

埋地热油管道停输温降规律研究

杨帅¹ 李锐² 刘文帅³ 宫荣娜⁴ 石力⁵

1 中国石油工程建设公司 北京 100101 2 四川石油天然气建设工程有限责任公司 四川 成都 610213

3 中国石油西部管道公司 北京 100107 4 北京石油化工工程有限公司 北京 100107

5 中国石化北京石油分公司 北京 100022

【摘要】热油管道计划检修和事故抢修都在管道停输情况下进行,管道停输后,管内存油温度不断下降,存油粘度随油温下降而增大,当粘度增大到一定值后,就会给管道输送再启动带来极大困难,甚至会造成凝管事故。为了确保安全经济的输油,必须研究停输后管内原油的温降情况,以确定安全停输时间。本文分析了埋地含蜡原油管道停输后管内原油温降规律,在前人研究的基础上,对埋地含蜡原油管道停输温降过程进行了合理的简化,建立了相应的数学模型。在此基础上,运用计算程序,对中洛线卫辉-新乡段管道稳态运行及停输不同时间时,管道不同横截面上原油与土壤温度变化情况进行了模拟计算,从不同角度对计算结果进行了分析。

【关键词】热油管道 停输 温降 数学模型 温度场

1 前言

热油管道运行过程中,计划检修或者事故检修都可能在全线停输的情况下进行。如果对热油管道停输温降不能做出正确预测,使停输时间过长,就会造成凝管等严重的管道事故。因此为了确保安全经济的输油,合理安排停输时间,必须了解管道在各种条件下停输温降情况。对于埋地热油管道,由于管道周围土壤蓄积的热量要比管内存油蓄积的热量要大,故埋地管道停输后的温降情况不仅取决于原油停输时起始温度,而且取决于停输时管道周围土壤温度分布和外界环境状况。

研究埋地热油管道停输温降规律,不仅需要采用合理的方法,而且必须考虑影响管道停输温降的其它因素,以得到令人可信的温降规律。国内、外学者研究停输温降规律的方法可归纳为以下两种:

(1) 解析法求解:在对求解区域进行不同程度的简化和数学变换的基础上,提出求解停输温降问题的解析式,进而求得沿程温降和管道周围的温度分布,但由于停输温降是一个伴随相变、自然对流及移动边界问题的三维非稳态传热过程,有着一定的复杂性,解析求解过程中必须做很多简化处理,因而求解结果往往存在较大误差。

(2) 数值法求解:数值求解方法主要有有限差分法、有限元法和边界元法。埋地管道停输温降问题的求解过程主要用前面两种。有限差分法对求解边界的离散比较简便,而且计算过程比较简单,但对于停输过程中的移动边界问题以及相变传热问题有着很大的局限性;有限元法对于复杂形状条件下的求解区域有着良好的适应性,故比较适合求解伴随有移动边界的非稳态传热问题。

本文全面分析了埋地含蜡原油管道停输后管内原油温降规律,总结了影响温降过程的主要因素,建立了数学模型。在此基础上,运用计算机程序,对中洛线卫辉-新乡段进行模拟计算,得到该段管路在稳态运行和停输状态下管道周围温度场以及沿程温度的变化,进一

步分析总结了热油管道停输温降规律。

2 停输过程分析

管道停输后,由于管内壁温度始终低于管内液态原油温度,从而形成由管中心向上再沿管壁向下的自然对流。如图1所示:

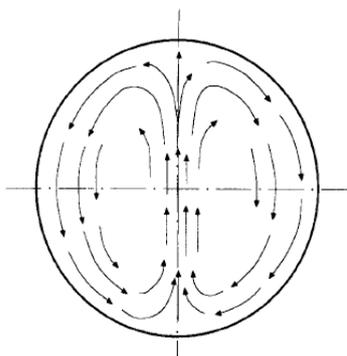


图1 自然对流示意图

从图1可以看出,停输后管内含蜡原油各点温度对于管道垂直轴对称,但并不对于水平轴对称且管内壁温度或液油与胶凝原油的界面温度始终低于管内液态原油的温度,因而形成由管中心向上再沿着管壁向下的涡。在停输初始阶段,自然对流比较强烈,管内各处液态油的温差很小,几乎以相同的速率冷却,随着油温的降低含蜡原油粘度增大以及油温与壁温差值将减小,自然对流传热强度不断减弱,若管中心油温降到滞流点,管内自然对流完全消失,管内原油将发生胶凝。在降温的第二阶段,温度场的上浮已经不明显,若管道周围土壤温度相等,在第三个阶段,温度场逐渐达到对管子的几何中心对称。

3 停输温降数学模型

研究埋地热油管道的停输温降规律,实际上研究的是管内原油在非稳态热力条件下温度变化规律。埋地输油管停输后其散热损失不仅与原油的性质、管道的条件有关,而且与土壤的温度场分布有着非常密切的关系。埋地热油管道停输时的初始温度场是停输前管道运

行一定时间建立的准稳定温度场,包括管内油温及管外土壤的温度分布。热油管道停输时的初始温度场要受停输前一定时期内管道的运行参数和周期性变化的大气温度的影响。管外土壤中的温度分布可通过求解管道正常运行时沿线土壤温度场数学模型得到,管内油温可根据管道的运行参数通过苏霍夫公式计算求得。

热油管道截面上有原油、钢管、保温层、防腐层和土壤热影响区组成。在模型中,从管中心至土壤热影响区域边界共分为M层,其中管中心至烘干的土壤层的N层为同心圆,第n层半径为 R_{n-1} ($n=1,2,3,L$)。

$$\text{管内部分: } r_{0,c} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} (1 \cdot \frac{\partial T}{\partial r}) + \frac{\partial}{\partial y} (1 \cdot \frac{\partial T}{\partial y}) \quad (1)$$

$$\text{结蜡层: } r_{m,c} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} (1 \cdot \frac{\partial T}{\partial r}) + \frac{\partial}{\partial y} (1 \cdot \frac{\partial T}{\partial y}) \quad (2)$$

钢管、防腐层以及土壤:

$$\frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{r_{i,c}} \left[\frac{\partial}{\partial r} (1 \cdot \frac{\partial T}{\partial r}) + \frac{\partial}{\partial y} (1 \cdot \frac{\partial T}{\partial y}) \right] \quad (3)$$

4 计算结果分析

中洛线始建于1991年7月,1992年10月投产,管道全长283.6km,管外径426mm,进出站各2公里壁厚取8mm,其余为6mm,平均埋深1.5m。管线无保温,采用三油四布沥青防腐。年设计输油量500万吨,最高设计工作压力为6.276MPa,最高输油温度70℃。全线设濮阳首站1座,卫辉、新乡、武陟热泵站3座,滑县、温县加热站2座。根据中洛线现场停输试验测得基础数据,实测中洛线原油的物性参数及流变数据,运行所编制的停输温降程序,对中洛线夏季停输工况进行了数值模拟计算,模拟时间为得出热油管道停输温降规律。

从图2可以看出,卫辉到新乡管道沿线,各处的温度梯度是不同的:在加热站出口处,油流与周围介质的温差大,温度降低速度就快。而在进站前的管段上,由于油温与周围介质温差较小,温度降低速度较慢。因此,加热输送时原油加热温度愈高,散热愈多,温降就快。图3都可以看出:稳态运行时出站处土壤恒温层深度为9m左右,而进站处土壤恒温层为8m左右。因此可以得出结论:埋地管线在相同地温条件下,管内油温越高,土壤受到影响区域越大。

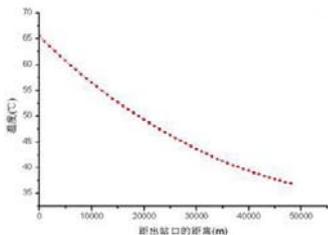


图2 稳态运行时卫辉—新乡沿程温降分布

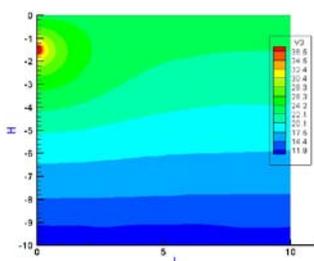


图3 稳态运行进站（新乡站）温度场分布图

由图4可以看出，各温降曲线随着停输时间的延续坡度越来越平缓，这是因为刚开始管内原油处于停输第一阶段，自然对流阶段温度降低速度比较快，随着温度的下降，蜡晶逐渐析出，管内原油进入导热阶段，凝油层的存在增大了热阻，减缓了温度降低速率。图5为不同管段处停输过程中不同时间管内原油横截面上温度分布曲线，不同管段处停输起始温度不同。从图中可以看出：停输不同时刻管内油温下降幅度大不相同，而且接近管壁处的原油温度曲线比较陡，温度梯度比较大，因此在停输相同时刻的条件下，越靠近管壁处的原油温度降低幅度越大。

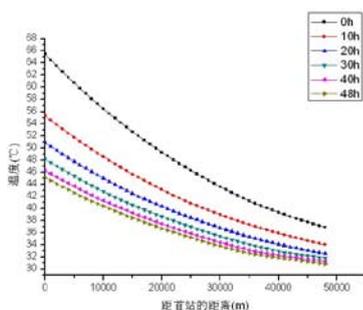


图4 停输期间不同时刻沿线温度分布

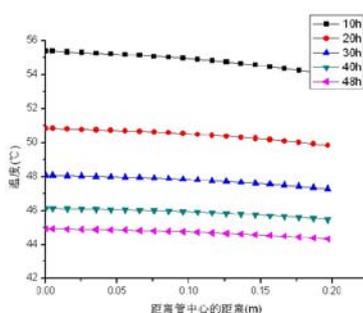


图5 停输不同时刻出站口管内原油截面

温度

图6与图7为停输后不同管段处管道周围温度场分布图，卫辉站停输初始油温为43.3℃，新乡站停输初始油温为30.6℃，从图中可以看出卫辉站向各个方向散失的热流强度较大，等温线较密，而新乡站正好相反。因此可以得出：停输起始温度越高，周围土壤温度场的等温线就越密，管内原油向各个方向的散失的热流强度也就越大。

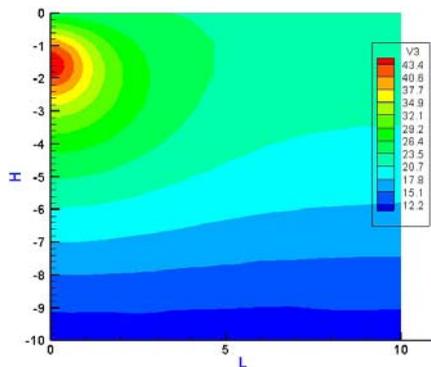


图6 出站口（卫辉站）温度场分布图

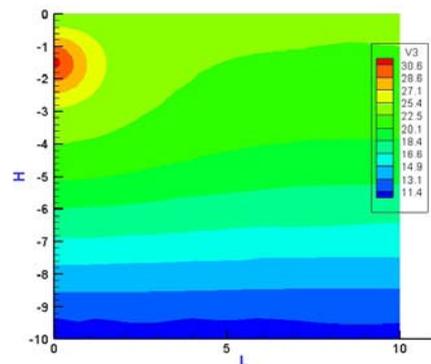


图7 进站口（新乡站）温度场分布图

5 结论

本章运用计算机程序，对中洛线进行数值模拟计算，得到稳态和停输时管道周围温度场以及沿程温度变化曲线，得出停输温降一般规律：

- (1) 稳态运行时：两个加热站之间管道沿线，各处的温度梯度是不同的：在加热站出口处，油流与周围介质的温差大，温降就快。而在进站前的管段上，由于油温较低，温降就慢。加热温度愈高，散热愈多，温降就快；
- (2) 停输过程中：管内原油随着停输时间的延续，温降速率逐渐降低。接近管壁处的原油温度曲线比较陡，温度梯度比较大，因此在停输相同时刻的条件下，越靠近管壁处的原油温度降低幅度越大。
- (3) 停输起始温度越高，周围土壤温度场的等温线就越密，管内原油向各个方向的散失的热流强度也就越大。

» 上接第93页

力工业、石油化工工业应用于高温条件下的重要结构材料之一，常用的有1.25Cr1Mo，2.25Cr1Mo等材料。2.25Cr1Mo钢的焊接预热温度在200℃以上，预热的目的是为了消除近焊缝区硬化现象，还可以减少焊接残余应力，同时也可以消除扩散氢含量。这样可减少及防止冷裂纹的出现。一般堆焊时基材的预热温度不能太高，这是因为堆焊金属为奥氏体不锈钢，奥氏体对氢的溶解作用很大，只有含氢量很高时才能向基层热影响区扩散；再者奥氏体金属韧性很好，由堆焊引起的应力要比对接焊缝的应力小；三是预热对降低稀释率和控制铁素体含量也是不利的。所以，可以降低表面堆焊对基材的预热温度，不必达到同种金属焊接时对母材的预热温度。从实践中得出：堆焊不锈钢的预热温度比焊接预热温度降低80-100℃时，对堆焊质量没有任何影响。

5 结论

通过以上对不锈钢带极堆焊过程中容易出现的缺陷和影响因素的分析，并结合生产过程中的实际经验，总结出控制带极堆焊质量的关键在于控制焊接过程中的如下工艺参数：

- 检查焊接工艺评定；
- 检查焊带的材料牌号、生产厂家；
- 基层堆焊表面清理后，MT合格；
- 干伸长量控制在伸出长度在25mm-35mm为宜；

- 控制焊接过程中电压、电流、焊速等；
- 控制过渡层预热温度，面层层间温度(≤100℃)；

- 控制焊带压道宽度，控制在5-8mm；
- 面层与过渡层起弧位置错开，面层与过渡层焊道错开；

过渡层焊完，严格按照热处理工艺进行热处理；

过渡层面层焊完后，PT检查表面，无裂纹(≤0.5)，气孔、夹渣、裂纹等；

- 测量过渡层、面层的厚度；
- 检查面层的化学成分、铁素体含量。

参考文献

[1] 张璞临, 徐笑梅, 李晓耀. 加氢反应器带极堆焊的质量控制[J]. 压力容器, 1999(4): 50-54.

[2] 金向红. 带极堆焊工艺在化工设备制造中的应用[J]. 化工设备与防腐蚀, 1998(4): 26-28.

[3] 蔡连重, 谷文, 廖巨智. 国产热壁加氢反应器制造技术的新进展[J]. 压力容器, 2000, 17(1): 69-75.

[4] 张浩. 堆焊层下裂纹产生原因分析[J]. 压力容器. 1999年第4期.

[5] 季建新, 陆磐谷, 顾雪东. 热壁加氢反应器制造质量控制要点探讨[J]. 石油化工技术, 1999, 20(6): 16-19.