

安庆成品油管道穿越河道工程渗流稳定分析

张毅

(山西省地质环境监测中心,山西太原 030024)

【摘要】 在安庆成品油管道穿越河管道工程的施工过程中,管道的穿越会对河道、堤防的渗流产生影响。利用有限差分法对穿越后的堤防进行了渗流稳定分析与计算,建立了地下水流数值模拟模型。通过对地下水流数值模拟结果的分析,并利用临界水力梯度法,对实例中定向钻穿越河道工程诱发渗透破坏的可能性,进行了定量分析。

【关键词】 管道穿越;河道;堤防;渗流稳定;有限差分法;临界水力梯度法

【中图分类号】 TV 139.11

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2017.04.003

The Seepage Stability Analysis of the Process of Anqing Product Pipeline Crossing River

Zhang Yi

(Shanxi Provincial General Station of Geo-Environment Monitoring, Taiyuan 030024, Shanxi, China)

【Abstract】 In the construction process of Anqing product pipeline crossing river course project, pipeline crossing will affect the seepage of river channel and embankment. In this paper, the finite difference method is used to analyze and calculate the seepage stability of the embankment after the pipeline crossing, and groundwater flow numerical simulation model is established. Based on the analysis of numerical simulation results of groundwater flow and the application of critical hydraulic gradient method, the possibility of seepage failure by directional drilling crossing river course is analyzed quantitatively.

【Key words】 pipeline crossing; river course; embankment; seepage stability; finite difference method; critical hydraulic gradient method

0 引言

安庆石化 800 万 t/a 炼化一体化配套成品油管道工程包括两条输油管线,即淮南—蚌埠输油管线和安庆—阜阳输油管线^[1-2],全长约 170 km。安庆—阜阳输油管线始于安庆石化北山油库北侧的安庆首站,止于阜阳油库的阜阳末站,沿途设合肥和淮南两个分输泵站。淮南—蚌埠输油管线的起点在淮南分输泵站,终点在蚌埠新建油库的蚌埠末站。管道全长 520 km,入口设计输量为 4.1×10^6 t/a,设计压力为 9.5 PM,管道穿越工艺为非开挖定向钻穿越。

水平定向钻穿越堤防和河道的过程中,河流与两侧河堤下的地层中往往形成一条隐蔽的非直线型扰动带^[3-5],这种扰动带对渗流场形成较复杂的附加影响^[6],定量分析较困难^[7-8]。因此,在管道穿越

工程中,进行水平定向钻穿堤管线渗流安全的研究具有十分重要的意义^[9-11]。

1 河道与堤防

安徽省境内颍河干流自界首至沫河口,全长约 207 km。穿越段位于合阜高速与颍河交点北侧庙台、杨台村附近,距离颍上闸约 3.2 km,从上至下,河槽宽 100~180 m,河道宽 8~12 m。颍河两岸滩地淤高,一般河岸高于堤内地面 1~2 m。

堤顶高程按颍河 50 年一遇设计洪水位加 1.0 m 确定,顶宽 8 m,迎水侧边坡为 1:3,背水侧堤顶下方 3 m 处设 2 m 宽平台,平台以上边坡 1:3,平台以下边坡 1:5;顶面高程约 33.6 m。20 年一遇的设计洪水位为 29.33 m,设计流量为 4490 m³/s。

在校核洪水条件下河槽冲刷明显,颍河上段

断面河槽最大冲深度 1.23 m, 最低冲刷线高程 11.67 m, 冲刷后的河底高程距离管道 11.05 m, 洪水冲刷不会对管道产生破坏影响, 管道也不会对河道的防洪产生影响。

2 工程概况及设计参数

本文选取安庆—阜阳输油管线中较为典型的淮南—阜阳段穿越颍河的工程来计算。管道从淮南市夏集镇进入阜阳市境内, 经颍上县的六十铺镇、新集镇、西三十铺镇、十八里铺镇、颍上县北、夏桥镇、江店镇, 在五十铺乡附近拐向北敷设, 经阜阳市辖区的袁寨镇后进入阜阳油库。管线两次穿越颍河, 管道穿越颍河主要的参数见表 1。

表 1 定向钻穿越河流参数值

河流	入土点		出土点		河底距离	安全保护范围	
	入土角	距堤脚	出土角	距堤脚		临水侧	背水侧
颍河	9°	149.5 m	6°	99.4 m	13 m	130 m	120 m

工程管道全线除河道以外均采用埋地敷设的方式。管道的设计埋设深度为灌顶覆土 1.2 m, 管线改变方向时采用弹性敷设, 以减少局部阻力损失和增强管道的整体柔韧性, 弹性敷设的曲率半径 $R \geq 100 D$ (D 为管外径) 并满足管道强度要求。在弹性敷设受地形及场地限制难以实现, 或虽能施工, 但土方量过大时, 优先考虑采用热煨弯管来实现方向的改变, 弯管弯曲半径最小为 $6 D$ 。管道穿越颍河堤防示意图见图 1。

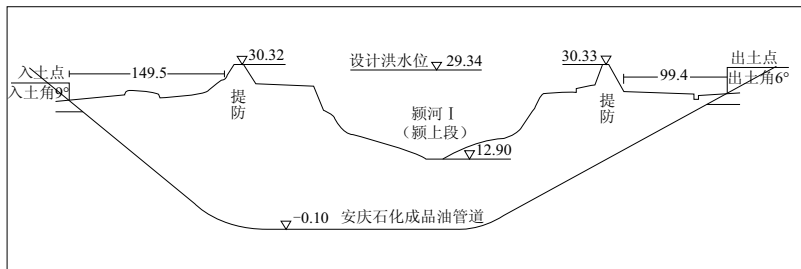


图 1 定向钻管道穿越颍河堤防示意图 (单位: m)

3 渗流稳定性分析

通过模拟在遭遇洪水时的地下水渗流场, 并研究其数学与物理特征, 分析地下水非稳定渗流过程; 结合研究区域的工程地质条件, 研究地下水水流场中地下水最大渗流速度对地层中松散土颗粒的扰动能力, 进而尝试性定量评价工程施工造成渗流破坏的可能性。

根据地质钻探数据, 将地层分为 6 层: ①粉土, 土质不均; ②黄色粉砂, 土质不均; ③粉质黏土, 土质较均匀; ④粉质黏土, 土质不均匀; ⑤粉土, 土质较均匀; ⑥粉质黏土, 土质不均。

3.1 水文地质概念模型

根据最不利原则, 在进行条件概化时: ①采用 50 年设计洪水水位加高 1 m 作为校核水位, 堤岸虚拟加高; ②计算区域在平面上, 围绕工程段中心, 取 $2000 \text{ m} \times 1000 \text{ m}$ 的范围; ③河道附近地层, 按非均质各向同性处理; ④河床厚度, 按被冲刷 1.23 m 后的厚度计算; 经冲刷后的河床, 其垂向渗透系数与水平渗透系数相同。

本次数值模拟采用有限差分法。主要以施工场地附近 1000 m 范围内作为研究区域, 以便于能够反映研究区的水文地质特征, 掌握地下水水位动态变化过程。研究范围南北跨度 1000 m, 东西跨度 2000 m。整个区域划分为 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的网格, 具

体网格划分见图 2。

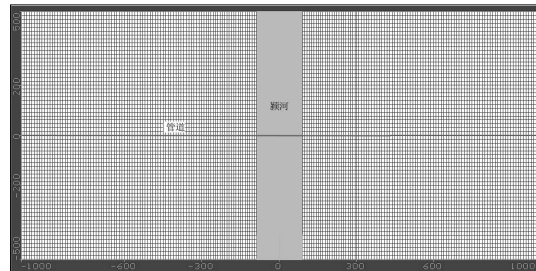


图 2 研究区平面网格剖分图

模型主要是模拟在遇到设计洪水时, 铺设好管道以后沿管道壁地下水的水力坡降, 预测土层被扰动的危险性, 分析河床的稳定性。模型研究的地层主要是微承压层和潜水层。

穿越河道的过程中管道在河底路径并非直线, 而是弯曲的, 因此, 将地层细分, 以便模型能够更加精确地反映真实情况, 管道所经范围的渗透系数设定为其它范围的 1.5 倍, 具体地层见图 3。

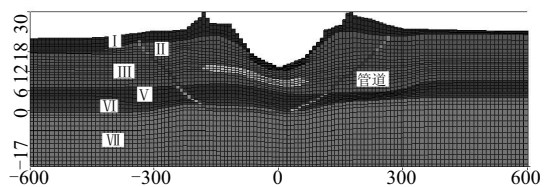


图 3 研究区垂向网格剖分图

首先根据钻探资料确定地层岩性,然后拟定地层的水文地质参数,再利用钻探期间观测的水位资料,通过反演调参,最后得到地层的水文地质参数见表2。

表2 模型地层参数表

地层	渗透系数/(m·d ⁻¹)	弹性释水系数	给水度	孔隙度
I	1.5	1×10 ⁻⁵	0.15	0.11
II	2.0	5×10 ⁻⁵	0.12	0.15
III	1.5	3×10 ⁻⁵	0.2	0.1
IV	0.05	1×10 ⁻⁷	0.12	0.2
V	1	3×10 ⁻⁵	0.15	0.15
VI	0.01	1×10 ⁻⁷	0.2	0.2

3.2 数学模型

基于上述水文地质概念模型,建立相应的数学模型:

$$\begin{cases} \mu \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \\ \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial H}{\partial z} \right) - W \\ H(x, y, z, t) |_{t=0} = H_0(x, y, z), (x, y, z) \in D \\ H(x, y, z, t) |_{\Gamma_1} = H_1(x, y, z, t), (x, y, z) \in \Gamma_1, t \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: K_{xx} 、 K_{yy} 、 K_{zz} 为渗透系数在 x 、 y 、 z 方向的分量; H 为水头; W 为单位体积内的流量; μ 为给水度; H_0 为初始水位; H_1 为计算时段内计算范围边缘的地下水水位; t 为时间; D 为计算区范围; Γ_1 为第一类边界。

在有限差分网格中,计算每个单元的水位时,一个结点与其四个相邻结点间存在着一定的水量平衡关系,据此以每个小单元为研究对象,建立一个有限差分形式的关系式,即水均衡方程,进而利用共轭梯度法^[13]迭代进行水位计算。差分方程的一般形式如下:

$$\begin{aligned} q_{ij} = & b_{ij} H_{i-1,j} + d_{ij} H_{i,j-1} + \\ & e_{ij} H_{i,j} + f_{ij} H_{i,j+1} + g_{ij} H_{i+1,j} \end{aligned} \quad (2)$$

用矩阵符号表示: $\mathbf{A} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{b}$

式中: \mathbf{A} 为系数矩阵; \mathbf{x} 为各单元格的水位矩阵; \mathbf{b} 为流量。

3.3 水力坡度计算

通过模型参数识别,进行地下水运动模拟,根据设计要求,模拟时间为3个月。通过模型模拟地下水渗流场,计算得到渗流场中地下水渗流最大水力坡度 J_{\max} 为0.08。地下水渗流场分布见图4。

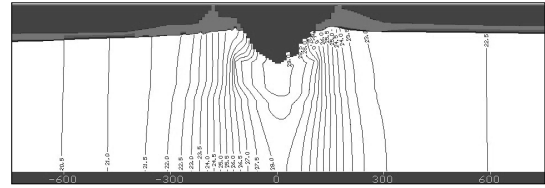


图4 地下水渗流场分布图

针对颍河段面穿越工程,管道穿越的土层主要有粉土、粉质黏土、粉砂,土层的渗透变形属流土型。根据《水利水电工程地质勘察规范》(GB50487—2008)附录L^[12],流土的临界水力比降根据以下方法求得:

$$J_{cr} = (G_s - 1)(1 - n) \quad (3)$$

式中: J_{cr} 为土的临界水力比降; G_s 为土的颗粒密度与水的密度之比; n 为土的孔隙率, %。

允许水力坡度计算公式:

$$J_{\text{允}} = J_{cr} / K \quad (4)$$

式中: $J_{\text{允}}$ 为允许水力坡度; K 为安全系数,一般为2.0~2.5。

则由式(3)和式(4)计算可得:

$$J_{cr} = 0.858 \quad J_{\text{允}} = 0.343$$

3.4 稳定性分析

结合以上分析,计算得到渗流场中最大水力坡度与允许水力坡度对比情况,见表3。

表3 河道最大水力坡度与允许水力坡度对比表

河道	最大水力坡度 J_{\max}	允许水力坡度 $J_{\text{允}}$	安全判别
颍河	0.08	0.343	安全

4 结论

1)结合安庆成品油管道穿越颍河的工程实例,在极端不利的水文、气象条件下,建立了地下水流数值模拟模型。

2)采用临界水力梯度法,对定向钻穿堤管道工程施工诱发渗透破坏的可能性进行了定量分析。

3)通过模型模拟流场计算得渗流场中地下水渗流最大水力坡度为0.08,并根据土体渗透变形判别公式求得允许水力坡度为0.343,其远大于最大水力坡度,定量地说明了汛期河床被洪水冲刷而导致渗流破坏的可能性很小,不会发生管涌破坏,运营期管道工程不会影响堤防稳定。

参考文献

- [1] 李丁玲. 安庆石化出台《安庆石化厂际油气管线安全管理规定》[J]. 化工安全与环境, 2014(43):5.

(下转第179页)

制基坑周围的地面沉降和临近建筑物的沉降和变形。

4)增大土层黏聚力和内摩擦角可有效控制建筑物的沉降和倾斜,减小建筑物沉降速率,可以作为特定情况下建筑物保护措施的首选。

参 考 文 献

- [1] Finno R J, Bryson L S. Response of building adjacent to stiff excavation support system in soft clay[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 2002, 16(1): 10-20.
- [2] Burland W. Settlement of Buildings and Associated Damage[M]. London: Pentech Press, 1974: 12-15.
- [3] Kanaori Y. Soil settlement effects on buildings[J]. Engineering Geology, 1993, 35(1-2): 138-139.
- [4] Whittle A J, Hashash Y M A, Whitman R V. Analysis of deep excavation in Boston[J]. Journal Geotechnical Engineering, ASCE, 1993, 119(1): 69-90.
- [5] 木林隆,黄茂松. 基坑开挖引起的周边土体三维位移场的简化分析[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(5): 1-8.
- [6] 冯俊福,俞建霖,杨学林,等. 考虑动态因素的深基坑开挖反演分析及预测[J]. 岩土力学, 2005, 26(3): 455-460.
- [7] Cording E J, O'Rourke T D, Boscardin M. Ground movements and damage to structures[C]. Virginia: ASCE, 1978, 145-220.
- [8] Moorak S. Estimation of building damage due to excavation-induced ground movements [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2005, 131(2): 162-177.
- [9] 丁勇春. 软土地区深基坑施工引起的变形及控制研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [10] 由海亮. 地铁车站基坑内撑式支护结构内力与变形分析[D]. 北京: 北京工业大学, 2007.
- [11] 初振环,陈 鸿,王志人,等. 紧邻地铁车站基坑双排桩支护结构性状分析[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(S1): 474-479.
- [12] 刘红岩,秦四清,李厚恩,等. 深基坑工程开挖安全性的数值分析[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(S1): 1441-1444.
- [13] 郑 刚,李志伟. 基坑开挖对邻近不同楼层建筑物影响的有限元分析[J]. 天津大学学报, 2012, 45(9): 829-837.
- [14] 刘国彬,王卫东. 基坑支护手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 209-261.

收稿日期: 2017-05-24

(上接第 172 页)

- [2] 黄志亮. 浅谈安庆石化成品油管道穿越颍河的影响和处理措施[J]. 治淮, 2016(4): 40-41.
- [3] 周贤金,邓正东. 非开挖穿河管道工程对堤基渗流稳定的影响评价[J]. 岩土工程技术, 2010, 24(4): 171-175.
- [4] 刘海龙. 油气管道水平定向钻穿越大中型河流技术的研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2009.
- [5] 孙平贺,曹 函,乌效鸣,等. 水平定向钻进管道敷设地层响应实验分析[J]. 地质科技情报, 2012, 31(3): 135-138.
- [6] 李治军. 非开挖穿河工程对堤防稳定性影响评价[J]. 岩土工程技术, 2009, 23(1): 23-25.
- [7] 石江森. 长输管道水平定向钻穿越河流设计中的注意事项[J]. 石化技术, 2015, 22(11): 70-71.
- [8] 孙平贺,曹 函,乌效鸣,等. 水平定向钻进管道敷设地层响应实验分析[J]. 地质科技情报, 2012, 31(3): 135-138.
- [9] 闫相祯,丁 鹏,杨秀娟. 水平定向钻技术在管道穿越工程中的应用研究[J]. 石油学报, 2008, 29(2): 292-295.
- [10] 朱乃榕,沈长松,俞南定. 西气东输工程管道穿越河道的渗流稳定分析 [J]. 黑龙江大学工程学报, 2004, 31(4): 18-20.
- [11] 丁 鹏,闫相祯,杨秀娟. 水平定向钻管道穿越中力学参数研究[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2007, 29(5): 152-155.
- [12] 中华人民共和国水利部. GB 50287-99 水利水电工程地质勘察规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1999.
- [13] 李树文,王永宣,康敏娟. 基于灰色有限差分模拟的地下水位动态研究[J]. 地下水, 2010, 32(4): 1-4.

收稿日期: 2017-05-16