

文章编号: 1001-1986(2010)02-0039-03

非开挖铺管阻力新计算模型及减阻措施

刘远亮, 乌效鸣, 王 海

(中国地质大学工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 在非开挖工程中, 计算出当前工艺条件下的铺管阻力、选择正确的铺管方法是整个工程成败的关键。通过数学解析方法, 重点考虑回拖过程中管道弯曲段弯曲阻力的影响, 建立了铺管阻力新计算模型。实践证明, 该模型计算值与实测值仅相差 6%, 比较符合实际, 提出的减阻措施对现场施工也有一定的指导意义。

关键词: 非开挖; 铺管阻力; 弯曲阻力; 减阻

中图分类号: P642.3 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2010.02.010

New calculation model for pipelaying resistance and drag reduction methods in trenchless technology

LIU Yuanliang, WU Xiaoming, WANG Hai

(Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Calculation for pipelaying resistance in current construction conditions to choose correct pipelaying method is the key for project success in trenchless technology. The paper uses the mathematical analysis method and considers the effect of banding resistance in pulling process to set up the new calculation model. The calculated value of this model is 6 percent difference from measured value, it accords with fact in practice and has less errors and the drag reduction methods are useful for construction.

Key words: trenchless technology; pipelaying resistance; bending resistance; drag reduction

铺管是非开挖工程的最后一道关键工序, 而计算出当前工艺条件下的铺管阻力, 选择正确的铺管方法, 是工程成败的关键^[1]。计算出铺管阻力就能确定钻机拖管时所需的回拖力(数值上等于铺管阻力), 目前铺管阻力的计算方法主要有以下 3 种: 卸荷拱土压力计算法^[2]、浮力计算法和绞盘计算法^[3]。卸荷拱计算法和净浮力计算法均没有涉及钻孔和管道弯曲所引起的弯曲阻力; 而绞盘计算法虽然考虑了弯曲引起的阻力, 但是没有综合考虑管道与孔壁之间的力学联系, 只是按照绞盘效应给出了弯曲引起的阻力公式。因此, 本文重点对回拖过程中管道弯曲段的弯曲阻力进行深入的分析计算, 并综合考虑侧摩阻力、管端阻力和弯曲阻力 3 个方面, 建立铺管阻力新计算模型。

1 铺管阻力新计算模型

1.1 铺管阻力的构成

铺管阻力一般由管道侧壁摩阻力 F_w 、管端阻力 F_d 和由管道及钻孔弯曲引起的弯曲阻力 F_s 构成。

a. 侧壁阻力 F_w 管道与孔壁间存在正压力, 当

管道在钻孔内被拖动时, 管道外壁与孔壁之间形成摩擦产生侧壁阻力。侧壁阻力的大小取决于管道与孔壁间的正压力以及管道与孔壁间的摩擦系数, 而摩擦系数又取决于管道的材质和岩土介质类型。

b. 管端阻力 F_d 管端阻力是由于管端前部松散土体累计堆积, 阻碍管材前进而形成的阻力。一般随着管道在孔内拖行的距离越来越大, 其前端堆积土体的长度也越来越长, 管端阻力也相应增大。管端阻力主要取决于土的性质和松散土体累计堆积长度。

c. 弯曲阻力 F_s 当钻孔弯曲时, 所铺管道也随之弯曲。管道在孔内经过弯曲段时与钻机给进力方向产生偏差, 从而引起正向阻力分量。可见, 钻孔空间轨迹弯曲程度决定了弯曲受力的大小, 管(孔)越直, 这部分阻力就越小。

1.2 铺管阻力新计算模型公式的推导

管端阻力主要考虑堆积土体的长度及其与孔壁之间的土压力; 弯曲阻力着重分析弯曲段管道与孔壁之间的受力, 将管道视为弯曲梁, 推导由弯曲引起的弯曲阻力。

收稿日期: 2009-09-24

作者简介: 刘远亮(1980—), 男, 广东广州人, 博士研究生, 主要从事非开挖钻进铺管技术、岩土力学、工程力学研究。

1.2.1 侧摩阻力 F_w

a. 孔壁完整情况下侧摩阻力

当孔壁完好时, 认为管道在孔内所受的侧摩阻力仅由管道重力和泥浆浮力共同作用引起, 泥浆对管段的净浮力构成对孔道的正压力。基本公式为:

$$N = \left| \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \rho_p - \frac{\pi}{4} D^2 \rho_m \right| \cdot g \cdot L \quad (1)$$

于是, 侧摩阻力为:

$$F_w = \frac{\pi}{4} \left| (D^2 - d^2) \rho_p - D^2 \rho_m \right| \cdot g \cdot f_m \cdot L \quad (2)$$

式中 D 为管道外径, m; d 为管道内径, m; L 为管道长度, m; ρ_p 为管道密度, kN/m; ρ_m 为泥浆密度, kN/m³; f_m 为管道与孔壁间的摩擦系数, 无量纲。

b. 孔壁不稳定情况下侧壁摩阻力

孔壁不稳定情况下侧壁摩阻力的计算差异性较大。当钻孔缩径抱管时, 抱管力的计算成为关键。随着缩径抱管程度的不同, 抱管力也有着相当大的差异, 严重时由缩径抱管所产生的回拖力远大于正常水平, 使得铺管施工无法进行。文献[4]对缩径抱管力的计算进行了阐述, 但由于孔壁不稳定, 形成缩径抱管程度难于确定, 因此相应的回拖力计算无法量化给出。本文只讨论孔壁稳定情况下的铺管阻力。

1.2.2 管端阻力 F_d

管端阻力可按式(3)计算^[5]:

$$F_d = K_p \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times l_1 \times \rho \times g \quad (3)$$

式中 K_p 为被动土压力系数, 无量纲; ρ 为堆积土体密度, kg/m³; l_1 为松散土体累计堆积长度, 按经验选取, m; g 取 10 m/s²。

1.2.3 弯曲阻力 F_s

如图 1a 所示, 设 AB 弯曲段长度为 L , 管道弯曲起始段与水平方向夹角为 α_A , 管道弯曲结束段与水平方向夹角为 α_B 。则 AB 段倾角改变量 $\Delta\alpha = \alpha_B - \alpha_A$ 。根据几何原理可以得出, 弧 AB 对应的圆心角为 $\Delta\alpha$ 。根据几何关系, 管道弯曲的弯曲半径为:

$$R = L / \Delta\alpha \quad (4)$$

则 ED 的距离即为管道弯曲的挠度 f , 即:

$$f = R(1 - \cos \Delta\alpha/2) = L(1 - \cos \Delta\alpha/2) / \Delta\alpha \quad (5)$$

将管道弯曲段按照弯曲梁考虑, 假设管道在孔内弯曲受力如图 1b, 管道弯曲段的端点 A 、 B 处由于与钻孔下部接触而受到钻孔孔壁施加的向上的挤压力, 弯曲段中点 E 由于与钻孔上部接触而受到钻孔孔壁施加的向下的挤压力。因此, 可将该管段弯曲视为两端简支、中间受集中荷载的简支梁。图中, A 、 B 端为简支, 管段中点 E 处受集中荷载 P_E 。根据材料力学的理论, 由 P_E 引起弯曲的挠度为^[6]:

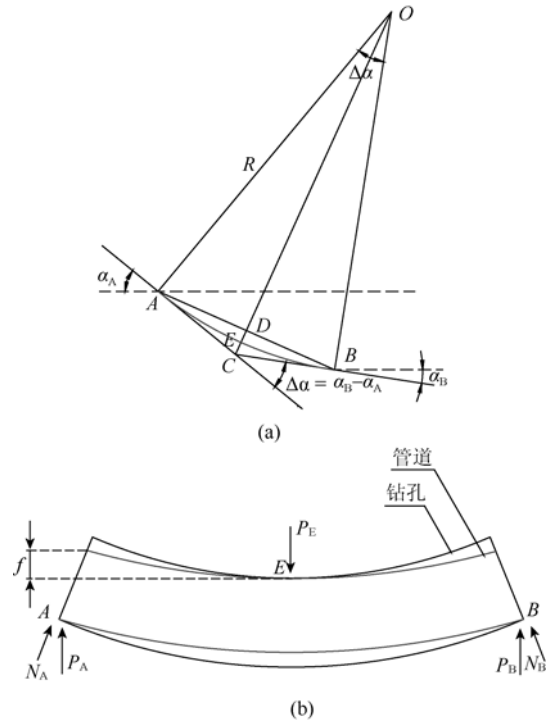


图 1 弯曲阻力模型

Fig. 1 Bending resistance model

a——管道弯曲示意图; b——管道在钻孔内产生挠度

$$f = P_E l^3 / 48EI \quad (6)$$

联立式(5)、式(6)可求得 P_E :

$$P_E = \frac{6EI(\Delta\alpha)^2}{L^2 \cdot \sin \frac{\Delta\alpha}{2} \cdot \left(1 + \cos \frac{\Delta\alpha}{2}\right)} \quad (7)$$

根据理论力学的理论^[7], A 、 B 点处的支反力 P_A 、 P_B 应为:

$$P_A = P_B = \frac{P_E}{2} = \frac{3EI(\Delta\alpha)^2}{L^2 \cdot \sin \frac{\Delta\alpha}{2} \cdot \left(1 + \cos \frac{\Delta\alpha}{2}\right)} \quad (8)$$

则 A 、 B 点处管道所受的正压力 $N_A = N_B$, 且:

$$N_A = N_B = \frac{P_A}{\cos \frac{\Delta\alpha}{2}} = \frac{6EI(\Delta\alpha)^2}{L^2 \cdot \sin(\Delta\alpha) \cdot \left(1 + \cos \frac{\Delta\alpha}{2}\right)} \quad (9)$$

又 E 点处管道所受正压力 $N_E = P_E$, 则在 AB 弯曲段, 由于弯曲而使管道在 A 、 B 、 E 3 点处所受到孔壁挤压而引起的附加弯曲阻力为 $F_s = f(N_A + N_B + N_E)$, 即:

$$F_s = \frac{3f \cdot E \cdot I}{L^2} \cdot \frac{(\Delta\alpha)^2 \cdot \left(1 + 4 \cos \frac{\Delta\alpha}{2}\right)}{\sin(\Delta\alpha) \cdot \left(1 + \cos \frac{\Delta\alpha}{2}\right)} \quad (10)$$

式中 f 为管道与孔壁之间的摩擦系数, 无量纲; E 为管道材料的弹性模量, MPa; I 为管道的极惯性矩, $I = \pi(D^4 - d^4)/64$, m⁴; D 为管道外径, m; d 为管道内径, m; $\Delta\alpha$ 为弯曲端点水平倾角变化值, 弧度。

于是,总的铺管阻力 F 为:

$$F = F_w + F_d + F_s. \quad (11)$$

2 现场验证

武汉天然气干线管道工程采用水平定向钻进穿越汉江。穿越地层为冲填土、粘土、粗砂和部分砂夹卵石层。穿越管道总长 853 m,下行段水平长度 227.65 m,中间水平段长度 406.05 m,上升段水平长度 216.30 m,外径 $D_0=711$ mm,壁厚 11 mm。最终扩孔直径 1 067 mm。管道入(出)土角为 6.8° ,钻杆入(出)土角为 10.02° 。穿越深度 35 m。该工程铺管实际所用的回拖力为 937 kN。

利用式(11)计算该工程理论铺管阻力为 878 kN。

比较实际的回拖力和模型计算的回拖力值,可以看出模型的计算值与实际回拖力较为接近,误差约为 6%,说明该计算模型比较符合实际。

3 铺管减阻措施

通过采取有效的措施来减小铺管阻力,将有利于铺管施工的顺利进行。尤其是当钻机回拖力不足时,采取减阻措施是必要的。以下将针对铺管阻力的构成,分别列举出减小相应铺管阻力的应对措施。

3.1 减小侧壁阻力的措施

a. 用强润滑性泥浆钻扩孔、铺管。通过使用强润滑性的泥浆,降低回拖过程中管道与孔壁间的滑动摩擦系数,以达到减小侧壁摩擦阻力的目的。

b. 用特殊润滑剂进行管壁润滑。

c. 使孔径适当超盈。当施工地层较为稳定时,可适当扩大终孔直径,以减少由孔壁擦刮管道引起的侧壁摩擦阻力。

d. 提高扩孔和铺管的时间紧凑性,减少钻孔蠕变缩径程度,从而可以减小由于钻孔缩径抱管引起的侧壁摩擦阻力。

e. 在易水敏土层中采用强降失水抑制性泥浆,减少孔壁吸水膨胀导致缩径的程度。

3.2 减小弯曲阻力的措施

a. 在许可条件下,尽可能使钻孔保持平直。

b. 适当扩大孔径。地层较为稳定、孔壁不易跨

塌时,适当扩大终孔直径,以减小钻孔弯曲。

c. 可能的情况下采用柔性管材。柔性管道弯曲能力强,其弯曲性能远超刚性管道,可以更好地适应钻孔弯曲。

d. 钻进导向孔时,尽量减少不必要的波浪轨迹。

e. 扩孔时,尽量修正导向孔所造成的钻孔轨迹弯曲。

3.3 减小管端阻力的措施

a. 地层条件允许情况下,适当增大泥浆泵量,使得钻屑能够尽量随泥浆携带出钻孔。

b. 清孔要彻底,尽量不留钻渣在孔内。

c. 扩孔操作时,尽可能保证孔的完整性,尽量避免因在软弱土中扩孔过多,而在硬处强拉形成狭窄瓶颈或遗留孔壁探头石。

d. 在软弱和易水敏的地层,避免使用清水,要采用具有降失水的泥浆或干钻。

4 结 语

准确地计算铺管阻力是非开挖工程的一个难题,本文建立的铺管阻力新计算模型,重点考虑了回拖过程中管道弯曲段弯曲阻力的影响,使其计算的结果更符合实际。现场实践证明,该计算模型误差较小,对现场施工有一定的指导作用,提出的铺管减阻措施对施工也有一定指导意义。

参考文献

- [1] 乌效鸣. 导向钻进与非开挖铺管技术[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2004.
- [2] 颜纯文,STEIN D. 非开挖地下管线施工技术及其应用[M]. 北京:地震出版社,1999:21-22.
- [3] 安金龙. 水平定向钻穿越回拖力的计算方法及其分析[J]. 江汉石油科技,2007,17(2):53-58.
- [4] 李晓芬,乌效鸣,王海,等. 对非开挖钻孔缩径抱管问题的分析探讨[J]. 探矿工程,2008,35(2):63-65.
- [5] 孙训方,方孝淑,关来泰. 材料力学(上)[M]. 北京:高等教育出版社,1994:279-280.
- [6] 张建民,白景岭. 理论力学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1990.