

城市雨水浅层地下蓄渗技术及其应用研究

邹伟国 张辰 陈嫣

(上海市政工程设计研究总院,上海 200092)

摘要 提出了利用浅层地下作为雨水滞留和下渗空间的雨水蓄渗技术,对浅层地下蓄渗技术的结构、特点及影响因素进行了介绍。实例分析表明,采用雨水浅层蓄渗技术,在原有土地使用功能不改变和成本不增加的情况下,可削减 50% 以上的雨水量,显著提高区域内的雨水排放标准,达到雨水资源化、处理就地化、系统生态化、成本最小化的目标。

关键词 雨水 浅层地下 蓄渗 就地处理

0 引言

传统城市雨水管理以雨水尽快汇集至收集系统、经收集输送后快速排除为目标,随着城市化程度的提高,这种雨水尽快汇集和快速排除方法的诸多弊端也逐渐显现,如城市不透水面积迅速增加,加速了雨水径流汇流速度,洪水流量过程线变得尖陡,加大城市排涝灾害的风险、雨水排放设施投资和运行费用,同时雨水下渗水量减少,引发了地面沉降、水资源短缺等水生态环境问题,因此,对城市雨水的利用已受到人们越来越多的关注。

对于雨水资源利用,往往狭义地理解为雨水回用,即将屋顶、地面、道路的雨水径流收集和处理后,回用于冲厕、洗车、道路浇洒和绿化等,这种理解往往导致在南方地区雨水资源利用的动力不足,实际上,对于雨水的综合利用,更重要和更为广泛的是通过绿地、洼地等措施达到最大限度的雨水蓄渗,促进雨水下渗,减少雨水外排,以达到缓解雨水内涝、削减洪峰流量、减少排水设施的投资和运行费用、补充地下水、控制雨水污染和改善城市生态等目的。

1 雨水浅层地下蓄渗技术

1.1 雨水浅层地下蓄渗原理

促进雨水蓄渗的技术措施有很多,目前常用的有增加绿地面积、采用透水性路面、下凹式绿地和增加水体面积等方法,这些方法对促进雨水下渗、减少外排具有较好的作用,但在使用过程中受到客观条件的限制,特别是针对上海等人口稠密、对景观要求

高、地下水位高的城市,增加绿化面积和水体面积等受到土地使用功能规划的限制,广场、停车场采用透水性的路面无储蓄功能,对促进雨水下渗的改进效果有限,而下凹式绿地因需要绿地短时受淹,对于要求高标准景观的地区,会对绿地景观造成一定的影响,因此,寻找技术可行、经济合理的雨水资源利用技术,在应用中不断完善,并制定相关的政策,有利于促进雨水利用的规范化、标准化和产业化。

近年来,各国相继开发出新的雨水排放系统,如德国开发出“洼地—渗渠系统”,日本提出“雨水的碎石空隙储存渗透系统”等,其核心理念是以“就地”处理雨水系统的措施取代传统的快速排除雨水排放系统,根据这一理念,结合上海等南方城市高地下水位、高标准绿化的特点,我们提出一种浅层地下蓄渗技术,该技术是在城市绿化种植土、广场的铺装层与地下水位之间设置的多孔隙材料,利用材料内孔隙作为雨水短暂滞留空间,暴雨过后,雨水继续下渗,达到雨水就地处理的目的。

1.2 雨水浅层地下蓄渗构造

浅层地下雨水蓄渗是结合城区的功能规划要求,在人行道、广场的铺装层或绿化种植土以下,在地下水位以上用多孔空隙材料堆砌成大小、形状不同的形成可供短暂储存的雨水连通空间,在多空材料底部用渗水材料以提高下渗速率,当暴雨来临时,屋面等相对干净的雨水通过初期弃流和简单预处理后,通过管道或沟渠方式导流进入高孔隙材料空间内短暂储蓄,暴雨过后雨水继续下渗,超过储蓄容量的雨水外排。

上海市科委资助项目(06dz05808)。

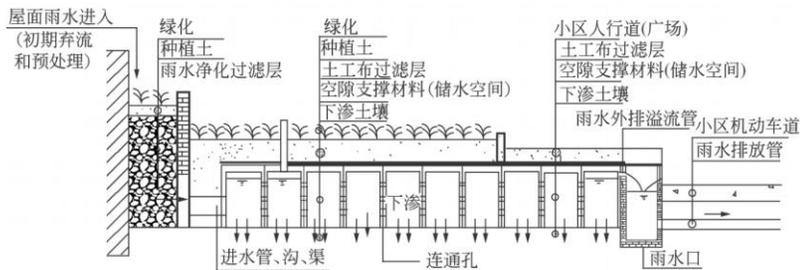


图1 浅层地下水蓄渗构造示意

地下浅层蓄渗具体构造如图1所示。

1.3 浅层地下水蓄渗特点

该系统的主要特点是：不改变原有土地的使用功能,充分利用人行道、绿化或广场的浅层地下作为雨水短暂储存和渗透设施,雨水储存设施的大小、形状可根据小区或城市的要求灵活设置,储水设施采用多孔隙材料堆砌而成,无需固定形状。适用性广,充分利用浅层地下作为雨水滞留空间,不影响绿化景观要求,解决了传统蓄渗技术对高地下水位、高景观要求的地区难以应用问题。

通过该系统的应用,可以达到以下目的：雨水资源化:雨水尽可能长久地得到存储,支持和延长渗透过程,分散补充地下水,防止地面沉降；处理就地化:结合城市或小区的实际,在不影响设施功能的情况下,通过简单的就地雨水滞留的方式分散城市的雨水,减少外排,达到雨水的就地处理；系统生态化:雨水在下渗过程中,通过活性土壤层的净化等生态处理方法,使水质得到净化,减少因雨水外排而导致河流污染,使城市水文生态系统得到良好循环；

成本最小化:通过雨水就地下渗,可减少暴雨径流量,对可以缓解城市内涝,减少城市排水和防洪设施的投资和运行费用,达到雨水排水系统成本最小化,有利于城市的防灾和减灾。

2 雨水浅层地下蓄渗技术影响因素

2.1 蓄水对象及雨水处理

考虑到初期雨水会受到不同程度的污染,在下渗过程中易造成土壤空隙堵塞,导致下渗速度降低,考虑到屋面雨水相对较为干净,经过简单处理后,可减少下渗系统的堵塞,因此,建议首先针对屋面雨水进行储蓄和下渗,储蓄容量超过屋面雨水径流量时,再考虑其他雨水的滞留和下渗。

另外,屋面雨水从高位跌落,可充分利用雨水的位能,从而可适当提高绿化地高程,扩大地下蓄渗空隙的高度,增大雨水储存的容积,促进雨水下渗。

来自屋面的雨水由于受到空气污染及屋面污染的影响,在降雨中通常含有不同的杂质,如树叶、草本、砂土颗粒等,需要对初期雨水的弃流措施和过滤措施,如在房屋屋顶雨水通过雨水落管

收集后,通过分散或集中雨水过滤器,把大于某一粒径的颗粒杂质过滤掉,在国外,已开发出不同形式的径流过滤器,但在国内,这方面的应用还停留在前期阶段,需要开发出合适的配套雨水过滤处理设备。

2.2 雨水径流传输

雨水径流传输有地下管道传输和地表明沟传输两种方式,其主要目的是把屋面雨水经过滤和弃流处理后,通过管道或地沟引入到地下浅层蓄渗空隙内,同时通过管道或地沟的形式,把不同大小、分散的浅层蓄渗空隙连通,使蓄渗空隙形成一个整体。

2.3 绿化布置

浅层蓄渗空隙一般设在绿化、人行道及广场下面,在地下水位较高的情况下,应尽可能降低绿化种植土的高度,使下部孔隙材料的高度增加,从而增加雨水储蓄量,由于绿化品种不同,要求种植土厚度不同,对于草皮,一般要求种植土厚度 20 ~ 30 cm,灌木种植土厚度 60 cm,乔木种植土厚度 80 cm。考虑到南方地区地下水位较高,浅层蓄渗空隙宜设置地下水位以上,种植土厚度太厚,会影响到蓄渗空隙的容积,为此,蓄渗空隙材料上部绿化一般采用草皮,在灌木或乔木处局部可不设蓄渗空隙材料,只需要将蓄渗空隙的空间连通即可,从而满足蓄渗和绿化多样性双重要求。

为增加浅层蓄渗空隙材料的高度,提高蓄渗雨水量,可适当提高绿化地的相对高程,使绿化比现有地面略高,以增大浅层蓄渗空隙材料的容积,屋面雨水可利用重力进入蓄渗空隙。

另外,为防止上部积水而影响绿化的生长,可在种植土下设置过滤层,过滤层可用粗砂、碎石滤层,也可采用土工布形成过滤层(可参照屋顶绿化,采用密度 > 300 g/m² 聚酯无纺布),促进绿化上部雨水

的下渗,同时可防止土壤的流失。

2.4 高孔隙材料

单位体积孔隙材料内的孔隙大小决定了雨水储蓄量的大小,因此,孔隙材料除需要满足强度要求外,还需要考虑孔隙材料的内部空隙率、设置高度等参数,一般孔隙材料内部孔隙率越大,设置有效高度越高,则单位面积蓄渗空隙的蓄水容积越大。

可做孔隙材料的材料有砾石、碎石及孔隙储水模块等,砾石、碎石等材料的特点是材料易得、施工方便,但存在碎石之间空隙率较低、蓄水空间较小等弊端。孔隙储水材料采用天然或人工合成的材料加工成具有内部支撑、具有较高强度和孔隙率的固定模块,施工时只需要模块之间拼装后,各模块之间的孔隙连通,可单层或多层设置,可根据用地的大小和形状要求灵活布置,模块内部孔隙率可达到90%以上,是一种较为理想的供雨水蓄渗的材料。

3 浅层蓄渗的计算

3.1 水量平衡与计算

根据前面论述,浅层蓄渗首先考虑屋面雨水的蓄渗,根据水量平衡:

$$Q_1 + S_1 + V_1 = S_2 + V_2 + Q_2 \quad (1)$$

式中 Q_1 ——计算时段内传输进入浅层蓄渗空隙内的雨水径流量, m^3 ;

S_1 ——计算时段内绿化、广场等上层渗入浅层蓄渗空隙内的雨水径流量, m^3 ;

V_1 ——计算时段开始时浅层空隙内的蓄水量, m^3 ;

S_2 ——计算时段内浅层空隙内的雨水下渗量, m^3 ;

V_2 ——计算时段结束时浅层空隙内的蓄水量, m^3 ;

Q_2 ——计算时段内浅层空隙内的雨水溢流外排量, m^3 。

由于蓄渗空隙敷设在绿化层或人行道下,在降雨时,蓄渗空隙内雨水在下渗的同时,上部绿化在持续不断地渗入,假设绿化、广场渗入的水量与浅层空隙内的雨水下渗量相同,即 $S_1 = S_2$,在降雨时段,浅层蓄渗空隙容量不应考虑降雨时下渗量,只考虑其空隙储蓄量,在不考虑外排和初始 $V_1 = 0$ 的情况

下,则转输进入浅层空隙内的雨水径流量与浅层空隙内的蓄水量相同;即:

$$Q_1 = V_2 - V_1 = Q_{蓄} \quad (2)$$

式中 $Q_{蓄}$ ——浅层空隙内的有效蓄水量, m^3 。

以降雨强度为 q 计(与设计重现期 P 有关),一场雨降雨历时为 T (一般以 120 min 计),考虑调蓄池容量按屋面雨水全部进入考虑,即 $Q_{屋面} = Q_{蓄}$,见式(3)、式(4)。

$$Q_{屋面} = q \times T \times A \quad (3)$$

$$Q_{蓄} = A_i \times H_i \times \% \quad (4)$$

式中 q ——一场雨的降雨强度, mm ;

A ——需下渗的屋面面积, m^2 ;

A_i ——浅层地下蓄渗空隙面积, m^2 ;

H_i ——浅层地下蓄渗空隙层有效高度, m ;

$\%$ ——浅层地下蓄渗空隙孔隙率。

管道雨水流量计算见式(5)。

$$Q = qF \quad (5)$$

式中 ——径流系数;

F ——汇水面积, m^2 。

3.2 雨水削减计算

以世博园区浦东片(白莲径以西)为例,该地块总面积为 337 hm^2 ,根据规划,其中场馆或小区等建筑物面积为 146 hm^2 ,规划绿化面积为 81 hm^2 ,建筑物覆盖率 43%,其他垫层(如绿化、道路等)覆盖率为 57%,考虑屋面径流系数 0.9,其他垫层径流系数 0.5,综合径流系数 0.67,假如考虑屋面雨水弃流后,90%屋面雨水进入浅层地下储存,根据暴雨强度公式[式(5)],在暴雨强度相同的情况下,则相对于传统的雨水排放系统,可减少外雨水量比例为:

$$\frac{Q_{蓄}}{Q_{常}} = \frac{A \times 0.43 \times 0.9 \times 0.9}{A \times 0.67} \times 100\% = 52\% \quad (6)$$

根据有关资料统计,按重现期 $P=3$ 年,上海地区一天的暴雨量约 130 mm ,按降雨历时 $T=120$ min 计算,上海地区设计降雨强度为 59.2 mm ,为安全,取一天暴雨量作为蓄水空间,假设浅层地下蓄水有效高 0.5 m ,孔隙率 80%计,则蓄 90%的屋面雨水所需浅层蓄水空隙所需要的面积($A_{蓄}$)为:

$$\begin{aligned} A_{蓄} &= \frac{130 \times 10^{-3} \times 43\% \times 0.9 \times 0.9 \times 337}{0.5 \times 80\%} \\ &= 38.1 (hm^2) \end{aligned} \quad (7)$$

由此可见,浅层地下蓄渗空间面积约为 38 hm², 占总用地面积的 11% 左右, 远小于该地块规划绿化面积。

在现有管道已施的情况下, 采用雨水浅层蓄渗系统对屋顶雨水进行短暂储存, 可有效减少雨水管道的汇水面积, 提高地区内的设计降雨强度, 具体计算如下。

假设采用蓄渗前后的管道雨水量相同, 则:

$$q_1 F_1 = q_2 F_2 \quad (8)$$

式中 q_1 、 q_2 —— 常规雨水排放和蓄渗后的径流系数;

F_1 、 F_2 —— 常规雨水排放和蓄渗后的汇水面积, m²;

q_1 、 q_2 —— 常规雨水排放和蓄渗后的的设计暴雨强度, L/(s · m²)。

在世博园区浦东片区, 考虑 90% 屋面雨水(屋面面积占 43%, 其他面积 57%) 进入浅层地下储存情况下, 则蓄渗后的的设计暴雨强度为:

$$\begin{aligned} q_2 &= \frac{q_1 F_1}{F_2} \times q_1 \\ &= \frac{0.67A}{0.5 \times 0.57 \times A + 0.9 \times 0.1 \times 0.43 \times A} \times q_1 \\ &= 2.07 q_1 \end{aligned} \quad (9)$$

假设雨水汇流时间 $t = 60$ min, 原雨水管道设计降雨重现期为 $P = 1$ a 的情况下, 上海地区设计雨水降雨强度为 $q_1 = 98$ L/(s · hm²), 采用浅层蓄渗把屋面雨水蓄渗后, 由于管道雨水收集面积减少, 同样的原有雨水管道设计流量情况下, 设计降雨强度可提高到 $q_2 = 202$ L/(s · hm²), 大于设计重现期为 5 年的雨水降雨强度 156 L/(s · hm²), 即在原有雨水管道管径不变的情况下, 通过屋面雨水浅层蓄渗措施, 地区雨水排放重现期标准可由 1 年提高到 5 年以上。

由此可见, 通过屋面雨水的收集进行浅层蓄渗, 可减少 50% 左右的雨水外排, 同时采用浅层蓄渗的面积占总用地面积的 11% 左右, 可以设置在绿化、广场及人行道下面, 在不影响现有设施功能的情况下, 达到雨水蓄渗的目的, 同时, 在现有

雨水排放设施不变的情况下, 可显著提高地区内的雨水排放标准。

3.3 成本分析

同样以世博园区浦东片(白莲径以西)为例, 采用常规快排雨水系统, 雨水管道、调蓄池及雨水泵站综合概算投资为 4.1 亿元, 如采用浅层蓄渗技术, 按雨水管道流量削减 50%, 则雨水管道面积和泵站设计流量减半, 参照管道及泵站估算指标, 雨水系统投资费用可减少 1/3 左右, 即可减少投资 1.37 亿元; 如增加的浅层蓄水池面积按 500 元/m² 估算, 面积为 38 hm², 需增加投资约 1.9 亿元。由此可见, 增加浅层蓄渗的投资与雨水管道投资减少投资基本相同, 但考虑采用浅层蓄渗技术可减少雨水提升等运行、管理费用, 因此, 在总成本方面明显优于常规雨水快速排放系统。

4 结语

对雨水资源的蓄渗等综合利用有利于缓解雨水内涝、削减洪峰流量、减少排水设施的投资和运行费用、补充地下水、控制雨水污染和改善城市生态等作用, 城市雨水浅层蓄渗技术利用城市浅层地下设置蓄渗空隙作为雨水滞留和下渗的空间, 在不影响原有土地使用功能前提下, 解决了高地下水水位、高景观要求的地区雨水难以蓄渗问题, 在不增加费用的情况下, 可有效削减雨水量, 显著提高地区内的雨水排放标准, 达到雨水资源化、处理就地化、系统生态化、成本最小化的目标。

该技术在应用上, 还需要在初期雨水的弃流和处理、绿化品种布置以及高孔隙材料方面进行更深入的研究, 同时需要制定和完善相关政策, 目前课题组正在结合世博园区雨水课题的研究, 开发出适合的技术, 并在应用中不断完善, 以期促进雨水资源的综合利用。

& 通讯处: 200092 上海市中山北二路 901 号

电话: (021) 51298677

E-mail: zou_wg_yf@smedi.com

收稿日期: 2008-01-30