

# 环境工程学报

Chinese Journal of Environmental Engineering



第9卷 第9期

Vol.9 No.9

中国科学院 主办  
生态环境研究中心  
科学出版社 出版

9  
2015

## 目 次

### 水 污 染 防 治

紫外线消毒对3种大肠杆菌的灭活效果和耐药性影响 .....	张崇森	庄凯	巨欣	王晓昌(4097)
强化除磷型 A/O-MBR 工艺运行稳定性 .....	任金柱	李军	王朝朝	刘彬 高金华 常江(4102)
超声波紫外线一体化推流式反应器中试装置用于污水消毒 .....				
.....	郭浩	周瑛	周晓琴	李子富 闫圆圆 靳昕(4107)
Ca <sup>2+</sup> 强化短程硝化颗粒污泥培养 .....	吕永涛	贾燕妮	鞠恺	赵洁 苗瑞 王磊(4112)
猪场废水厌氧自电解处理过程中关键参数优化 .....	王云	朱能武	沈伟航	李小虎 吴平霄(4117)
碳纳米管稳定纳米 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 的制备及降解染料橙 II .....		邓景衡	李佳喜	余侃萍 谢建国(4125)
湿式过氧化氢氧化活性艳蓝 KN-R .....	贺玲	刘红玉	杨春平	彭艳蓉 曾光明 王鹏 刘芬(4131)
草皮缓冲带对洱海流域面源污染的削减效果 .....			胡威	王毅力 储昭升(4138)
共培养条件下黄菖蒲和狭叶香蒲对铜绿微囊藻光合系统的影响 .....	陈国元	李青松	谢莆尧	陈燕虹(4145)
Fenton 试剂协同 TiO <sub>2</sub> 光催化降解三氯乙酸及协同机理 .....	王芬	赵宝秀	李想	李伟江 杨龙(4153)
城市大型缓流景观水体流场模拟及人工循环水动力优化 .....		贾泽宇	郑剑锋	孙力平 于静洁(4159)
短程硝化反硝化工艺处理低 C/N 餐厨废水 .....	张周	赵明星	阮文权	缪恒锋 任洪艳 黄振兴(4165)
改性天然菱铁矿去除水中六价铬 .....			周晓倩	郭华明 赵凯(4171)
2种载体对厌氧同步消化、反硝化的影响 .....	冉春秋	邹学军	范立明	崔玉波 周集体(4178)
基于有效去除铅(II)的中孔炭乙二胺改性及影响因素分析 .....				
.....	杨美蓉	李坤权	徐恩兵	乔小朵 潘根兴 郑正(4185)
城市污水处理过程中不同形态氮类营养物的转化特性 .....			金鹏康	宋利 任武昂(4193)
曝气对潜流人工湿地中木本植物的影响 .....	陈永华	吴晓芙	纪智慧	马群 陈明利(4199)
变权组合模型在景观水体水质模拟中的应用 .....			赵加斌	赵新华 彭森(4206)
鱼菜共生系统氮素迁移转化的研究与优化 .....	邹艺娜	胡振	张建	谢慧君 梁爽(4211)
基于虚拟治理成本法的生态环境损害量化评估 .....	蔡锋	陈刚才	彭枫	杨清玲 赵士波 鲜思淑 吴飞(4217)
漂浮型可见光催化剂 Fe-N-TiO <sub>2</sub> /FP-CTS 的制备及其对溶解性柴油的降解 .....				
.....	黄嘉瑜	王学江	卜云洁	张晶 马荣荣 赵建夫(4223)
非晶态 Co <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 的制备及对水中五氯苯酚的吸附 .....			孙梦圆	崔春月 吴娟 宋姿蓉(4228)
pH 对同步硝化反硝化生物膜内溶解氧分布的影响 .....			黄胜娟	荣宏伟 林孟霞(4233)
稻壳制备介孔状二氧化硅的光催化性 .....			穆浩荣	张玲玲 白淑琴(4239)
玉米秆碳源去除地下水硝酸盐 .....	李同燕	李文奇	胡伟武	冯传平(4245)
提高低 C/N 值农村生活污水中 TN 的去除效果 .....	匡武	王翔宇	周其胤	杨远盛(4252)
油田聚驱采出液乳化特性及其破乳-絮凝 .....	翁艺斌	阎光绪	李敏	翟星月 郭绍辉 张佩佩(4259)
西安某人工湖水水质时空分布特征及其荧光特性 .....		于佳真	王晓昌	薛涛 陈荣(4265)
改性钙基蒙脱土酸性条件下吸附油酸钠 .....	任瑞晨	张乾伟	石倩倩	李彩霞 王秀兰 孟媛媛(4273)
天然沸石对海水中氨氮的吸附特性 .....	王文华	赵瑾	张晓青	成玉 王静 张雨山 李陆杨(4281)
微孔曝气器脉冲式充氧效果 .....	徐鹏	单继宏	金晓航	于江忠 孙毅 张建中(4287)
厌氧、好氧、厌氧/好氧交替状态对活性污泥性质的影响 .....		杨波	单晓明	田晴 李方 马春燕(4293)
城市人工湖的生态治理 .....		徐后涛	赵凤斌	张玮 王丽卿 郑小燕(4300)
载钴催化剂的制备及对染料降解 .....	李洁冰	李玉龙	Asif Hussain	王瑾 李登新(4309)
低温季大型表流湿地对微污染水体脱氮效果及优化运行 .....				
.....	左倬	仓基俊	朱雪诞	成必新 胡伟 商志清 卿杰(4314)
沸石负载高锰酸钾去除低浓度氨氮 .....	郭华	王军林	张小燕	王娜 刘俊良(4321)
2-乙基蒽醌修饰石墨毡催化电极电化学降解土霉素废水二级出水 .....				
.....	李贵霞	岳琳	潘贵芳	刘艳芳 李伟 李再兴(4326)
抗菌剂三氯卡班在水溶液中的光降解 .....		冯振涛	刘海津	汪应灵 冯家豪(4333)
磁性水滑石快速吸附水体中 Cu(II) 离子 .....	张琪	罗琳	张嘉超	刘武嫦 胡伟斌(4339)
零价铁对水中六价铬还原性能及沉淀污泥中铬的固定化 .....	陈忠林	李金春子	沈吉敏	王斌远 樊磊涛(4345)
椰壳活性炭对水中 N-DBP 前体物的吸附 .....			张一凡	金腊华 周元(4353)

混凝和活性炭吸附深度处理制药废水中有机物去除特征 .....	崔凤国	杨 鹏	张伟军	王东升(4359)
Fenton 试剂氧化处理火炸药污染土壤淋洗液 .....	薛江鹏	王建中	赵泉林	王中友 叶正芳(4365)
微波法对吸附扑热息痛废水活性炭的再生 .....	吴 坚	夏洪应	彭金辉	张利波 郑照强 张声洲(4371)
ES 稳定重金属污染底泥效果 .....	蒋玉广	袁珊珊	杨 伟	梁静波 巢军委(4376)
<i>Halothiobacillus neapolitanus</i> 脱硫性能及限制性因素影响 .....			冯守帅	陈金才 杨海麟(4385)
曝气速率对附加微通道湍流促进器 SMBR 流体动力学性能的影响 .....			解 芳	王建敏 刘进荣(4391)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>0</sup> 、H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>2+</sup> 、H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /Fe <sup>3+</sup> 3种体系处理印染废水 .....			姚 兴	颜幼平 冯 霞(4398)
以游泳馆污水为处理对象的 SBR 中不同污泥负荷下氨氧化菌群落的演变 .....				
.....	薛士琼	孙宝盛	于凤庆	王明圆 李 恺 薛圆圆(4403)
环糊精改性蛭石对水中 Cr(VI) 的吸附 .....			张太亮	吴 凤 阳 萍 欧阳斌(4409)
滤材的表面改性对淤泥脱水过程中渗透性能的影响 .....			浩 婷	王 曦 周 颜 吴 燕(4415)
不同混凝剂处理低温低浊水 .....				洪 云 徐 慧(4421)
SMBBR 工艺不同填料处理生活污水 .....	李卫平	李 杰	朱浩君	杨文焕 敬双怡 殷震育 刘 燕(4427)

## 大气污染防治

煤矿井下高压喷雾雾化特性研究 .....	王鹏飞	刘荣华	汤 梦	张 文 桂 哲(4433)
露天堆场防风抑尘网遮蔽效果的数值模拟 .....			潘武轩	宋翀芳 何鸿展(4440)
TEPA/TETA 改性 SBA-15 对 CO <sub>2</sub> 吸附性能的影响 .....			魏建文	和凯凯 孟令硕 廖 雷(4447)
改性粉煤灰基吸附剂烟气脱汞 .....			郑慧敏	刘清才 王 铸 孟 飞 牛德良(4453)
改性 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 脱硫剂脱除 H <sub>2</sub> S 反应特性 .....	沈洪波	张 辉	刘应书	李皓琰 张 贺 郝智天(4458)
一株鱼粉加工硫化氢恶臭气体脱除菌株的分离与鉴定 .....			孙佩璇	娄永江 庄荣玉 严小军(4465)
北京市近 12 年空气污染变化特征及其与气象要素的相关性分析 .....	谢志英	刘 浩	唐新明	李腾腾 张文君(4471)
循环灰加湿量对密相塔半干法脱硫效率的影响 .....			韩剑宏	黄永海 卢熙宁 童震松(4479)
折流式反应器空气净化效果 .....			刘 鹏	郑 洁 宋雪瑞 王小艳(4483)

## 固体废物处置

市政污泥干化动力学研究 .....	范海宏	武亚磊	李斌斌	马 增(4488)
响应曲面法优化 CO <sub>2</sub> 活化制备夏威夷坚果壳基活性炭 .....	程 松	张利波	夏洪应	彭金辉 张声洲 周朝金(4495)
胞外聚合物对生物浸出线路板金属粉末中铜的作用 .....			杨 崇	朱能武 崔佳莹 吴平霄(4503)
微波超声协同处理废弃印刷线路板中非金属 .....			蔡丽楠	殷 进 张 桐 孔晓露(4509)
水淬钢渣碳化固定 CO <sub>2</sub> .....	涂茂霞	雷 泽	吕晓芳	赵宏欣 王丽娜 张军玲 陈德胜 宋文婉 齐 涛(4514)
O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> 气氛下市政污泥混煤燃烧及动力学特性 .....			邵志伟	黄亚继 严玉朋 刘长奇(4519)
提高硅钙渣胶凝活性的热活化实验 .....			杨志杰	孙俊民 张战军 苗瑞平(4526)
医疗废物处理中生物指示剂湿热灭菌动力学方程 .....			靳登超	李 阳 鲍振博 刘 娜(4531)
三七渣固态发酵生产康宁木霉生防菌 .....	谭显东	王君君	王 浪	羊依金 郭俊元 彭 兰 覃璐琳(4535)
3 种畜禽粪便产气特性差异分析 .....			陈 芬	李 伟 刘奋武 张吴平 李筱梅 卜玉山(4540)
黑曲霉固态发酵三七渣产纤维素酶 .....			黄 凡	谭显东 胡 伟 羊依金 林巧玉 任晓霞(4547)
常温下好氧颗粒污泥的形成过程及除污性能 .....			姚 力	信 欣 郭 毅 宋 幻 李 姣(4553)
垃圾填埋场 HDPE 膜漏洞密度及其影响因素的统计分析 .....			徐 亚	能昌信 刘玉强 刘景财 董 路(4558)
富集同型产乙酸菌污泥厌氧产酸 .....			王 晋	李习伟 符 波 杨 彦 刘 和(4565)

## 土壤污染防治

海泡石及其复配原位修复镉污染稻田 .....	梁学峰	韩 君	徐应明	谭适娟 雷 勇 罗文军(4571)
水泥固封镉污染土离子释放规律与微观结构 .....				董祯琴 陆海军 李继祥(4578)

## 环境生物技术

嗜酸氧化亚铁硫杆菌脱煤矸石中硫影响因素的筛选及条件优化 .....				
.....	赵尚明	何 环	于忠琦	黄冠华 冷云伟 陶秀祥(4585)
高岭土固定 GY2B 优化其降解性能 .....			李跃武	吴平霄 李丽萍 党 志(4591)

## 环境 监 测

成都市道路细颗粒物污染特征 .....	袁小燕	叶芝祥	杨怀金	张 菊(4598)
基于远程图像色度的点源水质监测方法 .....			李 文	杨守波 罗学科(4603)
海洋石油工程新型溢油监测系统研究 .....			隋迎光	彭吉友 刘志明 任 华(4609)

# pH对同步硝化反硝化生物膜内溶解氧分布的影响

黄胜娟<sup>1</sup> 荣宏伟<sup>1\*</sup> 林孟霞<sup>2</sup>

(1. 广州大学土木工程学院, 广州 510006; 2. 珠海市城市排水有限公司, 珠海 519000)

**摘要** 采用序批式生物膜反应器处理污水,为了证实同步硝化反硝化生物膜中微区环境的分区现象,研究了pH处于6.5~8.5时pH对该SBBR系统TN去除的影响和各pH条件下的生物膜内溶解氧分布情况,结果表明,随着pH的升高其总氮去除呈上升趋势,并在pH=8.0时达到最高70%;膜内溶解氧浓度均随深度的增加而下降,并在2000 μm左右处降至0,呈明显分区现象;A~F的DO分布在pH=8.5时所受影响最明显,而同一深度不同pH下的平均DO随pH的增加呈略微下降趋势。

**关键词** 同步硝化反硝化 生物膜 pH 微电极 溶解氧

中图分类号 X703.1 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2015)09-4233-06

## Effect of pH value on distribution of dissolved oxygen(DO) during simultaneous nitrification and denitrification(SND) in biofilm

Huang Shengjuan<sup>1</sup> Rong Hongwei<sup>1</sup> Lin Mengxia<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China; 2. Zhuhai Urban Drainage Co. Ltd., Zhuhai 519000, China)

**Abstract** The sequencing batch biofilm reactor(SBBR) was used to treat wastewater. To confirm the partition of microenvironment during SND in biofilm, we investigated the effect of pH value on TN removal and DO distribution in the system. The results showed that the TN removal rate increased with the rise of pH and it was 70% when the pH was 8.0. Also, the DO in biofilm declined while the depth increased, and the DO was 0 at 2000 μm. The DO at A~F was influenced significantly when pH=8.5, and the average DO at same depth under different pH decreased slightly with the pH increasing.

**Key words** SND; biofilm; pH; microelectrode; DO

同步硝化反硝化(SND)相比于传统脱氮具有简化工艺、节省投资和处理效率较高等优点,同时,影响同步硝化反硝化的因素也很多,如:DO、温度、C/N等<sup>[1,2]</sup>。因此,如何实现稳定的同步硝化反硝化对于脱氮具有重要意义。近年来,国内外关于同步硝化反硝化的讨论主要集中在其机理方面,主要分为宏观环境理论、微环境理论和生物学理论<sup>[3]</sup>,微环境理论认为:氧的扩散会在微生物絮体或生物膜内受到限制,从而形成溶解氧梯度,导致表面DO浓度高,主要生长好氧硝化菌和氨化菌,而内部氧传递受阻则产生缺氧区,以反硝化菌为主,这就形成了有利于同步硝化反硝化的微环境<sup>[4]</sup>。而国内目前对SND的研究多集中在优化工艺方面<sup>[5-7]</sup>,较少涉及其实现过程中微环境的表征与研究。本文正是针对实现同步硝化反硝化的微环境理论,在SBBR连续流的运行条件下,通过灵敏度高、对受试生物膜损害

小的微电极技术<sup>[8]</sup>测定同步硝化反硝化生物膜内各深度处的溶解氧空间分布,且在已达到同步效果的生物膜基础上将其置于不同pH下,进而,达到验证微环境理论和探求pH对同步硝化反硝化生物膜TN去除、SND率及其膜内溶解氧分布的影响。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 实验装置

装置主体由2种规格的SBBR和微电极检测系

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(51278133,21477027);广东省自然科学基金资助项目(S2013010013943);广州市教育系统创新团队资助项目(13C01)

**收稿日期:**2015-04-16; **修订日期:**2015-05-26

**作者简介:**黄胜娟(1992—),女,硕士研究生,主要研究领域为污水处理。E-mail:1172073841@qq.com

\* 通讯联系人, E-mail: rhwc@139.com

统组成, SBBR 均由有机玻璃制成。其中, 用于培养生物膜的 SBBR 内径 14 cm, 高为 70 cm, 有效容积为 10 L, 如图 1 所示。该反应器内放置 10 片组合纤维填料, 每片填料之间的间距为 50 mm 左右。培养过程中运行方式为瞬时进水、曝气、静沉、排水, 每天 2 个周期。用加热棒恒定 SBBR 内温度在 26 ~ 28℃。用于主体实验的小型 SBBR 有效容积为 2.56 L, 尺寸为 16 cm × 16 cm × 10 cm, 放置单片经培养达到同步硝化反硝化的生物膜填料, 采用鼓风曝气, 通过转子流量计调节曝气量来控制溶解氧浓度, 采用下部进水, 上部出水的连续流运行方式。

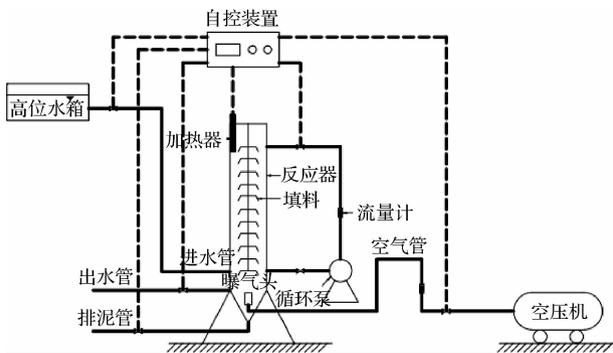


图 1 SBBR 装置示意图

Fig. 1 Schematic of experimental system

微电极检测系统和生物膜上微电极探针测点分布分别如图 2、图 3 所示。其中测量生物膜内部溶解氧值的微电极是丹麦 Unisense 公司生产的 PA2000 型溶解氧微电极探针。

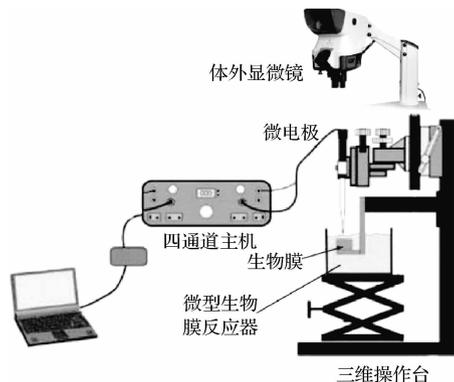


图 2 微电极检测系统示意图

Fig. 2 Microelectrode detection system

## 1.2 实验用水

本实验采用人工模拟生活污水来培养驯化实验所需生物膜, 原水水质为: COD 227 ~ 307 mg/L; TN 21.5 ~ 29.6 mg/L;  $\text{NH}_4^+$ -N 19.8 ~ 27.5 mg/L;

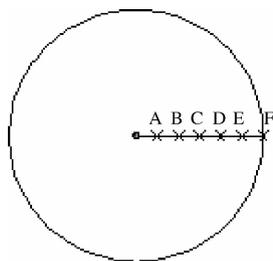


图 3 生物膜上测点分布示意图

Fig. 3 Measuring points in biofilm

$\text{NO}_2^-$ -N 0 ~ 0.4 mg/L;  $\text{NO}_3^-$ -N 0.3 ~ 2.4 mg/L。采用淀粉、 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{CaCl}_2$ 、 $\text{MgSO}_4$ 、 $\text{FeSO}_4$  和小苏打等配制污水组成, 其中淀粉 3 g/10 L;  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1.2 g/10 L;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.25 g/10 L;  $\text{CaCl}_2$  0.2 g/10 L;  $\text{MgSO}_4$  0.3 g/10 L;  $\text{FeSO}_4$  0.02 g/10 L。

## 1.3 检测方法

COD: 重铬酸钾法; 氨氮 ( $\text{NH}_4^+$ -N) 浓度: 纳氏试剂分光光度法; 硝氮 ( $\text{NO}_3^-$ -N) 浓度: 麝香草酚法; 亚氮 ( $\text{NO}_2^-$ -N) 浓度: N-(1-萘基)-乙二胺分光<sup>[9]</sup>; DO 和 pH: 德国 WTW 分析仪; 膜内溶解氧: 丹麦 Unisense 溶解氧微电极检测系统。

## 1.4 生物膜的培养与驯化

本文采用接种法培养生物膜, 取广州市沥滘污水处理厂二沉池回流污泥, 沉淀排除上清液后倒入挂有纤维填料的 SBBR 中, 同时加入人工配制的模拟污水并曝气。其中 DO 浓度为 3 mg/L 左右, 曝气时间 8 ~ 8.5 h, 每天运行 2 个周期, 每次开始曝气前采用全换容的方式加入新鲜污水。经过 25 d 的连续培养, 出水水质稳定, COD 去除率达 90% 以上, 氨氮去除率达 85% 以上, TN 去除率 30% 左右。再取较厚的生物膜填料分别放入小型 SBBR 中采用连续流方式运行, 同时以  $\text{NaHCO}_3$  调节其 pH 为  $6.5 \pm 0.1$ ,  $7 \pm 0.1$ ,  $7.5 \pm 0.1$ ,  $8 \pm 0.1$ ,  $8.5 \pm 0.1$ 。每天取样测其三氮变化, 待 TN 去除率和 SND 率稳定后用微电极检测其膜表面沿深度往下 3 mm 的溶解氧变化情况。

## 2 结果与讨论

### 2.1 pH 对出水效果的影响

图 4 所示为连续 10 d 的平均 TN 去除率、氨氮去除率和 SND 率, 由图可知: TN 去除率在 pH = 8 时达到最大 70%; 氨氮去除率在 pH = 8 时达到最高 74%; SND 率在 pH = 7.5 时达到最大 90%; 随着 pH 的增大, TN 去除率呈上升趋势, SND 率则在弱碱环

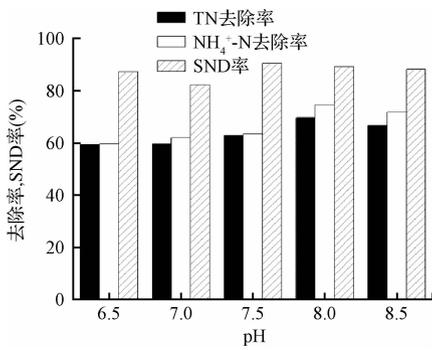


图 4 各 pH 影响下的出水效果  
Fig. 4 Effect of pH on effluent

境下略高。但是 5 个 pH 条件下,最低 TN 去除可达 60%,最低的 SND 率为 83%,变化幅度均不大,这就说明在 pH 为 6.5~8.5 范围内时,该 SBBR 连续流系统均可取得较好的同步硝化反硝化效果,pH 对 TN 去除率和 SND 率的影响并不十分显著。通常,由于硝化菌与反硝化菌的生长所需和反应的适宜 pH 不同,导致混合培养体系中要综合考虑,其中,硝化反应的适宜 pH 为 8.0~8.4,反硝化反应的适宜 pH 为 7.0~8.0<sup>[10]</sup>。同时,硝化反应消耗碱度而反硝化反应增加碱度,二者具有一定的抵消作用,所以

郑巧东等认为,pH 对脱氮率的影响并不很明显<sup>[11]</sup>。当 pH > 8 时,反硝化虽然会受到抑制,但由硝化产生的充足的反硝化底物能部分弥补 pH 对其的抑制作用,所以 pH = 8 时,TN 去除率甚至高于 pH = 7.5 时,这与方茜等<sup>[12]</sup>的实验结果一致,即中性略偏碱性有利于 SBR 内 SND 的发生。杜馨等<sup>[13]</sup>的实验研究也表明,进水 pH 控制在 7.5~8.0 时可取得较好的总氮去除效果。

### 2.2 培养驯化条件下的生物膜内 DO 空间分布

当 SBBR 连续流水效果达到稳定的 TN 去除后,将生物膜置于微电极检测系统下的微型生物膜反应器中,该微型反应器也为连续流进水方式,进水水质与培养驯化时一致,以 100 μm 步长沿垂直于生物膜方向测量生物膜内溶解氧浓度,水中 DO = 3.5 mg/L。如图 5(a)所示,膜表面以下 500 μm 处的 DO 分布较均匀,多处在 2~2.8 mg/L 范围内,为绝对的好氧区,此时以好氧硝化反应为主;随着深度的加深,1 000 μm 处的 DO 分布开始呈不稳定状态,但以 > 0.8 mg/L 居多,仍主要进行硝化反应,部分区域 DO 则降至 0.2 mg/L 左右;而在 1 500 μm 处,DO 变化幅度明显,低至 0.2 mg/L 以下,> 1 mg/L

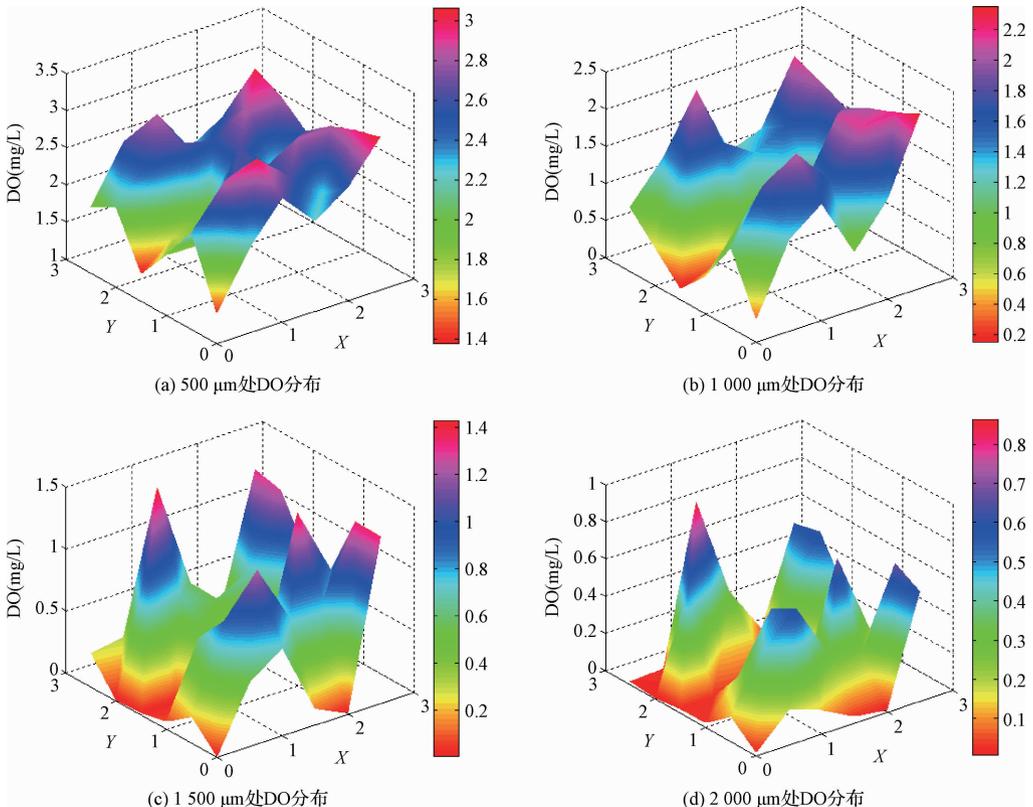


图 5 各深度处的 DO 空间分布图

Fig. 5 Distribution of dissolved oxygen in different depths

的区域也存在,在此深度处好氧、厌氧两区同时存在,意味着有同时发生硝化与反硝化的微区环境;当深度下降至 2 000  $\mu\text{m}$  时,生物膜内 DO 多处于 0.1 ~ 0.3 mg/L,仍有部分边缘区域 > 0.5 mg/L,多为厌氧区域,以厌氧反硝化为主。由此可知,在 500、1 000、1 500 和 2 000  $\mu\text{m}$  4 个深度处的溶解氧都有些不稳定,这与所测区域同一深度处的生物膜生长情况有关,生物膜密实,传质阻力大,则扩散进入的溶解氧浓度要低;而且,深度不断加大,从水中扩散进入生物膜的溶解氧越少,浓度也呈不断下降趋势,这与宋慧敏等<sup>[14]</sup>的研究一致。同时,从 500 ~ 2 000  $\mu\text{m}$ ,溶解氧已出现明显分区现象,由大于 3 mg/L 降至低于 0.2 mg/L,有利于同步硝化反硝化的实现。

### 2.3 pH 对生物膜内 DO 分布的影响

图 6 所示为各 pH 影响下沿半径方向由中心往

边缘的 6 个点(见图 3 中 A ~ F)的 DO 沿垂直于填料方向的变化情况,显然,各 pH 影响下的膜内溶解氧均随深度的增加呈下降趋势,且都由水膜接触面处的 DO > 3 mg/L 的好氧状态最终在 2 000  $\mu\text{m}$  左右降至 0 的无氧状态,呈现明显的好氧、厌氧分区。吴盈禧等<sup>[15]</sup>利用溶解氧微电极测量动态膜内溶解氧发现在深度大于 2.0 ~ 2.5 mm 时,动态膜内微生物处于无氧环境,与本实验膜内溶解氧在 2 000  $\mu\text{m}$  左右降至 0 较一致。然而,同一 pH 下不同位置的 DO 降落速度均呈现明显差异,以 pH = 8.5 时 A ~ F 的 DO 降落梯度差异最为显著,其中又以处于中间位置的 C 点降落最快,这是因为溶解氧可分别从填料中心空的部位和填料边缘水中各个方向扩散补充至 A、B 或 E、F,使得处于中间位置的 C 在硝化反应消耗了氧后得不到及时的补充,导致了 C 点 DO 降落

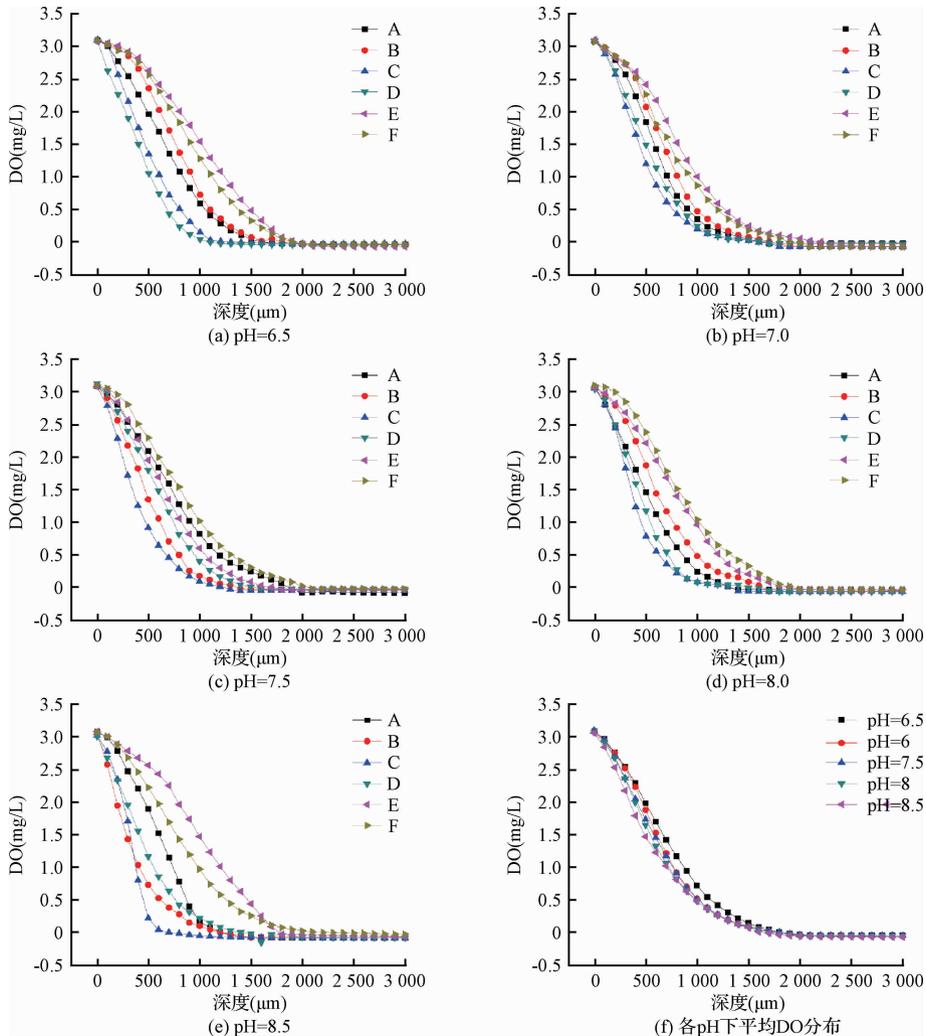


图 6 各 pH 影响下的 DO 分布

Fig. 6 Effect of pH on distribution of dissolved oxygen

快于同一深度处的其他点,除 pH = 6.5 时为 D 点于 1 200  $\mu\text{m}$  处最快降落至接近 0 外,pH = 7,7.5,8 和 8.5 时均为 C 点 DO 分别在深度为 1 600  $\mu\text{m}$ 、1 300  $\mu\text{m}$ 、1 400  $\mu\text{m}$  和 800  $\mu\text{m}$  时最快降落至接近 0,这就造成了 DO 降落 C、D 快于 A、B 快于 E、F 的整体趋势。而 pH = 8.5 时的 C 点 DO 在沿垂直填料方向往下 800  $\mu\text{m}$  即接近 0 是因为此时的 pH 为硝化反应适宜的 pH,硝化菌发生硝化反应使得溶解氧消耗快又得不到补充,使得 pH = 8.5 时的 C 点成了整个 pH 范围内所有点之间 DO 降落最快的点。而在 6.5 ~ 8.5 范围内,同一深度处的所有测点平均 DO 无太大差异,随着 pH 值的增加呈现轻微下降趋势,这是由于该 pH 范围内随 pH 值的增加硝化反应加强消耗溶解氧多,导致扩散进入生物膜下一深度的 DO 少。

### 3 结 论

(1) DO = 3.5 mg/L, pH 在 6.5 ~ 8.5 变化时,对 TN 去除及 SND 率影响不大,在 pH = 8 时 TN 去除率最大为 70%,在 pH = 7.5 时 SND 率最高为 90%。

(2) 同一深度处的溶解氧空间分布由于生物膜生长不均呈不稳定状态,从 500 ~ 2000  $\mu\text{m}$  溶解氧浓度呈递减趋势。

(3) 不同 pH 条件下的生物膜内溶解氧均随深度的增加而降低,且最终在沿垂直于膜表面 2 mm 左右处降至 0;不同部位的 DO 在 pH = 8.5 时所受影响最明显,同一深度不同 pH 下 DO 随 pH 的增加呈略微下降趋势。

### 参 考 文 献

- [1] Pochana K., Keller J. Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification (SND). *Water Science and Technology*, **1999**, 39(6): 61-68
- [2] Qi Rong, Yang Kun, Yu Zhaoxiang. Treatment of coke plant wastewater by SND fixed biofilm hybrid system. *Journal of Environmental Sciences*, **2007**, 19(2): 153-159
- [3] 杨麒, 李小明, 曾光明, 等. 同步硝化反硝化的形成机理及影响因素. *环境科学与技术*, **2004**, 27(3): 102-104  
Yang Lin, Li Xiaoming, Zeng Guangming, et al. Formative mechanism and impact factors for simultaneous nitrification and denitrification. *Environmental Science & Technology*, **2004**, 27(3): 102-104(in Chinese)
- [4] 吕锡武, 李丛娜, 道森悠平. 溶解氧及活性污泥浓度对同步硝化反硝化的影响. *城市环境与城市生态*, **2001**, 14(1): 33-35  
Lü Xiwu, Li Congna, Yuhei Inamori. Effect of DO concentration and MLSS on simultaneous nitrification and denitrification. *Urban Environment & Urban Ecology*, **2001**, 14(1): 33-35(in Chinese)
- [5] 彭赵旭, 彭永臻, 左金龙. 同步硝化反硝化的影响因素研究. *给水排水*, **2009**, 35(5): 167-171  
Peng Zhaoxu, Peng Yongzhen, Zuo Jinlong. Study of influence factors on simultaneous nitrification and denitrification. *Water & Wastewater Engineering*, **2009**, 35(5): 167-171(in Chinese)
- [6] 荣宏伟, 彭永臻, 张朝升, 等. 序批式生物膜反应器的同步硝化反硝化研究. *工业水处理*, **2008**, 28(11): 9-12  
Rong Hongwei, Peng Yongzhen, Zhang Chaosheng, et al. Study on the nitrogen removal by simultaneous nitrification and denitrification in sequencing batch biofilm reactor. *Industrial Water Treatment*, **2008**, 28(11): 9-12(in Chinese)
- [7] 姜体胜, 杨琦, 尚海涛, 等. 温度和 pH 值对活性污泥法脱氮除磷的影响. *环境工程学报*, **2007**, 1(9): 10-14  
Jiang Tisheng, Yang Qi, Shang Haitao, et al. Effects of temperature and pH on nitrogen and phosphorus removal by activated sludge. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, **2007**, 1(9): 10-14(in Chinese)
- [8] 周小红, 施汉昌, 蔡强. 基于微电极的生物膜分析技术的研究进展. *环境监测管理与技术*, **2006**, 18(1): 32-35  
Zhou Xiaohong, Shi Hanchang, Cai Qiang. Study Process on micro-profiles of biofilm determined by microelectrodes. *The Administration and Technique of Environmental Monitoring*, **2006**, 18(1): 32-35(in Chinese)
- [9] 国家环境保护总局. *水和废水监测分析方法(第4版)*. 北京: 中国环境科学出版社, **2002**
- [10] 徐亚同. pH 值、温度对反硝化的影响. *中国环境科学*, **1994**, 14(4): 308-313  
Xu Yatong. The influence of pH values and temperature on denitrification. *China Environmental Science*, **1994**, 14(4): 308-313(in Chinese)
- [11] 郑巧东, 钟丽娜, 姚善涇. 硝化菌与反硝化菌混合培养生物脱氮的研究. *化学工程*, **2010**, 38(3): 64-67  
Zheng Qiaodong, Zhong Lina, Yao Shanjing. Biological denitrification by mixed culture of nitrifying and denitrifying bacteria. *Chemical Engineering*, **2010**, 38(3): 64-67(in Chinese)
- [12] 方茜, 张朝升, 张可方, 等. 污泥龄及 pH 值对同步硝

- 化反硝化过程的影响. 广州大学学报(自然科学版), **2008**, 7(3): 50-54
- Fang Qian, Zhang Chaosheng, Zhang Kefang, et al. Effect of sludge age and pH value on simultaneous nitrification and denitrification (SND). *Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition)*, **2008**, 7(3): 50-54 (in Chinese)
- [13] 杜馨, 张朝升, 张英民, 等. 污泥龄及 pH 对同步硝化反硝化影响的试验研究. *广东化工*, **2014**, 41(19): 72-74
- Du Xin, Zhang Chaosheng, Zhang Yingmin, et al. Study on effect of sludge age and pH value simultaneous nitrification and denitrification. *Guangdong Chemical Industry*, **2014**, 41(19): 72-74 (in Chinese)
- [14] 宋慧敏, 周小红, 张永明, 等. 基于微电极技术的反硝化滤池生物膜特性分析. *中国环境科学*, **2012**, 32(5): 850-854
- Song Huimin, Zhou Xiaohong, Zhang Yongming, et al. Characterization of biofilm in denitrification biofilter based on microelectrode technique. *China Environmental Science*, **2012**, 32(5): 850-854 (in Chinese)
- [15] 吴盈禧, 蔡强, 周小红, 等. 基于溶解氧微电极的动态膜特性的在线研究方法. *环境科学*, **2005**, 26(2): 113-116
- Wu Yingxi, Cai Qiang, Zhou Xiaohong, et al. Characteristics of dynamic membrane based on oxygen microelectrode. *Environmental Science*, **2005**, 26(2): 113-116 (in Chinese)