

# 抽油机井结蜡和清防蜡方法的分析与研究

张星星

中石化中原油田分公司石油工程技术研究院, 河南 濮阳

收稿日期: 2025年9月9日; 录用日期: 2025年11月17日; 发布日期: 2025年12月4日

## 摘要

石油一直是我国的战略资源, 而油井结蜡是困扰石油开采行业的重点难题, 本文针对抽油机井的清防蜡技术为研究对象, 旨在解决蜡沉积导致的抽油机井生产效率下降、经济损失增大的问题。首先概述了油井结蜡的危害和机理, 明确清防蜡工作的重要性; 随后梳理了油井现场结蜡的判断方法, 对现场结蜡有了深入认识; 重点阐述了机械清蜡、热洗清蜡、化学清蜡、电磁防蜡和微生物清防蜡等手段, 通过原理、优缺点进行对比分析, 结合应用案例, 探讨了不同清防蜡技术的特点; 最后指出未来抽油机井清防蜡的发展趋势更倾向于智能化、绿色化、协同化, 为抽油机井的高效稳定绿色生产提高技术支撑。

## 关键词

抽油机井, 结蜡, 清防蜡

# Analysis and Research on Wax Depositing and Wax Removal Methods for Pumping Well

Xingxing Zhang

Petroleum Engineering Technology Research Institute of Sinopec Zhongyuan Oilfield Branch, Puyang Henan

Received: September 9, 2025; accepted: November 17, 2025; published: December 4, 2025

## Abstract

Petroleum has always been a strategic resource for our country, and wax deposition in oil wells has been a key problem plaguing the oil extraction industry. This paper takes the wax removal and prevention technology for pumping unit wells as the research object, aiming to solve the problem of decreased production efficiency and increased economic losses caused by wax deposition in pumping unit wells. Firstly, the hazards and mechanism of wax deposition in oil wells were summarized,

highlighting the significance of wax removal and prevention work. Subsequently, the methods for judging wax deposition in oil wells were sorted out, and a deeper understanding of wax deposition in the field was achieved. It focuses on elaborating various wax removal and prevention methods such as mechanical wax removal, hot washing wax removal, chemical wax removal, electromagnetic wax prevention, and microbial wax prevention and so on. Through comparing and analyzing the principles, advantages and disadvantages, combined with application cases, it discusses the characteristics of different wax removal and prevention technologies. Finally, it is pointed out that the future development trend of wax removal and prevention in pumping wells will be more inclined towards intelligence, greenness and collaboration, providing technical support for the efficient, stable and green production of pumping wells.

## Keywords

Rod Pumped Well, Wax Deposit, Removing Wax from the Surface

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

据统计,国内大庆、胜利、辽河、中原等油田高含蜡井占比达15%~35%,国外北海、西非深水、俄罗斯西西伯利亚等油田高含蜡井占比高达40%~70%,国内外油田原油先天高含蜡和油田开采条件的恶劣导致结蜡已成为油井生产过程中必不可少的难题。原油是含有碳、氧、氢等化学元素的一类烃类混合物,蜡质是碳数比较高的烷烃,高含蜡原油具有粘度高、凝结度高、低温流动性差的特点。含蜡原油在高温高压的油藏中具有很好的流动性和溶解性,当原油从井筒底部向上升举的过程中,蜡晶随温度和压力的降低不断析出,聚集在油管、抽油杆和抽油泵等部件,导致蜡质沉积,油流通道变窄、抽油机负荷增加,使油气产量明显降低,严重时堵塞管柱甚至停产[1]。由此需要对抽油机井进行清防蜡工作。目前国内油田原油中清防蜡成本占比在采油作业费用中已高达10%~15%,直接关系采油效率与经济性。因此为确保油田产能呈现稳产高产的趋势,实现采油厂的较高采收率,清防蜡技术在油田开采领域中有着不可忽视的地位[2]。当前发展成熟的清防蜡手段主要有化学清蜡、机械清蜡和热洗清蜡等[3],它们通过不同的方法清除管杆内壁和井筒的蜡沉积,达到恢复和维持油井正常生产的目的。这些清防蜡手段各有利弊,针对不同的结蜡状况需要匹配相应的清防蜡方法以达到最佳清蜡效果。本文研究主要针对油井结蜡问题,通过分析结蜡机理,总结目前已应用清防蜡手段的研究进展,为未来清防蜡发展方向提高思路。

## 2. 结蜡的危害

抽油井结蜡是国内外油田生产中常见的现场问题,其危害必定会影响到油井产量、设备、能耗和经济效益。油井蜡开始结晶会吸附在油管和抽油杆内壁、导致油管内径变细,油流通道变窄,油流阻力变大,造成杆管之间摩擦力加剧,能耗增大,严重时完全堵塞油管和泵筒,造成蜡卡现象[4],长时间结蜡会造成抽油杆疲劳断裂,油管变形,损伤管杆泵系统,降低杆管使用寿命;另外,蜡结晶产生的蜡块会流入抽油泵中,堵塞固定阀或游离阀,迫使抽油机负荷增大,泵效降低,严重影响油井产量,加大经济损失。油井结蜡也会使井底回压下降,造成油层供液不足,长期会影响采收率。胜利油田某井结蜡导致油井内径从 $\Phi 62\text{ mm}$ 缩到 $\Phi 40\text{ mm}$ ,产量从42 t/d降到11 t/d;塔里木某超深井结蜡引发抽油杆断裂,打捞失败后侧钻,直接损失超800万元。

3. 结蜡机理分析

油藏地层具有温度高、压力高的特点，使蜡完全溶解在原油中并以无序状态分布，经地层渗流进入井筒后，受井筒底部高压高温影响仍以液态形式存在，原油在井筒内垂直流动过程中，温度和压力不断降低，当管壁温度低于原油温度，且原油温度达到蜡分子的析出点，蜡分子开始在管杆壁上析出小蜡晶并形成薄油层，随后在薄油层上累积结晶生长形成蜡团簇，蜡晶体会逐步在原油流动的区域聚集蜡沉积物[5]，原油中的蜡质成分主要是石蜡和微晶蜡[6]，常常与沥青质相互聚集构成有机固相沉积物(如表 1)。原油结蜡过程包括析蜡与蜡沉积，易出现在原油流动的储层、抽油机井管柱、储运管道，其中抽油机井管柱结蜡最为严重，蜡的形成主要源于原油中高碳正构烷烃等一些高分子烃类化合物析出的结晶，与沥青质、胶质、无机垢、铁锈和固体微粒(如砂粒)等物质的沉积，造成油通道堵塞，引发产量损失。

Table 1. Analysis of properties of paraffin wax and microcrystalline wax  
表 1. 石蜡和微晶蜡的性质分析

项目	石蜡	微晶蜡
正构烷烃，%	80~90	0~15
异构烷烃，%	2~15	15~30
环烷烃，%	2~8	65~75
熔点范围，%	50~65	60~90
平均相对分子质量	350~430	500~800
典型碳原子数范围	16~36	30~60
结晶度范围，%	80~90	50~65

4. 油井结蜡判断方法

4.1. 直接法

当油井上作业时会将抽油杆和油管起出，直接观察杆管设备的结蜡情况，此法虽然能更清楚的了解油井的结蜡位置和结蜡程度，但是费时费力，只有现场发生躺井状况才会上作业。

4.2. 间接法

示功图法：相对于常规的示功图，结蜡井的示功图会发生明显变化。油井结蜡现象会增大油流的压力梯度和阻力，直接提升泵上压力，一方面加重泵上的液体载荷，导致上冲程载荷增加，另一方面提升抽油杆所受的液面浮力，导致下冲程载荷降低[7]。由此，当悬点载荷显著增大时，示功图的上行曲线将超过其最大理论值；同理，当活塞下降时，示功图的下行曲线则会低于其最小理论值[8]。

电流法：抽油机正常工作时，油井电流处于相对稳定状态，一旦出现结蜡现象且开始逐渐加重，泵的负载会持续增加，电机的电流呈现持续缓慢上升趋势，结蜡严重时，电流升高明显，超过额定电流时会触发过载保护。

5. 清防蜡技术

5.1. 化学清蜡法

化学清蜡技术旨在通过药剂的化学反应，破坏石蜡的内部结构，有效抑制蜡晶的形成进而降低油井内蜡质的结晶速率，从而达到清除石蜡的目的。目前清蜡剂分为油溶性清蜡剂、水溶性清蜡剂及乳液型清蜡剂。

油溶性清蜡剂是以柴油、煤油、芳香烃等油溶性溶剂为主要成分,利用“相似相溶”原理,直接溶解蜡质,使固态蜡直接转化为液态蜡,随流体被带出。油溶性清蜡剂具有与原油配伍性好、溶蜡速率快、凝固点低等优点,对金属设备腐蚀性小,但是药剂不溶于水,不适应高含水油井,药剂燃点低,向高温高压的油井加注存在风险,成本相对较高。李明忠等[9]研制出了一种油基清蜡剂,优化配方为轻质油与重溶油 2#按体积比 6:4,溶蜡速率达 0.037 g/min,材料成本低。丁小惠等[10]开发了环保型清防蜡剂 GPF-1,由 90%环保溶解剂 R + 5%渗透剂 + 5%降凝降黏剂复配,溶蜡速率达到 0.029 g/min,防蜡率达到 77.3%。

水溶性清蜡剂用水作分散介质,以表面活性剂为主,利用表面活性剂的渗透性能渗入蜡晶缝隙中,降低其表面张力,使蜡分子结合力减弱,破坏蜡的附着力,使蜡层剥离并分散到原油中,同时复配各种互溶剂、碱性物质等。水溶性清蜡剂安全性高,能与地层水较好混合,适用于高含水油井,成本低,但是溶蜡速率小、见效慢、气温低并存在流动性差的特点。谷艳娇[11]研发的水基清蜡剂,分散剂 12% + 湿润剂 5.5% + 甲醇 20% + 乙二醇 6% + 氢氧化钠 1% + 水 55.5%,防蜡效率 47.8%。黄晓东[12]研发了一种 YE-60 型清防蜡剂, YE 型醇醚与乙二醇乙醚按质量比 2.25:1 进行复配,对油田油样的防蜡率达到 74.5%,洗蜡率达到 64.1%。

乳液型清蜡剂中的溶剂渗透到蜡晶与管壁中间,表面活性剂能降低蜡晶的附着力,使脱离的蜡颗粒形成稳定的乳液,悬浮在流体中被带出。乳液型清蜡剂结合了水溶性清蜡剂和油溶性清蜡剂的优点,适应性强、安全性高、溶蜡速度较快,微乳液对环境 and 人类健康的危害较小,但是配方复杂,成本高,对药剂制备与存储条件要求高。蔡俊等[13]利用 60%混合芳烃为溶剂 + 5%长链聚醚羧酸 + 25%月桂酰胺丙基羟磺基甜菜碱 + 10%水进行复配,研发了一种乳液复合型高效清蜡解堵剂,该试剂具有很好的降低界面张力、溶蜡能力和降粘能力,应用于现场井产油量由 3.54 m<sup>3</sup>/d 提高到 11.68 m<sup>3</sup>/d,解堵和增产应用效果显著。杨晨等[14]研制出一种水包油微乳液型清蜡剂,由 11.6%柠檬烯 + 11.6%水 + 14.0%乙二醇单丁醚 + 11.6%烷基糖苷水 + 23.2%甲醇 + 28.0%表面活性剂复配而成,此清蜡剂的溶蜡速率为 0.0574 g/min,洗油率高达 93.72%。

## 5.2. 机械清蜡法

机械清蜡是利用专业的清防蜡工具(刮蜡片、清蜡钻头)与管内壁直接接触,通过刮削、研磨等物理方法把附着的蜡层剥离掉,通过油流带出井筒。这是一种能快速直接处理蜡沉积的方法,尤其适应蜡层严重堵塞的情况。具有适应条件广泛、设备结构简单和操作便捷的特点。但是作业周期长、维护成本高,机械刮削过程中会磨损管柱设备。于超[15]发明了一种自旋式刮蜡扶正器,具有使用寿命长、延缓偏磨效果好、延长检泵周期的特点。马百涛等人[16]设计了一种抽油杆刮蜡导流控井装置,装置安装到抽油杆后,单井平均清蜡时间 10.6 分钟,效率提高了 64.6%。

## 5.3. 热洗清蜡法

热洗清蜡是通过向油井中注入高温流体,通过热传导提高井筒温度,使附着在管壁上的晶蜡在高温下融化后随洗井液流出井筒,达到清蜡目的。热洗清蜡短时间内可清除蜡沉积,操作简单,能彻底清除较厚、较硬的蜡层。但是耗能高,高温流体可能会损伤设备,热流流入地下也可能会破坏地层,清蜡周期长。童真伟等人[17]提出了蒸汽热洗工艺技术,利用清水加热成蒸汽后注入油井,达到热洗清蜡的目的。李海[18]提出了一种高温低含蜡油井热洗高含蜡油井的方法,主要利用高温、低含蜡油井产出液作为温度补偿介质,注入高含蜡油井套管,通过井筒升温达到抑制蜡质析出的目的。

## 5.4. 电磁防蜡法

电磁防蜡器是由电源部分和电磁转换两部分组成。电源将直流电能转换成不断变化的磁场,石蜡

分子在变化磁场下极性相同,相互排斥导致蜡晶之间的粘附力被削弱,提高了分子活化性,排列由无序变为有序,抑制蜡晶的聚集,易被流体冲走,达到清防蜡的目的[19]。于济源等人[20]开展强磁防蜡器现场试验,原油黏度降低 40%左右,结蜡率降低 30%。刘艳[21]在某工区两口井安装了强磁防蜡器,油井热洗周期由 30 天延长 150 天。

### 5.5. 微生物清防蜡法

微生物防蜡技术通过向油井中注入细菌、真菌等微生物,这些微生物以原油中的蜡质成分作为繁殖的养料,通过新陈代谢产生表面活性剂、脂肪酸、生物酶等产物,能降低蜡的熔点、破坏晶蜡结构,阻止蜡结晶的析出与沉积,实现清蜡和防蜡的双重效果。此方法清防蜡结合,减少重复作业,安全性高,对环境友好,长期成本低,适应各种清防蜡难度高的井况,但是微生物繁殖代谢需要时间,见效慢,对井下环境敏感,受地层各种因素干扰,难以控制,前期研发成本高。王建军等[22]在实验室培养了 4 种耐盐细菌菌株,其中 JH-A 菌株表现出良好的石蜡去除和预防效果,石蜡去除率为 81.56%,表明它具有良好的生物降解性。Patel 等人[23]从油井中分离出一种潜在的石蜡降解细菌菌株,在 37℃ 下、10 天内降解了 70% 的石蜡原油。

## 6. 清防蜡未来发展趋势

未来油井清防蜡的发展核心更倾向于智能化、绿色化、协同化,能满足严苛的油藏条件和环保要求,使油田生产效益最大化,确保石油行业降本增效和转型升级顺利开展,实现油气田高效、绿色、可持续发展的目标。

开展数字化智能化赋能传统技术研究,在清防蜡过程中广泛应用井下温度、压力、电阻率和声波等传感器实施监测井筒温度、流体性质、管杆载荷和结蜡状态。通过人工智能和大数据算法预测蜡沉积位置、厚度,同时研发智能、灵活的机器人,使其具备视觉和触觉能力、自主导航能力和清蜡能力,实现高效、精准井下清蜡。

响应国家绿色生产的号召,研发生物可降解清防蜡剂,微生物代谢产物、生物酶、植物可提取衍生物等可降解的药剂具有无毒、环境友好的特性,用于取代传统毒性大的化学溶剂。此外,超临界 CO<sub>2</sub> 也可以作为一种绿色环保的地层除蜡剂,超临界 CO<sub>2</sub> 可以溶胀原油,降低原油黏度,对有机物具有较强的溶解能力,能高速冲刷解堵石蜡,利用连续油管向结蜡地层喷射超临界 CO<sub>2</sub>,可解除近井地带的石蜡堵塞。

单一技术难以应对所有复杂情况,未来主流更多是多种技术的结合,物理 + 化学清防蜡双管齐下,对抽油杆和油管内部进行涂层处理或者磁性防蜡和微量环保抑制剂的结合;通过向井筒中注入清蜡剂结合周期性热洗处理;经过智能监测确定结蜡具体方位后,启动刮蜡工具进行处理。另外,可以开发“防蜡 + 降黏 + 防腐”一体化技术,以适应复杂油藏条件。

## 7. 总结

抽油机井的清防蜡工作是保障油井稳定、高效生产的关键环节之一,有效的清防蜡手段需要结合原油物性参数、动态特征和井筒条件综合分析,筛选出最佳清防蜡手段,做到一井一策,将清防蜡管理办法从被动治理转化为主动预防,此外,加强油井日常监督管理,通过示功图分析了解结蜡动态,及时调整清防蜡方案,减少蜡卡、泵卡等躺井次数,降低生产成本。未来需要创新环保型清防蜡剂、借助数字科技研发智能清蜡工具、结合多种清防蜡技术,构建“无蜡堵、无污染、无事故”的防蜡目标,为老油田稳产降耗提供技术支撑。



## 参考文献

- [1] 顾晓敏, 李娟, 陈莉. 高含水油气混合物井筒结蜡特性研究[J]. 当代化工, 2024, 53(9): 2235-2238.
- [2] 张童昕. 油田清防蜡工艺技术应用及优化建议[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(10): 166-168.
- [3] 高宝元, 葛海江, 李慧升, 等. 油井智能电磁加热清蜡系统研发应用[J]. 石油化工自动化, 2025, 61(1): 22-24.
- [4] 晁伟伟, 杨正军. 延长油田清防蜡技术改进方法研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(12): 166-168.
- [5] 刘小欢, 刘环宇, 马红星, 等. 深部结蜡页岩油水平井涂层与电加热清防蜡技术[J]. 石油钻采工艺, 2024, 46(2): 238-247.
- [6] 熊瑞颖, 罗俊杰, 刘宏宇, 等. 化学清防蜡体系研究现状与发展[J]. 应用化工, 2024, 53(3): 640-644.
- [7] 贺清松. 抽油机井按需洗井清蜡方法研究[J]. 石油石化节能, 2019, 9(11): 11-13.
- [8] 刘瑞彤. 化学驱抽油机井结蜡机理及热洗清蜡研究[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 东北石油大学, 2024.
- [9] 李明忠, 赵国景, 张贵才, 等. 油基清蜡剂性能研究[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2004, 28(2): 61-63.
- [10] 丁小惠, 徐太平, 李栓, 等. 高效环保型化学清防蜡技术及其在含蜡油井的应用[J]. 精细石油化工, 2023, 40(2): 23-26.
- [11] 谷艳娇. 水基清防蜡剂的研制与应用[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北科技大学, 2011.
- [12] 黄晓东. 水基清防蜡剂 YE-60 的研制与应用[J]. 油气储运, 2014, 33(5): 519-521, 530.
- [13] 蔡俊, 刘亚琼, 王少华, 等. 乳液复合型高效清蜡解堵剂的研制与应用[J]. 辽宁化工, 2025, 54(4): 686-690.
- [14] 杨晨, 王磊, 曹红燕, 等. 水包油微乳液型清蜡剂的制备及性能评价[J]. 应用化工, 2022, 51(8): 2311-2314.
- [15] 于超. 自旋式刮蜡扶正器在偏磨井中应用[J]. 化工管理, 2018(3): 177.
- [16] 马百涛, 孙瑞峰, 胡胜杰. 基于抽油杆刮蜡导流控井装置的研制[J]. 化学工程与装备, 2018(6): 107-110.
- [17] 童真伟, 王万迅, 葛东文, 等. 蒸汽热洗工艺技术研究与应用[J]. 石油管材与仪器, 2016, 2(6): 98-100.
- [18] 李海. 利用高温低含蜡油井热洗实现高含蜡油井的清蜡防蜡[J]. 化工管理, 2021(32): 192-193.
- [19] 潘华峰. 抽油机井防蜡节能技术及应用效果[J]. 石油石化节能, 2013, 3(11): 23-26.
- [20] 于济源, 公杰. 强磁防蜡节能器技术探索与应用[J]. 石油石化节能, 2023, 13(8): 25-28.
- [21] 刘艳. 强磁防蜡器在油田中的应用[J]. 化学工程与装备, 2021(6): 102-104.
- [22] Wang, J., Gao, Y.W., Jin, Z., *et al.* (2018) Research on Paraffin Removal and Prevention by *Bacillus* Spp. in High-Salinity Reservoirs. *Petroleum Science and Technology*, **36**, 889-897. <https://doi.org/10.1080/10916466.2018.1451888>
- [23] Dolly, D.P. and Bhaskaran, L. (2018) Study on Paraffin Wax Degrading Ability of *Pseudomonas Nitroreducens* Isolated from Oil Wells of Gujarat, India. *Petroleum Science and Technology*, **36**, 583-590. <https://doi.org/10.1080/10916466.2018.1437634>