DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.260591

排水管网靶向清淤优先级判定方法及工程应用

付　铭[1],唐乐乐[1],周武刚[1],王　鹤[2,3],杨　韩[1]
(1.中国市政工程中南设计研究总院有限公司,湖北 武汉 430014; 2.湖北省水利水电科学研究院,湖北 武汉 430070;
3.湖北省节约用水研究中心,湖北 武汉 430070)

摘　要: 针对排水管网清淤范围划定依据不足、重点管段识别不清及复核评价不充分等问题,提出基于淤积程度、结构状态和运行风险的靶向清淤优先级判定方法。以淤积厚度比表征管段淤积程度,结合结构状态初判和运行风险分级,构建加权优先级指数,确定清淤等级和差异化清淤工艺。以麻城市排水管网清淤工程为例,累计探查管网长度达 526.34 km。结果表明,相较于传统全线管网清淤,靶向清淤可减少清淤作业长度 54.53 km,降幅达 25.90%;综合成本下降 12.39%,综合工期缩短 20.73%;平均淤积清除率达 93.30%。该方法可提高清淤决策的针对性和经济性。

关键词: 排水管网;靶向清淤;淤积厚度比;结构状态;运行风险;效果评价
中图分类号: TU992　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1009-7716(2026)11-0246-05

Priority Determination Method and Engineering Application of Targeted Dredging for Drainage Pipe Networks

FU Ming[1], TANG Lele[1], ZHOU Wugang[1], WANG He[2,3], YANG Han[1]
(1. Central and Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Wuhan 430014, China; 2. Hubei Water Resources Research Institute, Wuhan 430070, China; 3. Hubei Water Saving Research Center, Wuhan 430070, China)

Abstract: To address the problems of insufficient basis for determining dredging scope, unclear identification of key pipe sections and inadequate re-inspection of dredging effects, a targeted dredging priority determination method based on sedimentation degree, structural condition and operational risk is proposed. The sedimentation thickness ratio is used to characterize the sedimentation condition of pipe section, and a weighted priority index is established by combining structural condition and operational risk to determine the dredging grade and differentiated dredging techniques. Taking the drainage pipe network dredging project of Macheng City as an example, 526. 34 km of pipelines are investigated. The results show that compared with the traditional full-line pipeline dredging, the targeted dredging can reduce the dredging operation length by 54. 53 km, with a reduction rate of 25. 90%. The comprehensive cost is decreased by 12. 39%, the integrated construction period shortened by 20. 73%, and the average sediment removal rate reached 93. 30%. The method can improve the pertinence and economy of dredging decision-making.

Keywords: drainage pipe network; targeted dredging; sedimentation thickness ratio; structural status; operational risk; effect evaluation

0　引　言

排水管网是城市防汛排涝、污水收集和水环境治理的重要基础设施,其运行状态直接影响城市排水安全和污水系统的整体效能。随着排水管网运行年限的增长,泥沙淤积、杂物堵塞、接口错位和管壁破损等问题逐渐增多,易造成有效过流断面减小、污水冒溢和雨季积水风险增加[1]。

传统排水管网清淤多按固定周期,分道路、分片区组织开展作业,主要依赖历史养护经验、地表巡查和投诉信息确定作业范围。该方式组织简单,但难以区分不同管段的淤积程度、结构状态及其对系统运行的影响,易出现轻度淤积管段重复清理、重点堵塞管段处置滞后,以及缺陷管段清淤与修复衔接不足等问题。同时,清淤完成后若缺少有效复核,也会影响清淤质量评价和后续运维决策[2-4]。

近年来,排水管网运维研究逐渐由经验式人工

收稿日期: 2026-05-26
基金项目: 湖北省自然科学基金项目(2026AFC1187)
作者简介: 付 铭(1991—),男,学士,高级工程师,从事市政给排水管网探测检测研究工作。
通信作者: 唐乐乐(1988—),男,学士,工程师,注册测绘师,从事工程勘测、给水排水研究工作。电子邮箱:270937332@qq.com

巡查，向状态智能识别、风险科学评估和精细化决策方向转变。快速可视化检测（Quick View，QV）、闭路电视检测（Closed Circuit Television，CCTV）等可视化手段，可为管内淤积程度判定和管段缺陷评估提供依据；水力模型、液位监测技术和在线诊断方法，可用于分析管网运行能力和识别管段异常状态[5-8]。但在实际清淤工程中，如何将淤积程度、结构状态和运行风险转化为清淤优先级，仍缺少简便、可操作的判定方法。基于此，本文以麻城市排水管网清淤工程为例，提出排水管网靶向清淤优先级判定方法，并通过工程应用验证其效果。

1　工程概况与问题特征

麻城市建成区排水系统存在老旧管网较多、局部坡度偏小、雨污混接关系复杂、城乡接合部管网杂物进入概率较高等特点。为掌握排水管网的运行底数，本工程对建成区排水系统展开全面探查，累计完成排水管网探查 526.34 km，其中，雨水管探查长度为 316.17 km、污水管探查长度为 210.17 km。现场采用 QV 与 CCTV 相结合的方式进行管网内部探查。其中，QV 主要用于常规管段的快速查看；CCTV 主要用于管径较大、断面形状不规则或 QV 难以判断的管段探查。本工程累计获取管线点 25 917 个、混接点 291 个、排放口 134 个，为管段淤积识别、结构状态初判和清淤优先级划分提供了基础依据。

现场探查表明，麻城市的排水管网淤积分布具有明显的差异。老城区的排水管网多表现为连续性的泥沙淤积。例如，将军路的雨水管淤积长度达 6.5 km；京广大道的雨水管淤积长度约为 2.0 km；部分支干管的淤积厚度超过管径的 50%。城乡接合部的排水管网多表现为由生活垃圾、建筑残土、树枝、塑料袋等杂物与泥沙混合造成的点状堵塞[9]。部分管段的裂缝、错口、脱节和破裂等结构性缺陷，与淤积伴生共存，给清淤工作带来诸多困难，增加了作业风险和后续修复需求。麻城市排水管网探查结果与问题特征如表 1 所示。

上述问题表明，若仍按道路或片区统一清淤，既难以准确识别重点管段，也难以实现清淤质量、工程经济性和运行风险控制的多目标协同兼顾。因此，有必要制定一套以管段状态为基础的靶向清淤优先级判定方法。

表 1　麻城市排水管网探查及问题特征

探查内容	数量或特征	典型表现	清淤决策意义
探查总长度/km	526.34	覆盖建成区主要排水管网	提供分级判定基础
雨水管长度/km	316.17	涉及排涝通道和入河排口	需关注雨季排水能力
污水管长度/km	210.17	涉及污水收集和冒溢风险	需关注通畅性和混接影响
混接点/个	291	雨污接驳关系复杂	增加运行风险判定需求
排放口/个	134	部分管段靠近受纳水体	需加强废水外排控制
典型淤积道路	将军路 6.5 km、京广大道约 2.0 km	老城区连续性淤积明显	应纳入重点清淤范围

2　靶向清淤优先级判定方法

2.1　指标选取与分级

本文将淤积程度、结构状态和运行风险作为清淤优先级判定的主要指标。其中，淤积程度反映管道有效断面被占用情况；结构状态反映清淤作业安全性和后续修复需求；运行风险反映管段对排水系统运行的影响程度。

淤积程度采用淤积厚度比来表征，其计算公式如下：

$$\eta = \frac{h}{D} \times 100\% \tag{1}$$

式中：η 为淤积厚度比，%；h 为管底淤泥最大沉积厚度，m；D 为管道内径，m。h 可通过 QV 或 CCTV 影像标尺、检查井实测或清淤前的现场观察记录获得。相较于绝对淤积厚度，淤积厚度比能够提高不同管径管段之间的可比性。

结合工程清淤经验和现场观察结果，本文将淤积程度划分为轻度、中度、重度和堵塞 4 类：轻度淤积为 $\eta \leqslant 20\%$；中度淤积为 $20\% < \eta \leqslant 50\%$；重度淤积为 $50\% < \eta < 100\%$；堵塞为 $\eta = 100\%$，或管段无法正常连通。

结构状态可根据清淤前 QV 或 CCTV 的快速观察结果，参照规程[10-11]中结构性缺陷相关描述，归并为无明显缺陷、轻微缺陷和严重缺陷 3 类。需要说明的是，本文中的结构状态归并，仅用于清淤作业组织和清淤工艺选择，不替代正式管道缺陷检测与评估。

运行风险反映管段淤积或堵塞对排水系统运行、水环境安全和清淤作业组织的影响程度，主要结合管段在系统中的位置、服务范围、上下游连通关系、历史积水情况、入河排口条件，以及与泵站调度的关系来确定。

2.2　加权优先级指数构建

为综合反映管段清淤的必要性、作业风险和对系统运行的影响，本文构建清淤优先级指数，计算公式如下：

$$P = w_1S_1 + w_2S_2 + w_3S_3 \quad (2)$$

式中：P为清淤优先级指数；S_1为淤积程度评分；S_2为结构状态评分；S_3为运行风险评分；w_1、w_2、w_3分别为三者对应的权重，且$w_1+w_2+w_3=1$。本工程将淤积程度作为影响清淤必要性的最重要因素，结构状态影响作业安全，运行风险影响处置顺序，因此取w_1=0.5，w_2=0.3，w_3=0.2。清淤优先级指标赋值如表2所示。

表2　清淤优先级指标赋值表

指标	分级	判定依据	评分
淤积程度S_1	轻度	η≤20%	1
淤积程度S_1	中度	20%<η≤50%	2
淤积程度S_1	重度	50%<η<100%	3
淤积程度S_1	堵塞	η=100%或无法连通	4
结构状态S_2	无明显缺陷	未见明显影响清淤和过流的病害	1
结构状态S_2	轻微缺陷	轻微裂缝、局部错口或接口不严	2
结构状态S_2	严重缺陷	破裂、脱节、明显变形等	3
运行风险S_3	低	一般支管，无明显历史积水或冒溢	1
运行风险S_3	中	片区支干管，可能影响局部退水	2
运行风险S_3	高	主干管、泵站关联管段、入河口或易积水区上游	3

2.3　优先级划分与处置策略

根据清淤优先级指数，本工程将管段划分为Ⅰ~Ⅳ级。Ⅰ级管段以巡查维护或维持性清理为主；Ⅱ级管段开展常规清淤；Ⅲ级管段作为重点清淤对象，应结合结构状态和运行风险控制作业方式；Ⅳ级为堵塞或严重影响排水功能的管段，应优先安排疏通施工。堵塞管段不受结构状态和运行风险等级限制，均按Ⅳ级优先处置。排水管网靶向清淤的整体实施流程与评价体系如图1所示。

本工程根据管段的状态分布和现场处置经验，确定优先级划分规则（见表3）。

表3　清淤优先级划分及处置策略

优先级	判定条件	主要对象	处置策略
Ⅰ级	P<1.5	轻度淤积、低风险管段	巡查维护或维持性清理
Ⅱ级	1.5≤P<2.3	中度淤积或轻微缺陷管段	常规清淤，必要时复核
Ⅲ级	2.3≤P<3.0	重度淤积、严重缺陷或为高风险管段	重点清淤，控制作业扰动
Ⅳ级	P≥3.0或堵塞	堵塞、无法连通或为严重影响系统运行的管段	优先疏通，重点管控
修正规则	堵塞管段直接判定为Ⅳ级	不受其他指标限制	优先安排施工资源

采用靶向清淤优先级判定方法，可将清淤对象从传统的按道路或片区统一划分的方式，转为按管段淤积程度、结构状态及其对系统运行的影响程度进行差异化划分，从而提高重点管段识别和清淤资源配置的针对性。

3　差异化清淤与清淤效果评价

3.1　差异化清淤工艺

根据清淤优先级判定结果，现场施工采用“泵站调度—管段封堵—降水抽排—差异化清淤—分级复核”的联动作业思路。具体操作如下：清淤前，根据

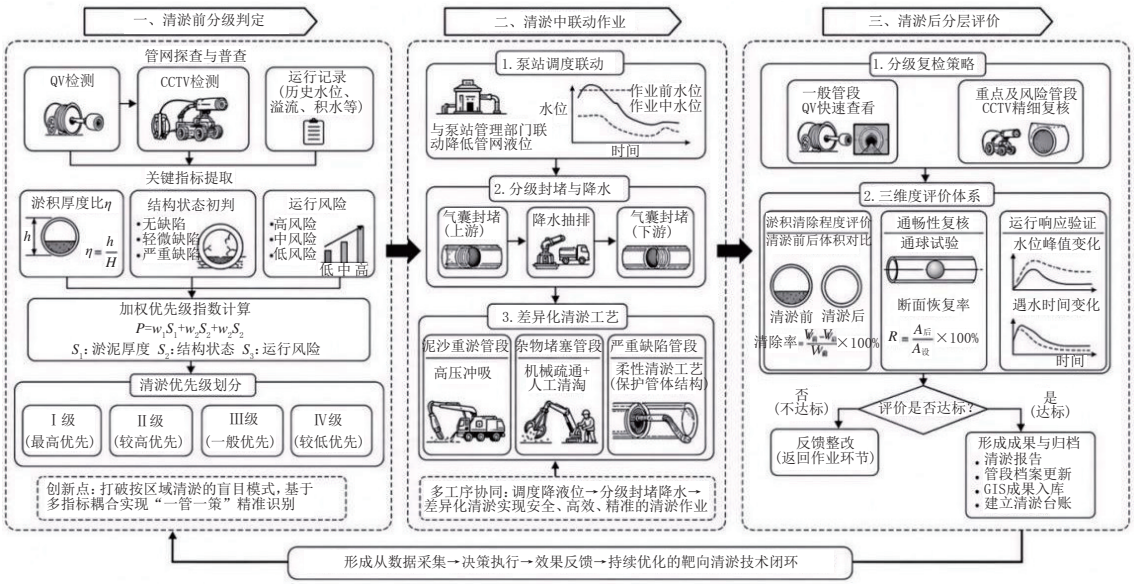


图1　排水管网靶向清淤实施流程与评价技术路线图

管段位置、管径、汇水范围、运行风险等级及上游来水情况，降低作业区域的液位，必要时，可与雨水、污水泵站联动调度；清淤中，根据管段状态选择相应的清淤工艺；清淤后，采用QV快速查看或CCTV重点查看进行复核。不同管段的清淤工艺选择与控制要点如表4所示。

表4　不同管段的清淤工艺与控制要点

管段类型	主要风险	推荐工艺	控制要点
泥沙重度淤积管段	有效断面受阻	高压水冲淤+吸污车抽吸	控制水压，随冲随吸
杂物堵塞管段	点状阻水、污水冒溢	机械疏通+人工清掏	防止堵塞物下移，严格执行有限空间作业要求
严重缺陷伴随淤积管段	二次破裂、塌陷风险	柔性清淤、低扰动作业	避免高压冲击和机械碰撞
高运行风险管段	水位抬升或调度影响	封堵+抽排+重点清淤	加强与泵站的联动和水位观察
临河或入河接驳管段	清淤废水外排风险	封堵+抽排+闭环处置	废水预处理，淤泥合规外运

在分级复核中，对于轻度、中度淤积，且运行风险较低、无明显结构性缺陷的管段，应以QV快速查看为主；对于重度淤积、杂物堵塞、存在严重结构性缺陷、高运行风险，以及清淤后暴露出新缺陷的管段，宜采用CCTV重点查看；对于一般管段，可按比例抽查复核。在清淤前后，通过QV或CCTV获取的影像资料，主要服务于清淤作业组织和最终效果核查，不属于正式的管道缺陷检测，不形成检测报告。

3.2　清淤效果评价

清淤效果主要从淤积清除程度、过流能力恢复程度和运行响应改善程度3个方面进行评价。其中，淤积清除程度用于判断清淤是否达到作业要求；过流能力恢复程度用于判断管段的通畅性和有效断面的恢复情况；运行响应改善程度用于辅助分析重点区域的排水状态变化。

淤积清除率计算公式如下[5,12]：

$$K = \frac{V_0 - V_1}{V_0} \times 100\% \tag{3}$$

式中：K为淤积清除率，%；V_0为清淤前淤泥体积，m^3；V_1为清淤后残留的淤泥体积，m^3。对于圆形管道，V_0和V_1可根据管径、管段长度和清淤前后淤泥的沉积厚度，按圆缺面积法计算得到；对于箱涵、矩形渠或异形管道，可按实测断面面积和管段长度估算。在实际工程中，常规管段的淤积清除率控制值不低于90%，重度淤积、杂物堵塞及高运行风险管段宜提高复核要求。

过流能力恢复率计算公式如下：

$$R = \frac{A_1}{A_d} \times 100\% \tag{4}$$

式中：R为过流能力恢复率，%；A_1为清淤后有效过流断面面积，m^2；A_d为管道设计断面面积，m^2。在实际工程中，可结合通球试验、影像复核和断面测算来判断清淤后管道的通畅性[8,13]。通球试验主要用于快速判断管道是否存在明显的残留堵塞，不直接等同于严格水力学意义上的过流能力。

运行响应改善程度主要结合重点检查井水位、退水时间、污水冒溢记录、泵站运行台账和现场巡查反馈进行辅助判断[14-15]。由于排水管网的运行响应受降雨强度、下游水位、泵站运行和系统调度等因素的影响，本文不将其作为检验清淤成效的唯一依据，仅作为工程佐证材料。

4　工程应用效果分析

4.1　工程量构成

麻城市的排水管网清淤工程累计完成清淤长度156.00 km，其中，重度、中度、轻度淤积管段长度分别为42.95、60.73和52.32 km。传统清淤模式会对同一范围进行全线清淤，以此测算，本工程的清淤长度为210.53 km。靶向清淤模式的工程量显著减少，核心在于清淤对象的筛选方式发生变化，即在淤积程度、结构状态和运行风险分级的基础上，对不同管段采取差异化的处置策略。

经分级判定，54.53 km轻度淤积、无明显结构缺陷且运行风险较低的管段，未被纳入集中清淤，仅作为后续巡查维护的对象；重度淤积管段、中度淤积管段，以及轻度淤积但位于关键通道处，或局部存在运行风险的管段，均被纳入清淤范围。由此，靶向清淤模式下的实际清淤长度为156.00 km，相较于传统全线清淤的模式，清淤长度减少25.90%。

4.2　应用效果对比

为评价靶向清淤模式的工程应用效果，本文从清淤长度、平均淤积清除率、过流能力恢复率、综合成本和综合工期5个方面，对2种模式的应用效果进行对比。

由表5可知，相较于传统的全线清淤模式，靶向清淤模式减少清淤长度54.53 km，降幅为25.90%。其主要原因是靶向清淤模式在清淤前对管段状态进行分级判定，将轻度淤积、无明显结构缺陷且运行风

表5　靶向清淤模式与传统清淤模式的应用效果对比

对比指标	靶向清淤模式	传统清淤模式	变化幅度/%
清淤长度/km	156	210.53	−25.90
平均淤积清除率/%	93.3	85.5	9.12
过流能力恢复率/%	90.7	85.1	6.58
综合成本/(万元·km^{-1})	4.15	4.66	−12.39
综合工期/d	520	656	−20.73

险较低的管段调整为后续巡查维护对象，从而减少了重复清理和低效作业。与此同时，重度淤积、杂物堵塞、存在严重结构缺陷和高运行风险的管段被纳入重点处置范围，这使得清淤资源更多集中于对系统运行影响较大的管段。

从清淤质量看，靶向清淤模式的平均淤积清除率为93.30%，较传统模式高出9.12%；靶向清淤模式的过流能力恢复率为90.70%，较传统模式高出6.58%。这表明，靶向清淤模式并非简单地减少工程量，而是通过优先级判定、差异化清淤工艺选用和分级复核，提高重点管段的清淤质量和功能恢复效果。

从经济性和工期看，靶向清淤模式的综合成本为4.15万元/km，较传统模式降低12.39%；综合工期为520 d，较传统模式缩短20.73%。虽然靶向模式增加了清淤前快速观察、运行风险识别和分级复核等环节，但由于集中清淤工程量减少，整体成本和工期仍得到有效控制。根据项目巡查和阶段性运行记录，清淤后部分易积水路段的退水时长和冒溢情况均有所改善，但受降雨、泵站调度和下游水位等因素的影响，本文仅将其作为佐证材料。

5　结　论

（1）本文提出基于淤积程度、结构状态和运行风险的排水管网靶向清淤优先级判定方法。该方法以淤积厚度比表征管段的淤积程度，并通过构建加权优先级指数，综合反映清淤的必要性、作业风险及其对系统运行的影响，可为清淤范围的划定和重点管段的筛选提供依据。

（2）本文构建了与优先级判定相衔接的差异化清淤策略和分级复核流程。根据清淤优先级判定结果，针对不同类型管段，分别采取高压水冲淤、机械疏通、柔性清淤、封堵抽排和闭环处置等措施，可提高清淤作业的针对性和安全性。

（3）麻城市的排水管网靶向清淤工程应用结果表明，相较于传统全线清淤模式，靶向清淤模式可减少清淤长度54.53 km，降幅达25.90%；综合成本降低12.39%，综合工期缩短20.73%；平均淤积清除率和过流能力恢复率分别达到93.30%和90.70%。该方法具有一定的工程应用价值，但在权重取值、优先级阈值设置和运行风险分级方面，仍需结合更多工程样本作进一步校核。

参考文献：

[1] 谷俊鹏，潘铁津，王哲．深圳市G区排水管网精细化管理对策与措施[J]．中国给水排水，2025，41(22)：6-11.

[2] 黄艳雄，张舒凡，谢棣慧．适于复杂运维场景的新型城市排水装备技术与应用[J]．中国给水排水，2024，40(22)：7-12.

[3] 陈威，张伟，张旭．老旧小区排水管网提质增效精准排查技术方法研究与应用[J]．城市道桥与防洪，2026(1)：24-28.

[4] 张朝阳．城市排水管道淤积对暴雨内涝应急响应能力的影响分析[D]．郑州：郑州大学，2023.

[5] 贾高峰，杨福天，梁斌，等．基于SWMM的北京市核心区合流制排水管网清淤方案研究[J]．给水排水，2024，60(1)：108-114；120.

[6] 欧波，刘鹃．基于西南某市主城区排水管网普查及典型缺陷的研究[J]．给水排水，2025，61(9)：132-136；151.

[7] 成浩科，文铖，张烨，等．基于在线液位监测的排水管网异常状态诊断[J]．中国给水排水，2025，41(7)：124-129.

[8] 汪超强．城市排水管网液位监测系统和淤积诊断方法研究[D]．杭州：中国计量大学，2023.

[9] 高原．排水孔淤堵机理及新型纤维束排水管的研发与应用[D]．济南：山东建筑大学，2021.

[10] CJJ 181—2012 城镇排水管道检测与评估技术规程 [S].

[11] CJJ 68—2016 城镇排水管渠与泵站维护技术规程 [S].

[12] 宋壮壮，尹贺贺，黄咏洲．建筑小区排水管网提质增效主要问题和应对策略[J]．净水技术，2023，42(增刊2)：106-110.

[13] 迟文浩，王春虎，顾瑞环，等．基于在线水力模型的排水系统能力评估与风险分析[J]．中国给水排水，2025，41(23)：163-168.

[14] 关士谦．城市排水管网监测预警系统研究与实现[D]．桂林：桂林电子科技大学，2025.

[15] 韩丽明，张艳玲，赵瑶，等．改进的边缘计算和全生命周期的排水管网监测方法[J]．西安工业大学学报，2023，43(6)：588-597.