

利用下凹式绿地增加雨水蓄渗效果的分析与计算

任树梅 周纪明 刘红 孟光辉

(中国农业大学水利与土木工程学院) (北京市节水办)

摘要 对北京城区不同水平年、不同集水面积和不同下凹深度的绿地雨水蓄渗效果进行了分析和计算,结果表明,城市建设中采用下凹式绿地是利用城市雨水资源,防范及降低洪水危害的有效措施。

关键词 下凹式绿地; 雨水蓄渗; 蓄渗效果

分类号 S 273.1

Analyses and Calculation of Increasing Infiltration of Rainfall in the Soil by Using Hollow Grassland

Ren Shumei Zhou Jiming Liu Hong Meng Guanghui

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, CAU) (Beijing Efficient Water Use Office)

Abstract It is an efficient approach that using the hollow grassland to increase rainfall infiltration and reduce the amount of water flow out during the rainy season. The ability to infiltrate rainfall with different depth of hollow grassland in different hydrological years were analyzed and calculated. It is indicated that constructing hollow grassland is an efficient approach to increase rainfall use and protect or reduce flood disaster in cities.

Key words hollow grassland; rainfall infiltration; infiltration effect

城市雨水是城市区域内的天然水资源,城市雨水资源的利用与修建水库和引水、调水工程相比投资少,且无地区和部门利益之争。从可持续发展的角度出发,城市雨水资源的利用既可补充涵养土壤水、地下水,改善城市生态环境,又可增加城市备用水源,实现水资源补给与调节,以丰补歉,减缓水资源危机。

北京市多年平均降水量约 600 mm,在年际和年内分配均极不均衡,最丰年年降水量为 1 085.5 mm;最枯年仅为 311.2 mm。在年内实测多年平均汛期雨量约占全年雨量的 75%~85%,降水过分集中使每年汛期均有多余径流出境。据统计多年平均汛期径流出境量约为 9.5 亿 m³[1],其中绝大部分为未能控制利用的径流。如城市建设中采用利于增加雨水蓄渗的下凹式绿地及透水铺装构件,则可增加雨水的蓄渗,把汛期径流出境量转化为雨水资源,对水资源的良性循环将会起到促进作用。为此,笔者对利用下凹式绿地增加雨水蓄渗的效果进行了分析计算。

1 分析计算方法

降水量采用通惠河乐家花园观测站实测资料,蒸发量采用通县站资料,代表北京某一城区

收稿日期: 1999-07-30

任树梅,北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)146 信箱,100083

的降水、蒸发情况。基础资料根据 1956—1984 年北京市平原区年降水资料统计, 其中丰水年频率为 20% 时降水量 763.4 mm, 平水年频率为 50% 时降水量 571.1 mm, 枯水年频率为 75% 时降水量 450.8 mm。依据这 3 个水平年的降水量查找出相应的丰、平、枯水年份分别为 1977, 1983 和 1981 年。

下凹式绿地增加雨水蓄渗效果的计算采用初损后损法, 认为一次降雨过程中各项损失的强度随时间变化, 总趋势为降雨初期损失强度大, 以后越来越小, 直至趋于稳定^[2], 绿地集水面积的雨水蓄渗量本次计算只考虑不透水铺装区汇入绿地的水量 h_{ri} 。

$$h_{ri} = \begin{cases} P_i - (h_{dm} - h_{d0}) - E_i & P_i > h_{dm} - h_{d0} + E_i \\ 0 & P_i < h_{dm} - h_{d0} + E_i \end{cases}$$

式中: P_i 为降水量, mm; h_{dm} 为集水面积最大注蓄量, mm; h_{d0} 为降水开始时集水面积注蓄量, mm; E_i 为绿地集水面积蒸发量, mm。集水面积为不透水区, 其蒸发量大于水面蒸发量, 所以 $E_i = \beta E_{wi}$, β 为不透水铺装区蒸发因数, $\beta > 1$; E_{wi} 为水面蒸发量, mm; 下标 i 表示第 i 时段, 全文同。第 i 时段后集水面积注蓄量为

$$h_{d(i+1)} = h_{di} + P_i - E_i$$

由于绿地集水区的汇流时间较短, 近似地把降水过程中同一时刻集水区的净雨量与绿地上的降水量迭加后作为绿地的总入流量, 且认为入流像降雨一样均匀洒落在绿地上。绿地总入流量公式为

$$q_v(t) = P(t) + h_R(t) \frac{A}{A_l}$$

式中: $q_v(t)$ 为 t 时段绿地总入流量, m^3 ; $P(t)$ 为 t 时段降水量, m^3 ; $h_R(t)$ 为 t 时段集水区净雨量, m^3 ; A 和 A_l 分别为集水区面积和绿地面积, m^2 。

绿地的初损后损模型: 从绿地总入流量中扣除初损和后损量得到绿地上的净雨量, 即绿地上的积水; 积水通过入渗补给地下水。当积水深度超过下凹深度时, 多余的水量即外溢进入雨水管道排走。雨期绿地上蒸发量相对较小忽略不计。初损量 h_0 为补给土壤水的入渗量, mm; 后损量 h_c 及绿地的蓄水量为补给地下水的入渗量, mm。绿地土壤含水量变化过程由下式计算:

$$W_{t+1} = \left[W_t + P + h_R \frac{A}{A_l} \right] K$$

当 $W_{t+1} > W_m$ 时, 取 $W_{t+1} = W_m$ 。式中: W_t 和 W_{t+1} 分别为第 t 日、第 $t+1$ 日绿地土壤含水量, mm; K 为土壤含水量衰减因数, $K = 1 - E_w/W_m$; E_w 为水面日蒸发量, mm; W_m 为土壤最大含水量, mm。

由年初干旱早期假定某一较低的土壤含水量开始推算雨前土壤含水量。

初损量的计算:

$$h_{0i} = \begin{cases} P_i + h_{Ri} \frac{A}{A_l} & P_i + h_{Ri} \frac{A}{A_l} < W_m - W_{0i} \\ W_m - W_{0i} & P_i + h_{Ri} \frac{A}{A_l} > W_m - W_{0i} \end{cases}$$

吴文桂 北京水资源利用 北京水利规划设计研究院, 1989

中华人民共和国水文年鉴(1977, 1981, 1983) 第 3 卷: 海河流域水文资料第 2 册: 潮白蓟运河流域北运河水系 河北省水文总站

式中: W_{0i} 为雨前土壤含水量, $W_{0i} = W_{00} + \sum h_{0i}$

稳渗量的计算:

$$h_{ci} = \begin{cases} \eta_{t_{ci}} & \eta_t > P_i + h_{Ri} \frac{A}{A_i} - h_{0i} + h_i > \eta_{t_{ci}} \\ P_i + h_{Ri} \frac{A}{A_i} - h_{0i} + h_i & P_i + h_{Ri} \frac{A}{A_i} - h_{0i} + h_i < \eta_{t_{ci}} \\ \eta_t & P_i + h_{Ri} \frac{A}{A_i} - h_{0i} + h_i > \eta_t, \text{且 } t_{ci} = t \end{cases}$$

式中: h_{ci} 为稳渗量, mm; t_{ci} 为稳渗历时, $t_{ci} = [P_i + h_{Ri}(A/A_i) - h_{0i}]t / [P_i + h_{Ri}(A/A_i)]$, min; t 为时段长, min; η 为绿地稳渗率, $\text{mm} \cdot \text{m} \cdot \text{in}^{-1}$; h_i 为积水深, mm。

绿地积水深和外溢水量的计算:

$$h_i = h_{i-1} + P_i + h_{Ri} \frac{A}{A_i} - h_{0i} - h_{ci}$$

$$h_y = h_i - h_m$$

当 $h_i > h_m$ 时, 取 $h_i = h_m$ 。式中: h_{i-1} 为绿地第 i 时段前的积水深, mm; h_m 为绿地最大积水深, 即绿地下凹深, mm; h_y 为绿地外溢水量, mm。

2 有关参数的确定

不透水铺装区蒸发因数 β 取决于气象条件和不透水铺装区的特性, 北京地区取 $\beta = 1.3$ 有较好的拟合效果^[3]。不透水铺装区的最大洼蓄量 h_{dm} 取决于不透水铺装区的施工水平, 不透水铺装区愈平坦, 洼蓄量愈小。北京市不透水铺装区最大洼蓄量研究资料表明, 当 $h_{dm} = 3 \text{ mm}$ 时, 与降水径流深 h_r 拟合效果较好^[3], 因此, 本文中取 $h_{dm} = 3 \text{ mm}$ 。

土壤最大含水量与土壤质地、结构和孔隙状况有关。耕作土壤的孔隙度较大, 土壤含水量较高。北京市近郊耕作土壤深度约 1 m 土体内的蓄水量约为 200 mm^[4], 城市绿地的树木、草和花卉的根系深度也约为 1 m。降雨初期城区绿地土壤蓄水量与耕作土壤基本相同, 后期则低于耕作土壤, 根据绿地蓄渗效果的保守情况估计, 本文中采用 $W_m = 121.2 \text{ mm}$ ^[3]。

稳渗率 η 取决于土壤质地、孔隙率和结构特性。翻耕后初期的下渗率较大, 随后逐渐减小, 直到某一稳定数值。本文中取 $\eta = 0.3 \text{ mm} \cdot \text{m} \cdot \text{in}^{-1}$ ^[3]。

3 计算结果

丰、平、枯各水平年, 绿地下凹深度分别以 0 和 150 mm、集水区面积 A 与绿地面积 A_i 的比值分别以 0.2、5 计算时, 雨水蓄渗的效果见表 1。其中丰水年 P 为 795.5 mm, h_r 为 655.9 mm; 平水年 P 为 548.0 mm, h_r 为 423.0 mm; 枯水年 P 为 451.9 mm, h_r 为 326.6 mm。

多年平均降水量为 598.5 mm、不透水铺装区径流计算值为 468.5 mm 时, 非下凹式绿地不透水铺装区径流不入绿地, 充分进入绿地和下凹深为 150 mm 的绿地不透水铺装区径流入绿地的雨水蓄渗效果见表 2。

表 1 下凹式绿地雨水蓄渗效果

A/A_1	不同水平年	$P/$ mm	$q/$ mm	$h_0/$ mm	h/mm				
					0		150		
					h_c	h_y	h_c	h_y	h_m
0	丰水年	795.5	795.5	428.9	358.6	8.0	366.6	-	6.0
	平水年	548.0	548.0	422.9	84.1	41.0	125.1	-	21.4
	枯水年	451.9	451.9	310.9	119.7	21.3	141.0	-	21.3
	多年平均	598.5	598.5	387.6	187.5	23.4	210.9	-	21.3
2	丰水年	795.5	2 107.3	498.3	1 144.1	465.0	1 609.0	-	95.9
	平水年	548.0	1 394.0	490.4	415.3	488.3	828.3	75.3	150
	枯水年	451.9	1 105.1	354.8	407.0	343.3	734.0	16.3	150
	多年平均	598.5	1 535.5	447.8	655.4	432.2	1 057.1	30.5	150
5	丰水年	795.5	4 075.0	523.0	1 952.3	1 599.7	3 383.7	168.3	150
	平水年	548.0	2 663.0	522.6	808.7	1 331.7	1 667.5	472.9	150
	枯水年	451.9	2 084.9	384.0	632.0	1 068.9	1 255.2	445.7	150
	多年平均	598.5	2 941.0	476.5	1 131.0	1 333.1	2 102.1	362.3	150

表 2 不同条件下绿地雨水蓄渗效果

条 件	h/mm	A/A_1	进入绿地水量/mm	h_0/mm	h_c/mm	h_y/mm
径流不入绿地	0	0	598.5	387.6	187.5	23.4
		2	598.5	387.6	187.5	960.4
		5	598.5	387.6	187.5	2 365.9
径流进入绿地	0	0	598.5	387.6	187.5	23.4
		2	1 535.5	447.8	655.4	432.2
		5	2 941.0	476.5	1 131.0	1 333.1
150	2	0	598.5	387.6	210.9	0
		2	1 535.5	447.8	1 057.1	30.5
		5	2 941.0	476.5	2 102.1	362.3

4 结 论

1) 绿地既不是下凹式的, 又不汇集周围不透水铺装区的径流, 这种情况雨水蓄渗效果最差。不透水铺装区的径流直接进入雨水管道排至下游, 绿地上的降水也不能充分利用, 其中一部分超渗雨也要进入雨水管道排走。在这种情况下, 若北京市规划面积为 $1\ 040\text{ km}^2$, 绿地面积与不透水铺装区面积之比为 $1/2$, 则每年只有 1.34 亿 m^3 土壤水, 0.65 亿 m^3 补给地下水; 外溢水量达到 3.30 亿 m^3 。

2) 绿地为下凹式, 但不汇集周围不透水铺装区的径流, 雨水蓄渗效果较前一种情况稍好。下凹深度增加了绿地对天然降雨的拦蓄, 把超渗雨拦蓄起来, 转变为重力水补给地下水。下凹

深 3 cm 即可。

3) 绿地汇集周围不透水铺装区的径流, 且这些径流通过整个绿地面积, 则可充分利用绿地的下渗能力, 增加绿地的土壤含水量和地下水补给量, 但这种情况很难做到。绿地集水区的径流往往只穿过绿地部分面积, 绿地渗水能力不能充分发挥。

4) 绿地为下凹式, 且汇集周围不透水铺装区的径流, 雨水蓄渗效果最好, 不但充分利用了绿地的下渗能力, 而且充分利用了绿地的蓄水能力。蓄水能力随下凹深度的增加而增强, 当下凹深为 150 mm, $A/A_1 = 5$ 时, 最长蓄水时间为 21 h, 小于绿地一般植物耐淹时间, 不影响绿地植物的生长。若城市规划面积及绿地面积与不透水铺装区面积之比与 1) 中相同, 则属本文中 $A/A_1 = 2$ 的情况。这种情况下, 平均每年将有 1.55 亿 m^3 雨水转变为土壤水, 3.66 亿 m^3 补给地下水, 外溢水量只有 0.11 亿 m^3 。与 1) 中情况比较可见蓄水效果非常显著, 土壤水增加 0.21 亿 m^3 , 地下水补给增加 3.01 亿 m^3 , 外溢水量减少 3.19 亿 m^3 。

参 考 文 献

- 1 颜昌远 北京的水利 北京: 科学普及出版社, 1997. 264~ 286
- 2 叶守泽 水文及水利计算 北京: 水利电力出版社, 1992. 117
- 3 徐向阳 平原城市雨洪过程模拟 水利学报, 1998(8): 34~ 37
- 4 北京市计委环境国土资源处 北京国土资源 北京: 北京科技出版社, 1988. 233