

大型调水对受水湖体富营养化关键因子的影响

张玲玲, 郭兴芳, 顾 淼, 熊会斌, 吕小佳, 陶润先, 申世峰, 李 劭
(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074)

摘 要: 开展了引江济太和引江济巢工程对太湖和巢湖饮用水源地富营养化关键指标 TN 和 TP 的影响研究。结果表明,太湖贡湖湾超过Ⅲ类地表水标准的指标为 TN、BOD₅ 和 TP,引水期长江及入湖的 TN 和 TP 浓度基本高于贡湖湾;巢湖东半湖超过Ⅲ类地表水标准的指标为 TP,长江水的 TP 和 TN 年均浓度均高于巢湖东半湖;在长江现状调水水质下,引长江水入太湖和巢湖不能有效降低两湖水源地 TN 和 TP 浓度。可见,外调水源虽增加了水量,却不能从根本上解决富营养化问题,必须坚持水量与水质并重,持之以恒地进行入湖及内源污染治理,从根本上实现湖体及水源地生态恢复。

关键词: 调水工程; 长江; 太湖; 巢湖; 总氮; 总磷; 富营养化

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)01-0058-05

Influence of Large-scale Water Diversion Project on Key Factors of Eutrophication of Lake Water

ZHANG Ling-ling, GUO Xing-fang, GU Miao, XIONG Hui-bin, LÜ Xiao-jia,
TAO Run-xian, SHEN Shi-feng, LI Mai

(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074, China)

Abstract: The influence of large-scale water diversion project on TN and TP in Taihu Lake and Chaohu Lake was studied. The results showed that the concentrations of TN, BOD₅ and TP in the Gonghu Bay (in Taihu Lake) exceeded the class Ⅲ limits specified in *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002). In addition, the concentrations of TN and TP in Gonghu Bay were lower than those in the Yangtze River and other influent to the bay. The concentrations of TP in the eastern half of the Chaohu Lake exceeded class Ⅲ standard limits as well, and its annual average concentrations of TP and TN were lower than those of the Yangtze River. Under the current water quality of the Yangtze River, TN and TP of Taihu Lake and Chaohu Lake could not be reduced through water diversion from the Yangtze River. The phenomenon should be concerned was that water quality could not get improved, and eutrophication could not be solved effectively, even the lake water quantity was increased by the water diversion project. It was insisted that water volume and quality should be equally addressed, and the pollution control measures should be constantly implemented to river influent and to the lake.

Key words: water diversion project; Yangtze River; Taihu Lake; Chaohu Lake; TN; TP; eutrophication

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2015ZX07306001)

近 30 年来经济的快速发展造成了我国水环境的严重污染,由《2016 年中国环境状况公报》和《2016 年中国水资源公报》可知,2016 年全国 33.9% 的湖库水质处于Ⅳ类地表水及以下水质,8.8% 的湖泊处于中度富营养化状态,集中供水水源地上 19.4% 不能满足供水水源水质标准。在湖泊及水源地污染的严峻形式下,依靠远距离调水短期内改善水源地水质,成为我国重点流域保障城市供水安全的重要手段。目前太湖、巢湖和滇池均已实施外调水工程,以缓解流域水质型缺水问题。远距离调水涉及相关流域水资源的重新分配,影响调水

及受水区的水质及生态环境^[1]。基于此,笔者选取了引江济太和引江济巢这两项代表性调水工程,针对富营养化关键指标 TN 和 TP,探讨了外调水源对太湖和巢湖水源地的水质影响及其原因,从调水能否解决受水湖体水源地富营养化问题这一角度,为水质型缺水地区水源治理提供参考。

1 调水工程及受水湖体水源地概况

引江济太和引江济巢均为规模在 10^8 m^3 级别的水资源大型综合利用工程,通过调长江水入湖补充水量缩短湖体置换周期以改善水质。两项调水工程部分参数如表 1 所示。

表 1 调水工程基本参数

Tab. 1 Basic parameters of water diversion projects

项 目	现状	年均调水量/ 10^8 m^3		调水量占湖体常水位体积百分比/%	置换周期变化
引江济太	规范化运行	9.30		25	约 0.82 年降为 0.68 年
引江济巢	建设起步阶段	12.0	入东半湖 1.0	70	约 12 年降为 2 年
			入西半湖 11.0		

引江济太工程自长江引水后经望虞河入太湖贡湖湾,使太湖保持在 3.0~3.4 m 的适宜水位^[2]。太湖贡湖湾在引水期为直接受水区,不引水时为出流区,目前为无锡南泉水厂、锡东水厂和苏州金墅湾水厂的水源地。引江济巢工程两条引水线路分别入东、西半湖,泄洪期巢湖水经东半湖巢湖闸入长江。巢湖市一、二水厂的水源地位于巢湖东半湖,西半湖已无水源地存在。两项调水工程输水线路以及开展水质研究的长江、湖体和水源地相对位置见图 1。

值分别为 4.25、0.22、2.04、0.066 mg/L;2016 年太湖水的 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 年均值分别为 4.55、0.11、1.96、0.084 mg/L。与 2011 年相比,2016 年太湖水的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度下降比较明显,TN 和 COD_{Mn} 浓度相对稳定,TP 浓度增幅(21.42%)相对较大。2016 年太湖水质总体为Ⅴ类,水质特征为:高 TN 和 TP 造成富营养化; $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD_{Mn} 浓度低,分别满足Ⅰ类和Ⅲ类地表水标准。贡湖湾水源地水质亦为Ⅴ类地表水,超Ⅲ类地表水标准的指标为 TP、 BOD_5 和 TN,TP 年均浓度为 0.072 mg/L,TN 年均浓度为 1.92 mg/L,贡湖湾为太湖 8 个湖区中水质相对较好的水域。



图 1 调水工程输水线路以及开展水质研究的长江、湖体和水源地相对位置

Fig. 1 Water transmission line of water diversion projects and relative position of Yangtze River, lake and water source area

2 调水工程对受水湖体水质的影响

2.1 引江济太工程

① 太湖及贡湖湾水质

2011 年太湖水的 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 年均

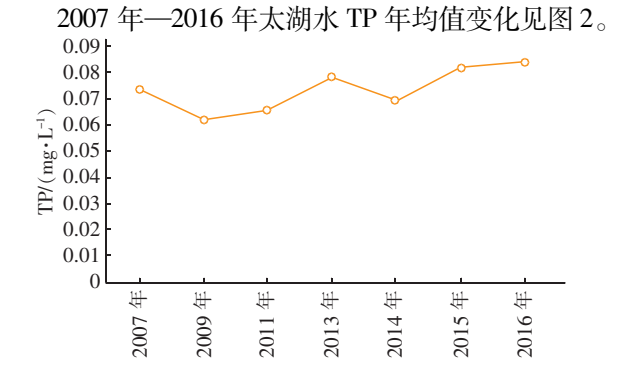


图 2 2007 年—2016 年太湖 TP 浓度年度变化

Fig. 2 Annual average TP concentrations in Taihu Lake from 2007 to 2016

由图2可以看出,在2007年《治理太湖、保护水源6699行动》启动后至2011年TP浓度有所下降,2011年—2016年其TP浓度又呈现出增加的趋势,2016年TP浓度尚未达到年度水质规划目标(0.05 mg/L)。尽管2007年至今太湖和贡湖湾没有大规模暴发蓝藻,但湖体富营养化关键指标TP浓度仍较高,且太湖及其贡湖湾目前均处于中度富营养状态,其大面积藻类水华潜在威胁仍然存在,需要进一步加强流域污染源治理。

② 调水对贡湖湾TN和TP的影响

与太湖贡湖湾水源地相比,长江引水的TN和TP浓度相对更高,且长江水经望虞河段后入湖水质有所变化。长江、入湖处及贡湖湾水源地取水口处TN和TP浓度如图3所示。

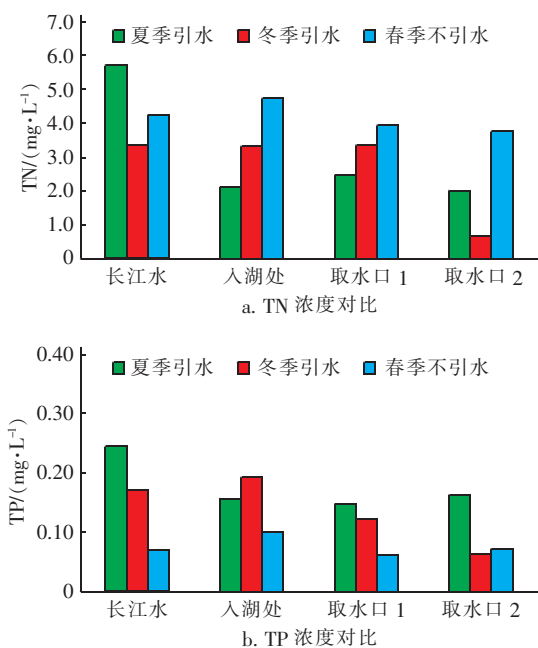


图3 长江、入湖处及贡湖湾水源地取水口处TN和TP浓度
Fig. 3 TN and TP of the Yangtze River, Taihu Lake entrance and water source area

从图3可以看出,引入太湖贡湖湾后水质相比长江水有所变化,基本是夏季引水时TN和TP浓度有所下降,冬季TN浓度变化不大、TP浓度稍有增加。比较入湖与贡湖湾水源地的TN和TP浓度,入湖与不同取水口处浓度高低互有波动,综合而言入湖处TN和TP浓度相对更高。与水源地相比,夏季和冬季长江水的TN和TP浓度均更高(夏季长江水TN为5.76 mg/L、TP为0.244 mg/L,贡湖湾TN为2.20 mg/L、TP为0.155 mg/L;冬季长江水TN为

3.40 mg/L、TP为0.170 mg/L,贡湖湾TN为2.07 mg/L、TP为0.092 mg/L);此外不引水时期,与水源地相比,长江水的TN和TP浓度也更高(长江水TN为4.27 mg/L、TP为0.070 mg/L,贡湖湾TN为3.90 mg/L、TP为0.065 mg/L)。综上可以看出,长江水的污染物浓度更高,引水并不能直接带给水源地“清水”。

调水对水源地的水质影响是一个长期过程,且湖体水质受物理、化学和生物作用的共同影响。短期取样可以初步判定长江与水源地的水质情况,结合2002年—2003年调水试验工程引长江水对贡湖湾TN和TP长期影响的模拟及监测结果^[2],引长江水对贡湖湾水源地的水质影响与本研究结果具有一致性,即引水有可能抬高贡湖湾的TN和TP浓度。

调水对贡湖湾水源地的水质影响,与贡湖湾在太湖的位置有关。不调水情况下贡湖湾位于太湖流出区,由太湖西部进入的水体到达贡湖湾时,TN和TP浓度经过湖体自净作用已经得到了降低,使得贡湖湾为太湖水质相对较好的水域,形成了自湾口到湾顶污染物浓度逐步下降的趋势。实施调水后,引水的TN和TP浓度相对较高,随着调水历时增加,贡湖湾内水质较好的水体逐步被排出贡湖湾,故而调水没有起到降低贡湖湾TN和TP浓度的作用。

2.2 引江济巢工程

① 长江、巢湖及水厂取水口水质

2014年长江水的 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP年均值分别为1.98、0.27、2.25、0.096 mg/L;巢湖全湖的 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP年均值分别为4.41、0.40、1.64、0.077 mg/L;巢湖东半湖的 COD_{Mn} 、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP年均值分别为4.00、0.997、0.18、0.061 mg/L;巢湖西半湖的 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP年均值分别为5.23、0.85、2.92、0.110 mg/L;一水厂取水口处 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP年均值分别为3.69、0.17、0.92、0.046 mg/L;二水厂取水口处 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP年均值分别为3.95、0.20、1.05、0.050 mg/L。可见,巢湖东半湖的TP年均值超过Ⅲ类地表水标准,水厂取水口4项指标均符合Ⅲ类地表水标准,西半湖和巢湖全湖的TN和TP浓度超过Ⅲ类地表水标准。此外,东、西半湖分别处于Ⅳ类轻度富营养和Ⅴ类中度富营养状态,巢湖全湖为Ⅳ类中度富营养状态。重污染河流入湖口均位于巢湖西半湖,而水厂取水口处于东半湖的东北部水域,从

而呈现出 TN 和 TP 浓度为水厂取水口 < 东半湖 < 巢湖全湖 < 西半湖的分布规律。巢湖水源地与入湖污染河流的位置分布和太湖贡湖湾水源地与入湖污染河流的相对位置具有相似性,水源地水质与全湖的水质关系也呈现出相同的规律。

对比长江与巢湖东半湖及水厂取水口水质,长江水的 COD_{Mn} 年均值低于东半湖和水厂取水口, $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 和 TP 年均值高于东半湖和水厂取水口,即与东半湖及水厂取水口相比,引水的有机物浓度低而氮、磷浓度高。巢湖东半湖的主要污染物指标为 TP,而引水的 TP 浓度却更高。与西半湖水水质相比,引水的 COD_{Mn} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 和 TP 年均值均更低,长江水质优于西半湖水水质。巢湖东半湖蓄水量约占全湖的 2/3,西半湖则占 1/3,巢湖全湖水水质主要受东半湖水水质影响,不划分东、西半湖情况下,长江调水的 TN 和 TP 浓度要高于巢湖全湖。

② 调水对巢湖及东半湖 TN 和 TP 的影响

调水前后巢湖全湖及东西半湖的 TN、TP 浓度变化见图 4。

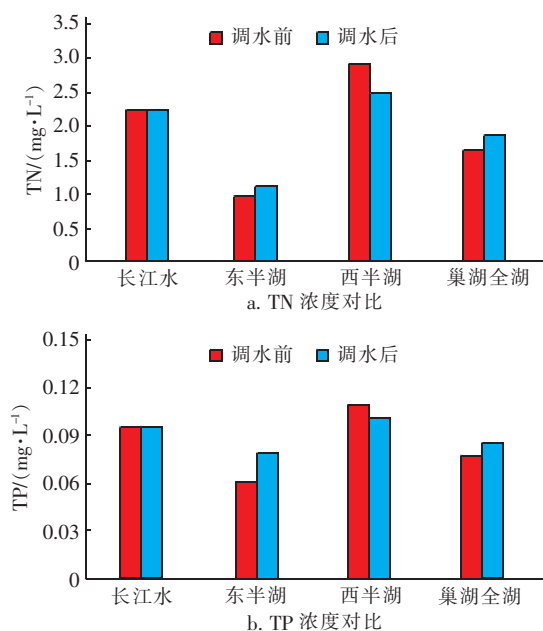


图4 调水前后巢湖全湖及东西半湖的 TN、TP 浓度变化

Fig. 4 Changes of TN and TP of Chaohu Lake, eastern half and western half of Chaohu Lake before and after water diversion

对比调水、东半湖与西半湖 TN 和 TP 浓度,长江引水高于东半湖,且西半湖水水质亦比东半湖差。考虑水质与水量,调水有利于改善西半湖水水质,但对于东半湖的 TN 和 TP 浓度,在近期长江水质无明显

改善的情况下,引入的长江水和进入的西半湖水短期内有可能会造成东半湖及水厂取水口水域 TN 和 TP 浓度升高,而且就巢湖全湖平均水平而言 TN 和 TP 浓度在引水后也得不到有效降低(见图 4)。

引长江水入巢湖通过人为加大水体交换量提高现状条件下的湖体环境容量、缩短置换周期而改善水质为逐渐累积的渐变过程。在长江水 TN 和 TP 浓度均高于巢湖东半湖的现状下,引水对于东半湖达不到以清换浊的效果,东半湖在引水后甚至会出现短期内 TN 和 TP 浓度升高的现象。水厂目前采用常规处理工艺,为保证供水水质安全,需要做好进水 TN 和 TP 浓度升高的应对措施。

2.3 调水对太湖和巢湖水源地影响的共性与特性

对比长江水、太湖贡湖湾和巢湖东半湖,两水源地的 TN 和 TP 浓度较长江水更低,在长江现状水质下,引水不能实现两水源地 TN 和 TP 浓度的降低,即不具有降低营养盐浓度的正面改善作用。太湖贡湖湾 2016 年 TP 年均值升高到 0.072 mg/L ,湖体为中度富营养化状态,藻类生长基质浓度仍然较高;巢湖东半湖目前水质良好,引江济巢工程实施后长江及西半湖水进入东半湖后,综合考虑水质与水量,有可能造成东半湖短期内富营养化基质浓度升高。

两项调水工程对水源地 TN 和 TP 的影响研究表明,流域大型水资源调度工程,通过调水补充水量保持湖泊水位并提高流动性,从而减轻藻类大规模生长这一措施,对于其中水质相对较好的水源地,有可能并不能实现富营养化指标 TN 和 TP 浓度的降低,甚至会出现 TN 和 TP 浓度升高的现象,这与外调水水质、水源地水质及所处湖体位置等均相关。

尽管部分外调水源工程实施具有现阶段必要性,作为恢复湖体水质的系统工程措施之一建设,但依靠外调水源不能从根本上解决湖体富营养化问题,并且有可能出现外调水源比本地水源地 TN 和 TP 浓度更高这一问题。因此,不可过度依赖这一短期效应措施,应坚持水量与水质并重,进行入湖污染及内源污染治理,并杜绝高影响开发利用项目。

3 结论

① 太湖贡湖湾超Ⅲ类地表水标准的指标为 TN、 BOD_5 和 TP,与贡湖湾水源地相比,长江水和入湖水的 TN 和 TP 浓度均较高;巢湖东半湖超Ⅲ类地表水标准的指标为 TP,与东半湖水水质相比,长江水的 TP 和 TN 浓度更高。

② 太湖贡湖湾和巢湖东半湖主要存在富营养化问题,且长江调水的TN和TP浓度均高于两水源地,在长江现状水质下,调水入湖并不能使水源地富营养化基质(TN、TP)浓度得到有效降低。

③ 通过引水增加水量与水源地水质提升并不存在必然的正相关性,且存在调水水源富营养化因子浓度更高的可能性,因此依靠外调水源无法从根本上解决富营养化问题,必须坚持水量与水质并重,持之以恒地进行入湖污染和内源污染治理,并杜绝高影响开发利用项目,这才是湖体及水源地生态恢复的根本方法。

参考文献:

- [1] 郭潇,方国华,章哲恺. 跨流域调水生态环境影响评价指标体系研究[J]. 水利学报,2008,39(9):1125-1130,1135.
Guo Xiao, Fang Guohua, Zhang Zhekai. Index system of eco-environment impact assessment for inter basin water transfer[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(9):1125-1130,1135(in Chinese).
- [2] 水利部太湖流域管理局. 引江济太调水试验关键技术

研究[M]. 北京:中国水利水电出版社,2010.

Taihu Basin Administration of the Ministry of Water Resources. Research on the Key Technology of Water Diversion from Yangtze River to Taihu Lake [M]. Beijing:China Water & Power Press,2010(in Chinese).



作者简介:张玲玲(1978-),女,河北唐山人,博士,高级工程师,主要研究方向为水和废水处理技术。

E-mail:zll65211@163.com

收稿日期:2019-06-12

(上接第57页)

- [8] 徐洪福,赵洪宾,张金松,等. 输配水系统中水体余氯的衰减规律研究[J]. 中国给水排水,2003,19(8):15-18.
Xu Hongfu, Zhao Hongbin, Zhang Jinsong, et al. Study on the residual chlorine decay in water transmission and distribution system [J]. China Water & Wastewater, 2003,19(8):15-18(in Chinese).
- [9] 杨海涛. 再生水管网余氯衰减规律及影响因素研究[J]. 中国给水排水,2016,32(15):85-90.
Yang Haitao. Decay law and influential factors for residual chlorine in reclaimed water network[J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(15):85-90(in Chinese).
- [10] 李航,李雅蕾,吕谋,等. 基于智能分析的供水管网浊度模拟研究[J]. 青岛理工大学学报,2016,37(4):75-81.
Li Hang, Li Yalei, Lü Mou, et al. Study on intelligent turbidity simulation analysis of water supply network[J].

Journal of Qingdao University of Technology, 2016, 37(4):75-81(in Chinese).



作者简介:侍路梦(1994-),女,山西晋城人,硕士研究生,研究方向为水处理技术。

E-mail:sslm94@163.com

收稿日期:2019-05-12