

项目情况简介（省科技进步奖）

1、项目名称

鄂尔多斯盆地致密砂岩气藏稳产开发关键技术及应用

2、主要完成人

张益；刘帮华；王瑞；柳洁；闫健；常鹏；刘峰；陈姣妮；张歧

3、提名单位

西安石油大学；中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司；陕西延长石油(集团)有限责任公司。

4、提名意见

已对申报人参评资格、思想政治、科研诚信等情况进行审查；本申报书内容属实，人员排序无异议，无知识产权纠纷，符合本届陕西高校科学技术研究优秀成果认定有关规定。同意推荐。提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

5、项目简介

我国非常规天然气资源丰富，其中陆上致密气总资源量 $21.85 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，而鄂尔多斯盆地上古生界致密砂岩气就占总资源量的 60% 以上，是目前我国增储上产的主要资源对象之一。致密砂岩气等非常规气藏开发面临产量递减快、采收率低等极具挑战难题。研究团队历经 10 多年攻关，成功研制了鄂尔多斯盆地致密砂岩等非常规气藏稳产关键技术，实现了该区域致密砂岩气藏精准、高效开采。主要创新点有：

创新点 1：形成了致密砂岩气藏储层微纳孔隙中考虑滑脱和扩散的视渗透率计算方法，实现了考虑非达西效应和应力敏感性效应的致密气渗流精准表征，提高了动用程度 10%，解决了致密气动用困难的难题。

创新点 2：研发了“精细描述-地应力与砂体展布-井网优化-开发稳产”多学科协同致密气开发技术，通过多学科多方法协同解决了致密砂岩气藏储层动用率低，递减快的难题。苏里格致密砂岩气藏采收率提高 3% 以上。

创新点 3：发明了自发泡、溶解迅速、泡沫稳定、携液量大气田的固体泡沫排水剂，提出了致密气全生命周期排水工艺优化技术，编制了一套致密气的排水采气工艺措施的优化方法。

创新点 4：研发了致密砂岩气藏压裂、控水等配套精准优化增产技术，优化了压裂缝网形态和提高缝网控制区域，单井增气 20% 以上。

6、客观评价

查新报告表明：未见基于考虑滑脱、扩散、启动压力及地层倾角对地层渗透率的影响，本项目给出了渗透率修正公式及见水时间模型，提出了致密砂岩气藏储层微纳孔隙中考虑滑脱和扩散的视渗透率计算方法，并对其渗流规律进行了表征。未见创建了“精细描述-地应力与砂体展布-井网优化-开发稳产”多学科协同致

密气开发理论，未见基于致密砂岩气藏低产低效气井的积液特征和积液判别准则，结合全生命周期排水优化技术。未见对致密气藏裂缝形成及缝网渗流能力评价的报道，基于致密砂岩气藏裂缝网形态和缝网控制理论。在国内外公开发表的中外文文献中，与本项目查新点完全相同的未见报道。

由中国石油大学（北京）李军教授，西北大学张金功、朱玉双教授，和西安科技大学马东民教授等组成的成果鉴定委员会一致认为：该成果实现了 1 项理论突破、2 项核心技术创新，应用成果实现了苏里格及榆林致密砂岩气稳产高效开发，2021-2023 年在长庆油田、延长油田现场规模化应用 1400 余井次，取得经济效益 19.8 亿余元，社会经济效益显著。同时，该技术对“双碳”战略推进、确保石油供应安全将发挥重大作用，有极高的推广应用价值。评价委员会认为，该成果技术具有重大创新，整体达到了国际领先水平。

7、应用情况

自 2013 年以来，研究团队完成了鄂尔多斯盆地致密砂岩气藏稳产开发关键技术的研发。研发成果在中石油长庆油田推广应用，2021-2023 年技术累积应用达 1400 余井次，取得经济效益 19.8 亿余元，强力支撑了我国致密砂岩气藏的高效开发。形成的致密砂岩开发政策优化技术、井底积液判别及对应处理技术、压裂堵水增产技术在中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司第三采气厂、第一采气厂和陕西延长石油(集团)有限责任公司第四采气厂进行了应用：

主要应用单位情况如下表：

主要应用单位情况表					
序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模(MW)	应用起止时间	单位联系人/电话
1	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司第三采气厂	渗流机理、压裂评估与优化、动用储层分析、井组精准动态分析与调整等	技术应用444 井次，累积增气12.21×10 ⁸ m ³	2013 年 1 月-2023 年 12 月	张歧
2	陕西延长石油(集团)有限责任公司延长气田采气四厂	气藏递减规律、地质工程一体化开发技术对策研究	技术应用450 井次，累积增气7.35×10 ⁸ m ³	2021 年 1 月-2023 年 12 月	梁磊

3	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司第一采气厂	渗流机理、地质工程一体化开发技术对策、精准控水等技术应用等	技术应用504井次，累积增气 $2.77 \times 10^8 \text{ m}^3$	2011年1月-2023年12月	徐勇
---	---------------------------	-------------------------------	---	------------------	----

(1) 2013年至2025年期间，在中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司第三采气厂实施项目技术，2021-2023年通过项目实施，技术应用444井次，提高采收率4.5%，累积增气 $12.21 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，新增销售额129798万元，新增利润77061万元，节省了大量时间成本、人力成本和管理成本；

(2) 自2021年至2025年期间，在陕西延长石油(集团)有限责任公司延长气田采气四厂实施项目技术，近三年项目实施应用450井次，新增销售额83800万元，新增利润43855万元。项目研究和应用为气田高效开发提供了保障；

(3) 自2011年至2025年期间，在中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司第一采气厂实施项目技术，2021-2023年项目实施应用504井次，提高采收率4.1%，措施有效期延长30%，累积增气 $2.77 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，新增销售额29446万元，新增利润17481万元。

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	一种煤层气采动条件下数值模拟方法	中国	CN104765973B	2018-01-16	2780783	西安石油大学	张益; 陈军斌; 赵金省; 张明
2	发明专利	一种用于气田的固体泡沫排水剂	中国	CN104342097B	2017-08-04	2574128	中国石油天然气股份有	刘帮华; 解永刚; 李晓芸; 田喜军; 刘三军; 马国华; 宋渊

							限公司	娟;胡均志;徐勇;李耀;王磊;刘鹏;张玉华;李丹
--	--	--	--	--	--	--	-----	--------------------------

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	张益	处长	教授	西安石油大学	西安石油大学	项目组织、实施总负责人,对本项目主要学术贡献包括:1、提出了致密气等非常规气藏“精细描述-地应力与砂体展布-井网优化-开发稳产”协同开发理论,制定了一套适合致密砂岩气藏的地质工程一体化方法体系。2、提出了致密气全生命周期排水工艺优化技术,研发了致密砂岩气藏低产低效气井的积液特征和积液判别准则。3、优化了致密砂岩压裂缝网形态和提高缝网控制区域。
2	刘帮华		高级工程师	西安石油大学	西安石油大学	1、发明了自发泡、溶解迅速、泡沫稳定、携液量大气田的固体泡沫排水剂,编制了一套致密气的排水采气工艺措施的优化和适用性选择软件系统,实现了致密气井全生命周期排水工艺措施优化,解决了排水采气工艺有效期短的问题,单井有效周期延长 30% 以上。

						2.研发了致密砂岩气藏控水及配套精准优化增产技术,解决了致密砂岩气藏纳微孔隙动用困难、见水后采收率大幅降低的难题,单井增气 20% 以上。
3	王瑞		副教授	西安石油大学	西安石油大学	1、提出了致密砂岩气藏储层微纳孔隙中考虑滑脱和扩散的视渗透率计算方法,并对其渗流规律进行了表征; 2、致密气藏产气水气气井积液判别方法和排水采气工艺优化的研究; 3、负责项目中开多相流动实验模拟与分析。
4	柳洁	总经理	高级工程师	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司生产运行部	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司生产运行部	为该项目提供了数据、试验技术支撑,其个人在项目的技术研究与应用方面做出了重要贡献,取得了良好效果。
5	闫健	实验中心主任	副教授	西安石油大学	西安石油大学	提出了致密砂岩气藏储层微纳孔隙中考虑滑脱和扩散的视渗透率计算方法,负责本成果室内实验。
6	常鹏	地质工艺研究所所长	高级工程师	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司第五采气厂	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司第五采气厂	为该项目提供了数据、试验技术支撑,其个人在项目的技术研究与应用方面做出了重要贡献,取得了良好效果。
7	刘峰		副教授	西安石油大学	西安石油大学	负责开发技术对策产能预测模型建立与优化以及产水气井动态分析与调整技术方案的论证。
8	陈姣妮		讲师	西安石油	西安石油	1、负责“精细描述-地应力

				大学	大学	与砂体展布-井网优化-开发稳产”多学科协同致密气开发理论中开发技术对策研究。2、负责致密砂岩压裂缝网形态和提高缝网控制区域理论与模拟。
9	张歧	总地质师	高级工程师	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司第三采气厂	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司第三采气厂	1、参与致密砂岩气藏的地质工程一体化方法体系研制,负责井网优化与开发技术调整政策的组织与实施。2、负责压裂优化方案组织与实施。

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	<p>西安石油大学在该项目筹划、立项论证、设计编制、运行实施、成果发表中给予了人员、仪器设备、办公条件等多方面的大力支持。石油工程学院及相关部门协助该团队筹划和申报国家和省部级课题及相关企业科研课题等,在课题执行过程中规范化管理,对项目成果审核、技术宣传等方面起到非常积极的作用。陕西省油气田特种增产技术重点实验室及石油与天然气工程实验中心协助完成大量的分析测试工作,实验室仪器设备齐全,实验室人员工作负责,有利支持了高精度分析测试资料和高水平成果的产出。学校对于经费使用、年度成果汇报等进行了严格审核,确保了项目的顺利进行和完成。对创新点 1、2、3、4 均有突出贡献: 1、揭示了致密砂岩等非常规储层中气水两相分布特征,提出了致密砂岩气藏等非常规储层微纳孔隙中考虑滑脱和扩散的视渗透率计算方法,并对其渗流规律进行了表征。实现了考虑非达西效应和应力敏感性效应的致密气渗流精准表征,推动致密气渗流理论进步; 2、创建了“精细描述-地应力与砂体展布-井网优化-开发稳产”多学科协同致密气开发理论,实现了井网与储层精细刻画和地应力场之间的协同融</p>

		合；3、提出了致密气全生命周期排水工艺优化技术。研发了致密砂岩气藏低产低效气井的积液特征和积液判别准则，结合全生命周期排水优化技术，实现了致密气井全生命周期排水工艺措施优化；4、研发了致密砂岩气藏压裂、控水等配套精准优化增产技术，优化了压裂缝网形态和提高缝网控制区域，解决了致密砂岩气藏纳微孔隙动用困难、见水后采收率大幅降低的难题。
2	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司	<p>中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司第三、第一采气厂在项目的实施和完成过程中，给予大力支持和帮助，为项目研究提供了地质、生产数据、试验场所等方面的支撑，使研究成果能更加及时、有效地与实际生产对接，产生了良好的推广应用效果。对创新点 2、3、4 有贡献：</p> <p>1、共同创建了“精细描述-地应力与砂体展布-井网优化-开发稳产”多学科协同致密气开发理论，进行了致密砂岩气藏的地质工程一体化方法实践；2、共同开发了泡沫稳定、携液能力强的泡排剂，完善了致密气全生命周期排水工艺优化技术；3、开展了地质工程一体化开发技术对策、压裂评估与优化、动用储层分析、井组精准动态分析与调整等技术应用,提高了有效储层动用程度、立体改造效率和单井采收率。</p> <p>中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司油气工艺研究院在相关项目的实施和完成过程中，给予大力支持，为项目研究提供了生产数据和试验场所等方面的支撑,使研究成果能更加及时、有效地与生产实际对接，产生良好的技术应用效果，对该项目的完成起到了积极的推进作用。对创新点 3、4 有贡献：1、完善了致密气藏排水采气工艺的优化方法；2、丰富了复杂裂缝的压裂工艺和致密气藏压裂增产配套技术。</p>
3	陕西延长石油（集团）有限责任公司	<p>陕西延长石油（集团）有限责任公司在相关项目的实施和完成过程中，给予大力支持，为项目研究提供地质、生产数据和试验场所等方面的支撑，使研究成果能更加及时、有效地与生产实际对接，产生良好的技术应用效果,对该项目的完成起到了积极的推进作用。对创新点 2 有贡献：开展了相应区块致密气藏产量递减规律的相关的应用研究，提高了储层动用程度和单井采收率。</p>

11、完成人合作关系说明

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	共同知识产权	张益/1；刘帮华/2	2018 年 1 月	2019 年 1 月	论文合著： Research and application on simulation of oilfield in-situ stress field by multi-information co-processing	Research and application on simulation of oilfield in-situ stress field by multi-information co-processing
2	共同知识产权	张益/1；刘帮华/2	2021 年 6 月	2021 年 11 月	论文合著：苏里格气田苏 14 井区二叠系下石盒子组盒 8 段多期叠置砂体储层合理开发方式研究	苏里格气田苏 14 井区二叠系下石盒子组盒 8 段多期叠置砂体储层合理开发方式研究
3	共同知识产权	张益/1；陈姣妮/8	2015 年 1 月	2024 年 1 月	论文合著： Application of the unstructured grids in the numerical simulation of fractured horizontal wells in ultra-low permeability gas reservoirs	Application of the unstructured grids in the numerical simulation of fractured horizontal wells in ultra-low permeability gas reservoirs
4	共同知识产权	王瑞/3；闫健/6	2012 年 9 月	2013 年 2 月	论文合著：页岩气扩散系数和视渗透率的计算与分析	页岩气扩散系数和视渗透率的计算与分析
5	共同知识产权	张益/1；刘峰/2	2020 年 1 月	2021 年 1 月	论文合著：A New Prediction Model of Water Breakthrough Time of Horizontal Well in Inclined Edge-Water Low Permeability Gas Reservoir	A New Prediction Model of Water Breakthrough Time of Horizontal Well in Inclined Edge-Water Low Permeability Gas Reservoir

6	共同 获奖	张益/1；刘帮 华/2；王瑞/3； 常鹏/5；闫健 /6；刘峰/7； 陈姣妮/8	2004 年 1 月	2022 年 5 月	共同获奖：2023 年度陕西省石油 学会科学技术进 步一等奖	2023 年度陕西 省石油学会科 学技术进步一 等奖-获奖证书
7	共同 获奖	张益/1；刘帮 华/2；王瑞/3； 柳洁/4；闫健 /6；张歧/7； 刘峰/8；陈姣 妮/9；	2011 年 12 月	2024 年 6 月	共同获奖：2024 年陕西高等学校 科学技术研究优 秀成果一等奖	2024 年陕西高 等学校科学技 术研究优秀成 果一等奖-获奖 证书