

引江济太措施对望虞河西部污染物 滞留和转移风险分析

吴时强, 范子武, 周 杰, 吴修锋

(南京水利科学研究院水文水资源与水利工程国家重点实验室, 南京 210029)

[摘要] 引水调控措施是改善太湖流域区域性水环境的应急措施, 多年试验研究成果证明了引水措施的有效性。由于调水工程的复杂性以及受到诸多不确定性因素的影响, 引水调控措施在改善区域水环境的同时, 也会对引水沿线周边区域水环境带来一定的影响, 尤其是望虞河西部区域, 河网水流受阻, 存在武锡澄虞河网区污水滞留或向其他地方转移的风险。针对4个引排水方案, 分析了引水对河网水动力条件的变化, 比较了引水对望虞河西部河网地区水质影响, 分析了河网河道污水滞流时间、强度及迁移长度, 评价了污水滞留风险, 提出了相应的应急对策。

[关键词] 太湖; 数值模拟; 风险分析; 引水调控; 望虞河西部

[中图分类号] TV213.4 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2011)01-0102-07

1 前言

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, 是太湖流域水生生态系统的中枢。近年来, 随着太湖流域经济的迅速发展, 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, 给沿湖周边地区生产、生活、旅游等带来了严重影响。

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污染防治和水环境有一定的缓解和改善。对于水流缓慢、交换动力微弱的太湖湖区及其河网而言, 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, 自2001年以来的“引江济太”试验和实践已印证了这一点^[1,2]。

然而, 由于调水工程的复杂性, 虽然引水调控措施可以有效改善太湖区域水环境, 但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、武进港附近污染物转移或滞留风险等。

为此, 文章在分析引水调控措施改善太湖流域区域性水环境效果同时, 重点分析研究调水措施对望虞河西部区域污水滞留和转移风险, 提出规避风险的对策和建议。

2 引水方案及河网水动力特性分析

引江济太措施主要通过望虞河调长江水进入贡湖, 以改善太湖西北部水环境。鉴于望虞河西部河网河道受无锡市废水排放影响, 水质较差, 为了确保引水水质, 往往要求阻截西部水体进入望虞河, 由此带来了望虞河西部河网地区水流不畅、污水滞留

[收稿日期] 2009-03-25

[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, 浙江诸暨市人, 南京水利科学研究院教授级高级工程师, 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

现象,为此,引水方案考虑利用沿江河道及口门闸泵将西部河网区域的滞留水体直排长江,降低污水滞留及转移风险。根据太湖流域实际和现有工程情况,确定引水线路为: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,新沟河、新夏港、锡澄运河、白屈港、张家港等沿江口门还将配合调度,尽量通过自排自引、引排结合的方式,改善武锡澄虞河网水

质^[3]。

为此,在望虞河引水条件下,梅梁湖泵站从梅梁湖的抽引水量分别考虑了 30 m³/s 和 50 m³/s 两种情况,经梁溪河排入河网,考虑了两种沿江引排线路组合,即“白屈港引水 + 锡澄运河排水 + 张家港排水”和“白屈港引水 + 锡澄运河引水”,组合成 4 个引排水方案,如表 1 及图 1 所示。

表 1 武澄锡虞区河网不同调水方案(9—11 月)

Table 1 Water diversion schemes for Wuchengxiyu district rivers(September – November)

方案编号	调水流量/(m ³ ·s ⁻¹)			口门闸调度方式		
	望虞河	梅梁湖泵站	白屈港	锡澄运河	张家港	其他闸门
1	170	50	全引	全引	-	正常调度
2	170	30	全引	全引	-	正常调度
3	170	50	全引	全排	全排	正常调度
4	170	30	全引	全排	全排	正常调度

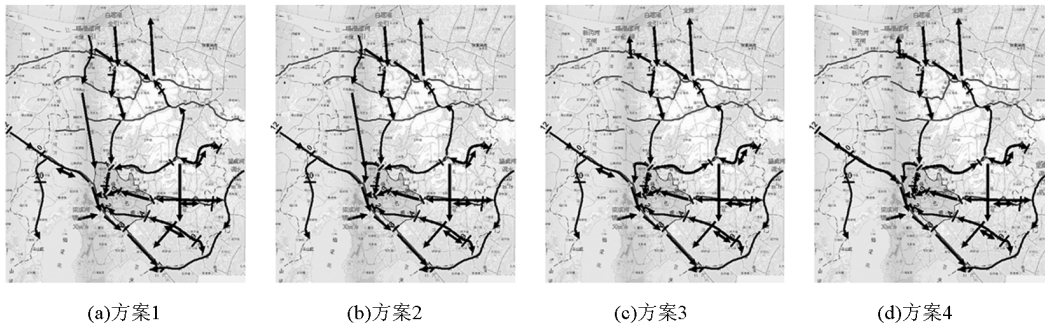


图 1 引水方案及河网水流流向

Fig. 1 Water diversion schemes and flow directions

图 2 为望虞河不引水条件下水流行进路线,京杭运河和沿江河道水历经武澄锡虞区主要流入望虞河,通过望虞河排出武锡澄虞区。图 3 为河网典型断面位置分布。

4 个调水方案下引水水流均抬高了望虞河水位,使得相连的水系河流发生倒流,武锡澄虞区水体从张家港排入长江。同时,由白屈港、锡澄运河和望虞河引水经无锡大包围河道进入京杭运河无锡段,且梁溪河调水量较大,抬高了京杭运河上游常州出城段水位,使得京杭运河在与梁溪河和直湖港相交的河段间发生滞流和回流现象。方案 3 与方案 1 相比,由于锡澄运河为全排,使得除与望虞河相通的锡北运河、九里河、伯渎河等河段临望虞河断面(17[#]、18[#]、19[#]断面)外,其他河道断面水位均有大幅下降,平均水位降低 0.10 ~ 0.16 m。

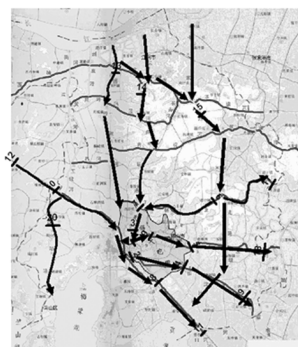


图 2 现状河网水体流动路线

Fig. 2 Flow directions for current status

比较分析可见,梁溪河调水流量为 50 m³/s 条件下,从梁溪河进入京杭大运河水量较大,使得京杭运河

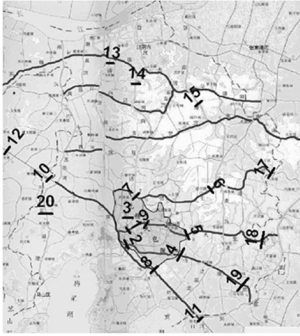


图3 水质断面分布图

Fig. 3 Distribution of water quality cross sections

其余部分污水沿着京杭运河向南转移,因望虞河和京杭运河立交相交,所以污水不会进入望虞河。从京杭运河水位和流向的影响看,锡澄运河全引和全排对河网水位的影响较梁溪河流量变化的影响要大得多。

3 调水对河网水质变化影响分析

根据河网水质模型计算结果^[4],以2003年同期水质为现状水质本底值。选择典型河道断面,分析各调水方案对河网河道水质影响,结果如表2所示。分析可见,方案1~方案4在沿江河道口门共同引水作用下,河道断面流量增大,水体自净能力增强,无锡城区、无锡东部和京杭运河下段氨氮和COD_{Mn}浓度比现状都有所下降,水质变好,调水改善河网水质效果较为明显。各方案河道平均水质浓度改善效果见表3。

无锡段水位抬高较大,在10#断面和旺庄之间运河水发生停滞和回流现象,部分污水经京杭运河进入直湖港,

表2 各断面水质因子平均改善效果表

Table 2 Averaged improvement of water quality at different cross sections

断面序号	NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)				COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)			
	方案1	方案2	方案3	方案4	方案1	方案2	方案3	方案4
1#	0.40	0.44	0.56	0.42	0.62	0.75	1.76	1.33
2#	0.75	0.77	0.85	0.72	0.72	0.76	1.52	1.23
3#	1.49	1.54	1.00	0.91	1.29	1.31	1.55	1.30
4#	0.47	0.41	0.24	0.20	0.08	0.10	0.09	0.05
6#	0.50	0.55	-0.31	-0.32	-0.12	0.17	-0.57	-0.54
7#	0.69	0.67	0.47	0.47	0.52	0.60	-0.07	-0.13
8#	0.90	0.92	0.97	0.80	0.89	0.94	1.88	1.49
9#	0.15	0.22	0.06	0.04	0.27	0.40	0.16	0.19
10#	-0.59	-0.54	-0.28	-0.26	-0.40	-0.51	-0.16	-0.15
11#	0.57	0.39	0.66	0.41	1.22	0.80	1.70	1.15
12#	-0.28	-0.35	-0.09	-0.09	-0.29	-0.36	-0.05	-0.04
13#	2.54	2.54	0.74	0.73	1.77	1.77	-0.31	-0.40
14#	1.39	1.40	1.14	1.16	0.96	0.95	0.87	0.86
15#	0.44	0.46	-0.26	-0.26	0.07	0.08	-0.97	-0.93
17#	0.71	0.67	0.28	0.26	0.35	0.34	0.10	0.08
18#	0.37	0.36	0.07	0.07	0.29	0.30	0.03	0.03
19#	0.71	0.61	0.41	0.36	0.40	0.36	0.22	0.18
20#	-0.30	-0.31	-0.10	-0.17	-0.15	-0.23	0.09	-0.03

注: + 为水质改善; - 为水质下降

表3 水质因子浓度改善特征值

Table 3 Characteristics of water quality improvement

改善区域	NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)				COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)			
	方案1	方案2	方案3	方案4	方案1	方案2	方案3	方案4
无锡城区	0.68	0.73	0.54	0.46	0.73	0.82	1.16	0.94
无锡东部	0.60	0.55	0.25	0.23	0.35	0.33	0.12	0.10
京杭运河下段	0.73	0.66	0.82	0.61	1.05	0.87	1.79	1.32

4 污水滞流时间和强度分析

由表2可见,方案1和方案2在10[#]、12[#]、20[#]断面处的氨氮和COD_{Mn}平均浓度高于现状,水质有所下降,其他河道断面水质都有所改善,其原因在于锡澄运河和白屈港引水经无锡大包围河道进入京杭运河无锡段,而梁溪河从梅梁湖调水,抬高了京杭运河无锡段水位,致使京杭运河上游常州出城段水流变缓,水体稀释和自净能力减弱,水质下降。同时,京杭运河在与梁溪河和直湖港相交的河段间发生滞流和回流,加重了京杭运河上游河道水体污染物浓度。

图4和图5分别为典型断面水位及水质因子浓度变化过程。从2[#]断面和10[#]断面水位过程比较可得,方案1和方案2在10月16日—31日期间,此河段均出现污水滞流现象,11月9日—11月30日期间会发生倒流现象。9月9日—10月3日和10月22日—11月11日总计46d时间里,两个方案在京杭运河上游常州出城段水质均比现状差,污染物浓度上升1.0~2.0 mg/L。白屈港和锡澄运河引入长江后,无锡城区大包围河道水动力和稀释作用均增强,自净能力增强,污染物浓度降低。虽然梁溪河污水进入京杭运河无锡段,但京杭运河下游8[#]断面流量增大,水体自净能力增强,水质反而变好。

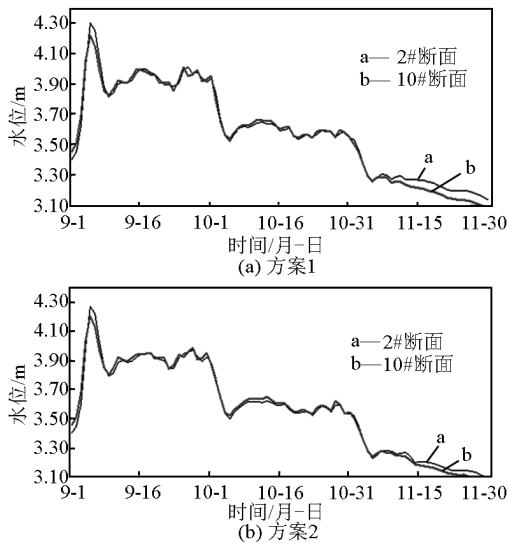


图4 2[#]断面和10[#]断面水位过程比较

Fig. 4 Water level process at cross 2[#] and 10[#]

方案1~4对京杭运河作用类同,且均有利于改善无锡大包围河道水体水质。方案3和方案4由于张家港全排,降低了张家港水位,无锡大包围中污染

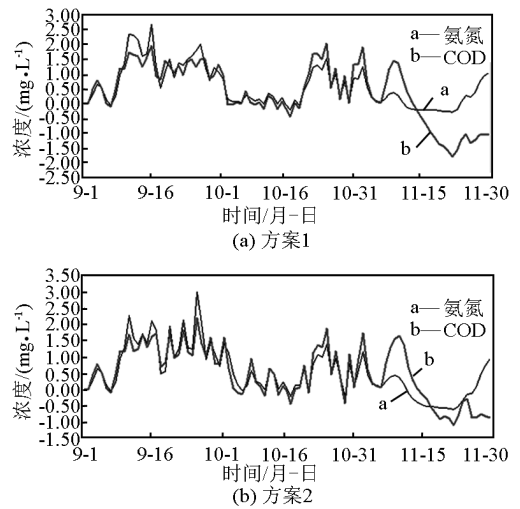


图5 10[#]断面与现状水质浓度差值变化过程

Fig. 5 Comparison of water quality process at cross 10[#] and present water quality

较重的水体通过澄北运河转移到张家港,加大了澄北运河和张家港水体污染物浓度。从图6和图7可以看出,锡澄运河(6[#]断面)污染物浓度比现状增加1.0 mg/L左右,氨氮浓度增加时间为10月5日—11月20日间的46d, COD浓度增加时间从10月5日持续到11月底。张家港(15[#]断面)10月8日—11月底氨氮和COD浓度都比现状高,氨氮浓度比现状增加1.0 mg/L左右,最大COD浓度比现状增加超过3.0 mg/L,水质变差的天数共计53d。

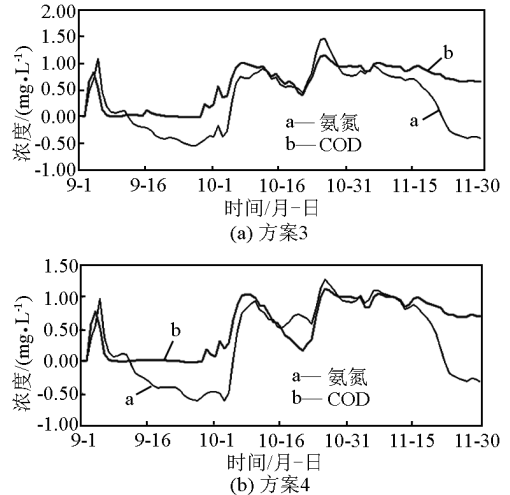


图6 6[#]断面与现状水质浓度差值变化过程图

Fig. 6 Comparison of water quality process at cross 6[#] and present water quality

综上所述,方案1条件下,由于梁溪河调水量较

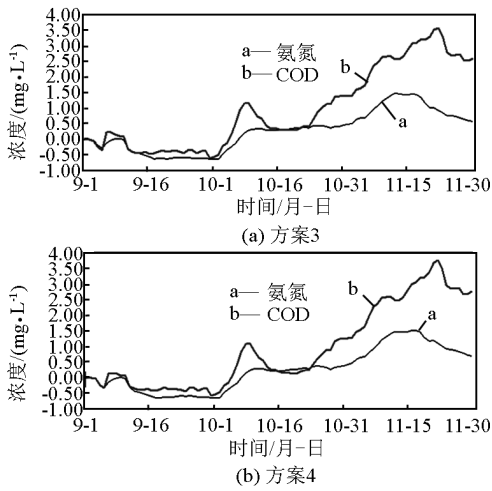


图7 15#断面与现状水质浓度差值变化过程图
Fig. 7 Comparison of water quality process at cross 15# and present water quality

大,为 $50 \text{ m}^3/\text{s}$,抬高京杭运河无锡段水位作用较大,致使在10月16日之后的45 d里,京杭运河上游常州出城段水流发生滞流和回流,水体稀释和自净能力减弱,污染加重。方案2条件下,由于锡澄运河和白屈河全引,通过无锡大包围河道进入京杭运河无锡段水量较多,在梁溪河调水共同作用下,京杭运河上游常州出城段水流流速变缓,发生滞流,也加重了水体污染物浓度。方案3和方案4条件下,调水引起无锡城区水位抬高和张家港全排引起张家港水位

降低的双重作用下,无锡城区污水经锡北运河进入张家港,排入长江,引起污水转移,致使张家港在10月8日之后的54 d里氨氮和COD浓度比现状高,氨氮浓度比现状增加约 1.0 mg/L ,最大COD浓度比现状增加值超过 3.0 mg/L ,然而,由于污水得以排出河网,整个河网区污染物总量减少,并且锡北运河和张家港在11月15日以后,水质浓度开始降低,这说明锡北运河和张家港污水浓度增加只是暂时的,只是给河网污水提供排出通道,随着河网污水浓度的降低,这两条河污水浓度也自然降低。

5 河网河道污水迁移风险分析

图8为引水期间河网河道水质下降范围分布情况,表4和表5分别为典型断面水质因子浓度变化值。可见,4个方案均会加重京杭运河水体污染,相对地方案1影响稍弱于方案2,而方案3、4受白屈港、望虞河引水及张家港全排作用,水流动力条件相对较好,京杭运河水体水质影响相对较小,同时作为排水通道,锡北运河污染有所加重。

虽然方案3和方案4比方案1和方案2的水质变差河段长,污水迁移风险增加,但由于降低了京杭运河污水浓度,部分污水经锡北运河和张家港排入长江,促使污水尽快排出河网,总体而言改善水质效果较好。

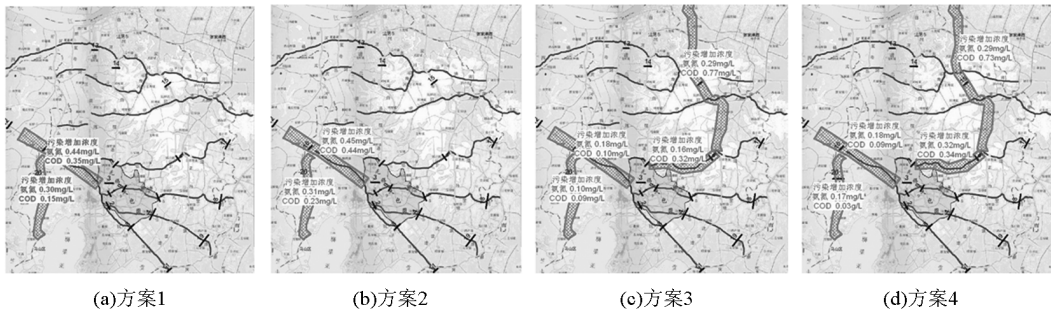


图8 水质变差区域范围图

Fig. 8 More polluted areas caused by water diversions

表4 京杭运河断面水质变化特征值

Table 4 Water quality change at cross sections of Beijing—Hangzhou Canal

方案	10#				12#				京杭运河长/km
	$\text{NH}_3 - \text{N}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		$\text{COD}_{\text{Mn}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		$\text{NH}_3 - \text{N}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		$\text{COD}_{\text{Mn}}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		
	平均	最高	平均	最高	平均	最高	平均	最高	
方案1	0.59	2.66	0.40	2.03	0.28	2.77	0.29	1.71	25.14
方案2	0.54	2.99	0.51	2.20	0.35	4.18	0.36	2.17	25.14
方案3	0.28	3.28	0.16	2.22	0.09	1.01	0.05	0.84	25.14
方案4	0.26	3.49	0.15	2.33	0.09	1.12	0.04	0.77	25.14

表5 锡北运河断面水质变化特征值

Table 5 Water quality change at Xibei Canal cross sections

方案	6 [#]				15 [#]				河长/km	
	NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)		COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)		NH ₃ -N/(mg·L ⁻¹)		COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)		张家 港河	锡北 运河
	平均	最高	平均	最高	平均	最高	平均	最高		
方案3	0.31	1.46	0.57	1.15	0.26	1.48	0.97	3.57	38.23	17.54
方案4	0.32	1.28	0.54	1.13	0.26	1.52	0.93	3.76	38.23	17.54

6 污水滞留风险与应急对策研究

受长江高潮顶托作用,在9—11月份示范期间,沿江口门有可能不能实现自排,使无锡城区流出的污水不能及时从锡北运河和张家港排出,污水滞留导致该河段水质急剧恶化。

6.1 自排时间保证率分析

通过对1998—2002年9—11月江阴潮位与武虞锡澄区各河道水位对比分析,得到沿江口门各月水位与自引自排时间保证率关系,如图9所示。可见随着内河水位的升高,能自排的时间保证率逐步上升,而河道自引的时间保证率相应下降。

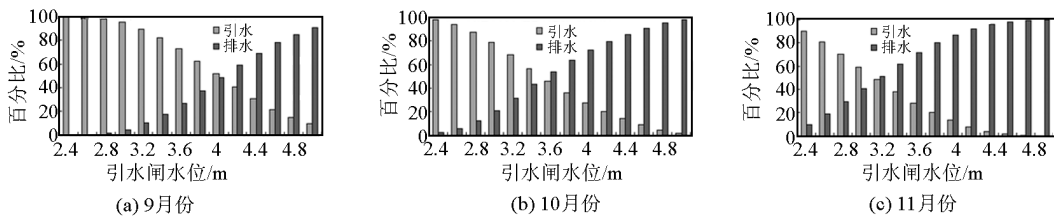


图9 1998—2002年各月自引自排时间百分比图

Fig. 9 Percentage of auto-diverting and auto-draining from 1998 to 2002

6.2 污水滞留风险与对策

方案3、4在9—11月张家港(15[#]断面)的平均水位为3.6、3.4、3.1 m,相应的自排时间保证率分别为29.2%、44.5%、45.2%,呈逐月增长趋势。但在9月份,由于张家港自排时间保证率低于30%,锡北运河和张家港排水相对不畅,发生污水停滞的风险较大。

为避免武澄锡虞区污水对引水调控工程产生不利影响,当锡北运河和张家港排水不畅、发生污水停滞时,应采取如下措施:

1)在引水调控工程实施期间,应加大武澄锡虞区污水治理力度,污染企业应严格达标排放,必要时限产。

2)加强沿江诸闸的联合调度,尽可能利用长江低潮向外排水、利用高潮向内引水,加快城区河网换水速率。

3)当沿江口门自引自排能力不能满足要求时,应当考虑泵引或泵抽,以免污水向其他地区扩散转移。

7 结语

4个调水方案都促进了河网大部分河道的水体流动,提高了水体自净能力,改善了河网水质,仅京杭运河上游段受水位顶托,流动变缓,水质有所下降,存在一定的污水滞留风险。从对京杭运河上段水质影响程度看,方案3和方案4较方案1和方案2更为有利。

方案3和方案4因采取张家港全排方式,无锡城区污水经澄北运河、张家港河排入长江,引起沿程河道水质变差,虽然存在污水转移风险,但水体流动加大,有助于水体自净能力的提高,风险只是暂时的。张家港在调水后期水质浓度呈下降趋势,表明澄北运河、张家港水质下降是暂时现象,随着无锡城区水质的好转,该河水质也会逐渐恢复。总体上,调水措施对于改善河网区域水环境是有利的,局部河道存在一定的污水滞留和转移风险,但随着调水期的结束,水质很快得以恢复。

参考文献

- [1] 刘 宁. 对引江济太调水试验工程的初步认识和探讨[J]. 中国水利, 2004(2): 36 - 38.
- [2] 刘春生. 引江济太调水试验的理论和实践探索[J]. 水利水电技术, 2003, 34(1): 4 - 8.
- [3] 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, 2004.
- [4] 逢 勇, 罗 缙. 引水调控调水对武澄锡虞区水环境影响研究[R]. 南京: 河海大学, 2006.

Risk analysis of water diversion from Yangtze River to Taihu Lake on retention and transfer of pollutions in west area of Wangyu River

Wu Shiqiang, Fan Ziwu, Zhou Jie, Wu Xiufeng

(State Key Laboratory of Hydrology - Water Resources and Hydraulic Engineering,
Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

[**Abstract**] Water diversion and regulation is an emergency measure to improve the water quality of local Taihu Lake. The effectiveness of the measure is proved through experiences and studies for years. Because of the complexity of water diversion works and some impacts of uncertainties, the diversion project may bring some impacts on water environment along the diversion channel while it improving some local water environment. Especially in the rivers west of Wangyu River, some flows are blocked off. So the risks of the retention and transfer of pollutions in the Wu Xi Cheng Yu Rivers will rise up. According to the four drainage programs, by analysis of the hydrodynamics change and impact comparison of diversion project on water quality change in the west of Wangyu River, the retention time, intensity and transfer scope, and the risk of the polluted water were assessed and the corresponding emergency measures were proposed.

[**Key words**] Taihu Lake; numerical simulation; risk analysis; water diversion and regulation; west area of Wangyu River