

城市调蓄湖体净水工程设计的思考

——以贵阳市花溪湖为例

石 永¹, 周正媛¹, 付立梅¹, 汪寒恩², 方振华², 乔 梦³, 赵 旭³

(1. 贵州省水利水电工程咨询有限责任公司, 贵州 贵阳 550002;

2. 贵州林城溪湖生态文旅有限公司, 贵州 贵阳 550025;

3. 中国科学院生态环境研究中心 环境水质学国家重点实验室, 北京 100085)

摘 要: 生态文明建设的大背景下, 国内城市湖体工程的实施进入了一个快速发展阶段, 湖体工程已经成为城市公园建设的基本要求。文章以贵阳市花溪湖体工程设计为例, 分析设计条件及背景、工程设计理念与生态景观元素要点, 探讨生态文明建设背景下的城市调蓄湖体净水工程设计的本质所在。具体设计了生态净化工程、生态驳岸工程、生态修复工程、监测预警工程、水利高度工程以及综合管理工程。花溪湖工程设计在满足城市防洪安全基本要求下, 能够充分发挥社会、经济、景观和生态等综合效益, 为今后城市调蓄湖体净水工程设计提供参考。

关键词: 生态文明; 城市调蓄湖体; 工程设计; 景观; 水质净化

中图分类号: X703.1

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2021110004

Analysis of water purification design for urban storage lake

——Taking Huaxi Lake in Guiyang as an example

SHI Yong¹, ZHOU Zhengyuan¹, FU Limei¹, WANG Hanen², FANG Zhenhua², QIAO Meng³, ZHAO Xu³

(1. Guizhou Water Conservancy and Hydropower Engineering Consulting Co. LTD, Guizhou 550002, China; 2. Guizhou Lincheng Xihu Ecological Cultural Tourism Co. LTD, Guizhou 550025, China; 3. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: Under the development of the ecological civilization construction, the implementation of urban lake project in China has entered a rapid stage, and the lake project has become the basic requirement of the urban park construction. In this paper, taking Huaxi Lake in Guiyang as a case, the design conditions and background, engineering concept and key elements of ecological landscape are analyzed, and the essence of urban storage lake engineering design for water purification under the background of ecological civilization construction is discussed. Specifically, ecological purification project, ecological revetment project, ecological restoration project, monitoring and early warning project, water conservancy height project and comprehensive management project are designed. The design of Huaxi Lake project can obtain the comprehensive benefits of society, economy, landscape and ecology under the basic requirements of urban flood control and safety, and provide a reference for the design of urban lake water purification project in the future.

Keywords: ecological civilization; urban storage lake; engineering design; landscape; water purification

CLC number: X703.1

生态文明建设是中国特色社会主义事业的重要内容^[1]。在生态文明建设的大背景下, 城市建设方面更加注重生态、绿色、宜居和人文景观建设。随着居民环境意识逐渐增强, 经营城市理念开始受

到质疑, 虽然把城市当作企业来经营, 进而带动投融资和城市建设, 客观上确实促进了城市的发展和基础设施的改善, 但是也埋下了不少隐患。其中, 最典型的是圈地之风蔓延, 如, 部分城市不顾本地

收稿日期: 2021-11-02

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2021]一般472号); 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2019]2848号)

作者简介: 石 永(1973-), 男, 硕士、研究员级高级工程师。研究方向: 工程管理。E-mail: 649272830@qq.com

通信作者: 方振华(1968-), 男, 高级经济师。研究方向: 河湖治理经济可持续性。E-mail: 1183753130@qq.com

引用格式: 石 永, 周正媛, 付立梅, 等. 城市调蓄湖体净水工程设计的思考——以贵阳市花溪湖为例[J]. 环境保护科学, 2022, 48(5): 64-68.

气候特征和地理地势条件“挖湖造景”,用地下水作为补充水源,导致水资源更加短缺^[2-4]。因此,城市湖体工程设计首先要因地制宜,严格论证湖体所在区域地理水文以及气候特征的可行性,确保通过控制雨水径流,使其地表径流尽可能达到开发前的自然状态,恢复城市原始的水文生态特征,从而实现修复水生态、涵养水资源、改善水环境、提高水安全和复兴水文化的五位一体目标^[5-6]。

城市湖体工程设计需要考虑有效收集、调蓄雨水,实现雨水的渗透、积存和净化功能,还要作为城市防洪调蓄、雨水滞纳系统载体,承担着改善城市环境与城市小气候的重要任务,同时能够缓和城市硬质景观与自然环境之间的紧张对立关系,给广大公众提供休闲娱乐及观赏的场所^[7]。基于此,本文将通过对贵阳市花溪湖体的工程设计,探讨生态文明建设背景下的城市湖体工程的建设方向与设计建议。

1 项目概况

1.1 研究区域概况

贵阳市地处黔中山原丘陵中部,长江与珠江分水岭地带,全市总面积 8 034 km²。花溪湖项目位于贵州省贵阳市花溪区文化旅游创新区核心景观节点位置,交通及市政设施完善,见图 1。拟建花溪湖位于贵阳市花溪区洛平大沟下游。原汇入洛平大沟的雨水在经过净化处理后汇入湖区,花溪湖项目范围内的洛平大沟明渠不再保留。因此,花溪湖工程需做到因地制宜,不占用耕地或者城市建设用地,采用原有河道与低洼池塘改造,恢复湖体生态系统,为所在区域增添自然风光景色^[8]。

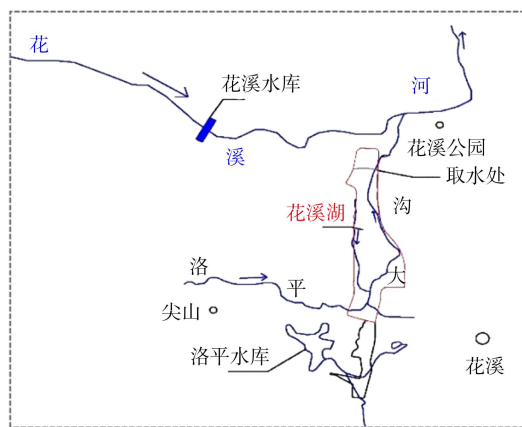


图 1 花溪湖地理位置

花溪湖补水水源主要为洛平大沟雨污水,少量为达到地表水Ⅱ类水质标准的花溪水库来水。因此,洛平大沟来水汇入后,将对花溪湖整体水质造

成较大风险,须对其水质进行提升。此外,花溪湖周边区域降雨地表径流的汇入过程可能携带大量外源性污染物也将成为导致湖区水质恶化的风险因素之一。为了保障新建花溪湖高品质景观用水水质,同时满足向青岩河退水达到地表Ⅲ类水要求,本研究将通过明确洛平大沟雨污水中污染物浓度时空变化规律,并结合当地水文特征,对入湖点面源污染进行解析,明确不同污染源污染负荷对湖体总污染负荷的贡献率。在此基础上,针对以雨污水为主要补给水源的湖体——花溪湖,提出水质提升的综合治理策略。

1.2 花溪湖水源分析

花溪湖补水水源为花溪水库下游河道水源(饮用水源地,平桥,补水量 $180 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$)和洛平大沟来水(雨污水,补水量 $600 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$)。根据花溪水库(平桥)2018~2019年水质监测报告,现状水质为Ⅱ类,满足补给花溪湖生态和景观用水的要求。根据洛平大沟 2018 年 2 月~2019 年 2 月水质监测情况,洛平大沟现状水质长期维持在Ⅴ类或劣Ⅴ类。补充水源水质低于设计要求,湖体工程设计中将考虑生态工程对进水进行净化提高水质。

花溪区多年平均气温 14.9℃,多年平均相对湿度为 81%。流域内多年平均年降水量为 1 137.8 mm,集中在夏季半年,占全年降水量的 75%~80%。因此,花溪湖作为具有调蓄作用的城市湖体,应充分考虑丰水期与枯水期的水利调度。

1.3 设计理念

设计理念遵循“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”新时期水利工作的思路,按照“经济、合理、可行、效益最大化”设计,具体为:水资源合理利用。按照现代水利的治水思路,合理配置水资源,以水资源可持续利用支持国民经济的可持续发展,“合理配置、综合利用、适度开发、加强节约、注重保护”为指导思想;注重可持续发展。按照工程的功能定位,花溪区洛平大沟(花溪湖)水环境综合治理提升工程完成后,其水资源价值的实现主要以市政景观及区域水环境等方式体现。坚持生态文明建设、提倡人水和谐以及可持续发展;效益最大化。花溪区洛平大沟(花溪湖)水环境综合治理提升工程属于花溪区建设进程的重要组成部分,项目的建设必须以经济为前提,合理开发,从而以最经济的投资方式使花溪湖的功能得到最佳的体现;充分考虑城市规划的需求。花溪湖作为花溪区的公益性景观水体,其设计必须与城市总体规划

相适应,充分考虑周边制约因素的限制和影响,因地制宜,打造与城市和谐统一的水体景观。

2 设计内容

2.1 生态净化工程

本工程以水生态治理作为湖体工程亮点,采取了截污措施、初期雨水收集、雨水净化措施和水生态系统构建措施等。

2.1.1 前置河道湿地工程 截污是生态净化工程的核心,源头治理是截污措施的关键步骤。花溪湖污染物主要来源为洛平大沟来水。在洛平大沟入湖处上游 2~3 km 根据现场情况布设人工湿地及拦水坝;河道内种植芦苇、荇菜等植物,斑块少量分布。将洛平大沟来水通过湿地系统进行处理,削减入湖污染负荷。同时,通过对 SS 截留及污染物去除,降低硅砂砖滤水池负荷,减轻其堵塞程度,减少反冲洗频率。为了确保稳定的水位与充足的水量,拦水坝高程设计 0.5 m,以保障湿地系统可持续性。坝体成本低,构造简单,对于固体颗粒物的拦截沉淀有较好的作用,减缓硅砂滤池负荷量,降低维护成本,同时具有景观效果。

2.1.2 湖体进水口湿地工程 为达到花溪湖入湖水体水质进一步提升的目的,设计潜流湿地面积为 4 100 m²。现可用湿地面积约为 5 000 m²,其余面积可用于表面流湿地,可按照潜流湿地-表面流湿地-入湖形式布置,见图 2。

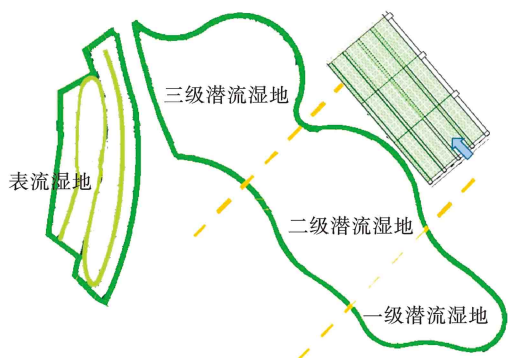


图 2 湖体入水口湿地区域分布

根据洛平大沟进水特点,湿地除污单元以潜流人工湿地为主。取 COD 表面负荷 10 g/m²·d, NH₃-N 表面负荷 5 g/m²·d, TP 表面负荷 0.4 g/m²·d, 用污染负荷计算人工湿地面积, 见式(1):

$$A = \frac{Q(c_0 - c_e)}{N} \quad (1)$$

式中: Q 为污水流量, m³/d; c_0 为进水污染物浓度, mg/L 或 g/m³; c_e 为出水污染物浓度, 按照Ⅲ类水标

准, mg/L 或 g/m³; N 为污染物表面负荷, g/m²·d。计算结果, 见表 1。

表 1 所需潜流湿地面积 m²

污染物	入水水质污染物浓度为最大值时	入水水质为Ⅳ类水**
COD _{Cr}	-	-*
NH ₃ -N	4 012.41	2 332.80
TP	-	2 916.00

注: “-”超出计算下限; “*”硅砂砖滤水池出水 COD 优于Ⅳ类水, 按照硅砂砖滤水池出水计算; “**”根据工程实验经验, 常规硅砂过滤对可溶性氮磷很难达到地表水Ⅲ类标准, 尤其在强降雨或者高污染符合条件下, 因此我们设计在经过硅砂滤池出水保证Ⅳ类水质基础进一步增设湿地, 保证最终进入湖体水质达到地表水Ⅲ类标准要求。

2.2 生态驳岸工程

花溪湖是以驳岸、岸堤、绿化带等为处理空间的分区分段设计的立体生态驳岸工程, 集成了以污染清除与生态建设技术为主要内容的生态构建技术, 即内侧的灌木-草地-湿生植物净化带、中间生态渗滤步行道的渗滤净化带, 外侧为林木-灌木-草地的绿化防护带, 具有净化水质、调节地表径流、保护物种多样性以及固岸护坡等生态功能, 最终实现多重生态工程防护体系, 有效保障水体水质质量。

岸坡平缓、湖面开阔且岸坡房屋建筑和园区道路距水面较远的驳岸, 由于开挖基础稳定, 以自然驳岸为主。为避免岸线受洪水和水波淘刷, 造成坡脚水土流失, 在坡脚采用与常水位平齐的格宾挡墙护脚。在水体岸边 2 m 范围内设置水深为 0.5 m 的浅水区, 浅水区平台通过 1:3 斜坡连接至湖底, 形成 0.5~2 m 的景观水体。

公园内局部区域需要打造成独具特色的水街景观, 水街岸上有房屋建筑物, 为确保房屋建筑稳定并满足水街建设要求, 在水街区域设置成直立的混凝土挡墙, 挡墙表面根据水街景观要求进行装饰处理。挡墙顶宽 0.3 m, 墙顶根据房屋建筑 1 楼地面标高确定, 高出水面 0.5~1 m, 墙背水面坡比 1:0.25, 迎水面垂直, 台宽 0.5 m, 基础深入地面约 0.5~1.0 m。在挡墙前设置宽 2 m、深 0.5 m 的浅水区水下平台, 平台通过 1:3 斜坡连接至湖底高程, 形成 0.5~2 m 的景观水体。

局部驳岸带作为构筑湿地工程, 通过潜水泵将湖水提升至构筑物后, 通过粗细格栅自流进入驳岸带湿地, 达到氮磷控制的目的。该工程对湖水起到净化作用, 同时提高湖水溶解氧含量, 之后回流到湖体中。

2.3 生态修复工程

为了加强花溪湖自身生态净化功能,设计强化生态湿地工程,也是水生态修复工程的主题。水生态修复工程包括生境营造工程、沉水群落带构建、挺水植物群落构建、浮叶植物群落构建、鱼类群落构建以及底栖动物群落构建等工程。结合湖区水质目标、水环境容量和区域水环境治理需求,以区域花溪河湿地水生态系统为基本参照系,水生态系统构建遵循建设初期人为诱导为主、自然演替为辅,建成后自然演替为主、人为干预为辅的基本原则。

花溪湖水生态系统构建效仿自然湖泊运行法则,运用以恢复生态学为基础、稳态转换理论为指导、生物操纵为方向的清水型生态系统构建技术,筛选与当地气候条件相适宜的水生动植物种类,并运用生态通道模型 Ecopath with ecosim 模拟分析,构建起结构完整、自我稳定运行、水质长效净化的草型清水态生态系统。

具体方案设计包括水生植物群落构建、水生动物群落构建、水生动植物群落优化调整。花溪湖生态缓冲区以布置挺水植物、浮叶植物为主,沉水植物为辅;花溪湖生态净化中心以布置沉水植物为主,挺水植物、浮叶植物为辅。水生植物组合搭配遵循水生植物的自然分布规律,根据水深条件依次布置。人为设计与自然生态的自我运行存在一定偏差,在优化调整期间根据对水生态系统的评估来指导群落的调整。不同沉水植物生长时间存在一定季节差异;水生动物在投放初期,存在一段适应期,适应能力较差的个体容易死亡。因此,在水生动植物群落构建完成后,根据水质检测、水生动植物资源调查结果,运用生态通道模型模拟分析花溪湖水生态系统存在的问题和优化调整的方向,指导花溪湖水生动植物补充与管理。

2.4 监测预警工程

根据水环境综合提升方案与工程设计,构建水质监测及数据分析运营系统。根据水质监测结果与模型计算,预测水质变化趋势,提前采取应对措施,以制订长效精细化管理方案。通过该手段界定容量、解析排量、核定减量、分配负荷,进行合理限排,实施引退水调控,实现对花溪湖水体精准化、系统化、定量化治理,维持水质常年达标。针对突发污染事故,通过该手段进行资源调度、趋势预测,掌握水体中污染物浓度的时空变化,通过影响评价明确事故影响范围,提出快速处理方案,进一步提供决策依据,实施应急管理措施。

湖区内关键节点设置水质与水量自动在线监测系统。保障进水水质是维护花溪湖水质达标的关键,因此进水水质指标监测是预警平台的核心。水质在线监测指标主要为水温、溶解氧、ORP、pH、电导率、氨氮、TP、叶绿素 a、TSS,该系统包括水质监测传感器、太阳能供电系统、RTU 远程系统等,同时配备气象监测(降雨、气温、风速风向、蒸发)。采用实时监测的方式采集水质数据。数据用 RTU 传输,RTU 采用 GPRS 通信,监测设备跟 RTU 之间有线连接,并且使用蓄电池与太阳能供电。可尽早发现水质的异常变化,为防止水质污染迅速做出预警预报,及时追踪污染源,从而为管理决策服务。

2.5 水利调度工程

为了促进湖内水体循环,根据水利模型和当地实际水文、降雨量因素,水利调度方案主要依据水质变化以及应急优先进行设计引退水调度方案,同时结合生态流量和降雨量进行设计运行水位。水利调度方案分为旱季和雨季。

(1)调度方案 1:旱季(11~4月)

为实现洛平大沟入水资源最大化利用,旱季汇集雨水将优先进入硅砂滤池进行处理,同时启用初雨调蓄池及初雨处理设施。同时,适当补充优质水源并保持较少退水量。

(2)调度方案 2:雨季(6~9月)

流域内降水量集中在夏季,占全年降水量的 75%~80%。雨季扩大时,退水或泄洪量进入初雨处理设施,超量初雨进入尾水箱涵或花溪湖。当降雨频次较高时,可同时排入初雨处理设施,并在降雨间隔内将调蓄池内初雨排空。根据进水水质,采取退水方案,充分利用雨季,进行湖内水体更换,之后逐渐蓄水。

2.6 综合管理工程

花溪湖各工程构建后,前期生态系统还处于一个较为不稳定的状态。为实现湖泊水生态修复的最终目标,提升水体自净能力,增加生物多样性,形成健康稳定的水生态系统,需要建立起科学的维护管理机制,同时加强维护管理的力度。主要包括 3 个层面:行政管理:通过联动,多渠道管理机制建立,广泛宣传,建设大众化模式;水质-水量监控网络:通过自动水质-水量监测站点建设,形成在线监控网络,实时数据采集和分析,实现科技化、精确化、明确化的湖体管理;综合水环境管理:湖体维护管理、驳岸维护管理、常态化巡查、区域垃圾长效管理。

3 结论

本文以花溪湖体工程设计为例,综合考虑区域气候特征、水资源利用、雨水净化、城市防洪及内涝防治、城市景观等因素,以建设资源节约型和环境友好型的生态湖区为规划目标,综合考虑利用湿地工程、生态恢复工程、生态驳岸工程,多种生态系统工程联合使用,保持与改善区域内水环境与水生态,为可持续水生态系统的建立和完善提供有效的理论支持,进一步促进和支撑贵阳市资源节约型、生态宜居型城市的建设。花溪湖工程的建设在满足城市防洪安全基本要求下,能够充分发挥社会、经济、景观和生态等综合效益,为今后城市调蓄湖体净水工程设计提供参考。

参考文献

- [1] 黄勤,曾元,江琴.中国推进生态文明建设的研究进展[J].中国

人口·资源与环境,2015,25(2):111-120.

- [2] 邓延利,刘波,恒琪,等.海绵城市建设中雨水资源利用及价值实现机制研究与示范——以长沙市海绵城市建设雨水资源使用权首宗交易为例[J].中国水利,2021(3):37-39.
- [3] ALLEN-DUMAS M R, XU H, KURTE K R, et al. Toward urban water security: Broadening the use of machine learning methods for mitigating urban water hazards [J]. Frontiers in Water, 2021, 2: 562304.
- [4] 国务院办公厅.关于坚决制止耕地“非农化”行为的通知[EB/OL].
http://www.gov.cn/xinwen/2020-09/15/content_5543689.htm.
- [5] 罗小娇,付运好,陈嘉欢.生长理念下城市滨水公园景观设计策略初探[J].南方农业,2020,14(26):48-49.
- [6] 王轩宇,张纯,张伟.低影响开发理念在天津海绵城市建设中的应用[J].湖南城市学院学报(自然科学版),2019,28(3):27-30.
- [7] 吴漫,陈东田,王洪涛,等.城市公园绿地的海绵化改造策略研究[J].建筑经济,2019,40(5):98-102.
- [8] 杨璐,陈飞野,宋江爽,等.浅析海绵城市建设要求下的湖体综合整治工程设计——以安徽省池州市天堂湖公园为例[C]//中国水利学会.中国水利学会2016学术年会论文集(上册),2016.

(上接第 44 页)

参考文献

- [1] 喻菁,焦利民,董婷.结合宏观和微观视角的城市扩张方向异质性分析[J].地理与地理信息科学,2019,35(2):90-96.
- [2] 陈长瑶,李君,张磊,等.环滇池地区城镇用地扩展特征及推进模式研究[J].云南师范大学学报(哲学社会科学版),2018,50(3):128-138.
- [3] 王海军,王惠霞,邓羽,等.武汉城市圈城镇用地扩展的时空格局与规模等级模式分异研究[J].长江流域资源与环境,2018,27(2):272-285.
- [4] 林柳璇,尤添革,刘金福,等.1985—2015年厦门市土地利用变化及驱动力[J].福建农林大学学报(自然科学版),2019,48(1):103-110.
- [5] 李航,李雪铭,田深圳,等.城市人居环境的时空分异特征及其机制研究——以辽宁省为例[J].地理研究,2017,36(7):1323-1338.
- [6] 封志明,唐焰,杨艳昭,等.基于GIS的中国人人居环境指数模型的建立与应用[J].地理学报,2008,63(12):1327-1336.
- [7] 周莉,任志远.基于GIS的关中地区人居环境自然适宜性研究[J].资源开发与市场,2011,27(2):160-163.
- [8] 熊瑶,潘润秋,许刚,等.1990—2014年印度城市扩张时空特征对比分析[J].地理科学进展,2019,38(2):271-282.
- [9] 苗东利,杨肖月.城市化进程中河南城市扩张的特征研究[J].广

西城镇建设,2019(11):125-127.

- [10] 李晓文,方精云,朴世龙.上海城市用地扩展强度、模式及其空间分异特征[J].自然资源学报,2003(4):412-422.
- [11] 申兵.对我国城市化阶段特征的重新认识[J].宏观经济管理,2012(6):25-26.
- [12] 杨雪,张文忠.基于栅格的区域人居自然和人文环境质量综合评价——以京津冀地区为例[J].地理学报,2016,71(12):2141-2154.
- [13] 张磊.基于地形起伏度的地貌形态划分研究[D].石家庄:河北师范大学,2009.
- [14] 张伟,李爱农.基于DEM的中国地形起伏度适宜计算尺度研究[J].地理与地理信息科学,2012,28(4):8-12.
- [15] 唐焰,封志明,杨艳昭.基于栅格尺度的中国人人居环境气候适宜性评价[J].资源科学,2008(5):648-653.
- [16] 刘青春,王铮,许世远.中国城市旅游气候舒适性分析[J].资源科学,2007,29(1):133-141.
- [17] 魏伟,石培基,冯海春,等.干旱内陆河流域人居环境适宜性评价——以石羊河流域为例[J].自然资源学报,2012,27(11):1940-1950.
- [18] 王华,张杏梅.中原城市群交通可达性与区域经济发展水平空间格局分析[J].公路,2020,65(5):173-179.
- [19] 张伟,车自力.基于GIS的咸阳市城区道路通达度研究[J].西北大学学报(自然科学版),2013,43(6):969-972.
- [20] 郭欢欢,张孝成,李仕川.土地集约利用评价中适度指标标准化方法改进研究——以人口密度指标为例[J].地理科学,2016,36(3):367-374.