

降温剪切速率对加降凝剂 原油流动性的影响

刘忠晖*

张劲军

(中国石油化工总公司规划院)

(石油大学(北京))

刘忠晖 张劲军:降温剪切速率对加降凝剂原油流动性的影响,油气储运,1996(2)15,9~11

摘要 为了使加降凝剂的原油实现长距离的管输,就管流剪切速率进行了实验室模拟研究。把加降凝剂的原油降温过程中的剪切率称为降温剪切率,以加剂新疆原油做为油样,通过试验发现,降温剪切率与降温速率有关,且存在着使粘度最小的最佳降温剪切率。分析管道内加剂原油的流动情况,将流体沿管道径向分为近壁底层区、过渡区和紊流核心区,分别测定各区内流体的剪切率,指出当管输量较低时,主要是过渡区和近壁底层区内的管流剪切对加剂原油低温流动性有影响;输量较高时,紊流核心区的剪切也影响着加剂原油低温流动性。为定量研究管流剪切对加剂原油低温流动性影响,提出了当量剪切历史法,介绍了该方法的基本原理和具体应用情况。

关键词 原油 降凝剂 剪切速率 管道输送 实验室试验

一、前言

拟建的鄯(善)—洛(阳)管道长约3 000 km,所输送的三大盆地混合原油的凝点高于管道沿线最低地温(2℃)近10℃,因此,不能直接实现常温输送。从安全和经济方面考虑,添加降凝剂改性是目前最有可能实现的方案。然而,国内外单纯依靠加降凝剂改性实现常温输送的管道最长不超过1 100 km。长距离常温输送的加剂原油管道中管流剪切速率,可能会严重影响加剂原油的低温流动性,为此进行了模拟研究。

二、管流剪切速率对加剂原油 流动性的影响

用1号新疆混合原油作油样,其性质见表1。

表1 1号新疆混合原油的性质

凝点 (℃)	5℃40.5 s ⁻¹ 下 的粘度(mPa·s)	5℃时屈服值 (Pa)	析蜡点 (℃)
8.2	317.2	29.7	19.7

1. 试验

在1号混合油中加入浓度为 40×10^{-6} 降凝剂GY3,密闭加热至55℃,搅拌降温至40℃时将油样装入RHZOTZST2.1粘度计,然后用可控温的Hakke D8-G水浴在不同时间内(分别为2.5 h、15 h和47 h),将油温从40℃开始以不同的剪切率剪切下降至5℃(即降温速率分别为14℃/h、2.33℃/h和0.74℃/h)静止恒温1 h后测量5℃时的粘度,结果见表2。

将加剂原油降温过程中的剪切率称为降温剪切率,当降温剪切率为零(即静态降温时),降温速率越小,加剂原油5℃的粘度越大;加剂原油动态降温时(即降温剪切率不为零时),存在一最佳剪切率,以此剪切率剪切降温,加剂原油的低温粘度最小;当降温

速率相同时,随着降温剪切率增大,5℃的粘度先减小,然后增大,且降温速率越小,剪切的影响越严重。

最佳降温剪切率的大小与降温速率有关,降温速率越小,最佳降温剪切率越小。当降温速率为14℃/h时,最佳降温剪切率在40.5 s⁻¹附近;当降温速率为2.33℃/h时,最佳降温剪切率则减小到36.1 s⁻¹。

在长输管道中,当降温剪切率大于最佳降温剪切率时,降温剪切率越大,降温速率越小,管流剪切对原油低温流动性的影响越严重。

表 2 经历不同剪切历史后的新疆加剂混合原油的粘度

降温剪切率 (s ⁻¹)	降温速率为 14℃/h 时 5℃ 40.5 s ⁻¹ 下的粘度(mPa·s)
0	35.9
13.5	34.6
40.5	32.9
72.9	36.2
437.4	47.6

降温速率为 2.33℃/h 时 5℃ 40.5 s ⁻¹ 下的粘度(mPa·s)	降温速率为 0.74℃/h 时 5℃ 40.5 s ⁻¹ 下的粘度(mPa·s)
40.7	59.4
36.1	
40.0	125.1
61.4	198.2

三、加剂原油流动情况的分析及管流剪切影响的程度

在管道内,不同半径处的原油将经历不同的剪切历史,具有不同的流动性。混合后加剂原油的流动性性质将由经历不同剪切历史的原油的流动性性质及输油泵的剪切作用决定。

粘性流体在管道内流动时,可以沿径向分为三个区^[1],由外向内依次为近壁底层区、过渡区和紊流核心区(见图1)。近壁底层区内的管流剪切率相同,均为管壁剪切率 γ_R ;在过渡区内,剪切率呈线性分布,过渡区外缘($r=r_b$)处的剪切率(γ_b)最大,等于管壁剪切率 γ_R ,内缘($r=r_a$)处的剪切率最小,假设为 γ_a ;对于紊流核心区,外缘($r=r_a$)处的剪切率最大,

最大值为 γ_a ,管中心处的管壁剪切率为 0。

γ_a 、 γ_b 、 γ_R 以及不同流动区内流体所占的比例,可以通过公式计算得出^[2]。例如,对于 $\phi 610$ 管道,输送添加浓度 80×10^{-6} GY3 降凝剂的 10 号新疆混合原油,输量为 650×10^4 t/a 时,管壁剪切率 γ_R 为 40.9 s^{-1} ,过渡区内缘处的管流剪切率 γ_a 为 3.4 s^{-1} ,近壁底层区和过渡区内流体分别占管道中流体总量的 4.7% 和 26.4%,这两个区内的流体加起来占管道中流动总量的 31.1%。当输量增大到 1000×10^4 t/a 时,管壁剪切率 γ_R 为 87.0 s^{-1} ,过渡区内缘处的管流剪切率 γ_a 为 7.3 s^{-1} ,近壁底层区和过渡区内的流体分别占管道中流体总量的 3.3% 和 18.5%。因此,当管道输量较低时,主要是过渡区和近壁底层区内的管流剪切对加剂原油的低温流动性有影响,而紊流核心区内的管流剪切率较小,对加剂原油的低温流动性基本没有影响或影响较小;输量较高时,虽然近壁底层区内流体在管道内流体总量中所占的比例减小,但管壁剪切率增大,相应地,近壁底层区和过渡区内同一位置处的管流剪切率也增大,紊流核心区内的管流剪切率也相应增大,这时紊流核心区内的剪切也可能影响加剂原油的低温流动性。

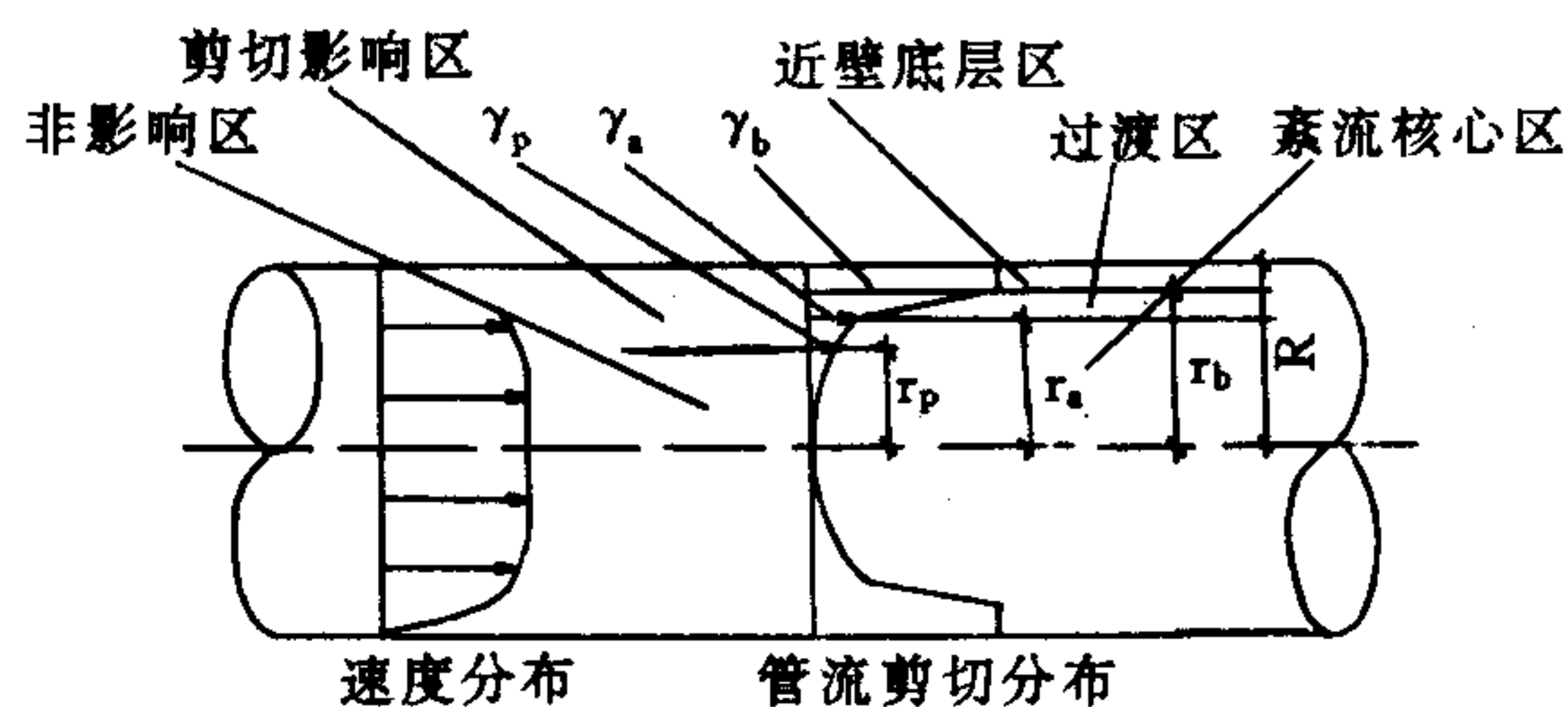


图 1 紊流情况下管道内流体的速度分布和管流剪切率分布

为了研究经历不同剪切历史的加剂原油混合后的性质,进行了试验(试验油样为添加 80×10^{-6} GY3 降凝剂的新疆 10 号油),结果见表 3。表 3 中的剪切油样(相当于管壁附近经历了较强剪切历史的加剂原油)的剪切率为 40.5 s^{-1} ,非剪切油样(相当于管中心经历了较弱剪切历史的原油)的剪切率为 0。

由表 3 可知,当混合原油中含有 1/4 的剪切油样时,流动性性质就会明显变差;当剪切油样的比例达到 1/2 时,混合油样的流动性性质与剪切油样相差不

大。因此,长距离管道中的管流剪切作用必然对加剂原油的低温流动性有严重影响。

表3 非剪切、剪切油样混合后的原油流动性

非剪切与剪切 油样的比例	5℃、120 s ⁻¹ 下 的粘度(mPa·s)	k (mPa·s ⁿ)	n	凝点 (℃)
1:0	56.6	56.6	1.00	-13.5
3:1	66.6	92.4	0.93	-8.2
1:1	75.2	94.3	0.95	-6.2
1:3	75.2	123.0	0.90	-5.5
0:1	75.8	124.5	0.90	-4.5

四、实验室内管流剪切对加剂原油流动性影响的定量研究

为了研究管流剪切,提出了当量剪切历史法(或 γ_z 法)。所谓当量剪切历史,是指对加剂原油以当量剪切历史剪切降温后的低温流动性,与管道内不同半径处经历不同剪切历史的加剂原油混合后的混合加剂原油的低温流动性相同。在实际管道中,降温速率较小,管流剪切时间又较长,因此最佳降温剪切率 γ_0 较小。根据前面的研究可知,在零剪切率与管壁剪切率之间存在一最佳降温剪切率 γ_0 ,而在 γ_0 与管壁剪切率 γ_R 之间又必然存在 γ_P ,即经历 γ_P 剪切历史的加剂原油的性质,与经历零剪切历史的油样的性质相同, γ_P 为临界降温剪切率。从管流剪切影响加剂原油低温流动性的角度,将管道内的流体分为两个区,即剪切影响区和非影响区,假设与实际管道中流体的降温速率对应的临界降温剪切率为 γ_P , γ_P 对应的半径为 r_P ,则将管道内 $r=0$ 与 $r=r_P$ 之间的区域称为非影响区(严格地讲,剪切作用对油的流动性性质略有有利影响);将 $r=r_P$ 与 $r=R$ (管道内半径)之间的区域称为剪切影响区。

设加剂原油在管道内的降温速率为 T (降温速率与油温和地温有关),对应的临界降温剪切率为 r_P 。为了在实验室确定某条管道内流体的当量剪切历史,将管道内的流体沿半径方向划为 n 个区。比如:近壁底层区为其中的1个区,称为第 n 区;非影响区也是其中1个区,称为第1区。剩下的 $n-2$ 个区则在 $r=r_P$ 与 $r=r_b$ 之间划分。第1区的剪切历史为0,剩下各区的剪切历史取各分区外缘处的管流剪切率。一般地, n 取4~7。对管道内的流体进行分区后,根据分区情况计算各区内流体所占的比例,假

设为 N_1, N_2, \dots, N_n 。然后,在实验室内将几个分区经历不同管剪切历史的油样按比例混合,测量混合油样的流动性。假设混合油样的流动性与剪切历史为 γ_z 的油样的流动性一致,则确定管道内流体所经历的当量剪切历史为 γ_z 。

用当量剪切历史对管道内流体所经历的剪切历史进行定量模拟,不用将管道进行分段,而且获得的结果更接近实际(与使用管壁剪切率相比)。

五、结束语

以上的研讨是基于原油加降凝剂改性工艺是否能用于长距离管道的常温输送的问题。由于原油的触变性质、降凝剂对原油的改性、粘性流体在管道内流动的复杂性等,都很难准确地用理论模型表述,因此,试验研究仅仅是为实际管道运行、水力计算和输送工艺的选择提供了可靠的依据。

参考文献

1. 潘文全:流体力学基础,机械工业出版社(北京)1982。
2. 张衍礼:模拟管流改性原油低温流动性定量评价方法研究(硕士论文),石油大学,1995。

(收稿日期:1995-07-28)

编辑:张彦敏

下期要目

1. 含蜡原油动屈服应力问题 张劲军等
2. 长输热油管道水力和
热力计算程序 侯连荣等
3. 管道定向钻穿越河流的
工程地质勘察 吴忠良
4. 煤焦油瓷漆加热釜的热力设计 李金武
5. 塔里木盆地大型油罐建设中的
岩土工程问题 王连成等
6. 精密性建筑振动控制设计
实用软件 VCD 赵彤等
7. 20 000 m³ 浮顶油罐刮蜡机构
损坏力学分析 张建虎等
8. 管桥钢索的保护 潘世维
9. 用压力容积图进行
管道试压方式研究 张宏等
10. 中洛线油罐底板失效原因 孙鹏