

# 基于海绵城市的工程建设模式及雨水净化回用研究

文 / 阚 泽 广东省交通规划设计院集团股份有限公司

**摘要：**海绵城市建设作为解决城市内涝、水资源短缺及水污染问题的系统性方案，其核心在于构建“渗、滞、蓄、净、用、排”的全周期雨洪管理体系。本文以市政工程与公园绿地为研究对象，结合信息化技术，提出“灰色基础设施+绿色海绵体+智慧管控平台”三位一体的建设模式。通过分析透水铺装、生物滞留设施、人工湿地等关键技术，结合SWMM模型模拟与物联网监测，构建雨水净化回用系统，实现雨水资源的高效利用与城市水生态的动态平衡。研究以澄海区人民公园停车场及公园配套设施升级改造建设项目为案例，验证了信息化手段在提升海绵设施运行效率、降低运维成本方面的显著成效，为同类城市提供可复制的技术路径与管理经验。

**关键词：**海绵城市；雨水净化回用；市政工程；公园绿地；信息化管控；SWMM模型

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.069

## 引言

随着城市化进程加速，城市不透水面积占比超过60%，导致雨水径流峰值流量增加3倍-5倍，内涝风险频发。传统“快排”模式加剧了水资源短缺与水环境污染的矛盾<sup>[1]</sup>。海绵城市通过模拟自然水文循环，构建“灰色基础设施”（排水管网、泵站）与“绿色海绵体”（透水铺装、湿地、绿地）的协同系统，实现雨水资源化利用。信息化技术的融入，可实时监测设施运行状态、优化调度策略，提升系统韧性。本文聚焦市政道路与公园绿地两大场景，探讨雨水净化回用系统的信息化集成方案。

## 一、市政工程海绵化建设模式

### （一）道路雨水收集与净化系统

市政道路占城市不透水面积的30%以上，是径流污染的主要来源，而传统排水系统普遍存在管径不足、维护成本高等问题，因此对市政道路进行海绵化改造十分必要，改造过程中需结合透水铺装、生物滞留池与渗井技术协同发力，形成“渗透-净化-排放”的完整链条。

透水铺装采用透水混凝土、透水沥青或植草砖，其渗透系数 $\geq 1 \times 10^{-3}$  cm/s，能快速吸纳地表雨水并减少地表径流，可削减70%的径流量，例如中江县在凯江两岸改造中，将非机动车道铺装更换为透水砖，配合路缘石开口设计，使雨水在路面的径流时间延长至30分钟以上，为后续净化处理争取了充足时间；生物滞留池则通过植物、土壤与微生物的协同作用形成天然净化屏障，有效去除COD、TN、TP等污染物，研究显示垂直流湿地对COD的去除率达84.07%， $\text{NO}_3^-$ -N去除率达95.88%，郑州市某项目采用“沸石+蛭石”复合填料，利用其多孔结构进一步强化了对氮磷的吸附效果，使出水水质显著提升；渗井系统适用于空间受限区域（如邻里街道），通常设置直径1-2米的渗井，内填碎石与活性炭，渗透速率可达0.5m/h，既能快速下渗雨水，又能通过活性炭吸附残留污染物，且渗井与排水管网联动后，可分流部分雨水，使管网负荷降低20%以上（见图1）。不同透水铺装材料性能对比如表1所示：

表1：不同透水铺装材料性能对比

材料类型	渗透系数 (cm/s)	抗压强度 (MPa)	适用场景	成本 (元/m <sup>2</sup> )
透水混凝土	$1.2 \times 10^{-3}$	20-30	机动车道	80-120
透水沥青	$1.5 \times 10^{-3}$	15-25	主干道	100-150
植草砖	$0.8 \times 10^{-3}$	10-20	停车场	60-90

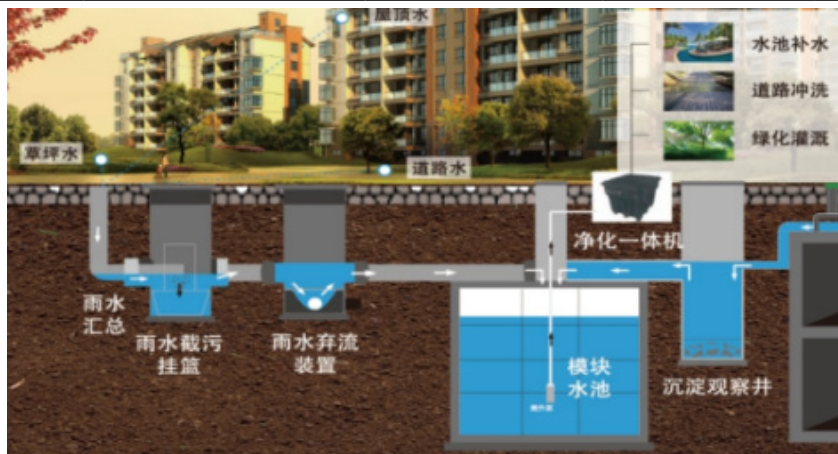


图1：道路雨水收集与净化系统

**(二) 排水管网提标与智能调控**

传统排水管网设计重现期为 1-3 年，难以应对极端降雨，因此对其进行海绵化改造十分关键，改造过程中需从硬件升级与智能管理两方面入手，全面提升排水能力。管径扩容方面，根据区域降雨量与汇水面积，将雨水管网直径从 0.6-1.2 米提升至 1.5-2.5 米，同时结合智能泵站实现恒压供水，确保管网在高水位时仍能保持稳定排水效率，例如在广东某市的城市排水系统升级改造项目中，为应对日益严峻的城市内涝问题，新增了直径达 2000mm 的大口径雨水管，并配套建设了智能化的雨水泵站。泵站配备先进的压力调节系统，可根据实时降雨量及管网压力动态调整抽排功率，使区域排洪能力大幅提升至 60m³/s。在 2023 年的强降雨天气中，该系统成功抵御了 50 年一遇的特大暴雨，有效避免了城市大面积积水，保障了市民的出行安全与城市的正常运转。在物联网监测体系构建方面，广东充分利用其在信息技术领域的优势，在管网关键节点部署了高密度的液位计、流量计以及水质传感器，构建起全方位、立体化的管网监测网络。这些传感器通过 5G 通信技术，将管网水位、流量、水质等数据实时传输至智慧管控平台。借助自主

研发的管网水力模型，能够精准模拟不同降雨场景下管网的运行状态，提前 3-4 小时预测管网压力峰值，及时启动调蓄设施，实现对管网流量的精准调控，避免管网因过载而发生溢流现象，大大提升了城市排水系统的韧性。在雨污分流改造工程上，广东对老旧合流制管网进行系统性改造。通过优化截流井设计，采用智能控制技术，根据雨水水质变化自动调整截流比例。在降雨初期，污染浓度较高的雨水被精准截流，排入污水处理厂进行深度处理；随着降雨持续，水质逐渐好转，后期较清洁的雨水则通过溢流口直接排入自然水体。据统计，经过改造后的区域，污水收集率提升至 98% 以上，城市内河涌的水质得到显著改善，黑臭水体现象得到有效遏制，生态环境效益显著提升。

**二、公园绿地雨水净化回用系统**

**(一) 多层级海绵设施构建**

公园绿地作为城市“海绵体”的核心，需构建“源头-传输-末端”全链条净化体系：源头控制环节采用下凹式绿地、雨水花园与生态树池，通过地形高差实现雨水梯级净化，某公园绿地海绵设施净化效果对比如表 2 所示：

表 2 公园绿地海绵设施净化效果对比

设施类型	COD 去除率 (%)	TN 去除率 (%)	TP 去除率 (%)	停留时间 (min)
下凹式绿地	40-55	30-45	25-35	20-30
植草沟	35-50	25-40	20-30	15-25
人工湿地	60-80	60-75	50-65	60-120

**(二) 雨水回用与生态补水**

净化后的雨水具有多重利用价值，可有效应用于公园灌溉、景观补水与道路冲洗等场景：在灌溉系统中，借助滴灌、微喷灌等精准灌溉技术，将雨水高效输送至绿地与花坛，中江县的相关项目便采用了智能灌溉控制器，能根据土壤实时湿度自动调节灌溉水量，使节水率达到 40%<sup>[2]</sup>。在景观补水方面，将雨水注入景观水池后，搭配睡莲、荷花等水生植物以及锦鲤、鲫鱼等鱼类，构建起稳定的生态平衡系统，同时通过液位计与水泵的联动控制水池水位，有效避免了溢流污染；在道路冲洗上，于停车场与广场区域设置雨水回用管网，并配备高压冲洗设备减少了对市政供水的依赖。

县项目中，通过部署 200 余个不同类型的传感器，构建起全域海绵设施的实时监控网络，实现了对每一处设施运行状态的动态掌握<sup>[3]</sup>。大数据分析环节则借助 SWMM 模型强大的模拟能力，精准仿真不同降雨强度、时长等情景下的径流过程与污染负荷变化，再结合机器学习算法对历史数据进行深度挖掘，不断优化设施调度策略，研究数据显示，这种信息化管控模式可使雨水回用率大幅提升至 70% 以上，显著提高了水资源的利用效率。

**(二) 智能调度与运维管理**

智能调度与运维管理通过技术手段实现了海绵设施的精细化运营，大幅提升了管理效能：自动控制层面，通过 PLC 控制器将水泵、阀门与闸门等设备智能联动，构建起自动化的雨水调蓄与回用系统，例如当蓄水池水位达到设定上限时，系统会即刻启动水泵，将多余雨水精准输送至景观池进行补水<sup>[4]</sup>。一旦监测到水质超标，会立即触发报警机制并自动关闭回用管网，防止不合格水体进入回用环节；移动端应用方面，专门开发的运维管理 APP 为工作人员提供了便捷的管理工具，支持实时查询设施运行状态、接收故障报警信息以及在线派发维修工单，运维人员通过手机就能随时查看各传感器上传的数据，第一时间响应各类异常事件，缩短故障处理时间；数字孪生技术的应用更是实现了管理模式的革新，通过构建与实体城市高度一致的海绵城市三维模型，并

**三、信息化管控平台构建**

**(一) 智慧监测与数据分析**

通过物联网技术，能够集成雨水收集、净化、回用全流程的数据，为海绵城市的高效运行提供精准支撑：在传感器网络方面，在屋顶、道路、绿地与蓄水池等关键节点科学部署雨量计、液位计、流量计与水质传感器，形成全方位监测网络，实时捕捉降雨量、水位变化、水流速以及 COD、TN、TP 等污染物浓度数据，为后续分析提供基础；数据传输采用 LoRa 无线通信技术，凭借其低功耗、广覆盖的优势，将海量监测数据稳定上传至云端服务器，传输延迟严格控制在 1 秒以内，确保数据的时效性，例如中江

结合 BIM 技术记录设施从设计、建设到运营的全生命周期信息，可模拟不同维护方案的实施效果，据此选择最优方案，经实践验证，这种管理方式能使运维成本降低 20% 以上，同时保障了设施的长期稳定运行。

#### 四、案例分析

##### (一) 项目背景

澄海区人民公园位于汕头市澄海区，占地面积 9.17 万平方米。随着城市化进程的加快，城市内涝问题日益突出，传统排水系统已难以满足需求。项目以海绵城市建设理念为指导，通过升级改造停车场及公园配套设施，提升区域排水防涝能力，同时实现雨水的有效收集与回用。

##### (二) 海绵城市建设模式

###### 1. 低影响开发 (LID) 设施应用

项目采用了多种 LID 设施，包括透水铺装、下沉式绿地、雨水花园等，以源头控制为主，尽可能采用绿色生态设施增加雨水入渗量和调蓄量。

(1) 透水铺装：项目共建设透水铺装 13891.91 平方米，有效促进了雨水的下渗，减少了地表径流。

(2) 下沉式绿地：设置 1142 平方米的下沉式绿地，通过调整绿地高程，增加雨水滞蓄能力，有效削减了峰值流量。

(3) 雨水花园：结合景观设计，在绿地内设置雨水花园，通过植物和土壤的过滤作用净化雨水，同时提供生物栖息地。

###### 2. 径流组织与汇水分区划分

项目根据地形和建筑物布局，将整个场地划分为 6 个汇水分区，每个分区内设置相应的 LID 设施，通过重力流和管渠系统将雨水引导至海绵设施中进行处理。道路雨水结合建筑竖向和景观设计，设置截留设施对径流污染进行控制，确保雨水有序排放。

###### 3. 雨水管网设计

项目沿新建透水铺装园路设置雨水管网，坡度依照地形地势，主要考虑洪峰流量排放。小雨时雨水下渗至地下，大雨时部分雨水进入管道，通过管道收集到雨水回用池中。同时，对园内公厕进行雨污分流改造，避免合流污染水质。

##### (三) 雨水净化回用研究

###### 1. 雨水净化机制

项目通过 LID 设施实现了雨水的初步净化。下沉式绿地和雨水花园中的植物和土壤能够吸附和过滤雨水中的悬浮物 (SS) 和部分污染物，提高雨水水质。此外，项目还设置了初期雨水弃流池，进一步去除雨水中的杂质。

###### 2. 雨水回用系统

项目内设有雨水回用池，用于收集和处理经过 LID 设施净化后的雨水。回用池中的雨水经过简单处理后，主要用于场地绿化浇灌和道路冲洗等，实现了水资源的循环利用。

###### 3. 净化效果评估

通过模拟分析，项目在采用 LID 设施后，年径流总量控制率达到 85.63%，径流污染消减率达到 54.95%，显著优于传统开发模式下的 43.05% 和未设置 LID 设施时的污染水平。这表明项目在雨水净化回用方面取得了显著成效。

##### (四) 模型分析与评估

###### 1. 模拟工况与方法

项目采用 EPASWMM5.1 软件进行概化模拟，利用 2020 年全年连续降雨数据作为年径流总量控制率计算雨型，模拟水文年下降雨径流过程。同时，生成 3 年一遇和 50 年一遇重现期的降雨数据，用于评估管网排水能力。

###### 2. 模拟结果分析

模拟结果显示，在 3 年一遇降雨条件下，管网排水能力满足要求，未发生溢流现象。在 50 年一遇降雨条件下，虽然部分雨水管超负荷运转，但 LID 设施的设置有效降低了管道充满度和雨水井积水深度，改善了超载状况，降低了内涝风险。

##### (五) 结论

澄海区人民公园升级改造项目通过应用海绵城市建设理念，采用低影响开发设施，有效提升了区域排水防涝能力，实现了雨水的有效收集与回用。

##### 结语

海绵城市建设需深度融合市政工程、公园绿地与信息化技术，构建起“灰色+绿色+智慧”的协同体系，通过各类设施与技术的联动，提升城市对雨水的吸纳、蓄渗和缓释能力。未来研究可从多个维度进一步探索：在新材料应用方面，着力研发高效吸附滤材（如纳米材料、生物炭）与自修复透水铺装，以此提升雨水净化效率并延长设施使用寿命；在区域协同层面，建立跨城市海绵设施联动机制，打破行政壁垒，实现雨水资源的区域统筹调配，提高整体利用效率；在政策创新领域，完善雨水管理收费制度与排水权交易机制，通过经济杠杆激发社会资本参与海绵城市建设的积极性。通过持续的技术创新与模式推广，为全球可持续发展提供宝贵的实践借鉴。

##### 参考文献

- [1] 梁文兵, 王东华. 基于海绵城市理念的市政道路设计 [J]. 黑龙江交通科技, 2025, (07): 46-50.
- [2] 肖逸菲, 韩记. 海绵城市建设中玄武岩纤维透水混凝土的研究现状 [J]. 四川建材, 2025, (07): 6-9.
- [3] 孟超. 海绵城市建设: 透水砖路面的造价成本分析与效益展望 [J]. 价值工程, 2025, (18): 27-30.
- [4] 刘冠榕. 基于海绵城市理念的公园景观设计研究 [J]. 鞋类工艺与设计, 2025, 5(11): 162-164.

作者简介: 阚泽 (1993 年一), 男, 汉族, 吉林省梅河口市, 本科学士, 工程师, 职务: 二级设计师, 研究方向: 市政给排水、海绵城市。