2020年度国家自然科学奖提名公示信息

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 纺织复合材料冲击破坏的结构、温度和应变率效应 |
| 提名单位 | 东华大学 |
| 提名意见 | 三维纺织复合材料具有比二维层压复合材料更高的冲击损伤容限，在飞行器和弹道防护材料等涉及冲击加载或高频加载等场合中有极大的应用潜力，深入理解纺织复合材料冲击破坏的结构、温度和应变率是复合材料抗冲击设计关键因素之一。该项目研究各类纺织复合材料（尤其是三维纺织结构）的冲击变形和破坏，包括冲击破坏的多尺度几何结构机理、冲击加载过程中的热力耦合效应和材料力学性质应变率效应。发现了冲击加载下刚性与柔性纺织复合材料内部应力分布和能量吸收与多尺度几何结构的关系、复合材料热传导性质和冲击加载绝热剪切所导致的局部温升及力学性质降解、纤维织物和复合材料力学性质的应变率效应及结构稳定性。该项目至2017年发表国际同行评审期刊论文主要有65篇，包括纺织领域期刊Text. Res. J.和J. Text. Inst.，复合材料领域期刊Compos. Sci. Technol., Compos. Part A, Compos. Part B, Compos. Struct., 复合材料学报，力学期刊Mech. Mater., Int. J. Solids Struct., Int. J. Impact Eng.，传热学期刊Int. J. Heat Mass. Tran.等。5篇代表作在SCIE数据库中他引102次，得到江雷院士、方岱宁院士等正面引用和评价，许多研究者基于该项目的方法继续开展进一步研究，也实质性地促进了纺织学科与力学、传热学的交叉发展。 提名该项目为自然科学奖一等奖。 |
| 项目简介 | 纺织结构复合材料多尺度几何结构、冲击绝热剪切热力耦合、材料力学性质的应变率效应是复合材料抗冲击设计的基础问题。纺织复合材料冲击加载破坏性质取决于复合材料细观结构和纤维/基体种类，在纤维/基体种类有限的条件下，种类繁多的预成型体结构为提高复合材料冲击强度提供了大量设计空间；复合材料热学性质和在冲击加载下局部绝热剪切所致的局域绝热🡪温升🡪软化响应和热力耦合效应将显著影响纺织复合材料抗冲击性能；纤维、织物和复合材料在冲击加载下呈现的应变率效应抗冲击设计的重要指标。该项目围绕上述关键内容开展研究： （1）结构效应：发展三维编织、机织、针织、混编复合材料大型精细化细观结构、系列化单胞结构等复合材料细观结构表征方法和指标，形成从单纤维、纤维束到宏观结构件的细观、中观和宏观的三维纺织结构复合材料特征库；基于三维纺织结构复合材料多尺度几何结构单胞库，创新性地把单向复合材料临界失效面积破坏准则扩展至三维纺织复合材料，构建三维纺织结构复合材料在动态加载条件下的破坏机理系统解释，得到系列化关于纺织结构复合材料细观结构特征与复合材料变形和损伤关系。研究织物和柔性复合材料弹道侵彻破坏机理，发现柔性材料冲击变形在纤维、纱线、单胞结构和宏观连续介质层面的冲击阻尼吸能和结构响应机制。（2）温度效应：建立适用于不同纺织结构热学性能研究的温度周期性边界条件，通过实验表征、多尺度有限元模型和细观结构有限元模型相结合的方法，分析机织、编织结构和单向纤维增强复合材料热膨胀和热传导性质，解决了纺织复合材料热学性能精确表征的问题，发现了复合材料热传导、热应变和热应力分布的结构效应；推导适用于纺织复合材料高速冲击的弹塑性热力耦合本构，阐明纺织复合材料冲击加载热力耦合机理，发现了纺织复合材料在不同加载条件和环境下内部绝热温升变化所致的局部力学性质降解对宏观冲击性能的影响。（3）应变率效应：研究纤维材料、织物和复合材料的冲击拉伸、压缩和剪切性质，明确了应变率和材料结构对冲击加载性质的共同作用机理，发现了材料力学性质、失效过程和能量吸收在不同应变率下的表现形式，构建了纤维、织物和复合材料计及应变率效应的本构方程并应用于弹道侵彻计算，显著提高了计算准确性；在频域中研究冲击加载过程信号，发现了纤维断裂、基体开裂、界面脱粘和单胞结构变形破坏对应的频谱特征，揭示了复合材料在不同应变率下的结构稳定性和破坏特征。该项目至2017年发表国际同行评审期刊论文主要有65篇，包括纺织领域期刊Text. Res. J.，复合材料领域期刊Compos. Sci. Technol.，力学期刊Mech. Mater.和传热学期刊Int. J. Heat Mass. Tran.等。5篇代表作在SCIE数据库中他引102次，研究成果得到江雷院士、方岱宁院士等正面引用和评价，许多研究者基于该项目的方法继续开展进一步研究，也实质性地促进了纺织学科与力学、传热学的交叉发展。 |
| 主要完成人情况 |
| 排名 | 姓名 | 技术职称 | 工作单位 | 完成单位 | 对本项目重要科学发现的贡献 |
| 1 | 顾伯洪 | 教授 | 东华大学 | 东华大学 | 负责该项目总体设计，具体研究刚性和柔性研究纺织复合材料冲击损伤的结构效应和纤维材料力学性质应变率效应。是代表性论文1,3,5的通讯作者。 |
| 2 | 孙宝忠 | 教授 | 东华大学 | 东华大学 | 研究复合材料冲击损伤的温度效应和应变率效应的频域分析，包括复合材料热导性质、热力耦合性质和复合材料冲击加载下结构稳定性的频域特征。是代表性论文3, 4的通讯作者。 |
| 主要完成单位 | 东华大学 |
| 代表性论文（专著）目录 |
| 序号 | 论文（专著）名称/刊名/作者 | 年卷页码 | 发表时间 | 通讯作者（含共同） | 第一作者（含共同） | 国内作者 | 他引总次数 | 检索数据库 | 论文署名单位是否包含国外单位 |
| 1 | Finite element prediction of the impact compressive properties of three-dimensional braided composites using multi-scale model / Composite Structures / Wan Yumin, Sun Baozhong, Gu Bohong | 2015, 128(Sep.):381-394. | 2015.3.27 | 顾伯洪 | 万玉敏 | 万玉敏孙宝忠顾伯洪 | 24 | SCIE | 是 |
| 2 | Compressive behaviors of warp-knitted spacer fabrics impregnated with shear thickening fluid / Composites Science and Technology / Lu Zhenqian, Jing Xiaoyun, Sun Baozhong, Gu Bohong | 2013, 88(Nov.):184-189. | 2013.12.21 | 顾伯洪 | 陆振乾 | 陆振乾景晓颖孙宝忠顾伯洪 | 28 | SCIE | 否 |
| 3 | Experimental and numerical analyses on the thermal conductive behaviors of carbon fiber/epoxy plain woven composites / International Journal of Heat and Mass Transfer / Dong Kai, Liu Kui, Zhang Qian, Gu Bohong, Sun Baozhong | 2016, 102:501-517. | 2016.3.10 | 孙宝忠 | 董凯 | 董凯刘奎章倩顾伯洪孙宝忠 | 22 | SCIE | 否 |
| 4 | Experimental investigation of high-strain rate properties of 3-D braided composite material in cryogenic field / Composites Part B Engineering / Pan Zhongxiang, Gu Bohong, Sun Baozhong | 2015,77:379-390 | 2015.3.11 | 孙宝忠 | 潘忠祥 | 潘忠祥顾伯洪孙宝忠 | 15 | SCIE | 否 |
| 5 | Constitutive equations of basalt filament tows under quasi-static and high strain rate tension / Materials Science & Engineering A / Zhu Lvtao, Sun Baozhong, Hu Hong, Gu Bohong  | 2010, 527(13):3245-3252. | 2010.2.3 | 顾伯洪 | 竺铝涛 | 竺铝涛孙宝忠胡红顾伯洪 | 13 | SCIE | 否 |
| 合 计 | 102 |  |  |