

# 清防蜡井下工具在油井中的应用

蒋丹瑶

(辽河石油勘探局有限公司兴隆台采油厂 辽宁盘锦 124010)

DOI:10.12238/jpm.v3i3.4777

**[摘要]**油井结蜡问题普遍存在于油井生产过程中,这已成为影响油井高产稳产的主要因素之一。以热洗和化学药剂清蜡为主的常见清防蜡方式,会带来油井生产时效降低,生产成本增加等问题。对清防蜡井下工具应用进行分析,为油井清蜡措施提出新的思路显得尤为重要。

**[关键词]**清防蜡;井下工具;提液增效;无污染

Application of paraffin removal and prevention downhole tools in oil wells

Jiang danyao

(Xinglongtai oil production plant of Liaohe Petroleum Exploration Bureau Co., Ltd., Panjin 124010, Liaoning)

**[Abstract]** the problem of wax deposition in oil wells generally exists in the process of oil well production, which has become one of the main factors affecting the high and stable production of oil wells. The common wax removal and control methods, which mainly focus on hot washing and chemical wax removal, will reduce the production efficiency of oil wells and increase the production cost. It is particularly important to analyze the application of paraffin removal and prevention downhole tools and put forward new ideas for oil well paraffin removal measures.

**[Key words]** wax removal and prevention; Downhole tools; Liquid extraction efficiency; pollution-free

## 1.概况

在原油开采过程中,随着温度的降低,析出的蜡晶微粒数量增多,并以结晶形式沉积在油井管壁上,从而出现结蜡现象,进而导致油井管径缩小,原油流动性差,从而造成抽油杆断脱等情况的发生。结蜡也是影响油井稳产、高产的主要因素之一。

表1 常见清蜡方式的优缺点对比表

| 清蜡方式    | 清蜡周期 | 优点                     | 缺点                        |
|---------|------|------------------------|---------------------------|
| 热洗清蜡    | 周期短  | 清蜡彻底                   | 费用较高,有时需关井施工破坏地层,严重影响生产时率 |
| 化学清蜡    | 周期短  | 选井无特殊要求,节约热洗液用量,占生产时率小 | 腐蚀油套管,清蜡不彻底,对套出液尤甚        |
| 电加热清蜡   | 周期短  | 起下作业简单,不伤害地层,不影响生产时率   | 耗电多                       |
| 清防蜡井下工具 | 周期长  | 无污染、不影响生产时率            | 整理使用期限有待观察                |

为解决常规清蜡方式效率低,洗液消耗量大,且易造成环境污染,生产过程中熔蜡过快易导致卡泵、卡杆事故、严重时的油井停产检修等问题。为此引入不用电、不加药、安全环保的物理防蜡降粘技术替代通常采用的清蜡方式,该项技术的应用不但缓解了地层的污染、提高清防蜡效果、更有效地降低成本的投入、减少入井水量和化学药品的消耗,为防蜡治理工作提供了新思路。

## 2.清防蜡井下工具

### 2.1 防蜡防垢增油装置

#### 2.1.1 工作原理

防蜡防垢增油装置由涡流增压器、声波发生器、高能强磁器三大部分组成,安装在抽油泵下,筛管之上。再在抽油杆适当位置安装两支抽油杆防蜡器,不需要外加电源于动力。利用其独特的设计结构能够使产液的流速、粘度、气液相溶解度等,产生一系列物理变化,使产液高度融溶并乳化,达到降低原油粘度、增加流动能力、防止结蜡、结构、提高泵效、增加油井产量的目的,起到防蜡防垢降粘增油的显著效果。

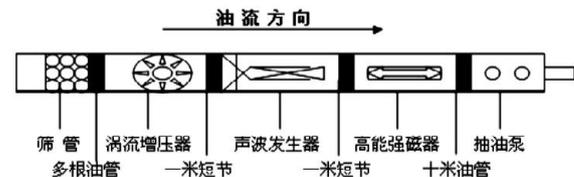
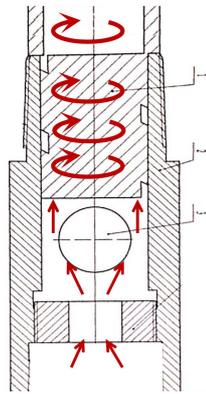


图1 防蜡防垢增油装置主体连接图

(1) 油层液体进入泵前,首先通过“涡流增压器”,涡流增压器内部结构为大导程螺旋形特殊通道,并配有B型球阀。促使液体产生剧烈的涡流、紊流运动,通过涡流产生的高速旋转、剧烈紊动和搅拌掺混作用,网状结合的石蜡分子得以分散在混合液中。石蜡分子形成的细小结晶不宜结合在一起,石蜡析出初步得到抑制。



1 导流槽 2 导流阀 3 喷射器

图2 涡流增压器内部结构示意图

(2) 油层液体随后经过“声波发生器”，利用超声液哨的原理，液体在声波发生器上下接头间较高压差作用下，油流以初始速度通过该发生器锥形收缩截面时，此时油流速度已有较大提高，继而进入喷嘴的楔形收缩截面，产生二次液流收缩，液流速度进一步提高，达到喷嘴时，已获得很高的流速，通过喷嘴的高速射流产生的爆破扩张，激发震动系统产生400-1500HZ的声波振动，在周围油水介质内形成声波场。该声波有强烈的交变压力作用于油水介质。进一步使蜡晶不易聚集长大，从而达到降粘防蜡，延长油井结蜡周期的作用。

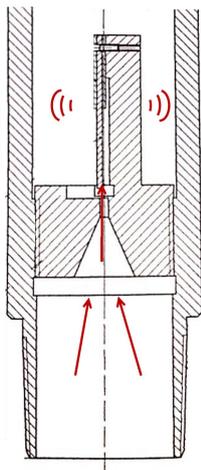


图3 声波发生器内部结构示意图

(3) 液流最后通过“高能强磁器”流入抽油泵体，原油中的石蜡是一种抗磁性物质，分子本身没有磁矩，当液流经特殊磁路的高能磁场时，石蜡分子被瞬间磁化，石蜡分子中的电子自旋量增加，运动轨道发生变化，产生了能量的跃进，其结果是使原油的物性在一定的时间内发生变化，石蜡分子产生诱导磁矩，同时绕磁力线发生运动。使原油克服磁场力做功，分子内能增大，而石蜡分子的进动速度相近，沿磁力线方向排列，相邻分子由于排列方向相同，极性相同，相互排斥，就不易再结合成网状蜡晶，从而使蜡晶呈细碎状态悬浮在油流中被带走，达到防治管壁和抽油杆结蜡的目的。

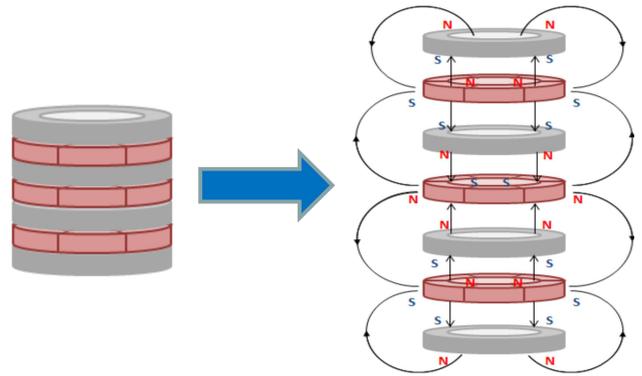


图4 高能强磁器磁体结构和磁力线分布示意图

(4) 因强磁磁化具有时间效应，实验室测试磁效应的半衰期为40H左右，为增强磁防蜡效果，充分利用磁防蜡技术，在管柱结蜡点以下100m处向上等距离安装2支抽油杆磁防蜡器。

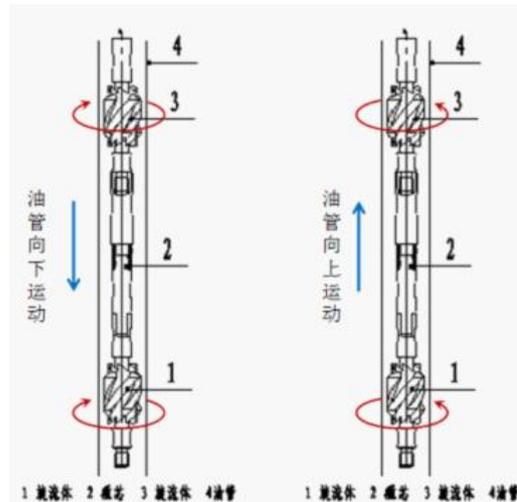
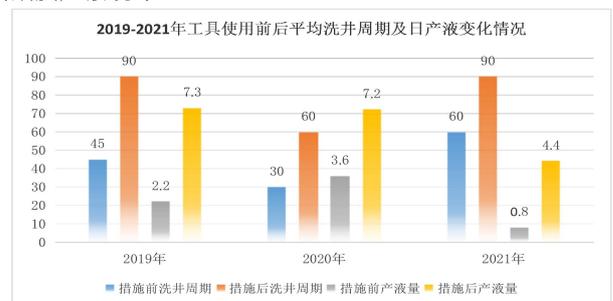


图5 杆式强磁器示意图

2.1.2 应用效果

2019-2021 年共有 50 井次应用该装置，措施后平均洗井周期由原来的 45 天提升至 90 天，日产量由 2.2m³ 提高到 7.3m³。防蜡防垢增油装置的应用，有效提高了油井的产液量，延长了油井的洗井周期。

表 2 2019-2021 年防蜡防垢增油装置装置措施前后洗井周期及产液统计



此外，分析 50 口井措施后的洗井周期得出，延长后的洗井周期仍需随油井具体生产情况进行动态调整实施洗井或检泵措施，而该装置保持正常出液前提下单井的使用周期一般不超过两年。

表 3 2019-2021 年防蜡防垢增油装置使用周期情况

| 工具使用周期 | 2019 年 | 2020 年 | 2021 年 |
|--------|--------|--------|--------|
|        |        |        |        |

|       |    |    |        |
|-------|----|----|--------|
| <1 年  | 13 | 8  | 1      |
| 1-2 年 | 8  | 7  | 9(使用中) |
| >2 年  | 4  |    |        |
| 总计    | 25 | 15 | 10     |

2.2 纳米降粘防蜡防砂装置

2.2.1 工作原理

纳米降粘防蜡防砂装置采用国外进口的 Co-88 为主料, Co-88 材料是通过特殊的添加方式制成钴合金后经过激光热处理等特热处理手段, 获得高性能材料。将 Co-88 材料制成纳米尺寸并通过特定排列得到一个高能量场。原油通过该能量场的磁力电力线的作用, 利用 Co-88 为主料的微晶聚磁合金的特性通过物理方法改变原油碳分子结构, 使分子结构发生变化, 最终达到井筒内降粘和井筒防蜡效果, 因此, 不用再往井筒内掺稀油或加降粘剂, 油的流动性提高了, 同时也就提高了油井产液量。

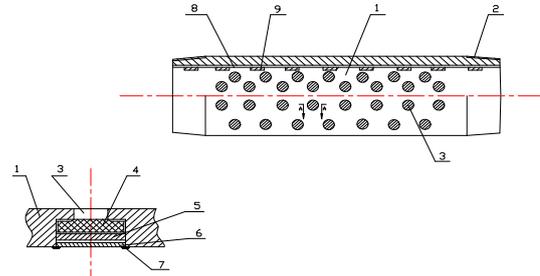


图6 纳米降粘防蜡防砂装置结构示意图

图中1-基管, 2-外螺纹, 3-通孔, 4-过滤材料, 5-过滤限位层, 6-挡定位层, 7-焊接点, 8-衬条, 9-微晶巨磁合金



图7 纳米降粘防蜡防砂装置实物图

2.2.2 应用效果

现场应用情况: 应用后洗井周期由 60 天延长到 90 天, 油井产液量有明显增加, 泵效也有所提高, 表明该装置在降低原油粘度, 提高原油流动性中发挥了作用。

表3 井1 安装降粘防蜡装置前后清蜡情况对比

| 井号 | 含蜡 (%) | 胶质沥青质 (%) | 粘度 (MPa·s) | 清蜡方式 | 应用前  |       |      | 应用后  |       |      |
|----|--------|-----------|------------|------|------|-------|------|------|-------|------|
|    |        |           |            |      | 清蜡周期 | 日产液 t | 泵效 % | 清蜡周期 | 日产液 t | 泵效 % |
| 井1 | 23.16  | 6.17      | 6.01       | 热洗   | 60 天 | 6.1   | 25.3 | 90 天 | 7.6   | 31.0 |

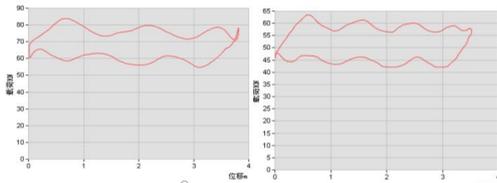


图8 井1 应用防蜡井下工具示意图对比

2.3 井下多功能处理装置

2.3.1 工作原理

井下多功能处理装置在无能耗的状态下, 对高含蜡、稠油井下的液流进行物理法处理, 使原油的流动处于“涡流”状态, 在流动过程中减缓过早结晶聚集, 在未形成晶块的情况下将原油采到地面。井下多功能处理装置由鼠笼式分流器、漩进互击式撞击流雾化器、多级叶轮式多级轴流式涡流增压混相器以及声波震荡谐振腔等组成。

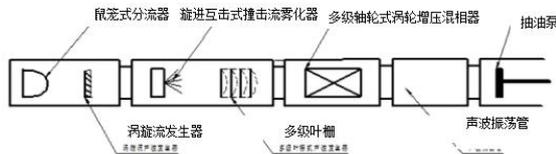


图9 多功能井下处理装置的组成

当油流经过多功能井下产液处理装置时, 叶轮的缝隙会对流体进行冲击, 使其雾化、振荡、混相, 即对原生态产液进行

表4 多功能井下处理装置应用前后统计

| 井号 | 含蜡量   | 施工前 |             |      | 施工后 |              |      |
|----|-------|-----|-------------|------|-----|--------------|------|
|    |       | 日液  | 清蜡方式        | 检泵周期 | 日液  | 清蜡方式         | 检泵周期 |
| 井2 | 21.9% | 4.2 | 蒸汽洗井(30天/次) | 200  | 7.3 | 蒸汽洗井(270天/次) | 365  |

先期性处理, 使其流速、流态、压力、粘度、气液相溶解度等产生一系列有利变化, 使之由局部富集的偏聚、偏析、偏流状态变为相对匀质的乳浊态, 由大组团的连续相变为油、气、水三相互相间隔的细小间断相, 破坏了分子间的聚集状态, 使晶核就难以生成、长大, 就更难以吸附到管壁上。从而实现防蜡、降粘、节能降耗、增产增效、安全环保等多方面功能, 为油田采油及集输进一步升级创造了基本条件。

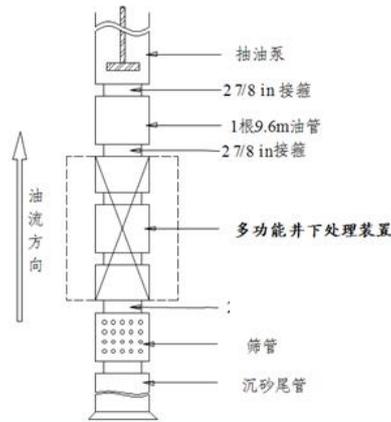


图10 多功能井下处理装置的安装

2.3.2 应用效果

由下表可以看出, 井下多功能处理装置运行状态较好, 有一定的稳产效果, 实现了一定的防蜡效果。

|     |       |      |                              |     |      |               |     |
|-----|-------|------|------------------------------|-----|------|---------------|-----|
| 井 3 | 22.1% | 22.8 | 蒸汽洗井 (60 天/次)<br>加药 (30Kg/天) | 102 | 21.9 | 蒸汽洗井 (90 天/次) | 365 |
|-----|-------|------|------------------------------|-----|------|---------------|-----|

井下多功能处理装置试验的 2 口井含蜡量较高, 均在 20% 以上, 措施前结蜡情况都比较严重, 热洗频繁, 措施后结蜡情况得到一定控制, 通过热洗情况统计表明, 单井结蜡情况基本得到控制, 可不同程度达到减少热洗次数及化学药剂剂量, 一定程度上延长热洗周期和改变加药制度。

井 1 含蜡量达到 21.9%, 每次检泵起出杆管发现结蜡严重, 严重影响生产效果, 措施前检泵周期达到 200 天, 该井措施前平均日产油 1.3 吨, 日产液 4.2 方, 清防蜡为蒸汽洗井 30 天/次, 热洗频繁。下入井下多功能处理装置后, 平均日产油 1.3t, 日产液 7.3 方。在试验期间, 严密跟踪电流和测试负荷的变化情况, 均没出现较大变化。

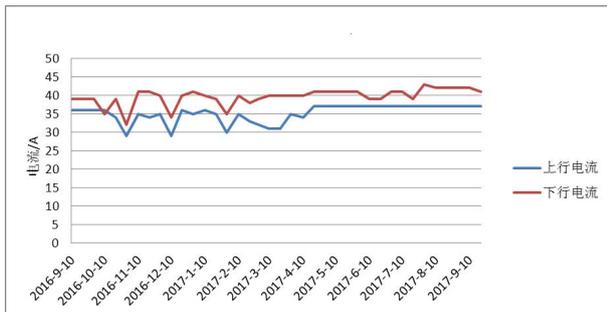


图 11 井 2 抽油机电流随时间的变化

井 2 于 2014 年 10 月投产, 平均日产油 14.8 吨, 日产液 22.8 方, 该井含蜡量达到 22.1%, 清防蜡为加药约 30Kg/天并蒸汽洗井 60 天/次; 检泵周期为 102 天, 该清防蜡方式虽然取得一定效果但化学加药和热洗频繁, 大幅增加生产成本。对该井实施井下多功能处理装置。措施后生产初期, 停止加化学防蜡剂, 并严密跟踪电流与负荷, 发现生产 3 个月后, 电流及测试负荷有所上升。

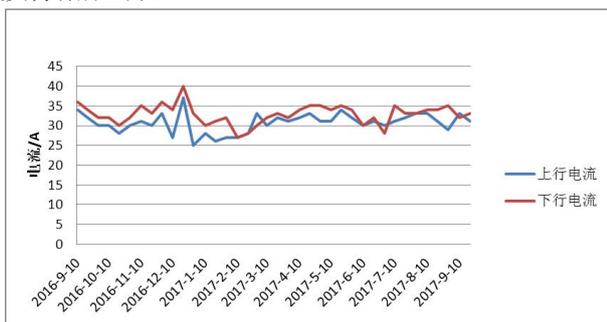


图 12 井 3 抽油机电流随时间的变化

所以为避免影响高产井的生产效果, 建议蒸汽热洗周期仍为 60 天/次, 跟踪电流及负荷能够恢复到正常生产水平, 达到最佳清防蜡效果。在后续的追踪观察中注意到该井超过 1 年的时间未加化学防蜡剂, 检泵周期从 102 天延长至 365 天, 并继续稳定生产。

## 2.4 防蜡除垢组合装置 (热 20-4、热 9-08)

### 2.4.1 工作原理

防蜡除垢组合装置利用其独特的设计结构能够使产液的流速、流态、温度、压力、粘度、气液相溶解度、固液相融合度、晶体析出温度、吸附生长环境、烃类组元的微观结构及其组分比等, 产生一系列物理变化和化学变化, 使产液高度融溶并乳化, 使流经永久磁场的蜡分子被磁场极化, 从而大大推迟

结蜡并段大大减少结晶量, 延长洗井周期, 起到防蜡、除垢、增油作用的效果。该井下清防蜡装置由油流增速器、变频振动装置、陀螺单向分流阀、银离子除垢器、来复线旋流装置、永磁除蜡装置以及抽油泵连接导管七部分组成。

### (1) 油流增速器

油流增速器是形似漏斗型结构的变速器, 根据流体力学原理, 同一流量流体, 在流经不同管径的管线时流速不同, 压力不同, 原油从小口流出时, 骤然增大流速。

### (2) 变频振动装置

变频振动装置是一块喷呐舌板, 根据喷呐奏响原理, 在流速增大原油冲击下, 产生高频振动波, 使原油油流分子激活, 从而稀释。

### (3) 来复线旋流装置

借用军工技术步枪膛来复线增速原理, 将来复线旋流装置制成内膛大螺距的四头螺纹来复线结构的旋转加速器

### (4) 银离子除垢器

核心部件采用银锌合金, 利用电化学中的微电池原理, 形成还原反应, 以银锌离子置换钙镁离子, 破坏钙镁离子成垢条件, 起到除垢作用。

### (5) 陀螺单向分流阀

分流阀是一个圆锥形陀螺仪, 它的锥端外圆锥面有四个凹槽斜纹, 使原油有序进入来复线旋流装置, 它的大端外圆面使光球面, 与阀套配合, 可以阻断油流, 起单向阀作用。

### (6) 永磁除蜡装置

永磁除蜡装置是一个由稀土永磁材料制成的环状体, 它在管内形成一个永久性磁场, 原油中的蜡分子被磁场极化, 能抑制蜡的结晶过程, 形成游离状态的蜡不易在管壁上结晶。

### (7) 抽油泵连接导管

连接在抽油泵下, 与抽油泵直接连接, 以保证本组合装置与抽油泵之间连接距离固定, 使本组合装置发挥最佳效能。

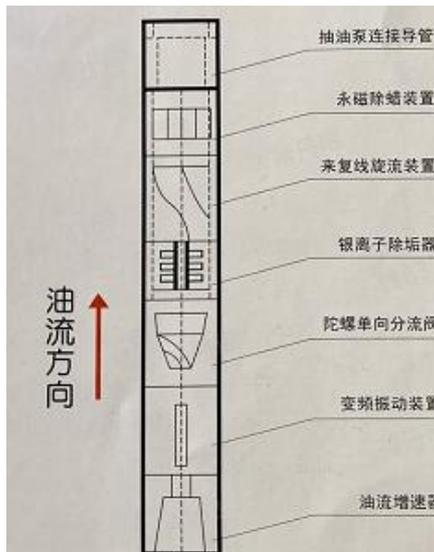


图 13 防蜡除垢组合装置

### 2.4.2 应用效果

井 4 应用防蜡除垢组合装置前洗井周期为 30 天, 平均日产液 4.8t, 最大负荷 75.6kN, 2021 年 12 月随检泵措施下入该

装置后, 洗井周期延长至 60 天, 最大负荷下降 4.2KN, 日产液也有所提高。

| 井号 | 应用前  |       |         | 应用后  |       |         |
|----|------|-------|---------|------|-------|---------|
|    | 清蜡周期 | 日产液 t | 最大负荷 KN | 清蜡周期 | 日产液 t | 最大负荷 KN |
| 井4 | 30 天 | 4.8   | 75.6    | 60 天 | 6.2   | 71.4    |

### 3.清防蜡井下工具应用分析

清防蜡井下工具的应用表明, 在避免洗井频繁造成油层污染的同时, 有效提高了油井的产液流动性, 提高了油井的采收率, 使油井达到增产的目的。

由表 5 可见, 四种清防蜡井下工具中, 三种为复合型结构, 内部结构在清防蜡思路以加大油流速度、物理振动弱化蜡晶聚集力、磁场抑制蜡分子结晶为主。且序号 1. 3. 4 井下工具的适

表 5 清防蜡井下工具适用范围

| 序号 | 工具名称       | 粘度 (50℃) (MPa·s) | 含蜡量 (%) | 含沥青 (%) | 含胶质 (%) | 产液量 (m <sup>3</sup> /d) | 含水量 (%) | 凝固点 (℃) | 泵深 (m) |
|----|------------|------------------|---------|---------|---------|-------------------------|---------|---------|--------|
| 1  | 防蜡防垢增油装置   | 8-100            | 5-40    | <10     | <10     | >5                      | -       | <30     | <3000  |
| 2  | 纳米降粘防蜡防砂装置 | <10000           | -       | -       | -       | -                       | -       | -       | -      |
| 3  | 井下多功能处理装置  | -                | <50     | <10     | <20     | 3-100                   | 5-95    | <60     | ≤3000  |
| 4  | 防蜡除垢组合装置   | <1500            | ≤40     | <8      | ≤35     | <100                    | <95     | <40     | <4000  |

### 4.结论与认识

蜡影响是油气田开采过程中遇到的最普遍、最亟需解决的问题。普通采用的清蜡工艺由于其自身存在的弊端严重影响了油井产量、施工成本等, 依据清防蜡井下工具的适用范围, 择优选择符合的油井下入, 在延长洗井周期、降低生产运行成本、减少对油层的污染、提高油井生产时率等方面将起到很大影响。在强调降本增效, 安全环保生产的过程中, 应用低耗、便捷、省时且同样可以达到防蜡目的的井下工具, 为油井提效节能提供了新思路。

#### [参考文献]

用范围相似, 在实际应用过程中, 三种清防蜡井下工具延长洗井周期、提高油井产液量及具体井下使用周期也相似。而纳米降粘防蜡防砂装置内部结构相对单一, 仅是通过特殊材质的微晶聚磁合金改变原油碳分子结构, 来起到降粘防蜡的目的, 虽然可以适当延长油井的洗井周期, 但相较其他三种清防蜡井下工具的防蜡效果更好些。

以不同油井具体物性特征为依据, 选取适宜的清防蜡井下工具, 辅以合理的热洗措施, 并摸索确定井下工具的具体使用周期, 最大化提高油井有效生产时效, 降低热洗、化学清蜡等带来的生产成本。四种清防蜡井下工具的应用, 开拓了清防蜡工作的思路, 复合型结构的清防蜡井下工具也为此类工具的应用前景奠定了基础。

[1] 李雪松; 周远喆; 徐剑; 任小玲. 油井清防蜡技术研究与应用进展. 天然气与石油. 2017 年 06 期

[2] 廖娜; 宋浩. 油井清防蜡专利分析. 科技创新与应用. 2018 年 01 期

[3] 刘智伟; 李鹏; 郭雄; 丁子东. 高效防蜡防垢装置在油田的应用. 山东工业技术. 2019 年 04 期

[4] 何海燕; 刘斌; 王波飞; 于爽; 王健. 新型油井防蜡防垢装置的应用. 中国科技博览. 2014 年 33 期