

Pulling Force Calculation of HDPE Pipe Lining Insertion

Kejin Tao¹ Shan Lu¹ Ligui Zheng¹ Huiming Yin¹ Dongsheng Liu²

1. China Petroleum Engineering & Construction Corporation, Beijing, 100120, China

2. ShanDong Kelinruier Pipeline Engineering Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257067, China

Abstract

HDPE (high-density polyethylene) inner lining technology is a relatively mature pipeline lining repair technology, widely used in municipal, oil, chemical and other industries. In order to prevent engineering accidents such as insufficient traction force or breakage of the inner liner during the long-distance lining insertion process of the HDPE pipeline, this paper mainly introduces the calculation method of the maximum tensile force of HDPE lining pipe and the possible resistance during interlining before long-distance interpenetrating HDPE lining pipe.

Keywords

lining repair; long distance; pulling force calculation; resistance

HDPE 管内衬穿插的拉力计算

陶珂瑾¹ 陆山¹ 郑立贵¹ 尹辉明¹ 刘东升²

1. 中国石油工程建设有限公司, 中国 · 北京 100120

2. 山东柯林瑞尔管道工程有限公司, 中国 · 山东 东营 257067

摘 要

HDPE 内穿管技术是一种较成熟的管道内衬修复技术, 广泛应用于市政、油田、化工等行业。为了预防 HDPE 管道在长距离内衬穿插过程中牵引力不足或者拉力过载出现内衬管断裂等工程事故, 本文主要针对在长距离穿插 HDPE 内衬管道前, 对 HDPE 内衬管道承受最大拉力以及穿插时可能出现的阻力的计算方法的介绍。

关键词

内衬修复; 长距离; 拉力计算; 阻力

1 背景

HDPE 内穿管技术通过内穿 HDPE 管, 隔绝了管道和腐蚀性介质的接触达到防腐作用, HDPE 材料化学稳定性好, 内阻低, 抗渗透能力强, 具有可压缩性和记忆性, 不需要重新铺设管道, 不需要额外的药剂成本, 不需要特殊的焊接工艺, 一次性施工距离长, 这些优点是其他方案不具备的^[1]。

目前, HDPE 内穿管技术有着非常好的使用前景, 有着巨大的市场潜力, 该技术主要在国际公司掌握, 中国近几年才刚刚兴起。虽然 HDPE 内穿管技术在内衬修复行业有着非常明显的技术优势及经济优势, 但是同时在施工过程中依然存在技术难点与风险。其中风险之一就是 HDPE 内衬管道在穿插牵引过程中可能会因为设备牵引力不足导致牵引失败,

或者因为拉力过载导致 HDPE 内衬管道断裂情况, 为了杜绝该风险的出现, 需要在牵引前对 HDPE 内衬管道承受最大拉力以及穿插时可能出现的阻力进行科学的计算。

本文主要内容就是对这两种力的计算方法给予介绍, 作为施工时牵引力的参考。

2 计算方法

2.1 管道最大承受拉力计算

通常, HDPE 内衬管道在穿插过程中, 为了确保 HDPE 内衬管道不被拉断, 最大牵引力不能大于材料屈服强度 *HDPE 内衬管道横截面积, 但是在实际施工过程中, 为了保证绝对的安全, 通常认为, 当实际牵引力不超材料屈服强度 *HDPE 内衬管道横截面积的 50%^[2], 牵引过程是相对安全的,

因此在 HDPE 内衬管道在穿插过程中, 管道的最大牵引力的计算公式为:

$$\begin{aligned} F &= \pi \{ D^2 - (D-2e)^2 \} \delta_t / 4000g \\ &= \pi \{ D^2 - (D^2 - 4eD + 4e^2) \} \delta_t / 4000g \\ &= \pi \{ 4eD - 4e^2 \} \delta_t / 4000g \\ &= \pi e \{ D - e \} \delta_t / 1000g \end{aligned}$$

公式中: F ——管道最大牵引力 (单位: tf)

D ——管道外径 (单位: mm)

e ——管道壁厚 (单位: mm)

δ_t ——管道屈服强度 (单位: Mpa)

通过以上公式, 可以计算得出管道在发生断裂前所能承受的最大拉力, 为了防止断裂事故的发生, 我们一般认为取管道最大牵引力为计算出 HDPE 管最大承受拉力的 50%, 牵引过程是相对安全的。

2.2 管道穿插时摩擦阻力计算

在计算得出 HDPE 内衬管道在穿插过程的安全牵引力以后, 我们还需要计算在穿插过程中的阻力以作为牵引是否成功的判断, 以及牵引机功率的选择依据。在牵引过程中, HDPE 内衬管道主要受到原在线管道对 PE 管道的摩擦阻力。因此, HDPE 内衬管道受到的阻力公式为:

$$f_{\text{阻}} = \pi e (D - e) \rho \mu g L / 10^6$$

公式中: $f_{\text{阻}}$ ——牵引阻力 (单位: tf)

D ——管道外径 (单位: mm)

e ——管道壁厚 (单位: mm)

ρ ——管道密度: 0.96 T/m^3

g ——重力加速度: 9.8 N/kg

μ ——PE 管道与原钢管摩擦系数: $0.15-0.2$

L ——HDPE 内衬管道长度 (单位: m)

为了保证穿插过程的顺利进行, $f_{\text{阻}}$ 应同时小于 $1/2F$ 及牵引机的拉力范围。在实际的 HDPE 管道内衬穿插过程中, HDPE 内衬管道所受到的阻力要远比公式中体现出来的要复杂的多, 例如原钢管本身的弯曲, 原钢管与地面形成的坡度, 以及施工过程中对原钢管内部的清洗效果等等。

2.3 现场应用计算案例

以伊拉克艾哈代布油田 6 吋和 16 吋管道内衬穿插过程为例, 为保证 HDPE 管不被拉断, 最大拖拉力不应超过材料屈

服强度的 50%。计算如下:

HDPE 管穿插最大拖拉力:

$$F_1 = F_{\text{摩擦}} - F_{\text{2 推力}} = 0.4\mu * f = 0.4\mu * L * W = 0.4\mu * L * m * g / 100 \text{ (KN)}$$

公式中: $F_{\text{摩擦}}$ ——穿插受阻摩擦力

μ ——摩阻系数 0.18 (钢材与高密度聚乙烯的摩阻系数)

W ——PE 管每米重力

L ——管线长度

m ——PE 管每米质量 = (外径 - 壁厚) × 壁厚 × $3.142 \times 0.96 / 1000$

g ——重力加速度 9.8 N/kg

$F_{\text{2 推力}}$ ——缩径机主动推力 (根据现场实测经验推力值可转化为 0.6 倍的穿插受阻摩擦力)

HDPE 管安全抗拉力:

$$F_2 = 6t * A = \pi \{ D^2 - (D-2e)^2 \} \delta_t / 4 \text{ (KN)}$$

公式中: D ——PE 管外径

e ——PE 管壁厚

$6t$ ——HDPE 管屈服强度为 25 MPa , 一般取值 50%

(1) 6 吋内衬管理论计算:

$$\begin{aligned} F_1 &= F_{\text{摩擦}} - F_{\text{2 推力}} = 0.4\mu * f = 0.4\mu * L * W = 0.4\mu * L * m * g / 100 \\ &= F_{\text{摩擦}} - 0.6F_{\text{摩擦}} \\ &= 0.4F_{\text{摩擦}} \\ &= 0.4\mu * f \\ &= 0.4\mu * L * m * g / 100 \\ &= 0.4\mu * L * (D - e) * e * 3.142 * 0.96 / 1000 * g / 100 \\ &= 0.4 \times 0.18 \times 1500 \times 3 \times 9.8 / 100 \\ &= 31.75 \text{ (KN)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_2 &= 6t * A = \pi \{ D^2 - (D-2e)^2 \} \delta_t / 4 \text{ (KN)} \\ &= 3.14 \times \{ 151^2 - (151 - 2 \times 7)^2 \} \times 25 \times 50\% \times 10^{-3} / 4 \\ &= 42 \text{ (KN)} \end{aligned}$$

$$F_1 < F_2$$

(2) 16 吋内衬管理论计算:

$$F_1 = F_{\text{摩擦}} - F_{\text{2 推力}} = 0.4\mu * f = 0.4\mu * L * W = 0.4\mu * L * m * g / 100$$

$$\begin{aligned}
 &=F_{\text{摩擦}}-0.6F_{\text{摩擦}} \\
 &=0.4F_{\text{摩擦}} \\
 &=0.4\mu*f \\
 &=0.4\mu*L*m*g/100 \\
 &=0.4\mu*L*(D-e)*e*3.142*0.96/1000*g/100 \\
 &=0.4\times 0.18\times 1500\times 11.39\times 9.8/100 \\
 &=120.6(\text{KN}) \\
 F_2 &=6t*A=\pi\{D^2-(D-2e)^2\}6t/4 \text{ (KN)} \\
 &=3.14\times\{388^2-(388-2\times 10)^2\}\times 25\times 50\%\times 10^{-3}/4 \\
 &=148.3(\text{KN})
 \end{aligned}$$

$$F_1 < F_2$$

两种管径内衬,现场实际拉力和理论计算数据表(表 1):

表 1 现场实际拉力和理论计算数据表

管径规格	PE 管拖拉力 (1500m)	HDPE 管安全抗拉力
6 吋 (151×7mm)	31.75KN	42KN
16 吋 (388×10mm)	120.6KN	148KN

根据对 6 吋和 16 吋管线的理论计算,满足 $F_1 < F_2$ 的前

提要求,并与现场穿插长度和拉力实测值基本吻合,验证了上述计算。

3 结语

HDPE 内穿插技术能够有效的降低管线腐蚀穿孔的风险、提高管线使用寿命、降低管材选用标准,降低用户的运行维护费用,相比原来考虑的双相钢管道,符合钢管等技术方案,为业主大大的节省成本,同时内穿管技术具有不需要重新开挖,不需要二次进场的特点,也适用于海外高危险地区的施工,具备广泛推广和应用的可能。但在现场实施内衬穿管前一定要根据不同管径和管线路由情况计算内衬 HDPE 管的安全拉力,为一次性内衬长度提供安全理论计算基础,确保管道内衬 HDPE 施工的成功性。

参考文献

- [1] 周长山. 等径压缩 HDPE 管内衬法修复在线旧管道 [J]. 非开挖技术,2006.
- [2] 马保松. 非开挖工程学 [M]. 人民交通出版社,2008(11):672-673.