

文章编号:1001-4179(2012)05-0072-04

无锡水源地贡湖引水改善水质效果分析

甘升伟¹, 张红举², 冯贇昀^{1,3}

(1. 太湖流域管理局 水文水资源监测局, 江苏 无锡 214024; 2. 太湖流域水资源保护局, 上海 200434; 3. 河海大学 环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要:为了分析“引江济太工程”对无锡市主要饮水水源地贡湖南泉水质的影响,建立了太湖二维水量水质模拟模型。在设定引水水质与水源地水质的条件下,针对常规和突发污染事故调度情况,模拟分析了引水枢纽望虞河立交及梅梁湖泵站不同引水流量对南泉水源地水质的影响,掌握了水源地水质的恢复时间及恢复过程与引水流量的关系。研究结果可为水资源管理部门决策、优化工程调度、水源地供水安全保障提供科技支撑。

关键词:水源地; 水质保护; 引水调度; 水质分析; 贡湖; 太湖

中图法分类号: X824 文献标志码: A

贡湖位于太湖北部,现为南泉水厂和锡东水厂的
水源地,也是无锡市的主要供水水源地之一。贡湖湖
水平均氮、磷浓度较高,蓝藻水华经常发生,2007 年 5
月底,水源地附近水域蓝藻大规模暴发,随后出现黑水
团,引发无锡市供水危机。保障饮水安全、维护人的健
康生命是太湖流域水利工作的第一任务^[1]。当前贡
湖水环境治理手段主要包括污染源治理、蓝藻打捞以
及引水冲污等。但由于长期积累在湖泊底泥中内源营
养盐的释放,即使在外源污染输入减少后,其污染问题
也难以在短期内得到根本解决。因此在采用各种方法
治理贡湖水环境的同时,有必要研究引水调度对其水
质的影响,以提高水行政主管部门的决策能力,保障水
源地供水安全。

1 水源地简介

1.1 水源地概况

南泉水源地位于贡湖湖区西北部,距“引江济太
工程”望虞河入太湖口约 17 km,见图 1。水源地建于
1999 年 6 月,设计供水能力 100 万 t/d,目前主要担负
向雪浪水厂和中桥水厂以及小湾里水源厂、梅园水厂
供应原水,现供水量约占无锡市总供水量的 60% 左

右。

1.2 水环境质量现状

2010 年太湖健康状况报告统计成果显示,贡湖湖
区水质总体评价为 V 类(总磷、总氮不参评为 II 类);
湖区富营养指数 60.0,为轻度富营养;湖区蓝藻数量
年平均值为 1 837 万个/L,为亚健康,其中夏秋季节蓝
藻密度较高,达 2 100~2 300 万个/L,而春季较低,仅
为 66 万个/L^[2]。近年来通过水环境整治,2007 年贡
湖水的高锰酸盐指数、氨氮、总磷、总氮等主要水质指
标均有所好转,详见表 1。



图 1 贡湖湖区及水源地位置示意

收稿日期:2011-08-22

作者简介:甘升伟,男,工程师,硕士,主要从事水资源规划与管理工作。E-mail:ganshengwei@hotmail.com

表 1 贡湖湖区水体全年平均水质浓度统计

年份	高锰酸盐 指数/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	下降 率/%	氨氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	下降 率/%	总磷/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	下降 率/%	总氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	下降 率/%
	2007	4.42		0.23		0.067		2.63
2010	3.74	15.2	0.16	33.2	0.040	39.6	1.80	31.4

2 风险调度研究方法

2.1 分析方法

本文拟通过分析“引江济太工程”历年实际运行调度情况,设计望虞河望亭立交常规调度与应急调度方案,并采用太湖二维水量水质模型,定量研究贡湖南泉水源地在望亭立交不同引水流量条件下水质变化特征,分析水污染的扩散影响及变化规律,为设计望亭立交引水调度运行方案提供技术支持。南泉水源地风险调度分析路线见图 2。

本次研究选用高锰酸盐指数、氨氮、总磷、总氮作为水源地水质分析指标。

2.2 计算模型

建立太湖二维水量水质数学模型^[3],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 , $h = Z - Z_B$, 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, $f = 2\omega \sin\varphi$, ω 为地球自转速度, rad/s , φ 为纬度, 太湖可取北纬 $31^{\circ}10'$; S_{fx} , S_{fy} 为 x 方向和 y 方向的切应力, N/m^2 。

太湖水质计算方程如下:

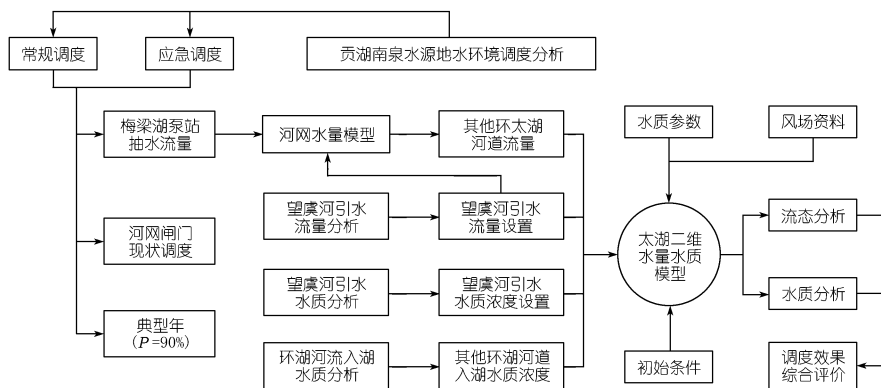


图 2 贡湖南泉水源地风险调度分析路线

$$\frac{\partial(hC)}{\partial t} + \frac{\partial(huC)}{\partial x} + \frac{\partial(hvC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x}(hE_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(hE_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{hS}{86400} + S_w \quad (2)$$

式中, C 为某种水质指标的浓度, mg/L ; E_x 为 x 方向扩散系数, m^2/s ; E_y 为 y 方向扩散系数, m^2/s ; S 为某种水质指标的生化反应项, $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$; S_w 为某种水质指标的外部源汇项, g/s 。

2.3 计算条件

(1) 设计水文条件。选用 1971 年型(太湖流域 $P = 90\%$ 典型年)降雨过程作为设计水文条件,并以最枯月 2 月份作为水源地水质变化影响研究时段。水量边界条件采用河网模型 1971 年典型年望虞河在不同引水条件下,环湖河道出入湖水量的计算成果。其中梅梁湖泵站根据实际运行调度原则,常规调度条件下年引水量按 6 亿 m^3 控制(即引水流量为 $19 \text{ m}^3/\text{s}$);应急调度时,引水流量采用 $50 \text{ m}^3/\text{s}$ 。水质边界条件采用环湖河道实测多年平均水质浓度指标。

(2) 模型参数。根据水质模型率定成果,污染物综合降解系数,高锰酸盐指数为 $0.007/\text{d}$,氨氮为 $0.099/\text{d}$,总磷为 $0.04/\text{d}$,总氮为 $0.006/\text{d}$ ^[4]。

(3) 初始条件。以太湖初始 III 类水质标准(湖泊水质标准)计算 1 a 稳定后的输出结果,并参考 2010 年年初太湖水体水质浓度指标,综合确定模型中各湖区水体水质初始条件。其中,太湖年初起调水位为 2.83 m ,贡湖湖区各计算网格的高锰酸盐指数、氨氮、总磷、总氮等主要水质指标初始浓度分别在 $4.0, 0.2, 0.05, 2.0 \text{ mg/L}$ 左右。

3 风险调度分析

3.1 引水调度响应时间分析

以固定浓度示踪指标作为引水入流条件,以水源地监测到望虞河引入的示踪指标作为引水水量到达水源地的控制条件进行模型计算,对不同流量条件下贡湖南泉水源地的引水响应时间进行分析。

通过方案对比发现,望虞河引水流量对贡湖南泉水源地响应时间的影响较为明显,引水流量增大,引江水到达水源地的时间缩短。在望亭立交 $50 \text{ m}^3/\text{s}$ 的引水流量条件下,引水到达贡湖南泉水源地需 330 h 左右;而当引水流量增加至 $120 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,其响应时间可减少至 120 h 左

右,引水效果比较明显;但随着引水流量的进一步增加,其响应时间变化趋势趋于平缓,见图3。

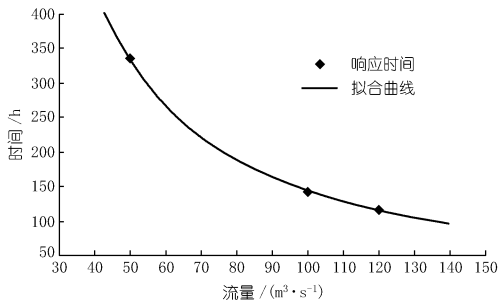


图3 贡湖南泉水源地引水响应时间变化趋势

3.2 常规调度影响分析

2002~2009年引江期间,望虞河望亭水利枢纽引江入湖日均流量为 $98.7\text{ m}^3/\text{s}$,其中日均最大引水流量出现在2003年8月29日,为 $281\text{ m}^3/\text{s}$ 。为研究望亭立交不同引水流量对贡湖水源地水质的影响,根据近年的引水实际,对望亭立交关闸以及入湖流量 $50, 100\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $120\text{ m}^3/\text{s}$ 四种工况进行模拟,其中望亭立交入湖水质浓度按2002~2009年多年平均入湖水质浓度控制。

经模型计算,在望亭立交不同入湖流量条件下,贡湖南泉水源地2月份平均水质浓度见表2。

表2 贡湖南泉水源地2月份平均水质浓度 mg/L

水质指标	望亭立交不同入湖流量下的水质浓度			
	关闸	$50\text{ m}^3/\text{s}$	$100\text{ m}^3/\text{s}$	$120\text{ m}^3/\text{s}$
高锰酸盐指数	4.590	4.550	4.440	4.380
氨氮	0.150	0.130	0.110	0.110
总磷	0.044	0.044	0.042	0.041
总氮	0.800	0.710	0.650	0.630

在常规调度条件下,随着望亭立交入湖流量的增大,引水对贡湖南泉水源地水质的改善作用明显增强,但引水水质以及引水期间水源地周边湖区水质浓度亦是不可忽视的重要影响因素。在引水前期,应重点考虑引水流量变化对湖体流速的改变,以及其对水源地周边水质的影响,待引水到达水源地后,引水水质成为影响水源地水质的主要因素。在望亭立交大流量引水时,入湖水质对贡湖水源地水质浓度的影响增加。为保证水质改善的效果,需严格控制望亭立交引水期入湖水质。

3.3 突发污染事故调度影响分析

为模拟贡湖南泉水源地在突发水污染事故后的水质变化情况,需要研究水资源调度对水源地水质的改善效果。假定突发污染事件发生在2月1日8点整,地点位于水源地周边 4 km^2 范围内,以氨氮指标作为

研究对象,污染物排放强度为 50 t/h (突发污染事故点水体氨氮指标平均浓度达到 $5\sim 6\text{ mg/L}$)。

3.3.1 望亭立交引水效果分析

为研究突发污染事件后的水质恢复的效果,在常规4种调度工况的基础上,增加望亭立交引水流量 $200\text{ m}^3/\text{s}$ 作为应急调度工况,分别计算5种工况条件下水源地水质恢复时间。其中梅梁湖泵站按常规 $19\text{ m}^3/\text{s}$ 抽水流量进行调度,望亭立交入湖氨氮水质浓度按多年平均入湖浓度 0.79 mg/L 进行控制。突发污染事故后,当水源地氨氮水质浓度恢复到 1.0 mg/L 时,即认为突发污染事件影响已基本消除,水源地水质已恢复正常,该时刻距突发污染事件发生的时间即为水源地水质浓度恢复时间。分析结果见表3和图4。

表3 望亭立交不同入湖流量条件下水源地水质恢复时间 h

项目	望亭立交不同入湖流量下的水质恢复时间				
	关闸	$50\text{ m}^3/\text{s}$	$100\text{ m}^3/\text{s}$	$150\text{ m}^3/\text{s}$	$200\text{ m}^3/\text{s}$
水质恢复时间	691	587	424	299	224

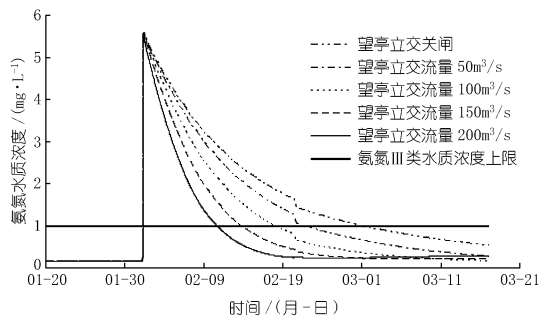


图4 引水后贡湖南泉水源地水质浓度过程线

模拟结果表明,在遇突发污染事件后,望亭立交引水对改善水源地水质状况、消除突发污染事件对水源地水质的影响具有显著效果。在望亭立交关闸条件下,水源地水质恢复需要 691 h (约 28 d),随着望江立交入湖流量的增大,水源地水质恢复时间逐步缩短, $200\text{ m}^3/\text{s}$ 入湖流量工况下,水源地水质恢复时间将缩短为 224 h (约 9 d)。

3.3.2 梅梁湖泵站引水调度影响分析

为研究突发污染事件发生后,梅梁湖泵站加大抽水流量对水源地水质的改善和恢复效果,对梅梁湖泵站在突发污染事件前按常规 $19\text{ m}^3/\text{s}$ 、发生后按 $50\text{ m}^3/\text{s}$ 抽水流量进行调度的水源地水质情况进行了模拟,并对梅梁湖在 $19\text{ m}^3/\text{s}$ 抽水条件下的水源地水质变化以及水质恢复时间进行对比分析,见表4。

分析发现,在望亭立交小流量入湖条件下,梅梁湖泵站抽水对贡湖南泉水源地水体的主要作用是引流,随着望亭立交入湖流量的增大,梅梁湖泵站抽水对水

体的引流作用相应减弱。因此,望亭立交在小流量条件下(小于 $100 \text{ m}^3/\text{s}$),梅梁湖泵站的启用可在一定程度上改善贡湖南泉水源地水质。

表4 梅梁湖泵站不同调度条件下水源地水质恢复时间

梅梁湖泵站 抽水流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	望亭立交不同入湖流量下水质恢复时间/h				
	关闸	$50 \text{ m}^3/\text{s}$	$100 \text{ m}^3/\text{s}$	$150 \text{ m}^3/\text{s}$	$200 \text{ m}^3/\text{s}$
19	691	587	424	299	224
50	682	578	421	299	224

4 结语

实践证明,自2002年实施引江济太调水试验以来,对改善太湖水环境,应对水源地突发污染事故,提高水源地供水保障程度效果明显。实施引江济太长效运行,是继续贯彻“以动治静、以清释污、以丰补枯、改

善水质”的调水方针,实现新时期治水思路的一项重要措施^[5]。但在引水入湖的同时,应密切关注望亭立交入湖的水质状况,优化调度方案,适时引排,避免因望虞河引水入湖水水质较差而对贡湖湖区及水源地水质造成不利影响。

参考文献:

- [1] 王晓平.太湖流域水资源保护局房玲娣建议:把保障供水水源地安全作为太湖流域水利工作的首要任务[J].中国水利,2005,(5):20.
- [2] 水利部太湖流域管理局.2010年太湖健康狀況报告[R].上海:水利部太湖流域管理局,2010.
- [3] 河海大学,太湖流域管理局水资源综合规划项目组.太湖流域水资源综合规划数模研制总报告[R].南京:河海大学,2006.
- [4] 河海大学,太湖流域管理局水资源综合规划项目组.太湖流域污染负荷模型及水质模型研究报告[R].南京:河海大学,2006.
- [5] 吴浩云,孙金华,颜志俊,等.引江济太长效运行的思考[J].中国水利,2008,(1):9.

(编辑:常汉生)

Analysis on water quality improvement of water sources area of Wuxi City by water diversion from Yangtze River

GAN Shengwei¹, ZHANG Hongju², FENG Yunyun^{1,3}

(1. Hydrology and Water Resources Supervision and Measurement Bureau, Taihu Basin Authority, Wuxi 214024, China; 2. Water Resources Management Bureau of Taihu Basin Authority, Shanghai 200434, China; 3. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to analyze the influence of water diversion from Yangtze River on water quality of Nanquan water sources area of Gonghu Lake, which is the main sources of drinking water of Wuxi City, a 2 D water quantity and quality simulation model is established. Under the given quantity and quality conditions of diverted water, and in the light of regular operation and sudden pollution accidents, the influence of different diverted water quantity from Meiliang Lake pump station and Wangting water diversion project on Nanquan water sources area of Gonghu Lake are simulated and the relations of restoration time and process with diverted water quantity are obtained. The research results can provide a reference for decision making, project operation optimization and safety guarantee of water sources area for water resources management departments.

Key words: water sources area; water quality protection; operation of water diversion; water quality analysis; Gonghu Lake; Taihu Lake

(上接第38页)

Discussion on wind speed value in small and medium – sized hydropower projects

ZHU Yingjie¹, ZHANG Zhirong², LIU Songlin³

(1. Hydropower Construction Bureau of Taizhou, Taizhou 318000, China; 2. Taizhou Design Institute of Water Conservancy and Hydro – electric Power, Taizhou 318000, China; 3. Quality Supervision Station of Taizhou Water Conservancy and Hydro – electric Power Project, Taizhou 318000, China)

Abstract: As one of the most important parameters for calculating the wave run – up height of hydropower projects, the wind speed value can often be obtained by setting special observation station, while it can be acquired from similar projects or experiential value in case of the small and medium – sized hydropower projects, as a result, the parameter values are usually arbitrary without the consideration of characteristics of the specific project and lack of sufficient specification basis. Taken Taizhou as an example, the designed wind speed values are deduced based on the relevant specifications, the results show that the values are more accurate than the experiential ones, and can meet the requirements of specifications and design. In addition, it has the reference for similar projects of other regions.

Key words: wind speed value; wind pressure value; modification index; small and medium – sized hydropower projects