

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.14.019

天府新区某湖泊水环境综合治理技术

周艳莉¹, 彭江²

(1. 中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610081; 2. 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610081)

摘要: 通过对成都市天府新区某湖泊水文、水质和污染现状的分析,提出控制性河湖分离、清水型水生态系统和环湖生态驳岸带综合治理技术,并采用 MIKE 21 水动力和水质模块模拟一定进水条件下的水质稳定变化趋势。经模拟分析和监测数据验证,在一定的进水水质条件下,该综合治理技术可以实现湖区水质稳定达到地表Ⅳ类水质标准。

关键词: 环境容量; 清水型水生态系统; 生态驳岸带

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)14-0112-05

Comprehensive Environmental Management of a Lake in Tianfu New District

ZHOU Yan-li¹, PENG Jiang²

(1. Southwest Municipal Engineering Design & Research Institute of China, Chengdu 610081, China; 2. PowerChina Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu 610081, China)

Abstract: Based on the analysis of hydrology, water quality and pollution status of a lake in Tianfu New District in Chengdu, the comprehensive treatment technology of controllable river-lake separation, clean water ecosystem and ecological revetment zone around the lake is put forward. The hydrodynamics and water quality modules of MIKE 21 are adopted to simulate the stable change trend of water quality under certain water conditions. After simulation analysis and monitoring data verification, the water quality of lake area can meet level IV criteria of the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002) stably under certain influent water quality conditions by the comprehensive treatment technology.

Key words: environmental capacity; clear water ecosystem; ecological revetment zone

天府新区某湖泊是成都市核心区新建人工湖泊,面临“防洪压力大、来水水质差和生态环境要求高”三大难点,为此提出“控制性河湖分离”技术解决城市防洪安全问题;划定湖区“蓝、绿、红”三线,确定湖区运行水位和生态防护距离,留足建设空间,满足城市核心区景观和生态保护双重要求;通过环境容量分析明确污染物容纳总量,提出清水型水生态系统和环湖生态驳岸带的组合措施,削减入湖污染物,实现水质稳定,恢复湖区生物多样性。该项目自2015年竣工以来,湖区水质常年保持在地表Ⅳ类水

标准,吸引了上百种鸟类栖息,被誉为天府新区“生态之肾”。

1 工程概况

该工程位于天府新区双流县兴隆镇南侧,湖面面积约287 hm²,设计常水位464.00 m,对应库容640×10⁴ m³,工程等级为Ⅳ级,工程规模为小(1)型水库;湖岸长约11.7 km;湖区水源为鹿溪河上游来水和湖区自然集雨,湖区水质目标为地表Ⅳ类。

2 水文水质条件

湖区所在鹿溪河是岷江二级支流,发源于成都

市龙泉驿区长松山西坡王家湾,全长77.9 km,天府新区境内63 km,流域面积684 km²,平均比降0.12%,径流主要来源于降水,多年平均流量3.65 m³/s,100年一遇洪峰流量1 610 m³/s,地表多年平均年径流量为4.26×10⁸ m³,年际变化大,丰枯分布不均,平均输沙量为1.64×10⁴ t/a,枯水期生态用水需求大,雨季防洪压力大,泥沙淤积问题显著。

根据2012年6月—2013年5月对湖区上游鹿溪河5处水质取样数据(来自天府新区环境保护与统筹城乡局),鹿溪河来水水质为地表劣V类,总氮平均为9.59 mg/L,总磷平均为0.55 mg/L,氨氮平均为3.6 mg/L,如图1所示。

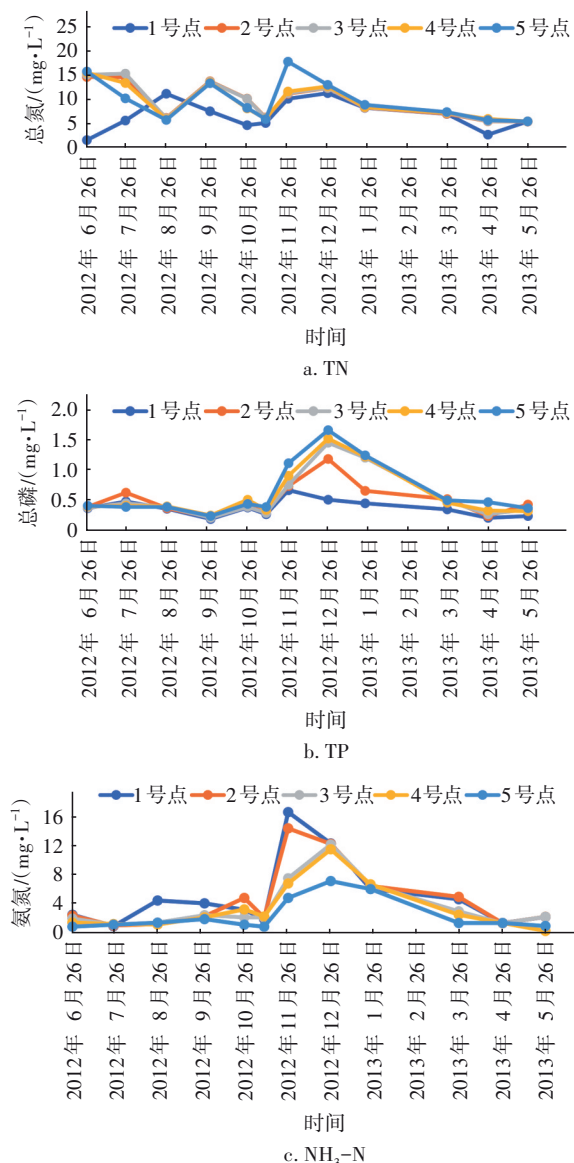


图1 鹿溪河水水质监测数据

Fig.1 Monitoring data of water quality of Luxi River

3 水环境综合治理技术

3.1 设计标准

城市防洪标准为200年一遇,湖区水质目标为地表Ⅳ类水。

3.2 “蓝、绿、红”三线划定

天府新区地貌特征丰富,有山体、湖泊、丘陵、台地、平原等,形成了“三山四河两湖”的整体自然格局。区内高程为350~1 050 m,总体西北、西南较高,东南较低。湖区选址和水位确定要拟合自然地貌,以保护和保留为主、少量改变和优化为辅。设计湖区选址鹿溪河兴隆镇跑马埂段,现状鹿溪河河道两岸地形平坦,可利用周边山地形成库岸,经勘查周边无大裂隙,宜修建湖库。拟定湖区不同常水位高程,推演自然淹没线,比较自然淹没范围、土方挖填平衡以及距离道路红线防护绿地宽度的关系,最终确定湖区常水位为464 m,蓝线面积约2.8 km²,对天府新区水域面积率提升的贡献值为15%;绿化防护绿地宽10~200 m、第一级滨水步道高程464.50~465.00 m,道路红线与绿线重合,满足城市核心区景观、生态双重功能。

3.3 控制性河湖分离

湖(库)水动力影响因素包括:进出水条件、风场、地形、湖(库)内水工构筑物以及水库的岸线形态等。其中,湖(库)的地形和岸线形态作为相对固定的因素,来水量为主要因素^[1]。

由于降雨和地表水时空分布不均,设计提出“先蓄后排”,即筑坝成湖“蓄住天上水,拦住过境水”,实现水资源合理利用。在200年一遇的防洪标准下,为最大程度地减小洪水对湖区水生态系统的冲击、实现水质保持,提出了“控制性河湖分离”措施:在湖区北侧新开泄洪道并设闸群,洪水季节对闸群联控启闭,加快上游洪水宣泄,保证主湖区防洪安全;非洪水季节保持河湖连通,常年保持3~5 m³/s的进水量。

为促进主要水力流线的水体交换,通过拓宽原老河道形成区间雨水排涝和沉砂排砂通道,主河槽深7~8 m,向两侧按0.1%渐变至0.5 m水深,整体水下地形呈“V”型,水深1.5~2 m区域占比55.6%,水深2 m以上区域占比46.3%。

3.4 水环境容量分析

水环境容量是反映设计水文条件下,水体满足

规划水体功能水质目标时所能容纳的污染物负荷,是水体自净能力的度量。通过水面率和湖区形态设计,湖区库容总量确定,水环境容量基底也基本确定。根据水量平衡分析,湖区要维持静态常水位不变,一年需1次集中补水 $120 \times 10^4 \text{ m}^3$,每次 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$,连续补水1个月或每4个月实现全湖换水。受来水水质影响,需考虑补水营养盐输入量和湖区需构建相应的水环境容量,才能确保水质稳定。

以水体质量平衡基本方程为基础导出的营养盐模型,比较著名的有沃伦威德(Vollenweider)模型、狄龙(Dillon)模型、OECD模型、合田健模型等。本次TN、TP沉降系数参照国内外相关研究,TN和TP为营养盐,采用沃伦威德模型:

$$W = S \times A \times Z \times (365\delta + Q/V) \quad (1)$$

式中: W 为湖(库)最大允许纳污量, t/a ; S 为指定水质标准, mg/L ; A 为湖(库)水面积, km^2 ; Z 为湖(库)平均深度, m ; δ 为湖(库)水营养盐的沉降系数, d^{-1} ; Q 为流出湖(库)水的体积, m^3/a ; V 为湖(库)水的体积, m^3 。

COD环境容量数学模型如下:

$$W_{\text{COD}} = Q \times (C_s - C_0) \times 10^{-6} + 3.65 \times k \times (C_s - C_0) \times V \times 10^{-6} \quad (2)$$

式中: W_{COD} 为湖(库)水COD环境容量, t/a ; C_s 为目标浓度, mg/L ; C_0 为本底值, mg/L ; k 为降解速率, d^{-1} 。

水环境容量计算结果见表1。在目标水质为地表Ⅳ类的条件下,TN的环境容量为 21.81 t/a ,TP环境容量为 3.45 t/a ,COD环境容量为 440.79 t/a 。

表1 水环境容量计算结果

Tab.1 Calculation results of water environmental capacity

项目	$V/10^4 \text{ m}^3$	$C_s/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$C_0/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$Q/(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$	k/d^{-1}	δ/d^{-1}	$W/(\text{t} \cdot \text{a}^{-1})$
TN	640	1.5	2.1	1 947	0.001 1	0.007	21.81
TP		0.1	0.24			0.007	3.45
COD		30	40				440.79

3.5 污染物削减措施

城市湖泊水质保持一般从三方面开展:①外源污染负荷控制;②内源污染削减;③湖泊水体水质稳定保持。

该湖泊通过拓宽原有老河道而形成,以挖方为主,原有底泥清除较为彻底,基本不存在内源污染;

水源以过境河水和降雨为主,其中过境河水上游流域范围内尚未实现全流域水环境治理,存在农业面源污染、村镇生活污水点源污染、农村养殖废水污染等。因此,在湖泊新建初期的污染控制主要体现在面源污染和水源输入污染削减。为此,提出利用环湖生态带控制面源污染,湖体内部构建清水型水生生态系统,实现水质稳定保持的组合措施。

湖泊周边面源污染主要为降雨引起的雨水径流形式产生,径流中的污染物主要来自雨水对湖泊周边道路表面的沉积物、无植被覆盖裸露的地面、垃圾等的冲刷,污染物的含量取决于周边地形、地貌、植被的覆盖程度和污染物分布情况。截留和处理城市降雨初期径流对于城市面源污染处理非常重要^[2]。植被过滤带是简单、有效的暴雨径流治理措施^[3]。研究表明:不同植被组合对径流量及总磷的削减效果从高到低依次为草本、灌草、灌木,其中草本植物缓冲带对径流量的削减率达到86.93%,在高、低浓度进水时对总磷的削减率分别为95.20%、80.69%^[4]。结合湖泊周边绿线和蓝线规划条件,通过水位反演,沿湖约11.7 km布置宽为20~200 m的生态驳岸带,分别设置雨水花园、滞留池、植被缓冲带、卵石沟、盲沟等,并衔接草坡入水净化初期雨水,削减面源污染,为主湖区提供生态屏障。

水生动物和水生植物是健康水生态系统的重要组成部分。水生态系统的修复过程主要是通过枝叶和根系形成天然的过滤层,对水中污染物质进行吸附、分解或转化,促进水域养分平衡,同时通过水生植物释放的氧气,增加水环境中的溶氧量,抑制有害菌的生长,减轻或消除水污染^[5]。水生态系统的生物多样性和完整性,也将较大地影响其净化效果。拟通过水生植物群、水生动物群落和微生物附着基等构建清水型生态系统,其中水生植物群落构建包括挺水植物群落、沉水植物群落、浮叶植物群落。沉水植物以矮生枯草、黑藻、金鱼藻为主,适量搭配微齿眼子菜;挺水植物结合景观效果,主要为再力花、花菖蒲、水生美人蕉和梭鱼草等;浮叶植物以慈菇、睡莲、菱角、芡实等为主,不仅可以增加水生态系统的自净能力,还具有较高的经济价值。水生动物包括浮游动物、游泳动物和底栖动物,通过营养链控制浮游植物,能够在一定程度上调控水体的水质,浮游动物在淡水生态系统中起着承上启

下的作用,是对能量、物质循环起调控作用的关键功能群。新构建的湖泊水体生态系统形成周期较长,水生动物根据其摄食习性选择底栖软体动物作为群落调控的主要种类,向原老河道和水深较深的区域投放鱼苗、虾类、螺类等,可使其尽快进入相应的生态位,加快形成稳定的水体生态系统。为实现水质稳定达到Ⅳ类标准,在入湖水质TN控制为2.1 mg/L、TP控制为0.24 mg/L条件下,需在水深2 m以内区域构建清水型水生态系统,全湖构建面积占比55.6%,水生态总构建面积 $160 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。

采用MIKE 21 HD水动力和水质模块对湖区流场进行模拟,基于水动力场来分析水质指标TN、TP的变化^[6]。模型中采用的主要参数:曼宁系数为30(MIKE软件的曼宁系数与糙率值互为倒数),污染物扩散系数采用等比涡黏系数,取经验系数1,TN、TP污染物衰减系数取0.007 mg/d。通过模拟计算分析可知:水生态构建完成后,在持续补水条件下,入湖TN控制为2.1 mg/L、TP控制为0.24 mg/L,湖区平均水质可以满足Ⅳ类标准,即TN为1.12 mg/L(<1.5 mg/L的Ⅳ类标准)、TP为0.128 mg/L(<0.2 mg/L的Ⅲ类标准)。

4 监测数据验证及分析

为实时掌握入湖水质及湖区水质变化情况,工程竣工后,沿湖布置9个监测点位和4个监测断面,如图2所示。

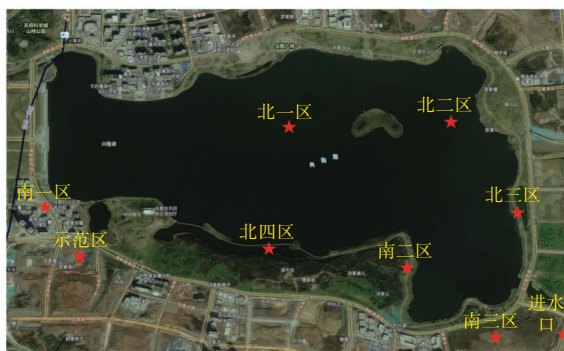


图2 湖区监测点位布置

Fig.2 Monitoring points of the lake

2015年7月—2017年8月连续2年进行不间断监测(自主取样检测),通过湖区水质监测数据和监测断面数据变化规律的分析,发现2017年1月—8月以来,水生态系统进入稳定期后,从进水口经主湖区到达出口附近区域,水质得到改善(监测数据见图3)。

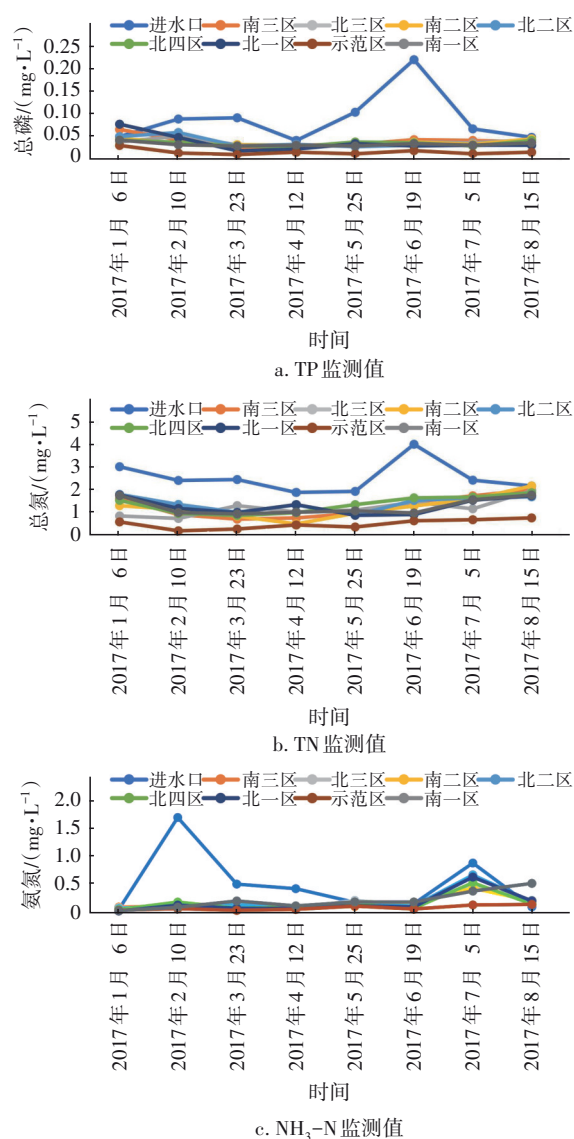


图3 稳定运行期的水质监测数据

Fig.3 Monitoring data of water quality during stable operation period

平水期,当入湖水体TN为2.0 mg/L以上时,湖区各点位TN为0.5~1.5 mg/L,与MIKE 21模拟结果接近;当入湖TP为0.05~0.2 mg/L时,各点位TP为0.01~0.04 mg/L,优于软件模拟结果;各点位对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率较为稳定。总体水质稳定趋势与软件模拟结果基本吻合。洪水期间(5月—8月)受降雨影响,污染输入浓度较高时,湖区水动力稍弱的北二区和南二区水质相对较差,自我修复能力较弱,需格外引起重视,后期应调整该区域的水生态配置。

5 结论

① 提出城市核心区湖泊水环境综合治理技

术。采用控制性河湖分离系统可以有效保证城市核心区湖泊洪水期间防洪安全,减小生态系统受洪水冲击的影响,平水季节水系连通可改善水动力条件问题;清水型水生态系统可实现水质长效稳定;环湖生态驳岸带是实现面源污染削减的有效方式。

② 受来水水质影响和湖区自身水动力条件限制,湖水水环境容量有限,无法承担额外的污染负荷输入。为实现主要水质指标长期稳定达到地表水Ⅳ类标准的目标,需对入湖污染物进行控制,经模型分析入湖TN控制为2.1 mg/L、TP控制为0.24 mg/L,通过构建面积55%以上的清水型水生态系统可以实现水质稳定达到地表水Ⅳ类标准。

③ 水质达标后,通过生态驳岸带,特别是植被缓冲带对面源污染削减和拦截,在水动力循环不足的区域应加强水生态系统的构建,增强水体自净能力。

④ 城市核心区湖泊水环境是一个开放的三维空间,特别是上游来水水质对湖区水质具有决定性影响,水环境综合治理应从流域视角考虑,提出系统控制的长效保持措施。

参考文献:

- [1] 胡艳海,周林飞. 石佛寺水库二维水动力及水质数值模拟与分析[J]. 人民长江, 2021, 52(1): 31-38.
HU Yanhai, ZHOU Linfei. Numerical simulation analysis on two-dimensional hydrodynamics and water quality of Shifosi Reservoir based on MIKE 21[J]. Yangtze River, 2021, 52(1): 31-38(in Chinese).
- [2] 王军霞,罗彬,陈敏敏,等. 城市面源污染特征及排放负荷研究——以内江市为例[J]. 生态环境学报, 2014, 23(1): 151-156.
WANG Junxia, LUO Bin, CHEN Minmin, et al. Study on the characteristics of urban non-point source pollution and its discharge load: a case study for Neijiang, Sichuan Province [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(1): 151-156(in Chinese).
- [3] 赵建伟,单保庆,尹澄清. 城市面源污染控制工程技术的应用及进展[J]. 中国给水排水, 2007, 23(12): 1-5.
ZHAO Jianwei, SHAN Baoqing, YIN Chengqing. Application and progress in engineering technologies for controlling urban non-point source pollution [J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(12): 1-5(in Chinese).
- [4] 胡海波,邓文斌,王霞. 长江流域河岸植被缓冲带生态功能及构建技术研究进展[J]. 浙江农林大学学报, 2022(1): 214-222.
HU Haibo, DENG Wenbin, WANG Xia. Research progress on ecological function and construction technology of riparian vegetation buffer strips in the Yangtze River Basin [J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2022(1): 214-222(in Chinese).
- [5] 徐玲娥,盛晟,陆俊宇. 典型浅水型人工湖生态修复技术实践——以某园区中心湖水系为例[J]. 给水排水, 2021, 47(S1): 241-245.
XU Ling'e, SHENG Sheng, LU Junyu. Ecological restoration technology practice of typical shallow water artificial lake: a case of the central lake water system of a park [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(S1): 241-245(in Chinese).
- [6] 李添雨,李振华,黄炳彬,等. 基于MIKE 21模型的沙河水库水量水质响应模拟研究[J]. 环境科学学报, 2021, 41(1): 293-300.
LI Tianyu, LI Zhenhua, HUANG Bingbin, et al. Simulation on water quantity and quality of Shahe Reservoir by MIKE 21 Model [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2021, 41(1): 293-300(in Chinese).

作者简介:周艳莉(1982-),女,四川成都人,硕士,高级工程师,主要从事城市防洪排涝、水环境治理规划、设计工作。

E-mail: 30611364@qq.com

收稿日期: 2019-12-04

修回日期: 2021-12-22

(编辑:衣春敏)