

# 港内污水管道全密闭修复综合施工技术

孙玉涛<sup>1</sup> 白石磊<sup>2</sup>

天津港航工程有限公司

**摘要：**天津港内南疆区域石化管道已经运行多年，石化小区内产生油污污染问题的主要原因为南疆路雨水管道、生活污水管道、油污水管道三排并行，存在较为严重的渗漏，油污水渗漏后污染土壤，从外部进入雨水管道内，造成交叉污染。同时石化小区内的排水检查井密封性较差，同样存在渗漏污染问题。由于管道存在一定变形，为了对管道及管道周边环境更好的保护最大限度提升修复后的管道通行能力，本项目优化原有紫外光原位固化法（CIPP）的材料组成，减小了管道内壁摩擦系数，另外辅之螺旋缠绕内衬法、检查井水泥砂浆喷涂法等，通过多种修复方式配合，最终对问题管线全密闭修复。

**关键词：**石化管道；渗漏污染；管道通行能力；紫外光原位固化法；摩擦系数；水泥砂浆喷涂法；全密闭修复

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.11.107

## 引言

非开挖修复技术在以往工程中已有过应用，本工程待修复的管道位于天津港内，通过检测发现管道存在变形、下沉、破裂；井室存在破裂、渗漏等缺陷，管道输送介质为含油废水，对土体造成了污染，且管道存在一定变形，为了对管道及管道周边环境更好的保护，修复管道且尽量达到原有设计通行能力，对损坏管道及检查井进行全方位修复，保证修复后的管道全密闭、无渗漏。

## 一、工程概况

本工程为交钥匙工程，主要建设内容为：对天津港南疆石化小区范围内存在的渗漏隐患的雨水、生活污水管、井进行修复，实现彻底修复该区域雨水、生活污水管、井（含收水支管）的渗漏及环保隐患问题：按照工可方案，雨水管道修复主要推荐采用紫外光固化或螺旋缠绕法内衬修复方案，采用离心喷涂法对雨水管网井体内壁进行修复，对南一路、南三路、南五路、南六路、南九路5座雨水排海口进实施闸井新建与改造。井内增设水质在线监测设备，监测数据通过信号传输实现远程监控。对南疆路污水管进行管道内衬修复，采用紫外光固化内衬修复法；采用离心喷涂法对污水检查井体内壁进行修复。采用明开槽施工在南一、南二、南三、南五、南六路新建污水管道。具体情况如图1所示。



(a) 现状雨水管网分区图



(b) 现状污水管网分区图

图1 现状雨水管网分区

## 二、管线修复前情况

### (一) 排水管道的污染及淤堵

由于车行道内现状雨水、污水及油污水管管材均为钢筋混凝土管，存在管道接口有渗漏，含有废水污染土体及海水现象。被油污污染的雨水管段主要位于南三路、南疆路（南三路附近）、南八路-南九路，但管道接口渗漏、海水潮汐等影响致使南疆路沿线管道均存在不同程度的污染；除此以外，南疆港石化小区也承担砂石料等材料运输的功能，地面沉积物较多，雨季随雨水进入管道，导致雨水管道存在不同程度的淤堵现象。

### (二) 污水管道逆坡憋水、破损严重

南一路至南六路目前均有两排污水管道，污水管道自北向南敷设，再自南向北逆坡憋水接入南疆路污水管道，长期处于高水位运行。由于沉降及重型车辆碾压等问题多处管道变形、破坏，周边土体污染严重。

## 三、建设单位的要求

针对上述问题，现状排水管道局部更换已不能满足南疆港区创建“绿色港口”环境健康、生态保护、低污染等要求，需要从根本上对港区内市政道路内现状雨水管道、污水管道进行改造，以彻底解决土壤污染全密闭

修复南疆排水系统满足环保要求的高标准要求，且需最大限度提升修复后的管道通行能力。

#### 四、全密闭维修方案

根据CCTV管道检测情况，参建单位共同研究拟定的方案为：为尽量减小对港口道路的通行影响，对直接小于1.5m大雨污水管道采用紫外光固化内衬修复法非开挖方案修复，对大于1.5m管径的雨水管道采用螺旋缠绕法内衬修复，检查井采用离心喷涂法修复，做好管道与检查井连接处的密封措施。对内衬管材质进行仔细研究对比，降低管道内壁摩擦系数，提升内衬管的通行能力，对离心砂浆材料配比进行优化，提升其强度、可涂性、耐磨及耐腐蚀性。

##### (一) 紫外光管线材料性能的优化

管道非开挖紫外光固化材料紫外光固化材料基本组分是光引发剂、低聚物、稀释剂等，光引发剂受光照时从基态跃迁到激发态而产生化学分解，生成碎片。紫外光固化树脂体系相对于热固性树脂体系具有明显的优点：固化区域定义比较明确，仅在紫外光灯光照射区域；固化时间短，随着紫外线光源逐渐向前移动，内衬的冷却也随后连续发生，从而降低了固化收缩在内衬管内引起的内应力；紫外光固化设备上可以安装摄像头，以便实时检测内衬管固化情况；紫外光固化工艺中不用考虑排水管道端口断面高低的问题；固化工艺中不产生废水。但由于内衬管外表面紫外光接收比较少，因此固化效果也相对内表面较差。

本项目中在选择树脂和纤维时基于以下几点考虑：

(1) 在强度满足结构性能要求的前提下，减小内衬管固化后的壁厚，不影响原管道的过流能力；

(2) 浸润树脂的软管透光性足够使软管外层固化彻底；

(3) 固化后内衬管内壁粗糙系数较小。

##### 1. 树脂的研究

在紫外光固化工艺中，树脂的固化时间、流动性及浸润性对于工艺的实施具有较大的影响，针对紫外光固化树脂，紫外光不照射时则几乎不会发生固化反应，因此流动性好坏主要依赖于树脂低聚物的流动性，同时，由于紫外光引发速度和固化速度快，造成制品韧性较低，因此针对固化材料的增韧性也是要考虑内容。

通过对玻璃纤维预拉伸对增韧光固化树脂基复合材料力学性能的研究，在考察不玻璃纤维不同拉伸程度对复合材料弯曲性能的影响时，发现拉伸率为1%的玻璃纤维在固化后相比于未拉伸复合材料试样的弯曲强度和弯曲模量有明显提升，起到了增韧效果。

在紫外光固化体系中，由于低聚物的黏度通常较高，因而需要加入稀释剂以调节黏度。光固化体系中的

稀释剂一般是可以参加固化反应的，因此称之为活性稀释剂。从化学结构来说，这些活性稀释剂一般是含有可聚合官能团的小分子，因而习惯上也称为单体。活性稀释剂按其每个分子所含反应性基团的多少，可以分为单官能团活性稀释剂和多官能团活性稀释剂。按官能团的种类，则可以把活性稀释剂分为丙烯酸酯类、乙烯基类、乙烯基醚类、环氧类等。

本项目中通过试验将紫外光固化材料里面树脂的配合比提高到45%，发现在固化内衬管强度满足性能要求下，内衬管固化效果更好，固化的管道的内表面的摩擦系数更低，同时也实现了管道力学性能的提升。对比结果如表1所示。

表1 不同树脂配比性能对比表

树脂配比	摩擦系数	弯曲模量 MPa	弯曲强度 MPa	拉伸强度 MPa
35%	0.0084	13100	261	134
40%	0.0081	13500	265	133
45%	0.008	14100	287	143
50%	0.0082	14300	288	145

##### 2. 纤维布的研究

在紫外光固化法中玻璃短纤维是选用特制的浸润剂拉制的原丝，经由湿法在线短切而成的玻璃纤维。具有其他玻璃纤维难以对抗的优秀功能，且适用范围极端广泛。

玻璃短纤维的优秀功能首要表如今：

(1) 原丝集束性好，毛屑含量低。

(2) 优秀的干态流动性，对接连喂料十分有利，玻璃纤维在制品中的分布十分均匀。

(3) 优秀的湿态分散性的流动性，易被树脂浸渍。

(4) 可燃物含物： $\leq 0.2\%$

(5) 玻璃短纤维长度：3mm，4.5mm，6mm，12mm，25mm

本项目通过试验对比选用材料为方格布800加短切毡，纤维表面经特殊硅烷型浸润剂涂覆，经过短切而成的ECR玻璃纤维短切原丝与PP、PE相容性好，增强性能优良，具有优异的集束性、抗静电性、低毛羽性、高流动性，技术指标如表2所示：

表2 ECR玻璃纤维短切原丝技术指标

测试项目	单位	测试结果	检测方法
外观	-	白色，无污染	目测
单纤维直径	$\mu\text{m}$	13 $\pm$ 1	ISO 1888
含水率	%	$\leq 0.1$	ISO 3344
可燃物含量	%	0.5 $\pm$ 0.15	ISO 1887
短切长度	mm	3.0 $\pm$ 1 4.5 $\pm$ 1	GB/T 1219

(二) 离心喷涂检查井的密闭维修

1. 水泥砂浆材料研究

检查井密闭维修选择离心喷涂方法，用的最重要的材料为水泥砂浆，在对水泥砂浆材料进行选择时，需要考虑的因素包括：材料强度、地质条件、地面静载和动载、地下水压、井径和井深以及检查井的自身状况。通过综合分析，本项目对检查井喷涂材料需要满足的条件要求如下：

- (1) 喷涂施工24小时后的抗压强度不低于25MPa；
- (2) 24小时弹性模量不小于1034MPa；
- (3) 材料固化后有足够的抗渗性；
- (4) 材料28天拉伸黏结强度不小于1.2MPa；
- (5) 材料需要有足够的抗腐蚀性能。

能够达到上述性能的灰浆材料与常规的水泥砂浆

相比有显著的不同，就本项目喷涂的砂浆而言，喷涂1.3cm厚的砂浆材料，大约相当于13cm厚的常规水泥砂浆。为了达到上述要求，本项目采用了基于改性水泥及其他特殊添加剂的砂浆材料，它具有超高强度、涂抹性好、耐磨及耐腐蚀性好等特点；该材料可针对因微生物腐蚀导致混凝土PH值降至3以下的环境使用。将材料怀一定量的水充分搅拌后，可形成一种适宜喷涂、浇筑、泵送或仅靠重力即可流入直径不小于6mm孔洞的膏状材料。该材料在不依赖特殊养护的条件下可迅速硬化，硬化后的内衬层极为致密，具有极佳的防渗性能。该材料具有极好的涂抹性，砂浆即使在潮湿的表面上也有很强的附着性，不会出现流挂现象。

通过试验，本项目材料性能可以达到以下要求（如表3）：

表3 材料性能

项目	要求	试验方法
抗压强度 (MPa)	1d	≥25
	28d	≥65
抗折强度 (MPa)	1d	≥3.5
	28d	≥9.5
凝结时间 (min)	初凝	≤120
	终凝	≤360
静压弹性模量 (MPa)	28d	≥30000
拉伸黏结强度 (MPa)	28d	≥1.2
抗渗性能 (MPa)	28d	≥1.5
28d收缩率 (%)	28d	≤0.1
抗冻性 (100次循环)	28d	强度损失≤5%
防腐蚀类型	5%硫酸液腐蚀24h	无起泡、无剥落、无裂纹
	10%柠檬酸；10%乳酸；10%醋酸腐蚀48h	无起泡、无剥落、无裂纹

五、维修效果

本工程通过以上介绍内容对材料的优化，加强施工过程细节控制，于2021年8月11日顺利完成管线修复，最大限度的保障了通行能力，通过对检查井和管道的同步修复，彻底隔绝了管道、检查井和外面土壤环境，保利外部地下水系统不会被再次污染，值得类似工程借鉴。

参考文献

[1] 叶阳滨. 市政管道修复中非开挖技术的应用探讨[J]. 散装水泥, 2020 (06).  
 [2] 张卿. 某管网工程新建污水管道修复更换对策研究[J]. 城市道桥与防洪, 2020 (05).

[3] 张欣. 排水管非开挖原位固化法管道修复系统材料质量控制[J]. 净水技术, 2020 (S1).  
 [4] 田力. 天然气管道修复中非开挖技术的应用分析[J]. 城市建筑, 2019 (36).  
 [5] 冯晓峰. 市政给排水管道设计及管道修复思路的探讨[J]. 工程建设与设计, 2019 (12).  
 [6] 褚同伟. 非开挖管道修复技术在市政管道改造中的应用[J]. 城镇供水, 2018 (05).

作者简介：孙玉涛（1973-），男，吉林省吉林市，大学本科，高级工程师，主要从事建筑施工工程管理工作。