

嘉兴市排水管道非开挖修复工艺及相关计算

周君

长三角（嘉兴）城乡建设设计集团有限公司

摘要：近年来城市经济迅速发展，城市化建设持续深入，地下环境愈发拥堵，而早期建设的排水管道平均运行时间均达到二十年之久，因各种原因产生的破裂、变形、错口等问题致使水环境安全越发得不到保障，如今较多已建成道路下的排水管道再开挖施工越发困难，其养护的迫切性也在逐渐加重。本文介绍了嘉兴市当地常用的排水管道非开挖内衬修复工艺，并以CIPP紫外光固化法为例对其设计参数进行模拟计算。

关键词：非开挖修复；CIPP紫外光固化法；设计计算

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.02.076

一、引言

2018年浙江省“五水共治”（河长制）办公室印发了关于《浙江省“污水零直排区”建设行动方案》，于是嘉兴市“五水共治”（河长制）在同年发布了《嘉兴市“污水零直排区”建设调查方案编制和验收技术指南》（试行），该文要求到2020年为止30%以上的县（市、区）满足“污水零直排区”建设标准，到2022年为止80%以上的县（市、区）满足“污水零直排区”建设标准。而污水零直排的主要工程手段关键就是控制污水不外渗、地下水不入渗，但在实际施工中，如果直接进行开挖沟槽，需要对上层建筑等障碍物进行处理，对城市正常运行构成一定影响，扰乱城市居民生活或破坏城市环境，尤其是嘉兴市2019年前后刚经历了较大规模的城市工程建设。

非开挖内衬修复技术是一种占地面积较小，对环境影响小的施工技术。本文介绍了嘉兴市当地常用的内衬修复技术并以CIPP紫外光固化法为例对其设计参数进行模拟计算，为以后的工程建设提供参考。

二、非开挖内衬修复技术

（一）CIPP紫外光固化法

1. 工艺简介

CIPP紫外光固化法是将浸渍光固化树脂的玻璃纤维软管牵引拉入现状待修复的管道内，然后进行充气扩张，使之贴合待修复管道，最终在紫外光的作用照射下进行固化，并形成具有一定强度的内衬管，从而以实现管道修复加固的目的。

2. 工艺流程

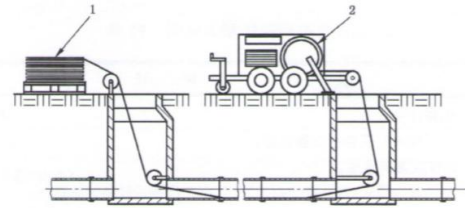
（1）管道修复预处理

测毒防护→封堵管道→管道疏通清洗→CCTV检测→止水堵漏

对管道漏水严重的情况，在CIPP修复前对漏水点进行止水处理，采用点状修复止水。

（2）CIPP紫外光固化法修复

管道修复预处理→拉入底膜→拉入内衬管→充气膨胀软管→紫外光固化→新管形成



说明：

1——牵拉装置；

2——浸渍过树脂的内衬管。

图1 CIPP紫外光固化法

（二）热塑成型内衬修复（FIPP）

1. 工艺简介

热塑成型内衬修复（FIPP）是将厂家已预制完成的特种高分子材料构成的衬管在现场进行加热软化，然后牵引拉入现状待修复内，然后通过加热并充气的方式使之贴合待修复管道，最终冷却形成具有结构强度的内衬管，从而实现管道修复加固的目的。

2. 工艺流程

（1）管道修复预处理

测毒防护→封堵管道→管道疏通清洗→CCTV检测→止水堵漏

对管道漏水严重的情况，在CIPP修复前对漏水点进行止水处理，采用点状修复止水。

（2）热塑成型内衬修复（FIPP）

管道修复预处理→加热软化内衬管→拉入内衬管→加压加热膨胀软管→新管形成

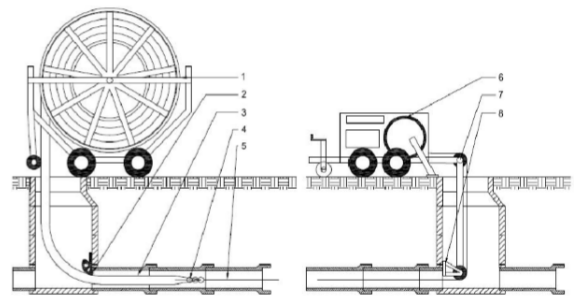


图2 热塑成型内衬修复（FIPP）

（三）碎（裂）管法

1. 工艺简介

碎（裂）管法是采用碎（裂）管设备从管道内部破碎或切割原管道，将原有管道碎片挤入周边土体形成管孔，并同步拉入新管道的管道更新方法。

碎（裂）管法可利用原有检查井，破掉原来的旧管道，拖入同管径或更大一级的新管道，早期碎（裂）管法多采用气动锤式，现多为液压力式。

2. 工艺流程

（1）管道修复预处理

测毒防护→封堵管道→管道疏通清洗→修建顶管机

平台、井壁加固、安装后靠背等准备措施

(2) 碎(裂)管法修复

管道修复预处理→推顶导向杆→牵引、顶管同时作业→固定管道



图3 碎(裂)管法

(四) 各技术对比

通过咨询各大专业非开挖工程技术公司，并在嘉兴市多个工程中进行应用后，以上三个技术的应用注意事项如下表所示：

三、设计计算-以CIPP紫外光固化法为例

(一) 非开挖内衬修复设计公式

根据《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》(CJJ/T210-2014)及《给水排水管道原位固化法修复技术规程》(T/CECS 559-2018)中的要求，当采用原位固化法时，半结构性内衬管壁厚应按下列公式计算^[4]：

表1 非开挖工艺对比

工艺	材料	材料承载性能	适应缺陷类型	适用管径及管材	优缺点
CIPP紫外光固化法	浸渍或注入光固化树脂后的玻璃纤维编织成的软管	内衬管为主要受力结构，弯曲弹性模量为6500MPa-18000MPa	各种结构性及功能性缺陷	管径：DN300-DN1800，各种管材	固化过程可视化，安装简单；管道错口、变径会导致内衬表面褶皱，需要可停放工程车的场地
热塑成型内衬修复	特种高分子材料	内衬管为主要受力结构，弯曲弹性模量为2500MPa	各种缺陷，尤其在错口、变径表现优异	管径：DN200-DN600，各种管材	材料物理变化施工前后稳定，安装简单；承载力低，较多的依赖原有管道的结构强度，需要可停放工程车的场地
碎(裂)管法	承插接口PE实壁管	内压1.0MPa，SDR17	各种结构性及功能性缺陷	管径：DN50-DN1200，化学管材	可扩大原管径1级；可能损坏邻近管线或引起地表隆起，需开挖工作坑

$$t = \frac{D_0}{\left[\frac{2KE_L C}{P_0 N(1 - \mu^2)} \right]^{\frac{1}{3}} + 1}$$

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

式中：t为内衬管壁厚（mm）；D₀为内衬管外径（mm）；K为圆周支持率，取值一般为7.0；E_L为内衬管的长期弹性模量（MPa），取短期模量的50%；P₀为内衬管管中心地下水压力（MPa）；C为椭圆度折减因子；q为原有管道的椭圆度，取2%；N为安全系数，取2.0；μ为泊松比，取0.3。

结构性内衬管壁厚应按下列公式计算^[4]：

$$t = 0.721D_0 \left[\frac{\left(\frac{N \times q_t}{C} \right)}{E_L \times R_w \times B' \times E_s'} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$q_t = 0.00981H_w + \frac{\gamma H_s R_w}{1000} + W_s$$

$$R_w = 1 - 0.33 \frac{H_w}{H_s}$$

$$B' = \frac{1}{1 + 4e^{-0.213H}}$$

式中：t-为内衬管壁厚（mm）；D₀为内衬管外径（mm）；q_t为内衬管承担的土体、地下水自重及地面活荷载之和（MPa）；H_w为管顶以上地下水位高（m）；H为管道埋深（m）；H_s-为管顶覆土厚度（m）；R_w-为水浮力因子；γ为土体容重，kN/m³；W_s

为地面活荷载（MPa）；N为安全系数，取2.0；C为椭圆度折减因子；q为原有管道的椭圆度，取2%；E_L为内衬管的长期弹性模量（MPa），宜取短期模量的50%；B'为弹性支承系数；E_s'为管侧土的综合变形模量（MPa）。

(二) 修复类别

根据管道健康状况，修复分为半结构性修复和结构性修复。

半结构性修复是指新的内衬管在设计寿命之内仅需要承受外部的静水压力，而外部土压力和活荷载仍由原有管道支撑^[4]。该方式主要应用管道仅存在功能性问题或现状管材为刚性材料。

结构性修复是指修复后形成的内衬管或内衬管、原有管道、注浆浆体形成的复合结构应能承受外部静水压力、土压力和活荷载作用。该方式主要应用管道存在结构性问题。

(三) 内衬管性能要求

玻璃纤维内衬软管初始性能需满足以下要求：

表2 内衬软管初始性能^[4]

项目	单位	指标	试验方法
抗弯强度	MPa	≥45	《纤维增强塑料弯曲性能试验方法》(GB/T 1449-2005)
短期弯曲弹性模量	MPa	≥6500	
抗拉强度	MPa	≥62	《塑料拉伸性能的测定 第4部分：各向同性和正交各向异性纤维增强复合材料的试验条件》(GB/T 1040.4-2006)

表3 内衬软管固化后力学性能^[3]

项目	单位	实测指标
抗弯强度	MPa	245
短期弯曲弹性模量	MPa	9232
抗拉强度	MPa	188

(四) 动荷载选取

《Advances in Underground Pipeline Design, Construction and Management》一书中给出了AASHTO HS-20型卡车(0.254X0.508的接触面积,荷载71.17kN)的对埋地管道的活荷载^[1]。

表4 埋地管道的活荷载

管道埋深 (m)	活荷载 (kPa)	管道埋深 (m)	活荷载 (kPa)
0.601	41	3.048	6
0.763	27	3.658	4
0.914	23	4.877	3
1.067	18	6.096	2
1.219	15	8.230	1
1.829	10	12.19	1
2.743	7	18.29	0

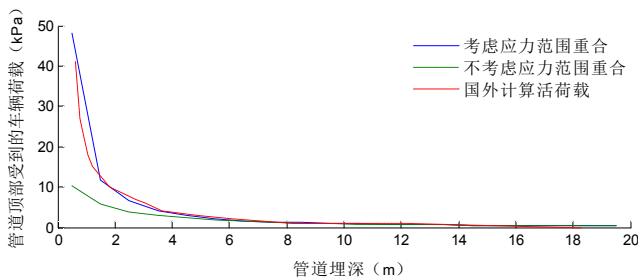


图4 埋地管道的活荷载

地面堆积荷载一般取10kPa,非开挖管道修复内衬管设计中活荷载应取车辆荷载和地面堆载中的较大值。

(五) 土体综合弹性模量的选取

根据《给水排水工程管道结构设计规范》中附录A 中所示并结合嘉兴地区大多数土壤性质,土体综合弹性模量可取值5MPa。

另国外著名专家Jey K. Jeyapalan通过多年的研究对回填土ES'的取值^[2]进行了如下总结:

表5 土体综合弹性模量

土的类型	标准普氏压实度			
	85%	90%	95%	100%
CL、ML、CL-ML	3.4	4.8	6.8	9.6
SM、SC	4.1	6.2	9.3	13.6
SP、SW、GP、GW	4.8	6.8	10.2	15.3

注:CL为低塑性黏土;ML为低塑性淤泥;CL-ML为

粉质黏土;SM为粉砂;SC为粘质砂土;SP为不良级配砂;SW为级配良好的砂;GP为不良级配砾石;GW为级配良好的砾石。

上表中的值为埋深小于不大于1.5m的管道的经验值。对于1.5m以上的管道,按压实度从小到大每0.3m应分别增加0.17、0.34、0.52、0.7。

嘉兴地区,管道大多处于粉质黏土层,压实度按道路路基要求应不小于94%,因此当管道埋深在2m左右时综合考量土体综合弹性模量可取值7.2MPa。

(六) 计算结果

1. 半结构性设计计算

本文以常用管径DN300-DN600为例进行设计计算。

表6 半结构性内衬管壁厚

管径 (mm)	DN300	DN400	DN500	DN600
壁厚 (mm)	2.4	3.2	3.9	4.7

2. 结构性设计计算

本文以2m埋深下管道为例,对常用管径DN300-DN600进行设计计算。

表7 结构性内衬管壁厚

管径 (mm)	DN300	DN400	DN500	DN600
壁厚 (mm)	3.2	4.3	5.3	6.4

四、结语

如今大多数城市内排水管网系统已趋近完善,且近几年嘉兴市政建设过程中对上改下的要求也越来越多,地下空间趋近饱和,而前期的排水管道受施工质量、自身质量或后期改造影响,或多或少存在结构性或功能性问题。非开挖修复工艺在场地狭小且地下管线复杂的情况下为城市管道养护提供了更低影响的解决方案。打破了传统市政管道开挖修复方式的局限性,为如今的市政管道工程建设提供了另一种思路,让我们的工程建设方案更具备可实施性。

参考文献

[1]Jeyapalan, Jey K. Advances In Underground Pipeline Design, Construction And Management [M]. S. n. 2007

[2]Jeyapalan, Jey & Watkins, Reynold. (2004). Modulus of Soil Reaction (E') Values for Pipeline Design. Journal of Transportation Engineering-asce - J TRANSP ENG-ASCE. 130. 10.1061/ (ASCE) 0733-947X (2004) 130: 1 (43)

[3]舒彪, 马保松, 陈宁宁. 非开挖修复工艺在污水处理提质增效项目中的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2023 (3): 179-182

[4]CJJ/T 210-2014, 城镇排水管道非开挖修复更新技术规程[S]

[5]T/CECS 559-2018, 给水排水管道原位固化法修复技术规程[S]