

项目公示信息表

一、项目基本情况

奖 种	国家科技进步奖
项目名称	新型复相陶瓷改性关键技术及其在油气开采中的应用
完成单位	陕西科技大学, 金刚新材料股份有限公司, 能新科能源技术股份有限公司
完成人	朱建锋, 马建中, 费贵强, 任强, 方媛, 秦毅, 赵友谊, 张亚杰, 王海花, 吕斌
提名单位	中国轻工业联合会
提名单位意见	<p>该项目紧密围绕国家油气高效开采用新材料的重大需求, 立足自主创新, 历经 10 余年, 成功开发了新型复相陶瓷改性等关键技术, 破解了目前水力压力周期长、工艺复杂、效果不佳等瓶颈问题, 实现了页岩气等致密油气的高效低成本开发及老井的高效改造, 彻底改变了传统水力压裂工艺, 大幅提升了水力压裂效率。主要科技创新包括:</p> <p>(1) 发明了原位自生陶瓷第二相强韧化铝基可溶解材料及密封工具;</p> <p>(2) 发明了利用高铝粉煤灰及可溶性金属离子表面助烧结制备技术, 形成内低密-外高强结构的高强低密支撑剂新技术;</p> <p>(3) 发明了固体有机硼延时交联剂和有机钛交联剂及瓜胶-粘弹性表面活性剂复合低伤害压裂液体系;</p> <p>(4) 发明了兼顾渗吸与驱替双重作用的高分子/小分子表面活性剂复合驱油体系;</p> <p>(5) 发明了细乳液聚合法制备低粘、高强度水基树脂类堵剂关键技术, 有效改善了“裂缝封堵重复压裂改造工艺”的施工效果。</p> <p>本项目共发表学术论文 151 篇, 专著 4 部, 培养研究生 135 名, 拥有 67 项知识产权, 制定企业标准 3 项, 取得了显著的经济与社会效益, 为创新驱动发展做出了很好的示范引领效果。</p> <p>该项目技术难度大, 市场竞争力强, 成果转化程度高, 创造了显著的经济、社会及环境效益, 为我国致密油气的高效开采及能源安全提供了有力保障, 对油气开采的技术进步有重大推动作用。</p> <p>我单位认真审阅了该项目提名书全文, 确认全部材料真实有效。提名该项目为国家科技进步奖<u>二</u>等奖。</p>

二、项目简介

本项目归属轻工业科学技术中陶瓷技术领域。

水力压裂是非均质、多油层油田调整层间矛盾、平面矛盾，实现分层开采的重要措施，是低渗透油气井实现增产、增注技术的重要措施，也是对油层伤害解堵的有效方法，更是实现低渗透、低孔隙度、低丰度油气田经济开发的有效手段。但如何解决压裂工具在完成压裂任务后的高效去除、如何解决压裂支撑剂强度不足及有效输送、如何提高低风度高粘度致密油的开采、以及在老井改造中如何对废弃裂缝的有效封堵，是实现低成本、绿色环保、高效水力压裂的四大共性瓶颈问题，对我国实现页岩气等绿色能源的高效开发，实现能源安全及环境保护具有十分重要的战略意义。

该项目立足国家能源战略及经济发展需求，针对上述问题，在国家自然科学基金等项目支持下，历时 10 余年，成功开发了陶瓷改性的可溶解高强密封材料及工具、低密高强的“核壳型”新型陶瓷支撑剂及携砂技术、陶瓷改性的有机无机“混凝土”高强压裂堵剂等全套技术，破解了目前水力压裂周期长、工艺复杂、成本高等瓶颈问题，实现了页岩气等致密油气的高效低成本绿色开发。主要科技创新包括：（1）在密封方面，发明了原位自生陶瓷第二相强韧化铝基可溶解材料、熔盐保护低温制备技术及原位自生陶瓷涂层改性关键技术等，实现了溶解速度可调，适应井温范围宽，在完成压裂任务后随着井温回升能就地溶解，大幅提高了开采效率；（2）在支撑剂方面，发明了可溶性金属离子表面助烧制备内低密-外高强核壳结构的支撑剂新技术。主要性能指标与行业标准相比体积密度降低 8%、破碎率降低 60%、酸溶解度降低 37.5%；（3）在携砂液方面，发明了固体有机硼延时交联剂和有机钛交联剂及瓜胶-粘弹性表面活性剂复合低伤害压裂液体系，大幅度提高体系粘度，同时与延时交联剂复配体系破胶彻底，残渣含量低，解决了常规瓜胶压裂液低温破胶不彻底、低压返排困难、储层伤害大等难题；（4）发明了兼顾渗吸与驱替双重作用的高分子/小分子表面活性剂复合驱油体系，大幅提高原油采收率和降低含水率；（5）发明了“混凝土”型低粘、高强度有机无机堵剂关键技术，有效改善了“裂缝封堵重复压裂改造工艺”的施工效果，拓宽了可采储范围，实现了油田的持续增产。

项目获授权发明专利 67 件；发表论文 151 篇；出版著作 4 部；培养研究生 135 人，其中博士研究生 43 人；研究成果获中国轻工业联合会科学技术奖一等奖 1 项、陕西省科学技术奖一等奖 1 项。

上述技术在长庆油田等单位实现规模应用，并出口至美国、俄罗斯等发达国家。近三年，主要应用单位共新增销售额 32.58 亿元，新增利润 3.49 亿元，新增直接就业 1200 余人，创造了重大的经济、社会和环境效益，对油气行业技术进步和能源产业结构优化升级具有重大推动作用。

三、客观评价

1、项目验收意见

2013年10月8日，陕西延长研究院组织专家对项目进行了验收，验收意见如下：①复合表面活性剂耐盐性可达100000mg/L，耐二价离子可达40000100000mg/L以上；②复合表面活性剂体系具有良好的耐温性、抗剪切性、吸附稳定性，且在较宽pH值范围内具有良好的性能；③复合表面活性剂体系的界面张力在用量为0.2%以上时，界面张力可达到 10^{-2} - 10^{-3} mN/m；④复合表面活性剂体系与现场水具有良好的配伍性；⑤制备得到具有良好乳化稳定性、较低表界面张力的高分子表面活性剂，且与小分子表面活性剂具有良好的协同效应；⑥室内驱替结果显示：驱油剂在不同渗透率，浓度高于0.3%条件下采用现场油样和现场水进行驱替，采收率可提高10%以上。

2、国家科技情报部门评价

于2017年6月1日，依托教育部科技查工作站-陕西科技大学图书馆对本项目成果“纳米复相陶瓷的绿色制备及其协同改性关键技术”进行了科技查新，查新结论为：除项目委托方公开发表研究文献外，国内、国外均未见与其查新点内容完全相同的文献报道。

3、国家相关部门技术检测报告评价

序号	检测机构	核心性能指标	与国内外同技术产品性能对比年份	
1	长庆油田环境与节能监测评价中心	低密度陶粒（40-70目）破碎率（86MPa）≤10%	2014	通过对比表明该项目研发的压裂用材料及产品核心性能指标达到国际领先水平
2	天津市质量监督检验站第十五站	清水介质中可溶球溶解性能完全符合指标要求	2017	
3	西安交通大学	样品抗拉强度、塑性延伸强度均高于指标要求	2017	
4	国土资源部西安矿产资源监督检测中心	本项目开发的可溶材料完全溶解后所得溶解液“符合《中华人民共和国地表水排放标准》（GB3838-2002）”	2017	
5	国家安全生产监督管理总局化学品登记中心	化学品危险性分类：非危险化学品	2017	
6	中国石油大学（北京）岩石力学测试	堵剂粘接岩芯的强度达到6-8MPa、堵剂对于岩板缝隙具有良好的封堵作用	2015	
7	陕西省食品药品检验所	毒理学检测：对人畜接触无刺激性	2017	

4、重要科技奖励评价

序号	获奖项目名称	奖励名称	年份
1	纳米复相陶瓷的绿色制备及其协同改性关键技术	中国轻工业联合会科学技术奖一等奖	2017
2	高性能防水增强助剂的制备关键技术及其系列产品开发	陕西省科学技术奖一等奖	2011

5、产品用户评价

基于本项目发明的陶瓷改性的可溶解高强密封材料及工具、低密高强的新型陶瓷支撑剂及携砂技术、陶瓷改性的有机无机“混凝土”高强压裂堵剂等全套技术指标超过了国内外同类产品的要求，并成功应用于长庆油田分公司等国内多家企业，取得了显著的应用效果，获得了合作企业的高度认可：

(1) 长庆油田分公司机械制造总厂出具的《使用效果评价报告》中显示：“陕西科技大学材料科学与工程学院的可溶解压裂球的各项指标处于国内领先，达到了我公司的应用指标。2015年，在长庆油田分公司苏里格气田应用30口井，达到了设计要求，能够建立井下流体通道，实现快速返排，达到段间压力平衡，具有良好的应用效果，应用合格。为我公司提供了大量的技术支持，随后将逐渐推广应用。”

(2) 川庆钻探长庆井下技术作业公司出具的《使用效果评价报告》中显示：“我公司采购了陕西科技大学材料科学与工程学院研发的可溶球（ $\Phi 37.15-50.8$ mm）。2016年，在我公司承建的长庆油田分公司第一采气厂靖31-22H1井等5口井开展现场应用，压裂过程施工正常，返排中无卡球现象，返排出的可溶球表面完整，无形变，并具有较好的可溶性，排液效果较好。”

四、推广应用情况

该项目整体技术自 2004 年首先在中国石油长庆油田分公司油气工艺研究院进行孵化并开展规模生产应用，随后推广至中国石油长庆油田公司、金刚新材料股份有限公司、铜川秦瀚陶粒有限公司、西安三业精细化工有限责任公司、西咸新区沣东新城江涛环保新材料加工厂等 15 家单位，建成生产线 18 条。该项目研发的陶瓷改性高强可溶解密封材料，率先在国内实现产业化，成功应用于油气开采，极大提高了单井采收率，拓宽了可采储范围，实现了油田的持续增产，同时节约了大量水资源，减少了压裂返排液体的排放，对环境保护及水资源保护起到了良好的效果；轻质高强陶瓷支撑剂产品关键指标破碎率（5MPa）由 7%-8%降低至 4%-5%，质量明显提高，当年生产优质石油压裂支撑剂陶粒 1.5 万吨，已成功推广应用投入规模化生产；携砂液体系目前在延长油田和长庆油田已成功应用；表面活性剂驱油体系适用性广，自 2011 年起开始在长庆油田和延长油田部分区块实现应用；该项目研发的储层人工裂缝封堵剂，已成功在 12 口油井的“堵水重复压裂改造”施工过程中实现了现场应用，取得了预期增产效果，并已实现推广及产业化应用。同时，产品已远销美国、澳大利亚等国际市场，取得了良好的经济效益。

近三年，该项目主要完成单位和应用单位累计新增销售额 32.58 亿元，新增利润 3.49 亿元，培训技术骨干 200 余人，新增直接就业 1200 余人，创造了重大的经济、社会和环境效益，获得了合作企业的高度认可，对油气行业技术进步和产业结构优化升级具有重大推动作用。

表 2 主要应用单位情况表

应用单位名称	应用技术	应用的起止时间	应用单位联系人/电话	应用情况
铜川秦瀚陶粒有限责任公司	压裂支撑剂	2015-至今	谢秋波 17709190000	年产 10 万吨石油压裂支撑剂陶粒供应长庆油田及延长石油
长庆油田公司第一采油厂	安塞油田表面活性剂驱油技术	2014-至今	杨剑 18502981650	良好，达到预期效果，总体提高采收率 8%以上
中国石油长庆油田公司	堵剂	2015-至今	何衡 029-86503116	裂缝封堵重复压裂改造施工

五、主要知识产权证明目录（不超过 10 件）

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	专利有效状态
发明专利	一种高强可溶解铝合金材料的制备方法	中国	ZL201410819770.9	2015.04.01	2350562	陕西科技大学	朱建锋, 苟永妮, 赵倩楠, 杨波, 张佩, 王芬, 杨海波	有效专利
发明专利	一种含氟聚丙烯酸酯/双尺寸纳米 SiO ₂ 复合乳液的制备方法	中国	ZL201210465296.5	2014.04.16	1382033	陕西科技大学	马建中, 鲁娟, 鲍艳, 张晓艳, 郑莹	有效专利
发明专利	一种硅酸钠表面助烧结的轻质陶粒及其制备方法	中国	ZL201410514690.2	2016.02.10	1950245	陕西科技大学	任强, 魏腾跃, 武秀兰, 何选盟, 王保兴, 霍哲哲	有效专利
发明专利	一种制氢铝合金的制备方法	中国	ZL201410757586.6	2016.10.05	2257096	陕西科技大学	朱建锋, 呼丹, 罗灿, 赵旭, 胡凡凡, 任泽, 王子璇, 曹冬弛	有效专利
发明专利	一种氯化钙表面助烧结的轻质陶粒及其制备方法	中国	ZL201410514756.8	2016.05.25	2081187	陕西科技大学	任强, 王保兴, 武秀兰, 何选盟, 霍哲哲, 魏腾跃	有效专利
发明专利	一种 Al ₂ O ₃ /TiAl 金属间化合物复合材料	中国	ZL201110225972.7	2012.11.14	1077632	陕西科技大学	朱建锋, 杨文文, 王芬, 周勇, 杨海波, 林营, 齐国权	有效专利
发明专利	一种二次纤维纸用表面涂布增强剂的制备方法	中国	ZL200910023765.6	2011.02.09	738629	陕西科技大学	费贵强, 沈一丁, 王海花, 李小瑞, 李刚辉, 牟静	有效专利
发明专利	两性高分子基 AKD 乳液的制备方法	中国	ZL200910023771.1	2010.12.29	720829	陕西科技大学	费贵强, 沈一丁, 王海花, 李小瑞, 李刚辉, 牟静, 李刚辉, 牟静	有效专利
发明专利	一种表面施胶增强剂的制备方法	中国	ZL200810018396.7	2010.07.28	653248	陕西科技大学	王海花, 沈一丁, 费贵强, 李小瑞	有效专利
发明专利	环保型聚丙烯酸酯涂料印花粘合剂的制备方法	中国	ZL201210083148.7	2014.4.23	773700	陕西科技大学	高党鸽, 马建中, 张文博, 吕斌, 陈琛, 李学柯	有效专利

六、主要完成人情况表

姓名	朱建锋	排名	第一	技术职称	教授
工作单位	陕西科技大学			行政职务	院长
完成单位	陕西科技大学				

对本项目技术创造性贡献：

项目总负责人，负责项目申报、总体方案制定，组织并参与试验研究和技术推广，对该项目中的第 1~4 项科技创新做出了创造性贡献。发明了自放热原位反应合成高强度、高硬度、微纳米陶瓷相对现有可溶材料进行强化，并开发了不同温度油气井要求、不同压裂环境需求的高强度可溶解材料，实现了可调的溶解速度。投入工作量占本人总工作量的 70%。发表相关论文 75 篇，获得国家发明专利 23 件，是核心发明专利 ZL201410819770.9、ZL201410757586.6、ZL200610041889.3 等 3 件专利的第一发明人。

姓名	马建中	排名	第二	技术职称	教授
工作单位	陕西科技大学			行政职务	校长
完成单位	陕西科技大学				

对本项目技术创造性贡献:

马建中是本项目主要研究者之一，主要负责项目的统筹安排、整个项目实验方案的设计与实验结果的分析总结。对该项目中的第 5 项科技创新做出了创造性贡献。提出通过细乳液聚合法制备低粘、高强度水基树脂类堵剂，并通过对堵剂体系构效关系的调控，优化其应用效果，实现大量低产和废弃中高含水老油井的复产以及持续稳产。

姓名	费贵强	排名	第三	技术职称	教授
工作单位	陕西科技大学			行政职务	副院长
完成单位	陕西科技大学				

对本项目技术创造性贡献：

项目主要完成人，组织实施技术中试、小批量试产与规模化生产，对该项目中的第3、4项科技创新做出了创造性贡献。发明了超低界面张力表面活性剂驱油体系，并分析了其室内驱替效果；合成了高效具有表面活性高分子聚合物，并将之与小分子表面活性剂复合得到具有良好调驱效果的驱油体系，大幅度提高了驱替效果；制备了具有疏水缔合效果的瓜胶改性物、聚丙烯酰胺等聚合物，并合成了相应的交联剂，提高了凝胶的携砂性能，同时减少了返排后残渣。

姓名	任强	排名	第四	技术职称	教授
工作单位	陕西科技大学			行政职务	
完成单位	陕西科技大学				

对本项目技术创造性贡献：

项目主要完成人，参与项目申报、技术中试，开展具体实验研究，对该项目中的第 2 项科技创新做出了创造性贡献。发明了利用高铝粉煤灰制备高强度低密度石油压裂支撑剂陶粒技术及多种可溶性金属离子表面助烧结的轻质陶粒的制备技术，实现了对材料强度与密度进行调控并优化分布，形成内低密-外高强结构，进而实现了陶粒材料的高强低密。

姓名	方媛	排名	第五	技术职称	讲师
工作单位	陕西科技大学			行政职务	
完成单位	陕西科技大学				

对本项目技术创造性贡献：

项目主要完成人，参与项目申报并开展实验研究，负责项目的环境影响评价，对该项目中的第 1 项科技创新做出了创造性贡献。发明了借助铝热放热反应原位形成高强度、高硬度、纳米级陶瓷颗粒增强可溶材料技术，该技术克服了传统外加增强相分布不均匀、界面反应剧烈、结合不牢靠的缺点，极大提高了可溶材料的抗拉强度。

姓名	秦毅	排名	第六	技术职称	副教授
工作单位	陕西科技大学			行政职务	
完成单位	陕西科技大学				

对本项目技术创造性贡献：

项目主要完成人，参与项目申报、技术中试，开展具体实验研究，对该项目中的第 1 项科技创新做出了创造性贡献。发明了可溶材料表面预处理及原位氧化形成陶瓷涂层技术，充分发挥陶瓷涂层的高硬度、高强度解决不耐冲刷等问题，利用不同温度的高分子封孔材料，形成可控的溶解涂层，大幅拓展了该可溶材料的适用范围。

姓名	赵友谊	排名	第七	技术职称	高级工程师
工作单位	金刚新材料股份有限公司			行政职务	
完成单位	金刚新材料股份有限公司				

对本项目技术创造性贡献：

项目主要完成人及技术产业化负责人，组织实施技术中试、小批量试产与规模化生产，对该项目中的第 2 项科技创新做出了创造性贡献。在以高铝矾土为原料制备石油压裂支撑剂陶粒配料的基础上，大量引入氧化铝含量相对较低的工业废弃物高铝粉煤灰和高岭土代替高铝矾土，制备出性能优异的高强度低密度石油压裂支撑剂陶粒。

姓名	张亚杰	排名	第八	技术职称	工程师
工作单位	能新科能源技术股份有限公司			行政职务	
完成单位	能新科能源技术股份有限公司				

对本项目技术创造性贡献：

项目主要完成人及技术产业化负责人，组织实施技术中试、小批量试产与规模化生产，对该项目中的第 5 项科技创新做出了创造性贡献。通过对堵剂体系构效关系的调控，实现其与表面有机改性的陶瓷类支撑材料的良好相容，二者形成有机无机复合“混凝土”结构，从而达到高效封堵储层裂缝，改善“裂缝封堵重复压裂改造工艺”施工效果，提高单井采收率，拓宽可采储范围，实现大量低产和废弃中高含水老油井的复产以及持续稳产的目的。

姓名	王海花	排名	第九	技术职称	教授
工作单位	陕西科技大学			行政职务	
完成单位	陕西科技大学				

对本项目技术创造性贡献:

项目主要研究者之一，组织实施技术中试、小批量试产与规模化生产，对该项目中的第3、4项科技创新做出了创造性贡献。通过采用葡萄糖、甘油、柠檬酸等配体制备得到了具有交联可控性能的有机硼交联剂，由该交联剂制备的压裂液具有良好的耐高温性、延迟交联性能和剪切稳定性，并且该压裂液破胶彻底，残渣含量低，适用于超低渗透油气田。

姓名	吕斌	排名	第十	技术职称	副教授
工作单位	陕西科技大学			行政职务	副院长
完成单位	陕西科技大学				

对本项目技术创造性贡献：

项目主要研究者之一，主要负责项目的统筹安排、整个项目实验方案的设计与实验结果的分析总结，对该项目中的第 5 项科技创新做出了创造性贡献。主要负责中高含水油井压裂用高强度堵剂的室内合成、小试、中试及放大生产过程，并带领项目组成员进入本项目的服务地点长庆油田所属区域开展堵剂的现场应用试验，与油气工艺研究院以及油田技术人员进行探讨，充分考虑油井的实际情况和堵剂的特性，提出合理的试验方案，通过现场的实地检测，收集数据，分析堵剂的应用效果。

七、主要完成单位及创新推广贡献

主要完成单位情况表

单位名称	陕西科技大学
排 名	第一
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献	
<p>陕西科技大学是国家“中西部高校基础能力建设工程”建设高校，是“十二五”期间陕西省重点建设的高水平大学，是陕西省人民政府与中国轻工业联合会、中国轻工集团公司共同建设的重点高校。学校重视科技创新与成果转化，发明专利授权量连续 5 年居全国高校前 40 位、陕西省属高校第 1 位。材料学科具有较强的综合实力，拥有省部级重点学科 2 个，中省共建重点实验室 3 个，陕西省 13115 工程中心 3 个。</p> <p>作为本项目的主要依托单位，在项目的实施过程中负责项目的支持、管理和监督等工作。自本项目立项以来，作为项目的第一承担单位，在人力、物力、财力等方面给予了全面的支持；课题组所在学院—材料科学与工程学院也在人员、工作安排、研究条件、实验设备、分析检测、场地等方面给予了大力的支持，确保了项目的按时完成。</p>	

单位名称	金刚新材料股份有限公司
排 名	第二
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献	
<p>金刚新材料股份有限公司是一家研发、生产和销售石油压裂支撑剂、微晶耐磨氧化铝陶瓷制品、高温α氧化铝粉体的高新技术企业，是中石油、中石化、中海油及延长石油一级入网供应商。先后建立了山东省环保陶瓷材料工程实验室、山东省环保陶瓷工程技术研究中心、山东省企业技术中心，形成了“一室两中心”的创新平台体系，公司拥有一批先进的陶瓷材料性能试验、测试以及分析设备，配备有国际先进的德国蔡司扫描电子显微镜、英国马尔文激光粒度分析仪、日本理学 X 射线衍射仪、短期导流能力模拟装置、燃气高温梭式窑等试验仪器、设备，拥有行业内配备最全、规模最大的压裂支撑剂、氧化铝特种陶瓷产品研发、实验、检测、中试装备，现有职工 670 人，研发人员 93 人，拥有发明专利 22 项。公司重视科学研究，以科技为先导促进企业发展。多个产品开发项目获得国家火炬计划、国家重点新产品、省级新兴产业和重点行业发展专项资金、省级自主创新成果转化重大专项等项目资金支持。该单位为本项目的第四完成单位，是该项目技术应用的主要贡献者之一，提供了完成项目所需条件，保证了项目按期实施和顺利完成。</p> <p>该单位与第一完成单位紧密合作，开发了支撑剂生产设备，建设投产了 8 条生产线，实现了陶粒支撑剂的自动化清洁生产。</p>	

单位名称	能新科能源技术股份有限公司
排 名	第三
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献	
<p>能新科能源技术股份有限公司是技术领先的非常规油气勘探开发领域产品和服务提供商，致力于为油公司、油服公司等提供有竞争力的单项产品与服务以及一体化解决方案，持续帮助客户成功，为客户创造最大价值。能新科的产品和解决方案已经广泛应用于北美主要非常规油气区域，目前，已开始有选择的进入中国和澳大利亚等国际市场。公司自 2010 年进入中国油田服务业务后，公司业务不断扩展，逐步发展成为国内具有竞争力的非常规油气领域技术服务提供商，业务涵盖煤层气、致密油气和页岩 油气等领域，为国有油公司和所属钻探公司、国际和独立油公司以及新进入勘探开发领域作业者提供包括钻井、完井、增产和生产等方面的一体化解决方案和产品。公司中国总部设立在北京，目前在主要油田设有办事处和作业基地，并分属于西南、东部、西北和新疆 4 个区域，同时拥有 2 个制造中心。</p> <p>作为本项目的主要合作单位，是该项目的主要贡献者之一。在项目的实施过程中负责项目的支持、管理和监督等工作。自本项目立项以来，作为项目的主要完成单位，在人力、物力、财力等方面给予了全面的支持；二级单位在人员、工作安排、研究条件、实验设备、分析检测、场地等方面给予了大力的支持，确保了项目的按时完成，尤其是在产品设计与成形方面做出了很大贡献。</p>	

八、完成人合作关系说明（含完成人合作关系情况汇总表）

项目主要完成人朱建锋，马建中，费贵强，任强，方媛，秦毅，赵友谊，张亚杰，王海花，吕斌在国家自然科学基金等多项纵横向课题中分工合作，均直接参加了该项目并做出了重要的贡献。主要完成人朱建锋为本项目负责人，为陕西科技大学教师，负责项目申报、总体方案制定，组织并参与试验研究和技术推广。主要完成人马建中是项目核心成员，是多项发明专利的主要发明人。主要完成人费贵强、王海花是本项目多篇论文的主要作者，对该项目中固体有机硼延时交联剂和有机钛交联剂及瓜胶-粘弹性表面活性剂复合低伤害压裂液制备技术做出了创造性贡献。主要完成人方媛、秦毅参与指导博士和硕士研究生，参与制定企业标准。主要完成人任强是本项目多篇论文的主要作者，是多项发明专利的主要发明人。主要完成人张亚杰为能新科能源技术股份有限公司技术负责人，组织实施技术中试、小批量试产与规模化生产，已与陕西科技大学进行长期合作。主要完成人吕斌参与项目实验研究和理论分析，是本项目多篇论文的主要作者。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者	合作时间	合作成果	备注
1	共同研发	费贵强、王海花	2007.01-至今	“固体有机硼延时交联剂和有机钛交联剂及瓜胶-粘弹性表面活性剂复合低伤害压裂液制备技术”	
2	共同研发	马建中、吕斌、高党鸽、张文博	2007.01-至今	发明专利《环保型聚丙烯酸酯涂料印花粘合剂的制备方法》	
3	共同参与制订标准规范	朱建锋、方媛、秦毅	2007.01-至今	陕西鑫汇新能源科技开发有限公司企业标准《聚酯313》、《系列可溶解铝合金产品》	
4	共同研发	任强、武秀兰、何选盟	2007.01-至今	发明专利《一种硅酸钠表面助烧结的轻质陶粒及其制备方法》、《一种氯化钙表面助烧结的轻质陶粒及其制备方法》	
5	产业合作	朱建锋、张亚杰	2007.01-至今	研发合同《高强可溶解材料研发》	