

浅析城镇排水管道非开挖修复整治工程

吴峰

南京市市政设计研究院有限责任公司，江苏南京

摘要：以南京市污水收集管网专项整治工程为例，根据相关政策文件、技术规程等，对现状排水管道的缺陷问题进行系统性梳理，发现结构性缺陷中化学管材占比最高（66%），主要表现为破裂、错口及变形等；功能性缺陷中混凝土管的缺陷占比权重最大（52%），其次为化学管材，主要表现为障碍物等。根据“非开挖优先”的修复原则，提出基于管材类型与缺陷类型的差异化修复路线，综合应用裂管法、原位固化法及不锈钢双胀圈等非开挖技术，在4400米整治管道中实现2100米非开挖修复（占比47.7%）。研究表明，非开挖工法有效解决了老城区道路重复开挖难题，兼顾污水收集率提升与社会成本控制，为同类城市管网修复工程提供了技术路径与实施范式，具有显著的环境效益与社会经济效益。

关键词：管道缺陷；管道修复；非开挖修复

Brief Analysis of Trenchless Repair and Renovation Projects for Urban Drainage Pipelines

Feng Wu

Nanjing Municipal Design and Research Institute Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu

Abstract: Taking the special rectification project of sewage collection pipe network in Nanjing City as an example, based on relevant policy documents, technical regulations, etc., a systematic review was conducted on the defect problems of the current drainage pipes. It was found that among the structural defects, chemical pipe materials accounted for the highest proportion (66%), mainly manifested as rupture, misalignment and deformation, etc. Among functional defects, the defects of concrete pipes account for the largest proportion (52%), followed by chemical pipes, mainly manifested as obstacles, etc. According to the repair principle of “trenchless priority”, a differentiated repair route based on pipe type and defect type was proposed. Trenchless technologies such as pipe cracking method, in-situ curing method and stainless steel double expansion ring were comprehensively applied to achieve trenchless repair of 2100 meters out of 4400 meters of rectified pipelines (accounting for 47.7%). Research shows that the trenchless construction method effectively solves the problem of repeated road excavation in old urban areas, taking into account both the improvement of sewage collection rate and the control of social costs. It provides a technical path and implementation model for similar urban pipe network repair projects, and has significant environmental and social economic benefits.

Keywords: Pipeline defect; Pipeline repair; Trenchless rehabilitation

* 作者简介：吴峰（1979-），男，大学本科，高级工程师，注册公用设备（给水排水）工程师，长期从事市政给水排水工程设计工作。

1 引言

为全面贯彻落实生态环境保护的相关政策要求,加快补齐城镇污水收集及处理设施的短板,实现污水管网全覆盖、全收集、全处理,2019年4月,三部委联合印发了《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019-2021年)》的通知。其中,提出建立污水管网排查和周期性检测制度,并实施管网错混接改造、管网更新、破损修复改造等工程,实施清污分流,全面提升现有设施效能。

南京市于2018年初发布的《南京市2018年水环境提升工作方案》中要求“推进污水管网排查与修复”,污水主次干管、街巷支管疏通、检查,对雨污混接、错接的管道即查即改,对倒坡、破损、下沉、堵塞及无法疏通的管道进行修复或翻建,同时加强对沿河、沿湖截流管道(沟、涵)及检查井缺陷修复,实现雨污水各行其道,减少河水、雨水、地下水混入污水管网,进一步提高污水收集率,最大程度地发挥已建工程效用。

2018年南京市在总结试点片区排水管网排查经验的基础上,全面启动主城区各大污水收集系统的排查工作,并根据排查成果报告,开展污水管网的专项整治工程。

主要介绍排水管道的非开挖修复在本工程中

的应用,设计范围内共整治排水管道长度约为4400米,其中非开挖整治长度约为2100米,非开挖整治工法占比约47.7%,主要非开挖修复工法有[1]:裂管法、原位固化法、不锈钢双胀圈修复等。

2 排水管道现状调查

2.1 排水管道缺陷类型分析

工程开展前期,由管网检测单位对整治范围内的排水管道进行了CCTV检测,通过检测报告分析,排水管道缺陷主要分为功能性缺陷及结构性缺陷,且两者又分多种具体的缺陷类型,该项目检测污水管道的管材有化学管材、钢筋混凝土管、金属管[2]:

结构性缺陷中,塑料管材的缺陷占比权重最大,其次为混凝土管,详见下图1,其主要缺陷类型有破裂、错口、变形、起伏等,详见下图2。

功能性缺陷中,混凝土管的缺陷占比权重最大,其次为化学管材,详见下图3,其主要缺陷类型有障碍物、树根等,详见下图4。

2.2 排水管道缺陷影响分析

通过对缺陷类型分析,破裂、错口、起伏、变形、渗漏、障碍物等占比较高[3],究其原因,主要

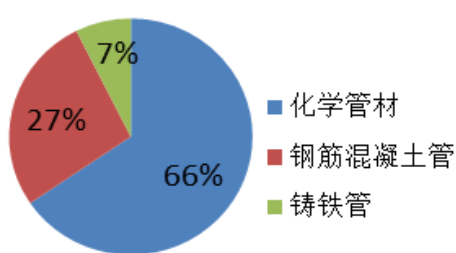


图1. 结构缺陷占比分析

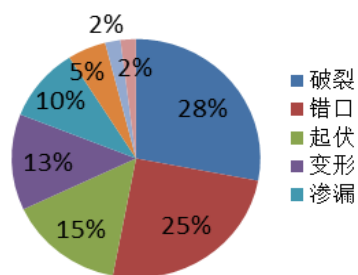


图2. 结构缺陷类型占比

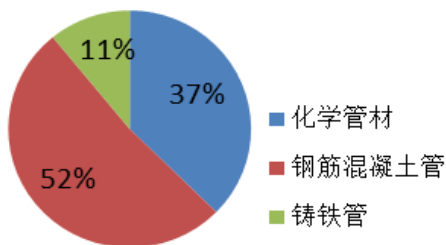


图3. 功能缺陷占比分析

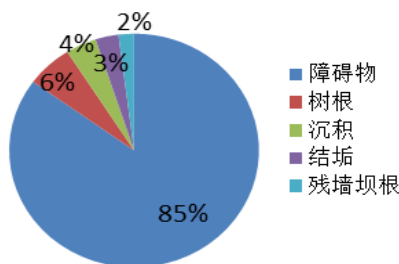


图4. 功能缺陷类型占比

有以下：

2.2.1 管材影响

根据缺陷占比，化学管材居高。特别是在城市主次干道下的化学管材，受地质情况、上部荷载等影响，若其环刚度不满足设计要求，更容易发生错口、脱节、变形、起伏、破裂等问题，导致过水断面受损，污水外渗，外水侵入，严重的可导致管道周围形成空洞，路面塌陷，见下图5。

2.2.2 施工影响

施工质量控制对后期管道的正常运行尤为重要，如管材的基础、管道坡度、管道接口、沟槽回填等，均是影响管道能否正常运行的因素。

另外其它市政管道的施工不规范，也会造成排水管道的破坏。如其它市政管线直接从污水管道下部穿过，严重阻碍排水管道的正常过水断面，导致上游污水无法顺畅排出，上游检查井返水满溢；其它市政管线从污水管道上部横穿，导致排水管道破裂，地下水入渗，不仅降低污水厂的进厂水质浓度，且严重可导致管道周围土体被掏空，路面塌陷，见下图6。

3 管道修复的原则

管道缺陷修复主要分开挖修复与非开挖修复[4]。在有条件的情况下，开挖换管是解决缺陷较为彻底的方案，但由于该项目主要位于主城老城区，因拉链式马路的施工诟病，为避免重复翻挖道路给老百姓出行带来的极大不便性，原则应以非开挖为主，加强对既有设施的有效利用，实现社会效益、环境效益及经济效益的最大化，在无敏感地段的严重结构性缺陷的整体管道在有条件的情况下，应经论证其可行性后，可实施开挖修复，但应做好交通组织设计。

依据《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》及《南京市污水管网修复整治工程技术导则（试行）》，非开挖修复，主要按功能性缺陷、结构性缺陷进行分类，同时结构性缺陷又按化学管材及非化学管材分类，实施具体的修复措施，具体的

缺陷管道整治路线如下图7。

4 管道非开挖修复的工法

管道结构性缺陷非开挖修复，亦分结构性修复及半结构性修复，其修复后的管道性能及使用寿命，应满足相关规范的要求，其主要体现在所用修复的材料性能，如材料厚度、环刚度等，应根据地质条件进行计算后确定；管道修复后，尚应进行水力计算，需满足过水能力的要求[5]。

非开挖修复分局部修复与整体修复，局部修复的常用方法有不锈钢套筒、不锈钢双胀环及点状原位固化；整体修复的方法主要有原位固化法、螺旋缠绕法、内衬法、穿插法、胀管法（裂管法）等，各非开挖法工法适用条件如下表1。

4.1 局部修复工法

4.1.1 不锈钢套筒法

外包止水材料的不锈钢套筒膨胀后，在原有管道和不锈钢套筒之间形成密封性的管道内衬，堵住渗漏点；主要用于脱节、渗漏等局部缺陷的修复。适用管径范围150~1350mm。常用不锈钢套筒的止水材料为止水橡胶和涂抹发泡胶海绵两种，前者利用不锈钢套筒挤压橡胶止水，后者利用发泡胶膨胀挤压止水。具有止水效果好、质量稳定、投资省、修复快等优点。此工艺不可用于管道断裂、接口严重错位、管道线性严重变形等结构性缺陷的修复，如下图8。

4.1.2 点状原位固化法

将浸渍常温固化树脂的纤维材料固定在破损部位，注入压缩空气，使纤维材料紧紧挤压在管道内壁，经固化形成新的管道内衬；用于管道脱节、渗漏、破裂等缺陷的修复，适用管径范围50~1500mm。常用为自然固化工艺，此外还有热固化、紫外光固化各种固化方式，修复时可根据需要自行选择。主要修复材料为玻璃纤维与聚酯、环氧等类型的树脂。此工法不可用于管道断裂、接口严重错位、管道线性严重变形等结构性缺陷的修复，如下图9。



图5. 管道破裂

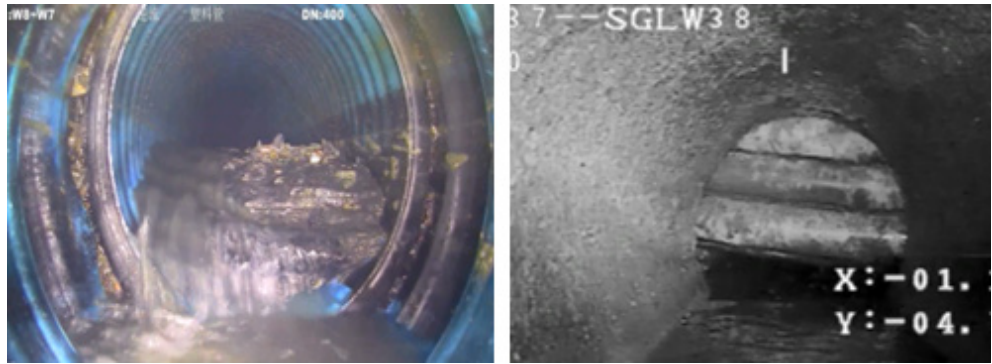


图6. 强电光缆横穿排水管道

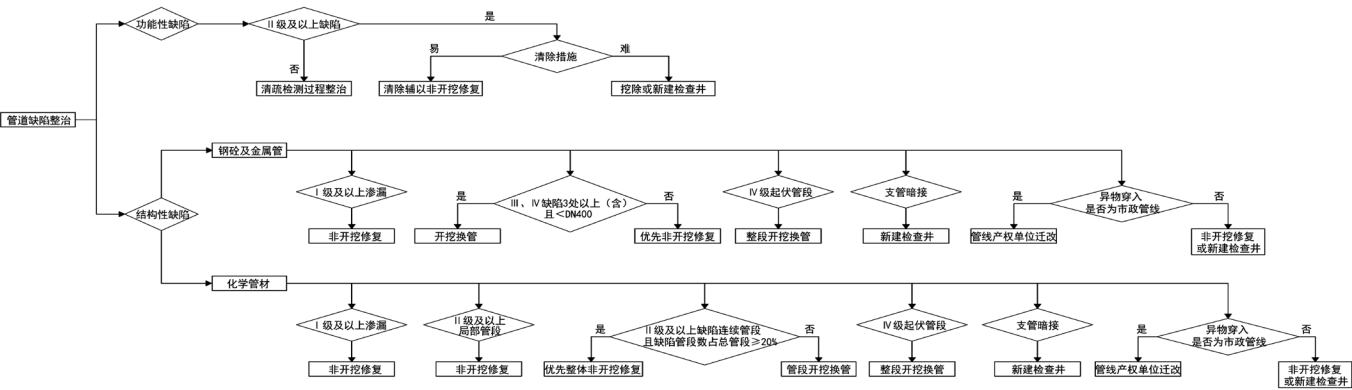


图7. 缺陷管道整治路线

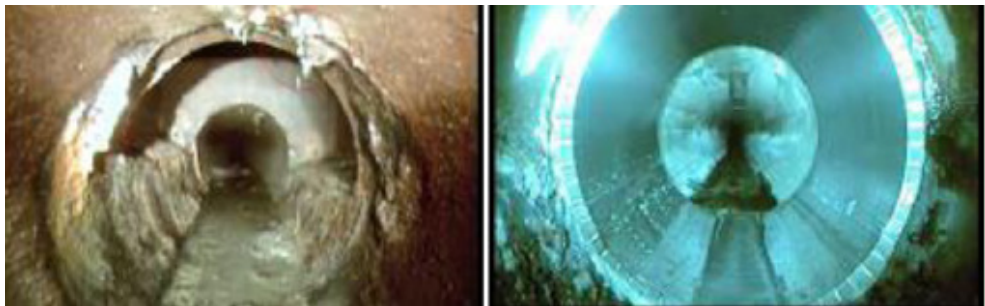


图8. 不锈钢套筒法修复前后对比（左图为修复前，右图为修复后）

4.2 整体修复工法

4.2.1 胀管法（裂管法）

将一个锥形的胀管头装入到旧管道中，将旧管道破碎成片挤入周围土层中，与此同时，新管道在胀管头后部拉入，一般采用PE管，管节规格为0.5m。从而完成管道更换修复的过程，用于破裂、变形、错位、脱节等各种缺陷的修复。

适用管径范围为50mm-1200mm。胀管法根据施工方式不同一般可分为气动胀管、静拉胀管、液压胀管等，修复时利用原有检查井作为工作井，一般用于一些严重变形、塌陷管道的非开挖修复工作，根据本工程的实施情况，该工法对原管道管材有一定的要求，适用于原管材为化学管材的修复，见下图10。

4.2.2 紫外光固化法

渍光敏树脂的软管置入原有管道内，通过紫外光照射固化，在管道内形成新的管道内衬；用于各种结构性缺陷的修复，适用于不同几何形状的排水管道[6]。

圆管可修复管径范围150mm-1600mm。具有施工时间短、占地面积小、使用寿命长、修复后整

体性强、修复后表面光滑和对周边环境影响小等优点，可以封闭原有的洞孔，裂缝及缺口，隔绝入渗，阻止渗出，在排水管道的结构性缺陷修复中广泛应用，相较热水原位固化法，紫外固化法固化速度更快、修复后管道强度更高，但对需修复的管道预处理要求较高，见下图11。

4.2.3 热水翻转固化法

采用水压翻转方式将浸渍热固性树脂的软管置入原有管道内，加热固化后，在管道内形成新的管道内衬；用于各种结构性缺陷的修复，适用于不同几何形状的排水管道。圆管可修复管径范围100mm-2700mm。热水原位固化法具有施工时间短、占地面积小、使用寿命长、修复后整体性强、修复后表面光滑和对周边环境影响小等优点，见下图12。在进行修复前，必须保证待修复管道满足热水原位固化法的修复条件，对于局部存在严重的变形、坍塌等不符合要求的，可采用局部开挖修复配合热水原位固化修复工艺进行修复施工。

5 非开挖修复材料计算参数

（1）当采用穿插法、原位固化法、折叠内衬法或缩径内衬法进行管道半结构性修复时，内衬管

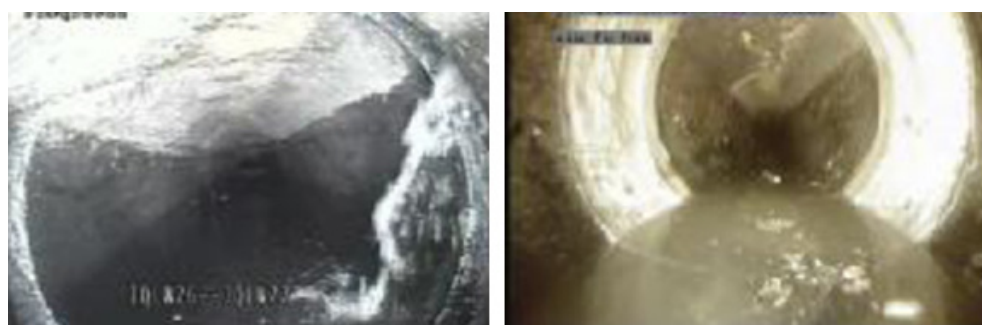


图9. 不锈钢套筒法修复前后对比（左图为修复前，右图为修复后）



图10. 裂管法

最小壁厚计算方式如下[1]:

$$t = \frac{D_0}{\left[\frac{2KE_L C}{PN(1-\mu^2)} \right]^{1/3} + 1} \quad (\text{公式1-1})$$

$$C = \left[\frac{\left(1 - \frac{q}{100}\right)^3}{\left(1 + \frac{q}{100}\right)^2} \right] \quad (\text{公式1-2})$$

$$q = 100 \times \frac{(D_e - D_{\min})}{D_e} \text{ 或 } q = 100 \times \frac{(D_{\max} - D_e)}{D_e} \quad (\text{公式1-3})$$

式中:

t—内衬管壁厚 (mm);

D_0 —内衬管道外径 (mm);

K—圆周支持率, 取7.0;

E_L —内衬管的长期弹性模量 (MPa), 宜取短期模量的50%;

C—椭圆度折减系数;

P—内衬管管顶地下水压力 (MPa), 地下水位的取值应符合《给水排水工程管道结构设计规范》GB50332有关规定;

N—安全系数, 取2.0;

μ —泊松比, 原位固化法内衬管取0.3, PE内衬管取0.45;

q—原有管道的椭圆度 (%), 取2.0%;

D_e —原有管道的平均内径 (mm);

$D_{\min}$ —原有管道的最小内径 (mm);

$D_{\max}$ —原有管道的最大内径 (mm);

(2) 当采用穿插法、原位固化法、折叠内衬法或缩径内衬法进行管道结构性修复时, 内衬管最小壁厚应符合下列规定

1) 内衬管最小壁厚计算方式如下:

$$t = 0.72D_0 \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)^2}{E_L \times R_w \times B' \times E'_s} \right]^{1/3} \quad (\text{公式2-1})$$

$$q_t = 0.00981H_w + \frac{r \times H_s \times R_w}{1000} + W_s \quad (\text{公式2-2})$$

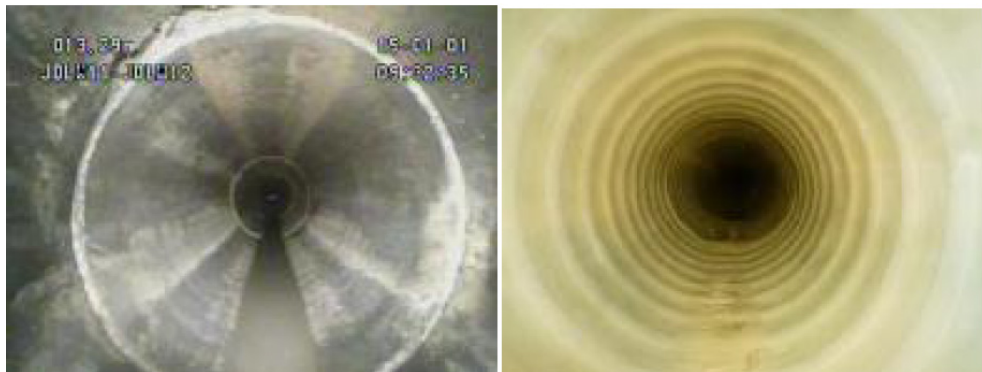


图11. 紫外光原位固化修复前后对比 (左图为修复前, 右图为修复后)

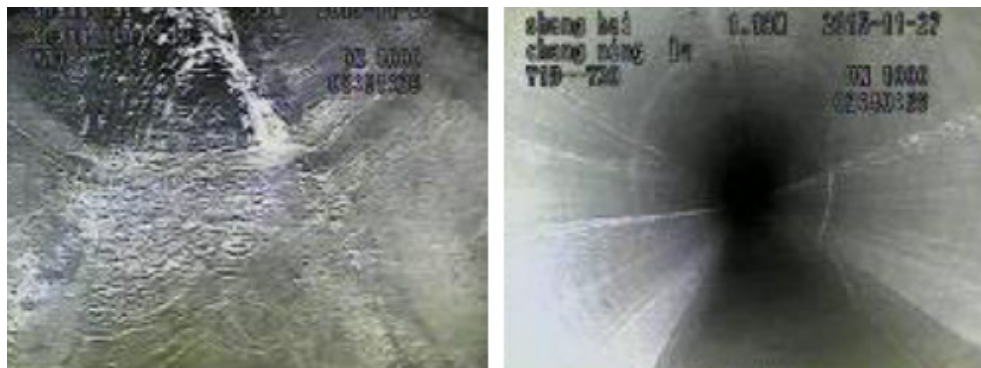


图12. 热水翻转固化修复前后对比 (左图为修复前, 右图为修复后)

表1. 非开挖管道修复工法 [7]

点位修复（局部）				管段修复（整体）			
	不锈钢 双胀环	不锈钢 止水钢套环	局部树脂 固化	原位树脂固化	软管内衬	螺旋缠绕	胀管法（裂管法）
适用管径	≥800	不限	≤800	≤1000	≥400	≥600	≥200
适用管材				不限			
适用缺陷类型及等级	破裂	√	√	√	√	√	√
	变形	×	×	√	√	√	√
	错口	√ II 级及以下	×	√	√	√	√
	脱节	×	×	√	√	√	√
	渗漏	√	√	√	√	√	√
	腐蚀	×	×	×	√	√	√
	脱落	√	√	√	√	√	√
施工速度							
优点	施工简洁、快速，止水效果好	施工简洁、快速，止水效果好	快，修复后管道强度高，过流断面损失小	施工速度快，修复后管道强度高，过流断面损失小	修复成本低，具有良好的结构性能	施工占用空间小，修复后结构性较强	修复后管道结构性能强
缺点	结构承载力差，不适用于小口径，不适用后期绞车疏通	结构承载力差，不适用后期绞车疏通	不适用严重错口、管道断裂、严重变形的结构性缺陷	大口径修复材料成本高，对于 II 级以上的破裂、变形、错口及脱节以上的应采取预处理措施	不适用严重错位、变形的结构性缺陷，修复后过水断面缩小	修复成本高，修复后过水断面缩小	修复成本高，不适用严重线性弯曲变形管道

注：以上修复工法的使用条件随着新工艺、新技术的改进，存在相应的变化。

$$R_w = 1 - 0.33 \times \frac{H_w}{H_s} \quad (\text{公式2-3})$$

$$B' = \frac{1}{1 + 4e^{-0.213H}} \quad (\text{公式2-4})$$

式中： q_t —管道总的外部压力（MPa），包括地下水压力、上覆土压力以及活荷载；

- R_w —水浮力系数，最小取0.67；
- B' —弹性支撑系数；
- Es' —管侧土综合变形模量（MPa）；
- H_w —管顶以上地下水位高（m）；
- γ —土的重度（kN/m³）；
- H —管道敷设深度（m）；
- H_s —管顶覆土厚度（m）；
- W_s —活荷载（MPa）。

2) 内衬管最小壁厚尚应满足

$$t \geq \frac{0.1973D_0}{E^{1/3}}$$

式中：
 t —内衬管壁厚（mm）；

D_0 —内衬管道外径（mm）；
 E —内衬管初始弹性模量（MPa）

6 结语

- (1)非开挖修复应用技术的不断更新及相关政策标准的出台，相比开挖整治，其避免大面积开挖路面，减少了对道路交通及出行的不良影响，降低了建筑垃圾、粉尘及噪音的污染，且节省了传统开挖支护、路面恢复及管线迁改保护的措施费用，在近年来对于城市排水管道修复工程中得到了广泛应用，根据住建部2024年的数据统计，非开挖修复成本较传统开挖降低了30%-50%左右，逐步成为城市管网更新的主流方案。
- (2)污水管网专项整治工作应在对检测缺陷的充分分析情况下，结合其工程的边界实施条件，如道路、地下管网、交通、有无敏感地带等情况，根据缺陷管道的类型、缺陷等级、现状管材等，论证其实施设计方案的可行性，并结合近年的施工经验与教训，

选择技术、经济最佳的可落地性强的实施方案;

(3)对于非开挖修复整治,应确保修复材料的质量、施工水平等,确保修复后管道的使用功能及使用年限均能满足相关要求;

(4)南京市污水管网收集系统经近几年的专项整治,通过2020年7月至2021年6月对污水处理厂的进水量、水质情况监测分析,具有明显的成效,进水量下降约9%左右,接近污水厂设计规模,COD指标较之前提高了约23%,BOD指标较之前提高了约53%,说明管道修复整治工程取得了显著成效,特别是对于渗漏管道的整治,说明管道修复后对挤外水成果显著。

参考文献

[1]住房和城乡建设部《城镇排水管道非开挖修复更新工程

技术规程》: CJJ/T210-2014,北京: 中国建筑工业出版社, 2014-5.

[2]住房和城乡建设部《城镇排水管道检测与评估技术规程》: CJJ181-2012.北京: 中国建筑工业出版社, 2012-11.

[3]王晓静.城市排水管道结构性缺陷及应对策略[J]. 绿色科技, 2020,04: 197-199.

[4]肖倩, 项立新,杨明轩,等. 非开挖技术在深圳市排水管道修复中的选择与应用 [J]. 给水排水, 2019,01: 116-120.

[5]住房和城乡建设部《城市黑臭水体整治—排水口、管道及检查井治理技术指南(试行)释义》. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016-12.

[6]张洪彬,安关峰,刘添俊,等. 紫外线光固化CIPP技术在排水管道修复中的应用 [J]. 给水排水, 2015,02: 103-106.

[7]周杨军,蒋仕兰,解铭,等. 非开挖修复技术在城市排水管道维护中的应用 [J]. 中国给水排水, 2020,20: 58-62.

