

生态补水对玄武湖水质的影响

张哲海¹ 徐瑶²

(1. 南京市环境监测中心站, 江苏 南京 210013; 2. 南京师范大学地理科学学院, 江苏 南京 210046)

摘要: 分析南京玄武湖1997年—2010年的水质变化, 以及生态补水与玄武湖水质变化的关系。结果表明, 玄武湖于1998年实施生态补水, 随着生态补水的持续运行和生态补水量的不断增加, 玄武湖水质得以显著改善, 其水质类别由生态补水前的劣V类水体转为V类水体, 并接近于IV类水体, 富营养化程度由重度富营养化水平转为轻度富营养化水平。目前玄武湖主要营养物质来源于生态补水, 相关性分析显示各湖区TN浓度与生态补水中TN浓度呈显著相关关系。

关键词: 生态补水; 水质; 富营养化; 玄武湖

中图分类号: X32.021

文献标识码: C

文章编号: 1006-2009(2012)05-0040-04

Effects Analysis on Water Quality of Ecological Water Compensation from Yangtze River to Xuanwu Lake

ZHANG Zhe-hai¹, XU Yao²

(1. Nanjing Environmental Monitoring Center, Nanjing, Jiangsu 210013, China;

2. College of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210046, China)

Abstract: Combining the changes of water quality in Lake Xuanwu from 1997 to 2010 and their relationship between the ecological water compensation and lake water, it is showed that the water quality of lake water has been improved significantly due to the continuous running of the ecological water compensation since 1998. After the ecological water compensation, annual water quality reached better level of category V according to the Environmental Quality Standards for Surface Water (GB 3838-2002) and the whole lake also switched from hyper-eutrophic level to light-eutrophic level. The main nutrient pools of the lake were supplied by the ecological water compensation at present. Correlation analysis indicated that the concentration of TN from the ecological water compensation was positively correlated with those from different regions of Lake Xuanwu.

Key words: Ecological water compensation; Water quality; Eutrophication; Lake Xuanwu

引水冲污、补给清洁水源已经成为缓解湖泊富营养化、改善富营养化湖泊水质的常规措施之一^[1-3], 南京玄武湖是一个典型的城市富营养化湖泊^[4], 为了改善玄武湖的水环境质量, 控制湖泊富营养化, 1998年以来, 通过大桥水厂引长江水8万t/d向玄武湖进行生态补水, 2002年生态补水量为18万t/d。2005年7月玄武湖暴发蓝藻水华^[5], 为有效控制蓝藻水华, 全面启动生态补水, 年补水量约5000万t, 达28万t/d。

用相对清洁的水补给富营养化水体, 不仅可以有效稀释和降低富营养化水体营养盐浓度, 而且可以控制藻类滋生繁殖^[6-7]。现分析玄武湖1997

年—2010年的水质变化, 以及生态补水与其水质变化的关系, 为玄武湖水质的进一步改善提供技术支持。

1 研究方法

玄武湖属典型城市浅水湖泊, 面积为5.5 km², 其中水面面积3.7 km²。水面标高10 m时, 平均水深1.14 m, 库容4.29 × 10⁶ m³; 最高水位11.15 m, 最低水位9.8 m, 常年水位9.8 m ~ 10.2 m。玄武

收稿日期: 2012-06-19; 修订日期: 2012-07-23

作者简介: 张哲海(1965—)男, 河南上蔡人, 高级工程师, 大学, 从事环境监测管理工作。

湖湖区由 5 个洲(环洲、梁洲、樱洲、翠洲、菱洲)划分为 4 个湖区(东南湖、东北湖、西北湖、西南湖)。湖中五洲桥堤相通,融为一体,有一定的水力联系。

补水方式:生态补水的水源均取自长江南京段水域,经大桥水厂、上元门水厂沉淀处理后由专用管道输入玄武湖。

引水流向:生态补水通过 5 个入口管道进入玄武湖,分布在西北湖 1 个,东北湖 2 个,东南湖 2 个;三个出水口分布位于西北湖的大树根闸和东南湖的武庙闸和太平门闸。引水进湖后的主体流向分别为西北湖→金川河,西北湖→东北湖→东南湖→珍珠河,东南湖→玉带河。

1997 年—2010 年设置 4 个湖心点,监测项目为《地表水环境质量标准》(GB 3838 - 2002)表 1 中 24 项指标,另增测透明度(SD)、叶绿素 a(Chla);2006 年 4 月—2007 年 3 月,同时监测大桥水厂、上元门水厂生态补水水质,监测项目为总氮(TN)、氨氮(NH₃-N)、硝酸盐氮(NO₃⁻-N)、亚硝酸盐氮(NO₂⁻-N)、总磷(TP);监测频率为每月一次,分析方法参照文献[8-9]。玄武湖生态引水见图 1。

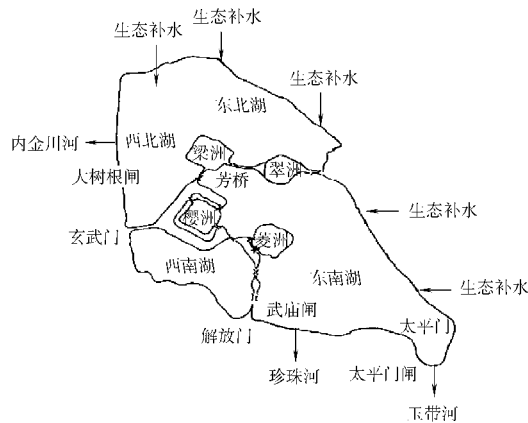


图 1 玄武湖生态引水示意
Fig. 1 Distribution map of ecological water compensation in Lake Xuanwu

2 结果分析

2.1 玄武湖水质年际变化

2.1.1 水质类型

玄武湖主要污染指标变化见图 2(a)(b)。

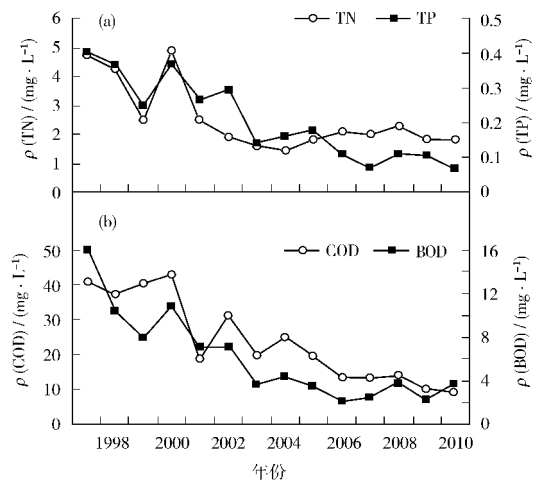


图 2 玄武湖主要污染指标变化
Fig. 2 The variation in the main pollution indexes of Lake Xuanwu

依据《地表水环境质量标准》(GB 3838 - 2002),1997 年—2002 年玄武湖为劣 V 类水质;2003 年以后,除 2006 年、2008 年 TN 略有超标外,其水质基本保持 V 类水平;2010 年 TN 浓度接近达到《江苏省地表水(环境)功能区划》要求的 IV 类标准,其他监测指标均优于 III 类标准。

1997 年主要污染指标为 TP、TN、BOD、COD、NH₃-N,其年均值分别超过 IV 类标准 3.00 倍、2.17 倍、1.65 倍、0.35 倍、0.04 倍;2003 年主要污染指标为 TP、TN,其年均值分别超标 0.38 倍、0.07 倍;2010 年主要污染指标为 TN,年均值超标 0.21 倍。

2.1.2 富营养化程度

玄武湖综合营养状态指数变化见图 3。

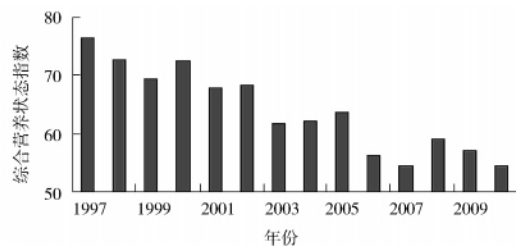


图 3 玄武湖综合营养状态指数变化
Fig. 3 The variation in comprehensive trophic level index of Lake Xuanwu

1997年—2010年,玄武湖富营养化水平可分为3个阶段。第一阶段为1997年—1998年,处于重度富营养化状态;第二阶段为1999年—2005年,处于中度富营养化状态;第三阶段为2006年—2010年,处于轻度富营养化状态。

2.1.3 综合污染指数

玄武湖综合污染指数变化图4。

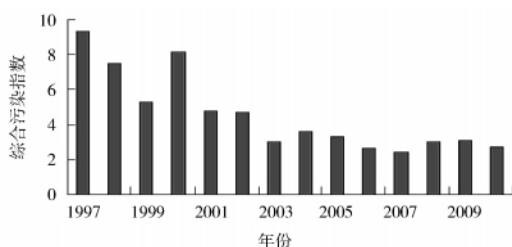


图4 玄武湖综合污染指数变化

Fig. 4 The variation in comprehensive pollution index of Lake Xuanwu

选择 COD、 I_{Mn} 、BOD、 $NH_3 - N$ 、挥发酚、氰化物、As、Hg、 Cr^{6+} 、Pb、Cd、石油类、TP、TN 等指标计算玄武湖综合污染指数。1999年综合污染指数大幅下降,2000年有所反弹,2003年再次较大幅度下降,之后基本维持在较低水平。

2.1.4 生态补水与玄武湖水质变化的关系

1998年9月玄武湖从大桥水厂引水 $8 \text{万 m}^3/\text{d}$ 冲污,1999年水中TN、TP、BOD质量浓度较1998年分别下降42.0%、30.6%、22.7%,水中COD质量浓度上升9.3%,综合污染指数大幅下降,其富营养化程度由重度富营养化水平下降至中度富营养化水平。

2002年10月上元门水厂一期引水工程完成,玄武湖生态补水量达 $18 \text{万 m}^3/\text{d}$,2003年水中TN、TP、BOD、COD质量浓度分别下降16.5%、52.8%、48.8%、36.38%。水质从劣V类水体转为V类,富营养化程度接近轻度富营养化水平。

2005年4月上元门水厂二期引水工程完成,2005年6月完成九华山隧道施工并开始补水,生态补水量达 $28 \text{万 m}^3/\text{d}$ 。2005年7月玄武湖暴发蓝藻水华^[5],2005年水中TP、TN较2004年分别上升9.4%、23.6%,综合污染指数略有下降,富营养化程度却有所上升。2006年冬春季节,菹草暴发,除水中TN浓度略有上升外,水中TP、BOD、COD质量浓度均有较大幅度的下降,综合污染指

数随之下降,富营养化程度降至轻度富营养化水平。2006年后,生态补水量基本稳定,其水质也相应稳定在V类水平和轻度富营养化水平。

2.2 玄武湖主要污染物来源分析

2006年调查结果显示,玄武湖营养来源包括通过沟渠入湖的合流制截流式排水系统溢流污水及漏截管道和直接入湖的园区内生活污水、湖面降水、湖区地表径流。玄武湖氮磷入湖总量分别为 198.24 t/a 和 8.21 t/a ,主要来源为生态补水,其次为入湖沟渠溢流污水。其中生态补水中的氮、磷分别占入湖总量的65.65%和57.86%,溢流污水中的氮、磷则相对较低(分别为19.82%和21.68%)。玄武湖氮磷出湖途径主要通过3个出湖闸门排水和水生植物收割,经测算,出湖氮磷总量分别为 155.98 t/a 和 6.26 t/a 。玄武湖氮磷的滞留系数分别为21.32%和23.75%。据文献[10],1998年、1999年武汉东湖氮的滞留系数分别为60.3%、65.5%,磷的滞留系数均为79%。玄武湖氮磷滞留系数远低于武汉东湖,主要原因是2006年玄武湖菹草爆发性生长^[11],其收割带走了大量的氮磷。玄武湖氮磷平衡清单见表1。

表1 玄武湖氮磷平衡清单 t/a

Table 1 List of water quantity balance on TN and TP t/a

项目	入湖氮磷		出湖氮磷		
	TP	TN	项目	TP	TN
湖面降水	0.13	9.77	水生植物收割	1.50	65.60
湖区径流	0.28	3.25	出湖	4.76	90.38
湖区点源	0.18	1.64			
入湖沟渠	1.78	39.30			
其他漏截管道	1.09	14.13			
生态补水	4.75	130.15			
入湖合计	8.21	198.24	出湖合计	6.26	155.98

2.3 生态补水与玄武湖氮磷浓度的相关性分析

生态补水与各湖区氮磷浓度相关分析见表2。

2006年4月至2007年3月,大桥水厂、上元门水厂生态补水中TP质量浓度年均值为 0.11 mg/L 和 0.07 mg/L ,TN质量浓度年均值为 2.51 mg/L 和 2.41 mg/L 。依据《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)2个水厂的生态补水中TP浓度介于IV类至V类标准之间,TN浓度劣于V类标准。

相关分析显示,大桥水厂、上元门水厂的生态补水中TN浓度与玄武湖各湖区TN浓度均呈显著正相关,而TP浓度之间无显著相关关系。表明玄

表2 生态补水与各湖区氮磷浓度相关分析^① ($n=12$)Table 2 Correlation analysis of TN/TP between ecological water compensation and Lake Xuanwu^① ($n=12$)

湖区	TN				TP			
	大桥水厂		上元门水厂		大桥水厂		上元门水厂	
	相关系数 r	p 值	相关系数 r	p 值	相关系数 r	p 值	相关系数 r	p 值
东北湖	0.84	**	0.86	**	0.30	0.37	0.36	0.31
东南湖	0.67	*	0.74	**	0.04	0.90	0.21	0.53
西北湖	0.85	**	0.85	**	0.20	0.54	0.36	0.28
西南湖	0.59	*	0.84	**	0.21	0.52	0.33	0.32

①* : $p < 0.05$; ** : $p < 0.01$ 。

武湖水中 TN 浓度的变化趋势与生态补水中 TN 浓度相一致,玄武湖 TN 变化受生态补水 TN 浓度含量影响较大;而生态补水中含磷量对玄武湖 TP 浓度不产生显著影响。主要原因为玄武湖自身库容较低($4.3 \times 10^6 \text{ m}^3$),而目前每年的引水量则比较大(约 $5.0 \times 10^7 \text{ m}^3$),以此计算玄武湖水在一个月左右便可更新一次,导致玄武湖向过水性湖泊发展,其水质越来越依赖外来补水水质,而生态补水的 TN 超标也造成了玄武湖 TN 难以达到规划要求。根据预定玄武湖水质调度方案^[12-13],使用二维浅水湖泊模型,湖体和生态补水的 TN 浓度分别以地表水环境质量 IV、II 类标准为计算依据,则生态补水可改善玄武湖水质。但实测结果生态补水中 TN 浓度达不到调水水质标准,因此,在实际运行玄武湖生态补水中,应重新优化补水模型参数,确保玄武湖水质达到功能区规划要求。

3 结语

玄武湖自 1998 年实施生态补水,随着其持续运行和补水量的不断增加,水质得以显著改善,类别由生态补水前的劣 V 类水体转为 V 类水体,并接近于规划要求的 IV 类水体,由重度富营养化水平转为轻度富营养化水平。

目前玄武湖主要营养来源于生态补水,相关性分析显示各湖区 TN 质量浓度与生态补水中 TN 质量浓度呈显著相关关系,与 TP 质量浓度无相关关系,表明生态补水对玄武湖 TN 质量浓度影响较大。由于生态补水中 TN 质量浓度达不到设计的调水标准,导致水中 TN 质量浓度难以达到规划要求。因此在生态补水工程中,应重新调整调水模型,加强综合整治,以持续改善玄武湖水质。

[参考文献]

- [1] 沈秀云,李兰贵,赵卫国,等. 试论引岳济淀工程在白洋淀生态补水中的作用[J]. 水科学与工程,2005(3): 59-61.
- [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): 56-60.
- [3] 吴挺峰,潘彩英,崔广柏,等. 引江济太水源地水质及河势可靠性分析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2007,35(4): 369-373.
- [4] 王国祥,濮培民. 若干人工调控措施对富营养化湖泊藻类种群的影响[J]. 环境科学,1999,20(2): 71-74.
- [5] 张哲海,梅卓华,孙洁梅,等. 玄武湖蓝藻水华成因探讨[J]. 环境监测管理与技术,2006,18(2): 15-18.
- [6] 刘霞,王礼先,张志强. 生态环境用水研究进展[J]. 水土保持学报,2001,15(6): 58-61.
- [7] 钱正英,张光斗. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告[R]. 北京: 中国水利水电出版社,2001: 52-65.
- [8] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 四版. 北京: 中国环境科学出版社,2002.
- [9] 全国主要湖泊水库富营养化调查研究课题组. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社,1987.
- [10] TANG H, XIE P. Budgets and dynamics of nitrogen and phosphorus in a shallow, hypereutrophic lake in China [J]. J. Freshw. Ecol. 2000, 15(15): 505-514.
- [11] 王天阳,王国祥. 玄武湖藻草种群空间格局分析及其环境效应[J]. 生态环境,2007,16(6): 1660-1664.
- [12] 华祖林,顾莉,薛欢,等. 基于改善水质的浅水湖泊引调水模式的评价指标[J]. 湖泊科学,2008,20(5): 623-629.
- [13] 计勇,姚琪,韩龙喜,等. GIS 在玄武湖水质调度中的应用[J]. 福建水土保持,2004(1): 66-70.

本栏目责任编辑 薛光璞 李文峻