

原油管道降凝剂改性输送安全性和经济性分析

石世强 张为 (国家管网集团西北公司呼和浩特油气分公司, 内蒙古 呼和浩特 010090)

摘要: 降凝剂是一种经缩合或聚合得到的高分子有机化合物, 其分子一般包括极性基团(或芳香核)和石蜡烃烷基链结构相似的化学组成。通常少量添加能显著降低油表观粘度和屈服值冰点, 可以使含蜡油的凝点降低, 提高含蜡油在低温下的流动性能。本文主要研究使用国产降凝剂后对油品输送的影响等主要内容, 并分析其安全性和经济性, 为长输管道的加剂工作提供更多的数据支持。

关键词: 降凝剂; 加剂系统; 原油凝点

中图分类号: TE832

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 014-0163-03

Safety and Economic Analysis of Modified Crude Oil Pipeline Transportation Using Pour Point Depressants

Shi Shiqiang, Zhang Wei

(Hohhot Oil and Gas Transportation Branch, Northwest Company, PipeChina, Hohhot Inner Mongolia 010090, China)

Abstract: Pour point depressants (PPDs) are high-molecular-weight organic compounds obtained through condensation or polymerization. Their molecular structure typically includes polar groups (or aromatic nuclei) and alkyl chains similar to paraffin hydrocarbons. Adding a small amount of PPDs can significantly reduce the apparent viscosity and yield value of crude oil, lower the pour point of waxy crude oil, and improve its flow performance at low temperatures. This paper focuses on the impact of using domestically produced PPDs on oil transportation, analyzing its safety and economic aspects, aiming to provide more data support for the application of PPDs in long-distance pipelines.

Keywords: Pour point depressants; Additive system; Crude oil pour point

1 管道概况

某原油管道全线共设首站、2#热泵站、3#热泵站、4#热站、5#热泵站和末站等6座站场, 沿线设阀室18座。沿线地形地貌主要有沙漠、黄土丘陵、黄河滩地、平原等。管道所输送介质为某油田原油, 来自油田生产运行储备库, 油源为几个区块的混合原油, 空白原油凝点为19℃, 倾点为22℃。

2 加剂原因及面临问题

基于沿线地形地貌和管输原油物性, 某原油管道管道采用保温、加热密闭输送方式, 同时辅以原油加剂综合热处理降凝工艺。管道设计时, 推荐使用GY-2型降凝剂。2013年冬季开始添加纳米复配降凝剂。经过多年的使用, 通过分析首末站凝点数据发现, 在用的纳米复配降凝剂对首站综合热处理温度要求苛刻, 原油首次热处理到70℃, 出站温度控制在55摄氏度时降凝效果比较理想, 凝点可以从19℃下降至7℃, 但是经中间站加热炉再次加热不足50℃时, 加剂原油凝点反弹严重, 末站测定的原油凝点在16~22℃范围内不等。此外, 纳米复配降凝剂对原油粘度影响很大, 清管杂质中胶质物含量增大, 过滤器滤网上覆盖一层未知絮状物。在加热炉运行期间, 多次出现加热炉火嘴堵塞不能启炉的情况, 经拆卸检修发现,

加热炉火嘴频结焦严重。

3 寻剂探索之路

为有效降低管道运行风险, 确保管道冬季安全顺序输送, 管理公司通过开展国内降凝剂市场调研, 了解到国内某公司(简称“降凝剂厂家”)研发的DPD系列原油降凝剂, 适用于石蜡基原油降凝、降粘, 改性效果良好。实验室结果表明, DPD8861原油降凝剂对原油有较好的降凝效果。在加剂量为500mg/L、处理温度55℃时, 改性原油凝点2℃, 降凝幅度达到20℃。实验数据见表1。为进一步了解掌握管输原油的输送特性, 验证降凝剂改性管道输送效果, 该分公司组织开展降凝剂改性输送现场工业试验。

第一阶段:

①实验开始时首站加剂浓度450mg/L、出站温度55℃的加剂原油凝点基本稳定在0℃左右, 而原油空白凝点基本在18~20℃, 降凝幅度达到18℃。

②加剂原油到达2#热泵站后, 进站油温35~36℃, 进出站凝点稳定在0~2℃。表明降凝剂改性原油在缓慢降温的情况下依然有良好的改性效果, 并且现场检测数据与室内实验数据基本保持一致。

③加剂原油在2#热泵站不再进行加热, 直接输送至3#热泵站, 进站油温27℃左右时, 进站凝点稳

表1 原油 DPD8861 降凝试验结果

| 加剂量, mg/L | 处理温度, °C | 改性原油 凝点 | 空白凝 点, °C | 降凝幅度, °C |
|-----------|----------|------------|--------------|----------|
| 800 | 55 | -4 | 22 | 26 |
| 500 | | 2 | | 20 |
| 400 | | 6 | | 16 |
| 300 | | 10 | | 12 |
| 200 | | 12 | | 10 |
| 100 | | 14 | | 8 |
| 800 | 50 | 0 | 22 | 22 |
| 500 | | 6 | | 16 |
| 400 | | 8 | | 14 |
| 300 | | 14 | | 8 |
| 200 | | 16 | | 6 |
| 100 | | 18 | | 4 |

定在 2℃左右。表明降凝剂改性原油在缓慢降温并且 2# 热泵热力越站的情况下依然有良好的改性效果，并且现场检测数据与室内实验数据基本保持一致。降凝剂改性原油经过 3# 热泵站加热炉重复加热后，出站油温升至 39℃的情况下，降凝剂改性原油凝点出现了反弹，出站凝点为 12℃左右；经过实验室室内重复升温至 50℃热处理后，改性原油凝点为 0℃，与室内实验数据保持一致。

④经 3# 热泵站加热至 39℃后，到 4# 热站进站油温 27℃左右时，进站凝点由 3# 热泵站出站凝点 12℃降至 8℃。表明降凝剂改性原油在重复升温至 39℃出站后，经过缓慢降温过程，在 4# 热站进站时降凝改性效果有所恢复。降凝剂改性原油经过 4# 热站加热炉重复加热，加热炉油温设定为 50℃，加热炉后取样检测凝点恢复至 4℃。表明改性原油在工业试验工况下重复加热至 50℃热处理，现场检测凝点与实验室数据保持一致。4# 热站改性原油经过实验室室内重复升温至 55℃热处理后，改性原油凝点为 0℃，与室内实验数据保持一致。

⑤通过 3# 热泵站及 4# 热站两次低于 50℃重复加热，5# 热泵站进站凝点反弹到 16℃。表明降凝剂加剂改性原油经过低于热处理温度重复加热，会造成降凝剂降凝效果减弱甚至失效。经过实验室室内重复升温至 55℃热处理后，改性原油凝点为 0℃，与室内实验数据保持一致。

⑥降凝剂改性原油由 5# 热泵站出站油温 40.4 ~ 40.9℃降至末站进站油温 27℃左右，改性原油凝点在这两站基本处于稳定状态，为 16℃左右。末站改性原油经过实验室室内重复升温至 55℃热处理后，改性原油凝点为 2℃，与室内实验数据保持一致。

第二阶段：

在本阶段工业试验过程中，加剂量为 110 ~ 400mg/L。重点对第一阶段的实验数据进行验证，并对不同加剂浓度下的凝点进行测量，寻找出最适合该

管道的加剂浓度。

①在加剂量 400mg/L 出站油温保持在 55℃的工况下，改性原油的凝点基本稳定在 2℃左右，降凝幅度达到 16℃，降凝剂具有良好的改性效果；在加剂量 200mg/L，出站油温保持在 55℃的工况下，改性原油的凝点基本稳定在 4℃；在加剂量 110mg/L，出站油温保持在 55℃的工况下，改性原油的凝点基本稳定在 6℃。在 110 ~ 200mg/L 的加剂量下，降凝剂在首站出站依然显现出明显的降凝效果。

②加剂量 110mg/L 改性原油由首站出站油温 55℃降至 2# 热泵站进站油温 32.5℃时，进站凝点反弹为 14℃。表明在 110mg/L 加剂量的工况下，稳定性受长输管线的影响，改性原油凝点出现明显的反弹。经过启动两台加热炉经过重复加热至 55℃后，改性原油出站凝点恢复到 4℃，表明在 110mg/L 加剂量的条件下有良好的重复加热处理效果。在 2# 热泵站启动一台加热炉，重复升温到 45℃左右，改性原油凝点为 10℃，表明降凝剂在该工况下依然具有一定的降凝效果。在 2# 热泵站在完全停炉不加热的条件下，无论输油泵是否启动，出站凝点都保持在 14℃。

③首站 400mg/L 工况下的改性原油在 2# 热泵站取样完成后样品静置 72 ~ 96h 后完成检测，进站原油凝点为 6℃，改性原油凝点经过长时间放置后没有反弹，表明加剂改性原油有较好的长期静置稳定性；经过单台加热炉重复处理至 41℃，出站凝点为 10℃，表明加剂改性原油在较低重复加热处理温度下仍然具有一定的降凝效果。经过两台加热炉重复处理至 55℃，凝点为 4℃左右，表明有良好的重复加热处理效果。在停炉不加热处理、单独启动输油泵工况下，出站原油凝点为 10℃，表明加剂改性原油在低于反常点输送条件受剪切影响，凝点有小幅反弹。

④降凝剂 400mg/L 加剂改性原油在 2# 热泵站经过 41℃重复加热后出站凝点为 10℃，到达 3# 热泵站进站凝点为 12℃，改性原油凝点没有明显反弹，表明在 41℃热处理温度下仍然具有较好的降凝稳定性；在 3# 热泵站重复加热处理达到 53.2 ~ 54.5℃后，出站凝点恢复至 2℃，表明经过多次重复加热后仍保持有很好的降凝效果；降凝剂 110 ~ 200mg/L 加剂改性原油由 2# 热泵站出站油温 55℃降至 3# 热泵站进站油温 31.0 ~ 32.2℃时，进站凝点反弹为 12 ~ 14℃。经过启动加热炉出站温度升为 55℃时，出站凝点为 4℃，这种工况及检测结果与上述其他的现场试验情况基本保持一致。表明降凝剂改性原油在 110 ~ 200mg/L 加剂量的条件下经过多次重复加热后同样保持有很好的降凝效果。

4 加剂经济性分析

实验室和现场工业试验表明,原油采取加剂综合热处理后油品凝点显著下降,具有实现降低全线平均输送温度的可能性,中间站场部分可实现热力越站,加剂输送具备一定的经济性。

通过分析管道沿线地温变化,我们发现每年12月至次年4月,管道沿线地温将低于12℃,会进一步加速管输油品温度下降。首站55℃出站的原油,热力越过2#热泵站、3#热泵站到4#热站时,进站温度将降至18℃,若继续热力越站输送,到5#热泵站的进站油温将降至8℃。

因此要确保管道运行安全,4#热站必须启动1台加热炉。较加热输送工艺相比,加剂综合热处理运行模式少启动2台加热炉,经济性分析详见表2。

表2 原油管道加剂运行与加热输送经济性对比

| 序号 | 站场名称 | 加热输送 | | 加剂综合热处理 | | |
|----|-------|-------|--------|---------|--------|-----|
| | | 加热炉台数 | 费用/元·天 | 加热炉台数 | 费用/元·天 | |
| 1 | 首站 | 1 | 36720 | 2 | 73440 | |
| 2 | 2#热泵站 | 1 | 24230 | 0 | 0 | |
| 3 | 3#热泵站 | 1 | 18630 | 0 | 0 | |
| 4 | 4#热站 | 1 | 16560 | 1 | 16560 | |
| 5 | | | | | 82620 | 降凝剂 |
| 6 | 合计 | | 96140 | | 172620 | |

因此,受限于加剂原油重新加热需在50℃以上的要求,导致失去经济性优势。

5 加剂安全性分析

由于管道安全停输时间与输送原油凝点、输送温度、地温、管道输量均有关系,其中油品的凝点、管道沿线地温影响最大。由于夏季地温较高,安全停输时间显著长于冬季,采用加热输送可有效确保管道安全运行,输量越大安全停输时间越长,依据工艺计算的结果,加热输送下最小的停输时间为27h,主要受限点为黄河定向钻穿越段,由于不保温,传热系数较大,特别是黄河穿越正好靠近5#热泵站进站段,在输量较大时温降曲线较平缓,所以安全停输时间受此段限制。

若采用加剂综合热处理工艺,管道加剂输送安全停输时间与输送温度、管道沿线地温、管道输量、降凝剂改性效果、加剂量、油品加剂后的凝点均有关系,其中管道沿线地温和加剂后改性凝点对安全停输时间影响最大。

根据DPD8861原油降凝剂加剂浓度500mg/L、出站温度55℃的试验结果可知,原油凝点从19℃降低至0~2℃,凝点数值基本上在全年地温之下。

因此加剂综合热处理输送工艺状态下,安全停输时间将大幅度延长,满足管道检修需要,安全性高。

6 结论

基于第一阶段和第二阶段降凝剂改性输送现场工业试验结果,对原油的降凝剂改性输送可归纳出以下初步结论:

①原油降凝剂DPD8861在不同加剂量,热处理温度在55℃左右的工况下对管输原油都具有明显的降凝效果,且加剂改性原油经过多次重复加热仍保持就较好的降凝稳定性;

②110mg/L较低加剂量的原油降凝剂DPD8861改性原油在经过55℃处理温度的工况下出站原油凝点降凝效果较为明显,但经过长输原油管道输送至下一油站后,进站凝点有较为明显的反弹。经过分析造成这种情况的主要因素可能为:根据降凝剂作用机理,添加降凝剂改性后,由于降凝剂分子的熔点相对高于油品中蜡的结晶温度,或降凝剂分子量比蜡分子的分子量大,故当油温降低时,降凝剂分子比蜡先析出而成为蜡晶发育中心,含蜡原油中的蜡晶颗粒趋于聚集形成一定形态的聚集体,蜡晶颗粒体积变大,导致液态原油占据的区域增大,宏观上表现为流变性的改善。而降凝剂浓度较低,改性蜡晶比例较低,虽能形成较大球形蜡晶,改善了原油流动性,但远离降凝剂晶核的蜡晶结构松散,稳定性较差,较易出现降凝后凝点反弹的情况;

③通过对110mg/L较低加剂量的原油降凝剂DPD8861改性原油在首站、2#热泵站、3#热泵站的现场试验监测,110mg/L加剂量改性原油在经过反复多次重复加热、较低处理温度重复加热、高温处理输油泵启停、较低油温输油泵启停等各种复杂工况下,都保持有一定的降凝效果,为原油管线多种工况下的加降凝剂输送运行,提供了较为全面的数据支撑。

参考文献:

- [1] 李其抚,苗青,胡森,柳建军,支树洁,马超,张玉萍,王建宏,王新立,闫磊.控应变流变仪测试含蜡原油的胶凝过程[J].油气储运,2010(12):34.
- [2] 杨飞,李传宪,林名桢,郝春成.含蜡原油降凝剂与石蜡作用机理的研究进展与探讨[J].高分子通报,2009(08):45-46.
- [3] 张拂晓,方龙,聂兆广,张晓东.高凝原油降凝剂的制备及其降凝机理[J].石油学报(石油加工),2009(06):23.

作者简介:

石世强(1990-),男,汉族,甘肃庄浪人,大学本科,中级工程师,研究方向:油气储运。