

塔河油田试井作业遇阻卡原因及防治措施

李会会, 周生福, 刘练, 樊凌云

中国石化西北油田分公司完井测试管理中心 新疆轮台 841600

通讯作者:Email:hui_wuyeyanguang@163.com

引用:李会会,周生福,刘练,等. 塔河油田试井作业遇阻卡原因及防治措施[J]. 油气井测试, 2018, 27(5):66-72.

Cite: LI Huihui, ZHOU Shengfu, LIU Lian, et al. Causes and prevention measures on blocking and sticking of the well testing operation in Tahe oilfield [J]. Well Testing, 2018, 27(5):66-72.

摘要 塔河油田试井作业采用钢丝下入压力计的方式录取地层参数时,频繁出现仪器串遇阻卡现象。对现场施工井例分析认为,试井作业遇阻卡的原因主要为胶质沥青质、水合物及高含蜡,其中水合物造成的阻卡所占比例最高。根据阻卡点位置,初步判断造成阻卡的原因;依据原油全分析数据,建立了相应的防治措施体系,包括机械清蜡、注热油、注入化学溶剂、注入乙二醇等手段,形成一套试井作业遇阻卡原因预判法则。自2017年防治工作开展以来,累计新井试井作业204井次未发生试井阻卡情况,防治效果显著。结果表明,试井作业遇阻卡原因预判法则及对应的防治措施体系可有效解决试井作业遇阻卡问题,提高资料录取的一次成功率。

关键词 塔河油田;试井;胶质沥青质;蜡;水合物;遇阻卡;原因分析;预防措施

中图分类号:TE358 文献标识码:B DOI:10.19680/j.cnki.1004-4388.2018.05.012

Causes and prevention measures on blocking and sticking of the well testing operation in Tahe Oilfield

LI Huihui, ZHOU Shengfu, LIU Lian, FAN Lingyun

SINOPEC Northwest Oilfield Completion Test Management Center, Luntai, Xijiang 841600, China

Abstract: The well testing operation in Tahe Oilfield uses the method of steel wire carrying pressure gauge to take the formation parameters, but the phenomenon of blocking and sticking of the tool string frequently occurs during the operation. By analysis of the construction wells on the site, it was found that which was mainly affected by colloidal asphaltene, hydrates and high wax content, of which the proportion of blocking and sticking caused by hydrates was the highest. So, based on the position of the blocking and sticking, the reason is preliminarily judged. Therefore, in order to solve this problem, this paper establishes corresponding prevention and control measures based on the full analysis data of crude oil, which includes mechanical paraffin removal, injection of hot oil, injection of chemical solvent, and injection of ethylene glycol. Thus, a set of pre-judging rules for the cause of the blocking and sticking of the well test operation is developed. Since the implementation of the prevention and control measures in 2017, the method has applied 204 wells cumulatively, no blocking and sticking has occurred, and the control effect is remarkable. The results show that the pre-judgment rule for the blocking and sticking of the well test operation and the corresponding prevention and control measures system can effectively solve the problem of blocking and sticking in the well test operation and improve the success rate of data measuring.

Keywords: Tahe oilfield; well test; colloidal asphaltene; wax; hydrate; blocking and sticking; cause analysis; precaution

试井作业的主要目的是取全取准各项资料,主要包括温度、压力、产量、液性等参数,然后凭借试井软件获取更多的地层参数^[1]。目前,塔河油田试井作业一般采用防硫钢丝带电子压力计来完成。然而,在测试过程中,受井况环境等各种因素的影响,钢丝遇阻、遇卡事件频发,严重影响了施工安全和时效成本^[2-4]。

在试井作业过程中,常常遇到的情况包括:(1)高含蜡。高压凝析气井、高压油气井,由于含蜡量极高,在关井后,井筒温度降低,蜡析出不断附着在油管壁,从而堵塞油管,影响生产,影响动态监测作业^[5]。(2)油管壁有异物。由于油管壁上有许多稠状物体,胶质沥青质,在上提或下放的作业过程中稠状物质易堆积在防喷盒里,从而

造成阻卡现象^[6-7]。(3)天然气水合物。在高压、低温、自由水三个条件具备情况下,井口附近极易形成水合物,在通井过程中,经常出现遇阻现象^[8]。

白红艳等^[9]通过对结蜡因素分析,提出化学、热力、强磁、HDPE 内衬油管及微生物等清防蜡技术,其中活性水热洗和固体药剂防蜡效果较好,但存在费用高、污染地层、药块稳定性较差等缺点。吕红梅等^[10]通过室内实验对不同解堵剂进行性能评价测试,发现解堵剂对原油的针对性、选择性很强,必须对不同原油的性质分析了解,在此基础上研制有效药剂。张明^[11]对常见井下钢丝试井作业过程中遇阻、遇卡的原因进行了分析,通过仪器测得的曲线观察得出深度与张力变化特征,提出了判断遇阻、遇卡现象以及防范的总体思路。金泽亮等^[12]针对天然气水合物产生的条件提出加热法、注入化学添加剂和逐级节流法等行之有效的水合物防治方法。徐昌晖等^[13]分析了经验公式法、图解法和统计热力学模型法等预测水合物生成方法的优缺点,指出图解法因简便易用,可以广泛应用于现场。王克林等^[14]针对高温高压气井钢丝作业施工过程中出现仪器落井、缆绳腐蚀拉断等事故,研发形成了高压气井钢丝投捞式试井技术。

本文主要针对因油管内黏稠性异物造成试井作业遇阻卡、因形成水合物而造成遇阻现象、高含蜡造成油管堵塞等三种情况,提出了从改善井筒环境、注热油到添加化学抑制剂的方法,对症下药,防治结合,有效解决了因不同原因造成的试井作业遇阻卡问题,大大提高了资料录取的一次成功率。

1 塔河油田试井作业阻卡现状

据统计,2013 年至今塔河油田试油阶段试井作业发现有 30 井次出现钢丝遇阻卡现象(表 1)。以 YJ 区块为例,该区 7 口井共进行钢丝测压作业 19 井次,其中就有 11 井次出现钢丝阻卡现象,遇阻卡比例高达 57.9%,严重影响了试井时效以及资料质量,增加了施工成本。

从表 1 中可以看出,水合物造成试井作业阻卡的位置在井口附近,含蜡造成的在 0~1 500 m,而阻卡位置大于 1 500 m 的往往是胶质沥青质造成的。

表 1 塔河油田试井作业遇阻遇卡简况
Table 1 Brief description of the blocking and sticking in the well testing of Tahe oilfield

井号	生产制度	阻卡位置/m	阻卡原因
HY1	关井	4.6	
YJ1X	2 mm 油嘴	采油树	
KZ3	关井	4.0	
YJ1X	3 mm 油嘴	小四通	
YJ2X	关井	小四通	
YJ2X	2 mm 油嘴	小四通	
YJ2X	4 mm 油嘴	2.3~20.0	水合物
HY2	关井	3.5	
S72-20	关井	2 号主阀	
AT9-10H	关井	4.0	
AT9-12	关井	6.2	
AT21X	关井	6.2	
QG101	关井	15.0	
YJ3	3.5 mm 油嘴	30.0	
YJ1-2X	4 mm 油嘴	1 805.0~875.5	
SHB1-5H	关井	20.9	
YJ1X	关井	2 292.0	
SHB1-3H	关井	13.0	胶质沥青质
YQX1	关井	1 431.0	
YJ3	3 mm 油嘴	4 500 至井口	
YJ3	关井	2 800 至井口	
YJ3	关井	/	
AT28	关井	35.7	
S101 井	关井	小四通	
SHB1-7H	5 mm 油嘴	0~600	
TK915-6	关井	560	蜡
S107CH	3 mm 油嘴	防喷管	
DK25-1	关井	605.0~769.0	
SHB1-2H	关井	7.0	
SHN7	4 mm 油嘴	6 423.0	其它

2 造成遇阻卡的原因分析

塔河油田试井作业遇阻卡原因的统计数据如图 1 所示。

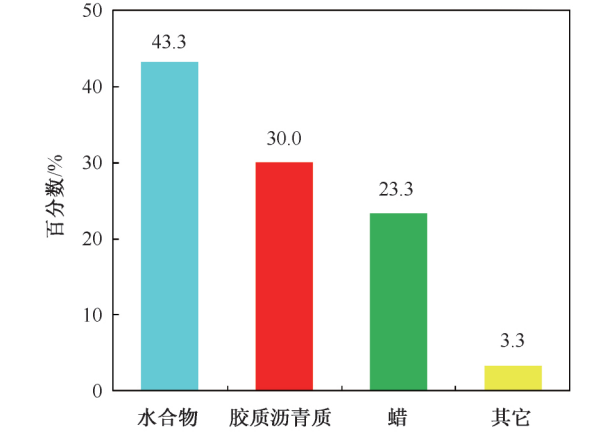


图 1 塔河油田试井作业遇阻卡原因比例柱状图
Fig.1 Proportional histogram of the reason for blocking and sticking in the well testing of Tahe oilfield

从图 1 中可以发现塔河油田造成试井作业遇阻卡的原因主要有水合物、胶质沥青质和高含蜡,其中水合物所占比例最高,为 43.3%;其次是胶质沥青质,为 30.0%,最低是高含蜡,为 23.3%,另外还有 3.3%的阻卡事故是由井筒坍塌等其它因素导致的。

2.1 蜡的影响

含蜡原油是一种多相烃混合物,当含蜡原油的温度高于蜡的析出温度时,原油黏度较低,其流动没有阻力。但一般含蜡原油在油管内流动过程中不断向周围环境散热,当含蜡原油温度低于蜡的初始结晶温度时,蜡晶微粒便开始在油流中和油管内壁上析出,原油黏度急剧增加,随温度不断降低,析出蜡晶的数量增加,并相互交联成网状结构,当网状结构达到一定强度后,原油将失去流动而凝结,阻止通井或测压工具串下放^[15-16]。

试井作业出现蜡堵现象的井其遇阻位置最深只有 769 m(表 1),这是因为蜡晶的析出只和温度有关,随着深度增加,温度逐渐升高,蜡晶溶解到原油中。

塔河油田某些区块 7 口典型井原油含蜡量分别为:AT28 井 5.38%、S101 井 6.36%、SHB1-7H 井 3.35%、TK915-6 井 3.40%、S107CH 井 31.49%、DK25-1 井 11.37%、SHB1-2H 井 3.16%,含蜡量较高,试井作业时均出现了蜡堵现象。

以 AT 区块 AT28 井为例,该井为高压凝析气藏,在生产过程中(36 d)油压、产油量、产气量、产水量均呈现下降趋势,关井后油压 42.0~50.5 MPa,用密度 1.26 g/cm³ 的泥浆压井,泵压 50.5~70.0 MPa,停泵压力降至 65 MPa,多次尝试,均无法挤通。用钢丝带通井规通井至 35.7 m 处遇阻,第二次通井在 31.8 m 处遇阻,第三次通井在 23.5 m 处遇阻,期间遇阻点不断上移,最后地层压力将堵塞物推出井口,判断其为黄褐色蜡块。

2.2 胶质沥青质的影响

胶质沥青质均属于相对分子质量较大的非烃化合物。沥青质为易碎粉末状固体,胶质为一种黏稠的半固体物质,具有黏附性。胶质沥青质的特性使其易于沉积在接触介质的表面,形成沉淀^[17-18]。胶质沥青质沉积的主要影响因素包括温度、压力以及原油组分。通常,温度升高有利于沥青质在原油中的溶解,但是随着温度升高原油密度降低,沥青质和胶质间的相互作用力减弱,导致沥青质表面部

分胶质解吸,使沥青质失去保护而发生聚集和絮凝,引发沉淀。一定温度下,只有压力在相应的范围内才会发生沥青质沉淀,高于或低于这个压力范围,沥青质都不会沉淀^[19]。

试井作业期间,黏附于油管内壁的胶质沥青质易造成仪器下放遇阻,而钢丝上提时黏附在其表面的胶质沥青质在井口防喷盒位置不断堆积又会造成仪器上提遇卡。

YJ 区块富含胶质、沥青质,目前对胶质沥青质的分析化验表明(表 2),YJ 区块胶质沥青质在原油中含量 8.98%~18.23%,其中沥青质在原油中含量在 1.67%~2.86%,胶质在原油中含量在 6.84%~15.86%,胶质含量远大于沥青质含量。

表 2 YJ 区块部分井原油族组分分析表
Table 2 Analysis of crude oil component in part of well in YJ block

井号	沥青质/%	胶质/%	胶质沥青质/%
YJ1X	2.37	15.86	18.23
YJ2X	2.49	13.05	15.54
YJ3	2.86	9.39	12.25
YJ1-2	1.98	10.28	12.26
YJ2-1	2.14	6.84	8.98
YJ2-2X	1.67	15.03	16.70

以 YJ1X 井为例,本井投 DPT 压力计至 5 280 m 关井测压力恢复,后用 64 mm 打捞头打捞压力计至 2 292 m 遇阻,之后分别用 58 mm 刮蜡片、38 mm 加重杆刮蜡皆于 2 292 m 遇阻,工具串带出煤渣状胶质沥青约 20 mL。

2.3 水合物的影响

天然气水合物(NGH)是由 N₂、CO₂、H₂S 和 CH₄、C₂H₆、C₃H₈、iC₄H₁₀、nC₄H₁₀,以及其他一些重烃成分在一定温度和压力条件下,与游离水结合而形成的结晶笼状固体,外观形似松散的冰或致密的雪白色结晶体^[20-21]。水合物的生成必须同时具备高压、低温、自由水三个条件,一般高压气井亦或是不饱和油气藏在井口附近均易形成水合物^[22]。

水合物一旦形成,就会造成井筒堵塞,影响试井作业仪器串的下放。

AT 区、九区奥陶系属于高压凝析气藏,在现场测压过程中多次出现不同程度的遇阻卡现象。以 AT 区块 AT21X 井为例,该井油气水同出,最大关井油压 50.2 MPa。试井作业时通井正常,但下放测压工具串时在 6.2 m 处遇阻,提出工具串发现其底部带有白色固体,将该白色固体物质放置

一容器中,10 min 左右融化消失且可点燃,确定其为水合物。

3 防治措施

塔河油田试井作业遇阻卡防治措施主要包含蜡的防治措施和胶质沥青质的防治措施。

3.1 蜡的防治措施

对于含蜡量较高的油气井,根据本井油样全分析结果或参照邻井情况,在进行试井作业之前就可以判断出该井是否存在由含蜡造成的阻卡风险,因此该类井阻卡问题可以得到很好地预防,这也是含蜡造成遇阻卡所占比例最小的原因。

蜡的防治措施具体如下:①机械清蜡:利用刮蜡片上下运动清除油管内结蜡,简单易行,成本较低,但费时费力。制定合理的刮蜡周期,定期刮蜡是防止试井作业遇阻卡的有效手段。②热洗清蜡:油管内注入热稀油,将管壁上的蜡溶解掉,见效快,但有效期短。③化学防蜡:利用专用化学清防蜡剂有的能改变蜡晶微粒的大小、形状、结构,阻止蜡晶相互吸附、长大,降低原油凝固点;或使原油的胶质、沥青质、蜡质溶解,分散于原油中,进而降低原油黏度和清除管壁结蜡。④微生物清防蜡:微生物主动向食物如石蜡、碳氢化合物方向游动,将原油中饱和碳氢化合物、胶质沥青质降解,降低原油中的含蜡量,从而抑制石蜡的沉积。⑤合金清蜡:合金具有特殊的活性,能够有效防止原油中蜡分子的团聚和凝聚,即能够使析出的蜡晶体比较细小,悬浮在液体中,随液体流走,避免凝聚成大块,沉积在管壁上。

塔河工区防治蜡堵的主要措施:一是针对含蜡高的高压油气井,制定合理的刮蜡周期,定期刮蜡保证试井作业顺利进行;二是针对九区等区块带有井下安全阀的高压气井,无法采用机械方式清蜡,可以采取注热油的方式溶蜡。

3.2 胶质沥青质的防治措施

胶质沥青质的防治措施具体如下:①机械解堵:包括抽油杆工具刮削、自动刮削工具、钢丝提放工具解堵等上下运动清除油管内胶结物。②化学溶剂解堵:包括分散剂、增溶剂、表面活性剂,发挥拆散沥青聚集体分散成小颗粒,溶解沥青质小颗粒及降黏,颗粒表面成膜阻止二次聚集的作用。③涂抹机油和液压油:下放钢丝时涂抹机油和液压油润滑胶皮和钢丝可在一定程度上减少胶质沥青质在钢丝

上的黏附,从而减少上提遇卡的概率。当出现钢丝抖动时,可以尝试钢丝下放,并在钢丝上抹机油和液压油润滑以减少防喷盒处胶质沥青质的积聚。④注热油解堵:若胶质沥青质黏附于井筒内壁,试井、测井作业工具遇卡位置不深,可关井注热油解堵。

塔河工区防治胶质沥青质的主要措施:一是针对胶质沥青质的油气井(跃进、顺北),作业中择机安排清刮作业,保证试井作业顺利完成;二是在上提过程中,发现钢丝发黑等情况时,利用改进的防喷盒(图2),注入液压油或者沥青分散剂,润滑钢丝或避免原油析出物堵塞盘根造成遇卡。

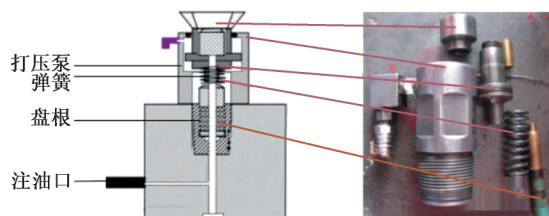


图2 试井作业放喷盒的改进

Fig.2 Improvement of the blowout box for the well test

3.3 水合物的防治措施

水合物的防治措施主要包含水合物的预测与水合物的治理,实例分析了 T901-4X 井和 HY2 井的防治效果。

3.3.1 水合物的预测

起初水合物生成条件并没有成熟可行的预测方法,此类阻卡问题不能得到预防,因此所占比例最高。经过大量调研及现场不断验证,形成一套有效的天然气水合物生成条件预测方法——密度曲线图解法。

密度曲线图解法是通过天然气的相对密度来大致估算水合物形成的温度和压力。如果天然气的相对密度在2条曲线之间,则可用内插法近似计算水合物形成的温度和压力,即

$$p = \frac{p_2 - p_1}{\gamma_2 - \gamma_1} (1 - \gamma_1) \quad (1)$$

$$T = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{\gamma_2 - \gamma_1} (1 - \gamma_1) \quad (2)$$

式中: p 为水合物形成的压力,MPa; T 为水合物形成的温度,K; γ 为天然气相对密度,无因次。

密度曲线图版(图3)中左上部为水合物生成区,右下部为水合物的非生成区。

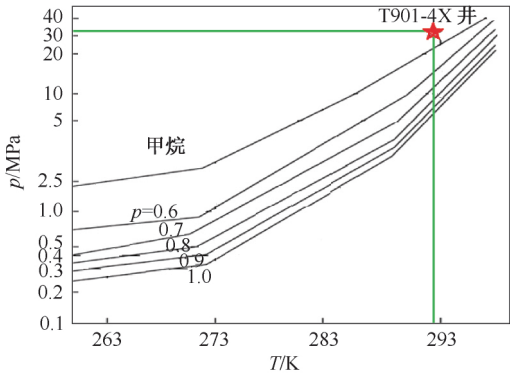


图 3 甲烷及不同相对密度天然气形成水合物的平衡曲线
Fig.3 Equilibrium curve of hydrate formed by methane and natural gas with different relative densities

3.3.2 水合物的治理

天然气水合物的生成条件:高压、低温和自由水^[23]。解决水合物造成的试井作业阻卡的方法分为 2 类,即物理方法和化学方法。物理方法包括:①脱出天然气中的水分;②气体压力降低至水合物生成压力以下;③提高气体温度至水合物生成温度以上。化学方法:加入一定量的抑制剂(甲醇或乙二醇),减缓或抑制水合物形成的热力学条件、结晶速率或聚集形态,来达到保持流体流动的目的。

热力学抑制剂是通过改变水和烃分子间的热力学平衡条件,降低生成水合物的温度,从而预防水合物的生成,此类方法亦可清除已生成的不稳定水合物^[24]。甲醇或乙二醇是最常用的热力学抑制

剂,但由于甲醇具有毒性、挥发性强,且易燃易爆,因此,通常选择乙二醇作为现场防治水合物的抑制剂。

3.3.3 案例分析

(1)T901-4X 井水合物的预防

T901-4X 井产出天然气相对密度 0.62,本井生产过程中井口最低温度 18.0 ℃ (291.15 K)、最高压力 32.0 MPa,对照密度曲线图版,该井温度、压力条件(如图 3 所示红星位置)达到水合物形成条件。

T901-4X 井生产过程中油压发生突变 5.0~1.0 MPa,且放喷点火口火炬火焰熄灭,现场判断油嘴发生堵塞,拆油嘴管汇检查发现油嘴前面有水合物,确认发生水合物冰堵现象,与密度曲线图解法预测结果相吻合。本井后期需进行试井作业获取压力资料,为防止水合物生成导致仪器串遇阻卡,关井之前向井筒注入乙二醇 25 L,后期试井作业无任何遇阻卡现象。

(2)HY2 井天然气水合物的治理

HY2 井产出天然气相对密度 0.577,生产过程中井口最低温度 25.8 ℃ (298.95 K)、最高压力 50.26 MPa,关井后井口最低温度 10.0 ℃ (283.15 K)、压力 50.68 MPa。由图 4 可见,该井生产过程中的温度、压力条件不足以使其形成水合物。因此,进行试井作业之前未采取水合物防范措施。

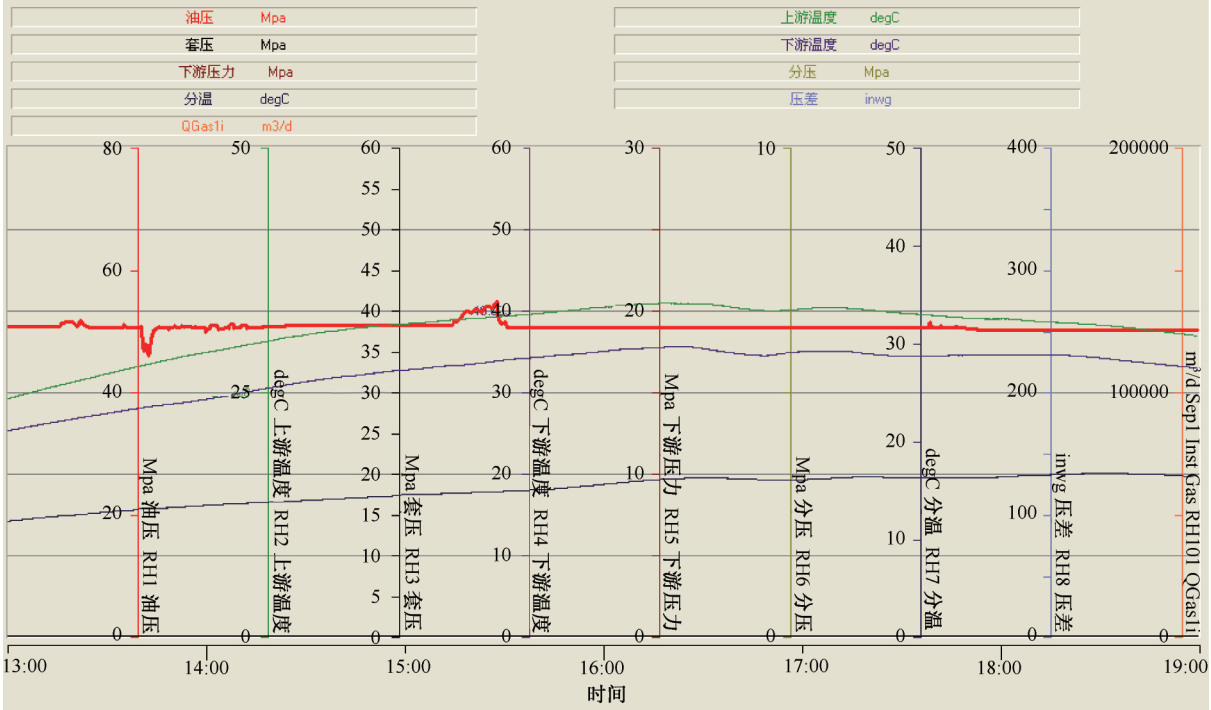


图 4 HY2 井解堵期间油压曲线
Fig.4 Oil pressure curve during the plugging removal of well HY2

HY2 井试井作业通井时工具串下放至防掉器以下 3.5 m 处遇阻。现场判断造成遇阻的原因有可能是水合物,而对照图 3 发现,该井关井过程中的温度、压力条件具备形成水合物的条件,进一步确定是水合物导致的本次遇阻。现场组织用化学注入泵,排量 0.01~0.19 m³/h,正注乙二醇 11 L,复探遇阻位置下降至 7.6 m,解堵不成功。分析井口油压曲线(图 4)可以看出,虽然堵塞未被清除,但乙二醇已对其有溶蚀作用,遂换用泵车进行大排量(1.2~2.4 m³/h)注入,正注乙二醇 350 L 后解堵成功,通井至设计井深 4 970 m 无遇阻现象。

T901-4X 井和 HY2 井的成功说明水合物可以得到很好的防治,且乙二醇对于抑制水合物生成具有良好的效果。

4 结论

(1) 胶质沥青质、高含蜡以及水合物是造成塔河油田试井作业遇阻卡的主要原因,其中水合物引起的阻卡所占比例最高。

(2) 根据阻卡点位置可以初步判断造成阻卡的原因。一般地,水合物造成的阻卡位置在井口附近,含蜡造成的阻卡位置在 0~1 500 m,而阻卡位置大于 1 500 m 的一般是胶质沥青质造成的。

(3) 根据原油全分析数据可以提前预防高含蜡和胶质沥青质的影响,主要使用机械清蜡的方式预防以及注热油的方式清除;通过防喷系统注入化学溶剂来防止胶质沥青质在井口堆积,更严重的胶质沥青堵塞需要通过刮刮来解除。密度曲线图解法根据井口压力、温度较准确的预判本井是否具备水合物的生成条件,可提前注入乙二醇对其预防,也可利用乙二醇消除已经生成的水合物。

(4) 塔河油田已经形成一套试井作业遇阻卡原因预判法则及相对应的防治措施体系,2017 年开展防治工作以来,累计新井试井作业 204 井次(含顺北、塔中、9 区、雅克拉等区块),未发生试井阻卡情况。

致谢:感谢中石化西北油田分公司完井测试管理中心同意本文公开发表。

参考文献

[1] 李志新.测井工程遇卡原因分析与处理[J].地球物理测井,1989,13(5):60-61.
LI Zhixin. Analysis and solution of sticking logging tools during logging operation [J]. Geophysical Well Logging,

1989,13(5):60-61.
[2] 《试井手册》编写组.试井手册[M].北京:石油工业出版社,1992:22-53.
[3] 陈元千.气井试井理论与实践[M].北京:石油工业出版社,1998:1-4,87-181.
[4] 苏鏢,陈波.超深高含硫气井油管钢丝打捞作业技术及应用[J].油气井测试,2016,25(4):50-52.
SU Biao, CHEN Bo. Technique of fishing broken slick line in ultra-deep high H₂S high pressure gas well and its application [J]. Well Testing, 2016, 25(4):50-52.
[5] 张瑞峰,安晓会,刘达,等.原油中沥青质的危害与预防[J].辽宁化工,2014,43(8):1048-1051.
ZHANG Ruifeng, AN Xiaohui, LIU Da, et al. Hazards and prevention of asphaltenes in crude oil [J]. Liaoning Chemical Industry, 2014, 43(8):1048-1051.
[6] 康成瑞.天然气采输过程中水合物防治技术研究[J].复杂油气藏,2017,10(4):76-80.
KANG Chengrui. Technology of hydrate prevention in production and transportation of natural gas [J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2017, 10(4):76-80.
[7] 张明.井下钢丝试井作业过程中遇阻遇卡判断的全新理念[J].油气井测试,2015,24(5):64-65.
ZHANG Ming. New ideas to judge the stuck or blocked of down hole steel wire in the process of well testing operation [J]. Well Testing, 2015, 24(5):64-65.
[8] 焦登峰.油井结蜡机理与清蜡措施的探讨[J].消费导刊.2012(6):40.
JIAO Dengfeng. Discussion on the mechanism well waxing and the measures edwaxing [J]. Consumer Guide, 2012(6):40.
[9] 白红艳,廖永刚,高蕊蕻.超低渗油田清防蜡技术的研究与应用[J].石油化工应用,2016,35(12):1-5,9.
BAI Hongyan, LIAO Yonggang, GAO Ruihong. Research and application of dewaxing and paraffin technology in ultra low permeability oilfield [J]. Petrochemical Industry Application, 2016, 35(12):1-5,9.
[10] 吕红梅,朱霞.油井中胶质沥青质沉积结垢的防治[J].石油化工应用,2013,32(11):105-109.
LYU Hongyan, ZHU Xia. Prevention of asphaltene and colloid deposition in oil well scaling [J]. Petrochemical Industry Application, 2013, 32(11):105-109.
[11] 张明.井下钢丝试井作业过程中遇阻遇卡判断的全新理念[J].油气井测试,2015,24(5):64-65.
ZHANG Ming. New ideas to judge the stuck or blocked of down hole steel wire in the process of well testing operation [J]. Well Testing, 2015, 24(5):64-65.
[12] 金泽亮,王荣仁,陈金先,等.气井测试水合物的防治研究与应用[J].油气井测试,2007,16(4):54-55,58.
JIN Zeliang, WANG Rongren, CHEN Jinxian, et al. Prevention study of hydrate for testing in gas well and its application [J]. Well Testing, 2007, 16(4):54-55,58.
[13] 徐昌晖,申凯,王有良.天然气水合物预测方法与防治

- 措施分析[J].辽宁化工,2016,45(1):73-75.
- XU Changhui, SHEN Kai, WANG Youliang. Prediction methods and control measures of natural gas hydrate [J]. Liaoning Chemical Industry, 2016,45(1):73-75.
- [14] 王克林,杨向同,刘军严,等.库车山前高压气井钢丝投捞式试井技术[J].油气井测试,2018,27(4):15-20.
- WANG Kelin, YANG Xiangtong, LIU Junyan, et al. Wireline fishing well testing technology in Kuche Foreland [J]. Well Testing, 2018,27(4):15-20.
- [15] 聂向荣,杨胜来,曹力元,等.储层条件下的含蜡原油流变性研究[J].断块油气田,2013,20(6):755-758.
- NIE Xiangrong, YANG Shenglai, CAO Liyuan, et al. Study on rheology of waxy crude oil under reservoir conditions [J]. Fault Block Oil & Gas Field, 2013, 20(6):755-758.
- [16] 王汉.凝析气井井筒结蜡的影响因素研究[J].化学工程与装备,2015(5):102-105.
- WANG Han. Influence factors of wax deposition in wellbore of condensate gas well [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2015(5):101-105.
- [17] 黄俊,丛慧阳,肖芳.稠油生产胶质沥青质的危害及防治[J].中国石油和化工标准与质量,2013(21):271-272.
- HUANG Jun, CONG Huiyang, XIAO Fang. Harm and prevention of gum asphaltene in heavy oil production [J]. China Petroleum and Chemical Industry Standard and Quality, 2013(21):271-272.
- [18] 李季,元艳,陈栋.塔河超稠油胶质、沥青质形貌分析[J].石油与天然气化工,2010,39(5):454-456.
- LI Ji, YUAN Yan, CHEN Dong. Morphology Analysis of Resin and Asphaltene [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2010,39(5):454-456.
- [19] 张人雄,向阳,李晓梅.超稠油油藏热采过程中沥青质损害室内模拟[J].石油勘探与开发,2001,28(1):85-86.
- ZHANG Renxiong, XIANG Yang, LI Xiaomei. A laboratory simulation on asphalt damaging super heavy oil reservoir during thermal recovery [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001,28(1):85-86.
- [20] 王叔森,吴明,王国付,等.管内天然气水合物抑制剂的应用研究[J].油气储运,2006,25(2):43-46,52.
- WANG Shumiao, WU Ming, WANG Guofu, et al. Applied study on gas hydrate inhibitors of gas transmission pipeline [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2006,25(2):43-46,52.
- [21] 周永涛,孙柏林,杨阳.某高压凝析气田集输管线水合物冻堵防治[J].天然气技术与经济,2015,9(5):45-47.
- ZHOU Yongtao, SUN Bailin, YANG Yang. Controlling freezing and ice blockage induced by hydrate in transportation pipelines: example from a gas condensate field with high pressure [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2015,9(5):45-47.
- [22] 宋中华,张士诚,王腾飞,等.塔里木油田高压气井井下节流防治水合物技术[J].石油钻探技术,2014,42(2):91-96.
- SONG Zhonghua, ZHANG Shicheng, WANG Tengfei, et al. Downhole throttling technology for gas hydrate prevention in deep gas wells of Tarim oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014,42(2):91-96.
- [23] 李中,杨进,王尔钧,等.高温高压气井测试期间水合物防治技术研究[J].油气井测试,2011,20(1):35-37.
- LI Zhong, YANG Jin, WANG Erjun, et al. A study of prevention and control of hydrates during well testing in wells with high temperature and high pressure [J]. Well Testing, 2011,20(1):35-37.
- [24] 覃勇,张世栋,邢延瑞,等.高压高气油比自喷井水合物冻堵解除及防治[J].石油地质与工程,2014,28(6):130-132.
- QIN Yong, ZHANG Shidong, XING Yanrui, et al. Prevention and control of freezing and plugging of hydrates in high-pressure wells with high pressure and high gas oil ratio [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2014, 28(6):130-132.

编辑 刘振庆

第一作者简介:李会会,女,1987年12月出生,硕士,工程师,2013年7月毕业于中国石油大学(华东)油气田开发工程专业,现主要从事完井试油、测试试井工作。电话:0996-4687089,13209991960;Email:hui_wuyeyanguang@163.com。通信地址:新疆巴州轮台县轮南镇采油三队完井测试管理中心,邮政编码:841600。