

“爬坡”管路石蜡沉积层最大剪应力的数值模拟

毕露¹ 赵舒宇² (1. 天津市大港油田集团建设监理有限责任公司 2. 中国石油大学(华东)储运学院)

摘要: 由于长输管路的距离很长, 所经地区地形复杂, 部分热含蜡原油管路不可避免的形成了落差大、翻越点多的恶劣状况, 管路出现了“爬坡”现象。“爬坡”热含蜡原油管道在正常运行过程中, 管道内的石蜡沉积物在油流剪切应力作用下处于受力平衡状态。但是在管道停输后, 由于油流流动形成的剪力消失, 管壁处的石蜡沉积物处于失稳状态。于是在重力和未凝原油的共同作用下, 石蜡沉积物会发生剪切变形、蠕变, 结构破坏后向管道低洼处运移, 进而造成管道低洼处凝管堵塞, 使整条管线面临启动困难和全线原油凝管的危险。本文利用 ADINA 的流固耦合功能, 对停输后石蜡沉积物的力学状况进行模拟, 探讨了管径等因素对石蜡沉积物的最大剪应力的影响以及分布的影响, 为工程实际提供了参考^[1]。

关键词: 管路 石蜡沉积层 最大剪应力 数值模拟

1 有限元模型

1.1 材料计算模型

在管道停输的瞬间石蜡沉积物并不会发生破坏滑脱流动。这种情况下, 在力学作用下, 石蜡沉积物首先发生瞬时弹性应变, 紧接着发生粘弹性蠕变, 最后是塑性断裂, 间隔时间短暂。为达到分析管道停输后等效应力的分布规律的目的, 数值计算时, 石蜡沉积物选取多线性弹塑性中的 lubby2 算法^[2], 此方法广泛用于模拟岩石、混凝土材料的长期蠕变行为, 并考虑了卸载等因素的影响。中心未凝原油采取粘弹性流体模型。对于 lubby2 模型, 其蠕变应变率表达式如下:

$$\dot{\epsilon} = \left[\frac{1}{\eta(\sigma)} \left(1 - \frac{\epsilon}{\sigma} \right) + \frac{1}{\eta_v(\sigma)} \right] \sigma \quad 1-1$$

其中蠕变参数与应力的关系如下:

$$\eta_{st} = \eta_{st} e^{-m\sigma} \quad 1-2$$

$$\bar{G}_k = G_k e^{k_1 \sigma} \quad 1-3$$

$$\bar{\eta}_k = \eta_k e^{k_2 \sigma} \quad 1-4$$

对于上述方程, m 、 k_1 、 k_2 、 η_{st} 、 G_k 、 η_k 是六个材料相关参数, 在 ADINA 软件输入界面中分别用 a0、a1、a2、a3、a4、a5 表示, 通过试验结果来拟合上述六个蠕变参数, 进而得到准确的材料模型。参数由石蜡沉积物的直剪实验, 可得相关参数如下:

$$m = -0.01995 \text{ MPa}^{-1}; G = 0.04991 \text{ MPad}$$

$$k_1 = 0.009034 \text{ MPa}^{-1}; \eta_{st} = 100757.588 \text{ MPa}$$

$$k_2 = 0.01625 \text{ MPa}^{-1}; \eta_k = 337 \text{ MPad}$$

1.2 单元选择与网格划分

ADINA 为用户提供了丰富多样的单元库^[3], 其单元有一个重要的特点, 就是材料本构与单元算法是相互独立的。所以在选取单元的过程中, 只需考虑材料的几何形态即可。ADINA 提出了一个单元组的概念, 即是相关单元、材料类型、积分阶次以及其它控制信息的组合都被赋予了同一个单元组, 只有在单元组完整定义了之后才能被用来对几何模型进行有限元网格的划分。在此选用 3-Disolid 单元, 此单元式用于三维的显式结构的实体单元, 并且选取以应力/应变方式输出结果。将这些赋予与前文定义的多线性蠕变材料模型赋予同一个单元组, 进而确定了石蜡沉积物的单元组类型。

在目前的研究范围内, 石蜡的沉积机理主要有剪切弥散、分子扩散、重力沉降、布朗扩散。在原油管路的运行过程中, 后两者对沉积过程影响并不是很大, 因此, 石蜡沉积物的模型设置成为四周厚度相同的, 而流体部分模型为粘弹性流体模型, 选用 27 节点的六面体流体单元, 利用映射网格进行划分。

1.3 载荷及边界条件

在停输之后, 管道内部石蜡沉积物的力学状况非常复杂, 通过对现场管路的调研, 发现石蜡沉积物紧贴管壁的部分十分致密, 和管壁接触紧密, 互相之间存在很大的摩擦阻力。因此在管道停输时刻石蜡沉积物出现滑脱的时候, 滑脱面不会是沉积物与管壁的接触面, 故将石蜡沉积物的外壁设置成位移边界条件, 将此边界设置为位移固定边界。所以管道壁也无需单独建模。沉积层的上端面, 可以简化为轴向向下固定的位移端面。同理, 表征“爬坡”管道低端的下端面可以简

化为沿轴向方向限制的固定边界。石蜡沉积物的内表面设置为流固耦合界面。固体结构的被表面和流体结构的外表面都设置为耦合界面, 进而实现结构和流体的耦合。施加的载荷是石蜡沉积物自身的重力。固体结构有限元模型如图 1-1。

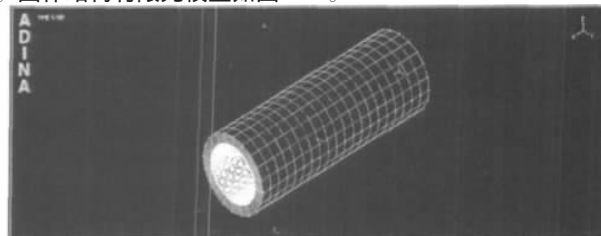


图 1-1 石蜡沉积物结构的有限元模型

液态原油部分模型上、下端面和石蜡沉积物相应端面的边界条件设置一致, 外表面设置为流固耦合界面, 耦合方式为双向直接耦合, 收敛准则为力和位移以使结果更精确。这部分有限元模型的建立如图 1-2。

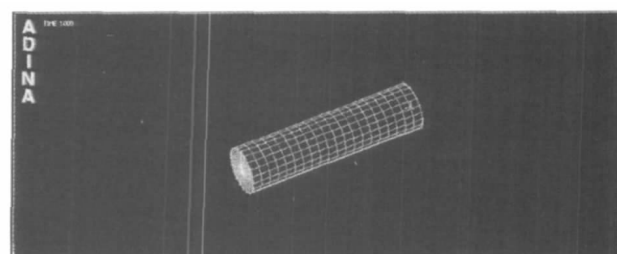


图 1-2 液态原油部分有限元模型

2 计算结果以及应力分析

2.1 管径对沉积层应力分布的影响

在长距离含蜡原油输送管路中, 管道的管径是相差很大的。因此讨论在不同管径下的剪应力分布很有必要。相同物性的石蜡沉积物在不同的管径的管道里, 沉积层的剪切应力的分布也是不同的。以下是当沉积物厚度为 0.11m, 爬坡角度为十度, 管长为 4m 时刻不同管径的剪应力分布。

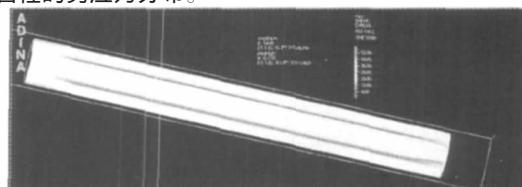


图 2-1 管内径为 420mm 时石蜡沉积物的最大剪应力分布图

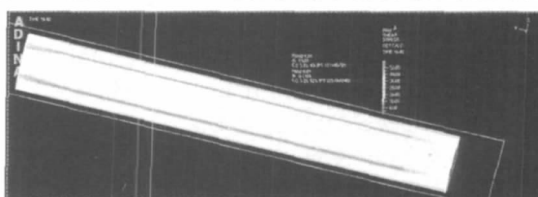


图 2-2 管内径为 516mm 时石蜡沉积物的最大剪应力分布图

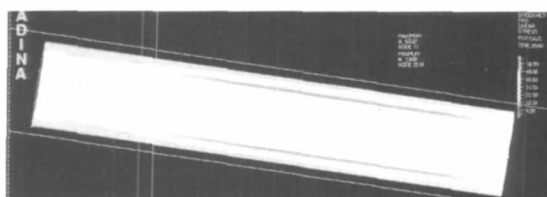


图 2-3 管内径为 720mm 时石蜡沉积物的最大剪应力分布图

通过以上图形可以看出, 相同的蜡沉积物厚度在不同的管内径的管道中所受的剪应力是不一样的。当管径为 720mm 时候, 沉积层

高填土路基下沉的预防与处治

田志勇 王玉磊 (龙建路桥第三工程有限公司)

摘要:文中对高填土路基下沉的预防与处治提出了自己的见解。

关键词:高填土路基 下沉原因 预防与处治

1 下沉的原因

平原区修筑的高等级公路其填土高度一般都在 4~5m 以上,在施工过程中或施工完成后,高填土路段经常出现路堤整体沉降或局部沉陷,导致路面破坏,公路的使用性能大大降低。高填土路基下沉的原因是:

1.1 路基的压实度不够。①施工队伍素质较差,未严格按规范规定的厚度进行碾压。②路基施工过程中,由于含水量控制不当,是路基的碾压无法达到规定压实度。如采用亚砂土作为填料时,其水分散发很快,若在夏季施工碾压不及时,无法达到规定的压实度。③桥台和通道两侧,由于回填部位狭窄和无法采用压路机进行碾压,使压实度未达到要求,加上柔性填土与刚性构造物衔接处的强度、稳定性相差较大,导致桥台、通道两侧出现路基下沉。

1.2 路基自然沉降时间短。

1.3 排水不当施工过程中为注意排水处理。雨季施工时,为赶工期排水不彻底就继续填筑,导致局部翻浆,使路基下沉。

2 下沉的防治

2.1 根据不同的填料选用不同的施工方法。在高等级公路填方路堤中,由于其土方量大,土源又多分散,因此土质也比较复杂,若都采用一种施工方法,施工效果很不理想。A、细粒砂性土作为路堤填料的施工——细粒砂性土具有天然含水量低,塑性小,水分散发快,不易碾压成型的特点。经试验确定,其塑性支数和液限分别为: $1p=6-11$, $WL=20-32$ 。击实试验表明,细粒砂性土的含水量与干密度的击实曲线比较平缓,说明适宜压实所需含水量的幅度较大。细粒砂性土的渗透性好,适宜雨季施工。细粒砂性土在施工过程中除了含水量对压实的效果有较大影响外,压实功能对压实效果也有很大影响。试验表明,同一种土密度越高,施工中在保证含水量在最佳含水量附近的情况下,如何提高压实功能便成为一个关键问题。经过检测,细粒砂性土采用这种施工方法很难保证达到规范所规定的压实度。振动压路机工作时,用快速连续冲击作用于地面,每冲击一次对土壤产生一个压力波,土壤颗粒处于运动状态,实际上颗粒间的内摩擦已被清除,在运动状态下,颗粒能找到在土体中尽可能低的位置。一般在压实工作中,传递给材料的能量或功是一个非常重要的参数。这个参数是表示要求达到某一最小的压实度,每单位体积最少需要多少能量。在施工中作者发现振动压实非粘性材料比静碾压需要更少能量,压实粘性土时,振动和静碾压都需要较多的能量,这说明砂性土的碾压采用振动碾压效果更好。经过试验检测后发现,由于振动压路机激振力的传递,在施工要求的 25cm 一层的碾压范围内其压实度并不是很高,在 15cm 以下的土层压实度较高,而已填筑碾压完成并经检测合格的表层以下的填土层压实度经重新检测压实度提高了

(上接第 137 页)

的最大剪切应力为 67.06Pa,当管径变为 516mm 时候,最大剪应力变为 62.31。而当管径减小到 420mm 时候,最大剪应力变为了 54.93Pa。随着管径减小,最大剪应力也逐渐变小。这是由于停输之后石蜡沉积物不仅受到轴向方向上的剪应力,也受到径向方向的剪应力。通过前文的受力分析可以看出,管道停输之后,由于管内压力的变化,石蜡沉积物所受的正压力会随之变化,最终影响管壁对石蜡沉积物的剪切力。管径越大,管壁相对弧度越大,侧壁沉积层向下滑落趋势越明显,侧面的剪切力也越大。在管路的运行中,会使得管路管径越大,管道的石蜡沉积层滑脱越严重,与底部原油的置换也越快。

除此之外,通过观察我们还可以发现,管径越小,高剪应力的分布带就越宽,而管径越大,低剪应力的分布则越宽。因此可以发现,管径越小的管段,石蜡沉积物的破坏会更加困难一些,不过更加的彻底。

小结:在含蜡原油管路中,石蜡沉积层的剪应力分布是不均匀的,影响其分布的主要是沿着轴向的重力分力,沿着径向的重力分力,以及因为挤压造成的剪切破坏。通常状况下沉积层所受的最大的

5%~15%之多,并有 70%的检测点压实度超过了 100%经过重新标准击实试验,证实了这些数据的真实可靠,这表明,细粒砂性土作为路基填料时,可采用覆土碾压。细粒砂性土用作路堤材料只要采用一定的技术措施,不但在技术上是可行的,而且有时非常经济,只要选择适当的压路机具和施工方法,不但可以在雨季作业且施工方便、进度快,还很容易达到规定的压实度。B、粘性土作为路堤填料的施工:①粘性土具有很好的塑性,其 C 值(土的粘聚力)很高。粘性土的含水量对粘性土的工程性质有极大的影响。当土从很湿逐渐变干时,会表现出不同的物理状态,土也就有不同的工程性质。所以,控制好粘性土的含水量在最佳含水量附近时再进行碾压是至关重要的,在此前提下选择合适的压实机具,掌握适宜的碾压遍数和碾压速度就能达到规定的压实度,使路基的强度和稳定性能达到保证。一般情况下,粘性土作为路基的填料宜选择的碾压程序是:拖拉机排压两遍→刮平机刮平一遍→18T 光轮压路机碾压三遍→重型振动压路机振动两遍。②压实以粘性土作为填料的路基,其厚度对压实效果有明显的影响,压实厚度一般在 25cm 以内。③潮湿粘土作为路堤填方材料时,其含水量往往比最佳含水量高出许多,即使空隙率已减至最低数值,其压实度还是不能得到保证。石灰稳定法是改进高含水量粘土特性的一种方法,试验证明,这种材料能有效地被压实。④结论:粘性土作为路堤填材时须准确地控制含水量,需要较大的压实功和较薄的压实厚度,当达到规范规定能够的压实度时,其强度较高。

2.2 桥涵两侧高填土下沉的防治:由于桥涵两侧的地形条件特殊,施工难度大、易积水,导致填土产生沉降,在施工过程中,可以从以下几方面进行解决:①地基处理。桥涵来年观测地表杂务清除至干净,做好填前压实和排水工作,使压实度达到规范值。承载力不小于设计。结构物开挖的基坑应采用碎石类抗水性好,强度高的填料回填,并采用小型压实机械或打夯机具夯压,严格控制填筑和碾压质量,填筑时须开好台阶。结构物如处于软土沉降区,必须根据实际情况进行特殊处理,宜采用粉喷桩、换填沙砾等处理台背的方法。②台背填土。填料的选择,鉴于台背与填料二着的物理性能差异大,若在二者之间增设一段半刚性材料,使刚柔能得到相对的渐变过渡,可避免台背填料的集中沉降。如采用水泥或石灰稳定碎石土以及石灰稳定土等混合型填料进行填筑,抗沉降效果较好。保证台背填土质量:采用无机结合料进行填筑时,其压实厚度不宜超过 15cm,选用合理的压实设备,保证其压实度。台背填土与路基衔接处应开台阶,台阶开至路基压实处。尽量保证台背填土与路基同步施工,以便提高台背填土的施工质量并使其有一定的沉降期。③防止水的侵入。排水、桥涵等结构物处填土,在施工中要防止雨水流入,对已有积水硬挖沟可用水泵将其排除。对于地下水渗水,可设盲沟排出。当不得不用非渗水土填筑时,其上应设置横向盲沟。

剪应力一般发生在管道的顶端外部与管壁结合的部位,并随着半径的减小剪应力减小,沿着径向最大剪应力发生在管壁两侧中部,向上与向下剪应力大小递减。若停输之后“爬坡”管段内石蜡沉积层的剪切力大于石蜡沉积物的结构强度,则沉积层从管壁顶端和径向管壁中间开始蠕变、屈服、破坏。通过数值计算模拟分析,可以得出随着“爬坡”管段的“爬坡”角度越大,管路的管径越大,石蜡沉积物所受到的最大剪应力越大,也就意味着越容易发生滑脱破坏。因此,通过测试的石蜡沉积物的屈服极限和应力应变状况,即可预测在不同的工作状况下长期不清蜡的长输含蜡原油管路“爬坡”管段内部的石蜡沉积物是否发生破坏以及破坏的具体形式,进而可以为加热含蜡原油管路的停输再启动问题提供工程建议,尽量避免损失。

参考文献:

- [1]王志方.管内石蜡沉积物的力学响应特性研究.49- 50.
- [2]郑元芳.隧道围岩一支护结构长期稳定性研究.29- 30.
- [3]K.J.Bath.工程计算中的有限元方法.50- 52.