

# 利用 ORP 和 pH 控制双侧沟式一体化 OCO 工艺污水处理过程

周慧芳<sup>1,2</sup>, 陈文<sup>1\*</sup>, 李德豪<sup>2</sup>, 殷旭东<sup>2</sup>, 毛玉凤<sup>2</sup>, 刘正辉<sup>2</sup>, 林洪艺<sup>3</sup>

(1. 成都理工大学材料与化学化工学院, 四川 成都 610059;

2. 广东石油化工学院环境与生物工程学院, 广东 茂名 525000;

3. 茂名市第一污水处理厂, 广东 茂名 525000)

**摘要:**研究了混合液在不同 pH 时双侧沟式一体化 OCO 工艺处理模拟生活污水的脱氮除磷效果, 并探讨了各 pH 下, 氧化还原电位(ORP)与 pH、 $\text{NO}_3^-$ -N、 $\text{NO}_2^-$ -N、 $\text{NH}_4^+$ -N、COD 的相关性。结果表明, 当进水 COD 为 300 mg/L 左右、TN 为 37 mg/L 左右、TP 为 5 mg/L 左右、HRT 为 12 h, 污泥质量浓度维持在 2 600 mg/L 左右, 污泥龄为 12 d, 水温在 24 ~ 27°C, 混合液 pH 为 7.6 ~ 8.0 时, COD 的去除率达 99%,  $\text{NH}_4^+$ -N 去除率达 95%, TP 去除率为 96%, TN 去除率达到 81%, 系统处理效果最佳。对数据进行分析发现, ORP 与 pH 的对数呈线性关系, 相关方程为  $\text{ORP} = 987.05 - 438.72 \ln \text{pH}$  ( $R^2 = 0.9632$ )。用 SPSS 数据分析软件对数据进行进一步分析发现, 在不同 pH 下, ORP 值受系统中多种物料的共同影响, 其与  $\text{NH}_4^+$ -N 去除量、出水  $\text{NO}_3^-$ -N、TN 去除量正相关, 与 COD 去除量负相关。

**关键词:** ORP; pH; 一体化 OCO; 脱氮除磷; 相关性

中图分类号: X703

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2015)06-0160-04

## Control of integral double-ditch OCO process by using ORP and pH for domestic sewage treatment

ZHOU Hui-fang<sup>1,2</sup>, CHEN Wen<sup>1\*</sup>, LI De-hao<sup>2</sup>, YIN Xu-dong<sup>2</sup>, MAO Yu-feng<sup>2</sup>,  
LIU Zheng-hui<sup>2</sup>, LIN Hong-yi<sup>3</sup>

(1. College of Materials and Chemistry & Chemical Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. College of Environment and Biological Engineering, Guangdong University of Petroleum Technology, Maoming 525000, China; 3. No. 1 Wastewater Treatment Plant of Maoming, Maiming 525000, China)

**Abstract:** The nitrogen and phosphorus removal effects of simulated domestic sewage with different pH by using integral double-ditch OCO process are studied. The correlation of ORP with pH,  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{NO}_2^-$ -N,  $\text{NH}_4^+$ -N, COD is investigated. The results show that the optimal removal rate can be achieved under the following conditions: about 300 mg/L of the influent COD, about 37 mg/L of TN, about 5 mg/L of TP, approximately 12 hours of HRT, about 2 600 mg/L of MLSS, about 12 days of SRT, 24 ~ 27 °C of temperature and 7.6 ~ 8.0 of pH for mixed solution. The removal rate of COD,  $\text{NH}_4^+$ -N, TN and TP is 99%, 95%, 96% and 81% respectively. Based on the analysis of the data, it finds that there is a linear relationship between the ORP and  $\ln \text{pH}$  with correlation equation as  $\text{ORP} = 987.05 - 438.72 \ln \text{pH}$  ( $R^2 = 0.9632$ ). SPSS analysis result shows that at different pH, ORP is influenced by a variety of materials in the system. ORP has a positive curvilinear correlation with  $\text{NH}_4^+$ -N removal, effluent  $\text{NO}_3^-$ -N and TN removal, but a negative correlation with COD removal.

**Key words:** ORP; pH; integral OCO; nitrogen and phosphorus removal; correlation

双侧沟式 OCO 工艺是能够实现同步脱氮除磷的一体化工艺, 具有占地面积小, 无需单独设沉淀池, 基建费用低, 操作灵活等优点。反应器脱氮效能的实现是依靠同步硝化反硝化作用, 硝化作用产生  $\text{H}^+$ , 引起 pH 降低, 反硝化作用产生  $\text{OH}^-$ , 使得 pH 升高。不同的功能菌生长的最适 pH 不尽相同, 如亚硝酸菌的最适 pH 在 7.0 ~ 8.5, 而硝酸菌的最适 pH 在 6.0 ~ 7.5, 聚磷菌的最适 pH 在 7.2 左右<sup>[1-2]</sup>。一体化 OCO 工艺将脱氮除磷置于同一反

应器中<sup>[3]</sup>, 因而控制反应器中混合液在最适 pH 对污水处理工艺意义重大。相对较宽的 pH 范围给最佳去除率的确定带来一定困难, 本研究初步选定的 pH 是 6.0 ~ 9.0, 通过试验, 以期确定该工艺脱氮除磷的最适宜 pH 范围。

氧化还原电位(ORP)是表征系统的氧化还原能力的状态参数, 与常规指标控制相比, ORP 过程控制更符合动力学过程。因为许多生物物质如维生素、酶及大多数代谢过程与 ORP 关联巨大。近年

收稿日期: 2014-12-04; 修回日期: 2015-04-05

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(2013040015162); 广东省中国科学院全面战略合作项目(2012B090400003); 茂名市科技计划项目(2014040)

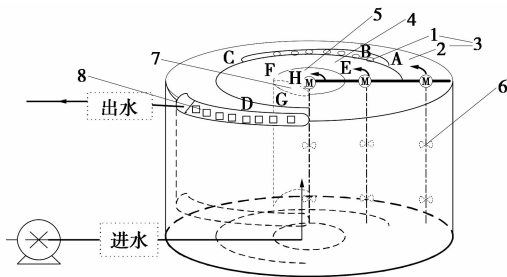
作者简介: 周慧芳(1988-), 女, 硕士生; 陈文(1965-), 女, 博士, 教授, 研究方向为生物环境污染防治, 通讯联系人, 028-84078239, chenwen2010@foxmail.com。

来,大量学者对 ORP 用于 A/O、SBR 等工艺做了研究,结果表明,ORP 值能够揭示污染物降解过程。pH 是影响 ORP 数值的最大因素之一<sup>[4]</sup>,本文中通过对混合液不同 pH 下的 ORP 做监测,分析了 ORP 与 COD、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度的相关性。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验装置

双侧沟式一体化 OCO 工艺试验装置采用 PVC 板制作而成。反应装置见图 1,装置内径为 93.5 cm,总高 40.4 cm,有效高度 35.4 cm,反应器总有效容积 240 L。其中,装置的厌氧区相对独立,该区域占生化反应体系总体积的 19.7%,好氧区、缺氧区和混合区占生化反应体系总体积的 80.3%,反应体系液流型为整体全混流和局部平推流,水力混合特性的试验结果表明,平推流比为 19.4%,全混混比为 80.6%<sup>[5]</sup>。



1—曝气区;2—过流区;3—好氧区;4—缺氧区;  
5—厌氧区;6—搅拌器;7—沉淀池 1;8—沉淀池 2

图 1 试验装置图

### 1.2 检测指标

检测分析项目有:COD<sub>Cr</sub>(重铬酸钾法),MLSS、SS(滤纸重量法),DO(HACH 30 d 溶解氧测定仪),ORP(WTW 3430i ORP 复合电极),pH、温度(WTW 3430i pH 电极),SV% (100 mL 量筒),NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N[*N*-(1-萘基)-乙二胺光度法],NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N(紫外分光光度法),NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N(氨气敏电极法),TP(钼酸铵分光光度法)<sup>[6]</sup>。

### 1.3 试验参数及水质

试验用水为人工配制污水,以葡萄糖、蔗糖、淀粉、碳酸氢铵、磷酸二氢钾作为主要营养物质。污水水质:COD 209.24 ~ 381.27 mg/L;TN 31.58 ~ 44.55 mg/L;TP 5.64 ~ 4.41 mg/L。以 FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O、CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O、MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O、MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O、CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O、H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 和 CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 作为微量元素。控制 MLSS 在 2 600 mg/L 左右,SS < 50 mg/L,污泥

龄在 12 d 左右,SV = 20% ~ 30%;SVI = 80 ~ 100 mg/L;水温为 24 ~ 27℃。进水流量保持在 20 L/h。

以 HCl、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、NaOH 调节 pH,使得混合液 pH 分别为 6.0、7.0、7.6、8.0 和 9.0 5 个水平。每个 pH 条件下稳定运行 12 d,从第 3 天开始每 12 h 采样 1 次,隔天取样测定,每个条件取 5 个数值再取平均值。

### 1.4 试验方法

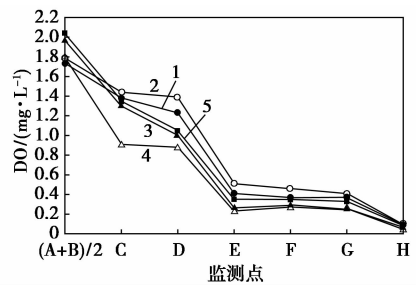
活性污泥取自广东省某污水处理厂曝气池,采用连续进水方式培养(20 L/h),进行活性污泥驯化。经过实验室约 1 周的培养,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的去除率达到 90%,TN 去除率达到 75% 以上,表明污泥驯化成熟,可开始进行试验研究。

### 1.5 统计分析

用 SPSS 16 软件统计水质理化参数的 Pearson's 相关性矩阵,概率在  $p \leq 0.05$  和  $p \leq 0.01$  水平下表示差异显著和极度显著<sup>[7]</sup>。

## 2 结果与讨论

DO 是影响装置系统处理效果最重要的参数之一,其在双侧沟式一体化 OCO 工艺中各个分区分布对脱氮除磷至关重要,图 2 展示了混合液在不同 pH 下 DO 的分布情况。



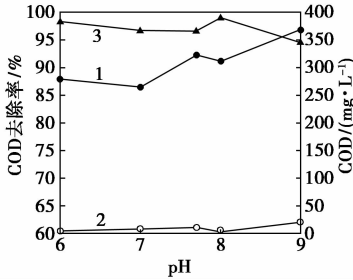
1—pH = 6.0;2—pH = 7.0;3—pH = 7.6;  
4—pH = 8.0;5—pH = 9.0

图 2 反应器中不同位置的 DO 分布图

从图 2 可以看到,混合液在不同 pH 下,反应器中不同位置的 DO 浓度(A、B 点分别为曝气区和过流区前端取其平均值),从曝气区前端到厌氧区逐渐降低,各区 DO 变化明显,A ~ D 点为好氧区监测点(DO ≤ 2.0 mg/L),E ~ G 为缺氧区检测点(DO < 0.5 mg/L),从图 2 中还可以看到,在 pH 7.7 ~ 8.0 形成了较好的反硝化环境(DO = 0.20 ~ 0.35 mg/L),厌氧区的 DO 浓度相对稳定(DO < 0.1 mg/L),这也说明厌氧区相对独立。

### 2.1 混合液 pH 对 COD 去除效果的影响

从图 3 可以看到,维持相对稳定的试验条件,近变化处理体系的 pH 在所试验的 pH 范围内,COD 均有较理想的去除效果,去除率都达到了 90% 以上,出水 COD 质量浓度均在 50 mg/L 以下。试验结果表明,在混合液 pH 为 6~9 时,对 COD 的去除没有显著影响,这与马秀兰等<sup>[8]</sup>的研究结果一致。

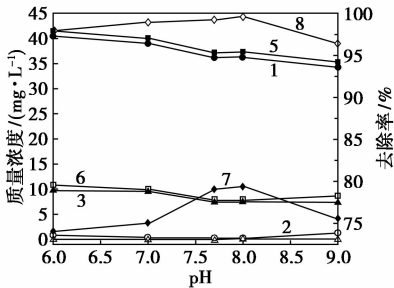


1—进水 COD;2—出水 COD;3—COD 去除率

图 3 不同 pH 对 COD 去除效果的影响

### 2.2 混合液 pH 对氮素去除效果的影响

从图 4 可以看出,在 pH 为 6~9 时,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的去除效果很好,但出水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度显示出一定的规律,pH 为 6 时,出水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 相对较高,pH 为 7~8 时,出水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 质量浓度接近 0 mg/L,pH 为 9 时,出水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 升高,平均值为 1.28 mg/L,远小于城镇污水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 排放一级 A 标准 5 mg/L。混合液 pH 为 6~9 的范围内,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的去除率均高于 95%,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除效果很好,而其中 pH 为 6 和 9 时出水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度的增大,是由于硝酸菌和亚硝酸菌的活性受到了影响,pH 为 6 时,污泥中的真菌与细菌竞争,硝化速度减慢,硝化速率下降;而 pH 为 9 时,从 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 电离平衡关系可以知道,NH<sub>3</sub> 浓度增加,硝化菌酶的活性受到影响,硝化速率降低。



1—进水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N;2—出水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N;3—出水 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N;  
4—出水 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N;5—进水 TN;6—出水 TN;7—TN 去除率;  
8—NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除率

图 4 不同 pH 对氮素去除效果的影响

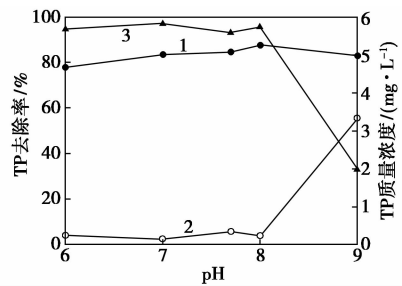
混合液在不同 pH 下的 TN 去除率都在 70% 以

上,但也存在着差异。出水 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 低,未出现 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 积累的现象,说明系统脱氮是全程硝化反硝化过程。出水的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 在混合液 pH 为 6~7 时浓度较大,是由硝酸盐还原酶活性受到抑制而影响反硝化的反应速率导致。pH 在 9 时,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 浓度降低,是由于硝化菌酶的活性受到影响,硝化速率降低导致<sup>[9]</sup>。

从总的脱氮效果看,pH 为 6 时,脱氮率相对较低,平均值为 73.99%,随着混合液 pH 的升高,脱氮率也相应提高,在混合液 pH 为 7.6 时,脱氮率平均为 79.03%,pH 为 8 时,脱氮率最高达 81.42%,平均值为 79.39%,pH 继续升高到 9 时,脱氮率有所降低,平均为 75.53%。综合来看,当 pH 为 8 左右时,脱氮效果最好。

### 2.3 不同 pH 对 TP 去除效果的影响

图 5 显示了不同 pH 下 TP 的去除效果。从图 5 中可以看出,在混合液 pH 在 6~8 时,出水的 TP 均低于 0.5 mg/L,低于城镇生活污水 TP 排放的一级 A 标准,TP 去除率均达到 90% 以上。但当混合液 pH 达到 9 时,出水 TP 高,平均为 3.34 mg/L,TP 去除率 32.94%,去除效果很差,这是由于高的 pH 无法提供好的厌氧释磷和好氧吸磷环境,对聚磷菌的活性产生了严重的抑制作用。所以,从 TP 的去除效果来看,混合液 pH 为 6~8 时,均为适合除磷的 pH 范围。



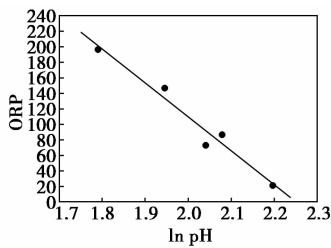
1—进水 TP;2—出水 TP;3—TP 去除率

图 5 不同 pH 对 TP 去除效果的影响

从上面的试验结果看,在双侧沟式一体化 OCO 工艺装置中最适宜脱氮除磷的 pH 为 8.0 左右,在该条件下,COD 的去除率达 99%,TP 去除率达 95%,NH<sub>4</sub>-N 去除率达 99%,TN 去除率达 81%,充分显现出一体化 OCO 工艺同步脱氮除磷的优越性。

### 2.4 混合液不同 pH 与 ORP 的关系

从图 6 可以看到,混合液在不同 pH 下,ORP 与 pH 的对数呈线性关系,相关方程为 ORP = 987.05 - 438.72 ln pH,相关系数 R<sup>2</sup> = 0.963 2。可以看到在



$$Y = 987.05 - 438.72X, R^2 = 0.9632$$

图6 不同 pH 下的 ORP 与 pH 的关系

最适宜处理效果范围,即混合液 pH 在 7.6 ~ 8.0, ORP 为 72.75 ~ 86.6,在此 ORP 范围时出水 TN 质量浓度为 7.72 ~ 7.79 mg/L,此时  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  为 0.1484 ~ 0.28 mg/L,出水硝氮 7.47 ~ 7.50 mg/L,

表1 混合液不同 pH 下水质理化指标的 Pearson's 相关性矩阵

	pH 混	ORP 缺	$\Delta\text{COD}$	$\Delta\text{TP}$	$\Delta\text{NH}_4 - \text{N}$	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	$\text{NO}_2^- - \text{N}$	$\Delta\text{TN}$
pH 混	1	-0.972 <sup>②</sup>	0.912 <sup>①</sup>	-0.674	-0.990 <sup>②</sup>	-0.903 <sup>①</sup>	-0.431	-0.924 <sup>①</sup>
ORP 缺	-0.972 <sup>②</sup>	1	-0.918 <sup>①</sup>	0.650	0.986 <sup>②</sup>	0.908 <sup>①</sup>	0.525	0.910 <sup>①</sup>
$\Delta\text{COD}$	0.912 <sup>①</sup>	-0.918 <sup>①</sup>	1	-0.682	-0.946 <sup>①</sup>	-0.906 <sup>①</sup>	-0.152	-0.857
$\Delta\text{TP}$	-0.674	0.650	-0.682	1	0.719	0.369	0.227	0.896 <sup>①</sup>
$\Delta\text{NH}_4^+ - \text{N}$	-0.990 <sup>②</sup>	0.986 <sup>②</sup>	-0.946 <sup>①</sup>	0.719	1	0.899 <sup>①</sup>	0.421	0.943 <sup>①</sup>
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	-0.903 <sup>①</sup>	0.908 <sup>①</sup>	-0.906 <sup>①</sup>	0.369	0.899 <sup>①</sup>	1	0.273	0.703
$\text{NO}_2^- - \text{N}$	-0.431	0.525	-0.152	0.227	0.421	0.273	1	0.453
$\Delta\text{TN}$	-0.924 <sup>①</sup>	0.910 <sup>①</sup>	-0.857	0.896 <sup>①</sup>	0.943 <sup>①</sup>	0.703	0.453	1

注:①表示显著相关,②表示极显著相关。

ORP 与混合液 pH 是极显著相关的( $p \leq 0.01$ )。在物料方面,不同 pH 下的 ORP 与 COD 去除量、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  去除量、出水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、TN 去除量之间显著相关( $p \leq 0.05$ )。其中 ORP 与 COD 处理量呈负相关,即有机负荷大时,ORP 降低,这可解释为 COD 是作为电子供体的,与 Li 等<sup>[11]</sup>的研究结果一致。

氮的去除过程是由  $\text{NH}_4 - \text{N}$  氧化成  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ,继而被氧化成  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,最后被反硝化作用转化成  $\text{N}_2$  得到去除。系统中各种氮共同影响 ORP 的大小,从矩阵中可以看到,ORP 与  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  去除量、出水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、TN 去除量呈正相关,这个结果是符合预期的<sup>[12]</sup>。

COD 去除量和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  去除量、出水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  负相关,由于硝化菌是自养型微生物,有机负荷高对自养型的硝化菌有抑制作用<sup>[5]</sup>。

TN 去除量跟 TP 去除量显著相关( $p \leq 0.05$ ),表明在混合液 pH 为 6 ~ 9 的工况下,TP 与 TN 之间的矛盾关系不显著,这是由于厌氧区相对独立。

### 3 结论

(1) 双侧沟一体化 OCO 工艺中混合液 pH 在

脱氮效率达最佳。ORP < 72 mV 时,出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  明显增大,ORP > 87 mV 时,出水  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  相对稳定,但是出水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  明显升高,出现过硝化。因此,对混合液在不同 pH 的优化效果看,双侧沟式一体化 OCO 工艺的最适宜 ORP 为 72.75 ~ 86.6 mV。

### 2.5 ORP 与不同 pH 下物质水质指标关系分析

利用 SPSS 统计分析软件对水质参数进行了 2 变量之间的 Pearson's 相关性矩阵的比较(表 1)。从 pH 与各水质指标的相关性分析看,混合液 pH 与  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  去除量、出水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  与 TN 去除量呈负相关,pH 升高  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  去除量降低,硝化速率受一定影响,相应的出水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  降低,TN 去除量降低<sup>[10]</sup>。

8.0 左右时,显示出了最适宜的脱氮除磷效果,但考虑到混合液 pH 在 7.6 左右时,也显示出了与 pH 为 8.0 左右时相似的效果,因而系统最佳适宜 pH 在 7.6 ~ 8.0。

(2) 对混合液不同 pH 下氧化还原电位的分析显示,得到了优化脱氮的最适宜 ORP 范围为 72.75 ~ 86.6 mV。

(3) 利用 SPSS 数据分析软件做变量间的两两相关性分析,ORP 与 pH、COD 去除量、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  去除量、出水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、TN 去除量之间显著相关( $p \leq 0.05$ )。ORP 能全面指示系统的脱氮除磷效果,在适宜的工艺运行条件下,以 ORP 联合 pH 作为优化脱氮运行是可行的。

### 参考文献

- [1] Fang Shi, Li Xiaohuan. The effect of pH on partial nitrification-denitrification rate of high ammonia containing wastewater [J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2001, 15 (4): 346 - 350.
- [2] 徐冬梅, 聂梅生, 金承基. 亚硝酸盐型硝化实验研究 [J]. 给水排水, 1999, 25(7): 37 - 39.

(下转第 165 页)

## (2) 高盐高硬度

由于煤化工项目多位于西北地区, 原水本身含盐量就较高。同时催化剂制备、循环水排污等过程都将产生大量高盐高硬度污水, 故煤化工污水具有高盐、高硬度的特点, 一般盐含量在 500 ~ 5 000 mg/L, 硬度在 300 ~ 1 500 mg/L。若要实现污水回用, 必须脱盐。

## (3) 水质波动大

目前, 煤化工仍属于新兴产业, 装置运行仍不能做到完全稳定。例如, 煤质影响造成气化工艺污水波动较大, 装置开停车期间污水 COD 等也会经常出现大幅度波动等。因此对于污水回用装置, 必须充分考虑留有一定处理裕量, 降低水质波动对回用系统的冲击。

目前一般的煤化工污水处理工艺包括预处理、生化处理、深度处理等流程。预处理主要是传统的隔油、气浮、调节等过程, 主要去除污水中的大粒径悬浮物和油。目前用于煤化工污水处理的生化工艺较多, 包括氧化沟、SBR、A/O 以及各种生物膜法等。由于煤化工污水可生化性较差, 一般要选择水解酸化或厌氧作为好氧生化处理的预处理环节。通过生化处理, 对 COD 有一定的去除, 同时有一定的脱氮功能。

由于煤化工污水毒性较大, 一旦上游发生污水冲击, 对生化系统冲击较大, 水质难以满足排放标准以及污水回用入水标准要求。为此, 在一般的生化处理基础上, 若要达到污水回用装置入水标准要求, 一般还需要进行深度处理。常用的深度处理工艺包括芬顿氧化、臭氧氧化、曝气生物滤池 (BAF)、生物活性炭等。深度处理可以进一步降低污水中的 COD 和氨氮。现在还有一些工艺流程中也将深度处理的工艺前置到生化处理之前, 可以提高污水的

可生化性。同时, 若污水中硬度较高, 为降低回用水装置的结垢趋势, 还需要设置除硬单元。

## 2 煤化工污水膜法回用装置及运行状况

由于目前煤化工项目多建在西北地区, 在西北地区若不进行脱盐, 污水处理后也无法回用至循环水或脱盐水系统, 故膜法回用装置大多采用的工艺是超(微)滤 + 反渗透。基本的流程如图 1。

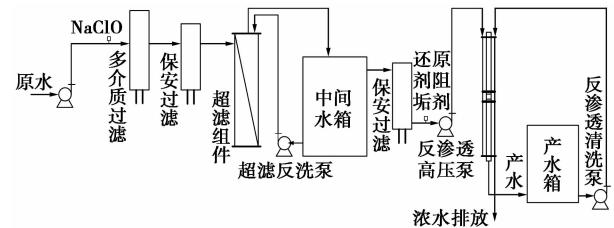


图 1 超滤 + 反渗透双膜系统流程示意图

超(微)滤 + 反渗透双膜技术已经是较为成熟的水回用技术, 但其用于污水回用体系或多或少都存在一定的问题。通过对现有的煤化工污水装置调研的结果, 在双膜装置运行中存在的主要问题和解决方案如下。

(1) 水质波动对膜系统冲击较大(特别是在开停车期间), 水质波动时膜系统污染明显加速。

解决方案: 加强上游水质监控, 在来水波动期间对不同水源来水比例进行合理调控, 强化膜前预处理单元, 增加超滤膜清洗频率, 还可以设置反渗透在线清洗。

(2) 反渗透保安过滤器污堵情况较为严重, 需要经常更换。主要是由于污水中富含营养物质, 微生物容易滋生, 通过测试反渗透进水与超滤出水中细菌含量, 前者经常要数百倍甚至数千倍于后者。

(上接第 163 页)

- [3] Li Dehao, Mao Yufeng, Liu Zhenghui, *et al.* Simultaneous removal of nitrogen, phosphorus and COD in an integrated OCO reactor[J]. *Environ Technol*, 2014, 35(17/18/19/20): 2628 - 2633.
- [4] 白洁颖. 改良型氧化沟硝化同时反硝化的临界 ORP 研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- [5] 李德豪. 双侧沟式一体化 OCO 工艺处理生活污水研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2013.
- [6] 国家环境保护局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 258 - 282.
- [7] Liu Zhenghui, Sun Guoping, *et al.* Water quality Index as a simple Indicator of drinking water source in the dongjiang river, China[J].

IJEP, 2012, 2(5): 16 - 21.

- [8] 马秀兰, 田娇, 曹国军. 不同 pH 和溶解氧对低碳氮比生活污水基质去除率的影响[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(31): 17629 - 17631.
- [9] 傅金祥, 韩晋英, 齐建华. 常温下低 DO 和高 pH 短程硝化过程研究[J]. *水处理技术*, 2008, 34(12): 19 - 22.
- [10] 熊振湖, 汪艳宁, 王秀朵. 溶解氧和 pH 对 CAST 工艺脱氮效果的影响[J]. *环境工程*, 2003, (6): 14 - 16 + 2.
- [11] Li Baikun, Shannon Irvin. Alkalinity and ORP changes at nitrification and denitrification in a sequencing batch reactor (SBR)[C]. *WEFTEC 2005: Session 21 through Session 30. USA: Proceedings of the Water Environment Federation*, 2005: 2103 - 2118.
- [12] 王涛, 徐跃飞, 陈贵生, 等. ORP 用于优化改良型 Carrousel 氧化沟脱氮的研究[J]. *中国给水排水*, 2012, (21): 16 - 19. ■