

# A Pilot Study on Thermal Upgrading of Heavy Oil in Tahe Oilfield

Zhongfu Cheng, Lei Liu, Chang Cao, Bo Ren, Zuguo Yang

Research Institute of Engineering, Northwest Oilfield Company, Sinopec, Urumqi Xinjiang  
Email: chengzf136@163.com

Received: Oct. 12<sup>th</sup>, 2019; accepted: Nov. 15<sup>th</sup>, 2019; published: Dec. 15<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

According to the optimized condition of the batch reactor test, the pilot test scheme of thermal upgrading of heavy oil in Tahe Oilfield was chosen. Thermal upgrading process of Tahe heavy oil was investigated in a pilot plant, and it was compared with the batch reactor test. The results show that the viscosity reduction rate of the produced oil from the pilot test is in agreement with that of the batch test, which is all above 97%, and the coke yield of the pilot test is slightly higher. The coke yield can be reduced to a tolerable minimum (less than 0.1%) by water injection. However, the effect of viscosity reduction rate is poor. Through comprehensive analysis and evaluation of oil stability and its viscosity, the process condition 400°C, 80 min (without water injection) is relatively optimal among the pilot tests.

## Keywords

Thermal Upgrading, Tahe Heavy Oil, Atmospheric Residue, Stability

---

# 塔河稠油地面热改质降黏中试研究

程仲富, 刘 磊, 曹 畅, 任 波, 杨祖国

中国石化西北油田分公司工程技术研究院, 新疆 乌鲁木齐

作者简介: 程仲富(1980-), 男, 硕士, 副研究员, 现主要从事稠油降黏开采工作。

Email: chengzf136@163.com

收稿日期: 2019年10月12日; 录用日期: 2019年11月15日; 发布日期: 2019年12月15日

## 摘 要

根据反应釜小试实验优化条件, 确定了塔河稠油地面热改质降黏中试方案, 在中试装置上对塔河稠油的热改质过程进行了考察, 并与热改质小试实验进行了比较。结果表明, 中试与小试减黏裂化生成油降黏率基本一致, 均在97%以上, 中试生焦率略高; 注水虽可减少生焦(降至0.1%以内), 但降黏改质效果差; 综合稳定性及黏度分析, 塔河稠油热改质4组中试条件中, 400℃、80 min (不注水)工艺条件改质效果相对最优。

## 关键词

热改质, 塔河稠油, 常压渣油, 稳定性

Copyright © 2019 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来, 常规石油资源日益减少, 稠油资源的开发与利用逐渐受到关注。我国塔河油田稠油资源丰富, 稠油因其黏度高、密度大、沥青质含量高等特点, 给开采和集输过程带来极大挑战[1] [2]。因此, 稠油有效改质降黏对解决其开采、集输过程中的流动性问题具有重要的现实意义。

目前, 塔河油田主要采用掺稀降黏法进行开采集输。中国石化西北油田分公司原油产量中稠油约占50%。受制于稀油缺口及稀油与稠油价差, 稠油地面改质回掺技术应运而生[3]。国内外稠油地面热改质的主要方法有延迟焦化[4] [5]、热裂化等。由于延迟焦化热转化深度深, 投资成本相对较高, 而热裂化具有能明显降低产物黏度且投资成本相对较低的优势[6] [7]。笔者在前期实验室小试的基础上, 探讨了塔河稠油地面热改质降黏中试研究, 以期为塔河稠油的开采、集输问题提供指导。

## 2. 实验部分

### 2.1. 实验原料

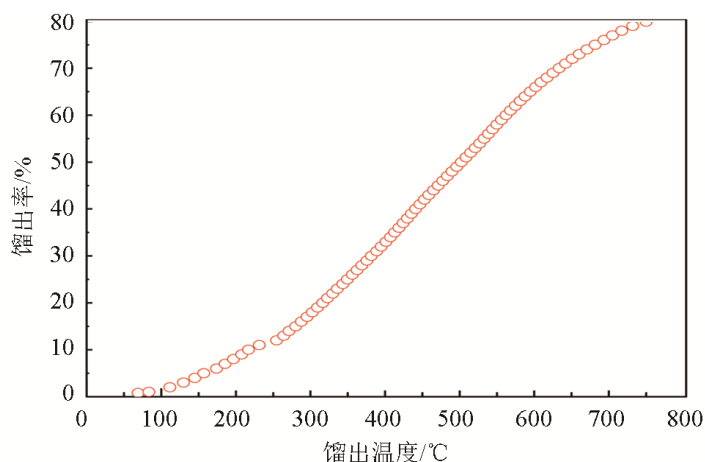
选取塔河稠油外输油作为实验原料, 经过实沸点蒸馏后获得常压渣油, 塔河稠油及其常压渣油基本性质见表 1。

**Table 1.** The basic properties of Tahe heavy oil and atmospheric residue**表 1.** 塔河稠油及常压渣油基本性质

油样	黏度/(mPa·s)			密度(20℃)/(g·cm <sup>-3</sup> )	水含量/%	胶质质量分数/%	沥青质质量分数/%
	50℃	80℃	100℃				
稠油	1385	-	-	0.9560	0.1	17.7	14.5
常压渣油	19 × 10 <sup>4</sup>	2916	1479	1.010	-	20.7	18.7

由表 1 可知,塔河稠油 50℃黏度为 1385 mPa·s, 20℃密度为 0.9560 g/cm<sup>3</sup>, 沥青质质量分数高达 14.5%。而塔河稠油常压渣油 100℃黏度为 1479 mPa·s, 20℃密度为 1.010 g/cm<sup>3</sup>, 沥青质质量分数高达 18.7%。

为了获取塔河稠油馏程分布, 采用安捷伦模拟蒸馏分析仪对其馏程进行测试, 结果见图 1, 可以看出, 塔河稠油中馏出率 75%的为大于 350℃馏分, 汽油馏分、柴油馏分收率分别约为 6.5%和 18.5%。

**Figure 1.** The distribution of distillation range of Tahe heavy oil by simulated distillation**图 1.** 塔河稠油模拟蒸馏馏程分布

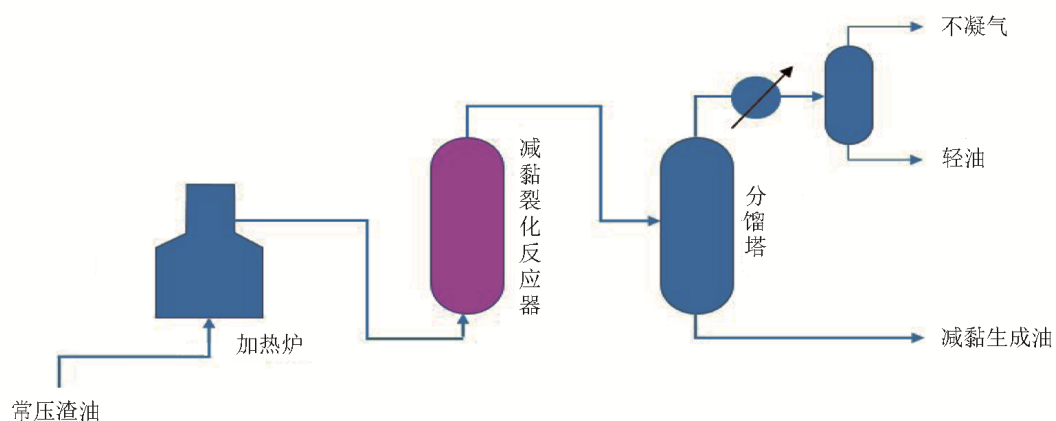
将塔河稠油中试原料与小试实验原料馏程进行比较, 结果见表 2, 塔河中试原油常压渣油收率为 75%, 比小试原油更重。

**Table 2.** The distribution of distillation range of Tahe heavy oil**表 2.** 塔河稠油馏程分布

油样	汽油馏分收率/%	柴油馏分收率/%	>350℃常渣馏分收率/%
小试原油	8.2	20.0	70.3
中试原油	6.5	18.5	75.0

## 2.2. 热改质中试实验

塔河稠油热改质中试实验流程见图 2。塔河稠油热改质中试实验流程: ①原料油加热到 120℃左右, 由原料泵抽出, 经计量(试验前先确定减黏的停留时间)与一定比例的高温水蒸汽混合后进入重油加热炉加热, 控制加热炉的出口温度。②高温物料经转油线进入减黏反应器进行减黏裂化反应。③减黏裂化产物不经分馏塔分馏, 液相产物直接从塔底流出收集于塔底产物罐中。



**Figure 2.** The process of pilot test of thermal updating of Tahe heavy oil  
**图 2.** 塔河稠油热改质中试实验流程图

### 2.3. 产物分析

热改质产物的安定性通过斑点实验法进行评价，参考标准为 ASTM D4740；甲苯不溶物含量通过甲苯不溶物测定仪进行分析，参考标准为 GB/T 2292—2018。

## 3. 结果与讨论

### 3.1. 中试装置操作条件

前期热改质降黏反应釜小试数据见表 3。

**Table 3.** The pilot test results of atmospheric pressure residue reactor for Tahe heavy oil  
**表 3.** 塔河稠油常压渣油反应釜小试结果

反应温度/°C	反应时间/min	生焦率/%	黏度(50°C)/(mPa·s)
400	60	0.03	11801
400	40	0.27	3553
400	80	0.12	2522
400	80	0.18	3397
400	90	0.70	1360
405	60	0.16	4129
410	40	0.12	3642
410	60	1.12	1227
420	30	2.06	427

在 400°C、80 min 的缓和反应条件下，所得减黏生成油 50°C 黏度可降至 2522 mPa·s，生焦率为 0.12%，减黏油黏度和生焦率均要比要求的高(50°C 黏度不超过 2000 mPa·s，生焦率不超过 0.1%)。

在体系生焦率不超过 0.1% 的前提下，外输油的黏度(50°C)要求不超过 2000 mPa·s。延长反应时间与提高反应温度具有一定的互补性，都能提高反应深度，但反应温度对生焦影响更显著。综合生焦率和黏度的要求，确定中试试验条件见表 4。

**Table 4.** The condition for operating the pilot test plant**表 4.** 中试装置操作条件

项目编号	炉出口温度/°C	注水量/%	进料流率/(L·h <sup>-1</sup> )	反应压力/MPa
A	400	0	2.39	0.1
B	405	0	3.18	0.1
C	400	1.2	2.39	0.1
D	405	1.2	3.18	0.1

### 3.2. 中试改质降黏效果

#### 3.2.1. 条件 A、B 改质降黏效果

根据条件 A、B 开展中试试验, 所得减黏生成油的产物黏度和生焦率分别见表 5。

**Table 5.** The oil generation properties for conditions A and B of viscosity reduction**表 5.** 条件 A、B 减黏生成油性质

编号	试验类型	进料量/(L·h <sup>-1</sup> )	黏度(50°C)/(mPa·s)	生焦率/%
A	小试	-	2522	0.12
	中试	2.39	3452	0.21
B	小试	-	4129	0.16
	中试	3.18	4508	0.30

A 条件(400°C, 80 min)中试试验所得减黏生成油的 50°C 黏度为 3452 mPa·s, 比高压釜小试实验的黏度更高。这是由于中试原油常压渣油(收率 75%), 比小试原油(收率 70%)更重。减黏生成油的生焦率为 0.21%, 比高压釜小试实验的生焦率高。这主要是由于沥青质是影响生焦率的主要因素, 而中试常压渣油沥青质含量(18.7%)比小试渣油沥青质含量(17.9%)高。B 条件(405°C, 60 min)中试试验所得减黏生成油的 50°C 黏度为 4508 mPa·s, 比高压釜小试实验的黏度更高。减黏生成油的生焦率为 0.30%, 比高压釜小试实验的生焦率高。

改质油的稳定性是保证其安全集输的前提条件, 因此对减黏生成油的稳定性进行了评价, 结果见图 3。A 条件减黏生成油的斑点等级为二级, 稳定性较好。这主要是由于渣油胶体体系的稳定性取决于各组分在各相之间作用的动态平衡, 即沥青质含量必须适当, 可溶质芳香性不能太低, 且必须有相当量的胶质作为沥青质的胶溶组分。而该工艺条件下生成油各组分在各相之间作用的动态平衡尚未完全破坏, 故其稳定性较好。条件 B 减黏生成油的斑点等级为三级, 体系不稳定。

**Figure 3.** The spot grade of viscosity reduction and oil generation**图 3.** 减黏生成油斑点等级

### 3.2.2. 条件 C、D 改质降黏效果

沥青质聚沉生焦是限制裂化反应深度的关键因素。为了减少生焦,在条件 A、B 基础上分别采取注水方式(即分别为试验条件 C、D)。条件 C、D 注水中试减黏产物性质见表 6。注水之后,条件 C、D 减黏生成油的生焦率可降低到 0.1% 以内,但条件 C、D 减黏生成油的黏度(100℃)都很高,分别为 1275、1397 mPa·s,降黏率仅为 13.8% 和 5.5%,降幅不明显。

**Table 6.** The product property of viscosity reduction in pilot test under conditions A and B  
**表 6.** 条件 C、D 注水中试减黏产物性质

编号	注水量/%	进料量/(L·h <sup>-1</sup> )	生焦率/%	黏度(100℃)/(mPa·s)	降黏率/%
C	1.2	2.39	0.03	1275	13.8
D	1.2	3.18	0.05	1397	5.5

### 3.2.3. 对比分析

根据塔河常压渣油热改质不注水(条件 A、B)与注水(条件 C、D)中试试验进行对比塔河常压渣油热改质不注水与注水中试试验相比,注水可减少焦的生成,能将生焦率降低至 0.1% 以内。注水之后,减黏生成油的黏度较原料渣油而言,降幅不明显,减黏改质效果比不注水差。塔河常压渣油中试减黏生成油的生焦率较小试略高。中试减黏生成油的降黏率与小试基本一致,均在 97% 以上。

## 4. 结论

- 1) 中试(不注水)与小试评定减黏裂化生成油降黏率基本一致,均在 97% 以上,中试生焦率略高。
- 2) 400℃ × 80 min (不注水)中试进料流率为 2.39 L/h,所得减黏裂化生成油稳定性较好,与小试结果基本一致。
- 3) 注水虽可减少生焦(降至 0.1% 以内),但降黏改质效果差。
- 4) 塔河稠油热改质 4 组中试条件中,400℃ × 80 min (不注水)工艺条件改质效果相对最优。

## 参考文献

- [1] 李振宇, 乔明, 任文坡. 委内瑞拉超重原油和加拿大油砂沥青加工利用现状[J]. 石油学报(石油加工), 2012, 28(3): 517-524.
- [2] Martínez-Palou, R., Mosqueira, M.D.L., Zapata-Rendón, B., et al. (2011) Transportation of Heavy and Extra-Heavy Crude Oil by Pipeline: A Review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **75**, 274-282. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2010.11.020>
- [3] 杨思远. 塔河油田稠油地面改质工艺方案及经济评价研究[J]. 油气田地面工程, 2018, 37(8): 13-16.
- [4] 赵欣, 王宗贤, 柳文, 等. HRDC 烃循环技术在延迟焦化装置的工业应用[J]. 炼油技术与工程, 2017, 47(4): 19-23.
- [5] 焦守辉, 林祥钦, 郭爱军, 等. 劣质渣油性质对受热生焦趋势影响的研究[J]. 燃料化学学报, 2017, 45(2): 165-171.
- [6] Joshi, J.B., Pandit, A.B., Kataria, K.L., et al. (2008) Petroleum Residue Upgradation via Visbreaking: A Review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **47**, 8960-8988. <https://doi.org/10.1021/ie0710871>
- [7] 徐先盛, 竺宝英. 渣油减粘裂化[M]. 北京: 烃加工出版社, 1986.

[编辑] 帅群