

Analysis of the Calculation of the Volume Reduction of the Rain Garden Storage Volume

Shiyang Chen Li Wang Yong Shi

China Machinery International Engineering Design&Research Institute Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410007, China

Abstract

Due to the effects of grading, pipelines, well blocks, plants, etc., in the calculation of the storage volume of the rain garden, it needs to be multiplied by the reduction factor. Take the circular rain garden as an example, with the premise of evenly laying slopes around, using the table volume formula to calculate the storage volume after shape reduction, on this basis, the reduction of tube wells caused by overflow wells and blind pipes was considered. After actual case calculation, for the rain garden with an area of $25\text{m}^2\sim 100\text{m}^2$, the comprehensive reduction factor of its storage volume is between 0.5~0.8.

Keywords

storage volume; rain garden; reduction

Fund Project

Funded by Hunan Province Key Field R&D Program Project (Project No.: 2019SK2111).

雨水花园调蓄容积折减计算分析

陈世洋 王莉 石勇

中机国际工程设计研究院有限责任公司, 中国·湖南长沙 410007

摘要

因放坡、管线、井座、植物等的影响,在雨水花园的调蓄容积计算中,需要乘以折减系数。以圆形雨水花园为例,以四周均匀放坡为前提,采用台体体积公式计算了形状折减后的调蓄容积,并在此基础上考虑了溢流井和盲管导致的管井折减。经过实际案例计算,对面积为 $25\text{m}^2\sim 100\text{m}^2$ 的雨水花园,其调蓄容积的综合折减系数在 0.5~0.8 之间。

关键词

调蓄容积; 雨水花园; 折减

基金项目

湖南省重点领域研发计划项目(项目编号: 2019SK2111)资助。

1 引言

雨水花园是自然形成的或人工挖掘的浅凹绿地,被用于汇聚来自屋面或道路的雨水,并经过植物和土壤的蓄滞、下渗和净化,达到控制雨水径流、削减径流污染、涵养地下水、补给城市景观用水等目的,是海绵城市建设中一种常用的生物滞留设施。

工程设计中,雨水花园的实际可调蓄容积常用设施表面积乘以设施对应的调蓄深度来计算。其中,考虑到地形、放坡、管线、井座、植物根系等影响因素,对计算结果乘以 0.6~0.8 的折减系数得到较为合理的调蓄容积值,但人为取值折减系

数具有较大的不确定性和随意性。目前,没有关于雨水花园折减系数如何计算和取值的文献报道,论文考虑雨水花园的放坡、占据雨水花园调蓄容积的穿孔盲管和溢流井等因素,分别计算雨水花园各结构层在不同情况折减后的实际调蓄容积,并举例计算和讨论设施综合折减系数取值范围,以期从调蓄容积折减的角度为设施精细化设计提供方法和思路。

2 雨水花园设计计算

2.1 简化雨水花园

根据 GB 51174-2017《城镇雨水调蓄工程技术规范》第 4.3.5 条的规定:“生物滞留设施宜在土基上铺设,自上而下

宜设置蓄水层、覆盖层、种植层、透水土工布和砾石层”^[1]。论文为方便计算雨水花园的调蓄容积，将雨水花园简化为三层——蓄水层、种植土层和砾石层，并做如下三点假定：①覆盖层不计调蓄容积；②雨水花园为圆形表面且四周均匀放坡；③雨水花园设施底部原土下渗量不计入调蓄容积，经简化后的雨水花园平面图和剖面图如图1和图2所示。

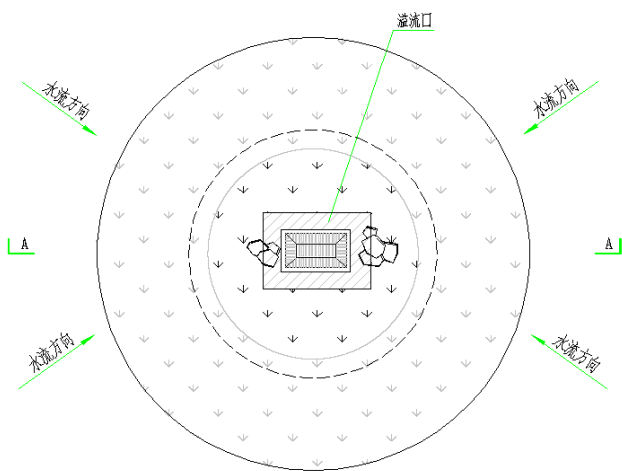


图1 雨水花园平面示意图

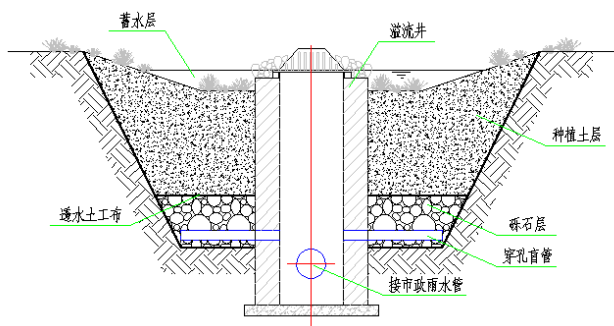


图2 雨水花园 A-A 剖面示意图

2.2 雨水花园参数

按假定条件设计的雨水花园计算剖面图如图3所示。

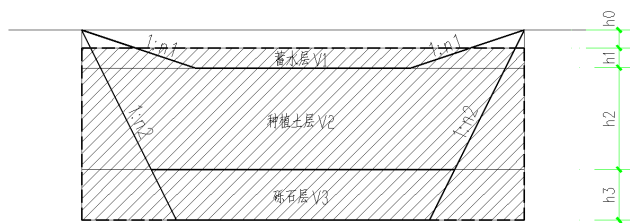


图3 简化雨水花园调蓄容积计算图（不考虑折减）

为了方便后续计算，设定雨水花园地表占地面积为 S ，各结构层参数如下：超高层 h_0 ，蓄水层 h_1 ，种植土层 h_2 ，砾石层 h_3 ，种植土层和砾石层孔隙率分别用 ε_1 、 ε_2 表示，各层

调蓄容积在未考虑折减时分别用 V_1 、 V_2 、 V_3 表示。

放坡是指为了防止坍塌和保证安全，将沟槽或基坑边壁修成一定的倾斜坡度，沟槽边坡坡度以挖沟槽或基坑的深度“ H ”与边坡底宽“ B ”之比表示，即：土方边坡坡度（1: m ）= H/B 。假定蓄水层所在雨水花园放坡 $1:n_1$ ，介质层所在雨水花园放坡 $1:n_2$ 。

雨水花园除了“渗”“滞”“蓄”“净”，还需要“排”。根据 GB51174—2017《城镇雨水调蓄工程技术规范》第4.3.8条的规定：“用于排涝除险调蓄的下凹式绿地雨水排空时间不应大于绿地中植被的耐淹时间”和第4.3.5条的规定：“砾石层起到排水作用，厚度宜为250mm~300mm，可在其底部埋设管径为100mm~150mm的穿孔排水管”^[1]。根据《美国纳什维尔市戴维森县雨洪管理手册》第4章绿色基础设施做法：

“生物滞留设施的土壤渗透速率大于0.5英寸/小时且地下水位较低、地下水污染风险较低时，可不设排水盲管，让雨水自然渗入原土”^[2]。根据 GB51222—2017《城镇内涝防治技术规范》第4.2.19条的规定：“下凹式绿地的排空时间应根据绿地的功能（净化水质和削减径流峰值）和降雨周期等多方面因素确定，绿地排空时间宜为24h~48h”^[3]。因此，论文按照影响雨水花园调蓄容积最不利的情况考虑，为及时排走设施内多余的雨水，需设置穿孔盲管快速收集雨水到溢流井，超标雨水还可通过溢流雨水口排至溢流井，最终排入市政雨水管中。假定雨水花园中溢流井底部和溢流管均低于砾石层底部，即溢流管不占据介质层体积，设溢流井横断面大小为 $L \times B$ ，盲管管径为 d ，敷设长度为 l 。

影响海绵设施调蓄容积的因素还有许多，如在市政道路绿化带布置雨水花园时，需要考虑绿化带下穿管线所占体积（给水、雨污水、燃气、电力电缆等），由于绿化带宽度、管线埋设的位置、数量、管径、管井（检查井、路灯底座埋深、检查井布置间隔）等情况复杂，应根据具体项目来进行计算量化。因此论文仅考虑放坡、溢流井和盲管这几个基本要素，对折减后雨水花园的调蓄容积进行计算。

2.3 不考虑折减

若不考虑折减，则各层调蓄容积分别为：

$$V_1 = S \times h_1。$$

$$V_2 = S \times h_2 \times \varepsilon_1。$$

$$V_3 = S \times h_3 \times \varepsilon_2。$$

上式中:

V_1 ——不考虑折减的蓄水层调蓄容积 (m^3)。

V_2 ——不考虑折减的种植土层调蓄容积 (m^3)。

V_3 ——不考虑折减的砾石层调蓄容积 (m^3)。

ε_1 ——种植土层孔隙率。

ε_2 ——砾石层孔隙率。

2.4 形状折减

本节公式计算选取简单、基本的形状,将雨水花园简化为圆形表面计算,如图4所示。由于四周均匀放坡的影响,圆形表面的雨水花园整体不再是圆柱体而是圆台,因此论文将由放坡引起的雨水花园的形状变化、从而导致雨水花园调蓄容积的减少称为形状折减。

形状折减采用台体体积公式:

$$V = \frac{1}{3} [S_a + \sqrt{S_a \times S_b} + S_b] h \quad (1-1)$$

式(1-1)中: S_a ——台体上底面积 (m^2); S_b ——台体下底面积 (m^2); h ——台体高 (m)。

根据公式(1-1)计算得形状折减后的雨水花园各层实际体积,进而求各层调蓄容积计算过程如下:

$$V_{\text{蓄水层}} = h_1 \left[S - \sqrt{S\pi} \times n_1 \times (2h_0 + h_1) + \pi \times n_1^2 \times \left(h_0^2 + \frac{h_1^2}{3} + h_0 h_1 \right) \right] \quad (1-2)$$

$$V_{\text{种植土层}} = \frac{h_1 + h_2}{3} \left\{ 3S + \pi h_0 n_2^2 + \pi (2h_0 + h_1 + h_2) \times \left[(h_0 + h_1 + h_2) n_2^2 - 3n_2 \sqrt{\frac{S}{\pi}} \right] \right\} - V_1' \quad (1-3)$$

$$V_{\text{砾石层}} = h_3 \left\{ S - \sqrt{S\pi} [2n_2 (h_0 + h_1 + h_2) + n_2 h_3] \right\} + \frac{h_3}{3} \pi n_2^2 \left[(h_0 + h_1 + h_2)^2 + (h_0 + h_1 + h_2 + h_3)^2 + (h_0 + h_1 + h_2) \times (h_0 + h_1 + h_2 + h_3) \right] \quad (1-4)$$

上式中:

$V_{\text{蓄水层}}$ ——形状折减后的蓄水层体积 (m^3)。

$V_{\text{种植土层}}$ ——形状折减后的种植土层体积 (m^3)。

$V_{\text{砾石层}}$ ——形状折减后的砾石层体积 (m^3)。

S ——雨水花园表面积 (m^2)。

h_0 ——蓄水层上的超高 (m)。

h_1 ——蓄水层高度 (m)。

h_2 ——种植土层高度 (m)。

h_3 ——砾石层高度 (m)。

n_1 ——蓄水层放坡坡度的倒数。

n_2 ——介质层放坡坡度的倒数。

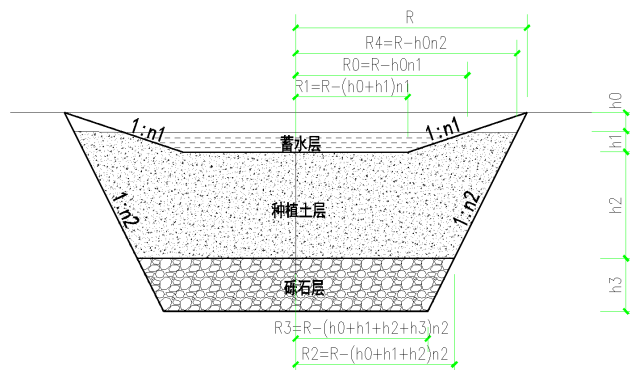


图4 圆形雨水花园形状折减后的各层体积计算

则考虑形状折减后,雨水花园各层调蓄容积分别为:

$$V_1' = V_{\text{蓄水层}}。$$

$$V_2' = V_{\text{种植土层}} \times \varepsilon_1。$$

$$V_3' = V_{\text{砾石层}} \times \varepsilon_2。$$

上式中:

V_1' ——形状折减后的蓄水层调蓄容积 (m^3)。

V_2' ——形状折减后的种植土层调蓄容积 (m^3)。

V_3' ——形状折减后的砾石层调蓄容积 (m^3)。

2.5 管井折减

除了放坡对雨水花园的调蓄容积有较大的影响外,溢流井和盲管也会占据设施内部各层调蓄容积。论文将由溢流井和盲管占据设施内体积、进而导致的雨水花园调蓄容积的减少称为管井折减。

基于中国工程现状,雨水花园的形状折减不可避免,因此以下基于形状折减来进一步计算管井折减后的各层调蓄容积:

$$V_1'' = V_{\text{蓄水层}} - L \times B \times h_1。$$

$$V_2'' = (V_{\text{种植土层}} - L \times B \times h_2) \times \varepsilon_1。$$

$$V_3'' = (V_{\text{砾石层}} - L \times B \times h_3) \times \varepsilon_2。$$

上式中:

V_1'' ——形状折减和管井折减后的蓄水层调蓄容积 (m^3)。

V_2'' ——形状折减和管井折减后的种植土层调蓄容积(m^3)。

V_3'' ——形状折减和管井折减后的砾石层调蓄容积(m^3)。

L、B——溢流井的横截面长(m)和宽(m)。

3 雨水花园举例计算

论文采用某工业厂区海绵城市建设雨水工程案例中的其中一个雨水花园作为参考例来计算。该雨水花园表面积(近似圆形,按假定圆形表面计算) $S=100m^2$,雨水花园低于周边道路约 300mm,蓄水层 100mm,换填土层 500mm,砾石层 300mm,换填种植土层孔隙率取 0.2,砾石层孔隙率取 0.3。即 $h_0=0.2m$, $h_1=0.1m$, $h_2=0.5m$, $h_3=0.3m$, $\varepsilon_1=0.2$, $\varepsilon_2=0.3$,且放坡比 1: $n_1=1: 3$, 1: $n_2=1: 1$ 。

根据以上参数求得 $R=5.64m$, $R_0=5.04m$, $R_1=4.74m$, $R_2=4.84m$, $R_3=4.54m$, $R_4=5.44m$, 直接用式(1-1)计算可验证式(1-2)、式(1-3)、式(1-4)这三个公式推导的准确性。

该雨水花园的施工参照图集《城市道路与开放空间低影响开发雨水设施》15MR105 第 3~40 页的说明:“进水管、排水管、穿孔收集管可采用 UPVC、PPR 等材料,双波纹管或双壁波纹管等材料,穿孔收集管管径大于 DN150,开孔率应控制在 1%~3% 之间”;参照《湖南省工程建设标准设计图集——海绵城市建设技术》湘 2015SZ103-3 第 2-1 页的技术要求,“渗管敷设坡度 0.01~0.02,渗管开孔率应控制在 1%~3% 之间,四周应填充砾石或其他多孔材料”。按照设计计算成果,该雨水花园排水盲管管径为 $d=150mm$,开孔孔径大小为 20mm,开孔率 2%,敷设坡度 0.015,盲管长度 $l=8m$ 可以满足渗排要求;溢流井横断面外壁尺寸为 $L \times B=950m \times 650mm$,井座上 $746 \times 446 \times 162mm$ 的方形溢流口可满足汇流比为 5: 1 时,能排除重现期为 50 年一遇雨水的要求。

针对面积 $S=100m^2$ 的雨水花园其调蓄容积折减的计算过程如下:

(1) 不考虑折减: $V_s = V_1 + V_2 + V_3 = 29 (m^3)$, 其中 $V_1 = 10 (m^3)$, $V_2 = 10 (m^3)$, $V_3 = 9 (m^3)$ 。

上式中: V_s ——不考虑折减的雨水花园调蓄容积。

(2) 形状折减: $V_s' = V_1' + V_2' + V_3' = 22.242 (m^3)$, 其中 $V_1' = 7.52 (m^3)$, $V_2' = 8.494 (m^3)$, $V_3' = 6.228 (m^3)$ 。

上式中: V_s' ——形状折减后的雨水花园调蓄容积。

(3) 管井折减: $V_s'' = V_1'' + V_2'' + V_3'' = 22.021 (m^3)$,

其中 $V_1'' = 7.46 (m^3)$, $V_2'' = 8.432 (m^3)$, $V_3'' = 6.129 (m^3)$ 。

上式中: V_s'' ——管井折减后的雨水花园调蓄容积。

(4) 综合折减系数与介质层折减系数

论文将形状折减和管井折减后雨水花园的调蓄容积与不考虑折减的雨水花园调蓄容积的比值称为综合折减系数。

同理,经形状折减和管井折减后各介质层的调蓄容积与不考虑折减的雨水花园各层的调蓄容积的比值称为介质层折减系数。经计算 $S=100m^2$ 的雨水花园其调蓄容积综合折减系数为 $22.021/29=0.759$ 。其蓄水层、种植土层和砾石层的折减系数分别为 $V_1'' / V_1 = 0.746$ 、 $V_2'' / V_2 = 0.843$ 和 $V_3'' / V_3 = 0.681$ 。

4 不同面积雨水花园的调蓄容积折减

为了比较形状折减和管井折减对不同面积的雨水花园的影响程度,将上文举例的雨水花园的介质层各参数不变,仅改变雨水花园的表面积,分别计算面积为 $75m^2$, $50m^2$, $25m^2$ 的雨水花园其调蓄容积,并将其结果与面积为 $100m^2$ 的雨水花园的计算结果对比,如下表 1、表 2 和表 3 所示。

表 1 不同面积的圆形雨水花园形状折减和管井折减后的调蓄容积

	蓄水层调蓄容积 $V_1'' (m^3)$	种植土层调蓄容积 $V_2'' (m^3)$	砾石层调蓄容积 $V_3'' (m^3)$	雨水花园调蓄容积 $V_s'' (m^3)$
$S=100 m^2$	7.46	8.432	6.129	22.021
$S=75 m^2$	5.315	6.146	4.28	15.741
$S=50 m^2$	3.237	3.90	2.522	9.659
$S=25 m^2$	1.288	1.73	0.910	3.928

表 2 不同面积的圆形雨水花园不考虑折减的调蓄容积

	蓄水层调蓄容积 $V_1 (m^3)$	种植土层调蓄容积 $V_2 (m^3)$	砾石层调蓄容积 $V_3 (m^3)$	雨水花园调蓄容积 $V_s (m^3)$
$S=100 m^2$	10	10	9	29
$S=75 m^2$	7.5	7.5	6.75	21.75
$S=50 m^2$	5	5	4.5	14.50
$S=25 m^2$	2.5	2.5	2.25	7.25

表 3 不同面积的圆形雨水花园综合折减系数和介质层折减系数

	蓄水层折减系数	种植土层折减系数	砾石层折减系数	综合折减系数
$S=100$	0.746	0.843	0.681	0.759
$S=75$	0.709	0.820	0.634	0.724
$S=50$	0.647	0.780	0.560	0.666
$S=25$	0.515	0.692	0.404	0.542

由此可见,雨水花园面积越小,介质层折减系数和综合折减系数也越小。以本案例为例,面积在 $25\text{m}^2\sim 100\text{m}^2$ 时,雨水花园的调蓄容积折减系数在 $0.5\sim 0.8$ 之间。

5 不足与建议

论文从海绵设施调蓄容积折减的角度,以圆形雨水花园为例,计算了在考虑放坡、溢流井和盲管时调蓄容积的折减,得出了雨水花园面积越小,调蓄容积折减越多,即折减系数越小的结论。但论文仅以雨水花园的一种结构为例,即蓄水层 100mm ,换填土层 500mm ,砾石层 300mm ,放坡比 $1:n_1=1:3$, $1:n_2=1:1$,且假设换填种植土层孔隙率为 0.2 ,砾石层孔隙率为 0.3 ,得出了雨水花园面积在 $25\text{m}^2\sim 100\text{m}^2$ 时,考虑放坡折减和管井折减后的综合折减系数在 $0.5\sim 0.8$ 之间,这对今后的工程设计中折减系数的取值具有指导意义。

由于论文的假设前提较多,因此计算结果不具普适性,

为了弥补不足,给出如下两点建议。

(1)对设计成果进行校核时,若雨水花园表面形状不规则,可将其概化为表面积相等的简单规则的形状计算其调蓄容积,或近似圆形的雨水花园可概化为圆形对其调蓄容积进行估算;

(2)雨水花园放坡坡度大时对调蓄容积影响较小,雨水花园面积小时对调蓄容积影响较大,若需精确设计计算,可采用论文提供的公式,或借助软件辅助计算。

参考文献

- [1] 住房和城乡建设部.城镇雨水调蓄工程技术规范 GB/T 51174-2017 [S].2017.
- [2] Stormwater Management Manual [M].Metropolitan Nashville:Davidson County, 2016.
- [3] 住房和城乡建设部.城镇内涝防治技术规范 GB/ T51222-2017[S].2017.