

## 项目公示信息（科技进步奖）

一、项目名称：低渗超低渗油藏提高采收率系列高性能化学品的构筑及产业化

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省教育厅

针对低渗透或超低渗透老油田油藏裂缝多、开采困难、驱油效率严重下降的问题，该项目团队通过多年技术积累与实践，从作用机理出发进行材料设计，并结合室内、现场试验，开发了用于油田增产的智能可膨胀堵水材料、溶蚀转向压裂材料和超微纳化学驱油剂。项目设计思路包括“老油田旧缝堵水-溶蚀转向压裂二次造缝-高效化学驱油”三部分，有效助力老油田增产，提高原油采收率。智能可膨胀高效堵水体系从分子水平上掌握“高分子结构-延时交联机制-固化性能”之间的关系，可有效解决现有特高含水期老油田封堵效果差的问题，实现了低粘度、高强度、高韧性和高附着力的目标。溶蚀-转向-压裂多功能体系通过化学/物理减速剂的设计与复配，实现了  $H^+$  的缓释，降低对  $H^+$  传质速度，并利用可控降解高分子使应力压裂转向，开启多维复杂裂缝，通过酸压和暂堵协同实现老油田储层缝网深度改造，大幅提高裂缝泄流面积，为油藏高效驱替提供条件。微纳米高分子/小分子表面活性剂复合的高效化学驱油体系，确定了特高含水期剩余油滴启动条件，大幅提升驱油效率。授权国家发明专利 55 件，其中 34 件得到成功转化。在陕西铭锐石油科技有限公司、胜利油田方圆化工有限公司、中石油长庆油田分公司第五采油厂等公司应用。自应用以来，新增销售额 35.42 亿元，新增利润 6.38 亿元。

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一等奖。

三、项目简介

1、项目的主要技术内容

（1）智能可膨胀高效堵水体系。基于功能高分子设计，制备有机硅偶联剂改性丙烯酸树脂，进一步将其与潜伏性异氰酸酯固化剂、硅酸盐、可膨胀橡胶在水相中混合，得到智能可膨胀高效堵水剂，用于老油田井下封堵。系统研究了堵水体

系粘度、固化强度及粘接强度的变化规律。在分子功能设计与构效关系探索中，深入研究聚合反应条件对有机硅改性丙烯酸树脂结构及性质的影响规律，明晰其与潜伏性异氰酸酯固化剂之间的延时性交联机制。系统分析了组分含量对有机-无机杂化堵水体系微观结构和宏观性能的影响作用，从分子水平上掌握高分子结构-延时交联机制-固化性能之间的关系。该研究可有效解决现有特高含水期老油田封堵效果差的问题，紧密结合目前中石油等企业对于老油田堵水体系流动性、固化性能和力学性能的要求，实现了低粘度、高强度、高韧性和高附着力的目标。

(2) 深度溶蚀-转向多功能酸性压裂体系。通过化学/物理协同的方式，降低  $H^+$  传质速度，制备酸性压裂体系；并基于功能高分子设计，构建“刚柔并济”的可控降解型刚性微球/可膨胀型黏性微球复合体系。复合暂堵微球的引入可有效控制施工过程的封堵，并调控施工后的降解过程，实现多簇裂缝均衡起裂，加强裂缝的密集发展程度和储层缝网的深度改造，大幅提高裂缝泄流面积，实现溶蚀-转向-压裂一体化、多功能协同。通过建立物理模型和分子模拟技术，系统阐明该体系对人造渗流场及优势渗流通道建立的正向促进作用，氢质子的传质行为以及暂堵微球的降解机制，最终确定该体系产生复杂裂缝的结构特点和分布。该研究针对老油田储层微裂缝发育、脆性程度高的特征，大幅提高老油田压裂改造投入产出比和压裂改造效率，实现少、精、准的要求，紧密结合中石油等企业对于老油田二次开发的要求，加强复杂裂缝的密集发展，提供丰富的油藏开采位点。

(3) 超微纳化学驱油体系。通过体系复合功能化设计，制备了基于高分子/小分子表面活性剂复合体系的高效化学驱油剂。系统研究了化学驱油剂乳化稳定性、油水界面张力、耐盐性的影响规律。通过驱油模拟、流变及室内驱替对表面活性剂驱油机理进行了深入研究。体系兼顾了微纳米高分子表面活性剂的乳化稳定性和小分子表面活性剂的超低界面张力的优点，可显著降低油水界面张力（达到超低界面张力）同时具备对原油的乳化稳定性；体系也具有优良的耐盐性能，不含强碱，不会对地层产生永久性伤害；与常用油田水处理剂配伍性能优良，对注入水适应性强；室内驱替实验效果显著。通过建立分子动力学模型，模拟分析表面活性剂驱油过程相互作用，明晰其润湿剥离原理和乳化分散增容原理。该研究可有效解决油田进入特高含水阶段后驱油效率严重下降的问题，紧密结合中石油等企业，确定特高含水期剩余油滴启动条件，提升驱油效率。

## 2、项目取得的科研成果

本项目研究受到 1 项国家重大科技专项课题、1 项国家自然科学基金、1 项陕西省创新能力支撑计划以及 24 项企业合作项目的支持。目前已发表相关研究论文 134 篇，其中高水平论文收录 95 篇；授权国家发明专利 55 件，其中 34 件得到成功转化。

### 3、本项目的技术指标和社会效益

本项目成果通过高性能堵水体系、溶蚀-转向-压裂多功能体系和微纳米驱油剂等油田化学品的设计与开发,可有效提高低渗透超低渗透油藏油气采收率。智能可膨胀高效堵水体系可增强对老油田井下大裂缝的封堵效果,具有低粘度、高强度等特性,密度 1.5~1.8 g/cm<sup>3</sup>、注入粘度 30~50 mPa·s、承压强度>58 MPa、收缩率≤-0.5%、粘接强度≥4.3MPa,作业后有效率 100%,平均日增油 2.1 吨;深度溶蚀-转向多功能酸性压裂体系耐温 120°C (>80°C);高粘液表观粘度为 15mPa·s,降阻率 73% (>70%),平均日增油 1.3 吨;而超微纳高效化学驱油体系则改善了常规采油方法中的原油排出效率,使油水界面达到较低或超低的界面张力( $\sigma=10^{-2}-10^{-3}$  mN/m),耐盐性达到 15 万矿化度,耐钙镁离子达到 8000 mg/L,井组日增油 4.8 吨,驱替增产效率>10%。上述成果指标均可满足国家/行业标准。本项目的相关技术均拥有自主知识产权。因此该项目具有良好的社会经济效益。

### 4、应用推广情况

项目完成至今,在中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司第五采油厂、长庆油田公司第二采油厂等公司应用,解决了特高含水期老油田封堵效果差、压裂改造困难以及驱油效率严重下降等方面的行业共性的关键技术问题。项目成果自应用以来,新增销售额 35.42 亿元,新增利润 6.38 亿元。

## 四、客观评价

一、本项目成果依托教育部科技查新工作站对本项目进行了科技查新,结果显示,除项目组公开发表的研究文献和专利外,未见与本委托项目成果创新点相同的报道。(附件 2-2-10: 国内外查新报告)

二、中国石油天然气集团有限公司科技管理部对国家科技重大专项项目课题《致密气高效开采增产工艺技术课题》(项目编号: 2016ZX05047-006)进行了验收,形成验收意见如下:

围绕低产低效井比例逐年上升的问题和技术需求,开展了相应研究,形成压裂优化设计技术成果。通过开展配方精细优化设计、暂堵转向工艺等关键技术攻关,实现升级换代。

三、中国石油天然气股份有限公司科技管理部组织专家对长庆油田分公司等单位承担的重大科技专项《长庆油田 5000 万吨持续高效稳产关键技术研究与应用》(项目编号: 2016E-05)进行了验收,形成验收意见如下:

(1) 创新老油气田稳产及低效井治理技术系列,包括特/超低渗油藏聚合物微球调驱等 5 项低渗透油田降递减技术,助推油田自然递减率由 13.4%降至 11.4%;

(2) 初步形成了气驱和转变开发方式为主、化学驱为辅的提高采收率主体

技术方向，预测采收率提高 10%以上；

(3)研究成果有力推动了长庆油田油气当量 5000 万吨以上高效稳产上产。支撑长庆油田新增探明地质储量石油 14.11 亿吨、形成了超低渗透油藏、致密油、致密气和页岩油四大规模增储上产领域，并将为“十四五”6000 万吨以上稳产提供技术支撑。(附件 2-1-1-2)

四、陕西省科技厅组织有关专家，对陕西科技大学科技创新团队“绿色高效功能高分子助剂化学与技术创新团队”进行了验收，形成的意见如下：

研究成果与效益：开展了特种纸张增强增韧、三次采油增加采收率、水性涂层防水、增强、防腐等关键技术研究。建设期内，团队主持和承担国家、省部级项目 5 项；发表学术论文 50 篇，授权国家发明专利 17 件，出版著作 1 项，获中国轻工业联合会一等奖 1 项，陕西省科技进步二等奖 3 项；研究成果应用于成都印钞有限公司、陕西宝塔山油漆股份有限公司等，取得了良好的经济和社会效益。

能力建设与人才培养：依托轻化工助剂教育部重点实验室等平台，引进高层次人才 5 名；培养博士后 2 名，博士生 6 名，硕士生 34 名。

五、陕西铭锐石油科技有限公司组织验收组，对陕西科技大学承担的《油田用有机-无机封堵剂的研发及试制》进行了验收，形成的意见如下：

(1) 该项目开发的有机-无机堵水体系符合技术要求，提供的资料齐全、规范，原始数据真实可靠，符合验收要求。

(2) 在室内合成并优化了有机-无机堵水体系的合成条件，并进行了室内性能评价和机理研究，产品注入粘度 50 mPa·s、承压强度>20MPa、收缩率≤10%、粘接强度≥5MPa，完成了合同约定任务。

(3) 提供了 30 吨试制产品，符合产品技术要求。(附件 2-1-3-1)

六、陕西氢晨新材料有限公司组织验收组，对陕西科技大学承担的《碳酸盐储层酸化压裂液体系研发》进行了验收，形成的意见如下：

(1) 该项目开发的酸化压裂液符合技术要求，提供的资料齐全、规范，原始数据真实可靠，符合验收要求。

(2) 通过向酸液体系中引入微纳米泡，降低氢离子传质速率；并通过测试反应型酸性滑溜水体系对灰岩储层酸蚀速率，开展体系综合性能评价。(附件 2-1-2-1)

七、延长石油第一采油厂由数字化与科技信息中心组织，对委托陕西科技大学所承担的《安塞油田长 6 油藏表面活性剂驱油技术研究与应用》项目进行了验

收，经讨论形成如下意见：

(1) 项目完成了合同约定的室内研究工作。现场在侯市区块取注入水、油井产出液，室内研发适合长 6 油藏采出水表面活性剂体系：该体系与原油充分混合后有没明显的破乳现象发生、乳化性较好，在 0.5% 浓度下与采出水界面张力达到  $7.3 \times 10^{-3} \text{mN/m}$ ，室内岩心驱替实验数据表明较水驱提高驱油效率 12.1% 以上(合同约定复体系界面张力达到  $10^{-3} \text{mN/m}$ 、室内驱替效率较水驱提高 10% 以上)。

(2) 项目按合同约定完成了《侯市区块表面活性剂驱油施工设计方案》，拉运驱油体系 23t 至侯市注入现场。2015 年 10 月 16 日侯 126-16、侯 128-14 井开始注入，方案设计注入 90 天、表面活性剂注入 6.9t，实际注入 90 天、表面活性剂注入 7.415t。2015 年 11 月 15 日侯 128-16、侯 126-18 井开始注入，方案设计注入 90 天、表面活性剂注入 13.05t，实际注入 90 天、表面活性剂注入 15.546t。

(3) 对应油井 16 口，目前有 7 口井见到了增油效果，见效比 43.8%，累计增油 566.07t，有效井有效期内平均单井日增油 0.52t（合同约定对应油井见效比不低于 40%、有效井有效期内平均单井日增油 0.2t 以上）。(附件 2-1-1-3、2-1-1-4)

八、项目成果所生产的高强度堵水体系和超微纳化学驱油剂由均具有陕西省化工产品质量监督检验站出具的检测报告（附件 2-1-11）。高强度堵水体系外观为均匀液体，密度为  $1.8 \text{ g/cm}^3$ ，粘度  $\leq 50 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ ，承压强度  $> 10 \text{ MPa}$ ，收缩率  $\leq -0.5\%$ ，粘结强度  $\geq 5 \text{ MPa}$ 。超微纳化学驱油体系驱油剂密度  $0.95 \sim 1.00 \text{ g/cm}^3$ ，pH 为 6.5~8.0，乳化效率  $\geq 9:1$ ，界面张力  $\leq 10^{-3} \text{mN/m}$ 。

九、本项目技术主要来源于项目组的 55 件国家授权发明专利，具有自主知识产权，34 项已转让。

十、通过完成相关课题，发表了 134 篇论文，详细系统地阐述了高强度堵水体系、溶蚀转向压裂体系和超微纳化学驱油体系的制备方法、作用机理及应用性能，为生产企业提供了参考和指导。近五年，项目团队共培养 5 名博士，42 名硕士。

## 五、应用情况

项目成果目前已经在焦作市宏达力生物化工有限公司、河南博源新材料有限公司、聚盛绿能河北科技有限公司、甘肃智仑新材料科技有限公司、西安石油大佳润实业有限公司、陕西铭锐石油科技有限公司、胜利油田方圆化工有限公司、中国石油天然气股份有限公司长庆油田公司第五采油厂等公司得到广泛应用，相关专利也在甘肃智仑新材料科技有限公司等公司实现转化应用。项目成果自应用以来，合计已为合作企业新增销售额 35.42 亿元，新增利润 6.38 亿元，经济效益明显。

项目中溶蚀-转向-压裂体系在胜利油田方圆化工有限公司经过小试、中试、大生产等环节对工艺参数进一步优化，确定了规模化生产的技术路线。该项目成果实现了老油田的二次裂缝的问题，能够产生更为密集和丰富的新裂缝，提高驱油效率。该产品提升了胜利油田方圆化工有限公司的企业核心竞争力。项目开始以来累计为该公司新增销售额 1.90 亿元，新增利润：2864.2 万元。

(2) 项目产品溶蚀-转向-压裂体系在聚盛绿能河北科技有限公司、西安奥德石油工程技术有限责任公司实现规模化应用，解决原公司产品难以实现压裂改造的难题，提升了公司竞争力。项目开始以来为聚盛绿能河北科技有限公司新增销售额 3.15 亿元，新增利润：4663.3 万元；为西安奥德石油工程技术有限责任公司新增销售额 5.15 亿元，新增利润：9853.1 万元。

(3) 项目产品封堵剂在中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司第五采油厂实现规模化应用。例如研究成果在黄 3、黄 138 等区域规模应用，调堵后未发生气窜，有力支撑了黄 3 区国家级先导试验示范区“9 注 37 采”的安全有效注入。投入产出比达 1:1.3。成果各类技术在姬塬油田、宁夏油田、陇东油田开发中提供技术支撑，预计覆盖地质储量 19.6 亿吨。项目开始以来累计为中石油长庆油田分公司第五采油厂新增销售额 1.89 亿元，新增利润 5750.42 万元。

(4) 项目成果高强度堵水材料在陕西铭锐石油科技有限公司和西安石油大佳润实业有限公司实现规模化应用。该成果解决了传统封堵体系强度低、脆性和收缩率大等问题，以提高对老油田井下大裂缝的封堵效果为目标，实现了低粘度、易注入、高强度等特性，为老油田降本增效提供了重要的技术支撑。项目开始以来累计为陕西铭锐石油科技有限公司新增销售额 1.75 亿元，新增利润：1374.6 万元；为西安石油大佳润实业有限公司新增销售额 3.97 亿元，新增利润：6744.5 万元。

(5) 项目成果超微纳化学驱油剂在焦作市宏达力生物化工有限公司，河南博源新材料有限公司，甘肃智仑新材料科技有限公司实现应用。解决了原有产品驱油效率低，不适应三采需求等问题。项目开始以来为焦作市宏达力生物化工有限公司新增销售额 6.53 亿元，新增利润：1.23 亿元；为河南博源新材料有限公司新增销售额 7.14 亿元，新增利润：1.26 亿元，为甘肃智仑新材料科技有限公司 3.93 亿元，新增利润：7737.3 万元。

(6) 项目成果包含高效堵水材料和封堵技术、多功能压裂液、超微纳化学驱的产品，所包含成果均可在温和条件下进行，产品制备工艺简单，无环保压力，对企业的固定资产投入压力较小。在项目成果研制过程中衍生多个相关技术，部分技术专利已实现成功转化。其中专利技术“一种星型磺酸基两性离子化合物及其制备方法和应用”在甘肃智仑新材料科技有限公司得到成功转化；专利技术“一

种压裂用增渗剂及其制备方法和应用”在任丘市天润化工有限公司得到成功转化。这些专利的转化，为企业提供了高性能产品，也为其申报高新技术企业提供了支撑。项目成果自应用以来，明显提升了其在低渗透/超低渗透油藏的采收率，提升了合作企业的核心竞争力。

## 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	一种具有互穿网络结构的丙烯酸树脂 粘结剂及其制备方法	中国	202211049 6879	2023. 10.20	6416828	陕西科技大学	费贵强；解 攀；杨晨榕； 王海花；刘 倩
2	发明专利	一种含氟暂堵型助排剂颗粒及其制备 方法和应用	中国	201911173 5610	2022. 04.12	5072893	陕西科技大学	王晨；韩非； 李刚辉；田 咪咪；王江 涛
3	发明专利	一种具有阴阳离子反转能力的 Bola 型 表面活性剂及其制备方法	中国	202011004 7635	2022. 07.22	5330292	陕西科技大学	张康；李旭 红；王晨； 杨晓武；李 刚辉
4	发明专利	一种星型磺酸基两性离子表面活性剂 及其制备方法和应用	中国	201810272 9245	2020. 07.28	3907091	陕西科技大学	王晨；杨通； 辛燕；王霞， 杨晓武，费 贵强
5	发明专利	一种酰胺配位羧酸内盐防膨剂及其制 备方法与应用	中国	202211281 2245	2024. 04.16	6916064	陕西科技大学	王晨；代方 方；郭丽媛； 王海花；费 贵强
6	发明专利	一种双酰胺非离子表面活性剂及其合 成方法和应用	中国	202011003 288	2021. 12.24	4864376	陕西科技大学	张康；李旭 红；王晨； 杨晓武；李



								刚辉
7	发明专利	一种对称型含氟羧基表面活性剂及其制备方法和应用	中国	202010469 7509	2021. 09.24	4702283	陕西科技大学	王晨; 侯妍; 杨晓武; 李 刚辉
8	发明专利	一种压裂用增渗剂及其制备方法和应用	中国	202210039 282	2023. 01.17	5702592	陕西科技大学	王晨; 侯妍; 杨晓武; 李 刚辉
9	发明专利	一种对称型长链硅氧烷磺酸基表面活性剂及其制备方法和应用	中国	202010469 7458	2022. 07.08	5292477	陕西科技大学	杨晓武; 沈 志峰; 王晨; 李刚辉
10	发明专利	一种四酰胺非离子表面活性剂及其合成方法	中国	202011004 7777	2022. 07.22	5330293	陕西科技大学	杨晓武; 徐 静; 王晨; 李刚辉; 张 康

## 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
费贵强	1	副校长	教授	陕西科技大学	陕西科技大学	1. 负责课题的整体规划与设计； 2. 对创新点 1 中功能高分子堵水材料进行分子设计，指导部分合成与应用； 3. 对创新点 3 中高效微纳米驱油剂开发与应用进行分子设计，课题指导。 （附件 1-1-1 发明专利，附件 2-1-3-1 项目验收证明，附件 2-1-1-3 项目验收证明，附件 2-1-1-4 项目验收证明）
王晨	2	无	教授	陕西科技大学	陕西科技大学	1. 负责课题的立项与管理； 2. 对创新点 2 中多功能压裂体系进行分子设计，指导部分合成与应用； 3. 对创新点 中各类驱油用表面活性剂的开发进行分子设计。 （附件 1-1-2 发明专利，附件 2-2-1 发明专利，附件 2-1-1-1 项目验收证明，附件 2-1-2-4 项目验收证明）
问晓勇	3	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	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司	1. 对课题产品的产业化应用提供总体指导； 2. 对创新点 2 中多功能压裂体系，参与产品应用； 3. 对创新点 3 中驱油用表面活性剂的开发进行应用指导。 （附件 2-1-1-1 项目验收证明）
张瀚澜	4	副总经理	高级工程师	陕西氢晨新材科技有限公司	陕西氢晨新材科技有限公司	1. 对创新点 2 中多功能压裂体系的开发进行应用指导； 2. 对产品的放大生产提供指导； 3. 对产品的市场推广提供指导。 （附件 2-1-2-1 项目结题证明）
刘笑春	5	无	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	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司	1. 对创新点 2 中多功能压裂体系的开发进行应用指导； 2. 参与创新点 3 中驱油表面活性剂的应用； 3. 对产品的放大生产提供指导。 （附件 2-1-1-2 项目验收证明）
贾玉琴	6	无	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	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司	1. 对创新点 2 中多功能压裂体系的开发进行应用指导； 2. 参与创新点 3 中复合驱油剂的应用； 3. 对产品的放大生产提供指导。 （附件 2-1-1-2 项目验收证明）
张翔	7	实验中心主任	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	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司	1. 对创新点 2 中多功能压裂体系的开发进行应用指导； 2. 参与创新点 3 中驱油表面活性剂的应用； 3. 对产品的放大生产提供指导。

						(附件 2-1-1-1 项目验收证明)
白阳	8	系主任	副教授	陕西科技大学	陕西科技大学	1. 参与创新点 2 中多功能压裂液的开发, 指导学生实验和课题总结; 2. 参与创新点 3 中复合驱油剂的开发, 指导学生实验; 3. 对产品的作用机理进行分析。 (附件 2-1-2-1 项目结题证明)
代方方	9	系主任	副教授	陕西科技大学	陕西科技大学	1. 主持创新点 2 中多功能压裂体系的开发, 指导学生实验; 2. 参与创新点 3 中复合驱油剂的开发, 指导学生实验和课题总结; 3. 参与产品的作用机理进行分析。 (附件 2-1-2-1: 项目验收证明)
张康	10	无	副教授	陕西科技大学	陕西科技大学	1. 参与创新点 1 中有机无机封堵剂的开发, 指导学生实验; 2. 参与创新点 3 中复合驱油剂的开发, 指导学生实验; 3. 参与产品的放大生产。 (附件 1-1-3 发明专利; 附件 2-1-3-1: 项目验收证明)
辛华	11	无	教授	陕西科技大学	陕西科技大学	1. 参与创新点 3 中驱油用表面活性剂的开发, 指导学生实验; 2. 参与产品的放大生产。 (附件 2-1-1-2 项目验收证明)
杨晓武	12	无	副教授	陕西科技大学	陕西科技大学	1. 参与超微纳化学驱油体系驱油剂的开发, 指导学生实验; 2. 参与产品的放大生产, 优化生产工艺。 (附件 2-1-1-1 项目验收证明)

## 八、主要完成单位及创新推广贡献

(1) 陕西科技大学是本项目的主要完成单位, 本项目组成员所在学院—化学与化工学院及科技处等单位在科研工作安排、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. 组织人力进行实验方案设计与研究, 负责项目的管理和监督等工作;
2. 在实验场地、仪器设备方面、分析测试仪器的使用以及评审验收等方面为项目提供便利和支持, 对关键问题的研发及解决提供协助;
3. 利用会议、交流会等多种渠道, 宣传推广项目成果。

(2) 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司是本项目的合作完成单位, 公司在科研工作安排、研究条件、实验检测设备、现场试验、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. 组织研究团队进行实验方案讨论, 负责项目的现场实验管理和监督等工作;

2. 在实验井、驱替设备以及评审验收等方面为项目提供便利和支持，开放与项目实验研究相关的实验设备及设施；
3. 对项目的进度进行定期跟踪和把关，并配备了专业技术人员，在现场试验中进行工艺参数优化以适应规模化生产和应用。

(3) 陕西氢晨新材料科技有限公司是本项目的合作完成单位，公司在现场试验、产品推广、技术支持和人员配备等方面给予了大力的支持，确保了项目的完成并在实际应用方面取得了显著的成绩，其主要贡献如下：

1. 组织技术人员进行实验方案讨论，负责项目的现场管理、协调和监督等工作；
2. 在实验井、压裂设备以及产品推广等方面为项目提供便利和支持。

## 九、完成人合作关系说明

本项目由陕西科技大学牵头，联合中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司、西安交通大学和陕西氢晨新材料科技有限公司，共同参与了该项目的产品分子设计，结构性能表征、产品性能测试、生产线中试、放大及现场推广应用，主要集中在低渗透或超低渗透油藏提高采收率领域，具体涉及多功能压裂及暂堵体系、高强度堵水材料和高效微纳米化学驱油剂的材料设计、室内研究和现场应用，相互之间有着密切合作但分工各有不同，具体如下：

**第一完成人费贵强**教授负责提高采收率系列高性能化学品的构筑和产业化应用的全面协调，负责产品的分子设计、合成工艺的改进和确定

**第二完成人王晨**教授负责堵水剂和驱油剂的分子设计等基础研究，并参与产品中试放大，与生产企业对接产品工艺优化；

**第三完成人问晓勇**高级工程师负责在企业的中试、大试及规模化生产的总体协调和最终生产工艺的确定，同时在产品改进过程中根据结果将存在问题反馈至陕西科技大学进行进一步调整；

**第四完成人张瀚澜**高级工程师参与多功能压裂体系的产品试制与现场应用指导工作；

**第五完成人刘笑春**工程师参与多功能压裂及暂堵体系的产品现场应用的指导工作，并根据应用结果反馈调整实验方案和应用工艺；

**第六完成人贾玉琴**高级工程师负责对多功能压裂及暂堵体系的产品的放大生产提供指导，并参与现场应用指导；

**第七完成人张翔**高级工程师负责产品的应用性能表征和应测试，并分析产品测试结果和应用性能之间相关性，以此指导产品进一步改进；

**第八完成人白阳**副教授负责高强度堵水材料的应用基础研究和配方设计调整的指导工作；

**第九完成人代方方**副教授负责多功能压裂及暂堵体系的应用基础研究和配方设计调整

工作；

**第十完成人张康**参与高强度堵水材料的应用基础研究，并负责与企业直接对接，跟进该产品中试、大试，并结合结果再进行调整应用工艺参数；

**第十一完成人辛华**负责高效微纳米化学驱油剂的应用基础研究和配方设计调整的指导工作。

**第十二完成人杨晓武**参与高效微纳米化学驱油剂的应用基础研究，并负责与企业直接对接，跟进该产品中试、大试，并结合结果再进行调整应用工艺参数；

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	费贵强/1，王晨/2，杨晓武/12	2013.08	2020.12	一种星型磺酸基两性离子表面活性剂及其制备方法和应用	附件 2-2-1
2	产业合作	费贵强/1，问晓勇/3，张翔/7	2013.08	2020.12	安塞油田长 6 油藏表面活性剂驱油技术研究与应用	附件 2-1-1-3
3	产业合作	费贵强/1，刘笑春/5，贾玉琴/6，辛华/11	2013.03	2022.12	安塞油田表面活性剂驱油技术研究	附件 2-1-1-4
4	产业合作	代方方/9、张瀚澜/4、白阳/8，张康/10	2022.05	2022.12	碳酸盐储层酸化压裂液体系研发	附件 2-1-2-1
5	共同知识产权	张康/10，王晨/2，杨晓武/12	2020.01	2022.12	一种具有阴阳离子反转能力的 Bola 型表面活性剂及其制备方法	附件 1-1-3