

MBR 工艺在南京某污水厂溢流污水应急处理工程中的应用

王斌

江苏凯米膜科技股份有限公司 南京 210000

DOI: 10.12238/ems.v7i3.12181

[摘 要] 与传统污水处理厂工程不同，应急污水处理工程具有建设周期短、占地面积小等特点，需采用可快速启动、经济可靠的处理工艺和设施。南京某应急污水处理工程设计规模为 4000m³/d，旨在处理现状超负荷运行的市政污水处理厂的溢流污水。该工程主体工艺采用“预处理+ A0 生化池+ MBR 膜生物反应器”，采用模块化集成产品，这些措施充分发挥了快速拼装、一体化、模块化的特点，整个项目设计、施工至通水完成仅 60 天。出水指标均满足《太湖地区城镇污水处理厂及重点行业主要污染物排放限值》DB32/1072-2007 标准。

[关键词] 脱氮除磷；A0 + MBR；超滤膜；应急处理

南京某区镇级污水处理厂设计日处理能力为 2000m³/d，服务范围主要为镇里片区生活污水。污水厂主体工艺为“A²O 池+二沉池+硅藻土池+反硝化滤池+次氯酸钠消毒处理工艺”，出水执行《太湖地区城镇污水处理厂及重点行业主要污染物排放限值》DB32/1072-2007 标准。

目前污水处理厂进水氨氮常达到 35~50mg/L（污水厂氨氮设计进水≤30mg/L），由于现状污水厂采用 A²O+硅藻土处理工艺，该工艺流程较简单，脱氮除磷效果差，难以适应冲击负荷的影响，污水厂受来水水质波动较大，污水常发生溢流入河现象，导致河道水体质量较差。

目前污水厂远期新（扩）建工程建设周期较长，考虑到

本项目建设周期短、占地面积小、需快速启动、见效快等原因，拟采用缺氧/好氧+膜生物反应器技术（后文简称“A0+MBR”）工艺来实现超量污水的处理达标排放。鉴于目前污水厂运行负荷率以及远期地块污水的接入，本工程设计规模为 4000m³/d，变化系数 1.25，工程分两期实施，其中一期处理规模 2000m³/d，二期处理规模 2000m³/d。

1. 设计进出水水质

本次工程污水来源同污水厂一样，本项目设计进水水质结合污水厂目前实际进水水质数据并考虑安全余量，出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB32/4440-2022) B 标准，具体设计进出水水质见表 1。

表 1 设计进出水水质 单位：mg/L

项目	COD	BOD5	TP	NH3-N	TN	SS	pH
设计进水水质	≤350	≤175	≤5	≤50	≤55	≤150	6~9
设计出水水质	≤40	≤10	≤0.3	≤3（5）	≤10（12）	≤10	6~9

注：每年 11 月 1 日至次年 3 月 31 日执行括号内排放限值。

2. 工艺流程及技术介绍

由于本工程要求出水 COD≤40mg/L、氨氮≤3（5）mg/L、TN≤10（12）mg/L 以及 TP≤0.3mg/L，需采用脱氮除磷二级处理工艺，由于本项目用地面积仅为 1792m²（长 56x 宽 32m），用地紧张，综合比选主体工艺采用 A0 + MBR 工艺。

本工艺来水经过预处理后首先进入缺氧池，在缺氧池反硝化细菌利用污水中的有机物作为碳源，实现脱氮。接着污水进入好氧池，在好氧池中微生物在有氧条件下完成有机物、氨氮的转化以及磷的吸收。通过缺氧/好氧生化反应段实现氮磷等污染物的高效去除。

经过生化处理后的污水进入 MBR 膜池，通过 30nm 过滤精度的超滤膜技术将水中杂质截留，能得到清澈的净水。膜的固液分离作用更有利于增殖缓慢的硝化细菌、亚硝化菌、反硝化菌及其它专性菌的截留、生长和繁殖，维持生物相的数量优势，延长大分子难降解物质在系统内的停留时间，保证了 MBR 系统脱氮能力和有机物降解的高效率和稳定性。尤其对于冬季低温条件下，出水水质达标的保障率高。

此外采用“A0+MBR”工艺，MBR 对微细颗粒的拦截能力是极强的，它保证了其出水各项水质指标的稳定。以总磷指标为例，在生物除磷和化学除磷共同作用的系统中，吸收于微生物细胞当中的磷比较容易通过排泥除掉，而胶体形态的磷和吸附了磷的微细颗粒悬浮在水中随水溢流则往往是造成产水总磷超标的祸首。0.03 微米超滤级过滤精度对这些胶体和微粒有很好的拦截作用，能保证出水的低含磷量和稳定性；

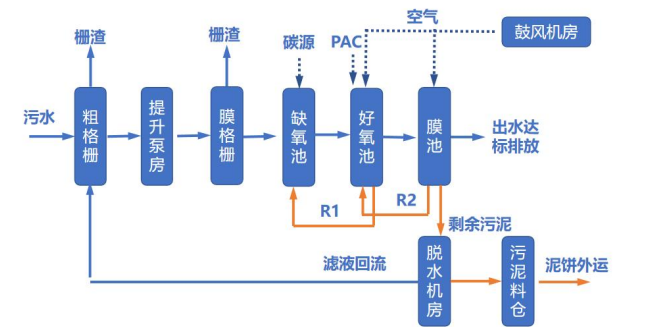


图 1 项目工艺流程图

AO + MBR 组合工艺在传统 AO 工艺的基础上，取代了传统工艺如二沉池、高效沉淀池等构筑物，同时增设 MBR 池，有利于缩短污水处理工艺流程，减少水力停留时间，在减小构筑物的体量的同时获得更优质的出水，具有耐冲击负荷强、出水水质优良、除磷脱氮效果好以及运行稳定等优点。具体工艺流程见图 1。

表 2 建（构）筑物一览表

类型	建（构）筑物名称	设计规模（m³/d）	数量	结构形式
模块化污水处理设备	粗格栅及进水泵房	4000	1 座	钢结构
	膜格栅	4000	1 座	
	AO 生化反应池	4000	1 座	
	膜池	2000	2 座	
设备及生产用房	鼓风机房	4000	1 座	框架结构
	配电间	4000	1 座	框架结构
	加药间	4000	1 座	框架结构
	污泥脱水机房	4000	1 座	框架结构
	中控室	4000	1 座	框架结构
	在线监测间	4000	1 座	框架结构
	仓库	4000	1 座	框架结构

3.1 粗格栅及进水泵房

粗格栅选用回转式格栅除污机形式，用于拦截并去除水中大于等于 10mm 的漂浮物和悬浮物，以保护水泵和后续处理设备不受损坏和稳定运行。数量 1 套，设计过流量 5000m³/d，N=0.55kW；渠宽 700mm、渠道深 3.7m，齿隙 10mm，安装角度 75°，最大水头损失≤20cm。

进水泵房内安装 3 台潜水泵（2 用 1 备，变频），水泵参数为：Q=105m³/h、H=15m，N=11kW，切割式，耦合安装。

3.2 膜格栅

膜格栅选用转鼓过滤机 1 套，该设备能够有效去除污水中大于等于 1mm 的细小悬浮物和杂质如毛发、纤维、细小的塑料颗粒等，防止进入膜生物反应器（MBR）系统，避免膜丝磨损等。设计过流量 5000m³/d，栅条间隙 1mm，功率 0.55kW，系统配套压榨机等设备。

3.3 生化反应池和 MBR 膜池

生化反应池形式采用利普罐，数量 1 座，尺寸：直径 26m、高度 4.5m（有效水深 4.1m），分为缺氧区、好氧区，其中缺氧池尺寸为直径 18.4m、高度 4.5m（有效水深 4.1m），利普罐外圈全为好氧池；缺氧池、好氧池设计水力停留时间分别为 6.49、5.65h，设计缺氧池、好氧池内污泥浓度分别为 4.8g/L、6.4 g/L，污泥负荷为 0.11kgBOD5 /（kgMLSS · d），设计污泥龄 20d，气水比 8.6。膜池至好氧池、好氧池至缺氧池设计回流比分别为 400%、450%。

生化池内缺氧区内安装 4 套潜水搅拌机，D=400mm，n=980r/min，N=4kW。好氧池至缺氧池回流泵采用穿墙泵、1 台，设计参数为：938m³/h，H=1.2m，N=7.5kW。排泥泵采用干式不堵塞泵，设计参数为：Q=11m³/h，H=10m，N=0.75kW。盘式微孔曝气器（直径 300mm）330 个，单个曝气盘设计通气量 2~9m³/h。

3. 主要构筑物设计

该工程充分考虑了快速拼装、一体化、装配化以及模块化的优势，以满足项目缩短项目建设周期、降低建筑成本、占地面积小、需快速启动以及出水水质稳定可靠的要求。建（构）筑物一览表见表 2。

3.4 MBR 膜池

MBR 膜池分为 2 座，单座膜池尺寸为长 x 宽 x 高=11x3x4.5m，每个膜池装 3 个膜组器（预留 1 个空位），共安装 6 套膜组器，总膜面积 10824m²。MBR 设计平均膜通量为 15.4L /（m² · h），PVDF 膜丝材质，中空纤维加强筋膜，平均膜孔径 0.03 μm，系统按产 10 分钟反洗 30 秒模式运行。

MBR 泵区共设 2 台产水泵（变频），设计参数：Q=135m³/h，H=15m，N=11kW；2 座膜池共用 1 台反洗泵、CIP 化学清洗泵、补水泵等设备。反洗泵 1 台，设计参数：Q=217m³/h，H=10m，N=11kW；CIP 清洗泵 1 台，设计参数：Q=43.3m³/h，H=10m，N=3kW；补水泵 1 台，设计参数：Q=30m³/h，H=70m，N=11kW；MBR 膜池至好氧池回流泵采用穿墙泵、2 台，分别安装在两座膜池的回流渠中，设计参数为：417m³/h，N=1.2m，N=7.5kW。

3.5 风机房

风机房占地尺寸长 x 宽 x 高=7.5x4.5x4.5m，其中生化曝气风机 2 台（空浮风机，变频），用于为生化池中的微生物提供氧气；设计风量 16.5Nm³/min，风压 52 kPa，N=22kW；膜擦洗风机 2 台（1 用 1 备，变频），用于擦洗 MBR 膜表面、减轻膜堵塞，延缓膜清洗周期。设计风量 29.4m³/min，风压 40 kPa，N=37kW。空压机 1 台，用于仪表和自动阀门供气，出气量 0.48m³/min，压力 10bar，N=4kW，配套 260L 储气罐、三级过滤器等设备。

3.6 加药间

加药间占地尺寸长 x 宽 x 高=7.8x4.5x4.5m，包括 4m³PAC 加药箱 1 套、15m³碳源加药箱 1 套、1m³柠檬酸加药箱 1 套、1m³次氯酸钠加药箱各 1 套。PAC 设计投加量为 24.7mg/L（按 10%PAC 计），外部碳源投加量约为 52.5mg/L（以 COD 计）；PAC 加药装置配套计量泵 2 台（1 用 1 备），Q=80L/h，H=50m，N=0.06kW。碳源加药装置配套计量泵 2 台（1 用 1 备），Q=80L/h，

H=50m, N=0.06kW。柠檬酸加药装置配套计量泵2台(1用1备), Q=361L/h, H=50m, N=0.55kW。次氯酸钠加药装置配套计量泵2台(1用1备), Q=109L/h, H=50m, N=0.09kW。

膜化学清洗系统包括维护性清洗(MC)和化学性清洗(RC), MC时次氯酸钠(10%)投加浓度为200mg/L, 一般3天一次; 柠檬酸(30%)投加浓度2000mg/L, 一般21天一次。次氯酸钠与柠檬酸RC药剂投加浓度均为2000mg/L, 一般每年1~2次; 具体药剂清洗频次、投加浓度、加药时间等可结合实际运行情况调整。

3.7 污泥脱水机房

脱水机房占地尺寸长×宽×高=9.5×4.5×4.5m, 项目日产生剩余污泥量550kgDS(绝干泥)/d, 脱水机房内安装叠螺脱水机1套, 可将含水率99.2%~99.8%的剩余污泥脱水压榨为含水率85%左右的污泥。房间安装处理量Q=80~140kgDS(绝干泥)/h的脱水机1套; 配套制备能力500L/h的PAM制备装置1套(含计量泵2台)、电控柜、滤液排水泵以及20方污泥料仓等附属设备。

3.8 在线监测间

在线监测间设置5台出水水质监测仪表: 总氮分析仪、总磷分析仪、COD分析仪、氨氮分析仪以及pH分析仪。

4. 工程设计要点

本项目生化系统中缺氧池、好氧池均安装固定式生物绳填料, 能有效富集生物菌群, 强化对氮、磷以及有机物等污染物的净化去除效率。

GB50014《室外排水设计标准》中规定潜水搅拌机功率宜为2~8W/m³, 实际工程中设备选型时建议考虑生化池中是否有填料、填料高度、池子外形尺寸、有效水深、进出口位置、

表3 项目实际进、出水水质 单位: mg/L

项目	COD	BOD5	TP	NH3-N	TN
进水	120~342	60~168	2.2~4.6	25.2~48.5	28.3~52.3
出水	15~34.5	1.5~6.2	0.12~0.25	0.05~2.2	5.5~9.2
标准	≤40	≤10	≤0.3	≤3(5)	≤10(12)

注: 每年11月1日至次年3月31日执行括号内排放限值。

6. 工程投资与运行成本

项目总投资约为930万元, 吨水运行费用为1.4~1.6元吨水, 与现镇区污水厂1.2~1.4元/吨水的运行费用相比, 吨水运行费用略高, 主要体现在运行电耗和药耗上。

7. 结语

本工程采用预处理+AO生化池+MBR工艺, 出水水质满足且优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB32/4440-2022)B标准, 既满足项目需求, 又显著改善了区域水环境质量。

与传统污水厂相比, 本项目采用一体化集成设备, 项目模块式设计、设备装配化、占地小、投资少、见效快, 采用自动化PLC控制, 运行管理方便。与传统工艺相比, MBR工艺的出水水质更优、更稳定、抗冲击负荷能力强、净

中间挡板等信息, 可将选型信息提给厂家进行流态模拟, 以确保污水完全混合。本项目设备选型为15~20W/m³。

缺氧区应考虑碳源多点投加设计, 有助于总氮达标; 在设置加药管投加点位置时, 不宜直接投加在硝化液回流点的位置, 由于此区域内溶解氧较高, 投加的碳源易被反硝化兼性菌和异养菌降解利用掉, 造成碳源好氧状态下的损失。加药管路的布置应认真观察缺氧池的水流情况, 合理进行布置, 应避免投加到水力死角区域。尤其应关注污水厂冬季易爆发污泥泡沫, 生物池表面形成致密的干化泡沫层, 若碳源投加管路位于泡沫层上方, 碳源会流在致密泡沫层表面, 无法进入到反硝化区域内, 造成碳源的浪费, 应将碳源投加管路末端深入到液面下方, 直接注入缺氧区活性污泥内部。

污泥脱水系统必须要有足够的脱水能力, 一旦脱水系统设计能力不足, 可能会造成MBR膜系统因污泥浓度过高而发生污堵。由于制造商所提供的设备参数通常是基于特定实验条件得出的数据, 当脱水机无备用设备时宜保守取值, 如本项目叠螺脱水机设备选型为80~140DS(绝干泥)/h, 参数核算时按照不超过90DS(绝干泥)/h取值考虑。

通过膜池和回流池实行液位双控模式以达到液位连锁取水泵的目的, 控制膜池、回流池液位不超过【高高液位进水停机值】, 以避免污水漫溢现象发生。

5. 运行效果

该工程于2022年初实施项目一期, 项目设计、施工至通水完成时间60天, 2023年初实施项目完成了二期, 主要内容为增加了一座MBR膜池以及配套产水泵、生化风机等设备。目前水量满负荷运行, 项目至今运行稳定。项目实际进、出水水质见表3。

化效率高且稳定。该项目可为生活污水的应急处理提供可行性参考。

【参考文献】

- [1] 黄鸽黎, 刘芳, 张鹤等, 一体化污水处理设备在石马河流域工程应用案例, 广东化工, 2022, 49(6): 138-161;
- [2] 叶子临, 李荣春等, MBR一体化装置在城市应急污水处理工程中的应用与改进, 四川环境, 2021, 40(3): 41-44;
- [3] 盛倩, 成都某应急污水处理工程一体化、模块化设计, 中国给水排水, 2019, 35(24): 52-55;
- [4] 李易寰, 高芳等, 一体化MBR工艺运行效果及扩建设计建议, 环保科技, 2019, 25(4): 18-22;

作者简介: 王斌, 安徽滁州人, 硕士, 工程师, 从事给水排水工程、水处理设计与技术支持工作。