

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.06.014

多模式 $A^2/O + MBR$ 工艺在滨湖污水处理厂的应用

刘科军¹, 孙晓炎²

(1. 常州市市政工程设计研究院有限公司, 江苏 常州 213003; 2. 江苏大禹水务股份有限公司, 江苏 常州 213017)

摘要: 江苏省武进区滨湖污水处理厂一期设计规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 设计出水水质执行《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018) 标准。设计采用多模式 $A^2/O + MBR$ 工艺, 尾水采用次氯酸钠消毒。通过运用多模式 A^2/O 池、智能气量追踪系统、多段污泥回流、磁悬浮风机、全封闭曝气沉砂池以及再生水的回用, 在出水水质优于排放标准的前提下, 吨水用地指标仅为 $0.66 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$, 实际运行总用电单耗为 $0.41 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$, 不仅节约了大量的建设用地, 而且切实有效地降低了 MBR 工艺的运行费用。

关键词: 多模式 $A^2/O + MBR$ 工艺; 智能气量追踪系统; 多段污泥回流; 再生水回用

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)06-0081-05

Application of Multi-mode $A^2/O + MBR$ Process in Binhu Wastewater Treatment Plant

LIU Ke-jun¹, SUN Xiao-yan²

(1. Changzhou Civil Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Changzhou 213003, China; 2. Jiangsu Dayu Water Co. Ltd., Changzhou 213017, China)

Abstract: The design capacity of the first-stage project of Binhu WWTP in Wujin District, Jiangsu Province is $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ and the design effluent quality should meet *Discharge Standard of Main Water Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant & Key Industries of Taihu Area* (DB 32/1072 - 2018). The multi-mode $A^2/O + MBR$ process was adopted, and the final effluent was disinfected by sodium hypochlorite. The effluent quality was better than the discharge standard by using multi-mode A^2/O , intelligent gas tracking system, multi-stage sludge reflux, magnetic levitation blower, closed aeration sedimentation tank and wastewater reuse with $0.66 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$ land use index of the WWTP, and $0.41 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ power consumption of the WWTP, which not only saves numerous construction land, but also effectively reduces the operation cost of MBR process.

Key words: multi-mode $A^2/O + MBR$ process; intelligent gas tracking system; multi-stage sludge reflux; wastewater reuse

江苏省武进区滨湖新城位于太湖流域, 又南临西太湖, 境内河网密布, 武宜运河和京杭大运河由境内通过, 属于环境敏感区。为贯彻落实太湖流域水环境保护政策, 同时解决滨湖新城的污水出路, 保障该区域经济和社会的可持续发展, 启动了滨湖污水处理厂的建设。

滨湖污水处理厂占地 11.6 hm^2 , 总规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 尾水回用规模为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 服务面积达 175 km^2 , 服务人口约为 42 万人, 涵盖武进滨湖新城、嘉泽、牛塘、绿建区等区域。

1 技术方案

滨湖污水处理厂一期设计规模为 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,

尾水回用规模为 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

1.1 设计进、出水水质

本区域属于太湖地区其他区域,滨湖污水处理厂尾水排放水体为京杭大运河,因此设计出水水质需满足《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072—2018)中的太湖地区其他区域内城镇污水处理厂主要水污染物排放限值的要求。

具体设计进、出水水质见表1。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$						
项目	COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ -N	TP
进水	480	180	220	50	35	5
出水	50	10	10	12(15)	4(6)	0.5

1.2 工艺流程

处理工艺应因地制宜,并结合建设定位、处理要求、回用要求以及未来发展趋势等因素选择。针对本工程,污水厂处理工艺的选择需重点考虑以下方面:

① 项目定位为一座现代化、高标准、高要求的“标杆”污水处理厂,要求工艺技术先进、处理效果可靠,同时该厂位于环境敏感区(位于太湖流域,毗邻西太湖),要求工艺在脱氮除磷和生物降解功能上具有突出优势,且耐冲击负荷能力强。

② 工艺流程简洁,构筑物少,布置紧凑,能较大程度地节省用地,为污水厂今后的发展提供尽可能多的预留用地。

③ 随着环境保护力度的不断加大,所选工艺要能够满足城镇污水厂尾水排放标准不断提高的潜在需求,以便为周边水环境的不断改善提供有力保障。

④ 出水水质能够满足大部分的再生水回用要求,为今后再生水回用提供稳定可靠的水源。

MBR工艺集二级处理和深度处理工艺于一身,比其他工艺有更好的出水水质,出水可达到再生水回用标准^[1]。另外,MBR占地仅相当于传统工艺的1/2~2/3,可显著节省土地资源^[2]。因此,本工程采用MBR作为污水处理的主导工艺,污泥采用重力浓缩+板框脱水机脱水后外运处置。

该污水厂具体的污水处理工艺流程如图1所示。

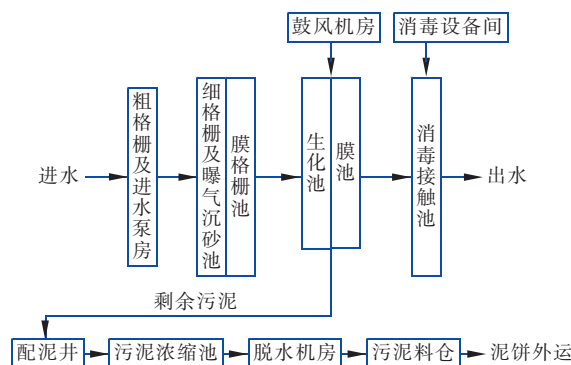


图1 污水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

2 工程设计

2.1 粗格栅及进水泵房

粗格栅间和进水泵房合建,土建按 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模一次建成,本期设备按 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 配备。设计流量: $2875 \text{ m}^3/\text{h}$,过栅流速为 0.8 m/s ,栅条间隙为 20 mm ,栅前水深为 1.2 m 。格栅间本期安装2台旋转式粗格栅,格栅倾角 70° ,垂直高度 7.7 m 。泵房分两舱,本期安装潜污泵3台(2用1备),单台 $Q = 1438 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 111 \sim 119 \text{ kPa}$,功率 75 kW 。

2.2 5 mm 细格栅间

5 mm 细格栅间与曝气沉砂池合建,规模 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。设计流量为 $2875 \text{ m}^3/\text{h}$;过栅流速: 0.8 m/s ;栅条间隙: 5 mm ;栅前水深: 1.0 m 。细格栅间共分两格,每格安装1台回转式格栅除污机,安装角度 70° ,垂直高度 2.0 m ,配套螺旋压榨机1台。

2.3 曝气沉砂池

曝气沉砂池规模 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,1座2格。设计流量为 $2875 \text{ m}^3/\text{h}$;有效水深: 2.9 m ;停留时间: 10 min 。曝气沉砂池总尺寸为 $23.0 \text{ m} \times 9.5 \text{ m}$,池深 5.4 m 。沉砂池设链板式刮泥机,配1台螺旋式砂水分离器。风机房安装4台罗茨风机,用于沉砂池的曝气和砂的气提。曝气用风机: $Q = 4.8 \text{ m}^3/\text{min}$,2用1备,升压 39.2 kPa ,功率 7.5 kW ;气提用风机1台, $Q = 2.5 \text{ m}^3/\text{min}$,升压 78.4 kPa ,功率 7.5 kW 。

2.4 3 mm 细格栅间

3 mm 细格栅间与曝气沉砂池合建,用于拦截水中较小的漂浮物,减少后续膜格栅负荷。本期规模 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,设计流量为 $2875 \text{ m}^3/\text{h}$;过栅流速: 0.8 m/s ;网孔直径: 3 mm ;栅前水深: 1.3 m 。3 mm

细格栅间共分两格,每格渠宽 2.0 m,每格安装 1 台内进流网板格栅除污机,安装角度 90° ,功率 1.3 kW,中压清洗泵与膜格栅池合用,设高排水型螺旋压榨机 1 台,功率 1.5 kW。

2.5 膜格栅池

膜格栅与细格栅及曝气沉砂池合建,用以去除污水中的纤维状、毛发类物质,以防膜丝被缠绕而造成损坏或膜污染。本期膜格栅池规模 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,共分三格,设计流量为 $2\,875 \text{ m}^3/\text{h}$,栅隙:1 mm。膜格栅池设转鼓格栅机 3 台,转鼓直径 2.6 m,配 1 台螺旋压榨机,配中压冲洗泵 2 台(1 用 1 备),单台 $Q = 64 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程 650 kPa,功率 18.5 kW;配高压冲洗泵 2 台,2 用,单台 $Q = 1.92 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程 10 MPa,功率 7.5 kW。

2.6 MBR 反应池

MBR 反应池包括生化池、膜池及膜设备间。

本期生化池规模 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,一座两组,单组 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,采用多模式 A^2/O 池,可根据进水水质及处理需要实现多种模式灵活运行,达到高效脱氮除磷功能。

本期膜池规模 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,共设 8 格,并列运行。膜池出水按负压抽吸出流设计,对应每格膜池配备一个透过液抽吸泵。另外,通过在膜箱底部采用大气泡曝气产生紊流,冲刷膜表面,以减少污染物在膜表面的聚集,减少化学清洗的次数。

设计最低/最高温度: $12^\circ\text{C}/30^\circ\text{C}$ 。多模式 A^2/O 池有效水深:6.0 m;总停留时间:11.8 h(其中厌氧区 1.5 h、缺氧区 4.5 h、好氧区 5.8 h);好氧区污泥浓度: $6 \sim 8 \text{ g/L}$;污泥负荷: $0.066 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$;总污泥龄:25 d;剩余污泥量: $9\,600 \text{ kg/d}$;供气量: $180 \text{ m}^3/\text{min}$;好氧区至缺氧区回流比:300%;缺氧区至厌氧区回流比:100%。膜池有效水深:3.1 m;水力停留时间:0.8 h;每格膜池膜箱数:7 个(预留 1 个空位);单个膜箱平均产水量: $893 \text{ m}^3/\text{d}$;膜池供气量: $469.2 \text{ m}^3/\text{min}$ (最大);膜池至好氧区回流比:400%。膜组件:56 套,采用 PVDF 中空纤维膜;平均孔径: $0.03 \mu\text{m}$;设计通量: $20.7 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;总膜面积: $100\,800 \text{ m}^2$ 。产水/反冲泵(转子泵)9 台(8 用 1 备),转子泵 $Q = 432 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程 100 kPa,功率 30 kW;剩余污泥泵 3 台(2 用 1 备),单台 $Q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 200 \text{ kPa}$,功率 7.5 kW;碳源采用醋酸,碳源投加泵 3 台(2 用 1 备),单台 $Q =$

100 L/h , $H = 500 \text{ kPa}$,功率 0.75 kW。醋酸储罐 1 套,有效容积 20 m^3 。

2.7 接触池

接触池与再生水清水池合建。接触池规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,清水池规模为 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。设计流量 $Q_{\max} = 5\,417 \text{ m}^3/\text{h}$;接触时间:30 min;有效水深:3.0 m。

2.8 消毒设备间

消毒设备间 1 座,土建规模 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,平面尺寸为 $15 \text{ m} \times 10 \text{ m}$,本期设备按 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 配备,消毒采用 10% 次氯酸钠溶液。设计流量为 $2\,875 \text{ m}^3/\text{h}$;最大投加量: 30 mg/L 。设隔膜计量泵 4 台(3 用 1 备)。

2.9 再生水泵房

再生水泵房土建规模 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。本期泵房内设置恒压供水系统一套,供水规模为 $70 \text{ m}^3/\text{h}$, H 为 550 kPa,功率 12 kW,主要用于厂区再生水供应。同时预留 5 个泵位用于远期厂外再生水的供水。

2.10 配泥井

剩余污泥通过配泥井分配至各个浓缩池,浓缩后污泥再进入配泥井的下部,起污泥均化和储存的作用。配泥井土建按 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 建成,直径 5 m,本次设备按照 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 配备。

2.11 浓缩池

污泥浓缩采用重力浓缩池。规模 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,共 2 座。单座处理污泥干质量: $4\,800 \text{ kg/d}$;进泥含水率:99.3%;出泥含水率:97.5%;固体负荷: $30 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$;有效水深:4.0 m;直径:15 m。每座浓缩池内安装周边传动污泥浓缩机一台。

2.12 脱水机房

脱水机房土建按 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 建成,平面尺寸为 $42 \text{ m} \times 24 \text{ m}$,本期设备按 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 配备,选用板框脱水机。剩余污泥干质量为 $9\,600 \text{ kg/d}$;浓缩后的污泥量: $384 \text{ m}^3/\text{d}$ (97.5% 含水率);脱水后的污泥量: $24 \text{ m}^3/\text{d}$ (60% 含水率)。配备 2 台板框式脱水机,2 用,单台过滤面积 400 m^2 ,功率 18.5 kW。同时配套低压污泥进料泵(2 台, $Q = 120 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 0.6 \text{ MPa}$, $P = 27 \text{ kW}$)、高压污泥进料泵(2 台, $Q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 1.8 \text{ MPa}$, $P = 37 \text{ kW}$)、滤布清洗水泵、清水压榨水泵、空压机、冷干机、污泥调理池、石灰储仓、铁盐储罐及絮凝剂制备装置。

脱水后污泥采用无轴螺旋输送机输送至污泥

料仓。

2.13 污泥料仓

污泥料仓1座,按 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 建成,钢结构,平面尺寸为 $4.5 \text{ m} \times 4 \text{ m}$,设置振动器及自动翻板门。

2.14 鼓风机房

鼓风机房1座,土建按 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 建成,平面尺寸为 $40 \text{ m} \times 22.6 \text{ m}$,设备按 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 配备,选用磁悬浮离心鼓风机8台,其中生化池曝气风机4台(3用1备),单台风量 $60 \text{ m}^3/\text{min}$,风压 75 kPa ,功率 125 kW ;膜吹扫风机4台,单台风量 $117.3 \text{ m}^3/\text{min}$,风压 40 kPa ,功率 125 kW 。

3 设计特点

① 多模式 A^2/O 池。生化池内分厌氧区、缺氧区和好氧区,并设置了进水分配渠道,在运行中可以将原水按一定比例灵活地分配到厌氧区和缺氧区,从而选择优先满足生物脱氮或除磷对进水碳源的需要,保证工艺除磷脱氮的高效性。同时考虑工艺运行的灵活性和节能要求,结合MBR工艺回流的特点,通过回流渠道使污水回流至生化池不同区域,实现常规 A^2/O 工艺、倒置 A^2/O 工艺、多点进水 A^2/O 工艺等多种运行模式。

具体平面布置见图2。

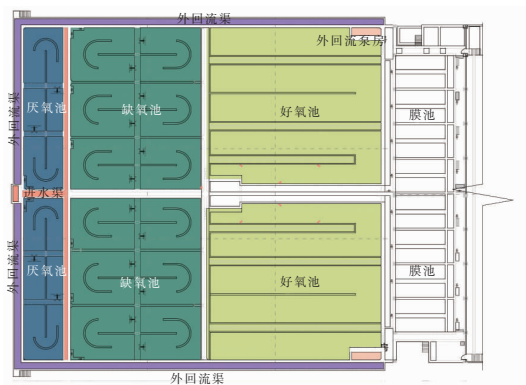


图2 多模式 A^2/O 池平面布置

Fig. 2 Plane layout of multi-mode A^2/O tank

② 多段污泥回流。大量的擦洗空气使得膜池内的溶解氧极高(通常DO可达 $8 \sim 10 \text{ mg/L}$)^[3],采用膜池混合液回流至好氧池,可以充分利用膜池回流污泥中的溶解氧。同时为避免DO影响厌氧除磷,采用好氧池回流至缺氧池,缺氧池再回流至厌氧池。

③ 氧化沟循环池型。生化池的池型设置成环

状沟渠,使污水能在沟渠内多次循环流动,结合了推流和完全混合两种流态,既具备完全混合式反应器的特点,也具有推流式反应器的特点,提高了系统抗冲击负荷的能力。

④ 智能气量追踪系统。好氧区中DO太高或太低,生物脱氮除磷系统都会受到影响。生化池智能气量追踪系统可将进水负荷(水质/水量)与生化池主要运行指标相结合,运用国际水协ASM模型的智能化前馈+反馈的系统,通过控制鼓风机系统,在需要低溶解氧、低曝气量时自动调低风机运行水平,以达到节能降耗的目的。生化池设计气水比为 $5.2:1$,经智能气量追踪系统控制的生化池实际运行气水比仅为 $1.6:1$,用于曝气的风机实际吨水电耗为 $0.06 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$,节能效果显著。

⑤ 磁悬浮风机的运用。风机是城镇污水厂中主要的耗能设备之一,风机的能耗关系整个污水厂的运行成本。磁悬浮风机由于其独特的运行模式,运行稳定可靠,节能效果显著,同时其噪声明显低于其他类型风机,对周边环境基本没有影响。本工程中生物反应池的曝气和膜池的吹扫均采用进口磁悬浮风机。

⑥ 全封闭曝气沉砂池。曝气沉砂池采用混凝土顶板整体封闭,并采用水下非金属链板式刮泥机和气提除砂,机械格栅采用自带封闭罩,较好地解决了曝气沉砂池的封闭除臭问题,同时非金属链板式刮泥机采用多刮板连续刮砂,效率高、质量轻、安装简便、能耗低、使用寿命长。整个除砂过程自动化程度高,对水量变化适应性强,系统稳定、可靠、高效,经砂水分离器处理后的洁净砂量约为 100 L/d 。

⑦ 再生水回用。一方面在厂区布置了再生水回用管网,用于全厂的绿化浇灌、道路及构筑物冲洗、加药和消防用水;另一方面,部分尾水经人工湿地生态净化后用于周边河道补水,实现回用。其中厂区再生水采用恒压供水系统,确保回用水系统的稳定、可靠、高效和节能。

4 运行效果

滨湖污水处理厂投产运行半年来对各种污染物的去除效果见表2。从表2可以看出:①该工艺对各种污染物去除效果均较好,各出水指标均优于排放标准,特别是出水SS全部为0,体现了MBR突出的过滤功能,适用于水质要求高的情况;②在进水COD和 BOD_5 均较低的情况下,TN和TP也达到了

很好的去除效果,平均出水 TN 为 6.5 mg/L,平均出水 TP 为 0.17 mg/L,表明 MBR 工艺同样适用于低浓度城镇污水的脱氮除磷。

表 2 实际进、出水水质

Tab. 2 Actual influent and effluent quality

		mg · L ⁻¹					
项 目		COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ - N	TP
进水	最大值	363	67.4	534	58.0	41.5	10.10
	最小值	95	31.4	18	20.3	13.8	1.47
	平均值	158	44.5	73	31.0	25.2	2.90
出水	最大值	40	3.0	0	11.1	3.7	0.44
	最小值	9	2.0	0	3.4	0.03	0.04
	平均值	17	2.3	0	6.5	0.40	0.17

5 建设用地分析

滨湖污水处理厂总规模为 10 × 10⁴ m³/d,占地 11.6 hm²,其中厂区所有处理设施布置用地仅占 6.6 hm²,吨水用地指标仅为 0.66 m²/(m³ · d⁻¹),远低于《城市排水工程规划规范》(GB 50318—2017)中规定的 1.3 ~ 1.7 m²/(m³ · d⁻¹)。厂区其余用地:2.4 hm² 用于人工湿地的建设,2.6 hm² 用于预留远期发展用地。可见,采用 MBR 工艺后节约了大量的建设用地,显著地提升了土地的价值效益。

6 经济分析

滨湖污水处理厂一期规模为 5 × 10⁴ m³/d,其中厂区投资为 3.06 亿元,实际运行总用电单耗为 0.41 kW · h/m³,厂区污水处理成本为 0.96 元/m³(含污泥处置费 0.42 元/m³)。

7 结语

近年来,太湖地区的城镇污水处理厂经历了两轮排放标准提升,促使该地区城镇污水处理的技术

水平在全国处于领先地位,起到引领作用。滨湖污水处理厂的建成和投产运行积极响应了国家生态文明建设的要求,实现了很好的环境效益和社会效益,同时也为全国其他城镇污水厂的建设提供了借鉴和参考。

参考文献:

[1] 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 Xuegui,XIAO Xiaowen,SUN Yan,et al. Analysis of MBR of 7 years practical operation in the fourth wastewater purification plant of Kunming [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33 (14): 121 - 127 (in Chinese).

[2] 郝晓地,李季,曹达啟. MBR 工艺可持续性量化评价[J]. 中国给水排水,2016,32(7):14 - 23.
HAO Xiaodi,LI Ji,CAO Daqi. Quantitative evaluation of sustainability of MBR process [J]. China Water & Wastewater,2016,32(7):14 - 23(in Chinese).

[3] 蒋岚岚,胡邦,张万里. 膜生物反应器工艺设计及工程实例[M]. 南京:河海大学出版社,2015.
JIANG Lanlan,HU Bang,ZHANG Wanli. Process Design and Engineering Example of MBR[M]. Nanjing: Hohai University Press,2015(in Chinese).

作者简介:刘科军(1981 -),男,江苏常州人,硕士,高级工程师,从事市政给水排水设计工作。

E - mail :296385570@ qq. com

收稿日期:2019 - 10 - 16

修回日期:2020 - 05 - 12

(编辑:孔红春)

节约用水利在当代,造福人类功盖千秋