

文章编号: 1006-6535(2006)05-0091-03

高凝原油管道输送蜡沉积规律实验研究

王志华

(大庆石油学院, 黑龙江 大庆 163318)

摘要:针对高凝原油在管道输送过程中管壁结蜡等问题,通过室内建立的小型管流结蜡环道实验装置,模拟输油管道运行中某一管段的蜡沉积情况,研究了含蜡原油的蜡沉积速度,考察了蜡的沉积规律受温度的影响。通过计算,确定了实验条件下的结蜡量,并利用差热扫描量热仪从微观角度分析测试了蜡沉积物的特性,进而探讨了结蜡机理和影响管壁结蜡的因素。

关键词:含蜡高凝原油;管道输送;蜡沉积规律;管壁温度;结蜡速率

中图分类号:TE832.8 **文献标识码:**A

前言

根据原油的流动性质,可将我国各油田所产原油分为轻质低粘原油、胶质含量高的高粘原油和含蜡较多的高凝固点原油,其中以大庆为主要代表的大型油田生产的原油大多为含蜡高凝原油^[1]。当温度接近于凝固点时,该类原油粘度剧增,呈现非牛顿流体特性,决定了其在管输过程中将面临各种问题。例如,蜡的沉积会减少管道的有效内径,增大输送压力,降低管道的输送能力,增加清管频率,甚至造成蜡堵事故^[2,3],因此,深刻认识蜡沉积规律,对于指导高凝原油管道节能及安全输送具有重要意义。

蜡沉积规律研究中一项最主要的内容就是结蜡速率。虽然蜡沉积的速率取决于原油的组成、油

温、管子周围的环境温度、流动条件、管子尺寸、保温条件及系统压力等各项因素,但蜡的沉积都属于分子扩散、剪切弥散、布朗运动及重力沉降4种机理^[4]。常见的冷指法、冷板法及冷盘法等简单实验装置只能定性分析原油的蜡沉积规律,而不能模拟管道内的流动条件;美国德士古石油公司 J.J.C. Hsu 等人建立的高压紊流环道装置^[5],自动化程度高,实验过程简单,更接近实际生产管线的流动条件;国内张劲军等^[6,7]曾系统地研究过新疆原油的蜡沉积规律,并将测定原油含蜡量的差示扫描量热法与氧化铝吸附法进行了比较。

1 原油物性分析

大庆肇源油田某区块混合原油的物性见表1。

表1 原油物性分析数据
Tab.1 Oil property analysis data

凝固点 /°C	粘度/mPa·s		密度/(g/cm ³)		沥青质 /胶质/%	含蜡量 /%	析蜡温度 /°C
	50°C	70°C	20°C	50°C			
39	123.74	21.58	0.8889	0.8683	6.01/19.14	28.09	52.3

从表1中的原油基础物性分析结果可知,该原油50°C的运动粘度、凝固点、胶质、沥青质及含蜡量均较高,原油物性较差,其中蜡含量达到28.09%,析蜡温度高达52.3°C,属于典型的含蜡高凝原油。由粘温曲线可知,在温度低于凝固点附近,原油具有非牛顿流体特性。因此,选择该高凝原油进行管道输送室内模拟实验,研究蜡的沉积规律。

2 蜡沉积规律室内实验

结合各种研究原油管道输送过程中蜡沉积机

理及沉积规律的方法,建立室内实验装置,进行管流条件下的原油蜡沉积模拟实验。通过控制管壁温度和原油温度来模拟输油管道运行中某一管段的蜡沉积情况。装置主要由参比管(∅14×1 mm 钢管,1.0 m)、测试管(∅14×1 mm 钢管,1.0 m)、压力传感器、质量流量计、程控浴槽和螺杆泵组成。在实验过程中,通过调节程控浴槽来控制测试管管壁温度,当其低于管内油温并低于原油析蜡点温度时,测试管内有蜡沉积层生成,该管段内径缩小,两

收稿日期:2006-03-13; 改回日期:2006-06-12

基金项目:本文受黑龙江省自然科学基金项目“一种新型表面活性复合剂的研制及应用研究”资助(项目编号:TB2005-27)

作者简介:王志华(1981-),男,助教,2004年毕业于大庆石油学院石油工程专业,现从事油气储运工程方面的教学和科研工作。

端的压差变大。同时,调节控制参比管管壁温度,使之与实验油温一致,即保证参比管内不生成蜡沉积物。这样即可有效解决利用称重法研究蜡沉积规律带来的种种不确定因素。通过分别测量参比管和测试管的压差值,便可运用流体力学公式计算出测试管内结蜡后的管内径,从而确定蜡沉积层厚度及蜡沉积速率,并利用差热扫描量热仪从微观角度对蜡沉积物特性进行研究。

2.1 沉积量及结蜡速率的确定方法

如果蜡沉积前后原油物性(包括原油粘度及密度等)的变化可以忽略不计,而水平测试管和参比管的长度又相等,则管径便是引起压差变化的唯一因素,因此,蜡沉积量的计算可按层流状态牛顿流体进行处理:

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho V^2}{2} = \frac{8\lambda L \rho Q^2}{\pi^2 D^5} \quad (1)$$

式中: Δp 为水平测试管和参比管的压降,MPa; D 为管内径,m; λ 为水力摩擦系数; L 为测试管段的长度,m; Q 为体积流量, m^3 ; ρ 为原油密度, kg/m^3 ; V 为平均流速,m/s。

则可推出测试管和参比管的压降比为:

$$\frac{\Delta p_t}{\Delta p_r} = \left(\frac{D_t}{D_r}\right)^4 \quad (2)$$

式中: Δp_t 为水平测试管的压降,MPa; Δp_r 为水平参比管的压降,MPa; D_t 为测试管内径,m; D_r 为参比管内径,m。

实验装置中管径为 12 mm,所以有:

$$D_t = \frac{12}{\left(\frac{\Delta p_t}{\Delta p_r}\right)^{1/4}} \quad (3)$$

则蜡沉积量计算式为:

$$G = \frac{\pi}{4} \rho (D_u - D_e) \quad (4)$$

式中: G 为蜡沉积质量,kg; ρ 为蜡的密度, kg/m^3 ; D_u 为测试管裸管内径,m; D_e 为测试管蜡沉积达平衡后的内径,m。

因此,蜡沉积速率为:

$$W = \frac{G}{S_t} \quad (5)$$

式中: W 为蜡沉积速率, $kg/(m^2 \cdot h)$; S 为管内壁表面积, m^2 ; t 为时间,h。

2.2 沉积规律

原油出站后温度逐渐降低,导致原油和管壁的

温差不断变小。在实际管道运行过程中,随着季节的不同,原油管道壁温也随着地温发生变化,因此室内实验研究了管壁温度相同、原油温度不同和原油温度相同、管壁温度不同 2 种情况下含蜡原油的蜡沉积规律。

2.2.1 管壁温度相同,原油温度不同时的蜡沉积规律

管壁温度高于析蜡点,没有蜡沉积,因此实验中壁温最低选择 42℃,最高确定在 50℃,油温分布在凝固点之后的 42、45、48 和 50℃。各相同管壁温度下的结蜡速率如图 1 所示。

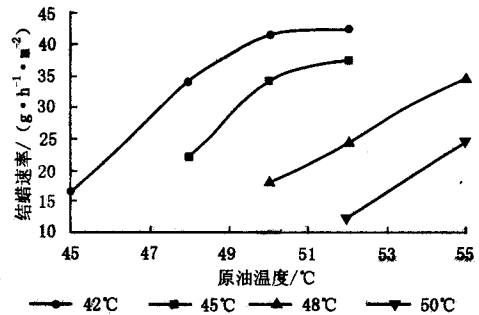


图 1 各管壁温度不变条件下油温变化对结蜡速率的影响

Fig.1 Impact of oil temperature on paraffin deposit rate under unchanged pipe surface temperature

从图 1 可以看出,在管壁温度一定时,随着管输原油温度的升高,即油壁温差的增大,结蜡速率呈现不断增大的趋势。这主要是因为原油温度相对较低时,虽然蜡晶颗粒很多,但是由于低碳分子占的比例较大,能够沉积的可能性也大,低碳蜡的粘附力小。并且温度低,原油粘度和管壁的剪切应力较大,致使所沉积的蜡被剪切,分散到原油流动体系中,因此结蜡速率偏低。原油温度升高,油壁温差增大,形成了有利于蜡沉积的径向温度梯度,结蜡速度加快。但当管壁温度接近于凝固点(42、45℃)时,曲线平缓,结蜡速率小于 40 g/(h·m²)。而当高于凝固点(48℃以上)时,结蜡速率将不断上升,这说明管壁温度在接近于凝固点时,油壁温差作用不大,蜡的沉积以剪切弥散为主,而管壁温度高于凝固点时,蜡沉积主要靠分子扩散形成。另外,原油温度在一定变化范围内时,管壁温度上升后,结蜡速率相对降低。对于实验中所选择的高含蜡原油,在管壁温度 50℃,油壁温差达到 5℃左右时,最高结蜡速率为 24.95 g/(h·m²),较 40 g/(h·m²)的结蜡速率低将近 1/2。

2.2.2 原油温度相同,管壁温度不同时的蜡沉积规律

原油析蜡温度为 52.3 ℃,故将管流实验中原油温度选择最低 52 ℃,最高 58 ℃,管壁温度分布在 40~56 ℃之间。蜡沉积规律曲线见图 2。

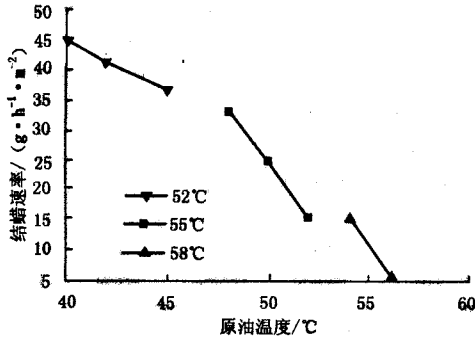


图 2 各原油温度不变条件下壁温变化对结蜡速率的影响

Fig.2 Impact of pipe surface temperature on paraffin deposit rate under unchanged oil temperature

图 2 中,当原油温度相同时,随着管壁温度的下降,结蜡速率逐渐增加,与前面管壁温度相同、原油温度不同时的实验所得结果和认识具有一致性,这也从另一个角度进一步分析了管道输送过程中原油的结蜡规律。另外,在管壁温度接近或超过原油析蜡点,油壁温差达到 5 ℃左右时,结蜡速率逐渐降低,在此实验条件下该高含蜡原油结蜡速率基本维持在 20 g/(h·m²)左右。

2.3 蜡沉积物特性分析

对于不同实验条件下蜡沉积物的溶解,应用 Q10 型差示扫描量热仪进行分析。从得到的 DSC 曲线上研究蜡样的特性,确定其蜡结晶点、结晶高峰点及平均结晶潜热,一方面进一步从微观的角度认识结蜡规律,另一方面为沉积物的物性参数与管壁剪切应力、管壁处蜡分子溶解度系数等之间关系的研究提供基础实验数据。

表 2、3 分别列出了实验所选含蜡高凝原油在上述 2 种研究蜡沉积规律方法中的沉积物特性分析结果。分析中,将管壁温度和原油温度都选择在高凝原油的析蜡点附近。

表 2 管壁温度 48℃ 条件下的沉积物特性

Tab.2 Deposit characteristics under 48℃ pipe surface temperature

原油温度/℃	析蜡温度/℃	析蜡高峰温度/℃	析蜡潜热/(J/g)
50	67.32	60.8	52.93
52	71.65	62.66	63.76
55	76.34	67.85	74.3

从表 2 可以看出,管壁温度相同,原油温度不同时,随温差的增大,也就是随原油温度的上升,油

流粘度自然下降,不易凝结,体现出析蜡温度、析蜡高峰温度和析蜡潜热不断升高的趋势。从表 3 可以看出,原油温度相同,管壁温度不同时,温差减小,即管壁温度提高,管道的径向温度梯度变小,由于油流粘度的下降,同样表现出沉积物析蜡温度、析蜡高峰温度及析蜡潜热增大的特征。这一看似矛盾的结果也正说明了输油管道系统蜡沉积规律的复杂性,表明蜡的沉积既与原油的物性有关,又与原油的输送温度和地温即管壁的温度等外界条件密不可分,实际生产运行中应做到统筹兼顾。

表 3 原油温度 55℃ 条件下的沉积物特性

Fig.3 Deposit characteristics under 55℃ oil temperature

管壁温度/℃	析蜡温度/℃	析蜡高峰温度/℃	析蜡潜热/(J/g)
48	75.93	68.3	73.24
50	77.85	70.25	73.87
52	80.06	73.06	74.41

3 结论与认识

(1) 由管壁温度接近于原油凝固点时,蜡的沉积以剪切弥散为主,沉积速率增大后将趋于一个平衡值;管壁温度高于凝固点时,分子扩散是形成蜡沉积的主要因素,沉积速率一直升高。

(2) 高凝原油的蜡沉积物特性分析结果表明,在管壁温度不变、输送油温不同条件下,油壁温差增大,析蜡温度、析蜡高峰温度和析蜡潜热都升高;原油温度相同、管壁温度不同条件下,析蜡温度、析蜡高峰温度及析蜡潜热随油壁温差的减小呈现上升的趋势。

参考文献:

- [1] 张劲军. 易凝高粘原油管输技术及其发展[J]. 中国工程科学, 2002, 4(6): 71~75.
- [2] 蔡均猛, 张国忠, 邢晓凯, 骆建武. 含蜡原油管道蜡沉积研究进展[J]. 油气储运, 2002, 21(11): 12~16.
- [3] 张维志, 秦玉龙, 魏秀清. 沈一抚高凝油管道清管厚度计算[J]. 特种油气藏, 1996, 3(2): 56~59.
- [4] 杨筱蘅, 张国忠. 输油管道设计与运行[M]. 东营: 石油大学出版社, 1990: 88~89.
- [5] Hsu JJC, Santamaria MM. Wax deposition of waxy live crude under turbulent flow conditions [C]. SPE28480, 1994: 16~25.
- [6] 黄启玉, 吴海浩, 张劲军. 新疆原油蜡沉积规律研究[J]. 油气储运, 2000, 19(1): 29~32.
- [7] 李鸿英, 黄启玉, 张帆, 张劲军. 用差示扫描量热法确定原油的含蜡量[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2003, 27(1): 60~62.