

# 市政工程中路基路面排水措施设计与探究

## ——基于多场景优化实践的系统性重构

吴 静

山西交科公路勘察设计院有限公司 山西太原 030032

**摘要：**市政工程中的路基路面排水系统是维系城市运转的“隐形脉络”，其效能直接关联交通保障、生态平衡与民生福祉。在城市化与气候变化双重背景下，传统排水系统暴露出适应性缺失、韧性不足等结构性缺陷。本文以“问题诊断—技术革新—数据验证—系统重构”为脉络，系统探讨多场景适配、智能化升级、材料革新与全生命周期优化等核心路径。通过五大典型案例的量化数据对比（含传统方案参照）与图表分析，揭示现代技术对工程效能的提升机制及长期运行表现。研究表明，系统性重构能显著提升排水效能、降低运维成本并创造生态经济价值，为市政工程排水系统高质量发展提供科学依据与多维解决方案。

**关键词：**市政工程；路基路面排水；海绵城市；智慧排水；全生命周期优化；韧性城市

### 引言

城市的道路网络如同人体的血液循环系统，排水设施则扮演着“毛细血管”的角色，负责将“水分”及时排出，维持系统健康运转。当排水系统失效，道路便会如“血栓堵塞”般瘫痪，不仅引发交通中断、路基破坏，更可能造成次生灾害。数据显示，我国每年因城市内涝造成的直接经济损失超千亿元，道路维修费用占市政工程总预算的20%–30%。这一严峻形势的背后，是城市化进程加速导致的不透水面积急剧扩张，以及气候变化引发的极端降雨事件频发、强度增大，二者叠加使得传统排水系统的承载能力面临前所未有的挑战。厘清排水系统的核心价值，破解传统模式“一刀切、重力流、高能耗”的深层困境，探索适配现代城市发展的优化路径，成为市政工程领域必须回应的重要课题，也为跨学科技术融合与体系重构提供了实践契机。

系统性重构指围绕排水效能、韧性、可持续性目标，对设计理念、技术体系、材料应用、管理模式及协同机制进行多维度、全周期优化的过程；场景适配化设计指依据地理环境、气候特征、功能需求等差异化条件，制定针对性排水方案；智能赋能型升级指应用物联网、AI、数字孪生等技术，构建数据驱动的预测预警与主动调控体系，提升系统响应速度与决策精度。

### 1 传统排水系统的现实瓶颈

传统排水系统的失效机制源于设计理念、技术手段与管理模式的滞后，其结构性缺陷主要体现在以下四个方面：

#### 1.1 设计理念滞后，适配能力不足

“一刀切”标准忽视区域差异，根源在于早期规范追求标准化低成本，牺牲了环境适应性。例如，山区公路因缺乏抗冻融设计，40%路段常年冻胀开裂，年均维修成本超200万元；农村公路边沟设计未结合实际，排水失效率高达30%。这种“重统一标准、轻实际需求”的思维，使排水系统功能存在短板，无法精准适配。

#### 1.2 技术体系薄弱，韧性水平偏低

一些排水系统过度依赖单一重力流模式，技术落后，在极端天气下易失效。某城市主干道因管道设计不足，年均积水12次，超30cm积水区占35%，累计交通瘫痪500小时。传统混凝土管寿命仅10年，接口渗漏率15%；缺乏智能监测，运维陷入“被动抢修”，年清淤费高达8万元/次。传统设计缺乏冗余与应急机制。

#### 1.3 协同机制缺失，系统整合不足

排水系统设计与城市整体规划脱节，未能与交通、气象、生态等领域有效协同。“各自为战”的模式使其难以形成整体效能。例如，立交桥区排水未与交通信号联动，暴雨预警滞后，加剧拥堵；管网与其他基础设施缺乏统筹，导致后期

改造难、成本高，形成”拉链马路”。

#### 1.4 可持续性不足，发展理念落后

当前排水系统以高能耗”灰色设施”为主导，雨水资源化利用率不足 10%，与”双碳”目标差距显著。某地区污水处理厂因雨污混流超负荷运行，效率低下且碳排放增加 15%。“重排放、轻利用”“重建设、轻生态”的理念，造成水资源浪费与生态环境压力。

## 2 现代排水设计的创新路径与系统重构

针对上述瓶颈，现代排水设计需从四个维度进行系统性重构，实现从”被动应对”到”主动调控”的根本性转变。

### 2.1 场景适配化设计：立足实际的精准施策

场景适配是现代排水设计的核心原则，其核心在于摒弃”统一标准”的固化思维，根据不同区域的地理环境、气候特征、经济条件等实际情况，制定差异化的设计方案，实现”因地制宜、按需设计”。量化标准示例：如寒冷地区需满足冻融循环 $\geq 50$  次；滨海区需耐盐雾腐蚀等级 $\geq 5$  级；交通干道透水砖抗压强度 $\geq C40$ 。在城市建成区，尤其是低洼易涝区域，应深度融入海绵城市理念，构建”渗 – 滞 – 蓄 – 净 – 用”的综合排水系统。在寒冷山区公路建设中，抗冻融是排水设计的核心诉求。在农村地区，排水设计应兼顾生态性与经济性，充分利用乡村本土资源，构建”低成本、高参与、可持续”的排水方案。

### 2.2 智能赋能型升级：数据驱动的主动防控

智能化升级是现代排水系统从”被动应对”向”主动防控”转变的关键支撑。在具体实践中，应通过物联网、人工智能、数字孪生等新技术的融合应用，构建数据驱动的智慧排水体系，提升系统的预测、预警与调控能力。在立交桥区、城市主干道等关键区域，部署水位传感器、流量监测仪等物联网设备（数据采集频率 $\geq 1$  次 / 分钟，精度  $\pm 1\text{cm}$ ），结合 AI 预警模型（训练数据集 $\geq 10$  年历史降雨与积水记录），可实现积水风险的动态预测与精准防控。数字孪生技术的应用则为排水设计提供了全新的优化工具，基于 BIM 模型构建排水系统的数字孪生体，可模拟不同降雨强度、地形条件下的排水效能，在设计阶段即可对关键参数进行优化调整，预测长期运行可靠性。风险应对：需部署工业级防火墙、加密传输及定期渗透测试保障网络安全。

### 2.3 材料技术革新：效能与生态的双重突破

材料是排水工程的基础载体，材料技术的革新直接关

系到排水系统的耐久性、效能与生态性。现代排水设计应优先选用高性能、长寿命、生态友好的新型材料，突破传统材料的性能瓶颈，实现工程效能与生态效益的统一。选型标准示例：纳米改性 HDPE 管适用于 pH 5–9 土壤环境，环刚度  $\geq SN8$ ；生物基透水砖推荐用于车流量  $\leq 3000$  辆 / 日路段，预期寿命  $\geq 8$  年（受冻融、荷载、污染物累积影响）。在管道材料选择方面，纳米改性 HDPE 管逐步替代传统混凝土管，成为隧道排水、城市管网等场景的优选。在构件生产与施工方面，3D 打印技术的应用实现了非标节点的精准制造。生态友好型材料的研发与应用则推动排水系统向”绿色化”转型，如生物基透水砖与植物纤维渗滤层，实现了工程建设与生态保护的和谐共生。

### 2.4 全生命周期优化：成本与效益的长期平衡

传统排水工程往往存在”重建设、轻运维”的误区，导致初期投资与长期运维成本失衡。现代排水设计应树立全生命周期理念，将设计、建设、运维、更新改造等各环节纳入统一考量，通过协同优化实现成本与效益的动态平衡。在建设与运维协同方面，模块化预制构件的应用大幅提升了施工效率与质量。在资源循环利用方面，构建”排水 – 处理 – 回用”的闭环体系，打破了”排水即浪费”的传统范式。全生命周期成本（LCC）分析模型的应用为设计优化提供了科学工具，能够实现短期投资与长期效益的平衡。风险应对：需预留应急资金（占 LCC 5%–10%）应对极端事件或技术迭代。

上述四大路径并非孤立存在，而是相互支撑、协同增效的有机整体。场景适配化为智能系统提供了精准的输入参数与边界条件，而智能化升级又为全生命周期优化提供了实时数据支持。新材料的性能数据是 LCC 模型准确性的基础，而全生命周期的视野又反过来指导了材料选型和场景设计的长期价值判断。这种系统性的整合要求在项目管理上打破专业壁垒，建立涵盖规划、设计、施工、运维的一体化协同平台，确保技术创新能够在管理层面得到有效承接与落地，最终实现排水系统从”工程产品”到”城市服务”的根本性转变。

## 3 典型案例

为验证上述创新路径的实际效能，选取五大案例，包含传统方案对比及长期跟踪数据（ $\geq 3$  年），揭示技术革新对工程效能的提升机制。

表 1 数据采集方法与标准表

数据类型	采集方法	设备 / 工具	校准 / 精度标准
积水深度 / 时长	自动化监测	水位传感器	精度 $\pm 1\text{cm}$ , 采集频率 $\geq 1\text{ 次 / 分钟}$
管道流量	自动化监测	流量监测仪	符合国家计量鉴定规程
设施完好率	人工巡检 + 自动化监测	SCADA 系统、巡检终端	符合国家规定定期校核
雨水利用率	自动化监测 + 水量平衡计算	智能水表、雨量计	按水文监测规范执行

表 2 五大典型案例关键效能指标对比

案例场景	对比方案	年均积水次数	最大积水深度	运维成本 (万元/年)	设施寿命(年)	雨水利用率 (%)
城市主干道	传统重力流	12	35	8.0	10	5
	智能升级 + 新材料	2	8	3.5	25	18
立交桥区	无联动预警	8	40	6.2	12	0
	AI 预警 + 数字孪生	1	10	2.8	20	12
寒冷山区公路	传统混凝土管	6	25	5.5	8	0
	纳米改性 HDPE 管	1	5	2.0	30	8
农村生态道路	标准边沟	10	30	3.0	15	15
	生物基透水砖	3	12	1.2	20	45
滨海开发区	重排放设计	9	45	7.8	10	3
	海绵城市闭环	2	15	3.0	25	60

#### 4. 结语与未来展望

市政排水系统优化是关乎城市韧性、生态与民生的系统性工程，需从传统结构性缺陷向现代体系重构，实现技术、理念与价值的全方位变革。未来需实现范式转变：从“工程思维”到“系统思维”，推动与城市规划、数字基建深度融合，如纳入 CIM 平台；从“防灾工具”到“资源载体”，探索多功能设施创造生态价值；从“技术堆砌”到“人文关怀”，嵌入“人的尺度”，提升民生安全感。风险防控是保障：需建立新技术风险评估体系（涵盖网络安全、材料耐久性、超标准降雨应对）并制定预案。政策协同是关键，需修订规范、建立跨部门平台。唯有坚持系统协同、生态优先、风险可控等核心原则，方能构建经得起检验的排水系统，让城市从容呼吸，道路稳健前行。这既是工程师的专业担当，亦是对人

类家园的责任承诺。

#### 参考文献：

- [1] 马建龙. 交通土建工程路基路面的施工技术 [J]. 汽车周刊, 2025(04):91–92.
- [2] 南小斌. 公路路基路面排水设计研究 [J]. 汽车周刊, 2025(11):231–233.
- [3] 宋贵亮. 市政道路桥梁工程中沉降段路基路面技术分析 [J]. 中国住宅设施, 2022(05):136–138.
- [4] 朱天耀. 市政道路桥梁过渡段的路基路面施工技术探讨 [J]. 产品可靠性报告, 2025(08):183–184.
- [5] 李玉侠. 市政道路桥梁工程中沉降段路基路面施工技术 [J]. 居业, 2025(07):97–99.