

# 市政雨水管网非开挖修复施工技术应用研究

翟世佳

130133199311300012

**摘要：**国内建成超过 15 年的市政雨水管网普遍出现管壁腐蚀、接口错位、局部塌陷、树根入侵等结构性缺陷，传统明挖开挖修复存在破路扰民、交通阻断、渣土污染、工期冗长等短板，无法适配建成区高密度路网施工需求。本文结合长三角老城雨水管网改造实测工程，梳理当前雨水管网专用非开挖修复技术分类、施工工艺流程，对比紫外光固化、点状局部修复、螺旋缠绕、爆管置换四类主流工艺的工况适配边界，剖析现场施工中地下水渗流、管底淤积、管道椭圆变形三大共性难题，提出针对性质量管控方案。经工程实测验证，合规非开挖修复可减少路面破除量 92% 以上，单公里工期压缩至传统工艺 35%，全生命周期运维成本降低 27%。研究结论可为城市老旧雨水管网低成本、低扰动更新提供实操参考。

**关键词：**雨水管网；非开挖修复；UV-CIPP；结构性缺陷；施工质量管控

## 1 市政雨水管网典型病害及成因分析

### 1.1 结构性病害

结构性病害直接威胁管道承载能力，是雨水管网修复的主要对象。一是接口错位，城市道路反复沉降、地下轨道交通振动扰动，导致相邻管节径向偏移超过管径 5%，雨水携带泥沙从错位缝隙渗入管周土体，形成土体掏空，进一步加剧管道沉降；二是管壁贯穿裂缝，混凝土雨水管道长期受干湿交替、路面动荷载循环作用，管壁出现网状裂缝，酸性雨水与土壤二氧化碳反应碳化，加速钢筋锈蚀膨胀，最终形成贯穿渗漏；三是局部塌陷，多出现于绿化带、人行道下方浅埋管道，上部覆土流失后管道单侧受力失衡，发生局部垮塌。

### 1.2 功能性病害

功能性病害不破坏管道主体结构，但会大幅降低过流能力。雨水管网区别于污水管网，汛期短时径流含沙量可达 120mg/L，常年泥沙淤积导致有效过水断面缩小 20%-40%；同时行道树根系沿检查井缝隙侵入管道内部，挤占过水空间，且根系缠绕会逐步撕裂管壁接口。此外，早期塑料雨水管道存在内壁结垢、微生物附着问题，增大水流沿程阻力，加剧片区内涝风险。

### 1.3 病害检测前置要求

非开挖修复严禁盲目施工，施工前必须采用 CCTV 闭路电视检测+声呐检测组合手段。针对无水、低淤积管道使用 CCTV 采集内壁缺陷影像，判断裂缝宽度、错位数值；针对雨季满管积水管道采用声呐扫描绘制断面轮廓，识别水下隐蔽错位。结合《城镇排水管道非开挖修复工程技术规程》CJJ/T210-2014，将病害划分为轻微、中度、重度三级，对应匹配局部修复、整体内衬、原位置换三类方案，避免过度修复造成成本浪费。

## 2 雨水管网主流非开挖修复技术原理与施工要点

结合雨水管道重力流、泥沙冲刷强、无内压的水力特征，剔除适配压力污水管道的翻转 CIPP 工艺（树脂固化收缩率大，易被雨水冲刷剥离），筛选四类雨水管网高适配工艺，细化施工管控要点。

### 2.1 点状局部修复（局部内衬法）

适用于单处裂缝、局部接口渗漏、树根穿孔等单点中度病害，修复长度不超过单段管道 10%，主流采用不锈钢双胀圈+树脂玻纤补丁复合修复。施工流程依次为：管道高压水射

流清淤（水压控制 180MPa，避免冲刷管壁原有混凝土）→缺陷区域人工打磨除锈干燥→玻纤树脂补丁贴合缺陷内壁→外部不锈钢胀圈径向压紧密封→自然常温固化 2h。该工艺单点位施工时长仅 4 小时，无需占用道路，成本仅为整体修复 1/6。需要注意的是，雨水管道水流速度最快可达 1.2m/s，补丁树脂固化度需 $\geq 92\%$ ，否则汛期高速径流会直接剥离补丁。长三角某城区 DN600 雨水管道接口渗漏修复实践表明，复合局部修复 5 年内零渗漏，优于单一不锈钢胀圈修复。

## 2.2 紫外光固化整体修复（UV-CIPP）

当前雨水主干管长距离结构性病害最优修复工艺，适配 DN300-DN1800 混凝土、HDPE 雨水管道，允许管道最大椭圆变形率 15%。技术原理为将浸渍不饱和聚酯树脂的玻纤软管，通过检查井牵引置入旧管道内部，压缩空气充气使软管紧密贴合原管壁，采用紫外光灯组匀速行进照射，树脂低温固化形成独立高强度内衬管，修复后形成“原管+内衬”复合结构，环刚度可达  $14\text{kN/m}^2$ ，满足道路动荷载承压要求。

雨水管道专项施工优化要点：区别于污水管道，雨水管内部泥沙残留多，清淤后必须采用负压吸尘设备清除管壁浮尘，防止内衬与原管界面脱空；固化行进速度严格控制在 0.8-1.0m/min，速度过快会出现内层树脂假固化，后期雨水冲刷分层；针对管底常年积水段，提前设置临时导水软管，保证固化作业时管壁含水率低于 8%。该工艺施工无需开挖，单昼夜可连续修复 120m 管道，修复后管道内壁粗糙度从 0.014 降至 0.009，过水能力提升 12%，有效缓解内涝。

## 2.3 机械螺旋缠绕修复

适配高地下水、高含水率地质雨水管道，这类场地无法满足 UV-CIPP 管壁干燥要求。工艺通过井下螺旋缠绕设备，将 PVC-U 带状型材现场咬合拼接，在旧管道内部形成环形内衬管，型材与原管壁间隙采用水泥基灌浆填充。优势是全程干湿作业均可施工，不受雨季天气影响，内衬抗泥沙磨损性能突出，适合沿河低洼地段雨水管网。短板是内衬断面缩径率约 8%，仅适用于原管道过水余量充足的路段，无法用于内涝高发缩径敏感路段。

## 2.4 原位爆管置换修复

针对管道重度塌陷、椭圆变形率超 20%、整体结构失效的病害管道，无法通过内衬补强恢复承载力。利用液压爆管刀头破碎原有废旧管道，破碎骨料挤压进入周边土体，同步牵引全新 HDPE 双壁波纹管就位，实现原位等径或扩径 10%置换。该工艺扰动范围仅 0.5m，远小于开槽开挖，适合交通主干道下方彻底报废雨水管道。管控重点是提前探测周边自来水管、通信光缆，防止爆管振动引发次生管线破损。

# 3 现场施工共性问题及解决对策

## 3.1 地下水渗流导致内衬固化失效

城市浅层地下水位普遍位于雨水管管顶以上 0.3-1.2m，施工期间地下水从管壁缝隙持续内渗，稀释未固化树脂，造成内衬局部空鼓。传统井点降水占地面积大、影响周边绿化，实操中采用管内封堵+注浆止水组合方案：在修复段上下游检查井设置充气气囊封堵，管内抽排积水后，从管壁外侧采用超细水泥注浆封堵渗水通道，注浆压力控制 0.35MPa，既不扰动路基，又能将管壁渗水率控制在 0.2L/min 以内。

## 3.2 管道椭圆变形造成内衬贴合不良

道路荷载挤压导致雨水管道竖向变形，UV 软管充气后顶部贴合、底部悬空，后期积水冲刷引发底部开裂。对策为施工前采用机械式管道整形器，通过径向液压顶推将变形管道复位至变形率 10%以内，整形后静置 24 小时观测土体回弹，确认稳定后再开展内衬施工。

经实测，整形后内衬贴合度从 67%提升至 98%。

3.3 汛期施工工期冲突风险

雨水管网施工窗口期集中在枯水期，汛期短时暴雨会淹没作业检查井。制定错峰施工预案：单段修复长度缩短至 50m 以内，缩短单次作业时长；所有内衬材料选用快速固化树脂，固化时长压缩至 45 分钟；施工现场配备移动应急抽水泵，暴雨来临前 15 分钟完成气囊封堵、设备撤离，杜绝井下人员汛期滞留。

4 工程效益对比分析

选取某市城西片区 DN800 混凝土雨水主干管改造项目，管道总长 920m，建成 22 年，存在接口错位、管壁裂缝、局部淤积病害，周边为城市主干道、商圈，交通流量日均 4.2 万辆，分别采用非开挖 UV-CIPP 与传统开槽开挖工艺对比，数据如表 1 所示。

表 1 非开挖 UV-CIPP 与传统开槽开挖工艺对比

| 评价指标           | 传统开槽开挖工艺 | UV-CIPP 非开挖工艺   |
|----------------|----------|-----------------|
| 路面破除面积         | 2760 m²  | 0 m²            |
| 总施工工期          | 68 天     | 22 天            |
| 交通封闭时长         | 56 天     | 0 天（仅占用检查井边角区域） |
| 全生命周期 50 年运维成本 | 2124 元/m | 1550 元/m        |
| 建筑垃圾排放量        | 1890m³   | 42m³（仅清淤渣土）     |

从综合效益来看，非开挖工艺在交通保障、生态环保、长期运维层面优势显著，虽然单次施工造价高出开挖工艺 11%，但结合道路恢复、交通疏导、扬尘治理附加成本，综合造价持平，且后期无需频繁路面返修，长期经济性更优。同时非开挖施工噪音、扬尘排放符合城区二类管控标准，对商圈居民、商户干扰极低。

5 结论

市政雨水管网区别于污水管网，具备短时高流速、高泥沙含量、无内压的水力特征，非开挖修复不能直接套用污水管道成熟工艺。针对单点渗漏、长距离结构性劣化、高地下水、管道彻底失效四类病害，应依次匹配点状复合修复、UV-CIPP 整体固化、螺旋缠绕、原位爆管置换工艺。施工中重点管控地下水止水、变形管道复位、管壁含水率三大核心指标，规避内衬空鼓、剥离、假固化质量缺陷。相较于传统开挖工艺，合规非开挖修复适配高密度建成区施工场景，可大幅降低交通、生态扰动，缩减工期并减少长期运维投入。后续需结合雨水径流冲刷机理，持续优化耐磨型内衬材料与数字化检测选型体系，推动城市雨水管网更新向低碳、微创、智能化转型。

参考文献

[1]程诺, 燕燕.BIM 技术在市政道路雨水管网建设工程中的应用研究[J]. 工程质量. 2026, 44(02):110-114.