

基于SWMM水量模拟的人工雨水湿地规模确定方法

李学东, 王 佳, 史荣新
(北京大学景观设计研究院, 北京 100080)

摘 要: 人工雨水湿地在控制地表径流污染以及削减地表径流总量方面具有重要作用, 但是雨水湿地规模确定往往需要经过复杂的计算; 本研究以北京市未来科技城雨水湿地设计为例, 研究了基于SWMM (storm water management model) 模型的人工雨水湿地规模确定方法; 研究表明通过SWMM模型能够较为简便的计算出雨水湿地的规模和形态。

关键词: 人工雨水湿地; SWMM模型; 水量模拟; 湿地规模

中图分类号: X171.4

文献标志码: A

Method of Determining the Size of Constructed Storm-water Wetland Based on Water Yield Simulation by SWMM

Li Xuedong, Wang Jia, Shi Rongxin
(The Graduate School of Landscape Architecture, Peking University, Beijing 100080, China)

Abstract: Constructed rainwater wetland plays an important role in pollution control and volume reduction of surface runoff. However, the size of storm-water wetland is determined by complicated calculation. In this paper, design of the rainwater wetland located in the Future Technopolis of Beijing is taken as an example to study the method of determining the size of constructed storm-water wetland on the basis of storm-water management model (SWMM). The results show that calculation of the size and form of rainwater wetland is much simpler by application of SWMM.

Keywords: Constructed Storm-water Wetland; Storm-water Management Model; Water

中国当前快速的城市建设对于城市地表径流的影响主要表现为2个方面:

(1) 不可下渗区域(路面、屋顶、广场、停车场等)的面积在城市总面积中所占比例不断增加, 导致雨水的汇集时间缩短, 洪峰提前, 增加了城市排水系统压力。

(2) 降雨过程中雨水及其形成的径流流经城市地面携带大量污染物会形成地表径流污染, 直接影响城市水体水质。

面对城市日益加剧的内涝和地表径流污染问题, 雨水湿地的优势主要表现在高效、低耗、兼具景观功能3个方面:

(1) 高效: 雨水湿地虽然由于汇水面类

型、设计参数、植物种类选择等因素不同, 处理效果各异, 但多数能达到较好的雨水处理效果; 在国际上, 人工湿地系统已经成为解决暴雨径流污染的主要措施, 主要用于去除雨水中的氮、磷、悬浮固体物质和重金属^[1]。

(2) 低耗: 雨水湿地往往充分利用自然洼地进行建设, 投资少; 并且雨水湿地能有效减少市政雨水管道管径和缩短铺设长度, 减少投资费用。

(3) 景观与环境改善功能: 湿地建设能改善城市生态环境, 提高空气质量, 有利城市生态系统的良性循环, 并且往往具有良好的景观效果。

收稿日期: 2014-03-16

基金项目: 国家科技重大专项: 水体污染控制与治理专项(2013ZX07304-001)资助

作者简介: 李学东(1989-), 男, 硕士研究生。研究方向: 人工雨水湿地设计。

然而雨水湿地规模的确定是设计雨水湿地的一个难题,如何更加精确和简便的计算雨水湿地的规模是本研究的主要目的。

1 国内外相关研究综述

目前国内外的人工湿地计算方法主要有:%CDAW算法,容量法,流量法,水力停留时间算法,表面负荷算法,反应器理论方法,利用物质平衡原理确定人工湿地规模的方法等。其中水力停留时间算法,表面负荷算法,反应器理论方法较适合在来水水量充足,并且可以控制的情况下使用,所以进行人工污水湿地规模计算较为合适;在来水量不可控,单纯靠雨水维持的湿地的规模计算中以下3种方法更加适用:

(1) %CDAW (Percent of Contributing Drainage Area as wetland cover) 算法。%CDAW算法,是根据湿地特定服务功能,研究湿地与汇水区面积比,从而根据汇水面积大小求出湿地面积大小^[2-5]。

(2) 容积法和流量法。容积法和流量法的计算过程差别较大,但是用它们来确定雨水处理设施规模的基本思想是一致的,即控制出现频率较高的小降雨事件产生的峰流量,在水质控制统计意义上达到一定的总量控制。各地区根据以上计算步骤,计算出本地区与“水质控制体积”对应的“水质控制流量”,作为确定设施规模大小的参考^[6]。

(3) 利用物质平衡原理确定人工湿地面积。该方法是利用物质平衡原理,根据进、出水水量和氮磷含量的差值确定水生植物需吸收的营养物的量,由营养物量与水生植物生物量增值的比例关系确定植物的种植量,最终确定植物种植面积和湿地面积^[7]。

以上几种湿地面积确定方法更多是从污染物去除率角度去进行雨水湿地规模的计算,并没有考虑湿地植物生长所需水量对湿地面积和形态的限制,然而只有在保证植物生长所需水量基础上,才能保证植物生长旺盛,从而达到良好的视觉效果和污染物处理效果,所以人工雨水湿地来

水量的大小,以及植物生长水量需求,决定了人工雨水湿地规模的最大值;另外整个雨水湿地规模的确定过程中往往需要复杂的计算,并且难以综合影响湿地规模确定的多种因素。本文以北京市未来科技城雨水湿地设计为例,通过SWMM建立研究区域径流过程模型,在不需要大量计算的情况下,综合影响雨水湿地规模的多种因素,研究了以满足湿地植物生长所需水量为目标的湿地规模确定方法。

2 研究方法与研究过程

2.1 研究区域简介和设计要求

未来科技城东区位于北京市昌平区,面积约12 hm²,四周被高出场地的道路所包围,形成一个独立的汇水区域,场地最高点与最低点高差为3 m左右,根据高程分析场地内雨水主要汇入3个洼地之中;为满足削减洪峰和非点源污染控制的要求,准备在3个洼地处建设3个雨水湿地见图1,下面为1号湿地面积和形态的确定过程,湿地类型为表流湿地。

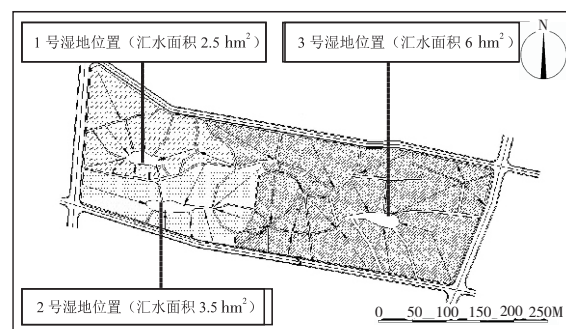


图1 未来科技城东区1-3号雨水湿地位置和汇水区域

2.2 利用SWMM构建研究区域径流过程模型

2.2.1 SWMM模型简介 SWMM模型主要由径流模块、输送模块、扩展输送模块和贮存处理模块等4个计算模块,以及用于统计分析和绘图的一系列服务组成。可以根据输入的降水量、土壤前期条件、土地利用等资料模拟完整的城市降雨径流过程,输出任何断面的流量过程线和污染过程线,并且利用模型自带统计工具可以对不同类型水文事件进行统计^[8-9]。本研究通过将研究区

域概化,构建了研究区域源—过程—汇模型来研究整个湿地地表径流汇流过程,并利用SWMM中统计工具对湿地中水深事件进行统计,来研究满足植物生长所需水量的湿地规模确定方法。

2.2.2 研究区域参数的设定 ①设置雨量计代表整个区域的降雨过程,该研究中利用北京市1992~2012年20年降雨数据作为该场地降雨数据。②1号湿地主要汇水区域内用地性质主要为停车场,疏林草地,以及小部分广场和道路铺装,不可下渗区域占60%,土壤类型为砂质粘土,平均汇水坡度为5%,根据汇水方向,坡度和用地性质的不同,将其划分为多个子汇水区域和汇流路径,并设置相关参数;1号湿地径流过

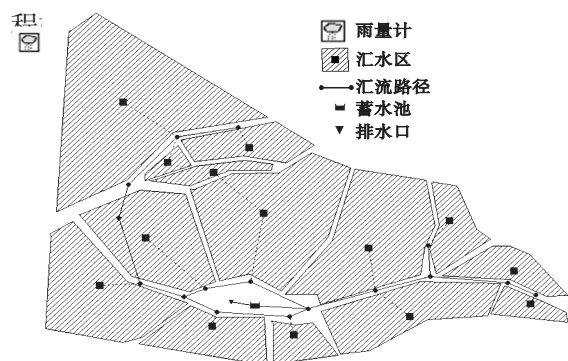


图2 1号湿地径流过程模型

2.3 确定湿地植物所需要的水深范围

北京市自然环境下常见的湿地植物有:芦苇(*Phragmites australis*)、香蒲(*Typha angustifolia*)、黑藻(*Hydrilla verticillata*)、狐尾藻(*Myriophyllum spicatum*)、金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、菹草(*Potamogeton crispus*)以及浮萍(*Lemna minor*)等^[10]。由于芦苇对氮、磷、固体悬浮物和重金属均有较好去除效果,并且性价比高,所以一号湿地选用芦苇作为主要湿地植物。

华涛等^[11]总结了北美对雨水湿地水深的研究:美国水污染控制委员会(WPCF)要求,表面流湿地的水深在50 cm以内。北美湿地水质处理数据库中推荐的表面流湿地的水深在10~200 cm之间,典型深度在15~60 cm之间,运行深度随植物种类不同而不同,一般挺水植物区域水深60 cm,沉水植物区域水深120 cm左右^[11]。所以

湿地水深度至少应该保证在10 cm以上。由于北京水生植物生长期主要集中在4~10月份6个月的时间内,所以北京地区雨水湿地水深至少有6个月保证水深在10 cm。

2.4 利用SWMM模型来估算湿地总面积

SWMM模型中的统计工具可以统计出当湿地为某一确定规模和形态时,湿地一年中水深超过10 cm的天数和时间段,通过不断改变湿地规模和形态,最终确定满足植物生长所需水量的湿地规模和形态。利用SWMM模型来估算湿地总面积大小的目的是在湿地设计之前来计算湿地的汇水面所能维持的湿地规模的最大值,从而减少模拟次数。利用SWMM构建1号洼地模型(图2),经过多次模拟得到当湿地水深为1.2 m,面积约500 m²,形态为长方体时,在1992~2002年的20年间,有3 605 d可以保证池内水深在10 cm以上,事件频率0.493并且集中在4~10月份见图3。

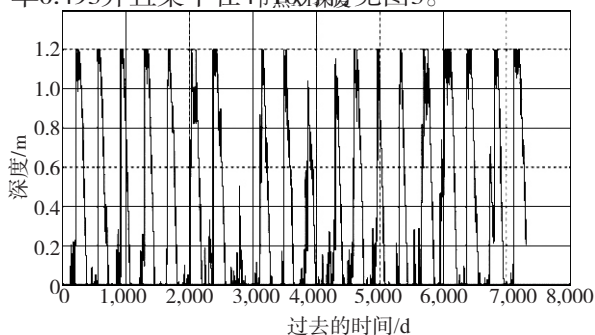


图3 1号湿地中水深变化模拟结果及其统计
(深1.2 m, 面积500 m²)

2.5 根据湿地总面积设计湿地形态

根据初次模拟中计算的湿地总面积大小,提出1号湿地设计方案:湿地外围的植被浅沟将雨水收集后,从入水口进入湿地;进入湿地后首先流进1号池(沉淀池),经过1号池之后,如果水量超过1号池容量,溢流进入2号池,然后依次进入3号池和4号池。4号池末端接溢流口,并设有排水阀门,当来水量过大时溢流进入排水管道;其中1号池池深1.2 m,2号池池深0.6 m,3号池池

深0.6 m, 4号池池深0.9 m见图4。初次模拟估算了为保证湿地在4~10月份水深保持在10cm以上, 湿地面积最大值在500 m²左右, 深度1.2 m。

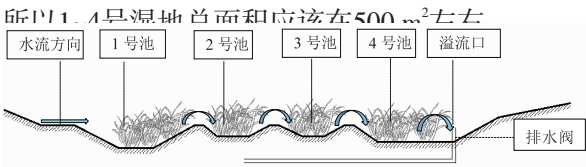


图4 1号湿地剖面图

2.6 根据湿地设计尺寸进行再次模拟

根据湿地设计尺寸重新调整原有湿地模型, 将图2模型中的蓄水池数目分为四个, 并设置相关参数见图5; 确定1~4号池的面积大小是一个多次试验的过程, 经过不断改变各个湿地

尺寸, 并且多次模拟, 得出当1~4号池尺寸见表1时可以满足植物生长水量需求, 1~4号池1992~2012年水深超过0.1 m天数和概率见表2, 总面积为470 m²

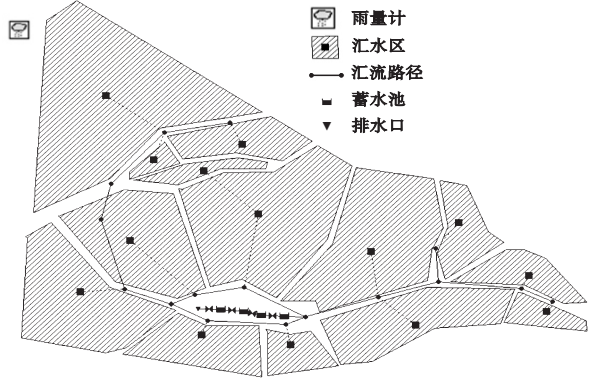


表1 1~4号池设计尺寸

1号池		2号池		3号池		4号池	
深度/m	面积/m ²	深度/m	面积/m ²	深度/m	面积/m ²	深度/m	面积/m ²
0	8	0	10	0	10	0	12
0.3	15	0.3	30	0.3	30	0.3	35
0.6	30	0.6	80	0.6	80	0.6	70
0.9	60	—	—	—	—	0.9	160
1.2	100	—	—	—	—	—	—

表2 1~4号池1992~2012年水深超过0.1 m天数和概率

编号	1号池	2号池	3号池	4号池
天数	6 426	4 409	3 621	3 614
概率	0.880	0.604	0.496	0.495

3 结论

雨水湿地最大的不可控因素是来水量的大小, 利用SWMM建立流域径流过程模型可以利用研究区域原有降雨数据, 并综合多种影响因素来模拟池内水深变化, 最终能够确定满足植物生长所需水量的湿地面积和形态; 相对于直接通过各类公式计算湿地规模的方法, 通过SWMM软件进行雨水湿地水量模拟, 可以将复杂的计算过程简化为软件内部操作, 用户只需输入相关参数即可, 更加直观, 更加准确和易操作, 避开了复杂的计算过程; 这样对于没有深入水文、水利知识背景的设计师与规划师, 雨水湿地规模的确定变的简单而高效, 可以应

用于各类人工雨水湿地设计中。

参考文献

[1]朱宝英,赵立辉,董 婵,等.人工湿地雨水处理系统设计[J].吉林建筑工程学院学报,2006,(01):6-8.
[2]龚清宇,王林超,唐运平.中小流域尺度内雨水湿地规模模拟与设计引导[J].建筑报,2009,(02):48-51.
[3]Mitsch W J, Gosselink J G. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting[J]. Ecol. Eco., 2000, 35(1):25-33.
[4]Tilley D R, Brown M T. Wetland networks for stormwater management in subtropical urban watersheds[J]. Ecol. Eng., 1998,10(2):131-158.
[5]Wong THF, Breen PF, Some NLG, et al. Managing storm-water using constructed wetlands [R].1999.
[6]唐宁远,车 伍. 城市雨水处理设施规模确定方法分析[J]. 给水排水, 2009, 11:43-48.
[7]熊家晴,高延雄,刘 瑞. 雨水处理自然流人工湿地面积计算方法[J]. 中国科技论文在线,2010,(07):505-508.
[8]马晓宇,朱元励,梅 琨,等. SWMM模型应用于城市住宅区非点源污染负荷模拟计算[J]. 环境科学研究,2012,(01):95-102.
[9]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,(04):4-7.
[10]陈 燕. 北京市湿地水生植物多样性研究[D].北京林业大学,2008.
[11]华 涛,周启星,贾宏宇. 人工湿地污水处理工艺设计关键及生态学问题[J]. 应用生态学报,2004,(07):1289-1293.