

陕西省科学技术进步奖公示信息

(2026年度)

一、项目基本情况

项目名称	矿山装备核心功能部件激光熔覆再制造关键技术及装备
主要完成人	舒林森、王家胜、何雅娟、李培友、王昕、曹鹏、李洁
主要完成单位	陕西理工大学、陕西天元智能再制造股份有限公司

二、提名意见（适用于单位提名）

提 名 者	汉中市人民政府	提名等级	☐ 一等奖 ☐ 二等奖 ☒ 三等奖
提名意见： 汉中市人民政府经严格审核，确认本项目申报材料真实有效、数据来源可靠，相关栏目填写规范完整，符合陕西省科技进步奖申报要求。 项目围绕矿山装备核心功能部件再制造重大技术需求，攻克了深孔、内孔、大长径比等复杂构件激光熔覆施工难、质量不稳、标准缺失等行业瓶颈，创新形成多模式激光熔覆工艺体系，研发热丝辅助、丝-粉混合、磁-热复合调控等关键技术，发表高水平论文 50 余篇，研制系列化专用熔覆装备，授权发明专利 8 项，构建全链条质量评价体系与 9 项国家/行业/团体标准，完善了国内矿山装备再制造标准体系。成果实现从实验室技术到规模化产业应用，在陕煤集团神南产业、西安重装铜川煤机等企业批量示范应用，年再制造零部件 5000 件以上，累计再制造产值 5 亿元以上，经济、社会和生态效益突出。 项目完成团队长期扎根一线，理论功底扎实、工程经验丰富，在基础创新、技术攻关、标准制定和产业化推广中作出系统性贡献，整体技术达到国内领先水平，对推动装备再制造绿色低碳发展、服务“双碳”战略和循环经济具有重要示范作用，符合陕西省科技进步奖授奖条件。 综上，汉中市人民政府郑重提名 “矿山装备核心功能部件激光熔覆再制造关键技术及装备” 参评陕西省科技进步奖。 提名该项目为陕西省科学技术进步奖三等奖。 说明：省科学技术进步奖一、二、三等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖，“提名二等奖”的评审落选项目不再降格参评三等奖。项目组与提名单位沟通后，做出提名等级意见；提名项目正式提交后，提名等级建议不得变更。 软科学标准计量科普类项目请勾选“二等奖”或者“三等奖”。			

三、项目简介

(限 2 页)

本成果属于先进制造与自动化、绿色再制造、表面工程及智能装备等研究领域。

项目来源于国家自然科学基金项目“增材再制造机械零件服役寿命预测方法及实验研究(51505268)”、陕西省秦创原“科学家+工程师”队伍建设项目“综采液压支架再制造关键技术研究与应用‘科学家+工程师’队伍(2023KXJ-123)”、陕西省自然科学基金基础研究计划“煤矿大型设备再制造绿色成形技术及智能装备研究(2021JLM-08)”；国防科技重点实验室基金“镍基自润滑熔覆涂层制备工艺及形性调控(JCKY61420052022)”；西安市工信局重点产业链关键核心技术产业化“揭榜挂帅”项目“高速丝材激光熔覆及设备研制技术”等项目的支持。

矿山装备核心功能部件再制造是我国煤炭行业绿色转型与装备安全高效运行的关键支撑技术。陕煤集团、陕西榆林能源集团等我省大型能源企业装备保有量大、服役工况恶劣，液压支架立柱、油缸、轴类件等核心部件磨损、腐蚀、变形失效问题突出，传统修复工艺寿命短、效率低、污染重，已成为制约煤炭行业安全高效生产的瓶颈。同时，传统激光熔覆技术在矿山复杂构件（深孔、内孔、大长径比）修复中存在加工盲区大、易开裂、界面结合差、质量评价无标准、装备不匹配等“卡脖子”问题，难以实现规模化、标准化再制造。因此，攻克矿山装备核心部件激光熔覆再制造关键技术，研发专用装备与质量控制体系，对延长装备服役寿命、降低运维成本、推动我省煤炭行业绿色低碳发展、保障能源安全具有重要意义与广阔应用前景。

自 2015 年起，项目组按照“基础研究→工艺突破→装备研制→标准构建→中试验证→示范推广”的研究思路，针对矿山装备激光熔覆再制造存在的关键难题进行系统性攻关，先突破关键技术形成单项技术成果，再整合集成形成成套技术体系，最后开展示范应用与产业化推广，取得了显著的经济、社会和生态环境效益。

所取得的创新性成果如下：

1.揭示矿山装备零组件激光熔覆镍基自润滑/梯度复合涂层的成形机理与自修复强化机理，研发涂层精准制备工艺，优化熔覆层后续机加工特性，建立涂层性能与工艺参数的关联调控体系。

2.研发矿山装备零组件激光熔覆专用工艺与核心装置，建立高速丝材、热丝辅助、内孔、宽光斑、深孔熔覆等工艺方法，研制具备防误撞、废粉清理、反射光回收等功能的专用熔覆装备，实现熔覆过程的稳定性与形性精准控制。

3.建立矿山装备再制造件服役寿命预测与性能评价体系，编制矿用液压支架再制造专属技术标准与行业规范，形成集“涂层制备→工艺控制→性能检测→寿命预测→标准应用”于一体的矿山装备零组件激光熔覆再制造成套技术，并实现工程化与产业化应用。

总体技术路线如图 3.1 所示。

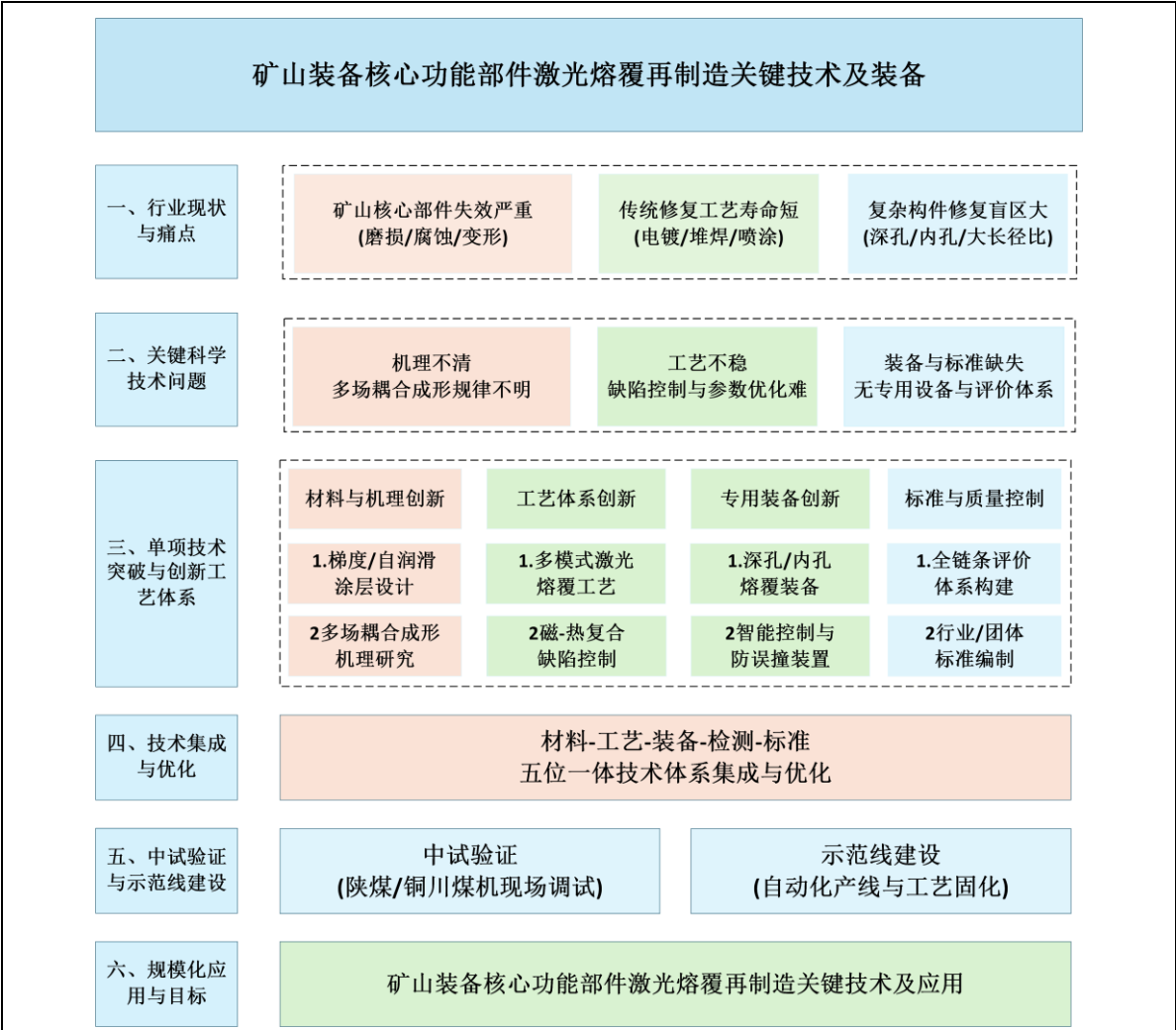


图 3.1 总体技术路线图

本项目制定 9 项国家/ 行业/ 团体标准，完善了国内矿山装备再制造标准体系。授权发明专利 8 项，发表高水平学术论文 50 余篇，研发专用熔覆头、内孔/ 深孔激光熔覆机、防误撞、自保护、反射光回收等 20 套核心装备，已形成 "1 个省级中试基地+ 2 大生产基地（西安、神木）+ 3 条中试线 + 3 条智能化生产线" 的完整产业布局，是国内领先、西北最大的智能再制造产业化平台。研究成果为我省矿山装备再制造提供了关键技术支撑与示范引领。同时积极开展技术培训与科技服务，培养再制造领域技术骨干，提升行业对绿色再制造技术的认知度。项目成果已在陕煤集团神南产业、西安重装铜川煤机等企业规模化应用并获得行业广泛认可和一致好评，形成年再制造关键零部件 5000 件以上的产业能力，累计再制造产值 5 亿元以上，在矿山装备安全高效运行、节能减排、降本增效等方面效益显著。

四、客观评价

（限2页。围绕创新性、应用效益和经济社会价值进行客观、真实、准确评价。填写的评价意见要有客观依据，主要包括与国内外相关技术的比较，国家相关部门正式作出的技术检测报告、验收意见、鉴定结论，国内外重要科技奖励，国内外同行在重要学术刊物、学术专著和重要国际学术会议公开发表的学术性评价意见等，可在附件中提供证明材料。非公开资料（如私人信函等）不能作为评价依据。）

一、科技创新评价（查新报告）

科学技术部西南信息中心查新中心针对“矿山装备核心功能部件激光熔覆再制造关键技术及装备”的创新性成果查新点：

1.揭示矿山装备零组件激光熔覆镍基自润滑 / 梯度复合涂层的成形机理与自修复强化机理，研发涂层精准制备工艺，优化熔覆层后续机加工特性，建立涂层性能与工艺参数的关联调控体系。

2.研发矿山装备零组件激光熔覆专用工艺与核心装置，建立高速丝材、热丝辅助、内孔 / 宽光斑深孔熔覆等工艺方法，研制具备防误撞、废粉清理、反射光回收等功能的专用熔覆装备，实现熔覆过程的稳定性与形性精准控制。

3.建立矿山装备再制造件服役寿命预测与性能评价体系，编制液压支架再制造专属技术标准与行业规范，形成集“涂层制备—工艺控制—性能检测—寿命预测—标准应用”于一体的矿山装备零组件激光熔覆再制造成套技术，并实现工程化产业化应用。

查新后得出结论：在所检文献以及时限范围内，国内未见文献报道。本项目具有新颖性。

二、成果鉴定结论

2026年04月11日，陕西省机械工程学会在汉中市组织召开了由陕西理工大学和陕西天元智能再制造股份有限公司自主完成的“矿山装备核心功能部件激光熔覆再制造关键技术及装备”科技成果鉴定会。鉴定委员会听取了完成单位的汇报，审查了鉴定资料，经质询和讨论，形成如下意见：

1. 提供的鉴定资料齐全、规范，符合鉴定要求。

2. 项目针对矿山装备核心功能部件在极端工况下失效快、修复难、寿命短的行业痛点，开展了激光熔覆专用材料、多类型激光熔覆工艺、再制造智能装备及标准体系研究，取得了系列技术创新。

（1）建立了梯度合金、自润滑合金、复合陶瓷增强熔覆材料体系，提出了“梯度合金+自润滑+自修复”复合强化机制，突破材料韧性匹配、自修复、冶金结合与寿命精准预测等技术难题，解决了传统材料易开裂、耐磨性不足、寿命不可控等问题。

（2）发明了适用不同工况的多类型激光熔覆工艺方法，攻克了面向深孔、油缸内壁、油缸外壁等的高速丝材、热丝辅助、粉丝混合一体化熔覆工艺，实现了多参数智能优化，解决了熔覆缺陷、残余应力与变形等问题。

(3) 研制了宽光斑深孔熔覆、高速丝材激光熔覆等专用装备，形成了煤矿综采大型液压支架油缸、顶板结构部件等核心功能部件成套再制造系统，解决了传统设备再制造质量一致性差、效率低等难题。

(4) 建立了熔覆层剪切强度、硬度、耐磨、疲劳、尺寸精度等性能检测评价方法，编制了液压支架再制造指南、技术规范、行业标准，形成了液压支架等矿山装备核心功能部件再制造评价-设计-工艺-检测-装配的系列标准。

3. 项目建成了矿山装备核心功能部件再制造生产线，在陕煤集团神南产业、西安重装铜川煤机等得到了批量应用，经济社会效益显著。

鉴定委员会认为，项目技术难度大，创新性强，具有完全自主知识产权，整体技术达到国际先进水平。

鉴定委员会一致同意该项目通过科技成果鉴定。

三、应用效果

成果依托陕西理工大学和陕西天元智能再制造股份有限公司构建的“科学家 + 工程师”创新队伍与陕西省智能再制造中试基地，通过试验研究 — 中试优化 — 规模化生产三级成果转化平台，实现了从核心技术突破到工程化示范、再到产业化推广的全流程落地。已在陕煤集团、彬长矿业、小庄煤矿、胡家河煤矿及国内重点矿山企业规模化应用，覆盖综采工作面、设备维修中心、再制造基地等场景，用户反馈良好，市场认可度高。

四、国内外同行学术评价

项目组于 2015 年开始围绕矿山装备核心功能部件激光熔覆再制造的材料体系、工艺机理、缺陷控制、智能装备等关键科学与技术问题开展系统性研究，相关成果在《Materials Today Communications》、《机械工程学报》等国内外知名期刊(SCI / EI 收录 30 余篇)，总引用超 200 次，本领域知名学者在《机械工程学报》、《材料导报》等知名期刊给予了积极评价，代表性评价如下：

(1) 江西理工大学王慧鹏教授发表在《机械工程学报》的文章指出：“舒等根据磨损轴面激光熔覆试验建立其非线性瞬态分析数学模型，其模型可用于优化损伤轴面激光熔覆工艺及质量”。(2) 中国长江电力股份有限公司耿在明高级工程师发表在《材料导报》的文章指出：“舒等研究了 Ti-C-B-Al 复合涂层的组织结构和力学性能，结果表明，涂层无明显缺陷，由性能优异的 TiC、TiB 和 TiAl 金属间化合物组成，并且涂层显微硬度和弹性模量远优于基体，其抗磨抗蚀性能优异”。

五、应用情况

1. 应用情况（限 2 页）

本成果围绕**矿山装备零部件激光熔覆再制造关键技术**，历经多年产学研协同攻关，已形成**材料 — 工艺 — 装备 — 标准 — 产业化**全链条成套技术体系。依托陕西理工大学和陕西天元智能再制造股份有限公司构建的“科学家 + 工程师”创新队伍与陕西省智能再制造中试基地，通过**试验研究 — 中试优化 — 规模化生产**三级成果转化平台，实现了从核心技术突破到工程化示范、再到产业化推广的全流程落地，成果已在**煤炭、油气、冶金、储气库**等多个领域实现规模化应用，服务**陕煤、长庆油田、中农钾肥、相国寺储气库**等国内大型能源企业，取得显著经济效益、社会效益和生态效益，成为我国矿山装备绿色再制造领域技术最成熟、应用最广泛、产业化程度最高的标志性成果之一。部分应用案例如图 5.1 所示。

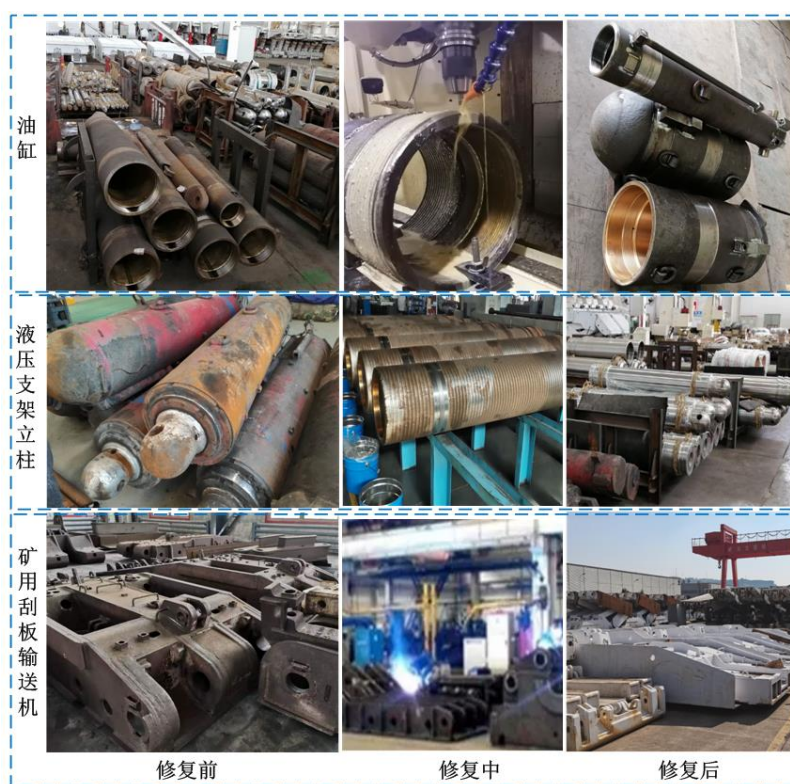


图 5.1 部分应用案例

（1）煤炭矿山领域（核心应用领域）

成果已在**陕煤集团、彬长矿业、小庄煤矿、胡家河煤矿**等多家大型煤炭企业实现规模化应用，重点解决**液压支架立柱、千斤顶、油缸内壁 / 外壁、轴类、齿类**等关键零部件再制造难题。

应用产品：**液压支架立柱、千斤顶、油缸、活塞杆、耐磨板**等；

应用效果：再制造件寿命达到新品 1.5 倍以上，表面硬度 $\geq 40\text{HRC}$ ，粗糙度 $\leq 0.4\mu\text{m}$ ，直线度 $\leq 1\%$ ，完全满足井下重载、强磨损、高腐蚀工况要求；

典型案例：**陕煤彬长矿业应用再制造液压支架立柱/千斤顶 8 根**，连续服役超 18 个月无磨损、无腐蚀、无泄漏，使用寿命较传统电镀产品提升 3 倍以上，用户出具

正式应用证明，效果显著。

（2）油气田装备领域

依托工信部油气田装备绿色再制造关键工艺系统集成项目，成果在长庆油田实现规模化应用，覆盖抽油杆、抽油泵、机泵齿轮箱、轴承等关键部件，构建油气田装备全生命周期绿色再制造解决方案。

应用效果：再制造零部件性能达标，故障率**降低 60%**，维修成本**降低 50%**，为油田绿色低碳转型提供关键技术支撑。

（3）钾肥/化工装备领域

成果成功应用于中农钾肥（亚钾国际）掘采机、连采机配套液压油缸再制造，解决高温、高湿、高腐蚀工况下油缸寿命短（仅 3-5 个月）、频繁泄漏、更换成本高的行业难题。

应用效果：再制造油缸使用寿命延长至 **12 个月**，寿命提升 **3 倍**，彻底解决用户井下设备频繁停机痛点，用户专门致感谢信予以肯定。

（4）储气库/压缩机装备领域

成果应用于相国寺储气库往复式压缩机压缩缸再制造，再制造缸体连续安全运行超 2300 小时，内径偏差 $\leq 0.07\text{mm}$ ，无损检测无裂纹、无气孔，完全满足高压、高速、高精度服役要求，实现再制造技术在国家储气库重大装备领域的突破应用。

表 5.1 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	陕西陕煤彬长矿业有限公司	内外壁激光熔覆工艺、液压支架立柱大长径比零件激光熔覆技术	大型煤矿国有企业；大型井下液压支架立柱 8 根	2021 年—2022 年	闫晓莉 029-34766829
2	中农钾肥有限公司	液压缸再制造修复技术	国有控股上市公司核心子公司；大批量	2023 年—2024 年	韩娇娇 0871-6809562

六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种提高轴类零件熔覆稳定性的高速丝材激光熔覆方法	中国	ZL 202010082183.1	2021.06.22	4497816	陕西天元智能再制造股份有限公司	曹鹏;张毅;苏成明;李建勋;王春昌
2	论文	磨损轴面激光熔覆过程的数值模拟及试验	中国		2019.01.25		陕西理工大学	舒林森;王家胜;白海清;何雅娟;王波
3	标准	液压支架再制造工程设计指南	中国	MT/T 1222-2024	2024.12.25	中国煤炭工业协会	陕煤集团神南产业发展有限公司;陕西天元智能再制造股份有限公司;陕西理工大学;中煤北京煤矿机械有限责任公司;陕西神南天翊设备制造有限公司;太原理工大学;西安重装	乔少波;宫成;马晓燕;毋晓军;张海广;詹利华;焦阳;夏护国;范永强;王明;马君;李玉良;苏晓明;刘国柱;张帅;张立鑫;唐艳;王彦飞;顾彤;包冬生;丁林海;王昕;杨航;舒林森;苏成明;李洁

							铜川煤矿机械有限公司；中国煤炭工业协会生产力促进中心	
4	标准	液压支架零部件再制造性评价指南	中国	MT/T 1221-2024	2024. 12. 25	中国煤炭工业协会	陕煤集团神南产业发展有限公司； 陕西天元智能再制造股份有限公司；陕西理工大学； 中煤北京煤矿机械有限责任公司； 陕西神南天翊设备制造有限公司； 太原理工大学；西安重装铜川煤矿机械有限公司	吴文良； 宫成；马晓燕；贺华；张文斌；赵米玉；詹利华；焦阳；夏护国；曹海青；李玉良；张二军；苏晓明；刘国柱；张立鑫；唐艳；张伟；王利军；张小利； 王昕；杨杨；包冬生；舒林森； 苏成明； 李洁

							司；中国煤炭工业协会生产力促进中心	
5	标准	再制造 机械产品修复层质量检测方法	中国	GB/T 40728-2021	2021. 10. 11	全国绿色制造技术标准化技术委员会	河北京 津冀再 制造产 业技术 研究有 限公 司；中 国人民 解放军 陆军装 甲兵学 院；广 东工业 大学； 中军金 工发展 有限公 司；中 机生产 力促进 中心； 中国人 民解放 军军事 科学院 国防科 技创新 研究 院；合 肥工业 大学； 泰尔 (安徽)	张伟；于 鹤龙；魏 敏；徐滨 士；史佩 京；周新 远；梁秀 兵；邱 城；奚道 云；王红 美；刘渤 海；郑汉 东；许开 华；吉小 超；李海 庆；孙婷 婷；黄东 保；童 彪；刘宏 伟；宋 琪；张显 程；周超 极；安兰 朋；姜新 华；尹艳 丽； 舒林 森 ；马云 新；范立 国；张占 奎；杜文 博；原 帅；吕绍 林；林 涛；程敬

							工业科 技服务 有限公 司；中 铁科工 集团轨 道交通 装备有 限公 司；格 林美股 份有限 公司； 清华苏 州环境 创新研 究院； 华东理 工大 学；军 事科学 院系统 工程研 究院军 用标准 研究中 心；秦 皇岛天 业通联 重工科 技有限 公司； 武汉材 料保护 研究所 有限公 司； 陕 西理工 大学 ；	卿；张凯
--	--	--	--	--	--	--	--	------

							北京建 工土木 工程有 限公 司；山 东中科 机械再 制造有 限公 司；博 众精工 科技股 份有限 公司； 江苏北 人机器 人系统 股份有 限公 司；安 徽鼎恒 再制造 产业技 术研究 院有限 公司； 中机研 标准技 术研究 院(北 京)有 限公 司；沧 州格锐 特钻头 有限公 司	
6	发明专利	一种丝材激光 熔覆装置	中国	ZL 201910498304.8	2021.09.07	4663989	陕西天 元智能 再制造	李建勋； 苏成明； 曹鹏 ；张

							股份有限公司	毅;张飘飘
7	发明专利	一种集成式宽光斑深孔激光熔覆头	中国	ZL 202010797497.X	2022.08.12	5378782	陕西天元智能再制造股份有限公司	李建勋; 苏成明; 王春昌; 曹鹏
8	发明专利	一种激光熔覆自调节装置和自调节方法	中国	ZL 202010220806.7	2022.02.22	4956367	陕西天元智能再制造股份有限公司	李建勋; 苏成明; 张毅;许欣荣; 曹鹏
9	论文	Effect of laser powers on the mechanical properties 27SiMn steel with Inconel 718 cladding coatings	中国		2022.03.16		陕西理工大学	舒林森 ; 衡钊; 李培友 ; 吴晗; 李家豪; 冯俊俊
10	论文	Study on the preparation and wear properties of laser clad Incoel718/WC gradient composite coatings	中国		2024.11.22		陕西理工大学	秦景鹏; 舒林森 ; 王家胜 ; 李培友 ; 李安军; 黄添; 师佳豪; 邱源; 董洪峰

七、主要完成人情况表

姓 名	舒林森	排 名	1
行政职务	省级概念验证中心主任		
技术职称	教授		
工作单位	陕西理工大学		
完成单位	陕西理工大学		
对本项目技术创造性贡献： 作为项目总负责人，全面主持项目的顶层设计、关键技术攻关与产业化推广，对成果创新突破作出决定性贡献：（1）主持并完成国家自然科学基金项目：增材再制造机械零件服役寿命预测方法及实验研究（51505268）；（2）作为首席科学家，主持陕西省秦创原 “科学家 + 工程师” 队伍项目（2023KXJ-123），推动液压支架再制造关键技术工程化落地。（3）主导提出 “梯度合金 + 自润滑 + 复合增强” 强化机理，攻克深孔 / 内孔修复、缺陷控制等行业瓶颈；牵头编制 3 项国家 / 行业标准，构建全指标质量评价体系，填补行业空白。			

姓 名	王家胜	排 名	2
行政职务	无		
技术职称	实验师		
工作单位	陕西理工大学		
完成单位	陕西理工大学		
对本项目技术创造性贡献： 作为项目核心技术负责人，深度参与关键技术攻关与产业化实施，对成果形成作出重要贡献：（1）主持高性能熔覆材料体系开发，完成梯度合金、自润滑复合涂层的成分设计与工艺优化，攻克了强韧性匹配、界面冶金结合等关键技术难题，为核心创新点的实现提供了关键材料支撑。（2）作为核心成员参与秦创原 “科学家 + 工程师” 项目（2023KXJ-123）的实验验证，负责工艺试验、性能检测与数据整理，推动技术成果在陕煤等企业实现规模化示范应用，保障了成果的可靠性与推广性。			

姓 名	何雅娟	排 名	3
行政职务	系主任		
技术职称	副教授		
工作单位	陕西理工大学		
完成单位	陕西理工大学		
对本项目技术创造性贡献： 作为项目工程化实施的核心骨干，深度参与关键工艺试验、装备集成与产业化推广，对成果落地作出重要贡献：（1）负责多模式激光熔覆工艺的现场试验与参数优化，参与深孔 / 内孔熔覆、磁 - 热辅助能场调控等工艺的工程化验证，为形成稳定、可复制的生产工艺提供了关键数据支撑。（2）参与专用智能装备的调试与集成，负责设备运行、在线监测及质量闭环控制的现场实施，保障了深孔熔覆装备的自动化、高效稳定运行。			

姓 名	李培友	排 名	4
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	陕西理工大学		
完成单位	陕西理工大学		
对本项目技术创造性贡献： 作为项目工程化实施的核心骨干，深度参与关键工艺试验，对成果落地作出重要贡献：（1）参与 “材料 — 工艺 — 装备 — 检测 — 标准 — 服务” 一体化方案的工程化验证，负责中试线与规模化生产线的工艺稳定性验证，优化了关键工序的质量管控流程。（2）作为核心成员参与秦创原项目（2023KXJ-123）的中试与示范应用，负责工艺指导与问题解决，为项目的工程应用与推广提供了重要支撑。			

姓 名	王昕	排 名	5
行政职务	研究院执行院长		
技术职称	高级工程师		
工作单位	陕西天元智能再制造股份有限公司		
完成单位	陕西天元智能再制造股份有限公司		
对本项目技术创造性贡献： 作为项目工程化实施的核心骨干，全面负责技术工程化实施与产业化落地工作，对成果关键工艺验证、装备集成及应用推广作出重要贡献：（1）牵头承担工信部再制造共性技术服务系统解决方案供应商相关工作，构建再制造全流程技术服务体系，为项目规范化、标准化实施提供技术支撑。（2）作为首席工程师深度参与秦创原 “科学家 + 工程师” 队伍建设项目（2023KXJ-123），负责综采液压支架再制造关键技术工艺优化、现场调试与质量管控，攻克熔覆层缺陷、尺寸精度控制等工程难题。			

姓 名	曹鹏	排 名	6
行政职务	无		
技术职称	高级工程师		
工作单位	陕西天元智能再制造股份有限公司		
完成单位	陕西天元智能再制造股份有限公司		
对本项目技术创造性贡献： 作为项目产业化与标准化实施的核心骨干，对成果落地作出重要贡献：（1）参与构建矿山装备再制造全指标质量评价体系，牵头开展熔覆层耐磨、耐蚀、疲劳等关键性能检测试验，为质量控制方法与检测标准的制定提供了大量实测数据支撑。（2）作为核心成员参与陕西省自然科学基金基础研究计划：煤矿大型设备再制造绿色成形技术及智能装备研究（2021JLM-08），负责在陕煤等企业开展现场技术服务、用户反馈收集与应用效果评估，为项目成果实现年再制造关键零部件 5000 件以上的产业规模提供了重要保障。			

姓 名	李洁	排 名	7
行政职务	生产技术部副经理		
技术职称	工程师		
工作单位	陕西天元智能再制造股份有限公司		
完成单位	陕西天元智能再制造股份有限公司		
对本项目技术创造性贡献： 作为项目核心成员，主要负责工艺试验、性能测试与工程应用推广工作。（1）参与完成专用熔覆装备现场调试、数据采集及质量检测，保障了生产线稳定运行与规模化生产。（2）作为主要成员参与西安市工信局重点产业链“揭榜挂帅”项目—高速丝材激光熔覆及设备研制技术攻关，完成工艺验证，参与编制应用方案、开展技术服务与用户培训，为项目产业化实施、效益提升及关键技术突破提供了重要支撑。			

八、主要完成单位情况表

单位名称	陕西理工大学
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献： 陕西理工大学作为本成果第一完成单位，立足矿山装备绿色再制造与智能升级重大需求，充分发挥材料科学、机械工程、智能检测等学科优势，在基础理论创新、关键技术研发、标准体系构建、成果转化推广等方面作出系统性、创造性贡献，为项目整体突破提供了核心支撑。 学校牵头构建了矿山装备激光再制造全链条技术体系，原创提出“梯度复合涂层 + 多场协同调控”新方法，攻克传统熔覆工艺易开裂、结合强度低、寿命短等行业难题，建立了完整的材料 - 工艺 - 装备 - 检测一体化方案。主导完成激光熔覆专用材料体系、复杂构件自适应工艺、在线质量闭环控制等关键核心技术研发，解决了深孔、内曲面、长轴类零件高精度再制造瓶颈，显著提升装备可靠性与服役寿命。 深度推进产学研用协同创新，与企业联合建成激光再制造中试基地与示范生产线，完成工艺验证、装备调试与规模化应用，推动技术在煤炭、冶金、高端装备等领域广泛落地。积极开展人才培养与技术服务，培养激光再制造领域高层次技术骨干与青年人才，为行业高质量发展提供持续智力支撑。	

单位名称	陕西天元智能再制造股份有限公司
对本项目科技创新和应用推广情况的贡献： 陕西天元智能再制造股份有限公司作为成果核心完成单位与产业化实施主体，紧密围绕矿山装备关键零部件激光熔覆再制造工程化、规模化应用需求，在技术工程化转化、专用装备研制、产业化示范、市场推广等方面作出突出贡献。 单位牵头开展高速丝材、热丝辅助、丝 - 粉混合、深孔、内孔一体化等多模式激光熔覆工艺工程化验证，完成熔覆参数优化、缺陷控制、尺寸精度保障等关键技术落地，解决了复杂构件现场适应性差、加工盲区大等工程难题。自主研发集成式宽光斑深孔激光熔覆头、内孔废粉清理装置、防误撞机构等专用装置，构建国产化、系列化矿山专用激光熔覆装备体系，大幅提升再制造自动化与智能化水平。 作为西安市工信局重点产业链“揭榜挂帅”项目牵头实施单位，完成高速丝材激光熔覆及设备研制技术攻关与产业化落地，建立标准化工艺流程、成本控制模型及全链条质量管控体系。牵头构建试验基地 — 中试线 — 规模化生产线三级转化平台，推动成果在陕煤、陕有色等大型能源企业实现规模化示范应用，形成年再制造关键零部件 5000 件以上产业能力，累计再制造产值 5 亿元以上。 同时，单位深度参与行业标准编制与质量评价体系建设，完善从检测、评估到验收的全链条可追溯机制，推动技术规范、标准化应用。通过产学研用协同创新，实现了技术从实验室走向工程化、产业化，为项目取得显著经济、社会和生态效益提供了关键支撑。	

完成人合作关系说明

本项目由陕西理工大学、陕西天元智能再制造股份有限公司产学研团队联合完成，主要完成人之间通过科研项目、学术论文、技术攻关等多种方式形成了长期、稳定、紧密的合作关系，共同支撑了“矿山装备核心功能部件激光熔覆再制造关键技术及装备”项目的系统性突破。具体合作关系说明如下：

1. 科研项目合作，奠定技术攻关基础

项目团队先后通过多项省部级、厅局级及国防类科研项目开展联合攻关，建立了稳定的合作机制。

以舒林森、王家胜、李培友、王昕、曹鹏、李洁为核心成员，共同承担陕西省秦创原“科学家+工程师”队伍建设项目（综采液压支架再制造关键技术研究与应用，2023KXJ-123），合作周期为2023年1月1日至2025年12月31日，重点围绕液压支架关键部件激光熔覆再制造工艺、装备开发与工程化应用开展系统研究，为成果产业化落地提供了关键支撑。

舒林森、王家胜、何雅娟共同参与中央军委装备预先研究项目（涂层自修复强化机理，61400040404），合作周期2018年11月1日至2020年12月31日，聚焦涂层自修复机理与强化机制研究，为项目材料体系与工艺优化提供了理论基础。

舒林森、何雅娟合作承担国防科技重点实验室基金项目（铁基自润滑涂层制备工艺及形性调控，JCKY61420052022），合作周期2021年1月1日至2022年12月31日，重点开展自润滑涂层制备与性能调控研究，为项目专用熔覆材料体系的研发提供了关键技术支撑。

2. 学术论文合作，支撑理论与技术创新

团队成员围绕项目关键技术问题，以共同发表学术论文的形式开展深度合作，形成了一系列高水平研究成果。

舒林森、王家胜、何雅娟于2018-2019年合作发表论文《磨损轴面激光熔覆过程的数值模拟及试验》，揭示了激光熔覆过程中温度场、应力场演化规律，为工艺参数优化提供了理论依据。

舒林森、曹鹏于2021-2022年合作发表论文《不同送料工艺对液压支架激光熔覆再制造的影响》，重点研究送料方式对再制造质量的影响，为项目多模式熔覆工艺的开发提供了试验支撑。

舒林森、王昕于 2021-2022 年合作发表论文《阀芯零件激光再制造工艺方法及试验研究》，针对阀芯类复杂构件的再制造难题开展研究，为复杂构件再制造工艺的突破奠定了基础。

舒林森、王家胜、李培友于 2023-2024 年合作发表论文《Study on machinability and grain deformation of laser cladding-manufactured and wrought IN718 alloys in dry milling process》，研究了激光熔覆层的加工性能与组织变形规律，为再制造件后续加工与性能控制提供了重要参考。

综上，本项目各完成人之间通过项目合作与论文合作，形成了从基础理论研究、关键技术攻关到工程化应用的全链条协同创新体系，合作关系真实、紧密、持续，所有成果均为本项目的核心创新内容，为项目提供了坚实保障。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	项目合作	科学家队伍排名：舒林森，排名第1； 王家胜，排名第3； 李培友，排名第2； 工程师队伍排名：王昕，排名第1； 曹鹏，排名第3； 李洁，排名第4	2023-01-01	2025-12-31	陕西省秦创原“科学家+工程师”队伍建设项目：综采液压支架再制造关键技术研究与应用“科学家+工程师”队伍（2023KXJ-123）	附件 6-6
2	项目合作	舒林森，排名第1； 王家胜，排名第5； 何雅娟，排名第2	2018-11-01	2020-12-31	中央军委装备预先研究项目：涂层自修复强化机理(61400040404)	附件 6-10
3	项目合作	舒林森，排名第1； 何雅娟，排名第3；	2021-01-01	2022-12-31	国防科技重点实验室基金：镍基自润滑熔覆涂层制备工艺及形性调控（JCKY61420052022）	附件 6-9
4	论文合作	舒林森，排名第1； 王家胜，排名第2； 何雅娟，排名第3；	2018-01-01	2019-12-31	合作发表论文	附件 1-2
5	论文合作	曹鹏，排名第1； 舒林森，排名第4；	2021-01-01	2022-12-31	合作发表论文	附件 7-14
6	论文合作	舒林森，排名第1； 王昕，排名第5；	2021-01-01	2022-12-31	合作发表论文	附件 7-15
7	论文合作	舒林森，排名第2；	2023-01-01	2024-12-31	合作发表论文	附件 7-16

		王家胜，排名第3; 李培友，排名第4;				
不限 条 目						