

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.06.019

九江市琵琶湖外源污染模拟与削减控制工程设计

向莹^{1,2}, 黄守斌¹, 黄安^{3,4}, 牛振华¹

(1. 北京国环清华环境工程设计研究院有限公司, 北京 100084; 2. 陕西太阳景环保科技有限公司, 陕西 西安 710000; 3. 西安建筑科技大学 公共管理学院, 陕西 西安 710055; 4. 清华大学 建筑学院, 北京 100084)

摘要: 针对九江市琵琶湖因长期受到污染导致水体黑臭的问题,借助Digital Water城市排水管网模拟系统,提出了一套适用于琵琶湖外源污染物削减控制的方法体系,研究过程包括:①梳理研究区排水系统及排口性质;②计算排口和面源污染物负荷产生量;③依据水质目标、生态本底等分析计算水环境容量;④结合水环境控制目标,对研究区提出污染物削减标准;⑤制定污染物削减控制方案;⑥分析整治方案的目标可达性。结果表明,琵琶湖在实施截污工程、水质净化站工程、生态清淤工程、补水活水及生态修复工程和景观提升工程等削减控制工程后,湖区水质明显改善,全年污染物排放总量达到地表Ⅳ类水要求,对COD、BOD₅、NH₃-N、TN和TP的削减率分别为79%、85%、96%、95%和91%,达到预期目标。

关键词: 外源污染; 模拟模型; 环境容量

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)06-0113-09

Engineering Design of Exogenous Pollution Simulation and Abatement Control in Pipa Lake of Jiujiang

XIANG Ying^{1,2}, HUANG Shou-bin¹, HUANG An^{3,4}, NIU Zhen-hua¹

(1. Beijing Guohuan Tsinghua Environment Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Beijing 100084, China; 2. Shaanxi Sun Sight Environmental Professional Innovation Co. Ltd., Xi'an 710000, China; 3. School of Public Administration, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 4. School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In view of the problem of black and odorous water in Pipa Lake of Jiujiang due to long-term pollution, a set of method system suitable for the abatement control of exogenous pollutants in Pipa Lake was proposed based on Digital Water urban drainage pipe network simulation system. The research process includes: I. Sorting out the drainage system and outlet properties of the study area; II. Calculating the production of discharge and non-point source pollutant load; III. Analyzing and calculating water environmental capacity according to water quality objectives and ecological background; IV. Putting forward pollutant reduction standards for the study area in combination with the water environment control objectives; V. Developing pollutant abatement control programs; VI. Analyzing the accessibility of remediation program target. Results show that through implementation of abatement control projects such

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2018ZX07110006)

通信作者: 黄守斌 E-mail: huangsb@mail.tsinghua.edu.cn

as sewage interception project, water purification station project, ecological dredging project, replenishing and living water ecological restoration and landscape project, the water quality of Pipa Lake improved significantly, the total amount of pollutant discharge for the whole year could reach the level IV requirements of surface water. The reduction rates of COD, BOD₅, NH₃-N, TN and TP were 79%, 85%, 96%, 95%, and 91%, respectively, which achieved the expected goals.

Key words: exogenous pollution; simulation model; environmental capacity

在生态文明建设背景下,黑臭水体治理工程成为河湖整治的重点工程。2015 年 4 月 16 日国务院颁布的《水污染防治行动计划》(简称“水十条”)加速了各地黑臭水体治理工作的开展。黑臭水体治理的核心是“控源截污、内源治理”,削减外源污染是河湖水质提升的重要措施^[1-2]。以九江市琵琶湖黑臭水体治理工程为例,在对研究区外源污染全面调研的基础上,利用 Digital Water 城市排水管网模型,模拟计算外源污染总量、水环境容量以及污染物削减量等,设计出一套外源污染削减控制工程方案,并分析了工程建设效果。

1 琵琶湖概况

九江市琵琶湖由于长期以来受周边工厂、企业等单位排污以及居民生活污染影响,导致水体自净能力丧失,属于典型的黑臭水体。研究区外源污染包括点源污染(工业源、城镇生活源)和面源污染(农田径流、畜禽养殖、农村生活污水、城镇地表径流),分布如图 1 所示。

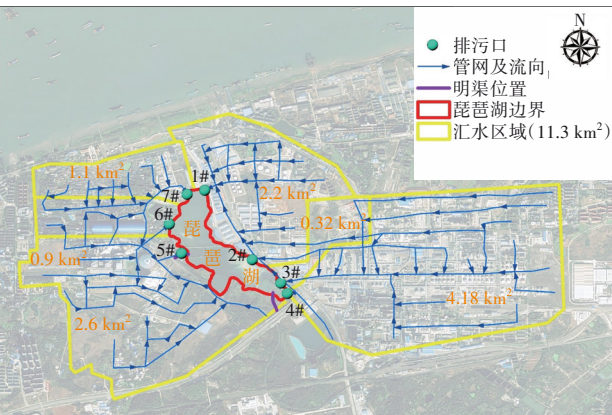


图1 外源污染分布

Fig.1 Distribution of exogenous pollution
通过调研勘察,琵琶湖点源污染指环湖 7 个排污口(见表 1)排入湖区的污染水体;面源污染指降雨初期周边区域(村镇、市场、工厂等)在降雨和地表冲刷作用下将大气和地表污染物携入湖区的

过程。

表 1 琵琶湖排污口基本情况
Tab.1 Basic situation of sewage outlets of Pipa Lake

排污口	规格	排水体制	旱季平均流量/(m ³ ·h ⁻¹)	超标项目(地表Ⅳ类标准)	旱季污染源	备注
1#	DN1 000	合流	15	COD、BOD ₅ 、NH ₃ -N、TN、TP	农贸市场污水	
2#	暗沟	分流	1.1	COD、BOD ₅ 、NH ₃ -N、TN、TP	垃圾渗滤液	
3#	双孔 DN1 200	分流	55	COD、TP	地表水、工业废水	水量、水质有波动
4#	4 000 mm×3 000 mm	分流	155	NH ₃ -N、TP	地表水、工业废水	水量波动大
5#	3 000 mm×3 000 mm	分流	110	TP	电厂循环冷却水	分流较彻底
6#	沟渠	分流	4	NH ₃ -N	生活污水、电厂蒸汽凝结水	
7#	DN800	合流	25	NH ₃ -N、TP、COD	生活污水	

注: 1#和 7#排污口区域为合流制,排口为合流制排口; 2#排污口为垃圾渗滤液排口;2#~6#排污口上游均已实现雨污分流,排口为分流制混接雨水排口。

2 研究方法

本研究通过分析现状点源污染和面源污染,利用模型构建管网系统,并模拟计算外源污染总量,分析外源污染负荷,对比琵琶湖的水环境容量和水质达标要求,计算出应削减的污染量,进而提出工程设计方案,技术路线如图 2 所示。本研究侧重于外源污染模拟与削减控制,对于内源污染治理采用原位生态修复和异位治理(即生态清淤)相结合的工程措施,清淤底泥经处理后回填至郊野赏花区。

因此,模型在模拟时仅考虑外源污染引起的污染物排放量和目标水质条件下需削减的污染物总量。

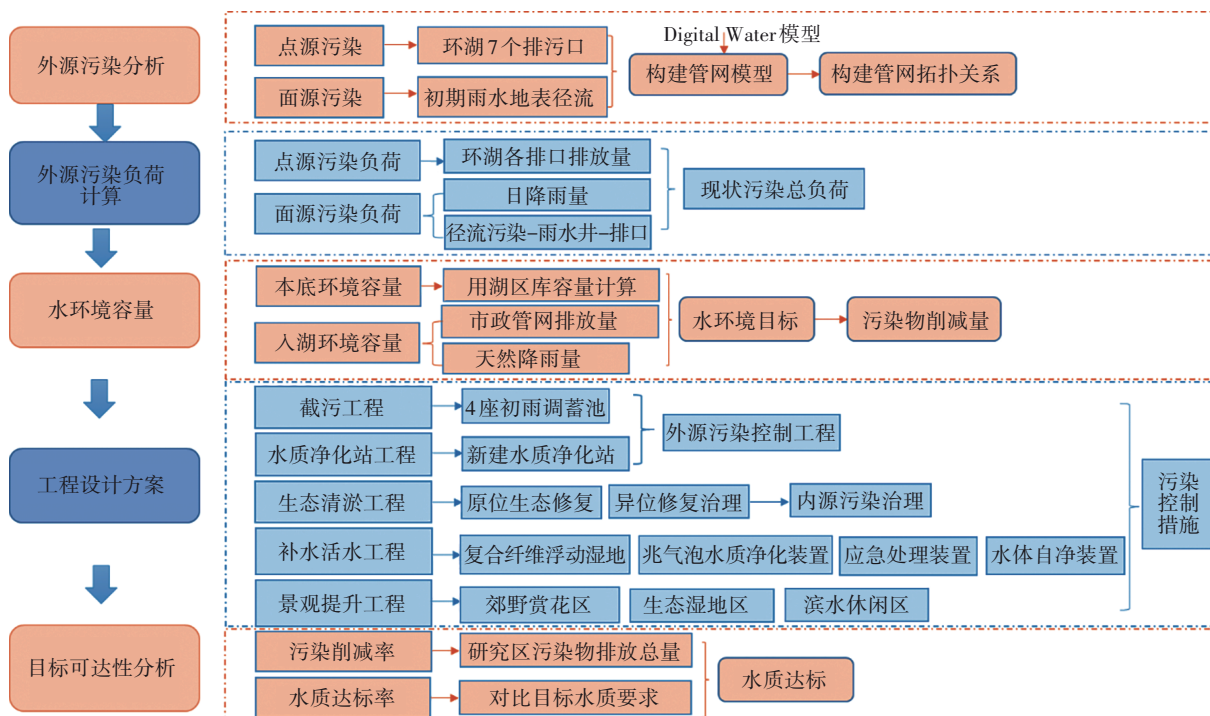


图2 污染削减控制技术路线

Fig.2 Pollution abatement control technology roadmap

2.1 外源污染模拟模型

本研究使用Digital Water(以下简称DW)软件模拟琵琶湖外源污染,经过模型概化→管网拓扑关系构建→汇水区域划分→参数确定→外源污染负荷总量模拟等步骤,获得外源污染负荷总量^[3-4]。本研究使用的模块包括:①降雨-径流模块。计算单元含初期损失、径流体积模型和汇流模型。②管流模块。模拟管道系统,利用贮存容量反映管网储量。③河道模块。模拟中部电厂排口明渠和南部明渠水体流动。

2.2 水环境容量

琵琶湖环境容量包括入湖水体的环境容量和湖区本底水环境容量两个部分。水环境容量是给定水域范围和水文条件,单位时间内水体的最大允许纳污量^[5],水环境容量的计算方法较多^[6],在已知水量和目标水质的情况下,可采用下式进行水环境容量计算^[7]:

$$W = VC_s \quad (1)$$

式中: W 为入湖水体或湖区本底环境容量, t/a ; V 为水体体积, m^3 ; C_s 为水环境质量目标, mg/L 。

按照污染物降解机理,水环境容量包括稀释容

量和自净容量^[8-10],由于琵琶湖现状水质浓度高于目标水质浓度,因此考虑其现状稀释容量为零,湖泊的自净容量即为研究区的环境容量。计算公式如下:

$$W = W_{\text{稀释}} + W_{\text{自净}} \quad (2)$$

$$W_{\text{自净}} = kVC_s \quad (3)$$

式中: $W_{\text{自净}}$ 为水体降解容量, t/a ; k 为综合降解系数, d^{-1} 。

3 外源污染模拟结果与分析

3.1 外源污染总量模拟步骤与结果

3.1.1 模型概化

在DW模型中录入研究区现状管网数据(管道、雨水井和排放口),构建管网模型:417条管道、393个雨水井和7个排污口。由于现状管网无法满足产-汇-流关系,依据卫星影像图、DEM数据及管网间拓扑关系,在现状模型中补充883条管道(多沿道路分布)和423个雨水井,补充后的模型概化为1300条管道、816个雨水井和7个排污口。

3.1.2 管网拓扑关系构建

管网拓扑关系构建技术路线见图3。先在系统中核对入库数据的管线属性、节点、检查井等内容,

再填补并修改属性缺失、出错的区域,确保管网数据真实有效。

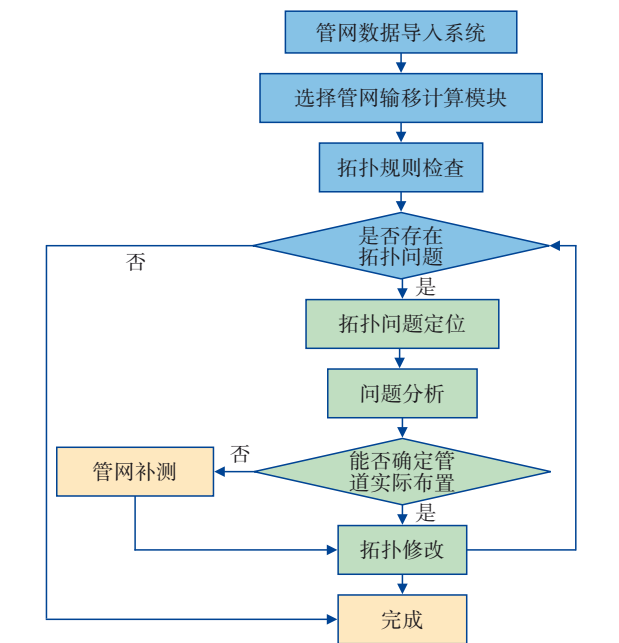


图3 拓扑关系构建技术路线
Fig.3 Technical route of topology relation construction

对琵琶湖汇水区域的排水管网系统现状拓扑问题进行分析,运用DW模型中的拓扑检查软件检查修正管道,结果见表2。

表2 管网系统拓扑关系修正
Tab.2 Modification of topology relation of pipe network system

修正对象	存在问题	修正数量
排水管	管道反向	31
	管道逆坡	12
	管道重叠	45
雨水井	属性数据缺失	21
	连接缺失	7
	节点孤立	5

表4 不同土地地表污染物累积参数参考值
Tab.4 Reference values of accumulative parameters of surface pollutants in different lands

污染指标	道路		建筑		绿地		其他	
	最大累积量/(kg·hm ⁻²)	半饱和累积时间/d	最大累积量/(kg·hm ⁻²)	半饱和累积时间/d	最大累积量/(kg·hm ⁻²)	半饱和累积时间/d	最大累积量/(kg·hm ⁻²)	半饱和累积时间/d
COD	270	10	140	10	60	10	110	10
BOD ₅	170	10	80	10	40	10	70	10
NH ₃ -N	4	10	2.5	10	6	10	3	10
TN	6	10	4	10	10	10	5	10
TP	0.2	10	0.2	10	0.6	10	0.4	10

3.1.3 汇水区域划分

根据DEM数据和流向分析结果划分汇水区域,结合现状路网、地块的边界信息修正汇水区并形成图层。

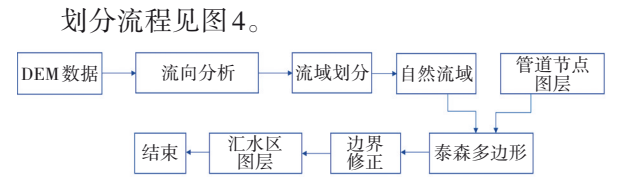


图4 排水管道汇水区域划分流程
Fig.4 Drainage pipeline catchment area division process

依据地形条件、管网流向等因素,将研究区划为6个自然流域(见图1),汇水面积分别为2.2、0.32、4.18、2.6、0.9、1.1 km²,总面积11.3 km²,采用泰森多边形划分研究区,共得到713个子汇水区。

3.1.4 参数选择

本研究用到的主要参数包括水文参数、水动力参数和水质参数。其中,水文、水动力参数选用土地类型汇流参数、漫流宽度、曼宁系数、洼蓄深度和下渗参数等;水质参数选用累积参数和冲刷参数。上述参数参考SWMM手册和相关规范、文献^[11-12]。

依据《室外排水设计规范》(GB 50014—2006)和文献资料^[13-15],不同土地类型参数和地表污染物累积参数取值分别见表3、4。

表3 不同土地类型产-汇-流参数取值
Tab.3 Values of production-sink-flow parameters of different land types

下垫面类型	建筑	道路	绿地	其他
不透水区曼宁系数	0.014	0.012	0.013	0.012
透水区曼宁系数	0.015	0.013	0.250	0.015
不透水区洼蓄量/mm	1.5	1.5	1	1
透水区洼蓄量/mm	2	2	3	2
起始入渗率/(m·s ⁻¹)	20	45	80	40
最终入渗率/(m·s ⁻¹)	2	3	6	2

3.1.5 外源污染负荷总量

① 点源污染负荷

点源污染负荷即旱流污水产污量,通过单位面积污水量和污染物浓度进行计算^[9]。依据现有实测长序列旱流条件下 7 个排污口水质数据,利用等分法设定市政管网污水初始深度:一级管网污水初始深度 5 cm,二级 2.5 cm,三级 1.25 cm,在 DW 模型中输入边界条件后得到点源污染模拟结果。旱流时 7 个排污口水质均严重超标,其中,2#排污口 COD 年均排放浓度达到 17 229 mg/L,约为地表Ⅳ类水标准的 575 倍,年排放总量大、污染负荷高,应重点治理。

② 面源污染负荷

面源污染即降雨条件产生的雨水冲刷污染,结

合研究区下垫面特征,在模型中输入边界条件得到模拟结果。由于九江地区降雨较多,产生的雨水冲刷污染量较大,面源污染各指标年排放总量约为点源污染年排放量的 1.2 倍,污染负荷较高。

根据研究区外源污染模拟结果可知:琵琶湖入湖污染多为面源污染,约占总污染负荷的 55%;1#和 2#排污口为研究区的主要污染源,约占总污染负荷的 71%。依据分析,琵琶湖在治理时应加强径流污染控制措施,重点治理 1#、2#排污口。

3.2 水环境容量计算

琵琶湖库容约 $78.9 \times 10^4 \text{ m}^3$,无外界输入时,以地表Ⅳ类水质作为目标水质,计算湖区本底环境容量,结果见表 5。

表 5 本底环境容量与入湖水体环境容量

Tab.5 Background environmental capacity and influent environmental capacity of the lake body

污染指标	地表Ⅳ类水质/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	本底环境 容量/kg	入湖水体 环境容量/kg	湖区总环境 容量/kg	污染物降解量(按 5%计)/kg	目标水质 环境容量/kg
COD	30	23 670	315 330	339 000	16 950	355 950
BOD ₅	6	4 734	63 066	67 800	3 390	71 190
NH ₃ -N	1.5	1 183.5	15 766.5	16 950	847.5	17 797.5
TN	1.5	1 183.5	15 766.5	16 950	847.5	17 797.5
TP	0.1	78.9	1 051	1 130	56.5	1 186.5

琵琶湖入湖水体为市政管网排水和天然降雨。其中,市政管网入湖水量即 7 个排污口的水量,根据非降雨条件下 7 个排污口多年实测平均流量,计算市政管网入湖总量约为 $319.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ (见表 6);天然降雨量为降雨条件下,直接入湖的降雨量和经管网系统入湖的地表径流量,多年平均降雨量按 1 412

mm 计,根据模型计算年均降雨直接入湖量约 $93.7 \times 10^4 \text{ m}^3$,按地表径流系数 0.4、汇水区域 11.3 km^2 计,根据模型计算径流雨水通过管网及地表径流方式汇入琵琶湖的水量约 $638.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

因此,研究区的入湖总水量约为 $1\,051.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

表 6 市政管网排口入湖水量

Tab.6 Amount of lake water discharged from municipal pipe network

排污口	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	总计
年均流量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	14.37	1.04	54.64	152.3	113.07	3.80	25.17	364.39
年入湖总量/ m^3	125 894	9 073	478 671	1 334 148	990 506	33 266	220 502	3 192 060

根据研究区全年入湖总水量,计算污染指标 COD、BOD₅、NH₃-N、TN 和 TP 对应的环境容量,同时,琵琶湖污染物降解量按 5% 计,得出污染指标对应的目标水质环境容量。

在上述 5 个污染指标中,COD 环境容量最大,为 339 000 kg,是重点治理指标。

4 污染物削减控制工程方案设计

4.1 污染物削减量计算

模拟研究区现状污染负荷,并对比目标水质负荷,发现 7 个排污口均存在污染物严重超标情况。

其中,2#排污口污染指标均严重超标,COD 和 BOD₅ 排放量分别达到 347 103.70、126 254.00 kg/a,排放量较地表Ⅳ类水质超标倍数分别达到 424、772 倍;5#排污口污染最小,仅 TN 和 TP 超标,排放量分别为 5 143.50、307.92 kg/a,排放量较地表Ⅳ类水质超标倍数分别为 0.15、0.04 倍。

现状污染总负荷与环境容量对比结果、削减量见表 7。可知:研究区内水质已达到地表水Ⅳ类标准,对 COD、BOD₅、NH₃-N、TN 和 TP 的削减率分别为 43.35%、68.72%、64.22%、79.53% 和 64.75%。

表7 研究区现状污染负荷与削减率

Tab.7 Current pollution load and reduction rate in the study area

污染指标	现状污染负荷/kg	环境容量/kg	需削减总量/kg	削减率/%
COD	628 367.13	355 950	272 417.13	43.35
BOD ₅	227 592.11	71 190	156 402.11	68.72
NH ₃ -N	49 737.34	17 797.5	31 939.84	64.22
TN	86 936.96	17 797.5	69 139.46	79.53
TP	3 366.18	1 186.5	2 179.68	64.75

4.2 工程方案设计

本工程污染削减方案采用“控源截污、内源治理、活水提质、景观提升”的技术路线^[16],通过截污工程控制污染源头;通过生态清淤工程治理内源污染;通过补水活水工程提升水质;通过景观工程将琵琶湖打造为城市郊野公园。

① 控源截污工程

为削减琵琶湖外源污染,新建4座初雨调蓄池用以收集研究区内外源污染产生的污水,非降雨期管网污水经调蓄池加压后进到水质净化站;降雨期超出调蓄池容积的污水直排入湖。根据目前部分国内城市建立的雨水污染物冲刷模型计算,结合取样分析雨水中污染物浓度与降雨量的指数关系,路面初期雨水净雨量为6 mm能去除面源污染中70%~80%的污染物总量,同时结合《室外排水设计规范》(GB 50014—2006,2016年版)中初雨调蓄池的调蓄量按照降雨量计可取4~8 mm,综合以上因素,研究区4座调蓄池截流初雨深度均按6 mm计;调蓄池的水经由泵站提升后排入临近市政管网,设置泵站最大日提升能力为调蓄池容积的1/5,即排空时间为5 d。调蓄池位置和规格参数分别见图5和表8。



图5 截污工程示意

Fig.5 Schematic diagram of sewage interception project

表8 调蓄池规格参数

Tab.8 Specification parameters of storage tank

调蓄池	控制排污口	汇水面积/km ²	径流系数	截流初雨量/m ³	池容/m ³
Y1	1#、7#	3.3	0.45	9 900	10 000
Y2	2#、3#、4#	4.5	0.45	12 150	13 000
Y3	5#	2.6	0.40	6 240	6 500
Y4	6#	0.9	0.60	3 240	3 500

② 水质净化站工程

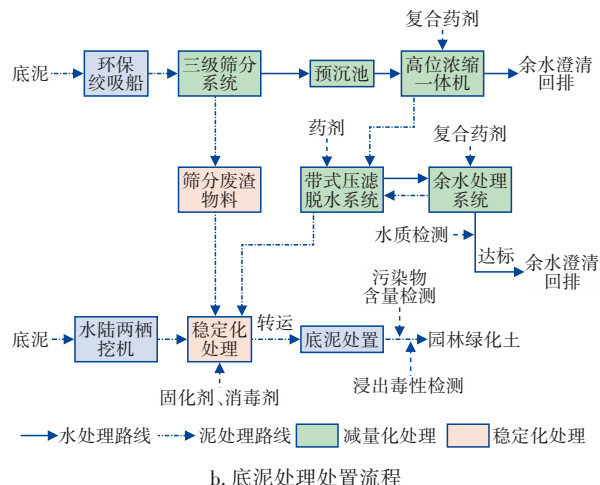
水质净化站主要处理截污工程截流的污水,处理规模为 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,污水处理采用预处理+MBR+臭氧紫外催化氧化工艺,出水主要指标达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)类Ⅳ类标准,出水进入湿地净化处理后排入琵琶湖。

③ 生态清淤工程

生态清淤工程平面图和底泥处理处置流程图见图6。



a. 生态清淤工程平面图



b. 底泥处理处置流程

图6 生态清淤工程平面图和底泥处理处置流程

Fig.6 Ecological dredging project plan and flow chart of sediment treatment and disposal

本工程用以削减琵琶湖内源污染,根据现场情况将研究区底泥分为原位生态修复和异位修复治理两部分。原位生态修复区域包括围绕南湖输油管线、蒸汽管线桥墩基础南北两侧10 m区域和沿湖自然岸坡10 m区域,采用微生物处理技术降低底泥污染,修复面积约8 hm²;湖区其他区域采用异位修复治理技术(即机械清淤)。本工程生态清淤深度为0.4~0.8 m(深清淤区域1.0~1.2 m),清淤面积约24.2 hm²,总清淤量约14.95×10⁴ m³;清淤底泥通过减量化与稳定化处理后,浸出毒性满足《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》(GB 5085.3—2007)要求,回填至郊野赏花区,作为景观园林绿化土,实现安全回用,不会引起二次污染^[2]。

④ 补水活水及生态修复工程

湖泊最小生态需水量是指特定时段内为保证湖泊生态系统稳定,确保湖泊生物多样性、湖泊生态功能的正常发挥所必需的最小水量。通过水环境容量和水质净化模型论证,本工程最小生态蓄水量为1.5×10⁴ m³/d,琵琶湖年均蓄水量约90×10⁴ m³,换水周期60 d,需要对湖区开展补水和生态修复工程。本工程一方面利用水利设施调控引入琵琶湖附近的清洁水源,改善湖泊水动力学条件,增强水中污染物扩散、净化和输出作用,快速缓解水体污染物,改善水质;另一方面采取措施将已经退化的琵琶湖水生态系统进行恢复和修复,使其达到原有水平或超过原有水平,并保持水质长久稳定。

本工程补水水源包括水质净化站-人工湿地出水(1.5×10⁴ m³/d)、电厂循环冷却水(2 255 m³/d)和间接引用长江水;工程措施包括沿湖布设复合纤维浮动湿地3 500 m²,利用植物根系、微生物净化水质;在水体含氧量较低的区域共设置6台水体复氧-兆气泡水质净化系统,在增加溶解氧、加快有机物分解的同时,有效控制夏季湖泊藻类生长;在西北角设置一套应急处理装置,规模1 000 m³/d,以应对湖区北部区域突发污染情况;在东南角设置1台水体自净能力提升装置,规模2 500 m³/d,在强制循环湖区水体的同时应对南部区域突发污染情况。

⑤ 景观提升工程

以“韵、趣、闲”为设计主题,将琵琶湖分为郊野赏花区、生态湿地区、滨水休闲区这三个功能区,从而将其打造成一个集观赏、生态、休闲为一体的城市郊野湿地公园。其中,韵-郊野赏花区,功能是琵琶湖门户景观,位于研究区东南角,琴湖大道与长虹东路围合,占地4.5 hm²;趣-生态湿地区,用以湿地观赏科普,位于研究区西侧,占地12.6 hm²,采用水平潜流湿地,用于处理水质净化站出水和电厂循环冷却水沉淀池外排水,有效占地约2.2 hm²,总水量约1.7×10⁴ m³/d;闲-滨水休闲区,功能是文化休闲,位于研究区北侧,占地2 hm²。

4.3 目标可达性分析

根据模型模拟结果,工程建设前、后污染物排放量对比见表9。

表9 工程建设前、后污染物排放量对比

Tab.9 Comparison of pollutant discharge before and after construction

kg·a⁻¹

调蓄池编号		Y1	Y2				Y3	Y4	Y1	总计
排污口		1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#		
现状排放量	COD	100 637.00	347 103.70	51 322.43	76 601.21	33 619.70	757.15	18 325.93	628 367.13	
	BOD ₅	35 119.12	126 254.00	18 889.09	28 397.46	12 002.55	264.08	6 665.89	227 592.13	
	NH ₃ -N	6 537.40	1 358.43	1 195.30	36 451.18	1 650.83	240.81	2 303.40	49 737.35	
	TN	10 043.73	1 789.86	4 309.26	60 282.19	5 143.50	343.49	5 024.95	86 936.98	
	TP	700.06	52.12	756.17	1 151.13	307.92	14.77	384.01	3 366.18	
工程建设后排放量	COD	7 386.76	106 803.81	7 410.96	3 929.64	1 479.27	141.66	5 528.93	132 681.03	
	BOD ₅	2 219.53	26 525.95	1 915.35	1 246.65	426.09	37.39	1 501.82	33 872.79	
	NH ₃ -N	412.51	49.99	61.80	1 031.57	44.41	34.53	286.77	1 921.58	
	TN	824.59	179.52	340.43	1 874.78	229.40	65.19	1 075.84	4 589.76	
	TP	62.73	29.60	74.56	60.89	6.31	0.69	53.76	288.54	
Ⅳ类水对应污染物 容纳量	COD	11 330.43	816.56	43 080.43	120 073.32	89 145.51	2 993.95	19 845.15	287 285.35	
	BOD ₅	2 266.09	163.31	8 616.09	24 014.66	17 829.10	598.79	3 969.03	57 457.07	
	NH ₃ -N	566.52	40.83	2 154.02	6 003.67	4 457.28	149.70	992.26	14 364.28	
	TN	566.52	40.83	2 154.02	6 003.67	4 457.28	149.70	992.26	14 364.28	
	TP	37.77	2.72	143.60	400.24	297.15	9.98	66.15	957.61	

由表9计算可知:COD、BOD₅、NH₃-N、TN和TP的削减率分别为79%、85%、96%、95%和91%,达到预期削减目标。

工程建设后COD、BOD₅、NH₃-N、TN和TP五项污染指标年度排放总量均低于目标水质污染物排放总量,差值分别为154 604.32、23 584.28、12 442.7、9 774.52和669.07 kg/a,表明研究区污染指标排放量基本满足地表Ⅳ类水排放要求,污染控制效果较好,可以达到目标要求。但2#排污口的5项指标、1#排污口的TN和TP、7#排污口的TN超出目标水质对应排放量,原因在于1#、2#和7#排污口分别为生活污水排口、浔阳区垃圾中转站排口和农贸市场排口,排放的生活污水和垃圾渗滤液污染物浓度大,污染物浓度高于地表Ⅳ类水质限值。

5 结语

以九江市的琵琶湖为研究对象,以外源污染分析→外源污染负荷计算→水环境容量及削减量计算→工程方案设计→可达性分析为主线,提出一套适用于琵琶湖污染物削减控制的工程方案。本项目分项工程包括截污工程、水质净化站工程、生态清淤工程、补水活水及生态修复工程和景观提升工程等。依据模型模拟结果,研究区在完成上述分项工程后,湖区水质明显改善,全年污染物排放总量达到地表水Ⅳ类要求,水质得到提升,达到预期目标。

结合分析和勘察情况,提出以下2项外源污染削减控制措施:①加强雨污分流建设。琵琶湖周边现状管网多为雨污合流,降雨时易造成合流制溢流污染,难以发挥水质净化站的处理能力,应加强雨污分流措施。②加强市政管网与水质净化站间的连接能力。现状条件下,污水经调蓄池加压后送入水质净化站,若调蓄池满负荷,则污水直排入湖会影响湖区水质,故应加强市政管网与水质净化站的连接能力,使污水直入水质净化站,不占用调蓄池容积,降雨条件下调蓄池则最大限度收集初期雨水。

参考文献:

- [1] 唐琪. 南方城市景观水体外源污染削减及生态改善技术研究——以扬州曲江及关联河段为例[D]. 扬州: 扬州大学, 2013.
- TANG Qi. Exogenous Pollution Reduction and

Ecological Improvement for Southern Urban Landscape Water—with Yangzhou Qujiang Lake and Its Association for Example[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2013 (in Chinese).

- [2] 向莹,张鸿涛,高宏洲,等. 九江市琵琶湖底泥环境特征与生态清淤工程[J]. 中国给水排水, 2021, 37(14):142-150.
- XIANG Ying, ZHANG Hongtao, GAO Hongzhou, et al. Sediment environmental characteristics and ecological dredging project of Pipa Lake in Jiujiang [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(14): 142-150 (in Chinese).
- [3] 陈小龙,赵冬泉,盛政,等. Digital Water在城市排水防洪规划中的应用[J]. 中国给水排水, 2015, 31(21): 105-108.
- CHEN Xiaolong, ZHAO Dongquan, SHENG Zheng, et al. Application of Digital Water simulation system in urban flood control planning [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(21):105-108(in Chinese).
- [4] 强小飞. 基于Digital Water的城市内涝风险评估及源头控制的可行性研究——以青岛市A地块为例[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2019.
- QIANG Xiaofei. Study on the Assessment of Urban Waterlogging Risk and Source Control Based on Digital Water—A Case in District A of Qingdao [D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2019(in Chinese).
- [5] 文淇. 举水麻城段入河污染负荷及水环境容量研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2019.
- WEN Qi. Study on Pollution Loads and Water Environmental Capacity in Macheng Section of Jushui River [D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2019(in Chinese).
- [6] 周艳娇. 大庆市五湖地区环境容量研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
- ZHOU Yanjiao. Study on Environmental Capacity of Five Lakes District in Daqing [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2007(in Chinese).
- [7] 喻良,刘遂庆,王牧阳. 基于水环境模型的水环境容量计算的研究[J]. 河南科学, 2006, 24(6):874-876.
- YU Liang, LIU Suiqing, WANG Muyang. Research on SMS-based water environment capacity [J]. Henan Science, 2006, 24(6):874-876(in Chinese).
- [8] 阎非,苏保林,贾海峰. 基于排污口权重的一维河流环境容量计算[J]. 水资源保护, 2006, 22(2): 16-18,22.
- YAN Fei, SU Baolin, JIA Haifeng. Calculation of water

- environmental capacity for one-dimensional river based on weight of sewage outfall [J]. *Water Resources Protection*, 2006, 22(2):16-18, 22(in Chinese).
- [9] 孙冬梅,程雅芳,冯平. 海河干流汛期动态水环境容量计算研究[J]. *水利学报*, 2019, 50(12):1454-1466.
- SUN Dongmei, CHENG Yafang, FENG Ping. Study on dynamic water environmental capacity of mainstream of Haihe River in flood season [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2019, 50(12):1454-1466(in Chinese).
- [10] 马雪鑫. 乌梁素海水环境容量分析[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2019.
- MA Xuexin. Analysis of Water Environmental Capacity of Wuliangsuhai Lake [D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2019 (in Chinese).
- [11] 孙孝天. 城市面源污染计算及削减措施研究——以合肥市王建沟流域为例[D]. 合肥:安徽建筑大学, 2020.
- SUN Xiaotian. Study on Calculation and Reduction Measures of Urban Non-point Source Pollution Load — Taking Wangjiangou Watershed in Hefei as an Example [D]. Hefei: Anhui Jianzhu University, 2020 (in Chinese).
- [12] 吕马飞,朱晓娟,王婷婷,等. 基于TMDL理念的流域排口污染物削减研究[J]. *华北水利水电大学学报(自然科学版)*, 2020, 41(2):18-23.
- LÜ Mafei, ZHU Xiaojuan, WANG Tingting, *et al.* Study on pollutant reduction of drainage outlet based on TMDL concept [J]. *Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition)*, 2020, 41(2):18-23(in Chinese).
- [13] 许婷婷. 基于Digital Water的华南某城区内涝成因分析及改造措施探讨[D]. 长沙:湖南大学, 2018.
- XU Tingting. Analysis on the Causes of Waterlogging and Discussion on the Reform Measures in an Urban Area of Southern China Based on Digital Water [D]. Changsha: Hunan University, 2018(in Chinese).
- [14] 江伟,楼宇锋. 基于SWMM的低影响开发污染削减效果模拟研究[J]. *能源环境保护*, 2020, 34(1):103-108.
- JIANG Wei, LOU Yufeng. Simulation of pollution reducing effect of different low impact development layouts based on SWMM [J]. *Energy Environmental Protection*, 2020, 34(1):103-108(in Chinese).
- [15] 毛旭锋,魏晓燕,陈琼. 人工湿地对湖泊外源污染削减过程及效率分析[J]. *中国农村水利水电*, 2015(3):64-67.
- MAO Xufeng, WEI Xiaoyan, CHEN Qiong. Purification processes and efficiency of constructed wetlands for lake exogenous pollutants [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2015(3):64-67(in Chinese).
- [16] 刘曙光,回振全,代朝猛,等. 低影响开发对城市径流污染的削减作用研究进展[J]. *人民长江*, 2019, 50(6):11-14, 33.
- LIU Shuguang, HUI Zhenquan, DAI Chaomeng, *et al.* Influence of low impact development (LID) facility modules on urban runoff pollution reduction: a review [J]. *Yangtze River*, 2019, 50(6):11-14, 33 (in Chinese).

作者简介:向莹(1990-),女,陕西西安人,硕士,工程师,主要从事水环境综合治理工作。

E-mail:124331907@qq.com

收稿日期:2021-03-02

修回日期:2021-04-29

(编辑:衣春敏)

尊法学法守法用法, 治水管水兴水护水