**技术发明奖推荐号：120-303**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **项目名称** | | | **空间极端环境下航天器电磁屏蔽关键技术** | | | | | | | | |
| **提名单位** | | | **河北省教育厅** | | | | | | | | |
| **项目简介** | | | 本项目所属科学技术领域为航空航天领域。本项目采用轻质宽频段电磁屏蔽复合材料与刚柔协同调控成形技术制备出航天器复合材料单机壳体，并开展航天器单机壳体材料在空间极端环境下微小碎片撞击的性能评价，提高增加微小碎片极端环境下抗电磁效应与超高速撞击的空间适用性。  随着人类太空活动日益频繁，难以计数的微小空间碎片对在轨航天器的威胁日益增加。微小空间碎片超高速撞击不仅造成了航天器一定量的机械损伤，同时由于超高速撞击抛射形成的等离子体引起电磁效应是导致航天器故障的根本原因。为有效模拟空间微小碎片环境，提高航天器电磁屏蔽和抗撞击效果，保护航天器在轨正常服役并延长航天器使用寿命，针对航天器电磁屏蔽/防护一体化需求，提出了空间微小碎片地面模拟、轻质宽频段电磁屏蔽复合材料制备和复合材料刚柔协同成型等一系列关键技术。  首先，为更加有效地模拟航天器服役的空间微小碎片环境，项目团队系统开展了激光驱动飞片地面模拟微小空间碎片研究，提出并获得了激光驱动多飞片、非金属飞片、近球形飞片，以及碎片旋转撞击、等离子体测速和钛合金表面防护结构等一系列自主知识产权专利，丰富了激光驱动飞片的模拟技术，实现了高效低成本的空间微小碎片地面模拟。  团队针对航天器所处的微小碎片极端环境服役条件，结合航天器内部电子器件出现的典型故障和失效模式，开展了适用于航天器服役环境的轻质宽频段电磁屏蔽复合材料研究。基于特种环境下结构功能一体化复合材料的设计思想，提出了宽频段电磁屏蔽材料设计和制备的新方法，即通过调控组元的带隙以及微结构的方法，并采用了石墨烯等低维碳纳米材料作为原料；建立了复合材料宽频段电磁屏蔽模型，揭示了基于多孔石墨烯和多层结构设计的宽频段电磁屏蔽机理，成功制备出满足航天器服役环境的轻质宽频段电磁屏蔽复合材料。在30MHz-3 GHz范围内复合材料电磁屏蔽效能达到35 dB，在3 GHz-30 GHz范围内复合材料电磁屏蔽效能达到60 dB。  为实现航天器屏蔽/防护一体化，团队采用了钛板/电磁屏蔽材料层合设计方案进行航天器单机壳体的加工。针对钛板/电磁屏蔽材料异质组分性能差别大、变形剧烈且不均匀、材料流动控制困难、破裂分层缺陷极易产生等“瓶颈”问题，团队提出了柔性大范围约束下，局部刚性镶块约束材料形状、调配材料流动，控制材料顺序变形的刚柔协同调控成形技术。所发明的技术兼具液压成形和刚性模成形的优点，可一次完成成形/整形全部工艺动作，保证了零件整体精度，解决了航天器钛板/电磁屏蔽材料复合结构中多个局部特征同步/顺序精准成形难题，实现一体化成形。  经科技攻关所制备的轻质多功能复合材料单机壳体，在电磁屏蔽材料的设计理论方法、工艺制备和性能评价等方面得到应用，主要性能指标满足设计指标要求，达到了单机壳体电磁屏蔽和防护指标。相关科研成果发表高水平学术论文20余篇，获得授权专利6项。 | | | | | | | | |
| **应用及经济社会效益情况** | | | **1. 应用情况：**  基于在航天器轻质宽频段电磁屏蔽复合材料研制、加工和空间极端环境性能评价领域的研究基础，团队经过多年的理论研究和技术攻关，突破了多项由轻质宽频段电磁屏蔽复合材料向航天器典型样件产品的系统集成关键制造技术，制造出了多个轻质结构功能一体化复合材料构件，完成了在极端环境下的性能测试，在多个型号模型上获得应用，均已通过地面考核试验，先后获得中国航空工业沈阳飞机设计研究所、中国航空工业西安飞机设计研究院、中船重工和中国航天科技集团运载火箭研究院等单位的高度评价。团队针对航天器电磁屏蔽/防护材料的空间极端环境微小碎片评价难题，解决了航天器电磁屏蔽/防护一体化材料的极端环境下的评价技术问题，获得了中国航天科技集团上海卫星装备所的高度评价，并取得相应的应用证明。  **2. 社会效益**  “空间极端环境下航天器电磁屏蔽关键技术”的开展成功打破了国外在该领域的垄断，多项新工艺、新技术、新产品填补了国内该领域的空白，并为该领域提供了技术支撑，推动了航天器电磁屏蔽技术在我国工业化应用的产业化进程。  （1）对空间极端环境地面模拟技术发展的意义  随着材料基因工程和军民融合国家战略的开展，降低航天器新材料研发和空间科学研究成本和周期日益迫切。因此，为适应小样本高通量空间科学研究和我国商业航天的需要，小型低成本快速空间环境模拟装置的研制具有重要科学意义，有利于更多科学工作者参与到航天器新材料研发、空间以及地球科学研究中来。本项目中微小碎片空间极端环境地面模拟技术，丰富了激光驱动飞片的模拟技术，实现了激光驱动多飞片、非金属飞片、近球形飞片，以及碎片旋转撞击、等离子体测速和钛合金表面防护结构等一系列技术创新，促进了高效低成本的空间微小碎片地面模拟，推动了材料基因工程理念和空间环境效应评价纳入到航天材料研制流程，将对航天材料的开发带来颠覆性革命。  （2）对电磁屏蔽材料发展的意义  航空航天飞行器向着轻量化、智能化、信息化、隐身化等方向发展，要求材料具有超高强、耐复杂电磁环境、多功能等特性，而传统的结构材料或者功能材料已经无法满足这些需求。本项目基于结构功能一体化新思路所发展的轻质宽频段电磁屏蔽复合材料系统对空间航天器关键部位的电磁屏蔽和防护能力具有重要影响，对推动航空航天领域关键装备的发展具有重要的理论意义和实用价值。  （3）对特种复合材料精密成形技术发展的意义  随着国家战略需求及先进制造技术的不断发展，越来越多的产品将会在极端条件下运行。这种情况下，就要求产品具有很高的制造质量，同时产品的复杂程度也越来越高，一些异形曲面、具有复杂局部特征和极小半径圆角的薄壁结构被广泛使用。产品材料多采用特种性能材料、复合材料等轻质材料，这些进一步增加了制造难度，给成形制造带来了较大困难。本项目中刚柔协同调控成形技术，解决了传统成形中的复杂工艺问题，替代落后的生产手段、减少试验数量、缩短研制周期、整体局部协同调控成形，不但对航天特种复合材料成形领域科学技术的发展具有重要的推动作用，还对航空、军事、汽车、轻工等工业领域新技术和新工艺的应用具有重要的实际意义，可以产生较大的社会和经济效益。 | | | | | | | | |
| **代表性论文专著目录** | | | | | | | | | | | |
| 1. Multifunctional stiff carbon foam derived from bread, ACS applied materials & interfaces, 2016, 8(26): 16852-16861.  2. Stiff, thermally stable and highly anisotropic wood-derived carbon composite monoliths for electromagnetic interference shielding, ACS applied materials & interfaces, 2017, 9(25): 21371-21381.  3. Lightweight, Thermally Insulating and Stiff Carbon Honeycomb-Induced Graphene Composite Foams with a Horizontal Laminated Structure for Electromagnetic Interference Shielding, Carbon, 2017, 123: 223-232.  4. Microwave absorption enhancement of porous C@CoFe2O4 nanocomposites derived from eggshell membrane, Carbon, 2019, 143: 507-516.  5. Impact effects on fused quartz glass by ground simulating hypervelocity space debris, 2013, 56(3): 724-731.  6. Evaluation of limit deformation behavior in hydro-bulging of the double-layer sheet metal using diffuse and localized instability theories, International Journal of Mechanical Sciences, 2019, 150: 145-153. | | | | | | | | | | | |
| **主要知识产权证明目录** | | | | | | | | | | | |
| 1. 一种激光驱动非金属飞片的方法及实现装置；魏强, 宋丽红, 高承；201210051378.5  2. 一种激光驱动多飞片的方法及实现装置；魏强, 宋丽红, 平瑞婷；201210051351.6  3. 一种激光驱动形成近球状飞片的方法；魏强, 卢红, 黄欢欢, 刘浩锐, 白羽；201611052083.4  4. 一种用于模拟旋转碎片高速撞击的试验装置；魏强, 黄欢欢, 卢红, 白羽；201721191495.6  5. 一种激光驱动飞片等离子体测速装置；魏强, 刘浩锐, 杨桂民, 许伟泽, 李微；201420768504.3  6. 用于防护微小空间碎片撞击的钛/钛合金表面结构；魏强, 张婷婷, 杨桂民, 蒋东华, 张丹丹；201721449815.3 | | | | | | | | | | | |
| **主要完成人情况表（排名、姓名、技术职称、工作单位、对本项目技术创造性贡献、曾获奖励情况）** | | | | | | | | | | | |
| **排名** | **姓名** | **技术职称** | | | **工作单位** | **完成单位** | | **贡献** | | **曾获奖情况** | |
| 1 | 魏强 | 教授 | | | 河北工业大学 | 天津大学 | | 系统开展了激光驱动飞片地面模拟微小空间碎片研究，提出并获得了激光驱动多飞片、非金属飞片、近球形飞片，以及碎片旋转撞击、等离子体测速和钛合金表面防护结构等一系列自主知识产权专利，丰富了激光驱动飞片的模拟技术，实现了高效低成本的空间微小碎片地面模拟。对应于第1项发明点。 | | 无 | |
| 2 | 袁野 | 讲师 | | | 河北工业大学 | 哈尔滨工业大学 | | 系统开展了轻质宽频段电磁屏蔽复合材料的研究，提出并获得了屏蔽连续体结构功能层、双连续导电网络结构、结构屏蔽一体化复合材料等一系列高水平SCI论文和应用证明，建立了屏蔽结构一体化复合材料仿真模型，揭示了复合材料宽频电磁屏蔽机理，制备出了结构屏蔽一体化复合材料典型样件。对应于第2项发明点。 | | “罗麦”航天科技奖 | |
| 3 | 刘刚 | 研究员 | | | 上海卫星装备研究所 | 上海卫星装备研究所 | | 为激光驱动技术、电磁屏蔽材料技术提供了试验技术支持。对应于第1、第2项发明点。 | | 无 | |
| 4 | 王耀 | 讲师 | | | 河北工业大学 | 河北工业大学 | | 针对项目中航天器电磁屏蔽复杂结构成形机理复杂、缺陷形式多样的制造难题，提出了柔性大范围约束下，局部刚性镶块约束材料形状、调配材料流动，控制材料顺序变形的刚柔协同成形方法，揭示了材料流动变形机理，解决了复杂结构特征成形问题，提高了复合板零件成形极限。对应于第3项发明点。 | | 无 | |
| 5 | 李宜彬 | 教授 | | | 哈尔滨工业大学 | 哈尔滨工业大学 | | 系统开展了轻质宽频段石墨烯电磁屏蔽复合材料的研究，提出并获得了结构屏蔽一体化复合材料等一系列高水平SCI论文和实物样件，建立了屏蔽结构一体化复合材料仿真模型，揭示了电磁屏蔽复合材料宽频电磁屏蔽机理，制备出了结构屏蔽一体化复合材料典型样件。对应于第2项发明点。 | | 2016年黑龙江省自然科学一等奖，中国复合材料学会青年科学家奖 | |
| **完成人合作关系说明** | | | | | | | | | | | |
| 魏强与袁野共同申请并获批了中央军委装备发展部重点实验室基金“多功能石墨烯/银纳米线复合薄膜的制备方法及性能研究”（项目编号：6142905180201，公开）。  魏强与王耀共同申请并获批了中央军委装备发展部重点实验室基金“复杂截面FMLs构件热介质变能率面力加载机理”（项目编号：61429090209，公开）。  魏强与刘刚共同发表学术论文Wei, Qiang, Yang, Guimin, Liu, Gang, Jiang, Haifu, Zhang, Tingting. Effects and mechanism on Kapton film under ozone exposure in a ground near space simulator, Applied Surface Science, 2018, 440: 1083-1090。魏强老师部分科研成果在上海卫星装备研究所的部分预研课题中得到应用。  魏强与李宜彬在空间材料制备、评价具有长期合作关系。李宜彬是袁野攻读博士学位期间的博士生导师，共同发表了多篇学术论文，其中包括此次申请中在哈尔滨工业大学发表的3篇学术论文。 | | | | | | | | | | | |
| **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** | | | **合作时间** | | **合作成果** | | **备注** |
| 1 | 共同立项 | | | 魏强，袁野/1和2 | | | 2018年 | | 多功能石墨烯/银纳米线复合薄膜的制备方法及性能研究 | | 军委装备发展部重点实验室基金 |
| 2 | 共同立项 | | | 魏强，王耀/1和4 | | | 2018年 | | 复杂截面FMLs构件热介质变能率面力加载成形机理 | | 军委装备发展部重点实验室基金 |
| 3 | 论文合著 | | | 魏强，刘刚/1和3 | | | 2018年 | | Effects and mechanism on Kapton film under ozone exposure in a ground near space simulator | | 学术论文 |
| 4 | 论文合著 | | | 袁野，李宜彬/2和5 | | | 2016年 | | Multifunctional stiff carbon foam derived from bread | | 学术论文 |
| **知情同意证明** | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | |

**注：所填报内容必须与推荐书中提交的完全一致，否则责任自负，可自行调整行间距。**