

# 塔河油田稠油复合井筒降黏技术研究与应用

丁保东, 李淑杰, 杨祖国, 何 龙, 邢 钰

(中国石化 西北油田分公司 工程技术研究院, 乌鲁木齐 830011)

**摘要:**塔河油田单项降黏工艺效果趋于极限,采用复合思路,开展了复合降黏技术研究。室内实验表明,水溶—油溶复合降黏剂能够乳化更大黏度(100×10<sup>4</sup> mPa·s 以上)的稠油;加热+油溶性降黏剂复合使用降黏效果进一步提高。矿场试验显示,化学复合降黏平均节约稀油率 69.8%,电加热+油溶工艺复合降黏平均节约稀油率 51.27%,单项降黏技术极限得到突破。

**关键词:**稠油;复合降黏;塔河油田

**中图分类号:**TE355

**文献标识码:**A

## Research and application of composite wellbore viscosity-reduction technology about heavy oil in Tahe Oilfield

Ding Baodong, Li Shujie, Yang Zuguo, He Long, Xing Yu

(Research Institute of Engineering Technology, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

**Abstract:** Since the effects of individual viscosity reduction were limited in the Tahe Oilfield, composite viscosity reduction technologies were discussed. Laboratory experiments showed that water-oil soluble viscosity-reducing agents could emulsify heavy oils with viscosity higher than 100×10<sup>4</sup> mPa·s. The compound of heated and oil-soluble viscosity-reducing agents had better effects. Field works indicated that the chemical compound viscosity reduction could save light oils by 69.8%, and the heated and oil-soluble viscosity reduction could save light oils by 51.27%.

**Key words:** heavy oil; compound viscosity reduction; Tahe Oilfield

塔河油田稠油分布在 6、7、8、10、12 及 YQ 西区块,黏度由东南向西北逐步上升,12 区黏度达 50×10<sup>4</sup> mPa·s(50℃)以上。原油地层具有流动性,但在举升过程中,由于温度逐渐降低,在 3 000 m 左右逐渐失去流动性,需要井筒降黏才能实现开采<sup>[1]</sup>。目前,主要依靠掺稀油降黏开采,随着掺稀油产量下降、稠油产量上升,稠油开采面临掺稀油紧张、影响生产的难题。前期相继研发了水溶、油溶、物理加热等井筒辅助降黏工艺,但单项降黏工艺水平趋于极限。针对这一问题,开展了复合降黏技术攻关研究。

### 1 复合降黏思路的提出

塔河油田现有稠油井筒降黏技术水平及适用条件见表 1。

目前,单项技术水平趋于极限,技术大突破可能性较低。转变思路,将单项技术组合优选出加热+油溶工艺复合技术和水溶—油溶复合型降黏技术(图 1)。

## 2 稠油性质和降黏剂研制

### 2.1 塔河油田稠油性质

塔河稠油沥青质含量高达 25%~62%,是常规稠油的 4~10 倍;金属、非金属含量高,Ni、V 等过渡金属平均 331 mg/kg,是常规稠油的 10~15 倍,O、N、S 等非金属元素平均 5.19%,是常规稠油的 2~4 倍(表 2,3)。含量异常超高的金属、非金属元素导致

表 1 塔河油田目前各种降黏技术的水平<sup>[2]</sup>

Table 1 Present viscosity reduction techniques applied in Tahe Oilfield

降黏工艺类型	技术水平	应用情况
水溶性降黏剂	能够实现黏度小于 6.0×10 <sup>5</sup> mPa·s(50℃)稠油的乳化降黏	要求采出液含水大于 30%
油溶性降黏剂	平均节约掺稀油量 40.5%	要求采出液含水小于 20%
电加热降黏	平均节约掺稀油量 16.7%	绝缘要求高,油井含水低
闭式热流循环加热	平均节约掺稀油量 50%	设备复杂,投入成本高

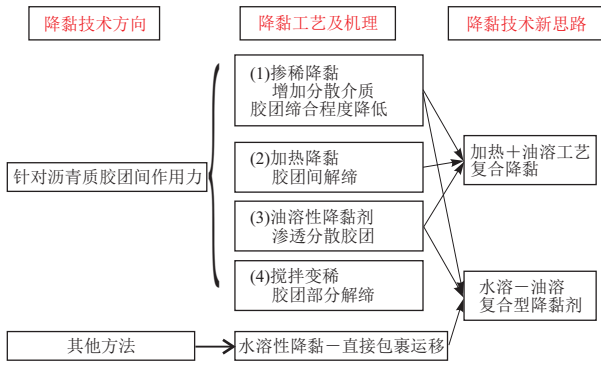


图 1 传统稠油降黏技术的机理及降黏新思路

Fig.1 Mechanism of conventional viscosity reduction and new idea for viscosity reduction

表 2 塔河稠油与国内稠油四组分组成对比

Table 2 Composition of heavy oils from Tahe Oilfield and other oilfields in China

区块	沥青质/%	饱和烃/%	芳烃/%	胶质/%	胶质/沥青质
塔河 10 区	26.5	22.4	33	15.5	0.58
塔河 12 区	33.7	19.4	28.2	14.3	0.42
单家寺稠油	4.6	16.4	23.2	55.8	12.13
草桥稠油	3.9	17.7	23.9	54.5	13.97
辽阳稠油	4.4	21.4	22.4	51.8	11.77

表 3 塔河稠油与国内原油金属元素及非金属元素含量对比

Table 3 Metallic and non-metallic elements in heavy oils from Tahe Oilfield and other oilfields in China

原油	w(Ni)/(mg · kg <sup>-1</sup> )	w(V)/(mg · kg <sup>-1</sup> )	w(Fe)/(mg · kg <sup>-1</sup> )	w(Cu)/(mg · kg <sup>-1</sup> )	w(O)/%	C/%	w(S)/%
塔河 10 区	40.16	272.22	870.58	10.22	1.77	0.63	2.16
塔河 12 区	63.24	268.41	867.83	27.44	1.86	0.74	2.59
胜利	26.00	1.00	3.50	0.10	1.01	0.38	0.79
大庆	3.10	0.04	0.70	0.25	0.86	0.13	0.73

沥青质分子间作用力强,加之分散介质含量低,从而导致稠油黏度急剧升高<sup>[3]</sup>。

2.2 化学复合降黏剂的研制及作用过程

针对塔河稠油的特点,通过引入与沥青质性质相匹配的强极性基团以及乳化性能更强的耐盐亲水基团,研发了水溶—油溶复合型降黏剂,使其兼具油溶性和水溶降黏剂优点,能将黏度大于 100 × 10<sup>4</sup> mPa · s 的稠油黏度降低至 500 mPa · s 以下。

水溶—油溶复合型降黏剂降黏作用过程如下:  
 (1) 复合型降黏剂溶解在地层水中形成胶体体系(图 2a);  
 (2) 将染色后的稀油加入到降黏剂溶液中,充分搅拌能够形成稳定的乳状液体系(图 2b);  
 (3) 将稠油添加到稀油—降黏剂溶液混合体系中,界面处产生乳化现象(图 2c);  
 (4) 将稠油—稀油—降黏剂溶液体系充分搅拌,稀油扩散至稠油中,且乳化组分将稠油乳化,最终形成内相黏度变低且稳定的乳状液(图 2d)。

2.3 油溶性降黏剂的研制

油溶性降黏剂由油溶性聚合物和烷基芳基磺酸化合物组成(图 3),通过对碳链长度、芳香环数及支化甲基数优选,合成的烷基芳基磺酸化合物具

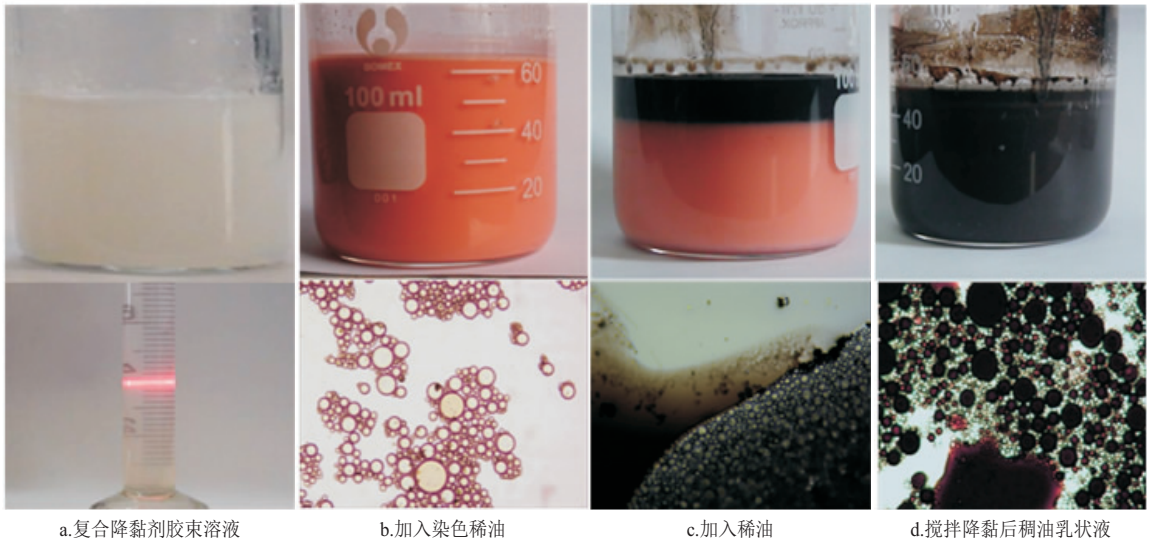


图 2 水溶—油溶复合型降黏剂降黏作用机理

Fig.2 Mechanism of water-oil soluble viscosity-reducing agent

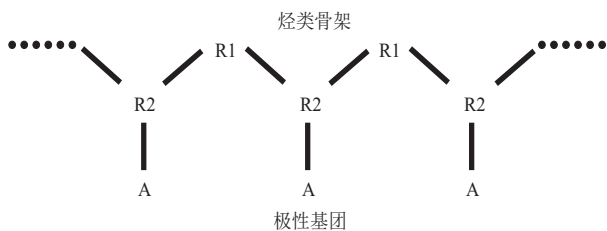


图 3 油溶性降黏剂主剂分子结构示意图

Fig.3 Structure of major ingredient in oil-soluble viscosity-reducing agent

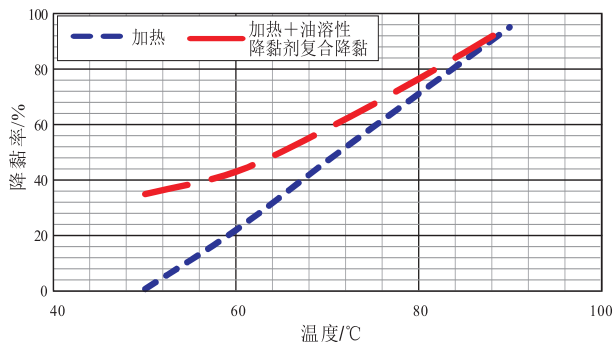


图 4 油溶性降黏剂不同温度下的降黏效果

Fig.4 TEffects of oil-soluble viscosity-reducing agent under different temperatures

有分散作用,对聚合物降黏有显著的增效作用。

室内模拟发现显示,温度增加,降黏率增加,加热+油溶性降黏剂复合降黏具有可行性(图 4)。

### 3 复合降黏现场试验

#### 3.1 化学复合降黏技术现场试验

为确保稠油有效地乳化形成水包油乳状液,防止稠油上返堵塞油管,设计工艺施工参数见表 4。

优选供液充足、上下冲程电流适中、生产平稳的油井开展现场试验,累计 3 井次,能够实现  $100 \times 10^4 \text{ mPa} \cdot \text{s}$  以上稠油的乳化降黏,平均节约稀油率 69.8 % (表 5)。

以 1-2#井为例,50 °C 稠油黏度  $150 \times 10^4 \text{ mPa} \cdot \text{s}$  (邻井数据)。试验期间该井掺稀量由 46.6 t/d 下降至 14.5 t/d,掺稀比由 2.57 : 1 下降至 0.65 : 1,节约稀油率 72.4 % (图 5)。

表 4 化学复合降黏工艺施工参数设计

Table 4 Parameter design of chemical compound viscosity reduction

序号	主要工艺参数	参数要求	原因
1	复合降黏剂浓度	1 %左右	保证能够有效乳化
2	初次替代稀油量	混合后产液含水在 30%以上	保证形成水包油乳状液
3	混合液含水	控制在 30%以上	保证形成水包油乳状液
4	井口混合液黏度	控制在 $3\,000 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 以下	防止油管堵塞

表 5 化学复合降黏现场试验效果

Table 5 Effects of field application of chemical compound viscosity reduction

井号	黏度(50 °C)/ $10^4 \text{ mPa} \cdot \text{s}$	基值/t		试验/t			节约稀油率/%
		日产油	日掺稀	日产油	日掺稀	日加药剂	
1-1#	180	14.5	46.0	16.0	15.6	17.1	68.7
1-2#	150(邻井)	18.1	46.6	22.3	14.5	18.9	72.4
1-3#	160(邻井)	13.1	29.7	15.0	10.8	21.2	68.2
平均		45.7	122.3	53.3	40.9	57.2	69.8

注:节约稀油率=(基值掺稀比-试验掺稀比)÷基值掺稀比×100%。

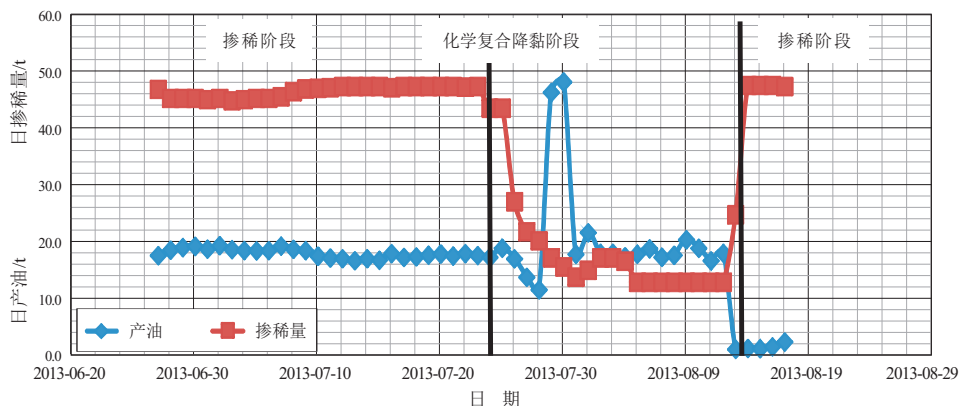


图 5 塔河油田 1-2#井化学复合降黏日产油、日掺稀变化情况

Fig.5 Daily oil output and daily consumed light oil of well 1-2# using chemical compound viscosity reduction in Tahe Oilfield

表 6 工艺复合降黏现场试验统计

Table 6 Statistics of test effects of heated and oil-soluble viscosity reduction

井号	掺稀降黏情况(评价基值)			工艺复合降黏试验期间				节约稀油率
	日产油/t	日掺稀/t	掺稀比	日产油/t	日掺稀/t	日加药量/t	掺稀比/%	
2-1#	72.60	55.90	0.77 : 1	52.63	22.33	0.46	0.42 : 1	44.90
2-2#	50.12	79.71	1.59 : 1	60.68	62.20	0.69	1.03 : 1	35.52
2-3#	49.94	118.90	2.38 : 1	86.40	73.90	0.64	0.86 : 1	64.04
2-4#	62.50	119.60	1.93 : 1	90.60	68.90	0.78	0.76 : 1	60.60
平均	235.20	374.10	1.60 : 1	290.30	227.30		0.80 : 1	51.27

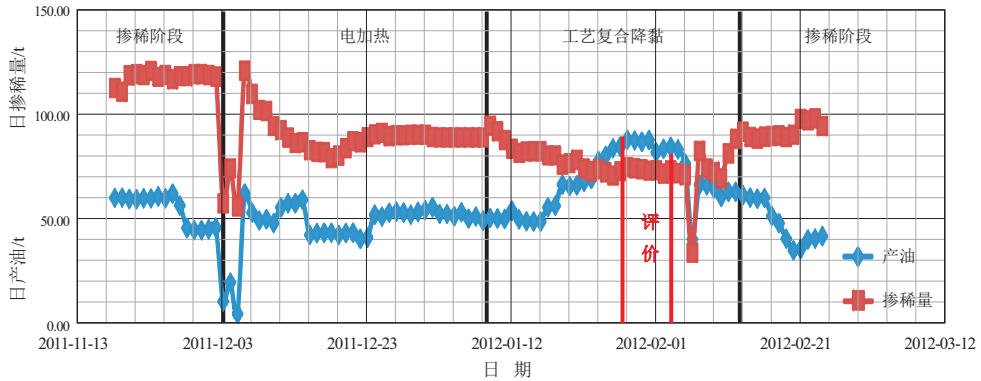


图 6 塔河油田 2-3#井不同降黏工艺下产油量、掺稀量变化情况

Fig.6 Daily oil output and daily consumed light oil of well 2-3# using different viscosity reductions in Tahe Oilfield

### 3.2 工艺复合降黏技术现场试验

工艺复合降黏现场试验流程:掺有油溶性降黏剂的稀油在管脚处与稠油混合,在电加热提供的高温环境下,降黏剂与加热协同降黏,稠油被采出地面。优选不含水、供液充足、生产平稳的自喷井作为试验井,电加热+油溶性降黏剂现场试验累计 4 井次,日节约稀油量 146.8 t,平均节约稀油率 51.27%(表 6)。

以 2-3#井为例,复合工艺试验 43 d,在加药浓度 0.41%时,掺稀比由 2.38 : 1 下到 0.86 : 1,综合节约稀油率为 64.04%(图 6)。

## 4 结论

(1)研发的水溶—油溶化学复合降黏体系能够与稀油、稠油形成稳定的水包油乳状液体系,能够使  $100 \times 10^4$  mPa · s 的稠油黏度降低至 500 mPa · s 以

下;研发的新型油溶性降黏剂,能够有效地分散降低沥青质聚集体尺寸,温度增加降黏效果增加。

(2)化学复合降黏现场试验累计 3 井次,能够实现  $100 \times 10^4$  mPa · s 以上稠油乳化降黏,平均节约稀油率 69.8%;电加热+油溶性降黏剂现场试验累计 4 井次,日节约稀油量 146.8 t,平均节约稀油率 51.27%。

### 参考文献:

- [1] 赵海洋,王世洁,李柏林.塔河油田井筒降粘技术与评价[J].石油钻探技术,2007,35(3):82-84.
- [2] 任波,丁保东,杨祖国,等.塔河油田高含沥青质稠油致稠机理及降黏技术研究[J].西安石油大学学报(自然科学版),2013,28(6):82-85.
- [3] 敬加强,罗平亚,朱毅飞.原油组成对其粘度影响的灰色关联分析[J].油气田地面工程,2000,19(6):12-13.

(编辑 徐文明)