

# 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   | 航空再制造零件高效钻削加工关键技术及应用    |
| 主要完成人  | 白海清、王军利、潘腾、沈钰、王磐、杨思瑞、王力 |
| 主要完成单位 | 陕西理工大学、汉中万利航空装备制造有限公司   |

## 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 | <input type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖 <input checked="" type="checkbox"/> 三等奖 |
| <p>提名意见：</p> <p>航空再制造是高端装备绿色化、低碳化和自主保障能力建设的重要方向。针对 304 不锈钢激光熔覆件、Inconel718 镍基合金涂层件、TC4 钛合金构件及航空作动筒类零件在小孔加工中存在的异质性强、难加工、孔精度控制难、刀具磨损快和效率低等问题，项目围绕“钻削机理—工艺优化—刃磨装备—工程应用”开展系统攻关，揭示了熔覆层组织/硬度与钻削力、切屑形态之间的映射规律，构建了典型难加工材料小孔钻削多目标优化方法，提出麻花钻后刀面电火花线切割成形刃磨技术，研制了系列刃磨与检测装置。项目形成授权发明专利 5 项、专著 1 部和代表性论文多篇，已服务于飞机起落架前轮转弯作动筒国产替代研发、飞机舱门整体模锻作动筒智能制造等应用场景。成果对提升航空再制造零件孔加工质量、工艺稳定性和刀具刃磨水平具有积极作用，具备推广应用价值和行业示范意义，同意提名该项目为陕西省科学技术进步奖。</p> <p>提名该项目为陕西省科学技术进步奖 三 等奖。</p> <p>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。</p> <p>软科学标准计量科普类项目请勾选“二等奖”或者“三等奖”。</p> |         |      |                                                                                                   |

### 三、项目简介

(限 2 页)

(限 2 页)

绿色制造是实现传统机械行业产业化升级的重要方向，再制造技术作为高端装备绿色化转型的关键路径，对提升资源利用效率、降低全生命周期成本具有重要战略意义。在航空再制造领域，以 304 不锈钢激光熔覆件、Inconel718 镍基合金涂层件及 TC4 钛合金构件等为代表的典型零件，因熔覆层/基材存在显著异质性、材料难加工特性突出，在小孔精密钻削中面临刀具服役周期短、孔形精度控制难、材料去除效率低等技术瓶颈，制约了航空再制造零件加工质量和效率提升。

本项目致力于解决再制造零件钻削加工中的关键问题。依托省部级项目、校企合作项目及相关科研平台支撑，围绕“钻削机理—工艺优化—刃磨装备”三个维度开展系统攻关，形成了面向航空再制造零件高效精密钻削的成套技术方案。项目在低耗钻削、参数优化、精准刃磨及刀具检测等关键技术方面取得了系列创新成果。

#### 1. 揭示了再制造零件异质结构钻削机理

针对再制造零件熔覆层与基体在组织与力学性能上存在的梯度异质特性，研究揭示了其在钻削过程中“力—热—组织”多因素耦合作用机制。通过宏—微观跨尺度分析，联合力学性能测试与钻削试验，明确了熔覆件区别于均质材料的钻削特性与加工响应规律。

##### (1) 揭示了熔覆层与基材钻削性能差异的关键成因

基于 45 钢基体的 304 不锈钢激光熔覆件呈现出良好的冶金结合界面，且熔覆层硬度明显高于普通 304 不锈钢板材。钻削对比实验表明，熔覆件因激光快速凝固所形成的组织特征和硬度分布差异，其切屑形态、轴向力变化及材料去除方式均不同于常规材料。上述差异的核心机制源于熔覆层微观组织、硬度梯度和塑性变形能力的综合作用。

##### (2) 揭示了典型难加工再制造材料钻削的力—热耦合作用机制

针对 Inconel718 镍基合金涂层、TC4 钛合金及相关难加工再制造材料，本研究融合数值仿真与实验验证，构建了熔覆成形与钻削加工相衔接的分析方法。研究明确了 Inconel718 涂层熔覆质量对后续加工性能的影响规律，阐明了 TC4 钛合金钻削中刀具几何参数与工艺参数对钻削力、钻削温度和加工质量的调控机制。研究结果为不同再制造材料的钻削工艺适配提供了理论依据和工艺参考。

#### 成果与应用

依托陕西省重点实验室、省教育厅及相关校企合作项目支撑，项目形成授权发明专利、出版专著《麻花钻及其成形方法》1 部，并发表相关学术论文多篇。相关技术已服务于飞机起落架前轮转弯作动筒国产替代研发，并应用于汉中航空制造校企协同创新平台，为再制造零件钻削工艺参数优化和加工质量提升提供了技术支撑。

#### 2. 建立了面向高效低耗的再制造零件钻削工艺多目标协同优化模型

面向再制造零件钻削过程中加工精度、生产效率与刀具寿命等多目标协同优化需求，针对传统单因素优化方法难以解决复杂耦合问题的局限，本研究通过集成实验设计、数值仿真与智能优化算法，构建了钻削工艺多目标优化模型，阐明了工艺参数与性能指标之间的非线性映射关系，实现了多重约束下的工艺参数优选。

##### (1) 揭示了 304 不锈钢熔覆件钻削参数的影响规律与调控机制

针对 304 不锈钢激光熔覆件，通过单因素试验与正交试验协同分析，系统揭示了钻头几何参数与工艺参数对钻削轴向力的影响规律。研究量化了钻头直径、主轴转速和进给速度对钻削性能影响的主次关系，并辨识出关键影响参数及其作用机制，

为多目标优化模型构建提供了实验依据与理论基础。

(2) 提出了适配多类再制造材料的多目标协同优化技术

为解决不同再制造材料对钻削工艺的差异化需求，项目提出了面向多类材料的参数优化策略：针对奥氏体不锈钢，以低钻削力、高效率 and 较长刀具寿命为目标，采用多目标遗传算法获取参数优化解；针对 TC4 钛合金、Incone1718 等典型难加工材料，结合响应面法、有限元仿真和综合评价方法，实现了钻削力、钻削温度与加工质量的协同优化，形成了工艺参数精准匹配方法。

成果与应用

依托陕西省科技厅项目、万利航空校企合作项目等支撑，项目形成了发明专利、软件著作权和系列论文成果。相关技术已应用于飞机机载成品智能制造生产线、再制造发动机轴类零件钻削加工和航空作动筒相关零件加工过程，为航空再制造零件高效加工和关键部件国产化提供了工艺支撑。

**3. 提出了基于电火花线切割的麻花钻后刀面新型刃磨技术**

传统砂轮刃磨麻花钻存在成形运动复杂、小直径钻头易出现磨削烧伤、超硬材料刃磨效率低等问题，难以满足再制造零件钻削对高精度刀具的需求。本研究提出采用电火花线切割技术进行麻花钻锥面后刀面成形刃磨，形成了高质量、非接触、可参数化调节的刃磨技术方案。

(1) 阐明了麻花钻后刀面线切割刃磨原理

基于传统麻花钻锥面刃磨法原理，建立了以电极丝为成形工具的麻花钻后刀面线切割数学模型，明确了刃磨过程中的关键成形参数及其调控机制；利用 UG 等三维建模软件构建刃磨装置虚拟原型，通过 VERICUT 等数控仿真软件模拟电极丝运动轨迹，验证了圆弧插补与锥度切割相结合的刃磨方案可行性，确保成形后麻花钻钻尖几何角度满足加工要求。

(2) 研发了麻花钻后刀面专用刃磨装备

面向麻花钻后刀面精密刃磨需求，项目研制了专用电火花线切割刃磨装备，集成钻夹定位、运动轨迹控制与成形参数调节等功能模块，配套开发了专用夹具与成形装置。基于试验研究揭示了关键工艺参数对后刀面表面质量的影响规律，实现了刃磨表面质量的有效调控。该装备具有较好的材料适应性，可用于高速钢、硬质合金等导电刀具材料，尤其在小直径麻花钻精密刃磨方面具有应用优势，可减少传统磨削过程中的机械应力与磨削热损伤。

成果与应用

依托陕西省重点科学研究计划、校企协同创新平台等支撑，项目形成授权发明专利 5 项，并发表相关学术论文多篇。研究成果已应用于刀具制造企业及航空再制造生产线，为航空零件加工提供了刀具刃磨与质量检测支撑，推动了麻花钻后刀面成形刃磨技术从理论方法、装置研制到工程应用的转化。

## 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。）

### （1）科技查新认定

根据科技查新报告认定，本项目围绕航空再制造零件高效钻削加工关键技术，在再制造零件熔覆层小孔钻削行为与机理、多类难加工材料钻削工艺参数优化、麻花钻后刀面电火花线切割成形刃磨及刀具形貌检测等方面形成了系统技术成果。查新结果表明，项目所提出的“熔覆层组织/硬度—钻削力—切屑形态”映射分析方法、Inconel718 激光熔覆“建模—优化—验证”一体化工艺决策方法、TC4 钛合金钻削仿真与熵权-TOPSIS 综合决策方法，以及基于电火花线切割的麻花钻后刀面成形刃磨技术，具有较强的创新性和应用价值。相关查新结论为本项目科技创新点的新颖性、先进性和工程适用性提供了第三方文献检索依据。

### （2）麻花钻后刀面线切割成形论文及引用评价

《Forming method and experimental research on wire cutting of twist drill cone flank》发表于 The International Journal of Advanced Manufacturing Technology。论文针对麻花钻复杂曲面后刀面精密成形难题，提出了基于电火花线切割锥度切割与圆弧插补的集成成形方法，建立了钻体—锥体空间几何映射关系和关键工艺参数模型，并通过 UG NX 建模、VERICUT 仿真及 25 组工艺实验验证了该方法的工程可行性。研究结果表明，当限速频率为 70 Hz、脉宽为 5  $\mu$ s 时， $\Phi 8$  与  $\Phi 10$  钻头成形表面粗糙度达到较优水平，满足相关加工要求。该论文被 Web of Science 收录，他引 2 次，说明该成果已受到相关研究领域关注。该成果与项目授权发明专利“基于电火花线切割的麻花钻后刀面成形装置”“基于电火花线切割的麻花钻后刀面螺旋面法刃磨装置”“麻花钻后刀面插补式线切割成形装置”等共同支撑了麻花钻非接触式刃磨技术路线，为小直径钻具无磨削力、低热损伤成形提供了新的装备实现路径。

### （3）Inconel718 激光熔覆工艺优化论文及引用评价

《Numerical Simulation and Multi-Objective Parameter Optimization of Inconel718 Coating Laser Cladding》发表于 Coatings，论文建立了 Inconel718 涂层激光熔覆过程有限元模型，系统分析激光功率、扫描速度和送粉速率对熔池温度场、稀释率及成形系数的影响规律，并采用 Box-Behnken 设计、响应面法和多目标遗传算法进行工艺参数优化。优化结果获得激光功率 1756 W、扫描速度 19.43 mm/s、送粉速率 19.878 g/min 的参数组合，多道搭接试验表明该参数下熔覆层组织致密、冶金结合良好。该论文被 Web of Science 收录，他引 20 次，表明其在激光熔覆工艺模拟、参数优化和高温合金再制造方向具有一定学术影响。该成果将有限元仿真、响应面预测、多目标优化和实验验证相结合，为再制造高温合金涂层质量控制及后续钻削加工工艺窗口确定提供了可迁移的方法支撑。

#### （4）304 不锈钢激光熔覆件小孔钻削论文及引用评价

《304 不锈钢激光熔覆件的制备及小孔钻削实验研究》发表于《热加工工艺》，《304 不锈钢与其激光熔覆件小孔钻削的对比研究》发表于 APPLIED LASER。两篇论文围绕 45 钢基体 304 不锈钢激光熔覆件的小孔钻削行为开展系统研究，揭示了激光熔覆层显微组织、硬度梯度、切屑形态和钻削轴向力之间的关联规律。研究表明，激光快速凝固形成的熔覆层组织和硬度分布，使其在小孔钻削中表现出不同于轧制态 304 不锈钢的材料去除行为。相关研究构建了“熔覆制备—组织结构—力学性能—钻削响应”的分析框架，确定了钻头直径、主轴转速和进给速度对钻削性能的影响规律，并获得适用于 304 不锈钢激光熔覆件的小孔钻削参数组合。上述成果为再制造零件从熔覆成形质量控制到后续孔加工工艺优化提供了实验依据和理论支撑。

#### （5）知识产权与工程应用评价

本项目形成授权发明专利 5 项，包括“基于电火花线切割的麻花钻后刀面成形装置”“麻花钻刃磨装置”“基于电火花线切割的麻花钻后刀面螺旋面法刃磨装置”“具有多角度调节功能的刀具形貌检测装置”“麻花钻后刀面插补式线切割成形装置”等，构建了支撑麻花钻后刀面非接触成形、复杂曲面刀具检测和刃磨装备工程化应用的知识产权体系。相关成果已在汉中万利航空装备制造有限公司、汉江工具有限责任公司等单位应用，应用对象包括飞机作动筒和麻花钻等。应用单位证明显示，项目技术已服务于航空作动筒整体模锻、复杂刀具设计及麻花钻刃磨等应用场景，为航空再制造零件孔加工质量提升、工艺稳定性改善和刀具刃磨装备自主化提供了支撑。

## 五、应用情况

### 1. 应用情况（限 2 页）

本项目与航空零部件制造企业及高端刀具制造企业开展深度产学研合作，相关技术成果已在两家单位实现产业化应用，产生了显著的经济社会效益。

#### （一）航空零部件制造领域应用

本项目与汉中万利航空装备制造有限公司合作，联合承担陕西省重点研发计划项目，将研发的作动筒整体模锻技术及配套数字化制造体系应用于某型飞机起落架前轮转弯作动筒等产品的批量生产。针对传统焊接工艺存在的应力集中、疲劳寿命低、合格率低等行业痛点，实现了 30CrMnSiA 合金钢整体模锻件的自主可控生产。应用效果表明：作动筒加工效率提升 30%、产品合格率提升 20%、模具寿命提升 40%，完全满足航空级产品的严苛制造要求。

#### （二）高端刀具制造领域应用

本项目与汉江工具有限责任公司合作，将研发的高性能钻削刀具优化设计及数字化制造技术应用于多系列高性能麻花钻及配套钻削刀具的批量生产。针对传统刀具结构参数不合理、切削性能差、使用寿命短、加工合格率低等行业痛点，实现了高端复杂刀具的自主可控设计与批量制造，成功替代进口产品。应用效果表明：刀具切削效率提升 30%、产品加工合格率提升 20%、刀具使用寿命提升 40%，可满足航空航天等领域高端精密复杂刀具的严苛设计制造要求。

综上，本项目技术成果已在航空零部件制造和高端刀具制造两大领域实现产业化应用，经济和社会效益显著，具体如下。

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  | 汉中万利航空装备制造有限公司 | 作动筒整体模锻     | 飞机作动筒，近三年新增销售额 3660 万元。 | 2023-2025 | 从卫国<br>13909162856   |
| 2  | 汉江工具有限责任公司     | 复杂刀具设计关键及应用 | 麻花钻近三年新增销售额 16000 万元    | 2023-2025 | 常海峰<br>0916- 2206072 |

## 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  | 专著     | 麻花钻及其成形方法                                                                          | 中国     | 9787030623171                      | 2019.11    |                  | 陕西理工大学 | 白海清、沈钰、          |
| 2  | 发明专利   | 基于电火花线切割的麻花钻后刀面螺旋面法刃磨装置                                                            | 中国     | CN102407464 B                      | 2014.01.22 | ZL201110375810.1 | 陕西理工学院 | 白海清、侯红玲、王占领      |
| 3  | 发明专利   | 基于电火花线切割的麻花钻后刀面成形装置                                                                | 中国     | CN103707136 B                      | 2016.05.18 | ZL20131064047.0  | 陕西理工学院 | 白海清、汤孝东、荆浩旗      |
| 4  | 发明专利   | 麻花钻后刀面插补式线切割成形装置                                                                   | 中国     | CN105345181 B                      | 2018.06.29 | ZL201510818357.5 | 陕西理工学院 | 白海清、朱超、杨柳、王磐     |
| 5  | 发明专利   | 具有多角度调节功能的刀具形貌检测装置                                                                 | 中国     | CN111609816 B                      | 2024.06.25 | ZL202010542412.3 | 陕西理工大学 | 白海清、沈钰、安熠蔚、鲍俊    |
| 6  | 发明专利   | 麻花钻刃磨装置                                                                            | 中国     | CN108705385 B                      | 2024.07.23 | ZL201810880457.4 | 陕西理工大学 | 白海清、高飞、沈钰        |
| 7  | 学术论文   | Forming method and experimental research on wire cutting of twist drill cone flank | 中国     | 10.1007/s00170-019-04044-y         | 2019.06.18 |                  | 陕西理工大学 | 白海清、高飞、沈钰、朱超、王磐  |
| 8  | 学术论文   | 304 不锈钢激光熔覆件的制备及小孔钻削实验研究                                                           | 中国     | 10.14158/j.cnki.1001-3814.20183917 | 2020.03.20 |                  | 陕西理工大学 | 白海清、沈钰、舒林森、高飞、   |
| 9  | 学术论文   | 304 不锈钢与其激光熔覆件小孔钻削的对比研究                                                            | 中国     | 10.14128/j.cnki.al.20204001.001.   | 2020.02.15 |                  | 陕西理工大学 | 白海清、沈钰、安熠蔚、高飞、秦望 |

|    |      |                    |    |                                            |               |  |        |                  |
|----|------|--------------------|----|--------------------------------------------|---------------|--|--------|------------------|
| 10 | 学术论文 | 奥氏体不锈钢的小孔钻削参数多目标优化 | 中国 | 10. 3969/j. issn. 1001—3881. 2020. 17. 027 | 2020.9.1<br>5 |  | 陕西理工大学 | 白海清、安熠蔚、秦望、沈钰、高飞 |
|----|------|--------------------|----|--------------------------------------------|---------------|--|--------|------------------|

## 七、主要完成人情况表

|                                                                                                                                                                                            |        |     |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----|---|
| 姓 名                                                                                                                                                                                        | 白海清    | 排 名 | 1 |
| 行政职务                                                                                                                                                                                       | 副校长    |     |   |
| 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：                                                                                                                                                                               |        |     |   |
| 对本项目技术创造性贡献：作为项目负责人，牵头提出“钻削性能机理—工艺参数优化—刃磨装备创新”的三维技术路线；主导揭示再制造熔覆层与基材钻削性能差异及组织—硬度—钻削力关联规律；牵头构建 304 不锈钢、Incone1718、TC4 钛合金等多材料钻削参数多目标优化方法；首创麻花钻后刀面线切割刃磨原理并牵头研制相关装备，对主要科技创新点 1、2、3 均作出核心创造性贡献。 |        |     |   |

|                                                                                                                                                                                             |        |     |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----|---|
| 姓 名                                                                                                                                                                                         | 王军利    | 排 名 | 2 |
| 行政职务                                                                                                                                                                                        | 副院长    |     |   |
| 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：<br>参与航空作动筒及再制造零件加工工艺参数优化、材料结构分析和数字化制造验证。负责作动筒相关零件加工工艺路线、切削参数及加工质量控制的优化研究，开展工艺验证与应用对接，为难加工材料小孔加工工艺窗口确定、加工质量稳定性提升和工程应用提供支撑。对“四、主要科技创新”第 2 项“面向再制造难加工材料小孔加工的多目标优化与预测建模”作出重要创造性贡献。 |        |     |   |

|                                                                                                                  |                |     |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----|---|
| 姓 名                                                                                                              | 潘 腾            | 排 名 | 3 |
| 行政职务                                                                                                             | 副总工程师          |     |   |
| 技术职称                                                                                                             | 工程师            |     |   |
| 工作单位                                                                                                             | 汉中万利航空装备制造有限公司 |     |   |
| 完成单位                                                                                                             | 汉中万利航空装备制造有限公司 |     |   |
| 对本项目技术创造性贡献：<br>对应创新点一、二。负责异质结构钻削机理分析与多场耦合仿真，开展激光熔覆、钛合金、不锈钢再制造构件钻削力学行为研究；构建熔覆钻削全过程多场耦合模型，揭示微观组织、界面特性对钻削力热响应影响规律。 |                |     |   |

|                                                                                                                                                                           |                 |     |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----|---|
| 姓 名                                                                                                                                                                       | 沈钰              | 排 名 | 4 |
| 行政职务                                                                                                                                                                      | 高级工程师           |     |   |
| 技术职称                                                                                                                                                                      | 中级工程师           |     |   |
| 工作单位                                                                                                                                                                      | 宁德时代新能源科技股份有限公司 |     |   |
| 完成单位                                                                                                                                                                      | 陕西理工大学          |     |   |
| 对本项目技术创造性贡献：<br>参与 304 不锈钢激光熔覆件制备、小孔钻削实验及多目标优化研究工作。负责部分实验方案<br>设计、试验数据分析和钻削性能评价，参与揭示激光熔覆层组织特征对钻削力、切屑形态及<br>加工稳定性的影响规律，为再制造零件材料性能评价和钻削工艺优化提供实验依据，对主要科<br>技创新内容 1、2 作出重要贡献。 |                 |     |   |

|      |        |     |   |
|------|--------|-----|---|
| 姓 名  | 王磐     | 排 名 | 5 |
| 行政职务 | 科长     |     |   |
| 技术职称 | 助教     |     |   |
| 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：

参与麻花钻后刀面线切割刃磨装备及检测装置研发工作。负责部分刃磨装置结构设计、机构优化及工程化实现，参与专用夹具、多自由度调节机构和成形装置设计，为麻花钻后刀面非接触式成形技术及装备开发提供支撑，对主要科技创新内容 3 作出重要创造性贡献。

|      |        |     |   |
|------|--------|-----|---|
| 姓 名  | 杨思瑞    | 排 名 | 6 |
| 行政职务 | 无      |     |   |
| 技术职称 | 无      |     |   |
| 工作单位 | 西安理工大学 |     |   |
| 完成单位 | 陕西理工大学 |     |   |

对本项目技术创造性贡献：

参与难加工材料钻削实验、工艺参数优化及数据分析工作。负责部分钻削试验实施、实验数据处理和优化模型验证，参与 304 不锈钢、钛合金等材料钻削性能评价，为工艺参数优化方法建立和实验验证提供技术支撑，对主要科技创新内容 2 作出重要贡献

|      |                |     |   |
|------|----------------|-----|---|
| 姓 名  | 王力             | 排 名 | 7 |
| 行政职务 | 研发中心主任         |     |   |
| 技术职称 | 工程师            |     |   |
| 工作单位 | 汉中万利航空装备制造有限公司 |     |   |
| 完成单位 | 汉中万利航空装备制造有限公司 |     |   |

对本项目技术创造性贡献：

对应创新点三。负责装配工艺设计与工程化适配。参与陕西省技术创新引导专项（2021QFY05-03），承担装配工艺设计任务；结合航空作动筒类零件装配要求，参与再制造零件钻削加工后的装配工艺优化与产线适配。

## 八、主要完成单位情况表

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 单位名称                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 陕西理工大学 |
| <p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>作为本成果主要完成单位，陕西理工大学依托机械工程省级重点学科、陕西省航空部件先进制造及健康管理重点实验室等 13 个国家级和省级教学科研平台，整合 9000 余平方米实验场地与总值 4000 余万元的先进仪器设备（含加工中心、双频激光干涉仪等），为研究提供完备的实验条件；以“航空材料加工及航空部件性能检测试验”等省级创新团队为核心，投入稳定师资与研究生、本科生培养力量，提供持续技术支撑；借助与中航工业等企业共建的产学研协同平台及校外实践基地，搭建从实验室研发到产业应用的对接桥梁，其学科积累、硬件资源与产教融合优势，全程支撑成果的理论研究、实验验证与工程化落地。</p> |        |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 单位名称                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 汉中万利航空装备制造有限公司 |
| <p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>作为成果核心应用与协同创新单位，汉中万利航空装备制造有限公司全程支撑航空再制造零件高效钻削加工关键技术的研发、验证与产业化落地，为项目提供工程场景、工艺验证、生产数据及应用反馈等全方位支持。公司依托航空机载成品智能制造生产线与飞机零部件精密加工平台，提供典型航空作动筒、起落架类再制造零件试样与实际加工工况，协助完成钻削工艺试验、刀具性能测试及现场工艺调试，保障关键技术从实验室走向工程化应用。同时，参与校企联合攻关与成果转化，反馈生产现场技术痛点与优化需求，推动钻削工艺参数、刃磨装备等核心成果适配航空制造实际生产要求，助力技术在航空零部件精密加工中实现提质增效，为成果的工程验证、应用落地及产业化推广提供关键支撑。</p> |                |

## 完成人合作关系说明

1. **白海清**，项目总负责人，全面参与了“航空再制造零件高效钻削加工关键技术及应用”项目的总体方案规划、设计、组织与实施。对项目整体技术有创造性贡献，负责核心机理研究、参数优化与智能装备研发工作，带领团队成员做了大量试验验证与装备调试工作。在主要科技创新 1、2、3 均有重大贡献。与合作者共同揭示熔覆层与基材钻削性能差异成因、构建多材料钻削参数多目标优化模型、首创麻花钻后刀面线切割刃磨原理并研制系列专用装备。主持陕西省重点研发计划（2023-YBGY-385）、陕西省自然科学基金基础研究计划（2019JM-267），参与陕西省技术创新引导专项（2021QFY05-03）。获得授权发明专利 4 项，发表学术论文 10 余篇。

2. **王军利**，项目研发人员，参与了“航空再制造零件高效钻削加工关键技术及应用”项目的材料结构分析与性能表征工作。在主要科技创新 1 有重要贡献。与白海清、潘腾合作完成航空作动筒 30CrMnSiA 合金钢锻件及激光熔覆件的微观组织观察、物相分析及力学性能测试，揭示材料组织结构对钻削加工性的影响规律，为钻削机理分析提供材料学支撑。参与陕西省重点研发计划（2023-YBGY-385）、陕西省技术创新引导专项（2021QFY05-03）。

3. **潘腾**，项目核心研发人员，全面参与了“航空再制造零件高效钻削加工关键技术及应用”项目的异质结构钻削机理分析与多场耦合仿真工作。在主要科技创新 1、2 有重大贡献。与白海清、王军利合作开展激光熔覆、钛合金、不锈钢再制造构件钻削力学行为研究，共同构建熔覆钻削全过程多场耦合模型，揭示微观组织、界面特性对钻削力热响应影响规律。参与陕西省重点研发计划（2023-YBGY-385）、陕西省技术创新引导专项（2021QFY05-03）。

4. **沈钰**，项目研发人员参与了“航空再制造零件高效钻削加工关键技术及应用”项目。在主要科技创新 1、2 中作出重要贡献。与白海清、王军利等合作开展 304 不锈钢激光熔覆件制备、组织性能分析及小孔钻削实验研究，参与完成熔覆层形貌表征、显微硬度测试和钻削性能分析，揭示了激光熔覆组织特征对钻削力、切屑形态及加工稳定性的影响规律；参与奥氏体不锈钢小孔钻削试验及参数优化研究，为建立钻削性能预测模型和多目标优化方法提供实验数据支撑。作为发明人之一参与研发“具有多角度调节功能的刀具形貌检测装置”（ZL202010542412.3），为刀具磨损检测和加工过程评价提供技术支撑。参与相关论文研究、实验验证及知识产权研发工作。

5. **王磐**，项目研发人员，参与了“航空再制造零件高效钻削加工关键技术及应用”项目。在主要科技创新 3 中作出重要贡献。与白海清、朱超等合作开展麻花钻后刀面电火花线切割刃磨技术及专用装备研发工作，参与麻花钻后刀面成形装置、插补式线切割成形装置及相关机构的结构设计与优化，支撑了麻花钻非接触式精密刃磨技术由理论方法向装备实现转化。作为主要发明人之一参与研发“基于电火花线切割的麻花钻后刀面成形装置”（ZL201310646047.0）、“麻花钻后刀面插补式线切割成形装置”（ZL201510818357.5）等专利成果，为解决传统砂轮刃磨复杂运动、磨削烧伤和加工一致性不足等问题提供装备支撑。参与相关技术方案论证、专利研发及装备验证工作。

6. **杨思瑞**，项目研发人员，参与了“航空再制造零件高效钻削加工关键技术及应用”项目。在主要科技创新 1、2 中作出重要贡献。与白海清、沈钰等合作开展 304 不锈钢激光熔覆件钻削性能研究及 Inconel718 镍基合金激光熔覆工艺优化研究，参

与完成钻削实验数据采集、加工性能分析及工艺参数优化工作，支撑了熔覆材料特性与钻削响应关系分析；参与 Inconel718 激光熔覆有限元模型建立、多目标优化及实验验证工作，协助完成工艺参数预测与优化方法研究。参与发表《Numerical Simulation and Multi-Objective Parameter Optimization of Inconel718 Coating Laser Cladding》等相关论文，为再制造难加工材料工艺优化提供理论和数据支撑。

**7. 王力**，项目研发人员，参与了“航空再制造零件高效钻削加工关键技术及应用”项目的装配工艺设计与工程化适配工作。在主要科技创新 3 有重要贡献。与白海清、任志贵合作参与陕西省技术创新引导专项（2021QFY05-03），承担装配工艺设计任务，结合航空作动筒类零件装配要求完成再制造零件钻削加工后的装配工艺优化与产线适配。

### 完成人合作关系情况汇总表

| 序号   | 合作方式   | 合作者/<br>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    | 共同立项   | 白海清、潘腾、王军利、任志贵、王力 | 2015-1-1 | 2025-12-31 | 飞机起落架前轮转弯作动筒国产替代研发                                                                                   | 附件 23                     |
| 2    | 共同立项   | 白海清、潘腾、王军利、任志贵、王力 | 2015-1-1 | 2025-12-31 | 某型号飞机机载成品智能制造研究与应用                                                                                   | 附件 25                     |
| 4    | 论文合著   | 白海清（1）、沈钰（2）      | 2019 年   | 2020.02    | 304 不锈钢与其激光熔覆件小孔钻削的对比研究                                                                              | 代表性论文专著（序号 3）、检索证明（序号 9）  |
| 5    | 共同知识产权 | 白海清（1）、沈钰（2）      | 2020 年   | 2024.06.25 | 具有多角度调节功能的刀具形貌检测装置                                                                                   | 发明专利（序号 25）               |
| 6    | 论文合著   | 白海清（1）、王磐（5），     | 2018 年   | 2019.06    | Forming method and experimental research on wire cutting of twist drill cone flank                   | 代表性论文专著（序号 1）、检索证明（序号 12） |
| 7    | 共同知识产权 | 白海清（1）、王磐（4）      | 2015 年   | 2018.06.29 | 麻花钻后刀面插补式线切割成形装置                                                                                     | 发明专利（序号 26）               |
| 8    | 论文合著   | 白海清（2）、杨思瑞（1）     | 2022.04  | 2022.06    | Numerical Simulation and Multi-Objective Parameter Optimization of Inconel718 Coating Laser Cladding | 代表性论文专著（序号 2）、检索证明（序号 11） |
| 不限条目 |        |                   |          |            |                                                                                                      |                           |