

长输原油管道蜡沉积分布状况探讨

尤廷强

国家管网集团山东运维中心潍坊作业区东营管理站

DOI: 10.12238/ems.v4i9.5596

[摘 要] 东黄复线建成投产 30 年以来, 输送过多种油品, 为给通球清管、提高管输量提供数据支持, 开展管道结蜡情况探讨。依据长输管道特性及油品物性参数, 在 Fick 扩散定律的基础上, 建立不同油品的蜡沉积速率模型, 预测东黄复线不同站间的蜡沉积分布情况。根据运行过程中的实际压力、输量等参数计算结蜡厚度, 以验证、比较模型预测的蜡沉积分布数据。最终, 较为准确的得出了东黄复线管道蜡沉积的分布情况。

[关键词] 原油管道 结蜡 蜡沉积模型 计算

中图分类号: TE973.6 **文献标识码:** A

Discussion on wax deposition distribution in long distance crude oil pipeline

You Tingqiang

Dongying Management Station of Weifang Operation Area of Shandong Operation and Maintenance Center of State Pipe Network Group

[Abstract] Since the completion and operation of the East Yellow Double Pipeline for 30 years, it has transported a variety of oil products, providing data support for pigging and improving pipeline throughput, and discussing pipeline wax deposition. According to the characteristics of long-distance pipeline and the physical parameters of oil products, based on the Fick diffusion law, the wax deposition rate models of different oil products are established to predict the wax deposition distribution among different stations of the East Yellow Double Line. The wax deposition thickness is calculated according to the actual pressure, throughput and other parameters during operation to verify and compare the wax deposition distribution data predicted by the model. Finally, the distribution of wax deposition in the East Yellow Double Pipeline is accurately obtained.

[Keywords] crude oil pipeline wax deposition model calculation

目前, 我国存在多条投建时间超20年的长输原油管道, 管道因运行时间长、输送油品复杂、外部环境变化等多种原因, 存在蜡沉积的问题。蜡沉积发生后, 会造成管道有效流通面积减少, 降低管道输送能力, 增大能耗, 严重时甚至会发生堵塞事故[1]。以中石化管道有限公司东黄复线为例, 先后输送过胜利油和进口油, 因多种原因, 从未进行过清管作业, 蜡沉积现象严重。为提高输量, 满足下游炼厂需求, 对管道结蜡情况进行研究, 以确定通球清管方案、周期[2]。

1 东黄复线概况

东黄复线于1986年7月17日建成投产, 承担着由东营输油站向黄岛油库输送胜利原油的任务, 是我国第一条自动化管线。管道位于山东省胶东半岛, 起自山东省东营市, 途径垦利、广饶、潍坊、高密、胶州、胶南、青岛等市县, 终到青岛市黄岛区黄岛油库。管道外径为 $\Phi 711$, 设计压力6.4MPa, 设计最高输

油温度70℃, 设计输油能力 $2000 \times 10^4 \text{t/a}$ 。管道外壁采用石油沥青玻璃布防腐, 外加电流阴极保护。1998年对所输油品和流向进行了调整, 改由黄岛站(油库)向东营方向常温输送进口原油。后经多次流向调整及管线改造, 目前, 东黄复线顺序输送进口油至齐鲁石化、东临复线, 全线设黄岛油库、昌邑、寿光、广饶、东营5个泵站, 管线长度272km。

2 输送原油物性测试

东黄复线1986年至1998年管线所输油品为胜利油, 油品单一。但从1998年开始, 输送进口油, 油品种类多, 切换频繁, 无法测得所有油品物性。因此, 选取输送频次较高的油品(科威特、罕戈、沙中、伊重)进行原油物性测量。

2.1 原油密度测试

根据中华人民共和国国家标准GB 1881.1.4-83《石油和液体石油产品密度测定法(密度计法)》, 利用浮子密度计测得

各种油品密度如表1。

表1 原油密度测试结果

油样名称	标准密度kg/m ³
科威特	870.4
罕戈	881.3
沙中	868.4
伊重	869.4

2.2 原油粘度测试

根据中华人民共和国石油天然气行业标准SY/T 0520—93《原油粘度测定——旋转粘度计平衡法》、中华人民共和国石油天然气行业标准SY/T 7549—2000《原油粘温曲线的确定——旋转粘度计法》，利用德国Haake公司产VT550粘度计（MVDIN同轴圆筒测量系统），测得各种油品粘温曲线如图1所示。

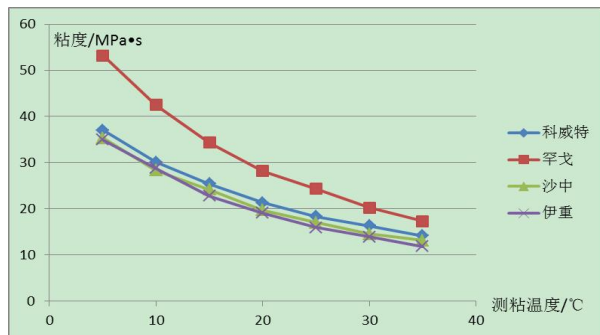


图1 不同油品粘温曲线

由以上结果可知，东黄复线所输各种油样常温下均为牛顿流体，粘度只随温度的变化而变化，且其粘度值都很小。

2.3 原油析蜡特性测试

根据中华人民共和国石油天然气行业标准SY/T 0545—1995《原油析蜡热特性参数的测定：差示扫描量热法》，利用美国TA公司产TA2000/MDSC2910型差示扫描量热仪，绘制原油析蜡特性曲线如图2所示。

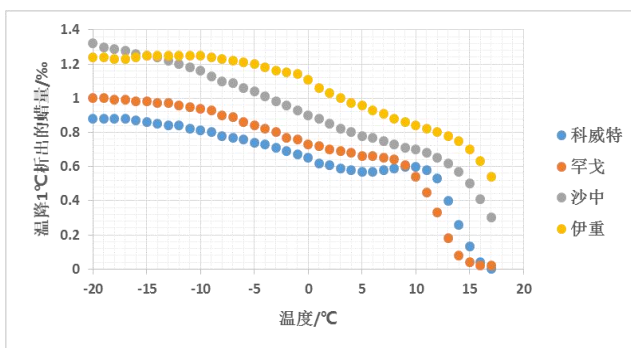


图2 不同油品析蜡特性曲线

3 东黄复线蜡沉积预测计算模型

目前以分子扩散为依据建立的蜡沉积模型没有考虑冲刷对蜡沉积的影响，而实际蜡沉积过程中，并不是所有扩散到管壁

上的蜡分子都能结晶析出并沉积下来，即使沉积下来的蜡晶在油流冲刷作用下也可能被冲刷掉。因此考虑到油流冲刷对蜡沉积的影响，在Fick扩散定律的基础上，把蜡沉积速率定义为：

$$W = fW_m = f\rho_w \frac{B}{\mu} \left(\frac{dC}{dT} \right) \left(\frac{dT}{dr} \right) \quad (3-1)$$

式中： f ——蜡沉积系数，由实验确定。

实验条件不同，沉积物中蜡含量不同， f 也发生变化。对于给定的原油，原油 ρ_w 近似为常数， B 为常数，这样蜡沉积速率可表示为：

$$W = f' \frac{1}{\mu} \left(\frac{dC}{dT} \right) \left(\frac{dT}{dr} \right) \quad (3-2)$$

式中： $f' = f\rho_w B$ ，蜡沉积倾向系数；

μ ——油样粘度，mPa·s

dC/dT ——管壁处蜡晶溶解度系数，%；

dr ——管壁处径向温度梯度，°C/mm。

经理论分析和实验研究，管壁剪切应力、管壁温度梯度与蜡沉积倾向系数之间存在如下关系：

$$f' = k\tau_w^m \left(\frac{dT}{dr} \right)^n \quad (3-3)$$

故，蜡沉积速率可表示为：

$$W_t = k\tau_w^m \frac{1}{\mu} \left(\frac{dC}{dT} \right) \left(\frac{dT}{dr} \right)^{1+n} \quad (3-4)$$

式中： k 、 m 、 n ——对于特定油样为常数。

k 、 m 、 n 由油样的析蜡特性、粘温关系、密度和比热容等物性参数决定。分别假定不同的油温、壁温和流量，计算蜡沉积模型的蜡沉积倾向系数、管壁处剪切应力、管壁处温度梯度三个参数，就可以回归出蜡沉积模型中的经验参数 k 、 m 、 n ，它们的大小可由蜡沉积预测软件确定。

利用某普适性蜡沉积模型，根据东黄复线输送原油的粘度、析蜡特性、密度等基本物性参数，回归出东黄复线输送不同原油的蜡沉积模型，回归结果如下：

科威特油蜡沉积速率模型：

$$W = 532.7776\tau_w^{-0.38727} \frac{1}{\mu} \left(\frac{dC}{dT} \right) \left(\frac{dT}{dr} \right)^{0.66157} \quad (3-5)$$

罕戈油蜡沉积速率模型：

$$W = 2140.6707\tau_w^{-0.37062} \frac{1}{\mu} \left(\frac{dC}{dT} \right) \left(\frac{dT}{dr} \right)^{0.55183} \quad (3-6)$$

沙中油蜡沉积速率模型:

$$W = 460.4244\tau_w^{-0.3020} \frac{1}{\mu} \left(\frac{dC}{dT} \right) \left(\frac{dT}{dr} \right)^{0.4916} \quad (3-7)$$

伊重油蜡沉积速率模型:

$$W = 358.0865\tau_w^{-0.42339} \frac{1}{\mu} \left(\frac{dC}{dT} \right) \left(\frac{dT}{dr} \right)^{0.71763} \quad (3-8)$$

3.1 蜡沉积速率预测需要的参数

管道蜡沉积的形成是多种因素综合作用的结果, 主要包括输送油品物性、管道材质、管径、输油温度等等[3]。要预测管道的蜡沉积分布, 需要事先确定管道油温、管壁处径向温度梯度、管壁处剪切率、原油粘度、管壁处蜡晶溶解度系数等参数。这就需要通过油品物性参数(导热系数、比热容、密度、析蜡特性、凝点、反常点、粘度等)和管道特性参数(管道内外径、质量流量、传热系数、站间距、各站进出站温度和地温等)来计算得到。

3.1.1 油温

根据管道的地温、输量、总传热系数、管径等参数, 利用苏霍夫温降公式可计算了管道沿线油温分布。

3.1.2 温度梯度

为确定管线运行条件下不同管段的径向温度梯度, 可根据热平衡关系, 利用式(2-14)计算不同管段的径向温度梯度。

$$\frac{dT}{dr} = \frac{GC_P \left(\frac{dT}{dL} \right)}{\lambda \pi D} \quad (3-9)$$

3.1.3 剪切率

牛顿流体紊流状态下的管壁剪切率为

$$\dot{\gamma}_w = 4.94 \times 10^{-3} \text{Re}^{0.75} \frac{8V}{D} \quad (3-10)$$

3.1.4 原油粘度

根据温降计算的结果, 可以确定不同管段的平均油温, 这样根据原油粘温关系插值可以得到不同温度下的原油粘度。

3.1.5 管壁处蜡晶溶解度系数

根据管道沿线温降计算, 可以确定管道不同管段的平均油温, 由试验测得的蜡晶溶解度系数与温度关系曲线

($dC/dT \sim T$) 进行插值计算。

3.1.6 原油密度

$$\rho = \rho_{20} - \alpha (T - 20) \quad (3-11)$$

$$\alpha = 1.825 - 0.001315 \rho_{20} \quad (3-12)$$

式中: ρ ——原油密度, kg/m³;

ρ_{20} ——20℃时的原油密度, kg/m³。

3.1.7 结蜡后的总传热系数

$$K_w = \frac{1}{1/K + \delta/\lambda_w} \quad (3-13)$$

式中: K_w ——有结蜡层生成后的热油管路总传热系数, W/(m²·K);

K ——结蜡前的保温热油管路总传热系数, W/(m²·K);

λ_w ——结蜡层的导热系数, W/(m²·K);

δ ——结蜡层厚度, m。

3.2 东黄复线蜡沉积分布预测结果及分析

通过对东黄复线各年份各月份管段蜡层厚度预测结果进行累加验证, 分别预测得实际管段的蜡层厚度分布情况如图3、4和5所示。

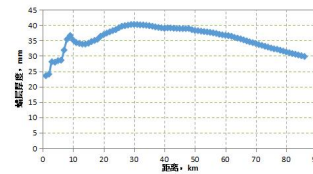


图9 黄岛-昌邑管段

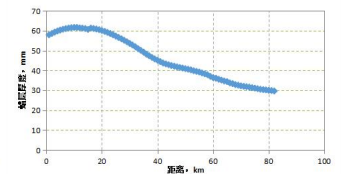


图10 昌邑-寿光管段

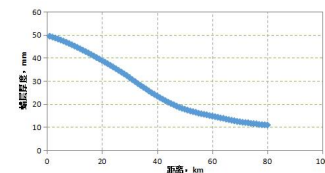


图11 寿光-东营管段

通过数据可知, 管道沿线均有蜡沉积, 靠近出站管段的沉积物较多。蜡沉积层厚度受地温、进站温度、输量及总传热系数的综合影响。

4 根据压力测算结蜡厚度

取各站实际输油过程中的进出站压力、地温、输量及所输油品物性等参数的月度平均值, 根据列宾宗公式

$$h = \beta \frac{Q^{2-m} \cdot v^m}{d^{5-m}} \cdot L \quad (4-1)$$

与管道压降公式

$$\Delta H = hL + h_m + (ZZ - ZQ) \quad (4-2) \quad [4]$$

求得各站间当量管径 D_n ,

再由壁厚公式:

$$\delta = (D_n - d) / 2 \quad (4-3)$$

可得实际计算的各站间管道结蜡厚度, 如表2。

表2 根据压力计算管道结蜡厚度

	日输量	密度	进站压力	出站压力	站间距	高程差	当量管径	管道内径	结蜡厚度
单位	t/d	kg/m ³	MPa	MPa	km	m	m	m	cm
黄岛-昌邑	16719	855.64	1.75	2.89	85.733	24.1	0.6259	0.695	3.46
昌邑-寿光	16719	858.31	0.95	1.9	82.927	-6.5	0.6129	0.695	4.11
寿光-东营	16719	865	0.2	0.85	79.4	-16	0.6405	0.695	2.73

本文采用了在Fick扩散定律的基础上，建立不同油品蜡沉积速率模型的方法，预测了1986年7月至2015年12月东黄复线原油管道各站间的沿线蜡层厚度分布情况，由预测结果可知，管道沿线各站间均有蜡沉积物。黄岛-昌邑管段平均结蜡厚度为3.556cm，昌邑-寿光管段平均结蜡厚度为4.621cm，寿光-东营管段平均结蜡厚度为2.647cm。黄岛-昌邑管段沿线结蜡层厚度分布较均匀，昌邑-寿光和寿光-东营管段沿线结蜡层厚度呈下降趋势。经实际压力检测预测结果具有较高的准确性。

[参考文献]

[1] 蔡均猛，张国忠等. 用差压新方法确定模型环道蜡沉积厚度[J]. 石油大学学报，2003, 27（6）：68-75

[2] 林俊玲，李少平，孙丽娜. 外管道清蜡周期的确定[J]. 油气田地面工程，2012, 31（1）：42-44

作者简介：

尤廷强、男、本科、工程师、国家管网集团山东运维中心潍坊作业区东营管理站，邮编257067。1974年出生，1994年廊坊管道局中专技校毕业，2012年进修石油大学油气储运本科学。现任国家管网集团山东运维中心潍坊作业区东营管理站站长，负责站内安全生产、外管道管理等工作。