

改善汉阳湖群水环境的调水方案研究

郗会彩¹ 李义天² 何 用² 陈 建²

(1. 浙江省水利河口研究院, 浙江 杭州 310020; 2. 武汉大学水沙科学教育部重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要 湖群调水后, 湖群及其连通沟渠共同组成了复杂的湖网结构, 调水线路不单一, 存在着二次分流问题等。以汉阳湖群为例, 对湖群调水的方案进行了优选, 并预测分析了引江灌湖工程实施后汉阳湖群的水流水质变化。得出结论: ①流量越大, 湖区流动性越好; ②四湖的整体流动性以龙阳湖最优, 三角湖最差; ③由于湖面宽广, 湖网形状复杂, 引入的水流难以置换全部水体, 出现缓流区域和死水区。

关键词 引清调水; 水质模拟; 汉阳湖群

中图分类号 :TV212.2 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2006)05-0041-04

Research on water diversion project to improve water environment of Hanyang lakes

GAO Hui-cai¹, LI Yi-tian², HE Yong², CHEN Jian²

(1. Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary, Hangzhou 310020, China; 2. Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract After water diversion among lakes, the lakes and the connected channels form a complex lake net structure, leading to problems such as multi-selection of diversion routes and existence of secondary distributaries. Taking the Haiyang lakes as an example, water diversion project was optimized, and the changes of water dynamics and water quality after implementation of the water diversion project were predicted and analyzed. It is concluded that: 1. the more the water transferred, the better the water flows; 2. the movement of the flow in Longyang Lake is the best and that of Sanjiao Lake is the worst among the four lakes; 3. because of the large area and complicated shapes of the lakes, the water transferred can not substitute all the water in the lakes, thus dynamic-water areas and static-water areas coexist in the lakes.

Key words water diversion project; water quality simulation; Hanyang lakes

引清调水的目的在于“以动治静,以清释污,以丰补枯,改善水质”。目前这种方法在国内外有较多的成功实例,如美国引密西西比河入 Pontchartrain 湖的引水工程^[1]、荷兰 Veluwemeetr 湖的引换水工程^[2]、国内的太湖^[3]、南京玄武湖^[4]、杭州西湖^[5]等,都采用了外流引水进行稀释和冲刷,取得了一定成效,在一定程度上缓解了湖区水质恶化的问题。但目前国内外均为单一湖泊的引清调水,对于由多个湖泊构成的湖群的引清调水国内外还没有先例。

实施调水工程后,湖群与其连通沟渠形成了河湖网络,水动力学条件极其复杂;又由于各个湖泊污

染程度存在较大差异,调水路线和调水方式选择时必须尽量避免水体污染物质从高污染负荷水体向低污染负荷水体流动,防止污染迁移;同时在对调水水体进行二次分配时,必须考虑各湖泊的水质状况,使水质较差的湖泊得以较大程度的冲污稀释。

我国南方地区湖网水系(尤其是长江中下游地区)大多具有江河水量充沛、江湖连通、湖网沟渠纵横交错、水系复杂的特点,因此对湖群调水问题的研究具有十分重要的现实意义和推广应用价值。本文针对上述引清调水存在的问题,结合湖群调水的水流水质特点,选择具有代表性的汉阳湖群及其连通

沟渠湖水系作为研究对象,对汉阳湖群调水方案进行了优选,并采用文献[6]中建立的水流水质模型来模拟汉阳湖群调水后的水流水质变化规律,为汉阳湖群的综合治理提供决策依据。

1 调水有关参数的确定

1.1 调水工程概况

汉阳湖群由龙阳湖、三角湖、墨水湖及南太子湖(以下简称四湖)组成(图1)。平均水位下,四湖总水体面积 12.72 km^2 ,总库容 1508 万 m^3 。历史上四湖天然相连、水力畅通,四湖之间由墨竹港、朱湖新港、连通港、新明河等相互连接形成水网,这个水网的北面通过琴断小河与汉江连接,南面通过东风闸和东湖泵站与长江连接,西面则与后官湖连接,形成了复杂的河湖网络。

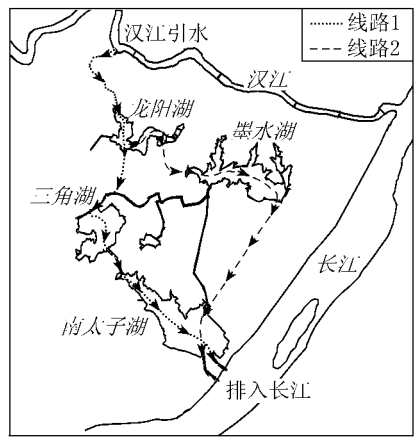


图1 四湖地理位置

长期以来,汉阳湖群作为汉阳地区雨、污水的接纳水体,对保护长江水质起到了积极的作用。但近年来由于城市的快速发展使污染物持续增加,而相应的污水处理设施建设严重滞后,大量工业污水和城市生活污水几乎未经任何处理便排入四湖。根据武汉城市防洪勘测设计院的污染源调查结果显示:四湖月平均纳污量分别为 176.23 万 m^3 、 117.72 万 m^3 、 0.96 万 m^3 和 568.17 万 m^3 ,严重超过了水系的环境容量,导致湖泊水质富营养化。根据2003年6~8月份的最新水质监测数据(监测指标为 BOD_5 、 COD_{Mn} 、 TN 和 TP 等)进行水质评价,四湖综合水质均为劣V类。

1.2 水源地选择

汉阳四湖调水可以考虑的水源地有汉江、长江和后官湖。长江水量最大,后官湖水最清,但综合考虑各方面因素,汉江水源具有水量相对丰富、水质相对良好、浊度相对较小、调度设施基本完善、从进口到出口可全程自流(整个湖网地区地势北高南低)、钉螺滋生可能性很低等优势,且基本不存在制约本

方案实施的因素。综合分析,无论在技术层面、经济层面,还是在效益层面汉江水源都具有较为明显的优势,故以汉江为水源地。

1.3 调水线路及调水方式的选择

调水路线和调水方式的选择应尽量保持湖渠连通的天然原貌,同时根据湖群调水的特点,湖群引清调水线路和调水方式选择应注意的问题和遵循的原则如下:①避免交叉污染。湖群调水存在湖泊水体交叉污染的可能,因此,调水线路及调水方式的选择应尽可能避免水体污染物质从高污染负荷水体向低污染负荷水体流动,防止污染迁移。②连通线路遵循“湖程取长、渠程取短”的原则。由于连通沟渠并不是单一的,在选择调水线路时尽量增加调水水流在湖区内的流动距离,对湖泊水体进行最大程度的置换,减少死水区,同时尽量缩短沟渠的长度,根据需要,开挖部分新渠来缩短沟渠长度。③调水流经龙阳湖后,对调水水体进行二次分配,分别流向三角湖和墨水湖,形成调水线路1和线路2(见图1)。因为墨水湖水质劣于三角湖,为加大对墨水湖冲污稀释力度,在水量分配上确定线路1和线路2分流比为1:2,即调水流量为 $20\text{ m}^3/\text{s}$ 时,流向三角湖和墨水湖的流量分别为 $6.67\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $13.33\text{ m}^3/\text{s}$ 。④抓准时机进行自流引水。每年6月至10月汉江一般水位较高,可满足自流引水需要,同时利用整个湖群区域地势北高南低的优势,可通过涵闸自流引水,节约运行费用;当年11月至次年5月,水位逐渐下降,再通过动力提升引水。

2 引清调水的水力水质特点分析

2.1 调水采用的模拟方法

该模型是通过水动力学模型和水质模型[6]联合进行求解的。根据2003年6月至8月监测的湖区水位、进出口流量及湖区测点污染物浓度,对水质模型参数进行了率定。由于不同种类的污染物特性不同,模型中相关的系数和参数也不尽相同,因此,在参数率定时需要结合不同污染物的实测资料。以龙阳湖的 TP 为例,对水质模型进行率定和验证。

初始条件:湖区的流速为零,初始浓度为六月初监测的平均浓度。

边界条件:6月至8月湖泊进口浓度过程,及湖泊水位过程,出口采用第二类边界条件。

率定得到的纵向、横向扩散系数分别为 $1.0\text{ m}^2/\text{s}$ 、 $0.7\text{ m}^2/\text{s}$, TP 综合衰减系数为 $0.025/\text{d}$,整体扩散系数为 $6.41 \times 10^{-6}\text{ mg}/\text{m}^2$ 。

以8月27日监测到的 TP 数据作为预测目标进行验证,湖区3个监测点验证结果如表1所示,从结果可看出计算值与实测值吻合较好。

表1 龙阳湖测点 TP 质量浓度计算值与实测值比较

测点	计算值/(mg·L ⁻¹)	实测值/(mg·L ⁻¹)	相对误差/%
1	0.69	0.74	-6.7
2	0.79	0.78	+1.3
3	0.81	0.75	+8.0

从长远来看,湖泊治理的根本在于污染源治理,为了解截污与不截污两种情况下引清调水效果,本文取截污和不截污两种情况,分别以调水流量为 20 m³/s, 10 m³/s 和 5 m³/s 来模拟预测汉阳湖群的水流水质变化规律。四湖排污量和污水浓度的确定综合考虑点源污染和面源污染;由于各个湖泊均有多个排污口,为了计算简便,四湖分别在较不利位置集中取一个排污口。两种调水流量的模拟调水时间初步定为 12 d, 24 d 和 30 d。模拟污染指标为 COD_{Mn}, BOD₅, TN 和 TP。

2.2 水力特点分析

分析各种工况下四湖流场的水力特点,结论如下:①流量越大,湖区流动性越好。以 20 m³/s 流量调水时,四湖的水体流动效果无论是流动强度还是流动范围都明显优于以 10 m³/s 和 5 m³/s 调水时状况。②四湖的整体流动性以龙阳湖最优,三角湖最差。主要由于分流后三角湖流量较小,调水进入湖区后水流分散,流速较缓慢。③由于湖面宽广,且形状复杂,引入的水流难以对全湖的水体进行置换,四湖的枝杈和远离主流的区域,均出现了不同程度的缓流区域和“死水区”。

2.3 水质特点分析

分析各种工况下四湖的水质变化特点,结论如下(以 COD_{Mn} 为例):

a. 实施各调水工况后四湖水质均有不同程度的改善。图 2 和图 3 分别为龙阳湖浓度场和调水前后四湖平均浓度对比图(截污情况下流量 20 m³/s)。从图中可以看出,调水后四湖 COD_{Mn} 浓度均达到 IV 类水,其中以龙阳湖改善效果最好, COD_{Mn} 质量浓度从 16.55 mg/L 降低到 6.74 mg/L,接近 III 类水标准(图注中的数字为水质等级分类, COD_{Mn} 浓度值小于

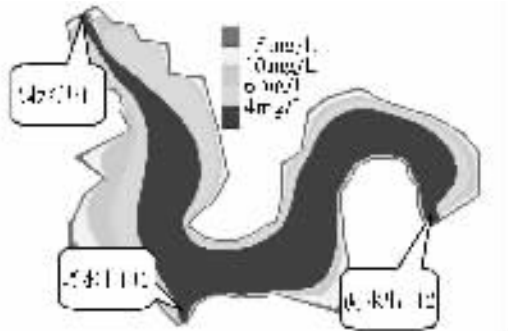


图2 龙阳湖 COD 浓度场(截污)

4 mg/L, 6 mg/L, 10 mg/L, 15 mg/L 的水体分别为 II、III、IV 和 V 类水)。

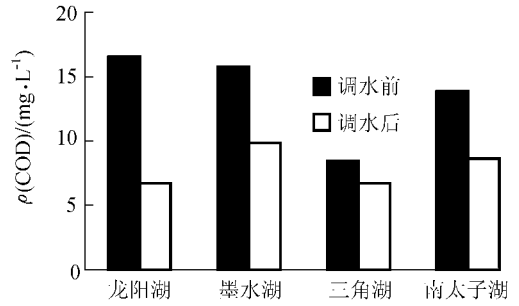


图3 调水前后四湖平均浓度对比

b. 各种调水工况下四湖均存在水质改善的“盲区”。“盲区”面积随着调水流量的减小而增大。同时“盲区”面积的大小还和湖泊的形状有关。

c. 考虑截污情况下的水质改善效果优于不考虑截污时,建议截污。图 4 和图 5 分别给出了不截污情况下的龙阳湖浓度场和截污与不截污四湖调水效果对比图。由图中可以看出,不考虑截污的情况下,在各湖排污口的下游均形成明显的污染带,特别是龙阳湖和南太子湖这两个排污量比较大的湖泊,严重影响了湖泊的水质改善效果,且这一结论是以连续的调水为前提,一旦停止调水,污水排入将直接威胁到湖泊的水质。因此,要从根本上治理湖泊污染,恢复原有的湖泊水环境,就必须采取截污措施。

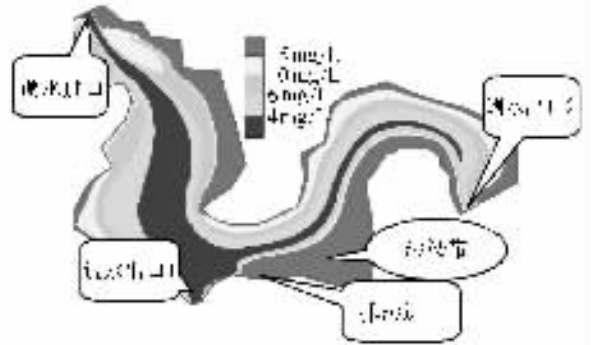


图4 龙阳湖浓度场(不截污)

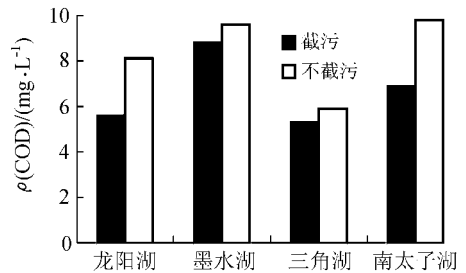


图5 截污与不截污调水效果对比

3 引清调水规模的确定

3.1 调水流量的确定

工程规模直接关系到调水的运行成本、可行性

等,为了达到既改善湖泊水质又经济运行的双重目标,必须选择合理的调水流量。调水流量过大,虽然达到了水质改善的目标,但经济成本较大;同样,若调水流量过小,则可能达不到水质改善的预期目标。通过比较3种流量调水的水质改善效果,以 $20\text{ m}^3/\text{s}$ 流量调水稳定后,龙阳湖、墨水湖、三角湖和南太子湖优于Ⅱ类水的水体面积占总湖泊面积的百分比分别为50.1%、73.8%、27.7%、43.3%;优于Ⅲ类水的分别为46.2%、59.0%、21.1%、49.8%。水质改善效果明显,综合水质均达到了Ⅳ类水标准,达到了工程目标要求。以 $10\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $5\text{ m}^3/\text{s}$ 流量调水稳定后,除龙阳湖仍有45.3%和37.5%的水体优于Ⅱ类和Ⅲ类外,其余3个湖泊均无优于Ⅱ类水的水体,同时四湖优于Ⅲ类水的水体也分别下降到64.5%、57.2%、39.4%、35.6%和56.7%、54.9%、41.1%、34.6%,说明以这两种流量调水湖泊水质改善效果均不理想。同时,3种流量调水稳定时的总调水量分别为1555万 m^3 、1469万 m^3 和1296万 m^3 ,相差不大,因此,综合比较3种调水流量方案,以 $20\text{ m}^3/\text{s}$ 调水效果最优。

3.2 调水线路和周期的确定

a. 水质随时间的变化。调水过程中湖泊出口污染物浓度变化情况直接反映了该湖泊主流区的水质变化情况。同时湖群调水后上游湖泊的出口污染物浓度直接关系到下一湖泊的水质改善效果,这也是湖群引清调水有别于单一湖泊引清调水的特点之一。如图6为截污情况下 $20\text{ m}^3/\text{s}$ 流量调水时各湖出口的 COD_{Mn} 浓度随时间的变化曲线。从图中可以看出,龙阳湖和墨水湖出口水质浓度在调水初期都比较高,龙阳湖对三角湖和墨水湖、墨水湖对南太子湖分别产生二次污染。因目前三角湖水水质较好,为避免龙阳湖污染物迁移至三角湖,先执行线路2调水2d以后(待龙阳湖主流区水质改善后),再同时执行两条线路一并调水,把二次污染程度降到最低。

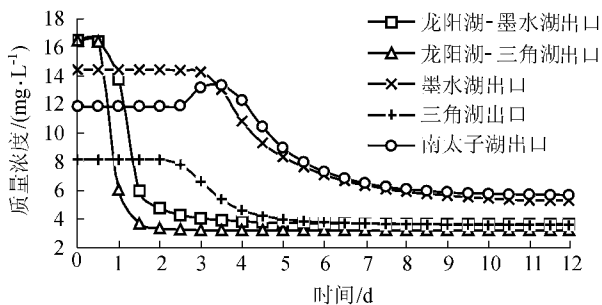


图6 四湖出口 COD_{Mn} 浓度变化曲线

南太子湖入长江的出水浓度在调水期间出现了先增大,再减小的过程,主要是由于初期由墨水湖进入南太子湖污染物浓度高于其初始浓度,直接影响了其出口进入长江的污染物浓度过程。

b. 调水周期的确定。湖群为多个湖泊同时调水,上下游湖泊的调水稳定时间不统一,须取所有湖泊的调水均稳定的时间为调水周期。由于湖泊出口的污染物浓度变化情况直接反映了该湖泊主流区的水质变化情况,湖泊出口浓度稳定即可看作该湖泊的调水稳定,因此可以根据各湖泊出口的浓度变化过程线来选择合理的调水周期。

从图6可以看出,调水初期各湖泊污染物浓度减少幅度较大,随时间变长,各湖泊出口浓度虽然仍然在下降,但下降幅度较小,以这种浓度变化不大的情况作为调水稳定状态,分别确定了各个模拟指标的稳定时间, BOD_5 、 COD_{Mn} 、TN和TP达到稳定的时间分别为225h、230h、200h和210h,并将调水周期定为整数天,即分别为10d、10d、9d和9d,因此选择调水时间为10d。

4 结论

本文在对汉阳湖群现状水质分析和对湖区进行数值模拟的基础上,对汉阳湖群引清调水工程进行了研究,结论如下:

a. 湖群调水可能产生湖泊水体的污染迁移,调水线路及调水方式的选择应尽可能避免因调水引起的湖泊水体污染,由于同时还存在二次分流的问题,应根据湖群水质现状选择合理的分流比。

b. 调水后四湖水水质均有明显改善,四湖综合水质均达到了Ⅳ类水标准,其中龙阳湖和三角湖接近Ⅲ类水标准。

c. 治理汉阳湖群,要标本兼治,流域内污染源治理与外流域引水并举,方能收到事半功倍之效,建议对四湖的点源和面源污染采取截污治理措施。

参考文献:

- [1] McCALLUM, B. E. Areal extent of freshwater from an experimental release of Mississippi River Water into Lake Pontchartrain [C]//Proceedings of the Symposium on Coastal and Ocean Management New York: American Society of Civil Engineers, 1995: 363-364.
- [2] 何用,李义天,李荣,等.改善湖泊水环境的调水与生物修复结合途径探索[J].安全与环境学报,2005,5(1):56-59.
- [3] 刘春生,吴浩云.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.
- [4] 张丹宁.玄武湖引水工程的环境效益分析[J].环境监测管理与技术,1995,7(3):17-25.
- [5] 俞建军.引水对西湖水质改善的回顾[J].水资源保护,1998(2):50-54.
- [6] 何用,李义天,郗会彩,等.泥沙污染水质模型研究[J].四川大学学报,2004,36(6):12-17.

(收稿日期:2005-06-12 编辑:高渭文)