



· 标准规范交流园地 ·

# 排水管道机械制螺旋缠绕修复技术 国内外标准对比研究

杨佳兴<sup>1</sup> 曹井国<sup>1</sup> 杨宗政<sup>1</sup> 赵志斌<sup>2</sup> 王刚<sup>2</sup> 王卓<sup>2</sup>

(1 天津科技大学海洋与环境学院, 天津 300457; 2 天津倚通特种工程有限公司, 天津 300384)

**摘要:**近年来,随着地下管线事业的发展,国内非开挖管道修复技术不断更新和进步,相比于其他管道修复技术,机械螺旋缠绕修复法应用范围较广,可带水作业,施工简便,机动性强,复合管刚度高,具有显著的优势和应用前景。但是,目前国内对于该项技术尚缺乏系统理论研究,特别是所用材料没有专用的标准和规范支撑,技术标准化还存在缺口。以美国《排水管道修复用机械螺旋缠绕聚氯乙烯(PVC)内衬材料技术标准》(ASTM F1697)和《排水管道机械螺旋缠绕聚氯乙烯(PVC)内衬管修复施工技术规程》(ASTM F1741)为研究对象,对比国内外同类标准中相关材料、装备、施工和验收要求,以期为该技术在我国的标准化提供参考和借鉴。

**关键词:**机械制螺旋缠绕修复技术;排水;管道修复;标准规范

中图分类号: TU990 文献标识码: A 文章编号: 1002-8471(2022)S2-0105-10

DOI: 10.13789/j.cnki.wwe1964.2022.03.08.0010

引用本文: 杨佳兴, 曹井国, 杨宗政, 等. 排水管道机械制螺旋缠绕修复技术国内外标准对比研究[J]. 给水排水, 2022, 48(S2): 617-625, 630. YANG J X, CAO J G, YANG Z Z, et al. Comparison of machine spiral wound liner pipe rehabilitation standards at home and abroad [J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(S2): 617-625, 630.

## Comparison of machine spiral wound liner pipe rehabilitation standards at home and abroad

YANG Jiaying<sup>1</sup>, CAO Jingguo<sup>1</sup>, YANG Zongzheng<sup>1</sup>, ZHAO Zhibin<sup>2</sup>,  
WANG Gang<sup>2</sup>, WANG Zhuo<sup>2</sup>

(1. College of Marine and Environmental Sciences, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China; 2. Tianjin Yitong Special Engineering Co., Ltd., Tianjin 300384, China)

**Abstract:** In recent years, with the development of underground pipeline business, the trenchless pipelines repair technology in China has been constantly updated and progressed. Compared with other trenchless technologies, the machine spiral wound liner pipe rehabilitation method has a wide range of applications, which could be operated with certain amount of water, easy construction, strong mobility, high stiffness of the composite pipe, and has significant advantages and application prospects. However, there is a lack of systematic theoretical research on the technology, especially the materials used are not supported by special standards and specifications, and there is a gap in technical standardization. In this paper, ASTM F1697 standard specification for poly vinyl chloride (PVC) profile strip for machine spiralwound liner pipe rehabilitation of existing sewers and Conduit and ASTM F1741 standard prac-



tice for installation of machine spiral wound poly (vinyl chloride)(PVC) liner pipe for rehabilitation of existing sewers and conduits were selected, which were compared similar standards at home and abroad. The relevant materials, equipment, construction and acceptance requirements were discussed. It will provide reference for the standardization of this technology in China.

**Keywords:** Machine spiral wound liner pipe rehabilitation; Drainage; Pipeline rehabilitation; Standards and Norms

## 0 前言

截至 2021 年,我国市政排水管道长度已达 125.21 万 km,近年因管道导致的行洪不畅和道路塌陷事故接连发生<sup>[1]</sup>,一些年代久远的管道急需修复和更新。我国管道非开挖修复技术发展迅速,螺旋缠绕技术与原位固化法、喷涂法和热塑成型法相比,可带水作业,复合管刚度强,可应用于多种管道修复,在国内外管道修复工程中相继得到应用<sup>[2-4]</sup>。

机械制螺旋缠绕法发明于 1985 年,最初是由东京城市排水服务公司(TGS)、Sekisui Chemical 公司和 Adachi Construction & Industry 公司共同开发<sup>[5]</sup>,该技术经不断更新优化,至今已在欧洲、亚洲、北美等多个国家投入使用,自 2013 年以来,以天津倚通为代表的非开挖修复企业,引进螺旋缠绕设备和材料<sup>[5]</sup>并进行了市场化应用,取得了良好的效果。然而,因该项技术为引进技术,缺乏基础理论和数据支撑,再加上可用于指导我国管道螺旋缠绕修复的规范和标准不够详细,导致螺旋缠绕技术在国内的推广应用受到了一定的限制。

目前国内可参考的排水管道螺旋缠绕修复技术标准主要有:《城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程》(CJJ/T 210-2014)、《城镇排水管道非开挖修复工程施工及验收规程》(T/CECS 717-2020)、《排水管道检测及非开挖修复工程监理规程》(T/CAS 413-2020)等,尚缺乏专用标准。

国外可参考标准主要有:《排水管网改造塑料管道系统第 7 部分:螺旋缠绕内衬管》(ISO 11296-7-2019);《排水管道修复用机械螺旋缠绕聚氯乙烯(PVC)内衬材料技术标准》(ASTM

F1697-18);《排水管道机械螺旋缠绕聚氯乙烯(PVC)内衬管修复施工技术规范》(ASTM F1741-18)等。与 ISO 相比,美国材料学会 ASTM 标准结构相对简单,可操作性强,对我国机械制螺旋缠绕技术的实施有较好的借鉴作用。

本文从 ASTM F1697 和 ASTM F1741 出发,对比国内外几项标准,分析螺旋缠绕修复技术标准以及所用 PVC 内衬管材料的指标特点,研讨国外标准中对修复材料质量控制与验收指标要求,以期对我国螺旋缠绕技术专用工程标准及产品标准的制订工作提供参考和借鉴。

## 1 机械制螺旋缠绕技术运用范围及 PVC 内衬管结构形式

### 1.1 适用范围

机械制螺旋缠绕法具有施工灵活、便捷、可带水作业等优势,适合在多种地理环境下长距离施工。几项标准中有关机械制螺旋缠绕法适用范围如表 1 所示。

表 1 机械制螺旋缠绕法适用范围

Tab. 1 Scope of liner pipes

标准号	适用管径/mm	内衬管材质	可修复管道的截面形状
ASTM F1741/F1697	150~4 500	PVC/PVC-U	圆形、椭圆形、矩形
IS O11296-7-2019	-	PVC-U/HDPE	-
CJJ/T 210-2010	200~3 000	PE/PVC-U	圆形、矩形、马蹄形
T/CECS 717-2020	200~5 000	PVC-U	任意规则形状管道

ASTM F1697<sup>[6]</sup>规定了螺旋缠绕内衬管适用于修复各种重力流管道、雨水管道和非圆形管道;IS O1296-7-2019<sup>[7]</sup>规定了螺旋缠绕内衬管适用于地下无压排水管道和排污管道的非开挖修复;国内标准在国外标准基础上进行了拓展,最大管径增加到



5 000 mm，但材质上限定在 PVC-U。

随着螺旋缠绕修复技术的发展，国内标准在不断增加适用管径的大小和修复形状的种类。对于排水管道的修复，不需要考虑卫生要求，材料选择相对宽松。PVC 抗冲击强度相对较高且耐腐蚀，目前国内尚无 PE 或 HDPE 材质的螺旋缠绕内衬管应用报道。

### 1.2 内衬管结构形式

机械制螺旋缠绕内衬管主要由带状型材（PVC 或 PVC-U）、增强钢带、密封胶和牵引线（扩张法使用）组成。扩张型内衬适用于修复半结构性或结构性破坏的排水管道，管径范围在 200~600 mm 的中小型管道。固定直径型内衬适用于修复结构性或半结构性破坏的排水管道，管径范围在 600~3 000 mm 的中大型管道。

如图 1 所示，采用扩张型内衬管时，需视具体情况向环形空间内注浆，以确保内衬管能发挥其正常的力学性能；固定直径型内衬管进入原管道后，需向衬管与原管道的环形空间内注浆，注浆材料凝固后会形成保护屏障传递荷载。

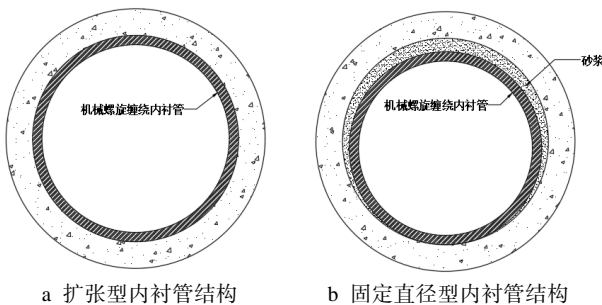


图 1 机械制螺旋缠绕内衬管结构  
Fig. 1 Structure of mechanical spirally wound liner pipe

目前国内已有企业自主研发出异形螺旋缠绕内衬管结构，可根据原有管道形状定制，如三角形、方形和马蹄形等。

## 2 机械螺旋缠绕内衬材料

### 2.1 聚氯乙烯(PVC)带状型材

ASTM F1697 和 F 1741<sup>[8]</sup>规定了 PVC 带状型材结构，将 PVC 带状型材分为 A 型和 B 型结构；A 型分为扩张型（见图 2）和固定型（见图 3）；B 型

仅是固定型带状型材（见图 4）。A 型扩张型材内安装有牵引线，主要作用是对内衬管起束缚作用，使其保持原有管径，拉出时割断副锁，主锁向后滑动使得内衬管扩张并紧密贴合原管道。

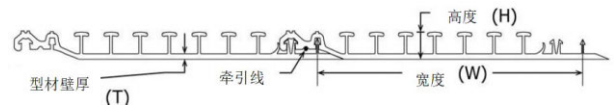


图 2 扩张型带状型材剖面结构（双锁扣）  
Fig. 2 Expandable profile structure (double lock)



图 3 固定型带状型材剖面结构（双锁扣）  
Fig. 3 Fixed diameter profile structure (double lock)

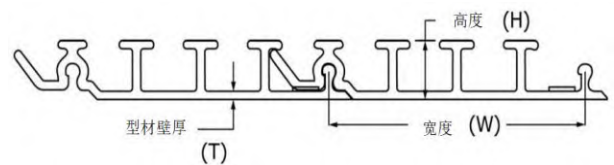


图 4 固定型带状型材剖面结构（单锁扣）  
Fig. 4 Fixed diameter profile structure (single lock)

ASTM F1697 给出 A、B 两种型号的带状型材，共计 12 种尺寸，参数包括：最小宽度、高度、凹槽深度、刚度系数。除表 2 中尺寸，企业也可根据实际生产和施工自行定制。目前，天津倚通采用的是 91 mm（宽）×25 mm（高）A 型 PVC 带状型材

表 2 A 型和 B 型材料剖面尺寸和刚度系数  
Tab. 2 Type A and B profile dimensions and stiffness coefficient

型式	型材种类	最小宽度 W/mm	最低高度 H/mm	型材壁厚 T/mm	最小刚度系数/ (MPa·mm <sup>3</sup> )
A	1	51.0	5.5	1.60	21 200
	2	80.0	8.0	1.60	63 400
	3	121.0	13.0	2.10	242 700
	4	110.0	12.2	1.00	180 800
	5	203.2	12.4	1.50	180 800
	6	304.8	12.4	1.50	180 800
B	1	81.0	8.10	1.44	40 955
	2	78.3	10.71	1.62	84 127
	3	72.0	14.67	2.34	219 900
	4	71.1	19.35	3.06	448 656
	5	71.28	28.53	3.69	1 594 900
	6	91.44	14.22	1.44	171 042



刚度系数为  $737.4 \times 10^3 \text{ MPa/mm}^3$ ，加衬 0.9 mm 钢带后刚度系数可达  $955.2 \times 10^4 \text{ MPa/mm}^3$ 。

PVC 带状型材的其他力学性能要求如表 3 所示。

表 3 硬质聚氯乙烯相关力学性能对比

Tab. 3 Comparison of quality requirements standards for unplasticized polyvinyl chloride

标准	弹性模量/MPa	抗拉强度/MPa	断裂伸长率/%	弯曲强度/MPa
ASTM D1784	$\geq 1\ 930$	$\geq 34.5$		
ISO 11296-7-2019	$\geq 2\ 000$	$\geq 35$	$\geq 40$	
T/CECS 717-2020	$\geq 2\ 000$	$\geq 35$	$\geq 40$	58

弹性模量是修复材料重要的性能参数之一，其意义是衡量物体抵抗弹性变形能力大小的尺度，国内外标准对于硬质聚氯乙烯的弹性模量要求差别较小。弯曲强度是反映材料在受压下的抗破裂情况，美国与欧洲标准均未对弯曲强度作出要求，与国外相比，国内病害管道情况更为复杂。因此，将弯曲强度作为材料质量的评价要求是非常必要的。

### 2.2 钢带

加固钢带通过嵌套在带状型材接缝外表面来加强内衬管的强度，ASTM F1697 规定螺旋缠绕钢带的结构有两种，分别是 M 型和 W 型，如图 5 和图 6 所示。



图 5 M 型钢加固带

Fig. 5 Steel reinforcing strip type M

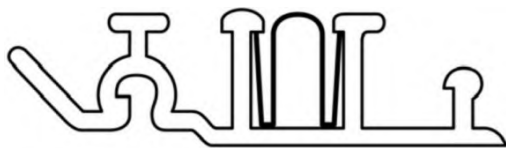


图 6 W 型钢加固带

Fig. 6 Steel reinforcing strip type W

ASTM F1697 规定螺旋缠绕增强钢带应由镀锌钢或不锈钢制成，并符合 A879/A897M、A924/A924M、A653/A653M 的规定，镀锌钢具有较强的力学性能，耐腐蚀、耐热、耐冲击，能够大幅增加

内衬管的抗拉强度。T/CECS 717 规定钢带材料为不锈钢，Ni 含量大于 1%，弹性模量大于 193 GPa。钢带由专用机械压制成型，施工时与 PVC 带状型材条共同送入缠绕设备制管。

此外，也可将钢带与 PVC 材料复合，使加固钢带嵌入到带状型材内部（见图 7）。ISO11296-7 标准对该带状型材的尺寸进行了规定。

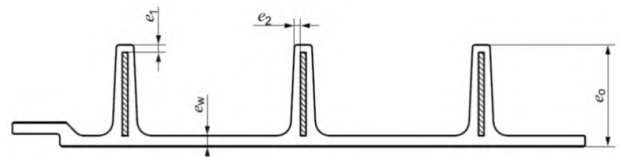


图 7 嵌入式钢加固带状型材

Fig. 7 Embedded steel reinforced strip profiles

表 4 嵌入式钢加固带状型材尺寸规定

Tab. 4 Sizing regulations of embedded steel reinforced strip profiles

符号	$e_0/\text{mm}$	$e_1/\text{mm}$	$e_2/\text{mm}$	$e_4/\text{mm}$
要求	$\geq 4.5$	$\geq 1.4$	$\geq 1.4$	$\geq 1.4$

### 2.3 密封材料

密封材料用于防止内衬管接缝渗漏，通常在 PVC 带状型材挤出冷却过程中压延在锁扣和带状型材连接处。ISO11296-7 规定密封材料由 PVC 带状型材制造商提供，密封材料不得对螺旋缠绕管的性能产生不利影响。ASTM F1697 和 ASTM F1741 中则未对密封材料进行规定。目前国内标准对密封材料尚无明确要求，可参考相关塑料管道专用密封剂标准。

### 2.4 注浆材料

ASTM F1741 规定注浆材料包括硅酸盐水泥、水、粉煤灰、石灰、外加剂、膨润土和沙石。T/CECS 717<sup>[9]</sup>规定采用钢塑加强法工艺时，注浆材料中使用的水泥应符合《通用硅酸盐水泥》（GB 175）的有关规定。采用移动式缠绕工艺时，注浆材料性能应符合《水泥基灌浆材料应用技术规范》（GB/T 50448）在施工 30 min 后的截锥流动度不应小于 310 mm，28 天后的抗压强度不应小于 30 MPa。

## 3 螺旋缠绕内衬管设计计算

### 3.1 刚度系数

刚度系数是目前评价螺旋缠绕内衬管质量的



核心指标, 国内现有标准均参考了 ASTM F1741, 内衬管贴合原有管道进行半结构性修复时, 内衬管最小刚度系数应按式 (1) 和式 (2) 计算:

$$E_L I = \frac{P(1-\mu^2)D^3}{24K} \times \frac{N}{C} \quad (1)$$

$$D = D_0 - 2(h - \bar{y}) \quad (2)$$

式中  $P$ ——外部压力, MPa;

$E_L$ ——内衬管的长期弹性模量, MPa;

$I$ ——内衬管单位长度管壁惯性矩,  $\text{mm}^4/\text{mm}$ ;

$D$ ——内衬管平均直径, mm;

$D_0$ ——内衬管平均内径, mm;

$K$ ——圆周支持率, 取值宜为 7.0;

$h$ ——带状型材高度, mm;

$\bar{y}$ ——带状型材内表面至带状型材中性轴的距离, mm;

$\mu$ ——泊松比, 取 0.38。

内衬管不贴合原有管道进行半结构性修复时, 内衬管与原有管道之间的环状间隙应进行注浆处理, 内衬管最小刚度系数应按式 (3) 和式 (4) 计算:

$$E_L I = \frac{PND^3}{8(K_1^2 - 1)C} \quad (3)$$

$$\sin \frac{K_1 \phi}{2} \cos \frac{\phi}{2} = K_1 \sin \frac{\phi}{2} \cos \frac{K_1 \phi}{2} \quad (4)$$

式中  $\phi$ ——未注浆角度,  $^\circ$ ;

$K_1$ ——未注浆角度  $\phi$  的相关系数。

CJJ/T 210 中对未注浆角度  $\phi$  的相关系数  $K_1$  进行了补充, 如表 5 所示<sup>[10]</sup>。

$K$  值的选取目前存在一些争议, 李子明<sup>[4]</sup>通过试验发现, 内衬管长径比、弹性模量, 以及内衬管与原有管道之间环形间隙, 都会导致试验结果不准确, 据此对式 (3) 进行改进, 改进后如式 (5) 所示:

$$P_{cr} = 1.346 \frac{EI^{0.73} R^{-2.2}}{1 - \nu^2} \quad (5)$$

内衬管贴合原有管道进行结构性修复时, 最小

刚度系数应按式 (6) 计算:

$$E_L I = \frac{(q_t N / C)^2 D^3}{32 R_w B' E'_s} \quad (6)$$

式中  $q$ ——管道外部总压力, MPa;

$R_w$ ——水浮力系数;

$N$ ——安全系数 (建议取 2.0);

$E'_s$ ——土壤反应模量, MPa;

$C$ ——椭圆度折减系数;

$B'$ ——弹性支撑系数。

例如采用内衬管道贴合原有管道结构性修复, 已知土壤密度  $w=18 \text{ kN/m}^3$ ; 活载:  $W_L=0.1 \text{ MPa}$ ;  $H_w=0 \text{ m}$ ;  $H=2 \text{ m}$ ;  $E'_s=5 \text{ MPa}$ ;  $D=1 \text{ 000 mm}$ ;  $C=1$ 。

经计算:  $q_t=0.136 \text{ MPa}$ ;  $R_w=1$ ;  $B'=0.2768$ 。

因此:  $E_L I=167.05 \times 10^4 \text{ MPa}\cdot\text{mm}^3$

可以看出内衬管平均直径对刚度系数计算值影响最大; 其次是土壤反应模量, 不同地域土壤反应模量不同; 埋深不同, 弹性支撑系数也不同, 所以计算出的刚度系数也会有较大差异。

### 3.2 环刚度

《埋地塑料排水管道工程技术规范》(CJJ 143)<sup>[11]</sup> 中规定热塑性塑料管道的环刚度计算为式 (7):

$$S = \frac{EI}{D^3} \quad (7)$$

式中  $S$ ——环刚度,  $\text{kN/m}^2$ ;

$EI$ ——内衬管的刚度系数,  $\text{MPa}\cdot\text{mm}^3$ ;

$D$ ——内衬管的平均直径, mm。

以天津倚通生产的带状型材为例, 将其刚度系数值代入式 (7), 计算环刚度, 如表 6 所示。

按照倚通的刚度系数值, 理论上, 内衬管的环刚度应能达到以上数值。随着管径的增大, 环刚度逐渐减小, 相同管径时, 加衬钢带内衬管的环刚度

表 5 未注浆角度  $\phi$  的相关系数

Tab. 5 Correlation coefficient of ungrouted angle  $\phi$

$2\phi/^\circ$	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$K_1$	51.5	25.76	17.18	12.9	10.33	8.62	7.4	6.5	5.78
$2\phi/^\circ$	100	110	120	130	140	150	160	170	180
$K_1$	5.22	4.76	4.37	4.05	3.78	3.54	3.34	3.16	3.0



表 6 内衬管环刚度  
Tab. 6 Ring stiffness of liner pipes

序号	管径 /mm	环刚度/ (kN·m <sup>-2</sup> )	
		刚度系数 <i>EI</i> =737.4×10 <sup>3</sup> MPa·mm <sup>3</sup> (未加衬钢带)	刚度系数 <i>EI</i> =955.2×10 <sup>4</sup> MPa·mm <sup>3</sup> (加衬钢带)
1	300	27.311	353.777
2	400	11.522	149.25
3	500	5.899	76.416
4	600	3.414	44.222
5	700	2.150	27.848
6	800	1.440	18.656
7	900	1.012	13.103
8	1 000	0.737	9.552
9	1 200	0.427	5.528
10	1 400	0.269	3.481
11	1 600	0.180	2.332
12	1 800	0.126	1.638
13	2 000	0.092	1.194

约为未加衬钢带内衬管的 10~12 倍。目前，塑料排水管道环刚度通常为 4~8 kN/m<sup>2</sup>，当修复管径大于 600 mm 时，建议加衬钢带以提高内衬管的强度。

#### 4 螺旋缠绕内衬修复施工

##### 4.1 施工前预处理

ASTM F1741 规定，管道的检查应由专业人员通过 CCTV 或直接目测来确定断裂、障碍物和支管连接情况。确定可能妨碍螺旋缠绕内衬管安装的缺陷，如沉积障碍、塌陷或压碎的管道、管错口。对管道进行清理，清除杂物，根据 NASSCO（美国钢铁与造船公司）建议，采用液压动力设备、高速喷射清洗机或机械动力设备清洗管道。

障碍物包括占管道内径 12.5% 以上的接口错位或偏移，超过管道内径的 12.5% 或 2 mm 支管置入，以及横截面积超过现有管道内径的 16% 堆积物。如果检查发现障碍物无法使用常规设备清除，应进行点修或开挖，将其清除。螺旋缠绕内衬管是否能够通过弯道，取决于原有管道的条件，以及弯道的位置等。

CJJ/T 210 规定，预处理后的管道内应无沉积

物、垃圾及其他障碍物，管道内表面洁净，无影响施工的附着物、尖锐毛刺、突起现象。T/CECS 717 规定，要确保管道无障碍物，管壁的残留物不得超过 10 mm，检查结果作记录并保存。

可以看出，美国标准对于管道预处理明确了障碍物大小和类型，并推荐了管道清洗设备，国内标准尚未对障碍物进行定量。

##### 4.2 螺旋缠绕内衬修复施工

###### 4.2.1 固定式安装

ASTM F1741 规定，在使用固定法安装时，应在工作坑内放置缠绕机并定向，使 PVC 带状型材缠绕进入原有管道内。当带状型材在缠绕机中制管时，应将所需的密封材料放置在带状型材边缘的主锁和副锁内。当衬管需要展开时，在主锁和副锁之间放置牵引线以限位（见图 8）。

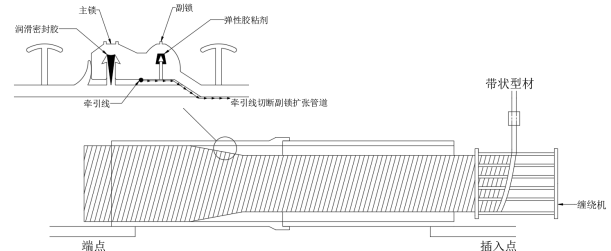


图 8 扩张型螺旋缠绕内衬管安装

Fig. 8 Insertion of expandable spiral wound liner

当内衬管扩径时，要对内衬管末端处进行固定，将牵引线从联锁接头中拉出，从而切断副锁，主锁向后滑动使得内衬管膨胀并紧贴原有管道。最后在端部采用专用材料进行密封。

###### 4.2.2 移动式安装

ASTM F1741 规定，移动式缠绕机放置在管道内并定向，带状型材送入后，缠绕机环向缠绕并沿原有管道移动到终点（见图 9）。制管同时，应将密封胶或胶粘剂放置在带状型材边缘的主锁内。

当内衬管需要紧贴原有管道时，应调整移动缠绕机使衬管直接贴合在原有管壁上。若内衬管不需要贴合原有管道时，需在内衬管与原有管道之间的环形空间注浆。目前国内标准的施工要求按照 CJJ 210 标准中的规定执行，但 CJJ 210 标准中的规定

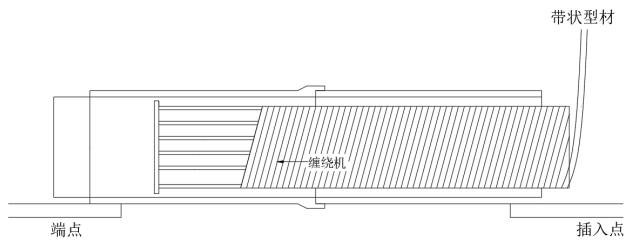


图 9 移动式安装设备螺旋缠绕制管

Fig. 9 Insertion of fixed-diameter spiral wound liner using traveling installation equipment

主要参考美国标准 ASTM F1741。所以在施工要求上中美标准有着近似相同的规范。

#### 4.2.3 注浆

通过注浆，填充内衬管与原有管道的环形空间，从而固定内衬管，防止内衬管在横向和纵向位移，以确保内衬管能够稳定受力。ASTM F1741 规定，可采用多种方式向环形空间内注浆。为防止浆液进入螺旋缠绕内衬管，须在注浆作业前将内衬管密封。当内衬管以固定直径进入原有管道时，注浆还需在适当的位置放置灌浆管或通气管。CJJ/T 210 规定，当衬管不足以承受注浆压力时，注浆前应对内衬管采取保护措施；当有支管存在时，浆液不得进入支管；注浆孔或通气孔应设置在两端密封处或支管处，也可在内衬管上开孔；浆液应具有较强的流动性、固化过程收缩小、放热量低的特性，固化后具有一定的强度；注浆完成后密封内衬管上的注浆孔，并对管道端口进行处理，使其平整。T/CECS 717 规定，除扩张法以外，注浆应在管道两侧环形间隙 2 点、10 点、12 点的位置分别埋设注浆管，一侧可用于注浆，另一侧可用于排气和观察；注浆压力宜为 0.1~0.15 MPa，不得超过最大注浆压力；注浆应分步进行，首次注浆量应根据内衬管自重、管内水量进行计算，应控制首次注浆量，不得超过计算量；第二次注浆应至少在首次注浆浆液初凝后进行，与首次注浆的时间间隔不宜小于 12 h；注浆总量不应小于计算注浆量的 95%，并做好记录；注浆在内衬管一侧进行，当观察到另一侧观察孔冒浆时，应停止注浆；当内衬管长度大于 100 m 时，宜

在管道中间位置的顶部开孔补浆；注浆完成后密封注浆孔，并对管道端头进行平整处理。

国内标准将注浆作业分为两个步骤，并规定了相应的注浆间隔时间、注浆量和注浆压力。有效的避免了注浆压力过大，使内衬管弯曲失去原有的力学性能，其次分两次注浆保证了浆液的填充度，避免了不完整填充所导致的缺陷问题。

## 5 螺旋缠绕内衬管质量控制与验收方法

### 5.1 材料测试方法

#### 5.1.1 PVC 带状型材

##### 5.1.1.1 外观

ASTM F1697 规定 PVC 带状型材应均匀，无明显裂纹、孔洞、杂物和其他损伤性缺陷。CJJ/T 210 规定内衬管表面应光洁、平整，无局部划伤、裂纹、磨损、孔洞、变形等影响管道结构和使用功能的缺陷。T/CECS 717 规定 PVC 带状型材内表面光滑、平整、无裂口、凹陷和其他影响带状型材性能的表面缺陷，外表面应布设 T 型加强肋，内表面应喷码，喷码内容应至少包括实时米数、产品规格。按照内衬管外径和型号的不同，管壁的厚度应符合设计的规定，带状型材的凹槽最小深度不应小于 1.5 mm。

可以看出国内外标准对于螺旋缠绕内衬管外观的要求大致相同。

##### 5.1.1.2 材料力学性能

(1) 刚度系数测定。ASTM F1697 规定的测试方法为：将试样平放在两个支座上，支撑跨度与带状型材最大厚度之比为 16 : 1，通过位于支座中间的加压头进行试验，试样发生形变，至试样外表面发生破裂或达到 5.0% 的应变终止见图 10。

CJJ/T 210 中刚度系数测试方法和计算公式参考该标准，不同之处是规定带状型材样品的宽度不小于 305 mm。

根据式 (8) 计算获得刚度系数：

$$EI = \frac{L^3 m}{48b} \quad (8)$$

式中  $m$ ——载荷-挠度曲线中初始直线部分的切线斜率， $N/mm$ 。

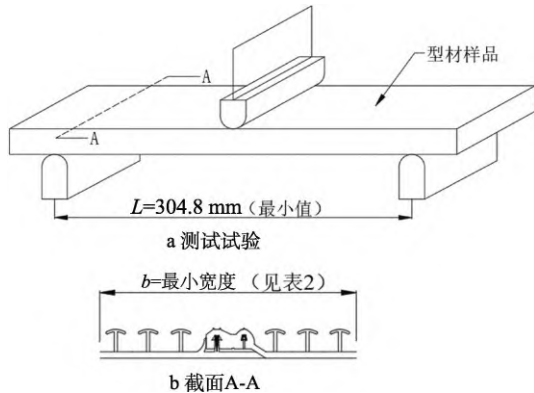


图 10 刚度系数测试方法

Fig. 10 Stiffness coefficient test method

(2) 环刚度测定。GB/T 9647-2015 规定的测试方法是：用两个相互平行的平板对一段水平放置的管材以恒定的速率在垂直方向进行压缩，该试验速率由管材的直径确定，得到负荷-变形量的关系曲线，以管材直径方向变形量为 3% 时的负荷计算环刚度，见式 (9)：

$$S = (0.0186 + 0.025 y_i / d_i) \frac{F_i}{L_i y_i} \times 10^6 \quad (9)$$

式中  $y_i$ ——相对于管材 3.0% 变形时的变形量，mm；

$F_i$ ——相对于管材 3.0% 变形时的负荷，kN；

$L_i$ ——试样的长度，mm；

$d_i$ ——管材的平均内径，mm。

材料的弯曲强度、弯曲模量（弹性模量）、抗拉强度和断裂伸长率参考 GB/T 9341、GB/T 1040.2、GB/T 1449 和 GB/T 1040.4 的相关规定。

### 5.1.1.3 气密性

ASTM F1697 规定气密性通过试验段测试，其长度为内衬管外径的六倍。分别在直管状态下的测试（如图 11）和荷载状态下的测试（见图 12）。闭水试验和闭气试验压力均为 74 kPa，保压时间

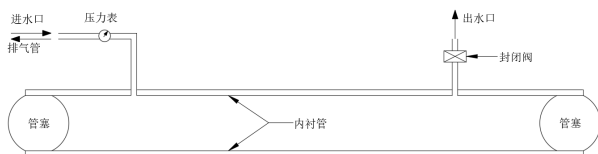


图 11 自然状态气密性测试

Fig. 11 Natural state gas tightness test

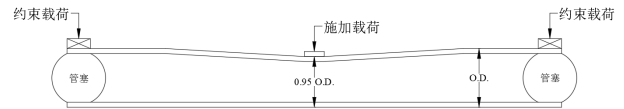


图 12 荷载状态气密性测试

Fig. 12 Load condition gas tightness test

10 min，接头处不能有明显渗漏，或内部压力损失不超过 3 kPa。

施加荷载状态下的气密性测试需在两端约束内衬管，并在内衬管中部施加载荷，直到荷载施加点向下变形 5%，在此状态下进行测试。

弯曲状态下的接口紧密性测试，适当地约束内衬管，使其在制造商规定的弯曲半径处形成最小 10° 的角度，在此状态下进行气密性测试（见图 13）。

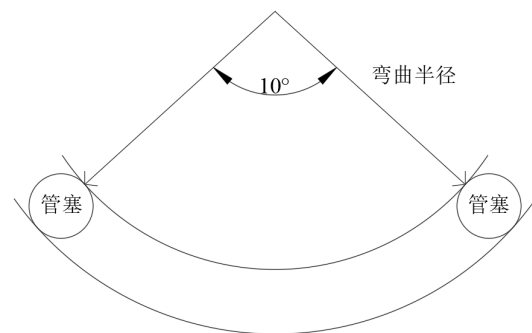


图 13 弯曲状态测试

Fig. 13 Bending condition gas tightness test

目前国内螺旋缠绕内衬管气密性测试按照 CJJ 210 标准中的规定执行，但 CJJ 210 标准中的规定主要参考美国标准 ASTM F1697。所以在气密性测试上，中美标准有着近似相同的规范。

### 5.1.2 钢带

ASTM A240/A240M 规定铬、镍不锈钢板的化学成分、机械测试、夏比冲击试验和 1% 偏移下的屈服强度。T/CECS 717 规定钢带表面应无裂纹、麻面、凸泡和脱皮，钢带的厚度应均匀，允许偏差为 ±0.05 mm；钢带弹性模量测试方法采用国标《金属材料 弹性模量和泊松比实验方法》（GB/T 22315）（静态法），材质测试方法采用行业标准《不锈钢多元素含量的测定 电感耦合等离子体原子发射光谱法》（YB/T 4396）。



加固钢带是螺旋缠绕内衬管主要的承力单元,能够显著提高内衬管刚度系数,钢带的力学性能是内衬管强度的重要影响因素。

### 5.1.3 注浆材料

ASTM F1741 规定,应从环形空间收集样品,并按照试验方法 ASTM C39/C39M 进行抗压强度测试,采集每个注浆检查孔样品并进行测试,抗压强度的测量值应满足工作要求。国家标准《水泥基灌浆材料应用技术规范》(GB/T 50448)规定了水泥基灌浆材料测试方法,包括:抗压强度、截锥流动度和流锥流动度等,其中抗压强度测试方法见表 7。

表 7 注浆材料抗压强度测试标准

Tab. 7 Grouting material compressive strength test standard

序号	灌浆材料最大骨料粒径/mm	试样尺寸: 长×宽×高/ (mm×mm×mm)	测试标准
1	≤4.75	160×40×40	《水泥胶砂强度检测方法(ISO法)》(GB/T)
2	4.75~25	100×100×100	《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T)

## 5.2 施工质量验收

### 5.2.1 一般项目

螺旋缠绕内衬管接缝应嵌合严密、连接牢固,并无明显突起、凹陷、错台等现象,不得出现纵向隆起、环向扁平、接缝脱离等现象;注浆固结体应充满间隙,无松散、空洞等现象。一般通过 CCTV 检测内衬管安装情况,修复后管径大于 800 mm 时可进入管道人工检查。

### 5.2.2 渗漏测试

管道渗漏会造成土壤污染、土壤流失和地下水污染等问题,因此在标准编制中管道允许渗水量是衡量施工质量的重要指标。ASTM F1741 规定,渗漏测试按如下方式进行:首先堵住螺旋缠绕内衬管两端,随后向内部注水;管道内注满水且无空气的条件下,试验时间不低于 1 h,每 200 mm 内衬管允许渗水量不应超过  $0.926 \text{ m}^3/(24\text{h}\cdot\text{km})$ 。CJJ/T 210 规定内衬管安装完成冷却到周围土体温度后,应按照国家 GB 50268 重力管道闭水试验的有关规定进行测试

试<sup>[12]</sup>,参考式(10)计算渗水量。

$$q = 0.0046D_i \quad (10)$$

式中  $q$ ——允许渗水量;

$D_i$ ——管道内径。

中美标准对于渗水量的差异对比如表 8 所示:

可以看出,虽然中美标准对于管道允许渗水量的计算方式不同,但是计算结果相差不大。在相同管道内径下,国内标准的允许渗水量略小于美国标准。

表 8 允许渗水量对比

Tab. 8 Comparison of permissible water seepage

序号	管径/mm	允许渗水量(中国) /[ $\text{m}^3/(24\text{h}\cdot\text{km}^{-1})$ ]	允许渗水量(美国) /[ $\text{m}^3/(24\text{h}\cdot\text{km}^{-1})$ ]
1	200	0.920	0.926
2	400	1.840	1.852
3	600	2.760	2.778
4	800	3.680	3.704
5	1 000	4.600	4.630
6	1 200	5.520	5.556
7	1 400	6.440	6.482
8	1 600	7.360	7.408
9	1 800	8.280	8.334
10	2 000	9.200	9.260
11	2 200	10.120	10.186

## 6 结语

我国的管情较国外复杂,因此,在技术国产化同时,影响因素更多,情况更为复杂。相比于国内外现有的机械式螺旋缠绕管道修复标准,ASTM F1697 和 ASTM F1741 可操作性强,能够为我国螺旋缠绕技术材料的标准化提供参考。但是,在该项技术及产品标准化过程中,还应注意结合国内外相关标准的长处,如 ASTM F1697 对于各种类型带状型材的尺寸、刚度系数都有详细的要求。但在质量控制上比如弹性模量、抗拉强度、断裂伸长率和弯曲强度的规定不如国内标准细致;国内标准对带状型材外观质量、钢带质量和带水作业时水流的要求都有详细的规定。因此要不断综合国内外标准优点,编制出符合我国国情和管情的专用技术和产品标准。

(下转第 630 页)



求, 经与业主、项目监理以及当地咨询工程师共同协商后, 同意采用内地做法。建议常规的建筑项目依然采用澳门当地习惯性做法, 便于图纸的报审。

表 4 沙井(检查井)做法优缺点对比  
Tab. 4 Comparison of advantages and disadvantages of manhole practice

项目	澳门	内地
优点	位置灵活, 便于室内排水管道布置, 减少排水管长度 出户管数量较少 利用室内外高差, 可以提高出户管的排水管底标高	室内地面美观 可以室外、室内同步施工, 保证施工进度
缺点	室内地面有较多井盖, 影响美观 检查井盖密封不严有异味 室内检修时影响办公环境	建筑单体周围管线、井较多, 常与其他专业管线交叉, 施工难度大 出户管较多

#### 4.5 消防电梯排水井

国标《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974-2014) 9.2.3 条明确了消防电梯集水井的有效

容积不应小于  $2 \text{ m}^3$ 。因此, 本项目最初设计集水井尺寸为  $2.0 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ 。后经与当地咨询工程师沟通, 集水井尺寸调整为  $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ , 该尺寸的集水井为当地习惯性做法, 且图纸可以通过当地消防局审查。假如行政楼发生火灾, 初期即使以一支水枪流量  $5 \text{ L/s}$  计算,  $10 \text{ min}$  就有  $3 \text{ m}^3$  水流出, 因此澳门当地消防电梯集水井体积明显偏小, 存在溢流的风险。建议在空间允许的范围内, 适当加大消防电梯集水井容积, 确保消防电梯安全运行。

#### 参考文献

- [1] GB50015-2019 建筑给水排水设计标准 [S].
- [2] 法令 第 46/96/M 号澳门供排水规章 [S].

○通信作者: 朱俊, 男, 1988年出生, 浙江温岭人, 硕士研究生, 工程师。主要研究方向为给排水、消防和环保设计等。

通信处: 200032 上海市徐汇区肇嘉浜路831号

E-mail: zhuj@theidi.com

(上接第 625 页)

#### 参考文献

- [1] 王帅超. 城市地下管道渗漏引起的路面塌陷机理分析与研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2017.
- [2] 王卓. 机械式螺旋缠绕管道非开挖带水修复施工技术要点[J]. 非开挖技术, 2017(3): 38-42.
- [3] 赵志宾, 王刚. 螺旋缠绕法在排水管道修复中的应用[C]. 2014 年非开挖技术会议论文集[C]. 2014:136-140.
- [4] 王刚, 王卓. 机械式螺旋缠绕管道非开挖带水修复技术应用案例[J]. 中国给水排水, 2018, 34(6): 120-122.
- [5] 李子明. 软土地基排水管道螺旋缠绕修复理论研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
- [6] Standard Specification for Poly (Vinyl Chloride) (PVC) Profile Strip for Machine Spiral-Wound Liner Pipe Rehabilitation of Existing Sewers and Conduit: ASTM F1697-2018[S]. USA: ASTM International, 2018.
- [7] Plastics piping systems for renovation of underground non-pressure drainage and sewerage networks—Part 7:Lining with spirally-wound pipes[S]. ISO, GER.
- [8] Standard Practice for Installation of Machine Spiral Wound Poly (Vinyl Chloride) (PVC) Liner Pipe for Rehabilitation of Existing Sewers and Conduits: ASTM F1741-2018[S]. USA: ASTM International, 2018.
- [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] CJJ/T 210—2014 城镇排水管道非开挖修复更新工程技术规程 [S].
- [11] CJJ 143—2010 埋地塑料排水管道工程技术规程[S].
- [12] GB 50268—2008 给水排水管道工程施工及验收规范[S].

&通信作者: 曹井国, 男, 1980年出生, 山东济南人, 博士, 副教授。主要研究方向为管道非开挖修复材料。通信处: 300457天津市经济技术开发区第十三大街29号。

E-mail: cjj@tust.edu.cn

收稿日期: 2022-03-08