

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2012.05.002

# 环太湖河流入湖水质控制浓度分析

张红举<sup>1,2</sup>, 甘升伟<sup>3</sup>, 袁洪州<sup>4</sup>, 徐彬<sup>3</sup>

(1. 湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008; 2. 太湖流域水资源保护局, 上海 200434;  
3. 太湖流域管理局水文水资源监测局, 江苏 无锡 214024; 4. 上海勘测设计研究院, 上海 200434)

**摘要:**以《太湖流域水环境综合治理总体方案》中 2012 年和 2020 年太湖水质保护目标为基础, 结合太湖现状水质, 确定太湖各湖区水质保护目标。选择 1976 年型降雨条件, 采用太湖二维水量水质模型调算, 获得满足太湖各湖区水质保护目标条件下的各湖区对应环湖河道水质控制浓度。

**关键词:**水质; 环湖河道; 浅水湖泊; 控制浓度; 太湖

中图分类号: X32 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2012)06-0008-04

## Analysis of controlled concentration of water quality of rivers around Taihu Lake

ZHANG Hong-Ju<sup>1,2</sup>, GAN Sheng-wei<sup>3</sup>, YUAN Hong-zhou<sup>4</sup>, XU Bin<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;  
2. Water Resources Protection Bureau of Taihu Basin, Shanghai 200434, China;  
3. Hydrology and Water Resources Monitoring Bureau of Taihu Basin Authority, Wuxi 214024, China;  
4. Shanghai Investigation, Design and Research Institute, Shanghai 200434, China)

**Abstract:** The water quality in Taihu lake was analyzed, and the water quality protection goals in various areas of Taihu Lake were determined based on the overall protection goals of 2010 and 2020 in the Master Plan for Comprehensive Management of the Water Environment in the Taihu Basin. Based on rainfall data from 1976, a two-dimensional water quantity and quality model for Taihu Lake was used to calculate the allowed concentration of water quality of the rivers around the lake under the constraint that the water quality of various lake areas must reach the protection goals.

**Key words:** water quality; river around lake; shallow lake; controlled concentration; Taihu lake

2008 年, 国务院批复了《太湖流域水环境综合治理总体方案》(以下简称《总体方案》), 明确提出了太湖 2012 年和 2020 年水质保护目标<sup>[1]</sup>。由于太湖污染物主要来源于环湖河流<sup>[2-6]</sup>, 因此, 有必要根据太湖水质保护目标, 研究提出环太湖河流入湖控制浓度, 为落实太湖水功能区限制纳污红线、有效开展水环境综合治理提供管理依据。

## 1 太湖简介

### 1.1 自然概况

太湖位于长江三角洲南缘, 地跨江苏、浙江两省

及上海市, 水面面积 2 338 km<sup>2</sup>, 是我国第 3 大淡水湖。太湖平均水深 1.89 m, 最大水深 2.6 m, 是一个大型浅水湖泊。湖盆呈浅碟形, 南北平均长 69 km, 东西平均宽 34 km, 湖岸线总长 405 km。

### 1.2 湖区及环湖河流现状水质

按照 GB 3838—2002《地表水环境质量评价标准》, 2010 年太湖水质总体评价为劣 V 类<sup>[7]</sup>, 其中有 0.3% 水域水质为 IV 类, 18.8% 为 V 类, 80.9% 为劣 V 类, 未达到地表水 III 类标准的指标主要为 TN、TP 和 BOD<sub>5</sub>。太湖各湖区中, 西北部湖区水质较差, 东部湖区水质相对较好, 在空间分布上呈现出由北向

基金项目: 水利部公益性行业科研专项(201101025)

作者简介: 张红举(1977—), 高级工程师, 博士研究生, 从事水资源保护规划研究。E-mail: zeusium@sohu.com

南、由西向东水质逐渐变好的状态。其中五里湖、东部沿岸区、东太湖水质最好;竺山湖和西部沿岸区水质最差,总体为劣V类。

太湖环湖地区主要包括江苏省的无锡、常州、宜兴、苏州4市及浙江省的湖州、长兴2市(县)。2010年,22条主要入湖河流中劣V类河流有7条。其中,江苏省15条入湖河流中水质劣于V类的有6条;浙江省7条入湖河流中水质劣于V类的河流有1条(夹浦港)。2010年入湖河流的主要超标指标为NH<sub>3</sub>-N、BOD<sub>5</sub>和COD。

## 2 环太湖河道水质控制浓度研究

### 2.1 技术路线

以《总体方案》中确定的太湖2012年和2020年水质保护目标为基础,结合太湖现状水质,确定太湖各湖区水质保护目标。选择降雨典型年,采用太湖二维水量水质模型调算,获得在满足太湖湖区水质保护目标条件下,各湖区对应环湖河道水质浓度。在此基础上,结合河道水功能区划水质保护目标,综合确定环湖河道水质控制浓度。环太湖河道水质控制浓度计算技术路线见图1。

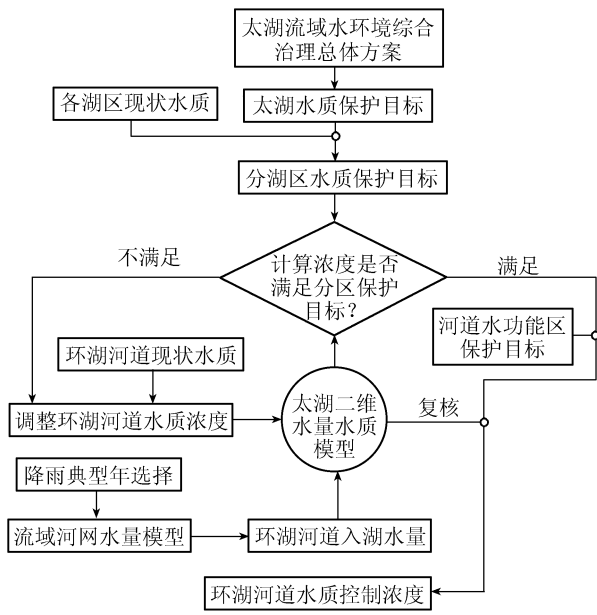


图1 环太湖河道水质控制浓度计算技术路线

### 2.2 水质保护目标

《总体方案》确定了太湖2012年、2020年水质保护目标<sup>[1]</sup>(表1)。由于太湖属于大型宽浅湖泊,水质空间差异较大,西北部湖区水质较差,东部湖区水质相对较好,在空间分布上呈现出由北向南、由西向东水质逐渐变好的状态。因此,不同沿岸湖区对入湖河道水质要求也不相同,在《总体方案》提出的水质目标基础上,有必要根据现状水质按湖区面积加权试算,将总体水质目标分解至各湖区(图2)。

表1 太湖水质保护目标

指标	目标年	质量浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	水质类别
COD <sub>Mn</sub>	2012	4.50	Ⅲ
	2020	4.00	Ⅱ
NH <sub>3</sub> -N	2012	0.46	Ⅱ
	2020	0.45	Ⅱ
TP	2012	0.07	Ⅳ
	2020	0.05	Ⅲ
TN	2012	2.00	V
	2020	1.20	Ⅳ

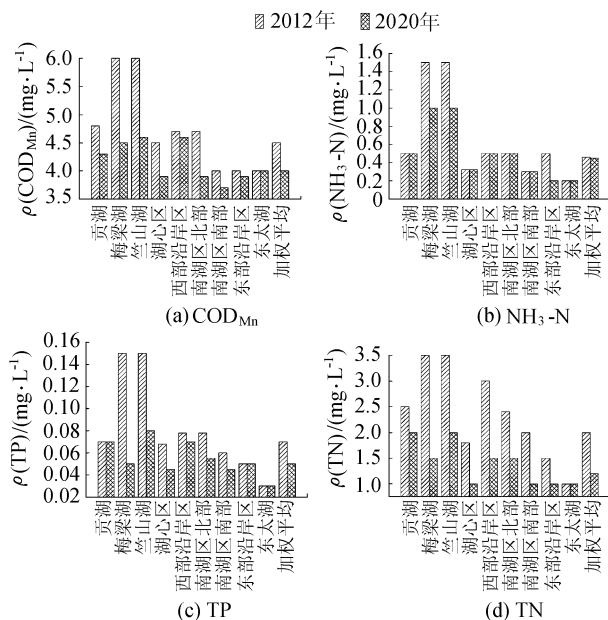


图2 太湖水质保护目标湖区分解

在太湖设置33个浓度控制点(图3),各分区浓度由相应控制点的浓度算术平均得到,太湖全湖平均浓度按分区面积加权平均得到。

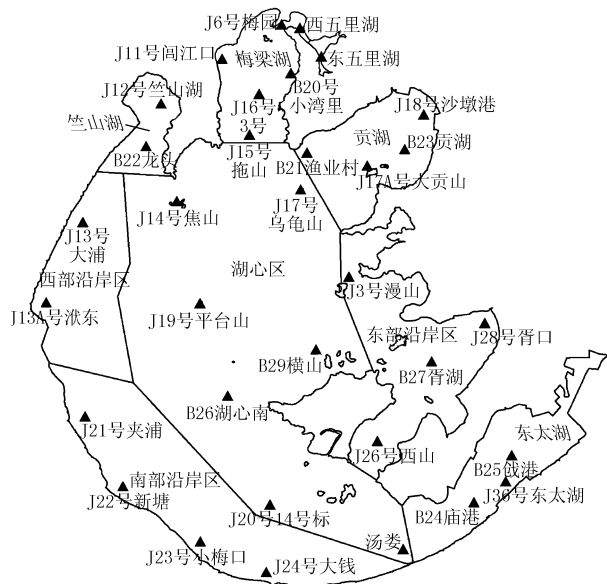


图3 太湖浓度控制点分布示意图

### 2.3 计算方法

对太湖建立二维水量水质数学模型,基本方程

组为

$$\begin{cases} \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial x} = S_{fx} + fv \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial z}{\partial y} = S_{fy} - fu \end{cases} \quad (1)$$

式中: $Z$ 为水位, m; $t$ 为时间, s; $h$ 为水深, m,  $h = Z - Z_B$ , 其中  $Z_B$  为湖底高程, m; $u$ 为  $x$  方向分速度, m/s; $v$ 为  $y$  方向分速度, m/s; $q$ 为湖面降雨、蒸发及湖底渗漏等水量源汇项, m/s; $f$ 为柯氏加速度,  $f = 2\omega \sin\phi$ , 其中,  $\phi$  为纬度, 太湖可取北纬  $31^{\circ}10'$ ;  $\omega$  为地球自转速度, rad/s;  $S_{fx}$ 、 $S_{fy}$  分别为  $x$ 、 $y$  方向的切应力, N/m<sup>2</sup>。

太湖水质计算方程为

$$\frac{\partial(h\rho)}{\partial t} + \frac{\partial(hu\rho)}{\partial x} + \frac{\partial(hv\rho)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}(hE_x \frac{\partial \rho}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(hE_y \frac{\partial \rho}{\partial y}) + \frac{hS}{86400} + S_w \quad (2)$$

式中: $\rho$ 为某种水质指标的质量浓度, mg/L; $E_x$ 为  $x$  方向扩散系数, m<sup>2</sup>/s; $E_y$ 为  $y$  方向扩散系数, m<sup>2</sup>/s; $S$ 为某种水质指标的生化反应项, g/(m<sup>3</sup>·d); $S_w$ 为某种水质指标的外部源汇项, g/s;其他符号说明同前。

用 1000 m×1000 m 的正方形网格将太湖划分为 2545 个计算单元, 根据环湖河道巡测站资料, 将环湖河道概化为 22 条。

模型采用 2002 年环湖河流进出太湖湖体水量、湖面蒸发与降雨等资料率定。率定相对误差:  $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$  为 20%、 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$  为 50%、 $\rho(\text{TP})$  为 58%、 $\rho(\text{TN})$  为 40%<sup>[8]</sup>, 基本满足计算需要。

## 2.4 计算条件

### 2.4.1 设计水文条件

综合考虑环湖河流水质现状以及管理可操作性, 采用 1976 年型 ( $P=75\%$ ) 降雨过程作为设计水文条件。1976 年太湖流域年降水量为 1031.9 mm, 降水频率为 77.6%, 属中等偏枯年份。该设计条件下, 太湖全年入湖水量为 81.5 亿 m<sup>3</sup>, 出湖水量为 67.4 亿 m<sup>3</sup>。环太湖河流出入湖水量见图 4。

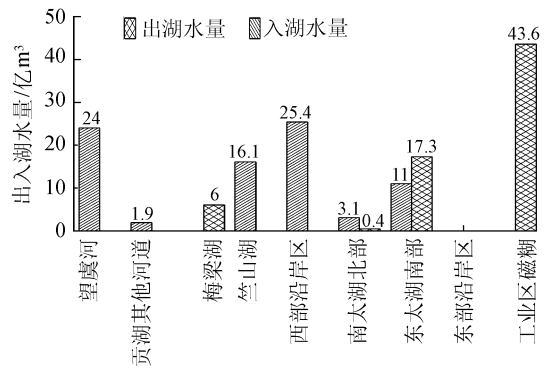


图 4 环太湖河流出入湖水量

### 2.4.2 水质参数

根据率定成果<sup>[8]</sup>, 污染物  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{TP}$ 、 $\text{TN}$  的综合降解系数分别为  $0.005 \text{ d}^{-1}$ 、 $0.025 \text{ d}^{-1}$ 、 $0.04 \text{ d}^{-1}$ 、 $0.006 \text{ d}^{-1}$ 。

### 2.4.3 初始条件

根据近年来太湖水质状况, 设定水质计算初始条件, 计算初始水位取 2.60 m, 计算时间步长取 900 s。

## 2.5 成果分析

### 2.5.1 计算结果

1976 年型 ( $P=75\%$ ) 流域典型年条件下, 2012 年环太湖入湖河流  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  控制质量浓度为 4.5 ~ 6.0 mg/L, 2020 年为 4.0 ~ 5.5 mg/L。  $\text{NH}_3\text{-N}$  控制质量浓度 2012 年为 1.0 ~ 2.2 mg/L, 2020 年为 1.0 mg/L。  $\text{TP}$  控制质量浓度 2012 年为 0.12 ~ 0.20 mg/L, 2020 年为 0.12 ~ 0.18 mg/L。  $\text{TN}$  控制质量浓度 2012 年为 2.8 ~ 4.5 mg/L, 2020 年为 2.2 ~ 3.0 mg/L, 详见表 2。

根据各湖区对应河道现状水质 (2000 ~ 2010 年平均) 分析, 贡湖除望虞河以外其他河道, 梅梁湖、竺山湖以及南太湖北部对应河道的入湖水质质量浓度削减较大 (图 5)。

### 2.5.2 合理性分析

太湖环湖河道水质控制浓度是开展太湖入湖污染总量控制的重要依据, 有必要采用近年来实况入湖污染负荷进行合理性分析。2005 年流域降雨频率为 75%, 入湖水量为 79.1 亿 m<sup>3</sup>, 与计算设计条件 1976 年型基本相当; 2009 年流域降雨量较大, 降雨

表 2 环太湖河道入湖水质控制质量浓度模型调算成果

对应湖区	环太湖河道	2012 年				2020 年			
		$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	$\rho(\text{TP})$	$\rho(\text{TN})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	$\rho(\text{TP})$	$\rho(\text{TN})$
贡湖	望虞河	5.0	1.0	0.15	2.8	4	1.0	0.12	2.2
	其他河道	5.5	1.5	0.18	3.0	5.5	1.0	0.15	2.8
梅梁湖	梁溪河、武进港、直湖港等	6.0	2.0	0.20	4.0	5.0	1.0	0.18	3.0
竺山湖	漕桥河、殷村港、太湖运河等	6.0	2.2	0.20	4.5	5.0	1.0	0.15	3.0
西部沿岸区	陈东港、大浦港、烧香港等	5.5	1.5	0.15	4.0	5.5	1.0	0.13	2.5
南太湖北部	长兴港、合溪新港等	5.0	1.2	0.12	4.0	5.0	1.0	0.12	3.0
南太湖南部	西荇溪、小梅港、长兜港、大钱港等	4.5	1.0	0.12	2.8	4.5	1.0	0.12	2.8

▨ 现状水质(2000-2010年平均值)

▨ 2005年计算浓度

▨ 2009年计算浓度

○ 2012年湖区目标

□ 2012年保护目标

△ 2020年保护目标

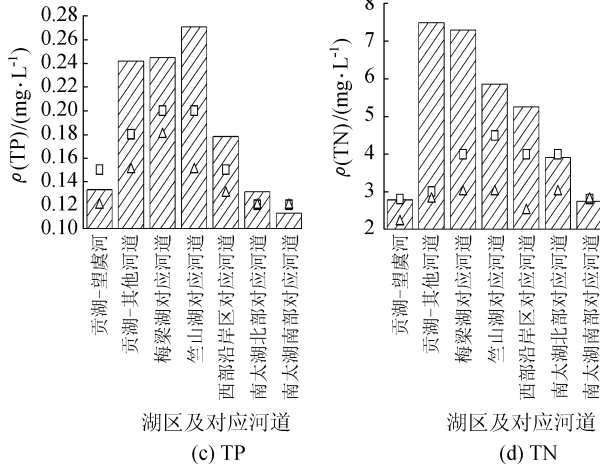
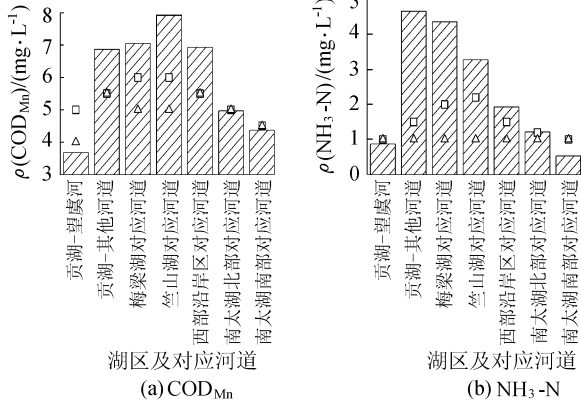


图5 环太湖河流现状水质质量浓度与控制质量浓度比较

频率为19%,入湖水量达到107.7亿 $m^3$ ,属于入湖水量较大的年份。这两个年份在降雨频率和入湖水量上具有代表性。

将2005年、2009年实况出入湖水量,以及2012年环湖河道水质控制浓度作为边界输入太湖水质模型,计算结果见表3及图6。由表3及图6可以看出,2005年 $COD_{Mn}$ 、 $NH_3-N$ 、TP、TN等水质指标计算值均达到了太湖2012年保护目标;2009年除 $NH_3-N$ 指标略有超标以外,其他水质指标均满足太湖2012年保

表3 环湖河道控制浓度条件下太湖

水质计算成果统计		mg/L			
年份	项目	$\rho(COD_{Mn})$	$\rho(NH_3-N)$	$\rho(TP)$	$\rho(TN)$
2005	平均	3.77	0.45	0.050	1.26
	最高	4.13	0.64	0.103	1.65
	最低	3.50	0.28	0.041	0.99
2009	平均	3.76	0.48	0.051	1.36
	最高	4.36	0.75	0.074	1.97
	最低	3.41	0.33	0.041	1.01
2012年保护目标		4.50	0.46	0.070	2.00

护目标。这说明在设计条件下调算的环湖河道控制浓度,基本能够满足实际太湖水质控制的要求。

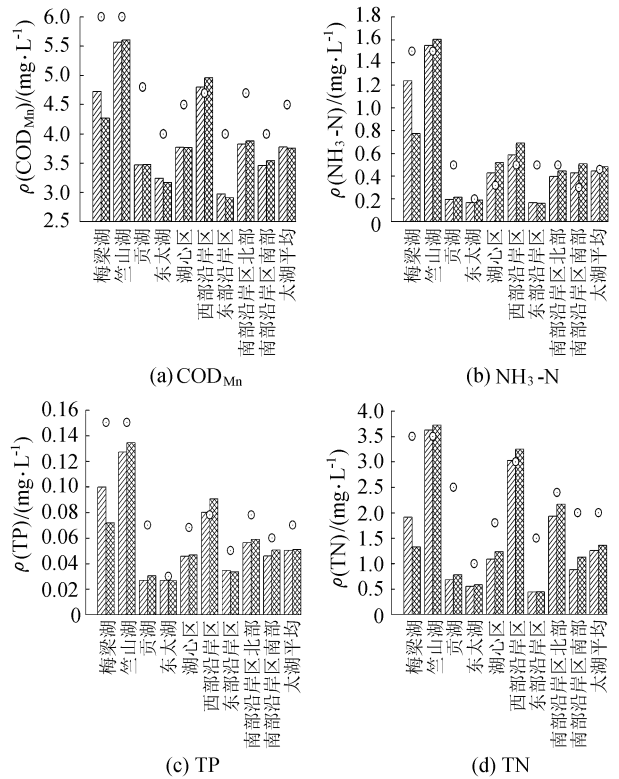


图6 环湖河道控制浓度条件下太湖湖区水质计算成果

### 3 结语

大型浅水湖泊的水质受汇入河流水质影响明显,控制入湖河流水质浓度是保护湖泊环境的重要手段。河道带入的污染物进入湖泊之后,由于混合、稀释、氧化还原以及生物转化等作用,部分污染物将会降解,因此,当入湖河道浓度略高于湖泊水质保护目标时,湖泊水质也能达标。在目前河道水质超标较普遍,远未达到水功能区保护目标的条件下,合理论证入湖浓度是十分必要的。该研究以太湖二维水质模型为工具,通过调算来获得满足湖泊水质保护目标的河道入湖浓度,物理概念清晰,操作性强,可供其他地区借鉴。

### 参考文献:

[1] 国家发展改革委员会. 太湖流域水环境综合治理总体方案[R]. 北京:国家发展改革委员会,2008:38.  
 [2] 翟淑华,张红举. 环太湖河流进出湖水量及污染负荷[J]. 湖泊科学,2006,18(3):225-230.  
 [3] 申金玉,甘升伟. 环太湖出入湖水量影响因素分析及对策措施研究[J]. 水资源保护,2011,27(6):48-52.  
 [4] 盛海峰,闫明宇,王兴平. 宜兴梅林小流域磷素的迁移规律[J]. 水资源保护,2010,26(2):32-35.  
 [5] 徐慧,崔广柏. 太湖供水现状及其形势分析[J]. 河海大学学报:自然科学版,2004,32(增刊1):209-211.

(下转第54页)



而在有条件的地区充分利用现有的水利工程,采取引清冲污,发挥当地的水资源优势及闸控条件改善水环境,可以促进水体的良性循环。

a. 建立了一维河网水质模型,并利用实测水质数据对模型进行了验证,效果令人满意,表明模型适用于外秦淮河引水调度模式的研究。

b. 利用该模型对外秦淮河不同引水规模、闸控方式和引水方式的引调水方案进行了水量水质的数值模拟,计算结果表明引水可以改善河道水质,引水量越大,改善作用越明显。枯季从秦淮新河闸引水工况为  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ,外秦淮河水质 COD 质量浓度可达Ⅳ类水,  $\text{NH}_3\text{-N}$  质量浓度达到Ⅴ类水;汛期,石臼湖引水工况为  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ ,外秦淮河水质 COD 质量浓度可达Ⅲ类水,  $\text{NH}_3\text{-N}$  质量浓度达到Ⅴ类水。

c. 根据模拟结果以及考虑外秦淮河引水量的沿程损失、引水的间隙性和污染物不连续排放特点,可以得到下列结论:枯水期,建议引水工况取  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ,即取水量为 432 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,以达到Ⅴ类水质标准。汛期首先考虑从石臼湖自流引水,实际引水工况控制在  $50 \sim 60 \text{ m}^3/\text{s}$  以上为佳;若石臼湖不能满足自流条件,则需要从长江引水,以改善外秦淮河水质。

#### 参考文献:

[1] 徐祖信. 河流污染治理技术理论与实践[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2003: 498-545.

[2] 卢士强,徐祖信,罗海林,等. 上海市主要河流调水方案的水质影响分析[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2006,34(1): 32-36.

[3] 徐祖信,卢士强. 平原感潮河网水质模型研究与应用[J]. 水动力学研究与进展, 2003, 18(2): 182-188.

[4] XU Zu-xin, LU Shi-qiang. Study on hydrodynamic model for tidal plain river-networks [J]. Journal of Hydrodynamics, Ser B, 2003, 15(2): 64-70.

[5] 徐祖信,罗海林,屠鹤鸣. 苏州河调水对水质的改善作用分析[J]. 上海环境科学, 2003,22(增刊): 43-46.

[6] 刘云华,董增川,李朝方,等. 深圳河湾水系水质改善引调水工程[J]. 水资源保护, 2008,24(3): 31-34.

[7] 郑建中,王苓,尤征懿,等. 调水引流对太湖无锡水域湖流的影响[J]. 水利水文自动化, 2009(4): 47-50.

[8] 徐贵泉,褚君达. 上海市引清调水改善水环境讨论[J]. 水资源保护, 2001(3): 26-30.

[9] 唐礼智,汤建中. 上海市苏州河段水质污染综合治理研究[J]. 地理学与国土研究, 2001,17(4): 81-84.

[10] 应荣弟,徐华. 改善崇明岛河网水质引清调水量计算[J]. 吉林水利, 2006(4): 6-8.

[11] 褚君达. 河网对流输移问题的求解及应用[J]. 水利学报, 1994(10): 14-23.

[12] CHU Jun-da, XU Hui-ci, YE Zu-de, et al. Unsteady water quality model with multiparameter for the river network [R]. Hong Kong: Proc Inter Sympo Envir Hydraulics, 1991.

[13] 褚君达,徐慧慈. 河网水质模型及其数值模拟[J]. 河海大学学报, 1992,20(1): 16-22.

[14] BRIAN R B, JOHN C I, JOHN L K, et al. Hydrological simulation program-fortran, hspf, user's manual [M]. California: AQUA TERRA Consultants. Mountain View, 2001.

[15] SHEN J, PARKER A, RIVERSON J. A new approach for a windows-based watershed modeling system based on a database-supporting architecture [J]. Environmental modeling and software, 2005(20): 1127-1138.

[16] 席燕萍,逢勇. 石臼湖引水改善秦淮河水环境研究[J]. 江苏环境科技, 2008,21(4): 6-8.

(收稿日期:2011-11-28 编辑:高渭文)

+++++  
(上接第 11 页)

[6] 贾锁宝,马蕴芬,万晓凌. 1999 年梅雨期太湖暴雨洪水分析[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2002, 30(增刊 2): 72-75.

[7] 水利部太湖流域管理局. 太湖健康状况报告(2010 年)[R]. 上海:水利部太湖流域管理局, 2010.

[8] 张红举,禹雪中,马巍. 浅水湖泊纳污能力计算研究:以太湖为例[C]//中国环境科学学会第十三届世界湖泊大会论文集. 北京:中国农业大学出版社, 2009: 2185-2188.

(收稿日期:2012-01-29 编辑:徐娟)

+++++  
(上接第 48 页)

[5] 蒲文龙,郭守泉. 主成分分析法在环境监测点优化中的应用[J]. 煤矿开采, 2004,9(4): 6-7.

[6] 陆德中,桂志成,李志亮. Excel 2000 在水质监测中的应用[J]. 长江工程职业技术学院学报, 2007,24(2): 47-49.

[7] 姜欣. “均值偏差法”在河流水质监测断面优化中的应用[J]. 黑龙江环境通报, 2006,30(3): 44-45.

[8] 郭小青. 贴近度法优化城市内河水水质监测点[J]. 科技通报, 2005,21(3): 360-363.

[9] 陈鸿. t 检验在环境监测数据评价分析中的应用[J]. 福建环境, 2001,18(5): 43-44.

[10] 赵岩. 基于 Excel 的 t 检验方法[J]. 吉林化工学院学报, 2005,22(3): 56-58.

(收稿日期:2011-11-08 编辑:彭桃英)