

# 项目情况简介（省科技进步奖）

## 1、项目名称

油气井管柱腐蚀防护关键技术开发及应用

## 2、主要完成人

赵国仙；张钧；郭梦龙；张雅妮；胥聪敏；胡莎莎；王雅倩

## 3、提名单位

陕西省教育厅

## 4、提名意见

本项目团队在国家自然科学基金、陕西省科技计划以及油气田横向项目等十余项课题的支持下，围绕油气田腐蚀环境中油气井管柱的腐蚀问题，研究了多种油气井管柱材料的腐蚀行为、油气井管柱化学成分和开裂性能之间的关系，并开展了全生命周期油气井管柱的腐蚀评估以及复杂服役环境中油气井管柱的综合防腐技术研究。通过多年攻关，在油气井管柱腐蚀防护技术方面取得了较为丰硕的研究成果。研究成果具有重要的科学和应用价值，在油气田推广应用后取得了显著的经济效益和社会效益。

该项目选题属学科前沿，理论和技术创新突出，应用效果明显。该项目已经获得陕西高等学校科学技术奖二等奖。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖三等奖。

## 5、项目简介

本成果属于材料科学与工程领域。项目针对日益严重的油田腐蚀环境开展油气井管柱腐蚀防护关键技术开发及应用，重点研究了 3Cr 钢、5Cr 钢、13Cr、15Cr 和抗微生物腐蚀管材在油气田环境中的腐蚀行为和规律。

通过模拟现场环境的腐蚀试验、微观分析和电化学测试等综合测试技术，系统地研究了油气井管材在复杂油气田腐蚀环境中的腐蚀机理、规律及使用的环境界面，建立了油气井管柱腐蚀的风险评估方法。

项目开展的研究内容有：

（1）复杂服役环境中新型油气井管柱材料的腐蚀行为；

- (2) 低合金钢 SSC 敏感性关联机制及其演变机理研究；
- (3) 全生命周期新型油气井管柱的腐蚀评估；
- (4) 复杂服役环境中油气井管柱的综合防腐技术研究。

项目取得的主要成果如下：

(1) 明确了 3Cr 钢、5Cr 钢、13Cr、15Cr 和抗微生物腐蚀管材在 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S 和微生物共存复杂环境中的腐蚀规律和腐蚀机理，明确界定了各种材料的环境使用极限。

(2) 明确了低合金钢表面氢浓度与表面活性氢原子的吸附的相关性，建立低合金钢的应力强度因子与 H<sub>2</sub>S 分压、H<sup>+</sup>浓度之间的耦合关系，揭示了低合金钢 SSC 机理。

(3) 建立了完整的全寿命周期的油气井管柱腐蚀评价的实验装置，完成了不同材料不同材质全寿命周期的腐蚀评价实验，建立了油气井管柱腐蚀风险评估方法。

(4) 提出了复杂服役环境油气井管柱综合防腐技术，并完成在油田现场的应用。

## 6、客观评价

本项目围绕复杂油气田腐蚀环境中新型油气井管柱的腐蚀和应用开展综合研究，取得的主要成果包括：

(1) 掌握了 3Cr 钢、5Cr 钢、13Cr、15Cr 和抗微生物腐蚀管材在复杂腐蚀环境中的腐蚀规律和机理，为油气井管柱的风险评估奠定了基础；

(2) 揭示了腐蚀环境-氢浓度-SSC 敏感性之间的关联机制，明确了合金钢抗硫化物应力开裂（SSC）规律及机理；

(3) 建立了复杂油气田腐蚀环境中油气井管柱的腐蚀风险评估方法；

(4) 开发了复杂油气田腐蚀环境中材料综合防腐技术。

在项目实施过程中，围绕研究目标，开发出多种新技术和新方法，主要体现在如下几点：

(1) 自主研制开发了高温高压氢扩散检测装置，为精确测量苛刻腐蚀环境中材料表面的氢浓度提供了基础保障。

(2) 将传统的抗硫化物应力开裂（SSC）试验和电化学测试方法结合起来，为揭示材料 SSC 敏感性和环境之间的内在交互作用机理提供了技术保障。

(3) 自主开发了酸化实物试验装置和耐强酸高温高压釜，解决了实验室模拟苛刻腐蚀工况的难题。

(4) 创新集成了油气井管柱的综合防腐技术。

项目的研究成果对于解决复杂油气田腐蚀环境中油气井管柱的风险提供了理论基础和综合实践方法，研究成果在油田现场的应用产生了良好的经济效益和社会效益。

7、应用情况

本项目主要针对油气井管柱的腐蚀与防护问题开展研究，最终目的是保证油气井管柱的安全，协助企业实现增收节支的目标。针对油气田复杂工况，基于材料优选和腐蚀防护，结合区域环境特点，形成的油气井管柱综合防腐技术通过西安摩尔石油工程实验室股份有限公司进行成果转化，累计为该公司增加销售收入5250万元。

该技术自2018年起在延长油田志丹采油厂、吴起采油厂等单位实施以来，在管柱选材、更换、缓蚀剂采购等方面累积为企业节约成本共计12370万元，大幅度降低了油田腐蚀失效事故的发生，避免了腐蚀泄漏带来的环境污染，取得了良好的经济效益和社会效益。

8、主要知识产权和标准规范等目录

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种高温油井用缓蚀防蜡剂及其制备方法	中国	ZL 2019 1 0751785. 9	2021 .10.1 5	4737283	西安石油大学	赵国仙，张炜，牟飞云，周诗杰，石锐，马有龙，陈华强，黄明良，涂东岳鹏
2	发明专利	一种模拟缝隙腐蚀的电化学试验装置	中国	ZL 2017 1 0123488. 0	2023 .03.3 1	5829348	西安石油大学	张钧；吕祥鸿；赵国仙
3	发明专利	CO <sub>2</sub> 和H <sub>2</sub> S共存环境中的耐腐蚀低铬油套管的制备工艺	中国	ZL 2008 1 0232396. 7	2009 .12.0 9	578390	西安摩尔石油工程实验室股份有限公司	韩勇，赵国仙，李平全，吕祥鸿
4	发明专利	一种化工用存储罐耐腐蚀性检测装置	中国	ZL20241 0977348. X	2024 .09.2 0	7389413	西安摩尔石油工程实验室股份有限公司	王雅倩,蒋文瑞,岳红梅,张思琦,王文婷,杨茹娟,赵国仙,张钧
5	实用新型专利	一种耐强酸静态高温高压釜	中国	ZL 2013 2 0610194.	2014 .03.1 2	3448895	西安石油大学，西安摩尔石	赵国仙，吕祥鸿，韩勇，张钧，刘艳朝

				8			油工程实验 室有限公 司	
6	实用 新型 专利	高温高压氢扩散 测试装置	中国	ZL 2018 2 0031943. 4	2018 .09.2 5	7890829	西安摩尔 石油工程 实验室股 份有限公 司	薛艳, 李丹平, 梁伟, 赵国仙, 韩勇, 宋洋, 杨帆
7	发明 专利	一种适用于多类 型钢管的除锈设 备	中国	ZL 2021 1 0428072. 6	2022 .05.1 3	5147674	西安石油 大学	胥聪敏, 高豪 然, 赵国仙, 奚运涛, 李光, 张津瑞
8	论文	Φ88.9 mm×6.45 mm L80-13Cr 油 管穿孔原因分析	中国	DOI: 10.1 9291/j.cn ki.1001-3 938.2021 .04.007	2021 .4	焊管	西安摩尔 石油工程 实验室有 限公司, 西安石油 大学	宋洋, 赵国仙, 郭梦龙, 张思 琦, 王映超, 张钧, 胡莎莎
9	论文	温度对 5Cr 钢在 模拟油田高温高 压环境中 CO <sub>2</sub> 腐 蚀行为的影响	中国	DOI: 10.11902 /1005.45 37.2023. 036	2024 .1.19	中国腐蚀 与防护学 报	西安石油 大学, 西 安摩尔石 油工程实 验室有限 公司	赵国仙, 刘冉 冉, 丁浪勇, 张思琦, 郭梦 龙, 王映超
10	论文	Downhole O <sub>2</sub> corrosion during air-assisted steam injection for secondary or tertiary oil recovery	中国	https://do i.org/10.1 080/1478 422X.20 19.17106 63	2020 .03.1 6	CORROS ION ENGINE ERING, SCIENC E AND TECHNO LOGY	Xi'an Shiyou University	Yani Zhang , Guoxian Zhao , Y. Frank Cheng

## 9、主要完成人情况

排 序	完成人	行政 职务	技术职 称	工作单位	完成单位	对本项目的贡献
1	赵国仙	无	教授	西安石油大 学	西安石油大 学	项目总负责人, 全面负责项目的立项及 研发工作, 主持项目设计、组织和实施, 协调解决项目研究中的关键问题。

2	张钧	无	副教授	西安石油大学	西安石油大学	负责相关设备研发和试验研究。
3	郭梦龙	无	工程师	西安摩尔石油工程实验室股份有限公司	西安摩尔石油工程实验室股份有限公司	负责抗硫化物应力腐蚀开裂、缓蚀剂应用以及现场测试技术的开发。
4	张雅妮	无	副教授	西安石油大学	西安石油大学	负责模拟腐蚀性能试验和腐蚀机理研究。
5	胥聪敏	无	教授	西安石油大学	西安石油大学	负责开展油井管的电化学腐蚀性能研究和模拟试验过程的进行。
6	王雅倩	无	工程师	西安摩尔石油工程实验室股份有限公司	西安摩尔石油工程实验室股份有限公司	负责石油专用管在油田现场的应用、安全环保技术和考核评价，解决应用过程中存在的问题。
7	胡莎莎	无	工程师	西安摩尔石油工程实验室股份有限公司	西安摩尔石油工程实验室股份有限公司	负责现场试用油井管的失效分析和预防措施。

## 10、主要完成单位及创新推广贡献

排序	完成单位	对本项目的贡献
1	西安石油大学	复杂腐蚀环境中新型油气井管柱的腐蚀机理及防护措施的室内研究和现场成果评价
2	西安摩尔石油工程实验室股份有限公司	复杂腐蚀环境中油气井管柱的抗硫化物应力腐蚀开裂、缓蚀剂应用以及现场测试技术的开发。

## 11、完成人合作关系说明

本项目完成人共 7 人。其中，西安石油大学 4 人，西安摩尔石油工程实验室股份有限公司 3 人。西安石油大学的四人均为“陕西省石油专用管腐蚀与防护重点科技创新团队”成员，在油气井管柱的选材和风险评估方面进行了长期的合作研究。西安摩尔石油工程实验室股份有限公司的郭梦龙、王雅倩和胡莎莎等人与项目组成员一直在相关领域合作，形成了共同的研究成果。所有成员任务清晰，责任明确，保证了项目的顺利实施。