

引江济太措施对太湖西北部湖区污水滞留和转移风险评估

吴时强^{1,2}, 范子武^{1,2}, 周 杰^{1,2}, 吴修锋^{1,2}

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要:为改善太湖区域和武澄锡虞河网的水环境,特别是无锡城区、梅梁湖和五里湖,开展了利用引水调控措施来改善太湖流域区域性水环境的调水方案研究.通过多种调水方案的比较,确定了示范工程的调水方案.由于调水工程的复杂性,存在诸多不确定性因素,给引水调控措施改善区域水环境的最终效果带来一定风险.就梅梁湖而言,受调水影响,存在直湖港、武进港污水在梅梁湖内发生滞留或向其它地方转移的风险.本文借助二维水流水质数学模型,在对多种影响因素进行方案组合并进行改善效果数值模拟的基础上,通过敏感性分析,筛选出了关键风险因子——风向和风速.根据示范调水期间主导风况的实际情况,分析了梅梁湖内污水滞留位置 and 转移路线.结果表明,在偏北风和静风两种风况下,直湖港和武进港污水在梅梁湖内滞留和向大太湖转移的风险较大,并给出了相应的对策和建议.

关 键 词:太湖; 数值模拟; 风险分析; 引水调控; 梅梁湖

中图分类号: TV876:X524

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2009)02-0001-08

太湖是我国第三大淡水湖,具有供水、防洪、灌溉、航运、养殖和旅游等多种功能,是太湖流域水生态系统的中枢.近年来,随着太湖流域经济社会的迅速发展,水环境问题日益突出,入河入湖污染物急剧增长,河湖水环境日益恶化,尤其是太湖西北部湖区的武进港、直湖港和梁溪河等入湖河道,是太湖沿岸污染最为集中、水体污染最严重的湖湾.梅梁湖、五里湖水水质污染更为严重,劣于Ⅴ类水标准,给沿湖周边地区生产、生活、旅游等产生严重影响^[1-3].

自“八五”以来,太湖就被列为需要重点治理的“三河三湖”之一,通过环湖截污、生态修复、引江济太等综合措施,太湖流域及其区域水环境有了一定的缓解和改善,但实践表明这是一个长期而艰巨的过程.对于水流缓慢、交换动力微弱的太湖及太湖水网而言,引水调控措施不仅可以增加水体的稀释能力,还能促进水体流动和交换,增强水体的自净能力,是一种行之有效的改善水环境的措施,多年的“引江济太”调水试验和实践证实了这一点^[4-11].自2001年引江济太措施实施以来,作为一种应急措施,已经取得了良好的环境效应,达到了预期目的.然而,由于调水工程的复杂性,引水调控措施在有效改善太湖区域水环境的同时,也存在一定的负面影响,如调水与洪水遭遇引起的防洪风险、调水对望虞河西部河网水流的顶托作用和污染物转移滞留风险、调水引起梅梁湖内直湖港、武进港附近染物转移或滞留风险等.为此,本文以太湖西北部区域为例,包括无锡城区、梅梁湖和五里湖、武澄锡虞河网,开展了利用引水调控措施来改善太湖流域区域性水环境的示范调水方案研究,分析研究调水措施对太湖西部湖区污水滞留和转移风险,提出规避风险的对策和建议^[12].

收稿日期: 2008-07-19

基金项目: 水利部现代科技创新项目(XDS2007-08), 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07101-008-03、2008ZX07101-014-01)

作者简介: 吴时强(1964-),男,浙江诸暨人,教授级高级工程师,博士,主要从事计算水力学、水工水力学、环境水力学研究. E-mail: sqwu@nhri.cn

1 引江济太措施环境效应模拟

采用二维水流水质数学模型模拟调水引起的太湖西北部湖区水流运动规律和污染物迁移规律^[13-15],并对每个方案计算所得的污染因子浓度场与 2000 年现状浓度场进行比较,评估调水方案的水质改善效果。

1.1 数 学 模 型

水流数学模型 平面二维宽浅型湖泊风生流运动的数学模型控制方程为:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} &= q \\ \frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(uuh)}{\partial x} + \frac{\partial(uvh)}{\partial y} + gh \frac{\partial z}{\partial x} - fv &= \frac{\tau_{wx}}{\rho} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \\ \frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(uvh)}{\partial x} + \frac{\partial(vvh)}{\partial y} + gh \frac{\partial z}{\partial y} + fu &= \frac{\tau_{wy}}{\rho} - \frac{\tau_{by}}{\rho} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: h 为水深; q 为环湖河道流入(出)湖泊的流量; u, v 分别为 x, y 方向流速分量; z 为水位; f 为柯氏系数; τ_{bx}, τ_{by} 分别为 x, y 方向的湖底摩擦力分量; τ_{wx}, τ_{wy} 分别为 x, y 方向的湖面风应力分量。

水质模型 污染物输移方程为:

$$\frac{\partial(hC)}{\partial t} + \frac{\partial(MC)}{\partial x} + \frac{\partial(NC)}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left(E_x h \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y h \frac{\partial C}{\partial y} \right) = S + F(C) \quad (2)$$

式中: C 为水质因子 TP、TN、COD_{Mn} 的浓度; M, N 分别为 x, y 方向单宽流量; E_x, E_y 分别为 x, y 方向的扩散系数; S 为源(汇)项; $F(C)$ 为生化反应项。

湖泊水动力及水质模型控制方程采用有限差分法离散求解,计算网格采用边长为 1 km 的正方形网格,对重点研究区域局部加密。利用 2000 年相关实测资料,对该模型进行了验证^[14],并对参数进行了率定,确定糙率为 0.010~0.015,风应力系数 1.63×10^{-6} 。

1.2 引水调控方案的设置

引水调控措施改善太湖区域水环境是个复杂的系统工程。水环境改善效果受诸多因素影响,其中有些因素是可控的,如引水调控路线选择、沿江口门闸泵、水网闸坝调控、梅山梅梁湖泵站的运行控制、引水调控时机等;有些影响因素是不可能或者难以调控的,如刮风、下雨、太湖水位的高低等。因此,引水调控方案直接关系到环境改善效果。本次引水路线为:从望虞河引长江水至贡湖,梅梁湖泵站抽水进入五里湖,再由梁溪河和五里湖环湖河道进入无锡河网;同时,沿江口门(包括新沟河、新厦港、锡澄运河、白屈港、张家港等)还将配合调度,尽量通过自排自引、引排结合的方式,达到改善武澄锡虞河网水质的目的。

根据太湖湖区和区域水网的实际情况,着重考察风速、风向、梅梁湖泵站的抽水流量、抽水时间、望虞河引水流量、引水水质和直湖港、武进港排污量等因素的影响,由此组合设计了 24 个计算方案(见表 1)。

表 1 引水调控设计方案计算参数

Tab. 1 Computational parameters for water diversion measures

方 案 编 号	风 场		梅梁湖泵站		望虞河调水		直湖港、 武进港截
	风速 /($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	风 向	抽水流量 /($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	抽水历时 / d	引水流量 /($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	水质因子 (COD _{Mn} ;TN;TP)/($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	
01	3.0	SE	0	90		2000 年现状	
02	3.0	SE	30	90	80	3.1; 2.2; 0.09	0
03	3.0	SE	50	90	80	3.1; 2.2; 0.09	0
03-ne	3.0	NE	50	90	80	3.1; 2.2; 0.09	0
04	3.0	SE	50	30	80	3.1; 2.2; 0.09	0
05	3.0	SE	50	60	80	3.1; 2.2; 0.09	0

(续表)							
方 案 编 号	风 场		梅梁湖泵站		望虞河调水		直湖港、 武进港截
	风速 / $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	风 向	抽水流量 / $(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	抽水历时 / d	引水流量 / $(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	水质因子 $(\text{COD}_{\text{Mn}};\text{TN};\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	
06	3.0	SE	50	90	80	3.1; 2.2; 0.09	0
08	3.0	NW	50	90	80	3.1; 2.2; 0.09	0
09	3.0	SE	50	90	80	3.1; 2.2; 0.09	30
10	3.0	SE	50	90	80	3.1; 2.2; 0.09	50
11	3.0	SE	0	90	0	3.1; 2.2; 0.09	30
12	3.0	SE	0	90	0	3.1; 2.2; 0.09	50
14	1	SE	50	90	80	3.1; 2.2; 0.09	0
15	3.0	SE	50	90	80	2.2; 1.5; 0.06	0
16	0	—	50	90	80	3.1; 2.2; 0.09	0
21	3.0	SE	50	90	80	3.1; 2.2; 0.09	30
22	2.9	SE	50	90	80	3.1; 2.2; 0.09	0
23	2.8	SE	50	90	80	3.1; 2.2; 0.09	30
24	2.8	ENE	50	90	80	3.1; 2.2; 0.09	0

1.3 引水调控效果的模拟分析

03 方案梅梁湖区流场和浓度场见图 1. 可见, 梅梁湖区湖流存有 4 个环流, 从北到南逆时针环流与顺时针环流交替出现, 北部的两环流较南部的要大; 在贡湖—梅梁湖南部—湖心北区所形成的逆时针环流及梅梁湖泵站抽水牵引力的共同驱动下, 望虞河引水在沿程湖水掺混下能顺利进入梅梁湖, 可改善梅梁湖湾水质.

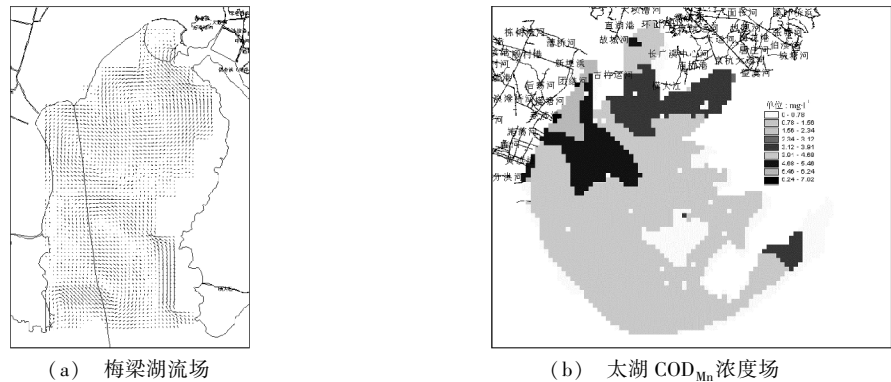


图 1 梅梁湖流场和全太湖 COD_{Mn} 浓度场(方案 03)

Fig. 1 Flow distribution in Meiliang Bay and COD_{Mn} concentration distribution in Taihu Lake

2 引水环境风险因子的识别与量化

水环境风险分析常常考虑水质模型参数及边界条件不确定性,在水质模型中计及随机力扰动作用,分析随机因素带来的水环境风险,取得了一些研究成果^[16,17]. 而本文主要分析边界条件不确定性所带来的水环境风险,为此首先识别和量化风险因子,评估不同调水方案引起的湖区水环境风险,由此提出规避风险的措施.

2.1 风险因子量化

为了分析不同条件下引水调控对太湖水质的影响,以梅梁湖湖区水质指标改善程度为判别依据,分析各因素的敏感性(见表 2). 可见,风向对引水环境效应影响较大,SE 向风有利于提高引水改善作用,而风速对

改善效果影响也较大.同时,也可看到加强直湖港、武进港等截污量有明显的改善作用;引水水质对湖区水环境改善有显著影响.

表 2 梅梁湖水质改善敏感性分析结果

Tab.2 Sensitivity analysis results of water quality improvement in Meiliang Bay

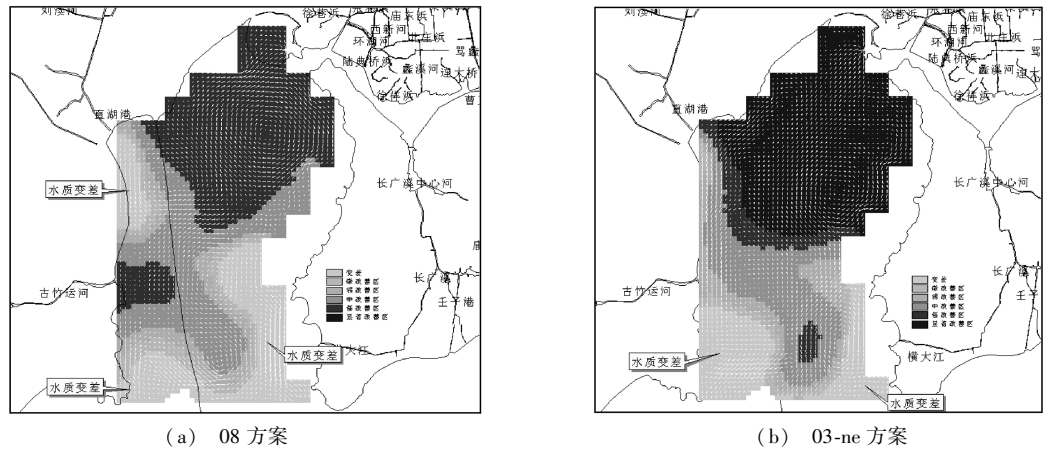
方案 编号	敏感性分析对比因素		改善效果/ %		
			COD _{Mn}	TP	TN
03	风 向	SE	17.52	25.00	19.24
08		NW	2.14	14.02	6.89
03	风 速	3m/s	17.52	25.00	19.24
14		1m/s	16.67	18.90	9.85
16		0m/s	10.68	15.24	5.58
03	望虞河引水水质	高浓度	17.52	25.00	19.24
15		低浓度	22.58	29.88	26.06
02	梅梁湖泵站抽水量	30m ³ /s	14.95	17.68	12.95
03		50m ³ /s	17.52	25.00	19.24
04	梅梁湖泵站抽水历时	30 天	13.20	21.34	17.82
05		60 天	16.58	24.39	19.09
06		90 天	17.52	25.00	19.24
21	望虞河引水时机	4-6 月	37.03	48.34	51.68
22		9-11 月	25.19	42.18	44.55
09	直湖港、武进港截污	30%	8.17	12.80	17.75
10		50%	11.72	20.12	25.46

2.2 关键因子的确定

为更细致分析评价梅梁湖乃至整个太湖区内可能存在的污水滞留、转移风险,除了分析受益区内水质改善效果外,还需找出水质变差局部区域的位置、程度以及面积大小.比较各调控方案水质浓度分布与2000 年现状条件下相应因子浓度分布的差异,分析引水调控水质影响变化区大小,并统计出各变化区的面积占研究区总面积的比例,结果如图 2 和表 3.

按照变差水体面积排序,4 个最不利的引水调控方案为:方案 08(26.7%)、方案 03-ne(23.5%)、方案 16(15.6%)及方案 14(7.6%).

综合比较 4 个最不利方案的各项参数,结合引水调控各影响区面积统计排序结果,可筛选出导致梅梁湖内污水滞留、转移风险的关键因子是风向、风速,即风是太湖湖流的主导动力因子,风速场的变化控制着太湖湖流变化,也影响着引水改善太湖、梅梁湖水质的效果.



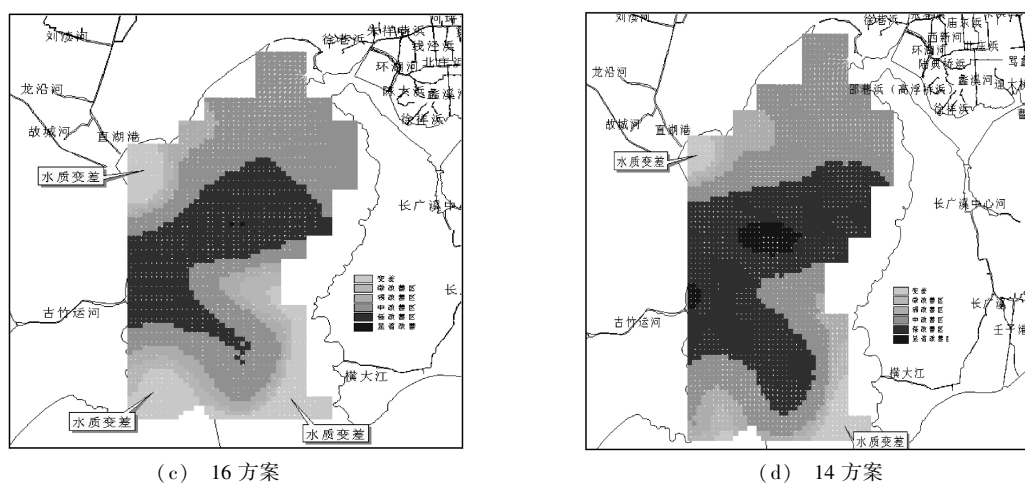


图2 不同方案水质变化影响区图(TN)

Fig. 2 Impact of different water diversion plans on water quality (TN)

表3 各调控方案不同影响区所占面积比例

Tab. 3 The effect area ratio and water quality for each water diversion plan

方案 编号	水质 指标	不同影响区水面所占面积(%)							合计/ %		平均/ %	
		变差区	微改 善区	弱改 善区	中改 善区	强改 善区	显著 改善		变差	改善	变差	改善
03	COD	0	15.7	1.5	69.8	13	0		0	100		
	TN	4.4	19.2	6.7	18.2	51.5	0.1		4.4	95.7	1.7	98.3
	TP	0.8	17	1.3	12	61.8	7.1		0.8	99.2		
03-ne	COD	35.8	21.7	4.1	36.9	1.5	0		35.8	64.2		
	TN	22	23.6	8.4	4.7	5.1	36.3		22	78.1	23.5	76.5
	TP	12.6	19.8	6	16.1	6.5	38.9		12.6	87.3		
08	COD	33.9	31	26	9.2	0	0		33.9	66.2		
	TN	29.5	23.4	7.4	27	12.6	0		29.5	70.4	26.7	73.3
	TP	16.8	21.8	6.4	19.6	35.4	0		16.8	83.2		
09	COD	0	15.7	1.4	29.4	53.6	0		0	100.1		
	TN	3.8	18.5	5.2	13.5	15.5	43.5		3.8	96.2	1.5	98.5
	TP	0.7	16.9	1.1	7.9	17.7	55.6		0.7	99.2		
10	COD	0	15.7	1.4	26.6	55.3	0.9		0	99.9		
	TN	3.6	18.1	4.4	12.3	11.4	50.3		3.6	96.5	1.4	98.6
	TP	0.7	16.9	1	6.6	15.8	59.1		0.7	99.4		
11	COD	0.2	38.4	23.6	37.9	0	0		0.2	99.9		
	TN	0	18.7	10	35.9	35.3	0		0	99.9	0.1	99.9
	TP	0	20.3	19.5	60.2	0	0		0	100		
12	COD	0	28.2	20	51.2	0.5	0		0	99.9		
	TN	0	17.9	3.2	21.1	26.9	30.8		0	99.9	0.0	99.9
	TP	0	18.1	5.7	28.2	47.9	0		0	99.9		
14	COD	0.9	18.1	4.4	59.8	16.9	0		0.9	99.2		
	TN	18.3	23.7	11.2	35.5	11.2	0		18.3	81.6	7.6	92.4
	TP	3.7	18.8	7.2	32.9	34.5	3		3.7	96.4		
15	COD	0	15.7	0	11.5	72.9	0		0	100.1		
	TN	0.7	17.1	1.2	11.6	50.7	18.7		0.7	99.3	0.2	99.8
	TP	0	15.7	0	4.1	39.1	41.1		0	100		
16	COD	7.4	19.7	17.4	54.5	1	0		7.4	92.6		
	TN	28.1	22.7	11.7	30.6	6.8	0		28.1	71.8	15.6	84.4
	TP	11.3	21.8	7.2	35.1	24.4	0.2		11.3	88.7		

3 污水滞留位置及转移路线分析与评价

为了进一步分析污水滞留的原因,把每种方案的水质变化影响图和稳定流场叠加在一起,以分析污水滞留范围和污水转移的路线.以 TN 指标为例,图 2 为 4 个最不利调控方案水质变化影响区图,直观标出了各方案污水滞留的位置.

(1)08 方案变差区域包括两块,即直湖港附近水域、梅梁湖与大太湖交界处以及梅梁湖的东南侧.结合水流流场,在方案 08 计算条件下,在梅梁湖内产生 5 个大小不等环流区,两块水质变差区正好落在小环流区上或次环流区的边缘附近.由此可判断,第一块水域水质变差是由于直湖港排放的污水受到了环流的阻断发生停滞造成的.第二块水域水质变差可能是由于受 NW 风的作用,望虞河引过来的好水不能经贡湖进入梅梁湖,另外,在 NW 风作用下,竺山湖较差水体也有可能绕过马山进入梅梁湖.

(2)03-ne 方案计算条件与 08 方案的不同之处在于风向是东北(NE)风,该方案水质变差区域位于梅梁湖与大太湖交界处的左右两侧.结合流场分布,该区域同样位于小环流区或环流区边缘附近,根据流场形态判断直湖港排放的污水在 NE 风作用下,沿梅梁湖西岸南下,在梅梁湖与大太湖交界处遭遇环流而停滞.同样,由于 NE 风影响,贡湖内从长江引入的好水很少能直接进入梅梁湖,因此梅梁湖东南侧的水质也会变差.

(3)16 方案水质变差区域为直湖港、梅梁湖与大太湖交界处左右两侧.直湖港水域变差是由于直湖港排污所致.在无风情况下,梅梁湖泵站抽水的影响范围有限,梅梁湖内大部分水体的流速非常小,与大太湖间水体交换变慢,梅梁湖西南部和东南部的水体几乎不流动,致使该区域水质变差.

(4)14 方案水质变差区域位置与 16 方案相同.由于风速提高,梅梁湖内流速增大,水质变差区域范围有所减小,水质改善效果有所增强.

4 结 语

改善太湖区域水环境的引水调控措施是一个复杂的系统工程,不确定性影响因素众多,任何一个引水调控方案势必都要承担一定的风险.引水调控效果数值模拟与关键影响因子筛选结果表明,风场变化对梅梁湖-五里湖内水质改善效果的影响较大.引水调控示范方案在总体上使梅梁湖-五里湖水水质得到明显改善,但在某些不利条件下,直湖港、武进港排放的污水在梅梁湖局部范围滞留和向大太湖转移的风险依旧存在.在 NW 风作用下,从长江调入贡湖的水不易直接进入梅梁湖,而竺山湖较差水体有可能进入梅梁湖,造成局部水体变差.在 NE 风向下,直湖港排放污水可能会沿着梅梁湖左岸南下向梅梁湖与太湖交界处转移.在静风和低风速情况下,直湖港排放污水因稀释扩散动力不足而停滞,梅梁湖左下侧和右下侧的水体因与大太湖水体交换减慢而造成该局部区域水质变差.

在引水调控示范工程实施过程中,为避免直湖港排放的污水在梅梁湖内发生滞留或转移到其它水域,保证示范工程取得良好的效果,可采取以下措施:

(1)如果直湖港、武进港的污染物排放量减少 30% 和 50%,则梅梁湖水体 COD_{Mn} 、TP、TN 平均值将分别下降 8.2%、12.8%、17.8% 和 11.7%、20.1%、25.5%,水质改善效果非常明显.因此,直湖港和武进港应采取相应的截污措施,切断污水的来源;

(2)根据梅梁湖水源地水质改善技术生态修复计划,在梅梁湖东部的干部疗养院至大浮咀之间大约有 5 km^2 的生态修复区.湖水经过人工复合生态系统, TN、TP 的去除率分别为 0.043 d^{-1} 和 0.05 d^{-1} ,相应地, COD_{Mn} 的生化降解系数也相应提高至 0.008 d^{-1} .在梅梁湖泵站抽水 $50 \text{ m}^3/\text{s}$ 和采用生态修复共同条件下,预测梅梁湖 COD_{Mn} 、TP、TN 平均值将分别下降 13.6%、26.2%、21.4%,和单纯调水措施相比,利用生态修复措施将使梅梁湖 3 种水质指标平均浓度下降 1.5% 左右.

参 考 文 献:

- [1] 黄漪平. 太湖水环境及其污染控制[M]. 北京:科学出版社, 2001: 19-33. (HUANG Yi-ping. Water Environment and Pollution Control of the Taihu Lake[M]. Beijing: Science Press, 2001: 19-33. (in Chinese))
- [2] 秦伯强, 胡维平, 陈伟民, 等. 太湖水环境演化过程与机理[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 19-33. (QIN Bo-qiang, HU Wei-ping, CHEN Wei-min, *et al.* Process and Mechanism of Environmental Changes of the Taihu Lake[M]. Beijing: Science Press, 2004: 19-33. (in Chinese))
- [3] 王同生. 太湖流域防洪与水资源管理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 182-193. (WANG Tong-sheng. Flood Control and Water Resource Management of Taihu Lake Basin[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2006: 182-193. (in Chinese))
- [4] 水利部太湖流域管理局, 江苏省水利厅, 江苏省环境保护厅. 引江济太应急调水改善太湖水源地水质效果分析[J]. 中国水利, 2008, (17): 1-2. (Taihu Basin Authority, Water Resources Department of Jiangsu Province, Environment Protection Bureau of Jiangsu Province. Result analysis of improving water source quality of Taihu Lake by diverting water from the Yangtze [J]. China Water Researchs, 2008, (17): 1-2. (in Chinese))
- [5] 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 Liang-ping, WANG Jue, XU Jun. Assessment of the water environmental improvement result of water diversion on the north-west river net area of Taihu Lake[J]. Yangtze River, 2009, 40(7): 30-32. (in Chinese))
- [6] 赵小兰, 薛 峰. 水利工程调水对江阴市水环境改善研究[J]. 水资源保护, 2008, 24(5): 21-23. (ZHAO Xiao-lan, XUE Feng. Improvement of water environment in Jiangyin City with water diversion[J]. Water Resources Protection, 2008, 24(5): 21-23. (in Chinese))
- [7] 水利部太湖流域管理局. 引江济太调水试验的实践与启示[J]. 中国水利, 2004, (5): 45-47. (Taihu Basin Authority. Practice of diverting water test from Yangtze River to Taihu Lake[J]. China Water Researchs, 2004, (5): 45-47. (in Chinese))
- [8] 翟淑华, 张红举, 胡维平, 等. 引江济太调水效果评估[J]. 中国水利, 2008, (1): 21-23. (ZHAI Shu-hua, ZHANG Hong-ju, HU Wei-ping, *et al.* Evaluation on result of Yantze-Taihu Water Diversion[J]. China Water Resources, 2008, (1): 21-23. (in Chinese))
- [9] 张霄宇, 於建琴, 张 微, 等. 引江济太前后太湖水水质变化研究[J]. 能源环境保护, 2008, 22(5): 60-64. (ZHANG Xiao-yu, YU Jian-qin, ZHANG Wei, *et al.* Water quality assessment of Taihu Lake after Wangyu River drawing water from Yangtze River to Taihu Lake[J]. Energy Environmental Protection, 2008, 22(5): 60-64. (in Chinese))
- [10] 戴 甦, 王船海, 金 科. 引江济太水量水质联合调度研究[J]. 中国水利, 2008, (1): 15-17. (DAI Su, WANG Chuan-hai, JIN Ke. Studies on joint regulation of quantity and quality of Yangtze-Taihu water diversion[J]. China Water Resources, 2008, (1): 15-17. (in Chinese))
- [11] 金 科, 王船海, 俞晓亮, 等. 引江济太水量水质联合调度模型在应急调水中的应用[J]. 中国水利, 2008, (1): 18-20. (JIN Ke, WANG Chuan-hai, YU Xiao-liang, *et al.* Application of joint regulation model of quantity & quality in emergency water diversion from Yangtze to Taihu[J]. China Water Resources, 2008, (1): 18-20. (in Chinese))
- [12] 范子武, 栾振宇, 吴时强, 等. 示范调水风险分析及应急措施研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 20004. (FAN Zi-wu, RUAN Zhen-yu, WU Shi-qiang, *et al.* Risk anlysis of water diversion measures and research of its emergence measures [J]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2004. (in Chinese))
- [13] 田向荣, 马 巍, 廖文根, 等. 调水对梅梁湖、五里湖水环境影响研究[J]. 人民长江, 2007, 38(2): 69-72. (TIAN Xiang-rong, MA Wei, LIAO Wen-gen, *et al.* Research on the water environment impact of water diversion measure on Meiliang Bay and Wuli Lake[J]. Yangtze River, 2007, 38(2): 69-72. (in Chinese))
- [14] 李锦秀, 马 巍. 调水对梅梁湖及五里湖水环境影响研究[R]. 北京: 中国水利科学研究院, 2004. (LI Jin-xiu, MA Wei. Research on the water environment impact of water diversion measure on Meiliang Bay and Wuli Lake[R]. Beijing: China Institute of Water Resource and Hydropower Research, 2004. (in Chinese))
- [15] 马 巍, 廖文根, 李锦秀, 等. 引水调控改善太湖湖湾水环境及其效果预测[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(1): 52-56. (MA Wei, LIAO Wen-gen, LI Jin-xiu, *et al.* Countermeasure of water diversion and regulation to improve the water

- environment of Taihu Lake and prediction of its effect[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2007, 16(1): 52-56. (in Chinese))
- [16] 何 理, 曾光明, 黄国和, 等. 随机力对水环境风险影响的初步探讨[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2002, 29(2): 95-99. (HE Li, ZENG Guang-ming, HUANG Guo-he, *et al.* Exploration of effect of stochastic force on water environmental risk[J]. Journal of Hunan University(Natural Sciences Edition), 2002, 29(2): 95-99. (in Chinese))
- [17] 何 理, 曾光明. 考虑随机扰动因素的水环境风险模型研究[J]. 水科学进展, 2002, 13(2): 197-200. (HE Li, ZENG Guang-ming. Study on model of water environmental risk considering the factor of stochastic vibration[J]. Advance in Water Science, 2002, 13(2): 197-200. (in Chinese))

Simulation of sewage detention and transfer owing to water diversion measures and its risk analysis

WU Shi-qiang^{1,2}, FAN Zi-wu^{1,2}, ZHOU Jie^{1,2}, WU Xiu-feng^{1,2}

(1. *Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*; 2. *State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China*)

Abstract: In order to improve water environment of Taihu Lake area and the nearby river net, especially in Wuxi City, Meiliang Bay and Wuli Lake, risk assessment and emergency measure analysis of water diversion tests are made. Based on comparison of various water diversion schemes, the water diversion test plan is chosen. Due to the complexity and effect of various uncertain factors of water diversion projects, the effect of water diversion measures on improvement of water environment has certain risk. The polluted water from Zhihugang River and Wujingang River may stay in Meiliang Bay or transfer to other water area as a result of water diversion. By use of 2D water flow mathematical model, numerical simulation is conducted of various schemes and the improvement effectiveness under various factors is assessed. The key factors, that is, wind direction and wind velocity are selected through sensitivity analysis. According to the practical situation of prevailing wind condition during the test water diversion period, analysis is made on the detention position and transfer path of sewage in Meiliang Bay. The results show that under the conditions of north wind and calm wind, risk is relatively large, that is, sewage from Zhihugang River and Wujingang River will stay in Meiliang Bay and transfer towards Taihu Lake. Countermeasures and suggestions are also put forward.

Key words: Taihu Lake; numerical simulation; risk analysis; water diversion measures; Meiliang Bay