

基于 LID 措施的海绵城市方案设计研究

周思妙

(中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610081)

摘 要: 随着我国现阶段经济发展的不断提速,城市化覆盖范围发展到前所未有的规模,区域硬化面积也随之变大。随之而来的是城市透水面积大小被逐渐压缩,从而容易在多雨季节出现城市内涝等灾害,给城市发展和居民生活带来了诸多问题。为了降低城市内涝的严重性、削弱单次洪峰量,降低其带来的各种危害,以深圳市某城市绿化公园为设计实例,利用 SWMM 软件搭建了该城市绿化公园径流雨水模型,设置了四种 LID 措施进行方案模拟,并将其与一种综合 LID 措施方案相对照,分析各方案对该城市绿化公园总体雨水径流量和单次雨水径流洪峰量的影响规律。模拟结果显示:综合 LID 措施方案的总体雨水径流量削减效果最好、绿色屋顶 LID 措施方案效果最差,雨水桶 LID 措施方案效果<透水铺装 LID 措施方案效果<生物滞留池 LID 措施方案效果;在单次雨水径流洪峰量削减方面,综合 LID 措施方案的效果同样是最佳,雨水桶 LID 措施方案效果最差,绿色屋顶 LID 措施方案效果<透水铺装 LID 措施方案效果<生物滞留池 LID 措施方案效果。

关键词: 城市内涝;海绵城市;LID 措施;方案设计;雨水径流

中图分类号: TU992.03

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)06-0270-03

0 引言

城市化覆盖范围规模达到前所未有的面积,区域硬化面积也随之变大,相对地,城市透水区块面积被大量压缩,容易引起自然水文环境的失衡。现有的城市排水管网在设计之初往往较为保守,因而在面临降雨量较大的情况时,往往无法及时将雨水径流排除,也就容易引起城市内涝的现象,给居民生命财产安全带来巨大威胁^[1-3]。

为了有效地对雨水径流量进行一定程度上的控制,业内采用了一种规模范围较小、分布密度大的方案,实现的途径是对城市绿地土壤和水文场景进行利用开发,被称作 LID 措施,即低影响开发措施^[4-5]。在具体的实施软件方面,常采用 SWMM 软件进行处置,即雨洪管理模型软件,可以搭建综合性模型,较为精准地模拟雨水洪峰及雨水径流状况,并在此基础上具体地对水质、水文状况等要素进行分析^[6-7]。各种雨水径流开发措施也 LID 措施理念的影响下应运而生,包括生物滞留池、雨水桶、透水铺装、下凹式绿地以及绿色屋顶等,各种方式的利用方式也有着很大的区别,包括调整入渗速率、调整雨水径流渗

蓄、植被储水等等^[8]。

国内相关专家学者从 20 世纪 90 年代就已针对某一单一的 LID 措施效果展开了分析与研究,相较于国际上相对成熟的 LID 综合利用方案研究,还有着不小的差距^[9]。王淑敏^[10]等人针对绿色屋顶这一 LID 措施展开过深入分析,发现绿色屋顶可以较好地提升城市绿化效果、降低城市硬化率,并能够较好地控制径流雨水泛滥的总体持续时间。此外,段丙政^[11]等人还发现绿色屋顶能够一定程度上削减径流雨水中的污染物,降低酸雨等不良现象的发生率。马姗姗^[12]等人将生物滞留池与凸式绿地、平式绿地相比较,发现生物滞留池的径流雨水洪峰削减能力更强,并能强化土壤的渗滤效率。王建婷^[13]等人发现,在降雨规模不大的条件下,生物滞留池 LID 措施有着很好的处置效果。龚应安^[14]等人针对渗透铺装这一 LID 措施的径流雨水洪峰削减以及下层土体雨水入渗促进作用进行了研究。赵现勇^[15]等人将几种 LID 措施的径流雨水流量削减能力进行了对比,发现透水铺装措施的整体效果最佳。董星海^[16]等人研究了透水混凝土针对道路径流污染物的处置效果,发现其对固态悬浮物、COD、总氮等污染物都有着很好的阻滞效果。而在雨水桶这一 LID 措施的研究上存在着较大的空白,有李朋^[17]等人展开过初步的探索。在利用软件对比各 LID 措施整体效果方面,也有着不少学者

收稿日期: 2020-11-19

作者简介: 周思妙(1989—),女,本科,工程师,从事道路交通设计工作。

展开过研究,利用的软件模型除了 SWMM 外,还包括 LTL、SUS 等,分析的 LID 措施对象也多种多样^[18]。综合来讲,已有研究针对 LID 措施或是模型软件模拟的研究中,部分研究针对某一措施方案已较为深入,但在各 LID 横向综合对比方面则相对较为欠缺,尤其是在总体雨水径流量和单次雨水径流洪峰量方面展开讨论的研究结论仍有着较大的空白,无法针对性地指导应用。

本研究依托深圳市的某一城市绿化公园展开模型搭建分析研究。利用 SWMM 软件搭建了该城市绿化公园径流雨水模型,设置了四种 LID 措施进行方案模拟,并将其与一种综合 LID 措施方案相对照,分析各方案对该城市绿化公园总体雨水径流量和单次雨水径流洪峰量的影响规律,旨在优选出最佳单一或是综合 LID 措施方案,为实际海绵城市建设工程施工提供借鉴。

1 场地概况

深圳地处我国南部沿海,降雨丰富。该区划年平均降雨量约为 1 800 mm,并且降雨主要集中于 5 月~8 月,可占全年总降雨量的 79%以上,属于亚热带季风气候。夏季强在沿海季风的影响下,对流天气引起的降雨往往短时降雨量巨大,极易发生短时暴雨天气或是持续性的中到大雨降水,非常容易导致内涝现象。

该城市绿化公园周边用地类型丰富,同时包含有商业中心用地、政府机构用地,还有部分工业用地,有着共同的特点,即用地硬化率高,透水面积较小。绿地公园用地范围的整体高程范围在 18~75 m 之间,坡度不超过 2.3°,场地整体属于平坦型。绿化公园内存在部分人造假山坡度平均在 10°左右,但其独立性较强,不会对整体分析产生明显的影响。绿化公园内设有一个人工河,可连接至周边水库,承担了场地的整体排洪泄水功能。

2 SWMM 数据模型设置

2.1 数据模型概念化

该绿化公园占地 4.13 km²,其中的透水型绿地仅占 37.4%。根据查阅公园设计方案图及现场踏勘结果,将公园整体占地范围划分为 45 个分汇水面,各分汇水面面积在 0.018~0.284 km² 之间,囊括了 18 个排水口、118 个排水节点以及 125 个排水管段,其整体数据概念化模型见图 1。



图 1 绿化公园数据概念化模型

2.2 雨水数据

首先明确城市绿化公园所在地的内涝防控设计重现期是 50 a,结合该场地实际踏勘及调研数据,选取了 6 个设计重现期,包括 50 a、20 a、10 a、5 a、3 a 以及 1 a,降雨历时设置为 2 h,选取洪峰相对位置为 0.4。根据重现期年限可以通过芝加哥雨型模拟公式计算得到其对应的降雨量 q ,分别为 141.45 mm、125.45 mm、110.46 mm、98.37 mm、89.78 mm 以及 69.84 mm,见式(1),其中 P 为设计重现期, t 为降雨历时。6 个设计重现期在 120 min 内对应各时刻降雨强度情况见图 2。

$$q=\frac{165.4\times7.6(1+0.5947\times\lg P)}{(t+11.25)^{0.538}} \tag{1}$$

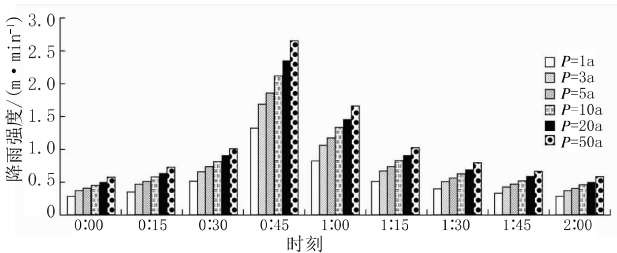


图 2 各时刻降雨强度

2.3 数据模型选择

前文提到该城市绿化公园中的透水型绿地仅占 37.4%,而公园周边各区划的透水型绿地面积占比更是不足 10%,可以判定该研究目标属于密集型建筑区划,根据规范查询可获知其总体雨水系数范围是 [0.6,0.85]。结合实际踏勘数据和数据模型结果,确定了部分重现期总体径流系数,例如 1 a 重现期总体雨水系数为 0.73,2 a 重现期总体雨水系数为 0.81,均满足规范要求。

不透水区域设定的曼宁系数为 0.012,透水区曼宁系数为 0.149,管道曼宁系数为 0.012;不透水区的注蓄量设定为 1.908 mm,透水区的注蓄量设定为 3.815 mm;最大入渗率设定为 75 mm/h,最小入渗率设定为 3.3 mm/h,衰减系数为 3.8 mm/h。

3 数据模型模拟

本文在数据模型中以排水垫层、路面层、蓄水

层、土壤层以及表面层基本参数为基本参数指标,模拟组合出雨水桶、生物滞留池、透水铺装以及绿色屋顶4种单一LID措施方案,并额外设置一种综合LID措施方案。设定雨水桶排水指数0.45,排水系数24.8 mm/h,高度为850 mm;生物滞留池排水垫层厚280 mm,蓄水层高280 mm,土壤层厚550 mm,表面层蓄水210 mm;透水铺装路面层厚280 mm,蓄水层高280 mm,表面层蓄水110 mm;绿色屋顶排水垫层厚180 mm,土壤层厚150 mm,表面层蓄水210 mm。

按照6个设计重现期,包括50 a、20 a、10 a、5 a、3 a以及1 a,降雨历时设置为120 min,并跟踪观察240 min内的径流量情况。通过计算分析各方案对该城市绿化公园总体雨水径流量和单次雨水径流洪峰量的影响规律,结果见图3和图4。

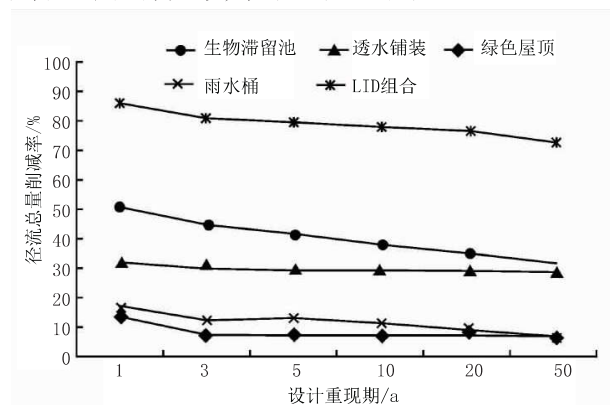


图3 总体雨水径流量削减情况

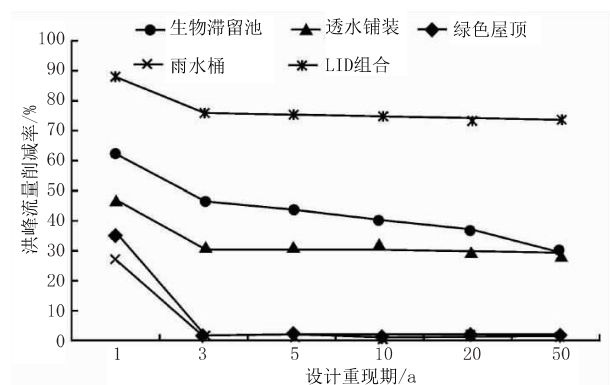


图4 单次雨水径流洪峰量削减情况

分析6种设计重现期对应的总体雨水径流量削减情况,可以明显发现:综合LID措施方案的总体雨水径流量削减效果最好,其径流总量削减率远远高于其它4种单一LID措施,其平均径流总量削减率达到了80.3%。同时,绿色屋顶LID措施方案效果最差,其平均径流总量削减率仅为9.3%。另外3种LID措施的径流总量削减率情况表现为:雨水桶LID措施方案效果<透水铺装LID措施方案效果<生物滞留池LID措施方案效果。横向对比设计重现期大小

对径流总量削减率的影响,则表现为:随着设计重现期年限的增大,径流总量削减率整体呈现出下降的趋势,尤其是生物滞留池LID措施和透水铺装LID措施,其线性相关性很明显。

分析设计重现期对单次雨水径流洪峰量削减情况的影响,可以明显发现:同样是综合LID措施方案的单次雨水径流洪峰量削减情况最佳,其径流总量削减率远远高于其它4种单一LID措施,其平均削减率达到了78.9%。雨水桶LID措施方案效果最差,其平均削减率仅为6.2%。另外3种LID措施的单次雨水径流洪峰量削减率情况表现为:绿色屋顶LID措施方案效果<透水铺装LID措施方案效果<生物滞留池LID措施方案效果。此外,各LID措施方案的单次雨水径流洪峰量率在设计重现期从1年增加至3年时,其值呈“跳崖式”下降趋势,而后呈平缓逐渐下降趋势。

4 结 语

本研究依托实体城市绿化公园搭建SWMM数据模型,设置四种单一LID措施和一种综合LID措施方案进行模拟,分析各方案对该城市绿化公园总体雨水径流量和单次雨水径流洪峰量的影响规律。得出了以下主要结论:

- (1)综合LID措施方案总体雨水径流量削减效果最好、绿色屋顶LID措施方案效果最差;
- (2)随着设计重现期年限的增大,径流总量削减率整体呈现出下降的趋势,尤其是生物滞留池LID措施和透水铺装LID措施,其线性相关性很明显;
- (3)在单次雨水径流洪峰量削减方面,综合LID措施方案的效果同样是最佳,雨水桶LID措施方案效果最差;
- (4)各LID措施方案的单次雨水径流洪峰量率在设计重现期从1 a增加至3 a时,其值呈“跳崖式”下降趋势,而后呈平缓逐渐下降趋势。

参考文献:

- [1] 仇保兴.海绵城市(LID)的内涵、途径与展望[J].给水排水,2015,51(3):1-7.
- [2] 张善峰,王剑云.让自然做功——融合“雨水管理”的绿色街道景观设计[J].生态经济,2011(11):182-189,192.
- [3] 陈华丽,陈刚,丁国平.基于GIS的区域洪水灾害风险评价[J].人民长江,2003(6):49-51.
- [4] 王文亮,李俊奇,宫永伟,等.基于SWMM模型的低影响开发雨洪控制效果模拟[J].中国给水排水,2012,28(21):42-44.

(下转第295页)

担外水压力值也最大。而防水板半包-排水型和防水板全包-排水型由于有排水通道,在排水管周围孔隙水压明显下降,但防水板半包-排水型由于排水通道更多,排水后孔隙水压减小更为明显,其二衬背后孔隙水压较防水板全包-堵水型要小约10.4%,而防水板全包-排水型较防水板全包-堵水型仅小3.1%左右。

(3)二衬应力分布方面,尽管防排水型式不同,但是二衬上的主应力分布规律基本一致,最小主应力均位于拱脚处,而最大主应力均位于拱底处,其中防水板半包-排水型其二衬的最小主应力和最大主应力最大,但是与另外两种工况相差不大,不存在明显劣势。

(4)位移方面,防水板半包-排水型位移最小,而防水板全包-堵水型最大。考虑到经济和安全等综合因素,在南线里程K1+106处的类似浅埋地段且围岩渗漏系数较小时,可以考虑采用防水板半包-排水型。而如对涌水量控制和外部环境保护要求严格,建议考虑防水板全包-排水型。

参考文献:

[1] 丁燕平,徐林生.深埋山岭富水公路隧道衬砌结构设计模拟分析[J].中外公路,2020,40(3):214-219.
[2] 刘浩,章慧健,江佐阳,等.抗水压多层衬砌分析模型及其应用研究[J].现代隧道技术,2019,56(2):70-77.
[3] 张凯祥.高水压条件下深埋公路隧道二衬结构安全性分析及其监测预警研究[D].重庆:重庆交通大学,2018.

[4] 薛伟冰,张玉昌.隧道富水段施工技术研究[J].云南水力发电,2017,33(4):23-26.
[5] 周保精,梁宁宇.浅埋煤层地下水水库流固耦合模型特征参数试验研究[J].煤炭科学技术,2019,47(6):87-92.
[6] 郭晓杰.富水节理岩体中隧道开挖流固耦合效应研究[D].四川成都:西南交通大学,2018.
[7] 潘东东,李术才,许振浩,等.岩溶隧道承压隐伏溶洞突水模型试验与数值分析[J].岩土工程学报,2018,40(5):828-836.
[8] 余志刚.库水位升降对岩质岸坡变形及稳定性的影响研究[D].重庆:重庆大学,2017.
[9] 李廷春,吕连勋,段会玲,等.深埋隧道穿越富水破碎带围岩突水机理[J].中南大学学报(自然科学版),2016,47(10):3469-3476.
[10] 陈耀华.铁路隧道抗水压衬砌结构稳定性研究[J].铁道建筑,2016(5):100-103.
[11] 付钢.地下水环境平衡的理念在高水压隧道设计中的应用[C]//重庆工程师论文集:重庆市科学技术协会,2014.
[12] 唐翌.武广铁路客运专线浏阳河隧道抗水压衬砌计算分析[J].铁道建筑,2010(1):129-133.
[13] 肖广智.岩溶隧道主要设计原则探讨[C]//自主创新与持续增长第十一届中国科协年会论文集,2009.
[14] 陈五二.基于有限单元法的隧道抗水压衬砌结构设计[J].铁道工程学报,2007(7):67-70,75.
[15] 丁浩,蒋树屏,陈光明.隧道抗水压衬砌结构数值仿真模拟[J].公路交通技术,2005(5):106-110.
[16] 深圳市交通运输委员会,西南交通大学,上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司.东部过境高速公路连接线工程(水库下游长大互通隧道防排水、通风、交通安全与监控综合技术研究)子课题一:水库下游复杂地质条件下山岭隧道防排水系统及防水衬砌设计研究—总报告[R].2018.

(上接第272页)

[5] STERN D N, MAZZE E M. Federal water pollution control act amendments of 1972 [J]. American Business Law Journal, 1974, 12 (1): 81-86.
[6] 何福力.基于SWMM的开封市雨洪模型应用研究[D].河南郑州:郑州大学,2014.
[7] 陈晓燕,张娜,吴芳芳,等.雨洪管理模型SWMM的原理、参数和应用[J].中国给水排水,2013,29(4):4-7.
[8] 王宏杰,董文艺,刘佳,等.城市洪峰削减与初期径流污染控制技术研究[A].《环境工程》编委会、工业建筑杂志社有限公司.《环境工程》2019年全国学术年会论文集(下册)[C].2019.
[9] 卢园凌.低影响开发雨水系统综合效益的分析研究[D].北京:建筑工程学院,2012.
[10] 王书敏,何强,张峻华,等.绿色屋顶径流氮磷浓度分布及赋存形态[J].生态学报,2012,32(12):3691-3700.
[11] 段丙政,赵建伟,高勇,等.绿色屋顶对屋面径流污染的控制效应

[J].环境科学与技术,2013,36(9):57-59,117.
[12] 马姗姗,庄宝玉,张新波,等.绿色屋顶与下凹式绿地串联对洪峰的削减效应分析[J].中国给水排水,2014,30(3):101-105.
[13] 王建婷,董增川,孙艳伟,等.基于海绵城市的生物滞留池水文效应分析[J].水电能源科学,2017,35(10):42-45,50.
[14] 龚应安,陈建刚,张书函,等.透水性铺装在城市雨水下渗收集中的应用[J].水资源保护,2009,25(6):65-68.
[15] 赵现勇,程方,张杏娟,等.不同结构透水路面雨水径流污染物的削减作用[J].天津城市建设学院学报,2012,18(4):280-285.
[16] 董星海,康爱红,徐雪玲,等.生态透水混凝土对路面径流污染阻滞效果[J].科学技术与工程,2019,19(19):254-261.
[17] 李朋,顾乐雨,胡怀明,等.基于SWMM模型的城市化地区雨水桶应用研究[J].水电能源科学,2015,33(9):5-7.
[18] 赵冬泉,邢薇,佟庆远,等.基于数字排水技术的城市雨洪控制方案设计与评估[J].中国给水排水,2010,26(16):74-77.