市政排水管网淤积快速疏通技术应用

周　舟

天津市津南区水务事务中心　天津　300350

摘　要：排水管网淤积堵塞是引发城市内涝与污水外溢的主要诱因。传统人工清掏与绞车疏通方法作业效率低、安全风险高，难以匹配现代城市高频次养护需求。本文分析了排水管道淤积物的主要类型及其对管网运行的影响，系统阐述了高压射水、机械铣削、气脉冲冲洗及化学溶解等快速疏通技术的工作原理与适用边界，结合工程实践对比了各类技术的作业效能。研究表明，针对不同淤积工况建立差异化技术选型方案，配合气体检测、CCTV 影像评估及规范化作业流程，可显著提升疏通效率与作业安全性，为排水管网快速抢险与日常养护提供技术支撑。

关键词：排水管网；淤积堵塞；高压射水；管道清淤；快速疏通

引言：我国城市排水管道总里程已突破 80 万公里并持续增长，淤积堵塞问题日益严峻。多数大中型城市管道年均淤积深度达管径的 20%~35%，部分老旧管道超过 50%，导致过流能力锐减，内涝事件频发。淤积物厌氧发酵产生硫化氢腐蚀管壁，缩短管网寿命，污水外溢亦严重污染水环境。当前养护部门虽引入机械化装备，但技术选型粗放、作业流程不规范、应急能力不足等问题突出。本文从淤积物特性入手，围绕主流快速疏通技术的工作原理、适用条件与现场应用展开分析，为养护单位提供技术选型参考与作业管理优化建议。

1 排水管道淤积的成因与危害

1.1 淤积物的主要类型及来源

排水管道淤积物按物质构成可归为四类。一是泥沙碎屑类，源自雨水径流携带的道路粉尘、建筑渣土及地表侵蚀产物，密度大、颗粒粗，在流速低于自清流速（0.6~0.9 m/s）时快速沉降，常见于雨水管道。二是厨余有机类，多见于污水管道，含食物残渣、厕纸及生活杂物，含水率高、黏附性强，易在管底形成稠密沉积层。三是油脂结块类，来自餐饮废水排放，动植物油脂在管内冷却后与悬浮物交联聚合，形成硬质蜡状脂块，是造成突发性全管堵塞的常见诱因之一，常规水力手段难以清除。四是混合类，为上述成分长期叠加演化而成，常见于长期失养的老旧管段，底部为密实泥沙层，上部覆盖油脂胶结物，有时混杂树根贯穿生长，清淤难度最大。

1.2 淤积堵塞对管网运行的影响

淤积对管网运行的影响具有多维连锁效应。水力条件方面，根据曼宁公式，当有效过流断面缩减 20%时，流量损失达 15%~25%，过流能力随淤积加深呈加速衰减，这是城市道路积水的关键原因之一。管材耐久性方面，淤积物中有机质厌氧产生硫化氢，经氧化后生成硫酸腐蚀混凝土管壁，导致结构疏松、骨料外露。环境安全方面，堵塞造成的污水外溢直接污染受纳水体与地下水源，淤积物长期积存还滋生蚊蝇、散发恶臭[1]。另外，淤积物中硬质颗粒在流速较高时对管壁产生磨蚀，缩短管道使用寿命，增加全生命周期维护投入。

2 主流快速疏通技术及其工作原理

2.1 高压射水破碎冲洗技术

高压射水技术依靠柱塞泵将常水增压至 20~40 MPa，经喷头喷射出的高速水射流（出口速度可达 200 m/s 以上）对淤积物实施冲击破碎，被粉碎的颗粒物悬浮于水中随水流排出。喷头尾部反冲孔产生向前的推进力，使软管在管道内自动行进，实现长距离连续作业。针对不同淤积形态可选用差异化的喷头结构：三维旋转喷头凭借偏心射流产生 360° 旋转切削效应，对管壁附着物清除能力突出；前端聚焦式喷头将射流集中于正前方，适用于穿透完全堵死的管段；扇形喷头则用于管底大面积的松散沉积物冲刷。该技术的现场作业效率显著，一次布管可完成 50~100 m 长度的疏通，纯疏通速度约为 8~12 m/min，且对管径适应性强，覆盖 DN150~DN2000 及箱涵等大断面管渠。高压射水的核心优势在于普适性高，能够处理淤泥、砂石、油脂结块及轻度树根等绝大部分淤积类型，是目前市政排水养护中应用最为广泛的技术手段。但其运行需保证持续供水，单台设备每小时耗水量约 10~20 m³，同时产生 85~100 dB 的作业噪音，夜间施工需严格控制作业时段。设备购置价格在 80~200 万元区间，目前国内大中城市排水养护单位普及率较高。

2.2 机械铣削与抓取清除技术

当管道内淤积物已板结硬化或存在树根贯穿、水泥浆渗漏形成的硬块时，高压射水的冲击力不足以有效破碎，需动用机械清淤装备。液压铣削式管道机器人是近年推广较快的设备，其采用履带驱动底盘，可在 DN300 以上管道内自主行走，前端安装液压铣刨滚筒，铣齿以高速旋转方式渐进式削除硬质沉积物，作业过程由地面控制台通过线缆传输的高清视频实时引导。铣削后的碎屑颗粒被后续高压射水或自然水流带出管道。抓斗式清淤机则通过钢丝绳牵引，利用机械抓斗的闭合动作直接抓取管底大块淤积物或坠落杂物，适用于管径较大、杂物尺寸较大的工况。机械铣削的单次作业推进速度约 1~3 m/min，明显慢于高压射水，但其对硬质堵塞物的处理能力是其他技术无法替代的。该技术解决了高压射水无法有效清除板结泥沙、混凝土结块及粗大树根的瓶颈问题，尤其适用于老旧管道内壁严重结垢或管道修复前的预处理作业。设备费用较高（150~400 万元），且进出场及管道内安放操作耗时较长，通常作为常规疏通手段失效后的攻坚选项，在应急抢修中发挥关键作用。

2.3 气脉冲振荡剥离技术

气脉冲技术将压缩空气以间歇性脉冲方式注入充水管道，产生压力剧烈波动的气水两相流。脉冲波在管内传播过程中对管壁形成反复的剪切应力，使附着的油脂膜、生物膜及细颗粒沉积层发生疲劳剥离，随后由持续水流携带排出。该技术不依赖高压射流的物理冲击，而是通过流体振荡实现清淤，对管道结构无任何机械损伤风险，这是其区别于高压射水和机械铣削的显著特征[2]。气脉冲对于管壁精细清理效果尤为突出，尤其适用于大口径箱涵、倒虹管、曲線段等结构复杂、常规设备难以进入的管段，以及需要保护管道内衬材料的特殊工况。其设备成本适中（约 60~120 万元），作业耗水量远低于高压射水，且噪音较小，对周边环境影响轻微。主要限制在于对完全堵塞或泥沙板结严重的工况处理能力不足，因为气脉冲需要管道内有一定水位方可形成有效的气水混合流。该技术多用于预防性养护或高压射水后的精细补充清淤，在管壁附着物减量方面具有独特价值。

2.4 化学药剂辅助溶解技术

对于油脂结块堵塞或树根侵入造成的顽固堵塞，物理方法往往耗时较长，化学药剂可在特定条件下发挥快速打通的作用。碱性化学剂（以氢氧化钠为主）通过强碱对油脂的水解反应将其转化为可溶性皂化物，从而瓦解脂块结构，恢复管道过流断面；专用树根清除剂则通过抑制植物细胞生长的化学物质使侵入管道内的根系枯萎脱落，随后由水流冲走。化学辅助的最大价值在于应急场景——无需大型设备进场、不占用大范围作业面，尤其在交通枢纽、历史文化街区及重要管线交叉区域具有独特优势。操作简便、响应迅速，单次药剂投放即可在数小时内观察到明显疏通效果。但必须清醒认识到，化学方法仅针对有机类淤积有效，对泥沙无机物无能为力；强碱对铸铁管、橡胶密封件存在腐蚀风险；部分反应过程放热并产生有害气体，使用不当可能引发次生安全事件。因此，该方法应严格限定为应急辅助手段，在使用前须经技术负责人评估确认淤积物成分与管道材质，并在充分通风条件下实施。

3 各类疏通技术综合效能对比与选型

3.1 关键作业指标对比分析

从作业速度看，高压射水以 8~12 m/min 居首，化学辅助次之（数小时反应），气脉冲约 3~6 m/min，机械铣削最慢仅 1~3 m/min。管径适应性方面，高压射水覆盖 DN150~DN2000 最广，机械铣削需 DN300 以上，气脉冲对 DN200~DN1200 效果最佳，化学辅助不受管径约束但须管道内有一定水位。淤积类型适配方面，高压射水普适性最强，但对板结硬块无效；机械铣削专攻硬质堵塞；气脉冲擅长油脂膜和生物膜；化学辅助仅适用于有机淤积。设备成本方面，高压射水 80~200 万元，机械铣削 150~400 万元，气脉冲 60~120 万元，化学辅助最低。

3.2 技术选型原则与梯度化策略

技术选型应遵循三项原则。一是淤积物性质优先——松散泥沙选高压射水，油脂类可配合化学预处理，硬质板结必须用机械铣削。二是管径适配——DN300 以下不宜用机械清淤。三是时效与成本平衡——应急抢修首选高压射水或化学辅助快速打通，日常养护选择经济组合[3]。建议建立三级梯度化配置：一级常规养护以高压射水为主体；二级加强处理中高压射水效果不佳时，升级气脉冲精细清理或化学预软化；三级应急攻坚面对完全堵塞且高压射水无法穿透时，启动机械铣削强行打通，实现养护资源的优化配置。

4 现场作业规范与安全管理

4.1 作业前安全检测与准备

排水管道属有限空间，硫化氢中毒与缺氧窒息是主要伤亡原因。疏通前必须执行气体检测，使用四合一检测仪测定氧气（19.5%~23.5%）、硫化氢（< 10 ppm）、一氧化碳（< 20 ppm）和可燃气体（< 10% LEL），全部合格后方可开启井盖。作业前须强制通风不少于 30 分

钟，作业中保持连续监测，警报触发立即撤离。下井人员须佩戴供气式呼吸面罩、安全绳及防化手套，井上设不少于两名监护人员保持通讯联络，作业区设置安全警示标志与围挡。

4.2 疏通作业过程质量控制

正确作业流程为：气体检测 →CCTV 预检判明淤积形态与技术选型 → 疏通实施 →CCTV 复检验收。此闭环管理在深圳、上海等城市推行后，单次疏通合格率从不足 70%提升至 95%以上。高压射水作业中严禁喷头对准人体，操作人员须佩戴防护装备，设备运行期间设置警示区域。气脉冲前须确认管内水位不低于管径 60%，严禁干管释放脉冲以防管壁受损[4]。验收标准以 CCTV 复检为依据，管底淤积残留厚度不超过管径 5%，管壁沉积物覆盖率低于 10%方为合格，疏通前后影像资料归入养护档案。

5 技术应用优化对策

5.1 完善装备配置与作业机制

当前突出问题是装备结构单一、选型缺乏依据。建议按" 一主多辅" 原则配置：以高压射水车为主力，按片区配属机械铣削机器人与气脉冲设备，形成常规与攻坚结合的体系。对餐饮集中区、老旧合流管道等重点风险区域优先配置化学应急储备和机械铣削装备。作业机制上推行检测与疏通一体化，将 CCTV 检测车与疏通设备编组出动，实现“检测判明、即刻疏通、复检验收”三环节无间隙衔接，减少设备反复进出场的时效浪费，并建立数字化台账为养护周期编制提供依据。

5.2 推进智能化预警与源头减量

借助物联网技术实现淤积风险的主动预警是提升快速疏通响应能力的前沿方向。在管网关键节点（如低洼点、汇流口、餐饮集中区下游）安装液位与流量在线监测设备，通过监测数据在无雨条件下的异常变化自动识别淤积风险管段，触发养护工单，使疏通作业从被动应对转向主动预控。从长远来看，源头减量是降低疏通频次的根本之策。应加强与市场监管、生态环境等部门的协同管理，强制餐饮企业配置并正常运行隔油设施，定期开展排放口抽查，杜绝高浓度油脂废水直排市政管道[5]。建筑工地须设置沉砂池并办理排水许可，严禁施工泥浆未经沉淀直接排入雨水管网。推动初期雨水截流处理设施的建设，减少地表冲刷物携带的泥沙进入管道。通过源头管控与末端疏通的协同发力，切实降低管道淤积速率，从根源上减轻快速疏通作业的压力。

结束语

排水管网淤积疏通是保障城市排水安全的基础性工作。高压射水以综合效能最优成为主力技术，机械铣削专攻硬质堵塞填补其短板，气脉冲在管壁精细清理方面独具优势，化学辅助作为应急场景的有益补充。工程实践中应依据淤积物性质与管径条件科学选型，严格执行气体检测、CCTV 预检与复检的规范化流程，构建检测—疏通—验收的闭环管理体系。通过装备梯队化配置、作业信息化管理与源头减量治理多措并举，快速疏通技术将从被动应急逐步走向主动预控，为城市排水管网的安全高效运行提供坚实技术支撑。

参考文献

[1] 李希东. 市政排水管网淤积疏通长效管护技术研究 [J]. 中华建设，2026，33(21):177-179.

[2] 程灿. 城市排水系统升级中的小区管网清源改造策略与技术研究 [J]. 工程技术研究,2024,9(18):228-230.

[3] 贺蔚, 冯思源, 张健, 等. 雨水管网淤积对城市内涝的影响特征分析 [J]. 给水排水,2025,51(2):151-157.

[4] 王栋毅, 徐兵, 宗林亭. 市政排水管网通沟污泥环保处置实践 [J]. 宝钢技术，2021(6)：74-78.

[5] 杨丽丽, 胡作鹏, 彭雪晴. 数据治理视角下城市排水管网运维模式创新研究 [J]. 中国建设信息化,2026(12):67-70.