

# 天津市建设下凹绿地的雨水蓄渗效果分析

邢国平<sup>1</sup>, 邵兆凤<sup>1</sup>, 周建芝<sup>2</sup>, 唐宗<sup>2</sup>, 王伟<sup>2</sup>

(1. 天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072; 2. 天津市节约用水事务管理中心, 天津 300074)

**摘要:** 下凹绿地是一种简单的城市雨水蓄渗技术, 该技术简单易行, 工程投资少, 效果好。下凹绿地的蓄渗量随下凹深度、绿地率增加而增加。根据天津市实际情况, 经实验测试及理论计算得出, 在绿地下凹 100 mm, 绿地率为 30% 时, 对 1 年一遇和 2 年一遇的雨水可达 70% 的蓄渗率, 可以有效减少雨水洪峰量, 增加地下水资源, 同时减少绿地用水量。

**关键词:** 雨水; 下凹绿地; 蓄渗率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)06-0120-03

中图分类号: S273.1

## Effectiveness Analysis on Storage and Infiltration Rates of Concave-down Green Space in Tianjin City

XING Guo-ping<sup>1</sup>, SHAO Zhao-feng<sup>1</sup>, ZHOU Jian-zhi<sup>2</sup>, TANG Zong<sup>2</sup>, WANG Wei<sup>2</sup>

(1. School of Environment Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Tianjin Municipal Water Conservation Office, Tianjin 300074, China)

**Abstract:** Concave-down green space is a simple rainfall collection technique in urban setting. It has advantages such as simplicity, low investment and high efficiency. The storage and infiltration efficiency can be improved with increases of the depth of concave and the area of green space. According to the actual situation in Tianjin City, the experimental tests and theoretical calculations suggested that the depression depth should be 100 mm in the environmental setting of Tianjin City. With 30% green space rate, the storage-infiltration efficiency could reach up to 70% for the storms with recurrence interval of 1 or 2 years, which will reduce the flow peak and at the same time, minimize effectively the water demands of green oases and increase groundwater resources.

**Keywords:** rainwater; concave-down green space; storage and infiltration rate

随着城市化进程的不断加快, 造成城市中不透水地面面积比例越来越大, 致使雨水径流量和洪峰流量增大, 洪峰出现时间提前。在大暴雨或排水系统出现不畅情形下, 雨水径流积聚在街道或城市下凹处, 导致雨洪危害。城市雨水径流引发的内涝灾害已是阻碍我国城市经济社会发展的关键问题。绿地作为城市生态系统建设的重要组成部分, 是一种天然的渗透设施。下凹式绿地是雨水调蓄技术的一种, 与普通绿地系统相比, 下凹式绿地利用下凹空间充分蓄集雨水, 显著增加了雨水下渗时间和下渗量, 具有较好的蓄渗雨水、削减洪峰流量、减轻地表径流污染等优点。下凹式绿地作为暴雨最佳管理措施的一种新兴模式, 在国外已经有了效益良好的成功实例<sup>[1]</sup>, 在国内对该项措施的研究和应用也越来越受到关注<sup>[2-4]</sup>。

## 1 下凹绿地设计要点

下凹绿地即路面高程高于绿地高程, 雨水溢流口设在绿地中或绿地和道路交界处, 雨水口高程高于绿地高程而低于路面高程。道路坡度设计合理时可以直接利用路面作为溢流坎, 从而使不透水地面产生的径流雨水汇入下凹绿地入渗、储存, 待绿地蓄满水后再通过溢流口溢流至城市排水管道。

## 2 下凹绿地产流计算

### 2.1 下凹绿地产流计算模式

假设绿地及其服务区域是一个无排水设施的封闭区域, 绿地通过渗透、蓄积、蒸发等方式消纳部分雨水, 超出绿地蓄渗能力的部分排入雨水管道。降雨过

收稿日期: 2012-01-05

修回日期: 2012-03-09

资助项目: 天津市水利科学技术专项基金项目“天津市城市雨水综合利用及技术措施研究”(KY2009-25)

作者简介: 邢国平(1955—), 男(汉族), 天津市人, 硕士, 副教授, 研究方向为城市雨水资源化。E-mail: xgp@tju.edu.cn。

通信作者: 邵兆凤(1986—)女(汉族), 天津市人, 硕士, 研究方向为城市雨水资源化。E-mail: shaolei181855@163.com。

程中,下凹式绿地容纳绿地上空产生的雨水,同时接纳周围服务区域不透水路面径流雨水。下凹绿地水量平衡分析如图 1 所示。下凹绿地需消纳的雨水由不透水地面径流、下凹绿地上降雨以及下凹初始蓄水量等 3 部分组成,雨水的消纳途径包括地表蒸发、绿地下渗、绿地蓄水以及雨水外排。

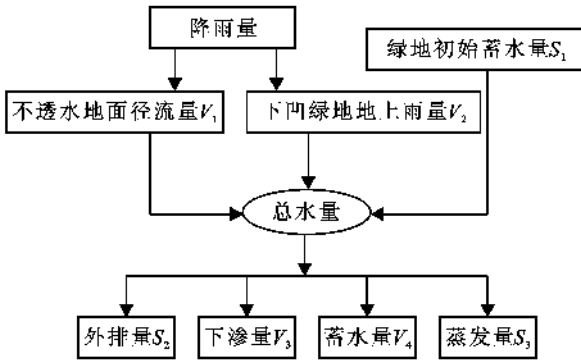


图 1 下凹绿地水量平衡分析

由图 1 可得水量平衡计算式:

$$V_1 + V_2 + S_1 = S_2 + V_3 + V_4 + S_3 \quad (1)$$

假设不透水地面径流全部径流到绿地上,下凹绿地初始蓄水量为零。下凹绿地面积上的雨水包括不透水地面上雨水径流(假设全部径流到绿地上)和绿地上降雨。对于不透水地面上的产流量等于其面积上降雨量与路面径流系数的乘积,下凹绿地降雨量为降雨量与下凹绿地面积的乘积。

$$S_1 = 0 \quad (2)$$

$$V_1 = 10^{-3} \varphi HF \quad (3)$$

$$V_2 = 10^{-3} AH \quad (4)$$

式中: $\varphi$ ——不透水地面径流系数,取值 0.9<sup>[5]</sup>;  $F$ ——不透水地面面积( $m^2$ );  $H$ ——降雨量(mm);  $A$ ——过流断面面积,即绿地面积( $m^2$ )。

假设地表蒸发为零,下凹绿地消纳的雨水包括绿地下渗量和下凹绿地蓄水量两部分。

$$V_3 = 10^{-3} KAJt \quad (5)$$

$$V_4 = Ah \quad (6)$$

$$S_3 = 0 \quad (7)$$

式中: $K$ ——渗透系数(mm/min),由土壤的物理性质决定; $J$ ——水力坡度,雨水从土壤表面近似于垂直向下渗流, $J=1$ ;  $t$ ——降雨历时(min);  $V_4$ ——绿地调蓄流量( $m^3$ );  $h$ ——绿地下凹高度(mm)。

下凹绿地能否消纳其服务区域内雨水径流用蓄渗率 $\alpha$ <sup>[6]</sup>表示,即:下凹绿地下渗雨水量,蓄水量之和与下凹绿地降雨量,不透水路面径流之和的比值。蓄渗率达 100%即表示下凹绿地可完全消纳其服务面积上的全部降雨,雨水不需外排。

$$\alpha = \frac{KJtf + hf}{\varphi H + Hf} \times 100\% \quad (8)$$

式中: $\alpha$ ——下凹绿地蓄渗效率(%);  $f$ ——绿地率(%).

### 2.2 下凹绿地蓄渗效率

2.2.1 设计雨量 采用天津市降雨强度公式(9)——(10),计算 1 年一遇,2 年一遇,5 年一遇和 10 年一遇的 1 h 降雨历时的降雨。

$$q = \frac{3833.34(1 + 0.85 \lg P)}{(t + 17)^{0.85}} \quad (9)$$

$$H = \int_0^t q dt \quad (10)$$

式中: $q$ ——平均暴雨强度;  $P$ ——设计降雨重现期(a);  $t$ ——暴雨历时(min);  $H$ ——降雨量(mm)。天津市不同降雨强度下,1 h 的降雨量详见表 1。

表 1 天津市不同降雨强度下 1 h 的降雨量

降雨重现期	1 h 暴雨强度 $i$ / (mm · min <sup>-1</sup> )	1 h 降雨量 $H$ / mm
1 年一遇	0.57	34.2
2 年一遇	0.71	42.6
5 年一遇	0.91	54.6
10 年一遇	1.06	63.6

2.2.2 蓄渗率 实测天津市土壤下渗能力,根据各级颗粒的百分含量,划分质地类型,测试地区土壤类型为砂质壤土(卡氏制命名),初始渗透系数和稳定渗透系数分别为 0.348,0.252 mm/min。由公式(1)——(10)计算不同降雨量、绿地率及下凹深度时下凹绿地对雨水径流的蓄渗率情况详见表 2。当绿地率为 30%,且下凹 150 mm 时,基本上可完全消纳 1 年一遇和 2 年一遇的降雨量,不需外排措施。对 5 年一遇和 10 年一遇的降雨量蓄渗率也可达 70%左右。当绿地率为 35%,下凹 100 mm 即可完全消纳 1 年一遇雨水,不需外排,当下凹 150 mm 时,可完全消纳 1 年一遇和 2 年一遇雨水,对 5 年一遇和 10 年一遇的雨水也基本可达到 75%以上。当绿地率为 40%下凹 80 mm 时,对 1 年一遇雨水即可达 90%以上的蓄渗率,当绿地下凹 150 mm 时,对 1 年一遇,2 年一遇,5 年一遇的降雨量都可完全消纳,不需外排,对 10 年一遇的降雨量也可达 90%。

## 3 下凹绿地蓄渗效果分析

按表 2 计算结果,以下渗系数 0.348 mm/min,绿地率为 30%为例,对不同降雨量、下凹深度下的蓄渗率绘制成柱状图(图 2)。由图 2 可以看出,蓄渗率随降雨重现期增加而减少,而随下凹深度增加而增加。降雨重现期增加,即降雨量增加,一定下凹深度的绿地对雨水的蓄渗能力降低。下凹深度实际上与绿地的蓄水量呈正比,下凹越深,表示绿地蓄水能力

越强。但是,下凹太深,雨水下渗时间太长,影响植物生长,且会有安全隐患。由表 2 计算结果可以看出,在下凹 100 mm 时,对于 1 年一遇和 2 年一遇雨水蓄渗率均可达 70% 左右,结合天津市具体地质条件及

表 2 计算结果,发挥下凹式绿地的蓄渗效果并且不影响绿色植被正常生长,天津市绿地下凹深度可选择 100 mm 左右,对于绿地植被可选择耐淹的植物品种,如鸢尾、早熟禾、野牛草<sup>[7]</sup>等。

表 2 不同渗透系数、降雨量、绿地率及下凹深度下的雨水蓄渗率

%

绿地率/ %	下凹深 度/mm	降雨重现期(渗透系数 0.348 mm/min)				降雨重现期(渗透系数 0.252 mm/min)			
		1 a	2 a	5 a	10 a	1 a	2 a	5 a	10 a
30	80	73.48	58.54	46.09	39.65	69.29	55.19	43.45	37.39
	100	88.05	70.15	55.22	47.52	83.86	66.80	52.60	45.25
	150	124.48	99.16	78.07	67.17	120.27	95.82	75.43	64.91
35	80	85.58	68.18	53.67	46.26	80.83	64.40	50.70	43.62
	100	102.73	81.84	64.42	55.44	97.83	77.94	61.36	52.79
	150	145.20	115.69	91.08	78.36	140.32	111.79	88.01	75.72
40	80	97.98	78.06	61.45	52.87	92.39	73.59	57.94	49.85
	100	117.40	93.53	73.64	63.35	111.81	89.09	70.13	60.33
	150	165.96	132.21	104.10	89.55	160.37	127.76	100.58	86.54

注:表中大于 100% 的情况表示下凹绿地能完全消纳雨水径流。

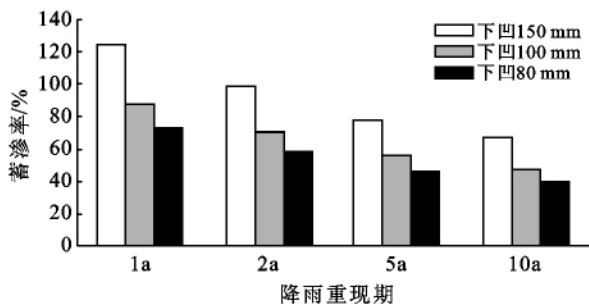


图 2 不同降雨量、下凹深度下的蓄渗率

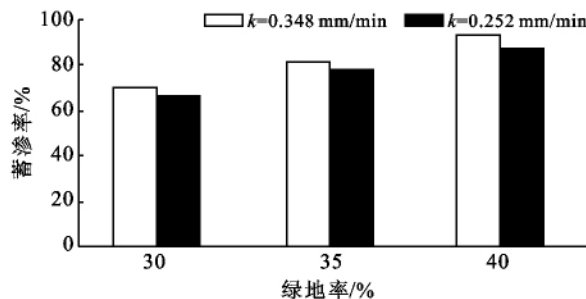


图 3 不同下渗系数、绿地率下的蓄渗率

以下渗系数分别为 0.348 和 0.252 mm/min,绿地下凹 100 mm,对 2 年一遇降雨的蓄渗率进行分析(图 3)。由图 3 可以看出,蓄渗率随下渗系数和绿地率的增加而增加。下渗系数由土壤的物理性质决定,表征土壤的下渗速度。下渗系数太大,土壤对雨水起不到过滤净化的作用,雨水可能污染地下水;下渗系数太小,则会造成雨水淤积在绿地中,影响市容环境。一般认为下渗系数大于  $1.00 \times 10^{-6}$  时适合设置下凹绿地<sup>[8]</sup>,根据实测天津土壤类型及下渗系数,在天津地区将绿地改造成下凹绿地是合理的。绿地率是一个城市生态环境的重要指标,2005 年《国家园林城市标准》要求园林城市绿地率不应小于 38%。假设绿地率为 30%,如果将绿地全部改造成下凹绿地,由表 2 计算结果可知对于 2 年一遇降雨,绿地下凹 100 mm 即可消纳 70% 的降雨量。按天津市建成区面积  $410.9 \text{ km}^2$  计算,城区平均雨量约为  $2.01 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ,在上述条件下,每年可有  $1.41 \times 10^8 \text{ m}^3$  雨水转化为地下水,这样不仅能补充地下水,减轻雨水初期径流污染,缓解洪涝灾害,有效修复城市自然水循环,还能增强土壤肥力与含水量,减少浇灌用水,降低绿地养护成本,真正达到趋利避害的作用。

## 4 结论

城市绿地系统是城市生态环境中的重要组成部分,在改善城市生活质量,提高城市自净能力,维持城市生态平衡,改善生态水文条件方面发挥着重要作用。下凹绿地不仅是生态、社会及经济效益的统一,还可以更加有效的净化空气、土壤、水体、蓄水保土。下凹绿地雨水渗蓄利用技术是低冲击负荷模式在雨水利用方面一种简单应用,不仅简单易行,管理方便,工程投资少而且能有效减少城市雨水径流。

下凹绿地的蓄渗效率与绿地下凹高度、设计降雨量、绿地率以及土壤机械组成等有关,蓄渗效率随下凹深度、绿地率增加而增加,随设计降雨量增加而减少。根据天津市实际情况,经实验测定及理论计算建议天津市绿地下凹 100 mm,在绿地率为 30% 时,对 1 年一遇和 2 年一遇的雨水只需外排 30% 降雨量,70% 的降雨量入渗至绿地,可达到增加地下水资源,消减暴雨洪峰流量,减少洪涝灾害,还节约绿地用水的目的。

(下转第 128 页)

泥石流的重要物源区,有更多典型流域可以验证计算方法,并进行改进。胡凯衡等<sup>[17]</sup>应对汶川地震的影响提出了非线性雨洪修正法,在没有地震影响下,泥石流洪峰流量的特性仍有待研究。

#### 4 结论

(1) 野外观察到的堆积扇群,若按单沟计算,严重夸大了泥石流洪峰流量,不符合实际情况。分为单独的流域计算,能准确反映泥石流对下游的危害。

(2) 一个流域内有多条沟道,存在支沟交汇的现象,支沟泥石流交汇后会有洪峰的叠加,当流域中某条支沟所占主沟总面积较大时,需要考虑支沟泥石流汇流对主沟泥石流洪峰流量的影响。

(3) 对雨洪法进行改进,分为子流域进行流量计算,可以反映各条沟道在流域爆发泥石流中的影响和作用。因支沟流域和主沟流域至汇口的汇流时间不同,洪峰叠加时有错峰现象,错峰降低了泥石流洪峰流量。这对防治工程设计具有参考意义,可降低工程的设防标准,节约工程经费。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 康志成. 泥石流洪峰流量的研究与计算[J]. 中国水土保持, 1991(2): 15-18.
- [2] 沈寿长, 谢修齐, 项行浦, 等. 暴雨泥石流流量计算方法研究[J]. 中国铁道科学, 1993, 14(2): 80-88.
- [3] 吕儒仁. 一场典型的冰雪雨水泥石流过程[J]. 山地研究, 1992, 10(2): 89-94.
- [4] Zhang Jinghong, Wei Fangqiang, Liu Shuzhen, et al. Possible effect of ENSO on annual sediment discharge of debris flows in the Jiangjia Ravine based on Morlet wavelet transforms[J]. International Journal of Sediment Research, 2008, 23(3): 267-274
- [5] 李德基. 泥石流减灾理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 19-21.
- [6] 谭万沛, 王成华, 姚令侃, 等. 暴雨泥石流滑坡的区域预测与预报: 以攀西地区为例[M]. 四川 成都: 四川科学技术出版社, 1994: 99-103.
- [7] 四川省水利电力厅. 四川省中小流域暴雨洪水计算手册[M]. 四川 成都: 四川省水利电力厅, 1986: 8-15.
- [8] 崔鹏, 杨坤, 陈杰. 前期降雨对泥石流形成的贡献: 以蒋家沟泥石流形成为例[J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(1): 11-15.
- [9] 韩井先. 五点概化过程线法在洪水调查分析中的应用[J]. 东北水利水电, 2004, 22(5): 11-13.
- [10] 王志录, 孙畅, 包红霞, 等. 甘肃省舟曲县“8·8”特大山洪泥石流灾害与气象成因分析及其应对建议[J]. 地质灾害与环境保护, 2011, 22(1): 10-15.
- [11] 李吉均. 青藏高原的地貌演化和亚洲季风[M]// 李吉均. 青藏高原隆升与亚洲环境演变. 北京: 科学出版社, 2006: 87-98.
- [12] 李吉均. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式的讨论[M]// 李吉均. 青藏高原隆升与亚洲环境演变. 北京: 科学出版社, 2006: 21-31.
- [13] 潘保田, 高红山, 李炳元, 等. 青藏高原层状地貌与高原隆升[J]. 第四纪研究, 2004, 24(1): 50-57.
- [14] 李吉均. 青藏高原隆起的三个阶段及夷平面的高度和年龄[M]// 李吉均. 青藏高原隆升与亚洲环境演变. 北京: 科学出版社, 2006: 65-70.
- [15] 周必凡, 李德基. 泥石流防治指南[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 8-12, 87-89.
- [16] Ronald I D. Debris flows from small catchments of the Ma Ha Tuak Range, metropolitan Phoenix, Arizona [J]. Geomorphology, 2010, 120(3/4): 339-352.
- [17] 胡凯衡, 崔鹏, 游勇, 等. 汶川灾区泥石流峰值流量的非线性雨洪修正法[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2010, 42(5): 52-57.

(上接第 122 页)

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Sieker F. On-site stormwater mangement as an alternative to conventional sewer systems; A new concept spreading in Germany[J]. Water Science and Technology, 1998, 38(10): 65-71.
- [2] 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.
- [3] 任树梅, 周纪明, 刘红, 等. 利用下凹绿地增加雨水蓄渗效果的分析与计算[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(2): 50-54.
- [4] 张光义, 聂发辉, 宁静, 等. 城市下凹式绿地长期运行蓄渗效率的概率分析[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2009, 37(5): 651-655.
- [5] 孙慧修, 郝以琼, 龙腾锐. 排水工程(下)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999: 73.
- [6] 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.
- [7] 路毅, 董艳桐. 城市绿地雨水利用的基本途径[J]. 北方园艺, 2008(9): 145-147.
- [8] 郑兴, 周孝德, 计冰昕. 德国的雨水管理及其技术措施[J]. 中国给水排水, 2005, 21(2): 104-106.