

秦淮河流域水生态(环境)调度研究

邵园园, 戴庆云, 蒋 涛, 房晓玲

(江苏省秦淮河水利工程管理处, 江苏 南京 210001)

摘要:在确保秦淮河流域防洪与供水安全的前提下,研究流域骨干河道的生态基流和生态水位,构建流域骨干河道水量——水环境耦合数学模型,探讨流域水生态与水环境科学调度模式,提升流域水利工程综合调度管理水平,发挥秦淮河水利工程综合效益。

关键词:秦淮河流域;骨干河道;生态基流;调度

中图分类号:TV21

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2020)12-0044-04

Study on water ecological (environmental) regulation in Qinhuai River Basin

SHAO Yuanyuan, DAI Qingyun, JIANG Tao, FANG Xiaoling

(Qinhuai River Hydraulic Project Management Division of Jiangsu Province, Nanjing 210001, China)

Abstract: Under the premise of ensuring the safety of flood control and water supply in the Qinhuai River Basin, the ecological base flow and ecological water level of the main channels in the basin were studied, a mathematical model of the water volume – water environment coupling were constructed, the scientific regulation mode of water ecology and water environment in the basin were discussed, the comprehensive management level of water conservancy projects in the basin were improved, so as to give play to the comprehensive benefits of the Qinhuai River water conservancy projects.

Key words: Qinhuai River Basin; main channel; ecological base flow; regulation

1 研究背景

秦淮河是中国长江下游右岸支流,是由东向西横贯南京主城区的骨干河流,由于城区人口增加,基础设施建设相对滞后,导致秦淮新河和外秦淮河的节制闸、铁心桥和七桥瓮等“水十条”考核断面水质波动较大^[1]。

秦淮河流域自 2005 年起实施生态调水工程,利用秦淮新河水利枢纽引水(节制闸自引或泵站抽引),流经外秦淮河由三汊河口汇入长江。15 年来的生态调水工程实践表明,调水引流是提高水体自净能力、改善流域水环境质量、保障水生态安全的重要举措,对保障国控断面、省控断面水质达标具有重要作用^[2]。

因此,在确保秦淮河流域防洪与供水安全的前提下,研究流域骨干河道的生态基流和生态水位,研究流域水生态科学调度模式,对完善流域综合调度体系、保障流域的重要控制断面水质达标具有重要意义^[3]。

2 研究区概况

2.1 研究区水系及水利工程分布

研究区包括秦淮河流域前埠村水文站下游的秦淮河干流、秦淮新河及外秦淮河沿线地区,为树状河网区域,共计 531.2 km²,分布有秦淮新河入江口秦淮新河水利枢纽、外秦淮河武定门闸和下游入江口三汊河口闸等水利工程。

秦淮河干流前埠村至河定桥段,全长 11.4 km,

收稿日期:2020-09-09

作者简介:邵园园(1986—),女,高级工程师,硕士,主要从事水利工程管理工作。E-mail: shaoyy820@163.com

有方山沟、云台山河、牛首山河和外港河汇入;秦淮河干流至河定桥分为 2 支,北支为秦淮河,从河定桥至三汊河口,过通济门外与护城河汇流,绕南京城南、城西至三汊河口入长江,有响水河、运粮河、友谊河及南河汇入,全长 23.6 km,其中武定门闸以下 12.8 km 称为外秦淮河;西支为秦淮新河,从河定桥经南京西善桥至金胜村入长江,为人工开挖的分洪河道,全长 16.8 km。具体骨干河道基本情况见表 1。

表 1 秦淮河流域骨干河道基本情况

序号	河道(或河段)名称	河道长度/km	河道级别	两岸堤防长度/km
一 流域性河道				
1	秦淮河干流	22.20	2	33.31
2	外秦淮河	12.80	2	46.64
3	秦淮新河	16.80	2	22.52
二 其他重要河道				
4	内秦淮河	5.80	5	
5	运粮河	8.95	5	17.90
6	南河	9.50	5	19.00
7	云台山河	15.80	6	18.78
8	牛首山河	7.10	6	18.39
总长		98.95		176.54

2.2 研究区水质监测

研究区内秦淮河干流、外秦淮河及秦淮新河共有 7 个水质监测站点。其中洋桥、节制闸、三汊河口站的实测水质质量浓度过程分别作为秦淮河干流、秦淮新河、外秦淮河的水质边界条件。各水质监测站点的水质指标均包括水温、COD_{Mn}、COD、DO、BOD₅、NH₄⁺-N、TP 等 7 项。

3 研究思路

在确保秦淮河流域防洪与供水安全的前提下,统筹考虑流域防洪、供水、生态(环境)等调度需求,研究流域骨干河道的生态基流和生态水位,构建流域骨干河道水量——水环境耦合数学模型^[4],研究流域水生态与水环境科学调度模式。为确保模型预测结果能够反映流域污染和水质现状,本文研究的基准年确定为 2017 年。具体研究技术路线如图 1 所示。

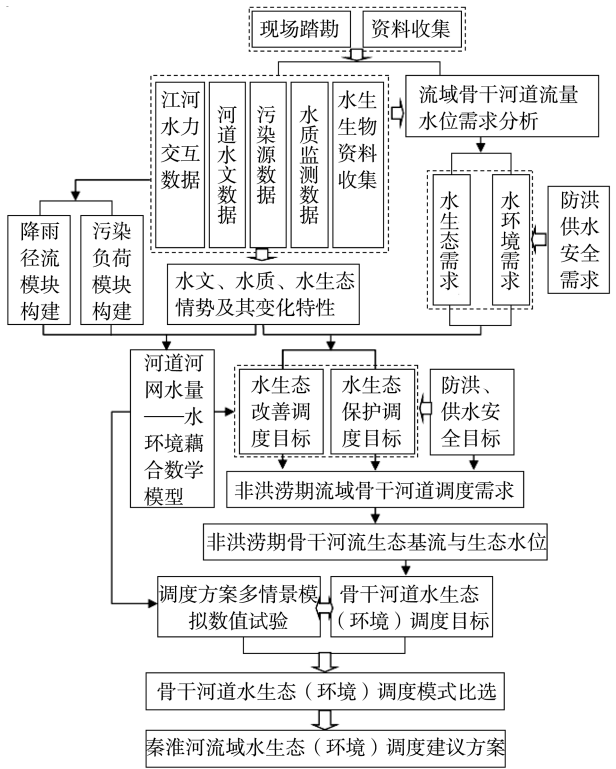


图 1 研究技术路线

4 结果与分析

4.1 生态基流与生态水位研究

在《秦淮河流域洪水调度方案》研究基础上,对骨干河道非洪涝期的防洪、供水、生态(环境)等调度需求进行系统分析,收集地形地貌、气象水文、水流水质、水生生物与污染源数据,分析骨干河道水动力、水环境、水生态情势及其变化特性。采用生态功能法分析水生态和水环境目标需求,提出骨干河道生态功能保障对流量、水位的需求,研究确定骨干河道的生态基流、生态水位。

4.1.1 研究内容

(1) 生态基流量

秦淮河流域骨干河道的生态基流量主要包括维持河道完整性的生态基流量、维持河道水生生境的生态基流量、维持河道水分调节功能的生态基流量、维持河道外供水功能的生态基流量和维持河道环境需水的生态基流量。根据河道各自特征,逐河段进行计算,提出控制站点的生态基流量要求。

(2) 生态水位量

秦淮河流域骨干河道的生态水位主要包括维持河道形态结构完整性、维持河道水生生物生境和维持河道景观所需的最小生态水位。根据河道各自特征,逐河段进行计算,提出控制站点的生态水

位要求。

4.1.2 研究河段分区

由于水利工程调度等原因,秦淮河流域河流上下游水文、水力、生态等参数不具有连续性,因此秦淮河流域河流的生态需水计算只能根据水利工程分布情况逐河段进行。本研究根据主要河道水系和水利工程分布,将秦淮河骨干河道分为4段进行研究,包括秦淮河干流前埠村至河定桥段(A段)、秦淮干流河定桥至武定门闸段(B段)、秦淮干流外秦淮河武定门闸至三汊河口闸段(C段)、西支河定桥至长江入江口秦淮新河水利枢纽段(D段)。各河段主要特征见表2。

4.2 水环境耦合数学模型构建

该模型以水文、污染源和水质监测资料为主,根据各类数据的信息特征,利用SQL Server 2012设计相应数据库库表结构,对基础资料进行整理和录入,建立集水文、水质、污染源、社会经济和自然条件等数据信息于一体的模型。秦淮河流域骨干河道河网水量—水环境耦合数学模型包括降雨径流模型、污染负荷模型、河网水量模型、河网水质模型。

(1)降雨径流模型

研究区主要位于秦淮河流域下游平原地区,下垫面分布是影响平原区产流的主要因素,针对骨干

表2 研究河段主要特征值

名称	起点	终点	长度/km	主要站点	河宽/m	糙率	河底高程范围/m
A段	前埠村	河定桥	11.4	东山站	100~120	0.028	-0.17~1.27
B段	河定桥	武定门闸	10.8	七桥瓮	100~120	0.029	0.11~1.20
C段	武定门闸	三汊河口	12.8	三汊河口	100~120	0.028	-1.16~0.12
D段	河定桥	秦淮新河水利枢纽	16.8	铁心桥	80~180	0.026	-1.82~0.39

4.1.3 研究结果

通过分析计算,秦淮河流域骨干河道生态基流量、生态水位计算结果见表3。

河道沿线不同下垫面类型,本文按水面、水田、旱地和城镇建设用地等4类,采用不同产流机制进行模拟,分别构建相应的降雨径流模型。

表3 秦淮河流域骨干河道生态基流量、生态水位计算结果汇总

月份	A段		B段		C段		D段	
	生态基流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	生态水位/ m	生态基流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	生态水位/ m	生态基流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	生态水位/ m	生态基流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	生态水位/ m
1	17.8	6.8	26.5	6.7	21.8	6.3	26.9	6.7
2	14.4	6.8	25.3	6.7	21.9	6.3	17.2	6.7
3	16.6	6.8	25.5	6.7	24.5	6.3	16.1	6.7
4	22.5	6.8	25.3	6.7	22.5	6.3	16.9	6.7
5	20.8	6.8	25.8	6.7	26.0	6.3	19.1	6.7
6	32.0	6.8	25.5	6.7	22.6	6.3	26.9	6.7
7	36.8	6.8	41.8	6.7	42.4	6.3	26.0	6.7
8	17.8	6.8	39.8	6.7	40.4	6.3	19.1	6.7
9	15.1	6.8	26.1	6.7	22.3	6.3	25.7	6.7
10	14.2	6.8	25.5	6.7	22.4	6.3	18.1	6.7
11	15.0	6.8	25.3	6.7	21.9	6.3	18.1	6.7
12	13.2	6.8	25.8	6.7	21.3	6.3	17.9	6.7

(2) 污染负荷模型

污染负荷模型通过收集研究区内的点、面源数据资料,开展各类污染源产生、分布、排放路径和最终去向调查。污染负荷模型由产生模型和处理模型构成,其中产生模型估算各种污染源的产生量,包括 PROD、UNPS、DNPS 和 PNPS 计算模式,处理模型计算各类污染源经治理后,最终进入水体的污染负荷入河量。

(3) 河网水量模型

河网水量—水环境耦合计算模块基本控制方程为

$$\begin{cases} B \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{|Q|Q}{K^2} = qV_x \end{cases} \quad (1)$$

式中: q 为旁侧入流; Q 、 A 、 B 、 Z 分别为河道断面流量、过水面积、河宽和水位; V_x 为旁侧入流流速在水流方向上的分量; K 为流量模数,反映河道的实际过流能力; α 为动量校正系数,是反映河道断面流速分布均匀性的系数。

(4) 河网水质模型

河网水质模型是模拟骨干河道水量、水质指标的动态迁移变化。通过分析氮、磷元素在水体中的迁移和转化规律,构建不同形态氮、磷元素转化的动力反应过程的计算公式。模型共模拟 5 种氮素、4 种磷素状态变量,分别是 2 种有机形态氮(颗粒态和溶解态有机氮)、2 种无机态氮(氨氮和硝态氮)、总氮、2 种有机形态磷(颗粒态和溶解态有机磷)、1 种无机态磷(磷酸盐)、总磷。

4.3 秦淮河流域调度方案的多情景模拟与比选

4.3.1 研究方法

通过秦淮河流域骨干河道河网水量—水环境耦合数学模型的建立,设定多组水利工程调度方案,开展基于多情景下的骨干河道调度效果数值模拟,评估各调度方案对水生态(环境)调度目标的满足程度,确定骨干河道的生态基流和生态水位,比选非洪涝期研究区骨干河道水生态(环境)调度模式,提出调度建议方案。

4.3.2 研究站点选取

本研究水量调度的控制站点为东山站,调度对象为长江入江口秦淮新河水利枢纽、外秦淮河武定门闸和下游入江口三汊河口闸;水质检测比选站点

为秦淮河七桥瓮断面、秦淮新河铁心桥断面和外秦淮河石城桥断面。

4.3.3 研究成果

根据不同调度方案的河网水量和水质模型预测结果,采用上述水环境和水生态评价指标的计算方法,得到各控制站点各项评价指标的统计值,评估各调度方案对研究区骨干河道水生态(环境)调度目标的满足程度,得出分析结论。

4.3.3.1 东山站水位控制

适当降低武定门闸的调控水位有利于改善非汛期水系连通性,促进水体流动,对水质改善也具有积极作用,因此,建议非汛期将东山站水位控制在 6.8 m 左右。

4.3.3.2 在枯水年非汛期(90%保证率)条件下

(1) 秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 30 \text{ m}^3/\text{s}$, 流域上游补水 $6 \sim 17 \text{ m}^3/\text{s}$, 能够基本满足全流域生态基流需求。

(2) 在现状污染源条件下,秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 30 \text{ m}^3/\text{s}$, 能够使铁心桥和石城桥断面水质(氨氮除外)满足相应水功能区要求,七桥瓮断面水质基本满足要求。泵引流量 $\geq 50 \text{ m}^3/\text{s}$, 能够使各断面水质满足相应水功能区要求。

(3) 在流域污水接管率 $\geq 95\%$ 条件下,秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 10 \text{ m}^3/\text{s}$, 能够使各断面水质满足相应水功能区要求。

(4) 若不考虑 A 段河道生态基流需求,秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 30 \text{ m}^3/\text{s}$, 可满足下游骨干河道生态基流需求。

4.3.3.3 在平偏枯年型非汛期(75%保证率)条件下

(1) 秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 30 \text{ m}^3/\text{s}$, 流域上游补水 $1 \sim 10 \text{ m}^3/\text{s}$, 能够基本满足全流域生态基流需求。

(2) 在现状污染源条件下,秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 30 \text{ m}^3/\text{s}$, 能够使铁心桥和石城桥(氨氮除外)断面水质满足相应水功能区要求,七桥瓮断面水质基本满足要求。泵引流量 $\geq 50 \text{ m}^3/\text{s}$, 能够使各断面水质满足相应水功能区要求。

(3) 在流域污水接管率 $\geq 95\%$ 条件下,秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 10 \text{ m}^3/\text{s}$, 能够使各断面水质满足相应水功能区要求。

(4) 若不考虑 A 段河道生态基流需求,秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 30 \text{ m}^3/\text{s}$, 可满足下游骨干河道生态基流需求。

(下转第 69 页)

其中,均布荷载 $q = 24.62 \text{ kN/m}$,模板厚 $h = 0.012 \text{ m}$,根据《建筑施工安全技术规范》JGJ 162—2008 可得:静曲强度 $[\sigma] = 105.5 \text{ N/mm}^2$ 。根据公式计算矩形模板最大正应力。

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_z} \quad (12)$$

$$M_{\max} = \frac{ql^2}{8} = 276.98 \text{ Nm} \quad (13)$$

$$W_z = \frac{bh^2}{6} = 24\,000 \text{ mm}^3 \quad (14)$$

式中: σ 为最大正应力; M_{\max} 为最大弯矩; W_z 为抗弯截面系数。

从而可得最大正应力 $\sigma = 11.54 \text{ N/mm}^2 < [\sigma]$,本次模板设计满足强度要求。

4 结 语

(1)沉井法是一种目前应用十分广泛的施工方法,但其规格较大、所处施工场地水文地质条件的复杂多变性给沉井的设计及施工带来了一些不确

定因素,因此施工前需要进行严谨的验算分析,以保证施工质量和安全。

(2)本次以南京市雨花台区板桥河水系水环境提升工程为例,详细介绍了3#沉井的力学性能验算过程。验算结果表明,该设计方案满足规范要求。

(3)该沉井力学性能验算方法具有普遍性,可为其他类似工程验算提供参考。

参考文献:

- [1] 袁良文. 大型沉井的施工技术[J]. 江苏水利, 2010(6):18-19, 21.
- [2] 魏邦武. 初探沉井下沉施工与验算分析[J]. 中国水运, 2010,10(8):139-140.
- [3] 马江海. 大型顶管沉井的设计与下沉技术[J]. 公路交通科技, 2016(9):129-132.
- [4] 张猛. 桥墩基础沉井施工方案设计及验算分析[J]. 甘肃科技纵横, 2018(47):42-45, 51.
- [5] 胡海军. 浅谈中小型沉井的设计与施工技术[J]. 江苏水利, 2011(4):22-24

(上接第47页)

4.3.3.4 在平水年非汛期(50%保证率)条件下

(1)秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 30 \text{ m}^3/\text{s}$,上游不需要补水即可基本满足全流域生态基流需求。

(2)在现状污染源条件下,秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 30 \text{ m}^3/\text{s}$,能够使铁心桥和七桥瓮断面水质满足相应水功能区要求,石城桥断面水质基本满足要求(达标率超过70%)。

(3)在流域污水接管率 $\geq 95\%$ 条件下,秦淮新河不需要引水,即可使各断面水质满足相应水功能区要求。

(4)若不考虑A段河道生态基流需求,秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 20 \text{ m}^3/\text{s}$,可基本满足下游骨干河道生态基流需求(秦淮新河1月份除外)。

5 结论与建议

(1)秦淮河流域骨干河道的最小生态基流可为 $13.2 \sim 42.4 \text{ m}^3/\text{s}$,最小生态水位为 $6.3 \sim 6.8 \text{ m}$ 。

(2)适当降低武定门闸的调控水位有利于改善水质,建议非汛期将东山水位控制在 6.8 m 左右。

(3)秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 30 \text{ m}^3/\text{s}$,且流域上游补水时,能够基本满足全流域生态基流需

求;泵引流量 $\geq 50 \text{ m}^3/\text{s}$,能够使各断面水质满足相应水功能区要求。

(4)在流域污水接管率 $\geq 95\%$ 条件下,秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 10 \text{ m}^3/\text{s}$,能够使各断面水质满足相应水功能区要求。

(5)若不考虑A段河道生态基流需求,秦淮新河水利枢纽泵引流量 $\geq 30 \text{ m}^3/\text{s}$,可基本满足下游骨干河道生态基流需求。

(6)下一步将研究范围扩大至整个秦淮河流域,针对流域不同水体的生态功能特征,确定生态调度目标,构建全流域水量水质耦合模型,开展多情景调度模拟,评估水生态(环境)调度效果。

参考文献:

- [1] 郑恩才,余礼晔,张亚男. 秦淮河的历史变迁[J]. 江苏水利, 2016(5):60-62.
- [2] 李卫民,房晓玲,周亮. 引江调水工程在外秦淮河水环境整治中的应用[J]. 江苏水利, 2016(8):12-15.
- [3] 葛忆,张新义,赵齐. 句容市秦淮河流域防洪调度分析及对策研究[J]. 江苏水利, 2016(4):44-46.
- [4] 吴美玲,杨侃,杨哲. 大数据在洪水分析中的应用前景探究[J]. 江苏水利, 2018(6):13-19.