



QK1914024

ISSN 0377-0308  
CODEN CHHKA2

# 机械工程学报<sup>®</sup>

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

激光加工平面型微超级电容器的研究进展与发展趋势

汤勇 刘辉龙 陆龙生 谢颖熙 袁伟 万珍平 李宗涛 丁鑫锐



中国机械工程学会 主办

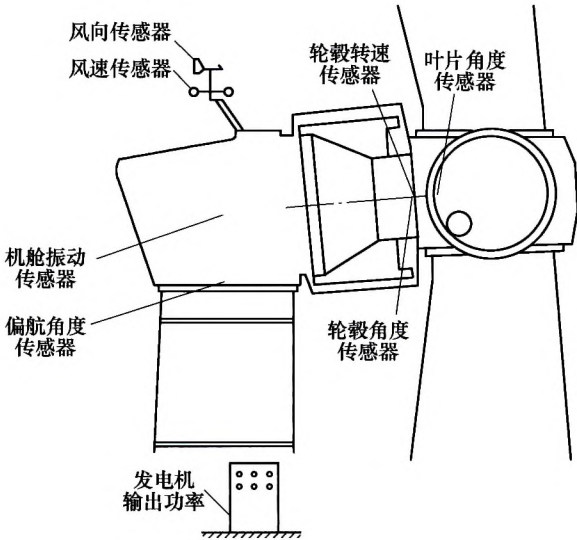
2019年55卷4期 半月刊



仪器科学与技术

1 一种基于 SCADA 参数关系的风电机组运行状态识别方法

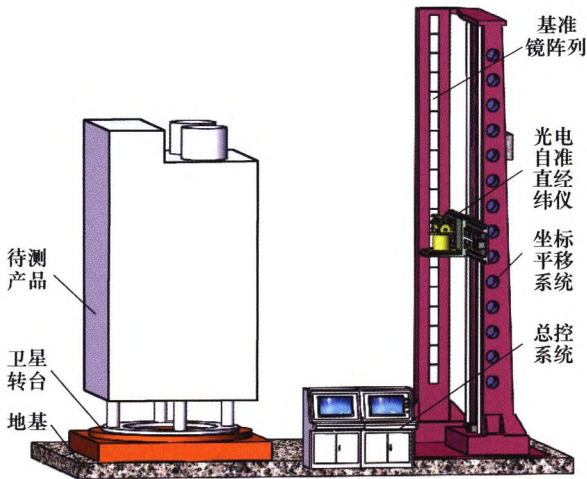
张帆 刘德顺 戴巨川 王超 沈祥兵



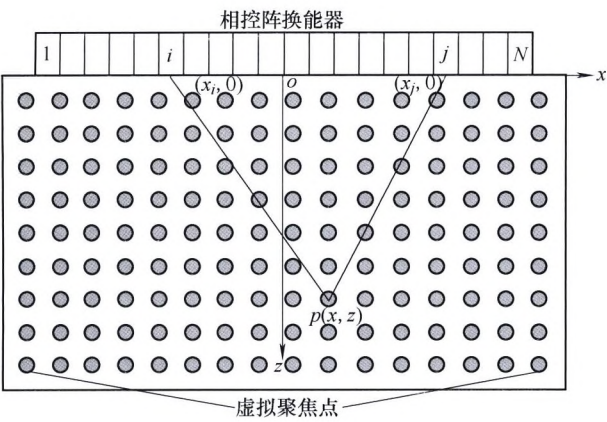
**摘要:** 提出一种基于 SCADA 参数关系的风电机组运行状态识别方法。首先, 从风电机组运行特性出发, 深入分析风电机组运行状态 SCADA 数据输入/输出参数关系; 基于时间的滑动窗口模型, 采用多项式回归拟合方法, 构建风电机组运行状态输入/输出参数关系数学模型; 然后, 基于风电机组正常运行输入/输出参数关系数学模型, 提出描述各个时刻风电机组运行状态异常程度的指标计算公式; 对风电机组正常运行阶段的状态指标进行统计分析, 获取其分布函数规律; 最后, 根据小概率事件假设, 确定识别风电机组运行状态出现异常的阈值, 据此对风电机组运行状态出现异常进行预警。以同风场同型号两台 2 MW 直驱式风电机组 SCADA 数据为例进行分析, 结果表明: ① 基于 SCADA 数据的风电机组运行状态识别方法, 可以实现对风电机组运行的异常状态识别和早期预警, 该方法的特点是状态识别完全基于正常运行 SCADA 数据分析而无需异常运行 SCADA 数据进行挖掘训练和相关物理机制与故障模式方面的先验知识; ② 基于风电机组 SCADA 数据的运行状态识别方法, 依据风电机组及其部件的运行状态输入/输出参数关系的层次结构, 可以获得发生异常状态的相关部件信息, 这对风电机组运行状态预警和维护决策具有重要意义。

10 星上敏感器空间矢量自准直测量方法及标定试验

刘延芳 马明阳 刘永亨 齐乃明 叶东



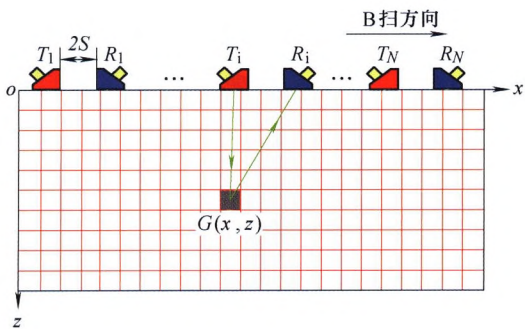
**摘要:** 针对星上敏感器测量坐标系高精度标定的需求, 提出一种空间矢量自准直测量方法, 采用光电自准直经纬仪、卫星转台、基准镜阵列和坐标平移系统等, 实现立方镜镜面法向矢量之间夹角的高精度自动化测量。给出空间角测量模型, 基于误差传播原理推导出误差模型, 并证明不确定度上限; 仿真分析传感器精度对空间角测量误差的灵敏度, 并在此基础上进行误差分配; 设计并研制星上敏感器空间矢量自准直测量系统, 对光电自准直经纬仪的转角精度、两轴垂直度和整个系统的空间角测量精度等进行试验标定; 结果表明, 光电自准直经纬仪转角精度优于 0.6"、两轴垂直度优于 0.2", 空间角测量精度优于 3", 验证所提出方法的有效性、误差分配的合理性和设计方案的可行性, 可为高精度星上敏感器的自动化测量标定系统的开发和应用提供参考。



**摘要：**超声相控阵技术近些年发展迅速并被广泛应用于工业无损检测领域，线阵探头全矩阵聚焦方法具有成像信噪比好、缺陷分辨力高等优势，近些年获得广泛研究，但其仍然存在采集数据量大、计算效率低的问题，使其在实际工业应用中受到限制。为了解决上述问题，基于检测系统收发通道的互易性提出三角矩阵聚焦成像算法，该方法简化了全矩阵聚焦成像算法的数据采集和成像运算过程。为验证聚焦成像方法的有效性，分别对类裂纹、平底孔和横通孔缺陷试块进行数据采集成像试验和信噪比分析，数据采集试验结果表明收发通道互换前后两信号具有很好一致性。进一步的数据比较分析表明，在成像质量方面，三角矩阵聚焦成像算法与全矩阵聚焦成像算法两者的图像信噪比变化不大；在数据采集和成像效率方面，三角矩阵聚焦成像算法降低了近一倍数据量，有效提高了计算效率。

25 基于相位相干性的厚壁焊缝 TOFD 成像检测研究

陈 尧 冒秋琴 石文泽 陈 果 林 莉 金士杰 甘 勇 吴 霞 卢 超

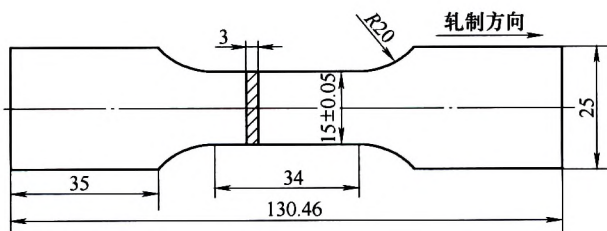


**摘要：**将相位相干成像(Phase coherence imaging, PCI)后处理算法应用于厚壁焊缝超声 TOFD 检测，有效改善低信噪比和水平分辨力问题。首先，利用合成孔径聚焦(Synthetic aperture focusing technique, SAFT)算法对 TOFD-B 图像的孔径数据集进行延时叠加处理。然后，基于 PCI 算法通过孔径数据集中各路信号的相位信息构建相干因子，用以表征 B-SAFT 图像中各像素点的相位相干性。最后，通过构建的相位相干因子对 B-SAFT 图像进行加权处理。结果表明，PCI 算法能够通过放大相位分布对像素点幅值的贡献，有效抑制噪声和提高信噪比，使壁厚 78 mm 奥氏体不锈钢焊缝中 3 个  $\phi 3$  边钻孔平均信噪比达到 30 dB 以上，较 TOFD-B 图像提高了 20 dB。此外，PCI 算法还可增强孔径波束指向性提高分辨力，使 48 mm 壁厚 CV 焊缝中缺陷半波高水平宽度较 TOFD-B 图像缩小 70%以上。



33 金属板材循环拉压加载中力学行为的演化

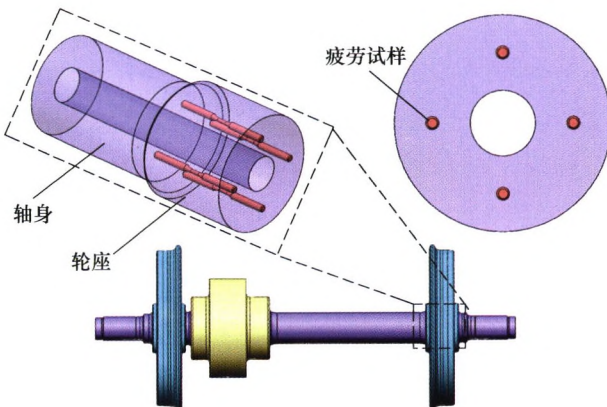
于高潮 赵 军



**摘要：**在曲梁往复弯曲过程中，曲梁上任意质点均发生循环拉压加载变形，但目前对往复弯曲过程中的力学行为仍不明确。为深入认识往复弯曲变形过程中宏观力学行为的演化规律，采用对称恒应变幅控制方式进行低周次不同应变幅值条件下的小应变循环拉压加载试验，研究了304不锈钢和ST12冷轧板两种材料循环拉压加载条件下的宏观力学表现，探究了弹性模量、屈服应力和塑性模量随循环周次的变化规律和预应变对稳定滞后回线的影响。试验研究表明：304不锈钢和ST12两种材料均具有循环软化特性；经循环拉压加载后，两种材料的弹性模量、屈服应力和塑性模量发生明显改变，而且拉压不具有 consistency；循环拉压加载可湮灭预应变造成的材料力学性能初始差异，使材料力学性能变得均匀一致，也间接证明了往复弯曲可将同层纤维力学性能均匀化，为新本构关系的构建奠定了基础。

42 样本信息聚集原理改进及其在铁路车辆结构疲劳评定中的应用

李存海 吴圣川 刘宇轩



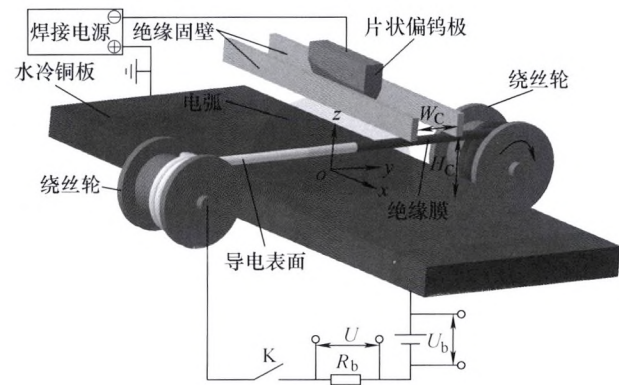
**摘要：**疲劳  $S-N$  曲线是高速动车组结构设计中最重要基础数据。降低样本数据的离散性和提高寿命预测的准确性一直是铁路车辆结构长寿命安全可靠服役的热点研究课题，经典的样本信息聚集原理 (Sample polymerization principle, SPP) 能够确保小样本疲劳数据统计处理的准确性，但在寿命估算的可靠性上还有改进空间。通过参数搜索的优化建立应力与标准差之间的关系，实现不同应力水平下标准差的最优取值，从而提出一种新的基于 SPP 的概率疲劳  $S-N$  曲线拟合方法。研究表明，与成组法相比，基于  $(X-x-x-x)$  型数据的疲劳  $P-S-N$  曲线的斜率和截距的相对误差小于 3%，估算寿命仅为成组法 5%；在处理  $(x-x-x-x)$  型数据时，估算寿命约为传统方法的 0.1%。在应用于高速列车焊接结构时，改进方法充分考虑了因焊接缺陷引入的离散性，预测的疲劳寿命更加可靠与合理。由此可见，改进的 SPP 以及标准差参数寻优技术不仅可以确保小样本数据的拟合精度，而且能够获得更加可靠的疲劳  $P-S-N$  曲线，工程应用中得到更保守的预测结果。



**摘要：**为了改善传统双辊薄带铸轧板坯中存在的缩孔、裂纹、组织不均以及晶粒粗大等缺陷，提升双辊薄带铸轧产品带坯的力学性能，提出振动铸轧新技术，以细化铸轧带坯组织晶粒度，提高其力学性能。为了确定振动铸轧过程的细晶机理，分别在 1 570 ℃ 和 1 530 ℃ 两种开浇温度下进行了 20CrMn 钢双辊薄带铸轧振动与非振动工况的对比试验，并对所得带坯微观组织及力学性能进行了检测和分析。微观组织观察结果表明，在铸轧过程中振动可以有效细化产品带坯晶粒，其细晶机理为在凝固阶段振动可以提升熔池区形核率并促使振动侧枝晶尖端熔断，而在轧制阶段振动可以强化塑性变形区的动态再结晶；拉伸试验结果表明振动有效地改善了铸轧板坯的力学性能，开浇温度 1 570 ℃ 时，沿轧制方向振动铸轧板坯较传统铸轧板坯屈服强度、抗拉强度和伸长率分别提高了 12.11%、14.57% 和 38.9%，垂直轧制方向分别提高了 7.72%、13.23% 和 34.8%；开浇温度 1 530 ℃ 时，沿轧制方向分别提高了 9.22%、14.95% 和 31.25%，垂直轧制方向分别提高了 21.36%、27.35% 和 42.86%。试验表明振动铸轧较传统铸轧不仅能在凝固阶段通过振动提高形核率，细化晶粒，还能在轧制阶段通过振动增强动态再结晶效果，改善材料微观组织结构，从而提升其力学性能。

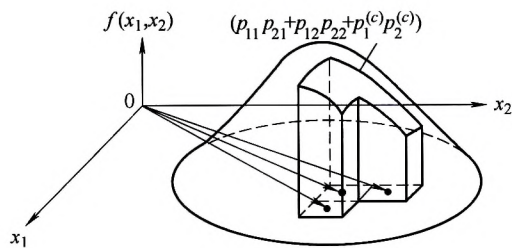
60 绝缘固壁约束片状偏钨极电弧载流区温度的静电探针差动分析

李渊博 杨 涛 郑韶先 赵锡龙



**摘要：**绝缘固壁和片状偏钨极的联合调控能够有效改变电弧温度分布，从而解决超窄间隙焊接过程中底角熔合不良的问题。为了明确绝缘固壁对片状偏钨极电弧温度的影响规律和调控机理，采用一种静电探针差动分析方法对绝缘固壁约束片状偏钨极电弧载流区进行诊断。结果表明，绝缘固壁对片状偏钨极电弧的固壁约束作用可提升电弧载流区温度峰值，使钨极厚度方向载流区温度分布范围明显收缩；约束作用能够强化片状偏钨极对电弧电流密度的引导作用，从而使电弧高温区沿钨极宽度方向向放电间隙小的位置发生整体偏移，且在电弧电场分布的影响下，沿弧长方向偏移程度由阳极向阴极减小；但过强的约束作用会导致钨极局部因电流密度过度集中而烧损，约束作用不足将无法对电弧载流区温度起到有效调控。



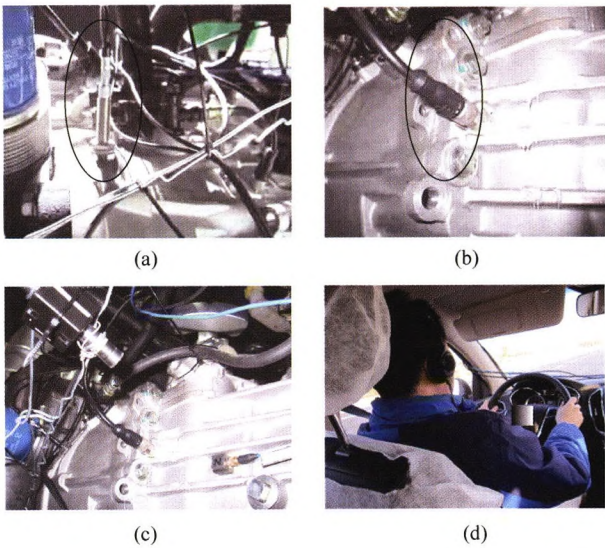


**摘要：**复合材料层合板可靠性分析涉及多变量、非正态、非线性功能函数和失效相关性等问题。针对分析难题引入发生函数法，分别构造描述载荷、抗力和抗力序列等概率分布的发生函数，定义相应发生函数的复合算子。通过发生函数的复合运算，根据复合材料层合板的首/终层失效准则，结合层合单元的 Tsai-Hill 强度理论，建立层合板可靠性分析模型。该方法适用于含有众多随机变量(包含非正态随机变量)且功能函数为非线性的结构系统可靠性评估，考虑了层合板失效路径之间因含有共同失效元，以及失效路径内部各失效元因共享同一随机载荷源而引起的失效相关性，通过 K-means 聚类 and 同类项合并技术显著缩减了计算成本从而提高效率。结合本方法给出具体算例，分析结果表明：可靠度值与传统一次可靠度方法相比更接近蒙特卡罗法仿真结果，可为复合材料层合板强度可靠性分析提供一种新思路。

// 运载工程 //

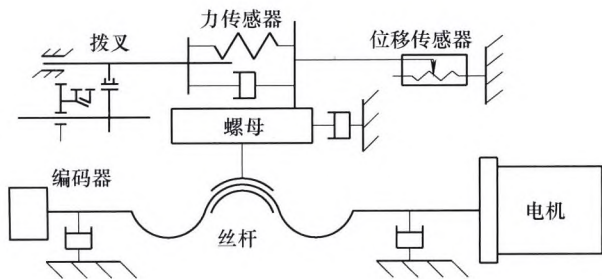
75 新型三级刚度扭转减振器设计开发及性能分析

吴虎威 吴光强 陈 祥 王军伟 郭继伟 苑仁飞 孙 硕



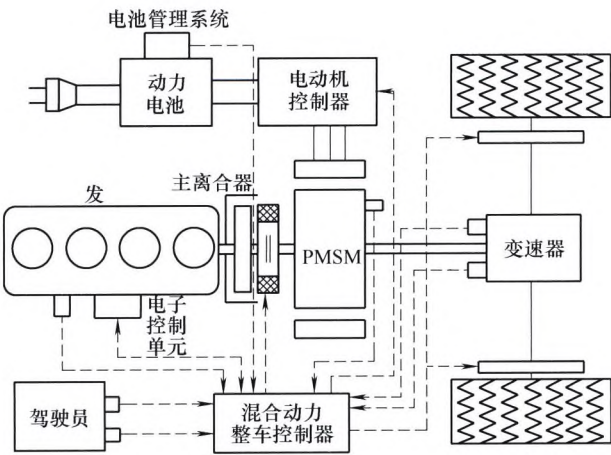
**摘要：**针对车辆爬行工况下发生的严重变速器齿轮敲击问题，设计开发新型三级刚度扭转减振器，并通过专用台架试验和实车试验验证了三级刚度扭转减振器性能。首先，基于传统从动盘式扭转减振器结构特点，设计新型三级刚度扭转减振器机械结构并阐明其工作原理；其次，利用专用台架试验，测试得到从动盘式扭转减振器和新型三级刚度扭转减振器扭矩传递特性，验证三级刚度扭转减振器机械结构设计和性能参数设计的有效性；最后，设计实车道路试验，包括试验测试流程和传感器布置方案，综合试验信号时域、频域和时频域结果，对比分析传统从动盘式扭转减振器和新型三级刚度扭转减振器减振性能。结果表明，该新型三级刚度扭转减振器可有效解决原车在爬行工况下传动系统剧烈的扭转波动和变速器齿轮敲击问题。





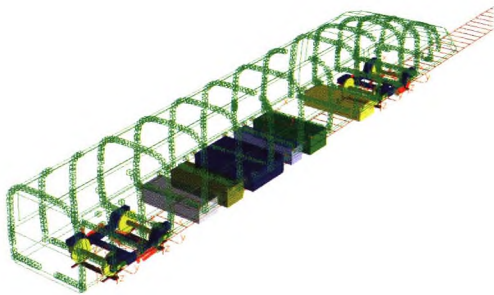
**摘要：**电控机械式变速箱(Electrical mechanical transmission, EMT)的换挡过程是一个复杂的非线性多刚体动力学过程。由于系统建模困难，不确定性大，采用传统的控制算法往往无法得到满意的控制效果，从而极大地限制了换挡过程控制方法的发展。针对这些问题，分析了换挡过程的特性，将整个换挡过程视为重复性过程，提出采用迭代学习控制的方法来优化换挡过程。为此，采用未知输入观测器对换挡阻力进行估计；然后设计线性状态反馈控制器得到初始控制输入；进而引入迭代学习控制方法来补偿控制误差，并且考虑了迭代学习过程中期望轨迹的设置，以得到良好的换挡控制效果；最后，通过台架试验验证了算法的可行性和有效性。

91 基于最优功率分配因子的插电式混合动力汽车实时能量管理策略研究

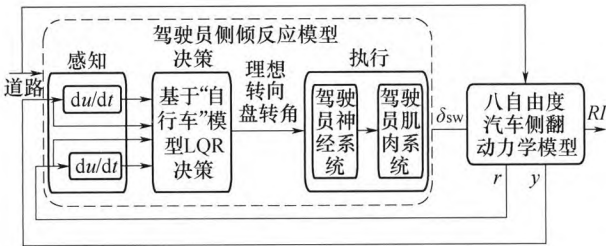


**摘要：**插电式混合动力汽车兼顾传统混合动力汽车和纯电动汽车的优点，即具有较长的续航里程又具有较好的燃油经济性，插电式混合动力汽车的实时能量管理策略是发挥节能潜力的关键技术。为解决具有手动行驶模式选择功能的 P2 构型插电式混合动力汽车的能量管理实时优化问题，定义发动机和电机功率分配因子，在任何 SOC 下从电量消耗模式切换到电量维持模式时，提出通过功率分配因子动态调整发动机最优工作曲线获得最佳的燃油经济性的实时能量管理策略。建立功率分配因子全局优化模型，利用自适应模拟退火算法离线优化功率分配因子，研究功率分配因子和 SOC 对整车燃油经济性的影响规律，得到在不同 SOC 的最优功率分配因子控制线。从而建立基于最优功率分配因子控制线的插电式混合动力汽车实时控制能量管理策略。在多个循环工况下对比仿真分析不同 SOC 下的燃油经济性，结果表明基于最优功率分配因子的能量管理策略使得燃油经济性改善幅度最大可达 16.99%。

102 气动激扰下车体与悬吊设备耦合振动行为研究

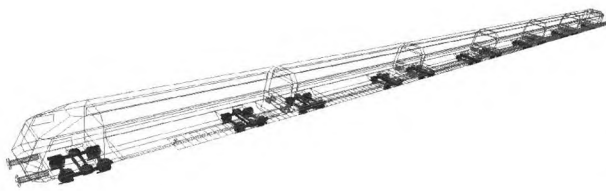


**摘要：**基于 Simiu 风谱的功率谱密度函数，建立自相关模型 (AR 模型)，模拟随高速列车移动的点的随机脉动风速时程，分析得到随机风作用在高速列车车体上的气动激扰。建立考虑车体弹性振动和多个车下悬吊设备的刚柔耦合动力学模型，分析不同环境风速下气动激扰对车体和悬吊设备振动行为的影响。研究表明，气动激扰对车体和悬吊设备的横向和垂向振动特性明显，随着风速的增大，车体和设备振动加剧，但是对于车体横向振动来说，车辆运行速度低于 150 km/h，各风速下的差异不明显；合理选取车下悬吊系统的悬挂参数可以有效地降低车体和设备的振动，当环境平均风速 5 m/s 时，车体横向采用 8 Hz 的悬挂频率比 1 Hz 的降低约 26.5% 的振动；考虑气动激扰的车下悬吊系统振动行为研究可以更加真实地反映车体和悬吊设备的耦合振动关系，为设计更优异性能的车下悬吊系统提供参考价值。



**摘要：**针对驾驶员引起的汽车侧翻问题，分析驾驶员因素影响汽车侧翻稳定性的机理，提出融合驾驶员的人-车闭环系统差动制动防侧翻控制策略。考虑驾驶员感知、决策及执行参数的影响，建立驾驶员侧倾反应动力学模型；以某 SUV 为对象，分析驾驶员侧倾反应模型主要参数影响汽车侧翻稳定性的规律，包括驾驶经验参数、神经系统延迟时间及肌肉系统延迟时间；融合驾驶员及电控液压制动系统动力学特征设计 PID 差动制动防侧翻控制策略；选取典型汽车侧翻工况进行实例验证，结果表明驾驶员经验参数和神经系统延迟时间对汽车侧翻稳定性影响显著；提出的融合驾驶员的人-车闭环系统差动制动防侧翻控制策略既可弥补驾驶经验不足又可克服驾驶员生理及心理限制的限制，有效提高汽车防侧翻能力。

118 牵引与桥梁上拱激励下城轨列车动力学性能研究



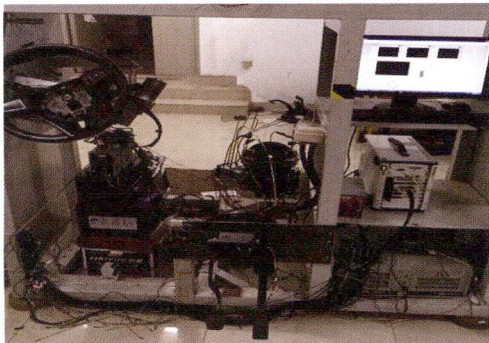
**摘要：**城轨列车的实时变速工况是极为普遍的运行状态，若仅以匀速工况替代，无法得到贴近实际的研究结论。为此，提出一种新的考虑内外耦合激励的动力学模型。建立单节车体模型及编组城轨列车模型，综合考虑牵引工况以及城轨列车通过高架线路时的桥梁徐变上拱长波不平顺，研究在该内外耦合激励下的车辆动力学性能。基于微元法思想，计算得到城轨列车牵引工况下的电机转矩及基本阻力转矩与运行时间的关系，得到合理的综合工况下的运行状态。研究结果表明，在变速工况下车辆的轮对磨损数、垂向平稳性指标及轮重减载率均有所上升；在桥梁长波不平顺激励下，车辆垂向平稳性指标有所下降、轮重减载率升高，而对车辆横向平稳性指标影响较小。

126 基于短时傅里叶变换的汽车零部件耐久性载荷信号编辑方法

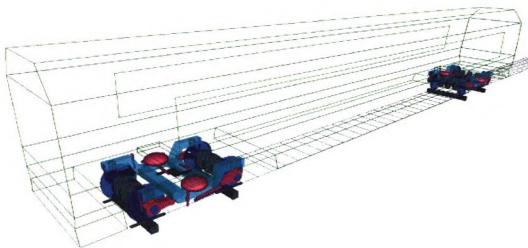


**摘要：**为了保证汽车零部件耐久性试验能够真实再现零件的服役载荷，并将试验场所测得的实际载荷-时间历程信号编辑成有效的缩减载荷信号，提出基于短时傅里叶变换的汽车零部件载荷信号编辑方法。对零件载荷信号进行短时傅里叶变换，得到该载荷信号的累积功率谱密度。利用累积功率谱密度来识别并提取损伤贡献大的片段，得到零件的缩减载荷信号。以汽车动力总成后拉杆悬置载荷-时间历程信号为例，采用基于短时傅里叶变换和基于损伤保留两种方法来编辑载荷信号。结果表明，在伪损伤保持一致的前提下，相比基于损伤保留方法，基于短时傅里叶变换方法得到的缩减载荷信号时间长度更短，且在统计参数(均值、方均根与峰度系数)和信号幅值域等方面均与原始载荷信号一致性更高。应用该缩减载荷信号建立汽车动力总成后拉杆悬置的耐久性台架试验，验证该套方法的有效性。



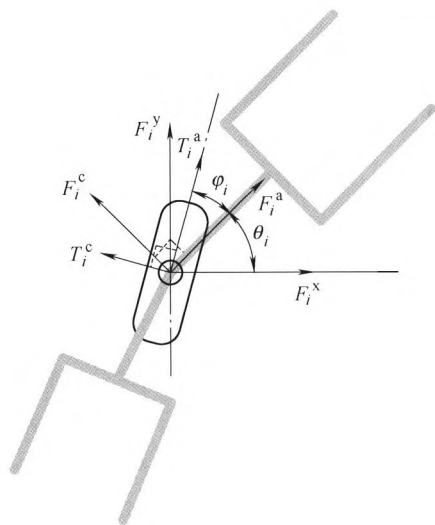


**摘要：**针对基于电动助力转向和差动制动的两种车道偏离辅助控制方法的局限性，提出可拓联合控制策略。基于可拓控制理论，充分考虑路面环境信息和车辆状态，设计可拓联合控制器，该控制器将电动助力转向和差动制动进行联合控制，以实现车道偏离辅助。为解决车道偏离辅助过程中的人机协调问题，应用模糊神经网络控制理论，设计考虑驾驶员转矩和车辆侧向偏差的人机协调控制器，通过输出辅助权重动态地调整车道偏离辅助系统的辅助转矩，实现驾驶员与辅助系统的协调控制。在 CarSim/Simulink 联合仿真平台和 CarSim/LabVIEW 硬件在环试验台架上对所提出的控制策略进行仿真和试验验证，结果表明所提出的控制策略能够有效地避免车辆偏离出车道，同时降低驾驶员和辅助系统之间的相互干扰，减小人机冲突，有较好的人机协调性能。



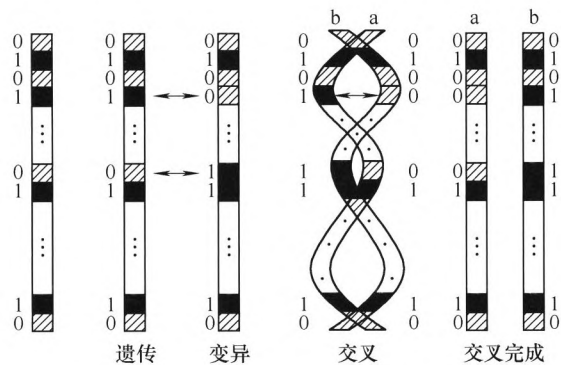
**摘要：**低温环境对高速动车组动力学性能影响显著，需要掌握低温下的车辆参数变化范围，针对-40℃或极低温工况鲜有研究。基于悬挂元件低温特性试验结果，建立高寒动车组非线性动力学仿真模型，并将常温环境下的动力学仿真结果与线路试验结果进行对比验证；将车辆系统悬挂参数、轮轨匹配、轮轨界面参数考虑为正态随机分布，采用拉丁超立方采样方法组合得到 300 种计算工况，仿真研究高寒动车组在-40℃低温环境运行时的动力学性能。300 km/h 速度条件下，车辆运行稳定性和安全性能满足标准要求，但新镟修车轮在直线运行工况下的横向平稳性较常温环境下差，主要是由于车辆发生了横向低频晃动；低温引起橡胶元件和减振器的刚度和阻尼增大，导致在与车体上心滚摆接近的频率范围内，前后转向架同向蛇行运动的阻尼比降低，引发以车体滚摆为主的横向晃动，因此高寒动车组需要注意预防新镟轮后的车体晃动现象。为低温环境下的高速动车组悬挂参数使用范围和动力学性能设计提供了参考。





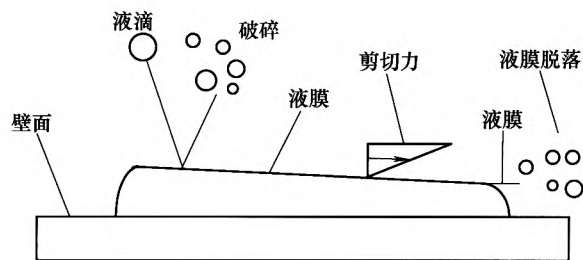
**摘要：**汽车列车具有容量大、单程车流运送率高等优点，可有效解决现有城市交通拥挤问题，以满足城市居民因工作与生活出行的乘车需求。但随着汽车列车长度的增加，车辆运动灵活度下降，汽车列车的操作难度增大，因此对汽车列车的转向控制方法进行研究。基于虚位移和虚功原理建立汽车列车的一般动力学方程，提出一种适用于该车型的多轴协同转向控制方法，并构建 Lyapunov 函数，采用 Lyapunov 直接法证明汽车列车能够沿目标路线行驶。以 3 车厢 4 车轴的汽车列车为例，建立仿真模型，分别对阶跃路线、正弦路线进行跟踪控制，仿真结果证明提出的汽车列车多轴转向控制方法，能够控制汽车列车跟踪多种目标路线行驶。

// 可再生能源与工程热物理 //

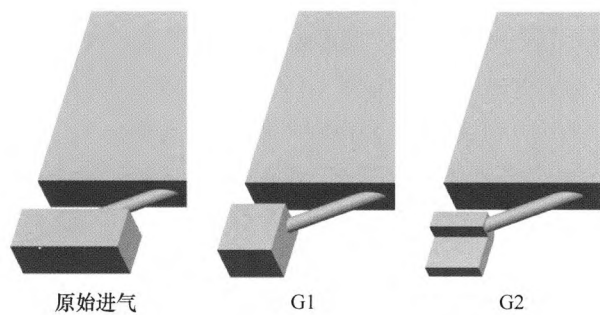


**摘要：**涡激疲劳是深水钻井隔水管系统的主要失效模式之一，如何通过隔水管系统浮力块配置减小隔水管系统涡激疲劳损伤是要解决的关键问题，采用基因编码方式表征隔水管系统浮力块配置，融合遗传算法和隔水管系统涡激疲劳分析模型提出深水钻井隔水管系统浮力块配置智能优化方法，开发深水钻井隔水管系统浮力块配置智能优化系统，开展不同水深下的深水钻井隔水管系统浮力块配置优化设计，并采用枚举法对隔水管系统浮力块配置智能优化方法进行验证分析。结果表明，提出的隔水管系统浮力块配置智能优化方法可以精确高效地开展隔水管系统浮力块配置优化设计，与传统的隔水管系统配置经验设计相比，提出的隔水管系统浮力块配置优化方法可以大大改善隔水管系统涡激疲劳性能。





**摘要：**雾化形成液膜的传热系数与厚度是决定喷雾冷却效果的重要因素。采用数值模拟方法，基于加热壁面上的液膜厚度、传热系数与温度分布三个角度，分析喷雾的压力、高度与倾斜角度对喷雾冷却传热特性的影响。结果表明：喷雾压力是影响换热效果重要的因素。相比于低压力工况，高压力工况时壁面上形成的液膜厚度小，壁面平均温度低，换热能力较强。压力工况越大，壁面温度下降程度越高。主要因为喷射压力提高后，液膜的运动速度加快，导致与空气之间的扰动作用加强，促进了液膜破碎和液滴的形成。改变高度使喷射到壁面的液滴密度程度不同，导致温度分布不均匀。研究还发现喷雾高度对换热影响存在一个最优值， $H=6\text{ mm}$  时，换热效果最好。同样，改变倾斜角度导致壁面分为喷雾密集区跟稀疏区，换热效果区别大。喷雾倾角  $\theta=30^\circ$  时壁面换热效果最好且温度分布相对均匀。通过分析得到的变化规律为喷雾参数的设定和喷雾效果的优化提供了理论依据。

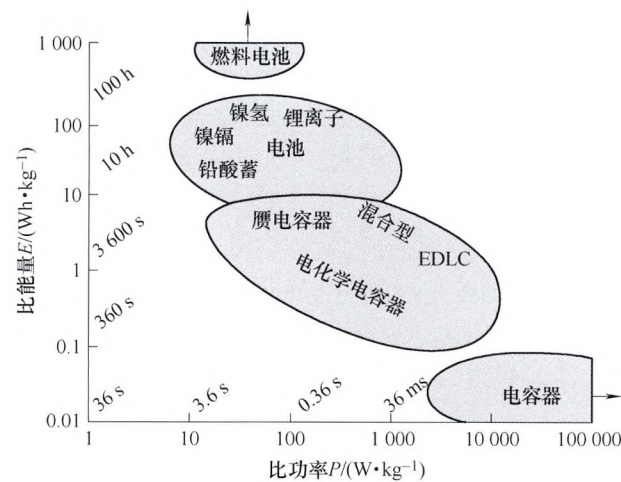


**摘要：**为了揭示不同进气腔配置诱导涡系重构对气膜冷却效果的影响，在圆柱形气膜孔的基础上研究了三种不同冷气腔结构以产生不同的进气预旋气膜冷却流动结构，并对三种冷气腔在吹风比分别为 0.5，1.0，1.5，2.0 的条件下进行了对比研究。结果表明：在低吹风比时，冷却气体出射动量小，三种进气方式的气膜冷却效率相当。随着吹风比的增加，进气预旋气膜冷却的优势逐渐显著。在吹风比为 2.0 时，原始进气冷却流体出射动量大且分布均匀，形成了强肾形涡，气膜冷却效率最低；第一种进气射流在孔上游形成一低动量区，该区域冷气与高温主流相互作用后绕开高动量区冷气射流后贴附壁面，在下游冷却效果明显；第二种进气冷却流体以单向旋涡的结构喷出，在下游形成一侧旋涡“压”着另一侧旋涡的流动形式，使被压旋涡中冷气更好的贴附壁面，射流侧向速度大，扩大了射流展向覆盖区域。相对于原始进气，第一种进气和第二种进气的平均绝热气膜效率，在吹风比为 1.0 时，分别提高了约 10%和 25%，在吹风比为 1.5 时，分别提高了约 50%和 550%。



189 激光加工平面型微超级电容器的研究进展与发展趋势

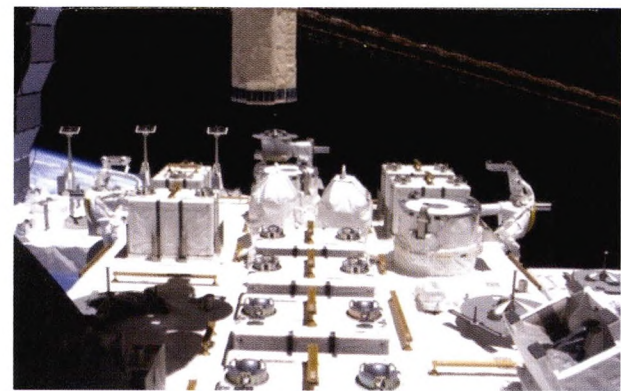
汤 勇 刘辉龙 陆龙生 谢颖熙 袁 伟 万珍平 李宗涛 丁鑫锐



**摘要：**可穿戴和便携式电子设备朝“轻薄化”与“小型化”方向的快速发展，极大地刺激了现代社会对高能量/功率密度、轻量便携化、柔性化储能器件的强烈需求。平面型微超级电容器(In-plane micro-supercapacitors, IPMSC)作为一种新型的微电源储能器件，以其超薄厚度、高功率密度和长循环寿命等优点被认为是集成电子器件重要的储能器件而备受关注。但是，随着 IPMSC 加工技术不断朝着高效、高精度和低成本等方向发展，常用的加工技术已难以满足其要求，操作更易、可扩展性更强、精度较高和成本更低的激光加工技术成为了目前 IPMSC 加工技术的研究热点。基于此，对不同类型 IPMSC 的工作原理及其电化学性能进行了总结，从激光还原、激光诱导、激光刻蚀和激光烧结四方面着手详细介绍了激光加工 IPMSC 的类型及加工工艺，重点综述了目前国内外关于激光加工 IPMSC 在机械性能和电化学性能等方面的研究进展情况，概括了用于 IPMSC 电解质的特性及其挑战，并在综合探讨激光加工 IPMSC 所面临的技术挑战基础上，对其在可穿戴和便携式电子设备中的应用前景进行了展望。

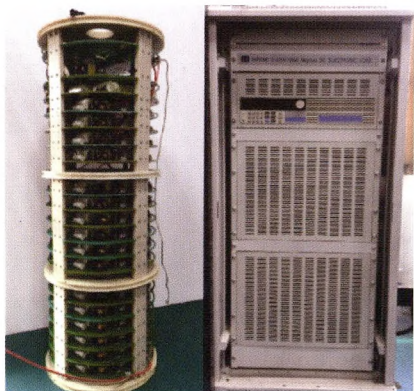
207 基于动力学前馈的空间机器人多销孔装配力柔顺控制

董 恂 张立建 易旺民 万毕乐 孟少华 胡瑞钦



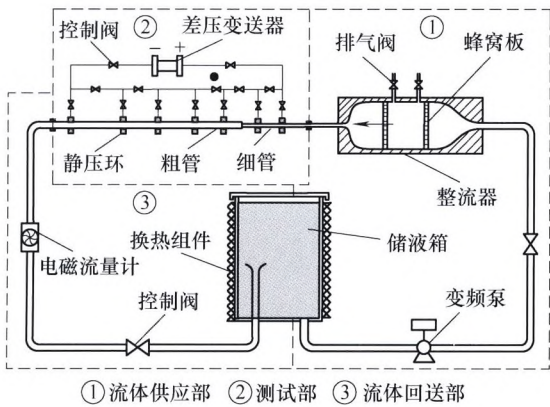
**摘要：**多组销孔对接并固定是空间站舱外可移动仪器设备的最常用安装方式，其中多组销孔的自动对接是空间服务机器人能否代替航天员完成这一任务的关键。针对这一问题，首先对多销孔配合结构的特殊受力情况进行分析，提出适合的力柔顺控制方法，并针对微重力环境下机器人控制所面临的特殊问题，采用基于动力学前馈的控制方法，直接对关节进行力矩补偿，再基于所建立的机器人关节的数学模型，对前馈算法的补偿量进一步映射到电机电流环，从而进一步加快关节响应速度，保证力柔顺装配效果，最后分别针对所提出的力柔顺装配方法和前馈算法进行了模拟微重力试验和仿真试验，试验验证了所提出的针对空间多销孔对接的力柔顺装配控制方法的有效性。该方法为空间服务机器人安全完成舱外仪器设备安装任务提供了技术支撑，并可为空间服务机器人其他任务的安全稳定控制提供借鉴。





**摘要：**为提高海底观测网络的稳定性，提出一种海底观测网络的直流高中压变换器电路结构并讨论其动态特性。针对高中压电源变换器输入电压高，输出功率大的特点，采用串联输入串联输出和串联输入并联输出相结合的多模块复合结构，来减小体积并实现模块化设计；控制上采用提前引入补偿值的电压型 PWM 控制技术，实现抗干扰能力强和响应速度快等特性；采用继电器反馈法整定误差放大器的 PI 参数，减小系统的输出超调电压和稳态波动幅值，使得该电源变换系统在大负载阶跃下的动态稳定性有所提高。为后续分析系统在启动和负载变化等大信号下的瞬态响应，建立高中压电源变换器仿真模型。仿真和试验结果表明，所采用得模块化设计能实现极小体积，并能达到散热需求，采用无超调整定规则整定的 PI 参数能极大地减小系统输出超调电压和稳态波动幅值，使得高中压电源变换器的稳态特性得到提升，在启动和负载切变过程中均表现出了良好的动态特性。

226 截面积突然扩大的胶束减阻流的紊流基本特性



**摘要：**为揭示胶束减阻水溶液突扩流的紊流基本特性，对质量分数分别为  $1\times 10^{-4}$ 、 $4\times 10^{-4}$  的季铵盐 CTAB 稀薄水溶液通过一个横截面积比为 1：4 的突扩管的流动局部阻力、阻力发展及压力分布特性进行了试验研究。结果显示，胶束减阻突扩流在紊流基本特性上与高分子减阻剂完全不同。当突扩进口流的雷诺数小于 1.2 倍的临界值时，突扩局部阻力损失系数以小于 10% 的量级小于纯水，压力恢复最大值大于纯水；当突扩来流大于 1.2 倍的临界值雷诺数时，突扩局部阻力损失略大于纯水，而压力恢复最大值与纯水基本相同。突扩进口为具有一定减阻效果的胶束减阻流，在突扩下游再次形成充分发展流所需要的压力恢复长度远大于纯水。突扩进口为暂时失去减阻效果的  $1\times 10^{-4}$  稀液流，于下游粗管内再次恢复稳定的减阻能力需要 110 倍下游管径。胶束稀液突扩流的上述紊流基本特性与胶束聚合结构的形成特性有关。

108 第 8 届上银优秀机械博士论文奖——铜奖

117 第 8 届上银优秀机械博士论文奖——铜奖

217 第 8 届上银优秀机械博士论文奖——铜奖

## CONTENTS

- 1 An Operating Condition Recognition Method of Wind Turbine Based on SCADA Parameter Relations**  
ZHANG Fan LIU Deshun DAI Juchuan WANG Chao SHEN Xiangbing
- 10 Auto-collimation Measurement Method and Calibration Experiments for Space Vectors of Satellite On-board Sensor**  
LIU Yanfang MA Mingyang LIU Yongbei QI Naiming YE Dong
- 19 Ultrasonic Detection Triangle Matrix Focus Imaging Algorithm**  
ZHAO Xinyu QI Tianzhi WANG Zhongya CHEN Ansheng
- 25 Research on Ultrasonic TOFD Imaging Inspection for Heavy-walled Weld Based on Phase Coherence Characteristics**  
CHEN Yao MAO Qiuqin SHI Wenze CHEN Guo LIN Li JIN Shijie GAN Yong WU Xia LU Chao
- 33 Evolution of Mechanical Properties in Cyclic Tension-compression Loading on Sheet Metal**  
YU Gaochao ZHAO Jun
- 42 Improved Sample Polymerization Principle and the Applications onto Fatigue Assessment of Railway Vehicle Structures**  
LI Cunhai WU Shengchuan LIU Yuxuan
- 54 Experimental Study on Twin-roller Strip Cast-rolling under Vibration of 20CrMn Steel**  
SUN Minghan YANG Yuqing ZHU Zhiwang WEI Jieping DU Fengshan
- 60 Electrostatic Probe Differential Analysis for Temperature Distribution Diagnostics of Constricted Arc Current-carrying Region in Sheet Slanting Tungsten Electrode with Insulating Solid Wall**  
LI Yuanbo YANG Tao ZHENG Shaoxian ZHAO Xilong
- 67 Reliability Analysis of Composite Laminates Based on Generating Function Approach**  
LIU Chenglong ZHOU Jinyu QIU Rui
- 75 Design and Development of Three-stage Stiffness Clutch Damper and Its Damping Performance Analysis**  
WU Huwei WU Guangqiang CHEN Xiang WANG Junwei GUO Jiwei YUAN Renfei SUN Shuo
- 84 Iterative Learning Control for Gear Shifting Process in Electrical Mechanical Transmission**  
HE Kai LIN Chengtao LI Liang WANG Xiangyu



- 91 Optimal Power Allocation Factor Based Real Time Energy Management Strategy for a Plug-in Hybrid Electric Vehicle**  
LIU Hui LI Xunming WANG Weida HAN Lijin YAN Zhengjun
- 102 Study on Vibration Behavior of Carbody and Suspended Equipment with Aerodynamic Loads**  
WANG Qunsheng ZENG Jing WEI Lai DONG Hao ZHENG Biao
- 109 Influences of Driver on Vehicle Rollover Stability and Anti-roll Control**  
JIN Zhilin YAN Zhenghua ZHAO Wanzhong
- 118 Research on Dynamic of Urban Rail Vehicle of Variable Speed and Long-wave Excitation Conditions**  
YANG Jianwei LIU Chuan WANG Jinhai SUN Ran ZHU Hekai
- 126 Load Signal Edition Method Based on the Short-time Fourier Transform to Durability Test of Vehicle Component**  
ZHU Maotao WU Xinjia ZHENG Guofeng LI Liping HAN Pengfei SHANGGUAN Wenbin
- 135 Lane Departure Assistance Control Based on Extension Combination of Steering and Braking Systems Considering Human-machine Coordination**  
WANG Hongbo XIA Zhi CHEN Wuwei
- 148 Dynamics Behaviour of High-speed Train at the Low Temperature of  $-40^{\circ}\text{C}$**   
TENG Wanxiu LUO Ren SHI Huailong ZENG Jing
- 154 Research on Multi-axis Steering Control Method and Simulation of Train-like Vehicle**  
SUN Bangcheng LIU Zhiming CUI Tao LI Minggao LI Hong WANG Wenjun
- 164 Intelligent Optimization of Buoyancy Configuration for Deepwater Drilling Riser System Based on Vortex-induced Vibration Suppression**  
LIU Xiuquan JI Jingqi ZHENG Jian WANG Xianglei CHEN Guoming ZHANG Hao
- 172 Numerical Simulation of Heat Transfer Characteristics of Spray Swirling Nozzle Under Pressure**  
WU Zhengren ZHEN Meng LIU Mei WANG Songling LIU Qiusheng
- 181 Study on Film Cooling Mechanism of Vortex Reconstruction Induced by Swirling Coolant Flow**  
YUE Guoqiang JIANG Yuting XIANG Shijian ZHENG Qun DONG Ping
- 189 Research Progress and Perspective Trend of Laser-machined In-plane Micro-supercapacitors**  
TANG Yong LIU Huilong LU Longsheng XIE Yingxi YUAN Wei WAN Zhenping LI Zongtao DING Xinrui

**207 Force Compliance Control of Multi-peg-in-hole Assembling by Space Robot Based on Dynamic Feedforward**  
DONG Que ZHANG Lijian YI Wangmin WAN Bile MENG Shaohua HU Ruiqin

**218 Design and Implementation for the Medium Voltage DC-DC Converter (MVC) of Underwater Power Transmission Network**  
XIAO Sa ZHANG Feng LI Dejun YANG Canjun JIN Bo CHEN Yanhu

**226 Fundamental Characteristics of Drag-reducing Micelle Solution Turbulent Flow Across Abrupt Expansion Pipe**  
CAI Shupeng WANG Zhineng LI Dan



# 《机械工程学报》第十一届编委会

## 名誉主任

王补宣 (院士) 钟群鹏 (院士) 路甬祥 (院士) 潘际銮 (院士)

## 名誉委员

王玉明 (院士) 石治平 (研高) 叶声华 (院士) 宁汝新 (教授) 过增元 (院士) 刘大响 (院士)  
刘友梅 (院士) 刘宏民 (教授) 李圣怡 (教授) 周祖德 (教授) 胡正寰 (院士) 柳百成 (院士)  
钟掘 (院士) 闻邦椿 (院士) 耿荣生 (教授) 徐金梧 (教授) 徐滨士 (院士) 熊有伦 (院士)

## 主 任

陈学东 (院士)

## 副 主 任

王国彪 (教授) 邓宗全 (院士) 李奇 (编审) 陈超志 (教授级高工) 邵新宇 (教授)  
黄田 (教授) 黄庆学 (院士)

## 国内委员

丁汉 (院士) 王雪 (教授) 王田苗 (教授) 王华明 (院士) 王庆丰 (教授) 王时龙 (教授)  
王树新 (教授) 王海斗 (教授) 王润孝 (教授) 王耀南 (教授) 孔祥东 (教授) 卢秉恒 (院士)  
史玉升 (教授) 冯吉才 (教授) 权龙 (教授) 曲兴华 (教授) 朱胜 (教授) 朱荻 (院士)  
朱向阳 (教授) 华林 (教授) 刘强 (教授) 刘少军 (教授) 刘军山 (研究员) 刘志军 (教授)  
刘辛军 (教授) 刘检华 (教授) 刘雪峰 (教授) 刘献礼 (教授) 刘德顺 (教授) 孙伟 (教授)  
孙汉旭 (教授) 孙逢春 (院士) 严新平 (教授) 杜雪 (教授) 杜朝辉 (教授) 李大勇 (教授)  
李荣德 (教授) 李涤尘 (教授) 杨永强 (教授) 杨华勇 (院士) 杨兆军 (教授) 杨绍普 (教授)  
何存富 (教授) 沈功田 (研究员) 张峥 (教授) 张义民 (教授) 张卫红 (教授) 张立军 (教授)  
张宪民 (教授) 陈新 (教授) 陈文华 (教授) 陈兵奎 (研究员) 陈雪峰 (教授) 苑世剑 (教授)  
苑伟政 (教授) 范志超 (研究员) 林京 (教授) 林峰 (教授) 林忠钦 (院士) 周仲荣 (教授)  
周华民 (教授) 单忠德 (研究员) 项昌乐 (教授) 赵杰 (教授) 赵继 (教授) 赵韩 (教授)  
赵丁选 (教授) 赵宏伟 (教授) 赵国群 (教授) 柯映林 (教授) 钟志华 (院士) 段吉安 (教授)  
段宝岩 (院士) 姜澜 (教授) 洪军 (教授) 宫声凯 (教授) 姚建华 (教授) 姚振强 (教授)  
袁巨龙 (教授) 袁寿其 (教授) 都东 (教授) 贾振元 (教授) 夏长亮 (院士) 钱林茂 (教授)  
徐西鹏 (教授) 殷国栋 (教授) 高金吉 (院士) 郭万林 (院士) 郭东明 (院士) 涂善东 (教授)  
陶飞 (教授) 黄卫东 (教授) 黄传真 (教授) 黄明辉 (教授) 梅雪松 (教授) 彭艳 (教授)  
彭芳瑜 (教授) 葛世荣 (教授) 韩旭 (教授) 焦宗夏 (教授) 温激鸿 (研究员) 谢建新 (院士)  
雒建斌 (院士) 廖维新 (教授) 谭建荣 (院士) 翟婉明 (院士) 熊蔡华 (教授) 融亦鸣 (教授)  
戴一帆 (教授)

## 国际委员

Bi Zhang( 美国 ) Denis Cavallucci ( 法国 ) Dong-Pu Cao( 英国 )  
Duc Truong Pham( 英国 ) Erhan Budak( 土耳其 ) Guang-Bo Hao( 爱尔兰 )  
Gui-Yun Tian( 英国 ) Hai-Jun Su( 美国 ) Han Huang( 澳大利亚 )  
Hong-Chao Zhang ( 美国 ) Jian-Sheng Dai( 英国 ) Jie (Peter) Liu( 加拿大 )  
Jin Wang( 英国 ) Jorge Angeles( 加拿大 ) Jun Wang( 澳大利亚 )  
Kai Cheng( 英国 ) Kazushi Sanada( 日本 ) Lian-Xiang Yang( 美国 )  
Li-Hui Wang( 瑞典 ) Marco Ceccarelli( 意大利 ) Ming-Jian Zuo ( 加拿大 )  
S.S. Park( 加拿大 ) Shao-Ping Bai( 丹麦 ) Shin Usuki( 日本 )  
Tamás Insperger( 匈牙利 ) Wei Gao( 日本 ) Wei-Dong Li( 英国 )  
Wei-Ming Shen( 加拿大 ) Xian-Wen Kong( 英国 ) Xiao-Ping Du( 美国 )  
Xi-Chun Luo( 英国 ) Xu-Dong Zhao( 英国 ) Xun Chen ( 英国 )  
Y. Lawrence Yao( 美国 ) Yan Jin( 英国 ) Ye-Hwa Chen( 美国 )  
Yong Huang( 美国 ) Yong-Bo Deng( 德国 ) Yu-Chun Xu( 英国 )  
Zhao-Jie Ju( 英国 )

