



含蜡原油触变性与温度关系的研究

陈国群* 张帆 张劲军

(石油大学(北京))

陈国群 张帆等:含蜡原油触变性与温度关系的研究,油气储运,2003,22(12) 28~31。

摘要 对加剂改性中原原油在其凝点附近不同温度处的触变特性进行了试验研究。利用 Houska 模型描述含蜡原油的触变性,计算结果与试验数据吻合良好。研究表明,Houska 触变模型中的剩余屈服应力、触变屈服应力、稠度系数、稠度可触变部分系数、流变特性指数与温度成指数函数关系,而结构建立常数和结构裂降常数与温度无关。Houska 触变模型中的参数与温度的关系可以为实际热油管道停输后再启动过程的水力分析提供依据。

关键词 含蜡原油 触变性 温度 关系 研究

一、前 言

我国所产原油 80% 以上为含蜡原油,加热输送仍然是目前主要的管输工艺。所有热油管道均面临着停输后再启动的问题,当正常停输或事故停输一定时间后,由于温降,管内相当一部分原油将处于低温状态,析出的蜡晶相互交联形成具有一定强度的网络结构,使含蜡原油具有触变特性。当泵所能提供的启动压力不足以破坏管中原油结构时,就会导致凝管。

管道加压后启动过程中的水力分析需要以原油触变模型为基础。含蜡原油触变性的研究包括触变机理、触变模型及其应用于管道停输后再启动过程中的水力分析等几个方面。对于触变机理,曾用固液两相理论^[1]和分子理论^[2]作了一些解释,由于原油触变性是一种非常复杂的流变行为,因此难以完全解释清楚。国内外对触变模型进行了很多研究^[3~6],其中最具代表性的是 Houska 触变模型^[3]。这些触变模型都体现了剪切应力与剪切速率、剪切时间的关系,但没有包含温度这一重要参数。

对于热油管道,停输后再启动时管内原油沿线是非等温的。现有的触变模型只能描述某个特定温

度下原油的触变性,不能描述具有不同温度时原油的触变性,要将触变模型用于实际热油管道停输后再启动的计算,必须建立原油触变模型中参数与温度的关系。

二、Houska 触变模型

Houska 触变模型的状态方程和速率方程分别为:

$$\tau = \tau_{y0} + \lambda \tau_{y1} + (K + \lambda \Delta K) \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

$$\frac{d\lambda}{dt} = a(1 - \lambda) - b\lambda \dot{\gamma}^m \quad (2)$$

- 式中
- τ —— 剪切应力, Pa;
 - τ_{y0} —— 剩余屈服应力, Pa;
 - τ_{y1} —— 触变屈服应力, Pa;
 - K —— 稠度系数, Pa · sⁿ;
 - ΔK —— 稠度可触变部分系数, Pa · sⁿ;
 - $\dot{\gamma}$ —— 剪切速率, 1/s;
 - λ —— 结构参数, 其值在 0~1 之间;
 - n —— 流变特性指数;
 - t —— 剪切时间, s;
 - a —— 结构建立常数;
 - b, m —— 结构裂降常数。

* 102249,北京市昌平区府学路 18 号;电话:(010)89733283。

三、触变性试验

试验所用油样为加剂 50 mg/kg 的中原原油,加剂处理温度为 65℃。为了模拟输送过程中的管流剪切,以较小转速搅拌动态降温,动冷至 30℃后取样测定凝点为 22℃。流变性测定仪器为控制应力流变仪 RS150。试验结果表明,加剂 50 mg/kg 的中原原油在此试验条件下开始出现触变性的温度为 26℃(即显触点)。本试验中油样触变性试验温度为 21~27℃。

为了得到 Houska 触变模型中剩余屈服应力 τ_{y0} 、稠度系数 K 和流变特性指数 n ,除了在一一定的剪切速率下进行触变性试验外,还要在每个测温下进行高速剪切,充分破坏油样结构,然后测量结构充

分破坏后的原油在不同剪切速率下的剪切应力。

四、试验数据回归结果

Houska 触变模型中需要确定的参数有 8 个,其中状态方程中 τ_{y0} 、 τ_{y1} 、 K 、 ΔK 、 n 等参数的回归借鉴了 Cawkwell^[3] 给出的方法,速率方程中参数 a 、 b 、 m 的回归采用了 Meyer-Roth 数值回归方法。回归结果见表 1。其中逼近的最佳平方相对误差估计式为:

$$\|\delta\|^2 = \frac{\|Y - F\|^2}{\|Y\|^2}$$

式中 Y —— m 个试验数据点组成的向量;
 F ——利用 Houska 模型计算的 m 个值组成的向量。

表 1 根据试验数据回归的不同温度下 Houska 触变模型的参数

| 温度 (°C) | τ_{y0} (Pa) | K (Pa · s ⁿ) | n | τ_{y1} (Pa) | ΔK (Pa · s ⁿ) | a (s ⁻¹) | b (s ^{m-1}) | m | 平方相对误差 % |
|---------|------------------|----------------------------|---------|------------------|-----------------------------------|------------------------|-------------------------|---------|----------|
| 21 | 0.266 0 | 0.234 9 | 0.882 4 | 5.571 5 | 0.191 0 | 0.008 6 | 0.026 9 | 0.097 9 | 1.59 |
| 22 | 0.173 5 | 0.179 6 | 0.913 2 | 3.740 4 | 0.138 4 | 0.009 3 | 0.027 2 | 0.097 7 | 1.57 |
| 23 | 0.079 5 | 0.169 6 | 0.913 7 | 2.185 0 | 0.113 6 | 0.007 4 | 0.026 3 | 0.098 4 | 1.08 |
| 24 | 0.041 9 | 0.095 0 | 0.975 8 | 1.482 6 | 0.080 1 | 0.010 2 | 0.027 6 | 0.097 5 | 1.21 |
| 25 | 0.016 0 | 0.081 8 | 0.992 3 | 1.030 5 | 0.064 2 | 0.005 5 | 0.025 4 | 0.098 9 | 0.64 |
| 26 | 0.008 3 | 0.056 3 | 1.000 0 | 0.457 7 | 0.055 1 | 0.012 0 | 0.028 4 | 0.096 9 | 1.80 |

从表 1 可以看出,平方相对误差均小于 1.8%,Houska 触变模型适用于描述该含蜡原油的触变特

性。在 22℃ 和 24℃ 下回归得到的 Houska 触变模型计算值与试验值的比较结果见图 1。

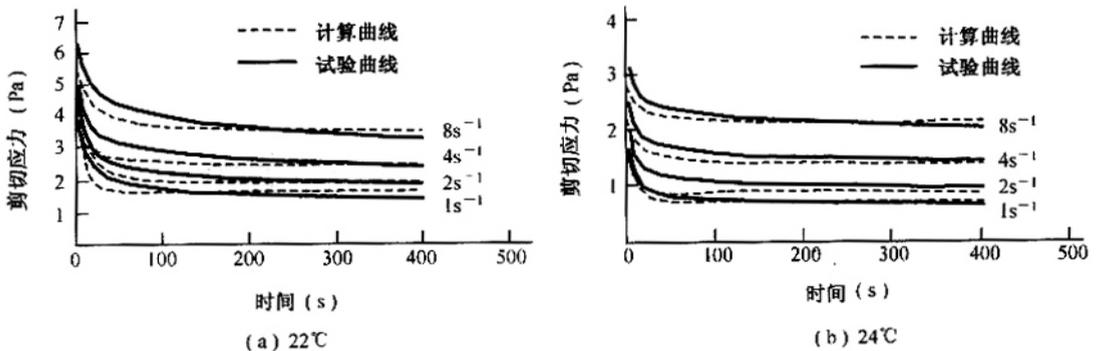


图 1 回归模型的计算曲线与试验曲线比较

五、触变性参数与温度的关系

Houska 模型中的 τ_{y0} 、 τ_{y1} 、 K 、 ΔK 、 n 等参数随

温度变化的曲线见图 2~图 6。

在 Houska 模型中, τ_{y0} 、 τ_{y1} 、 K 、 ΔK 、 n 等参数按方程 $y = ce^{dT}$ 的形式回归,式中 T 为油温, c 、 d 为回归方程系数。回归结果见表 2。

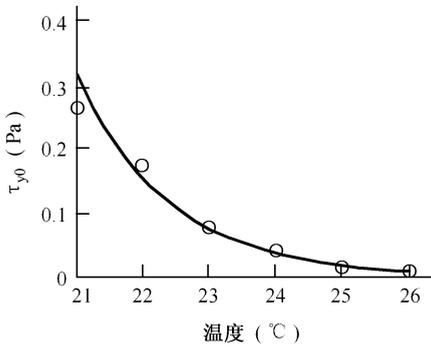


图 2 τ_{y0} 随温度变化曲线

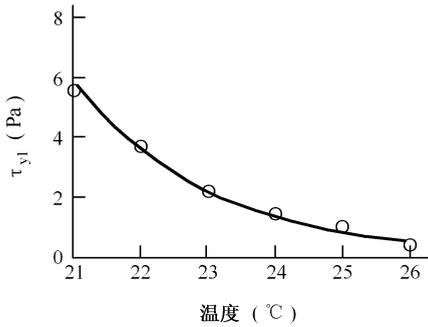


图 3 τ_{y1} 随温度变化曲线

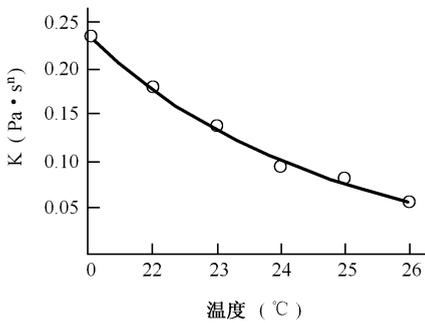


图 4 K 随温度变化曲线

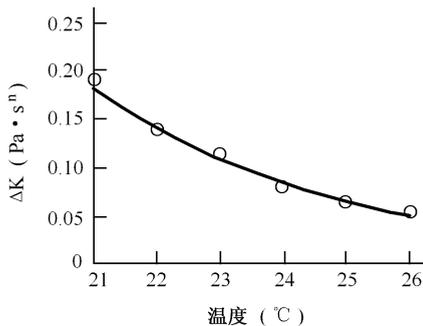


图 5 ΔK 随温度变化曲线

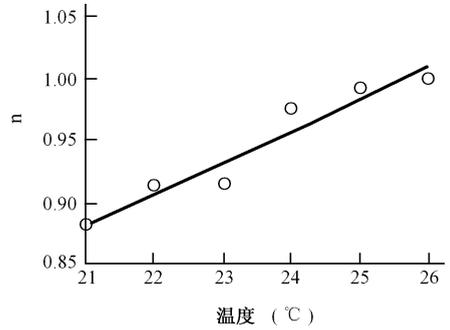


图 6 n 随温度变化曲线

表 2 τ_{y0} 、 τ_{y1} 、K、 ΔK 、n 与温度关系拟合结果

| 温度参数 | τ_{y0} (Pa) | τ_{y1} (Pa) | K (Pa·s ⁿ) | ΔK (Pa·s ⁿ) | n |
|----------------|-------------------|--------------------|------------------------|---------------------------------|------|
| c | 1.0×10^6 | 1.37×10^5 | 105.26 | 37.55 | 0.50 |
| d | -0.72 | -0.48 | -0.29 | -0.25 | 0.03 |
| R ² | 0.99 | 0.98 | 0.96 | 0.99 | 0.93 |

从表 2 可以看出, Houska 触变模型中的参数 τ_{y0} 、 τ_{y1} 、K、 ΔK 、n 与温度的关系均较好地符合指数方程, 相关系数的平方 R^2 均大于 0.92。

在 Houska 触变模型中, 参数 a、b、m 与温度的关系见图 7。

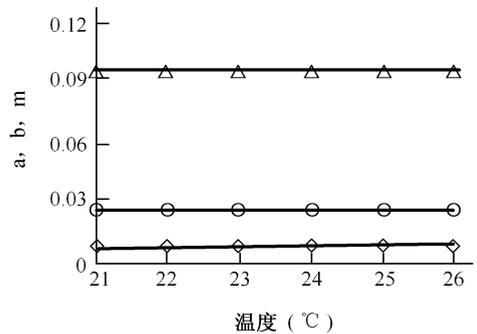


图 7 Houska 模型中参数 a、b、m 与温度的关系

试验结果表明, 结构建立系数 a 和结构裂降常数 b、m 基本与温度无关, 说明原油结构的裂降速率与温度无关。在计算中, a、b、m 可以近似取作常数。蒋永兴^[4]曾应用其触变模型对不同温度下的触变性试验数据进行了回归, 结果也表明速率方程中结构裂降常数与温度无关。

六、结 论

(1) 利用 Houska 触变模型对不同温度下中原加剂原油的触变性试验数据进行的回归表明,

热油管道运行费用问题分析

任 继 善*

(中国石油化工股份有限公司油田事业部)

任继善:热油管道运行费用问题分析,油气储运,2003,22(12) 31~33。

摘 要 针对热油管道运行费用问题进行了分析。指出求解目标函数能耗费用最小值时,应同时将输油泵组效率和加热设备系统效率作为决策变量;对给定流量的优化问题改为某一小流量范围内的优化问题;利用计算机数据采集控制系统对试验结果进行费用反馈验证,找出偏差并制定新的方案,目的是将输油单耗真正控制在最小范围之内。

主题词 热油管道 运行费用 问题 分析

关于热油长输管道运行费用优化问题已有许多学者和工程技术人员进行了广泛深入的研究,其成果在一些管道应用后节能效果显著。为了将管道能耗费用控制在最小范围内,尚有以下几方面的问题需要研究。

一、对最小能耗费用的求解

1、最小输油能耗费用的数学模型

对最小能耗费用求解时,应同时将输油泵的泵组效率和加热设备的系统效率作为决策变量。在以往发表的有关论文和实施方案中,一般用最小能耗费用作为衡量输油经济性指标。输油能耗费用 C 包括输油泵的动力消耗费用 C_e 和加热设备的热力

消耗费用 C_f 。最小输油能耗费用的数学模型为:

$$C_{min} = C_{e1}(\Delta P_1) + C_{e2}(\Delta P_2) + \dots + C_{f1}(\Delta t_1) + C_{f2}(\Delta t_2) + \dots \quad (1)$$

式中 ΔP ——管道泵站提供的压力;

Δt ——管输油品温升。

从式(1)可以看出,只要 ΔP 和 Δt 确定了,目标函数 C 也就确定了。但是,在实际的输油生产中,总的能耗仍然会随单体设备效率的不同和组合方式的不同而变化,即能耗费用不但随 ΔP 和 Δt 变化,而且还要受动力设备、热力设备不同负荷下系统效率变化的影响。也就是说,如果将 ΔP 和 Δt 相应的费用看成净值,那么,在实现 ΔP 和 Δt 时,由于各种变化因素的影响,应将 ΔP 和 Δt 相对应的实际费用看成毛值。真正影响总能耗费用的应是毛值,而不

Houska 模型适合于描述该原油的触变性,回归模型计算结果与试验结果的平方相对误差均不超过 1.8%。

(2) Houska 触变模型中的参数 τ_{y0} 、 τ_{y1} 、 K 、 ΔK 、 n 与温度的关系符合指数方程,参数 a 、 b 、 m 与温度无关。

参 考 文 献

- 1, 刚芥果:流体触变性的新解释,力学与实践,2001,23(4)51~53。
- 2, 陈文芳:非牛顿流体的一些本构方程,力学学报,1983,15(1) 16~26。

- 3, Cawkwell M G, Charles M E: Characteristics of Canadian Arctic thixotropic gelled crude oil utilizing an eight-parameter model, J. of Pipelines, 1989。
- 4, 蒋永兴:胶凝原油流变学特征,油气储运,1989,8(6)6~14。
- 5, 赵晓东:改性原油输送管道启动过程非稳态水力热力计算方法研究,石油大学(北京)硕士研究生毕业论文,1999。
- 6, 陈宏健 张帆等:一个新的含蜡原油触变性模型,流变学进展, 2002,404~408。

(收稿日期:2003-02-09)

编辑:孟凡强