

DOI: 10.5846/stxb201812052657

吴宜洁, 林浩文, 王志勇. 宜昌运河公园多塘型城市绿地的水质水量调控效果及运行经验. 生态学报, 2019, 39(16): - .

Wu Y J, Lin H W, Wang Z Y. Performance of water quality and water quantity control and operational experiences of a multi-pond urban green space of Yichang Canal Park. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(16): - .

宜昌运河公园多塘型城市绿地的水质水量调控效果及运行经验

吴宜洁^{1,3,*}, 林浩文¹, 王志勇^{2,4}

1 北京大学建筑与景观设计学院, 北京 100871

2 北京大学景观设计学研究院, 北京 100871

3 深圳市规划国土发展研究中心, 深圳 518034

4 北京土人城市规划设计股份有限公司, 北京 100080

摘要:对建成运行多年的宜昌运河公园中的多塘进行了监测,分析了它的水量水质的调控效果并结合现场观察和访谈总结了公园管理运行中的经验。主要结论有:1)多塘通过蓄滞和释放达到削减洪峰和延迟洪峰的效果,串联形式的多塘形成了多级的调蓄作用。2)多塘对高浓度污染物有较好的削减作用,污染物浓度较低时削减作用不明显;从沿程去除效果来看,多塘前半部分污染物去除率高,后半部分去除率低或为负;在停止运行状态下,蓄积在塘中的水体 24 h 后污染物含量会增加。3)公园经过长时间的运行和使用,最初的设计目标也出现了简化、丢失和改变的情况,但这也使景观变得丰富和多样。

关键词:多塘型城市绿地;水质;水量;景观绩效;宜昌运河公园

Performance of water quality and water quantity control and operational experiences of a multi-pond urban green space of Yichang Canal Park

WU Yijie^{1,3,*}, LIN Haowen¹, WANG Zhiyong^{2,4}

1 College of Architecture and Landscape Architecture of Peking University, Beijing 100871, China

2 The Graduate School of Landscape Architecture, Peking University, Beijing 100871, China

3 Shenzhen Urban Planning & Land Resource Research Center, Shenzhen 518034, China

4 Beijing Turen Urban Planning and Design Company Limited, Beijing 100080, China

Abstract: Urban green space plays an increasingly important role in urban runoff management and ecological restoration. This paper monitored the multi-pond in the Yichang Canal Park that have been built for many years, and analyzed the performance of its water quality and water quantity control. It also combined field observation and interview to summarize the experience of park management operation. The main conclusions are as follows: 1) The multi-pond achieved the effect of reducing and delaying flood peak through storage and release, while the multi-pond formed a multi-level regulating effect. 2) The multi-pond had a good performance on high-concentration pollutants in water bodies. When the concentration of pollutants was low, the removal effect wasn't obvious. From the removal effect along the path, the removal efficiency of pollutants in the first half of the pond was high, but the removal efficiency in the second half was low or negative. In the stopped state, the amount of pollutants will increase after 24 hours of water accumulation in the pond. 3) The landscape had been enriched by the participation of many people and the continuous operation in many years, even though some design

基金项目:国家自然科学基金面上项目(51678002);国家重点研发计划(2016YFC0401108)

收稿日期:2018-12-05; 网络出版日期:2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 775947297@qq.com

goals were simplified, lost, or changed.

Key Words: multi-pond urban green space; water quality, water quantity; landscape performance; Yichang Canal Park

随着海绵城市^[1-2]、水生态基础设施^[3-5]、“城市双修”^[6]等理念的推广, 下凹绿地^[7]、多塘^[8]、人工湿地^[9-10]等绿地形式被广泛运用于城市的雨洪管理中。但是, 由于规划设计方面, 对水过程理解不足、理念到实践经验缺乏、多专业协调不足、设计策略简化等原因, 往往设计达不到预期目标反而产生更多的问题; 或者实施和管理方面, 由于技术基础薄弱、工程周期短促、运营维护不当等原因, 项目可持续性方面表现并不理想^[11]。因此, 城市绿色基础设施生态服务功能的发挥需要通过科学的评估和优化来引导。

在国外, 规划并不是一个线性过程, 而是建立了多个反馈循环内置到过程中, 更加强调持续的、迭代的和适应性的管理。每个规划周期都包含了规划-实施-监测-评估和应用研究等环节, 通过监测评估有利于建立有效措施类型的知识库, 如不起作用可以进行改善; 同时有助于在规划和管理中建立透明度和问责制^[12]。美国环保署(U.S. Environmental Protection Agency, EPA)长期开发人工湿地项目基础数据库, 用于减少重复劳动和改良经验湿地设计方法, 通过已有的数据降低建设的风险。世界各地的工程师、设计师和科技人员都通过公共数据库获取数据^[13]。纽约、圣地亚哥、华盛顿等多个州的低影响开发(Low Impact Development, LID)手册和设计指南中皆提到通过长期监测来研究污染物的去除效果。景观绩效是在近年的一个研究热点, 根据景观设计基金会(Landscape Architecture Foundation, LAF)的定义, 景观绩效是一项“衡量景观解决方案在实现其预设目标的同时满足可持续性方面的效率的指标”^[14]。主要通过定量与定性结合的实证调查来衡量设计成果, 一方面应用于创造可持续性、高绩效的景观, 另一方面是要规定和规范能提升景观绩效研究与实践品质的景观特征。并不是所有的绩效都能够或容易做到量化, 也并非所有的绩效都与设计相关, 但是记录景观项目中所有直接、间接和连锁的效应仍然具有重要意义^[15]。例如, 西雅图桑顿溪水质处理渠(TCWQC: Thornton Creek Water Quality Channel)在项目建成后按照项目质量保证计划进行了三年的监测, 包括流量、沉积物和植被等, 以证明它能够在高度城市化的环境中提供多种生态效益^[16]。以及, 美国政府对切萨皮克湾的生态修复开展了长达 40 年的监测评估, 积累了大量的研究数据, 为修复效果的评价、修复方案的选择、修复技术筛选等决策提供了数据支撑^[17-18]。

在城市水资源可持续管理的背景下, 城市径流管理也需要更加精细高效的设计管理和维护。我国海绵城市建设^[19-20]、城市生态修复工程^[21-22]正在大面积地进行实践, 针对绩效考核的评价指标也在不断完善。然而项目的效果需要运行一段时间才能被验证。目前的考核主要集中在建设情况的考核以及通过理论测算和模型模拟^[23], 如, 宫永伟等提出的踏勘验证法、监测法、监测与模拟联合考核法^[24], 使用后评价以及可持续性特征方面的评价一直比较缺乏。

本研究以建成有一定时间、景观效果稳定、以水质净化为目标而设计, 并且运行多年的多塘型城市绿地——宜昌市运河公园为对象, 在夏季晴天和降雨条件下对其运行规律和效果进行现场监测, 分析了它对来水水量水质的调控规律和效果, 并结合现场观察和调研访谈总结了管理运行中的经验, 以为相关城市绿地的设计优化和城市地表径流管理提供基础数据, 为设计实施和运行管理提供参考经验。

1 研究区域概况

宜昌属于北亚热带大陆性季风气候, 年降雨水量 992.1—1404.1 mm 之间, 蒸发量约 1280 mm, 平均湿度 76%。雨水丰沛, 多集中在夏季, 6—7 月份降雨量约占全年降雨量的 48%。宜昌市运河是 1958 年人工开凿的流经市区的饮用水半自然引水河道, 随着城市的发展, 水质恶化, 退化为备用水源(水质标准执行Ⅲ类)。

运河公园位于宜昌运河边, 城市水系网络中下游。原址是城郊废弃的鱼塘, 随着城市的扩张, 被并入城市的版图中。从运河公园建成前后的 2002 年和 2015 年谷歌卫星图来看, 运河公园是该区域唯一被保留下来的

池塘,也是唯一增加的城市绿地。场地内地势平坦、水流缓慢、水质较差、污染严重。场地边上的运河还有一个发电厂,随着上游东山电厂的投入使用,该电厂逐渐废弃。

运河公园建成于 2010 年,到 2016 年已经植被生长良好、运行稳定。设计将多个鱼塘重新组织成首尾相接的串联多塘系统与运河并联,再结合道路和游憩设施的布置及植物的种植,设计成一个以水质净化为目的的城市绿地。占地约 11.36 hm²,水面面积约 8 hm²,约可以分为十个单元塘。参照人工湿地净化流程可以分为前置塘、综合净化区和稳定调节区。前置塘主要结构为沙砾滩,净化区基质为原生土壤;水流方式为自由表面流,通过溢流堰到达下一单元;溢流堰呈倒梯形,越往上越宽。水生植物配植主要以挺水植物和水生乔木为主。各单元与园路之间都有较宽的缓冲带和 1—3 m 的高差。各单元的面积、水深、出水口布置和植被参数结合资料(如施工图、设计图、说明文本等),勘察场地现状,依据场地现状进行修正,具体见表 1。

表 1 单塘参数

Table 1 Parameters of the ponds

编号 Serial number (P:pond)	面积 Area/m ²	周长 Perimeter/m	水流路径 Water flow/m	植被盖度 Vegetation coverage	植被类型 Vegetation type	其他 Others
P1	2899.18	225.57	86.70	0.55	池杉、落羽杉-芦苇、香蒲、菖蒲、睡莲 <i>Taxodium ascendens</i> Brongn., <i>Taxodium distichum</i> (L.) Rich.- <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud., <i>Typha orientalis</i> , <i>Acorus calamus</i> , <i>Nymphaea tetragon</i>	
P2	1487.16	261.73	80.00	0.44	池杉、落羽杉-泽泻、睡莲、再力花、香蒲、黄菖蒲 <i>Taxodium ascendens</i> Brongn., <i>Taxodium distichum</i> (L.) Rich.- <i>Alisma plantago-aquatica</i> L., <i>Nymphaea</i> <i>tetragona</i> , <i>Thalia dealbata</i> Fraser, <i>Typha orientalis</i> , <i>Iris pseudacorus</i>	
P3	4291.77	319.60	101.12	0.28	池杉、落羽杉-再力花、千屈菜 <i>Taxodium ascendens</i> Brongn., <i>Taxodium distichum</i> (L.) Rich.- <i>Thalia dealbata</i> Fraser, <i>Lythrum salicaria</i> L.	鱼/鸭
P4	1184.21	249.58	91.75	0.35	池杉、落羽杉-黄菖蒲、泽泻、香蒲、睡莲 <i>Taxodium ascendens</i> Brongn., <i>Taxodium distichum</i> (L.) Rich.- <i>Iris pseudacorus</i> , <i>Alisma plantago-aquatica</i> L., <i>Typha orientalis</i> , <i>Nymphaea tetragona</i>	
P5	2040.83	190.78	67.15	0.47	池杉、落羽杉、水杉-千屈菜、再力花 <i>Taxodium ascendens</i> Brongn., <i>Taxodium distichum</i> (L.) Rich., <i>Metasequoia glyptostroboides</i> - <i>Lythrum salicaria</i> L., <i>Thalia dealbata</i> Fraser	鱼/鸭
P6	3001.83	246.53	87.18	0.21	水杉、落羽杉、池杉-千屈菜 <i>Metasequoia glyptostroboides</i> , <i>Taxodium distichum</i> (L.) Rich., <i>Taxodium ascendens</i> Brongn.- <i>Lythrum salicaria</i> L.	鱼/鸭
P7	1672.14	162.10	52.66	0.60	池杉-水花生、泽泻、千屈菜、黄菖蒲、香蒲、茶菱、慈姑 <i>Taxodium ascendens</i> Brongn.- <i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb., <i>Alisma plantago-aquatica</i> L., <i>Lythrum</i> <i>salicaria</i> L., <i>Iris pseudacorus</i> , <i>Acorus calamus</i> , <i>Trapella</i> <i>sinensis</i> Oliv., <i>Sagittaria trifolia</i> L. var. <i>sinensis</i> (Sims.) Makino	
P8	835.22	127.43	33.51	0.62	泽泻、荷花、香蒲 <i>Alisma plantago-aquatica</i> L., <i>Nelumbo nucifera</i> Gaertn., <i>Typha orientalis</i>	
P9	266.24	132.29	52.92	0.00		
P10	2148.66	200.98	73.54	0.26	池杉、落羽杉-梭鱼草、千屈菜、黄菖蒲、再力花、香蒲 <i>Taxodium ascendens</i> Brongn., <i>Taxodium distichum</i> (L.) Rich.- <i>Pontederia cordata</i> L., <i>Lythrum salicaria</i> L., <i>Iris</i> <i>pseudacorus</i> , <i>Thalia dealbata</i> Fraser, <i>Typha orientalis</i>	

场地与周边环境有约有 17 m 的高差。根据长江支流防洪标准为 20 年一遇洪水,场地防洪设计分为两个等级:10 年和 20 年一遇的防洪线。竖向上,设计结合防洪线在公园内自下而上布置了亲水平台、园路和高架步道,与防洪需求弹性适应。多塘沿河布置,各级单塘水位高差约为 10 cm。设计利用了原废弃电厂的闸门将上游水位抬高,让水流凭重力流经多塘后又流回运河。

2 研究方法

2.1 现场调研和访谈

基于对多塘概念、结构、影响因子等设计因子、多塘对径流调控和净化的作用机理、城市环境背景的梳理,结合对设计者的访谈和资料(如施工图、设计图、说明文本等),勘察场地现状。关注湿地的运行情况、植被生长状况、管理使用情况并进行记录。对实施情况与设计有出入的地方,依据场地实际情况进行修正,并做说明。初步判断其运行效果并为制定监测方案确定点位、频率和指标。在场地调研和监测的同时观察公园使用者的活动类型、分布和偏好,访谈他们对公园的感受和评价。调研公园管理的组织机构,观察公园管理者、安保和环卫绿化人员的主要行为活动,访谈他们在管理维护工作中主要内容和难点。

2.2 水量水质监测

监测方案主要选择有代表性的过程进行取样。监测时间选择 7 月下旬,雨量充沛,植物生长较好。

水量调节规律主要通过沿程采集流速和径流截面数据计算和分析流量。水质调节效果主要通过多种情况下的采样检测浓度来分析污染物去除率。分别研究雨中、雨后、晴天污染物浓度发生变化的三种情况,以及湿地停止运行对污染物的消纳情况,同时采集运河水样以对比运河自净作用。采样点分布见图 1。水质检测指标的选取主要依据宜昌市地表水质公报、文献资料常用指标和现场调研预评估选择了化学需氧量(Chemical Oxygen Demand, COD_{Cr})、总悬浮物(Total Suspended Solids, TSS)、总氮(Total Nitrogen, TN)、总磷(Total Phosphorus, TP)、氨氮(Ammonia Nitrogen, NH₃-N)、五日生化需氧量(Five-Day Biochemical Oxygen Demand, BOD₅)和粪大肠菌群数(Fecal Coliforms, FC)等 7 项污染物指标。



图 1 运河公园多塘水流方向及监测取样点分布

Fig.1 Water sampling points and water flow direction in the multi-pond

于 2016 年 7 月 19 日至 27 日极端降雨时,对 10 个塘和运河共 12 个采样点进行了 4 次采样,取样同时采集流量数据。采样时间考虑了径流的流量变化、污染负荷变化、水力停留时间变化、晴天对照等因素。在

2016 年监测的基础上,于 2017 年 7 月 20 日至 27 日连续 8 日晴天对系统的出入水口和运河下游取样监测,以研究日常情况下的调控效果并和前一年形成对比。

3 结果与讨论

3.1 水量调控效果

通过对丰水期因降雨造成不同入流量(大、中、小流量)的湿地沿程流量的测量(图 2,从实验人员的安全角度考虑,在大、中流量的情况下未对采样点 8 进行测量),发现沿程流量进入多塘后迅速被降低,而后面的单元流量又有所上升。当出口流量小于入口流量时说明水体被蓄积在多塘单元中;当出口流量大于入口流量时,说明被蓄积的水被大量释放出来。可以看到该多塘同时存在蓄积和释放的过程。多塘就是在这蓄积和释放的过程中,实现了对洪峰的延时和削减作用,且多塘的串联形式形成了多级的调蓄。还可以看到流量越大,调蓄效果越明显。因为排水能力有限,相对而言入流量越大调蓄效果越明显。水体在塘中不断蓄积,导致水位上升,随之出流量增大。各单元下小上大的倒梯形排水口有利于高水位的时候排水和低水位的时候保持多塘内水系的流动。因此多塘的串联级数、调蓄空间(竖向)和排水口应成为该多塘型绿地设计的关注点。

3.2 水质调控效果

运河作为备用水源,执行 III 类水标准。将水样水质检测结果与《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)对照,水质总体情况较好。2016 年结果显示 COD_{Cr} 含量低于检出限,后面不做讨论,次年不再监测;NH₃-N、BOD₅、TP、FC 含量皆达到 III 类水标准;TN 含量是 III 类水标准的 3.5 倍。2017 年,水质总体情况变好,TN 含量降到 III 类水标准的约 1.36 倍,NH₃-N、BOD₅、TP 含量也降到 II 类水标准。2016 年的取样条件随降雨变化,结果发现雨中污染物含量最高,随着天气雨转晴污染物含量先减小后又升高。说明降雨会造成河流水质的突变,污染物浓度先升高然后又被稀释;晴天后污染物浓度上升,说明运河污染物还有一部分来自于城市污水排放。而 2017 年水质总体提升,和宜昌市启动的控源截污、内源治理等城区黑臭水体整治措施及采样期间为晴天有关。

3.2.1 污染物总体削减情况

将多塘的出入口和运河上下游的取样结果对比以分析多塘对污染物总体削减情况。

2016 年监测结果显示多塘对污染物的削减作用要好于运河(表 2)。总体上多塘对 TN、TP、NH₃-N、FC 有明显的削减作用,平均能达到 38%、31%、21%、16%;对 TSS 和 BOD₅ 的削减作用不明显,平均为-6%和 1%。运河对 TSS、NH₃-N、BOD₅、TN 和 TP 的平均去除率为-34%、-17%、-10%、-3%、-15%。

2017 年监测结果显示多塘对水体中的污染物并无明显的削减作用甚至出现了污染物含量增加的情况,而运河开始显现一定的污染物去除效果(表 3)。多塘 TSS、NH₃-N、BOD₅、TN 和 TP 的平均去除率为-152%、-32%、-102%、-5%、-126%,而运河中 TSS、NH₃-N、BOD₅、TN 和 TP 的平均去除率为-34%、3%、-99%、-5%、-276%。此时运河对 TSS 和 NH₃-N 的去除效果要优于多塘,BOD₅和 TN 的去除率相差无几,对 TP 的去除效果多塘要优于运河。

2017 年来水水质总体优于 2016 年,污染物浓度高时,多塘表现出明显的去除作用;污染物浓度低时,多塘污染物去除作用不明显,说明污染物浓度对多塘的处理效果有较大的影响。

在空间构成上,运河和多塘存在较大差别,包括水流路径的长短、河道空间形态和组成以及两个空间上的人类活动类型(人们在运河上钓鱼而在公园养鱼)等。运河只有在污染物浓度较低时才表现出削减作用,说

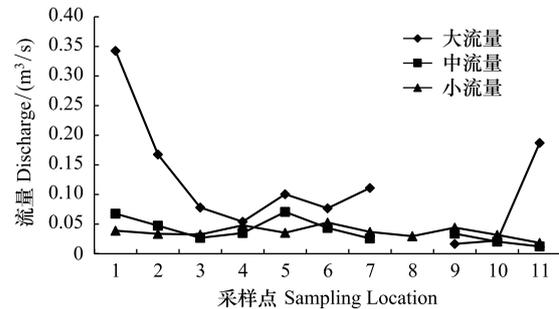


图 2 不同入流量状态下多塘沿程流量

Fig.2 The discharge of the multi-pond with different recharge

明运河对污染物的消纳能力较为有限;而在 2016 年的监测结果显示为负可能是因为运河河段存在未整治的生活污水排水口。低浓度来水时多塘表现为“源”,主要是因为多塘的组成要比运河复杂,可能的原因包括底泥冲刷、植被的腐败、动物的粪便以及人为的养殖的投喂活动等等。

表 2 2016 年多塘和运河对污染物的去除率 (%)

Table 2 Removal efficiency of the pollutants by the multi-pond and canal in 2016

情境 Situation	场地 Place	总悬浮物 TSS	氨氮 NH ₃ -N	五日生化 需氧量 BOD ₅	总氮 TN	总磷 TP	粪大肠 菌群数 FC
雨中 Rainy day	多塘	-15	-51	10	-37	-54	-60
	运河	51	38	62	10	16	-63
雨后 After rain	多塘	-13	-26	-9	-39	-53	49
	运河	60	15	-31	13	24	81
晴天 Sunny day	多塘	46	14	-5	-37	13	-36
	运河	-8	-2	0	-14	5	-41

TSS: 总悬浮物 Total Suspended Solids; NH₃-N: 氨氮 Ammonia Nitrogen; BOD₅: 五日生化需氧量 Five-Day Biochemical Oxygen Demand; TN: 总氮 Total Nitrogen; TP: 总磷 Total Phosphorus; FC: 粪大肠菌群数 Fecal Coliforms

表 3 2017 年多塘和运河对污染物的去除率 (%)

Table 3 Removal efficiency of the pollutants by the multi-pond and canal in 2017

时间 Time	场地 Place	总悬浮物 TSS	氨氮 NH ₃ -N	五日生化需氧量 BOD ₅	总氮 TN	总磷 TP
7.20	多塘	325	12	75	6	326
	运河	5	-24	0	17	894
7.21	多塘	263	20	44	9	380
	运河	16	-26	-11	18	1044
7.23	多塘	-52	128	56	18	1
	运河	-30	14	189	14	-41
7.24	多塘	167	-17	100	-3	46
	运河	73	35	43	-4	17
7.25	多塘	190	23	71	4	-21
	运河	81	9	-14	-7	-23
7.26	多塘	-69	110	333	4	154
	运河	9	13	450	-2	36
7.27	多塘	238	-50	38	-4	-7
	运河	86	-42	38	0	2

3.2.2 对不同浓度的污染物的削减效果

根据文献研究可知,检测指标浓度的沿程变化最佳的拟合模型为指数衰减模型^[25]。为了研究污染物浓度对多塘的处理效果的规律,采用 2016 年和 2017 年共 5 次沿程采样的污染物浓度变化来的指数函数拟合反应湿地对各类污染物的净化效率(图 3)。发现尽管来水水质波动变化,但多塘系统的出水水质较为稳定(约为 III 类水)。多塘对高浓度的来水污染物具有明显的去除效果;对中浓度的来水污染物去除效果较为不明显;对于低浓度的来水污染物含量反而少量的增加。当 TSS、NH₃-N、BOD₅、TN、TP 和 FC 浓度分别约为 64 mg/L、1.081 mg/L、3.5 mg/L、5.52 mg/L、0.194 mg/L 和 3500 个/L(V 类和劣 V 类)时,多塘表现出明显的削减作用。当 TSS、NH₃-N、BOD₅、TN、TP 和 FC 浓度分别约为 35 mg/L、0.702 mg/L、2.1 mg/L、3.06 mg/L、0.097 mg/L 和 2200 个/L(III 类以下)时,多塘不能表现出明显的削减作用。当 TSS、NH₃-N、BOD₅、TN、TP 和 FC 浓度分别约为 41 mg/L、0.594 mg/L、0.9 mg/L、1.51 mg/L、0.028 mg/L 和 940 个/L(约为 II 类水)时,多塘不能表现出明显的削减作用,污染物含量反而有所增加,但基本不改变水质类型。这与相关研究结果一致:COD、

BOD₅、TSS 等污染物去除率与进水浓度间呈显著正相关^[26]。此外,还有研究表明去除率随进水负荷增大而增大^[27]。在本项目中水质的变化主要是由于降雨造成的,污染物浓度的增加常常伴随着来水水量的增大,所以来水负荷也可能是一个重要的影响因素。

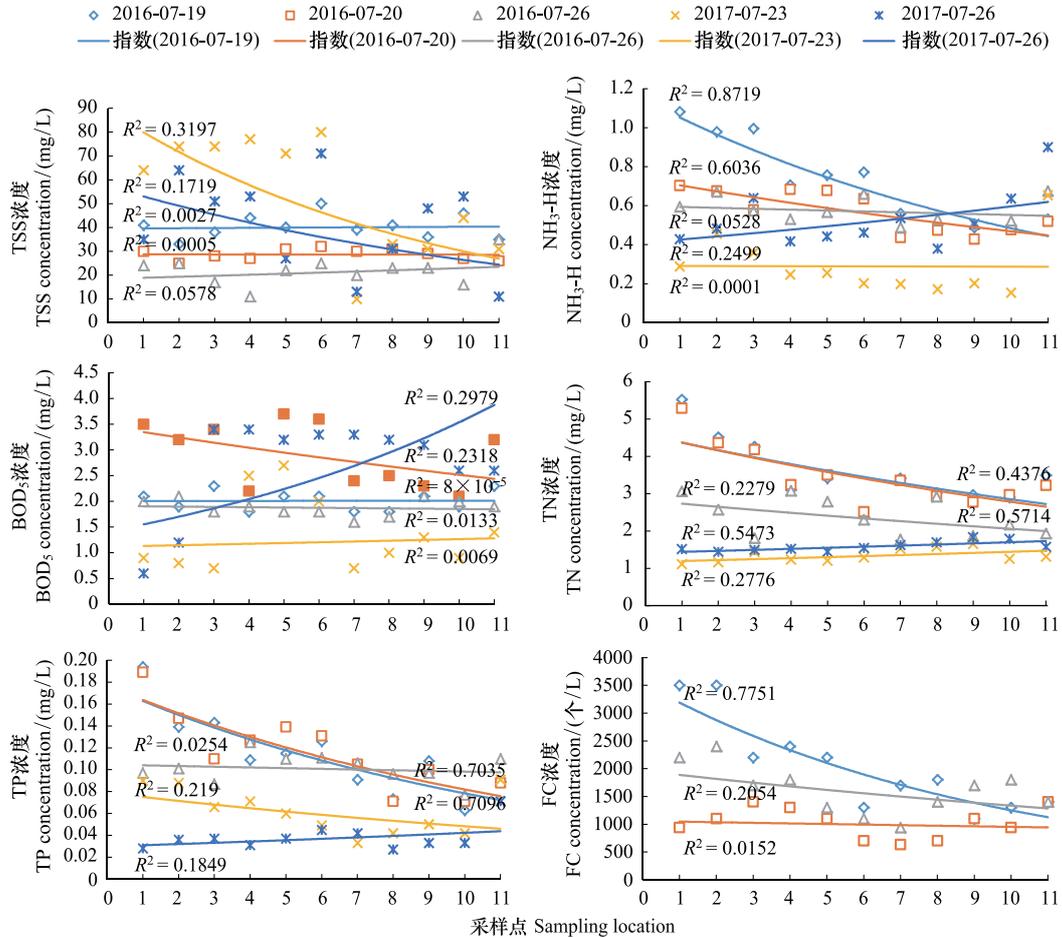


图3 多种来水浓度下多塘沿程污染物浓度及拟合线

Fig.3 Pollutants concentration and its fitting line in the multi-pond with different recharge

TSS: 总悬浮物 Total Suspended Solids; NH₃-N: 氨氮 Ammonia Nitrogen; BOD₅: 五日生化需氧量 Five-Day Biochemical Oxygen Demand; TN: 总氮 Total Nitrogen; TP: 总磷 Total Phosphorus; FC: 粪大肠菌群数 Fecal Coliforms

3.2.3 沿程污染物削减效果

分别对去除效果明显的不同污染物的高浓度的两组沿程各单元的去除率进行分析(图4)。发现除 TSS 外,NH₃-N、BOD₅、TN、TP 和 FC 沿程去除率逐渐减小,即去除率前高后低。不是所有的单元都表现为削减作用,在整个过程中基本为削减和增加作用交替存在,但总体结果为削减。该多塘由 10 个单元串连而成,每个单元的空间形态、内部结构、植被盖度、水流方向都不同,因此,每个塘对污染物去除率也不同。去除率前高后低,主要是因为到了后半程流水中的污染物浓度已经降低了。和其他指标不同,TSS 的去除作用表现为先增加后减小,主要是因为 TSS 的去除作用主要通过吸附、沉淀和过滤等,在系统的前段流速较大导致一部分悬浮物被冲刷出来,然后又在后半程沉淀下来。还可以明显看到,最后一单元对除 TSS 外其他污染物的削减作用为负。对比设计图纸和现场可以发现设计中的增氧喷泉并没有建造,可以推测是因为最后一单元面积大水流缓慢又无增氧设施,导致了原塘中的污染物析出。

3.2.4 多塘对污染物的消纳效果

当关上闸门湿地系统停止运行,湿地系统就变成一个个封闭独立的单元。通过关闸前后的水样对比可以

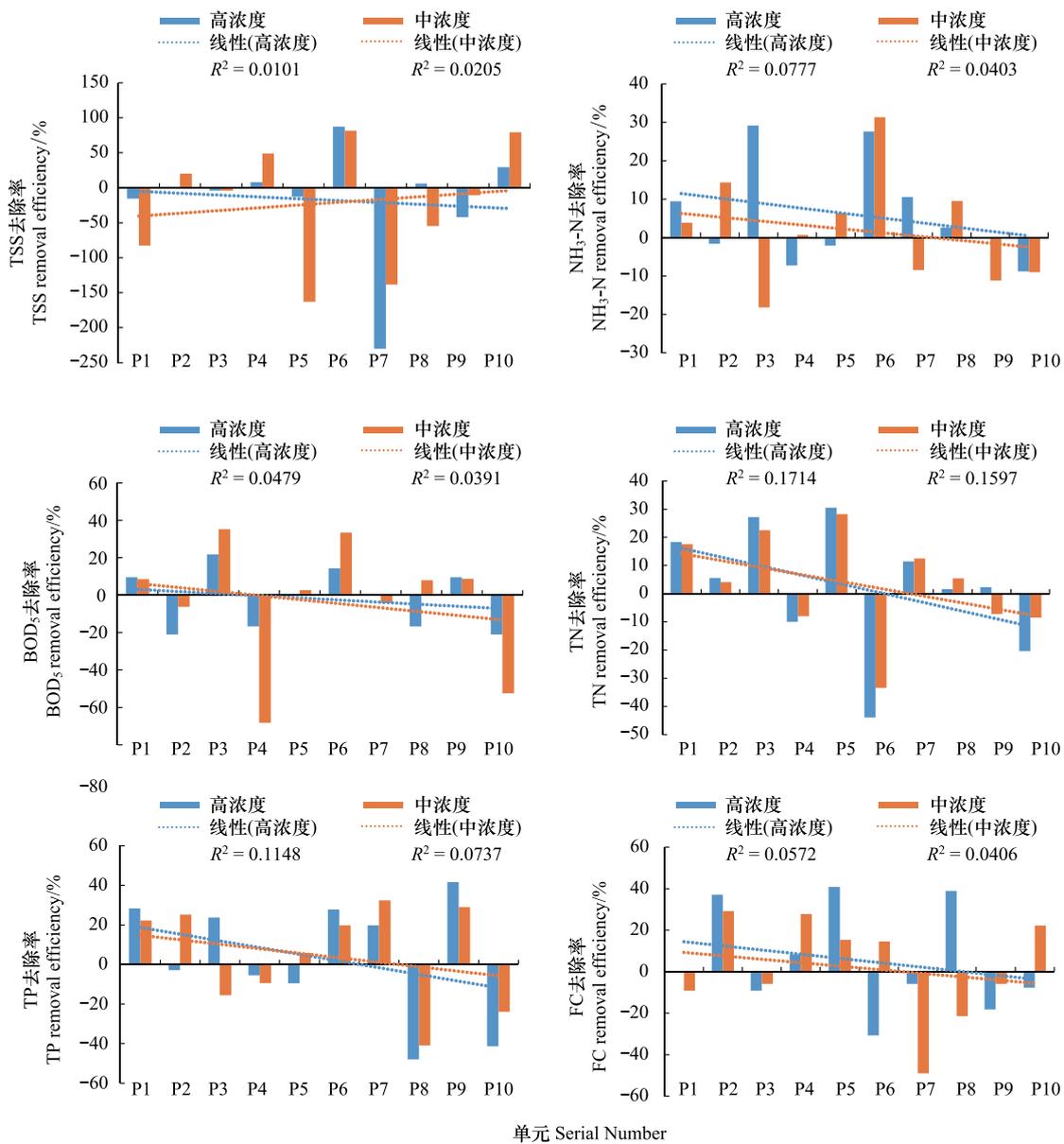


图4 多塘沿程污染物去除及趋势线

Fig.4 Pollutants removal efficiency and its fitting line in the multi-pond

看到水力停留 24 h 后,几乎所有单元内的所有的污染物含量都出现了增加,去除率为负(图 5)。TN 增加的含量最多,TP 增加的含量最少,FC 含量在一些单元出现减少。这一现象和系统运行时最后一单元污染物去除率为负都可能是因为当水停止流动,水体的复氧能力减弱,缺氧的环境会阻碍硝化反应的进行,厌氧环境与内部的污水一起容易构成死水区,导致生物原先在好氧环境下吸收的 N、P 等物质又重新释放到基质中,使水体物质升高^[28]。

4 场地运行经验

4.1 水量管理是一项重要的内容

由于该系统位于城市水系统网络的下游,暴雨径流不断地汇集,运河水量上涨的时间可能持续几十个小时。多塘调蓄洪峰将大量的径流蓄积在塘中,意味着公园内的水位上涨。该系统排水能力有限,如果不是有人为干预进水情况,必然造成水位不断上涨,长时间大量积水。目前主要采用人工控制闸门的方式,进半天

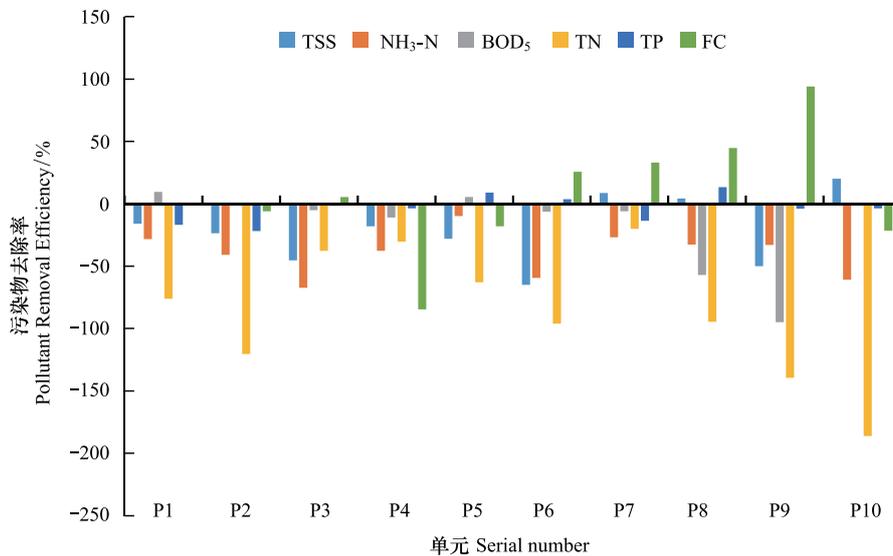


图5 水体停留 24h 后各单元污染物含量变化情况

Fig.5 Pollutants concentration in the multi-pond after a 24 h water standing

水,放半天水,如此反复,既保证了多塘湿地系统的持续运行又能将水位控制在一定范围。根据设计者的解释,该多塘系统根据防洪标准做了竖向上适应性设计,可以在自然状态下的持续运行,水量的管理并不需要过多的人为控制。在管理者看来这是可怕且难以接受的,他们认为不在雨季加强对水量的管理会影响公园的王莲等水生植物景观和游客的安全,但他们也认为目前的控制方式过于繁琐。设计者和管理者都表现出水量的管理的关注但在应对上并没有共识。如果能在关键的出入口设置水质水量监测智能传感设备,将有可能同时实现公园的智慧管理和监测评估两项目标。

4.2 多塘景观在管理运行中衍生出更加丰富的内容

在预调研的时候,发现有三个单元在养殖鱼、鸭、鹅,并把这一现象列为对多塘水质净化作用的干扰项。但是经过检测,在多塘运行情况下养殖投喂并没有造成多塘系统污染物含量的增加。并且在场地观察到:一方面,公园里养殖鸭和鹅,以及水里的鱼和乌龟是游客们尤其是儿童最喜欢的内容;另一方面,工人是将公园草地中清除的杂草投入塘中喂鱼,既管理了公园的草坪又没有增加城市的环卫负担。养殖其实实现了水质净化、观赏体验和公园管理三方面目标的协调统一。这显然是设计者也没有考虑到的,而如果单从水质净化考虑可能只能得到单一的景观。项目在设计建成运行十年之后不仅实现的最初的设计目标,还在管理运行中衍生出了更加丰富的内容。

4.3 没有建成评价会可能导致目标的丢失

根据监测结果,最后一单元水质净化效率低,而对比设计方案,设计中的增氧设施没有建设。建议可增加建设后再进行监测验证。管理者并不关心多塘对城市地表水质的净化提升作用,但他们关心公园的景观效果和养殖塘的水质。一个项目从规划设计到建设运行管理,主要由不同人群的负责。目标层层传导,最终有可能会发生改变或丢失。所以对建成项目运行结果进行监测和评估以回顾设计目标是必要的。通过短期和长期监测结合,实施“设计-建造-监测-评估-问题-(再)设计”过程的循环迭代,无论是监测方案、设计方案、运行管理方案都可以通过评价结果的进行不断地优化更新,项目中产生经验也可以不断积累,场地功能与社会发展的问题也可以不断协调,进而实现场地的可持续发展。

5 结论

以建成运行多年的宜昌运河公园中的多塘型城市绿地为研究对象,制定了水质水量监测计划,分析了其在日常和降雨条件下对来水水量水质的调控效果和规律,并结合现场观察和访谈记录了管理运行中的经验,

讨论了从设计到运行可能对城市绿地生态服务功能的发挥产生影响的因素。多塘对动态变化的来水水质水量的调控表现出弹性适应效果;在一定范围内,流量越大调蓄效果越明显;污染物浓度越大,去除率越大。主要结论如下:

(1)多塘系统有明显的调蓄作用,通过将径流蓄滞在各个单元中,再缓慢释放出来,从而达到削减洪峰和延迟洪峰的径流调控效果。串联形式的多塘形成了多级的调蓄作用,使得因暴雨而陡涨的径流经过多级的调蓄而变得平缓。由于调蓄空间充足而排放能力有限,相对而言流量越大调蓄作用越好。因此多塘的串联级数、调蓄空间(竖向)和排水口应成为该多塘型城市绿地设计的关注点。

(2)多塘对水质的调控作用优于运河,对高浓度(V类和劣V类)的污染物有明显的去除作用,对N、P元素的去除效果较好。对低浓度(III类)的污染物去除作用不明显,浓度较低(II类)时会释放一定含量的污染物,但基本不改变水质的类型。从沿程去除效果来看,多塘前半部分污染物去除率高,后半部分去除率低或为负。从停运状态来看,水体蓄积在塘中24h污染物含量会增加。

(3)公园从设计到运行由设计、建造、管理多方人员主导,他们的关注点不同,并没有在所有方面达成共识。场地经过长时间运行和持续的管理维护,最初的设计目标也出现了简化、丢失或改变的情况,但也衍生出了更丰富多样的景观。通过绩效评价可以促进项目的优化,经验的积累和场地的可持续发展。

参考文献(References):

- [1] 沃夫冈·F·盖格. 海绵城市和低影响开发技术——愿景与传统. 陈立欣, 张保利, 刘姝, 田乐, 译. 景观设计学, 2015, 3(2): 10-21.
- [2] 俞孔坚, 李迪华, 袁弘, 傅微, 乔青, 王思思. “海绵城市”理论与实践. 城市规划, 2015, 39(6): 26-36.
- [3] 俞孔坚. 水生态基础设施构建关键技术. 中国水利, 2015, (22): 1-4.
- [4] 约翰·兰斯. 中国生态基础设施建设与思考. 王颖, 译. 景观设计学, 2016, 4(5): 46-53.
- [5] 盖伦·纽曼, 金竣铨, 菲尔·伯克, 杰里米·梅里尔, 王洋, 李秋硕. 从闲置土地到生态基础设施——休斯顿市曼彻斯特街区弹性设计方案. 王颖, 译. 景观设计学, 2016, 4(5): 68-83.
- [6] 俞孔坚, 王欣, 林双盈. 城市设计需要一场“大脚革命”——三亚的城市“双修”实践. 城乡建设, 2016, (9): 56-59.
- [7] 赵庆俊, 丛海兵, 汪智霞, 唐中亚, 蒋新跃, 王一鸣. 高渗透下凹绿地对城市降雨径流的削减作用研究. 水利水电技术, 2018, 49(9): 41-48.
- [8] 吴若静, 谢三桃. 多塘系统在巢湖山丘区面源污染控制中的应用. 水利规划与设计, 2016, (3): 18-21.
- [9] 陈晨. 人工湿地技术在污水处理与水环境保护中的应用. 绿色环保建材, 2018, (10): 216-216, 218-218.
- [10] 刘俊红. 三种类型人工湿地对富营养化水体的净化效果比较. 北方园艺, 2018, (19): 116-124.
- [11] Wang M, Zhang D Q, Dong J W, Tan S K. Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climate—a review. Journal of Environmental Sciences, 2017, 57: 293-311.
- [12] Ehler C, Douvère F. Marine spatial planning: a step-by-step approach toward ecosystem-based management. UNESCO IOC, 2009, 71-80. <https://tethys.pnnl.gov/publications/marine-spatial-planning-step-step-approach-toward-ecosystem-based-management>, 2018.12.02.
- [13] 白晓慧, 王宝贞, 余敏, 聂梅生. 人工湿地污水处理技术及其发展应用. 哈尔滨建筑大学学报, 1999, 32(6): 88-92.
- [14] 李明翰, 布鲁斯·德沃夏克, 罗毅, 马特·鲍姆加登. 景观绩效: 湿地治理系统和自然化景观的量化效益与经验总结. 苏博, 译. 景观设计学, 2013, 1(4): 56-68.
- [15] 塔纳尔·奥兹迪尔, 迪伦·斯图瓦特, 冯艺佳, 任维. 风景园林设计项目的经济绩效评估——德克萨斯州案例研究的经验与教训. 冯艺佳, 任维, 译. 风景园林, 2015(01): 70-86.
- [16] Seattle Public Utilities, Restore Our Waters. Thornton creek water quality channel final report. 2009.10.28. http://59.80.44.48/www.seattle.gov/util/cs/groups/public/documents/webcontent/spu01_006146.pdf, 2018.12.02.
- [17] Chesapeake Bay Program. 2019. www.chesapeakebay.net, 2018.12.02.
- [18] Sheppard C. World Seas: An Environmental Evaluation. Volume I: Europe, the Americas and West Africa. 2nd ed. Amsterdam: Academic Press, 2019: 379-404.
- [19] 袁再健, 梁晨, 李定强. 中国海绵城市研究进展与展望. 生态环境学报, 2017, 26(5): 896-901.
- [20] 章林伟. 中国海绵城市建设与实践. 给水排水, 2018, 44(11): 1-5.
- [21] 顾晨洁, 王忠杰, 李海涛, 宋春丽, 聂竹君. 城市生态修复研究进展. 城乡规划, 2017, (3): 46-52.
- [22] 雷维群, 徐姗, 周勇, 韦波, 朱里莹. “城市双修”的理论阐释与实践探索. 城市发展研究, 2018, 25(11): C32-C36.
- [23] 陆利杰, 张亮, 李亚. 海绵城市绩效考核评价体系初探——以深圳市为例//共享与品质——2018中国城市规划年会论文集(08城市生态规划). 杭州: 中国城市规划学会, 杭州市人民政府, 2018: 8.
- [24] 宫永伟, 刘超, 李俊奇, 柴宏祥, 任欣欣, 车伍, 陈世杰, 王琦. 海绵城市建设主要目标的验收考核办法探讨. 中国给水排水, 2015, 31(21): 114-117.
- [25] 万玉文, 郭长强, 茆智, 李新建, 崔远来, 赵树君. 多级串联表面流人工湿地净化生活污水效果. 农业工程学报, 2016, 32(3): 220-227.
- [26] 唐娜, 张强, 黄玉明. 潜流人工湿地中有机物的去除. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2009, 34(3): 71-74.
- [27] 魏泽军, 张欢欢, 赵孝梨, 黄玉明. 进水污染负荷对砾石人工湿地运行效果影响研究. 西南大学学报: 自然科学版, 2012, 34(9): 102-106.
- [28] 李家科, 高志新, 汪琴琴, 李亚娇, 沈冰. 不同水深下多级串联人工湿地对城市地面径流的净化效果. 水土保持学报, 2014, 28(3): 125-133.