

引用格式:梁志艳,王磊磊,唐照星.塔河油田螺杆泵配合水溶性降黏剂稠油开采技术[J].油气藏评价与开发,2020,10(2):111-115.

LIANG Z Y, WANG L L, TANG Z X. Technology of heavy oil recovered by screw pump combined with water soluble viscosity in Tahe Oilfield[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2020, 10(2): 111-115.

DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2020.02.019

塔河油田螺杆泵配合水溶性降黏剂稠油开采技术

梁志艳,王磊磊,唐照星

(中国石化西北油田分公司,新疆乌鲁木齐 830011)

摘要:塔河油田为碳酸盐岩超深、超稠油油藏,应用掺稀降黏工艺开发,机械举升方式主要以液压反馈式抽稠泵和稠油电泵为主。随着稠油开发进入中高含水期,常规举升工艺配合掺稀降黏开采技术面临着含水乳化、腐蚀结垢、异常率高、经济效益差等难题,急需寻求更加高效的开采工艺。针对含水稠油井举升的特点,从工艺优选和技术替代的思路出发寻找解决办法,优选螺杆泵替代抽稠泵和电泵,应用水溶性降黏剂替代掺稀油,形成地面驱动螺杆泵配合水溶性降黏剂稠油开采技术。通过现场6口井的应用,平均稀稠比下降0.3,平均单井日节约稀油4.9 t,单井日增油3.8 t。现场应用的成功,证明了该技术对含水稠油井具有适应性强、应用效果好、经济效益突出的优势,进一步拓宽和完善了稠油高效开发的技术体系。

关键词:超稠油;抗硫;螺杆泵;水溶性;稠油开采

中图分类号:TE355

文献标志码:A

Technology of heavy oil recovered by screw pump combined with water soluble viscosity in Tahe Oilfield

LIANG Zhiyan, WANG Leilei, TANG Zhaoxing

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

Abstract: Tahe Oilfield is an ultra-deep and ultra-heavy carbonate oil reservoir, which needs to mix with dilute oil to decreasing viscosity. The mechanical lifting method is mainly hydraulic feedback heavy-oil pump and heavy oil electric pump. As the development of heavy oil enters the middle-high water cut period, the existing processes are facing the problems of water-cut emulsification, corrosion and scaling, high abnormal rate and poor economic benefit. It is urgent to seek more efficient and economical recovery technology. According to the lifting characteristics of heavy oil wells with water cut, the solution is found from the thought of process optimization and technology substitution. The screw pump is optimized to replace the old pumps, and the water-soluble viscosity reducer is used to replace the dilute oil. Therefore the heavy oil recovery technology by the combination of ground driven by screw pump and water soluble viscosity reducer is formed. Through the application of 6 wells, the average lean ratio decreased by 0.3, for single well per day in average, 4.9 tons of dilute oil are saved, and 3.8 tons of oil are increased. The success of the field application proves that this technology has the advantages of strong adaptability, good application effect and outstanding economic benefit for water-bearing heavy oil wells, and further widen and improve the technical system of high efficiency development of heavy oil.

Key words: ultra-heavy oil, sulfur resistance, screw pump, water soluble viscosity, heavy oil recovery

塔河油田主要为碳酸盐岩缝洞型稠油油藏,原油黏度平均为 45×10^4 mPa·s,油藏埋深5 400~7 000 m,硫化氢含量为10 273~858 660 mg/L,黏温拐点为2 500~3 000 m。原油在井底具有很好的流动性,在

举升至井筒3 000 m左右时,随着沿程热损失,黏度大幅增加,主要采用掺入稀油降黏的方式生产^[1-2]。机械举升方式主要以液压反馈式抽稠泵和稠油电泵为主。随着开发深入,现有举升工艺对含水乳化、腐

收稿日期:2019-11-20。

第一作者简介:梁志艳(1987—),女,本科,工程师,主要从事稠油开采工作。通讯地址:新疆巴音郭楞蒙古自治州轮台县轮南小区转采油二厂开发研究所,邮政编码:830011。E-mail:512691276@qq.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)。

蚀结垢等井况适应性差,存在掺稀优化难度大、异常率高的问题。选用螺杆泵是目前中高含水井举升较为经济高效的方式^[1],但是常规螺杆泵不能满足塔河油田超高黏度、高含硫、高温的复杂井况条件,因此针对塔河稠油特性及举升需求,对螺杆泵进行了系统优化配置,形成新型抗稠油抗硫螺杆泵,同时优选高性能水溶性降黏剂体系。通过开展新型螺杆泵配合水溶性降黏剂工艺复合技术试验,取得明显降低掺稀量、提升举升效益的效果。

1 螺杆泵配合水溶性降黏剂技术特点

塔河油田超稠油机械举升方式主要以有杆泵和稠油电泵为主。稠油开采进入中高含水期后,含水乳化较为普遍,稀稠油混配效果进一步变差,导致有杆泵并杆柱断脱、泵漏失等异常频发,电泵井电流波动大导致频繁停机,运行寿命短、开采成本高,针对这些生产异常,现场均采用加大掺稀量的方式维持生产,稀稠比相较于正常生产井高33%左右,经济效益差的现象较为突出,因此急需进行举升工艺的优选,同时需寻求更高效的降黏方式替代掺稀油生产。

针对目前常规举升工艺配合掺稀生产异常率高、经济效益差的问题,从工艺替代的角度出发寻求解决方案,应用螺杆泵配合水溶性降黏剂复合技术。

螺杆泵是一种容积式泵,通过转子的旋转,与定子配合形成的“S”型空腔不断螺旋上升,将液体举升至地面,从而达到不间断连续采油的目的,转子在定子表面的运动具有滚动和滑动的性质,在稠油井应用能促进稀稠油混配,定子和转子之间的容积均匀变化而产生的抽汲和推挤作用,使油水混输的效果更好。因此螺杆泵针对含水乳化井举升具有明显的优势,应用螺杆泵替代常规举升工艺,可有效降低含水井生产异常率^[4]。

通过对常规热采工艺和冷采工艺的成本、应用范围、推广前景等方面进行对比,化学降黏剂具有广泛的应用前景,结合前期的现场实践,水溶性降黏剂应用范围广、用量少、价格低。水溶性降黏剂是利用分子间的作用力,破坏稠油大分子聚集体,使高黏稠油与水形成稳定水包油型乳状液,达到降黏的目的。通过多年的应用发展,油田开发进入中高含水期,水溶性降黏剂势必成为主要的降黏方向。

2 新型稠油螺杆泵技术改进试验

2.1 稠油螺杆泵技术改进项目

塔河稠油黏度大,常规螺杆泵应用存在杆柱扭矩大,抽油杆频繁断裂的问题;另外硫化氢含量高,定子橡胶易老化,导致泵效低^[5-7]。为提高常规地面驱动螺杆泵抗稠油性能,分别从地面、井下进行了系统优化升级,主要的改进内容包括4个方面。

1) 采用变频控制技术,五级调速在0~200 r/min间任意调整,开机时转速逐渐增加,关机时转速慢慢降低,可确保扭矩平稳有序变化,设置过载和失载保护,遇到扭矩急剧变化可以自动停机,有效降低杆柱断脱几率。

2) 优选液压防反转技术,相比较机械反转系统效率大幅提升,可确保扭矩平稳释放,一方面防止杆柱脱扣,另外可降低伤人风险。

3) 应用大杆径插接式抽油杆,提高了杆柱抗拉强度,且径向力和扭力分别由不同的部件承担,结箍扣型设计为反扣,降低了杆柱脱扣现象。

4) 定子橡胶材质优选氢化丁腈橡胶^[8],有效提升耐硫化氢腐蚀性能,提高螺杆泵使用寿命。

根据塔河油田的使用环境和需要输送的介质,开展橡胶溶胀试验。选取TK6103等3口井的油样及4种橡胶进行试验:NBR-常用橡胶(丁腈橡胶)、NBRH-橡胶(高丙烯腈含丁腈橡胶)、HNBR-橡胶(氢化丁腈橡胶)、FKM-橡胶(氟橡胶),分别做温度、CO₂含量、含水率、含气量、原油密度、H₂S含量共6项内容的测试,结果见图1,其中需选择绿色适宜范围来匹配对应的井况。

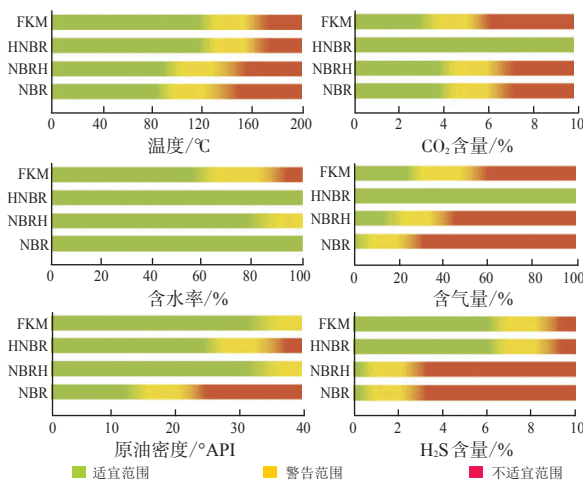


图1 橡胶常规数据测试

Fig. 1 Rubber routine data test

根据测试结果,可针对不同井况条件选择不同的橡胶类型,FKM-橡胶(氟橡胶)和HNBR-橡胶(氢化丁腈橡胶)基本上可满足大部分井的使用需求。

进行各种橡胶材质的溶胀实验,试验温度设置为50℃,试验时长为120h,选择4种橡胶制备试样,试样标称尺寸为20mm×20mm×4mm。以表1数据为评判标注。

表1 橡胶溶胀实验评判标准

等级	溶胀前后 体积变化/%	溶胀前后 质量变化/%	溶胀前后 硬度变化/度
优 A	≤1	≤1	≤1
良 B	≤2	≤2	≤2
好 C	≤3	≤3	≤3
一般 D	≤4	≤4	≤4
可用 E	≤5~6	≤5~6	>4时不可用
不可用 F	>6	>6	>4时不可用

通过试验结果对比评判标准,试验效果依次是FKM>HNBR>NBRH>NBR(表2)。因此,综合分析确定塔河地区稠油所用橡胶类型为:HNBR-橡胶(氢化丁腈橡胶)^[9-10]。

2.2 优选水溶性降黏剂

塔河稠油油藏温度高(130℃)、原油黏度高(50 000~1 800 000 mPa·s)、乳化指数低(100)、地层水矿化度高(240 000 mg/L)、钙镁离子含量高(13 000 mg/L),稠油物性和地层水的特性对水溶性降黏剂性能提出了更高的要求。针对塔河稠油乳化降黏存在的油稠、高温及高矿化度的特点,分散降黏剂的研发要在保证乳化能力的同时,考虑乳液稳定不聚沉,有合理

的稳定时间,防止药剂对破乳产生影响^[11-15]。

优选水溶性降黏剂的主要技术思路是针对不同含水、不同黏度的稠油,配套相应的降黏剂,开展室内实验,并根据实验结果进行药剂配方调整,室内实验历时5个月从二十多种药剂中优选出现阶段效果明显的3种。其中改性硅聚醚分散减阻剂,强调分散性和强摩阻,适用于黏度小于 30×10^4 mPa·s的稠油井;阴-非离子型水溶性降黏剂,适用于高矿化度、高含沥青质稠油,黏度小于 60×10^4 mPa·s;高效水基降黏剂,适合高温、高矿化度稠油降黏^[16-18]。现场实践中逐步完善选井标准,并且形成了环空光管柱加注和泵上开式加注2种工艺设计^[19-21]。水溶性化学降黏剂累计现场应用73井次,降黏率达到30%,目前已形成了较为完善的化学降黏工艺配套。

3 现场应用效果

在单井开展螺杆泵配合水溶性降黏剂试验,螺杆泵生产井只需要简单的流程改建,即增加了加药罐、柱塞泵、高精度流量计、打药泵,注意采用双流程,以便异常时可以确保连续注入。初始采用固定排量顶替方式注入,当药剂到达管脚后根据生产情况逐步优化掺稀量,通过掺稀量和加药量的优化调整,最终实现停掺稀稳定生产。应用的6口井前期均为抽稠泵生产,因为含水乳化、油稠等因素导致故障率高、稀稠比高、检泵周期短,通过应用螺杆泵配合水溶性降黏剂,极大地改善了生产效果,稀稠比下降0.3,日节约稀油29.4 t,日增油23 t(表3)。

表2 试验记录

Table 2 Test record

材质	体积/cm ³			体积溶胀率/		质量/g			质量溶胀率/		邵氏A硬度/度		
	溶胀前	溶胀后	差值	%	溶胀前	溶胀后	差值	%	溶胀前	溶胀后	差值		
NBR	2.071	2.138	0.067	3.25	2.510	2.585	0.075	2.98	78	76	2		
NBRH	1.638	1.682	0.044	2.68	2.210	2.269	0.059	2.67	77	75	2		
HNBR	1.508	1.547	0.039	2.56	2.910	2.973	0.063	2.18	74	73	1		
FKM	1.552	1.593	0.041	2.64	1.825	1.866	0.041	2.24	77	76	1		

表3 新型螺杆泵在超稠油井应用效果

Table 3 Application effect of new type screw pump in ultra heavy oil wells

井号	应用前			应用后			日节约稀油/ t	日增油/ t
	日产油/t	日掺稀/t	稀稠比	日产油/t	日掺稀/t	稀稠比		
A井	14	14	1.0	24	15	0.6	9.0	10
B井	10	12	1.2	9	4	0.4	2.3	-1
C井	12	7	0.6	13	6	0.5	1.8	1
D井	21	22	1.0	32	22	0.7	10.0	11
E井	17	20	1.2	21	22	1.0	3.2	4
F井	23	25	1.1	21	20	1.0	3.1	-2
合计	97	100	1.0	120	89	0.7	29.4	23

例如B井开展螺杆泵配合水溶性降黏剂现场试验。该井日产液为11 t,含水率为9.1%,日掺稀为20 t,稀稠比达到1.2,属于低含水超稠油井,应用螺杆泵开采方式,生产较稳定。为了进一步降低稀油用量,开展高效水基降黏剂试验,日加药量为33 L,加药浓度为0.3%,期间电流由56 A下降至47 A,回压由1.2 MPa下降至0.3 MPa,稀稠比下井幅度达到50%,从生产效果看,稀稠油混配效果明显提升(表4)。

表4 B井螺杆泵配合水溶性降黏剂应用效果
Table 4 Application effect of water-soluble viscosity reducer with screw pump in well B

项目	日均产液/t	日均产油/t	含水率/%	日均掺稀油/t	加药量/(L·d ⁻¹)	掺稀比
试验前30天基值	11.0	10.0	9.1	12	0	1.2
试验生产	12.2	11.4	6.6	7	33	0.6
差值	1.2	1.4	-2.5	-5	33	-0.6

该井的应用验证了螺杆泵配合水溶性降黏剂工艺技术的可行性,加药浓度0.3%,提高了经济效益,可有效降低稀油用量,实现了高含水稠油井的连续稳定生产。

4 结论及认识

1) 针对塔河稠油特性对螺杆泵进行系统优化升级,开展了定子的优选、过盈量的设计、杆柱优选和受力评价,形成了新型稠油抗硫螺杆泵,并在现场应用。实践证明,螺杆泵生产产液稳定、稀稠油混配效果明显提升,同时具有明显的降掺稀效果。

2) 经过多年的现场试验,形成了适应不同含水、黏度范围的水溶性降黏剂体系,并具备完善的现场应用设备建设和效果评价标准。

3) 创新性提出了新型稠油螺杆泵配合水溶性降黏剂工艺复合技术方法,并完成了现场应用。该复合工艺在含水稠油井应用,通过技术效果叠加,提高了举升效率。通过6口井的应用,平均稀稠比下降0.3,平均单井日节约稀油4.9 t,单井日增油3.8 t。

参考文献

- 朝鲁门,史继伟,张江,等. 浅析塔河油田稠油井掺稀降黏工艺技术[J]. 化工管理,2018,33(17):51-52.
ZHAO L M, SHI J W, ZHANG J, et al. Analysis on the technology of mixing thin oil well and sticking in Tahe Oilfield[J]. Chemical Enterprise Management, 2018, 33(17): 51-52.
- 贾晓燕. 塔河油田深层稠油开采技术研究[J]. 西部探矿工程, 2014,26(4):46-48.
JIA X Y. Research on deep heavy oil recovery technology in Tahe Oilfield[J]. West-China Exploration Engineering, 2014, 26(4): 46-48.
- 孙宇. 螺杆泵采油工艺及配套技术探讨[J]. 化学工程与装备, 2019,48(1):40-41.
SUN Y. Discussion on oil extracton technology and supporting technology of screw pump[J]. Chemical Engineering & Equipment 2019, 48(1): 40-41.
- 刘佩衡. 稠油高含水区块螺杆泵冷采技术探索与实践[J]. 化工管理,2016,31(5):150.
LIU P H. Exploration and practice of cold mining technology of screw pump in heavy oil block with high water content[J]. Chemical Enterprise Management, 2016, 31(13): 150.
- 李铭. 油田地面驱动螺杆泵采油技术优化探析[J]. 化学工程与装备,2019,48(9):104-105.
LI M. Optimization of surface-driven screw pump in oil field[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2019, 48(9): 104-105.
- 郑金忠,孙晓涵. 螺杆泵采油效率的影响因素分析及对策探讨[J]. 化工管理,2017,32(35):12.
ZHENG J Z, SUN X H. Analysis of factors affecting oil production efficiency of screw pump and discussion on countermeasures[J]. Chemical Enterprise Management, 2017, 32(35): 12.
- 李岩松. 螺杆泵采油工艺存在的问题分析及对策探讨[J]. 化学工程与装备,2019,48(1):141-142.
LI Y S. Analysis and countermeasure of the existing problems in the oil extraction process of screw pump[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2019, 48(1): 141-142.
- 韩传军,任旭云,郑继鹏,等. 稠油开采中常规螺杆泵定子衬套磨损研究[J]. 润滑与密封,2018,43(5):25-29.
HAN C J, Ren X Y, ZHENG J P, et al. Study on wear of stator bushing of conventional progressive cavity pump in heavy oil extraction[J]. Lubrication Engineering, 2018, 43(5): 25-29.
- 赵一泽. 螺杆泵杆柱断脱原因分析及解决对策研究[J]. 化学工程与装备,2019,48(10):196-197.
ZHAO Y Z. Cause analysis and countermeasure research on rod string break of screw pump[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2019, 48(10): 196-197.
- 王维岩. 稠油开发中螺杆泵采油技术的应用分析[J]. 化学工程与装备,2017,46(3):66-67.
WANG W Y. Analysis on the application of screw pump in heavy oil development[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2017, 46(3): 66-67.
- 周继柱,时武光,付增华,等. 一种抗温耐盐型水溶性两亲聚合物稠油降黏剂的合成及性能研究[J]. 应用化工,2014,43(10):1843-1846.
ZHOU J Z, SHI W G, FU Z H, et al. Preparation and properties research of viscosity reducing of salt and temperature resistance amphiphilic polymer[J]. Applied Chemical Industry, 2014, 43(10): 1843-1846.
- 王培. 稠油降黏剂降黏技术研究[J]. 辽宁化工,2018,47(9):960-962.
WANG P. Study on viscosity reduction technology of heavy oil with viscosity reducer[J]. Liaoning Chemical Industry, 2018, 47(9): 960-962.
- 辛寅昌,张军利. 表面活性剂和水溶性聚合物耐盐和耐温性对原油降黏和钻井液的影响[J]. 中国石油和化工,2010,9(11):40-41.

- XIN Y C, ZHANG J L. Effects of surfactants and water-soluble polymers on salt and temperature tolerance of crude oil on viscosity reduction and drilling fluids[J]. China Petroleum and Chemical Industry, 2010, 9(11): 40-41.
- [14] 彭飞. 超稠油化学降黏剂研究进展[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018, 38(22): 136-137.
- PENG F. Research progress on chemical viscosity reducer of super heavy oil[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2018, 38(22): 136-137.
- [15] 程仲富, 张建军, 范伟东, 等. 塔河油田低温催化降黏技术研究与应用[J]. 化学工程与装备, 2017, 46(6): 110-112.
- CHENG Z F, ZHANG J J, FAN W D, et al. Research and application of low-temperature catalytic viscosity reduction technology in Tahe Oilfield[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2017, 46(6): 110-112.
- [16] 刘文静, 刘保辉, 马凯旋, 等. 稠油乳化降黏剂筛选的研究[J]. 石化技术, 2016, 23(11): 128-129.
- LIU W J, LIU B H, MA K X, et al. Selection of emulsified viscosity reducer for heavy oil[J]. Petrochemical Industry Technology, 2016, 23(11): 128-129.
- [17] 郭娜, 李亮, 张潇, 等. 高分子乳化降黏剂的制备与性能评价[J]. 应用化工, 2019, 48(10): 2038-2311.
- GUO N, LI L, ZHANG X, et al. Preparation and performance evaluation of polymer emulsifying viscosity reducer[J]. Applied Chemical Industry, 2019, 48(10): 2038-2311.
- [18] 邹剑, 曹哲哲, 王秋霞, 等. 海上稠油乳液稳定性影响因素[J]. 油田化学, 2019, 36(1): 121-125.
- ZOU J, CAO Z Z, WANG Q X, et al. Influencing factors on the stability of offshore heavy oil emulsions[J]. Oilfield Chemistry, 2019, 36(1): 121-125.
- [19] 敬加强, 孙娜娜, 安云鹏, 等. 碱与乳化剂复合体系对稠油乳液稳定性及流变性的影响[J]. 油田化学, 2015, 32(1): 114-118.
- JING J Q, SUN N N, AN Y P, et al. The effect of alkali and emulsifier binary system on the stability and rheological property of heavy oil-in-water emulsion[J]. Oilfield Chemistry, 2015, 32(1): 114-118.
- [20] 蒋华义, 张兰新, 孙娜娜, 等. 稠油水包油型乳液稳定性与流变性影响因素[J]. 油气储运, 2017, 37(10): 1121-1127.
- JIANG H Y, ZHANG L X, SUN N N, et al. The factors influencing the stability and rheological property of heavy O/W emulsion[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2017, 37(10): 1121-1127.
- [21] 马文辉, 梁梦兰, 袁红, 等. 稠油O/W型乳液稳定性的研究[J]. 化工时刊, 2002, 16(5): 23-26.
- MA W H, LIANG M L, YUAN H, et al. Study on stability of heavy crude oil-in water emulsion[J]. Chemical Industry Times, 2002, 16(5): 23-26.

(编辑 常燕)

(上接第110页)

- Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2008, 30(4): 130-134.
- [12] 于君祥, 刘卫红, 梁文娟, 等. 电泵井筒温度分布及简化模型分析[J]. 特种油气藏, 2014, 21(3): 146-147.
- YU J X, LIU W H, LIANG W J, et al. Analysis on temperature distribution of electric pump in well bore and simplified model[J]. Special Oil & Gas Reservoir, 2014, 21(3): 146-147.
- [13] 段含斌, 刘奇, 罗雯媛. 塔河稠油降黏技术及其机理研究[J]. 化学工程师, 2013, 27(12): 26-30.
- DUAN H B, LIU Q, LUO W Y. Viscosity reduction of heavy oil in Tahe and its mechanics[J]. Chemical Engineer, 2013, 27(12): 26-30.
- [14] 张井玉. 稠油掺稀用静态混合器混合性能数值研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2016.
- ZHANG J Y. Numerical study on mixing performance of static mixer for heavy oil blending[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2016.
- [15] 郭继香, 张江伟. 稠油掺稀降黏技术研究进展[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(36): 124-132.
- GUO J X, ZHANG J W. Review on the technology of blending diluting oil in heavy oil well[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(36): 124-132.
- [16] 鲁新便, 荣元帅, 李小波, 等. 碳酸盐岩缝洞型油藏注采井网构建及开发意义——以塔河油田为例[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(4): 658-664.
- LU X B, RONG Y S, LI X B, et al. Construction of injection-production well pattern in fractured-vuggy carbonate reservoir and its development significance: A case study from Tahe oilfield in Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(4): 658-664.
- [17] 杜林辉, 张赞, 黄明良, 等. 塔河油田超深稠油电泵风险评价管理方法[J]. 中外能源, 2014, 19(10): 60-64.
- DU L H, ZHANG F, HUANG M L, et al. The management method of risk assessment of electric submersible pump for ultra-deep heavy oil in Tahe Oilfield[J]. Sino Foreign Energy, 2014, 19(10): 60-64.
- [18] 杜林辉, 刘玉国, 刘瑞, 等. 超稠油潜油电泵尾管装置的研制与应用[J]. 石油钻采工艺, 2013, 35(4): 103-105.
- DU L H, LIU Y G, LIU R, et al. Development and application of the tail pipe device for ultra-heavy oil submersible pump[J]. Petroleum Drilling and Production Technology, 2013, 35(4): 103-105.
- [19] 杜林辉, 梁志艳, 蒋磊, 等. 稠油机采井泵深与掺稀混配点分离设计及应用[J]. 特种油气藏, 2014, 21(3): 145-147.
- DU L H, LIANG Z Y, JIANG L, et al. Separate design between pump setting depth and mixing point for diluent oil blending in heavy oil mechanical producers and its application[J]. Special oil and gas reservoir, 2014, 21(3): 145-147.
- [20] 夏新跃, 梁志艳, 欧雪慧, 等. 电泵尾管装置在超深稠油井的应用研究[J]. 新疆石油天然气, 2018, 14(2): 73-74.
- XIA X Y, LIANG Z Y, OU X H, et al. Application and improvement of the tail pipe device for ultra-deep heavy oil submersible pump[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2018, 14(2): 73-74.
- [21] 夏新跃, 刘玉国, 陈华强, 等. 塔河油田电泵全密封导流罩的应用分析[J]. 北京石油化工学院学报, 2015, 23(1): 49-52.
- XIA X Y, LIU Y G, CHEN H Q, et al. Research of a sealed shroud for ESP in Tahe Oilfield[J]. Journal of Beijing Institute of Petrochemical Technology, 2015, 23(1): 49-52.

(编辑 余聪)