

项目名称	复合材料点阵结构设计理论及机械强度
主要完成单位	哈尔滨工业大学
提名单位	工业和信息化部
提名意见	<p>我单位认真审核了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合国家自然科学奖推荐书填写要求。复合材料点阵结构具有比刚度高、比强度高、可设计性强、易实现多功能化等特点，在工程实际中具有广泛的应用前景。该项目围绕超轻复合材料点阵结构的设计理论、制备工艺以及性能表征与评价开展了系统深入的基础研究，取得了国际上有影响的重要成果：发现了复合材料点阵结构载荷传递路径及变形机制，提出了连续纤维增强+芯子协同变形的设计思想，创建了复合材料点阵结构设计方法；提出了一系列复合材料点阵结构制备方法，实现了轻质高强复合材料点阵结构的制备；揭示了复合材料点阵结构的失效机理，建立了复合材料点阵结构破坏理论和评价方法，实现了点阵结构在飞行器结构上的成功应用；建立了考虑芯子横向剪切变形的复合材料点阵结构机械振动模型，阐明了结构几何参数和局部损伤对复合材料点阵结构振动特性的影响关系；揭示了复合材料点阵结构冲击破坏机理，发现了复合材料点阵结构冲击后剩余拉伸强度的退化规律。研究成果具有原创性和重要学术价值，权威学者积极评价，一批同行在后续研究中推广或应用，产生很大国际影响。8 篇代表性论文 SCI 他引 405 次，已获得 2016 年度黑龙江省自然科学一等奖。对照国家科学技术进步奖授奖条件，推荐该项目申报 2020 年度国家自然科学基金二等奖。</p>
项目简介	<p>复合材料点阵结构是通过模拟原子点阵构型设计出来的含有序细观结构的新型多孔结构，具有较同类轻质结构更为优异的力学性能，被认为是最具潜力的超轻结构，在航空航天、轨道交通、国防武器等机械工程领域具有广泛的应用前景。此外，复合材料点阵结构内部开放的空间为其多功能化提供了理想的基础平台，是近年来新材料制造领域的研究热点。该团队在国家自然科学基金、科技部 973 项目等支持下，针对复合材料点阵结构设计、制备及性能表征与评价等关键科学问题，开展了长期的探索研究，形成了较系统的理论体系，为其工程应用奠定了重要的理论基础。在超轻结构领域形成了鲜明的研究特色，推动了新型复合材料结构的发展。相关研究成果已用于我国先进飞行器结构设计中。主要发现点为：</p> <p><b>发现点一：</b>发现了复合材料点阵结构载荷传递路径及变形机制，提出了连续纤维增强+芯子协同变形的设计思想，创建了材料/结构/单胞一体化的复合材料点阵结构设计方法。提出了一系列复合材料点阵结构制备方法，实现了轻质高强复合材料点阵结构的制备。提出的制备方法包括模压成型工艺、切割粘结工艺、嵌锁组装工艺等。采用上述方法制备的碳纤维复合材料点阵结构在低密度区具有优异的力学性能，其平压和剪切强度指标分别达到国际领先和先进水平。</p> <p><b>发现点二：</b>揭示了复合材料点阵结构的失效机理，建立了复合材料点阵结构破坏理论和评价方法，实现了点阵结构在飞行器结构上的成功应用。采用理论、数值和实验方法研究了复合材料点阵结构在典型载荷作用下的变形行为和失效机理，给出了复合材料点阵结构等效刚度和等效强度的表达式，建立了典型失效模式的破坏准则，有效预报了复合材料点阵结构的失效破坏，为</p>

该类结构的工程应用提供了理论支撑。设计理论和方法已用于轻量化卫星结构和弹翼结构设计中。

**发现点三：建立了考虑芯子横向剪切变形的复合材料点阵结构机械振动模型，阐明了结构几何参数和局部损伤对其振动特性的影响关系；揭示了复合材料点阵结构冲击破坏机理，发现了冲击后其剩余拉伸强度的退化规律。**采用所建立的模型，获得了不同典型边界条件下点阵夹芯结构振动问题的解析解。基于应变形式的 Hashin 准则和 Yeh 准则，建立了复合材料参数退化准则，揭示了结构在低速冲击后剩余拉伸强度的退化规律，预报了复合材料点阵结构的失效破坏。

该项目共发表 SCI 论文 68 篇，出版复合材料点阵结构研究领域第一部专著，获授权国家发明专利 7 项。8 篇代表性论文被 Science 等期刊 SCI 他引 405 次。该项目研究成果引起国际学术界的关注，美国工程院院士 Atluri 教授指出：该项目设计的复合材料点阵材料填补了 Ashby 材料选择图的空白。杨卫院士、方岱宁院士、程耿东院士，Wadley 教授等对该项目的研究成果均给予了高度评价。

基于该项目研究成果，研究团队于 2009 年入选国防科技创新团队。项目组成员担任相关国际会议主席/副主席 10 人次，国际/国内学术期刊编委 6 人次。基于项目的研究成果，项目组成员马力获国家优青，熊健入选德国洪堡学者、获聘教育部青年长江学者，依托该项目培养的博士生杨金水获中国复合材料学会优秀博士论文提名奖。该项目成果曾获 2016 年度黑龙江省自然科学一等奖和第五届中国国际新材料产业博览会金奖。

主要完成人情况	排名	姓名	技术职称	工作单位	完成单位
	1	吴林志	教授	哈尔滨工程大学	哈尔滨工业大学
	2	马力	教授	哈尔滨工业大学	哈尔滨工业大学
	3	熊健	教授	哈尔滨工业大学	哈尔滨工业大学
	4	王兵	副教授	哈尔滨工业大学	哈尔滨工业大学
论文、论著目录	序号	论文专著名称、刊名、作者			
	1	Fabrication and crushing behavior of low density carbon fiber composite pyramidal truss structures/Composite Structures/熊健, 马力, 吴林志, 王兵, A. Vaziri			
	2	Experimental investigation of 3D sandwich structure with core reinforced by composite columns/Materials and Design/王兵, 吴林志, 金鑫, 杜善义, 孙雨果, 马力			
	3	Shear and bending performance of carbon fiber composite sandwich panels with pyramidal truss cores/ACTA Materialia/熊健, 马力, 洋世东, 吴林志, J. Papadopoulos, A. Vaziri			
	4	Mechanical behavior of the sandwich structures with carbon fiber-reinforced pyramidal lattice truss core/Materials and Design/王兵, 吴林志, 马力, 孙雨果, 杜善义			
	5	Compression and impact testing of two-layer composite pyramidal-core sandwich panels/Composite Structures/熊健, A. Vaziri, 马力, J. Papadopoulos, 吴林志			
	6	Low-velocity impact and residual tensile strength analysis to carbon fiber composite laminates/Materials and Design/王世勋, 吴林志, 马力			
	7	Energy absorption and low velocity impact response of polyurethane foam filled pyramidal lattice core sandwich panels/Composite Structures/张国旗, 王兵, 马力, 吴林志, 洋世东, 杨金水			
	8	Free vibration analysis of simply supported sandwich beams with lattice truss core/Materials Science and Engineering B/姜佳, 马力, 吴林志			