

# 海绵城市建设理念在市政排水系统中的应用与优化

文 杨

武汉市市政工程机械化施工有限公司 湖北 武汉 430000

**摘 要:** 海绵城市建设理念通过渗、滞、蓄、净、用五大原则,在市政排水系统中实现雨水资源化利用与生态修复。其应用涵盖透水铺装、绿色屋顶、植草沟等低影响开发设施,结合雨水调蓄池、生态湿地等工程,构建源头减排—过程控制—末端治理体系。优化方向包括多级排水系统规划、智慧监控技术应用及政策激励,可提升城市防洪能力,缓解内涝风险,促进水资源循环利用。

**关键词:** 海绵城市建设理念;市政排水系统;应用实践;优化策略

引言:在城市化快速推进与气候变化背景下,传统“灰色”市政排水系统因过度依赖硬质管网,面临内涝频发、生态破坏及水资源浪费等严峻挑战。海绵城市建设理念以低影响开发为核心,通过模拟自然水文循环,构建“渗、滞、蓄、净、用”的弹性雨水管理体系,不仅可提升城市排水防涝能力,还能实现雨水资源化利用与生态修复,为城市可持续发展提供关键技术路径。

## 1 海绵城市理念与市政排水系统理论基础

### 1.1 海绵城市理念的核心内涵

(1) 定义:海绵城市以低影响开发(LID)为核心技术路径,通过渗透铺装、绿色屋顶、生物滞留设施等手段,模拟自然水文循环过程,减少人工干预对水循环的破坏,实现雨水在城市区域内的“弹性”管理,即在降雨时有效吸纳、存蓄雨水,干旱时合理释放利用,提升城市应对雨水的调控能力。(2) 五大原则:“渗”指通过透水材料和设施让雨水渗入地下,补充地下水;“滞”通过滞留设施延缓雨水汇流速度,降低洪峰压力;“蓄”借助蓄水池、湿地等储存雨水,留存水资源;“净”利用植被、土壤等净化雨水,改善水质;“用”将处理后的雨水用于灌溉、洗车、景观用水等,实现雨水资源化。

### 1.2 市政排水系统传统模式与挑战

(1) 传统“灰色基础设施”的局限性:传统排水系统依赖混凝土管道、排水沟等硬质设施,仅注重快速排走雨水,忽视雨水的渗透与利用,不仅导致地下水补给不足,还破坏地表生态,加剧城市热岛效应,且管道易因淤积堵塞,排水效率不稳定。(2) 气候变化与城市化对排水系统的双重压力:气候变化引发极端降雨事件增多,降雨量和降雨强度显著提升,超出传统排水系统设计负荷;城市化进程中绿地、湿地减少,硬质地面增加,雨水汇流速度加快,进一步加重排水系统压力,导致城市内涝频发<sup>[1]</sup>。

### 1.3 海绵城市与传统排水模式的对比

(1) 功能扩展:传统排水模式功能单一,仅以快速排除雨水、避免城市内涝为目标;海绵城市在排水基础上,进一步拓展雨水资源化利用功能,将处理后的雨水用于城市绿化、市政用水等,同时具备生态修复功能,通过恢复绿地、湿地等自然水文景观,改善城市生态环境,提升城市生态韧性。(2) 系统协同:传统排水模式独立运行,与城市绿地、水系、建筑等系统缺乏联动,各系统功能孤立;海绵城市注重多系统协同整合,将城市排水系统与绿地系统、水系系统、建筑排水系统有机结合,例如建筑绿色屋顶与周边绿地、雨水管网联动,形成“源头减排—过程控制—系统治理”的综合雨水管理体系,提升城市整体雨水调控效率。

## 2 海绵城市理念在市政排水系统中的应用实践

### 2.1 雨水源头控制技术

(1) 绿色屋顶:上海中心大厦采用“生态绿化+排水层+过滤层”复合绿色屋顶设计,总面积达1.4万平方米,种植佛甲草等耐旱植被。通过监测数据显示,该绿色屋顶可削减70%以上的降雨径流,夏季还能降低建筑顶层温度3-5°C,既减少雨水直接汇入管网,又缓解城市热岛效应,成为超高层建筑应用海绵技术的标杆案例。(2) 透水铺装:深圳前海片区在道路建设中大规模采用透水混凝土路面,孔隙率达15%-20%。降雨时,雨水可通过铺装层快速渗入地下,经基层过滤后补充地下水,同时减少地表径流。数据显示,该区域透水铺装路段的地表径流系数从传统路面的0.8降至0.3,有效降低了周边排水管网的瞬时压力,雨天积水问题显著改善<sup>[2]</sup>。(3) 雨水花园与生物滞留池:新加坡碧山宏茂桥公园将雨水花园与城市公园景观结合,设计多层级植被过滤系统,上层种植美人蕉、再力花等水生植物,下层铺设砂质土壤与碎石过滤层。降雨时,周边道路雨水通过导流设施汇入花园,

经植物吸收、土壤过滤后，净化后的雨水一部分渗入地下，一部分排入周边水系，雨水净化率达80%以上，同时为市民提供了生态休闲空间。

## 2.2 雨水传输与调蓄设施

(1) 植草沟与生态沟渠：广州珠江新城沿城市主干道规划线性雨水廊道，采用植草沟替代传统排水沟，沟内种植狗牙根、结缕草等耐涝植被，沟底铺设透水土工布与碎石层。雨水通过植草沟缓慢传输，植被与土壤可拦截污染物，同时延缓汇流时间，将区域内雨水汇流速度降低40%，有效减轻下游管网负荷。(2) 雨水调蓄池与地下隧道：上海临港新城建设地下雨水调蓄隧道，总长2.3公里，总容积达15万立方米。该隧道与周边雨水管网、河道相连，降雨时可快速收集周边区域雨水，待降雨结束后再通过水泵将雨水抽排至河道或处理后回用。极端降雨天气下，隧道可削减区域50%以上的洪峰流量，避免城市内涝。(3) 湿地与湖泊调蓄：武汉东湖湿地公园依托东湖天然湖泊资源，构建“湖泊+湿地”复合调蓄系统，在湖泊周边建设芦苇湿地、菖蒲湿地等，形成缓冲带。降雨时，周边区域雨水先流入湿地，经水生植物、微生物净化后再汇入东湖，湿地可削减30%的径流污染物，同时湖泊可储存大量雨水，调节区域水循环，提升城市防洪能力<sup>[3]</sup>。

## 2.3 雨水末端利用与生态修复

(1) 雨水回用系统：北京奥林匹克公园建设大规模雨水收集回用系统，在园区内设置12个雨水收集池，总容积达8万立方米，收集的雨水经沉淀、过滤、消毒处理后，用于园区绿化灌溉、道路冲洗和景观水体补水。数据显示，该系统每年可回用雨水约50万立方米，节约自来水用量30%，降低市政供水压力。(2) 河道生态修复：杭州西溪湿地对周边河道进行生态修复，拆除传统硬质驳岸，采用“石笼+植被”生态驳岸设计，在驳岸种植柳树、菖蒲等植物，同时在河道内投放微生物菌剂，构建完整的水生生态系统。修复后，河道水体透明度提升50%，溶解氧含量增加30%，水体自净能力显著增强，实现了“清水绿岸、鱼翔浅底”的生态效果。

## 2.4 智慧排水监控系统

(1) 物联网传感器实时监测雨水管网水位与水质：深圳市在全市雨水管网关键节点安装物联网传感器，共布设2000余个监测点，可实时采集管网内水位、流量、pH值、COD等数据，并通过5G网络传输至智慧排水平台。当管网水位超过预警值或水质异常时，平台可自动报警，管理人员及时采取疏通、截污等措施，提升排水系统应急响应效率。(2) 数字孪生技术模拟极端降雨场景下的

排水压力：上海市基于数字孪生技术构建城市排水系统模型，整合城市地形、管网数据、历史降雨数据等，可模拟不同强度降雨（如50年一遇、100年一遇降雨）下的管网水流状态，预测内涝风险区域。通过模拟结果，可优化管网改造方案，提前调整排水泵站运行策略，为城市防洪排涝提供科学决策支持<sup>[4]</sup>。

## 3 海绵城市建设理念在市政排水系统中的优化策略

### 3.1 规划层面优化

(1) 多级排水系统构建：以城市水文特征为基础，划分不同规模汇水区，构建“源头减排—管渠传输—排涝除险”三级排水体系。源头通过绿色屋顶、透水铺装等设施削减径流；管渠系统保留传统管网功能，增设生态沟渠提升传输效率；排涝环节结合调蓄池、湿地等设施，应对极端降雨。例如苏州工业园区通过该模式，将区域内涝重现期从1年一遇提升至5年一遇。(2) 与城市蓝绿空间协同：在城市规划中优先保留河流、湖泊等蓝色空间，同步规划公园、绿地等绿色空间，构建连通性雨水廊道。将绿地高程设计低于周边路面，引导雨水自然汇入；利用河道两岸绿地建设缓冲带，衔接自然水体与排水系统。如成都天府绿道规划中，通过100余公里雨水廊道串联城市公园与锦江流域，实现雨水调蓄与生态景观融合。

### 3.2 技术层面优化

(1) 材料创新：研发高透水性混凝土，通过调整骨料级配使孔隙率提升至25%以上，透水系数达 $1.5 \times 10^{-3} \text{m/s}$ ，同时加入纳米硅基材料增强耐久性，使用寿命较传统透水材料延长3倍；开发自修复排水管道，在管道内壁添加微生物修复剂，当管道出现微小裂缝时，修复剂与水反应生成凝胶填补缝隙，降低管道维修成本。(2) 设施耦合：推广“雨水花园+地下调蓄池”耦合模式，雨水花园表层通过植被、土壤净化雨水，下层连接地下调蓄池储存多余雨水，调蓄池内设置潜水泵，可将雨水抽送至地面用于灌溉或补充景观用水。该模式在南京河西新城应用后，单设施雨水调蓄量提升40%，土地利用率高35%。

### 3.3 管理层面优化

(1) 政策支持：制定地方海绵城市建设技术标准，明确新建小区、道路等项目的海绵设施配建比例（如绿地率不低于30%、透水铺装面积占比不低于40%）；设立专项补贴资金，对海绵设施建设项目给予投资额15%–20%的补贴，同时将海绵城市指标纳入城市规划审批硬性要求，确保政策落地。(2) 公众参与：开展社区雨水花园共建活动，组织居民参与设计、种植与维护，通过现场讲解、科普手册等形式，普及雨水资源化知识；建立

“海绵城市志愿者”机制，鼓励居民监督周边排水设施运行，反馈积水、设施损坏等问题，形成“政府主导、公众参与”的管理格局<sup>[5]</sup>。

### 3.4 经济性分析

(1) 全生命周期成本对比：以某城市新区为例，传统排水管网20年全生命周期成本（含建设、维修、更换）约为800万元/公里；而海绵排水系统（含透水铺装、调蓄池等）初始建设成本虽高15%，但20年维护成本仅为传统管网的30%，全生命周期成本低22%，长期经济性优势显著。(2) 生态效益量化：北京某园区雨水回用系统年均回用雨水60万立方米，节约自来水费约120万元；同时减少雨水径流污染，降低污水处理厂处理负荷，年均减少污水处理费用30万元。此外，海绵设施提升区域绿地覆盖率，带来碳汇、降温等生态服务价值，经评估年均生态效益超80万元。

## 4 海绵城市建设在市政排水系统应用中的挑战与未来展望

### 4.1 现存挑战

(1) 初期投资高与短期效益不匹配的矛盾：海绵城市相关设施如地下调蓄池、生态驳岸等，建设初期需投入大量资金，例如某城市1公里生态沟渠建设成本约为传统沟渠的2.5倍。而其效益多体现在长期的雨水资源化、生态修复及减少内涝损失上，短期经济回报不明显，导致部分地方政府建设积极性不足，资金筹措难度较大。(2) 老旧城区改造中的空间限制与技术适配问题：老旧城区建筑密度高、道路狭窄，缺乏建设雨水花园、透水铺装等设施的空间，如部分老街区人行道宽度仅1.5米，难以满足透水铺装施工需求。同时，老旧管网与海绵设施衔接难度大，传统合流制管网易与雨水收集系统形成混流，需进行管网改造，进一步增加了施工复杂度和成本。

### 4.2 未来趋势

(1) 技术融合：海绵城市将与智慧城市、碳中和目标深度融合。通过智慧传感器与大数据分析，实现雨水管网、调蓄设施的精准调控，例如实时调整调蓄池抽排速率以适配降雨强度；同时，海绵设施可助力碳中和，如

绿色屋顶通过植被固碳，透水铺装减少热岛效应降低空调能耗，预计到2030年，海绵城市相关设施可助力城市碳减排量提升5%-8%。(2) 模式创新：PPP模式将成为推动海绵设施市场化运维的重要方向。政府通过与社会资本合作，由社会资本负责海绵设施的建设与后期运维，政府则通过购买服务、给予税收优惠等方式保障其收益，例如某PPP项目中，社会资本负责雨水回用系统运营，通过向周边小区、企业出售再生水获得收益，实现“建设-运维-盈利”的良性循环。(3) 国际经验借鉴：将积极借鉴德国、美国等国家的先进经验。德国汉堡通过立法要求新建建筑必须配套雨水利用设施，违者处以罚款，该立法保障机制可为我国完善海绵城市政策提供参考；美国波特兰绿色街道计划将街道改造与海绵技术结合，通过设置植草沟、渗透池等，使区域径流削减率达90%以上，其“小而散”的设施布局模式，适合我国老旧城区改造借鉴。

### 结束语

海绵城市建设理念为市政排水系统转型提供了创新方案，其通过生态化、智能化的技术集成，有效缓解了城市内涝、水资源短缺与生态退化问题。未来需进一步强化多部门协同规划，推动技术创新与成本优化，完善政策激励与公众参与机制，同时借鉴国际先进经验，构建“韧性—生态—经济”协同发展的雨水管理体系，助力城市高质量发展与碳中和目标实现。

### 参考文献

- [1]刘洋.海绵城市理念下新建居住小区工程设计实践[J].江西建材,2021(08):23-24.
- [2]汪岩.基于海绵城市概念的市政道路排水优化[J].清洗世界,2021(06):87-88.
- [3]马志远.现代城市排水系统的优化设计研究[J].城市环境设计,2021,4(11):117-119.
- [4]林峰.海绵城市理念在城市防洪中的应用与实践[J].水利科技与经济,2022,28(3):48-50.
- [5]陈露.绿色基础设施在城市排水系统中的融合策略[J].生态经济,2021,37(10):87-89.