流量变化曲线

$Q=2 \text{ m}^3/\text{d}$ 和 $Q=4 \text{ m}^3/\text{d}$ 条件下,污染物的去除率均较高,考虑到水处理的经济性,确定 $Q=4 \text{ m}^3/\text{d}$ 为最佳流量值。

综上,缺氧、絮凝池的最佳 HRT 之比为 3.6/2.4,絮凝池最佳 DO 为 0.5 mg/L ,最佳流量为 $4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。最佳运行参数条件下的试验结果见表 2。

2.4 变速生物滤池工艺曝气试验

滤池中水流沿填料推流而下,在填料空隙间为

表2 最佳工艺运行参数条件下的效果

项目	进水	缺氧	絮凝	斜沉	出水
COD _{Cr} /mg/L	182	76	43	18	9
NH ₃ -N/mg/L	58.12	42.16	40.16	36.88	31.98
TN/mg/L	73	58.12	56.42	50.54	44.18
TP/mg/L	5.1	3.7	3.3	2.68	1.78
浊度/NTU	83.1	53.2	49.6	34	22.9

局部紊流,因而在整体上和每一单元填料表面所附着生物膜中都存在着基质和溶解氧的浓度梯度分布,为各种不同生态类型的微生物在生物膜内不同部位占据优势生态位提供了条件^[7],从而使得有机物和 N、P 营养盐在该处理单元得以进一步去除。

试验过程中,为了探究变速生物滤池在不同滤料厚度层所发生的反应,对滤池不同深度(对应图2中的采样口)的水样进行了监测,结果见表3、表4($Q=2\text{ m}^3/\text{d}$)。滤池在缺氧和好氧(工艺曝气)条件运行下的总体规律是:污染物沿滤料厚度的增加而逐渐得到削减,但是并非严格的单调递减,中间局部滤层处污染物浓度甚至会出现反弹(表现出负效应),这可能与滤层局部截留污染颗粒物或局部富集某些专属菌种有关。

表3 缺氧运行下变速生物滤池沿程污染物去除效果

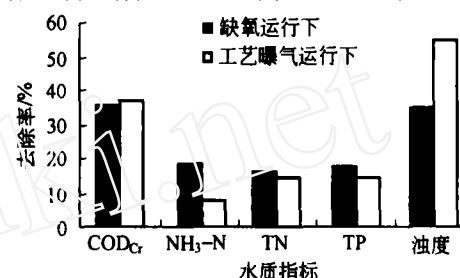
项目	进水	50 mm	200 mm	470 mm	620 mm	出水
COD _{Cr} /mg/L	67	64	65	58	53	43
NH ₃ -N/mg/L	37.39	35.88	36.32	36.2	36.32	30.54
TN/mg/L	48.62	47.5	44.92	44.02	42.7	40.72
TP/mg/L	2.64	2.34	2.82	3.24	2.99	2.16
浊度/NTU	24.6	24.9	13.1	14.4	16.1	15.9

表4 曝气运行下变速生物滤池沿程污染物去除效果

项目	进水	50 mm	200 mm	470 mm	620 mm	出水
COD _{Cr} /mg/L	126	110	94	82	81	79
NH ₃ -N/mg/L	40.03	43.3	41.28	42.66	42.16	37.02
TN/mg/L	53.6	52.68	52.26	51.06	51	45.98
TP/mg/L	3.34	2.74	2.14	2.84	3.09	2.84
浊度/NTU	39.6	36.5	29.4	11	16	17.7

试验期间滤池对浊度去除良好,且曝气时去除率较高(溶解性有机物得到继续降解)。除浊原理有两方面:一是靠滤层截留(和砂滤池类似);二是靠生物吸附和絮凝降解作用(生物除浊),微生物代谢时分泌出的荚膜、细胞外粘液和多糖类物质使悬浮颗粒粘附在生物膜表面,成为生物膜的一部分或粘结细小颗粒成为较大的絮体而被滤层截留^[8]。由图6

可知,曝气与不曝气相比,COD_{Cr}和磷的去除率大致不变,由于缺氧微环境的形成,在两种情况下均发生了非特定的反硝化^[9](表现为TN的去除)。

图6 滤池工艺曝气前后污染物去除率对比($Q=2\text{ m}^3/\text{d}$)

3 结论

(1) 试验确定了工艺的最佳运行参数: $\text{HRT}_A/\text{HRT}_O=3.6/2.4$,絮凝池 $\text{DO}=0.5\text{ mg/L}$,流量为 $4\text{ m}^3/\text{d}$ 。工艺具有明显抗水力冲击负荷的能力,在最佳运行参数条件下,出水指标部分达到 GB 18918—2002 一级标准。

(2) 滤池在冬季适宜采用缺氧运行,而在夏季由于温度较高缺氧运行会导致出水发腐发臭、颜色发黑,可通过加大工作流量(减少实际 HRT)或改为工艺曝气(好氧运行)来补偿温度上升造成滤池出水发腐发黑的影响。

(3) 滤池的变过水断面设计,不仅在空间上与斜板沉淀池巧妙衔接,节省占地,而且还使得过滤区产生变速的特点。这样的过滤区构造,有利于污水中不同直径的颗粒物在不同滤层深度得以截留去除,充分发挥滤料的“纳污”功能,同时出水流速动能小,可以避免水流对生物膜表面的冲刷和扰动作用,不会导致已经吸附在生物膜表面的悬浮颗粒再解吸,同时也减少了生物膜的脱落量,使得出水清澈。

参考文献

- 龙腾锐,郭劲松.一种废水处理新型填料的研究.环境、发展与保护.北京:中国环境科学出版社,1995
- 施永生.亚硝酸型生物脱氮技术.给水排水,2000,26(11):21~23
- 郝红元,郝红英,王伟. A²/O 工艺影响因素的研究.给水排水,2003,29(4):12~14
- 刘思峰,郭天榜,党耀国.灰色系统理论及其应用.北京:科学出版社,2003
- 张智,杨华仙,张晓卫,等.强化生物絮凝+变速生物滤池复合工艺处理生活污水运行条件的确定.安全与环境工程,2006,13(4):54~58

臭氧活性炭与背光催化联用降解水中三氯乙醛的研究

吴贤格^{1,2,3} 陈启华^{2,3} 肖贤明²

(1 肇庆学院化学化工学院,肇庆 526061;2 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学
国家重点实验室,广州 510640;3 中国科学院研究生院,北京 100039)

摘要 研究了臭氧活性炭与背光催化联用技术降解水中三氯乙醛的效果及其影响因素。研究表明,外加氧化剂的浓度、 TiO_2 负载量、起始液的 pH、起始物浓度及光照时间对其降解效果有着明显影响。臭氧活性炭与光催化联用可有效降低水中三氯乙醛。当 TiO_2 负载量为 2 g、臭氧浓度 1 mg/L 及活性炭质量 150 g,对起始物浓度 20 mg/L 和 pH 6.65 的三氯乙醛溶液光照反应 60 min,三氯乙醛的光降解率可达 99.9%。

关键词 臭氧活性炭 背光催化 TiO_2 降解 三氯乙醛

三氯乙醛为无色或微黄色透明液体,广泛用于农药、医药及其他有机合成工业^[1]。事实证明,用三氯乙醛超标准的废水灌溉农田会引起严重的污染^[2]。同时,三氯乙醛也是饮用水加氯消毒的副产物之一,具有潜在的致癌性^[3]。发达国家对消毒副产物的研究非常广泛,日本对饮用水中三氯乙醛规定的限值为 30 $\mu\text{g/L}$,我国的最高允许浓度为 10 $\mu\text{g/L}$ ^[4,5]。同时三氯乙醛为我国环境优先监测污染物^[6]。虽然目前我国许多厂家对此类废水进行了综合治理后使总排污口中的三氯乙醛含量降低至十至几十 mg/L,但仍不能达到废水排放标准。通常需要向所排放的废水中加入少量 NaOH 溶液或用石灰处理,但存在成本较高的缺点,而且对于低浓度三氯乙醛废水来说,只有在 pH 较高时三氯乙醛的分解才比较彻底。因此,寻找廉价、有效、适合于低浓度三氯乙醛废水降解方法是十分必要的。光催化技术是近一二十年发展起来倍受人们关注的一种有

机污染物的去除新技术。利用 TiO_2 作为光催化剂降解有机物已逐渐由试验研究转向实际应用的研究^[7]。光催化的大规模应用需要解决的问题是 TiO_2 催化剂的固定和光利用率高的反应器。大量研究可将 TiO_2 以薄膜形式固定于载体之上^[8~10],避免了粉末型催化剂^[11]回收的困难。而对于薄膜催化剂的光照方式有背光催化和正光催化两种,一是光源与含有机物的废液处于催化剂薄膜的同一侧,称之为“正光催化”;另一种是光源与废液居于催化剂薄膜的两侧,称之为“背光催化”^[12]。有研究指出背光催化比正光催化的光利用率要高^[13,14]。本试验研究在前人研究的基础上采用背光催化与臭氧活性炭联用进行三氯乙醛的降解。

1 试验部分

1.1 仪器与试剂

FINNIGAN 气相色谱仪 (ECD 检测器), Metrohm 761 Compact IC 离子测定仪,81B-2 型恒温磁力搅拌器,pHs-25 型酸度计,30W 紫外灯 (365 nm), O_3 发生器,DB-5 毛细管色谱柱 (30 m $\times$

full-scale approach. Wat, Sci Tech, 1998, 38(3), 135~142

广东省科技厅资助项目 (2005B32401007, 200483330101009)。

- 6 张智,杨华仙,张晓卫,等. 生活污水的好氧反硝化研究. 生态环境, 2006, 15(5): 905~908
- 7 邱立平,马军. 曝气生物滤池的短程硝化反硝化机理研究. 中国给水排水, 2002, 18(11): 1~4
- 8 周云,戴婕,王占生,等. 曝气生物滤池在上海周家渡水厂的应用. 中国给水排水, 2002, 18(10): 6~8
- 9 Kolisch G. Nitrification in partially aerated flocculation filters—A

& 电话: (028) 83311095

E-mail: huaxiancq@163.com

收稿日期: 2006-07-14

修回日期: 2007-04-09