

管道输量对柴油蜡沉积作用的试验分析

冯玉国* 王 岳 刘德俊 石 宇
 (辽宁石油化工大学储运与建筑工程学院) (辽宁省沈阳市石油公司)
 宋生奎 张金亮
 (徐州空军学院油料系) (辽宁石油化工大学)

冯玉国 王 岳等:管道输量对柴油蜡沉积作用的试验分析,油气储运,2007,26(2) 59~61。

摘 要 针对流速对油品结蜡的影响,柴油管壁的结蜡规律与管内流速的关系还尚未明确的问题,在理论推导的基础上进行了室内环道试验,通过分别模拟柴油在有温差段和恒温段时管内流速对管壁结蜡规律的影响,得出了相应的规律,对于指导反季节输送柴油,减少蜡沉积有一定的参考价值。

主题词 管道流量 柴油 蜡沉积 试验 分析

一、前 言

关于流速对蜡沉积速率的影响,不同文献的观点不同,Weingarten^[1]根据试验数据分析,在层流状态下,蜡沉积速率随剪切速率增加而增高;在紊流状态下,蜡沉积速率随剪切速率增加而降低。Hsu J J C^[2]指出,在层流状态下,流速分别为 152.4 mm/s、225.5 mm/s 和 335.28 mm/s 时,对蜡沉积速率影响不大。文献[3]则认为,随着流速的增大,管壁蜡沉积减弱,层流蜡沉积比紊流严重,雷诺数越小,蜡沉积越多。因为紊流状态下随着流速的增大,粘性底层厚度减小,油壁温差减小,管壁处剪切应力增大,这些因素都会使管壁上的蜡沉积层变薄。实践表明,当流速大于 1.5 m/s 时,管内蜡沉积较少。在层流和紊流的过渡区内,由于流态的不稳定,蜡沉积速率会增高。

成品油管道为常温输送,出站油温一般较高,输送一段距离后油温下降到与地温基本相同。为分析研究管道输量对蜡沉积的作用,以 5 号柴油为试验油样,建立了室内试验环道,分别进行了模拟,即将管道按有温差段和恒温段两个部分来分别研究输量对蜡沉积的影响。

二、温差管段流量对蜡沉积速率的影响

蜡的总沉积速率可表示为^[4]:

$$W_{\text{总}} = W_{\text{ml}} + W_{\text{dl}} \quad (1)$$

式中 $W_{\text{总}}$ ——蜡的总沉积速率, $\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$;

W_{ml} ——由分子扩散引起的蜡沉积速率, $\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$;

W_{dl} ——由剪切弥散引起的蜡沉积速率, $\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。

当油温高、热流强度大、油流粘度小时,分子扩散对蜡沉积速率起主要作用;而油温低、热流弱、剪切速率又大时,剪切弥散起主要作用。因此,在温差管段输送温度较高的柴油时,剪切弥散对蜡沉积的影响较弱,可以忽略,而蜡沉积主要是由分子扩散引起的。蜡分子由高浓度区向低浓度区扩散,其扩散速率可根据 Fick 扩散方程计算,即:

$$W_{\text{ml}} = \frac{dG}{dT} = \rho_L D_m \frac{dC}{dT} \frac{dT}{dr} \quad (2)$$

$$\frac{dT}{dr} = -\frac{k_w}{\lambda} (T - T_0) \quad (3)$$

$$\frac{dC}{dT} = \frac{c - c_{js}}{\varphi} \quad (4)$$

* 113001, 辽宁省抚顺市辽宁石油化工大学 187 号; 电话: 13941394362。

$$D_m = \frac{B}{\mu} \quad (5)$$

式中 dG ——质量流量, kg/s;

ρ_L ——蜡晶的密度, kg/m³;

D_m ——分子扩散系数, m²/s;

$\frac{dC}{dT}$ ——蜡晶溶解度系数, 1/°C;

$\frac{dT}{dr}$ ——径向温度梯度, °C/m;

k_w ——管道有结蜡时的总传热系数, W/(m²·°C);

λ ——油品的导热系数, W/(m·°C);

T ——油品的温度, °C;

T_0 ——环境温度, °C;

c ——有相变时的油品比热容, kJ/(kg·K);

c_{js} ——无相变时的油品比热容, kJ/(kg·K);

φ ——蜡的结晶潜热, J/kg;

B ——油品常数;

μ ——油品动力粘度, Pa·s。

在试验测试中发现,由试验确定的蜡沉积量与计算得到的蜡沉积量并不相等。这是由于 Fick 扩散方程描述的是静态条件下的分子扩散,但在管流条件下蜡分子的沉积规律却有所不同。由于油流的冲刷作用,不是扩散到管壁处的蜡分子都能沉积下来。考虑管流中油流冲刷对蜡沉积规律的影响,设蜡沉积速率为⁽⁴⁾:

$$W = f\rho_L \frac{B}{\mu} \left(\frac{dC}{dT} \right) \left(\frac{dT}{dr} \right) \quad (6)$$

式中 W ——实际蜡沉积速率, kg/(s·m²);

f ——蜡沉积系数。

蜡沉积系数 f 表示管壁处可沉积下来的蜡分子的比例,其值随流速、温度梯度、浓度梯度等因素不同而变化。

油品常数 B 对于确定的油品近似为常数,蜡的密度也大致相同。为简化起见,在分析试验结果时将蜡沉积系数 f 与油品常数 B 及蜡晶的密度 ρ_L 的乘积一起考虑,即令:

$$f' = f\rho_L B \quad (7)$$

试验中保持参比段的壁温与油温相同,而试验段的油温为 15°C,水温为 4°C,由此看出,在测试段中会产生蜡沉积现象,而在参比段中则无沉积物,监

测管段间的压差并分析测试段内蜡沉积率的变化,其分析结果见表 1。

表 1 管道输量与蜡沉积速率及沉积系数的关系

流量 (kg/h)	蜡沉积速率 (mg/(m ² ·h))	沉积系数	流量 (kg/h)	蜡沉积速率 (mg/(m ² ·h))	沉积系数
700	1 018.8	0.85	1 000	713.5	0.53
800	956.3	0.81	1 100	520.4	0.41
900	845.4	0.76			

回归后蜡沉积速率与输量的函数关系式为:

$$W = 334.67 + 2.387 4G - 0.002 02G^2 \quad (8)$$

回归后蜡沉积速率与输量的函数关系曲线见图 1。输量与蜡沉积系数的关系曲线见图 2。

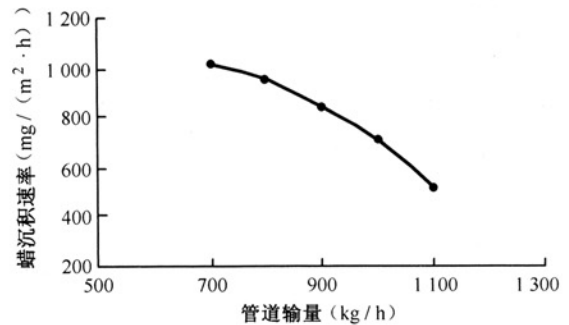


图 1 蜡沉积速率与管道输量的关系

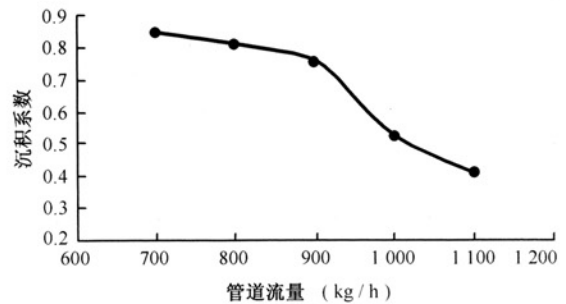


图 2 蜡沉积系数与管道输量的关系

三、常温段流量对蜡沉积速率的影响

在常温段时,管内油品温度降至接近地温,管壁结蜡主要受剪切弥散的影响,分子扩散的影响可忽略不计,此时蜡沉积速率的计算式为⁽⁵⁾:

$$W = K^* C_w^* \left(\frac{\Delta p D}{4kL} \right)_{bi}^{\frac{1}{n}} \quad (9)$$

$$\frac{K^* C_w^*}{\rho_L} \left(\frac{\Delta p}{4kL} \right)_{bi}^{\frac{1}{n}} \tau = \frac{n}{n-1} \left(D_{Lr}^{\frac{n-1}{n}} - D^{\frac{n-1}{n}} \right) \quad (10)$$

式中 K^* ——蜡沉积速率常数;

C_w^* ——管壁处的体积百分浓度;

Δp ——测试管段压差, Pa;

D ——管道内径, m;

k ——稠度系数, $\text{Pa} \cdot \text{s}^n$;

L ——运行距离, m;

τ ——圆管的剪切应力;

n ——流变行为指数;

D_{Lr} ——结蜡后管道内径, m。

$K^* C_w^*$ 的值可由式(9)得出,蜡沉积速率(W)与管道输量的关系见表 2 和图 3。

表 2 蜡沉积速率与管道输量的关系

流量 (kg/h)	蜡沉积速率 (mg/(m ² ·h))	流量 (kg/h)	蜡沉积速率 (mg/(m ² ·h))
700	450.0	1 000	302.5
800	460.5	1 100	92.0
900	325.4		

(收稿日期:2005-12-12)

编辑:孟凡强

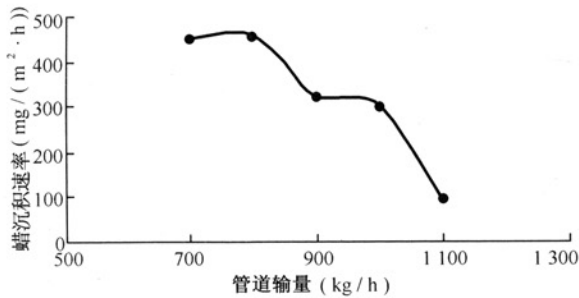


图 3 蜡沉积速率与管道输量的关系

四、结 论

(1)在温差段蜡沉积速率的绝对值约为常温段沉积速率的两倍,而随着输量的增大,蜡沉积速率都在迅速降低,温差段蜡沉积速率变化幅度也比常温段蜡沉积速率大。

(2)当管道处于紊流时,无论是有温差段还是常温段,输量的提高都会在一定程度上降低管道的蜡沉积速率。

(3)当采用顺序输送工艺时,如果前行油品在低

地温下产生结蜡,则应适当提高输量以减少蜡的沉积,避免蜡溶入后行油品中,造成较大的混油损失。

参 考 文 献

- 1, Igarten J S and Eucher J A : Methods for Predicting Wax Prediction and Deposition, SEP, 1986.
- 2, Hsu J J C: Wax Deposition Scale-up Modeling for Waxy Crude Production Lines, Oct. 7778, 1995.
- 3, 穆 昕 黄启玉 张劲军:管壁剪切应力对蜡沉积的影响,油气储运,2003,22(3)。
- 4, 严大凡:输油管道设计与管理,石油工业出版社(北京),1994。
- 5, 孙佰英(译):原油开采和输送中的石蜡沉积问题,国外油气储运,1995,12(6)。

下 期 要 目

天然气水合物研究的最新进展	别 沁等
湿天然气长输管道稳态分析	严 宇等
灵敏度分析在输气管道优化设计中的应用	周 昊等
停输对混油量影响数值模拟研究	刘 强等
油田集输管道介质多相流腐蚀数学模型研究	黄雪松等
呼吸阀承压分析	刘德俊等
输油泵在油气集输系统中应用	潘宏文等
新型天然气低温制冷脱水装置	康 勇
利用阀调节控制管道加油系统的水击压力	宋生奎等
热媒脱水和脱轻馏分的工艺优化	苏中刚