

有限元分析在输油管道站场工程中的应用

杨国辉^{1*}, 邢俊强², 周景权³, 赫德明¹, 石 巍²

(1. 中国石油天然气管道工程有限公司天津滨海新区分公司, 天津 300457; 2. 中国石油天然气管道局, 河北 廊坊 065000; 3. 中国石油管道公司(管道销售公司), 河北 廊坊 065000)

摘要:在天津港—华北石化原油管道工程设计过程中,通过利用有限元分析法对某站场填方边坡进行模拟分析,计算出不同工况(通常工况、发洪水工况、水位下降后的工况)下的边坡沉降与变形,为工程设计提供了重要依据。

关键词:站场;有限元分析;边坡稳定性

中图分类号:TE832

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2016)06-0203-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2016.06.051

Application of finite element analysis in oil transportation pipeline's station

YANG Guo-hui^{1*}, XING Jun-qiang², ZHOU Jing-quan³, HE De-ming¹, SHI Wei²

(1. China Petroleum Pipeline Bureau Tianjin Design Institute, Tianjin 300457, China;

2. CNPC China Petroleum Pipeline Bureau, Langfang 065000, China;

3. Petrochina Pipeline Company (Pipeline Marketing Company), Langfang 065000, China)

Abstract: During the design of crude oil pipeline from Tianjin port to North China Petrochemical corporation, the stability of the side slope at an oil transportation pipeline's station is analyzed by using the finite element analysis. The settlement and deformation of the slope under different working conditions, such as normal condition, flood condition, fall of the water level condition, are calculated. It provides an important reference for the engineering design.

Key words: station; finite element analysis; side slope stability

我国长输管道的建设从兴起到蓬勃发展,管道的安全、平稳运行一直被视为很重要的组成部分。因为长输管道在我国能源运输中起着举足轻重的作用,防止和减少管道运行的安全生产事故,关系到人民群众的生命和财产安全以及国家安危。

站场在长输管道中起着联网和控制调节的功能。由于其建设受到地形的影响,不可避免会出现土方填挖工程,而对站场土方边坡稳定性进行深入研究分析,是保证站场安全运行的重要环节之一。

1 研究工具

本次分析采用的是国际知名的 PLAXIS 软件, PLAXIS 软件是荷兰公司开发的岩土工程有限元计算软件。该软件操作方便,建模简单,能自动进行网格划分。用于分析土体的本构模型有:线弹性、理想弹塑性模型,软土模型,硬化模型和软土流变模型^[1]。

该软件能够计算 2 类工程问题,即平面应变问题和轴对称问题,能够模拟包括土体、墙、板、梁结构,各种元素和土体的接触面,锚杆、土工织物、隧道以及桩基础等。其能够分析的计算类型有:①变形;②固结;③分级加载;④稳定分析;⑤渗流计算^[2]。

PLAXIS 软件在国内已经成功应用于基坑工程、公路工程、隧道工程、水利工程等各种领域,本文中

将利用 PLAXIS 中的稳定分析模块模拟边坡在各种工况下的沉降及变形情况。

2 研究内容

2.1 工程规模

天津港—华北石化原油管道工程起点为天津港汇鑫油库,终点为河北任丘合建站,线路全长约 188 km,共建设有 2 座站场及 8 座阀室。由于站场选址受到各种因素的影响,如管道走向、区域规划、地形等,某站场站址位于低洼地带,为满足防洪排涝的要求,需抬高场区设计标高,因此场区采用了整体回填的方式。拟建填方边坡坡长 30 m,高约 3.1 m,坡顶设置砖砌围墙,坡底为自然场地。

2.2 工程地质条件及物理力学参数

根据详细地质勘察资料显示,地层土质主要由硬黏土、非常坚硬黏土、砂土等组成,根据工程地质勘察报告及有关资料,将地下土层由上至下简化为 4 层:第一层为黏土,勘察厚度 4.5 m,坚硬,深棕色,密实状态;第二层为黏土,勘察层厚 4.0 m,非常坚硬,浅棕色,密实状态;第三层为黏土与粉砂互层土,勘察层厚 3.0 m,非常坚硬,棕色,密实状态;第四层为粉土,勘察层厚 3.0 m,棕色,密实~非常密实状态。各土层相关物理实验结果见表 1。

表 1 各土层相关物理力学参数

地层	标高/m	描述	重力 密度 γ / ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	不排水 剪切强 度 S_u / kPa	SPT- N 值	内摩 擦角 φ_q / ($^\circ$)
1	+11.80 ~ +7.70	人工回填土	20.00	25.0	—	30
2	+7.70 ~ +3.20	硬黏土 1	19.0	80.0	12	—
3	+3.20 ~ -0.80	硬黏土 2	19.5	110.0	17	—
4	-0.80 ~ -3.80	非常坚硬 黏土 1	20.00	180.0	27	—
5	-3.800 ~ -6.80	非常坚硬 黏土 2	20.00	150.0	23	—
6	-6.80 以下	密实砂土	20.00	—	>40	36

3 有限元计算模型的建立

3.1 拟定边坡参数

根据现场踏勘情况,参考周边已建站场、公路等设施,初步拟定场区采用整体回填方式,回填土高度约 3.1 m,围墙外 2 m 为边坡坡顶,边坡坡率采用 1:1.5^[3]。地层计算模型与 2.2 中描述的地层一致。

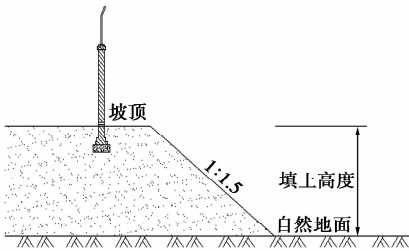


图 1 边坡几何断面示意图

3.2 设计假定

边坡稳定性分析的计算需进行如下假定。

从软件模拟中获得安全系数;回填土质量及压实度与施工要求一致;顶部加均布荷载 20 kN/m²;根据详细勘察报告,初步确认地下水位为地面以下 1.6 m。

参考《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)中表 5.3.2 边坡稳定安全系数,边坡工程安全等级取一级,相应的一般工况下的安全系数为 1.35,特殊工况取 1.15。

3.3 回填土要求

依照设计说明书中对土方工程的施工要求,设定回填土的物理力学指标为:液限最大值 40%;塑性指数最大值 20%;塑性指数最小值 10%;最大粒径 25.4 mm;通过 $\Phi 200$ 标准筛的最大百分比 80%,通过 $\Phi 200$ 标准筛的最小百分比 40%。

3.4 工况分类

根据站场施工、正常运行以及周边自然条件,将工况分为如下 3 类,见表 2。

表 2 工况分类统计表

序号	工况	工况类别	水位	FEM
1	施工完毕	通常工况	地面以下 1.60 m	√
2	发洪水	特殊工况	到达设计标高	√
3	水位降低	最不利工况	从设计标高降低到自然地坪标高	√

3.5 建立计算模型

PLAXIS 软件提供了 6 节点单元和 15 节点单元 2 种。15 节点单元比前者的计算精度要高,能产生更高质量的应力效果,故本次分析采用的是 15 节点单元。PLAXIS 软件在网格划分时提供了自动划分并可以局部加密的功能,根据本次分析的特点,网格划分精度选择中等粗糙程度,这样可以减少计算时间并能得到较为理想的计算结果^[4]。

3.5.1 模型的建立

根据以上地质情况、几何参数、输入数据、设计假定等要求建立如下模型,见图 2 ~ 图 4。

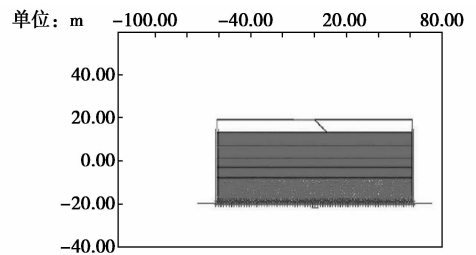


图 2 有限元模型网格划分初始状态模型体

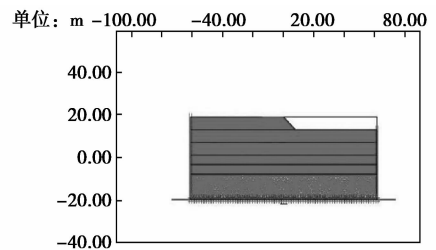


图 3 场区回填土后计算模型体

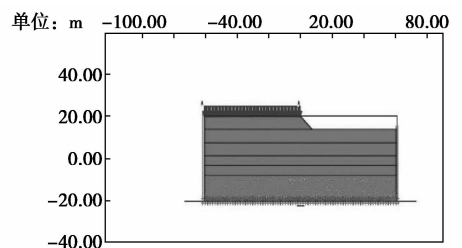


图 4 进行顶部加载后计算模型体

3.5.2 安全系数求解

利用 PLAXIS 软件进行安全系数的求解,是通过程序本身提供的有限元强度折减法进行的。此分析方法的原理是对强度参数 $\tan\varphi$ 和 c 不断减小直到计算模型发生破坏。在软件中系数 ΣM_{sf} 定义为强度折减系数,其表达式为 $\Sigma M_{sf} = \tan\varphi_{input} / \tan\varphi_{reduced} = c_{input} / c_{reduced}$,其中 $\tan\varphi_{input}$ 、 c_{input} 为软件在定义材料属性时输入的强度参数值; $\tan\varphi_{reduced}$ 、 $c_{reduced}$ 为在分析过程中用到的经过折减后的强度参数值。软件在开始计时默认 $\Sigma M_{sf} = 1.0$,然后 ΣM_{sf} 按设置的数值递增至计算模型发生破坏,此时的 ΣM_{sf} 值即为计算模型的安全系数。各工况下的安全系数见图 5~图 7^[5]。

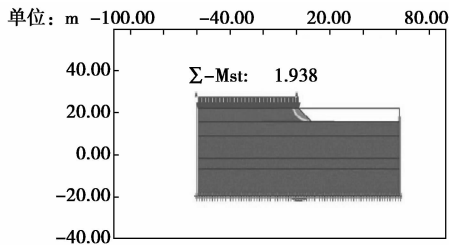


图 5 施工完毕后正常运行状态下的变形模型体

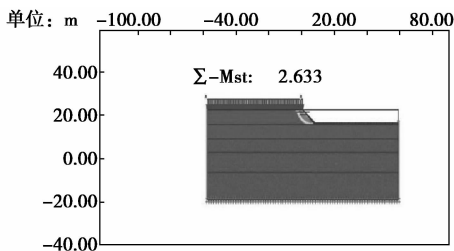


图 6 水位上涨至设计标高状态下的变形模型体

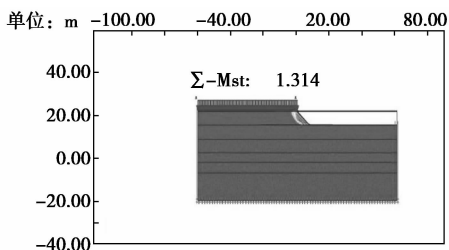


图 7 水位降低至自然地面状态下的变形模型体

4 分析结果

通过利用 PLAXIS 软件对此拟定边坡进行模拟分析,得出施工完毕后的安全系数为 1.938,发洪水时的安全系数为 2.633,水位降低后的安全系数为 1.314,与稳定安全系数的对比见表 3。

表 3 模拟分析结果统计表

序号	工况	水位	水位	安全系数	稳定安全系数	状态
1	施工完毕	自然地面以下 1.60 m	1:1.5	1.938	1.15	满足要求
2	发洪水	设计标高		2.633		满足要求
3	水位降低	自然地面		1.314	1.35	满足要求

5 边坡防护形式

通过以上分析得出,此边坡在施工完毕后及各种工况运行时都是稳定的。考虑到此边坡的重要性及本站在天津港—华北石化原油管道工程中的重要作用,在保证土体本身稳定的基础上,为了消除雨水等自然环境对边坡的冲刷和侵蚀,使用了浆砌片石护坡对边坡进行防护。护坡断面示意图如图 8 所示。

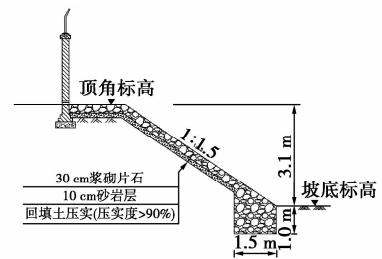


图 8 浆砌片石护坡断面示意图

6 结语

有限元分析法是利用数学近似的方法对真实几何及荷载工况进行模拟,计算精度高,能够适应各种复杂工况,是一种应用广泛且实用高效的工程分析方法。通过利用 PLAXIS 有限元分析软件对站场边坡稳定性进行分析,得出此边坡设计合理,满足站场运行年限内的使用要求,进而保证了天津港—华北石化原油管道的平稳运行。

参考文献

- [1] 唐晓松,郑颖人,邹爱清,等.应用 PLAXIS 有限元程序进行渗流作用下的边坡稳定性分析[J].长江科学院学报,2006,23(4):13-16.
- [2] 王宏宏,王春波,卢广宁. PLAXIS 在深基坑开挖与支护数值模拟中的应用[J].山西建筑,2007,35(33):94-95.
- [3] 邓学钧,张登良.路基路面工程[M].北京:人民交通出版社,2000.
- [4] 刘小丽,马悦,郭冠群,等. PLAXIS 2D 模拟计算基坑开挖工程的适用性分析[J].中国海洋大学学报,2012,42(4):19-25.
- [5] 王旭东,郑明军.基于边坡稳定计算的软件分析对比[J].路基工程,2012,(1):34-37. ■