

污水再生处理雾化曝气臭氧氧化系统 工程造价分析

赵文玉^{1,2}, 马邦定², 张 逢¹, 胡洪营^{1,3}, 卢 如¹

(1.清华大学环境学院环境模拟与污染控制国家重点联合实验室 北京 100084;

2.桂林理工大学环境科学与工程学院 广西 桂林 541004; 3.清华大学深圳研究生院 广东 深圳 518055)

摘 要 系统掌握雾化曝气臭氧氧化系统造价及其影响因素,对降低其建设成本具有重要意义。雾化曝气臭氧氧化系统与微孔曝气臭氧氧化系统的工程造价对比结果对选择适宜的臭氧氧化工艺具有很好的指导意义。系统分析臭氧投加量、臭氧气体浓度、气液比、循环泵过流量及处理规模等工艺参数对雾化曝气臭氧氧化系统设备造价的影响规律。结果表明,臭氧投加量和臭氧气体浓度是主要的影响因素,在保证处理效果的前提下,减少臭氧投加量、提高臭氧气体浓度及加大气液比,是有效降低雾化曝气臭氧氧化系统工程造价的关键。在其它条件相同的情况下,雾化曝气臭氧氧化系统的臭氧投加量需低于微孔曝气臭氧氧化系统的臭氧投加量 30%~40%以上,其工程造价才有优势。

关键词 污水回用;臭氧氧化;工程造价;雾化曝气;微孔曝气;微米气泡

中图分类号 X703.1;TQ031.7

文献标识码 A

文章编号 1000-3770(2012)06-0026-003

臭氧氧化是污水再生处理的关键技术之一,但臭氧发生设备价格昂贵,限制了其在污水再生处理中的应用。提高臭氧利用率、降低臭氧投加量和提高臭氧气体浓度,是降低臭氧氧化系统工程造价的有效措施^[1]。

臭氧在水中的氧化过程是传质与化学反应同时进行的过程,因此,反应与传质之间势必互相影响和互相制约^[2]。臭氧的传质效率与反应器中液体的紊动程度、臭氧在水中的分解动力学以及产生气泡的数量和大小有关^[3]。气泡的直径愈小,比表面积也越大(如直径 50 μm 的气泡比表面积是 1 mm 气泡的 200 倍。)臭氧气体与水的接触面积愈大,臭氧的利用率也就愈大。

目前,普遍使用的微孔曝气技术产生的气泡直径大多数为 0.1~2 mm(毫米气泡),受材料、加工技术及工艺特性所限,其气泡尺寸缩小程度有限^[4]。雾化曝气技术是指利用微米气泡发生设备将气体溶解到液体的一种新型的曝气方式,通过微米气泡发生设备产生的气泡其直径多小于 50 μm 。直径低于 50 μm 的微纳米气泡,在水中的存在和发展方式与通常的气泡有很大的差异,主要表现为非常大的比表面

积、缓慢的上升速度以及较高的内部压力和溶解速度^[5]。毫米气泡从水中上升到气液界面破碎,气体逸出损失,而微米气泡在水中稳定性很强,在水中上升时,逐步缩小,最后消减湮灭溶入水中,从而提高了气体在水中的溶解度和反应速度^[6]。

雾化曝气臭氧氧化(又可称为微米气泡臭氧氧化)是指利用微米气泡发生设备将臭氧气体溶解到水中的一种新型的臭氧氧化技术。与常规微孔曝气系统相比,雾化曝气臭氧氧化系统在提高臭氧利用率的同时,还可望提高处理效率^[7]。雾化曝气臭氧技术需要增加微米气泡发生设备,其设备造价与普通微孔曝气臭氧氧化技术的设备造价相比情况如何,是工程上关心的问题。本文着重讨论雾化曝气臭氧氧化系统中微米气泡发生设备造价的影响因素及雾化曝气臭氧氧化系统设备造价与微孔曝气臭氧氧化系统设备造价的对比。

1 微纳米气泡发生设备造价及影响因素

微米气泡发生设备有多种方式,其中“循环泵+微米气泡发生罐+释放头”系统(见图 1)是一种典

收稿日期 2010-08-09

基金项目 国家水体污染控制与治理科技重大专项课题(2008ZX07313-002);广西科学研究与技术开发计划项目(桂科攻 0992022-7)

作者简介 赵文玉(1973—),男,副教授,博士,硕士生导师,研究方向为水处理理论与技术,E-mail: wyzhao1009@163.com

联系作者 胡洪营 联系电话 010-62794005 E-mail: hyhu@tsinghua.edu.cn

型的微米气泡发生方式。该系统中循环泵的造价是主要部分。

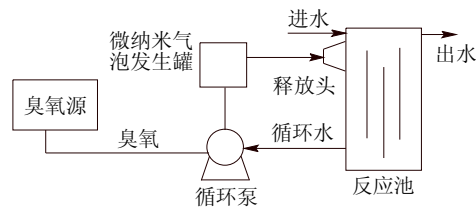


图1 微纳米臭氧气泡发生系统示意图
Fig.1 Schematic diagram of ozone micro-bubble generator system

影响循环泵造价的因素有泵的过流量(Q_{Lc})、气液比(λ_{gL})、臭氧气体浓度(C_{gO_3})、投氧投加量(C_{L0,O_3})、循环比(λ_{QL})、处理规模(Q_{Lin})等,各参数之间的相互关系如下式所示。

$$\lambda_{gL}=Q_{gO_3}/Q_{Lc}, \quad (1)$$

$$\lambda_{QL}=Q_{Lc}/Q_{Lin}, \quad (2)$$

$$C_{gO_3} \cdot Q_{gO_3}=C_{L0,O_3} Q_{Lin}, \quad (3)$$

由式(1)~式(3)可得:

$$Q_{Lin}=Q_{Lc} \cdot \lambda_{gL} \cdot C_{gO_3}/C_{L0,O_3} \quad (4)$$

1.1 泵过流量的影响

单台循环泵的造价由泵的过流量确定,试验表明,泵过流量分别为33.6、182.4、288、564、1296 m^3/d 时,单位过流量造价依次为238.10、208.33、138.89、88.65、50.15元/ $(m^3 \cdot d^{-1})$ 。可以看出,泵的过流量越大,循环泵的造价越高,但单位过流量循环泵的造价越低。

1.2 处理规模的影响

在气液体积比、臭氧投加量、臭氧气体浓度一定的情况下,处理规模与循环流量(泵过流量)呈正比关系。在气液体积比为0.1、臭氧投加量5 mg/L 时,处理规模与单位水量循环泵造价的关系见图2。

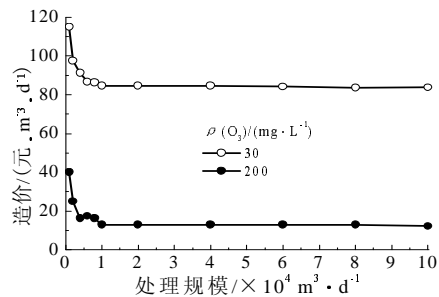


图2 单位处理水量循环泵造价与处理规模的关系
Fig.2 Relation between pump cost per unit volume of wastewater and influent flow

由图2可以看出,处理规模越大,所需泵的过流量越大,处理单位水量的循环泵造价越低。由于目前技术水平有限,泵过流量的最大上限为54 m^3/h ,

这说明处理规模加大到一定程度后,处理单位水量的循环泵的造价降低有限,且应尽量采用过流量大的循环泵组合,才能使处理单位水量循环泵造价最低,最终趋于最大过水流量的循环泵所能处理的处理规模的造价水平。

1.3 气液体积比的影响

在臭氧投加量5 mg/L 、臭氧质量浓度200 mg/L 时,单位处理水量循环泵造价与气液体积比的关系如图3所示。在过流量、臭氧气体浓度、臭氧投加量一定的情况下,气液体积比越大,单台泵可处理的水量越大,当处理规模一定时,需要的循环泵台数减少,循环泵总价降低,则处理单位水量的循环泵的造价降低;且处理规模越大,单位水量循环泵造价随气液体积比升高而降低越明显。

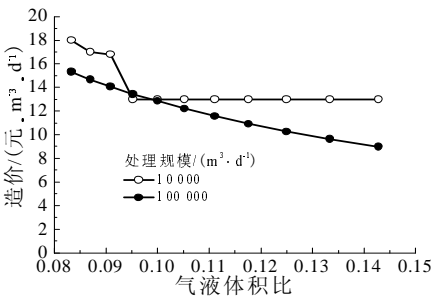


图3 单位处理水量循环泵造价与气液体积的关系
Fig.3 Relation between pump cost per unit volume of wastewater and gas liquid ratio

1.4 臭氧气体浓度的影响

在气液体积比为0.1、臭氧投加量5 mg/L 时,单位处理水量循环泵造价与臭氧气体浓度的关系见图4。可以看出,在处理规模和臭氧投加量一定的情况下,若臭氧气体浓度增加,则臭氧气体流量减少,当气液体积比不变时,则所需循环泵的过流量可减少,循环泵的造价降低,折算为处理单位水量的循环泵造价降低;或者是单台循环泵过流量确定,臭氧气体浓度增加,气液体积比不变,臭氧投加量不变,则单台泵可处理的水量增加,处理规模不变的

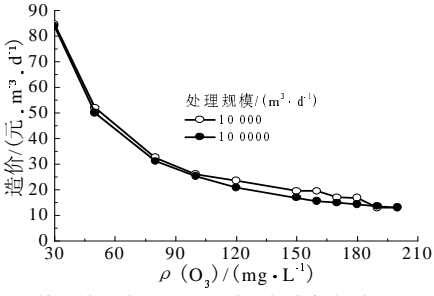


图4 单位处理水量循环泵造价与臭氧气体浓度的关系
Fig.4 Relation between pump cost per unit volume of wastewater and ozone gas concentration

情况下,所需循环泵台数减少,则单位水量的循环泵造价降低。

1.5 臭氧投加量的影响

在臭氧气体质量浓度为 200 mg/L、气液体积比为 0.1 时,单位水量循环泵造价与臭氧投加量的关系如图 5 所示。可以看出,当单台循环泵过流量、气液体积比、臭氧气体浓度不变时,若臭氧投加量增加,则单台循环泵可处理的水量减小,在总处理规模不变的情况下,则所需循环泵台数增多,循环泵总价升高,即单位水量循环泵造价升高。

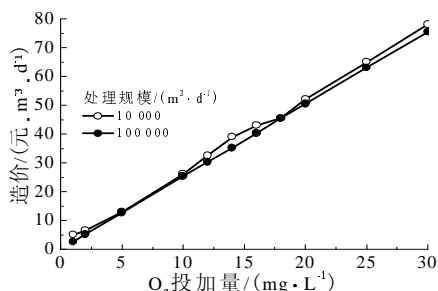


图 5 单位水量循环泵造价与臭氧投加量的关系
Fig.5 Relation between pump cost per unit volume of wastewater and ozone dosage

2 雾化曝气臭氧氧化系统与微孔曝气臭氧氧化系统设备造价对比

雾化曝气臭氧氧化系统与微孔曝气臭氧氧化系统相比,多了一套微纳米气泡发生装置。根据 A 公司供的臭氧发生器报价、B 公司提供的制氧系统报价及 C 公司提供的微米气泡发生设备报价,对两种工艺在均用纯氧源臭氧发生器、均采用现场制氧的方式,在处理规模 10 000 m³/d、臭氧浓度 200 mg/L、气液比 0.1 的条件下,不同臭氧投加量下的工程造价进行了计算,结果如图 6 所示。

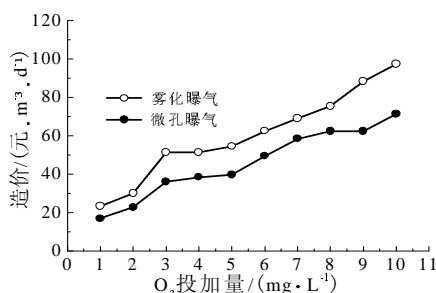


图 6 雾化曝气与微孔曝气臭氧氧化系统设备造价比较
Fig.6 Contrast of equipment cost between nebulization aeration ozone oxidation system and micropore aeration system

由图 6 可知,随臭氧投加量的增加,雾化曝气臭氧氧化系统与微孔曝气臭氧氧化系统的工程造价增加,在相同的臭氧投加量时,雾化曝气臭氧氧化系统比微孔曝气臭氧氧化系统的工程造价高 30%~40%。换言之,当雾化曝气臭氧氧化系统的臭氧投加量比微孔曝气臭氧氧化系统的臭氧投加量节约 30%~40%以上时,雾化曝气臭氧氧化系统的设备造价将低于微孔曝气臭氧氧化系统的设备造价。

3 结 论

污水再生处理雾化曝气臭氧氧化系统比微孔曝气臭氧氧化系统增加一套微纳米气泡发生装置,该装置造价的影响因素主要有臭氧投加量、气液比、臭氧气体浓度、循环泵过流量、处理规模等工艺参数,其中主要影响因素是臭氧投加量和臭氧气体浓度。在保证处理效果的前提下,减小臭氧投加量、增加臭氧气体浓度及提高循环泵气液比,是降低雾化曝气臭氧氧化系统设备造价的主要措施。在相同的臭氧投加量、相同的臭氧气体浓度及气液比为 0.1 时,污水再生处理雾化曝气臭氧系统设备部分工程造价与微孔曝气臭氧氧化系统相比高 30%~40%。换言之,当雾化曝气臭氧氧化系统的臭氧投加量比微孔曝气臭氧氧化系统的臭氧投加量节约 30%~40%以上时,雾化曝气臭氧氧化系统的设备部分造价将低于微孔曝气臭氧氧化系统的设备部分造价。

参考文献:

- [1] 赵文玉,张逢,胡洪营,等.污水再生处理臭氧氧化系统工程造价分析[J].环境科学技术,2011.
- [2] Zhou H, Smith D W. Ozone Mass transfer in water and wastewater treatment: experimental observations using a 2D laser particle dynamic analyzer [J].Water Research,2000,34(3):909-921.
- [3] Shin W-T, Mirmiran A, Yiacoumi S, et al. Ozonation using microbubble formed by electric fields [J].Separation and Purification Technology,1999,15:271-282.
- [4] 王洪臣.微孔曝气系统的优化设计[J].给水排水,1995,8:8-11.
- [5] Burns S E, Yiacoumi S, Tsouris C. Microbubble generation for environmental and industrial separations [J].Separation and Purification Technology,1997,11:221-232.
- [6] Masayoshi T, Kaneo C, Pan L. Free-radical generation from collapsing microbubbles in the absence of a dynamic stimulus [J].Journal of Physucal Chemistryb,2003,111-6:1343-1347.
- [7] 张逢,赵文玉,胡洪营,等.微气泡臭氧氧化处理城市污水厂二级出水的效果研究[J].城镇供水,2010,9(增刊):39-43.

表面附着量增加。

吸附不同分子量 PEI 的纳滤膜片的 SEM 见图 3, 从图 3 中可以明显的看到吸附后膜表面白色的 PEI。

3 结 论

结果表明, PEI 可在聚哌嗪酰胺纳滤膜表面自组装形成致密覆层, 优化改性条件为 PEI 相对分子质量 750k, 质量分数 0.1%, 吸附时间 2 min。经过 PEI 吸附改性的聚哌嗪酰胺纳滤膜对 NaCl、NaF、MgCl₂ 等无机盐的截留性能和水通量均有所提高。

参考文献:

- [1] Liu Meihong, Yu Sanchuan, Zhou Yong, et al. Study on the thin-film composite nanofiltration membrane for the removal of sulfate from concentrated salt aqueous: preparation and performance[J]. Journal of Membrane Science, 2008(310):289-295.
- [2] Fajie Yang, Shouhai Zhang, Daling Yang, et al. Preparation and characterization of polypiperazine amide/PPEK hollow fiber composite nanofiltration membrane [J]. Journal of Membrane Science, 2007(301):85-92.
- [3] 杨艳红, 方文骥. 荷正电纳滤膜的制备研究[J]. 河南化工, 2007(24): 10-12.
- [4] 张浩勤, 刘金盾, 陈卫航, 等. 新型荷正电纳滤膜的制备与表征[J]. 高效化学工程学报, 2006, 2(20):115-119.
- [5] 刘海林, 马晓燕, 袁莉, 等. 分子自组装研究进展[J]. 材料科学与工程学报, 2004, 2(22):308-311.
- [6] 俞三传, 金可勇, 潘巧明, 等. 聚哌嗪酰胺复合纳滤膜研制[J]. 膜科学与技术, 2001, 2(21):1-3.
- [7] Marcel Mulder. Basic principles of membrane technology [D]. Boston: Kluwer Academic, 1991.

STUDY ON MODIFICATION OF NANOFILTRATION MEMBRANE WITH MOLECULAR SELF-ASSEMBLY

Dai Zhenan, Zhou Yong, Zhao Ting, Xu Zidan, Gao Congjie

(Hangzhou Water Treatment Technology Development Center, Hangzhou 310012, China)

Abstract: The charged nanofiltration (NF) membrane could adsorb particles either uncharged or heterocharged. In this paper, polypiperazine amide NF membrane, which is negatively charged, and polyethylenimine (PEI), which is positively charged, were used for modification. PEI colloid would form a compact layer on the interface of the membrane after self-assembly. The optimized experimental condition was obtained from different concentrations and moleculars of PEI and reaction time. The results indicated that the performance of the NF membrane was developed after modification.

Keywords: nanofiltration; self-assembly; modification

(上接第 28 页)

CONSTRUCTION COST OF NEBULIZATION AERATION OZONE OXIDATION PROCESS FOR WASTEWATER ADVANCED TREATMENT AND REUSE

Zhao Wenyu^{1,2}, Ma Bangding², Zhang Feng¹, Hu Hongying^{1,3}, Lu Ru¹

(1.Environmental Simulation and Pollution Control State Key Joint Laboratory, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2.Guilin University of Technology, Guilin 541004, China; 3.Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen 518055, China)

Abstract: It is very significant to lessen construction cost by systematically grasping cost of nebulization aeration ozone oxidation process and its impact factors. The contrast result of cost between nebulization aeration ozone oxidation process and micropore aeration ozone oxidation process is beneficial to optimize the ozone oxidation process. Some technological parameters as ozone dosage, ozone gas concentration, gas liquid ratio, recycle pump flow and influent flow etc. which have an effect upon construction cost and its law are systematically analyzed. It is conclude that the more important factors are the ozone dosage and ozone gas concentration. On the premise of improving the treatment effect, the key measures to decrease the construction costs of ozonation system is improving ozone utilization rate by reducing ozone dosage, increasing ozone gas concentration and adding gas liquid ratio. Under the same other parameter, the construction cost of nebulization aeration ozone oxidation system would have an advantage over micropore aeration if the ozone dosage of nebulization aeration is lower as over 30%~40% than micropore aeration.

Keywords: wastewater reuse; ozone oxidation; construction costs; nebulization aeration; micropore aeration; micro-bubble