

节省电费 = 加剂时间 × 调合泵功率 × 0.53 元 / 度
 = 767 × 160 × 0.53 = 6.5 万元 / 年。

根据油品车间成品柴油罐 (G041 ~ G046) 进口流程及调合喷嘴流程现状 (详见图

2), 投用成品柴油在线加剂设施实现同时收油期间经

过调合喷嘴钝流程, 可以达到边收

油边进行罐内喷嘴均匀, 将节省调合泵循环的时间。

节省电费 = 调合时间 × 调合泵功率 × 0.53 元 / 度

= 2538 × 160 × 0.53 = 21.5 万元 / 年。

表 3: 柴油加剂量数据

序号	罐号	柴油罐存量 t	加剂 ppm 十六烷值剂	比例 抗磨剂	应加剂量 t		实际人工加剂量 t		差量 t 十六 烷 值 剂	抗 磨 剂
					十六烷值 剂	抗磨剂	十六烷值 剂	抗磨剂		
1	G046	14573	200	285	2.915	4.153	2.917	4.155	0.002	0.002
2	G041	7621	400	280	3.048	2.134	3.049	2.135	0.001	0.001
3	G043	7521	550	280	4.137	2.106	4.141	2.108	0.004	0.002
4	G044	7584	350	285	2.654	2.161	2.655	2.162	0.001	0.001
5	G043	7517	350	300	2.631	2.255	2.633	2.256	0.002	0.001
6	G041	7507	305	300	2.29	2.252	2.299	2.252	0.009	0.000
7	G046	14715	400	310	5.886	4.562	5.889	4.565	0.003	0.003
8	G043	7715	400	310	3.086	2.392	3.089	2.393	0.003	0.001
9	G045	14385	450	310	6.473	4.459	6.478	4.462	0.005	0.003
10	G044	7803	300	315	2.341	2.458	2.344	2.461	0.003	0.003
11	G043	7605	450	315	3.422	2.396	3.425	2.397	0.003	0.001
12	G046	12441	200	310	2.488	3.857	2.488	3.859	0.000	0.002
13	G044	7597	300	300	2.279	2.279	2.28	2.28	0.001	0.001
14	G041	7505	300	300	2.252	2.252	2.254	2.252	0.002	0.000
15	G045	14523	600	310	8.714	4.502	8.729	4.508	0.015	0.006
16	G046	14083	500	315	7.042	4.436	7.048	4.44	0.006	0.004
	合计	160695			61.658	48.654	61.718	48.685	0.060	0.031

6 结论

随着现代工业飞速发展和科技水平的提高, 对成品柴油加剂调合的自动化都有了更

高的要求, 同时“精准操作、节能创效”的理念日益加强。本文对加剂流程增设批控仪及

在线加剂流程进行优化改进, 不但节省能耗, 而且减少加剂调合时间同时避免人工误差

造成质量事故。因此, 柴油加剂流程进行优化改进后加强精准操作管理及自动化设备设施的维护保养, 使装置

组分油在最短时间内调合为合格成品出厂, 为公司创造最佳调合效益。

参考文献

- [1] 李学萁. 油气储运中油气回收技术的发展与应用. 中国新技术新产. 2015。
- [2] 2018 年中国石化湛江东兴石油化工有限公司油品车间工艺技术规程. 2018。
- [3] 2019 年中国石化湛江东兴石油化工有限公司油品车间工艺卡片. 2019。

Application and Understanding of the Technology of Sulfuric Acid and Hydrolysis in the Stuck Pipe Operation of LY1-23 Well

Zhaohai Zhan

Sinopec East China Oil & Gas Branch, Taizhou Oil Production Plant, Taizhou, Jiangsu, 225300, China

Abstract

To address the casing sticking challenge in low-carbonate sandstone formations, this study focuses on Well LY1-23 as a core case study. By integrating regional geological characteristics, casing construction practices, and multi-well acidizing techniques, we developed targeted solutions for field implementation. Through analyzing sticking mechanisms, optimizing acid formulations, and implementing precision construction with risk management, we achieved 1.5-hour efficient unstuck. The results demonstrate that the compound acid solution (12% hydrochloric acid + 3% hydrofluoric acid + 3% metal corrosion inhibitor + 2% iron stabilizer) shows 9.12% and 11.25% dissolution efficiency for mud cakes and cuttings in Sandu Formation. The three-stage slurry strategy ("pre-stuffing thick slurry + diesel isolation + acid solution + post-stuffing thick slurry") combined with "20-minute slurry top-up + casing reciprocation" effectively prevents acid mixing and leakage. Compared to traditional oil-based unstickers, this method improves unstuck efficiency by over 62.5%, reduces construction costs by 75%, and maintains casing corrosion at $2.1\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ – fully compliant with completion quality standards. This study establishes critical technical parameters for acidizing unstuck in low-carbonate formations, providing a standardized solution for similar incidents in the region.

Keywords

casing stuck; acidizing for unblocking; low carbonate sandstone; formula modification; risk prevention and control

泡酸解卡技术在 LY1-23 井下套管作业遇卡的应用与认识

詹兆海

中石化华东油气分公司泰州采油厂, 中国·江苏泰州 225300

摘要

为破解低碳酸盐含量砂泥岩地层下套管作业粘卡困境, 以 LY1-23 井为核心研究对象, 融合区块地质特征、下套管施工实操及多井泡酸解卡技术积淀, 推进靶向性技术研发及现场落地。经由遇卡成因追溯研判、室内模拟酸液配方调试试验、现场精准化施工及风险防控, 达成 1.5h 高效解除卡钻。研究结果显示: 12% 盐酸 + 3% 氢氟酸 + 3% 金属缓蚀剂 + 2% 铁离子稳定剂的复合酸液配方体系, 针对三垛组地层生成泥饼、岩屑的溶蚀效率依次达到 9.12%、11.25%; “前置稠浆 + 柴油隔离 + 酸液 + 后置稠浆” 三段式浆柱构造及 “每 20min 顶浆 + 套管往复活动” 工艺流程, 可有效规避酸液窜混与漏失问题; 相较于传统油基解卡剂, 脱卡效率提升 62.5% 以上, 直接施工成本降低 75%, 且套管腐蚀速率控制在 $2.1\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 完全契合完井质量规范。该研究明确了低碳酸盐地层下套管遇卡的泡酸解卡关键技术参数, 为区域内同类事故处置提供了标准化技术方案。

关键词

下套管遇卡; 泡酸脱卡; 低碳酸盐砂泥岩; 配方改良; 风险防控

1 绪论

1.1 研究背景与意义

溱潼凹陷充当东部页岩油开发核心区域, 其中三垛组以砂泥岩互层为主要构成。下套管作业进程中, 套管与井壁虚厚泥饼、碳酸盐胶结岩屑极易形成粘附 - 胶结型卡钻现象, 传统油基解卡剂普遍存在浸泡耗时久 (8~40h)、脱卡成功率低 (约 50%) 及施工成本偏高的技术短板。LY1-23 井

完钻后下生产套管至 4351m (阻位 4327.01m) 时突发粘卡故障, 前期两次注入油基解卡剂 (累计 58m^3) 处置均无成效, 卡点从初始 1700~2100m 蔓延至 1700~2810m。溯源分析结果表明, 套管接箍平口设计缺陷及 B 型大钳前尾绳长度不足, 导致套管静止时长延长, 进一步加剧了粘卡风险。

泡酸解卡技术借助酸液与卡点可溶成分的化学反应破坏粘附 - 胶结结构, 在高碳酸盐地层已形成成熟应用范式, 但针对低碳酸盐砂泥岩地层下套管作业遇卡的适配性研究仍存在明显不足: 低碳酸盐含量条件下酸液溶蚀效率与配方比例缺乏靶向性优化; 套管串刚性较强、卡点覆盖范围宽泛, 现有工艺难以匹配其作业特性; 酸液与聚合物钻井液的兼容

【作者简介】詹兆海 (1996-), 男, 中国江苏泰州人, 硕士, 助理工程师, 从事石油工程研究。

性及套管防腐控制缺乏系统性研究。因此，开展 LY1-23 井下套管遇卡的泡酸解卡技术研究，对完善低碳酸盐地层下套管遇卡处置技术体系、提升区块钻井作业效率具备重要工程价值。

1.2 研究问题与技术路线

1.2.1 核心研究问题

低碳酸盐含量（12%~30%）砂泥岩地层中，泡酸解卡剂的酸液配比（盐酸与氢氟酸比例）及功能添加剂（缓蚀剂、铁离子稳定剂）用量改良，破解传统配方溶蚀效率不足的技术瓶颈；

下套管作业专属泡酸工艺适配技术，针对套管串刚性强、卡点覆盖范围广（1110m）的特质，优化浆柱构造与浸泡模式，规避酸液与钻井液窜混，提升酸液与卡点接触效率；

酸液与聚合物钻井液的相容性及套管防腐控制技术，确保酸液不会引发钻井液性能劣化，且套管腐蚀速率符合行业标准（ $< 3.0\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ）；

1.2.2 技术路线

基于 LY1-23 井地质特征、套管串结构及遇卡溯源分析，明确“岩屑胶结 + 滤饼粘附 + 操作诱因”的复合遇卡成因机制；

开展室内泡酸解卡模拟试验：以现场岩屑与泥饼为试验样品，对比单一盐酸、单一氢氟酸及复合土酸的溶蚀效果，优化酸液配方与功能添加剂用量；

设计下套管作业专属泡酸解卡工艺方案：优化浆柱构造、注入参数与浸泡模式，配套井控与环保风险应对措施；

现场实施与效果评估：验证脱卡效率、溶蚀效果、套管完整性、经济效益及风险防控有效性；

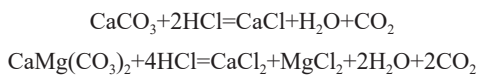
提炼技术要点与推广建议，形成低碳酸盐地层下套管遇卡的泡酸解卡标准化技术规范。

2 泡酸解卡技术理论基础与室内试验

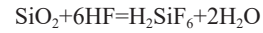
2.1 技术原理

泡酸解卡的核心作用机制是通过酸液与卡点可溶成分的化学反应破坏粘附 - 胶结结构，具体包含两方面内容：

碳酸盐溶蚀：盐酸与地层岩屑及泥饼中的方解石、白云石发生反应，生成可溶性盐与 CO_2 气体，气体扰动能够辅助排驱溶蚀产物，降低套管与井壁的粘附作用力，反应方程式如下：



硅质成分溶蚀：氢氟酸与泥饼中的石英、黏土矿物发生化学反应，破坏滤饼基质结构，降低其强度与粘附性能，反应方程式如下：



2.2 室内试验设计与结果

2.2.1 试验样品

岩屑样品：取自 LY1-23 井 1700~2810m 疑似卡钻井段，经破碎、烘干至恒重状态（粒径控制在 2~5mm）；泥饼样品：由现场聚合物钻井液（密度 $1.55\text{g}/\text{cm}^3$ ，固相含量 27%）模拟井内压力条件（3MPa）制备而成，厚度严格控制在 2mm。

2.2.2 试验方案

参考格拉芙油田、塔中等油田区块泡酸解卡工程实操案例^[1,4]，设计 3 种酸液体系进行对比试验：8% 氢氟酸、12% 盐酸、12% 盐酸 + 3% 氢氟酸（复合土酸）。试验条件设定为常温常压，浸泡时长 60min，以样品质量减少率评价溶蚀效果；基于最优酸液体系，进一步优化缓蚀剂（2%~4%）与铁离子稳定剂（1%~3%）用量，测试套管腐蚀速率。

2.2.3 试验结果

溶蚀效果对比：复合土酸体系的溶蚀效果最为优异，泥饼、岩屑质量减少率依次达到 9.12%、11.25%，显著高于单一酸液体系，可实现碳酸盐与硅质成分的协同溶蚀；具体实验结果见表 1 与图 1、2、3。功能添加剂优化：当金属缓蚀剂（司盘 80 + 石墨粉复配）用量为 3%、铁离子稳定剂（草酸）用量为 2% 时，套管腐蚀速率可控制在 $2.1\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，完全符合行业防腐标准；相容性验证：酸液与现场聚合物钻井液混合之后，漏斗黏度变化量 $< 5\text{s}$ ，API 滤失量变化量 $< 0.5\text{mL}$ ，无窜混分层现象，相容性表现良好；最优配方确定：12% 盐酸 + 3% 氢氟酸 + 3% 金属缓蚀剂 + 2% 铁离子稳定剂，酸液密度为 $1.15\text{g}/\text{cm}^3$ 。

3 LY1-23 井地质特征与下套管遇卡分析

3.1 地质与工程概况

区域地质特征：LY1-23 井坐落于溱潼凹陷深凹带，地层序列三垛组为含灰云质泥岩与含灰云页岩互层结构，碳酸盐矿物含量 12.7%~27.5%，储层呈现低孔超低渗特征；

钻井液体系参数：聚合物钻井液，密度 $1.55\text{g}/\text{cm}^3$ ，漏斗黏度 57s，塑性黏度 $36\text{mPa} \cdot \text{s}$ ，动切力 12Pa，初 / 终切 4/12Pa，pH=9，API 滤失量 2.8mL，HTHP 滤失量 9.8mL，固相含量 27%，含油量 6%；

表 1 不同酸液体系溶蚀效果对比

酸液类型	泥饼浸泡 1h 质量减少率 /%	岩屑浸泡 1h 质量减少率 /%	反应特征
8% 氢氟酸	4.14	8.94	反应平缓，无明显气泡
12% 盐酸	5.75	7.44	反应中等，产生少量气泡
12% 盐酸 + 3% 氢氟酸	9.12	11.25	反应均匀，持续产生气泡



图 1 8% 氢氟酸酸液体系下泥饼与岩屑的溶蚀效果



图 2 12% 盐酸酸液体系下泥饼与岩屑的溶蚀效果

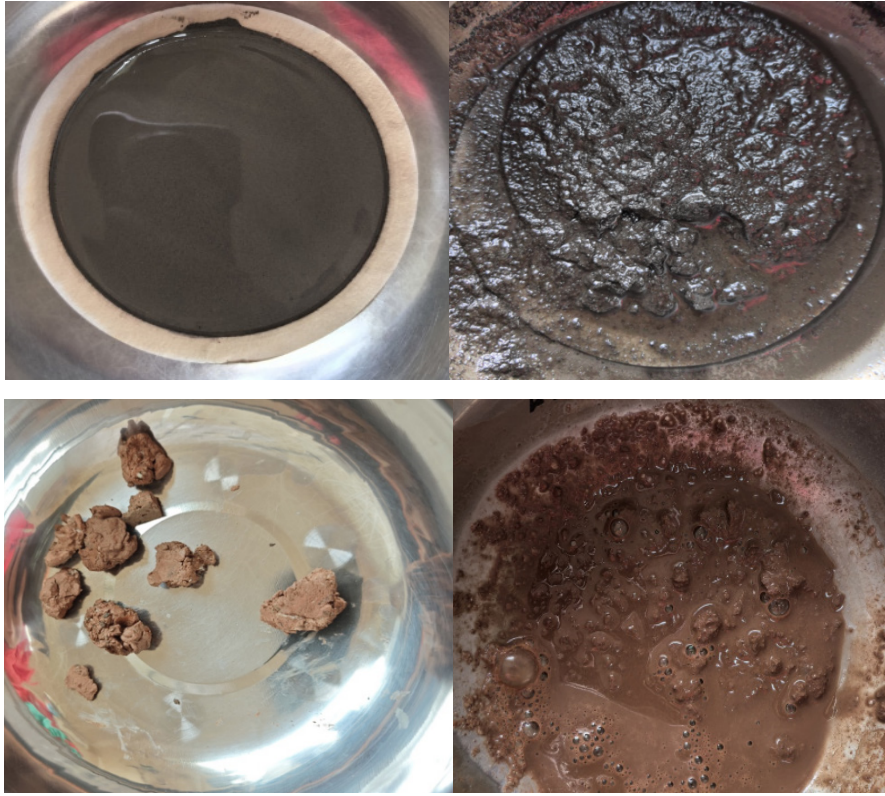


图3 土酸酸液体系下泥饼与岩屑的溶蚀效果

套管串结构：浮鞋（0.46m）+短套管（1.43m）+弹簧式浮箍（0.34m）+套管（10.42m）+自锁式浮箍（0.34m）+套管+磁定位短节（1.91m）+套管，设计下深4437m；

施工关键问题：套管接箍采用平口设计样式，下套管过程中极易刮挤泥饼中的塑料小球，降低防粘时效；卸扣取气密封被卡封隔器时，B型大钳前尾绳长度不足导致退出困难，进而延长套管静止时间[2]。

3.2 下套管遇卡特征与成因

3.2.1 遇卡过程

2025年7月8日启动下生产套管作业，9日21:28下至4351m（阻位4327.01m）时突发粘卡现象；经300kN~2600kN吨位活动套管及循环钻井液处置无效后，10日15:30注入18m³油基解卡剂浸泡1700~2250m井段，21:30替出解卡剂；11日4:00再次注入40m³油基解卡剂浸泡1700~3000m井段，至12日20:00仍未出现脱卡迹象，卡点已蔓延至1700~2810m。

3.2.2 成因诊断

地质因素：地层岩屑含有碳酸盐成分，与钻井液滤液发生反应形成胶结体，且储层致密导致岩屑难以被携带，环空堆积之后阻碍套管下行；

工程因素：钻井液固相含量偏高（27%），套管静止期间形成虚厚泥饼；套管串刚性较强、与井壁接触面积较大，加剧粘附风险；套管接箍设计缺陷与操作不当延长静止时间，进一步恶化粘卡程度；

药剂因素：油基解卡剂仅能软化滤饼表层，无法破坏碳酸盐胶结核心，导致卡点持续蔓延，脱卡效果不尽如人意。

4 泡酸解卡方案设计与现场实施

4.1 方案设计

4.1.1 浆柱结构设计

采用“前置隔离液+酸液+后置隔离液”三段式结构形态，规避酸液与钻井液窜混：

前置隔离液：15m³稠浆（井浆+增稠剂DSP，黏度250~300s）+4m³柴油，形成物理隔离屏障；

酸液段：30m³优化配方复合土酸，精准覆盖1700~2810m卡点井段（酸液用量按环空容积1.5倍附加系数计算[6]）；后置隔离液：2m³柴油+5m³稠浆，防止酸液回流污染钻井液体系。

4.1.2 施工参数与风险管控设计

注入参数：泥浆泵替浆排量80冲/min，固井车注酸排量10~15L/s，总替浆量80.4m³；注酸前对地面管线进行30MPa试压操作，确保密封性能达标[5]；

浸泡模式：浸泡时长1.5h，每20min顶浆0.3m³并活动套管（活动吨位30~250t），促进酸液与卡点充分发生反应；

井控风险管控：泡酸期间实时监测CO₂气体溢出情况，维持环空液柱压力平衡状态，防范井涌风险；

环保风险管控：排酸前在回收罐内预置生石灰，对残酸进行中和处理，确保排放符合相关标准。