

城市小型景观水体水质控制生态工程案例

倪永炯^{1,2}, 李 军¹, 韦 甦², 邹金特¹, 陈 涛¹

(1. 浙江工业大学 环境学院, 浙江 杭州 310014; 2. 浙江工业大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310014)

摘 要: 城市小型景观水体水质控制对城市环境改善和海绵城市建设具有重要意义。生物生态法治理成本低、环境友好,已逐渐成为城市小型景观水体修复和治理的主要方法。以杭州长桥溪生态公园、德国慕尼黑西园公园、浙江工业大学文荟湖为例,分析了生态工程在城市小型景观水体中的应用,介绍了水质控制生态系统的构建方法和运行效果。特别提出在休憩场所对娱乐和健身能量的利用思路,以及对生态工程教育意义的重视。

关键词: 景观水体; 水质控制; 生态工程

中图分类号: TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2017)12-0040-05

Cases of Ecological Project for Water Quality Protection in Small Urban Landscape Water Bodies

NI Yong-jiong^{1,2}, LI Jun¹, WEI Su², ZOU Jin-te¹, CHEN Tao¹

(1. College of Environment, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 2. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Water quality control of small urban landscape water bodies is of great significance to the improvement of urban environment and the construction of sponge city. Due to the low cost and environment friendly, ecological method has become the main approach for the restoration of small landscape water bodies. Ecological park of Changqiao stream in Hangzhou, the Westpark in Munich, and the Wenhui Lake in Zhejiang University of Technology were introduced as cases, to show the application of ecological technology in small urban landscape water bodies. The construction method and operation performance of ecological system were also described. Particularly, the role of recreation and fitness energy for rest place was proposed, and the ecological education is significant.

Key words: landscape water bodies; water quality control; ecological project

小型景观水体是城市生态建设和海绵城市建设中不可缺少的海绵体,多数在居民住宅区、高等院校、休闲公园、公司企业园区等地。这类海绵体既能起到调节区域小气候、减缓城市热岛效应的功能,又

能与周围环境协同作用,将雨水自然积存并净化,让水得以循环利用,削减初期雨水径流污染。但是,小型城市景观水体一般平均深度较浅,水域面积较小,广泛分布在人口密集的地方,容易受面源污染和人

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07421-002-06); 浙江工业大学创新性实验项目; 校园文化品牌建设项目

通信作者: 李军 E-mail: tanweilijun@zjut.edu.cn

类活动的影响^[1~4]。大气沉降、垃圾、生活污水排放、雨水径流特别是初期雨水及残枝落叶等都会对景观水体造成污染,严重时导致水体富营养化,影响水生态系统和周围环境。加之水体流动性较差,污染物一旦进入水体水质就很难得到恢复,这不仅使水体丧失了景观功能,也违背了改善环境的初衷。因此,城市小型景观水体的水质控制和生态功能恢复具有现实意义。

1 城市小型景观水体治理技术

城市小型景观水体修复和治理主要针对有机污染物的削减,以及脱氮除磷和抑制藻类滋生等。目前,治理方法主要为曝气增氧法、截污纳管、清淤疏浚、调配水、药剂法、生物生态法等。

曝气增氧技术主要通过在水体中设置跌水坝、瀑布、喷泉等水景或采用机械设备对水体复氧,促进水体流动,提高水中溶解氧含量,从而进行污染物质的降解,增强水体自净能力,改善水体的感官性能^[5,6]。截污纳管主要解决污染水体的收集问题,通常采用管网对污水收集后进入污水厂进行集中处理^[7,8]。清淤疏浚采用人工或机械的方法清除污染底泥,将积存于底泥的污染物质移出水体外,以清除内源污染,遏制水体稳定性的退化^[9]。调配水^[10,11]是一种水资源的调度方式,它充分利用动力和清水资源,通过泵站、水闸等设施进行调度,使水体定向、有序流动,从而快速稀释污染物质,增强水体的循环

能力和更新速度,改善流域水质。

药剂法一般通过絮凝剂、除藻剂、增氧剂等药剂的投加,使之与水体中的污染物发生氧化反应或形成沉淀而去除。药剂法能在短时间内快速净化水质,但该方法需考虑药剂对水体微生物的影响,且在水体原位实施时只能将污染物沉至水底而不能完全去除。因此,药剂法常与清淤、曝气、生态处理等方法联用进行水质净化。生物生态法遵循生态系统的原理,采用生物学方法修复受损的生态系统,人工培育具有抗污染和净化功能的水生动植物,利用食物链关系回收和利用资源,对水中污染物进行转化和降解,取得水质的净化、资源化和景观效果等综合效益^[12~14]。生物生态法主要包括人工湿地、生态浮岛、生物膜、稳定塘、水生动植物治理等。相比物理、化学方法,生物生态法治理成本低廉、处理效果好、无二次污染、环境扰动少且有较高的观赏价值。

2 小型景观水体水质控制工程实例

2.1 杭州长桥溪生态公园

长桥溪是西湖上游四大溪流之一,发源于莲花峰,自南向北流入西湖。整治前溪底垃圾成堆,溪岸边杂草丛生,附近居民的生活污水长期不经任何处理直接排入溪流后进入西湖。2004年启动长桥溪水生态修复工程,通过水生态修复流程,建成一个以水的复活为主题的生态湿地公园。

长桥溪生态修复工程的水处理流程见图1。

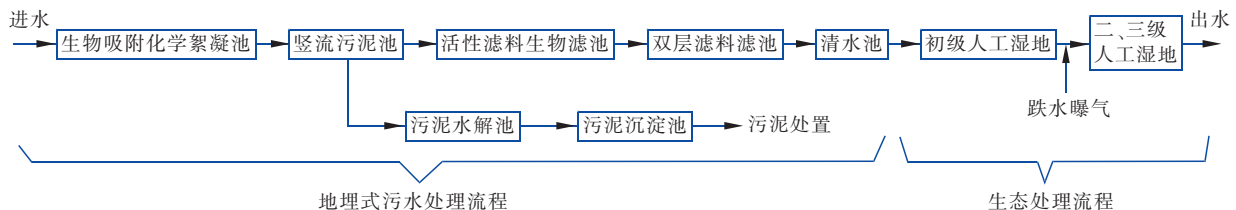


图1 长桥溪生态修复工程水处理流程

Fig. 1 Flow chart of Changqiao stream ecological restoration project

流域内的污水和部分雨水收集后重力输送至水质调节池,再泵送至地埋式污水处理系统。地埋式污水处理系统^[15]位于园内澄观亭下方。污水经过强化絮凝、沉淀,活性滤料生物滤池和双层滤料滤池完成对有机物的去除和脱氮除磷。经地下污水处理系统处理后的水依次进入初级人工湿地和二、三级人工湿地。人工湿地中有层次地配置了挺水、浮叶和沉水植物,并设置自然山石驳坎和植被缓坡驳岸。水体在流动过程中与湿地中的土壤、植物及根系上

的生物膜相接触,通过物理、化学及生物反应而得到净化。在初级人工湿地和二、三级人工湿地中间利用地形特征设置跌水坝进行曝气充氧,增加水体溶解氧含量。受污染的溪水经物理、化学、生物等工艺净化后,基本达到国家地表水Ⅲ类水体标准进入西湖。

长桥溪生态修复工程是污水处理工程和生态工程的结合。将污水处理系统主体部分地埋,不仅节约用地,还降低了处理过程中产生的噪声和臭味。

在污水处理流程后增加生态处理环节,充分利用长桥流域的本土地貌,通过物理、化学、生物、生态等手段综合处理流域内的污水,不仅净化了水体水质,还建造了一个和谐的景观生态公园。同时,景区内还建设了科普长廊、木桥等多处小景,既生动地展示了水生态修复流程,又为游客提供了一处自然野趣的休憩场所。

长桥溪生态修复工程实景见图2。



图2 长桥溪生态修复工程实景图

Fig. 2 Photos of Changqiao stream ecological restoration project

2.2 德国慕尼黑西园公园

西园是德国慕尼黑著名的城市公园,于慕尼黑市举办国际园艺展时期建造。园内有面积约19 000 m²的人工湖,其中位于东区的人工湖 Mollsee 流域狭长,水系封闭,流动性较差,加之在夏季由有机污染物、落叶、鸟类和鱼类排泄物共同作用下造成的藻类和污泥快速增长,每隔一定年限都要进行一次底泥清淤。因此,在综合评估和初步研究的基础上,于2005年建成了以人工湿地为主的污水生态处理系统。该系统建造在湖边的坡地上,主要采用人工湿地处理污染物,设置跌水坝进行水体充氧,利用水泵

提升加速水流循环,降低清淤的频率。工程实景见图3。

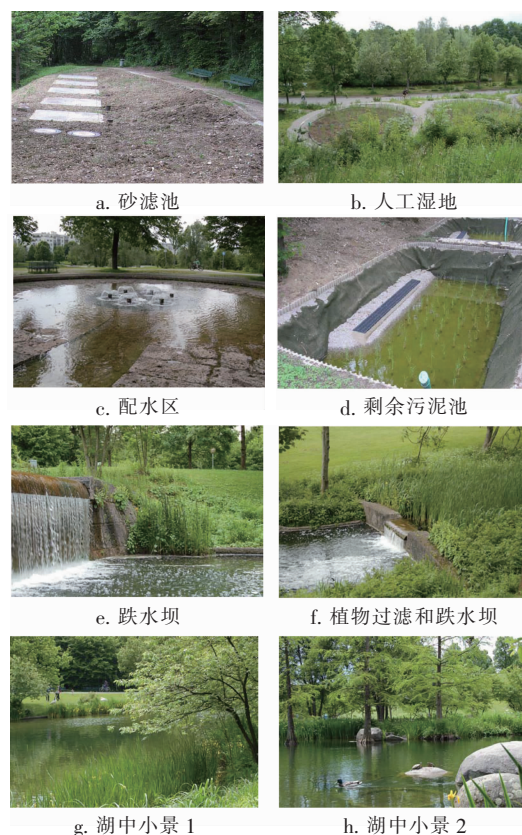


图3 慕尼黑西园公园水处理系统实景

Fig. 3 Photos of Munich Westpark water treatment system

人工湿地系统主要由提升泵站、颗粒预沉淀池、砂滤池、中间集水井、人工湿地、剩余污泥池几部分组成。在该系统中,提升泵站将人工湖下游的水提升至预处理设施,湖水的预处理先经过颗粒预沉淀池去除粗颗粒,再经一组装填不同颗粒级配砾石填料的砂滤池去除更细的固体颗粒和藻类。砂滤池出水由中间集水井收集,集水井达到一定液位后,用泵将水提升至垂流过滤湿地的一端。垂流过滤湿地是人工湿地处理系统的核心,系统设置三块装填沙子和砾石的垂流过滤湿地。三块湿地采用不同的滤层结构,其中三号湿地还混合装填了一种磷的吸附材料(P-吸附池)以提高磷的去除。湿地表面种植芦苇,并做防水层防止污水渗漏。污水由湿地表面的布水管喷洒进入滤层,并依次进入三块湿地进行净化处理。湿地出水由水泵提升至人工湖的上游,在上游设置配水区并采用配水管进行配水,既能加强湖水循环,又能起到充氧的作用。系统的预处理段定期进行反冲洗,将挟带有机物和藻类的反

冲洗水排入装填砂和砾石的剩余污泥池。反冲洗水经剩余污泥池过滤收集并循环再流入污水处理装置进行处理。除了人工湿地处理系统外,根据人工湖地形特点在湖中设置了多处跌水坝,湖边设置了自然驳坎并种植湿地植物,进一步提高了净化效果。

慕尼黑西园水处理系统完全采用了以人工湿地为核心的生态处理技术,该系统运用景观生态学原理进行设计,因地制宜,将水处理设施和景观很好地融合在一起。该系统运行过程仅需提供水泵提升所需动力,运行和维护成本不高。经过连续多年的运行,人工湖水流条件和水质都得到了明显改善。

2.3 浙江工业大学文荟湖

文荟湖为人工景观湖,位于浙江工业大学校园内,近城市河道上塘河,湖面面积约为 700 m²,湖水深约 1 m,是由雨水和少量河水渗入形成的内湖。由于该湖基本是一个封闭体系,几乎没有水体流动,而且受初期雨水、底泥、落叶、周边排水的影响,湖水水质一度恶化,为污染物质的处理带来了很大的难度。通过对湖水水质的监测分析,湖水 COD、氨氮和磷等指标远远高于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中规定的 V 类水质标准限值。为改善湖水水质,基于生态工程和绿色能源的理念,建立了人工湖水水质控制生态处理系统。

生态处理系统主要由初期雨水截留、人工湿地处理、娱乐和健身的能量利用等部分组成^[16],工程实施前后实景见图 4。



图 4 文荟湖水水质控制生态工程实景

Fig. 4 Photos of ecological engineering for water quality control in Wenhui lake

① 初期雨水截留系统

该景观湖的地势较低,降雨时景观湖周围区域的雨水汇流入湖会对湖水产生较大的污染。在景观湖周围种植草坪,使雨水先流经草坪再进入景观湖,既可以起到初步净化初期雨水的作用,又能改善草坪下人工湿地处理系统中的微环境,同时还能美化环境,增强景观湖的观赏性。

② 人工湿地处理系统

人工湿地是该生态处理系统的关键部分,由湖周边土壤掺和一定比例的陶粒和碎石配制成人工土壤层,表层铺设肥沃的耕作土壤并种植绿色期较长的植物,下垫 PE 膜防止污水下渗,微污染水在流经人工湿地生态土壤的过程中于物理、化学和生物等联合作用下去除湖水中的污染物,净化后的湖水回到湖中,以补充、循环湖水。水从景观湖到人工湿地处理系统的提升分别通过太阳能、脚踏水车和手摇水泵等娱乐和健身产生的能量利用来完成。

太阳能-人工湿地处理系统利用太阳能电板,为直流泵提供动力,从而将水提升进入人工湿地处理系统进行渗滤处理。人工湿地处理系统允许间断运行,避免了太阳能发电间歇性的矛盾,处理系统的长期运行也降低了太阳能发电的运行成本。脚踏水车是通过脚踩龙骨水车,使湖水得以提升后进入湿地处理系统,使人们在休息健身的同时又为湖水水质的改善作贡献。手摇泵是杠杆原理、真空原理在生活中应用的典范,是一种将地下水引到地面上的工具。手摇泵和人工湿地进行组合,通过手摇压杆使湖水得到提升,并引入人工湿地进行后续处理。

③ 跑步机式曝气和推流装置

由于景观湖水体流动性差,容易形成死水区,因此在湖岸附近安装木质健身式跑步机。在健身式跑步机上休闲健身的同时,通过脚踏滚筒时叶轮卷起湖水形成水花可为湖水注入氧气,同时推动湖水流

动,在健身的同时为净化湖水贡献力量。

文荟湖生态系统经过一年多的运行后,湖水水质基本达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中规定的Ⅳ类水质标准。该系统采用太阳能作为系统的动力来源,具有清洁、环保、节能的优点;利用龙骨水车、手摇泵和跑步机式曝气和推流装置,不仅清洁无能耗,且能为人们提供娱乐和健身器械。龙骨水车、手摇泵也是我国历史悠久的农具和生活器具,具有一定的文化教育意义。湖中的水生植物和动物有利于生态系统稳定及水质改善。该技术能实现城市景观用水的水质净化,具有投资低、能耗低、适应性广、管理运行灵活方便等优点,符合低碳节能、建设生态小区和生态城市、追求自然处理和自然循环的理念。目前,文荟湖已成为一个集人文景观、休闲健身、生态教育为一体的校园趣角。

3 结语

小型景观水体与人们日常生活息息相关,生物生态处理为核心的净化工艺与海绵城市的要求相适应,能使城市在适应环境变化和应对自然灾害等方面具有良好的“弹性”,体现出城市与生态的自然和谐,具有显著的环境效益与社会效益。杭州长桥溪生态公园采用传统污水处理流程与生态处理相结合的工艺,适用于汇水区域相对较大、原水浓度高的情况,需要集中处理后再进行尾水的生态处理;慕尼黑西园采用下游水泵提升,经过沉淀、人工湿地等系统处理后回到上游,再流经狭长湖面跌水、水生植物等实现水质提升。浙江工业大学文荟湖则考虑了体量小和人们可参与的理念,利用太阳能板、休憩地人们活动(娱乐、健身等)提供的能源来辅助水质控制生态系统的运行,更具有生态效应和教育意义。

参考文献:

- [1] 仇保兴. 海绵城市(LID)的内涵、途径与展望[J]. 建设科技,2015,(1):11-18.
- [2] 徐竟成,朱晓燕,李光明. 城市小型景观水体周边滨水区对人体舒适度的影响[J]. 中国给水排水,2007,23(10):101-104.
- [3] 焦健,秦福云,花伟军,等. 小型城市景观水体特点分析及净化治理对策探讨[J]. 北京园林,2013,29(6):36-39.
- [4] 李华,王燕,尚云菲. 小型水体污染修复的方法现状和展望[J]. 能源与环境,2016,(1):69-70.
- [5] 李开明,刘军,刘斌,等. 黑臭河道生物修复中3种不同增氧方式比较研究[J]. 生态环境,2005,14(6):816-821.
- [6] 王凤贺,王国祥,刘波,等. 曝气增氧技术在城市黑臭河流水质改善中的应用与研究[J]. 安徽农业科学,2012,40(10):6137-6138,6141.
- [7] 阮仁良,唐建国,杨立新. 黑臭河道治理中截污纳管的技术思路[J]. 上海水务,2008,24(3):1-2.
- [8] 邹伟国. 城市黑臭水体控源截污技术探讨[J]. 给水排水,2016,42(6):56-58.
- [9] 曹承进,陈振楼,王军,等. 城市黑臭河道底泥生态疏浚技术进展[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,2011,(1):32-40.
- [10] 周芬,李红仙,盛海峰. 基于浙东引水的萧绍宁平原引配水研究[J]. 水资源保护,2016,32(4):34-38.
- [11] 王艳,张晓红,杨磊,等. 引配水对杭州中东河水质改善研究[J]. 环境科学与技术,2016,39(3):136-142.
- [12] 卢文健,李军,韦甦,等. 强化序批式生物膜反应器脱氮与人工湿地除磷联合工艺初探[J]. 环境污染与防治,2010,32(9):64-67.
- [13] 迟橙,龙岳林. 水生植物修复城市富营养化污水的研究进展[J]. 湖南农业大学学报,2009,35(1):51-55.
- [14] 王金丽,颜秀勤,郑兴灿,等. 人工强化改善滞留景观水体水质的研究[J]. 中国给水排水,2014,30(19):84-87.
- [15] 吴芝瑛,陈璠. 小流域水污染治理示范工程——杭州长桥溪的生态修复[J]. 湖泊科学,2008,20(1):33-35.
- [16] 韦甦,周延年,李军,等. 采用人工生态系统改善景观湖水质[J]. 浙江建筑,2010,27(2):55-58.



作者简介:倪永炯(1984—),女,浙江余姚人,博士研究生,研究方向为水污染控制。

E-mail: niyongjiong1984@163.com

收稿日期:2017-02-24