

# 海绵城市理念下的市政排水管网优化设计

张显

武汉天创建设集团有限公司，湖北武汉，430050；

**摘要：**针对传统城市排水系统存在的内涝频发、径流污染等问题，本研究以海绵城市生态优先理念为指导，探索市政排水管网的多维度优化路径。通过建立“渗、滞、蓄、净、用、排”协同运作的系统框架，提出管网布局优化、新型构件适配、智能监测融合三大技术策略。重点剖析管网断面调整、模块化组件应用及监测节点布设等核心要素，形成兼顾排水效能与生态效益的优化设计方案，为提升城市雨洪管理韧性提供理论支撑与实践参考。

**关键词：**海绵城市；排水管网；优化设计；生态韧性

**DOI：**10.69979/3029-2727.25.06.036

## 引言

城市高速发展的同时水生系统频繁被破坏，在强降雨天气影响下，很多城市极易出现内涝灾害，由于降雨量比较大，地面积水持续增加，地表径流不断增大，路面积水很难及时涌入排水通道，城市排水管网面临较大压力，雨污合流现象日渐普遍化，城市水环境污染问题日渐严重。本文主要着眼于解决管网设计标准滞后、调蓄能力不足等现实问题，为海绵城市建设提供切实可行的技术支撑。

## 1 市政排水系统现状分析

### 1.1 传统排水系统的局限性

传统市政排水系统以混凝土管道和检查井为主体，形成了一套“以排为主”的刚性排水网络（表1）。这种设计在应对常规降雨时表现稳定，但随着城市化进程加快和极端天气增多，其固有的缺陷逐渐暴露。

从排水逻辑看，传统系统依赖“末端集中排放”模式。雨水通过管道快速汇集至排水口，看似高效，实则忽略了自然水文循环规律。当遭遇短时强降雨时，大量径流短时间内涌入管网，超过管道承载能力后，极易引发检查井溢流、道路积水等问题。例如，部分城市主干管设计标准仍停留在“1年一遇”降雨强度，面对“50年一遇”暴雨时，系统崩溃成为必然。

在径流控制方面，管道仅作为输送通道，无法延缓或消减径流峰值。圆形断面管道在水流充满度超过75%时，排水效率显著下降，这种现象在老旧城区尤为突出。同时，雨污合流制导致初期雨水携带路面污染物直接排入水体，加剧河道污染。某地监测数据显示，雨季河道氨氮浓度可达旱季的3倍以上，这与管网缺乏净化功能直接相关。而且混凝土管道易受地基沉降影响产生裂缝，树根侵入、油污凝结等问题进一步加剧堵塞风险。对于

埋深超过3米的主干管，常规检测需开挖道路，维修成本高昂且影响市民通行。系统缺乏实时监测手段，往往在出现明显积水后才启动应急处理，被动应对模式难以满足现代城市管理需求。

表1 传统排水系统与海绵城市系统对比

对比维度	传统系统	海绵城市系统
排水原理	末端集中排放	源头-过程-末端调控
径流控制	峰值削减不足	全过程渗透调蓄
水质管理	雨污混合输送	分级净化处理
维护成本	周期性高投入	长期运维经济

### 1.2 海绵城市理念的适应性革新

海绵城市理念的引入，为解决传统排水困局提供了系统性方案。该理念突破单一依赖灰色基础设施的思维定式，通过绿色与灰色设施的结合，重构城市水文循环系统。

在排水原理上，海绵系统建立了“源头减量-过程调控-末端保障”三级管理体系。源头层面，透水铺装、下沉式绿地等设施可吸纳20%-40%的初期降雨，显著降低管网瞬时排水压力。过程层面，调蓄池、生态沟渠等设施延长径流汇集时间，避免流量峰值叠加。同时，水质管理实现质的提升。海绵设施通过“渗、滞、蓄”过程，使雨水中的悬浮物、重金属等污染物自然沉降。生态滤池、人工湿地等设施可去除70%以上的COD污染物，相较传统管网的雨污混排模式，出水水质明显改善。此外，净化后的雨水可直接用于绿化灌溉或景观补水，提升水资源利用率。虽然初期需增加绿色设施建设投入，但全生命周期成本较传统模式降低15%-30%。透水铺装减少管径需求，生物滞留设施替代部分地下调蓄空间，这些措施降低土建工程量。在运维阶段，植被覆盖的生态设施养护成本仅为混凝土管网的1/3，且能持续改善区域微气候。

## 2 管网优化设计方法论

### 2.1 空间布局重构策略

传统排水管网常采用“均质化”布局，所有管道按统一标准铺设，但这就像用同一把钥匙开所有锁——看似简单，实则难以应对复杂需求。新型空间布局策略的核心是“因地制宜、分类管控”，通过主次管网的分工协作和智能节点的精准调控，提升系统的灵活性和抗风险能力。

主干管网如同城市的“主动脉”，需要重点保障行洪安全。在改造中，可依据区域重要性分级设定设计标准：商业区、下沉式隧道等关键位置按30年一遇暴雨标准设计，普通道路则维持10-15年标准。但单纯扩管并不可取，聪明做法是结合地形优化走向。例如在山地城市，可沿自然冲沟布置主干管，利用天然地势加速排水；平原城市则采用环状管网形成多通道泄流，避免单一管道堵塞引发连锁反应。

支管系统的角色从“排水通道”转变为“调控单元”。通过在社区内部铺设蛇形支管或波浪形沟渠，人为延长雨水流动路径，相当于给水流装上“减速带”。这些支管与下沉绿地、透水停车场等海绵设施直接衔接，降雨初期50%-70%的雨水可被就地消纳。比如某小区将支管与绿化带结合，管道上方设置渗水孔，既满足排水需求，又能补充地下水，实现“一管多用”。

关键节点的升级是布局优化的点睛之笔。传统检查井通常只是管道连接点，而现在可植入三大“智能器官”：旋流分离器像“离心过滤器”，通过旋转水流分离泥沙垃圾；智能分流井内置水位传感器，像“自动交通警察”动态分配水流去向；调蓄模块如同“地下水库”，在暴雨时暂存部分雨水。这些装置协同工作时，能实现“小雨水地下渗、中雨水调蓄用、大雨水安全排”的分级管控。特别要注意的是，节点位置需选在管网交汇处或地形低洼点，才能最大限度发挥调控作用。最后还可通过GIS地形分析，优先利用0.3%以上的自然坡度布置管道，可减少60%以上的提升泵站设置。在坡度突变区域，可采用跌水井替代传统直线管道，既化解高程突变带来的冲刷问题，又能通过瀑布效应增加水体含氧量。这种“顺势而为”的设计思路，往往比强行改造地形更经济高效。

### 2.2 断面参数优化设计

管道形状对排水效率的影响，就像不同杯型影响喝水速度——并非越大越好，关键在适配使用场景。传统圆形管虽加工方便，但在实际运行中暴露出两大缺陷：低流量时易沉积淤泥，高流量时过流能力增长有限。新型断面设计通过“量体裁衣”解决这些问题。

蛋形管的巧妙之处在于“智能扩容”。其下部窄、上部宽的造型，在平常旱季维持较高流速防止淤积，类似高速公路的快车道；雨季流量增大时，上部空间自动参与过水，如同开启应急车道。特别适合用在餐馆排挡区等油污较多的支管段，实测显示可比圆形管减少40%的清淤频率。马蹄形管则像“扁平收纳箱”，宽阔的底部空间便于机械清淤车作业，特别适合作为下穿铁路、公路的主干箱涵。

水力参数设计需要“动态适配”思维。传统方法按固定坡度设计管道，但实际水流速度会随流量变化。新型设计采用“变坡降链”技术：上游段坡度0.8%加速排空，中游0.5%防止冲刷，下游1%快速泄洪，就像给水流设计变速跑赛道。通过计算机模拟，这种设计可使管网整体排水效率提升25%，同时减少管材用量。

针对易涝点的特殊处理体现工程智慧。在立交桥底等“涝点”，可平行敷设主副双管：主管按常规标准设计，副管采用可拆卸式应急管。平时副管封闭减少维护，暴雨时通过智能闸门开启，形成“双管齐下”的排水模式。更经济的做法是局部扩大管径形成“缓冲舱”，比如将某段2米管径扩大到2.3米，相当于给水流预留“应急停车位”，这种15%的扩容设计可多蓄积300立方米雨水，为抢险争取关键时间。

## 3 技术集成实施路径

### 3.1 多专业协同设计机制

传统管网改造常面临“铁路警察各管一段”的困境——水文工程师只管水流计算，结构师专注管道承重，景观设计师最后才介入美化。这种割裂的设计流程，容易导致工程实施时出现“管径算准了但地基不稳”“功能达标了却破坏街景”等问题。新型协同机制的核心，是让各专业从设计初期就坐到同一张桌子上。

我们可以通过SWMM（暴雨洪水分流模型）模拟管网在5年、50年不同重现期暴雨中的表现，就像给排水系统做“压力测试”。工程师能直观看到哪些管段会先超载、哪些节点易倒灌。比如模拟发现某社区支管在20毫米/小时降雨时就会溢流，便能针对性加大该段管径或增设调蓄设施，避免“头痛医头”的盲目改造。结构工程的角色从“事后兜底”转向“主动适配”。传统做法往往先定管道路由，再让结构师验算地基承载力。现在则要求结构专业提前介入：在丘陵地带，采用柔性接口管道应对地基沉降；在软土区域，用玻璃钢夹砂管替代混凝土管减少荷载。这种前置协同能避免施工时才发现“管道设计完美，但地下全是岩石挖不动”的尴尬。而下沉式绿地可与管网检查井联动设计，井盖隐藏于观

赏草群落中；生态沟渠的走向配合管网布局，既疏导径流又形成线性景观。某新区尝试将雨水花园与管网调蓄池上下叠合，地面是市民休憩的景观花园，地下是容积 500 立方米的蓄水空间，实现功能与美学的“双赢”。这种融合设计还能减少用地矛盾——毕竟在寸土寸金的城区，没人愿意单独划地建调蓄池。

### 3.2 模块化构件应用体系

老城区管网改造面临的主要难题包括道路开挖影响交通、施工周期长及噪音扰民。采用模块化预制构件技术，可通过工厂预制、现场组装的方式大幅缩短工期，减少对居民生活和交通的影响（见表 2）。

旋流分离井采用离心沉降原理处理雨水中固体杂质。其内部设计特殊导流结构，使水流形成旋转运动，可将 60%以上的砂石、垃圾等污染物分离沉淀。该构件特别适用于餐馆集中区、农贸市场等垃圾易堆积的合流制管网节点。施工时仅需开挖原检查井位置，吊装预制的分离井模块，8 小时内即可完成安装并恢复路面通行。智能分流阀配备超声波水位监测装置，能够根据实时流量自动调节排水路径。当降雨强度超过预设标准时，阀门自动切换分流通道：初期相对清洁的雨水被导入蓄水池回收利用，含有较多污染物的中后期雨水则排入污水处理系统。该装置在老旧小区、地下车库出口等易涝区域应用，可有效防止污水回流。

渗透式管接采用多孔结构设计，解决传统绿化带排水管密封导致的雨水渗透难题。管壁均匀分布的孔隙允许 30%-40%的雨水直接渗入土壤，既满足植物根系吸水需求，又能减少进入管网的水量。实际监测数据显示，在行道树绿化带安装该构件后，相邻管段的排水压力降低约 15%。

表 2 新型管网构件技术参数

构件类型	核心功能	适用场景
旋流分离井	固液分离	合流制管网改造
智能分流阀	流量动态调节	易涝区域控制节点
渗透式管接	侧向水体下渗	绿化带附属管网

模块化构件的标准化生产保障了质量稳定性，现场装配式施工使工期缩短 40%-60%。以旋流分离井为例，工厂预制时已完成防渗涂层处理，较传统现浇施工减少 3 天养护时间。同时，可拆卸结构设计便于后期维护——当需要清理沉积物时，工人可快速打开模块顶盖作业，无需破坏路面。

### 4 实施保障体系

为了确保排水系统升级工程有效落实，我们需建立一套含规划、建设、运维全周期的管理体系。

第一步，制定统一的设计导则，明确不同区域的海绵设施配建标准。新建住宅项目需达到透水铺装率不低于 40%，商业综合体必须配置雨水调蓄池。施工阶段实施分级验收制度，重点核查管道基础处理、防渗连接等隐蔽工程质量，避免出现“埋雷式”施工缺陷。

第二步，全面推行排水许可准入机制。开发商在项目开工前，须提交雨水排放方案并通过水力模型验证，确保建成后地表径流量不超过开发前水平。市政部门每季度开展现场抽查，利用流量监测设备核验实际排放数据，对超标项目责令限期整改并纳入信用记录。

第三步，建立科学的运维管理标准。开发管网健康度评估模型，从结构完整性（裂缝、变形）、功能有效性（过流能力、淤积率）、环境风险（渗漏、异味）三个维度进行量化评分。得分低于 60 分的管段启动优先改造，80 分以上管段实施预防性维护。同步配备管道巡检机器人、声呐探测仪等设备，实现病害精准定位。

最后，整合管网空间坐标、管径材质、建设年限等基础数据，关联实时降雨、泵站运行、积水点监控等信息。运维人员在电子地图上可直接查看任意管段的负荷状态，暴雨期间系统自动生成内涝风险预警图。每年更新一次管网数据库，为改造计划提供数据支撑。同时，在设计阶段由规划部门审查海绵指标，施工阶段住建部门监督标准执行，运维阶段市政部门负责系统维护。

### 5 结语

海绵城市理念指导下的管网优化设计，本质上是对城市水文过程的系统性重构。通过灰色设施与绿色基础设施的有机融合，形成弹性适应气候变化的新型排水模式。未来研究中，应重点关注管网智能调控算法开发、新型环保材料的工程适配等方向，持续提升城市排水系统的生态服务价值。

### 参考文献

- [1] 刘连英. 提高市政给排水设计合理性的有效策略研究 [J]. 城镇建设, 2024(23): 292-294.
- [2] 王梦迪. 基于海绵城市的雨水调蓄池优化设计研究 [D]. 安徽: 合肥工业大学, 2021.
- [3] 孔令寅. 基于大数据分析的海绵城市建设实践研究 [J]. 建筑设计与研究, 2024, 5(8).
- [4] 刘连英. 提高市政给排水设计合理性的有效策略研究 [J]. 城镇建设, 2024(23): 292-294.
- [5] 王超逸. “海绵城市”在市政道路设计中的应用探讨 [J]. 交通节能与环保, 2020, 16(03): 66-68.