

注热氮及乙醇段塞解除凝析气藏污染工艺

吴志均¹, 唐悦伟², 任源峰¹, 李兴华², 陈世堂¹, 张友义¹

1. 中国石油勘探开发研究院工程技术研究所 北京 100083

2. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司油气井测试分公司 河北廊坊 065007

通讯作者: Email: wuzhijun@petrochina.com.cn

项目支持: 十三五课题“丝绸之路经济带大型碳酸盐岩油气藏开发关键技术”(2017ZX05030)

引用: 吴志均, 唐悦伟, 任源峰, 等. 注热氮及乙醇段塞解除凝析气藏污染工艺[J]. 油气井测试, 2021, 30(4): 56-61.

Cite: WU Zhijun, TANG Yuewei, REN Yuanfeng, et al. The technology of eliminating formation damage in condensate reservoirs by injecting hot nitrogen and ethanol [J]. Well Testing, 2021, 30(4): 56-61.

摘要 凝析气藏在开发过程中易遭受反凝析伤害和水锁伤害,严重影响气井产量。注热氮及乙醇段塞解除凝析气藏污染工艺根据气藏反凝析和水锁两类主要伤害的特点,向气层泵注高温高压氮气和乙醇段塞,焖井和返排后,转入正常生产,有效解除凝析气藏污染;提出热氮生产流程、工艺参数、主体设备和注入量计算方法等关键技术,分析该工艺的技术优势和工艺要求,确定施工步骤。对某碳酸盐岩凝析气藏X井进行先注热氮解除反凝析污染,后注乙醇段塞解除水锁,再注氮气吞吐的现场试验措施后,产气量增加6.69倍,产液量增加2.92倍,气井产能得到明显提高。该工艺在具有反凝析伤害和水锁伤害的凝析气藏中具有广泛应用价值。

关键词 凝析气藏;反凝析伤害;水锁伤害;高温热氮;乙醇段塞;焖井

中图分类号: TE353 **文献标识码**: B **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.04.010

The technology of eliminating formation damage in condensate reservoirs by injecting hot nitrogen and ethanol

WU Zhijun¹, TANG Yuewei², REN Yuanfeng¹, LI Xinghua², CHEN Shitang¹, ZHANG Youyi¹

1. Engineering Technology Institute, PetroChina Research Institute of Exploration and Development, Beijing 100083, China

2. Well Testing Company, CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Langfang, Hebei 065007, China

Abstract: In order to eliminate the retrograde condensate damage and water lock damage suffered during the development of condensate gas reservoirs and increase gas well production, a new technology of pumping thermal nitrogen and ethanol slug to eliminate the formation damage of condensate gas reservoirs is proposed. According to the characteristics of the two main types of damage of gas reservoir, i. e. retrograde condensation and water-locking, high temperature and high pressure nitrogen and ethanol slugs are pumped into the gas reservoirs, shut-in the well for soaking, open the well and flow back, and finally turn to normal production, which can effectively eliminate the formation damage of condensate gas reservoirs; meanwhile, the key technologies such as hot nitrogen production process, process parameters, main equipment and injection calculation method are put forward, the technical advantages and process requirements are analyzed, and the operational steps are determined. After performed field test in Well X of a carbonate condensate gas reservoir with first pumping hot nitrogen to eliminate the retrograde condensate damage, then pumping ethanol slug to release water lock damage, and then pumping hot nitrogen, the day production of gas and liquid was increased by 6.69 and 2.92 times respectively, and the productivity of gas wells had been significantly improved. The process can be widely used in condensate gas reservoirs with retrograde condensate damage and water lock damage.

Keywords: condensate gas reservoir, retrograde condensation damage, water-locking damage, hot nitrogen, ethanol slug, shut-in the well for soaking

凝析气藏在开发过程中,当地层压力降低于露点压力时,凝析油析出并滞留在岩石孔隙微粒表面,引发反凝析现象,产生反凝析伤害,造成凝析气

井产能下降^[1-4]。尤其是低渗透凝析气藏,气井生产时近井地带的压降高,井底压力更容易低于露点,在井筒附近造成严重反凝析伤害,导致气井产

能明显降低^[5-6]。气井在生产过程中,水锁伤害来自于两个方面:一是外来的水相流体侵入到水润湿储层空间;二是井筒积液向储层的微毛细管孔道产生反向渗吸,形成“反渗吸水锁”。水锁的存在进一步堵塞了气体渗流通道,降低气相有效渗透率,加剧近井筒地层的伤害^[7]。因此,凝析气藏在开发过程中出现反凝析伤害和水锁伤害是自然现象,多年来,对伤害机理的研究及解除伤害工艺技术的开发在逐步发展中。

解除凝析气藏储层污染常用的方法很多,具体有注气,压裂,脉冲排液,添加表面活性剂和注甲醇等^[8-9]。注气主要是指循环注气,包括干气回注,注富气,注贫气,注二氧化碳,注氮气和注丙烷;但这些工艺有周期长,需要注气井、增加管线和增压设备,投入高、见效慢的特点^[10-11]。同样,水力压裂法、加砂压裂法的工艺复杂、投入高、周期长^[12]。脉冲排液需要增加排液设备,改变生产管柱。添加表面活性剂解堵效果有限。注甲醇易造成人员伤害、环境污染^[13-15]。电磁加热和其它的解除凝析气藏储层污染方法^[16-19],也各有利弊。这些工艺的特点概况起来,就是效率低、成本高、周期长,有的工艺还对环境造成伤害。因此,有必要开发更为高效的凝析气藏增产技术。

在弄清反凝析和锁伤害机理研究的基础上,分析了目前现有工艺的优缺点,提出了注热氮及乙醇段塞解除凝析气藏污染的新工艺。该工艺是针对反凝析和水锁两类主要伤害的特点,向气层泵注热氮和乙醇段塞,并焖井和返排,然后转入正常生产,实现快速解除凝析气藏反凝析污染和水锁伤害,达到提高气井产能的目的。同时,提出了热氮生产流程、工艺参数、主体设备和注入量计算方法等关键技术,分析该工艺的技术优势和工艺要求,确定施工步骤。现场应用表明,该工艺可大幅提高气井产量;证实了该工艺技术具有解堵效率高、适用范围广、作业成本低等优点,可以在具有反凝析伤害和水锁伤害的凝析气藏广泛应用。

1 工艺原理

利用热氮泵车组将热氮注入气层,再用水泥车将乙醇注入气层,随后再次注入热氮,在气层污染带中形成热氮-乙醇段塞-热氮,并焖井和返排,然后转入正常生产。其工艺原理为(图1):

(1)热氮不仅具有较强的穿透性,而且可加热

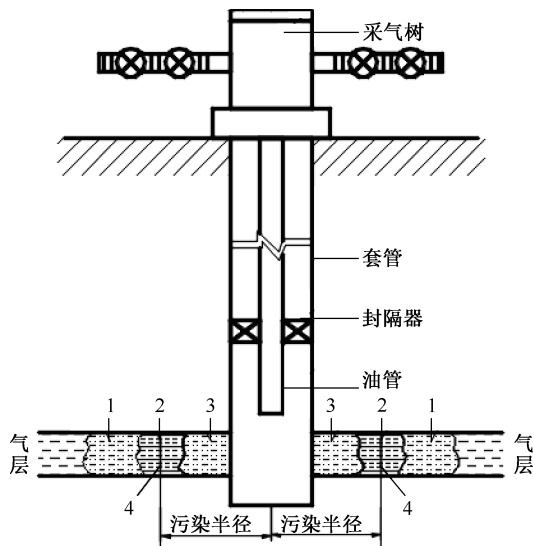
近井带地层,这样可使滞留孔道中的凝析油变为可流动原油;

(2)乙醇的高挥发性和遇水互溶性,可溶解处于束缚状态的水;

(3)乙醇能够有效降低凝析气体体系的露点压力,减缓反凝析发生,并对凝析油有较强的再蒸发能力;

(4)热氮的高温能够提高乙醇的饱和蒸气压,利于降低水锁伤害;

(5)氮气有良好的可压缩性和膨胀性,具有良好的解堵、助排、驱替和气举等作用。



1,3-第一、二次注入热氮;2-乙醇段塞;4-近井污染带边缘

图1 注热氮及乙醇段塞解除凝析气藏污染工艺原理示意图

Fig.1 Schematic diagram of injection hot nitrogen and ethanol to remove condensate gas reservoir pollution process

2 关键技术

注热氮及乙醇段塞解除凝析气藏污染工艺的关键技术有热氮制备和乙醇、热氮注入量设计计算模型两项。

2.1 热氮制备

热氮制备主要包括热氮生产流程、主体设备及工艺参数。

2.1.1 热氮生产流程

目前,油田作业现场一般利用膜分离制氮设备,将空气经过制氮膜压缩、过滤等处理后中分离出纯度范围在95.0%~99.9%的氮气,制氮车的排量有600 m³/h、900 m³/h和1 200 m³/h三种;然后通过加热系统将原始温度加热到50~300℃的高温氮气,并且整个升温过程可控。热氮生产流程如图2所示。

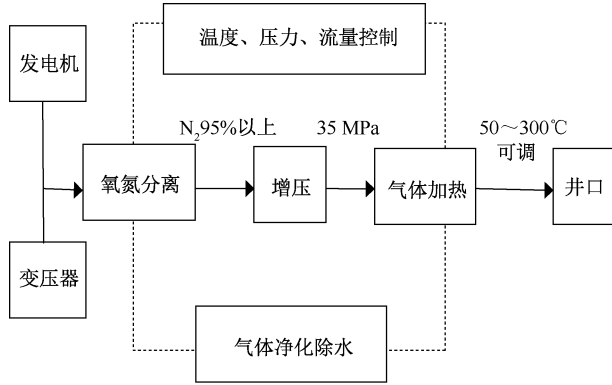


图2 热氮生产流程

Fig. 2 Production process of hot nitrogen

2.1.2 工艺参数

热氮设备工作参数为:(1)最大工作压力 35 MPa;(2)注入排量 900~1 200 m³/h;(3)热氮温度 50~300 ℃;(4)氮气浓度 95%以上;(5)注入气相对密度 1.09 kg/m³。也可以根据需求定制设备。

2.1.3 主体设备

热氮作业设备是在现有现场制氮车基础上引入电加热装置(图3),电加热装置采用电加热原理,可以将通过电加热器的氮气温度最高加热到 300 ℃,并且根据需求温度可在 50~300 ℃ 范围调整。现场作业一般由两台车组成(图4),一台是制氮车,另一台是发电机和电加热装置。



图3 电加热装置

Fig. 3 Electric heater for nitrogen



图4 热氮作业设备

Fig. 4 Equipment for the injection of hot nitrogen

这样,制氮车可以对空气进行压缩并分离出氮气,然后电加热装置加热和增压到要求的性能,并注入气层。

2.2 设计计算模型

根据经验和模拟提出直井和水平井的乙醇和热氮的注入量设计计算方法。

2.2.1 直井乙醇和热氮注入量计算方法

对于直井,乙醇和热氮的注入量设计计算一般采用圆盘模型(图5),乙醇和热氮的注入量计算公式分别为

$$Q_{\text{醇}} = \pi r^2 h \phi n \quad (1)$$

$$Q_{\text{氮}} = \pi r^2 h \phi n \frac{p_i T}{T_i p} \quad (2)$$

式中: $Q_{\text{醇}}$ 为乙醇注入量,m³; $Q_{\text{氮}}$ 为热氮注入量,m³; r 为气层污染半径,m; h 为气层厚度,m; ϕ 为气层孔隙度,小数; p_i 为气层压力,MPa; T 为地面热氮温度,℃; T_i 为气层温度,℃; p 为热氮泵注压力,MPa; n 为附加系数(一般乙醇注入量附加 1.2~1.3,热氮注入量附加 1.2~1.5)。

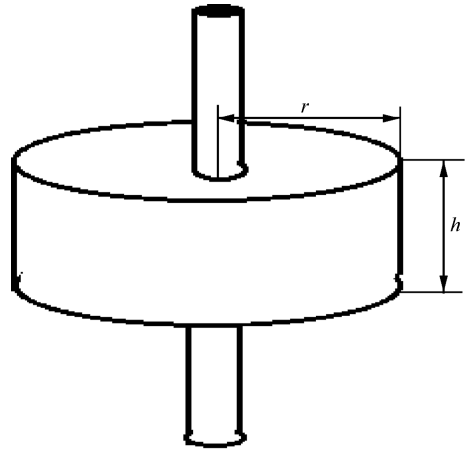


图5 乙醇和热氮注入量计算的圆盘模型

Fig. 5 Disc model for calculating the amount of ethanol and hot nitrogen to be injected

2.2.2 水平井乙醇和热氮注入量计算方法

对于水平井,乙醇和热氮的注入量设计计算一般采用长方体模型(图6),乙醇和热氮的注入量计算公式分别为

$$Q_{\text{醇}} = \lambda \phi n a b h \quad (3)$$

$$Q_{\text{氮}} = \lambda \phi n a b h \frac{p_i T}{T_i p} \quad (4)$$

式中: λ 为气层堵塞面积系数; a 为乙醇或热氮进入水平深度,m; b 为水平井水平生产段长度,m。

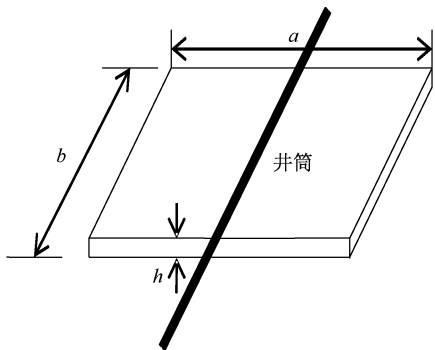


图6 乙醇和热氮注入量计算的长方体模型

Fig. 6 Cuboid model for calculating the amount of ethanol and hot nitrogen to be injected

3 技术优势与工艺要求

注热氮及乙醇段塞快速解除凝析气藏污染具有见效快、无污染、成本低、环保安全等技术优势,但为保证效果对施工工艺提出要求。

3.1 技术优势

注热氮及乙醇段塞快速解除凝析气藏污染技术优势:(1)与常规方法相比具有解堵效率高、见效快、气体返排可携带出堵塞物、保护气层等优势;(2)热氮不燃烧、不爆炸、无化学腐蚀性、无污染、安全可靠;(3)热氮温度可控,最高可达 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$,且泵注压力、排量可以满足设计要求;(4)热氮和乙醇来源广、价格低。

3.2 工艺要求

注热氮及乙醇段塞快速解除凝析气藏污染技术的工艺要求:(1)泵注热氮和乙醇时井底压力小于地层破裂压力,且在满足此条件下尽可能提高泵注乙醇与热氮的排量;(2)根据凝析油泡点温度和气层温度确定热氮温度;(3)根据设计的泵注程序,段塞是按照注入热氮-乙醇-热氮的顺序形成的;根据设计的注入量,在焖井状态,乙醇段塞前端突破近井污染带边缘,一般大于污染半径 $3\sim 5\text{ m}$ 。

4 施工步骤与现场应用

根据设计要求,明确施工步骤,指导现场施工;通过在某凝析气藏的应用案例,说明了该工艺技术的可行性。

4.1 施工步骤

主要施工步骤流程:设备安装→第一次注热氮→注乙醇段塞→第二次注热氮→焖井→开井排液转生产。

具体施工步骤为:

(1)设备安装(图7)。将热氮泵车组布置在井口附近,通过连接管汇将热氮泵出口与采气树一翼生产阀门相连接;将水泥车出口与采气树另一翼生产阀门相连接,进口连接乙醇罐。

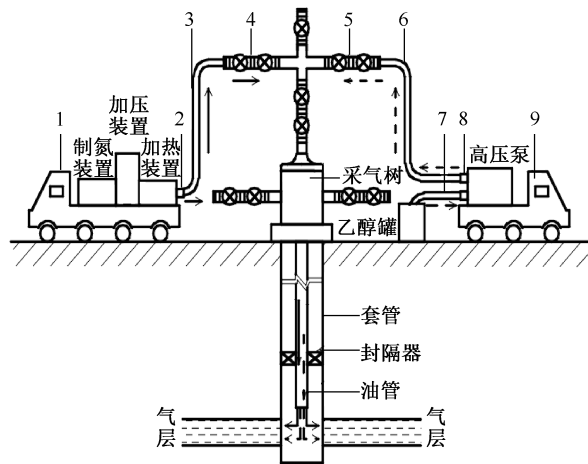
(2)一次注热氮。根据设计确定热氮的注入量、注入压力和排量,利用热氮泵车组通过井内生产管柱将热氮注入气层。

(3)注乙醇段塞。注热氮结束后,根据设计确定乙醇的注入量、注入压力和排量,再用水泥车将乙醇注入气层。

(4)第二次注热氮。再次利用热氮泵车组将热氮注入气层。

(5)焖井。第二次注热氮后,关闭井口阀门焖井,等待乙醇和热氮与反凝析油及水的相互作用;焖井时间由注入热氮和乙醇量确定,一般焖井时间 4 h 。

(6)开井排液转生产。焖井后,打开生产阀门,控制排液,排出乙醇和热氮携带的堵塞物,待排出气液以凝析油和天然气为主,进入生产流程生产。



1-热氮泵车组;2-热氮泵出口;3-热氮泵高压管汇;4、5-采气树两翼生产阀门;6-水泥车高压管汇;7-水泥车低压管汇;8-水泥车高压管汇出口;9-水泥车

图7 现场设备布置及管汇连接示意图

Fig. 7 Wellsite equipment layout and pipeline connection

4.2 现场应用

某碳酸盐岩凝析气藏,气顶含气面积 57 km^2 ,气层平均厚度 34.1 m ,原始气顶气地质储量为 $472\times 10^8\text{ m}^3$,原始凝析油地质储量为 $1\ 180\times 10^4\text{ t}$ 。开井数34口,生产初期单井平均日产油量 10 m^3 ,单井平均日产气量 $20\times 10^4\text{ m}^3$ 。生产两年后,凝析油含量由原始 250 g/m^3 降至 104.3 g/m^3 ,凝析油递减较快;试井解释储层伤害比较严重,比例占 84.2% ,试井解释表皮系数普遍较高,一般大于

10.0,最严重的达到40.7,必须通过工艺措施才能解除污染。

选择该碳酸盐岩凝析气藏X井进行现场试验。X井井深2600 m,经过2年5个月的生产,日产气量由投产时的 $23.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 降为 $1.21 \times 10^4 \text{ m}^3$,且日产液 $1.27 \text{ m}^3/\text{d}$,试井解释表皮系数为19.8。在进

行了乙醇与地层水和岩石微粒配伍性实验,以及热氮及乙醇注入施工参数的优化设计,考虑到现场试验的安全、环境和成本等因素,开展了单井数值模拟。对X井进行先注热氮解除反凝析污染、后注乙醇段塞解除水锁、再注氮气吞吐的现场试验。施工程序及施工数据见表1。

表1 X井注热氮及乙醇段塞解除凝析污染施工数据表

Table 1 Operation data for eliminating formation damage by injecting hot nitrogen and an ethanol slug in Well X

施工阶段	油层厚度/m	设计计算半径/m	注入量/ m^3	平均泵压/MPa	平均排量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$
I 注热氮解除反凝析污染		5.0	6 000.0	28.0	1 200.0
II 注乙醇段塞	11.2	5.0	26.4	31.0	18.0
III 注热氮吞吐		10.0	11 500.0	27.0	1 200.0

注入后关井焖井5 h,用3 mm油嘴控制放喷排液,至排出液氮气含量占5%以下进行求产,试验结果见表2。

表2 X井注热氮及乙醇段塞解除凝析污染前后试验结果对比

Table 2 Comparison of production performances before and after treatment in Well X

对比	油压/MPa	日产气/ $(10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	增产气倍数	日产液/ $(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$	增产液倍数
措施前	1.6	1.21	6.69	1.27	2.92
措施后	8.5	9.30		4.98	

从表中可以看出,措施后气井的产气量增加了6.69倍,产液量增加了2.92倍。试验表明,通过注热氮及乙醇段塞,有效消除了反凝析污染和水锁,气井产能得到了明显提高。

5 结论

(1)根据凝析气藏反凝析和水锁两类主要伤害的特点,采取向气层泵注高温高压氮气和乙醇段塞、焖井和返排等工艺步骤,实现高效解除凝析气藏污染,开发了解除凝析气藏反凝析和水锁伤害的新工艺。

(2)详细讨论热氮制备和和设计计算模型两项关键技术,分析该工艺的技术优势,提出工艺要求,确定施工步骤,来保证施工的可操作性和增产效果。

(3)现场应用表明,该工艺技术具有适用范围广、对油气层无污染、解堵效率高、作业成本低等优势,可以作为凝析气藏增产工艺的优选。

(4)完善工艺技术,配套相应的耐高温井下工具和开发设计模拟软件是今后研究的重点。

致谢:感谢十三五课题“丝绸之路经济带大型碳酸盐岩油气藏开发关键技术”项目组给予的支持。

参考文献

- [1] 戴岑璞,王自明. 低渗透凝析气藏的反凝析特征[J]. 天然气工业,2007,27(11):79-81.
DAI Cenpu, WANG Ziming. Retrograde condensation behaviors in low-permeability gas condensate reservoirs [J]. Natural Gas Industry, 2007,27(11):79-81.
- [2] 王乐之,戚志林,姜贻伟. 深层低渗凝析气藏反凝析特征研究[J]. 天然气技术,2007,1(1):52-54.
WANG Lezhi, QI Zhilin, JIANG Yiwei. Study on retrograde condensate characteristics of deep condensate gas reservoirs with low permeability [J]. Natural Gas Technology, 2007,1(1):52-54.
- [3] 李相方,程时清,覃斌,等. 凝析气藏开采中的几个问题[J]. 石油钻采工艺,2003,25(5):47-50.
LI Xiangfang, CHENG Shiqing, QIN Bin, et al. Some problems in development and production of gas condensate reservoirs [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2003,25(5):47-50.
- [4] 周小平,周丽梅. 凝析气藏反凝析伤害研究[J]. 天然气技术,2007,1(3):19-24.
ZHOU Xiaoping, ZHOU Limei. Study on retrograde condensate damage in gas condensate reservoir [J]. Natural Gas Technology, 2007,1(3):19-24.
- [5] 高奕奕,孙雷,张庆生,等. 低渗凝析气井反凝析、反渗吸伤害及解除方法[J]. 西南石油学院学报(自然科学版),2005,27(2):45-49.
GAO Yiyi, SUN Lei, YANG Qingsheng, et al. Low permeability condensate gas well, retrograde condensate, reverse imbibition damage and removing methods [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2005,27(2):45-49.
- [6] 张云,赵习森,张艾,等. 凝析气藏生产过程反凝析特征评价方法[J]. 石油钻采工艺,2010,32(S1):45-49.
ZHANG Yun, ZHAO Xisen, ZHANG Ai, et al. Evaluation method for retrograde condensation characteristics in the development of condensate gas reservoir [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2010,32(S1):45-49.

- [7] 周小平,孙雷,陈朝刚. 低渗透凝析气藏反凝析水锁伤害解除方法现状[J]. 钻采工艺,2005,28(5):66-68.
ZHOU Xiaoping, SUN Lei, CHEN Chaogang. Development and method of removing retrograde condensate and water blocking impairment in the low permeability condensate gas reservoir [J]. Drilling & Production Technology, 2005,28(5):66-68.
- [8] 汤勇,杜志敏,孙雷,等. 解除低渗凝析气井近井污染研究现状及进展[J]. 天然气工业,2007,27(6):88-91.
TANG Yong, DU Zhimin, SUN Lei, et al. Current status and future development of the study on removal of near-wellbore damage in low-permeability gas condensate wells [J]. Natural Gas Industry, 2007,27(6):88-91.
- [9] 潘毅,孙雷,李士伦,等. 凝析气藏解除反凝析污染、提高气井产能方法[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),2007,29(2):37-40.
PAN Yi, SUN Lei, LI Shilun, et al. The method solving condensate block and improving productivity of gas condensate reservoir [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2007,29(2):37-40.
- [10] 郭平,邓垒,杨学峰,等. 低渗富含凝析油凝析气藏气井干气吞吐效果评价[J]. 石油勘探与开发,2010,37(3):354-357.
GUO Ping, DENG Lei, YANG Xuefeng, et al. Dry gas huff and puff effect evaluation of gas wells in low-permeable condensate gas reservoir with rich condensate oil [J]. Petroleum Exploration and Development, 2010,37(3):354-357.
- [11] 王新裕,魏云峰,丁国发,等. 新疆柯克亚西₄²-西₅²凝析气藏单井注气吞吐解堵技术[J]. 天然气工业,2004,23(S1):120-122.
WANG Xinyu, WEI Yunfeng, DING Guofa, et al. Single well gas injection swallowing-spitting plug removal technique used for Xi₄²-Xi₅² condensate gas reservoir of Kekeya field in Xinjiang [J]. Natural Gas Industry, 2004,23(S1):120-122.
- [12] 徐国伟,邹国庆,朱绕云. 库车凹陷博孜超深凝析气藏加砂压裂技术[J]. 油气井测试,2020,29(6):50-54.
XU Guowei, ZOU Guoqing, ZHU Raoyun. Sand fracturing technology of Bozi ultra deep condensate gas reservoir in Kuqa depression [J]. Well Testing, 2020,29(6):50-54.
- [13] 汤勇,孙雷,杜志敏,等. 注甲醇段塞解除凝析气井近井带堵塞实验[J]. 天然气工业,2008,28(12):89-91.
TANG Yong, SUN Lei, DU Zhimin, et al. An experimental study on blockage relieving by using injecting methanol slug in near wellbore zone of gas-condensate wells [J]. Natural Gas Industry,2008,28(12):89-91.
- [14] 石德佩,李相方,刘华,等. 注甲醇解除凝析气井反凝析污染的机理[J]. 新疆石油地质,2007,28(2):207-209.
SHI Depei, LI Xiangfang, LIU Hua, et al. Mechanism of eliminating retrograde condensate damage in gas condensate well by methanol injection process [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2007,28(2):207-209.
- [15] 李虎,李相方,赵林. 注甲醇吞吐解除反凝析堵塞和水锁的正负面作用分析[J]. 钻采工艺,2010,33(1):90-92,95.
LI Hu, LI Xiangfang, ZHAO Lin. Mechanism analysis of advantage and disadvantage of removing condensate and water blocking by methanol treatment [J]. Drilling & Production Technology,2010,33(1):90-92,95.
- [16] 蒲春生,冯金德,李海平,等. 电磁加热解除近井凝析油堵塞效果研究[J]. 石油勘探与开发,2004,31(6):115-118.
PU Chunsheng, FENG Jinde, LI Haiping, et al. Eliminating condensate blocking by electromagnetic heating Study on removing clogging effect of condensate oil near well by electromagnetic heating [J]. Petroleum Exploration and Development,2004,31(6):115-117.
- [17] 卢中原,谭忠健,许峰,等. 渤海油田稠油测试井智能双频加热降黏技术[J]. 油气井测试,2018,27(6):27-32.
LU Zhongyuan, TAN Zhongjian, XU Feng, et al. Intelligent dual-frequency heating and viscosity reduction technology for heavy oil test wells in Bohai Oilfield [J]. Well Testing, 2018,27(6):27-32.
- [18] 赵濮,张东亮. 复合活性解堵剂解水锁技术在凝析气藏应用[J]. 内蒙古石油化工,2012,38(12):117-119.
ZHAO Pu, ZHANG Dongliang. Application of compound active plugging removal agent in condensate gas reservoir [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2012,38(12):117-119.
- [19] 李小刚,谢信捷,杨兆中,等. 特低渗凝析气藏复合解堵技术应用[J]. 油气藏评价与开发,2017,7(3):44-49.
LI Xiaogang, XIE Xinjie, YANG Zhaozhong, et al. Composite plug removal technology for ultra-low permeability condensate gas reservoir [J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development,2017,7(3):44-49.

编辑 王 军

第一作者简介:吴志均,男,1964年出生,博士,高级工程师,2002年6月毕业于成都理工大学油气田开发工程专业,现主要从事完井、试油研究和管理工。电话:010-83595968; Email:wuzhijun@petrochina.com.cn。通信地址:北京市海淀区学院路20号910信箱工程技术研究所,邮政编码:100083。