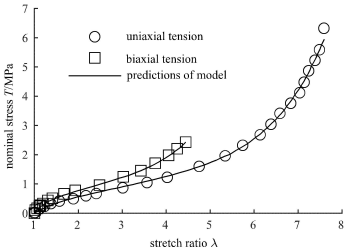
研究综述

超弹性材料本构关系的最新研究进展 (1221–1232, doi: 10.6052/0459-1879-20-189)

彭向峰，李录贤

本文从体积变化模式、多变形模式、全范围变形程度三个不同角度，对超弹性材料本构关系研究的最新进展进行了总结和分析. 最新进展表明，为了全面刻画并在实际问题中应用超弹性材料，需要建立适合于多种变形模式和全变形范围的可压超弹性材料的完全本构关系. 对实际可压超弹性材料完全本构关系的建立及应变能函数的构造，笔者还提出相应的实施步骤和研究方法.

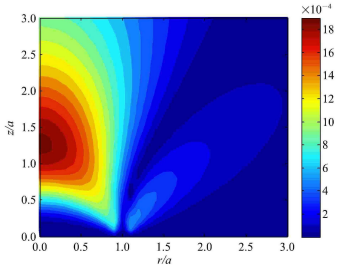


热应力专题

磁–电–弹性半空间在轴对称热载荷作用下的三维问题研究 (1235–1244, doi: 10.6052/0459-1879-20-127)

胡克强，高存法，仲政，Chen Zengtao

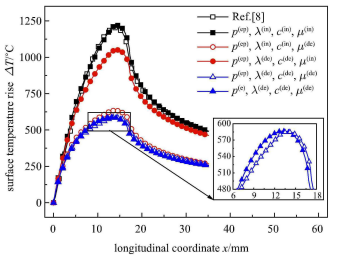
考虑力–电–磁–热等多场耦合作用，基于线性理论给出了磁–电–弹性半空间在轴对称温度载荷作用下的热–磁–电–弹性分析，得到了问题的解析解. 利用积分变换和积分方程技术，获得了磁–电–弹性半空间中温度场、应力、电位移和磁通量的解析表达式. 数值结果表明温度载荷对磁–电–弹性场的分布有显著影响.



考虑材料温度相关性的二维轮轨弹塑性滑动接触温升分析 (1245–1254, doi: 10.6052/0459-1879-20-122)

伏培林，丁立，赵吉中，张旭，阚前华，王平

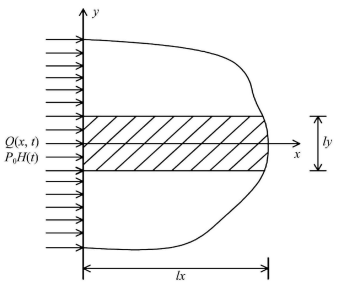
基于弹塑性接触理论，同时考虑热导率、比热容和摩擦系数的温度相关性， 通过基尔霍夫变换方法以热导率温度相关性函数的积分作为待求量，将复杂的非线性 Fourier 导热方程转化成含单个变系数的简单偏微分方程形式，从而构建了一种不限制材料温度相关性函数形式的统一隐式差分求解格式，讨论了服役条件对钢轨表面滑动温升的影响.



超短激光脉冲加热薄板的广义热弹扩散问题 (1255–1266, doi: 10.6052/0459-1879-20-118)

李妍，何天虎，田晓耕

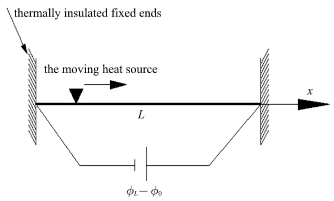
基于 L-S 型广义热弹扩散理论，考虑材料的记忆依赖效应和空间非局部效应，建立记忆依赖非局部广义热弹扩散理论. 利用所建理论研究了半无限大薄板边界受非高斯激光脉冲加热和化学势冲击作用的热弹扩散响应. 结果表明：传热对传质过程影响显著，传质对传热过程影响甚微；非局部参数对位移、应力影响显著，对温度、化学势和浓度几乎没有影响.



考虑应变率的广义压电热弹理论及其应用 (1267–1276, doi: 10.6052/0459-1879-20-120)

李吉伟，何天虎

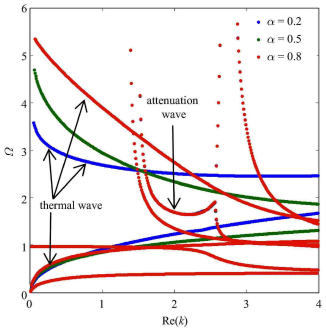
通过引入应变率，在 Chandrasekharaiah 广义压电热弹理论的基础之上，经拓展，建立了考虑应变率的广义压电热弹理论。借助热力学定律，给出了理论的建立过程并得到了相应的状态方程及控制方程. 在本构方程中，引入了应变松弛时间与应变率的乘积项，同时，分别在本构方程和能量方程中引入了热松弛时间因子. 其后，该理论被用于研究受移动热源作用的压电热弹一维问题的动态响应问题. 采用拉普拉斯变换及其数值反变换，对问题进行了求解，得到了不同应变松弛时间下的瞬态响应，即无量纲温度、位移、应力和电势的分布规律，并以图形进行了表示. 结果表明: 应变率对温度、位移、应力和电势的分布规律有显著影响.



板中热弹波传播: 一种改进的勒让德多项式方法 (1277–1285, doi: 10.6052/0459-1879-20-124)

王现辉，李方琳，刘宇建，陈会涛，禹建功

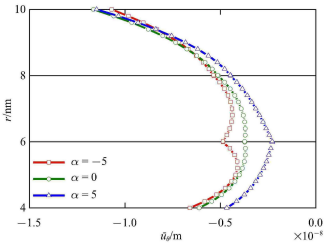
本文提出一种改进的勒让德正交多项式方法，以求解分数阶热弹板中的导波传播. 主要创新点为：(1) 采用解析积分代替原有数值积分，极大提高算法的计算效率；(2) 发展一种绝热边界条件处理方法，扩展原有算法的求解范围；(3) 将改进的方法应用于分数阶热弹板，研究分数阶次对频散、衰减曲线和位移、应力、温度等分布的影响.



一维准晶功能梯度层合圆柱壳热电弹性精确解 (1286–1294, doi: 10.6052/0459-1879-20-126)

李杨，秦庆华，张亮亮，高阳

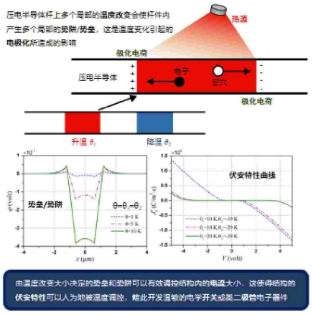
本文建立了材料参数沿径向呈现幂函数变化的一维准晶层合圆柱壳模型，利用类 Stroh 公式和传递矩阵方法，获得了一维准晶功能梯度层合圆柱壳的热电弹性精确解. 结果表明，指数因子影响材料参数的分布情况，对温度场、电场、声子场和相位子场都有影响；增大指数因子，可减小温度载荷引起的内表面变形，提升结构强度.



多个局部温度载荷下压电半导体纤维杆的压电电子学行为分析 (1295–1303, doi: 10.6052/0459-1879-20-128)

程若然，张春利

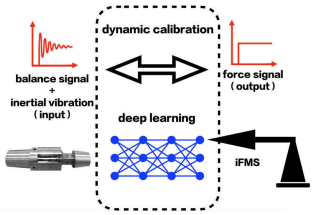
本文针对在多个局部均匀温度变化作用下的压电半导体杆结构,采用一维热压电半导体多场耦合方程, 基于线性化的漂移扩散 (drift-diffffusion) 电流模型导出了问题的解析解. 以两个局部温度载荷情况为例, 数值分析了局部温度改变对压电半导体内位移、电势、电位移、极化强度、载流子分布等物理场的影响. 对于温度改变较大的情况, 在 COMSOL 软件的 PDE 模块中, 采用非线性电流模型, 进行数值模拟. 研究结果表明: 由于两个局部区域的温度改变, 在半导体杆内形成了局部势垒和势阱, 不同的温度改变量和作用区域会产生不同高度/深度的势垒/势阱, 为基于压电半导体的热压电电子学器件结构设计提供了理论指导.



流 体 力 学

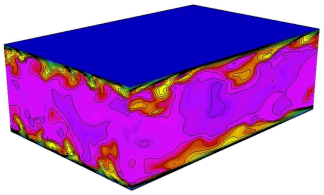
基于深度学习技术的激波风洞智能测力系统研究 (1304–1313, doi: 10.6052/0459-1879-20-190)
汪运鹏，杨瑞鑫，聂少军，姜宗林

发展脉冲高焓激波风洞测力技术、切实提高测量精度是促进我国高超飞行器研制发展中亟待解决的最关键问题之一. 激波风洞测力试验最大难点是天平信号受惯性干扰影响，由此多分量天平设计也遇到瓶颈. 该问题凸显动态校准的重要性和必要性. 本文提出一种新的基于人工智能深度学习技术的单矢量动态自校准方法，实现对整体测力系统的精确校准，确保其校准与应用的一致性. 在激波风洞测力试验中取得理想效果，测力精度得到大幅提高. 测力技术的智能化发展将有助于对高超飞行器在高焓条件下出现的高温效应问题开展更深入研究，揭示流动物理机制，同时也将为我国高超声速飞行器研发提供更可靠试验数据, 具有重要的现实意义和工程实践意义.



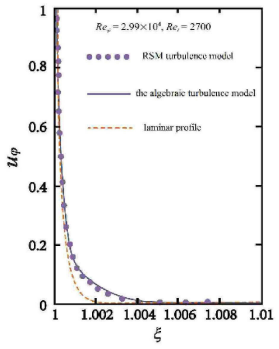
基于 Navier-Stokes 方程残差的隐式大涡模拟有限元模型 (1314–1322, doi: 10.6052/0459-1879-20-055)
陈林烽

本文在有限元的框架下将速度和压力的形函数以及所对应的权函数分解成大尺度和不可解尺度部分，将 Navier-Stokes 方程的有限元变分形式分解为大尺度和不可解尺度系统. 根据不可解尺度系统，构建基于 Navier-Stokes 大尺度方程残差的不可解尺度模型，考虑其对 Navier-Stokes 方程的大尺度系统的影响，数值计算大尺度系统得到大尺度解.



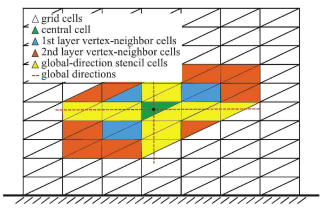
强吸气旋转圆筒壁面湍流边界层建模及计算 (1323–1333, doi: 10.6052/0459-1879-20-032)
Ievgen Mochalin，林静雯，蔡建程，Volodymyr Brazhenko，鄂世举

分析了强吸气情况下旋转流动主要表现为内筒壁面附近的边界层流动，得到周向速度分布的解析表达式. 扩展 Cebeci-Smith 代数湍流模型，使其能考虑流线曲率、壁面吸气、低 Reynolds 数效应等因素，并采用解析修正和经验系数对模型进行调整. 给出基于该模型的旋转壁面边界层流动的迭代算法，计算了不同旋转速度和吸气强度组合工况下的边界层流动.



全局方向模板对非结构有限体积梯度与高阶导数重构的影响 (1334–1349, doi: 10.6052/0459-1879-20-093)
孔令发，董义道，刘伟

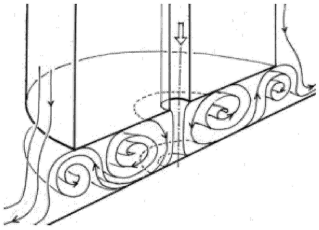
本文探讨了全局方向模板对非结构有限体积梯度与高阶导数重构的影响. 从测试结果来看，采用全局方向模板重构得到的单元梯度与高阶导数误差，以及高斯点处的变量点值与导数误差相比局部方向模板与常用的共点模板更低，具备在高阶精度非结构有限体积方法中进一步推广与应用的可行性.



近距离下射流冲击平板PIV 实验研究 (1350–1361, doi: 10.6052/0459-1879-20-142)

胡建军，朱晴，王美达，金瑶兰，王思民，孔祥东

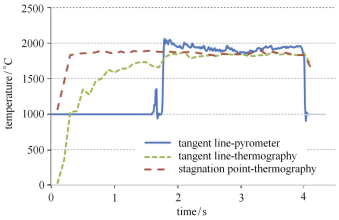
运用时间分辨粒子成像测速系统 (TR-PIV) 对近距离下射流冲击平板时的流场进行了直接测量，揭示了冲击距离和雷诺数对射流间隙内三维流动特征及涡系结构演化规律的影响；刻画了射流间隙存在三种典型的涡系结构，分别为双涡环模式、单涡环模式和卷吸模式；运用涡量分析和本征正交分解方法对射流间隙内的流动模态及其能量传递进行了分析.



模拟 Chelyabinsk 小行星进入的烧蚀实验 (1362–1370, doi: 10.6052/0459-1879-20-081)

罗跃，王磊，党雷宁，刘进博，张军，柳森

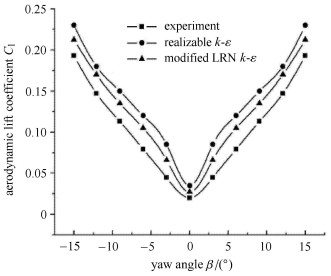
首次开展了模拟小行星进入条件的烧蚀实验，成功记录了清晰的烧蚀动态过程，观察到碳钢和玄武岩表面的熔融损失流动、蒸发喷射和崩裂剥落等现象，全程测得烧蚀气体发射光谱、试件实时外形变化、表面热图变化等数据. 分析结果揭示了两种材料明显不同的烧蚀现象和质量损失机制，根据处理数据估算玄武岩材料的有效烧蚀焓约为 2.6 MJ/kg.



基于车身绕流的低雷诺数湍流模型改进研究 (1371–1382, doi: 10.6052/0459-1879-20-095)

强光林，杨易，陈阵，谷正气，张勇

本文针对汽车绕流的稳态和瞬态问题，分别对 LRN k-ε 模型和 RANS/LES 混合模型进行了转捩修正，提出了 Modified LRN k-ε 模型和转捩 LRN CLES 模型，分别将改进的模型用于某实车外流场和风振噪声仿真中，并将计算结果与常用湍流模型、HD-2 风洞实验和实车道路实验结果进行对比，表明改进后的湍流模型能够更准确模拟复杂实车的稳态和瞬态特性.

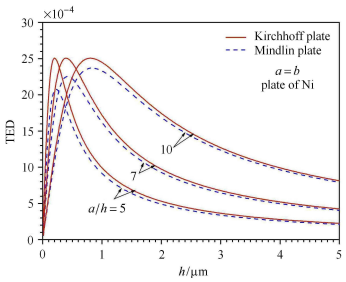


固 体 力 学

Mindlin 矩形微板的热弹性阻尼解析解 (1383–1393, doi: 10.6052/0459-1879-20-175)

马航空，周晨阳，李世荣

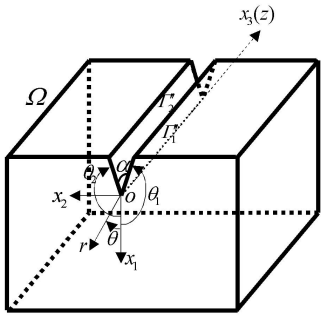
剪切变形对中厚度板的热弹性阻尼影响显著. 研究结果表明，Kirchhoff 板理论的热弹性阻尼预测值始终大于 Mindlin 板理论的预测值. 两种理论预测的热弹性阻尼之间的差值在临界厚度附近十分显著. 另外，随着微板的边/厚比的增大，Mindlin 微板的热弹性阻尼最大值单调增加，而 Kirchhoff 微板的热弹性阻尼最大值却保持不变.



三维切口/裂纹结构的扩展边界元法分析 (1394–1408, doi: 10.6052/0459-1879-20-129)

李聪，牛忠荣，胡宗军，胡斌

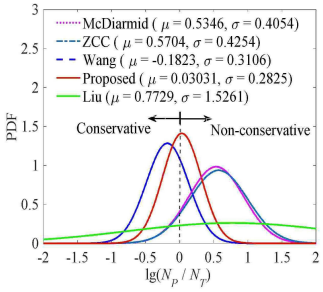
在线弹性理论中，三维 V 形切口/裂纹结构尖端区域存在多重应力奇异性，常规数值方法难以求解. 本文提出和建立了三维扩展边界元法 (XBEM)，并研制了三维扩展边界元法程序，用于分析三维线弹性 V 形切口/裂纹结构完整的位移和应力场. 计算结果表明了本文方法适用于一般三维 V 形切口/裂纹结构的位移场和应力场分析，其解可精细描述从尖端区域到整体结构区域的完整应力场.



考虑平均应力的同频拉扭多轴高周疲劳寿命评价方法 (1409–1421, doi: 10.6052/0459-1879-20-066)

李静，佟晓龙，杨烁，仇原鹰

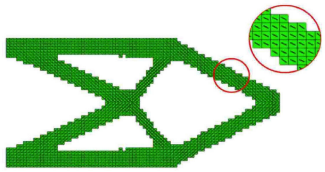
研究表明，剪切平均应力同样对材料疲劳寿命产生不利影响. 为此，首先给出 Fatemi-Socie 准则的应力表述形式，然后引入剪切和法向 Walker 因子反映剪切和法向平均应力对材料疲劳寿命的影响. 剪切和法向 Walker 因子的不同取值，反映了材料对平均应力敏感程度的不同. 利用5种材料在 12 种路径下的试验数据验证所建模型，结果表明预测结果与试验结果吻合良好.



连续纤维增强复合材料结构基频最大化设计 (1422–1430, doi: 10.6052/0459-1879-20-083)

程长征，卞光耀，王选，龙凯，李景传，吴乔国

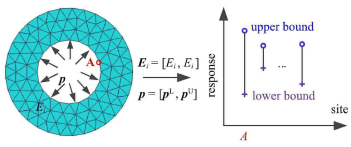
纤维增强复合材料结构因其在强度、刚度、抗断裂等诸多方面的优良性能，在许多领域得到广泛应用. 针对连续纤维增强复合材料结构无阻尼自由振动下的基频最大化问题，本文提出了一种有效实现拓扑构型和纤维方向同步优化的拓扑优化方法. 结果表明，所提方法收敛快，在实现结构拓扑构型与纤维角度同步优化的同时，可有效提高结构频率.



一种基于 Neumann 级数的区间有限元方法 (1431–1442, doi: 10.6052/0459-1879-20-152)

伍鹏革，倪冰雨，姜潮

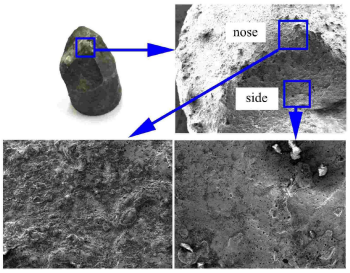
本文归纳了一类工程实际中常见的结构不确定性问题，即可线性分解式区间有限元问题，并针对此提出一种基于 Neumann 级数的区间有限元方法. 在此类区间有限元分析中，刚度矩阵可表示为一组独立区间变量的线性叠加形式，采用 Neumann 级数对其逆矩阵进行表示，可获得结构响应关于区间变量的显式表达式，从而可高效求解结构响应的上下边界.



WFeNiMo 高熵合金动态力学行为及侵彻性能研究 (1443–1453, doi: 10.6052/0459-1879-20-166)

陈海华，张先锋，熊玮，刘闯，魏海洋，汪海英，戴兰宏

随着应变率的提高，WFeNiMo 高熵合金由脆性断裂、韧脆混合的准解理断裂发展至具有黏着特性的破碎变形模式，具有较强的局部绝热变形能力，破片在侵彻薄钢靶时体现出较高的剪切敏感性；在相同撞击速度下，高熵合金破片穿靶消耗的能量低于钨合金破片，对于薄钢靶具有更强的侵彻穿透能力，产生火光范围与持续时间均大于钨合金破片，反应特性更显著.

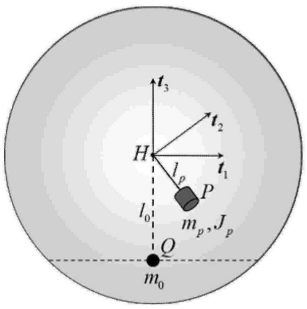


动力学与控制

燃料消耗下充液航天器等效动力学建模与分析 (1454–1464, doi: 10.6052/0459-1879-20-027)

刘峰，岳宝增，马伯乐，申云峰

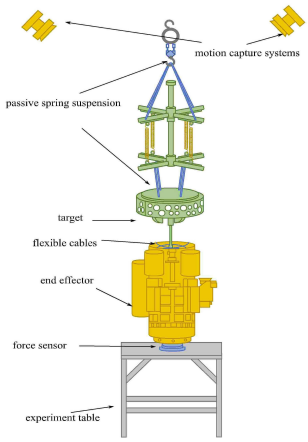
本文采用三自由度刚体摆复合模型模拟常/低重力环境下球形贮腔内液体发生大幅横向晃动、旋转晃动以及自旋运动等非线性运动时的液体晃动动力学. 如图所示，该复合模型包含两部分：一是悬挂点位于贮腔形心的刚体摆 P，它等效参与晃动的那部分液体，刚体摆关于其轴向的转动惯量则等效的是参与液体旋转的部分液体所具有的转动惯量；二是等效未晃动部分液体的集中质量 Q.



空间机械臂柔性捕获机构建模与实验研究 (1465–1474, doi: 10.6052/0459-1879-20-106)

李海泉，梁建勋，吴爽，刘茜，张文明

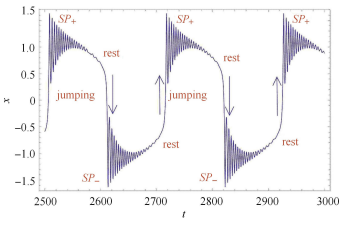
本文以机械臂的末端柔性捕获机构为研究对象，建立了柔性捕获机构软捕获过程的动力学仿真模型. 搭建了纯被动边界条件的悬吊实验，通过实验对比软验证了模型的准确性. 实验结果表明该模型能够有效地模拟在轨捕获任务中柔性机构软捕获阶段的动力学行为. 针对在轨任务中的舱外状态巡检和漂浮目标捕获两种典型工况，进行了机械臂捕获动力学联合仿真分析.



一类 Duffing 型系统的不动点混沌和 Fold/Fold 簇发现象及机理分析 (1475–1484, doi: 10.6052/0459-1879-20-098)

陈娅昵，孟文静，钱有华

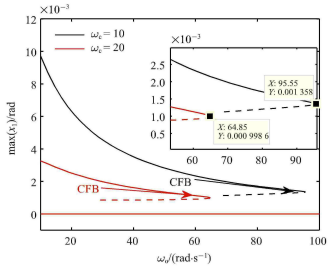
本文主要探究了一类含有两个慢变量的双稳态 Duffing 型系统，通过时间历程图、相图、分岔图等对系统进行数值模拟，然后从理论上分析不同参数下系统的动力学机理. 当振幅参数取值大于 1 时，系统会表现出不动点混沌现象，并进一步解释了产生不动点混沌的机理. 当振幅参数取值小于 1 时，使用纵向抛物线路径说明了系统发生 Fold/Fold 簇发振荡的原因；使用多拐折曲线说明了簇发振荡的重数，同时也解释了簇发振荡的对称性.



自抗扰控制框架下的摩擦力振动分析 (1485–1497, doi: 10.6052/0459-1879-20-149)

朴敏楠，王颖，周亚靖，孙明玮，张新华，陈增强

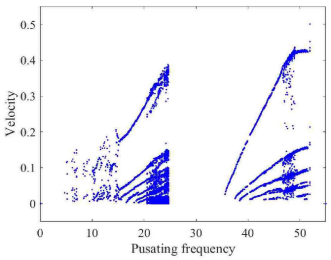
当采用 ADRC 对带有摩擦力的机电系统进行调节时, 可能会产生极限环振动. 目前, 还没有 ADRC 框架下摩擦力振动精确分析的相关工作. 本文采用非线性动力学系统的分析工具对这一问题展开研究, 探索了摩擦力模型和参数、ADRC 阶次和参数对极限环以及平衡点集的影响. 所得结论对实际现象的理解、ADRC 阶次的选择以及参数整定提供了一定指导.



具有刚性间隙约束输流管的碰撞振动 (1498–1508, doi: 10.6052/0459-1879-20-137)

王乙坤，王琳，倪樵，杨沫，刘德政，秦涛

基于非光滑理论建立了具有刚性间隙约束简支输流管的非线性碰撞振动模型, 构造了碰撞前后管道各处状态向量的传递矩阵, 分析了脉动内流激励下管道与间隙约束的碰撞振动现象. 结果表明, 约束间隙值对管道碰撞振动行为的影响较大, 在某些脉动频率下管道会出现多周期和非周期性的运动形态, 还可出现非光滑系统特有的黏滑现象.

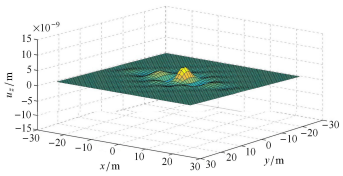


生物、工程及交叉力学

汽车行驶诱发地表振动的解析研究 (1509–1518, doi: 10.6052/0459-1879-20-033)

王立安，赵建昌，王作伟

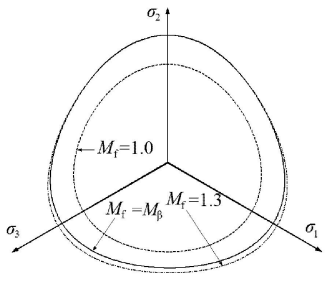
建立汽车与半空间地基耦合振动的动力学模型，采用 Fourier 和 Laplace 积分变换进行解析求解，获得变换域中的解析解. 通过离散傅里叶逆变换和 Crump 法进行数值反演，得出地表振动位移的空间分布规律，并在此基础上对车速、地面不平度以及胎压的影响做了讨论.



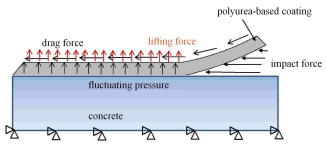
基于 t 准则的各向异性强度准则及变换应力法 (1519–1537, doi: 10.6052/0459-1879-20-138)

万征，孟达

将三维各向异性材料简化为三维正交各向异性材料，对岩土材料，类比横观各向同性材料存在的自然沉积面，三维正交各向异性材料存在三个正交的材料形成面，在上述 3 个形成面作用下会形成一个三维特征沉积面. 根据空间有效滑移面的概念，利用空间有效滑移面与上述三维特征沉积面之间的夹角，作为度量三维各向异性程度的变量. 提出了基于两面角作为参量考虑原生各向异性的应力比强度公式，并利用该应力比强度公式来修正已提出的 t 强度准则，最终建立了考虑各向异性强度准则的 t 准则公式.



基于内聚力模型的高速水流聚脲基涂层剥离破坏模型研究 (1538–1546, doi: 10.6052/0459-1879-20-064)

李炳奇，张振宇，李斌，刘小楠，杨旭辉

本文基于高速水流的流态形式，提出了高速水流对泄洪建筑物的力学作用模型，水流作用对泄洪建筑物的载荷主要包括拖曳力、冲击力、脉动力和上浮力；采用内聚力模型表征聚脲基涂层与泄洪建筑物防护体界面的剥离破坏过程，建立了高速水流聚脲涂层的剥离破坏模型, 给出了模型的有限元形式方程、本构关系以及损伤起始原则、演化原则和接触碰撞模型. 通过聚脲涂层与混凝土基底的剥离破坏试验，分析了不同剥离倾角下界面剥离破坏的拉应力与倾角之间的变化规律，得到了聚脲涂层剥离破坏过程中应力–位移变化关系. 根据剥离破坏试验计算了界面剥离破坏断裂模型参数，采用数值方法对模型进行了验证，试验结果与模型计算结果吻合良好，为泄洪建筑物的抗冲耐磨设计提供理论依据.