

引配水对京杭运河杭州段水质的改善预测

张 聃¹,周 蔚²,徐海岚¹,何晓洪²

(1. 杭州市环境保护科学研究院 浙江 杭州 310014 ; 2. 杭州市水文水资源监测总站 浙江 杭州 310016)

摘要 根据平原河网的水动力和水质特点 ,建立了运河水系河网水质模型 ,并利用 2007 年该运河水系河网的实测水位及水质资料对模型进行验证。进行了杭州市主城区引配水方案下的水动力计算 ,并对设计水动力条件下的运河水质进行预测。结果表明 ,杭州市主城区引配水方案实施后 ,运河干流及主要支流水质将有较大改善。

关键词 河网水质模型 ;水质评价 ;引配水 ;京杭运河 ;杭州市

中图分类号 :X824 ;TV212.5+1 **文献标识码** :B **文章编号** :1004-693X(2010)03-0045-04

Prediction of water quality improvement of Grand Canal (Hangzhou section) by water diversion

ZHANG Dan¹ , ZHOU Wei² , XU Hai-lan¹ , HE Xiao-hong²

(1. Hangzhou Academy of Environmental Science , Hangzhou 310014 , China ; 2. Hangzhou Hydrology and Water Resources Monitoring General Station , Hangzhou 310016 , China)

Abstract : A river network water quality model of the Grand Canal river system was set up based on the hydrodynamic and water quality characteristics of a plain river network . The model was validated with measured water level and water quality data of the Grand Canal river system from 2007 . The hydrodynamic condition in the main urban area of Hangzhou was computed according to the water diversion plan , and the water quality of the Grand Canal was predicted under the designed hydrodynamic conditions . The prediction results indicated that the water quality of the Grand Canal and the main tributary would be greatly improved after the water diversion plan was implemented .

Key words : river network water quality model ; water quality assessment ; water diversion ; Grand Canal ; Hangzhou City

城市内河污染是目前许多城市面临的问题。近年来 ,杭州市加大了河道水质改善工程的力度 ,河水黑臭现象已基本消失 ,但距水质达标仍有较大差距。

改善河流水质的根本措施是对污染源进行有效治理。但要截除所有排入河流的污染源比较困难。研究表明 ,在现有经济社会条件下 ,河道引配水是一条在有限范围内治理时间最短、投入最少、见效最快的捷径^[1]。如上海市长期致力于苏州河水系水质改善研究 ,通过合理的引配水调度 ,苏州河干流水质改善效果明显^[2] ,福州市通过引调清水 ,基本消除了内河的黑臭现象^[3-4]。为进一步改善河道水质 ,杭州市制定了一系列引配水方案 ,笔者建立了运河杭州段河网水质模型 ,预测、分析引配水工程运行后运河干

流及主要支流的水质变化 ,为相关研究提供依据。

1 引配水方案

1.1 运西引水方案

为改善运西片河网以及西湖水环境 ,新建珊瑚沙引水工程。工程引水口位于珊瑚沙水库九溪水厂二期南侧 ,引水系统由南至北从留下镇小马山出口 ,由分流河介入运西片河网 ,全长 12.5 km。珊瑚沙水工程直接受水区域为沿山河以北、运河以西河网。

1.2 河网内部配水方案

1.2.1 拱墅区内河配水方案

为了保护运河义桥段和改善该区块河网水质 ,选在胜利河闸、姚家坝河、电厂进水河与上塘河交界

基金项目 杭州市重大攻关项目(200603)

作者简介 张聃(1983—)男 ,江苏丹阳人 ,助理工程师 ,主要从事水环境模拟研究。 E-mail :zdan_sharp@foxmail.com

处兴建 4 个抽水泵站,流量分别为 $0.5\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $2\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $2\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $2\text{ m}^3/\text{s}$ 。运河水经拱墅区河网抽至上塘河,再经和睦港排入钱塘江,形成“钱塘江—运河—拱墅区内河—上塘河—和睦港—钱塘江”的水体循环。

1.2.2 崇贤、康桥镇配水方案

打通电厂进水河和崇贤沿山港,并设流量为 $3\text{ m}^3/\text{s}$ 泵站,抽电厂河水入崇贤沿山港,促进康桥、崇贤片水体流动。

1.2.3 城西配水方案

取消紫金港以东、余杭塘河以南的莲花港、冯家河小区域的控制水位 2.7 m ,开放沿山河、余杭塘河上水闸。通过控制沿余杭塘河水闸的开启度,使珊瑚沙引水工程入西溪湿地的水量相对均匀地分配到蒋村港、紫金港、莲花港、冯家河等,适当集中加大五常港、蒋村港的流量,以抬高余杭塘河的水位,使珊瑚沙引水工程经西溪湿地的出水比较均匀地分配到余杭塘河以北的河道。

2 河网水环境模型

运河水系上游水源为钱塘江引水,下游受太湖水系水位影响,属于典型的受人工调控的平原河网。城市内河污染严重,水质主要的超标因子为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 COD 。针对运河水系的特点,建立运河流域一维河网水动力水质模型,以预测引配水工程实施后河网水质变化。

2.1 河网水动力模型

河网一维水动力模型控制方程为 Saint-Venant 方程组,其基本形式为:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \tag{1}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \tag{2}$$

式中: x 、 t 分别为距离和时间; A 为过水断面面积; Q 为流量; h 为水位; q 为旁侧入流流量; C 为谢才系数; R 为水力半径; α 为动量校正系数; g 为重力加速度。

利用 Abbott 6 点有限差分格式^[5]离散上述控制方程组,离散后的线性方程组用追赶法求解。

2.2 河网水质模型

污染物质在河道中的运动转化过程可以用对流扩散方程来描述,对于一维河网模型可以用下式表达:

$$\frac{\partial A\rho}{\partial t} + \frac{\partial Q\rho}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) - AK\rho + \rho_q q \tag{3}$$

式中: ρ 为污染物质质量浓度; D 为弥散系数; ρ_q 为

源、汇质量浓度; K 为衰减系数。

本研究中的水质指标为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD 。

2.3 河网概化及污染源分析

运河水系河道纵横交错,河道断面复杂多变,本研究中河道概化以骨干河道(市级和区级河道)为基础,保留污染较为严重或对过水具有重要作用的乡镇河道。概化后的河网、湖泊在输水能力和调蓄能力方面与实际河网相近。概化后的河网如图 1,共有 98 条河段。

运河流域一些废水直接排入河道的工业企业的污染负荷通过在模型中加入点源来实现。本研究调查了全市污水直接排入河道的工业企业的排污数据,包括排污口的名称、位置、性质、污水排放量和主要污染物(COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$)的排放量等信息。

模拟区域产生的城市径流、农业污染以及畜禽养殖等面源污染通过降雨径流均匀进入相应河道,其污染负荷排放强度与降雨径流强度成正比。每个面源边界包括排放流量和污染物排放浓度。分散排污口排放的污染物也通过径流进入相应河段,并考虑迁移过程中的衰减作用。

2.4 模型验证

在外部边界条件以及内部污染源资料较为准确的前提下,水环境模型计算结果的准确性主要取决于水动力模型中曼宁系数 n 以及水质模型中衰减系数 K 。根据已有相关研究成果,研究区域内河道曼宁系数 n 取值范围为 $0.025 \sim 0.03$ ^[6]; K_{COD} 约为 0.1 d^{-1} ^[7], $K_{\text{NH}_3\text{-N}}$ 为 0.04 d^{-1} ^[8]。

本研究采用拱宸桥及临平下 2 个水位站 2007 年全年实测水位对水动力模型进行验证,采用德胜坝、义桥、大同桥以及大麻等常规水质监测断面 2007 年上半年实测水质对水质模型进行验证。水位验证结果见图 2,部分断面水质验证结果见图 3、图 4。

3 引配水方案模拟结果及分析

3.1 计算方案设计

引配水方案中珊瑚沙引水工程设计引水量为 $25\text{ m}^3/\text{s}$,已运行三堡引水工程设计引水量也为 $25\text{ m}^3/\text{s}$ 。实际计算方案根据枯、丰水期钱塘江水量以及其他一些因素确定各个季度三堡引水工程以及珊瑚沙引水工程设计引水量分别为: $18\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $29\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $25\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $21\text{ m}^3/\text{s}$ 。其余引水工程引水量取往年实际引水量均值。引配水方案计算的主要边界条件见表 1。

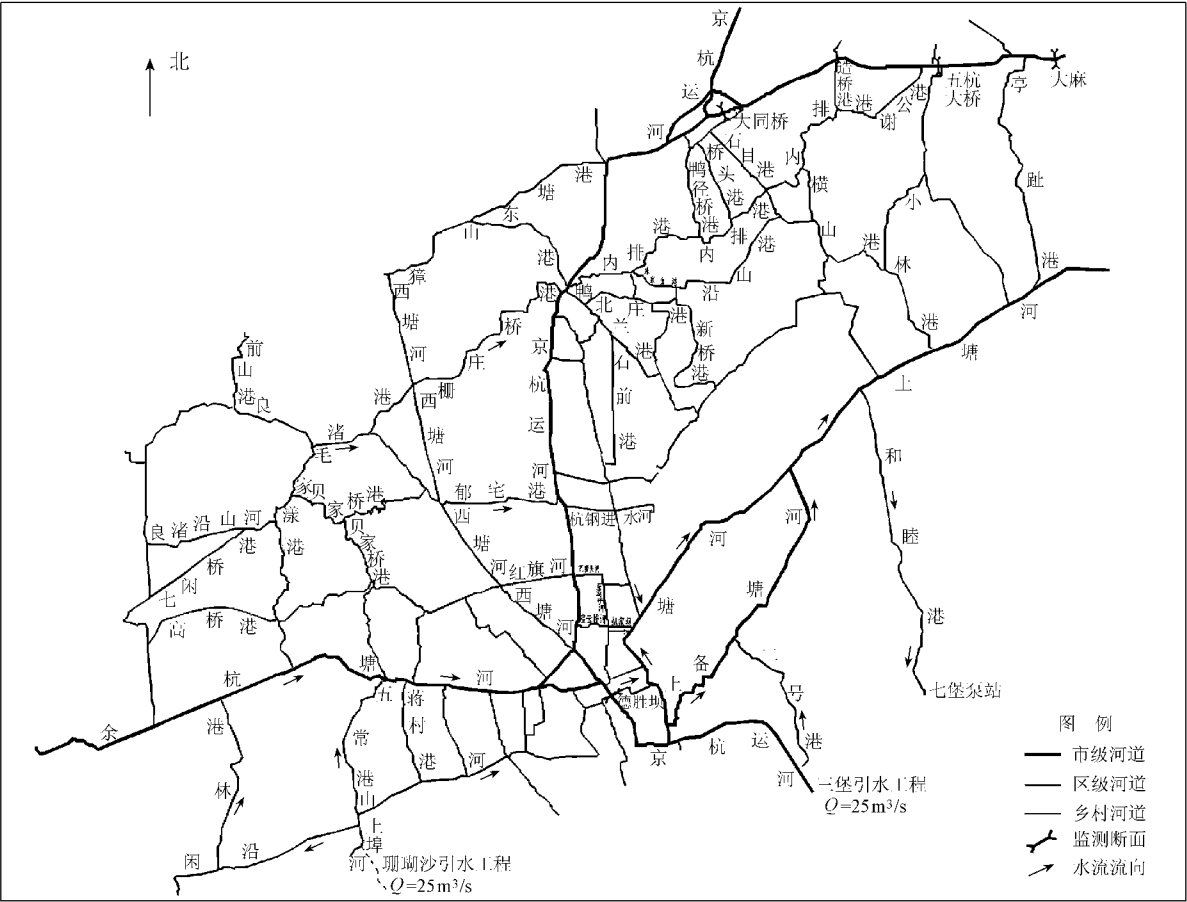


图 1 运河水系河网概化及引配水示意图

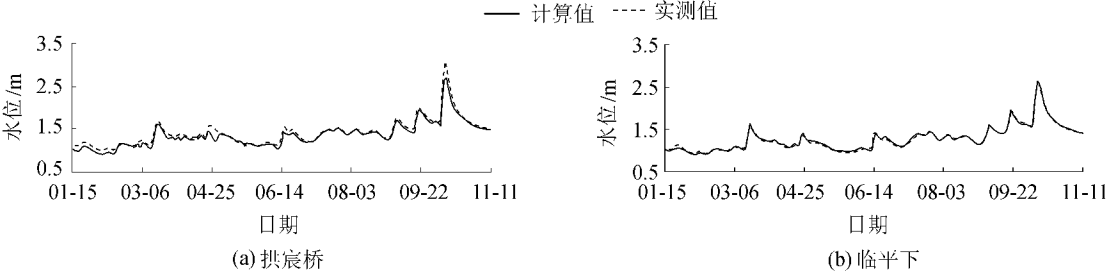


图 2 水位验证结果

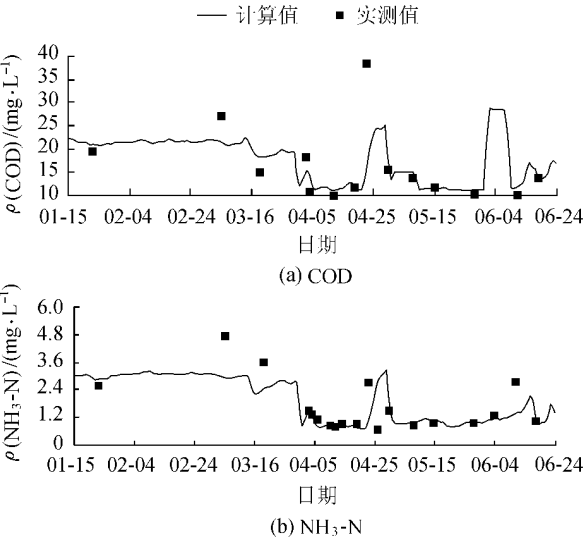


图 3 德胜坝断面水质验证结果

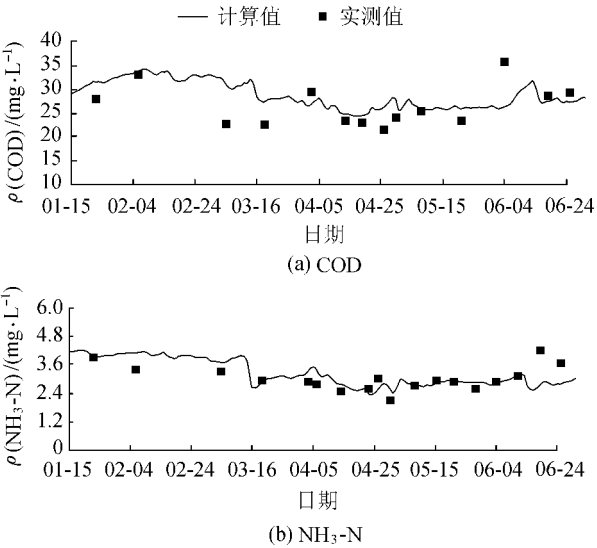


图 4 大麻断面水质验证结果

表 1 引配水方案计算的主要边界条件		
类型	河名	边界条件
入流边界	京杭运河(三堡引水工程)	各季度入流流量分别为 18 m ³ /s、29 m ³ /s、25 m ³ /s 和 21 m ³ /s
	上埠河(珊瑚沙引水工程)	各季度入流流量分别为 18 m ³ /s、29 m ³ /s、25 m ³ /s 和 21 m ³ /s
	中东河	3.94 m ³ /s
	古新河(圣塘闸)	2.2 m ³ /s
	浙大护校河(岳湖泵站)	1.5 m ³ /s
	余杭塘河	4 m ³ /s
	獐山港	-4 m ³ /s ~ 4 m ³ /s
出流边界	京杭运河	控制水位为 1.35 m
	京杭古运河	控制水位为 1.35 m
	上塘河	0.0 m ³ /s
	和睦港	-14.45 m ³ /s

取 2006 及 2007 年河道监测数据均值作为河道水质计算本底值以及边界条件,综合考虑引配水调度以及污染源排污情况下河道水质变化情况。

3.1 水动力模拟结果分析

引配水方案实施后,余杭塘河勤丰桥及运河干流主要断面流量年均值变化情况见图 5。由预测结果可知,设计计算条件下,各断面流量均有大幅度增加,勤丰桥、五杭大桥及大麻断面流量增幅均超过了 300%。拱宸桥、义桥以及大同桥断面附近均有较大的分流,故断面流量增幅相对较小。

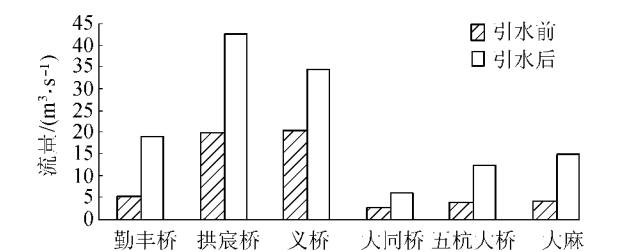


图 5 引水前后流量对比

3.2 水质预测结果分析

设计水动力条件与现状水动力条件下水质比较见表 2。由表 2 可知,珊瑚沙引水工程以及其他一些内部引配水工程启用,对余杭塘河及运河干流水质改善十分明显。余杭塘河勤丰桥断面 COD 和 NH₃-N 浓度分别降低了 36.1% 和 59.2%,设计水动力条件下 COD 质量浓度为 16.8 mg/L,已满足Ⅲ类水质标准;NH₃-N 质量浓度为 1.42 mg/L,能满足Ⅳ类水质标准。运河干流所有断面 COD 基本达标;大同桥断面 NH₃-N 质量浓度达标,其余断面均不达标。尽管除大同桥断面外,所有断面的 NH₃-N 质量浓度仍无法满足水环境功能目标,但拱宸桥和义桥断面的 NH₃-N 浓度降低了 42.5% 和 46.5%,五杭大桥及大麻断面 NH₃-N 浓度也降低了 22.7% 和 16.0%。由此可见,引配水对河网水质改善效果是十分明显的。

表 2 设计水动力条件与现状水动力条件下水质比较								
河名	断面名称	$\rho(\text{COD})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		$\rho(\text{NH}_3\text{-N})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$		浓度增减率/%		水质目标
		现状	设计	现状	设计	COD	NH ₃ -N	
余杭塘河	勤丰桥	26.3	16.8	3.48	1.42	-36.1	-59.2	Ⅲ
	拱宸桥	21.9	15.5	2.26	1.30	-29.2	-42.5	Ⅲ
	义桥	24.5	16.2	2.75	1.47	-33.9	-46.5	Ⅲ
	大同桥	21.5	15.3	2.23	1.47	-28.8	-34.1	Ⅳ
运河	五杭大桥	21.9	17.1	2.29	1.77	-21.9	-22.7	Ⅲ
	大麻	27.2	22.0	2.93	2.46	-19.1	-16.0	Ⅲ

4 结 论

a. 对研究范围内污染源进行调查以及对河网进行概化,建立运河流域杭州段河网水动力水质模型,并采用 2007 年实测水位及水质数据对模型进行验证。验证结果表明,所建模型能较好地反映研究区域内水动力、水质变化情况,能进行设计计算方案下的水质预测。

b. 引配水方案实施后,除大麻断面外,运河干流主要断面 COD 质量浓度均低于 20 mg/L,满足Ⅲ类水质标准。拱宸桥、义桥、五杭大桥以及大麻断面的 NH₃-N 质量浓度均高于 1 mg/L,不满足Ⅲ类水环境功能区水质指标。大同桥断面 NH₃-N 平均质量浓度为 1.47 mg/L,基本满足Ⅳ类水水质标准。

c. 尽管引配水方案实施后,运河干流各主要断面 NH₃-N 质量浓度仍无法满足要求,但相对现状水质已有很大改善。因此,河道引配水是一种实施相对容易且见效较快的水质改善措施。但是,要实现水质改善,仍需要对入河污染负荷进行削减。

参考文献：

[1] 阮仁良.平原河网地区水资源调度改善水质的理论与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2006.

[2] 卢时强,林卫青.苏州河环境整治二期工程水质影响数值模拟[J].长江流域资源与环境,2006,15(2):228-231.

[3] 熊万永.福州内河引水冲污工程的实践与认识[J].中国给水排水,2000,15(3):26-28.

[4] 黄永福.福州市内河引水规模及冲污效果分析[J].水利科技,1998,18(3):5-7.

[5] Danish Hydraulic Institute(DHI). A modeling system for rivers and channels, Reference Manual[R]. Copenhagen, Denmark: DHI, 2008.

[6] 孙映宏,姬战生,王玉明. MIKE 11 在平原河网地区防洪分析中的应用[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(S1): 37-40.

[7] 罗缙,逢勇,罗清吉,等.太湖流域平原河网区往复流河道水环境容量研究[J].河海大学学报:自然科学版,2004,32(2):144-146.

[8] 黄正荣,张振林.京杭运河杭州段水质模型研究[J].浙江水利科技,2008(2):9-11.

(收稿日期:2009-02-13 编辑:高渭文)