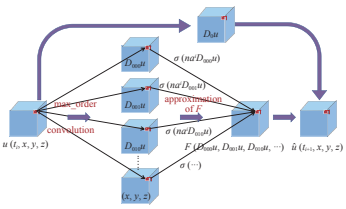
研究综述

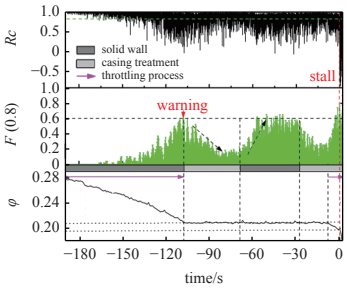
基于神经网络的偏微分方程求解方法研究综述 (543-556, doi: 10.6052/0459-1879-21-617)
查文舒, 李道伦, 沈路航, 张雯, 刘旭亮



随着深度学习网络快速发展, 偏微分方程 (PDE) 求解、物理规律发现、快速反演等将会发生技术变革. 深度学习网络与 PDE 融合, PDE 求解大家族 (PDE 解析解、PDE 数值解) 将迎来新成员——PDE 智能解 (或称为 PDE 神经网络解). 本文详细介绍了基于神经网络偏微分方程求解方法的发生、发展、演化过程及今后发展方向.

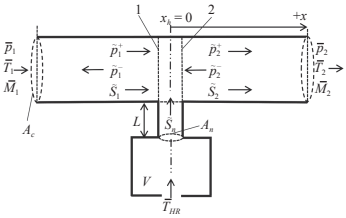
发动机中的关键流体力学问题专题

压气机流动稳定性自适应控制方法研究进展 (559-576, doi: 10.6052/0459-1879-21-560)
许登科, 董旭, 徐瑞泽, 李佳, 孙大坤, 孙晓峰



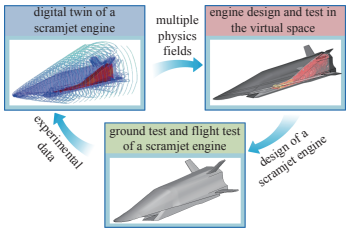
压气机流动稳定性自适应控制是未来智能航空发动机的一项关键技术. 本文综述了该领域近年来的相关研究进展, 主要包括基于线性全局稳定性分析的叶轮机流动稳定性通用理论、基于壁面阻抗边界调控的 SPS 机匣处理和泡沫金属机匣处理扩稳方法、基于气动声学原理的在线实时失速预警方法以及基于以上三项研究的压气机自适应扩稳控制方法.

带冷却气流的亥姆霍兹共振器的声类比模型 (577-587, doi: 10.6052/0459-1879-21-561)
甘振鹏, 杨东



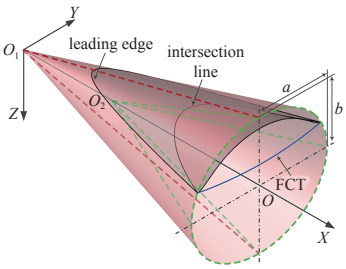
基于声类比的思想, 对装有典型的被动消声装置亥姆霍兹共振器 (HR) 的航空发动机燃烧室, 建立了一个可预测当带有冷却气流的 HR 被安装于一个一维声学管道中时的消声性能的理论模型. 该模型引入带源项的波动方程, 其源项能体现出共振器对燃烧室内一维声场的影响, 并能有效区分出熵扰动和声扰动引起的声源项.

超燃冲压发动机仿真: 从数值飞行到数智飞行 (588-600, doi: 10.6052/0459-1879-21-397)
孙明波, 安彬, 汪洪波, 王成龙



“数智飞行”源于人工智能与传统超燃冲压发动机数值飞行的深度融合. 一方面, 数智飞行将借助人工智能全面提升数值飞行的准确性、精度和速度, 提高数据处理和知识挖掘的效率. 另一方面, 数智飞行将突破传统发动机研发模式, 通过构建智能化发动机数字孪生体, 实现发动机在虚拟空间中的全弹道飞行考核, 加快发动机设计迭代.

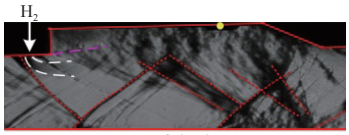
基于局部偏转吻切方法的多级压缩乘波体设计 (601-611, doi: 10.6052/0459-1879-21-357)
郑晓刚, 朱呈祥, 尤延铖



乘波体因优异的气动特性, 被认为是突破现有“升阻比屏障”的有效途径之一, 已成为高超声速飞行器气动设计的研究热点. 本文针对常规单级压缩乘波前体压缩量不足的问题, 基于局部偏转吻切方法提出一种多级压缩乘波体设计方法, 实现了多道非轴对称激波的逆向乘波设计. 通过引入多道非轴对称激波, 可充分发挥乘波前体的预压缩效果, 并为复杂外形条件下的高超声速飞行器设计提供新的思路.

乙烯燃料超燃燃烧室流动特性与燃烧稳定性研究 (612-621, doi: 10.6052/0459-1879-21-353)

时文, 田野, 郭明明, 刘源, 张辰琳, 钟富宇, 乐嘉陵



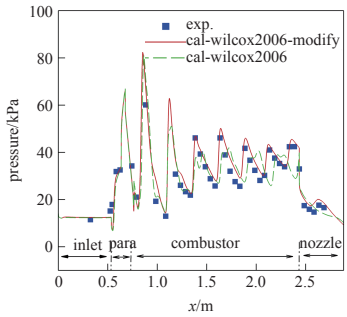
structure of shock waves

edge detection of CH

基于纹影图及监测点压力数据分析, 获得不同喷注方式下冷态流场振荡特性及振荡主频, 发现凹腔上游喷注方式可抑制振荡. 基于 OH-PLIF 发现先锋氢火焰是不稳定的, 并结合 CH 自发光及纹影图发现先锋氢关闭前乙烯燃烧不稳定现象源于先锋氢燃烧的不稳定, 先锋氢关闭后乙烯火焰从凹腔中部后移至凹腔后斜坡处且火焰稳定.

飞行 *Ma*12 条件超燃发动机流场及燃烧特征分析 (622-632, doi: 10.6052/0459-1879-21-496)

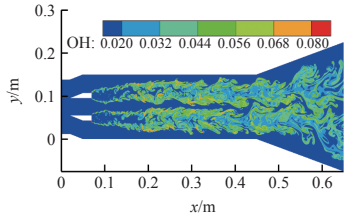
何粲, 邢建文, 欧阳浩, 邓维鑫, 肖保国



为提升高马赫数发动机模拟能力, 对计算方法进行了可压缩性修正,并针对飞行 *Ma*12 超燃发动机进行了三维模拟, 分析了其波系及燃烧性能特征. 修正后计算壁压与试验值吻合.发动机内形成激波与反射波系, 流场中绝大部分区域为非预混燃烧. O 原子复合主要发生在喷管中. 燃烧会导致燃烧室摩阻及整机总摩阻减小.

提高高马赫数超燃冲压发动机推力的理论方法 (633-643, doi: 10.6052/0459-1879-21-350)

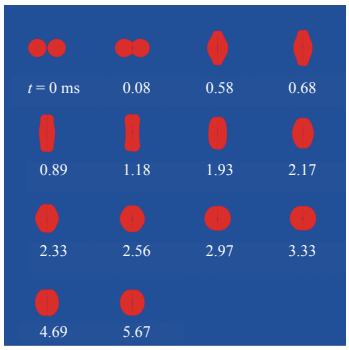
韩信, 刘云峰, 张子健, 张文硕, 马凯夫



超燃发动机燃烧室内容易形成爆轰波, 如果爆轰波速度大于隔离段内的气流速度, 爆轰波就会向上游传播, 引起发动机不起动. 对中等飞行马赫数发动机, 只能通过降低当量比来保证燃烧稳定, 导致发动机推力不足. 但是, 对高马赫数发动机, 隔离段内气流速度大于爆轰波速度, 该速度差为进一步提高推力提供了理论空间, 可以向燃烧室内额外添加燃料和氧化剂, 提高燃烧产物压力, 从而提高发动机推力.

Oldroyd-B 黏弹性液滴碰撞过程的数值模拟 (644-652, doi: 10.6052/0459-1879-22-020)

关新燕, 富庆飞, 刘虎, 杨立军

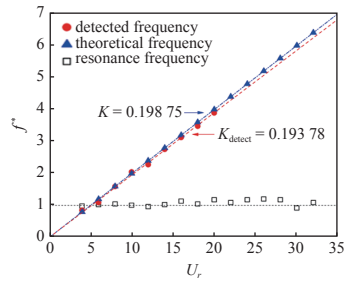


为了进一步认识凝胶推进剂的雾化机理、提高凝胶推进剂的雾化性能, 针对凝胶推进剂雾化过程中出现的液滴撞击现象进行数值模拟研究, 使用 Oldroyd-B 本构模型描述液滴的黏弹性, 主要关注黏弹性液滴的正撞过程, 研究了松弛时间、黏度比、韦伯数对液滴正撞的影响, 并对不同参数下黏弹性液滴的撞击过程进行能量计算, 另外观察了不同偏心度下的液滴碰撞行为.

流 体 力 学

弹性支撑斑海豹胡须模型单自由度流致振动实验研究 (653-668, doi: 10.6052/0459-1879-21-384)

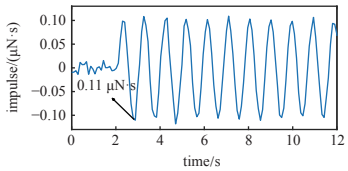
宋立群, 及春宁, 袁德奎, 许栋, 张晓娜, 卫昱含, 殷彤



斑海豹依靠其具有波状外形的胡须, 可感知猎物尾迹流场的涡流特征, 进而循迹追踪. 本研究开展了均匀流场和尾迹流场中单个胡须模型和胡须模型阵列的流致振动特性和信号感知性能实验. 结果表明, 胡须模型对尾迹涡流频率的检测精度高于 85.3%, 且与上游物体的距离、大小以及相邻模型布置的相关性不显著. 证实了基于斑海豹胡须模型开发水下感知传感器的可行性.

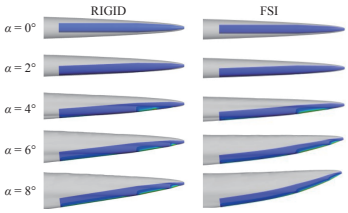
基于扭摆的微冲量测量方法及实验研究 (669-677, doi: 10.6052/0459-1879-21-191)
杨超, 贺建武, 章楚, 康琦, 段俐

为了在地面上实现对脉冲微推力器的微冲量测量, 以电磁螺线圈与永磁体分别产生瞬时磁力与固定频率的磁力作用于扭摆, 研究现有推力测量系统的微冲量测量性能. 实验结果表明: 当以扭摆转动最大角位移为依据测量冲量时, 可测冲量测量范围为 0.05~220 μN·s, 分辨力达 0.02 μN·s; 若以平均角位移测量微冲量, 能够扩大冲量测量范围, 提高冲量测量分辨能力.



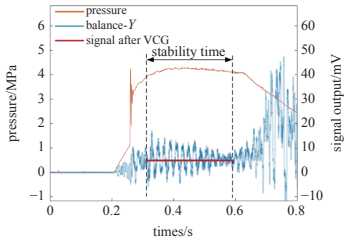
基于双向流固耦合的超空泡射弹入水研究 (678-687, doi: 10.6052/0459-1879-21-510)
郝常乐, 党建军, 陈长盛, 黄闯

高速超空泡射弹在入水过程中受到巨大的流体载荷而发生弯曲变形, 使射弹的超空泡流型和流体动力载荷发生改变. 超空泡射弹在入水过程中受到的流体动力载荷及弹体应力应变随入水初始攻角的增加显著增大. 射弹的弯曲变形与升阻力系数之间形成了正反馈, 导致大攻角入水的射弹在入水的早期阶段会发生塑性形变, 引起结构失效.



高超声速风洞短时气动力智能辨识算法研究 (688-696, doi: 10.6052/0459-1879-21-484)
王钦超, 李世超, 高宏力, 马贵林, 伍广, 段志琴

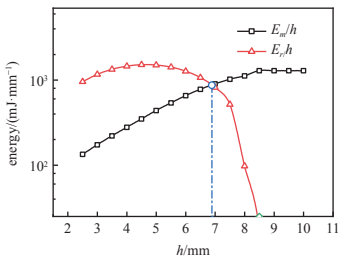
随着高超声速飞行器的发展, 风洞测力干扰较为严重. 本文针对脉冲风洞内高超声速气动力测试精度差的难题, 通过分析大尺度飞行器模型带来的干扰特征, 提出了一种新的基于传统信号处理结合深度学习的智能气动力辨识算法, 结果表明该算法可以有效滤除由大尺度模型带来的传统方法难以消除的干扰分量, 气动力辨识精度得到有效提高.



固 体 力 学

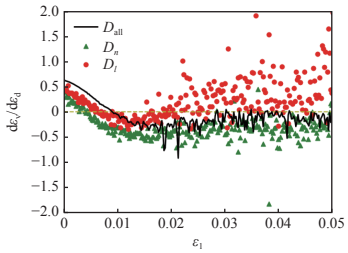
板状结构自发大变形问题的三维数值分析 (697-706, doi: 10.6052/0459-1879-21-593)
张默涵, 李录贤

板状结构在生长或外部环境等因素产生的不协调变形激励下会形成内部应力, 进而发生自发大变形行为. 本文利用三维大变形有限元分析方法, 将板状结构的变形能分离为类伸缩变形能和剩余变形能. 结果表明, 板状结构的大变形过程是弹性变形能中剩余变形能从零开始增加、直至超过类伸缩变形能引起屈曲的一个自发现象.



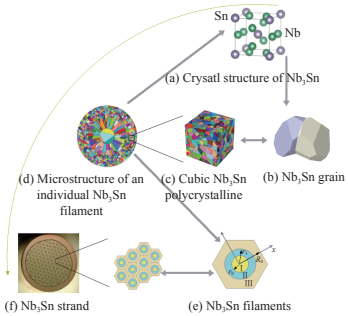
基于细观拓扑结构演化的颗粒材料剪胀性分析 (707-718, doi: 10.6052/0459-1879-21-521)
刘嘉英, 周伟, 姬翔, 魏纲, 袁思莹, 李欣骏

采用离散单元法, 从接触网络拓扑演化角度研究了颗粒材料宏观剪胀变形机制. 颗粒体系不同拓扑演化属性的细观结构所占比例及各向异性在双轴剪切过程中存在较大差异, 新生结构在能够表现出更加明显的剪胀特性, 颗粒体系整体的剪胀变形受到新生结构拓扑变化及恒定结构几何变化的综合影响.



Nb_3Sn 高场复合超导体临界性能力学变形效应的多尺度模拟 (719-731, doi: 10.6052/0459-1879-21-491)

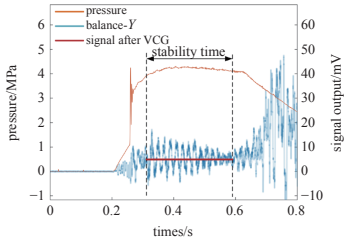
杨绪佳, 何宇新, 张鑫, 杨小敏, 王涛, 乔力



本文针对 Nb_3Sn 超导材料复杂的多尺度结构特征, 通过考虑从晶体结构到材料微结构再到宏观非均质复合材料不同尺度下变形与超导电性能耦合行为的关联, 建立了考虑微/细/宏观关联的非线性力电磁耦合本构模型. 借助该模型预测了 Nb_3Sn 多晶体在静水压强作用下的临界温度弱化响应, 以及 Nb_3Sn 复合多晶体在轴向应变载荷作用下的临界温度、上临界磁场、临界电流的退化趋势.

无网格动力分析的循环卷积神经网络代理模型 (732-745, doi: 10.6052/0459-1879-21-565)

陈健, 王东东, 刘宇翔, 陈俊

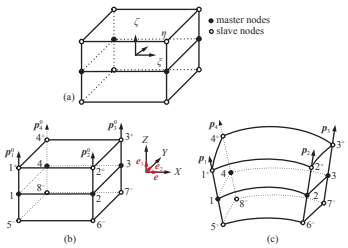


本文通过研究无网格离散数据与机器学习训练样本、无网格动力分析递推计算过程与循环卷积神经网络序列信息传递模式之间的本征联系, 构建了与无网格法相匹配的循环卷积神经网络设计方法, 进而提出了一种无网格动力分析的循环卷积神经网络代理模型. 该模型充分融合了无网格离散模型节点布置灵活的优点, 同时无网格法能够提供具有泛化特征的高精度数值样本, 增强循环卷积神经网络的泛化性和适用性. 此外, 循环卷积神经网络代理模型特有的循环模块历史记忆特性使其可以有效地处理序列信息, 可在保证精度的前提下明显加速无网格动力分析计算过程.

动力学与控制

基于 SE(3) 群局部标架的 5/6 Dofs CB 壳单元 (746-761, doi: 10.6052/0459-1879-21-584)

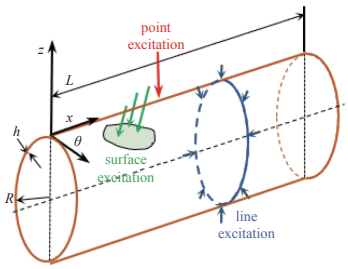
张腾, 刘钺, 张志娟, 刘绍奎



融合李群局部标架思想与基于连续体壳理论提出基于 SE(3) 群局部标架 5/6 Dofs CB 壳. 与 SE(3) 群中几何精确壳相比, 该 CB 壳插值简单. 线性化过程有限元离散与变分操作的可交换性进一步简化了广义弹性力及其雅可比矩阵的计算. 采用变分原理和假设应变法改善单元收敛精度, 数值算例验证了 CB 壳单元收敛精度和消除了刚体运动带来的几何非线性.

平稳/非平稳激励下中厚圆柱壳随机振动响应的基准解 (762-776, doi: 10.6052/0459-1879-21-538)

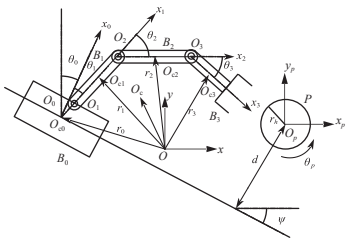
霍慧, 陈国海, 王文培, 杨迪雄



本文针对考虑横向剪切变形和转动惯量的中厚圆柱壳, 利用虚拟激励法和振型叠加技术, 将精确频率和解析振型函数引入随机振动分析, 提出了解析法以及基于离散化处理的离散解析法, 高效获得了平稳及非平稳激励作用下随机振动响应的精确基准解. 并阐明了中厚圆柱壳厚径比、载荷形式、非平稳特性等因素对随机振动响应的显著影响.

存在关节死区的空间机器人无扰快速终端滑模控制 (777-785, doi: 10.6052/0459-1879-21-494)

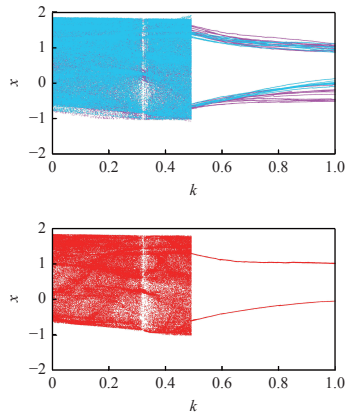
张智豪, 于潇雁



研究了存在关节死区的漂浮基三杆空间机械臂拦截目标前最后阶段的载体无扰动空间规划与控制. 首先建立动力学模型, 推导出空间机械臂反作用零空间的数学模型, 并对其进行向量范数约束算法研究; 接着提出了一种变系数双幂次趋近率与非奇异快速终端滑模面相结合的控制算法实现系统的姿态无扰控制, 并设计了自适应死区补偿器, 消除关节死区对系统的影响. 最后基于 Lyapunov 法证明了系统的稳定性, 数值仿真验证了该方法的有效性.

计及短周期误差的直齿轮副近周期运动及其辨识 (786-799, doi: 10.6052/0459-1879-21-556)

刘鹏飞, 朱凌云, 苟向锋, 石建飞, 金国光

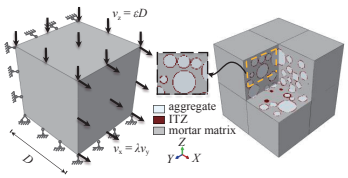


针对齿距偏差等短周期误差引起的一类复杂周期运动, 提出“近周期运动”定义及辨识方法, 分析不同时间尺度的系统动力学特性与不同初始条件的系统多稳态近周期运动. 系统在微观时间尺度内处于周期运动的 Poincaré映射点表现为点簇; 系统的实际运动周期数为宏观时间尺度的 Poincaré映射点数; 齿距偏差影响齿轮副的多稳态近周期运动参数范围.

生 物 、 工 程 及 交 叉 力 学

混凝土动态双轴拉压破坏准则细观数值模拟研究 (800-809, doi: 10.6052/0459-1879-21-563)

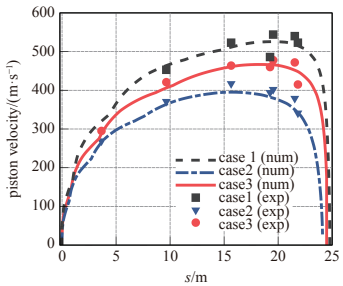
金浏, 李健, 余文轩, 杜修力



在细观尺度上建立了混凝土立方体三维随机数值模型, 模拟了不同工况下混凝土材料的动态双轴拉-压破坏行为, 分别讨论了应变率和侧应力比对混凝土破坏模式和双轴强度的影响, 总结提出了混凝土动态双轴拉-压破坏准则. 该准则考虑了应变率和侧应力比的耦合作用, 具有适用范围大, 形式精炼简洁, 不再受物理试验条件限制等优点.

气相爆轰驱动二级轻气炮内弹道数值模拟 (810-821, doi: 10.6052/0459-1879-21-437)

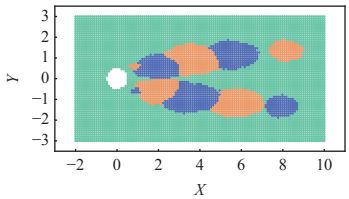
尚甲豪, 邢好运, 汪球, 李进平, 赵伟, 魏炳忱



二级轻气炮在超高速气动物理现象及材料高速碰撞下力学性能的实验研究和验证方面起着不可或缺的作用. 中国科学院力学研究所基于爆轰驱动方法研制了一座大型二级轻气炮, 可弥补高压气体驱动能力有限和火药使用受限的不足. 本文基于准一维数值模拟方法详细研究了该气体炮在不同实验状态下的发射性能与内弹道动力学过程.

基于时程深度学习的流场特征分析方法 (822-828, doi: 10.6052/0459-1879-21-524)

战庆亮, 白春锦, 葛耀君



提出了基于流场时程深度学习的流动特征分析新方法, 建立了基于自动编码的流动特征提取模型; 采用无监督训练方法充分挖掘流动时程信号中的隐含特征, 进行流场中复杂时序特征的低维表征与特征分析. 方法适用于复杂流场特征的自动识别研究, 借助深度学习强大的特征提取能力, 可实现复杂流场的深度特征分析.