

一、项目基本情况

推荐成果名称	苛刻工况下井筒完整性失效的多场耦合理论与模型			
主要完成人	龙岩、朱丽霞、罗金恒、谢俊峰、赵密锋、张涛、邝献任、张波、王帅、宋成立			
主要完成单位	中国石油集团工程材料研究院有限公司，中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司，东北大学			
推荐单位	中国石油集团工程材料研究院有限公司			
应用专业	钻完井	申报等级	基础研究奖一等奖	
联系人				
项目联系人	谢文江	手机号	13571495577	
联系人邮箱	xiewj@cnpc.com.cn			
项目来源				
任务来源 (科技计划)	科技计划名称	来源项目名称	计划任务书编号	研究起止时间
所属企业科技计划	基础研究和战略储备技术研究基金项目	马氏体不锈钢表面梯度强化层耐腐蚀抗裂协同优化技术研究	2021DQ03 (2022Z-07)	2022年4月1日至2023年8月18日
所属企业科技计划	中国石油集团石油管工程技术研究院院级课题	超级 13Cr 不锈钢在钻井泥浆污染的环空保护液环境中腐蚀机理研究	TGR1-2017-06	2017年4月1日至2018年11月27日
项目起止时间	起始：2017年4月1日		完成：2023年8月18日	
科技成果登记号	2023-ZJ-01-1037、2024-ZJ-01-1226			
已应用时间(年)	3			

二、项目简介

(800-1500 字)

研究背景和总体思路:

世界新增油气储量的 60%来自深部地层,我国深层油气资源总量达 671 亿吨油当量,约占全国油气资源总量的 34%,实现其高效开发是落实增储上产战略、保障国家能源安全的关键举措。然而,深层油气藏普遍具有超高温(150~220°C)、超高压(100~176 MPa)和强腐蚀(CO₂/H₂S)等苛刻工况,且储层致密,对井筒完整性构成了严峻挑战。作为油气生产的唯一通道,井筒完整性是安全高效开发的基本前提。近年来,随着油田开发力度持续加大,酸化、气举等增产工艺广泛应用,强酸液、杂质气体等复杂介质的引入,显著加剧了井筒完整性控制难度,具体表现为管柱腐蚀与断裂失效频发、环空压力异常井数量持续上升,已有失效机理难以解释,井完整性控制面临着“全周期动态腐蚀与防护机制不清、完井/增产工艺诱发的环境断裂机理不明、环空泄漏起压理论模型不完善”等基础理论瓶颈难题。为应对上述挑战,本项目聚焦深层油气井苛刻工况,围绕井筒腐蚀、环境断裂与环空带压三大核心方向开展系统攻关,突破了井筒完整性失效多场耦合理论与模型等多项关键理论瓶颈,为超深井筒的安全经济选材、高效高质作业与科学精准管控提供了理论支撑。

主要科技突破点:

(1) 构建了 Fe-Cr-H₂O-Cl⁻-CO₂ 五元体系高温 E-pH 图,为井筒高温腐蚀行为预测提供了理论依据。系统研究了超深井井筒在“鲜酸酸化-残酸返排-油气生产”多环境协同作用下的腐蚀机制,首次阐明了 13Cr 不锈钢油管表面缓蚀吸附膜诱发闭塞电池效应及在壁面剪切力作用下的失稳行为。创新提出了金属间化合物梯度扩散调控方法,开发出纳米 CuO 协同增强镍基复合涂层及多孔氧化铝定向冷冻铸造的防护材料。

(2) 证实了磷酸盐环空保护液可诱发 13Cr 油管应力腐蚀开裂,提出了“活化失稳-位错滑移”协同作用的阳极溶解型应力腐蚀开裂机制。揭示了酸化后 13Cr 油管表面损伤动态演变机制,“材质-化学-应力”协同作用下诱发裂纹萌生与扩展。阐明了气举井注气介质中 O₂ 杂质与 H₂S 产出气反应,引发的 C110 抗硫油管“界面脱粘+阳极溶解”协同损伤机制。

(3) 构建了基于温压效应与气液体积补偿的密闭环空压力表征模型,解决了气液共存条件下体积相容关系建模的关键问题。建立了基于油套环空和油管柱间流体交互过程的泄漏起压计算模型,实现了对多点多相态泄漏起压过程表征。揭示了环空压力及气液分布、压力剖面随井筒泄漏状态的变化规律,弥补了泄压恢复测试方法无法充分反映井筒完整性状态的不足。

成果价值:

项目累计发表核心论文 25 篇,其中 SCI 收录 15 篇、EI 收录 5 篇。相关理论成果已成功应用于塔里木油田深层油气区块,支撑了管柱选材设计、断裂控制及环空异常带压井的安全管理。研究成果获学术界广泛认可,相关论文被大量引用,具有较高的学术影响力,有力推动了我国深层油气井筒完整性的基础研究和科技进步,为向超深层油气资源进军、保障国家能源自主安全提供了关键理论支撑,具有广阔的推广应用前景。

三. 知识产权、标准及论文专著证明目录

(1) 已授权发明专利 (按重要程度排列)

序号	专利号	专利名称	专利权人	发明人	授权日期	法律状态	所支持创新点	国别(地区)

(2) 已颁布标准 (国际标准、国家标准、行业标准、集团公司标准、所属企业标准)

序号	级别	标准名称	标准号	起草单位	起草人	发布时间	发布机关	所支持创新点

(3) 发表论文及专著 (按重要程度排序)

序号	论文(专著)名称	发表刊物(出版社)	发表(出版)时间	作者	所支持创新点
1	Combined effect of hydrogen embrittlement and corrosion on the cracking behaviour of C110 low alloy steel in O ₂ -contaminated H ₂ S environment	Corrosion Science	2021年11月3日	龙岩; 宋文文; 付安庆; 谢俊峰; 冯耀荣; 白真权; 尹成先; 马庆伟; 吉楠; 邝献任	创新点 2
2	Dendritic porous alumina with high porosity by directional freeze casting using a binary solution for bacterial removal	Journal of the European Ceramic Society	2021年12月10日	朱丽霞; 汤玉斐; 毛梦琛; 吴子祥; 赵康	创新点 1
3	Characteristics of sustained annular pressure and fluid distribution in high pressure and high temperature gas wells considering multiple leakage of tubing string	Journal of Petroleum Science and Engineering	2020年10月28日	张波; 胥志雄; 陆努; 刘洪涛; 刘己全; 胡志强; 谢俊峰; 王克林	创新点 3
4	Pourbaix diagram for HP-13Cr stainless steel in the aggressive oilfield	Electrochimica Acta	2018年9月21日	赵阳; 谢俊峰; 曾冠鑫; 张涛; 徐大可; 王福会	创新点 1

	environment characterized by high temperature, high CO2 partial pressure and high salinity				
5	Failure analysis of the 13Cr valve cage of tubing pump used in an oilfield	Engineering Failure Analysis	2018年7月10日	龙岩; 武刚; 付安庆; 谢俊峰; 赵密锋; 白真权; 罗金恒; 冯耀荣	创新点 1
6	Enhanced anti-microbial corrosion of nano-CuO-loaded Ni coatings on pipeline steels in simulation environment of natural gas transportation pipeline	Ceramics International	2022年12月18日	朱丽霞; 汤玉斐; 高思越; 蒋君毅; 吴聪; 赵康	创新点 1
7	Stress corrosion cracking behavior of super 13Cr tubing in phosphate packer fluid of high pressure high temperature gas well	Engineering Failure Analysis	2022年5月26日	付安庆; 龙岩; 刘洪涛; 赵密锋; 谢俊峰; 苏航; 李轩鹏; 袁军涛; 雷晓维; 尹成先; 冯耀荣	创新点 2
8	Trapped annular pressure caused by thermal expansion in oil and gas wells: a review of prediction approaches, risk assessment and mitigation strategies	Journal of Petroleum Science and Engineering	2018年9月15日	张波; 管志川; 陆努; ARhasan; 王庆; 许博越	创新点 3

9	Evaluation and analysis of nitrogen gas injected into deepwater wells to mitigate annular pressure caused by thermal expansion	Journal of Petroleum Science and Engineering	2019 年 5 月 16 日	张波; 胥志雄; 管志川; 李成; 刘洪涛; 谢俊峰; ARHasn; 王庆	创新点 3
10	Investigation of the failure mechanism of the TG-201 inhibitor: Promoting the synergistic effect of HP-13Cr stainless steel during the well completion	Corrosion Science	2020 年 1 月 8 日	赵阳; 齐文龙; 谢俊峰; 陈妍; 张涛; 徐大可; 王福会	创新点 1
11	Effect of the Flow Velocity on the Corrosion Behavior of UNS S41426 Stainless Steel in the Extremely Aggressive Oilfield Environment for the Tarim Area	Corrosion	2020 年 4 月 2 日	赵阳; 常立民; 张涛; 谢俊峰; 陈妍; 徐大可; 王福会	创新点 1
12	扩散温度对 TC4 合金表面 Cu/Ni 复合镀层结构及耐蚀性能的影响	稀有金属材料与工程	2019 年 6 月 15 日	朱丽霞; 罗金恒; 武刚; 李丽锋; 张庶鑫; 王楠; 刘双双; 陈永楠	创新点 1
13	Correlation between electrochemical properties and stress corrosion cracking of super 13Cr under an HTHP CO ₂ environment	RSC Advances	2018 年 7 月 10 日	岳小琪; 赵密锋; 张雷; 张慧娟; 李大鹏; 路民旭	创新点 2

14	Effect of Acidizing Process on the Stress Corrosion Cracking of HP-13Cr Stainless Steel in the Ultra-depth Well Environment	Frontiers Materials	in	2021年9月15日	齐文龙; 赵阳; 张涛; 王福会	创新点 2
15	Effect of Flow Rate on the Corrosion Behavior of P110 Steel in High-Ca ²⁺ and High-Cl ⁻ Environment	Metals		2022年7月12日	张雅妮; 张少刚; 罗金恒; 龙岩; 吉楠; 樊冰; 王思敏	创新点 1
16	西部某油田修复油管的断裂原因	腐蚀与防护		2018年5月15日	龙岩; 李岩; 马磊; 熊茂县; 邝献任; 袁军涛	创新点 2
17	Study on the Effect of Cement Sheath on the Stress of Gas Storage Well	Journal of Physics: Conference Series		2021年8月24日	宋成立; 刘新宝; 李广山; 王帅	创新点 3
18	Fracture Failure Analysis of C110 Oil Tube in a Western Oil Field	Materials Science Forum		2020年6月23日	朱丽霞; 邝献任; 熊茂县; 邢星; 罗金恒; 谢俊锋	创新点 2
19	超级 13Cr 不锈钢在磷酸盐完井液中的应力腐蚀开裂敏感性研究	材料保护		2018年3月15日	谢俊峰; 岳小琪; 赵密锋; 张雷; 李岩; 路民旭	创新点 2
20	高温高压气井管柱腐蚀现状及未来研究展望	表面技术		2018年6月20日	赵密锋; 付安庆; 秦宏德; 谢俊峰; 谢刚; 龙岩; 李岩; 王华	创新点 1
21	Cause Analysis of Tubing Flattening in An Oil Well	International Field Exploration and Development Conference 2022	and	2022年9月23日	王帅; 刘源; 夏晓晖; 武俊; 杨超	创新点 2
22	高温高压气井中超级 13Cr 油管环空断裂的原因	腐蚀与防护		2022年2月15日	耿海龙; 龙岩; 赵密锋; 付安庆; 张雪松; 王鹏;	创新点 2

				徐鹏海	
23	表面缺欠对超级 13Cr 油管在气井酸化过程中的腐蚀行为影响研究	表面技术	2018 年 6 月 20 日	谢俊峰; 付安庆; 秦宏德; 谢刚; 赵密锋; 李岩; 王华	创新点 1
24	油气井密闭环空压力调控技术研究现状与展望	中国海上油气	2018 年 12 月 25 日	张波; 管志川; 陆努; 李成; 王恒; 韩超; 赵国山; 王建云	创新点 3
25	深层气井生产管柱完整性检测技术总结及评价	天然气与石油	2020 年 10 月 25 日	张波; 胥志雄; 高文祥; 刘洪涛; 刘文超; 王磊; 张宏强; 徐鹏海; 谢俊峰	创新点 3

四、主要完成人情况表

姓名	龙岩	性别	男	项目排名	1
工作单位	中国石油集团工程材料研究院有限公司	二级单位	西部研究所		
参加本项目时间	自 2017 年 4 月 1 日至 2023 年 2 月 28 日				
对本项目技术创造性贡献： （不超过 300 字）					
<p>1) 项目的主要完成人，牵头研究方案及应用措施的制定，对创新点 2 做出主要贡献，参与创新点 1 研究。</p> <p>2) 负责 13Cr 不锈钢腐蚀机制、环空断裂机制以及气举井管柱断裂机制研究等本项目关键理论研究。基于研究成果，提出了超深井管柱选材、工作液优选及注气增产工艺优化等失效控制合理化建议措施，在油田现场应用后取得良好应用效果。</p> <p>3) 第一作者发表论文 3 篇（论文 1、5 和 16），通讯作者发表论文 1 篇（论文 22），合作论文 3 篇（论</p>					
曾获科技奖励情况： （不超过 150 字）					
<p>2021 年陕西省科学技术进步二等奖，苛刻油气井管柱服役安全可靠性能评估技术及应用，排名第 4；</p> <p>2020 年新疆维吾尔自治区科学技术进步二等奖，超深高温高压气井管柱腐蚀失效控制技术及应用，排名第 4；</p> <p>2020 年陕西省科技进步一等奖，复杂工况油气井管柱腐蚀控制技术及应用，排名第 10。</p>					

姓名	朱丽霞	性别	女	项目排名	2
工作单位	中国石油集团工程材料研究院有限公司	二级单位	西部研究所		
对本项目技术创造性贡献： （不超过 300 字）					
<p>1) 项目主要完成人，参与研究方案及应用措施的制定，对创新点 1 做出主要贡献，参与创新点 2 研究。</p> <p>2) 开展腐蚀介质-材料表面相互作用机制及多材料体系腐蚀防护研究，阐明钝化膜结构与稳定性的调控规律，建立“流速-膜缺陷-点蚀形貌”构效关系等；开展管柱环境断裂机制研究。</p> <p>3) 第一作者发表论文 4 篇（论文 2、6、12 和 18）。</p>					
曾获科技奖励情况： （不超过 150 字）					
<p>2022 年中国石油集团有限公司科技进步一等奖，油气田管道完整性管理关键技术与规模应用，排名第 5；</p> <p>2022 年陕西省科技进步二等奖，天然气地下储气库完整性关键技术与规模应用，排名第 3；</p> <p>2020 年陕西省科技进步三等奖，油气输送专用管材组织性能评价技术，排名第 5。</p>					

姓名	罗金恒	性别	男	项目排名	3
工作单位	中国石油集团工程材料研究院有限公司	二级单位	西部研究所		
对本项目技术创造性贡献： （不超过 300 字）					
<p>1) 项目主要完成人，参与创新点 1 和创新点 2 研究。</p> <p>2) 参与完成苛刻工况井筒腐蚀机制、表面镀层防护工艺以及管柱环境断裂机制研究，并参与成果的应用推广工作。</p> <p>3) 合作发表论文 4 篇（论文 5、12、15 和 18）。</p>					

曾获科技奖励情况：（不超过 150 字）

2018 年国家技术发明二等奖，油气管道系统完整性关键技术与工业化应用，排名第 4；
2019 年陕西省科学技术进步一等奖，X80 高强度管道服役安全关键技术研究及应用，排名第 1；
2022 年陕西省科学技术进步二等奖，天然气地下储气库完整性关键技术与规模应用，排名第 2。

姓名	谢俊峰	性别	男	项目排名	4
工作单位	中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司	二级单位	油气工艺研究院		

对本项目技术创造性贡献：（不超过 300 字）

- 1) 项目主要完成人，参与创新点 1、创新点 2 和创新点 3 研究，在理论研究成果的应用验证方面贡献突出。
- 2) 参与腐蚀热力学模型的试验验证方案制定及腐蚀特征表征，开展高温高压井不锈钢管柱断裂失效分析研究，配合环空带压机理模型研究。依托项目创新成果，负责油套管订货技术协议修订及井筒失效控制措施的应用。
- 3) 第一作者发表论文 2 篇（论文 19 和 23），合作论文 11 篇（论文 1、3、4、5、7、9、10、11、18、20）。

曾获科技奖励情况：（不超过 150 字）

2020 年新疆维吾尔自治区科技进步二等奖，超深高温高压气井管柱腐蚀失效控制技术及应用，排名第 1；
2019 年集团公司科学技术进步一等奖，塔里木复杂超深层钻完井关键技术及应用，排名第 11。

姓名	赵密锋	性别	女	项目排名	5
工作单位	中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司	二级单位	油气工艺研究院		

对本项目技术创造性贡献：（不超过 300 字）

- 1) 项目主要完成人，参与创新点 1 和创新点 2 研究，协助本项理论研究成果的应用验证。
- 2) 开展高温高压气井管柱腐蚀行为与表面缺欠影响研究，支撑井筒腐蚀预测与防护理论；发现了高温加速活性 Cl^- 在 CO_2 腐蚀产物膜内的吸附、促进管柱基体点蚀行为特征，并参与了环空环境断裂失效分析研究。依托项目创新成果，开展了井筒工作液质量控制技术要求的制定。
- 3) 第一作者发表论文 1 篇（论文 20），合作论文 6 篇（论文 5、7、13、19、22 和 23）。

曾获科技奖励情况：（不超过 150 字）

2020 年新疆维吾尔自治区科技进步二等奖，超深高温高压气井管柱腐蚀失效控制技术及应用，排名第 2；
2020 年陕西省科学技术进步一等奖，复杂工况油气井管柱腐蚀控制技术及应用，排名第 5。

姓名	张涛	性别	男	项目排名	6
工作单位	东北大学	二级单位	材料学院与工程		

<p>对本项目技术创造性贡献：（不超过 300 字）</p> <p>1) 项目主要完成人，参与创新点 1 研究，对创新点 2 有贡献。</p> <p>2) 开展苛刻油气环境下材料的 E-pH 图、酸化作业环境管柱腐蚀/应力腐蚀开裂行为研究等工作，对本项目形成多场耦合腐蚀机制认识奠定了理论基础。</p> <p>3) 通讯作者发表论文 4 篇（论文 4、10、11 和 14）。</p>
<p>曾获科技奖励情况：（不超过 150 字）</p> <p>2020 年辽宁省自然科学一等奖，绿色、高耐蚀镁合金防护涂层的制备理论及应用，排名第 4；</p> <p>2021 年中国腐蚀与防护学会科学技术奖一等奖，苛刻油气环境下 HP-13Cr 不锈钢腐蚀机理与寿命预测，排名第 1。</p>

姓名	邝献任	性别	男	项目排名	7
工作单位	中国石油集团工程材料研究院有限公司	二级单位	西部研究所		
<p>对本项目技术创造性贡献：（不超过 300 字）</p> <p>1) 项目主要完成人，参与创新点 2 研究。</p> <p>2) 参与了高温高压井管柱环空环境断裂、气举井抗硫管柱失效分析工作，协助开展井筒工作液优选及注气增产工艺优化等失效控制措施制定。</p> <p>3) 合作发表论文 3 篇（论文 1、16 和 18）。</p>					
<p>曾获科技奖励情况：（不超过 150 字）</p> <p>2021 年中国石油集团有限公司科技进步二等奖，特殊螺纹油套管检测评价及应用技术，排名第 6；</p> <p>2018 年中国石油集团有限公司科技进步一等奖，石油管材及装备防腐涂镀层开发与应用关键技术，排名第 16。</p>					

姓名	张波	性别	男	项目排名	8
工作单位	北京化工大学	二级单位	机电工程学院		
<p>对本项目技术创造性贡献：（不超过 300 字）</p> <p>1) 项目主要完成人，对创新点 3 做出主要贡献。</p> <p>2) 负责环空带压机理研究，完成了密闭环空压力表征模型和泄漏起压计算模型构建，攻克了气液共存与复杂泄漏条件下的起压过程表征与识别难题。</p> <p>3) 第一作者发表论文 5 篇（论文 3、8、9、24 和 25）。</p>					
<p>曾获科技奖励情况：（不超过 150 字）</p> <p>2023 年中国安全生产协会安全科技进步二等奖，油气深井井筒安全监测与风险防控关键技术及应用，排名第 1；</p> <p>2022 年山东省科技进步二等奖，深层油气勘探与开发井筒工程风险防控技术及工业化应用，排名第 3。</p>					

姓名	王帅	性别	男	项目排名	9
工作单位	中国石油集团工程材料研究院有限公司	二级单位	西部研究所		
对本项目技术创造性贡献： （不超过 300 字）					
1) 项目主要完成人，对创新点 2 和创新点 3 有贡献。					
2) 负责断裂失效管柱断口特征分析，支撑环境断裂机制研究；参与管柱-水泥环-地层三层结构应力交互影响研究。					
3) 第一作者发表论文 1 篇（论文 21），合作论文 1 篇（论文 17）。					
曾获科技奖励情况： （不超过 150 字）					
2023 年中国职业安全健康协会科技进步二等奖，老龄油气管道安全可靠性及动态风险评估理论和技术，排名第 8。					

姓名	宋成立	性别	男	项目排名	10
工作单位	中国石油集团工程材料研究院有限公司	二级单位	西部研究所		
对本项目技术创造性贡献： （不超过 300 字）					
1) 项目主要完成人，对创新点 3 有贡献。					
2) 负责管柱-水泥环-地层三层结构应力交互影响研究，建立了环向、轴向和径向应力计算表达式，支撑环空压带压机理研究。					
3) 第一作者发表论文 1 篇（论文 17）。					
曾获科技奖励情况： （不超过 150 字）					
2021 年中国腐蚀与防护学会科学技术奖一等奖，姬塬油田 CO2 驱注采井管材腐蚀防控技术研究与应用，排名第 10；					
2022 年中石油集团第二届青年科技创新创意比赛一等奖，石油管材料知识建模及智能关联问答研究，排名第 1。					

五、主要完成单位情况表

单位名称	中国石油集团工程材料研究院有限公司		排名	1
联系人	谢文江	联系电话	单位	029-81887701
			手机	13571495577
传真	/	电子邮箱	xiewj@cnpc.com.cn	
邮编	710077	通讯地址	陕西省西安市锦业二路 89 号	
对本项目的贡献： （不超过 600 字）				
<p>作为项目主持单位和主要完成单位，工程材料研究院全面负责项目技术研究工作，主要贡献包括：1) 负责不锈钢、合金钢等管材在井下苛刻环境腐蚀特征分析，支撑了多场耦合腐蚀机制研究；2) 创新提出金属间化合物梯度扩散调控方法，开发复合涂层与多孔氧化铝基过滤体系；3) 开展 13Cr 油管环境断裂试验研究，研究明确了 13Cr 不锈钢在磷酸盐环空保护液环境中的应力腐蚀开裂机制；4) 开展气井经抗硫管柱多元注气工况下环境断裂规律研究，揭示了注入介质中 O₂ 杂质引发的 C110 抗硫油管“界面脱粘+阳极溶解”协同损伤机制；5) 开展了管柱-水泥环-地层三层结构应力交互影响研究，建立了环向、轴向和径向应力计算表达式，支撑环空带压机制研究。</p> <p>自 2017 年起，基于上述在井筒腐蚀行为与环境断裂机制方面的研究成果，项目逐步形成了对超深井在全作业周期内井筒完整性失效行为的新认识，相关结论已成功应用于塔里木油田高温高压区块和含硫区块的管柱选材与失效控制工作，显著降低了管柱失效率，并为我国深层油气井筒完整性的基础理论研究及工程实践推进提供了重要支撑。</p>				

单位名称	中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司		排名	2
联系人	敬巧	联系电话	单位	0996-2175053
			手机	15276212635
传真	/	电子邮箱	jingqiao-tlm@petrochina.com.cn	
邮编	841000	通讯地址	新疆库尔勒市 78#信箱塔里木油田科技信息处	
对本项目的贡献： （不超过 600 字）				
<p>作为主要完成单位，塔里木油田分公司参与管柱腐蚀与环境断裂研究工作和技术推广工作，负责超深井环空带压机制研究。主要贡献包括：1) 配合腐蚀热力学模型的试验验证方案制定，开展不锈钢油管酸化作业环境腐蚀行为验证表征；2) 开展了高温高压井不锈钢管柱断裂失效分析研究，系统总结梳理超深层区块及注气区块管柱失效特征；3) 负责环空带压机理模型研究，创新提出了体积补偿与相容理论；4) 将项目的理论创新成果应用于现场实践，牵头完善了油套管订货技术协议、井筒工作液质量控制要求及配套的失效控制措施，成功实现了研究成果的应用验证与推广。</p>				

单位名称	东北大学		排名	3
联系人	王文邦	联系电话	单位	024-87372806
			手机	13998273792
传真	024-87372806	电子邮箱	wangwenbang@ise.neu.edu.cn	
邮编	110819	通讯地址	辽宁省沈阳市文化路 3-11 号	

对本项目的贡献：（不超过 600 字）

作为主要完成单位，东北大学主要负责腐蚀热力学及酸化液协同损伤机制研究。主要贡献包括：
 1) 构建苛刻油气环境下材料的 E-pH 图，从热力学层面实现了对材料腐蚀行为的预测；2) 通过系统的腐蚀与应力腐蚀开裂模拟试验，揭示了酸化液对井筒后续服役可靠性的影响规律，明确了酸化作业所诱发腐蚀与开裂行为的关键影响因素，为该项目的多场耦合腐蚀机制研究奠定了理论基础。

六、推荐意见

推荐单位	中国石油集团工程材料研究院有限公司		
通讯地址	陕西省西安市锦业二路89号	邮政编码	710077
联系人	谢文江	联系电话	029-81887701
电子邮箱	xiewj@cnpc.com.cn	传真	/

推荐意见：（不超过600字）

该项目紧密围绕深层油气开发面临的超高温、超高压、强腐蚀等苛刻工况，组建了产学研深度融合的研究团队，针对井筒局部腐蚀、环境断裂及环空异常带压三大完整性控制难题开展系统性理论攻关，取得了以下三方面创新成果：

（1）构建了Fe-Cr-H₂O-Cl⁻-CO₂五元体系的E-pH图，修正了油气生产环境中不锈钢钝化产物的稳定边界，首次阐明了酸化油管表面吸附膜与后续作业环境之间的协同腐蚀机制，提出了油管表面扩散调控新方法，创新了苛刻工况井筒腐蚀预测与防护理论体系。

（2）揭示了超深井全作业周期内管柱环境断裂的新机制，突破了传统上对油套管主要因单一H₂S/CO₂腐蚀环境致裂的认知局限，明确了高温高压井13Cr不锈钢油管和气举井C110抗硫油管的断裂失效原因，深化了对井筒服役安全关键影响因素的认识。

（3）提出了体积补偿与相容理论，建立了气液动态交互作用下环空带压机理模型，攻克了气液共存与复杂泄漏条件下的起压过程表征与识别难题，弥补了传统泄压恢复测试方法无法充分反映井筒完整性状态的不足。

该项目累计发表核心论文25篇，其中SCI收录15篇、EI收录5篇。相关理论成果已成功应用于塔里木油田深层区块，为管柱选材设计、断裂控制与环空带压井风险防控提供了关键支撑，现场应用效果显著。研究成果在学术界获得广泛认可与引用，有力推动了我国深层油气井筒完整性基础研究的进步。

同意推荐参加中国石油天然气集团有限公司2025年度基础研究奖一等奖评选。