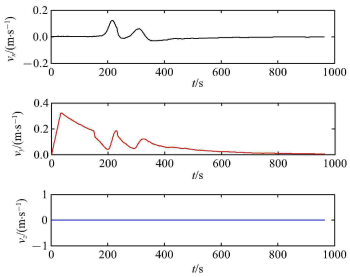
## 航天动力学与控制专题

**折叠翼飞行器的动力学建模与稳定控制 (1548–1559, doi: 10.6052/0459-1879-20-115)**

**宋慧心，金磊**

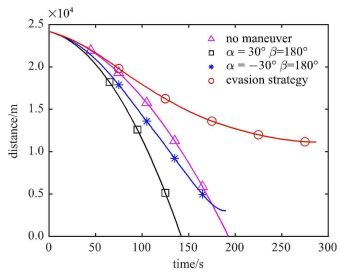
基于凯恩方法建立了折叠翼飞行器的多刚体动力学模型，并从中得到了变形所产生的附加力和力矩表达式. 通过分析不同折叠角速度下飞行器的纵向动态特性，发现折叠翼飞行器变形过程中速度、高度和俯仰角均会发生变化，飞行器无法保持稳定飞行. 为此提出了一种基于自抗扰理论的飞行器变形过程中的稳定控制方法，利用扩张状态观测器对折叠翼飞行器纵向非线性动力学模型中存在的非线性项、耦合项以及参数时变项等进行实时估计和补偿，实现了速度通道和高度通道的解耦控制. 仿真结果表明，基于自抗扰理论设计的稳定控制器能够解决飞行器变形所带来的强非线性和参数时变等问题，保证飞行器的高精度稳定控制.




**基于机动目标滤波估计的航天器主动规避策略 (1560–1568, doi: 10.6052/0459-1879-20-113)**

**李皓皓，张进，罗亚中**

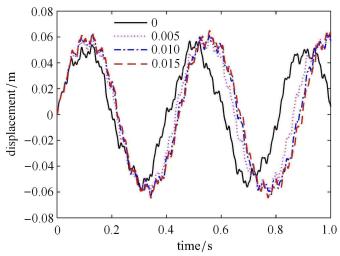
针对航天器近距离追逃问题，提出了基于机动目标滤波估计与最大化视线偏转率的主动规避逃脱策略. 对不同工况进行仿真分析表明：逃逸航天器的机动能力达到追踪航天器的60%以上时，所提出的规避策略可有效规避追踪航天器的自主接近；规避策略对观测设备的测量精度和工作频率不敏感；规避效果与规避策略的响应时间有关，逃逸航天器收到预警信息越早，规避效果越好.




**含间隙铰接的柔性航天器刚柔耦合动力学与控制研究 (1569–1580, doi: 10.6052/0459-1879-20-109)**

**孙杰，孙俊，刘付成，朱东方，黄静**

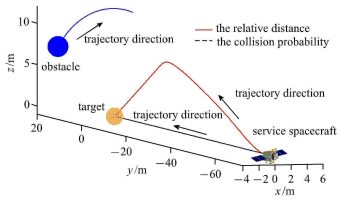
构建含间隙铰接的柔性结构动力学模型，利用哈密顿原理和模态离散方法，建立含间隙铰接的柔性航天器刚柔耦合非线性动力学模型，采用 Newmark 算法进行求解. 分析了铰链参数、刚体转动惯量、间隙尺寸和数目对航天器动力学特性的影响，着重研究了间隙对姿态运动和结构振动的影响作用. 最后基于 MFC 驱动器对含间隙航天器进行了主动控制.




**基于改进人工势函数的航天器近距离安全控制方法 (1581–1589, doi: 10.6052/0459-1879-20-112)**

**许丹丹，张进**

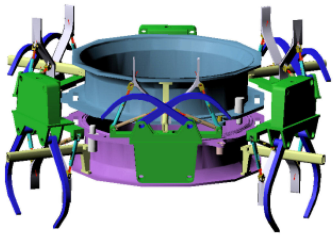
为改进人工势函数方法在航天器近距离操作背景下的适用性，提出 3 个改进措施：首先，为提高碰撞预警的准确性，减少额外机动，碰撞预警采用碰撞概率代替相对距离. 其次，为提高对接安全，降低接近目标航天器的相对速度，利用相对速度的安全接近走廊来计算目标排斥力. 最后，针对大多航天器不能提供任意连续变化推力的情况，设置两种实用的推力形式，如bang-bang控制的推力形式和恒定变化率的推力形式，代替连续变推力形式. 通过对不同算例的比较，该方法可以提高航天器近距离操作的安全性、效率性，并且结构简单，实时性强.



**基于抱爪式对接机构捕获缓冲系统动力学仿真研究 (1590–1598, doi: 10.6052/0459-1879-20-108)**

**沈涛，张崇峰，王卫军，冯文博，邱华勇**

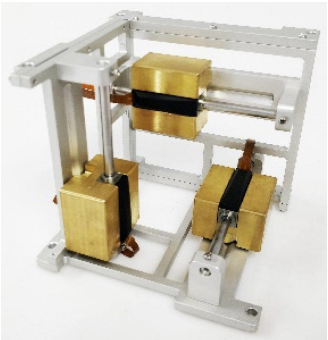
新型抱爪式对接机构可服务于未来月球空间站以及载人登月等高轨道任务，采用异体同构周边式构型，可以实现主/被动飞行器之间的互换. 利用 V 型槽与爪钩等结构部件实现飞行器对接过程中的捕获以及能量消耗功能，从而实现两飞行器之间的稳固联接. 该新型对接机构具备尺寸小、重量轻、结构简单、功能易实现等优势.



**低轨纳卫星质量矩姿态控制技术研究 (1599–1609, doi: 10.6052/0459-1879-20-116)**

**胡远东，陆正亮，廖文和**

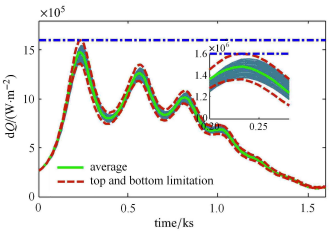
提出利用质量矩技术将气动干扰转化为卫星姿态控制力矩的方法，采用质量矩与磁力矩相结合的方式全驱动控制卫星姿态. 推导了完整的姿态动力学方程，设计了针对理想控制力矩基于干扰观测器的滑模控制器，并研究了理想控制力矩的最优分配策略. 搭建针对双执行机构的半物理仿真平台，验证了质量矩姿态控制技术的可行性.



**考虑气动参数扰动的再入轨迹快速优化方法 (1610–1620, doi: 10.6052/0459-1879-20-117)**

**杨奔，雷建长，王宇航**

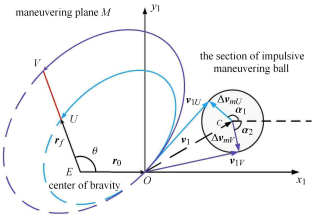
为研究飞行器再入过程中的气动参数扰动问题，采用采样点少、计算效率高的广义混沌多项式理论研究方法，建立了基于广义混沌多项式和凸优化相结合的再入轨迹鲁棒优化模型，该模型在优化过程中考虑气动参数扰动对寻优结果的影响作用，避免了传统轨迹与制导律的复杂迭代设计环节，可有效降低优化轨迹对气动参数扰动的敏感程度.




**航天器单脉冲机动可达域求解算法 (1621–1631, doi: 10.6052/0459-1879-20-111)**

**杜向南，杨震**

航天器轨道机动可达域是表征其在未来时间可能到达空间位置集合的有效方式. 现有关于可达域计算的方法仍然存在模型复杂、初值敏感性高导致计算效果较差等缺点. 本文通过推导可达性判据，进而将其简化为单变量极值求解的问题. 研究结果表明，本文方法的计算结果与蒙特卡洛打靶仿真吻合良好，模型更加简洁且计算精度优于现有方法.

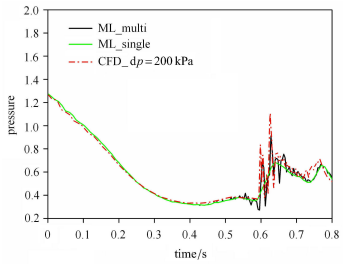


## 流 体 力 学

**水下发射水动力的多尺度预测网络研究 (1632–1644, doi: 10.6052/0459-1879-20-186)**

**岳杰顺，权晓波，叶舒然，王静竹，王一伟**

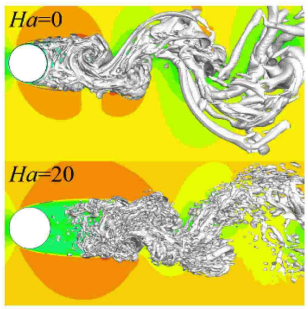
本文在模拟数据和理论公式的基础上，提出了一种具有物理意义的多尺度深度学习模型. 该网络模型以一维卷积网络为基础，构建了一种编码-解码型网络结构，通过不同的采样频率将原始数据划分为大尺度和小尺度，进而训练低保真度和高保真度的网络. 从而实现对不同物理过程的响应和捕捉以及航行体受力特征的快速预测.




**流向磁场作用下圆柱绕流的直接数值模拟 (1645–1654, doi: 10.6052/0459-1879-20-217)**

**郝乐，陈龙，倪明玖**

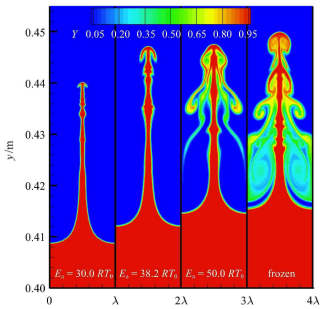
本文通过直接数值模拟研究了不同磁场强度下 $Re = 3900$ 的圆柱绕流湍流. 磁场较弱时流动依然呈三维湍流状态. 磁场抑制尾流区速度场，回流区被拉长,剪切层失稳位置向下游转移. 圆柱后方的涡结构受到竖直方向洛伦兹力的挤压作用，随着 $Ha$ 的增大尾迹区域逐渐变窄. 相比于无磁场情况的涡结构，由于磁场的耗散作用，相应的涡结构尺度变小.




**RM 不稳定过程中预混火焰界面演化及混合区增长预测 (1655–1665, doi: 10.6052/0459-1879-20-278)**

**汪洋，董刚**

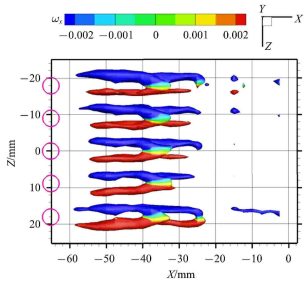
激波作用下的预混火焰界面两侧介质经 RM 不稳定可形成混合区. 本文的高精度数值模拟结果表明，入射激波作用后的火焰界面混合区，其增长速率可通过惰性 RM 机制下的增长率和预混火焰传播速率的线性叠加来预测；而反射激波作用后的混合区增长速率不受化学反应活性的影响，可采用 Mikaelian 的模型进行预测，但模型常数需进行修正.




**基于 Stereo-PIV 技术的三维发卡涡结构定量测量研究 (1666–1677, doi: 10.6052/0459-1879-20-203)**

**田海平，伊兴睿，钟山，姜楠，张山鹰**

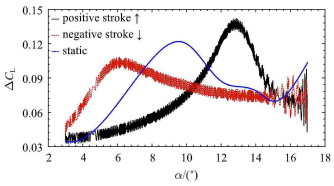
通过对合成射流装置的合理控制，在层流边界层中产生了规则的人造发卡涡结构，进而用 Stereo-PIV 锁相实验技术对发卡涡所在三维空间流场进行了定量测量，得到了一个完整周期内形成的发卡涡三维结构的空间流场. 结果发现，重构所得的三维发卡涡结构质量较高，实验技术和方案可行，同时印证并发现了发卡涡动力学系统的诸多特征. 为进一步定量探究发卡涡结构的演化、融合及二次诱导等问题提供思路.



**风力机翼型动态失速等离子体流动控制数值研究 (1678–1689, doi: 10.6052/0459-1879-20-090)**

**张卫国，史喆羽，李国强，杨永东，黄明其，白云卯**

针对动态失速引起的风力机翼型气动性能恶化的问题，开展了大涡模拟数值计算研究，探索了非定常脉冲等离子体的流动控制机理. 结果表明，无因次脉冲频率为 1.5 时控制效果较好，占空比为 0.8 时即可接近连续工作模式下的气动收益. 翼型深失速状态，等离子体抑制了大尺度动态失速涡；浅失速状态，等离子体诱导了翼型边界层提前转捩.

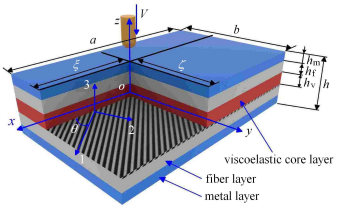



## 固 体 力 学

**低速冲击激励下嵌入黏弹性阻尼芯层的纤维金属混杂层合板动态响应预测模型 (1690–1699, doi: 10.6052/0459-1879-20-165)**

**李则霖，李晖，王东升，任朝晖，祖旭东，周晋，官忠伟，王相平**

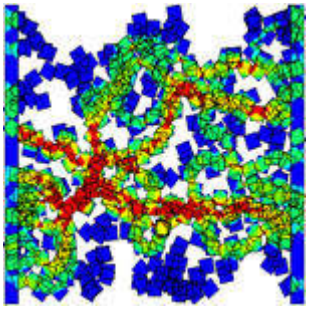
本文基于经典层合板理论，冯·卡门假设以及能量守恒定律，首次从解析角度提出了低速冲击激励下嵌入黏弹性阻尼芯层的纤维金属混杂层合板动态响应预测模型. 基于自行设计的落锤试验系统开展了一系列测试，验证了所提出的理论预测模型的有效性. 所提出的建模方法与理论，对于多功能层合结构的冲击问题研究，具有重要参考价值.




**面内随机堆叠石墨烯复合材料压阻传感机理与压阻性能 (1700–1708, doi: 10.6052/0459-1879-20-197)**

**李正，杨庆生，尚军军，刘夏**

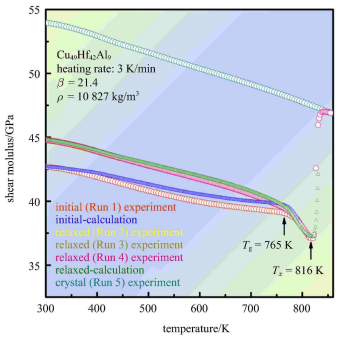
由建立的面内随机堆叠石墨烯复合材料 (GC) 压阻性能计算方法，揭示出石墨烯片密度的改变是 GC 压阻效应产生的根本原因，GC 的线性传感特征是搭接石墨烯片间的滑移引起的，石墨烯片的分离致使相对电阻非线性增长，增大石墨烯片的密度可以有效提高 GC 线性工作阶段，将接触面的电阻率设置应变的函数可以反映接触电阻对压阻效应的影响.



**铜基非晶合金热效应和剪切模量变化起源 (1709–1718, doi: 10.6052/0459-1879-20-233)**

**张浪渟，Vitaly A Khonik，乔吉超**

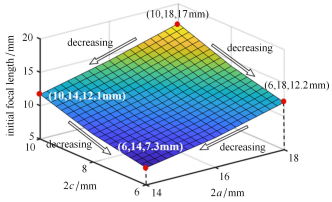
本研究基于自间隙理论对 $Cu_{49}Hf_{42}Al_9$ 非晶合金热流、剪切模量及粘度进行研究，建立剪切模量与热流之间的关联. 通过测量剪切模量测定自间隙缺陷浓度演化. 结合热流数据可以很好描述铸态和弛豫态非晶合金剪切模量随温度的演化过程. 自间隙缺陷在结构弛豫中湮灭，表现为玻璃体系结构向更稳定状态转变.在玻璃转变过程中，缺陷浓度显著升高伴随热吸收，表现为原子大规模协同运动和剪切软化.



**一种新型介电弹性体仿生可调焦透镜的变焦分析 (1719–1729, doi: 10.6052/0459-1879-20-212)**

**史惠琦，王惠明**

建立了一种新型高性能仿生透镜调焦性能的理论分析模型. 该透镜采用在介电弹性体薄膜的厚度方向施加电压并利用与密封在腔体内的盐水相耦合的驱动方式实现焦距的调整. 利用建立的分析模型，开展了参数研究，如分析初始焦距、透镜的几何尺寸、预拉伸率、电极面积和膜的剪切模量等对透镜焦距变化性能的影响.

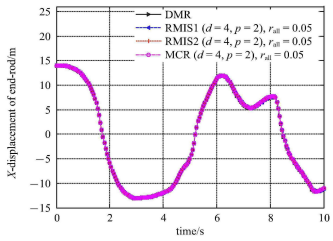



## 动力学与控制

**随机空间柔性多体系统动力学分析 (1730–1742, doi: 10.6052/0459-1879-20-273)**

**郭祥，靳艳飞，田强**

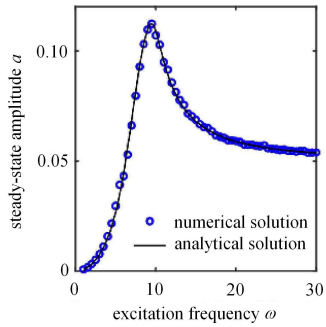
针对具有多个随机参数的空间柔性多体系统，提出了一种基于广义- alpha 算法的非侵入式随机柔性多体系统动力学计算方法. 采用绝对节点坐标公式 (ANCF) 来描述柔性体. 利用混沌多项式展开 (PCE) 法构建系统随机动力学方程的代理模型，然后将随机响应面法 (SRSM) 嵌入广义- alpha 方法中，分别采用改进抽样的回归方法 (RMIS) 和单项求容积法则 (MCR) 来确定样本点. 根据MCR确定的样本点的计算结果稳定性更强，且其计算效率更高.




**一类阻尼控制半主动隔振系统的解析研究 (1743–1754, doi: 10.6052/0459-1879-20-147)**

**张婉洁，牛江川，申永军，杨绍普，王丽**

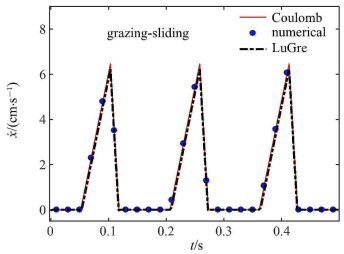
研究了一类基于相对速度反馈的含立方刚度的单自由度非线性半主动隔振系统. 通过平均法得到了系统在三种控制策略下主共振响应的近似解析解，并利用数值解验证了其准确性. 通过 Lyapunov 理论对不同控制策略下系统的稳定性进行了分析，并讨论了系统参数对控制效果的影响. 此类解析研究方法为半主动隔振系统的控制策略研究提供了有效的方法和手段.




**三相驱动下非光滑振动驱动系统的动力学分析 (1755–1784, doi: 10.6052/0459-1879-20-177)**

**朱诗慧，周震，吕敬，王琪**

振动驱动系统是一类借助外部摩擦，依靠内部滑块周期振动来驱动外部箱体运动的系统. 本文基于 LuGre 摩擦模型和拉氏方程，给出了具有两个平行三相驱动激励、三点支撑的平面振动驱动系统的建模方法和数值算法；数值仿真表明该系统在作平移运动、定轴转动和平面一般运动时有丰富的粘滞–滑移动力学行为 (擦滑、穿滑、回滑和不粘).



**弱非线性动力学方程的 Noether 准对称性与近似 Noether 守恒量 (1765–1773, doi: 10.6052/0459-1879-20-242)**

**张毅**

非线性动力学问题通常用非线性微分方程来描述，而守恒量在微分方程的求解、约化和定性分析中发挥重要作用. 寻找微分方程的守恒量通常采用 Lie 对称性方法，文章利用 Noether 准对称性方法研究 Lagrange 框架、Hamilton 框架和 Birkhoff 框架下弱非线性动力学方程的近似守恒量，并以 van der Pol 方程等为例说明结果的应用. 该方法不仅方便有效，而且有较大的灵活性.

$$I_{\mathrm{N}}=\sum_{k=0}^{1}\varepsilon^{k}\left\{L\tau^{k}+\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_{s}}\left(\xi_{s}^{k}-\dot{q}_{s}\tau^{k}\right)+G^{k}\right\} \quad (12)$$

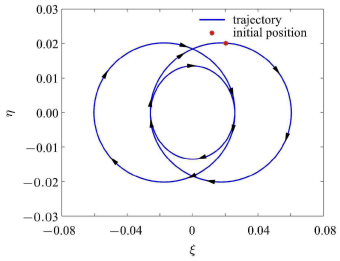
$$I_{\mathrm{N}}=\sum_{k=0}^{1}\varepsilon^{k}\left\{p_{s}\xi_{s}^{k}-H\tau^{k}+G^{k}\right\} \quad (26)$$

$$I_{\mathrm{N}}=\sum_{k=0}^{1}\varepsilon^{k}\left\{R_{\beta}\xi_{\beta}^{k}-B\tau^{k}+G^{k}\right\} \quad (39)$$

**基于参激共振的受摄小行星悬停轨道设计方法 (1774–1788, doi: 10.6052/0459-1879-20-141)**

**司震，钱霙婧，杨晓东，张伟**

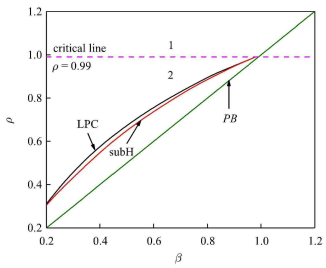
本文将太阳引力视为受摄不规则小行星系统的组成部分，借鉴非线性振动理论中参数激励共振的概念，创新性地设计了平衡点附近稳定的悬停轨道. 以第二类参激主共振和 1:3 内共振为例，采用多尺度方法求得参数激励共振轨道的稳态解，并对系统参激效应以及内共振引起的能量转移现象进行分析. 研究成果可拓展小行星附近周期轨道设计方法.




**一类三维非线性系统的复杂簇发振荡行为及其机理 (1789–1799, doi: 10.6052/0459-1879-20-231)**

**马新东，姜文安，张晓芳，韩修静，毕勤胜**

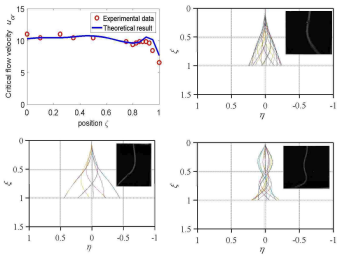
由多尺度耦合效应引起的簇发行为是非线性动力学研究的重要课题之一. 本文针对一类参数激励下的自激发电机系统，研究了当激励频率远小于系统自然频率时的由分岔滞后现象诱发的不同簇发行为及其机理. 研究发现系统会出现 Hopf 分岔滞后和叉形分岔滞后两种独立的分岔滞后形式，这两种分岔滞后现象诱发了不同的簇发类型，并且给出了典型参数对系统稳定性和分岔滞后区间的影响规律.




**含集中质量悬臂输流管的稳定性与模态演化特性研究 (1800–1810, doi: 10.6052/0459-1879-20-280)**

**易浩然，周坤，代胡亮，王琳，倪樵**

通过调控集中质量对悬臂输流管稳定性和振动模态特性的影响规律，为输流管动力学性能的可控性提供理论指导和实验依据. 研究发现集中质量沿管道轴向位置变化对输流管发生颤振失稳的临界流速有重要影响，且颤振失稳模态也发生了转迁. 集中质量位置从固定端向自由端变化时，输流管振幅表现出先增大后减小趋势，振动模态也从二阶转迁到三阶.

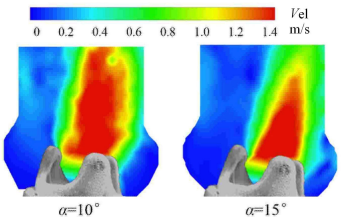


## 生物、工程及交叉力学

**主动脉瓣倾斜角度血流动力学的 PIV 实验研究 (1811–1821, doi: 10.6052/0459-1879-20-229)**

**刘赵淼，薛贺波，杨刚，逄燕，房永超，李梦麒，齐轶鹏，史艺**

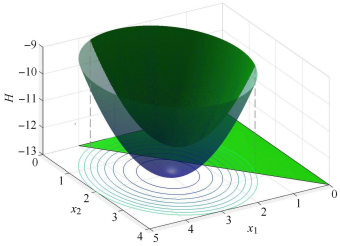
本文实验研究了主动脉瓣倾斜角度对瓣叶下游血流特性的影响. $\alpha = 0°$ 时，跨瓣血流为中心对称流动，$\alpha = 5°$, $\alpha = 10°$ 和 $\alpha = 15°$ 时跨瓣血流向升主动脉的左冠状动脉一侧倾斜，冲击升主动脉壁. 同时，主动脉根部的高涡度和高黏性剪应力区域也向左冠状动脉一侧倾斜. 主动脉瓣倾斜时，涡度和黏性剪应力较大，特别是 $\alpha = 10°$ 和 $\alpha = 15°$，为血栓形成提供了有利环境.



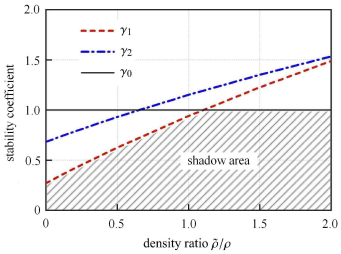

**互逆规划的拓宽和深化及其在结构拓扑优化的应用 (1822–1837, doi: 10.6052/0459-1879-20-188)**

**铁军，隋允康，彭细荣**

将互逆规划发展成为 s-m、s-s 和 m-m (其中 s 意为单目标，m 为多目标) 完备的 3 种类型，从 KKT 条件审视互逆规划的双方，得到了求解涉及拟同构和拟同解的 3 个定理，提供了在求解中相互借鉴的理论基础，并皆给出了求解策略和具体解法. 将上述互逆规划理论应用于结构拓扑优化中，提出了不合理结构拓扑优化模型的求解策略.




**采用黏弹性人工边界单元时显式算法稳定性的改善研究 (1838–1852, doi: 10.6052/0459-1879-20-224)**

**李述涛，刘晶波，宝鑫**

采用黏弹性人工边界单元时，显式算法容易在边界区域发生失稳. 本文利用传递矩阵谱半径分析方法，基于中心差分格式，推导出局部子系统稳定性条件的解析解，给出采用黏弹性人工边界单元时显式算法稳定性的改善方法. 增大边界单元质量密度可以在保证计算精度的前提下，有效改善整体系统显式积分数值稳定性，大幅提高计算效率.