

# 海绵城市理念下市政道路与管网系统协同设计及效能优化研究

张 宁

中国二冶集团有限公司 内蒙古 包头 014010

**摘 要：**本文聚焦海绵城市理念下市政道路与管网系统协同设计及效能优化，阐述海绵城市的核心理论，分析道路与管网系统现状问题。从透水路面选型、绿化带改造、雨水口优化入手，提出道路海绵化设计关键技术，进而研究管网与道路海绵设施在管径匹配、路径规划、雨污分流衔接的协同优化方案，最后从技术、管理、政策层面给出效能优化策略。研究为提升城市雨水调控能力、缓解内涝提供实践参考，助力海绵城市建设落地。

**关键词：**海绵城市理念；市政道路与管网系统；协同设计；效能优化

引言：当前城市市政道路与管网系统普遍存在“重建设轻协同”问题，硬质路面占比高致雨水下渗难、管网老化与规划失衡加剧内涝，且二者设计脱节削弱水文调控效能。海绵城市“渗、滞、蓄、用、排”理念为解决此困境提供路径。本文先梳理海绵城市核心理论，分析道路与管网现状问题，再研究道路海绵化关键技术、管网与道路设施协同优化设计，最后提出多层面效能优化策略，旨在为海绵城市基础设施建设提供理论与实践支撑。

## 1 海绵城市核心理论与技术体系

海绵城市核心内涵是遵循生态优先原则，通过人工干预与自然系统结合，实现城市对雨水的弹性调控，将城市建设为具备“海绵”特性的生命体，平衡城市水文循环与生态、社会功能需求。其“渗、滞、蓄、用、排”技术框架为系统技术支撑，其中“渗”侧重通过透水设施增强雨水下渗，补充地下水资源；“滞”依托滞留设施减缓雨水汇流速度，降低排水压力；“蓄”通过蓄水设施储存雨水，为后续利用创造条件；“用”强调将储存雨水用于绿化灌溉、道路冲洗等非饮用水场景，提升雨水资源化水平；“排”则作为系统保障，通过优化排水路径与设施，高效排除超出系统调蓄能力的雨水，避免内涝风险<sup>[1]</sup>。

## 2 市政道路与管网系统现状与问题

市政道路与管网系统整体呈现“重建设轻协同、重地表轻地下”的特点，二者功能衔接不足，难以适配城市水文调控需求。（1）道路系统方面，传统道路以硬质铺装为主，透水空间被挤压，海绵功能缺失，雨水下渗能力弱，地表径流系数高，加剧汇流压力。部分道路绿化带未进行海绵化改造，仅承担景观功能，无法参与雨水滞留与净化，雨水多直接形成地表径流，增加排水

负担。（2）管网系统存在设施老化与规划缺陷，部分管网使用年限超30年，渗漏率高，排水能力衰减；设计上沿用传统暴雨强度公式，易低估流域排水需求，且常以道路为单位孤立规划，缺乏流域统筹，存在管径匹配失衡、高程冲突等问题。（3）二者协同层面问题突出，道路与管网设计脱节，未形成统一系统，雨水收集、渗透与排放路径衔接不畅；老城区雨污合流、混错接现象普遍，初期雨水污染直排问题未得到有效解决，进一步降低系统整体效能。

## 3 市政道路系统海绵化设计关键技术

### 3.1 透水路面选型与结构设计

透水路面选型与结构设计关键技术如下：（1）选型需结合道路功能定位、交通荷载等级及区域水文条件判定。透水沥青路面孔隙率高、抗滑性优、降噪好，适用于对通行舒适度与环境品质要求高的次干路、支路及人行道；透水混凝土路面强度高、耐久性强、维护成本低，适配承载重型车辆的主干路、快速路辅路及停车场。选型时重点评估材料透水系数、抗压强度、抗冻融性能及抗堵塞能力，确保与道路需求、当地气候适配，避免透水功能衰减或路面损坏。（2）结构设计采用“分层协同”体系，兼顾透水与承载功能。自上而下含表层、基层、垫层及排水层：表层为透水沥青或混凝土层，厚度依交通荷载定，孔隙率15%-25%，保障雨水快速下渗；基层用级配碎石或透水水泥稳定碎石，传荷同时作雨水临时储存渗透通道；垫层用透水性砂砾或碎石，过滤雨水护路基；地下水位高或降雨量大区域，增设排水层与盲管系统，导出基层未下渗雨水防路基湿陷。

### 3.2 道路绿化带海绵化改造

道路绿化带海绵化改造通过以下生物滞留设施与植

草沟设计,实现雨水收集、滞留、渗透与净化:(1)生物滞留设施设计遵循“竖向分层、功能分区”原则,结构含蓄水层、覆盖层、种植土层、过滤层及排水层:蓄水层深度10-20cm,临时储水延长滞留时间;覆盖层用树皮、碎木屑或砾石,减冲刷、抑杂草、调土温;种植土层为掺砂、腐殖质的改良土,渗透系数 $\geq 1 \times 10^{-4} \text{m/s}$ ,厚度依植物根系定;过滤层用级配砂或砾石,滤悬浮颗粒防堵塞;排水层为碎石内置穿孔管,雨水超渗透能力时导入管网或其他海绵设施。平面布局结合绿化带宽度形状,用线性、矩形等形态,与景观协调,设施间距依汇水面积定,保障全面收水。(2)植草沟设计以“引导径流、强化渗透”为核心,优化断面、纵坡与植被:断面依绿化带宽度选,窄幅用浅V/U型,宽幅用梯形,确保雨水滞留不漫溢;纵坡与道路协调, $> 2\%$ 设消能坎/跌水减流速防冲刷, $< 0.5\%$ 增设导流设施防积水;植被选耐旱耐涝抗污染乡土草本,密度 $\geq 80\%$ ,借根系与土壤增强渗透净化。设进出水口,进水口经路缘石开口/雨水篦子接路面,出水口连生物滞留设施、渗透系统或管网,形成“收集-传输-处理”链条。

### 3.3 道路雨水口优化

道路雨水口优化通过以下位置、间距与截污功能协同设计,提升收水效率与初期雨水净化效果:(1)位置选址结合道路汇水特性、坡度及海绵设施布局:优先选低洼处、交叉口、公交站台、绿化带边缘等汇水区域;透水路面雨水口设透水结构未覆盖区或作应急排水防积水;设植草沟/生物滞留设施的道路,雨水口接设施进水口,优先导雨水入设施,超容量后排管网。选址避地下管线密集区减干扰,与景观协调不影响通行。(2)间距依道路类型、坡度、降雨量及收水能力算:主干路、快速路间距20-30m,次干路、支路30-50m;纵坡 $> 3\%$ 时缩小间距,每增1%间距缩10%-15%;透水路面间距比传统大50%-100%,依透水能力与降雨量定。交叉口加密,进口道、出口道、低洼处分别设,保障无积水。(3)截污功能用“预处理-过滤-拦截”三级体系:预处理在进水处设挡污板、格栅或截污挂篮,拦大颗粒杂物;过滤在井筒内设石英砂、活性炭等过滤层,滤悬浮颗粒与部分有机物;拦截在连接管处设截污网或油脂分离器,拦细颗粒与油污,油脂分离器定期清理<sup>[2]</sup>。

## 4 市政管网系统与道路海绵设施协同优化设计

### 4.1 管网管径与道路海绵设施的流量匹配设计

管网管径与道路海绵设施的流量匹配设计,要以海绵设施雨水调控能力为基准计算管网承载流量,避免管径过大浪费或过小致排水拥堵、路面积水,具体要点如下:

(1)通过精细化水文计算明确海绵设施的径流削减量:设计前期结合项目所在地降雨强度数据及道路海绵设施参数——透水路面统计铺设面积、透水系数,生物滞留设施核算有效调蓄容积、土壤渗透系数,用暴雨强度公式测算雨水下渗量、滞留量,得出需管网排放的剩余雨水量,替代传统“按全径流设计”模式。(2)设计中需动态适配降雨强度变化:针对常遇降雨,确保管径容纳削减后流量,计算结合管网敷设坡度,避免管内滞留淤积;针对极端降雨,管径预留10%-15%冗余量,管网关键节点设溢流通道,溢流口高程高于路面10-15cm防倒灌。同时控制管内水流速度在0.6-3.0m/s;流速低于0.6m/s易致泥沙沉积堵塞,高于3.0m/s会增强冲刷力,加速HDPE管、钢筋混凝土管等老化破损。(3)管径设计需兼顾海绵设施的长期运维特性:道路海绵设施长期使用中,易因灰尘堆积、植被落叶堵塞致径流削减能力下降,故管径设计需预留调整空间,如关键段落用可扩展接口,或计算时按设施径流削减率80%核算,预留20%缓冲量,避免设施性能衰减致管网排水不足,保障长期协同稳定。

### 4.2 管网排水路径与道路雨水渗透/收集路径协同规划

管网排水路径与道路雨水渗透/收集路径协同规划,需打破“各自为政”模式,构建“源头渗透-过程收集-末端排放”一体化体系,确保雨水有序流转,具体要点如下:(1)基于实地勘察梳理雨水汇流规律,精准规划渗透与收集路径:设计前期通过无人机航拍、现场测绘,明确道路地形坡度、低洼点分布,结合海绵设施布局规划渗透路径——优先通过路缘石开口将路面雨水引至透水路面、绿化带生物滞留设施,借设施渗透补充地下水,减地表径流;对渗透能力不足区域,规划收集路径,通过雨水口、植草沟导雨水入管网,避免路面漫流,尤其强化道路交叉口、公交站台等易积水区域收集路径设计。(2)路径规划需遵循“短路径、低能耗”原则,规避路径冲突:管网排水路径应贴合雨水收集路径,如将管网敷设在雨水口、植草沟沿线,缩短传输距离,减少管网长度15%-20%,降建设成本与运维能耗。同时规避管网与海绵设施渗透区域冲突:透水路面下方渗透层为下渗关键区,管网需避开,若无法避开,外侧设防渗层,防管网渗漏污水污染渗透层或渗透雨水浸泡管网致腐蚀;绿化带生物滞留设施种植土层、过滤层与管网需保持 $\geq 1\text{m}$ 安全距离,防设施雨水渗入管网影响运行。(3)设置应急衔接路径与分区协同机制,保障排水安全:考虑海绵设施或因突发故障失效,路径规划中设“应急衔接路径”,如设施与管网间设应急阀门,故障时快速切换导雨水入管网,防路面滞留;针对大型道路

片区,划分汇水分区,每区内实现“渗透/收集路径-管网路径”闭环协同,如区内雨水先经设施渗透收集,剩余雨水通过支管导入干管,避免跨区排水路径长、流量不均问题,便于后期分区运维。

#### 4.3 雨污分流系统与道路初期雨水处理设施的衔接设计

雨污分流系统与道路初期雨水处理设施的衔接设计,需聚焦“截流初期污染、杜绝雨污混接”,确保处理后初期雨水有序排入雨水管网,具体要点如下:(1)结合道路污染特征,明确初期雨水截流范围:道路初期雨水因冲刷路面灰尘、机动车油污,污染物浓度高,需优先截流处理。设计结合道路车流量、路面污染程度,定初期雨水收集时长与量——主干道收集时长10-15分钟,支路5-8分钟,收集量按“收集时长×路面汇水面积×降雨强度”算,据此设计处理设施规模,如截流井有效容积 $\geq 10\text{m}^3$ ,一体化雨水净化器处理能力与收集量匹配,确保拦截高浓度污染物。(2)强化衔接环节的“预处理-传输-排放”协同设计:初期雨水处理设施出水口通过专用管道直连雨水管网,管道管径比设施出水口大1-2个规格,严禁连污水管网,衔接管道设防倒流装置,防雨水倒灌污水管网致混流,尤其降雨高峰期防雨水管网压力高致污水倒灌。处理设施与管网连接管设调控阀门,降雨初期关阀让雨水在设施内净化,水质达标后开阀排入;降雨后期雨水污染物浓度降,开旁通阀让雨水直入管网,减设施运行负荷。

(3)完善监测与管控机制,保障衔接效能:衔接处设监测节点,装水质在线监测仪与流量计量仪,实时监测处理效果与管网水质,若处理后雨水污染物超标,通过回流管导回二次净化,防超标雨水入水体。同时完善雨污分流系统标识与管控:雨水、污水管网沿线设明显标识,明确初期雨水处理设施与雨污管网衔接位置、管径及运行要求;建立定期巡检制度,每季度查衔接管道是否错接、混接,及时整改,保障协同处理效能<sup>[3]</sup>。

### 5 海绵城市道路-管网协同系统效能优化策略

#### 5.1 技术层面优化

优先选用高透水性、抗堵塞、耐老化的透水路面材

料及耐腐蚀管网管材,延长设施寿命并提升雨水调控稳定性;研发适配协同场景的复合型过滤材料,强化污染物去除效果。同时集成雨量传感器、管网流量监测仪与路面积水探测器,实时采集降雨、径流、管网负荷数据,通过数据平台分析系统状态,实现管网堵塞、设施失效等异常的自动预警,为动态调控提供支撑。

#### 5.2 管理层面优化

统一道路海绵设施与管网的设计参数(如径流控制率、管径匹配系数),避免设计脱节。建立“定期检测-分级维护”机制,明确透水路面、管网、处理装置等设施的检测周期与维护流程,组建专业运维团队,通过标准化作业保障协同系统长期高效运行。

#### 5.3 政策层面优化

针对建设主体推出成本补贴、税费减免等激励措施,鼓励采用高效协同设计方案。建立住建、市政、环保等部门的协同管控机制,明确各部门在设计审批、建设监管、运维监督中的职责,通过联合评审与信息共享消除管理盲区,提升协同系统全周期管控效率<sup>[4]</sup>。

结束语:本文系统研究海绵城市理念下市政道路与管网系统协同设计及效能优化,明确了道路海绵化关键技术与管网协同优化方向,形成多层面效能优化策略,为相关工程实践提供理论支撑。未来还可融入智慧化技术,构建动态监测与调控系统,进一步提升道路-管网协同系统的适应性与高效性,推动海绵城市建设高质量发展。

#### 参考文献

- [1]杨天淳.海绵城市理念下的市政现有道路优化设计分析[J].中国科技期刊数据库工业A,2024(10):0193-0196.
- [2]刘皎皎.海绵城市建设理念下的市政道路设计[J].中国新技术新产品,2020(7):109-110.
- [3]李建军.城市排水管网与海绵城市建设的融合路径与策略研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(1):030-033.
- [4]赵晓丹.海绵城市理念下市政给排水管网设计优化分析[J].城市开发,2025(7):112-114.