

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.10.031

城市道路设计中的海绵城市设施选型探索

戚沁菡

(重庆市勘测院, 重庆市 401121)

摘要:近年来,“海绵城市”在全国进行了大量的推广和实践,在城市道路设计中,海绵城市设施主要是对年径流总量控制率和雨水径流污染物削减率进行控制。根据理论计算方法,结合建设实例,针对不同路幅、不同纵坡的道路,对海绵城市设施选型进行探索,并提出建议,可为城市道路海绵城市设计提供参考。

关键词:海绵城市;城市道路设计;低影响开发

中图分类号: U412.37

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)10-0117-04

0 引言

随着城镇化的发展,大量土地被硬化,原本的自然生态本底和水文特征发生了改变。被硬化前的土地透水系数较高,降雨不会形成大量径流,但硬化后的屋面、路面、广场等无透水性能,形成地表径流需要排出。但是,在城镇化飞速发展的过程中,城市需排出雨水量远超了城市原来设计的排水能力,导致城市常常发生内涝;雨水被排出后,地面迅速变干,可供蒸发的水分减少,又导致城市发生旱情。这种水文过程的变化,最终还会带来许多生态问题^[1]。

“海绵城市”在国内经过几年的推广和实践,取得了一定的成效。但在各地建设的经验中,也发现了一些问题。

1 海绵城市概念

住建部《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》(以下简称《指南》)对“海绵城市”的概念给出了明确的定义:海绵城市是指城市能够像海绵一样,在适应环境变化和应对自然灾害等方面具有良好的“弹性”,下雨时吸水、蓄水、渗水、净水,需要时将蓄存的水释放并加以利用^[2]。

传统市政道路的排水理念是尽可能快的排除,雨水在路面形成径流后进入雨水口,然后全部流入雨水管道进行排除。这样容易导致在路缘石处形成积水,进而引发洪涝灾害。同时路面初期降雨污染较重,这样排入河道后会污染城市水体^[3]。然而,采用

海绵城市措施建设的城市市政道路排水系统,能够有效的提升城市水资源利用率,在雨季期间大量的雨水能够得到有效的储存并投入到植被绿化、道路浇洒以及公厕用水等城市建设实际运用当中。

在城市道路设计中,海绵城市措施主要是对年径流总量控制率和雨水径流污染物削减率进行控制,常采用的措施包括下沉式绿地、植草沟、生物滞留设施、透水铺装等。

2 国内外研究现状

2.1 国外研究现状

波特兰市会议中心项目在道路两侧设置了雨水花园、植被浅沟等,这些设施不仅对控制雨水发挥了作用,还提升了道路的景观效果,获得了 2003 年最佳水资源保护奖^[4]。

西雅图的 SEA Street 利用多种方式使雨水下渗,补充地下水。SEA Street 经过改造后,通过华盛顿大学三年监测发现,该区域暴雨时的径流总量减少了 99%^[5]。

德国弗莱堡市的广场,采用了下沉式绿地、旱式浅草沟、透水铺装等设施后,不仅没有再出现排水不畅的问题,旱季时还能够增加土地湿度,是“低影响开发”在城市广场中应用的典型案例^[5]。

Dreelin 等人的研究表明,透水路面相较于普通沥青路面,能减少 93% 的雨水径流^[6]。Collins 等人经研究发现,透水混凝土路面可以接纳 6 mm 的降雨量下渗,避免其形成径流^[7]。Debusk 等人通过实验发现,生物滞留设施能够削减地表径流量的 97%~99%^[8]。

2.2 国内研究现状

刘国茂建议将道路两侧路缘石由立式改为平式,

收稿日期: 2022-05-01

作者简介:戚沁菡(1989—),女,学士,工程师,从事给排水设计工作。

这样可将一部分车行道雨水引入绿化带内。这样,不仅可节约大量的水资源,缓解城市用水压力;雨水下渗后还可作为地下水的补充,缓解由于地下水的过度开采而造成的地面沉降^[9]。张崇厚等人提出人行道可采用透水铺装,或形成人行道渗水带,人行道渗水带还可与路侧带的绿化带连为一体,形成更宽的渗水带,这种做法适用于各种断面形式的城市道路^[10]。

何卫华等人经研究后提出:针对不同类型的城市道路,应进行海绵城市的合理化设计。立交可设置大型雨水塘、湿地、多功能调蓄等;快速路及干道宜采用生物滞留带、植被浅沟、雨水花园等,减少径流总量和污染物负荷;支路则应利用周边绿化带,采用分散式措施,人行道应全部采用透水铺装^[11]。

2010年,深圳市在光明新区门户区新建了23条市政道路,采用了下沉式绿地等低影响开发(LID)技术进行设计,使道路红线范围内的雨水得到了过滤、滞蓄、渗透等^[12]。海源南路是昆明市第一条根据雨水资源化利用的理念进行设计的道路,采用了开孔路缘石,将道路路面雨水汇入双侧绿化带,达到雨水减排、净化、补给地下等目的^[13]。

综上所述,国外的低影响开发(LID)技术研究开始得较早,因此已日趋成熟,但其学术研究大多是关于LID设施的控制效果,而关于LID设施在城市道路中的应用等方面的文献较少。海绵城市技术在我国城市道路中的研究和应用还处于探索阶段,虽然住建部出台了《指南》,但其给出的内容、要求和方法都是指导性的意见,具有笼统性,缺少针对性建议及具体的工程设计、实践成果。

3 城市道路设计中的海绵城市设施选型

LID技术主要功能有渗透、储存、调节、转输、截污净化等,各类用地中LID设施选用见表1,其中道路LID设施效果见表2^[2]。

根据表1、表2可知,城市道路可选用的LID设施有:透水砖铺装、生物滞留设施、下沉式绿地和植草沟等。其中,下沉式绿地无污染物去除效果,植草沟对径流总量控制的效果较弱,因此建议道路海绵城市设施选用生物滞留设施和透水砖铺装,并根据不同路幅、纵坡,通过计算进行设施选型。

3.1 不同道路路幅的海绵城市设施选型

为保证生物滞留设施的性能和景观效果,其宽度不宜小于1.5m。同时,《城市道路工程设计规范(2016年版)》(CJJ 37—2012)要求,各级道路人行道

表1 各类用地中低影响开发设施选用一览表

技术类型 (按主要功能)	单项设施	用地类型			
		建筑与 小区	城市 道路	绿地与 广场	城市 水系
渗透技术	透水砖铺装	●	●	●	○
	透水水泥混凝土	○	○	○	○
	透水沥青混凝土	○	○	○	○
	绿色屋顶	●	○	○	○
	下沉式绿地	●	●	●	○
	简易型生物滞留设施	●	●	●	○
	复杂型生物滞留设施	●	●	○	○
	渗透塘	●	○	●	○
	渗井	●	○	●	○
	储存技术	湿塘	●	○	●
雨水湿地		●	●	●	●
蓄水池		○	○	○	○
雨水罐		●	○	○	○
调节技术	调节塘	●	○	●	○
	调节池	○	○	○	○
转输技术	转输型植草沟	●	●	●	○
	干式植草沟	●	●	●	○
	湿式植草沟	●	●	●	○
	渗管/渠	●	●	●	○
截污净化技术	植被缓冲带	●	●	●	●
	初期雨水弃流设施	●	○	○	○
	人工土壤渗滤	○	○	○	○

注:●—宜选用;○—可选用;○—不宜选用。

最小宽度为2m。因此,建议人行道宽度小于5m时,不设置生物滞留设施,仅采用人行道透水砖铺装这种海绵城市LID设施;当人行道宽度大于等于5m时,可在采用人行道透水砖铺装的基础上,设置生物滞留设施。

生物滞留设施宽度应根据计算选取,设施具有的调蓄容积应满足“单位面积控制容积”的指标要求,设计调蓄容积一般采用《指南》中的“容积法”进行计算。

以重庆市某道路为例,道路长度1000m,道路路幅分配为5.5m(人行道)+7.5m(机动车道)+7.5m(机动车道)+5.5m(人行道)=26m,在两侧人行道靠近路缘石一侧新建1.8m生物滞留带,内部净宽1.5m,考虑机动车道雨水径流均通过路缘石雨水豁口进入生物滞留带。

(1)生物滞留带设计进水量

海绵城市径流控制指标设计调蓄量:

$$V = 10 H_s (\Psi A + A_0) \quad (1)$$

式中:V为设计调蓄容积,m³;H_s为设计降雨量,mm,按照年有效径流控制率85%计,取31.9mm;Ψ为综合雨量径流系数,按照用地性质加权取,道路取0.9;

表2 海绵城市道路LID设施性能效果表

单项设施	功能				控制目标			处置方式		经济性		污染物去除率(以SS计,%)	景观效果	
	集蓄利用雨水	补充地下水	削减峰值流量	净化雨水	转输	径流总量	径流峰值	径流污染	分散	相对集中	建造费用			维护费用
透水砖铺装	○	●	◎	◎	○	●	◎	◎	√	—	低	低	80~90	—
透水水泥混凝土	○	○	◎	◎	○	◎	◎	◎	√	—	高	中	80~90	—
透水沥青混凝土	○	○	◎	◎	○	◎	◎	◎	√	—	高	中	80~90	—
下沉式绿地	○	●	◎	◎	○	●	◎	◎	√	—	低	低	—	一般
简易型生物滞留设施	○	●	◎	◎	○	●	◎	◎	√	—	低	低	—	好
复杂型生物滞留设施	○	●	◎	●	○	●	◎	●	√	—	中	低	70~95	好
雨水湿地	●	○	●	●	○	●	●	●	√	√	高	中	50~80	好
转输型植草沟	◎	○	○	◎	●	◎	○	◎	√	—	低	低	35~90	一般
干式植草沟	○	●	○	◎	●	●	○	◎	√	—	低	低	35~90	好
湿式植草沟	○	○	○	●	●	○	○	●	√	—	中	低	—	好
渗管/渠	○	◎	○	○	●	◎	○	◎	√	—	中	中	35~70	—
植被缓冲带	○	○	○	●	—	○	○	●	√	—	低	低	50~75	一般

注:1.●—强;◎—较强;○—弱或很小。

2.SS去除率数据来自美国流域保护中心(Center For Watershed Protection,CWP)的研究数据。

A为车行道可控部分汇水区域面积,m²;A₀为生物滞留带直接受雨的面积,m²。

(2)生物滞留带设计计算

生物滞留带的设计有效调蓄容积:

$$V_s = V - W_p \tag{2}$$

式中:V_s为生物滞留带的设计有效调蓄容积;W_p为渗透量,m³。渗透设施的渗透量按照式(3)(达西定律)计算:

$$W_p = \alpha K J A_s t_s \tag{3}$$

式中:α为综合安全系数,一般可取0.5~0.8,本次设计取0.8;K为平均渗透系数,m/s,本次设计取10⁻⁶ m/s;J为水力坡降,一般可取J=1.0;A_s为有效渗透面积,m²;t_s为渗透时间,s,取值7 200 s。

(3)生物滞留带实际有效调蓄容量校核

本次设计生物滞留带总长为2 000 m,净宽为1.5 m,其中蓄水层深度为0.2 m,则校核计算结果见表3。

表3 生物滞留带实际有效调蓄容量校核计算表

A/hm ²	A ₀ /hm ²	V/m ³	W _p /m ³	V _s /m ³	V _实 /m ³
1.5	0.3	526.35	172.80	353.55	480.00

由于生物滞留带V_实>V_s,因此本次设计生物滞留带单项设施年径流总量控制率可以达到85%,对应控制的设计降雨量为31.9 mm。

由上例可以看出,净宽度为1.5 m的生物滞留设施,可以满足机动车道宽度为7.5 m时单项设施年径流总量控制率85%的要求。当机动车道宽度增大时,应相应增大生物滞留设施净宽度,进而增大其调蓄

容积,以满足单项设施年径流总量控制率的指标要求。

3.2 不同道路纵坡的海绵城市设施选型

机动车道雨水径流通过路缘石雨水豁口进入生物滞留设施,路缘石拦水带构成了浅三角形形式,见图1。

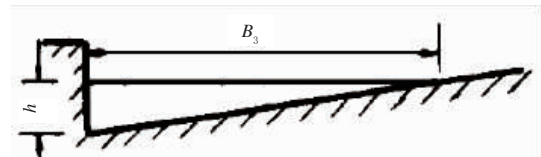


图1 浅三角形沟示意图

对于浅三角形沟的水力计算采用修正的曼宁公式来计算泄水能力。

$$Q = 0.3771 \frac{1}{i_1 n} h^{8/3} i_2^{1/2} \tag{4}$$

式中:n为曼宁粗糙系数,粗糙沥青路面取0.016;i₁、i₂为道路横坡和纵坡;h为路缘石处水深,m。

路缘石雨水豁口为倒梯形侧向进水,进水状况类似于侧堰,可按宽顶堰堰流公式计算。由于侧孔前的水深是沿纵向变化的,其误差用系数K修正,雨水豁口泄流量:

$$Q_{泄} = K \cdot 385B \sqrt{2g} \cdot h^{3/2} \tag{5}$$

式中:B为路缘石豁口宽度,m;K为修正系数,0.52;h为侧孔前水深,m。

可知,当道路纵坡较大时,路缘石处水深h较小,进而造成雨水豁口泄流量较小,必须减小雨水豁口布置间距,以满足雨水豁口泄流量为设计流量的1.5~3倍的要求。但雨水豁口布置太密,将影响道路美观、加大建设投资,实际收水效果也难以保证。

因此建议:当道路纵坡小于5%时,可设置生物滞留设施;道路纵坡大于等于5%时,不设置生物滞留设施,可采用普通绿化带,保持景观统一性。生物滞留设施雨水豁口设置间距应根据道路纵坡进行计算,道路坡度越大,雨水豁口设置间距越小。

4 结 语

城市道路在海绵城市建设中有着举足轻重的地位,是海绵城市建设的重要组成部分。城市道路不仅需要收集排放其范围内的雨水,周边地块的雨水也会进入道路雨水管网系统,因此城市道路在城市内涝防治等方面发挥着关键作用,如何在海绵城市理念下充分考虑城市道路的功能及特点,并对其进行最优化设计对生态文明建设有着重要的意义。

参考文献:

- [1] 郑昭佩,宋德香.山地城市海绵城市建设的对策研究——以济南市为例[J].生态经济,2016,32(11):161-164.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部.海绵城市建设技术指南—低影响开发雨水系统构建(试行)[Z],2014.
- [3] 王岩.论海绵城市在市政工程设计中的应用[J].城市道桥与防洪,2016(1):100-102.

- [4] 张伟,车伍,王建龙,等.利用绿色基础设施控制城市雨水径流[J].中国给水排水,2011,27(4):22-27.
- [5] 孙芳.基于海绵城市的城市道路系统化设计研究[D].西安:西安建筑科技大学,2015.
- [6] DREELIN E A, FOWLER R L, RONALD CARROLL. A test of porous pavement effectiveness on clay soils during natural storm events[J]. Water Research, 2006, 40:799-805.
- [7] COLLINS K A, HUNT W F, HATHAWAY J M. Hydrologic comparison of our types of permeable pavement and Standard Asphalt in Eastern North Carolina[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2008, 12(13):1146-1157.
- [8] DEBUSK K M, WYNN T M. Storm-water bioretention for runoff quality and quantity mitigation [J]. Journal of Environmental Engineering, 2011, 137(9):800-808.
- [9] 刘国茂.城市道路与路面雨水利用的探讨[J].城市道桥与防洪,2005(4):63-65,146.
- [10] 张崇厚,高晓磊.中国北方城市道路横断面的生态设计[J].清华大学学报(自然科学版),2009(6):794-797.
- [11] 何卫华,车伍,杨正,等.城市绿色道路及雨洪控制利用策略研究[J].给水排水,2012(9):42-47.
- [12] 唐邵杰,瞿艳云,容义平.深圳市光明新区门户区——市政道路低冲击开发设计实践[J].建设科技,2010(13):47-55.
- [13] 马敏杰,姚敏,李英豪,等.昆明市市政道路雨水资源化利用的研究[J].林业建设,2011(5):49-52.

~~~~~  
(上接第116页)

#### 参考文献:

- [1] 丁凯熙,张利平,宋晓猛,等.北京地区汛期降雨时空演变特征及城市化影响研究[J].地理科学进展,2019,38(12):16.
- [2] 杜玲英.北京市城市防洪调度原则[J].北京水利,2003(5):22-24.
- [3] 杨士弘.城市生态环境学(2版)[M].北京:科学出版社,2004:75-85.
- [4] 梁灵君,杨忠山,白国营.城市化进程对北京城区降水影响探讨[J].

- 北京水务,2011(3):4.
- [5] 臧敏.论北京城市防洪排涝能力建设[J].北京水务,2012(4):17-19.
- [6] 陆婷婷,崔晓鹏.北京两次特大暴雨过程观测对比[J].大气科学,2022,46(1):111-132.
- [7] 王亚娟,赵小伟,臧敏,等.北京市“7·20”特大暴雨洪水分析[J].北京水务,2016(5):1-6.