

南宁石门森林公园海绵化改造与海绵城市连片建设模式思考

赵亮^{1,2}, 张沛¹, 冯步广¹, 杨涟¹, 秦德全¹

(1. 南宁市海绵城市与水城建设工作领导小组办公室, 广西 南宁 530022; 2. 南宁市市政工程管理处, 广西 南宁 530011)

摘要: 通过对南宁市石门森林公园目前存在问题的分析,提出了海绵化改造的原则、控制指标和具体的建设方案。通过这一项目的规划和建设实践,探索出了“公园类海绵项目”宜通过引入绿地周边客水,发挥绿地自然积存、自然渗透、自然净化的作用;通过针对性的项目,使碎片式海绵体连片化,并最终形成“大海绵区域”的建设经验。

关键词: 年径流总量控制率; 年径流污染削减率; 连片化建设

中图分类号: TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2017)02-0020-07

Thinking about Mode for Sponge-functional Modification of Shimen Forest Park and Contiguous Development of Sponge City in Nanning

ZHAO Liang^{1,2}, ZHANG Pei¹, FENG Bu-guang¹, YANG Lian¹, QIN De-quan¹

(1. Nanning Leading Group Office for Development Works of Sponge City and Watertown, Nanning 530022, China; 2. Nanning Municipal Engineering Administrative Office, Nanning 530011, China)

Abstract: Based on the analysis of existing problems of Shimen Forest Park in Nanning City, the principle, control parameters, indexes and concrete construction scheme for sponge-functional modification of the park were put forward. By means of planning and construction practices for this project, a series of development experiences for leisure park-style sponge projects were explored, including introducing neighboring water of green area and exerting the natural accumulation, natural infiltration and natural purification of the green area. Through some specific projects, the originally fragmental sponge functional bodies can be linked and fit together, so as to form a “Great Sponge Area” as a result.

Key words: volume capture ratio of annual rainfall; annual runoff pollution reduction rate; contiguous development

2015年5月,南宁市作为全国第一批海绵城市建设试点正式启动。按照工程类别,南宁市海绵城市建设示范项目三年内共计安排203项,包括水生态修复、公园绿地、公共建筑、居住小区、道路广场和其他类共六种类型。截止到2016年8月,南宁市主要完成了石门森林公园、青秀山兰园(一、二期)及北门、广西体育中心、南湖公园环湖路等一批重点项目建设,目前正在开展老旧小区打包改造、南湖水质改善、沙江河流域综合整治等工作。

根据住建部《海绵城市建设绩效评价与考核办

法(试行)》中对示范区“在建设期末达到60%连片效应”的要求,南宁市于建设之初优先选取了石门森林公园、会展中心及公园周边小区约1.3 km²的区域作为重点项目,在石门森林公园海绵化改造后,通过越秀路南侧的公共建筑与青秀山连成整个片区,成为8.90 km²的大海绵体。建成之后,仅此一个大海绵体就占整个建设示范区面积的16.3%。南宁市将在该项目的经验总结下,计划通过8个连片海绵体的建设,实现示范区海绵体的连片化。

南宁市通过对石门森林公园改造的探索和论

证,认为公园类海绵项目宜以公园绿地为主要载体,纳入周边居住小区和公共建筑的雨水径流,充分发挥绿地自然积存、自然渗透、自然净化的作用,实现径流雨水的有效控制和地表水质的明显改善。

1 项目建设背景

石门森林公园位于南宁市民族大道东段、琅东核心片区国际会展中心的东侧,园内林木葱郁,环境幽静,是以森林游憩、休闲娱乐为主要功能的城市公园。公园呈丘陵地貌,东西南侧均有山体,总面积为 63.2 hm^2 ,其中林地 50.3 hm^2 ,水域 2.3 hm^2 ,森林覆盖率达 82.7% 。公园最高点位于南部烧烤区,海拔约 140 m ,最低点位于公园西侧边缘陡坡底部,海拔为 68 m 。公园内地表水以明湖为主,补给水源除来自降雨外,还有一个特色水源——泉水。

石门森林公园海绵化改造项目是南宁市海绵城市建设示范区的重点项目,通过引入周边小区的径流客水,以“慢排缓释”和“源头分散”的控制方式削减径流量、截留径流污染物,并利用生态调蓄、循环净化、生态补水工程,避免雨水中的污染物直接进入

明湖,从而最大限度地提升公园水生态、水环境的品质。项目目前已完成了明湖清淤、北门区生态停车场、雨水花园、雨水湿地等内容的建设,下一步将以明湖水质改善为目标进行海绵化提升。

1.1 石门森林公园海绵化改造前存在的问题

① 明湖年久失修,坝体渗漏严重,湖底淤积深度厚。明湖始建于1997年,建成初期最大水深曾达 7 m 左右,目前大部分区域水深约 $3\sim 4\text{ m}$,最大水深不到 6 m ,至今尚未进行过清淤工作。近年来,明湖出现大面积漏水现象,蓄水量降低,因漏水位置无法查明,水位一直没有能恢复到建成初期的高度。

② 初期雨水径流污染控制措施不完善。项目改造前,园区道路和市民活动场地均为硬化地面,地面的初期雨水径流直接汇集到雨水口后排湖,缺少径流污染控制措施。由于地形陡峭,部分道路坡度较大,暴雨时的雨水径流污染物容易带入湖体。

③ 明湖水体水质下降。根据公园管理处多年的观察,明湖水质近年来有所下降。目前,明湖整体为V类水质(见表1)。

表1 明湖水质检测结果

Tab.1 Water quality of Ming lake

项目	$T/^{\circ}\text{C}$	pH值	$\text{DO}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\text{COD}_{\text{Mn}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\text{BOD}_5/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\text{NH}_3-\text{N}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\text{TN}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\text{TP}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\text{Chl. a}/(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$	粪大肠杆菌/ (个 $\cdot\text{L}^{-1}$)
数值	28	6.85	6.4	10.7	6.8	1.22	1.81	0.01	53.6	24 000

注: 采样时间为2015年5月9日。

④ 园区部分地区存在内涝问题。根据雨季的现场踏勘,园区改造前有三处内涝点。北门入口处由于地势位于低点,缺少排水出路,暴雨时经常出现内涝现象;公园东南小广场前道路标高较低,且没有出雨水口,易造成积水;游乐园场地硬化程度高,地势平坦,排水出路不畅,降雨时易产生内涝。

⑤ 公园给排水附属设施不足。公园绿地浇洒主要依靠人工,长期缺少绿地浇洒设施;园区内道路两旁集水边沟等附属设施陈旧,未能及时更新改造。

1.2 石门森林公园海绵项目的改造原则

① 生态型设施优先原则。海绵城市是从原有“雨水就近汇集、迅速排干”的工程理念,升级到“渗、滞、蓄、净、用、排”六位一体的综合排水、生态排水理念的战略性转变^[1],因此在本项目的设计上,本着尊重自然、顺应自然、结合自然的原则,优先采用生态型低影响开发设施^[2],通过与园林、交通、环境等多专业融合,使石门森林公园海绵化改造工

程产生景观、生态、经济等多种效益。项目设计优先采用低成本、易于维护的设施,按照源头、小型、分散的原则进行低影响开发设施布局,并进行设施优化组合,通过模型定量化分析以确保目标的可达性。

② 水生态、水环境提升优先原则。《南宁市水功能区划(2012)》中明确提出,作为“满足工农业生产、城镇生活、渔业和游乐等功能需求而划定的水域”,其水质标准应由二级水功能区划相应类别的水质标准确定。在“二级水功能区划条件和指标”中,对于景观娱乐用水区的水质标准提出了明确要求,即“符合现行国家标准《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅲ类或Ⅳ水质标准确定”^[3]。

明湖作为南宁市区重要的景观湖泊,其水质整体上远未达到Ⅳ类水体。因此,通过强化明湖汇流径流雨水的渗透、净化与调蓄,优先恢复明湖的水环境和水生态、提升明湖滨水空间品质,是本项目的重要改造工作。

③ 结合景观积极引入客水原则。石门森林公园主要功能是市民休闲游憩的活动空间,海绵化改造除了要满足雨水径流和污染物削减外,还要融合景观,吸引更多市民入园游览。根据公园与周围场地的关系,通过合理的设施布局,吸纳周围地块的雨水径流,并对客水进行水质净化,作为明湖湖水的重要补充。

1.3 石门森林公园项目改造的主要控制指标

① 水质指标(约束性指标)。明湖溢流口水质指标达到《地表水环境质量标准》中Ⅳ类水体要求(包括但不限于以下指标:TN、NH₃-N、TP、BOD、COD、DO、Chl. a),明湖水透明度 ≥ 0.8 m。

② 年径流总量控制率指标(约束性指标)。本项目根据最佳雨水控制量应以雨水排放量接近自然地貌的LID理念^[4],认为在自然地貌或绿地的情况下,径流系数为15%左右,故把本项目海绵化改造的径流总量控制率定为不小于85%。

③ 年径流污染控制率(以TSS去除率计)指标(约束性指标)。参考“新区建设项目雨水径流污染控制目标——TSS削减50%、COD削减50%、TP削减40%”的设定值^[5],本项目结合公园的COD和TP在可控的情况下,重点控制雨水径流污染中的TSS指标,并将TSS去除率定为不小于50%。

④ 消纳公园周边小区客水。根据承载容量及周边小区竖向标高条件,消纳公园周边居住小区的客水,使其年径流总量控制率指标达到85%。

⑤ 项目改造的若干定性指标。本项目以水力计算模型作为设计决策依据的基础,通过海绵化改造后,尽量减少地表的不透水面积比例;项目范围内收集的雨水作为南湖的生态补水来源;借鉴英国的经验,将洪涝风险评估纳入到区域规划中,通过综合

防控降低内涝风险^[6]。

2 工程建设内容

南宁市降雨量大、降雨天数多,同时土壤渗透条件差、地下水位高,加上明湖水质改善的特定需求,海绵化改造的措施只能以“滞”和“净”为主。海绵城市作为一种“雨水友好型”理念,如何把加强型人工湿地净化、城市绿色雨洪管理、生态系统修复等技术纳入到“海绵体”建设中,是本项目改造工作的重点(见图1)。



图1 石门森林公园海绵化改造布局平面

Fig. 1 Layout plan of sponge-functional modification works for Shimen forest park

石门森林公园为丘陵地貌,场地起伏较大,因此海绵化改造首先要解决的就是场地雨水的收集问题,其次要结合地形与用地条件合理设置渗、蓄、净等设施,实现雨水径流的自然消纳与净化。

在改造中,根据自然地形特点因地制宜引入了周边4个居住小区和1个公共建筑的客水,利用公园自然沟谷和废弃泳池的地形设置了前置塘、植草沟、雨水花园、旱溪、人工湿地等海绵设施,实现对客水的合理疏导、收集与消纳(技术路线见图2)。

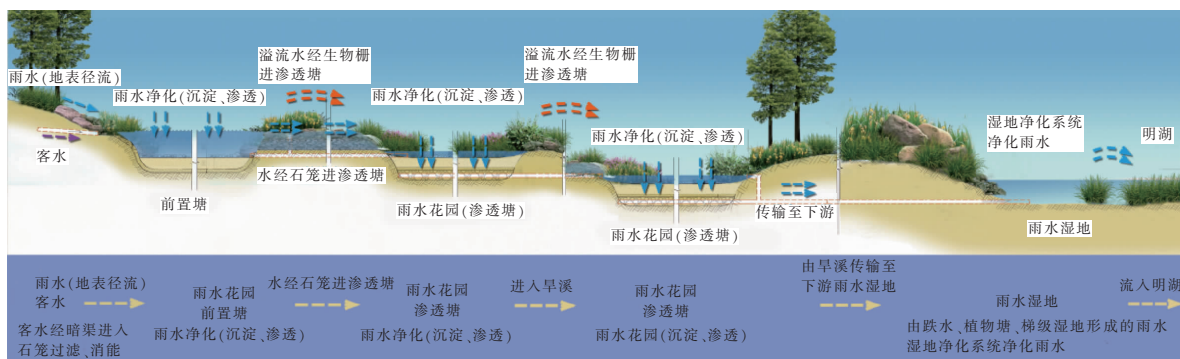


图2 雨水(客水)技术路线

Fig. 2 Rainwater (foreign water) technological route

石门森林公园共有三个汇水分区,分别是明湖汇水分区、北门停车场周边汇水分区、东盟博览园汇水分区及公园边缘排水分区。本项目以明湖汇水分区的改造提升为核心,通过旱溪、植草沟、边沟建设,梳理场地雨水自然汇流路径,充分利用流域内自然沟谷地形、沿等高线设植草沟等滞留设施,实现雨水径流渗、滞、蓄同步的自然消纳与净化,完成水质、水量的控制指标。

2.1 明湖汇水分区

明湖汇水分区为石门森林公园核心汇水区,总面积为 44.6 hm^2 ,项目改造前场地内以园林绿化和水体为主,硬化场地主要包括游乐园、道路、烧烤场、广场以及附属建筑等类型,径流系数约为 0.40。

项目改造需要解决的问题包括水安全问题、水环境问题以及水资源问题。按照问题导向和需求导向的原则,重点对明湖汇水分区进行设计,充分接纳和净化客水,着力改善水体环境。具体措施如图 3 所示。

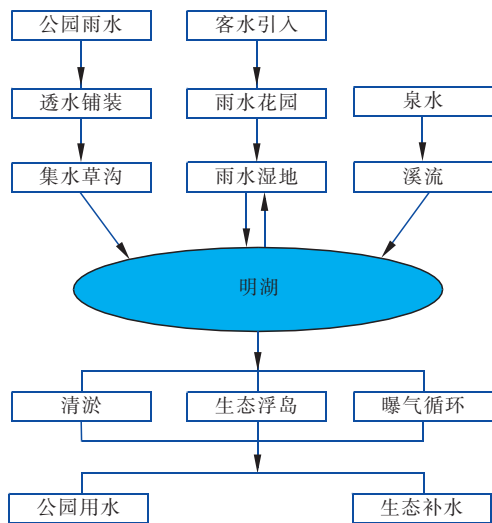


图3 明湖汇水区雨水收集净化流程

Fig. 3 Flow chart of rainwater collection and purification process for Ming lake catchment area

① 雨水花园(渗、滞、净)

雨水花园的主要功能为“渗”、“滞”、“净”,通过土壤渗透、自然蒸发、过滤吸附、植物截留、生物降解,可以有效减少径流量、削减峰值流量和净化雨水。根据南宁市海绵城市建设经验,雨水花园面积一般为汇水范围硬化地面面积的 5% ~ 10%。在本项目改造中,根据公园的实际情况,建设了东南和南门两个雨水花园。

东南雨水花园由原来一个老旧泉眼改造而成,总面积为 $1\,776 \text{ m}^2$,用于处理石门森林公园围墙外的四个生活小区和一个公共建筑的雨水客水以及明湖北侧的雨水。该公园改造前、后的效果比较如图 4 所示。

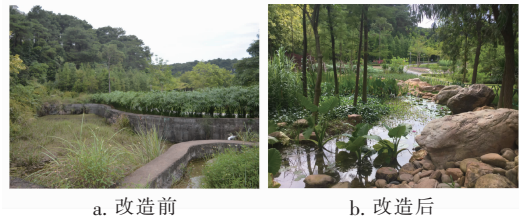


图4 东南雨水花园改造前后对比

Fig. 4 Comparison of effect of the Dongnan rain garden before and after modification

南门雨水花园由南门区谷地改造而成,总面积为 $1\,964 \text{ m}^2$,用于滞留、缓排和净化雨水及汇入的客水。改造前、后的南门雨水花园见图 5。

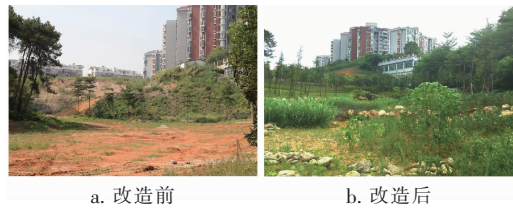


图5 南门雨水花园改造前后对比

Fig. 5 Comparison of effect of the Nanmen rain garden before and after modification

雨水花园的结构分为三层:

a. 覆盖层。覆盖层为最上层,以树皮为主,厚度为 50 ~ 80 mm。覆盖层一方面可以保持土壤的湿度,避免表层土壤板结造成渗透性降低;另一方面通过树皮土壤界面,营造了良好的微生物环境,有利于微生物的生长和有机物的降解,并有助于抵抗径流雨水的侵蚀。

b. 植被及种植土层。种植土层位于中部,选用渗透系数较大的砂质土壤,厚度为 250 mm 左右。种植土的砂含量为 60% ~ 85%,有机成分含量为 35% ~ 10%,粘土含量为 5%,种植景天、大花苜蓿、夹竹桃等短时间耐旱、耐水涝的植物。种植土层通过植物根系吸附和微生物降解,可以去除碳氢化合物、氮磷营养物、金属离子和其他污染物,并且有较好的过滤作用。

c. 人工填料层。人工填料层位于最下层,选用材料为砾石,渗透系数不小于 5 m/s,厚度为 300

mm。人工填料层主要功能为雨水的下渗、外排和调蓄,其间设置了穿孔管引导溢流雨水下渗外排至市政管道。

② 旱溪(渗、滞)

旱溪是利用溪水植物和鹅卵石打造的生态景观,为仿造自然界中干涸的河床。在雨季,旱溪可以蓄水和排水,其水量和降雨量密切相关;在旱季,则成为无水的溪床。汇流注入旱溪的雨水,只需初步的弃流和截污,因此维护费用很低。本项目在废弃泳池的东西两侧,各建造了一条旱溪,主要功能为传输两个雨水花园的净化出水 and 暴雨期间的溢流出水。旱溪的路径根据微地形适当弯曲,以降低流速。旱溪的宽度为2 m左右,深度约0.4 m,总长共计1 718 m。

本景观的灵魂就在于上游泉眼的存在,叮叮咚咚的泉水连绵不绝,因此即使在旱季,旱溪中依旧生机盎然。

改造前、后的旱溪见图6。



图6 旱溪改造前后效果对比

Fig. 6 Comparison of effect of dry stream before and after modification

③ 雨水湿地(渗、净)

雨水湿地的主要功能是来水的渗透和净化。本项目因地制宜,拆除了原有的废弃泳池并在场地整合的基础上充分利用游泳池低洼地形和北侧陡坎高差,通过叠瀑跌水、植物塘、梯级湿地,形成梯级雨水湿地净化系统,为多种生物的繁衍创造了良好的生态环境,并提高了雨水的净化能力。

雨水湿地面积约2 300 m²,底部用素土夯实,上铺无纺布保护层(200 g/m²)、EPDM 橡胶防渗膜、无纺布保护层(200 g/m²),之后为钢丝网加强层,卵石层。水际在钢丝网加强层后,加100 mm厚C15混凝土垫层后回填绿化栽植土。

雨水湿地植物的选择范围较广,按照优先选择本土植物、选择去污净化效果好的植物、选择根系发达且茎叶茂密植物的原则来选取。根据南宁的气候

特点,本项目雨水湿地的植物选择种类如下:a. 水际植物有水杉、落羽杉、枫杨、木芙蓉、木槿、蒲苇、醉鱼草、夹竹桃、彩叶杞柳等。b. 水中植物有鸢尾、水生美人蕉、海芋、梭鱼草、香蒲、水烛、香菇草、茭白等。c. 周边灌木有花叶良姜、朱槿等。

雨水湿地改造前、后效果对比见图7。



图7 雨水湿地改造前后对比

Fig. 7 Comparison of effect of the rain wetland before and after modification

2.2 北门停车场周边汇水分区

北门停车场汇水分区总面积为2.7 hm²,改造前以硬化地面为主,包含公园入口道路、入口广场、办公楼前的开敞空间、停车场和若干座建筑物。停车场有停车位184个以及少许绿化带,径流系数达到0.84。项目改造重点为解决下垫面硬化率过大的问题,同时考虑对停车场等处的雨水进行收集,以消除现状积水点,减轻民族大道的排水压力,并加强对雨水的利用。

改造方案主要通过对停车场、公园入口广场、入口道路以及办公楼前的水泥地面进行改造,海绵设施主要包括生物滞留设施和透水铺装。

① 生物滞留设施(滞、净)

生物滞留设施用于临时滞留和净化雨水,通过自然蒸发、土壤渗透、过滤、吸附、植物截留、生物降解的方式,能够有效减少径流量、削减峰值流量和净化雨水。本项目将停车场绿化带改造为生物滞留设施,可滞留、净化公园入口道路和停车场地表径流而进入绿地的雨水。

本项目的生物滞留设施为植被型,其中蓄水层厚度为200 mm,并设置100 mm的超高;覆盖层厚度为70 mm;种植土壤层厚度为600 mm;隔离层(粗砂和细砂)厚度为100 mm;碎石砾石层厚度为500 mm。在植物的选择上,以耐旱、耐淹、抗性强、易维护的黄素梅及银边山营兰、旱伞草、沿阶草为主,尽量和四周的马尼拉草坪景观相结合。

生物滞留设施效果与结构见图8。



图 8 生物滞留设施效果与结构

Fig. 8 Effect and structure of biological retention facilities

② 透水铺装(渗、净)

透水铺装按照面层材料可分为透水砖铺装、透水水泥混凝土铺装和透水沥青混凝土铺装。在本项目中,将办公区、入园道路和入口广场原有的水泥路面改造为有效孔隙率不小于 10% 的红色透水沥青铺装,与周围景色相得益彰(见图 9);对于停车位,采用有效孔隙率不小于 8% 的透水砖铺装。

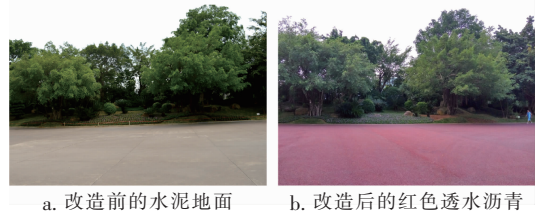


图 9 公园入口广场改造前后效果对比

Fig. 9 Comparison of effect of the park entrance square before and after modification

2.3 东盟博览园汇水分区及公园边缘排水分区

东盟博览园汇水分区在项目改造中充分尊重现状地形地势,合理进行场地的竖向设置,按照 LID 理念进行低影响开发^[2]。考虑到周边小区的雨水收纳,工程上利用高程为 124 m 附近的自然洼地,建设了雨水湿地(原理和方法同上),用于净化坡面雨水径流,净化后作为绿地浇灌和冲厕用水。

对于公园边缘向外排水分区,现状下垫面以自然林地或草地为主,径流系数较低,故不做改造。对于公园西侧,面向会展中心的绿化陡坡,需要进行浇洒,在公园中增加绿地浇洒系统。

3 项目海绵化改造完成后的目标计算分析

3.1 年径流总量控制率

石门森林公园内共建设雨水花园 3 841 m²,雨水湿地 2 560 m²,植草沟 1 500 m,生物滞留设施 1 000 m²,植草格 2 568 m²,透水沥青 6 242 m²。改

造项目的年径流总量控制率目标为 85%,对应设计降雨量约为 40 mm。场地综合径流系数,根据用地类型及自然地形坡度按 0.4 估算。根据《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建》(试行)容积法计算调蓄容积,约为 6 000 m³。

明湖本身具有蓄水功能,按照常水位为 89.50 m 计算,明湖的调蓄容积可达到 30 000 m³,满足石门森林公园年径流控制率达到 85% 的建设目标。

3.2 年径流污染削减率

通过 MUSIC 软件模拟分析海绵设施对 TSS、TP、TN 三个指标的削减情况,核算出了海绵系统对径流雨水污染的处理效果,结果见表 2~4。

表 2 海绵系统对公园径流的污染削减效果

Tab. 2 Effect of pollution reduction of park runoff by sponge system

项 目	入口负荷/ (kg · a ⁻¹)	出口负荷/ (kg · a ⁻¹)	削减率/%
TSS	13 400	591	95.6
TP	35.8	5.46	84.8
TN	234	93.7	60

表 3 海绵系统对客水的污染削减效果

Tab. 3 Effect of pollution reduction of foreign water by sponge system

项 目	入口负荷/ (kg · a ⁻¹)	出口负荷/ (kg · a ⁻¹)	削减率/%
TSS	23 200	789	96.6
TP	48.2	10.9	77.3
TN	365	119	67.3

表 4 海绵系统对明湖汇水区的污染削减效果

Tab. 4 Effect of pollution reduction of Ming lake catchment area by sponge system

项 目	入口负荷/ (kg · a ⁻¹)	出口负荷/ (kg · a ⁻¹)	削减率/%
TSS	36 600	1 380	96.2
TP	84	16.36	80.5
TN	599	212.7	64.5

4 碎片式海绵体连片化建设模式的构想

石门森林公园及周边小区、会展中心、竹溪立交桥、市人大办公区约 1.5 km² 的区域内,涵盖了公园绿地、公共建筑、住宅小区、道路立交四大类型项目,下一步工作,将把海绵城市的刚性控制指标按照地块进行分解落实。按实施计划,继续往东南方向延伸,通过越秀路南侧的低密度住宅楼、越秀路小学、绿色小区的海绵建设,在 2016 年底与已建设完成的

青秀湖东段工程、青秀山兰园(一、二期)及北门区连成一个约 8.90 km^2 的大海绵体(见图10)。

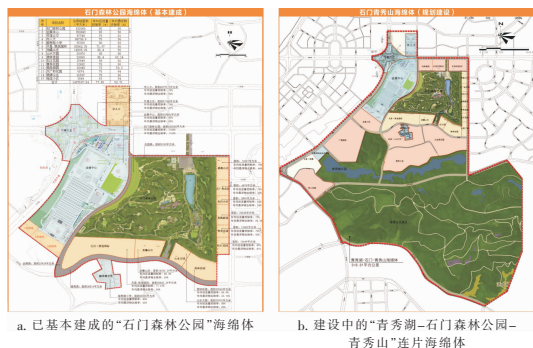


图10 石门公园海绵体及“青秀湖-石门森林公园-青秀山”连片海绵体示意

Fig. 10 Sketch map of Shimen park sponge body and the “Qingxiu lake - Shimen forest park - Qingxiu mountain” contiguous sponge body area

通过石门森林公园成片化大海绵体的建设和经验推广,南宁市以公园绿地和城市内河流域为区域空间,以整合打包的建设思路在示范区内规划建设八个大海绵体:①青秀湖-石门森林公园-青秀山海绵体,建成区面积约 8.90 km^2 。②广西药用植物园-烈士陵园-那考河海绵体,建成区面积约 7.64 km^2 。③南湖-广西医科大学海绵体,建成区面积约 2.58 km^2 。④邕江两岸海绵体,建成区面积约 4.98 km^2 。⑤竹排江带状海绵体,建成区面积约 2.65 km^2 。⑥五象岭森林公园海绵体,建成区面积约 2.55 km^2 。⑦五象湖公园海绵体,建成区面积约 2.49 km^2 。⑧广西体育中心海绵体,建成区面积约 1.08 km^2 。

八个大海绵体的预期建成区总面积为 32.87 km^2 左右,占示范区总面积的 60.2% ,能够实现住建部《海绵城市建设绩效评价与考核办法(试行)》中“示范区建设期末要求达到 60% 连片效应”的要求。

5 结语

南宁市通过石门森林公园海绵化改造项目的建设实践,探索出了“南宁做法”——海绵城市建设宜以公园类项目为重点,因地制宜,合理引入周边客水,统筹考虑海绵化改造;通过针对性的工程项目,使碎片式的海绵体连片化,最终形成“大海绵区域”。

在海绵城市建设的过程中,做到“地上建设与地下建设相结合、软件与硬件相结合、示范区的旧区与新区相结合、示范区内与示范区外相结合、项目建设效果与连片建设效益相结合”。

参考文献:

- [1] 赵亮. 海绵城市纳入新型城市发展[J]. 广西城镇建设, 2016, (4): 20-27.
- [2] US EPA. Low Impact Development (LID): A Literature Review (EPA-841-B-00-005) [R]. Washington: Office of Research and Development, 2002.
- [3] 刘强, 康晓鹏, 翟立晓, 等. 北京市《雨水控制与利用工程设计规范》规划指标解读[J]. 给水排水, 2014, 40(10): 84-88.
- [4] 胡爱兵, 任心欣, 俞绍武, 等. 深圳市创建低影响开发雨水综合利用示范区[J]. 中国给水排水, 2010, 26(20): 69-72.
- [5] U. K. Department for Communities and Local Government. Planning Policy Statement 25: Development and Flood Risk Practice Guide [M]. London: Department for Communities and Local Government Publications, 2009.
- [6] 俞孔坚. 海绵城市理论与实践[J]. 城市规划, 2015, 39(6): 26-36.



作者简介: 赵亮(1971-), 男, 安徽怀远人, 博士, 高级工程师, 硕士研究生导师(兼), 从事城市内涝整治、海绵城市建设工作, 兼顾工程管理专业的硕士生培养。现借调至南宁市海绵水城办。

E-mail: 19251736@qq.com

收稿日期: 2016-11-12