

## 弹性波与力学超材料设计与应用专题序

姜 恒<sup>\*,†,1)</sup> 黄国良<sup>\*\*,2)</sup><sup>\*</sup> (中国科学院力学研究所微重力实验室, 北京 100190)<sup>†</sup> (中国科学院大学工程科学学院, 北京 100049)<sup>\*\*</sup> (密苏里大学机械与航空航天工程系, 美国哥伦比亚 65211)

超材料是一类由人工微结构单元构筑的复合材料, 具有天然材料所不具备的超常物理性质, 经过多年发展, 超材料已经从电磁领域逐渐拓展到声学、力学、热学、材料学等诸多学科领域, 国内外学者在概念与内涵、理论与设计、制备与应用等各方面都开展了深入探究与应用研究, 产生了深远影响. 相较于传统均质材料的半经验式研究, 超材料从微结构单元精确设计出发, 是未来先进功能材料的创新研究新范式. 弹性波与力学超材料是整个超材料家族的重要组成部分, 近年来受到国内外学者的广泛关注, 已经在结构设计、数学模型建立以及应用等方面取得了丰硕的研究成果.

为了系统报道具有奇异波动与力学特性超材料的设计、制造、测试与应用研究, 《力学学报》组织了本次的“弹性波与力学超材料设计与应用”专题, 包含了 1 篇综述型论文和 5 篇研究型论文, 介绍了部分在弹性波及力学超材料研究中的前沿性、创新性研究成果.

湖南大学王凯、周加喜等撰写了《低频弹性波超材料若干进展》. 他们首先简要介绍了超材料开启弹性波带隙的基本原理, 然后从低频弹性波超材料基本结构与低频带隙实现方法、低频带隙优化与调控策略、低频带隙潜在应用等三个方面详细总结低频弹性波超材料的研究工作. 进一步, 通过总结低频弹性波超材料的研究进展, 他们指出了目前低频超材料在工程应用中所面临的挑战. 论文提出基于拓扑优化方法, 创新设计具有承载能力的结构化小刚度局域振子, 是低频超材料进一步发展的关键. 如何对含有非线性的超材料进行数学建模, 并求解超材料的高维非线性方程, 是设计超材料并评估其性能的核心问题. 拓宽低频带隙宽度, 强化带隙内弹性波衰减效果以及对低频带隙位置进行主动调控是拓展超材料在振动抑制方面应用的另一关键性问题.

弹性波在色散关系经过设计的梯度结构中传播时会产生弹性波彩虹捕获效应, 即不同频率的弹性波会在结构的不同位置停止向前传播并发生能量聚集. 西北工业大学王芳隆、沈一舟、徐艳龙等撰写了《弯曲波彩虹捕获效应及其在能量俘获中的应用》, 通过所设计的梯度结构梁, 分析了弯曲波彩虹捕获效应的产生机理, 并通过有限元仿真和实验验证了弯曲波彩虹捕获效应的空间分频现象和波场能量增强现象, 最后通过有限元多物理场耦合仿真和实验, 系统地研究了弯曲波彩虹捕获效应在压电能量俘获中的应用.

力学超材料中的弯曲梁双稳态结构由于其主动调控性强且调控精度高等优点近年来受到广泛关注. 中国科学院力学研究所肖伯雅等人撰写了《可重构力学超材料的设计与波动特性的研究》. 他们利用中心受压弯曲梁的不稳定性设计了六角型双稳态结构, 并首先研究了六角型可重构结构几何参数对其整体力学性

2022-10-10 收稿, 2022-10-11 录用, 2022-10-11 网络版发表.

1) 姜恒, 研究员, 主要研究方向: 复合材料力学、智能材料与结构、弹性波与力学超材料等. E-mail: hengjiang@imech.ac.cn

2) 黄国良, 教授, 主要研究方向: 弹性/声学超材料与主动超材料、拓扑力学与结构动力学等. E-mail: huangg@missouri.edu

引用格式: 姜恒, 黄国良. 弹性波与力学超材料设计与应用专题序. 力学学报, 2022, 54(10): 2676-2677

Jiang Heng, Huang Guoliang. Preface of theme articles on design and application of elastic wave and mechanical metamaterials. *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2022, 54(10): 2676-2677

能的影响;之后在具备双稳态特性结构的基础研究了构型变化对结构色散关系的影响并进行了相应的频率响应计算验证.结果表明,可以通过六角型可重构结构几何参数的设计实现对结构整体性能的主动调控,为可逆向设计的弹性波超材料结构研究分析提供了一条可靠路径.

点阵结构的周期和多孔特征使其相较于普通的实体结构具有轻质、耐冲击、减振降噪和高比强度等优势,在航空航天和船舰等领域具有十分广泛的应用前景.西南科技大学任怡与武汉第二船舶设计研究所张昊等撰写了《金字塔点阵圆筒结构轴向弹性波传递特性研究》.他们以金字塔点阵圆筒结构为对象,根据结构参数进行参数化建模,并利用有限元仿真软件计算了点阵圆筒结构轴向振动特性,系统研究了单胞的宽、高以及杆件直径等关键参数对减振效果的影响,根据分析结果设计了一种具有低频宽带减振性能的金字塔点阵圆筒结构,并通过振动测试实验对结构的减振性能进行了验证.

折纸结构和折纸超材料具有无穷的设计空间,突出的变形状、变大小、变拓扑特性,以及由折叠诱发的超常规力学特性,在最近几年迅速成为数学、物理和工程学科的研究前沿和热点.清华大学王海瑞、申薛靖等撰写了《折纸超材料折展稳态特性的研究》.他们针对新型折纸超材料稳态机理不清晰的问题,采用扭转弹簧等效法和能量原理,对折纸超材料在复杂内部构型及折展运动协同作用下的力学行为进行了理论研究,建立了超材料构型在折展变形过程中的力学模型,分析了构型几何参数对折展外载荷的影响规律,为新型折纸超材料稳态性能的调控和构型设计提供了可借鉴的思路.

拉胀超材料因其负泊松比特性而具有优异的多向能量吸收和体积变化可调性,使其在航天航空和军工设备等领域具有广阔的应用前景.西南石油大学朱一林、江松辉、于超撰写了《增强六手臂缺失支柱手性拉胀超材料力学性能理论研究》.在前期研究工作中,他们提出了一种在大变形范围内具有可调恒定负泊松比的新型增强六手臂缺失支柱手性拉胀超材料.为了揭示微观结构-力学性能关系,并进一步指导超材料目标参数设计,他们在小变形框架下基于能量法建立了表征该拉胀材料等效泊松比和弹性模量的理论模型,并为便于理论模型的应用,开发了 MATLAB 图形用户界面,输入几何参数就可以直接获取相应结构的等效力学性能参数,系统研究了关键几何参数对增强六手臂缺失支柱手性拉胀超材料力学性能的影响规律.

由于专题篇幅限制,本次专题仅粗略涵盖了弹性波与力学超材料的理论研究、设计方法与应用技术等方面的内容,期望以本专题为契机,进一步促进弹性波与力学超材料的理论创新与关键技术突破.最后,感谢《力学学报》编辑部对本专题的支持!也特别感谢所有论文作者以及审稿专家对本专题出版的重要贡献和大力支持!

doi: 10.6052/0459-1879-22-481