

下凹式绿地环境水文效应及运行可行性分析

董岩¹, 邢国平¹, 刘洪海², 季民¹

(1. 天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072; 2. 天津大学建筑设计规划研究总院, 天津 300073)

摘要: 下凹式绿地不仅能很好地解决城市内涝问题, 还能补充地下蓄水。通过水量平衡分析得到了不同条件下下凹式绿地的渗蓄能力, 并利用对临界绿化率的分析得到了要达到零地表径流所需的绿化程度。最后, 根据天津市实际情况分析下凹式绿地的可行性。

关键词: 下凹式绿地; 水文效应; 雨水利用; 内涝防治; 可行性分析

中图分类号: TV991 文献标识码: A 文章编号: 1000-0860(2013)07-0010-03

Environmental hydrologic effect and feasibility analysis of concave-down green space

DONG Yan¹, XING Guoping¹, LIU Honghai², JI Min¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Tianjin University Research Institute of Architectural Design and Urban Planning, Tianjin 300073, China)

Abstract: The concave-down green space can not only solve the problem of the urban waterlogging satisfactorily, but can also recharge the groundwater. Through a water balance analysis, the infiltration capacities of the concave-down green space under various conditions are obtained, and then the greening degree necessary for reaching the zero of the surface runoff is got with the calculation made on the critical greening rate. Finally, the feasibility of the concave-down green space is analyzed herein in accordance with the actual condition of Tianjin.

Key words: concave-down green space; environmental hydrologic effect; rainwater utilization; prevention of waterlogging; feasibility analysis

近年来,随着城市的发展,硬化路面比例逐渐增加,导致进入雨季后,城市内涝问题严重,威胁居民生命、财产安全且给城市带来极其恶劣的影响。北京“7.21”大雨造成至少77人死亡,经济损失近百亿元^[1]。为了防范内涝发生,各国采用多种雨水储存下渗设施,其中下凹式绿地无疑是突出的。它利用下凹空间充分蓄集降雨,有效增加降雨下渗时间、削减洪峰流量、减轻地表径流污染,同时也能增加城市生态效应。下凹式绿地在住宅小区及道路两侧都可使用,并不需增加建设投入^[2-3]。

1 下凹式绿地水量平衡分析

如图1^[4]所示,下凹式绿地通过植被截留、土壤

渗透、雨水蒸发以及下凹蓄积等方式处理集水区内部雨水,并将超出绿地渗蓄能力的雨水通过排水口排入雨水管道,排出的雨水可经处理后再利用。在计算时段内存在以下水量平衡关系。

$$P_0 + U_0 = D + E + S + U_1 + Q \quad (1)$$

式中, P_0 为区域内降雨总量(m^3); U_0 为初始蓄水量(m^3); D 为径流损失量(m^3); E 为蒸发量(m^3); S 为下渗量(m^3); U_1 为终止时绿地蓄水量(m^3); Q 为溢流外排量(m^3)。

收稿日期: 2012-09-10

基金项目: 天津市水利科学技术专项基金(KY2009-25)。

作者简介: 董岩(1988—),女,天津大学环境科学与工程学院,硕士研究生。

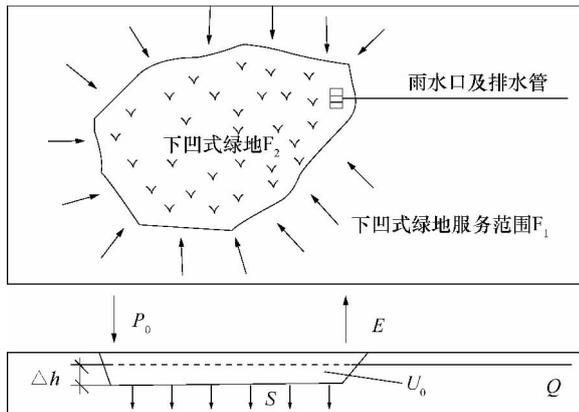


图1 下凹式绿地示意

人们定义下凹式绿地雨水渗蓄率为降雨过程中绿地渗透、蓄积的雨水占绿地内总雨水径流量的百分比,用 N 表示。并用其大小反映下凹式绿地渗蓄水能力。渗蓄率计算如下式所示,由于计算时段内蒸发量 E 较小,在计算过程中可忽略不计。

$$N = \frac{S + U_1}{(P_z F_1 C_n + P_z F_2) / 1000} \times 100\% \quad (2)$$

式中, P_z 为降雨量 (mm); F_1 为绿地服务区面积即集水区面积 (m^2); F_2 为下凹式绿地面积 (m^2); C_n 为绿地服务区径流系数。

对于下渗量 S 的计算,土壤入渗速率是计算的关键因素,为了最大程度保证下凹式绿地在最不利条件下发挥功效,本文选用土壤稳定入渗速率来计算下渗量 S 。

$$S = 60 \cdot K \cdot J \cdot F_2 \cdot T \quad (3)$$

式中, K 为土壤稳定入渗速率 (m/s); J 为水力坡度即 $\sin\theta$, 垂直下渗时, $J=1$; T 为渗蓄计算时段 (min)。

下凹式绿地蓄水量 U_1 计算公式如下

$$U_1 = F_2 \cdot \Delta h / 1000 \quad (4)$$

表1 设计暴雨重现期 $P=5$ 年下的下凹式绿地渗蓄率

K /m·s ⁻¹	$f=15\%$			$f=20\%$			$f=30\%$			$f=40\%$			$f=60\%$		
	$\Delta h = 100$ mm	$\Delta h = 200$ mm	$\Delta h = 300$ mm	$\Delta h = 100$ mm	$\Delta h = 200$ mm	$\Delta h = 300$ mm	$\Delta h = 100$ mm	$\Delta h = 200$ mm	$\Delta h = 300$ mm	$\Delta h = 100$ mm	$\Delta h = 200$ mm	$\Delta h = 300$ mm	$\Delta h = 100$ mm	$\Delta h = 200$ mm	$\Delta h = 300$ mm
5.0×10^{-5}						116	100	137	172	133	180	228	195	264	334
2.5×10^{-5}								104	140		137	185	132	202	271
1.0×10^{-5}									121		116	159		164	234
5.0×10^{-6}									114		103	150		152	221
2.5×10^{-6}									111			147		145	215
1.0×10^{-6}									109			144		142	211
5.0×10^{-7}									108			143		140	210
2.5×10^{-7}									108			142		140	209
1.0×10^{-7}									107			142		139	209

注: 空格表示下渗率小于 100%。

式中, Δh 为下凹深度, 即下凹式绿地与溢流口或路面之间的高差 (mm)。

天津地区降雨强度如下第一式所示, 单位时间内的降雨量 P_z 可通过下第二式积分获得。

$$i = \frac{49.586 + 39.846 \lg P}{(t + 25.334)^{1.012}} \quad (5)$$

$$P_z = \int_0^T q(t) dt \quad (6)$$

式中, i 为设计暴雨强度 (mm/min); P 为设计暴雨重现期 (年); t 为降雨历时 (min)。

2 下凹绿地实例计算

2.1 渗蓄率计算

以天津汇水域为例, 设除绿地外的区域径流系数 C_n 为 0.9, 蒸发量和下凹式绿地前期蓄水量均为零。由于天津市要求新建居住区绿地率中环线以内要达到 35%, 中环线至外环线之间达到 40% 以上, 并确保老旧小区绿地率达到 25%。但考虑到老旧小区比例, 设定绿化比 f (15%, 20%, 30%, 40%, 60%); 土壤稳定入渗速率 K (5.0×10^{-5} m/s, 2.5×10^{-5} m/s, 1.0×10^{-5} m/s, 5.0×10^{-6} m/s, 2.5×10^{-6} m/s, 1.0×10^{-6} m/s, 5.0×10^{-7} m/s, 2.5×10^{-7} m/s, 1.0×10^{-7} m/s); 下凹深度 Δh (100 mm, 200 mm, 300 mm)。

通过天津市降雨强度式 (5) 的积分计算, 0.5 年、1 年、3 年和 5 年一遇的设计暴雨重现期下连续 1 h 的降雨量分别为: 43.60 mm、57.51 mm、79.56 mm 和 89.81 mm。利用式 (2) 得出不同条件下, $T=1$ h 时下凹式绿地的渗蓄率。现以 $P=5$ 年为例, 计算结果如表 1 所列。

对不同设计暴雨重现期的计算结果进行分析, 设计重现期 $P=0.5$ 年, 绿化率大于 20% 时, 在所选参

数条件下都能满足 100% 下渗要求。而 $P = 5$ 年时, 只有当绿化率达到 60%, 且绿地深度大于 200 mm 时, 才能在所选土壤参数条件下满足 100% 下渗。暴雨重现期越大, 若要满足下凹式绿地下渗率大于 100%, 要求土壤稳定渗透系数、城市绿化比、下凹式绿地深度越大。若要深度大于 100 mm 的下凹式绿地都能满足 0.5 ~ 5 年重现期的 100% 下渗, 则需保证土壤渗透率大于 $5.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$, 且绿化率大于 30%。

2.2 临界绿化率计算

城市绿化比的增加, 使得土壤渗蓄量增大, 地表径流减小, 对控制降雨时地表径流的形成、改善生态环境有着极其重要的意义。在同一重现期下, 定义 $N = 100\%$ 时所对应的 f_0 为下凹式绿地恰能实现雨水零排放的临界值。选取最小重现期及最大重现期为例, 通过式 (7) 计算最大、最小土壤渗透率下, 不同绿地深度时, 若要达到雨水零排放所需绿地比例, 结果如表 2 所列。

$$f_0 = \frac{C_n \cdot P_z / 1\ 000}{3\ 600K + \Delta h - (1 - C_n) P_z / 1\ 000} \quad (7)$$

表 2 $K = 1.0 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ 和 $K = 5.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ 时的临界绿化率 ($P = 0.5$ 年, $P = 5$ 年) %

K $/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$P = 0.5$ 年			$P = 5$ 年		
	$\Delta h =$ 100 mm	$\Delta h =$ 200 mm	$\Delta h =$ 300 mm	$\Delta h =$ 100 mm	$\Delta h =$ 200 mm	$\Delta h =$ 300 mm
5.0×10^{-5}	14.24	10.45	8.25	29.82	21.79	17.16
1.0×10^{-7}	40.88	20.02	13.26	88.45	42.34	27.74

根据计算结果可知, 为发挥下凹式绿地的蓄水功效, 绿化比应达到 10% ~ 15% 以上。且随着重现期的增大, 绿化比相应增大。

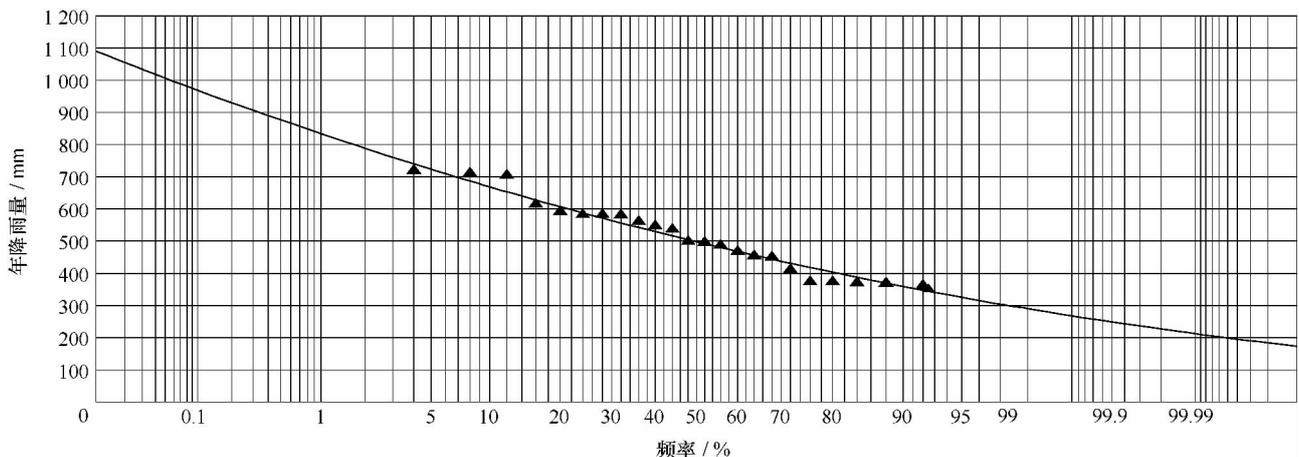


图 2 天津市降雨频率曲线

(下转第 16 页)

3 可行性分析

根据天津市 1986 ~ 2009 年降雨量, 计算多年平均降雨量, 并将这 24 年的降雨量从大到小排列, 按照式 (8) 计算降雨量的经验频率, 结果见表 3。

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (8)$$

式中, P 为经验频率; m 为年降雨量在降雨系列中按从大到小排列的序号; n 为样本数目。

表 3 天津市 1986 ~ 2009 年降雨量经验频率

排列序号 m	年份	年降雨量 /mm	经验频率 $P/\%$	排列序号 m	年份	年降雨量 /mm	经验频率 $P/\%$
7	2009	586.3	0.28	19	1997	378.1	0.76
10	2008	552.1	0.40	15	1996	472.1	0.60
22	2007	372.1	0.88	2	1995	716.0	0.08
18	2006	415.2	0.72	3	1994	708.4	0.12
4	2005	618.5	0.16	17	1993	454.3	0.68
14	2004	490.5	0.56	23	1992	367.2	0.92
1	2003	724.2	0.04	8	1991	585.2	0.32
21	2002	375.8	0.84	5	1990	596.0	0.20
12	2001	502.9	0.48	24	1989	325.1	0.96
16	2000	458.8	0.64	9	1988	565.5	0.36
20	1999	377.7	0.80	11	1987	541.0	0.44
13	1998	500.6	0.52	6	1986	578.1	0.24

通过计算可知, 天津市多年平均降雨量为 511.3 mm, 变异系数 C_v 为 0.23。

利用 P - III 型曲线并用适线法选择一条与经验频率点据配合最好的曲线^[5]。得到天津市降雨频率曲线图 2。

由图 (2) 可知, 设计频率为 50% 时, 降雨量为 498.69 mm, 而在保证率为 80% 及更高要求时, 天津年降雨量都达到 400 mm (城市雨水利用要求的年降雨

表1 方案成果比较

亿 m³

用水范围	用水对象	方案比较(差值)	供水总计	新水小计	本地地表水	本地地下水	其他外调水	南水北调	再生水
全市	需水总计	方案1-规划成果	0	0.1	3.2	-1	-2.1	0	-0.1
		方案2-方案1	0	0	-4.3	-0.1	0	4.3	0
全市	工业生活	方案1-规划成果	0	0.2	3.1	-0.8	-2.1	0	-0.2
		方案2-方案1	0	0	-3.9	-0.1	0	3.9	0
城区	需水总计	方案1-规划成果	0	0	2	-1.4	-1.9	1.3	0
		方案2-方案1	0	0	-3.2	1.3	0	1.8	0
城区	工业生活	方案1-规划成果	0	0	2	-1.4	-1.9	1.3	-0.4
		方案2-方案1	0	0	-2.8	1.3	0	1.4	0

县作为模型的配置单元,按区域水系、水利工程、用水节点的相互关系,建立了北京市水资源优化配置模拟模型,进行全市2015年不同水文条件的水资源配置,并与规划成果比较分析。结果表明,MIKE BASIN在缺水型大城市水资源配置中能够取得较合理的优化配置成果,具有较强的适用性。下一步工作中,针对水质水量联合配置,可结合软件二次开发开展深入研究,进一步完善模型。

参考文献:

[1] 王浩,游进军. 水资源合理配置研究历程与进展[J]. 水利学报,2008,39(10): 1168-1175.

[2] 王浩,秦大庸,王建华,等. 黄淮海流域水资源合理配置[M]. 北京: 科学出版社,2003,10: 21-159.
 [3] 顾世祥,李俊德,谢波,等. 云南省水资源合理配置模型[J]. 水利水电技术,2007,38(12): 54-58.
 [4] 熊莹,张洪刚,徐长江,等. 汉江流域水资源配置模型研究[J]. 人民长江,2008,39(17): 99-102.
 [5] 吴泽宇,张娜,黄会勇. 长江流域水资源配置模型研究[J]. 人民长江,2011,42(18): 88-90.
 [6] 北京市“十二五”时期水资源保护及利用规划[J]. 北京水务,2012(2).
 [7] 王浩. 实行最严格水资源管理制度关键技术支撑探析[J]. 中国水利,2011(6).

(责任编辑 欧阳越)

(上接第12页)

量的下限值)以上。根据降雨强度分级,小时降雨量达到30~70mm、70~140mm时分别为暴雨和大暴雨。以天津市降雨重现期为3年为例,基本达到大暴雨强度,当绿化比大于40%,渗透速率大于 $5.0 \times 10^{-6} \text{m/s}$ 时,200mm以上的下凹式绿地即能满足雨水零径流要求。

4 结 语

下凹式绿地是一种基于低影响开发技术发展而来的新型雨水渗蓄利用设施,有良好的环境效应,能在一定程度上延缓洪峰形成。天津东临渤海,海洋性气候对其影响显著,使其降雨量充沛,年均降雨量511.3mm且较为集中,与此同时天津老城区比例大且相对集中,这给天津的城市防涝带来更大挑战。下凹式绿地的建设不但能避免对老旧管网系统的大规模改造,而且增加了城市绿化。经过研究,当下凹式绿地的建设达10%~15%以上,可发

挥其渗蓄雨水的功效,缓解城市内涝形成;当建设比达40%,且渗透速率大于 $5.0 \times 10^{-6} \text{m/s}$ 时可满足3年设计重现期的降雨零径流要求。因此,天津市建设下凹式绿地,可以满足一定条件下降雨零径流要求,对城市生态的改善及内涝防治有积极作用。

参考文献:

[1] 刘中琪. 大雨拷问北京——内涝显现城市伤口[EB/OL]. (2012-07-23) [2012-07-26]. http://finance.cnr.cn/gundong/201207/t20120723_510314022.shtml.
 [2] 程江,徐启新,杨凯,等. 下凹式绿地雨水渗蓄效应及其影响因素[J]. 给水排水,2007,33(5): 45-49.
 [3] 李永福,王冬梅. 下凹式绿地对城市雨水集蓄利用作用研究进展[J]. 南水北调及水利科技,2011,9(1): 160-164.
 [4] 李俊奇,车伍,池莲,等. 住区低势绿地设计的关键参数及其影响因素分析[J]. 给水排水,2004,30(9): 41-46.
 [5] 林莺,李世才. 水文频率曲线简捷计算和绘图技巧[J]. 水利水电技术,2002,33(7): 52-53.

(责任编辑 欧阳越)