

## 设计暴雨条件下凹式绿地的雨水蓄渗效果

叶水根

刘红 孟光辉

(中国农业大学水利与土木工程学院) (北京市城市节水办公室)

**摘要** 下凹式绿地具有蓄渗雨水、削减洪峰流量、过滤水质和防止水土流失等优点,是城市雨洪利用的重要措施之一。对在设计暴雨条件下凹式绿地的蓄渗、减洪效果进行了分析计算,结果表明:在1倍汇水面积的情况下,对于10、50和100年一遇的暴雨,下凹式绿地的降雨拦蓄率分别为87.15%、58.48%和50.75%;其减峰率分别为71.04%、46.82%和41.52%;蓄渗、减洪效果极为明显。

**关键词** 下凹式绿地; 设计暴雨; 雨水蓄渗; 雨洪利用

中图分类号 S 273.1

### Analysis of Rain Storage and Infiltration in Sunken-lawn Under the Condition of Designed Storm

Ye Shuigen

Liu Hong Meng Guanghui

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, CAU) (Beijing City Saving on Water Bureau)

**Abstract** Sunken-lawn have the advantage of storing and infiltrating the rainwater, cutting down flood flow and peak, filtering water quality, preventing soil erosion and beautifying the environment, etc. It is one of effective measure of rainwater use in town. The effects of storage and infiltration is calculated and analyzed under the condition of designed storm. Results showed that it is very effective. It is suggested that the sunken-lawn is adopted in program and construction of town.

**Key words** sunken-lawn; design storm; rainwater storage and infiltration rainwater use

北京城址位于永定河冲积扇的脊部,这一地理位置所受外洪威胁小,且便于城区雨水的排泄。城区又有不少湖泊,便于调洪蓄水和兴建园林工程。由于北京市的城市化进程很快,城区面积不断扩大,1949年城区面积为109 km<sup>2</sup>,到1995年已达600 km<sup>2</sup>。城市化的发展使城市用水量增大,不透水面积也不断扩大,地下水严重超采且补给量减少。据估计目前北京市地下水超采量累计达40亿m<sup>3</sup>,形成了2000 km<sup>2</sup>的超采区和1000多km<sup>2</sup>的地下水漏斗区。地下水水位不断下降,古时的玉泉山、万泉河不见了,有些地区地下水已处于疏干状态。为解决北京市的水资源紧张状况,开发利用城市雨水资源是重要措施之一。

传统城市雨水设施的雨水口设在路面上,屋顶径流、路面径流和绿地径流很容易汇集到雨水口进入雨水管道向下游排泄。城市铺张区径流量为普通土壤径流量的1倍甚至几倍,汇流速度加快,洪峰流量可达普通土壤表面的几倍甚至十几倍;因此对雨水管道和河渠排泄能力的需求也大大提高。目前北京市城区雨水管道只有1~5 a一遇洪水的排泄能力,河渠也仅有20 a

收稿日期: 2001-08-31

叶水根,北京清华东路17号 中国农业大学(东校区)57信箱,100083

一遇洪水的排泄能力。若遇暴雨,城区路面积水较深影响交通,城市下游低洼区将面临洪水威胁。

城市化引起的另一个问题是水质污染,水环境恶化。一是点源污染,即城市的工业废水和生活污水直接排入河湖水体产生的污染;二是面源污染,即城市的地表径流造成的污染。后一种污染往往被人们所忽视。降水的淋洗作用将城市空气中和地面的污染物带入地表径流,地表径流又把污染物带入河湖水体。城市地表径流的污染程度已相当高,这些面源污染物和未处理的污水排入水体后,会造成河湖淤积,水体发臭,不仅降低了河湖的调洪和排洪能力,而且影响了城市景观和水生态环境。所以,城市雨水问题不仅是水量的控制和利用问题,还有水质污染的问题。

下凹式绿地既可以增加地下水的入渗补给,净化地表径流,减轻面源污染;又能削减洪峰流量,减轻洪涝灾害。

## 1 典型下凹式绿地的结构

在对城市的新开发区或旧城改建区进行规划设计时,控制调整好路面高程、绿地高程和雨水口高程,就可形成下凹式绿地。下凹式绿地的结构为,路面高程高于绿地高程,雨水口设在绿地内,且高于绿地高程而低于路面高程。这样设置可使道路、建筑物等铺张区上的雨水径流首先流入绿地,绿地蓄满水后再流入雨水口。本次计算分析将下凹式绿地概化为  $10\text{m} \times 15\text{m}$ 、雨水口为  $0.4\text{m} \times 0.6\text{m}$  的典型下凹式绿地。

## 2 减洪效果计算

### 2.1 设计暴雨过程

一般暴雨过程可用暴雨公式表示,即

$$I = s / (t + b)^n$$

式中:  $I$  为时段  $t$  内的平均暴雨强度,  $\text{mm} \cdot \text{m} \cdot \text{in}^{-1}$ ;  $t$  为降雨历时,  $\text{m} \cdot \text{in}$ ;  $s$  为北京地区不同重现期  $T$  的雨力,  $\text{mm} \cdot \text{m} \cdot \text{in}^{-1}$ ,  $s = 12.006(1 + 0.811 \lg T)^{11}$ ;  $b, n$  为地区参数,北京地区一般取  $b = 8$ ,  $n = 0.711^{11}$ 。因此,时段  $t$  内的总降雨深

$$H = \int_0^t I dt = st / (t + b)^n$$

则,瞬时降雨强度  $i, \text{mm} \cdot \text{m} \cdot \text{in}^{-1}$ ; 为

$$i = \frac{dH}{dt} = \frac{s[(1-n)t + b]}{(t + b)^{n+1}}$$

考虑到下凹式绿地汇集了建筑物及铺张区等汇水区产生的径流,汇水区入流过程取决于汇水区的形状、坡度和地面状况等因素,且汇水区的集流时间较短;为了简化计算,假定绿地的入流过程为降雨过程与汇水区入流过程的叠加,汇水区的入流量为绿地增加的净雨深;而且汇水区的雨力采用径流系数法计算;则总雨力为

$$S = s[1 + \alpha(A/A_g)]$$

式中:  $S$  为绿地及其他汇水区叠加的总雨力,  $\text{mm} \cdot \text{m} \cdot \text{in}^{-1}$ ;  $\alpha$  为汇水区的径流系数,本次计算取  $\alpha = 0.9$ ;  $A$  为汇水区面积,  $\text{m}^2$ ;  $A_g$  为绿地面积,  $\text{m}^2$ 。不同重现期总雨力的计算结果见表 1。

表 1 不同重现期的总雨力

mm·m in<sup>-1</sup>

重现期 <i>T/a</i>	汇水面积与绿地面积比					
	0	1	2	3	4	5
1	12.01	22.81	33.62	44.42	55.23	66.03
2	14.94	28.38	41.82	55.27	68.71	82.15
5	18.81	35.74	52.67	69.60	86.53	103.46
10	21.74	41.31	60.88	80.45	100.02	119.59
20	24.67	46.88	69.09	91.29	113.50	135.71
30	26.39	50.14	73.89	97.64	121.39	145.14
40	27.61	52.45	77.29	102.14	126.98	151.83
50	28.55	54.24	79.94	105.63	131.32	157.02
100	31.48	59.81	88.14	116.48	144.81	173.14

2.2 绿地净雨深

绿地上的雨水以及汇水区汇入的径流被绿地截留并产生下渗, 初期下渗率较大, 后期趋于稳定. 为简化计算, 采用平均下渗率计算绿地净雨深. 设平均下渗率为  $\mu$ , mm·m in<sup>-1</sup>; 产流历时为  $t_c$ , m in; 则  $t_c$  满足

$$\mu = \frac{s[(1-n)t_c + b]}{(t_c + b)^{n+1}}$$

降雨过程与入渗过程见图 1。

在设计暴雨条件下, 降雨损失强度主要取决于绿地土壤的下渗率. 由于城市绿地土壤一般为扰动土, 不同土壤类型、不同扰动情况下渗率变异性很大, 即使是同一地块, 不同点的下渗率相差也很大. 本次计算的土壤为砂壤土, 根据现场模拟降雨试验及相关文献<sup>[2]</sup>, 取平均下渗率  $\mu$  为 0.3. 故绿地净雨深

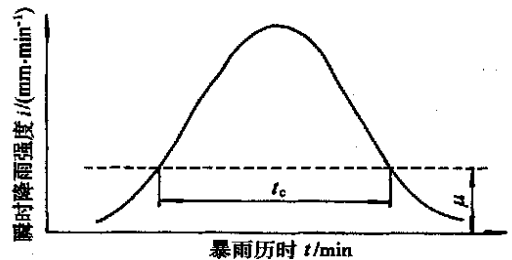


图 1 降雨过程与入渗过程示意图

$$h_c = S t_c / (t_c + b)^n - \mu t_c$$

计算结果见表 2。

表 2 绿地净雨深

mm

重现期 <i>T/a</i>	汇水面积与绿地面积比					
	0	1	2	3	4	5
1	18.64	46.73	74.83	102.92	131.01	159.11
2	26.68	65.41	104.15	142.88	181.61	220.34
5	38.47	92.57	146.67	200.77	254.87	308.96
10	48.15	114.75	181.35	247.96	314.56	381.16
20	58.41	138.20	218.00	297.79	377.59	457.38
30	64.66	152.47	240.28	328.09	415.90	503.71
40	69.20	162.82	256.45	350.08	443.71	537.33
50	72.78	170.99	269.20	367.41	465.62	563.83
100	84.22	197.05	309.87	422.70	535.52	648.35

### 2.3 绿地雨洪流量

绿地上的雨洪过程即暴雨过程和汇水区入流过程的叠加。考虑到汇水区入流过程与实际降雨过程有一定的时间差,故绿地的雨洪流量峰值按瞬时降雨强度最大值乘以一个修正系数计算,即

$$Q_m = \beta(S/b^n)$$

式中:  $Q_m$ ——绿地雨洪流量峰值,  $\text{mm} \cdot \text{m} \cdot \text{in}^{-1}$ ;

$\beta$ ——修正系数,一般取 0.9。

不同重现期绿地雨洪流量峰值的计算结果见表 3。

表 3 不同重现期绿地的雨洪流量峰值

$\text{mm} \cdot \text{m} \cdot \text{in}^{-1}$

重现期 $T/a$	汇水面积与绿地面积比					
	0	1	2	3	4	5
1	2.46	4.68	6.90	9.11	11.33	13.55
2	3.06	5.82	8.58	11.34	14.10	16.86
5	3.86	7.33	10.81	14.28	17.76	21.23
10	4.46	8.48	12.49	16.51	20.52	24.54
20	5.06	9.62	14.18	18.73	23.29	27.84
30	5.41	10.29	15.16	20.03	24.91	29.78
40	5.66	10.76	15.86	20.96	26.06	31.15
50	5.86	11.13	16.40	21.67	26.95	32.22
100	6.46	12.27	18.09	23.90	29.71	35.53

### 2.4 绿地溢流流量

下凹式绿地构成一小型调节池,绿地地面到雨水口的顶坎深为拦洪部分,雨水口到周边路面的高程差为滞洪部分。为简化计算,采用三角形法<sup>[3]</sup>。根据相似三角形原理,可导出雨水口溢流流量峰值  $q_m, \text{mm} \cdot \text{m} \cdot \text{in}^{-1}$ ;

$$q_m = Q_m \left[ 1 - \frac{V_0 + V_m}{W} \right] \left\{ 1 - \left[ \frac{r \cdot V_0}{(1+r)W} \right]^{1/2} \right\} V_0 \quad rW$$

$$q_m = Q_m \left[ 1 - \frac{V_0 + V_m}{W} \right] \left[ \frac{(W - V_0)}{(1+r)W} \right]^{1/2} \quad V_0 > rW$$

式中:  $W$ ——雨洪总量,  $\text{mm}$ ;

$V_0$ ——绿地最大蓄水量,  $\text{mm}$ , 用水深表示即为雨水口与绿地的高程差  $h_0, \text{mm}$ ;

$V_m$ ——调洪量,  $\text{mm}$ , 采用自由出流的矩形堰迭代法计算<sup>[4]</sup>, 其最大值用水深表示即为雨水口与路面高程差  $h_m, \text{mm}$ ;

$r$ ——涨洪历时与雨洪历时的比值, 取 0.36<sup>[5]</sup>。

绿地溢流流量峰值计算结果见表 4。

表 4 绿地溢流流量峰值

mm·m in<sup>-1</sup>

重现期 <i>T/a</i>	汇水面积与绿地面积比					
	0	1	2	3	4	5
1	0	0	0	1.77	4.02	6.79
2	0	0	1.23	4.74	7.24	9.46
5	0	0	4.80	7.99	10.93	15.44
10	0	2.45	6.74	10.17	15.12	20.21
20	0	4.28	8.49	13.25	19.09	24.64
30	0	5.18	9.47	15.19	21.30	27.13
40	0	5.77	10.15	16.52	22.82	28.86
50	0	5.92	10.68	17.53	23.98	30.19
100	0	7.18	13.18	20.56	27.50	34.22

注:  $h_0 = 100\text{mm}$ 

## 2.5 降雨拦蓄效果分析

绿地净雨深加上产流历时  $t_c$  内的入渗量近似为总降雨量, 总降雨量减去绿地溢流量即为绿地降雨拦蓄量, 故绿地的降雨拦蓄率

$$\eta = [(h + \mu \cdot t_c) / (h_c + \mu \cdot t_c)] \times 100\%$$

式中:  $\eta$  为拦蓄率, %;  $h$  为水深, mm, 当  $h_c < h_0$  时为  $h_c$ , 当  $h_c > h_0$  时为  $h_0$ , 绿地降雨拦蓄率的计算结果见表 5。可以看出, 在单独下凹式绿地条件下, 对于 10 a 和 100 a 一遇的暴雨, 绿地降雨拦蓄率均为 100%; 在 1 倍汇水面积的情况下, 对于 10 a, 50 a 和 100 a 一遇的暴雨, 绿地降雨拦蓄率分别为 87.15%, 58.48% 和 50.75%; 在多倍汇水面积情况下, 其降雨拦蓄率也很高, 蓄渗效果极为明显。

表 5 绿地的降雨拦蓄率

%

重现期 <i>T/a</i>	汇水面积与绿地面积比					
	0	1	2	3	4	5
1	100	100.00	100.00	97.16	76.33	62.85
2	100	100.00	96.02	69.99	55.06	45.38
5	100	100.00	68.18	49.81	39.24	32.37
10	100	87.15	55.14	40.33	31.79	26.24
20	100	72.36	45.87	33.58	26.48	21.86
30	100	65.59	41.62	30.48	24.04	19.85
40	100	61.42	38.99	28.56	22.54	18.61
50	100	58.48	37.15	27.22	21.48	17.74
100	100	50.75	32.27	23.66	18.67	15.42

## 2.6 减峰效果分析

根据绿地雨洪流量峰值和溢流流量峰值, 计算绿地减峰率, 即

$$\rho = (q_m / Q_m) \times 100\%$$

计算结果见表6。可以看出,在单独下凹式绿地条件下,对于100 a一遇的暴雨,绿地的减峰率为100%;在1倍汇水面积的情况下,对于10 a,50 a和100 a一遇的暴雨,绿地的减峰率分别为71.04%,46.82%和41.52%;在多倍汇水面积情况下也有很好的减峰效果。

表6 绿地减峰率 %

重现期 $T/a$	汇水面积与绿地面积比					
	0	1	2	3	4	5
1	100	100.00	100.00	80.55	64.51	49.92
2	100	100.00	85.72	58.24	48.68	43.85
5	100	100.00	55.58	44.05	38.44	27.26
10	100	71.04	46.07	38.37	26.31	17.65
20	100	55.47	40.11	29.29	18.02	11.51
30	100	49.69	37.55	24.18	14.49	8.89
40	100	46.40	36.02	21.17	12.41	7.35
50	100	46.82	34.87	19.12	10.99	6.30
100	100	41.52	27.10	13.95	7.43	3.67

注:  $h_0 = 100\text{mm}$

### 3 结束语

下凹式绿地在城市的住宅小区及道路两侧都可使用,是一种不需增加建设投入而可一举多得的措施。对设计暴雨条件下雨洪蓄渗及减洪效果的模拟计算结果表明:下凹式绿地的拦蓄效果和减峰效果都很好。在城市建设中采用下凹式绿地对于城市增加土壤水资源量和地下水资源量、防洪减灾、净化水环境及减少绿地灌溉用水量具有十分重要的意义。

在不同典型年份、不同土壤条件下,下凹式绿地的雨水蓄渗和减洪情况,及其净化环境作用还有待进一步研究。

### 参 考 文 献

- 1 给水排水设计手册编写组 给水排水设计手册(第五册). 北京: 中国建筑工业出版社, 1986 158~ 161
- 2 徐向阳 平原区城市雨洪过程模拟 水利学报, 1998(8): 34~ 37
- 3 长江流域规划办公室水文处编 实用水文水利计算 北京: 水利出版社, 1980 285~ 286
- 4 黄文蝗 水力学(上册). 北京: 人民教育出版社, 1980 464
- 5 朱元生, 金光炎 城市水文学 北京: 中国科学技术出版社, 1991 121