

陕西省科技进步奖公示

成果名称	主要完成单位	主要完成人	推荐等级
高效智能复合等离子体防冰减阻技术及应用	中国人民解放军空军工程大学,中国飞行试验研究院,中航(成都)无人机系统股份有限公司,西安交通大学	梁华,宗豪华,苏志,郑浩,李江海,陈杰,魏彪,朱益飞,卞栋梁,王丽,李哲,孔亚康,杨鹤森,熊有德,李金平	一等奖

一、提名者和提名意见

提名者：中共陕西省委军民融合发展委员会办公室

提名意见：该项目面向大型无人机防冰减阻的迫切需求，在“两机”重大专项、国家数值风洞工程以及基金委面上等项目的支持下，开创性地提出了“基于高效智能等离子体激励进行无人机流动/传热复合调控”的创新解决方案。项目突破了小型化、长寿命等离子体激励产生技术，提出了低功耗、体/面复合等离子体防除冰方法，建立了高效能、力热冲击等离子体湍流减阻理论，研制了自感知、快学习的智能自适应控制系统，大幅降低了无人机的防冰总功耗和飞行阻力，从根本上解决了自适应控制策略在飞行中在线学习的难题。项目发表学术论文 65 篇、授权发明专利 49 项，获中国航空学会自然科学一等奖 1 项、中国空气动力学会科技进步二等奖 1 项、空军首届航空创意挑战赛一等奖 1 项。成果三次入选美国航空航天学会（AIAA）所撰写的全球年度重要

进展综述，在近 10 个大型无人机型号中推广应用，应用期内新增经济效益 4 亿元，经济和社会效益显著，有力推动了我国飞机防冰减阻领域的发展。项目难度大、创新性强，整体技术水平达到国际领先，符合陕西省科学技术进步奖的授奖条件。

二、成果简介

大型无人机（如翼龙、彩虹、无攻系列等）在应急救援、地理测绘、气象干预和军事察打等领域有着广泛的应用，是我国综合实力的重要标志，也是发展低空经济的重要抓手。近年来，在国家、省、市各级政府的大力支持下，我国此类装备取得了长足发展，但在实际应用中仍存在着两大突出短板：一是无人机缺乏低功耗防除冰手段，极端气象条件只能“躲冰飞行”，结冰飞行安全难以保证；二是无人机航程航时不足，到达任务空域后难以“持续制空”，巡航升阻比亟待提升。历史上，曾发生多起由于结冰而引起的重大飞行事故、也出现过多次由于制空时间短而与外军对峙失利的情形。

针对上述瓶颈问题，项目团队作为国内最早的等离子体流动控制研究团队（2003 年），在“两机”重大专项、国家数值风洞工程、基金委面上等一系列科研项目资助下，依托航空动力系统与等离子体技术全国重点实验室、飞机推进系统军队重点实验室等高端平台，开展了持续深入的研究，创新性的提出了基于智能高效等离子体激励实现无人机流动/传热复合调控的学术思路。利用等离子体激励独特的动量冲击效应、能量沉积效应，

实现了高效低功耗的防除冰和智能自适应的湍流减阻。成果在翼龙、飞鸿、CW-100、青龙、AYK-320 等 10 余型无人机与涡扇-10 航空发动机上应用落地，经济效益、社会效益和军事效益显著。项目主要科技创新如下：

（1）突破了小型化、长寿命等离子体激励产生技术。通过电路拓扑优化和阻抗调谐匹配，在同等输出功率下将等离子体驱动源的重量、体积降为商用电源重量的 1/5；进一步，研制了“多层无机材料层压+表面氟化/纳米掺杂”的新型等离子体激励器，有效阻止了高浓度等离子体强氧化环境下的材料侵蚀破坏，将激励器的使用寿命提升了 3 倍，为该系统在无人机上的部署应用奠定了坚实基础。

（2）提出了低功耗、体/面复合等离子体防除冰方法。将等离子体激励特有的“立体空间加热效应”与超疏水涂层的“界面液滴排斥效应”进行复合，发明了表面半导体化的高效等离子体防除冰激励器，有效降低了单位面积防冰功率；针对无人机机翼前缘防除冰场景，借鉴仿生思想，提出热流功率多维分布式调制方法，实现从“全域防冰”到“按需防冰”的跨越；同等气象条件下，该方法的防除冰功率密度需求仅为常规方法 30%。

（3）建立了高效能、力热冲击等离子体湍流减阻理论。提出了面向边界层高效调控的快升缓降等离子体激励新波形以及阵列微吹等离子体激励新构型，将等离子体湍流减阻的有效速度范围从不足 10m/s 提升至 70m/s；推导了等离子体气动激励与边界层相互作用的点涡输运模型，实现了任意工况减阻效能的理论预测，总结了等离子体减阻系统设计无量纲相图。

(4) 研制了自感知、快学习的智能自适应控制系统。发明了等离子体结冰传感器、摩阻传感器用于实时传感反馈，提出了具备在线控制策略优化能力的多种机器学习算法，研发了适用于多工况防冰减阻的智能控制器。通过系列考核，在多型号无人机上推广应用，实现结冰气象条件下防冰系统的自主通断和功率调整；巡航飞行中不足 1 分钟即可得到高效等离子体减阻策略，激励区域减阻达 20%。

项目共发表学术论文 65 篇，其中一区 SCI 论文 24 篇、特邀综述论文 3 篇。授权国家发明专利 49 项，登记软件著作权 8 项。获中国航空学会自然科学一等奖、中国空气动力学会科技进步二等奖、空军首届航空创意挑战赛一等奖。流向热刀等离子体防除冰方法、冰形调控方法、力热冲击等离子体湍流减阻理论控制分别被美国航空航天学会 (AIAA) 选入 2019 年度、2022 年度和 2024 年度全球重要进展综述，为本领域所在年度唯一入选成果。无人机冰形调控技术入选某部装备综合信息，获部委首长专门批示。在项目支撑下，团队主要成员入选国家青年长江学者、海外优青、军队学科拔尖人才、中航工业集团一级专家、陕西省科技创新团队、青年托举人才计划等，被评为航空航天领域全球前 2% 顶尖科学家，所培养学生参加国家级学科竞赛/学术会议获奖励近 20 项。

中国空气动力学学会理事长唐志共院士评价：“项目成果创新性强、研究技术难度大、应用面广，经济效益、社会效益以及军事效益突出，有力地推动了我国无人机防冰与减阻领域的发展进步，总体达到了国际领先

水平”。中国航空学会防除冰分会主任委员易贤研究员评价：“解决了传统高功耗电热防冰在多个领域“有用但不能用”的难题，有力推动了我国防除冰技术领域的整体进步”。中航（成都）无人机系统股份有限公司攻击 2、翼龙 2 无人机总师李屹东评价：“显著的提升了无人机在极端气象条件下长时遂行应急救援、气象干预、军事侦察的能力，...引领了我国下一代大型无人机的防冰与气动减阻技术发展”。

成果应用：（1）项目整体技术在中航（成都）无人机系统有限公司（上市公司）、航天时代飞鸿技术有限公司、成都纵横大鹏无人机科技有限公司（上市公司）、西安君晖航空科技有限公司、四川跃纳科技有限公司、西安空天能源动力智能制造、中国人民解放军 93525 部队、航发黎明公司等单位的数 10 个型号无人机与航空发动机上推广应用，新增销售额 4.1 亿元，经济效益显著。（2）单项技术如小型化等离子体激励源、高效能等离子体激励器等在中国空气动力研究与发展中心、中航气动院、北大、哈工大、西工大、南航、华科、西理工等单位所承担的多个重大/重点型号预研项目中应用，有力保障了相关项目的实施与完成。（3）支撑大型无人机完成极端气象条件下的抢险救灾、应急救援、信号中继等任务，得到央视网、人民网、新华社等多个国家官方媒体的报道。

三、客观评价

1.国外研究机构权威评价

[1]. 美国航空航天学会将项目流向等离子体热刀成果列入 2019 年度全球重要进展综述。评价：“流向等离子体热刀安装在机翼前缘可用于防冰和除冰。这项新技术……实现了翼型前缘的快速局部加热”。

[2]. 美国航空航天学会将项目等离子体防除冰成果列入 2022 年度全球重要进展综述。评价：“团队开展了等离子体源在冰层传感、积冰调控和除冰方面的应用”。

[3]. 美国航空航天学会将项目边界层转捩控制成果列入 2024 年度全球重要进展综述。评价：“空军工程大学开发了一种超密条状等离子体激励器，……实现 22% 的减阻效果”。

2. 部委评价

无人机冰型调控技术成果入选某部装备综合信息，获部委首长专门批示。具体评价：“空军工程大学攻克无人机冰型调控技术提升全天候保障能力。针对无人机在结冰条件下无法升空作战，只能“躲冰”飞行等问题，历时 8 年时间，通过多学科融合与仿生学方法，……确保了无人机在有限功率下具有足够气动与飞行性能，保证了飞行安全”。

3. 专家评价

中国空气动力学会理事长唐志共院士评价：“项目成果创新性强、研究技术难度大、应用面广，经济效益、社会效益以及军事效益突出，有力地推动了我国无人机防冰与减阻领域的发展进步，总体达到了国际领先水平”。

中国航空学会结冰与防除冰分会主任易贤研究员评价：“项目提出的革命性低功耗防冰技术实现了结冰安全与气动性能的同步改善，解决了传统高功耗电热防冰在多个领域“有用但不能用”的难题，有力推动了我国防除冰技术领域的整体进步，除无人机外，在大型风力机、航空发动机等高端装备上应用前景广阔”。（附件 30）

中航（成都）无人机系统有限公司型号总师李屹东研究员评价：“（项目）显著的提升了无人机在极端气象条件下长时遂行应急救援、气象干预、军事侦察的能力，……。项目成果创新性强、难度大、应用面广，……。引领了我国下一代大型无人机的防冰与气动减阻技术发展”。

4.学术评价

[1].美国普林斯顿大学 A.Yu.Starikovskiy 教授（AIAA Associate Fellow），在其权威综述论文（Plasma Physics Reports, 2021, 47(2): 148-209）中充分肯定了申请人的等离子体防除冰技术，指出“已有实验表明，等离子体激励器即使在严重结冰条件下也能成功运行”。

[2].德国莱布尼茨等离子体科学与技术研究所 Ronny Brandenburg 教授，在权威期刊 Journal of Physics D: Applied Physics（2020, 53: 405201）中评价申请人等离子体防除冰技术“在飞机表面除冰方面显示出良好的应用前景（原文：looks promising）”。

[3].日本东京农工大学 Hiroyuki Nishida 教授，在航空航天领域顶刊 Aerospace Science and Technology（2025,

164: 110347) 中充分肯定申请人减阻控制效果, 指出其 “功率效率得到显著提升 (原文: power efficiency was significantly improved) ”。

[4]. 意大利都灵理工大学 Jacopo Serpieri, 在美国航空航天学会 AIAA Aviation Forum (2024, 10.2514/6.2024-4384) 发文称申请人等离子体激励湍流边界层减阻降阶建模研究为 “全面而透彻的研究 (a dedicated thorough study) ”。

5. 用户评价

项目成果在翼龙、飞鸿、CW-100、青龙、AYK-320 等 10 余型无人机上得到应用, 获得一致好评。航天时代飞鸿技术有限公司: “……有效解决了无人机在结冰气象条件下无法安全飞行的行业共性难题, 具有重要的军事价值和经济推广前景”。中航 (成都) 无人机系统有限公司 (上市公司): “……显著提升了翼龙系列无人机在复杂气象条件下的任务可靠性和产品竞争力”。西安君晖航空科技有限公司: “……实现了轻量化、低功耗、响应快、可维护性好的目标”。成都纵横大鹏无人机科技有限公司 (上市公司): “……显著提升了 CW-100 无人机在复杂气象条件下的作业可靠性和产品竞争力”。四川跃纳科技有限公司: “系统性能稳定、工作可靠……”。西安空天能源动力智能制造研究院有限公司: “……实现了先进技术与百姓生活的深度融合, 经济效益与社会效益显著”。中国人民解放军 93525 部队: “……, 对提升部队无人装备作战能力具有重要意义”。中航工业哈

哈尔滨空气动力研究所：“……，对提升飞行器航程航时具有重要意义”。北京大学：“……对空天飞行器减阻降热技术的基础创新具有重要意义”。哈尔滨工业大学：“……为宽速域变形翼的气动性能优化提供了有力指导”。南京航空航天大学：“……有力支撑了我校军科委某重点项目某无人机进气道与‘两机’国家科技重大专项某进气道的研究”。华中科技大学：“……在高速飞行器减阻降热方面有重要的科学价值和应用前景”。

6.媒体评价

项目成果被央视网、人民网、新华社等 10 余家国家权威媒体报道近 30 余次，具体评价：“解决了结冰环境下安全飞行的世界性难题”；“填补了国内大型无人机人工增雨、万米高空观测台风等领域空白”；“可在 6 级强风伴雨雪中稳定飞行，用于打通高原航空物流运输通道和应急响应运输”；“突破了复杂气象、复杂地理条件等的限制，充分验证了无人机防除冰系统等关键技术”；“具备可靠的防除冰能力和复杂气象条件下作业能力”；“充分验证了该无人机系统集人工影响天气作业与气象观测于一体的强大功能”；“可满足大范围、长距离的应急侦察要求，对森林草原火灾预警、救援等领域具有重要作用”。

四、应用情况

企业层面，相关技术成果已在航天时代飞鸿技术有限公司、中航（成都）无人机系统有限公司（上市公司）、成都纵横大鹏无人机科技有限公司（上市公司）、西安君晖航空科技有限公司、四川跃纳科技有限公司等多家

单位实现工程应用，有效提升了复杂气象下的长时遂行任务能力、应急条件下的民生保障能力，经济效益和社会效益显著。部队层面，相关成果已应用于中国人民解放军 93525 部队、军事科学院空气动力试验基地等军队有关单位，在重大演习演训和装备试验鉴定中发挥作用，支撑了国防建设、军事效益显著。院所层面，该技术为中航工业哈尔滨空气动力研究所、中国飞行试验研究院、北京大学、西安交通大学、西北工业大学等单位承担的多个重大科研项目提供了关键技术支撑，有力保障了相关项目的申报、实施与完成。

二、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	集匹配电路一体的长腔体狭缝孔等离子体合成射流激励器	中国	ZL202110574887.5	2023.05.30	6011762	空军工程大学	宗豪华; 吴云; 梁华; 张志波; 宋慧敏; 贾敏
2	发明专利	多层阵列式微孔放电等离子体发生装置及发生方法	中国	ZL202110701007.6	2023.05.23	5992416	空军工程大学	卞栋梁; 吴云; 梁华; 宋慧敏; 贾敏; 宗豪华
3	发明专利	基于等离子体合成射流机翼除冰的装置和方法	中国	ZL202211092309.9	2024.11.22	7549180	空军工程大学	梁华; 刘雪城; 宗豪华; 宋慧敏; 谢理科; 苏志

4	发明专利	超疏水涂层等离子体与石墨烯电热复合防除冰装置及方法	中国	ZL202111427716.6	2024.03.12	6779806	空军工程大学	宋慧敏; 程信尧; 宗豪华; 郑猩; 梁华; 吴云; 卞栋梁; 贾敏
5	发明专利	一种虚拟可变凹坑等离子体湍流摩擦减阻装置及制备方法	中国	ZL202310422836.X	2025.07.25	8105151	空军工程大学	宗豪华; 方子淇; 吴云; 苏志; 梁华
6	发明专利	基于阵列式电晕放电的湍流摩擦减阻装置与方法	中国	ZL202411502823.4	2025.09.02	8218710	空军工程大学	苏志; 刘洪睿; 宗豪华; 梁华; 魏彪; 吴云; 杨鹤森; 方子淇
7	发明专利	一种基于深度强化学习的智能等离子体湍流摩擦减阻方法	中国	ZL202411603329.7	2025.11.14	8478488	空军工程大学	宗豪华; 方子淇; 吴云; 李金平; 苏志; 梁华
8	发明专利	倒立摆式双分量气流壁面摩擦阻力传感器	中国	ZL202211244112.2	2025.06.17	8010320	空军工程大学	宗豪华; 吴云; 梁华; 宋慧敏
9	软件著作权	等离子体冰形调控监测控制软件 V1.0	中国	2021SR2020011	2021.12.08	8742637	空军工程大学	郑猩; 梁华
10	软件著作权	等离子体结冰探测与防除冰控制软件 V1.0	中国	2021SR2020013	2021.12.08	8742639	空军工程大学	郑猩; 梁华

五、主要完成人贡献

排名	姓名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对成果的贡献
----	----	------	------	------	------	--------

1	梁华	副主任	教授	空军工程大学	空军工程大学	对主要科技创新 1、2、3 均有重要贡献，是主要知识产权 3 的第一完成人。具体贡献：对项目总体负责，提出了体/面复合等离子体防除冰方法、力热冲击等离子体湍流减阻方法，开展了无人机等离子体防除冰与湍流减阻的试飞验证。
2	宗豪华	无	副研究员	空军工程大学	空军工程大学	对主要科技创新 3、4 有重要贡献，是主要知识产权 1\5\7\8 的第一完成人。具体贡献：建立了等离子体湍流减阻的理论模型，开展了等离子体湍流减阻的试飞验证，提出了混合异构的高速流动控制框架，在多个流动场景中均进行了应用。
3	苏志	无	讲师	空军工程大学	空军工程大学	对主要科技创新 1、3 有重要贡献，是主要知识产权 6 的第一完成人。具体贡献：研制了机载小型化等离子体电源，提出了等离子体减阻快升缓降新波形，建立了等离子体湍流减阻减阻无量纲相图，进行了等离子体流动控制无人机飞行验证。
4	郑浩	书记兼副所长	正高级工程师	中国飞行试验研究院	中国飞行试验研究院	对主要科技创新 2、4 有重要贡献。具体贡献：论证了无人机装机使用对防冰、减阻与智能控制系统的要求，完成了表面半导体化的高效等离子体防除冰激励器研制，完成了等离子体防冰技术无人机飞行验证。
5	李江海	无	正高级工程师	中航（成都）无人机系统股份有限公司	中航（成都）无人机系统股份有限公司	对主要科技创新 1、4 有重要贡献。具体贡献：论证了大型无人机设计与使用对防冰、减阻及其智能控制的需求，完成了项目整体技术的无人机应用。

6	陈杰	无	讲师	空军工程大学	空军工程大学	对主要科技创新 4 有重要贡献。具体贡献：开发了混合异构的智能控制器，提出了面向实时流动控制的线性遗传编程算法，协助完成了等离子体湍流减阻的试飞验证。
7	魏彪	无	讲师	空军工程大学	空军工程大学	对主要科技创新 2 有重要贡献。具体贡献：提出了等离子体与超疏水材料复合的防除冰方法，提出了功率密度分布式调制方法。
8	朱益飞	无	副教授	西安交通大学	西安交通大学	对主要科技创新 1、2 有重要贡献。具体贡献：开发了等离子体数值模拟模拟程序，分析了不同放电波形对防冰效能的影响，揭示了等离子体实现防冰的多种物理机制。
9	卞栋梁	无	讲师	空军工程大学	空军工程大学	对主要科技创新 4 有重要贡献。具体贡献：开发了混合异构的智能控制器，提出了面向实时流动控制的线性遗传编程算法，协助完成了等离子体湍流减阻的试飞验证。
10	王丽	无	工程师	中航（成都）无人机系统股份有限公司	中航（成都）无人机系统股份有限公司	对主要科技创新 1、4 有重要贡献。具体贡献：论证了大型无人机设计与使用对防冰、减阻及其智能控制的需求，协助完成了项目整体技术的无人机应用。
11	李哲	无	副教授	空军工程大学	空军工程大学	对主要科技创新 2 有重要贡献。具体贡献：开发了展向/流向热流分布式功率调制方法，协助开发了表面半导体化的高效等离子体防除冰激励器。

12	孔亚康	无	讲师	空军工程大学	空军工程大学	对主要科技创新 4 有重要贡献。具体贡献：研发了多工况智能防冰减阻自适应控制器，协助发明了等离子体结冰、流动传感器，协助完成了等离子体流动控制试飞验证。
13	杨鹤森	无	讲师	空军工程大学	空军工程大学	对主要科技创新 3 有重要贡献。具体贡献：提出了等离子体减阻阵列微吹新构型，协助构建了等离子体激励/边界层相互作用点涡输运模型。
14	熊有德	无	讲师	空军工程大学	空军工程大学	对主要科技创新 4 有重要贡献。具体贡献：研发了等离子体流动传感器，协助完成了等离子体智能流动控制的无人机试飞验证。
15	李金平	无	讲师	空军工程大学	空军工程大学	对主要科技创新 2、3 有重要贡献。具体贡献：研发了等离子体结冰传感器，协助提出了展向/流向热流分布式功率调制方法。

六、主要完成单位及创新推广贡献

序号	完成单位	对成果的贡献
1	中国人民解放军空军工程大学	本项目所取得的小型化等离子体激励系统、体/面复合等离子体防冰策略、力热冲击等离子体减阻理论等重要成果均主要在空军工程大学完成。10 项主要知识产权的第一完成单位也为空军工程大学。在本项目的开展过程中，空军工程大学为本项目的试验和仿真开展提供了良好的软硬件资源，配备了充足的师生力量，这是本项目能取得开创性成果的重要基石。此外，空军工程大学还积极与各个科研院所对接，推动本成果在装备预研等重点项目中的应用，在成果推广方面也做出了突出贡献。

2	中国飞行试验研究院	中国飞行试验研究院依托自身在型号无人机试飞验证方面的深厚积累，负责了本项目中的绝大部分试飞验证工作，对本项目中的主要科技创新 2 和 3 有贡献。在人力资源方面，为本项目配备了多个专业研发人员（包括机械师、航电师、飞手等），提供了充足的试飞场地。在技术创新方面，对多型无人机进行了改装以适用等离子激励系统的功耗和空间需求，还设计了能够根据阈值进行自动开断的自适应防冰减阻系统。在应用层面，积极协助空军工程大学对接了西安君辉、成都纵横等大型无人机公司，对本项目成果的推广应用做出了重要贡献。
3	中航（成都）无人机系统股份有限公司	中航（成都）无人机系统有限公司依托自身在大型无人机（翼龙系列）方面的研发积累，与空军工程大学开展了长期合作，共同研发了体/面复合等离子体防冰技术，对本项目的主要科技创新 2 有重要贡献。在技术层面，设计了分段式的防冰装置、自适应的控制策略，根据需求对翼龙系列无人机进行了改型，优化了功率分配，验证了典型结冰气象条件下的防冰效能。成果应用层面，与空军工程大学合作将等离子体防冰减阻系统产品化，开展了电磁兼容和长寿测试，对项目技术成熟度提升和整体推广应用做出了突出贡献。
4	西安交通大学	西安交通大学对项目的主要科技创新 1、4 有贡献。本项目中的小型化等离子体激励系统以及异构智能流动控制方法均为空军工程大学和西安交通大学共同合作研发所取得的成果。西安交通大学利用自身在脉冲功率技术方面的优势，研发了可调谐的机载小型化等离子体激励电源，大幅降低了体积重量。此外，西安交通大学还积极保障本项目中的各类试飞试验，参与了深度强化学习算法在 FPGA 上的实现，对智能控制器成果的推广应用有一定的贡献。

七、完成人合作关系说明

完成人合作关系说明

项目组主要成员均工作在（曾工作在）空军工程大学航空动力系统与等离子体技术全国重点实验室，互相之间有着长期稳定的合作。梁华于 2013 年留任到空军工程大学任讲师，先后以小组长、副主任和书记身份，负责实验室等离子体流动控制研究方向的科研项目管理。2013-2025 年间，宗豪华、苏志、陈杰、魏彪、朱益飞、卞栋梁、李哲、杨鹤森、孔亚康先后以博士生身份加入到实验室，在梁华和其他导师的指导下，专门从事等离子体防冰减阻技术的研究。在此期间，合作发表了大量的学术论文，授权了一批发明专利，也共同承担了多个科研项目。

梁华与郑浩最早于 2017 年开始合作，共同完成了等离子体改善飞行器升阻特性的试飞验证。2020-2023 年间，郑浩以在职人员身份攻读空军工程大学博士学位，由梁华作为副导师进行指导，开展了冰形调控技术的相关研究。李江海和王丽分别于 2021、2023 年被航空动力系统和等离子体技术全国重点实验室聘为产业化指导专家，与梁华合作开展了大型无人机复合等离子防冰系统的研制和试飞验证等工作。

李金平和熊有德作为军队社聘文职人员，先后于 2023 年和 2024 年招录到空军工程大学，在实验室从事等离子体数值模拟和边界层流动测试诊断工作。在此期间，合作发表了多个论文、申报了多个发明专利。

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	论文合著	魏彪（7）、梁华（1）、朱益飞（8）、陈杰（6）	2017.01	2019.12	SDBD based plasma anti-icing: A stream-wise plasma heat knife configuration and criteria energy analysis	见附件
2	共同知识产权	魏彪（7）、梁华（1）、李哲（11）、苏志（3）	2018.01	2019.12	一种新型等离子体冰形调控装置、方法及防结冰型飞行器	见附件
3	论文合著	孔亚康（12）、宗豪华（2）	2020.01	2022.12	Supersonic cavity shear layer control using spanwise pulsed spark discharge array	见附件
4	共同知识产权	卞栋梁（9）、梁华（1）、宗豪华（2）	2021.01	2023.07	机翼等离子体防失速/防除冰双模态切换系统及工作方法	见附件
5	论文合著	郑浩（4）、梁华（1）、陈杰（6）、宗豪华（2）	2021.01	2023.12	Experimental study on plasma actuation characteristics of nanosecond pulsed dielectric barrier discharge	见附件
6	产业合作	梁华（1）、李江海（5）、王丽（10）	2021.01	2024.01	技术推广应用	见附件