

雨水花园设计方法探析

向璐璐¹ 李俊奇¹ 邝 诺² 车 伍¹ 李 艺³ 刘旭东³

(1 北京建筑工程学院,北京 100044; 2 北京城市排水集团有限责任公司,北京 100038;

3 北京市市政工程设计研究总院,北京 100082)

摘要 雨水花园是一种有效的雨水自然净化与生物滞留处置技术。对目前国外雨水花园常用的三种设计方法进行了对比和分析,包括:基于达西定律的渗滤法、蓄水层有效容积法和基于汇水面积的比例估算法。根据我国多数城市雨水花园的建造特点,提出了一种基于水量平衡分析的设计方法,为雨水花园的设计提供参考。

关键词 雨水花园 雨水径流 设计方法 水量平衡

Discussion on the design methods of rainwater garden

Xiang Lulu¹, Li Junqi¹, Kuang Nuo², Che Wu¹, Li Yi³, Liu Xudong³

(1. Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China;

2. Beijing Drainage Group Co., Ltd., Beijing 100038, China; 3. Beijing General

Municipal Engineering Design & Research Institute, Beijing 100082, China)

Abstract: Rainwater garden is an effective nature purification and bio-retention technology for stormwater management. In this article, three popular design methods in foreign countries were compared and analyzed, which were infiltration method based on Darcy's Law, effective volume method of surface retention layer, and proportion estimation method based on catchment area. Moreover, considering the structure characteristics of rainwater gardens in China, a design method based on water balance was proposed, providing a fundamental idea for the design of domestic rainwater gardens.

Keywords: Rainwater garden; Rainfall runoff; Design methods; Water balance

0 引言

雨水花园是一种有效的雨水自然净化与处置技术,也是一种生物滞留设施。一般建在地势较低的区域,通过天然土壤或更换人工土和种植植物净化、消纳小面积汇流的初期雨水。它具有建造费用低、运行管理简单、自然美观、易与景观结合等优点而被欧、美、澳等许多国家推崇采用。但目前在我国应用不多。

雨水花园的主要功能为:通过滞蓄削减洪峰流量、减少雨水外排,保护下游管道、构筑物和水体;

利用植物截流、土壤渗滤净化雨水、减少污染;充分利用径流量,涵养地下水,也可对处理后的雨水加以收集利用,缓解水资源的短缺;经过合理的设计以及妥善的维护能改善小区的环境,为鸟类等动物提供食物和栖息地,达到良好的景观效果。

雨水花园设计主要是根据以上功能的要求,合理确定其构造,选择相应的计算方法确定其面积、深度、进出水口等。本文首先对国外常用的三种方法进行了阐述,分析了它们的优缺点和适用条件。在分析雨水花园基本构造和工作原理的基础上,提出了一种基于水量平衡分析的设计方法,并对其关键设计参数及影响因素进行了讨论。

建设部研究开发项目(06-K4-19);北京市规划委员会科研专项基金项目(200503001)。

1 雨水花园的构造

雨水花园主要由 5 部分组成(见图 1)。其中在填料层和砾石层之间可以铺设一层砂层或土工布。根据雨水花园与周边建筑物的距离和环境条件可以采用防渗或不防渗两种做法。当有回用要求或要排入水体时还可以在砾石层中埋置集水穿孔管。

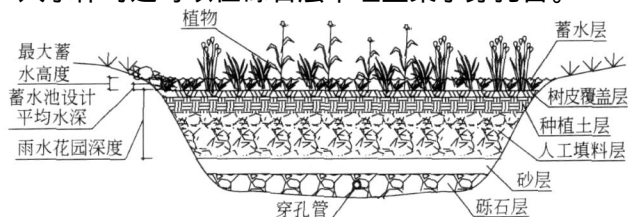


图 1 典型雨水花园结构示意图

(1) 蓄水层。为暴雨提供暂时的储存空间,使部分沉淀物在此层沉淀,进而促使附着在沉淀物上的有机物和金属离子得以去除。其高度根据周边地形和当地降雨特性等因素而定。一般多为 100 ~ 250 mm。

(2) 覆盖层。一般采用树皮进行覆盖,对雨水花园起着十分重要的作用,可以保持土壤的湿度,避免表层土壤板结而造成渗透性能降低。在树皮-土壤界面上营造了一个微生物环境,有利于微生物的生长和有机物的降解,同时还有助于减少径流雨水的侵蚀。其最大深度一般为 50 ~ 80 mm。

(3) 植被及种植土层。种植土层为植物根系吸附以及微生物降解碳氢化合物、金属离子、营养物和其他污染物提供了一个很好的场所,有较好的过滤和吸附作用。一般选用渗透系数较大的砂质土壤,其主要成分中砂子含量为 60 % ~ 85 %,有机成分含量为 5 % ~ 10 %,粘土含量不超过 5 %。种植土层厚度根据植物类型而定,当采用草本植物时一般厚度为 250 mm 左右。种植在雨水花园的植物应是多年生的,可短时间耐水涝,如大花萱草、景天等。

(4) 人工填料层。多选用渗透性较强的天然或人工材料,其厚度应根据当地的降雨特性、雨水花园的服务面积等确定,多为 0.5 ~ 1.2 m。当选用砂质土壤时,其主要成分与种植土层一致。当选用炉渣或砾石时,其渗透系数一般不小于 10^{-5} m/s。

(5) 砾石层。由直径不超过 50 mm 的砾石组成,厚度 200 ~ 300 mm。在其中可埋置直径为 100

mm 的穿孔管,经过渗滤的雨水由穿孔管收集进入邻近的河流或其他排放系统。

通常在填料层和砾石层之间铺一层土工布是为了防止土壤等颗粒物进入砾石层,但是这样容易引起土工布的堵塞。也可在人工填料层和砾石层之间铺设一层 150 mm 厚的砂层,防止土壤颗粒堵塞穿孔管,还能起到通风的作用。

2 国外雨水花园常用设计方法比较

国外雨水花园较常用的设计方法主要有三种:

基于达西定律的渗滤法; 蓄水层有效容积法; 基于汇水面积的比例估算法。

2.1 基于达西定律的渗滤法

2.1.1 达西定律

达西定律表征渗流能量损失与渗流流速之间关系,其表达式如式(1)所示:

$$v = KJ = \frac{Kh_w}{l} \quad (1)$$

式中 v ——断面平均流速, m/s;

K ——砂质土壤的渗透系数, m/s;

J ——下渗起止断面间的水力坡度;

h_w ——沿下渗方向的水头损失, m;

l ——下渗起止断面间的距离, m。

2.1.2 雨水花园面积计算

当蓄水层蓄满水时,流速如式(2)所示:

$$v_1 = \frac{K(2h + d_f)}{d_f} \quad (2)$$

当蓄水层未蓄水时,流速如式(3)所示:

$$v_2 = \frac{Kd_f}{d_f} = K \quad (3)$$

式中 v_1, v_2 ——断面流速, m/s;

h ——蓄水层设计平均水深,一般为最大水深 h_m 的 1/2 (即 $h = h_m/2$), m;

d_f ——雨水花园的深度,一般包括种植土层和填料层, m。

设计时,常取其平均值,如式(4)所示:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{K(2h + d_f)}{2d_f} + \frac{K}{2} = \frac{K(h + d_f)}{d_f} \quad (4)$$

渗滤的基本规律有:

$$A_f = \frac{V}{t_f v} \quad (5)$$

$$V = A_d H \Phi \quad (6)$$

式中 A_f ——雨水花园的表面积, m^2 ;
 V ——雨水花园的雨水汇流总量, m^3 ;
 t_t ——蓄水层中的水被消纳所需的时间, s ;
 A_d ——汇流面积, m^2 ;
 H ——设计降雨量(按设计要求决定), m ;
 ϕ ——径流系数。

将式(4)、式(6)代入式(5)中得:

$$A_f = \frac{A_d H \phi d_t}{K(h + d_t) t_t} \quad (7)$$

此方法主要依据雨水花园自身的渗透能力和达西定律而设计,忽略了雨水花园构造空隙储水量的潜力和植物对蓄水层的影响。在新西兰等地,降雨量常按当地两年重现期日降雨量的 $1/3$,约 25 mm 计算。填料采用砂质壤土,渗透系数不小于 0.3 m/d ,蓄水层一般为 $100 \sim 250 \text{ mm}$,蓄水层中的水被消纳的时间一般为 $1 \sim 2 \text{ d}$ 。

2.2 蓄水层有效容积法

这是一种在水量平衡的基础上,利用雨水花园蓄水层的有效容积消纳径流雨水的设计方法。根据植被被淹没的状态又分为两种情况。

(1) 部分植被的高度小于最大蓄水高度,则植被在蓄水层中所占体积如式(8)所示:

$$V_v = n A_1 h_v \quad (8)$$

式中 V_v ——植被在蓄水部分所占的体积, m^3 ;
 n ——植被的数量;
 A_1 ——茎干的平均横截面积, m^2 ;
 h_v ——淹没在水中的植被平均高度, m 。

令植物面积占有率 f_v 为:

$$f_v = \frac{n A_1}{A_f} \quad (9)$$

式中 f_v ——植物横截面积占蓄水层表面积的比例。

将式(9)代入式(8)中得:

$$V_v = f_v h_v A_f \quad (10)$$

则实际可蓄水的体积如式(11)所示:

$$\begin{aligned} V_w &= h_m A_f - V_v = h_m A_f - f_v h_v A_f \\ &= A_f (h_m - f_v h_v) \end{aligned} \quad (11)$$

式中 V_w ——实际可蓄水的体积, m^3 ;
 h_m ——最大蓄水高度, m 。

根据水量平衡,进入雨水花园的径流量($V =$

$A_d H \phi$) 等于实际蓄水体积,即 $V = V_w$,则有:

$$A_f = \frac{H A_d \phi}{h_m - f_v h_v} \quad (12)$$

(2) 植被高度均超出蓄水高度,则有 $h_v = h_m$,式(11)可化为:

$$V_w = A_f h_m (1 - f_v) \quad (13)$$

则雨水花园面积为:

$$A_f = \frac{H A_d \phi}{h_m (1 - f_v)} \quad (14)$$

此法主要利用雨水花园蓄水层的有效容积滞留雨水,考虑了植物对蓄水层储水量的影响,但未考虑雨水花园的渗透能力和空隙储水能力。实际应用中大多采用第二种情况进行计算,主要是用于处理初期雨水,处理的雨水径流量一般按 12 mm 的降雨量设计。

2.3 基于汇水面积的比例估算法

除以上两种方法外,有时还采用简单的估算方法,即根据雨水花园服务的汇水面积乘以相应的比例系数计算求得,如式(15)所示:

$$A_f = A_d \beta \quad (15)$$

式中 β ——修正系数。

当汇流面积均为不透水面积时,计算出的雨水花园的面积一般为汇水面积的 $5\% \sim 10\%$ 。此法计算简单,但需通过多年的工程经验积累才能建立这样的公式,且精度不高,对降雨特征变化较大和不同标准要求的适应性较差。

可以看出,以上三种方法都有各自的特点,也都有有一定的局限性。在使用时要分析雨水花园的结构特点、功能侧重、设计标准和所在地的土质特性等因素选择使用。基于达西定律的渗滤法适用于砂质土壤的雨水花园;蓄水层有效容积法适用于雨水花园中粘土较多、场地不受限制的区域;而比例估算法主要用于粗略计算和有丰富经验时采用。

我国多数城市区域雨水径流污染严重,在选择雨水花园的建造模式时,要兼顾削减径流量和污染物总量,可优先采用渗滤速度较大(K 值不小于 10^{-5} m/s)、净化效果较好的人工材料。同时,雨水花园根据其目的不同,又可分为带出水管和不带出水管两种情况,所在地的土质渗透能力和有无防渗也是其重要的影响因素。因此,笔者认为雨水花园

的计算应对花园渗滤能力、蓄水层植物影响、空隙储水能力等因素加以考虑,进而提出以下包括渗滤和滞留在内的完全水量平衡法。

3 完全水量平衡法

3.1 水量平衡分析基本原理

假定雨水花园服务的汇流范围内的径流雨水首先汇入雨水花园(当一般雨水花园面积占全部汇流面积的比例较小,即直接降落到雨水花园本身的雨水量较少时,可忽略不计),当水量超过雨水花园集蓄和渗透能力时,开始溢出该计算区域,此时,在一定时段内任一区域各水文要素之间均存在着水量平衡关系,如式(16)所示:

$$V + U_1 = S + Z + G + U_2 + Q_1 \quad (16)$$

式中 V ——计算时段内进入雨水花园的雨水径流量, m^3 ;

U_1 ——计算时段开始时雨水花园的蓄水量, m^3 ;

S ——计算时段内雨水花园的雨水下渗量, m^3 ;

Z ——计算时段内雨水花园的雨水蒸发量, m^3 ;

G ——计算时段内雨水花园种植填料层空隙的储水量, m^3 ;

U_2 ——计算时段结束时雨水花园的蓄水量, m^3 ;

Q_1 ——计算时段内雨水花园的雨水溢流外排量, m^3 。

通常,计算时段可以取独立降雨事件的历时,此时,由于蒸发量较小, Z 可以忽略。而且在设计雨水花园时,一定设计标准对应的溢流外排水量可假设为0。如果计算时段开始与终了时雨水花园内蓄水量之差以 V_w 表示,即 $V_w = U_2 - U_1$ (实际计算时可视时段开始时雨水花园无蓄水,即 $U_1 = 0$)。即: $V_w = U_2$,如式(17)所示。图2为雨水花园计算模型示意。

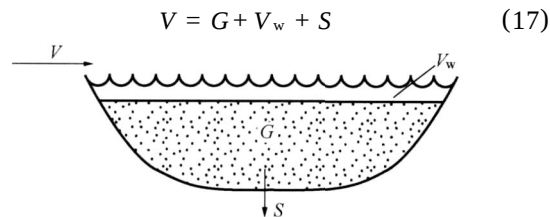


图2 雨水花园计算模型示意

3.2 径流雨水量

径流雨水量可采用式(6)计算,其中 H 可根据

当地的降雨特性和设定的削减雨水的目标来确定,雨水花园主要针对较频繁暴雨事件,设计降雨量一般不超过0.03 m。

3.3 雨水花园下渗量

计算时段雨水花园的下渗量,如式(18)所示:

$$S = \frac{K(d_t + h) A_f T}{d_t} \quad (18)$$

式中 T ——计算时间, min, 常按一场雨120 min计。

根据雨水花园构造及土壤条件不同,式(18)中的 K 取值各异,主要分为以下三种情况:

(1) 当雨水花园底层设有防渗膜或填料外土壤的渗透系数 $K_2 \ll$ 种植土渗透系数 K_1 (一般人工填料的渗透系数大于种植土的渗透系数)时, K_2 起限制主导作用,此时下渗量较小可忽略不计,即 $S = 0$ 。

(2) 当雨水花园底部有排水穿孔管或 $K_2 \gg K_1$ 时,取 $K = K_1$ 。

(3) 当 $K_2 < K_1$ 时,取 $K = K_2$ 。

3.4 蓄水量

当雨水花园中的径流量大于同时时间的土壤渗透量时,必然在雨水花园形成蓄水。假定雨水花园中的植被高度均超出上部蓄水高度,则实际蓄水量如式(19)所示:

$$V_w = A_f h_m (1 - f_v) \times 10^{-3} \quad (19)$$

3.5 空隙储水量

$$G = n A_f d_t \quad (20)$$

式中 n ——种植土和填料层的平均空隙率,一般取0.3左右。

3.6 雨水花园面积的计算

结合上述公式可得雨水花园的面积如式(21)所示:

$$A_f = \frac{A_d H \Phi d_t}{60 K T (d_t + h) + h_m (1 - f_v) d_t + n d_t^2} \quad (21)$$

当 $S = 0$, 亦即 $K = 0$ 时,式(21)可化为:

$$A_f = \frac{A_d H \Phi}{h_m (1 - f_v) + n d_t} \quad (22)$$

此方法主要针对一场雨的雨量来设计,其目的不仅是用来处理初期雨水,而是要在净化雨水的基础上削峰减量,最终实现无溢流外排现象。如果将处理后的水加以收集利用,也应采用此法进行计算。当然要注意:雨水花园主要是消纳较频繁事件的雨水径流,而非极端事件,所以一般根据当地降雨特性

和雨水花园的削减目标选用一个合适的降雨量。

4 结语

雨水花园是一种经济适用的生态滞留渗滤设施,主要用来处理小面积汇流的较频繁事件径流水,起到削减峰流量、减少径流和污染排放总量、保护下游建筑物和水体等作用,还具有易与景观结合的特点,可在住宅小区、停车场、公路周边和公园等场合广泛应用。

目前国外常用的三种方法都存在一定的局限性,如基于达西定律的渗滤法主要依据雨水花园自身的渗透能力和达西定律而设计,忽略了雨水花园构造空隙储水量的潜力和植物对蓄水层的影响;适用于砂质土壤的雨水花园。基于达西定律的渗滤法蓄水层有效容积法主要利用雨水花园蓄水层的有效容积滞留雨水,考虑了植物对蓄水层储水量的影响,但未考虑雨水花园的渗透能力和空隙储水能力;适用于雨水花园中粘土较多、场地不受限制的区域。比例估算法则由于精度差而主要用于粗略计算和有丰富经验时采用。在使用时要分析雨水花园的结构特点、功能侧重、设计标准和所在地的土质特性等因素选择使用。

我国多数城市区域径流水质较差,在设计和建造雨水花园时应优先采用具有净化功能的人工填

料作为雨水花园渗滤层,以达到兼顾滞留与净化两种功能的目的,建议采用完全水量平衡法进行设计。

参考文献

- 1 Auckland Regional Council. Technical Publication 10: Design guideline manual: stormwater treatment devices, 2003
- 2 Auckland Regional Council. Technical Publication 108: Guidelines for stormwater runoff modelling in the Auckland region, 1999
- 3 Auckland Regional Council. Technical Publication No. 4: Selection of stormwater treatment volumes for Auckland, 1992
- 4 New Zealand Government. Resource management Act (RMA) and resource management amendment Act 2005, 19991
- 5 North Shore City Council. Bioretention Spreadsheet based on Princes George's County, Maryland Bioretention Manual and adapted to ARC TP 108, 2007
- 6 Princes George's County. Maryland Bioretention Manual
- 7 Claytor R A, Schueler T R. Design of stormwater filtering systems. Ellicott City: Center for Watershed, 1996.
- 8 车伍, 李俊奇. 城市雨水利用技术与管理. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006

& 电话: (010) 68322128

E-mail: jqli6711@vip.163.com

收稿日期: 2007-12-07

修回日期: 2008-03-31

《青岛市环境监测计划》(2008 年度) 正式发布

《青岛市环境监测计划》(2008 年度) 正式发布执行。与上年相比, 2008 年度监测计划主要特点是: 四个加强、一个突出、一个调整。

“四个加强”即加强重点饮用水源地水质监测, 按照要求, 市区水源地每月开展 29 项常规项目监测, 下半年开始每月进行 35 项有机项目监测, 同时年内将进行一次全项目监测。加强重点河流水质监测, 中心站将对全市 9 大重点流域的 20 条主要河流水质情况进行每月抽测。加强重点污染源监督监测, 根据国家、省有关要求, 调整了重点污染源名单, 其中省控废水污染源由 15 家增加到 68 家, 废气污染源由 14 家增加到 41 家, 加大了对重点污水处理厂、垃圾处理场等污染治理设施的监测力度。加强了全市环境自动监测系统的建设, 市区建成区范围内新

建 5 个空气自动监测子站, 在大沽河、泽河、李村河出境断面及莱西三分干建设 4 个水质自动监测站, 以更加准确、全面地反映重点区域、流域环境质量。

“一个突出”即突出了奥林匹克运动会专项监测有关内容, 除继续对重点区域、海域的空气、海水开展加密监测外, 2008 年 3~9 月还部署了前海一线主要排水口水质监测。

“一个调整”即按照上下结合、重心下移、反应灵敏、运转高效的要求, 对部分监测工作分工进行了调整, 将原由市中心站承担的部分降水、水源地、河流及生物指标采样分析工作调整至部分三级站, 以进一步优化资源配置、提高监测效能, 更好地适应《环境监测管理办法》颁布后对全市环境监测工作的新要求。