

道路生物滞留带削减雨水径流的实测效果研究

黄静岩¹, 李俊奇^{1,2}, 宫永伟¹, 王文亮^{1,2}, 陆利杰¹, 张毅¹

(1. 北京建筑大学 城市雨水系统与水环境省部共建教育部重点实验室, 北京 100044; 2. 北京建筑大学 海绵城市研究院, 北京 100044)

摘要: 通过对深圳市某道路生物滞留设施进行雨水径流监测试验, 研究生物滞留设施对道路雨水径流的削减效果及影响因素。结果表明, 当降雨总量为 3.3 ~ 76.7 mm、平均雨强为 0.03 ~ 0.67 mm/min 时, 生物滞留设施对道路雨水径流的场次径流总量控制率为 50.5% ~ 100%, 峰值流量削减率为 53.4% ~ 100%, 滞峰时间可以达到 2 min 以上。生物滞留设施对场次降雨量小且平均降雨强度小的道路径流削减效果较好。

关键词: 生物滞留设施; 城市雨水; 道路径流; 控制效果; 影响因素

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)11-0120-08

Research on Stormwater Runoff Reduction by Roadside Bioretention Facilities

HUANG Jing-yan¹, LI Jun-qi^{1,2}, GONG Yong-wei¹, WANG Wen-liang^{1,2}, LU Li-jie¹, ZHANG Yi¹

(1. Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment <Ministry of Education>, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 2. Institute of Sponge City and Stormwater Management, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China)

Abstract: The runoff reduction effects of roadside bioretention facilities and the relevant factors to the bioretention efficiency were explored, based on stormwater runoff monitoring tests of a roadside bioretention facility in Shenzhen. The results showed that single event total runoff volume control rates reached 50.5% - 100%, peak flow reduction rates achieved 53.4% - 100%, and the peak flow was detained for more than 2 min, when the total rainfall volume was between 3.3 mm and 76.7 mm and the average rainfall intensity was between 0.03 mm/min and 0.67 mm/min. The bioretention facility demonstrated excellent performances in roadside rainfall-runoff control when rainfall total volume and mean intensity were low.

Key words: bioretention facility; urban stormwater; road runoff; control effect; influencing factor

城市化过程中下垫面条件的改变使区域天然状态下的水文循环状态发生了较大的变化, 径流过程

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51478026); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2010ZX07320-002); 北京未来城市设计高精尖创新中心项目(UDC2016040100)

通信作者: 李俊奇 E-mail: jqli6711@vip.163.com

曲线、洪峰流量曲线、径流系数等水文特征发生了很大的改变,引起了径流污染加剧、内涝风险加大、生态恶化等诸多问题。生物滞留是低影响开发技术中一类重要的措施,径流雨水进入生物滞留设施中,以“蓄水—渗透—底部出流”或者“蓄水—渗透—溢流排放”的方式增加雨水的渗透量和蒸发量,来最大限度地保持或恢复场地开发前的自然水文循环状态。城市道路占城市建设用地的比例一般为 10%~15%,更有甚者达到 30%~40%^[1],作为城市的主要下垫面,使用生物滞留设施,能够对道路雨水径流进行原位消纳与减排,起到较好的控制效果。

目前,国内在生物滞留设施削减道路径流量方面的研究主要集中在策略方法、规划设计及模型验证等方面^[2],对径流水质控制方面的研究主要以实验室小试为主,而对实际项目的水量与水质监测及实际控制效果方面的研究较少。笔者通过对深圳

市某道路生物滞留设施的现场水量和水质监测,研究生物滞留设施对道路径流的控制效果及其影响因素,以期为生物滞留设施的设计提供技术支撑。本研究主要针对道路生物滞留设施的径流量控制效果进行讨论,对水质控制效果的研究另文讨论。

1 研究区域概况

监测区域位于深圳光明新区市政Ⅱ级次干道,道路全长为 2.2 km,红线宽度为 40 m,机动车道为双向四车道,中央绿化带宽为 9 m,路侧绿化带宽为 3 m,自行车道宽为 1.5 m,人行道宽为 3.5 m;机动车道及自行车道为沥青路面,人行道为透水砖铺装路面,于 2013 年 5 月建成通车。根据绿化带的作法不同,道路分为两段,其中带有生物滞留设施的道路长为 1.4 km(道路横断面如图 1 所示),具有普通绿化带的道路长为 0.8 km,两段道路除滞留带外,道路横断面相同。

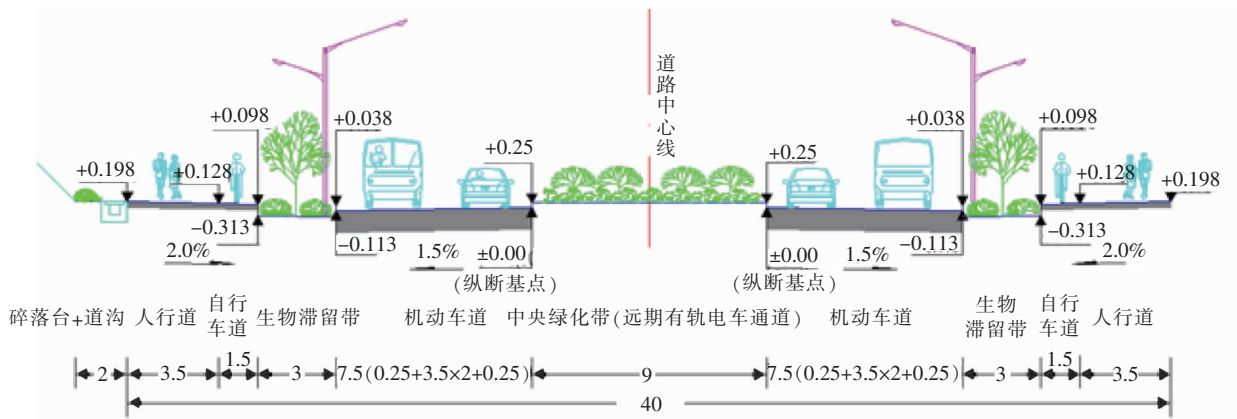


图 1 生物滞留带路段的横断面示意

Fig. 1 Cross section of road with bioretention

生物滞留设施的横断面如图 2 所示。

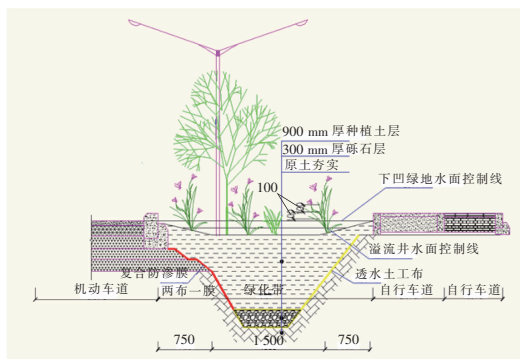


图 2 生物滞留设施断面示意

Fig. 2 Cross section of bioretention

生物滞留设施从上至下依次为 10 cm 深植被

蓄水层、90 cm 厚人工混合填料层、由粒径为 1~3 cm 的砾石构成的 30 cm 厚无渗排管的底部蓄水层,超过生物滞留设施渗滤能力的雨水均从溢流口处流入市政管网^[2]。采用恒水头双环入渗仪测定生物滞留设施的稳定下渗速率为 $6.9 \times 10^{-6} \sim 2.7 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ 。

2 试验过程与评价方法

选取 6 个监测点位,其中 3 个监测点在传统道路段,3 个监测点在有生物滞留设施的道路段。道路生物滞留设施监测试验的径流削减效果评价采用对比监测评价方法。整条道路根据坡度、汇水面积的不同分为 3 个对比监测段,分别为:传统路段 A 和生物滞留带路段 A,传统路段 B 和生物滞留带路

段B,传统路段C和生物滞留带路段C。各监测点的具体情况如表1所示。对比段的机动车道断面、纵坡、横坡以及人行道、自行车道横坡、汇水面积等因素的实际情况有细微差别,但是这些差别对监测结果影响较小。

表1 监测点位概况

Tab.1 Basic facts of monitoring points

项 目	道路汇水段长度/m	生物滞留带占汇流面积的比例/%	道路横坡/%	道路纵坡/%	人行道横坡/%
传统路段 A	130	—	1.5	3.03	2.0
传统路段 B	30	—	1.5	0.31	2.0
传统路段 C	59	—	1.5	0.31	2.0
生物滞留带路段 A	130	12	1.5	2.8	2.0
生物滞留带路段 B	30	12	1.5	0.23	2.0
生物滞留带路段 C	59	6	1.5	0.23	2.0

在附近道路的屋顶上安放型号为 SpecWare 9 Professional 的翻斗式雨量计,连续记录降雨情况,降雨记录时间间隔为 1 min。监测点的出水口流量采用 90°的薄壁三角堰进行监测,将薄壁三角堰放在溢流口或雨水口中,每隔 5 min 记录水位高度,形成时间—流量过程线。

生物滞留带路段 A、B、C 的进水包括:机动车道每隔 15 m 设置 30 cm 路缘石豁口集中进水、人行道和自行车道全线连续进水以及生物滞留设施本身接受的降雨,在生物滞留带的末端溢流口处进行流量监测。传统路段主要包括机动车道、人行道和自行车道、绿化带,通过地表漫流的形式流入汇水范围内末端的雨水口,在雨水口处进行流量监测。

具体的监测过程与方法如下:在监测区域,利用沙袋将上、下游的雨水隔离开,形成独立的汇水范围。生物滞留设施和传统道路监测段的封闭汇水区如图3所示。

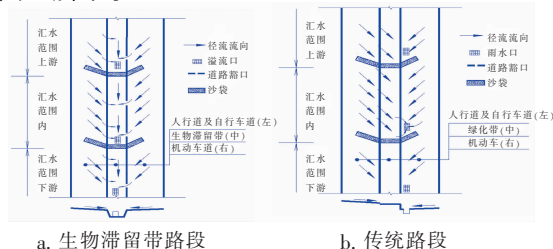


图3 生物滞留设施和传统道路监测段的封闭汇水区示意

Fig.3 Closed catchment area of bioretention road and traditional road

生物滞留带路段 A 是一条完整的生物滞留段,长度为 130 m,每隔 40 m 有一个溢流井,共 3 个溢流井,在雨季监测期间,将上游的两个溢流井用塑料膜和沙袋临时封堵,从而使生物滞留设施内的雨水只能从末端溢流井溢流到市政管网,在雨水口处安装 90°薄壁三角堰进行出水水位监测。传统路段 A 有 130 m 长的绿化带,在汇水范围内有 3 个道路雨水口,用同样的方法将上游两个雨水口临时封堵,在末端雨水口处安装 90°薄壁三角堰进行出水水位监测。其他路段也采用同样的监测方法。

生物滞留设施削减道路径流效果的评价指标包括:径流总量控制率(场次) R_{volume} 、峰值流量削减率 R_{peak} 、滞峰时间 T_{delay} 。

$$R_{\text{volume}} = \frac{\text{入流总量} - \text{出流总量}}{\text{入流总量}} \quad (1)$$

$$R_{\text{peak}} = \frac{\text{入流峰值流量} - \text{出流峰值流量}}{\text{入流峰值流量}} \quad (2)$$

$$T_{\text{delay}} = \text{出流峰值出现时间} - \text{入流峰值出现时间} \quad (3)$$

将生物滞留带路段的监测数据作为出流总量、出流峰值流量、出流峰值出现时间,传统路段的监测数据作为入流总量、入流峰值流量、入流峰值出现时间,从而计算出径流总量控制率(场次) R_{volume} 、峰值流量削减率 R_{peak} 、滞峰时间 T_{delay} ,评价生物滞留设施对道路径流水量的削减效果。

3 生物滞留设施对径流水量的控制效果

3.1 试验监测结果

监测区域道路的生物滞留设施于 2013 年 5 月建成,经过 14 个月的稳定及一个雨季的冲刷,植被蓄水层的植物已经稳定生长,填料层和底部蓄水区也达到稳定透水和蓄水,可视为生物滞留设施的径流削减监测试验能够反映设施的稳定径流削减效果。在 2014 年 7 月—9 月对 6 个监测点进行 15 场降雨监测,其中,在 7 月 18 日、7 月 24 日、8 月 1 日、8 月 2 日、8 月 13 日监测生物滞留带路段 A,降雨量分别为 16.4、11.4、6、10.1、32 mm;8 月 20 日、22 日、23 日、28 日监测生物滞留带路段 C,降雨量分别为 3.3、10.5、6.7、4.2 mm;9 月 5 日、10 日、12 日、13 日、14 日、15 日—17 日监测生物滞留带路段 B,降雨量分别为 6.1、6.1、23.1、3.6、13.1、76.6 mm。

由于实际监测的降雨场次有限,难以用有限的监测数据来准确评价生物滞留设施的年径流总量控

制效果。因此,本研究对道路生物滞留设施的场次 降雨径流控制效果进行监测与评价,结果见表 2。

表 2 生物滞留设施对道路径流的削减效果

Tab. 2 Runoff reduction effect of bioretention facilities

项 目	降雨场次	降雨日期	雨前干期/h	降雨量/mm	降雨历时/min	场次径流总量控制率/%	峰值流量削减率/%	滞峰时间/min	降雨强度/(mm·min ⁻¹)	
									平均雨强	最大雨强
生物滞留带路段 A	1	7 月 18 日	101	16.4	60	77.9	73.4	2	0.27	2.80
	2	7 月 24 日	54	11.4	25	83.2	88.3	11	0.46	1.30
	3	8 月 1 日	>120	6	80	100	100	未溢流	0.08	0.60
	4	8 月 2 日	20	10.1	60	100	100	未溢流	0.17	0.80
	5	8 月 13 日	100	32	180	75.3	81.5	7	0.18	1.30
生物滞留带路段 B	6	9 月 5 日	72	6.1	50	100	100	未溢流	0.12	0.80
	7	9 月 10 日	49	6.1	60	100	100	未溢流	0.11	1.00
	8	9 月 12 日	40	23.1	418	100	100	未溢流	0.06	0.80
	9	9 月 13 日	21	3.6	35	100	100	未溢流	0.10	0.60
	10	9 月 14 日	25	13.1	20	94	93.1	7	0.67	1.50
	11	9 月 15 日—17 日	26	76.6	2 540	87.5	69.7	10	0.03	1.50
生物滞留带路段 C	12	8 月 20 日	1	3.3	20	72.3	93.4	8	0.16	0.80
	13	8 月 22 日	40	10.5	30	50.5	53.4	8	0.35	1.30
	14	8 月 23 日	24	6.7	60	89.4	92.9	21	0.11	1.00
	15	8 月 28 日	60	4.2	40	100	100	未溢流	0.11	0.80

由表 2 可知,当场次降雨总量在 3.3~76.6 mm 之间且平均雨强为 0.03~0.67 mm/min 时,生物滞留设施的降雨径流总量控制率可达到 50.5%~100%,峰值削减率可达到 53.4%~100%,滞峰时间可达到 2~21 min。相对于传统道路的快速排水模式,生物滞留设施能够较好地延迟径流峰值的出现。由于试验中的生物滞留带长度、面积等相对于整条道路的生物滞留带来说较小,到达出水口的汇流时间较短,造成径流峰值延迟的时间相对于实际道路建设来说较小。综上,相对于传统道路,基于生物滞留设计的道路在径流总量控制、峰值削减和滞峰时间三个径流控制指标上有较好的效果。

3.2 理论与实际径流总量控制效果比较

根据向璐璐^[3]以体积削减为设计目标,综合考虑生物滞留设施蓄水层植物、渗透性能、填料层孔隙储水能力等因素的完全水量平衡法,结合 Davis 等人提出的生物滞留“抽象储水容积”^[4],按照生物滞留带的实际尺寸,推算生物滞留带 A、B、C 现有状态下的设计降雨量分别为 19.4、19.4、8.6 mm,对应的年径流总量控制率分别为 55%、55%、31%。

对监测的 15 场降雨进行理论径流总量控制率与实际径流总量控制比较分析,小于和大于设计降雨量的单场降雨控制效果分别如图 4、5 所示。

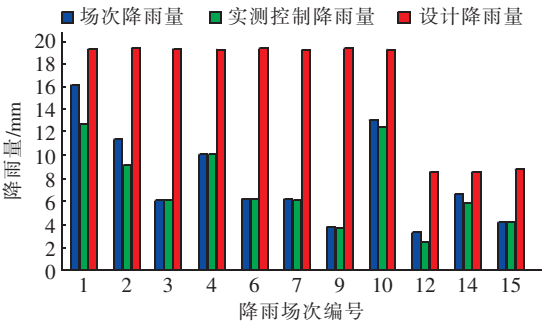


图 4 小于设计降雨量的单场降雨控制效果

Fig. 4 Single-field rainfall control effect of less than design rainfall

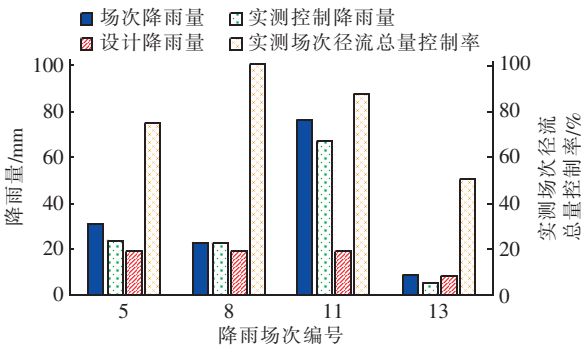


图 5 大于设计降雨量的单场降雨控制效果

Fig. 5 Single-field rainfall control effect of more than design rainfall

由图4可知,针对小于设计降雨量的场次降雨,生物滞留设施对道路径流有着较好的控制效果。设计降雨量为19.4 mm的设施能够完全控制小于6 mm的场次降雨,对于6~19.4 mm的降雨,由于坡度、降雨强度、降雨历时、前干期等因素的综合影响,出现少量外排。第1场降雨比第10场降雨的降雨强度小、降雨量大,外排量相对较大,控制效果没有第10场的好,主要原因是本段道路及生物滞留带的纵坡较大,设施蓄水能力受到影响。第6、7、9、10场降雨的控制效果相对于第12、14、15场降雨的控制效果好,主要原因是生物滞留设施面积占比不一样,面积占比小则控制效果相对较差。

由图5可知,对于大于设计降雨量的场次降雨,生物滞留设施对道路径流也有较好的控制效果。对于生物滞留带A、B,每场降雨的实测控制降雨量都大于19.4 mm,即能够达到设计年径流总量控制率。第13场降雨的实测场次径流总量控制率满足设计年径流总量控制率,但是控制的降雨量却小于设计降雨量即8.6 mm,分析如下:8月22日的降雨(第13场降雨)为南方典型的短历时强降雨,降雨-径流过程见图6,整场降雨历时30 min,降雨量为10.5 mm,平均降雨强度为0.35 mm/min,前15 min内降雨量为9.9 mm,15 min的平均降雨强度达到0.66 mm/min,降雨强度较大,径流雨水快速存满蓄水层,土壤层及底部蓄水层没有发挥蓄水能力,导致生物滞留带C的实际控制容积小于设计控制容积,使雨水从滞留设施溢流到市政管网,导致本场降雨径流总量控制率和峰值削减率在50%~60%之间。

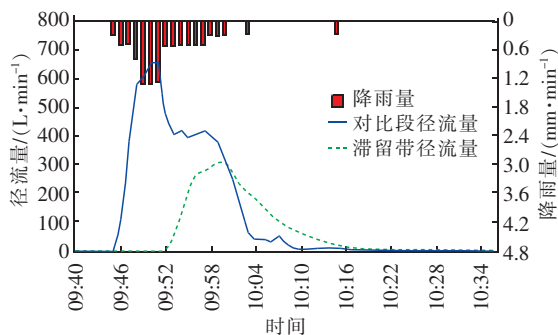


图6 8月22日生物滞留带C及其对比段的降雨-径流曲线

Fig. 6 Rainfall-runoff curve of bioretention facility C and its contrast in August 22

4 生物滞留设施削减径流水量的影响因素

生物滞留设施对道路径流水量的削减效果受到诸多因素的影响,根据监测现场状况,结合监测结

果,重点分析场次降雨总量、降雨强度等因素对生物滞留设施控制道路径流水量的影响。

4.1 场次降雨总量的影响

分析3个生物滞留带的径流总量控制率和场次降雨总量之间的关系,如图7所示。

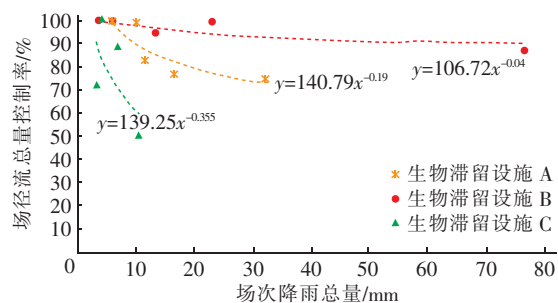


图7 场次降雨总量与生物滞留设施场径流总量控制率的关系

Fig. 7 Relationship between single-field total rainfall and single-field runoff total control rate of bioretention facilities

随着场次降雨总量的逐渐增大,生物滞留设施的径流总量控制效果总体呈现逐渐变差的趋势;对小于30 mm的监测降雨量,生物滞留设施对道路径流总量的削减率基本都在70%以上,说明生物滞留设施在控制道路雨水径流总量的实际应用中可以起到良好的作用。以下对单场降雨进行分析。

生物滞留带C在10.1 mm的降雨情况下,径流总量控制率只有50.5%,这主要是受到降雨强度的影响,前期降雨强度较大,使得雨水径流快速存满蓄水层,渗透和蒸发量较小,发生溢流。生物滞留设施C在3.3 mm的降雨情况下产生溢流,根据现场观察和降雨-径流过程分析,本次降雨与上次降雨间隔不到1 h,植被蓄水层内基本蓄满水,沥青道路、人行道和自行车道表层的蓄水空间的蓄水尚未蒸发,在这种条件下,经历3.3 mm的降雨,生物滞留设施的剩余蓄水容积不足以容纳产生的径流,从而产生溢流,但是相比于传统道路直接排放,生物滞留设施在总量控制、径流峰值流量削减和滞峰时间方面依然有很好的效果。

生物滞留带B及其对比监测段在76.6 mm场次降雨量下的降雨-径流过程线如图8所示。对于本场降雨,传统对比监测路段的产流量实测为56 m³,即生物滞留设施进水量为56 m³,而生物滞留设施的设计蓄水容积为9 m³(植被蓄水层),理论溢流外排量为47 m³、径流总量控制率为16.1%,而实测

的溢流外排量为 7 m^3 、径流总量控制率为 87.5%,理论值和实测效果差别很大。根据现场观察和场次降雨-径流过程分析,本场降雨属于东南沿海地区常见的总降雨量较大、历时较长的“台风雨”,总历时 2 540 min,由于降雨时间较长,降雨处于间歇状态,始终伴有大风,道路径流进入生物滞留设施后,在降雨间歇时间内经过渗透和快速蒸发作用,因此在前 1 702 min 溢流很少,除了在 9 月 16 日 20:33—21:22 的一段短历时强降雨时发生大量溢流外,其他时间段的降雨大部分被渗透、蒸发以及储存在土壤和设施的底部蓄水层中。

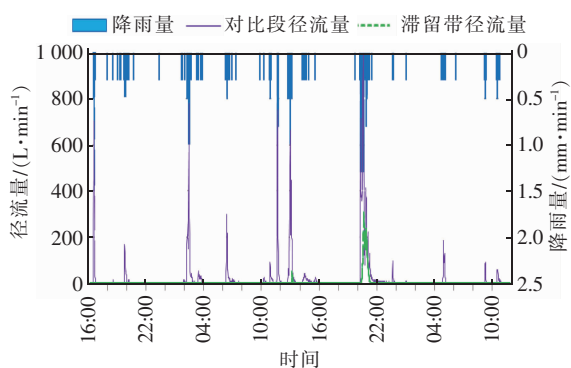


图8 9月15日—17日生物滞留带B及其对比段的降雨-径流曲线

Fig. 8 Rainfall-runoff curve of bioretention facility B and its contrast in September 15-17

4.2 平均降雨强度的影响

分析3个生物滞留带的场径流总量控制率和平均降雨强度之间的关系,如图9所示。随着平均降雨强度的逐渐增大,生物滞留设施的场径流总量控制效果总体呈现逐渐变差的趋势。

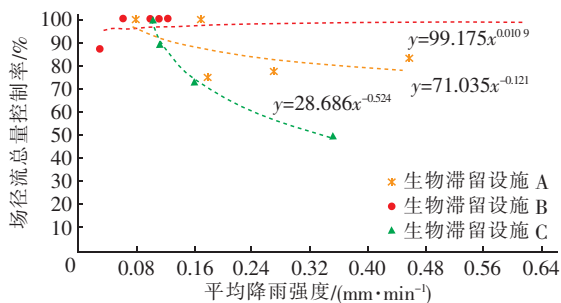


图9 平均降雨强度-场径流总量控制效果关系

Fig. 9 Relationship between average rainfall intensity and single-field total runoff control effect

生物滞留带A在平均降雨强度为0.17和0.18 mm/min的两场降雨中,有着不同的场径流总量控制效果。根据现场观察和监测过程分析,平均降雨

强度为0.17 mm/min的场次降雨量为10.1 mm,历时60 min,雨前干期为20 h,设施已经排空,土壤处于湿润状态;平均降雨强度为0.18 mm/min的场次降雨量为32 mm,历时60 min,雨前干期为100 h,设施已经排空,土壤处于一般状态,该场降雨的降雨-径流曲线见图10。对比这两场降雨中生物滞留设施的径流削减效果可以发现,降雨量是影响生物滞留设施控制径流效果的主要因素。由图10可知,对于32 mm的降雨,在13:25之后生物滞留设施不产生溢流,此后到14:50之间共有6.9 mm的降雨,传统道路陆续有很小的径流外排,此时进入生物滞留设施的径流总量刚好等于入渗和蒸发的总量。

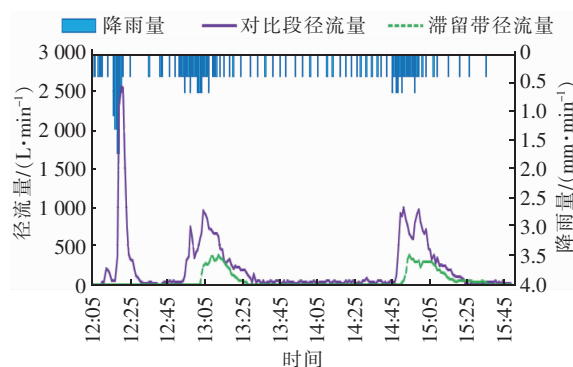


图10 8月13日生物滞留带A及其对比段的降雨-径流曲线

Fig. 10 Rainfall-runoff curve of bioretention facility A and its contrast in August 13

在9月14日平均雨强为0.67 mm/min的单场降雨中,生物滞留带B对道路径流总量的控制率达到了94%,比其他降雨强度较小的场次降雨情景都要好,其降雨-径流曲线如图11所示。

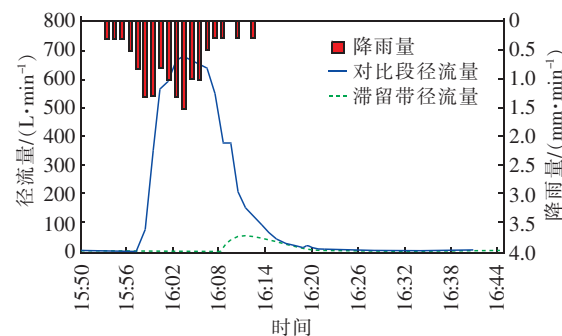


图11 9月14日生物滞留设施B及其对比段的降雨-径流曲线

Fig. 11 Rainfall-runoff curve of bioretention facility B and its contrast in September 14

该场降雨历时 20 min,降雨总量为 13.1 mm,为典型的单峰雨型,典型的短历时、强降雨,设施内发生溢流,产流模型为超渗产流。相比 9 月 12 日的降雨场次(平均降雨强度为 0.06 mm/min、降雨总量为 23.1 mm,未发生溢流),降雨量小反而产生溢流,是因为降雨强度是导致生物滞留设施内发生溢流的关键因素。

以上分析表明,在影响生物滞留设施对道路径流控制效果的因素中,降雨强度的影响程度要比降雨总量更大。

4.3 雨前干期的影响

研究表明,土壤的初始含水率会影响土壤的入渗性能,初始含水率越高则土壤的入渗能力越弱^[5],土壤的入渗性能对地表径流总量控制效果有很大的影响。Hunt 和 Davis 等的研究表明,根据雨前干期可把土壤干湿情况划分为干燥、一般、潮湿三个等级:雨前干期 > 120 h 时,土壤干燥;雨前干期为 48 ~ 120 h 时,土壤一般;雨前干期 < 48 h 时,土壤潮湿。雨前干期越短,土壤的初始含水率越大,则生物滞留设施的径流削减效果越差。在本研究中,雨前干期与生物滞留设施的场次径流总量控制效果的关系如图 12 所示。

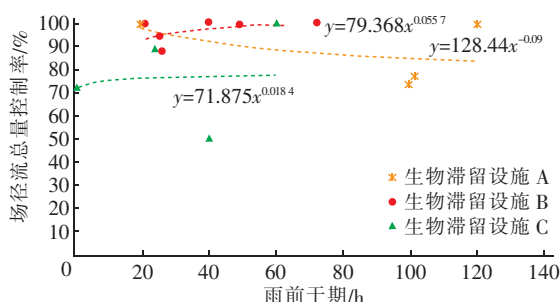


图 12 雨前干期与场径流总量控制效果的关系

Fig. 12 Relationship between dry period before rain and total runoff volume control effect of single event

现场监测结果表明,对于中小型降雨事件,雨前干期与径流总量控制效果呈现正相关,雨前干期越长,则径流总量控制效果越好;但是发现生物滞留带 A 与 C 的道路径流控制效果与雨前干期出现了负相关的关系。

生物滞留带 A:在雨前干期为 20 h 的监测场次,土壤较湿润、初期含水率也较高,生物滞留设施内蓄水已完全渗走,无蓄水;而本场降雨总量为 10.1 mm,在汇流过程中体积损失,总的径流体积比蓄水

容积小,无法形成溢流,控制效果能够达到 100%。在雨前干期为 100 h 的监测场次,土壤干湿情况为一般,而本场降雨总量为 32 mm,产汇流的体积超过生物滞留设施的蓄水容积,导致发生溢流。以上导致生物滞留带 A 的道路径流控制效果与雨前干期出现了负相关关系。

生物滞留设施 C:在雨前干期为 1 h 的监测场次,生物滞留设施中的蓄水没有及时渗透,只有很少的有效蓄水容积,导致在 3.3 mm 降雨量的情况下出现产流。在雨前干期为 60 h 的监测场次,因为降雨量小于设计降雨量,且降雨强度较小,降雨的产汇流体积比设施蓄水容积小,无法产生溢流。以上导致生物滞留带 C 的道路径流控制效果与雨前干期出现了负相关关系。

综上所述,对于降雨量较大、产汇流体积超出生物滞留设施蓄水容积的降雨,无论雨前干期有多长,径流都无法被完全控制。雨前干期对生物滞留设施径流控制效果的影响程度比降雨量和降雨强度要小。

场次降雨监测具有一定的随机性,每场降雨都有各自的特点,无法代表在设计降雨条件下生物滞留设施的道路径流削减效果。同时,有限的降雨监测场次无法准确地评价生物滞留设施长期的径流总量控制效果。要对生物滞留设施的长期径流总量控制效果进行有效、合理、准确的评价,还是要依靠模型进行多年连续降雨的模拟,根据模拟结果进行评价。但是现场监测也是至关重要的一个环节,准确的监测数据和现场情况记录能够为模型提供准确的率定数据,使搭建的模型和实际场地特征有更高的耦合性,从而提高模型模拟结果的准确性。

5 结论

① 生物滞留设施对道路径流总量有良好的控制效果。监测结果显示,在场次降雨总量为 3.3 ~ 76.6 mm、平均雨强为 0.03 ~ 0.67 mm/min 的情况下,生物滞留设施对道路径流的控制效果如下:场次径流总量控制率为 50.5% ~ 100%,峰值流量削减率为 53.4% ~ 100%,滞峰时间可以达到 2 min 以上。

② 对于小于设计降雨的场次降雨,相同结构设计、不同面积占比的道路生物滞留设施,设施面积占比越大则实际控制效果越好。

③ 场次降雨总量和平均降雨强度对生物滞留

设施的道路径流削减效果都有一定的影响,监测结果表明,在生物滞留设施为排空状态时,对降雨总量小、平均降雨强度小的道路径流可达到100%的控制效果;对降雨总量大、平均降雨强度大的道路径流控制效果最差;对降雨总量大、平均降雨强度小的道路径流有较好的控制效果,对降雨总量小、平均降雨强度大的道路径流也有一定的控制效果。

参考文献:

- [1] 陈蒙. 基于LID理念的城市道路雨水系统设计[D]. 南昌:南昌大学,2015.
- [2] 陆利杰. 生物滞留对产汇流过程的影响研究[D]. 北京:北京建筑大学,2015.
- [3] 向璐璐. 雨水生物滞留技术设计方法与应用研究[D]. 北京:北京建筑工程学院,2009.
- [4] Davis A P, Traver R G, Hunt W F, *et al.* Hydrologic performance of bioretention stormwater control measures[J]. Hydrol Eng, 2012, 17(5): 604-614.

- [5] 刘汗,雷廷武,赵军. 土壤初始含水率和降雨强度对黏黄土入渗性能的影响[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(2): 1-6.



作者简介:黄静岩(1992-), 男, 河南南阳人, 硕士研究生, 研究方向为城市水环境科学与工程。

E-mail: huangjingyan999@163.com

收稿日期: 2017-01-20

(上接第119页)

与水质数据监测,从试点区整体、流域PPP项目到具体工程项目,较为科学合理制定了针对年径流总量控制率和地表水环境质量两个重要指标的监测方案,为试点区后续的考核评估奠定了坚实的基础。

另外,本监测方案是在满足济南市海绵城市试点区考核评估需要的基础上,为国家海绵城市试点区的建设做法积累数据支持,对试点区进行了全面细致的监测点位布设,因此方案中监测点数目较多。对于其他城市,为提高监测工作效率和节约监测成本,建议适当精简监测点数,采用“监测与模拟联合法”评价海绵城市建设效果。

参考文献:

- [1] 刘小梅,赵冬泉,国小伟,等. 基于监测与模拟技术的海绵城市一体化管控平台介绍[J]. 北京规划建设, 2015, (6): 32-35.
- [2] SL 21—2015,降水量观测规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2015.

- [3] 宫永伟,刘超,李俊奇,等. 海绵城市建设主要目标的验收考核办法探讨[J]. 中国给水排水, 2015, 31(21): 114-117.



作者简介:宫永伟(1982-), 男, 山东即墨人, 博士, 副教授, 研究方向为城市雨洪控制与利用。

E-mail: gongyongwei@bucea.edu.cn

收稿日期: 2016-12-30