

停输修复热油管道热力允许开挖长度确定方法

康 凯^{1,2} 刘晓燕¹ 徐 颖¹

(大庆石油学院¹, 大庆 163318; 大庆油田矿区服务事业部管理二公司², 大庆 163416)

摘要 从热力学角度确定了管道停输后最大允许开挖长度的约束条件, 并建立了数学模型。分析指出: 管道停输允许开挖长度受维修季节、维修时间、出站温度及开挖起点等因素的影响。以中国大庆原油为介质, 林源站至太阳升站(两站间距为47.8 km)为研究对象, 进行模拟计算可知, 5月份和10月份维修允许开挖长度较大。当维修时间小于6 h, 理论上可以全线开挖; 11月份不适合停输开挖维修; 4月份进行停输开挖维修则需要提高出站温度。同时开挖长度还受开挖起点的制约。

关键词 停输 开挖长度 模拟计算 温度 修复

中图法分类号 TE832.3; **文献标志码** A

庆铁线、铁秦线是东北管网的重要输油干线, 担负着部分大庆原油的外输任务。管线自20世纪70年代投产以来, 已运行30多年, 实际运行年限已超过设计寿命, 故出现的管道漏油现象较为严重, 需进行停输开挖修复, 从而保证大庆原油平稳外输。通过对国内外现有的研究分析可知, 停输开挖维修工况下允许热力开挖长度的计算方法多是从力学角度进行约束, 主要考虑管道承受的应力。因此有必要从热力学角度^[1,3]出发, 针对停输修复工况下允许热力开挖长度计算方法进行研究, 给出数学模型及模拟计算结果, 为热油管道的开挖停输修复提供理论指导。

1 管道全线停输开挖非稳态热力计算模型

当管道停输时, 因油品沿轴向的传热很小, 可以忽略不计, 并忽略由于高程差引起的管道流动。由于停输维修, 可视维修段管道直接与空气接触, 无保温层、防腐层等结构^[4]。开挖管道物理模型如

图1所示, 管道径向传热采用极坐标进行计算。

1.1 原油的传热方程

$$\rho c \frac{\partial T_y}{\partial t} = \frac{4h_s(T_y - T_1)}{d} \quad (1)$$

式(1)等号左侧为控制体内能的变化, 右侧为控制体内的油品向外界环境的散热量。初始条件:

$$T_y = f(l) \quad (2)$$

式(1)中: T_1 —管道内壁温度, K; ρ —原油密度, kg/m³; c —原油比热容, J/(kg·℃); T_y —原油温度, ℃; $f(l)$ —管道稳态运行时, 管道沿线温度分布; h_s —原油向管道内壁的放热系数, W/(m²·K); d —管道内径, m。

1.2 管壁的传热

$$\rho_n c_n \frac{\partial T_n}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_n r \frac{\partial T_n}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\lambda_n \frac{\partial T_n}{\partial \theta} \right) \quad (3)$$

式(3)中: ρ_n —管道密度, kg/m³; c_n —管道热容, J/(kg·K); T_n —管道外壁温度, K; λ_n —管道导热系数, W/(m·K)。

边界条件为:

$$\lambda \frac{\partial T_y}{\partial r} \Big|_{r=R_0} = \lambda_n \frac{\partial T_1}{\partial r} \Big|_{r=R_N} = h_s (T_1 - T_y) \quad (4)$$

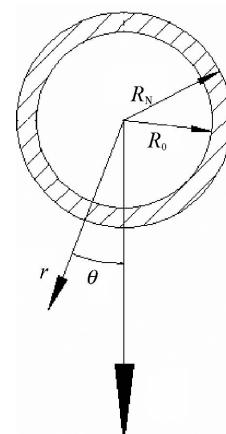


图1 开挖段管道物理模型

2009年12月30日收到 黑龙江省重点科技攻关项目(GZ07A302)资助
第一作者简介: 康 凯(1965—), 男, 高级工程师, 大庆石油学院博士生, 大庆油田矿区服务事业部管理二公司总经理, 研究方向: 油气储运工程。

*通信作者简介: 徐 颖。E-mail: xuying1019@126.com。

$$\lambda_n \frac{\partial T_n}{\partial r} \Big|_{r=R_N^-} = h_a (T_n - T_w) \quad (5)$$

式中: R_0 —管道内半径,m; R_N^- —管壁厚,m; T_w —外界大气温度,℃; h_a —管道外壁向大气对流换热表面传热系数,W/(m²·K)。

2 热力允许最大开挖长度的确定方法

根据以上给出的模型可以求解出全线停输开挖后某时刻的沿线温度分布,记为 $T(l,t)$ 。由于停输工况下,可忽略管道内油品沿轴向的传热,因此允许热力开挖长度的确定可以按照全线开挖停输后,在指定的维修时间 t 小时内,轴向沿线温度降为停输允许临界温度点即为开挖起点,在此点前可以开挖,允许热力开挖长度为从起点至此点的距离。

$$l_{\max} = \begin{cases} l(T_{\text{允许停输温度}}, t) - l_0, & l(T_{\text{允许停输温度}}, t) > l_0 \\ 0, & l(T_{\text{允许停输温度}}, t) \leq l_0 \end{cases} \quad (6)$$

式(6)中: $l(T_{\text{允许停输温度}}, t)$ —全线停输开挖维修 t 小时后,沿线上温度等于允许停输温度的位置点距起点的距离,km; l_0 —开挖起点,km; l_{\max} —停输开挖维修 t 小时,允许最大开挖长度,km。

3 计算实例

以东部管道大庆原油长输管段(林源站至太阳升站)为例,东部管道大庆原油长输管段(林源站至太阳升站)相关参数如下:管道长48.57 km,管径Φ720 mm×7 mm,埋深2.2 m,采用聚乙烯泡沫防腐,厚度为1.8 mm;管道年均输量为 1700×10^4 t/a。油品的剪切速率为 20 s^{-1} ,流变系数1.47。油品参数:20℃原油密度861.4 kg/m³,凝点32℃,析蜡点为45℃,出站压力为3 MPa。恒温层温度取年均气温值3.8℃,风速3.5 m/s。

维修一般在少雨的季节,分别以4、5、10、11月份为开挖维修月份,维修1、2、5、10 h,出站温度分别为41℃、42℃、43℃、44℃为例,以林源站为开挖起点,利用以上模型及算法,表1列出不同维修季节、

维修时间、出站温度条件下的允许最大开挖长度。

由表1可以看出,对于该段长输管网,相同的维修时间,5月份和10月份维修允许开挖长度较大,当维修时间小于6 h,可以全线开挖;出站温度为41℃时,若停输维修8 h,则11月份不适合停输开挖维修,4月份进行停输开挖维修则需要提高出站温度(2~3)℃;从表1中可知,5月份维修为例,提高出站温度1℃,允许开挖长度增加约10 km。

表1 停输工况下维修季节、停输时间、出站温度对最大开挖长度的影响/m

维修季节	停输维修时间/h	最大停输开挖长度/km			
		出站温度 41℃	出站温度 42℃	出站温度 43℃	出站温度 44℃
4月份(平均气温7℃)	停输5 h	27.10	35.80	44.50	48.57
	停输6 h	12.70	21.50	30.20	38.20
	停输7 h	0.00	7.20	15.90	23.90
	停输8 h	0.00	0.00	1.60	9.90
	停输9 h	0.00	0.00	0.00	0.00
	停输10 h	0.00	0.00	0.00	0.00
	停输11 h	0.00	0.00	0.00	0.00
5月份(平均气温17℃)	停输5 h	48.57	48.57	48.57	48.57
	停输6 h	47.80	48.57	48.57	48.57
	停输7 h	37.80	47.40	48.57	48.57
	停输8 h	27.50	37.00	46.20	48.57
	停输9 h	17.10	26.70	35.80	44.20
	停输10 h	6.80	16.30	25.10	33.80
	停输11 h	0.00	5.60	14.70	23.50
10月份(平均气温15℃)	停输5 h	48.57	48.57	48.57	48.57
	停输6 h	48.57	48.57	48.57	48.57
	停输7 h	46.20	48.57	48.57	48.57
	停输8 h	28.30	42.60	48.57	48.57
	停输9 h	10.40	24.70	38.20	48.57
	停输10 h	0.00	7.20	20.70	33.40
	停输11 h	0.00	0.00	3.20	15.90
11月份(平均气温0℃)	停输5 h	13.90	27.50	40.20	48.57
	停输6 h	0.00	0.80	13.90	25.90
	停输7 h	0.00	0.00	0.00	0.40
	停输8 h	0.00	0.00	0.00	0.00
	停输9 h	0.00	0.00	0.00	0.00
	停输10 h	0.00	0.00	0.00	0.00
	停输11 h	0.00	0.00	0.00	0.00

4 影响因素分析

影响停输管道最大开挖长度的主要因素包括维修季节、出站温度、停输时间、开挖起点等参数,下面将对每个因素的影响情况进行具体分析。

4.1 维修季节对开挖长度的影响

图 2 为不同维修季节停输 9 h 时对最大开挖长度的影响。由图可知,5 月份允许热力开挖长度最大,为 17.1 km;停输 9 h 时;4 月份和 11 月份不适合开挖维修。因此,下面各因素的影响均取 5、10 月份为例进行比较分析。

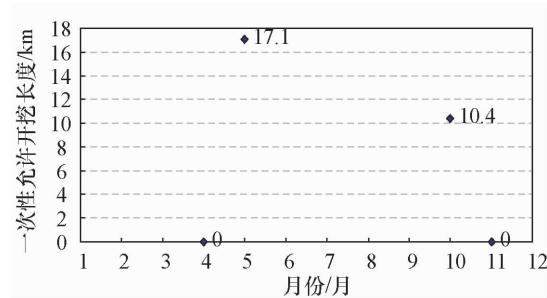


图 2 不同维修季节对热力开挖长度的影响

4.2 出站温度对开挖长度的影响

图 3 为 5、10 月份停输 9 h, 不同出站温度对开挖长度的影响。由图 3 可知, 相同工况下, 随着出站温度的升高, 最大允许开挖长度呈线形增加, 但提高相同出站温度 10 月份增加的更多。

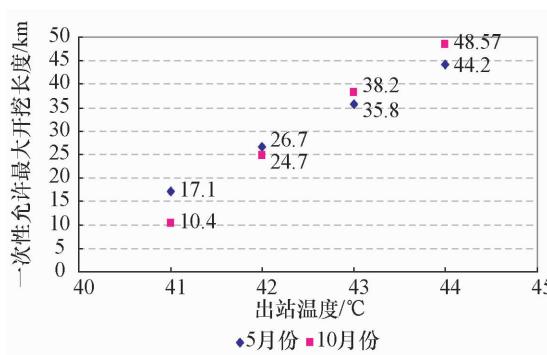


图 3 不同出站温度对热力开挖长度的影响

4.3 停输时间对开挖长度的影响

图 4 为 5、10 月份不同停输时间对开挖长度的影响。随着停输时间的逐渐增加, 最大开挖长度逐渐变小。10 月份维修, 维修时间控制在 6 h 之内, 从热力学角度理论上可以满足全线开挖;5 月份, 若要全线开挖, 则应将时间控制在 5 h 之内。实际中考虑到管道的应力作用, 开挖长度一般控制在 4 km 之内, 从图 4 中可以看出, 停输时间不能超过 10 h, 也

满足工程中提出的停输维修时间小于 10 h 的要求。

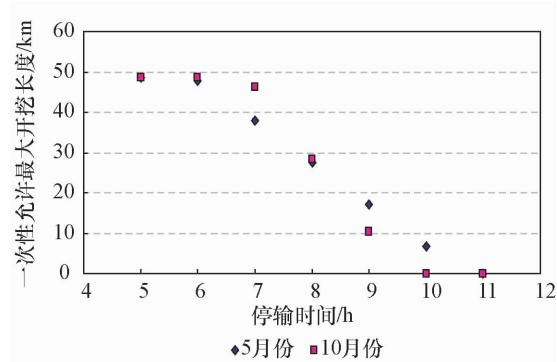


图 4 不同停输时间对热力开挖长度的影响

4.4 开挖起点对开挖长度的影响

最大开挖长度除受维修季节、维修停输时间、出站温度因素影响外, 其值还与开挖起点位置有关。以 5 月份进行维修(平均气温 17℃), 出站温度 41℃, 停输 10 h 为例, 则开挖起点对停输开挖长度的影响如表 2 所示。

表 2 不同开挖起点对停输工况下最大开挖长度的影响

开挖起点距林源站距离/km	允许最大开挖长度/km
0	6.8
2	4.8
4	2.8
6	0.8
6.8	0

从表 2 可以看出, 以林源站为开挖起点, 停输维修 10 h 时, 可开挖长度最大值为 6.8 km。随着开挖起点远离出站端(林源站), 最大开挖长度逐渐减小。当开挖起点距离出站处大于 6.8 km 时, 不能进行开挖维修。

5 结论

(1) 影响停输热油管道开挖长度的主要因素为维修季节、维修时间、出站温度及开挖起点。

(2) 对于东部管网, 按照管道停输修复一次性开挖在 4 km 以内及维修时间一般为 10 h 的要求, 建议维修季节定在少雨且温度较高的 5 月份, 该季

节内无需提高出站温度即能满足维修要求。11月份不适合进行管道停输开挖维修。

(3) 针对林源站至太阳升站之间的集输管网, 进行停输维修模拟计算可知:

① 提高 1 ℃出站温度, 允许开挖长度最大可增加 14.3 km(10 月份维修, 停输 9 h, 出站温度由 41 ℃提高到 42 ℃)。

② 5 月份(平均气温 17 ℃), 出站温度 41 ℃, 停输 10 h 进行维修时, 距离出站处 6.8 km 内的管道可开挖。

参 考 文 献

- 1 张国忠. 埋地热油管道准周期运行温度研究. 油气储运, 2001;20(6):4—7
- 2 阿卡帕金·B M. 原油和油品管道的热力与水力计算. 罗塘湖, 译. 北京:石油工业出版社, 1986
- 3 王漱芳. 热油管道的停输温降和安全停输时间的计算. 油气储运, 1990;9(8):17—23
- 4 刘晓燕, 赵军, 石成, 等. 埋地集油管道周围径向土壤温度场数值模拟. 油气田地面工程, 2006;25(12):3—4

Calculation for the Thermal Allowance Excavating Length of Hot Oil Pipeline Repairing under Shutdown

KANG Kai^{1,2}, LIU Xiao-yan², XU Ying²

(Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318, P. R. China;

The Second Management Co. of the Service Undertaking Department in Daqing Oil Field Daqing 163416, P. R. China)

[Abstract] According to thermodynamics, the constraint conditions of the maximal allowance excavation length under shut down was confirmed and the mathematical model for the first time was established. The analysis results showed that the allowance excavation length of shutdown pipeline depended on several factors including repairing season, shutdown repairing time, the oil temperature at the outlet of heating station. Some simulation and calculation were did taking China east pipeline from Tai Yang Sheng station to Lin Yuan station, whose distance was 47.8 km, as research object, allowance excavation length was largest in may and october, and when maintenance time was less than 6 hours, the whole line can be excavated in theory. November was not fit for excavation to maintenance under shut down. It needs to enhance the oil temperature at Tai Yang Sheng station in april. At the same time, the maximal allowance excavation length is restricted by the starting point of excavation.

[Key words] shutdown excavation length simulation and calculation temperature repairing