

项目公示信息（科技进步奖）

一、项目名称：

非常规油气田增产改造用功能化压裂液关键技术及推广应用

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省教育厅

本项目针对非常规油气田增产改造用压裂液性能的迫切需求和致密油气地层能量难补充、递减快的关键技术难题，经过 14 年的技术攻关，构筑了功能化可回收压裂液体系，形成了低粘度、低摩阻、高携砂、抗剪切、耐高温、可回收的压裂液体系关键技术，自主研发了压裂液稠化剂和提高渗吸表面活性剂等提高油气采收率的关键系列产品。该产品技术在 8 家企业实现推广应用，成果对致密油气“工厂化”体积压裂开发的应用和推广起到了关键的推动作用，为我国非常规油气田整储上产、降本增效、绿色开发起到了重要的技术支撑。成果完成过程中，受到国家科技重大专项课题（2008ZX05044 4-17-1）、国家自然科学基金面上项目（51874241）、国家自然科学基金青年项目（51103081）、陕西省重大科技创新专项（2011zkc04-3）、陕西省重点研发计划项目（2016GY-193）和多项企业技术服务项目的资助，发表了国内外学术论文 96 篇，获得授权发明专利 41 件（其中美国发明专利 3 件），制定了企业标准 2 项。

该成果技术创新突出，紧密结合行业发展难题，实用性强，规模化应用广阔，经济社会效益显著，对相关行业具有示范引领作用。

提名材料齐全、规范，经完成单位公示，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术奖提名条件。特提名为陕西省科学技术二等奖。

三、项目简介

1、研究背景及主要技术内容

本项目成果属于油田化学科学技术领域。项目成果来源于国家自然科学基金、国家科技重大专项、陕西省重大科技创新项目、陕西省工业科技攻关项目和一系列企业委托项目。

非常规油气资源的开发是世界性的难题，大多数地层低压低渗敏感性严重，压裂液返排困难，滞留地层导致二次污染，普遍存在注不进、采不出的技术瓶颈。近年来，我国通过水平井体积压裂二次革命，单井产量不断提高，实施比例逐年扩大，然而，非常规油气储层特征及改造工艺的变革，对压裂液性能及成本控制提出了前所未有的挑战。此外，我国近 50% 产能的油气田位于缺水地区，开采面临着高耗水需求；与此同时，压裂返排液水的回收利用极其重要，不仅可缓解区

域供水压力，还可显著降低缺水生态脆弱区的环境污染。因此，环保、高效的功能化可回收压裂液关键技术成为我国非常规油气田改造的关键。

针对上述问题，本项目依据非常规油气田改造工艺技术需求，自主研发构筑了具有减阻、渗吸、驱油、低成本、可回收和易配制等多种功能的压裂液体系，打破了产品国外公司技术、价格垄断，并实现了在中国石油长庆油田和中石化华北油田的全面推广。

主要科技创新如下：

(1) 研发了非常规油气田增产改造功能化压裂液聚合物稠化剂制备关键技术，揭示了自缔合聚合物的自组装结构调控和流变行为规律。突破了国外技术壁垒，仅通过控制聚合物添加量，完成滑溜水-携砂液的转换，改变了施工模式，实现现混配，施工效率提高 35%，为实现“工厂化”施工起到关键推动作用。

(2) 研发了润湿性改变能力突出的渗吸表面活性剂，实现了渗吸表面活性剂的结构与性能调控，探明了表面活性剂改变储层润湿性、提高油气采收率的机理。以渗吸置换的方式补充地层能量，将压裂液功能发挥到极限，实现单井产量提高 10%，递增 20%以上，并实现页岩油气的长期稳产。

(3) 构筑了低伤害耐高温高盐可回收压裂液体系，建立了压裂液的微观结构与耐温耐盐性能、回收利用性能之间的构效关系，攻克了传统压裂液返排困难、滞留地层导致污染、返排液矿化度高难以回收的难题。揭示了压裂液的粘弹性结构及应用多功能性的调控机制。首次在国内实现单一体系可变粘加砂。

(4) 集成上述关键技术，**创新发明了速溶、减阻、渗吸、耐盐、可回收、驱油一体化的多功能压裂液体系**。提高了单井产能，助力油田降本增效，绿色开发，压裂返排液的回收利用率高，基本实现水不外排，为践行习总书记的“两山论”起到了重要的技术支撑。

2. 技术效益指标

(1) **技术指标：**功能化压裂液组分简单，且原料无毒无害，绿色环保；压裂液对岩心的伤害率低（ $<10\%$ ），破胶液粘度低（ $\leq 5 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ），破胶液无残渣。减阻率 $\geq 75\%$ ，耐温性能优异（ $>120^\circ\text{C}$ ），抗剪切性能优良（剪切恢复率 $>95\%$ ），稠化剂易溶解（溶解时间 $<1 \text{ min}$ ），压裂液体系弹性高（ $G'/G''>3$ ）。压裂液的油水置换效果明显，渗吸效率达到 35%；携砂性能提升了 20%，成本降低，在传统压裂液基础上实现了渗吸、变粘、降阻、驱油和可回收等多功能。抗盐性能优异（盐溶液中粘度保持率 $\geq 90\%$ ），返排液可回收利用。成本较同类产品低，具有突出的经济效益。

(2) **成果的社会效益：**该项目培养了硕士研究生 46 名，博士研究生 12 名，技术成果应用在石油天然气开采领域，显著提高了致密油、致密气、页岩油、页岩气和深层煤层气等非常规油气田的开发效率，降低了开采成本，该技术对同类低渗透油田具有示范引领作用，有助于缓解我国油气资源短缺的矛盾。压裂返排液的回收利用，根本性避免了环境污染，大幅降低了油气开发的用水成本，突破

了生态脆弱区油气田开发面临的水资源短缺的瓶颈难题，提高了油田的持续稳产与开采效率，满足了国家能源开发战略的重大需求。

3. 促进行业科技进步作用及应用推广情况

(1) 完成的研究项目：

该成果在完成过程中，得到 1 个国家科技重大专项，2 个国家自然科学基金，多个省部级项目和企业技术服务项目的资助。

(2) 研究过程获得研究成果：

该项目在完成过程中，本成果获授权发明专利 41 件，其中美国发明专利 3 件；发表学术论文 96 篇，其中 SCI 收录 62 篇；培养了博士生 12 名，硕士生 46 名；制定了行业和企业标准 2 项；获得陕西高等学校科学技术奖一等奖 2 项。

(3) 应用推广情况：

本成果在中国石油长庆井下技术作业公司、中石化华北石油工程有限公司、西安万德能源化学股份有限公司、陕西长海油田助剂有限公司等 8 家企业得到了转化生产和销售，形成了针对非常规油气田的系列产品，并得到了规模化应用推广。成果促进了非常规油气田增产改造技术的发展，提高了油气田开发效率，降低了开采成本，提升了油田企业的科技竞争力，尤其为致密油、致密气、页岩油、页岩气和深层煤层气资源的高效开采提供了重要的技术支撑。

四、 客观评价

1. 获得奖励

(1) 项目成果“自缔合蓄能压裂液关键技术在致密油气田的应用及推广”获 2020 年陕西省高等学校科学技术奖一等奖。

(2) 项目成果“生物质压裂液体体系研究及应用推广”获 2017 年陕西省高等学校科学技术奖一等奖。

2. 科技创新

本项目形成的关键技术 2025 年 9 月 2 日经教育部科技查新工作站（G15）出具《科技查新报告》（编号 202536000G150127）表明具有原创性，结论为：关于项目“非常规油气田增产改造用功能化可回收压裂液关键技术及推广应用”查新点，除项目委托方公开发表研究文献外，国内外公开发表的中英文文献中，未见与其查新点研究内容完全相同的文献报道。

3. 验收意见

(1) 2023 年 8 月 23 日，中国石油和化工自动化应用协会在北京组织召开了由中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆井下技术作业公司完成的“清洁型耐盐可重用滑溜水关键技术与应用”科技成果鉴定会，鉴定认为：该成果整体技术达到了国际先进水平，其中基于静电吸附作用和微生物抑制合成原理的压裂液水质调节剂技术处于国际领先水平。

(2) 2014年7月16日,陕西省科技厅对陕西科技大学完成的陕西省重大科技创新项目“生物质低伤害低摩阻清洁压裂液制备及其提高超低渗油层采油率关键技术研究”进行了验收(创新验申字2014第[204]号),验收委员会形成了如下验收意见:验收材料齐全,符合验收要求,项目完成了项目合同约定的经济指标。项目利用天然产物为原料开发的低伤害、低摩阻压裂液产品,提高了采油率,并能有效防止油层二次伤害,技术指标达到合同约定的要求,项目通过验收。

(3) 2015年11月3日,中国石油长庆油田分公司对陕西科技大学承担的《致密油全程携砂滑溜水添加剂材料中试合成及评价》(项目15YL1-FW-005)进行了项目验收,根据合同内容及要求,形成的意见如下:

①得到了准确的生产工艺步骤,针对目前生产中存在的问题提出了具体的解决方案。②优化了聚合过程,根据引发体系分解温度和半衰期的差异,采用三级引发方式,保证单体聚合彻底,聚合物完全溶解时间小于1 min达到现场施工要求。③所形成滑溜水压裂液满足现场压裂携砂浓度500 kg/m³的使用需求,现场施工成功率达到95%以上,一致通过验收。

4. 技术检测报告

(1) 西安市产品质量监督检验院对陕西科技大学的清洁压裂液产品进行了检验,结论:清洁压裂液的基液密度、基液表观粘度、剪切稳定性、破胶时间、破胶液粘度、交联时间、破胶液表面张力均合格,所检项目符合SY/T6376-2008标准要求。西安市产品质量监督检验院对陕西科技大学的低粘压裂液体系进行了检验,检验结果:携砂液粘度≤80 mPa·s;破胶(降解)液粘度≤5 mPa·s;压裂液静态沉砂速率≤0.1 cm/min;降阻率≥68%。

(2) 2022年7月11日,经国家应急管理部化学品登记中心进行产品的化学品属性检测,检测结果表明本产品为非危险化学品。2022年5月18日,经国家应急管理部化学品登记中心进行产品的化学品属性检测,检测结果“致密储层弹性高携砂压裂液”样品进行危险性试验鉴定和资料查询及分析,为非危险化学品。

(3) 西安国联质量检测技术股份有限公司对陕西科技大学的自缔合蓄能压裂液(滑溜水)进行了检验,结果显示:样品无结垢,与地层水配伍性好,无沉淀,无絮凝。pH值7.8,表面张力25 mN/m,界面张力1.2 mN/m,破乳率达98%,降阻率达76%,排出率为47%。所检项目符合NB/T14003.3-2017标准要求。

(4) 西安国联质量检测技术股份有限公司对陕西科技大学的自缔合蓄能压裂液(携砂液)进行了检验,检验结果显示:携砂液与地层水配伍性好,无沉淀,无絮凝。表观粘度75 mPa·s,增粘速率98%,破胶液表观粘度1.6 mPa·s,破胶液表面张力25 mN/m,破胶液与煤油界面张力为1.5 mN/m,残渣含量0 mg/L,破乳率达到98%,降阻率64%,排出率为49%。所检项目符合NB/T14003.3-2017标准要求。

5. 同行评价

研究成果在Chemical Engineering Journal、Polymer testing、Journal of Colloid and Interface Science、Journal of Materials Science & Technology、精细化工等国内外重要学术期刊发表学术论文 96 篇，其中SCI收录 62 篇，得到了国内外同行的多次正面引用。

6. 用户使用报告

陕西润泰化工科技有限公司、陕西长海油田助剂有限公司、陕西铜泽新能源科技有限公司和陕西融森实业有限公司等 4 家公司对产品进行了用户使用评价。经使用，非常规油气田增产改造用功能化压裂液产品各项指标均达到客户要求，适用于致密油、致密气、页岩油、页岩气和深层煤层气等非常规储层改造。该产品较原来的传统的压裂液产品具有操作条件简单、安全环保、高性能、低成本的优势。

五、应用情况

本项目成果由陕西科技大学、中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆井下技术作业公司、中石化华北石油工程有限公司、西安石油大学和陕西长海油田助剂有限公司进行联合科技攻关，形成的相关技术成果，促进了非常规油气田增产改造措施领域的科技进步和技术革新，形成了针对非常规油气开采的系列化产品，在非常规油气田得到了规模化应用推广。

(1) 2013 年~2014 年，在对减阻机理和工况模拟的研究的基础上，研发了高效减阻剂，形成了适用于致密储层改造的滑溜水压裂液体系，具有施工泵注效率高、减阻效果显著、降解彻底、低伤害、可重复利用的技术特点，对体积压裂工艺具有良好的适用性，并在固平 34-24 等致密油井组进行了先导性试验，该技术成果在长庆油田致密油区推广应用，逐步发展成为致密储层水平井体积压裂改造的主体滑溜水压裂液体系。

(2) 针对“滑溜水+植物胶”混合压裂液不利于回收利用，液体利用率不高的问题，通过联合攻关，在前期阶段技术成果的基础上进一步优化升级，研发了全程携砂滑溜水压裂液体系。在长庆油田陕北油藏评价项目组 and 陇东石油预探项目组成成功施工并取得了良好的试验效果，现场携砂稳定、施工压力平稳、压后破胶彻底、返排液回收利用方便。

(3) 针对致密油气储层的特点，陕西科技大学结合现场施工返排率与投产数据的对比和分析，结合国外资料报道表面活性剂和储层作用关系，研发了可提高自吸效率的表面活性剂。在长庆西 233 长 7 致密油区块，靖安油田致密储层进行了先导性试验，取得了良好的试验效果，通过技术转化，形成适用于致密油储层系列产品，并在致密油气储层得到规模推广。

(4) 针对我国油田水平井大规模压裂施工后返排液量大、水质矿化度高、安全环保风险增加,同时压裂备水又面临巨大压力的问题,进一步联合攻关研究,成功实现了稠化剂面对恶劣水质的速溶增粘,保证缔合效果的技术突破,在神木气田得到了先导性试验,实现了压裂液返排污水无需处理,完全重复利用配制压裂液,施工成功率达到 100%。

(5) 高性能、低伤害、低成本的非常规油气田增产改造用功能化压裂液关键技术在中石化也得到大力推广。

自 2020 年 1 月以来,中石化华北石油工程有限公司依托陕西科技大学的“非常规油气田增产改造用功能化压裂液关键技术”主要成果,在中石化鄂北工区、中联公司临兴工区累计应用低渗致密高含水气藏甜点识别技术开展压裂设计 113 口,应用环保酸液体系、差异化压裂及高效压裂配套技术实施 109 口井,145 层,632 段,施工成功率 99.2%,建产率 83%,取得较好的改造效果,为中石化鄂北工区、中联晋西分公司增储上产做出了积极贡献。近五年新增产值 2.2 亿元,新增利润 0.27 亿元,经济效益显著,具有广阔的推广应用前景。

(6) 在2022-2024年期间,中石化华北石油工程有限公司应用陕西科技大学开发的“鄂尔多斯盆地致密油气水平井增产及配套技术”,在鄂尔多斯盆地大牛地、杭锦旗、定北、红河、泾河、渭北和富县等区块开展现场试验及施工,具体应用情况如下:

东胜气田混合水体积压裂和穿层压裂技术: 累计实施98口井,其中83口井达到有效穿层效果,穿层有效率达到 85%,压后投产初期日产气 $3.59 \times 10^4 \text{ m}^3$,较常规技术提高47%,实现了水平井一次动用纵向多套储层,提高了储层纵向动用率。

东胜气田长缝压裂技术: 累计实施118口井,施工成功率 94.7%,压后平均无阻流量由 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 提高至 $8.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,提高46.7%,增产效果显著。

大牛地气田碳酸岩盐复杂缝网深度酸压技术: 现场应用27口井,219段,施工成功率98.6%,压后平均无阻流量 $9.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中PG26井压后试气无阻流量 $50.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,创造了大牛地奥陶系风化壳水平井压后无阻流量最高纪录,实现了大牛地气田下古风化壳碳酸盐岩储层勘探开发的突破。

连续油管带底封拖动喷砂射孔技术: 累计实施41口井,单段喷砂射孔成功率 98.5%,其中在JPH-315井最高单趟管柱可完成11段压裂。

连续油管排水采气技术: 应用56口井,累计完成下入井内连续油管167955m,施工成功率100%,操作简单,施工效果良好。

连续油管冲砂解堵技术: 应用 16 口井,施工成功率 100%。

六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

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	One-component type multi-functional fracturing fluid additive and process for preparing the same	美国	US11384282 B1	2022 年 07 月 12 日	US11384282B1	陕西科技大学	赖小娟, 范美玲, 王磊, 冯新根, 刘卫博, 李朋, 张小鑫
2	发明专利	Salt-tolerant polymer mcrosphere plugging agent and perparation Method thereof	美国	US11629282 B2	2023 年 04 月 18 日	US11629282B2	陕西科技大学	赖小娟, 刘贵茹, 王磊, 高进浩, 柳小虎, 党志强, 米楚, 尹君
3	发明专利	压裂液用低温速溶型耐盐一体化水性稠化剂及其制备方法	中国	ZL202111030182.3	2022 年 8 月 30 日	5421756	陕西科技大学	王磊, 范美玲, 赖小娟, 刘卫博, 文新, 刘永, 杨雯雯
4	发明专利	适用于致密砂岩表面气润湿反转剂及其制备方法和应用	中国	ZL202311031208.5	2024 年 9 月 24 日	7395890	陕西科技大学	赖小娟, 卢丽娟, 刘贵茹, 王磊, 刘璇, 高进浩, 薛瑜瑜, 马芹芹
5	发明专利	一种 $\text{In}_2.24(\text{NCN})_3$ 粉体的制备方法	中国	ZL201910495818.8	2022 年 6 月 14 日	5233923	陕西科技大学	王宽, 王忠字, 何珍红, 刘昭铁, 王伟涛, 杨阳
6	发明专利	一种复合型堵漏剂及其制备方法	中国	ZL202110602583.5	2023 年 09 月 29 日	6366352	中国石油天然气集团有限公司, 中国石油集团川庆钻探工程有限公司	高燕, 王祖文, 邵秀丽, 张冕, 徐迎新, 王亚军, 杨嘉慧, 王改红, 周逸凝, 安子轩, 雷璠,

								纪冬冬, 吕莉
7	发明专利	一种滑溜水压裂可降解转向剂的合成方法	中国	ZL201710005831.1	2019年06月07日	3404786	西安石油大学	柯从玉, 孙妩娟, 张群正, 张洵立
8	发明专利	一种单粒下沉剂运移速度确定方法	中国	ZL202010941950.X	2022年09月06日	5433081	中石化石油工程技术有限公司, 中石化华北石油工程有限公司	吴天乾,李晔旻,贾光亮,张军义,郑道明,温伟,常明,王飞龙,雷国瑞,付振永,张慎,贺绍华,徐武举,张晓捷
9	发明专利	一种致密砂岩杨氏模量修正方法及装置	中国	ZL201811186028.3	2021年02月12日	4256515	中石化石油工程技术有限公司, 中石化华北石油工程有限公司	马辉, 王飞龙, 杨春文, 蒋新立, 吴天乾, 贾光亮, 郑道明, 温伟
10	发明专利	液力马达及其防堵装置	中国	ZL201810524669.9	2020年12月04日	4131570	中石化石油工程技术有限公司, 中石化华北石油工程有限公司	蒋新立, 贾光亮, 郑道明, 马成云, 李晔旻, 左睿, 温伟

七、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
赖小娟	1	无	教授	陕西科技大学	陕西科技大学	全面负责项目实施，功能化压裂液体系的设计和方案制定，聚合物及表面活性剂的制备及放大生产试验
张冕	2	无	教授级高工	中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆井下技术作业公司	中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆井下技术作业公司	主要负责压裂液体系制备及作用机理研究，现场应用试验及其方案设计。
邵秀丽	3	无	高级工程师	中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆井下技术作业公司	中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆井下技术作业公司	主要负责功能化压裂液体系在页岩油、致密气田的现场试验和推广应用。
张军义	4	经理	教授级高工	中石化华北石油工程有限公司	中石化华北石油工程有限公司	主要负责功能化压裂液体系的施工配套方案及工艺设计。
贾光亮	5	增产测试中心主任	高级工程师	中石化华北石油工程有限公司	中石化华北石油工程有限公司	对聚合物疏水改性优化及性能评价，致密油压裂液施工应用作出主要贡献。
张群正	6	无	教授	西安石油大学	西安石油大学	对压裂液产品的致密气现场施工技术指导，回收重复利用方案和工艺设计做出主要贡献。
王磊	7	无	教授	陕西科技大学	陕西科技大学	负责压裂液的配方设计及优化，产品生产及压裂液的现场推广应用
薛瑜瑜	8	无	工程师	陕西长海油田助剂有限公司	陕西长海油田助剂有限公司	对压裂液稠化剂、渗吸表面活性剂的中试及放大生产作出主要贡献。
吕莉	9	无	工程师	中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆井下技术作业公司	中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆井下技术作业公司	对致密气应用环境下压裂液体系综合性能优化，适应性评价有主要贡献。
王宽	10	无	副教授	陕西科技大学	陕西科技大学	产品流变性能、减阻机理分析，对本成果在致密气田规模化应用推广做出主要贡献。

八、主要完成单位及创新推广贡献

第一完成单位陕西科技大学：陕西科技大学是本项目的主要完成单位和申报单位，项目组成员所在的化学与化工学院及科技处等部门在科研工作安排、研究条件、实验检测设备、技术支持和人员配备等方面给予了大力的支持，确保了项目的顺利完成并在理论上和实际应用等方面均取得了显著的成绩，其主要贡献如下：

(1) 项目实施过程中，陕西科技大学给予全力支持；组织人力进行实验方案设计与研究；对项目的进度进行定期跟踪和把关，并配备了各科专业技术人员，在技术上给予了关键性的指导，监督管理项目实施。

(2) 在实验场地、仪器设备、分析测试仪器方面，给予大力支持。在项目前期学校为项目试验提供了两间实验室和相应实验仪器设备等，并负责药品的采购；在实验期间学校的教育部轻化工助剂化学与技术重点实验室和陕西省协同创新中心承担了各种实验结果的检测和结果分析。

(3) 为项目实施提供配套经费资助，给予财力支持。

(4) 积极组织相关人员为项目的评审验收提供便利和支持。

(5) 利用会议、交流会等多种渠道，宣传推广项目。

第二完成单位中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆井下技术作业公司：作为本项目的第二完成单位，主要负责项目技术在长庆油田所属区域的现场施工、工艺流程优化、推广。

主要贡献如下：

(1) 在长庆油田完成了功能化可回收压裂液体系的现场试验；随后扩大压裂现场试验，现场优化技术细节，完善施工流程，取得了良好的推广效果。

(2) 针对已有滑溜水体系粘度范围窄难以冬季连续施工、返排液重复利用率低、压裂液破胶不彻底导致储层伤害等技术难题，在长庆油田所属区域推广应用本项目成果，形成了清洁型耐盐可重用滑溜水关键技术，实现了压裂液的高效重复利用、压裂施工的绿色环保。

(3) 对压裂液的现场施工、工艺流程进行了优化。成功简化了功能化可回收压裂液体系的现场施工工艺，在陕北油藏评价项目组和陇东石油预探项目组成功试验，取得了良好的效果，为油田可回收压裂液技术发展做出了显著贡献。

第三完成单位中石化华北石油工程有限公司：主要负责本项目成果功能化压裂液体系产品的推广应用工作。主要贡献包括：

(1) 创新形成了差异化压裂设计技术、针对薄互层穿层压裂改造技术及控缝高长缝压裂技术、碳酸盐岩储层复合深度酸压及返排控制技术连续油管配套作业技术。该技术同时推广至中海油临兴区块和中石化西北油气分公司顺北油气田，实现了区块的重大突破。

(2) 在大牛地、东胜、定北、红河和涇河等油气田，累计应用 365 口井，在东胜气田锦 58 井区上古生界应用后较之前平均无阻流量提高 46%以上，有效率达到 85%以上；在大牛地下古碳酸盐岩储层实现平均无阻流量较之前提高 20%以上。现场优化技术细节，完善施工流程，取得了良好的推广效果。

第四完成单位西安石油大学研发了压裂液的配套助剂，提升了压裂液的综合性能。

主要贡献包括：

(1) 针对提高油田综合开发效率和保护生态环境的需求，研发出一种滑溜水压裂可降解转向剂，使得压裂液体系在保证压裂效果的同时，降低对油气层和环境的损害程度，其性能优越，能够满足各种复杂地质条件下的压裂作业要求。

(2) 对压裂液产品的致密气现场施工技术进行了指导，对回收重复利用方案和工艺设计做出贡献。通过先进的处理工艺，将压裂作业中产生的返排液进行有效回收，实现了对资源的高效利用和环境的友好保护。

第五完成单位陕西长海油田助剂有限公司，作为本项目的第五完成单位，主要负责项目产品的中试、大试和产业化产品的持续生产和销售，其主要贡献如下：

(1) 针对本项目相关技术，配套相关的实验、生产场地和仪器设备，为本项目产品提供中试、大试和产业化生产基地。

(2) 项目产品研究过程中，协助进行压裂液体系中各组分如聚合物稠化剂、表面活性剂的性能评价和分析，为项目产品的改进提供切实可行的思路和建设性的改进方案。

(3) 项目产品生产过程中，积极优化压裂液稠化剂、表面活性剂和减阻剂的大规模生产的工艺路线，为项目产品的产业化生产提供坚实保障。

(4) 负责将系列产品中的聚合物稠化剂及配套化工助剂销售给中国石油和延长石油各公司，完成技术转化生产和现场规模化应用。在项目产品的现场试验和大规模应用过程中，配合用户提出最优的应用方案，充分发挥产品性能，实现了本成果技术的产业化应用和推广。

西安万德能源化学股份有限公司作为本项目的第六完成单位，主要针对本项目相关技术，配套相关的实验、生产场地和仪器设备，为本项目产品提供中试、大试和产业化生产基地。研发了压裂液的配套助剂，提升了压裂液的综合性能。主要贡献包括：

(1) 针对非均质地层渗透率低、孔吼尺寸小，功能单一的调驱剂无法满足封堵的条件。利用丙烯酰胺以及含表面活性的功能单体，采用自由基聚合的方式制备纳米微球。产品热稳定性好；具备良好的膨胀性与粘弹性，因其特殊的结构设计以及纳米级粒径使得微球趋于分布在油水界面，油水界面张力进一步降低，能够促进原油乳化剥离，进一步提高油气采收率。

(2) 对压裂液产品的致密气现场施工技术进行了指导，对回收重复利用方案和工艺设计做出贡献。通过先进的处理工艺，将压裂作业中产生的返排液进行有效回收，实现了对资源的高效利用和环境的友好保护。

西安和泰化工有限公司作为本项目的第七完成单位，主要提供化工反应釜等生产设备和生产车间、化工环保支持，负责项目中渗吸表面活性剂产品的中试、大试生产。主要贡献包括：

(1) 负责研发的压裂液新技术在陕西延长石油（集团）有限责任公司所属油气生产地区范围内的推广应用。

(2) 在陕西延长油气储层完成了压裂液体系的现场试验，现场优化技术细节，完善施工流程，取得了良好的推广效果。

(3) 负责研发的功能化可回收压裂液及相关配套新技术的推广、营销工作。

九、完成人合作关系说明

本成果完成单位为陕西科技大学、中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆井下技术作业公司、中石化华北石油工程有限公司、西安石油大学、陕西长海油田助剂有限公司、西安万德能源化学股份有限公司和西安和泰化工有限公司，七个单位分工明确、优势互补、联合攻关，针对致密油气储层体积压裂工艺配套关键技术问题进行了深入合作开发，结合降本增效的开发思路和安全环保的严格要求，构筑了非常规储层改造用功能化可回收压裂液体系，在我国非常规致密油气田进行了产业化应用及推广。赖小娟、王磊、王宽是陕西科技大学的教师，张冕、邵秀丽和吕莉是中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆井下技术作业公司的高级工程师，张群正是西安石油大学的教授，薛瑜瑜是陕西长海油田助剂有限公司的研究人员，贾光亮和张军义是中石化华北石油工程有限公司高级工程师。陕西科技大学与中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆井下技术作业公司进行了明确的产业合作，签订了一系列的技术服务合同，七个单位共同研发并推广应用了多项油气田压裂液关键技术，通过对项目产品的中试、大试和产业化产品的转化生产，形成了针对致密油气的系列化产品，并在非常规油气田得到了规模化应用推广。解决了传统压裂液面临的关键技术难题，结合所承担的国家和省部级、厅局级和一系列的横向科研项目进行了合作研究，发表了共同论文、共同知识产权和共同获奖。

完成人合作关系情况汇总表

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	赖小娟/1，王磊/7	2014-09-01	2024-12-31	One- component type multi-functional fracturing fluid additive and process for preparing the same	附件 1-1-1
2	共同知识产权	赖小娟/1，王磊/7	2014-09-01	2024-12-31	A salt-tolerant polymer microsphere plugging agent and preparation method thereof	附件 1-1-2
3	共同知识产权	赖小娟/1，王磊/7	2014-09-01	2024-12-31	压裂液用低温速溶型耐盐一体化水性稠化剂及其制备方法	附件 1-1-3
4	共同知识产权	赖小娟/1，王磊/7，薛瑜瑜/8	2014-09-01	2024-12-31	适用于致密砂岩表面气润湿反转剂及其制备方法和应用	附件 2-2-1
5	共同知识产权	张冕/2，邵秀丽/3 吕莉/9	2011-01-21	2024-12-31	一种复合型堵漏剂及其制备方法	附件 2-2-3
6	共同知识产权	张军义/4，贾光亮/5	2011-01-21	2024-12-31	一种单粒下沉剂运移速度确定方法	附件 2-2-5

7	共同 获奖	邵秀丽/3, 张冕/2	2011-01-01	2024-12-31	长庆气田下古高漏失层堵漏下 体系开发与应用	附件 2-1-23
8	论文 合著	赖小娟/1, 张群正/6	2011-01-01	2024-12-31	Synthesis of a Gemini Betaine Surfactant and Its Properties as Foam Drainage Agent	附件 2-1-24
9	论文 合著	薛瑜瑜/8, 赖小娟 /1, 王磊/7	2014-09-01	2024-12-31	A stimuli-responsive hydrogel for reversible information storage, encryption and decryption	附件 2-1-24
10	论文 合著	王磊/7, 薛瑜瑜/8, 赖小娟/1	2014-09-01	2024-12-31	Preparation of Cationic Fluoropolymer Emulsions and Their Applications as Novel Wettability-Reversing Agents for Enhanced Oil Recovery	附件 2-1-24
11	论文 合著	王磊/7, 赖小娟/1, 贾光亮/5	2014-09-01	2024-12-31	Two-Level Self-Thickening Mechanism of a Novel Acid Thickener with a Hydrophobic-Associated Structure during High- Temperature Acidification Processes	附件 2-1-24
12	论文 合著	王宽/10, 赖小娟/1	2016-09-01	2024-12-31	Chemical defects and hydroxyls tailored porous tungsten-iron-lanthanum solid solution surface frustrated Lewis pairs for boosting visible-light photothermal oxidation of cyclohexane	附件 2-1-24
13	论文 合著	王宽/10, 赖小娟/1	2016-09-01	2024-12-31	Co species modulating of BiOBr-based Z-scheme heterojunction for the transform photoreduction CO ₂ products from CO to CH ₄	附件 2-1-24
14	论文 合著	赖小娟/1, 王磊/7, 薛瑜瑜/8	2014-09-01	2024-12-31	Preparation and Performance Evaluation of Superhydrophobic, Oleophobic, and Breathable Fabrics Treated With Cationic Fluoropolyacrylate Finishing Agents	附件 2-1-24
15	论文 合著	赖小娟/1, 吕莉/9	2014-09-01	2024-12-31	阴非离子表面活性剂的合成及 其作为渗吸剂的性能研究	附件 2-1-24
16	论文 合著	邵秀丽/3, 张冕/2	2011-01-01	2024-12-31	长庆气田下古高漏失层堵漏体 系开发与应用	附件 2-1-24

17	产业合作	赖小娟/1, 张军义/4	2011-01-01	2024-12-31	耐温耐盐聚合物压裂液关键单剂研究	附件 2-1-13
18	产业合作	赖小娟/1, 王磊/7	2011-01-01	2024-12-31	鄂尔多斯盆地大型岩性地层油气藏勘探开发示范工程”子项目“新型压裂材料研发与应用”	附件 2-1-17
19	产业合作	张冕/2, 邵秀丽/3, 吕莉/9	2011-01-01	2024-12-31	清洁型耐盐可重用滑溜水关键技术与应用	附件 2-1-20
20	产业合作	赖小娟/1, 邵秀丽/3, 张群正/6, 王磊/7, 吕莉/9	2011-01-01	2024-12-31	提高致密油滑溜水压裂液体系渗吸效率关键添加剂实验	附件 2-1-21
21	产业合作	赖小娟/1, 邵秀丽/2, 吕莉/9	2011-01-01	2024-12-31	西 233 长 7 致密油等区块驱油压裂液关键材料现场试验	附件 2-1-21
22	产业合作	赖小娟/1, 张群正/6, 王宽/10,	2011-01-01	2024-12-31	致密储层弹性高携砂压裂液试验	附件 2-1-21
23	产业合作	赖小娟/1, 张冕/2, 王宽/7,	2011-01-01	2024-12-31	致密油全程携砂低粘压裂液体系研究及现场试验	附件 2-1-21
24	产业合作	赖小娟/1, 张群正/6, 王磊/7, 薛瑜瑜/8, 吕莉/9	2011-01-01	2024-12-31	储层含铁矿物成垢测试分析与阻垢材料研发试验	附件 2-1-21
25	产业合作	赖小娟/1, 张冕/2, 邵秀丽/3, 王磊/7, 薛瑜瑜/8	2011-01-01	2024-12-31	页岩油体积改造压裂液结垢研究实验	附件 2-1-21