

实验研究

转轮流动模拟器在原油降凝剂评价中的应用

林 森* 吴 迪 孟祥春 孙青峰 何怀义

(大庆油田建设设计研究院)

林 森 吴 迪等:转轮流动模拟器在原油降凝剂评价中的应用,油气储运,1999,18(11) 47~50。

摘 要 探讨了用转轮流动模拟器评价原油降凝剂的效果和模拟输油管道输送添加降凝剂含蜡原油的工业性试验的可行性。试验结果表明,用转轮流动模拟器可以方便地测定不同加剂量下摩擦因子和原油视粘度随温度的变化曲线及管输温度界限等数据。

主题词 原油管道 降凝剂 转轮流动模拟器 应用 评价

在含蜡原油中添加降凝剂以改变蜡晶的形态和结构,可取得显著的降凝、降粘效果。在原油降凝剂的评价方面,中国石油天然气集团公司先后颁布了《SY/T5887—93 原油降凝剂效果评价方法》和《SY/T5767—95 管输原油降凝剂通用技术条件》两个石油行业标准,对原油降凝剂的研制和应用起到了很好的指导和促进作用。1998 年大庆油田建设设计研究院从挪威 Petreco 公司引进的转轮流动模拟器,可用来模拟输油管道进行原油降凝剂的工业性试验,评价降凝剂的效果,为降凝剂在工业管道上的应用提供了可靠的基础数据。

一、工作原理

转轮流动模拟器主要由轮形钢管、转轮驱动单元、控制室、控温测试室、流体储存和投料系统、加热制冷系统组成(见图 1)。

该模拟器配有 $\phi 60.3 \times 5.5$ 和 $\phi 141.3 \times 9.5$ 两种规格的转轮。转轮垂直安装,在转轮转动的过程中,轮管内的液体可在重力的作用下静止在轮管的底部(见图 2)。由于轮管内壁和液体之间存在摩擦力,轮内液体的重心偏向转轮转动的方向,当轮内液体偏心达到一定程度时,重力和摩擦力达到平衡。为维持

转轮的转速恒定,需要外界提供给转轮一定的扭矩来平衡轮内液体与轮管内壁间摩擦力产生的摩擦扭矩。通过测定摩擦扭矩,计算出轮内液体相对流动摩阻系数,这一数据可用来计算原油输送管道的压降,计算公式如下:

$$\tau_s = \frac{1}{2} f_F \rho u^2 \quad (1)$$

式中 τ_s —— 液体与轮管内壁间的剪切应力;

f_F —— 范宁摩擦因子;

ρ —— 液体密度, kg/m^3 ;

u —— 转轮的线速度, m/s 。

$$T_f = \frac{1}{2} \Psi \pi^2 d_p D_w^2 \tau_s \quad (2)$$

式中 T_f —— 液体与轮管内壁摩擦力所产生的摩擦扭矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;

Ψ —— 轮管内液体填充系数;

d_p —— 轮管内径, m ;

D_w —— 轮子直径, m 。

$$T_f = T - T_0 \quad (3)$$

式中 T —— 转轮转动中的总扭矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;

T_0 —— 相同转速下的空转扭矩, $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

将式(1)和式(3)代入式(2)并整理得:

$$f_F = \frac{4(T - T_0)}{\Psi \pi^2 d_p D_w^2 \rho u^2} \quad (4)$$

* 163712, 黑龙江省大庆市让胡路; 电话: (0459) 5902523。

当管道内的流态为层流时有:

$$f_F = \frac{16}{Re} = \frac{16\mu}{d_p u \rho} \quad (5)$$

式中 Re —— 雷诺数;

μ —— 原油视粘度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

将式(5)代入式(4)并整理得:

$$\mu = \frac{T - T_0}{4\Psi\pi^2 D_w^2 u} \quad (6)$$

当凝固的原油粘附在轮管内壁时,会造成转轮偏心甚至堵塞,从而产生随转轮位置而变的偏心力矩。在处理试验数据时,从一定时间间隔内录取的扭矩数据中挑选 10% 的峰值扭矩进行加权平均,所得的平均值与该段时间间隔内扭矩的平均值之差能够反映出原油的粘壁情况。

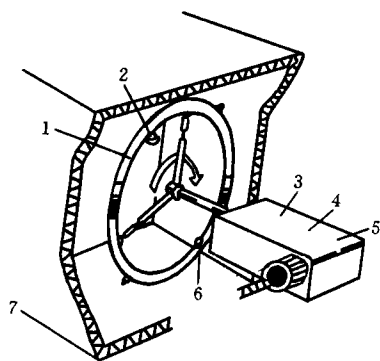


图 1 转轮流动模拟器示意图

1—转轮;2—温度传感器;3—速度及位置传感器;

4—扭矩传感器;5—驱动单元;6—压力传感器;7—控温测试室

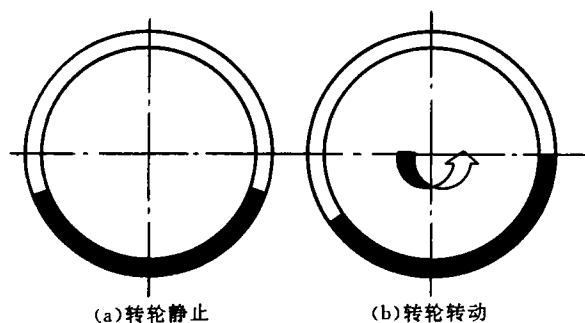


图 2 转轮内液体的位置示意图

二、试验介质和步骤

试验中所用油样为大庆油田第八采油厂徐家围子中转站外输原油(含水率小于 0.5%),原油的主要物性数据见表 1。所用的化学剂 DODP-2a 是大庆

油田设计院开发的一种油井防蜡降凝剂^[1]。

表 1 徐家围子原油物性

蜡含量 %	胶质含量 %	凝点 (C)	溶蜡点 ^[2] (C)	析蜡点 (C)	40 C 密度 (kg/m ³)
23.6	13.6	36	63	55	850

在用转轮流动模拟器进行降凝剂评价试验之前,首先按《GB510—83 石油产品凝点测试法》、《SY/T5887—93 原油降凝剂效果评定方法》和《SY/T5767—95 管输原油降凝剂通用技术条件》测定了不加剂热处理和添加降凝剂 DODP-2a 热处理的静态降凝效果和动态降凝效果,部分测试结果见表 2。

表 2 不加药和加药热处理降凝效果

加药量 (g/t)	静态 凝点 (C)	静态降 凝幅度 (C)	动态 凝点 (C)	动态降 凝幅度 (C)
0	30	6	30	6
50	24	12	21	15

试验中所用的轮管为 $\phi 60.3 \times 5.5$, 管内容积为 13.4 L, 最大耐压 25 MPa, 转轮直径为 2 000 mm。在轮管上安装温度和压力传感器后,校正静平衡至残余扭矩的绝对值最大不超过 0.1 $\text{N} \cdot \text{m}$ 。试验中轮管液相填充率取 40%,加剂试验中 DODP-2a 的加量取 50 g/t。

在降温过程中,根据转轮流动模拟器扭矩的测试精度和管输降凝剂应用的实际情况,轮管内的液体温度由开始时的 65 $^{\circ}\text{C}$ 按 10 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的降温速率降温至 15 $^{\circ}\text{C}$,降温中的转速取 0.7 m/s。试验步骤如下。

(1) 向转轮轮管内加入 4.556 kg 油样。

(2) 将转轮的转速和控温测试室内的温度分别设定为 1 m/s 和 70 $^{\circ}\text{C}$,使轮管内的液体升温至 65 $^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 在轮管内液体温度达到 65 $^{\circ}\text{C}$ 后,再将控温测试室内的温度设定为 65 $^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 1 h 后,使用计算机程序将转轮的转速下调至 0.7 m/s,使控温测试室的温度以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的降温速率降温至 15 $^{\circ}\text{C}$ 。在此过程中,计算机将自动采集、显示和记录轮管内的液体的温度、转速和扭矩等数据。

(5) 将控温测试室内的温度升至 45 $^{\circ}\text{C}$,使轮管内液体温度加热至 40 $^{\circ}\text{C}$ 后,停止转轮的转动。

(6) 向轮管内加入 2.278 g、浓度为 10% 的

DODP-2a 二甲苯溶液,并将转轮的转速和控温测试室内的温度分别设定为 1 m/s 和 70℃,使轮管内的液体升温并与二甲苯溶液充分混合。

(7)重复步骤(3)~(5)。

(8)放出轮管内的液体,并用柴油和清洗液清洗轮子。

三、试验结果分析

降温过程中轮管内液体的温度变化曲线见图 3。

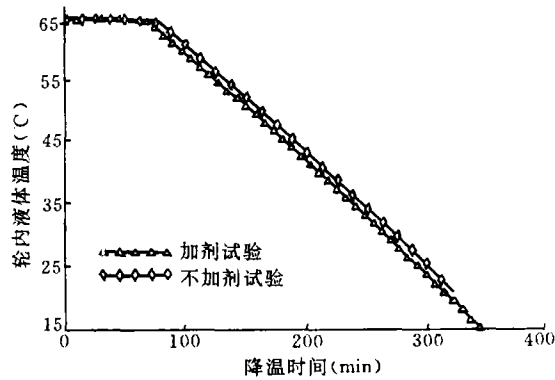


图 3 降温过程中轮管内温度的变化曲线

由图 3 可知,不加剂试验和加剂试验的降温曲线基本吻合,说明转轮流动模拟器具有很好的控温精度。试验过程中,不同温度下平均扭矩及 10%峰值扭矩变化见图 4。

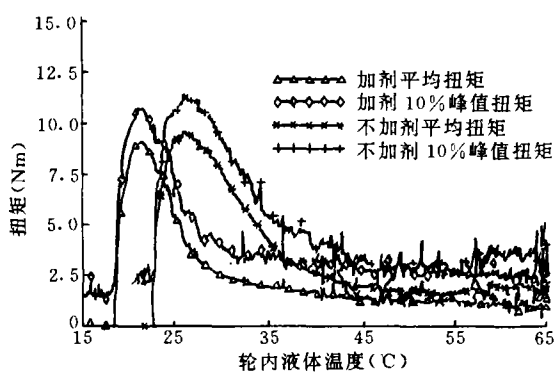


图 4 降温过程中扭矩的变化曲线

在不加剂降温过程和加剂降温过程中,平均扭矩和 10%峰值扭矩均随温度的降低而升高,达到最大值后急剧下降。在不加剂降温过程中,当温度降至 26.3℃时,平均扭矩和 10%峰值扭矩达到最大值,此后平均扭矩和 10%峰值扭矩随温度降低而急剧下降。当温度降至 22.8℃时,平均扭矩接近 0 N·m,可以看到 10%峰值扭矩与平均扭矩发生

明显的分离,这说明此时轮内的原油已全部失去流动性。在加剂降温过程中,当温度降至 21.6℃时,平均扭矩和 10%峰值扭矩达到最大值,此后平均扭矩和 10%峰值扭矩随温度降低而急剧下降。当温度降至 18.2℃时,平均扭矩接近 0 N·m,此时 10%峰值扭矩与平均扭矩发生明显的分离,轮管内的原油全部凝固。

从降温过程扭矩曲线中的最高点可以看出,最大扭矩所对应的温度为管道降温条件下改性原油的实际起凝温度,即在该温度下,原油开始逐渐失去流动性并开始向管内壁沉积。部分原油沉积到管内壁上后,由于管内原油的填充率只有 40%,管内表面积相对较大,造成管内仍具有流动性的原油量急剧减少,并由此引起扭矩的大幅度降低。随着温度的进一步降低,管内流动的原油最终失去流动性,管内不再有液体与固体之间的相对运动产生的机械能损失,因而平均扭矩降至 0 N·m。另外,管内剩余的流动原油在最终完全失去流动性时,会导致管道内壁上凝油层厚度不均匀甚至部分管段堵塞,造成转轮偏心和扭矩随转轮位置变化而出现周期性变化,因而管道内的原油全部凝固后平均扭矩为零,但仍有残留的 10%峰值扭矩。

根据分析,要实现输油管道长期安全运行,应以最大扭矩所对应的温度为输油温度的下限值。对徐家围子中转站外输原油,不加剂热处理后的输油温度下限为 26.3℃,加入 50 g/t 降凝剂 DODP-2a 并经热处理后的输油温度下限为 21.6℃。考虑到凝点附近原油呈现高粘度和输油管道的压降不能超过输油泵所能承受的负荷,输油温度的下限还需再提高一些。在试验中,还分别得出了摩擦因子和原油视粘度随温度的变化数据(见图 5、图 6)。这些数据对预测输油管道使用降凝剂后的压降具有重要意义。

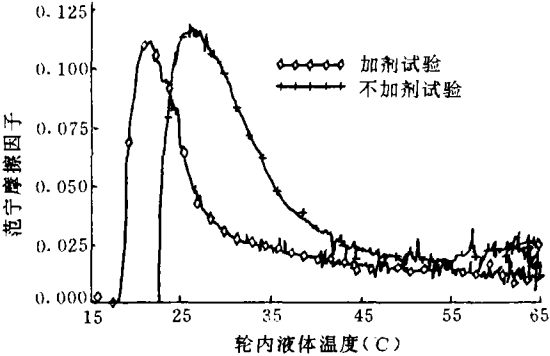


图 5 降温过程中摩擦因子变化曲线

管道现场腐蚀疲劳试验结果分析

尹国耀* 郑宏伟

(中国石油天然气西北管道建设指挥部)

尹国耀 郑宏伟:管道现场腐蚀疲劳试验结果分析,油气储运,1999,18(11) 50~52。

摘 要 以库鄯输油管道现场腐蚀疲劳试验为例,介绍了对 API X65 $\phi 610 \times 7.1$ 管道用钢采用人工海水、反复周期加载直至受试钢管螺旋焊缝出现开裂的试验过程,通过进行力学、金相、腐蚀、失效分析,确认根焊角开裂为应力集中所致。试验结果表明,疲劳破裂易发生在母材韧性较差的部位,其焊缝根焊角度至关重要。

主题词 输油管道 腐蚀 疲劳试验 分析

自 60 年代以来,我国已建成各类油气管道 4.8×10^4 km,但对所用管材从未进行过现场腐蚀疲劳破坏试验。1998 年 6 月,首次对库鄯(库尔勒—鄯善)输油管道的 X65 $\phi 610 \times 7.1$ 钢管(美国 NUCOR 钢)进行了 7 个月的现场腐蚀疲劳破坏试验,获得了一些重要成果。

一、试验方法

1、试验方法

试验采用的是内压加载、计算机监控、液压泵提供动力的方法。为了防止试件内的腐蚀介质进入泵

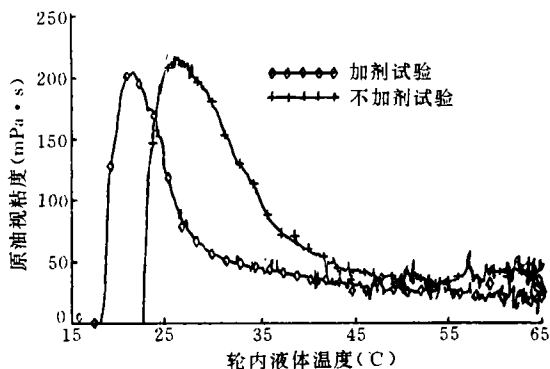


图 6 降温过程中原油的视粘度变化曲线

从上述试验结果与表 2 中降凝效果数据的对比可以看出,用转轮模拟器取得的降凝效果优于用静态法取得的降凝效果,而低于用动态法取得的降凝效果。试验结果表明,转轮流动模拟器可用来模拟输油管道进行原油降凝剂的工业中试试验,具有试验

周期短、原油和降凝剂用量少等优点。该模拟器还可用于测定加降凝剂和不加降凝剂原油的屈服值、评价有高压天然气存在情况下降凝剂的效果及降凝剂对剪切时间和重复加热感受性等的测试中。用转轮流动模拟器可以方便地测定加降凝剂和不加降凝剂时输油温度的界限值,可同时得到摩擦因子和原油视粘度等数据,便于预测输油管道的压降。

参 考 文 献

1. 吴迪 李克顺等:乳液型油井防蜡降凝剂 DODP-2 的研制,油气田地面工程,1998,17(6)。
2. 吴迪 艾广智等:旋转粘度计法测定原油的溶蜡点,油气田地面工程,1999,18(2)。

(收稿日期:1999-04-29)

编辑:孟凡强