

# 水系局部改变对河网水情及水质影响的分析

韩龙喜<sup>1</sup>, 朱 羿<sup>1</sup>, 杨积德<sup>2</sup>

(1. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098;

2. 苏州市环境科学研究所, 江苏 苏州 215002)

**摘要** 给出了平原水网地区水系局部改变后用于预测水情变化的水力边界条件的确定方法, 以及因水系改变造成的水情、水质变化的计算方法, 并将该方法应用于苏州市区水系水质变化分析。得出结论: 水系变化必然产生局部水流形态的改变, 最终影响污染物的对流扩散输运, 局部水域水系改变愈大, 模拟边界涵盖的范围应愈大。

**关键词** 水系变化; 水情预测; 水质预测; 苏州市; 平原水网地区

中图分类号: TV212.5+1 X522

文献标识码: A

文章编号: 1004-693X(2004)04-0031-03

如何正确预测分析人类活动可能对水域水情、水质的影响, 是工程设计中十分关心的问题, 也是管理决策部门的重要决策依据, 该方面的研究具有重要的现实意义和应用价值。

对于单一河道, 由于水流特性比较简单, 工程对河道水情、水质影响的预测分析也相对简单。但对于水网, 特别是平原水网地区, 由于河道纵横交错, 河荡湖塘众多, 水流的流向、流量经常发生变化。局部地区水工程措施对该地区水情水质的影响, 通常采用数值解法进行预测分析。由于水工程措施必将引起局部水域水力边界条件的改变, 而水力边界条件是模拟水域必备的计算条件, 因此, 如何确定工程后的水力边界条件, 一直是水力模拟的较为棘手的问题。通常的处理办法是扩大模拟边界至足够范围, 扩大范围后的边界宜与大水体相邻, 采用模拟区域与大水体相邻的边界河道工程实施前的流量、水位过程, 作为工程后的水力边界条件, 进行水力模拟。采用上述方法可以得到边界条件, 但计算工作量大幅度增加。为简化计算工作量, 本文根据苏州环城河水系改变前后的水情特点, 尝试给出水系改变后边界条件的确定方法, 并采用数值解法求解水系改变后水情、水质状况。

## 1 研究区域水系概况

苏州市内河道纵横交错, 河荡湖塘众多, 为典型的平原水网地区。京杭大运河自北向南穿越整个苏

州市区, 见图 1(a) (b)。京杭大运河西侧自北向南的主要交汇河道为望虞河、月城河、浒光运河、金山浜、胥江等; 京杭大运河东侧自北向南的主要交汇河道为望虞河、黄花泾、白洋湾、上塘河、斜港等。城区主要河道为外城河、白洋湾、元河塘、上塘河、胥江、娄江、相门塘、葑门塘及老京杭运河城区段等, 水流总体流向为自北向南、自西向东。根据大运河苏州河段历年水文观测资料, 该区域多年平均水位(吴淞基面)为 2.82 m, 最高年平均水位为 3.27 m, 最低年平均水位为 2.28 m, 历史最高水位 4.37 m, 历史最低水位 1.89 m。

## 2 水网地区水力水质模型

### 2.1 水力模型<sup>[1]</sup>

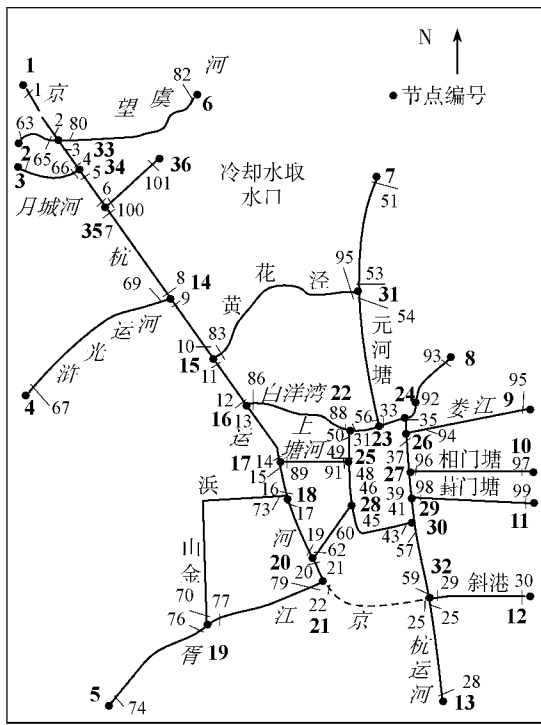
描述明渠一维非恒定流的基本方程为一维 Saint-Venant 方程组:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B_w \frac{\partial Z}{\partial t} = q \quad (1)$$

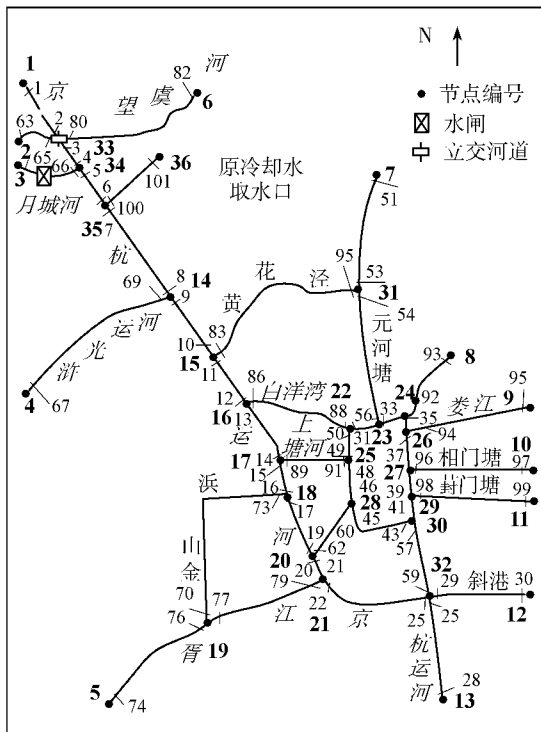
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2u \frac{\partial Q}{\partial x} + (gA - Bu^2) \frac{\partial Z}{\partial x} - u^2 \frac{\partial A}{\partial x} \Big|_{z=\text{const}} + g \frac{n^2 |u| Q}{R^{4/3}} = 0 \quad (2)$$

式中:  $t$  为时间坐标;  $x$  为空间坐标;  $Q$  为流量;  $Z$  为水位;  $U$  为断面平均流速;  $n$  为糙率;  $A$  为过流断面面积;  $B$  为主流水面宽度;  $B_w$  为水面宽度;  $R$  为水力半径;  $q$  为旁侧入流流量。

此方程组属于二元一阶双曲型拟线性方程组,



(a) 1990年(整治前)



(b) 2000年(整治后)

图1 苏州市区水系示意图

用4点隐式差分格式离散方程组<sup>[2,3]</sup>,采用三级联合解法求解水力特性,最终求得各单一河道各断面水位及流量。模型率定的主要任务是确定模型中水力参数。对水力模型,需要率定的参数为糙率。根据河海大学及其他科研人员的相关研究成果,确定苏州市区主要河道的糙率。

## 2.2 河网水质模型<sup>[4,10]</sup>

描述河网中单一河道污染物质运动及浓度变化规律的控制方程为:

$$\frac{\partial (AC)}{\partial t} + \frac{\partial (QC)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( AE_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) - KAC + S \quad (3)$$

式中: $C$ 为污染物质的断面平均浓度; $Q$ 为流量; $A$ 为断面面积; $E_x$ 为纵向分散系数; $S$ 为污染物质排放量; $K$ 为污染物降解系数; $x$ 为空间坐标; $t$ 为时间坐标。上述微分方程组采用有限体积法离散,再进行有关消元计算,即可得到反映节点浓度关系的代数方程组,依次求得节点浓度、断面浓度。

## 3 水系改变对苏州市区水文情势影响分析

2000年对苏州市区水系进行了整治,与整治前(以1990年为整治前水系水情代表年)相比,主要变化为:①整治后望亭电站不再从京杭大运河取冷却用水;②整治后,望虞河与京杭大运河实行立交,无水量交换;③月城河建闸控制,基本无水量交换;④对京杭大运河部分河段实施拓宽疏浚;⑤新开京杭大运河五福桥—长桥河段。水系前后变化情况见图1。为方便计算及数据管理,本文对相关河段进行相应技术处理后,前后水系采用同一节点编号。

水系结构改变主要发生在苏州市区环城河附近水域。为提高水系改变后的模拟精度,适当扩大了模拟范围,利用该水系(1990年)京杭大运河入流断面、月城河、浒光运河、胥江、元河塘、娄江、相门塘、葑门塘、斜港等的流量作为流量边界条件,京杭大运河出口断面采用水位边界条件,计算得到苏州市区水系所有计算断面水力要素值,并作为水系改变前水质模拟的水力输入条件。

为预测苏州环城河局部水系结构改变导致的该地区水力条件的变化情况,理论上必须根据相同的水情(1990年)确定内部水系改变后的相应边界条件。但由于模拟区域内部河道的拓浚、开挖,在1990年水情条件下,水系改变后模拟区域边界京杭运河入流断面流量必然增加,显然,原实测流量不能作为水系改变后的水力边界条件。理论上,虽然河道拓浚、开挖必然引起较大的流量变化,但由于平原水网地区河道调蓄量较大,水位在空间上变化幅度较为平缓,工程措施对边界水位的影响不敏感,产生的影响较小。鉴于此,本文对模拟边界进行适当扩大后,利用1990年水情下模型计算得到的边界断面的水位作为水系改变后的水力边界条件,针对模拟区域内部水流形态改变,数值模拟水系改变后水力(水位、流量)要素的变化。采用上述方法,所得模拟

① 江苏省环保厅.江苏省“八五”环保科技攻关项目08专题 苏北水系片水环境容量研究,1997.

断面名称	COD <sub>Mn</sub> 计算值		增量
	水系改变前	水系改变后	
望亭下游(5#)	8.28	7.66	-0.62
浒关上游(7#)	8.10	7.43	-0.67
黄花泾(11#)	7.41	7.28	-0.13
枫桥兵营(13#)	7.33	7.25	-0.08
轻化仓库(18#)	7.58	7.42	-0.16
泰让桥(61#)	7.62	7.52	0.10
觅渡桥(58#)	7.51	7.48	-0.03
尹山桥(27#)	7.51	7.34	-0.17
横塘桥(21#)	7.58	7.34	-0.24

结果既基本上基于同样的水情(1990年),又反映了内部水系的变化,使得水系改变前后水力特性变化具有可比性。流量计算值与水系改变后的实测流量值对比见表1。

表1 水系改变后代表断面实测及计算流量

断面名称	流量(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )		误差	
	实测值	计算值	绝对值 (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	相对值 /%
轻化仓库(19#)	41.7	36.3	5.4	12.9
横塘桥(21#)	32.1	25.6	6.5	20.3
泰让桥(61#)	9.6	11.1	1.5	15.6
觅渡桥(57#)	27.2	22.5	4.7	17.3

## 4 水系改变对苏州市区水质影响分析研究

### 4.1 水系改变后水质模拟

采用水系改变后模拟计算得到的各断面水位、流量作为水质模拟的水量条件。根据2000年实际排放到各个子河段的污染负荷,将2000年入流断面水质监测资料作为水质预测边界条件。采用河网水质模型进行数值模拟,主要代表断面的COD<sub>Mn</sub>质量浓度的计算及实测值见表2。对比显示,两者较为吻合。

表2 代表断面 COD<sub>Mn</sub>质量浓度实测及计算值 mg/L

断面名称	实测值	计算值	绝对误差值
浒关上游(7#)	7.10	7.43	0.33
黄花泾(11#)	7.50	7.28	0.22
枫桥兵营(13#)	7.60	7.25	0.35
轻化仓库(18#)	7.20	7.42	0.22
泰让桥(61#)	7.40	7.52	0.12
觅渡桥(58#)	8.10	7.48	0.62
尹山桥(27#)	7.10	7.34	0.24
五福桥(79#)	8.08	7.81	0.27
横塘桥(21#)	7.20	7.34	0.14
长桥(24#)	7.27	7.39	0.12

### 4.2 水系改变前水质模拟

采用水系改变前模拟计算得到的各断面水位流量作为水质模拟的水量条件。为研究水系改变对苏州市区水系水质的变化影响,并使得计算结果具有可比性,污染源仍采用现状污染源(2000年),水质预测边界条件仍采用2000年入流断面COD<sub>Mn</sub>质量浓度监测值。在此情况下,模拟计算得到苏州市区水系改变前主要代表断面的COD<sub>Mn</sub>质量浓度值,水系改变前后计算值对比见表3。

### 4.3 水系改变对水质影响分析

a. 水系改变后,由于主要河道的疏浚、京杭大运河局部河段的改道,使得同样的水文情势下,京杭大运河流量明显增加,在大运河上游来水水质较好的情况下,京杭大运河稀释环境容量增加,同时由于局部河段的拓浚,河道调蓄量增加,自净环境容量也

相应增加。综合而言,京杭大运河河段环境容量增加,在上游来水水质较好的情况下,苏州市区水网大运河河段水质有明显改善。水系改变后京杭大运河河段COD<sub>Mn</sub>质量浓度减小值在0.2~0.6之间。

b. 水系改变前,京杭大运河苏州市区河段得到浒光运河的水量补给,而浒光运河水质相对较好,故对大运河水质有一定的稀释作用。水系改变后,浒光运河建闸控制,几乎没有水量补给。从环境角度而言,对大运河水质有不利影响,但由于大运河来水水量的增加,抵消了该不利效应,综合来看,大运河水质仍有改善。但模拟结果显示,大运河与浒光运河交汇口向上河段水质改善十分明显,而向下河段水质改善较小。

c. 水系改变后,由于新京杭运河河段的建成,该河道阻力较小,对京杭大运河上游来流量分流作用明显,因而城区河道(环城河)从泰让河进水量显著减小,约为原来进水流量的1/3左右。模拟结果显示,水系改变前后,环城河河道水质改变不大,主要原因是由于京杭运河河段水质改善,该河段纳污量较小形成的。由于水系改变后,泰让河河道流量减小,环境容量明显减小,为保证对泰让河及其下游河道水环境污染的有效控制,应注意严格控制在该河段及其下游河段的污染物排放量。建议将集中式排污口选择在新运河河段。

d. 水情模拟显示,水系改变对苏州环城河城北、城东河段水量影响较小,因而水系改变本身未对该水域水质产生明显影响。

## 5 结论

a. 水系变化必然产生局部水流形态的改变,最终影响污染物的对流扩散输运。对水情变化预测,采用水系改变前边界断面水位的计算值作为水系改变后边界条件的近似值,可以近似模拟水系变化后计算区域的水力要素,虽然计算精度有一定损失,却简化了计算,但必须要求敏感水域距离模拟边界有

(下转第41页)

施方面的成功经验,值得我国学习和借鉴。

根据我国的国情,对受污染的水体开发 TMDL 计划,笔者认为应首先考虑以下几个方面:

a. 我国应分重点来开发 TMDL 计划。我国应先在发达地区,监测条件和技术条件好的地区,率先开发 TMDL 计划;对水体污染比较重的,尤其是水源地受非点源污染威胁的水体应尽快开发 TMDL 计划,如北京的密云水库,云南滇池、洱海,巢湖,东湖,于桥水库等。

b. 我国应分阶段地开发 TMDL 计划。因为我国水体富营养化比较严重,加之水土流失较为普遍,所以我国应先对沉积物和营养物开发 TMDL 计划,另外,当监测条件达到一定程度时,也要注意对病原菌等的 TMDL 计划开发。

c. 开发 TMDL 计划时注意开发简单、实用、经济的估算负荷量的模型与技术手段。

d. 在总量控制范围内,应保证 TMDL 计划与其他控制措施相结合,使之成为一体化。

e. 开发 TMDL 计划应包括公众的参与和评论,对于像我国这样的人口大国尤为重要。

f. 在开发 TMDL 计划中的执行计划中为控制管理非点源污染提供合理的保证。例如根据实际情况实施流域最佳管理措施(Best Management Practices);控制管理暴雨径流,实行雨水和污水分流处理;实施点源和非点源之间的排污交易;实行营养物管理计划;利用土地处理系统、景观设计等措施。经大量实践证明,这些措施既经济又有效。

## 4 结 语

有关非点源污染控制管理的研究方兴未艾,在决策方法上,国外越来越偏重政策手段的定量化设计与评价,从而获取优选方案,并在此基础上进行环境-经济效益的综合量化评估,最终选取最佳方案,以使非点源污染治理的社会总效益达到最大。在政策内容上,关注的热点问题是,在总量控制的背景之下合理进行污染负荷分配,运用经济手段,通过市场途径减少总污染的发生,并提出一些具体方案的设计。可见,TMDL 计划在控制与管理非点源污染方面具有巨大的生命力,在总量控制下,对点源和非点源进行负荷分配,并且使污染指标值定量化,这些方面是值得我国借鉴的。

参考文献:

[1] U S EPA. Protocol for developing nutrient TMDL[R]. Office of

Water 4503F Washington D C 20460 ,EPA 841-B-99-007, 1999.

- [2] U S EPA. Overview of current total maximum daily load-TMDL-Program and regulations[OL]. <http://www.epa.gov/owow/tmdl.html> 2003.
- [3] Committee to review the New York city watershed management strategy water science and technology board. Watershed management for potable water supply[M]. National Academy Press, Washington D C 2000.
- [4] U S EPA. Guidelines for reviewing TMDLs under existing regulations issued in 1994[S].
- [5] U S EPA. Final TMDL rule : fulfilling the goals of the clean water act[OL]. <http://www.epa.gov/owow/tmdl.html> 2000.
- [6] U S EPA. Overview of current TMDL program and regulations [OL]. <http://www.epa.gov/owow/tmdl.html> 2003.
- [7] U S EPA. EPA revise water quality listing requirements for April 2000[OL]. <http://www.epa.gov/owow/tmdl.html> 2000.
- [8] U S EPA. Electronic code of federal regulations[R]. This current As the federal register Dated May 1 2003 40 CFR-CHAP-TER I-PART 130.
- [9] U S EPA. Final withdrawal of 2000 TMDL rule takes effect , Existing rules make progress cleaning UP[N]. Environmental News 2003-06-05.
- [10] 彭奎,朱波. 试论农业养分的非点源污染与管理[J]. 环境保护 2001(1):15~17.
- [11] 李宝贵. 非点源污染控制与管理研究的概况与展望[J]. 农业环境保护 2001 20(3):190~191.

(收稿日期 2003-07-21 编辑 高渭文)

(上接第 33 页)一定空间距离、边界水体具有较大的调蓄作用。

b. 局部水域水系改变(河道拓浚、新开)愈大,模拟边界涵盖的范围应愈大。若局部水域水系改变前后水系结构发生急剧变化,则模拟边界的外延范围应足够大,才能保证模拟精度。

参考文献:

- [1] 张二骏. 河网非恒定流的三级联合解法[J]. 华东水利学院学报,1982(1):1~12.
- [2] 汪德. 计算水力学[M]. 南京 河海大学出版社,1990.
- [3] Nosedo G. Mathematical model of unsteady flow in open channels network[R]. Proceedings of the international symposium on unsteady flow in open channels,1976.
- [4] 韩龙喜,朱党生. 河网地区环境规划中的污染源控制方法[J]. 水利学报 2001(10):28~31.

(收稿日期 2003-01-07 编辑 高渭文)