

# 低温对 MBBR、SBR 深度处理废水出水水质的影响

牛 川, 任洪强, 丁丽丽, 李秋成, 王 钊

(南京大学 环境学院污染控制与资源化研究国家重点实验室, 江苏 南京 210093)

[摘要] 比较了低温和常温下移动床生物膜反应器(MBBR)与 SBR 深度处理低浓度废水的出水水质,研究了低温对反应器出水 COD、运行温度、DO、出水 pH、出水蛋白质质量浓度的影响。实验结果表明:相同曝气和环境温度条件下,MBBR 比 SBR 的运行温度高 0.5~1.5℃,受环境温度影响更小;与常温相比,低温反应器内 DO 高约 1.2 mg/L;在低温条件下,MBBR 容易出现酸化现象,SBR 的 pH 保持正常;低温条件下 MBBR 出水蛋白质质量浓度高,蛋白质质量浓度随温度变化浮动较大,这对于 MBBR 出水水质造成一定影响。

[关键词] 移动床生物膜反应器;序列间歇式反应器;低温;废水;溶解氧;深度处理

[中图分类号] X505 [文献标识码] A [文章编号] 1006-1878(2011)01-0018-04

## Effect of Low-temperature on Effluent Quality of MBBR and SBR for Wastewater Advanced Treatment

Niu Chuan, Ren Hongqiang, Ding Lili, Li Qiucheng, Wang Zhao

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of Environment,  
Nanjing University, Nanjing Jiangsu 210093, China)

**Abstract:** The effluent qualities of moving bed biomembrane reactor (MBBR) and sequencing batch reactor (SBR) for advanced treatment of low-concentration wastewater at low temperature and atmospheric temperature were compared with each other. The effect of low temperature on effluent COD, running temperature, DO, effluent pH and protein mass concentration were studied. The experimental results show that: Under the same conditions of aeration and ambient temperature, the running temperature of MBBR is higher than that of SBR by 0.5-1.5℃, and MBBR is less affected by temperature; The DO of reactors at low-temperature are higher than those at atmospheric temperature by about 1.2 mg/L; At low-temperature, acidification is prone to occur in MBBR, while the pH of SBR is maintained normal; The protein mass concentration of MBBR effluent at low-temperature is higher and varies greatly with temperature change, which may affect MBBR effluent quality.

**Key words:** moving bed biomembrane reactor; sequencing batch reactor; low temperature; wastewater; dissolved oxygen; advanced treatment

因温度对生物个体的生长、繁殖、新陈代谢及生化反应速率的影响,活性污泥法在低温条件下处理废水时会表现出较大的不适应性。生物膜法弥补了活性污泥法的很多不足,具有稳定性好、承受有机负荷和水力负荷冲击能力强、无污泥膨胀、无回流等优点。SBR 作为活性污泥法的典型工艺,处理设施简单,具有很强的脱氮除磷功能<sup>[1]</sup>,另外有抗冲击负荷、运行费用低,便于实现自动控制等优点<sup>[2]</sup>,在实际的工程中已经取得了良好的应用效

果。生物填料是废水生物处理技术的核心之一<sup>[3]</sup>,移动床生物膜反应器(MBBR)法吸取了传统的活

[收稿日期] 2010-06-02; [修订日期] 2010-08-02。

[作者简介] 牛川(1987—),男,山东省淄博市人,硕士生,主要从事生物水处理等方面研究。电话 025-83596781,电邮 niuchuan11@163.com。联系人:任洪强,电话 025-83596781,电邮 hqren@nju.edu.cn。

[基金项目] 国家重大水专项基金资助项目(2009ZX07106-004);江苏省高校科研成果产业化项目(JH08-1)。

性污泥法和生物接触氧化法两者的优点而成为一种新型、高效的复合处理工艺,许多工程实例表明,用 MBBR 法处理废水效果良好。

本工作以 MBBR 和 SBR 工艺处理低温废水,研究反应器在低温下的运行特点,为调控实验条件、指导反应器运行提供依据。

## 1 实验部分

### 1.1 试剂和仪器

活性污泥取自南京市某污水处理厂曝气池,质量浓度约为 6 000 mg/L;模拟废水成分为:葡萄糖 4.00 g/L、氯化铵 0.30 g/L、磷酸二氢钾 0.07 g/L,  $m(C):m(N):m(P)$  控制在 100:5:1, COD 控制在约 200 mg/L,以碳酸氢钠调节废水 pH。

HANNA-PH211 型 pH 计:意大利哈纳公司;TU-1810 型紫外-可见分光光度计:北京普析通用仪器有限责任公司;JPB-607 型溶氧测定仪:上海精密科学仪器有限公司。

### 1.2 实验装置

实验以有效容积为 2 L 的烧杯模拟 SBR 和 MBBR,内径 14 cm,高度 18 cm,采用鼓风机曝气。MBBR 选用聚乙烯空心圆柱状刚性填料,柱体内部有十字支撑,该填料的规格为  $\Phi 10 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$ ,比表面积为  $850 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ,密度为  $150 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。以恒温水浴锅反应器进行保温。

### 1.3 反应器的启动与运行

SBR 反应器采用接种法<sup>[4]</sup>培养驯化活性污泥。在启动阶段,设置两个 SBR 分别在常温 ( $35 \pm 2$ ) $^{\circ}\text{C}$  ( $\text{SBR}_1$ ) 和低温  $5 \sim 15$   $^{\circ}\text{C}$  ( $\text{SBR}_2$ ) 下运行,系统不排泥;考虑到室内温度的日变化周期,为更好定性反应器低温适应性能,选择每天运行一周,设置进水时间、反应时间<sup>[6]</sup>、沉淀时间、待机时间及出水时间分别为 0.2, 18, 1, 1, 0.2 h。在  $\text{SBR}_1$  运行 5 d 后、 $\text{SBR}_2$  运行 9 d、进水 COD 为 200 mg/L 时, COD 去除率达到 80% 以上,污泥沉降比小于 0.3,系统运行稳定,此时启动过程完成。SBR 在启动成功后,维持原有进出水方式,反应器有机负荷为  $0.2 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

两个 MBBR 分别在常温 ( $35 \pm 2$ ) $^{\circ}\text{C}$  ( $\text{MBBR}_1$ ) 和低温  $5 \sim 15$   $^{\circ}\text{C}$  ( $\text{MBBR}_2$ ) 运行。MBBR 中装入聚乙烯填料 800 mL,采用“快速排泥挂膜法”<sup>[7]</sup>,瞬间进水和出水,每天运行一个周期。在  $\text{MBBR}_1$  和  $\text{MBBR}_2$  分别运行 15 d 和 20 d 后,填料表面有一层较厚的淡黄色生物膜,出水 COD 去除率达到 80%

以上并稳定运行,反应器启动过程结束。反应器启动成功后,仍采用启动阶段进出水方式,悬浮填料在曝气的搅动下不断运动,吸附去除有机物,进水流量为  $1.0 \text{ L}/\text{d}$ ,反应器有机负荷为  $0.2 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

### 1.4 分析方法

COD 测定采用标准重铬酸钾法<sup>[8]</sup>;温度与 pH 测定采用 pH 测定仪;DO 采用溶氧仪测定;蛋白质吸光度测定采用紫外-可见分光光度计,以 Bradford 法<sup>[9]</sup>在波长 595 nm 处测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 出水 COD 的变化

当进水 COD 为 190 ~ 210 mg/L 时,反应器出水 COD 的变化情况见图 1。由图 1 可见: $\text{SBR}_1$  出水为 41.6 ~ 52.3 mg/L,  $\text{SBR}_2$  出水 COD 为 46.4 ~ 56.4 mg/L,  $\text{MBBR}_1$  出水 COD 为 34.6 ~ 48.5 mg/L,  $\text{MBBR}_2$  出水 COD 为 52.6 ~ 66.2 mg/L,平均去除率分别为 76.5%, 73.6%, 79.5%, 69.2%;各反应器出水 COD 呈先增大后减小再增大的趋势,低温反应器的 COD 去除率低于常温反应器;常温下, MBBR 处理效果更好;低温下, SBR 处理效果更好。

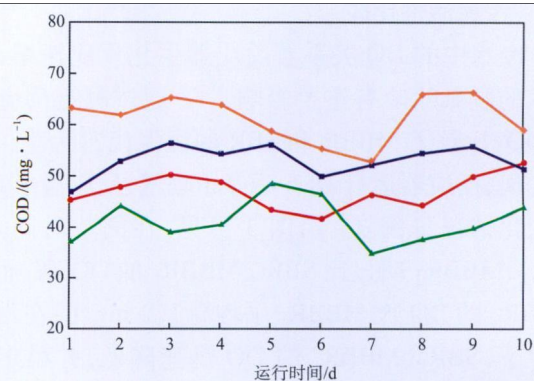


图 1 反应器出水 COD 的变化情况  
反应器: ● SBR<sub>1</sub>; ■ SBR<sub>2</sub>; ▲ MBBR<sub>1</sub>; ◆ MBBR<sub>2</sub>

### 2.2 反应器内运行温度变化情况

反应器内运行温度对生化反应的正常进行起直接的影响作用,反应器内运行温度变化情况见图 2。

由图 2 可见:相同环境温度条件下,  $\text{MBBR}_1$  比  $\text{SBR}_1$ 、 $\text{MBBR}_2$  比  $\text{SBR}_2$  内运行温度平均要高  $0.5 \sim 1.5$   $^{\circ}\text{C}$ ,并且二者温度波动都并不明显;低温反应器运行温度比室温略低。这是因为温度对生物膜反应器性能的影响主要表现在对生化反应速率方面的影响,生化反应速率与温度之间的关系为:

$$r_{\theta} = r_{20} K^{(\theta - 20)} \quad (1)$$

式中： $r_{\theta}$  为水温在  $\theta$  °C 时的生化反应速率，mol/(L·s)； $r_{20}$  为水温在 20 °C 时的生化反应速率，mol/(L·s)； $K$  为温度系数，对于生物膜法来讲， $K$  值为 1.02 ~ 1.08，其典型值为 1.035，而对活性污泥  $K$  值为 1.00 ~ 1.08，典型值为 1.04； $\theta$  为温度，°C<sup>[10]</sup>。因此在反应器运行温度低于 20 °C 条件下，MBBR 的生化反应速率相对更高，反应时能够放出更多的热量，具有更好的保温特性，受温度条件影响更小。

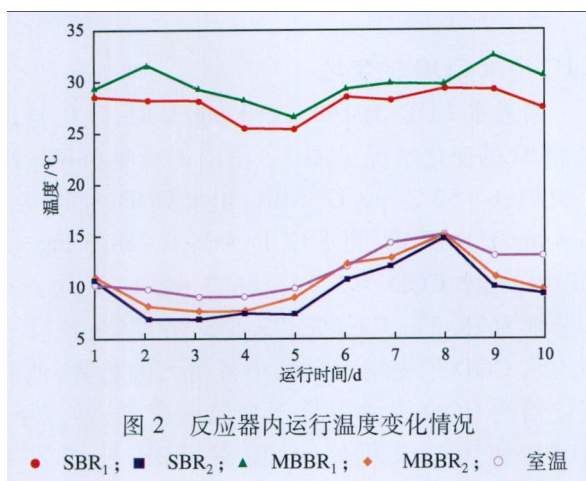


图 2 反应器内运行温度变化情况

● SBR<sub>1</sub>; ■ SBR<sub>2</sub>; ▲ MBBR<sub>1</sub>; ◆ MBBR<sub>2</sub>; ○ 室温

### 2.3 污泥活性比较

废水中的 DO 关系着反应器生化反应速率，对废水的脱氮除磷有重要影响<sup>[11]</sup>。通过测定反应器的 DO，比较了 MBBR 和 SBR 的污泥代谢活性。在第 5 天，反应器运行 18 h 后停止曝气，反应器中 DO 的变化情况见图 3。由图 3 可见：在同一时间点，SBR<sub>2</sub>、MBBR<sub>2</sub> 明显比 SBR<sub>1</sub>、MBBR<sub>1</sub> 的 DO 高，而且 MBBR<sub>2</sub> 的 DO 比 MBBR<sub>1</sub> 平均高 1.2 mg/L；在常温条件下，SBR<sub>1</sub>、MBBR<sub>1</sub> 的 DO 迅速降低，并稳定在 0.7 ~ 1.7 mg/L；在低温条件下，SBR<sub>2</sub>、MBBR<sub>2</sub> 的 DO 降低较慢（MBBR<sub>2</sub> 维持在 3.6 mg/L 左右）。

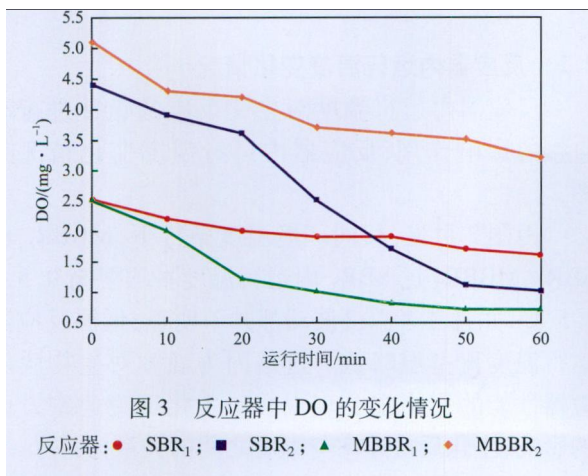


图 3 反应器中 DO 的变化情况

反应器：● SBR<sub>1</sub>；■ SBR<sub>2</sub>；▲ MBBR<sub>1</sub>；◆ MBBR<sub>2</sub>

在低温条件下 DO 降低较慢一方面是与氧的总传质速率降低有关，另一方面是因为氧气在低温条件下有更高的溶解度，同时微生物活性差，氧利用率低。Roberta 等<sup>[12]</sup>研究表明，在限制氧的条件下，氧传递速率和水温的共同影响会使生物膜中微生物活性受到严重影响。在停止曝气后，MBBR<sub>2</sub> 的 DO 比 SBR<sub>2</sub> 高，降低速率相对缓慢，表明 MBBR 中微生物代谢速率比曝气阶段明显减弱，而 SBR 中微生物代谢仍保持一定的水平。MBBR<sub>1</sub> 在一定时间内 DO 降至 0.7 mg/L，而其他反应器 DO 维持在 1.0 ~ 3.2 mg/L。以上现象说明对于 MBBR 好氧阶段，特别是在低温条件下，及时曝气补充溶解氧对于维持微生物代谢速率以及反应器的正常运行至关重要。

### 2.4 反应器内 pH 变化情况

反应器内 pH 变化情况见图 4。由图 4 可见，在反应器进入正常运行后，受低温影响，MBBR<sub>2</sub> 在运行不久出现酸化现象，最低 pH 达 4.38 左右，而 SBR<sub>2</sub> 的 pH 受温度影响较小，pH 基本保持在正常范围之内。在第 5 天调节低温条件下运行的反应器的 pH，运行 3 天后，MBBR<sub>2</sub> 反应器再次出现酸化现象。

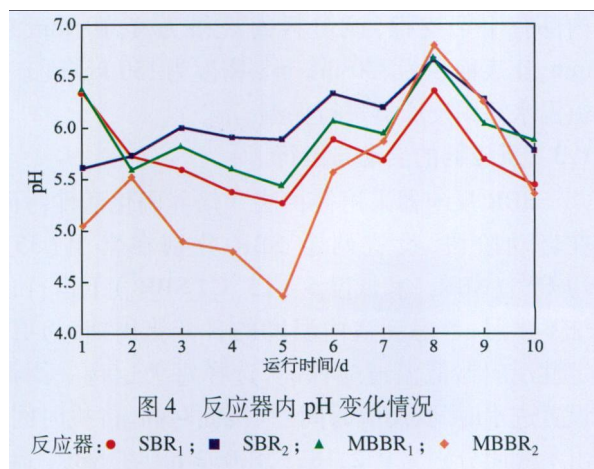


图 4 反应器内 pH 变化情况

反应器：● SBR<sub>1</sub>；■ SBR<sub>2</sub>；▲ MBBR<sub>1</sub>；◆ MBBR<sub>2</sub>

从适冷性角度考虑，为适应温度降低的变化，微生物体内增加不饱和脂肪酸的含量是最常见的变化，有利于微生物的生存<sup>[13]</sup>。有机物生物降解的同时会分泌部分可溶性微生物产物，其中包含部分酸性物质如腐植酸、富里酸、核酸、有机酸、氨基酸等<sup>[14]</sup>。MBBR 在低温下容易出现酸化，可能是因为曝气过程中，生物膜中微生物相对集中，分泌酸性物质质量较大，使 pH 降低。因此，在实际的工艺运行中需要调节 pH，以维持 MBBR 的正常运行。而 SBR 在低温下 pH 变化较小可能是因为微生物单体比较分散，适冷性表现不足，分泌酸性物质相对较少。

## 2.5 出水蛋白质质量浓度变化

对于微生物胞外聚合物的分泌,着重对蛋白质的含量进行了测定,以反映两种反应器微生物的适冷能力以及对出水 COD 的影响程度。出水蛋白质质量浓度变化见图 5。

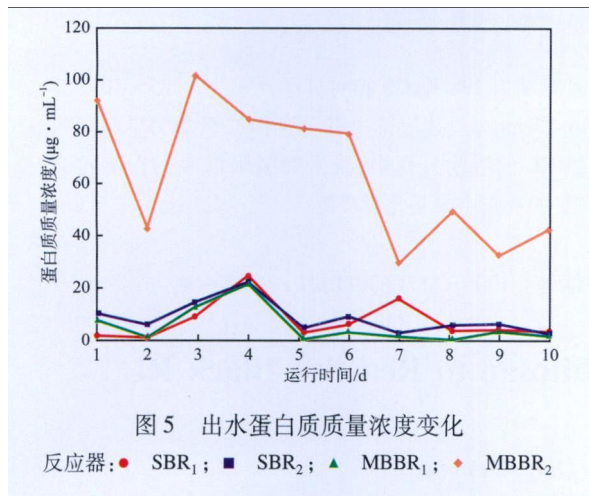


图 5 出水蛋白质质量浓度变化

反应器: ● SBR<sub>1</sub>; ■ SBR<sub>2</sub>; ▲ MBBR<sub>1</sub>; ◆ MBBR<sub>2</sub>

由图 5 可见:在运行的整个过程中,除 MBBR<sub>2</sub> 外,其他反应器蛋白质浓度变化都较小,维持在 0 ~ 30 μg/mL;与 SBR<sub>1</sub> 相比,SBR<sub>2</sub> 出水蛋白质浓度更高,因为低温稳定运行的 SBR 的活性污泥中有机成分含量高于常温运行的 SBR 系统,这主要是由低温系统中活性污泥胞外分泌物增加所致<sup>[15]</sup>;MBBR<sub>1</sub> 与 MBBR<sub>2</sub> 相比,MBBR<sub>2</sub> 的出水蛋白质浓度更大,最大浓度达 102 μg/mL,这是由于一方面在低温挂膜过程中,微生物分泌更多胞外聚合物来适应环境变化,促进营养物质的吸附、水解及生物膜形成,同时防止原生动物的吞噬<sup>[16]</sup>,另一方面悬浮颗粒沉降性变差,由于填料受到水力剪切力的作用,使少量微生物残体脱落破碎在水中,使蛋白质浓度增大。以上两点也是目前 MBBR 低温条件下运行中出水 COD 偏高的主要因素。

## 3 结论

a) 相同环境温度条件下,MBBR 比 SBR 内的运行温度高 0.5 ~ 1.5 °C,生化反应速率更快,MBBR 受温度影响较小,具有更好的保温特性。

b) 与常温相比,低温运行的反应器的 DO 高 1.2 mg/L 左右,但停止曝气会影响微生物活性,为保证 MBBR 微生物生化反应速率,应及时曝气补充溶解氧。

c) 在低温条件下 MBBR 容易出现酸化现象,最低 pH 达 4.38,需及时调整 pH,以维持反应器正常运行;同时 MBBR 会分泌相对较多的蛋白质,最高质量浓度达 102 μg/mL,这对于生化反应速率及出

水 COD 会造成一定影响;SBR 的蛋白质分泌量相对较少而且比较稳定。

## 参 考 文 献

- [1] 高大文,彭永臻,王淑莹. SBR 法处理豆制品废水过程中 ORP 与 COD 的相关性[J]. 给水排水,2002,28(9):40.
- [2] 张连凯,张仁志,于德爽,等. 采用两段 SBR 工艺处理石化废水[J]. 化工环保,2007,27(6):539-542.
- [3] 海景,黄尚东,张凡,等. 改性聚丙烯生物填料的制备与应用[J]. 化工环保,2006,26(4):333-336.
- [4] Venkata Mohan, Chandrashekar Rao, Krishna Prasad, et al. Treatment of complex chemical wastewater in a sequencing batch reactor (SBR) with an aerobic suspended growth configuration [J]. Process Biochemistry, 2005, (40):1501-1508.
- [5] 章文菁,张朝升,方茜,等. 间歇式活性污泥反应器内短程同步硝化反硝化的研究[J]. 化工环保,2009,29(1):18-22.
- [6] 汤茜,任百祥,王艳华. Fenton 氧化—混凝—SBR 工艺处理糠醛废水[J]. 化工环保,2009,25(2):151-153.
- [7] 朱成辉,李秀芬,陈坚,等. 好氧移动床生物膜反应器挂膜启动过程[J]. 食品与生物技术学报,2005,24(4):92-96.
- [8] 原国家环境保护局《水和废水监测方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 第 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002:211-213.
- [9] 黄建华,袁道强,陈世锋. 生物化学实验[M]. 北京:化学工业出版社,2009:138-139.
- [10] 刘雨,赵庆良,郑兴灿. 生物膜法废水处理技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2000:124-125.
- [11] 林金鑫,张可方,方茜,等. DO 对同步硝化反硝化协同除磷的影响[J]. 化工环保,2009,29(2):109-112.
- [12] Roberta Salvetti, Arianna Azzellino, Roberto Canziani, et al. Effects of temperature on tertiary nitrification in moving-bed biofilm reactors [J]. Water Res, 2006 (40):2981-2993.
- [13] 隋天娥,陶征义. 低温微生物的适冷性及其应用[J]. 河北化工,2009,32(2):7-9.
- [14] 多金环,安景辉. 可溶性微生物产物的产生及影响因素分析[J]. 化工环保,2004,24(3):169-171.
- [15] 谭学军,唐利,周琪,等. 低温 SBR 法废水处理系统运行特性[J]. 同济大学学报(自然科学版),2008,36(8):1094-1100.
- [16] Manuel S, Lucia C S, Maria J V. A review of current and emergent biofilm control strategies [J]. LWT - Food Sci Technol, 2010,43:573-583.

(编辑 张艳霞)