

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.20.007

高压条件下排水管道局部树脂固化修复及预处理

李明

(中铁十八局集团建筑安装工程有限公司, 天津 300308)

摘要: 由于城镇排水管道多处于繁华地区,不允许开挖或开挖成本较高,且会影响交通和市容市貌,因此非开挖修复技术应运而生。针对福州市城区排水管网改扩建工程(连坂片区)高兴路排水管道的缺陷,主要研究高压条件下排水管道局部树脂固化修复前的预处理技术。针对排水管道渗漏严重的情况,难以直接采用局部树脂固化的方式进行修复,因此,先采用化学注浆堵漏的方式进行预处理,注浆材料采用比利时进口的 PUR-X100 和 ACRYL-X1000 专用注浆材料,然后进行局部树脂固化修复。该注浆材料和预处理技术在国内首次应用于排水管道非开挖局部修复工程,对今后国内类似的工程具有参考意义。

关键词: 排水管道; 高压; 非开挖; 局部修复; 树脂固化; 注浆堵漏

中图分类号: TU992.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)20-0045-06

Local Resin Curing Repair and Pretreatment Technology of Drainage Pipes under High Water Pressure

LI Ming

(China Railway 18th Bureau Group Construction and Installation Engineering Co. Ltd., Tianjin 300308, China)

Abstract: Since urban drainage pipelines are mostly located in the prosperous area where excavation is not allowed or costly, and it may affect the traffic and the city appearance, the trenchless repair technology came into being. In view of the defects of drainage pipeline reconstruction and expansion project in Fuzhou City (Gaoxing Road, Lianban area), the pretreatment technology before the local resin curing repair of the drainage pipeline under high water pressure conditions is studied. In view of the serious leakage of drainage pipeline, it is difficult to directly adopt the local resin curing method for repair. Therefore, chemical grouting and plugging was used for pretreatment, and PUR-X100 and ACRYL-X1000 imported from Belgium were used as special grouting materials to carry out the local resin curing repair. The grouting material and pretreatment technology are first used in the trenchless local repair project of drainage pipeline in China, which has guiding significance for similar projects in China in the future.

Key words: drainage pipe; high water pressure; trenchless; local repair; resin curing; grouting and plugging

城镇排水管道主要是指市政雨水管道和污水管道,在保障城市正常运转的过程中发挥着不可替代

通信作者: 李明 E-mail: mrx65788@126.com

的作用。但由于其设计不合理、管材和施工质量的缺陷、运营和维护不当等各种因素^[1],导致早期修建的排水管道在服务期内出现各种结构性缺陷和功能性缺陷,如坍塌、渗漏、裂纹、腐蚀等^[2],这不仅严重影响管道的正常使用,而且会给城市的安全带来严重的负面影响,如地下水进入管道,管道周围和上部土体流失形成孔洞,形成地面塌陷;管道内污水深入地下,污染土壤和地下水;管道过流能力降低导致积水甚至洪涝灾害^[3]等。

针对管网修复工艺,主要有开挖修复和非开挖修复两类,其中开挖修复不仅成本高,而且对交通、地面环境以及周围设施等影响大,实施难度也较高,而非开挖管道修复技术具有施工速度快、几乎不影响地面交通、综合成本低等特点,其经济效益和社会效益远高于管道开挖修复。该技术起源于英国,马保松教授系统地将该技术引入国内。该技术包括管道内部检测技术、管道清洗技术和管道修复技术。管道修复技术包括管道整体修复技术、局部修复技术、更新修复技术^[4]。

局部修复技术主要有局部树脂固化、不锈钢快速锁、不锈钢双胀圈、喷涂修复等。其中局部树脂固化技术以其适用范围广、耐腐蚀等优势,在国内外已有广泛的应用^[5]。

笔者主要介绍高压条件下排水管道局部树脂固化修复预处理技术。高压条件特指管道外地下水位较高造成的高水压。由于待修复管道所处环境地下水压力较高,渗漏严重,修复前必须先进行止水处理,采用一般的管内喷涂或注浆的方法难以堵漏,因此,施工前如何对渗漏点有效止水成为工程的重点和难点。如果不进行止水处理,则大量地下水进入管道后会严重影响树脂的固化,甚至导致修复失败。传统的注浆堵漏材料由于固化速度较慢,未完全固化就可能被高压水冲走,难以有效堵漏。因此,堵漏材料拟采用比利时进口的 PUR-X100 和 ACRYL-X1000 专用注浆材料,该材料遇水后几秒内便可发生固化,可用于高压条件下快速止水堵漏。该注浆材料和堵漏技术在国内首次应用于排水管道非开挖局部修复工程,取得了良好的效果,对今后国内类似的工程具有一定的指导意义。

1 工程概况

该工程为福州市城区排水管网改扩建工程(连坂片区),待修复管道位于高兴路 W3000013600 ~

W3000013572 检查井之间,待修复管道为混凝土圆形管道,管径为 300 mm,埋深 6.65 m,输送介质为污水,管道内发生一处渗漏,属于结构性缺陷,渗漏等级为 3 级(见图 1),导致大量地下水涌入管道,亟需修复。



图1 管道渗漏

Fig. 1 Pipeline leakage

2 局部修复结构设计

局部树脂固化结构设计除了选择合适的树脂(本项目采用环氧树脂)和固化剂外,最主要的设计参数就是内衬管壁厚,对于高压条件下的排水管道,这点尤为重要。局部树脂固化多用于修复结构破损较轻的管道,该工程中管道的破坏为 3 级渗漏,属于半结构性破坏,原有管道仍具有一定的强度,能承受上覆土荷载和交通荷载,只需考虑静水压力。因此,该设计主要参照重力管道原位固化法(CIPP)半结构性修复内衬壁厚设计^[6-7]。

假定静水压力是均匀分布的,为安全起见,设计时假设内衬管和既有管道之间没有任何的连接或胶结在一起。考虑到长期蠕变效应,将 Timoshenko 屈曲方程中的弹性模量改进为长期弹性模量,并考虑安全系数和管道的椭圆度系数,将管道的尺寸比(DR)取代原有的平均直径,可以得出:

$$P_w = \frac{2KE_L}{(1-\nu^2)} \frac{1}{(DR-1)^3} \frac{C}{N} \quad (1)$$

$$DR = D_0/t \quad (2)$$

式中 P_w ——作用在 CIPP 管道上的静水压力,MPa
 E_L ——管道的长期弹性模量,MPa,宜取短期弹性模量的 50%

K ——圆周支撑系数,通常情况下取 7

D_0 ——原有管道平均外径,m

N ——安全系数,通常为 1.5 ~ 2.0

ν ——泊松比,通常情况下为 0.3

t ——内衬管设计壁厚,mm

C ——椭圆度修正系数

C 可由下列公式计算得到:

$$C = (D_{\min}/D_{\max}^2)^3 = \left[\left(1 - \frac{q}{100}\right) / \left(1 + \frac{q}{100}\right)^2 \right]^3 \quad (3)$$

$$q = 100 \times \frac{(D - D_{\min})}{D} \text{ 或 } q = 100 \times \frac{(D_{\max} - D)}{D} \quad (4)$$

式中 q ——管道的形状变形百分值

D ——原有旧管道内径,mm

D_{\min} ——原有旧管道的最小内径,mm

D_{\max} ——原有旧管道的最大内径,mm

由式(1)、(2)可以推导出内衬管壁厚:

$$t = \frac{D_0}{\left[\frac{2KE_L C}{P_w N(1 - \nu^2)} \right]^{1/3} + 1} \quad (5)$$

只考虑静水压力,作用在内衬管上的静水压力(P_w)计算如下:

$$P_w = \frac{H_w \gamma_w}{10^3} \quad (6)$$

式中 H_w ——管顶上部地下水位高度,mm

γ_w ——水的重度,一般取 9.81 kN/m³

本工程中各参数取值: $K=7$, $\nu=0.3$, $N=2.0$, $D_0=0.3$ m, $E_L=6\,000$ MPa, $H_w=4.95$ m,代入式(6)得 $P_w=0.049$ MPa, $q=2\%$ (由于 D 、 D_{\max} 、 D_{\min} 不详,如果要修复的管道没有或者无法进行椭圆度测量,通常取椭圆度为 2% 进行计算^[8]),计算得到 $C=0.84$,将上述数据代入式(5)可得内衬管壁厚 $t=3.21$ mm,结合内衬管的生产规格,选取壁厚为 4 mm 的内衬管。

3 高压条件下管道修复前处理技术

3.1 封堵导流

在管道修复施工前,必须对待修复管段进行安全封堵,常用的封堵方法有气囊封堵法和墙体封堵法。气囊封堵法由于其安装和拆除方便,广泛应用于排水管道修复临时堵漏,但随着管径增大,气囊所能承受的水头压力减小,风险增大^[9]。由于该工程管径较小,故采用气囊封堵法。

管道封堵完毕后,管道内水位升高,为避免封堵

后造成上游管道积水过多,保障区域排水安全,管道在封堵前必须做好临时排水准备^[10]。

由于局部树脂固化施工周期非常短,仅几个小时便可施工完成,因此采用临近检查井内设置水泵导流,导流施工时需安排专人看管导水设备;当水量增加时,需同步增加导水设备,以保证管道施工的安全性。

3.2 清疏

根据实际情况,采用高压水车清洗。具体方案是向下游检修井内放入软管及注射嘴,使用反向式喷机的喷嘴,将喷嘴和软管穿过或越过堵塞部位,然后开启高压泵,回拉软管,通过喷嘴的后向工作模式,清除管道内的堵塞物。注意开启高压泵后必须保持喷嘴一直处于移动状态,避免对管壁造成损伤(静止时间限制在 60 s 内)。一旦注射喷嘴穿过堵塞物,必须保持稳定的 100 ~ 200 mm/s 的回收率,以保证注射产生的碎屑通过将软管和喷嘴向操纵器方向移动而从污水管中冲洗掉,同时保持水压。

管道高压清洗的同时,由于管道下游已经封堵,高压喷头射流冲出来的污水无法正常排出,所以用吸污车对检查井内冲洗下来的污水进行抽运,以便用编织袋将高压喷头清洗下来的淤泥、泥沙等杂物运出管道和检查井。

3.3 堵漏

待修复管道漏水十分严重,属于 3 级渗漏,地下水进入管道后会影响到树脂的固化,所以必须在修复前对漏水点进行止水预处理。由于该管道所处环境地下水压力较高,采用常规的管内喷涂或注浆的方法难以堵漏,因此,本工程采用从比利时进口的 PUR-X100 和 ACRYL-X1000 专用注浆材料进行注浆堵漏。采用小导管注浆的方式在渗漏部位进行注浆止水,并对周围土层进行注浆加固,注浆范围为管周 0.5 m。

3.3.1 堵漏材料

PUR-X100 是一种单组分、遇水反应、低黏度的聚氨酯树脂。在与水接触时,PUR-X100 会膨胀并反应形成一种刚性的封闭泡沫体,充分固化后,泡沫会在裂缝和接头部位形成永久性的密封圈,保证构件防水的耐久性。PUR-X100 可用于快速堵水,一般仅需几秒钟。ACRYL-X1000 是一种无毒的多功能丙烯酸单体溶液。在使用前加入活化剂或引发剂几秒钟到几分钟,树脂就会凝固。该材料主要

用于加固土壤。

由于这两种材料在国内应用较少,尤其在排水管道临时堵漏方面暂无应用案例,因此在施工前,分别对两种材料的性能进行简单的测试。

① PUR - X100 性能测试

PUR - X100 性能测试步骤及结果见图2。

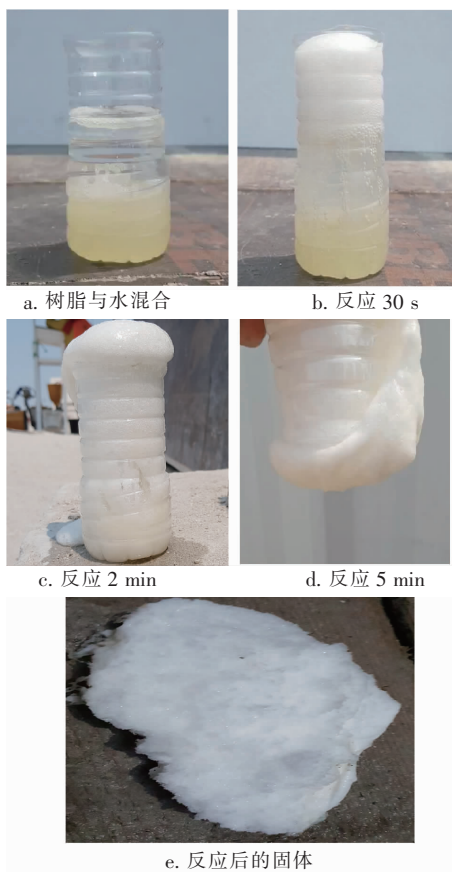


图2 PUR - X100 性能测试步骤及结果

Fig. 2 Performance and results of PUR - X100 test

PUR - X100 是一种琥珀黄色的胶凝状树脂,遇水反应后会产生大量泡沫。首先,将水与 PUR - X100 树脂按 8 : 1 的比例混合,然后静置在空气中让其充分反应,观察反应过程。30 s 后,该树脂体积迅速膨胀,产生大量气泡。反应 2 min 后,形成胶凝体。5 min 后,该胶凝体表面开始干燥,将水杯倒置后,里面的水无法流出,证明其具有良好的堵漏效果。将胶凝体取出后,其形成一种类似于棉花的固体。

② ACRYL - X1000 性能测试

首先,测定 ACRYL - X1000 丙烯酸树脂的反应时间。将适量 ACRYL - XTEA 加速剂和 ACRYL - XSP 引发剂混合到相应的 A 和 B 组分中来设置适

当的反应时间,充分混合后,再将 A、B 组分混合,在杯中测定反应时间。开始时,A、B 组分均为液体,混合 30 s 后,形成一种类似于树胶的胶凝体。由此可知,ACRYL - X1000 丙烯酸树脂的反应时间约为 30 s。

然后,测试 ACRYL - X1000 丙烯酸树脂加固土体的效果。准备适量的沙土放于杯中,将上述 A、B 组分的树脂同时加入到该杯中,静置让其充分反应。反应 2 min 后,将水杯倒置,杯中沙土无法倒出,证明其能够起到加固土体的效果(见图3)。



图3 ACRYL - X1000 丙烯酸树脂加固土体测试及结果

Fig. 3 Reinforcement soil test and results of ACRYL - X1000 acrylic resin

3.3.2 堵漏设备

注浆采用 DESOI AirPower S25 - 3C VA 专用注浆设备,该设备轻便、体积小,便于施工,如图4(a)所示。注浆管长 1 m,直径为 DN15,周身布设 DN3 注浆孔,呈梅花形布置,间隔 50 mm,如图4(b)所示。



图4 注浆装置

Fig. 4 Grouting device

注浆管沿管周环形布置,间距 150 mm,斜向插入管道周围土层。注浆过程中采用量压结合的控制方式,沙类土层一般采用渗透注浆或挤密注浆,以控制注浆量为主,黏土地层采用挤密注浆或劈裂注浆,一般注浆压力为 0.1 ~ 0.3 MPa,每根注浆管注浆量为 5 kg。

3.3.3 堵漏效果

施工时,首先注入 PUR - X100 堵水材料,待无

漏水后,再注入 ACRYL - X1000 土壤加固材料,固化后检测堵漏效果。经检测,管道破裂处已无渗漏,可以进行局部树脂固化修复施工。

4 修复后排水管道功能性评价

4.1 外观评价

施工完成后,对修复后复合结构的外观进行检测。检测标准依据 ASTM F 1216^[7] 和 CJJ/T 210—2014^[6]。修复效果见图 5。CCTV 检测资料显示,修复后内衬管内壁光滑,无渗漏、裂纹、褶皱等现象,说明修复效果较好。



图 5 管道修复后效果

Fig. 5 Effect after pipeline repair

4.2 密实性评价

施工完成后,对内衬管管壁进行密实性测试,内衬材料的密实性直接关系到修复后管壁的抗渗能力。测试方法参照《给水排水管道原位固化法修复技术规程》(T/CECS 559—2018)^[11] 中 CIPP 管壁密实性测试试验,试验装置如图 6 所示。

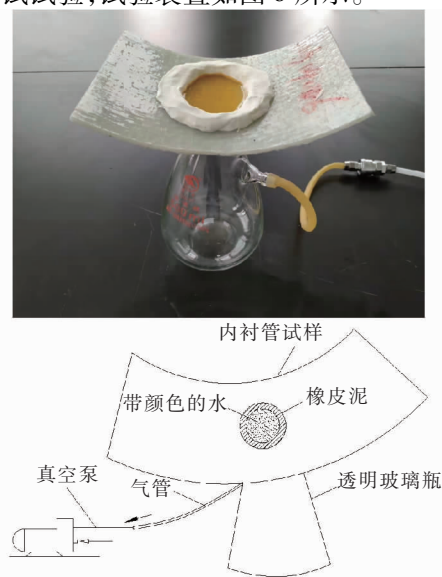


图 6 密实性测试装置

Fig. 6 Compactness test device

试验设备主要由真空泵、透明玻璃瓶、气管、橡皮泥、试纸、有色试剂(黄色)等组成。试验材料直接从现场的内衬软管上截取,每个内衬管上至少取 3 个样品,常温固化后在室温条件下进行测试,测试压力为 -0.05 MPa ,并在此压力下持续 30 min。每个样品测试次数不少于 3 次。具体试验过程:先将试纸粘在测试样品反面,然后将样品放在玻璃瓶上(样品和玻璃瓶的接触面采用密封胶密封),用真空泵抽吸玻璃瓶内的空气,并观察真空泵上压力表读数,当压力表读数为 -0.05 MPa 时,停止抽吸,用橡皮泥在样品表面围一个水圈,大小与瓶口相同,滴入有色试剂,持续 30 min,取下样品,观察放在样本上的试纸,如果试纸上出现水迹,则视为有水渗漏。在每个样本的 3 个测试点上都不出现渗水,则表示合格。

该工程所选用的内衬材料密实性良好,实际测试均未发生渗漏。

5 结论

针对福州市城区排水管网改扩建工程(连坂片区)高兴路排水管道的缺陷,选用局部树脂固化的方法进行修复,施工速度较快,从施工前检测到施工完成仅需 3 h。在堵漏过程中,先采用 PUR - X100 进行封堵止水,再采用 ACRYL - X1000 材料加固周围土体,取得了良好的堵漏效果。对施工完成后内衬材料的功能性测试结果表明,该工程所用内衬材料密实性较好、无渗漏;且内衬壁厚较小、树脂表面光滑,不会影响管道的过流能力。

参考文献:

- [1] 康健. 污水管线穿越南水北调干渠节点方案设计[J]. 铁道建筑技术, 2017(1): 53 - 56.
Kang Jian. Design of sewage pipeline crossing the trunk node of the South-to-North Water Diversion Project[J]. Railway Construction Technology, 2017(1): 53 - 56 (in Chinese).
- [2] CJJ 181—2012, 城镇排水管道检测与评估技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
CJJ 181 - 2012, Technical Specification for Inspection and Evaluation of Urban Sewer[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012 (in Chinese).
- [3] 唐建国, 朱保罗. 排水管道非开挖修理技术的分类和选择[J]. 给水排水, 2005, 31(6): 83 - 90.
Tang Jianguo, Zhu Baoluo. Classification and selection of

- no dig service of sewer pipeline [J]. Water & Wastewater Engineering, 2005, 31 (6): 83 - 90 (in Chinese).
- [4] 马保松. 非开挖工程学[M]. 北京:人民交通出版社,2008.
- Ma Baosong. The Science of Trenchless Engineering [M]. Beijing: China Communications Press, 2008 (in Chinese).
- [5] 毛伟华,王非. 局部树脂固化法非开挖修复城市排水管道[J]. 城市公用事业,2010,24(6):44-46,48.
- Mao Weihua, Wang Fei. Trenchless repair of urban drainage pipeline with partial resin curing method[J]. Public Utilities, 2010, 24(6): 44 - 46, 48 (in Chinese).
- [6] CJJ/T 210—2014, 城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2014.
- CJJ/T 210 - 2014, Technical Specification for Trenchless Rehabilitation and Renewal of Urban Sewer Pipeline [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014 (in Chinese).
- [7] ASTM F 1216 - 2007a, Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Inversion and Curing of a Resin - Impregnated Tube [S]. USA: ASTM International, 2009.
- [8] 马保松. 非开挖管道修复更新技术[M]. 北京:人民交通出版社,2014.
- Ma Baosong. Trenchless Pipeline Rehabilitation and Renewal Technology [M]. Beijing: China Communications Press, 2014 (in Chinese).
- [9] 张国森,钟振利,金敏康,等. 气囊封堵法在排水管道施工及维修工程中的应用[J]. 市政技术,2011,29(3):72-74.
- Zhang Guosen, Zhong Zhenli, Jin Minkang, et al. Application of air-bag occlusion method in construction and maintenance of drainage pipeline [J]. Municipal Engineering Technology, 2011, 29 (3): 72 - 74 (in Chinese).
- [10] CJJ 68—2016, 城镇排水管道与泵站运行、维护及安全技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2016.
- CJJ 68 - 2016, Technical Specification for Operation, Maintenance and Security of Sewers & Channels and Pumping Stations in City and Town [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016 (in Chinese).
- [11] T/CECS 559—2018, 给水排水管道原位固化法修复工程技术规程[S]. 北京:中国计划出版社,2019.
- T/CECS 559 - 2018, Specification for Water and Drainage Pipeline Rehabilitation Using Cured-in-place-pipe Method [S]. Beijing: China Planning Press, 2019 (in Chinese).



作者简介:李明(1975 -),男,江西南昌人,硕士,高级工程师,主要从事经营承揽工作。

E-mail: mrx65788@126.com

收稿日期:2020-06-09

尊法学法守法用法,治水管水兴水护水