

引用格式:程仲富,任波,姜莹芳,等.塔河油田超深井稠油地面热裂化降黏回掺可行性研究[J].油气藏评价与开发,2020,10(2):90-93.

CHENG Z F, REN B, JIANG Y F, et al. Feasibility of ground thermal cracking viscosity reduction and re-mixing technology of heavy oil in ultra-deep wells of Tahe Oilfield[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2020, 10(2): 90-93.

DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2020.02.015

## 塔河油田超深井稠油地面热裂化降黏回掺可行性研究

程仲富,任波,姜莹芳,刘磊,杨祖国

(中国石化西北油田分公司石油工程技术研究院,新疆乌鲁木齐830011)

**摘要:**针对塔河油田超深井稠油掺稀生产过程中存在的稀油不足、经济性差等问题,提出蒸馏轻组分回掺+热裂解改质开采方法。一方面,进行稠油蒸馏循环掺稀实验,确定轻组分油循环回掺的可行性;另一方面,将蒸馏后的重组分油进行热裂解改质,降黏至满足外输要求。结果表明:循环掺稀实验中,采用350℃蒸馏得到的轻组分收率稳定在27%左右,掺稀比稳定在0.39:1,说明轻组分循环掺稀可行;热裂解改质实验中,蒸馏得到的重组分在380℃条件下反应60min后,黏度从398 800 mPa·s降低至1 704 mPa·s,已能满足长距离输送要求,且密度从1.001 8 g/cm<sup>3</sup>降低至0.991 1 g/cm<sup>3</sup>,实现了稠油轻质化。该方法实现了稀油轻组分的循环利用,大幅减少了稀油用量,同时实现了稠油提质增效,为超深井稠油高效开发提供了新思路。

**关键词:**塔河油田;稠油;降黏;热裂解;稠油改质;循环掺稀

中图分类号:TE345

文献标识码:A

### Feasibility of ground thermal cracking viscosity reduction and re-mixing technology of heavy oil in ultra-deep wells of Tahe Oilfield

CHENG Zhongfu, REN Bo, JIANG Yingfang, LIU Lei, YANG Zuguo

(Sinopec Northwest Oilfield Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

**Abstract:** Due to the lack of dilute oil and the poor economical benefit in the dilution process of heavy oil in ultra-deep wells of Tahe Oilfield, the mixed oil is treated by dilute oil recycling combined with high-temperature thermal cracking process. For one thing, the experiment of dilute oil recycling after heavy oil distillation is carried out to determine the feasibility of cycling of light component oil. For another thing, the viscosity of the heavy components is reduced to meet the requirement of external transportation. The results show that when in the dilute oil recycling experiment, the light component yield obtained by distillation at 350℃ is stable at about 27%, and the dilution ratio is stable at 0.39:1, which indicates that dilute oil recycling is feasible. While in the modification experiment by thermal cracking, after the heavy components obtained by distillation reacting at 380℃ for 60 minutes, the oil viscosity can be reduced from 398 800 mPa·s to 1 704 mPa·s, which means it has met the requirement of long-distance transportation, and the density can be reduced from 1.001 8 g/cm<sup>3</sup> to 0.991 1 g/cm<sup>3</sup>. Therefore, the lightening of heavy oil is realized. This method not only greatly reduces the amount of dilute oil by the recycling utilization of light oil, but also improves the quality and utilization efficiency of heavy oil. It provides a new idea for the efficient development of heavy oil in ultra-deep wells.

**Key words:** Tahe Oilfield, heavy oil, reduced viscosity, thermal cracking, heavy oil modification, dilute oil recycling

塔河油田稠油具有超深、超稠的特点,平均埋深5 400~7 000 m,地面原油黏度为(1~180)×10<sup>4</sup> mPa·s。

由于埋藏深、黏度高,稠油在举升过程中,逐渐失去流动性,难以开采。目前,油田采用井筒掺稀降黏工

收稿日期:2019-9-26。

第一作者简介:程仲富(1980—),男,硕士,副研究员,主要从事稠油降黏开采及蜡和沥青析出防治工作。通讯地址:新疆乌鲁木齐市新市区长春北路466号,邮政编码:830011。E-mail:chengzf136@163.com

基金项目:“十三五”国家科技重大专项“塔里木盆地碳酸盐岩油气田提高采收率关键技术示范工程”(2016ZX05053)。

艺进行开采<sup>[1-2]</sup>。该工艺存在三方面的问题:一是随着稀油区块产量的自然递减,现有的稀油资源不足,无法满足稠油掺稀需要;二是稀油掺入稠油后当作稠油销售,稀油价值降低;三是稠油本身价值较低,如何实现稠油提质增效是油田盈利的关键。因此,急需一种能显著降低掺稀油用量,实现稠油轻质化,提质增效的开采工艺<sup>[3-9]</sup>。

减黏裂化工艺是在热裂化的基础上发展的一种轻度(缓和)液相热裂化过程。以劣质稠油为原料,经减黏裂化,可以大幅度降低黏度,实现管输与运输。Shell(壳牌)公司和Lummus(鲁玛斯)公司在20世纪80年代合作开发的加热炉—上行式反应器减黏裂化工艺,与炉管式减黏裂化工艺相比,反应温度更低(约450℃),停留时间更长(约40min),运转周期更久。其操作灵活性大,减黏效果好,投资节省15%,燃料消耗减少30%。目前,全球采用这种减黏裂化工艺在运转中的工业装置有100余套。法国石油研究院(IFP)在20世纪80年代开发的加热炉—上行式反应器减黏裂化工艺(TervahlT),流程和主要特点与Shell/Lummus公司的工艺大同小异。其减压渣油减黏裂化的效果是:原料油/减黏渣油黏度比为20~50(50℃条件下),减黏渣油的倾点<-5℃,脱硫率为5%~10%,残碳稍有增多。采用TervahlT工艺应用于工业的装置有数十套。国内外稠油轻质化处理工艺集中在渣油、沥青油砂等重油处理方面,方法主要有延迟焦化、热裂解、加氢裂解、催化裂解等<sup>[10-16]</sup>,结合工艺成熟度及塔河稠油镍、钒含量高的特点,优选热裂解改质方案<sup>[7]</sup>。基于塔河油田提质增效的迫切需要,提出将混合油(掺稀后油井产液)经蒸馏后轻组分回掺开采稠油,难流动重组分经热裂解改质后外输的方法。该方法解决了稀油短缺的困境,实现了稠油提质增效,显著提高了稠油开采经济效益。

## 1 实验方案

基于稠油改质回掺技术需要,关键在于油井产出混合油蒸馏出轻组分后进行回掺及蒸馏后重组分改质输送,因此,实验主要考察轻组分循环掺稀及重组分热裂解情况,若蒸馏出低轻组分原油能在少量补充甚至无需补充轻质油的情况下实现循环蒸馏掺稀使用,重组分裂解后黏度能降至2000 mPa·s以下,即可认为稠油改质回掺方案具有可行性。

### 1.1 轻组分循环掺稀实验

实验油样选取塔河油田黏度约为2000 mPa·s的混合油样,其主要参数如表1所示。

表1 实验用油样基本参数

Table 1 Basic parameters of experimental oil samples

项目	数据	项目	数据
黏度(50℃时)/(mPa·s)	1 688	$\omega(\text{Ni})/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	63.9
密度(20℃时)/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.954 8	$\omega(\text{V})/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	241.7
$\omega(\text{沥青质})/\%$	17.0	$\omega(\text{Fe})/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	30.7
$\omega(\text{胶质})/\%$	34.1	$\omega(\text{S})/\%$	2.5
$\omega(\text{芳香烃})/\%$	27.2	$\omega(\text{N})/\%$	0.42
$\omega(\text{饱和烃})/\%$	21.7	$\omega(\text{O})/\%$	0.86

蒸馏装置为沈阳施博达仪器仪表有限公司生产的SBD-VIII型实沸点蒸馏仪,切割温度为室温至400℃。黏度测量仪器为美国BROOKFIELD DV-III黏度计,转速为0.01~200 r/min。

轻组分循环掺稀实验:350℃条件下用实沸点蒸馏仪将混合油蒸出轻组分 $Q_1$ 及重组分 $Z_1$ ,取部分 $Q_1$ 对一定量 $Z_1$ 进行掺稀,获得黏度降低至蒸馏前水平,即(2000±200) mPa·s的混合油 $H_1$ ,记录掺稀比 $\mu_1$ ;对 $H_1$ 在350℃条件下蒸馏,得到轻组分 $Q_2$ ,取部分 $Q_2$ 对一定量 $Z_1$ 进行掺稀,使其黏度降低至蒸馏前水平,得到混合油 $H_2$ ,记录掺稀比 $\mu_2$ ;对 $H_2$ 在350℃条件下蒸馏,得到轻组分 $Q_3$ ,取部分 $Q_3$ 对一定量 $Z_1$ 进行掺稀,记录掺稀比 $\mu_3$ 。如此,考察蒸馏后轻组分循环掺稀效果。掺稀实验过程中,进行斑点实验,评价掺稀后体系稳定性。

### 1.2 重组分热裂解实验

轻组分循环掺稀实验中,重组分 $Z_1$ 为样品第一次蒸馏所得,其主要参数如表2所示。

表2 重组分 $Z_1$ 基本参数

Table 2 Basic parameters of  $Z_1$

项目	数据	项目	数据
黏度(50℃时)/(mPa·s)	398 800	$\omega(\text{Ni})/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	120.9
密度(20℃时)/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.001 8	$\omega(\text{V})/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	426.7
$\omega(\text{沥青质})/\%$	34.8	$\omega(\text{Fe})/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	79.7
$\omega(\text{胶质})/\%$	31.9	$\omega(\text{S})/\%$	3.81
$\omega(\text{芳香烃})/\%$	21.7	$\omega(\text{N})/\%$	1.21
$\omega(\text{饱和烃})/\%$	11.6	$\omega(\text{O})/\%$	1.74

自制热裂解实验反应釜(图1),反应釜容量为200 mL,加热温度为常温至500 ℃,控温精度为 $\pm 1$  ℃。热裂解降黏实验流程为:准确称取50 g稠油,置于反应釜内,通入氮气排出釜内空气,关闭氮气流通阀(1、2、3号)及泄压阀(4号)。实验温度为360~420 ℃,开启加热,待温度升至实验温度开始计时,反应30~90 min。反应完成后,测定样品在50 ℃时的黏度。

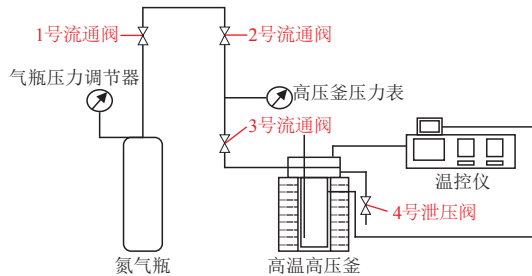


图1 稠油热裂解实验装置

Fig. 1 Heavy oil thermal cracking experimental device

生焦率测定:收集热裂解降黏实验全部油样,包括反应釜表面油垢,用索氏提取器以甲苯反复抽提至滤纸无色,将残余物置于烘箱内烘干,烘干温度110 ℃,得到生焦量,计算生焦率。实验所用索氏提取器为上海熙扬仪器有限公司生产的YSXT-04四联装提取器,单个容积为250 mL,控温范围为室温至100 ℃。

## 2 实验结果分析

### 2.1 轻组分循环掺稀实验结果

以混合油在50 ℃时的黏度1 688 mPa·s为基准,采用不同蒸馏阶段得到的轻组分与第一阶段蒸馏产出的重组分 $Z_1$ 进行掺稀,得到不同阶段轻组分收率及掺稀比,并开展斑点实验评价原油稳定性(表3)。

可以看出,油样在350 ℃条件下蒸馏轻组分收率约为28%,其组成主要为汽柴油,室内初步根据蒸馏过程中产物收率,计算其中汽油产率在8%左右,柴油产率在20%左右,汽柴油是一种高效降黏轻组分,相关研究经验表明其具有较好的掺稀降黏作用。

表3 循环蒸馏及掺稀实验

Table 3 Experiment of cyclic distillation and dilution

轻组分	实沸点蒸馏 轻组分收率/%	稀稠比	黏度(50 ℃)/ (mPa·s)	斑点 实验级别
1	28.2	0.39:1	1 760	1
2	26.9	0.39:1	1 740	1
3	27.5	0.39:1	1 780	1

多轮次蒸馏过程中,其收率略有降低。在保证黏度1 688 mPa·s左右的前提下,其掺稀比稳定在0.39:1,且稳定性评价斑点等级均达到1级。实验结果表明,利用蒸馏轻组分回掺,可以保持混合油黏度相近,且稀稠比相差不大。多轮次蒸馏造成的轻组分收率降低,可通过少量补充轻质油实现,而通过蒸馏后轻组分的循环掺稀,可大幅减少稀油用量。

### 2.2 热裂解改质实验结果

对重组分 $Z_1$ 在360~420 ℃条件下进行热裂解反应,反应时间为30~90 min,测定反应后原油黏度、密度、生焦量,并计算降黏率及生焦率(表4)。

表4 重组分 $Z_1$ 不同温度下热裂解反应实验

Table 4 Pyrolysis reaction of  $Z_1$  at different temperatures

反应 温度/℃	时间/ min	黏度(50 ℃时)/ (mPa·s)	密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	生焦率/ %	降黏率/ %
360	30	15 960	0.991 2	0.1	96.0
	60	12 335	0.993 6	0.2	96.9
	90	7 760	0.993 3	0.3	98.1
380	30	5 092	0.990 5	0.3	98.7
	60	1 704	0.991 1	1.2	99.6
	90	1 020	0.990 6	2.3	99.7
400	30	3 610	0.993 3	0.9	99.1
	60	2 258	0.990 7	2.1	99.4
	90	723	0.992 6	4.9	99.8
420	30	265	0.989 3	6.0	99.9
	60	107	0.989 1	9.9	99.9
	90	51	0.993 6	15.9	99.9

可以看出,50 ℃时黏度为398 800 mPa·s的重油在360~420 ℃时热裂解30~90 min后,黏度可降至51 mPa·s,降黏率大于96%,密度降至0.989 3 g/cm<sup>3</sup>。温度为380 ℃时,反应60 min后,重组分 $Z_1$ 黏度可降至1 704 mPa·s,已达到外输黏度要求,且密度降至0.991 1 g/cm<sup>3</sup>,经济效益得到提高。实验结果表明,稠油黏度显著降低,但密度变化不大,其主要原因为热裂解过程中生成的石油焦悬浮于油中,造成原油密度较高。当温度高于400 ℃时,生焦量呈现快速增加趋势,这是由于石油的受热生焦过程是自由基反应。温度升高后,反应过程中自由基之间碰撞几率增加,生焦量随之增大。此外,当反应温度较高时,体系中的缩合反应逐渐占据主导地位,加速生焦。

## 3 结论

1) 混合油在350 ℃条件下蒸馏后进行轻组分循

环掺稀,在保证掺稀后混合油黏度相近的前提下,稀稠比相对稳定,表明轻组分可以循环利用。多轮次蒸馏造成的轻组分收率降低,可通过少量补充轻质油实现。该方法可为油田大量节约稀油。

2) 在360~420℃时对塔河稠油热裂解改质,降黏率高达96%以上。380℃时,反应60 min,黏度可降低至1 700 mPa·s左右,满足长距离输送要求。

3) 原油经热裂解改质后,不仅黏度明显降低,同时密度也有所降低,可以提高稠油的经济效益。

4) 因塔河稠油胶质、沥青质含量较高,热裂解过程中产生大量石油焦,沉淀在反应釜及管道内壁,影响设备安全,需要进一步开展抑制生焦技术研究。

#### 参考文献

- [1] 兀涛.石油行业中的稠油降黏增效技术[J].石化技术,2018,25(12):34.  
WU T. Viscosity reduction and efficiency increase technology of heavy oil in petroleum industry[J]. Petrochemical Industry Technology, 2018, 25(12): 34.
- [2] 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.  
YANG S Y. Process scheme and economic evaluation study of heavy oil surface modification in Tahe oilfield[J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2018, 37(8): 13-16.
- [3] 李爱华,王桂兵.稠油开采新工艺及新技术探讨[J].石化技术,2019,26(9):112-113.  
LI A H, WANG G B. Discussion on new process and new technology of heavy oil exploitation[J]. Petrochemical Industry Technology, 2019, 26(9): 112-113.
- [4] 张大勇.论超稠油国内外的常用开采手段[J].石化技术,2019,26(3):307.  
ZHANG D Y. On the common exploitation methods of super heavy oil at home and abroad[J]. Petrochemical Industry Technology, 2019, 26(3): 307.
- [5] 邓淇文.稠油降黏开采技术研究进展[J].化工设计通讯,2018,44(9):124.  
DENG Q W. Research progress on viscous oil viscosity reduction mining technology[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2018, 44(9): 124.
- [6] 郝肖飞.稠油开采工艺技术措施[J].化工设计通讯,2019,45(8):33-34.  
HAO X F. Technical measures for heavy oil exploitation[J]. Communications in Chemical Engineering Design, 2019, 45(8): 33-34.
- [7] 宫臣兴,李继红,史毅.稠油开采技术及展望[J].辽宁化工,2018,47(4):327-329.  
GONG C X, LI J H, SHI Y. Heavy oil recovery technologies and their development trend[J]. Liaoning Chemical Industry, 2018, 47(4): 327-329.
- [8] 刘晓瑜,赵德喜,李元庆,等.稠油开采技术及研究进展[J].精细石油化工进展,2018,19(1):10-13.  
LIU X Y, ZHAO D X, LI Y Q, et al. Progress of research on viscous crude production techniques[J]. Advances in Fine Petrochemicals, 2018, 19(1): 10-13.
- [9] 王治红,肖惠兰,左毅.开采与集输过程中稠油降黏技术研究进展[J].天然气与石油,2012,30(6):1-4.  
WANG Z H, XIAO H L, ZUO Y. Research progress of viscosity reducing technology in heavy oil production and gathering and transportation[J]. Natural Gas and Oil, 2012, 30(6): 1-4.
- [10] 周明辉,孙文杰,李克文.纳米催化剂辅助超稠油氧化改质实验研究[J].中国科学:技术科学,2017,47(2):197-203.  
ZHOU M H, SUN W J, LI K W. Experimental research of nano catalyst assisted oxidization upgrading of super heavy oil[J]. Scientia Sinica(Technologica), 2017, 47(2): 197-203.
- [11] 刘灏亮,孙铎.蒸汽吞吐中甲酸为供氢体的稠油改质研究[J].化工管理,2017,32(5):148.  
LIU H L, SUN D. Study on upgrading heavy oil using formic acid as hydrogen donor in steam huff and puff[J]. Chemical Enterprise Management, 2017, 32(5): 148.
- [12] 沐俊,沐利彬.劣质重质稠油改质工艺技术进展[J].炼油与化工,2015,26(5):1-5.  
MU J, MU L B. Process technology progress of inferior heavy viscous oil upgrading[J]. Refining and Chemical Industry, 2015, 26(5): 1-5.
- [13] 吴川,张汝生,张祖国,等.超稠油改质降黏分子模拟及机理[J].石油学报,2015,36(3):355-360.  
WU C, ZHANG R S, ZHANG Z G, et al. Molecular simulation and mechanism for upgrading and viscosity reduction of extra-heavy oil[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(3): 355-360.
- [14] 吴川,陈艳玲,王元庆,等.超稠油改质降黏机理研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2010,32(2):145-148.  
WU C, CHEN Y L, WANG Y Q, et al. Study on the upgrading and viscosity-reducing mechanism of ultra-heavy oil[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Natural Science Edition), 2010, 32(2): 145-148.
- [15] 熊兆洪.超稠油裂解改质降黏实验[J].油气田地面工程,2012,31(1):20-22.  
XIONG Z H. Experiment of cracking, upgrading and viscosity reduction of super heavy oil[J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2012, 31(1): 20-22.
- [16] 黄娟,任波,李本高,等.塔河稠油地面催化改质降黏中试研究[J].石油炼制与化工,2014,45(9):20-23.  
HUANG J, REN B, LI B G, et al. Field test for viscosity reduction of Tahe heavy oil by hydrothermal catalytic modification[J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 2014, 45(9): 20-23.
- [17] 钟英竹,靳爱民.渣油加工技术现状及发展趋势[J].石油学报(石油加工),2015,31(2):436-443.  
ZHONG Y Z, JIN A M. Present situation and progresses of residue processing technology[J]. Acta Petrolei Sinica (Petroleum Processing Section), 2015, 31(2): 436-443.

(编辑 顾丽媛)