

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.18.010

上海迪士尼水环境维护及绿化灌溉系统工程方案

周传庭¹, 王梦玉², 朱霞雁¹, 安莹², 陈轶¹

(1. 上海市城市建设设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200125; 2. 上海电力大学 环境与化学工程学院, 上海 200090)

摘要: 上海迪士尼园区综合水处理厂是国内首座同步完成湖水循环处理和灌溉水处理的综合水处理厂,以湖水内循环处理和补水处理两种模式运行。综合水处理厂主体工艺流程采用“曝气生物滤池+加砂高效沉淀池+滤池+超滤+紫外线消毒”。绿化灌溉时,综合水处理厂启用补水处理模式,通过外部消耗、外部补水,使封闭的星愿湖处于外循环状态。将湖水与灌溉水合并处理的模式,大大降低了总处理规模,也打破了湖水内循环封闭的状态。多年的运行效果表明,星愿湖水质和灌溉水质满足全球迪士尼水质标准,远高于常规国内标准。

关键词: 综合水处理厂; 湖水内循环; 补水处理; 曝气生物滤池; 灌溉水处理

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)18-0054-04

Design Scheme of Disneyland Water Environment Maintenance and Afforestation Irrigation System in Shanghai

ZHOU Chuan-ting¹, WANG Meng-yu², ZHU Xia-yan¹, AN Ying², CHEN Yi¹

(1. Shanghai Urban Construction Design and Research Institution <Group> Co. Ltd., Shanghai 200125, China; 2. College of Environmental and Chemical Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: Shanghai Disneyland comprehensive water treatment plant is the first comprehensive water treatment plant in China that simultaneously completes lake and irrigation water treatment. It operates in two modes: lake water internal circulation treatment and make-up water treatment. The main process of the comprehensive water treatment plant consists of biological aerated filter, sanding high efficiency sedimentation tank, filter, ultrafiltration and ultraviolet disinfection. During the afforestation irrigation, the comprehensive water treatment plant operates in make-up water treatment mode to make the closed Xingyuan Lake in an external circulation state through external consumption and external water replenishment. The combined treatment mode of lake water and irrigation water greatly reduces the total treatment scale and breaks the internal circulation closed state of the lake water. Years of operation show that the water quality of Xingyuan Lake and irrigation water meets the global Disneyland water quality standards and is much higher than the conventional domestic standards.

Key words: comprehensive water treatment plant; internal circulation of lake water; make-up water treatment; biological aerated filter; irrigation water treatment

1 工程概况

上海迪士尼乐园是中国内地首座迪士尼主题乐园,其配套建设的星愿湖湖面面积约 0.39 km^2 ,湖深约 4 m ,湖容积约 $15\times 10^5\text{ m}^3$,其水质需达到全球统一的迪士尼乐园湖水水质标准^[1],即 $\text{COD}\leq 20\text{ mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5\leq 6\text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}\leq 0.5\text{ mg/L}$ 、 $\text{TP}\leq 0.02\text{ mg/L}$,其中TP已达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的Ⅰ类标准。由于星愿湖为超大容量、完全封闭的人工景观湖泊水体,该水质标准创造了国内人工景观湖泊水质标准之最,维持星愿湖水质将是一个挑战。

按照迪士尼乐园的运行管理要求,整个园区内的绿化自动喷灌系统采取同一水源、集中控制的方式,为国内规模最大的绿化灌溉系统,对灌溉控制的要求极高。绿化灌溉水质标准要求 $\text{BOD}_5\leq 10\text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}\leq 1\text{ mg/L}$,该标准远高于《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)中要求的城市绿化用水水质标准($\text{BOD}_5\leq 20\text{ mg/L}$, $\text{NH}_3\text{-N}\leq 20\text{ mg/L}$),灌溉水质标准同样达到国内领先水平。

2 工程总体方案

为保证星愿湖的正常运行状况,将建设湖水处理设施。星愿湖的水体将经过不断的循环处理,以确保其水质安全。同时,为保证星愿湖的水位控制在设计范围,在星愿湖与南围场河连通处建设泵闸等控制工程,必要时,抽取南围场河的水,经处理后作为补充水源注入星愿湖。反之,当星愿湖水位超过设计溢流水位时,湖水将通过泵闸排入南围场河。同时,星愿湖作为整个乐园绿化灌溉水水源,湖水经过简单处理后,输送至园区内绿化灌溉系统。工程总体方案示意图1。

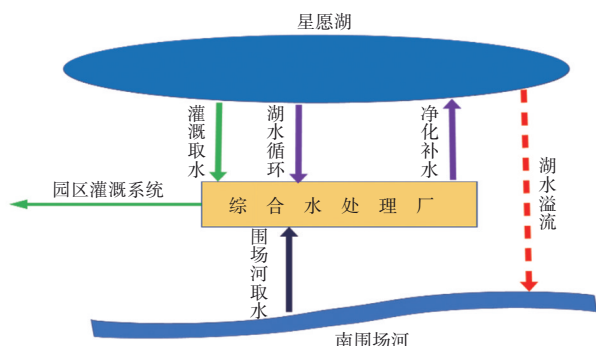


图1 工程总体方案示意

Fig.1 Schematic diagram of the overall scheme

综合水处理厂设计规模主要由内循环处理水量和补充水量两部分组成。TP浓度在迪士尼乐园湖水水质标准中占主导地位,同时也是湖泊富营养化的主要控制指标。因此,着重对TP的入湖负荷进行测算。在湖泊形成初期,夏季底泥释放的工况下,依据韩曾萃等^[2]验证的TP浓度质量平衡模型,以综合水处理厂出水TP浓度为 0.015 mg/L 来测算,得到星愿湖的月循环水量为 $60\times 10^4\text{ m}^3$ 。在典型特枯年份,由湖泊的蒸发、降雨量可知,湖泊最大月需水量约为 $3.8\times 10^4\text{ m}^3$ 。湖泊渗流分析计算采用有限元方法,经测算,湖泊渗漏量为 $400\text{ m}^3/\text{d}$ 。综上所述,总的日循环处理规模= $(38\ 000+600\ 000)/30=2.13\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,取 $2.2\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$;日补充水量= $(38\ 000/30)+400=0.17\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,取 $0.2\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。综合水处理厂设计规模=日循环处理规模 $2.2\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ +补充水量 $0.2\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}=2.4\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。绿化灌溉水处理规模需满足 $8\ 565\text{ m}^3$ 的园区高峰日绿化灌溉需水量和 $1\ 128\text{ m}^3/\text{d}$ 的公共道路和车辆的冲洗水量。经测算,最高日灌溉供水规模为 $9\ 700\text{ m}^3/\text{d}$,供水峰值流量为 764 L/s ,可满足整个园区范围内约 100 hm^2 的绿化灌溉需要。

3 工程设计

3.1 水处理工艺流程

为满足全球统一的迪士尼乐园湖水水质标准,通过试验研究^[3],确定水处理工艺流程为曝气生物滤池(BAF)→加砂高效沉淀池(ACTIFLO)→滤池→超滤→紫外线消毒(见图2)。

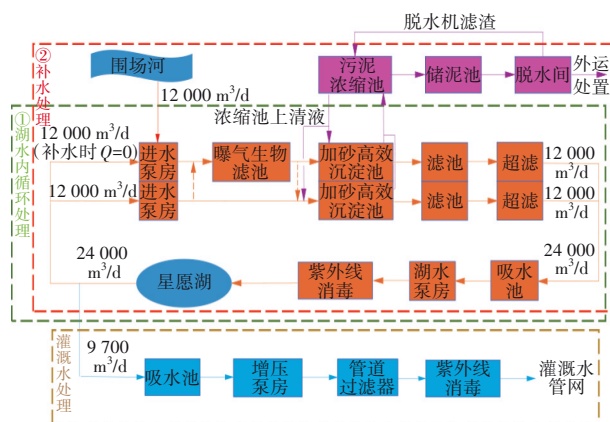


图2 综合水处理厂工艺流程

Fig.2 Flow chart of comprehensive water treatment plant

综合水处理厂的运行工况分为:湖水内循环处理、补水(外循环)处理两种模式。

① 湖水内循环处理

该模式为综合水处理厂的常规运行模式, $2.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的进水全部取自湖水, 处理后的尾水再排入湖中, 削减湖水中污染物, 强制湖水循环^[4]。

② 补水(外循环)处理

当由于绿化灌溉消耗湖水或者渗漏、蒸发等因素造成湖水水位低于设计水位时, 启用该模式, 通过外部消耗、外部补水, 使封闭的星愿湖处于外循环状态。当处于补水处理模式时, 综合水处理厂50%进水来自湖水, 50%进水来自南围场河。

3.2 主要设计参数

① 曝气生物滤池

BAF设计规模 $2.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 共4座, 每座分两格, 单格尺寸为 $7 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$, 净高 6.8 m 。选用密度为 0.96 g/cm^3 、比表面积 $>800 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 的塑料填料, 填料层高度 3.9 m 。BAF采用下进水模式, 气水同向。滤池最大供气量按气水比1:1设计, 设6台鼓风机, 单机曝气量 $5 \text{ m}^3/\text{min}$ 。当进水氨氮浓度低于 1 mg/L 时, BAF运行气水比可采用0.5:1或更低。当处理水量为 $2.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 气水比为1:1时, 启动4台鼓风机; 气水比为0.5:1时, 启动两台鼓风机。当处理水量为 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 气水比为1:1时, 启动两台鼓风机; 气水比为0.5:1时, 启动1台鼓风机。

BAF运行工况有三种。第一种: 当星愿湖水位较低, 需要外部水源补水时, BAF进水来自南围场河取水泵站, BAF处理量为 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 表面水力负荷为 $2.55 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。第二种: 当星愿湖水位较高不需要补水, 且湖水氨氮浓度不超过 0.4 mg/L 时, BAF进水来自湖泊, BAF处理水量 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 表面水力负荷为 $2.55 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 超过BAF系统处理水量的 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 直接进入下一工艺。第三种: 当星愿湖水位较高不需要补水, 且湖水氨氮浓度超过 0.4 mg/L 时, BAF进水来自湖泊, BAF处理水量 $2.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 表面水力负荷为 $5.1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

② 加砂高效沉淀池

加砂高效沉淀池设计规模 $2.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 由混凝池、投加池、熟化池和沉淀池组成。装置共4套, 每套最大流量 $320 \text{ m}^3/\text{h}$ 。混凝池停留时间为 2 min ; 投加池水力停留时间为 2 min , 利用4台水力旋流器向投加池中投加粒径为 $80 \sim 100 \mu\text{m}$ 的微砂; 熟化池中投加高分子助凝剂, 水力停留时间为 6 min ; 斜板沉淀池采用上流式, 设计上升流速 46 m/h 。泥斗中

微砂和化学污泥被循环泵连续抽出送往水力旋流器。借助离心力作用, 微砂从水力旋流器底部排出, 回用至投加池; 密度较小的污泥从水力旋流器上部排出, 进入污泥浓缩池。

③ 砂滤池

砂滤池使用两层不同的滤料和承托层, 滤料粒径自上而下逐渐减小, 底层采用细小且密度高的滤料。滤池平均滤速 9.7 m/h , 峰值滤速 13 m/h 。反洗依次按气洗、气水反冲洗、高速水冲洗三阶段进行, 反冲洗周期 12 h 。

④ 超滤系统

超滤系统设计规模 $2.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 共3套超滤机组, 单组膜池 55 m^3 , 公称膜孔径 $0.03 \mu\text{m}$, 膜面积 7950 m^2 , 膜通量 $44 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 净出水流量 $350 \text{ m}^3/\text{h}$ 。本工程拟选用的超滤膜对细菌去除率 $>6\text{-lg}$, 对病毒去除率 $>4\text{-lg}$, 出水浊度 $\leq 0.1 \text{ NTU}$ 。

3.3 灌溉系统

当园区进入灌溉时段时, 此时湖水水质主要指标如氨氮 (0.5 mg/L) 已能满足灌溉水 (1 mg/L) 的要求, 故综合水处理厂的增压泵房直接从星愿湖取水, 经过滤器过滤及消毒后, 将灌溉水输送至园区环路上的灌溉水总管。

灌溉控制系统采用一套中央计算机控制系统, 中央控制系统通过发出指令, 并不断地监控反馈信息来检验指令的执行, 实现对灌溉系统的管理。灌溉系统配置气象站及雨量桶来收集与植物需水相关的气象数据, 并反馈给中央计算机, 通过专用的管理软件, 运算出植物前一天损耗的水量, 并决策今天是否补充水分及补充多少水分; 若需补水, 中央计算机向各集群控制器发送指令并由集群控制器传送给各田间控制器, 由田间控制器完成电磁阀的启闭, 在一定的时间内按一定的顺序自动完成园林绿地的灌溉并自动停机。

4 设计特色

① 一体化集约设计

为减少市政公用设施在乐园区域内的占地面积, 综合水处理厂采用一体化集约设计, 全部处理设施集中于一座厂房内, 用地面积仅 10319.0 m^2 。

迪士尼乐园以欧式的现代建筑和欧化的城镇氛围带给游客“欧式童话”的感受。为了凸显迪士尼乐园的整体建筑风格, 同时使配套建筑风格从属

于整个园区,建筑采用现代简洁的建筑风格,使综合水处理厂与整个乐园融为一体,提高了土地利用率和整体景观协调性。

② 同步完成湖水循环处理及灌溉水处理

将湖水及灌溉水处理统一综合考虑,在进行具体工艺流程设计时,直接从星愿湖抽取灌溉水,经简单过滤后供灌溉使用。这种合并处理模式比完全独立的总处理规模节省约30%。同时因灌溉水抽取湖水,意味着湖水不断外排,打破了湖水内循环封闭的情况,解决了水处理药剂的富集问题。

③ “加砂高效沉淀池+超滤”工艺强化除磷

经混凝、絮凝、微砂投加循环和沉淀处理后能有效降低湖水中总磷含量^[1]。水中的溶解性有机磷酸盐和溶解性聚合磷不能通过前端加药混凝沉淀阶段去除,虽然这部分磷占总磷中很小部分,但由于必须控制最终出水总磷在0.02 mg/L以内,所以采用超滤深度处理工艺,重点强化除磷,防止湖水藻类生长,确保出水总磷达标。

④ 采用智能喷灌系统

摒弃传统定时定量的粗放灌溉模式,实现依据气象条件随植物实际需水量变化而自动调整的精细灌溉、智能灌溉和节水灌溉目标。

5 技术经济指标

本项目工程投资60 619.75万元,其中建筑安装工程费42 661.60万元。单位水处理成本6.57元/m³,单位水处理经营成本2.35元/m³。

6 工程运行效果

2016年6月,上海迪士尼乐园正式开园迎客,综合水处理厂也正式启用,多年运行证明,工程实现了既定目标,星愿湖水质达到了全球统一的迪士尼乐园湖水水质标准,并依据绿化灌溉要求提供了优质灌溉用水,为游客提供了舒适的游园环境。

7 结语

综合水处理厂同步完成了湖水循环处理及灌溉水处理,是我国景观水水质维护及绿化灌溉水处理的崭新尝试。其中,湖水水质与灌溉水水质满足全球统一的迪士尼乐园水质标准,远高于国内类似标准。综合污水处理厂主体工艺中的“加砂高效沉淀池+超滤”工艺重点强化除磷,保障TP指标达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的Ⅰ类

标准,极大地提高了系统的安全性。

参考文献:

- [1] 朱霞雁. 景观水和灌溉水综合处理系统探索实践[J]. 中国市政工程, 2018(3): 42-44.
ZHU Xiayan. Exploration & practice of integrated treatment system for landscape water & irrigation water [J]. China Municipal Engineering, 2018(3): 42-44 (in Chinese).
- [2] 韩曾萃, 朱军政, 江影, 等. 杭州西湖总磷模型及其治理应用(Ⅰ)[J]. 环境污染与防治, 2005, 27(2): 139-141.
HAN Zengcui, ZHU Junzheng, JIANG Ying, et al. Total-phosphorus model of Hangzhou West-Lake and its application (Ⅰ) [J]. Environmental Pollution & Control, 2005, 27(2): 139-141 (in Chinese).
- [3] 陈轶. 强化混凝沉淀法对微污染景观湖水除磷处理的研究[J]. 中国市政工程, 2017(3): 59-63.
CHEN Yi. Study on phosphorus removal of micro-polluted landscape lake by enhanced coagulant-sedimentation method [J]. China Municipal Engineering, 2017(3): 59-63 (in Chinese).
- [4] 萧志豪, 汪晓军, 黄小琴, 等. 曝气生物滤池/接触氧化内循环处理受污染湖水[J]. 中国给水排水, 2017, 33(4): 83-86.
XIAO Zhihao, WANG Xiaojun, HUANG Xiaoqin, et al. Biological aerated filter/contact oxidation tank for treatment of polluted lake water [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(4): 83-86 (in Chinese).

作者简介:周传庭(1980—),男,辽宁辽阳人,工学硕士,工程博士在读,高级工程师,国家注册公用设备工程师(给水排水),现任上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司环境与交通设计研究院副总工程师,研究方向为市政污水处理及初期雨水处理。主持或参与的工程项目近100项,参加国家重大水专项课题(任务)3项、省市及科研项目近5项,申请专利20余项,发表论文20余篇,曾获上海市科技进步奖1项、全国优秀工程设计奖3项、上海市优秀工程设计奖5项、上海市优秀工程咨询奖10余项。

E-mail: 13482299753@139.com

收稿日期: 2022-02-18

修回日期: 2022-03-20

(编辑:孔红春)