

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqyfh.240663

高架快速路雨水径流近零排放控制目标研究

黄伟祥¹, 张倩¹, 徐弯弯²

[1. 无锡市城市重点建设项目管理中心, 江苏 无锡 214031; 2. 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200091]

摘要: 针对年径流总量控制率一般仅解决小雨水平径流的问题, 为提高道路雨水渗蓄量, 降低市政管网进水量, 以无锡高架快速路为研究对象, 分别计算了不同横断面类型和0.5~5 a一遇降雨条件下, 中分带、侧分带和人行道绿化带实现雨水径流零排放所需的海绵设施量。分析得到: 对于大于等于6 m宽的中分带, 通过设置生物滞留带可达到5 a一遇零排放; 对于2.5 m宽侧分带, 组合设置下凹式绿地和生物滞留带时可达到5 a一遇零排放, 但每公里建设费用最大需要增加158万元; 对于2 m宽绿化带, 如果仅设置生态树池或下凹式绿地, 难以达到零排放, 为实现5 a一遇零排放, 最大需要利用红线外7.5 m宽绿地。最后, 综合提出了无锡市各类型高架快速路的推荐雨水径流近零排放控制目标, 为海绵城市建设升级提供参考依据。

关键词: 高架快速路; 海绵设计; 雨水径流零排放; 年径流总量控制率

中图分类号: U412.37; TU992

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)03-0154-06

Study on Zero Discharge Target of Rainwater Runoff in Elevated Expressway

HUANG Weixiang¹, ZHANG Qian¹, XU Wanwan²

[1. Wuxi City Key Construction Project Management Center, Wuxi 214031, China; 2. Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200091, China]

Abstract: The total annual runoff control rate generally only solves the problem of horizontal runoff of light rain. In order to improve the road rainwater infiltration and reduce the inflow of municipal pipe networks, taking the elevated expressways in Wuxi as the research object, the amount of sponge facilities required to achieve the zero discharge of rainwater runoff in the central median, lateral zoning and sidewalk green belt under the different cross-sectional types and 0.5~5 a rainfall conditions once are calculated. The analysis shows that for the central median with a width greater than or equal to 6 m, the 5 a zero discharge once can be achieved by setting up the biological retention zones. For the lateral zoning with a width 2.5 m, the 5 a zero discharge once can be achieved by setting up the combination of concave green space and biological retention zone. But the maximum construction cost per kilometer needs to increase by 1.58 million yuan. For the 2 m wide sidewalk green belt, it is hard to achieve the zero discharge if only setting up the ecological tree pools or concave green space. In order to achieve the 5 a zero discharge once, a 7.5 m wide green space outside the red line needs to be utilized. Finally, the recommended zero discharge control targets for rainwater runoff on various types of elevated expressways in Wuxi are comprehensively proposed, which provides a reference for the upgrading of sponge city construction.

Keywords: elevated expressway; sponge design; zero discharge of rainwater runoff; annual runoff total control rate

0 引言

传统城市道路设计以满足交通功能为主, 在雨水控制和利用的思路主要体现为“排”, 采用以“路面横坡收集—雨水口—市政管网”为主的道路雨水排放方式, 存在道路雨水经市政管网直接进入河道而无法补充地下水, 道路绿地不能有效滞蓄雨水而需要大量自来水灌溉, 雨季地表径流大幅增加, 造成积水并引发交通事故等缺陷, 尤以不透水下垫面占

收稿日期: 2024-06-21

基金项目: 科技部国家重点研发计划项目(2023YFE0121400); 江苏省住房和城乡建设厅科技项目(2023ZD096); 无锡市住房和城乡建设局科技项目(WX202208)

作者简介: 黄伟祥(1978—), 男, 学士, 高级工程师, 从事给排水工作。

通信作者: 徐弯弯(1994—), 女, 硕士, 工程师, 从事道路工程设计工作。电子邮箱: 641658435@qq.com

比大、车辆运行速度快、绿化要求高的城市高架快速路为甚。

随着海绵城市建设的发展,各试点城市均尝试将海绵设计理念应用于市政道路中,并于近10 a中陆续出台了许多海绵型城市道路建设指南、图集和标准,其中均将年径流总量控制率作为海绵型道路建设的控制指标^[1]。但是,年径流总量控制率一般只解决小雨水平径流问题,林炳章等^[2]根据全国34个城市的降雨资料,计算得到70%的年径流总量控制率对应的设计降雨量仅相当于1 a一遇1 h降雨量的30%;梁美琪^[3]模拟分析得到,在25.5 mm降雨条件下,效果较好的重庆道路系统低影响开发设施对于1 a一遇的降雨,雨水径流处理能力仅在50%左右。故为提高道路雨水蓄渗量,降低市政管网进水量,科学提高城市道路雨水径流控制目标,有必要研究在不同道路设计中不同降雨条件下的海绵型道路可达的雨水排放量。

孟莹莹^[4]以保守渗透速率估算,道路旁3 m宽的生物滞留系统可使其10倍不透水汇水面上20 mm/h强度以下的降雨不产生地表积水;Hunt^[5]对生物滞留设施进行了研究,研究得到,其对径流雨水的体积控制率在50%以上;邢国平等^[6]研究得到,当绿地率为30%、下凹深度为150 mm时,下凹式绿地基本可以完全消纳1 a一遇和2 a一遇的降雨量;卓浩等^[7]以武汉三幅主干路为研究对象,分析了单一型和组合型海绵设施对道路雨洪过程的影响,研究得到,下凹式绿地+透水路面的出流消减效果比仅设置透水路面提高了近17倍;江雨蔚^[8]对成都某一地面快速路进行海绵改善设计,并利用SWMM分析得到,当快速路设置约50%的海绵设施后,在降雨重现期 $P=1$ 、2、5、10 a时的径流控制率可达66%~75%;李晨阳^[9]针对南京市紫东核心区道路系统,利用SWMM分析得到,将50%绿地改造为生物滞留设施、50%人行道改造为透水铺装后,在1 a一遇2 h降雨条件下,排水口出流量消减率可达71%。

现有研究成果表明,合适的道路海绵设施布置可显著降低道路雨水出流量,但现有研究多针对单一海绵设施或某一固定道路横断面开展,较少考虑不同横断面形式下可达的最大径流控制率,且未形成系统的控制目标。因此,本文针对不透水下垫面占比大、可利用绿化设施多的高架快速路,研究在无锡市降雨条件下各类型高架快速路可达的雨水径流排放控制水平,综合提出不同断面类型的雨水径流近零排放控制

目标,为海绵城市建设升级提供参考依据。

1 海绵型道路径流控制目标分析

年径流总量控制率为海绵城市规划建设控制目标,我国城市年径流总量控制率取值一般为60%~90%,《无锡市海绵城市专项规划(2016—2030)》明确无锡年径流总量控制率取75%,对应设计降雨量为22.6 mm。一般道路年径流总量控制率取值低于城市总体目标,《江苏省海绵型道路建设与运行维护指南》根据道路对其本身红线范围内的降雨总量平均控制能力,结合无锡降雨规律,提出无锡市海绵型道路年径流总量控制率参考基准值范围为62%~65%,对应设计降雨量为14.0~15.9 mm。

根据无锡市暴雨强度公式,计算可得:当道路年径流总量控制率为65%、75%、85%时,对应的设计降雨量分别为0.5 a一遇1 h降雨量的47%、65%、98%,对解决初雨污染起作用,若须进一步降低道路雨水排放量,增大道路雨水就地消纳能力,则须对应提高雨水径流控制目标。但是,道路建设用地有限,不透水下垫面占比大,实现各类降雨条件下的零排放难度较大,需要结合道路本体特征,提出经济可达的适用于高架快速路的雨水径流近零排放控制目标,即高架快速路在某一特定降雨条件下实现零排放,当降雨量大于控制目标时,溢流雨水仍排入市政管网。

2 高架道路海绵设施调蓄能力计算

2.1 计算条件

采用无锡市现行暴雨强度公式,如式(1),设计暴雨重现期取0.5、1、2、3、5 a,降雨历时取2 h。

$$q = \frac{4758.5 + 3089.5 \lg P}{(t + 18.469)^{0.845}} \quad (1)$$

式中: q 为设计暴雨强度, $L/(s \cdot \text{hm}^2)$; P 为设计降雨重现期,a; t 为设计降雨历时,min。

采用容积法计算分析不同降雨条件和横断面类型下的高架快速路雨水零排放的可达性。分析各类海绵设施,选取道路常用的下凹式绿地、生物滞留带和生态树池,假设海绵设施在正常蓄水情况下可在降雨停止后短时间内渗透排放,海绵设施的初始蓄水量取0,且忽略不计短历时降雨过程中的雨水蒸发量,当取刚好不发生溢流外排的临界条件时,海绵设施满足式(2)。

$$V = V_s + V_c + W_p \quad (2)$$

式中: V 为汇入海绵设施的径流量, m^3 ; V_s 为海绵设施

表层蓄水量, m^3 ; V_c 为海绵设施内部结构空隙蓄水量, m^3 ; W_p 为海绵设施雨水渗透量, m^3 。

2.2 海绵设施调蓄容积计算

2.2.1 下凹式绿地

下凹式绿地典型设计如图1所示,取下凹式绿地下凹深度200 mm,溢流口高于绿地100 mm,种植土层厚度250 mm,孔隙率取0.2,蓄水层计算折减系数取0.8,渗透计算折减系数取0.8。

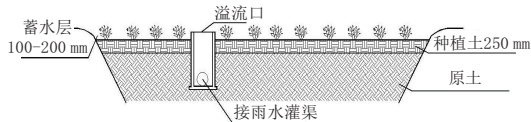


图1 下凹式绿地典型结构示意图

计算得到:每平方米下凹式绿地的蓄水量为 $V_s+V_c=1\times0.1\times0.8+0.2\times1\times0.25\times0.8=0.12\text{ m}^3$,每平方米下凹式绿地的渗透量为 $W_p=3\times10^{-6}\times1\times1\times2\times3\ 600\times0.8=0.017\ 3\text{ m}^3$,则每平方米下凹式绿地的调蓄容积为 $0.137\ 3\text{ m}^3$ 。

2.2.2 生物滞留带

生物滞留带典型设计如图2所示:表层有效蓄水层高度取300 mm;种植土层厚度取300 mm,孔隙率为0.2;砾石层厚度取400 mm,孔隙率为0.3;蓄水层和渗透计算折减系数均取0.8。

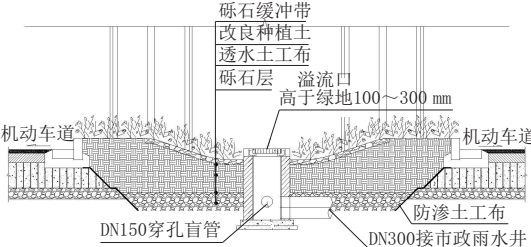


图2 生物滞留带典型结构示意图

计算得到:每平方米生态植草沟的蓄水量为 $V_c+V_s=(0.3+0.2\times0.3+0.3\times0.4)\times0.8=0.384\text{ m}^3$,每平方米生态植草沟的渗透量为 $W_p=3\times10^{-6}\times1\times1\times2\times3\ 600\times0.8=0.017\ 3\text{ m}^3$,则每平方米生态植草沟的调蓄容积约为 $0.401\ 3\text{ m}^3$ 。

2.2.3 生态树池

生态树池典型设计如图3所示:树池尺寸取1.5 m×1.5 m,考虑树木生长需要,生态树池种植土层厚度取1 000 mm,孔隙率为0.2;砾石层厚度取300 mm,孔隙率为0.35;仅考虑树池底面的渗透,蓄水层和渗透计算折减系数均取0.8。

在相邻树池不连通的情况下,计算得到:单个生态树池的蓄水量为 $V_c=(0.2\times1\times1.5\times1.5+0.35\times0.3\times1.5\times1.5)\times0.8=0.549\text{ m}^3$;单个生态树池的渗透量为 $W_p=3\times10^{-6}\times1\times1.5\times1.5\times2\times3\ 600\times0.8=0.038\ 9\text{ m}^3$,则单个生态

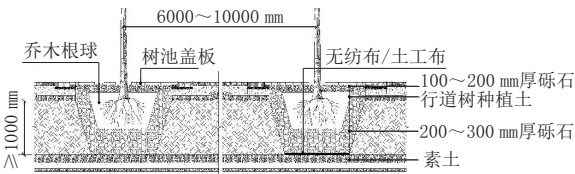


图3 生态树池典型结构示意图

树池的调蓄容积约为 $0.587\ 9\text{ m}^3$ 。

2.2.4 设施比选

各设施调蓄成本见表1,考虑经济性和道路径流污染控制要求,由于污染严重的机动车道雨水主要由高架路面排入中分带,因此:高架下中分带海绵设施主要采用具有净化功能的生物滞留带;侧分带和路侧绿地以下凹式绿地为主,组合设置生物滞留设施;人行道绿带以生态树池或下凹式绿地为主,组合设置其他生物滞留设施。

表1 海绵设施功能与成本对比表

设施	调蓄容积	单价	1 m ³ 调蓄成本/元	功能
下凹式绿地	0.137 m ³ /m ²	50 元/m ²	364	调蓄
生态树池	0.588 m ³ /个	450 元/个	765	净化调蓄
生物滞留带	0.401 m ³ /m ²	800 元/m ²	1 994	净化调蓄

3 高架道路雨水径流近零排放分析

3.1 分析条件

3.1.1 横断面类型

高架快速路横断面布置分为“高架快速路+地面四幅辅道”、“高架快速路+地面两幅辅道”两类,为控制横断面设计变量,根据《城市道路工程设计规范(2016版)》(CJJ 37—2012)、《城市道路绿化设计标准》(CJJ/T 75—2023)等标准和工程经验,人行道、非机动车道、侧分带和人行道绿化带宽度取一般最小值,分别为3、3.5、2.5、2 m。车道数和中分带宽度分别受交通量和高架结构影响,在道路工程中变化相对较多,选定为分析变量,取值见表2。

表2 横断面分析变量取值表

横断面设计变量	取值				
分幅	四幅	两幅	—	—	—
辅道车道数	4	6	8	—	—
高架车道数	4	6	8	—	—
中分带宽度/m	4	5	6	7	8

3.1.2 海绵设计

高架和地面辅道机动车道均采用不透水铺装,道路红线范围内,雨水径流控制通过中分带、侧分带、人行道绿带、透水人行道和非机动车道来实现。当地面辅道为两幅时,非机动车道与机动车道共板,

采用不透水铺装;当地面辅道为四幅时,非机动车道采用透水铺装。路面雨水径流流向和调蓄设施采用一般设计方案:高架道路雨水排入高架下中分带;地面辅道机动车道雨水,四幅路情况汇流至侧分带,两幅路情况汇流至人行道绿化带;非机动车道和人行道雨水汇流至人行道绿化带。

根据水量平衡关系,不考虑初始蓄水量和雨水蒸发量的情况下,若要满足道路雨水零排放,中分带、侧分带和绿化带的海绵设施调蓄量需要分别大于等于该区域汇入的雨水量加对应的降雨量,但道路用地范围有限,为确定实际可达的雨水零排放控制目标,需要分别分析计算中分带、侧分带和绿化带在不同降雨条件和横断面类型下的海绵设施需求量。

3.2 中分带

根据水量平衡关系,计算得到在 5 a 一遇、3 a 一遇、2 a 一遇、1 a 一遇、0.5 a 一遇 2 h 降雨条件和不同横断面类型下,临界满足中分带区域雨水零排放时,每公里道路所需的生物滞留带面积(见图 4)。图中灰色区域为中分带可提供用地面积范围外区域。

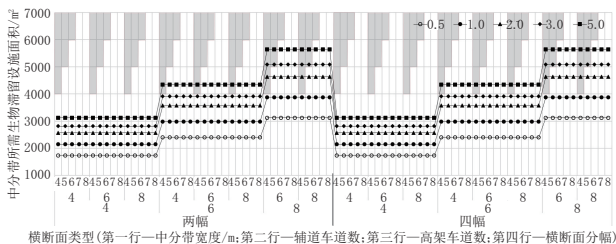


图 4 雨水零排放中分带所需生物滞留设施量

分析可得:

- (1)雨水径流零排放目标下,中分带所需生物滞留带面积与高架车道数正相关,各横断面类型下,中分带区域通过设置生物滞留带均可达到 1 a 一遇零排放。
- (2)当高架车道数为 4 车道时,中分带内设置一定面积的生物滞留设施,最高可达到 5 a 一遇雨水零排放。
- (3)当高架车道数为 6 车道时:4 m 宽中分带内设置一定面积的生物滞留设施,最高可达到 3 a 一遇零排放;当中分带宽度大于等于 5 m 时,可达 5 a 一遇零排放。
- (4)当高架车道数为双向 8 车道时:4 m 宽中分带内设置一定面积的生物滞留设施,最高可达 1 a 一遇零排放;5 m 宽中分带可达 2 a 一遇零排放;当中分带宽度大于等于 6 m 时,可达 5 a 一遇零排放。

3.3 侧分带

根据水量平衡关系,计算得到 5 a 一遇、3 a 一遇、2 a 一遇、1 a 一遇和 0.5 a 一遇 2 h 降雨条件和不同横

断面类型下,单独设置下凹式绿地或生物滞留带,临界满足侧分带雨水零排放所需的面积(见图 5)。图中灰色区域为侧分带可提供用地面积范围外。

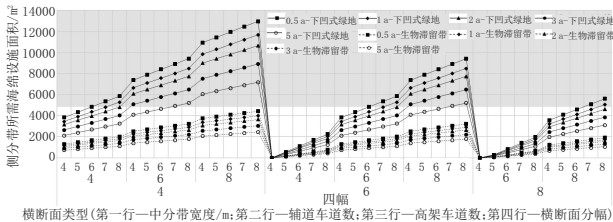


图 5 雨水零排放侧分带所需海绵设施量

分析可得:

- (1)零排放目标下的侧分带所需生物滞留设施面积与高架车道数负相关,与地面辅道车道数和中分带宽度正相关。
- (2)侧分带仅设置下凹式绿地,且高架车道数小于 8 时,难以满足零排放要求,但通过设置生物滞留带可实现各横断面类型下的 5 a 一遇零排放,故通过组合设置下凹式绿地和生物滞留带,均可达 5 a 一遇零排放。
- (3)当侧分带采用下凹式绿地和生物滞留带组合设置时,各横断面类型和降雨条件下,满足侧分带区域零排放所需建设成本如图 6 所示。当控制目标由 1 a 一遇提升至 2 a 一遇、3 a 一遇、5 a 一遇时,每公里快速路建设费用分别需要增加约 39~68 万元、62~108 万元、84~158 万元,且当中分带宽度越大、地面车道数越多、高架车道数越少时,增设费用越大。

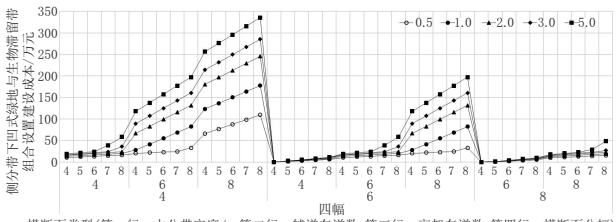


图 6 雨水零排放侧分带建设成本

3.4 人行道绿化带

根据水量平衡关系,计算得到 5 a 一遇、3 a 一遇、2 a 一遇、1 a 一遇和 0.5 a 一遇 2 h 降雨条件和不同横断面类型下,单独设置下凹式绿地、生物滞留带或生态树池,临界满足人行道绿化带雨水零排放所需的设施量(见图 7)。图中灰色区域为人行道绿化带可提供用地面积范围外的区域。

分析可得:

- (1)当地面辅道横断面类型为四幅,人行道和非机动车道路面宽度一定时,人行道绿化带所需海绵设施量不随机动车道数和中分带宽度的变化而变化。

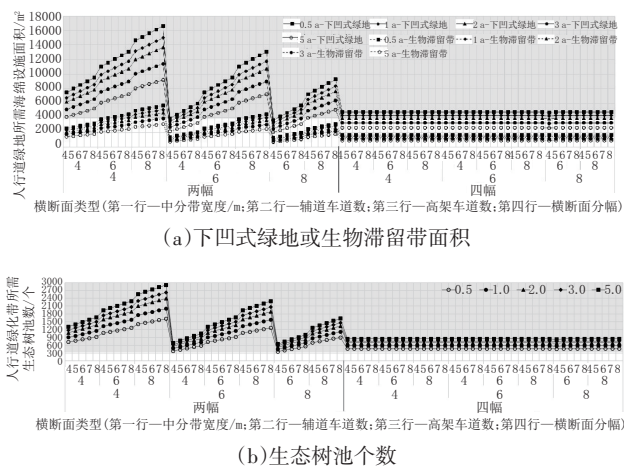


图7 雨水零排放人行道绿化带所需海绵设施量

当仅设置独立生态树池时,无法达到零排放;当设置下凹式绿地时,可达到2 a一遇零排放;当组合设置下凹式绿地和生物滞留设施时,可达5 a一遇零排放。

(2)当地面辅道横断面类型为两幅时,零排放目标下的人行道绿化带所需海绵设施量与高架车道数负相关,与地面辅道车道数和中分带宽度正相关。仅设置独立生态树池时,无法达到零排放;仅设置下凹式绿地时,只有当高架车道数比地面辅道车道数多2条时,可达1 a一遇零排放。

(3)对于人行道绿化带,可利用红线外绿地提高径流控制率,当绿化带设置生态树池或下凹式绿地时,不同降雨条件和横断面类型下所需红线外绿地宽度如图8、图9所示。若需要满足5 a一遇零排放,最大需要利用红线外13~15 m宽绿地,对于用地范围有限的城市道路难以实现,故需要根据红线外可借用宽度确定合适的零排放控制目标。

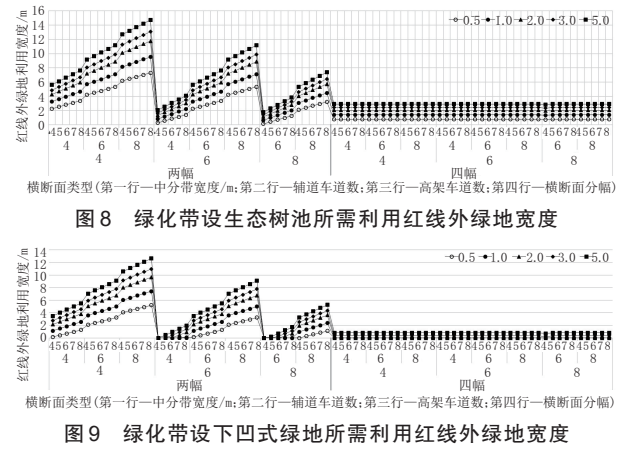


图8 绿化带设生态树池所需利用红线外绿地宽度

图9 绿化带设下凹式绿地所需利用红线外绿地宽度

4 高架快速路雨水径流近零排放控制目标

4.1 地面辅道两幅路

根据中分带和人行道绿化带雨水径流零排放可

达性分析,当地面辅道为两幅路时,道路雨水径流控制率主要与机动车车道数、中分带宽度和红线外可利用绿地宽度相关。在人行道、非机动车道和绿化带宽度采用一般值的情况下,综合不同断面类型下中分带和绿化带可调蓄的降雨量,提出高架快速路与地面辅道两幅路组合设计下的雨水径流零排放控制目标(见表2)。

表2 高架快速路+地面两幅辅道类型的零排放控制目标

高架 车道 数/条	地面 车道 数/条	中分带 宽度/m	单侧可利用 路外绿地宽 度/m	控制目 标 ^① /a	控制路面径流 量 ^② /(m ³ ·km ⁻¹)	
4	4	4~8	≥4	5	1 973~2 251	
			3~4	2	1 622~1 851	
			2~3	0.5	1 092~1 246	
	6	4~8	≥6	5	2 460~2 739	
			5~6	3	2 216~2 467	
			4~5	1	1 692~1 884	
			3~4	0.5	1 362~1 516	
			≥8	5	2 948~3 226	
			7~8	3	2 656~2 906	
	8	4~8	6~7	2	2 424~2 653	
			5~6	1	2 028~2 219	
			4~5	0.5	1 631~1 786	
6	4	4	≥1	3	1 777	
		5~8	≥4	5	2 043~2 251	
			1~5	1	1 405~1 549	
	6	4	≥6	3	2 216	
			2~3	2	2 023	
			1~2	0.5	1 362	
	5~8	≥4	5	2 530~2 739		
		3~4	2	2 080~2 252		
		2~3	0.5	1 400~1 516		
	8	4	≥4	3	2 656	
			3~4	1	2 028	
			2~3	0.5	1 631	
	5~8	≥6	5	3 017~3 226		
		5~6	3	2 718~2 906		
		4~5	1	2 076~2 219		
	8	6	4	≥1	1	1 692
5			≥1	2	2 080	
6~8			≥2	5	2 600~2 739	
		1~2	1	1 788~1 884		
8		4	≥1.5	1	2 028	
			5	≥2.5	2	2 481
			6~8	≥4	5	3 087~3 226
3~4		2		2 538~2 653		
2~3		0.5		1 709~1 786		

注:①指在几年一遇2 h降雨下可实现道路径流雨水零排放。
②指对应横断面类型的每公里道路,其中机动车道、非机动车道和人行道区域所被控制的径流量。

4.2 地面辅道四幅路

根据中分带、侧分带和人行道绿化带雨水径流零排放可达性分析,当地面辅道为四幅路时,道路雨水径流控制率主要与机动车道数、中分带宽度、侧分带海绵设施和红线外可利用绿地宽度相关。在人行道、非机动车道、绿化带、侧分带宽度采用一般值的情况下,考虑生物滞留设施面积占比和建设成本,当控制侧分带生物滞留设施面积占比不超过 50% 时,提出高架快速路与地面辅道四幅路组合设计下的雨水径流零排控制目标(见表 3)。

表 3 高架快速路+地面四幅辅道类型的零排控制目标

高架车 道数/ 条	地面车 道数/条	中分带 宽度/m	可利用路 侧绿地宽 度/m	控制 目标/a	控制路面径流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-1}$)
4	8	4~6	≥ 4	5	1 745~2 511
		4	≥ 4	3	2 450
		5~6	≥ 4	2	2 294~2 351
		7~8	≥ 4	1	2 014~2 062
6	4~8	4	≥ 4	3	1 885~2 450
		5~8	≥ 4	5	2 093~2 998
8	6~8	4	≥ 4	1	1 790~1 871
		5	≥ 4	2	2 150~2 294
		6~8	≥ 4	5	2 615~2 998

5 结 语

本文以高架快速路为研究对象,基于容积法分别计算了不同横断面类型和降雨条件下道路中分带、侧分带和人行道绿化带所需海绵设施量,以及综合用地范围、设施面积占比和建设成本,提出了无锡市各类型高架快速路推荐的雨水径流近零排放控制目标,得到以下结论。

(1)零排放目标下,中分带所需生物滞留带面积与高架车道数正相关。各横断面类型下,中分带区域通过设置生物滞留带均可达到 1 a 一遇零排放;当

中分带宽度大于等于 6 m 时,中分带区域通过设置生物滞留带可达到 5 a 一遇零排放。

(2)零排放目标下,侧分带所需生物滞留设施面积与高架车道数负相关,与地面辅道车道数和中分带宽度正相关。组合设置下凹式绿地和生物滞留带时,各断面均可达 5 a 一遇零排放。当控制目标由 1 a 一遇提升至 5 a 一遇时,每公里建设费用需要增加 84~158 万元,且当中分带宽度越大、地面车道数越多、高架车道数越少时,增设费用越大。

(3)零排放目标下,两幅地面辅道的人行道绿带所需海绵设施量与高架车道数负相关。在绿化带宽度为一般标准值时,仅设置生态树池或下凹式绿地难以达到零排放;当利用红线外绿地实现 5 a 一遇零排放时,每侧最大各需要利用红线外 6.5~7.5 m 宽绿地。

参考文献:

[1] DG/TJ 08-2298—2019,海绵城市建设技术标准[S].
[2] 林炳章,廖一帆,丁辉.“(雨水)年径流总量控制率”辨析[J]. 中国科技术语,2019,21(5):50-53.
[3] 梁美琪.重庆道路系统低影响开发(LID)规划设计和应用研究[D]. 重庆:西南大学,2017.
[4] 孟莹莹,王会肖,张书函,等.基于生物滞留的城市道路雨水滞蓄净化效果试验研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2013,49(增刊1):286-291.
[5] HUNT W F, JARRETT A R, SMITH J T, *et al.* Evaluating Bioretention Hydrology and Nutrient Removal at Three Field Sites in North Carolina [J]. Journal of Irrigation & Drainage Engineering, 2006, 132(6): 600-608.
[6] 邢国平,邵兆凤,周建芝,等.天津市建设下凹绿地的雨水蓄渗效果分析[J]. 水土保持通报,2012,32(6):120-122,128.
[7] 卓浩,王云,李元松,等.基于SWMM的海绵道路典型LID设施布局影响分析[J]. 公路,2019,64(7):1-7.
[8] 江雨蔚.成都市温江区城市道路绿带雨水利用提升策略研究[D]. 雅安:四川农业大学,2019.
[9] 李晨阳.海绵城市道路雨洪控制及灰-绿结合效果研究[D]. 南京:东南大学,2022.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadfloodbridge@163.com

