

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究 窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明(1)

厦门城区大气颗粒物 PM₁₀ 中有机酸源谱特征分析 杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴水正(8)

兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析 李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思(15)

气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO₂ 和 NO_x 的影响 王鸿,朱天乐,王美艳(21)

麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氨挥发特性比较 汪军,王德建,张刚,王远(27)

单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物 陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垠,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋(34)

碱性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究 张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨(39)

夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜(DMSO)的浓度分布 王敏,张洪海,杨桂朋(45)

2010年秋季长江口口外海域 CDOM 的三维荧光光谱-平行因子分析 闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇(51)

基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测 李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙(61)

基于 HJ1A-CCD 数据的高光谱影像重构研究 郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁(69)

重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究 徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍(77)

区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型 陈丁江,孙嗣畅,贾颖娜,陈佳勃,吕军(84)

秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征 李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元(91)

湘江沉积物镉和汞质量基准的建立及其应用 蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山(98)

丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价 张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男(108)

汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布 李晋昌,张红,石伟(116)

黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估 张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强(121)

胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征 刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军(129)

基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选 卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新(137)

海洋细菌 *Marinobacter adhaerens* HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用 王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦(145)

水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响 苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民(150)

化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响 高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳(156)

无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析 王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐(163)

天然有机物的相对分子量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响 胡孟柳,林洁,许光红,董秉直(169)

不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响 徐慧伟,张旭,李立明,郑光洁,李广贺(177)

基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究 曾宪委,刘建国,聂小琴(182)

负载型 TiO₂ 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究 张小娜,周少奇,周晓(188)

污水厂微孔曝气系统工况下充氧性能测试与分析 吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇(194)

微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响 刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根(198)

不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N₂O 产生量的影响 韩雪,高大文(204)

模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响 谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢(209)

嗜麦芽窄食单胞菌对铜镉的吸附特性与离子交换 白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立栉,何宝燕,李跃鹏(217)

阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究 夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳(226)

活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究 孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南(231)

北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析 杨维,赵文吉,官兆宁,赵文慧,唐涛(237)

北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究 齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福(244)

北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估 千志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏(251)

多效应残差法(MERA)表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用 霍向晨,刘树深,张晶,张瑾(257)

利用 DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌 吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远(263)

不同白腐真菌复配方式对产酶的影响 孟瑶,梁红,高大文(271)

不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响 张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林(277)

垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响 霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国(283)

黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征 董洪芳,于君宝,管博(288)

丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究 方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇(293)

重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究 陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振高,黄玉娟(302)

无定形 Fe(OH)₃ 和 Fe₃O₄ 共沉淀态 As 的化学提取 陈义萍,王少锋,贾永锋(308)

铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响 李华,黄建国,袁玲(315)

污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究 段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎(321)

高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能 李坤权,李焯,郑正,桑大志(328)

基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究 田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易(336)

微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展 侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强(347)

2012 城市生态学术研讨会会议论文

北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征 何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛(357)

北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征 唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正(364)

北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析 任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强(373)

洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析 虎博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维(379)

低碳交通电动汽车减排潜力及其影响因素分析 施晓清,李笑诺,杨建新(385)

北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究 邓俊,徐琬莹,周传斌(395)

人工湿地在应用中存在的问题及解决措施 黄锦楼,陈琴,许连煌(401)

《环境科学》征订启事(26) 《环境科学》征稿简则(68) 信息(76,144,301,400) 专辑征稿通知(394)

污水厂微孔曝气系统工况下充氧性能测试与分析

吴媛媛^{1,2}, 周小红¹, 施汉昌^{1*}, 邱勇¹

(1. 清华大学环境学院, 北京 100084; 2. 北京交通大学土木建筑工程学院, 北京 100044)

摘要: 以无锡芦村污水处理厂四期曝气池为研究背景, 采用尾气法测定了微孔曝气头在实际污水厂正常运行工况下的充氧性能参数, 与理论清水中该值比较, 评价曝气头运行情况. 结果表明, 在污水处理厂曝气池不同廊道分布的曝气头氧传质性能存在显著差异, 同一廊道的曝气头在一天内的氧传质能力变化不大. 与清水条件相比, 实际工况下曝气池中的微孔曝气头充氧性能下降较大, 其中氧传质系数 K_{La} 、充氧能力 OC 和氧利用率 E_a 分别下降了 43%、57% 和 76%.

关键词: 微孔曝气头; 工况; 尾气法; 氧传质系数; 充氧能力; 氧利用率

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0194-04

Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant

WU Yuan-yuan^{1,2}, ZHOU Xiao-hong¹, SHI Han-chang¹, QIU Yong¹

(1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Using the aeration pool in the fourth-stage at Wuxi Lucun Waste Water Treatment Plant (WWTP) as experimental setup, off-gas method was selected to measure the oxygenating ability parameters of micropore aerators in a real WWTP operating condition and these values were compared with those in fresh water to evaluate the performance of the micropore aerators. Results showed that the micropore aerators which were distributed in different galleries of the aeration pool had significantly different oxygenating abilities under operation condition. The oxygenating ability of the micropore aerators distributed in the same gallery changed slightly during one day. Comparing with the oxygenating ability in fresh water, it decreased a lot in the real aeration pool, in more details, under the real WWTP operating condition, the values of oxygen transfer coefficient K_{La} , oxygenation capacity OC and oxygen utilization E_a decreased by 43%, 57% and 76%, respectively.

Key words: microporous aerator; operation condition; off-gas method; oxygen mass transfer coefficient; oxygenating capacity; oxygen utilization ratio

目前污水处理厂为了提高氧转移效率普遍采用微气泡曝气系统^[1]. 与中大气泡的曝气系统相比, 微孔曝气系统能节约 50% 的能耗^[2], 氧利用效率、动力效率、氧总转移系数较大, 但是同时具有阻力损失较大、容易堵塞、使用寿命较短等不足^[3]. 实际的污水处理运行条件, 会使曝气器的传质性能产生很大变化, 而曝气器性能优劣差异, 可使能耗相差 50% 以上^[4]. 因此, 污水处理厂需要及时地对曝气器的性能进行测量和评价, 才能进行日常维护和保养, 并且在充氧性能明显下降且不可逆转时及时更换新的曝气器, 使微孔曝气系统发挥最佳的节能效果. 而实际污水中正常运行条件下曝气头的充氧性能正是一个直接反映曝气头传质、运行情况的参数.

然而, 目前国内外针对曝气传质的研究, 大部分只是根据具体水质进行实验室规模的模拟, 对于实际污水的传质也只限于对不含污泥的污水的研究. 对曝气设备在实际污水处理工况下的曝气池泥水混

合物中的氧传质性能参数的研究很少. 研究实际工况下曝气设备的氧传质系数(K_{La})、充氧能力(OC)、氧利用率(E_a)等充氧性能参数^[5]有助于认清污水水质、污泥菌群及工艺条件对氧传递过程的影响, 了解实际情况与理论的差异, 寻求曝气工艺的最佳操作参数、曝气系统的精确控制、优化运行, 以及对曝气系统性能评价继而进行日常维护、节能降耗具有十分重要的意义. 目前, 确定曝气设备充氧性能的方法有稳态法、非稳态法、尾气法等. 其中, 尾气法是一种典型的稳态分析方法, 该方法基于耗氧率和溶解氧浓度来确定 K_{La} , 而耗氧率则可以由气相中氧气的平衡来确定, 通过该方法, 可在污水厂实际工艺运行条件下(相对恒定的 DO 值和气体流速)推导出曝气系

收稿日期: 2012-02-15; 修订日期: 2012-07-22

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07313-003)

作者简介: 吴媛媛(1988~), 女, 硕士, 主要研究方向为曝气传质, E-mail: wu-yy10@mails.tsinghua.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: hanchang@mail.tsinghua.edu.cn

统的氧传质系数^[6-9]. 因此, 尾气法非常适合对污水厂曝气设备的实际性能研究.

本研究以无锡市芦村污水处理厂四期曝气池为对象, 利用尾气法测试和分析芦村污水厂微孔曝气系统的充氧能力, 并通过与清水中曝气性能的比较, 探讨曝气系统在实际工艺运行条件及清水条件下的充氧性能差异, 以期为污水厂曝气设备的维护改造、节能降耗提供理论支持.

1 氧传质理论

通过对曝气池氧含量的质量守恒分析, 当曝气池内及溢出尾气中的氧组分含量基本达到稳态时, 曝气系统的氧传质系数(K_{La}, h^{-1})计算公式为^[10]:

$$K_{La} = \frac{\rho \cdot Q(Y_{in} - Y_{out})}{V(c_s - c)} \quad (1)$$

式中, ρ 为氧比重, 20℃ 且相对湿度为 50% 时, $\rho = 1.33 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; Q 为曝气量, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; V 为曝气池体积, m^3 ; Y_{in} 、 Y_{out} 为输入空气、输出尾气中氧所占的量比; c_s 为混合液氧饱和浓度, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; c 为混合液氧浓度, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

若测试条件不在 20℃, 可以采用如下公式对实测 $K_{La}(T)$ 进行修正:

$$K_{La}(20^\circ\text{C}) = K_{La}(T) \cdot 1.024^{(20-T)} \quad (2)$$

充氧能力($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$):

$$\text{OC} = K_{La}(20^\circ\text{C}) \cdot V \cdot c'_s \quad (3)$$

式中, c'_s 为 20℃ 清水氧饱和浓度, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

氧利用率:

$$E_a = \frac{\text{OC}}{S} \cdot 100\% \quad (4)$$

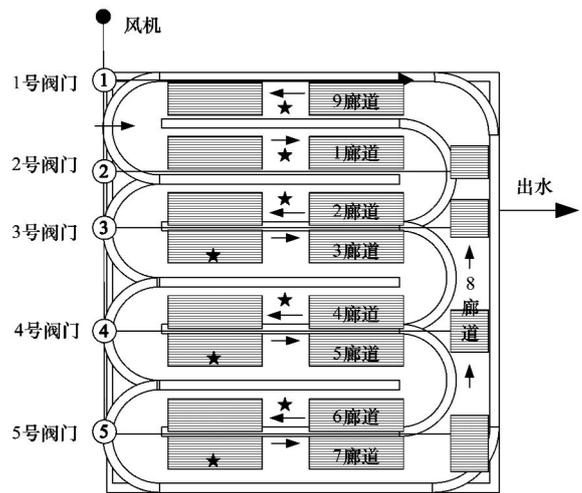
式中, S 为总供氧量, $S = \rho \cdot Y_{in} \cdot G_s$, G_s 为曝气头气量.

2 材料与方法

2.1 芦村污水处理厂曝气系统简介

无锡市芦村污水处理厂四期工程设计规模 10 万 $\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$, 采用 2 组镜像, 单独进水的 A/A/O 工艺为主体生物处理工艺, 曝气池采用推流式池型, 按普通曝气活性污泥法设计, 其中好氧生物池中的曝气系统示意图如图 1 (包括廊道编号、阀门编号、水流方向、尾气法测试位置).

芦村污水处理厂四期工程采用的曝气头为宜兴市诗画环保有限公司生产的 GY·Q 球形刚玉微孔曝气头, 技术规格和设计参数如下: 外形直径 240 mm, 高 94 mm, 厚 12 mm, 服务面积: $0.4 \sim 0.6 \text{ m}^2 \cdot \text{个}^{-1}$



粗线代表曝气主管线, 箭头表示水流方向, 粗线两侧平行细线代表曝气支管及曝气头分布位置, 星号代表尾气法测试位置

图 1 生物池好氧段曝气系统示意

Fig. 1 Aeration system of the aerobic section of the biological pool

(水深 4 ~ 6 m), 单个曝气头通气量: $2 \sim 6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

2.2 实验仪器

氧组分测量仪 (Z1100, 美国 ESC 公司), 秒表, 集气罩, 便携式溶氧仪 (YSI-86).

2.3 测试方法

以单组曝气池为研究对象, 在实际运行工况条件下于曝气池上端安装集气罩, 收集逸出混合液面的气体, 用氧组分测量仪测试逸出气体中氧气所占体积分数, Y_{out} , 同时读取空气流量计流量 Q 和观测位置的氧浓度 c . 采用移动式测量方法, 移动集气罩, 沿曝气池各廊道分别布点测量各参数的变化情况, 此外, 在 2 号廊道读取上午 09:00、中午 12:00 以及晚上 17:00 这 3 个时间段的各参数变化情况. 为减少误差, 氧组分和氧浓度读数读取 3 次, 计算时取 3 次测量的平均值.

为获得混合液的氧饱和浓度, 用塑料量杯从曝气池中取出约 1 L 混合液, 曝气 24 h, 测定饱和状态的溶解氧值, 记为 c_s . 清水中的氧饱和浓度采用实测法, 取自来水, 用空气曝气至溶氧仪读数不再上升时, 记录此时的浓度值即为 c'_s .

3 结果与讨论

3.1 清水条件下微孔曝气头充氧性能

根据建设部给水排水设备产品质量监督检测中心对 GY·Q 球形刚玉微孔曝气头的检测结果可知, 在清水条件, 单个曝气头服务面积为 1 m^2 , 有效水深 6 m, 测试水温为 23.6 ~ 23.7℃ 时, 微孔曝气头充氧性能与气量的关系如表 1. 根据公式 (3) 可知, 当

曝气头服务体积不变时, K_{La} (20℃) 与 OC 呈正比, 且 K_{La} (20℃)、OC 以及 E_a 都与曝气量呈乘幂关系^[11~13]. 因此, 可获得清水条件下 GY·Q 型微孔曝气头各充氧性能参数与曝气量的定量关系, 如式 (5) ~ (7) 所示. 因此可得出在单个曝气量为 $0.65 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 时, 曝气头 K_{La} (20℃)、OC 和 E_a 分别是 1.23 h^{-1} , $0.088 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 48.3% , 用于与工况条件下比较.

$$K_{La}(20^\circ\text{C}) = 1.787 \cdot Q^{0.877} \quad (5)$$

$$\text{OC} = 0.128 \cdot Q^{0.877} \quad (6)$$

$$E_a = 45.94 \cdot Q^{-0.12} \quad (7)$$

3.2 污水厂工况条件下微孔曝气头充氧性能

根据芦村污水处理厂曝气池施工图及工艺运行参数可知, 曝气池中单个曝气头服务面积为 0.9

m^2 , 单个曝气头气量 $0.59 \sim 0.74 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, 远小于清水中 $2.545 \sim 5.112 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 的测试条件. 曝气池有效水深约 6 m , 测试时水温为 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. 在 20°C 下测得的曝气池混合液溶解氧饱和浓度为 $c_s = 8.25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 清水中的溶解氧饱和浓度实际测量值为 $c'_s = 10.15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 利用尾气法获得的污水厂实际曝气量下微孔曝气系统充氧性能参数如表 2, 其中 K_{La} 近似等于 K_{La} (20℃).

表 1 清水条件下微孔曝气头充氧性能

气量 / $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	OC / $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	E_a /%
2.545	0.293	41.103
3.819	0.415	38.774
5.112	0.541	37.789

表 2 利用尾气法测试曝气池中微孔曝气头的充氧性能

Table 2 OC and E_a values of the micropore aerators using off-gas method

项目	廊道序号	c / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	Y_{out} /%	K_{La} / h^{-1}	OC / $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	E_a /%
各廊道充氧性能	1	2.86	17.35	0.82	0.044 8	12.7
	2	2.14	18.74	0.40	0.022 0	6.9
	3	1.55	16.23	0.91	0.049 9	17.3
	4	1.224	17.5	0.66	0.036 4	12.0
	5	1.32	16.93	0.81	0.044 0	14.4
	6	1.95	17.8	0.76	0.041 4	10.7
均值	—	—	—	0.70	0.038 1	11.61
2 号廊道早、中、晚充氧性能	上午 09:00	1.87	17.9	0.52	0.033	20.8
	中午 12:00	0.27	17.5	0.48	0.031	19.4
	下午 17:00	0.45	17.9	0.42	0.027	17.1
均值	—	—	—	0.47	0.025 7	16.16

3.3 曝气池不同廊道充氧性能与清水条件下充氧性能的比较及分析

工况下曝气池不同廊道的微孔曝气头充氧性能参数如表 2 所示, 此外, 通过公式 (5) ~ (7) 计算在平均气量 ($0.65 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) 以及清水条件下的曝气头 K_{La} 、OC 以及 E_a . 各廊道曝气头充氧性能参数与清水条件下的比值 α 见图 2.

如图 2 所示, 工况下曝气池不同廊道的微孔曝气头充氧性能存在显著差异, 由于 K_{La} 与 OC 呈正比关系, K_{La} 与 OC 在各廊道的变化规律相同, 与 E_a 变化规律近似相同. 在同一曝气干管服务的廊道内, 前曝气区的氧传质性能优于中间推流区 (2、4 廊道 α 值分别小于 3、5 廊道 α 值). 已有的研究表明, 污水处理中的微孔曝气系统会受到污水水质、有机负荷、曝气量、曝气池运行方式、曝气头堵塞情况等多种因素的影响^[14]. 因而, 推流型曝气池沿池有机负荷的分布差异、各个廊道曝气量的不同等综合因素造成了各个廊道曝气头充氧性能的差异, 其中, 位

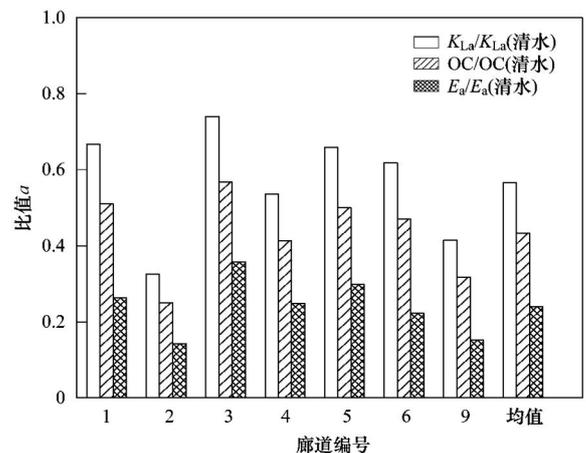


图 2 曝气池中各廊道微孔曝气头充氧性能参数与清水条件下的比值

Fig. 2 Ratios of micropore aerators' oxygenating ability parameters of each gallery of the aeration tank to those in fresh water

于推流型曝气池中间位置的第 5 廊道微孔曝气头的充氧性能与全池平均值最接近.

此外, 与清水条件相比, 污水中微孔曝气头的氧

传质系数 K_{La} 是清水中的 32% ~ 74%, 而充氧能力 OC 为清水中的 25% ~ 57%, 氧利用率 E_a 为清水中的 14% ~ 36%。全池 K_{La} 、OC、 E_a 的平均值分别比清水条件下降了 43%、57% 和 76%。

3.4 曝气池不同时间曝气性能差异及分析

工况条件下, 第 2 号廊道同一天不同时间段的曝气头充氧性能参数与清水条件下的比值如图 3 所示(根据测试当天 3 号阀门的气量变化可知, 2 号廊道单个曝气头的气量变化可以忽略不计)。

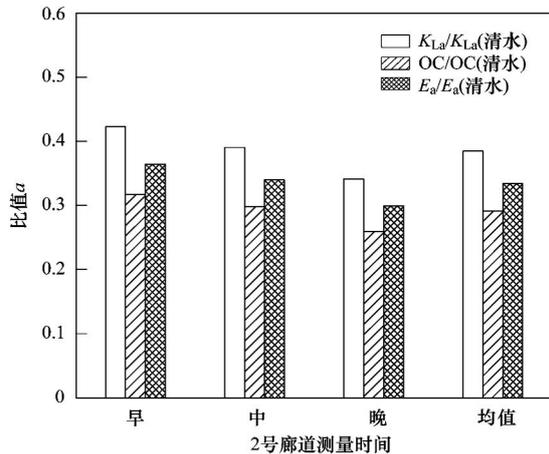


图 3 曝气池 2 号廊道不同时间段微孔曝气头充氧性能参数与清水条件下的比值

Fig. 3 Ratios of micropore aerators' oxygenating ability parameters of the second gallery of the aeration tank to those in fresh water at different time

可以看出, 曝气池同一位置的充氧性能参数在 1 d 内变化不大, 各时间段充氧能力大小为: 早 > 中 > 晚。对该测试点水质进行分析可知(见表 3), 中午时间段曝气池 COD 浓度以及氨氮浓度最高, 高有机负荷往往会导致曝气系统氧传递能力下降^[14], 然而, 可能是由于受气温及水温影响, 中午时间段的曝气性能并不是所有时间段中最低的。

表 3 曝气池 2 号廊道水质情况/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 3 Water quality of the second gallery of the aeration tank/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

时段	COD	NH_4^+-N
早	190.26	1.702
中	282.24	2.660
晚	233.10	1.373

4 结论

(1) 利用尾气法获得的工况下曝气池全池范围内微孔曝气头的充氧性能参数存在显著差异, 其中前曝气区的氧传质性能优于中间推流区, 位于推流

型曝气池中间位置的 5 廊道曝气头充氧能力接近全池平均值。

(2) 与清水条件相比, 实际工况下, 曝气池泥水混合物中的微孔曝气头充氧性能下降较大, 其中氧传质系数 K_{La} 、充氧能力 OC 和氧利用率 E_a 分别下降了 43%、57% 和 76%。因为芦村污水处理厂四期正常运行已有 3 个月, 所以若以清水条件下的微孔曝气头氧传质性能参数指导实际污水处理厂的曝气系统运行可能会产生较大的误差。同时, 也反映了在运行 3 个月实际工况下微孔曝气头的传质性能, 如果进一步随时间测量, 则会得到曝气头传质性能明显下降的时间, 为日常维护和节能降耗提供指导。

(3) 同一廊道的曝气头在一天内的氧传质能力变化不大, 而水质从早到晚有着一个明显的峰值, 这说明曝气池泥水混合液中的污泥有一定的抗击冲击负荷的能力, 不会使曝气头传质产生影响。

致谢: 本研究得到了清华大学水环境重点实验室和无锡芦村污水处理厂的支持和帮助, 在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 欧阳云生, 贺玉龙, 倪明亮. 邛崃市污水处理厂 A²/O 微曝氧化沟系统的设计[J]. 中国给水排水, 2008, 24(22): 30-33.
- [2] 刘坤, 高廷耀. 关于微孔曝气系统性能及其设计的探讨[J]. 净水技术, 2002, 21(4): 5-8.
- [3] 牛克胜, 牟晋鹏, 戴新, 等. 浅谈橡胶膜片式微孔曝气装置的日常维护及保养[J]. 给水排水, 2005, 31(5): 96-97.
- [4] 张志峰, 虞伟权, 薛秀燕. 微孔曝气器合理选用探讨[J]. 给水排水, 2007, 33(8): 101-103.
- [5] 张自杰, 林荣忱, 金儒霖. 排水工程[M]. (第四版) 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 143-150.
- [6] Standards ASCE/EWRI (2-06). Measurement of oxygen transfer in clean water[S].
- [7] Standards ASCE (18-96). Standard guidelines for in-process oxygen transfer testing[S].
- [8] Pratt S, Zeng R, Yuan Z, et al. Comparison of methods for the determination of K_{LaO_2} for respirometric measurements[J]. Water Science and Technology, 2004, 50(11): 153-161.
- [9] Redmon D, Boyle W C, Ewing L. Oxygen transfer efficiency measurements in mixed liquor using off-gas techniques [J]. Water Pollution Control Federation, 1983, 55(11): 1338-1347.
- [10] 戴克志, 穆瑞林, 刘大军. 曝气池尾气分析装置的研究[J]. 中国给水排水, 1993, 9(1): 21-23.
- [11] Zamouche R, Lehocine M B, Meniai A H. Oxygen transfer and energy savings in a pilot-scale batch reactor for domestic wastewater treatment [J]. Desalination, 2007, 206(1-3): 414-423.
- [12] 任锋. 微孔曝气装置的设计[J]. 上海环境科学, 1990, 9(4): 43-44.
- [13] 刘星. 曝气技术中氧传质影响因素的实验研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2008.
- [14] 李永光, 曹瑞钰. 污水处理中影响微孔曝气充氧性能因素的研究[J]. 新疆环境保护, 2004, 26(3): 5-8.

CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China	DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, <i>et al.</i> (1)
Compositions of Organic Acids in PM ₁₀ Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere	YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, <i>et al.</i> (8)
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong	LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (15)
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO _x and SO ₂ from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption	WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan (21)
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region	WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (27)
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer	CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, <i>et al.</i> (34)
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane	ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, <i>et al.</i> (39)
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea	WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (45)
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010	YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (51)
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters	LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (61)
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data	GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, <i>et al.</i> (69)
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave	XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, <i>et al.</i> (77)
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources	CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, <i>et al.</i> (84)
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River	LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, <i>et al.</i> (91)
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River	JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (98)
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (108)
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir	LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei (116)
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River	ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, <i>et al.</i> (121)
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taozi Bay and Sishili Bay	LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, <i>et al.</i> (129)
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin	LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, <i>et al.</i> (137)
Isolation and Identification of <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 and Its Allelopathy on <i>Skeletonema costatum</i>	WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, <i>et al.</i> (145)
Effects of the Rice Straw on <i>Microcystis aeruginosa</i> Analyzed by Different Physiological Parameters	SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, <i>et al.</i> (150)
Effects of Allochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, <i>et al.</i> (156)
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility	WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, <i>et al.</i> (163)
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process	HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (169)
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of <i>Desulfovibrio vulgaris</i> Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors	XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, <i>et al.</i> (177)
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron	ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin (182)
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO ₂ on Malachite Green	ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao (188)
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant	WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, <i>et al.</i> (194)
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge	LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> (198)
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N ₂ O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge	HAN Xue, GAO Da-wen (204)
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, <i>et al.</i> (209)
Characteristic and Ion Exchanges During Cu ²⁺ and Cd ²⁺ Biosorption by <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (217)
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides	XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, <i>et al.</i> (226)
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina	MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, <i>et al.</i> (231)
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City	YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, <i>et al.</i> (237)
Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing	QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, <i>et al.</i> (244)
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment	YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, <i>et al.</i> (251)
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis (MERA)	HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (257)
Isolation of Quinolofop- <i>p</i> -ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony <i>in situ</i> Hybridization	LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, <i>et al.</i> (263)
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions	MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen (271)
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon	ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, <i>et al.</i> (277)
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC	HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, <i>et al.</i> (283)
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in <i>Suaeda salsa</i> Wetland in the Yellow River Delta	DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo (288)
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland	FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, <i>et al.</i> (293)
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil	CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (302)
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous Fe(OH) ₃ and Fe ₃ O ₄	CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng (308)
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi	LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling (315)
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions	DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, <i>et al.</i> (321)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (328)
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis	TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, <i>et al.</i> (336)
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, <i>et al.</i> (347)
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing	HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (357)
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient	TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (364)
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City	REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (373)
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou	PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (379)
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors	SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin (385)
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing	DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin (395)
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands	HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang (401)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年1月15日 34卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 1 Jan. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印刷装订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人