

已建成区海绵化改造中源头减排策略应用探讨 ——以某学生宿舍区域为例

杭楚怡

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 随着海绵城市建设进入全域系统化示范阶段,海绵城市建设不仅要在新建、待建工程中通过目标导向落实,更要在改扩建工程中以问题导向落实海绵化建设。以某学生宿舍区域的海绵化改造为例,结合现状调研发现问题,从问题导向和目标导向出发,提出“透水铺装+雨落管断接+生物滞留设施”的源头减排策略,解决现状内涝积水、排水设施破旧和绿化景观效果差等问题,同步核验海绵城市建设目标可达性,以期为已建成区海绵化改造中源头减排策略的应用提供参考和借鉴。

关键词: 已建成区;海绵化改造;源头减排;策略

中图分类号: TU992.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)07-0191-05

Discussion on Application of Source Emission Reduction Strategies in Sponge-oriented Reconstruction of Built-up Areas

HANG Chuyi

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: As the construction of sponge cities enters a stage of systematic demonstration throughout the entire region, the construction of sponge cities should not only be implemented through the goal-oriented approaches in new and upcoming projects, but also through problem-oriented approaches in reconstruction and expansion projects. Taking the sponge reconstruction of a student dormitory area as an example, combined with the current situation research to identify problems and starting from problem-oriented and goal-oriented approaches, a source emission reduction strategy of "permeable pavement + rainwater pipe disconnection + biological retention facilities" is proposed to the current problems such as waterlogging, dilapidated drainage facilities and poor green landscape effects, and simultaneously verify the accessibility of the construction goals of sponge cities in order to provide reference and insights for the application of source emission reduction strategies in the sponge-oriented reconstruction of the built-up areas.

Keywords: built-up areas; sponge-oriented reconstruction; source emission reduction; strategy

0 引言

海绵城市建设是应对城市化快速发展和气候变化背景下城市水生态环境问题的重要举措,是落实生态文明和绿色发展理念的重要手段,能够实现“修复城市水生态、涵养城市水资源、改善城市水环境、保障城市水安全、复兴城市水文化”的多重目标,具有缓解城市内涝、降低径流污染、缓解水资源短缺、提升城市生态韧性等多方面的必要性。顺应“到2030年,城市建成区80%以上的面积达到海绵城市目标要求”^[1]这一指导意见,在已建成区的改建项目

中落实海绵城市建设要求,是海绵城市建设全域化进程中不可或缺的一步。

与新建工程海绵城市建设的侧重点不同,已建成区海绵化改造工程的年径流总量控制率和年径流污染削减率建设目标会比新建工程低一些,但改造工程面临着场地受限、资金不足、海绵措施与工程匹配性要求高等痛点,更考验海绵化改造过程中的因地制宜和灵活适用。源头减排在海绵城市建设中具有多重效益,不仅能缓解排水压力、提升水资源利用效率,还能改善生态环境、降低成本和增强城市韧性。

本文以某学生宿舍海绵化改造为例,就其中源头减排策略的应用和效果评估展开详细阐述。

收稿日期: 2025-03-20

作者简介: 杭楚怡(1992—),女,学士,工程师,从事排水系统、海绵城市相关研究及规划设计工作。

1 项目概况及现状

学生宿舍所在学校位于海绵城市建设示范城市内,校园建成时间已超20 a。学生宿舍位于校园北部,区域内有6栋5层宿舍楼、1栋3层电商创业园,总占地面积约25 471 m²。范围内有6个楼间中庭空间。

场地地面高程为39.32~39.72 m,北高南低,东西高、中间低,场地内部分绿化凸起,无道牙。路面大多为水泥材质,少数绿化周边设有地砖铺装。楼栋中庭大面积植有大型乔木,土壤裸露无植被覆盖。

学生宿舍排水体制采用分流制,雨水排水模式为传统的“快排快放”模式,排水管网原设计重现期为1 a一遇。建筑屋面雨水采用外排水系统,雨落水立管收集硬质屋面雨水后,在距地面200 mm左右高度断接,雨水散排至水泥路面。场地雨水大部分无组织排放,少数楼栋周边设排水沟和雨水口收集。

学生宿舍总平面图见图1。

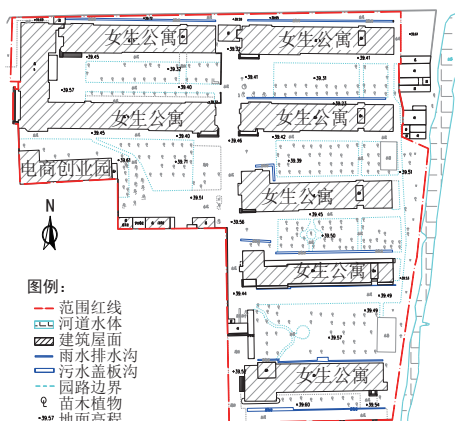


图1 学生宿舍总平面图

结合已收集的基础资料,笔者在校园内调研和现场走访时发现,学生宿舍区域主要存在4类问题:(1)路面凹凸不平,局部铺装破损;(2)建筑散水年久失修,排水盖板老旧破损;(3)局部地势低洼,雨季易积水内涝;(4)绿化区域类型单一。

现状问题和点位实拍见图2。

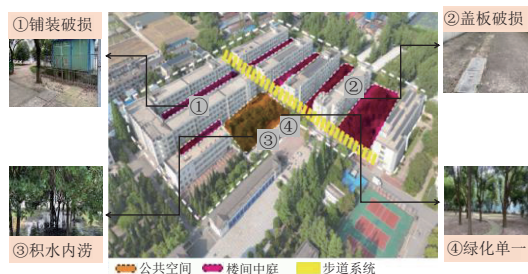


图2 现状问题和点位实拍图

2 技术方案

2.1 改造目标

该项目确定的年径流总量控制率目标为75%,年径流污染削减率目标为50%(以SS计)。翻阅该学生宿舍所在城市的年径流总量控制率特征值与设计降雨量的对应关系表,设计降雨量取22.2 mm。

2.2 改造原则

考虑到宿舍区域是学生们长待的生活空间,尽量减少对其生活的影响是改造工程实施时考量的重要因素。同时考虑到改造资金有限,本次改造工程力求“花小钱办实事”。结合上述因素,拟定以下改造原则:

(1)问题导向:在保留既有建筑和空间、不改变用地性质的前提下,针对现状问题,对场地排水设施进行最小程度的竖向优化改造,将雨水径流通过浅型雨水转输设施有组织地引入海绵城市设施消纳^[2],解决低洼处积水问题;绿化区域布设雨水花园,消纳缓释场地雨水的同时兼具植被多样性、生态美观性。

(2)目标导向:从改造范围小、改造幅度小、经济节约的角度出发,替换破损路面为透水铺装,替换破损排水盖板为不锈钢材质,透水铺装除了具备渗透功能外,还具有蓄滞功能和雨水净化等功能^[3]。景观植物的选取尽可能利用现状苗木。

2.3 技术路线

本次海绵化改造主要通过源头减排策略实现。屋面和道路雨水通过雨落水管断接或侧石开孔方式引入生物滞留设施(雨水花园等),经过溢流纳入雨水管渠;宿舍区雨水汇集后经排水管网转输后流入校内水体储存。在水体附近设置溢流井,溢流管上设有电动闸门,水体水位超过最高限度时漫入溢流井,经过电动闸门(仅在公共水体水位不超过常水位时开启)排向校外公共水体。采用源头减排策略的蓝绿融合技术路线见图3。

2.4 总体布局

为解决现状场地排水不畅及生态景观效果差等问题,对场地及绿化区域方面进行海绵化改造。按竖向径流组织、排水管网分布等情况综合考虑,将宿舍区划分成11个汇水分区,各分区面积450~3 800 m²不等。依据不同的下垫面材质选取不同的雨量径流系数:硬质路面和屋面取0.90,绿地和透水铺装取0.30。汇水面积与各下垫面雨量径流系数的乘积经加权平

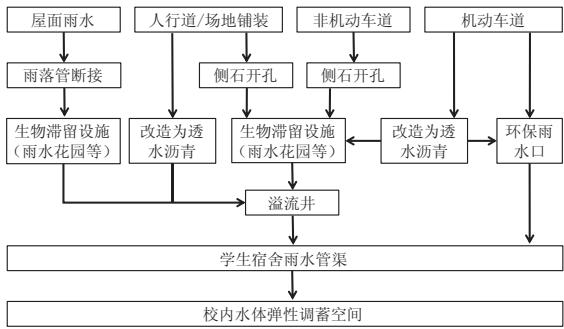


图3 蓝绿融合技术路线图

均可得该汇水分区的综合雨量径流系数。汇水分区下垫面分布和综合雨量径流系数计算结果见表1。

表1 学生宿舍汇水分区下垫面分布和综合雨量径流系数计算结果

汇水分区	分区面积/ m ²	下垫面面积/m ²				综合雨量 径流系数φ
		硬质路面	硬质屋面	绿地	透水铺装	
G-01	458	40	283	135	0	0.73
G-02	959	78	520	361	0	0.66
G-03	1 011	78	438	495	0	0.57
G-04	3 069	585	1 151	972	361	0.64
G-05	2 724	705	858	951	210	0.64
G-06	3 834	1 062	1 121	1 292	359	0.64
G-07	3 013	959	947	907	200	0.68
G-08	3 030	1 104	783	973	170	0.67
G-09	1 983	1 400	0	375	208	0.72
G-10	3 773	1 089	677	1 648	358	0.58
G-11	1 527	554	459	395	119	0.70
合计	25 381	7 654	7 238	8 504	1 985	0.65

场地竖向布局优化后,将现状破损或高程变化处的水泥路面和地砖铺装更换为透水沥青,并考虑与现状衔接的放量。在地势较低处设环保型雨水口。采用透水沥青可在转输地表径流的同时具有透水性,为雨天排水打开通道,铺设面积约1 985 m²;绿化区域设置雨水花园约1 117 m²。

海绵设施和汇水分区布局见图4。

值得注意的是,宿舍区域路面现状材质大多数为水泥,伴有少量地砖铺装。为避免不同材质搭接引起的使用年限短以及效果呈现不佳等问题,实际实施时将路面整体替换为透水沥青,因此图4中路面均为透水沥青。但是表1、表2中透水沥青面积仅考虑改造必要性的实施量。也就是说,3.2节“目标可达性核算”中透水沥青面积参数与2.2节“改造原则”中所述改造量相符,因此核算基础与改造原则吻合,以“小范围、小幅度、经济节约”为前提。

2.5 技术难点

海绵设施总体布局时,大面积采用下凹绿地与雨水花园相结合的方式。从图4可以看出,园路将

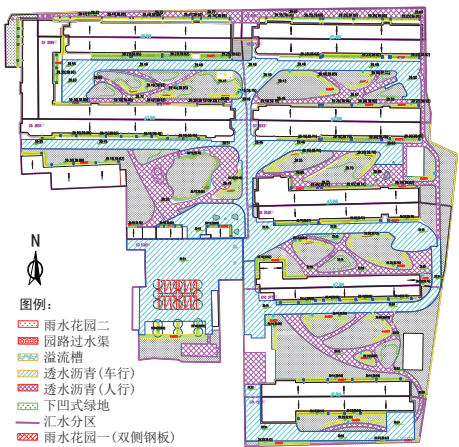


图4 海绵设施和汇水分区布局图

下凹绿地划分成许多块且面积大小不一,面积较大的下凹绿地可通过块内雨水花园溢流排水,面积较小的下凹绿地内未布设雨水花园。小面积处若按照传统方式单设溢流井或盲管排水,就会面临场地排水管零散且冗多的状况,如此给资金投入和施工复杂度方面都会形成不小的压力。

为解决这一难点,笔者提出“在园路下开设过水渠(覆以不锈钢篦子盖板),将小面积下凹绿地的排水溢流入邻近雨水花园”的方法。如此既缓解了资金和施工方面的压力,又在顺畅排水的同时兼具美观性。

2.6 细部设计

2.6.1 雨落管断接

建筑物雨落水管现状为外排水系统,散排至水泥地面。本次改造雨落水管维持原状,在现状散水台上方铺设一层镀锌槽钢收集至附近雨水花园,雨天水量积攒后溢流入不锈钢水槽,并在雨水花园基底碎石层铺设穿孔管,穿孔管和水槽水流通过排水支管收集后汇入排水主干。雨水立管断接雨水花园做法见图5。

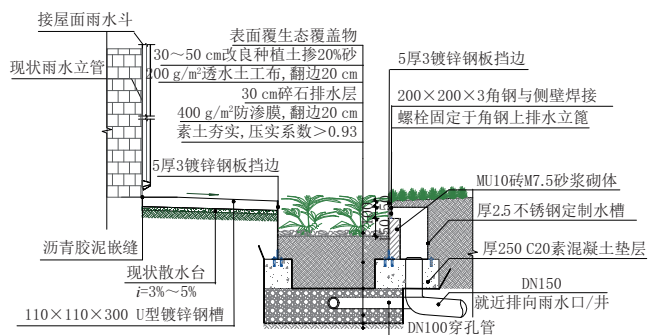


图5 雨水立管断接雨水花园大样图(单位:mm)

2.6.2 雨水花园

雨水花园接纳周边建筑屋面、透水铺装和下凹绿地的来水,雨水量较大时漫溢入侧开口不锈钢水槽,流入雨水排水管。雨水花园结构自上而下分布如下:

- (1)蓄水层:蓄水深度考虑150 mm,超高50 mm。
 - (2)种植层:300 mm改良土,有机质不低于3%,并掺杂20%中粗砂。
 - (3)隔离层:采用200 g/m²透水土工布,翻边200 mm。
 - (4)排水层:厚度300 mm,选用 $\phi 30 \sim \phi 50$ 碎石,内设DN100穿孔盲管。
 - (5)防渗层:采用400 g/m²防渗膜,翻边200 mm。
- 雨水花园大样图见图6。

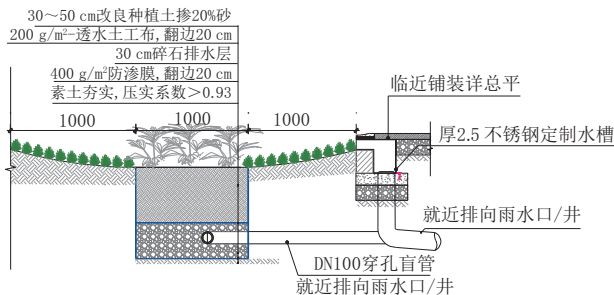


图6 雨水花园大样图(单位:mm)

2.6.3 园路过水渠

依据场地条件,部分下凹绿地面积较小,考虑其排水通过园路另一侧雨水花园内设的水槽排出,这样可以减少溢流设施设置并尽可能大地发挥其排水能力。如此就需要在园路开设过水渠,以便下凹绿地顺畅排水。

园路过水渠大样图见图7。

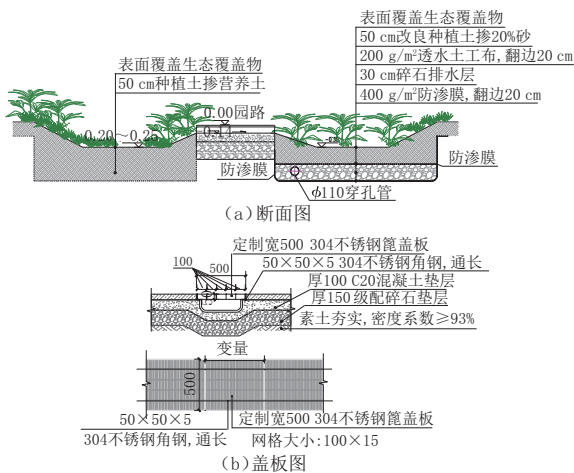


图7 园路过水渠大样图(单位:mm)

3 效果评估

3.1 调蓄容积

调蓄容积计算式为:

$$V = 10 H \varphi F \quad (1)$$

渗透设施的有效调蓄容积计算式为:

$$V_s = A_s h \quad (2)$$

渗透量计算式为:

$$W_p = K J A_s t_s \quad (3)$$

渗透设施实际调蓄容积计算式为:

$$V = V_s + W_p \quad (4)$$

式中: V 为设计或实际调蓄容积,m³; V_s 为渗透设施的有效调蓄容积,m³; W_p 为渗透量,m³; H 为设计或实际降雨量,mm,本设计取22.2; φ 为综合雨量径流系数,见表1; F 为汇水面积,hm²,见表1; K 为土壤(原土)渗透系数,本设计取100 mm/h; J 为水力坡降,本设计取1; A_s 为有效渗透面积,本设计按水平渗透面投影面积计算,m²; t_s 为渗透时间,本设计取2 h; h 为渗透设施调蓄深度,本设计取0.15 m。

以汇水分区G-01为例,计算设施规模。

(1)根据表1列出的 φ 、 F 值,可由式(1)算得设计调蓄容积 $V=10 \times 22.2 \times 0.73 \times 458 \times 10^{-4} \approx 7.42$ m³。

(2)设计雨水花园 A_s 值取21 m²,调蓄深度按150 mm考虑;根据式(2),计算得有效调蓄容积 $V_s=21 \times 0.15=3.15$ m³。

(3)根据式(3),计算得渗透量 $W_p=100 \times 1 \times 21 \times 2 \times 10^{-3}=4.2$ m³。

(4)根据式(4),反算得设施实际调蓄容积 $V=V_s+W_p=3.15+4.2=7.35$ m³。

(5)根据式(1)反算实际对应降雨量 H ,可得 $H=7.35/(10 \times 0.73 \times 458 \times 10^{-4}) \approx 22.0$ mm。

以同样方法计算得出其余汇水分区实际调蓄容积和实际对应降雨量,结果见表2。

3.2 目标可达性核算

由设计降雨量和年径流总量控制率之间的曲线关系,即可得出实际径流总量控制率。经计算,除G-01外,各汇水分区实际年径流总量控制率均达到75%以上,学生宿舍区域总的径流总量控制率为77%,高于目标值75%(见表2)。

根据《海绵城市建设技术指南》中“径流污染控制目标”章节所述,一般采用SS作为径流污染物控制指标,年径流污染削减率为年径流总量控制率与设施对污染物平均削减率的乘积。透水沥青、雨水花园污染物削减率(以SS计)取0.80,可得各分区年径流污染削减率(以SS计)均达到50%以上,学生宿舍区域总的年径流污染削减率(以SS计)为62%,高于目标值50%(见表2)。

4 策略应用

学生宿舍设计方案采用了“透水铺装+雨落管断接+生物滞留设施”的源头减排策略,实施效果经核

表2 各汇水分区调蓄容积计算表						
汇水分区	分区面积/ m ²	设计调蓄量/m ³	雨水花园面积/m ²	实际调蓄量/ m ³	实际年径流总量控制率/%	实际年径流污染削减率/%
G-01	458	7.42	21	7.35	72	58
G-02	959	14.05	49	17.15	79	63
G-03	1 011	12.79	57	19.95	85	68
G-04	3 069	43.60	130	45.5	76	61
G-05	2 724	38.70	130	45.5	78	62
G-06	3 834	54.47	160	56.0	76	61
G-07	3 013	45.48	130	45.5	75	60
G-08	3 030	45.07	130	45.5	76	61
G-09	1 983	31.70	95	33.25	77	62
G-10	3 773	48.58	140	49.0	76	61
G-11	1 527	23.73	75	26.25	78	62
合计	25 381	365.59	1 117	390.95	77	62

算可达到改造目标量。由此推断,雨落管断接与生物滞留设施不仅能有效提高地块年径流总量控制率,而且对于现状管网改造难度大的地区,可间接提高雨水管渠设计重现期^[4]。

海绵城市设计依据应用场景的不同,适用的源头减排策略亦不同。笔者由学生宿舍联想到建筑与小区,尝试总结不同功能类型建筑适用的源头海绵策略,列于表3。

5 结 语

实例证明,源头减排策略实施可解决现状问题,改善内涝积水的同时满足年径流总量控制率、年径流污染控制率的指标要求。在各类用地中策略的选用需要设计人员结合建筑特点综合考量,如种植屋面植物根系恐破坏屋面防水,遗留漏损隐患,建议用于公共建筑或工业建筑中而不适用于居住建筑。

参考文献:

[1] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院办公厅关于推进海绵城市

表3 建筑与小区中源头海绵策略选用一览表				
源头海绵策略	功能/特点	建筑与小区		
		公共建筑	居住建筑	工业建筑
种植屋面	助力达成绿化建设指标,截流屋面雨水	●	×	●
雨落水管断接	截流屋面雨水,缓解管网排水压力	●	●	●
透水铺装	减少地表径流,降低内涝风险	●	●	●
环保型雨水口	净化初期雨水,削减面源污染	○	○	○
植草沟	转输地表径流,过滤吸附污染物	●	●	●
雨水花园/高位花坛	净化初期雨水,缓解管网排水压力	●	●	●
生态树池	削减径流污染,延缓洪峰径流形成时间	●	●	●
渗渠	促进雨水渗透,缓解管网排水压力	●	●	●
植被缓冲带	截流泥沙,降低径流中总氮、总磷污染物浓度	○	○	○
石笼挡墙	过滤截流污染物,促进水土之间自然交换	●	●	●

注:“宜选用”用符号“●”表示;“可选用”用符号“○”表示;“不宜选用”用符号“×”表示。

建设的指导意见[EB/OL]. (2015-10-16)[2025-03-19]国务院办公厅关于推进海绵城市建设的指导意见_城市规划_中国政府网(www.gov.cn)

[2] 杨映雪,赵政阳,黄明阳,等.海绵城市理念融入城市更新片区的若干策略——以无锡老门东片区城市更新为例[J]. 建设科技, 2024, 49(增刊2): 337-343.

[3] 卜政滔.海绵城市理念下透水铺装生态功能浅析[J]. 城市道桥与防洪, 2024(6): 74-78.

[4] 黄怡. 高密度低更新建成区海绵城市规划中源头减排策略研究——以上海市黄浦区为例[J]. 城市道桥与防洪, 2017(12): 82-85.

(上接第 170 页)

[4] 林兰娜.基于内涝治理的福州某市政雨水泵站优化设计[J]. 中国给水排水, 2024, 40(22): 63-67.

[5] 王媛,施萍,魏金豹.一种集约式雨水泵站及初雨调蓄池设计方案[J]. 城市道桥与防洪, 2024(8): 276-279; 229.

[6] 钱露. 中心城某雨水泵站及初雨调蓄池提质增效探索[J]. 城市道桥与防洪, 2023(7): 140-143; 119.

[7] 王绍华,胡译文,杨丽丽. 双碳背景下市政排水泵站建设模式探析[J]. 给水排水, 2023, 59(增刊2): 147-152.

[8] 朱洁. 用地受限条件下雨水泵站及调蓄池合建设计优化[J]. 中国给水排水, 2024, 40(14): 73-78.

[9] 周吉君,邵钦,查文桂,等. 受限空间下上海中心城区排水系统设计对策[J]. 城市道桥与防洪, 2023(9): 190-192; 197.

[10] 韩燕.城市更新背景下提升除涝能力的空间对策分析[J]. 城市道桥与防洪, 2024(7): 14-17; 30.

[11] 熊亮亮. 雨水泵站与初期雨水调蓄池集约化设计[J]. 净水技术, 2022, 41(增刊1): 296-299; 364.

[12] 束敏. 上海市某初雨水调蓄池工程设计要点[J]. 城市道桥与防洪, 2024(8): 125-128; 132.

[13] 李小亚,王志鑫,赵慧,等. 初期雨水净化调蓄工程设计及效益分析[J]. 资源节约与环保, 2025(2): 29-35.

[14] 徐文征. 中心城区排水泵站与城市公共空间融合设计[J]. 中国给水排水, 2024, 40(12): 73-77.

[15] 徐海宁. 离岸式水库泵站结构设计要点[J]. 城市道桥与防洪, 2024(9): 150-153; 121.