

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.12.016

既有市政道路海绵城市改造案例中若干关键问题探讨

周飞祥, 徐秋阳

(中国城市规划设计研究院, 北京 100044)

摘要: 在海绵城市建设中,既有市政道路如何进行海绵化改造是业内面临的难点之一。从市政道路海绵改造中面临的技术措施选择、海绵设施景观效果保障、雨水溢流口布设等问题出发,结合鹤壁市淇滨大道海绵城市改造案例,阐述了不同类型市政道路的雨水控制系统构建策略、海绵设施景观统筹与细节设计要求、雨水溢流口设计要求等,并提供了相应的参考设计详图,以为同类项目的开展提供参考。

关键词: 市政道路; 海绵城市改造; 雨水控制系统; 雨水溢流口

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)12-0100-07

Discussion on Some Key Problems in a Sponge City Reconstruction Case of Existing Municipal Road

ZHOU Fei-xiang, XU Qiu-yang

(China Academy of Urban Planning & Design, Beijing 100044, China)

Abstract: The sponge transformation of existing municipal roads is one of the difficulties in the construction of sponge city. Taking the selection of technical measures, the landscape effect guarantee of sponge facilities, the layout of rainwater overflow port and other problems in the sponge city reconstruction of municipal roads as the background, the construction strategy of the rainwater control system of different types of municipal roads, the requirements of landscape planning and detail design of sponge facilities, and the design requirements of rainwater overflow port were expounded combined with the practical case of sponge city reconstruction of Qibin Avenue in Hebi City. The corresponding reference design details were also shown to provide references for the development of similar projects.

Key words: municipal road; sponge city reconstruction; rainwater control system; rainwater overflow port

海绵城市是新一代城市雨洪管理概念,是城市发展理念和建设方式转型的重要标志。自2015年以来,全国各地掀起海绵城市建设热潮。然而,在海绵城市建设推进过程中,市政道路由于存在绿化隔离带建设空间小、适宜海绵设施类型有限等约束性因素,其海绵城市改造难度远超建筑小区、公园广场、城市水体等项目,成为全国性难题。

国内外对屋面、路面等城市主要汇水面的雨水径流水质进行了大量研究,结果表明:与其他汇水

面相比,路面雨水径流水质污染状况最为严重,尤其是初期径流污染严重程度甚至超过生活污水^[1]。因此,研究市政道路海绵城市改造的适宜方式和技术,实现径流量和径流污染的控制,是当前业内的难点和重点^[2-3]。

1 主要问题

1.1 如何基于现状选择适宜的改造措施

海绵城市建设项目需满足相应的径流总量和径流污染控制目标,通常情况下,市政道路海绵城

市改造的年径流总量控制率要求为50%~70%、径流污染削减要求为40%~60%。然而,在针对具体项目进行设计时,经常遇到改造空间有限、设计条件难以实现的问题,究其原因,主要有两个方面:一是市政道路本身的海绵城市改造空间较小。根据《城市道路工程设计规范》(CJJ 37—2012,2016年版),市政道路绿地率一般为15%~30%,实际上,部分建成较早的市政道路的绿地率本就低于规范下限,加之中分带不具有调蓄机动车道雨水的可行性,导致其可利用的绿地仅占项目占地面积的5%~20%。二是部分市政道路尤其是城市主干道或景观大道,其绿化带的建设标准较高、景观效果较好,绿化带中乔木、绿篱长势较好,为了达标而选择将机非隔离带直接下沉的改造方式,会导致严重的投资浪费,通常不能被城市政府接受。因此,如何能够基于现状选择适宜的改造措施,并实现相应的目标指标要求,是首先需要解决的难题。

1.2 如何保障海绵设施的景观效果

除了将人行道建设为透水铺装外,市政道路的径流总量和径流污染控制任务主要依赖机非隔离带或者路边绿化带进行控制。然而,机非隔离带的宽度在1.5~2.5 m之间,设计中惯用的“保留现状乔木、其他区域改为下沉”的做法,会由于植物搭配不合理、缺乏细节考虑而出现下沉区域与现状乔木衔接生硬等问题。此外,在施工期间容易出现下凹弧度过缓、平均下凹深度低等现象^[2],导致调蓄空间远低于预期,甚至引发雨水排放不畅等问题。部分城市或项目采取简易下沉的方式,未根据土壤类型、土壤渗透率采取更换填料或设置穿孔管等措施,导致植物长势不佳。

1.3 如何布设雨水溢流口

雨水溢流口的合理布置和设计对于雨水径流的顺利排放具有重要作用。《室外排水设计规范》(GB 50014—2006,2016年版)中明确指出:雨水口易被路面垃圾和杂物堵塞,平算式雨水口在设计中应考虑50%被堵塞,立算式雨水口应考虑10%被堵塞。在暴雨期间排除道路积水的过程中,雨水管道一般处于承压状态,其所能排除的水量要大于重力流情况下的设计流量,因此规定雨水口和雨水连接管流量按照雨水管渠设计重现期所计算流量的1.5~3倍计,通过提高路面进入地下排水系统的径流量,缓解道路积水。《海绵城市建设技术指南——

低影响开发雨水系统构建(试行)》中明确指出:“为保障城市安全,在低影响开发设施的建设区域,城市雨水管渠系统和泵站的设计重现期、径流系数等设计参数仍然应当按照《室外排水设计规范》中的相关标准执行。”然而,在实际项目中,多数设计通常采用双算式方形铸铁溢流口进行布置,未考虑道路绿化分隔带内树叶遮堵的影响,开口间距也直接套用规范中25~50 m的参考值,并未结合实际情况进行计算和复核,导致部分项目建设后出现排水不畅等问题。

2 案例对策

淇滨大道位于鹤壁市海绵城市试点区的北部,是一条东西走向的城市主干道,红线宽度为62 m,道路两侧建筑的退让距离为5 m,道路横坡为1.5%,道路横断面如图1所示。淇滨大道海绵城市改造范围西起太行路、东至大伾路,同时包含了其支路棘花巷,总长度1 876.5 m。

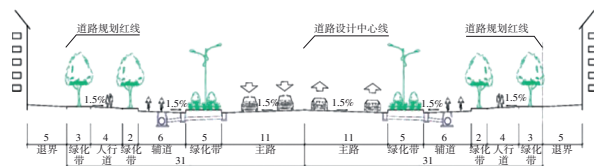


图1 淇滨大道现状横断面

Fig.1 Cross-sectional view of the current situation of Qibin Avenue

淇滨大道整体上较为平缓,道路西侧分别从太行路和兴鹤大街坡向棉丰渠,坡度为0.25%左右,道路东侧自兴鹤大街坡向大伾路(护城河),坡度为0.28%左右。现状排水体制为雨污分流制,雨水管道的管径为D600~D1 000 mm,双侧布管,雨水口的平均间距为35 m,降雨径流经雨水管道收集后排入棉丰渠和护城河。

对项目的现状下垫面进行分析,发现整体上沥青路面占54.84%,人行道占12.90%,绿化带占32.26%。通过加权平均计算,项目现状综合雨量径流系数为0.62。根据《鹤壁市海绵城市试点区系统化方案》,淇滨大道海绵城市改造的设计目标为:年径流总量控制率为70%,对应的设计降雨量为23 mm;年SS削减率不低于45%。

2.1 雨水控制系统构建

① 整体思路

根据上位规划分解的目标与指标要求,结合现

状水文地质特征和建设情况,通过竖向分析和汇水分区分划,实现雨水的合理组织,以汇水分区为单位,分别确定各个汇水区的海绵设施。

为保障设计的各类雨水设施高效发挥控制作用,结合道路坡向以及雨水管渠布局,将项目划分为3个汇水分区,如图2所示。人行道改造为透水铺装后,各汇水分区的面积、综合雨量径流系数如表1所示。

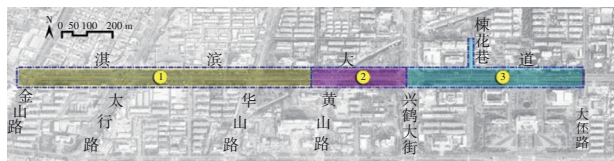


图2 汇水分区

Fig.2 Catchment zoning map

表1 汇水分区下垫面情况统计(单位长度)

Tab.1 Statistics of cushion surface of catchment partition (unit length)

汇水分区	绿地宽度/m	透水路面宽度/m	不透水路面宽度/m	长度/m	面积/m ²	综合雨量径流系数
1	20	8	34	840.00	52 080.00	0.55
2	20	8	34	320.00	19 840.00	0.55
3	20	8	34	716.50	44 423.00	0.55

结合项目的现状特点和改造需求,确定雨水控制系统的构建思路,具体见图3。

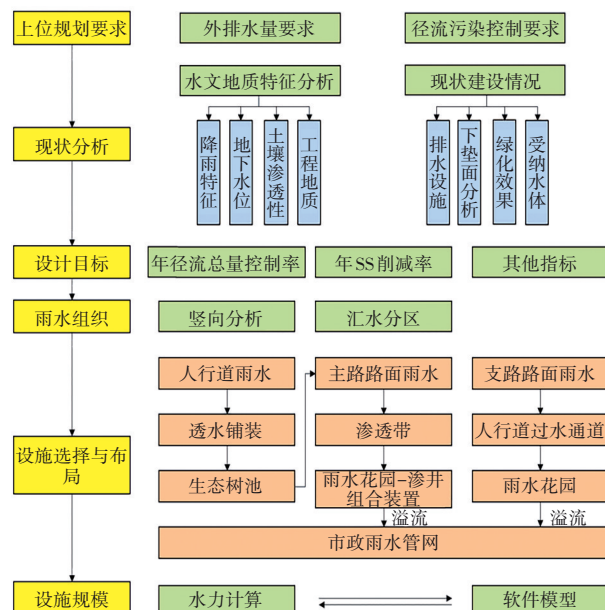


图3 项目技术路线

Fig.3 Project technological roadmap

在主路的海绵城市改造中,将人行道改造为透水铺装,现状树池改造为生态树池,人行道产生的雨水先通过透水铺装下渗,产生径流后排入生态树池,多余雨水排入道路路面。机动车道和非机动车道产生的初期径流通过渗透带下渗,中后期雨水排入结合雨水口布局建设的雨水花园-渗井组合设施,实现雨水的控制和消纳。雨水花园-渗井组合设施内设置溢流口,雨水收满后通过溢流口排入市政雨水管网。

在支路的海绵城市改造中,将人行道改造为透水铺装,现状树池改造为生态树池,人行道产生的雨水先通过透水铺装下渗,产生径流后排入生态树池,多余雨水排入道路路面。通过“白改黑”措施对路面进行修复,产生的径流通过人行道下的过水通道排入道路两侧建设的生物滞留带。生物滞留带内设置溢流口,雨水收满后通过溢流口排入市政雨水管网。

② 主路海绵化改造

主路建设年代较新、景观效果较好,不宜盲目地将绿化隔离带全部下沉。因此,海绵城市改造按照尽可能降低对现状影响的原则,在对人行道进行透水改造的基础上,结合现状雨水口的布局,对机非隔离带进行分散式改造,以实现径流总量和径流污染的控制。

主路关键节点(人行道)海绵设施布局及结构如图4所示。

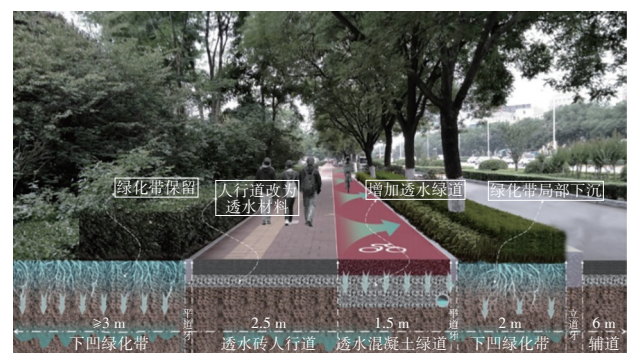


图4 主路关键节点(人行道)海绵设施布局及结构示意图
Fig.4 Schematic diagram of the layout and structure of the sponge facilities at the key nodes of the main road (sidewalk)

主路的人行道现状宽度为4 m,结合鹤壁市绿道建设要求,将人行道分两部分进行改造,外侧2.5 m宽改造为透水砖铺装,内侧1.5 m宽改造为透水

绿道,采用透水混凝土铺装。透水混凝土铺装的具体建设方式为60 mm透水沥青混凝土+100 mmC20(粒径5~12 mm)透水水泥混凝土+150 mm砾石(5~25 mm粒径)垫层夯实+素土夯实层,透水砖铺装的具体建设方式为60 mm透水砖+30 mm中砂缓冲层+200 mm压实级配砂石基层+60 mm中砂垫层+素土夯实。在主路进行改造时,应确保人行道高程略高于两侧的绿化带,使降雨时超过铺装透水能力产生的径流能顺利排入绿地或溢流至非机动车道。

本项目雨水口的间距为35 m,机非隔离带的宽度为5 m。结合雨水口布局,每隔35 m设置一处雨水花园,规格为5 m×5 m,有效蓄水深度为20 cm。由于雨水花园的调蓄能力不能满足设计目标要求,因此,在雨水花园底部设置渗井,渗井的有效调蓄容积为6 m³,渗井与雨水花园通过雨水溢流口连接,如图5所示。

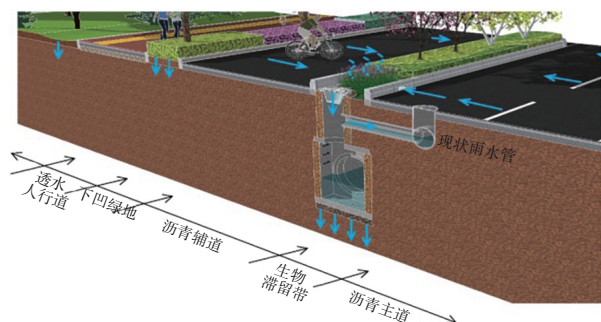


图5 雨水花园-渗井组合设施示意

Fig.5 Schematic diagram of rain garden-seepage well combination facilities

路面雨水首先通过雨水花园调蓄和净化,被雨水花园收满后通过溢流口排入渗井,渗井收满以后,通过横支管排入现状雨水管。

③ 支路海绵化改造

支路建设年代久,路面及绿化整体较为老旧,破损和植物枯死情况比较突出,因此,海绵城市改造整体上采取与道路更新相结合的做法,在实现雨水控制功能的同时提升道路景观效果。

支路车行道的现状破损情况同样较为严重,若全部改造为透水沥青路面,存在工程量大、承载能力不高的问题,考虑到项目两侧的绿化带具备充足的调蓄空间,因此选择车行道“白改黑”的简易改造方式,具体做法为将现状路面刨开2~3 cm后,铺设3 cm混凝土+4 cm沥青,在实现路面更新的前提下,提升路面高程4~5 cm,以使雨水顺利地排入两侧

绿化带。

支路的人行道宽度为3 m,现状破损情况较为严重,将其改造为2 m透水砖铺装+1 m透水沥青铺装,具体做法与主路人行道保持一致,现状树池采用生态树池的改造形式。此外,在进行人行道改造时,每间隔10 m设置1处过水通道,规格为600 mm×150 mm,以满足车行道雨水排入两侧绿化带的需要。

支路两侧绿化带的现状宽度为3 m,存在较为严重的绿化枯死情况。考虑到绿化带的形状较为规整,将其改造为生物滞留带,具体做法与主路的雨水花园保持一致,最低处比车行道低15 cm,并设置溢流口与现状雨水管道连接。

支路海绵设施布局见图6。



图6 支路海绵设施布局

Fig.6 Layout of branch sponge facilities

④ 总体布局

按照上述方案布置淇滨大道主路和支路的海绵设施,典型段的设施布局如图7所示。经评估,项目原雨水管道的排水能力符合不低于2年一遇设计标准,故雨水管道不进行改造,海绵设施通过溢流口与雨水管道连接。

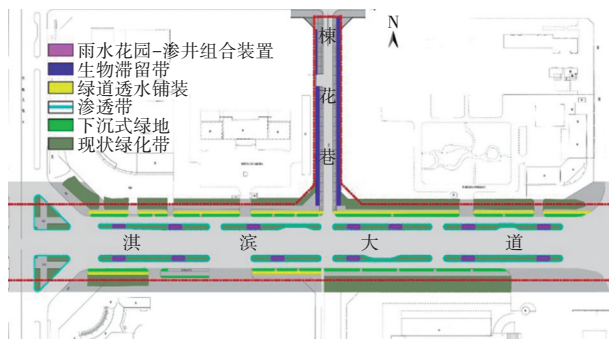


图7 淇滨大道海绵设施总体布局(兴鹤大街—市政府北门段)

Fig.7 General layout of sponge facilities on Qibin Avenue (Xinghe Avenue - North Gate Section of Municipal Government)

根据项目的海绵设施布局和规模,以汇水分区为单位进行量化计算,年径流总量控制率计算结果见表2。可以看出,项目的年径流总量控制率为

73.3%,年SS削减率按照年径流总量控制率为65%进行估算,约为48%,两项指标均可以实现控制目标要求。

表2 年径流总量控制率计算结果

Tab.2 Calculation results of total runoff control rates

项目	绿地宽度/m	透水路面宽度/m	不透水路面宽度/m	长度/m	面积/m ²	综合雨量径流系数	设计降雨量/mm	设计径流控制量/m ³	实际调蓄容积/m ³	控制降雨量/mm	年径流总量控制率/%
分区1	20	8	34	840.00	52 080.00	0.55	23	654.95	730.80	25.66	73.1
分区2	20	8	34	320.00	19 840.00	0.55	23	249.50	284.40	26.22	74.9
分区3	20	8	34	716.50	44 423.00	0.55	23	558.66	621.70	25.60	72.9
合计				1 876.50	116 343.00			1 463.11	1 636.90		

2.2 景观统筹与细节设计

根据雨水控制系统构建方案,考虑到道路机非隔离带现状绿化效果较为整齐,为使雨水花园等海绵设施能与现状景观统筹协调,在设计中采用主路雨水花园“垂直下沉”的设计方式,沟底以大小砾石铺底,植物搭配以花灌木和草本花卉为主,种植银边草、迷迭香、白花松果菊、狼尾草、细叶芒等,与现状绿篱交界处种植小龙柏、细叶麦冬等长势较高的植物,尽可能弱化“下沉”带来的视觉冲击。支路生物滞留带两侧布设仿木水泥桩进行防护,种植麦冬、鸢尾等长势较好的植物,使其看起来不会出现“明显下沉”,提高景观效果。

主路雨水花园系统示意及其结构分别见图8和图9,支路雨水花园系统见图10。

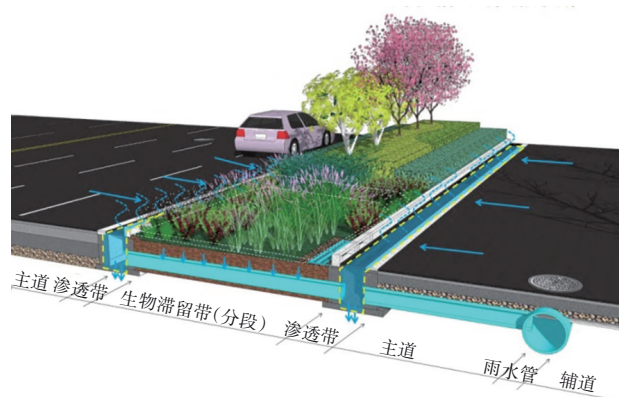


图8 主路雨水花园系统

Fig.8 View of the main road rain garden system

为防止污染程度较高的路面初期雨水直接排入雨水花园对植物生长造成影响,采取渗透带+沉砂槽的组合方式予以控制。在绿化带四周,结合路缘石更新改造,对现状路肩进行切除,形成宽0.9 m、高0.65 m的渗透带,孔隙率约30%,起到下渗、净

化初期雨水的作用。在路缘石开口处设置沉砂槽(成品盛石筐),起到消能和沉淀大型颗粒污染物的作用,降低雨水集中汇流给植物带来的冲击。主路渗透带结构见图11。

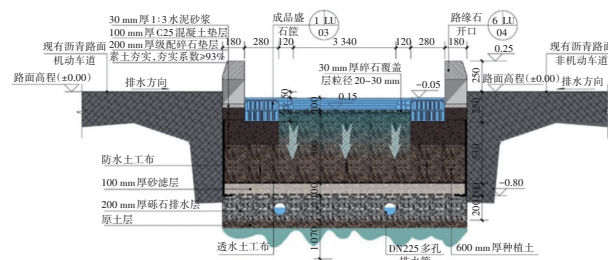


图9 主路雨水花园结构

Fig.9 Structural diagram of the rain garden on the main road

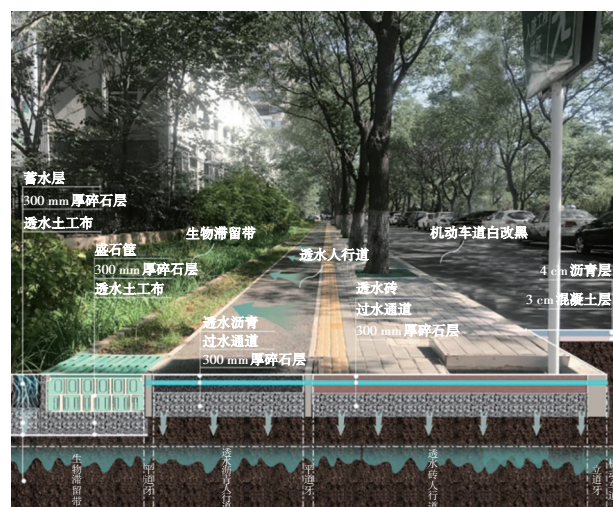


图10 支路雨水花园系统

Fig.10 Schematic diagram of the rain garden system on branch road

考虑到项目所在地的土壤渗透系数为 $(2.0 \sim 4.5) \times 10^{-6} \text{ m/s}$,渗透能力一般,为防止收集的雨水长

时间浸泡植物,将表层种植土进行换填,底部设置 100 mm 厚砂砾层、200 mm 厚砾石排水层,并配套多孔排水管,在确保收集的雨水能在 24 h 内排空的同时,依靠砾石层的毛细作用在晴天补给植物生长所需的水分,确保植物长势。

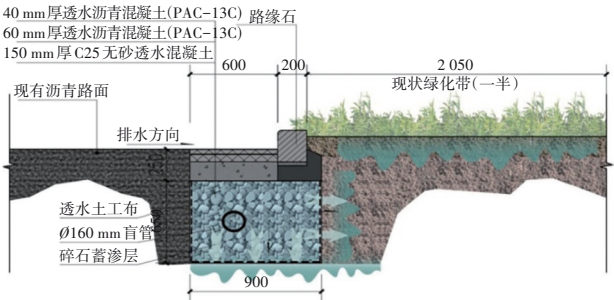


图 11 主路渗透带结构

Fig.11 Structure diagram of the main road penetration belt

2.3 溢流口设计

雨水溢流口的设计泄水能力是根据算前水深 40 mm 进行模拟计算出来的,根据设备厂家提供的相关参数,项目所选用的溢流口的泄水能力基本等同于平算式雨水口(双算),根据《市政排水管道工程及附属设施》(06MS201),该雨水溢流口的泄水能力约为 35 L/s。

本项目的道路横坡为 1.5%,纵坡为 0.25%,道路红线宽度为 62 m,双侧布管。根据鹤壁市暴雨强度公式和道路下垫面情况,按照雨水溢流口流量为雨水管渠设计流量的 1.5~3 倍,计算 2 年一遇设计重现期时雨水溢流口的间距,结果如图 12 所示。结果显示,道路宽度为 62 m 时,雨水溢流口的间距应为 14~28 m。

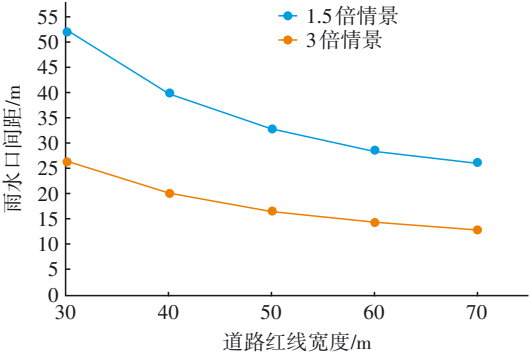


图 12 道路雨水口设置间距模拟计算结果

Fig.12 Simulation calculation result of road stormwater outlet setting spacing

本项目原有雨水口的间距为 35 m,由于雨水花园+渗井组合设施为结合原有雨水口进行布设,雨

水溢流口的间距也为 35 m,不满足计算要求。因此,采取在现有基础上每隔一个雨水花园-渗井组合设施设置 2 个雨水溢流口的方式,雨水溢流口的平均间距下降为 23.3 m,达到设计要求。

3 建设效果

3.1 直观效果

项目实施后,雨水花园、生物滞留等海绵设施的植物长势较好,与现状景观实现统筹融合。其中,主干路海绵城市改造是在满足对现状影响最小化的前提下,实现了雨水控制、径流污染控制、涵养地下水等多重效益;在支路的改造中,将海绵城市建设与道路景观提升有效融合,整体环境和景观效果得到显著改善。

主路改造后实景如图 13 所示,支路改造后实景如图 14 所示。



图 13 主路改造后实景照片

Fig.13 Real-life photos after the renovation for main road

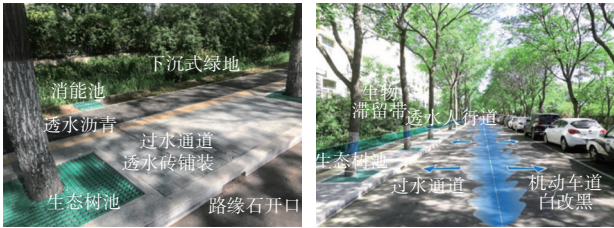


图 14 支路改造后实景照片

Fig.14 Real-life photos after the renovation for branch road

3.2 软件模拟结果

为量化评估海绵城市建设效果,利用 XP Drainage 软件对项目的建设方案进行模型搭建,模拟评估项目的雨水径流总量控制率和径流污染(以 SS 计)削

减效果。

模型搭建后,采用鹤壁市典型年(2011年)5 min实测降雨数据进行模拟。结果显示,项目的总外排水量为4 766.9 m³,年径流总量控制率为72.8%,年SS削减率为45.4%,均达到设计目标的要求。

4 结论

既有市政道路海绵城市改造需充分考虑道路的现状建设情况,对于建设年代较新、景观效果较好的市政道路,不宜盲目地将绿化隔离带全部下沉,而应结合已有景观形式选择适宜的改造方式,避免“大动干戈”;对于建设年代久、景观效果较差的市政道路,可将道路更新和海绵改造相结合,统筹功能和景观。针对淇滨大道不同路段的现状特点,探索出的景观效果较好的主干路采用分散式的雨水花园+渗井组合设施、景观效果较差的支路采用绿化带全部下沉的改造模式,实现了径流总量和径流污染的控制,具有一定的参考和推广价值。

既有市政道路的海绵设施设计中,需充分考虑与现有景观的统筹协调,合理选择和搭配植物类型,并需结合路缘石开口设置沉砂槽,降低雨水径流对植物的冲击,同时根据土壤渗透条件进行换填或设置底部穿孔管,确保植物长势。

市政道路的雨水溢流口对实现雨水顺利排放具有重要作用,在实际项目设计中,需要充分考虑道路红线宽度、纵坡等条件,并根据规范要求,以雨水管渠设计重现期所计算流量的1.5~3倍进行量化计算和复核,确定雨水口选择形式和间距,而不

是直接套用规范中25~50 m的参考值。

参考文献:

- [1] 薛江儒. 我国城市道路雨水径流污染状况及控制措施[J/OL]. 城市建设理论研究, 2014(25): 3625.
XUE Jiangru. Pollution status and control measures of urban road rainwater runoff in China [J/OL]. Urban Construction Theory Research, 2014(25): 3625 (in Chinese).
- [2] 王泽阳. 滨海地区市政道路海绵城市设计的反思与优化[J]. 中国给水排水, 2020, 36(20): 133-136.
WANG Zeyang. Reflection and optimization of municipal road sponge city design in coastal area [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(20): 133-136 (in Chinese).
- [3] 付振, 车伍, 林聪, 等. 基于多目标的池州市齐山大道海绵化改造经验[J]. 中国给水排水, 2017, 33(8): 7-14.
FU Zhen, CHE Wu, LIN Cong, et al. Exploration of urban street sponge renovation based on multi-target: a case study of Qishan Street in Chizhou [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(8): 7-14 (in Chinese).

作者简介:周飞祥(1988-),男,河南洛阳人,硕士,工程师,所长,研究方向为城市基础设施规划、海绵城市规划设计、水环境治理。

E-mail: hitzfx@qq.com

收稿日期: 2022-04-29

修回日期: 2022-05-04

(编辑: 丁彩娟)

加强水土保持, 打造绿水青山