

# 超深超高压高含蜡凝析气井试井解堵技术

赵博勇<sup>1</sup>, 聂海峰<sup>2</sup>, 谭蓓<sup>3</sup>, 石敏<sup>1</sup>, 郭景顺<sup>1</sup>, 潘杰<sup>1</sup>

1. 新疆华油油气工程有限公司 新疆库尔勒 841000

2. 中国石油塔里木油田分公司勘探开发研究院 新疆库尔勒 841000

3. 中国石油塔里木油田分公司泽普采油气管理区 新疆库尔勒 841000

通讯作者: Email: 943472348@qq.com

项目支持: 中国石油天然气股份有限公司科技专项子课题“超深层油气藏提高采收率关键技术研究与应用”(2023ZZ14YJ04)

引用: 赵博勇, 聂海峰, 谭蓓, 等. 超深超高压高含蜡凝析气井试井解堵技术[J]. 油气井测试, 2025, 34(1): 73-78.

Cite: ZHAO Boyong, NIE Haifeng, TAN Bei, et al. Plugging removal technology of ultra-deep and ultra-high pressure high wax gas condensate well[J]. Well Testing, 2025, 34(1): 73-78.

**摘要** 塔里木油田库车山前超深超高压凝析气井井筒堵塞原因以及堵塞物复杂, 钢丝试井过程中极易发生遇阻、遇卡等高危风险, 导致井下温压资料录取风险大、难度高、成功率低。通过开展堵塞物室内实验分析研究, 堵塞物成分主要是以蜡、胶质、沥青质、芳香烃为主, 明确堵塞物沉积机理, 筛选出可高效分解堵塞物的化学药剂沥青分散剂和溶蜡剂, 并配套高压泵车和管汇确保解堵剂安全注入, 形成一套适用于超深超高压气井的试井解堵技术。经现场 14 井次成功应用, 井下温压资料录取成功率提高了约 23.5%, 为气田开发方案的制定提供了可靠的依据。

**关键词** 库车山前; 超深超高压; 凝析气井; 井筒堵塞; 高含蜡; 试井; 解堵剂; 温压资料

中图分类号: TE353

文献标识码: B

DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2025.01.012

## Plugging removal technology of ultra-deep and ultra-high pressure high wax gas condensate well

ZHAO Boyong<sup>1</sup>, NIE Haifeng<sup>2</sup>, TAN Bei<sup>3</sup>, SHI Min<sup>1</sup>, GUO Jingshun<sup>1</sup>, PAN Jie<sup>1</sup>

1. Xinjiang Huayou Oil &amp; Gas Engineering Co., Ltd, Korla, Xinjiang 841000, China

2. Research Institute of Exploration and Development, Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla, Xinjiang 841000, China

3. Zepu Oil &amp; Gas Management Area, Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla, Xinjiang 841000, China

**Abstract:** The reasons for the blockage of the wellbore of the ultra-deep ultra-high pressure condensate gas well in front of Kuqa foreland in Tarim oilfield and the complex blockages are very easy to occur during the steel wire well test, which leads to the high risk of admission of underground temperature pressure, high difficult and low success rate. Through indoor experimental analysis and research on blockages, the components of blockages are mainly wax, gum, asphaltene, and aromatic hydrocarbons. The mechanism of blockages is clarified and the chemical agents that can efficiently decompose blockages are selected to select asphalt dispersants and waxes that can effectively decompose blockages. It is equipped with a high-pressure pump truck and pipe assembly to ensure safe injection of the deblocking agent, forming a set of well test deblocking technology suitable for ultra-deep and ultra-high pressure gas wells. After 14 wells were successfully applied on site, the success rate of admission to underground temperature pressure data increased by about 23.5%, providing a reliable basis for the formulation of gas field development plans.

**Keywords:** Kuqa foreland; ultra-deep and ultra-high pressure; the condensate gas well; wellbore blockage; high wax content; well testing; plugging removal agent; temperature pressure data

塔里木油田库车山前储层具有“超深(6 100 ~ 8 100 m)、高温(150 ~ 190 ℃)、超高压(97 ~ 144 MPa)、含蜡量高(7.6% ~ 19.8%)”特点, 给后期储层温压资料录取和评价带来了严峻挑战<sup>[1-2]</sup>。刘振辉等<sup>[3]</sup>针对常规钢丝作业期间井口一直处于带

压甚至高压状态和井下钢丝腐蚀等问题, 调研发现钢丝投捞式试井技术则可以解决上述问题。张文生<sup>[4]</sup>、宋红伟<sup>[5]</sup>针对塔河油田稠油井引入了抗震 DPT 测压技术, 有效解决了塔河油田稠油开发测压难题。张云<sup>[6]</sup>、鲁斌昌等<sup>[7]</sup>针对塔河油田高含 H<sub>2</sub>S

的特点,对脱卡器进行改进,更换悬挂器滚轮材质,优选丢手工具的耐温、耐压材质和密封圈。胡勇等<sup>[8]</sup>针对电子脱挂器在塔河油田井况条件下所存在的缺陷,通过改进脱挂器结构、优化工具串配重等措施,解决了悬挂器中途丢手的问题。何博等<sup>[9]</sup>针对高温高压、高硫化氢环境研发了压力计悬挂器,配套形成新型钢丝投捞井下电子压力计技术。钢丝投捞式井下温压资料录取技术<sup>[10-11]</sup>已广泛用于库车山前井的压力恢复测试,单一产量或者变产量测试,干扰或脉冲测试,探边测试,静压、流压及其梯度测试等<sup>[12]</sup>。

2019 年以来库车山前凝析气藏群采气井井下温压资料录取工作量逐年增加,在测试过程中遇到一系列复杂难题,导致施工遇阻井次增多且井况复杂,不断出现新的测试遇阻、发现新的堵塞情况,比如:蜡堵、芳香烃堵、混合堵等,在已有的测试难度的基础上,进一步提高了测试的风险和施工成本,对试井测试具有前所未有的挑战。前期通过提产、提温等措施解除井筒堵塞的措施已不能满足现场需求,需要针对目标气藏、井下条件和凝析油蜡、胶质、沥青质、芳香烃含量及成分,筛选适用的化学抑制剂和清除剂。

目前解决沥青析出和沉积的方法主要有减小剪切力及压力降、溶剂处理、注入分散剂等,其中注入沥青分散剂由于具有分散效果好、施工安全、环保等特点成为解决沥青堵塞问题的有效途径以及研究热点<sup>[13]</sup>。徐海霞、樊泽霞等<sup>[14-15]</sup>筛选出可高效分解沥青质堵塞物的沥青分散剂 HC-C20,此沥青分散剂应用于哈得碳酸盐岩油藏 D 井,井筒沥青质沉积堵塞取得了很好的解堵效果;赵凤兰等<sup>[16]</sup>研究了几种羟基化合物分散剂对渤海 SZ36-1 油田稠油沥青质沉积的抑制效果,其中最好的分散剂是有效成分为正电聚醚多元醇的 YZ-06,抑制率高达 52% 左右;JUNIOR LCR 等<sup>[17]</sup>筛选了几种含羟基物质作为沥青质沉淀分散剂,其中低相对分子质量的乙氧基壬基苯酚对巴西原油的沥青质沉淀有很好的抑制效果,浓度越高,在原油中的抑制效果越好。离子液体是近年来新的沥青质分散剂研究方向和热点,HU YF 等<sup>[18]</sup>研究了基于烷基吡啶、丁基异喹啉、烷基苯酚、烷基苯磺酸的离子液体分散剂的抑制沥青质沉积的效果。

以塔里木油田超深、超高压高含蜡凝析气井钢丝试井井筒堵塞物具体成分、堵塞物来源、堵塞

类型三个问题为导向,通过开展堵塞物室内实验分析研究井筒堵塞物成分主要是以蜡、胶质、沥青质、芳香烃为主,明确堵塞物沉积机理,筛选出可高效分解堵塞物的化学药剂沥青分散剂和溶蜡剂按照 1:0.9 比例配方的化学解堵剂,并配套高压泵车和管汇确保解堵剂安全注入,形成一整套超深、超高压复杂井筒堵塞气井的井下温压资料录取技术。

## 1 技术难点

2018-2022 年高温、高压气井钢丝试井测试中,多达 84 井次作业井在通井过程中因遇阻、遇卡等异常问题导致测试失败,取消作业。遇阻情况包含有砂堵、垢堵、蜡堵、芳香烃堵和混合堵,其中对于高含蜡凝析气井主要的堵塞情况为蜡堵、芳香烃堵和混合堵三类。

### 1.1 蜡堵测试遇阻情况

在 2018-2022 年超深超高压高含蜡凝析气井钢丝试井测试中,约有 23 井次测试因井筒内存在蜡堵导致测试遇阻失败。典型井如 2020 年 8 月 D11 井(原油化验含蜡量 13.2%)压恢测试前通井至 110 m、120 m 有遇阻现象,通井至 123 m 顶钻,上提通井工具至井口,检查通井工具带出大量黄色蜡样(见图 1);再如 2020 年 4 月 D17 井(原油化验含蜡量 14.2%),系统试井前通井至 144.6 m 遇阻立即上提通井工具,通井规上带有少许蜡样。



图 1 D11 井通井工具串带出蜡样现场照片  
Fig.1 The D11 well pass tool string brings out the wax sample site photos

### 1.2 芳香烃堵、混合堵测试遇阻情况

在 2018-2022 年超深超高压高含蜡凝析气井钢丝试井测试中,因井筒内存在芳香烃堵、混合堵而导致的测试遇阻失败的有 16 井次。典型井如 2020 年 4 月 Z301 井系统试井前通井,Φ62.5 mm 工具串通井至 161 m 遇阻,上提工具串至 50 m 发现钢

丝表面附着有大量红褐色胶质物,通井工具串提至井口,检查通井规、防掉器内附着少量黑色胶质物;2020 年 4 月 Z9 井系统试井前通井,Φ62.5 mm 工具串通井至 1507 m 遇阻、上提有遇卡现象,通井工具串上提至 700 m 左右时,发现钢丝上附着大量红褐色胶质物,通井工具串提至井口检查通井工具串上有少量黑褐色胶质物;2020 年 4 月 Z12 井系统试井前通井,Φ62.5 mm 工具串通井至 830 m 遇阻,通井工具串上提至 600 m 时钢丝间断性粘有红褐色胶质物,通井工具串提至井口,检查通井规、防掉器内有大量红褐色胶质物及黑色胶质物;2020 年 9 月 Z7 井系统试井前通井,Φ55 mm 通井工具串通井至 231 m 遇阻,上提通井工具串至井口后,通井工具串表面附着有大量胶质物、检查油嘴取出大量胶质物。

## 2 堵塞机理研究

通过室内实验分析超深超高压高含蜡凝析气井井筒堵塞物成分主要是蜡、胶质、沥青质、芳香烃为主,据此开展室内外实验研究筛选出一种有效的解堵配方“沥青分散剂+溶蜡剂”,有效的解决钢丝试井遇阻问题,提高了井下温压资料录取成功率和施工井次。

### 2.1 井筒堵塞物成分分析

#### (1)Z12 井堵塞物分析

通过开展井筒堵塞物的族组分分析,Z12 井通井工具串带出的大量红褐色胶质物及黑色胶质物堵塞物族组分中芳烃含量占比高达 64.99%,堵塞物以芳香烃为主(见表 1);根据色谱质谱分析,Z12 井堵塞物来源于地层。

表 3 Z7 井 X 射线衍射分析矿物百分含量结果表  
Table 3 Z7 well X-ray diffraction analysis mineral percentage content results table

样品编号	矿物含量/%								
	石英	方解石	白云石	磷灰石	钾石盐	重晶石	磷石英	铁白云石	黏土矿物
1#(180 m)	10.4	32.4		35.9		9.5	8.8	1.6	1.4
2#(1 800 m)	7.9	33.1		33.2		11.6	12.5	0.5	1.2
3#(1 903 m)	6.8	19.2	2.3		60.0		10.4		1.3
4#(4 828 m)	4.2	8.2		75.2		6.1		5.2	1.1

③原油四组分分析:四组井筒堵塞物样品中沥青质含量随深度变化发生明显变化(见表 4),举升过程中发生了沥青质沉积。

综上所述,由分析结果知 Z7 井井筒堵塞物样品中沥青质含量随深度变化而变化,随着样品取样深度的减小,井筒中温度压力会随之降低,原油中

表 1 族组分分析结果表  
Table 1 The results of the clan component analysis

序号	井号	饱和烃含量/%	芳烃含量/%	胶质含量/%	沥青质含量/%	备注
1	Z301	77.09	4.02	2.79	7.12	原油
2	Z7	75.00	16.99	1.47	0.98	
3	Z9	84.92	7.68	1.28	0.85	
4	Z12	81.78	10.89	1.78	0.78	
5	Z12	5.84	64.99	12.73	6.63	井筒堵塞物

#### (2)Z7 井堵塞物分析

为研究 Z7 井井筒堵塞物的组成和性质,对其进行了 X 射线衍射分析(XRD)、热重分析(TG)以及原油四组分分析,在上述测试分析基础上进行了沥青质沉淀机理的研究和分析,针对 Z7 井阐明了沥青质沉积的机理,并对沥青质沉积的影响因素进行了简要分析。

①热重分析:结果显示不同深度所取的四组井筒堵塞物样品中无机物含量约 21%,有机物含量约 79%(见表 2),四组井筒堵塞物样品所含物质均以有机物为主。

表 2 Z7 井热重分析结果表  
Table 2 Z7 well thermal analysis results table

样品编号	样品取样深度/m	无机物占比/%
1#(180 m)	180	23.519 64
2#(1 800 m)	1 800	20.314 66
3#(1 903 m)	1 903	18.025 76
4#(4 828 m)	4 823	24.094 60

②X 射线衍射分析:对 4 个深度的堵塞物分离出无机组分后,进行了 X 射线衍射测试,由测试结果可知,Z7 井堵塞物矿物组成中含有石英、方解石和重晶石等多种非黏土矿物以及黏土矿(见表 3),并且堵塞物样品中的黏土矿物均为伊利石。

表 4 Z7 井原油四组分测试结果表  
Table 4 Z7 well crude oil four-set test results table

样品编号	饱和份/%	芳香份/%	胶质/%	沥青质/%	总收率/%
1#(180 m)	28.77	18.93	18.91	6.06	72.67
2#(1 800 m)	34.29	19.86	17.49	5.08	76.72
3#(1 903 m)	22.46	18.63	18.25	3.59	62.93
4#(4 828 m)	14.76	18.97	22.11	21.34	77.18



的沥青质在举升过程中大幅析出,且大量沉积堵塞发生在 1 903 m 以下的位置,本次测试结果表明温度和压力会影响沥青质的沉积。

同时,结合黏土矿物 X 射线衍射分析结果,井筒堵塞物中含有伊利石;结合沥青质在不同矿物接触面上的吸附量情况图(见图 2)可知,伊利石的存在提供了多空疏松的接触面,在吸附机理作用下促进了沥青质的沉积。

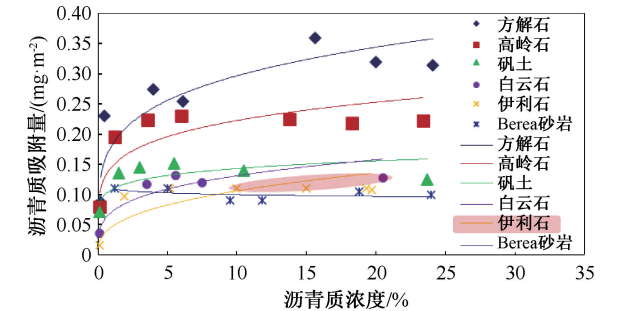


图 2 沥青质在不同矿物上的吸附量

Fig. 2 The absorption of asphalt quality on different minerals

2.2 加热溶解实验

目前解决沥青析出和沉积的方法主要有减小剪切力及压力降、溶剂处理、注入分散剂等,其中注入沥青分散剂由于具有分散效果好、施工安全、环保等特点成为解决沥青堵塞问题的有效途径以及研究热点。沥青分散剂解堵的主要机理是将沥青质分子包围使其稳定在原油中、而不发生絮凝和沉积造成堵塞。

(1)将 Z12 井堵塞物进行加热溶解实验研究  
常压下,将样品放入加热炉中加热,60~105 ℃无变化,当加热至 115 ℃时红褐色固体粉末开始逐渐变黑,并融化。在 115 ℃保持 20 min 后,样品全部变黑色液固混合态,但具有较强黏性;常压下,可点火燃烧,燃烧过程中逐渐变为黑色颗粒状,当停止燃烧后,立即挤压仍然可变为红褐色粉末状,再次燃烧过程同上。

(2)将 Z7 井堵塞物进行加热溶解实验研究:取 5 份 20 g 堵塞物,分别进行实验

①堵塞物直接加热以及在清水、沥青分散剂、溶蜡剂中加热实验;将 1 份 20 g 堵塞物放入玻璃杯中,3 份 20 g 堵塞物分别放入 100 ml 清水、沥青分散剂、溶蜡剂中,一起放入加热装置中进行加热实验,得出如下实验结果:a. 直接进行堵塞物加热至 50 ℃时开始融化,65 ℃完全融化;b. 堵塞物放入清水中不溶解,加热至 54 ℃开始有溶解,62 ℃完全溶解,

有分层现象;c. 堵塞物放入沥青分散剂里搅拌后有明显溶解现象,大部分可溶解,加热至 52 ℃全部溶解;d. 堵塞物放入溶蜡剂里里搅拌后有明显溶解现象,大部分可溶解,加热至 40 ℃时全部溶解。

②堵塞物放入沥青分散剂和溶蜡剂各 50 ml 混合液中,堵塞物开始缓慢溶解,用搅动棒搅动,大约 10 min 后全部溶解。

根据以上实验结论:Z7 井堵塞样加入沥青分散剂和溶蜡剂混合液可全部进行溶解,通过加热可加速溶解。

3 试井技术应用效果

2020~2022 年塔里木库车山前博孜区块超深、超高压高含蜡凝析气井钢丝试井测试中,通过采用沥青分散剂和溶蜡剂混合液新型解堵配方按照 1:0.9 比例可高效解除井筒堵塞,据统计通井遇阻后通过挤入新型解堵剂最终成功录取到井下温压资料达到 14 井次,井下温压资料录取成功率提高约 23.5%,录取到井下温压数据,为油气藏开发研究工作提供了宝贵的资料。

3.1 针对蜡堵测试井

对于一般的蜡堵测试井,前期已有较成熟的钢丝试井技术,如前期通过提产、提温等措施解除井筒蜡堵问题,但针对超深超高压高含蜡凝析气井测试已逐渐不能满足现场需求,因此增加了通过注入溶蜡剂快速、高效解除井筒蜡堵特色技术。

典型井:如 D17 井 2020 年 4 月 7 日通井遇阻,通过作业中张力变化及工具串带出少量蜡样判断为 90~144.6 m 存在间歇蜡阻。2020 年 5 月 28 日再次作业时首先使用高压泵车注溶蜡剂 2.4 m³,最终压力计成功投放至设计深度,顺利完成了资料录取工作;Z24 井 2022 年 3 月 27~28 日连续通井 3 次,异常 3 次、遇阻 3 次,上提通井工具串带出蜡样。2022 年 3 月 29 日再次作业时通井前使用高压泵车注溶蜡剂 158 L,最终压力计成功投放至设计深度,顺利完成了资料录取工作,录取到井下温压资料。

3.2 针对芳香烃堵、混合堵测试井

针对存在芳香烃堵、混合堵测试井,通过室内实验已经验证可以溶于沥青分散剂+溶蜡剂的解堵配方,室外现场操作也成功证明此技术的有效性。通过具体的现场试验,采用沥青分散剂和溶蜡剂混合液新型解堵配方按照 1:0.9 比例可高效解除井筒堵塞。

典型井:如 Z301 井 2020 年 4 月 16 日通井遇阻,上提工具串至 50 m 发现钢丝表面附着有大量红褐色胶质物,通井工具串提至井口,检查通井规、防掉器内附着少量黑色胶质物。2020 年 6 月 24 日再次作业时首先使用高压泵车注溶蜡剂 6.0 m<sup>3</sup>、沥青分散剂 5.5 m<sup>3</sup>,最终压力计成功投放至设计深度,顺利完成了资料录取工作,录取到井下温压资料;Z12 井 2021 年 7 月 23-24 日通井遇阻,检查钢丝以及通井工具串上附着红褐色胶质物,2021 年 7 月 25 日再次作业时首先使用高压泵车注溶蜡剂 435.6 L、沥青分散剂 380 L,最终压力计成功投放至设计深度,顺利完成了资料录取工作,录取到井下温压资料。

### 4 应用效果

超深超高压高气井的灵魂是“压力”,研究的核心是“压力变化趋势”。通过钢丝试井测试录取到井下温压资料即可以深化地质认识,也可以为气藏储量估算、开发方案编制以及合理开发技术对策的调整提供重要依据。

#### 4.1 蜡堵测试井

以 Z24 井压恢+干扰试井测试为例。该井生产井段 7 320.00~7 390.00 m、产层中部垂深 7 355.00 m,储层地层压力 123.53 MPa,储层有效厚度 40.9 m,有效孔隙度 6.70%。2022 年 3 月 29 日~6 月 14 日成功进行了压恢+干扰试井测试,存储式电子压力计录取的井下温压数据如图 3 所示,获得该井整个测试期间的井下温压数据以及变化趋势,录取时长长达 77.6 d,真实反映了井下压力、温度变化趋势。

通过分析:①明确了 Z24 井储层呈双重介质渗流特征;②根据干扰试井分析结果,Z24 井与邻井不存在连通关系,Z24 断块独立成藏;③深化了气藏地质认识。

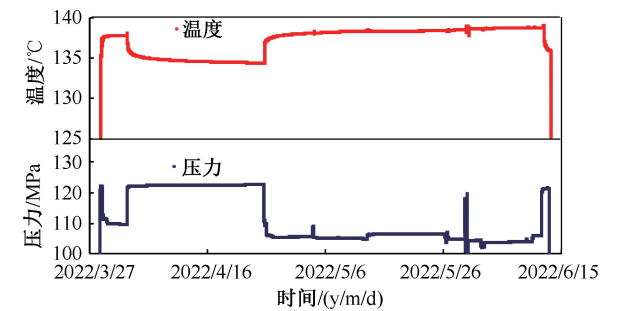


图 3 Z24 井井下温度、压力展示图

Fig. 3 Underground temperature and pressure diagram of Z24 well

#### 4.2 芳香烃堵、混合堵测试井

以 Z301 井干扰试井测试为例。该井生产井段 5 920.00~5 958.00 m、产层中部垂深 5 939.00 m,储层地层压力 109.33 MPa,储层有效厚度 21.5 m,有效孔隙度 7.97%。2020 年 6 月 22 日-9 月 8 日成功进行了干扰试井测试,存储式电子压力计录取的井下温压数据如图 4 所示,获得该井整个测试期间的井下温压数据以及变化趋势,录取时长长达 77.4 d,真实反映了井下压力、温度变化趋势。

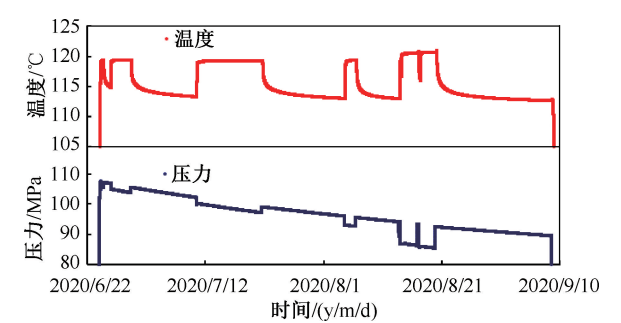


图 4 Z301 井井下温度、压力展示图

Fig. 4 Underground temperature and pressure diagram of Z301 well

通过分析:①明确了 Z301 井与周边邻井存在明显的连通关系;②根据录取到的地层压力再次计算、核对了 Z3 气藏动态储量为 237.5 亿方。

### 5 结论

(1)通过室内实验分析和室外现场实践,均证明溶蜡剂+沥青分散剂的化学解堵配方可有效清除蜡、胶质、沥青质以及芳香烃等造成的井筒堵塞。

(2)针对高含蜡气井,在通井、投捞作业时尽量选择稳定的开井状态下或者上调产量提高井筒内温度,保证井口、井筒内温度高于结蜡极限温度;如需测静梯,应尽量控制较短的关井时间或者作业前使用高压泵车注入一定量的溶蜡剂。

(3)针对存在芳香烃堵、混合堵的超深、超高压高含蜡凝析气井测试井,目前最有效的钢丝试井技术就是通过高压泵车向井筒内注沥青分散剂+溶蜡剂按照 1:0.9 比例配方的化学解堵剂,疏通井筒。据统计采用该试井技术可提高井下温压资料录取成功率约 23.5%,录取到井下温压数据,为油气藏开发研究工作者提供了宝贵的资料,为气田开发方案的制定提供了可靠的依据。

致谢:感谢塔里木油田分公司和新疆华油油气工程有限公司相关技术人员的大力支持。



## 参考文献

- [1] 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 for high pressure gas wells in Kuqa foreland[J]. Well Testing, 2018, 27(4): 15-20.
- [2] 刘洪涛,黎丽丽,吴军,等. 库车山前高温高压气井测试管柱优化配置与应用[J]. 钻采工艺, 2016,39(5): 42-45.  
LIU Hongtao, LI Lili, WU Jun, et al. Optimum configuration and application of well testing string for ultra-deep HTHP gas wells in Kuqa, Tarim[J]. Drilling & Production Technology, 2016, 39(5): 42-45.
- [3] 刘振辉,李文涛,蔡高贤,等. 井下压力计脱挂器的开发应用[J]. 油气井测试, 2002, 11(4): 66-68.  
LIU Zhenhui, LI Wentao, CAI Gaoxian, et al. Development and application of the tripping-connecting device of pressure gauge[J]. Well Testing, 2002, 11(4): 66-68.
- [4] 张文生. DPT 在塔河油田稠油井中的应用[J]. 油气井测试, 2003,12(3): 52-53.  
ZHANG Wensheng. The application of DPT in viscous crude wells of Tahe oilfield[J]. Well Testing, 2003, 12(3): 52-53.
- [5] 宋红伟. 抗震 DPT 测压技术在塔河油田稠油油藏的应用[J]. 石油钻探技术, 2004,32(4): 72-73.  
SONG Hongwei. DPT pressure measurement technology against shock applied in dense oil reservoir of Tahe oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2004, 32(4): 72-73.
- [6] 张云. 投捞器在高含硫井试井中的应用[J]. 油气井测试, 2009,18(3): 45-46.  
ZHANG Yun. Well testing for sour wells with high-sulfur content[J]. Well Testing, 2009,18(3): 45-46.
- [7] 鲁斌昌,孙剑波,秦川. 新型电子投捞式 DPT 试井技术在超深高压高含 H<sub>2</sub>S 井的改进和应用[J]. 油气井测试, 2013,22(6): 49-50.  
LU Binchang, SUN Jianbo, QIN Chuan. Improvement of new type of electronic cast fishing DPT test technology in ultra deep well and high containing H<sub>2</sub>S and its application[J]. Well Testing, 2013,22(6): 49-50.
- [8] 胡勇,周生福,王博伟,等. 一种深井 DPT 投捞工艺在塔河油田的改进及应用[J]. 油气井测试, 2016,25(3): 71-72.  
HU Yong, ZHOU Shengfu, WANG Bowei, et al. Improvement and application of a kind of deep well DPT shot out process in Tahe oilfield[J]. Well Testing, 2016,25(3): 71-72.
- [9] 何博,潘登,赵益秋. 新型钢丝投捞井下电子压力计技术[J]. 钻采工艺, 2015,38(4): 74-76.  
HE Bo, PAN Deng, ZHAO Yiqiu. A new type of slickline running and pulling downhole electronic pressure gauges technology[J]. Drilling & Production Technology, 2015,38(4): 74-76.
- [10] 中国石油天然气集团有限公司. 油气井常规钢丝作业技术规范:Q/SY 02769-2019[S]. 北京:石油工业出版社, 2015:12-15.
- [11] 叶荣,蒋鸿杰. 一种全新的井下压力计脱挂工具[J]. 油气井测试, 2002,11(2): 68-69.  
YE Rong, JIANG Hongjie. A novel doffed and hung tool in the well bottom[J]. Well Testing, 2002,11(2): 68-69.
- [12] 庄惠农,韩永新,孙贺东,等. 气藏动态描述和试井:第 3 版[M]. 北京:石油工业出版社, 2021:218-227.
- [13] 马爱青. 沥青分散技术研究[J]. 化学工程与装备, 2012(2): 26-29.  
MA Aiqing. Research of asphalt dispersion technology[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2012(2): 26-29.
- [14] 徐海霞,任利华,卢培华,等. 哈得碳酸盐岩油藏井筒异物堵塞原因分析及对策[J]. 化学工程师, 2017,31(1): 71-74.  
XU Haixia, REN Lihua, LU Peihua, et al. Cause analysis and prevention of wellbore blocking in the carbonate reservoirs of Hade oilfield[J]. Chemical Engineer, 2017, 31(1): 71-74.
- [15] 樊泽霞,丁长灿,李玉英,等. 沥青质沉淀清除剂的研制及应用[J]. 特种油气藏, 2013, 20(4): 113-116.  
FAN Zexia, DING Changcan, LI Yuying, et al. Development and application of asphaltene precipitation remover[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2013, 20(4): 113-116.
- [16] 赵凤兰,鄢捷年. 沥青质沉积抑制剂和清除剂研究[J]. 油田化学, 2004, 21(4): 310-312.  
ZHAO Fenglan, YAN Jienian. A study on inhibitors and removers for asphaltene deposits from heavy crude oils[J]. Oilfield Chemistry, 2004, 21(4): 310-312.
- [17] JUNIOR L C R, FERREIRA M S, RAMOS A C D S. Inhibition of asphaltene precipitation in Brazilian crude oils using new oil soluble amphiphiles[J]. Journal of Petroleum Science & Engineering, 2006, 51(1/2): 26-36.
- [18] HU Y F, GUO T M. Effect of the structures of ionic liquids and alkylbenzene derived amphiphiles on the inhibition of asphaltene precipitation from CO<sub>2</sub> injected reservoir oils[J]. Langmuir, 2005, 21:8168-8174.

编辑 吴志力

**第一作者简介:**赵博勇,男,1992 年出生,工程师,本科,2014 年毕业于西安石油大学勘查技术与工程专业,现主要从事油气藏试井解释及气藏工程相关研究工作。电话:13369850322,Email:943472348@qq.com。通信地址:新疆库尔勒市塔指东路南七巷七号水轩名苑,邮政编码:841000。