

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.08.015

《城镇排水管道原位固化修复用内衬软管》团标解读

田琪¹, 叶建州², 闻雪¹, 曹井国¹, 杨宗政¹, 张大群³
(1. 天津科技大学海洋与环境学院, 天津 300457; 2. 中交一航局生态工程有限公司, 广东深圳 518107; 3. 天津市市政工程设计研究总院有限公司, 天津 300051)

摘要: 我国非开挖修复行业发展迅速,但标准化进程相对滞后。对中国水协团体标准《城镇排水管道原位固化修复用内衬软管》(T/CUWA 60052—2021)的编制背景、编制原则、适用范围、参数指标等进行解读,分析管道原位固化修复技术的发展情况,并与国内外相关标准进行对比,剖解内衬软管的结构型式,指出控制内衬软管材料质量的关键参数指标,为内衬软管产品的设计、制造以及管道原位固化修复的施工、质量验收提供参考和依据。该标准的发布填补了内衬软管产品标准的空白,对实现管道原位固化修复工程材料的国产化和标准化,具有较大的社会意义和应用价值。

关键词: 排水管道; 原位固化; 管道修复; 内衬软管

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)08-0108-06

Interpretation of China Urban Water Association Group Standard *Municipal Sewer Pipelines Rehabilitation Using Cured-in-place Pipe—Lining Tubes* (T/CUWA 60052—2021)

TIAN Qi¹, YE Jian-zhou², WEN Xue¹, CAO Jing-guo¹, YANG Zong-zheng¹,
ZHANG Da-qun³

(1. College of Marine and Environmental Sciences, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China; 2. CCCCFHEC Ecological Engineering Co. Ltd., Shenzhen 518107, China; 3. Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300051, China)

Abstract: The business of trenchless rehabilitation develops rapidly in China, but the standardization process is delayed. In this work, the group standard *Municipal Sewer Pipelines Rehabilitation Using Cured-in-place Pipe—Lining Tubes* (T/CUWA 60052—2021) of China Urban Water Association was analyzed. The compilation background, principles, scope of application, parameters and indicators were explained in details. The development of cured-in-place pipe (CIPP) was analyzed and compared with relevant standards at home and abroad. The structure of lining tubes was dissected. The key parameter indicators that control the quality of the lining tube material were pointed out, which provided reference and basis for the design and manufacture of lining tubes, and the construction and quality control of CIPP. The release of this standard fills the gap in the product standard of lining tubes, and has high social significance and application value for realizing the localization and standardization of CIPP materials.

通信作者: 曹井国 E-mail: cjpg@tust.edu.cn

Key words: municipal sewer pipelines; CIPP; pipelines rehabilitation; lining tubes

随着非开挖技术成熟性和可靠性的提高,我国管道非开挖技术得到了飞速发展,但行业面临着一个严峻的问题,先进的技术、设备和材料均需进口,技术成本高,施工周期难以保证^[1]。虽然部分设备、材料进行了国产化,但也仅仅局限于仿造,再加上基础研究和应用研究的缺乏,导致生产和施工质量不稳定,安全风险较大;另一方面,我国在非开挖领域缺乏产品标准,行业准入门槛低,质量控制困难,特别是内衬软管的标准还处于空白状态。因此,亟需出台以内衬软管为核心的产品标准,使我国自主生产的内衬软管产品有据可依。

在上述背景下,天津科技大学联合国内多家企事业单位,进行了中国水协团体标准《城镇排水管道原位固化修复用内衬软管》(T/CUWA 60052—2021)的编制工作。该标准中涉及干软管以及浸渍树脂生产的湿软管,首次对内衬软管原材料(承载层、功能膜)的选择要求做出规定,提出了湿软管浸渍过程中树脂用量、浸渍真空度的要求,明确规定生产厂家自检内衬管的长期性能。对标准的适用范围、结构型式、材料等进行介绍,以期为该标准的实施提供参考,为行业应用提供依据。

1 适用范围

该项标准适用于城镇排水管道原位固化修复使用的内衬软管及相似材质内衬软管的生产和质量检验,包括 DN200~DN2 700 的聚酯纤维非织造布内衬软管和 DN200~DN1 600 的玻璃纤维织物内衬软管。

2 结构型式

聚酯纤维非织造布内衬软管(俗称无纺布软管)的整体结构如图1所示,从内到外为单层或多层浸渍树脂的聚酯纤维非织造布、外层涂有防渗膜的聚酯纤维非织造布,以及密封带。

玻璃纤维织物内衬软管(俗称玻纤软管)的结构如图2所示,从内到外为透紫外光的内膜、浸渍树脂的多层玻璃纤维织物、防渗外膜、防紫外光外膜。

根据制管工艺的不同,又可按接缝区域分类。图3为国内非织造布内衬软管典型结构,内层通过缝合将片材制成管材,缝合线选择耐热且强力较大

的线材,覆膜层(最外层)先缝合,再用密封带粘接封口,也可以采用流延或热复合的方式封口。

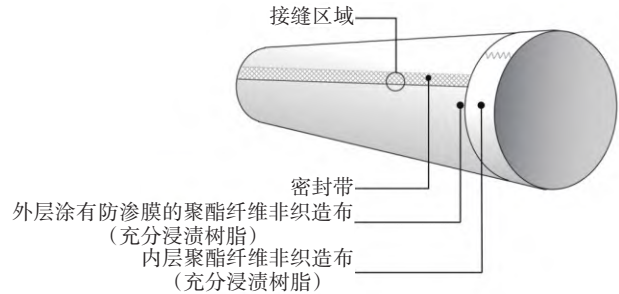


图1 聚酯纤维非织造布内衬软管结构示意图

Fig.1 Structure diagram of polyester fiber nonwoven lining tube

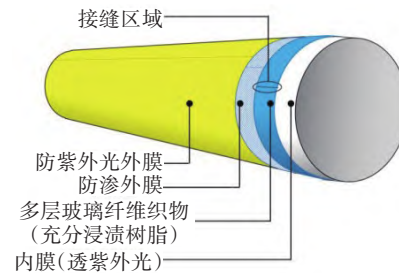


图2 玻璃纤维织物内衬软管结构示意图

Fig.2 Structure diagram of glass fiber lining tube

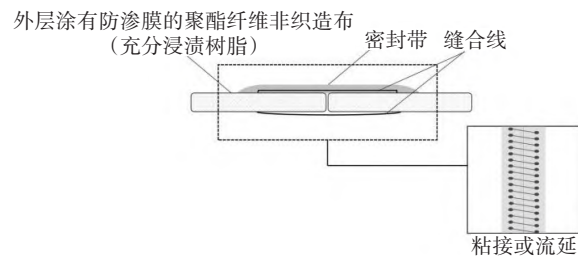


图3 聚酯纤维非织造布内衬软管接缝示意(粘接或流延工艺)

Fig.3 Joint diagram of polyester fiber nonwoven lining tube (bonding or flow drawing process)

另一种接缝区域采用双侧热焊接的工艺(见图4),内侧选择厚度、材质与基层一致的密封带,通过高温热熔粘接,实现软管内密封;外侧选择与防渗膜同材质的外密封带,可以加入网状纤维增强密封带的抗拉强度,对接缝进行外密封。

玻璃纤维内衬软管根据接缝加工方式不同,可将其分为错位搭接工艺、缝编工艺和螺旋缠绕工艺。搭接工艺是将两层或以上的玻璃纤维织物端

部以错位搭接的形式闭合,如图 5 所示。该种工艺可以在膨胀过程中具有一定的延展性,使得内衬软管与管壁贴合更紧密。

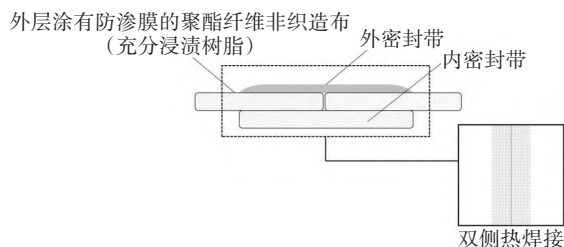


图 4 聚酯纤维非织造布内衬软管接缝示意(双侧热焊接工艺)

Fig.4 Joint diagram of polyester fiber nonwoven lining tube(two side hot welding process)

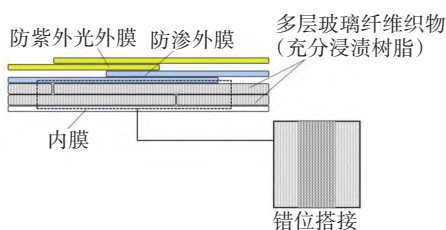


图 5 玻璃纤维织物内衬软管接缝示意(搭接工艺)

Fig.5 Joint diagram of glass fiber lining tube(lap process)

缝编工艺采用缝制的方式闭合,如图 6 所示。该种工艺对缝编部位的技术要求较高,目前,该种玻璃纤维织物基层依然依赖进口,王怡敏等^[2]分析了不同编织形式对复合材料制备过程的影响,发现不同的衬纱角度会影响树脂的渗透性及复合材料的力学性能。由此可见,玻璃纤维织物的编织形式也是其质量的影响因素之一。

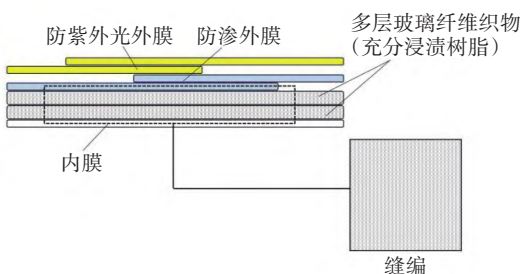


图 6 玻璃纤维织物内衬软管接缝示意(缝编工艺)

Fig.6 Joint diagram of glass fiber lining tube (stitch-bonded process)

螺旋缠绕工艺,是将浸润好树脂的玻璃纤维织物以绷带式缠绕成内衬软管,减少了手工操作过程,同时,也免去真空浸渍的环节,制作更加便捷可靠,如图 7 所示。该种结构可以自行调节大小管径

间的浮动偏差,实现间隙的紧密配合。缠绕时形成的重叠部分,使多层材料叠加,可以增大管道的环刚度和抗荷载能力。

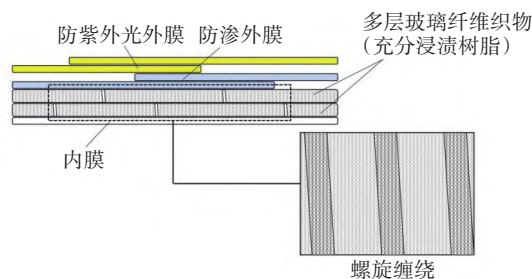


图 7 玻璃纤维织物内衬软管接缝示意(螺旋缠绕工艺)

Fig.7 Joint diagram of glass fiber lining tube(spiral winding process)

3 材料

3.1 承载层

承载层的主要功能为浸渍或承载树脂,是内衬管力学性能的主要载体。软管的承载层一般由具有良好相容性的一层或多层聚酯纤维非织造布(见图 8)、玻璃纤维织物(见图 9)或同等性能纤维材料制作而成。近年来,为减少软管的轴向拉伸,也可在聚酯纤维非织造布内外复合土工织物或玻璃纤维织物,以提高基层力学强度。例如,以非织造布为主体,玻璃纤维作为增强材料,可降低轴向拉伸率。但若复合其他材料,其复合形式或编织密度应以不降低树脂的浸渍效果为前提。



图 8 聚酯纤维非织造布

Fig.8 Polyester fiber nonwovens



图 9 玻璃纤维织物

Fig.9 Glass fiber fabric

所选材料还应保证能够承受施工时的拉力、压力和固化温度。为达到该项要求,聚酯纤维非织造布单层厚度不应低于 1.5 mm,单层玻璃纤维厚度不低于 0.7 mm;横向与纵向抗拉强度不应低于 5 MPa^[3]。孔隙率是保证树脂与承载层充分浸渍的重要指标,为了满足承载层树脂浸渍效果,聚酯纤维非织造布孔隙率不应低于 85%。

3.2 功能膜

功能膜包括防渗膜、内膜、外膜,通过其非渗透性和防护特性为软管贮藏、运输、施工提供辅助作用,是内衬软管不可或缺的组成,可根据特定的材料、施工工艺和固化方式选择使用。

非织造布软管防渗膜通过流延或热复合的方式附于软管的最外侧,翻转施工后,覆膜的最外层变成最内层,永久保留在管道内,膜的光滑表面有利于减少水力损失。防渗膜可以选择聚乙烯(PE)、热塑性聚氨酯(TPU)、聚丙烯(PP)等材料,一方面防止管道内的水与承载层接触,抵抗水流中的硬物磨损和化学物质腐蚀,另一方面防止树脂中的苯乙烯成分渗透到管内。在热固化反应时,管内循环水温度能达到 80 ℃左右(美国 ASTM F 1216—16 标准),蒸汽固化可达到 120 ℃左右(美国 ASTM F 1743—17 标准),这就需要防渗膜能够承受固化时的反应温度。

玻璃纤维软管内膜的主要功能是透射紫外光,检测发现大多数厂家的内膜透光率为 40%~60%。因此规定内膜紫外光透光率≥50%,以保证紫外光透射到承载层,引发树脂固化。此外,内膜还应具有一定的力学强度,以防施工过程中被划伤,导致固化缺陷。在安装压力下,内膜通过充气膨胀使玻璃纤维承载层更好地贴合管道内壁,不同管径软管的充气压力操作要求见表 1。内膜通常在施工完成后去除,因此只能采用置入或预埋的方式安装在玻璃纤维织物内侧,美国 ASTM 2019 标准中规定内膜应能够耐受 140 ℃的高温,通常采用 PA 与 PE 共挤的筒膜。

玻璃纤维软管外膜包覆在浸有树脂的玻璃纤维织物外侧,要求具有防紫外光功能,防止产品在运输、装卸过程中因光照引发树脂固化。外膜在施工过程中直接接触原有管道,拉入软管可能会因摩擦和划伤造成软管破损,导致固化缺陷,因此应具有耐磨、抗穿刺功能。

表 1 常见管径软管充气要求

Tab.1 Inflation requirement of common diameter tubes

管径/mm	建议操作压力/kPa	充气次数/次	每次增压/kPa	保压时间/min
150~200	50~60	8~10	4~6	3~5
250~350	45~55			
400~500	44~50			
600~700	30~40	10~12	3	4~6
800~900	25~30			
1 000~1 600	20~30	6~8	3	7~9

3.3 缝合线与牵引线

多层软管的接缝应错开,连接应牢固。相邻层间接缝若低于 100 mm,会使两接缝处应力较大,可能导致施工失败。选择缝合法时,缝合线应选择耐热且强力较大的线材;玻璃纤维软管各层接缝宜采用缝合或重叠搭接的方式,并应采取有效方式固定,层内重叠区域宽度不应低于 100 mm,层间重叠区域间距不应低于 150 mm。

除了轴向的接缝和重叠区域,因长度问题,有的非织造布软管还设有环向接缝,也就是接头,非织造布软管的接头距端部不应低于 8 m,两个接头之间距离不应低于 25 m。非织造布软管接缝和接头抗拉强度不应低于 5 MPa。

聚酯纤维非织造布片材和玻璃纤维织物片材缝合过程中所涉及的缝合线应符合《芳纶 1313 缝绉线》(FZ/T 63022—2014)的规定,该缝合线由芳纶 1313 短纤维经纺纱、捻线(漂染)、整理制成,具有一定的抗拉强力及阻燃性能和热稳定性,防止在固化水压、气压作用下断裂,以及因树脂固化反应产生热量,造成缝合线的热熔断裂。玻璃纤维织物软管内置牵引辅助绳,用于替换 UV 灯架牵引绳。

3.4 树脂

不饱和聚酯树脂具有良好的耐化学腐蚀性、优良的物理性能,是最早用于原位固化修复技术的树脂,多为热固性树脂。乙烯树脂和环氧树脂由于具有较强的耐腐蚀能力、抗溶解性和高温稳定性能,多用于工业管道和压力管道。树脂系统应包含树脂、增稠剂、固化剂,紫外光固化树脂系统还包含光引发剂,树脂系统的总量应根据软管规格以及所用材料的孔隙率综合考虑。翻转法中,由于树脂的聚合作用及填充原有管道的缝隙或连接部位,应增加

5%~15%的树脂用量。

树脂系统应以黏度为控制性指标。控制树脂黏度,可减少浸渍过程中吞入的微气泡,使树脂具有良好的浸润性和触变性能,拥有更好的力学性能和外观。玻璃纤维还可以通过添加浸润剂来增进与树脂之间的相容性与黏结性。

干软管的浸渍过程应在真空状态下进行,非织造布软管浸渍真空度不应低于60 kPa,玻璃纤维软管浸渍真空度不应低于30 kPa。通过碾胶滚轴牵引湿软管并控制湿软管厚度,浸渍过程应控制车间温度和湿度,调整合适的浸渍压力和浸渍速度,确保软管表面无干斑、气泡、褶皱等缺陷。

4 结构尺寸设计

内衬软管生产企业外购原料时,应向原料供应商索取原料类型、合格证和质检报告。树脂应注明类型,并附带产品技术说明书。在设计结构尺寸时,应充分考虑施工工艺特征。采用拉入法将软管拉入原有管道时,基本不改变软管原有形式;而翻转法施工时,内外层互换,若按拉入法设计软管,则翻转修复后内衬管很难与原有管道紧密贴合,造成“管中管”的情况,应注意最内层的软管直径与原有管道的内径相匹配。考虑材料具有的拉伸率,非织造布软管外径宜比原有管道小3%~15%;玻璃纤维软管外径宜比原有管道小2%~6%。软管长度应大于原有管道长度,由于施工过程会发生膨胀与拉伸,长度会有一定增加,因此,软管长度应由供需双方商定,内衬软管的长度偏差为有效长度的0~0.5%。

内衬管壁厚度的计算可参考《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》(CJJ/T 210—2014)和《给水排水管道原位固化法修复工程技术规程》(T/CECS 559—2018)。但在半结构性修复设计时,两标准存在差别,CJJ/T 210—2014取管顶位置进行地下水压力计算,这使得内衬管壁厚度的设计结果偏小。T/CECS 559—2018在计算内衬管壁厚度时考虑到真空压力 P_v 的影响,故从安全角度讲,建议按照T/CECS 559—2018的方法进行设计。壁厚计算公式如下:

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

式中: t 为内衬管壁厚,mm; D_0 为内衬管外径,

mm; K 为原管道及周边土体对内衬管的圆周支持率,宜取7.0; E_L 为内衬管的长期弯曲弹性模量,MPa,宜取短期弯曲弹性模量的50%; C 为原管道的椭圆度折减系数; P_w 为原管道管底位置处的地下水压力,MPa; P_v 为内衬管内部的真空压力,设计时应不小于0.05 MPa; N 为管道截面环向稳定性抗力系数,取值不小于2.0; μ 为CIPP内衬管的泊松比,宜取0.3。

为了达到良好的树脂浸渍效果,软管通常采用多层结构,考虑施工外力及复杂因素对软管厚度的减薄作用,非织造布干软管有效壁厚应大于内衬管的设计壁厚;在树脂浸渍过程中,湿软管的壁厚可再次调整,控制湿软管的有效壁厚比内衬管设计厚度高5%~20%,玻璃纤维湿软管的有效壁厚不应小于3 mm。

5 试验检验

产品的试验检验对其质量控制至关重要,标准规定以交货批号的同一品种、同一规格的产品作为检验批次取样,根据《土工合成材料 取样和试样准备》(GB/T 13760—2009)标准取样,每批随机抽样应为0.5~1 m,不应少于2段。在新产品投产前,当设计、工艺、材料发生重大改变时,以及间隔一年以上再生产时,或国家监督部门提出要求时都应进行型式检验。型式检验的项目包含检查外购材料检测报告,核对设计图纸及文件,干湿软管的外观、尺寸、厚度,内衬管的力学性能及耐腐蚀性能等。在检验结果中有一项指标不符合标准要求时,应重新自两倍量的包装箱(件)中取样复验。在复验的结果中,即使只有一项指标不符合标准要求,则判定该产品为不合格品。

内衬软管产品在正式投入使用前,需根据现场的施工条件进行固化试验。固化后壁厚不应低于设计壁厚,壁厚不均匀度应低于5%;玻璃纤维织物内衬管外部净树脂层厚度不应高于内衬管壁厚的20%;进行密实性实验可以检验内衬管中树脂的均匀度,也能反映内衬管的结构整体强度和渗透性,应满足50 kPa真空压力下30 min不滴漏要求。

内衬管在服役过程中会受到外部荷载、温度、环境酸碱度的影响而老化破损,因此,进行短期力学性能和长期性能检测是判断内衬软管最终质量的关键因素。玻璃纤维内衬管通过10 000 h的加速

荷载老化测试结果与趋势可以外推,估算材料50年后的力学性能,标准中首次明确了内衬管的长期力学性能的衰减系数不应低于2,并结合近几年国内玻璃纤维内衬管的性能数据,提高了对玻璃纤维内衬管的典型力学性能要求,具体数据如表2所示。设计过程中,应根据实际的修复需求,选择适当的弹性模量。

表2 内衬管短期力学性能指标

Tab.2 Short-term mechanical properties of liner

MPa

性能指标	聚酯纤维非织造布内衬管	玻璃纤维织物内衬管
弯曲强度	≥31	≥125
弯曲模量	≥1 724	≥8 000
抗拉强度	≥21	≥80

由于排水的水质情况复杂,内衬管在使用时会长期暴露在酸碱腐蚀的环境下,标准中要求耐腐蚀性能与美国ASTM D 5813保持一致。耐腐蚀试验是在(23±2)℃下将样品放置于如表3所示的化学溶液中浸泡28 d,分别进行三点弯曲和抗拉性能测试。浸泡组的抗弯和抗拉强度不应低于常规组的80%。

表3 耐化学腐蚀性性能要求

Tab.3 Requirements of chemical corrosion resistance

化学溶液	等级1	等级2/等级3
硝酸,浓度1.0%	耐	耐
硫酸,浓度5.0%	耐	耐
燃料油,浓度100%	耐	耐
蔬菜油(棉籽油、谷物油或矿物油),浓度100%	耐	耐
洗涤剂,浓度0.1%	耐	耐
肥皂水,浓度0.1%	不耐	耐

6 结语

原位固化修复技术在国内非开挖修复领域占据较大的市场份额,其核心环节的把控还应放在材料质量控制上。目前,国内的聚酯纤维非织造布、玻璃纤维织物、树脂在质量和性能上与发达国

家接近,且用于制造内衬软管的生产设备也在逐步实现国产化,产品标准《城镇排水管道原位固化修复用内衬软管》(T/CUWA 60052—2021)的实施,有助于提升我国软管产品的竞争力,为我国城镇排水管道的高质量运行提供基础和支撑。

参考文献:

- [1] 曹井国,张雯宁,杨婷婷,等. 城镇排水管道原位修复内衬软管产品标准研究[J]. 中国给水排水, 2019, 35(2): 24-28.
CAO Jingguo, ZHANG Wenning, YANG Tingting, et al. Study of product standard for cured-in-place repair of lining hose for municipal drainage pipeline [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(2): 24-28 (in Chinese).
- [2] 王怡敏,燕春云,张坤,等. 不同编织形式经编织物树脂渗透性及力学性能的研究[J]. 高科技纤维与应用, 2019, 44(5): 54-60.
WANG Yimin, YAN Chunyun, ZHANG Kun, et al. Study on resin permeability and mechanical properties of warp knitted fabrics with different woven forms [J]. Hi-Tech Fiber and Application, 2019, 44(5): 54-60 (in Chinese).
- [3] 曹井国,张雯宁,石东优,等. 管道原位修复无纺布软管接缝力学性能研究[J]. 给水排水, 2019, 55(增刊): 283-286.
CAO Jingguo, ZHANG Wenning, SHI Dongyou, et al. Mechanical properties of non-woven tube joints by CIPP [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 55(S1): 283-286 (in Chinese).

作者简介:田琪(1995-),男,天津人,硕士研究生,研究方向为管道非开挖修复技术。

E-mail:tq_custom@163.com

收稿日期:2021-10-29

修回日期:2021-11-23

(编辑:丁彩娟)