

中水回用的组合处理工艺实验研究

张 悦¹, 王 梅¹, 薛向欣¹, 张显龙²

(1. 东北大学 材料与冶金学院, 沈阳 110004; 2. 沈阳化工学院, 沈阳 110142)

摘 要: 研究了一种利用组合工艺处理生活污水实现中水回用的方法. 生活污水经 SBR 池、缺氧池、混凝沉淀池、砂滤池处理后出水, 污染物去除率达到 90%, 达到回用标准, 可以回用于生活杂用水等. 实验确定了各处理单元的最佳工艺条件为: SBR 曝气时间为 7 h; 最佳缺氧处理时间为 2 h; 处理 2 000 ml 水, 氢氧化钙加药量为 4.00 ml, pH 值为 8.5, 搅拌时间为 3 min, 沉降时间为 15 min
关键词: 中水回用; 组合工艺; 硝化; 混凝; 砂滤
中图分类号: X 703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-6620(2006)04-0312-04

Experimental study on composite techniques for middle-water reuse

ZHANG Yue¹, WANG Mei¹, XUE Xiang-xin¹, ZHANG Xian-long²

(1. School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004, China;
2. Shenyang Institute of Chemical Technology, Shenyang 110142, China)

Abstract: The composite techniques for treatment of sewage into middle-water were experimentally studied. After the treatment through SBR pond, anoxic pond, coagulation sedimentation pond and sand filter tank, the pollutant removing rate reached 90%, which satisfies the reuse standard, and can be reused as household water and so on. The experiment has determined the best process condition of each process unit. The aeration time of SBR is 7 h. The best anoxia processing time is 2 h. For treatment of 2 000 ml sewage, the calcium hydroxide addition is 4.00 ml, the pH value is 8.5, the stirring is 3 min, and the sedimentation is 15 min.
Key words: middle-water reuse; composite techniques; nitrification; coagulation; sand filtration

污水深度处理与中水回用,已成为世界性的重大课题.污水深度处理工艺的研究焦点是脱氮除磷.氮和磷是造成水体富营养化的重要因素,同时磷是稀缺的不可再生资源,所以污水脱氮并回收磷是非常必要的^[1,2].本文研究了一种利用组

合工艺处理生活污水实现中水回用并回收磷的方法,达到污水无害化、资源化.选用后置反硝化脱氮以及化学除磷,生活污水经 SBR 池、缺氧池、混凝沉淀池、过滤池处理后出水,采取间歇式静态运行,实验流程见图 1.

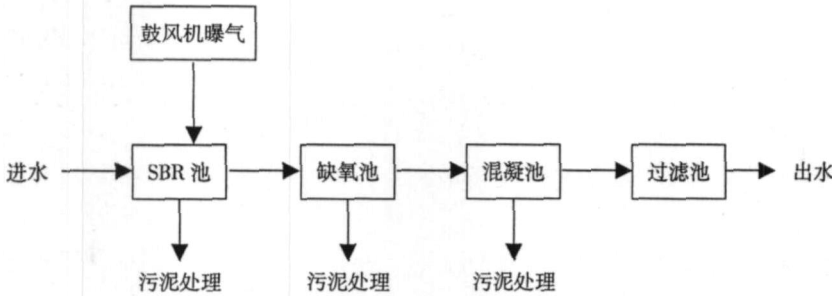


图 1 中水回用组合工艺流程

Fig. 1 Process flow of middle-water reuse composite techniques

收稿日期: 2006-09-18.
作者简介: 张悦 (1982 -), 男, 辽宁沈阳人, 东北大学硕士研究生, E-mail: zhangyue-0011@163.com; 薛向欣 (1954 -), 男, 辽宁锦州人, 东北大学教授, 博士生导师.

传统的过滤操作中,滤料厚度为 0.7m 左右,而实际上污染物穿透深度较浅,只有一少部分滤料起作用.为节约石英砂并缩短过滤时间、降低水头损失,本实验减少滤料厚度.

1 实 验

1.1 实验装置

SBR池、缺氧池、混凝沉淀池、过滤池均由有

机玻璃制成,其有效容积均为 20 L. SBR池采用砂头曝气,曝气量为 70 L/h. 缺氧池设搅拌器;混凝沉淀池为立方体形状,池中央设砂头曝气搅拌器,搅拌器的高低位置可随水深变化进行调节;过滤池采用下向流式普通砂滤池,池体为长方形,长 0.3 m,宽 0.15 m.

1.2 实验水质

实验用水取自实际生活污水,进水水质状况

见表 1.

表 1 进水水质

Table 1 The quality of input sewage

COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ - N	NO ₃ ⁻ - N	TN	TP	DO	SS	浊度	pH
300	150	30	0.2	50	6	2	160	65	7~8

表中单位:浊度为 NTU, pH无量纲,其余各污染物的质量浓度单位均为 mg/L, NH₃ - N、NO₃⁻ - N、TN均以 N计, TP以 P计,以下同.

1.3 实验方法

1.3.1 启动阶段

取沈阳市污水处理厂二沉池污泥 4.5L,以生活污水驯化污泥.驯化期间每周期在 SBR池加污水 13.5L,进水(搅拌)0.2h,连续曝气 8h,沉淀 1 h,出水 1 h,闲置 1 h.驯化 40周期至出水水质稳定后,将 SBR池上清液引入缺氧池进行反硝化,去除硝酸盐氮.因 SBR池出水有机物浓度低,碳源不足,需投加适量葡萄糖补充碳源.缺氧池每 0.5 h搅拌一次,每次 3 min,以保证污泥不沉,泥水接触充分.再驯化 40周期至出水水质稳定.

1.3.2 硝化

在 SBR池加入驯化后的污泥 4.5L,生活污水 13.5L,污泥负荷 $F/M = 0.18\text{kgBOD}_5 / \text{kgMLSS} \cdot \text{d}$ 连续曝气 8 h使之达到硝化,并且每 1 h取样一次,沉淀后测定上清液的 COD、NH₃ - N和硝氮.由测定结果选取最佳曝气时间.

1.3.3 反硝化

取新鲜污水连续曝气至最佳曝气时间后停止曝气,沉淀 1 h,泥水分离.将上清液引入缺氧池,投加适量葡萄糖,进行反硝化,去除硝酸盐氮.缺氧池每 0.5 h搅拌一次,每次 3 min.在第 1 h、2 h、3 h分别取上清液,测定 NO₃⁻ - N.由测定结果选取最佳处理时间.

1.3.4 混凝(化学除磷)

缺氧池出水进入混凝池,向水中投加石灰乳(10%)与磷反应形成不溶性磷酸盐,然后通过沉淀将磷从水中除去并回收.通过正交实验确定最佳处理条件,因素水平如表 2所示.

根据表 2,按正交拉丁组合规则设计实验方案^[3],选用 L₁₆(4⁵)表.

采用新取缺氧池出水进行实验.每次取 2 000 mL缺氧池出水,置于 20 L混凝沉淀池中,加硫酸或氢氧化钠调节 pH.通过通电、断电的方式控制砂头曝气搅拌器.通电时搅拌器进行曝气搅拌,断电时水样进行沉降.静态运行,考察指标为正磷酸盐的去除率.

1.3.5 石英砂滤

采用石英砂对混凝出水进行过滤.石英砂相对密度 2.65,粒径 0.5~1.2 mm,厚度 0.02 m,滤速 12 m/h,出水流量 0.54 m³/h,反洗周期为 24 h.

1.3.6 运行测试

取新鲜污水在最佳实验条件下间歇式静态运行,测试出水水质.

1.3.7 水质指标的测定

水质指标的测定采用国家标准分析方法, pH值采用 pHS-25型酸度计, DO采用测氧仪在线测定.

表 2 混凝(化学除磷)正交实验因素-水平表

Table 2 Factors and levels of the orthogonal coagulation experiment				
因素	加药量 V	pH	搅拌时间	沉降时间
水平	mL		$t \cdot \text{min}^{-1}$	
1	2.50	7.0	3	15
2	3.00	7.5	4	20
3	3.50	8.0	5	25
4	4.00	8.5	6	30

2 结果与讨论

2.1 硝化

硝化测定结果如图 2所示.

由图 2可知,曝气 2 h内,有机物浓度较大,

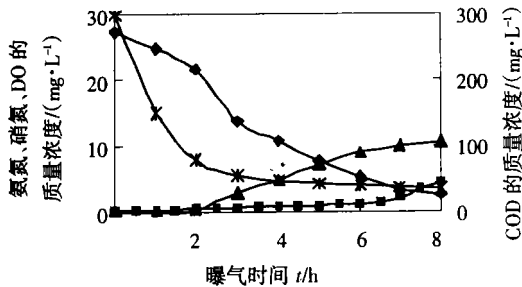


图 2 硝化曲线
Fig.2 Nitrification curves
◆—氨氮;■—DO;▲—硝氮;×—COD

反应速率也较大,微生物对氧的利用速率大于供氧速率,所以 DO 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度均较低,实际上未发生硝化反应,氨氮浓度的降低主要是由于异养微生物降解有机物并通过合成细胞物质消耗氨氮.随着曝气的进行,有机物浓度降低,曝气 2 h 后,氨氮发生硝化反应.硝化曲线回归方程为 $y = 21.235e^{-0.36x}$,式中, y 为氨氮质量浓度, mg/L , x 为时间, h ,对应氨氮曝气时间 2~8 h 说明氨氮浓度低时,其硝化反应为一级反应.随着时间推移,氨氮浓度逐渐降低,氨氮硝化反应速率也逐渐降低,微生物对氧的利用速率小于供氧速率,故 DO 明显升高,但剩余 COD 过低,不利于反硝化,因此曝气时间不宜过长,确定最佳曝气时间为 7 h

硝化反应发生后,硝态氮浓度的升高幅度并不与氨氮浓度的降低相适应.经测定,出水 TN 为 15 mg/L ,比进水 50 mg/L 减少了 70%,这是由于 DO 较低 (一般 $\text{DO} < 1 \text{ mg/L}$) 时,由于 DO 扩散受限,在污泥絮体外部氨氮发生硝化反应后,在污泥絮体内部的缺氧区异养菌利用有机物将部分硝态氮转化为氮气,即系统内发生了同步硝化反硝化 (SND) [4,5].硝化过程降低碱度,但有机氮的氨化作用和同步硝化反硝化作用对碱度有补偿作用,使 pH 值保持在 7~8,保证了硝化过程的进行.

2.2 反硝化

反硝化测定结果如图 3 所示.

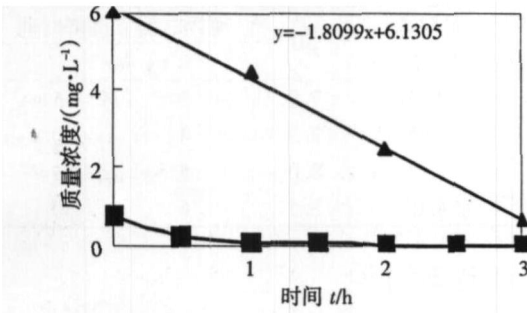


图 3 反硝化曲线
Fig.3 Denitrification curves
▲—硝氮;■—溶解氧;—线性(硝氮)

由图 3 可知,在本实验条件下,碳源充足,反硝化反应为零级反应,其速率为一定值即 $1.8 \text{ mg}/(\text{L} \cdot \text{h})$.投加的碳源一部分被兼性菌降解,并合成细胞物质,此过程消耗水中残余的氨氮和 DO;另一部分用作反硝化的电子供体.为降低 TN ,达到污水深度处理及回用标准,并考虑经济以及其它因素,确定最佳处理时间为 2 h 缺氧池进水 DO 和硝氮浓度比曝气 7 h 时的浓度小,这是由于曝气后沉降时 SBR 发生了反硝化.

2.3 混凝 (化学除磷)

混凝 (化学除磷) 正交实验结果见表 3.混凝前此水磷的质量浓度为 2.238 mg/L ,比进水浓度小,这是由于异养微生物降解有机物并合成细胞物质时消耗了一部分磷.在 16 组数据中,第 16 组数据的实验条件:氢氧化钙加药量为 4.00 mL ,pH 值为 8.5,曝气搅拌时间为 3 min,沉降时间为 25 min 使磷的去除率最大,为 95.9%.根据极差值 R 的大小可以看出,在各因素选定的范围内,影响混凝处理效果各因素主次关系为:pH 值—加药量—沉淀时间—搅拌时间.作趋势图,如图 4 所示.

表 3 混凝 (化学除磷) 正交实验结果表

Table 3 Result of the orthogonal coagulation experiment				
因素	加药量 V	pH	搅拌时间	沉降时间
水平	mL		$t \cdot \text{min}^{-1}$	
均值 K_1	73.0	71.5	79.8	80.9
均值 K_2	82.4	78.5	81.1	82.2
均值 K_3	81.0	84.2	81.5	80.4
均值 K_4	87.0	89.1	81.0	79.8
极差 R	14.0	17.6	1.7	2.5

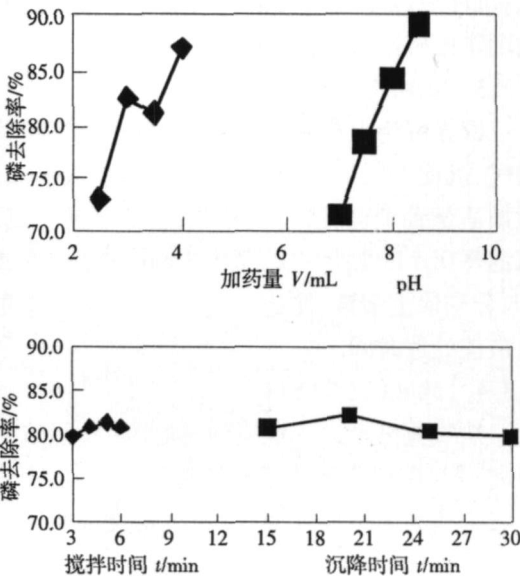
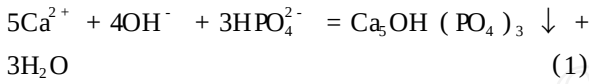


图 4 四因素极差趋势图
Fig.4 The trend of 4 factors

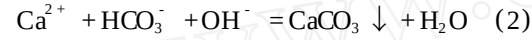
由图 4 可知,最佳实验条件为:氢氧化钙加药量为 4.00 mL, pH 值为 8.5, 搅拌时间为 5 min, 沉降时间为 20 min 但搅拌时间为 3 min 与 5 min 时磷去除率平均值相差不多, 且节省时间, 所以搅拌时间为 3 min 比 5 min 更为适宜; 同理, 沉降时间为 15 min 比 20 min 更为适宜. 因此确定最佳处理条件为: 氢氧化钙加药量为 4.00 mL, pH 值为 8.5, 搅拌时间为 3 min, 沉降时间为 15 min

砂头曝气的作用是吹脱水中的二氧化碳, 使水的 pH 升高, 利于除磷.

氢氧化钙与磷酸盐反应生成羟基磷灰石沉淀^[6], 这是主反应, 其反应式如下:



同时发生副反应:



主反应去除溶解性磷酸盐; 副反应降低水的硬度, 并为沉淀物增重; 此外该过程可去除悬浮物和镁、铁、锰、铜等金属以及 SO_4^{2-} 、 F^{-} , 降低细菌

和病毒含量; 絮体粗大, 沉降速度快, 大部分絮体集中于沉淀池中央, 挂壁现象少, 利于脱水等后续处理. 氢氧化钙除磷形成的化学污泥富含羟基磷灰石和碳酸钙. 化学污泥经高温加热, 碳酸钙分解为氧化钙和二氧化碳, 氧化钙与水化合生成氢氧化钙混凝剂, 二氧化碳可作为再碳酸化的原料使用. 羟基磷灰石可用于制化肥, 达到废物再生利用. 氢氧化钙处理后的水 pH 升高, 需进行再碳酸化, 向水中通入二氧化碳, 将 pH 调至 9.0

2.4 石英砂滤

石英砂滤的实验结果见表 4

表 4 石英砂滤的实验结果

Table 4 The experiment result of sand filtration

滤前水浊度 /NTU	处理水浊度 /NTU	去除率 /%
8.2	4.0	51

2.5 组合工艺处理效果

组合工艺间歇式静态运行出水水质状况见表 5

表 5 生活污水组合工艺处理效果 (表中单位参见表 1 注)

Table 5 Sewage treatment result of composite techniques

指标	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ - N	NO ₃ ⁻ - N	TN	TP	DO	SS	浊度	pH
进水	300	150	30	0.2	50	6	2	160	65	7~8
出水	20	4	3	1	5	0.05	4	2	4	9
去除率 /%	93.3	97.3	90	—	90	99.2	—	98.8	93.8	—

出水 BOD₅ /COD 值较低, 可生化性差, 利于抑制微生物活性, 防止管道结垢^[7]. 出水水质达到中国《生活杂用水水质标准》(CJ25 · 1 - 89) 和《城市污水再生利用——城市杂用水水质标准》(GB / T 18920 - 2002).

3 结 论

(1) SBR 对氮有较好的去除效果, 最佳曝气时间为 7 h, 相应 TN 去除率达到 70%. DO 处于合适的范围 (一般 0.5~1.0 mg/L) 时, 系统内发生同步硝化反硝化.

(2) 最佳缺氧处理时间为 2 h, 硝氮去除率达到 60%.

(3) 混凝处理最佳工艺条件为: 处理 2 000 mL 水, 氢氧化钙加药量为 4.00 mL, pH 值为 8.5, 曝气搅拌时间为 3 min, 沉降时间为 15 min 混凝剂对磷去除率达到 99% 以上, 出水磷的质量浓度为 0.05 mg/L, 可以作为景观水回用.

(4) 采用 0.02 m 厚石英砂对混凝出水进行过滤, 浊度去除率达 50% 以上, 节约石英砂并缩短过滤时间、降低水头损失. 混凝和过滤均能起到降低浊度的作用.

(5) 该中水回用组合处理方法工艺简单, 易于控制; 可以省去初沉池, 与前置反硝化 A / O 工艺相比, 不需 O 段出水进行内循环回流且 TN 去除率高; 将 N 和 P 的去除安排在不同构筑物中, 解决了脱氮和除磷的负荷矛盾并避免反硝化菌和聚磷菌争夺有机碳源.

参考文献:

[1] 王绍贵, 张兵, 汪慧贞. 以鸟粪石的形式在污水处理厂回收磷的研究 [J]. 环境工程, 2005, 23 (3): 78 - 80.

[2] 周松颖. 城镇生活污水深度处理实验研究 [J]. 环境保护科学, 2006, 32 (1): 37 - 38.

[3] 冯亚云, 冯朝伍, 张金利. 化工基础实验 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1997: 94 - 104.

[4] Robertson L A, Van Nid E W J. Simultaneous Nitrification and Denitrification Aerobic Chemostat Cultures of Thiophaera Pantotropha [J]. Applied Environment Microbiologg, 1998, 54 (1): 2812 - 2818.

[5] 张龙, 肖文德, 李伟, 等. SBR 系统中同时硝化反硝化生物脱氮研究 [J]. 环境工程, 2005, 23 (4): 14 - 17.

[6] 高廷耀, 顾国雄. 水污染控制工程 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999: 257 - 258.

[7] 王洪臣, 周军. 石灰法投药量对循环冷却水水质的影响 [J]. 中国给水排水, 2006, 22 (6): 80 - 83.