

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.02.002

# 排水管网运维管理问题分析与对策研究

陆露<sup>1</sup>, 高峰<sup>2</sup>, 郭娟<sup>2</sup>, 李柏彤<sup>3</sup>, 李国强<sup>1</sup>

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074; 2. 张家口市鸿泽排水有限公司, 河北 张家口 075000; 3. 苏州大学 金螳螂建筑学院, 江苏 苏州 215123)

**摘要:** 排水管网是输送污水和排除雨水的重要设施,而随着城市快速发展、人口密度增加以及排水不当,我国的排水系统逐渐老化和恶化,存在破裂、变形等结构性缺陷以及树根、结垢等功能性缺陷,容易引发城市内涝、污水溢流以及地面沉降等问题。我国长期不重视排水管网的运维管理,针对管网恶化带来的问题往往采取事后应急的方式,不仅造成应急成本增加,也容易遭受不良影响。随着国家对水环境治理和污水处理提质增效工作的重视,我国近年将持续加大对管网资产的建设,并对现状管网的运维管理提出了更高的要求。对当前管网运维管理存在的一些问题进行了分析,并据此提出了相应建议 and 对策。同时针对我国当前污水管网存在的雨污混接、外水入渗、长期高水位运行等问题,提出了提质增效的实施步骤。

**关键词:** 资产管理; 运维管理; 排水管网; 提质增效

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)02-0008-06

## Problem Analysis and Countermeasure Research for Sewer Operation and Maintenance Management

LU Lu<sup>1</sup>, GAO Feng<sup>2</sup>, GUO Juan<sup>2</sup>, LI Bai-tong<sup>3</sup>, LI Guo-qiang<sup>1</sup>

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074, China; 2. Zhangjiakou Hongze Drainage Co. Ltd., Zhangjiakou 075000, China; 3. Gold Mantis School of Architecture, Soochow University, Suzhou 215123, China)

**Abstract:** The sewer is an important infrastructure for sewage and rainwater drainage. Unfortunately, sewers are undergoing aging and deterioration due to the rapid development of urban, increase of population density and unsuitable drainage method. The existence of structural defect, e.g. fracture and deformation, and functional defect, e.g. root and encrustation, have caused cities vulnerable to be effected by urban waterlogging, sewage overflows and ground subsidence. Sewers operation and maintenance management has been neglected for a long time, i.e. the problems caused by deteriorating drainage pipes were responded passively, resulting in high cost of emergency repairs and ill-effects. Since the implementation of the water environmental governance project and the improvement measures of quality and efficiency in sewage treatment received increasing attention, the construction of pipeline network assets will continue to increase in recent years, and the higher demand of operation and maintenance management capabilities for growing sewers was requested in China. The analysis was conducted with the problems existing in sewer operation and maintenance management and the related

基金项目: 住房和城乡建设部研究开发项目(2019-K-175)

recommendations and countermeasures were given. The steps for implementing the improvement of quality and efficiency, aiming at solving the current problem in sewers, i.e. mixed connection of rainwater and sewage sewers, external water infiltration, long-term operating at high water level, etc., were established as well.

**Key words:** asset management; operation and maintenance management; sewer; the improvement of quality and efficiency

加强排水管道运行维护管理,能够保证排水管网的安全性和可靠性,有效减少内涝、降低合流制溢流现象,同时可提高管道的使用效率,减少建设成本。而我国排水管网缺乏系统管理,管网运维决策还停留在主观判断和简单推理的水平。因此,有必要探讨排水管网运维管理存在的问题及对策。

## 1 排水管网运维管理的重要性

排水管网是城市的重要基础设施之一,承担着收集输送污水和快速排除雨水的双重功能,但因埋于地下,现场工况复杂,容易发生各种管网缺陷问题,对其健康运行影响较大,并增加城市内涝、合流制溢流污染风险。目前,我国排水管网运行维护主要采取被动响应的模式,即管网发生故障之后再行应急抢修和维修,这一方式随着管网系统的老化和资金缺口的增加将不再可行<sup>[1]</sup>。美国环保局(EPA)研究发现,对管网进行不定期的运行维护,将会使管网恶化比预期更快,且与定期维护管网相比将会产生更高的更换和应急响应成本<sup>[2]</sup>。因此,有必要加强排水管网的运维管理,从被动响应变为主动响应,延长设施使用年限并减少建设投资成本。

## 2 我国排水管网运维管理现状

目前,我国排水管网普遍存在破损、错口、渗水、漏水、淤积、堵塞等不同程度的结构性缺陷或功能性缺陷<sup>[3]</sup>,其中一个重要原因就是管网运维管理不当。随着我国经济的发展以及对黑臭水体、水环境治理的重视,排水管网的扩建速度空前提高。国家统计局的数据表明,截至2018年底,城市排水管道长度总量达到 $68.3 \times 10^4$  km,比2007年增长8.41%,这也对排水管网的运行维护提出了更高的要求。认真分析排水管道运维管理中的主要问题,对于强化排水管道管理、提高管道使用率、延长使用期限具有重要意义。

### 2.1 排水管网基础信息缺乏系统管理和动态更新

长期以来,我国对排水管网的基础信息收集和

管理都不够重视,直至近些年城市内涝频发,才逐渐意识到管网“底数清楚”的重要性。为了更好地应对城市暴雨内涝灾害,2013年3月25日发布的《国务院办公厅关于做好城市排水防涝设施建设工作的通知》,明确提出要“全面普查摸清现状”的要求。住房和城乡建设部也于2013年发布了《城市排水防涝设施普查数据采集与管理技术导则(试行)》(以下简称《技术导则》),又于2016年发布了《城市排水防涝设施数据采集与维护技术规范》(GB/T 51187—2016,以下简称《技术规范》),用于指导城市排水防涝设施的采集与维护工作。目前,尽管部分城市对排水管网实行了数字化管理,建立了排水管网普查数据库<sup>[4-5]</sup>,但是数据库的内容和格式很少符合《技术导则》和《技术规范》的要求,且大多数城市尚未建立数据库动态更新机制,造成排水管网数据变化得不到及时有效的更新与修正。

与此同时,数据库往往仅存储了静态空间及部分属性数据,而影响管网恶化的因素很多,其中结构影响因素包括物理和施工因素、环境因素、运营因素等<sup>[6-7]</sup>,见表1;运行影响因素包括非水力因素和水力因素<sup>[8]</sup>,见表2,其中管道设计不良、有效直径减小、粗糙度增大、管道发生结构性缺陷等因素均可导致管道过流能力不足<sup>[7-9]</sup>。因此,还需要进行大量基础数据及实际运行状况数据的收集和管理,实际运行状况数据可与管网基础数据库建立连接关系。

目前部分城市开展了CCTV检测,但是检测成果主要通过报告和视频存储,多条道路的检测成果也往往分次存储,使用过程中存在一些不便。国外发达国家很早就进行了CCTV检测数据的信息化录入和地图管理,可以直观查看管网的运行状态。例如,英国Innovyze公司开发了InfoAsset Planner(原名InfoMaster)软件,可以自动导入检测视频、缺陷成果,查看闭路电视视频并导航到特定缺陷,以图示

的形式查看详细的缺陷位置、缺陷类型。

表 1 影响管网结构恶化的因素

Tab.1 Factors of influencing sewer structural deterioration

物理和施工因素	环境因素	运营因素
管龄;管材;管道形状;管道尺寸;管道埋深;管长;管道坡度;敷设方式;施工工艺水平;管道垫层材料;接口类型和材质	地下水位;入渗/渗漏;是否有树存在;土壤或回填类型;管道位置;交通和地表荷载	管道功能;淤积程度;污水特性;维护和修复策略

表 2 影响管道运行状态恶化的因素

Tab.2 Factors of influencing sewer operational deterioration

非水力因素	水力因素
随机堵塞;碎屑、脂肪、油脂和树根的存在;泵站或格栅故障;运行维护历史	管道过流能力不足;入流/入渗;管道坡度

## 2.2 管网修复养护计划的制定缺乏系统分析

2016年住房和城乡建设部发布《城镇排水管道与泵站运行、维护及安全技术规程》(CJJ 68—2016,以下简称《运行维护规程》),以规范城镇排水管道的运行和维护。但是管网的运行维护除按《运行维护规程》进行日常维护外,还需制定科学有效的管网修复养护计划,对故障风险大的管段(即故障概率大或故障后果严重的管道)优先修复和养护。

目前,大量城市只对部分管网进行检测与评估,也仅对存在问题的管网进行有针对性的修复和养护。《城镇排水管道检测与评估技术规程》(CJJ 181—2012,以下简称《检测与评估规程》)也提出了管网修复、养护等级的确定方法,即通过结构性缺陷、功能性缺陷结合土质情况、地区重要性、管道重要性确定管网修复和养护等级,这为管道修复养护的科学决策提供了有力的帮助。但是管网检测技术具有费用高的特点,无法全面覆盖整个管网系统,未检测管道得不到及时修复而造成管网恶化以及较高的修复、维护成本;且《检测与评估规程》中地区重要性、管网重要性等参数仅依据地区类别、管网直径确定,但是管网故障后果还与管网及所在道路造价,以及与学校、医院等重要设施的接

近程度相关,参数选取不全面将导致忽略某些重要管道,从而带来严重的经济社会影响。

## 2.3 管网修复养护缺少成本分析和方法指引

由于修复、养护资金较高,对故障管网及风险等级较高的管网很难一次性进行全部修复。此外,修复方法种类较多,如何准确选取难度较大。目前我国还缺少相关方法的选择指南,导致在进行管道修复养护时,容易发生方法选择不合理现象,而造成资金的浪费。欧美国家对此已进行了大量研究,能够针对具体的检测结果给出建议的修复养护方法,如Park等<sup>[10]</sup>提出了一个基于数据仓库的下水道基础设施管理决策支持系统,设计的决策支持系统可以针对不同的管道选择合适的检查方法,并针对不同的缺陷代码和缺陷等级分配适当的修复、养护和更新方法。国外发达国家也特别重视决策支持系统的建立,通过遗传算法、神经网络等算法建立模型进行成本效益分析,确定长期修复策略,并优化资源分配,极大节省了资金。例如,欧洲委员会开展了雨污水管网计算机辅助修复系统项目,该项目的最终成果是一套用于排水管网管理的综合决策支持系统(DSS),可以根据预测的管网结构故障、水力性能、污染排放等因素识别最佳排水管网修复策略,成功应用于多项研究<sup>[11]</sup>。

## 3 对我国排水管网运维管理的建议

为提高我国排水管网运维管理水平,需要从加强排水管网基础数据管理、建立科学决策工具、建立软件体系等多方面进行。图1为排水管网运维管理的措施,各项措施相互支撑,可提高我国排水管网资产使用效率,减少更换成本。

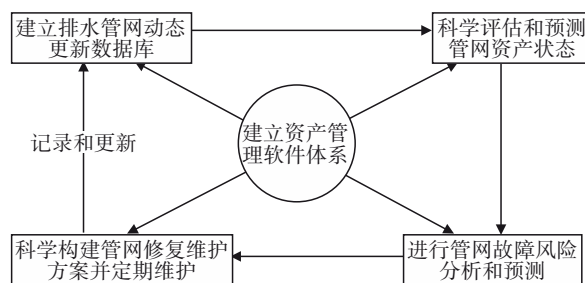


图 1 排水管网运维管理措施

Fig.1 Approach for operation and maintenance management of sewers

### 3.1 建立排水管网动态更新数据库

就目前排水管网管理现状看来,大部分城市对管网资产疏于管理和监控,缺乏长期、动态的管理。



因此,应加强排水管网基础数据的收集和管理,建立准确、高效、统一、标准的数据库,利用地理信息系统(GIS)的空间分析和查询工具,实现排水管网的数据集成、显示、分析与管理。数据库中除了需要存储排水管网空间及属性数据外,还需要与排水管网运行维护数据库建立连接关系,掌握设施运行状况,包含监测数据、功能性缺陷与结构性缺陷等检测数据、养护维护记录数据等。同时需要建立数据库动态更新机制,在设施信息补测、运营维护或维修等原因导致数据变化时,应及时对数据进行更新与修正,保持数据的现势性。为了保证数据更新工作的顺利开展,《城市排水防涝设施数据采集与维护技术规范》(GB/T 51187—2016)建议地方政府安排专项资金保障设施的动态更新。

### 3.2 科学评估和预测管网资产状态

目前,我国排水管网资产更新、修复和维护较为随意,评估过程也较简单,甚至不评估而直接根据管龄来替换,导致资源浪费。要改变这一现象,在资产更新、修复或维护之前需事先对管网资产进行系统的评估,管网状态评估结果也可以作为管网检测计划制定的依据。由于影响管网恶化的因素较多,除了管网基础属性外还包括入流入渗、管网过流能力等数据,这些数据很难全面收集,有必要采取人工摸排、监测、模型、信息化平台等多种方式进行。评估方法除了简单的指标加权分析外,还可以构建恶化模型。基于部分管网的CCTV检测数据构建符合区域特性的恶化模型,模型验证通过后可用于整个片区的状态评估。国外学者开发了一系列的恶化模型,以支撑检测计划、维护策略的制定。恶化模型一般分为物理模型、统计学模型和人工智能模型<sup>[6-7,12]</sup>。

恶化模型除了评估未检测管道外,还可预测管道的未来状态。虽然管网检测技术能清楚地显示管网的运行现状,但也仅仅反映了检测时管网状况的“快照”,在决策时管网状况可能已发生较大变化。所以有必要根据管网的当前状态合理预测管网恶化趋势,提高运营维护方案的科学性。

### 3.3 进行管网故障风险评估和预测

管网故障风险的确定,除了需要考虑管网的资产状态外,还需要考虑这些管道故障对周围的影响程度以及管道修复或更换的经济影响程度,这些影响程度包括与关键设施的邻近程度、人口密度、管

网材料、交通影响、建造时间等。例如,人口密度较高的地方,城市内涝发生的损失较大;不同管网材料的修复和养护成本不同;管网或所在道路的建造时间也会影响到修复成本,如果管网在最近铺设的道路下方发生故障,修复代价就较大。在进行故障后果分析时,应尽量考虑多种因素的共同影响,同时由于很多因素和地理位置有很大关系,如人口密度、交通影响、与关键设施的邻近程度等,建议基于GIS分析各项指标的影响程度。通过管网运行状态和故障后果相乘可计算出管网故障风险,基于此进行进一步的管网修复养护措施的制定。

### 3.4 科学构建管网修复养护方案

管网修复养护方案是指管网修复养护的直接依据。如果管网修复、养护及处理方案不科学、不合理,将会直接影响整个排水系统的正常运行,因此有必要制定科学、合理的管网修复养护方案。

首先,我国应加强修复养护措施的研究和规范的编制,积极推动相关规范或指南的完善。一是针对不同的病害类型和病害等级,建立修复养护实施细则,为下一步的管网修复养护提供业务指导,实施细则应包含修复养护方法选择、施工方案、注意事项等内容;二是确定各项修复、养护措施以及检测方式定额,进行定额管理。

同时,管网公司在实际应用过程中,还需根据所辖管网的运行状态和恶化趋势、故障风险评估和预测结果以及CCTV检测结果等数据,考虑不同措施的成本来确定不同状态等级、风险等级、缺陷等级和缺陷类型的修复养护方法。例如,对于未进行管网检测的管道,可依据管网的风险评估结果进行修复养护决策方案的制定,当管网故障风险较高时,建议直接更换管道;当故障风险为中高时,建议尽快进行管网检测;当故障风险为中级时,建议维护频次不少于1次/月;当故障风险较低时,可适当降低管网维护频次。当区域资金不充足时,具体的修复养护决策还需通过成本效益分析模型确定。

### 3.5 建立资产管理系统软件体系

开发排水管网资产管理软件,可为排水管网及相关数据提供数据处理、分析评估、运营维护、决策支持的平台支撑,降低排水管网资产管理的难度,提高运维管理水平。该软件体系具体包括监测数据的分析、检测数据的录入和管理、修复维护策略的制定等功能。通过平台有助于创建合理的日常

资产管理计划,提高管网运行安全性和稳定性。整个平台从层次上分为采集层、传输层、数据层、应用层和用户层(见图2)。



图2 管网资产管理软件系统架构

Fig.2 Framework of the sewer asset management system

① 采集层位于架构底层,完成对管网资产管理所需的各类原始数据的采集,主要包括在线及人工监测、管道测绘、管道现场运维、管道检测,以及必要的人工勘查工作。

② 传输层主要通过无线网络和运营商公网将采集数据接入平台。

③ 数据层是软件系统的基础,包含管网空间属性数据、监测数据,管网运营维护过程中的业务数据,管网检测视频和文档,以及维护过程中的拍照、记录等文档多媒体数据。

④ 应用层是软件平台的核心,包括排水管网维护决策工具、在线监测分析工具、排水管网模拟工具、资产管理系统等软件系统。其中排水管网维护决策工具实现对管网数据及检测数据的处理、分析、管理,并结合监测数据、模型数据、日常维护数据等,进行排水管网的状态评估和预测,同时结合管网重要性程度评估和预测管网故障风险,基于以上信息制定不同管道的修复养护方案;在线监测分析工具包括监测数据的采集、分析、校核、统计等功能;排水管网模拟工具实现排水管网运行状态模拟仿真;资产管理系统实现排水管网设施的数据管理、运营维护、资产计划,创建全流程数据的管理。

⑤ 用户层是直接为用户交互的层面,主要包括管网维护人员、数据分析人员、建模人员、数据处理人员和管理人员。

#### 4 我国排水系统提质增效实施步骤

目前,我国污水管网普遍存在雨污混接、外来水入渗、河湖水倒灌等问题,污水管网长期高水位运行。随着国家对黑臭水体的重视,建设大量截污管网并进行污水处理厂的提标改造,污水处理量逐年增长,但由于未解决水的来源问题,大量雨水、清水进入污水处理厂,水体黑臭现象依然存在,管网长期满管低流速运行也带来了管网易淤积、易故障的问题。现阶段部分城市已经开始启动管网检测,通过检测技术了解现状管网的功能状况、错接混接等基本情况,逐步进行管网混接错接排查与改造。由于管网检测费用较高,大规模实施管网检测从经济效益上不可行。我国污水现状管网提质增效中建议采取如图3所示步骤<sup>[10]</sup>(其中虚线框代表可选)。

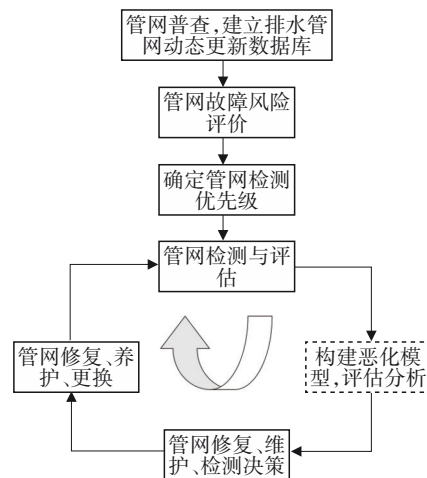


图3 排水系统提质增效实施步骤

Fig.3 Steps for implementing the improvement of quality and efficiency of drainage system

① 首先进行管网普查,建立排水管网动态更新数据库。

② 根据管网信息采用加权分析法进行管网故障概率和故障后果评价,综合计算管网故障风险等级。结合当地的条件还可以补充监测、模型,通过统计分析、模型评价排水管网运行性能,作为影响因子综合进行故障风险评价。

③ 根据②中的故障风险评价结果,确定管网检测优先级。

④ 选取检测优先级高的管网进行管网检测,根据《检测与评估规程》的要求进行管道评估。

⑤ 有条件的地区可以利用已检测管道的信息构建恶化模型,模型率定验证满足要求后,用于

评估非检测管道的故障概率,更新②中管网故障概率和故障风险等级结果。

⑥ 根据管网检测结果和故障风险评价结果,确定修复、维护方案以及管网检测频率和检测优先级。对于已完成管网检测的管道,根据不同缺陷情况选择合适的修复方法;对于未做过检测的管道,根据故障风险评价结果判断维护频次、检测频次。

⑦ 修复、维护、更换管网,更新管网数据库。

⑧ 重复④~⑦。

## 5 结论

目前,我国排水管网的运维管理还存在着诸多问题,如管网信息缺乏系统管理和动态分析、管网修复养护计划缺乏系统分析等。基于此状况,提出以下排水管网运维管理策略:①建立排水管网动态更新数据库;②科学评估和预测管网资产状态;③进行管网故障风险评估和预测;④科学构建管网修复养护方案;⑤建立资产管理系统软件体系。

## 参考文献:

- [1] MARIUS M R, RITA M U. Evaluating the role of deterioration models for condition assessment of sewers [J]. *Journal of Hydroinformatics*, 2015, 17 (5): 789–804.
- [2] United States Environmental Protection Agency Office of Wastewater Management. Fact sheet—asset management for sewer collection systems [EB/OL]. [2019-08-22]. <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/assetmanagement.pdf>.
- [3] 都焕锋,陈佳,郑文田. 城市排水管网建设与运营问题剖析[J]. *城乡建设*, 2017(15): 11–14.  
DU Huanfeng, CHEN Jia, ZHENG Wentian. Problem analysis about construction and management of urban drainage pipelines [J]. *Urban and Rural Development*, 2017(15): 11–14(in Chinese).
- [4] 解智强,王贵武,高忠,等. 基于GIS模型的昆明市地下排水管线数据库设计与表达应用[J]. *测绘通报*, 2010(10): 59–62.  
XIE Zhiqiang, WANG Guiwu, GAO Zhong, et al. GIS model-based Kunming underground drainage line database: design, representation and application [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2010(10): 59–62(in

Chinese).

- [5] 唐嵘,陈宏汉,冯润. 城市排水管网设施管理与信息共享机制研究[J]. *中国给水排水*, 2012, 28(5): 84–87, 92.  
TANG Rong, CHEN Honghan, FENG Run. Management and information sharing mechanism of urban drainage network facilities [J]. *China Water & Wastewater*, 2012, 28(5): 84–87, 92(in Chinese).
- [6] ANA E V, BAUWENS W. Modeling the structural deterioration of urban drainage pipes: the state-of-the-art in statistical methods[J]. *Urban Water Journal*, 2010, 7 (1): 47–59.
- [7] GERHILD K, NICOLAS C. Review of Sewer Deterioration Models, KWB Project SEMA (Report 1.2) [R]. Berlin: Kompetenzzentrum Wasser Berlin GmbH (KWB), 2013.
- [8] FAZAL C, TAREK Z. Infrastructure condition prediction models for sustainable sewer pipelines [J]. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 2008, 22(5): 333–341.
- [9] GURUPRAKASH K. Sewer Pipeline Condition Prediction Using Neural Network Models [D]. East Lansing: Michigan State University, 2004.
- [10] PARK T, KIM H. A data warehouse-based decision support system for sewer infrastructure management [J]. *Automation in Construction*, 2013, 30: 37–49.
- [11] SAGROV S, SCHILLING W. Computer aided rehabilitation of sewer and storm water networks [C]// ASCE. Proceedings of Ninth International Conference on Urban Drainage. US: ASCE, 2005: 1–15.
- [12] CARADOT N, SONNENBERG H, KROPP I, et al. The relevance of sewer deterioration modelling to support asset management strategies [J]. *Urban Water Journal*, 2017, 14(10): 1007–1015.

**作者简介:**陆露(1989–),女,湖北武汉人,硕士,工程师,信息系统项目管理师(高级),中国市政华北院智慧水务分公司副总工,从事排水系统智慧化管理相关技术研究工作。

**E-mail:**289794018@qq.com

**收稿日期:**2020-07-24

**修回日期:**2020-10-28

(编辑:丁彩娟)