

附件：

## 项目 1

一、项目名称：钼精矿加压氧化湿法冶金新技术

二、提名者及提名意见：

提名者：陕西省科学技术厅

提名意见：

针对我国及陕西省大范围的低品位钼精矿、含铼钼精矿等，研究开发出绿色节能的加压氧化钼精矿湿法冶金新工艺，大幅提高钼资源的综合回收率，避免环境污染，并重点对伴生铼金属进行高效综合回收，形成具有自主知识产权的核心技术。加压氧化工艺提升钼精矿氧化率达 99% 以上，钼回收率大于 98%。含铼钼精矿中铼的浸出率接近 100%，经分离提纯后铼的回收率达到 95%。工艺解决了钼精矿的氧化率问题，氧化过程钼基本无损失。建立了针对低品位复杂钼精矿的湿法冶金示范项目，为我国高效利用钼资源和综合回收提供技术支撑。通过自主研发，突破关键技术瓶颈，实现对钼冶炼企业的成果转化，制备出质量稳定的批量化产品。对不同品位的难处理钼精矿实现高回收率、高氧化率加工，保证钼冶金领域的迫切需求，产生了重要的社会效益和良好的经济效益，其技术成果对行业技术进步具有重大的推动作用。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介：

针对陕西省大范围的低品位钼精矿、含铼钼精矿及焙烧工业氧化钼，研究开发出钼精矿加压氧化新工艺，大幅提高钼资源的综合回收率，重点对伴生铼金属进行高效回收，避免环境污染，形成具有自主知识产权的核心技术，建立针对低品位复杂钼精矿的湿法冶金示范项目，为我国高效综合利用钼资源提供技术支撑。

本项目在以上需求背景之上，开展钼精矿、低品位钼精矿、高铼钼精矿、焙烧工业氧化钼的湿法冶金新工艺研究，整体思路是通过加压氧化这一湿法冶金技术，在高温高压下对钼精矿进行脱硫氧化，将钼精矿中的  $\text{MoS}_2$  转化为  $\text{MoO}_3$  和硫酸，其他主要的硫化矿物转化为硫酸盐进入溶液，其中 85% 以上的钼以固态  $\text{MoO}_3$  的形态从溶液中析出，经净化，形成高质量的工业氧化钼；进入溶液的钼通过溶剂萃取，形成钼酸铵。新工艺解决现有火法氧化焙烧工艺存在的氧化钼产品质量低、钼转化率低、

资源综合回收率低等问题；解决伴生稀贵金属铈随烟气挥发，需要从烟道灰中回收，铈回收率低，造成资源浪费的问题；解决焙烧过程中产生大量低浓度  $\text{SO}_2$ （浓度 2% 左右），无法直接制酸，直接排放造成严重的环境污染问题。

具体创新成果如下：采用湿法冶金技术通过小试和扩大试验研究，获得中性钼精矿加压氧化工艺，使低品位钼精矿、含铈钼精矿和焙烧钼精矿近完全氧化，钼精矿氧化率达到 99% 以上，钼回收率大于 98%；含铈钼精矿铈浸出率接近 100%，经分离提纯后铈回收率达到 95%。与我国现在主要采用的火法焙烧氧化钼精矿工艺相比，该工艺具有钼氧化率高、可将低品位钼精矿氧化为高质量氧化钼、以高回收率回收伴生的铈、无硫氧化物排放等技术先进性。与国外同类技术相比，技术指标相当。该工艺在提高钼回收率基础上获得高质量三氧化钼，同时将传统焙烧工艺难回收的有价金属铈等富集并回收，提高钼资源回收利用率。全流程可以做到无废气、废水、废物排放。

通过小试和扩大试验研究，获得低品位钼精矿、高铈钼精矿、焙烧工业氧化钼的湿法冶金新工艺。本项目研制的加压氧化钼精矿新工艺钼精矿氧化率提高了 1 个百分点，铈回收率提高 20 个百分点，钼回收率提高 3 个百分点，无废气、废水、废物排放，对于促进钼冶金行业技术升级及钼资源的高效综合利用意义重大。

创新研制的 POX 钼精矿加压氧化新工艺，共获授权专利 3 项，发表文章 4 篇，近三年应用单位使用本技术产生经济效益总计突破 10 亿元。

新工艺应用于钼冶金行业，不仅适合由低品位钼精矿生产工业氧化钼，也适用于高品位钼精矿、含铈钼精矿的氧化，对促进钼冶金行业技术升级及钼资源的高效综合利用意义重大。工艺应用于钼冶金行业，产生了重要的社会效益和良好的经济效益，其技术成果对行业技术进步具有重大的推动作用。

#### 四、客观评价：

##### 1、与国内外相关技术的比较

本项目研制的中性钼精矿加压氧化工艺，85% 以上的钼以可直接出售的工业氧化钼形式产出，15% 左右的钼以钼酸根的形式，100% 的铈以铈酸根形式进入浸出液中，再经萃取或离子交换提取制备钼酸铵及铈酸铵产品，大大缩短、简化了钼冶炼加工的工艺流程；可以钼品位 20~40% 的低品位钼精矿或钼浮选中间产品为原料生产金属杂质含量极低的高溶氧化钼。工艺钼氧化率大于 99%，与国外先进技术水平相当。该工艺对钼精矿质量要求低，可大幅提高钼浮选、钼氧化阶段回收率，钼回收率比当前传统火法焙烧工艺提高 1.5 个百分点以上，铈回收率提高 20 个百分点以上。

##### 2、评审与鉴定结论(摘录)

省项目“钼精矿加压氧化湿法冶金新技术”验收结论：通过对加压氧化湿法冶金技术的研究和扩大试验，获得了不同类型钼精矿的加压氧化工艺，使低品位钼精矿、含铼钼精矿和回转窑法焙烧钼精矿近完全氧化，解决了钼精矿的氧化率问题，此过程金属钼基本无损失。采用加压氧化工艺，钼精矿氧化率可达 99%以上，钼回收率大于 98%。含铼钼精矿中铼的浸出率接近 100%，经分离提纯后铼的回收率达到 95%。

省项目“加压氧化钼精矿新工艺研究”验收结论：通过对加压氧化反应釜的设计，研制出了适合钼精矿加压氧化的反应设备。得到了低品位钼精矿加压氧化的生产工艺，采用加压氧化工艺比普通焙烧方法获得的氧化钼品位提高约 8 个百分点。钼精矿加压氧化的氧化率达到 99.37%，钼回收率达到 99.72%，从钼精矿到制成钼酸铵，钼的总回收率达到 97.43%。

### 3、应用评价

中核沽源铀业有限责任公司应用评价：中核沽源铀业有限责任公司与西北有色金属研究院就西北有色金属研究院研制的钼精矿加压氧化湿法冶金新技术达成合作协议，获得该院所拥有的两项发明专利的使用权，并委托该院进行含杂钼精矿加压氧化高效综合回收利用技术研究工作。

通过对四种钼精矿进行系统的加压氧化及浸出液综合回收技术研究工作。获得了针对钼精矿具有广泛适用性、技术指标稳定的加压氧化及浸出液中综合回收工艺流程及技术参数。钼精矿采用加压氧化工艺进行氧化，钼氧化率大于 98.5%，所得氧化钼产品达到高溶氧化钼产品国标要求。浸出液采用萃取——硫化沉淀工艺进行综合回收，所得产品为四钼酸铵、高铼酸铵及铜的硫化物。采用加压氧化工艺进行钼精矿氧化及伴生元素综合回收，最终可获得钼回收率大于 98%，铼回收率大于 90%，铜回收率大于 99%的技术指标。萃余液满足生产回用要求。该工艺所获得钼氧化率、钼回收率及伴生有价元素回收率均高于火法焙烧工艺。工艺流程短、无污染物排放。

我公司拟采用该工艺进行钼精矿加压氧化工业生产，兴建处理量为 10000t/a 的钼精矿加压氧化生产线。预期年可创造产值约 15 亿元，创造经济效益 1.5 亿元。

陕西福仕德钼业有限公司、西安瑞德凡新材料科技有限公司对现有钼精矿氧化及钼酸铵制备生产线进行升级改造，采用钼精矿加压氧化技术生产高溶氧化钼及钼酸铵产品，西北有色金属研究院提供技术支持，已累计处理高铜含杂钼精矿 11000 吨，生产高溶氧化钼 7000 吨，一级品四钼酸铵 1200 吨，铼酸铵 2.5 吨，硫化铜沉淀物 300 吨。累计创造产值约 10.6 亿元。

上述单位生产规模达产后，将逐渐改变我国钼精矿生产质量要求及工艺。降低对钼精矿的质量要求，大幅提高钼浮选回收率及冶金回收率。钼矿石中伴生的有价金属元素浮选回收率亦可大幅提高。

## 五、应用情况

西北有色金属研究院完成钼精矿加压氧化工艺的实验研究后，依托西安瑞德凡新材料有限公司、陕西福仕德钼业有限公司现有钼精矿氧化及钼酸铵制备生产线进行升级改造。上述单位提供钼精矿，采用钼精矿加压氧化技术生产高溶氧化钼及钼酸铵产品，西北有色金属研究院提供技术支持，已累计处理高铜含杂钼精矿 11000 吨，生产高溶氧化钼 7000 吨，一级品四钼酸铵 1200 吨，铈酸铵 2.5 吨，硫化铜沉淀物 300 吨。累计创造产值约 10.6 亿元。2022 年，与中核沽源铀业有限公司签订专利授权使用协议，依托西北有色金属研究院所掌握的钼精矿加压氧化技术，建设年处理钼精矿 2000 吨工业试验生产线，并计划建设年处理钼精矿 10000 吨工业生产线。上述单位生产规模达产后，将逐渐改变我国钼精矿生产质量要求及工艺。工艺降低对钼精矿的质量要求，大幅提高钼浮选回收率及冶金回收率。钼矿石中伴生的有价金属元素浮选回收率亦可大幅提高。

## 六、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	一种加压氧化分离低品位钼精矿中钼、铜和铈的方法	中国	201610493552.X	2018.08.31	3054848	西北有色金属研究院	蒋丽娟 李来平 曹亮 刘燕 李延超 杨健
2	发明专利	一种由钼精矿生产工业氧化钼的方法	中国	201010259574.2	2012.07.04	990499	西北有色金属研究院	蒋丽娟 李来平 张新 梁静 吴贤
3	实用新型专利	一种钼湿法冶金氧压氧化反应装置	中国	200920033714.7	2010.03.03	1372694	西北有色金属研究院	李来平 梁静 蒋丽娟 张新 吴贤 张雄康

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
蒋丽娟	1		正高	西北有色金属研究院	西北有色金属研究院	项目总负责人，项目总体方案制定，组织实施完成钼精矿加压氧化技术开发及推广应用，获多项技术发明专利授权。
曹亮	2		高工	西北有色金属研究院	西北有色金属研究院	主要研发人员，参与全部实验研究，承担加压氧化及萃取工艺工程化工艺研究、分析检测，对工艺开发及推广应用起到关键作用。
梁静	3		正高	西北有色金属研究院	西北有色金属研究院	项目主要完成人，参与项目实验研究及工程化研究，主要负责各种实验用加压氧化、放大加压氧化设备，工程化加压氧化设备的优化改进，高压釜调研、设计、改进、设备制造、设备调试等环节，对工艺的开发做出重要贡献。
张新	4		高工	西北有色金属研究院	西北有色金属研究院	项目的主要完成人，参与工全部研究内容的具体实施，承担部分工艺技术开发及技术文件的撰写，对工艺的质量控制做出重要贡献，
刘燕	5		高工	西北有色金属研究院	西北有色金属研究院	参与了项目钼精矿加压氧化、溶剂萃取全部研究内容的具体实施，承担技术控制和部分实验数据的记录整理，对工艺的开发做出重要贡献。
林小辉	6		高工	西北有色金属研究院	西北有色金属研究院	参与了部分实验研究工作，参与项目工程化生产的工艺技术及质量稳定研发工作，承担实验样品的取样、分析检测等。对工艺的开发做出重要贡

				院	院	献。
李来平	7		正高	西北 有色 金属 研究 院	西北 有色 金属 研究 院	项目主要完成人，参与项目的策划，负责项目总体方案的工艺指导；参与项目市场推广和应用工作。对工艺的开发做出重要贡献。
王国栋	8		教授 级高 工	西北 有色 金属 研究 院	西北 有色 金属 研究 院	项目主要完成人，参与了项目的策划，负责工艺计划的实施。参与项目市场推广。对工艺的开发做出重要贡献。

#### 八、主要完成单位及创新推广贡献：

本项目由西北有色金属研究院完成。

在项目实施过程中，西北有色金属研究院在涉及陕西洛南地区部分钼矿山，处理钼精矿的氧化率在 10%~15%之间，原品位 0.1%左右时，钼回收率为 78%~80%，钼精矿品位 40%~45%的特点，开发了从氧化率高的低品位钼精矿生产钼酸铵或纯三氧化钼的 POX 新工艺。项目团队从 2008 年开始，在研究院预研课题、省“13115”重大专项、省科技统筹创新计划等项目支持下，历经十几年，创新研制出钼精矿加压氧化新工艺并成功应用；不断完善和优化其氧化、萃取等工艺技术，使该工艺实现稳定批量化生产。

研究开发出绿色环保的钼精矿湿法冶金氧化新工艺，降低钼冶炼工艺对钼精矿质量的要求，提高钼冶炼产品质量。提高钼冶炼钼及伴生稀散金属铼的回收率，大幅提高钼资源的综合利用率。缩短钼冶炼工艺流程，不产生烟气及粉尘污染。形成具有自主知识产权的核心技术，建立针对低品位复杂钼精矿的湿法冶金示范项目，为我国高效综合回收利用钼资源提供技术支撑。实现钼精矿加压氧化工艺的工程化应用。

#### 九、完成人合作关系说明：

本项目由西北有色金属研究院完成。蒋丽娟教授长期在西北有色金属研究院从事钼精矿的湿法冶金新技术的开发研究及推广应用工作。作为技术骨干带领团队完成了钼精矿、低品位钼精矿、含铼钼精矿加压氧化新工艺从实验室到工程化的技术研发工作，取得了重要的技术创新和应用推广成绩。

1) 该项目第 1 完成人蒋丽娟作为项目主要负责人，完成陕西省陕西省科技统筹创新工程计划项目“钼精矿加压氧化湿法冶金新技术”和陕西省“13115”科技创新工程重大科技专项计划项目“加压氧化低品位钼精矿新工艺研究”，项目其他完成人为曹亮、梁静、张新、刘燕、林小辉、李来平、王国栋。

2) 项目完成人蒋丽娟、李来平、曹亮、刘燕、张新共同完成了“一种加压氧化分离低品位钼精矿中钼、铜和铼的方法”的技术发明工作。

3) 项目完成人蒋丽娟、李来平、张新、梁静共同完成了“一种由钼精矿生产工业氧化钼的方法”的技术发明工作。

4) 项目完成人李来平、梁静、蒋丽娟、张新共同完成了“一种钼湿法冶金氧化反应装置”的技术发明工作。

5) 项目第 1 完成人共获得授权专利 3 项，相关人员参与 3 项。其中第 2 完成人曹亮合作 1 项，第 3 完成人梁静合作 2 项，第 4 完成人张新合作 3 项，第 5 完成人刘燕合作 1 项，第 7 完成人林小辉合作 3 项。

## 项目二

### 一、项目名称：特殊用途高强钛合金无缝管材关键技术与应用

### 二、提名者及提名意见

提名者：陕西省科学技术厅。

提名意见：

为满足我国舰船通信科技工程应用及高强钛合金低成本化要求，西北有色金属研究院和西部钛业有限责任公司开发出了天线用高强、高精度 $\beta$ 钛合金管材，低成本短流程高强钛合金管材。从管材选材、铸锭熔炼、热加工、冷加工以及热处理等方面，进行了管材工艺技术及生产批量化应用研究，提高了管材成品率、降低了生产成本，为节约我国稀有金属资源以及环保节能做出了较大贡献。高强 $\beta$ 钛合金管材为新一代舰艇提供了关键材料，提高了我国舰船通讯系统制造选材的自主保障。低成本短流程高强钛合金管材的“斜轧穿孔、热连轧+定径轧”加工技术，缩短了钛合金加工周期、降低了生产成本，满足了高强钛合金低成本化的需求。合金的自主研发，管材制备关键技术瓶颈的突破，使得高强钛合金管材在多型号国家重要工程中批量生产应用。本项目具有重要的社会效益和良好的经济效益，其技术成果对行业科技进步具有很好的推动作用。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

### 三、项目简介

目前舰船使用的两相 TC10 钛合金管材，强度富余量不大、冷加工工艺性能不足，加工周期长等缺点，难以满足使用要求。钛合金中含  $\beta$  相稳定元素较多的高强钛合金，可进行热处理强化，而且具有较好的冷热加工性能，可作为承受一定压力的海水腐蚀及冲击疲劳载荷下的结构件，因此，开发一种新型高强可冷加工的  $\beta$  钛合金管材，对于提升舰船制造水平，满足航海工程的不断需求具有重要的意义。针对 TC10 合金使用强度无法满足大型舰船通信高航速、高强度 ( $\geq 1250\text{MPa}$ ) 的需求，迫切需要开发新型高强高塑钛合金及相匹配的管材制备技术。同时，高强钛合金管材普遍存在制备困难，工艺复杂、生产成本高等问题，急需开发高强钛合金管材低成本短流程的加工方法，对降低强钛合金管材的生产成本以扩大其推广应用具有重要意义。

(1) 针对新型高强高塑钛合金的开发需求，基于固溶强化原理，从合金组成元素协同作用角度，开发出高强多元素 $\beta$ 钛合金，研发出高强度高塑性 $\beta$ 钛合金体系（典型合金 Ti-B25、Ti-1300）。通过采用多火次逐级降温径向锻造、高强钛合金热挤压技术、两辊开坯及多辊精轧冷成型技术、三点压力弯曲冷时效蠕变多级矫直技术及精密机加工的多项关键技术，制备出性能优异的高强、高塑、高精度钛合金天线管材，并实现了新型高强高塑钛合金管材批量供货。本项目研制的高强钛合金管材具体指



标如下表：

类 别		$R_m(\text{Mpa})$	$R_{p0.2}(\text{Mpa})$	$A\%$	$Z\%$	T
Ti-B25 合金管材	指标	$\geq 1250$	$\geq 1080$	$\geq 12$	$\geq 30$	i-B 25 合 金 室
	实测	1299	1227.5	14.25	52.0	
Ti-1300 合金管材	指标	$\geq 1200$	$\geq 1080$	$\geq 12$	$\geq 25$	
	实测	1226.5	1151	13.25	33.5	
TC10 合金管材	实测	1175.5	1136	17.25	44.0	

温抗拉强度  $R_m \geq 1299\text{MPa}$ 、屈服强度  $R_{p0.2} \geq 1227.5\text{MPa}$ ，分别比 TC10 提高了 9.5%和 7.5%，延伸率和断面收缩率满足指标要求，对于舰船的提速具有重要意义。

(2) 针对高强钛合金管材加工工艺复杂、制备成本高的问题，采用电子束冷床炉（EB 炉）精炼技术与热连轧工艺（斜轧穿孔、热连轧+定径轧）相结合的短流程方式，突破高强钛合金管材制备的技术瓶颈，实现了高强钛合金管材的短流程低成本制备，得到的高强钛合金管材性能优异，综合生产成本降低了 40%以上。

本项目开发了 TC18 钛合金管材低成本短流程制备技术，采用 EB 炉一次熔炼 TC18 圆锭（直径为  $\Phi 160\text{mm} \sim \Phi 320\text{mm}$ ，长度为 3200mm）。通过将 EB 炉熔炼圆锭直接连续进行斜轧穿孔、热连轧+定径轧制得到高强钛合金管材，突破了高强钛合金管材连续制备过程中尺寸精度、显微组织和力学性能综合匹配控制的关键技术，制备出的高强度钛合金管材相对于传统工艺成本降低了 40%以上。TC18 钛合金管材室温抗拉强度  $R_m \geq 1100\text{MPa}$ ，屈服强度  $R_{p0.2} \geq 1000\text{MPa}$ ，断后伸长率  $A \geq 12\%$ 。制备的高强 TC18 钛合金无缝管材的长度达 24000mm~38000mm，满足了超长高强钛合金无缝管材的使用条件。该技术已应用于大型工程无缝管材的低成本制备。

(3) 新型高强高塑高精度 Ti-B25 钛合金管材，具有极高的尺寸、直线度的精度要求，保证了使用过程中的高精度高气密性。已建立了高强、高塑、高精度 Ti-B25 钛合金无缝管生产线，近十多年来，每年向用户提供高性能高精度钛合金无缝管材，已具备批量稳定生产能力。低成本短流程高强钛合金管材制备技术实现了 TC18 高强钛合金的低成本高性能制备，较传统工艺综合成本降低 40%以上，同时在飞机拉杆通过考核验证，具备极大的经济效益。

西部钛业有限责任公司通过高强钛合金管材的相关技术，实现 Ti31、TC2、TA18、TA16、TA15、TA22、TA21 等系列钛合金管材的长期稳定供应，保障了我国重大工程的应用需求，产生了重要的社会效益和良好的经济效益，其技术成果对行业技术进步具有良好的推动作用。

#### 四、客观评价

##### 1、与国内外相关技术的比较

尽管现有的钛合金中有多种合金经热处理后可以达到 1100MPa 以上的强度水平，

但由于其最初设计开发的应用目标不同，仅有少量的 $\beta$ 合金适于管材的制备。如，Ti-15-3 合金具有非常好的冷加工性，通常用于板材、箔材的加工。该合金制作的 AUP 管道没有经过强化处理，其强度水平低于 900MPa。厚壁管在时效强化处理后强度可达到 1200MPa 以上，但塑性会大幅度降低，难以满足实用要求。目前，国外工业化制备的具有最高强度级别的大规格钛合金管材是针对海洋石油钻探开发的 Ti-38644 管材，由 RMI 公司通过生产。该管材经过热处理后拉伸强度可达到 1100MPa，延伸率为 7%左右。俄罗斯针对高强度钛合金管材应用需求开发了一种新型的钛合金 -VST-3331，该合金具有良好的冷加工性能，管材性能与 Ti-6Al-4V 合金制备的管材相当。对于以 Gr5 (Ti-6Al-4V)为代表的中、高强钛合金管材，由于其冷加工性较差，国外一般采用温轧技术生产。国内的温轧技术及温轧设备都还不成熟，尤其在高强钛合金管材的制备方面较为薄弱。本项目采用挤压+轧制+精密机加的工艺制备的高强度、高精度 $\beta$ 钛合金管材，在高强钛合金高质量管坯制备、管材尺寸精度控制、管材表面质量控制方面属国内领先，保证了产品的性能及尺寸精度。

表 本项目高强钛合金管材性能指标与国内同类技术对比表（不小于）

合金	R <sub>m</sub> (MPa)	R <sub>P0.2</sub> (MPa)	A (%)	Z (%)
Ti-B25	1250	1080	12.0	30.0
Ti-1300	1200	1080	12.0	25.0
TC10	1030	/	12.0	/
TC4	895	830	10.0	/

本项目研制的 Ti-B25 合金管材将舰船通信天线、桅杆使用强度分别从 TC10 合金的 1030MPa、TC4 合金的 895MPa 提高到 1250MPa，显著提高了天线、桅杆性能，有力保障了我国航海舰船行业用材急需。

目前，低强低合金化钛合金无缝管制造技术已经成熟，多采用斜轧穿孔、钻孔挤压制备管坯，多道次冷轧管材成型，管材性能稳定，质量优异，成本较高，多应用于要求较高的化工领域。高强钛合金无缝管材制造技术主要有钻孔挤压、去芯+锻造和斜轧穿孔+热轧等方法。钻孔挤压和去芯+锻造两种工艺虽然能够制备出高强度钛合金管材，但由于需要预先对棒坯去芯制孔，再通过热挤压或锻造成型，导致材料损耗大，生产周期长，生产效率低，成本较高。针对上述现有技术的不足，提供一种高强 TC18 钛合金高效低成本制管的加工方法。该方法解决了高强钛合金管材制备的效率及成本问题，从铸锭到管材的一次成型，极大地缩短了加工工艺流程，提高了生产效率，综合成本降低 40%以上，所制备的高强钛合金管材性能满足用要求。

## 2、评审与鉴定结论(摘录)

陕西省项目“高强钛合金管材关键技术”验收意见：选取高品质海绵钛及中间合金，采用真空自耗多次重熔熔炼工艺，在管材冷轧加工过程中，注意减壁量与减径量的比例控制，进行充分的冷加工变形，以细化合金组织、提高产品性能、满足使

用要求。获得了高强钛合金管材加工的关键技术，研制的 Ti-1300 高强管材，室温拉伸  $R_m$ : 1226.5MPa,  $R_{p0.2}$ : 1151MPa,  $A$ : 13.25%,  $Z$ : 33.5%, 指标要求:  $R_m \geq 1200Pa$ ;  $R_{p0.2} \geq 1080MPa$ ;  $A \geq 12\%$ ;  $Z \geq 25\%$ , 达到指标要求。制备出高强高塑性钛合金管材，满足舰船天线系统的技战术指标要求，性能达到国际先进水平。满足使用要求，具有显著社会效益。

### 3、应用评价

中国船舶重工集团第七二二研究所应用评价：西北有色金属研究院研制的新型高强钛合金通过添加 $\beta$ 稳定元素，提高了管材使用强度，在塑性不降低的前提下，比目前使用的 TC10 和 TC4 合金强度分别提高了 220MPa 和 355MPa。新型高强钛合金管材的研制成功，提高了舰船通信使用强度，使高强钛合金管材制备关键技术得到了突破，强度达到了国外舰船通信的水平，整体技术的推进满足我国舰船发展需求，具有重大的社会效益。

河北燕兴机械有限公司应用评价：西北有色金属研究院于 2021 年 5 月 24 日提供了 1 批次 9 支规格为  $\Phi 102/\Phi 80 \times 880mm$  的 TC18 钛合金无缝管材，管材的各项性能均满足项目中规定要求。TC18 钛合金无缝管材顺利通过测试试验，达到使用要求。

北京航天长征飞行器研究所应用评价：由西北有色金属研究院研制的  $\Phi 260^{+1} \times \Phi 239_{-1}^0 \times 970_{-5}^{+5}mm$  的 TA18CF 钛合金无缝管材已成功应用于生产中。经过各项试验、检验证实，西北有色金属研究院提供的  $\Phi 260^{+1} \times \Phi 239_{-1}^0 \times 970_{-5}^{+5}mm$  无缝钛合金薄壁管材完全满足上述产品的使用要求，产品质量良好，满足新一代飞机的关键部件应用急需。

### 五、应用情况

中国船舶重工集团第七二二研究所应用评价：西北有色金属研究院研制的新型高强钛合金通过添加  $\beta$  稳定元素，提高了管材使用强度，在塑性不降低的前提下，比目前使用的 TC10 和 TC4 合金强度分别提高了 220MPa 和 355MPa。新型高强钛合金管材的研制成功，提高了舰船通信使用强度，使高强钛合金管材制备关键技术得到了突破，强度达到了国外舰船通信的水平，整体技术的推进满足我国舰船发展需求，具有重大的社会效益。

高强、高精度 $\beta$ 钛合金天线管材，研制成功后开始小批量供货，自从管材开始研制就和生产订货密切相关。近十年来，每年订货量达 1000kg，目前使用的高强钛合金天线管材，外径从 30mm 到 150mm，壁厚从 4 mm 到 15mm，长度从 2000 到 3200mm。导油管材外径从 10mm 到 30mm，壁厚从 1 mm 到 3mm，长度从 2000 到 3200mm。已具备批量稳定生产能力。新型高强、高精度 $\beta$ 钛合金管材在重大工程中得到应用，已代替原有的两相钛合金管材，目前，达到批量生产能力，管材加工工艺固化，批次稳定性好，管材的强度、硬度及耐磨性和耐海水腐蚀性能满足用户使用要求。年

订货量为 500-1000 万元。

TA18CF 大规格厚壁无缝管材是为北京航天长征飞行器研究所开发研制，2014 年提供 3 支管材（ $\Phi 260 \times 10.5 \times 1080\text{m}$ ），后续供货主要集中在中船重工物资贸易集团有限公司和山西江淮重工有限责任公司，每年订货量达 100 支。浙江旺盛动力机电有限公司和西部金属材料股份有限公司也有少量供货。为辽宁美托科技股份有限公司提供了 TC4 大口径钛合金管材（ $\Phi 408 \times 4.3-8.5 \times 3500\text{mm}$ ）14 支，向中国兵器科学研究院宁波分院提供 TC4 大口径钛合金管材（ $\Phi 200 \times 10 \times 2000\text{mm}$ ,  $\Phi 150 \times 10 \times 2000\text{mm}$ ）2 支。

TC18 高强管材是为河北燕兴机械有限公司制备，已提供验证考核件数批次，通过考核验证，即将形成年订货量 1000 支的稳定供货。后续为中国航发湖南动力机械研究所提供了 Ti1300 管材（ $\Phi 110/\Phi 45 \times 825\text{mm}$ ）4 件和 TC18 管材（ $\Phi 105/\Phi 45 \times 825$ ）15 件。

## 六、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	一种高强 TC18 钛合金无缝管材高效低成本制备方法	中国	ZL2021113 94172.8	2022.0 7.22	53277 71	西北有色金属研究院	辛社伟，屈磊，杜宇，应扬，张思远
2	发明专利	一种高强高塑高精度 $\beta$ 钛合金管材制备方法	中国	ZL2017113 39398.1	2019.0 8.09	34850 16	西北有色金属研究院	曾立英，戚运莲，杜宇，赵彬，辛社伟，周伟，李倩，赵恒章，刘伟，孙花梅。张思远
3	发明专利	一种可冷成形的高强度高塑 $\beta$ 钛合金材料	中国	ZL2017113 39381.6	2019.1 2.24	36437 89	西北有色金属研究院	戚运莲，曾立英，杜宇，赵彬，辛社伟，周伟，李倩，赵恒章，刘伟，孙花梅，张思远
4	发明专利	一种 $\beta$ 钛合金管材及其制备方法	中国	ZL2013104 33381.8	2015.1 0.21	18215 80	西北有色金属研究院	赵彬，戚运莲，赵恒章，郭荻子，杜宇，毛小南，曾立英，辛社伟，李倩，周伟
5	发明专利	一种提高 $\beta$ 钛合金组织均匀性的开坯	中国	ZL2021104 58703.9	2022.1 0.04	54945 05	西北有色金属研究院	周伟，辛社伟，张思远，贾蔚菊，毛成量，

		锻造方法						李倩, 李思兰
6	发明专利	获得短棒状初生 $\alpha$ 相组织的亚稳 $\beta$ 型钛合金的加工方法	中国	ZL201710672807.3	2019.03.19	3298179	西北有色金属研究院	周伟, 赵永庆, 辛社伟, 葛鹏, 李倩, 张思远, 陈军
7	发明专利	一种高质量大直径极薄壁无缝钛管的制备方法	中国	ZL201811302960.8	2020.05.08	3789319	西北有色金属研究院	郭荻子, 吴金平, 杨帆, 赵圣泽, 罗媛媛, 赵永庆, 张菁丽, 苏航标, 毛小南
8	标准	高精度厚壁 $\beta$ 钛合金无缝管	中国	Q/NIN 1580-2019	2019.07.30	西北有色金属研究院	西北有色金属研究院	戚运莲, 辛社伟, 杜宇, 曾立英, 刘伟, 孙花梅, 谭伟力, 周伟, 李倩, 毛小南, 艾建玲
9	发明专利	一种控制钛合金管中金属间化合物析出方向的方法	中国	ZL201510789989.3	2017.04.12	2441196	西部钛业有限责任公司	杨亚社, 罗登超, 马小菊, 席锦会, 王莎, 李刚, 文周峰, 南莉, 韦培
10	标准	TA18 钛合金挤压管坯内控标准	中国	NWT 5411-2022	2022.05.25	西部钛业有限责任公司	西部钛业有限责任公司	罗登超, 李旭升, 戴毅, 侯智敏, 吴晓东

## 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
辛社伟	1	所长	正高	西北有色金属研究院	西北有色金属研究院	项目总负责人, 项目总体方案制定, 组织实施完成特殊用途高强钛合金无缝管材产品开发、批量化制备及推广应用, 完成多项技术标准的制(修)订工作, 获多项授权的技术发明专利。
戚运莲	2	/	正高	西北有色金属研究院	西北有色金属研究院	主要研发人员, 负责批量化制备技术研究, 负责各工序产品的检验、取样分析、性能检测, 负责关键过程和特殊过程的控制及技术文件的编写。
戴毅	3	副总经理	高工	西部钛业有限责任公司	西部钛业有限责任公司	主要研发人员, 参与全部工序产品的分析检验及性能检测, 参与钛及钛合金管材相关技术文件的编写, 对多项产品的技术推广起到关键作用, 参与项目批量化市场推广和应用工作。

郭获子	4	/	正高	西北有色金属研究院	西北有色金属研究院	负责合金的组织与性能分析，参与了所有工序的生产工作，对产品的工艺开发、定型作出重要贡献。
孙花梅	5	/	工程师	西北有色金属研究院	西北有色金属研究院	参与项目的工艺技术控制开发工作，负责技术文件、质保大纲的撰写，对产品的质量控制作出重要贡献。
屈磊	6	/	工程师	西北有色金属研究院	西北有色金属研究院	参与项目批量化生产的工艺技术及质量稳定研发工作，参与项目批量化市场推广和应用工作。
周伟	7	/	正高	西北有色金属研究院	西北有色金属研究院	负责热加工工艺技术及质量稳定工作，撰写专利、文章。
曾立英	8	/	正高	西北有色金属研究院	西北有色金属研究院	负责技术文件、专利的撰写，对产品的质量控制作出重要贡献。
李倩	9	/	高工	西北有色金属研究院	西北有色金属研究院	负责冷加工工艺技术及质量稳定工作，撰写文章。
罗登超	10	副厂长	高工	西部钛业有限责任公司	西部钛业有限责任公司	参与钛及钛合金管材相关技术文件的编写，对多项产品的技术推广起到关键作用。

## 八、主要完成单位及创新推广贡献

本项目由西北有色金属研究院和西部钛业有限责任公司合作完成。

在项目实施过程中，西北有色金属研究院针对大型舰船通信，满足舰船天线高强度的需求，开发了 Ti-B25 高强钛合金管材制备关键技术，制备的高强钛合金管材的尺寸、直线度精度极高，保证了使用过程中的高精度高气密性。已建立了高强、高塑、高精度 Ti-B25 钛合金无缝管生产线，近十余年来，每年向用户提供高性能高精度钛合金无缝管材，已具备批量稳定生产能力。高强管材在重大工程中得到应用，有力地推动了我国舰船的发展。针对高强钛合金管材加工工艺复杂、制备成本高的问题，采用电子束冷床炉（EB 炉）精炼技术与热连轧工艺（斜轧穿孔、热连轧+定径轧）相结合的短流程方式，突破高强钛合金管材制备的技术瓶颈，实现了高强钛合金管材的短流程低成本制备，得到的高强钛合金管材性能优异，综合生产成本降低了 40%以上。

西部钛业有限责任公司通过高强钛合金管材的相关技术，实现 Ti31、TC2、TA18、TA16、TA15、TA22、TA21 等系列钛合金管材的长期稳定供应，保障了我国重要领域的应用需求，产生了重要的社会效益和良好的经济效益，其技术成果对行业技术进步具有良好的推动作用。

## 九、完成人合作关系说明

本项目由西北有色金属研究院和西部钛业有限责任公司合作完成。辛社伟教授长期在西北有色金属研究院从事钛及钛合金材料的研发及推广应用工作。作为负责

人带领团队完成了特殊用途高强钛合金无缝管材从实验室到工程化制备的研发工作，取得了重要的技术创新和应用推广成绩。

- 1) 该项目第 1 完成人辛社伟作为项目主要负责人之一，完成陕西省科学技术研究发展计划项目“高强钛合金管材关键技术”。项目完成人戚运莲、郭荻子、曾立英、李倩参与完成以上项目。
- 2) 项目完成人辛社伟、屈磊共同完成了“一种高强 TC18 钛合金无缝管材高效低成本制备方法”的技术发明工作。
- 3) 项目完成人曾立英，戚运莲，辛社伟，周伟，李倩，孙花梅共同完成了“一种高强高塑高精度 $\beta$ 钛合金管材制备方法”的技术发明工作。
- 4) 项目完成人戚运莲，曾立英，辛社伟，周伟，李倩，孙花梅共同完成了“一种可冷成形的高强高韧 $\beta$ 钛合金材料”的技术发明工作。
- 5) 项目完成人戚运莲，郭荻子，曾立英，辛社伟，李倩，周伟共同完成了“一种 $\beta$ 钛合金管材及其制备方法”的技术发明工作。
- 6) 项目完成人周伟，辛社伟，李倩共同完成了“一种提高 $\beta$ 钛合金组织均匀性的开坯锻造方法”的技术发明工作。
- 7) 项目完成人周伟，辛社伟，李倩共同完成了“获得短棒状初生 $\alpha$ 相组织的亚稳 $\beta$ 型钛合金的加工方法”的技术发明工作。
- 8) 项目完成人郭荻子完成了“一种高质量大直径极薄壁无缝钛管的制备方法”的技术发明工作。
- 9) 项目完成人戚运莲，辛社伟，曾立英，孙花梅，周伟，李倩共同完成了“高精度厚壁 $\beta$ 钛合金无缝管”的技术发明工作。
- 10) 项目完成人罗登超完成了“一种控制钛合金管中金属间化合物析出方向的方法”的技术发明工作。
- 11) 项目完成人戴毅、罗登超共同完成了“TA18 钛合金挤压管坯内控标准”的制定工作。
- 12) 项目完成人辛社伟、戚运莲、戴毅、郭荻子、孙花梅、屈磊、周伟、曾立英、李倩、罗登超 共同完成了“特殊用途高强钛合金管材”推广应用工作。
- 13) 项目第 1 完成人共获得授权专利 7 项，相关人员参与 7 项。其中第 2 完成人戚运莲合作 4 项，第 3 完成人戴毅合作 1 项，第 4 完成人郭荻子合作 2 项，第 5 完成人孙花梅合作 3 项，第 6 完成人屈磊合作 1 项，第 7 完成人周伟合作 6 项，第 8 完成人曾立英合作 4 项，第 9 完成人李倩合作 6 项，第 10 完成人罗登超合作 2 项。

## 项目三

一、项目名称：矿用钻具柔性制造关键技术与智控平台

二、提名者：陕西省科学技术厅

三、提名意见：

矿用钻具是支撑煤炭资源安全、高效、绿色开发的重要技术装备，随着瓦斯抽采、探放水等钻孔新技术的开发与应用，对高品质、定制化、短周期、可追溯的钻具产品供应需求日益强烈。当前矿用钻具普遍采用粗放生产模式，存在自动化程度低、劳动强度大、产品质量不稳定、交货周期长等问题。针对上述现状，项目突破智能生产关键技术，研发了自主可控核心装备，建立了钻具柔性智能生产线和信息化管控平台，构建了平台化、多维度、集数据采集-分析为一体的智能生产新模式，并取得四项主要创新成果：（1）研发了集加工检测打标一体化的螺纹制造方法；（2）开发了钻杆多工序柔性混线生产及协同控制技术；（3）开发了钻具全流程标识规范和溯源管理系统；（4）研建了基于工业互联网的智能生产运营管控平台。

项目研究成果对我国矿用钻具智能生产新模式探索和产业高质量发展起到了示范引领作用，已在中煤科工西安研究院（集团）有限公司、西安煤科检测技术有限公司、安标国家矿用产品安全标志中心有限公司等多个单位推广应用，在提高生产智能化程度、加快新产品研制、提升管理效能等方面成效显著。累计创造经济效益超过 9.45 亿元，制造的钻具新产品已推广至全国 183 个煤矿。基于项目成果建成的数字化车间获评工信部、发改委等四部委智能制造示范工厂揭榜单位和智能制造优秀场景。科技创新成果获授权发明专利 10 项，登记计算机软件著作权 11 项，发表科技论文 20 篇。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

四、项目简介：

矿用钻具是支撑煤炭资源安全、高效、绿色开发的重要技术装备，随着瓦斯抽采、探放水等钻孔新技术的开发与应用，对高品质、定制化、短周期、可追溯的钻具产品供应需求日益强烈。当前钻具普遍采用粗放生产模式，存在自动化程度低、劳动强度大、产品质量不稳定、交货周期长等问题。针对上述现状，项目在陕西省工业转型升级重点项目“钻探装备智能制造数字化车间”（陕工信发(2017)503 号）、



中煤科工西安研究院（集团）有限公司（以下简称“西安研究院”）科技创新重点项目“钻杆数字化车间仿真设计与制造工艺研究”（编号:2019XAYZD08）、“钻杆摩擦焊接无人工作站的研建”（2018XAYZD06）、“钻杆生产信息化平台建设”（2016XAYPT02）等项目的支持下开展相关研究。突破螺纹检测、相位摩擦焊接、感应热处理、柔性产线协同控制等关键技术，建立矿用钻具智能生产线和信息化管控平台，满足低成本、高效率、高质量的产品市场需求。项目取得以下四项主要创新成果：

#### **1. 研发了集加工检测打标一体化的矿用钻具螺纹制造技术**

突破了矿用钻杆接头螺纹光学扫描综合测量技术、刀具多参数综合监测及迭代反馈技术，融合工业机器人、机器视觉等技术，研建了接头螺纹加工生产线，实现了 20 种矿用钻杆接头螺纹加工、打标、检测的一体化生产和全流程质量监控。

#### **2. 开发了矿用钻具多工序柔性混线生产及协同控制技术**

攻克了相位摩擦焊接闭环控制、焊缝中频感应热处理能量温度双闭环控制、自适应环抱点阵喷涂和柔性产线智能调度排产等技术，建成了钻具智能生产线，实现了多规格钻杆的摩擦焊接、热处理、外圆加工、喷涂的柔性混线生产。

#### **3. 开发了矿用钻具全生命周期溯源管理平台**

建立了基于二级节点的行业级全流程标识规范，攻克了模糊界面二维码解析技术、RFID 广域识别技术，研建了矿用钻具全生命周期溯源管理平台，打造了上下游企业数据和业务集成共享新模式，实现了矿用钻具“产供销用”全过程的信息采集和质量管理，形成了完整追溯链。

#### **4. 建成了智能生产运营管控平台**

针对矿用钻具离散制造特点，构建了集中化的业务流程标准模型库，解耦多系统业务交错执行模式，集成 TCM、SAP、MOM、WMS、刀具管理、数据采集等业务系统，基于微服务提供业务执行操作，建成可集中管理、分步部署、统一数据源、业务流程驱动、过程透明、全流程追溯和信息连续传递的智能生产运营管控平台，形成了生产柔性化、流程数据化、对象模型化、过程透明化的智能生产新模式，提质降本增效效果显著。

项目取得授权发明专利 10 项，获批软件著作权 11 项，发表科技论文 20 篇，培养硕士 3 名。经中国煤炭工业协会科技成果鉴定，该研究成果达到了国际领先水平。

#### **五、客观评价：**

### （一）科学技术成果鉴定评价

2023 年 3 月 31 日中国煤炭工业协会组织有关专家对项目成果进行了鉴定，以彭苏萍院士、刘峰和马宏伟专家组成的鉴定委员会的鉴定意见为：

项目基于钻具生产制造的数字化车间建设需求，针对钻具生产特点和运营模式，提出了离散型钻具制造数字化转型与智能化升级的研究路径，研发了多元化融合式的一体化螺纹制造技术、钻杆摩擦焊接与焊缝热处理关键性技术及柔性产线智能调度运营算法，建成了钻杆智能生产线；借助多元信息化手段构建钻具数字化智能运营管控生态，集成产业链全流程生产数据单元，实现了产供销用、生产协同、质量追溯的多维度动态关联，形成了生产柔性化、流程数据化、对象模型化、过程透明化的智能生产新模式。

项目实施后，显著提升了生产管理效能和产品质量，钻具订单交付周期缩短 21.7%，资源综合利用率提升 10.5%。近三年累计生产各类钻具 53.1 万根（只），服务煤矿企业数量增长 38.6%，产值超过 8.92 亿元，取得了良好的经济和社会效益。鉴定委员会一致认为，该项目研究成果达到了国际领先水平。

### （二）科技查新报告

2023 年 3 月 24 日，中煤科工西安研究院（集团）有限公司委托一级查新资质单位陕西省科学技术信息研究院对项目所列创新点进行了查新，报告检索了国内外相关数据，查新结论为：在国内外公开发表的中外文文献中，除本查新项目成员发表的论文和申请的专利以外，与本项目查新点完全相同的未见报道。

### （三）验收意见

#### （1）陕西省工业产业发展项目

2021 年 11 月，陕西省工业和信息化厅组织专家对《钻探装备智能制造数字化车间》进行了验收，验收组一致认为：项目提出的离散制造数字化车间设计、钻探装备离散智能制造实现、制造过程质量信息数据采集和分析达到了验收标准，各项指标均优于考核指标，建议验收通过。

#### （2）西安研究院科技创新基金项目

2021 年 7 月，中煤科工集团西安研究院有限公司组织专家对《钻杆数字化车间仿真设计与制造工艺研究》进行验收，验收组一致认为，项目开发了钻杆接头内螺纹检测技术，解决了狭小空间非接触式螺纹测量的行业难题，形成了钻杆摩擦焊缝连续热处理质量评价方法和外圆自动断屑加工方法，布局了基于仿真的可重组钻杆

数字化产线，为钻杆数字化车间落地提供了指导作用。项目成果解决了劳动强度大、生产管控弱等问题，提高了生产效率和管理水平。

#### **（四）获奖荣誉**

项目成果先后获得工信部等四部委“智能制造示范工厂揭榜单位”“智能制造优秀场景”以及“中国智能生产杰出应用奖”“陕西省工信厅智能车间”“陕西省工业互联网标杆工厂”等荣誉。工业互联网应用场景成果“基于标识解析二级节点的钻探装备溯源平台”获得第四届中国工业互联网大赛青岛赛站二等奖；成果“钻探装备数字化柔性智造工厂”获首届国企数字场景创新专业赛二等奖。

#### **六、应用情况：**

项目研究成果在西安研究院钻探装备制造公司、西安煤科检测技术有限公司、安标国家矿用产品安全标志中心有限公司等多个单位推广应用，在提高生产智能化程度、加快新产品研制、提升管理效能等方面应用成效显著。

##### **（1）在中煤科工西安研究院（集团）有限公司智能工厂建设及钻探装备产业数字化转型过程中应用。**

在智能生产方面，基于创新成果“集加工检测打标一体化的螺纹制造方法”研建了接头加工生产线，实现了螺纹加工、接头自动上下料、螺纹在线检测、在线打标、铁屑集中收集等全过程无人化连续生产，实现 20 种接头混线生产，产品合格率为 99.7%。人均产量由 90 只/班提高到 420 只/班。基于创新成果“钻杆多工序柔性混线生产及协同控制技术”研建了国内首条钻杆柔性生产线，实现了 6 种不同规格钻杆摩擦焊接、焊缝热处理、外圆加工的连续柔性生产，单班年产能由 20 万根提升至 30 万根。开发的自适应环抱点阵喷涂及智能捆扎技术，集成了喷涂打标-环保治理-码垛成型的钻杆表面处理全生产环节，解决了异型复杂钻杆喷涂和 120 余种产品的混线捆扎生产难题，生产效率提升 33.6%。

在数字化管控能力提升方面，开发的矿用钻具全生命周期溯源管理平台用于钻探机具全生命周期管理，实现了钻具生产全业务链信息闭环管理和质量追溯。创新成果“基于工业互联网的智能生产运营管控平台”实现了多源传感信息数据采集和多维度数据融合，形成了生产自动化、流程数据化、对象模型化、过程可视化的智能生产运营管理模式。

在产品质量提升与新产品研发方面，集成化的加工检测技术替代人工质检，确保了检验标准化和一致性，显著提升了矿用钻具产品质量，缩短了产品试制周期，

助推钻具新产品研发。新研制的整体式宽翼片螺旋钻杆、高韧性钻杆、仿生钻杆等系列产品在神东、淮南、淮北等全国多个煤矿区进行了推广应用。2019 年 10 月，无缆大通孔高强度钻具在神东保德煤矿成功钻成主孔深度 3353 米沿煤层超长定向钻孔，创造了坑道定向钻进新的孔深世界纪录。2019 年 12 月，研制的  $\Phi 89$  高韧性钻杆在晋城成庄矿，施工顶板高位  $\Phi 195$  mm 大直径钻孔，单孔施工深度达到了 500 m；在淮南顾桥矿，施工  $\Phi 220$  mm 顶板高位大直径定向钻孔，创造了孔深 506m 的记录。近几年钻具产品推广销售的矿区数量逐年增加，2022 年推广矿区达到 183 个，同比增长 38.6%。

**(2) 项目研究成果“智能生产运营管控平台”在西安煤科检测技术有限公司推广应用。**

采用了基于数据特征的变采样率制造数据同步采集方法和产线多粒度数据存储技术，为西安煤科检测技术有限公司开发了数字化检测平台，应用于钻探装备检测过程数据记录，优化了检测结果传递业务流程，实现了钻探装备产品出厂检验的在线管控和高可信检测数据追溯档案管理，业务流转效率显著提升。

**(3) 项目研究成果“矿用产品安标全流程标识规范和溯源管理系统”在安标国家矿用产品安全标志中心有限公司推广应用。**

通过对矿用安标发放与使用管理、行业准入认证、信息识别与追溯及过程监控的一体化管理，解决了安标产品全生产-售后过程不透明等问题，实现了安标产品生产全业务链信息闭环管理和质量追溯，提升了安标资源计划、调度、分配的科学性和准确性，实现追溯过程数字化、透明化，管理过程的科学化。研究成果助推了全煤炭行业装备制造业务的数字化转型，能满足矿用关键装备的事中、事后监管及溯源管控支撑服务的需要，达到矿用装备安全管理领域国际先进水平。

#### **七、主要知识产权和标准规范等目录：**

详见下表 1。

#### **八、主要完成人情况：**

详见下表 2。

#### **九、主要完成单位及创新推广贡献：**

详见下表 3。

#### **十、完成人合作关系说明：**

该项目成果由中煤科工西安研究院（集团）有限公司、中煤科工集团信息技术

有限公司共同完成。

王海军为成果第 1 完成人，负责项目立项和整体研究工作，主要完成人合作关系如下：

1.王海军（1）、田东庄（2）、田宏杰（3）、董萌萌（4）、周春（5）、许翠华（6）、董新燕（7）、黄煌（8）、陈彦宇（9）、娄凯（10）、吴智峰（11）、刘庆修（12）、王亚波（13）、王渤（14）、兰菲（15）共同完成鉴定成果《矿用钻具柔性制造关键技术与智控平台开发》的研究工作，对创新成果 1、2、3、4 作出了重要贡献。

2.王海军（1）、田东庄（2）、周春（5）、董新燕（7）、娄凯（10）、刘庆修（12）共同完成了溯源管理系统、智能生产运营管控平台的开发工作，对创新成果 3、4 作出了重要贡献，共同取得计算机软件著作权《MOM 数字化制造运营管控平台套件-生产管理系统 V1.0》《生产信息管理系统》。

3.田东庄（2）、田宏杰（3）、董萌萌（4）、许翠华（6）、黄煌（8）、陈彦宇（9）共同完成矿用钻具柔性制造关键技术与智能产线建设工作，对创新成果 1、2 作出了重要贡献。

4.田东庄（2）、董萌萌（4）共同获授权发明专利《一种钻杆加工自动上料系统及方法》，对创新成果 2 作出了重要贡献。

5.董萌萌（4）、周春（5）、许翠华（6）、黄煌（8）、田宏杰（3）、吴智峰（11）、王渤（14）共同获授权发明专利《一种大螺距锥形内螺纹检测装置及方法》，对创新成果 1 作出了重要贡献。

6.田东庄（2）、董萌萌（4）、陈彦宇（9）、周春（5）、田宏杰（3）、王亚波（13）共同获授权发明专利《基于传感器的管件内螺纹检测方法、管件筛选方法及系统》，对创新成果 1 作出了重要贡献。

7.董萌萌（4）、吴智峰（11）、周春（5）、王亚波（13）、兰菲（15）、王渤（14）共同完成螺纹加工检测打标一体化技术研究，获授权发明专利《一种大螺距锥形外螺纹检测装置及方法》，对创新成果 1 作出了重要贡献。

8.田东庄（2）、王海军（1）、董萌萌（4）、田宏杰（3）、周春（5）、许翠华（6）、黄煌（8）、陈彦宇（9）、王亚波（13）、兰菲（15）共同研发了相位摩擦焊接闭环控制技术，构建了摩擦焊接工艺过程数字孪生解析模型，共同取得计算机软件著作权《摩擦焊视觉引导系统 V1.0》《钻杆摩擦焊接无人工作站数字孪生系统 V1.0》《钻杆摩擦焊接工作站数据采集系统 V1.0》。

表 1 主要知识产权和标准规范等目录

权 利 类 别	知识产权 名称	国家 (地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明 人
利	基于传感器的管件内螺纹检测方法、管件筛选方法及系统	中国	CN112871737B	2021/1/12	CN202110036489.8	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	田东庄, 董萌萌, 田宏杰, 王亚波, 牟培英
利	一种大螺距锥形内螺纹检测装置及方法	中国	CN110567423B	2021/2/26	CN201910789402.7	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	董萌萌, 周春, 许翠杰, 牟培英, 朱宁
利	一种钻杆加工自动上料系统及方法	中国	CN111571289B	2021/12/7	CN202010434783.X	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	董萌萌, 田东庄, 鄢忠方, 吕孟
利	钻杆螺旋槽加工用钻杆对扣装置、上卸钻杆系统及方法	中国	CN112676870B	2021/11/30	CN202011490617.8	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	路前海, 董萌萌, 王亚波, 吕孟
利	一种钻杆公接头、自动插接式螺旋钻杆及其施工方法	中国	CN111119753B	2021/8/31	CN202010117284.8	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	陈彦宇, 董萌萌, 牟培英, 范运林, 杨虎伟
利	一种大螺距锥形外螺纹检测装置及方法	中国	CN109489581B	2020/10/16	CN201811533417.9	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	董萌萌;吴智峰;牟培英;朱宁;兰菲
利	一种钻杆分料装置及分料方法	中国	CN112896818B	2022/8/30	CN202110079279.7	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	路前海;鄢忠方;吕孟;董萌萌;周春
利	一种焊接式多头螺旋钻杆的绕制装置及方法	中国	CN112756910B	2022/3/15	CN202011560313.4	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	李浩儒;张晓亮;杨瑞;牟培英;亓勇
软件 权	生产信息化管理系统	中国	2022SR0874134	2022/6/30	软著登字第9828333 号	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	董萌萌;周春;田宏杰;王亚波
软件 权	MOM 数字化制造运营管控平台套件-生产管理系统 V1.0	中国	2023SR0213964	2022/9/30	软著登字第10801135 号	中煤科工集团信息技术有限公司	王海军;董新燕;安

表 2 主要完成人情况表

项目 排名	姓名	行政职务	技术职称	工作单位 /完成单位	对本项目的贡献
1	王海军	西安研究院 董事长	研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目总负责人, 对创新成果 1、2、3、4 有重要贡献, 具体包括: 负责项目的总体规划、审定和指导; 负责溯源管理系统、智能管控平台的蓝图规划和组织实施; 负责创新成果的鉴定工作。
2	田东庄	西安研究院制造公司 总经理	研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目技术总负责人, 对项目的创新成果 1、2、3、4 均有重要贡献, 具体包括: 负责项目的总体规划、审定, 制定总体技术方案; 提出了钻杆柔性制造理念, 创新了钻杆离散制造新模式; 负责钻杆摩擦焊接智能生产、多工序协同调度等技术研发; 负责成果的验收工作。

3	田宏杰	制造公司技术开发部主任	副研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目主要参与人, 对创新成果 1、2、4 有重要贡献, 具体包括: 参与矿用钻具多工序柔性混线生产及协同控制技术开发, 负责钻具智能生产线方案设计; 参与智能生产运营管控平台开发, 负责多业务系统数据集成方案设计及实施组织; 参与项目成果的凝练、总结工作。
4	董萌萌	西安研究院生产管理部主任	副研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目主要参与人员, 对创新成果 1、2、3、4 有重要贡献, 具体包括: 参与螺纹光学综合测量技术方案设计; 负责焊缝感应热处理、自适应环抱点阵喷涂等技术的开发, 负责矿用钻具全生命周期溯源管理平台的实施建设和推广应用; 负责智能生产运营管控平台架构设计和数据集成。
5	周春	制造公司信息化项目主管	助理研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目主要参与人, 对创新成果 1、2、4 有重要贡献, 具体包括: 参与螺纹检测制造技术研究, 开发摩擦焊接控制上位机系统, 参与柔性产线智能调度排产等技术示范应用, 负责智能生产运营管控平台实施建设, 参与项目成果的凝练、总结工作。
6	许翠华	西安研究院人力资源部主任	研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目主要参与人, 对创新成果 2、4 有重要贡献, 具体包括: 负责摩擦焊接自动上下料及闭环控制技术研究, 设计摩擦焊机自动化生产技术方案, 参与摩擦焊接无人工作站研建; 负责建设钻杆信息化平台开发, 规范钻具生产制造流程。
7	董新燕	信息公司能源智慧互联科技分公司总经理	高级工程师	中煤科工集团信息技术有限公司	项目主要参与人, 对创新成果 3、4 有重要贡献, 具体包括: 负责矿用钻具全生命周期溯源管理平台开发, 参与智能生产运营管控业务架构设计及系统开发工作, 参与项目成果推广应用。
8	黄煌	制造公司自动化项目主管	助理研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目主要参与人, 对创新成果 2 有重要贡献, 具体包括: 开发了相位摩擦焊接闭环控制系统, 参与摩擦焊接控制上位机系统研究, 参与柔性产线智能调度排产等技术研究。
9	陈彦宇	制造公司自动化项目主管	助理研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目主要参与人, 对创新成果 1、2 有重要贡献, 具体包括: 负责螺纹检测技术研究, 参与摩擦焊接数字孪生技术研究; 负责柔性产线智能调度排产等技术研究, 参与项目成果的凝练、总结工作。
10	娄凯	西安研究院数字化部副主任	高级网络规划师	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目主要参与人, 对项目的创新成果 4 有重要贡献, 具体包括: 参与智能生产管控平台总体方案设计, 负责平台业务架构设计及网络部署。
11	吴智峰	西安研究院租赁与再制造事业部副主任	副研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目主要参与人, 对创新成果 1、2 有重要贡献, 具体包括: 参与接头螺纹加工生产线方案设计、产线建设及控制系统功能开发; 参与项目成果转化应用及产品性能试验。

12	刘庆修	制造公司工艺技术部主任	研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目主要参与人，对项目的创新成果 3、4 有重要贡献，具体包括：参与钻具全流程标识规范和溯源管理系统建立，参与了智能生产管控平台总体方案设计。
13	王亚波	制造公司自动化项目主管	助理研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目主要参与人，对创新成果 1、2 有重要贡献，具体包括：参与摩擦焊接控制上位机系统研究与试验，参与产线建设及控制系统功能开发，参与中频感应热处理系统开发与试验。
14	王渤	技能大师	高级技师	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目主要参与人，对创新成果 1、2 有重要贡献，具体包括：完成公母螺纹、外圆加工自动化方案设计；优化钻杆接头加工工艺；完成专用机床的总体设计方案。
15	兰菲	制造公司办公室副主任	副研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目主要参与人，对创新成果 1、2 有重要贡献，具体包括：参与相位摩擦焊接闭环控制系统开发，参与产线建设及控制系统功能开发；参与接头螺纹加工生产线方案设计。



表 3 主要完成单位情况表

项目排名	完成单位	对项目的贡献
1	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	<p>（1）总体负责矿用钻具柔性制造关键技术与智控平台开发工作，制定项目研究方案，负责创新成果的工业性试验、工程示范及成果推广；</p> <p>（2）负责研发集加工检测打标一体化的矿用钻具螺纹制造技术，突破了多规格钻具接头机器视觉引导定位与抓取、狭窄空间内型腔复杂轮廓非接触多参数测量等难点，基于创新成果研建了接头加工生产线，获得了相关专利、软件著作权及论文；</p> <p>（3）负责开发矿用钻具多工序柔性混线生产及协同控制技术，研发了相位摩擦焊接闭环控制系统，构建了摩擦焊接工艺过程数字孪生解析模型，开发了多规格、多工序混联分布式生产协同控制技术，基于创新成果研建了钻杆柔性生产线，获得了相关专利、软件著作权及论文；</p> <p>（4）负责钻具全流程标识规范和溯源管理系统示范工程实施建设与验证，攻克了模糊界面二维码识别与解析技术、RFID 芯导天线长距离射频等技术；</p> <p>（5）负责研建了基于工业互联网的智能生产运营管控平台，搭建了多层级计划管理、质量管理、工艺管理等数据链，构建了状态感知、过程监控、业务协同的生产运营管理模式；</p> <p>（6）负责项目成果的凝练、总结工作，组织项目验收和鉴定工作。</p>
2	中煤科工集团信息技术有限公司	<p>（1）参与项目的总体技术方案和实施方案制定，参与示范工程建设，负责成果的推广应用；</p> <p>（2）参与矿用钻具全生命周期溯源管理平台开发，建立了基于二级节点的矿用装备行业级全流程标识规范；</p> <p>（3）参与智能生产运营管控平台开发，设计了柔性制造业务系统集成架构；</p> <p>（4）负责研究成果“矿用产品安标全流程标识规范和溯源管理系统”在安标国家矿用产品安全标志中心有限公司推广应用和实施建设工作；</p> <p>（5）参与项目成果的凝练、总结工作，参与项目验收和鉴定工作。</p>

## 项目四

一、项目名称：采煤工作面随采地震动态探测技术与装备

二、提 名 者：陕西省科学技术厅

三、提名意见：

对采煤工作面内部隐蔽致灾地质因素随采实时、动态监测，是煤矿企业几十年梦寐以求希望解决的难题，也是煤炭行业科技工作者奋斗多年的目标。提名的“采煤工作面随采地震动态监测技术与装备”项目，创新提出了将采煤机振动信号替代井下炸药震源的奇思构想，既有避免炸药安全隐患、降低施工强度的现实意义，同时采煤机的连续振动具有叠加（上万次）探测反复验证、确认隐蔽致灾地质体的高精度先天优势。项目组历时 10 多年，攻克了采煤机震源高精度脉冲化、低信噪比数据自适应成像、采集数据实时传输自动处理和成像等难题，经中国煤炭工业协会鉴定为国际领先水平。项目成果已经在多个工作面进行推广应用，取得了显著的应用效果。经过多年知识产权布局，该发明成果已申报专利 17 项，授权 11 项，形成的专利池已覆盖该发明成果在采集、处理、成像仪器和工艺等各环节。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖及以上。

四、项目简介：

该项目属于矿山安全技术领域，主要用于煤矿智能化探测，服务于煤炭安全、高效、绿色开采。

随着煤矿安全高效集约化生产模式的推广和无人化、智能化开采时代的到来，煤矿采煤工作面要求超前查明影响回采的小构造、隐蔽致灾地质因素以及实现工作面地质透明化的需求日趋强烈。为此西安院对随采地震监测技术开展了先导性研究，随采地震动态探测技术以采煤机切割煤壁产生的振动信号作为震源信号，通过在回采工作面两顺槽和孔内布设地震传感器实时接收信号，克服了传统矿井地震勘探中炸药震源应用受限的弊端，施工过程不再影响煤矿正常的生产活动；利用随采地震数据实时处理和动态成像技术，实现对煤矿井下回采工作面前方一定区域或者工作面内部煤层中断层、陷落柱、煤层变薄区等静态地质条件精细监测，同时随采地震监测还可以解决回采工作面顶板破碎带、应力集中区、突出危险区等动态灾变条件的随采随探和监测预警。项目取得以下重大创新性成果：

### 1. 首创了采煤机震源数值模拟及波场高精度重构技术。

1) 采煤机震源数值模拟技术。对采煤机截割方式及滚筒的受力情况进行分析，进而以震源力函数的形式，将不同时间不同位置的荷载分布作为震源在波动方程进行加载，

通过高阶交错风格有限差分法对波动方程进行求解，模拟采煤机切割时振动引起产生的随采地震信号。最终，对正演随采地震数据进行波场分析、处理，从而掌握了采煤机震源的波传播机理。

2) 随采地震采煤机震源格林函数重构方法。根据采煤机震源函数特点，研发出在时空连续情况下震源函数的时空解耦方法；通过理论推导利用远场信号重构采煤机震源格林函数，实现了近场震源信号缺失时随采地震时空双域脉冲化，并对采煤机进行实时定位，解决了随采地震利用全波场勘探的技术瓶颈。

## **2. 创新研发了低信噪比数据自适应、高精度成像关键技术。**

1) 随采地震数据的自动清洗技术。利用数据之间的互相关时差、能量、频散等特征，实现了采煤机截割、停机、空转三种状态的自适应识别；

2) 随采地震随机噪声和单频噪声的自适应压制技术。基于互相关的方法，一次性压制所有道集的强单频能量，相比逐道压制噪声的方法，运行效率更高，人为干预影响更小；通过提取的高信噪比互相关随采地震记录，为后期成像处理提供了更高质量的基础数据，提高成像精度。

3) 动态反演及高精度构造成像技术。对随采地震采集获取的有效信号，利用地震波 CT 图像重构技术，对采煤工作面内部进行了成像，来探明工作面内的地质构造，并实现了成像结果的动态更新。利用上一周期成像的结果作为初始模型，结合当前周期随采地震数据成像对初始模型不断优化，动态更新，最终实现了更新周期一刀煤时间（约为 2~3h）的动态成像，实现监测工作面内的地质构造的异常变化。

4) 低信噪比地震信号的时频域直接拾取初至技术。首先对低信噪比信号开展时频正变换；然后在时频域进行噪声自适应衰减；最后，根据地震信号在时频域的系数叠加响应和时间域具有相同波形表征的特点，直接在时频域利用基于统计学的方法开展初至拾取。该技术具有运行速度快、人工干预少的自适应特点，通过获取的低信噪比数据的准确初至位置，将提升采集质量欠佳区域的被动源震源定位、速度分析以及层析成像等地震处理结果的准确性。

## **3. 开发了随采地震在线采集传输、实时自动处理系统。**

1) 井下无 GPS 信号下的高精度同步采集和随采数据的实时自动处理技术。针对随采地震探测的实时性要求，通过对改进 IEEE1588 同步协议，增加地面定时队主钟授时、主钟自动优选和多系统分组同步等机制，实现了井下无 GPS 信号下的高精度同步采集；研制出了井下采集传输设备、地面采集控制软件和数据实时自动处理系统，具有高效采

集、在线传输、自动处理、无人值守、成果可视化和构造数字化等优点。

2) 井下采集传输设备及地面采集控制软件的研发。本文针对随采地震监测装备的特点, 充分分析其观测系统和监测数据的特点, 利用数据库和文件系统的优点, 设计了软件的数据结构; 考虑处理软件的特点, 设计了与处理软件之间的接口; 最后基于 MFC 开发框架, 开发了数据采集软件。此外, 提出了一种随采地震专用探测方法, 通过利用孔中接收对工作面进行逐次细分探测, 解决了由于射线覆盖盲区和射线方位角覆盖范围窄引起的反演奇异性高的问题, 有效提高了工作面地质构造和速度反演的精度。

## 五、客观评价:

(1) 2022 年 4 月 14 日, 中国煤炭工业协会在北京组织专家对中煤科工集团西安研究院有限公司完成的“基于采煤机震动的随采探测技术与装备”项目成果进行了鉴定。与会专家听取了项目汇报, 审查了相关资料, 经质询、讨论, 形成以下鉴定意见:

1、研发出矿井反射槽波超前探测数据的槽波压缩及高精度极化偏移技术等关键处理技术, 极大提高了反射槽波超前探测数据处理精度和探测成功率。

2、研发出基于 GPU 平台的煤矿井下三维弹性波波场高效模拟技术及仿真软件, 实现井下槽波和随采随掘等弹性波波场模拟。

3、研制出孔-巷联合反射槽波超前探测数据采集水平深孔接收设备系统, 通过孔-巷联合的二维观测方式, 拓展了迎头正前方的反射视角, 提高了超前探测的方位成像精度。

鉴定委员会一致认为: 项目形成了一整套具有自主知识产权的煤矿井下反射槽波超前探测技术方法与装备。在观测方式、反射槽波超前探测数据处理技术和配套处理软件等方面达到了国际领先水平, 同意通过鉴定。

(2) 2021 年 11 月, 中煤科工集团西安研究院有限公司委托国家科委科技信息司认定的教育部科技查新工作站 (Z08) 对项目成果进行了科技查新, 查新结论认为: 在国内外公开发表的中外文文献中, 除本查新项目课题组成员发表的论文和申请的专利以外, 与本项目查新点完全相同的未见报道。

(3) 2016 年 3 月, 国家科技重大专项“煤与煤层气地质条件精细探查技术与装备”项目办组织专家对《煤矿井下工作面超前探测技术与装备》进行验收。验收组认为, 项目研究了采煤机切割煤时产生的振动信号特征, 以此作为连续震源进行波场传播分析和三维地震数值模拟。研究了随采数据针对性的处理方法, 将随采地震数据处理纳入槽波数据处理的范围。根据分析处理技术和解释方法, 编写算法程序, 包括数据的输入输出、预处理、可视化、数据分析模块、处理流程模块、解释模块及人机交互等, 界面友

好、性能稳定，应用效果很好，具有很好的推广价值。

(4) 项目成果被主流媒体宣传报道 14 篇，被选为中国煤科 2021 年度大事，“首台、首套、首次”频现，创新引领作用凸显，并被推送到集团公司官方平台。同时被国家矿山安全监察局门户网站、IntelMining 智能矿业、智能煤矿、中国煤炭报、绿色能源世界、淮河能源集团等公众号多次进行了跟踪报道，产生了良好的社会影响。

## 六、应用情况：

项目成果应用于煤矿井下工作面回采时对工作面前方的静态地质构造和动态应力变化进行实时动态超前监测。研究成果有助于对回采前方可能存在的隐伏构造和应力异常进行精确探查，确保煤矿安全高效生产，同时可以为回采工作面地质透明化模型动态更新提供实时监测数据，推进煤矿智能化建设，推动煤炭行业技术进步。本项目成果属于新研发技术，已成为煤矿智能化建设中地质保障领域的关键技术，预计未来几年随着煤矿智能化程度的深入，随采地震监测技术将会得到大规模推广应用，助力煤矿智能化建设，为安全高效生产提供更好的保障。

采煤工作面随地震监测技术已在内蒙唐家会煤矿、陕西小保当一号煤矿等多个煤矿进行了应用，具有探测距离远（最远提前 400 米探测，且得到准确性验证）和精度高（1 米以上断层探测精度达到 90%）的优点，取得了较好的应用效果。

该成果累计新增产值约 11.9 亿元，新增利税 8.4 亿元。本项目成果属于新研发技术，已成为煤矿智能化建设中地质保障领域的关键技术，预计未来几年随着煤矿智能化程度的深入，随采地震监测技术将会得到大规模推广应用，助力煤矿智能化建设，为安全高效生产提供更好的保障。

## 七、主要知识产权目录：

详见下表 1。

## 八、主要完成人情况：

详见下表 2。

## 九、主要完成单位及创新推广贡献：

详见下表 3。

## 十、完成人合作关系说明：

该项目成果由中煤科工西安研究院（集团）有限公司完成。

王保利为成果第 1 完成人，自 2018 年开始至今，作为总负责人主持项目立项和整体研究工作，负责项目的验收与鉴定工作，主要完成人在项目中的合作关系如下：

1.王保利、王云宏、程建远、金丹、崔伟雄、段建华、覃思、张庆庆、关奇、李刚共同完成科学成果鉴定项目《基于采煤机震动的随采探测技术与装备》的研究工作，对创新成果 1、2、3 作出了重要贡献。

2.王保利、王云宏、覃思、程建远、金丹、崔伟雄、段建华共同立项能源行业标准《煤矿采煤工作面随采地震探测技术规范》，对创新成果 2 作出了重要贡献。

3.王云宏、王保利、覃思、崔伟雄共同获授权发明专利《一种用于低信噪比地震信号的时频域直接拾取初至方法及系统》，对创新成果 1 作出了重要贡献。王云宏、王保利、金丹共同获授权发明专利《一种基于联合字典的煤层巷道锚杆振动噪声压制方法》，对创新成果 2 作出了重要贡献。王云宏、王保利、程建远共同获授权发明专利《一种减弱依赖初至拾取精度的微震定位方法及装置》，对创新成果 2 作出了重要贡献。程建远、崔伟雄共同获授权发明专利《基于槽波地震和克里金插值的煤层厚度预测方法及装置》，对创新成果 2 作出了重要贡献。王云宏、王保利、覃思、崔伟雄共同获授权发明专利《用于随采地震信号的强单频和随机噪声压制方法及系统》，对创新成果 2 作出了重要贡献。崔伟雄、张庆庆、王保利、关奇共同获授权发明专利《一种用于矿井地震勘探延时炸药震源的同步触发装置》，对创新成果 3 作出了重要贡献。王保利、覃思共同获授权发明专利《一种基于皮带机的煤矿工作面实时探测系统及方法》，对创新成果 3 作出了重要贡献。程建远、覃思、王保利共同获授权发明专利《基于检波器细分阵列的煤矿开采地震探测系统及方法》，对创新成果 3 作出了重要贡献。

4.王保利完成论文《The research and implementation of velocity analysis methods for reverse time migration angle-gather》，对创新成果 1 作出了重要贡献。金丹、王保利完成论文《The Effectiveness and Application of the Gradient Sparse Regularization-Based Deconvolution Method》，对创新成果 2 作出了重要贡献。

表 1 主要知识产权和标准规范等目录

知识产权名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
一种用于低信噪比地震信号的时频域直接拾取初至方法及系统	中国	ZL201910263695.5	2020.12.15	4155637	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	刘强；陆斌；王云宏；覃思；崔伟雄
一种基于联合字典的煤层巷道锚杆振动噪声压制方法	中国	ZL201811511624.4	2021.05.25	4440561	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	王云宏；燕斌；王云宏；王晓凯；陈文
一种减弱依赖初至拾取精度的微震定位方法及装置	中国	ZL201710423844.0	2018.11.23	3157514	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	王云宏；王保利；段建华；王
基于槽波地震和克里金插值的煤层厚度预测方法及装置	中国	ZL201910311244.4	2020.07.10	3883861	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	朱梦博；程建远；段会军；
用于随采地震信号的强单频和随机噪声压制方法及系统	中国	ZL201910166009.2	2020.10.27	2388317	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	刘强；陆斌；王云宏；覃思；崔
一种用于矿井地震勘探延时炸药震源的同步触发装置	中国	ZL201910485688.X	2021.05.18	4431318	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	崔伟雄；张庆庆；关奇；赵
一种基于皮带机的煤矿工作面实时探测系统及方法	中国	ZL201510593248.8	2017.09.01	2606345	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	陆斌；胡继武；王云宏；吴海；
基于检波器细分阵列的煤矿开采地震探测系统及方法	中国	ZL201810610808.X	2019.11.08	3587953	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	陆斌；程建远；胡继武；王保利；
The research and implementation of velocity analysis methods for reverse time migration angle-gather	中国	19 卷第 4 期	2022.12	APPLIED GEOPHYSICS	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	王保利；
The Effectiveness and Application of the Gradient Sparse Regularization-Based Deconvolution Method	中国	19 卷	2022 年	IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	金丹；王保利；豆智敏

表 2 主要完成人情况表

项目排名	姓名	行政职务	技术职称	工作单位/完成单位	对本项目的贡献
1	王保利	副所长	研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目总负责人，对创新成果 1、2、3 均有重要贡献，具体包括：负责具体组织实施；主持了基于采煤机震动的随采探测技术的研发，并开发了配套软件；主持了采煤机震源数值模拟及波场高精度重构技术的研发，解决了随采地震数据高精度脉冲化问题；主持了低信噪比数据自适应、高精度成像关键技术及随采探测数据采集设备的研制，研发出了随采地震在线采集传输、实时自动处理系统。
2	王科	副研	副研	中煤科工西	项目主要参与人，对创新成果 2、3 有重要贡献，具体贡献包

	云宏	创院副院长	究员	安研究院(集团)有限公司	括：主持了随采探测技术与装备在不同地质条件矿区的试验及推广应用；在随采地震在线采集传输、实时自动处理系统中，对数据传输网络平台进行了设计及搭建。
3	程建远	院总工	研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目主要参与人，对创新成果 2、3 有重要贡献，具体贡献包括：对高精度成像存在的技术难题提出了研究思路；在随采地震在线采集传输、实时自动处理系统中，提出了一种随采地震专用探测方法，通过利用孔中接收对工作面进行逐次细分探测方法。
4	金丹		副研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目主要参与人，对创新成果 1、2 有重要贡献，具体贡献包括：模拟了采煤机切割时振动引起产生的随采地震信号，对采煤机震源进行了数值模拟；提出了随采地震随机噪声和单频噪声的自适应压制技术，取得较好的应用效果。
5	崔伟雄	部长	助理研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目参与者，对创新成果 3 有重要贡献，具体贡献包括：在随采探测数据采集设备研制中，设计了数据存储结构及数据管理模式，并研发了相关程序模块。
6	段建华	专家	研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目参与者，对创新成果 3 有重要贡献，具体贡献包括：在孔巷联合反射槽波超前探测数据采集设备研制中，设计了数据存储结构及数据管理模式，并研发了相关程序模块。
7	关奇		助理工程师	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目参与者，对创新成果 3 有重要贡献，具体贡献包括：多次参与并主持了多个矿区的井下数据采集工作。
8	覃思		副研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目参与者，对创新成果 2、3 有重要贡献，具体贡献包括：完成了随采地震数据的自动清洗技术。利用数据之间的互相相关时差、能量、频散等特征，实现了采煤机截割、停机、空转三种状态的自适应识别。
9	张庆庆		副研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目参与者，对创新成果 3 有重要贡献，具体贡献包括：针对随采地震监测装备的特点，利用数据库和文件系统的优点，设计了井下采集传输设备及地面采集控制软件的数据结构。
10	李刚		研究员	中煤科工西安研究院(集团)有限公司	项目参与者，对创新成果 3 有重要贡献，具体贡献包括：多次参与并主持了多个矿区的井下数据采集工作。

表 3 主要完成单位情况表

项目排名	完成单位	对项目的贡献
------	------	--------



1	中煤科工 西安研究 院（集团） 有限公司	<p>对创新成果 1、2、3 均有重要贡献，具体包括：</p> <p>（1）总体负责基于采煤机震动的随采探测技术与装备研制，制定总体技术方案，负责项目组织和成果推广；</p> <p>（2）负责基于 GPU 平台的煤矿井下三维弹性波波场高效模拟技术及仿真软件开发，获得了 GPU 三维三分量弹性波正演模拟软件等软件著作权；</p> <p>（3）负责随采探测数据的关键处理技术及配套软件，获得了相关专利及软件著作权；</p> <p>（4）研发出随采地震数据处理系统及随采地震数据处理国产化软件，获得了相关软件著作权及专利；</p> <p>（5）负责随采探测数据采集设备的研制，取得了探测装置的 MA 认证、试验、生产及产品推广；</p> <p>（6）拓展了基于采煤机震动的随采探测技术的应用范围；</p> <p>（7）负责项目成果的工业性试验和推广服务。</p>
---	-------------------------------	---

## 项目五

一、项目名称：煤矿区复杂地质条件煤层气水平井高效开发技术及应用

二、提 名 者：陕西省科学技术厅

三、提名意见：

“煤矿区复杂地质条件煤层气水平井高效开发技术及应用”，是契合《国家煤层气产业政策》等要求煤矿区全域“先抽后采、抽采达标”，不能只选择“甜点”进行资源开发的特殊要求，针对我国煤炭资源地质条件复杂、煤层气抽采难度大的实际现状，在碎软低渗煤层、中硬低压煤层、采空区下伏煤层等三种典型复杂地质条件下的强化抽采和规模开发方面取得突破和创新。项目成果已在山西、安徽、贵州等地区进行推广应用。对于推动我国类似复杂地层的煤层气抽采具有很好的引领和示范作用，项目实施可有效减少煤矿井下瓦斯抽采和岩巷掘进工作量，安全 and 经济效益显著。

项目取得了丰富的知识产权。申请发明专利 20 余项，其中授权发明专利 10 项，制定国家标准 3 项、行业标准 2 项，发表论文 20 篇。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖及以上。

四、项目简介：

本项目属于煤层气资源开发领域，成果主要用于煤矿区煤层气开发和矿井瓦斯地面超前治理。

煤矿区煤层气是指煤矿井田内煤层赋存的煤层气资源，是全国煤层气资源的重要组成部分。煤矿区的煤层气开发具有补充绿色能源、缓解煤矿安全生产压力和保护大气环境等多重经济与社会效应。国家科技重大专项“十一五”、“十二五”、“十三五”连续三个五年计划支持煤矿区煤层气开发技术研究。然而随着煤矿区煤层气开发朝着复杂地质条件的推进，受地质构造和煤矿开采活动的影响，尤其对于我国广泛分布的碎软低渗煤层、中硬低压煤层和采空区下伏煤层是煤矿区实现煤层气高效、全层位开发必须解决的三大复杂地质条件，目前针对这种复杂地质条件的煤层气抽采存在施工难度大、产气效果差、抽采效率低，且采煤采气协同开采矛盾突出的问题。因此如何实现煤矿区复杂地质条件的煤层气高效、全层位开发是我们亟需解决的关键技术难题。

为此，中煤科工西安研究院（集团）有限公司联合山西蓝焰煤层气集团有限公司，以“十三五”国家科技重大专项任务《碎软煤层煤层气分段压裂水平井抽采技术》（2016ZX05045002-004）和山西省科技重大专项项目《低渗煤层煤层气分段压裂水平井

增产技术研究》(MQ2016-01)为依托,直面碎软低渗煤层、中硬低压煤层和采空区下伏煤层的复杂地质条件煤层气水平井开发理论与关键技术,历时5年科技攻关,取得以下创新性研究成果:

### **1. 创新了碎软低渗煤层顶板水平井穿层压裂强化开采理论与关键技术**

针对碎软低渗煤层中水平井抽采效果差、效率低、成孔难等问题,创新了碎软低渗煤层顶板水平井穿层压裂强化抽采方式,提出了基于地质-工程一体化的碎软煤层顶板水平井抽采部署方法,创立了碎软煤层顶板水平井穿层压裂强化增产改造理论;创新了紧邻碎软煤层的顶板水平井优快钻完井技术,开发出顶板水平井穿层压裂优化设计技术及控制工艺,实现了碎软低渗煤层煤层气产量和抽采效率的跨越式发展。

### **2. 创新了中硬低压煤层非固井水平井分段压裂强化抽采技术**

针对中硬低压煤层中水平井固井水泥浆污染煤层、固井风险高,以及采煤采气矛盾突出问题,提出了中硬低压煤层非固井水平井裸眼防窜完井及抽采部署方法,研发出非固井水平井控煤粉压裂工艺,开发出非固井水平井控砂大排量定点压裂技术,发明了液压定向大排量水力喷射压裂一体化设备,实现了中硬低压本煤层非固井水平井高效开发技术的突破,推动了非固井水平井规模化开发应用。

### **3. 首创了穿越采空区下伏煤层水平井强化抽采技术**

针对穿采空区水平井抽采存在钻井施工难度大、风险高,以及超低压煤层连续稳产抽采困难的问题,首创了穿越采空区水平井高效开发下伏煤层煤层气方法,揭示了采空区对下伏煤层储层特征的影响规律及控制机制,创建了穿越采空区水平井高效钻完井技术,研发出超低压煤层精细化抽排技术及装置,解决了穿越采空区开发下伏超低压煤层煤层气技术难题,推动了穿越采空区水平井高效开发技术从理论走向工程应用。

项目申请发明专利20余项,其中授权发明专利10项,制定国家标准3项、行业标准2项,发表论文20篇。

## **五、客观评价:**

(1) 2020年11月27日,中国煤炭工业协会组织专家对成果“山西松软低渗煤层煤层气顶板水平井分段压裂高效开发技术及示范”成果进行了鉴定,鉴定委员会一致认为,项目揭示了碎软煤层顶板水平井穿层压裂规律及控制因素,创建了紧邻碎软煤层的顶板水平井成套施工技术,建成了山西省第一组松软煤层高产示范顶板水平井,具有很好的推广应用前景,研究成果总体达到国际领先水平。

(2) 2020年6月23日,山西省科技厅组织专家对山西省科技重大专项项目“低

渗煤层煤层气顶板水平井分段压裂强化增产技术”进行了验收，验收组一致认为，项目提出了适合山西松软低渗煤层顶板岩层水平井高效开发模式，破解了松软低渗煤层煤层气高效开发技术难题，为山西省煤层气“增储上产”与可持续发展目标提供了技术支持。

(3) 2021 年 1 月，国家科技重大专项“煤矿区煤层气高效抽采技术与装备”项目办组织专家对《碎软煤层煤层气分段压裂水平井抽采技术》进行验收。验收组认为，项目提出了基于地质-工程一体化的水平井钻井层位优选评价方法，创新了顶板水平井和非固井水平井分段压裂技术，发明了大排量、高强度液压自导向水力定向喷射压裂一体化设备，形成了两套不同地质条件下完井水平井分段压裂煤层气强化抽采技术。应用效果很好，具有很好的推广价值。

(4) 2019 年 8 月 20 日，中国煤炭工业协会组织专家对成果“软硬复合煤层煤层气水平井分段压裂强化增产技术”进行了成果鉴定。鉴定委员会一致认为，项目提出了非固井煤层气水平井油管喷射分段压裂强化抽采新方法，开发出一套煤层气水平井油管拖动、喷砂射孔、油-环同注、大排量、防窜流分段压裂技术，研制了大排量、高强度水力喷射-压裂联作工具，具有很好的推广应用前景，研究成果总体处于国际先进水平，在软硬复合煤层水平井分段压裂增产技术领域处于国际领先水平。

(5) 成果“山西松软低渗煤层煤层气顶板水平井分段压裂高效开发技术及示范”荣获 2021 年中国煤炭工业协会科技进步一等奖，成果“低渗复合煤层煤层气水平井分段压裂高效抽采技术及应用”荣获 2020 年中国煤炭工业协会科技进步二等奖，成果“碎软低渗煤层顶板岩层水平井分段压裂煤层气高效抽采技术研发及应用”荣获 2020 年中国煤炭科工集团有限公司成果转化贡献一等奖，研究成果受到行业专家的高度认可。

(6) 项目成果受到山西省人民政府和山西省科技厅门户网站专题报道，同时包括山西日报、中国能源网、中国矿业网、中国煤炭网等全国 20 多家新闻媒体对该成果也进行了跟踪报道，产生了很好的社会影响。

## 六、应用情况：

项目通过不懈努力取得了关键技术的进步和创新，示范工程建设推动了煤层气水平井开发热情。对于推动我国类似复杂地层的煤层气（瓦斯）抽采具有很好的引领和示范作用，形成的关键技术和工程示范已经得到了很好的推广应用。截止目前，已在山西晋城矿区、潞安矿区、两淮地区、贵州地区累计推广应用 200 余口水平井，地面煤层气年抽采量达到 2 亿  $\text{m}^3$ ，累计抽采量超过 10 亿  $\text{m}^3$ ，减少煤矿井下大量瓦斯抽采工作和岩巷掘进的工作量，安全和经济效益十分显著。

## 七、主要知识产权和标准规范等目录：

详见下表 1。

## 八、主要完成人情况：

详见下表 2。

## 九、主要完成单位及创新推广贡献：

详见下表 3。

## 十、完成人合作关系说明：

该项目成果由中煤科工西安研究院（集团）有限公司联合山西蓝焰煤层气集团有限公司完成。

许耀波为成果第 1 完成人，自 2016 年开始至今，作为总负责人主持项目立项和整体研究工作，负责项目的验收与鉴定工作，主要完成人在项目中的合作关系如下：

1.许耀波、张群、徐建军、朱文侠共同完成项目《碎软低渗煤层煤层气水平井分段压裂技术研究》研究工作，对创新成果 1 作出了重要贡献。

2.许耀波、张群、郑玉柱、徐建军、朱文侠共同制定国家标准《碎软低渗煤层顶板水平井分段压裂技术规范》，对创新成果 1 作出了重要贡献。

3.张群、许耀波共同获授权发明专利《碎软低渗煤层顶板或底板分段压裂水平井煤层气抽采方法》，对创新成果 1 作出了重要贡献。

4.许耀波、张群、徐建军共同完成项目《软硬复合煤层水平井分段压裂强化增产技术》研究工作，对创新成果 2 作出了重要贡献。

5.许耀波、刘柏根、徐建军共同获授权发明专利《非固井套管完井煤层气水平井抽采方法》，许耀波、徐建军共同获授权发明专利《水平井自导向液压水力喷射装置及方法》，许耀波、郭盛强共同完成论文《软硬煤复合的煤层气水平井分段压裂技术及应用》，对创新成果 2 作出了重要贡献。

6.王宇红、郭盛强、李俊峰共同制定能源行业标准《煤矿采空区地面钻井作业规程》，对创新成果 3 作出了重要贡献。

7.田永东、李俊峰、许耀波共同制定国家标准《煤矿区煤层气抽采指南》，对创新成果 2、3 作出了重要贡献。

表 1 主要知识产权和标准规范等目录

知识产权名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
碎软低渗煤层顶板或底板分段压裂水平井煤层气抽采方法	中国	ZL202110515199.1	2021.08.10	4610289	中煤科工集团西安研究院有限公司	张群；姜在炳；李张培河
非固井套管完井煤层气水平井抽采方法	中国	ZL201710764015.9	2020.06.09	3831521	中煤科工集团西安研究院有限公司	许耀波；杜新锋；军；乔
一种过采空区套管钻井工艺方法	中国	ZL201410556303.1	2016.02.03	1940949	山西蓝焰煤层气集团有限责任公司	王保玉；田永东；峰等
水平井自导向液压水力喷射装置及方法	中国	ZL201811139780.2	2021.04.26	4366743	中煤科工集团西安研究院有限公司	许耀波；张培河；军；降
一种煤层气井裸眼井完井工艺	中国	ZL201410506729.6	2020.06.09	2388317	山西蓝焰煤层气集团有限责任公司	田永东；白建平；德锁
煤矿区煤层气抽采指南	中国	GB/T 41044-2021	2021.12.31	/	山西蓝焰煤层气集团有限责任公司；中煤科工集团西安研究院有限公司；等	田永东，杨昌永，河，许耀
碎软低渗煤层顶板水平井分段压裂技术规范	中国	GB/T 41164-2021	2021.12.31	/	中煤科工集团西安研究院有限公司	许耀波；张培河；徐建军；朱
煤矿采空区地面钻井作业规程	中国	NB/T 10866-2021	2021.12.22	/	山西蓝焰煤层气集团有限责任公司等	王宇红；李国富；安；何庆宏；郭盛
地面煤层气井压裂施工设计规范	中国	MT/T 1196-2020	2020.07.01	/	中煤科工集团西安研究院有限公司	许耀波，徐
软硬煤复合的煤层气水平井分段压裂技术及应用	中国	44 卷第 4 期	2019.04.20	煤炭学报	中煤科工集团西安研究院有限公司；山西蓝焰煤层气集团有限责任公司	许耀波；

表 2 主要完成人情况表

项目排名	姓名	行政职务	技术职称	工作单位/完成单位	对本项目的贡献
1	许耀波	首席科学家	研究员	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目总负责人，对创新成果 1、2、3 均有重要贡献，具体包括：负责项目的总体技术方案和实施方案制定；负责碎软煤层顶板水平井强化增产技术研究、中硬低压煤层非固井水平井控砂定点压裂技术开发，负责成果的验收、鉴定工作。
2	张群	/	研究员	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目主要参与者，对创新成果 1 有重要贡献，具体包括：提出了碎软低渗煤层顶板岩层水平井煤层气抽采方法，创立了基于顶板岩层水平井穿层压裂的碎软低渗煤层增产改造机理，参与了项目成果的凝练、总结工作。
3	田	董	教授	山西蓝焰煤	项目主要参与者，对创新成果 1、2、3 有重要贡献，具体包

	永东	董事长	高级工程师	层气集团有限责任公司	括：参与项目的总体技术方案和实施方案制定；负责水平井排抽技术方案制定与现场实施工作，负责协调项目示范工程建设与推广应用，参与了项目成果的凝练、总结工作。
4	王宇红	总经理	高级工程师	山西蓝焰煤层气集团有限责任公司	项目主要参与人，对创新成果3有重要贡献，具体包括：参与项目的总体技术方案和实施方案制定；负责了穿越采空区下伏煤层水平井抽采技术研发，制定了钻采空区水平井钻井技术方案，参与了项目成果的凝练、总结工作。
5	郑玉柱	副院长	研究员	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目主要参与人，对创新成果1、2有重要贡献，具体包括：参与项目的总体技术方案制定和组织实施；负责煤矿区碎软煤层顶板水平井钻井层位优选评价和中硬低压煤层水平井抽采优化部署工作；负责碎软低渗煤层顶板水平井与中硬低压煤层非固井水平井示范工程建设与管理。
6	李俊峰	副总经理	高级工程师	山西蓝焰煤层气集团有限责任公司	项目主要参与人，对创新成果1、3有重要贡献，具体包括：负责碎软煤层顶板水平井和穿越采空区下伏煤层水平井钻完井工艺技术研究，负责穿越采空区下伏煤层水平井示范工程建设与管理。
7	郭盛强	总工程师	高级工程师	山西蓝焰煤层气集团有限责任公司	项目主要参与人，对创新成果2、3有重要贡献，具体包括：负责揭示了采空区对下伏煤层储层特征的影响规律，研究了采空区下伏煤层水平井抽采部署方法，参与示范工程建设工作，负责组织和协调成果的推广应用。
8	刘柏根	项目主管	高级工程师	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目主要参与人，对创新成果1、2有重要贡献，具体包括：参与项目的总体技术方案和实施方案制定，参与项目推广应用，参与了项目成果的凝练、总结工作，负责组织项目验收和鉴定工作。
9	徐建军	项目经理	高级工程师	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目主要参与人，对创新成果1、2有重要贡献，具体包括：负责液压定向水力喷射压裂装置的研发与试验工作，参与示范工程建设工作，参与了项目成果的凝练、总结与验收和鉴定工作。
10	朱文侠	/	助理研究员	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目主要参与人，对创新成果1、3有重要贡献，具体包括：参与项目的总体技术方案和实施方案制定；参与示范工程建设工作，负责示范工程排采数据采集与分析及抽采效果评价工作。

表3 主要完成单位情况表

项目排名	完成单位	对项目的贡献
1	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	<p>对创新成果1、2、3均有重要贡献，具体包括：</p> <p>（1）负责项目的总体技术方案和实施方案制定，示范工程建设与效果评价工作；</p> <p>（2）负责提出了碎软低渗煤层顶板岩层水平井煤层气抽采方法，创立了基于顶板岩层水平井穿层压裂的碎软低渗煤层增产改造机理，研发出碎软低渗煤层顶板水平井钻井层位优选评价技术与穿层强化增产技术；</p> <p>（3）提出煤矿区中硬低压煤层水平井抽采优化部署方法，开发出本煤层非</p>

		<p>固井水平井控砂定点压裂技术开发，发明液压定向水力喷射压裂一体化装置；</p> <p>（4）参与了穿采空区水平井抽采技术研发与工程示范工作，负责超低压煤层水平井排抽技术方案制定与现场实施工作，负责示范工程排采数据采集与分析；</p> <p>（5）负责项目成果的凝练、总结工作，组织项目验收和鉴定工作。</p>
2	山西蓝焰煤层气集团有限责任公司	<p>对创新成果 1、2、3 均有重要贡献，具体包括：</p> <p>（1）参与项目的总体技术方案和实施方案制定，参与示范工程建设，负责成果的推广应用；</p> <p>（2）研发出穿越采空区下伏煤层水平井强化抽采方法，揭示了采空区对下伏煤层储层特征的影响规律和控制机制，研究穿越采空区下伏煤层水平井钻完井工艺技术，负责制定穿采空区下伏煤层水平井示范工程实施方案制定；</p> <p>（3）负责碎软煤层顶板水平井钻完井技术研发，参与碎软低渗煤层顶板水平井与中硬低压煤层非固井水平井示范工程建设与管理，推动示范工程实施；</p> <p>（4）参与项目成果的凝练、总结工作，参与项目验收和鉴定工作。</p>



## 项目六

一、项目名称：厚硬顶板矿压动力灾害井下分段压裂超前区域防治关键技术与装备

二、提名单位：陕西省科技厅

三、提名意见：

在我国复杂的沉积环境下，约 1/3 的煤层上覆存在有厚硬顶板，分布广泛，回采过程中悬顶面积大，突然垮落时易造成矿震、冲击地压、强矿压动力显现等动力灾害问题。现有防治技术多为局部治理，效果难以保证，矿压动力灾害仍持续不断，亟需开发煤层厚硬顶板矿压动力灾害的超前区域防治技术及装备。

基于以上关键问题，中煤科工西安研究院（集团）有限公司通过研究提出了基于“垮落填充+煤柱+承重岩层”协同支撑的单一厚硬顶板和“低位控来压-高位增破断-复合减叠加效应”的高低位错步短距破断的冲击、矿震等动力灾害防治机制。首创研发了煤矿井下定向长钻孔裸眼分段压裂成套装备，建立了压裂效果“时空”响应的多参量动-静结合的综合监测技术体系，创建了超前、精准、区域的矿压动力灾害防治新模式。成果已成功在山东兖矿、中煤西北能源、国能神东、彬长公司 15 个矿井 40 余个大型综采工作面示范应用，取得了良好的应用效果。创造了煤矿井下单孔 806m 长分 17 段以上压裂、覆盖 300m 以上宽度工作面的超前区域治理新记录。

项目取得授权发明专利 14 件，受理发明专利 6 件，发表科技论文 20 余篇，其中 SCI/EI 收录 10 篇，软件著作权 2 项。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖 二 等奖。

四、项目简介：

“厚硬顶板矿压动力灾害井下分段压裂超前区域防治关键技术与装备”成果主体来源于中煤科工西安研究院（集团）有限公司自筹资金科技创新重点项目“煤层坚硬顶板水力压裂超前改造技术研究”研究成果。

在复杂的沉积作用下，我国有 1/3 煤层形成了单一和复合厚硬顶板砂、砾岩，这些厚硬岩层厚度十数米甚至上百米，且具有强度高和整体性好等基本特征，开采过程中极易形成大范围覆岩空间结构，其失稳运动往往伴随不同程度的矿震、冲击地压、强矿压动力显现等问题。针对以上灾害问题，现有采取的防治方法主要有井下短钻孔水力压裂和爆破技术，整体取得了一定防治效果，但均存在不同程度问题，如短钻压裂钻探施工精度低，裸眼封孔效果差，有效治理范围小，无法区域防治；井下爆破存在工程量大，成本高，引发次生的 CO 等有毒气体污染井下环境，近年来政府对火工品监管力度越来越大，申请困难，难以推广使用。为了克服以上问题，项目提出了厚顶板强矿压动力灾害分段压裂区域卸压防治技术及装备研究，并通过理论研究、数值模拟分析，结合工程应用示范研究，攻克了煤矿井下厚硬顶板定向长钻孔裸眼分段压裂装备、矿震及冲击等动力灾害防治技术及综合评价方法的难题，形成多项创新成果。

项目在西安研究院科技创新基金重点项目支持下，针对上述难题开展科技攻关，取得了以下主要创新成果：

### **1.揭示了厚硬顶板地质成因、矿压动力灾害形成机制及防治原理**

我国复杂的沉积环境，在分流河道、天然堤、分流间湾沉积相控制作用下，形成了厚层坚硬砂岩普遍发育情况，极易形成单一厚硬大面悬顶突然垮落和复合厚硬顶板同时或相互作用破断运移引发的矿压动力灾害（冲击地压、矿震等）。在区域沉积环境研究基础上，通过“单井相-剖面-平面相”三位一体的沉积小旋回和单砂体精细追踪技术，实现了对复合坚硬顶板在矿井和工作面尺度上的单层追踪和时空展布精细刻画。揭示了研究区在曲流河河道边滩沉积微相作用下，经过沉积、成岩演化作用最终形成了以钙质、钙铁质胶结为主，抗压强度为 60~105MPa，单层厚度>10 m 的厚层状坚硬砂岩体的地质成因机制。建立了单一厚层和复合厚硬顶板覆岩运移力学模型，揭示了厚硬顶板大悬臂结构破断和复合扰动叠加诱发矿压动力灾害的机制，提出了基于“垮落填充+煤柱+承重岩层”协同支撑的单一厚硬顶板和“低位控来压-高位增破断-复合减叠加效应”的高低位错步短距破断的冲击、矿震等动力灾害防治原理。

### **2. 研发了煤矿井下厚硬顶板矿压动力灾害超前区域主动防治成套技术装备**

厚硬顶板矿压动力灾害压裂防治效果受目标层选择和超高位轨迹精准控制、裸眼封孔和压裂工具输送、压裂泵组排量和压力、单孔分段级数等直接影响。现有研究成果未见有顶板分段压裂区域防冲目标层选择方法，煤矿井下仅有适合煤层瓦斯增透抽采的整体压裂装置；石油天然气领域，为大直径、套管式、泵送桥塞+射孔压裂联做的压裂工艺，需要点火射孔作业，无法满足井下施工条件，且成本极高，厚硬顶板压裂参数定量设计研究不足。为了克服以上问题，项目构建了厚硬顶板压裂卸压位置精准判识模型，提出了压裂造缝深度计算方法，形成了厚硬顶板强矿压动力灾害控制的“纵、横、深”压裂裂缝判识方法，分析得出最优裸眼分段压裂施工参数组合。研发了由裸眼钻孔密封、定压压裂、可控安全分离和裸眼钻孔清洗等适用于坚硬顶板分段水力压裂的关键装置，并集成开发了远程智能可控、自动监测、多档位高压压裂泵组，形成了适合煤矿井下定向长钻孔裸眼分段压裂成套装备。研制了可变幅、大倾角移动成孔平台，开孔倾角 0~50°，垂高可达 100m 以上成孔，可通过电控或气控自移，安全便捷。装备可实现单孔 1000m、垂高 100m 以上分 17 段的压裂，裸眼密封能力达 70MPa 以上，装备输出压力 80MPa，泵组排量 87.5 m<sup>3</sup>/h，根据施工需要可实现 5 个档位控制调整，能实现 2km 以上距离的控制监测。开辟煤矿井下厚硬顶板矿压动力灾害超前区域防治新模式。

### **3. 建立了压裂效果“时空”响应的多参量动-静结合的综合监测技术体系**

准确掌握顶板分段水力压裂裂缝的几何形态、延展和压裂后微震能量、采场应力、岩移变形及矿压变化等特征，对评价厚硬顶板区域矿压动力灾害防治效果，检验和提高压裂防灾控灾设计的准确性具有重要指导作用。该体系主要针对压裂效果和灾害防治效果两部分，时间上分压裂前、中、后；空间上，工作面、孔内、顺槽及地表，方法上涉

及压裂数据处理、矿压数据监测、微震分析、孔内瞬变电磁，音频电透视、煤体应力，围岩及地表变形等。通过压裂数据分析、孔内瞬变电磁、音频电透视、孔中窥视及存储式微地震方法，由表及里，从点到线到面至体的研究了分段压裂裂缝发育及展布特征。具体表现为通过音频电透视揭示压裂裂缝体积全貌、孔内瞬变电磁展示裂缝平面范围及方向、微地震重点监测破断裂缝形成规律、孔内窥视探测岩层压裂裂缝表面具体特征，综合对比，实现压裂裂缝发育特征定量化分析。对压裂治理与未治理区域来压步距、强度和微震能量事件数据动态分析，综合超前煤壁应力，井-地联合的变形监测分析，从压裂与未压裂治理区域应力场、变形场和能量场多场融合对比，实现区域防灾效果定量评价。

项目取得授权发明专利 14 件，受理发明专利 6 件，发表科技论文 20 余篇，其中 SCI/EI 收录 10 篇，软件著作权 2 项。

项目研究成果已在纳林河二号井、东滩煤矿、布尔台、胡家河、孟村等 15 个矿井 40 余个大型综采工作面推广应用，累计治理区域超过  $8.0 \times 10^6 \text{m}^2$ ，累计新增销售额 38.21 亿元，创造新增利润 13.03 亿元，新增税收 7.61 亿元。项目研究成果可应用于矿震、冲击地压、过集中煤柱高应力危险区，硬煤改造，加速回采，煤层瓦斯增透等多个领域，应用前景广泛，丰富了煤矿井下厚硬顶板强矿压防治手段，填补了煤矿井下定向长钻孔裸眼分段压裂装备和技术空白。

项目成果分别在 2020 年 5 月 14 日、2021 年 12 月 29 日、2022 年 4 月 14 日被中国煤炭工业协会组织有关专家对该项目进行了科技成果鉴定，项目研究成果均达到“国际领先水平”。

## 五、客观评价：

(1) 2020 年 5 月 14 日，中国煤炭工业协会组织专家对“煤矿井下坚硬顶板强矿压灾害定向长钻孔分段水力压裂超前防治技术及装备”项目进行了成果鉴定。鉴定意见如下：①首创了煤矿坚硬顶板定向长钻孔裸眼分段水力压裂技术，开展了顶板压裂目标层优选、定向长钻孔布置方式和压裂参数的研究，建立了井下超长综采工作面强矿压超前治理新模式。②研发了煤矿井下水平定向长钻孔的多点拖动式裸眼分段压裂成套装备，包括裸眼钻孔密封、定压压裂、可控安全分离和裸眼钻孔清洗等适用于坚硬顶板分段水力压裂的关键装置。③研发了煤层坚硬顶板分段水力压裂效果立体综合监测技术，实现了多方位监测压裂裂缝在目标层中的展布方位和形态等特征，为煤矿井下水力压裂效果评价、钻孔在平面或空间布置和压裂参数优化提供了监测评价新方法。④项目成果已在布尔台、保德、榆家梁和石圪台等特大型煤矿成功应用，有效缓解和控制了综采工作面强矿压显现，取得了良好效果，经济和社会效益显著。⑤项目成果在煤矿井下坚硬顶板强矿压灾害防治领域达到国际领先水平。

(2) 2021 年 12 月 29 日，中国煤炭工业协会组织专家对“巨厚砂岩顶板定向长钻孔水力压裂矿震防治技术研究”项目进行了成果鉴定。鉴定意见如下：①采用大倾角“回

转钻进+风力排渣”复合动力钻进技术，实现了过泥岩段钻进 212m，基于孔口岩屑性状对比控制定向钻进，成功进入目标层位。②利用小通径油管（ $\phi 47\text{mm}$ ）成功实现了大孔径（ $\phi 120\text{mm}$ ）拖动式分段压裂，为矿震区域超前治理提供了方法。③提出了基于压裂实时参数分析、地面三分量频率谐振探测裂缝、回采期间微震及支架阻力数据监测的水力压裂矿震防治效果综合评价方法，实现了压裂状态的实时监测。④项目成果达到国际领先水平。

（3）2021 年 12 月 22 日，陕西省科学技术情报研究院对“复合坚硬顶板冲击地压定向长钻孔分段压裂超前区域主动防治技术研究”项目进行了科技查新，未见中外文相关文献涉及“厚硬顶板矿压动力灾害超前区域防治关键技术与装备”相关研究内容报道。

（4）2022 年 4 月 14 日，中国煤炭工业协会组织专家对“复合坚硬顶板冲击地压定向长钻孔分段压裂区域防治技术”项目进行了成果鉴定。鉴定意见如下：①建立了复合坚硬顶板覆岩运移力学模型，揭示了复合坚硬顶板地质成因和致灾机理，提出了复合坚硬顶板高低位错步短距破断冲击防治机制，形成了“低位降来压步距-高位增破断频次-高低位减叠加效应”的复合坚硬顶板冲击地压区域防治技术模式。②研制了复合坚硬顶板井下定向长钻孔分段压裂成套装备，开发了“高-低”位复合坚硬顶板快速、精准定向成孔工艺，建立了压裂关键层选取和裸眼分段压裂关键技术参数优化方法。③研发了多参量动-静结合的“时空”响应综合监测技术，建立了能量、应力、矿压及变形等多数据源融合的防冲效果定量评价方法，为煤矿井下定向长钻孔分段压裂防冲优化设计及区域防冲效果监测评价提供了方法手段。④项目成果达到国际领先水平。

## 六、应用情况：

项目研究成果自 2018 年在神东公司布尔台煤矿开展了整体应用，截止 2023 年 6 月，已在东滩煤矿、纳林河二号井、母杜柴登、胡家河、孟村、大佛寺、保德煤矿、榆家梁等 15 个矿井 40 余个大型综采工作面推广应用，其中施工分段压裂钻孔 360 余个，累计压裂 2800 余段，累计治理区域超过  $8.0 \times 10^6 \text{m}^2$ ，治理区域均已安全回采，累计新增销售额 38.21 亿元，创造新增利润 13.03 亿元，新增税收 7.61 亿元。其典型应用情况如下：

（1）厚硬顶板地质成因、矿压动力灾害形成机制及防治原理在纳林河二号井、母杜柴登、布尔台、东滩等典型厚硬顶板矿震、冲击等动力灾害矿井应用，揭示了厚硬顶板的成因机制，分析了矿压动力灾害演化机制，研究了厚硬顶板定向长钻孔裸眼分段压裂区域防灾原理。

（2）煤矿井下厚硬顶板矿压动力灾害超前区域主动防治成套技术装备，成功在东滩、纳林河、母杜柴登、胡家河、孟村、保德等典型厚硬顶板强矿压矿井开展了应用。定量确定了压裂防灾目标层位，形成了厚硬顶板强矿压动力灾害控制的“纵、横、深”压裂裂缝判识方法，分析得出最优裸眼分段压裂施工参数组合。累计 2800 余次的工程应用试验，装备裸眼耐压能力达到 70MPa，装备输出最大排量达  $87.5 \text{m}^3/\text{h}$ ，远程可控，数据自动储存记录，具备钻孔自清洗功能，单孔实现 806m 长垂高达 100m 以上的压裂

施工，累计压裂 17 段，填补了煤矿井下定向长钻孔裸眼分段压裂装备空白。

(2) 煤矿井下坚硬顶板强矿压灾害定向长钻孔分段压裂超前区域治理模式成功在布尔台、保德、榆家梁等 9 个矿井 30 个工作面，累计治理区域超过  $4.8 \times 10^6 \text{m}^2$ 。压裂区域与未压裂区域来压步距由 24~30m 降低至 17~21m，来压范围由平均 110 架缩小至 20~40 架，来压期间支架阻力由平均 48.2MPa 将至 38.1MPa；顺槽围岩应力降幅为 22.22%~32.05%，截止目前已安全掩护治理区域高效回采。

(3) 压裂效果“时空”响应的多参量动-静结合的综合监测技术体系成功在纳林河二号井、母杜柴登、东滩煤矿、胡家河、孟村等煤矿开展了应用示范，透明化展示了压裂裂缝延展方向、规模和形态，优化压裂施工参数和钻孔布置。通过压裂与未压裂区域对比分析可知，压裂改造后顶板来压步距、动载系数、来压范围分别由 17.6m 降至 11.67m，1.44 降至 1.23，140 架降至 40~60 架；治理工作面压裂区与未压裂区相比超前煤壁应力降幅达 65%以上，与相似地质条件工作面相比，压裂区超前煤壁应力降幅达 70%以上，压裂区微震能量平面发育由 150m 降低至 99m，垂向上更是由 169m 降低至 53m，加速了地面沉降稳定，沉降速度提升 150%以上，巷道变形得到有效控制，降幅达 40%以上，截止目前已实现治理区域安全、高效回采。

#### **七、主要知识产权和标准规范等目录：**

详见下表 1。

#### **八、主要完成人情况：**

详见下表 2。

#### **九、主要完成单位及创新推广贡献：**

详见下表 3。

#### **十、完成人合作关系说明：**

该项目成果由中煤科工西安研究院（集团）有限公司研究完成。郑凯歌为成果第 1 完成人，自 2018 年开始至今，作为总负责人主持项目立项和整体研究工作，主要完成人在项目中的合作经历如下：

1. 郑凯歌（1）、李彬刚（2）、陈志胜（3）、张 俭（4）、李延军（5）、戴 楠（6）、王泽阳（7）、赵继展（8）、靳秀良（9）、杨欢（10）共同完成《厚硬顶板矿压动力灾害超前区域防治关键技术与装备》研究工作，对创新成果 1、2、3 做出了重要贡献，首创了煤矿厚硬顶板定向长钻孔裸眼分段水力压裂技术，揭示了厚硬顶板地质成因、矿压动力灾害形成机制及防治原理，研制了煤矿井下水平定向长钻孔的多点拖动式裸眼分段压裂成套装备，研发了压裂效果“时空”响应的多参量动-静结合的综合监测技术体系，建立了井下超长综采工作面强矿压超前治理新模式，开发了厚硬顶板强矿压动力灾害控制的“纵、横、深”压裂裂缝判识方法，分析得出最优裸眼分段压裂施工参数组合，定量评价了压裂裂缝延展和灾害防治效果。丰富了煤矿井下厚硬顶板矿压动力灾害防治手段，填补了煤矿井下定向长钻孔裸眼分段压裂装备和技术空白。

2. 中煤科工西安研究院（集团）有限公司郑凯歌（1）、李彬刚（2）、陈志胜（3）、李延军（5）共同完成的“煤矿井下坚硬顶板强超长定向长钻孔裸眼分段压裂强矿压灾害防治技术与装备”项目，获得 2020 年中国安全生产协会科学技术二等奖。

3. 中煤科工西安研究院（集团）有限公司郑凯歌（1）、李彬刚（2）、陈志胜（3）、李延军（5）、戴楠（6）、王泽阳（7）共同完成的“复合坚硬顶板冲击地压定向长钻孔分段压裂超前区域主动防治技术研究”项目，获得 2022 年中国煤炭工业协会科学技术二等奖。

4. 中煤科工西安研究院（集团）有限公司郑凯歌（1）、李彬刚（2）、陈志胜（3）、张俭（4）、李延军（5）、戴楠（6）、赵继展（8）、杨欢（10）共同申请发明专利 4 项，对项目核心技术成果进行了专利保护，明确了项目成果的具体实施方法。

5. 中煤科工西安研究院（集团）有限公司郑凯歌（1）、戴楠（6）、杨欢（10）、王泽阳（7）共同发表论文 3 篇（EI 两篇），详细分析了复合坚硬顶板冲击地压分段压裂区域防治机理、坚硬顶板强矿压动力灾害演化机理与超前区域防治技术，阐明了在典型矿井的推广应用效果。

表 1 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	一种坚硬顶板冲击地压分段 控向压裂治理技术	中国	ZL 202010108802.X	2021-11-09	4779399	中煤科工西安研究 院（集团）有限公司	郑凯歌; 张俭; 李延军等
2	发明专利	坚硬顶板梳状长钻孔分段压 裂巷道变形源头治理方法	中国	ZL 202010108800.0	2021-06-22	4502946	中煤科工西安研究 院（集团）有限公司	郑凯歌;李延军; 赵继展;陈志胜等
3	发明专利	一种推动式孔内一体快速封 孔装置及方法	中国	ZL2020 10158526.8	2022-03-15	4997968	中煤科工西安研究 院（集团）有限公司	赵继展;郑凯歌; 陈冬冬;陈志胜等
4	发明专利	煤矿水力压裂用摆动式连续 加注支撑剂装置及加注方法	中国	ZL 201811093252.8	2021-01-19	3355402	中煤科工西安研究 院（集团）有限公司	赵继展;郑凯歌; 张俭;陈志胜等
5	发明专利	一种孔内延时自主封孔装置 及使用方法	中国	ZL202111068726.5	2021-09-13	4836453	中煤科工西安研究 院（集团）有限公司	赵继展;郑凯歌 董敏涛等
6	发明专利	一种煤矿井下定向压裂射孔 装置及其定位方法	中国	ZL202010630402.5	2022-06-14	5228743	中煤科工西安研究 院（集团）有限公司	张俭;王晨阳;赵 继展等
7	发明专利	煤矿井下旋混自胀式瓦斯抽 采钻孔快速封孔装置及方法	中国	ZL201810038623.6	2019-4-30	3355402	中煤科工西安研究 院（集团）有限公司	郑凯歌;赵继展; 孙四清等
8	发明专利	煤矿井下瓦斯抽采钻孔快速 封孔装置及使用方法	中国	ZL201610227891.3	2018-12-11	3178316	中煤科工西安研究 院（集团）有限公司	郑凯歌;赵继展; 孙四清等
9	论文	Mining-Induced Stress Control by Advanced	外文		2021-12		MInerals（SCI）	Zheng Kaige et al.

		Hydraulic Fracking under a Thick Hard Roof for Top Coal Caving Method: A Case Study in the Shendong Mining Area						
10	论文	Evolution and management of thick-hard roof using goaf-based multistage hydraulic fracturing technology—a case study in western Chinese coal field	外文		2021-04		Arabian Journal of Geosciences (SCI)	Zheng Kaige et al.



表 2 主要完成人情况表

项目排名	姓名	行政职务	技术职称	工作单位/完成单位	对本项目的贡献
1	郑凯歌	副所长	副研究员	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目总负责，对创新成果 1、2、3 均有重要贡献。具体包括：确定项目的总体技术方案并组织实施；总体把关煤矿井下坚硬顶板动力灾害超前区域弱化解危技术开发，发明了煤矿井下坚硬顶板超前弱化方法，提出了压裂效果综合监测方法体系。
2	李彬刚	所长	研究员	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目主要参与人，对创新成果 2、3 均有重要贡献。具体包括：技术指导专家，组织审定了压裂煤矿井下分段压裂工程应用实施方案，提出了裸眼分段压裂成套装备改进方案，组织了压裂裂缝监测技术应用，并进行了成果推广。
3	陈志胜	所长	研究员	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目主要参与人，对创新成果 1、3 有重要贡献。具体包括：负责压裂装备研发方案总体把关，综合监测方案的制定，参与完成孔内压裂成套工具设计、加工和工程应用，组织并参与压裂效果综合监测工程示范。
4	张俭	副部长	高级工程师	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目主要参与人，对创新成果 2、3 均有重要贡献。具体包括：组织和审查煤矿井下分段压裂工程应用实施方案，参与发明了一种坚硬顶板冲击地压分段控向压裂治理技术等，组织和落实工程试验场地，并根据试验结果，提出优化改进方案。
5	李延军	部长	副研究员	中煤科工集团西安研究院有限公司	项目主要参与人，对创新成果 3 有重要贡献。具体包括：负责井下裸眼分段压裂效果综合评价方法应用组织，主持综合监测试验方案设计。
6	戴楠	主管	高级工程师	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目主要参与人，对创新成果 2 有重要贡献。具体包括：负责煤矿井下坚硬顶板强矿压动力灾害分段压裂超前区域防治技术示范工程施工协调和管理，主持示范工程方案设计及报告审核。
7	王泽阳	项目经理	助理研究员	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目主要参与人，对创新成果 1、2 有重要贡献。具体包括：参与完成复合厚硬顶板冲击地压和单一厚硬顶板强矿压灾害工程试验，参与研究报告编写。

项目 排名	姓名	行政职务	技术职称	工作单位 /完成单位	对本项目的贡献
8	赵继展	部长	副研究员	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目主要参与人，对创新成果 2、3 有重要贡献。具体包括：参与完成压裂效果综合监测试验，进行压裂和监测效果的审核和把关。
9	靳秀良	无	研究员	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目主要参与人，对创新成果 3 有重要贡献。具体包括：负责井下裸眼分段压裂效果综合评价方法应用质量把关和验收，进行研究报告审核和鉴定成果组织及审查。
10	杨 欢	片区经理	助理研究员	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目主要参与人，对创新成果 2、3 均有重要贡献。具体包括：组织审定了压裂煤矿井下分段压裂工程应用实施方案，提出了裸眼分段压裂成套装备改进方案，组织了压裂裂缝监测技术应用。

表 3 主要完成单位情况表

项目排名	完成单位	对项目的贡献
1	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	<p>对本项目科技创新和推广应用的贡献：</p> <p>（1）负责项目总体技术方案的制定，负责项目的组织实施；</p> <p>（2）研究揭示了厚硬顶板地质成因、矿压动力灾害形成机制及防治原理；</p> <p>（3）研发了煤矿井下定向长钻孔裸眼分段压裂成套技术及装备；</p> <p>（4）揭示了煤矿井下厚硬顶板矿压动力灾害发生机理，构建了煤矿井下厚硬顶板矿压动力灾害裸眼分段压裂超前防治区域工艺技术流程；</p> <p>（5）综合监测了分段压裂矿压动力灾害区域防治效果和压裂裂缝发育特征；</p> <p>（6）将研究成果大规模推广应用至冲击地压、矿震等矿压动力灾害区域防治。</p>

## 项目七

一、项目名称：煤层气开发利用及采煤采气一体化关键技术及标准化

二、提名者：陕西省科学技术厅

三、提名意见

“煤层气开发利用及采煤采气一体化关键技术及标准化”，响应“国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要”、能源发展“十三五”规划指南中“4.5 煤层气、页岩气及现代煤化工关键技术标准研究”要求，针对我国煤层气标准化研究程度低且与产业发展严重不匹配、缺乏复杂地质条件下煤层气开发技术及标准等问题，研发形成了涵盖煤层气参数测试、钻完井、压裂、排采、利用以及采煤采气一体化的技术与标准，首次建立了我国煤层气标准体系。项目主要成果已在陕西、山西、安徽、贵州、黑龙江、重庆、内蒙古等数十个煤矿地面煤层气抽采与瓦斯治理设计、工程实践中进行了应用，获得了比较显著的综合效益。

项目共发布国家标准 7 项，申请发明专利 3 件，登记软件著作权 1 件，发表相关论文 9 篇。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖三等奖及以上。

四、项目简介：

本项目属于煤层气资源开发领域，成果主要用于煤矿区煤层气开发和瓦斯治理。

我国地面煤层气勘探开发及煤矿区瓦斯抽采虽历经数十年，但总体勘探程度和可采资源开发程度均很低，仍处于产业化发展的初级阶段。主要原因有两点：其一，煤层气技术标准严重不足、标准体系处于空白，标准化工作是实现产业安全、快速、可持续发展的基础和保证，煤层气标准现状难以满足产业稳健发展需要；其二，我国煤层气地质条件比较复杂，但煤层气理论和技术主要引进、消化吸收美国及加拿大等地质条件相对简单的国家，普遍存在“水土不服”或“下药不对症”的现象。为此，中煤科工西安研究院（集团）有限公司联合中联煤层气有限责任公司、山西蓝焰煤层气集团有限公司等单位，依托国家重点研发计划项目“煤层气、页岩气及现代煤化工关键技术标准研究”（2018YFF0213800）、课题“煤层气开发利用及采煤采气一体化标准体系研究”（2018YFF0213801），开展了地面煤层气开发利用技术、煤矿采煤采气一体化关键技术及标准制定的研究工作，通过 3 年的科技攻关，取得了如下主要成果：

**1. 搭建了涵盖煤层气“探、钻、压、采、用”与采煤采气一体化“五位+一体”的标准体系，提出了“弥缺补弱”的标准化发展思路与方向，为规范煤层气产业统筹发展提供了指导性纲领。**

基于煤层气勘探开发工程环节设置及我国煤层气开发技术现状，采用系统论方法梳理了煤层气勘探开发（地面抽采）领域全覆盖的标准体系框架，划分了地质探测、钻井工程、压裂改造、排采工程、集输利用工程等资源属性的标准子体系；基于煤矿区地面抽采在全国煤层气产量中比重及采煤采气一体化理念，将煤矿区地面抽采领域技术与标准纳入全国煤层气标准体系范畴，搭建了“五位+一体”的资源与安全属性的煤矿区地面抽采标准子体系。在其基础上，基于系统论方法首次构建了覆盖国内外煤层气地面开发（抽采）全领域的标准体系，提出了各标准子体系技术与标准化的“弥缺补弱”发展方向。

**2. 研发了基于吸附气与游离气储集孔隙分类的气含量测试方法，完善了煤层气含量测试方法及标准体系，实现了全煤阶煤层气含量的精确获取**

鉴于低阶煤中游离气比例增大、现行标准中测试方法主要针对吸附气的现象，开展了煤中吸附气与游离气储集孔隙空间差异划分及测试方法的研究，研发了吸附与游离气储集孔隙的核磁共振测试与精细描述技术，并建立了块体密度-孔隙度-孔径分布率-孔隙分类比-孔隙形态刻画的全孔径测试描述方法体系。利用马略特定律和气体状态方程，建立了符合煤物性与煤层气储集特点的游离气含量计算方法，完善了总气含量测试方法标准，实现了测定方法的全煤阶覆盖。

**3. 开发了基于资源系数、产气指数、间接经济效益的煤层气评价技术，完善了地面开发综合评价技术及标准体系，实现了煤层气开发多指标多层次评估**

大数据分析国内典型地区煤层气井的产气效果，开展了低产井地质诊断，揭示了开发效果的主要影响因素，提出了资源系数与产气指数的关联评价方法；分析了煤矿区煤层气地面抽采的安全属性及其效应，提出了地面抽采的间接经济效益评价指标与方法。综合建立了基于资源系数、产气指数与收益率指标（含直接收入与间接效益）的煤层气综合评价指标及方法体系。

**4. 规范了采空区、单一碎软厚煤层、多煤层的复杂条件下煤层气开发设计施工技术，完善了煤层气开发技术及标准体系，为实现地面开发条件全覆盖提供了支撑**

系统梳理了复杂条件煤层气开发技术现状与主要问题，规范了穿浅部采空区的煤层气钻井、单一碎软厚煤层的顶板水平井分段压裂、多煤层单一井筒的井底流压分层控制排采的设计及施工技术，完善了煤层气开发技术与标准体系，为实现我国

煤层气地面开发条件全覆盖提供了技术支撑。

### **5. 建立了适用于煤层气组分特征的液化质量指标体系，完善了煤层气利用技术及标准体系，为煤层气合理利用提供了科学依据**

基于煤层气组分与天然气差异以及煤层气利用下游市场需求，建立了适应于煤层气组分特点的液化质量指标和限值约束条件，确定了各指标的获取及检验方法，以及液化煤层气的储运工艺。本成果形成的标准与《民用煤层气（煤矿瓦斯）》（GB 26569-2011）、《车用压缩煤层气》（GB/T 26127-2010）共同形成了健全的煤层气利用技术体系。

项目共发布国家标准 7 项，申请发明专利 3 件，登记软件著作权 1 件，发表相关论文 9 篇。

### **五、客观评价：**

（1）国家科技部 21 世纪议程管理中心对本项目成果进行了验收，认为“项目研发了煤矿区采煤采气一体化瓦斯抽采、页岩气压裂返排液综合处理等技术，研制了煤层气、页岩气和现代煤化工关键技术标准，在煤层气、页岩气高效开发及现代煤化工过程监控技术等方面具有一定的创新性”，“建议后续加大标准成果宣贯，助力标准在三大产业的低碳转型发展中发挥更大作用”。

（2）经陕西省科学技术情报研究所科技查新，国内外未见其他与本项目技术成果相同的相关报道。

（3）项目成果“采煤采气一体化地面瓦斯（煤层气）抽采关键技术及标准化研究”荣获 2022 年中国职业安全健康协会科技进步一等奖。

（4）本项目形成的煤层气含量测试方法、煤层气排采技术等标准在学习强国、中国煤炭报、中国化工报进行了报道，获得了行业专家认可。

### **六、应用情况：**

项目优化形成的煤层气含量测试技术成果，已在山西、安徽、陕西、新疆、甘肃、贵州等地区的煤层气参数井测试中进行了大范围应用。煤层气勘探开发技术及复杂条件下煤层气开发设计技术等成果，已在安徽、甘肃、贵州等 20 余口煤层气井进行了应用，甘肃窑街矿区实施的垂直井最高日产气量超过 2000m<sup>3</sup>、平均日产量高达 1000m<sup>3</sup>，创造了窑街矿区及甘肃省地面煤层气开发产气量的纪录。安徽祁东煤矿实施的顶板分段压裂水平井最高日产气量超过 6000m<sup>3</sup>、平均日产量高达 3000m<sup>3</sup>，芦岭煤矿顶板分段压裂水平井稳定日产气量超过 10000m<sup>3</sup>，创造了构造煤地区地面

煤层气开发产气量的新纪录。煤层气开发综合评价技术成果，在陕西、山西、安徽、贵州、黑龙江、重庆、内蒙古等数十个煤层气开发可行性研究项目、煤矿地面抽采瓦斯治理方案项目进行了应用，陕西彬长矿区、山西寿阳区块、内蒙古天荣煤矿等地区，应用本技术成果已开展了工程应用，达到了预期效果。液化煤层气技术成果，已在山西晋城、沁南等地区数十家煤层气公司进行了较大规模的应用，为山西省“气化山西”战略提供了技术保障。

#### **七、主要知识产权和标准规范等目录：**

详见下表 1。

#### **八、主要完成人情况：**

详见下表 2。

#### **九、主要完成单位及创新推广贡献：**

详见下表 3。

#### **十、完成人合作关系说明：**

该项目成果由中煤科工集团西安研究院有限公司联合中联煤层气有限责任公司、山西蓝焰煤层气集团有限责任公司、中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司完成。

张培河为成果第 1 完成人，自 2018.07 开始至今，作为总负责人主持项目立项和整体研究工作，负责项目的验收与鉴定工作，主要完成人在项目中的合作关系如下：

1. 张培河、降文萍、杜新锋、胡雄、杨刚、李丹琼、何庆宏共同完成报告《煤层气标准体系》（全国煤炭标委会评审），降文萍、张培河、杜新锋、杨刚共同完成论文《我国煤层气标准体系构建》，对创新成果 1 作出了重要贡献。

2. 张培河、降文萍、杜新锋共同完成国家标准《煤层气含量测定方法》，胡雄、张培河、降文萍共同完成国家标准《煤和岩石孔径分布的测定 核磁共振法》，降文萍、张培河共同完成论文《煤中游离气含量估算方法及应用》，对创新成果 2 作出了重要贡献。

3. 张培河、降文萍、杜新锋共同完成国家标准《煤层气井排采工程设计规范》、《煤层气井分层控压合层排采技术规范》，杨刚、李丹琼、张培河、降文萍共同完成国家标准《煤层气钻完井设计指南》、《煤层气井压裂作业导则》，对创新成果 1、

4 作出了重要贡献。

4. 降文萍、张培河共同完成发明专利《一种低煤阶煤层气可采性评价方法》、软件著作权《煤层气可采性地质评价系统 V1.0》，对创新成果 3 作出了重要贡献。

5. 何庆宏、张培河共同完成国家标准《液化煤层气》，对创新成果 5 作出了重要贡献。



表 1 主要知识产权和标准规范等目录

序号	知识产权类别	知识产权名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	国家标准	煤层气含量测定方法	中国	GB/T 19559-2021	2021.08.20	/	中煤科工集团西安研究院有限公司	张培河、降文萍、李小彦、杜新锋、宋孝忠、田新娟 等
2	国家标准	煤层气井分层控压合层排采技术规范	中国	GB/T 40548-2021	2021.08.20	/	中煤科工集团西安研究院有限公司	杜新锋、张群、杜志强、张东亮、许耀波、张培河、降文萍 等
3	国家标准	煤层气钻完井设计指南	中国	GB/T 40547-2021	2022.03.01	/	中联煤层气有限责任公司、中煤科工集团西安研究院有限公司、山西蓝焰煤层气集团有限责任公司、中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司、中国石油大学(华东)、中国石油大学(北京)、河南理工大学	杨刚、朱光辉、米洪刚、李丹琼、胡滨、孟尚志、张培河、降文萍 等
4	国家标准	煤层气井排采工程设计规范	中国	GB/T 40546-2021	2021.08.20	/	中煤科工集团西安研究院有限公司、中联煤层气有限责任公司、山西蓝焰煤层气集团有限责任公司	杜新锋、乔康、刘嘉、张培河、降文萍、郑玉柱 等
5	国家标准	煤层气井压裂作业导则	中国	GB/T 40545-2021	2022.03.01	/	中联煤层气有限责任公司、中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院、中煤科工集团西安研究院有限公司、中海油田服务股份有限公司	李丹琼、朱光辉、贺甲元、杨刚、胡滨、孙晗森、傅小康、张培河、张守仁、吴见、张平、张健、降文萍 等
6	国家标准	液化煤层气	中国	GB/T 41031-2021	2021.12.31	/	山西蓝焰煤层气集团有限责任公司、华	刘军、翟慧兵、王宇

序号	知识产权类别	知识产权名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
							新燃气集团有限公司、煤与煤层气共采国家重点实验室、中煤科工集团西安研究院有限公司	鹏、张培河、何庆宏、郭盛强 等
7	国家标准	煤和岩石孔径分布的测定 核磁共振法	中国	GB/T 42035-2022	2022.10.12	/	中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司、中煤科工集团西安研究院有限公司、苏州纽迈分析仪器股份有限公司	胡雄、李晓明、张培河、成前辉、降文萍、朱学光 等
8	发明专利	一种多源煤系气分层控压单独计量排采装置及方法	中国	ZL 2021 1 1113800.0	2021.09.23	4858819	中煤科工集团西安研究院有限公司	杜新锋、杜志强、许耀波 等
9	软件著作权	煤层气可采性地质评价系统 V1.0	中国	2022SR0021599	2021.09.15	8975798	中煤科工集团西安研究院有限公司	降文萍、张培河
10	论文	煤中矿物质对甲烷生储特征影响的机理	中国	第 45 卷增 2	2020.12.25	煤炭学报	中煤科工集团西安研究院有限公司学	降文萍、张群、曾凡桂

表 2 主要完成人情况表

排名	姓名	职务	职称	工作单位/完成单位	对本项目的贡献
1	张培河	/	研究员	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目负责人，对创新成果 1、4、5 有重要贡献。负责煤层气开发利用技术及标准体系设计及研究，负责成果的总结、验收工作。
2	降文萍	西安院技术专家	研究员	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目主要参与人，对创新成果 1、2、3 有重要贡献。负责煤层气含量测试方法、煤层气评价方法、煤层气标准体系建立等研究，负责成果的总结、验收工作。
3	杜新锋	西安院技术专家	研究员	中煤科工西安研究院（集团）有限公司	项目主要参与人，对创新成果 1、4 有重要贡献，负责煤层气排采设计方法、多煤层分层控压合层排采的设计技术研发。
4	胡雄	/	高级工程师	中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司	项目主要参与人，对创新成果 1、2 有重要贡献，负责煤层气孔隙测试技术研究。
5	杨刚	/	高级工程师	中联煤层气有限责任公司	项目主要参与人，对创新成果 1、4 有重要贡献，负责煤层气井钻井与压裂工程的设计及施工技术研究。
6	何庆宏	/	高级工程师	山西蓝焰煤层气集团有限责任公司	项目主要参与人，对创新成果 1、5 有重要贡献，负责穿浅部采空区的煤层气钻井设计技术、液化煤层气技术研究。
7	李丹琼	/	高级工程师	中联煤层气有限责任公司	项目主要参与人，对创新成果 1、4 有重要贡献，负责煤层气井钻井与压裂工程的设计及施工技术研究。

表 3 主要完成单位情况表

完成单位	对项目的贡献
中煤科工西安研究院（集团）有限公司	<p>对创新成果 1、2、3、4、5 均有重要贡献，具体包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>负责项目总体设计、成果总结；</li> <li>负责煤层气含量测定方法、顶板水平井分段压裂设计方法、煤层气排采设计方法、煤层气分层控压合层排采设计方法、煤层气开发评价方法的研发；</li> <li>负责煤层气标准体系设计；</li> <li>负责项目成果的凝练、总结工作，组织项目验收和鉴定工作。</li> </ol>

中联煤层气有限责任公司	<p>对创新成果 1、4 均有重要贡献，具体包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 负责煤层气钻井设计、压裂作业设计方法研发；</li> <li>2. 参与煤层气标准体系编制。</li> </ol>
山西蓝焰煤层气集团有限责任公司	<p>对创新成果 1、4、5 均有重要贡献，具体包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 负责煤矿区煤层气穿采空区抽采技术、液化煤层气技术研发；</li> <li>2. 参与煤层气标准体系编制。</li> </ol>
中联煤层气国家工程研究中心有限责任公司	<p>对创新成果 1、2 均有重要贡献，具体包括：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 负责煤岩孔隙特征测试方法研发；</li> <li>2. 参与煤层气标准体系编制。</li> </ol>

## 项目八

### 一、项目名称：污（淤）泥协同大宗固废资源化绿色建材关键技术与工程应用

提名单位：陕西省科学技术厅

提名意见：

该项目依托“十三五”国家重点研发计划、“十二五”国家科技支撑计划、国家公益性行业专项、陕西省重大科技专项等项目，以污（淤）泥和大宗固废（建筑垃圾、煤矸石、尾矿、钢渣等）为原料制备绿色建材，提出污泥预处理技术及多组份固废净化分选技术，为多源固废协同处置提供条件；开发绿色建材产品绿色制备关键技术 6 项；集成形成固废基墙体材料、道路材料、轻骨料和保温材料及水泥混合材等 5 类绿色建材产品，产品性能达到现行标准要求，并开发产品应用技术。本项目技术成果创新性突出、技术指标先进，解决了污（淤）与大宗固废资源化利用过程中的关键技术难题。

项目研究成果已成功应用于陕西西安、富平、宝鸡、山东枣庄、新疆、广东、四川、安徽、重庆等地，特别在国家可持续发展议程创新示范区、粤港澳大湾区、“一带一路”和陕西西咸新区得到大量推广和应用，经济与社会效益显著。

项目总体成果达到国际领先水平。项目成果对污（淤）泥与大宗固废的资源化技术水平提升具有重大贡献，引领绿色建筑材料产业的发展。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

### 二、项目简介

随着新型城镇化和工业化的快速发展，城市固废（污泥、淤泥、建筑垃圾）与工业固废（煤矸石、尾矿、钢渣等）堆存量和年产量日益增加，对环境和社会造成了严重影响，同时“无废城市”建设试点工作方案的实施，实现其减量化、无害化、资源化处置已迫在眉睫。本项目依托“十三五”国家重点研发计划、“十二五”国家科技支撑计划、国家公益性行业专项、陕西省重大专项等项目，以污（淤）泥和大宗固废为原料制备绿色建材为出发点，围绕国家生态文明建设重大战略、国家可持续发展战略、陕西省固废资源化全产业链高质量发展的要求，针对难处置的 6 类城市和工业固废，开发出 3 项固废预处理关键技术、6 项绿色制备工艺

关键技术、5 类绿色建筑材料、建成 1 批绿色制备工艺技术集成与产品应用技术示范，攻克了污（淤）泥协同大宗固废资源化规模化消纳的难题，实现产业化推广应用，取得了系列创新性研究成果。

主要技术内容包括：（1）固废预处理关键技术开发。（2）绿色建材产品绿色制备关键技术；（3）绿色制备工艺技术集成与产品应用技术为工程应用提供技术支撑。

以本项目成果内容为基础，制（修）订国家标准 6 部；授权国家专利 93 项（其中发明专利 47 项，实用新型专利 46 项）；获中国建筑材料流通协会建材与家居行业科学技术奖一等奖 1 项和中国建材集团技术进步奖一等奖 2 项；出版学术专著 1 部（147 万字）；发表学术论文 185 篇，其中 SCI、EI 收录 14 篇。项目研究成果已成功应用于陕西西安、富平、宝鸡、山东枣庄、新疆、广东、四川、安徽、重庆等地，推广应用绿色建筑材料生产线 48 条，并建成示范工程 150 余万平方米，特别在国家可持续发展议程创新示范区、粤港澳大湾区、“一带一路”、京津冀地区、关天经济区和陕西西咸新区得到大量推广和应用，经济与社会效益显著。经查新和成果鉴定，项目总体成果达到国际领先水平。项目成果对污（淤）泥协同大宗固废资源化行业技术水平发展具有重大贡献，引领绿色建筑材料产业的发展。

### 三、客观评价

#### 1、专家意见及验收鉴定意见

（1）中国工程院院士陈勇教授认为：项目采用创新性预处理技术提高污泥脱水能力，攻克了污泥掺量低、环境污染严重等重大技术难题，将污泥含水率有效脱至 40%，使得烧结制品中污泥（含水率 40%）掺量 30%以上，其余全部为大宗固废，开发城市污泥绿色墙体材料及其绿色制造关键工艺技术，完成绿色制造工艺技术集成示范与产品应用，推动了城市污泥协同大宗固废在墙材行业的资源化利用，具有明显的经济效益和社会效益，市场前景广阔。项目总体研究成果达到国际领先水平。

（2）2015 年 2 月 15 日，陕西省科技厅组织专家对项目组完成的“烧结保温砌块成套生产工艺与结构应用技术”进行了科技成果鉴定，鉴定委员会一致认为：开发了烧结保温砌块原料处理、挤出成型、切码运、干燥和高效焙烧工艺技术与

装备，形成了烧结保温砌块成套生产工艺技术；开发出 3 类节能环保保温新产品、配套专用于干混薄层砂浆新产品、烧结保温砌块薄灰缝施工工艺及薄灰缝厚度控制技术，可实现砌筑灰缝 1~2mm，降低热量损失并节约灰缝原材料 80%以上；建立了烧结保温砌块砌体结构设计方法和构造技术。项目研究成果砌块孔型优化技术、薄灰缝厚度控制技术达到国际领先水平。

（3）2021 年 7 月 30 日，国家项目牵头单位组织专家，对“十三五”重点研发计划课题“城市污泥和矿化垃圾制备绿色墙材关键技术与示范”（2017YFC0703201）进行综合绩效评价，专家组一致认为：课题开发污泥复合矿化垃圾烧结墙体材料，实现污泥（含水率 80%）制备烧结墙材掺量达到 40%以上；开发污泥基保温板材，实现污泥（含水率 80%）掺量达到 50%以上，污泥保温板材导热系数达到 0.026 W/m·K。该项成果已经登记，达到国际领先水平。

（4）2023 年 3 月 18 日，中国建筑材料科学研究总院有限公司组织专家，对“十三五”国家重点研发计划课题“村镇地域再生材料制备生态建材关键技术研究”（2018YFD1101001）进行综合绩效评价，专家组一致认为：课题组成功采用不同生产工艺生产河湖淤泥保温建材制品，淤泥掺量达到 80%以上。

（5）2018 年 5 月 25 日，农业农村部科技教育司组织专家，对项目组完成的国家公益性行业（农业）科研专项“生活污水沼气化处理利用技术及设备研究与示范”（201303101）进行验收，验收专家组一致认为：项目针对我国生活污水资源化利用技术手段缺乏、效率低等问题，从生活污水预处理、厌氧发酵、消化污泥资源化利用 3 个方面，构建了污泥物理化学预处理、高固体沼气发酵、墙体材料制备与农田安全利用技术体系。

（6）2015 年 3 月 27 日，国家科技部、住房和城乡建设部组织专家，对项目组完成的“十二五”国家科技支撑计划“节能烧结类墙体材料成套应用技术研究（2011BAJ04B01）”进行了课题验收，验收专家委员会一致认为：课题组对烧结保温砌块及墙体热工性能、薄灰缝施工工艺和灰缝厚度控制技术研究，研发了薄灰缝砌筑砂浆；通过烧结保温砌块、砌体、墙体力学性能和抗震性能试验研究，提出了砌块、砌体、墙体设计指标及计算公式，最终建立了烧结保温砌块砌体结构设计方法。

（7）2016 年 11 月 29 日中国建筑材料集团有限公司组织专家，对项目组完

成的“十二五”国家科技支撑计划课题“水泥、墙材、窑炉大气污染物治理关键技术与示范（2013BAC13B01）”进行了课题验收，验收专家委员会一致认为：课题组开发了墙材窑炉大气污染物协同处置技术，示范线实测浓度与国家标准相比降低了 40%以上。

（8）2015 年 3 月 31 日住房城乡建设部建筑节能与科技司组织专家，对项目组完成的“十二五”国家科技支撑计划“固体废弃物本地化再生建材利用成套技术（2011BAJ04B05）”进行了课题验收，验收专家委员会一致认为：课题组成功研制出干化污泥消纳率达 30%以上的普通污泥轻骨料、干化污泥消纳率达 35%以上的污泥超轻骨料。

（9）2011 年 4 月 6 日陕西省科技厅组织专家，对项目组完成的陕西省科学技术研究发展计划项目“城市污泥生产烧结保温空心砌块开发（2006kz03-G2）”进行了验收，验收专家委员会一致认为：课题组通过对污泥基本特性的研究，开发了由污泥干化、混合料处理、挤出成型、坯体干燥和烧成的成套污泥制砖工艺技术及相关装备。该技术城市污泥掺量可达 50%，实现了污泥资源化利用，也为项目承担单位带来年产值亿元以上的收益。

## 2.本项目曾获科技奖励情况

序号	获奖项目名称	时间	奖项名称	等级	主要获奖人	授奖单位
1	固废综合利用制取再生增强轻骨料关键技术与应用	2021.12	中国建筑材料流通协会建材与家居行业科学技术奖	一等奖	权宗刚、浮广明、王科颖等	中国建筑材料流通协会
2	生活污水资源化墙体材料关键技术研究与应用	2018.12	中国建材集团技术进步奖	一等奖	权宗刚、浮广明、郑文衡等	中国建材集团有限公司
3	节能型烧结保温砌块成套生产工艺与应用技术	2017.12	中国建材集团科技进步奖	一等奖	权宗刚、浮广明等	中国建材集团有限公司

## 四、应用情况

项目研究成果已成功应用于陕西西安、富平、宝鸡、山东枣庄、新疆、广东、四川、安徽、重庆等地，推广应用绿色建筑材料生产线 48 条，并建成示范工程 150 余万平方米。



## 五、主要知识产权和标准规范等

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	标准	墙体材料中可浸出有害物质的测定方法	中国	GB/T 39804-2021	2020-10-1	国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会	中国建材检验认证集团西安有限公司, 西安墙体材料研究设计院有限公司等	权宗刚等
2	发明专利	一种利用隧道窑余热干化污泥的方法	中国	ZL201811039209.3	2020-02-08	4925964	西安墙体材料研究设计院有限公司	权宗刚; 梁栋
3	发明专利	一种污泥复合矿化垃圾制备墙体砖材的方法	中国	ZL201811039216.3	2020-10-02	4015196	西安墙体材料研究设计院有限公司	权宗刚; 梁栋
4	发明专利	一种矿化垃圾的分拣方法	中国	ZL201811038700.40	2020-06-26	3857172	西安墙体材料研究设计院有限公司	权宗刚; 梁栋
5	发明专利	一种建筑混合垃圾风力除杂方法	中国	ZL202110324599.4	2022-04-29	5117057	西安墙体材料研究设计院有限公司	权宗刚; 梁栋
6	发明专利	一种利用生活垃圾制备烧结砖的方法	中国	ZL201410554516.0	2016-01-20	1905861	西安墙体材料研究设计院有限公司	权宗刚;
7	标准	砖瓦工业大气污染物排放标准	中国	GB 29620-2013	2013-09-17	环境保护部, 国家质量监督检验检疫总局	西安墙体材料研究设计院	西安墙体材料研究设计院
8	论文	Preparation and Mechanism of SiO <sub>2</sub> Aerogel Gypsum Based Materials	欧洲	10.1080/10584587.2022.2072123	2022-07-29	Integrated Ferroelectrics, 2022,228(1).	西安墙体材料研究设计院有限公司	Quan Zonggang;Zhao Ning 等

9	论文	Cyclic load tests and seismic performance of recycled aggregate concrete (RAC) columns	欧洲	10.1016/j.conbuildmat.2018.10.078	2019-01-20	Construction and Building Materials, 195, 682-694.	西安建筑科技大学, 西安墙体材料研究设计院有限公司	Chao Liu; Zonggang Quan 等
10	论文	Evaluation of the flocculation and dewatering performance of dual polymers for treating oil sands tailings	其他	10.1002/CJCE.24031	2021-03-19	The Canadian Journal of Chemical Engineering. Volume 99, Issue . 2021. PP S645-S653	中国科学院合肥物质科学研究院等	LiXiaoxiao 等

## 六、主要完成人情况

完成人	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目的贡献
权宗刚	1	常务副院长	正高级工程师	西安墙体材料研究设计院有限公司	西安墙体材料研究设计院有限公司	全面负责并完成污（淤）泥协同大宗固废资源化绿色建材关键技术与工程应用关键技术路线、研究方案的制定。主要承担并完成污泥预处理技术及多组份固废净化分选技术、绿色建材产品绿色制备关键技术和绿色制备工艺技术集成与产品应用技术等内容的研究；负责完成成果推广应用。
佟立金	2	董事长	高级工程师	西安墙体材料研究设计院有限公司	西安墙体材料研究设计院有限公司	主要负责并完成污（淤）泥协同大宗固废资源化绿色建材关键技术与工程应用关键技术、成果推广应用。主要承担并完成机械窑炉余热复合太阳能多级深度脱水技术、绿色制造工艺技术集成示范与产品应用技术等内容的研究；负责成果的推广应用。
张超晖	3	董事长	正高级工程师	陕西建材科技集团股份有限公司	陕西建材科技集团股份有限公司	主要负责并完成污（淤）泥协同大宗固废资源化绿色建材关键技术与工程应用关键技术研究 and 成果推广应用。主要完成绿色建材产品绿色制备关键技术、绿色制备工艺技术集成与产品应用技术的研究；

						负责成果的推广应用。
刘 超	4	副处长	教授	西安建筑科技大学	西安建筑科技大学	主要负责并完成污（淤）泥协同大宗固废资源化绿色建材关键技术与工程应用固废预处理和绿色产品关键技术研究。主要完成配合比设计和协同制备原料技术、绿色建材产品与产品应用技术的研发。
李潇潇	5	副主任	研究员	中国科学院合肥物质科学研究院	中国科学院合肥物质科学研究院	主要负责并完成污（淤）泥协同大宗固废资源化绿色建材关键技术与工程应用中污（淤）泥多级深度脱水干化技术、污泥基保温材料的制备技术，负责污泥基保温材料的生产及工程应用示范。
赵 宁	6	无	讲师	深圳职业技术学院	深圳职业技术学院	主要负责并完成污（淤）泥协同大宗固废资源化绿色建材关键技术与工程应用中污（淤）泥和大宗固废预处理关键技术的研究，并进行成果的推广应用。
浮广明	7	主任	正高级工程师	西安墙体材料研究设计院有限公司	西安墙体材料研究设计院有限公司	主要负责并完成污（淤）泥协同大宗固废资源化绿色建材关键技术与工程应用中具体技术路线、研究方案的制订和实施。主要完成污泥预处理技术及多组份固废净化分选技术、绿色建材产品绿色制备关键技术和绿色制备工艺技术集成与产品应用技术等内容的研究。
王科颖	8	副主任	正高级工程师	西安墙体材料研究设计院有限公司	西安墙体材料研究设计院有限公司	主要负责并完成污（淤）泥协同大宗固废资源化绿色建材关键技术与工程应用中具体技术路线、研究方案的制订和实施。主要完成污泥预处理技术及多组份固废净化分选技术、绿色建材产品绿色制备关键技术和绿色制备工艺技术集成等内容的研究。
周 红	9	总经理	高级工程师	陕西建材科技集团股份有限公司	陕西建材科技集团股份有限公司	主要参与完成大宗固废预处理技术、绿色建材产品绿色制备关键技术和绿色制备工艺技术集成等，并负责成果推广应用。
郑文衡	10	总工	正高级工程师	西安墙体材料研究设计院有限公司	西安墙体材料研究设计院有限公司	主要参与完成污（淤）泥和大宗固废预处理关键技术、绿色建材产品绿色制备关键技术，开发出协同制备原料技术、挤出成型等工艺技术与装备，负责成果的推广应用。
郅 磊	11	副主任	高级工程师	西安墙体材料研究设计院有限公司	西安墙体材料研究设计院有限公司	主要参与完成绿色建材产品绿色制备关键技术、绿色制备工艺技术集成与设计技术和绿色建材产品的研究，并负责成果推广应用。

梁 栋	12	无	高级工程师	西安墙体材料研究设计院有限公司	西安墙体材料研究设计院有限公司	主要参与完成污（淤）泥和大宗固废预处理关键技术、绿色制备工艺技术集成与设计技术和绿色建材产品的研究。
时启林	13	副总经理	工程师	陕西建材科技集团股份有限公司	陕西建材科技集团股份有限公司	主要参与完成大宗固废预处理技术、绿色建材产品绿色制备关键技术和绿色制备工艺技术集成等。
王东利	14	总经理	高级工程师	中铁九局集团第三建设有限公司	中铁九局集团第三建设有限公司	主要参与并完成污（淤）泥协同大宗固废资源化绿色建材关键技术与工程应用关键技术研究，并负责成果推广应用。
李青兰	15	副主任	正高级工程师	西安墙体材料研究设计院有限公司	西安墙体材料研究设计院有限公司	主要参与完成污（淤）泥和大宗固废预处理关键技术、绿色制备工艺技术集成与设计技术和绿色建材产品的研究，负责成果推广应用。

## 七、主要完成单位

单位名称	排名	单位创新推广贡献
西安墙体材料研究设计院有限公司	1	主要负责开展污（淤）泥协同大宗固废资源化绿色建材关键技术与工程应用，依托国家和陕西省科技项目的实施，制定了确实可行的技术研究方案，有效组织并完成了各项预定研究目标，以污（淤）泥和大宗固废（建筑垃圾、煤矸石、尾矿、钢渣等）为原料制备绿色建材，提出污泥预处理技术及多组份固废净化分选技术，为多源固废协同处置提供条件；开发绿色建材产品绿色制备关键技术 6 项；集成形成墙体材料、道路材料、固废基轻骨料和保温材料及水泥混合材等 5 类绿色建材产品，产品性能达到现行标准要求，并开发产品应用技术。同时将科研成果成功应用于陕西西安、富平、宝鸡、山东枣庄、新疆、广东、四川、安徽、重庆等地，特别在国家可持续发展议程创新示范区、粤港澳大湾区、“一带一路”和陕西西咸新区得到大量推广和应用，经济与社会效益显著。
陕西建材科技集团股份有限公司	2	主要负责开展大宗固废制备水泥混合材、制备技术集成应用与成果的推广应用。
西安建筑科技大学	3	主要负责开展多组份固废净化分选预处理技术、固废协同制备绿色建材产品及应用技术的研究。

中国科学院合肥物质科学研究院	4	主要负责研发深度脱水污泥为原料制备建筑砌块和保温板材的技术工艺及产业化技术；参与实施污泥基保温材料的产业化与工程应用，在污泥基保温材料产业化和应用推广的过程中提供全面的人才和技术支撑。
中铁九局集团第三建设有限公司	5	主要负责开展负责绿色建材产品的推广应用，项目成果中的污（淤）泥基轻骨料作为骨料配制轻质混凝土、路面透水砖、透水混凝土路面等在其负责的项目上得到应用。
深圳职业技术学院	6	主要负责开展污（淤）泥协同大宗固废资源化绿色建材关键技术与工程应用，依托国家和陕西省科技项目的实施，以污（淤）泥和大宗固废（建筑垃圾、煤矸石、尾矿、钢渣等）为原料制备绿色建材，同时研究窑炉烟尘多级协同处置技术，并负责技术成果的推广应用。

## 八、完成人合作关系说明

本年度参与陕西省科学技术奖申报和评审的“污（淤）泥协同大宗固废资源化绿色建材关键技术与工程应用”项目成果，主要完成人权宗刚、佟立金、张超晖、刘超、李潇潇、赵宁、浮广明、王科颖、周红、郑文衡、郅磊、梁栋、时启林、王东利和李青兰共 15 人，完成人为西安墙体材料研究设计院有限公司、陕西建材科技集团股份有限公司、西安建筑科技大学、中国科学院合肥物质科学研究院、中铁九局集团第三建设有限公司和深圳职业技术学院科研团队核心成员。

团队成员长期合作，共同承担完成“十三五”国家重点研发计划项目“城市污泥和矿化垃圾制备绿色墙材关键技术与示范”（2017YFC0703201）、“村镇地域再生材料制备生态建材关键技术研究”（2018YFD1101001）、国家公益专项（201303101-5A）、“十二五”国家科技支撑计划项目（2011BAJ04B01）和（2013BAC13B01-06）、陕西省科技计划项目“城市污泥生产烧结保温空心砌块开发”（2006kz03-G2）等，发表 185 篇学术论文、授权 93 项国家发明专利、制（修订）6 项国家标准，完成的相关技术成果，为工程项目推广设计提供设计技术指导和技术保障，项目成果在陕西西安、富平、宝鸡、山东枣庄、新疆、广东、四川、安徽、重庆等地已成功应用。

人员排序考虑在项目中参加试验、计算分析、理论研究和工程技术应用、关键技术问题解决的的工作量大小、投入精力与时间多少、承担工作的重要性程度及在本项目研究与应用中成果的多少等因素，客观反映本项目成果每个主要完成人的科研工作业绩，经充分协商后一致确定。

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
1	共同获奖	权宗刚/1；刘超/4；浮广明 7	2014.01	2017.04	2017 年陕西省科学技术一等奖
2	共同获奖	权宗刚/1；浮广明/7；王科颖/8；	2019.01	2021.05	2021 年中国建筑材料流通协会建材与家居行业科学技术一等奖
3	共同获奖	权宗刚/1；浮广明/7；郑文衡/10；	2011.01	2016.12	2017 年和 2018 年中国建材集团技术进步奖一等奖

4	共同 立项	权宗刚/1；佟立金/2；刘超/4；李潇潇/5；赵宁/6；浮广明/7；王科颖/8；郑文衡/10；鄧磊/11；梁栋/12；李青兰/15	2006.06	2021.07	国家“十二五”、“十三五”重点研发计划项目；
4	发明专利	权宗刚/1；梁栋/12；	2018.01	2020.02	一种利用隧道窑余热干化污泥的方法
5	发明专利	权宗刚/1；梁栋/12；	2018.01	2022.10	一种污泥复合矿化垃圾制备墙体砖材的方法
6	论文 合著	权宗刚/1；赵宁/6；	2020.01	2022.07	Preparation and Mechanism of SiO <sub>2</sub> Aerogel Gypsum Based Materials
7	论文 合著	权宗刚/1；刘超/4；	2017.06	2019.01	Cyclic load tests and seismic performance of recycled aggregate concrete (RAC) columns
8	产业 合作	权宗刚/1；佟立金/2；张超晖/3；赵宁/6；周红 9；时启林 13；王东利 14	2015.05	2023.05	产业合作

## 项目九

### 一、项目名称：第三代大输量天然气管道用管材应用关键技术

### 二、提名意见

该项目通过技术攻关成功实现了第三代大输量天然气管道用管材的研发与应用，解决了管线钢化学成分-组织-性能设计及表征、止裂预测模型修正及全尺寸爆破试验技术、管线钢产品关键技术指标及标准、管材制造工艺技术、止裂器设计等难题。为国内大输量天然气管道建设和安全运营提供了有力的技术支持。

该项目研究成果达到了国内领先、国际先进水平，提高了我国天然气管道行业自主创新能力，其中该项目在国内首次自主开展的天然气介质、OD1422mm、12MPa、X80 钢管全尺寸气体爆破试验，验证了 OD1422mm X80 大输量管道动态延性断裂止裂关键技术指标，掌握了管道全尺寸爆破试验技术，建立了 X80、X90、X100 全尺寸气体爆破试验数据库；首次引入土壤因子，改进了材料流变应力计算公式，修正了管道止裂韧性预测模型，提高了基于 BTC 模型的止裂韧性预测精度，打破了国外技术垄断，推进了我国管道断裂控制技术的进步。

该项目背景突出，目标明确，研究内容针对性强，研究成果与大输量天然气管道工程紧密结合，具有广阔的应用推广价值。目前成果在鞍钢、湘钢、太钢、巨龙钢管公司、南京巨龙钢管公司、华油钢管公司、河北省盐山县电力管件有限公司、沧州隆泰迪管道科技有限公司等企业获得良好的推广应用，已产生巨大的经济效益和社会效益，并为中俄东线以及其它国内重大天然气管道工程提供了产品和技术支持。

推荐该项目为陕西省科技进步奖一等奖。

### 三、项目简介

高压大输量长距离输送是天然气输送管道技术的发展方向，采用高强度大口径管线钢管、提高输送压力是增大管道输量的有效方式。我国天然气输送管道起步晚，但建设速度快，对于 OD1422mm X80 管材，OD1219mm X90/X100 管材等第三代管线钢我国尚无开发和应用的经验，欧美等发达国家也未见大规模应用的报道。为突破高强度、高压、



大输量管道应用领域的技术瓶颈，夯实我国高强度大口径管道持续高质量发展的基础，在中国石油天然气集团公司科技项目支持下，针对化学成分-组织-性能相关性、止裂预测模型修正及全尺寸爆破试验技术、管线钢产品关键技术指标及标准、管材制造工艺及检测试验技术、止裂器设计等第三代大输量天然气管道用管材应用关键技术问题进行了系统性的研究，完成和取得了以下技术成果：

1、研究了第三代大输量天然气管道用管材(OD1422mm X80, OD1219mm X90 和 OD1219mm X100) 化学成分、微观组织与力学行为相关性，形成了高强度管线钢显微组织鉴定图谱，揭示了高强度管材显微组织对材料性能的影响规律，提出了高强度管线钢化学成分指标、微观组织类型、焊接材料及焊接工艺要求，为第三代大输量天然气管道用管材开发提供了理论支撑。

2、引入土壤因子和 DWTT 能量密度，发展了基于巴特尔双曲线（BTC）的高强度管道止裂韧性预测模型，提高了止裂韧性预测精度；建立了止裂概率的计算方法，形成了 OD1422mm X80、OD1219mm X90 和 OD1219mm X100 断裂控制方案。在国内首次开展了第三代大输量天然气管道的全尺寸气体爆破试验，验证了止裂韧性指标和改进后的 BTC 模型预测结果的准确性，建立了 X80、X90、X100 全尺寸气体爆破试验数据库。

3、提出了高强度管材力学性能控制指标，制定了高强度板材、焊管及配套弯管、管件的综合评价方案，形成了高强度管线钢管（OD1422mm X80、OD1219mm X90/X100）的系列技术标准。指导生产企业在国内首次开发了 OD1422mm X80、OD1219mm X90 和 OD1219mm X100 的高强度钢管、弯管、管件等系列产品，其中 OD1422mm X80 管材在中俄东线等重大油气管道工程中成功应用，X90 和 X100 管材产品填补了我国的技术空白。

4、开发了高强度管材组织和 DWTT 性能表征的试验方法，建立了高强度管线钢管有效晶粒尺寸/MA 岛定量分析方法、大尺寸非金属夹杂物的统计计算方法以及 DWTT 脆性启裂控制方法；提出了管线钢中大尺寸夹杂物控制指标以及高强度管材 DWTT 避免出现异常断口的试验技术，提高了高强度管线钢管组织、夹杂物和 DWTT 性能测试结果的准确性。

5、在国内首次攻克了高强度管道止裂器设计、制造、施工关键技术。开发了碳纤维止裂器、玻璃纤维止裂器、钢套筒止裂器等产品，制定了高强度管道止裂器设计导则。

通过项目研究，解决了高强度管线钢管显微组织控制及表征，断裂韧性预测、管材标准及制造工艺等关键应用技术问题，促进了油气管道领域科技进步，为材料科学领域

应用研究提供理论基础和技术方法。基于上述科研工作，本项目取得了一系列专著、论文、专利和标准等知识产权，包括专著 2 部，代表性论文 58 篇（其中 SCI/EI 20 篇），授权专利 19 项（其中发明 15 项），技术标准 41 项，软件著作权 1 项。相关成果推动了我国钢铁冶金行业和油气输送管道领域的技术进步，X80 管线钢管实现了规模应用，总量居世界首位；X90 管线钢管完成 3000 吨小批量试制，质量稳定，具备建设示范段的条件；X100 管线钢管完成单炉试制，性能满足标准要求，具备开展小批量试制的条件。项目成果目前已应用于中俄东线等国家重大管道建设，取得了显著的经济效益和社会效益。

#### 四、客观评价

中国石油天然气股份有限公司科技管理部于 2017 年 8 月 30 日-31 日在北京组织召开了《第三代大输量天然气管道工程关键技术研究》重大科技专项验收会议。验收委员会听取了项目组汇报，进行了认真讨论，形成验收意见摘录如下：

##### 1、计划任务完成情况总体评价

专项针对提高钢级、提高强度设计系数、增大管径三个技术方案开展系统的研究攻关，取得了 7 项理论成果，开发了 12 项关键技术和 9 大系列产品，建立了 7 大标准体系，形成了具有国际先进水平的第三代大输量高强度天然气管道建设成套技术，圆满完成了计划任务书规定的研究内容、研究目标和技术经济考核指标。

##### 2、取得的主要创新成果评价

(1) 开展止裂韧性预测模型研究，突破了传统 BTC 方法在进行止裂韧性预测的局限性，改进了 BTC 阻力曲线，建立了新的管道止裂韧性预测方法，确定了 X90 钢管延性断裂止裂韧性指标，提出了自身止裂控制方案。开展天然气管道的全尺寸爆破试验、止裂器设计研究，形成了高强度天然气管道断裂控制技术，为 X90 超高强度管线钢管的工程应用奠定基础。

(2) X90/X100 钢级管道建设技术方面，提出了 X90/X100 管材关键性能指标，研究制定了 X90 螺旋管及板卷、直缝管及钢板、配套弯管及管件的系列技术条件；研发了 X90 管材用焊接材料及工艺，开发了 OD1219mm X90 焊管、弯管及管件；研发了 X90 钢管环焊焊接工艺、现场施工工艺及配套施工装备。目前已具备开展 X90 管道试验段工程的条件。完成了 X100 钢管单炉试制，具备小批量试制条件。

(3) OD1422mm X80 管道应用技术方面，提出 OD1422mm X80 12MPa 管道止裂韧性

指标， 并进行了全尺寸气体爆破试验验证；编制 OD1422mm X80 钢管、弯管、三通等产品试制技术条件 10 项；编制现场管道施工工艺技术规范 3 项，研发坡口机、对口器、内焊机、外焊机等施工装备 4 台套，并在全尺寸气体爆破试验管段组焊中得到应用验证；完成试制钢管性能统计分析、管道风险因素识别，以及 OD1422mm X80 管道技术经济性分析。成果已应用于中俄东线 OD1422mm X80 管道试验段工程。

(4) 自主掌握管道全尺寸气体爆破试验技术。建设了天然气管道断裂控制试验场，填补了我国管道全尺寸爆破试验能力的空白，掌握了管道起爆点火、断裂速度测试以及气体减压行为测试等钢管全尺寸爆破试验成套技术，成功开展了 2 次 OD1422mm X80 、1 次 OD1219mm X90 管道全尺寸试验。

### 3、有形化成果及知识产权完成情况

专项有形化成果显著，形成包括设计、管材、配套产品、焊接及施工等 7 个体系共 41 项标准，开发包括 X90/X100 管材及焊材、0.8 设计系数管材、OD1422mm X80 管材等不同种类、规格产品 20 项，研发 OD1422mm X80 管道用坡口机、对口器、内焊机、外焊机等施工装备 4 台套。申报专利 45 件，注册软件 6 项，在国内外发表学术论文 73 篇，培养国家、集团公司和企业技术专家 36 人，圆满完成了计划任务书规定的要求。

### 4、成果应用效果及支撑作用评价

项目研究成果成功应用于西三线、中俄东线等管道工程建设，可有效降低管道建设成本，提高管道建设经济效益，促进了公司油气管道业务的持续健康发展。

验收委员会一致认为，本项目已按计划任务书和调整批复完成了规定的研究任务，实现了研究目标，达到了技术经济考核指标要求，验收资料齐全规范，一致同意通过验收，整体评价为优秀。

## 五、应用情况和效益

### 1. 应用情况

本项目在钢铁生产企业，制管企业，管件生产企业取得应用，协助开发并量产了 OD1422mm X80 管材系列产品，为中俄东线以及其它国内重大天然气管道工程提供了产品和技术支持。X90 管线钢管完成 3000 吨小批量试制，质量稳定，具备建设示范段的条件；X100 管线钢管完成单炉试制，性能满足标准要求，具备开展批量试制的条件。

在钢铁生产企业，协助沙钢、湘钢、鞍钢和南钢等企业，开发了 X80、X90、X100

强度级别中厚板，用于 OD1422mm X80 和 OD1219mm X90/X100 直缝埋弧焊管的制造；协助太钢、包钢、本钢等企业，开发了 X80、X90、X100 强度级别热轧板卷，用于 OD1422mm X80 和 OD1219mm X90/X100 螺旋缝埋弧焊管的制造。

在钢管制造企业，协助渤海装备青县巨龙钢管有限公司、南京巨龙钢管有限公司、华油钢管有限公司，开发了 OD1422mm X80、OD1219mm X90/X100 系列壁厚直缝埋弧焊管和螺旋缝埋弧焊管。在管件制造企业，指导河北省盐山县电力管件有限公司、沧州隆泰迪管道科技有限公司等单位开发了外径 1422mm、壁厚 25.7mm、30.8mm 和 33.8mm 弯管，以及壁厚 52mm 三通产品。

基于本项目科研成果，上述企业开发了不同种类、规格的厚壁 X80 管材产品，取得了显著的经济效益，同时也促进了企业技术进步，提高了产品制造水平，为国家重大管道工程建设和安全运行提供了保障。

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	应用起止时间	单位联系人/电话
1	巨龙钢管有限公司	管线钢的轧制方法及钢管、产品性能测试与表征技术、管材系列技术标准	X80 管材 53.17 万吨，新增销售额 39.21 亿元，利润 1.18 亿元。	2015-2022	陈小伟 15930783332
2	南京巨龙钢管有限公司	管线钢的轧制方法及钢管、产品性能测试与表征技术、管材系列技术标准	OD1422mmX80 管材 1.57 万吨，新增销售额 1.90 亿元，利润 3340 万元。	2017-2022	张志明 15005190791
3	华油钢管有限公司	管线钢的轧制方法及钢管、产品性能测试与表征技术、管材系列技术标准	OD1422mm X80 螺旋管 10.83 万吨，新增销售额 8.73 亿元，利润 4603 万元。	2015-2022	李建一 13463754735
4	江苏沙钢集团有限公司	管线钢的轧制方法及钢管、产品性能测试与表征技术、管材系列技术标准	X80 钢板 15.01 万吨，新增销售额 8.18 亿元，利润 7890 万元。	2017-2022	张继明 18951130206
5	山西太钢不锈钢股份有限公司	管线钢的轧制方法及钢管、产品性能测试与表征技术、管材系列技术标准	X80 卷板 33.5 万吨，新增销售额 15.09 亿元，利润 6470 万元。	2017-2022	赵彦峰 18235199569

6	湖南华菱湘潭钢铁有限公司	管线钢的轧制方法及钢管、产品性能测试与表征技术、管材系列技术标准	X80 钢板 1.32 万吨，新增销售额 7262 万元，利润 850 万元。	2017-2022	熊祥江 13975214878
7	内蒙古包钢钢联股份有限公司	管线钢的轧制方法及钢管、产品性能测试与表征技术、管材系列技术标准	X80 板卷 10.1 万吨，新增销售额 4.38 亿元，利润 2451 万元。	2017-2022	袁晓鸣 15044951174
8	攀钢集团西昌钢钒有限公司	管线钢的轧制方法及钢管、产品性能测试与表征技术、管材系列技术标准	X80 板卷 5.2 万吨，新增销售额 2.43 亿元，利润 3024 万元。	2015-2022	任守斌 15183436175
9	沧州隆泰迪管道科技有限公司	管线钢的轧制方法及钢管、产品性能测试与表征技术、管材系列技术标准	OD1422mmX80 弯管、管件 1445 吨，新增销售额 939 万元，利润 147 万元。	2017-2022	彭立山 15733788555
10	河北省盐山县电力管件有限公司	管线钢的轧制方法及钢管、产品性能测试与表征技术、管材系列技术标准	OD1422mmX80 弯管、管件 857 吨，新增销售额 1114 万元，利润 119 万元。	2017-2022	付金辉 13633178861

## 2. 经济效益和社会效益

“第三代大输量天然气管道用管材应用关键技术”项目，攻克了高强度管线钢化学成分-组织-性能设计与表征、止裂韧性预测及验证、制造工艺等关键技术，形成了高强度管线钢管合金设计准则，确定了管线钢产品关键技术指标并实现标准化；在国内首次开发出了第三代螺旋/直缝埋弧焊管、热煨弯管及管件等系列产品；建成国内首个天然气管道全尺寸爆破试验平台，掌握了大口径高压天然气管道爆破试验关键技术，创新了高钢级大口径管道止裂韧性预测模型，建立了断裂控制方案，为中俄东线、唐山 LNG 等国内大输量天然气管道工程提供了技术支持，形成了多项专利技术。

目前已将上述“第三代大输量天然气管道用管材应用关键技术”的研究成果在 10 余家钢铁生产企业和制管企业中得到推广应用，已为中俄东线等天然气管道工程提供 X80 钢管/弯管约 65.8 万吨，提供热轧钢板/卷板约 65.13 万吨。

按照新增销售额=产品单价（万元/吨）\*产品数量（吨）、新增利润=项目产品新增销售额-项目产品新增销售成本和税金计算，2020-2022 年，巨龙钢管有限公司新增产品销售数量 53.17 万吨，合计新增销售额 39.21 亿元，新增利润 1.18 亿元；南京巨龙钢

管有限公司新增产品销售数量 1.57 万吨，合计新增销售额 1.9 亿元，新增利润 3340 万元；华油钢管有限公司新增产品销售数量 10.83 万吨，合计新增销售额 8.73 亿元，新增利润 4603 万元；江苏沙钢集团有限公司新增产品销售数量 15 万吨，合计新增销售额 8.18 亿元，新增利润 7890 万元；湖南华菱湘潭钢铁有限公司新增产品销售数量 1.32 万吨，合计新增销售额 7262 万元，新增利润 850 万元；山西太钢不锈钢股份有限公司新增产品销售数量 33.5 万吨，合计新增销售额 15.1 亿元，新增利润 6470 万元；内蒙古包钢钢联股份有限公司新增产品销售数量 10.1 万吨，合计新增销售额 4.38 亿元，新增利润 2451 万元；攀钢集团西昌钢钒有限公司新增产品销售数量 5.2 万吨，合计新增销售额 2.43 亿元，新增利润 3024 万元；沧州隆泰迪管道科技有限公司新增产品销售数量 1444.78 吨，合计新增销售额 939.1 万元，新增利润 146.73 万元；河北盐山县电力管件有限公司新增产品销售数量 856.89 吨，合计新增销售额 1113.96 万元，新增利润 118.75 万元。近三年合计为制管企业创造新增销售额约 50.89 亿元，新增利润约 2 亿元；为钢铁企业创造新增产值约 30.81 亿元，新增利润约 2.69 亿元，取得了显著的经济效益。

本项目的研究成果在 OD1422mm X80、OD1219mm X90/X100 管线钢及钢管的生产、检验及应用技术等环节中进行了积极地推广应用，对第三代天然气管道工程用管线钢的技术和质量提升提供了巨大的技术支持，拓宽了管线钢管产品的设计和生產理念，形成了高强度、超大口径、厚壁管线钢生产和检验新手段，提高了管线钢的生产效率，节约了生产成本，也促进了企业技术进步，提高了产品制造水平，为国家重大管道工程建设和安全运行提供了保障，同时也为陕西省培养了一批管线钢应用研究领域的技术人才和科研团队，促进了材料研发制造学科的发展，具有重大的社会效益。

## 六、主要知识产权证明目录（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	管线钢的轧制方法及钢管	中国	ZL201210364520.1	2015.11.18	1839001	中国石油天然气集团公司、中国石油天然气集团公司管材研究所	张伟卫、池强、齐丽华、王鹏、李鹤、王海涛、熊庆人、吉玲康
2	发明专利	一种能够控制断裂行为的天然气管线及其延性断裂控制方法	中国	ZL201410643967.1	2017.5.10	2479472	中国石油天然气集团公司、中国石油天然气集团公司管材研究所	杨坤、李鹤、霍春勇、吉玲康、李炎华、马秋荣
3	发明专利	一种大体积钢中非金属夹杂物尺寸的统计计算方法	中国	ZL201511025126.5	2018.4.3	2867313	中国石油天然气集团公司、中国石油天然气集团公司管材研究所	张继明、池强、杨放、杨坤、李炎华、霍春勇、王海涛、封辉、胡美娟
4	发明专利	一种碳纤维复合材料止裂器及其制作及安装方法	中国	ZL201510981219.9	2018.1.2	2763650	中国石油天然气集团公司、中国石油天然气集团公司管材研究所	池强、李鹤、马卫锋、胡美娟、杨坤、张伟卫、黄呈帅、王鹏、齐丽华
5	发明专利	测量复杂微观组织结构钢的有效晶粒尺寸的方法	中国	ZL201310471228.4	2015.11.18	1843800	中国石油天然气集团公司、中国石油天然气集团公司管材研究所	李洋、孟利、张伟卫、张继明、吉玲康、池强、李炎华
6	发明专利	避免大壁厚高韧性 X80 钢管 DWTT 异常断口的 DWTT 试样及其方法	中国	ZL201811607634.8	2021.6.1	4459685	中国石油天然气集团公司、中国石油天然气集团公司管材研究所	李鹤、封辉、胡美娟、李为卫、黄卫锋、章传国
7	发明专利	一种天然气长输管道的失效分析方法	中国	ZL2020115859663.4	2022.1.28	4906458	西安特种设备检验检测院	毕成、杨旭、丁勇、负柯、刘金娥、鲁元

8	计算机软件	高压输气管道 止裂预测软件 V2.0	中国	2017SR 89691	2016. 11.1	19749 75	中国石油天然气集团公司、中国石油天然气集团公司管材研究所	李洋、程鹏明、刘刚、张伟卫、李鹤、李炎华、黄呈帅、王海涛、吉玲康、池强
9	企业标准	中俄东线天然 气管道工程技术 规范 第2部分: X80 级螺旋缝埋 弧焊管技术条件	中国	Q/SY GD0503 .2-2016	2016. 10.9	中国 石油 天然 气股 份有 限公 司管 道分 公司	石油管工程技术研究院	张伟卫、池强、赵新伟、齐丽华、李鹤、王鹏、杨坤、李炎华、吉玲康
10	论文	Influence of Dual-Phase Microstructures on the properties of high strength grade line pipes	中国	DOI: 10.1007/ s11665- 014-118 4-4	2014. 11.23	Journal of materi als engine ering and perfor mance	石油管工程技术研究院	吉玲康、李鹤林、王海涛、张继明、赵文珍、陈宏远、李洋、池强

## 七、主要完成人情况表

完成人	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
池强	1	所长	正高	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	项目负责，设计研究思路，确定研究内容，制定具体研究计划方案，全面负责项目组织实施并参与具体研究工作。



张伟卫	2	无	副高	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	项目设计,组织完成科研立项工作,参与完成项目组织实施,参与了大口径管线管开发,产品技术标准制定等工作。
王鹏	3	无	副高	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	负责 OD 1422mm X80 钢管断裂控制技术的研究,提出大口径管道断裂控制方案,首次在国内完成了全尺寸钢管气体爆破试验。
李炎华	4	无	正高	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	负责 X90/X100 管材关键技术指标研究,负责材料微观测试,以及全尺寸钢管气体爆破试验数据分析工作。
杨旭	5	总工程师	正高	西安特种设备检验检测院	西安特种设备检验检测院	负责项目具体实施,主要参与了高压天然气管道延性断裂止裂控制技术研究、管线钢微观组织对应力腐蚀开裂行为影响规律研究等工作。
吉玲康	6	无	正高	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	负责 X90/X100 钢管及评价方法研究,编制了钢管技术条件,协助钢铁和制管企业开发了 X90/X100 钢管。
齐丽华	7	无	正高	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	负责 OD 1422mm X80 弯管和管件研究开发工作,编制了弯管和管件技术条件,协助管件制造企业开发了大口径厚壁 X80 弯管和管件。
胡美娟	8	无	副高	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	OD 1422mm X80 钢管断裂控制技术的研究,参与了全尺寸钢管气体爆破试验技术的开发。
何小	9	无	副高	中国石油集团工程材料研究	中国石油集团工程材料研究	参与项目研究,负责第三代管线钢管焊接工作和微观分析工作。

东				院有限公司	院有限公司	
王磊	10	无	副高	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	参与项目研究，负责全尺寸钢管气体爆破试验采集系统的开发和数据采集工作。
鲁元	11	无	正高	西安特种设备检验检测院	西安特种设备检验检测院	负责项目具体实施，主要参与了高压天然气管道延性断裂止裂控制技术研究、管线钢微观组织对应力腐蚀开裂行为影响规律研究等工作。
高雄雄	12	无	副高	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	参与项目研究，负责 OD1422 X80 管线钢管质量评价技术研究工作。
王俊	13	无	副高	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	参与项目研究，负责 X90/X100 管线钢管质量评价技术研究工作。
杨耀彬	14	无	副高	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	负责 OD1422 X80 直缝钢管质量评价技术研究工作，开展了高钢级管线钢成分-组织-性能相关性研究。
陈越峰	15	无	副高	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	负责 OD1422 X80 螺旋缝钢管质量评价技术研究工作，开展了高钢级管线钢成分-组织-性能相关性研究。

#### 八、主要完成单位及创新推广贡献

序号	主要完成单位	创新推广贡献
----	--------	--------

1	中国石油集团工程材料研究院有限公司	<p>中国石油集团工程材料研究院有限公司作为项目主持单位和完成单位，主持、承担、组织相关科研人员围绕第三代大输量天然气管道用管材开发及应用技术开展了系统研究，取得了5项创新性成果和专有技术：1) 掌握了高强度管材化学成分、组织及力学行为相关性，提出了高强度管线钢的化学成分指标要求，形成了高强度管线钢显微组织鉴定图谱。2) 在国内首次建立了X80、X90、X100全尺寸气体爆破试验数据库，引入土壤因子，改进了材料流变应力计算公式，修正了管道止裂韧性预测模型，提高了基于BTC模型的止裂韧性预测精度。3) 提出了高强度管材的组织及力学性能控制指标，形成了高强度管线钢管的系列技术标准。在国内首次开发了第三代大输量天然气管道用管材产品，其中OD1422mm X80管材在中俄东线等重大油气管道工程中成功应用，X90和X100管材产品填补了我国的技术空白。4) 提出了高强度管材组织和性能表征的试验方法。5) 在国内首次攻克了高强度管道整体和外部止裂器设计、制造、施工关键技术。申报获批国家专利18件，登记计算机软件1项，编制发布钢管、钢板、板卷、弯管、管件产品和试验技术标准41项，发表论文55篇，形成专著2部。作为项目主持单位和完成单位，提供了项目所需要的人力资源、设备仪器、实验研究条件、原材料、技术质量保证、环境条件、实验研究经费及其它方便，保证项目的顺利进行及研究成果的推广应用。</p>
2	西安特种设备检验检测院	<p>西安特种设备检验检测院主要负责高强度管线钢应力腐蚀开裂机理研究。掌握了环境对高强度管线钢应力腐蚀开裂行为的影响规律，完善了高强度管线钢应力腐蚀开裂敏感性理论体系。建立了一种腐蚀环境下基于韧性参数的天然气管线钢失效可靠度预测方法，提高了管道使用寿命的预测精度。相关成果推动了我国钢铁冶金行业和油气输送管道领域的技术进步，促进了X80及以下强度管线钢在组织性能精准控制、管材抗腐蚀</p>

		<p>能力等方面的技术革新和进步，提高了天然气管道的使用寿命，降低了管道故障维修成本。在本项目研究过程中，形成了论文 3 篇、发明专利授权 1 项。</p> <p>作为项目完成单位，提供了项目所需要的人力资源、设备仪器、实验研究条件、原材料、技术质量保证、环境条件、实验研究经费及其它方便，保证项目的顺利进行及研究成果的推广应用。</p>
--	--	---

**九、完成人合作关系说明**

本项目在第 1 完成人负责下，组织力学、材料学、机械、焊接、石油工程等专业技术人员，成立本项目的研究和现场应用攻关小组。在第 1 完成人带领下，项目组成员协同合作共同立项，并开展了系统性的科研攻关工作。在项目研究工程中，项目组成员共同发表了大量论文，申报了数项专利，共同参与制定了多项标准规范，并将项目研究成果进行了推广应用，因此本项目成果是所有完成人共同努力的结果。

## 项目十

一、项目名称：复杂苛刻深井用油套管完整性技术研发及规模化应用

### 二、提名意见

该项目通过技术攻关创建了高钢级油套管材料性能控制指标体系，规范了高钢级油套管使用，形成中国石油企业标准。研发了高强度高韧性耐腐蚀的专用油井管钢及生产工艺，实现了产品性能稳定可靠和经济高效的生产，并在深井和超深井钻井与完井中取得了广泛应用。创新了油井管用气密封特殊螺纹密封失效判据并研发了新型高性能螺纹，完善了气密封理论和提升了螺纹性能。创新了高温高压气井完整性评价方法，提高了井下管柱可靠性。

该项目研究成果整体达到了国际先进水平，高钢级抗硫套管达到国际领先水平，提高了我国高性能油井管自主创新能力。高钢级抗硫 125S/TS 油套管，硫化物应力腐蚀评价各向性能指标已超越国际同行知名企业技术水平，实现低温抗硫应力腐蚀。高性能气密封螺纹首次实现钛合金油管井下应用。首次开展了气密封特殊螺纹密封抗疲劳实物全尺寸试验评价及方法建立，形成抗疲劳性能指标，列入中国石油标准油套管采购技术规格书。项目形成中国石油企业标准 4 项，国家行业标准 2 项，对中国石油深井超深井油套管选用评价及安全使用提供了技术保障，在中国的 8000m 以上 56 口井中应用。

该项目背景突出，目标明确，研究内容针对性强，研究成果与深海深地油气田开发紧密结合，具有广阔的应用推广价值。目前成果在中国石油、石化、海油的超深井已规模应用，已产生巨大的经济效益和社会效益，并在塔里木和川渝的中国首口万米深井中应用，已完成大口径高钢级抗硫 125TS 套管应用，为中国能源向深海深地开发提供了技术支撑。

推荐该项目为陕西省科技进步二等奖。

### 三、项目简介

2022 年我国油、气对外依存度高达 71.2%和 40.2%，接近国际能源安全警戒线，能源安全风险迫在眉睫。习近平总书记明确提出：“向地球深部进军是我们必须解决的战略科技问题，必须加大油气资源勘探开发力度，确保能源安全”，守住年产原油 2 亿吨、天然气 2600-3000 亿方的红线。因此，为保障国家能源安全，我国油气开采向深地、深海进军已成为必要趋势，正在开展的万米深井不得不面临前所未有的复杂地质条件、超深（大于 9000m）、超高温（大于 200℃）、超高压（大于 150MPa）、高含 H<sub>2</sub>S/CO<sub>2</sub>/氯离子 Cl<sup>-</sup>等苛刻服役环境及其引发的“超级”难题，对油井管提出了更高要求和严峻挑战。现有高温高压气井虽然都采用气密封螺纹、严格完井管柱设计和选材，但仍然存在油井管完整性失效、天然气泄漏及其引发的环空带压等问题，其主要原因在于，现有非 API125 抗硫钢级和非 API140 以上钢级不能满足上述

恶劣工况，对缺陷及服役环境敏感，易发生断裂，而且国内外尚无此类高钢级套管应用技术标准。

为此，项目组依托国家科技重大专项、国家自然科学基金及中国石油科技专项等课题，从苛刻服役工况高钢级油井管完整性技术需求入手，系统开展了高钢级油井管材料性能控制指标体系、高强度高韧性耐腐蚀的专用油井管钢及生产工艺、新型高性能螺纹连接及其完整性评价方法研究，通过十余年多学科联合攻关，突破了复杂苛刻深井用油套管完整性技术研发及规模化应用的一系列关键技术，取得了四方面创新成果。

**(1) 首次创建了高钢级油套管材料性能控制指标体系，规范了高钢级油套管使用，形成中国石油企业标准。**结合非 API 高钢级套管全尺寸爆裂测试数据及加权双剪应力屈服准则，构建了充分考虑应力应变强化、包辛格效应、腐蚀缺陷、裂纹形态、无损检验水平、两端开口及堵口服役工况的高钢级油套管韧性爆裂压力模型，创新了高钢级油套管抗环境开裂所需的最小断裂韧性及横向冲击功计算方法，确定了高钢级油套管材料最小断裂韧性及横向冲击功与其几何参数、服役工况及无损检验水平之间的相关性，提出了油套管材料化学成分、拉伸力学性能、硬度、断裂韧性及冲击功控制指标，建立了硫化物应力腐蚀检验评价方法，创建了覆盖材料成分、力学性能、金相组织、腐蚀行为的高钢级油套管材料性能控制指标体系，140V/155V 钢级和 125S/TS 材料性能指标体系已被中国石油企业标准“PTS-020401-01.00-2018 无缝套管采购技术规格书”采纳。

**(2) 研发了高强度高韧性耐腐蚀的专用油井管钢及生产工艺，实现了产品性能稳定可靠和经济高效的生产，并在深井和超深井钻井与完井中取得了广泛应用。**建立了碳，锰，铬，钼，铜等合金元素优化及铌钒微合金化等技术，并依据高钢级的高强度高韧性质量控制指标体系，研发了 140v 和 155V 高钢级套管。采用纯净钢冶炼技术：钢包炉精炼、真空脱气及夹杂物控制技术；精轧技术：精确控制管坯温度，保证管坯轧成管子后性能的稳定和尺寸精度；热处理技术：精确控制淬火炉和回火炉温度对套管进行调质处理以保证钢管的性能；消除残余应力技术：管体的高 V 含量促使其回火的温度可以较高，这保证钢管出回火炉后进入矫直机的温度比较高。研发了 125TS 高抗挤抗硫油套管，通过成分和工艺优化，采用铜钒复合时效，结合亚稳奥氏体控制技术，实现超细、亚稳、片层式抗裂纹扩展的组织结构，本征提升应力状态下抗 HIC 开裂能力，形成新的合金设计与组织调控机理以及全套生产工艺技术。研发了高强度抗疲劳套管提出“热轧卷板+HFW 焊接成型+热张力减径+热处理”制造工艺，研究开发了细晶粒尺寸、疲劳性能优异的高强抗疲劳石油套管。为深井超深井钻完井提供了技术保障。

**(3) 创新了油井管用气密封特殊螺纹密封失效判据并研发了新型高性能螺纹，完善了气密封理论和提升了螺纹性能。**在国内外首次提出基于气密封特殊螺纹实物产品加工、上扣、井下使用全过程的气密封完整性失效判据；量化分析了气密封螺

纹密封面加工椭圆度、上扣旋转滑移、载荷下密封面相对移动速率，创新构建了气密封模型和计算方法，实物复合载荷气密封试验和高温高压气井应用验证了气密封判据的可靠性。发明了高性能气密封螺纹结构：密封面采用锥面+球面多段复合结构，克服了大口径薄壁套管密封面加工椭圆度大、上扣沿圆周旋转滑移摩擦磨损严重、井下工况“高温+拉伸/压缩+弯曲交变载荷”确保生产使用过程中全寿命密封完整性。新型高性能气密封螺纹已开发出钛合金油管、大口径高钢级套管、高钢级抗硫套管，均通过国际标准 ISO 13679（2019）最苛刻四级评价。

**（4）创新了高温高压气井完整性评价方法，提高了井下管柱可靠性。**建立了油套管气密封螺纹动态载荷弯曲共振密封和疲劳全尺寸实物试验评价方法和装备。发展了 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S 环境下油套管材料电化学腐蚀和应力腐蚀评估方法，建立了油套管材料选用指南，制定了国家/行业标准 2 项；建立了多参数耦合的油管 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S 腐蚀速率预测方法，搭建了油管腐蚀数据管理平台，形成了腐蚀完整性评价手段。

项目获得专利授权 15 项（其中中国发明专利 14 项、国际发明专利 1 项），制定国家和行业以及企业标准 5 项，发表论文 20 篇（其中 SCI/EI 收录 20 篇），编写专著 1 部，收录“国家科技部安全适用产品名录”2 项，获中国石油自主创新产品 2 项，获陕西省创新创业大赛银奖 1 项。

项目研究成果已在复杂苛刻高温高压气井、非常规长水平井、超深井及万米深井上规模化应用，8000m 以上超深井应用 56 口，万米深井应用 2 口。近五年企业新增收入 78.34 亿元，新增利润 11.53 亿元。项目研发的 140V/155V 高钢级套管和 125S/TS 高钢级抗硫套管以及系列化气密封螺纹性能达到国际先进水平，获得国家石油管材质量监督检验中心、美国石油协会 API 和国际石油公司 shell、Amoco、ExxonMobil、Chevron 等 20 多家知名国际石油公司认证并完成油井管出口。

#### 四、客观评价

复杂苛刻深井用油套管完整性技术研发及规模化应用的创新成果 4 项：高钢级油套管材料性能控制指标体系；高强度高韧性耐腐蚀的专用油井管钢；气密封失效判据和高性能气密封螺纹；完整性试验评价装备和方法。

**技术检测报告：**非 API 高钢级 140V/155V 产品性能指标已纳入中国石油 PTS-020401-01-2018《无缝套管采购技术规格书》。高钢级 140V/155V，125TS 高钢级抗硫套管，高性能气密封螺纹，经国家石油管材质量监督检验中心和国家石油管材工程技术中心试验验证均达到国际标准和订货技术条件规定的相关要求，质检报告（2020）质检字 615 号“196.85×12.70mm TP140HC TPG4 套管及螺纹性能检测”，（2014）质检字 474 号“265.13×22mm TP155V TP-FJ 套管及螺纹性能检测”，（2011）质检字 112 号“259×19.25mm TP155V 套管抗挤毁检测”，125S/TS 硫化氢应力腐蚀（拉伸）试验报告，（2019）质检字 622 号“139.7×12.7mm 125SG BJC-II 套管及螺纹性能检测”，（2019）管检字 044 号“88.9×7.34mm 钛合金-110 BJC-II 油管及螺纹性能检测”，报告内容见附件。

**项目验收意见：**国家科技重大专项研究任务“异常高温高压气井油管柱完整性关键技术研究”：1) 形成气密封特殊螺纹振动载荷疲劳寿命预测分析技术；2) 基于气密封完整性形成完井管柱三轴设计系数分析技术；3) 开发钛合金油管气密封螺纹1项，性能达到国际标准要求。中国石油科学研究与技术开发项目“页岩气开发用套管适用性技术现场试验”：制定中国石油企业标准《页岩气用生产套管选用及评价》Q/SY07004-2016，推荐了页岩气用高钢级外加厚套管性能参数在生产中得到应用。对套管柱设计、采购、质量评价提供了依据。“西南油气田天然气上产300亿立方米关键技术研究与应用——全尺寸腐蚀与螺纹密封性能试验、评价及失效研究”：形成腐蚀预测模式，编制了油管腐蚀数据库管理系统；建立了气密封螺纹密封可靠性分析方法和判据理论模型。上述项目综合评估均为优秀。

**产品证书：**获中国石油自主创新产品证书2项，经济型气密封螺纹接头（证书编号2015E045）；气密封特殊螺纹套管（证书编号2015E046）。国家科技部发布的安全适用产品名录2项：气密封特殊螺纹连接套管。获陕西省2019年创新创业大赛银奖“油套管用新型气密封特殊螺纹开发及推广应用”。

## 五、应用情况和效益

### 1. 应用情况

天津钢管集团股份有限公司从2010年起与中国石油集团工程材料研究院有限公司合作开展复杂苛刻深井用油套管完整性技术研发及规模化应用项目，研发的高钢级高韧性耐腐蚀高性能气密封特殊螺纹油套管，已广泛应用于中国石油、石化、海油以及延长油田，并出口至北美、中东、东南亚的20多家国际知名石油公司。在中国超深井塔里木、川渝油气田的万米深井中应用，完全替代进口全面国产化，为深地深海开发提供了保障。2017至2021年总计实现油套管销售额300亿元，其中高性能油套管实现新增销售额58.34亿元，新增利润8.93亿元。

宝鸡石油钢管有限责任公司从2013年起与中国石油集团工程材料研究院有限公司合作开展复杂苛刻深井用油套管完整性技术研发及规模化应用项目，研发的高强度高韧性高性能气密封特殊螺纹油套管，已应用于中国石油各大油气田。在深井、非常规开发超长水平井中应用。2017至2021年总计实现油套管销售额100亿元，其中高性能油套管实现新增销售额15亿元，新增利润2亿元。

延安嘉盛石油机械有限责任公司从2010年起与中国石油集团工程材料研究院有限公司合作开展复杂苛刻深井用油套管完整性技术研发及规模化应用项目，研发的高性能气密封特殊螺纹油套管，已广泛应用于中国石油长庆和延长油田。在延长、长庆的非常规页岩油/气开发中规模化应用。2017至2021年总计实现油套管销售额20亿元，其中高性能油套管实现新增销售额5亿元，新增利润0.6亿元。

2011年中国石油集团工程材料研究院有限公司与延安嘉盛石油机械有限公司。合同编号SH-2010102-JF-029项目名称“XGC-1特殊螺纹产品技术转让”，合同金额100万元。合作开发经济型气密封螺纹连接套管。

2013年中国石油集团工程材料研究院有限公司与宝鸡石油钢管有限责任公司。项目名称“长庆油田用气密封特殊螺纹转化推广及评价试验合同”，合同金额318万元。合作开发高性能气密封螺纹连接套管。



2020年中国石油集团工程材料研究院有限公司与天津钢管集团股份有限公司。  
项目名称“高温高压气井套管气密封螺纹完整性评价及适用性分析研究”，合同金额229.6万元。针对塔里木、西南的超深万米井开展合作研究。

**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	应用起止时间	单位联系人电话
1	延安嘉盛石油机械有限公司	高性能气密封特殊螺纹	延长和长庆油田 每年销售 8 万吨 油套管	2011 年至 2021	黄岩岗 13379530315
2	宝鸡石油钢管有限责任公司	高性能气密封特殊螺纹	长庆、玉门、吐哈、青海、 新疆油田每年销售 10 万吨 油套管	2013 年至 2021	李远征 13571165521
3	天津钢管集团股份有限公司	完整性评价	中国石油、石化、海油、 延长、国际石油公司 每年销售 80 万吨油套管	2011 年至 2021	黄永智 18722384096
4	中国石油塔里木油气田	高钢级耐腐蚀油套管 完整性评价	库车山前、大北、博孜等 区块每年 20 万吨	2010 年至 2021	胡芳婷 18196222076
5	中国石油西南油气田	高钢级耐腐蚀油套管 完整性评价	中江、蓬莱、高石、长宁、 威远等区块 每年 40 万吨	2010 年至 2021	徐冰倩 13808177934
6	中国石油长庆油田	高性能气密封螺纹完整性评价	西峰、苏里格、靖边等区 块每年 20 万吨	2010 年至 2021	张艺杰 13571880983

## 2. 经济效益和社会效益

### （一）经济效益：

统计项目近 5 年 2017~2021 年经济效益，总计实现新增销售额 78.34 亿元，新增利润 11.53 亿元。中国石油集团工程材料研究院有限公司先后与合作企业签订研发合同金额 647.9 万元。

### （二）社会效益：

项目的实施，有力促进了国产油井管技术进步和领先。2010 年以后塔里木、川渝油气田深井超深井开发用高钢级套管和高钢级抗硫套管以及高性能气密封螺纹，完全替代国外进口，且开发的高性能油井管产品性能指标均超越国外产品，保障了中国石油深地深海的勘探开发，8000m 以上超深井从 2018 年的 2 口快速增长至 2021 年的 28 口井，有力确保了国家石油安全。高性能气密封特殊螺纹在长庆西峰华阳 H1-6 平台应用，确保了亚洲最长水平井 6000m 水平段顺利完井。

项目与陕西省企业合作，促进了地方经济发展和劳动就业，结束陕西省没有高附加值油套管产品的历史，增强了企业抗市场风险能力，解决了地方就业，如延安嘉盛公司，由于特殊螺纹套管向长庆和延长油田供货，使企业在油井管市场低迷期间，维持了企业生产和发展。同时项目的实施培养了企业管加工技术人才和企业级技术专家，提高了企业自主创新能力和发展。气密封特殊螺纹接头套管的开发填补

了陕西地区油套管制造业空白。“本地化”下井的成功，代替进口或省外气密封螺纹接头油套管，每吨节约“运输和存储”成本 0.1 万元，单井按 3500m 计，约需 150 吨，每口井为延长油田节约 15 万元成本。

#### 六、主要知识产权证明目录（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	一种高温高压气井油管气密封螺纹分析评价方法	中国	ZL201810321078.1	2020.3.10	3713862	中国石油天然气集团公司管材研究所	王建东 张华礼 汪传磊 周浪 田涛
2	发明	125ksi 钢级耐硫化氢应力腐蚀油井管的制造方法	中国	ZL201510622032.X	2017.6.20	2525784	天津钢管集团股份有限公司	窦志超 姚勇 孙宇 吕传涛 肖旭 丁磊 杨永昌 赵春辉 刘源
3	发明	螺纹连接	美国	US9,062,804 B2	2015.6.23	US009062804B2	天津钢管集团股份有限公司	王京 徐志谦 卢小庆 王春忠 张军 闫龙 陈涛 梅丽 史彬
4	发明	用于钛合金油井管用的特殊螺纹接头连接结构	中国	ZL 201610810529.9	2018.7.6	2992044	天津钢管集团股份有限公司	徐志谦、孙宇、史彬、闫龙、杨永昌、张冰、梅丽、张军、陈涛、吕春莉、柳玉伟、郭强
5	发明	一种高温高压冲刷腐蚀速率分量的测试方法及装置	中国	ZL201710544472.7	2019.11.8	3588493	西南石油大学	邓宽海 林元华 刘婉颖 曾德智 王锦昌 潘潇扬

								韦奇 孙志鹏
6	发明	一种钻井用石油套管及其制造方法	中国	ZL2016 1036378 6.2	2017.07.1 8	2555534	宝鸡石油钢管有限责任公司	毕宗岳 何石磊 李远征 张峰 韦奉 白鹤 李周波 王涛 梁航 周新义 王亮 徐凯 杨晓龙
7	发明	低压用气密封特殊螺纹接头	中国	ZL2011 1022961 6.2	2015.12.2	1869309	中国石油天然气集团公司管材研究所	王建东 杨力能 冯耀荣 秦长毅 杨龙 宋生印 易晓明 刘文红
8	发明	螺纹井口密封检测试压载荷确定方法、存储介质及设备	中国	ZL2020 107976 03.4	2022.7.5	5280586	中国石油天然气集团公司管材研究所	王建东 张华礼 李玉飞 张林 汪传磊 朱达江 田涛
9	发明	一种获取金属材料在静态压缩状态下应力应变曲线的方法	中国	ZL2018 1078697 1.1	2020/9/29	4006694	天津钢管集团股份有限公司	黄永智 孙宇 史彬 杨永昌 谢冠男 梅丽 闫龙 甄晓川 吴永超 黄进 陈涛 吕春莉

								骆敬辉 郭强
10	国家标准	高含 CO <sub>2</sub> 环境用套 管、油管 及井下工 具的材料 选择	中国	GB/T 40543-2 021	2021.08	/	中国石 油集团 石油管 工程技 术研究 院、天 津钢管 集团股 份有限 公司， 等	李发根、 谢俊峰、 方伟、等

## 七、主要完成人情况表

完 成 人	排名	行政 职务	技术 职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
王建东	1	无	正高级工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	完成高性能油井管指标控制体系研究和气密封失效判据特殊螺纹研发及完整性评价方法；
史彬	2	副总工程师	高级工程师	天津钢管制造有限公司	天津钢管制造有限公司	完成高性能油井管研发和生产工艺以及高性能特殊螺纹开发加工
邓宽海	3	院长助理	副研究员	西南石油大学	西南石油大学	完成高性能油井管指标控制体系研究和完整性评价方法
李发根	4	无	正高级工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	完成完整性评价方法研究
黄永智	5	主任	高级工程师	天津钢管制造有限公司	天津钢管制造有限公司	完成高性能油井管研发和生产工艺以及高性能特殊螺纹开发加工
李远征	6	副所长	高级工程师	宝鸡石油钢管有限责任公司	宝鸡石油钢管有限责任公司	完成高性能油井管研发和特殊螺纹连接开发
杨永昌	7	副所长	高级工程师	天津钢管制造有限公司	天津钢管制造有限公司	完成高性能油井管研发和生产工艺
林元华	8	无	二级教授	西南石油大学	西南石油大学	完成高性能油井管指标控制体系研究和完整性评价方法

苏小东	9	副经理	高级工程师	延安嘉盛石油机械有限责任公司	延安嘉盛石油机械有限责任公司	完成高性能特殊螺纹转化及现场应用
何石磊	10	无	高级工程师	宝鸡石油钢管有限责任公司	宝鸡石油钢管有限责任公司	完成高性能油井管研发和特殊螺纹连接开发

## 八、主要完成单位及创新推广贡献

序号	主要完成单位	创新推广贡献
1	中国石油集团工程材料研究院有限公司	主持完成创新点：1) 高钢级油套管材料性能控制指标体系；2) 油井管用气密封特殊螺纹密封失效判据模型；3) 高温高压气井完整性评价方法，参与完成创新点：高强度高韧性耐腐蚀的专用油井管钢及生产工艺和新型气密封螺纹研发。授权发明专利 5 项，中国石油自主创新产品 2 项，国家科技部安全适用新产品 1 项，发表 SCI 文章 2 篇，制定中国石油企业标准 4 项，国家和行业标准 2 项。自 2010 年以来与合作单位签订相关技术研究合同。开发转化新技术、新产品等帮助企业完成产品技术提升，新产品广泛应用于中国石油、石化、海油以及延长各油田，提高了非 API 高钢级套管深井超深井使用安全性、发展创新了气密封特殊螺纹密封理论模型、建立了完整性评价装备和试验评价方法，减少了高温高压气井管柱完整性问题。有力提升了中国塔里木、川渝油气田深井超深井、长庆油田超长水平井开发，为中国万米深井实施提供了技术保障。
2	天津钢管集团股份有限公司	主持完成创新点：1) 研发了高强度高韧性耐腐蚀的专用油井管钢及生产工艺；2) 研发了新型高性能特殊螺纹连接。参与完成：1) 高钢级油套管材料性能控制指标体系；2) 高温高压气井完整性评价方法。授权发明专利 8 项。依托本项目，天津钢管集团股份有限公司已完成高钢级 140V/155V 以及 125S/TS 高钢级抗硫套管以及高性能气密封特殊螺纹的研发，产品稳定技术成熟，性能达到国际先进水平，获得国家石油管材质量监督检验中心、美国石油协会 API 和国际石油公司 shell、Amoco、ExxonMobil、Chevron 等 20 多家知名国际石油公司认证并完成油井管出口。在中国超深井塔里木、川渝油气田的万米深井中应用，完全替代进口全面国产化；钛合金油管气密封螺纹在中国石化元坝气田首次应用；为深地深海开发提供了保障。2017 至 2021 年总计实现油套管销售额 300 亿，其中高性能油套管实现新增销售额 58.34 亿，新增利润 8.93 亿。
3	宝鸡石油钢管有限责任公司	参与完成创新点：研发了新型高性能特殊螺纹接头以及高钢级油套管材料性能控制指标体系。授权发明专利 2 项，参与中国石油企业标准 1 项。依托本项目，宝鸡石油钢管有限责任公司开发了石油钻采用 N80Q 高强高

		韧性套管以及高性能气密封螺纹油套管和 BJC-I/II 型气密封螺纹套管，在四川、长庆的非常规开发超长水平井中应用，在华阳 H1-6 亚洲第一超长水平段 6000m 井中得到应用。2017 至 2021 年总计实现油套管销售额 100 亿，其中高性能油套管实现新增销售额 15 亿，新增利润 2 亿。
4	延安嘉盛石油机械有限责任公司	参与完成创新点：研发了新型高性能螺纹接头。依托本项目，延安嘉盛石油机械有限责任公司完成新产品气密封螺纹接头转化，在延长、长庆油田得到广泛应用。2017 至 2021 年总计实现油套管销售额 20 亿，其中高性能油套管实现新增销售额 5 亿，新增利润 0.6 亿。
5	西南石油大学	参与完成创新点：1) 创建了高钢级油套管材料性能控制指标体系；2) 创新了气密封失效判据并研发了新型高性能螺纹；3) 创新了油井管及其螺纹连接完整性评价方法。授权国家发明专利 16 项，发表学术论文 46 篇（SCI/EI 检索论文 38 篇），出版学术专著 1 部，完成国家自然科学基金面上项目 1 项。

## 九、完成人合作关系说明

1、王建东、李发根等人完成了《全尺寸腐蚀与螺纹密封性能试验、评价及失效研究》科研项目。

2、2020 年中国石油集团工程材料研究院有限公司与天津钢管集团股份有限公司签订合同。合同名称“高温高压气井套管气密封螺纹完整性评价及适用性分析研究”，合同金额 229.6 万元。

3、2013 年中国石油集团工程材料研究院有限公司与宝鸡石油钢管公司。合同名称“长庆油田用气密封特殊螺纹转化推广及评价试验合同”，合同金额 318 万元。

4、2011 年中国石油集团工程材料研究院有限公司与延安嘉盛石油机械有限公司。合同编号 SH-2010102-JF-029 项目名称“XGC-1 特殊螺纹产品技术转让”，合同金额 100 万元。

5、Wang, JD (王建东; Deng, KH (等宽海); Yin, ZP (Yin Zhiping); Liu, B (Liu Bing); Lin, YH (林元华); Feng, YR (冯耀荣). Study of technical specifications for non-API 140 casing in ultra-deep well[J]. Engineering Failure Analysis, 2019, Vol.97: 115-127

## 项目十一

### 一、项目名称：复杂油气井管材及工具关键技术研究与应用

### 二、提名意见

我国油气田开发环境日趋苛刻，“深-低-海-非-老”特征分化显著，复杂油气井已占据国内各大油气田的主流。针对深层超深层井钻头钻速低、进尺小的难点，以及高温、高压、高腐蚀工况对油井管及工具性能提出更高的挑战，本项目开展了深层高效破岩硬质耐磨钻头，深层高含硫工况用经济型高强耐蚀复合管，深层油气资源井口防结蜡防水合物用非焊接式高强隔热管材，深层非常规油气高温含水高含溶解氧环境用石墨烯增强型渗铝油管等特殊工况用油井管及工具关键技术研究，取得了4项创新成果：一是创新研制了2类3种高效破岩钻头。研发了高性能金刚石孕镶块配方，结合3D打印高精度模具整体式烧结方法，研制了复合切削结构和双切削结构2种孕镶金刚石钻头，同时创新设计了非平面复合片“线-面”接触的高效PDC钻头，行程寿命比进口产品最大可提高54.92%。二是创新性开发了3种具有不同特殊性能的经济型高强耐蚀复合管材、非焊接式高强隔热管材及石墨烯增强型渗铝管材，为复杂油气井油井管提供经济可靠的选材。三是首次搭建了模拟“工程-地质一体化”的复杂油气井全尺寸井筒动载荷试验平台，为油田选好材料，用对材料，提供可靠的室内评价装备。四是填补了复杂油气井用特殊油井管适用性评价方法的空白，为特殊石油管的推广应用提供技术支撑。

本项目获授权专利25项，其中发明专利15项；发表论文16篇，制定标准1项。研究成果已在大庆油田、长庆油田等推广应用，近三年累积各油田取得新增经济效益2.61亿元，累积节约钻井时间101.33天，节约钻修井成本1.17亿元，为复杂油气井高效安全生产提供保障，取得了良好的经济和社会效益。

推荐该项目为陕西省科技进步奖二等奖。

### 三、项目简介

随着我国油气田开发环境日趋苛刻，复杂油气井已占据国内各大油气田的主流。深层超深层，高温，高压及高腐蚀等复杂油气井对钻头及油井管材提出高耐磨和高韧性，高强度和高耐蚀，高持久强度和隔热及经济性等特殊性能的挑战。

本项目总体研究思路是针对深层超深层高研磨地层钻头钻速低、进尺小的难点，高温高压高含硫油气井油井管频繁失效，深层油气井管柱在井深1000~1500米左右易导致结蜡或天然气水合物堵井等现象，深层非常规油气高温含水高含溶解氧油管腐蚀减薄等典型工程问题，开展兼具2种特殊性能的复合材料开发及配套结构工艺

优化，并搭建模拟工况的全尺寸复杂动载荷评价装备，建立复杂油气井适用性评价方法等关键技术研究。本项目取得了 4 项创新成果：

一是研发了高性能金刚石孕镶块新配方，结合 3D 打印高精度模具整体式烧结方法，创新性研制了复合切削结构、双切削结构的新型孕镶金刚石钻头产品 2 套和基于“线-面”接触非平面复合片结构的高性能 PDC 钻头产品 1 套，新型钻头较进口同规格钻头产品的行程寿命最高可提升 54.92%。

二是基于特殊服役工况需求，创新性开发了 2 类 3 种特殊性能管材。经济型高强耐蚀复合管材，实现镍基合金同等耐蚀性能，成本可降低 40%；石墨烯增强型渗铝管材，较传统渗铝管耐蚀性提高 20%以上；非焊接式高强隔热管材，较真空隔热管隔热性能提高 30%，保障了复杂油气井用管材高耐蚀和低成本等性能的需求。

三是首次搭建了模拟“工程-地质一体化”的复杂油气井全尺寸井筒动载荷试验平台。自主设计开发的含顶驱控制装置、系统电子设备和井下电缆工具的钻井系统可用于模拟评价钻头的破岩能效；含模拟地层、水泥环和油井管柱的全井筒动态复合加载装置可实现高温（ $<350^{\circ}\text{C}$ ），高压（ $<200\text{MPa}$ ），高腐蚀（ $\text{CO}_2$ ， $\text{Cl}^-$ 等腐蚀介质），轴向加载（ $<1500\text{t}$ ），弯曲载荷（ $20^{\circ}/30\text{m}$ ）用于模拟评价在静载荷或动载荷耦合作用下油井管材的高温持久强度，耐蚀性及隔热性等特殊服役性能，为油田选好材料，用对材料，提供可靠的室内评价装备。

四是填补了复杂油气井用特殊油井管适用性评价方法的空白。基于复杂油气井全尺寸井筒动载荷试验平台，从特殊油井管材的适用范围、室内材料性能关键指标要求，材料性能试验方法，产品制备工艺要求，产品特殊服役性能要求及全尺寸模拟工况评价方法等方面，制定了复杂油气井用特殊石油管适用性评价方法，为特殊油井管材的推广应用提供技术支撑。

项目研究新型特殊性能管材及工具的材料制备方法及工艺、模拟工况动载荷评价装置及适用性评价方法等系列关键技术，授权专利 22 项，其中发明专利 15 项；发表论文 16 篇，制定标准 1 项。研究成果已在大庆油田和长庆油田等推广应用，近三年累积各油田取得新增经济效益 2.61 亿元，累积节约钻井时间 101.33 天，节约钻修井成本 1.17 亿元，为复杂油气井高效安全生产提供保障，取得了良好的经济和社会效益。

#### 四、客观评价

项目依托国家重大科技专项《深井超深井高效快速钻井技术及装备》（编号：2016ZX05020），横向技术开发项目《院士工作站-复杂油气井开发用管材研究项目》（300 万，编号：管材-2019-FW-7），《南缘深层油气井套管性能评价》（108 万，编号：管材-2020-JS-23）《保温隔热管预防水合物适用性评价》（编号：XNS 工程院



CL2021-88) 等项目, 并一致通过验收。涉及的主要成果和创新点:

1) “通过完善深井高效钻头设计方法, 研制了复合切削结构和双切削结构孕镶金刚石钻头, 创新设计了非平面复合片“线-面”接触的高效 PDC 钻头等, 提高了我国深井超深井的地层认识和高效破岩钻头研发能力。”

2) 经济型高强耐蚀合金冶金复合管材, 实现镍基合金同等耐蚀性, 成本降低 40%; 非焊接式高强隔热管材, 较真空隔热管提高 30%, 及石墨烯增强型渗铝管材, 较传统渗铝管耐蚀性提高 20%以上, 为复杂油气井用油井管提供经济可靠的选材。

3) 首次搭建了模拟“工程-地质一体化”的复杂油气井全尺寸井筒动载荷试验平台, 为油田选好材料, 用对材料, 提供可靠的室内评价装备。

4) 形成复杂油气井用特殊石油管适用性评价方法 1 项。

获奖情况: 2022 年获奖信息:

序号	项目名称	奖种奖等	完成单位	完成人
1	油套管用特殊管材开发及应用关键技术	中国石油集团工程材料研究院技术发明奖二等奖	中国石油集团石油管工程技术研究院	路彩虹, 李方坡, 潘志勇, 杨尚谕, 王建军, 韩礼红, 王蕊, 田涛
2	基于石墨烯渗铝工艺的 N80 油管关键技术研究与应用	陕西省石油学会科学技术进步二等奖	中国石油集团石油管工程技术研究院	路彩虹、曹婧、牟易升、杨尚谕、王建军等

五、应用情况和效益

研究成果已在长庆油田和大庆油田推广应用, 近三年累积各油田取得新增经济效益 2.61 亿元, 累积节约钻井时间 101.33 天, 节约成本 30%, 为复杂油气井高效安全生产提供保障, 取得了良好的经济和社会效益。

1、长庆油田

长庆油田采气一厂、二厂和四厂应用本项目研究成果, 成功在多个高含 CO<sub>2</sub> 较高矿化度区块油井应用共计 31 口, 在高温高压气防天然气水合物堵井应用共计 23 口井, 服役 3 年多, 未发现明显腐蚀失效现象, 腐蚀速率低于 0.076mm/a, 水合物堵井率降低 60%以上, 大幅度提高油套管柱服役寿命, 显著降低现场作业次数, 累积新增销售额 1.356 亿, 节约成本 30%以上。

2、大庆油田

大庆油田在松辽、川渝等深井超深井应用本项目“高效破岩钻头”研究成果，3年累积应用 49 口井，累积节约钻井时间 101.33 天，累积新增销售额 1.254 亿，新型钻头较进口同规格钻头产品的行程寿命最高可提升 54.92%，钻井成本 30%以上。

### 六、主要知识产权证明目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	具体名称	国家	授权号（标准编号、论文年卷页）	授权日期	证书编号（标准批准发布部门、期刊名）	权利人（标准起草单位、论文发表单位）	发明人（标准起草人、论文作者）
1	发明专利	一种双金属冶金复合管及制备方法	中国	ZL201910452763.2	2022.01.04	第 4880073 号	中国石油集团工程材料研究院有限公司	路彩虹等
2	发明专利	一种浇注双金属管坯的装置及其浇注方法	中国	ZL201910289887.3	2021.03.30	第 4332568 号	中国石油集团工程材料研究院有限公司	路彩虹等
3	发明专利	一种石墨烯增强型渗铝油管的制备方法	中国	ZL201811326320.0	2021.01.01	第 4186580 号	中国石油集团工程材料研究院有限公司	路彩虹等
4	发明专利	一种管轴类构件全尺寸谐振弯曲疲劳试验设备及其使用方法	中国	ZL202110304823.3	2022.09.16	第 5453844 号	大庆石油管理局	申昭熙等
5	发明专利	一种测试水泥环与套管胶结强度的实	中国	ZL201710015784.9	2018.05.29	第 2943039 号	中国石油大学（北京）	张辉等

		验装置						
6	发明专利	射流 PDC 钻头	中国	ZL201911112638.3	2021.04.06	第 4347964 号	中国石油大学（北京）	张辉等
7	发明专利	液相放电等离子体冲击波 PDC 钻头	中国	ZL201811171756.7	2019.12.31	第 3649477 号	中国石油大学（北京）	张辉等
8	发明专利	一种测试水泥环与套管胶结强度的实验装置	中国	ZL201710015784.9	2018.05.29	第 2943039 号	中国石油大学（北京）	张辉等
9	发明专利	顶驱控制方法及装置、系统电子系统和存储介质	中国	ZL202110304823.3	2022.09.16	第 5453844 号	大庆石油管理局	齐悦等
10	标准	外包覆隔热油管	中国	T/CSTM 00240-2021	2017.07.01	ICS 75.180.10	中国石油集团工程材料研究院有限公司	路彩虹等

## 七、主要完成人情况表

完成人	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
路彩虹	1	无	副高	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	特殊管材关键技术研究
解永刚	2	副院长	副高	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	特殊管材评价及现场推广应用

齐悦	3	院长	副高	大庆油田有限责任公司（大庆石油管理局有限公司）	大庆油田有限责任公司（大庆石油管理局有限公司）	高效破岩钻头设计开发
李新宏	4	无	副高	西安建筑科技大学	西安建筑科技大学	复杂油气井适用性评价技术
任勇	5	无	副高	中国石油长庆油田分公司	中国石油长庆油田分公司	特殊管材现场推广应用
田玉栋	6	无	副高	大庆油田有限责任公司（大庆石油管理局有限公司）	大庆油田有限责任公司（大庆石油管理局有限公司）	高效破岩钻头现场推广应用
申昭熙	7	无	副高	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	复杂油气井管材评价装备开发
牟易升	8	无	副高	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	复杂油气井管柱力学数值模拟评价
张辉	9	无	教授	中国石油大学（北京）	中国石油大学（北京）	复杂油气井钻头设计与开发评价

## 八、主要完成单位及创新推广贡献

序号	主要完成单位	创新推广贡献
1	中国石油集团工程材料研究院有限公司	负责总体项目管理和实施，特殊管材设计开发，制定适用性评价方法并开发评价装置，创新点 2、3、4 主要贡献单位。 参与钻头耐磨材料的性能表征，及适用性评价
2	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司	提供现场对管材特殊性能的需求，负责特殊管材的现场应用试验并推广。创新点 4 的主要贡献单位。
3	大庆油田有限责任公司	高效破岩钻头选材，结构设计及试制，产品的现场中式试验，推广应用。创新点 1 和 4 的主要贡献单位。
4	西安建筑科技大学	基于机器学习的管材及钻头的失效预测方法。创新点 4 的主要贡献者。
5	中国石油大学（北京）	高效破岩钻头的室内性能试验，并结构优化。创新点 1 和 3 的主要贡献者。

## 九、完成人合作关系说明

（1）路彩虹、申昭熙、牟易升、任勇、田玉栋负责特殊装备材料（包括特殊管材及钻头基体与硬质耐磨材料）的选材及微观组织调控优化，实验室材料力学、耐

蚀、隔热等性能表征，室内模拟“工程-地质一体化”的复杂油气井全尺寸井筒动载荷试验平台的搭建，管柱力学计算等研究任务。

（2）齐悦、田玉栋、张辉、路彩虹等负责孕镶金刚石钻头和高效 PDC 钻头的结构开发，及仿真力学计算等，完成室内钻头性能评价。

（3）路彩虹、解永刚、齐悦、任勇、田玉栋负责制定特殊管材及耐磨钻头适用性评价关键指标及全尺寸模拟工况性能评价试验方案及优化。

（4）路彩虹、解永刚、李新宏、申昭熙负责对实验室评价数据样本，进行机器学习，建立贫数据信息不完全条件下的材料失效预测方法。

（5）解永刚、齐悦、牟易升、任勇、田玉栋负责特殊管材及高效破岩钻头的现场试验及推广应用。

## 项目十二

### 一、项目名称： 抗硫非金属复合连续管关键技术及应用

### 二、提名意见

油田介质环境日益苛刻，含水率、温度逐步上升， $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CO}_2$ 等腐蚀性介质含量升高，对传统碳钢管的使用带来了极大的挑战，腐蚀呈逐年上升趋势，严重影响着生态环境及人身安全。由于非金属管具有优异的耐腐蚀性能以及高比强度等优势，成为解决地面腐蚀重要举措之一。针对目前国内尚无专门针对酸性环境开发的非金属管材、缺乏酸性环境中非金属管材的适用性评价与选材规范等技术难题，本项目聚焦国内油气开发过程中面临酸性介质增多的现状，通过对非金属材料在含硫环境中适用性评价与选材研究，研制出满足酸性环境需求的非金属管材，设计出满足含硫油气混输要求的抗硫非金属管结构和管道连接形式，进而开发出抗硫、高承压和综合成本低的酸性气田集输用抗硫非金属复合连续管，同时解决管材快速施工、安全防护及标准支撑等关键技术问题，实现非金属管在酸性环境中的成功应用。

推荐该项目为陕西省科技进步奖二等奖。

### 三、项目简介

含硫化氢天然气已成为我国天然气资源的重要组成部分。特别是近些年长庆靖边气田等的大规模发现，为“西气东输”工程的加快部署带来了资源保证。金属管材在含  $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$  环境下运行时穿孔、断裂事故时有发生，通常会导致油气泄漏，甚至引发恶性事故，造成巨大的经济损失、人员伤亡和生态破坏。含  $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$  气田严重的腐蚀问题成为制约气田开发的重大技术瓶颈。本项目提出了金属管道腐蚀的颠覆性解决方案，研制出抗硫非金属复合连续管（以下简称抗硫非金属管）及建立相关配套技术，为我国酸性气田集输用管材的选择提供了明确方向。

面对 CSA Z662、ISO 18226 等规定非金属管适用最高输气压力 9.93MPa、最高  $\text{H}_2\text{S}$  分压 50kPa 的技术现状，项目突破了耐高温高阻隔材料选型、气体渗透控制、气密封结构设计、管材加工制造、现场快速施工和安全防护等关键技术，自主研制出

可长期在 110°C 环境下服役的抗硫非金属管。产品获批中石油集团公司自主创新重要产品，具有高阻隔（抗硫）、耐油气介质腐蚀、重量轻、柔韧性好、施工效率高、综合成本低等特点，单根长度可达数百米，可盘卷运输，使用寿命大于 20 年。产品设计最高输气压力提升至 16MPa，最高硫化氢分压 2500kPa，性能指标远超国际标准要求。项目同时创建了抗硫非金属管的选材评价技术体系及关键技术指标，开发出模拟实际工况的 2 项全尺寸检测评价技术及配套实物管材评价设备，研制出适用于酸性环境的双金属结构管接头及其配套安装工具，在国内首次提出了非金属管快速施工技术，建立了现场系列配套防护技术，制定了涵盖抗硫非金属管的产品、设计、质量控制、现场应用等相关国家、行业及企业标准共 6 项，实现了抗硫非金属管的规范化、标准化及科学化推广和应用。

产品在长庆、塔里木油田等得到规模化应用，结果表明该产品具有卓越的服役安全性和稳定性，完全满足酸性气体集输工艺要求。抗硫非金属管比常用的 825 镍基合金双金属复合管成本降低约 22%，与国外同类技术相比施工成本降低 40% 以上。同时，从根本上解决了金属管道的腐蚀穿孔问题，使用寿命提升 2~3 倍，有效降低了失效事故带来的环境污染，具有显著的经济效益和社会效益。本项目授权专利 15 件（其中发明专利 12 件），制定标准 6 项，发表学术论文 28 篇。成果鉴定表明，该产品处于国际领先水平，核心技术填补了该领域多项空白。

该项目研究成果为解决我国油气集输管材腐蚀问题提供了有效途径，更催生了一大批新型非金属管道的研究与开发，其应用范围已由地面成功拓展至井下、海洋等领域，对实现油气田开发过程中的降本增效、腐蚀防护和安全运营，进而保障我省以及全国油气能源战略安全具有重大意义。

#### 四、客观评价

2016 年 7 月 1 日，中国石油科技管理部组织专家对该项目进行验收，形成验收意见认为：课题形成了 5 项研究成果：（1）跟踪并评价了现场试验段，完善了抗硫非金属管现场应用技术；（2）以内衬层和增强层为研究对象，通过理化检测及结构分析，明确了抗硫非金属管老化和损伤机理；（3）提出了长期服役性能评价方法，完成了抗硫非金属管剩余强度试验，建立了抗硫非金属管寿命预测模型；（4）研究

了混合气体在非金属材料中的渗透规律，分析了抗硫非金属管的渗透特性，提出了三级气体渗透控制方法；（5）研究了抗硫非金属管相关现场应用技术，完成了产品、质量验收方法及施工规范编制。

2020 年 8 月，抗硫非金属管产品被评为中国石油集团自主创新产品。明确了该产品可应用于地面集输系统的中低含硫油气输送，可适用于  $\text{H}_2\text{S}$  分压 $\leq 1\text{MPa}$ ， $\text{CO}_2$  分压 $\leq 1\text{MPa}$ ，总压 $\leq 25\text{MPa}$ ， $\text{NaCl}$  含量 $\leq 17.4\text{g/L}$  的矿化度水溶液；输送气体时，最高输送压力可达  $16\text{MPa}$ ；也可适用于含  $\text{CO}_2$  分压 $\leq 5\text{MPa}$ ，总压 $\leq 25\text{MPa}$  油水混送环境，长期输送介质最高温度  $110^\circ\text{C}$ ，使用寿命大于 20 年。

2022 年 8 月 14 日，张来斌院士等专家团队对该进行了科技成果鉴定，鉴定委员会认为，... ..研发形成了抗硫、耐高温、低成本的非金属复合连续管技术。建立了非金属管材适用性评价方法，形成了制备及现场施工技术，实现了非金属管道在更大范围和领域的长期安全可靠运行。... ..抗硫非金属复合管处于国际领先水平。

2022 年 9 月 30 日，《中国石油报》要闻板刊登了题为“国产抗硫非金属复合连续管达到国际领先水平”，文章指出：“... ..工程材料院突破了管材结构设计、选材评价、质量评定、现场应用、运营维护和寿命评估等技术瓶颈，采用高阻隔、耐高温、抗溶胀的热塑性塑料作为内衬层，开发出国内首个抗硫非金属复合连续管。... ..配套在国内首次建立了基于服役工况条件下全尺寸实物管材性能评价技术，制修订国家及行业标准 10 余项，全面提升了我国非金属复合管应用水平。”

2022 年 8 月 18 日，由中国石油和石油化工设备工业协会组织鉴定，获 2022 年度中国石油石化装备行业新技术、新产品、新材料优秀创新成果，证书编号 CPEIA202208A017。

## 五、应用情况和效益

### 1. 应用情况

项目成果全面应用与国内各大油田，有效解决了钢制管道腐蚀问题，本项目提出的抗硫非金属管设计及选材技术准则，意见建立的抗硫非金属管设计及选材技术应用于石油管材专业标准化技术委员会对我国石油工业用管材的标准体系建设中，成功完成了管材标准体系的顶层设计，保障了非金属复合管标准化工作的有序开展。



开发了产品成功应用用酸性气田，具有明显的经济效益和社会效益。

**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	应用起止时间	单位联系人/电话
1	中国石化集团工程材料研究院有限公司	内衬选材评价、现场连接与应用技术	质量检测、失效分析、技术转化、咨询服务及科技创新等新增收入 2832 万	2020 年 - 2022 年	郭琛 029-81887710
2	全国石油天然气标准化技术委员会石油专用管材分技术委员会	选材、产品制造及现场应用等标准制定	研究成果用于石油管材专业标准化技术委员会对我国石油工业用管材的标准体系建设中，成功完成了管材标准体系的顶层设计	2020 年 - 2022 年	吕华 15829605815
3	西安斯通管业有限公司	内衬选材评价技术、产品、质量验收方法及施工规范	产品的设计、选材、生产、施工、验收，新增销售额 3.5 亿	2020 年 - 2022 年	黄昌会 13379299401
4	宝鸡天联汇通复合材料有限公司	含硫油气环境中的介质适应性评价技术以及内衬材料选择技术	抗硫非金属复合连续管产品的设计、选材、生产、施工、验收，新增销售额 3 亿	2020 年 - 2022 年	贾康康 18691712181
5	陕西延长石油西北橡胶有限责任公司	内衬选材评价技术	内衬材料选材以及产品设计过程，新增销售额 1.7 亿	2020 年 - 2022 年	高雄 13619106316

6	陕西欣欣智能管业有限公司	检验评价新技术、内衬选材评价技术	结构优化设计、新型管材的研发及应用，新增销售额超 2 千万	2020 年 - 2022 年	朱华升 13784186216
---	--------------	------------------	-------------------------------	-----------------------	--------------------

## 2. 经济效益和社会效益

### （一）经济效益：

自项目实施以来，经济效益显著，包括直接和间接经济效益，分述如下：

近三年产生的直接经济效益如下：

（1）基于项目成果应用，实施单位为抗硫非金属复合连续管管材生产厂和重要用户提供的抗硫非金属复合连续管质量检测、失效分析、技术转化、咨询服务、科研创新等累计收入 2832 万元，利润 549 万元。

（2）依托项目成果，累计生产抗硫非金属复合连续管超过 7000km，销售额约 8.5 亿元，新增利润约 1.6 亿元。

近三年产生的间接经济效益如下：

项目成果用于指导制造企业技术研发及产品迭代，显著减少了研发过程中的原材料、人工、研发、检验检测等试验等成本投入，节约资金约 0.9 亿元。

综上，项目成果近三年新增产值约 8.8 亿元，利润 1.6 亿元，节约资金 0.9 亿元。

### （二）社会效益：

本项目开发抗硫非金属复合连续管及相关配套应用技术成功用于国内各大油气田，有效解决了钢制管道腐蚀问题，为含硫工况选材提供更为经济有效的解决方案，对于保障国家能源安全具有重要的战略意义。项目成果有效保障了非金属复合连续管的安全、长远运行，提升其应用效果，保障了我国主要油气田的安全生产，减少了管道失效事故带来的人员伤亡及环境污染问题，获得了显著的社会效益。

项目创造性提出了复合管防护研究方向并建立了对应的工业化应用技术，从而为油气田非金属复合管在建设期和运行期的质量防控学科发展奠定了基础，为油气田非金属复合管的完整性发展提供强有力支撑。

本项目运用综合标准化方法构建了油气集输用非金属管的标准综合体规划，并将该综合体应用于石油管材专业标准化技术委员会对我国石油工业用管材的标准体

系建设中，成功完成了管材标准体系的顶层设计，有效保障了非金属管标准化工作的有序开展，引领了油气集输用非金属管行业的健康有序发展，社会效益显著。

本项目制定的 6 项抗硫非金属管系列标准填补了我国非金属管标准的空白。不仅为非金属管生产厂家产品的质量优化和推广应用提供了必要条件；而且为油田非金属管的设计单位提供了基础条件，同时确保选用的非金属管具有良好的适用性，有效降低了后续应用的失效概率，具有明显的社会效益。

六、主要知识产权证明目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	具体名称	国家	授权号（标准编号、论文年卷页）	授权日期	证书编号（标准批准发布部门、期刊名）	权利人（标准起草单位、论文发表单位）	发明人（标准起草人、论文作者）
1	发明专利	油气输送管道及制备方法	中国	ZL 201210518116.5	2016.04.06	2015168	中国石油天然气集团公司 中国石油天然气集团公司 管材研究所	张淑慧、戚东涛、蔡雪华、丁楠、李厚补
2	发明专利	一种柔性复合管快速施工装置及施工方法	中国	ZL 201511034015.0	2017.12.05	2723656	中国石油天然气集团公司； 中国石油天然气集团公司 管材研究所	齐国权、袁晓山、戚东涛、邹应勇、魏斌、毛学强、李厚补
3	发明专利	一种用于柔性复合管拉伸性能测试的方法及试验装置	中国	ZL 201810849937.4	2020.11.06	4075264	中国石油天然气集团有限公司； 中国石油天然气集团公司 管材研究所	丁楠、李厚补、齐国权、邵晓东、刘强、戚东涛
4	发明专利	一种热塑性塑料最高使用温度的测试方法	中国	ZL 201811141447.5	2021.09.28	4704851	中国石油天然气集团有限公司； 中国石油天然气集团公司 管材研究所	张冬娜、戚东涛、邵晓东、齐国全、丁楠、蔡雪华、李厚补
5	发明专利	一种警示填料及其制备方法	中国	ZL 202010451381.0	2022.03.29	5029435	中国石油天然气集团有限公司； 中国石油天然气	齐国权、马秋荣、戚东涛、李厚补、魏斌

		和在保 护埋地 管道中 的应用					气集团公司 管材研究所	
6	发明专利	一种埋 地非金 属管道 保护壳 及其基 于管道 铺设施 工方法	中国	ZL 201910690451.5	2021.01.29	4229489	中国石 油天然 气集团 有限公 司；中 国石 油天然 气集团 公司管 材研究 所	丁楠、齐 国权、 戚东涛 、蔡雪 华、魏 斌、成 杰、杨 家茂
7	发明专利	一种复 合材料 增强金 属管道 设计压 力计算 方法	中国	ZL 201610868067.6	2019.05.03	3362638	中国石 油天然 气集团 公司； 中国石 油天然 气集团 公司管 材研究 所	张冬娜 、戚东 涛、邵 晓东、 丁楠
8	标准	石油、 石化与 天然气 工业 与油气 开采相 关介质 接触的 非金属 材料第 1部分 ：热塑 性塑料	中国	GB/T 34903.1-2017	2017.12.29	中华人 民共和 国国家 质量监 督检验 总局、 中国国 家标准 化管理 委员会	中国石 油集团 石油管 工程技 术研究 院、中 国石 油天然 气股份 有限公 司石油 化工研 究院、 中国石 油天然 气股份 有限公 司长庆 油田分 公司、 中国石 油工程 建设有 限公司 西南分 公司、 杜邦中 国集团 有限公 司	魏斌、 戚东涛 、方伟 、丁楠 、齐国 权、李 厚补、 邵晓东 、吴林 美、卢 晓英、 李琼玮 、姜放 、施岱 艳、冯 嘉
9	标准	石油天 然气工 业用非 金属复 合管第 2部分 ：柔性 复合高 压输送 管	中国	SY/T 6662.2-2020	2020.10.23	国家能 源局	中国石 油集团 石油管 工程技 术研究 院、河 北恒安 泰油管 有限公 司、中 国石化 股份有 限公司 西北油 田分公 司、西	李厚补 、戚东 涛、孟 宇、崔 晓轩、 叶帆、 葛鹏莉 、高秋 英、胡 建国、 商永滨

							安长庆科技 工程有限责 任公司	
10	标准	石油天然气工业用非金属复合管第5部分：增强超高分子量聚乙烯复合连续管及接头	中国	SY/T 6662.5-2014	2014.10.15	国家能源局	中国石油集团石油管工程技术研究院、江苏申视新材料科技有限公司、塔里木油田分公司	李厚补、刘海鹰、戚东涛、邹慈胜、李循迹、房元俊、常泽亮、徐婷

## 七、主要完成人情况表

完成人	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
齐国权	1	无	高级工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	项目负责人，完成选材评价及产品开发研究。
李厚补	2	所长	教授级高级工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	项目主要完成人，研究方案制定，完成产品开发及标准规范研究。
魏斌	3	无	教授级高级工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	项目主要完成人，研究方案制定，完成选材评价及产品开发研究。
张冬娜	4	无	高级工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	项目主要完成人，研究方案制定，完成选材评价及标准规范研究。
丁楠	5	无	高级工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	项目主要完成人，研究方案制定，完成选材评价及标准规范研究。
丁晗	6	无	高级工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	项目主要完成人，研究方案制定，完成选材评价、产品开发及标准规范研究。

孔鲁诗	7	无	高级工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	项目主要完成人，完成抗硫非金属管关键性能指标、配套标准规范和现场应用技术研究。
朱文峰	8	无	高级工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	项目主要完成人，完成抗硫非金属管现场应用技术攻关及服役效果评价研究。
张立	9	无	工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	项目主要完成人，完成抗硫非金属管现场应用技术攻关及服役效果评价研究。
蔡雪华	10	无	高级工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	项目主要完成人，完成试验评价研究。

## 八、主要完成单位及创新推广贡献

序号	主要完成单位	创新推广贡献
1	中国石油集团工程材料研究院有限公司	<p>作为本项目的牵头单位，组织协调了对整个项目的攻关研究，对本项目的创新点均做出了贡献：</p> <p>（1）形成了抗硫非金属管关键技术指标和内衬选材评价技术。开发了非金属管材在含硫油气环境中的介质适应性评价技术，优选了抗硫非金属管内衬材料；（2）开发出抗硫非金属复合管新产品。该复合管内衬层选用 PVDF 材料，具有 H<sub>2</sub>S/CO<sub>2</sub> 等气体渗透性低、耐油气介质溶蚀、耐高温（最高长期使用温度 110℃）、抗起泡等优良性能；三层增强层结构，提高了管线的抗内压、抗外压、抗弯曲、抗拉伸等主要技术指标，输送气体时最高承压内压可达 16MPa。（3）提出了抗硫非金属管现场连接与应用技术。开发了适用于酸性环境的双金属结构管接头及其配套安装工具，并在油气田现场得到应用，在国内首次提出了非金属管快速施工及安全防护技术。（4）完成了标准体系搭建，并编写了产品、质量验收方法及施工规范，从而首次构建了抗硫非金属管标准体系。</p>
2	新疆中石油管业工程有限公司	<p>作为本项目的参与单位，协助项目完成单位开展了抗硫非金属管选材评价，完成了抗硫非金属管结构层选材评价研究，完成了现场配套应用技术开发及对应设备研制工作，参与完成了标准体系规划工作，并对相关标准的关键指标参数</p>

		进行验证，配合完成了抗硫非金属管产品及其相关技术推广，长期深入油田现场，跟踪并评价了抗硫非金属管服役效果。
--	--	---

**九、完成人合作关系说明**

项目所有完成人均来自中国石油集团工程材料研究院有限公司，共同配合完成该项目的攻关研究。其中，齐国权（第一完成人）与魏斌（第三完成人）、张冬娜（第四完成人）、丁楠（第五完成人）、丁晗（第六完成人）、蔡雪华（第十完成人）共同完成结构设计和选材评价研究；齐国权（第一完成人）与李厚补（第二完成人）、魏斌（第三完成人）和丁晗（第六完成人）共同完成产品开发研究；齐国权（第一完成人）与李厚补（第二完成人）、丁晗（第六完成人）、孔鲁诗（第七完成人）、朱文峰（第八完成人）和张立（第九完成人）共同完成了标准规范研制；齐国权（第一完成人）与蔡雪华（第十完成人）、丁晗（第六完成人）、孔鲁诗（第七完成人）、朱文峰（第八完成人）和张立（第九完成人）共同完成现场应用配套技术开发及服役效果跟踪评价。

## 项目十三

一、项目名称：CO<sub>2</sub> 驱注采环境管材腐蚀防控技术研究与应用

二、提名意见

CO<sub>2</sub> 驱油技术是碳捕集、利用与封存（CCUS）技术的重要环节，是实现碳减排和提采增效的双赢举措，更是实现“碳达峰”“碳中和”目标的重要技术选择。该项目紧密围绕 CO<sub>2</sub> 驱油注采环境中管材腐蚀结垢及失效断裂三大技术难题，取得以下创新成果：（1）揭示了 CO<sub>2</sub> 驱注采系统含酸性多元杂质超临界 CO<sub>2</sub> 环境中管材腐蚀、结垢和断裂失效机理。（2）创新建立了 CO<sub>2</sub> 驱注采环境多参量多相态下管材腐蚀性能测试方法及标准，形成了超临界 CO<sub>2</sub> 环境中腐蚀演化-预测模型。（3）研发了 CO<sub>2</sub> 驱注采高矿化度腐蚀环境“涂镀层+缓蚀阻垢一体化药剂”腐蚀防控技术。

本项目授权国家发明专利 15 件；发表技术论文 52 篇（SCI/EI 收录 31 篇）；制修订标准 8 项，编写专著 2 部，软件著作权 2 项；开发缓蚀阻垢剂产品 2 种。该成果支撑了长庆油田黄 3 区 CO<sub>2</sub> 驱“9 注 37 采”国家级先导试验示范基地的建设与安全运行，现场试验 73 井次服役 1350 天未发现腐蚀、结垢现象，工程实施效果良好，经济和社会效益显著。该成果具有明显创新性和广阔的应用前景，为国内 CCUS 技术的发展、引导油田 CO<sub>2</sub> 驱油试验区的建设和安全发展具有重要的示范作用。

鉴于此，推荐该项目为陕西省科技进步奖二等奖。

三、项目简介

CO<sub>2</sub> 捕集、利用与埋存（CCUS）技术作为削减温室气体排放以减缓气候变化的一项重要技术选择，为我国“碳达峰”“碳中和”目标的实现、为我国中长期应对气候变化、推进低碳发展具有重要意义。利用 CO<sub>2</sub> 驱油也是国际公认的油田提高采收率的重要手段。研究表明，利用 CO<sub>2</sub> 驱油不仅高效减排，而且可提高低渗透油藏采收率的 7%~15%。因此随着安全环保和能源需求的剧增，CO<sub>2</sub> 驱油提采增效技术推广应用尤为重要，但引入的诸多影响效率的管材腐蚀、结垢、断裂失效问题是促进技术推广的一大障碍，因此减缓管材腐蚀、提出高效的腐蚀防控技术并在油田成功应用是关键手段之一。

本成果紧密围绕 CO<sub>2</sub> 驱环境管材多因素协同作用的腐蚀、结垢、断裂失效问题，



建立了适应于油田 CO<sub>2</sub> 驱注采体系中管材的关键腐蚀防控技术，并实现了防控技术及产品的现场推广应用。通过技术攻关，取得了以下创新成果：

**(1) 揭示了 CO<sub>2</sub> 驱注采系统含酸性多元杂质超临界 CO<sub>2</sub> 环境中管材腐蚀、结垢和断裂失效机理。**

基于 CO<sub>2</sub> 驱注入环境含多元杂质耦合的 CO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>/NO<sub>2</sub> 富水相体系，揭示了 SC-CO<sub>2</sub> 水相体系材料腐蚀过程中膜层晶型的影响机理，阐明了相态与电解质溶液理论-化学物种平衡的内在关联，创新发现多杂质耦合作用下腐蚀膜层内部“孔洞-裂纹-空腔”形成的扩展机制。建立了“离子-空位吸附-界面富集-应力集中”的局部腐蚀形成机制。针对酸性杂质环境管材-相态-应力-温度因素协同作用下的断裂失效，揭示了注入环境油套管裂纹螺旋三层结构、多源、阶梯状、脆性开裂特征、径向扩展失效模式，发现了含酸性环境“H<sup>+</sup>强极性吸附-渗透聚集形成空穴-高氢压”协同外应力导致管材失效机理；创新了不同孔隙率垢层下的点蚀发展趋势和影响管材局部腐蚀失效机理；基于元胞自动机（计算模拟）方法，建立了 SC-CO<sub>2</sub> 环境垢下点蚀预测研究模型，证明了元胞自动机模拟覆盖物点蚀生长的动力学真实性和可靠性。

**(2) 创新建立了 CO<sub>2</sub> 驱注采环境多参量多相态下管材腐蚀性能测试方法及标准，形成了超临界 CO<sub>2</sub> 环境中腐蚀演化-预测模型。**

自主设计研发了集酸性负责环境、载荷、结构于一体的全尺寸完整环型椭圆变形和实物腐蚀拉伸应力腐蚀试验测试系统，并制定国家标准，实现≤100MPa 内压、≤180℃、≤1000t 应力载荷及 CO<sub>2</sub> 驱多相态多因素耦合作用下的模拟试验，突破了管材在椭圆变形-环境-密封耦合作用下试验瓶颈，填补了国内全尺寸管材环向应力开裂敏感性测试方法的空白；创新了含水气 SC-CO<sub>2</sub> 相和动态 SC-CO<sub>2</sub>-水系统中的原位电化学测试方法，国际上首次实现了动态条件下含水气 SC-CO<sub>2</sub> 环境中原位电化学测试，解决了含水气超临界 CO<sub>2</sub> 相和动态 SC-CO<sub>2</sub>-水系统中腐蚀电化学测试技术难题；探明了水膜吸附、流体湍流动能以及剪切应力等参量对腐蚀电化学过程影响机制，揭示了 SC-CO<sub>2</sub> 腐蚀机理与腐蚀产物演化过程的内存关系；通过引入相平衡-逸度系数-离子活度-物种平衡浓度，建立了 SC-CO<sub>2</sub> 腐蚀预测-水化学-腐蚀演化预测模型；揭示了多组分条件下材料表面的电化学过程以及反应物和产物通过多孔产物膜的传质机制，并创建了基于“湍流扩散系数-离子强度-离子活度-传质过程”的腐蚀速率机理预测模型。

**(3) 研发了 CO<sub>2</sub> 驱注采高矿化度腐蚀环境 “涂镀层+缓蚀阻垢一体化药剂” 腐蚀防控技术。**

创新提出超临界相缓蚀剂，发现了超临界 CO<sub>2</sub> 相态前后界面电荷状态的改变会显著

影响缓蚀剂分子特殊基团在金属界面的吸附性能，揭示了超临界与非超临界 CO<sub>2</sub> 相中缓蚀剂-金属界面响应机制，开发出新型纳米材料绿色 CO<sub>2</sub> 缓蚀剂-碳量子点(CDs)缓蚀剂；基于注采环境高矿化度腐蚀结垢失效机理，研发了兼具缓蚀性能和阻垢性能的一体化缓蚀阻垢剂，打破了传统选用多种单性药剂引起功能互减的局限性。通过室内小尺寸试样模拟+现场应用，经济性优化防腐技术参数指标，揭示了模拟现场服役环境下 W-Ni 合金镀层在腐蚀因素交互作用下高度匹配特性，建立了 W-Ni 镀层管柱多段串接实物腐蚀拉伸测试方法及技术体系；形成了“涂镀层防腐油管+缓蚀阻垢一体化药剂”井筒防腐防垢技术，有效控制了结垢、堵塞及垢下腐蚀导致的管材腐蚀损伤及失效难题。

该成果支撑了长庆麻黄山黄 3 区长 8 油藏 CO<sub>2</sub> 驱“9 注 37 采”国家级先导试验示范基地的建设，形成 5.0 万吨/年 CO<sub>2</sub> 注入能力，现场试验 73 井次，采出井井筒管柱服役 1350 天后未发现腐蚀、结垢现象，工程实施效果良好，经济和社会效益显著。

本项目国家授权专利 33 件（其中发明专利 15 件）；发表论文 52 篇（SCI/EI 收录 31 篇）；制修订标准 8 项；软件著作权 2 项；开发缓蚀阻垢剂产品 2 种。

中国腐蚀与防护学会专家的鉴定意见认为本成果整体达到国际先进水平，其中超临界 CO<sub>2</sub> 环境腐蚀速率机理预测模型和缓蚀阻垢一体化技术达到国际领先水平；专家认为该成果为长庆先导试验区 CO<sub>2</sub> 驱注采井腐蚀防护的主体技术，具有明显创新性和广阔的应用前景。本项目的技术成果在长庆油田 CO<sub>2</sub> 示范区、长庆油田采油五厂、长庆油田采油六厂、油管加工企业以及化学助剂生产企业得到推广应用，有效降低注采环境管柱腐蚀失效和停产作业的几率，对油田提采增效取得较好的经济效益。

#### 四、客观评价

##### （1）成果评价意见（评价证书编号：中腐评价字[2020]第 11 号）

中国腐蚀与防护学会评价专家组认为：

“首次系统揭示了含酸性气体杂质超临界 CO<sub>2</sub> 环境“管材-环境-应力”等多因素耦合腐蚀机理和微观失效机制，并提出了管材的腐蚀速率机理预测模型；明确了引起油管断裂的环境因素及其特征，建立了超临界 CO<sub>2</sub> 油管腐蚀断裂的研究方法和评价技术；研发了 CO<sub>2</sub> 注入井超临界环境腐蚀评价和综合防护技术，为解决 CO<sub>2</sub> 驱

面临的腐蚀难题提供了坚实的基础”。

“首次将内、外 W-Ni 镀层油管成功应用于 CO<sub>2</sub> 驱采出井超临界工况环境，在超临界 CO<sub>2</sub>、高矿化度、复杂载荷苛刻环境下发挥良好的耐蚀性能，大幅度降低现场作业次数”。

“首次提出了超临界相缓蚀剂的概念，研发了针对 CO<sub>2</sub> 驱高矿化度酸性腐蚀环境的新型缓蚀药剂及一体化缓蚀阻垢剂，形成了“涂镀层防腐油管+一体化缓蚀阻垢剂”井筒防腐防垢技术，有效控制了结垢、堵塞及垢下腐蚀导致的管材腐蚀损伤及失效难题”。

“该成果支撑了黄 3 区 CO<sub>2</sub> 驱“9 注 37 采”国家级先导试验示范基地的建设，现场试验 73 井次，采出井井筒管柱服役 765 天后未发现腐蚀、结垢现象，工程实施效果良好，经济和社会效益显著。

“该成果为姬塬油田先导试验区 CO<sub>2</sub> 驱注采井腐蚀防护的主体技术，具有明显创新性和广阔的应用前景”。

“该成果整体达到国际先进水平，其中超临界 CO<sub>2</sub> 环境腐蚀速率机理预测模型和一体化缓蚀阻垢技术达到国际领先”。

## **(2) 验收意见**

中国石油长庆油田分公司科技项目“CO<sub>2</sub> 注采油套管柱选材及防腐关键技术研究”项目（合同编号：15YH-FW-021）

“明确了国内开展 CO<sub>2</sub> 驱的油田的腐蚀状况和运行状态；系统研究了分压、井筒温度、采出液流速以及含油率变化时 N80/J55 油套管材质在气相和液相的腐蚀规律和腐蚀机理；首次验证评价了实物管柱在加载 70%屈服强度的应力状态下 TC3520、TC3000F 涂层和 W-Ni 镀层在模拟油田环境下的接头密封完整性能，揭示了应力和腐蚀介质协同作用促进涂层鼓泡和镀层轻微开裂的影响关系，研究结果为现场管材的筛选和焊接质量的控制提供了充分的理论指导”。

## **(3) 国内外知名学者关注和引用**

本项目形成的油田用管材在超临界 CO<sub>2</sub> 地层水环境下的腐蚀行为及油田环境缓蚀剂的作用机制在著名期刊 Corrosion Science、Electrochimica Acta 等国际期刊发表后，得到 30 余次国内外著名腐蚀科学研究团队的关注和引用。

#### **(4) 第三方机构的检测与评价**

湖南纳菲尔新材料科技股份有限公司出具检测报告：W-Ni 合金镀层基本性能符合 SY/T6478-2017 标准要求。

新闻媒体报道：2020 年 3 月中国石油长庆油田分公司网刊登了题为“长庆油田主材工艺助推二氧化碳驱先导试验显成效”：针对长庆油田地层水矿化度较高、成垢离子含量高，注气后采出井结垢腐蚀问题更加突出、现有缓蚀剂和阻垢剂不配伍且无法同时加注的难题，该研究院本着“降低成本”的原则，通过分子设计、基团嫁接，合成了兼具缓蚀性能和阻垢性能的一体化缓蚀阻垢剂，结果表明一体化药剂阻垢率达到 80%以上，能满足长庆油田二氧化碳驱油与埋存的施工要求。

#### **(5) 科技奖励**

2019 年 08 月，获中国石油集团石油管工程技术研究院科技进步奖一等奖；

2020 年 12 月，获中国腐蚀与防护学会科学技术一等奖。

### **五、应用情况和效益**

本项目研究成果在长庆油田多个采油厂、湖南纳菲尔新材料科技股份有限公司、延安嘉盛石油机械有限责任公司、陕西天普石油科技有限公司、北京中恒永信科技有限公司等油管加工企业，西安三环石油管材科技有限公司等化学助剂生产、应用企业等得到推广应用。

#### **1. 应用情况**

(1) 长庆油田采油五厂在 2020 年-2022 年采用该项目的“CO<sub>2</sub>注采环境含酸性杂质环境管材失效机制”、“涂镀层防腐油管”、“缓蚀阻垢一体化药剂”等研究成果，形成了 CO<sub>2</sub>注采环境腐蚀规律和腐蚀断裂机理新认识；应用涂镀层防腐油管有效抑制了高含 CO<sub>2</sub>+高矿化度苛刻环境+拉伸应力作用对井筒的腐蚀损伤问题；应用缓蚀阻垢一体化药剂，腐蚀速率控制在 0.076mm/a 以下，阻垢率控制在 75%以上，从根本上消除了此类井的套损隐患，为 CO<sub>2</sub>驱先导试验区建设提供了可靠技术保障。

(2) 湖南纳菲尔新材料科技股份有限公司应用本项目研究成果“实物腐蚀拉伸测试技术”“小尺寸试样+现场应用综合评价技术”等技术，开展了管材含防腐镀层在 CO<sub>2</sub>驱复杂环境的腐蚀行为分析，模拟环境下的腐蚀程度分析，以检验镍钨合金镀层油管的可靠性和适应性。结合工艺调整，验证了镍钨合金镀层油管的安全可靠

性，大大提高了管材的耐蚀性能和应用效果，提升了产品水平，很大程度扩展了防腐镀层油管在长庆油田 CO<sub>2</sub> 驱等其他国内油田的应用市场。

(3) 延安嘉盛石油机械有限责任公司、北京中恒永信科技有限公司和北京普斯维斯防腐科技有限公司应用本项目研究成果中建立了的“实物腐蚀拉伸测试技术”“小尺寸试样+现场应用综合评价技术”等技术，开展了各类碳钢油管小试样+全尺寸综合腐蚀试验、进行修复后的碳钢油管在油气井的全生命周期不同工况耐蚀性评价、开展内涂层油管的全生命周期腐蚀评价和全尺寸实物腐蚀评价，修复和检验油管在长庆、延长油田使用过程中的可靠性和适应性，得到油田单位认可，提升了业务量。

(4) 西安三环石油管材科技有限公司在 2020-2022 年应用本项目研发的“缓蚀阻垢一体化药剂”配方，经过应用评价和现场试验，在长庆、塔里木等油田推广应用，近三年累计新增销售缓蚀阻垢剂 2120 吨，有效解决了现场腐蚀结垢问题，取得了良好的应用效果。

(5) 长庆油田采油六厂应用本项目“涂镀层防腐油管技术”，成功在现场吞吐井下入 2000 米钨镍内外镀层油管，服役 3 年多时间未发现明显腐蚀现象，大幅度降低现场作业次数，该成果将推广应用于 CO<sub>2</sub> 驱吞吐井和采出井，为油田带来可观的经济效益。

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	应用起止时间	单位联系人/电话
1	长庆油田采油五厂	CO <sub>2</sub> 注采环境含酸性杂质环境管材失效机制；涂镀层防腐油管；缓蚀阻垢一体化药剂。	应用于第五采油厂 CO <sub>2</sub> 驱 37 口单井油套管防腐。	2020.01~2022.12	杨金峰 18840464353
2	湖南纳菲尔新材料科技股份有限公司	油井管内涂层油管全生命周期评价；全尺寸腐蚀评价。	应用于检验合金镀层油管的可靠性和适应性评价。	2020.01~2022.12	胡一茗 15616036121
3	延安嘉盛石油机械有限责任公司	油井管表面改性技术；小尺寸试样+现场应用综合评价技术；实物腐蚀拉伸测试技术。	应用于各类碳钢油管小试样及全尺寸腐蚀试验评价及油管选材。	2020.01~2022.12	黄岩岗 13379530315

4	北京中恒永信科技有限公司	油井管内涂层油管全生命周期评价；全尺寸腐蚀评价。	应用于检验内涂层油管的可靠性和适应性评价。	2020.01~2022.12	刘迪 18801119762
5	北京普斯维斯防腐科技有限公司	小尺寸试样+现场应用综合评价技术；实物腐蚀拉伸测试技术。	应用于修复油管，进行修复后的碳钢油管在油气井的全生命周期不同工况耐蚀性评价和可靠性验证。	2020.01~2022.12	桑绍雷 13426311400
6	西安三环石油管材科技有限公司	缓蚀阻垢一体化药剂配方。	新增缓蚀阻垢剂销售2120吨。	2020.01~2022.12	王远 029-81887947
7	长庆油田采油六厂	采油厂使用涂镀层防腐油管现场应用	应用于第六采油厂 CO <sub>2</sub> 驱吞吐井和 CO <sub>2</sub> 驱注采井	2020.01~2022.12	陈世栋 15339141311

## 2. 经济效益和社会效益

### （一）经济效益：

本项目的研究成果在油田企业、油管加工制造企业以及油田化学助剂生产企业得到规模化推广应用，取得了良好的经济效益和社会效益，近三年累计新增销售额33028.9万元，累计新增利润7399.87万元。

（1）自2020年以来，第五采油厂对37口单井采用该项目研究成果后（实施涂镀层防腐油管下入37口井，缓蚀阻垢一体化剂加注36口井），采出井年套损率降低5%，油管年更换率降低30%。按照套损井治理费用200万元/井，油管带压更换作业费约70万元/井，油井套破后平均损失产量为361吨/年·井，涂镀层防腐油管成本费用14万元/井，缓蚀剂加注成本费用2万元/井·年计算，2020年、2021年、2022年原油销售价格为0.2184万元/吨、0.3269万元/吨、0.4799万元/吨；原油利润为-0.0486万元/吨、0.0209万元/吨、0.1273万元/吨，三年因减少损失产生的新增销售额为：200万元/井×（37口×5%）×3年+70万元/井×（37口×30%）×3年+361吨/年·井×（37口×5%）×（0.2184万元/吨+0.3269万元/吨+0.4799万元/吨）=4077.7万元；新增利润为：200万元/井×（37口×5%）×3年+70万元/井×（37口×30%）×3年+361吨/年·井×（37口×5%）×（-0.0486万元/吨+0.0209万元/吨+0.1273万元/

吨)  $-37 \text{ 口} \times 14 \text{ 万元/井} - 36 \text{ 口} \times 2 \text{ 万元/井} \times 3 \text{ 年} = 2741.7 \text{ 万元}$ 。

(2) 自 2020 年以来, 湖南纳菲尔新材料科技股份有限公司采用《CO<sub>2</sub> 驱注采环境管材腐蚀防控技术研究与应用》项目研究成果, 近三年镍钨合金镀层油管新增销售增量分别为 11900 根、10890 根和 12780 根。根据每根镍钨合金镀层油管售价为 1100 元/根, 利润为 220 元/根, 则近三年新增销售额分别为  $1100 \text{ 元/根} \times 11900 \text{ 根} = 1309 \text{ 万元}$ 、 $1100 \text{ 元/根} \times 10890 \text{ 根} = 1197.9 \text{ 万元}$ 、 $1100 \text{ 元/根} \times 12780 \text{ 根} = 1405.8 \text{ 万元}$ , 累计新增销售额为 3912.7 万元; 近三年新增利润分别为  $220 \text{ 元/根} \times 11900 \text{ 根} = 261.8 \text{ 万元}$ 、 $220 \text{ 元/根} \times 10890 \text{ 根} = 239.58 \text{ 万元}$ 、 $220 \text{ 元/根} \times 12780 \text{ 根} = 281.16 \text{ 万元}$ , 累计新增利润为 782.54 万元。

(3) 延安嘉盛石油机械有限责任公司采用本项目研究成果后, 近三年 API 碳钢油管新增销售增量分别为 17650 根、18880 根和 20530 根。根据每根修复油管售价为 1000 元/根, 利润为 160 元/根, 则近三年新增销售额分别为  $1000 \text{ 元/根} \times 17650 \text{ 根} = 1765.0 \text{ 万元}$ 、 $1000 \text{ 元/根} \times 18880 \text{ 根} = 1888 \text{ 万元}$ 、 $1000 \text{ 元/根} \times 20530 \text{ 根} = 2053 \text{ 万元}$ , 累计新增销售额为 5706 万元; 近三年新增利润分别为  $160 \text{ 元/根} \times 17650 \text{ 根} = 282.4 \text{ 万元}$ 、 $160 \text{ 元/根} \times 18880 \text{ 根} = 302.1 \text{ 万元}$ 、 $160 \text{ 元/根} \times 20530 \text{ 根} = 328.5 \text{ 万元}$ , 累计新增利润为 913.0 万元。

(4) 北京中恒永信科技有限公司采用本项目研究成果, 近三年内涂层油管新增销售增量分别为 13580 根、15790 根和 16280 根。根据每根内涂层油管售价为 1200 元/根, 利润为 150 元/根, 则近三年新增销售额分别为  $1200 \text{ 元/根} \times 13580 \text{ 根} = 1629.6 \text{ 万元}$ 、 $1200 \text{ 元/根} \times 15790 \text{ 根} = 1894.8 \text{ 万元}$ 、 $1200 \text{ 元/根} \times 16280 \text{ 根} = 1953.6 \text{ 万元}$ , 累计新增销售额为 5478 万元; 近三年新增利润分别为  $150 \text{ 元/根} \times 13580 \text{ 根} = 203.7 \text{ 万元}$ 、 $150 \text{ 元/根} \times 15790 \text{ 根} = 236.85 \text{ 万元}$ 、 $150 \text{ 元/根} \times 16280 \text{ 根} = 244.2 \text{ 万元}$ , 累计新增利润为 684.75 万元。

(5) 北京普斯维斯防腐科技有限公司采用该项目研究成果后, 近三年修复油管新增销售增量分别为 29960 根、33620 根和 35690 根。根据每根修复油管售价为 1000 元/根, 利润为 135 元/根, 则近三年新增销售额分别为  $1000 \text{ 元/根} \times 29960 \text{ 根} = 2996 \text{ 万元}$ 、 $1000 \text{ 元/根} \times 33620 \text{ 根} = 3362 \text{ 万元}$ 、 $1000 \text{ 元/根} \times 35690 \text{ 根} = 3569 \text{ 万元}$ , 累计新增销售额为 9927 元; 近三年新增利润分别为  $135 \text{ 元/根} \times 29960 \text{ 根} = 404.5 \text{ 万元}$ 、 $135 \text{ 元/根} \times$

33620 根=453.9 万元、135 元/根×35690 根=481.8 万元，累计新增利润为 1340.2 万元。

(6) 西安三环石油管材科技有限公司应用本项目研究成果后，近三年新增缓蚀阻垢剂销售量分别 540 吨、780 吨、800 吨。每吨缓蚀阻垢剂的销售价格为 1.8 万元/吨，利润率为 23%。近三年新增销售额分别为 1.8 万元/吨×540 吨=972 万元、1.8 万元/吨×780 吨=1404 万元、1.8 万元/吨×800 吨=1440 万元，累计新增销售额为 3816 万元；近三年新增利润分别为 972 万元×23%=223.56 万元、1404 万元×23%=322.92 万元、1440 万元×23%=331.2 万元，累计新增利润为 877.68 万元。

(7) 自 2020 年以来，第六采油厂采用该项目研究成果后，实施内外镀层防腐油管下入 2000m，采出井年套损率降低 5%，油管年更换率降低 30%。按照套损井治理费用 200 万元/井，油管带压更换作业费约 70 万元/井，油井套破后平均损失产量为 361 吨/年·井，内外镀层防腐油管成本费用 44 万元/井，2020 年、2021 年、2022 年原油销售价格为 0.2184 万元/吨、0.3269 万元/吨、0.4799 万元/吨；原油利润为-0.0486 万元/吨、0.0209 万元/吨、0.1273 万元/吨，三年因减少损失产生的新增销售额为：200 万元/井×（1 口×5%）×3 年+70 万元/井×（1 口×30%）×3 年+361 吨/年·井×（1 口×5%）×（0.2184 万元/吨+0.3269 万元/吨+0.4799 万元/吨）=111.5 万元；新增利润为：200 万元/井×（1 口×5%）×3 年+70 万元/井×（1 口×30%）×3 年+361 吨/年·井×（1 口×5%）×（-0.0486 万元/吨+0.0209 万元/吨+0.1273 万元/吨）- 1 口×34.8 万元/井=60 万元。

## **（二）社会效益：**

本项目形成的系列研究成果深化了 CO<sub>2</sub> 驱注采环境管柱在复杂多因素耦合作用下的腐蚀失效机理机制的认识，有效解决了油田 CO<sub>2</sub> 驱管柱腐蚀、断裂失效及结垢等技术难题，显著降低了因管材腐蚀失效导致的资源浪费、环境污染和人员伤亡，大幅度减少了采用 CO<sub>2</sub> 驱油技术提采增效过程中管柱的失效概率，保障油田绿色低碳安全运行。同时也培养了一批 CO<sub>2</sub> 驱注采系统腐蚀防控技术的研究人才，创造了良好的社会效益。

## **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	具体名称	国家	授权号（标准编号、论文年卷页）	授权日期	证书编号（标准批准发布部门、期刊名）	权利人（标准起草单位、论文发表单位）	发明人（标准起草人、论文作者）
1	发明专利	一种模拟油田环境的电化学测试装置及测试方法	中国	ZL 20201032907 7.9	2022.1 2.02	5617950	中国石油天然气集团公司 中国石油天然气集团公司管材研究所	赵雪会、韩燕、袁军涛、付安庆
2	发明专利	一种环境友好型高温酸化缓蚀剂及其制备方法	中国	ZL201810849 999.5	2020.0 6.05	3827759	中国石油天然气集团公司 中国石油天然气集团公司管材研究所	吕乃欣、付安庆、王博涛、付顺勋、袁军涛、范磊
3	软件著作权	管线钢在含 SO <sub>2</sub> -O <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O 杂质的超临界 CO <sub>2</sub> 环境中的腐蚀速率预测软件	中国	2017SR58318 4	2017.0 8.01	第 2168468 号	中国石油大学（北京）	向勇
4	发明专利	一种二氧化碳驱注入井环空保护液及其制备方法和使用方法	中国	ZL 201810064 282.X	2020.1 0.13	4027518	中国石油天然气股份有限公司	何淼、何治武、周佩、姜毅、刘宁、董俊、唐泽玮、邱筱琳
5	发明专利	一种复合加载应力腐蚀试验装置及方法	中国	ZL 201510874 287.5	2019.0 1.18	3219771	中国石油天然气集团公司 中国石油天然气集团公司管材研究所	韩燕，尹成先，马庆伟，吕乃欣
6	发明专利	一种超临界二氧化碳下碳钢缓蚀剂及其制备方法	中国	ZL201910828 747.9	2021.0 8.31	4647332	中国石油天然气股份有限公司	何淼、戚建晶、周佩、唐泽玮、苑慧莹、刘宁、刘爱华、姜毅、董俊、李慧
7	发明专利	一种注气驱注入井用高温抗氧缓蚀剂	中国	ZL201811056 940.7	2021.0 1.01	4183252	中国石油天然气集团公司 中国石油天然气集团公司管材研究所	吕乃欣、尹成先、韩燕、徐秀清、李发根、赵雪会

8	发明专利	一种采油生产管柱和应用方法	中国	ZL201610960375.1	2018.11.16	3150272	中国石油天然气股份有限公司	石海霞、甘庆明、周志平、黄伟、赵春、梁毅、樊松、姚洋、雷宇、郭靖、苏祖波、刘明
9	软件著作权	CO <sub>2</sub> 驱采出井井筒多相流计算软件 V1.0	中国	RJ-2018-0079	2018.01.21	3380263	中国石油天然气股份有限公司	/
10	论文	Corrosion behaviour of N80 carbon steel in formation water underdynamic supercritical CO <sub>2</sub> condition	中国	2017 年, 120 卷, 107-120 页	2017.02.10	Corrosion Science	School of Chemistry and Chemical Engineering, Huazhong University of Science and Technology	G.A. Zhang、 D. Liu、 Y.Z. Li、 X.P. Guo

## 七、主要完成人情况表

完成人	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
付安庆	1	所长	教授级高工	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	项目长, 负责本项目的顶层设计、技术论证、组织协调。创新点 1、2、3 的主要贡献者, 负责承担超临界 CO <sub>2</sub> 驱注采复杂环境油套管材腐蚀机理及规律研究, 承担 CO <sub>2</sub> 驱管材优化筛选及全尺寸管柱测试系统设计及实施, 授权专利 5 项, 发表论文 5 篇, 发布标准 3 项。
赵雪会	2	/	教授级高工	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	项目负责人, 负责本项目的整体方案实施, 创新点 1、2、3 的主要贡献者, 承担 CO <sub>2</sub> 驱注采环境腐蚀影响因素的耦合作用影响规律、油套管失效模式分析及机制研究, 设计完成涂镀层实物腐蚀拉伸试验测试方法; 授权专利 6 项, 发表论文 6 篇, 发布标准 1 项。

向勇	3	主任	副教授	中国石油大学 (北京)	中国石油大学 (北京)	超临界 CO <sub>2</sub> 环境腐蚀机理及模型创建负责人, 创新点 1、2 的主要贡献者, 承担 CCUS 系统管材腐蚀失效的影响因素与机理, 建立了碳钢在含酸性气体杂质的超临界 CO <sub>2</sub> 环境中的腐蚀速率预测模型, 超临界相缓蚀剂的研究及开发; 发表论文 5 篇, 授权计算机软件著作权 1 项。
周佩	4	/	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	防腐技术现场应用负责人, 创新点 1、3 的主要贡献者, 承担模拟油田现场还是阻垢药剂的性能评价、理化检测以及现场推广等工作; 参与承担 CO <sub>2</sub> 驱环境注采流体的分析及管材腐蚀机理研究, 发表论文 3 篇, 授权专利 3 项, 授权计算机软件著作权 1 项, 发布标准 1 项
张国安	5	/	教授	华中科技大学	华中科技大学	超临界 CO <sub>2</sub> 水相环境腐蚀机理及原位测试方法负责人, 创新点 1、2 的主要贡献者; 负责超临界 CO <sub>2</sub> -水系统中管材的腐蚀机理研究及腐蚀预测模型建立, 建立了含水气的 SC-CO <sub>2</sub> 相和动态 SC-CO <sub>2</sub> -水系统中的原位电化学测试方法, 明确了超临界 CO <sub>2</sub> 腐蚀环境下的缓蚀剂控制机制和作用机理, 发表文章 5 篇。
韩燕	6	/	高级工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团石油管工程技术研究院	CO <sub>2</sub> 驱注采环境油套管失效分析负责人, 创新点 1、3 的主要贡献者, 负责 CO <sub>2</sub> 驱注采环境油套管失效模式分析及机制研究, 明确失效模式; 参与模拟地层水管材腐蚀规律研究和 W-Ni 镀层油管在现场使用后的效果跟踪, 授权专利 3 项, 发表论文 3 篇; 发布标准 1 项。
何淼	7	/	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	缓蚀防垢药剂研发及现场跟踪负责人, 创新点 3 的主要贡献者, 负责防腐抗垢一体化缓蚀阻垢剂的现场跟踪, 参与承担 CO <sub>2</sub> 驱地层水环境防腐抗垢一体化缓蚀阻垢剂的性能评价及推广应用, 参与油田现场防腐措施的优化筛选和 W-Ni 镀层油管在现场使用后的效果跟踪, 授权专利 4 项, 发表论文 3 篇, 发布标准 2 项, 缓蚀阻垢剂产品 1 件。

吕乃欣	8	/	高级工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团石油管工程技术研究院	防腐技术优化到推广应用负责人，创新点 1、3 的主要贡献者，负责防腐涂镀层室内全尺寸测试分析，参与复杂石油管材内防腐涂镀层的在多因素腐蚀环境交互作用下的防腐和失效机制研究，发表论文 2 篇，授权专利 8 项，缓蚀剂产品 1 件。
石海霞	9	/	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	缓蚀药剂质量控制负责人，创新点 3 的主要贡献者，负责缓蚀阻垢药剂评价和效果跟踪，参与 CO <sub>2</sub> 驱注采环境现场调研及腐蚀机理研究，授权专利 4 项；参与全尺寸实物油井管柱应力腐蚀试验研究，发表论文 3 篇。
苏航	10	/	高级工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	CO <sub>2</sub> 驱注采环境管柱腐蚀损伤及寿命预测计算，低温环境管柱力学性能变化趋势及腐蚀规律研究，发表论文 3 篇。

### 八、主要完成单位及创新推广贡献

序号	主要完成单位	创新推广贡献
1	中国石油集团工程材料研究院有限公司	负责本项目的顶层设计、技术论证、组织协调，创新点 1、2、3 的主要贡献单位；基于 CO <sub>2</sub> 驱注采环境管材的腐蚀机理规律研究，揭示了注入环境含酸性杂质管材的腐蚀失效模式、失效机制，探明了注入气体含酸性杂质对管材失效起主导作用；建立了实验室 CCUS 油管模拟试验方法；负责注采环境下管材的优化筛选和涂镀层的优化设计及经济性配套设计，承担注采环境多因素耦合作用机理研究及全尺寸油管试验评价技术研究，授权专利 21 项，发布标准 5 项，发表论文 20 篇，开发缓蚀阻垢剂产品 1 种。
2	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司	负责 CO <sub>2</sub> 驱注采环境防腐一体化缓蚀阻垢剂的设计、开发和应用，创新点 1、3 的主要贡献单位；研发了 CO <sub>2</sub> 驱注采环境防腐抗垢一体化缓蚀阻垢剂，承担基本性能评价及现场防腐技术应用效果跟踪，承担油田现场防腐措施的设计优化和 W-Ni 镀层油管在现场的应用和跟踪，发明了采出井井筒多相流计算软件。发表论文 7 篇，发布标准 2 项；授权专利 12 项，开发缓蚀阻垢剂产品 1 种。
3	中国石油大学（北京）	超临界 CO <sub>2</sub> 环境多杂质耦合腐蚀机理及模型创建负责人，创新点 1、2 的主要贡献者，承担 CCUS 系统管材腐蚀失效的影响因素与机理，建立了碳钢在含酸性气体杂质的超临界 CO <sub>2</sub> 环境中的腐蚀速率预测模型，超临界相缓蚀剂的研究及开发；发表论文 5 篇，授权计算机软件著作权 1 项。

4	华中科技大学	超临界 CO <sub>2</sub> -水系统中腐蚀机理研究及模型建立负责人，创新点 1、2 的主要贡献者；超临界 CO <sub>2</sub> -水系统中管材的腐蚀机理研究及腐蚀预测模型建立，承担超临界 CO <sub>2</sub> 腐蚀环境下的缓蚀剂控制机制研究，明确作用机理，发表文章 3 篇。
---	--------	---

## 九、完成人合作关系说明

（1）项目合作：付安庆、赵雪会、何淼、吕乃欣、韩燕、周佩、石海霞等共同参与长庆油田分公司研究项目《CO<sub>2</sub> 注采油套管柱选材及防腐关键技术研究》（合同编号：15YH-FW-021），赵雪会为课题负责人，付安庆为项目技术负责人，何淼、韩燕、吕乃欣为课题骨干，周佩、何淼、石海霞为甲方参与人员，负责现场试验及应用。

（2）项目合作：赵雪会、吕乃欣、韩燕、向勇等共同参与中国石油天然气股份有限公司大庆油田分公司研究课题《CO<sub>2</sub> 驱注采井防腐管材涂层性能检测评价及榆林油田注气井油套管断裂断口检测分析》（合同编号：DQYT-1204003-2016-JS-257），赵雪会为课题负责人，吕乃欣、韩燕、向勇为课题骨干。

（3）项目合作：吕乃欣、张国安、赵雪会等共同参与长庆油田分公司研究项目《靖安油田空气泡沫驱地面工艺研究-地面管线及油套管腐蚀评价》（合同编号：管材-2017-JS-357），吕乃欣为课题负责人，其余人为课题骨干。

（4）项目合作：苏航、赵雪会、韩燕等共同参与江苏油田研究项目《CO<sub>2</sub> 驱油管失效及断脱因素与对策研究》（合同编号：管材-2020-JS-50393），苏航为课题负责人，其余人为课题骨干。

## 项目十四

### 一、项目名称：石油管质量基础设施关键技术研究及应用

### 二、提名意见

随着特殊工况用油井管以及高钢级输送管大规模使用，现有的计量技术、检验检测技术、试验装备以及配套标准已不能满足石油管质量安全的需求。该项目以石油管质量基础设施关键技术需求为导向，重点围绕石油管质量安全试验能力建设，对螺纹计量、检验检测、标准研制等三个方面的关键技术难题开展了研究。项目首创石油专用螺纹虚拟量传技术，突破了环塞规旋合的实体量传技术，开发了软件和测量仪的智能“握手”技术，实现了石油管螺纹计量检测的数智化。此外，还攻克了石油管非常规服役行为模拟装备开发、石油管微观组织金相形貌智能分析、石油管特殊缺陷智能检验等技术难题。同时，制定了高性能石油管的计量、检测及质量评价配套系列标准。项目成果获得授权发明专利 10 件、授权实用新型专利 10 件；制修订国家标准 2 项，行业/团体标准 7 项，企业标准 10 项；在国内外发表学术论文 23 篇（SCI 6 篇、EI 7 篇）。该项目的成果直接应用于延长油田、四川长宁天然气、长庆油田、西南油气田、青海油田等油气田，用于石油管产品的螺纹计量、检验检测、旧管修复等工作，并在上海宝钢、天津钢管等国内石油管骨干制造企业完成推广转化，为石油管质量基础设施建设提供了重要技术支撑。

我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，各栏目填写符合陕西省科学技术奖励工作的要求。该项目相关情况在完成人所在单位进行了公示，公示均无异议。

推荐该项目为陕西省科技进步奖二等奖。

### 三、项目简介

石油管在石油工业中占有很重要的地位，年耗资数千亿元，其安全可靠性和使用寿命对石油工业关系重大，若失效会导致巨大经济损失、人员伤亡、环境污染和社会影响。近年来随着油气勘探开发向深、低、海、非发展，油气管道口径、压力不断提高，周边环境日益复杂，石油管服役条件更加苛刻。石油工业安全事故绝大多数与石油管有关，其中因产品质量及性能不满足要求的失效约占 50%，保障石油管质量安全意义重大。随着特殊工况用油井管以及高钢级输送管大规模使用，现有的

计量技术、检验检测技术、试验装备，以及配套标准已不能满足石油管质量安全的需求。具体所面临的的技术难题如下：

1) 在计量领域，钻具螺纹存在量值溯源卡脖子风险，高效智能化石油专用螺纹计量技术欠缺，未建立行业普遍认可的特殊螺纹通用计量方法。

2) 缺乏适用目前工况的石油管全尺寸服役性能模拟试验装备，现有石油管微观组织分析、缺陷检验技术不完善。

3) 针对高性能石油管的计量、检测及质量评价的标准缺失。

针对上述技术难题，本项目在中国石油基础研究和战略储备项目“石油专用螺纹量值智能检测及传递技术研究”、“基于大数据的油套管实物性能虚拟试验技术研究”等四个项目的支持下，针对石油管计量、检验检测、以及配套标准存在的关键技术难题，围绕石油管质量安全试验能力，攻关形成了 7 项试验技术、6 套试验装备、以及 19 项质量评价标准，为石油管质量基础设施提供了重要技术支撑。

主要科技创新点：

(1) 研发了石油专用螺纹量值传递技术及智能检测仪器。提出测量螺纹多母线点云建立数字化模型的方法，结合发明的虚拟紧密距算法，首创了石油专用螺纹虚拟量传技术，为“数字化补链”提供技术支撑。发明了螺纹单项参数的快速测量算法，开发了软件和测量仪的智能“握手”技术，实现了石油管螺纹计量检测的数字化、智能化。

(2) 发明了石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置。发明了外压失效试验用挤毁缸的制造方法，创新开发了超高外压柔性密封技术，将系统工作压力提升到 275MPa，攻克了高抗挤石油管立式挤毁试验技术难题；开发了高钢级管线环焊缝金相形貌分道次显示技术及图像采集分析装置，指导了焊接焊道次及形貌地准确评价；开发了弯头壁厚测量及活动部位缺陷检验方法及装置，实现壁厚的全面测量。

(3) 制定了高性能石油管的计量、检测及质量评价配套系列标准。其中包括套管、油管 and 管线管螺纹的加工测量和检验、高抗挤套管评价、高钢级管线钢显微组织评定、数字化石油螺纹单项参数测量仪校准等计量、检测标准。建立了“传统技术更迭+数字化创新+质量基础要素融合”特色石油管质量基础设施关键评价体系。

本项目获得授权发明专利 10 件、授权实用新型专利 10 件；取得计算软著权 8 项；制修订国家标准 2 项，行业/团体标准 7 项，企业标准 10 项；在国内外发表学术论文 23 篇（SCI 6 篇、EI 7 篇）。过去 3 年累计产生经济效益 20 多亿元。项目成果已在延长油田、四川长宁天然气、长庆油田、西南油气田、青海油田得到推广应用，指导了石油管在油气田现场的质量检验、下井应用以及旧管修复工作；项目成果还

在上海宝钢、天津钢管、靖江特钢、江苏常宝等国内石油管骨干制造企业完成推广转化。研究成果保障了油气上产和能源安全，成为石油管质量基础设施领域的重要技术支撑，为油气行业发展、质量强国建设提供助力。

#### 四、客观评价

##### 1 与当前国内外同类技术对比

(1) 石油专用螺纹量值传递技术:美国 PMC、日本黑田精工等掌握了原始量规及地区量规精密制造技术，控制量值传递，但虚拟量传技术尚未开展；宝石机采用实体量规量值传递。本项目首创了石油专用螺纹虚拟量传技术，虚拟紧密距与实体紧密距误差小于 0.04mm。

(2) 螺纹单项参数数字化计量：美国 Gagemaker、西安泰锐等生产的螺纹单项仪测量精度为 0.01mm；单项参数检测时间约 30 秒，本项目成果的测量精度为 0.008mm；系统整体测量效率提升 30%。

(3) 石油管全尺寸检验检测技术：美国应力工程、加拿大 C-FER 采用传统内、外压热循环试验技术，单根检测时间>120h；宝钢等试样规格覆盖范围有限，单根检测时间>120h。本项目复合载荷内、外压温度循环试验时间缩短至 70.3h。

(4) 石油管微观组织金相形貌智能分析技术：国内外一般采用了硝酸酒精溶液或者苦味酸溶液，无法清晰显示每个焊接道次。本项目可清晰显示环焊缝根焊、热焊、填充焊、盖面焊的焊接道次。

(5) 石油管特殊缺陷智能检验技术：国内外一般采用壁厚单点测量方法，不能反映壁厚整体情况；无活动部位横向缺陷检测技术。本项目实现壁厚的全面测量；可检出表面微米级缺陷；检出内部 0.5mm 以上横向缺陷。

##### 2 科技查新结论

陕西省科学技术情报研究院查新结论：

(1) 未见明确涉及虚拟紧密距计算的方法研究；未见综合采用电感式传感器、单片机、无线数据传输的数字化螺纹检测系统研究。

(2) 未见综合采用本技术的石油管材立式挤毁试验系统研究；未见综合试验大数据、经典计算公式、数值模拟神经网络算法等技术的石油管全尺寸实物性能虚拟评价技术研究。

(3) 未见高钢级管线环焊缝的宏观金相形貌分道次显示技术及图像分析装置研究；未见明确针对活动弯头及横纵向缺陷检测的检验技术。

##### 3 课题验收意见



(1)《石油专用螺纹量值智能检测及传递技术研究》验收意见：建立了满足石油专用螺纹参数检验要求的智能检测方法，提出石油专用螺纹智能检测系统校准方法。开发的样机在实验室检测中进行了应用，提高了检测效率。

(2)《基于大数据的油套管实物性能虚拟试验技术研究》验收意见：开展了油套管实物性能影响因素分析、基于大数据的虚拟评价预测模型建立以及预测模型的适用性研究与优化，完成油套管实物性能影响因素分级，建立了油套管全尺寸智能分析数据库及实物性能虚拟预测评价软件。解决目前实物试验周期长、费用高、检验结果覆盖面小的问题。

(3)《石油管材理化性能评价技术研究》验收意见：开发了石油管材金相组织检测与评定新技术；开发了石油管材焊缝浸蚀与分析新技术与装置，使焊缝形貌清晰准确显示。课题成果提升了实验室检测能力和水平，已应用于国家质检中心日常检测。

(4)《回收油套管再制造技术研究及工业化应用》验收意见：完成了回收套管修复再利用特殊螺纹选型及特殊螺纹接头实物评价方法研究及应用。“BJC-II”型特殊螺纹具有优异的连接强度、气密封性和抗粘扣性能。完成了合同规定的阶段研究任务，实现了预期目标。

#### 4 第三方评价

(1)项目核心成果“数字化螺纹检测系统”获得陕西省工业和信息化厅颁发的《陕西省重点新产品》证书；项目核心成果“数字化螺纹检测系统”获得中国石油集团公司 2020 年度自主创新重要产品。

(2)项目核心成果“高精度校验仪”经中国计量科学院检验校准，完全满足试验测试要求。

(3)项目核心成果“800t 复合加载试验系统”、“600t 复合加载试验系统”分别经西北国家计量测试中心、福建省计量科学研究院检定和校准，完全满足试验测试要求。

(4)项目核心成果“高分辨率宏观形貌图像采集分析系统”经西安汉唐分析检测公司检测校准(CNAS)，仪器精度完全满足试验测试要求。

(5)项目核心成果“弯头壁厚检测装置”经广电计量检测公司检测校准(CNAS)，仪器精度完全满足试验测试要求。

5 本项目获得授权发明专利 10 件、授权实用新型专利 10 件；取得计算软件著作权 8 项；制修订国家标准 2 项，行业/团体标准 7 项，企业标准 10 项；在国内外发表学术论文 23 篇（SCI 6 篇、EI 7 篇）。

#### 6 曾获科技奖励情况

本项目成果获 2022 年度中国石油集团工程材料研究院有限公司科技进步一等奖。

五、应用情况和效益

1. 应用情况

项目成果“石油专用螺纹量值传递技术及智能检测仪器”直接应用于上海宝钢、天津钢管、中海油能源发展公司等生产制造企业，系统整体精度从 0.01mm 提升至 0.008mm，效率整体提升了 30%。通过技术服务的方式，为延长油田、四川长宁天然气、长庆油田、西南油气田、青海油田、上海宝钢、中海油能源发展公司检验检测油管、套管、钻具类产品近 300 万吨，检验检测数据 20000 万个，提升了物资检验的检验效率和技术水平。项目成果“石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置”近三年完成了西南、塔里木、新疆等油气田及宝钢、天钢、衡钢、中信特钢等制造企业高性能油井管严苛工况四级评价试验 13 套，抗粘扣上卸扣试验、静水压及内压至失效试验、外压至失效试验、拉伸至失效试验、过扭矩试验、高低温密封性能试验等常规性能评价 486 项，确保石油管质量性能。在延长油田、四川长宁天然气、长庆油田、西南油气田、青海油田等油田用石油管产品开展理化性能与缺陷检验工作，为油田物资把好质量关。近 3 年开展了 90 余项石油管失效分析，为油田事故处理和防控措施提供了技术支持。

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	应用起止时间	单位联系人/电话
1	中国石油集团工程材料研究院有限公司	石油专用螺纹量值传递技术及智能检测仪器、石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置、高性能石油管计量检测配套标准	管材质量监督检验；试验技术、装备开发推广	2020 年-至今	宋寰 /029-81887879
2	延长油田股份有限公司	石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置、高性能石油管计量检测配套标准	油田用管的质量检验、下井应用	2020 年-至今	王宝萍 /13402997803

3	四川长宁天然气开发有限责任公司	石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置、高性能石油管计量检测配套标准	油田用管的质量检验、下井应用、旧管修复	2020 年-至今	石凯 /18108240514
4	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司	石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置、高性能石油管计量检测配套标准	油田用管的质量检验、下井应用	2020 年-至今	田青 /029-86597932
5	中国石油天然气股份有限公司西南油气油田分公司	石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置、高性能石油管计量检测配套标准	油田用管的质量检验、下井应用	2020 年-至今	陈熙平 /028-86014767
6	中国石油天然气股份有限公司青海油田分公司	石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置、高性能石油管计量检测配套标准	油田用管的质量检验、下井应用、物资检验	2020 年-至今	冯洪 /0937-8921538
7	宝山钢铁股份有限公司钢管条钢事业部	石油专用螺纹量值传递技术及智能检测仪器、石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置	油套管质量控制、检验检测、产品研发	2020 年-至今	孙建安 /15900773810
8	西安泰锐精密机械科技有限公司	石油专用螺纹量值传递技术及智能检测仪器	提高了专用仪器检测效率和精度	2020 年-至今	王军政 /029-84846226
9	江苏常宝普莱森钢管有限公司	石油专用螺纹量值传递技术及智能检测仪器、石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置	油套管的质量控制、检验检测、产品研发	2020 年-至今	许雷明 /13921022316
10	靖江特殊钢有限公司	石油专用螺纹量值传递技术及智能检测仪器、石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置	油套管质量控制、检验检测、产品研发	2020 年-至今	梅丽 /13820423230

2. 经济效益和社会效益

(一) 经济效益:

(1) 本项目完成单位中国石油集团工程材料研究院有限公司利用本项目成果开展 6000 余项的石油管质量监督、质量仲裁、型式试验、石油管新产品开发与评价、新试验装备开发及推广等技术服务项目。在 2020-2022 年期间,成果推广收入达到 29600 万元,净利润 2600 万元。

(2) 延长油田、四川长宁天然气、长庆油田、西南油气田、青海油田应用本成果指导了石油管在油气田现场的质量检验、下井应用以及旧管修复工作。通过该技术成果的实施,石油管平均寿命延长 2 年,从而起到减少石油管采购量的效果。在 2020-2022 年期间,采购石油管数量节约采购金额 152200 万元。

(3) 靖江特钢、江苏常宝普莱森、西安泰锐、上海宝钢应用项目成果相关试验技术、装备、标准等成果,解决了质量控制、检测技术、检测设备、工艺流程等一系列技术难题,近三年,获得利润 70000 万元。

计算方式:

新增净利润=技术服务工作量\*单位价格-生产成本-税金及附加-管理费用-企业所得税。

节约采购金额=新技术实施前单位成本(元/吨)\*原计划采购数量-新技术实施后单位成本(元/吨)\*实际采购数量(万吨);

(二) 社会效益:

保障了我国油气上产和能源安全,以石油管质量基础设施关键技术研究及应用为切入点,为延长油田、四川长宁天然气、长庆油田、西南油气田、青海油田等重点油气田石油管物资质量控制和物资保供提供了重要技术支持,对保障我国主要油气供应具有重要战略意义。推动了我国石油管质量基础设施建设发展:本项目涉及了石油管“计量-检验检测-标准”三要素,形成的成果应用在油田和石油管制造企业,提升了石油管质量安全试验能力,有利于推动石油管质量基础设施进一步建设和发展。

六、主要知识产权证明目录(限 10 条)

序号	知识产权类别	具体名称	国家	授权号(标准编号、论文年卷页)	授权日期	证书编号(标准批准发布部门、期刊名)	权利人(标准起草单位、论文发表单位)	发明人(标准起草人、论文作者)
----	--------	------	----	-----------------	------	--------------------	--------------------	-----------------

1	发明专利	一种虚拟紧密距测量方法	中国	ZL 202010486 470.9	2022 年 7 月 5 日	5285497	中国石油天然气集团有限公司； 中国石油天然气集团公司管材研究所	白小亮，余志， 樊治海，韩新 利，艾裕丰，冯 娜
2	发明专利	一种高钢级管线环焊缝的宏观形貌分道次显示方法	中国	ZL 202010006 044.0	2022 年 6 月 3 日	5203504	中国石油天然气集团有限公司； 中国石油天然气集团公司管材研究所	全珂、何小东、 樊治海、李为 卫、丛深
3	国家标准	石油天然气工业套管、油管和管线管螺纹的加工、测量和检验	中国	GB/T 9253-2022	2022 年 12 月 30 日	国家市 场监督 管理总 局；国家 标准化 管理委 员会	中国石油集团工 程材料研究院有 限公司；宝鸡石 油机械有限责任 公司等	杨力能；方伟； 丰振军；陈心 怡；卫尊义；张 田云；苑清英； 周煜蒙；王小 静；李群；安健 波；吕华；赵森
4	发明专利	一种石油管内壁椭圆度测量仪及其测量方法	中国	ZL 202011257 383.2	2022 年 6 月 3 日	5203936	中国石油天然气集团有限公司； 中国石油天然气集团公司管材研究所	余志，何浩华， 张益铭，林凯， 樊治海，戚东 涛，白小亮
5	发明专利	一种便携式石油管内壁缺陷测量仪	中国	ZL 201810307 878.8	2020 年 1 月 7 日	3655875	中国石油天然气集团有限公司； 中国石油天然气集团公司管材研究所	余志
6	发明专利	一种 HFW 钢管焊接接头宏观参数显示方法	中国	ZL201910 055119.1	2022 年 5 月 10 日	5140241	中国石油天然气集团有限公司； 中国石油天然气集团公司管材研究所	全珂，张华，何 小东，朱丽霞， 丛深
7	发明专利	一种压裂弯头活动部位检验方法	中国	ZL 201711072 015.9	2021 年 7 月 2 日	4521834	中国石油天然气集团公司；中国 石油天然气集团 公司管材研究所	罗华权，杨力 能，秦长毅，李 京川，张雪琴
8	国家标准	石油天然气工业套管及油管螺纹连接	中国	GB/T 21267-201 7	2017 年 12 月 01 日	中华人 民共和 国国家 质量监	中国石油集团石 油管工程技术研 究院、宝山钢铁 股份有限公司等	解学东、李东 凤、杨鹏、韩军、 方伟、王蕊、娄 琦、王俐、苑清

		试验程序				督检验 检疫总 局		英、田青
9	行业 标准	同轴度测 试仪校准 规范	中 国	JJF（陕） 086-2022	2022 年 11 月 16 日	陕西省 市场监 督管理 局	陕西省计量科学 研究院	冯斐、王景凡、 毛斌、何灵芝、 黄璐琦、王力、 罗杰
10	行业 标准	油气井用 高抗挤套 管	中 国	T/CPSI 01301-202 2	2022 年 5 月 30 日	中国石 油学会	中国石油集团工 程材料研究院有 限公司；宝山钢 铁股份有限公司 等	李东风；秦长 毅；王蕊；徐婷； 樊恒；王建军； 董晓明；张旭； 史彬；蔡萌；杨 尚谕；吴丹；邱 福寿；张永强； 蒲婧

## 七、主要完成人情况表

完 成 人	排名	行政 职务	技术职 称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
余志	1	普通 人员	副高级	中国石油集团工程材料 研究院有限公司	中国石油集团工程材料 研究院有限公司	项目负责人，负责项目方案研究及 技术开发工作，制定具体研究计划 方案，设计研究思路，组织实施。 具体负责创新点 1 石油专用螺纹量 值传递技术及智能检测仪器开发， 是本项目主要知识产权第 4 项、第 5 项发明专利的第一发明人，第 1 项发明专利的第二发明人。
金文 辉	2	正处 级	副高级	四川长宁天然 气开发有限 责任公司	四川长宁天然 气开发有限 责任公司	参与创新点 2 石油管全尺寸及微观 组织性能检验检测技术及装置开发 及应用，负责项目成果在四川长宁 开展应用推广工作（见应用证明）， 指导了石油管在油气田现场的旧管 修复、质量检验以及下井应用。
全 珂	3	普通 人员	正高级	中国石油集团工程材料 研究院有限公司	中国石油集团工程材料 研究院有限公司	具体负责创新点 2 石油管全尺寸及 微观组织性能检验检测技术及装置 开发，是本项目主要知识产权第 2

						项、第 6 项发明专利的第一发明人。
毛斌	4	正科级	副高级	陕西省计量科学研究院	陕西省计量科学研究院	具体负责创新点 1 石油专用螺纹量值传递技术及智能检测仪器开发，负责项目成果在计量领域的应用推广工作。是本项目主要知识产权第 9 项的第三起草人。
李东风	5	正处级	正高级	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	参与创新点 3 高性能石油管的计量、检测及质量评价配套系列标准。是本项目主要知识产权第 10 项的第一起草人。制定了油气井用高抗挤套管标准，解决了相应产品无明确标准规范可依的技术难题。
阳光	6	副科级	经济师	四川长宁天然气开发有限责任公司	四川长宁天然气开发有限责任公司	参与创新点 2 石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置开发及应用，参与了项目成果在四川长宁开展应用推广工作（见应用证明），指导了石油管在油气田现场的旧管修复、质量检验以及下井应用。
白小亮	7	正处级	正高级	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	参与创新点 1 石油专用螺纹量值传递技术及智能检测仪器开发，负责项目成果的应用推广工作。是本项目主要知识产权第 1 项发明专利的第一发明人。
樊治海	8	正处级	正高级	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	参与创新点 1 石油专用螺纹量值传递技术及智能检测仪器开发，参与项目成果的应用推广工作。是本项目主要知识产权第 1 项发明专利的第三发明人。
杨力能	9	普通人员	副高级	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	具体负责创新点 3 高性能石油管的计量、检测及质量评价配套系列标准，参与创新点 2 石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置开发。是本项目主要知识产权第 3 项的第一起草人，主要知识产权第 7 项的第二发明人。

石 凯	10	普通 人员	副高级	四川长宁天然 气开发有限 责任公司	四川长宁天然 气开发有限 责任公司	参与创新点 3 高性能石油管的计量、检测及质量评价配套系列标准，参与了项目成果在四川长宁开展应用推广工作（见应用证明），指导了石油管在油气田现场的旧管修复、质量检验以及下井应用。
--------	----	----------	-----	-------------------------	-------------------------	---

### 八、主要完成单位及创新推广贡献

序 号	主要完成单位	创新推广贡献
1	中国石油集团工程材料研究院有限公司	作为项目主持单位和主要完成单位，工程材料研究院全面负责项目技术研究工作，主要贡献包括：1）研发了石油专用螺纹量值传递技术及智能检测仪器。2）发明了石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置。3）制定了高性能石油管的计量、检测及质量评价配套系列标准。建立了“传统技术更迭+数字化创新+质量基础要素融合”特色石油管质量基础设施关键评价体系。进行了大量的组织协调以及应用推广工作。近三年开展 6000 余项的石油管质量监督、质量仲裁、型式试验、石油管新产品开发与评价、新试验装备开发及推广等技术服务项目。项目成果已直接应用于延长油田、四川长宁天然气、长庆油田、西南油气田、青海油田等单位，成为石油管质量安全领域的重要技术支撑。
2	陕西省计量科学研究院	作为主要完成单位，陕西省计量科学研究院全面参与项目研究工作，主要贡献包括负责项目成果在计量领域的应用推广工作，在长度计量方面做了大量的试验研究，测试数据为创新点 1 石油专用螺纹量值传递技术模型的建立提供了技术支持。
3	四川长宁天然气开发有限责任公司	作为主要完成单位，四川长宁天然气开发有限责任公司全面参与项目研究工作，主要贡献包括负责项目成果在四川长宁开展应用推广工作，开展了旧管修复、油田用管质量检验、下井应用技术及相关标准制定的研究工作，对创新点 2、3 做出了贡献。

### 九、完成人合作关系说明

本项目由中国石油集团工程材料研究院有限公司、陕西省计量科学研究院以及四川长宁天然



气开发有限责任公司等3家单位组成的科研团队协作完成，充分实现了优势互补、协同攻关的合作模式。项目组成员相互协作共同完成对本项目的研究工作。

项目完成人余志、仝珂、李东风、白小亮、樊治海、杨力能为中国石油集团工程材料研究院有限公司的员工，是“石油管质量基础设施关键技术研究及应用”项目团队的核心技术人员，已进行了长期的合作。项目完成人金文辉、阳光、石凯为四川长宁天然气开发有限责任公司的员工，全面参与项目研究工作，主要贡献负责项目成果在四川长宁开展应用推广工作，指导了石油管在油气田现场的旧管修复、质量检验、下井应用及相关标准制定，对创新点2、3做出了贡献。项目完成人毛斌为陕西省计量科学研究所的员工，全面参与项目研究工作，主要贡献包括负责项目成果在计量领域的应用推广工作，在长度计量方面做了大量的试验研究，测试数据为创新点1石油专用螺纹量值传递技术模型的建立提供了技术支持。

完成人余志是本项目的负责人，负责项目方案研究及技术开发工作，制定具体研究计划方案，设计研究思路，组织实施。具体负责创新点1石油专用螺纹量值传递技术及智能检测仪器开发，是本项目主要知识产权第4项、第5项发明专利的第一发明人，第1项发明专利的第二发明人。

完成人金文辉参与创新点2石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置开发及应用，负责项目成果在四川长宁开展应用推广工作，指导了石油管在油气田现场的旧管修复、质量检验、下井应用及相关标准制定。

完成人仝珂具体负责创新点2石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置开发，是本项目主要知识产权第2项、第6项发明专利的第一发明人。

完成人毛斌具体参与创新点1石油专用螺纹量值传递技术及智能检测仪器，负责项目成果在计量领域的应用推广工作，是本项目主要知识产权第9项的第三起草人。

完成人李东风参与创新点3高性能石油管计量检测配套标准。是本项目主要知识产权第10项的第一起草人。制定了油气井用高抗挤套管标准，解决了相应产品无明确标准规范可依的技术难题。

完成人阳光参与创新点2石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置开发及应用，参与了项目成果在四川长宁开展应用推广工作，指导了石油管在油气田现场的旧管修复、质量检验以及下井应用。

完成人白小亮参与创新点1石油专用螺纹量值传递技术及智能检测仪器的开发，负责项目成果的应用推广工作。是本项目主要知识产权第1项发明专利的第一发明人。发明了虚拟紧密距测量方法，为石油专用螺纹虚拟量传技术提供了技术支持。

完成人樊治海参与创新点1石油专用螺纹量值传递技术及智能检测仪器的开发，参与项目成果的应用推广工作。是本项目主要知识产权第1项发明专利的第三发明人。

完成人杨力能具体负责创新点3高性能石油管计量检测配套标准，参与创新点2石油管全尺寸及微观组织性能检验检测技术及装置开发及应用。是本项目主要知识产权第3项的第一起草人，主要知识产权第7项的第二发明人。

完成人石凯参与创新点3高性能石油管计量检测配套标准，参与了项目成果在四川长宁开展应用推广工作，指导了石油管在油气田现场的旧管修复、质量检验以及下井应用。

完成人排名严格按照对成果的实际贡献大小依次排名。经项目组成员充分协商，按完成人承担完成的研究任务、科技创新点贡献、推广应用工作量等综合实际绩效依次排名，各完成人及所在单位一致同意其排名。

## 项目十五

一、项目名称：非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料研发及应用

### 二、提名意见

随着油田开采的不断深入，单井产量持续降低，含水率持续升高，井筒管柱和地面集输系统出现腐蚀、结垢、水锁等油气流动障碍问题，严重影响油气开采的效率、油气安全生产和经济效益。为了适应我国油气资源开采的新要求，本项目开发新型油田助剂、井下工具等关键材料，配套研发施工工艺，有效解决油气田全流程的流动障碍问题，实现油气降本增产，保障油气田高效开发。

1) 创新研发了井筒-地面溶垢/阻垢新技术，建立了强酸、弱酸、中性等多个溶垢体系，对钙镁垢、钡锶垢均具有优异的溶垢/阻垢性能。

2) 创新开发新型高效缓蚀剂、环空保护液等新材料，形成井筒-地面一体化防腐技术。

3) 创新研发多级射流泵、新型桥塞等井下工具关键材料，配套研发施工工艺，形成复合解垢堵技术和连续解水锁技术，保障了油气井的井筒流动性。

本项目获授权专利 9 项（发明专利 8 项）、发表论文 25 篇（SCI/EI 9 篇），累计形成产生经济效益 8.64 亿元。项目总体成果达到国际先进水平。该项目成果已在塔里木油田、长庆油田和延长油田等油气田得到成功推广应用，为我国油气田流动保障技术应用提供了重要技术支持。

推荐该项目为陕西省科技进步奖二等奖。

### 三、项目简介

随着油田开采的不断深入，单井产量持续降低，含水率持续升高，井筒管柱和地面集输系统出现腐蚀、结垢、水锁等流动障碍问题，严重影响油气开采的效率、油气安全生产和经济效益。为了适应我国油气资源开采的新要求，聚焦井筒-地面管线的防腐、阻垢、除垢、解水锁等关键需求，开发新型油田助剂、井下工具等关键材料，配套研发施工工艺，有效了解决油气田全流程的流动障碍问题，实现油气降本增产，保障了油田开发。

1) 创新研发了井筒-地面溶垢/阻垢新技术，建立了强酸、弱酸、中性等多个溶垢体系，对钙镁垢、钡锶垢均具有优异的溶垢/阻垢性能。针对油气井井筒垢堵，研发了强酸、弱酸、中性等多个解堵体系，对钙镁垢、钡锶垢均具有优异的溶垢性能。针对强酸体系中 HP13Cr、2205 双相不锈钢等特种油管不能适应高温酸化作业的难题，基于空间多分子层吸附的理论模型，发明了抗强酸特种材质专用高温/超高温（最高达 180℃）缓蚀剂，腐蚀速率远低于行业标准的指标要求，实现了油气田特种材质酸化解堵常态化。针对水平井、超高压气井等非常规油气井，基于螯合机理和阻垢、渗透等增效机理，开发螯合剂为主剂的无腐蚀性的弱酸性解堵剂和中性解堵剂，实现了溶垢但不侵蚀油井管柱的目标，对现场钙镁垢的溶垢率达到 80%以上，最高使用温度达到 180℃。针对钡锶垢难题，从结垢原理出发，结合成分、结垢的全面分析，建立除垢-阻垢一体化技术。突破钡锶垢低温解堵技术难题，开发高效低温钡锶垢解堵剂，钡锶垢解堵剂的适用温度由 70℃降低至 25℃，通过流动加速在常温条件下对现场钡锶垢溶垢率达到 70%以上，实现钡锶垢常温解堵。突破高浓度钡锶的阻垢技术难题，开发高效钡锶阻垢剂，实现高浓度钡锶的高效阻垢，满足油田现场需求，结垢周期延长一倍以上。首创研发了高浓度缓蚀阻垢剂溶垢+低浓度缓蚀阻垢剂阻垢的新方法，成功实现了地面集输系统的溶垢阻垢，提升了地面管线的运输能力，延长了设备的清洗周期，降低了管线/设备垢下腐蚀的风险，提升了管线/设备的安全性。

2) 创新开发新型高效缓蚀剂、环空保护液等新材料，实现井筒-地面一体化防腐技术。基于溶解氧腐蚀机理，开发抗氧缓蚀剂，环上的电子对和 $\pi$ 键易与铁原子的空轨道配位形成化学吸附，吸附成膜稳定性好，不仅耐高温，还抗 CO<sub>2</sub> 腐蚀。克服高 Cl<sup>-</sup>对缓蚀剂膜层的破坏、垢层与缓蚀剂膜层在金属表面的竞争作用及高温工况下缓蚀剂脱附严重的问题，结合管柱材质特性，开发了系列环空保护液，在系列环空密度工况要求下具有强吸附性、多吸附位点、阻垢溶垢、杀菌作用的长效环空保护液，从根源上解决了垢下腐蚀的问题，降低管柱在高温高盐工况下的腐蚀失效风险，提升了管柱安全服役寿命。首创提出“一剂多效”缓蚀剂产品开发思路，采用量子化学计算优化了缓蚀分子自组装结构，借助在线红外和量热合成技术精准合成了以噻唑为主剂的抗氧、阻垢、溶垢、抗起泡等系列油气井-地面管线缓蚀剂产品，配套开发

了缓蚀剂智能加注技术和现场应用效果评价技术。在长庆油田、塔里木油田、延长油田得到推广应用，腐蚀速率降低 70%以上。

3) 创新研发多级射流泵、新型桥塞等井下工具关键材料，配套研发施工工艺，与溶垢剂联用保障了井筒和地层的流动性。研发新型射流泵装置和新型井下桥塞等工具，提升射流泵装置的工作效率，配套设计合理的施工工艺，实现多级射流，达到整个井筒的负压抽吸作用。采用 CO<sub>2</sub> 驱动多级射流泵体系，与解堵剂结合实现油井的高效解堵。采用水驱动多级射流泵，与解水锁剂结合实现水锁气井的连续排水采气，低效气井完成连续开采。

本项目获授权专利 9 项（发明专利 8 项）、发表论文 25 篇（SCI/EI9 篇），累计形成产生经济效益 8.64 亿元。项目总体成果达到国际先进水平，该项目成果已在塔里木油田、长庆油田和延长油田等油气田得到成功推广应用，为我国油气防腐解堵技术应用提供了重要技术支持，推动了行业技术进步和产业发展。

#### 四、客观评价

##### 1) 中国腐蚀与防护学会鉴定意见：

2022 年 10 月 27 日，中国腐蚀与防护学会在北京主持召开了成果评价会。专家委员会（名单附后）听取了研究成果汇报，结合查新报告、应用证明等相关材料，通过质询答辩，专家认为项目开发了耐高温、耐高矿化度且稳定性好的系列水基环空保护液，研发了一剂多效系列缓蚀产品，创新研发了井筒-地面溶、除垢解堵新技术，形成了井下管柱-地面集输系统一体化防护技术体系，进一步保障了油气井管柱和地面集输系统的安全服役。该成果在塔里木、长庆、青海等油气田获得了广泛应用，累计形成经济效益 8.65 亿元。评价委员会认为该成果整体达到国际先进水平，其中在 13Cr、2205 双相不锈钢酸化过程中的腐蚀控制方面达到国际领先水平。

##### 2) 查新结果：

2022 年 10 月 11 日教育部科技查新工作站（Z08）对项目进行查新，查新结果认为在国内外公开发布的中外文文献中，除该查新项目组的研究成果外，与该查新项目查新点完全相同的未见报道。

## 五、应用情况和效益

### 1. 应用情况

本项目开发的非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料及相关技术在塔里木油田、长庆油田、青海油田和吐哈油田等西部油田得到应用，具体应用情况如下：

（1）“一剂多效”缓蚀剂：在塔里木油田的9大事业部（塔中、迪那、轮南、桑吉、英买、博大、哈得、东河、和田河）实现100%应用。共计在5000多公里不同工况碳钢管线进行推广应用，塔里木油田管道腐蚀穿孔率由2016年的0.0288次/(千米·年)降低至2021年管道累计穿孔失效76次，折合管道失效率0.005次/(千米·年)，相比2016年穿孔率下降83%。系列产品在长庆的采气一厂、采气六厂、陇东天然气项目部、采油八厂等区块得到推广应用，管柱-管线的腐蚀穿孔频率大幅降低。有效的保护了塔里木和长庆的管柱-管线的服役安全。

（2）水基环空保护液：在吐哈油田温吉桑储气库现场应用100口井，在长庆油田采油二厂、采气一厂、采油六厂共计现场施工200余口井，在青海油田得到应用500方以上，现场防腐效果优异。

（3）复合解垢堵技术：缓蚀阻垢解堵技术在塔里木牙哈一转油站至东一联合站、长庆油田采油8厂学三区块、吐哈油田鲁克沁作业区得到推广应用。酸化解堵技术在塔里木库车山前、长庆油田、延长油田等得到应用，共计施工300余井次。非酸性复合解堵技术在塔里木油田克拉、延长石油、长庆油田得到推广应用，共计施工10井次。

（4）连续解水锁技术：连续解水锁技术在长庆油田、延长油田等油田得到推广应用，共计施工100余井次。

## **2. 经济效益和社会效益**

### **（一）经济效益：**

本项目开发的非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料及相关技术在塔里木油田、长庆油田、青海油田和吐哈油田等西部油田得到应用，通过直接签订工程服务形成产值 0.92 亿元。产品技术在现场应用，降低了井筒-地面系统的堵塞和腐蚀穿孔频率，减少了井筒的修井频次和地面管线的维护频次，共计节约油田成本 7.72 亿元。

### **（二）社会效益：**

油田流动保障性问题不仅是油气高效开采的经济问题，更是安全和环境问题，特别是自 2015 年新的“两法”实施以来，对安全和环保提出更高要求。为了适应安全环保新形势和新要求，针对油气田复杂苛刻环境中井下管柱及地面集输系统的腐蚀、堵塞难题，突破关键技术瓶颈，建立了油气田井筒地面管线一体化的流动保障理念，形成了井下管柱-地面集输系统一体化流动保障技术，大大降低油田井筒地面管线与设备的堵塞与腐蚀，提升油气田井筒的完整性和地面集输系统的服役安全。成果已在塔里木油田、长庆油田、延长油田等油气田得到成功推广应用，为我国油气田井筒管柱-地面系统流动保障性技术研发与应用提供了重要技术支持，推动了行业技术进步和产业发展。

## 六、主要知识产权证明目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	具体名称	国家	授权号（标准编号、论文年卷页）	授权日期	证书编号（标准批准发布部门、期刊名）	权利人（标准起草单位、论文发表单位）	发明人（标准起草人、论文作者）
1	发明专利	一种抗高钙采出水腐蚀的油气田集输管线缓蚀剂	中国	ZL202010374345.9	2023.2.10	中华人民共和国国家知识产权局	中国石油天然气集团有限公司、中国石油天然气集团公司管材研究所	范磊，高源，张娟涛，吕玉海，尹成先，刘贵宾，王远，王浩，连宇博
2	发明专利	一种抗 CO <sub>2</sub> 腐蚀集输管线缓蚀	中国	ZL201811149893.0	2020.8.7	中华人民共和国国家知识产权局	中国石油天然气集团有限公司、中国石油天然气集团公司管材研究所	尹成先，范磊，张娟涛，王远，付安庆
3	发明专利	一种预测 CO <sub>2</sub> 气驱油井井筒结垢趋势的方法	中国	ZL201811613627.9	2022.3.1	中华人民共和国国家知识产权局	中国石油天然气股份有限公司	王茜，潘昭才，刘己全，孟祥娟，刘举，张宝，曾努，易俊，秦曼，吴燕，胡超，王宏宇，张宏强，易飞，钟博文，邓川，庾维志，王方智
4	发明专利	一种基于稳定指数预测 CO <sub>2</sub> 气驱井筒结垢趋势的方法	中国	ZL201811615875.7	2022.3.29	中华人民共和国国家知识产权局	中国石油天然气股份有限公司	刘己全，潘昭才，王茜，孟祥娟，刘举
5	发明专利	一种抗粘扣螺纹脂及其使用方法证书	中国	ZL202010301231.1	2022.7.5	中华人民共和国国家知识产权局	中国石油天然气股份有限公司，中国石油天然气集团公司管材研究所	田峰，刘强，罗金恒，李丽锋
6	发明专利	一种抗 H <sub>2</sub> S 腐蚀的缓蚀剂及其制备方法	中国	ZL202110037187.2	2022.1.04	中华人民共和国国家知识产权局	中国石油天然气股份有限公司	贾浩民，党晓峰，华忠志，吕玉海，王浩，李曙华，徐东晓，李晓容，裴廷刚，王红梅



7	发明专利	一种抗冻型缓蚀泡排阻垢剂及其制备方法	中国	ZL202011125099.X	2022.11.4	中华人民共和国国家知识产权局	中国石油天然气股份有限公司	华忠志, 吕玉海, 刘洋, 郝冠中, 高旺斌, 陈虎, 宁海, 刘丽萍, 张腾
8	发明专利	一种抗稀盐酸和硫化氢腐蚀的炼油蒸馏塔顶缓蚀剂	中国	ZL202010373554.1	2022.5.10	中华人民共和国国家知识产权局	中国石油天然气集团有限公司、中国石油天然气集团公司管材研究所	范磊, 尹成先, 杜笑怡, 张娟涛, 王峰, 王延海, 赵儒盼, 袁军涛
9	文章	Failure analysis on the oxygen corrosion of the perforated screens used in a gas injection huff and puff well	英国	119 (2021) 104984	2020.10.6	Engineering Failure Analysis	CNPC Tubular Goods Research Institute	Lei Fan, Yuan Gao, Juntao Yuan, Chenxian Yin, Anqing Fu, Mifeng Zhao, Yan Li, Tao Suo, Xiaoyi Du, Yanhai Wang
10	文章	Experimental Study of Poly(1-Acetamide-3-vinylimidazolium Bromide) as a Corrosion Inhibitor for N80 Carbon Steel in HCl	英国	6(21):5203-5210	2021.5.18	Chemistry Select	CNPC Tubular Goods Research Institute	Minjian Kong, Yan Meng, Lei Fan, Chengxian Yin, Qibin Chen, and Honglai Liu

## 七、主要完成人情况表

完成人	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
范磊	1	无	高级工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	项目负责人, 负责本项目的顶层设计、技术论证、组织协调; 承担非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料研发、生产和应用。
潘昭才	2	塔里木油田油气田开发首席专家(采油气工程)	高级工程师	中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司	中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司	项目技术指导人, 承担非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料研发、生产和现场应用的技术指导。

陈雷	3	长庆油田第一采油厂常务副厂长	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	项目现场应用技术负责人，承担非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料的生产和现场应用技术，负责相关产品技术的现场推广应用
华忠志	4	长庆油田第一采气厂采气工艺所所长	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	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司	项目现场应用负责人，承担非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料的现场应用技术技术研究，现场应用方案的制定和实施。
任永苍	5	塔里油田工程技术研究院党委书记、执行董事	高级工程师	中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司	中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司	项目现场应用负责人，承担非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料的现场应用技术技术研究，负责超深气井现场应用方案的制定和实施。
冯松林	6	长庆油田第六采油厂总工程师	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	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司	项目现场应用负责人，承担非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料的现场应用技术技术研究，负责油井现场应用方案的制定和实施。
王长安	7	西安三环石油管材科技有限公司常务副经理	高级工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	项目现场应用负责人，承担非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料的现场应用技术技术研究，负责相关产品的生产和质量。
王猛	8	延长石油第五采气厂勘探科科长	高级工程师	陕西延长石油（集团）有限责任公司	陕西延长石油（集团）有限责任公司	项目现场应用负责人，承担非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料的现场应用技术技术研究，负责气井现场应用方案的制定和实施。
汪蓬勃	9	无	高级工程师	中国石油集团工程材料研究院有限公司	中国石油集团工程材料研究院有限公司	项目主要参与人，承担井下工具新材料的研发，相关井下工具产品的开发和现场推广应用。
王平平	10	长庆油田第六采油厂伴生气综合利用大队大队长	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	项目主要参与人，承担非常规油气田井筒-地面流动保障相关产品的现场应用实施。

## 八、主要完成单位及创新推广贡献

序号	主要完成单位	创新推广贡献
----	--------	--------

1	中国石油集团工程材料研究院有限公司	腐蚀机理、结垢机理的研发，油气田井筒-地面流动保障关键材料的研发，解堵剂、缓蚀剂、井下工具等产品的开发及配套工艺技术的开发。
2	中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司	解堵剂、缓蚀剂等产品的现场应用工艺技术研究，相关技术产品在塔里木油田的推广应用。
3	中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司	解堵剂、缓蚀剂、井下工具等产品的现场应用工艺技术研究，相关技术产品在长庆油田的推广应用。
4	陕西延长石油（集团）有限责任公司	解堵剂、缓蚀剂、井下工具等产品的现场应用工艺技术研究，相关技术产品在延长油田的推广应用。

## 九、完成人合作关系说明

### 完成人合作关系说明

项目负责人（第一完成人）范磊，排名第一，高级工程师，工作单位为中国石油集团石油管工程技术研究院，完成单位为中国石油集团石油管工程技术研究院，负责本项目的顶层设计、技术论证、组织协调；承担非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料研发、生产和现场推广应用，发表论文 10 余篇，授权专利 3 项。

项目骨干（第二完成人）潘昭才，排名第二，塔里木油田油气田开发首席专家（采油工程），高级工程师，工作单位为中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司，完成单位为中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司，承担非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料研发、生产和应用的技术指导，授权专利 2 项，发表论文。

项目骨干（第三完成人）陈雷，排名第三，副处长，高级工程师，工作单位为中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司，完成单位为中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司，承担非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料的生产和现场应用技术，负责相关产品技术的现场推广应用。

项目骨干（第四完成人）华忠志，排名第四，科长，高级工程师，工作单位为中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司，完成单位为中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司，承担非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料的现场应用技术研究，负责气井现场应用方案的制定和实施，授权专利 1 项，发表论文 2 篇。

项目骨干（第五完成人）任永苍，排名第五，处长，高级工程师，工作单位为中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司，完成单位为中国石油天然气股份有限公司塔里木油田分公司，承担非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料的现场应用技术研究，负责超深气井现场应用方案的制定和实施，发表文章 1 篇。

项目骨干（第六完成人）冯松林，排名第六，副处长，高级工程师，工作单位为中国石

油天然气股份有限公司长庆油田分公司，完成单位为中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司，承担非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料的现场应用技术研究，负责油井现场应用方案的制定和实施，授权专利 2 项，发表文章 2 篇。

项目骨干（第七完成人）王长安，排名第七，副处长，高级工程师，工作单位为中国石油集团石油管工程技术研究院，完成单位为中国石油集团石油管工程技术研究院，承担非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料的现场应用技术研究，负责相关产品的生产和质量。

项目骨干（第八完成人）王猛，排名第八，科长，高级工程师，工作单位为陕西延长石油（集团）有限责任公司，完成单位为陕西延长石油（集团）有限责任公司，承担非常规油气田井筒-地面流动保障关键材料的现场应用技术研究，负责气井现场应用方案的制定和实施，授权专利 1 项。

项目参与者（第九完成人）汪蓬勃，排名第九，高级工程师，工作单位为中国石油集团石油管工程技术研究院，完成单位为中国石油集团石油管工程技术研究院，承担井下工具新材料的研发，相关井下工具产品的开发和现场推广应用。

项目参与者（第十完成人）王平平，排名第十，高级工程师，工作单位为中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司，完成单位为中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司，承担非常规油气田井筒-地面流动保障相关产品的现场应用，发表文章 2 篇。

## 项目十六

### 一、项目名称：商用卫星地面测控关键技术及应用

## 二、提名单位：陕西省科学技术厅

## 三、提名意见

我国商业航天领域发展势头迅猛，商用卫星数量激增带来海量测控任务需求。该项目针对商用卫星地面测控网建设的任务需求，同时兼顾军民融合航天测控任务，突破了多项关键技术，构建了多样化、可定制的测运控天地一体化通信网络，成为国家航天测运控骨干网的有力支撑。

该项目与国家商业航天行业发展需求紧密结合，理论上有创新，技术上有突破，相关成果总体达到国内先进水平，并且已应用于钟子星座等卫星测控工程中，取得了显著的经济和社会效益，应用前景广阔。

该项目成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

## 四、项目简介

该项目针对我国商用卫星数量激增带来的海量测控任务需求，由中国电科 39 所携手西安卫星测控中心，利用自身技术优势和多年从事测运控系统建设的经验，构建了多样化、可定制的商用卫星地面测控网，是对国家航天测运控骨干网的有力支撑。商用卫星地面测控网采用分批建设、逐步完善的分步建设方案。一期目标是对测控网基本架构、主要功能和运行模式进行验证，建设内容包括在眉县和三亚建设两个测控数传一体化站，在 39 所内建设民商卫星测控中心，完成两站的业务协调指挥、数据的处理与生成、与用户中心的数据交换、卫星轨道测定与预报等工作。二期是在一期取得成果的基础上对系统进行升级改进和扩容，完成国内的“测控大三角”布局，最终为超过 200 颗国内外商用卫星在全球范围内的轨道测控及数据接收处理业务。

该项目已应用于钟子星座等卫星测控工程中，取得了显著的经济和社会效益，应用前景广阔。

## 六、客观评价

2023 年 1 月 4 日，在西安召开的“商用卫星地面测控关键技术及应用”项目科技成果鉴定会上，鉴定委员会主任段宝岩院士和专家组评审认为：

1、提出并实现了一种 X/Ka 频段多频宽带馈源与抛物面天线扫描捕获一体化设计，可同时支持多频段测控、数传等多项任务，提高地面系统的测控效率，显著降低建设成本。

2、提出了一种基于节点同步的测运控流程自动同步与恢复方法，破解了热备系统的状态不同步、故障迁移的难题，提高了测控设备运行的稳定性与可靠性。

3、成功研发了基于“虚拟资源池筹划+任务驱动统筹调度+卫星自主申请”的综合软件原型系统，实现了灵活、敏捷和可靠的测控网资源调度管理，提升了商用卫星在轨管控的效率和能力。

专家组一致认为，该成果工作量大、技术复杂、核心技术自主可控。成果总体达到国内先进水平。该成果已应用于钟子星座等卫星测控工程中，取得了显著的经济和社会效益，应用前景广阔。

## 七、应用情况

基于项目理论研究成果，自主研发了商用卫星地面测控网，完成了项目一期“两站一中心”的部署工作，目前该项目正在执行“钟子号”第一批“宁夏一号”01-05 星和“钟子号”第二批 01-05 星，共 10 颗卫星的在轨长管任务。

同时项目成果还应用于陕西星邑公司的“12 米 S/X 频段测运控系统”、“7.3 米 S/X 频段可搬移测运控系统”等多套民商卫星测控设备的研制中。

# 1、主要知识产权和标准规范

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 X/Ka 多频段宽带多模馈源	中国	ZL201910105406.9	2021-07-13	4547341	中国电子科技集团公司第三十九研究所	张宇
2	发明专利	一种超宽带多模喇叭及设计方法	中国	ZL201910105408.8	2021-05-18	4427524	中国电子科技集团公司第三十九研究所	张宇
3	发明专利	一种基于抛物面统一测控天线的扫描捕获方法	中国	ZL202110728178.8	2022-08-05	5361432	中国西安卫星测控中心	马军星；罗清青；洪宇；王轶；杨永安；徐晓飞；王晓伟；高菲；陈学军
4	发明专利	基于机器学习分类的资源池智能生成方法	中国	ZL202211036929.0	2022-11-15	5584960	中国西安卫星测控中心	梁军；李超；刘建平；操礼长；朱志诚；宋建国；孙清；赵若言
5	发明专利	一种卫星在轨活动规划方法及系统	中国	ZL201811036402.1	2020-10-27	4053326	中国人民解放军国防科技大学	罗亚中；梁军；朱阅誅；牟帅
6	发明专利	一种测控系统监控服务器任务运行同步及恢复方法	中国	202218015909X				
7	论文	用于资源动态预留的航	中国	第 62 卷第 12	2022.12	电讯技术	中国西安卫星	梁军，陈学军，刘

		天测控资源配置优化算法		期 1741-1750 页			测控中心	建平，原东阳，罗清青
8	论文	航天地基测控资源调度多任务需求分析及统一的任务模型研究	中国	95-105 页	2021.04	《第三届体系工程学术会议——复杂系统与体系工程管理》会议论文集	中国西安卫星测控中心	雷瀚，杨帆，刘建平，梁军

## 2、主要完成人情况

序号	完成人	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
1	任文龙	副所长	高级工程师	中国电子科技集团公司第三十九研究所	中国电子科技集团公司第三十九研究所	总体设计，技术协调，关键技术攻关
2	陈学军	无	正高级工程师	中国西安卫星测控中心	中国西安卫星测控中心	总体设计，技术协调，关键技术攻关
3	赵天宇	无	工程师	中国电子科技集团公司第三十九研究所	中国电子科技集团公司第三十九研究所	总体设计，通信网络、软件设计
4	罗清青	无	高级工程师	中国西安卫星测控中心	中国西安卫星测控中心	总体设计，设备组网测试和技术状态评估，扫描捕获方案设计
5	张宇	副主任	高级工程师	中国电子科技集团公司第三十九研究所	中国电子科技集团公司第三十九研究所	馈源设计算法关键技术研究
6	梁军	无	工程师	中国西安卫星测控中心	中国西安卫星测控中心	资源统筹调度关键

					中心	技术研究
7	凡国龙	副主任	高级工程师	中国电子科技集团公司第三十九研究所	中国电子科技集团公司第三十九研究所	测站设备总体设计，技术协调
8	王涛	无	工程师	中国西安卫星测控中心	中国西安卫星测控中心	自动运行流程关键技术研究
9	谭元飞	无	高级工程师	中国电子科技集团公司第三十九研究所	中国电子科技集团公司第三十九研究所	测站设备总体设计，站控软件设计

### 3、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	中国电子科技集团公司第三十九研究所	完成商用卫星地面测控网的总体设计，完成了“一中心加两站”及相关配套设施的建设，对商用卫星地面测控网建设过程中的关键技术进行了研发攻关和技术验证。
2	中国西安卫星测控中心	完成商用卫星地面测控网的总体设计，对商用卫星地面测控网建设过程中的关键技术进行了研发攻关和技术验证。

### 八、完成人合作关系说明

完成人共同完成了项目的申请立项工作，共同参与了商用卫星地面测控网的设计、建设和调试；参与了项目中关键技术的攻关；共同参与的商用卫星地面测控网数据传输接口、自动化流程的制定；共同参加了商用卫星地面测控网与国家骨干测控网的互联验证测试；完成人各自在本项目的技术成果推广应用中发挥了积极作用。

## 项目十七

一、项目名称：“高性能”体育建筑关键技术研究

二、提名单位：陕西省科学技术厅

三、提名意见：

该项目属于土木建筑科学技术与建筑节能减排综合研究领域。研究成果服务于与绿色、低碳、节能、低能耗等相关的建筑技术领域。取得了系列原始科研成果，创新性的提出了体育建筑“绿色高性能”设计理论体系，研发了根据不同温控需求“量体裁衣”的“高性能”



体育建筑关键技术，完成了多种类型体育建筑的应用示范，全面的推进了体育建筑从“高能耗”迈向“高性能”。项目已成功推广应用了西北地区高性能建筑关键技术应用措施，在多个项目中取得了良好的经济效益和社会效益。

提名该项目为陕西省科学技术奖二等奖。

#### 四、项目简介：

本项目属于土木建筑科学技术与建筑节能减排综合研究领域。研究成果服务于与绿色、低碳、节能、低能耗等相关的建筑技术领域。

研究团队针对“高性能”体育建筑建设存在的设计理论体系匮乏、关键技术研究薄弱、应用示范推广困难三大关键性问题，从零能耗建筑设计基本原理出发，通过大量被动式技术优先的空间模型性能实验研究、理论分析和工程实践，在多项省部级科研课题的持续支持下，历经近 8 年系统研究，取得了系列原始科研成果，创新性的提出了体育建筑“高性能”设计理论体系，研发了根据功能需求“量体裁衣”的“高性能”体育建筑关键技术，完善了体育建筑“高性能”标准体系，完成了不同类型体育建筑的绿色低碳应用示范，全面的推进了体育建筑从高能耗迈向“高性能”！由此形成的创新点包括：

创新点 1——提出了高大空间体育建筑的低碳模式理论和方法 and 复杂空间条件下建筑能耗设计评价理论与节能优化设计方法；

创新点 2——研发了不同类别、多种空间下体育建筑的高性能围护结构关键技术，解决了体育建筑空间类别差异大且性能复杂能耗高的技术难题，实现了被动优先前提下建筑节能指标的整体性提升；

创新点 3——创建了一套适用于体育建筑的多类别清洁能源利用方法，提出了满足建筑低碳运行的智能决策系统，建立了基于多能互补下的低碳运维系统。

创新点 4——建立了不同类型体育建筑的能耗模型，提出了不同功能空间的建筑能耗量化指标与评价方法，形成了多维复杂空间的“高性能”体育建筑指标评价体系。

#### 授权知识产权情况

本项目研究过程中获得的知识产权情况包括：国家级认证 3 项，地方规范 3 部，发明专利 2 项，实用新型专利 10 项，论文 1 篇。

#### 经济效益和社会效益及促进行业科技进步作用

项目成果服务于新建或改造类大型体育建筑，可指导该类型建筑“高性能”建造，根据已完成项目预计，采用“高性能”体育建筑建造体系完成的项目相比普通体育建筑可节能  $100\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a} \sim 200 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ，对应减碳量为  $99\text{kgCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{a} \sim 198\text{kgCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ 。

基于国内缺乏对高能耗、大空间体育建筑的“高性能”研究现状，项目团队通过理论分析、关键技术研发、实际工程示范路径，完成了两部“高性能”相关的地方标准规范，并在理论和规范的指导下完成了中国第一个 AAA 级装配式（钢结构）近零能耗游泳馆——陕西西安沣西新城游泳馆项目和目前国内规模最大的近零能耗滑雪场——陕西西安际华园滑雪场等实际工程案例，其中游泳馆项目综合节能率 91.64%、本体节能率 46.49%、可再生能源利用率 84.38%，全生命周期节能 5157 万 kwh、减少二氧化碳排放 4.95 万吨；滑雪场项目本体节能率达到 31%、综合节能率到达 99%、可再生能源利用率达到 93%，全生命周期节能 42139 万 kwh、减少二氧化碳排放 40.45 万吨；均取得了良好的经济和社会效益，累计接待参观超过 200 次，显著促进了该领域的科技进步，对未来该类型建筑的“高性能”建设具有指导意义。

## **五、客观评价：**

### **（1）科技成果鉴定**

研究成果 1——西咸新区沣西新城游泳馆获得了全国近零能耗建筑认证，还获得了全球主动式建筑认证，是国内第一个获得该认证的体育建筑。

研究成果 2——西安际华园滑雪场获得全国近零能耗建筑认证，是国内规模最大的体育建筑。

### **（2）工程应用评价**

项目设计理论体系、关键技术、专利产品等已经逐步应用于西北地区的多项工程中，对西北地区高性能体育建筑发展起到了示范引领作用，节能效果明显，社会效益显著，受到了建设方的一致好评。

例如完成的沣西新城游泳馆项目，是全国首个 AAA 级装配式近零能耗游泳馆，运行期间共接待了国家及地方建设相关部门以及各企事业单位的参观 100 余次，多家单位参观考察后受到启发，在自己的项目中采用该项目中的部分绿色节能技术，并已取得显著的经济效益，总体上推动大型公共建筑节能减排事业的发展，起到了良好的效果。

## **六、应用情况：**

本项目通过对西北地区高性能建筑进行系统研究，已构建起适宜西北地区的设计理论体系，而且在设计理论体系指导下，也完成了多项高性能建筑关键技术研究，基于研究成果所形成的高性能建筑自然资源利用率高、设备系统容量小、负荷低，有利于节约成本、资源，实现建筑行业绿色可持续发展，对我国建筑节能事业起到了重要推动作用，对整体提升我国建筑节能领域国际竞争力具有重要意义。

七、主要知识产权和标准规范等目录：

主要知识产权证明目录

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	权利人	发明人
1	实用新型专利	一种适用于被动式超低能耗建筑的立窗-建筑外墙节点	中国	ZL 2021 2 2254907.9	中联西北工程设计研究院有限公司	倪欣；刘涛；邢超；白恒宇
2	实用新型专利	一种适用于游泳馆的可开启密封节能屋面结构	中国	ZL 2021 2 3299013.8	中联西北工程设计研究院有限公司	倪欣；邢超；刘涛；白恒宇；王若又

规范标准编制（西北院）

序号	标准名称	标准号	编制角色
	零能耗建筑设计导则	DB 61/T 5025-2022	主编

八、主要完成人情况

姓名	王福松	排名	1
行政职务	中联西北院有限公司低碳绿建事业部副总建筑师	技术职称	正高级

工作单位	中联西北工程设计研究院有限公司	完成单位	中联西北工程设计研究院有限公司
对本项目主要学术和技术创造性贡献	申请资助并负责组织项目实施，指导项目的研究过程，是全部论文和专利的主要作者。系统开展了高性能建筑设计理论和关键技术研究，积极推进西北地区高性能建筑设计应用及示范，构建了适宜于西北地区气候特征的高性能建筑设计理论体系；揭示了关键技术对建筑能耗的影响机理，进行了高性能建筑关键技术设计研究。主导推进了西北地区高性能建筑设计应用及示范。投入本项目的工作量为 80%。		
姓名	邢超	排名	2
行政职务	中联西北院有限公司低碳绿建事业部创意总监	技术职称	正高级工程师
工作单位	中联西北工程设计研究院有限公司	完成单位	中联西北工程设计研究院有限公司
对本项目主要学术和技术创造性贡献	对“构建西北地区高性能建筑设计理论体系”做出主要贡献。主导了高性能建筑室内外环境设计理论、高性能建筑围护结构设计理论、高性能建筑可再生能源设计理论方面的研究。投入本项目的工作量为 80%。		
姓名	刘涛	排名	3
行政职务	中联西北院有限公司低碳绿建事业部双碳研究院副院长	技术职称	正高级工程师
工作单位	中联西北工程设计研究院有限公司	完成单位	中联西北工程设计研究院有限公司
对本项目主要学术和技术创造性贡献	对“西北地区地域建筑绿色转化方法理论体系”做出实质性贡献。主导科学提取转化传统建筑地域性文化特征的生态智慧经验；针对建筑设计前期气候适应性设计方法途径等研究难点，提出了现代西北地区公共建筑绿色转化技术路径框架，有效实现绿色设计策略引导及关键技术突破。投入本项目的工作量为 80%。		
姓名	郑琨	排名	4
行政职务	中联西北院华盛院院长	技术职称	副高级

	助理		
工作单位	中联西北工程设计研究院有限公司	完成单位	中联西北工程设计研究院有限公司
对本项目主要学术和技术创造性贡献	对“完成多项高性能建筑关键技术研究”做出主要贡献。提出了“西北地区要充分考虑被动式设计，利用建筑围护结构自身热工性能的提升和可再生能源作为采暖和降温的替代能源，再辅以高效节能的空调系统，是降低建筑能耗的有效途径”，有效的指导了关键技术研究。主导了部分应用及示范。投入本项目的工作量为 80%。		
姓名	王翼	排名	5
行政职务	中联西北院华盛院院长助理	技术职称	副高级
工作单位	中联西北工程设计研究院有限公司	完成单位	中联西北工程设计研究院有限公司
对本项目主要学术和技术创造性贡献	对“完成多项高性能建筑技术应用（即技术标准化）”做出主要贡献。确保高性能建筑关键性技术，实现工程标准化。并主导部分示范性项目的设计建造过程中，关键性技术的落实情况。投入本项目的工作量为 80%。		
姓名	杨潇然	排名	6
行政职务	无	技术职称	副高级
工作单位	中联西北工程设计研究院有限公司	完成单位	中联西北工程设计研究院有限公司
对本项目主要学术和技术创造性贡献	对研究内容和创新点 2“完成多项高性能建筑关键技术研究”做出主要贡献。利用数值模拟方法对建筑围护结构和遮阳技术进行了研究，总结了适宜于西北地区的超低能耗建筑围护结构体系技术和改善外围护环境的综合遮阳技术。同时参与了部分理论应用。投入本项目的工作量为 70%。		
姓名	蒋浩	排名	7
行政职务	经营经理	技术职称	高级
工作单位	中联西北工程设计研究院有限公司	完成单位	中联西北工程设计研究院有限公司

对本项目主要学术和技术创造性贡献	对研究内容和创新点3“推进西北地区高性能建筑设计应用及示范”做出主要贡献。提出了适宜西北地区绿色生态建筑设计的工程应用模式，即“研究→设计→应用→示范→推广”的层级递进模式，主导了主要工程应用及示范。投入本项目的工作量为80%。		
姓名	史光超	排名	8
行政职务	无	技术职称	副高级
工作单位	中联西北工程设计研究院有限公司	完成单位	中联西北工程设计研究院有限公司
对本项目主要学术和技术创造性贡献	对研究内容和创新点1“构建西北地区高性能建筑设计理论体系”做出主要贡献。结合西北地区水资源概况，通过大量调研和文献整理，参与了提出了西北地区高性能建筑节水设计理论。投入本项目的工作量为70%。		
姓名	白国强	排名	9
行政职务	华盛院副院长	技术职称	高级
工作单位	中联西北工程设计研究院有限公司	完成单位	中联西北工程设计研究院有限公司
对本项目主要学术和技术创造性贡献	对研究内容和创新点2“完成多项高性能建筑关键技术研究”做出主要贡献。参与了部分理论应用，研究总结了基于被动式技术优先的建筑室内外环境设计策略、与建筑一体化设计的可再生能源利用技术。投入本项目的工作量为70%。		
姓名	晁磊	排名	10
行政职务	低碳绿建事业部副总设备工程师	技术职称	副高级
工作单位	中联西北工程设计研究院有限公司	完成单位	中联西北工程设计研究院有限公司
对本项目主要学术和技术创造性贡献	对研究内容和创新点3“推进西北地区绿色生态建筑设计应用及示范”做出主要贡献。参与了部分工程应用，参与了多项示范工程的设计、施工工作。投入本项目的工作量为70%。		

#### 九、完成人合作关系说明：

11 位项目完成人均为中联西北工程设计研究院有限公司相关科研人员，是同一个研究团队成员，通过共同承担项目、发表论文、推广应用完成该项目研究工作。

## 项目十八

一、项目名称： GPER 在雌激素促进高氧期新生小鼠 OIR 血管发育中的作用机制研究

二、提名者：陕西省科学技术厅

三、项目简介

早产儿视网膜病变（ROP）是儿童主要致盲性眼病之一，目前治疗方法主要针对后期的新生血管期病变，并发症多且效果不理想。已有充分证据表明 ROP 早期血管闭塞是后期新生血管生成的根本原因，课题组研究发现  $17\beta$ -雌二醇（E2）通过抗氧化应激（OS）促进早期高氧期 OIR（ROP 动物模型）视网膜血管发育，为用雌激素防治早期 ROP 提供了理论依据。鉴于  $17\beta$ -E2 受体包括 ER $\alpha$ 、ER $\beta$  和 GPER，ER $\alpha$  和 ER $\beta$  通过基因途径发挥作用缓慢，而 GPER 分布于内质网，通过调节内质网应激发挥快速抗 OS（内质网应激在 OS 中发挥重要作用），本课题组进一步研究高氧条件下，小鼠视网膜微血管内皮细胞、神经节细胞、星形胶质细胞和小胶质细胞内质网应激变化，GPER 对这些变化的快速调控作用和促进视网膜血管继续发育的分子机制，并用高氧期 OIR 模型验证。结果发现 GPER 在上述细胞表达，GPER 激活减轻 75%O<sub>2</sub> 诱发这些细胞内的内质网应激水平，增强这些细胞活力，并降低其分泌 HIF-1 $\alpha$ 、VEGF-A、IL-6、TNF- $\alpha$  和 PDGF-A，增多 LIF，促进高氧条件下新生小鼠视网膜血管继续发育，为认识缺血期 ROP 病理机制、更新 ROP 治疗理念（早期高氧期促进视网膜血管继续发育，而不是后期新生血管期的破坏性治疗）和用高选择性雌激素类药物防治早期 ROP 提供实验依据。

四、提名意见

该项目研究发现雌激素可以通过抗氧化应激，改善视网膜血管发育情况，以早产儿视网膜病变动物模型，从内质网应激角度着手，从分子、细胞和动物实验三个层次，进一步详细研究雌激素受体 GPER 激活对高氧条件下视网膜血管发育的作用和机制，发现高氧条件下 GPER 激活显著减轻高氧诱发的视网膜微血管内皮细胞、小胶质细胞、神经节细胞和星形胶质细胞的内质网应激反应，促进高氧条件下小鼠视网膜血管继续发育。这些研究结果临床意义：1. 改变了目前从后期新生血管期用破坏性方法治疗早产儿视网膜病变的理念，为从早期高氧期

防治早产儿视网膜病变提供了理论依据和初步方法；2. 为用雌激素类药物防治眼底血管性疾病提供了理论依据，为认识雌激素类药物尤其是中药制剂防治眼底血管性疾病提供了帮助。该研究促进早期视网膜血管在高氧条件下继续发育，具有非常理想的应用前景。

根据《陕西省科学技术厅关于做好 2023 年度省科学技术奖提名工作的通知》(陕科发[2023]11 号) 文件，鉴于“GPER 在雌激素促进高氧期新生小鼠 OIR 血管发育中的作用机制研究”项目在眼科学转化医学及技术应用方面取得的创新性科技成果，推动眼科学疑难病攻关，为本省科技进步及社会经济发展做出的突出贡献，特推荐提名该项目“陕西省科学技术进步奖二等奖”。

**五、客观评价：**本项目成功研制出 GPER 在雌激素促进高氧期新生小鼠 OIR 血管发育中的作用机制研究创新性的技术方法。本项目的研究成功受到同领域国内外专家的良好评价，在国内外杂志发表相关文章 1 篇，专利 1 个，专著 1 部，译著 1 部。

**六、应用情况**

1. 应用雌激素受体 GPER 激动剂 G1 显著促进了高氧条件下视网膜血管内皮细胞、星形胶质细胞、小胶质细胞和神经节细胞的存活，促进高氧条件下新生小鼠视网膜血管继续发育，促进视网膜继续血管化，减少视网膜无灌注区面积。2. 研制的氧浓度可控小鼠饲养箱，解决了特殊供氧条件下动物实验问题，不但帮助完成了本研究，还帮助解决了空军军医大学和西安交通大学科研人员特殊供氧条件下的动物实验问题。

**主要知识产权和标准规范等目录：**论文，专利，标准等。

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	论文	G-protein-coupled estrogen receptor protects retinal ganglion cells via inhibiting endoplasmic reticulum stress under hyperoxia	Journal of cellular physiology	DOI:10.1002/jcp.30149.	2020 年 11 月 05 日		张红兵	李蓉
2	论文	Inhibiting endoplasmic reticulum stress by activation of G-protein-coupled	Journal of biochemical and molecular toxicology	DOI:10.1002/jbt.22641.	2020 年 09 月 26 日		张红兵	李蓉



		estrogen receptor to protect retinal astrocytes under hyperoxia						
3	论文	G-protein coupled estrogen receptor activation protects the viability of hyperoxia-treated primary murine retinal microglia by reducing ER stress	Aging	DOI:10.18632/aging.103733.	2020年10月03日		张红兵	李蓉
4	论文	氧浓度可控制小鼠饲养箱的研制	国际眼科杂志	DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2019.7.04.	2019年07月18日		马广强	张红兵
5	论文	17 $\beta$ -estradiol ameliorates oxygen-induced retinopathy in the early hyperoxic phase	Biochemical and biophysical research communications	DOI:10.1016/j.bbrc.2015.01.052.	2018年11月13日		李小刚	张红兵
6	论文	雌激素对视网膜主要细胞功能的影响	中华眼底病杂志	DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1015.2015.03.030.	2015年06月19日		王亮	张红兵
7	论文	The protective effect of 17 $\beta$ -estradiol on oxygen-induced retinopathy and its relation with the changes of malondialdehyde	Journal of Biomedical Research	DOI:10.1016/S1674-8301(10)60022-X	2010年5月		王亚妮	张红兵
8	论文	内分泌激素在早产儿视网膜病变发生中的作用	眼科新进展	DOI:10.3969/j.issn.1003-5141.2006.11.021	2006年12月04日		王雨生	张红兵
9	论文	雌激素对视网膜新生血管生成作用的研究	眼科研究	DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2006.02.014.	2006年05月18日		赵英杰	张红兵
10	论文	雌激素对视网膜血管渗漏的影响	中华眼底病杂志	DOI:10.3760/j.issn:1005-1015.2005.03.013.	2005年06月16日		赵英杰	张红兵
11	论文	雌激素在眼底疾病中的作用研究进展	中华眼底病杂志	DOI:CNKI:SUN:ZHYD.0.2003-03-024.	2003年03月		张军军	张红兵

12	专利	氧浓度可控制小鼠饲养箱		ZL 2010 2 0647695. X.	2011 年 09 月		张红兵	张兵兵
13	专著	激素与眼底病	科学技术出版社		2018 年		张红兵	张红兵
14	译著	Hormone and Ocular Fundus Disease	INNO SCIENCE RESEARCH AND PRESS		2020 年		张红兵	张红兵

### 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	张红兵	眼科医院副院长	主任医师	陕西省眼科研究所	陕西省眼科研究所	负责科研任务分工、把握科研进度、管理科研资金
2	陈佩		主治医师	陕西省眼科研究所	陕西省眼科研究所	C57BL/6J 小鼠的饲养和 OIR 动物模型的构建
3	张仙娇		主治医师	陕西省眼科研究所	陕西省眼科研究所	视网膜和微血管内皮细胞、小胶质细胞、星形胶质细胞、神经节细胞的免疫组织化学染色和流式细胞仪测定细胞存活情况
4	徐琨		研究员	陕西省眼科研究所	陕西省眼科研究所	小鼠视网膜微血管内皮细胞、小胶质细胞、星形胶质细胞和神经节细胞的分离、鉴定和培养
5	王亚妮		研究员	陕西省眼科研究所	陕西省眼科研究所	视网膜微血管内皮细胞、小胶质细胞、星形胶质细胞、神经节细胞和 OIR 视网膜的 western-blot
6	田英		副主任医师	陕西省眼科研究所	陕西省眼科研究所	视网膜和微血管内皮细胞、小胶质细胞、星形胶质细胞、神经节细胞的 PCR 实验
7	安娜		副研究员	陕西省眼科研究所	陕西省眼科研究所	ELISA 测定各组 OIR 视网膜 HIF-1 $\alpha$ 和 GLT-1 (EAAT2)，高氧条件下视网膜微血管内皮细胞、小胶质细胞、星形胶质细胞和神经节细胞合成 HIF-1 $\alpha$ ，以及星形胶质细胞合成 GLT-1 (EAAT2) 的变化

**主要完成单位及创新推广贡献、完成人合作关系说明：**完成单位陕西省眼科研究所，成功搭建了“GPER 在雌激素促进高氧期新生小鼠 OIR 血管发育中的作用机制研究创新性的技术应用平台”，目前该研究已经在动物实验取得了理想结果，鉴于目前针对早产儿视网膜病变的治疗，主要是针对后期视网膜新生血管采用破坏性治疗方法，该研究促进早期视网膜血管在高氧条件下继续发育，具有非常理想的应用前景。

## **七、完成人合作关系：**

张红兵作为课题负责人，负责本课题的任务分工、把握科研进度、管理科研资金。对本项目的贡献在于负责项目的申请、实施和结题，使本项目顺利实施。

陈佩作为课题主要参与者，主要负责 C57BL/6J 小鼠的饲养和 OIR 动物模型的构建。对本项目的贡献在于完成本项目中的动物实验。

张仙娇作为课题主要参与者，主要负责视网膜和微血管内皮细胞、小胶质细胞、星形胶质细胞、神经节细胞的免疫组织化学染色和流式细胞仪测定细胞存活情况。对本项目的贡献在于完成本项目中的免疫组织化学染色和流式细胞实验。

徐琨作为课题主要参与者，主要负责本项目中小鼠视网膜微血管内皮细胞、小胶质细胞、星形胶质细胞和神经节细胞的分离、鉴定和培养。对本项目的贡献在于为本项目提供合格的实验细胞。

王亚妮作为课题主要参与者，主要负责视网膜微血管内皮细胞、小胶质细胞、星形胶质细胞、神经节细胞和 OIR 视网膜的 western-blot。对本项目的贡献在于完成本项目中的 western-blot 实验。

田英作为课题主要参与者，主要负责视网膜和微血管内皮细胞、小胶质细胞、星形胶质细胞、神经节细胞的 PCR 实验。对本项目的贡献在于完成本项目中的 PCR 实验。

安娜作为课题主要参与者，主要负责 ELISA 测定各组 OIR 视网膜 HIF-1  $\alpha$  和 GLT-1 (EAAT2)，高氧条件下视网膜微血管内皮细胞、小胶质细胞、星形胶质细胞和神经节细胞合成 HIF-1  $\alpha$ ，以及星形胶质细胞合成 GLT-1 (EAAT2) 的变化。对本项目的贡献在于完成本项目中的 ELISA 实验。

## 项目十九

一、项目名称：智能型包装瓶低位卸垛供给装备

二、提名单位：陕西省科学技术厅

智能型包装瓶低位卸垛供给设备的研究与开发是我院依据市场需要，独立自主研究与开发的包装瓶供给设备，主要用于白酒、饮料、啤酒、调味品、罐头等方面的生产线，重点是包装瓶(陶瓷瓶、玻璃瓶、PE 瓶、铝瓶等)的整垛整理、分层卸垛、分层供给等功能研究与实现，满足自动化生产线的连续供瓶需要。拟提名该项目为陕西省科学技术进步奖三等奖。

三、项目简介

智能型包装瓶低位卸垛供给装备属于轻工机械领域，该项目属于装备制造领域的光机电一体化设备，液体包装行业节能减排的产品研发关键制造装备之一，由轻工业西安机械设计

研究院有限公司基于市场需要，独立自主开发具有独立知识产权的高新技术产品，一项国内领先的高速轻工包装机械设备。该项目解决了包装机械范畴内的白酒、啤酒、饮料、罐头、调味品等相关包装问题，包装机械行业近些年来得到了迅速的发展，但是其连续生产能力还不能满足当前的生产需求，尤其是前端自动化包装瓶供给工段基本依靠手工实现，其产能已经相当落后，成为急需研发的设备难点，同时满足改造难度低，干净无污染和低能耗的要求，目前国产白酒、饮料灌装设备的设计产能基本都处于 1.8 万瓶/小时，前段的自动化供给设备的产能应该达到 2 万瓶/小时才能满足连续生产的需求。

该项目主要研发的内容包括包装瓶的高速输送、高速分道，底托对中调整，水平提升，整垛护边，自动套框夹取，自动衔接转移平台，双伺服同步运动控制，满瓶检测等多项内容。从整垛整理到包装瓶有序供给给阶段全过程的自动化生产，最终实现全自动化包装瓶的卸垛供给功能。

#### 四、技术创新

该项目分为四个创新点，**分别是垛板整理机构：**整垛瓶子的整理，分为四个方向的定位和一个高度差的定位，四个方向的移动动力来自气动执行缸，速度可调，压力可调，并且带气动缓冲元件，保证四个方向的定位准确。**光栅检测系统：**检测光栅的运用，提升了自动卸瓶的准确度和精度的控制，以及防止整垛瓶子中有位置不合适的瓶子影响自动纠偏，同时保护机械执行动作安全，以及操作人员的人身安全。**双伺服同步运动机构：**通过双伺服运动控制系统算法的研究，实现双伺服同步动作的一致性，两侧同步动作误差不超过 0.10mm。**电气控制系统：**采用 PLC 和工控机人机界面控制，在触摸屏幕上试验操作画面、被控参数的实时数据、检测工艺选择画面等。

智能型包装瓶低位卸垛供给设备研发完成后，进行定点试生产（有用户合作），在白酒饮料啤酒等相关行业做试范样板，然后进入小批量生产阶段，共销售 20 台，实现产值 1080 万元，实现利润 108 万元。本项目在相关的技术开发过程中，对机械制造工艺与设备的开发工作进行了长期的技术累计，形成了面向智能制造的领域知识建设，共享与应用示范。形成了良好的社会文化氛围，推进了我国制造业的发展。

#### 五、完成单位

本成果服务企业 3 家，陕西昌天达机械设备有限公司、西安天中源环保科技有限公司、

西安怡晟达科技有限公司。共授权发明专利 2 项，实用新型 1 项。

该设备研发完成后，经调试运行平稳，交付陕西昌天达机械设备有限公司使用，用户反馈，智能型包装瓶低位卸垛供给设备各项技术指标均达到要求，该设备故障率低，运行稳定可靠，能够减轻工人劳动强度，提高生产效率，取得较好的经济效益。

智能型包装瓶低位卸垛供给设备满足整垛瓶子的整理、对中，升障，套框，衔接、多排变单排，分层输送，过渡等工序的要求；达到每小时的供瓶产量可以达到 20000 瓶，符合中型白酒啤酒饮料罐头等工厂产能的需要；并采用先进的触摸屏嵌入式系统及 PLC 控制，人机界面可以设定参数及显示数据，整机性价比远高于国内同类产品，在降低生产企业运营成本的同时提高生产效率。为企业的发展提供坚实的保障。

经过用户的使用，生产出的智能型包装瓶低位卸垛供给设备质量稳定。该项目的成功实施可以给单位带来较高的经济效益，同时可以降低进口智能型包装瓶低位卸垛供给设备的价格，为国家节约大量的外汇。可以预测，随着该设备的推广应用，国产智能型包装瓶低位卸垛供给设备可以满足国内需要。

该项目的研发过程中一共授权了 3 项专利，两个发明专利：一种装瓶机构和装瓶方法、全自动竖直包装机和包装方法以及套口结构。一个实用新型专利：一种自动包装瓶低位卸垛供给的设备以及衔接位机构部件。

## **六、完成人合作关系**

本项目的第一完成人为李存良，任职科研办主任，高级工程师，工作于轻工业西安机械设计研究院有限公司。在本项目中负责项目总负责和设计，同时对项目总体方案进行审核，对项目成员进行分工，完成本项目的研发工作。

本项目的第二完成人为施俊文，任职党委委员、副总经理，高级工程师，工作于轻工业西安机械设计研究院有限公司。在本项目中负责整机衔接机构自动化控制与整体校对。

本项目的第三完成人为苟向民，任职副总经理，教授级高级工程师，工作于轻工业西安机械设计研究院有限公司。在本项目中负责负责智能型包装瓶低位卸垛供给设备的主关键部件设计。

本项目的第四完成人为李丽阁，任职职员，高级工程师，工作于轻工业西安机械设计研究院有限公司。在本项目中负责整机主动力机构设计。

本项目的第五完成人为袁松林，任职职员，工程师，工作于轻工业西安机械设计研究院有限公司。在本项目中负责对整机的部分机构进行研发设计以及后续调试工作。

本项目的第六完成人为王晔，任职设计二室主任助理，工程师，工作于轻工业西安机械

设计研究院有限公司。在本项目中负责预应力释放机构的设计和校核工作。

本项目的第七完成人为王李刚，任职职员，工程师，工作于轻工业西安机械设计研究院有限公司。在本项目中负责设备机械与电器的安装与调试工作。

## 项目二十

**一、项目名称：**高效高性能精密板坯连铸新型结晶器装备研发及应用

**二、提名者：**陕西省科技厅

提名等级：二等奖

提名意见：同意推荐

我国高端汽车板生产流程中的连续铸钢环节对结晶器装备提出了较高要求，高端板坯连铸结晶器装备及其核心技术的研发与应用对我国钢铁企业向高质量发展转型具有重要意义。该项目以高端汽车板生产为例，立足高效高性能精密板坯结晶器核心装备及关键技术国内自主设计与研发，历经十余年技术攻关，最终突破了高端板坯结晶器装备与工艺的技术瓶颈，打破了国外高端连铸装备与关键技术长期垄断的局面。项目成果已成功推广应用到邯钢、湖南华菱钢铁和宝山钢铁股份有限公司等国内大型钢铁企业，实现了高端结晶器装备及其关键技术的国产化替代，经济和社会效益显著。经专家鉴定，该项目成果具有自主知识产权，整体技术达到国际先进水平。

### 三、项目简介

本项目以高端汽车板生产为目标，开展高效高性能精密板坯结晶器装备及关键技术的自主设计与研发，其中高效体现在提高产量，研发方向是提高连浇炉数和提高连铸机拉速。提高连浇炉数的关键技术是结晶器在线热态调宽技术；提高拉速的核心是高拉速结晶器铜板水缝优化技术。高性能精密体现在保质量，采用的技术是高精度结晶器液位波动控制技术和板坯多模式电磁控流装备及技术。为此，中国重型机械研究院股份公司联合西安建筑科技大学和湖南中科电气股份有限公司，历经十余年持续攻关，形成关键技术创新如下：

1. 建立了结晶器高精度液位波动控制模型和连铸机自动开浇模型，获得了塞棒开度对钢水流量影响规律；建立了鼓肚力扰动补偿模型和工艺参数自适应控制模型，实现了结晶器内高温钢液动态高度的精确控制；

2. 建立了适应大倒角结晶器在线热态调宽模型和保锥控制模型，提出了结晶器在线热态调宽系统工艺参数计算方法，实现了板坯连铸断面尺寸的高精度动态控制；

3. 研制出结晶器铜板变截面水缝结构，实现了高端板坯结晶器高效均匀冷却，显著提升了板坯连铸拉速和性能；

4. 研制出结晶器多模式电磁控流装备以及控制系统，实现电磁加速、电磁减速、电磁搅拌等多种搅拌模式，有利于提高拉速、减少铸坯表面针孔、降低非金属夹杂物，提升铸坯合格率。

项目已成功应用于河北邯钢集团邯宝钢铁有限公司、湖南华菱涟源钢铁有限公司、宝山钢铁股份有限公司等钢铁公司 9 台 19 流生产线，打破了国外高端连铸装备与关键技术长期垄断的局面，完全满足进口装备和技术的国产化替代，经济和社会效益显著，应用前景广阔，为发展我国具有自主知识产权的高端板坯连铸装备基础理论研究、智能控制技术的研发和工业化应用起到奠基和引领作用。经专家鉴定，该项目成果具有自主知识产权，整体技术达到国际先进水平。

#### **四、客观评价**

1. 2022 年，陕西省机械工业联合会组织召开了该项目的科技成功鉴定会，经专家质询和讨论，鉴定委员会认为：该项目成果具有自主知识产权，整体技术达到国际先进水平；

2. 2022 年，陕西省科学情报研究所对该项目进行了国内外联机检索，得出以下结论：除该查新项目委托方及合作方发表的文献和项目介绍外，在其他相关文献中，未见与该项目有相同的文献报道；

3. 该项目委托陕西省机械产品质量监督检测总站对该项目进行检验，检验报告编号 22505144，共检验高效高性能精密板坯连铸新型结晶器装备质量指标 13 项，全部符合指标要求。

#### **五、应用情况**

目前，该项目已成功推广应用到邯钢集团邯宝钢铁有限公司、湖南华菱涟源钢铁有限公司、宝山钢铁股份有限公司、广西盛隆冶金有限公司、攀钢集团攀枝花钢钒有限公司、河北普阳钢铁集团、福建龙钢新型材料有限公司和福建青拓新材料有限公司等钢铁企业 9 台 19 流生产线。



六、主要知识产权和标准规范等

序号	知识产权类别	名称	授权号	授权日期	发明人
1	发明专利	一种结晶器电动调宽装置窄边锥度控制方法	ZL201711287989.9	2020-05-22	高琦、何博、高朝波等
2	发明专利	流场三维数据采集装置	ZL201510259030.9	2017-06-30	高琦、徐学华、刘赵卫等
3	发明专利	一种连铸机结晶器在线运行判定系统	ZL201310104332.X	2015-07-29	高琦、李新强、温恒等
4	发明专利	一种实时在线修正板坯窄面缺陷的智能控制装置及方法	ZL202110637282.6	2022-07-01	王文学、刘赵卫、何博等
5	实用新型专利	一种控制结晶器热调宽软夹紧力的智能系统	ZL201921313038.9	2020-05-22	王文学、刘赵卫、杨超武等
6	实用新型专利	用于板坯连铸机结晶器宽面的多层复合铜板	ZL201920829562.5	2020-04-24	刘赵卫、高琦、曾晶等
7	实用新型专利	一种可调整行程的板坯结晶器调宽装置	ZL20162096613.1X	2017-03-15	姚成功、王文学、张继强等
8	实用新型专利	铸坯在线调整装置	ZL201620275313.2	2016-08-31	梁龙、何博、王文学等
9	计算机软件著作权	连铸装备电动缸驱动式结晶器液面自动开浇控制系统 V1.0	2021SR1015170	2021-03-17	米进周、史伟、徐江、高琦等
10	计算机软件著作权	板坯连铸装备液压驱动式结晶器在线调宽控制系统 V1.0	2022SR0355268	2021-08-15	梅康元、高琦、米进周等

七、主要完成人情况

姓名	高琦	技术职称	高级工程师	排名	1
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：开发完成大倒角结晶器板坯热态智能调宽系统数学模型；完成连钢电磁搅拌结晶器项目的总体方案设计；开发完成连铸机自动开浇工艺控制模型。					
姓名	何博	技术职称	正高级工程师	排名	2
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：完成中间包水力学模型研究、结晶器内流场控制技术研究；完成结晶器电动调宽装置窄边锥度控制方法设计；完成自动开浇工艺控制模型实验验证。					
姓名	王文学	技术职称	高级工程师	排名	3
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：开发完成大倒角结晶器板坯热态智能调宽系统工艺模型；开发完成结晶器水缝优化设计工艺方案；开发完成多模式电磁控流结晶器铜板水缝多目标优化算法模型。					
姓名	姚成功	技术职称	高级工程师	排名	4
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				

对本项目技术创造性贡献：完成了多模式电磁控流结晶器的机械设计和嵌入式电磁式液面传感器方案设计；结合计算机模拟分析对高品质钢电磁控流专用结晶器铜板进行开发性设计；提出并实现组合式板坯结晶器大夹紧力预紧与全液压铸坯宽度及锥度控制技术及装备。					
姓名	米进周	技术职称	高级工程师	排名	5
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：完成了结晶器自动开浇电气控制的总体方案设计、电气元器件选型、计算机及网络控制的详细设计以及现场程序调试工作。					
姓名	张朝晖	技术职称	教授	排名	6
工作单位	西安建筑科技大学				
完成单位	西安建筑科技大学				
对本项目技术创造性贡献：参与协助方案设计、产品研发以及工程化应用方明的科研；协助完成项目关键技术创新，共同突破完成了结晶器铜板变截面水缝结构的设计和模拟，实现了高端板坯结晶器高效均匀冷却。					
姓名	史伟	技术职称	高级工程师	排名	7
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：独立设计了结晶器液位控制与自动开浇的硬件控制设备，独立自主开发了结晶器液位控制与自动开浇的软件控制程序，并进行了实验室实验及现场调试。					
姓名	陈国防	技术职称	高级工程师	排名	8
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：主要负责本项目液压伺服控制系统的方案制定、详细设计、现场调试及售后工作；设计并应用了高效可靠的结晶器锥度在线保持液压控制系统；设计并应用了高效可靠的塞棒液压控制系统。					
姓名	肖红	技术职称	高级工程师	排名	9
工作单位	湖南中科电气股份有限公司				
完成单位	湖南中科电气股份有限公司				
对本项目技术创造性贡献：研发了板坯结晶器电磁搅拌；完成连钢板坯结晶器电磁搅拌的设计。					
姓名	吴龙	技术职称	工程师	排名	10
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：完成了电磁搅拌结晶器窄边插入件的设计工作；完成了电磁搅拌结晶器现场安装调试工作。					

## 八、主要完成单位

单位名称	中国重型机械研究院股份公司	排名	1
------	---------------	----	---

<p>对本项目技术创新和应用的贡献：1. 在陕西省重大科技创新项目“大型板坯连铸成套技术装备产业化”的资金支持下，开展结晶器在线热调宽模型研发和结晶器漏钢预报系统研发实现了结晶器关键技术的自主研发；2. 成立研发团队，申报“高品质特殊钢特超厚板连铸技术及创新平台”项目，获得中国机械工业集团有限公司科技发展基金 500 万元，完成实验室建设，为研发的新技术提供物理实验和仿真模拟平台；3. 成立产学研联盟，联合湖南华菱涟源钢铁有限公司和西安建筑科技大学开展项目联合技术攻关；4. 完成 4 项专有技术研发，利用“高品质特殊钢特超厚板连铸技术及创新平台”建设的实验平台开展基础理论研发，实现了连铸核心装备结晶器和结晶器液位控制技术的重大突破，充分发挥科研平台为科技研发的重要作用；5. 项目已成功应用于河北邯钢集团邯宝钢铁有限公司和湖南华菱涟源钢铁有限公司。同时项目研发的技术推广到宝山钢铁股份有限公司、广西盛隆冶金有限公司、攀钢集团攀枝花钢铁有限公司、河北普阳钢铁集团、福建龙钢新型材料有限公司和福建青拓新材料有限公司 6 家钢铁公司 9 台 19 流生产线。为钢铁企业提供全生命周期装备和技术服务工作。</p>			
单位名称	西安建筑科技大学	排名	2
<p>对本项目技术创新和应用的贡献：1. 在该项目的完成过程中，西安建筑科技大学充分发挥自身在钢铁冶金工艺及技术方面的科研优势，积极参与该项目连铸工艺及铸坯质量控制研究，参与协助方案设计、产品研发以及工程化应用方面的科研，协助解决了该项目科技成果攻关过程的关键技术难题，保证了项目顺利开展；2. 协助中国重型机械研究院股份公司完成项目关键技术创新，共同突破完成了结晶器铜板变截面水缝结构的设计和模拟，实现了高端板坯结晶器高效均匀冷却，显著提升了板坯连铸拉速和性能。研制出结晶器多模式电磁控流装备以及控制系统，实现电磁加速、电磁减速、电磁搅拌等多种搅拌模式，有利于提高拉速、减少铸坯表面针孔、降低非金属夹杂物，提升铸坯合格率；3. 该项目的研发成果已经推广应用至国内外钢铁企业，并取得了良好的社会效益和经济效益。</p>			
单位名称	湖南中科电气股份有限公司	排名	3
<p>对本项目技术创新和应用的贡献：1. 结晶器多模式电磁控流该技术在 2017 年被评为岳阳市科技进步一等奖，国家发明专利，实现电磁加速、电磁减速、电磁搅拌等多种搅拌模式，有利于提高拉速、减少铸坯表面针孔、非金属夹杂物，提升铸坯合格率；2. 推广应用到首钢迁安、沙钢、涟钢等 8 流连铸生产线。</p>			

## 九、完成人合作关系说明

高琦（第 1 完成人）与何博（第 2 完成人）自 2007 年 12 月至 2019 年 8 月，以共同知识产权方式合作，产出发明专利“一种结晶器电动调宽装置窄边锥度控制方法”和“流场三维数据采集装置”；

何博（第 2 完成人）、王文学（第 3 完成人）与吴龙（第 10 完成人）自 2007 年 12 月至 2019 年 8 月，以共同知识产权方式合作，产出发明专利“一种实时在线修正板坯窄面缺陷的智能控制装置及方法”；

高琦（第 1 完成人）与姚成功（第 4 完成人）自 2007 年 12 月至 2019 年 8 月，以共同知识产权方式合作，产出实用新型专利“用于板坯连铸机结晶器宽面的多层复合铜板”；

王文学（第 3 完成人）与姚成功（第 4 完成人）自 2007 年 12 月至 2019 年 8 月，以共同知识产权方式合作，产出实用新型专利“一种控制结晶器热调宽软夹紧力的智能系统”和

“一种可调整行程的板坯结晶器调宽装置”；

何博（第 2 完成人）与王文学（第 3 完成人）自 2007 年 12 月至 2019 年 8 月，以共同知识产权方式合作，产出实用新型专利“铸坯在线调整装置”；

高琦（第 1 完成人）、米进周（第 5 完成人）与史伟（第 7 完成人）自 2007 年 12 月至 2019 年 8 月，以共同知识产权方式合作，产出软件著作权“连铸装备电动缸驱动式结晶器液面自动开浇控制系统 V1.0”和“板坯连铸装备液压驱动式结晶器在线调宽控制系统 V1.0”。

## 项目二十一

一、项目名称：多功能高效精整生产线核心工艺装备及产品质量综合控制技术研发

二、提名者：陕西省科技厅

提名等级：二等奖

提名意见：同意推荐

精整生产线主要用于对金属板带进行剖分、矫直、重卷、切边、检查以及涂油等工序作业，是板带从钢厂走向用户的关键环节，是成品板带质量的最终保障。

该项目开发出一套多功能高效精整生产线工艺装备技术，打破了该领域长期被德国森德威、日本三菱、奥地利安德里茨等国外几大厂商垄断的局面，实现了高端金属板带高精度、高质量、高效率批量稳定生产。

该项目成果已推广应用到华菱安赛乐米塔尔汽车板有限公司、广西钢铁、宝武等大型骨干企业数十条生产线，结果表明该生产线及工艺装备性能稳定，工作可靠，经济效益和社会效益显著。

该项目经陕西省机械工业联合会组织专家鉴定，整体技术达到国际先进水平，推荐陕西省科技进步二等奖。

### 三、项目简介

精整生产线主要用于对金属板带进行剖分、矫直、重卷、切边、检查以及涂油等工序作业，是板带从钢厂走向用户的关键环节，是成品板带质量的最终保障。以高档汽车面板、食品级镀锡板、超高强特殊钢以及高强高韧铝合金板等为代表的高端金属板带精整工艺装备与关键技术主要掌握在德国森德威、日本三菱、奥地利安德里茨等国外几大钢铁集团手中。

高端金属板带对表面质量、板形质量和卷取质量等要求极高，其产品规格尺寸多样，精整处理工序繁杂，核心技术难度大。国内精整生产控制方法与数学模型缺乏，导致表面质量、板形质量以及卷取质量等指标与国际水平仍存在很大差距，技术与市场长期被国外公司所垄断。

项目组以陕西省重点科技创新团队计划项目和广西钢铁集团有限公司防城港钢铁基地国家重点建设工程项目为依托，进行了工艺创新，开发了关键模型，实现了工艺装备及控制技术的国产化。形成关键技术创新如下：

- 1、多功能高效精整生产工艺及关键装备的研发。创造性提出了集剖分、矫直、重卷、切边、检查、涂油等多工序于一体的多功能高效精整生产方法。研制了剖分切边圆盘剪、全自动滚筒飞剪等核心装备，实现了高端金属板带的高效化、协同化和绿色化精整生产。

- 2、精整生产过程高稳运行及板形与表面质量综合控制技术开发。提出了高速稳定运行参数优化设计方法及共振控制技术，创建了拉伸弯曲矫直机及辊式矫直机工作参数预设及

闭环控制模型。解决了高速运行时，板带稳定性差及共振造成的表面擦划伤，解决了矫直生产时，依靠经验设定工作参数造成的板形不良，实现了表面质量与板形质量的综合精细控制。

3、成品钢卷卷取质量核心控制技术开发。提出了开卷机、卷取机传动功率计算方法及张力梯度控制方法，创建了助卷张力预设和控制模型，研发了软钳口定位控制技术。解决了钢卷带头印、塔形与错层等质量缺陷，实现了带卷的高质量卷取。

研发的多功能高效精整线，将剖分、矫直、重卷、切边、检查和涂油等多种功能集中于一条生产线，其生产能力是单一功能生产线的3倍，降低生产成本超过50%，节能减排超过50%。自主研发了关键工艺模型，掌握了高端金属板带表面质量、板形质量及卷取质量等综合控制技术，取得了显著的应用效果：表面质量的纵向  $R_z$  差值  $\leq 0.12 \mu m$ ，横向  $R_z$  差值  $\leq 0.17 \mu m$ ；板形质量控制在  $2-4I$ ，封闭率 0.5% 以内；单侧卷取错层  $\leq 0.5mm$ ，彻底打破了国外高水平公司的技术封锁，成功替代进口。已推广到华菱安赛乐米塔尔汽车板有限公司、广西柳州钢铁集团有限公司、山东钢铁集团日照有限公司、广西钢铁集团有限公司、宝武钢铁集团等著名企业数十条生产线，迅速扩大了产能，实现了批量替代进口的目标。

#### 四、客观评价

##### 1、科技成果鉴定—国际先进水平

2022年3月25日，陕西省机械工业联合会组织召开了该项目的科技成果鉴定会。经专家质询和讨论，形成如下意见：

（1）研制了全自动滚筒飞剪、开头装置、废边卷取装置、剖分圆盘剪等核心装备组成的生产线，实现了以高品质汽车面板为代表的高端金属板带高效精整生产。

（2）提出了机组高速稳定运行参数优化设计方法、拉伸弯曲矫直机工作参数预设及闭环控制方法，开发了机组共振控制技术以及软钳口定位控制系统等核心技术，解决了擦划伤、带头印与板形差等生产难题，实现了表面质量与板形的综合精细控制。

（3）创建了开卷机、卷取机的张力梯度控制以及助卷机张力预设和控制方法，解决了卷取塔形与错层的技术难题，实现了带卷的高质量卷取。

鉴定委员会一致认为：该项目整体技术达到了国际先进水平。

##### 2、科技成果查新

2021年8月2日，机械工业信息研究院对该项目进行了国内外联机检索，得出以下结论：除该查新项目委托方发表的文献和项目介绍外，在其他相关文献中未见有与该项目查新点所

述技术特征相同的报道。

### 3、检验报告

2022 年 6 月 2 日，该项目委托陕西省机械产品质量监督检测总站有限公司对“高品质汽车面板高效精整线工艺装备”进行检验，检验报告编号“No: 22507025”，共检高品质汽车面板高效精整线的 28 项质量指标，符合 28 项，不符合 0 项。

### 4、验收意见

2021 年 3 月 31 日，陕西省科学技术厅组织有关专家，对中国重型机械研究院承担的陕西省重点科技创新团队计划项目《高品质汽车板剖分拉矫重卷检查机组关键技术及设备研究创新团队》进行了验收，验收委员会一致认为，该项目完成了合同书规定的内容，达到了验收要求，一致同意通过验收。

## 五、应用情况

目前，该项目成果已经成功推广应用到华菱安赛乐米塔尔汽车板有限公司、广西柳州钢铁集团有限公司、山东钢铁集团日照有限公司、广西钢铁集团有限公司、宝武钢铁集团等著名企业数十条生产线，迅速扩大了产能，实现了批量替代进口的目标。主要应用单位情况如下表所示。

主要应用单位情况

序号	单位名称	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人 /电话
1	华菱安赛乐米塔尔汽车板有限公司	NO. 1&NO. 2 重卷检查机组	2014~2022	刘军 13973875725
2	广西柳州钢铁集团有限公司	冷轧 1#-5#重卷拉矫检查机组	2014~2022	李文福 18078256860
3	山东钢铁集团日照有限公司	2030 冷轧 1#、2#重卷机组及重卷（拉矫）机组	2018~2022	李广秀 15098756180
4	广西钢铁集团有限公司	防城港钢铁基地 2030 冷轧项目 1#、2#重卷检查机组	2016~2022	吴军 13487074729
5	武汉钢铁有限公司	1#横切机组改重卷机组	2019~2022	肖晟 15972921186
6	宝钢湛江	宝钢湛江 1550 冷轧单元重卷机组	2015~2022	孙建中 13501818629

## 六、主要知识产权和标准规范等

序号	知识产权类别	名称	授权号	授权日期	发明人
1	发明专利	一种带钢剖分拉矫重卷检查机组生产方法	ZL201710486410.5	2019-07-23	孙亚波；崔卫华；李宏伟；任玉成；张康武
2	发明专利	基于最小目标定尺长度的滚筒飞剪传动设计参数计算方法	ZL201610382504.3	2019-05-10	孙亚波；崔卫华；刘渭苗；任玉成；张康武
3	发明专利	基于剪切目标定尺长度的滚筒飞剪传动控制参数计算方法	ZL201610383597.1	2018-06-26	孙亚波；崔卫华；刘渭苗；任玉成；张康武
4	发明专利	一种极薄带钢精整机组运行参数设计方法	ZL201410317213.7	2017-03-15	张康武；李剑；任玉成；孙亚波；刘渭苗
5	发明专利	一种极薄带钢高速精整机组振动计算方法	ZL201410283031.2	2016-04-20	孙亚波；刘渭苗；张康武；任玉成
6	发明专利	一种拉伸弯曲矫直机工作参数设定方法	ZL201910113939.1	2020-06-26	孙亚波；李宏伟；张康武；崔卫华；马兰松；靳恩辉
7	发明专利	一种辊式矫直机工作参数预设方法	ZL202111018428.5	2022-11-29	孙亚波；李宏伟；靳恩辉；张康武；任玉成
8	发明专利	一种卷取机传动功率计算方法及张力梯度控制方法	ZL201610688409.6	2017-11-10	任玉成；孙亚波；崔卫华；李宏伟
9	发明专利	一种带钢精整机组助卷张力预设及控制方法	ZL201810060106.9	2021-04-20	孙亚波；崔卫华；刘渭苗；李宏伟；马伟然
10	国家或行业标准	带材拉伸弯曲矫直机	JB/T 12939-2016	2016-10-22	王鹏；王社昌；张勇安；任玉成；靳恩辉；许展望

## 七、主要完成人情况

姓名	孙亚波	技术职称	正高级工程师	排名	1
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：负责高品质汽车面板精整生产线核心工艺与关键工艺模型研究、实验研究及现场施工、调试和验收工作。					
姓名	李俊辉	技术职称	正高级工程师	排名	2
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				



完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：负责审查项目整体方案，负责项目的立项、工艺规范和实施过程管理工作。					
姓名	吴永杰	技术职称	正高级工程师	排名	3
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：负责核心装备及生产工艺的开发，在本项目中投入工作量占本人工作总量的 85%。负责精整生产线开卷与卷取的技术研究及现场实施等工作。					
姓名	靳恩辉	技术职称	高级工程师	排名	4
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：负责精整生产线及核心设备的设计及现场实施工作，在本项目中投入工作量占本人工作总量的 70%。					
姓名	李宏伟	技术职称	高级工程师	排名	5
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：负责精整生产线核心工艺与智能综合控制系统的开发，在本项目中投入工作量占本人工作总量的 80%。					
姓名	梁光正	技术职称	高级工程师	排名	6
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：负责精整生产线关键设备数学控制模型的建立及大数据技术处理和数据分析工作，在本项目中投入工作量占本人工作总量的 80%。					
姓名	冯沙	技术职称	高级工程师	排名	7
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：负责精整生产线流体传动技术工作及设备监制、现场调试工作，在本项目中投入工作量占本人工作总量的 70%。					
姓名	俞洪杰	技术职称	高级工程师	排名	8
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：负责精整生产线核心装备设计及现场实施工作，在本项目中投入工作量占本人工作总量的 80%。					
姓名	马伟然	技术职称	高级工程师	排名	9
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：负责精整生产线核心装备设计及现场实施工作，在本项目中投入工作量占本人工作总量的 80%。					
姓名	马兰松	技术职称	高级工程师	排名	10
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：负责精整生产线核心工艺及现场实施工作，在本项目中投入工作量占本人工作总量的 60%。					

## 八、主要完成单位

单位名称	中国重型机械研究院股份公司	排名	1
------	---------------	----	---

对本项目技术创新和应用的贡献：

中国重型机械研究院股份公司主持完成了高品质汽车面板高效精整线工艺装备开发及应用项目的研发与推广工作。主要创新工作如下：

1、多功能高效精整生产工艺及关键装备的研发。研制了剖分切边圆盘剪、全自动滚筒飞剪、全自动开头工艺装备、全自动废边卷取工艺装备等核心装备，研发了高品质汽车面板多功能高效精整工艺生产方法，实现了以高品质汽车面板为代表的高端金属板带高效精整生产。

2、精整生产过程高稳运行及板形与表面质量综合控制技术开发。提出了高速稳定运行参数优化设计方法、拉伸弯曲矫直机及辊式矫直机工作参数预设及闭环控制方法，开发了高速运行共振控制技术及软钳口定位控制系统等核心技术，解决了擦划伤、带头印与板形差等生产难题，实现了表面质量与板形的综合精细控制。

3、成品钢卷卷取质量核心控制技术开发。创建了开卷机、卷取机传动功率计算方法及张力梯度控制方法、助卷张力预设和控制方法，解决了卷取塔形与错层的技术难题，实现了带卷的高质量卷取。

中国重型机械研究院股份公司主持完成的多功能高效精整生产工艺装备完全替代进口，打破了该领域长期被德国森德威、日本三菱、奥地利安德里茨等国外几大厂商垄断的局面，实现了以高品质汽车面板、高档家电板、超高强钢板、食品级镀锡板为代表的高端金属板带高精度、高质量、高效率的批量稳定生产，为发展我国自主知识产权的精整装备与工艺提供了成功范例，带动了我国重型装备的科技进步，为保障国民经济建设，实现绿色低碳经济做出了突出贡献。

## 九、完成人合作关系说明

李俊辉和孙亚波、靳恩辉共同完成专利“一种废边卷取机减速机构”。

吴永杰、梁光正、冯沙、俞洪杰作为主要完成人共同完成了“高品质汽车面板高效精整线工艺装备开发及应用”的成果鉴定。

李宏伟和孙亚波共同完成专利“一种带钢剖分拉矫重卷检查机组生产方法”。

马伟然和孙亚波、李宏伟共同完成专利“一种带钢精整机组助卷张力预设及控制方法”。

马兰松和孙亚波共同完成专利“一种拉伸弯曲矫直机工作参数设定方法”。

## 项目二十二

## 一、项目名称：超大型锻造操作机关键技术及应用

## 二、提名者：陕西省科技厅

提名等级：二等奖

提名意见：同意推荐

大型锻件供应保障是我国装备制造业由大到强转变、实现高质量发展的关键。大型锻造操作机是核电、火电、水电、石化容器、重大装备、国防军工等高端复杂关键锻件制造不可或缺的重大基础装备。

为改变大型锻件产品及装备受控于国外的局面，实现自主制造，中国重型院联合西安交通大学等组成产学研用创新团队，在 04 国家重大科技专项等支持下，潜心科研，成功研制出 3000kN/7500kN•m 六自由度超大型锻造操作机；提出了大型操作机无隙传动技术与压机联动控制策略，实现了与万吨级压机的联动控制；解决了自由锻造行业的制约性技术难题，填补国内外空白，总体技术达到国际领先水平。

经审核，提名材料真实有效，已进行公示，符合陕西省科学技术奖授奖条件。

## 三、项目简介

大型锻件制造业是国家重大装备制造业的重要基础，关系到国家安全和经济命脉。大型锻造操作机是大型锻件精确制造的关键装备，但其开发技术长期被德国等垄断。

中国重型院长期进行锻造操作机技术研究，积累了雄厚的技术基础。在国家科技重大专项(2010ZX04013-21)、863 计划等支持下，与西安交通大学等组成产学研用创新团队，依托金属成形技术与重型装备全国重点实验室，共同进行集理论研究、实验研究、工程应用为一体的自主研发与集成创新，历经十余年，成功研制了世界最大的 3000kN/7500kN•m 超大型锻造操作机。

本项目获得授权专利 30 件，其中发明专利 23 件，发表论文 25 篇。取得的主要创新成果如下：

1. 面向大型高端复杂锻件的锻造工艺需求，发明了超大型操作机长杠杆夹持机构和缸动式紧凑型钳杆装置，自主研制了六自由度超大型重载锻造操作机，解决了大载荷夹持、交变载荷冲击、运动空间与结构限制矛盾等技术难题，最大夹持载荷 3000kN、夹持力矩 7500kN•m、最大夹持锻件直径  $\Phi 3500\text{mm}$ 、最大提升高度 3800mm。

2. 针对锻造操作机在小步距、高频次工况下的高精度定位要求，创新发明了千吨级超

大移动惯量下的无隙传动技术，提出了操作机位移、旋转、摆动等六自由度的多模式协同控制策略，实现了超大移动惯量下的行走定位精度 $\pm 4\text{mm}$ ，旋转定位精度 $\pm 0.5^\circ$ ，突破了行业的技术瓶颈。

3. 基于大型锻件的锻造工艺特点，建立了大型锻造操作机与压机联动控制模型，提出了同步跟随、液压支撑、力反馈自适应的联动控制策略，首次实现了  $3000\text{kN}/7500\text{kN}\cdot\text{m}$  超大型锻造操作机与  $195\text{MN}$  超大型压机的自动化锻造生产。

$3000\text{kN}/7500\text{kN}\cdot\text{m}$  超大型锻造操作机已成功应用于江苏国光重型机械制造有限公司和二重(德阳)重型装备有限公司，经第三方检测和用户使用证明，技术指标先进，设备性能稳定，取得了显著的经济社会效益。

陕西省机械工程学会鉴定认为：该项目技术难度大、创新性强， $3000\text{kN}/7500\text{kN}\cdot\text{m}$  超大型操作机是当前国际最大规格的设备，其成功研制与应用体现了我国在重大装备领域的极限制造能力，总体技术达到国际领先水平。

#### 四、客观评价

1. 检验报告：陕西省机械产品质量检测总站有有限公司对“ $3000\text{kN}/7500\text{kN}\cdot\text{m}$  大型锻造操作机”项目进行了性能检验，结论为：所检项目符合全液压锻造操作机技术文件要求。

2. 科技查新报告：陕西省科学技术情报研究院对“ $3000\text{kN}/7500\text{kN}\cdot\text{m}$  大型锻造操作机”项目进行的科技查新结论：未见明确述及综合上述（该项目）技术特点的全液压锻造操作机研究。

3. 陕西省机械工程学会鉴定认为：该项目技术难度大、创新性强， $3000\text{kN}/7500\text{kN}\cdot\text{m}$  超大型操作机是当前国际最大规格的设备，其成功研制与应用体现了我国在重大装备领域的极限制造能力，总体技术达到国际领先水平。

4. 行业评价：中国重型机械工业协会认为：中国重型院自主开发的世界吨位最大的  $3000\text{kN}/7500\text{kN}\cdot\text{m}$  大型锻造操作机是一种巨型重载机器人，实现了我国大型锻件极限制造技术装备与工艺的重大突破。是我国重型装备制造业重大装备自主创新的典型范例。 $3000\text{kN}/7500\text{kN}\cdot\text{m}$  大型锻造操作机的研制成功，打破了国外垄断和控制，其高水平、高能力为我国电力、海工、军工等领域提供了有力的装备保障，具有重要的战略安全意义。

5. 科技奖励：项目获 2016 年中国机械工业集团科学技术特等奖，2019 年中国质量协会质量技术优秀奖！

### 五、应用情况

本项目从理论探索、技术突破到装备研制连续支持，项目的成功实施，打破了国外技术垄断局面，实现从“打破垄断”到“技术引领”历史性跨越。

1. 2013 年 9 月，本项目研制的世界最大的 3000kN/7500kN•m 锻造操作机与世界最大的 195MN 锻造压机在江苏国光联合投产应用，建立了世界最大的锻造压机生产线。
2. 中国二重为提升现有 160MN 压机锻造生产能力及工作效率，新增建设的 3000kN/7500kN•m 锻造操作机，于 2018 年 10 月投产应用，极大提升了公司极限锻造能力，开创了绿色化、数字化、优质高效锻造生产的新局面。
3. 项目的关键技术成功运用于国内锻造操作机的研发，形成了系列性能先进锻造操作机的供货能力。中国重型院期间先后供货了 20kN 到 3000kN 系列锻造操作机 22 台。

### 六、主要知识产权和标准规范等

序号	知识产权类别	名称	授权号	授权日期	发明人
1	发明专利	双操作机与压机联合锻造工作的行走位置控制装置及方法	ZL201110354550. X	20140312	张营杰; 卫凌云; 范玉林 高尚晖; 牛勇
2	发明专利	操作机行走无隙传动系统	ZL201110355888. 7	20131211	范玉林; 张营杰; 卫凌云 房志远; 冯东晓
3	发明专利	一种锻造操作机行走闭式系统	ZL201210248033. 3	20140702	范玉林; 权晓惠; 张营杰 牛勇
4	发明专利	一种新型牵引机钳口装置	ZL201810110845. 4	20190927	胡阳虎; 张营杰; 段锦涛 卫凌云; 权晓惠; 李正和
5	发明专利	一种直线式永磁交流伺服电动机直驱式电液比例流量阀	ZL201310367690. X	20151021	赵升吨; 朱牧之
6	发明专利	一种双作用式外转子的径向柱塞液压泵	ZL201310685243. 9	20131213	赵升吨; 郭桐; 刘辰; 卓 晓兰; 张晨阳
7	实用新型	一种高频精密锻造整形工艺装置	ZL201820189840. 0	20180925	胡阳虎; 张营杰; 权晓惠 房志远; 卫凌云; 段锦涛
8	实用新型	一种四锤头径向锻造机自适应锻造控制系统	ZL202020754980. 5	20180319	苏振华; 焦 悦; 张营杰 范玉林; 冯东晓; 赵流音
9	软著登记	快锻专家库系统 V1. 0	2018SR153932	20180308	中国重型机械研究院股份 公司
10	软著登记	模锻压机工艺生产数据系统 V1. 0	2021SR1853558	20211123	中国重型机械研究院股份 公司

### 七、主要完成人情况

姓名	张营杰	技术职称	正高级工程师	排名	1
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				

对本项目技术创造性贡献： 项目总设计师，主持 04 重大专项研究。提出了超大型锻造操作机的结构形式和控制方法，带领研发团队进行技术研发、样机试验、设备设计与制造、成功交付生产应用，为项目研究做出主要贡献。对创新点 1、2、3 做出了创造性贡献。					
姓名	权晓惠	技术职称	正高级工程师	排名	2
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献： 项目执行负责人，组织及管理项目的研制攻关、技术方案评审及设计工作；负责开发用户并与用户签订制造、试验及检测等技术商务协议；组织及管理实施制造质量监理及安装调试工作。对创新点 1、3 做出了创造性贡献。					
姓名	屈薛勇	技术职称	正高级工程师	排名	3
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献： 项目科技主管，对项目研究方向和技术发展的正确性负责，组织项目申报和立项管理，协调各单位部门之间的合作关系，保证研究项目顺利进行。对项目创新点 1、3 做出了重大贡献。					
姓名	范玉林	技术职称	正高级工程师	排名	4
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献： 项目主要完成人，副总设计师。负责锻造操作机行走工作机理与液压控制设计的研究，采用双销齿传动，增加行走的稳定性，采用先进的比例液压控制系统，大大提高了操作机的控制精度。对创新点 1、2 做出了创造性贡献。					
姓名	赵升吨	技术职称	教授	排名	5
工作单位	西安交通大学				
完成单位	西安交通大学				
对本项目技术创造性贡献： 项目主要完成人，交大团队负责人。指导大型锻造操作机电气控制技术研究，完成操作机和与液压机联动控制技术研究和试验。进行了大型铸锻件结构优化和制造工艺研究，对提高设备加工质量和可靠性起到重要的作用。对创新点 2、3 做出了创造性贡献。					
姓名	卫凌云	技术职称	正高级工程师	排名	6
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献： 项目主要完成人，副总设计师。全面负责锻造操作机本体机械结构的开发研究和技术设计工作，创新设计出锻造操作机无齿隙行走机构，提出了双操机与压机联动控制方法。对创新点 1、3 做出了创造性贡献。					
姓名	冯东晓	技术职称	高级工程师	排名	7
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献： 项目主要完成人，主任设计师。负责进行试验样机的实验室模拟试验、研究工作，创新设计了操作机行走机构的详细技术图纸，负责设备制造和现场安装调试等技术指导工作，为项目顺利完成做出了重要的贡献。对创新点第 1、3 做出了重要贡献。					

姓名	苏振华	技术职称	高级工程师	排名	8
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献： 项目主要完成人，负责电气控制及操作系统的研究，完成了操作机多动作协调运行与高精度控制系统研究，实现了与压机联合控制的自动运行。对创新点 2、3 做出重要贡献。					
姓名	房志远	技术职称	高级工程师	排名	9
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献： 项目主要完成人，研究出操作机压杆式钳头夹紧机构，完成了双减速机驱动的钳杆回转机构设计。对创新点 1 做出重要贡献。					
姓名	胡阳虎	技术职称	正高级工程师	排名	10
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献： 项目主要完成人，进行了钳口夹持结构、三点式吊挂机构的研究，完成了操作机吊挂结构的设计。对创新点 1 做出重要贡献。					

## 八、主要完成单位

单位名称	中国重型机械研究院股份公司	排名	1
对本项目技术创新和应用的贡献： 中国重型机械研究院股份公司长期进行操作机技术研发与供货，是 04 国家重大科技专项“3000kN/7500kN·m 大型锻造操作机”项目的主持单位。在大型锻造操作机构型确定与设计、超大惯量运动控制、多自由度动作的协调匹配、高压大流量高效精密恒压比例控制技术、与万吨级压机联合控制技术等领域实现多项技术创新，成功研制出 3000kN/7500kN·m 大型锻造操作机，并得以推广应用。为本项目做出了决定性的贡献。			
单位名称	西安交通大学	排名	2
对本项目技术创新和应用的贡献： 西安交通大学主要负责大型锻造操作机电气控制技术研究，建立控制技术模型，确立控制系统方案，协助第一完成单位进行控制实验，解决了大型锻造操作机与锻造压机联合控制的关键技术问题；参与完成了操作机大型铸锻件和复杂结构件的有限元分析优化及制造工艺研究，对提高设备加工质量和可靠性起到重要的作用。			

## 九、完成人合作关系说明

项目完成人主要以中国重型机械研究院股份公司为主，其中第 5 完成人是西安交通大学教授。

1. 战略合作伙伴单位：中国重型机械研究院股份公司，与西安交通大学是长期以来自然形成的战略合作伙伴，双方共同参与组建了“金属成形技术与重型装备全国重点实验室”。
2. 共同立项：2010 年，由中国重型院主持、与西安交通大学等单位共同申请立项并承担了“高档数控机床与基础制造装备”国家重大科技专项“3000kN/7500kN·m 大型锻造操作

机研制”项目的研制工作，成功研制了世界最大的 3000kN/7500kN•m 大型锻造操作机。10 名主要完成人均属于该项目组人员。

3. 共同获奖：（1）中国重型院主持与西安交通大学双方共同作为主要完成单位完成的“3000kN/7500kN•m 大型锻造操作机研制”项目获 2016 年中国机械工业集团科学技术特等奖。（2）项目完成人张营杰、权晓惠、屈薛勇、卫凌云、范玉林等共同作为主要完成人获得 2019 年中国质量协会质量技术优秀奖。

4. 同一项目研究组：除第五完成人赵升吨教授外，其余 9 位完成人均为中国二重“新增 3000kN/7500kN•m 锻造操作机研发供货”项目组成员。

5. 共同申请专利和发表论文：完成人之间不同组合获得授权发明专利多项或公开发表论文多篇。

## 项目二十三

一、项目名称：核燃料中子吸收板“挤压+轧制”复合成形新工艺装备及应用

二、提名者：陕西省科技厅

提名等级：三等奖

提名意见：同意推荐

核燃料中子吸收板“挤压+轧制”复合成形新工艺装备及应用被鉴定为国际先进水平。该装备技术应用于安徽应流久源核能新材料科技有限公司，设备运行稳定，性能可靠，自 2015 年 12 月投产至今，成功批量生产出核燃料贮存格架用中子吸收板，填补了我国在该产品及其加工设备的空白，实现了该产品的国产化，突破了制约我国核燃料贮存和运输设备国产化的瓶颈，打破了国外厂家在此类产品上的垄断，达到国际先进水平。

### 三、项目简介

中子吸收板是核新燃料和乏燃料处理的关键材料，研发具有完全自主知识产权的中子吸收板材料和具有批量制造能力的中子吸收板生产工艺及设备，替代国外产品，迫在眉睫。本项目将粉末冶金制备的锭坯，经过加热和均匀化后送入挤压机，采用特定的挤压工艺参数挤压，通过牵引、横向传输和定尺锯切分成特定长度的板材，之后通过可逆热轧工艺技术反复轧制，成为性能和形状尺寸符合要求的核燃料中子吸收板。解决的核心技术难题包括核燃料中子吸收板挤压和轧制技术路线的确定，挤压低速闭环精确控制技术、挤压温度准确恒定控



制技术、无张力轧制工况下难变形轧制板形综合控制技术、难变形温态轧制及温度控制技术等，通过研究解决以上核心技术难题，在国内率先建立了 36 MN 中子吸收板挤压生产线和 600 mm 中子吸收板轧制生产线，用于生产质量合格、成本低的核燃料中子吸收板，生产的中子吸收板，达到国际先进水平，打破了欧美对此的垄断，解决了国内无中子吸收板制造装备技术的“卡脖子”问题。

项目的实施获授权发明专利 6 件，实用新型专利 6 件，完成行业标准 2 部，其核心技术成为金属挤压/模锻设备与工艺创新能力平台(04 专项)和陕西省大型工业铝型材挤压装备技术研究中心的主要研究内容，项目由陕西省重点科技创新团队承担，技术负责人是中组部“万人计划”科技创新领军人才，研究单位是科技部科技创新人才培养基地；推广成功后推广应用挤压机和轧机超过 30 台套，建成的核燃料中子吸收板制造生产线，具备批量制造能力，制造的中子吸收板通过了中国核能行业协会的产品鉴定，具有完全自主知识产权，达到国际先进水平，替代了国外产品，直接应用于 CAP 系列核电站燃料贮存格架，还可推广应用到其他核电站和各类核设施，标志着该项核能新材料科技创新成果已经完成产业化，对推进我国核能事业自主创新发展意义重大。

#### 四、客观评价

第三方评价包括以下三部分：

(1) 中国核能行业协会在安徽合肥组织和主持召开了 《燃料贮存格 架用中子吸收板》产品鉴定会。鉴定委员会 （由 5 位院士和多位专家组成）听取了产品研制技术要求、安徽应流久源核能新材料科技有限公司 (以下简称应流久源)的产品技术总结的汇报和现场测试组的测试报告，审查了相关资料，考察了制造现场和产品 样板，经质询和讨论，形成鉴定意见如下：

该产品具有完全的自主知识产权，达到国际先进水平，可直接用于 CAP 系列核电站燃料贮存格架，还可推广应用到其他核电站和各类核设施，具有良好的经济和社会效益。鉴定委员会一致同意该产品通过鉴定。

(2) 2017 年 10 月 27 日铝基碳化硼核燃料中子吸收板高性能成形工艺装备通过国家冶金重型机械质量监督检验中心的检验，所检验 35 项技术指标全部达标。

(3) 2019 年 5 月 17 日，“ 核燃料中子吸收板“挤压+轧制”复合成形新工艺装备及应用”项目进行了科技成果鉴定。鉴定委员会一致认为：该项目总体技术达到了国际先进水平，其中

中子吸收板粉末冶金的热挤压技术居国际领先水平。

五、应用情况

本项目为中国重型院创造利润超过 200 万元，为用户节约设备资金投入 2000 万元。建成了 36 MN 中子吸收板挤压生产线和 600 mm 中子吸收板轧制生产线，高性能核燃料贮存格架用中子吸收板，填补了我国在该产品和其加工设备的空白，突破了制约我国核燃料贮存和运输设备国产化的瓶颈，打破了国外厂家在此类产品上的垄断，满足了国家的重大需求。每年为国内外客户供货各种规格核电站燃料贮存格架用中子吸收板，产能达到 135 吨/年，能够为企业带来 13500 万元，2565 万元利税，纯收入 756 万元，创造了良好的经济效益和社会效益。

六、主要知识产权和标准规范等

序号	知识产权类别	名称	授权号	授权日期	发明人
1	发明专利	卧式铝挤压机主柱塞重量自动平衡系统	ZL201710397188.1	20190618	张君;杨建丁建文;李夏峰;张宗元
2	发明专利	铝挤压机后部精整设备新型挑料方法	ZL201310015537.0	20150408	张君;李正利;薛菲菲;陈永甲;黄胜;段丽华
3	发明专利	一种正反向挤压用牵引机装置	ZL201610050751.3	20180406	张君;王军;丁建文
4	发明专利	一种板带温轧温控系统	ZL201410407171.6	20170201	王大号;徐利璞;尤磊;李俊辉;姚赞
5	发明专利	一种无极斜楔调整机构	ZL2011103988599	20141210	黄煜;苏明;赵团民;高林林
6	发明专利	挤压机液压系统压力波动降低方法	ZL201601157901.3	3224282	张君;黄胜;杨红娟
7	实用新型专利	一种新型闷车铝锭处理装置	ZL201320014127X	20130703	杨红娟;张君;侯永超;付永涛;陈永甲;胡阳虎
8	实用新型专利	铝挤压机用弹性固定挤压垫	ZL201320038004X	20130807	丁建文;张君;薛菲菲;杨建;张立波;段丽华
9	实用新型专利	铝基陶瓷粉末增强复合材料挤压装置	ZL201620221786.4	20160817	杨建;张君;黄胜;陈永甲;杨红娟
10	实用新型专利	一种温轧机在线热辊装置	ZL2013207297397	20140528	王大号;窦锋
11	实用新型专利	一种轧机工作辊换辊设备	ZL2015201859949	20150805	苏明;夏宇

七、主要完成人情况

姓名	杨建	技术职称	高级工程师	排名	1
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献： 在本项目中，担任挤压段工艺设备副总设计师，主持项目挤压机械部分的实施，完成了挤压机主体结构的选型及图纸设计工作，主持土建条件图和配管的结构布局工作，对土建工作进行了现场指导及参与验收了土建工程，指导了用户现场挤压机的安装、调试工作。					
曾获科技奖励情况： “125MN 工业铝材挤压在线精整设备关键技术与应用” 获得中国机械工业科学技术一等奖； “工业铝材高效节能挤压生产关键技术与应用研究” 获得中国机械工业科学技术二等奖； “120 MN 特种高精工业铝材挤压装备关键技术与应用研究” 获得陕西省科学进步二等奖。					
姓名	黄胜	技术职称	高级工程师	排名	2
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献： 对项目挤压设备负责和负责项目的工艺研究，对《主要科技创新》中全部科技创新点均做出了创造性贡献，在与其他完成人合作完成的创新点中，起到了主要贡献，是项目的主要完成人之一。					
曾获科技奖励情况： 获机械工业科技进步一等奖 1 项，二等奖 1 项，有色金属学会三等奖 1 项。					
姓名	王大号	技术职称	正高级工程师	排名	3
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献： 在该项目中作为中子吸收板轧制工艺部分的总负责人，主持开发完成了整个轧制段工艺及装备的技术路线、核心关键技术、全套轧制机组设备开发设计及安装调试、竣工验收工作，制定了铝基碳化硼核燃料中子吸收板恒温轧制工艺路线、开发研制了“温态轧制温度控制技术”、“多通道立体式加热炉”、“轧机轧辊在线分段精准温度控制技术”、“难变形中子吸收板轧制板形综合控制技术”等多项关键技术，完成了该项目验收及批量生产。					
曾获科技奖励情况： 2012 年《钛镍特种金属大型板带冷轧机组的研制及应用》项目获得国机集团科学技术二等奖，排名第 5； 2015 年获得中国重型机械研究院股份公司“青年科技创新奖”； 2016 年获得中国重型机械研究院股份公司“优秀共产党员”称号。					
姓名	陈永甲	技术职称	高级工程师	排名	4
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献： 参与了项目的方案论证、详细设计、安装调试工作，对项目的完整实施顺利验收做出了贡献。					

曾获科技奖励情况：					
2019 年中国机械工业集团科学技术二等奖。					
姓名	张宗元	技术职称	高级工程师	排名	5
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：					
在中子吸收板制造关键技术及应用项目中担任挤压工艺段设计师，参与了挤压工艺方案模拟论证，挤压机生产线设备开发设计，安装调试及竣工验收工作。具体参与开发了基于速度反馈的比例油泵和伺服阀闭环速度精确控制技术、挤压过程温度计算方法及温度精确恒定控制技术，对项目的完整实施做出了贡献。					
曾获科技奖励情况：					
获绿色制造科技创新二等奖，中国机械工业集团有限公司二等奖。					
姓名	苏明	技术职称	高级工程师	排名	6
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：					
担任轧制工艺段副总设计师，参与了方案论证、详细设计、安装调试工作。为本项目开发的多通道立体加热炉系统。					
曾获科技奖励情况：					
2014 年中国机械工业集团科学技术三等奖。					
姓名	高红章	技术职称	高级工程师	排名	7
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献：					
在本项目中，参与挤压机主体结构的制定，对项目的实施过程给予全程技术支持，参与了本项目现场安装和调试的部分工作。					
曾获科技奖励情况：					
中国机械工业集团科学技术二等奖。					

## 八、主要完成单位

单位名称	中国重型机械研究院股份公司	排名	1
对本项目技术创新和应用的贡献：			
中国重型机械研究院股份公司攻克的项目核心技术难题包括核燃料中子吸收板挤压和轧制技术路线的确定，挤压低速闭环精确控制技术、挤压温度准确恒定控制技术、无张力轧制工况下难变形轧制板形综合控制技术、难变形温态轧制及温度控制技术等，通过研究解决以上核心技术难题，在国内率先建立了 36 MN 中子吸收板挤压生产线和 600 mm 中子吸收板轧制生产线，用于生产质量合格、成本低的核燃料中子吸收板，具有完全自主知识产权和批量生产能力，生产的中子吸收板，达到国际先进水平，可替代国外产品，直接应用于 CAP 系列核电站燃料贮存格架，还可推广应用到其他核电站和各类核设施，打破了欧美对此的垄断，解决了国内无中子吸收板制造装备技术的“卡脖子”问题，并创造了良好的经济效益和社会效益。			

## 九、完成人合作关系说明

第1完成人杨建对项目总体负责，主持制定总体技术方案并组织项目实施。与其他6位完成人一起完成了项目攻关，并授权专利《铝基陶瓷粉末增强复合材料挤压装置》等，发表论文《核燃料中子吸收板生产核心技术研究与应用》等，制定JB/T 13114-2017《单双动反向卧式铝挤压机》等2项行业标准。

第2完成人黄胜负责项目的工艺研究，与其他完成人一起完成了项目挤压+轧制工艺设备的选型、布局 and 关键参数确定。与其他完成人一起授权专利《铝基陶瓷粉末增强复合材料挤压装置》等，发表论文《核燃料中子吸收板生产核心技术研究与应用》等。

第3完成人王大号是轧制部分的总负责人，与其他完成人负责本项目轧制设备的研发和调试，授权专利《一种镁及镁合金板带温轧温控系统》等。

第4完成人陈永甲负责项目的部分设计工作，和其他完成人一起完成了项目设备的现场安装和调试工作。与其他完成人一起发表论文《核燃料中子吸收板生产核心技术研究与应用》等。

第5完成人张宗元担任挤压工艺段设计师，与其他完成人一起完成了挤压工艺方案模拟论证，挤压机生产线设备开发设计，安装调试及竣工验收工作。与其他完成人一起授权专利《卧式铝挤压机主柱塞重量自动平衡系统》等。

第6完成人苏明与其他完成任务一起完成了项目的方案论证、详细设计、安装调试工作，对项目的完整实施顺利验收做出了贡献。与其他完成人一起授权专利《一种无极斜楔调整机构》等。

第7完成人高红章与其他完成人一起完成了挤压机主体结构的设计，对项目的实施过程给予全程技术支持，参与了本项目现场安装和调试的部分工作。

## 项目二十四

一、项目名称：高品质钢管多功能高效淬火技术与装备

二、提名者：陕西省科技厅

提名意见：

由中国重型机械研究院股份公司主持完成的“高品质钢管多功能高效淬火技术与装备”重点项目，得到陕西省重大科技成果转化引导专项项目（项目编号：2015KTCG01-02）和西安市未央区科技计划项目（项目编号：201415）的资金支持，在衡阳华菱钢管有限公司、宝钢集团烟台鲁宝钢管有限责任公司及靖江特殊钢有限公司等企业成功投产应用，实现了我国高品质钢管淬火技术与装备的自主产业化。

该项目研制的高品质钢管多功能高效淬火技术与装备，突破了国内外现有工艺，技术先进、装备优良，填补了我国高品质钢管多功能高效淬火技术与装备空白。该项目整体技术达到了国际先进水平，经济和社会效益显著，应用前景广阔，拟推荐陕西省科学技术进步奖三等奖。

### 三、项目简介

#### 2.1 立项背景

为了提高钢管的综合性能，一是调整其化学成分，二是进行热处理。在钢管化学成分不改变的情况下，采用热处理方式是提高性能的必要方法，其中淬火是热处理调质的关键工艺。钢管淬火是将奥氏体化的钢管高含量的转化为马氏体，再配以高温回火最终得到回火索氏体，使钢管的各项综合性能最佳。

随着石油化工等行业的高速发展，我国每年生产钢管约 8000 万吨，其中需要进行淬火的高品质钢管约 800 多万吨，巨大的市场需求促进着钢管淬火技术水平高速发展，为了改变高品质钢管淬火高端产品依赖进口、受制于人的局面，在陕西省科技项目的支持下，项目团队研制出国内第一条高品质钢管多功能高效淬火生产线。

#### 2.2 主要科技内容及产品性能指标

研制国内外第一条高品质钢管多功能高效淬火技术与装备生产线，生产线首次提出了适合于高品质钢管的“外淋+内喷+槽浴+旋转”淬火工艺，生产线同时能进行适合于薄壁管的

“内喷”工艺和适合于结构钢管材的“外淋+内喷+旋转”等多功能淬火工艺，以适应不同规格和钢种的全壁厚整体淬火处理，大大提高了淬火后钢管工艺性能，钢管的直线度、椭圆度等关键技术指标显著改善。

主要工艺流程为：加热钢管-淬火炉出炉辊道出料-升降挡板定位-斯惠顿上料-接出料装置接料放料-压紧装置压紧-旋转装置带动钢管高速旋转-外淋水挡水板打开层流喷淋-内喷水三通阀打开轴流喷淋-外淋内喷水冲入浴槽-浴槽水位上升漫溢自动调节使钢管下半部或全部处入水槽中-完成“外淋+内喷+槽浴+旋转”淬火工艺。

高品质钢管多功能高效淬火生产线生产的钢管性能指标

- |                |         |
|----------------|---------|
| 1) 马氏体组织       | >95%    |
| 2) 全壁厚和头尾最大硬度差 | ≤2HRC   |
| 3) 淬后钢管的直线度    | ≤2 mm/m |
| 4) 椭圆度         | <1.5%   |
| 5) 产品合格率       | >96%    |

2.3 关键技术和创新点

- 1) 研发了高品质钢管“外淋+内喷+槽浴+旋转”多功能淬火工艺
- 2) 研发了钢管外淋内喷均匀快冷技术
- 3) 研发了水位和水温动态精确控制槽浴均匀快冷技术
- 4) 研发了淬火钢管同步旋转装置和无损伤同步夹持技术

四、客观评价

2021年3月18日，陕西省机械工业联合会组织有关专家，对中国重型机械研究院股份公司牵头完成的“高品质钢管多功能高效淬火技术与装备”项目进行了科技成果鉴定，鉴定委员会听取了项目组的工作总结报告、技术总结报告、用户使用报告，观看了现场使用录像，审查了相关资料。经质询、讨论，形成以下意见：

一、提交的资料齐全、规范，符合科技成果鉴定要求。

二、项目取得的创新性成果如下：

1) 研发出适合于高品质钢管的“外淋+内喷+槽浴+旋转”四种复合的淬火首创工艺，适合于薄壁管的“内喷”工艺、适合于结构钢管材的“外淋+内喷+旋转”工艺。解决了钢管不同规格和钢种的宽壁厚整体淬火工艺，提高了钢管淬后高品质组织和性能。

2) 研发出大排量冷却水、三排外淋管和文氏状内喷嘴管，解决了钢管全长和径向头尾均匀快冷的难题，确保了钢管全长马氏体转化率的一致性。

3) 研发出浴槽水位和水温动态精确控制技术，确保了钢管全长和轴向每一点均匀快冷，显著提高了钢管淬火成材率。

三、该项目产品经国家冶金重型机械质量监督检验中心检测，以及用户的使用，结果表明，该产品性能稳定、工作可靠，经济与社会效益显著。

综上所述，鉴定委员会一致认为：整体技术达到国际先进水平。

五、应用情况

该项目研发的高品质钢管多功能高效淬火技术和装备，填补了国内空白，为石油天然气、机械用管、炼化用管和电力锅炉管等急需高品质淬火钢管的众多下游行业高质量发展奠定了基础。

2018 年 12 月高品质钢管多功能高效淬火技术和装备由衡阳华菱钢管公司验收并正式投入生产。从投产至今设备使用情况良好，故障率低，运行平稳可靠，该设备的装机水平、产品质量、自动化程度及各项技术指标均达到了国际先进水平。

高品质钢管多功能高效淬火技术和装备能针对不同规格和钢种的钢管进行不同的淬火工艺方式，关键技术和创新淬火工艺的应用，生产产品质量高且稳定，凭借技术优势，本装备技术得到了客户广泛的认可，目前已推广应用 12 套。

成功推广应用情况表

序号	单位名称	项目名称	投产时间	应用单位 联系人/电话
1	衡阳华菱钢管有限公司	89 分厂 2#热处理线淬火机组	2018. 12	周勇 07348872151
2	衡阳华菱钢管有限公司	管加工分厂 1 号热处理线 淬火机组	2019. 12	周勇 07348872151
3	衡阳华菱钢管有限公司	180 机组高品质钢管智能 热处理生产线淬火机组	2020. 08	周勇 07348872151
4	包钢钢管公司	159 作业区热处理 2#线建设 淬火机组	2020. 11	徐毅 18104729939
5	衡阳华菱钢管有限公司	89 分厂 1#热处理线淬火机组	2021. 01	周勇 07348872151
6	南通永大管业股份有限公司	180 钢管热处理生产线 淬火机组	2021. 03	邓龙仁 13962754272
7	靖江特殊钢有限公司	2#热处理线淬火机组	2021. 04	王华 13382592732
8	林州凤宝	Φ114 高端精密汽车专用管	2021. 05	刘国庆



	管业有限公司	项目 140 热处理线淬火机组		13546463345
9	江苏常宝普莱森钢管有限公司	PG1#热处理线水淬设备	2021. 11	徐扣富， 13921003633
10	烟台鲁宝钢管有限责任公司	鲁宝钢管产品结构转型升级项目 淬火装置	2023. 03	王仁波， 13863822671
11	靖江特殊钢有限公司	1#热处理线淬火机组	2023. 01	王华，13382592732
12	黑龙江建龙钢铁有限公司	新建高等级石油用管绿色智能 制造项目水淬机组	制造中	李长君， 13163456325

### 六、主要知识产权和标准规范等

序号	知识产权类别	名称	授权号	授权日期	发明人
1	发明专利	钢管及其在线淬火方法	ZL 201210223683.8	2017-07-09	周勇；贺国盛； 张业圣
2	发明专利	钢管淬火装置中的旋转 升降机构及钢管淬火方 法	ZL 200710018500.8	2010-06-09	杜学斌；徐能惠； 雷刚；邵国栋； 任明杰；卫凌云
3	发明专利	一种低碳锰钢的钢管热 处理方法	ZL 201010556950.4	2012-11-21	周勇；贺铁山； 叶君绍
4	发明专利	一种多功能组合式井口 井控产品试验装置	ZL 201510449467.9	2017-05-24	马辉；徐能惠； 杜学斌；任明杰； 邵国栋；王建国
5	发明专利	大口径厚壁钢管及其正 火方法	ZL201210222821.0	2014-04-09	周勇；贺国盛； 罗家华
6	发明专利	一种框架梁复合控制液 压系统	ZL 200910219271.5	2012-06-27	韩炳涛；杜学斌； 徐能惠；雷刚； 王宏亮；卫凌云
7	发明专利	管道感应在线热处理方 法	ZL201110325498.5	2014-01-29	周勇；贺国盛； 胡福新；张业圣； 李波；黄良华
8	发明专利	具有移动旋转功能的内 喷嘴	ZL 2007110017806.1	2009-05-06	徐能惠；杜学斌； 雷刚；邵国栋； 任明杰；卫凌云
9	实用新型专利	一种钢管热处理过程中 的升降旋转装置	ZL202222166432.2	2023-01-03	郭居奇；杜学 斌；马辉；谢 凡；王建国
10	实用新型专利	一种钢管内壁淬火喷嘴	ZL202120175680.6	2021-11-19	王建国；谷瑞杰； 杜学斌；邵国栋； 马辉；姜芳芳
11	实用新型专利	一种压紧机构液压控制 装置	ZL 202020777432.4	2021-04-16	杜学斌；谷瑞杰； 马辉； 卫凌云
12	实用新型专利	一种复合式钢管淬火设 备	ZL 202020501408.8	2021-04-08	王建国；谷瑞杰； 杜学斌；徐能惠； 邵国栋；马辉； 郭居奇

13	实用新型专利	一种可清洗式钢管淬火供水装置	ZL202020852232.0	2021-03-19	高璐；杜学斌；邵国栋；王建国；李永辉；吴量
14	实用新型专利	一种淬火用外淋装置	ZL 202020669731.6	2021-01-29	高璐；杜学斌；邵国栋；马辉；李永辉；吴量
15	实用新型专利	一种夹紧缸加压减压切换回路	ZL202021449333X	2021-01-29	杜学斌；邵国栋；谷瑞杰；卫凌云；马辉
16	实用新型专利	一种钢管淬火设备	ZL 202020501086.7	2021-01-29	王建国；杜学斌；谷瑞杰；邵国栋；马辉；高璐；贾祥
17	实用新型专利	一种热态钢管在线快速反向对齐系统	ZL 202020015507.5	2020-11-03	王建国；杜学斌；谷瑞杰；邵国栋；张申；高璐
18	实用新型专利	一种通过式钢管调质生产线	ZL 201820169315.2	2018-09-25	高璐；杜学斌；徐能惠；李永辉；任明杰；马辉；高国杰
19	实用新型专利	一种钢管淬火设备的内喷供水装置	ZL 201820131034.8	2018-09-25	王建国；杜学斌；徐能惠；马辉；段锦涛；郝乐
20	实用新型专利	一种钢管淬火设备的内喷装置	ZL 201820131157.1	2018-09-25	王建国；徐能惠；杜学斌；高国杰；杨瑞轩；段锦涛
21	实用新型专利	一种淬火后的钢管内壁吹气干燥装置	ZL 201720717462.4	2018-02-06	王建国；徐能惠；杜学斌；马辉；高璐
22	实用新型专利	一种高度可调的钢管送料辊道	ZL 201720713237.3	2018-01-09	高国杰；杜学斌；王建国；马辉
23	实用新型专利	一种往复式钢管上下料台架	ZL 201720713245.8	2018-03-06	高国杰；杜学斌；高璐；任明杰
24	实用新型专利	一种升降式管杆端部定位装置	ZL201520515308.X	2015-11-18	高璐；杜学斌；徐能惠；李永辉
25	实用新型专利	一种箱型结构外淋管	ZL 201520618704.5	2016-02-03	任明杰；马辉；高璐；王建国

## 七、主要完成人情况

姓名	马辉	技术职称	高级工程师	排名	1
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				

对本项目技术创造性贡献： 作为总设计师成功开发出国内首套高品质钢管多功能高效淬火装备； 根据要求制定出淬火装备的主要技术参数，负责总平面布置及工艺的设计； 负责设备的总体设计、制造、安装调试协调工作； 研发了高品质钢管多功能高效淬火冷却工艺；					
姓名	杜学斌	技术职称	正高级工程师	排名	2
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献： 主要负责项目的工艺研究和机械液压设计； 研发了高品质钢管“外淋+内喷+槽浴+旋转”多功能淬火工艺； 研发了钢管外淋内喷均匀快冷技术； 研发了水位和水温动态精确控制槽浴均匀快冷技术； 研发了淬火钢管同步旋转装置和无损伤同步夹持技术。					
姓名	王建国	技术职称	高级工程师	排名	3
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献： 主要负责项目的机械设计和现场调试验收； 研发了高品质钢管“外淋+内喷+槽浴+旋转”多功能淬火工艺； 研发了钢管外淋内喷均匀快冷技术。					
姓名	周勇	技术职称	正高级工程师	排名	4
工作单位	衡阳华菱钢管有限公司				
完成单位	衡阳华菱钢管有限公司				
对本项目技术创造性贡献： 对本项目的可行性报告，项目报批等工作做出突出贡献，并提供工艺参数建立工艺参数库；对技术方案进行审核，研发了高品质钢管多功能高效淬火冷却工艺。					
姓名	高璐	技术职称	高级工程师	排名	5
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献： 主要负责项目的机械设计，进行项目质量管理； 研发了高品质钢管“外淋+内喷+槽浴+旋转”多功能淬火工艺； 研发了钢管外淋内喷均匀快冷技术； 对项目设备的技术先进性和质量管控，做出突出贡献。					
姓名	任明杰	技术职称	高级工程师	排名	6
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				
对本项目技术创造性贡献： 主要负责项目的液压设计； 研发了高品质钢管“外淋+内喷+槽浴+旋转”多功能淬火工艺； 研发了钢管外淋内喷均匀快冷技术。					
姓名	高国杰	技术职称	工程师	排名	7
工作单位	中国重型机械研究院股份公司				
完成单位	中国重型机械研究院股份公司				

<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>主要负责项目液压设计和现场安装调试；</p> <p>研发了水位和水温动态精确控制槽浴均匀快冷技术；</p> <p>研发了淬火钢管同步旋转装置和无损伤同步夹持技术。</p>
--

### 八、主要完成单位

单位名称	中国重型机械研究院股份公司	排名	1
<p>对本项目技术创新和应用的贡献：</p> <p>中国重型机械研究院股份公司为技术总负责及总体研发单位,对高品质钢管多功能高效淬火技术和装备的先进性、完整性和可靠性总负责。主要完成以下工作：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.研发高品质钢管多功能高效淬火技术，制定装备参数和技术要求；</li> <li>2.负责装备总体设计；</li> <li>3.负责装备机、电、液全套装备的设计和技术文件、控制软件的编制；</li> <li>4.承担装备中机械、液压、电气等的成套供货；</li> <li>5.负责全套装备的安装技术指导；</li> <li>6.负责装备调试、验收和功能考核的技术指导。</li> </ol> <p>中国重型机械研究院股份公司研制的高品质钢管多功能高效淬火技术和装备，工艺先进，设备可靠性高，打破了国内外现有技术，解决了高品质钢管多功能高效淬火技术和装备的关键技术工艺，该装备整体技术达到了国际先进水平。</p>			
单位名称	衡阳华菱钢管有限公司	排名	2
<p>对本项目技术创新和应用的贡献：</p> <p>衡阳华菱钢管有限公司负责整个项目中装备的安装；负责负荷试车和功能考核的生产准备及人员组织工作；与中国重型机械研究院股份公司共同解决调试中出现的技术问题。主要完成以下工作：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.负责项目的可行性报告和项目报批等工作；</li> <li>2.负责淬火工艺技术开发、组织项目实施和产品性能分析等工作；</li> <li>3.组织生产线安装调试、验收和功能考核；</li> <li>4.对各种热处理淬火生产工艺的结果数据进行了分析，印证并指导了淬火技术的进一步发展。</li> </ol>			

### 九、完成人合作关系说明

高品质钢管多功能高效淬火技术和装备研发及应用主要用于石油天然气、机械用管、炼化用管和电力锅炉管等高品质淬火钢管的制造，中国重型机械研究院股份公司成立了专门的研发机构，从 2010 年开始，进行高品质钢管多功能高效淬火技术和装备研究，积累了丰富的理论和实践经验。

中国重型机械研究院股份公司牵头成立专业研发项目团队进行积极科研、创新开发，通过理论研究、有限元模拟计算、实验研究等方法，成功研发出高品质钢管多功能高效淬火技术和装备。项目组的具体分工为：中国重型机械研究院股份公司的马辉为项目总设计师，杜学斌、王建国、高璐、任明杰、高国杰负责设备设计；王建国、高国杰负责设备的现场安装、调试和验收，高璐负责制造和质量管控。

衡阳华菱钢管有限公司作为使用单位，负责项目的可行性报告、项目报批和现场调试验收协调工作等工作，周勇负责淬火工艺技术开发、组织项目实施和产品性能分析等工作。

## 项目二十五

**一、项目名称：**油菜高含油量种质资源与育种技术创新及应用

**二、提名等级：**科技进步一等奖

**三、提名者及提名意见：**陕西省科学技术厅

陕西省杂交油菜研究中心和华中科技大学完成的“油菜高含油量种质资源与育种技术创新及应用”项目，研究揭示了甘蓝型油菜含油量形成的分子机理和油分积累的遗传机制，通过多基因聚合育种、黄籽育种、生态育种、小孢子培养等，经 15 年的连续选育，将油菜种质资源的含油量由 40%左右选育到 60%左右“居国际领先水平”。率先发现了苯磺隆可诱导油菜雄性不育，以其为主要有效成分研制出化学杂交剂 SX-1，揭示了其作用机制，公开了作用靶标；在 CMS、GMS、CIMS 杂交制种中成功应用 SX-1，有效解决了 CMS 微粉控制及 GMS 母本中可育株的去除难题，提高了杂交制种纯度及效益。雄性不育诱导技术广泛应用在我国油菜化学杂交育种和杂交制种上，促进了油菜杂种优势利用技术的发展；创新提出的“油菜高油种质+化学诱导”雄性不育杂优利用模式，引领和促进了我国油菜高油高产育种和推广。“居国际领先水平”。研发的五种杂交制种机械及其集成技术，突破了从种到收制种机械作业的技术难点，实现了杂交油菜制种的全程机械化，大大节省了人力、物力和成本，“达国内领先水平”。项目成果在全国冬、春油菜区推广应用 1600 万亩，新增社会经济效益 29.9 亿元。

该成果创新性突出、实用性强、应用范围广、经济和社会效益显著，极大地促进了我国油菜的产业发展和科技进步，为我国食用油安全作出了突出贡献。

### 四、项目简介：

油菜是我国第一大油料作物，年种植面积 1.1 亿亩左右，菜籽油占我国自产食用植物油的 50%。但我国目前食用植物油自给率仅 30%左右，对外依存度极高，极大地威胁着我国的粮油安全。而利用杂种优势是提高油菜产量、品质、含油量最为有效的方法。

由陕西省杂交油菜研究中心和华中科技大学完成的“油菜高含油量种质资源与育种技术创新及应用”项目，主要包括：甘蓝型油菜特高含油量种质资源的创制、育种技术及机理研究；绿色高效油菜化学杂交剂 SX-1 的发明及其推广应用；配套杂交制种机械装备及集成技术的研发和应用等 3 项内容。

本项目研究揭示了甘蓝型油菜高含油量形成的分子机理和油分积累的遗传机制，通过多基因聚合育种、黄籽育种、生态育种、小孢子培养等，经 15 年的连续选育，将杂交种的含油量由 40%左右选育到 50%以上，种质资源的含油量由 40%左右选育到 60%以上“居国际领先水平”。率先发现苯磺隆具有诱导油菜雄性不

育的较高活性，以其为主要有效成分研制发明的微量、高效、低毒的油菜化学杂交剂 SX-1 及使用技术（一种化学杂交剂组合物的使用方法，发明专利号 ZL 03 1 05389.0），揭示了其作用机理，公开了作用靶标（ALS），用其诱导的不育株率达 95%-100%。广泛应用于 CMS、GMS、CIMS，特别是对两个优良亲本，可直接用其中之一诱导雄性不育配制杂交种（CIMS），比 CMS、GMS 具有诸多优点。同时建立的“高油种质+化学诱导雄性不育”的高油品种选育技术模式，实现了油菜杂优利用快速、安全、高效的技术要求“居国际领先水平”。发明的油菜种子网室繁殖机械授粉装置、精量播种机、高效喷药机、油菜摘尖机、父本割除粉碎机等配套机械装备，集成了配套技术，解决了油菜机械杂交制种中的核心技术难题，实现了油菜杂交制种的全程机械化，达到“国内领先水平”。提高了杂交油菜制种的质量和效率，促使杂交油菜制种向着高产、高效、低成本的方向发展。保障了种子供应，促进了高油品种的大面积推广。

通过项目实施，仅陕西省杂交油菜研究中心从 2019-2023 年，就用两系（CIMS）化学诱导技术选育出国（省）审、登记的优质高油高产杂交油菜品种（含油量达 46%以上）9 个，获得国家发明专利 6 项，实用新型专利 4 项，地方标准 1 项，植物新品种权 2 项，发表 SCI 论文 10 篇，主要学报级论文 22 篇。推广种植 1600 万亩，新增社会经济效益 29.9 亿元。

该项目的实施有力地提升了我国优质高油高产杂交油菜的育种技术水平，加速了它的选育和推广，推动并促进了油菜科技进步。其技术路线正确，创新点突出，实用性强，社会及经济效益显著，应用前景广阔。

## 五、客观评价：

（1）陕西省科技厅 2009 年 4 月主持对陕西省杂交油菜中心完成的“甘蓝型油菜特高含油量育种技术与资源创新”成果进行了鉴定，认为该项目通过多基因聚合育种、黄籽育种、生态育种、小孢子培养等，经 15 年的连续选育，将油菜种质资源的含油量由 40%左右选育到 60%左右“居国际领先水平”（附鉴定意见）。同时对高含油量的机理进行了研究（附 SCI 论文 8 篇）。

（2）2023 年 7 月由陕西省科技厅农村科技发展中心主持评价的“油菜化学杂交剂的研究及应用”成果，评价结果认为该项目率先发现了苯磺隆高活性可诱导油菜雄性不育，研制出化学杂交剂 SX-1，揭示了作用机理，公开了作用靶标；在 CMS、GMS、CIMS 杂交制种中成功应用 SX-1，有效解决了 CMS 微粉控制及 GMS 母本中可育株去除难题，提高了杂交制种纯度及效益；创新提出“油菜高油种质+化学诱导雄性不育”杂优利用模式，引领和促进了我国油菜高油高产育种和杂优利用技术的发展。提升了我国油菜育种和产业的技术水平。该成果创新性突出“居国际领先水平”（附成果评价结论）。

（3）2023 年 7 月由陕西省科技厅农村科技发展中心主持，组织有关专家对“油菜杂交制种全程机械化技术研发及应用”成果，进行了评价，评价认为：该项目攻克了油菜制种中化学杂交剂喷施、辅助授粉、

亲本摘顶、父本割除粉碎等环节的机械化技术难题，研发了油菜种子网室繁殖机械授粉装置、油菜化学杂交剂机械化高效喷药的配套精量播种机、化学杂交剂机械化高效喷药机、油菜亲本打尖机、油菜父本割除粉碎机等 5 种装备，获国家专利，补齐了油菜杂交制种全程机械化的短板。实现了品种、农机、农艺相融合的油菜杂交制种全程机械化。大大提高了油菜制种质量和效率，保障了生产用种，加速了高含油量品种的推广，达到“国内领先水平”。（附成果评价结论）。

六、应用情况

近三年来，项目完成人成功选育出秦优 797、秦杂油 11、秦优 1806 等多个高油杂交种，在杂交制种中成功应用 SX-1 控制 CMS 微粉及 GMS 母本可育株的不育诱导，推广面积 228 万亩，新增社会经济效益 4.08 亿元；促进了高油品种的选育和推广以及杂种质量的提高，大大地增加了企业和农户的收益。

项目组提出的“油菜高油种质+化学诱导”雄性不育杂优利用技术，用杂交剂 SX-1 对 CMS 和 GMS 的不育诱导技术在国内 18 个省（区）60 多家大专院校、科研院所与种子生产单位合作研究、利用，获得了多项成果，产生了巨大的效益，促进了我国油菜产业的发展。

七、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	油菜特高油种质及其高油杂交种的选育方法	中国	ZL 2009 1 0023305.3	2009.7.13	1033019	陕西省杂交油菜研究中心	李殿荣，田建华，陈文杰，张文学，李永红，王灏
2	发明专利	一种化学杂交剂组合物的使用方法	中国	ZL0310 5389.0	2006. 4. 19	261429	陕西省杂交油菜研究中心	李永红，李殿荣，李建厂，田建华，何振才，穆建新
3	植物新品种权	秦优 33	中国	CNA200 90412.9	2014 年 1 月 1 日	20144111	陕西省杂交油菜研究中心	李殿荣，田建华，李永红，陈文杰，张文学
4	论文	Genetic dissection of seed oil and protein content and identification of networks associated with oil content in Brassica napus	中国	DOI: 10.1038/srep46295	2017 年 4 月 10 日	Scientific Reports	华中科技大学，陕西省杂交油菜研究中心	Hongbo Chao1,3,* Hao Wang2,* Xiaodong Wang1,4, Liangxing Guo1, Jianwei Gu1,Weiguo Zhao1,2, Baojun Li2, Dengyan Chen1, Nadia Raboanatahiry1 & Maoteng Li1,3
5	论文	Identification of the Relationship between Oil Body Morphology and Oil Content by Microstructure Comparison Combining with QTL Analysis in Brassica napus	中国	DOI:10.3389/fpls.2016.01989	2017 年 1 月 6 日	Frontiers in Plant Science	华中科技大学，陕西省杂交油菜研究中心	Jianwei Gu1, 2†, Hongbo Chao1 †, Hao Wang3, Yonghong Li 3, Dianrong Li 3, Jun Xiang 2, Jianping Gan2, Guangyuan Lu4, Xuekun Zhang4, Yan Long5 and Maoteng Li 1, 2*

6	论文	Improved application of tribenuron-methyl as a chemical hybridizing agent with forchlorfenuron for rapeseed hybrid breeding	中国	DOI 10.1007/s10681-017-2045-7	2017年10月23日	Euphytica	陕西省杂交油菜研究中心	Yong-Hong Li .Dian-Rong Li . Wu-Sheng Liang .Jian-Hua Tian . Jian-Chang Li. HaoWang . Mao-Teng Li . Xu-Peng Guo . Wen-Jie Chen .Zhen-Lan Zhang . Fei Mao .Wei-Guo Zhao
7	发明专利	化学杂交机械化高效喷药机	中国	ZL 2014 2 0138036.1	2014.8.6	1615236	陕西省杂交油菜研究中心	任军荣, 李殿荣, 田建华, 李永红, 杨建利, 曹永红
8	实用新型专利	一种制种油菜父本割除粉碎机	中国	ZL 2020 2 1940813.6	2021.6.18	13471078	陕西省杂交油菜研究中心	任军荣, 李殿荣, 穆建新, 曹永红, 张智, 王周礼, 王京宏, 杨建利
9	发明专利	一种高含油量抗病油菜种质的选育方法	中国	ZL 2016 1 1191885.3	2018.10.25	218240	陕西省杂交油菜研究中心	李永红, 李建厂, 郭徐鹏, 王灏, 李殿荣, 董育红, 张振兰, 陈文杰, 韦世豪, 赵小平
10	发明专利	一种应用化学诱导雄性不育进行油菜杂种改良的方法	中国	ZL 2012 1 0458549.6	2012.11.12	1647008	陕西省杂交油菜研究中心	李殿荣, 任军荣, 张智, 曹永红, 杨建利, 李永红, 田建华

## 八、主要完成人情况

姓 名	李殿荣	技术职称	研究员	排名	1
工作单位	陕西省杂交油菜研究中心				
完成单位	陕西省杂交油菜研究中心				
<b>对本项目技术创造性贡献:</b> 主持项目课题, 提出育种目标, 制定技术方案, 组织项目实施。主持高含油量育种, 并申请了“油菜特高油种质及其高油杂交种的选育方法”(第一名)和“一种化学组合物 SX-1 的使用方法”发明专利(第二名), 同时获得了多项与项目有关的专利, 发表了多篇相关的论文。					
姓 名	穆建新	技术职称	研究员	排名	2
工作单位	陕西省杂交油菜研究中心				
完成单位	陕西省杂交油菜研究中心				
<b>对本项目技术创造性贡献:</b> 会同主持人研究制定方案, 组织实施国家星火计划重大项目“高油高产优质杂交油菜新品种产业化开发”, 开展秦优 33、秦杂油 19 等杂交种生产与试验示范推广; 参与化学杂交剂 SX-1 及机械化制种机具研发及技术推广应用, 获授权专利 4 项。					
姓 名	任军荣	技术职称	研究员	排名	3
工作单位	陕西省杂交油菜研究中心				
完成单位	陕西省杂交油菜研究中心				
<b>对本项目技术创造性贡献:</b> 主要负责高油及其他相关油菜品种制种和栽培技术研究、种子生产和试验示范推广; 主持研发的油菜杂交制种关键环节机械并获得了“化学杂交机械化高效喷药机”“油菜化学杂交剂机械化高效喷药的配套精量播种机”“一种制种油菜父本割除粉碎机”等 4 项专利, 实现了油菜杂交制种全程机械化; 以主要完成人获专利 2 项; 促进了高油化学诱导杂交油菜品种的推广; 发表论文 3 篇; 参加选育高油化学杂交种 2 个。					
姓 名	李永红	技术职称	研究员	排名	4
工作单位	陕西省杂交油菜研究中心				
完成单位	陕西省杂交油菜研究中心				



对本项目技术创造性贡献：研发出绿色、高效、低成本化学杂交剂 SX-1 及其使用技术；建立了“高油种质+化学诱导雄性不育”的高油品种选育技术和多基因高效聚合育种的方法；优化了化学杂交剂 SX-1 的育种、制种、CMS 微粉调控技术并示范推广。发现并公开了该类杂交剂的作用靶标，揭示了该类杂交剂的作用机理；获相关授权发明专利 6 项，植物新品种权 1 项，陕西省地方标准 1 项；发表论文 16 篇（SCI 收录 3 篇）；参加选育高油化学杂交种 11 个。					
姓 名	王灏	技术职称	研究员	排名	5
工作单位	陕西省杂交油菜研究中心				
完成单位	陕西省杂交油菜研究中心				
对本项目技术创造性贡献：创建了规模化创制油菜高油 DH 种质技术体系，获得一批用于育种的高油种质。完成了高油油菜遗传多样性研究和分子指纹图谱构建，理清了高油资源遗传关系、多样性状况和利用方向。系统完成了细胞亚微、基因组、蛋白质组等不同水平的高油机理解析，揭示了不同含油量与细胞间隙、油滴大小、空间布局的关系；获得了 67 个含油量和 38 个蛋白质一致性 QTL，揭示了油—蛋白竞争性的遗传基础，鉴定获得 448 个酯脂相关候选基因和 11 个蛋白相关基因；筛选出含油量形成的关键候选基因，并对相关基因功能进行了验证。是主要科技创新第一项高油机理的发现者，是 8 篇代表性论文作者和高油种质创新技术发明人之一。					
姓 名	陈文杰	技术职称	副研究员	排名	6
工作单位	陕西省杂交油菜研究中心				
完成单位	陕西省杂交油菜研究中心				
对本项目技术创造性贡献：在国内首先采用无损检测方法——近红外快速无损检测技术及低频核磁共振技术开展油菜籽品质检测研究，建立了稳定、准确的含油量检测技术，对单位的种质资源及杂交后代进行含油量和品质检测，分类，鉴定筛选出一批高油种质，为油菜高含油量育种提供技术保障。获授权发明专利 2 项，植物新品种权 1 项。					
姓 名	张文学	技术职称	副研究员	排名	7
工作单位	陕西省杂交油菜研究中心				
完成单位	陕西省杂交油菜研究中心				
对本项目技术创造性贡献：协助主持人从事高油种质资源创新利用和品种选育；参与获得“油菜特高油种质及其高油杂交种的选育方法”发明专利，“秦优 33”植物新品种权、“秦荣 1 号”陕西省地方标准，以及相关品种选育。					
姓 名	栗茂腾	技术职称	教授	排名	8
工作单位	华中科技大学				
完成单位	华中科技大学				
对本项目技术创造性贡献：揭示了高含油量油菜形成的解剖学机理和分子生物学机理；定位了对含油量有重要贡献的 QTL 位点；通过转录组和蛋白质组学等手段找到了控制含油量的候选基因并进行了功能验证；发表相关研究 SCI 论文 2 篇。					
姓 名	李建厂	技术职称	副研究员	排名	9
工作单位	陕西省杂交油菜研究中心				
完成单位	陕西省杂交油菜研究中心				
对本项目技术创造性贡献：作为主要完成人，研究获得授权发明专利“一种化学杂交剂组合物的使用方法”“一种高含油量抗病油菜种质的选育方法”和“油菜化学杂交剂精准施药方法”3 项，实用新型专利“油菜化学杂交机械化精量播种机”1 项；主要开展 SX-1 杂交育种、制种、CMS 微粉调控及机械化施药技术与推广应用工作，发表论文 8 篇；参加选育化学杂交种 2 个。					
姓 名	王京宏	技术职称	高级农艺师	排名	10
工作单位	陕西省杂交油菜研究中心				
完成单位	陕西省杂交油菜研究中心				
对本项目技术创造性贡献：主要从事相关油菜品种种子生产和试验示范推广；参与获得“油菜化学杂交剂机械化高效喷药的配套精量播种机”“一种制种油菜父本割除粉碎机”等相关专利 3 项。					
姓 名	韦世豪	技术职称	助理研究员	排名	11
工作单位	陕西省杂交油菜研究中心				
完成单位	陕西省杂交油菜研究中心				
对本项目技术创造性贡献：主要从事相关油菜品种种子生产和试验示范推广；参与获得“一种高含油量抗病油菜种质的选育方法”等相关专利 2 项；发表相关论文 1 篇。促进了高油化学诱导杂交油菜品种的推广。					

姓 名	曹永红	技术职称	副研究员	排名	12
工作单位	陕西省技术转移中心				
完成单位	陕西省杂交油菜研究中心				
对本项目技术创造性贡献：主要从事相关油菜品种种子生产和试验示范推广；参与获得 “化学杂交机械化高效喷药机” “一种制种油菜父本割除粉碎机” 等相关专利 3 项。					
姓 名	王周礼	技术职称	高级农艺师	排名	13
工作单位	陕西省杂交油菜研究中心				
完成单位	陕西省杂交油菜研究中心				
对本项目技术创造性贡献：主要从事相关油菜品种种子生产和试验示范推广；参与获得 “油菜化学杂交剂机械化高效喷药的配套精量播种机” “一种制种油菜父本割除粉碎机” 等相关专利 3 项；促进了高油化学诱导杂交油菜品种的推广。					
姓 名	何振才	技术职称	研究员	排名	14
工作单位	陕西省杂交油菜研究中心				
完成单位	陕西省杂交油菜研究中心				
对本项目技术创造性贡献：主要从事油菜化学杂交剂的研发；参与获得授权发明专利 “一种化学杂交剂组合物的使用方法” 1 项。					
姓 名	郭徐鹏	技术职称	助理研究员	排名	15
工作单位	中国科学院遗传与发育生物学研究所				
完成单位	陕西省杂交油菜研究中心				
对本项目技术创造性贡献：主要从事油菜化学杂交剂研发；参与获得 “一种高含油量抗病油菜种质的选育方法” 等相关专利 2 项。					

## 九、主要完成单位情况及创新推广贡献

单位名称	排名	主要贡献
陕西省杂交油菜研究中心	1	负责项目的总体计划实施，在本研究的立项、实施、总结、鉴定及评价等整个过程中，中心均给予了人力、物力和财力的支持，主要完成了：甘蓝型油菜特高含油量资源的创制、育种技术及机理研究；绿色高效油菜杂交剂 SX-1 的发明及其推广应用；配套杂交制种机械装备及集成技术的研发及应用等工作。
华中科技大学	2	协助完成了甘蓝型油菜高含油量形成的分子机理和油分积累遗传机制研究；油菜化学杂交剂 SX-1 作用机理研究。

## 十、完成人合作关系情况

完成人合作关系情况表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作时间	合作成果	证明材料
1	共同立项、研究任务分	李殿荣、穆	2006.1	2021.6	项目结题、代

	担、共同总结成果	建新/第 1、第 2			表性成果 2、8
2	共同立项、研究任务分担、共同总结成果	李殿荣、任军荣/第 1、第 3	2012.11	2021.6	项目结题、代表性成果 7、8、10
3	共同立项、研究任务分担、共同总结成果、论文合著	李殿荣、李永红/第 1、第 4	2006.4	2021.6	项目结题、代表性成果 1、2、3、5、6、7、9
4	共同立项、研究任务分担、共同总结成果、论文合著	李殿荣、王灏/第 1、第 5	2009.7	2018.10	项目结题、代表性成果 1、4、5、6、9
5	共同立项、研究任务分担、共同总结成果、论文合著	李殿荣、陈文杰/第 1、第 6	2009.7	2018.10	项目结题、代表性成果 1、3、6、9
6	共同立项、研究任务分担、共同总结成果	李殿荣、张文学/第 1、第 7	2009.7	2014.1	项目结题、代表性成果 1、3
7	共同立项、研究任务分担、共同总结成果、论文合著	李殿荣、栗茂腾/第 1、第 8	2017.1	2017.10	项目结题、代表性成果 4、5、6
8	共同立项、研究任务分担、共同总结成果、论文合著	李殿荣、李建厂/第 1、第 9	2006.4	2018.10	项目结题、代表性成果 2、6、9
9	共同立项、研究任务分担、共同总结成果	李殿荣、王京宏/第 1、第 10	2021.6	2021.6	项目结题、代表性成果 8
10	共同立项、研究任务分担、共同总结成果	李殿荣、韦世豪/第 1、第 11	2018.10	2018.10	项目结题、代表性成果 9
11	共同立项、研究任务分担、共同总结成果	李殿荣、曹永红/第 1、第 12	2012.11	2021.6	项目结题、代表性成果 7、8、10
12	共同立项、研究任务分担、共同总结成果	李殿荣、王周礼/第 1、第 13	2021.6	2021.6	项目结题、代表性成果 8
13	共同立项、研究任务分担、共同总结成果	李殿荣、何振才/第 1、第 14	2006.4	2006.4	项目结题、代表性成果 2
14	共同立项、研究任务分担、共同总结成果、论文合著	李殿荣、郭徐鹏/第 1、第 15	2017.10	2018.10	项目结题、代表性成果 2、6、9

#### 完成人合作关系说明

本项目完成人及工作单位包括：李殿荣、穆建新、任军荣、李永红、王灏、陈文杰、张文学、李建厂、王京宏、韦世豪、曹永红、王周礼、何振才、郭徐鹏（陕西省杂交油菜研究中心），栗茂腾（华中科技大学）。

陕西省杂交油菜研究中心的李殿荣、穆建新、任军荣、李永红、王灏等是一个优秀的科研攻关团队。在科研项目申报执行、品种选育、专利申请、论文发表等方面有着密不可分的合作关系。长期以来在甘蓝型油菜特高含油量种质资源的创制、育种技术及机理研究，绿色高效油菜杂交剂 SX-1 的发明及其推广应用，配套杂交制种机械装备及集成技术的研发及应用等方面开展了深入的合作研究。

华中科技大学的栗茂腾研究员长期与我中心李殿荣研究团队合作开展甘蓝型油菜高含

油量形成的分子机理和油分积累遗传机制研究,以及油菜化学杂交剂 SX-1 作用机理研究等,共同在 Scientific Reports 和 Frontiers in Plant Science 等国外学术期刊发表学术论文 10 余篇。

## 项目二十六

一、项目名称:油菜绿色高效丰产关键技术创新与应用

二、提名等级:科技进步二等奖

三、提名者:陕西省科学技术厅

### 提名意见:

该项目属于现代农业技术领域农学中油料种植方向的应用研究。

油菜是我国最重要的油料作物,菜籽油是我国重要的食用植物油之一,在乡村振兴和国家粮油安全中的战略地位突出。该项目针对机械化程度低、化肥农药投入过量、单产低导致比较效益差这一制约我省油菜产业绿色高效高质量发展和生态协同提升的关键问题,以丰产为基础,绿色高效为目标,创新了陕西油菜绿色高效丰产理念,解析了油菜密植丰产栽培生理生态机理,筛选出适宜机械化生产的绿色油菜品种,研发出全程机械化高效生产和化肥农药减施增效 2 项关键技术,创建了油菜绿色高效生产“12345”新模式,并实现了技术标准化。项目具有原创性、前瞻性、实用性。

该项目揭示的规律、建立的理论方法对指导油菜产业应对机械化程度低、化肥农药投入过量、单产低、比较效益差和实现绿色高效可持续发展具有重要科学价值,研发的新技术、创建的新模式已在我省油菜主产区规模化应用,产生了显著的经济、社会和生态效益。三个创新性成果逻辑性、复制性、应用性强,为陕西油菜绿色高效高质量发展和生态协同提升提供了科技支撑,推动了机械化栽培技术和植物营养学等相关学科的发展和技术进步。推荐 2023 年陕西省科技进步二等奖。

### 四、项目简介

绿色高效丰产是油菜规模化生产的发展方向,针对我省油菜绿色高效生产水平低导致比较效益差这一制约油菜产业绿色高效高质量发展和生态协同提升的关键问题,项目组基于陕

西油菜两个生态区的共性和区域问题，以油菜绿色高效丰产与环境友好协同发展为核心，丰产为基础，绿色高效为目标，历时 7 年，创新了陕西油菜绿色高效丰产理念，解析了油菜密植丰产栽培生理生态机理，筛选出适宜机械化生产的绿色油菜品种，研发出全程机械化高效生产和化肥农药减施增效 2 项关键技术，创建了油菜绿色高效生产“12345”新模式，进行大面积推广应用，效益显著，为陕西油菜绿色高效高质量发展和生态协同提升提供了科技支撑。取得以下创新性成果：

### **1. 解析了油菜密植丰产栽培生理生态机理，揭示了产能提升原理**

通过对油菜叶片、角果和群体光合生理的系统观测，发现花期叶片和灌浆成熟期角果的光合能力（光合面积和光合速率）对籽粒产量和含油量具有显著影响，提出增大“库”容量即油菜叶片数和角果数是丰产栽培的重要方向；基于结构方程模型对连续 10 年选育的 168 个品种的产量及不同密度下产量和相关性状分析，研究发现单株有效角果数对单株产量的贡献最大，因此要选择具有耐密性和更多有效角果数和分枝数的品种来综合提高油菜产量；确定了丰产密度，解析了油菜单株和群体产量的限制因素和可提升的方向，为陕西油菜密植丰产栽培提供了理论依据。

### **2. 研发出油菜绿色高效丰产 3 项关键技术，创新了产能提升途径**

#### **（1）筛选出绿色油菜品种，为油菜绿色高效生产提供了良种**

针对油菜生产中化肥农药投入过量，农业面源污染大，绿色品种缺乏等问题，优选市场上推广的具有抗根肿病或抗除草剂特性的优质商品油菜品种，通过抗性鉴定，筛选出 5 个较强抗性的抗根肿病适宜品种，并优化其栽培技术，减少了农药施用量、降低了油菜根肿病防治和除草用工成本、提高了产量。通过 5 个主推品种不同施肥处理定位试验，揭示了 5 个主推品种的氮肥回收效率、氮肥偏生产力和氮利用效率的年际变化规律，明确了不同氮效率品种差异的生理和农艺学特征，筛选出适宜机械化生产的氮高效油菜品种 2 个，提高了肥料利用率，减少了化肥用量，为我省油菜绿色高效生产提供了绿色油菜品种。

#### **（2）破解了油菜全程机械化生产技术难题，实现了从种到收全程机械化**

为有效降低劳动力投入、实现油菜高效生产，综合考虑陕西两大油菜生态区轮作制度和生产实际，通过油菜生产技术集成化、劳动过程机械化研究，集成研发出种肥异位同播一体化技术，实现了灭茬旋耕、开沟作畦（陕南）、定额施肥、精量直播、覆土一体化作业；研发出油菜病虫草无人机超低容量绿色综合防控技术，实现了高效精准施肥喷药，绿色低损；研发的机械化分段收获技术，提高了油菜对天气和机械的适应性，低损高效且腾茬早；并获得相关技术的若干关键参数，创建了油菜全程机械化高效生产技术体系；选型、改装出适宜的多功能油菜精量直播机、割晒机、捡拾脱粒机各 1 台，实现了油菜从种到收全程机械化，省工 80%以上，创新了油菜生产和经营理念，为陕西油菜高效生产和转型升级提供了科技支撑。

### **（3）创新了化肥农药减施增效技术，为油菜绿色高效发展提供了新途径**

以化肥和农药减施增效为核心，以突破减施途径和创新减施产品与技术装备为抓手，通过对油菜需肥规律、配方施肥以及其病虫害发生规律的系统研究，探明了油菜专用缓释肥、控失尿素、盾壳霉生物制剂的作用机制，并获得油菜绿色防控技术的若干关键参数，明确了油菜氮肥优化施用量，制定了油菜化肥定额施用技术规程，创新了油菜化肥农药减施增效技术；建立了陕南水旱轮作区和关中旱旱轮作区油菜化肥农药减施综合技术模式，实现了化肥农药减量、油菜增效和环境友好协同发展。油菜化肥农药减施增效技术入选第四届全国（杨凌）油菜科技大会（2022）推介技术。

### **3. 创建了油菜绿色高效生产“12345”技术模式，提供了产能提升方案**

以丰产为基础，绿色高效为目标，种肥药一体，品种农艺农机融合，采取密植丰产路径和绿色品种+全程机械化高效生产技术+化肥农药减施增效技术的绿色高效生产方式，创建了油菜绿色高效生产“12345”技术模式，实现了陕西油菜绿色高效生产：省工、每亩用工1个以下（简称1）；减量、肥药减施25%（简称2）；节本、亩生产成本350元左右（简称3）；增产、亩产量400斤左右（简称4）；增效、纯收益500元以上（简称5）。油菜绿色高效生产“12345”技术模式以陕西油菜主产区汉中、安康为重点应用示范区域，辐射带动该技术在渭南、咸阳、宝鸡等地油菜产区的广泛应用，这一技术模式促进了陕西油菜生产、经营模式改变，提高了油菜生产机械化程度，实现了化肥农药减量、油菜增效和环境友好协同发展，为油菜产业提质增效和高质量发展提供了陕西样板。

立足国家粮油安全战略需求、产业发展需求和农民需求，围绕油菜绿色高效丰产关键技术创新与应用，项目组发表高水平论文18篇，其中SCI收录1篇；参加出版专著《油菜化肥农药高效施用技术与集成模式》1部；授权国家专利4件（发明专利3件、实用新型专利1件）；主导制定地方标准2项；培养毕业研究生1人；油菜绿色高效生产“12345”集成技术入选陕西省2022年粮油生产主推技术。近三年，该成果在陕西油菜主产区应用效益显著，体现出广阔的应用前景。

## **五、客观评价：（包括该项目科技成果鉴定意见、国内外对本项目研究成果的引用情况）**

### **1. 项目验收意见**

陕西省科技厅组织有关专家对主持完成的陕西省重点研发计划项目“陕南油菜全程机械化生产技术集成与示范”（2017ZDXM-NY-007）”进行了会议验收，认为筛选出3个适宜机械化生产的油菜品种；选型、改装出适宜陕南油菜机械化生产的多功能油菜精量直播机、割晒机、捡拾脱粒机各1台。建立油菜全程机械化生产示范点3个，与人工作业相比作业成本降低80%以上，发表论文3篇，形成技术模式1套。

以周卫院士为组长的专家组对承担完成的“十三五”国家重点研发计划项目“油菜化

肥农药减施技术集成研究与示范”（2018YFD0200900）课题“中部地区冬油菜化肥农药减施技术模式建立与示范（2018YFD0200904）”进行了会议验收，认为研发完善了前茬秸秆覆盖还田、根肿病综合防控、农药周年统筹施用等区域特色技术，并获得关键参数；集成建立了汉江平原、豫南、陕南水稻-油菜轮作区和中部地区玉米-油菜轮作区冬油菜化肥农药减施综合技术模式，并在中部油菜主产区大面积推广应用。制定地方标准 1 项，发表论文 14 篇，参与出版专著 1 部。综合技术模式示范推广 130.4 万亩，辐射应用 262.7 万亩，化肥农药分别平均减量 30.9%和 47.9%，化肥农学效率提高 39.0%，农药利用率提高 10.6 个百分点，油菜籽平均增产 6.9%，平均每亩节本增收 99 元。为实现项目总体目标做出了重要贡献。

## 2. 国内外同行评价

项目组成员先后受邀在国内重要学术会议上作报告 10 余次。油菜全程机械化生产技术和油菜化肥定额施用技术规程先后登记为应用类科技成果(批准登记号分别为 612021Y0305、9612023Y1967)，油菜绿色高效生产“12345”集成技术入选陕西省 2022 年粮油生产主推技术【陕农便函〔2022〕286 号】和第三届全国（杨凌）油菜科技大会（2021）推介技术，油菜化肥农药减施增效技术入选第四届全国（杨凌）油菜科技（2022）大会推介技术。

先后主办陕南油菜全程机械化生产技术展示会暨研讨会（2016）、油菜绿色高效高质量发展培训观摩会（2020）、扩油增效-油菜玉米轮作高产高效模式现场观摩会（2022）、关中油菜机收减损提质增效观摩会（2022）和第三届（2021）、第四届（2022）第五届（2023）全国（杨凌）油菜科技大会等，共吸引了来自全国 20 余省份的 1500 余人参加。陕西广播电视台《新闻联播》、农林卫视、《陕西日报》、《农业科技报》等主流媒体及重大活动对项目成果进行了展示和报道，对我国油菜产业科技创新产生了巨大的引领和推动作用。

## 3. 获得的相关知识产权

立足国家粮油安全战略需求、产业发展需求和农民需求，围绕油菜绿色高效丰产关键技术创新与应用，项目组先后在 European Journal of Agronomy 等发表高水平论文 18 篇，参加出版专著《油菜化肥农药高效施用技术与集成模式》1 部；授权国家发明专利 3 件、实用新型专利 1 件。主导制定陕西省粮油生产主推技术 1 项、地方标准 2 项。

## 六、应用情况

项目通过试验研究与技术示范推广相结合、技术培训与实践指导相结合的推广路径进行成果应用，主要与市县区农业技术推广中心、农机中心、种子管理站、专业合作社和种植大户等紧密合作，在陕西油菜主产区建立示范点开展示范推广与技术服务。制定陕西粮油生产主推技术 1 项、地方标准 2 项。筛选出的适宜机械化高效生产绿色油菜品种、研发的油菜全程机械化高效生产和化肥农药减施增效技术在陕南、关中等地进行多年连续试验示范与技术推广应用，发挥示范引领和辐射带动作用。同时广泛开展了多种形式的技术培训与服务，通

过举办研讨会、观摩会、培训会，在农技人员及种植大户中进行技术推广，利用网络、电视、广播、直播、报纸等媒体资源宣传和制定省、市级技术规程，极大地促进了技术的落地生效，扩大成果的应用规模，累计培训技术人员和农民 1.2 万余人次，取得了显著的经济、生态和社会效益。

七、主要知识产权和标准规范目录（发明奖和进步奖填写，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	标准规范	油菜化肥定额施用技术规程	中国	DB61/T 1549-2022	2022 年 7 月 27 日	陕西省市场监督管理局	陕西省杂交油菜研究中心、陕西省耕地质量与农业环境保护工作站、西安市质量与标准化研究院、杨凌现代农业产业标准化研究推广服务中心	杨建利、王春丽、张智、王迁、任军荣、王周礼、穆建新、徐文华、何峰、王晨光、张莉、李晨光、王晓娥、郑清芳、杨静
2	标准规范	油菜硒菜薹 第 1 部分：栽培技术规程	中国	DB 6109/T 287—2022	2022 年 7 月 1 日	安康市市场监督管理局	安康市富硒产品研发中心、安康市农业技术推广中心、中国农业科学院油料作物研究所、汉阴县绿源家庭农场有限公司、陕西安康天瑞塬生态农业有限公司、紫阳县领东种养殖农民专业合作社	李成军、王志荣、夏曾润、张立君、晏艳、唐德新、顿小玲、朱庭强、陈潇、田珩、胡松、李婉钰、杨永宙、刘文、徐明妍、张旭、蒋晓琰、杜小平、卜贤盼、刘瑞红
3	发明专利	一种测定植物角果光合特性的方法	中国	ZL 201510575604 .3	2017 年 11 月 14 日	2697261	陕西省杂交油菜研究中心	王春丽，杨建利，海江波，陈文杰，赵小光，李建昌，张耀文



4	发明专利	一种检测油菜角果皮光合色素含量的方法	中国	ZL 2016 1 110030 8.9	2019 年 7 月 30 日	347363 4	西北农林科技大学	王春丽,刘景玲, 梁宗锁, 陈洁, 杨建利, 王周礼
5	发明专利	一种春油菜高光效种质的筛选方法	中国	ZL 2019 1 007136 1.8	2022 年 02 月 11 日	492739 5	陕西省杂交油菜研究中心	赵小光、张耀文、陈文杰、赵兴忠、王竹云、侯军利、王丽萍、张新
6	实用新型专利	一种背负式精量播种器	中国	ZL 2015 2 066916 3.9	2015 年 12 月 30 日	490171 8	杨建利	杨建利,王春丽, 海江波, 陈婷, 平亚琴, 王周礼, 任军荣
7	论文	Influence of leaf and silique photosynthesis on seed s yield and seeds oil quality of oilseed rape (Brassica napus L.)	法国	doi.org/10.1016/j.eja.2015.12.008	2015 年 12 月 8 日	European Journal of Agronomy	陕西省杂交油菜研究中心	王春丽 、海江波、杨建利、田建华、陈文杰、陈婷、罗红波、王灏
8	论文	基于结构方程模型的油菜性状和产量关系研究	中国	Doi:1.7505/j.issn.1007-9084.2019.01.	2019 年 2 月 5 日	中国油料作物学报	西北农林科技大学、陕西省杂交油菜研究中心、中国科学院	毛鑫、杨建利、周翔、王乃江、姬祥祥、冯浩、何建强

				005			水利部水土保持研究所	
9	著作	油菜化肥农药高效施用技术与集成模式（长江中游油玉轮作和陕南稻油轮作部分）	中国	ISBN 978-7-109-28229-2	2021年6月1日	中国农业出版社	陕西省杂交油菜研究中心	杨建利、李永红、王春丽、张智、李建厂、张振兰、王美宁
10	论文	陕南地区冬油菜种植体系中的氮肥优化施用量	中国	doi: 10.19802/j.issn.1007-9084.2021246	2022年10月20日	中国油料作物学报	陕西省杂交油菜研究中心、西北农林科技大学资源环境学院	王小军、王春丽、张智、杨建利、高亚军

## 八、主要完成人情况

姓名	排名	行政/技术职称	工作单位/完成单位	对本项目技术创造性贡献
杨建利	1	副研究员	陕西省杂交油菜研究中心	项目主持人，提出总体思路与方案，主持项目实施和总结。对本项目技术创造性贡献表现在创新性成果一、二、三。
王春丽	2	副研究员	陕西省杂交油菜研究中心	对本项目技术创造性贡献表现在创新性成果一、二、三。
张智	3	副科长/助理研究员	陕西省杂交油菜研究中心	对本项目技术创造性贡献表现在创新性成果二、三。
李成军	4	副站长/高级农艺师	安康市农业技术推广中心	制定了安康市地方标准油菜硒菜薹 第一部分：栽培技术规程，参与油菜绿色高效生产“12345”技术模式的效果评价、田间试验和在安康市的示范。
何峰	5	高级农艺师	汉中市南郑区农业技术推广与培训中心	制定了陕西省地方标准油菜化肥定额施用技术规程，参与完成油菜全程机械化高效生产和化肥农药减施增效技术

				的效果评价、田间试验和南郑区示范。
张振兰	6	助理研究员	陕西省杂交油菜研究中心	筛选出 5 个较强抗性的抗根肿病适宜品种，研究提出化肥农药减施增效技术，开展技术示范应用与推广。
赵小光	7	助理研究员	陕西省杂交油菜研究中心	参与完成冬油菜光合与产量和品质的关系及机理和化肥农药减施增效技术研究与应用。
何建强	8	教授	西北农林科技大学	参与基于结构方程模型的油菜性状和产量关系开展栽培生理生态机理。
王小军	9	博士研究生	西北农林科技大学	筛选出氮高效品种，研究提出化肥农药减施增效技术，开展示范应用与推广。
史莉娜	10	高级农艺师	汉中市农业技术推广与培训中心	参与完成油菜绿色高效生产“12345”技术模式的效果评价、田间试验和在汉中的示范。

### 九、主要完成单位情况

单位名称	排名	主要贡献
陕西省杂交油菜研究中心	第一	陕西省杂交油菜研究中心作为组织管理单位为项目的实施提供了必要的科研信息咨询、人员保障、资金、试验基地、仪器设备和设施，田间示范应用等必要条件，为项目的申报、验收、成果材料撰写等多方面提供支持和保障。对本成果科技创新和推广应用情况主要贡献为：创新了陕西油菜绿色高效丰产理念，解析了油菜密植丰产栽培生理生态机理，筛选出适宜机械化生产的绿色油菜品种，研发出全程机械化高效生产和化肥农药减施增效 2 项关键技术，创建了油菜绿色高效生产“12345”新模式，并进行大面积示范应用。
西北农林科技大学	第二	西北农林科技大学作为项目第二完成单位，主要协助第一完成单位，参与完成基于结构方程模型的油菜性状和产量关系开展栽培生理生态机理研究和化肥农药减施增效技术研究。
安康市农业技术推广中心	第三	安康市农业技术推广中心作为项目第三完成单位，主要协助第一完成单位，制定了安康市地方标准《油菜薹 第一部分：栽培技术规程》，参与完成油菜全程机械化高效生产、化肥农药减施增效技术及油菜绿色高效生产

		“12345”技术模式的效果评价、田间试验，在安康市开展相关新技术、新模式的示范、推广应用和培训等工作。
汉中市农业技术推广与培训中心	第四	汉中市农业技术推广与培训中心作为项目第四完成单位，主要协助第一完成单位，参与完成油菜全程机械化高效生产、化肥农药减施增效技术及油菜绿色高效生产“12345”技术模式的效果评价、田间试验，在汉中市开展相关新技术、新模式的示范、推广应用和培训等工作。

## 十、完成人合作关系情况

完成人合作关系情况表						
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	共同制定标准规范	杨建利/1 王春丽/2 张智/3 何峰/5	2018.01.01	2022.06.27	油菜化肥定额施用技术规程	附件 1-1-1 附件 2-1-1 附件 2-1-14
2	知识产权	杨建利/1 王春丽/2 赵小光/7	2014.01.01	2017.11.14	一种测定植物角果光合特性的方法	附件 1-1-3 附件 2-1-3
3	共同知识产权	杨建利/1 王春丽/2	2014.01.01	2017.12.30	一种检测油菜角果皮光合色素含量的方法、一种背负式精量播种器	附件 2-2-1  附件 2-2-3
4	论文合著	杨建利/1 王春丽/2	2014.01.01	2017.01.01	Influence of leaf and silique photosynthesis on seeds yield and seeds oil quality of oilseedrape (Brassica napus L.)	附件 2-2-4
5	论文合著	杨建利/1 何建强/8	2018.01.01	2020.12.30	基于结构方程模型的油菜性状和产量关系研究	附件 2-2-5
6	著作合著	杨建利/1 王春丽/2 张智/3	2018.01.01	2020.12.30	油菜化肥农药高效施用技术与集成模式	附件 2-1-1 附件 2-2-6

		张振兰/6				
7	论文合著	杨建利/1 王春丽/2 张智/3 王小军/9	2018.01.01	2020.12.30	陕南地区冬油菜种植 体系中的氮肥优化施 用量	附件 2-1-1 附件 2-1-5 附件 2-1-6 附件 2-2-7
8	共同 立项	杨建利/1 李成军/4 史莉娜/10	2020.01.01	2022.12.31	油菜绿色高效栽培技 术研究集成与应用	附件 2-1-4 附件 2-1-5 附件 2-1-6 附件 2-1-16

#### 完成人合作关系说明（限 1000 字）

本项目完成人及工作单位包括：杨建利、王春丽、张智、张振兰、赵小光（陕西省杂交油菜研究中心）、李成军（安康市农业技术推广中心）、何峰（汉中市南郑区农业技术推广与培训中心）、何建强、王小军（西北农林科技大学）、史莉娜（汉中市农业技术推广与培训中心）。

杨建利负责项目总体设计、实施方案制定及任务分工落实。王春丽、张智、李成军、何峰、张振兰、赵小光、何建强、王小军、史莉娜以分工协作方式开展基础理论研究、技术研发、试验示范及推广应用工作。

杨建利与王春丽、张智通过共同立项、论文合著、专著合著、共同知识产权、共同参与制定标准规范，围绕油菜全程机械化高效生产、化肥农药减施增效、绿色高效生产“12345”集成技术等开展合作研究和技术推广与应用；与李成军、史莉娜通过共同立项、产业合作，围绕油菜绿色高效生产“12345”集成技术等开展合作研究和技术推广应用；与何峰通过共同参与制定标准规范、产业合作，围绕油菜全程机械化高效生产和化肥农药减施增效技术的效果评价、田间试验和示范等开展合作研究；与张振兰通过共同立项、专著合著，围绕化肥农药减施增效技术开展合作研究和技术推广与应用；与王小军通过共同立项、论文合著，围绕化肥农药减施增效技术开展合作研究和技术推广与应用；与何建强通过共同立项、论文合著，围绕基于结构方程模型的油菜性状和产量关系开展栽培生理生态机理合作研究。

王春丽与杨建利、赵小光通过共同立项、共同知识产权，围绕冬油菜光合与产量和品质的关系及机理开展合作研究。

**一、项目名称：**航天工程专用高精度高可靠旋转变压器系列化产品研制及应用

**二、提名单位：**陕西省科学技术厅

**三、提名意见：**

本项目研制的高频高精度双余度双通道旋转变压器为新一代交流伺服控制技术用角位传感元件的先进代表，其精度高、响应快、可靠性高代表着角位传感元件的发展方向。本项目研制成功，为探月及空间站机械臂关节快速精准定位、适应复杂工作环境及可靠运行提供切实有效的基础保障。在开展中形成的双余度设计技术、高频励磁下的高精度双通道旋转变压器设计技术、薄壁窄环异形环形变压器设计、超强环境适应性等关键技术将会成为高精度角位传感元件设计专有技术。高精度双通道旋转变压器研究项目所开发的产品达到国内领先、国外先进水平，所解决的关键技术对其它相关产品研究具有极其重要的现实指导意义。目前，我国正在进行载人登月、空间站、高分卫星等重大航天项目，本项目的顺利完成将有助于为上述项目后续工程提供高性能高可靠性的产品。

建议提名为陕西省科学技术进步奖三等奖。

**四、项目简介：**

该项目主要解决我国航天工程专用高精度高可靠旋转变压器系列化产品的研制问题。为满足全寿命周期需求，应用于空间站的双通道旋转变压器电磁和结构上采用双余度和无刷化设计，以实现高可靠和长寿命。应用于探月工程的双通道旋转变压器进行密封、抗冲振及耐高低温技术进行研究，以适应落月强冲击和月尘等环境条件。

该项目的研制，为航天工程提供高精度、高可靠的角位传感元件，形成我国自有的角位传感专有技术，对我国未来的空间站、登月载人、高分卫星、北斗卫星、风云卫星等工程的技术进步和发展具有深远的重要意义。

**五、客观评价：**

本项目为国家重点工程及武器装备研制，在关键技术研究及其产品高性能指标等方面取得了重点突破，其成果已为此类产品的开发、生产等重要环节建立良好的技术平台，解决了质量稳定的小批量供货，可满足高性能各类装备配套的急需。

根据本项目研究内容研制的双通道旋转变压器已成功应用于探月工程表取机械臂，圆满完成月球采样任务；已跟随空间站舱外实验舱机械臂完成规定任务。

本项目研制的高频高精度双余度双通道旋转变压器为新一代交流伺服控制技术用角位传感元件的先进代表，其精度高、响应快、可靠性高代表着角位传感元件的发展方向。项目开始时，只有俄罗斯和美国有双余度无接触双通道旋转变压器的产品报道，未见详细技术资

料。我所从十一五初期开始研究高频高精度双余度双通道旋转变压器，本项目研制成功，为机械臂关节快速精准定位、适应复杂工作环境及可靠运行提供切实有效的基础保障。

本项目开展中形成的双余度设计技术、高频励磁下的高精度双通道旋转变压器设计技术、薄壁窄环异形环形变压器设计、超强环境适应性等关键技术将会成为高精度位置传感元件设计专有技术。

航天工程专用高精度高可靠旋转变压器研究项目所开发的产品达到国内领先、国外先进水平，所解决的关键技术对其它相关产品研究具有极其重要的现实指导意义。目前，我国正在进行载人登月、空间站、高分卫星等重大项目，本项目的顺利完成将有助于为上述项目后续工程提供高性能高可靠性的产品。

六、应用情况：

本项目解决了高精度旋转变压器关键技术问题，已成功应用于探月工程表取机械臂圆满完成月球采样任务。已跟随空间站舱外实验舱机械臂完成规定任务。

借助于该项目关键技术的研究成果，项目组对相关国家重点工程及武器装备研制单位的需求进行充分调研，研制了已批量供货的 18°、40°、48°、60°、69°、70°、72°、73°、75°、91°、159°、164°、200°等机座几十种高频、双余度、双通道、无接触旋转变压器，满足了国家重点工程配套需求。

七、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	一种多余度双通道无接触旋转变压器	中国	ZL201410119734.1	2016年08月03日	2158188	西安微电机研究所	樊君莉
2	实用新型专利	一种环形变压器式信号传输装置	中国	ZL201120560025.9	2012年08月08日	2340211	西安微电机研究所	沈桂霞
3	实用新型专利	一种短轴向结构环形变压器	中国	ZL201620692691.0	2017年02月08日	5902937	西安微电机研究所	沈桂霞、孙忠伟
4	标准	多极和双通道旋转变压器通用技术条件	中国	GB/T10404-2017	2017年11月01日	中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局/中国国家标准化管理委员会	西安微电机研究所	沈桂霞
5	标准	旋转变压器通用技术条件	中国	GB/T102416-2020	2020年12月14日	国家市场监督管理总局/国家	西安微电机研究所	沈桂霞



						标准化管理委员会		
6	论文	双通道旋转变压器在系统中编码错误的分析与处理	中国	2018年51卷65页	2018年02月28日	微电机	西安微电机研究所	沈桂霞、樊君莉、单聪、陈祺、李晓航
7	论文	角位传感电机	中国	2008年9卷759页	2008年10月01日	中国电气工程大典	西安微电机研究所	樊君莉
8	论文	向量图在信号电机设计及测试中的应用	中国	2003年36卷39页	2003年12月25日	微电机	西安微电机研究所	沈桂霞
9	论文	控制电机发展综述	中国	2006年7期50页	2006年07月01日	电气技术	西安微电机研究所	樊君莉
10								

#### 八、主要完成人情况表

姓 名	沈桂霞	排 名	1
行政职务	主任工程师		
技术职称	正高级工程师		
工作单位	西安微电机研究所有限公司		
完成单位	西安微电机研究所有限公司		
对本项目主要学术贡献：			
项目负责人，负责典型产品的关键技术攻关及专利申报；负责典型产品设计方案制定、生产追踪及测试分析，校核全套技术文件。贡献对应“四 主要科技创新”第2项科技创新点抗干扰及误差补偿技术和第3项科技创新点薄壁窄环异形环形变压器设计，创新点薄壁窄环异形环形变压器设计对应实用新型专利“一种短轴向结构环形变压器”，是第1发明人，负责环形变压器结构的提出及理论分析。			

姓 名	樊君莉	排 名	2
行政职务	主任工程师		
技术职称	正高级工程师		
工作单位	西安微电机研究所有限公司		
完成单位	西安微电机研究所有限公司		

对本项目主要学术贡献：			
项目负责人，负责项目总体方案制定，负责典型产品的关键技术攻关及专利申报；审批全套技术文件。贡献科技创新点为双余度设计。			
姓 名	孙忠伟	排 名	3
行政职务	研发中心副主任		
技术职称	工程师		
工作单位	西安微电机研究所有限公司		
完成单位	西安微电机研究所有限公司		
对本项目主要学术贡献：			
负责典型产品的图纸及工艺设计，生产追随，测试分析，参与薄壁窄环异形环形变压器设计关键技术攻关以及专利申报。对应科技创新点为薄壁窄环异形环形变压器设计。			
姓 名	陈玉刚	排 名	4
行政职务	部门主管		
技术职称	副高级工程师		
工作单位	西安微电机研究所有限公司		
完成单位	西安微电机研究所有限公司		
对本项目主要学术贡献：			
负责前期市场（需求）调研，组织立项论证，主持合同评审及商务合同签订，确认项目任务要求，参与项目全过程管理。			
姓 名	陈峰	排 名	5
行政职务	副总工艺师		
技术职称	副高级工程师		
工作单位	西安微电机研究所有限公司		
完成单位	西安微电机研究所有限公司		
对本项目主要学术贡献：			
负责典型产品的工艺方案制定，工装文件审批。结合关键技术，进行工艺攻关及验证。			
姓 名	张学成	排 名	6
行政职务	主任工程师		
技术职称	副高级工程师		
工作单位	西安微电机研究所有限公司		
完成单位	西安微电机研究所有限公司		

对本项目主要学术贡献： 负责典型产品测试技术方案制定，解决试验中遇到的问题，提出合理化建议。			
姓 名	刘晓健	排 名	7
行政职务	航天项目主管		
技术职称	副高级工程师		
工作单位	西安微电机研究所有限公司		
完成单位	西安微电机研究所有限公司		
对本项目主要学术贡献： 组织并参与典型产品方案评审、转阶段评审，审查相关研究报告，参与工艺改进。			

## 九、主要完成单位情况表

单位名称	西安微电机研究所有限公司
对本项目主要学术贡献：项目唯一承担单位。	

## 十、完成人合作关系说明

项目完成人沈桂霞、樊君莉、孙忠伟、陈玉刚、陈峰、张学成、刘晓健均为西安微电机研究所有限公司科研技术人员，是“航天工程专用高精度高可靠旋转变压器系列化产品研制及应用”项目团队的核心人员，已进行长期合作。

## 项目二十八

一、项目名称：空间站泵阀风机用高可靠长寿命全国产化控制器关键技术研究及应用

二、提名单位：陕西省科学技术厅

三、提名意见：

本项目用于空间站高可靠性泵阀风机类产品驱动控制。解决了空间站系统长寿命、高可靠性、小型化设计要求，从而保障我国空间站长期稳定可靠运行；通过关键核心技术攻关及自主创新，完成了空间站系统配套的泵阀风机用 18 型驱动控制器的研制工作，实现了产品的长寿命、高可靠性要求；实现了产品全国产化的目标，摆脱了重点型号研制受制于欧美国家的风险，为我国空间站的建成提供了重要保障。

拟提名为陕西省科学技术进步奖二等奖。

四、项目简介：

本项目用于空间站高可靠性泵阀风机类产品驱动控制。解决了空间站系统长寿命、高可靠性、小型化设计要求，从而保障我国空间站长期稳定可靠运行；通过关键核心技术攻关及自主创新，完成了空间站系统配套的泵阀风机用 18 型驱动控制器的研制工作，实现了产品的长寿命、高可靠性要求；实现了产品全国产化的目标，摆脱了重点型号研制受制于欧美国家的风险，为我国空间站的建成提供了重要保障。

五、客观评价：

本项目研制的高可靠、长寿命、全国产化的泵、阀、风机用驱动控制器应用于国家重点工程型号，项目在关键技术研究及产品小型化、国产化、高性能指标方面取得了重点突破，其成果已为此类产品的设计开发、生产制造、试验验证等环节建立了良好的技术平台，形成了质量稳定小批供货的能力，满足了国家重点型号对此类产品工程化产品的需求。

本项目的研制将宇航级泵、阀、风机驱动控制器体积及重量减小 30%以上，减少了整个系统上行对推进燃料的需求；将产品连续工作寿命提高到 15 年以上，可靠度达到 0.995 以上，技术成熟度达到了九级；控制器所用元器件实现了 100%国产化设计，实现了自主可控目标。为我国空间站热控分系统、环控分系统、推进分系统的可靠运行提供了基础保障，为航天员在轨科研任务及出舱活动提供了有力保障，为我国 2022 年空间站的建成作出了重要贡献，创造了很好的社会效益和经济效益。

本项目研制的高可靠、长寿命、全国产化泵、阀、风机用驱动控制器达到国内领先、国外先进水平，所解决的关键技术对其他相关产品的研究具有重要的现实指导意义。目前我国

正在进行载人登月工程、“巡天”平台、“探火”工程等重大项目，本项目的顺利完成将有助于推动上述工程的技术进步和发展，并可为其提供高性能高可靠的工程化产品。

## **六、应用情况：**

为中国航天员科研训练中心研制了旋转鼓控制器，该产品随尿处理子系统完成了初样、正样各项环境试验考核，并成功用于“天和核心舱”、“问天舱”的在轨飞行任务，保证了空间站系统中尿处理子系统的稳定可靠运行，从而保障了航天员在舱内的生命保障及生活起居。

为北京航天动力研究所研制了长寿命泵控制器、液冷模块控制器、出舱泄压阀控制器、内置复压阀控制器、气闸区复压阀组件控制器、气闸区泄压阀组件控制器、应用真空管理组件控制器共 7 型泵、阀用产品，7 型产品随系统整机完成了初样、正样各项环境试验考核，并成功用于“天和核心舱”、“问天舱”、“梦天舱”的在轨飞行任务，保证了空间站系统中泵、阀的稳定可靠运行。

为西安航天动力研究所研制了舱间抽气泵控制器、气体复用组件阀控制器、真空管理组件阀控制器，共 3 型泵、阀用产品，3 型产品随系统整机完成了初样、正样各项环境试验考核，并成功用于“天和核心舱”、“问天舱”、“梦天舱”的在轨飞行任务，保证了空间站系统中泵、阀的稳定可靠运行，从而保障了航天员在舱内的科研工作、生命保障以及舱内设备的可靠运行，同时为航天员执行出舱任务提供了有力保障。

为我中国航发西安动力控制科技有限公司研制了内回路泵控制器、冷凝水抽吸泵控制器、水输送泵控制器、冲洗水定量泵控制器、预处理剂定量泵控制器、节气泵控制器、罗茨风机控制器，共 7 型泵、风机用产品，7 型产品随系统整机完成了初样、正样各项环境试验考核，并成功用于“天和核心舱”、“问天舱”、“梦天舱”的在轨飞行任务，保证了空间站系统中泵、风机的稳定可靠运行，从而保障了航天员在舱内的科研工作、生命保障、生活起居以及舱内设备的可靠运行。

本项目的研制将宇航级泵、阀、风机驱动控制器体积及重量减小 30%以上，减少了整个系统上行对推进燃料的需求；将产品连续工作寿命提高到 15 年以上，可靠度达到 0.995 以上，技术成熟度达到了九级；控制器所用元器件实现了 100%国产化设计，实现了自主可控目标。同时，本项目的完成也创造了很好的社会效益和经济效益，受到了航天科技集团、中国航天五院、中国航天员科研训练中心、北京航天动力研究所等单位的多次嘉奖，累计创造收入 8000 余万元，创造利润 400 余万元。

## **七、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	一种航天领域用较大体积电感安装结构及工艺	中国	ZL202110839608.3	2022-08-05	5358271	西安微电机研究所有限公司	祝恒洋、吴璘、袁倩倩、唐煌生、赵艳芝、苗瑞、李源、雷伟彤、席宁、弓倩
2	实用新型专利	一种高可靠性电机类产品通用滤波器	中国	ZL202121699335.9	2022-02-22	15867346	西安微电机研究所有限公司	祝恒洋、吴璘、唐煌生、袁倩倩、苗瑞、李源、雷伟彤、弓倩、席宁
3	实用新型专利	一种基于模块化技术的航天泵用控制器	中国	ZL202221742878.9	2022-12-13	18026824	西安微电机研究所有限公司	祝恒洋、吴璘、苗瑞、吴玉新、张朝晖、唐煌生、袁倩倩
4	实用新型专利	一种航天领域用功率驱动模块安装结构	中国	ZL202222604155.9	2023-02-03	18427898	西安微电机研究所有限公司	祝恒洋、吴璘、袁倩倩、苗瑞、唐煌生、柳海科、雷伟彤、席宁
5	国家标准	J38ZWSC内冷式无刷伺服电动机及控制器规范	中国	GJB 10858-2022	2022-12-31	国军标	西安微电机研究所有限公司	祝恒洋
6	国家标准	永磁无刷电动机系统通用技术条件	中国	GB/T 21418-2008	2008-12-31	国标	西安微电机研究所有限公司	张朝晖
7	国家标准	交流伺服系统通用技术条件	中国	GB/T 16439-2009	2009-12-31	国标	西安微电机研究所有限公司	张朝晖
8	论文	一款军用永磁直流无刷电机控制器的高可靠性设计	中国	2021年7期104页	2021-06-01	《微电机》	西安微电机研究所有限公司	唐煌生、吴玉新、张朝晖、祝恒洋
9	论文	一种抑制永磁直流无刷电机泵类负载停机反转的方法	中国	2021年4期99页	2021-03-01	《微电机》	西安微电机研究所有限公司	唐煌生、张朝晖、祝恒洋
10	论文	高可靠性泵用动力驱动系统静电危害及防护措施浅析	中国	2020年6期99页	2020-03-20	《微电机》	西安微电机研究所有限公司	吴璘、祝恒洋

### 八、主要完成人情况

姓 名	祝恒洋	排 名	1
行政职务	自动化事业部部长		
技术职称			
工作单位	西安微电机研究所有限公司		
完成单位	西安微电机研究所有限公司		

<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>项目总负责人，负责项目总体方案制定，关键技术及关键工艺的攻关，负责所有产品的技术审查工作，负责图纸、工艺、报告等技术文件的审查。负责专利的总体策划、创新点的发掘及专利的修改、审查。对应科技创新点为控制器总体方案设计、总体结构及工艺方案。</p>			
--	--	--	--

姓 名	张朝晖	排 名	2
行政职务	主任工程师		
技术职称	副高级工程师		
工作单位	西安微电机研究所有限公司		
完成单位	西安微电机研究所有限公司		

<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>负责阀类产品的总体方案制定、关键技术攻关、技术文件审核。大功率舱间抽气泵驱动控制器的关键技术攻关。对应科技创新点为大功率驱动控制器技术平台的建立及阀类产品位置控制设计技术平台的建立。</p>			
---	--	--	--

姓 名	吴璘	排 名	3
行政职务	电气工程师		
技术职称	副高级工程师		
工作单位	西安微电机研究所有限公司		
完成单位	西安微电机研究所有限公司		

<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>负责1型泵类、1型风机类控制器的图纸及工艺设计，关键工艺攻关、验证及测试分析，负责4篇专利编写和申报、两篇论文编写。对应科技创新点为建立基于集成功率模块的100V技术平台。</p>			
--	--	--	--

姓 名	唐煌生	排 名	4
行政职务	自动化事业部第三研究室室主任		
技术职称	工程师		
工作单位	西安微电机研究所有限公司		
完成单位	西安微电机研究所有限公司		

<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>负责4型泵控制器的图纸及工艺设计；负责2篇论文编写，负责项目组内生产组织、资源协调等工作。对应科技创新点为首次在航天产品中采用功率MOSFET并联技术提升产品功率密度，建立了大功率驱动控制器技术平台。</p>			
--	--	--	--

姓 名	吴玉新	排 名	5
行政职务	副总工艺师		
技术职称	正高级工程师		
工作单位	西安微电机研究所有限公司		
完成单位	西安微电机研究所有限公司		
对本项目主要学术贡献：  作为专业副总师负责所有航天类控制器技术方案论证和把关工作，负责所有图纸、工艺、报告等文件的批准，为关键技术攻关、关键工艺攻关、技术归零、项目推进出谋划策。			

姓 名	赵艳芝	排 名	6
行政职务	电气工程师		
技术职称	工程师		
工作单位	西安微电机研究所有限公司		
完成单位	西安微电机研究所有限公司		
对本项目主要学术贡献： 负责7型阀类控制器的初样阶段图纸及工艺设计，生产追随，测试分析。对应科技创新点为建立基于阀门类产品位置控制设计技术平台。			

姓 名	袁倩倩	排 名	7
行政职务	电气工程师		
技术职称	工程师		
工作单位	西安微电机研究所有限公司		
完成单位	西安微电机研究所有限公司		
对本项目主要学术贡献：  负责3型泵类控制器的图纸及工艺设计，生产追随，测试分析。对应科技创新点为建立基于集成功率模块的28V技术平台。			

姓 名	冯岗	排 名	8
行政职务	电机研发中心第五研究室主任		
技术职称	工程师		
工作单位	西安微电机研究所有限公司		
完成单位	西安微电机研究所有限公司		



对本项目主要学术贡献： 负责所有航天泵、阀类控制器的结构设计，负责产品机箱、散热器等结构件的设计。对应科技创新点为实现产品小型化结构设计。			
姓 名	苗瑞	排 名	9
行政职务	电气工程师		
技术职称	工程师		
工作单位	西安微电机研究所有限公司		
完成单位	西安微电机研究所有限公司		
对本项目主要学术贡献： 负责2型泵类控制器的图纸及工艺设计，生产追随，测试分析。对应科技创新点为产品功率驱动模块安装结构及工艺的优化设计。建立了基于四相无刷电机控制器设计技术平台。			

### 九、主要完成单位情况表

单位名称	西安微电机研究所有限公司
对本项目主要学术贡献：项目唯一承担单位。	

### 十、完成人合作关系说明

项目完成人祝恒洋、张朝晖、吴璘、唐煌生、吴玉新、赵艳芝、袁倩倩、冯岗、苗瑞均为西安微电机研究所有限公司科研技术人员，是“空间站泵阀风机用高可靠长寿命全国产化控制器关键技术研究及应用”项目团队的核心人员，已进行长期合作。

# 创新驱动秦创原奖候选人

## 一、候选人基本情况

折生阳，男，汉族，1955年8月出生，中共党员，本科学历，毕业于西北工业大学，高级工程师。现任陕西华秦科技实业股份有限公司董事长，陕西华秦新能源科技有限责任公司董事长，西安铂力特增材技术股份有限公司实际控制人兼董事。

陕西省第十一届政协委员、陕西国生军民融合企业商会常务副会长、西安市科技装备业商会常务副会长、西商总会常务副会长、秦商总会副会长。拥有国家技术发明二等奖1项，国防技术发明一等奖1项，已获授权发明专利19项。

## 二、提名者及提名意见

**提名者：**陕西省科学技术厅

**提名意见：**

折生阳同志作为陕西华秦科技实业股份有限公司创始人，始终坚持高新技术项目培育，以产、学、研、用协同创新发展模式为基点，成功转化了3D打印、氢能源、高端半导体材料、隐身材料4项高科技技术成果，其中铂力特、华秦科技2家企业分别于2019年、2022年成功在科创板上市，总市值近500亿，是陕西省科技成果转化的典范，为秦创原创新驱动发展和地方经济做出了重要贡献。拟提名折生阳董事长为陕西省创新驱动秦创原杰出贡献奖候选人。

## 三、候选人主要创新成就和贡献

### 1. 道德素养及创新贡献综述

折生阳同志是有50年党龄的共产党员，政治立场坚定，党性观念强，积极贯彻落实党的路线、方针、政策，实事求是，不断以党的理论思想武装自己，并在工作实践中运用。在带领企业发展过程中始终以优秀党员干部的标准严格要求自己，以身作则，敢想敢干，奋力拼搏，艰苦创业。该同志道德高尚，政治素养强，为人正直，处事稳重，热爱集体，关心职工，同时廉洁自律，严格遵守学术规范，具有较高的职业素养和学术水平。

折生阳踊跃参与各项社会公益活动，积极履行社会责任，大力支持社会教育、文化、扶贫济困和乡村建设事业，积极参与汶川玉树地震、抗击新冠肺炎疫情等社会公益活动，2020年以来累计捐款约4000万元。

折生阳同为科学家和企业家，曾获得2018年西安首届“十佳军民融合企业家”；改革开放40周年西安市“优秀民营企业企业家”；纪念改革开放40周年“全球秦商杰出人物奖”。其主要技术成果于2018年荣获“国家技术发明二等奖”（排名第6）。

折生阳始终重视与西北工业大学等高校院所的深度合作，将教育、科技、人

才“三位一体”统筹考量，摸索出一条适合自身，多方合作共赢的科技成果转化模式。先后与西工大材料学院黄卫东教授团队开展增材制造研究、与介万奇教授团队开展第三代半导体材料研究、与陈锦教授团队开展氢能研究、与周万城教授团队开展隐身材料研究。各业务板块相继成立了陕西华秦科技实业股份有限公司（以下简称华秦科技）、陕西华秦新能源科技有限责任公司（以下简称新能源）、西安铂力特增材技术股份有限公司（以下简称铂力特）、陕西迪泰克新材料有限公司（以下简称迪泰克）等公司。目前，华秦科技和铂力特均已在科创板上市，华秦科技市值 285 亿元，铂力特市值 210 亿元，新能源已启动上市程序。

### （1）积极参与科学技术攻关，获得了国家科技发明二等奖

作为企业家，在创办和管理企业的同时，折生阳积极参与科研，支持高校科研发展，作为主要发明人之的“航空发动机用耐高温长寿命特种功能材料”项目获得了 2018 年度国家技术发明二等奖。

### （2）成功实施高校科技成果转化，投资创办企业

折生阳积极参与支持将高校的科研成果转移到企业，摸索出一套先进的“产、学、研、用”科技成果转化模式，实现了将高校技术从实验室向工程化、产业化生产的转化。已成功完成了 3D 打印技术、隐身材料等特种功能材料研制技术、氢能设备制造和碲锌镉探测性材料技术等科技成果的转化。为此先后出资成立了 4 家民营企业，企业的产品已经在航空、航天等武器装备、能源发展等领域成功并广泛应用。搭建起研发和成果转化的创新发展平台，为国防重大型号急需的能力保障，为实现能源安全奠定了基础。

由折生阳投资创办的这四家企业（独资或大股东），技术领先，填补了我省空白，为我省独一无二的企业，铂力特作为科创板首批上市企业，目前已建设成为行业领先的增材制造龙头企业，华秦科技于 2022 年 3 月在科创板挂牌上市，募资超过 30 亿元，大幅度提升了企业研发和生产能力，确保了承担的国防建设任务的顺利完成。为陕西省经济社会的发展做出了重大贡献。

### （3）在所创办企业的科技管理工作中独具创新，使企业高速可持续发展

高科技企业，领先技术的投资大，市场拓展效果具有不确定性等困难。折生阳充分利用我省高校的科研实力和校友研发成果，加上资本和现代化管理体制的有机结合，创新的股权结构，产学研结合的管理模式，使企业快速做大做强。

1992 年全资组建的华秦科技，多年和西工大合作研发，拥有授权国防专利 39 项、国家发明专利 2 项，相继取得军工资质，在隐身材料技术、工程伪装材料技术、防护材料技术等国防建设急需产品上实现了产业化生产，产品已经成功在火箭军重大型号、空军重大型号上获得应用。技术填补了国内空白，占据国际领先地位，是目前国内唯一能够生产宽温域隐身材料的企业，是国家级专精特新小巨人企业、国家制造业单项冠军企业（产品）。

2010 年出资成立的新能源，具备单台产氢量 2-1000m<sup>3</sup>/h 水电解制氢装备的生产能力，获得 40 多项专利技术，形成“大功率高效高压制氢装备”等三大系列十多种规格产品，广泛应用于钢铁、船舶、化工、军工、玻璃及贵金属等行业，

市场占有率居同行业领先地位，是我省最具代表性的水电解制氢装备生产企业。

2011 年投资 1520 万元与西北工业大学及黄卫东教授团队共同成立的铂力特，主要业务为航空、航天精密复杂零件的激光快速成形制造与修复及其装备的研发、生产、销售和服务。作为公司最大股东，带领团队推进 3D 打印技术在军品上的使用，目前该公司产品在航空、航天、国防领域及 C919 等众多重点型号上都有应用，是国内规模最大的 3D 打印企业。

投资 2940 万元与西北工业大学及介万奇教授团队共同成立了迪泰克，并投资 1.5 亿元在西咸新区秦汉新城建设了研发、生产基地“华秦科技园”。目前是国内唯一掌握和从事碲锌镉核辐射探测器件、核心材料制造及相关产品的研发、生产与销售的企业，产品已成功应用于航空、航天等军事领域和各类核辐射探测设备，摆脱了对国外技术的依赖。

华秦科技与西工大遵循平等、独立、有偿、互利的原则，双方联合设立了“工程技术中心”等作为科研成果转化的联络与合作机构，引导信息、技术、人才等要素充分释放与高效流动，并通过知识产权入股、专利授权或转让、联合研发攻关等方式持续不断的深入合作，实现共赢。同时，华秦科技通过奖教金等方式进一步激发高校科研人员的科研创新动力，实现校企“双向反哺”，真正发挥高校的基础研发优势和企业的产业化优势。建立了高校研发团队毕业的硕博士为主的科研与管理人才梯队，实现了企业人才资源与业务的协同发展。折生阳领导这些企业的快速发展对推动我省科学研究、技术进步、人才培养、成果产业化取得显著的成效。

（4）积极利用资本市场，将科技、产业与资本相结合，发挥教育、科技与人才要素在企业高质量发展中的作用

由于融资难融资贵，一些企业不愿研发、不善创新；苦于资本缺乏，许多创新成果未能及时转化，长眠在实验室。资本是创新的杠杆，科技、产业与资本相结合，能进一步发挥教育、科技与人才要素在企业高质量发展中的作用。铂力特、华秦科技都是科创板创新机制的受益者。在此过程中，高校及科技成果转化团队也实现了共赢。

多年来，折生阳以奖学金、教育基金的形式支持高校的科研发展，投资并设立了西北工业大学材料学院教师奖励基金和西北工业大学教育基金，约 1500 万元。

## **2. 创新能力情况**

折生阳同志始终聚焦国家重大战略需求，坚持不懈推动高新技术项目培育和产业化发展，以产、学、研、用协同创新为基点，成功实施高科技产业技术从实验室向工程化、产业化的转化，投资创办 4 家高科技企业，涉及隐身技术、3D 打印、氢能技术开发利用、高端半导体探测技术等，填补了国内空白，技术水平国际领先。

（1）深耕特种功能材料领域，突破关键核心技术瓶颈，解决国家“卡脖子”难题。

多年来，折生阳同志带领华秦科技坚持深耕特种功能材料领域，凭借深厚的技术积累和丰富的应用经验，突破了多项特种功能材料关键技术瓶颈，公司主要技术获 2017 年国防技术发明一等奖，2018 年国家技术发明二等奖。华秦科技共承担军科委、科工局、军兵种等纵向项目 20 多项，省科技厅科技计划项目 10 余项，设立自研项目 20 多项，在隐身材料、伪装材料等领域位居行业前列。

折生阳本人先后获得国家技术发明二等奖 1 项，国防技术发明一等奖 1 项，国防发明专利 10 项，国家发明专利 9 项。为我国国防科技工业和先进武器装备建设事业做出了重大贡献，对维护国防安全具有战略性意义。

(2) 致力于清洁能源技术开发，打造千亿级“西部氢谷”，创造“氢生活 氢未来”。

折生阳同志自 2000 年起便致力于清洁能源技术的开发与应用，先后获得 7 项国家发明专利。2010 年投资成立新能源，实现氢能技术的产业化发展。

氢能具有广阔的市场前景，而制氢用的水取之不尽、用之不竭。公司研发生产的氢能设备从单一品种发展到三大系列十多种规格，应用对象遍及冶金、机械、电力、石油化工、军工、宝石加工和石英玻璃等行业 1000 多家企业和单位，拥有专利技术 30 多项，其中发明专利 12 项，形成了全国实力最强、规模最大的氢能源开发与装备研发生产基地。特别是仅 4 度电便制出 1 方氢气的能耗保持着世界领先地位，为氢能源汽车、钢铁、化工等多个领域广泛使用氢能奠定了基础。

目前正在建设的“中国西部氢谷”项目，是响应榆林“打造国家级高端能源化工基地”的号召，建设美丽、环保的塞上榆林。项目涵盖高端氢能装备制造、研究检测中心及年产量超过 300 亿 m<sup>3</sup> 制氢能力的榆林华秦国家级氢能产业园，打造千亿级榆林“西部氢谷”新兴产业。依托榆林丰富氢能源产业，整合地区过剩的附产氢气，并结合华秦高端、环保的制氢技术，带动地区过剩附产氢气的充分利用，打造高端可再生、无污染、低成本的过剩光伏、风电制氢产业，降低传统高污染化石能源制氢产业模式，完成榆林大型制氢站、供氢站建设和供氢网络布局，解决地区及周边化工企业的氢能源需求，消纳地区过剩的风电、光电能源，开拓天然气加氢产业等新兴市场，打造以榆林为中心，向周边及全国覆盖的氢能源供给基地；同时，规划建设榆林氢燃料电池汽车交通网络和加氢站网络，实现氢燃料电池汽车新兴产业快速发展和弯道超车，推动我省乃至全国氢能产业链的全面发展。

(3) 专注高端制造，推动中国“智造”高质量发展，3D 打印改变世界。

自 1995 年开始与西工大材料学院黄卫东教授团队合作进行 3D 打印技术研究和项目培育，2011 年投资 1520 万元，与西工大和技术团队共同成立“西安铂力特增材技术股份有限公司”，实现 3D 打印技术的产业化发展，该公司于 2019 年 7 月在科创板成功上市。铂力特公司是目前全球 3D 打印 OEM 奖中国唯一上榜企业；是空客公司在亚洲地区唯一的金属增材制造合格供应商。

随着经济高质量的发展，中国正由制造大国向制造强国迈进，而智能制造则成为推进制造强国战略的制高点、突破口和主攻方向。铂力特一直坚持“先于市

场，精于技术”，以市场为导向，以技术为驱动力，从金属 3D 打印设备、原材料、工艺设计开发、软件定制化产品、服务等各方面严格控制，紧跟市场需求，不断迭代更新，促进企业创新发展，加速中国产业结构转型调整，提升制造业水平，促进传统产业升级，在大国博弈中抢占先机。

未来，也将持续“精技术、拓市场”，不断拓宽金属 3D 打印技术应用宽度及广度，让金属 3D 打印走进千万家工厂，推动中国“智造”的高质量发展。

(4)“探知未来 造福人类”，第三代高端半导体探测新材料制造商。

2003 年与西工大材料学院介万奇教授团队合作进行半导体探测新材料的研发和项目培育，成立迪泰克新，实现了高端半导体探测新材料技术的产业化。该公司是目前国际上仅有的三家（美国、加拿大、中国）企业之一。

公司是国家辐射探测材料与器件重点实验室和省级工程研究中心的依托单位。承担着多项国家级重点研发计划的科研配套项目。

### 3. 经济效益情况

折生阳创办的企业均呈现销售额和利润的快速增长的态势，为我省经济发展做出贡献。

华秦科技专业从事隐身材料、伪装材料及防护材料研发、生产和销售，产品及技术主要应用于我国重大国防武器装备的隐身、重要地面军事目标的伪装和各类装备的表面防护，客户遍及国内航空、航天、航海领域三十多家研究院所和生产企业。是国内极少数能够全面覆盖常温、中温和高温隐身材料设计、研发和生产的国家级高新技术企业，尤其在中高温特种功能材料领域技术优势明显，已批量应用于我国某重要型号飞机发动机后机身，创造了显著的经济效益。华秦科技自 2016 年转型后快速发展，2020 年主营业务销售收入为 41386.47 万元，2021 年销售收入为 51185.20 万元，2022 年销售收入为 67239.51 万元，总资产达 421938.5 万元，目前市值 285 亿元。已经在高新区征地 145 亩，投资 10 亿元，建设新材料园，扩大生产规模和产能，为国防建设服务。

新能源是一家从事水电解制氢装备研发、生产、销售及服务的营运商，专业提供制氢、纯化、储氢、输氢、加氢及氢能数据管理的一站式解决方案。华秦新能源水电解制氢（氧）产品应用于钢铁行业的火焰切割，宝武钢、首钢、鞍钢、河钢、包钢、青山等大型钢铁企业都是公司的稳定客户，年钢坯切割量超过 1.8 亿吨，占全国钢坯切割市场 18%，年减少温室气体排放 14 万吨 CO<sub>2</sub> 当量。2019 年 12 月，华秦新能源启动“榆林氢能产业园项目”，园区一期占地 102 亩，总投资 5 亿元，涵盖氢能制、储、运、加和装备制造的综合能力，氢气年产量 4 万吨，园区计划于 2023 年 8 月投产，为陕西省氢能全产业链的配套运营创造了条件。

帮助钢铁产业实现绿色转型升级，为我省氢能产业高端装备在钢铁行业的应用做出重要贡献。同时大功率电解槽从无到有、从有到优，1000Nm<sup>3</sup>/h 高活性电极电解槽实现陕西省首发下线。华秦新能源是陕西省氢能产业链链主企业之一，肩负着我省氢能产业高质量发展、能源安全保障、用能端绿色低碳改革的重任，过去三年内，华秦新能源营业收入复合增长率超过 20%。未来，华秦新能源将持

续贯彻“一中心两基地”的发展战略，深入落实氢能“制、储、输、用”全产业链建设，帮助我省氢能产业持续提质升级，推进我省氢能产业高质量可持续发展。

铂力特公司资产规模、营业收入规模保持快速增长。截止 2022 年末，公司资产总额约 30.32 亿，较上年同期增长 43.83%。2022 年，公司实现营业收入约 9.18 亿元，较上年同期增长 66.32%；归属于上市公司股东的净利润 7,949.88 万元，目前市值 210 亿元。近三年，公司营业收入复合增长率达到 49.25%。公司员工 1400 余人，研发人员占比 30%左右，累计申请相关专利 440 余项，获得自主授权专利近 300 项，成为我国增材制造最大的龙头企业。

#### 4. 示范作用情况

华秦科技、铂力特、新能源等企业作为上市和即将上市的公司，同时作为陕西省 24 条重点产业链的链主企业，为本行业本领域的发展，起到了示范带动作用。华秦科技在隐身材料、伪装材料、防护材料领域多项技术填补了国内空白，打破了欧美国家的技术封锁。

华秦科技公司作为陕西省陶瓷基复合材料产业链的链主，主要特点体现在功能上，包括隐身、吸波、隔热、防腐、电磁屏蔽等，替代金属结构件减重、承载并增加防护功能，适用温度宽泛，室温-1200℃；耐温隐身材料技术水平达到国际先进，某些方面达到国际领先水平。产品应用于飞机、航空发动机、舰船、导弹、坦克、汽车等高端装备。将推动提升复合材料产业链现代化水平；拓展产品品种、功能、应用范围，达到国内领先水平，积极推动提升产业链现代化水平；发挥领航作用，带动我省我国特种功能材料产业链上下游中小企业融通发展；带动产业链协同创新，联合开展技术攻关。

新能源作为氢能产业链的链主，由华秦新能源牵头，联合西安交通大学、西北工业大学、西北大学、榆林学院、陕西煤业化工技术研究院有限责任公司、陕西隆庆气体有限公司、陕西榆林能源集团有限公司、西安海卓真气体科技有限公司、中车西安车辆有限公司、中国石油集团工程材料研究院有限公司、陕西新华水利水电投资有限公司、陕西宝光联悦氢能发展有限公司、中国石化集团新星陕西新源科技有限公司、陕西鼓风机(集团)有限公司、陕西旭强瑞清洁能源有限公司、西安隆基氢能科技有限公司等，共 5 所高校、11 所企业及 2 所研究机构，成立陕西省氢能创新联合体，以加强我国氢能领域关键共性技术研发、改进基础研究条件、攻克制约氢能产业发展的关键核心部件技术壁垒和产业化应用瓶颈、促进成果转化，推动我国能源结构调整，促进节能降耗。参与组建的核心单位均是氢能领域龙头企业、重点高校以及重要应用领域典型用户。

同时，华秦新能源联合氢能产业上下游企业、高校、研究院所创建了陕西省氢能创新中心及陕西省氢能共性技术研发平台，以氢能技术关键核心技术攻关、科研成果中试、产学研协同创新为核心使命，打造产学研深度融合的对外交流合作体系，专注于氢能基础共性技术研究，科技成果中试熟化、行业中高端人才培养、公共测试与技术服务、国际国内产学研技术交流，推动我省氢能产业链创新链融合，助力我省氢能产业迈向价值链中高端。未来，华秦新能源将持续贯彻“一

中心两基地”的发展战略，深入落实氢能“制、储、输、用”全产业链建设，帮助我省氢能产业持续提质升级，推进我省氢能产业高质量可持续发展。

铂力特作为陕西省增材制造产业链的链主，将引领我省乃至全国 3D 打印技术的纵深发展和产业化进程。成立于 2011 年 7 月的铂力特，已成长为国内规模最大、技术实力最强的金属 3D 打印技术全套解决方案提供商，与中航工业、中国航发、中国商飞、空中客车、赛峰集团等 300 多家国内外知名企业建立了长期合作关系，为陕西经济高质量发展增添新动能。依托持续创新，铂力特不断摘得大奖，跻身国际金属 3D 打印第一方阵，成为我国“科创板金属 3D 打印第一股”。

四、主要知识产权目录

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	一种镶嵌式极板	中华人民共和国	ZL200810017690.6	2010 年 09 月 29 日	679706	陕西华秦新能源科技有限责任公司	折生阳; 孙纪洲; 何光用; 李勇; 陈仁治; 王彦东
2	发明专利	氢氧焰断火切割方法及装置	中华人民共和国	ZL200910302855.9	2011 年 04 月 20 日	766609	陕西华秦新能源科技有限责任公司	折生阳; 孙纪洲; 李建; 王彦东
3	发明专利	一种组合式电解槽	中华人民共和国	ZL201010551498.2	2015 年 08 月 26 日	1766493	陕西华秦新能源科技有限责任公司	折生阳; 孙纪洲; 王彦东; 陈仁治; 霍佳明; 夏文武; 李建; 庄新东
4	发明专利	一种单管式电解槽	中华人民共和国	ZL201010551499.7	2015 年 06 月 7 日	1700887	陕西华秦新能源科技有限责任公司	折生阳; 孙纪洲; 王彦东; 陈仁治; 霍佳明; 夏文武; 李建; 庄新东
5	发明专利	环管式电解槽	中华人民共和国	ZL201010551500.6	2015 年 06 月 17 日	1700757	陕西华秦新能源科技有限责任公司	折生阳; 孙纪洲; 王彦东; 陈仁治; 霍佳明; 夏文武; 李建; 庄新东



6	发明专利	一种轨梁火焰切割装置及切割方法	中华人民共和国	ZL201510694720.7	2018年01月12日	2774888	陕西华秦新能源科技有限责任公司	折生阳;王彦东;杨炎;庄新东;田涛;成雨超
7	发明专利	锆合金包壳管用保护涂层材料的制备方法	中华人民共和国	ZL201611240620.8	2019年03月08日	3284227	陕西华秦科技实业股份有限公司	折生阳
8	发明专利	核用锆合金防护涂层材料及其制备方法	中华人民共和国	ZL201810812016.0	2021年02月02日	4233649	陕西华秦科技实业股份有限公司	折生阳
9	国防发明专利	一种兼具XX性和XX性的XX涂层涂料及其制备方法和应用	中华人民共和国	ZL201618010060.1	2020年12月18日	XX第XX195	陕西华秦科技实业股份有限公司	折生阳
10	国防发明专利	一种XX增强XX复合XX材料及其制备方法	中华人民共和国	ZL201718000200.1	2021年03月26日	XX第XX616	陕西华秦科技实业股份有限公司	折生阳
11	国防发明专利	一种XX高温XX涂层及其制备方法	中华人民共和国	ZL201618010064.X	2020年08月14日	XX第XX968	陕西华秦科技实业股份有限公司	折生阳
12	国防发明专利	一种XX高温XX涂层及其制备方法	中华人民共和国	ZL201618010055.0	2021年03月26日	XX第XX596	陕西华秦科技实业股份有限公司	折生阳
13	国防发明专利	一种XX高温XX涂层及其制备方法	中华人民共和国	ZL201618010054.6	2021年03月26日	XX第XX595	陕西华秦科技实业股份有限公司	折生阳
14	国防发明专利	一种XX与XX兼容XX材料的制备方法	中华人民共和国	ZL201718000199.2	2020年09月11日	XX第XX468	陕西华秦科技实业股份有限公司	折生阳

15	国防发明专利	一种 XX 高温 XX 涂层的制备方法	中华人民共和国	ZL201618010053.1	2021 年 03 月 26 日	XX 第 XX594	陕西华秦科技实业股份有限公司	折生阳
16	国防发明专利	一种用于耐温 XX 基 XX 涂层的涂料、制备方法和应用	中华人民共和国	ZL201618010059.9	2021 年 03 月 26 日	XX 第 XX597	陕西华秦科技实业股份有限公司	折生阳