

金敦. 污水厂耦合调蓄池低峰值系数协同设计及其在提标改造中的应用[J]. 净水技术, 2026, 45(6): 179-186.

Jin D. Synergistic design of storage tank coupled with low peak factor and application of upgrading and reconstruction in WWTP[J]. Water Purification Technology, 2026, 45(6): 179-186.

污水厂耦合调蓄池低峰值系数协同设计及其在提标改造中的应用

金敦*

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要 【目的】针对高密度城区污水处理厂在提标扩容过程中面临的用地紧张、处理能力不足及雨季厂前溢流等问题, 本文旨在通过技术创新实现节约用地、降低投资并保障出水稳定达标, 为类似工程提供技术借鉴。【方法】以青岛麦岛污水处理厂提标改造工程为例, 采用“调蓄削峰-低峰值系数协同设计”技术路径, 通过精细化水量分析技术, 耦合污水厂内反冲洗废水等周期性负荷, 建立水力负荷计算模型, 精确确定调蓄池容积为 27 000 m³, 并优化调蓄池运行方案。同时, 通过对典型晴天及雨天工况下的水量变化曲线进行高频采样, 识别出厂内反冲洗废水与外部进水峰值在特定时段的“叠加效应”, 为精准建模提供了实测数据支撑。【结果】项目实施后成功将后续处理设施的设计峰值系数 K 从 1.5 降至 1.2, 节约建设用地 23%, 降低工程投资 15%。对比分析显示, 在 $K=1.2$ 的最优工况下, 调蓄池建设的投资增量远低于缩减生化处理单元及配套设施所节省的土建与装机费用, 实现了系统能效比的最大化。运行监测数据显示, 调蓄池有效实现削峰填谷功能, 消除污水厂前溢流现象, 出水水质稳定达到地表水 V 类标准[总氮(TN)指标除外], 且具备应对未来 5 年 15% 污水量增长的能力。【结论】“调蓄削峰-低峰值系数协同设计”可在用地极度受限条件下有效提升污水处理厂峰值处理保障能力, 兼顾节地与投资控制, 并支撑提标改造后出水稳定达标, 具有明确的工程适用性与推广价值。

关键词 污水调蓄池; 提标改造; 峰值系数; 节地措施; 协同设计

中图分类号: TU992 文献标志码: B 文章编号: 1009-0177(2026)06-0179-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.06.021

Synergistic Design of Storage Tank Coupled with Low Peak Factor and Application of Upgrading and Reconstruction in WWTP

Jin Dun*

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd, Shanghai 200092, China)

Abstract [Objective] To address the systematic challenges of land scarcity, insufficient treatment capacity, and pre-plant overflow during the upgrading and expansion of wastewater treatment plants (WWTPs) in high-density urban areas, this paper aims to achieve land conservation, cost reduction, and stable effluent compliance through technical innovation, providing a reference for similar engineering projects. [Methods] Taking the upgrading project of Qingdao Maidaow WWTP as a case, a technical path of "peak flow shaving and low-peak-factor synergistic design" is adopted. Through refined wastewater flow analysis, internal periodic loads such as backwash wastewater are coupled to establish a hydraulic load calculation model. The storage tank volume is precisely determined to be 27 000 m³, and its operation scheme is optimized. Concurrently, through high-frequency sampling of wastewater flow curves under typical dry-weather and wet-weather conditions, the "superposition effect" between internal periodic loads and external peak influent at specific intervals is identified, providing empirical data support for precise modeling. [Results] Following implementation, the design peak factor K of subsequent treatment facilities is successfully reduced from 1.5 to 1.2, saving 23% in construction land and 15% in engineering investment. Comparative analysis indicates that under the optimal condition of $K=1.2$, the investment increment of the storage tank is significantly lower than the costs saved by downsizing the biological treatment units and auxiliary facilities, maximizing

[收稿日期] 2025-09-18

[通信作者] 金敦(1982—), 男, 高级工程师, 主要从事污水处理系统提质增效等工作, E-mail: 2714993992@qq.com.

the system efficiency. Operational monitoring data confirms that the storage tank effectively performs peak shaving and valley filling, eliminating pre-plant overflows. The effluent quality stably meets the surface water class V standards [excluding the total nitrogen(TN) index], with a buffering capacity to accommodate a 15% growth in wastewater volume over the next five years. [**Conclusion**] The "peak flow shaving and low-peak-factor synergistic design" can effectively enhance the peak treatment security of WWTPs under extreme land constraints, balancing land conservation with investment control while supporting stable effluent compliance. It demonstrates clear engineering applicability and potential for broad promotion.

Keywords wastewater storage tank; upgrading and reconstruction; peak factor; land-saving measure; synergistic design

我国已建污水处理厂的峰值系数 K 大多按照旧版《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)确定,其中当平均流量 $\geq 1\ 000\ \text{L/s}$ 时,总变化系数取值为 1.3。然而,随着社会经济的持续发展和人民生活水平的不断提高,污水排放量与收集系统规模逐年扩大,加之初期雨水处理需求日益增加,多数城市污水处理厂对进水水量波动的抗冲击能力已难以满足现实需要。2021 年发布的新版《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)对 K 值进行了调整,当平均流量 $\geq 1\ 000\ \text{L/s}$ 时,总变化系数提高至 1.5。由此可见,结合实际运行情况与新标准要求,国内多数已建污水处理厂的原设计峰值系数 K 已明显偏低,难以满足当前运行需求,从而导致污水处理厂出水难以长期稳定达标,甚至发生超负荷溢流的风险^[1]。因此,针对上述问题,亟需采取科学合理的工程措施,以契合新时代污水处理行业的发展要求^[2]。值得注意的是,近 10 年来我国污水处理厂的出水水质标准不断提高,而在提标改造过程中,提升峰值处理能力已成为保障稳定达标的关键环节。

调蓄池的功能定位已从传统的流量调节,向区域排水系统实现溢流控制与提质增效的关键复合设施演进^[3]。通过实时控制(RTC)等智能化策略优化其运行,可有效提升下游污水处理厂的进水稳定性与处理效能^[4]。然而,现有研究与实践主要集中于区域管网系统层面的协同调控,针对高密度城区污水处理厂内部,在极限用地约束下进行“厂内调蓄池-主体工艺”深度协同设计与精细化调控的案例与系统性方法仍极为缺乏,而这正是本文的核心创新与探索方向。

本文以青岛麦岛污水处理厂提标改造工程中的污水调蓄池设计为例,系统阐述了调蓄容积计算方法与关键设计内容,以期类似工程的规划与设计提供参考。

1 工程概况

青岛麦岛污水处理厂始建于 1999 年,位于滨海

风景区,占地面积约为 $3.8\ \text{hm}^2$,原设计规模为 $14\ \text{万}\ \text{m}^3/\text{d}$,服务面积达 $35.7\ \text{km}^2$ 。服务区域采用分流制排水体制,进水以生活污水为主。该污水厂采用“高效沉淀池+生物滤池”处理工艺,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,处理后深海排放。建厂时按旧版规范要求,峰值系数 K 取值为 1.3。实际运行监测数据显示,历年该厂进水量的峰值系数 K 高达 1.5,高峰时段污水量远超原有处理能力,导致污水厂超负荷运行,且偶有厂前溢流风险,对周边环境造成了一定影响。

为有效应对超量污水及提高处理标准,该污水厂于 2021 年启动提标扩建工程。扩建规模为 $8\ \text{万}\ \text{m}^3/\text{d}$,完成后总规模将达 $22\ \text{万}\ \text{m}^3/\text{d}$,设计峰值系数 K 提高至 1.5。出水水质标准将由一级 A 提升至《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V 类(TN 指标除外),其中化学需氧量(COD)、五日生化需氧量(BOD_5)、氨氮、总磷(TP)等指标均执行《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V 类标准。

综合考虑水量水质提升要求、用地限制及实际运行状况,本次提标扩建采用“减量提标+扩建”的总体方案。保留原生物滤池工艺并将其规模由 $14\ \text{万}\ \text{m}^3/\text{d}$ 压缩至 $10\ \text{万}\ \text{m}^3/\text{d}$,出水同步提升至 V 类标准(TN 指标除外)。扩建部分采用膜生物反应器(MBR)工艺,全地下式建设,规模为 $12\ \text{万}\ \text{m}^3/\text{d}$ 。工程拟新增地下空间用地 $1.37\ \text{hm}^2$,建成后恢复上部绿化功能,扩建后总用地面积约为 $5.19\ \text{hm}^2$ (其中地上部分仍保留原厂区面积 $3.82\ \text{hm}^2$,新增地下用地面积 $1.37\ \text{hm}^2$)。为满足峰值系数提高后的调峰需求,拟在厂区进水端新建一座全厂服务的污水调蓄池,以发挥“削峰填谷”作用,降低后续处理构筑物的设计负荷,节约用地,降低投资,稳定运行。尽管污水厂在水力过流上具备应对 1.3 倍峰值(约 $18.2\ \text{万}\ \text{m}^3/\text{d}$)的能力,但生物处理负荷长期处于

14万 m³/d 的满载状态,且瞬时峰值频发导致出水波动及厂前溢流。因此,扩建工程需在保障生物负荷稳定的基础上,通过调蓄池平衡水力负荷变化。

2 进水水量分析

2.1 水量趋势分析

为准确掌握麦岛污水处理厂进水规律,首先对该污水厂近3年(2018年1月—2020年12月)的实际进水量数据进行统计分析(图1、表1)。分析表明,该厂进水量呈现显著的季节性波动特征,表现为冬季水量较少,夏季水量充沛,这与我国大多数市政污水处理厂的普遍规律一致。3年的平均进水量稳定在12.1万 m³/d,但各月平均日进水量波动较大,其中7月、8月夏季高峰期的进水量可超过14.5万 m³/d,超其原有14.0万 m³/d的设计规模,而2月份水量则普遍低于10.0万 m³/d。这种巨大的季节性差异对处理设施的稳定运行构成了挑战。

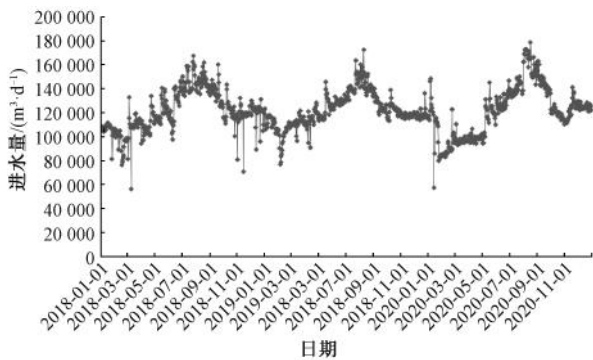


图1 2018年—2020年平均进水量

Fig. 1 Average Influent Volume from 2018 to 2020

2.2 瞬时水量分析

除季节性波动外,该污水厂进水瞬时水量在1d内也存在巨大峰谷差异,这主要源于其服务范围内以生活污水为主。数据分析显示,日间瞬时进水量可达夜间的2倍以上。在夏季高峰期,日间瞬时流量不仅持续超过设计处理能力,且高负荷状态持续时间较长。

由于扩建后污水性质与排污规律具有延续性,本文将现进水小时变化特征抽象为典型波动模型,作为22万 m³/d规模下调蓄池参数计算的类比基础。为此,选取该污水厂近一年内(2019年4月—2020年4月)每日小时峰值系数进行分析,结果如图2所示。2019年4月—2020年4月该污水处理厂小时峰值系数K较为稳定,主要在1.20~1.50,其

表1 2018年—2020年各月平均进水量(单位:m³/d)

Tab. 1 Average Monthly Influent Volume from 2018 to 2020 (Unit: m³/d)

月份	2018年	2019年	2020年
1月	10.66	11.17	10.52
2月	9.60	10.04	9.11
3月	10.77	11.20	9.70
4月	11.06	11.47	9.89
5月	12.13	12.27	11.66
6月	12.69	12.84	12.92
7月	14.69	14.12	14.00
8月	14.55	14.56	16.24
9月	13.65	12.73	14.50
10月	12.04	12.23	11.90
11月	11.66	11.74	12.26
12月	11.96	11.86	12.52

注:2018年、2019年、2020年平均进水量分别为12.12、12.19、12.10 m³/d。

中2019年夏季(7月—9月)峰值系数K较其他日期偏低,其原因在于该时段污水持续进水量已超过厂区设计处理能力,导致高峰时段发生厂前溢流。同时,每日平均进水量亦长期超过设计规模。这种因处理能力饱和造成的溢流稀释效应,使得测算出的峰值系数K未能真实反映片区污水产生的峰值波动规律。图3及图4为该污水处理厂高峰进水时长,由图3、图4可知,每日进水高峰时段K≥1.2的时段约为7h,K≥1.3的时段约为3h。

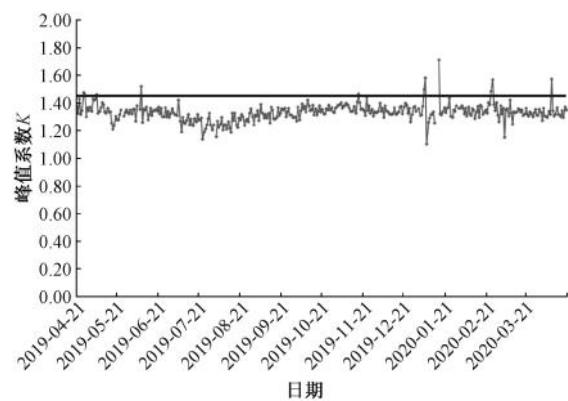


图2 每日小时峰值系数K变化

Fig. 2 Variation of Daily Hourly Peak Factor K

选取各月份中小时峰值系数K最高日,将其小时进水量换算为全天进水量的百分比,对高峰流量时长进行分析,分析结果如图5所示。

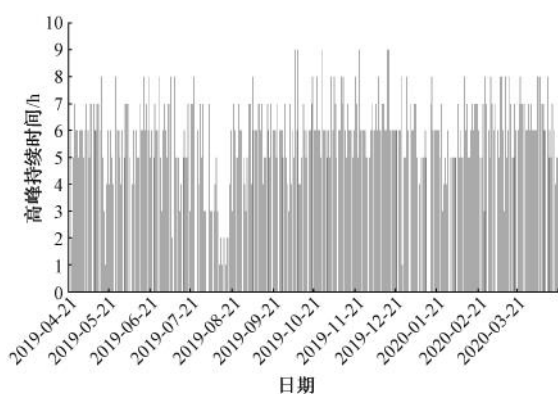
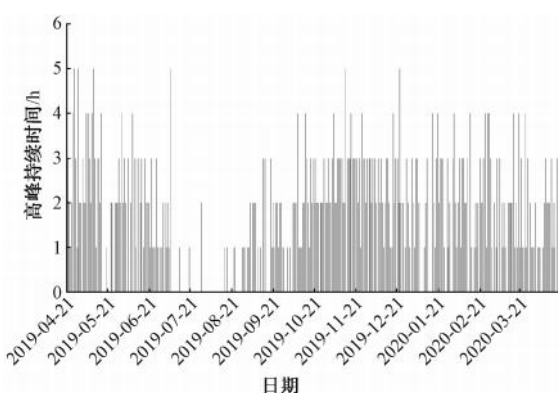
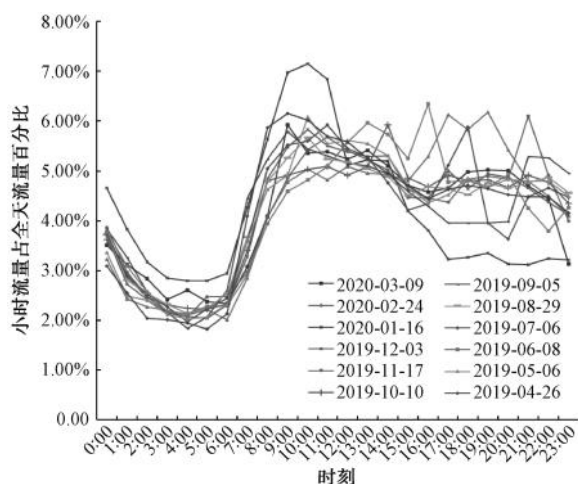
图3 小时峰值系数 $K \geq 1.2$ 的持续时间Fig. 3 Duration of Hourly Peak Factor $K \geq 1.2$ 图4 小时峰值系数 $K \geq 1.3$ 的持续时间Fig. 4 Duration of Hourly Peak Factor $K \geq 1.3$ 

图5 小时流量变化趋势

Fig. 5 Variation Trend of Hourly Flow

由图5可知,各日典型小时流量变化趋势较为相似,白天进水水量明显高于夜间,8:00—23:00小时进水流量均超过日平均水量的4.17%,最大 K 值为1.71(最大小时水量占全天进水量的7.15%)。

当小时进水流量占全天进水的5.00%以上时,即 $K \geq 1.20$,为8:00—15:00,共计7 h。当小时进水流量占全天进水的5.42%以上时,即 $K \geq 1.30$,为8:00—11:00,共计3 h。

综合以上分析,本提标扩建工程确定设计峰值总变化系数取值为1.5。鉴于扩建用地极为紧张,为彻底解决处理能力与用地矛盾,决定在污水厂前新建一座污水调蓄池,通过“削峰填谷”方式,将峰值流量调蓄至低负荷时段处理,从而显著降低后续处理构筑物的设计负荷和占地需求。

2.3 变化系数的确定

基于前述水量趋势与瞬时峰值分析,本污水厂总变化系数确定为1.5。进水高峰时段($K \geq 1.2$)主要集中在每日8:00—15:00,持续约7 h。

根据实际进水特征,预测提标扩建至22万 m^3/d 规模后全厂小时流量变化曲线如图6所示。该曲线显示,日进水负荷分布不均,峰值突出,进一步印证了采用较高变化系数的必要性,并为后续调蓄池的容积计算与运行调控提供了关键依据。

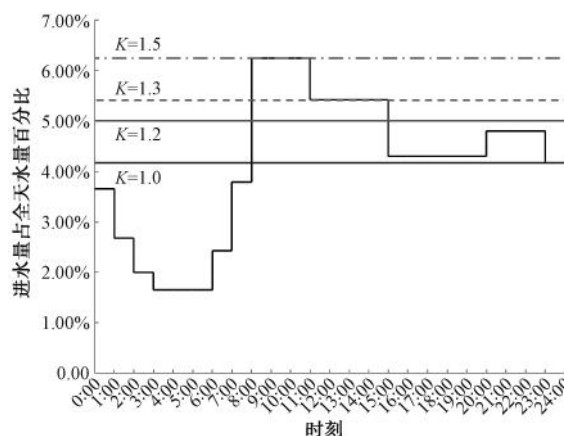


图6 日典型流量曲线预测

Fig. 6 Prediction of Daily Typical Flow Curve

3 调蓄水量

3.1 设计基础参数

调蓄池的设计基础参数是容积计算的依据,直接关系到工程的规模与投资。本工程以提标扩建后的全厂规模及最新规范要求为基准,综合考虑实际进水波动特征与厂内周期性负荷,确定核心设计参数如下:设计规模为22万 m^3/d ;峰值系数 K 为1.5;高峰流量为13 750 m^3/h ;原厂1#滤池组反冲洗废水流量为1 350 m^3/h ,排放时长为4 h(22:00—次日2:00);原厂2#滤池组反冲洗废水流量为1 600 m^3/h ,

排放时长为 14 h(8:00—22:00, 与 1#错峰排放)。

3.2 调蓄容积计算

(1) 调蓄时间

基于日典型流量曲线预测(图 6), 并叠加滤池反冲洗废水负荷曲线(图 7)进行修正, 得到全厂综合流量过程线(图 8)。经分析, 确定调蓄时段 T_1 为 15 h(8:00—23:00), 其中, $K > 1.30$ 时段 t_1 为 3 h(8:00—11:00), $1.20 < K \leq 1.30$ 时段 t_2 为 12 h(11:00—23:00)。

(2) 进水调蓄目标

进水水量调蓄后, 可以减少对后续处理设施的水量冲击。为保护调蓄池正常运行, 防止进水中的渣、砂在调蓄池中沉积, 本工程调蓄池设置在格栅及曝气沉砂池之后、初沉池之前, 自初沉池开始, 后续处理设施均可按调蓄后的变化系数设计。

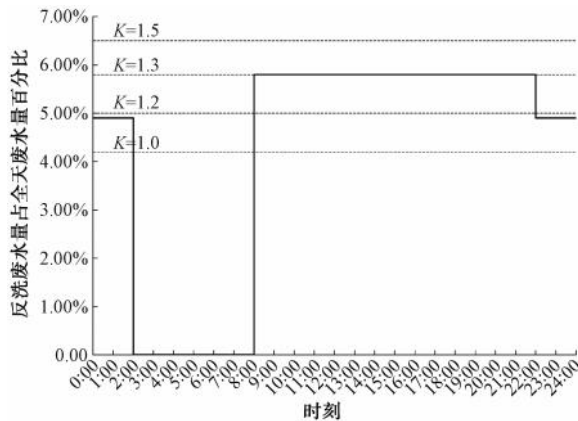


图 7 原厂滤池组反冲洗废水流量曲线

Fig. 7 Curve of Original Filter Group Backwash Wastewater Flow

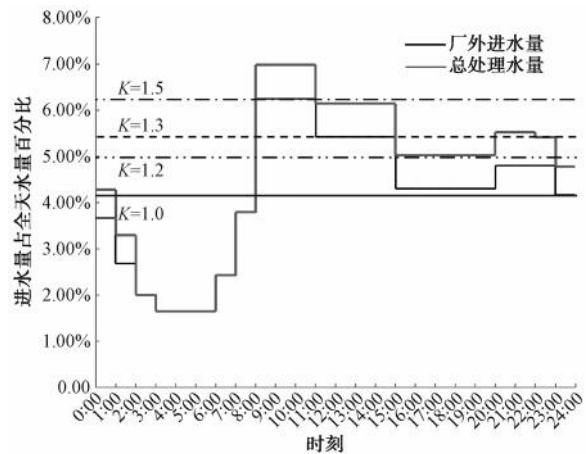


图 8 日典型流量曲线预测(叠加反冲洗废水水量)

Fig. 8 Prediction of Daily Typical Flow Curve (with Overlaid Backwash Wastewater Flow)

本工程新建设施采用 MBR 工艺, MBR 工艺抗水质冲击能力较强, 但水量波动较大时, MBR 膜组件产水能力需要满足峰值水量稳定通过的要求, 若通过进水调蓄削减控制进入 MBR 膜池的峰值水量, 可以有效地减少水量波动造成的设备运行负荷和设备闲置率, 减少 MBR 膜池的土建投资和设备投资。

如上所述, 本工程确定进水调蓄池调蓄目标时, 在满足工艺稳定运行的前提下, 根据调蓄池和 MBR 处理设施综合技术经济最优原则, 确定实际需要调蓄的目标, 对比分析如表 2 所示。

分析表明, 当 K 值由 1.5 调至 1.2 时, 虽然调蓄池投资有所增加, 但 MBR 系统投资显著下降, 总投资节约 850 万元。综合考虑地下空间埋深限制、施

表 2 调蓄目标与投资对比分析(投资估算以 2021 年价格水平为基准)

Tab. 2 Comparative Analysis of Storage Target and Investment (Investment Estimation Based on Price Level of 2021)

调蓄后 K	调蓄效果	MBR 工艺调蓄所需容积/ m^3	调蓄池投资/元	MBR 峰值产水量/ $(m^3 \cdot h^{-1})$	MBR 膜池容积/ m^3	MBR 膜池投资/元	调蓄池及 MBR 膜池合计/元
1.2	好	14 700	3 250 万	6 000	25 640	14 400 万	17 650 万
1.3	较好	9 400	2 100 万	6 500	27 700	15 800 万	17 900 万
1.5	无	0	0	7 500	29 760	18 500 万	18 500 万

工难度及边际成本收益率, 本工程确定目标峰值系数 K 为 1.2, 该决策在节地与降本之间实现了最优平衡。

(3) 进水调蓄规模

调蓄设施需处理实际进水与反冲洗废水叠加后、超过 1.2 倍平均流量的部分, 主要集中在 8:00—23:00, 持续约 15 h。经逐时段水量平衡计算

(图 9 阴影区域), 所需理论调蓄容积约为 $26 700 m^3$ 。考虑一定安全余量, 最终确定设计调蓄容积为 $27 000 m^3$ 。

3.3 调蓄效益

1) 节地效益

本工程污水调蓄池采用了空间叠置技术, 将其布置于地下箱体预处理区下部, 未额外占用厂区红

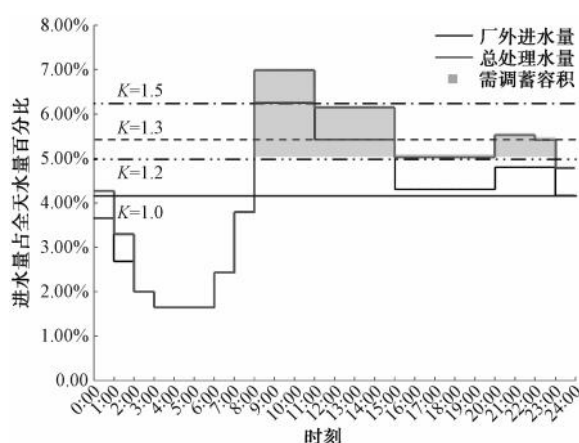


图9 青岛污水处理厂峰值调蓄流量

Fig. 9 Peak Storage Flow of Maidao WWTP

线内的平面土地。调蓄池通过“削峰填谷”降低了后续构筑物(如初沉池、生物反应池、MBR膜池等)的设计水力负荷,使其规模与布置得以优化。为定量评价节地效益,本文按式(1)计算节地率。

$$\eta_A = \frac{A_{1.5} - A_{1.2}}{A_{1.5}} \times 100\% \quad (1)$$

其中: η_A ——节地率;

$A_{1.5}$ ——无调蓄方案节约的占地面积(后续处理单元按峰值系数 $K=1.5$ 进行规模配置), m^2 ;

$A_{1.2}$ ——设置调蓄方案节约的占地面积(调蓄后后续处理单元按 $K=1.2$ 进行规模配置), m^2 。

分别统计两方案下后续处理单元主要构筑物的综合占地面积。计算结果表明,相较于无调蓄方案,设置调蓄后后续处理单元的综合占地规模缩减约23%,有效缓解了高密度城区提标扩容与用地极度受限之间的矛盾。

2) 投资效益

调蓄池利用既有箱体结构实现共壁设计,降低了单体土建投资增量;同时由于系统峰值流量受控,MBR膜池及相关配套设施的规模得以优化,从而降低了相应投资。为定量评价投资效益,本文按式(2)计算投资降幅。

$$\eta_I = \frac{I_{1.5} - I_{1.2}}{I_{1.5}} \times 100\% \quad (2)$$

其中: η_I ——投资降幅;

$I_{1.5}$ ——无调蓄方案($K=1.5$)下调蓄池及MBR膜池系统(含配套)的投资,元;

$I_{1.2}$ ——设置调蓄方案($K=1.2$)下调蓄池及MBR膜池系统(含配套)的投资,元。

费用按2021年价格水平估算,具体对比如表2所示。经核算,设置调蓄后可实现有效投资节省,体现了通过调蓄削峰实现“技术-经济”协同优化的工程价值。

3) 工程效益

调蓄池不仅发挥了流量均化功能,更保障了工艺系统在稳定高效区间运行,降低了设备闲置率及频繁切换带来的能耗损耗,从根本上降低了水量激增导致的出水超标风险。

3.4 调蓄池放空泵配置

(1) 放空时间

根据前述水量变化规律分析,调蓄池放空作业安排于污水处理厂进水波谷时段进行,以充分利用富余处理能力。确定放空时间 T_2 为6 h,具体时段为每日1:00—7:00。

(2) 放空水量

调蓄池设计放空总水量 V' 按有效调蓄容积 V 取值,即 $27\,000\ m^3$ 。根据6 h的放空时段,计算得出所需小时放空流量 $Q' = 27\,000\ (m^3) \div 6\ (h) = 4\,500\ (m^3/h)$ 。为提升系统运行灵活性,放空系统按可向原生物滤池系统和扩建MBR系统双线全量输送进行配置。

放空至原生物滤池系统:配置4用1备潜水排污泵,单泵流量为 $1\,125\ m^3/h$,采用变频控制;出水经提升后汇入现状细格栅进水井。

放空至扩建MBR系统:配置4用1备潜水排污泵,单泵流量为 $1\,125\ m^3/h$,采用变频控制;出水经提升后接入新建地下箱体曝气沉砂池进水渠道。

4 工程设计

4.1 方案比选与确定

本项目对重力流调蓄池与压力流调蓄池2种进水方式进行了综合比选。压力流调蓄池虽可灵活布置、适应复杂地形,但需设置提升泵站,运行能耗较高,且系统控制相对复杂,维护要求高。重力流调蓄池充分利用箱体预处理下部空间,安全可靠,控制简单,维护便捷,更符合污水厂节能降耗与稳定运行的要求。

经比选,全地下钢筋混凝土重力流调蓄池方案虽土建投资稍高,但核心优势显著。(1)节地:在用地受限条件下,通过降峰实现后续构筑物紧凑布置,节地约 23%。(2)节支:运行能耗低,全生命周期成本更优,综合工程投资降低约 15%。(3)稳态:将设计峰值系数 K 从 1.5 削减至 1.2,确保系统抗冲击能力,且水力条件稳定,不易产生沉积和堵塞。(4)便捷:系统控制简单,可靠性高,维护工作量小,并能与厂内预处理单元实现高效衔接和联动控制,保障系统整体稳定可靠。因此,本项目最终采用全地下式重力流箱体结构,以实现节能、稳定与高效运行的核心目标。

4.2 设计参数

基于第 3.2 节计算确定的 27 000 m³ 设计调蓄容积,并综合考量场地实际形状、水力流态、设备配置及运行灵活性要求,对调蓄池本体进行了精细化设计,其主要参数如表 3 所示。

表 3 调蓄池主要设计参数
Tab. 3 Main Design Parameters of the Storage Tank

项目	数值
容积/m ³	27 000
平面尺寸(净)/m ²	95×30
设置廊道数/组	4
单组廊道宽度/m	7.5
廊道坡度	0.003
有效水深/m	10.5

4.3 运行模式

调蓄池的运行基于实时监测的进厂水量变化,通过自动控制系统实现“峰启谷放”的智能控制。

启用:当污水厂小时总进水量超过设计平均流量的 1.2 倍 [即流量 $> 2.2 \times 10^5 (\text{m}^3/\text{d}) \times 1.2 \div 24 (\text{h}) = 11\,000 (\text{m}^3/\text{h})$] 时,自动开启调蓄池进水闸门,储存超量污水。系统可根据上游来水流量的变化趋势及预计持续时间,智能判断并投入运行的廊道数量,实现峰值流量的精准调节。极端工况下(如暴雨或设施故障),可同时开启全部 4 组廊道进水,直至满池后停止进水。

放空:当污水厂小时进水量降至设计平均时流量以下,且预测当日总进水负荷低于系统处理能力时,启动放空程序。通常选择在进水波谷时段(1:00—7:00),根据实时来水情况动态调整放空流

量,将储存的污水均匀输送至后续处理设施。

4.4 防沉积方式

由于污水中夹带了地面和管道沉积的污物杂质,调蓄池在使用后底部不可避免滞留沉积物。污水滞留在池内数小时后,如果不及时进行清理会造成污物变质,水中污物杂质会沉积,产生异味,沉积物积聚过多将使调蓄池无法发挥其功效。相关研究表明,排水系统臭气来源及控制技术可为调蓄池异味控制提供理论与工程参考^[5];沉积物沉积会导致排水系统水力性能劣化,为调蓄池防沉积与清淤维护提供依据^[6]。本工程在调蓄池廊道中设置防沉积措施和冲洗措施,防沉积措施采用推流器进行搅拌。调蓄池呈沟流式布置,共分 8 个廊道,单廊道长度为 90 m。每个廊道于中部设置 1 台潜水推流器(叶轮直径 D 为 1 600 mm,转速为 79 r/min,功率为 4.5 kW),全池共配置 8 台。池内处于高水位运行时,开启推流器,控制廊道最末端水流速度大于 0.1 m/s,并在池内形成循环水流,有效延缓污泥沉积。

同时,本工程沿池长方向设置池底水力冲洗设施。当调蓄池放空后,可分段开启水力冲洗设施,对池底进行冲洗,确保调蓄池在下次进水前处于良好的准备状态。系统配备 2 台再生水加压泵(1 用 1 备),单泵流量为 300 m³/h,扬程为 40 m,功率为 45 kW,利用再生水作为水源,彻底清除池底沉积物。

4.5 除臭设计

重力进水的调蓄池,水位波动较大,气量波动也比较大,臭气收集和处理的难度都比较大,设计阶段需考虑各种水量工况条件下的均匀通风和均匀收集^[7-8]。本工程执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的厂界二级排放标准。除臭风量参照《城镇雨水调蓄工程技术规范》,按每小时处理 1~2 倍调蓄池容积的臭气量计算。综合考虑调蓄池及毗邻预处理区的除臭需求,总设计除臭风量为 52 000 m³/h。除臭工艺采用化学洗涤+生物除臭滤池工艺^[9],污水调蓄池和预处理区全封闭,设置抽气管路将臭气抽吸至负一层平台的除臭装置,经处理后达标排放。

5 运行效果及分析

项目投入运行后,在试运行阶段对调蓄池系统的运行效能进行了持续跟踪与评估。需要说明的

是,由于本工程投入运行时间尚短,目前尚未能积累关于调蓄池启用频次、平均调蓄时长等长期运行统计资料,但现有监测数据已能有效验证其核心性能。结果表明,调蓄池在进水高峰时段均能及时启动并有效响应,成功削减了超过后续处理设施设计能力(按 $K=1.2$ 计)的峰值流量,消除了厂前溢流风险,从而显著提升了污水处理过程的稳定性并保障了出水水质的长期达标。

通过提标扩建后的试运行实测数据验证,调蓄池在应对 $22\text{万 m}^3/\text{d}$ 规模下的峰值流量时,单次最大调蓄量达到 $25\ 200\text{ m}^3$,与前述基于现状规律建立的计算模型所得结果基本吻合。结果显示,在现有污水处理规模及调蓄容量的支撑下,不仅能够满足当前的峰值处理需求,还具备约 15% 的冗余能力,既验证了调蓄池的工程效能,又为高密度城区污水处理厂应对长期增长压力提供了有力的技术支撑。应对未来5年污水量的增长。综上所述,该提标改造方案在运行实践中表现出良好的前瞻性和适应性。

6 结论

①本文提出的“调蓄削峰-低峰值系数协同设计”模式,有效化解了麦岛污水处理厂在提标改造过程中所面临的用地紧张与处理能力提升之间的矛盾。通过建设容积为 $27\ 000\text{ m}^3$ 的调蓄池,使后续处理设施的设计峰值系数 K 由 1.5 降低至 1.2 ,不仅显著节约了占地和投资,而且消除了厂前溢流,保障了出水长期稳定达标。

②本文提出的耦合厂内自耗水的精细化水量分析方法,实现了调蓄池容积的精准计算。运行数据验证了该方法的可靠性,表明调蓄池能够有效削减峰值流量,并具备应对未来5年污水量增长的能力,为后续规划提供了科学依据。

③青岛麦岛污水处理厂的工程实践表明,调蓄池已成为高密度城区污水处理厂实现高标准提标与扩容的关键技术措施。其节地、高效和环保等综合优势,使其具备良好的推广价值,可为类似地区污水处理厂的改造提供可复制、可推广的解决方案。

④需要强调的是,为确保调蓄池长期稳定、安全与高效运行,在运行维护中应重点关注以下环节:污水中杂质较多,可采用搅拌、推流、曝气、水力冲洗清淤等措施防沉积;除臭方面,应确保封闭收集与处理设施连续稳定运行;设备维护方面,需对放空泵等关

键设备实施预防性维护。建立与之相适应的智慧化运行监控与维护管理制度至关重要。

参考文献

- [1] 何磊. 污水处理厂耦合调蓄池工程案例对比分析及优化[J]. 给水排水, 2024, 50(12): 21-27.
He L. Comparative analysis and optimization of coupled storage tank in wastewater treatment plants[J]. Water & Wastewater Engineering, 2024, 50(12): 21-27.
- [2] 王雪, 黎柳记, 戴仲怡. 前置调蓄池的改良型A2/O工艺半地下式大型污水厂设计[J]. 中国给水排水, 2021, 37(6): 86-90.
Wang X, Li L J, Dai Z Y. Design of semi-underground large-scale sewage treatment plant with improved A2/O process with pre-storage tank[J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(6): 86-90.
- [3] 谢磊, 解铭, 薛江儒. 调蓄池在排水系统中的应用及发展方向探讨[J]. 中国给水排水, 2023, 39(12): 37-43.
Xie L, Xie M, Xue J R. Discussion on application and development direction of storage tank in drainage system[J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(12): 37-43.
- [4] 肖友淦, 林瑞盛, 魏忠庆, 等. 基于排水模型的调蓄池RTC模拟优化[J]. 给水排水, 2023, 49(S1): 880-887, 894.
Xiao Y G, Lin R S, Wei Z Q, et al. RTC simulation optimization of the storage tank based on drainage model[J]. Water & Wastewater Engineering, 2023, 49(S1): 880-887, 894.
- [5] Jin S, Zhang K J, Cen C, et al. Odorous substances in urban drainage pipelines and the removal technology: A review[J]. Water, 2023, 15(6): 1157.
- [6] Quang C X, Giang N H, Hoa H V, et al. Effects of sediment deposit on the hydraulic performance of the urban stormwater drainage system[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 964(1): 012020.
- [7] 李珂, 刘铭雪. 探究城市环境工程污水治理的有效措施[J]. 工程研究与实用, 2023, 4(5): 8-10.
Li K, Liu M X. Discussion on effective measures for urban environmental engineering sewage treatment[J]. Engineering Research and Practice, 2023, 4(5): 8-10.
- [8] 仲云. 新时期市政工程污水处理存在的问题及对策研究[J]. 市政工程, 2022, 7(7): 49-51.
Zhong Y. Research on problems and countermeasures of municipal engineering wastewater treatment in the new era[J]. Municipal Engineering, 2022, 7(7): 49-51.
- [9] 王全金, 叶校圳, 叶荣斌, 等. 烟厂水洗-生物滤池除臭工艺的设计与运行[J]. 化工环保, 2025, 45(3): 453-457.
Wang Y Q, Ye X Z, Ye R B, et al. Design and operation of the deodorization process of water washing-biofilter at a tobacco factory[J]. Environmental Protection of Chemical Industry, 2025, 45(3): 453-457.