

2023 年推荐申报外部科学技术奖公示内容

一、成果名称

异常高压挥发性碳酸盐岩油藏酸性伴生气回注混相驱开发技术及应用

二、依托项目

“十三五”国家重大专项《丝绸之路经济带大型碳酸盐岩油气藏开发关键技术》

三、完成单位

中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院、中国石油(哈萨克斯坦)卡沙甘公司、中国石油大学(北京)

四、完成人

王进财、朱向东、宋珩、贾品、吕明胜、何聪鸽、许安著、赵海燕、陈烨菲、姜仁、赵晓亮、侯珏、曾行、罗二辉、李毅

五、成果简介及主要创新点

以哈萨克斯坦卡沙甘项目异常高压高含 H_2S 和 CO_2 孔缝洞型碳酸盐岩油藏为研究对象, 以实现油田经济高效开发为目标, 围绕碳酸盐岩油藏注酸性伴生气开发技术优化等方面开展理论技术攻关, 形成异常高压高含 H_2S 和 CO_2 孔缝洞型碳酸盐岩油藏提高采收率技术, 为油田上产和高效开发提供技术支撑。

经过多年科技攻关, 形成主要创新成果如下: (1) 建立基质属性参数表征与非基质几何形态刻画相结合的孔缝洞三重介质油藏精细地质建模技术流程, 实现基质储层宏观与微观双重分类相控、裂缝尺度分级表征、溶洞精细雕刻, 形成孔洞缝分类镶嵌的三重介质油藏三维地质建模方法, 并创新裂缝属性分级粗化处理方法, 实现孔洞缝三重介质油藏数值模拟拟合率由 85% 提高至 95% 以上。 (2) 引入相间传质能力系数, 厘清注气开发过程中不同地下原油与注入气的相间传质能力, 创新建立基于最小混合单元格法的挥发性油藏注酸性气体最小混相压力预测方法, 明确高含 H_2S 、中含 CO_2 酸性伴生气回注混相驱油特征及对原油物性及相态的影响规律, 丰富了碳酸盐岩油藏注气开发理论。 (3) 建立了一套裂缝孔隙型碳酸盐岩油藏不稳定试井分析方法和单井产能评价方法, 利用动态数据反演揭示了不同相带储层裂缝参数分布规律, 实现了不同裂缝发育程度储层单井合理

产能的准确评价，单井产能预测精度从 80.1% 提高至 94.5%。（4）厘清了影响挥发性油藏注气开发效果的主控因素，引入了储层井网特征参数和裂缝特征参数，建立了异常高压挥发性碳酸盐岩油藏注气开发技术政策图版，优化了卡沙甘油田开发方案部署，支撑卡沙甘油田快速上产和高效开发。

本项目研究成果自 2017 年至 2022 年应用于哈萨克斯坦卡沙甘项目孔缝洞碳酸盐岩油田开发中，对油田合理开发和注气优化起到重要作用，实现了卡沙甘油田油气产量由 900 万吨快速上产至 2000 万吨，有力支撑油田开发效果明显改善，并取得了良好的经济效益：（1）通过优化注气开发技术政策，实现 6 口注气井注气量达到 1700 万方/天，油田平均日产油量由注气前的 2.5 万吨增加到 5.4 万吨；（2）自 2017 年实施酸气回注以来，注气累增油 2800 万吨，实现中方新增利润总额 5.21 亿元；（3）技术成果有效指导油田快速上产开发调整方案编制，支撑油田未来建成原油 4500 万吨天然气 300 亿方产能规模，努力实现中方利益最大化。以该研究项目为依托，共获专利授权 10 项、软件著作权 1 项，出版专著 1 部，发表论文 17 篇，其中 SCI 检索论文 8 篇和 EI 检索论文 4 篇。

六、主要完成人情况

姓名	王进财	性别	男	项目排名	1					
工作单位（写到二级单位）	中国石油勘探开发研究院中亚俄罗斯研究所									
行政职务	副所长	技术职称	高工							
出生年月	1985. 03	最高学历	博士研究生							
最高学位	博士	毕业时间	2019. 07							
毕业院校	中国石油勘探开发研究院	从事专业	油气田开发							
所学专业	油气田开发工程									
电子邮箱	wangjincai1@petrochina. com. cn									
参加本项目时间	自 2018-01-01 至今									
对本项目技术创造性贡献：										
系统开展碳酸盐岩油藏层序、沉积、岩石类型、储层类型研究，综合沉积和成岩特征在宏观方面特征划分地质相类型，合理划分岩石物理相和岩石类型，参与完成裂缝孔隙型碳酸盐岩储层精细表征技术。										

姓名	朱向东	性别	男	项目排名	2
工作单位（写到二级单位）	中油国际（哈萨克斯坦）卡沙甘公司				
行政职务	总经理	技术职称	正高		

出生年月	1964 年 11 月	最高学历	硕士
最高学位	硕士	毕业时间	2008
毕业院校	华东石油学院, 巴黎HEC商学院	从事专业	石油勘探开发
所学专业	石油勘探, EMBA		
电子邮箱	Zhu.Xiangdong@petrokazakhstan.com		
参加本项目时间	2019 年 1 月至今		
对本项目技术创造性贡献: (不超过 300 字)			
全面现场协调, 整体把控基础地质研究方向、思路与进度安排, 地质油藏研究结果质控, 指导油田构造背景与裂缝发育研究思路与油井产能参数评估方法, 提出将巨型孤立碳酸盐岩台地油藏复杂裂缝系统按照规模划分为大尺度和中小尺度两类。			

姓名	宋珩	性别	男	项目排名	3
工作单位 (写到二级单位)	中国石油勘探开发研究院中亚俄罗斯研究所				
行政职务	企业技术专家	技术职称	高工		
出生年月	1978. 02	最高学历	硕士研究生		
最高学位	硕士	毕业时间	2006. 07		
毕业院校	中国石油勘探开发研究院 研究生部	从事专业	油气田开发工程		
所学专业	油气田开发工程				
电子邮箱	songheng@petrochina.com.cn				
参加本项目时间	自 2018-01-01 至今				
对本项目技术创造性贡献:					
从事哈萨克斯坦碳酸盐岩油气开发科研攻关与技术支持工作, 组织完成异常高压高含 H2S 和 CO2 酸性伴生气回注混相驱开发方面的科技攻关, 明确异常高压挥发性碳酸盐岩油藏注气开发技术政策, 优化卡沙甘油田开发方案部署, 支撑卡沙甘项目快速上产。					

姓名	贾品	性别	男	项目排名	4
工作单位 (写到二级单位)	中国石油大学 (北京) 石油工程学院				
行政职务		技术职称	副教授		
出生年月	1990. 02	最高学历	博士研究生		
最高学位	博士	毕业时间	2018. 07		
毕业院校	中国石油大学 (北京)	从事专业	油气田开发工程		
所学专业	油气田开发工程				
电子邮箱	jiapin1990@163.com				
参加本项目时间	自 2018-01-01 至今				

对本项目技术创造性贡献: (不超过 300 字)

从事哈萨克斯坦碳酸盐岩油气开发科研攻关与技术支持工作,厘清注气开发过程中不同地下原油与注入气的相间传质能力,创新建立基于最小混合单元格法的挥发性油藏注酸性气体最小混相压力预测方法。

姓名	吕明胜	性别	男	项目排名	5
工作单位 (写到二级单位)	中国石油(哈萨克斯坦)卡沙甘公司				
行政职务	副总经理	技术职称	高级工程师		
出生年月	1982. 10	最高学历	博士研究生		
最高学位	博士	毕业时间			
毕业院校	中国石油勘探开发研究院	从事专业			
所学专业					
电子邮箱	lvmingsheng@cnpcint.com				
参加本项目时间	自 2021-01-01 至今				

对本项目技术创造性贡献: (不超过 300 字)

从事哈萨克斯坦碳酸盐岩油气开发科研攻关与技术支持工作,建立基质属性参数表征与非基质几何形态刻画相结合的三重介质油藏三维精细地质建模技术流程,实现基质储层宏观+微观双重分类相控、裂缝尺度分级表征、溶洞精细雕刻。

姓名	何聪鸽	性别	男	项目排名	6
工作单位 (写到二级单位)	中国石油勘探开发研究院中亚俄罗斯研究所				
行政职务		技术职称	高级工程师		
出生年月	1988. 06	最高学历	博士研究生		
最高学位	博士	毕业时间	2017. 07		
毕业院校	中国石油勘探开发研究院	从事专业	油气田开发工程		
所学专业	油气田开发工程				
电子邮箱	hecongge@petrochina.com.cn				
参加本项目时间	自 2017-07-01 至今				

对本项目技术创造性贡献: (不超过 300 字)

从事哈萨克斯坦碳酸盐岩油气开发科研攻关与技术支持工作,创新建立基于最小混合单元格法的挥发性油藏注酸性气体最小混相压力预测方法,明确高含 H2S、中含 CO2 酸性伴生气回注混相驱油特征及对原油物性及相态的影响规律,丰富了碳酸盐岩油藏注气开发理论。

姓名	许安著	性别	男	项目排名	7
工作单位 (写到二级单位)	中国石油勘探开发研究院中亚俄罗斯研究所				
行政职务	副所长	技术职称	高工		
出生年月	1979. 10	最高学历	博士研究生		

最高学位	博士	毕业时间	2009. 07
毕业院校	中国石油勘探开发研究院 研究生部	从事专业	油气田开发工程
所学专业	油气田开发工程		
电子邮箱	xuanz@petrochina. com. cn		
参加本项目时间	自 2016-01-01 至今		
对本项目技术创造性贡献：			
协调开展哈萨克斯坦碳酸盐岩油气藏开发技术攻关,建立了一套裂缝孔隙型碳酸盐岩油藏不稳定试井分析方法,制定中高含水裂缝孔隙型碳酸盐岩油藏注采系统优化调整技术策略,推动成果技术应用于现场。			

姓名	赵海燕	性别	女	项目排名	4					
工作单位（写到二级单位）	中油国际（哈萨克斯坦）卡沙甘公司									
行政职务	生产技术部经理	技术职称	高工							
出生年月	1971. 3	最高学历	本科							
最高学位	硕士	毕业时间	2005. 6							
毕业院校	大庆石油学院	从事专业	生产技术管理							
所学专业	测井									
电子邮箱	Haiyan. Zhao@petrokazakhstan. com									
参加本项目时间	自 2013-11-01 至今									
对本项目技术创造性贡献： （不超过 300 字）										
前后方沟通协调,项目现场管理与生产动态跟踪,指导碳酸盐岩储层测井解释技术研究与常规测井裂缝识别方法研究,把关基于常规测井资料的裂缝识别与参数解释。										

姓名	陈烨菲	性别	女	项目排名	9					
工作单位（写到二级单位）	中国石油勘探开发研究院中亚俄罗斯研究所									
行政职务	企业技术专家	技术职称	教授级高工							
出生年月	1976. 07	最高学历	博士研究生							
最高学位	博士	毕业时间	2004. 07							
毕业院校	中国石油大学（北京）	从事专业	开发地质							
所学专业	地质资源与地质工程									
电子邮箱	chyf@petrochina. com. cn									
参加本项目时间	自 2016-01-01 至今									
对本项目技术创造性贡献：										
参与开展不同级别裂缝分布规律的定量表征,形成基于产状特征与尺度的裂缝分级表征方法,并定量识别孔、缝、洞组合的储层类型,形成了双重介质碳酸盐岩储层定量表征技术。										

姓名	姜仁	性别	男	项目排名	10							
工作单位（写到二级单位）	中国石油勘探开发研究院中亚俄罗斯研究所											
行政职务			技术职称	高工								
出生年月	1985. 11		最高学历	博士研究生								
最高学位	博士		毕业时间	2004. 07								
毕业院校	中国石油大学（北京）		从事专业	勘探								
所学专业	地质资源与地质工程											
电子邮箱	jiangren69@petrochina. com. cn											
参加本项目时间	自 2016-01-01 至今											
对本项目技术创造性贡献：												
综合油田钻井漏失放空数据，提出定性与定量相结合的溶洞预测方法，通过多方法优选和单井解释结合办法预测油田溶洞空间分布。												

姓名	赵晓亮	性别	男	项目排名	11							
工作单位（写到二级单位）	中国石油大学（北京）石油工程学院											
行政职务	开发系支部书记		技术职称	副教授								
出生年月	1978. 07		最高学历	博士研究生								
最高学位	博士		毕业时间									
毕业院校	中国石油大学（北京）		从事专业	油气田开发工程								
所学专业	油气田开发工程											
电子邮箱	zxl@cup. Edu. cn											
参加本项目时间	自 2018-01-01 至今											
对本项目技术创造性贡献： （不超过 300 字）												
从事哈萨克斯坦碳酸盐岩油气开发科研攻关与技术支持工作，引入相间传质能力系数，厘清注气开发过程中不同地下原油与注入气的相间传质能力。建立了一套裂缝孔隙型碳酸盐岩油藏不稳定试井分析方法，利用动态数据反演明确了不同相带储层裂缝参数的分布规律。												

姓名	侯珏	性别	男	项目排名	12		
工作单位（写到二级单位）	中国石油勘探开发研究院中亚俄罗斯研究所						
行政职务			技术职称	工程师			
出生年月	1995. 01		最高学历	硕士研究生			
最高学位	硕士		毕业时间	2019. 07			
毕业院校	中国石油大学（北京）		从事专业	开发地质			
所学专业	地球探测与信息技术						
电子邮箱	houjue95@petrochina. com. cn						
参加本项目时间	自 2019-07-01 至今						

对本项目技术创造性贡献:

参与建立裂缝尺度划分标准,根据裂缝产状特征划分不同尺度裂缝切割关系,评价连通性,并建立分散孔隙度解释模型,定量识别储层类型,实现裂缝孔隙型碳酸盐岩储层精细描述与表征。

姓名	曾行	性别	男	项目排名	13		
工作单位(写到二级单位)	中国石油勘探开发研究院中亚俄罗斯研究所						
行政职务			技术职称	高工			
出生年月	1988. 11		最高学历	硕士研究生			
最高学位	硕士		毕业时间	2015. 07			
毕业院校	中国石油大学(北京)		从事专业	开发地质			
所学专业	油气田开发地质						
电子邮箱	zengxing678@petrochina.com.cn						
参加本项目时间	自 2019-01-01 至今						

对本项目技术创造性贡献:

参与碳酸盐岩油藏裂缝特征评价,分析裂缝分组特征及其主产状,实现在裂缝离散网络建模过程中对连续变化产状的控制,建立科学、准确描述裂缝系统的离散网络模型,粗化后裂缝渗透率模型符合地质认识的各向异性,为油藏数值模拟研究奠定基础。

姓名	罗二辉	性别	男	项目排名	14		
工作单位(写到二级单位)	中国石油勘探开发研究院中亚俄罗斯研究所						
行政职务			技术职称	高级工程师			
出生年月	1985. 04		最高学历	博士研究生			
最高学位	博士		毕业时间	2014. 07			
毕业院校	中国石油勘探开发研究院		从事专业	油气田开发工程			
所学专业	油气田开发工程						
电子邮箱	luoeh@petrochina.com.cn						
参加本项目时间	自 2017-07-01 至今						
对本项目技术创造性贡献: (不超过 300 字)							
从事哈萨克斯坦碳酸盐岩油气开发科研攻关与技术支持工作,厘清了影响挥发性油藏注气开发效果的主控因素,引入了储层井网特征参数和裂缝特征参数,建立了异常高压挥发性碳酸盐岩油藏注气开发技术政策图版。							

姓名	李毅	性别	男	项目排名	15
工作单位(写到二级单位)	中国石油勘探开发研究院中亚俄罗斯研究所				
行政职务			技术职称	工程师	
出生年月	1990. 07		最高学历	博士研究生	

最高学位	博士	毕业时间	2019. 11
毕业院校	俄罗斯古勃金国立石油天然气大学	从事专业	开发地质
所学专业	地球科学		
电子邮箱	lzy2009@petrochina.com.cn		
参加本项目时间	自 2021-01-01 至今		
对本项目技术创造性贡献：			
参与完成碳酸盐岩油藏岩石和储层类型研究，参与划分碳酸盐岩地质相类型，合理划分碳酸盐岩岩石物理相和岩石类型，参与利用序贯指示模拟相建模方法建立储层类型模型。			

七、主要支撑材料（论文、著作、专利、软著、技术秘密、标准等）及其对成果的支撑作用

以该研究项目为依托，共获专利授权 10 项、软件著作权 1 项，出版专著 1 部，发表论文 17 篇，其中 SCI 检索论文 8 篇和 EI 检索论文 4 篇。

表 1 授权专利

序号	专利类别	专利名称	授权号	权利人
1	发明专利	双重介质碳酸盐储层的定量分类方法	ZL201510956383.4	陈烨菲、李云娟、赵伦、李孔绸、范子菲、侯庆英
2	发明专利	一种异常高压双重介质油藏注气混相驱产能预测方法	ZL201810914045.8	赵伦、何聪鸽、范子菲、罗二辉、曾行、陈礼、赵文琪、孙猛、张安刚、何军
3	发明专利	实现 CO ₂ 驱油动态监测及反演动态模拟实验装置及方法	ZL201310692468.7	赵晓亮，廖新维，赵东锋，窦祥骥
4	发明专利	一种测定二氧化碳-地层水作用生产沉淀量的方法和装置	ZL201410394830.7	赵东锋，廖新维，赵晓亮，殷丹丹
5	发明专利	气窜油藏的见气时间预测方法和装置	ZL201910170659.4	穆凌雨，廖新维，赵晓亮，陈志明，邹建栋，褚洪杨，李荣涛
6	发明专利	一种高角度裂缝发育的碳酸盐岩油藏不稳定注采方法	ZL202011208813.1	赵文琪、孙猛、赵伦、李建新、范子菲、王淑琴、许安著、陈烨菲、薄兵、王进财、曾行、何聪鸽
7	发明专利	注采井网部署方法及注采井网	ZL201911308272.7	赵文琪、赵伦、范子菲、孙猛、王淑琴、

				许安著、王进财、李轩然、薄兵、何聪鸽
8	发明专利	动态井网部署方法及动态井网	ZL201911308275.0	赵伦、赵文琪、孙猛、范子菲、许安著、王淑琴、罗二辉、陈礼、王进财、李轩然
9	发明专利	应力敏感性油藏直井产液能力预测方法及装置	ZL201910121988.X	王铭显;赵文琪;范子菲;赵伦;李伟强;宋珩;邢国强;孙猛
10	实用新型专利	一种高饱和致密岩芯的装置	ZL201620355567.5	廖新维,赵晓亮,赵东锋,殷丹丹,周星泽,周治鋆

表 2 软件著作权

序号	软件著作权名称	软件著作权编号	发表日期
1	基于改进混合单元格法的最小混相压力预测软件	2019SR0137262	2019 年 2 月

表 3 出版专著

序号	专著名称	出版社	编者	出版日期
1	裂缝孔隙型碳酸盐岩挥发性油藏气驱提高采收率理论与技术	石油工业出版社	赵伦、许安著、宋珩、何聪鸽、赵文琪、吴学林	2023 年 1 月

表 4 发表论文

序号	论文名称	期刊	作者	发表时间	级别
1	滨里海盆地东缘石炭系碳酸盐岩储集层孔喉结构特征及对孔渗关系的影响	石油勘探与开发	李伟强, 穆龙新, 赵伦, 李建新, 王淑琴, 范子菲, 邵大力, 李长海, 单发超, 赵文琪, 孙猛	2020	SCI
2	Phase behavior and miscible mechanism in the displacement of crude oil with associated sour gas	Oil & Gas Science and Technology	Congge He, Longxin Mu, Anzhu Xu, Lun Zhao, Jun He, Angang Zhang, Fachao Shan, and Erhui Luo	2019	SCI
3	A new empirical correlation of minimum miscibility pressure for	Energy exploration &	Congge He , Zifei Fan, Chenshuo Zhang ,Anzhu	2020	SCI

	produced gas reinjection, Energy Exploration & Exploitation, 2020, Vol. 38(4) 867-883.	Exploitation	Xu, Lun Zhao, Erhui Luo and Xing Zeng		
4	An evaluation on mechanisms of miscibility development	Oil & Gas Science and Technology	Erhui Luo, Zifei Fan, Yongle Hu, Lun Zhao, and Jianjun Wang	2019	SCI
5	The effect of impurity on miscible CO2 displacement mechanism	Oil & Gas Science and Technology	Erhui Luo, Yongle Hu, Jianjun Wang, Zifei Fan, Qingying Hou, Liangtao Ma, and Shuhui Dai	2019	SCI
6	Productivity prediction with consideration of stress-sensitive permeability in naturally fractured carbonate reservoir, Energy Exploration & Exploitation	Energy exploration & Exploitation	Congge He , Zifei Fan, Chenshuo Zhang, Anzhu Xu, Lun Zhao, Erhui Luo and Xing Zeng	2020	SCI
7	Analysis and Application of Fractured Carbonate Dual-Media Composite Reservoir Model	Geofluids	Heng Song, Yuan Hu , Erhui Luo, Congge He, Xing Zeng, and Shaoqi Zhang	2022	SCI
8	A dual-porosity dual-permeability model for acid gas injection process evaluation in hydrogen-carbonate reservoirs	International Journal of hydrogen energy	Erhui Luo , Zifei Fan , Yongle Hu, Lun Zhao, Haiyan Zhao,Jianjun Wang, Congge He, Xing Zeng	2019	SCI
9	Isolated carbonate platform reservoir multiple grouped discrete fracture network modeling	IOP 会议	Xing Zeng, Heng Song, Anzhu Xu, Xiuguang Liang, Congge He, Yunyang Liu, Changhai Li, Erhui Luo, Song Chen	2020	EI
10	Parameters optimization of acid gas injection in abnormal high pressure carbonate reservoir	2021 油气田勘探与开发国际会议 (IFEDC) , 西安	何聪鸽、宋珩、许安著、曾行、赵文琪	2021	EI
11	Influences of Fracture Development of Carbonate Reservoirs with Weakly Volatile Oil on Production Performance of Oil Wells	2019 油气田勘探与开发国际会议 (IFEDC) , 西安	孙猛、赵文琪、赵伦、王淑琴、张翼飞	2019	EI
12	Analysis of influencing factors of gas injection development in fractured pore carbonate reservoirs	2020 年能源、环境与生物工程国际学术会议	宋珩, 吴学林, 李建新, 刘凡	2020	EI
13	碳酸盐岩裂缝研究进展及发展趋	地质科技通	李长海,赵伦,刘波,李建	2021	中文核

	势	报	新,陈烨菲,张宇		心
14	碳酸盐岩缝合线研究进展及对油气开发的意义	天然气地球科学	李长海, 赵伦, 李伟强, 李建新, 丁宇韬, 李昂, 祁永平	2019	中文核心
15	滨里海盆地东缘构造缝形成期次及低角度构造缝成因	石油勘探与开发	李伟强, 穆龙新, 赵伦, 李建新, 王淑琴, 范子菲, 邵大力, 李长海, 单发超, 赵文琪, 孙猛	2020	中文核心
16	基于状态方程的溶解气回注油藏物质平衡计算方法	科学技术与工程	张晨朔, 韩征, 冯志刚, 范子菲, 许安著, 何聪鸽, 张道勇, 李敬功, 王凤荣, 任继红, 周立明, 郭海晓, 张昊泽, 谷宇峰	2020	中文核心
17	低渗透挥发油藏回注溶解气开发注采参数界限	科学技术与工程	张晨朔, 韩征, 冯志刚, 范子菲, 许安著, 何聪鸽, 张道勇, 李敬功, 王凤荣, 任继红, 周立明, 郭海晓, 张昊泽, 谷宇峰	2020	中文核心