

海绵城市技术助力解决城市内涝问题的研究

张宇超

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 陕西 西安 710065

摘要：随着城市化进程加快，城市内涝问题愈发严重，影响居民生活和城市运行。海绵城市技术通过增强城市地表的透水、蓄水、净水能力，模拟自然水文循环，有效削减地表径流，减轻排水系统压力。本文探讨了海绵城市的关键技术，如透水铺装、雨水花园、生态湿地等，并分析了其在内涝防治中的应用效果。研究表明，海绵城市技术能显著提高城市防洪排涝能力，改善城市生态环境，为城市可持续发展提供有力支撑。

关键词：海绵城市技术；助力解决；城市内涝问题

引言：城市内涝已成为全球城市化进程中面临的一大挑战，严重影响城市运行安全与居民生活质量。随着气候变化导致的极端天气事件频发，城市排水系统面临巨大压力。海绵城市技术作为一种创新的城市雨洪管理理念，旨在通过模拟自然水文循环，提升城市排水与防洪能力。本研究旨在探讨海绵城市技术的内涵、机理及其在解决城市内涝问题中的应用，以期构建安全、韧性城市提供科学依据和技术支持。

1 城市内涝问题的成因与影响

1.1 自然因素

(1) 降雨强度与时空分布不均：短时间强降雨是内涝主因，如夏季暴雨集中，小时降雨量超50毫米时，雨水短时间内汇集，超出城市排水承载能力；部分地区降雨时空差异大，局部区域突发暴雨易引发局部内涝。

(2) 地形地貌与水文条件：地势低洼区域如城市洼地、河谷地带，雨水易汇聚且难排出；部分城市河流、湖泊等水体调蓄能力弱，汛期水位上涨，雨水无法顺利排入，加剧内涝。

1.2 人为因素

(1) 城市化进程中的土地利用变化：城市扩张中，大量耕地、绿地被占用，改为建筑用地，减少了雨水自然调蓄空间，导致雨水汇流速度加快。(2) 排水设施滞后与老化问题：部分城市排水管网建设标准低，管径偏小，难以应对强降雨；一些老城区管网使用年限长，破损、堵塞严重，排水效率大幅下降。(3) 地面硬化导致雨水渗透能力下降：城市道路、广场等多采用水泥、沥青硬化地面，雨水渗透量不足10%，远低于绿地30%以上的渗透率，大量雨水只能依靠管网排放，增加排水压力。

1.3 城市内涝的影响

(1) 交通瘫痪与居民生活受影响：道路积水导致车

辆熄火、拥堵，公共交通停运，市民出行受阻；内涝还会中断供水、供电，影响居民日常生活。(2) 财产损失与安全风险增加：商铺、居民家中进水，导致货物、家电损坏；积水掩盖窨井、坑洼，易引发人员伤亡、车辆损毁事故。(3) 生态环境破坏：积水携带垃圾、污染物渗入土壤、汇入水体，污染地下水和地表水；长期积水还会导致植被腐烂，破坏城市生态平衡。

2 海绵城市技术概述

2.1 海绵城市的概念与内涵

(1) “渗、滞、蓄、净、用、排”六字方针：“渗”指通过透水设施促进雨水下渗，补充地下水；“滞”利用植草沟、雨水花园等延缓雨水汇流速度；“蓄”借助蓄水池、人工湿地储存雨水；“净”通过过滤、净化技术改善雨水水质；“用”将处理后的雨水用于灌溉、洗车等；“排”在极端降雨时通过管网有序排出多余雨水，实现雨水全流程管理。(2) 提升城市排水系统的弹性和韧性：打破传统“快排”模式，通过自然与人工设施结合，使城市在降雨时能像海绵一样“吸水、蓄水、渗水”，降雨后“释水、用水”，减少内涝风险，同时应对极端天气变化，降低排水系统超负荷运行概率，保障城市水安全。

2.2 海绵城市技术的核心要素

(1) 低影响开发雨水系统构建：以源头控制为核心，在建筑、小区、道路等区域布局分散式雨水设施，如绿色屋顶、渗透铺装、生物滞留设施，减少雨水地表径流，降低对自然水文循环的干扰。(2) 城市绿地、透水铺装等设施的规划与设计：城市绿地采用下凹式设计，增强雨水滞留能力；道路、广场选用透水沥青、透水砖等铺装材料，提高雨水渗透率，同时搭配植被缓冲带，提升雨水净化效果。(3) 雨水收集、处理与利用技术：通过屋面、地面集雨装置收集雨水，经沉淀池、

过滤池、消毒设备处理后,接入中水系统,用于城市绿化、道路清洗、工业冷却等,实现水资源循环利用,缓解城市供水压力^[1]。

3 海绵城市技术助力解决城市内涝问题的机理分析

3.1 海绵城市技术如何削减地表径流

(1) 渗透设施的作用与效果:海绵城市中的渗透设施(如透水铺装、渗透井、生物滞留池)可直接提升雨水下渗效率。以透水铺装为例,其孔隙率达15%-30%,能让70%以上的降雨直接渗入地下,相较于传统硬化地面不足10%的渗透率,大幅减少地表产流。渗透井通过垂直渗透通道,将地表积水快速导入地下含水层,缓解地表积水压力;生物滞留池则结合植被、土壤与过滤层,在滞留雨水的同时促进下渗,既削减径流总量,又降低径流污染负荷,从源头减少汇入管网的雨水量。(2) 滞水设施对雨水径流的延缓作用:植草沟、雨水花园、下凹式绿地等滞水设施,通过地形落差与植被拦截,延长雨水在地表的停留时间。植草沟沿道路或绿地布设,坡度控制在1%-3%,雨水流经时流速减缓,部分雨水渗透入土壤,部分通过植被蒸腾消耗,使径流峰值出现时间推迟30-60分钟,峰值流量降低20%-50%。雨水花园通过浅凹地形储存雨水,搭配耐水植物与过滤介质,进一步延缓汇流速度,避免短时间内大量雨水集中涌入排水管网,缓解管网瞬时压力。

3.2 海绵城市技术如何提升城市排水系统能力

(1) 蓄水池与调蓄湖的设计与应用:蓄水池(含地下蓄水池、生态边沟)与调蓄湖作为集中式蓄水设施,可暂存降雨期间多余雨水,待降雨结束后再通过管网缓慢排出或回收利用。地下蓄水池多建于小区、道路下方,单座容积可达数百至数千立方米,在暴雨时快速承接周边区域雨水,减少管网排水负荷;调蓄湖结合城市景观规划,利用天然湖泊或人工开挖水体,调蓄容量可达数万立方米,不仅能削减区域径流总量,还能通过水体循环改善周边微气候。例如,某城市调蓄湖在暴雨期间可储存10万立方米雨水,使下游管网排水压力降低40%。(2) 排水管网与泵站的优化改造:海绵城市技术并非取代传统管网,而是通过“源头减排+管网优化”协同发力。一方面,对老城区老化管网进行更新,将管径不足的管道替换为大口径管材,修复破损接口,减少管网渗漏与堵塞;另一方面,在管网关键节点增设智能泵站,通过液位传感器实时监测管网水位,自动调节泵站运行功率,在降雨高峰期加大排水力度,避免管网满溢。同时,将管网与调蓄设施连通,实现“错峰排水”,进一步提升排水系统整体效能^[2]。

3.3 海绵城市技术如何增强城市韧性

(1) 应对极端天气与自然灾害的能力:海绵城市技术通过“渗、滞、蓄、排”多环节协同,构建多层次防洪体系,提升城市应对极端暴雨的能力。在百年一遇暴雨等极端场景下,渗透设施可吸收部分雨水,滞水设施延缓汇流,调蓄设施储存多余雨水,即使部分区域出现短时积水,也能通过优化后的管网快速排出,避免内涝长时间持续。此外,海绵城市中的绿地、湿地等生态设施,可增强土壤蓄水能力,减少雨后水土流失,降低次生灾害风险,使城市在极端天气后能更快恢复正常运行秩序^[3]。(2) 城市生态系统功能的恢复与提升:海绵城市技术在解决内涝的同时,同步修复城市生态系统。透水铺装与渗透设施可补充地下水,缓解城市地下水位下降导致的地面沉降问题;雨水花园、人工湿地等设施,通过植被吸附与微生物降解,净化雨水水质,减少面源污染对河流、湖泊的影响;城市绿地面积的增加,可改善空气质量,调节城市热岛效应,为动植物提供栖息地。例如,某城市通过建设海绵城市示范区,区域绿地覆盖率提升15%,地下水水位年均回升0.3米,水体透明度提高20%,城市生态系统的自我修复能力与稳定性显著增强,进而提升城市整体韧性,实现“治水”与“生态”的协同发展。

4 海绵城市技术在城市内涝防治中的实际应用

4.1 海绵城市规划与设计

(1) 城市绿地与开放空间的布局与优化:规划时遵循“全域统筹”原则,将城市绿地与开放空间纳入雨水管理体系。在新区建设中,按不低于35%的绿地率规划,优先保留自然湿地、坑塘等天然调蓄空间,形成“绿道+湿地+滨水空间”的连通式绿地系统,提升区域雨水调蓄能力。例如,在某城市规划中,沿河道布局100米宽的生态绿带,结合植被缓冲带与渗透塘,使区域雨水调蓄量提升60%。同时,对老城区现有绿地进行改造,通过增加下凹式绿地占比(不低于绿地总面积的40%)、增设植草沟等,让零散绿地形成雨水“滞蓄网络”,缓解局部内涝。(2) 雨水花园、下沉式绿地等设施的建设:在居住区、道路两侧、公园等区域针对性建设设施。居住区雨水花园多结合景观设计,面积控制在10-50平方米,深度0.3-0.5米,选用耐涝植物(如鸢尾、菖蒲)与渗透系数 $\geq 10^{-4}$ 米/秒的种植土,可处理周边500平方米范围内的雨水径流。下沉式绿地低于周边路面5-10厘米,搭配碎石盲沟,能快速收集路面雨水并下渗,某小区通过建设2000平方米下沉式绿地,使小区内涝发生率从每年3次降至0次。道路两侧则同步建设植草沟,与道路雨水口连通,

将路面雨水引入植草沟过滤、下渗，减少直接排入管网的雨水量。

4.2 海绵城市施工与运维管理

(1) 关键施工技术的选择与应用：透水铺装施工采用“分层铺设”技术，基层选用级配碎石（厚度15-20厘米），面层采用透水砖或透水沥青（厚度5-8厘米），确保渗透系数达标；生物滞留设施施工时，严格控制过滤层厚度（砂层15-20厘米、砾石层10-15厘米），避免出现土壤压实导致渗透能力下降。地下蓄水池施工采用模块化拼装技术，缩短工期的同时保障结构强度，某项目通过该技术，300立方米蓄水池施工周期从45天缩短至20天。此外，施工中引入“全过程质量管控”，对渗透系数、蓄水容积等关键指标实时检测，确保设施功能达标^[4]。(2) 运维管理体系的构建与实施：建立“政府主导+企业运营+公众参与”的运维模式。政府制定《海绵城市设施运维标准》，明确设施养护频次（如透水铺装每季度清理孔隙、雨水花园每半年修剪植被）；委托专业企业负责日常运维，配备专业巡检团队，通过“人工巡检+智能监测”结合，及时发现设施堵塞、破损等问题。同时，开展公众宣传教育，鼓励居民参与设施保护，如某社区通过“海绵城市科普课堂”，引导居民不向植草沟倾倒垃圾，使设施运维效率提升30%。

4.3 智慧排水系统的构建与数据基石

(1) 海绵城市智慧管理平台的建设：整合排水管网、调蓄设施、气象监测等数据，构建“一张图”管理平台。平台具备实时监测、预警、调度功能，可实时显示各区域降雨量、管网水位、蓄水池容积等数据，当监测到管网水位超警戒值时，自动触发预警并推送至管理人员。例如，某城市智慧平台接入2000余个监测点，实现对全市海绵设施的动态管控，内涝预警响应时间从1

小时缩短至15分钟。同时，平台支持多部门协同，可联动市政、交警等部门，及时开展排水、交通疏导工作。

(2) 数据采集、分析与决策支持技术的应用：数据采集采用“物联网+移动监测”模式，布设雨量计、水位传感器、流量传感器等设备，实时采集降雨、径流、水质数据；移动监测车定期对重点区域进行补充监测，确保数据全面性。数据分析运用大数据与AI技术，通过构建降雨-径流模型，预测不同降雨情景下的内涝风险，为设施优化提供依据。决策支持方面，平台可根据实时数据自动生成调度方案，如暴雨时自动开启调蓄湖进水闸门、加大泵站排水功率，实现“智慧调度、精准控涝”。

结束语

综上所述，海绵城市技术以其独特的“渗、滞、蓄、净、用、排”理念，为城市内涝治理开辟了新路径。通过科学规划与精心施工，海绵城市不仅有效缓解了城市排水压力，还促进了城市生态系统的恢复与提升。未来，随着技术的不断成熟与应用的持续深化，海绵城市将在更多城市绽放光彩，为构建宜居、韧性、可持续的城市环境作出更大贡献。我们期待更多创新技术的涌现，共同推动城市水安全管理迈向新高度。

参考文献

- [1]张永光.基于城市内涝防治的海绵城市建设研究[J].工程技术研究,2020,(07):72-73.
- [2]聂菊仙.快速扩张化城市发展下城市内涝的海绵城市设计策略[J].居业,2024,(09):89-91.
- [3]冯培培.基于城市内涝防治的海绵城市建设研究[J].水上安全,2024,(07):97-99.
- [4]陈凌.城市规划视阈下的城市内涝现状与防治体系建构策略[J].建材发展导向,2023,(12):79-80.