

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.08.014

# 海绵试点城市道路生物滞留带的问题分析及设计优化

黄丽萍, 宋仁杰, 何越, 王阳阳, 孟令剑  
(重庆市市政设计研究院有限公司, 重庆 400020)

**摘要:** 通过对北京、重庆、贵阳、嘉兴、南宁、遂宁等六座国家级海绵城市建设试点城市的道路生物滞留带实例现状进行调研分析,总结了现有生物滞留带在土建设计、景观设计及运行维护等方面存在的问题,具体包括生物滞留带下沉过深、进水口缺少消能以及沉砂设施、进水口缺少导流措施、路缘石倾倒、景观效果欠佳、标高有误、垃圾混入、植物维护及泥沙处理不及时、溢流口被枯枝落叶遮挡等,并针对这些问题提出了生物滞留带下沉深度、进水豁口和沉砂设施、路缘石和溢流口以及景观的优化设计方法和建议,并提供了详细的图示,以提升道路生物滞留带建设水平。

**关键词:** 海绵城市; 市政道路; 生物滞留带; 工程设计优化

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)08-0089-08

## Problem Analysis and Optimal Design of Bioretention Swale near Municipal Roads in Pilot Sponge Cities

HUANG Li-ping, SONG Ren-jie, HE Yue, WANG Yang-yang, MENG Ling-jian  
(Chongqing Municipal Research Institute of Design, Chongqing 400020, China)

**Abstract:** The current situation of bioretention swale near municipal roads in six national pilot sponge cities such as Beijing, Chongqing, Guiyang, Jiaxing, Nanning and Suining was investigated, and the existing problems in civil engineering design, landscape design, operation and maintenance of the existing bioretention swale were summarized, including excessive subsidence of bioretention swale, lack of energy dissipation and sand settling facilities at the inlet, lack of diversion measures at the inlet, kerb falling, poor landscape effect, wrong elevation design, garbage mixing, delayed plant maintenance and sediment treatment, overflow port blockage by dead branches and leaves and so on. To solve these problems, the methods and suggestions for optimizing the design of bioretention swale sinking depth, inlet, sand settling facilities, kerb, overflow port and landscape were proposed, and detailed drawings were provided to improve the construction of bioretention swale near the road.

**Key words:** sponge city; municipal road; bioretention swale; engineering design optimization

自2015年国家推广海绵城市建设以来,海绵城市理念已融入建筑与小区、城市道路与广场、城市绿地、城市水系等各类建设场合,为系统解决我国城市水问题,实现水生态修复、水环境改善、保障水安全、提升城市水资源承载能力等作出巨大贡献。

道路占城市建设用地面积的8%~20%<sup>[1]</sup>,是海绵城市达标建设的重要对象内容。目前各个城市对于仅承担自身雨水汇流的海绵型道路的海绵达标建设主要是通过透水铺装和生物滞留带实现,其中透水铺装主要应用于人行道和慢行道,一般采用

通信作者: 黄丽萍 E-mail: hlpchongqing@foxmail.com

透水砖铺装和彩色透水混凝土铺装,应用效果普遍较好,但生物滞留带在建设中也不同程度地暴露出了一些问题,如绿地下沉过深、进水口设置欠合理、缘石倾倒及植物配置欠佳等。目前,道路生物滞留带的相关研究主要集中在其结构层参数、滞蓄效应、径流削减等<sup>[2-3]</sup>,也有研究<sup>[4-6]</sup>提出了溢流口、进水豁口等的水力参数和设计计算的建议,而对于生物滞留带在实际使用中存在的问题鲜有报道。笔者通过对北京、重庆、贵阳、嘉兴、南宁、遂宁等国家级海绵城市建设试点城市已建成项目的实地考察,分析总结了现有道路生物滞留带存在的问题,并针对性地提出设计优化建议。

## 1 市政道路生物滞留带常见问题分析

### 1.1 土建类设计问题

#### 1.1.1 生物滞留带下沉过深

海绵城市建设实践早期,多将绿化带下沉为生物滞留带而实现道路径流控制,下沉深度直接按《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》中的推荐值取值,其中生物滞留带蓄水深度20~30 cm、溢流井超高10 cm,而城市道路人行道一般高于车行道20 cm,因此人行道与生物滞留带高差高达50~60 cm,设计中也未对绿化带下沉后的景观、安全问题采取针对性措施,致使下沉深度过深、景观效果欠佳,重庆市、嘉兴市、上海市均存在类似问题(见图1)。



a. 重庆市某滞留带 b. 嘉兴市某滞留带

图1 生物滞留带下沉过深实景

Fig.1 Photos of excessive subsidence of bioretention swale

#### 1.1.2 进水口缺少消能以及沉砂设施

生物滞留带进水通过在路缘石设置侧壁雨水豁口引入绿化带,如进水口处缺少消能设施,进水处的土壤、植物会长期受雨水冲刷,造成植物死亡及表土裸露;如缺少沉砂设施,对于建成区密度大或周边施工场地较多的城市道路,雨水冲刷产生的大量泥沙、杂物则直接流入生物滞留带,造成泥沙在豁口处堆积,侵蚀植物,北京市、遂宁市、南宁市、贵阳市、重庆市等均存在类似问题。

#### 1.1.3 进水口缺少导流措施

生物滞留带进水豁口处缺少导流措施,导致路缘石豁口收水效果较差,有效径流控制量难以满足设计要求,对于道路纵坡较大的路段,雨水顺道路纵坡流走的量大于豁口进水量(见图2)。



a. 重庆市某滞留带无导流措施且豁口倾倒 b. 贵阳市某生物滞留带无导流措施

图2 生物滞留带进水口无导流措施实景

Fig.2 Photos of bioretention swale inlets without diversion

#### 1.1.4 路缘石倾倒

由于绿地的下沉削减了绿化带土壤对路缘石侧压力,常见路缘石向生物滞留带一侧倾倒。北京市、遂宁市以及重庆市等均存在类似问题(见图3)。



a. 北京市某生物滞留带路缘石倾倒(一) b. 北京市某滞留带路缘石倾倒(二)

图3 生物滞留带路缘石倾倒实景

Fig.3 Photos of bioretention swales with fallen kerbs

### 1.2 景观类设计问题

#### 1.2.1 沉砂设施景观效果差

诸多沉砂设施与周围生物滞留带的景观协调性较差(见图4),如沉砂设施尺寸过大且未考虑植物遮掩、沉砂设施未加盖,均影响景观效果。



a. 重庆市某滞留带沉砂井尺寸过大 b. 遂宁市某滞留带沉砂井

图4 生物滞留带沉砂井景观效果欠佳实景

Fig.4 Photos of poor landscape effect of grit chamber in bioretention swales



### 1.2.2 植物配置效果欠佳

对海绵试点城市调研发现,海绵城市建设早期的生物滞留带以种植水生植物为主,常出现季节性枯萎死亡的现象,见图5(a)。而类似旱伞草、细叶芒等水生植物长势较猛,难以修剪,也并不适用于道路绿化带的景观,见图5(b)。此外,道路生物滞留带的植物搭配未充分结合生物滞留带的深度、内部微地形进行合理的植物配置,也会导致景观效果欠佳,见图5(c)、(d)。

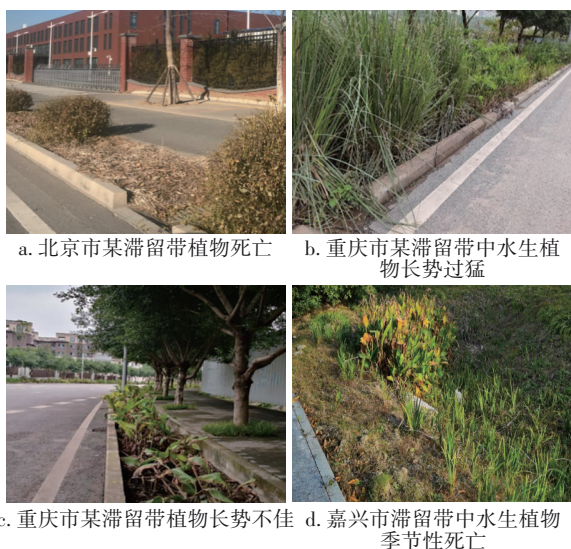


图5 生物滞留带植物配置效果欠佳实景图

Fig.5 Photos of poor plant configuration in bioretention swales

### 1.2.3 表土裸露景观效果差

北京、重庆等城市部分道路生物滞留带中存在植物品种单一,草本、灌木等各类植物未合理搭配的问题,造成土壤裸露,影响观赏效果(见图6)。



图6 生物滞留带表土裸露实景

Fig.6 Photos of exposed topsoil in bioretention swales

### 1.2.4 挡水堰视觉效果差

当道路坡度较大时,需设置挡水堰以保证生物滞留带逐级形成一定的滞蓄区,现有挡水堰多采用灰色材料砌筑,未考虑其与绿化带的景观协调性(见图7)。



图7 生物滞留带挡水堰景观效果欠佳实景图

Fig.7 Photos of poor landscape effect of water retaining weir in bioretention swale

## 1.3 施工及运行维护类问题

### 1.3.1 垃圾混入

绿化带下沉、人行道雨水冲刷及环卫工人清扫时的疏漏会造成树叶及垃圾混入生物滞留带,严重影响其景观效果。并且目前普遍使用的侧面豁口更易导致垃圾的混入(见图8)。

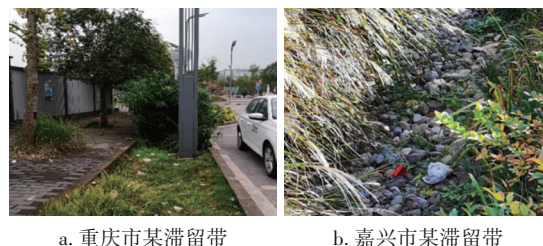


图8 滞留带垃圾混入实景

Fig.8 Photos of garbage mixed into bioretention swales

### 1.3.2 进水口及沉砂设施未及时清理泥沙

道路上雨水冲刷产生的大量泥沙堆积在沉砂设施内,未定期清掏维护,导致沉砂设施堵塞失去沉砂功能,泥沙对植物造成污染侵蚀,并影响了景观效果(见图9)。

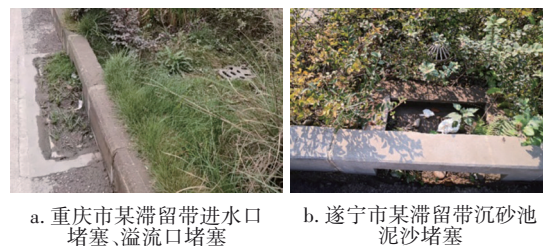


图9 沉砂井维护不及时实景

Fig.9 Photos of grit chambers without regular maintenance

### 1.3.3 标高有误

道路海绵设计通过路缘石处的进水口将雨水转输至生物滞留带,实现雨水的自然下渗和滞留,从而延缓径流、削减流量,当降雨量大于下渗速度时,雨水经溢流雨水口排入雨水管网,在调研过程

中发现有的生物滞留带内部海绵设施的标高关系错误,使径流路径无法满足海绵需求。对于生物滞留带后置的道路,为避免滞留带与人行道路面高差过大,设计结合导流需求将人行道横坡坡向滞留带,但常出现施工单位按照传统建设思路将人行道横坡坡向车行道而导致滞留带下沉过深。

上述问题主要原因是施工单位未能准确理解海绵城市理念,未按照设计图纸严格控制各个海绵设施的标高(见图10)。



a. 某溢流口标高低于蓄水面标高  
b. 后置式滞留带人行道横坡错误坡向车行道

图10 重庆市某生物滞留带控制标高施工有误

Fig.10 Construction error of the control elevation of a bioretention swale in Chongqing

#### 1.3.4 植物维护不及时

生物滞留带中普遍存在植物后期维护管理较差、植物死亡后未及时补种、植物修剪不到位等问题,导致海绵设施功能和生物滞留带景观都受到不同程度影响,如图4、图9(a)所示。

#### 1.3.5 溢流口被枯枝枯叶遮挡

溢流口设置于生物滞留带中,溢流算易被灌木、乔木的枯枝枯叶堵塞,导致雨水溢流通道受阻,如图9(a)所示。

### 2 市政道路海绵设施设计优化

#### 2.1 土建设计优化

##### 2.1.1 生物滞留带下沉深度设计优化

##### ① 蓄水深度 $h_1$

不同城市的海绵型道路的年径流总量控制率

( $P_1$ )指标存在差异,取值多在55%~75%,但为了满足该指标,各城市选用的海绵设施基本一致,均主要通过透水铺装渗透、生物滞留带的滞蓄满足径流控制率的要求。

选择重庆市典型的双向三车道案例进行计算,要达到年径流总量控制率为75%,对应的降雨量为21.9 mm。计算取标准段长度100 m,其中10%的长度(10 m)未受生物滞留带径流控制,三车道单向宽度为11 m,生物滞留带净宽按照1.5 m计算,人行道透水铺装宽度4.5 m。按照《低影响开发雨水系统设计标准》(DBJ 50/T—292—2018),以容积法进行计算,道路的综合年径流总量控制率达标值按照道路上受生物滞留带控制、透水铺装控制和未受控制区域所达到的年径流总量控制率进行加权计算。

生物滞留带的设计进水量按照容积法计算,公式如下:

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

式中: $V$ 为生物滞留带进水量, $\text{m}^3$ ;  $H$ 为设计降雨量,取18.1 mm;  $F$ 为汇水区域面积, $\text{m}^2$ ;  $\Psi$ 为雨量径流系数,沥青路面为0.85,透水铺装为0.15,生物滞留带为1。

生物滞留带有效滞蓄容积按下式计算:

$$V_s = V - W_p \quad (2)$$

式中: $V_s$ 为生物滞留带的有效滞蓄容积,指设施顶部蓄水空间的容积 $V_{s1}$ 和土壤砾石层的孔隙容积 $V_{s2}$ ,顶部蓄水空间受植物影响系数取0.7,生物滞留带蓄水深度 $h_1 \geq 0.8 \times V_{s1}/A_s$ ,  $V_{s2}$ 取土壤砾石体积的20%,土壤砾石层总厚度为80 cm;  $A_s$ 为生物滞留带面积, $\text{m}^2$ ;  $W_p$ 为渗透量, $\text{m}^3$ ,由于道路生物滞留带多在底部设置有透水盲管和防渗层,故不计算渗透量。

计算结果如表1所示。

表1 某典型100 m主干道路海绵指标达标分析计算

Tab.1 Compliance analysis and calculation of sponge indices of a 100 m typical trunk road

控制类型	下垫面类型	长度/ m	宽度/ m	面积/ $\text{m}^2$	雨量径 流系数	径流控制率75% 设计进水量/ $\text{m}^3$	土壤砾石层 空隙容积/ $\text{m}^3$	滞留带 面积/ $\text{m}^2$	设计蓄水 深度 $h_1/\text{m}$	实际控制 降雨量/ $\text{mm}$	实际年径流 总量控制率/%
生物滞留带控 制区域	车行道	90	11	990	0.87	21.39	21.6	135	0.1	28.57	81.34
	生物滞留带	90	1.5	135							
自然控制区域	透水铺装	100	4.5	450	0.20						80.00
未受控制区域	车行道	10	11	110	0.90						0.00
合计				1 685	0.69			135		0.00	75.67

综合道路上受生物滞留带控制、透水铺装控制

和未受控制区域进行加权计算,对于案例所述道路



蓄水深度 $h_1$ 为0.1 m即可以满足75%的年径流总量控制率要求。

## ② 溢流水位超高 $h_2$

根据《低影响开发雨水系统设计标准》(DBJ 50/T—292—2018)第9.4.8条,要求溢流水位上应有50~100 mm的超高( $h_2$ ), $h_2$ 取中间值75 mm。

## ③ 路缘石高出车行道路面高度 $h_3$

根据《城市道路工程设计规范》(CJJ 37—2012),车行道路缘石高度 $h_3$ 宜为10~20 cm,现城市道路路缘石设计为避免车辆碾压至人行道,一般高度取20 cm,但是经过生物滞留带下沉隔离后,降低了车辆压至人行道的几率,因此推荐 $h_3$ 取15 cm。

## ④ 总下沉深度 $h$

$h=h_1+h_2+h_3=0.1+0.075+0.15=0.325$  m。经计算生物滞留带相关人行道的总高差 $h$ 仅为0.325 m(见图11),较传统生物滞留带相对路面标高提升了0.2 m左右,更有利于景观打造,降低跌落风险。

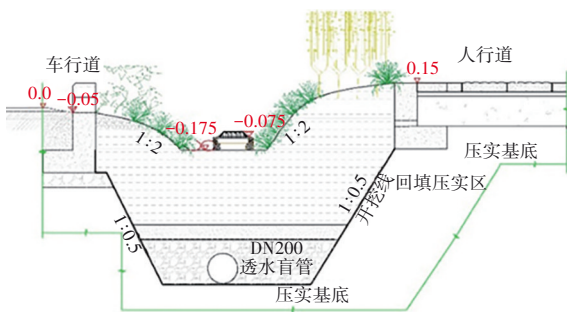
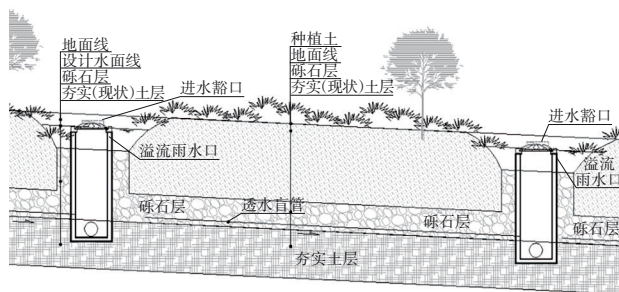


图11 滞留带标高设计优化剖面

Fig.11 Optimized profile of bioretention swale elevation design

其他城市的其他路幅均可进行类似计算,优化生物滞留带的下沉深度。目前在遂宁、嘉兴<sup>[3]</sup>直接利用生物滞留带砾石层孔隙率作为生物滞留带的有效调蓄容积,而不经土壤层控制(见图12),此种做法可以大大降低生物滞留带的下沉深度,但是其控制容积的有效性尚需另行讨论。



a. 剖面设计图



b. 下沉实景图

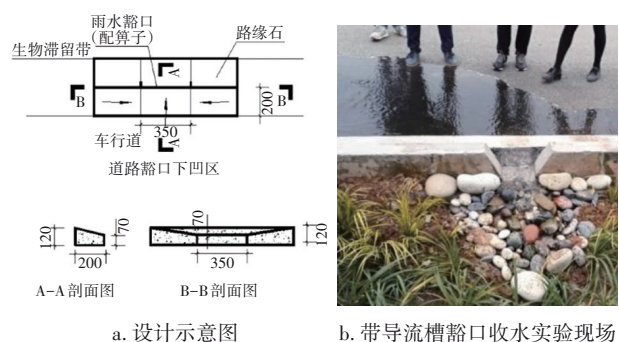
图12 遂宁市生物滞留带豁口处下沉示意

Fig.12 Schematic diagram of subsidence at the inlet of bioretention swale in Suining

## 2.1.2 进水豁口及沉砂设施设计优化

### ① 进水豁口设计优化

根据张敬玉等<sup>[5]</sup>关于进水豁口的研究成果,在豁口前设置变坡可有效提高径流截流效率,结合其研究成果及工程设计施工的可操作性,提出在传统侧壁豁口前增设导流设施的做法,具体如图13所示。



a. 设计示意图

b. 带导流槽豁口收水实验现场

图13 立式进水豁口前增设导流槽示意

Fig.13 Schematic diagram of adding diverted groove in the front of vertical inlet

导流槽下沉深度参照《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)第5.7.4条的要求,立算式雨水口进水处路面标高应比周围路面标高低5 cm,在重庆市悦来已有诸多条路应用带导流槽的进水豁口,实际运行中进水效果明显优于无导流槽的雨水豁口。

针对垃圾易混入的问题,建议进水豁口配置算子,以降低路面垃圾混入的可能性,具体如图14所示。



图14 进水豁口配算子实景

Fig.14 Photos of inlet installed with grate

### ② 进水口一体化设计优化

将平算立算相结合,并将沉砂井前置设置(见图15),可降低沉砂池设置在进水口后所导致的对生物滞留带的景观影响。本做法在重庆市合川区道路海绵设计中使用过,对豁口处的冲刷效应明显改善,也可明显降低垃圾入沟的概率,有利于后期维护管理。目前也有楼诚等<sup>[7]</sup>以及设备厂家研究了集进水、沉砂、截污、维护、溢流多功能一体的算子,可在工程中进行推广和应用。

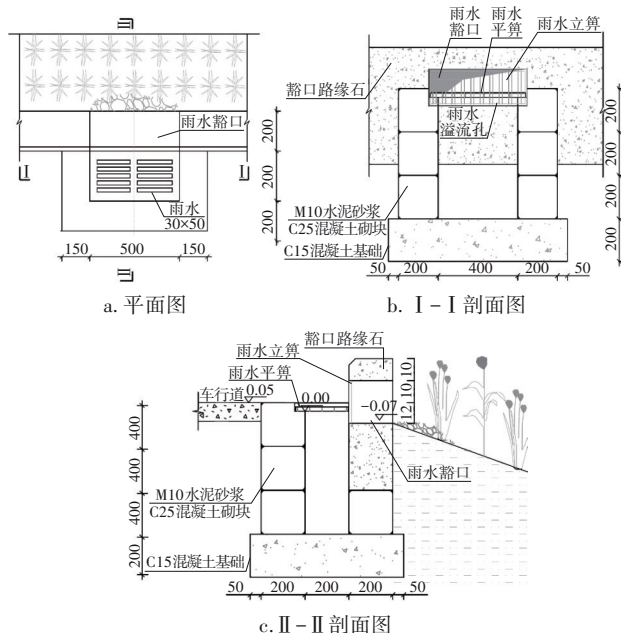


图15 平算、立算、沉砂相结合的一体化进水口

Fig.15 Integrated inlet with flat grate, vertical grate and grit chamber

### ③ 沉砂设施优化

沉砂设施除可与雨水豁口、雨水算子一体化设计外,单独设置于生物滞留带中的沉砂设施还可加盖隐藏不外露,沉砂设施内部考虑便于沉砂井中积水及时排空及后期清理维护的措施。在平算、立算、沉砂相结合的一体化进水口的基础上,提出集过滤、沉砂、进水、排空、便于维护功能于一体的过

滤沉砂设施(见图16),可在工程中应用。也可应用楼诚等<sup>[7]</sup>提出的过滤型雨水口,适用于人行道狭窄无生物滞留带的场合。

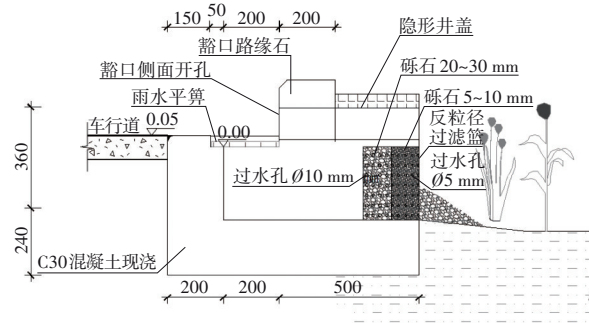


图16 隐形井盖示意

Fig.16 Schematic diagram of invisible manhole cover

### 2.1.3 路缘石设计优化

对于由于绿地的下沉削减了绿化带中土壤对路缘石侧压力而出现路缘石倾倒的问题,可以通过设置L型路缘石进行加固处理(见图17)。

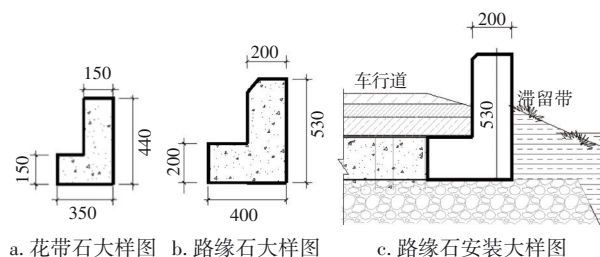


图17 L型路缘石设计及安装大样图

Fig.17 Detail drawing of L-shaped curb design and installation

### 2.1.4 溢流口设计优化

针对平算溢流口易被乔木、灌木的枯枝枯叶覆盖堵塞的情况,建议生物滞留带中溢流口采用上部凸出的溢流算(见图18)。



图18 上部凸出的溢流口实景

Fig.18 Photos of upper protruding overflow port

### 2.2 景观设计优化

#### 2.2.1 优化生物滞留带平面布置

据现场调研,目前采用生物滞留带进行海绵指标控制的道路,常采用通长设置生物滞留带进行径



流控制,形式过于单一,建议可以结合海绵指标要求、用地空间、景观需求、乔木种植需求等,将生物滞留带结合树池间隔布置[见图 19(a)],利用人行道绿化带间隔设置[见图 19(b)],或结合后退绿地景观后置式布置[见图 19(c)]。



a. 生物滞留带间隔式布置(1) b. 生物滞留带间隔式布置(2)



c. 后置式布置

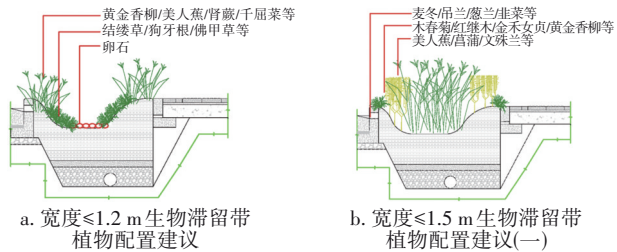
图 19 生物滞留带平面位置效果图

Fig.19 Renderings of plane position of bioretention swale

2.2.2 生物滞留带植物层次建议

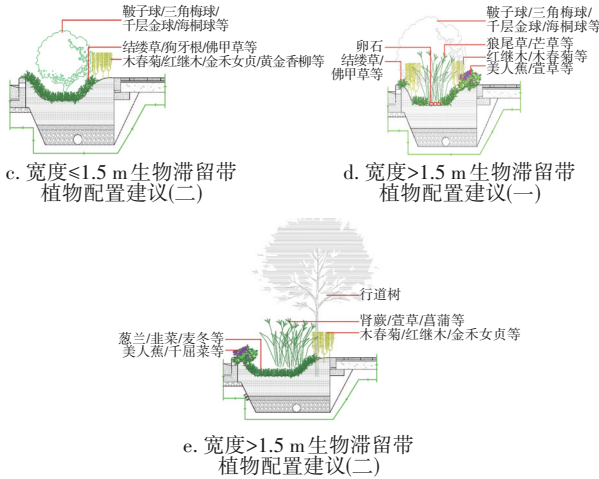
经过几年海绵城市的建设实践,道路生物滞留带中的植物配置由最初的水生植物为主转变为传统植物为主,由最初的生物滞留带独立空间到与乔木相融合,植物配置已在不断优化完善,但仍存在诸多提升空间。建议道路生物滞留带结合内部微地形放坡堆土,植物搭配应结合微地形合理搭配,以丰富植物层次,并通过设置灌木边带降低下沉处的跌落风险;生物滞留带较宽时可结合行道树种植合并考虑,表层可以配置草皮、卵石和树皮等以避免表土裸露;低点处以耐淹植物为主,其余部分以传统道路常用植物为主。

生物滞留带中的植物层次设计及植物推荐见图 20,各城市可结合本土植物再进行搭配选用。



a. 宽度 $\leq 1.2$  m 生物滞留带植物配置建议

b. 宽度 $\leq 1.5$  m 生物滞留带植物配置建议(一)



c. 宽度 $\leq 1.5$  m 生物滞留带植物配置建议(二)

d. 宽度 $> 1.5$  m 生物滞留带植物配置建议(一)

e. 宽度 $> 1.5$  m 生物滞留带植物配置建议(二)

图 20 道路生物滞留带植物配置建议示意

Fig.20 Schematic diagram of recommended plant configuration in bioretention swales

2.2.3 挡水堰设置

挡水堰应考虑景观效应,避免灰色设施外露,可采用草皮遮挡、植物遮挡、碎石卵石景石等替代(见图 21、22)。



图 21 卵石挡水堰实景

Fig.21 Photo of pebble retaining weir

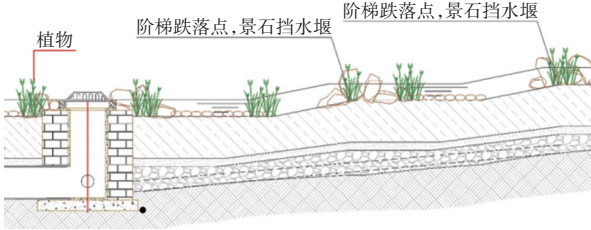


图 22 景石挡水堰设计剖面示意

Fig.22 Schematic diagram of design section of landscape stone as water retaining weir

3 其他建议

① 市政维护管理部门应加强生物滞留带的维护管理,避免因维护管理不善而导致景观效果和运行安全问题。

② 生物滞留带通过细部的高差实现对道路地表径流的控制,鉴于目前诸多施工单位未能理解海绵城市的径流路径,设计单位在生物滞留带施工前应对施工队伍进行详细交底,要求精细化施工以控制标高,确保径流路径的有效性。

③ 生物滞留带的结构层可参考已有学者的研究成果<sup>[2-4]</sup>进行参数优化,以便更有效地实现对地表径流的污染削减和滞蓄缓排。

#### 4 结论

对典型工程实例的调研分析表明,现有道路生物滞留带存在下沉过深、进水口设置欠合理、景观效果欠佳、施工错误及运行维护不及时等问题,针对于此,设计应根据道路海绵指标合理计算下沉标高以控制下沉深度,可通过优化豁口导流设施、推广一体化沉砂井和多功能雨水算子等措施提升生物滞留带进水效果,并推荐采用L型路缘石避免缘石倾倒、采用上部凸出的溢流算避免溢流通道堵塞。此外,生物滞留带应根据海绵指标需求和道路路幅分配多样化选择其平面位置,并结合绿化带的下沉深度丰富植物层次,采用灵活选择挡水堰材质等方式提升生物滞留带的景观效果。

#### 参考文献:

- [1] 住房和城乡建设部. 城市综合交通体系规划标准: GB/T 51328—2018 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Standard for Urban Comprehensive Transport System Planning: GB/T 51328-2018 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019(in Chinese).
- [2] 梁行行, 李小乐, 张勋, 等. 近市政道路生物滞留带雨水入渗优化分析[J]. 中国给水排水, 2020, 36(15): 107-112.  
LIANG Hanghang, LI Xiaole, ZHANG Xun, *et al.* Optimization analysis of rainwater infiltration in bioretention zone near municipal roads [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(15): 107-112(in Chinese).
- [3] 唐雪芹. 城市道路生物滞留带蓄渗效应研究[D]. 成

都: 西南交通大学, 2018.

TANG Xueqin. Study on the Storage-Infiltration Effect of the Bioretention Zone in Urban Road [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2018(in Chinese).

- [4] 贺弋桓, 王建龙, 赵梦圆, 等. 城市道路生物滞留带溢流口设计方法探讨[J]. 环境工程, 2020, 38(6): 149-153, 220.

HE Yihuan, WANG Jianlong, ZHAO Mengyuan, *et al.* Discussion on design method of bioretention overflow outlet along the urban roads [J]. Environmental Engineering, 2020, 38(6): 149-153, 220(in Chinese).

- [5] 张敬玉, 王建龙, 涂楠楠, 等. 低影响开发城市道路豁口前变坡方式对雨水径流截流能力的影响[J]. 给水排水, 2020, 46(3): 94-98.

ZHANG Jingyu, WANG Jianlong, TU Nannan, *et al.* Influence of slope changing mode in front of low impact development urban road curb inlet on the interception capacity of stormwater runoff [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(3): 94-98(in Chinese).

- [6] 李小宁, 王建龙, 赵梦圆, 等. 道路-生物滞留带豁口水力特征及设计方法研究[J]. 中国给水排水, 2019, 35(8): 1-8.

LI Xiaoning, WANG Jianlong, ZHAO Mengyuan, *et al.* Research on hydraulic characteristics and design method of road biologic-retention curb inlet [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(8): 1-8(in Chinese).

- [7] 楼诚, 孙烨, 黄屹, 等. 城市道路海绵城市设计的建设效果评价及设计优化[J]. 中国给水排水, 2021, 37(2): 49-55.

LOU Cheng, SUN Ye, HUANG Yi, *et al.* Construction effect evaluation and design optimization of urban road sponge city design [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(2): 49-55(in Chinese).

**作者简介:** 黄丽萍(1987—), 女, 四川南充人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为市政给排水管网、海绵城市、综合管廊、水环境治理。

**E-mail:** hlpchongqing@foxmail.com

**收稿日期:** 2022-03-02

**修回日期:** 2022-04-13

(编辑: 孔红春)