

## 4.2 智能开关与故障自愈控制

智能开关设备的应用是实现配电网自动化重构与自愈功能的关键基础。该类设备具备高速通信与远程控制能力，能够在系统发生故障时自动检测、定位并隔离故障点，实现毫秒级响应。本文基于配电管理系统（DMS）平台，构建了自愈控制逻辑模型，包括实时故障检测模块、最优隔离路径选择模块及供电恢复路径重构模块。系统通过实时监测馈线电流与电压特征识别故障区域，依据负荷重要度与开关位置快速生成最优重构方案，实现关键用户的优先恢复。仿真研究表明，该自愈控制机制可将平均故障恢复时间缩短至传统人工操作方式的三分之一，关键负荷的供电可靠性显著提升。该方案有效减少了运维工作量，提高了系统响应速度与自治能力，是推动配电网由“自动化”向“智能化”转变的重要路径。

## 4.3 可靠性评估与实时监测技术

科学的可靠性评估体系是配电网优化运行与重构决策的重要依据。本文建立了基于蒙特卡洛模拟的实时可靠性评估模型，通过随机采样仿真分析节点故障概率与负荷影响程度，量化不同运行状态下系统供电可靠性指标（SAIDI、SAIFI、CAIDI）。结合在线监测系统采集的运行数据与历史故障记录，模型可实现指标的动态更新与趋势预测。系统平台集成的可视化模块可实时展示馈线运行状态、节点健康度与潜在风险分布，为调度人员提供直观决策支持。该体系支持多层级管理与数据共享，既能用于日常运行状态分析，也能在突发事件中提供快速风险评估与辅助决策。研究结果显示，该方法能有效反映系统运行健康状况与弱点分布，为配电网重构优化提供量化依据，为后续供电可靠性提升和智能调控奠定了坚实的技术基础。

## 5 实验验证与应用分析

### 5.1 测试系统与参数设定

为验证本文提出的配电网重构优化方法的有效性与实用性，选取 IEEE 33 节点标准配电系统作为测试对象，模拟多种典型工况下的动态运行环境。实验模型涵盖多种负荷波动与突发故障场景，设置有分布式电源（DG）接入比例、负载功率分布及线路阻抗等关键参数。DG 出力范围设定为额定功率的 60% ~ 100%，并在不同节点进行灵敏度分析，以评估分布式电源对系统潮流及电压稳定性的影响。线路阻抗参数依据实际配电系统经验数据设置，设备可靠性系数则参考运行维护标准。为验证方法的优越性，实验对比传统静态重构算法与改进遗传算法（IGA）优化结果，从网损、节点电压、故障恢复时间及供电可靠性指标等维度进行综合评估。实验环境采用 MATLAB/DIGSILENT 联合仿真平台，确保计算精度与算法的工程可行性，为后续分析提供真实、可

量化的数据支撑。

### 5.2 实验结果分析

仿真结果表明，本文提出的重构优化策略在多目标协调下取得显著成效。系统总有功网损由原始状态的 202.7 kW 降至 163.0 kW，降幅达 19.6%；节点电压偏差平均降低 27%，电压分布趋于平衡，极端节点电压均控制在 0.95 ~ 1.05 pu 范围内。系统在故障恢复测试中表现优异，平均恢复时间缩短 38%，供电连续性显著提升。可靠性指标方面，SAIFI 和 SAIDI 分别下降 21% 与 18%，说明系统在面对单点故障与区域断电时具备更强的自愈能力与冗余性。针对 DG 出力随机波动条件，改进遗传算法表现出良好的鲁棒性与收敛特性，其在 10 代迭代内即可稳定收敛至最优解，且在负荷变化  $\pm 20%$  的情况下仍能保持网损与电压偏差的最优平衡。实验结果充分验证了该算法的动态适应能力与工程应用潜力。

### 5.3 工程应用与推广前景

本文提出的重构优化方法已在部分城市配电网自动化系统中完成工程化验证。通过与现有 SCADA 系统对接，开发了基于云平台的配电重构管理模块，实现实时数据采集、智能优化计算与远程可视化调度。系统可自动识别异常工况并生成最优重构方案，运维人员仅需通过控制终端确认操作即可完成网络调整，显著减少人工干预与调度误差。实际应用结果显示，系统的运行效率提升约 25%，人工操作频率下降 40%，设备故障率明显降低。随着电网数字化与分布式能源渗透率的持续提高，该优化模型具备广泛的推广价值。

## 6 结语

配电网重构与供电可靠性提升是电力系统自动化的重要研究方向。本文从系统建模、算法优化与工程应用三个层面，构建了基于自动化技术的配电网重构优化框架。研究结果表明，通过引入改进遗传算法与多目标协同优化策略，可实现网损最小化、负载均衡与可靠性提升的综合目标。系统在故障恢复与实时重构方面表现出优越的自适应能力，为智能电网的运行管理提供了技术支撑。

### 参考文献

- [1] 李艳,许方杰.基于配电网自动化技术的电力系统运行优化策略[J].光源与照明,2024,(02):234-236.
- [2] 朱俊澎.主动配电网重构与孤岛划分研究[D].东南大学,2018.
- [3] 文娟.考虑时间尺度和拓扑特征的配电网动态重构[D].湖南大学,2018.
- [4] 秦艳辉.含分布式发电的配电网重构优化研究[D].西南交通大学,2012.
- [5] 王雪薇.基于短期负荷预测的含分布式电源的配电网重构研究[D].南昌航空大学,2018.

# Key points and benefits of rainwater and sewage diversion renovation technology in urban water supply and drainage engineering

Kangkang Li<sup>1</sup> Yujuan Zhang<sup>1\*</sup> Yufang Wang<sup>2</sup>

1. Dongying Garden Investment Development Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257091, China

2. Shandong Dashun Construction Group Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257000, China

## Abstract

With the continuous expansion of urban built-up areas and rapid population agglomeration, the adaptability shortcomings of traditional combined sewer water supply and drainage systems are becoming increasingly prominent. The mixed discharge of rainwater and sewage not only directly exacerbates the pollution of urban inland rivers and surrounding water bodies, leading to frequent occurrence of black and odorous water bodies, but also causes local waterlogging due to pipeline overload during rainfall periods, significantly increasing the operational load and treatment difficulty of sewage treatment plants. This article focuses on the rainwater and sewage diversion transformation of urban water supply and drainage engineering, systematically sorting out the core technical points such as pipeline layout optimization, selection of corrosion-resistant pipes, and matching of regulating and storage facilities. From four dimensions of improving water environment quality, enhancing drainage and flood prevention capabilities, controlling long-term operation and maintenance costs, and improving the efficiency of recycled water utilization, the comprehensive benefits of the transformation are analyzed in depth, providing targeted technical references for the planning, design, and implementation of rainwater and sewage diversion transformation in towns of different scales.

## Keywords

Urban water supply and drainage engineering; Rainwater and sewage diversion renovation technology; Benefit research

# 城镇给排水工程中雨污分流改造技术要点及效益研究

李康康<sup>1</sup> 张玉娟<sup>1\*</sup> 王玉芳<sup>2</sup>

1. 东营园林投资发展有限公司, 中国·山东 东营 257091

2. 山东大舜建设集团有限公司, 中国·山东 东营 257000

## 摘要

随着城镇建成区持续扩张与人口快速集聚,传统合流制给排水系统的适配性短板日益凸显。雨污水混合排放不仅直接加剧城镇内河与周边水体污染,导致黑臭水体频发,还会因降雨期管网过载引发局部内涝,同时大幅增加污水处理厂的运行负荷与处理难度。本文聚焦城镇给排水工程雨污分流改造,系统梳理管网布局优化、耐腐管材选型、调蓄设施配套等核心技术要点,从水环境质量改善、排水防涝能力提升、长期运维成本控制及再生水回收利用效率提升四个维度,深入分析改造的综合效益,为不同规模城镇的雨污分流改造规划设计与工程实施提供针对性技术参考。

## 关键词

城镇给排水工程; 雨污分流改造技术; 效益研究

## 1 引言

城镇给排水系统是支撑城镇运行的核心基础设施,其运行效能直接关系生态环境质量与居民生活品质。传统合流制系统难以适配现代城镇发展需求,雨污水混流导致的水体

污染、内涝频发等问题,已成为城镇生态治理的重点难点。开展雨污分流改造技术与效益研究,有助于破解传统系统的运行瓶颈,优化城镇水资源配置,提升排水防涝能力,推动城镇生态环境改善与可持续发展,为城镇基础设施升级提供科学依据。

## 2 城镇给排水工程中雨污分流改造技术要点

### 2.1 源头截流管控升级

源头截流管控升级作为城镇雨污分流改造的核心前置步骤,其直接影响着整个系统的污染物削减效果。在工程实施过程中,应优先对居民区域的入户接管设计给予优化,全

【作者简介】李康康(1986—),男,中国山东东营人,本科,工程师,从事给水排水施工研究。

【通讯作者】张玉娟(1983—),女,中国山东淄博人,本科,工程师,从事给水排水施工研究。

面梳理有排水管线的接入路径,对私接乱排的支管实施规范化改造,以此保证生活污水可全部归入市政污水收集网络。鉴于城镇初期雨水带有高浓度污染物这一特性,需在雨水排放口前端设置截流装置,依靠合理调节截流倍数,将污染负荷较高的初期雨水引入污水处理系统,防止其直接流入自然水体。要加大对城镇零散污染源的管控力度,对沿街商铺、城中村等区域的分散污水排放点进行集中治理,配套建设小型截污设施,消除污水直排雨水系统的隐患<sup>[1]</sup>。

## 2.2 适配型管材遴选应用

适配型管材的遴选与应用是保证城镇雨污分流管网可长期稳定运行的一项关键技术要点。工程技术人员要依据城镇不同区域的地质状况、输送介质以及施工方式,精确地匹配管材的类型以及性能参数。在软土地层或者沉降幅度较大的区域,应当优先选用环刚度等级不低于 SN12.5 的 HDPE 双壁波纹管,这种管材有优良的柔性,可适应地层的变形,防止管材出现开裂破损的情况。对于污水输送管网而言,需要挑选有抗酸碱腐蚀性能的管材,比如球墨铸铁管或者改性聚丙烯管,管材的内壁要经过防腐处理,可耐受 pH 值 4 - 10 的腐蚀性污水长时间的冲刷。在采用非开挖顶管施工的路段,应该选用抗压强度不低于 C30 的钢筋混凝土管或者玻璃钢夹砂管,管材要契合顶进过程中的轴向压力要求,避免出现结构性破坏的问题。管材连接环节要严格依照技术规范,采用热熔连接或者承插式密封连接方式,密封胶圈的压缩率要控制在 30% 至 40% 之间,以此保证接口不会出现渗漏现象。所选用的管材要符合国家相关标准,其设计使用寿命不低于 50 年,从材料方面保障雨污分流系统运行的可靠性。

## 2.3 管网布局路径优化

城镇雨污分流改造中,管网布局路径优化属于核心技术环节,其对系统排水效率以及长期运行稳定性有着直接影响。工程技术人员开展工作时,要结合城镇的地形地貌以及自然排水走向来规划管线路径,优先借助原有排水通道的走向优势,以此减少土方开挖量以及施工成本。雨水管网规划要遵循高水高排、低水低排的原则,设置合理的纵向坡度,管径 300mm 的雨水管最小设计坡度应控制在 0.003 以上,以便保证雨水可快速排放,避免出现内涝情况。污水管网要保证有足够的自清流速,管径 300mm 的污水管最小坡度不能低于 0.002,防止管道出现淤积现象<sup>[2]</sup>。

路径规划要避开地质条件复杂的区域,像是岩溶发育区或者软土地层集中区,降低管道沉降以及破损风险。同时,还要与城镇道路规划相互协调,沿着道路两侧绿化带或者非机动车道下方敷设管道,减少对交通以及居民生活产生的影响。管网节点设计要优化交汇方式,防止多条管道直接交汇形成涡流,降低淤积概率。直线段检查井间距不宜超过 50 米,在转弯处与坡度变化处需加密设置检查井,方便后期运维以及清掏作业。

## 2.4 节点设施功能强化

节点设施功能强化在城镇雨污分流改造里是极为关键的支撑部分,直接对管网系统的运行效率以及污染物控制能力产生决定作用。工程技术人员要针对不同类型的节点设施开展精准化改造工作,以此提升其功能性与可靠性。

对于检查井的结构设计给予优化,当井壁采用钢筋混凝土浇筑时,其厚度不能低于 150 毫米,井盖要选用承载等级不低于 D400 的重型井盖,适配城镇道路的通行荷载需求。在井内设置防坠落网,网体的承重能力不低于 100 千克,以此保障运维人员作业时的安全。井座与管道接口的地方采用柔性密封处理,防止雨污水渗漏污染地下水体。

对截流井的调控功能进行升级,设置可调节式截流堰板,依据降雨强度动态调整截流倍数,在常规状态下截流倍数控制在 1.5 至 2.0 之间,在初期雨水污染负荷较高的时段可提升至 3.0。在截流井内设置导流板,引导水流平稳依靠,减少涡流与淤积现象,配套安装液位监测装置,实时监控井内水位的变化情况,为运维调控提供数据方面的支撑。强化溢流井的应急排放能力,合理设计堰顶高度,保证雨水管网满负荷运行的时候,超标雨水可依靠溢流井安全排放到自然水体中。在溢流口处设置格栅装置,栅条间距控制在 10 至 15 毫米之间,拦截较大的漂浮物,防止其进入水体造成污染<sup>[3]</sup>。

## 2.5 智能运维体系构建

智能运维体系的构建属于城镇雨污分流改造里关键的技术拓展,可达成管网系统的精细管理以及高效运作。工程技术人员要在管网关键节点布置多种类型的监测传感器,实时收集液位、流量、水质等核心参数。液位传感器运用静压式测量原理,测量精度被控制在正负 2 毫米以内,可精确捕捉管道内水位的变化情况。流量传感器选用电磁式或者超声式类型,测量精度达到 0.5 级,可稳定监测雨污水的输送流量。水质传感器着重监测化学需氧量、氨氮等指标,数据更新频率不低于每 5 分钟一次,以此为水质管控提供相应依据。

传感器采集到的数据借助 NB-IoT 或者 LoRa 低功耗通信网络传输至边缘计算节点,边缘节点可实现数据的初步处理以及存储,数据传输延迟控制在 100 毫秒以内,契合实时监测的需求。边缘节点把预处理后的数据上传至云端运维平台,平台构建大数据分析模型,可预测管网淤积概率以及设备故障风险,预测准确率不低于 85%。

运维平台设置了多级预警机制,当监测参数超过预设阈值时,系统会自动触发声光预警,并且推送至运维人员的移动端设备,预警响应时间不超过 30 秒。运维人员可凭借平台远程调控泵站扬程以及截流堰板开度,优化管网的运行状态。平台还集成了管道机器人巡检功能,机器人搭载 4K 高清摄像头以及清淤装置,可在管径不小于 300 毫米的管道内自主开展作业,完成管道内壁检测以及淤积清理任务。借助构建全流程智能运维体系,可大幅度降低人工运维