

玄武湖水生态环境现状调查与应对措施

吴 飘¹,路婷婷²

(1. 江西省水利投资集团有限公司,江西 南昌 330006;2.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098)

摘 要: 玄武湖是典型的城市富营养化湖泊,其水生态环境问题突出. 结合国内外研究成果和现场实地调研,综述了玄武湖的水环境与水生态现状及其演变规律,同时对玄武湖的污染源展开调查. 针对玄武湖的现状,分析已开展工程的实施效果与存在的问题,并提出合理建议.

关键词: 玄武湖;水环境;水生态;工程措施

中图分类号: X131

文献标识码: A

文章编号: 1004-4701(2015)04-0264-05

0 引言

玄武湖位于南京老城区东北部,属于天然小型城市浅水湖泊,湖泊面积为3.72 km². 玄武湖湖岸呈菱形,湖泊的南北长度为2.4 km,东西宽度为2.0 km,岸线长度约为10.0 km,岸线发展系数为1.5. 玄武湖常年水位为9.8~10.2 m,在10.0 m水位时,平均水深为1.2~1.3 m,库容约5×10⁶ m³. 湖水面被4个小岛屿分割成东北湖、东南湖、西南湖、西北湖4部分,彼此通过桥涵连接. 玄武湖作为南京城市风景名胜,同时承担城北地区汛期蓄洪和夫子庙景区城市河道的调节. 随着玄武湖流域城市建设的发展,大量工业废水、生活污水排入湖中,玄武湖的水环境质量恶化,重金属含量超标,生态服务功能逐渐衰退^[1,2]. 而玄武湖本身流速较慢,湖水置换周期长,水体自净与生态自我修复能力弱,导致玄武湖频发水污染事件,成为典型的城市富营养化湖泊^[3,4]. 本文通过文献阅读与实地调研,详细阐述了玄武湖的水环境与水生态演变及其现状,并结合玄武湖现行的治理措施,提出合理建议.

1 玄武湖的水生态环境变化与现状

1.1 玄武湖水环境变化特征

早在20世纪90年代,玄武湖已经成为严重的富营养化湖泊,其重要原因是入湖污水中的TN、TP含量过

高,超出湖体的自净能力,从而引起藻类及其它浮游生物迅速繁殖,造成水体溶解氧下降,水质恶化. 21世纪以来,随着水环境治理力度的加大,玄武湖的水质得到一定改善. 到2005年玄武湖营养程度为中度富营养化湖泊,到2014年玄武湖达到轻度富营养化.

玄武湖富营养化的重要污染物为氮、磷和有机物. 通过收集并分析1998~2014年玄武湖湖心点水质参数(数据来源:南京市环境监测中心站)得知,玄武湖的水环境状况逐年好转,TN、TP、COD和BOD₅逐年降低,并且TN与TP、COD与BOD₅变化趋势大致保持一致,玄武湖水水质年际变化趋势见图1. 从图中可以看出,1998年玄武湖的污染程度最为严重,TN、TP和BOD₅含量均最大,其中TN、TP达到4.76 mg/L和0.38 mg/L,为劣V类. 到2014年,玄武湖湖水的TN、TP、COD和BOD₅分别为1.48 mg/L、0.12 mg/L、12.1 mg/L和4.12 mg/L. 图中显示,在2006年玄武湖湖水的TN和TP浓度最低,之后有所回升. 这主要与2006年玄武湖菹草爆发性生长有关,菹草的收割带走了大量的氮和磷^[5,6]. 观察近3年玄武湖的水质变化发现,玄武湖的水环境质量虽然较1998年有了明显的改善,但2014年玄武湖水的TN、TP和COD较前两年均有小幅度升高,尤其是TN超标严重,仍处于劣V类水平.

选择玄武湖水质监测报告中的叶绿素a、TN、TP和COD作为评价指标,对玄武湖的富营养状况进行评价,选择COD、BOD₅、TN、TP、氨氮以及重金属等作为评价指标,对污染程度作定量分析. 富营养状况评价采用综

收稿日期: 2015-08-06

作者简介: 吴 飘(1992-),女,大学本科.

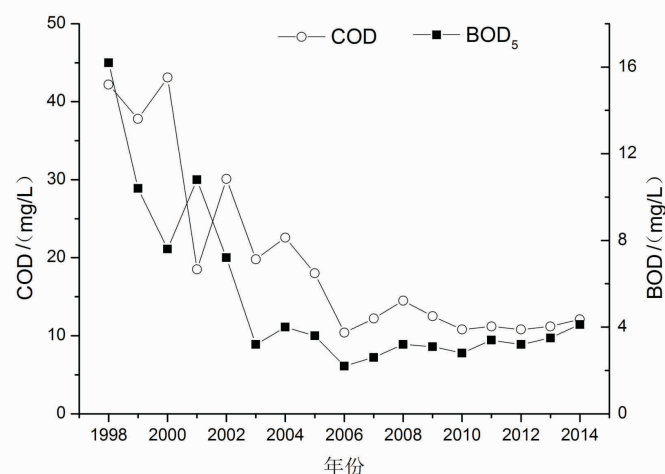
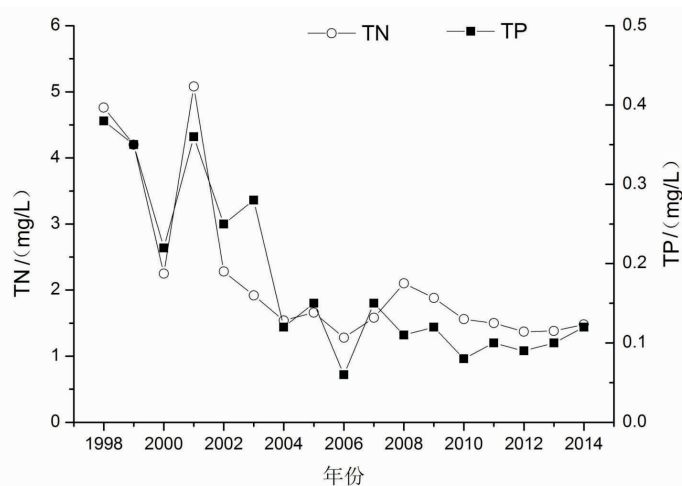


图1 1998~2014年玄武湖主要水质指标的变化

合营养状态指数法,污染程度评价采用水质综合污染指数法。综合营养状态指数法计算公式见式(1),综合污染指数法计算公式见式(2)。计算、评价结果见图2和图3。

综合营养状态指数法计算公式^[7]:

$$TLI(\Sigma) = \sum_{j=1}^n W_j \cdot TLI(j) \quad (1)$$

式中: $TLI(\Sigma)$ 为综合营养状态指数; W_j 为第 j 种参数的营养状态指数的相关权重; $TLI(j)$ 代表第 j 种参数的营养状态指数。不同指标的营养状态指数计算参阅《湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定》^[8]。

综合污染指数法计算公式^[9]:

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i, P_i = C_i/S_i \quad (2)$$

式中: P 为综合污染指数; P_i 为 i 污染物的污染指数; n 为污染物的种数; C_i 为 i 污染物实测浓度平均值, S_i 为 i 污

染物评价标准值。

从图2中可以看出,1998~2014年间,玄武湖的综合营养状态指数明显降低,即玄武湖的富营养状态得到较大改善,尤其是在2007年,富营养程度最低,是1998年的营养指数的70%左右,而1998年玄武湖的综合营养状态指数高达75以上。但在2008~2014年6年间,玄武湖的富营养化有缓慢加重的趋势,综合营养状态指数从52上升至56~60左右。据调查,这主要与化肥的滥用、生活污水和粪便的乱排、禽畜饲养和湖面养殖等有关^[10,11]。图3中所示的综合污染指数曲线可知,1998年的综合污染指数最高,随着时间的推移,玄武湖的污染指数大幅降低。其中,污染指数在2000年有明显的反弹,在这之后又迅速下降,并最终维持在2.0~3.0的水平,是1998年污染指数的22%~33%。

1.2 玄武湖水生态变化特征

作为南京市重要的旅游观光性湖泊,玄武湖的生态安全备受关注。2005年夏季,玄武湖首次发生大面积的蓝藻水华,其中优势种群为微囊藻。此次蓝藻事件导致湖水景观及其他生态功能衰退,严重影响南京的城市面貌。南京市环境检测中心的研究显示,在2006~2007年间,玄武湖湖区共监测到浮游植物7门82属176种,藻类细胞密度为 $6.93 \times 10^6 \sim 2.28 \times 10^8$ cells/L,夏季7、8月份玄武湖藻类细胞密度最大^[12]。任黎^[13]等的研究发现,玄武湖中的优势种为蓝藻和硅藻,通过修正的卡尔森营养状态指数法对浮游植物进行评价,发现2005年9月的玄武湖处于富营养状态,并有向重富营养化过度的趋势。

张哲海^[14]等对玄武湖浮游动物、底栖生物和鱼类数量和优势种群进行了研究,发现玄武湖中浮游动物数量达8 535~59 234 个/L,原生动物为优势种,轮虫、枝角类、桡足类年际数量增多幅度最大。蓝藻爆发期间,玄武湖底栖生物数量为384~480 个/m²,优势种为粗腹摇蚊。鱼类产量下降明显,2004年鱼类数量不足1985年产量的15%。研究表明,鲢鳙鱼类的急剧减少使大型浮游植物的牧食压力降低,是微囊藻暴发性增殖的主要原因^[15]。

曾巾^[16]等通过PCR-DGGE分子指纹技术鉴定出玄武湖底泥中优势微生物属于Proteobacteria、Actinobacteria、Verrucomicrobia和Nitrospira,它们均属于富营养化湖泊中常见的微生物类群。玄武湖沉积物的微生物群落结构与藻类密集程度也存在关联,微囊藻水华期间,Proteobacteria、Firmicutes和Baeteroides为主要微生物,而在水华衰退期水体中原有的Hydrogenophaga、Vogesella Sphingomonas、Exiguobacterium等菌属消亡^[17]。

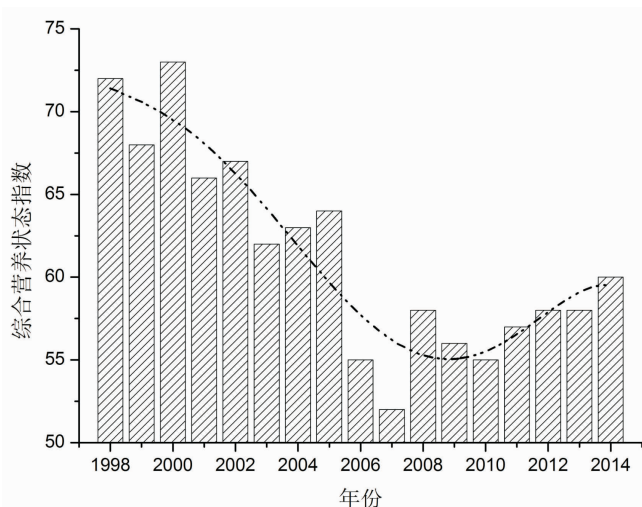


图2 1998~2014年玄武湖综合营养状态指数的变化

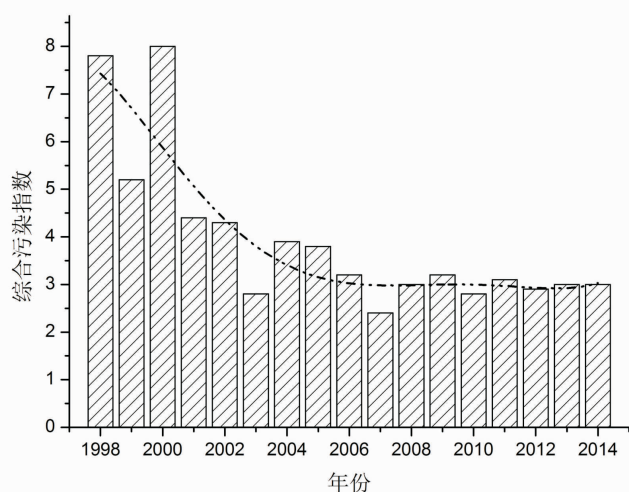


图3 1998~2014年玄武湖综合污染指数的变化

1.3 玄武湖污染源调查与分析

城市湖泊污染源主要分为外源污染和内源污染。调查结果表明,玄武湖的主要外源污染为入湖沟渠、降雨、生活污水排放,而藻类增殖代谢、底泥污染物释放则是其主要的内源污染。

玄武湖的入湖沟渠采用截留式合流制排水渠系统,在流量较大时易发生管渠的溢流,溢流的污水对湖泊水环境存在威胁,其中老季亭沟和唐家山沟的溢流污染对玄武湖水质的影响最大^[18]。气象资料显示,玄武湖年均降雨量约为380万 m^3 ,降雨洗刷空气中的悬浮尘埃,并溶解地面的污染物,随着地表径流进入玄武湖。资料显示,入湖雨水的TN浓度为2.55 mg/L,TP浓度为0.034 mg/L^[18],均对玄武湖的富营养化有一定贡献。玄武湖内的生活污水排放是玄武湖另一重要的外源污染,未经处理的娱乐、公厕、餐厅等场所的污水排放至玄武湖,造成玄武湖有机污染的加剧。

蓝藻爆发是目前国内淡水湖泊面临的主要环境问题。2007年6月太湖蓝藻爆发,水体溶解氧降低,太湖北部、西北部湖区重度富营养化^[19],造成无锡全城饮用水污染。其中受蓝藻水华影响比较严重的沙渚、小湾里饮用水源地和汞湖的锡东取水口水体中的藻类密度可达到9 130万个/L^[20]。研究表明,浮游藻类与水体环境存在相互作用的机制^[21],玄武湖局部的蓝藻爆发导致湖区生态系统被破坏,不仅抢夺了其他水生植物的生长资源,同时释放对人类健康危害巨大的藻毒素,对玄武湖水水质安全带来重大威胁。玄武湖水深较浅,底泥中富含营养元素,易受环境因素影响。据报道,入湖的含磷有机物大部分会吸附在底泥和水中的悬浮颗粒中,而外源逐步被控制的情况下,沉积物对上覆水释放的氮、磷将成为湖泊富营养化的主要来源^[22]。玄武湖每年底泥释放磷总量约为2.014 t,在不考虑外源污染的情况下,底泥磷释放可使玄武湖年均的磷浓度维持在0.101 mg/L左右^[23]。彭杜等人对玄武湖底泥分层研究,发现0~20 cm处的沉积物磷释放的潜力较大,20~40 cm处释放潜力逐渐减小^[24]。因此控制底泥污染是内源污染治理,预防湖泊富营养化最重要的方法之一^[25]。

2 玄武湖的污染治理措施与效果评价

目前治理玄武湖富营养化问题主要的措施有疏浚清淤、生态补水和生态修复。

2.1 疏浚

湖泊疏浚作为控制水体污染及富营养化、维持湖泊生命的一种措施,在国内外已被广泛使用,通过挖除湖泊底泥,清除沉积物中的污染物,减少沉积物中的污染物向水体的释放,对大中城市供水水源地、重要旅游区和特殊水域保护区的水质保障有重要意义。早在1998年,玄武湖就进行了一次清淤工程,平均去除了30 cm表层淤泥,完成了3.3 km^2 的清淤任务,清除淤泥量达到75.48万 m^3 。研究表明,此次清淤在短期内降低了沉积物中的营养盐和重金属含量,但清淤工程一年后,沉积物中的Hg、Cu、Pb等重金属含量上升,这可能与清淤后水土界面受到扰动,原有生态系统遭受破坏有关^[26]。目前,玄武门到解放门段西南湖正在进行疏浚清淤工程,此次玄武湖清淤是新中国成立后第四次大规模清淤工程的一个部分,第四次大规模清淤开始于2009年,前期结合玄武湖隧道的建设,已经完成了北湖约50万 m^3 的清淤。

2.2 生态补水

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。为改善玄武湖的水环境质量,对玄武湖共进行了3次大规模的生态补水工程。1998年,引长江水8万t/d对玄武湖进行补水,2002年再次生态补水量为18万t/d。2005年玄武湖蓝藻爆发,全面启动生态补水控制蓝藻水华,补水强度为28万t/d,补水量达5 000万t。生态补水对玄武湖水质的改善效果较为明显,自1998年来,玄武湖水质由劣V类逐渐接近规划要求的Ⅳ类,富营养化程度减轻^[27]。实践表明,玄武湖的生态补水需要重点加强补水水源的监控,建立完善的评价指标体系,并加强综合整治,保障生态补水工程对玄武湖水环境质量的持续改善^[28]。

2.3 生态修复

生态修复是利用生态系统的这种自我恢复能力,辅以人工措施,使遭到破坏的生态系统逐步恢复或使生态系统向良性循环方向发展。在生态补水与疏浚工程中常常需要生态修复技术辅助以达到更好更持久的环境效应。目前常用的生态修复技术有种植水生生物、放养滤食性鱼类和底栖生物、生态护坡等。在玄武湖北湖的生态修复试验区中种植大型沉水植物,同时投放部分水生生物如螺蛳、河蚌、鲢鱼等,促进生态系统的完整化与多样化。监测数据显示,生态试验区的水质状况明显改善,总磷和高锰酸钾指数接近国家地表水Ⅲ类水标准^[29]。

传统的水泥护坡使水岸生态系统遭到破坏,不仅会导致水体恶化、水体富营养化加重、污水自净能力降低、植被的缺失,还诱发生物链脱节,导致生态失衡。建设生态河道与河道生态护坡是兼顾环境功能、生态功能和景观功能的重要工程措施。目前,玄武湖疏浚区护坡主要采用复合型生态护坡和自然材料护坡两种形式。复合型生态护坡利用天然石材、木材护底,设计平台,在平台上坡设草皮护坡,种植乔灌木,实行乔灌木相结合,固堤护岸。自然材料护坡选用天然的石材、木材等材料在缝隙中种植植被,既可增强护岸抗冲刷能力,又能为水生生物提供附着、栖息和觅食的场所,游客也可以在岸边活动、满足人类亲水性的需求。

3 建议与展望

随着玄武湖湖区周边城市发展,玄武湖水环境质量恶化,水生态系统的平衡逐渐被破坏。近年来,南京市政府联合科研、工程等相关部门对玄武湖水环境展开整治,并取得一定成效。作为典型的城市富营养化湖泊,面对愈发严峻的水环境与水生生态形势,要求整治工作更加积极主动,措施得力。根据玄武湖的水生态环境

现状,提出以下建议:

(1)加快内外源污染控制。应大力开展截污工程和内源污染清理,从源头遏制污水入河及内源污染的释放。

(2)加快产业转型,建设资源集约型城市发展模式。大力发展低碳经济、循环经济和绿色经济,淘汰落后产能,强力推进节能减排。

(3)坚持政府主导。政府必须勇于承担湖泊治理工作的责任,科学决策将湖泊治理纳入经济社会总体战略和规划中。统筹布局,响应国家政策,尽早形成玄武湖水环境综合治理与生态文明建设实施方案。加强治理资金投入,明确各部门责任,整合社会资源,全力推进城市湖泊整治工作。

(4)动员社会广泛参与。必须加强宣传发动,综合运用法制、行政、经济等手段和办法,动员各方面的力量,共同做好湖泊保护和治理工作。

(5)预防为主,防治结合。对于未受污染或污染程度较轻的湖泊,要坚持贯彻“预防为主,防治结合”的治湖思路,切勿走“先污染,后治理”的老路。

参考文献:

- [1] 陈鹏,唐鹤丹. 南京玄武湖有机物特性研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(32): 15864-15866.
- [2] Xin Hu, Chao Wang, Limin Zou. Characteristics of heavy metals and Pb isotopic signatures in sediment cores collected from typical urban shallow lakes in Nanjing, China [J]. Journal of Environmental Management, 2011, 92(3): 742-748.
- [3] 董浩平. 城市湖泊底泥污染释放规律及在水质模型中的应用 [D]. 南京, 河海大学, 2005.
- [4] 赵大勇, 马婷, 曾巾, 等. 南京玄武湖富营养化及重金属污染现状[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2012, 40(1): 83-87.
- [5] 曾响, 王国祥. 玄武湖菹草种群的发生与水环境变化[J]. 环境监测管理, 2006, 18(6): 25-27.
- [6] 王天阳, 王国祥. 玄武湖菹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.
- [7] 王鹤扬. 综合营养状态指数法在陶然亭湖富营养化评价中的应用[J]. 环境科学与管理, 2012, 37(9): 188-194.
- [8] 中国环境监测总站, 总站生字[2001]090号. 湖泊(水库)富营养化评价方法及分级规定[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001.
- [9] 孙涛, 张妙仙, 李苗苗, 等. 基于对应分析法和综合污染指数法的水质评价[J]. 环境科学与技术, 2014, 4: 038.
- [10] 于忠华, 黄文钰, 舒金华. 南京市主要湖库水环境现状与演变趋势分析[J]. 国土与自然资源研究, 2005(4): 37-39.
- [11] 徐梦洁, 孙雁, 夏敏. 南京市地表水环境质量评估 [J]. 四川环境, 2005, 24(3): 82-85.
- [12] 梅卓华, 张哲海, 赵春霞, 等. 南京玄武湖蓝藻水华治理后水质和浮游植物的动态变化[J]. 湖泊科学, 2010, 22(1): 44-48.
- [13] 任黎, 董增川, 李少华. 玄武湖浮游植物及水体富营养化研究[J]. 水

- 电能源科学,2008,26(4): 31-32, 59.
- [14] 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.
- [15] 谢平. 鲢、鳙与藻类水华控制[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [16] 曾巾,杨柳燕,梁医,等. 南京玄武湖底泥微生物群落结构研究[J]. 生态科学,2008,27(5),351-356.
- [17] 郑小红,肖琳,任晶,等. 玄武湖微囊藻水华爆发及衰退期细菌群落变化分析[J]. 环境科学,2008,29(10): 2956-2962.
- [18] 冯冰冰,王国祥,杨文斌. 南京玄武湖污染源调查与分析[J]. 安徽农业科学,2007,35(28): 8963-8964, 8973.
- [19] 龚绍琦,黄家柱,李云梅,等. 基于GIS下的太湖水质富营养化模糊综合评价[J]. 环境科学,2005,26(5): 34-37.
- [20] 朱媛,王薇,俞美香,等. 针对太湖蓝藻危机的水质监测[J]. 环境科技,2009,22(1): 27-29(增刊).
- [21] 张晓晴,陈求稳. 太湖水质时空特性及其蓝藻水华的关系[J]. 湖泊科学,2011,23(3): 339-347.
- [22] 尹大强,谭秋荣. 环境因子对五里湖沉积物磷释放的影响[J]. 湖泊科学,1994,6(3): 240-245.
- [23] 龚春生,姚琪,范成新,等. 城市浅水型湖泊底泥磷的通量估算--以南京玄武湖为例[J]. 湖泊科学,2006,18(2): 179-183.
- [24] 彭杜,刘凌,胡进宝. 玄武湖沉积物磷形态的垂向变化和生物有效性[J]. 水资源保护,2009,25(1): 31-35.
- [25] 陆子川,张武. 挖掘底泥避免水提富营养化的探讨[J]. 甘肃环境研究与监测,2001,14(1): 60-61.
- [26] 朱敏,王国祥,王建,等. 南京玄武湖清淤前后底泥主要污染物指标的变化[J]. 南京师范大学学报(工程技术版),2004,4(2): 66-69.
- [27] 张哲海,徐瑶. 生态补水对玄武湖水质的影响[J]. 环境监测管理与技术,2012,24(5): 40-43.
- [28] 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.
- [29] 方东,许建华,徐实. 生态治理工程玄武湖水污染效果的监测与评价[J]. 环境监测管理与技术,2001,13(6): 36-38.

Investigation and countermeasures on Environmental and ecological situation of Xuanwu Lake

WU Piao¹, LU Tingting²

(1. Jiangxi Provincial Water Conservancy Investment Group Limited Corporation, Nanchang, 330006, China; 2. College of Hydrology and Water Resource, Hohai University, Nanjing, 210098, China)

Abstract: The water ecological environment problems of Xuanwu Lake which is a typical urban eutrophication lake become very serious in recent years. The water ecological environment situation and evolution law of Xuanwu Lake was summarized and its pollution sources was revealed based on research findings at home and abroad and field research. The paper analyzed the implementation effects and existing problems of protection projects at Xuanwu Lake and put forward some reasonable proposals.

Key words: Xuanwu Lake; Water environment; Water ecology; Engineering measure

编辑:张绍付

(上接第 258 页)

Application and research on hand-pressed wells resisting drought in Ganfu Plain Irrigation Area

DENG Hailong^{1,2}, XU Yaqun^{1,2}, Xiang Ainong³, WANG Shaohua^{1,2}, LI Ang^{1,2}

(1. Jiangxi Irrigating Experimental Central Station, Nanchang 330201, China; 2. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Agricultural Efficient Water-saving and Non-point Source Pollution Preventing, Nanchang 330201, China; 3. Jiangxi Provincial Ganfu Plain Hydraulic Engineering Administration, Nanchang 330096, China)

Abstract: In order to know the hand-pressed wells' benefits of resisting drought in Ganfu Plain Irrigation Area, this paper established a typical experimental area using hand-pressed wells to irrigate in Jingshan Village of Xiangtang town, based on the current irrigation situation. The research results show that the single irrigation water saving rate reach 18.04%, compared with the local conventional water irrigation (dry period without water irrigation) and the composite economic benefit is elevated 17.44%.

Key words: Hand-pressed wells; Water saving; Composite economic benefit; Ganfu Plain Irrigation Area

编辑:张绍付