

基于TMDL的金山湖水环境治理模拟耦合计算与实践

刘绪为¹, 胡坚², 王浩正¹, 张磊¹, 白永强¹

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381; 2. 镇江市住房和城乡建设局, 江苏 镇江 212000)

摘要: 参照国内外水质管理的技术手段, 镇江市提出了运用最大日负荷总量(TMDL)理念治理金山湖水环境的思路, 以湖泊富营养化代表性指标总磷作为水质评价因子, 梳理排水管网、排口及面源污染的现状, 利用金山湖水环境模型耦合计算手段, 科学制定总磷排放的管控方案。模拟计算得出, 通过控制排口的排放流量, 将排入金山湖的总磷污染负荷削减2.63 t/a, 可有效实现金山湖水环境治理目标。

关键词: 水环境治理; 最大日负荷总量; 水质评价指标; 金山湖

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)01-0105-05

Simulated Coupling Calculation and Practice of Water Environment Treatment in Jinshan Lake Based on Total Maximum Daily Load

LIU Xu-wei¹, HU Jian², WANG Hao-zheng¹, ZHANG Lei¹, BAI Yong-qiang¹

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China; 2. Zhenjiang Housing and Urban-Rural Development Bureau, Zhenjiang 212000, China)

Abstract: The idea of using the total maximum daily load (TMDL) to control the water environment of Jinshan Lake in Zhenjiang City was proposed by referring to the technical means of water quality management at home and abroad. The total phosphorus, a representative indicator of lake eutrophication, was proposed as a water quality evaluation index. The present situation of the pipe network, outlet and non-point source pollution was sorted out, and the control scheme of total phosphorus discharge was scientifically formulated by means of coupling calculation of Jinshan Lake water environment model. It was found that the water environmental control target of Jinshan Lake could be effectively achieved if the discharged total phosphorus load was decreased by 2.63 t per year through controlling discharge flow.

Key words: water environment treatment; total maximum daily load (TMDL); water quality evaluation index; Jinshan Lake

金山湖是镇江市的应急备用水源地, 其水质优劣关系到城区居民的饮用水安全与否。近年来, 由于合流制排水和雨水径流直排至金山湖, 导致金山湖水体出现富营养化现象, 甚至出现蓝藻水华状况。因此, 近年来镇江市积极推进水环境治理工作。目前, 采用污染物总量控制策略对水体水质的改善效果显著, 即从点源和非点源污染现状出发, 基于最大

日负荷总量(TMDL)理念, 在满足水质标准的条件下, 采取适当的污染控制措施来保证目标水体接受的污染物不超过最大日负荷量, 可为流域水质管理提供切实有效的理论方法和科学依据。笔者基于TMDL理念阐述了镇江市金山湖水环境治理的技术流程, 通过水环境耦合模型计算水环境容量及污染负荷, 旨在为实际治理工程规模提供设计依据和技

术支撑。

1 基础模型构建流程

1.1 排水管网系统拓扑结构搭建与简化

根据研究区域实际管网拓扑结构和空间数据,合理简化支管、概化短管,形成模型可利用的管网数据^[1],排水管网系统拓扑关系如图1所示。排水管网系统拓扑结构的搭建规则如下:①针对管段孤立的情况,检查、核实就近上下游有无节点;②针对管段缺失的情况,结合上下游管段信息补充缺失管段信息;③针对参数缺失的情况,进行现场勘测或者简化处理;④针对管道反向的情况,通过上下游分析查询并修改;⑤针对管道逆坡的情况,核实实际存在的逆坡,修正错误数据;⑥针对无附属设施连接关系的情况,现场核实泵、堰及排口等附属设施与管网系统的空间关系。

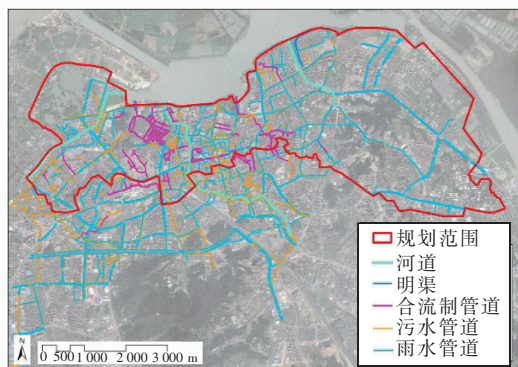


图1 排水管网系统拓扑关系

Fig. 1 Topology of drainage network system

1.2 汇水区划分

研究区域的汇水区划分情况如图2所示。

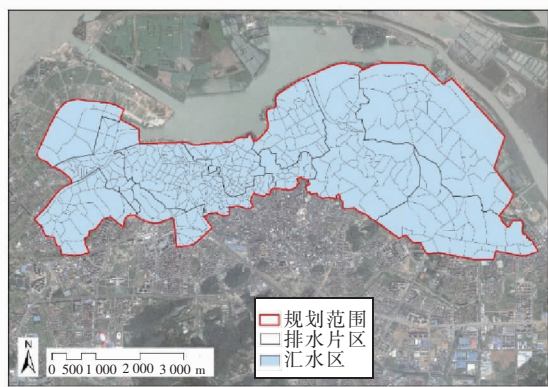


图2 汇水区划分示意

Fig. 2 Division map of catchment

考虑研究区域水文参数和管网服务范围的空间

差异,需将区域划分为汇水区进行研究,城市由于已开发的区域和未开发的自然区域共同存在,需要综合数字高程模型(DEM)和搭建的排水管网系统进行详细的汇水区划分。DEM流域划分:通过GIS的水文分析,划分具有分水岭的汇水区边界;排水管网系统划分:根据街道下敷设的市政管网划分以建筑为单元的汇水区。

1.3 模拟参数的识别和建立

结合排水管网系统和汇水区,对汇水区进行下垫面解析、对排水管网系统进行规则控制、对旱流污水进行分配、设置面源污染参数^[2]、设置边界参数和选择降雨情景。模型参数的识别手段见表1,下垫面解析、排水系统控制规则、旱流污水日变化曲线见图3~5。

表1 模型参数的识别手段

Tab. 1 Identification methods of model parameters

模拟参数		识别手段
下垫面解析	汇水区面积/流长	GIS 空间统计
	汇水区坡度	GIS 表面分析
	汇水区不透水百分比	GIS 下垫面监督分类,利用光谱特征对下垫面分类
附属设施运行规则	泵站	调研泵站性质、水泵工作曲线及启停水位
	堰	测量堰顶标高及宽度
旱流污水		测定小区居民生活污水的日变化曲线
面源污染	湿沉降浓度	依据《镇江市面源污染控制研究课题——镇江市面源污染的特征及排放总量》
	累计冲刷系数	实测降雨率定后参数
接纳水体水位		水文站测量数据
降雨情景		24 h 降雨历时 P. C. 雨型分布



图3 下垫面解析示意

Fig. 3 Analytical diagram of underlying surface

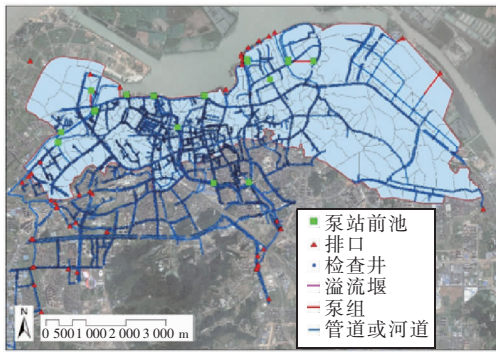


图4 排水系统控制规则

Fig.4 Drainage system control rules

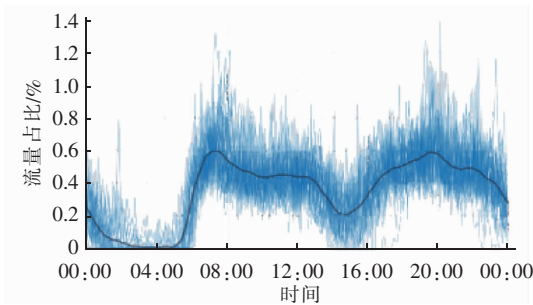


图5 旱流污水日变化曲线

Fig.5 Diurnal variation curve of dry flow sewage

1.4 模型的关联耦合

根据汇水区和排水管网系统构建水文和水动力耦合模型,再结合输出的排口污染物负荷与金山湖水水质稳态质量平衡分析法进行耦合,通过金山湖水环境容量推算出需要控制的污染负荷。

2 TMDL理念在金山湖水环境治理中的实践

TMDL计划是国际上最具代表性的流域技术体系^[3],基于“总量控制”的污染物负荷削减及径流控制的思路,从水环境保护目标出发,以受纳水体对某种污染物的最大允许排放量为依据,确定污染物的最大排放负荷,从而对污染源进行有效管控。TMDL的实施步骤如下:问题识别与功能用途→确定水质管理区→调查污染源→计算水环境容量→分配污染负荷。

2.1 问题识别与功能用途

监测水体水质指标,明确现状水质存在的问题;水体定位,明确水体功能要求。

镇江水质监测站对金山湖水质的监测结果表明,金山湖全年长时间呈现富营养状态,因此,常采用引长江水对金山湖进行生态补水的措施来改善水质,但根据2015年长江科学院发布的长江中、下游

磷营养盐的分布特征,长江镇江段TP浓度上游为0.24 mg/L、下游为0.25 mg/L,引长江水的措施对提高金山湖TP的水环境容量并无作用;金山湖作为应急备用水源地,其TP浓度明显高于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中湖泊Ⅲ类水质标准限值(0.05 mg/L),因此,需通过削减TP污染负荷实现金山湖水环境治理目标。

2.2 确定水质管理区

明确水体治理范围边界,并掌握水质管理区的地形特征。

金山湖是由长江主泓道北移,南淤北蚀而形成的牛轭湖,也是城区运粮河、古运河和虹桥港的受纳水体,常年水域面积为6.55 km²,丰水期水域面积可达8.8 km²。另外,金山湖与长江通过引航道连接,通过闸进行引水换水,水位常年稳定在3.8~4.2 m,金山湖水水质管理区及湖底高程分布见图6。

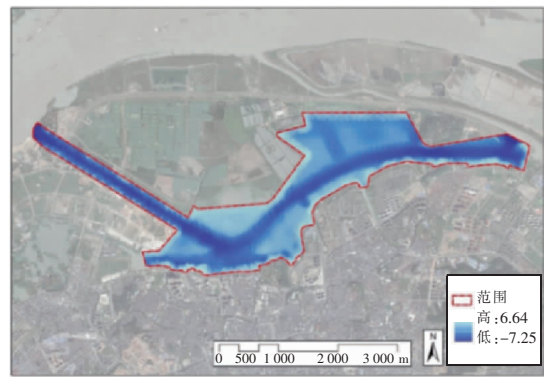


图6 金山湖水水质管理区及湖底高程分布

Fig.6 Water quality management area and lake bottom elevation distribution of Jinshan Lake

2.3 调查污染源

明确水体治理范围内污染源数量、类型及位置,确定污染负荷及水质评价因子;根据监测的水质数据,确定代表性强的评价因子作为控制因素。

在非排涝工况下,古运河及运粮河西段水体不与金山湖连通;当需要改善运粮河和古运河水质时,利用运粮河闸、京口闸与金山湖进行引水换水。通过梳理档案及调研现场,整理出金山湖沿线污染源排口分布,如图7所示,金山湖水水质管理区采用SWMM模型模拟合流制溢流排口、雨水排口和河口的污染负荷。

湖泊水质恶化通常表现为富营养化,而氮、磷是影响湖泊藻类生长的主要养分,根据谢家国等人采

用综合营养状态指数法(TLI)对金山湖水质的评估,发现TP为污染物第一主成分因子^[4]。再结合阿尔塔蒙特水库案例中评价因子的选择^[5],金山湖TMDL计划确定以TP作为水质评价指标。

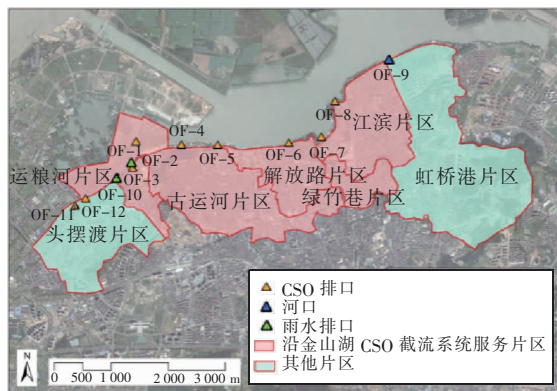


图7 金山湖服务范围内各类型排口分布情况

Fig. 7 Distribution of outlets within the service scope of Jinshan Lake

将实测数据输入SWMM模型,模拟统计分析金山湖沿线各排口的排放流量及TP排放量。其中,CSO排口共9处,年均溢流量为 $701.29 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、年均TP排放量为3.90 t;雨水排口共2处,年均径流量为 $45.19 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、年均TP排放量为0.26 t;河口1处,年均流量为 $338.06 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、年均TP排放量为1.90 t。金山湖水质管理区所有排口的年均排放流量合计为 $1\,084.54 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、年均TP排放量合计为6.06 t。

2.4 计算水环境容量

明确以环境质量标准为基础,并结合自然特征可承受的最大污染物负荷,即水环境容量;采用稳态质量平衡分析法,计算金山湖水环境容量,使用输入系数或观测数据计算进入水体的负荷,并根据污染物的归趋及转输计算相应的水体浓度。该方法在考虑所有输入和损失后,确定水质达标所承受的最大污染负荷。

金山湖的TP水环境容量通过TP的平衡方程计算:

$$V \frac{dp}{dt} = W - K_s p V - Q_p \quad (1)$$

$$K_s = \frac{v_s}{H} \quad (2)$$

$$V = A_s H \quad (3)$$

式中: V 为金山湖的容积, m^3 ; p 为金山湖中的

TP浓度, mg/L ; W 为排入金山湖的TP量, t/a ; K_s 为TP的总消耗率, $1/\text{a}$; v_s 为TP的沉降速率,取 10 m/a ; H 为金山湖的水深, m ; A_s 为金山湖的表面积, m^2 ; Q_p 为排出金山湖的TP量, t 。其稳态解为:

$$p = \frac{W}{Q + v_s A_s} \quad (4)$$

式中: Q 为进入金山湖的流量, m^3/a 。

金山湖的水质控制目标为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅲ类水质标准,即TP浓度需控制在 0.05 mg/L 以内。因此,通过TP稳态平衡方程,若要金山湖的水质达到控制目标,每年需控制排入金山湖的TP量不超过3.82 t。

2.5 分配污染负荷

依据排口所属汇水区,结合汇水区现状特征,合理分配汇水区允许排放的污染负荷量;根据汇水区工程的可行性、落地性和经济性综合分配污染负荷。

金山湖的TP水环境容量为 3.82 t/a ,根据EPA推荐的安全临界值(MOS)为TMDL的5%~10%,取MOS/TMDL为10%,则TP水环境容量的安全临界值(MOS)为 0.38 t/a 。由于面源污染均通过排口方式集中排放,因此,与金山湖污染直接相关的污染源均可当作点源形式,则需要控制允许排入金山湖的点源污染负荷(WLAs)为 3.44 t/a 。经现场调研后发现,OF-9~OF-12这4个排口难以进行收集处理,经模拟计算这4个排口排入金山湖的年均TP污染量为 2.93 t/a ;OF-1~OF-8这8个排口可以进行收集、净化处理,则这8个排口排入金山湖的年均TP污染量不能超过 0.51 t/a ,才能满足金山湖水环境容量要求。

根据TMDL计划分配污染负荷的结果,结合模型模拟得出OF-1~OF-8这8个排口的溢流量分别为 42.50×10^4 、 6.30×10^4 、 8.72×10^4 、 62.90×10^4 、 150.90×10^4 、 138.90×10^4 、 49.20×10^4 、 $99.50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,合计为 $558.92 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$;排入金山湖的TP污染量分别为0.26、0.03、0.05、0.34、0.78、0.81、0.28、0.60 t/a,合计为 3.14 t/a ,根据金山湖水环境容量要求,则这8个排口需要削减的TP排放总量为 2.63 t/a 。在此,将径流污染控制量折算为径流控制量,以便于系统工程规模设计。通过年均降雨浓度(AMC)进行径流污染及径流量的计算,得出TP的AMC值为 0.56 mg/L 。在此基础上计算得到,本工程需控制的径流量为 467.82×10^4

m^3/a ,仅允许 $91.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 的径流量进入金山湖。在对应服务片区年均降雨量为 $1\,047.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 时,计算得出本工程需满足其服务片区内的年径流总量控制率为 91.3%,其对应服务片区的日设计降雨量为 60 mm。在设计降雨量为 60 mm 的 P. C. 雨型分布情景下进行水质水力模拟,根据沿金山湖各排口流量之和过程线,得出总流量为 $26.82 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

综上所述,以 TMDL 作为管控手段,结合现场调研的评估结果,再依据模型模拟计算手段,每年需控制金山湖 OF-1~OF-8 排口的排放量为 $467.82 \times 10^4 \text{ m}^3$,年径流总量控制率为 91.3%,TP 污染负荷削减量为 2.63 t/a,可实现金山湖水水质目标要求。

3 结论

我国水环境正面临严峻的污染问题,制定科学、合理且有效的治理方针,是解决水环境污染问题的根本。基于 TMDL 的“总量控制”理念,是水环境长治久清的重要治理思路。将模型与计算的耦合作为实施 TMDL 计划的辅助决策手段,可为工程规模提供量化依据。在镇江金山湖水环境治理工程中,运用 TMDL 手段,将 TP 作为污染物负荷的评价因子,通过控制排口排放流量,削减 2.63 t/a 的 TP 污染负荷可实现金山湖水水质目标。

参考文献:

- [1] 陈吉宁,赵冬泉. 城市排水管网数字化管理理论与应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.
Chen Jining, Zhao Dongquan. Digital Management of Urban Drainage Network: Theory and Applications[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010 (in Chinese).
- [2] 穆军伟,王耀增,杜德庆. 镇江市城市面源污染控制策略研究[J]. 环境与可持续发展,2018,43(3):31-33.
Mu Junwei, Wang Yaozeng, Du Deqing. Study on control strategies of urban non-point source pollution in Zhenjiang [J]. Environment and Sustainable Development, 2018, 43 (3): 31-33 (in Chinese).
- [3] 徐宗学,徐华山,吴晓猛. 流域 TMDL 计划中的关键技术[J]. 水利水电科技进展,2014,34(1):8-13.
Xu Zongxue, Xu Huashan, Wu Xiaomeng. Key technologies of total maximum daily load (TMDL) plan for river basin[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2014, 34(1): 8-13 (in Chinese).
- [4] 谢家国,陈军静,陈志刚,等. 金山湖水体水质评价及主导因子研究[J]. 四川环境,2014,33(5):72-76.
Xie Jiaguo, Chen Junjing, Chen Zhigang, et al. Water quality evaluation and predominant factor study of Jinshan Lake[J]. Sichuan Environment, 2014, 33(5): 72-76 (in Chinese).
- [5] 美国环境保护局. 美国 TMDL 计划管理模型实施实践[M]. 王东,赵越,徐敏,等译. 北京:中国环境科学出版社,2012.
US EPA. TMDL Model Evaluation and Research Needs [M]. Translated by Wang Dong, Zhao Yue, Xu Min, et al. Beijing: China Environmental Science Press, 2012 (in Chinese).



作者简介:刘绪为(1984-),男,天津人,硕士,高级工程师,注册设备给排水工程师,注册咨询(投资)工程师,主要从事市政给排水、海绵城市建设、水环境治理等方面的研究和设计工作。

E-mail: liuxuwei06@foxmail.com

收稿日期:2019-08-12