

EI COMPENDEX
核心期刊

ISSN 0459-1879
CN 11-2062/O3

力学学报

Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics

第 52 卷 第 1 期 Vol. 52 No. 1

2020



中国力学学会 主办
中国科学院力学研究所
力学学报期刊社 出版

万方数据



力学学报 (双月刊)

Chinese Journal of Theoretical and
Applied Mechanics

1957 年 创刊

2020 年

第 52 卷 第 1 期

目 次

流体力学

- 垂直壁面附近上升单气泡的弹跳动力学研究.....孙 姣 周 维 蔡润泽 陈文义 (1)
- 射流对绕水翼云空化流动抑制机理研究.....王 巍 张庆典 唐 滔 安昭阳 佟天浩 王晓放 (12)
- 超疏水沟槽表面通气减阻实验研究.....冯家兴 胡海豹 卢丙举 秦丽萍 张梦卓 杜 鹏 黄 潇 (24)
- 电场作用下气泡上升行为特性的数值计算研究.....王悦柔 王军锋 刘海龙 (31)
- 被均匀流缓慢调制的有限水深毛细重力波.....李少峰 宋金宝 (40)
- 风速不确定性对风力机气动力影响量化研究.....唐新姿 王效禹 袁可人 彭锐涛 (51)

固体力学

- 随机和区间非齐次线性哈密顿系统的比较研究及其应用.....邱志平 姜 南 (60)
- 应用边界积分法求圆形夹杂问题的解析解.....郭树起 (73)
- 基于 BP 神经网络与小冲杆试验确定在役管道钢弹塑性性能方法研究.....宋 明 李旭阳 曹宇光 甄 莹 司伟山 (82)
- 基于遗传算法的弹性地基加肋板肋梁无网格优化分析.....覃 霞 刘珊珊 湛亚菁 彭林欣 (93)
- 倾斜界面耦合弹性层中的渡越辐射能.....陕 耀 苏 臻 周顺华 (111)
- 基于特征正交分解的一类瞬态非线性热传导问题的新型快速分析方法.....朱强华 杨 恺 梁 钰 高效伟 (124)

动力学与控制

- 梁在固有振动中的对偶关系.....胡海岩 (139)
- 基于非线性状态空间辨识的气动弹性模型降阶.....张家铭 杨执钧 黄 锐 (150)
- 摩擦与滚阻对被动行走器步态影响的研究.....郑 鹏 王 琪 吕 敬 郑旭东 (162)
- 全柔性空间机器人运动振动一体化输入受限重复学习控制.....付晓东 陈 力 (171)
- Morris-Lecar 系统中通道噪声诱导的自发性动作电位研究.....李 扬 刘先斌 (184)

生物、工程及交叉力学

- 寒区非圆形隧道冻胀力的解析解.....李岩松 陈寿根 (196)
- 含水合物沉积物多相渗流特性研究进展.....蔡建超 夏宇轩 徐 赛 田海涛 (208)
- 含水合物粉质黏土压裂成缝特征实验研究.....杨 柳 石富坤 张旭辉 鲁晓兵 (224)
- 海洋热塑性增强管 (RTP) 涡激振动数值计算.....芮 雪 陈东阳 王国平 (235)
- 水工圆形隧洞围岩衬砌摩擦滑动接触的新解法.....尹崇林 吕爱钟 (247)
- 核电结构土-结相互作用分析分区混合计算方法.....陈少林 郭琪超 周国良 (258)
- 考虑道路信息和转向灯的可换道 BML 模型.....高庆飞 张 稷 盛 哲 董力耘 (283)
- 中国力学学会 2020 年学术活动计划..... (292)
- 向审稿者致谢..... (i)

Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics

(Bimonthly)

Vol. 52, No. 1, 2020

CONTENTS

Fluid Mechanics

- The bounce dynamics of a rising single bubble near a vertical wall Sun Jiao Zhou Wei Cai Runze Chen Wenyi (1)
- Mechanism investigation of water injection on suppressing hydrofoil cloud cavitation flow
..... Wang Wei Zhang Qingdian Tang Tao An Zhaoyang Tong Tianhao Wang Xiaofang (12)
- Experimental study on drag reduction characteristics of superhydrophobic groove surfaces with ventilation
.....Feng Jiaxing Hu Haibao Lu Bingju Qin Liping Zhang Mengzhuo Du Peng Huang Xiao (24)
- Numerical simulation on bubble rinsing behaviors under electric field Wang Yuerou Wang Junfeng Liu Hailong (31)
- Gravity-capillary waves slowly modulated by uniform flow in finite water depth Li Shaofeng Song Jinbao (40)
- Quantitation study of influence of wind speed uncertainty on aerodynamic forces of wind turbine
..... Tang Xinzi Wang Xiaoyu Yuan Keren Peng Ruitao (51)

Solid Mechanics

- Comparative study of stochastic and interval non-homogeneous linear Hamiltonian systems and their applications
..... Qiu Zhiping Jiang Nan (60)
- Exact solution of circular inclusion problems by a boundary integral method Guo Shuqi (73)
- Determination of elastoplastic properties of in-service pipeline steel based on BP neural network and small punch test
..... Song Ming Li Xuyang Cao Yuguang Zhen Ying Si Weishan (82)
- Rib meshless optimization of stiffened plates resting on elastic foundation based on genetic algorithm
..... Qin Xia Liu Shanshan Shen Yajing Peng Linxin (93)
- Transition radiation in elastic mediums coupled by an inclined interface Yao Shan Li Su Shunhua Zhou (111)
- A novel fast algorithm based on model order reduction for one class of transient nonlinear heat conduction problem
..... Zhu Qianghua Yang Kai Liang Yu Gao Xiaowei (124)

Dynamics, Vibration and Control

- Duality relations of beams in natural vibrations Hu Haiyan (139)
- Reduced-order modeling for aeroelastic systems via nonlinear state-space identification Zhang Jiaming Yang Zhijun Huang Rui (150)
- Study on the influence of friction and rolling resistance on the gait of passive dynamic walker
..... Zheng Peng Wang Qi Lü Jing Zheng Xudong (162)
- An input limited repetitive learning control of flexible-base two-flexible-link and two-flexible-joint space robot with integration of motion and
vibration Fu Xiaodong Chen Li (171)
- Research on spontaneous action potential induced by channel noise in Morris-Lecar system Li Yang Liu Xianbin (184)

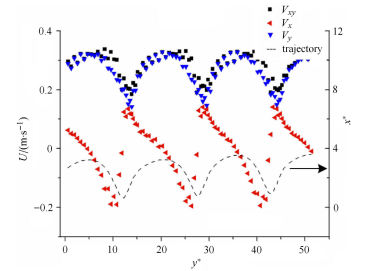
Biomechanics, Engineering and Interdisciplinary Mechanics

- Analytical solution of frost heaving force in non-circular cold region tunnels Li Yansong Chen Shougen (196)
- Advances in multiphase seepage characteristics of natural gas hydrate sediments Cai Jianchao Xia Yuxuan Xu Sai Tian Haitao (208)
- Experimental studies on the propagation characteristics of hydraulic fracture in clay hydrate sediment
..... Yang Liu Shi Fukun Zhang Xuhui Lu Xiaobing (224)
- Numerical calculation of vortex-induced vibration of reinforced thermoplastic pipe Rui Xue Chen Dongyang Wang Guoping (235)
- A new solution for frictional slip contact between surrounding rock and lining in a hydraulic circular tunnel Yin Chonglin Lü Aizhong (247)
- Partitioned hybrid method for soil-structure interaction analysis of nuclear power structure Chen Shaolin Guo Qichao Zhou Guoliang (258)
- A lane-changing BML model considering the influence of both lane information and turn signals
..... Gao Qingfei Zhang Ji Sheng Zhe Dong Liyun (283)
- International and national academic activities organized or sponsored by CSTAM in 2020 (292)
- Acknowledgements to Reviewers (i)

垂直壁面附近上升单气泡的弹跳动力学研究 (1-11, doi: 10.6052/0459-1879-19-228)

孙姣, 周维, 蔡润泽, 陈文义

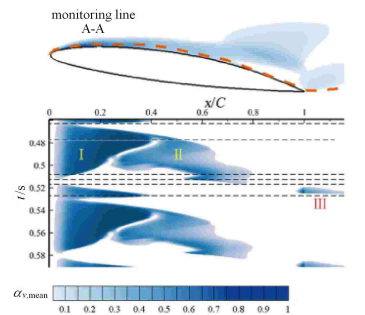
本文对静止水中垂直壁面附近上升单气泡运动 ($Re \approx 580 \sim 1100$) 进行实验研究. 对比气泡尺度及无量纲距离 (S^*) 对气泡上升运动特性的影响, 同时分析气泡与壁面碰撞前后, 壁面效应导致气泡速度的下降, 并通过气泡中心与壁面距离 (x/R) 和修正的斯托克斯数相关式预测垂直速度的变化规律. 最后提出了气泡在与壁面反复弹跳时的平均阻力系数的预测模型.



射流对绕水翼云空化流动抑制机理研究 (12-23, doi: 10.6052/0459-1879-19-282)

王巍, 张庆典, 唐滔, 安昭阳, 佟天浩, 王晓放

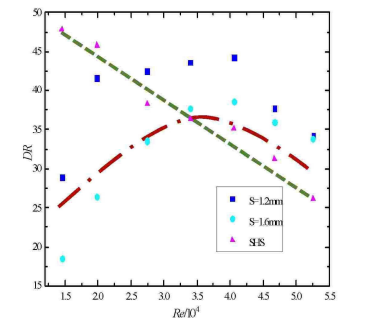
为理解绕水翼云空化流动的发展机理和探究水翼吸力面开孔射流对空化流场的影响, 采用在吸力面近壁区设立监测线的方法, 对原始水翼和采用射流后的水翼近壁区流场进行监测, 得到近壁区汽相体积分数、回射流速度、压力等时空分布云图. 该方法相较于传统的采用特征时刻进行分析的方法, 更为清晰地反映云空化的整个非定常周期性过程和射流抑制空化的抑制机理.



超疏水沟槽表面通气减阻实验研究 (24-30, doi: 10.6052/0459-1879-19-279)

冯家兴, 胡海豹, 卢丙举, 秦丽萍, 张梦卓, 杜鹃, 黄潇

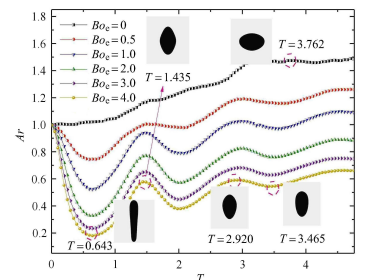
在重力式管道装置中, 测试分析了湍流状态下超疏水沟槽表面通气减阻特性及气膜铺展状态. 结果表明, 持续通气能解决超疏水沟槽表面气膜层流失问题, 实现气膜层长时间稳定维持; 沟槽结构增大沾湿面积的同时, 显著提升了通气状态下超疏水表面气膜层的稳定性, 因而展示出与超疏水表面和沟槽表面均不相同的减阻规律, 且效果更佳.



电场作用下气泡上升行为特性的数值计算研究 (31-39, doi: 10.6052/0459-1879-19-193)

王悦柔, 王军锋, 刘海龙

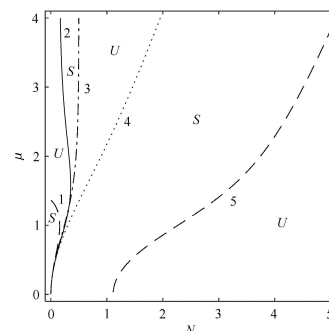
本研究对电场作用下单个气泡在流体中上升的动力学行为进行了数值模拟研究. 采用水平集方法捕捉气液两相界面. 研究了电场下液体黏度、表面张力和电场力对气泡运动变形的影响. 计算结果表明, 电场对气泡的动态特性有显著影响. 垂直方向的匀强电场使气泡的上升速度和长径比均出现不稳定的振荡形式, 且电邦德数越大, 振荡程度越大.



被均匀流缓慢调制的有限水深毛细重力波 (40–50, doi: 10.6052/0459-1879-19-268)

李少峰, 宋金宝

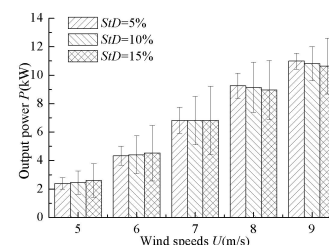
这里从考虑均匀流作用下的毛细重力水波基本方程出发, 在不可压缩、无旋、无黏条件假设下, 使用多重尺度分析方法推导出了在均匀流影响下有限深水毛细重力波振幅所满足的非线性 Schrödinger 方程 (NLSE). 分析了 NLSE 解的调制不稳定性. 如图所示, 5 条曲线将 (N, μ) 平面划分为 6 个区域, “S” 表示波是稳定的, “U” 表示波是不稳定的, 均匀流不影响这个区域的划分. 曲线 1 和 5 表示 $\bar{\gamma} = 0$. 曲线 2 表示 $\bar{\alpha} = 0$. 曲线 3 和 4 是 $\bar{\gamma}$ 的奇异处. 毛细重力波在曲线 3 和 4 之间是稳定的, 但当 $\mu \gg 1$ 时, 它们在 μ 轴上的截断被忽略了, 这两条边界线重合在一起, 解释了长短波共振在深水中消失的原因. 了解海表这些短波动力机制, 对卫星遥感的精确测量、海气相互作用的研究及海气耦合模式的改进等有重要意义.



风速不确定性对风力机气动力影响量化研究 (51–59, doi: 10.6052/0459-1879-19-214)

唐新姿, 王效禹, 袁可人, 彭锐涛

风力机气动力学研究常基于确定性工况条件, 但因风力机常年工作在自然来流复杂环境, 风速随机波动致使风电系统呈现不确定性, 对电网稳定性带来巨大挑战. 为揭示不确定性对风力机流场影响机理并明确其对气动力的影响程度, 提出一种风力机不确定空气动力学分析方法, 基于修正叶素动量理论和非嵌入式概率配置点法, 建立水平轴风力机不确定性空气动力学响应模型, 提取风力机输出随机响应信息, 量化不确定风速对风力机风轮功率、推力、叶片挥舞弯矩和摆振弯矩的影响程度, 通过分析流动诱导因子不确定性在叶片展长方向上的分布规律, 揭示不确定因素在风力机本体上的传播机制, 为风电系统设计与应用提供理论依据和重要参考.

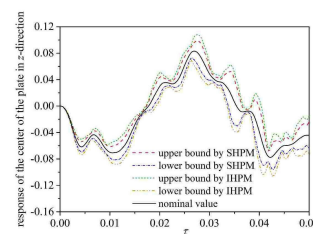


固体力学

随机和区间非齐次线性哈密顿系统的比较研究及其应用 (60–72, doi: 10.6052/0459-1879-19-348)

邱志平, 姜南

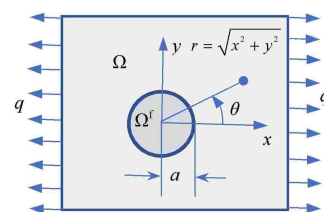
本文考虑随机和区间参数不确定性, 提出了随机、区间非齐次线性哈密顿系统的参数摄动法, 推导了区间响应范围包含随机响应范围的相容性结论, 突破了传统哈密顿系统的局限性, 并应用于结构动力响应评估中. 数值算例验证了所提方法在结构动力响应中的可行性和有效性, 并与传统方法相比较凸显了哈密顿系统辛算法的数值计算优势.



应用边界积分法求圆形夹杂问题的解析解 (73–81, doi: 10.6052/0459-1879-19-283)

郭树起

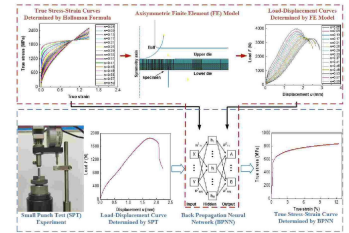
从 Somigliana 等式出发, 利用格林函数的不唯一性, 得到一种边界积分法, 可以求解线弹性力学问题. 用此方法求解了圆形夹杂问题的解析解. 将界面处的位移与应力展开为傅里叶级数, 利用对称性与三角函数的正交性减少待定系数的个数. 先求界面处的位移与应力, 再求域内位移与应力. 夹杂弹性模量为零时, 退化为圆孔应力集中问题解答.



基于 BP 神经网络与小冲杆试验确定在役管道钢弹塑性性能方法研究 (82-92, doi: 10.6052/0459-1879-19-297)

宋明, 李旭阳, 曹宇光, 甄莹, 司伟山

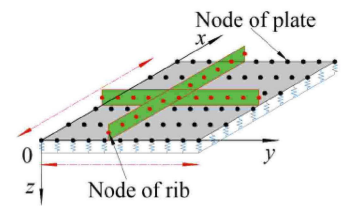
提出了一种基于人工智能BP神经网络和小冲杆试验确定金属材料真应力-应变曲线从而获得其弹塑性力学性能的方法. 通过经试验验证的含 GTN 损伤参数的小冲杆试验有限元模型和 Hollomon 公式建立了包含 457 种假想材料小冲杆载荷-位移曲线与真应力-应变曲线数据库, 使用数据库训练神经网络, 最终利用两者获得任意金属材料的弹塑性力学性能.



基于遗传算法的弹性地基加肋板肋梁无网格优化分析 (93-110, doi: 10.6052/0459-1879-19-300)

覃霞, 刘珊珊, 湛亚菁, 彭林欣

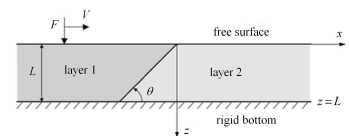
基于遗传算法及一阶剪切理论, 提出一种弹性地基上加肋板肋条位置优化的无网格方法. 首先, 建立分析弹性地基加肋板弯曲问题的无网格模型, 再引入遗传算法和改进遗传算法, 针对肋条的布置进行位置优化计算. 算例分析表明, 该方法能有效分析弹性地基加肋板弯曲及肋条位置优化问题, 肋条位置改变时又避免了网格重构.



倾斜界面耦合弹性层中的渡越辐射能 (111-123, doi: 10.6052/0459-1879-19-246)

陕耀, 苏臻, 周顺华

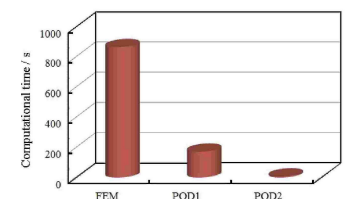
本文以典型高速铁路路桥过渡段结构形式为依据, 建立了二维平面应力渡越辐射能计算模型. 两个半无限弹性层由一倾斜界面耦合, 界面两侧弹性体中的波动方程均分解为本征场、自由场两个部分求解. 结果表明, 渡越辐射能的大小随载荷移动速度增加单调非线性增加, 界面倾斜角度越大, 渡越辐射能与本征场应变能比值越大.



基于特征正交分解的一类瞬态非线性热传导问题的新型快速分析方法 (124-138, doi: 10.6052/0459-1879-19-323)

朱强华, 杨恺, 梁钰, 高效伟

针对大规模瞬态非线性热传导问题快速仿真的需要, 在隐式时间推进方法的基础上有效结合单元预转换方法和多级线性化方法发展了一种快速求解导热系数随温度变化的一类瞬态非线性热传导降阶模型的新型计算方法, 解决了常规算法在计算非线性降阶模型时加速性差的问题, 其计算效率相比全阶模型提高 2~3 个数量级, 并具有稳定性好的特性.



胡海岩

The figure consists of two vertically stacked plots sharing a common x-axis labeled x/L ranging from 0 to 1. The top plot shows the radial velocity perturbation v_r on the y-axis, ranging from -1 to 1. It contains three curves: a black curve that starts at 0, peaks at approximately 0.8 at $x/L \approx 0.5$, and returns to 0; a blue curve that starts at 0, peaks at approximately 0.6 at $x/L \approx 0.25$, and returns to 0; and a red curve that starts at 0, reaches a minimum of approximately -0.8 at $x/L \approx 0.5$, and returns to 0. The bottom plot shows the square of the radial velocity perturbation v_r^2 on the y-axis, ranging from -1 to 1. It contains three curves: a black curve that starts at 1, reaches a minimum of approximately 0.2 at $x/L \approx 0.5$, and returns to 1; a blue curve that starts at 1, reaches a minimum of approximately 0.4 at $x/L \approx 0.25$, and returns to 1; and a red curve that starts at 1, reaches a minimum of approximately 0.6 at $x/L \approx 0.5$, and returns to 1. A red double-headed arrow is positioned between the two plots, indicating a relationship between them.

张家铭, 杨执钧, 黄锐

Mach Number	Computational Fluid Dynamic (psf)	Linear State-Space Identification (psf)	Nonlinear State-Space Identification (psf)
0.62	155	-	155
0.72	160	162	160
0.78	158	155	158
0.82	190	192	180

郑鹏, 王琪, 吕敬, 郑旭东

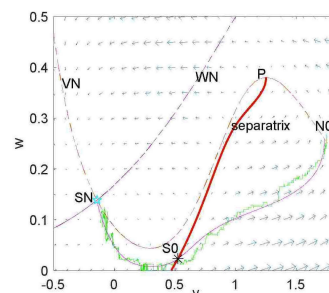
付晓东, 陈力

The diagram illustrates a three-link robotic arm. Link 0 is the base, Link 1 is the middle link, and Link 2 is the end effector. The joints are revolute, with axes of rotation labeled x_0 , x_1 , and x_2 . The base joint is at O_0 , the middle joint is at O_1 , and the end effector joint is at O_2 . The diagram also shows a fixed coordinate system Y and a moving coordinate system X . Various vectors and angles are labeled, including q_0 , q_1 , q_2 , r_0 , r_1 , r_2 , and q_m .

Morris-Lecar 系统中通道噪声诱导的自发性动作电位研究 (184–195, doi: 10.6052/0459-1879-19-294)

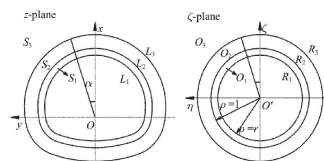
李扬, 刘先斌

本文研究了弱噪声条件下无鞍点状态的随机混合 Morris-Lecar 系统的自发性放电现象. 通过取虚拟分界线为阈值, 发现阈值上的拟势有一个明显的最小值, 其作用类似于鞍点. 通过改进的 Monte Carlo 模拟计算了历程概率分布, 其结果对初始和兴奋阶段的理论解均给出了验证. 此外, 通过分析 Na^+ 和 K^+ 通道噪声的不同组合对最优路径和拟势的影响, 发现 K^+ 通道噪声在自发性放电过程中起主导作用, 且两种噪声强度存在一个最优比例能使总的噪声强度达到最小.

**生物、工程及交叉力学****寒区非圆形隧道冻胀力的解析解 (196–207, doi: 10.6052/0459-1879-19-226)**

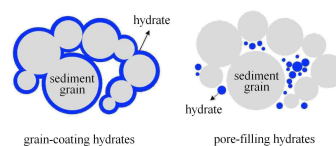
李岩松, 陈寿根

将经典复变函数理论与连续性条件结合, 导出了非圆形隧道衬砌-冻胀圈-未冻围岩系统在正交曲线坐标系 ζ 平面内的解析式, 然后通过保角变换求得直角坐标系 Z 平面上考虑衬砌支护的寒区非圆形隧道冻胀力和冻胀变形. 将推导的解析式应用于鸬鹚山隧道洞口段研究中, 得到鸬鹚山隧道洞口段冻胀应力和冻胀位移解析解.

**含水合物沉积物多相渗流特性研究进展 (208–223, doi: 10.6052/0459-1879-19-362)**

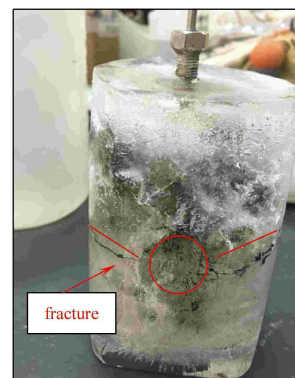
蔡建超, 夏宇轩, 徐赛, 田海涛

本文综述了平行毛细管模型、Kozeny 模型等广泛应用于天然气水合物开发渗流分析的理论模型, 对比分析了水合物开发多尺度渗流过程模拟方法, 简述了国内外含水合物沉积物渗透率测试、渗流过程中沉积物物性演变以及水合物开采室内模拟等方面的渗流实验进展, 总结了矿场尺度的天然气水合物储层开采过程中产气数值模拟手段, 展望了多相渗流模型、储层原位含水合物样品室内测试及结构与物性演化、矿场尺度数值模拟与水平井压裂技术等应用研究的未来方向与挑战.

**含水合物粉质黏土压裂成缝特征实验研究 (224–234, doi: 10.6052/0459-1879-19-179)**

杨柳, 石富坤, 张旭辉, 鲁晓兵

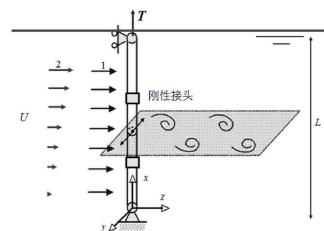
含粉质黏土水合物沉积层裂缝扩展受到流体压力和热应力的共同影响. 适当延长注入时间, 保持流体与沉积层充分接触, 会起到分解水合物、降低破裂压力的作用. 该研究成果有利于深入理解水力裂缝在水合物沉积层中的扩展规律, 对探索压裂技术在水合物沉积层开发中的应用具有重要意义.



海洋热塑性增强管 (RTP) 涡激振动数值计算 (235-246, doi: 10.6052/0459-1879-19-312)

芮雪, 陈东阳, 王国平

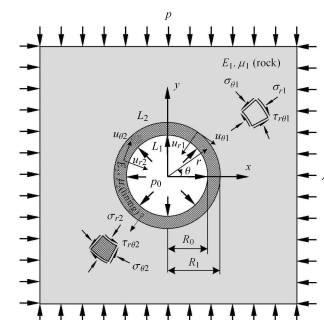
基于 Van der Pol 尾流振子模型和多体系统传递矩阵法 (MSTMM), 建立了可以快速预测海洋热塑性增强管 (RTP) 振动特性和涡激振动响应的动力学模型. 仿真结果与 ANSYS 软件仿真结果以及文献实验数据对比, 验证了本文模型的准确性. 研究了考虑 RTP 立管刚性接头, 不同顶张力, 不同来流分布等情况对 RTP 立管涡激振动响应的影响. 计算结果表明: 流速越大, 立管涡激振动激发出的模态越高; 立管涡激振动主要受低阶模态控制; 立管的刚性对接对立管的湿模态影响较小, 但是对较高阶模态为主所激发出的涡激振动振幅分布影响较大; 剪切流对沿立管轴向的涡激振动振幅分布影响较大, 低流速能量小所引起的涡激振动幅值较小, 但是当剪切流流速达到能激发出较高阶模态时, 相比同等流速的均匀流所引起的涡激振动振幅要大.



水工圆形隧洞围岩衬砌摩擦滑动接触的新解法 (247-257, doi: 10.6052/0459-1879-19-238)

尹崇林, 吕爱钟

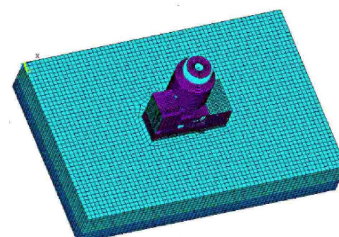
围岩和衬砌接触时, 当它们之间的剪应力大于所能承受的最大静摩擦力, 接触面间将发生切向滑动, 定义这种接触为摩擦滑动接触, 并且认为接触面上产生最小滑动量的状态为衬砌的真实工作状态. 以库仑摩擦模型模拟围岩和衬砌之间的摩擦滑动接触, 然后利用平面弹性复变函数理论以及简化的优化模型得到了圆形水工隧洞摩擦滑动接触的一般解.



核电结构土-结相互作用分析分区混合计算方法 (258-282, doi: 10.6052/0459-1879-19-271)

陈少林, 郭琪超, 周国良

核电结构抗震设计与安全评估中, 需要考虑土-结相互作用. 已有方法难以协调好结构阻尼和土体非线性这两个影响土-结体系地震反应的重要因素. 本文提出一种模态叠加和时步积分结合的土-结相互作用分区混合算法, 可方便考虑结构阻尼和土体非线性. 通过简单算例验证了该方法的有效性, 并用于 CAP1400 核电结构的土-结相互作用分析.



考虑道路信息和转向灯的可换道 BML 模型 (283-291, doi: 10.6052/0459-1879-19-247)

高庆飞, 张稷, 盛哲, 董力耘

本文在BML模型的基础上加以改进, 提出了综合考虑道路信息和前车转向灯影响的可换道 BML 模型. 模拟结果表明对于无交通灯 BML 模型, 引入换道规则可以明显提高系统发生相变的临界密度, 在较小尺度下的临界密度接近有交通灯的BML模型, 并发现了一种新的局部拥堵和自由流的共存相, 在较高密度下局部阻塞将演化为全局拥堵.

