



排水管道原位热塑成型修复技术国内外标准对比研究

李 静¹ 石东优^{1,2} 曹井国¹ 谢广勇³ 杜建勇³

(1 天津科技大学, 天津 300457; 2 重庆克那维环保科技有限公司, 重庆 401120; 3 广州易探科技有限公司, 广州 510000)

摘要:近年来,管道的原位热塑成型修复技术以其施工简单、价格低廉、耐腐蚀、与管道紧密贴合、水力阻力损失小等优点在国内开始应用。但是,目前国内在该项技术理论研究不足,尚无专用的标准和规范支撑,技术及产品质量控制困难。以《排水管修复用折叠/成型聚氯乙烯管的标准规范》(ASTM F1871)和《排水管修复用折叠成型聚氯乙烯(PVC)管安装技术规程》(ASTM F1867)为研究对象,对比国内外同类标准中的适用范围、选材、结构、施工、试验检验,以期为该技术在我国的规范化应用提供参考和借鉴。

关键词:原位热塑成型修复技术; 内衬管; 标准规范; 排水管道

中图分类号: TU990 文献标识码: A 文章编号: 1002-8471(2022)08-0128-08

DOI: 10.13789/j.cnki.wwe1964.LS2022.07.07.0011

引用本文: 李静, 石东优, 曹井国, 等. 排水管道原位热塑成型修复技术国内外标准对比研究[J]. 给水排水, 2022, 48(8): 128-135. LI J, SHI D Y, CAO J G, et al. Comparison of domestic and foreign standards of formed-in-place pipe of drainage pipeline[J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(8): 128-135.

Comparison of domestic and foreign standards of formed-in-place pipe of drainage pipeline

LI Jing¹, SHI Dongyou^{1,2}, CAO Jingguo¹, XIE Guangyong³, DU Jianyong³

(1. Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China;

2. Chongqing Kenavi Environmental Protection Technology Co., Ltd., Chongqing 401120, China;

3. Guangzhou Easydetection Technology Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: In recent years, since the advantages of simple construction, low price, corrosion resistance, close fitting with the pipeline and small water flow resistance loss, the trenchless technology called formed-in-place pipe(FIPP) has been used in China. However, it has less theoretical research in this filed in China, there is no special standard and specification support, and it is difficult to control the quality for this technology and product. In this paper, ASTM F1871 *Standard specification for folded/formed ploy (vinyi chloride) type A for existing sewer and conduit rehabilitation* and ASTM F1867 *Standard practice for installation of folded/formed ploy (vinyi chloride, PVC) pipe type A for existing sewer and conduit rehabilitation* were selected, which were compared similar standards at home and abroad. The application scope, material selection, structure, construction, test and inspection were discussed. It will provide reference for the standardized application of this technology in China.

Keywords: Formed-in-place pipe(FIPP); Lining pipe; Standards and specifications; Drainage pipeline



0 前言

城市排水管网作为城市的基础设施,对其进行维护和管理必不可少。据住房和城乡建设部统计数据,截至 2020 年,我国城镇排水总长度已达到 125 万 km^[1]。排水管道在投入使用数年之后,由于外部环境变化、管道内部腐蚀等原因,造成管道出现不同程度的破裂、脱节、错位等缺陷^[2],如不及时维护,外渗会污染地下土壤、水体,造成雨季行洪不畅,严重时会引起道路塌陷进而导致交通事故,危害人们的出行^[3],内渗则会稀释管道内污水,造成污水进水 COD 浓度降低。然而,传统的开挖修复不仅工程量巨大,而且影响环境、交通以及居民的正常生活^[4]。近年来,由于具有对地面干扰小,不影响交通,施工速度快,综合成本低,安全性好等优点非开挖修复技术在我国得到了快速发展^[5]。原位热塑成型修复技术(Formed-in-Place-Pipe, FIPP)是一种新型的管道非开挖修复技术,该法采用热塑性高分子 PVC-U 材质衬管,施工过程简单,内衬管与管道紧密贴合,可修复错位、带角度、变径、腐蚀等问题的管道。然而,原位热塑成型修复技术作为一种新兴技术,理论和应用研究不足,材料质量良莠不齐,施工质量难以保证,且目前相关的标准和规范较少,特别是尚无专用的产品标准和工程标准,不能支撑该技术的高质量应用。

原位热塑成型修复技术,严格意义上讲,属于《地下无压排水管网非开挖修复用塑料管道系统—第 3 部分:紧密贴合内衬法》(ISO 11296-3)规定的紧密贴合法,目前该标准已完成国内转化^[6]。国外相关标准还有《排水管修复用折叠/成型聚氯乙烯(PVC)管安装技术规程》(ASTM F1867, 工程标准)^[7]和《排水管修复用折叠/成型聚氯乙烯管标准》(ASTM F1871, 产品标准)^[8]。国内相关标准有《非开挖修复用塑料管道 总则》(GB/T 37862-2019)、中国工程建设标准化协会归口的《城镇排水管道非开挖修复工程施工及验收工程》(T/CECS 717-2020)^[9]、中国标准化协会归口的《排水管道检测和非开挖修复工程监理规程》(T/CAS 413-2020)、《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》(CJJ/T 210)等。

本文以 ASTM F1871 和 ASTM F1867 两项标

准为基础,对比 ISO 11296-3 及国内同类标准,分析原位热塑成型修复技术材料以及施工质量控制指标,以期国内原位热塑成型管道修复技术及产品标准的编制提供参考。

1 适用范围与结构形式

原位热塑成型修复技术主要用于修复管径 $\leq 1\ 200$ mm 的管道。内衬管有“C”型和“H”型,材料分为 PE 和 PVC 两种,PE 内衬管主要用于修复给水管道,PVC 内衬管用于修复排水管道。ASTM 标准及国内标准主要对 PVC 热塑内衬管材料及施工进行规定,规定各项指标不尽相同。各标准规定管径范围见表 1。

表 1 内衬管适用范围

序号	标准号	适用范围/mm
1	ASTM F1871	102~457
2	ISO 11296-3	100~500
3	T/CECS 717-2020	100~1 200

ASTM F1871 和 ISO 11296-3 规定的适用范围相近。T/CECS 717 规定的管径范围高于国外标准。

2 定义

ASTM F1867 对热塑成型内衬管生产施工过程中的两种形态给出了定义,其中内衬管仅为 PVC 材质。ISO 11296-3 中将原位热塑成型修复技术定义为紧密贴合法,内衬管包括 PE、PVC 两种材料。T/CECS 717 结合 ASTM 及 ISO 标准的定义,明确提出热塑成型法的概念,并将其英文定为 FIPP (Formed-in-pipe method),内衬管材质为 PVC 热塑性高分子材料。

ASTM F1867 对热塑成型内衬管的两种形态进行了定义,一种是折叠管,一种是成型管。折叠管指经挤出的圆形管道,冷却后压制成折叠状态,以便于运输;成型管指将折叠管拉入原有管道,通过加热加压使其膨胀,使衬管与原有管道紧密贴合。ISO 11296-3 将热塑成型法归类为紧密贴合法,将热塑性材料制成的内衬管拉入原有管道,使用加热加压等方式,使衬管与原有管道紧密贴合。T/CECS 717 中定义为采用牵拉方法将生产压制成“C”形或“H”形的内衬管置入原有管道内,然后通过静置、加热、加压等方法将衬管与原有管道紧密贴合的管道内衬



修复技术。热塑成型内衬管两种折叠形式见图 1 所示。

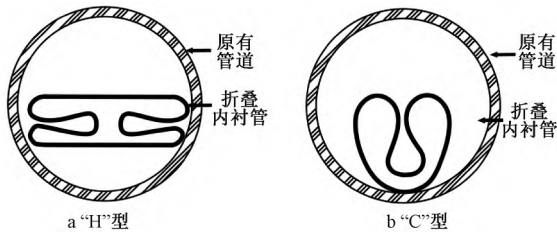


图 1 折叠管道剖面
Fig.1 Folded pipe section

3 壁厚设计

国内外管道标准较多,壁厚计算方法和参考数值各有不同,使得实际设计过程中壁厚公式使用混乱。管道壁厚不足会减短管道使用寿命,甚至导致安全事故,管道壁厚过大,虽然能够保证管道的强度和使用寿命,但加大了工程建设成本和难度。因此管道壁厚的计算及选取显得尤为重要^[10]。

ASTM F1871 仅规定了不同公称外径的最小壁厚,ISO 11296-3 则给出了 SDR 24—SDR 51 的壁厚范围,分别见表 2 和表 3。

表 2 ASTM F1871 成型管尺寸

Tab.2 ASTM F1871 dimension table of formed pipe

公称直径 /mm	最小壁厚/mm			
	DR 26	DR 32.5	DR 35	DR 41
102	3.91	3.12	—	—
152	5.87	4.70	—	—
203	7.82	6.25	5.8	—
229	8.79	7.04	6.5	—
254	9.78	7.82	7.3	—
305	11.73	9.37	8.7	—
381	14.63	11.73	10.9	—
457	—	—	—	11.15

表 3 ISO 11296-3 成型管尺寸

Tab.3 ISO 11296-3 dimension table of formed pipe

常用公称 直径	壁厚范围			
	SDR 24	SDR 34	SDR 41	SDR 51
100	4.2~5.2	3.0~3.9	—	—
150	6.3~7.5	4.5~5.6	3.7~4.7	—
200	8.3~9.9	5.9~7.1	4.9~5.9	4.0~5.0
225	9.4~11.1	6.7~8.0	5.5~6.7	4.5~5.6
250	10.4~12.2	7.4~8.8	6.1~7.3	4.9~6.0
300	12.5~14.5	8.9~10.5	7.4~8.8	5.9~7.1
350	14.6~16.9	10.3~12.1	8.6~10.2	6.9~8.2
400	16.7~19.2	11.8~13.8	9.8~11.5	7.9~9.4
450	18.8~21.5	13.3~15.4	11.0~12.9	8.9~10.5
500	20.8~23.9	14.7~17.0	12.2~14.2	9.8~11.5

注:DR 为尺寸比,管径与壁厚之比,D/t。

ISO 标准采取的是标准尺寸比 SDR,内衬管壁厚范围略大于 ASTM 标准,且规定更为详细。T/CECS 717 缺少关于壁厚范围的规定,计算方法可参照《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》(CJJ/T 210)。

原有管道的破损程度分为完全破坏和部分破坏,分别采用结构性修复和半结构性修复。屈曲破坏常被用来作为结构设计的标准,ASTM F1867 与 CJJ/T 210 规定的设计方法主要参考了 TIMOSHENKO 等提出的弹性压曲破坏的临界外压计算公式^[11]。

采用原位热塑成型技术修复管道后,所承受地下水压、土压,与原位固化本质上相同。半结构性修复所需管道壁厚如式(1)~式(3)所示:

$$t = \frac{D}{\left[\frac{2KE_L C}{PN(1-\mu^2)}\right]^{\frac{1}{3}} + 1} \quad (1)$$

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

$$q = 100 \times \frac{(D - D_{\min})}{D} \text{ 或 } 100 \times \frac{(D_{\max} - D)}{D} \quad (3)$$

式中 t ——内衬管厚度,mm;

D ——原有管道平均内径,mm;

D_{\min} ——原有管道最小内径,mm;

D_{\max} ——原有管道最大内径,mm;

K ——圆周支撑率,取 7.0;

E_L ——成型内衬管的弹性模量,MPa;

C ——椭圆度折减因子;

q ——原有管道椭圆度,%;

P ——外部压力,MPa;

N ——安全系数,取 2.0;

μ ——泊松比,取 0.38。

结构性修复所需管道壁厚按式(4)进行计算:

$$t = 0.721D \left[\frac{\left(\frac{Nq_1}{C}\right)^2}{E_L R_w B' E_s} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

式中 q_1 ——管道外部总压力,MPa;

R_w ——浮力系数,不小于 0.67;

B' ——弹性支承系数;

E_s ——管侧土综合变形模量,MPa。

例如利用热塑内衬管对原有管道进行半结构修复, $D_{\max} = 404 \text{ mm}$, $D = 398 \text{ mm}$, $E_L = 2300 \text{ MPa}$,



$P=0.5\text{ MPa}$, $K=7.0$, $N=2.0$, $\mu=0.38$ 。

计算得 $q=1.507\%$, $C=0.874$, 内衬管设计壁厚为 12.04 mm , 取 12 mm 。

可见内衬管弹性模量是内衬管壁厚设计的重要影响指标。

4 内衬管材料及力学性能

内衬管的力学性能是内衬管质量的关键, 直接影响壁厚设计、修复效果及使用寿命。不同标准对热塑成型内衬管的性能要求对比如表 4 所示。

表 4 热塑内衬管性能要求对比

Tab.4 Comparison of performance requirements of thermoplastic inner liner

标准号	ASTM F1871	ISO 11296-3	T/CECS 717-2020
拉伸强度/MPa	≥ 25	≥ 20	≥ 30
拉伸模量/MPa	$\geq 1\ 069$	$\geq 1\ 200$	—
弯曲强度/MPa	≥ 28	—	≥ 40
弯曲模量/MPa	$\geq 1\ 000$	—	$\geq 1\ 600$
热变形温度/℃	≥ 46	≥ 55	—
断裂伸长率	—	$\geq 70\%$	$\geq 25\%$

ASTM F1871 规定 PVC 衬管需满足 ASTM D1784 分类中 12111 的全部要求, 对于内衬管的性能要求较为全面, 但未对断裂伸长率作出要求。ISO 11296-3 缺少对弯曲强度和弹性模量的要求。ASTM 和 ISO 标准对于热塑成型内衬管的力学性能要求相差不大, 我国 T/CECS 717 标准对抗拉强度、弯曲强度提出了更高的要求。由于国产内衬管形变小, 脆性大, 易出现开裂现象, T/CECS 717 规定断裂伸长率 $\geq 25\%$, 与 ISO 11296-3 相差较大。

ASTM F1871 规定管道压扁时, 不得有破裂或断裂现象。管道所能承受最低冲击强度如表 5 所示。

表 5 最小冲击强度 (23 ℃)

Tab.5 Minimum impact strength at 23 ℃

序号	管道尺寸/mm	冲击强度/J
1	102	203
2	152	284
3	203	284
4	229	299
5	254	299
6	305	299
7	381	299
8	457	299

ASTM F1871 标准根据管道外径的不同, 对冲击强度做出了相应规定。ISO 11296-3 规定真实

冲击率 $TIR \leq 10\%$, T/CECS 717 未对冲击强度做出规定。

5 热塑成型内衬修复施工

5.1 施工前预处理

预处理环节在施工中必不可少, 既要确保施工人员的安全, 又要对原有管道进行必要的清理, 避免存在障碍物划伤热塑内衬管, 影响修复效果。施工前, 需用气囊或墙体对管道进行封堵, 然后进行清淤、预处理及针对原有管道病害的局部修复。

ASTM F1867 标准规定较为详细, 包括气体检测、管道清洗、病害检测、管道清理等。在进入检查井前, 须对管道内气体进行检测评估, 确定是否存在有毒、易燃气体或缺氧等情况。清除修复管道上的沉积物, 重力管道应使用液压动力设备、高压喷射清洁器或机械动力设备等进行清理。施工前应仔细检查管道内部病害, 如突出、破裂、变形、沉降和错位等, 对妨碍施工的情况进行处理, 确保管道修复工作正常进行。如果管道内存在障碍物, 折叠内衬管应在障碍处断开, 重新接入。障碍物会妨碍折叠内衬管道的紧密贴合, 必要时进行开挖修复。若管道弯曲超过 30° , 应咨询生产商是否允许施工。管道如不能断水, 则需在其旁设置管道引流。施工时管道应暂停使用。T/CECS 717 仅对管道预处理结果进行了要求, 后续专用标准应细化预处理环节。

5.2 热塑成型施工

5.2.1 内衬管拉入

施工人员应根据实际需要确定热塑内衬管长度, 并通过加热装置对其进行加热软化。加热时间及温度根据生产厂家提供的参数及施工现场情况确定。使用卷扬机将软化的内衬管拉入原有管道。

ASTM F1867 规定折叠管卷盘应安置于检查井附近。折叠管卷盘的端部应为锥形, 并设有安装孔, 用于连接牵引头。在拉入前将扁平盘管加热至 $82\text{ }^\circ\text{C}$ 以上。将钢缆穿过原有管道并连接到折叠管的斜切端。折叠管道应用卷扬机从卷盘上直接拉动, 通过检查井, 再穿过原有管道至终端点, 延长至少 1.2 m 。拉入完成后, 将管道固定在终端。T/CECS 717 规定衬管预加热时间为 $1\sim 3\text{ h}$, 衬管拖入应在软化状态时完成。内衬管拉入过程如图 2 所示。

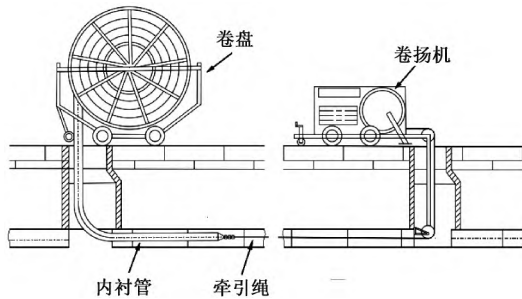


图 2 内衬管拉入原有管道^[9]

Fig.2 Drag liner into original pipe

5.2.2 内衬管膨胀

将内衬管拉入原有管道后,再次进行加热软化。使用堵头将内衬管两端进行封堵,通入水蒸气加热加压,使内衬管与原有管道紧密贴合。

ASTM F1867 规定通过反复加热和加压,使内衬管充分膨胀。膨胀的时间、温度和压力需咨询生产厂家(折叠管膨胀压力通常在 20.6~34.4 kPa 范围内,因现场条件而异),使其与原有管道内壁紧密贴合。成型管道冷却至 38℃ 以下,缓慢释放压力,冷却过程需要 0.5~1 h。管道冷却后,末端应超过修复管道至少 76 cm,作为管道冷却后收缩的余量。

T/CECS 717 规定衬管成型过程中温度不宜超过 95℃,压力不宜超过 0.15 MPa。修复完成后,衬管伸出原有管道的长度应大于 10 cm,外边缘部分宜呈喇叭状或按照设计要求封边处理。

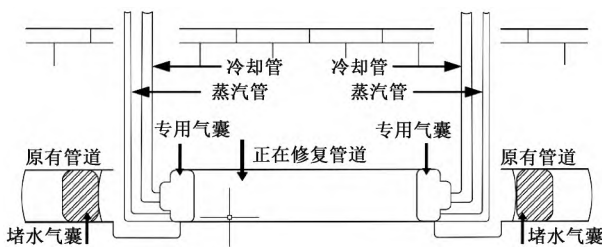


图 3 原位热塑成型修复技术

Fig.3 Schematic diagram of FIPP

6 内衬管质量控制与验收

6.1 出厂质量要求及检验

内衬管生产完成后,为确保生产质量,需对内衬管进行抽样检测。

6.1.1 试样制备

ASTM F1871 规定在试验管道内安装内衬管,温度不低于 104℃,常压条件下,通入蒸汽 15 min

以上。保持至少 2 min,使内衬管与试验管道内壁紧密贴合。随后缓慢降至常压,温度降至 38℃ 以下,从试验管道中取出内衬管进行测试。

ASTM 标准对试样的测试要求大于实际施工,以保证在工程中内衬管的质量,应对施工现场复杂多变的工况。

6.1.2 外观和尺寸

ASTM F1871 规定内衬管材应整体均匀,无明显裂缝、孔洞、外来杂质或其它有损修复的缺陷,管道的颜色、不透明性、密度和其它物理特性应一致。ISO 11296-3、T/CECS 717 对内衬管外观的规定与 ASTM F1871 标准基本一致。

尺寸试验参照《热塑性塑料管道和管件尺寸的测定方法》(ASTM D2122)的规定。管道内径及外径测量次数不少于 6 次,最小和最大壁厚至少测量八次,取平均值。壁厚偏差 E 按式(5)计算,样品的公称外径和最小壁厚不小于表 2 的规定。

$$E = \frac{A - B}{A} \times 100\% \quad (5)$$

式中 A ——任意横截面处的最大厚度,mm;

B ——任意横截面处的最小厚度,mm。

《塑料管道系统 塑料部件尺寸的测定》(GB/T 8806)规定平均外径和平均内径可用 π 尺测量,或根据表 6 的要求对各选定截面沿环向均匀间隔进行测量,取平均值。

表 6 给定公称尺寸的单个直径测量的数量

Tab.6 Number of individual diameter measurements for a given nominal size

管材或管件的公称尺寸/mm	给定截面测量的数量/个
≤40	4
>40~≤600	6
>600~≤1 600	8
>1 600	12

壁厚的测量使用管壁测厚仪或其他相同精度的测量仪器,在选定的截面上,沿环向均匀间隔测量至少 6 处。

相较于 ASTM D2122,GB/T 8806 根据管径规定了管道内径及外径的测量次数,并明确要求在测量管径及壁厚时需均匀间隔取点,保证测量数据的准确度。

6.1.3 管道压扁试验

ASTM F1871 规定管道压扁试验是将三根



152 mm 长的试样安装在加压板上, 匀速加压至板间距离为管道外径的 40%。卸下荷载, 检查试样是否有开裂或断裂迹象。若无可见裂纹, 则判定为合格。

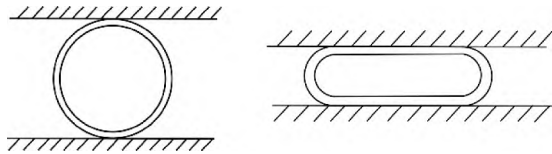


图 4 管道压扁

Fig.4 Schematic diagram of pipe flattening

6.1.4 挤出质量

管材挤出质量可通过丙酮浸提法和热还原法进行测定。

丙酮浸提法参考《丙酮浸渍法测定挤出聚氯乙烯管和管件质量》(ASTM D2152)。将丙酮倒入容器中, 放入试样, 使其完全浸没。密封容器, 静置浸泡 20 min 后, 取出试样。如试样外表面材料未发生移动或脱落, 则判定为合格。

热还原法参考《聚氯乙烯管材质量热还原法测定方法》(ASTM F1057)。圆形管道试样长度不小于 150 mm, 置于烘箱中均匀加热。厚度小于 25.4 mm 的试样, 在 $(180 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下放置 30 min。厚度大于 25.4 mm 的试样, 在 $(180 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下放置 4 min。烘箱中取出 3 min 内, 圆形管道试样沿轴向间隔 60° 切割, 形成六个大致相等的试样。将测试试样切割成三等份, 观察管壁及管筒的形状、材料内外表面的状况及材料边缘切割的情况。

若管壁存在应力, 则会出现严重鱼鳞现象。若挤出前或挤出过程出现渗出, 以及管壁出现污染迹象, 则会出现分层。若挤出料中存在水分, 则会出现外部起泡现象。若出现内表面起泡现象, 表明挤出过程中不完全真空。

6.1.5 弯曲性能

弯曲性能测试参考《未增塑、增塑及电绝缘材料的弯曲性能测试方法》(ASTM D790) 的规定: 将试样置于支架中心, 跨度与厚度之比为 16:1。加压头按规定速率向试样施加荷载, 试样发生断裂或试样外表面最大应变达到 0.05 mm/mm 时, 终止试验。弯曲应力根据式(6)进行计算:

$$\sigma_f = 3PL/2bd^2 \quad (6)$$

式中 σ_f —— 弯曲应力, MPa;

P —— 荷载, N;

L —— 跨度, mm;

b —— 试样宽度, mm;

d —— 试样厚度, mm。

应变率为 0.01 mm/(mm·min)。测试速度根据式(7)进行计算:

$$R = ZL^2/6d \quad (7)$$

式中 R —— 十字头速率, mm/min;

Z —— 应变率, mm/(mm·min);

L —— 跨度, mm;

d —— 深度, mm。

《塑料弯曲性能的测试》(GB/T 9341) 测试方法与 ASTM D790 一致, 试验速度给出了推荐值, 见表 7。

表 7 试验速度推荐值

Tab.7 Recommended test speed

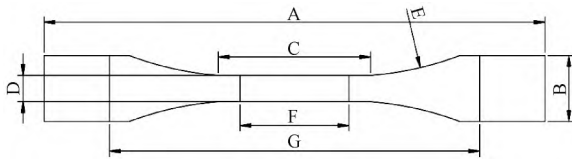
速度 v /(mm·min ⁻¹)	允差/%
1 ^a	±20 ^b
2	±20 ^b
5	±20
10	±20
20	±10
50	±10
100	±10
200	±10
500	±10

注:^a厚度在 1 mm 至 3.5 mm 之间的试样, 用最低速度。^b速度 1 mm/min 和 2 mm/min 的允差低于 GB/T 17200-1997 的规定。

6.1.6 拉伸性能

《塑料拉伸性能测试方法》(ASTM D638)、《塑料拉伸性能测试 第 2 部分: 模塑和挤塑塑料的试验条件》(ISO 527-2) 以及《热塑性塑料管材 拉伸性能测定 第 2 部分: 硬聚氯乙烯(PVC-U)、氯化聚氯乙烯(PVC-C)和高抗冲击聚氯乙烯(PVC-HI)管材》(GB/T 8804.2) 中拉伸试样均为哑铃型, 在符合长度的管材中部进行切割, 但试样尺寸略有不同。ASTM D638 根据材料及样品类型对测试速度进行了规定, 如图 5 和表 8 所示。

ISO 527-2 规定测试速度为 1 mm/min, 低于 ASTM 标准中规定的测试速率。GB/T 8804.2 规定所有试样不论壁厚大小, 试验速度均取 (5 ± 0.5) mm/min。



A 最小总长度 B 端部宽度 C 平行部分长度 D 平行部分宽度
E 曲率 F 标线间长度 G 夹具间距离

图 5 拉伸试样

Fig.5 Tensile specimen

表 8 ASTM D638 测试速率

Tab.8 Test rate table

分类	样品类型	测试速率 /[(mm·min ⁻¹)]	试验开始时的应变率 /[mm·(mm·min) ⁻¹]
刚性和半刚性	I, II, III 型	5 ± 25%	0.1
		50 ± 10%	1
		500 ± 10%	10
	IV 型	5 ± 25%	0.15
		50 ± 10%	1.5
		500 ± 10%	15
非刚性	V 型	1 ± 25%	0.1
		10 ± 25%	1
		100 ± 25%	10
	III 型	50 ± 10%	1
		500 ± 10%	10
		IV 型	50 ± 10%
		500 ± 10%	15

6.1.7 抗冲击性

《落锤法测试热塑管及配件标准操作规程》(ASTM D2444)规定一组试样包括六个 152 mm 的试样,在表 5 规定的冲击条件下进行测试,每个试样仅冲击一次。所有样条均应通过测试,若有一个样条不合格,则测试下一组试样。测试的 12 个样条中,通过 11 个样条视为合格。《热塑性塑料管材耐外冲击性能试验方法》(GB/T 14152)等效采用 ISO 3127,根据不同管材的公称外径确定画线数,对所画线依次进行冲击,直至试样破坏或全部标线都冲击一次。

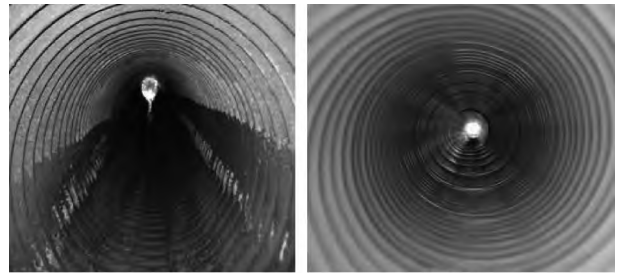
6.2 施工质量检验与验收

6.2.1 外观

ASTM F1867 规定通过 CCTV 电视进行检查热塑,成型管道应在整个修复长度上连续,无裂缝,并贴合现有管壁。

T/CECS 717 规定更为详细,安装后热塑成型内衬管表面不得有裂缝、孔洞、干斑、脱落、灼伤点、软弱带和可见的渗漏现象;应紧贴原有管道,内壁顺

滑,无明显环形褶皱;内衬管褶皱应满足设计要求,当无设计要求时,非原有管道引起的褶皱最大高度不应超过 6 mm;内衬管两端处理应符合设计文件的规定,且密封良好。图 6 为原位热塑成型技术修复前后对比。



a 修复前 b 修复后

图 6 原位热塑成型技术修复前后对比

Fig.6 CCTV before and after repair with FIPP

6.2.2 现场抽样测试

为检验现场施工质量,需对修复后内衬管进行取样测试。ASTM F1867 规定在施工的同时,设置模具管。模具管道的直径应与修复管道的直径相同,长度不小于直径。施工结束后从模管中取出内衬管,以便于对管道尺寸、壁厚、弯曲、拉伸等性能进行测试。ISO 11296-3 和 T/CECS 717 则规定直接样品管现场取样应在原有管道管封堵处取样,因此施工时需要预留出现场测试的管段。在管段封堵处取样更贴近实际工况。

6.2.3 渗漏测试

修复的管道须进行渗漏测试,以检验内衬管的均匀度和抗渗性能。ASTM F1867 规定管道渗漏测试应在成型管道冷却至环境温度后进行,该试验仅限于无支流的管段或尚未恢复支流的管段,可采用闭水试验或闭气试验。

闭水试验应进行至少 1 h。计算 24 h 渗水量,不得超过 0.118 m³/km。实测渗水量应小于或等于允许渗水量。允许渗水量计算公式见式(8):

$$Q_e = 0.0046D_1 \quad (8)$$

式中 Q_e —— 允许渗水量, m³/(24 h·km);

D_1 —— 试验管道内径, mm。

《低气压下无压排水管道安装验收标准操作规程》(ASTM F1417)规定了闭气试验方法。使用气囊堵住管道两端,试验中所有支管、三通、短管的端



部应堵塞,以防漏气。调节供气装置,使压力维持在 24.13~27.58 kPa 至少 2 min。压力稳定后,记录压力从 24.13 kPa 降至 17.24 kPa 或从 24.13 kPa 降至 20.69 kPa 所需时间,与规定值进行对比,如果不低于规定最小时间,则认为符合要求。允许最短时间应按式(9)和式(10)计算:

$$T = 0.00102DK_i/V_e \quad (9)$$

$$K_i = 5.4085 \times 10^{-5} DL \quad (10)$$

式中 T ——气压下降 7 kPa 允许最短时间, s;

D ——管道平均内径, mm;

K_i ——系数, 不小于 1.0;

V_e ——渗漏速率, 取 $0.45694 \times 10^{-3} \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$;

L ——测试段长度, m。

7 结语

通过对 ASTM F1867 及 ASTM F1871 的研究,对比 ISO 11296-3 及国内同类标准,讨论原位热塑成型修复技术要求、材料、性能测试方法及施工过程。相比于 ISO 现有的紧密贴合标准以及国内热塑成型技术相关标准,ASTM F1871 和 ASTM F1867 对原位热塑成型修复技术的规定更加明确,对各项环节的质量把控更加细致,可操作性强,对我国原位热塑成型修复材料的国产化应用有良好的借鉴意义,同时可为我国原位热塑成型技术材料及施工的标准化提供参考和依据。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 中国城乡建设统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [2] 解铭, 郑涛, 虞峰, 等. 非开挖修复技术在上海市四平路排水管道修复中的应用 [J]. 环境工程, 2020, 38(12): 45-48, 96.
- [3] 王继燕, 李峰. 城市排水管道非开挖修复技术应用——以呼和浩特市为例 [J]. 内蒙古科技与经济, 2021(5): 82, 84.
- [4] 廖宝勇. 原位热塑成型修复技术在给排水管道非开挖修复中的应用 [J]. 建设科技, 2019(23): 60-63.
- [5] 颜纯文. 我国非开挖行业现状与展望 [J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(10): 56-60.
- [6] ISO 11296-3 Plastics piping systems for renovation of underground non-pressure drainage and sewerage networks—Part 3: Lining with close-fit pipes [S].
- [7] ASTM F1867 Standard Practice for Installation of Folded/Formed Ploy (VinyI Chloride) (PVC) Pipe Type A for Existing Sewer and Conduit Rehabilitation [S].
- [8] ASTM F1871 Standard Specification for Folded/Formed Ploy (VinyI Chloride) Type A for Existing Sewer and Conduit Rehabilitation [S].
- [9] T/CECS 717-2020 城镇排水管道非开挖修复工程施工验收规程 [S].
- [10] 李洋飞, 罗阳, 惠泽航, 等. 压力管道的壁厚计算 [J]. 云南化工, 2018, 45(4): 231-232.
- [11] 安关峰, 刘添俊, 梁豪, 等. 排水管道非开挖原位固化法修复内衬优化设计 [J]. 地质科技情报, 2016, 35(2): 1-4, 9.



§ 通信作者: 曹井国, 男, 1980 年出生, 山东济南人, 博士, 副教授。主要研究方向为水污染防治技术、管道修复材料。

通信处: 300457 天津市滨海新区天津科技大学泰达校区

E-mail: cjpg@tust.edu.cn

收稿日期: 2022-02-24