

辛东油区不同油藏下的油井管柱防护与治理对策研究

张江华 张启源 陈占美 姜小兵 邱润东
东辛采油厂，中国·山东 东营 257055

摘要：辛东油区近几年油套管及井下工具腐蚀状况日益严重，因井筒损坏、落物等原因造成停产停注井在不断增加且修复难度大，致使动态井网被破坏，储量失控，递减加大，严重影响油田正常开发。其腐蚀原因及机理不明，在保护和治理措施上无针对性，治理效果不明显。本次研究主要是通过对油井采出液成分检测化验，管柱腐蚀产物分析测定，明确腐蚀原因及机理，对管柱防腐配套、防腐药剂选型及用量优化进行研究，制定适合辛东油区不同油藏下的油井管柱防护与治理方案。本次研究成果对油田恢复控制储量，提高采收率，实现断块油藏可持续高效开发有着极其重要的作用。

关键词：腐蚀机理；管柱防护；药剂选型

Research on Protection and Treatment Strategies for Oil Well Tubulars in Different Reservoirs of the Xindong Oilfield
Zhang Jianghua, Zhang Qiyuan, Chen Zhanmei, Jiang Xiaobing, Qiu Rundong
Dongxin Oil Production Plant, China Shandong Dongying 257055

Abstract: In recent years, corrosion of tubing, casing and downhole tools has become increasingly severe in the Xindong Oil Region. The number of shut-in production and injection wells caused by wellbore damage, downhole junk and other issues keeps rising, with complicated remediation operations. This damages the dynamic well pattern, leads to unregulated reserves and accelerated production decline, seriously hindering the normal development of the oilfield. The root causes and mechanisms of corrosion remain unclear, resulting in a lack of targeted protection and treatment measures and unsatisfactory governance outcomes. This study mainly identifies corrosion causes and mechanisms through laboratory testing of produced fluid compositions and quantitative analysis of tubular string corrosion products from oil wells. It also investigates supporting anti-corrosion technologies for tubular strings, the selection of anti-corrosion chemicals and optimization of chemical dosage, so as to formulate targeted protection and treatment schemes for well tubular strings applicable to different reservoirs in the Xindong Oil Region. The research findings are of great significance for the oilfield to regain controlled reserves, enhance oil recovery and realize sustainable and efficient development of fault-block reservoirs.

Keywords: Corrosion mechanism; Tubular string protection; Chemical agent selection

1 引言

辛东油区地质构造环境复杂，油藏类型多，按油藏特点分为窄屋脊断块油藏、岩性油藏和复杂断块油藏；层系多，层间层内非均质性严重；油层物性差异大，矿化度跨度大，4-30 万 mg/L。

1.1 研究背景与意义

不同断块层系的油井采出液性质出现较大的差异，不同层系的采出水混注导致辛东油区出现油水井腐蚀结垢问题的区块较多。辛东油区因腐蚀造成一是井下故障井多达 162 口，故障类型以落物、套破、套缩为主（图 1），导致油水井利用率只有 72.2%；二是井下工具腐蚀严重导致倒井率高，年倒井高率 2.6%，主要表现为泵漏、管漏、杆断等腐蚀（图 2），这已经严重影响了油田的开发。

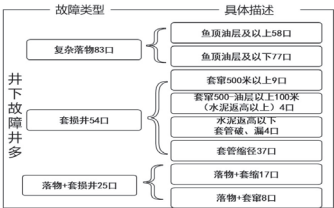


图1 辛东油田井筒状况

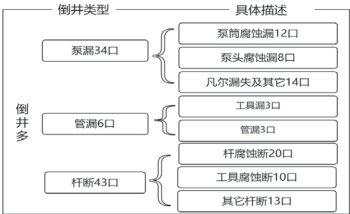


图2 辛东油田2024年倒井类型

为应对目前腐蚀状况在生产中通过加缓蚀剂、破乳剂、清蜡剂及脱硫剂进行井筒的防护，防护效果无定量性判定。

本研究拟针对辛东油田油井腐蚀现状，开展腐蚀结垢机理和室内实验评价研究，并形成腐蚀防护对策，为整个东辛油田开发提供有力的技术支撑。课题通过开展采出液性质分析，判断腐蚀原因，优选防腐药剂、拟定腐蚀防护措施，实现降低腐蚀速率、控制井筒损坏率的目标。

1.2 国内外研究现状

国内外研究的趋势是腐蚀机理的研究和不同腐蚀介质腐蚀预测模型的研究。就国内油气田实际情况而言侧重于进行 H₂S 和 CO₂ 等酸性气体的腐蚀研究和腐蚀预测。2012 年中国科学院海洋研究所与中国石油大学联合对胜利油田部分油区取样研究发现胜利油区主要是 CO₂ 和 H₂S 引起的电化学反应导致的管材腐蚀，CO₂ 的存在对腐蚀起促进作用，CO₂ 相对含量的增加导致腐蚀形态逐步转化为以 CO₂ 为主导因素，增加酸性油气田防腐难度。H₂S 的存在既能通过阴极反应加速 CO₂ 腐蚀，又能通过 FeS 沉淀减缓腐蚀^[1]。

在油套管防腐方面主要是耐蚀合金材料的研究应用和化学药剂的研究应用。在耐蚀合金材料的研究中主要以抗硫和抗 CO₂ 管材的研制为主，目前普遍采用 Cr-Ni 合金，价格昂贵。化学药剂主要是改变环境因素为主，与管材表面发生物理化学作用，从而显著降低金属的腐蚀。目前的化学药剂主要有缓蚀剂、杀菌剂和脱氧剂。这次研究主要是确定辛东油田腐蚀的主要原因和明确药剂选型及其它可行性防治措施。

2 研究方法 & 路线

2.1 技术目标

通过对井下管柱腐蚀机理研究，明确腐蚀原因，确定不同油藏下油井管柱防护及治理对策，恢复控制储量，实现断块油藏可持续高效开发。

2.2 技术内容

- (1) 分油藏区块研究油井管柱腐蚀原因及明确主导因素：采出液成分检测化验，管柱腐蚀产物分析测定。
- (2) 油井防腐优化配套技术研究：管柱防腐配套，防腐药剂选型及用量优化。
- (3) 现场应用效果评估，开展腐蚀速率评价。

2.3 技术方法和路线

2.3.1 技术方法

- (1) 油井采出液性质及腐蚀介质进行分析。

根据现场作业及生产过程中，从腐蚀严重区块并选取重点井的采出液分析化验，对 pH 值、硫化物、溶解氧、总铁、亚铁、二氧化碳等化验^[2]。

- (2) 对目前所有药剂效果分析。

对于目前所加的缓蚀剂等对管柱腐蚀的作用及效果进行分析。

- (3) 现场应用对比分析。

针对腐蚀程度、矿化度以及现场药剂进行分类选井，分别加入不同种类、不同浓度的药剂，观测对比腐蚀程度的差异性，从而筛选出辛三区域的防护对策，并通过现场应用效果分析改进，形成辛三油井防护治理对策图版。

2.3.2 技术路线（图 3）

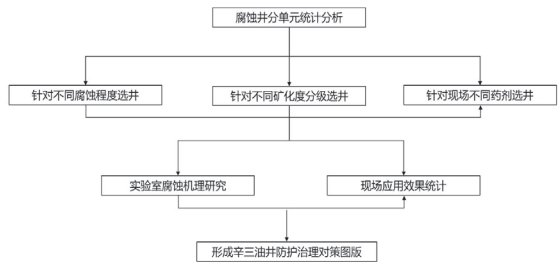


图3 技术路线图

2.4 技术经济指标

- (1) 现场试验应用 ≥ 10 井次；
- (2) 井下管柱腐蚀速率下降 30% 以上。

3 腐蚀分析试验数据及防护措施建议

3.1 腐蚀规律分析

汇总整理 30 口油井检测数据及室内静态腐蚀速率测试结果，将各关键指标设定警戒阈值并标亮（表 1），以不同项目排序后观察标亮值的分布情况可以直观的看出腐蚀速率与各指标的关联程度^[3]。

表1 设定的警戒阈值

项目	警戒阈值
铁离子（总铁）	>15mg/L
pH值	<6.0
游离二氧化碳	>60mg/L
矿化度	>90000mg/L
腐蚀速率（室内）	>0.050mm/a

结论 1：各项关键指标与单井日产液量、含水率关联程度不高。

结论 2：按单元排序后，辛二十三块 沙二稳单元存在较集中的强腐蚀井口。

结论 3：按采出液矿化度排序后，铁离子、腐蚀速率呈正相关趋势，判断矿化度为关键腐蚀因素。

结论 4：按游离二氧化碳排序后，铁离子、腐蚀速率呈正相关趋势，判断 CO₂ 为关键腐蚀因素。

结论 5: 按 pH 值排序后, 腐蚀速率关联程度不明显。

3.2 离子全分析结果

辛三区块井口采出液矿化度在 4.3w~13.9w mg/L 之间, 其中 DXX53X28、DXX53-20 井矿化度最高。

统计矿化度分布情况, 4w~7w 占比 47%, 7w~9w 占比 37%, > 9w 占比 17%。在所有井口中, 腐蚀速率超过警戒阈值的占 40%, 统计矿化度大于 7w 的井口时, 则腐蚀速率超过警戒阈值的占比提升至 63%, 矿化度大于 9w 时, 占比达 100%。

结论: 井口采出液矿化度超过 7w 时需关注其腐蚀风险, 超过 9w 时需采取防腐措施。

3.3 游离二氧化碳含量分析结果

辛三区块井口游离二氧化碳含量在 14~95 mg/L 之间, 其中 DXX53X31、DXX9-24 井 CO₂ 最高。

统计游离二氧化碳分布情况, < 50mg/L 占比 53%, 50~70mg/L 占比 30%, > 70mg/L 占比 17%。在所有井口中, 腐蚀速率超过警戒阈值的占 40%, 统计游离二氧化碳含量大于 50mg/L 的井口时, 则腐蚀速率超过警戒阈值的占比提升至 79%, 游离二氧化碳含量大于 70mg/L 时, 占比达 86%。

结论: 井口游离 CO₂ 含量超过 50mg/L 时需关注其腐蚀风险, 超过 70mg/L 时需采取防腐措施。

3.4 其他腐蚀因素指标分析

pH 值: 部分油井 pH 值显著偏低 (pH < 6), 约占 27% (8/30), 其中最低达 4.4; 硫化物、溶解氧、SRB 菌: 普遍为零, 基本可排除腐蚀影响。

3.5 井下环境腐蚀模拟及缓蚀剂筛选

选取 5 口存在典型腐蚀因素的井口采出液开展了井下环境模拟试验, 测试腐蚀速率较室内静态测试结果, 腐蚀速率上升了 3~4 倍 (表 2)。同时开展了缓蚀剂缓蚀性能测试, 可见 CCUS 用缓蚀剂对此类腐蚀情形较为有效 (表 3)。

表2 模拟井下环境与室内静态腐蚀速率表

编号	腐蚀速率, 70°Cmm/a	腐蚀速率, 120°Cmm/a	腐 蚀 速 率比例	主要关联因素
DXX53X28	0.056	0.129	2.3	矿 化 度 高 : 120371.1mg/L; CO ₂ 高: 60mg/L
DXX70NX13	0.078	0.316	4.1	pH 低 : 5.47; CO ₂ 高: 70mg/L
DXX70X36	0.046	0.168	3.7	CO ₂ 高: 80mg/L
DXX9-24	0.15	0.526	3.5	pH 低 : 4.65; CO ₂ 高: 95mg/L
DXX53X33	0.142	0.583	4.1	矿化度高: 111.6g/ L; CO ₂ 高: 80mg/ L; pH低: 5.93

表3 两种缓蚀剂对腐蚀速率影响效果表

编号	腐蚀速率, 120°Cmm/a	缓蚀剂1加 药后腐 蚀 速率	缓蚀率	缓 蚀 剂 2 加药后腐 蚀速率	缓蚀率
DXX53X28	0.129	0.066	48.80%	0.032	75.20%
DXX70NX13	0.316	0.124	60.80%	0.058	81.60%
DXX70X36	0.168	0.089	47.00%	0.035	79.20%
DXX9-24	0.526	0.146	72.20%	0.042	92.00%
DXX53X33	0.583	0.165	71.70%	0.052	91.10%

缓蚀剂 1: 地面工程缓蚀剂。

缓蚀剂 2: CCUS 缓蚀剂。

4 现场实验

选取采出液矿化度和游离二氧化碳高的两口井在井口油嘴套位置下入挂片, 在生产过程中分别加缓蚀剂 1 和缓蚀剂 2 进行现场实验, 观察挂片腐蚀程度, 判断缓蚀剂效果。实验数据如下 (表 4):

表4 现场实验两种缓蚀剂对腐蚀速率影响效果表

编号	腐 蚀 速 率mm/a	加缓蚀剂后腐 蚀速率mm/a	缓蚀 率	主要关联因素
DXX53X31	0.072	0.031	56.9	矿化度高:93274.4mg/ l;CO ₂ 高:85mg/l;加缓 蚀剂1
DXX53X28	0.056	0.015	73.2	矿化度高:120371.1mg/ l;CO ₂ 高:60mg/l;加缓 蚀剂2

结论: 通过现场实验证明缓蚀剂2的效果优于缓蚀剂1。

5 存在问题及意见

目前 CCUS 缓蚀剂为液体缓蚀剂, 其保护距离有限, 尚待研判是否需要考虑采用固体类缓蚀剂。下步可扩大缓蚀剂投加范围, 对辛 23 沙二稳的井投加缓蚀剂 2 进行腐蚀防护, 且考虑利用作业时机在井下采用腐蚀挂环进一步监测效果。

参考文献:

[1] 郭学辉, 周生杰, 杜素珍等. 油气田中几种常见的腐蚀机理[J] 辽宁化工, 2014-01-20.

[2] 衣延安. 油田管杆腐蚀机理及化学防腐技术应用[B] 中国设备工程. 2012 年 4 月.

[3] 王凤平, 陈家坚, 臧晗宇. 油气田腐蚀与防护[M]. 科学出版社, 2016.

作者简介: 张江华 (1984.04-), 男, 汉族, 山东省潍坊市, 大学本科, 高级职称, 研究方向: 石油开发。