

# 水平定向钻穿越堤防防洪影响补救措施研究

## ——以魏荆线原油输送管道整治工程为例

张胜强 侯建 郑尚

(长江水利委员会河湖保护与建设运行安全中心, 湖北 武汉 430019)

**摘要:** 水平定向钻井作为一种常用的管道施工技术, 因其高效、环境友好, 广泛应用于供水、电力和原油行业。由于渗流通道的存在、土体抗剪强度指数的减弱、泥浆固结沉降等因素, 水平定向钻孔对坝体的不利影响主要表现为防渗稳定性、防滑稳定性、不均匀沉降等。本文以伟景县原油输送管道改造工程为例, 介绍了如何采取外压灌浆、进出口点粘土置换、切水环等补救措施, 有效减少这些不利影响。结果表明, 这些补救措施可显著提高大坝的安全性和稳定性, 为类似工程提供有价值的设计参考和实用指导。为解决岩堤水平定向钻井的潜在风险, 提供有效的技术解决方案。

**关键词:** 水平定向钻; 堤防; 防洪影响; 原油输送管道; 整治工程

### 1 水平定向钻管道敷设工艺

水平定向钻是一种非开挖式的管道或缆线敷设工艺, 具有施工效率高、精度高、经济性好、管道损伤及环境污染小等优势, 广泛应用于供水、电力、原油等行业管道施工过程中, 主要适用于粘土、砂性土、卵石等地层。基本工艺流程为: 按设计线路和穿越曲线钻进一个口径较小的导向孔, 然后将钻头更换为扩孔器进行一次或多次回拉扩孔, 当钻孔孔径扩至设计尺寸后, 回拖敷设成品管道, 施工过程主要包括导向孔钻进、扩孔、回拖敷管。导向孔钻进施工是采用水平定向钻机和导向设备按照设计的线路、轨迹、出入土点等参数钻进导向孔的过程。整个钻进过程都需要使用导向设备对钻头实施定位、导向, 导向设备通过地面信号接收器探测安装在钻头内的发射器所发射电磁波, 来实现对钻头的位置、深度、角度等定位, 从而采取适当的技术措施调整孔内控制钻进方向的机构, 实现对钻头的导向。通常采用小直径的全面钻头, 进行全孔底破碎方式的钻进。

扩孔。导向孔完成后, 要将该钻孔进行扩大到合适的直径以方便安装成品管道, 通常扩孔直径为穿越管道直径的 1.3~1.5 倍。在钻机对岸将扩孔器连接到钻杆上, 然后由钻机旋转回拖入导向孔, 将导向孔扩大到所需的直径, 同时要将大量的钻井液或泥浆泵入钻孔, 以保证钻孔的完整性和防塌方, 并将切削下的岩屑带回到钻机一侧。扩孔过程要严格按照导向孔轨迹进行, 防止发生偏斜和错孔。也要注意控制扩孔器

推力和扭矩, 避免过大力度导致钻孔变形或损坏。扩孔次数和扩孔幅度应严格按照设计确定, 不宜过度扩孔。扩孔器要选择合适型号, 确保扩孔效率和钻孔质量。

回拖敷管。扩孔完成以后, 成品管道即可回拖敷设, 管道预制在钻机对面的一侧完成, 扩孔器一端接上钻杆, 另一端通过旋转接头接到成品管道上, 旋转接头可以避免成品管道跟着扩孔器旋转, 以保证将其顺利拖入钻孔。回拖过程由钻机提供动力完成, 这一过程同样需要大量泥浆或钻井液配合, 回拖要连续进行直到扩孔器和成品管道自钻机一侧破土而出<sup>[1-2]</sup>。回拖敷管时, 要全程监测敷管力, 确保不超过管道最大允许拉力。同时要密切观察泥浆参数变化, 如遇卡管、漏失等异常情况要及时处理。敷设完成后要按规范要求对管道进行测试和验收。

水平定向钻施工技术整体复杂, 涉及岩土工程、测量定位、机械传动等多学科交叉和协调配合。必须严格按照设计方案和施工规程实施, 同时要根据实际情况灵活调整, 确保工程质量和安全。



图1 定向钻施工回拖敷管过程示意图

## 2 水平定向钻对堤防的不利影响分析

### 2.1 对渗流稳定的不利影响

水平定向钻施工过程中需要大量泥浆灌注, 泥浆压力往往远高于土体原有压力。这会导致泥浆在一定范围内渗透和扩散, 对管道周围土体产生扰动, 增加土体的孔隙率和渗透系数; 此外, 随着运行期管道外侧环空部位泥浆陆续固结沉降, 管道外壁与周围土体之间出现隙空, 形成集中渗流通道, 提高了局部渗流强度, 对堤防渗流稳定产生不利影响<sup>[3]</sup>。随着时间的推移, 管道外侧环空部位的泥浆逐渐固结和沉降, 会在管道外壁与周围土体之间形成空隙, 从而形成集中渗流通道。这种集中渗流通道会进一步加剧渗流稳定性的破坏, 对堤防的安全构成潜在威胁。在进行渗流稳定性分析时, 即使计算结果表明工程满足规范要求, 比较施工前后的渗流安全系数变化, 可以直观观察到水平定向钻对堤防渗流稳定性的实际影响, 从而采取更有效的措施来减轻这些不利影响, 保证堤防的长期稳定性。

### 2.2 对抗滑稳定的不利影响

水平定向钻施工过程中, 为保证钻孔稳定, 需要大量泥浆灌注以平衡钻孔内压力。然而, 泥浆压力往往远高于土体所承受的自重压力, 导致施工过程中经常性地出现地表冒浆或小幅隆起等现象, 对原有固结土体产生不同程度的扰动, 降低土体的粘聚力、内摩擦角等抗剪强度指标, 作用于堤防等防洪工程时将会导致堤防抗滑稳定安全系数降低。当这种情况发生在堤防等关键的防洪工程中时, 其影响尤为显著。土体抗剪强度的降低意味着堤防的抗滑稳定性下降, 从而降低了堤防的整体安全系数。在河堤或水坝等关键防洪工程中尤其危险, 这些工程的稳定性直接关系到广大地区的安全。特别是在使用多排大直径管道、或者在埋深较浅的情况下进行水平定向钻穿越时, 上述不利影响会更加显著。在此情况下, 由于管道较大, 需要更多的泥浆来保持钻孔稳定, 从而增加了对周围土体的扰动和对其抗剪强度的影响。

### 2.3 对沉降的不利影响

水平定向钻特有的施工工艺, 导致管道在回拖敷设后管周会存在被泥浆充填的环状空间, 泥浆作为特殊性土, 具有含水率高、排水固结时间长、抗压缩性能差、非线性沉降等特点, 导致运行期泥浆在上方土层的应力作用下发生显著固结沉降, 最大固结沉降量可高达初始土层的 80%; 而泥浆、原土体、管道之间物理力学性能差异性大的特性, 尤其是原土体与泥浆

固结特性的不同将会加大沉降的不均匀性。这种不均匀沉降又可能会导致管道周围土体出现不同程度的位移和变形, 进而影响管道自身的稳定性和安全。考虑到泥浆的渗流固结时间较长, 这种不均匀沉降的影响可能会持续较长时间, 对整个工程的稳定性构成长期的隐患。特别是在地质条件复杂或地下水活动频繁的区域, 泥浆的固结和沉降可能会更加复杂, 对工程的影响也更为深远。

## 3 魏荆线输油管道工程简介

魏荆线(老线)于 1978 年 10 月建成投产, 主要负责河南油田至荆门石化的原油外输任务, 管道全长 235km。由于管道已运行 40 多年, 有较大安全隐患, 经研究拟新建管道替代老管道, 后续老管道处置措施进一步进行专项设计。魏荆线原油管道整治工程湖北襄阳段起点为豫鄂省界与魏荆线老旧管道整治工程(南阳段)相连, 终点为襄阳荆门市界与魏荆线老旧管道整治工程(荆门段)相连, 全线设计压力 9.5MPa, 管径  $\phi 219.1\text{mm}$ , 全长 114km。全线设置工艺站场 3 座: 1# 加热站、襄阳热泵站、2# 加热站, 新建远控阀室 4 座, 设计输量为  $70 \times 10^4\text{t/a}$ , 具有反输功能。魏荆线原油管道整治工程拟采用定向钻穿越汉江右岸宜西堤(堤防桩号 28+387), 平面上管道与堤线约  $68^\circ$  斜交, 定向钻入土点位于堤内, 距背水侧堤脚最小距离为 164m; 出土点位于堤外, 距迎水侧堤脚最小距离为 188m; 输油管道出入土点水平投影长度为 420.85。

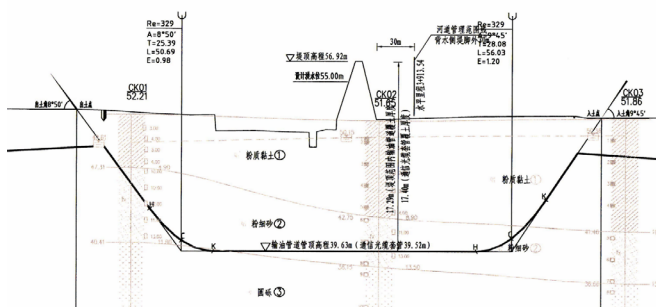


图 2 定性钻穿越堤防断面图

输油管道入土段与定向钻水平段转角  $9^\circ 45'$ , 入土端管道接点覆土厚度 3.17m; 出土段与定向钻水平段转角  $8^\circ 50'$ , 出土端管道接点覆土厚度 3.08m; 水平段穿越粉细砂层, 设计管底高程 39.41m、设计管顶高程 39.63m, 管底距地面高程 10.94~17.51m, 堤顶宽度范围内管道最小覆土厚度 17.29m。输油管道采用  $\phi 219.1 \times 7.9\text{L415}$  无缝钢管, 加强型 FBE 防腐; 场地内地层主要由第四系全新统 ( $Q_4^{\text{al}}$ ) 冲积粉质黏土、粉细砂、圆砾及新近系 (N) 砾岩、泥质砂岩组成。

## 4 防洪影响补救措施研究

### 4.1 补救措施设计

#### 4.1.1 管道外环空部位压力灌浆

管道回拉到位后对外侧环空部位进行压力灌浆,将能有效减小空洞体积。灌浆范围为定向钻穿越宜西堤全段范围,曲线长度 422.67m。在管道回拖前,将灌浆管绑扎在管道外周,为提高灌浆效果,将灌浆管分成若干组,沿管道分组分段开设灌浆孔。浆液为水泥、粉质粘土浆,水泥与粘土的配比为 1:3.5,浆液比重 1.5~1.6g/cm<sup>3</sup>,为了改善浆液性能,可掺入适量水玻璃,其掺入量宜为水泥和土料总重量的 0.7%,灌浆压力 0.4MPa,浆液初凝时间由试验确定。

#### 4.1.2 出、入土点黏土换填

考虑到定向钻穿越宜西堤施工场地离堤脚较近,拟对定向钻出、入土点管道周边局部进行黏土换填处理,处理范围为底部平面尺寸 50.0m×30.0m(管道轴线方向×垂直管道轴线方向)、顶部平面尺寸 56.0m×36.0m(管道轴线方向×垂直管道轴线方向),换填深度 3.0m,开挖边坡 1:1。换填所用黏土黏粒含量为 10%~35%,塑性指数为 7~20,渗透系数不大于 10<sup>-5</sup>cm/s,含水率与最优含水率的允许偏差为 ±3%;施工时应分层铺土、分层碾压,铺土层厚 0.5m,压实度不小于 0.93。

#### 4.1.3 截渗环

待管道回拖完成后,在距离出入土点水平距离 80m 位置处布置高压旋喷桩止水帷幕,宽和高均为 6.5m,沿管道轴线方向长 3.0m。高压旋喷桩施工前,需对已施工管道进行探测,结合施工偏差等因素,准确定位管道位置及埋深,防止施工过程中对管道造成损伤。旋喷桩钻孔与管道中心线距 2.5m,确保管道安全的前提下,可减小钻孔至管道中心线的间距,施工完成后保证管道外侧环向 2m 范围内,沿管道轴线方向长度 3m 范围内充满泥浆。

#### 4.1.4 施工期堤防安全观测

本工程管道穿越汉江右岸宜西堤,施工期应加强堤防安全观测,采取人工巡查的方式;巡查内容包括堤身、堤基和管理范围内的裂缝、洞穴、滑动、隆起及翻砂涌水等渗透变形现象的表面观测巡视检查,观测频率按每日 1 次进行,确保施工期堤防的安全。

### 4.2 渗流稳定分析

采用渗流稳定计算软件 Autobank 对拟建工程渗流稳定进行分析,选取三种工况,即:工况 1(施工前)、工况 2(无防洪影响补救措施)、工况 3(防洪影响补救措施实施后),各工况情况下迎水侧水位、背水

侧无水。土层物理力学参数见表 1。

表 1 各土层物理力学参数表

| 土层    | 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 渗透系数 k<br>(cm/s)     | 粘聚力 C<br>(kPa) | 内摩擦角 φ<br>(°) |
|-------|----------------------------|----------------------|----------------|---------------|
| ①粉质粘土 | 1.85                       | 3.0×10 <sup>-5</sup> | 10.3           | 7.8           |
| ②粉细砂  | 1.90                       | 6.0×10 <sup>-4</sup> | 3.6            | 28.0          |
| ③圆砾   | 2.01                       | 5.0×10 <sup>-3</sup> | 2.2            | 40.0          |

通过对拟建工程施工前后三种工况的渗流稳定计算结果分析,工况 2 相比工况 1 渗透比降增大了 10.5%,通过采取防洪影响补救措施,拟建工程实施后的渗透比降相比工程前有所减小,工况 3 相比工况 1 渗透比降减小了 21.4%,各工况渗流稳定计算结果见表 2。

表 2 渗流稳定计算结果表

| 工况   | 出逸点高程 (m) | 渗透比降 |
|------|-----------|------|
| 工况 1 | 52.31     | 0.38 |
| 工况 2 | 52.36     | 0.42 |
| 工况 3 | 52.25     | 0.33 |

## 5 结语

①由于渗漏通道、土体抗剪强度指标削弱、泥浆固结沉降等因素,水平定向钻穿越会对堤防的渗透稳定、抗滑稳定、不均匀沉降等方面产生不利影响。会影响堤防的结构完整性,还会形成长期的安全隐患,尤其是在极端天气或高水位情况下;②以魏荆线原油管道整治工程为例,通过管道外压力灌浆、出入土点粘土换填、截水环等防洪影响补救措施的实施,有效解决水平定向钻穿越对堤防渗透稳定的不利影响,为类似工程防洪影响补救措施的设计提供参照;③水平定向钻技术虽为现代管道施工带来了高效率和经济性,但其对环境和现有设施的潜在影响不容忽视。工程设计和施工团队必须采取全面的风险评估和应对策略,确保工程的安全和环境的保护。

### 参考文献:

- [1] 廖智磊. 穿越(跨河)涉水项目的影响分析与补救措施[J]. 黑龙江水利科技, 2022, 4(50): 107-109.
- [2] 张军, 于得万. 石油管道穿越河渠工程的防洪影像分析[J]. 水利规划与设计, 2013(10): 20-22.
- [3] 余剑平, 胡维忠. 定向钻穿越堤防对堤基的影响及防渗工程设计[J]. 人民长江, 2006, 8(37): 81-83.

### 作者简介:

张胜强(1989-), 男, 汉族, 湖北监利人, 硕士, 2016年毕业于武汉大学水利水电学院, 水利水电工程施工组织与管理专业, 主要从事河湖保护与涉河项目管理相关工作。