

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.22.011

# MUNITANK工艺在北方用地受限市政污水厂的应用

金 敦<sup>1</sup>, 丁纯健<sup>2</sup>

(1. 上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092; 2. 上实环境水务股份有限公司, 山东 潍坊 261061)

**摘 要:** 大连泉水河污水处理厂(二期)设计规模为 $10.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 面临水量水质波动大、用地紧张、低温等工程难点。采用改良型交替式内循环(MUNITANK)工艺进行二级处理, 实现应对冲击负荷、强化生物脱氮除磷、节省外加碳源的目的, 并通过集约式一体化池型节省占地, 同时通过高密度沉淀池、滤布滤池、紫外线消毒池等三级处理设施进一步保证处理效果。该工程多年运行实践表明, 出水各项指标均稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。该工程吨水投资为2 190.5元/ $\text{m}^3$ 、运行能耗为 $0.26 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ , 均低于国内平均水平, 表明MUNITANK工艺对于冲击负荷大、用地有限、处理要求高的大中型污水处理项目具有适用、高效、经济的特点, 可为类似条件下的污水处理项目提供借鉴。

**关键词:** MUNITANK工艺; 大中型污水处理厂; 脱氮除磷; 抗冲击负荷; 节地

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)22-0068-05

## Application of the MUNITANK Process in a Municipal WWTP with Limited Land Use in Northern Region

JIN Dun<sup>1</sup>, DING Chun-jian<sup>2</sup>

(1. Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China; 2. SHC Environmental Water Service Co. Ltd., Weifang 261061, China)

**Abstract:** The Dalian Quanshui River phase II wastewater treatment plant(WWTP), designed for a capacity of  $10.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , faces challenges such as significant fluctuation of water quantity and quality, limited land availability, and low temperature. It employs the modified unified integrated tank (MUNITANK) as the secondary treatment process to cope with impact load, enhance biological nitrogen and phosphorus removal, and reduce the addition of external carbon sources, while using an intensive, integrated tank layout to save space. Tertiary treatments including high-density settling tanks, cloth filters, and ultraviolet disinfection tanks further ensure the treatment effectiveness. Years of operational results show that all effluent quality indicators consistently meet the first level A criteria in *Discharge Pollutant Standards for Municipal Wastewater Treatment Plants* (GB 18918-2002), with an investment of 2 190.5 yuan/ $\text{m}^3$  and operational energy consumption of  $0.26 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ , both below the national average. This demonstrates the MUNITANK process's efficiency, applicability, and cost-effectiveness for large and medium-sized WWTPs facing significant shock loads, limited land, and stringent treatment requirements,

基金项目: 上海市“科技创新行动计划”(23DZ1203504)

通信作者: 金敦 E-mail: Jindun@smedi.com

thus providing insights for similar WWTPs.

**Key words:** MUNITANK process; large and medium-sized WWTP; nitrogen and phosphorus removal; impact load resistance; land conservation

大连市泉水河污水处理厂(二期)工程具有我国大部分地区普遍存在的污水水量水质波动大、用地有限等典型特征,故抗冲击能力更强、更加高效节地的新工艺成为必然选择。

## 1 工程概况

该工程所在的三道沟排水区域位于大连市区北部,汇水面积达56 km<sup>2</sup>。随着大连市育新城和经济适用房等大规模项目逐渐投用和大量市民迁入,该区域污水量呈现激增态势,原有的泉水河污水处理厂(一期)工程(处理规模3.5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d)已无法满足日益增长的水量需求。为进一步保障该区域环境质量,改善投资营商环境,启动实施了泉水河污水处理厂(二期)工程。

该工程服务区域的排水体制主要为分流制,部分为合流制,基本为生活污水。2015年工程实施前,该区域污水水量呈现雨天明显多于旱天、昼间明显多于夜间的波动特征,水质波动也较大,如表1所示。

表1 工程实施前(2015年)的水质情况

Tab.1 Water quality before the implementation of the project in 2015

项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
平均值	345	130	295	28.9	37.55	4.33
最大值	501	176	401	38.3	46.40	5.37

以COD为例,2015年的最高浓度与平均浓度的比值为1.45,BOD<sub>5</sub>、SS、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP等指标的波动也在1.25倍以上,故需采用可靠、先进及耐冲击负荷的处理工艺。同时,由于用地有限,加上地处北方地区,故在出水稳定达标的前提下,还需综合考虑工程建设的经济性、节地性和稳定性。

该工程选址于泉水河污水处理厂(一期)工程北侧,总占地4.2 hm<sup>2</sup>。根据前期水量监测情况,确定设计处理规模为10.5×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,时变化系数为1.3,峰值流量为5 687.5 m<sup>3</sup>/h。采用改良型交替式内循环(MUNITANK)工艺作为二级处理工艺,旨在利用其稳定、高效、节地的特点,应对面临的诸多挑战。

## 2 进、出水水质及处理流程

### 2.1 设计进、出水水质

进水主要为三道沟排水区域的生活污水,因该区域整体产业结构未发生明显变化,故设计进水水质参考泉水河污水处理厂(一期)工程的实际进水水质,并在设计时充分考虑水量、水质冲击等情况。根据当地环境保护要求,该工程出水水质需满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。设计进、出水水质见表2。

表2 设计进、出水水质

Tab.2 Design influent and effluent quality

水质指标	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
进水水质	≤420	≤220	≤300	≤30	≤40	≤5
出水水质	50	10	10	5(8)*	15	0.5

注: \*括号内为一级A标准对水温<12℃时的NH<sub>3</sub>-N限值要求。

### 2.2 污水、污泥处理流程

厂外管网收集的污水依次流经粗格栅及进水泵房、细格栅、曝气沉砂池、初沉池,以去除漂浮物、油脂和砂粒等不溶性污染物。初沉池出水流入MUNITANK反应池,再进入深度处理设施,进一步去除SS、COD、TP等污染物,最后经紫外线消毒后排放至泉水河。此外,将初沉污泥、MUNITANK反应池的剩余污泥以及高密度沉淀池的化学污泥一起进行重力浓缩,再经机械脱水至含水率80%以下外运处置。污水、污泥处理流程见图1。

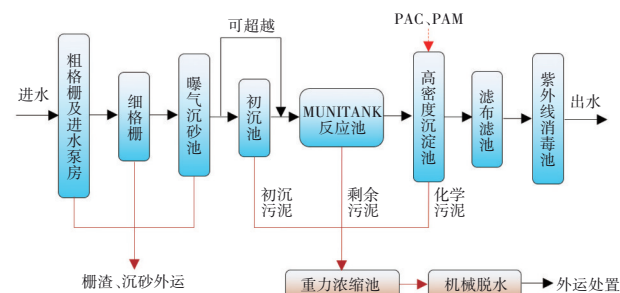


图1 污水、污泥处理流程

Fig.1 Flow chart of wastewater and sludge treatment process

### 3 MUNITANK反应池设计

#### 3.1 工艺设计

传统的常规交替式内循环反应池(UNITANK)通常为3格相连的矩形生物反应池,污水连续流入中间的好氧曝气池,继而流向两侧的曝气沉淀池,交替进行曝气和沉淀排水,整体可视为“好氧曝气+SBR”工艺的组合,兼具二者优势,但存在脱氮除磷能力有限等问题。随着我国污水处理厂出水水质要求不断提高,对传统UNITANK工艺进行改良后形成了MUNITANK工艺:主要采用5池相连的紧凑布置,并在缺氧和曝气沉淀池之间增加回流设施,形成“AAO+SBR”组合工艺,从而提升系统的脱氮除磷能力,具体见图2。

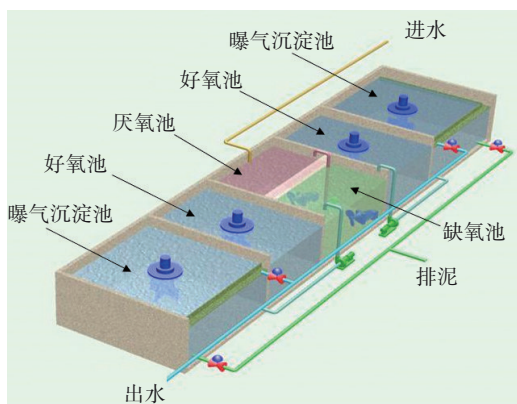


图2 MUNITANK反应池工艺设计

Fig.2 Process design of MUNITANK reaction tank

MUNITANK反应池分为4个单元:即缺氧池、厌氧池、好氧池和曝气沉淀池。处理流程通常为:①污水首先进入缺氧池,并与来自曝气沉淀池的混合液混合,因混合液中含有丰富的硝酸盐,同时反硝化菌充分利用进水中的有机物作为碳源将硝酸盐还原成氮气排出。②污水经缺氧池的生物反硝化作用后,溶解氧得以降低,然后流入厌氧池,聚磷菌进行磷的释放,为好氧池的过量吸磷作准备。③污水继而被提升至好氧池,进行磷的吸收及有机物的降解和硝化。缺氧池、厌氧池和好氧池构成了“倒置AAO”工艺。④污水最后流入左右2格曝气沉淀池,参考SBR工艺交替运行:当一组曝气沉淀池曝气时,另一组曝气沉淀池沉淀排水,从而完成整个生物处理过程。

将MUNITANK工艺与AAO、MBR等常规二级处理工艺进行对比<sup>[1-2]</sup>,其优势主要体现在:①处理效果好、抗冲击负荷能力强、运维自动化程度高。

②占地省、体积小、能耗低,相应节省投资和运行成本。③无需二沉池和回流泵房,可实现集约化布置,省地节地,且便于加盖封闭和造景。

#### 3.2 设计参数

MUNITANK反应池平面设计如图3所示。设计MUNITANK反应池1座4组,每组可独立运行,有效水深7.5 m,每组尺寸68.5 m×49.0 m×7.5 m,4组总占地约1.34 hm<sup>2</sup>。

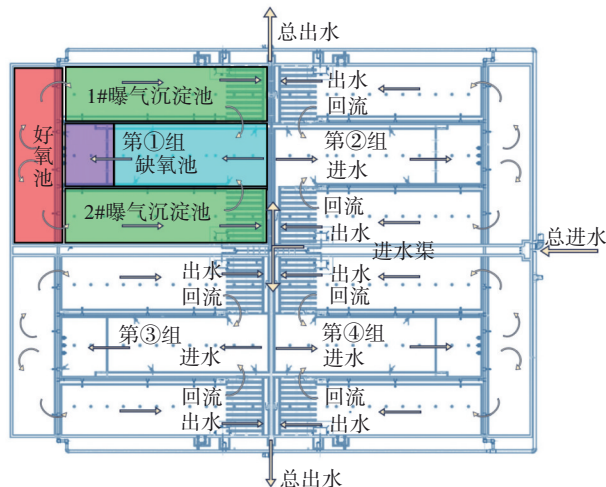


图3 MUNITANK反应池平面设计(1座4组)

Fig.3 Plan design of MUNITANK reaction tank (one building, four groups)

MUNITANK反应池主要设计参数:①水力停留时间为22.5 h,总反应停留时间为16.5 h(厌氧池1.5 h,缺氧池5.0 h,好氧池4.0 h,曝气沉淀池6.0 h);②设计水温为10℃;③气水比为5.7:1;④设计污泥浓度(MLSS)为4.0 g/L;⑤污泥产率为0.65 kgSS/kgBOD<sub>5</sub>;⑥剩余污泥量为11.09 t/d;⑦曝气沉淀池至缺氧池的最大回流比为500%;⑧曝气沉淀池交替运行周期为1次/8 h,出水堰负荷为1.54 L/(s·m),沉淀阶段的表面水力负荷为1.41 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h);⑨设计污泥龄约25 d。

#### 3.3 运行周期

MUNITANK反应池结合了倒置AAO工艺连续进出水和SBR工艺周期性处理的运行特点。污水首先进入缺氧池、厌氧池,再提升至好氧池,最终流入双侧的1#、2#曝气沉淀池。缺氧、厌氧及好氧池连续进出水,2座曝气沉淀池周期性进出水,单个周期8 h,1#、2#曝气沉淀池交替运行,每个交替周期又分为2个子周期。

MUNITANK反应池的运行周期见表3。

表3 MUNITANK反应池的运行周期  
Tab.3 Operating cycle of the MUNITANK reaction tank

序号	运行状态	运行时间/h																								说明
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	进水(连续)																									进水堰门常开
2	缺氧池搅拌(连续)																									潜水搅拌机常开
3	厌氧池搅拌(连续)																									潜水搅拌机常开
4	厌氧池混合液回流至缺氧池(连续)																									混合液回流泵常开
5	1#曝气/沉淀池混合液回流至厌氧池																									3.5 h/周期
6	2#曝气/沉淀池混合液回流至厌氧池																									3.5 h/周期
7	厌氧池混合液回流至好氧池																									混合液回流泵常开
8	好氧池曝气(连续)																									空气流量调节阀常开
9	1#曝气/沉淀池曝气																									3.5 h/周期
10	1#曝气/沉淀池沉淀																									4.5 h/周期
11	1#曝气/沉淀池排水																									4.0 h/周期
12	1#曝气/沉淀池排泥																									3次/周期(约30 min/次)
13	2#曝气/沉淀池曝气																									3.5 h/周期
14	2#曝气/沉淀池沉淀																									4.5 h/周期
15	2#曝气/沉淀池排水																									4.0 h/周期
16	2#曝气/沉淀池排泥																									3次/周期(约30 min/次)

4 运行效果及分析

该工程建成至今已稳定运行7年以上,虽然进水量和水质波动较大且有时超出设计值,但通过

其独特的结构和运行方式,表现出良好的抗水量水质冲击负荷性能。2020年1月—2022年12月的实际运行水质监测结果如表4所示。可见,各项出水



指标均稳定达到设计目标,特别是  $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{TN}$ 、 $\text{TP}$  指标长期优于一级 A 排放标准,且 MUNITANK 反应池脱氮除磷效果较好。

MUNITANK 工艺具有较强抗冲击负荷与脱氮除磷能力的原因分析如下:①灵活的运行模式。结合了 AAO 与 SBR 工艺运行模式的优点,提高了处理的灵活性,能有效应对不同的进水条件,增强了整体处理过程的抗冲击能力;②水力条件的改进。依

靠 AAO 工艺抗冲击负荷的优势弥补了 SBR 工艺耐冲击性的不足,确保了水量或水质发生波动时系统稳定运行;③生物反应过程的优化。倒置 AAO 的工艺设计充分利用了原水中的碳源,能大量节省外加碳源;④独立的反应区域设计。独立反应区能够为不同的微生物活动(如厌氧、缺氧和好氧过程)提供相对稳定的代谢环境,有助于维持各优势菌种的平衡,促进脱氮除磷。

表 4 实际进、出水水质(2020 年 1 月—2022 年 12 月)

Tab.4 Actual influent and effluent quality from Jan. 2020 to Dec. 2022

项目		COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
平均值	总进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	259.74	161.06	276.34	33.38	39.37	4.62
	MUNITANK 反应池出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	28.34	3.89	15.30	1.29	9.46	0.85
	MUNITANK 反应池去除率/%	89.1	97.6	94.5	96.1	76.0	76.6
	总出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	25.06	3.47	4.52	1.29	7.65	0.30
	总去除率/%	90.4	97.8	98.4	96.1	80.6	93.5
最大值	总进水/(mg·L <sup>-1</sup> )	884.00	608.00	3 690.00	61.90	83.20	9.20
	MUNITANK 反应池出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	56.25	4.68	30.22	4.95	14.90	2.20
	MUNITANK 反应池去除率/%	93.6	99.2	99.2	92.0	82.1	76.1
	总出水/(mg·L <sup>-1</sup> )	49.40	4.34	9.00	4.95	14.90	0.43
	总去除率/%	94.4	99.3	99.8	92.0	82.1	95.3

注: 平均水量为 8.16×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,最大水量为 11.2×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d。

5 主要经济指标

① 用地指标:该工程占地 4.2 hm<sup>2</sup>,吨水占地 0.4 m<sup>2</sup>/(m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>),仅为《城市污水处理工程项目建设标准》(建标 198—2022)推荐用地指标的 40%,理论上可节约占地 60%。

② 造价指标:该工程总投资约 2.3 亿元,吨水投资为 2 190.5 元/m<sup>3</sup>,低于国内平均水平。

③ 能耗指标:运行能耗为 0.26 kW·h/m<sup>3</sup>,低于常规工艺能耗水平。

6 结论

① 大连市泉水河污水处理厂(二期)工程采用 MUNITANK 工艺作为主体处理工艺,出水水质稳定优于设计标准。

② MUNITANK 工艺脱氮效率高、除磷效果稳定,池型设计集约,运行维护简便,并能大量节省能耗和外加碳源。

③ MUNITANK 反应池具有效果好、运行稳、占地省、能耗低、耐低温等技术优势,适合于用地有限、排放标准较高的城市大中型污水处理厂。

参考文献:

[ 1 ] 何春求,周少奇. 改良 A<sup>2</sup>/O-MBR 工艺仿真模拟及运行优化[J]. 中国给水排水, 2022, 38(15): 90-97.  
HE Chunqiu, ZHOU Shaoqi. Simulation of modified A<sup>2</sup>/O-MBR process and its operation optimization [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38 (15) : 90-97 (in Chinese).  
[ 2 ] 刘敏,房阔,王凯军. AAO+流态化生物载体工艺的菌群结构分析[J]. 中国给水排水, 2023, 39(19): 11-18.  
LIU Min, FANG Kuo, WANG Kaijun. Analysis on microbial community composition of AAO+FBC/MBBR system [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(19): 11-18(in Chinese).

作者简介:金敦(1982—),男,上海人,本科,高级工程师,主要研究方向为污水处理系统提质增效。

E-mail:Jindun@smedi.com

收稿日期:2024-01-13

修回日期:2024-03-15

(编辑:衣春敏)