

2026 年度拟提名陕西省技术发明奖项目公示内容

一、项目名称

超高温高应变率材料试验技术及应用

二、提名者及提名意见

提名者：周刚、中国人民解放军 63653 部队、院士、力学

提名意见：

该项目突破材料超高温高应变率耦合实验技术国际难题，实现了温度高达 1650℃ 的材料冲击动力学加载与原位可视化观测，满足工程装备抗冲击正向设计需求，引领了国际材料冲击动力学实验技术的发展。主要成果如下：

(1) 首创“试样单独加热-加载杆同步组装加载”材料高温高应变率耦合实验新方法，发明了压缩/弯曲实验双向同轴组装、拉伸/扭转实验离轴组装机构，突破了加载杆传感功能的温度极限，将实验温度大幅提升至 1650℃。

(2) 发明了空气炮气推气快速开启、机械储能电磁解锁的控制装置，提出了异形面试样单向约束连接方法，实现了冲击载荷产生时间的毫秒级控制、高温试样-低温加载杆的即时连接与冲击载荷高效传递。

(3) 建立了超高温高应变率变形图像辐射光谱差分成像和反卷积模糊校正方法，提出了非均匀试样力学性能参数的数实融合确定方法，实现了材料超高温高应变率耦合条件下变形原位可视化观测“从无到有”的突破。

(4) 建立了基于电磁驱动的试样组装预紧和定位控制方法，发明了冲击载荷发生和试样-加载杆组装的同步控制系统，形成了完善的极端高温环境材料冲击实验装备体系（拉伸、压缩、扭转及三点弯曲），填补了超高温高应变率耦合条件下材料力学性能测试技术的空白，技术指标国际领先。

推荐项目的创新性成果得到了国内外同行的高度认可。成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省技术发明奖提名条件。提名该项目为陕西省陕西省技术发明奖壹等奖。

三、项目简介

航空、航天、兵器等装备的零部件塑性加工成型、服役过程中受到爆炸或外物撞击等强冲击载荷时，不仅材料以高应变率（可高达 10^4 /s）发生绝热变形，有时还处于高温环境作用下。一百多年前，材料变形动力学理论就预测“力学行为依赖于变形速率和温度”；上世纪中期，准静态（应变率不超过 10^{-2} /s）实验技术突破了 1000℃ 以上高温环境的耦合加载，并实验证实了材料变形动力学的理论预测。然而，作为材料高应变率实验国际通用装置的“Hopkinson 杆”，其核心部件“加载杆”既是传递冲击载荷的波导杆，又是变形与载荷的传感器，过高温度（ >400 ℃）会导致加载杆传感功能失效甚至过热损坏，实验温度一直

无法突破装置的物理极限，材料的高温高应变率力学性能数据只能靠低温结果外推或直接采用准静态实验结果。实验能力的不足和装备的缺失，不仅导致装备零部件塑性加工仿真、结构冲击响应分析与正向设计缺乏准确的材料高温高应变率耦合条件下的基础力学性能参数，还使得材料变形动力学行为及物理机制等科学问题的研究缺乏实验依据。

该项目在国家自然科学基金重点、优青、面上以及陕西省工业攻关项目等资助下，突破材料超高温高应变率耦合实验技术国际难题，自主研制高端材料冲击动力学实验装备，并在国内外多个研究机构转化应用，为温度高达 1650℃ 的材料冲击动力学加载与原位可视化观测，满足工程装备抗冲击正向设计需求，引领了国际材料冲击动力学实验技术的发展。主要创新成果如下：

(1) 首创“试样单独加热-加载杆同步组装加载”材料高温高应变率耦合实验新方法，提出并定义了“临界冷接触时间”作为实验有效性判据，发明了压缩/弯曲实验双向同轴组装、拉伸/扭转实验离轴组装机构，突破了加载杆传感功能的温度极限，将实验温度大幅提升至 1650℃；最高实验温度可达 1650℃，国际领先。

(2) 发明了空气炮气推气快速开启、机械储能电磁解锁的应力波高精度控制装置，提出了异形面试样单向约束连接方法，实现了冲击载荷产生时间的毫秒级控制、高温试样-低温加载杆的即时连接与冲击载荷高效传递。

(3) 建立了超高温高应变率变形图像辐射光谱差分成像和反卷积模糊校正方法，提出了非均匀试样力学性能参数的数实融合确定方法，实现了材料超高温高应变率耦合条件下变形原位可视化观察与测量“从无到有”的突破。

(4) 建立了基于电磁驱动的试样组装预紧和定位控制方法，发明了冲击载荷发生和试样-加载杆组装的同步控制系统，实现了高温试样与低温加载杆毫秒级连接与加载，形成了完善的极端高温环境材料冲击实验装备体系（拉伸、压缩、扭转及三点弯曲），填补了超高温高应变率耦合条件下材料力学性能测试技术的空白，技术指标国际领先。

项目获授权发明专利 68 项（含美国、欧洲、日本专利 4 项）、软著 3 项，牵头制定的 6 项高温高应变率国标/国军标填补了实验技术领域的空白，主编出版专著 4 部（国防科工委“十五”规划教材、工信部精品教材各 1 部）。在高水平学术期刊发表论文多篇，被牛津大学、德国宇航中心、美国洛斯·阿拉莫斯国家试验室等多家学术和行业单位评价为“显著的”、“有效的”、“独有的”、“国际领先”。

唐长红、于起峰、杨树兴三位院士领衔的成果鉴定委员会一致认为“超高温高应变率试验技术达到国际领先水平…推广应用前景广阔”。魏悦广、于起峰、郭万林、周又和、冷劲松五位院士组成的力学学会成果鉴定专家组一致认为本项目相关工作“研制的高温高应变率耦合材料试验系统技术指标国际领先”。

该项目研制的超高温高应变率材料力学性能测试设备，被国内清华、北大、西交大、北理工、中科院力学所、中国飞机强度所、西核所、中国航发、商发

等和国外美、英、澳大利亚等共 40 余家研究机构购置 140 余套；基于研制的测试平台，累计为中航工业、航天科技、航天科工、航发集团、商飞集团、兵器集团、核工业、高等院校等 70 余家科研机构提供 150 余项科研服务。广泛研究了温度、应变率和应力状态对材料变形及失效行为影响规律，开发了包含 35 种材料的本构模型参数数据库，为 ARJ21、C919、CRJ929、蛟龙 600、运-20、歼-10、新一代战斗机、运 9 运输机、空警 200、MA700、彩虹无人机、太行系列发动机、CJ-1000 等 17 个型号飞机、航空发动机、新一代大型运载火箭等提供了亟需的基础材料数据。

项目团队培养国家级人才 4 人次，第一完成人是我冲击动力学领域唯一的国家级国际科技合作基地、教育部中央高校优秀青年教师团队和陕西省重点科技创新团队等创新群体带头人；团队入选教育部长江学者创新团队和陕西省重点科技创新团队，获批建设“冲击动力学及工程应用”陕西省重点实验室，与中国飞机强度研究所联合申报获批“强度与结构完整性”全国重点实验室。

团队主办了国际理论与应用力学联合会“材料与结构冲击实验研究”研讨会，及创办 40 年来至今唯一一次在中国举办、冲击动力学领域最具国际影响力的“材料与结构的冲击响应国际会议”，与荷兰代尔夫特理工大学、澳大利亚悉尼大学、美国阿克伦大学等 5 所国外高校联合建立的“冲击动力学及工程应用国际联合研究中心”被国家科技部认定为特色型国际科技合作基地，牵头的“结构力学行为科学与技术”111 引智基地获得教育部和国家外专局 3 期连续资助、2 次验收优秀。

四、客观评价

（1）国内外同行评价

基于该项目在 IJP、JMPS、IJSS、EFM、IJMS、IJIE、CST、Acta Mat、力学学报、航空学报、兵工学报等力学、材料和航空航天领域高水平期刊发表论文 120 余篇。Web of Science 核心数据库中“率-热耦合金属塑性流动”相关的研究，项目团队发表的文章数量占全球所有相关论文达 40%，“第三类应变时效”概念提出以来，被 35 个国家科研机构的 436 位力学工作者引用，施引作者包括以高华健、吕昭平等在内的 15 位国内外院士、20 位国家级人才，以及来自中科院力学所、金属所，美国国家实验室、德国马普所等知名机构的学者。陶瓷基复合材料高温动态力学行为相关的研究工作中，Web of science 核心数据库中被引用次数排名前 5 的论文中有 4 篇为项目团队发表的论文，单篇最高引用 98 次。施引者包括中国工程院张立同、涂善东院士，中科院吕昭平院士以及国家杰青孟松鹤、梁军、申胜平、宋迎东等高温复合材料力学领域著名学者。代表性同行评价如下：

我国冲击动力学学科重要奠基人王礼立教授评价该项目创建的材料力热耦合实验方法“尽可能减少了热传导的影响”。

哈工大王永辉教授在冲击动力学顶刊（Int J Impact Eng 2025）的论文评价该项目工作“有效（effectively）缩短了冷接触时间”“显著提升了

(significantly improved)实验可靠性”“进一步扩展了(further extended)物理概念本构模型”。

美国洛斯·阿拉莫斯国家试验室的 A. J. Clarke 工程师在发表的论文中详细介绍了项目团队发展的实验技术，认为极大的降低试验中的冷接触时间。

美国工程院院士、“DIC 之父”M. A. Sutton 教授发表在光学顶刊(Opt Laser Eng 2017)的论文肯定并采用了本项目发展的超高温变形测量技术。

德国宇航中心 Joern Rittweger 教授在论文(Front Physiol 2019)中使用了本项目所提出的滤波降噪方法对结构变形进行测量，并在致谢部分进行了专门的感谢。

橡树岭国家实验室金属焊接负责人、2021 年国际焊接协会 Heinz Sossenheimer 创新奖得主 Zhili Feng 教授在焊接工程顶级期刊(Sci Technol Weld Joi 2018)和材料科学与工程顶级期刊(Mat Sci Eng A 2019)中引用了本项目中极端变形环境图像处理及光学测量方法。

南京航空航天大学赵振宇教授在研究反常应力峰现象时，称该项目工作“首次将这一现象命名为‘第三类应变时效’”(兵工学报 2022)。

著名力学学者、法国洛林大学 A. Rusinek 教授大篇幅引用该项目工作(Int J Impact Eng 2021, Int J Mech Sci 2022)，称“系统地研究了动态应变时效”“最好的模型 (behave the best)”“Wang-Guo-Gao 模型”。

材料动态力学行为研究领域著名学者、美国路易斯安那州立大学杰出教授 G. Z Voyiadjis 在论文(Int J Damage Mech 2024)中将该项目提出的应变时效与学界通用的静、动态应变时效并列，称其“被公认为(acknowledged as)第三类应变时效”。

挪威工程院院士、挪威科技大学 O. S. Hopperstad 教授评价该项目提出的本构模型“有能力描述‘第三类应变时效’现象”(Int J Plasticity 2022)。

吕昭平院士与国际著名学者 Moon J. Kim 教授等联合发表在材料领域顶刊 Mater. Today 的文章中，以本团队的工作作为陶瓷基复材冲击载荷下力热耦合行为的代表性论文。

国家杰青、北理工梁军教授发表的文章(Compos. Part B 2026)单篇 9 处引用申请者的工作，并将研究结论作为他们建模分析的重要依据。

孟松鹤、申胜平、宋迎东等高温力学专家也多次对团队的工作给予正面评价，认为所发展的仿真模型“能有效地模拟 CMCs 复合材料的力学行为 (effectiveness in simulating the mechanical behaviour of CMCs, Compos. Part B 2025)”。

(2) 技术指标评价

2024 年团队完成的“超高温高应变率材料试验技术及应用”通过陕西省组织的成果鉴定，唐长红、于起峰、杨树兴三位院士领衔的鉴定委员会一致认为“该项目技术复杂、难度很大，有重大自主创新，拥有多项自主知识产权，核心技术自主可控，总体技术达到国际先进水平，其中超高温高应变率试验技术

达到国际领先水平……推广应用前景广阔。”2025年项目相关工作通过力学学会组织的成果鉴定，由魏悦广、于起峰、郭万林、周又和、冷劲松五位院士组成的专家组一致认为“研制的高温高应变率耦合材料试验系统技术指标国际领先。”郑晓静、于起峰、王海峰三位院士高度认可本项目相关工作，认为“为力学试验科学仪器产业带来了显著的技术升级，对于先进飞行器冲击安全评估与设计、武器打击与装备防护能力提升与高端装备制造加工具有不可替代的作用。”

（3）应用单位对项目成果的评价

项目团队研制的材料超高温高应变率力学行为测试仪器被中科院力学所采购，认为：“……解决了高温服役环境下材料动态力学性能测试难题，……极大的提高了研究所在金属材料高温动态力学行为的测试表征能力、提高了实验测试效率、降低了科研成本”。中国飞机强度所评价：“在该技术的支撑下……获得的材料参数为飞行器结构的抗冲击设计提供了基础支持，保障了项目的顺利开展。该技术指标先进，完善了强度所在材料高温高应变率动态力学行为表征测试方面的能力”。北京航空航天大学评价：“为理解材料高温服役环境下的动态力学行为提供了有效的手段。利用该技术，……支持了多项科研课题中材料高温动态力学行为表征的需求”。中国航发湖南动力机械研究所评价：“……应用于我单位某涡轮叶片的高温冲击试验，可为涡轮机匣包容性评估提供数据支撑。相关研究成果可以进一步应用于其他型号的涡轮叶片高温冲击侵蚀下的机匣包容性评估，降低考核试验风险，缩短研制周期”。西安近代化学研究所评价：“相关测试数据已成功应用于我所侵爆弹壳体设计和优化工作中，显著提升了我所在侵爆弹侵彻性能仿真计算方面的准确性，为实现高效毁伤提供了重要的技术支撑”。西安现代控制技术研究所评价：“相关测试数据已成功应用于我所聚能装药设计和优化工作中。研究成果给极端环境下材料本构参数测试提供了重要手段，显著提升了我所在聚能装药仿真计算方面的准确性，为高效毁伤实现提供了重要的技术保障”。中广核工程有限公司评价：“建立了考虑温度-率效应耦合的材料本构模型，为核设施抗冲击设计提供了关键材料参数输入，解决了核电厂高温动态载荷下材料性能表征的技术难点，为我国核电相关材料的标准体系建设与自主化应用提供了重要实验依据”。澳大利亚斯威本科技大学评价本项目的高温高应变率耦合材料力学性能测试系统“测试系统性能卓越”。

五、应用情况和效益

1. 应用情况

项目团队基于提出试样单独加热、加载前快速组装的思路，成功解决了材料力学试验中高温和高应变率中无法同时实施的国际难题，创建了系列化的具有完全自主知识产权、技术指标国际领先的超高温高应变率材料力学性能试验装置，最高试验温度超1650℃，涵盖压缩、拉伸、扭转及弯曲等多种加载模式，实现了超高温动态变形过程原位可视化观察与变形场测量“从无到有”的突破，广泛研究了温度、应变率和应力状态对材料变形及失效行为影响规律，建立了考虑多因素耦合影响的材料本构及失效模型。

项目研制的超高温高应变率材料力学性能试验装置，被国内清华、北大、西安交大、北理工、西南交大、中科院力学所、中国飞机强度所、西核所、中国航发、商发等37家研究机构和国外美、英、澳大利亚的4所大学购置140余套，实现了成果的转化与出口。在冲动力学试验技术领域产生了广泛的反响和示范效应，为我国从事航空、航天、兵器、国防领域相关科研院所以及力学、材料等相关基础学科的高校提供了亟需的测试手段，提升了我国冲击试验技术水平和相关测试装备的能力体系。

基于项目团队研制的材料超高温高应变率力学行为测试平台，累计为核工业、中航工业、航天科技、航天科工、航发集团、商飞集团、兵器集团等下属的50余家科研院所和清华大学、上海交大、西安交大、北航等15所大学提供了130余项科研服务，项目团队累计承担的航空、航天、兵器等领域型号研制和型号预研项目超70项，为我国航空、航天、兵器等国防领域重大装备的研制做出了重要贡献。

项目团队基于建立的材料超高温高应变率力学行为测试技术，对多种航空金属、复合材料的冲击动力学行为进行了深入研究，解决了以往由于缺乏服役环境下材料力学性能参数及冲击载荷下失效机理不清而导致的数值仿真分析精度低、对设计指导作用有限的问题，有效提升了结构冲击仿真分析精度，为结构的抗冲击设计和仿真分析提供了关键试验数据和材料参数支撑。团队开发的包含34种材料动态力学性能及参数数据库软件在上海飞机设计研究院、航空工业611所、航空工业一飞院、航发集团606所等13家飞机、发动机设计主机院（所）得到广泛应用，为C909、C919、C929、蛟龙600、运-20、歼-10、新一代战斗机、运9运输机、空警200、MA700、彩虹无人机、太行系列发动机、CJ-1000等17个型号飞机和航空发动机、新一代大型运载火箭等提供了亟需的基础材料数据。为提升型号服役安全，增强重大装备效能提供了重要的技术支撑手段。

项目组将所研制的材料超高温高应变率耦合力学性能测试系统应用于科学前沿问题研究，开展了数十种材料宽温度、应变率范围内的力学行为与变形机理研究；提出并命名金属材料“第三类应变时效”机制，揭示“反常应力峰”产生机理；发展了金属绝热剪切“多因素协调”失稳理论，澄清了动态失效领域长期学术争论。揭示了陶瓷基复合材料在高温服役环境下承受冲击载荷时的力-热-化学耦合变形、损伤规律与微观机制，发展的冲击损伤容限仿真方法，实现了陶瓷基复材结构冲击损伤及剩余强度的快速预测，推动了热结构冲击安全性由被动考核向主动设计的转变。

项目团队在航空航天和冲击动力学领域高层次人才培养、高水平科研队伍和平台建设、产学研成果转化等方面取得了突出成果。项目执行期间，主要完成人获国家级人才5人次、陕西省中青年人才3人次；引进高层次人才6人次。项目团队获批建设“冲击动力学及工程应用”陕西省重点实验室，团队入选陕西省重点科技创新团队，与中国飞机强度研究所联合申报获批“强度与结构完整性”全国重点实验室。与荷兰代尔夫特理工大学、澳大利亚悉尼大学、美国阿克伦大学等5所

国外高校联合建立的“冲击动力学及工程应用国际联合研究中心”被国家科技部认定为特色型国际科技合作基地，牵头的“结构力学行为科学与技术”111引智基地获得教育部和国家外专局3期连续资助、2次验收优秀。

该项目面向国家重大需求和基础学科发展，具有强普适性，应用对象包括航空、航天、兵器、国防领域相关科研院所以及力学、材料等相关基础学科的高校，为其提供实验技术实验装置和实验数据。培养了一批高层次人才队伍和技术骨干，建成了多个国家级和省部级科研平台与国合基地。

主要应用单位情况表

序号	应用单位	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	中国科学院力学所	成果1、2、3	高温高应变率力学性能测试系统研制	2023.12-至今	姜萍 010-82543875
2	中国飞机强度研究所	成果1、2、3	高温高应变率力学性能测试系统研制	2020.12-至今	刘小川 13572110471
3	中国航发湖南动力机械研究所	成果1、2、4	航空发动机叶片结构抗冲击设计	2019.6-至今	伍海辉 13916401513
4	北京航空航天大学	成果1、2、3	航空航天器冲击吸能设计	2023.8-至今	杨先锋 15600680186
5	西安近代化学研究所	成果1、2、4	穿甲侵彻性能测试分析	2022.10-至今	李丽 029-88291664
6	中广核工程有限公司	成果1、2、4	核工程系统管件抗冲击设计	2024.10-至今	刘浪 0755-82657524
7	江苏铁锚科技股份有限公司	成果1、2、4	航空风挡玻璃性能测试评价	2018.9-至今	吉庆勇 18252892100
8	中国科学院工程热物理研究所	成果1、2、4	发动机热端部件结构强度考核、包容性设计	2021.1-至今	董欣 010-62554126
9	中国人民解放军63672部队	成果1、2、3、4	高速打击武器结构材料性能考核	2017.11-至今	吴海军 18392961958
10	中国航发沈阳发动机研究所	成果1、2、3、4	航空发动机包容性设计	2021.1-至今	周战璇 13309818119

2. 应用效益

航空、航天、兵器等国防领域重大装备的设计、制造和使用过程中，不仅面临着极端高温环境，还往往受到高速撞击而产生快速变形，对材料高温高应变率耦合条件下力学行为的准确测量和全面掌握是先进航空航天技术发展、武器打击与装备防护能力提升、高端装备制造与高精度加工的重要支撑。材料在超高温高应变率下的力学行为测试是公认的国际难题，试验仪器的缺乏导致对材料力学行为认识不足，关键力学性能数据匮乏，严重制约了其在工程设计、数值仿真中的应用。

本项目创造性的提出了试样单独加热、加载前快速组装思路，通过解决高温试样与低温杆毫秒级接触加载、试样和加载杆快速连接并高效传递载荷、高温动态变形在线观测和精确表征、多因素耦合的材料本构建构及参数获取等关键技术

，解决了材料力学试验中高温和高应变率中无法同时实施的国际难题。基于所研制的实验装置，对多种航空铝合金、镁合金、钛合金材料，二十余种纤维增强复合材料，C/SiC、C/C高温陶瓷基复合材料的冲击动力学行为进行了深入研究，积累了丰富的研究数据，形成了航空材料动态力学行为数据库，为航空结构抗冲击设计提供了重要的基础材料性能数据。这些成果一方面可以为军用武器平台及重要军民用装备抗冲击设计、武器的毁伤评估、飞行器结构抗冲击设计学提供实验测试手段；另一方面有助于推动塑性动力学、动态断裂力学、动态破坏失效等多个学科领域的发展及研究水平的提高。

研制的超高温高应变率材料力学性能测试设备，被国内清华、北大、西交大、北理工、中科院力学所、中国飞机强度所、西核所、中国航发、商发等37家研究机构和国外美、英、澳大利亚4所大学购置140余套，采购单位认为“...有效的解决了极端高温服役环境下材料动态力学性能测试的国际难题”、“...极大的提高了研究所在金属材料高温动态力学行为的测试表征能力”；开发的材料参数数据库为ARJ21、C919、CRJ929、蛟龙600、运-20、歼-10、新一代战斗机、运9运输机、空警200、MA700、彩虹无人机、太行系列发动机、CJ-1000等17个型号飞机和航空发动机，新一代大型运载火箭等提供了亟需的基础材料数据，被评价“...是国内首个专用的航空航天器结构材料动态力学性能数据库，...解决了以往由于缺乏结构材料动力学参数而导致的数值仿真分析精度低、对设计指导作用有限的问题...”；基于研制的测试平台，累计为核工业、中航工业、航天科技、航天科工、航发集团、商飞集团、兵器集团等下属的50余家科研院所和清华大学、上海交大、西安交大、北航等15所大学提供130余项科研服务。为提升型号服役安全，增强重大装备效能提供了重要的技术支撑手段。为各科研单位提供的科研服务、设备研制、承担的国家科研工作累计总经费超2亿元，应用单位通过该技术产生经济效益超1亿元，产生了重要的社会和经济价值。

项目获授权发明专利68项（美国、韩国、欧洲、日本专利各一项）、软著3项，项目团队牵头/参与制定的5项高温高应变率国家标准填补了实验技术领域的空白，主编出版专著4部（国防科工委“十五”规划教材、工信部精品教材各1部）。项目成果为我国核电相关材料的标准体系建设与自主化应用提供了重要实验依据，推动了行业技术规范的完善与提升。

项目组将研制的实验系统用于科学前沿研究，揭示多种金属材料、陶瓷基复合材料的高温高应变率耦合变形机理。相关理论成果IJP、JMPS、IJSS、EFM、IJMS、IJIE、CST、Acta Mat、力学学报、航空学报、兵工学报等力学、材料和航空航天领域高水平期刊发表论文120余篇，促进了冲击动力学的发展。提出并命名的“第三类应变时效”被学术界广泛使用，构建的基于物理概念的本构模型成功预测了金属反常应力峰行为，被公认是继20世纪初静、动态应变时效提出以来的重要科学发现。该项目成果被评价为“被公认为第三类应变时效”“杰出的工作”“最好的模型”“最早的研究”“一种新颖的方法”等。

项目执行期间，主要完成人获国家级人才1人、国家级青年人才4人、陕西省中青年科技创新领军人才1人、陕西省青年科技新星1人、陕西省青年科技奖2人、中国航空学会青年科技奖1人、全国爆炸力学优秀青年学者4人；引进海外高层次人才6人次，包括领军人才3人、青年人才3人。依托该项目培养研究生100余人，人才培养成果“面向国防重大需求多维一体的国防科技创新人才培养体系构建与实践”获国家教学成果一等奖，“高水平研究平台构建下的飞行器结构冲击动力学人才培养体系的建设”获陕西省教学成果二等奖。

项目团队获批建设“长江学者”创新团队、“冲击动力学及工程应用”陕西省重点实验室和“民航航空器冲击防护与安全评估”民航局重点实验室等省部级科研平台；团队入选陕西省重点科技创新团队；并与中国飞机强度研究所联合申报获批“强度与结构完整性全国重点实验室”；与航空工业西安飞机设计研究所、中国航发沈阳发动机研究所分别成立了结构冲击动力学联合研究中心和航空发动机冲击动力学联合实验室。

在项目过程中广泛开展国际学术交流和科研合作，形成了具有国际视野、学术工程并重的高层次复合人才培养基地。主办了冲击动力学领域最具影响力的“材料与结构的冲击响应”国际会议，是创办40多年来唯一一次在我国举办。举办了1500多人参加的全国爆炸力学大会，国际理论与应用力学联合会（IUTAM）专题研讨会等高影响力国内、国际会议。与荷兰代尔夫特理工大学、澳大利亚悉尼大学、美国阿克伦大学等5所国外高校联合建立的“冲击动力学及工程应用国际联合研究中心”被国家科技部认定为特色型国际科技合作基地，牵头的“结构力学行为科学与技术”111引智基地获得教育部和国家外专局3期连续资助、2次验收优秀。

综上，该项目在材料高温动态加载与测试技术方面取得了原始性创新，应用于17个国家重大重点型号的抗冲击设计，培养了一批高层次人才队伍和技术骨干，建成了多个国家级和省部级科研平台与国合基地，在国内外形成了突出的学术和行业影响力，经济效益和社会效益成果显著。

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	基于 Hopkinson 压杆的往复复式双同步组装系统	中国	ZL201610573233. X	2019-02-26	3268359	西北工业大学	索涛；李玉龙；张超；谭伟力；汪存显
2	发明专利	一种发射装置	中国	ZL201810121524. 4	2018-02-07	3679240	西北工业大学	索涛；张欣玥；张超；汤忠斌；李玉龙；汪存显
3	发明专利	电磁式应力波发生器的主线圈及充电/放电的方法	中国	ZL201510051071. 9	2017. 06. 13	2516458	西北工业大学	李玉龙；聂海亮；汤忠斌；郭伟国
4	发明专利	高温拉伸实验装置及其方法	中国	ZL201810128646. 6	2019. 07. 05	3443042	西北工业大学	索涛；张欣玥；张超；汪存显；李玉龙
5	发明专利	可精确量化电磁控制的高温 Hopkinson 杆拉伸试验装置及方法	中国	ZL201910404838. X	2022-05-10	5140850	西北工业大学	李鹏辉；郭伟国；陈龙洋；王瑞丰；王培成
6	发明专利	利用双向电磁驱动同步组装的高温 Hopkinson 压杆试验系统及其方法	中国	ZL201910408528. 5	2022. 03. 04	4975129	西北工业大学	李鹏辉；郭伟国；王建军；袁康博
7	发明专利	一种烧蚀层复合材料的高温变形图像的测量方法	中国	ZL202110894219. 0	2021. 8. 25	5105525	西北工业大学	郭翔；施鑫
8	发明专利	基于电磁式 Hopkinson 扭杆的高温同步实验装置及	中国	ZL202111244740. 6	2023-08-25	6269043	西北工业大学	索涛；孟一飞；王维斌；豆清波；杨宇婷

		其方法						
9	发明专利	一种霍普金森杆系统的定位装置及方法	中国	ZL201510393347.1	2017.10.31	3481452	中国工程物理研究院总体工程研究所	王薇；谢若泽；吴庆海；翁桦；胡文军
10	发明专利	ELECTROMAGNETIC INDUCTION TYPE HOPKINSON TENSION-COMPRESSION BAR LOADING DEVICE AND EXPERIMENT METHOD	英国	EP3392643A1	2024-6-19	16874524.8	西北工业大学	李玉龙，聂海亮，索涛， 汤忠斌

七、主要完成人情况（不超过 6 人）

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
索涛	1	院长	教授	西北工业大学	西北工业大学	项目总负责人，负责项目的具体实施和总体方案规划，发明点提出者、实施者，对发明点第 1、2、3、4 项均做出了创造性贡献；（1）提出了“原位加热-双向自组装”的超高温高应变率试验原理；（2）建立超高温高应变率耦合条件下材料压缩/弯曲、拉伸/扭转力学性能试验方法；（3）建立了超高温动态变形过程原位可视化观察与变形场测量方法。
张超	2	/	副研究员	西北工业大学	西北工业大学	对发明点第 1、2、4 项做出了创造性贡献；（1）针对发明点 1，负责往复式双同步自组装系统搭建工作；（2）针对发明点 2，设计了陶瓷基复合材料异形面试样单向约束连接方法；（4）针对发明点 4 搭建程控组装系统。
郭伟国	3	/	教授	西北工业大学	西北工业大学	对发明点第 1、2、4 项做出了创造性贡献；（1）针对发明点 1，建立冷接触时间的试验测量方法，分析了冷接触时间对实验结果的影响；（2）针对发明点 2，提出了异形面拉伸试样单向约束连接方法；（3）针对发明点 4，提出了基于电磁推动的组装方法。
谢若泽	4	/	研究员	中国工程物理研究院总体工程研究所	中国工程物理研究院总体工程研究所	对发明点第 1、4 项做出了创造性贡献；（1）针对发明点 1，优化了高温同步自组装系统，设计了带保护气体氛围的高温加热系统；（2）针对发明点 4，设计了霍普金森杆系统的定位装置，实现了加载系统的精确定位与控制。
李玉龙	5	院长	教授	西北工业大学	西北工业大学	对发明点第 1、4 项做出了创造性贡献；（1）针对发明点 1，完成了同步组装系统的原理设计工作；（2）针对发明点 4，完成了超高温高应变率耦合条件下材料力学性能测试平台的总体设计。
郭翔	6	/	副教授	西北工业大学	西北工业大学	对发明点第 3 项做出了创造性贡献；（1）针对发明点 3，建立了材料超高温动态变形辐射光谱差分成像方法和基于点扩散函数运动预测的图像模糊反卷积校正算法；参与了材料本构参数获取方面的工作，解决了高温条件下应力状态参数随变形演化的量化表征问题。

八、主要完成单位情况（不超过 3 个）

完成单位	排名	对本项目主要贡献（限 600 字）
西北工业大学	1	1、本校为该项目的主要完成单位； 2、本校为项目研究提供了必要的计算设备和硬件支撑； 3、本校完成了该项目的组织实施和科研管理； 4、本校给予了该项目所在实验室建设经费的支持。
中国工程物理研究院总体工程研究所	2	1、本单位为项目研究提供了必要的计算设备和硬件支撑； 2、本单位完成了该项目的组织实施和科研管理； 3、本单位给予了该项目实施经费的支持。

九、完成人合作关系说明

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	专利	索涛（1）、张超（2）、李玉龙（5）	2013.1.1	2018.2.7	基于 Hopkinson 压杆的往复式双同步组装系统
2	专利	郭伟国（3）、李玉龙（5）	2013.1.1	2017.12.12	电磁式应力波发生器的主线圈及充电/放电的方法
3	论文	索涛（1）、张超（2）、李玉龙（5）、郭翔（6）	2013.1.1	2017.12.30	Dynamic deformation image de-blurring and image processing for digital imaging correlation measurement
4	论文	谢若泽（4），李玉龙（5）	2005.1	2024.12	高温 SHPB 实验技术及其应用