

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2013.03.003

# 上海世界博览会园区河网水环境调控

刘贵平<sup>1,2</sup>, 唐洪武<sup>1</sup>, 雷燕<sup>3</sup>, 汪迎春<sup>1,4</sup>

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 上海市浦东新区河闸管理署, 上海 201299;  
3. 河海大学期刊部, 江苏 南京 210098; 4. 蚌埠学院应用化学与环境工程系, 安徽 蚌埠 233030)

**摘要:** 为改善上海世界博览会园区河网水系的水质, 建立综合考虑河道复杂形态、生态浮岛、河道底质释放污染等因素的河网水动力及水质模型, 并利用世界博览会园区引、排水试验测定成果对模型进行验证。结果表明, 两模型的计算值与实测值吻合较好, 具有工程适用性, 可用于模拟复杂河网水量和水质的变化。利用河网水动力和水质模型对河网常规污染、初期雨水污染、突发水污染和世界博览会泵闸故障4种情况下的调度方案进行数值模拟, 并在此基础上提出适应小区域、多节点控制的潮汐河网水环境治理的应急水环境调控预案。

**关键词:** 上海世界博览会园区; 水资源调度; 调度预案; 水环境调控; 数值模拟

**中图分类号:** X522      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-1980(2013)03-0204-07

## Water environmental regulation for river network in Shanghai World Expo Park

LIU Guiping<sup>1,2</sup>, TANG Hongwu<sup>1</sup>, LEI Yan<sup>3</sup>, WANG Yingchun<sup>1,4</sup>

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;  
2. Pudong New Area Sluice Management Agency, Shanghai 201299, China;  
3. Department of Periodical, Hohai University, Nanjing 210098, China;  
4. Department of Chemistry and Environmental Engineering, Bengbu College, Bengbu 233030, China)

**Abstract:** In order to improve the water quality of the river network in the Shanghai World Expo Park, a hydrodynamic and water quality model, which comprehensively considers the effects of river morphology, ecological floating islands, and river sediment, was developed for the river network. The model was verified by field test data. The simulated results were shown to be in good agreement with the field test data, indicating that the model has an engineering applicability and can be used to simulate the changes of water volume and water quality in complex river networks. The model was used to numerically simulate four regulation schemes in the cases of river network conventional pollution, initial rainwater pollution, water pollution that occurs abruptly, and pump and sluice failures. Based on these simulations, the predetermined schemes were put forward for water environmental emergency regulation of multi-node controlled tidal river networks applicable to small areas.

**Key words:** Shanghai World Expo Park; water resources regulation; regulation scheme; water environmental regulation; numerical simulation

上海世界博览会(简称世博会)园区位于上海市东侧、黄浦江下游、长江入海口南侧,是上海世博会举办地。该区域及其周边地区河网水系发达,水系面积约30 km<sup>2</sup>,服务人口约15万。世博会园区两面环水,其北侧为黄浦江,东侧是黄浦江的内河支流白莲泾。白莲泾向上游延伸分别与汤家浜、中汾泾、春塘河交汇,并最终与位于南侧的浦东新区最大的内河——川杨河相通,形成一个河道交叉分布的小型河网水系。上海地处平原河网地带,地势平缓,河道水力比降小,水流动力不足,水体自净能力差;同时由于城市污水处理能力不

足,部分污水被排入河网,以及市政雨水泵站旱季放江和初期雨水排放,造成河道水质污染,主要污染因子为  $\text{DO}$ ,  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ,  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{BOD}_5$  和  $\text{NH}_3\text{-N}$  等<sup>[1]</sup>。在世博会开幕前水质总体上处于Ⅵ类到劣Ⅴ类,并在局部时段存在黑臭现象。因此,如何有效改善水质、保障良好的水环境、确保防汛安全是世博会筹办和运营过程中关注的热点问题,也是世博会园区后续利用中需要考虑的重点问题。

上海市浦东新区已经建成了由水(泵)闸控制的、包围全境的较为完善的水利工程体系,所有与外河(长江口或黄浦江)相连的内河均有水(泵)闸控制。充沛的过境水资源、潮汐动力、水(泵)闸工程等条件为科学调水创造了条件。

上海世博会园区的调水属于小尺度范围内的河网水质调节问题。对于该类问题的研究既可采用现场试验<sup>[2-4]</sup>、物理模型试验<sup>[5-8]</sup>,也可采用数学模型进行数值仿真<sup>[9-11]</sup>。现场试验限于实际条件,难以进行多方案的试验、研究。相对于物理模型试验而言,数学模型不受缩尺变态的影响,对于河网中不同边界条件下的水流运动和污染物迁移预测,具有周期短和投资少的强大优势。鉴于此,笔者采用数学模型对上海世博会园区的水资源调度进行研究。

## 1 河网水动力模型及水质模型的建立

### 1.1 基本方程

水动力基本方程采用圣维南方程组<sup>[12]</sup>,河网水质模型的控制方程为一维对流扩散方程:

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(QC)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x}\left(AE_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + A \frac{dC}{dt} + \frac{dS_C}{dx} \tag{1}$$

式中: $x, t$ ——河道纵向坐标及时间; $A$ ——过水断面面积; $C$ ——水质组分浓度; $Q$ ——断面流量; $E_x$ ——纵向分散系数,由 Fisher 经验公式确定; $S_C$ ——外部源项。方程中相应的增长或衰减项  $A \frac{dC}{dt}$  在好氧、缺氧、厌氧

3 种状态下的表达式见文献[12]。

### 1.2 方程的离散与求解

水动力基本方程采用 Preissmann 四点隐式差分格式进行离散,水质基本方程采用有限体积法数值离散。将离散后得到的方程组表示成以节点水位或浓度为基本未知量的水量平衡方程或水质组分的质量平衡方程:

$$\sum_{j=1}^L Q_{ji} - \sum_{j=1}^L Q_{jo} = \frac{A_j \Delta Z_j}{\Delta t} \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^L Q_{ji} C_{ji} - \sum_{j=1}^L Q_{jo} C_{jo} = \frac{C_j A_j \Delta Z_j}{\Delta t} \tag{3}$$

式中: $L$ ——河网中节点个数; $\sum_{j=1}^L Q_{ji}$ ——流入第  $j$  节点的流量之和; $\sum_{j=1}^L Q_{jo}$ ——流出第  $j$  节点的流量之和;

$\sum_{j=1}^L Q_{ji} C_{ji}$ ——流入第  $j$  节点的水质组分质量之和; $\sum_{j=1}^L Q_{jo} C_{jo}$ ——流出第  $j$  节点的水质组分质量之和; $C_j, A_j, \Delta Z_j$ ——第  $j$  节点的水质组分浓度、过水断面面积和水位变化。

通过河网联解,可得关于第  $j$  节点( $j=1, 2, \dots, L$ )水位或水质组分浓度的线性方程组:

$$\begin{cases} f_j(Z_1, Z_2, \dots, Z_L) = 0 \\ f_j(C_1, C_2, \dots, C_L) = 0 \end{cases} \tag{4}$$

当河网中各边界处的水位或流量以及各边界水质组分入流浓度已知时,利用式(4)即可唯一地解出  $L$  个节点的水位或水质组分浓度,然后回代到河段离散方程求解各断面的水位、流量和水质组分浓度。

### 1.3 有关问题的处理

#### 1.3.1 水闸及其控制运行方式的模拟

上海世博会园区河网水闸较多,在水流模拟中不仅要正确地模拟水闸工程的规模、位置,而且还要模拟水闸的控制运行方式。

在水闸开启情况下,过闸流量  $Q'$  可按宽顶堰公式计算。用水闸上、下游节点水位  $Z_1$  和  $Z_2$  表示水闸两端的水位,为了计算方便及自由出流和淹没出流 2 种出流之间的衔接连续,将 2 种出流的过闸流量写成统一

的形式:

$$Q' = \varphi' H'_s B_s \sqrt{2g(Z_1 - Z_2)} \tag{5}$$
$$\varphi' = \begin{cases} \frac{m}{\sigma \sqrt{1 - \delta}} & H'_s = \sigma H_0 \quad (\delta \leq \sigma) \\ \varphi & H'_s = H_s \quad (\delta > \sigma) \end{cases}$$
$$\delta = \frac{H_s}{H_0} = \frac{Z_2 - Z_0}{Z_1 - Z_0} \quad m = \varphi \sigma \sqrt{1 - \sigma}$$

其中

式中: $Q'$ ——过闸流量, $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $B_s$ ——闸门开启总宽度, $\text{m}$ ;  $m$ ——自由出流系数,取值一般在 0.320 ~ 0.385 之间;  $\varphi$ ——淹没出流系数,取值一般在 1.00 ~ 1.18 之间;  $H_0$ ——堰上水深, $\text{m}$ ;  $H_s$ ——堰下水深, $\text{m}$ ;  $Z_0$ ——水闸底坎高程, $\text{m}$ ;  $\sigma$ ——判断流态的系数,可根据  $m$  与  $\varphi$  的关系式求得。

1.3.2 生态浮岛的模拟

上海世博会园区河网白莲泾河道上设置了一定数量的生态浮岛,这些浮于水面的生态浮岛改变了河道的过流面积,使河道束窄,因此生态浮岛对水动力的影响可以通过修正后的水力半径来描述。

含生态浮岛河道的水力半径为

$$R' = \frac{A - 2bh}{\chi + 2b} \tag{6}$$

式中: $R'$ ——含生态浮岛河道的水力半径;  $\chi$ ——湿周;  $b$ ——生态浮岛宽度;  $h$ ——生态浮岛吃水深度。

2 模型验证

2.1 河网概化

研究区域内所有与外河(长江口或黄浦江)相通的内河均有水(泵)闸控制,且有调水试验作支持,这些为缩小模型范围创造了有利条件,本文数学模型中的河网主要包括白莲泾周边的河道及泵闸,概化河道 10 条,节点 18 个,概化后的河网如图 1 所示。

2.2 河网水动力模型的验证

根据 2009 年 10 月 22—23 日的引、排水试验监测成果,对水动力模型进行验证。各水闸、泵闸的运行方式为:白莲泾雨水泵站按规定时间(10 月 22 日 13:15—13:45)向白莲泾河道排污水,关闭中汾泾北闸和汤家浜水闸,涨潮时从世博泵闸引水,使世博会园区白莲泾河道水体经春塘河、白莲泾水闸流向川杨河,落潮时从杨思水闸排水。河网内布置了 5 个水位测点和 9 个水质测点。选取  $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{BOD}_5$ 、 $\text{COD}$ 、 $\text{DO}$ 、 $\text{TP}$  作为监测指标,监测频率为 20 ~ 60 min 一次。边界条件为世博泵闸、川杨河闸、白莲泾闸东套闸的外河水位,这些水(泵)闸外河水位由实测潮位资料给定。采用试错法率定糙率,即根据部分断面实测的水位资料调试各河道的糙率,使计算水位与实测水位相吻合,率定得出河道③和⑤的糙率为 0.025 ~ 0.030,其他河道的糙率都为 0.025。

由图 2 可知,计算水位与实测水位吻合较好,多数时间点的水位计算值和实测值误差小于 5 cm。由于自动水位监测系统监测数据本身存在一定的波动,因此极少数时间点的水位误差超过 5 cm。

2.3 河网水质模型的验证

研究区内主要超标污染指标为  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,因此水质的率定与分析选取  $\text{NH}_3\text{-N}$  为特征污染物。根据 2009 年 10 月 22—23 日的引、排水试验监测结果,对水质模型进行率定,边界条件为边界断面各时段水质组分浓度实测值,采用试错法进行率定,即调整各参数,使部分断面计算水质组分浓度与实测水质组分浓度相吻合。率定得到的参数值见文献[13]。

由图 3 可知, $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$  的计算值与实测值整体吻合较好,变化特征一致。 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$  的计算值和实测值误差多数在 10% 以内。从率定结果可见,各断面的水质组分浓度实测值与模型计算值吻合较好,说明该模

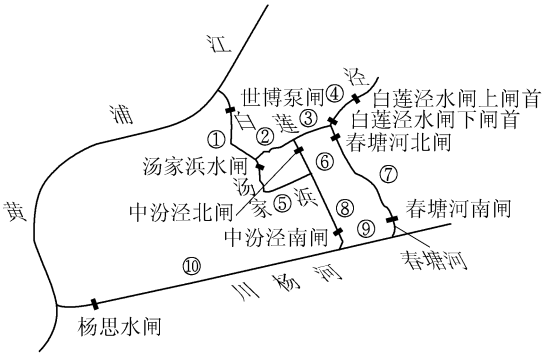


图1 研究区概化河网

Fig. 1 Generalized river network of study area

型可用于上海世博会园区河网的水量、水质变化过程的模拟。

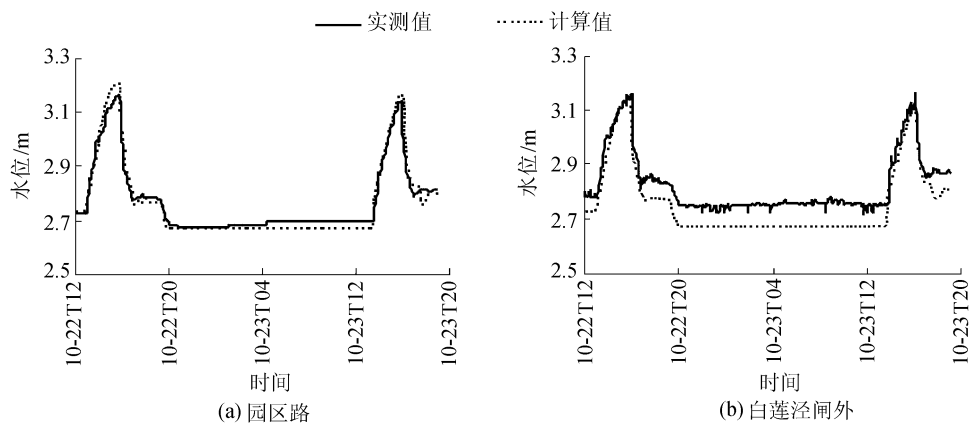


图 2 典型测点计算水位与实测水位的比较

Fig. 2 Comparison of calculated and measured water level processes at typical stations

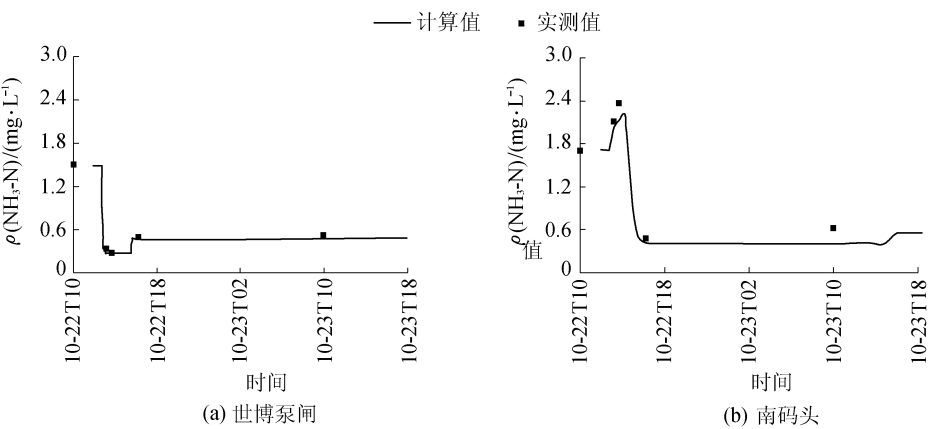


图 3 典型测点  $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$  计算值与实测值的比较

Fig. 3 Comparison of calculated and measured  $\text{NH}_3\text{-N}$  concentrations at typical stations

### 3 世博会园区水环境调控预案

世博会园区地处复杂河网,且世博会期间为多雨、高温季节,会面临多种不确定因素的影响,水环境调控要求相当高,因此必须对各种情况预先作出判断,提出快速、准确的解决方案。基于已建立的河网水动力及水质数学模型,进行多方案的比选和优化,提出解决世博会园区水环境调控的 4 种调度预案:常规引调预案、初期雨水污染调度预案、突发水污染应急调度预案和世博泵闸故障时调度预案。

#### 3.1 常规引调预案

常规引调预案是世博会期间运用频率最高的调水方案。2009 年也曾进行现场调水试验,但由于河道工程施工等因素影响,未能完全按预定方案正常实施,本文以模型分析为主,进一步对常规引调预案进行比选、优化。

常规引调预案分析中引水时间为 2009 年 11 月 1 日 10:00—14:00,通过世博泵闸从黄浦江引水。按引水流向不同,设定 3 个常规引调预案:预案 1,涨潮时开启春塘河水闸(白莲泾闸关闭)从黄浦江引水,通过春塘河流向川杨河;预案 2,涨潮时开启春塘河水闸和白莲泾闸从黄浦江引水,通过春塘河和白莲泾流向川杨河;预案 3,涨潮时先开启春塘河水闸从黄浦江引水,通过春塘河流向川杨河,约 2 h 后关闭春塘河水闸,开启白莲泾水闸,通过白莲泾流向川杨河。3 种常规引水调度预案水质改善效果见表 1 和图 4。

预案 1 主要从黄浦江引水,通过春塘河流向川杨河。由于春塘河河道规模较小,与预案 2 和预案 3 相比,引排动力相对不足,白莲泾河道东部水质改善率略低。预案 2 和预案 3 对白莲泾河道水质改善率较好。考虑引水初期内河水质较差,为保护白莲泾河道东段水质(作为应急水源),可采用预案 3 作为常规调度模式。

表1 3种常规引水调度预案水质改善效果对比

Table 1 Comparison of water quality improvement effects between three conventional water diversion predetermined schemes

| 预案编号 | 浦东南路                                                       |      |         | 南码头                                                        |      |         |
|------|------------------------------------------------------------|------|---------|------------------------------------------------------------|------|---------|
|      | $\rho(\text{NH}_3\text{-N})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ |      | 水质改善率/% | $\rho(\text{NH}_3\text{-N})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ |      | 水质改善率/% |
|      | 引水前                                                        | 引水后  |         | 引水前                                                        | 引水后  |         |
| 1    | 7.34                                                       | 0.42 | 94.3    | 4.00                                                       | 0.91 | 77.3    |
| 2    | 7.34                                                       | 0.42 | 94.3    | 4.00                                                       | 0.50 | 87.5    |
| 3    | 7.34                                                       | 0.42 | 94.3    | 4.00                                                       | 0.50 | 87.5    |

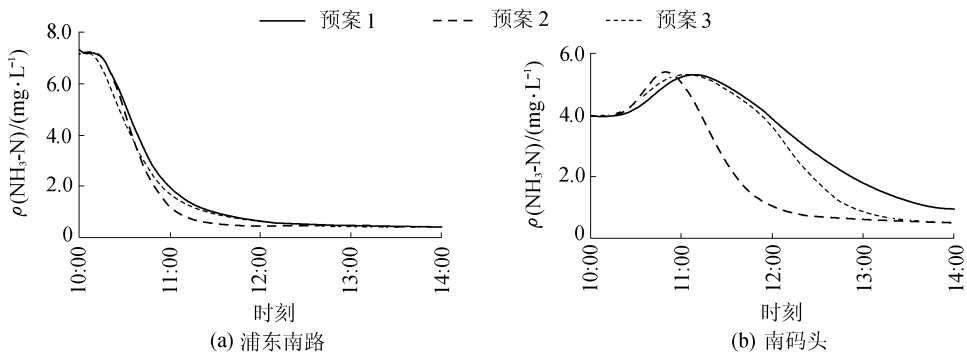


图4 3种常规引调预案的典型测点 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 变化

Fig. 4  $\text{NH}_3\text{-N}$  concentrations at typical stations in three conventional water diversion predetermined schemes

3.2 初期雨水污染调度预案

世博会期间初期雨水是影响园区水质的主要污染源。受区域性雷暴雨侵袭时,相关市政及小区泵站(白莲泾、六里、云莲3座雨水泵站)需要同时向白莲泾河道排水,雨水排放量很大,且初期雨水水质很差,因此可按以下方案进行调度:落潮时由白莲泾水闸、3座镇属水闸(春塘河水闸、中汾泾水闸、汤家浜水闸)和世博泵闸向黄浦江排水,待黄浦江涨潮时再从世博泵闸引水并关闭中汾泾北闸和汤家浜水闸,使世博会园区白莲泾河道水体经春塘河、白莲泾水闸流向川杨河,落潮时从杨思水闸排水。

2009年10月17日7:00开始,白莲泾、六里、云莲3座雨水泵站同时向白莲泾河道排放污水,排污口处河道水体明显变黑。7:26浦东南路桥处的污水在上游来水的冲释下排向黄浦江口,污水和上游来水存在明显的分界线,河道岸边水体发黑,中间主流表观尚可。其主要原因是浦东南路桥两边淤堵,污水在岸边形成回流区,影响清、污水体的混合,建议对浦东南路桥两边进行疏浚。8:30以后水体发黑现象基本消除。从黄浦江引水后(白莲泾水闸、世博泵闸、春塘河水闸的引水时间分别为11:15,10:30,11:00),14:00水体表观有明显的改善。

图5为初期雨水污染预案3个测点的 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 变化。在白莲泾东面来水的冲释下,初期雨水污染约2h即可排出;黄浦江水水质明显好于白莲泾内河水质,从黄浦江水引水后,白莲泾内河水质改善率为73.2%~83.5%,其中园区内改善率为82.1%。建议雨水排放时,如遇低潮则打开世博泵闸,如遇高潮则启动白莲泾泵站强排。排水结束后,选择涨潮期间从黄浦江引水改善内河水质。对于雨水排放量不大、初期雨水污染不严重的情形,可按突发水污染应急调度预案调度运行。

3.3 突发水污染应急调度预案

当白莲泾河道发生突发性污染事故(譬如市政雨水泵站旱流排污、持续高温导致局部河段水质恶化等),如果此类污染产生量不大,可采用南排方案,即关闭世博泵闸,通过调度将污水排入川杨河,最大限度地保护园区水质。如果污染产生量很大,对内河水质有较大影响,可按初期雨水污染调度方案模式进行调度。

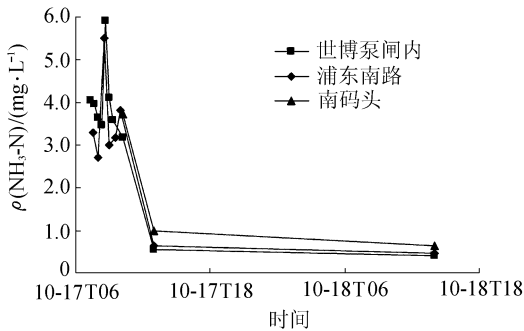


图5 初期雨水污染预案各测点 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 变化

Fig. 5  $\text{NH}_3\text{-N}$  concentrations at typical stations in initial rainwater pollution operation scheme

以白莲泾雨水泵站向白莲泾河道排污 30 min(2009 年 10 月 22 日 18:15—18:45)作为突发水污染情形,排污时为低潮位(南排方案中最不利的情况)。如果排污时间段正处于高潮位,只需同步打开世博泵闸从黄浦江引水,污水团可快速南排进入川杨河。白莲泾雨水泵站共有 2 台水泵,单泵流量为  $2.8\text{ m}^3/\text{s}$ ,因此排污流量按  $2.8\text{ m}^3/\text{s}$  和  $5.6\text{ m}^3/\text{s}$  这 2 种工况设计。预案以南排和水闸不运行为主,按不同的污染排放量和内河控制水位进行预案分析(表 2)。

由表 2 可知,总体上低潮期间南排方案比水闸不运行方案更有利于园区水质的改善,排污流量越大,改善程度越明显。排污量对园区内水质影响较大,当白莲泾雨水泵站附近排污流量为  $2.8\text{ m}^3/\text{s}$  时,排污时间限制在 30 min 内,园区内水质受影响范围和污水水质组分浓度极值较小;当白莲泾雨水泵站附近排污流量增大到  $5.6\text{ m}^3/\text{s}$  时,园区内水质受影响范围和污水水质组分浓度极值随之增大。白莲泾河道控制水位越高,园区水质通过南排方案改善越明显,因此建议提高常态下白莲泾河道的水位。突发水污染时,如遇低潮位则以南排方案调度,如遇高潮位则即时打开世博泵闸从黄浦江引水。

3.4 世博泵闸故障时调度预案

出于园区整体景观考虑,世博泵闸闸门采用下卧式平板钢闸门,泵闸总体布置采用内敛式,这种闸门构造对运行环境要求较高,有一定的安全风险。研究这种非常态下的调水预案,对预防世博会期间发生水质恶化现象很有必要。

模型水动力条件和水质边界条件、初始条件与现场调水试验时的初期雨水污染调水方案相同。2009 年 10 月 17 日 7:00—7:30,白莲泾、六里、云莲 3 座雨水泵站向白莲泾河道排污(通过排污模拟河道水质恶化现象),同时启动世博泵闸的水泵向黄浦江排水(期间世博泵闸闸门始终关闭,模拟世博泵闸闸门故障),外排流量为  $30\sim40\text{ m}^3/\text{s}$ 。世博泵闸的闸门出现故障无法正常引排时可开启世博泵闸的水泵进行强排,按东引西排模式调度。

图 6 为模型模拟的调水水质变化过程。由图 6 可知,世博泵站启动  $40\text{ m}^3/\text{s}$  流量,约 150 min 即可将园区内污水排出,园区内的水质最终取决于白莲泾东部河段的水质。世博泵闸出现故障的情况下需要提高浦东东引长江水的频率,通过大片调水来改善白莲泾东部河段的水质,再通过世博泵站的启闭实现小区域的东引西排。

4 结 语

建立了河网水动力及水质数学模型,在综合考虑水(泵)闸、生态浮岛、河道底质释放污染等影响因素条件下,对研究区域河网水系的水质状况进行数值模拟,并基于模拟结果提出解决世博会园区河网常规污染、初期雨水污染、突发水污染和世博泵闸故障 4 种情况下的调控预案:(a) 常规调度模式可采用涨潮时先开启春塘河水闸从黄浦江引水,通过春塘河流向川杨河;约 2 h 后关闭春塘河水闸,开启白莲泾水闸,继续通过白莲泾流向川杨河。(b) 对于区域性雷暴雨侵袭,相关市政及小区泵站同时向白莲泾河道排水,雨水排放量很大,且初期雨水水质很差的情形(初期雨水污染),具体调度方

表 2 突发水污染应急调度预案统计分析  
Table 2 Statistics of emergency water pollution accident operation schemes

| 排污量/<br>( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 时刻    | $\rho_{\max}(\text{NH}_3\text{-N})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ |               |               |               |
|----------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                                              |       | 低潮期闸门<br>不调度                                                        | 低潮期南排方案       |               |               |
|                                              |       |                                                                     | 控制水位<br>2.8 m | 控制水位<br>2.9 m | 控制水位<br>3.0 m |
| 2.8                                          | 18:45 | 7.02                                                                | 6.24          | 5.50          | 5.02          |
|                                              | 20:00 | 5.23                                                                | 4.04          | 3.51          | 3.13          |
|                                              | 22:00 | 4.60                                                                | 3.29          | 3.08          | 2.85          |
|                                              | 0:00  | 4.32                                                                | 3.08          | 2.86          | 2.63          |
|                                              | 2:00  | 4.11                                                                | 2.64          | 2.55          | 2.43          |
|                                              | 4:00  | 0.86                                                                | 0.71          | 0.69          | 0.67          |
| 5.6                                          | 18:45 | 12.01                                                               | 11.42         | 10.37         | 9.48          |
|                                              | 20:00 | 8.95                                                                | 7.42          | 6.51          | 6.21          |
|                                              | 22:00 | 8.52                                                                | 6.47          | 5.94          | 5.36          |
|                                              | 0:00  | 8.11                                                                | 5.92          | 5.40          | 4.96          |
|                                              | 2:00  | 7.77                                                                | 5.23          | 4.95          | 4.62          |
|                                              | 4:00  | 1.37                                                                | 4.96          | 4.62          | 0.84          |

注: $\rho_{\max}(\text{NH}_3\text{-N})$ 指世博泵闸内至浦东南路桥园区段范围内的  $\text{NH}_3\text{-N}$  最高质量浓度。

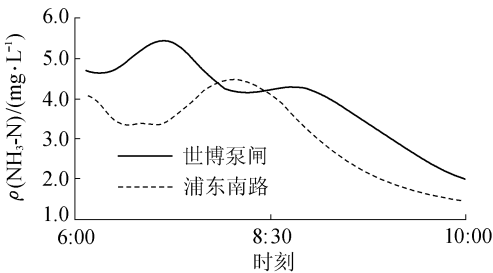


图 6 世博泵闸故障时典型测点  $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$  变化  
Fig. 6  $\text{NH}_3\text{-N}$  concentrations in cases of pump and sluice failures

案为:开启世博泵闸(如遇高潮,则改为启动世博泵闸泵站强排)向黄浦江排水,同时开启白莲泾水闸。在白莲泾东段来水的冲释下,初期雨水污染约2 h即可排出黄浦江,排水结束后选择涨潮期间从黄浦江引水改善内河水质。对于雨水排放量不大、初期雨水污染不严重的情形,可按突发水污染应急调度预案调度运行。(c)为应对突发污染事故,应提高常态下白莲泾河道的水位。突发水污染时,如遇低潮位,采取把世博会园区水体向南调入川杨河的方案进行调度;如遇高潮位,应即时打开世博泵闸从黄浦江引水,通过相关水闸将污染水体调出白莲泾。(d)世博泵闸出现故障无法正常引排时,需要提高浦东片东引长江水的频率,通过大片调水来改善白莲泾东部河段的水质,再通过世博泵站的启闭实现小区域的东引西排。

## 参考文献:

- [1] 唐洪武,戴文鸿. 迎世博白莲泾水环境综合整治调水方案[R]. 南京:河海大学,2010.
- [2] 唐迎州,徐贵泉,徐华,等. 崇明岛河网引清调水试验研究[J]. 水资源保护,2011,27(4):70-73. (TANG Yingzhou, XU Guiquan, XU hua, et al. Study on clean water diversion tests of river network in Chongming Island[J]. Water Resources Protection, 2011, 27(4): 70-73. (in Chinese))
- [3] 张良平,王珏,徐骏. 调水改善武澄锡虞区河网水质效果评估[J]. 人民长江,2009,40(7):30-32. (ZHANG Liangping, WANG Yu, XU Jun. Water quality improvement by water diversion in river network of Wuchengxiyu region[J]. Yangtze River, 2009, 40(7): 30-32. (in Chinese))
- [4] 徐贵泉,褚君达. 上海市引清调水改善水环境探讨[J]. 水资源保护,2001,17(3):16-21. (XU Guiquan, CHU Junda. Water environment improvement by clean water diversion in Shanghai City[J]. Water Resources Protection, 2001, 17(3): 16-21. (in Chinese))
- [5] 沈爱春. 望虞河引江对太湖的影响研究[J]. 水资源保护,2002,18(1):46-51. (SHEN Aichun. Impacts of water diversion from Wangyu River on water environment of Taihu Lake[J]. Water Resources Protection, 2002, 18(1): 46-51. (in Chinese))
- [6] 王道增,林卫青. 苏州河综合调水与水环境治理研究[J]. 力学与实践,2005,27(5):14-19. (WANG Daozeng, LIN Weiqing. Study on flow augmentation and water environment rehabilitation for Suzhou Creek[J]. Mechanics in Engineering, 2005, 27(5): 14-19. (in Chinese))
- [7] 王超,卫臻,张磊,等. 平原河网区调水改善水环境实验研究[J]. 河海大学学报:自然科学版,2005,33(2):136-138. (WANG Chao, WEI Zhen, ZHANG Lei, et al. Experimental study on improvement of water environment by water diversion in plain river networks[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2005, 33(2): 136-138. (in Chinese))
- [8] 陈林兴,黄远东,孙建国,等. 上海青浦城区西北片河网调水方案的效果分析[J]. 上海理工大学学报,2007,29(6):557-561. (CHEN Linxin, HUANG Yuandong, SUN Jianguo, et al. Effect analysis of different scenarios of water transfer in a river network in the northwest part of Shanghai's Qingpu urban area[J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 2007, 29(6): 557-561. (in Chinese))
- [9] 丁玲,逢勇,赵棣华,等. 调水工程对五里湖水环境影响分析[J]. 河海大学学报:自然科学版,2003,31(4):365-369. (DING Ling, PANG Yong, ZHAO Dihua, et al. Effect of water diversion project on water environment of Wulihu Lake[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2003, 31(4): 365-369. (in Chinese))
- [10] 陈虹,朱明栓. 福州内河河网精细水流水质数学模型研究[J]. 环境科学与管理,2010,35(5):66-69. (CHEN Hong, ZHU Mingshuan. The research on fine water quality mathematical model for tidal-effect river network in Fuzhou river network[J]. Environmental Science and Management, 2010, 35(5): 66-69. (in Chinese))
- [11] 黄远东,代静,陈林兴,等. 上海青浦城区西北片河网引清调水的研究[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(2):14-17. (HUANG Yuandong, DAI Jing, CHEN Linxing, et al. Study on water transfer in a river network located on the northwest part of Qingpu Urban Area in Shanghai[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2010, 21(2): 14-17. (in Chinese))
- [12] 徐贵泉,宋德蕃,黄士力,等. 感潮河网水量水质模型及其数值模拟[J]. 应用基础与工程科学学报,1996,4(1):94-105. (XU Guiquan, SONG Defan, HUANG Shili, et al. Hydraulics and water quality model for tidal river network and numerical simulation[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 1996, 4(1): 94-105. (in Chinese))
- [13] 刘贵平. 复杂河网水动力模拟及水环境调控研究:以上海世博园区河网为例[D]. 南京:河海大学,2012.