

城镇给排水工程设计案例专栏

曾光荣,李健. MBR工艺在制药行业高盐高浓度有机废水中的应用案例[J]. 净水技术, 2023, 42(1): 153-159,173.

ZENG G R, LI J. Application case of MBR process in high salinity and high concentration organic wastewater treatment in pharmaceutical industry[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(1): 153-159,173.

MBR工艺在制药行业高盐高浓度有机废水中的应用案例

曾光荣,李健*

(中国市政工程东北设计研究总院有限公司,吉林长春 130021)

摘要 MBR工艺具有占地面积小、处理效率高、泥水易分离等优点,可用于解决制药企业在生产过程中产生的高盐高浓度有机废水难生化、有机污泥易膨胀的问题。采用生物处理+MBR膜池相结合的处理方式,结合规模为8 000 m³/d的高盐高浓度有机废水的处理实例,对工艺设计及运行经验进行总结。经过近一年的投产运行,COD_{Cr}质量浓度由进水的8 700~9 300 mg/L降到出水的270~290 mg/L,SS质量浓度由进水的3 600~4 250 mg/L降到出水的170~190 mg/L,各项出水水质指标均满足辽宁省《污水综合排放标准》(DB 21/1627—2008)要求。通过本案例实际运行经验,MBR工艺在处理高盐高浓度有机废水方面具有较好的处理效果,对同类工程具有一定的借鉴参考意义。

关键词 污水处理 制药废水 高盐废水 高浓度有机废水 MBR工艺

中图分类号: TU992 文献标识码: B 文章编号: 1009-0177(2023)01-0153-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2023.01.020

Application Case of MBR Process in High Salinity and High Concentration Organic Wastewater Treatment in Pharmaceutical Industry

ZENG Guangrong, LI Jian*

(China Northeast Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Changchun 130021, China)

Abstract MBR technology has the advantages of small land occupation, high treatment efficiency and easy to separate sludge and wastewater. It is used to solve the problems that the high salinity and high concentration organic wastewater is difficult to biochemistry and the organic sludge is easy to swell in the production process of pharmaceutical enterprises. The process of biotreatment + MBR biofilm tank is taken to treat the organic wastewater which is high salinity and high concentration with a capacity of 8 000 m³/d. After nearly a year of production and operation, the effluent COD_{Cr} mass concentration decreases from 8 700~9 300 mg/L to 270~290 mg/L and SS mass concentration decreases from 3 600~4 250 mg/L to 170~190 mg/L. All the effluent water quality indexes can meet the requirements of *Sewage Comprehensive Discharge Standard* (DB 21/1627—2008) of Liaoning Province. The actual operation effect of this case can fully prove that MBR technology has a good effect on the treatment of high salinity and high concentration organic wastewater, and its technology design and operation experience have certain reference significance for similar projects.

Keywords wastewater treatment pharmaceutical wastewater high salinity wastewater high concentration organic wastewater MBR process

膜生物反应器^[1] (membrane bioreactor reactor, MBR)的准确定义,是带有膜过滤单元的废水生物

处理工艺,是一种将膜分离与传统生物处理工艺有机结合的新型高效污水处理与回用工艺。MBR生物池中的混合液浓度较常规曝气生物池的浓度高,可以提高污水处理程度,使出水水质指标优于常规处理工艺,SS、细菌总数等指标明显改善;BOD₅、COD_{Cr}、TP等指标较常规处理工艺处理率略有提高。

[收稿日期] 2021-03-07

[作者简介] 曾光荣(1977—),男,硕士,研究方向为城市污水处理、垃圾处理、给水处理等,E-mail:zgrgzxx@163.com。

[通信作者] 李健(1979—),女,研究方向为城市污水处理、给水处理,E-mail:36152138@qq.com。

MBR 工艺具有工艺流程短、构筑物少、布置紧凑、运行管理方便等优点,正逐渐被认为是解决废水处理和回用问题的最佳适用技术之一。

由于制造工艺流程的不同,制药废水中通常会含有不同污染物的废水。其中,高盐高浓度有机废水就是一个典型的废水类型。含盐量大于 1% 的废水称为含盐废水,含盐废水的处理通常分为物理化学法^[2]及生物法^[3],相较于前者,生物法更经济有效。随着 MBR 工艺急速的发展,除了被应用于处理市政污水,还被用于处理高盐废水。水厂运行实践表明,高盐废水在经过膜处理后,COD_{Cr} 去除率在 90% 左右,氨氮去除率在 95% 左右。然而,高盐废水可能会抑制活性污泥中微生物的活性,并改变其细胞表面电荷、疏水性以及絮凝性,从而影响活性污泥的理化性能。

膜技术在 20 世纪 90 年代后期发展迅速,特别是进入 21 世纪后,随着膜材料生产的规模化、膜组件及其处理产品的设备化和集成化、膜设备生产技术的普及化和价格的大众化,膜技术的发展已经从实验室潜在技术迅速发展成为工程实用技术,在许多工程实施中应用,并且可与传统技术相竞争。相比传统三级污水处理技术,MBR 工艺在经济性、运行管理等方面更具有优势,在节省占地面积、简化运行操作流程和保证出水水质的同时,投资成本和膜更换周期成本都逐步与传统工艺相近。

1 MBR 工艺在制药行业高盐废水的应用

针对高盐高浓度有机废水,目前较为有效、成熟的处理方式有生物化学法、物理化学法及其组合工艺,其中生物法是处理高盐有机废水最传统且广泛流行的方法。在处理制药废水高盐高浓度有机废水上,一般采用的工艺流程是预处理-缺氧-厌氧-好氧-二次混凝沉淀,可以有效去除制药废水中的有机污染物,出水满足《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)一级标准的要求。生化各区段污泥需单独回流,减少菌群的相互影响,有利于优势微生物的生

存。含盐量高、污泥沉降性差是高盐废水的共性,在二沉池出水后增加混凝沉淀工序是保证尾水稳定达标的重要条件。本工程针对废水可生化性进行分析,同时对传统工艺流程各区段的特点进行分析,利用水解酸化池替代缺氧池和厌氧池;由于高盐废水在二沉池内不容易沉淀,运行中易产生污泥膨胀,利用 MBR 膜池替代传统的二沉池+絮凝沉淀池。同时,膜池具有良好的泥水分离功能,可降低传统工艺在絮凝段投加的大量化学药剂,减少化学污泥产量及常年运行药耗。

2 案例分析

2.1 项目概况

该制药集团主要生产维生素类、抗生素类、心脑血管类、抗病毒类、消化系统类等各种原料药、医药中间体和制剂等产品。其中,制剂产品有 20 多个类别、上百个品种规格,有片剂、丸剂、胶囊剂、栓剂、散剂、颗粒剂、口服液、粉针剂等多种剂型,该制药集团还拥有以主要原料药为基础,深加工饲料添加剂和兽药的生产基地。企业在生产过程中,产生含有各种污染物的生产废水和少量生活污水,污水处理系统的工艺设计面临严峻考验。根据对制药行业多年的治理装置运行经验及研究结果,采用以生物处理法为主的工艺处理制药废水是经济、合理、有效的,其特点是适应范围广、能耗和运行成本低、处理效果好、剩余污泥量少等。因而,确定生物处理工艺为废水处理工程的主体工艺。该制药集团污水处理站内高盐废水设计处理规模为 8 000 m³/d,在分析其水质特点之后,处理工艺采用预处理+水解酸化+厌氧处理+好氧处理+MBR 膜池。

2.2 设计进出水水质及处理程度

根据该制药集团多年的实际运行经验,集团内产生的高盐废水设计进水水质如表 1 所示。项目出水执行辽宁省《污水综合排放标准》(DB 21/1627—2008)^[4]要求,项目尾水最终排入下游污水处理厂进一步进行处理。

表 1 设计进出水水质

Tab. 1 Designed Influent and Effluent Quality

项目	COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	TSS/(mg·L ⁻¹)	TDS/(mg·L ⁻¹)	pH 值
进水指标	8.0×10 ³ ~1×10 ⁴	3.5×10 ³ ~4.0×10 ³	4.0×10 ³	5.0×10 ³ ~6.0×10 ³	3~9
出水指标	≤300	≤150	≤200	—	6~9

2.3 废水水质特点

该制药集团排放的综合废水中含有多种难生物降解物质和抑制微生物生长的物质。从可生化程度(BOD_5/COD_{Cr})可知,废水中可生物降解的有机物成分较多,虽然含有氮、磷等微生物生长所需的元素,但为达到生物处理要求还需要适当补充微生物所需的各种营养盐。在提供适宜的环境和适当的运行负荷条件下,可以采用驯化后的微生物进行降解。制药废水的水质特征如下。

(1) 有机物浓度高

废水中的有机物主要有各种化学医药产品合成反应过程中所流失的物料、反应中间体、反应副产物、有机溶媒、发酵废液、洗料等。

(2) 盐度高

在药品的生产过程中,要消耗大量的盐酸、碳酸钠、碳酸钙、液碱等物质,最终出水中无机盐含量极高,成为抑制生物降解的主要因素之一^[5]。

(3) SS 浓度高

废水中的 SS 主要是化学合成制药过程中产生的复杂物质、中间体、发酵产生的微生物菌丝体等。

(4) pH 变化大

废水中含有大量的中间代谢产物、表面活性剂和提取分离过程残留的高浓度强酸、强碱和有机溶剂,原料成分复杂,容易引起 pH 的大幅度波动,影响生物反应活性。

(5) 水质水量变化较大、冲击负荷高

由于药品生产中的间歇操作、间歇进料、间歇排水等,大量有机污染物在极短的时间内集中排放,各种水质指标在短时间内剧烈变化,要求废水处理系统有较高的抗冲击负荷能力。

(6) 营养单一

该生产工艺从原料到成品都以碳水化合物为主,缺少微生物生长所必需的营养和微量元素。

(7) 成分复杂和不确定性

废水中含有化学合成、发酵工艺产生的大量中间体和投加的大量化工原料,以及提取分离过程残留的高浓度酸、碱和有机溶剂等。同时,企业生产内容和生产数量的不断变化,使生产废水的成分越发复杂和难以确定。

(8) 抑菌性物质含量高

由于分离提取效率所限,废水中含有大量的残留抗生素^[6]、其他有害原料及中间产物残存物质。

当这些物质的浓度较高时,就会抑制微生物活性,降低处理效率。

(9) 废水可生化性差

生产中化学合成制药占相当的比例,因此,废水的可生化性较差。此外,盐类物质和抑菌性物质等干扰测定结果真实性,大量的实践表明,该废水实际可生化性更差。

制药废水的综合特征是有机物浓度高、盐量大、成分复杂、抑制性物质多。其中,盐量大和抑制性物质多是生物处理遇到的最大问题。因此,对于本废水仅用可生化性来衡量是不够的。

制药废水中高盐废水的主要特征是无机盐含量大、水温较高、色度较大、SS 浓度较高、水质偏酸性,处理难度比较大。因此,从以上废水水质特征来看,为确保系统的连续稳定运行,必须对该废水采取有效的预处理办法,并预留适当的事故处理措施,然后再进一步处理^[7]。但是,考虑到废水的复杂性,预处理后的废水经一般生物处理后,出水仍然难以达到相关排放标准的要求,必须采用新工艺和新技术对其进一步处理。

2.4 采用 MBR 工艺的原因分析

经过上述水质分析,结合国内外成熟的运行经验^[8],采用 MBR 工艺作为生物处理单元的原因如下^[9]。

(1) 有机物去除率高。膜分离使污水中的大分子难降解成分在体积有限的生物反应器中有足够的停留时间,有利于专性菌的培养,大大提高了难降解有机物的降解效率, COD_{Cr} 去除率高。

(2) 分离效果好。高盐高浓度有机废水在经过生化处理后污泥不易沉降^[10],膜是泥水分离效果最好的方式之一,MBR 膜池出水中的 SS 和浊度非常低,而且能够去除病毒和细菌^[11]。

(3) 污泥量少。足够的停留时间使反应器在高容积负荷、低污泥负荷、长污泥龄下运行,剩余污泥排放量少。同时,也有利于增殖缓慢的硝化菌的生长、繁殖,确保了系统的硝化效率。

(4) 运行控制更加灵活稳定。膜组件的截流作用将微生物留在反应器中,保证反应器内的高污泥浓度,实现了水力停留时间和污泥停留时间的分离。MBR 工艺系统内污泥质量浓度高达 8~15 g/L,污泥龄一般在 12~40 d,适合处理高浓度有机废水。

(5)对水质水量的变化适应能力强,耐冲洗负荷强。解决了传统活性污泥法造成的沉淀部分对最大生物浓度的限制,反应器内的污泥质量浓度高,是传统方法的2~3倍,达8 000~12 000 mg/L。

(6)清洗方便。膜材质为聚四氟乙烯,寿命长,抗污染性强,易清洗,适于污水处理。化学性能稳定,抗氧化性强,可采用常用氧化性药剂进行化学清洗。

2.5 制药废水处理方案

针对制药废水的水质特点,高盐废水、高浓度有机物经过调节、中和、厌氧处理后再经过好氧及膜处理,保证了出水的稳定达标。该组合工艺可确保废水处理稳定达标,而且可以满足污水将来进一步升级改造的要求,其主要具有如下的先进性和优越性:

1)结合实际废水水质特征,通过增设预处理工艺

(调节水量、中和等)和水解酸化工艺,可提高处理设计容量,同时有效降低后端好氧负荷进而降低实际运行费用;2)采用成熟的生化工艺作为膜处理的预处理工艺,在降低投资和运行费用的同时,确保膜处理的稳定运行;3)好氧和厌氧反应同时进行,运行过程中载体内部存在着良好的厌氧区微环境;4)微生物呈现分层和分群的现象,菌群结构合理及耐冲击负荷能力强;5)污水进入调节池均衡水质、水量,同时要在该池内增设加药装置,调整废水 pH 和营养结构,且池内设有搅拌装置;6)采用厌氧处理去除绝大部分工艺水中的有机物,不仅能耗较少,而且成本低。

(1)工艺流程设计(图1)

经过调节、中和、厌氧水解、好氧生化等一系列

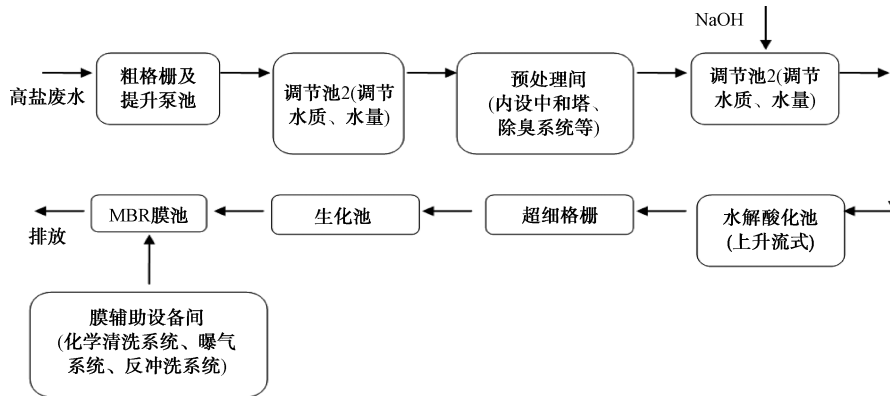


图1 工艺流程图

Fig. 1 Process Flow Diagram

前序处理的高盐废水^[12],进入 MBR 膜池。本工程设置高盐废水 MBR 池共 2 组,每组设计流量为 400 m³/h(总变化系数为 1.2)。

具体设计参数如下:总设计流量为 1 066.67 m³/h,总回流量为 666.67 m³/h,总出水量为 400 m³/h;MBR 池每组曝气量为 3 600 m³/h;风源引自新建鼓风机房内的磁悬浮鼓风机。

每组内共 10 套膜组件,每个膜组件连接的出水管接 PVC 转子流量计,每个膜组件连接的空气管接玻璃转子流量计,出水总管及回流总管各连接电磁流量计。

MBR 池内共设置产水泵、回流泵、反洗泵(利用产水池进行反冲洗)、碱洗泵、酸洗泵、空压机系统及起吊系统。在膜辅助设备间内设置反洗水罐、酸洗罐、碱洗罐。

(2)工艺流程特点分析

①对水质进行分析,由于进水呈酸性,设置中和塔进行 pH 粗调,在调节池 2 中投加 NaOH 调整 pH 值到 7~8 后进入水解酸化池。采用厌氧处理去除绝大部分水中的有机物,不仅能耗较少、成本低而且可以生成大量沼气作为二次能源进行回收。在水解酸化池内采取一些增强处理效果的技术措施。a)池底设置大阻力布水系统,利用进水和回流污泥来搅动池内的污泥,使其处于悬浮状态与进水充分混合,从而提高水解酸化池的处理效果,减轻后续好氧处理的负荷。水解池自身污泥回流到水解酸化池前端可以增加池内污泥浓度、提高处理效果,同时使得污泥得到硝化,减少剩余污泥的排放量,降低污泥的处理费用,从而减少运行费用。b)池底装有排泥管道,收集水解酸化池产生的沼气后进行沼气反冲洗,

可以保证水解酸化池长期稳定运行。c) 为保证系统的稳定运行, 保证池内运行水量的稳定性, 在前端设置调节池, 运行时可根据来水量的变化, 均匀提升至水解酸化池。

②水解酸化池设计进水 COD_{Cr} 质量浓度 $< 10\ 000\ mg/L$, 出水 COD_{Cr} 质量浓度 $\leq 2\ 000\ mg/L$ 。池体尺寸 $L \times B \times H = 71\ m \times 26\ m \times 15\ m$, 共分 4 组系列, 每组分 8 格, 水解酸化池停留时间为 54.7 h, 设计采用的 COD_{Cr} 容积负荷为 $3.5\ kg\ COD_{Cr}/(m^3 \cdot d)$, 回流比为 50% ~ 100%, 内设 8 台回流泵 (4 用 4 备), 设置高压风机 2 台为反冲洗系统提供气源。

③生化池采用好氧模式运行, 主要去除水中的 COD_{Cr} 、 BOD_5 。生化池进出水分 2 种情况。情况一: 不考虑 MBR 池的回流情况, 进水设计流量为 $400\ m^3/h$ 。情况二: 考虑 MBR 池的回流情况, 进水设计流量为 $400\ m^3/h$; 回流设计流量为 $666.67\ m^3/h$; 出水设计流量为 $1\ 066.67\ m^3/h$ 。采用连续好氧出水方式, 共分 4 条出水渠出水。生化池混合液质量浓度为 $5\ 000\ mg/L$, COD_{Cr} 容积负荷为 $1.06\ kg\ COD_{Cr}/(m^3 \cdot d)$, 名义水力停留时间为 44.9 h, 总需气量为 $448\ m^3/min$, 生化池池内设置盘式曝气器。

④MBR 池采用浸没式 MBR 膜池, 膜组件置于生物反应器内, 生化池内的混合液通过重力自流进入膜池, 膜组件出水通过总管连接, 并接入对应于水泵吸口, 依靠水泵产生的真空抽力将膜池中的水经过膜丝汇集到出水干管, 进入后续单元。MBR 膜组件采用的微滤膜, 设计膜通量为 $17.4\ L/(m^2 \cdot d)$, 膜孔径为 $0.1 \sim 0.4\ \mu m$, 材质为聚四氟乙烯 (PTFE), 它较之常用的微滤膜材质聚偏氟乙烯 (PVDF) 有更好的酸碱耐受能力 (PVDF 一般使用柠檬酸来清洗), 淤堵后恢复通量的能力很强, 膜的使用寿命更长。设置在膜组件下方的曝气装置除具备充氧功能外, 由曝气造成的强烈搅拌作用还可以对膜丝进行擦洗, 降低膜堵塞的周期。

(3) 运行调试过程中注意事项

①生化池及膜池接种相近水质的活性污泥, 接种的活性污泥具有适应和分解高盐废水的优势菌种。如果没有相近水质的活性污泥作为接种污泥, 可在培养优势菌种的过程中, 逐步增加污水量, 筛选出适应高盐废水的优势菌种。

②如果污水中的洗涤剂含量较多, 曝气过程中

池内会产生较多的泡沫。如果泡沫的形态浓厚、多脂, 外观呈现出的颜色类似于奶油色, 则是污泥中某些微生物降解过程产生的。当这种泡沫严重影响出水水质时, 可采取如下措施: 加消泡剂 (消泡剂不会对膜产生危害的情况下使用); 喷水去除; 增加反应池的污泥浓度。

③当膜池内的污泥从正常的深褐色变成黑色, 意味着污泥发生了腐败, 黑色的污泥会散发一定量的 H_2S 气体, 这主要是曝气量相对不够造成的, 可以采取暂停出水或增加膜池内的曝气量的方法来解决。

(4) MBR 膜池调试过程

MBR 工艺处理水量和出水水质要求较高, 是工程调试的难点。

①水量调试。水量调试的主要工作内容有进水水量的调配与自动控制、进水量的平均调配、污泥生化系统的接种与驯化培养、膜系统的试产水、膜系统各类工序的自动控制、膜系统清洗、膜通量与膜污染的监测控制等方面。

控制原则与目标: 通过对进水井的调配, 保证各池进水量基本一致; 各池出水量也基本一致。通过进水量、出水量、污泥排量的调节, 保证各池液位水平基本一致, 才能更好地保证分量分配的均一性。一般进水量差值在 10% 以内, 出水量差值在 5% 以内, 液位差值在 0.1 m 以内。

②水质调试。从调试运行初期开始对整个系统的配水、回流、曝气、污泥浓度、加药点与加药量进行摸索, 调试至最佳的运行状态。不断根据进水水质变化情况对系统运行参数进行调整, 使其达到最优状态, 其调试方案主要包括以下几个方面。

调节池内混合状态和 DO: 通过调节厌氧池、缺氧池搅拌器的推流方向, 保证混合液有良好的搅拌混匀状态; 调节好氧池各曝气阀门的开度、低速推流器的开启个数, 使好氧池混合液保持在较好的流态下, 实现完全混合和最大生化反应速率。

调节排泥量: 污泥浓度的调节应根据进水水量、水质的变化灵活调整, 在满足水质达标的前提下, 应将污泥浓度保持在合理区间, 以控制污泥的泥龄和过滤特性, 兼顾污泥透水性能。

在调试初期, 可适当延长泥龄, 以使微生物更快地驯化和适应。生化系统后, 可摸索进水量、水质与剩余污泥产量的平衡关系。同时, 需要考虑化学污

泥的产量及比例。

调节回流比:根据系统进出水水质和各池的 DO/氧化还原电位 (ORP) 值调节逐级回流的回流比,使系统发挥最大的生物脱氮除磷功能;通过各池回流泵频率的调节,控制回流量和回流比;回流比的调节应兼顾各池污泥浓度、DO 浓度与 ORP 条件,使其保持在合理区间。

③调节好氧池供气量和 DO:随进水负荷的变化,调节好氧池曝气的风量,以满足正常硝化和搅拌的需求;实际生产中可根据好氧池的 DO 对风机的开启台数及频率数(变频调节)进行调节。

2.6 投产后实际进出水水质

投产后实际进出水水质如图 2~图 7 所示。

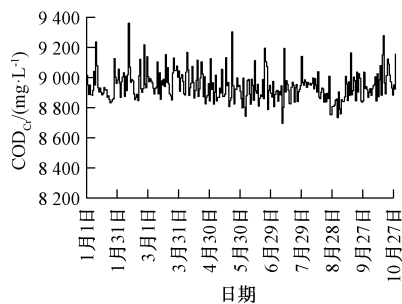


图 2 2020 年 1 月—10 月进水 COD_{Cr} 质量浓度

Fig. 2 COD_{Cr} in Influent from January

to October, 2020

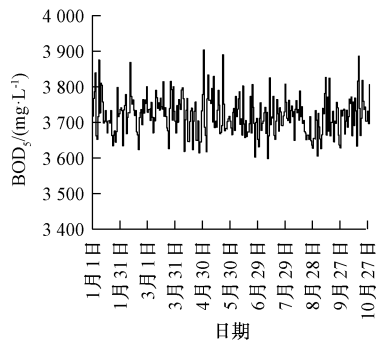


图 3 2020 年 1 月—10 月进水 BOD₅ 质量浓度

Fig. 3 BOD₅ in Influent from January to

October, 2020

经过近一年的实际运行, COD_{Cr} 质量浓度由进水的 8 700 ~ 9 300 mg/L 降到出水的 270 ~ 290 mg/L, SS 质量浓度由进水的 3 600 ~ 4 250 mg/L 降到出水的 170 ~ 190 mg/L, 出水水质指标均满足辽宁省《污水综合排放标准》(DB 21/1627—2008) 要求, 其中 SS 设计出水标准要求 ≤ 200 mg/L, 实际出水

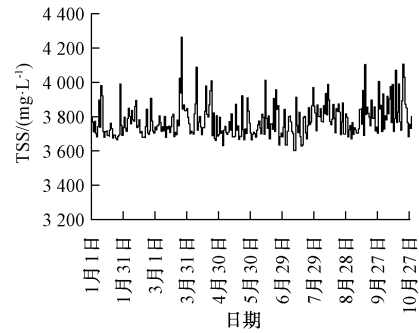


图 4 2020 年 1 月—10 月实际进水 TSS 质量浓度

Fig. 4 TSS in Influent from January to

October, 2020

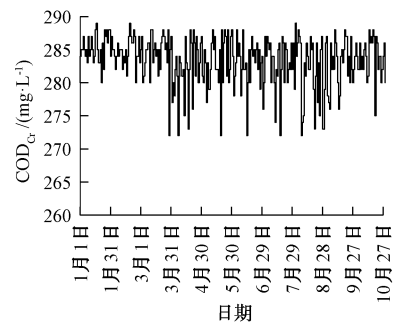


图 5 2020 年 1 月—10 月出水 COD_{Cr} 质量浓度

Fig. 5 COD_{Cr} in Effluent from January to

October, 2020

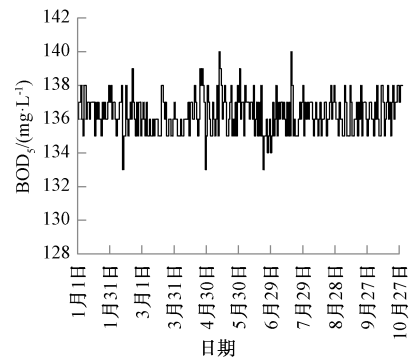


图 6 2020 年 1 月—10 月出水 BOD₅ 质量浓度

Fig. 6 BOD₅ in Effluent from January to

October, 2020

SS 质量浓度基本都在 10 mg/L 以下, 因此, 在水厂日常运行中, 出水 SS 值不在日常监测范围内。

2.7 项目经济性分析

项目投资为 9 085 万元, 每 10 年更换 MBR 膜重置费为 1 135 万元。其中, 吨水电耗为 0.738 kW·h, 膜清洗剂(柠檬酸)为 6.1 t/a, 膜清洗剂(次氯酸钠)药耗为 99.4 t/a, PAM(脱水)药耗为

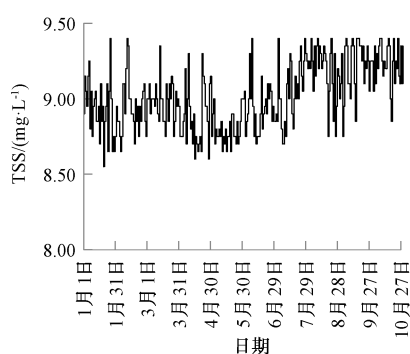


图7 2020年1月—10月出水TSS质量浓度

Fig. 7 TSS in Effluent from January to October, 2020

14.7 t/a,总的单位处理成本为 3.45 元/m³,外运污泥量为 40.3 t/d(80%含水率)。

3 结论

综上,MBR 工艺在未来的几十年内将保持着技术的先进性,并且该技术在国内的污水处理、垃圾渗滤液处理中也得到了广泛应用。在设计和运行过程中应注意以下几点。

(1)加强预处理系统。预处理的目的在于改变有机污染物的结构,提高废水的可生化性以及生物处理整体效率效果。高浓度可生化废水单独收集后进行单独的生物水解酸化或进行厌氧生化处理。水解酸化要进行较大程度的改良,能够实现水解与厌氧运行状态的互换运行。

(2)强化好氧生物处理过程,提高 COD_{Cr} 去除效率。好氧处理部分采用复合工艺,结合国内外目前有效应用的活性污泥法与活性生物膜法的特点,有机组合并强化生物处理过程,使生物处理系统出水 COD_{Cr} 更低。

(3)与常规活性污泥处理设施相邻的 MBR 工艺,建议在不超过常规活性污泥处理设施承受能力的前提下,尽量由常规活性污泥系统设置承担峰值通量,减少膜面积,相抵工程投资、运行费用及膜更换费用。对于小规模 MBR 工艺,由于变化系数较大,可以增加调蓄设施,调节流量变化幅度,降低膜系统的投资以及运行费用。

参考文献

[1] 北京市市政工程设计研究总院有限公司. 给水排水设计手册 [M]. 3 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
Beijing General Municipal Engineering Design & Research

Institute Co., Ltd. Water supply and drainage design manual [M]. 3rd edition. Beijing: China Architecture & Building Press, 2017.

[2] 任明, 孙淑英, 金艳, 等. 催化臭氧氧化法处理煤化工高盐废水[J]. 环境工程, 2018, 36(8): 54-59.
REN M, SUN S Y, JIN Y, et al. Treatment of high-salt wastewater from coal chemical industry by catalytic ozone oxidation [J]. Environmental Engineering, 2018, 36(8): 54-59.

[3] 解庆林, 李艳红, 朱义年, 等. 高盐度污水生物处理技术研究[J]. 环境工程, 2004(2): 15-17.
XIE Q L, LI Y H, ZHU Y N, et al. Study on biological treatment process of high salinity wastewater[J]. Environmental Engineering, 2018, 36(8): 54-59.

[4] 辽宁省质量技术监督局, 辽宁省环境保护局. 辽宁省污水综合排放标准: DB 21/1627—2008[S]. 2008.
Liaoning Administration for Market Regulation, Department of Ecology and Environment of Liaoning Province. Intergrated wastewater discharge standard of Liaoning province: DB 21/1627—2008[S]. 2008.

[5] 左武, 周尤超, 葛仕福, 等. 高含盐有机废液热处理技术研究进展[J]. 环境工程, 2018, 36(4): 52-56.
ZUO W, ZHOU Y C, GE S F, et al. Development of thermal treatment of high-salt organic wastewater [J]. Environmental Engineering, 2018, 36(4): 52-56.

[6] 谢辉, 包樱钰, 李菲菲, 等. A²/O 生活污水处理系统中抗生素抗性基因的分布及去除[J]. 环境工程, 2019(12): 80-89.
XIE H, BAO Y Y, LI F F, et al. Distribution and removal of antibiotic resistance genes in an A²/O domestic wastewater treatment plant[J]. Environmental Engineering, 2019(12): 80-89.

[7] 冯元平, 浦维肖, 陈文清. A³/O-MBR 工艺反硝化除磷性能研究[J]. 环境工程, 2016, 34(5): 46-49, 90.
FENG Y P, PU W X, CHEN W Q. Performance of denitrifying phosphorus removal in A³/O-MBR process [J]. Environmental Engineering, 2016, 34(5): 46-49, 90.

[8] 杨学贵, 肖晓文, 孙雁, 等. 昆明第四水质净化厂 MBR 工艺 7 年运行实践分析[J]. 中国给水排水, 2017, 33(14): 121-127.
YANG X G, XIAO X W, SUN Y, et al. Analysis of MBR of 7 year operation in the fourth wastewater purification plant of Kunming[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(14): 121-127.

[9] 马放. 化工园区废水处理技术的新思考[C]. 邯郸:《中国给水排水》第十五届年会暨水安全保障及水环境综合整治高峰论坛会议, 2018.
MA F. New thoughts on wastewater treatment technology in chemical industry park[C]. Handan: China Water & Wastewater the 15th annual conference and summit forum on water security and comprehensive improvement of water environment, 2018.

(下转第 173 页)

出水 TN 波动更小,更有利于出水稳定达标。

(3)在 AAO-A+MBR 工艺中,将好氧池溶解氧质量浓度控制在 0.5~1.0 mg/L,MBR 膜池溶解氧质量浓度控制在 1.5~2.0 mg/L,好氧池活性污泥质量浓度控制在 5.5~6.5 g/L。同时,缺氧池到厌氧池为 200% 回流,兼氧池到缺氧池为 400% 回流,MBR 膜池到好氧池为 500% 回流,可以得到良好的污水处理效果,单位运行成本较低。

参考文献

- [1] 钱亮,贺北平,刘瑞东,等. 低碳氮比污水提标改造工程设计及运行效果分析[J]. 中国给水排水, 2019, 35(14): 81-87.
QIAN L, HE B P, LIU R D, et al. Design and operation effect analysis of low C/N ratio sewage upgrading and reconstruction project[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(14): 81-87.
- [2] 鲍任兵,马民,徐健,等. AAO 及改良型工艺耦合 MBR 工艺应用研究综述[J]. 净水技术, 2022, 41(3): 26-31, 62.
BAO R B, MA M, XU J, et al. Technological research overview on AAO and modified process coupled with MBR [J]. Water Purification Technology, 41(3): 26-31, 62.
- [3] 应林荣,党勇杰,姚云波,等. 污水厂 AAO-MBR 处理工艺沿程运行效果分析[J]. 净水技术, 2021, 40(7): 71-74, 153.
YING L R, DANG Y J, YAO Y B, et al. Analysis of effectiveness along the operation process of AAO-MBR in WWTP [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(7): 71-74, 153.
- [4] 马宏伟,陈雅琼,陈阳. 多级 AO-MBR 工艺用于污水处理厂提标扩建工程设计[J]. 给水排水, 2017, 53(6): 30-34.
MA H W, CHEN Y Q, CHEN Y. Engineering design of multilevel AO-MBR process for upgrading and expansion project in WWTP [J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 53(6): 30-34.
- [5] 唐鑫伟,傅坚亮,任亚英. 精准曝气系统在提高 AAO+MBR 工艺总氮去除率中的应用[J]. 净水技术, 2020, 39(s1): 133-137.
TANG X W, FU J L, REN Y Y. Application of precise aeration system on improving removal rate of TN in AAO+MBR process [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(s1): 133-137.
- [6] 应林荣,党勇杰,姚云波,等. 污水厂 AAO-MBR 处理工艺沿程运行效果分析[J]. 净水技术, 2021, 40(7): 71-74, 153.
YING L R, DANG Y J, YAO Y B, et al. Analysis of effectiveness along the operation process of AAO-MBR in WWTP [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(7): 71-74, 153.
- [7] 沈晓佳,陈雪祥,徐一兰,等. 浙江某城镇污水处理厂一级 A 提标改造后运行优化分析[J]. 净水技术, 2020, 39(12): 25-29.
SHEN X J, CHEN X X, XU Y L, et al. Operation optimization analysis of an upgraded WWTP in Zhejiang province [J]. Water Purification Technology, 2020, 39(12): 25-29.
- [8] 柳岩,高海英,刘建军,等. 半地下箱体式 MBR 生化组合工艺工程设计案例分析[J]. 净水技术, 2021, 40(11): 139-146, 163.
LIU Y, GAO H Y, LIU J J, et al. Analysis of engineering design case for semi-underground box type MBR biochemical combined process [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(11): 139-146, 163.
- [10] 郝二成,袁星,卓崴. 污泥膨胀原因及控制措施研究[J]. 环境工程, 2017, 35(7): 18-22.
HAO E C, YUAN X, FU W. Research on reason for sludge bulking and its control strategy [J]. Environmental Engineering, 2017, 35(7): 18-22.
- [11] 单威,王燕,郑凯凯,等. 高工业废水占比城镇污水处理厂 COD 提标技术比选与分析[J]. 环境工程, 2020, 38(7): 32-37, 24.
SHAN W, WANG Y, ZHENG K K, et al. Technology comparison and analysis on COD removal upgrading of wastewater treatment plants for high proportion of industry wastewater [J]. Environmental Engineering, 2020, 38(7): 32-37, 24.
- [12] 郝晓地,李天宇,吴远远,等. A²/O 工艺用于污水处理厂升级改造的适宜性探讨[J]. 中国给水排水, 2017, 33(21): 18-24.
HAO X D, LI T Y, WU Y Y, et al. Discussion on suitability of A²/O process for upgrading of wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater. 2017, 33(21): 18-24.

(上接第 159 页)