

# 2026 年度拟提名陕西省科技进步奖项目公示内容

## 一、项目名称

机器人关节智能电驱动机构关键技术及应用

## 二、提名者及提名意见

提名者：陕西省知识产权局

提名意见：

本项目突破了一种机器人关节智能电驱动机构多物理场协同设计技术，提出了一种多场耦合的智能电驱动机构多目标优化方法，构建了智能电驱动机构一体化电-磁-热多场耦合模型。项目突破了一种高爆发智能电驱动机构的损耗优化控制技术，提出了一种机器人复杂任务场景下电驱动机构高过载高动态响应技术，设计了一种基于自抗扰控制的智能电驱动机构高频响转矩控制策略。项目突破了复杂扰动下基于参数自适应的状态预测技术，提出了基于多时间尺度理论的智能电驱动机构参数辨识方法，设计了一种机器人关节智能电驱动机构复杂扰动下状态预测技术，提出了复杂工况下智能电驱动机构集成化与系列化设计方法。

研究成果广泛应用于航空航天设备、工业机器人等重大项目工程中，经济效益和社会效益显著。本项目通过提升机器人电驱动机构性能，提升了机器人系统的运动特性和可靠性，降低了能耗与维护成本，提升了国产高性能驱动部件的竞争力，实现了战略价值与经济效益的双重突破。项目突破了机器人关节智能电驱动机构的技术瓶颈，提升了我国机器人产业的自主创新能力和核心竞争力，对推动智能制造装备升级、保障产业链安全具有重要战略意义。

项目成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科技进步奖提名条件。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖一等奖。

## 三、项目简介

智能电驱动机构是机器人实现高可靠灵巧运动的核心部件，其性能直接决定机器人负载能力与运动精度。电驱动机构在功率密度、动态响应、控制精度及运行可靠性等方面仍面临重大技术挑战，严重制约了机器人在复杂环境与极端任务场景中的应用。本项目面向国家机器人产业发展规划对智能机器人共性关键技术的迫切需求，自 2005 年起依托国家重点项目、国家科技重大专项、国家自然科学基金、陕西省重点研发计划等课题，由西北工业大学、陕西科技控股集团有限责任公司、西安微电机研究所等单位协同攻关，历经 20 余年理论创新与工程实践深度融合，形成了从响应国家重大需求、基础理论突破、关键技术创新到成果转化应用的完整技术体系。主要发明点如下：

1、构建了一种机器人关节智能电驱动机构新型数域基础理论体系，针对电磁-热-力耦合效应及多源损耗增加导致电驱动机构效率下降的问题，建立了一体化电磁-热-力多场耦合数学模型与协同求解算法，对电磁性能、热性能与结构性能协同优化，提出了多源损耗建模及最优电流求解方法，实现电流矢量自适应切换，功率密度达实现显著提高，较传统分离建模优化方案增幅明显，整机使用寿命大幅延长，同时电机效率提升。

2、提出了一种复杂任务场景下电驱动机构高过载高动态响应智能控制技术，针对电驱动机构难以同时实现大转矩输出与快速动态响应的问题，设计了基于自抗扰控制的高频响转矩控制策略，利用扩张状态观测器对转动惯量失配与电参数扰动进行估计与补偿，提出基于转矩前馈补偿的转矩脉动抑制方法，转矩脉动减少，同时动态响应提高，增强了机器人复杂任务场景下的环境适应性与动态响应能力。

3、提出了一种机器人关节智能电驱动机构复杂扰动下的高可靠性实现方法，针对电驱动机构参数随温度、磁路饱和及器件老化产生非线性漂移导致控制失稳的问题，提出在线分层参数辨识方法，实现电驱动机构电阻、电感及磁链的高精度估计，总体辨识精度提高，建立参数自适应状态预测模型，设计补偿与修正协同的残差抑制机制，实现控制精度提升，为机器人关节稳定运行提供了技术保障。

4、提出了复杂工况下智能电驱动机构集成化与系列化设计方法，围绕空、天、地、海四大应用领域，开发了典型集成化智能电驱动机构产品，提出了覆盖多种规格的智能电驱动机构系列化设计方法，具备了从核心部件到模组化系统的快速定制与批量交付能力，为多场景应用需求提供了系统解决方案。

项目获国家标准 5 项、授权发明专利 57 项（含英国发明专利 1 项）、软件著作权 33 项，发表 SCI/EI 论文 35 篇。成果已批量应用于工业机器人、无人机及低空飞行器等产品，开发形成 120 个规格的智能驱动产品，服务用户 80 余家，累计交付超 200000 台。相关技术有效支撑了卧龙电气驱动集团、贵阳航空电机、兰州万里航空机电等企业的产品升级，并与具身智能驱动系统研发形成良好产业协同。技术成果已实现从部件级到系统级的全链条工程转化，为高端装备与智能制造领域核心技术自主化提供了重要战略价值。

## 四、客观评价

该项目系统性地攻克了机器人关节智能电驱动机构在多物理场强耦合建模、高过载工况下的动态响应提升与复杂扰动下的预测控制等一系列关键技术难题，整体技术达到国内领先水平。通过建立电磁-热-机械多物理场耦合模型，并引入多目标协同优化设计方法，提高了关节驱动系统的功率密度、运行可靠性与使用寿命。在高过载运行条件下，项目提出了基于损耗分布优化的电机设计与结合自抗扰控制策略的驱动技术，有效抑制了转矩脉动与温升，大幅提升了系统的动态响应性能与能源利用效率。针对系统在变负载、非线性摩擦等复杂扰动环境下的

控制难题，提出了多时间尺度的参数在线辨识方法与自适应预测控制算法，实现了对扰动的实时观测与补偿，增强了系统的控制精度和运行稳定性。项目成果已成功应用于具身机器人关节系统、灵巧手与传动系统等驱动领域，近三年来实现批量应用，累计带来显著经济效益。本项目的研究成果对我国高端装备电驱动技术自主化与智能化升级具有重要推动作用，为提升智能制造与特种作业领域的核心竞争力提供了坚实的技术支撑。

项目在机器人关节智能电驱动机构领域，实现了从基础建模、核心控制算法到系统集成应用的全链条技术突破，整体技术成熟度高、工程实用性强。项目通过构建一体化数字模型并结合高精度优化算法，从根本上解决了关节驱动单元在极端工况下因过热引发的永磁体退磁、绝缘老化等可靠性瓶颈问题。在控制层面，创新性地提出了基于高频响转矩观测与动态补偿的伺服控制架构，实现了效率、响应速度与温升指标的协同优化，提升了系统综合性能。针对实际应用中复杂扰动场景，项目研发了在线参数辨识与多源扰动抑制技术，有效增强了系统在变工况下的控制精度与运行鲁棒性。该项目相关技术已获多项发明专利授权，并参与形成行业技术标准，体现了较强的行业影响力与认可度。项目成果已成功应用于工业机器人各关节精密驱动、高超声速飞行器燃油调节系统及飞机机电动力驱动单元等高要求场景，累计实现大规模产业化应用。近三年来，凭借优越的综合性能与可靠性，产品已取得显著的市场效益与经济回报，并为提升我国高端装备自主化水平与智能制造能力提供了关键技术支持，具备广泛的行业推广前景与重要的社会价值。

本项目针对机器人关节智能电驱动机构在复杂应用环境中面临的关键科学与技术问题，开展了深入系统的研究，创新成果显著。项目融合多场耦合设计、智能抗扰控制与状态预测等先进方法，实现了电驱系统在功率密度、动态响应、控制精度和运行可靠性等方面的全面提升。技术成果已成功应用于高端装备制造和飞行控制等领域，近三年取得重大经济效益，并培养了一批高水平科研人才。整体技术具有显著的创新性和工程应用价值，对促进我国机器人技术与智能驱动装备的自主创新发展具有重要意义。

本项目来源于国家重大专项产品研制项目、国家自然科学基金、陕西省重点研发重点项目等多个重点课题，依托西北工业大学、陕西科技控股集团有限责任公司、西安微电机研究所等单位，经过长期对科技创新与产业创新的深度整合，深入开展机器人关节智能电驱动机构多场耦合设计技术、复杂任务场景下电驱动机构高过载高动态响应技术、机器人关节智能电驱动机构复杂扰动下状态预测技术研究，保证智能电驱动系统在复杂任务场景下可靠运行，提升智能电驱动机构运行效率和动态响应，实现智能电驱动机构的扰动抑制与状态精准预测，在技术自主创新与新产品研发等关键领域实现了重大突破，为机器人关节电驱动机构的技术升级与产业应用奠定了坚实基础。

项目成果大规模批量应用于工业机器人、传动系统及飞行器动力系统等产品中，提升了电驱系统响应能力与安全可靠性能，产生了突出的经济效益和社会价值。

五、应用情况

本项目技术成果已成功应用于航空航天设备、工业机器人等领域，取得了显著的综合性效益。通过提升机器人作业效率与可靠性，降低了能耗与维护成本，带动了国产高性能驱动部件的竞争力，实现了经济效益与战略价值的双重突破。突破了机器人关节智能电驱动机构的技术瓶颈，提升了我国机器人产业的自主创新能力和核心竞争力，对推动智能制造装备升级、保障产业链安全具有重要战略意义。

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  | 卧龙电气驱动集团股份有限公司 | 1. 多物理场协同设计<br>2. 高过载高动态响应控制技术<br>3. 复杂扰动下状态预测<br>4. 应用了电驱动机构集成化与系列化技术 | 具身机器人关节驱动系统          | 2022 年 3 月 1 日至今 | 庞欣元      |
| 2  | 深圳市正德智控股份有限公司  | 1. 机电驱动机构一体化电-磁-热多场耦合模型<br>2. 高过载高动态响应控制技术<br>3. 电驱动机构集成化与系列化设计        | 具身机器人驱动模块            | 2023 年 3 月 1 日至今 | 黄甲庚      |
| 3  | 贵阳航空电机有限公司     | 1. 多场耦合的智能电驱动机构多目标优化技术<br>2. 多源损耗协同优化与电流矢量自适应切换控制技术                    | 应用于高超声速发动机油泵电机系列化产品。 | 2021 年 3 月至今     | 江龙       |
| 4  | 兰州万里           | 1. 复杂任务场景下                                                             | 飞行器                  | 2005 年           | 李勇       |

|  |                    |                                                     |  |                         |  |
|--|--------------------|-----------------------------------------------------|--|-------------------------|--|
|  | 航空机电<br>有限责任<br>公司 | 电驱动机构高过载<br>高动态响应技术<br>2. 应用了电驱动机<br>构集成化与系列化<br>技术 |  | 01 月至<br>2026 年<br>01 月 |  |
|--|--------------------|-----------------------------------------------------|--|-------------------------|--|

## 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<br>(地区) | 授权号                 | 授权日期             | 证书编号    | 权利人          | 发明人                        |
|----|--------|----------------------------|------------|---------------------|------------------|---------|--------------|----------------------------|
| 1  | 发明专利   | 磁链基/三次谐波组合优化无刷直流电机位置连续检测方法 | 中国         | ZL 2016 1 0368298.0 | 2018 年 07 月 03 日 | 2985705 | 西北工业大学       | 窦满峰；苏超；谭博；赵冬冬；方淳           |
| 2  | 发明专利   | 基于扩张陷波状态观测器的无差拍预测电流控制方法    | 中国         | ZL 2025 1 0353800.X | 2025 年 07 月 25 日 | 8101762 | 西北工业大学       | 文思聪；窦满峰；赵冬冬；党梦溪；党常亮        |
| 3  | 发明专利   | 基于广义自抗扰控制的永磁同步电机电流扰动抑制方法   | 中国         | ZL 2025 1 236384.1  | 2025 年 11 月 11 日 | 8455062 | 西北工业大学       | 文思聪；窦满峰；赵冬冬；华志广；闫书豪；贾海云    |
| 4  | 标准     | 永磁交流伺服电动机通用技术条件            | 中国         | GB/T 30549-2014     | 2014 年 05 月 06 日 | /       | 西安微电机研究所有限公司 | 李中军；莫会成；程智；刘志湖；曾逸；张俊；任雷；张朴 |
| 5  | 标准     | 开关磁阻电动机通用技术条件              | 中国         | GB/T 34864-2017     | 2017 年 11 月 01 日 | /       | 西安微电机研究所有限公司 | 李中军；熊立新；马德利；蔡广宇；韩雪岩；郭巧彬    |

|    |      |                           |    |                     |                  |         |              |                                               |
|----|------|---------------------------|----|---------------------|------------------|---------|--------------|-----------------------------------------------|
| 6  | 标准   | 永磁式直线电动机通用技术条件            | 中国 | GB/T 34115-2017     | 2017 年 07 月 31 日 | /       | 西安微电机研究所有限公司 | 李中军；曹卉；张俊；董瑜堂；金韶东；陈政；张朴                       |
| 7  | 发明专利 | 一种拦截高速高机动目标的协同末制导方法       | 中国 | ZL 2023 1 0191402.3 | 2025 年 06 月 24 日 | 8019166 | 西北工业大学       | 闫星辉；任仕卿；徐雨蕾；唐羽中                               |
| 8  | 发明专利 | 耐快速；宽温变环境的微型空心杯无刷电机及加工方法  | 中国 | /                   | 2022 年 04 月 12 日 | /       | 西安微电机研究所有限公司 | 宫佐；任虹霞；师浩昊；张海博；陈峰                             |
| 9  | 发明专利 | 一种用于混动汽车领域的开关磁阻电机五电平功率变换器 | 中国 | ZL 2025 1 0025830.8 | 2025 年 04 月 15 日 | 7871718 | 西安微电机研究所有限公司 | 许爱国；李峰；柳舟洲；葛乐飞；任虹霞；周建新；王桐；张朝晖；沈煜铎；李嘉焱；蔡浩宇；何嘉凯 |
| 10 | 发明专利 | 一种基于转矩分配函数的磁阻电机 PWM 控制方法  | 中国 | ZL 2025 1 0015305.8 | 2025 年 03 月 07 日 | 7778475 | 西安微电机研究所有限公司 | 许爱国；李中军；师浩昊；郭继轩；窦满峰；葛乐飞                       |

## 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                                                                               |
|-----|----|------|--------|----------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 窦满峰 | 1  | 无    | 教授     | 西北工业大学         | 西北工业大学         | 深入分析现有机器人关节电驱动机构在性能、散热与可靠性方面的技术瓶颈，确立了通过多物理场协同设计以实现性能突破的技术路线。提出了智能电驱动机构集成化与系列化设计理论框架。 |
| 周吉峰 | 2  | 董事长  | 正高级工程师 | 陕西科技控股集团有限责任公司 | 陕西科技控股集团有限责任公司 | 提出了基于多时间尺度理论的智能电驱动机构参数辨识方法，解决了电机电阻、电感等关键参数在不同运行状态下的在线精准辨识问题，为状态预测提供了准确模型基础。          |
| 许爱国 | 3  | 董事长  | 高级工程师  | 西安微电机研究所有限公司   | 西安微电机研究所有限公司   | 深入分析机器人高速抓取、紧急制动、负重突变等复杂任务场景对关节驱动机构的极端性能需求，明确高过载与高动态响应的具体技术指标。                       |
| 华志广 | 4  | 无    | 教授     | 西北工业大学         | 西北工业大学         | 构建了智能电驱动机构的一体化“电-磁-热”多场耦合高精度仿真模型，准确揭示了电磁性能与热管理之间的相互作用关系。设计了智能电驱动机构集成化与系列化应用技术        |
| 赵冬冬 | 5  | 无    | 教授     | 西北工业大学         | 西北工业大学         | 突破了一种机器人关节智能电驱动机构的多物理场协同设计技术，实现了电磁设计、热管理和结构优化的同步与集成。实现了智能电驱动机构集成化与系列化设计的落地应用。        |

|     |    |       |        |                |                |                                                                                |
|-----|----|-------|--------|----------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 闫星辉 | 6  | 无     | 副教授    | 西北工业大学         | 西北工业大学         | 提出并开发了一种基于多场耦合模型的多目标优化方法，以同时追求扭矩密度、效率与温升控制等关键性能指标的最优解。                         |
| 任虹霞 | 7  | 主任工程师 | 高级工程师  | 西安微电机研究所有限公司   | 西安微电机研究所有限公司   | 提出并设计一套完整的电驱动机构技术方案，重点解决如何在极端工况下实现短时功率大幅超越额定水平并保证极快的指令响应速度的核心问题。               |
| 吕永卫 | 8  | 副总经理  | 工程师    | 陕西科技控股集团有限责任公司 | 陕西科技控股集团有限责任公司 | 突破了复杂扰动下基于参数自适应的状态预测技术，将在线辨识的参数实时注入预测模型，使系统能够主动适应负载突变、温升等内外扰动，提升状态预测精度与鲁棒性。    |
| 罗兵  | 9  | 无     | 工程师    | 西北工业大学         | 西北工业大学         | 应用多目标优化方法对驱动机构进行快速设计迭代与性能仿真验证，得到满足预定效率与可靠性目标的优化设计方案。                           |
| 李中军 | 10 | 总经理   | 正高级工程师 | 西安微电机研究所有限公司   | 西安微电机研究所有限公司   | 针对高过载运行工况，精准建模并分析电机与驱动器中的铜耗、铁耗、开关损耗等各类损耗的急剧变化特性，识别出制约性能提升的热瓶颈与效率瓶颈。            |
| 彭庆  | 11 | 专项总师  | 高级工程师  | 西安微电机研究所有限公司   | 西安微电机研究所有限公司   | 突破一种在线智能损耗优化控制技术，通过实时调节控制参数，在保障高爆发力输出的同时，主动管理与优化系统损耗，防止热失控并提升能效。               |
| 师浩昊 | 12 | 部长    | 高级工程师  | 西安微电机研究所有限公司   | 西安微电机研究所有限公司   | 综合参数辨识与自适应算法，设计一种完整的机器人关节智能电驱动机构复杂扰动下状态预测技术，并完成系统集成与性能测试，验证算法在真实扰动场景下的有效性与可靠性。 |

|     |    |        |       |              |              |                                                                     |
|-----|----|--------|-------|--------------|--------------|---------------------------------------------------------------------|
| 周建新 | 13 | 主任工程师  | 高级工程师 | 西安微电机研究所有限公司 | 西安微电机研究所有限公司 | 基于自抗扰控制理论，设计一种新型的智能电驱动机构转矩控制架构，该架构能够实时观测并补偿系统内外部扰动，为实现高频响转矩控制奠定基础。  |
| 冯岗  | 14 | 主任助理   | 高级工程师 | 西安微电机研究所有限公司 | 西安微电机研究所有限公司 | 完成针对电驱动系统特性的自抗扰控制器参数整定工作，将其嵌入到实际控制系统中，实现转矩指令的快速、无超调、抗扰动的精确跟踪。       |
| 刘杰  | 15 | 研发中心主任 | 高级工程师 | 西安微电机研究所有限公司 | 西安微电机研究所有限公司 | 将损耗优化控制技术与高频响转矩控制策略集成于统一平台，在模拟的复杂任务场景下进行系统级测试，全面验证高过载、高动态响应能力的实际效果。 |

## 八、主要完成单位情况及创新推广贡献

| 完成单位           | 排名 | 对本项目科技创新和应用推广情况的贡献                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 西北工业大学         | 1  | <p>作为本项目的第一完成单位，充分发挥高校在基础理论研究方面的优势，研发了一体化电-磁-热多场耦合建模与多目标优化技术，主要负责项目的状态预测与参数辨识核心算法研发，智能驱动控制技术路线制定，为项目的创新和应用做出了以下重要贡献：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 突破了机器人关节驱动领域的关键技术瓶颈，首创了智能电驱动机构多物理场协同设计与优化方法，解决了高功率密度、高动态响应与热管理之间的协同难题；</li> <li>2. 实现了从理论模型到工程应用的完整技术闭环，将研发技术成功应用于多个省级重点工程和机器人产品中，验证了其先进性与可靠性，形成了显著的示范效应；</li> <li>3. 构建了完备的研发支撑体系，通过高效的项目管理、充足的资金保障和资源调配，确保了多学科交叉研究的顺利进行，为技术的持续创新与迭代提供了坚实基础。</li> </ol>                 |
| 陕西科技控股集团有限责任公司 | 2  | <p>项目合作单位，陕西科技控股集团有限责任公司主要负责本项目组织管理、统筹协调、核心算法与系统集成开发以及保证科研资金的投入等，率先在机器人核心部件研发中应用本项目研究成果，牵头推进智能电驱动机构多物理场协同设计技术在省内多个高端装备制造与智能机器人工程建设项目中应用实践，取得了良好的示范效应，并为项目的运转提供后勤保障和资源调配，推进了项目的有序进行，对本项目技术进行推广和产业应用，对本项目的主要贡献有：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 设计了基于多时间尺度理论参数辨识方法，为系统的高精度控制提供了坚实的理论模型基础；</li> <li>2. 突破了复杂扰动环境下状态预测的关键技术显著提升了电驱动机构在不确定扰动下的观测精度和鲁棒性；</li> <li>3. 将相关研究成果推广应用到机器人关节中，有效增强了机器人在复杂工况下的性能，拓展了技术的工程应用范围。</li> </ol> |
| 西安微电机研究所有限公司   | 3  | <p>项目合作单位，发挥其在特种电机系统与高精度伺服驱动方面的技术优势，开展了面向复杂任务场景的机器人电驱动机构核心技术研究，主要负责制定高过载高动态响应总体技术方案，高爆发机器人关节研究内容和目标，其对项目的创新和应用做出了</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

|  |  |                                                                                                                                                                                  |
|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | 如下贡献：<br>1. 突破了高爆发智能电驱动系统的核心控制瓶颈，提出了基于自抗扰控制的高频响转矩控制策略，显著提升了电驱动机构在复杂任务下的动态响应性能与抗干扰能力；<br>2. 研发了高效的损耗优化控制技术，确保了电驱动机构在极端工况下的可靠运行与长寿命；<br>3. 将所研发的高动态、高过载驱动技术应用于具体产品开发，推动了项目成果的落地转化。 |
|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 九、完成人合作关系说明

本人窦满峰，西北工业大学教授，作为本项目第一完成人，与华志广、赵冬冬、许爱国、李中军等核心成员合作，针对机器人关节智能电驱动机构开展研究。西北工业大学、陕西科技控股集团有限责任公司与西安微电机研究所有限公司通过共同知识产权及项目合作的方式完成项目成果，完成人合作关系详见下表。

| 序号 | 合作方式   | 合作者/项目排名                                  | 合作时间             | 合作成果                      |
|----|--------|-------------------------------------------|------------------|---------------------------|
| 1  | 共同知识产权 | 窦满峰（1）、华志广（4）、赵冬冬（5）                      | 2025 年 11 月 11 日 | 基于广义自抗扰控制的永磁同步电机电流扰动抑制方法  |
| 2  | 共同知识产权 | 窦满峰（1）、许爱国（3）、李中军（10）                     | 2025 年 3 月 7 日   | 一种基于转矩分配函数的磁阻电机 PWM 控制方法  |
| 3  | 共同知识产权 | 许爱国（3）、任虹霞（7）、周建新（13）                     | 2025 年 4 月 15 日  | 一种用于混动汽车领域的开关磁阻电机五电平功率变换器 |
| 4  | 共同立项   | 华志广（4）、罗兵（9）                              | 2024 年 10 月 1 日  | 共同承担项目                    |
| 5  | 产业合作   | 周吉峰（2）、吕永卫（8）、许爱国（3）、彭庆（11）、冯岗（14）、刘杰（15） | 2015 年 7 月 1 日   | 在机器人电机方面进行产业合作            |
| 6  | 产业合作   | 华志广（4）赵冬冬（5）窦满峰（1）闫星辉（6）                  | 2025 年 12 月 31 日 | 共同开发预测算法软件                |
| 7  | 共同知识产权 | 任虹霞（7）、师浩昊（12）                            | 2022 年 4 月 12 日  | 耐快速；宽温变环境的微型空心杯无刷电机及加工方法  |