

裸露输油管道保温层对停输温降的影响

赵 虎¹ 王为民¹ 王 雷¹ 齐 浩¹ 柳 璐² 高 媛²

1. 辽宁石油化工大学, 辽宁 抚顺 113001

2. 北京航天万源煤化工工程技术有限公司兰州分公司, 甘肃 兰州 730050

摘要:

热油管道在运输过程中不能避免停输, 由于没有土壤保温, 其保温层对停输至关重要。根据东北地区裸露输油管道实际运行情况, 建立了输油管道停输温度场的物理模型, 利用 CFD 软件分别对保温层失效前后的温度场进行了停输模拟, 得到稳态和非稳态下温度场分布规律。模拟结果表明: 保温层失效后温度变化率远大于失效前的温度变化率, 失效后管道中心与管壁附近油流温差较大, 安全停输时间由失效前的 9 d 降低到失效后的 7 h。

关键词:

裸露管线; 温度场; 停输; 保温失效; 数值模拟

文献标识码: A

文章编号: 1006-5539(2012)04-0020-03

0 前言

目前, 在我国东北地区的主要输油管线大都运行了 20 余年。由于受雨雪、风蚀、热胀冷缩等因素影响, 管道伸缩或膨胀变形, 导致管道外部的保温套管产生裂缝, 环境中水分、盐分进入保温层, 导致保温层的失效和腐蚀, 由此造成了大量热损失, 使油温迅速下降。大庆油田和辽河油田生产的原油大多为高含蜡原油, 采用加热输送的方式进行管道运输, 但在管道运行过程中, 若遇到检修或事故抢修等, 停输便不可避免。管道停输后, 随着管内油温下降, 原油开始析蜡。而对于高含蜡原油的停输过程, 油温的下降将直接影响结蜡层的厚度, 增加输送成本。由于管道裸管段没有土壤保温, 管道外部保温层对停输后管内油温温降影响较大, 如果管道外部保温层失效, 对应部位管内油温温

降迅速, 直接影响停输时间的确定^[1]。

国内对停输问题的研究主要集中在埋地管道^[2-4], 对裸露管线的停输再启动研究较少。本文以埋地管道停输问题的研究成果为基础, 研究裸露管线保温层失效后对停输温降的影响, 并运用 CFD 软件进行数值模拟, 为有裸露管段的输油管道停输再启动提供理论指导。

1 模型建立

当管道中的原油停输后, 其在管道中的冷却过程是一个非稳态的传热过程。整个过程为: 管内原油与凝油层之间以对流方式进行传热, 然后凝油层与管壁、管壁与保温层都以导热方式进行传热, 最后保温层与大气之间进行对流换热。保温层失效后, 换热系数改变, 对管内油温产生很大影响。原油冷却过程中

收稿日期:

2012-01-15

基金项目:

辽宁省自然科学基金资助项目(20082186)

作者简介:

赵 虎(1986-), 男, 山东泰安人, 硕士研究生, 主要从事石油与天然气运输研究。

油温随时间而改变,保温层失效处管道内原油和结蜡层是该过程的主要热量来源。基于上述对管道内介质传热的分析,根据实际工况,建立了保温层失效前后的管道二维物理和数学模型,并对模型建立作如下假设:a)不考虑原油管道在轴向上的传热,因此简化为二维传热问题;b)管内原油停输后物性为定值,与温度变化无关;c)停输前管内油流在径向上的温度没有变化。简化的管道温度场数学模型见图 1。

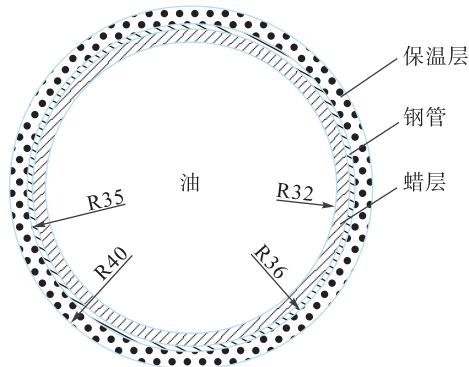


图 1 管道温度场数学模型

管道温度场数学模型下常物性非稳态导热微分方程为^[5]:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} = \frac{1}{a} \frac{\partial t}{\partial \tau}$$

式中 t ——温度, K;

r ——半径圆柱坐标, m;

a ——热扩散率, m^2/s ;

τ ——时间, s。

2 问题描述

以冬季铁大线鞍山一大石桥段管道为例,管道全长 74.5 km,其中裸露部分管线 185 m,停输前管内油温 34 ℃,管道外径 720 mm,管壁厚度 10 mm,结蜡层厚度 30 mm,结蜡层导热系数 2.5 W/(m·K),外部保温层厚度 40 mm,保温层失效后的导热系数 0.86 W/(m·K),管内油流密度 870 kg/m³,油流导热系数 0.14 W/(m·K),比热 2 225 J/(kg·K),原油凝点 -16 ℃,周围环境最低气温 -25 ℃。

3 数值模拟结果及分析

为保证管道安全运行,在数值模拟过程中,环境温度确定为最低温度。为提高数值模拟停输过程的真实性,先对热油管道进行稳态模拟,得到原油、结蜡层、管壁和保温层的温度场分布,以此为基础,再对停输后的温度场进行模拟。该过程采用 SIMPLE 算法求

解,得出管道停输一段时间后的温度分布,并对保温层失效前后的温度场进行比较分析。

3.1 保温层失效前

保温层失效前管道稳态温度场见图 2,停输 9 d 后管道温度场见图 3。管道内中心最高温度为 265 K,最低温度为 256 K,平均温度 260.425 K。

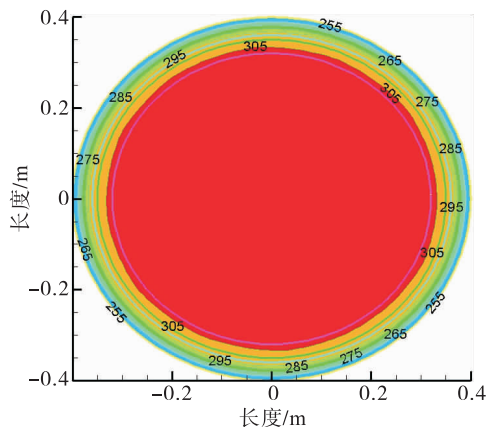


图 2 保温层失效前稳态温度场

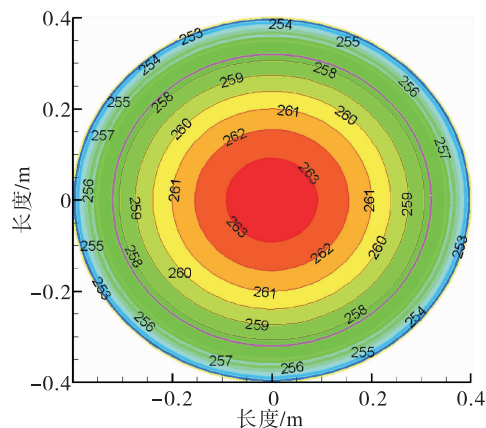


图 3 停输 9 d 后温度场

分别取管道中心(0,0),油流的 1/2 处(0.16,0)和油流与结蜡层边界(0.32,0)及结蜡层到内管壁边界(0.35,0)四个点,画出了失效前不同点的温度随时间变化的温降曲线,见图 4。

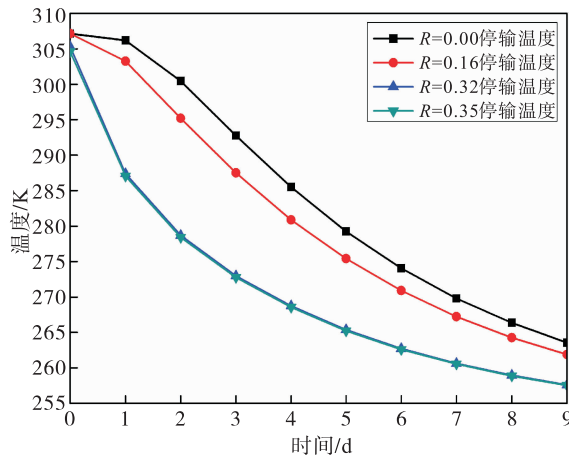


图 4 失效前温降曲线

为保证管道安全运行,管道内最低进站油温一般要在凝点 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上^[6],由分析可知管道的安全停输时间为9 d。由图4的温降曲线可以看出,在停输过程中,油流的最高温度与最低温度间的差值随时间变化而逐渐减小,这是由于管中心离保温层较远,受保温层影响小,所以温降较小。而结蜡层附近为低温区,靠近保温层,温降开始时较大后来减小。管壁和结蜡层两处的温降曲线差别较小,温降梯度也大致相同。

在该裸露管线的停输过程中,由于原油的凝点较低,与环境温度的差值不大,管内油流未出现凝固区。

3.2 保温层失效后

保温层失效后的稳态温度场见图5,管内油流最高温度 307 K ,最低温度 283 K ;失效后7 h温度场见图6,管道内最高温度 307 K ,最低温度 257 K ,平均温度 293.093 K ;同时得出失效后四个点处的温降曲线见图7。

保温层失效后,因环境温度较低,管壁处的换热系数突然增大,此时管壁附近的油流温降梯度较大^[7]。由图7可知受影响较大的是 $(0.32,0)$ 和 $(0.35,0)$ 两个点,可见保温层失效后造成的管道热量散失,对管道

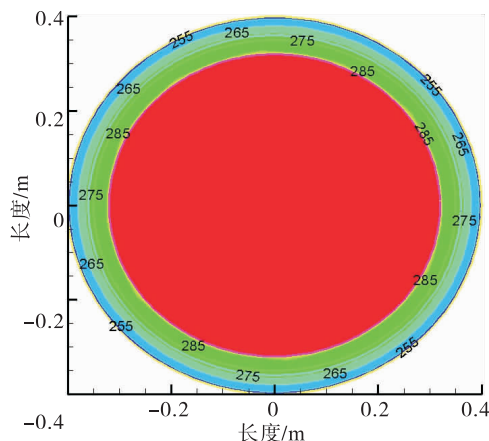


图5 保温层失效后稳态温度场

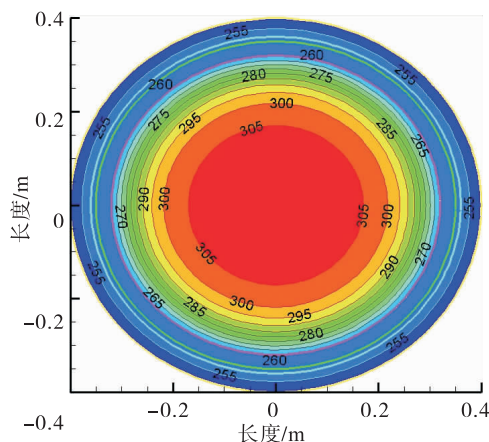


图6 停输7 h后温度场

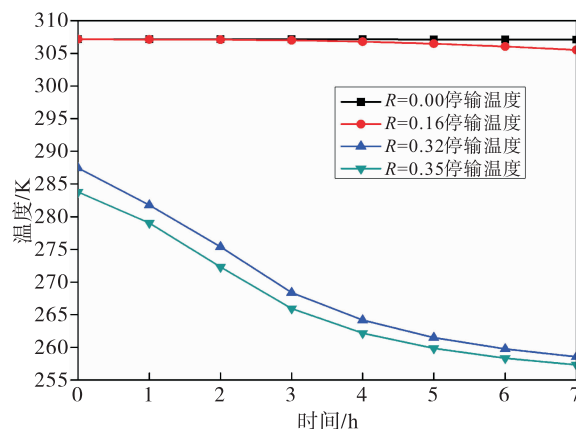


图7 失效后温降曲线

内的油流温降影响相当明显,但靠近管道中心的油流由于离保温层较远,较短时间内温降变化不大。综上所述可知,保温层失效后,大约7 h后结蜡层附近温度为 258 K ,管道到达停输的安全期。所以,保温层的失效影响了管壁附近油流区温度,使停输安全期缩短,失效前后的温度变化率相差较大。

4 结论

保温层失效前,裸露管线的安全停输时间为9 d,以环境最低温度为条件进行模拟,整个停输时间内管道油流没有凝固现象,油流温差较小。保温层失效后,失效处管线热量散失较多,对管壁附近油流温降影响较大,管线安全停输时间较失效前缩短为7 h,在该过程中管道中心与管壁附近的油流温差较大。根据以上模拟计算,制定可行的管道间歇输送方案,为裸露管线冬季安全运行提供指导依据,并对保温层失效后管道安全应急处理提供一定的理论依据。

参考文献:

- [1] 刘勇峰,吴明,张宏涛,等. 裸露管线停输温降规律数值模拟[J]. 天然气与石油,2011,29(5):18-20.
- [2] 崔秀国,张立新,姜保良,等. 热油管道停输再启动特性的环道模拟实验研究[J]. 油气储运,2009,28(1):27-29.
- [3] 杜明俊,马贵阳,陈笑寒. 冻土区埋地热油管道停输温降数值模拟[J]. 天然气与石油,2010,28(4):54-57.
- [4] 南发学,亢春,张海,等. 热油管道停输温降数值模拟[J]. 天然气与石油,2009,27(1):7-10.
- [5] 杨强生,浦保荣. 高等传热学[M]. 上海:上海交通大学出版社,2001.
- [6] SY/T 5537-2000,原油管道运行技术规范[S].
- [7] 张洪亮,王国学,吴国忠. 埋地输油管道保温失效对地表温度场的影响[J]. 油气田地面工程,2007,8(8):24-26.