王怡人, 姚左钢, 张德英, 等. 渗透池技术在海绵城市建设中应用案例分析[J]. 净水技术, 2025, 44(8): 164-172.
WANG Y R, YAO Z G, ZHANG D Y, et al. Case analysis of application of infiltration basin technology in sponge city construction [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(8): 164-172.

# 渗透池技术在海绵城市建设中应用案例分析

王怡人[1,*],姚左钢[1],张德英[2],张欣蕊[1],钱宏亮[1]
(1.北京市市政工程设计研究总院有限公司,北京 100082;2.北京市顺义区水务局,北京 101300)

**摘 要** **【目的】** 针对北方城市内涝防控与雨水资源化利用需求,研究以北京市通州区某主题公园为例,系统研究渗透池技术在海绵城市建设中的工程应用及其综合效益,旨在验证渗透池技术在大型园区的建设中应用的可行性,以及海绵城市设施的设置与优化提供理论支撑与实践参考。**【方法】** 根据相关规范及北京地方标准,对园区所需调蓄容积进行计算,确定园区设计最小调蓄容积。基于工程现场实际情况对调蓄池进行详细设计后,构建暴雨洪水管理模型(SWMM),划分汇水区,分别对5、20、50年一遇的暴雨进行模拟,分析渗透池在不同重现期暴雨下的水位动态、容积利用率及外排总量变化。工程实施后,结合主题公园渗透池的实际建设情况及运行效果开展论证。**【结果】** 在5年一遇暴雨下,渗透池系统削减外排总量为20.9%,实现雨水不外排,满足规范要求;50年一遇暴雨时,渗透池容积利用率达71.5%,峰值流量延迟1.5~2.2 h,具有应对极端降雨的缓冲能力。与传统混凝土调蓄池相比,建设成本降低32%,且无需设置水泵,降低运行成本。**【结论】** 渗透池技术可有效拦截初期雨水污染物,且园区内无积水点产生,内涝防治标准达到50年一遇要求。其与景观绿化的有机融合兼具生态修复与美学提升功能,为北方海绵城市建设和大型园区海绵设施选择提供了可复用的技术范式与工程经验。

**关键词** 渗透池 海绵城市 雨水利用 雨水调蓄 SWMM
**中图分类号**:TU992 **文献标志码**:B **文章编号**:1009-0177(2025)08-0164-09
**DOI**:10.15890/j.cnki.jsjs.2025.08.021

## Case Analysis of Application of Infiltration Basin Technology in Sponge City Construction

**WANG Yiren[1,*], YAO Zuogang[1], ZHANG Deying[2], ZHANG Xinrui[1], QIAN Hongliang[1]**
(*1. Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing 100082, China;*
*2. Beijing Shunyi District Water Authority, Beijing 101300, China*)

**Abstract** [**Objective**] Addressing the requirements of water-logging prevention and rainwater resource utilization in northern cities, this study investigates the engineering application and comprehensive benefits of infiltration basins technology in sponge city construction. Through a case study of a theme park in Tongzhou District, Beijing. The research aims to validate the feasibility of applying infiltration basins in large-scale park development and to provide theoretical and practical references for the design and optimization of sponge city facilities. [**Methods**] Based on relevant national standards and local regulations in Beijing, the minimum required stormwater storage capacity for the park is determined through theoretical calculations. A storm water management model (SWMM) is established to simulate hydrological processes under 5, 20, 50-year rainfall recurrence intervals, with subcatchments delineated according to site conditions. Post-construction validation is conducted by analyzing the operational performance of 21 infiltration basins integrated into the park's landscape. [**Results**] Under a 5-year rainfall event, the infiltration basin system reduces total external discharge by 20.9%, meeting regulatory requirements. During a 50-year extreme rainfall scenario, the basins achieve a volumetric utilization rate of 71.5%, delaying peak flow by 1.5-2.2 hours, thereby demonstrating robust buffering capacity against extreme precipitation. Compared to traditional concrete detention tanks, the infiltration basins reduce construction costs by 32% and eliminate pumping energy consumption, yielding significant operational savings. [**Conclusion**] The infiltration basin technology effectively intercepts initial rainwater pollutants and preventswater-logging incidents, fulfilling the 50-year water-logging prevention standard. Its integration with landscape greening enhances both ecological restoration and aesthetic value. This study provides a

[收稿日期] 2025-01-15
[通信作者] 王怡人(1990— ),女,工程师,研究方向为城市给排水管网系统,E-mail:469532749@qq.com。

replicable technical paradigm and engineering experience for sponge city development and stormwater facility selection in northern China.

**Keywords** infiltration basin sponge city rain water utilization rainwater retention storm water management model (SWMM)

近年来,随着我国城镇化进程的不断推进,原有的农田绿地逐渐被硬化成为道路、广场。高速城镇化导致雨水汇流时间缩短,径流系数变大,峰值流量增大,内涝灾害频现。为解决内涝问题,北京市提出《雨水控制与利用工程设计规范》(DB11/685—2013)和《新建建设工程雨水控制与利用技术要点(暂行)》[1-2],对新建项目的雨水调蓄利用提出要求。

## 1 雨水渗透系统

在实际工程应用中雨水调蓄设施分为专用调蓄设施和兼用调蓄设施 2 类。专用调蓄设施主要是雨水调蓄池(地下混凝土池),采用封闭式地下钢筋混凝土结构储存雨水实现削峰并对雨水进行回用,部分调蓄池可增加沉淀、过滤等工艺控制初期雨水污染。调蓄管道(大直径管道)通过在雨水管网中设置直径≥3 m 的管道,兼具输送和调蓄功能,通过延长雨水滞留时间实现削峰。兼用调蓄设施主要为下沉式绿地、生物滞留设施或广场地下空间临时蓄水,兼具景观休闲与调蓄功能。

专用雨水调蓄设施的做法往往在雨水系统下游设置满足调蓄容积要求的地下式混凝土调蓄池,并配有排空及回用水泵,在暴雨来临时暂时对峰值流量进行削减,从而减轻下游管网的压力。但海绵城市建设的宗旨是尽可能延长雨水汇集时间,延缓其进入城市雨水管网的时间,尽量增加其入渗量,实现雨水生态化和资源化,并减轻城市防洪排涝压力。

采用传统的混凝土调蓄池能快速简单地满足规范要求,具有以下优点:节省占地;避免阳光直射,有助于保持水质,不宜长藻;适应性强。但这种做法也存在一定的弊端,如:传统调蓄池建设深度较深,运行维护困难;施工难度大,费用较高;只能起到蓄水削峰的作用,但池子雨水不会蒸发,从某种程度上阻断了水的自然循环;储存的雨水往往在得到回用之前,就因需要迎接下一场暴雨而人为通过水泵排空,没有真正起到雨水生态化和资源化利用。

而采用兼用调蓄在实际工程中,通常会选择采用一种或多种渗透设施进行组合,实现对雨水径流的净化及削峰。其中,比较典型的做法包括德国的 MR 系统(mulden-rigolen-system),即下凹式绿地——渗透渠联用的做法,其通常适用于狭长的城市道路两侧,通过敷设长距离的渗透渠实现雨水下渗。但其对用地要求高,且长期运行后极易堵塞,需要定期清理滤网及砾石层,运行维护复杂。遇到短时集中降雨时,对雨水的削峰收集能力不足。

基于此,本文提出雨水渗透池技术,作为一种设置相对集中,利用低洼的水塘或水池对雨水进行储存及辅助渗透,节省占地,并兼具景观与调蓄功能,尽可能实现雨水生态化的设施。

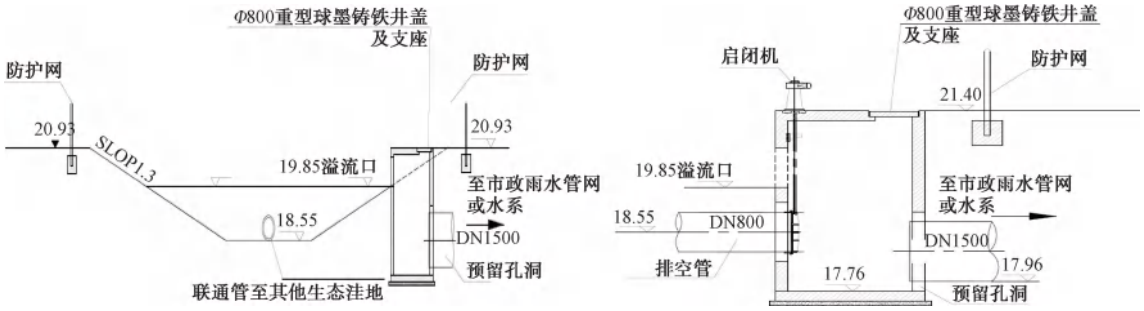
在实际建设中,采用地下混凝土雨水调蓄池,受池体深度、抗渗等级及地下施工难度影响,建设成本为 700~1 300 元/$m^3$。而当土壤渗透性良好,不考虑土壤换填的情况下,雨水渗透池建设成本为 600~850 元/$m^3$。

## 2 雨水渗透池技术

雨水渗透池是一种利用低洼的水塘或水池对雨水进行储存及辅助渗透的设施。进入渗透池内雨水将进行渗透或排入市政雨水管道系统。在渗透池出水口设置雨水控制设施(溢流闸门井)(图 1),提供溢流和渗透池放空的功能。

渗透池底部敷设种植土、透水土工布及过滤介质层,使雨水在池中缓慢下渗,回补地下水。侧壁边坡比采用 1∶3,并种植有植物,增加对初期雨水的过滤能力。渗透池设有溢流闸门井,后接雨水管道与市政雨水管道接。其结构形式如图 1 所示。

雨水渗透池的功能远不止于此,它还能有效补充地下水资源,缓解地面沉降问题,同时促进雨水循环利用,提升城市的生态环境质量。它还可以通过植物截留部分污染物,实现对初期雨水径流的初步净化,还通过雨水的自然下渗,将雨水回灌地下、补充涵养地下水。同时,渗透池表面敞开式设计,池中雨水可以通过蒸发的方式回到自然的雨水循环中,避免阻断水的自然循环。与传统混凝土调蓄池相比,渗透面积大,在提供较大的雨水调蓄储存容积的同时,可实现雨水净化,对雨水水质要求低,管理方便。雨水渗透池还可以通过与景观绿化结合,形成较好的环境效益。




注:图中所标注为绝对标高,单位为 m。

**图 1** 渗透池剖面

Fig. 1 Cross-Section of Infiltration Basin

## 3 工程介绍

该主题公园位于北京市副中心通州区,总面积为 1 006 100 $m^2$,包括主题公园为 650 100 $m^2$,后勤区为 356 000 $m^2$。它是通州文化旅游区“一核五区”的重要组成部分。

基于北京海绵城市的相关要求,新建工程必须充分考虑雨水收集与利用,其具体要求如下:根据《雨水控制与利用工程设计规范》(DB11/685—2013)的要求,执行低影响开发管理,通过渗蓄、收集措施控制雨水径流量的排放。主要包括:外排雨水流量径流系数不大于 0.4,并满足新开发区域年径流总量控制率不低于 85%;对于所有要求绿地率的建设项目,其绿化带中不低于 1/2 的面积须设计为能够积存雨水的凹型绿化区;在公共停车区域、行人步道、步行商业街、自行车路径以及休闲娱乐广场、户外庭院中,透水性铺装的比例应不低于 70%;对于新开发的硬化面积超过 2 000 $m^2$ 的建设项目,必须设立雨水收集与调节设施,且每 1 000 $m^2$ 硬化区域应配备至少 30 $m^3$ 的收集调节设施容量[1-2]。

根据《新建建设工程雨水控制与利用技术要点(暂行)》的通知中的要求,10 000 $m^2$ 以上(含)的项目,为确保雨水资源的合理利用与城市内涝的有效缓解,规定如下:针对每 10 000 $m^2$ 的硬化区域,必须配备至少 500 $m^3$ 的雨水调蓄设施[2]。

主题公园作为娱乐休闲项目,其地下管线种类众多布置紧密,地下空间紧张,没有足够空间布置大体量集中式雨水调蓄设施。而地上设施对景观及绿化有较高要求,在设计工程中要求现场设计和建筑布局充分考虑其游乐设施的布置和现场的地形地貌特。因而主题公园的雨水调蓄设施采用分散布置形式,充分结合地形地貌集中绿地设计渗透池,并衔接整体场地竖向与排水设计。景观水体具备雨水调蓄功能。园区设置雨水管道收集系统,管道下游雨水先接入渗透池进行调蓄和渗透利用,在渗透池出水口设置雨水控制设施,即溢流闸门井,渗透池雨水通过溢流闸门井排至市政雨水系统。

项目秉承“海绵城市”的理念,通过 8.9 km 植草沟、182 个集水井、22 处渗透池,可以收纳总面积近 10 万 $m^2$ 场地,约 7.5 万 $m^3$ 的雨水,通过点、线、面的有效结合,达到蓄水、渗水、净水、排水的功能,最终使循环水质不低于Ⅲ类水水质标准,实现每年 27 亿 L 水资源的循环利用,将海绵城市的理念贯穿在园区雨水控制利用工程设计每一个角落。

## 4 主题公园工程中的设计计算

### 4.1 园区海绵城市设计的基本原则

(1)充分结合现状地形地貌,进行场地设计与建筑布局。

(2)对建筑周边及广场、道路等区域的硬质铺装进行优化配置,增加与雨水吸收能力强的绿色空间,确保建筑、广场和道路边缘能够有效吸纳雨水径流。通过合理的竖向规划设计,促进雨水向绿色区域的汇集。

(3)结合集中绿地设计渗透池,并衔接整体场地竖向与排水设计[3]。

### 4.2 调蓄容积计算

本项目用地性质为游乐用地,包含内部主题公园游客区域以及后勤配套区域。环球主题公园总面积为 1 006 100 $m^2$,其中主题公园区为 650 100 $m^2$,后勤区为 356 000 $m^2$。园区各地块汇水面积如表 1 所示。

经计算,园区综合雨水径流系数为 0.68。综合计算全园区所需调蓄容积,根据规范《雨水控制与

**表 1** 各类用地汇水面积统计
Tab. 1 Statistics of Catchment Areas of Land-Use

| 用地性质 | 面积/$m^2$ | 备注 | 径流系数 |
|---|---|---|---|
| 屋面 | 176 288.50 | / | 0.90 |
| 硬化地面 | 276 048.09 | / | 0.90 |
| 水面 | 26 942.90 | / | 1.00 |
| 透水区域面积 | 65 064.66 | / | 0.45 |
| 绿化面积 | 131 719.71 | / | 0.15 |
| 扩展区域面积 | 269 519.31 | 其中硬化面积以 70%计 | 0.70 |
| 渗透池面积 | 60 516.83 | / | 0.15 |

利用工程设计规范》(DB11/ 685—2013)[2]中要求：每 1 000 $m^2$ 的固化区域应配备至少 30 $m^3$ 的雨水收集装置。该园区不透水部分的总体面积达到 640 849.70 $m^2$，据此计算所需的雨水收集量为 19 225.49 $m^3$。

依据《新建建设工程雨水控制与利用技术要点(暂行)》的规定，对于面积达到或超过 10 000 $m^2$ 的项目，必须建设雨水收集系统，具体建设规范：针对每 10 000 $m^2$ 的硬化地表，须配备不低于 500 $m^3$ 的雨水收集与储存系统。据此计算，所需的雨水收集与储存容量为 32 042.48 $m^3$。

根据规范《雨水控制与利用工程设计规范》(DB11/ 685—2013)[2]中要求：新开发区域外排雨水流量径流系数不大于 0.40。园区设计暴雨强度为 5 年一遇，24 h 降雨历时，相对应的降雨量为 141 mm。园区内综合径流系数为 0.68，设计外排径流系数 0.40，故 5 年一遇 24 h 需调蓄容积为 39 243.04 $m^3$。根据以上规范要求，雨水渗透池有效容积需大于 39 243.04 $m^3$。

### 4.3 渗透池布置

主题公园场地四周均有市政雨水管网，且允许设置多个排放口，因此，雨水系统在布置时，考虑分区布置，就近排入市政管网，同时分散设置调蓄设施，从而减少雨水管线系统及渗透池深度，减少建设投资成本，降低运维难度。在园区的雨水设计中，渗透池与景观绿化结合，增加景观效果的同时，实现雨水的调蓄。结合园区地势走向，本工程共设置 21 座雨水渗透池，布置位置如图 2 所示，总有效容积为 66 883 $m^3$。满足规范中对于调蓄容积的要求，雨水分以下 2 种形式汇入渗透池：部分绿地内地表雨水通过地面找坡汇入雨水渗透池；其他雨水由雨水口收集后通过园区内雨水管道系统汇入渗透池。

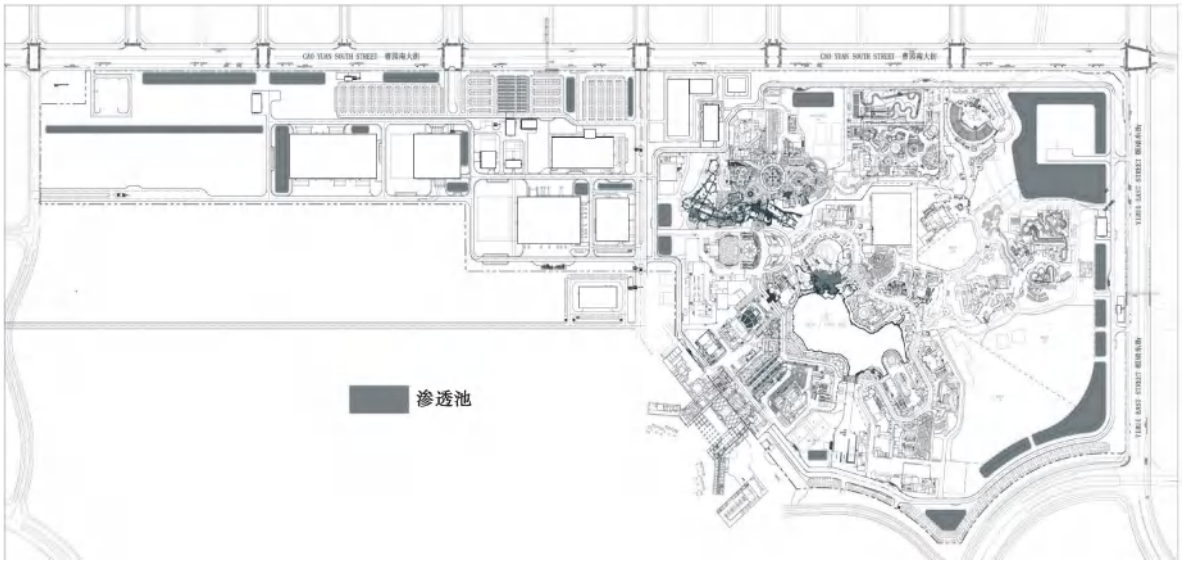



**图 2** 雨水渗透池
Fig. 2 Rainwater Infiltration Basin

### 4.4 渗透池对雨水径流控制效果模拟

对于内涝防治，根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)[4]：在设计城市内涝预防方案时，需综合考虑城市的类别、积水的潜在影响范围以及河流水位波动的实际情况，通过技术性与经济性的综合评估来明确设计重现期。依据北京市的相关规章制度，北京市内的建设项目的防涝标准不得低于 20 年一遇的频率。具体来说，中心城区的标准分为 2

个等级,一般区域采用 50 年一遇的标准,而关键区域则采用 100 年一遇的标准;至于新城和镇中心区域,则按照 20 年一遇的标准执行[5]。为应对内涝,确保道路在积水深度超出 15 cm 的情况下,能够在 30 min 内得到有效排除,同时保障建筑底层不受水侵[2]。在本轮设计中,采纳了 50 年一遇的洪水标准作为内涝防治的基准,并且把 20 年一遇洪水标准下的节点受淹状况纳入了分析范畴。

为了深入评估项目中的雨水管道网络及渗透池设计的科学性,考察该系统对于内涝的应对效能,以及项目区域向外排放的雨水量,建立了暴雨洪水管理模型(SWMM)以进行仿真分析(图 3)。该模型综合考虑了 3 种不同的工作场景,涵盖了 5、20、50 年一遇的 24 h 强降雨事件。在 5 年的重现期内,该工作条件主要被用来验证管道设计的合理性[5];而在 20 年及 50 年的重现期内,则主要用于进行内涝防治的深入分析。通过对不同重现期限下整个雨水排放系统的外排流量进行对比分析,进而对园区雨水径流对周边市政排水系统造成的负荷压力进行评估,并分析 5、20、50 年下渗透池的水位/容积变化过程。

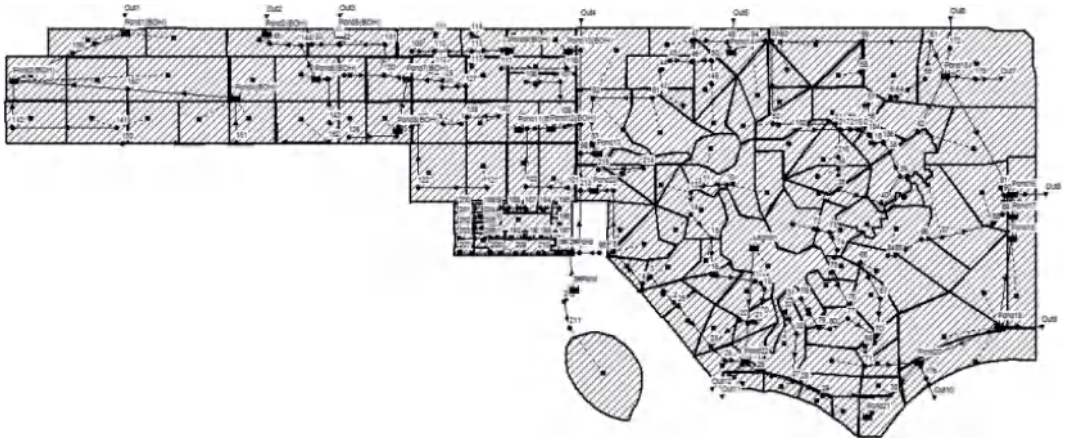


**图 3** 汇水面积划分及建模

Fig. 3 Division of Catchment Areas and Modeling

SWMM 的水文处理模块中,为每个划分的子汇水区域设定了一系列关键的水文属性以供评估。

子汇水区根据项目区高程分布和项目区内部雨水系统设计图确定,对于不同下垫面类型采取了不同的细分策略,整个模拟区共划分为 140 个子汇水区区域,根据项目区周边及项目区内部雨水管道情况,模拟区内共建立 215 个节点,包括 12 个排放口和 21 个渗透池。

(1)特征宽度:采用式(1),对 $K$ 进行参数调整。本次通过式(1)计算并量测每个子汇水区实际水流宽度而定。

$$W_{width}=K\times sqrt(A),\ 0.2<K<5.0 \qquad (1)$$

其中:$W_{width}$——子汇水区域特征宽度;

$K$——系数;

$A$——区域面积,$m^2$。

(2)坡度:模型所需要的坡度是指汇水区径流平均坡度,本模型计算中子汇水区坡度根据项目设计地面平整图而定。

(3)直连型不透水区域(DCIA):汇水路径直接与雨水排除系统相连接的不透水区域,另一类不直接连接的不透水区域不计入 DCIA 值中。这一取值从商业用地/工业用地的 70%到未开发用地的 1%之间变化。

(4)蓄洼深度:根据下垫面性质,分为透水区蓄洼深度和不透水蓄洼深度。根据本项目区特点,本次模拟模型,不透水区初始蓄洼深度设为 2.5 mm,透水区初始蓄洼深度为 7 mm。

(5)曼宁系数:本次模型中透水区包括绿地及透水铺装中透水区曼宁系数根据绿地及透水铺装面积加权平均得到;不透水区为屋顶及道路,曼宁系数选取为 0.015;雨水管道曼宁系数选取为 0.015。

(6)霍顿公式参数:项目场地平整后主要为粉质黏土和黏质粉土,根据 SWMM 建议,确定霍顿模型的最大入渗速率为 25.4 mm/h。霍顿曲线中最小入渗率其值等于饱和土壤中的水力传导度。因此,本研究查阅了土壤特性表,采用饱和黏土的水力传

导度，确定研究区最小入渗速率为 0.5 mm/h。SWMM 模型建议的入渗衰减系数为 2~7，入渗衰减系数取 4.0。

依据项目区域雨水排放体系的设计规范，即 5 年一遇的标准，经过模拟试验及计算分析，在 5 年一遇的降雨量峰值期间，项目区雨水排放系统的水位剖面如图 4 呈现。观察管网纵剖面数据可知，在降雨峰值期间，尽管渗透池积水导致末端形成尾水状况，使得部分下游管道达到满管状态，但所有设计管道均未出现溢流状况，检查井也未发生溢流或积水问题，这表明项目区的雨水管道设计完全符合建成后的 5 年一遇排水标准要求。

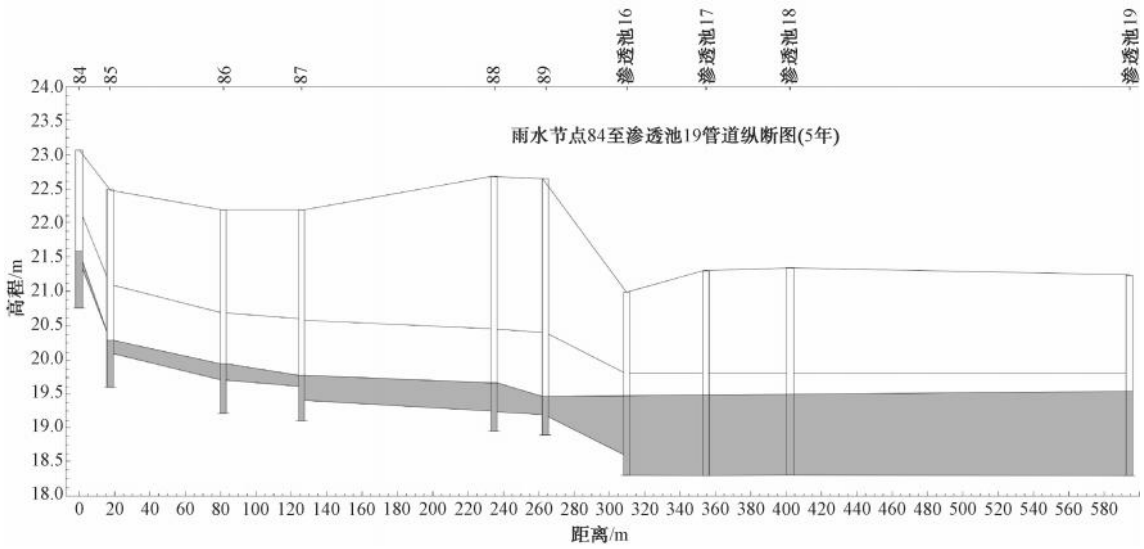



**图 4** 雨水节点 84 至渗透池 19 之间管道纵断图(5 年一遇)

Fig. 4 Profile of the Pipeline between Node 84 and Infiltration Basin 19 (Once in 5 Years)

然而，这样的数据并未准确体现各个渗透池的实际可用容量。在渗透池持续面临高水位这一末端水情时，上游的管道及检查井很容易出现积水的现象。显然，雨水的储存需求与上游雨水排放系统的安全要求之间存在着冲突，因此，有必要科学设定渗透池的溢流高度及溢流量。

按照 5 年一遇的设计标准，经过模型推演与数值分析，对园区雨水排放系统在降雨高峰期的管道水位分布进行了探究。图 4、图 5 分别展示了主题乐园区域、后勤保障区(BOH)在降雨巅峰期最不利

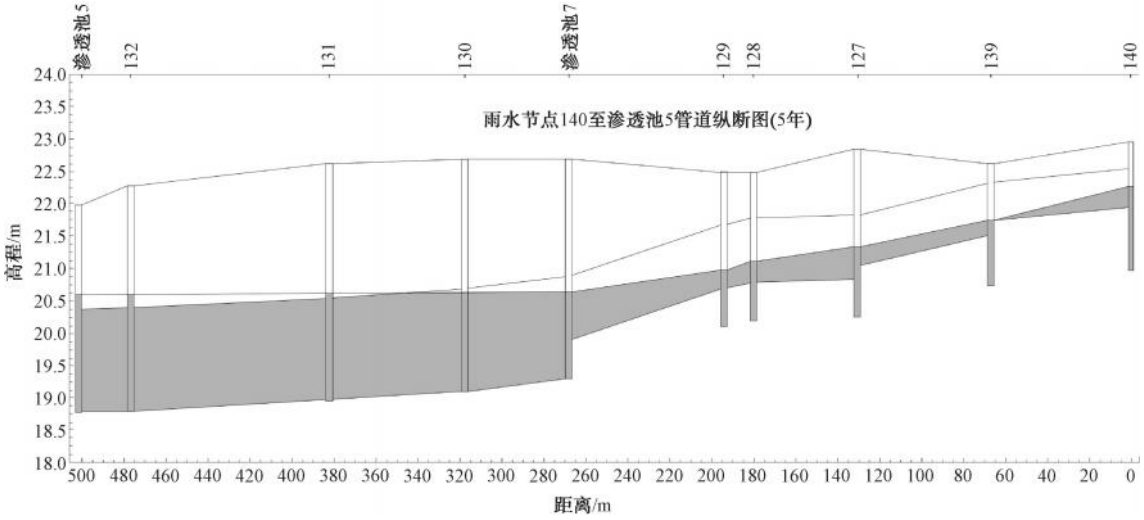



**图 5** 雨水节点 140 至渗透池 5 管道纵断图(5 年一遇)

Fig. 5 Profile of Pipeline between Node 140 and Infiltration Basin 5 (Once in 5 Years)

管段的水位状况。在降雨量达到顶峰时,尽管渗透池的蓄水作用使得末端管道趋于满负荷运作,但所有设计中的管道均未出现溢流状况,同时检查井也未观察到溢流或积水的问题。

对于内涝防治,根据《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)[4]:针对城市内涝的预防与控制设计,其关键重现期的设定需综合考虑城市的类别、积水对周边环境的影响范围以及内河水位的波动情况等多重因素,通过技术性与经济性的综合评估来明确。以北京市的相关规范为参考,本案中主题公园的内涝防治设计采用 50 年一遇的标准作为防治基准。

利用模拟软件,针对 100 年一遇及 50 年一遇的 24 h 强降雨条件下,渗透池和泄洪湖的关键参数进行了详尽的仿真测试。在 5 年一遇的暴雨侵袭下,园区内渗透池中,14 座池体的最高容量利用率超过 40%,渗透池的最高容量利用率平均数达到 41%。同时,在同等降雨强度下,并未观察到任何检查井出现溢流或积水的状况,这表明该设计方案在确保管道系统安全运作的同时,对渗透池的容量利用实现了高效化。

在 20 年一遇暴雨下,渗透池有 18 个渗透池最大容积比达到了 40%以上,所有渗透池的最大容积比平均值为 54%,即在此工况下也实现了对渗透池容积的有效利用。

在 50 年一遇的特大降雨影响下,有 24 座渗透池的容量利用率超过半数,达到了 50%以上。这些渗透池的最大容量利用率平均水平为 71.5%,显示出在这种极端气候条件下,渗透池的容量依然得到了高效的运用。

图 6 呈现在 5 年一遇、20 年一遇以及 50 年一

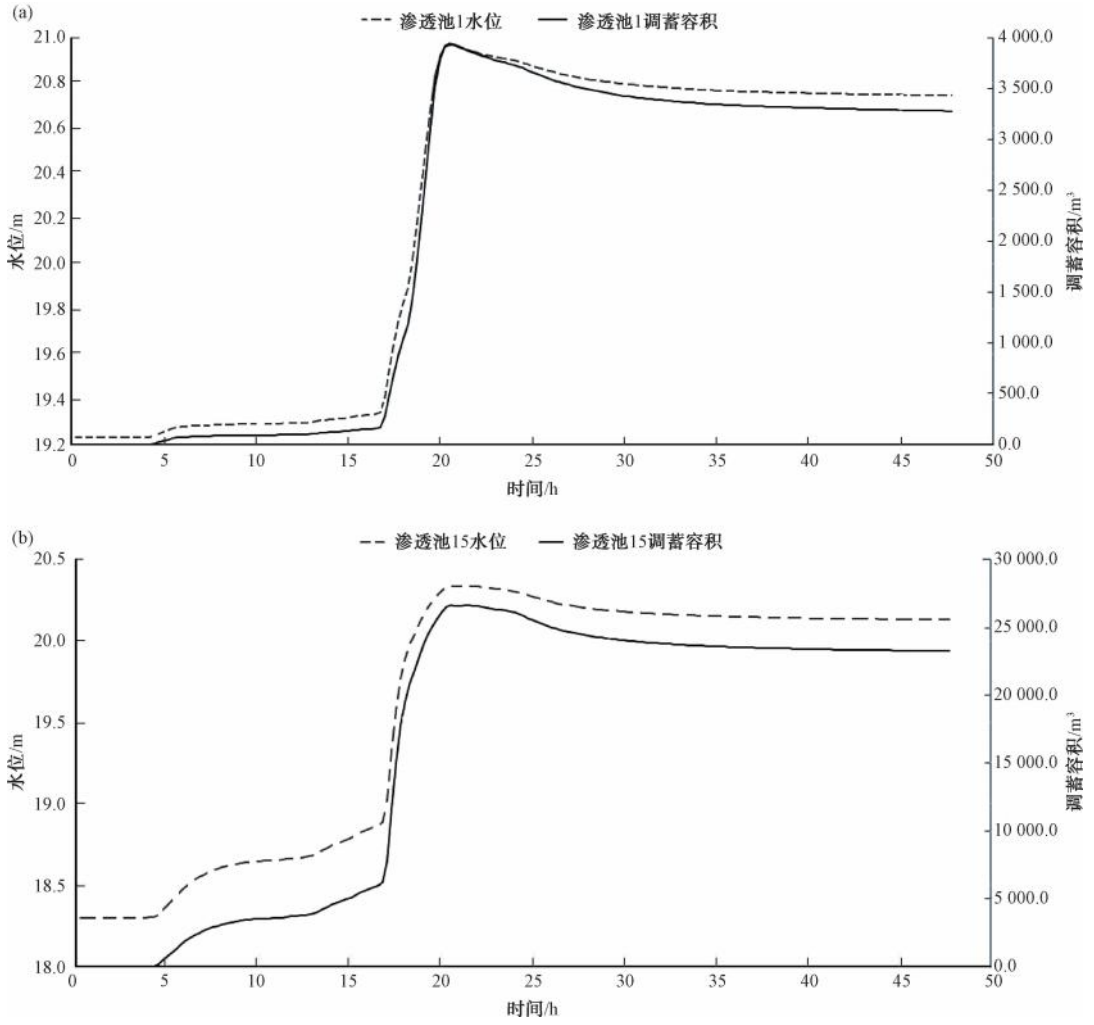



**图 6** 渗透池水位/容积分析曲线(50 年一遇)

Fig. 6 Infiltration Basin Water Level/Volume Analysis Curve (Once in 50 Years)

遇的 24 h 强降雨条件下,渗透池与泄湖水位及容量的变化轨迹。观察所有渗透池容量变化,它们均遵循一致的变动模式:先是随着降雨强度的提升而上升至最高容量,接着开始减少,并最终趋于相对稳定的水平。该稳定水平恰好体现渗透池对雨水的实际收集能力。

表 2 对比项目区开发前和开发后的外排总量:从 5 年一遇到 50 年一遇重现期下的暴雨,经过开发,排放至外界的总体水量均未超过开发前水平。这一现象表明,得益于渗透池对降水的有效截存作用,开发后的雨水排放系统不仅降低峰值排放量,同时也减少总排放量。

**表 2** 开发前后雨水外排量对比

Tab. 2 Comparison of Rainwater Discharge before and after Development

| 设计暴雨 | 开发前外排总量/$m^3$ | 开发后外排总量/$m^3$ |
|---|---|---|
| 5 年一遇 | 88 785 | 70 264 |
| 20 年一遇 | 208 460 | 184 855 |
| 50 年一遇 | 242 206 | 229 333 |

## 5 研究结果讨论

渗透池在实际运用中,土壤渗透性是关键制约因素,黄蓓蓓[6]提出渗透设施长效性依赖土壤改良,当土壤渗透性不足时需依赖土壤改良或人工换填这一问题。在主题公园项目中,通过底部铺设透水土工布(渗透系数≥$1\times10^{-5}$ m/s)和过滤介质层(粗砂+砾石),确保长期渗透性能。在植物的选择上,主题公园项目选择浅根系植物(芦苇、菖蒲),避免根系穿透土工布,可有效避免因植物根系生长而造成透水土工布和过滤层堵塞、渗透率下降的问题。

本研究采用霍顿入渗模型参数(最大入渗速率为 25.4 mm/h,衰减系数为 4.0)与熊子鹰等[7]对北方粉质黏土的研究结果(入渗速率为 20~30 mm/h)相符,模型验证了渗透池在极端降雨下的缓冲能力。在 5 年一遇暴雨情景下,渗透池系统实现外排总量削减 20.9%,雨水零外排;50 年一遇极端降雨时,渗透池容积利用率达 71.5%,峰值流量延迟 1.5~2.2 h,显著缓解市政管网压力。

园区在建成后的雨水调蓄池种植景观植物,使雨水调蓄设施与景观相结合。这一举措不仅提高了渗透池对初期雨水中悬浮污染物的截留能力,并可通过其根系和对部分溶解态污染物进行分解,同时把海绵设施和绿化融合,使其成为主题公园后勤区的重要景观。园区建成运营至今,雨水调蓄设施运行良好,未出现内涝积水等情况,2023 年 7 月 31 日的北京市特大暴雨中,在海绵设施保障下,整个园区运行未受到影响。

主题公园渗透池技术通过“分散调蓄-生态净化-景观融合”三位一体模式,有效解决了传统调蓄设施的高成本、低生态效益问题。渗透池技术兼具景观融合与低成本特性,相较于文献[8]中混凝土调蓄池的建设成本(700~1 300 元/$m^3$),本工程所采用的渗透池成本为 750 元/$m^3$,建设成本降低 32%,更具经济竞争力,与“海绵设施需兼顾生态效益与政策适配性”这一建设目标相契合[9]。其经济性、生态效益与政策适配性使其在大型园区及水资源短缺区域具有广泛推广价值,未来可结合物联网技术及智能监测技术(如水位传感器与智能闸门联动),进一步提升技术成熟度。

## 6 结论

本研究以北方某主题公园为案例,系统探讨渗透池技术在海绵城市建设中的工程应用与综合效益。通过理论计算、SWMM 模型模拟及实证分析,验证渗透池技术在雨水径流控制、污染物削减及内涝防治中的有效性,为北方寒冷地区海绵城市建设提供了可复用的技术范式。工程基于北京市雨水控制规范,通过理论计算确定了园区最小调蓄容积,结合场地地形与排水需求,设计了 21 座分散式渗透池,并构建 SWMM 模型模拟了 5、20、50 年一遇暴雨情景。结果表明,渗透池在 5 年一遇暴雨下可实现雨水零外排;在 50 年一遇极端降雨时,峰值流量延迟 1.5~2.2 h,有效缓解了市政管网压力。

雨水渗透池技术改变了传统小区雨水调蓄的理念,在满足规范对雨水径流控制及调蓄容积要求的基础上,既维持园区的“海绵”功能,又实现了雨水的渗透利用,同时也兼顾了景观效果。具有初期雨水污染物去除率高、建设运行成本低的优点,通过溢流闸门井优化设计,平衡了调蓄需求与管道安全,解决了传统调蓄设施“被动排空”的弊端。

该技术在未来的研究中建议重点关注以下方面。

(1)土壤渗透性提升:针对渗透池长期运行中土壤堵塞问题,需探索低成本土壤改良换填技术。

(2)智能监测技术:结合物联网技术实时监测渗透池水位与水质,优化调蓄效率,为渗透池的运行维护提供帮助。

(3)研究渗透池在冻融循环、极端气候下的稳定性,完善北方地区海绵设施设计标准。

## 参考文献

[1] 韩晓东, 孙明利. 北航北区食堂等项目雨水控制与利用工程分析[J]. 给水排水, 2019, 45(4): 88-93.
HAN X D, SUN M L. Analysis of rainwater control and utilization engineering of Beihang University northern district canteen & five items project [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(4): 88-93.

[2] 北京市规划委员会, 北京市质量技术监督局. 雨水控制与利用工程设计规范: DB11/685—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
Beijing Municipal Commission of Urban Planning, Beijing Municipal Bureau of Quality and Technical Supervision. Code for design of stormwater management and harvest engineering: DB11/685—2013 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.

[3] 王熠宁, 郑克白, 李曼. 建筑与场地海绵专项设计思考[J]. 给水排水, 2019, 45(5): 70-75.
WANG Y N, ZHENG K B, LI M. Sponge specialized design of building and venue [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(5): 70-75.

[4] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 国家市场监督管理总局. 室外排水设计标准: GB 50014—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. Standard for design of outdoor wastewater engineering: GB 50014—2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.

[5] 王艳. 基于低影响开发的海绵城市方案研究及水量模拟[D]. 北京: 清华大学, 2017.
WANG Y. Research on the theory and application of LID in sponge city construction and simulation calculation of water quantity in infiltration ponds[D]. Beijing: Tsinghua University, 2017.

[6] 黄蓓蓓. 海绵城市建设的难点与技术要点探析[J]. 居业, 2022, 56(4): 50-52.
HUANG B B. Challenges and technical points in sponge city construction[J]. Create Living, 2022, 56(4): 50-52.

[7] 熊子鹰, 肖存艳, 蔡甜, 等. 基于SWMM的初期雨水调蓄池容积确定及截污效能模拟[J]. 水电能源科学, 2019, 37(1): 36-39.
XIONG Z Y, XIAO C Y, CAI T, et al. Study on volume determination and pollution effectiveness simulation of initial rainwater storage tank based on SWMM[J]. Water Resources and Power, 2019,37(1): 36-39.

[8] 颜晓斐. 上海成都路合流污水调蓄池的污染减排效益及优化[J]. 中国给水排水, 2010, 26(8): 6-10, 14.
YAN X F. Pollution reduction benefit and optimization measures of Chengdulu combined sewage detention tank in Shanghai[J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(8): 6-10, 14.

[9] 李万军, 杨振. 海绵城市建设理念及关键技术[J]. 山西建筑, 2023, 49(11): 169-174.
LI W J, YANG Z. The construction concept and key technology of sponge city[J]. Shanxi Architecture, 2023, 49(11): 169-174.

(上接第 84 页)

[17] 王桂强, 刘洁琼, 董伟楠, 等. 氮/硫共掺杂多孔碳纳米片的制备及其电化学性能[J]. 物理学报, 2018, 67(23): 276-284.
WANG G Q, LIU J Q, DONG W N, et al. Nitrogen/sulfur co-doped porous carbon nanosheets and its electrochemical performance[J]. Acta Physica. Sinica, 2018, 67(23): 276-284.

[18] 蔡元兴, 徐希杉, 王振华. 直接巯基化石墨烯对汞吸附性能研究[J]. 山东建筑大学学报, 2020, 35(3): 13-20, 60.
CAI Y X, XU X S, WANG Z H. Study on adsorption properties of directly-thiolated graphene for mercury [J]. Journal of Shandong Jianzhu University, 2020, 35(3): 13-20, 60.