

城市排水系统提质增效背景下管网缺陷修复优先级评估研究

保应谷¹ 吴雪^{2*}

1. 弥勒市园林局 云南 红河哈尼族彝族自治州 651400

2. 云南开放大学 云南 昆明 650032

摘要:为适配城市排水系统精细化提质增效的整体发展需求,文章以管网结构性、功能性两类常见缺陷为研究对象,分析缺陷的演变特点与相互影响机制,搭建出一套多维度、可量化的缺陷修复优先级评价方案;研究结合管网位置、使用年限等条件修正评价结果,划分缺陷修复的轻重缓急,以此规范运维工作、优化资源分配,为排水系统的长效稳定提质提供基础参考。

关键词:城市排水系统;管网缺陷;提质增效;优先级评估;精细化运维

引言:市政排水管网是城市水环境治理与防汛排涝的核心基础设施,长期服役过程中易滋生各类缺陷,引发管网效能衰减、城市内涝等诸多问题。传统运维模式存在判定主观、处置无序、资源错配等短板,难以适配排水系统提质增效的精细化发展要求。基于管网缺陷的形成机理与演化规律,搭建科学的修复优先级评估体系,对实现管网主动运维、精准消险具有重要的现实研究价值。

1 城市排水管网缺陷类型及形成机理

在城市排水管网的日常运行过程中,管网缺陷主要可以分为结构性缺陷和功能性缺陷两类,这两类缺陷的产生原因、外在特征以及造成的影响均各不相同。结构性缺陷属于管道本体出现的永久性损伤,一般由管材老化、施工失误、土层沉降、水土侵蚀等因素引发,具体包含管道变形、开裂、渗漏、脱节与腐蚀等问题,会持续破坏管道主体结构,从而降低管道的承载与输水性能;功能性缺陷不会损伤管道结构,大多源于杂质堆积、根系侵入、日常清扫不及时,主要表现为管道淤积、堵塞与结垢,这类缺陷发展速度较快,会缩减通水空间,造成排水不通畅、积水滞留等现象。两种缺陷会形成相互促进的恶化关系,功能性问题会加重管网运行压力,诱发结构损坏,结构破损也会加剧淤积堵塞,持续削弱排水系统的整体运行能力^[1]。

通讯作者:吴雪,1988年3月8日出生,2015年毕业于昆明理工大学,现就职于云南开放大学,长期致力于市政工程领域的教学与科研工作。

项目编号:2026J0839,名称:绿色低碳转型背景下基于SWMM模型的市政排水管网智慧评估研究,云南省教育厅科学研究基金项目。

2 管网缺陷修复优先级评估核心原则与维度构建

2.1 评估体系核心构建原则

开展管网缺陷修复优先级评估体系搭建工作,要围绕排水系统提质增效这一目标,不再采用单一主观的判断方式,整体需要恪守四项基本准则,分别是科学合理、层级清晰、场景适配以及经济实用。依托对应指标开展评判,能够如实反映管网运行现状,减少人为判断带来的偏差;逐层拆解各项要素,可形成完整的评估架构;兼顾通用要求与个体差异,能适应各类管网工况;在保障运行安全的基础上统筹成本与收益,也能避免资源浪费和多余的修复作业。

2.2 评估核心维度选取依据

评估维度的选取以缺陷危害传导机制、管网运行敏感度、系统效能影响程度为核心依据,剔除无效、重叠指标,聚焦能够直接影响排水系统提质增效的关键要素。结合管网缺陷演化规律,优先选取缺陷严重程度、管网运行敏感度、区域影响范围、缺陷发展速率、修复投入适配度五大核心维度。各维度相互独立且互补,既覆盖缺陷本身的固有属性,也涵盖缺陷对城市排水体系、区域水环境、管网长期运维的衍生影响,可全面区分不同缺陷的修复紧迫度^[2]。

2.3 评估维度分级标准设定

结合管网运维技术标准与行业通用判定规范,对五大评估维度进行四级分级,分别对应极高、较高、一般、较低四个等级,实现量化分级判定,规避模糊化评估问题。分级过程中摒弃主观定性描述,以管网运行状态、缺陷演化特征为核心判定标准,明确各等级边界条件,保障评估结果精准统一。(如表1)

表1 各维度分级标准

评估维度	极高等级	较高等级	一般等级	较低等级
缺陷严重程度	管网结构性破损严重，存在坍塌、大面积渗漏风险	局部结构变形、中度渗漏，输水功能明显下降	轻微结构损伤、局部淤积，运行无明显异常	无结构损伤，仅少量杂质沉积，不影响输水
管网运行敏感度	主干管网、核心排水通道，承担区域主要排水负荷	次干管网，服务片区范围较广，排水负荷较高	支路管网，服务小型片区，排水负荷适中	末端支管，排水负荷低，影响范围极小
区域影响范围	覆盖城市核心片区，易引发大范围积水、水生态紊乱	覆盖城市常规片区，易出现局部积水、排水不畅	覆盖小众区域，仅短时轻微积水，无衍生影响	局限管网局部，无区域扩散影响
缺陷发展速率	缺陷演化速度快，短时间内大幅恶化	缺陷持续发展，月度损伤程度明显提升	缺陷缓慢演化，长期状态小幅波动	缺陷状态稳定，无持续恶化趋势
修复投入适配度	延误修复将引发高额次生运维成本	延误修复会增加后续修复难度与投入	修复投入适中，延误影响相对有限	修复成本低，短时延误无明显负面影响

2.4 优先级等级划分体系

基于各维度分级评分结果，结合加权耦合判定逻辑，将管网缺陷修复优先级划分为一级（紧急修复）、二级（优先修复）、三级（常规修复）、四级（暂缓修复）四个等级。一级优先级对应多维度高等级缺陷，此类缺陷对排水系统效能制约极强，存在显著运行隐患，需即刻开展修复处置；二级优先级为局部核心维度超标缺陷，会影响片区排水稳定性，需纳入短期重点修复计划；三级优先级为常规轻微缺陷，可结合日常运维统筹整改；四级优先级为稳定无危害缺陷，仅需定期监测，无需紧急处置。该分级体系可精准区分缺陷处置紧迫度，为资源优化配置提供核心依据。

3 城市管网缺陷修复优先级评估体系与应用分析

3.1 评估指标权重确定逻辑

权重分配是评估体系的关键，直接影响结果的准确性。本文摒弃均等赋值、主观赋值的传统方式，围绕提质增效目标，结合缺陷危害传导规律开展差异化赋权，遵循安全优先、效能核心、成本适配的原则。缺陷严重程度关乎管网运行安全，是系统故障的主要诱因，权重最高；管网运行敏感度决定危害辐射范围，权重次之；区域影响范围、缺陷发展速率反映危害扩散与恶化情况，权重居中；修复投入适配度为经济性辅助指标，权重最低。差异化赋权打破了指标权重同质化问题，使评估结果贴合排水系统提质增效的实际要求，显著提升了评估体系的实用性与针对性^[9]。

3.2 不同类型管网缺陷优先级差异化判定

结构性缺陷与功能性缺陷的演化特征、危害形式存在本质差异，对应的修复优先级判定逻辑需差异化区分，不可采用统一判定标准。结构性缺陷以永久性结构损伤为核心特征，缺陷一旦形成无法自主修复，且会随管网运行持续恶化，对排水系统结构稳定性、输水安全性的危害具备累积性与不可逆性。其中，管道坍塌、大面积脱节、深度腐蚀等重度结构性缺陷，多判定为一级

紧急修复等级，此类缺陷会直接造成管网输水中断、地下水倒灌等问题，彻底破坏局部排水系统运行能力，严重制约提质增效工作推进；中度变形、局部渗漏等一般性结构缺陷，多判定为二级优先修复等级，虽不会即刻引发系统瘫痪，但长期运行会持续加剧管网损伤，逐步降低排水系统运行效率；轻微结构性划痕、表层腐蚀等稳定缺陷，可判定为三级常规修复等级，纳入周期性运维整改范围。

功能性缺陷具备可逆性、高扩散性特征，危害主要集中在输水效能下降，无结构安全隐患，整体修复优先级普遍低于同级结构性缺陷。管网大面积淤积、严重堵塞等重度功能性缺陷，会大幅降低管道过水能力，雨季极易引发区域积水，影响排水系统运行稳定性，可判定为二级优先修复等级；局部淤积、轻微结垢等缺陷，仅小幅影响输水效率，可判定为三级常规修复等级；末端管网少量杂质沉积、轻度结垢等稳定功能性缺陷，无明显效能影响，判定为四级暂缓修复等级。通过两类缺陷的差异化判定，可精准把控不同缺陷的处置时序，实现“重隐患优先处置、轻缺陷统筹整改”的运维目标。

3.3 管网区位属性对修复优先级的调控作用

同一类型、同一严重程度的管网缺陷，因所处城市区位、管网层级不同，对排水系统提质增效的影响存在显著差异，需通过区位属性对基础优先级结果进行动态调控，修正单一指标评估的局限性。城市核心片区、交通主干道、高密度居住区的主干排水管网，是城市排水系统的核心骨架，承担着区域防汛排涝、日常污水输送的核心功能，管网运行压力大、服务覆盖范围广，此类区域的缺陷危害辐射能力更强，需在基础优先级上提升处置等级。而城市郊区、低密度片区的末端支管，排水负荷低、服务范围窄，缺陷衍生危害极小，可适当下调处置优先级，合理节约运维资源。

同时，结合管网服役年限可进一步细化调控标准，超期服役管网整体结构稳定性差，缺陷恶化速率更快，

微小缺陷极易快速演化成重度隐患，需适度提高修复优先级；新建管网结构状态稳定，缺陷发展缓慢，可维持基础评估等级。下表为不同区位与服役条件下的优先级调控标准，通过多维度动态修正，让评估结果更贴合城市排水管网差异化运维需求，有效解决传统评估“一刀切”的判定弊端^[4]。（如表2）

表2 不同区位与服役条件下的优先级调控标准

管网区位层级	超期服役管网	中期服役管网	新建管网
核心主干管网	优先级上调一级，紧急处置	维持基础优先级，按期整改	维持基础优先级，定期监测
片区次干管网	优先级上调半级，短期整改	维持基础优先级，常规处置	维持基础优先级，正常监测
区域支路管网	维持基础优先级，常规整改	优先级下调半级，统筹处置	优先级下调一级，周期监测
末端支管管网	维持基础优先级，统筹监测	优先级下调一级，暂缓处置	优先级下调一级，长期监测

3.4 优先级评估结果的运维应用逻辑

修复优先级评估的核心价值，在于为排水系统提质增效提供精准的运维决策支撑，实现管网运维从“被动抢修”向“主动提质”的转型。一级紧急优先级缺陷，需纳入即时处置清单，优先调配运维资源，快速完成缺陷修复，消除系统运行核心隐患，保障核心排水通道的运行稳定性，筑牢排水系统安全底线。二级优先优先级缺陷，需纳入月度重点运维计划，在不影响核心管网运行的前提下，分批次完成整改，逐步提升片区排水管网输水效能，解决局部排水不畅、隐患累积等问题。三级常规优先级缺陷，结合季度、年度常规运维工作统筹整改，依托常态化管网养护完成缺陷消除，持续优化管网整体运行状态。四级暂缓优先级缺陷，建立常态化监测台账，定期跟踪缺陷状态变化，无需投入专项修复资源，避免资源冗余消耗。

同时，基于评估结果可构建管网缺陷动态运维台账，记录各类缺陷的等级、区位、整改状态与演化趋势，实现管网缺陷的全周期管控。通过分级分类处置，彻底解决传统运维中“轻重不分、盲目整改、资源浪费”的问题。

3.5 评估体系的优化与长效运行机制

城市排水管网运行状态处于动态演化过程中，管网

缺陷的严重程度、发展速率会随服役时间、环境变化、运维干预持续改变，固定的评估标准难以适配长期提质增效需求，因此需建立评估体系动态优化机制。结合管网长期监测数据，持续更新不同区位、不同类型管网缺陷的演化规律，定期校准评估维度分级标准与权重占比，修正评估偏差，保障评估体系的长效适用性。针对高频出现的共性缺陷，梳理缺陷诱发的核心诱因，从被动修复转向主动预防，通过优化常态化养护方案、重点区域加密监测等方式，从源头减少缺陷产生，助力排水系统提质增效。

此外，依托优先级评估体系可形成闭环运维管理模式，实现“缺陷排查-等级评估-分级处置-动态监测-体系优化”的全流程闭环。通过持续的数据分析与体系迭代，不断提升管网缺陷评估的精准度与运维方案的适配性，逐步实现城市排水管网运维的精细化、科学化、高效化发展，持续夯实排水系统提质增效的基础设施支撑，有效破解管网老化、缺陷累积、效能不足等行业共性问题。

结束语：围绕排水管网缺陷修复的精准化运维需求，搭建了涵盖多核心维度的优先级评估体系，明确了不同类型、不同区位缺陷的差异化处置标准与运维策略。体系可有效弥补传统管网运维的短板，实现缺陷分级管控与资源高效利用。动态优化的评估机制与闭环运维模式，能够持续提升排水管网运行效能，为城市排水系统提质增效与长效稳定运行提供坚实支撑。

参考文献

[1]杨明明.海绵城市建设中市政排水管网的提质增效策略探析[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(05):198-200.

[2]王左良.海绵城市建设中市政排水管网的提质增效策略探究[J].低碳世界,2022,12(03):83-85.

[3]郭曼,李志能.城镇排水系统提质增效策略探讨[J].资源节约与环保,2020,35(4):123-12.

[4]张思家,郭紫波,栗玉鸿.城市污水提质增效探索与实践[J].建设科技,2023(15): 88-91.