

原位固化无纺布软管的力学性能研究*

曹井国^{1,2} 张文宁¹ 贾挺挺¹ 高留意¹ 张大群²

(1. 天津科技大学化工与材料学院 300457; 2. 天津水工业工程设备有限公司 300070)

摘要:近年来,我国管道非开挖技术发展迅速,但是与国外专业化技术水平相比,差距还很大,其中非开挖修复材料是限制我国非开挖技术发展的主要原因之一。本文针对目前应用较为广泛的原位固化无纺布软管进行研究,通过对普通无纺布基材和接缝的力学性能分析,采用复合加筋的方式进行强化。结果表明,复合无纺布软管基层横纵向抗拉强度可达到7.97MPa和8.97MPa,接缝横向抗拉强度可达10.2MPa,固化后,弯曲模量和弯曲强度分别为2200MPa和40MPa,拉伸强度高于145MPa,满足相关标准要求。

关键词:原位固化 无纺布软管 非开挖 管道原位修复

Research on Mechanical Properties of In-situ Curing Non-woven Hose

Cao Jingguo^{1,2} Zhang Wenning¹ Jia Tingting¹ Gao Liuyi¹ Zhang Daqun²(1. College of Chemical Engineering and Materials Science, Tianjin University of Science & Technology, 300457, China;
2. Tianjin Water Industry Engineering and Equipment Co., Ltd., 300070, China)

ABSTRACT: In recent years, trenchless technology has developed rapidly in our country. However, there is large distance comparing with developed country, especially for repairing materials, which limits the application of trenchless technology. In this paper, mechanical property was conducted with basic layer and joint to study the performance of non-woven CIPP hose. The result showed that, transverse and longitudinal tensile strength with fiber reinforced layer are about 7.97MPa and 8.97MPa respectively. The transverse tensile strength of the joint is about 10.2MPa. After curing, flexural modulus and flexural strength are about 2200MPa and 40MPa respectively, and tensile strength is higher than 145MPa, which could meet the relevant standard requirements.

KEYWORDS: Cured-in-place Non-woven hose Trenchless Pipeline in situ repairment

引言

截至2015年底,我国城市排水管渠长度总量达到54万km^[1],且以每年6%的速率增长,由于管道的使用寿命通常为30~50年,我国铺设年代久远的管道相继达到服务年限。据统计,我国20世纪80年代以前铺设的城市排水管长度为2.2万km,并相继出现病害状况,如结构性缺陷和功能性缺陷,这些病害情况致使排水管道不能发挥应有的作用,污水跑、冒、漏,阻断交通,雨水不能及时排走,严重时造成地面塌陷,给城市建设和人民生活带来不便,甚至危及人们的生命财产安全。国务院办公厅《关于加强城市地

下管线建设管理的指导意见》指出:我国自2014年开始,用5年时间完成城市地下老旧管网改造,用10年时间建成较为完善的城市地下管线体系。

对于病害管道的修复,传统上采用开挖后重新埋管的方法,这极大地破坏了城市的交通环境并严重影响人们的生活与工作。非开挖法只需要在管井处施工,具有施工周期短、不影响交通的优点。其中,原位固化法适用范围广,施工便利,性能优异,受到行业的青睐,该方法是利用水压或气压将浸有树脂的复合软管材料内衬到待修复的管道内壁上,通过加热或辐射的方法使树脂固化,在原有病害管道内部形成新的管道,恢复管道原有功能。

* 基金项目: 国家科技重大专项(2015ZX07309001)

近年来,随着技术成熟性和可靠性增加,我国管道非开挖技术发展迅速,但行业面临着一个严峻问题,即非开挖管道修复材料严重依赖进口,造成技术成本高,施工周期难以保证。另一方面,国产材料良莠不齐,质量难以保证,因此,我国迫切需要国产化和标准化的管道原位修复材料。本课题组在“国家十二五”水专项资助下,开展了排水管道原位修复材料-无纺布软管的产业化研究,本文介绍了无纺布基材、复合无纺布、软管接缝的力学性能,为管道非开挖修复软管的生产及应用提供参考和借鉴。

1 材料与方法

1.1 软管制备方法及其力学性能测试方法

无纺布(涤纶材质, $400\text{g}/\text{m}^2 \sim 1000\text{g}/\text{m}^2$)、网格布(涤纶材质, $80\text{g}/\text{m}^2$)由天津兴荣非织造布有限公司提供,经针刺复合,再经专业厂家流延复合TPU薄膜(厚度为 0.4mm)后,采用专用合口机密封制成软管。按照《纺织品 织物拉伸性能 第1部分 断裂强力 and 断裂伸长率的测定(条样法)》(GB/T 3923.1)制样,样条宽度为 5cm ,厚度采用 TH-060 型土工布测厚仪测定,采用 CCMT4503 电子拉力仪测试材料的力学性能。抗拉强度(在拉伸试验过程中,试验承受的最大拉伸应力)计算公式如下^[2]:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

式中: σ 为拉伸应力(MPa); F 为最大负荷(N); A 为原始横截面积(mm^2)。

1.2 固化实验及其力学性能测试方法

采用乙烯基树脂,浸渍软管,经 80°C 恒温固化 2h,按照《树脂浇注体性能试验方法》(GB/T 2567)制样,厚度采用游标卡尺测量,采用 CCMT4503 电子拉力仪测试材料的力学性能。抗拉强度按式(1)计算,弯曲强度、弯曲模量分别按公式(2)和式(3)^[3]计算:

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (2)$$

式中: σ_f 为弯曲应力(MPa); F 为施加的力(N); L 为跨度(mm); b 为试样宽度(mm); h 为试样厚度(mm)。

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}} \quad (3)$$

式中: E_f 为弯曲模量(MPa); ε_f 为弯曲应变(%)。

2 材料力学性能(试验及比较)

2.1 普通无纺布抗拉强度

基层的主要功能是浸渍和承载树脂,ASTM F1743 标准 5.2 规定^[4,5]:软管基层应包括一层或多层柔性针刺毡或等效的非织造或织造布材料,或两者相结合的材料,此材料能够浸渍树脂,且能承受施工的拉力、压力和固化温度。ASTM D5813-04 标准 5.2 规定^[6]:软管基层由一层或多层针织物组成。CJJ/T 210-2014 标准 4.0.2 规定^[7]:软管基层可由单层或多层聚酯纤维毡或同等性能的材料组成。

无纺布作为软管基层材料,与玻璃纤维布相比,具有树脂浸渍效果较好、厚度较大等优势。ASTM D5813-04、ASTM F1216、ASTM F1743、CJJ/T 210-2014 和《城镇给水管道非开挖修复更新工程技术规程》(CJJ/T 244-2016)^[8]均规定软管的横向与纵向抗拉强度不得低于 5MPa ,因防渗膜弹性较大,在同等拉力情况下,基层的拉伸率比防渗膜低,因此,在施工过程中,无纺布承受主要的拉力。目前,市场上的无纺布以短纤针刺无纺布为主,试验检测了3种规格短纤针刺无纺布的断裂强力,并计算了抗拉强度,见表1。

表1 无纺布力学性能

Tab.1 The mechanical properties of non-woven

无纺布规格 (g/m^2)	厚度 /mm	方向	断裂强力/N		抗拉强度/MPa	
			干态	湿态	干态	湿态
1000	5.4	横向	1393	1278	5.13	4.78
		纵向	1258	1299	4.63	4.78
800	3.9	横向	656	690	4.47	4.70
		纵向	932	974	6.36	6.64
500	2.6	横向	454	346	3.49	2.66
		纵向	415	359	3.19	2.76

无纺布的规格通常以单位面积重量为依据,但实测数据往往与厂家规格存在一定的差异,单位面积重量越大,则厚度越大,厚度和密度均是软管设计的关键参数,也决定了无纺布的力学性能。由表1可知,无纺布规格高于 $800\text{g}/\text{m}^2$ 时,干态和湿态无纺布的抗拉强度相差不大,在进行软管抗拉强度评价时,可采用干态软管进行测试。

2.2 复合无纺布抗拉强度

张永芳等^[9]基于修复大管径管道对管状非织造布复合材料强度与厚度的要求,对管状非织造布复合材料的结构进行了设计,通过在非织造布中加筋可增强其强度。参照张永芳等^[9]所用方法,采用800g/m²无纺布,加衬一层网格布,流延TPU后制成软管基材,其总体力学性能如图1所示。

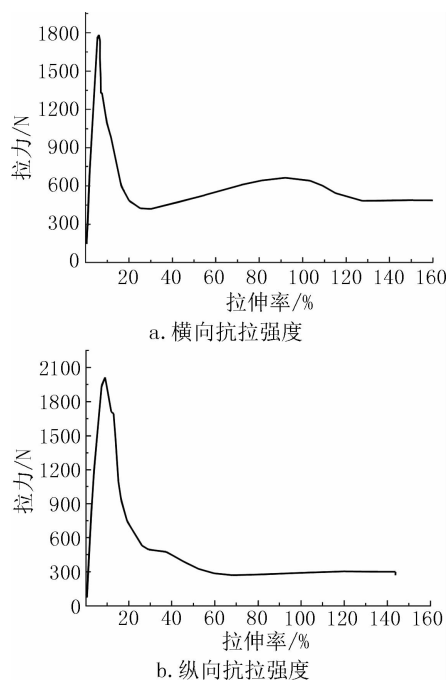


图1 复合无纺布抗拉强度

Fig. 1 The tensile strength of non-woven

由图1可知,复合无纺布的横向和纵向断裂强力分别为1779N和2004N,断裂伸长率分别为6.41%和8.94%,其抗拉强度分别为7.97MPa和8.97MPa,横纵向力学性能与800g/m²普通无纺布相比提高了78.3%和41%。

2.3 复合无纺布的抗拉强度验证

软管施工过程中,因为水压或气压的作用,会产生径向膨胀和轴向位移,径向膨胀有助于贴紧原有管道,但在轴向上,过多的位移会造成软管和树脂的浪费,且影响施工质量。ASTM F1743标准6.4.3规定了浸渍树脂软管施工轴向拉伸率不得高于5%^[5]。实验测试了800g/m²复合无纺布1%~5%拉伸率下所需拉力,见表2和表3。

由表2和表3可知,复合无纺布横向形变为1%~5%时,所承受的拉力平均值为238N~

1604N,纵向形变为1%~5%时,所承受的拉力平均值为303N~1458N,横向受力与纵向受力存在一定的差异,若要保证软管轴向形变不高于5%,以纵向受力为准(拉力为1458N),按样条宽度5cm计算,软管轴向拉力不能高于29kN/m,能够耐受较高的拉力。

表2 横向拉伸形变及其受力(单位: N)

Tab. 2 Transverse tensile deformation and its force (unit: N)

拉伸力	1%形变 拉力	2%形变 拉力	3%形变 拉力	4%形变 拉力	5%形变 拉力
最高值	287	783	1129	1407	1716
最低值	155	521	922	1194	1469
平均值	238	694	1045	1313	1604

表3 纵向拉伸形变及其受力(单位: N)

Tab. 3 Longitudinal stretch deformation and its force (unit: N)

拉伸力	1%形变 拉力	2%形变 拉力	3%形变 拉力	4%形变 拉力	5%形变 拉力
最高值	535	969	1339	1649	1934
最低值	155	466	863	1235	1554
平均值	303	626	934	1208	1458

3 软管接缝抗拉强度

接缝是软管产业化的关键环节,决定了施工过程的成败。目前高于DN300软管通常做成多层结构,其外侧为复合无纺布,在翻转施工过程中起到防渗作用。CJJ/T 210-2014标准4.0.2规定^[7]:多层软管各层的接缝应错开,接缝连接应牢固。理论上接缝处的抗拉强度应和主材一致,即不低于5MPa。目前外层复合无纺布接缝处理方式主要有2种:一种是缝合+热复合;一种是双侧热复合,本研究采用双侧热复合方式,结构如图2所示。

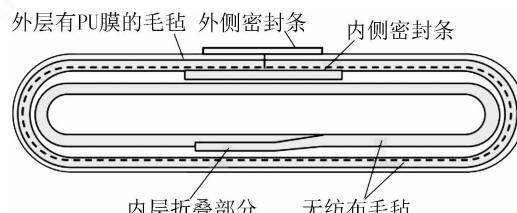


图2 双侧热复合接缝结构

Fig. 2 Joint structure of bilateral thermal composite

由图2可知,双侧热复合方式时将无纺布接缝处两侧分别复合密封条进行密封,接缝依靠两侧的密封条受力,试验中,内外密封条总厚度约为1.94mm,其中内测密封条采用复合无纺布,外侧密封条采用PU膜,其横向抗拉强度如图3所示。

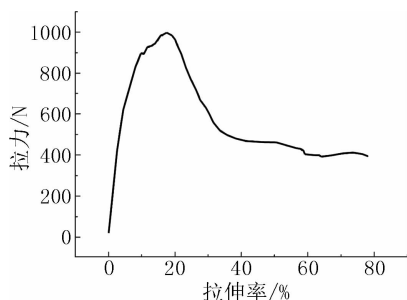


图3 接缝横向抗拉强度

Fig. 3 Lateral transverse tensile strength

由图3可知,接缝的横向断裂强力为992N,断裂伸长率为17.4%,因为接缝处虽然局部增厚,但承受拉力的是内外密封条,因此,抗拉强度应以密封条截面积为准,经计算,其抗拉强度为10.2MPa,与主材的抗拉强度7.97MPa及断裂伸长率6.41%存在一定差异,但能满足标准要求。

4 热固化软管力学性能

为检验软管的固化力学性能,通过热固化树脂进行固化,试验检测其短期力学性能如表4所示。

表4 固化管短期力学性能

Tab. 4 Short-term mechanical properties of curing tubes

性能指标	测试值	标准值*
厚度/mm	11.6	—
弯曲模量/MPa	2200	≥1724
弯曲强度/MPa	40	≥31
抗拉强度/MPa	>145	≥21

*标准值参见 ASTM F1216 及 CJJ/T 210。

由表4可知,固化管的弯曲模量和弯曲强度分别为2200MPa和40MPa,抗拉强度高于145MPa,均高于标准值,由此可知,经树脂固化后,固化管机械性能能够满足标准要求。

5 结论

1. 对于800g/m²规格的无纺布,经加筋覆膜处理后,横纵向力学性能可提高78.3%和41%。

2. 软管接缝采用内外热复合密封,其抗拉强度可达到10.2MPa。

3. 经树脂固化,固化管的弯曲模量和弯曲强度分别为2200MPa和40MPa,拉伸强度高于145MPa。

无纺布经加筋处理之后,横纵向的力学性能有较大程度的提高,拉伸率较小,可减小软管的轴向拉伸。经热复合后,接缝处抗拉强度高于5MPa,可满足施工要求,固化管初始结构性能满足相关标准要求,可确保使用安全。

参考文献

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016
- [2] GB/T 1040.1-2006 塑料拉伸性能的测定 第1部分: 总则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006
GB/T 1040.1-2006 Plastics-Determination of tensile properties-Part 1: General principles. Beijing: China Standards Press, 2006
- [3] GB/T 9341-2008 塑料弯曲性能的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008
GB/T 9341-2008 Plastics-Determination of flexural properties[S]. Beijing: China Standards Press, 2008
- [4] ASTM F1216 Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Inversion and Curing of a Resin-Imregnated Tube[S]. ASTM International, 2016
- [5] ASTM F1743 Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Pulled in Place Installation of Cured-in-Place Thermosetting Resin Pipe (CIPP) [S]. ASTM International, 2017
- [6] ASTM D5813-04 Standard Specification for Cured-In-Place Thermosetting Resin Sewer Piping Systems[S]. ASTM International, 2012
- [7] 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
- [8] CJJ/T 244-2016 城镇给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, 2016
CJJ/T 244-2016 Technical specification for trenchless rehabilitation and renewal of urban water supply pipelines[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016
- [9] 张永芳. 管道修复用管状非织造布复合材料的结构设计与成管方法研究[D]. 天津: 天津工业大学, 2010
Zhang Yongfang. Study on structure design and pipe forming method of tubular nonwovens composite material for pipeline repair[D]. Tianjin: Tianjin Polytechnic University, 2010