



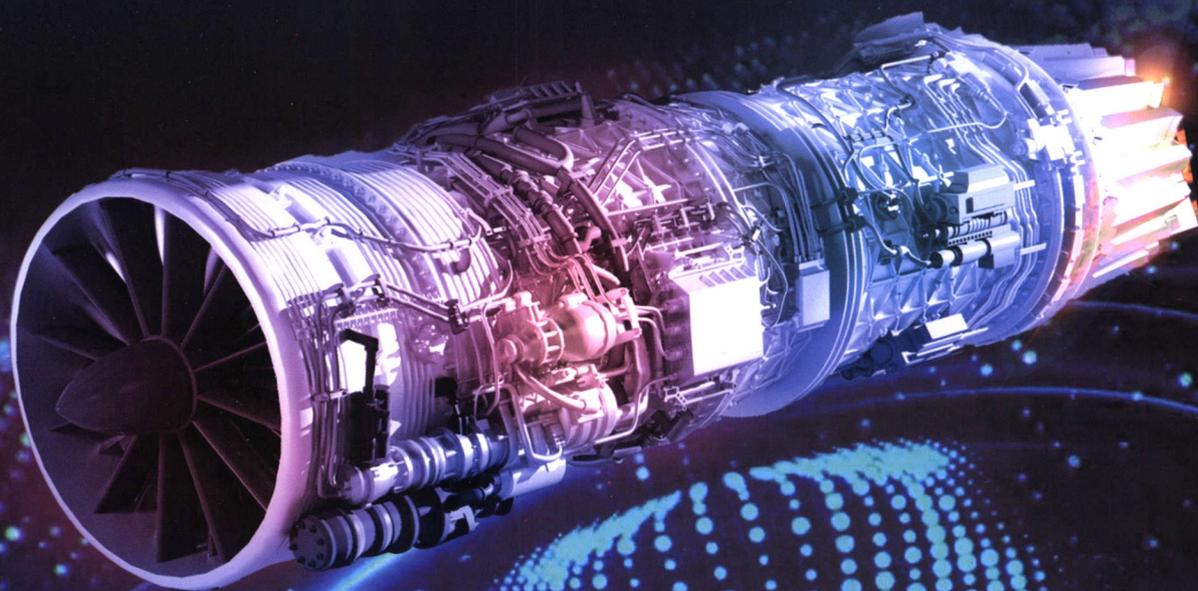
QK2057809  
CODEN CHHKA2

# 机械工程学报<sup>®</sup>

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

基于自适应天牛须算法的航空发动机管路布局优化

于嘉鹏 袁鹤翔 杨永华 张 硕 费 强



中国机械工程学会 主办

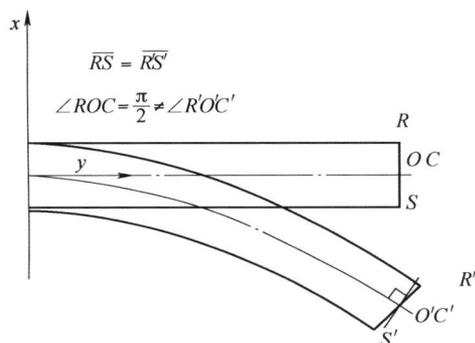
万方数据

56卷 **20**期 半月刊  
2020年10月

## /// 仪器科学与技术 ///

### 1 Timoshenko 梁的变形场重构及传感器位置优化

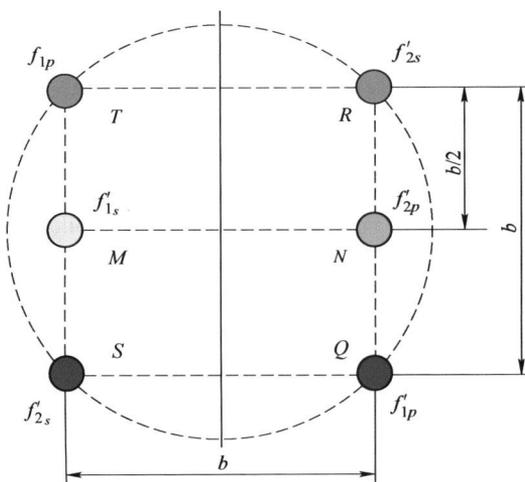
赵飞飞 曹开拓 保宏 高国明



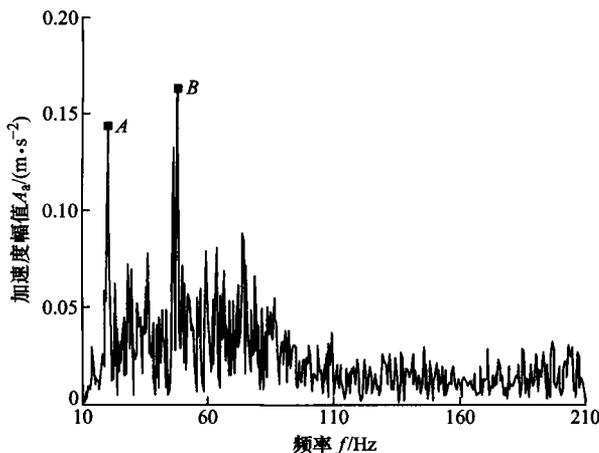
**摘要:** 针对 KO 位移理论仅适用于重构单方向位移场问题, 提出一种适用于六自由度位移场重构的新方法, 称之为“多维积分法”。依据 Timoshenko 梁的静力学平衡方程, 建立了位移、转角与外载荷之间的数学模型。并针对不同的外载荷环境, 推导出相应的应变场函数和位移场函数, 建立了表面应变与截面应变之间的转换关系。为了提升该方法的容差性, 以重构位移场的精确性和稳定性为优化目标, 建立了关于应变传感器位置的多目标粒子群优化模型。以机翼框架为试验平台, 对其进行有限元分析, 建立优化目标模型, 给出优化后的应变传感器的布置方案。并以此方案为依据, 分别利用有限元分析结果和实测梁表面应变值来重构位移场。试验结果表明, 提出的“多维积分法”在两种不同形式的外载荷作用下均呈现出较高的重构精度。

### 12 一种滚转角和直线度同步干涉测量方法的研究

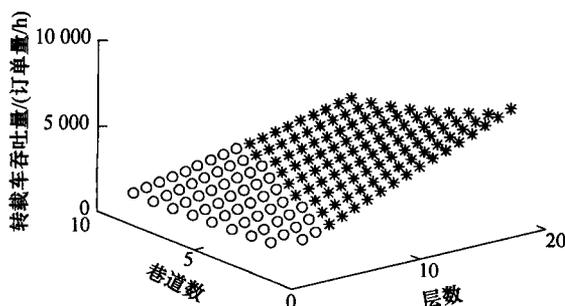
杨振堃 金涛 韩梦莹 候文玫



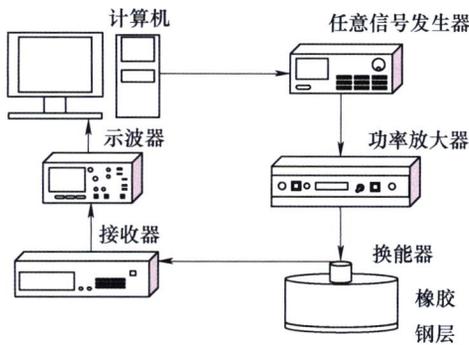
**摘要:** 提出一种用于精密线性位移台滚转角和运动直线度同步测量的激光外差干涉系统。该干涉系统由一个 Koster 棱镜、角隅棱镜、分光镜、1/2 波片、直角棱镜、1/4 波片以及楔面棱镜和楔面反射镜组成。楔面棱镜作为测量运动直线度和滚转角的传感器固定在线性导轨上, 当双频激光器的光射入干涉系统中后, 形成空间对称的六光束测量信号。空间结构对称、系统共光路的特点使光学分辨率比普通的迈克尔逊干涉仪高一倍, 光程死区达到最小。系统稳定性好, 抗环境干扰能力强。光路对称使得增加或减小的光程变化相同, 其他自由度引起的光程变化相互抵消, 仅有运动直线度和滚转角的变化可以进入光程差, 有效地排除其他自由度及阿贝误差的串扰, 实现高精度测量。试验证明相互平行且不同频率的两束光在同一反射系统中发生运动直线度偏移和滚转角变化时, 通过两束光携带的不同相位信息能直接得到运动直线度和滚转角的变化值。它不需要一条与行程同样长度的大反射镜作参考便能够实现高分辨率测量, 简单实用, 可直接溯源米定义。



**摘要:** 消防水炮自适应炮头可根据流体压力和流量变化自动调整炮口开度,从而显著提升其射流性能。考虑自适应炮头射流系统中流体的压力脉动,结合流体体积弹性模量与刚度间的关系,建立基于时变流体刚度的射流系统参数振动动力学模型,采用多尺度法推导脉动激励频率接近射流系统固有频率和固有频率与脉动频率的组合频率时的共振响应公式,分析射流系统的主共振和组合共振响应。结果表明射流系统发生主共振响应时,激励频率占主导成分,且接近一阶固有频率时系统共振幅值最大;射流系统发生组合共振响应时,激励频率与流体刚度波动频率的组合频率对系统响应的影响与流体脉动频率有关;主共振和组合共振将恶化系统的动力学行为。本项研究可为深入探索自适应炮头射流系统的动力学特性,优化不同工况环境下的设计参数提供理论依据。

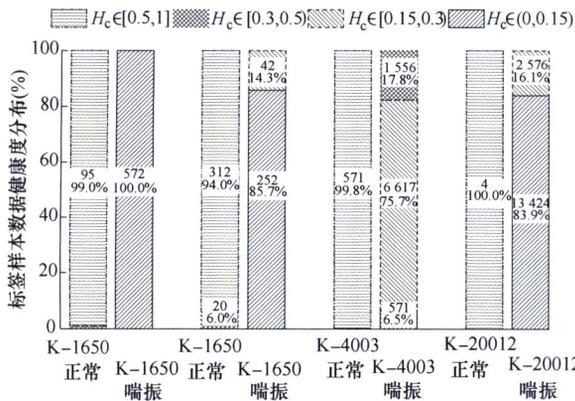


**摘要:** 物流配送中心订单响应速度的加快,对订单拣选系统提出了更高的要求。多层穿梭车系统因其柔性高、效率高等特点,近年来得到了广泛应用。多层穿梭车系统具有两种形式——基于转载车和基于环形输送线,二者均可实现货物的快速拣选,但在系统吞吐量和订单完成周期方面存在差异,致使企业决策者难以进行系统选择。基于上述原因,本文比较两种多层穿梭车系统的性能差异。建立两个系统的开环排队网络模型,然后求解系统吞吐量、订单完成周期,通过仿真验证了排队论模型的准确性,通过试验对两种系统的性能进行对比分析。结果表明,系统吞吐量与层数、巷道数相关,层数越多,巷道数越少,转载车系统相对于环线系统优势越显著;订单完成周期与层数、订单到达率相关,层数越多,订单到达率越低,转载车系统相对于环线系统越具优势。



**摘要:** 针对橡胶-钢粘接结构进行脱粘检测, 提出具有高检测灵敏度的谐振超声编码检测方法, 区别于传统脉冲压缩后取包络成像的方法, 谐振超声编码检测方法需要利用载频信息增强特征信号的能量。该方法从频域角度分析, 首先确定换能与编码信号的中心频率选择在钢层谐振频率附近, 然后根据线性调频信号与 Barker 码的旁瓣抑制特点选择特征信号的区间进行脉冲压缩。结果表明, 线性调频信号与 Barker 码相对于传统方波激励的脱粘检测灵敏度有了显著的提高, Barker 码相对于线性调频信号具有更可控的旁瓣抑制范围, 线性调频信号的带宽具有更灵活的选择范围。

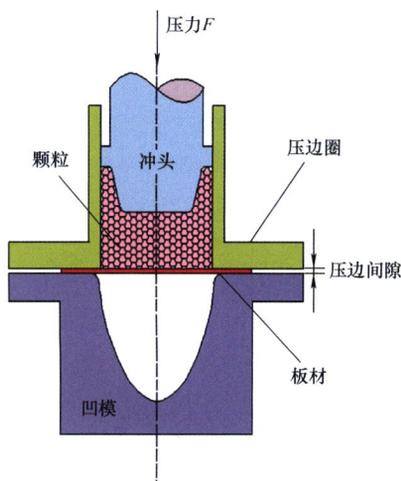
28 基于故障案例学习的设备健康评价方法研究



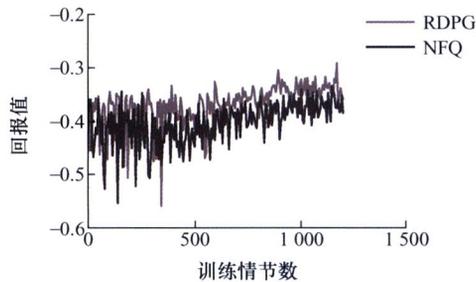
**摘要:** 从设备状态监测数据中分析、提取故障特征信息, 准确、快速地识别设备健康状态, 对于开展预测性维修, 确保设备运行可靠性、安全性非常重要。以离心压缩机为研究对象, 以正常状态的振动监测原始数据为参考数据, 构建了正常状态原始信号和实时监测信号的相关性健康指数模型、相干性健康指数模型、谱距离健康指数模型, 在针对健康指数模型开展大量故障案例学习、健康度分布统计分析基础上, 制定了设备健康评级准则, 形成数据驱动的机械设备健康评价方法, 揭示了离心压缩机健康度表征与运行状态的映射关系。应用轴承试验数据和离心压缩机转子不平衡故障案例数据, 分别验证构建的设备健康指数模型和健康评级准则的准确性、适用性。结果表明, 构建的健康指数模型能较好地表征设备运行状态, 与有效值和峰-峰值固定阈值报警方法相比, 构建的机械设备健康评级准则对于指导预测性维修更有实践意义。

材料科学与工程

38 抛物线壳体软模成形 FEM-DEM 耦合仿真研究



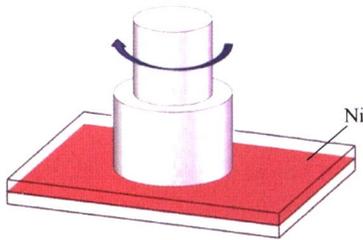
**摘要:** 针对一些形状复杂、具有局部特征的难变形薄壁构件的成形问题, 提出固体颗粒介质成形(Solid granules medium forming, SGMF)技术。并以薄壁的抛物线壳体零件为例, 分析零件的特征及成形难点; 基于 ABAQUS 平台, 自行编制程序对抛物线壳体 SGMF 成形过程进行有限元法(Finite element method, FEM)和离散元法(Discrete element method, DEM)耦合仿真分析, 探究不同摩擦因数对工件 SGMF 的影响。研究表明, FEM-DEM 耦合分析技术兼顾离散颗粒介质与连续体板材各自的变形特点, 能较准确模拟金属板材 SGMF 成形过程, 并采用该耦合分析技术确定该抛物线壳体零件的最佳成形工艺参数; 最后在模拟结果的基础上, 开展抛物线壳体零件的颗粒介质成形试验研究, 并成功试制出合格工件, 试验结果与 FEM-DEM 耦合模拟结果基本吻合。



**摘要:** 金属板材拉深过程中的压边力是决定成品质量的关键参数,传统压边力控制方法往往需要对高度非线性的拉深过程进行建模,导致其控制结果与实际存在较大偏差。提出一种基于深度强化学习与有限元仿真集成的金属板材拉深过程控制模型,利用深度神经网络强大的预测能力来提取拉深加工过程中的状态信息并进行可靠预测,结合强化学习的决策能力来进行压边力控制策略的学习优化,避免了精确系统动力学模型的拟合以及先验知识的获取。同时,针对板材拉深加工中常见的拉裂质量缺陷与起皱质量缺陷,建立拉深成形性能评价函数,为深度强化学习提供回报信号来指导学习过程,并利用有限元仿真构成深度强化学习的环境模型。试验表明,深度强化学习模型能够有效地进行压边力控制策略优化,有效提高产品质量。所提出的压边力控制模型利用无模型的深度强化学习,能避免拉深过程的系统模型拟合,可提高压边力控制策略的控制效果,同时结合循环神经网络能解决板材拉深加工过程中的部分可观察性问题。

## 59 无针搅拌摩擦点焊材料流动行为及其与接头宏观形貌、晶粒特征的相关性

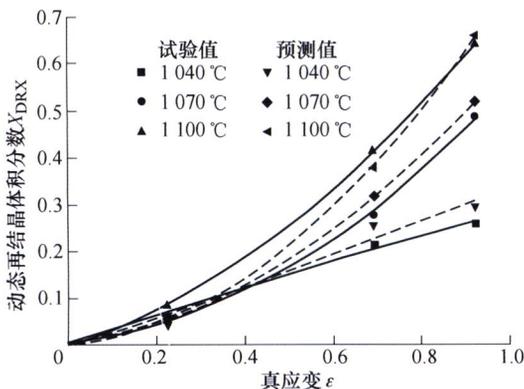
丁旺震 张 勇 芦 甜 王溥泽 褚 强 李文亚



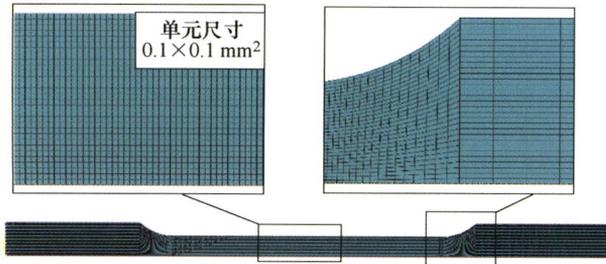
**摘要:** 搅拌摩擦焊接头材料流动行为是优化焊接工艺的根本所在,目前关于无针搅拌摩擦点焊流动行为尚未形成统一的认识。以 0.02 mm 镍箔为示踪材料,采用轴肩端面具有渐开线凹槽的无针搅拌头,改变旋转速度和焊接时间进行 1.8 mm 厚 2198-T8 铝锂合金搭接搅拌摩擦点焊试验,借助微焦点锥束三维 CT 设备、扫描电镜等测试手段,研究材料流动行为及其对接头宏观形貌、晶粒特征的影响。结果表明,轴肩下方的金属在轴肩挤压和摩擦热作用下先软化,以螺旋形向下向内流动形成搅拌区;随着焊接时间的延长,搅拌区金属向上和向外流动增强,致使搅拌区外缘界面翘曲,形成 Hook 缺陷。随旋转速度或焊接时间增大,搅拌区金属向下和向上向外流动加剧,焊核的深度和直径增大、晶粒更细小;下板金属软化程度加强,搅拌区外缘下板更多的塑化金属向上向外流动,致使 Hook 更翘曲。研究结果为深入了解无针搅拌摩擦点焊材料流动行为和优化焊接工艺提供了理论基础。

## 66 BT25 钛合金动态再结晶行为的元胞自动机模拟

冯 瑞 王克鲁 鲁世强 李 鑫 欧阳德来 周 璇 钟明君



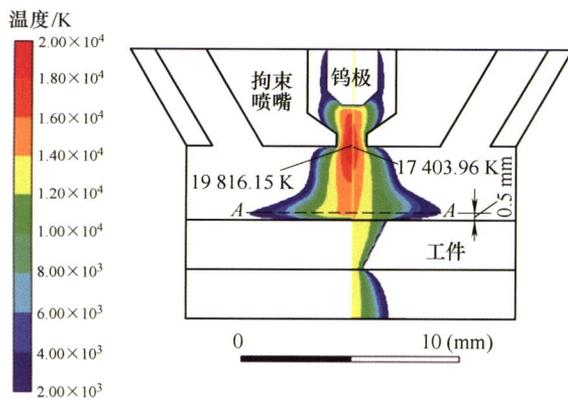
**摘要:** 为研究热加工工艺参数对钛合金塑性成形过程中微观组织的影响,利用 Gleeble-3500 型热模拟试验机对 BT25 钛合金进行单道次等温恒应变压缩试验。分析真应力-应变曲线,建立 JMAK 动态再结晶动力学方程;通过对热变形行为的分析,推导出钛合金的位错密度模型、再结晶形核和晶粒长大模型;结合元胞自动机的算法,建立元胞自动机(Cellular automata, CA)模型并利用该模型模拟和验证了 BT25 钛合金热变形过程中动态再结晶行为。结果表明, BT25 钛合金的流动应力对应变速率和变形温度非常敏感;提高变形温度或降低应变速率均有利于材料发生动态再结晶;CA 模型模拟晶粒尺寸误差约为 3%,预测 DRX 体积分数误差在 10% 以内。该模型具有良好的预测精度,为合金材料在塑性加工过程中优化工艺参数和控制锻件微观组织演变提供了可靠性依据。



**摘要:** 为合理描述 6061-T651 铝合金的应力流动行为, 利用万能材料试验机和霍普金森压杆, 分别进行准静态、高温和高应变率下的材料力学性能测试, 获得材料在不同条件下的应力应变曲线。基于试验结果, 修正 Johnson-Cook 本构模型得到 MJC(Modified Johnson-Cook)模型, 并标定 MJC 模型各项参数。为校验 MJC 模型及参数的有效性, 利用一级气炮发射直径为 5.95 mm 的圆柱弹体冲击刚性靶的 Taylor 杆试验以及直径为 12.68 mm 的刚性弹撞击厚度为 2 mm 靶板的试验。最后, 采用 ABAQUS/Explicit 有限元软件建立 Taylor 杆和弹靶冲击试验的三维模型, 基于 MJC 本构模型进行 Taylor 杆冲击、以及结合 MMC(Modified Mohr-Coulomb)断裂准则进行弹靶冲击的数值模拟计算。研究表明, 修正的 MJC 本构模型能够有效地描述 6061-T651 铝合金材料在大应变、高应变率 and 高温下材料的应力流动行为和变形行为。

## 82 等离子弧焊匙孔对电弧物理特性影响规律的研究

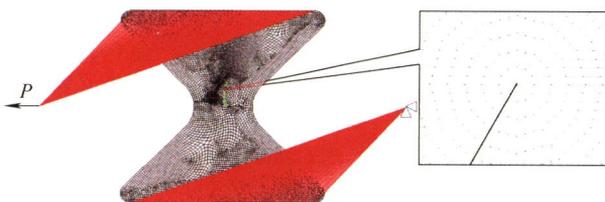
忻建文 吴东升 李芳 张跃龙 华学明



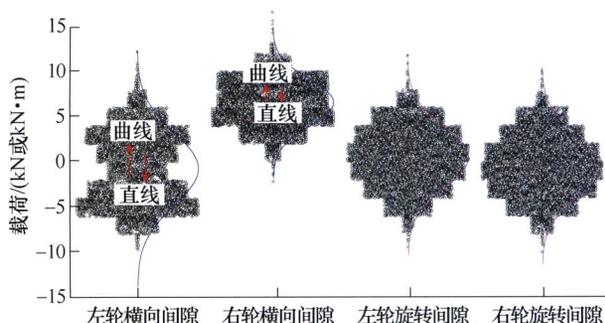
**摘要:** 匙孔是等离子弧焊的重要特征。建立等离子弧焊电弧数值模型, 对比分析含匙孔和不考虑匙孔的两种情况下, 电弧温度场、流场、电磁场等物理特性的差异性, 揭示匙孔对等离子弧物理特性的影响规律。采用光谱诊断方法计算电弧温度分布, 从而验证模拟结果。数值模拟研究表明, 匙孔的出现, 导致电弧体积增大, 弧柱区平均电流密度下降, 从而导致电弧最高温度降低约 2 400 K, 等离子体最大流速从 437 m/s 降低到 349 m/s。匙孔直径沿匙孔深度方向减小, 对电弧产生附加的机械压缩作用, 使匙孔底部电弧的温度和速度上升。数值模拟与光谱诊断获取的轴线上温度大小及变化规律相接近, 证明电弧数值模型的可靠性, 也说明建立等离子弧数值模型时, 应当考虑匙孔的影响。

## 88 30Cr2Ni4MoV 转子钢 II 型裂纹的疲劳扩展行为

祁爽 蔡力勋 包陈 刘晓坤

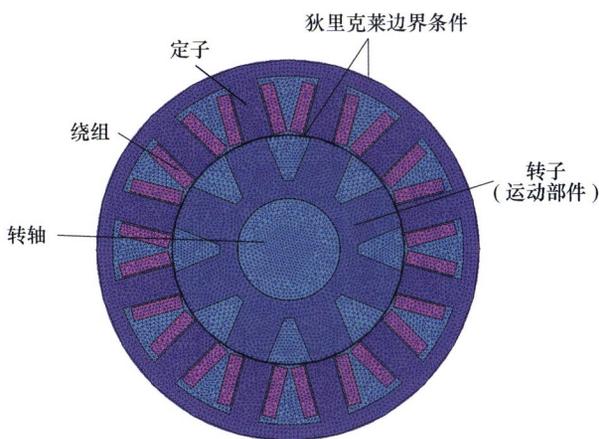


**摘要:** 材料疲劳裂纹扩展(Fatigue crack propagation, FCP)速率是表征材料抗疲劳破坏的重要力学性能指标, 是对核反应堆工程、化工、航空、航天、高铁等关键工程进行结构完整性评价的重要依据。采用 Arcan 试样对 30Cr2Ni4MoV 转子钢的 II 型裂纹疲劳扩展行为进行研究, 结合已有裂纹扩展方向预测准则对 II 型裂纹疲劳扩展方向进行预测, 结果表明, 最大周向应力准则可以较好地预测 II 型裂纹疲劳扩展方向。采用紧凑拉伸(Compact tension, CT)试样获取 30Cr2Ni4MoV 转子钢的 I 型裂纹疲劳扩展速率, 对比 I 型裂纹和 II 型裂纹的疲劳扩展试验获得的 FCP 速率与  $J$  积分范围关系趋势, 二者较为接近。针对 30Cr2Ni4MoV 转子钢, 依据 Arcan 试样获得的 II 型裂纹疲劳扩展速率试验结果可用于结构裂纹扩展剩余寿命的预测。

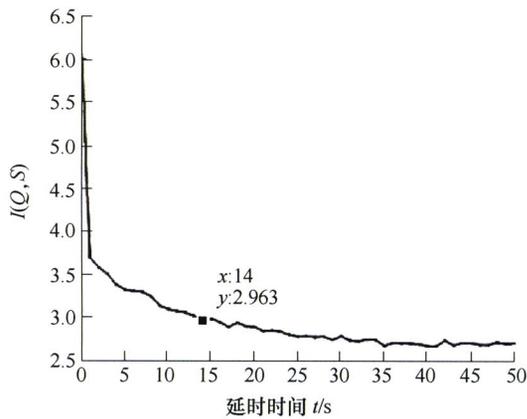


**摘要:** 高速列车通过改变轮对的内侧距实现在不同轨距线路上联运, 而轮轴装配间隙及轨距、轨底坡、钢轨廓形等参数变化将引起轮轨接触关系改变, 进而引起车辆动力学性能变化。分析我国两种高速踏面在准轨和宽轨线路上的轮轨接触关系发现, 轨底坡由 1/40 变为 1/20 时, LMA 踏面等效锥度降低约 30%, LMB 10 踏面可兼容两种轨底坡, 磨耗后的踏面对轨底坡变化更敏感。理论公式推导表明准轨和宽轨线路上自由轮对、刚性和柔性定位转向架的蛇行频率相同, 但含轮轴间隙的变轨距高速列车动力学模型仿真表明, 间隙导致宽轨线路上的车辆稳定性略差, 间隙达到 0.6 mm 时发生低速小幅蛇行; 间隙对车辆运行安全性和平稳性影响仅 9%。因宽轨线路的欠超高量大和车辆稳定性差, 其运行安全性和横向平稳性比准轨差 15%和 38%。间隙横向力与轮轨横向力幅值相同但反向, 造成轮对内侧距动态变化; 左右侧旋转间隙扭矩的幅值相同但反向, 在纵向蠕滑力作用下间隙压死-分离状态反复。研究成果有助于掌握变轨距转向架的轮对内侧距动态变化、间隙载荷和车辆动力学性能。

106 开关磁阻电机结构性转矩脉动抑制方法

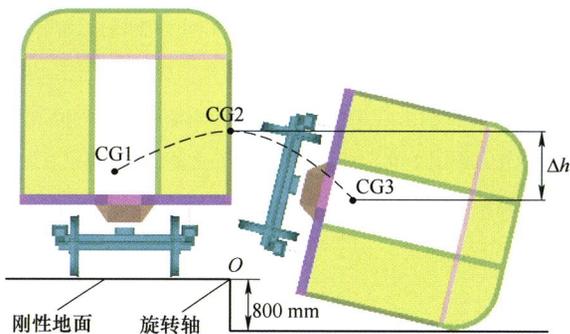


**摘要:** 开关磁阻电机具有结构简单、成本低和调速范围广等优势, 但其双凸极结构和控制器的开关特性, 导致存在转矩脉动现象, 使得抑制转矩脉动成为焦点问题。首先从开关磁阻电机的结构和运行机理出发, 针对线性解析方法难以分析转矩特征的问题, 建立电机有限元模型求解出转矩特征并进行样机验证试验。分析样机结构参数对转矩脉动的影响, 针对结构参数耦合问题, 选择 NSGA-II 算法在参数优化平台上对样机结构参数进行多目标寻优, 在保证优化后样机的转矩脉动系数和平均转矩均优于初始电机的条件下, 最终获得样机最优化结果。结果表明, 不同结构参数对电机转矩的影响有较大的差异, 对结构参数的优化能有效地抑制转矩脉动, 该参数优化方法可以为开关磁阻电机结构性转矩脉动抑制提供参考。



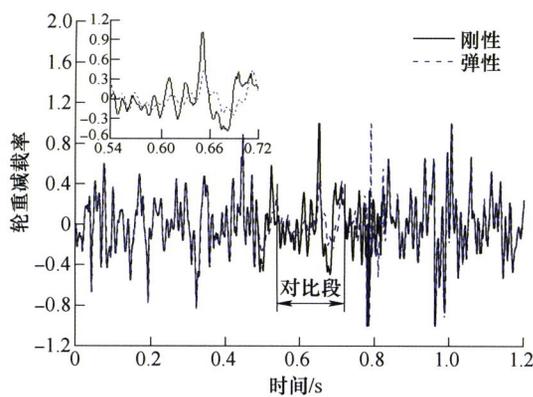
**摘要:** 根据不同驾驶员的不同驾驶习惯对自动变速器换挡策略进行适应优化。在对驾驶员驾驶操纵行为分析的基础上, 提出基于相空间重构与驾驶习惯评价指数的驾驶习惯识别方法实现驾驶习惯识别。首先利用相空间重构方法对驾驶操纵信号时间序列进行相空间重构, 建立基于关联维数和 Kolmogorov 熵的驾驶习惯评价指数进行驾驶习惯识别与换挡修正控制, 根据不同的驾驶习惯选择不同的换挡修正系数, 以满足驾驶员的不同换挡需求。仿真与实车试验表明, 基于相空间重构方法和驾驶习惯评价指数的识别方法可准确识别驾驶员的驾驶习惯, 基于驾驶习惯识别的换挡修正控制策略可有效完成对车辆自动变速换挡规律的修正, 充分满足不同驾驶员对车辆换挡性能的不同需求, 提高车辆自动变速的智能化程度。

134 机车车辆端部结构拓扑-参数一体化优化方法

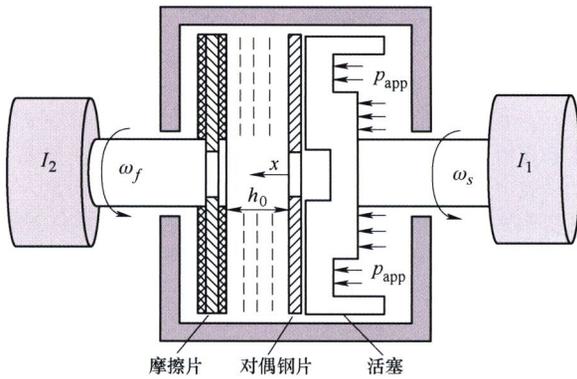


**摘要:** 拓扑优化方法广泛用于获取结构的优化构型, 而参数优化方法用于具体结构参数的取优, 为了整合这两种方法的优势并提供一体化优化方案, 以机车车辆端部结构被动安全性为研究对象, 提出一套可以同时考虑静态和动态载荷作用, 适用于大尺寸结构的拓扑-参数优化方法。该方法的拓扑优化部分采用缩放能量权重的混合元胞自动机方法对端部结构进行综合耐撞性和刚度评估的拓扑优化设计, 有效解决拓扑优化多工况中由于能量差异而导致的结果偏差; 参数优化部分结合网格变形技术和自适应模拟退火优化算法对结构进行给定接触力约束条件下的参数优化。具体算例结果表明, 利用该方法优化后机车车辆在正面碰撞中的关键接触力峰值下降 26.2% ~ 46.3%, 变形模式更趋于合理; 在侧翻碰撞中乘客生存区间的上下部安全距离分别增加 24.8%和 12.8%。

146 高速轨道结构振动及传递特性

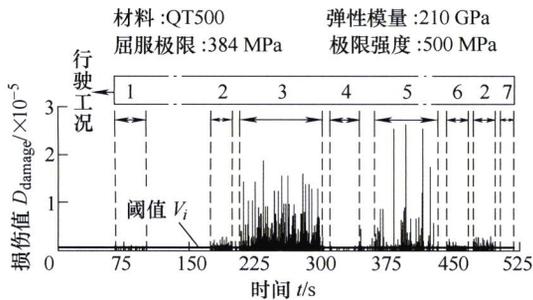


**摘要:** 高速列车的快速发展使板式无砟轨道得以广泛应用。利用有限元分析软件 ANSYS 和多体动力学软件 SIMPACK, 建立车辆-弹性轨道耦合动力学模型, 分析车辆运行的安全性和平稳性, 研究轨道系统的位移、加速度、加速度功率谱密度、载荷特性, 以及不同速度对轨道系统的振动影响, 并对系统振动的主要影响因素进行初步探究。结果表明, 轨道结构的垂向振动位移、加速度及载荷在由上至下传递过程中呈递减趋势, 且钢轨到轨道板的衰减幅度大于轨道板到底座; 轨道系统的振动能量主要集中在 0~150 Hz 范围内, 大于 300 Hz 的钢轨振动能量经扣件衰减后基本未被向下传递, 且速度升高, 功率谱密度峰值出现的位置向右移动; 速度为 300 km/h 时, 钢轨垂向加速度功率谱密度小于 100 Hz 的峰值频率主要与钢轨固有模态有关, 大于 100 Hz 的峰值频率呈倍频关系, 且与轨道系统固有属性相关。联合仿真提高了研究效率, 揭示了车辆-轨道系统的垂向振动特性及传递规律, 为工程应用提供了参考依据。



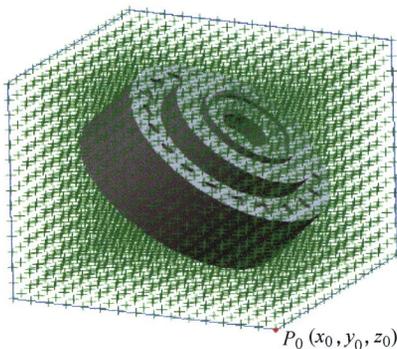
**摘要:** 润滑油的温度变化会改变自身黏度, 从而影响摩擦元件的润滑和接触状态, 对离合器的动力响应产生显著影响, 因此需要研究润滑油温度对湿式离合器摩擦转矩特性的影响。考虑离合器的流体润滑、粗糙接触、动力响应和热量传导, 建立一个多物理场耦合的热力学模型; 根据润滑油与离合器之间的换热特性, 采用集总参数法得到离合器的平均温升。离合器台架试验验证所建立数值模型的准确性。结果表明在离合器的接合过程中, 摩擦转矩的变化可分为三个阶段, 即接合准备阶段 A、缓慢变化阶段 B 和指数增长阶段 C。润滑油温度主要影响阶段 B 的摩擦转矩。在阶段 B 早期, 润滑油温度越高, 黏性转矩越小, 接触转矩越大。随后, 润滑油温度的升高减缓黏性转矩的下降趋势, 促进接触转矩的增加, 从而促进摩擦转矩增长率的增加。为了保证离合器在阶段 B 的摩擦稳定性, 最佳的润滑油温度范围为 80~100 °C。

164 汽车底盘耐久性载荷加速编辑策略

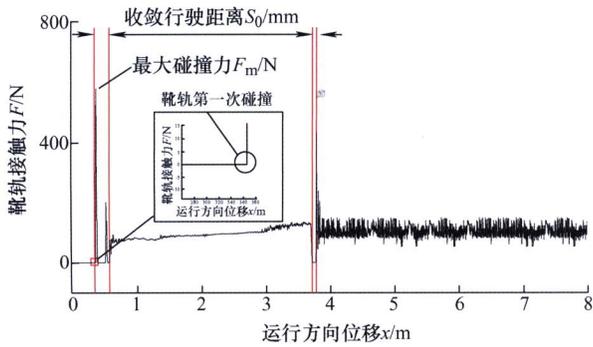


**摘要:** 载荷谱编辑方法和损伤保留比例共同影响载荷编辑质量。以试验场实测转向节应变数据为参照, 应用损伤保留编辑法和小波变换编辑法, 获取不同损伤保留比例的轮心 6 分力信号加速谱。从压缩效率、功率谱密度、穿级计数、雨流计数和统计参数方面分析编辑方法和编辑参数对加速谱质量的影响。通过疲劳仿真对比不同编辑方案对零件疲劳分析精度和分析效率的影响。结果表明, 损伤保留比例设定不低于 90% 是保证载荷谱编辑质量的前提。损伤保留编辑法和小波变换编辑法的疲劳分析精度接近, 但损伤保留编辑法的加速效果更佳。采用损伤保留编辑法保留原始载荷 95% 损伤量为最佳编辑方案, 加速谱的时间压缩近 50%, 疲劳寿命仿真误差控制在 5% 以内且仿真效率提高 215%, 为提高耐久性载荷的编辑质量提供参考。

174 基于自适应天牛须算法的航空发动机管路布局优化

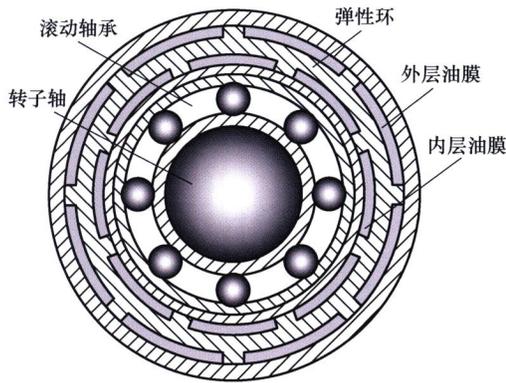


**摘要:** 针对航空发动机外部管路系统设计过程中布局效率和空间利用率较低的问题, 提出一种基于自适应天牛须搜索算法的管路自动布局方法。该方法在原算法的基础上加入自适应变步长机制, 使其在具有高效性的同时能搜索到更优的解。在描述复杂空间障碍物时, 采用将附件和管路分开建模的方式, 一方面建立机匣附件的轴向包围盒, 并在包围盒内部构建小范围的附件栅格信息矩阵; 另一方面, 对已布局管路分段处理后采用线段求交的方式做出干涉性判断, 在此基础上根据某种度量选择本条管路的避障策略, 以达到充分利用敷设空间的目的。建立管路布局问题的数学模型, 并以管路长度和压力损失作为优化目标完成路径的规划过程。最后, 通过仿真实例证明所提方法的可行性。

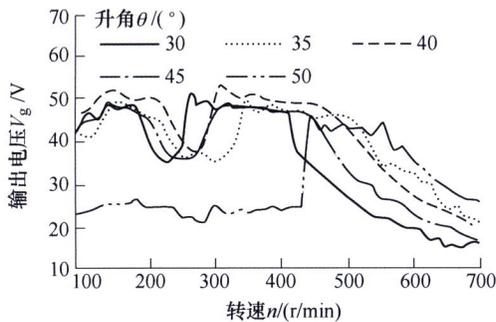


**摘要:** 基于 Ls-Dyna 有限元仿真平台建立准高速(160 km/h)运行条件下受流器通过第三轨端部弯头及轨缝错牙区域的有限元模型, 分析不同运行速度、不同结构参数对受流器靴轨冲击振动响应的影响规律。研究表明, 增大受流器系统阻尼是改善碰撞冲击响应的最佳手段。为进一步探究系统阻尼对准高速运行条件下常态振动工况的影响规律, 基于 MATLAB/Simulink 平台建立受流器多体动力学模型, 计算结果表明, 合理增加受流器系统阻尼, 可有效提高准高速运行条件下受流器滑靴与第三轨的匹配性能。根据上述研究结果提出一种第三轨受流器的适应改进方案, 使其能够满足 160 km/h 高速运行要求。

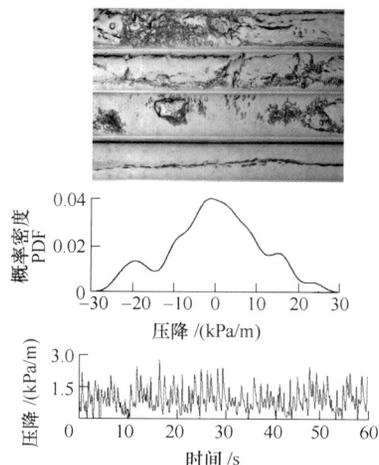
/// 可再生能源与工程热物理 ///



**摘要:** 弹性环式挤压油膜阻尼器结合挤压油膜阻尼器和弹性支承的优点, 其结构更为紧凑, 为能进一步明确其动力学机理, 在充分考虑油膜和弹性环之间相互作用的情况下, 建立弹性环式挤压油膜阻尼器双向流固耦合模型, 通过数值模拟, 研究弹性环凸台高度、宽度、数目和在总间隙不变的情况下不同内外层油膜间隙以及弹性环的弹性模量等对该型阻尼器动力学特性的影响。结果表明, 外层油膜对刚度的贡献大, 内层油膜对阻尼的贡献大, 相对较小的内层油膜间隙且较大的外层油膜间隙, 有利于增加油膜阻尼而抑制油膜刚度非线性。随着弹性环凸台宽度、高度、数目的减小或弹性模量的增加, 内外层油膜刚度和阻尼均增加, 其中弹性环的弹性模量对该型阻尼器的动力特性影响相对较小。以上研究将为弹性环式挤压油膜阻尼器的设计、使用和维护提供参考。



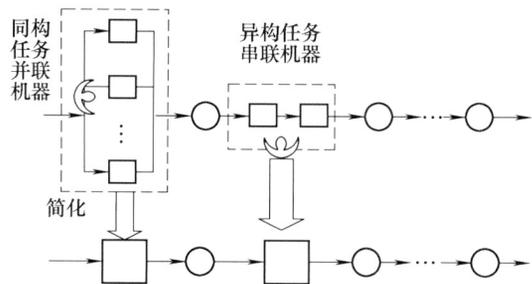
**摘要:** 为提高旋转式压电发电机的可靠性及有效带宽, 提出一种限幅激励式压电发电机, 利用凸轮激励压电振子使其发生幅值可控的单向变形。从理论和试验两方面研究凸轮升程与升角、激振力及弹簧刚度等对发电机输出性能的影响规律。研究表明, 利用移动凸轮限幅激励压电振子可获得无明显峰值、较平坦的电压幅频特性曲线; 其他条件相同时, 降低凸轮升程有助于降低最大输出电压、拓宽有效转速带宽, 凸轮升角(30°~45°)增加对最大输出电压无影响、但可拓宽有效转速带宽, 增加激振力可拓宽某一输出电压所对应的有效带宽, 复位和缓冲弹簧刚度对有效转速带宽及转速值都有一定的影响, 当复位弹簧刚度 50 N/m、缓冲弹簧刚度 20 N/m、激励距离 8 mm、凸轮升程 2 mm、升角为 40°时, 输出电压大于 30 V 所对应的有效转速范围为 0~537.6 r/min, 故通过合理匹配系统参数可有效提高发电机的可靠性及有效带宽; 存在最佳电阻使发电机输出功率达到最大值, 最佳电阻 70 kΩ、转速 392 r/min 时的输出功率为 10.88 mW。



**摘要:** 气液衰减螺旋流在工业中应用广泛,但是对其中的关键问题,衰减影响下的螺旋流发展运动规律认识不清。通过室内试验研究空气-水两相流在内径 25 mm、长 4 m 的水平管中流型和压降沿流向的变化规律。通过可视化试验获得叶片式起旋器下游不同位置处的螺旋流流型,测量下游沿流向不同区间的压降波动信号。试验发现,在离心力作用下,螺旋流中气液相界面发生重构,形成螺旋流中特有流型。但是由于离心力的衰减,导致螺旋流流型不断变化,逐渐转变成非螺旋流流型。流动压降沿流向逐渐降低,最终趋于非螺旋流压降;不同螺旋流流型的维持距离不同,同时也受来流气液相雷诺数的影响。基于流型及压降分析,获得起旋器下游不同位置处的螺旋流流型图。

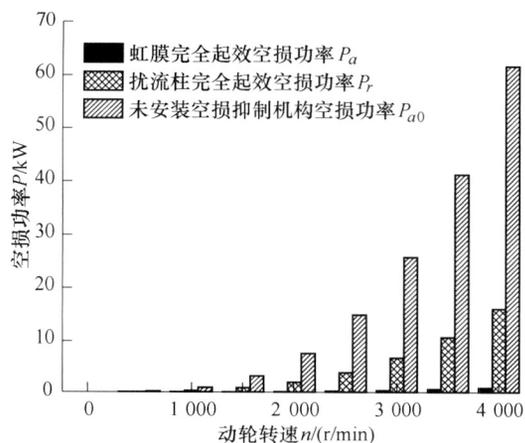
交叉与前沿

223 制造系统可靠性分析的框架与动力学机制



**摘要:** 制造系统可靠性的研究已有几十年的历史,但相关研究所界定的研究范畴模糊,缺乏统一的分析框架,容易与传统的设备系统可靠性研究发生混淆。在文献研究的基础上,对制造系统的定义和内涵进行分析,并据此重新阐释制造系统性能与可靠性概念之间的区别和联系。从设备-工艺孪生的角度重新定义制造系统的概念,并指出在制造系统可靠性研究中忽视系统中人的作用的制造系统描述是不完备的。基于功能视角,重新定义了制造系统失效模式,建立制造系统可靠性分析的框架,阐述制造系统可靠性随时间变化机制的研究方法。研究指出大数据方法将是未来制造系统可靠性研究的重要方法之一。

237 液力缓速器虹膜空损抑制方法研究



**摘要:** 为有效抑制液力缓速器空转功率损失,参考虹膜光圈机构的特点,提出一种新型的虹膜式空损抑制方法,通过虹膜机构阻隔循环圆气流过流通径来抑制空损功率。建立虹膜式空损抑制机构完全起效及未起效两种工况下的液力缓速器全流道计算模型,通过不同转速全气相流动的数值模拟对比研究,获取液力缓速器空损转矩、空损功率特性与内流场速度场、压力场分布。仿真结果表明,虹膜机构完全起效时能够有效隔断动轮和定轮间的气体循环流动以降低功率损失,当动轮转速为 4000 r/min 时,虹膜机构完全起效空损功率为 0.8 kW,与无空损抑制机构时的空损功率 61.6 kW 相比,降低至 1.3%;与现有的扰流柱空损抑制机构完全起效时的空损功率 15.8 kW 相比,降低至 5.1%。设计缓速器台架试验,验证虹膜机构完全起效时能够显著抑制空转损失,从而大幅提升车辆行驶的功率利用率。

**CONTENTS**

- 1 Deformation Field Reconstruction of Timoshenko Beam and Optimization of Sensor Placement**  
ZHAO Feifei CAO Kaituo BAO Hong GAO Guoming
- 12 A Research of Roll and Motion Straightness Synchronous Measurement Based on an Interferometer**  
YANG Zhenkun JIN Tao HAN Mengying HOU Wenmei
- 22 Resonant Ultrasonic Coded Method for Rubber-steel Bonded Structure**  
WANG Qiang MAO Jie LI Wei LIAN Guoxuan
- 28 Research on Equipment Health Evaluation Method Based on Fault Case Learning**  
WANG Qingfeng LI Zhong XU Shujian CHEN Wenwu
- 38 FEM-DEM Coupling Analysis and Experimental Research on Soft Forming of Parabolic Shell**  
CAO Miaoyan HU Han TIAN Shaojie DU Bing ZHAO Changcai
- 47 Control of Deep Drawing Process Based on Integration of Deep Reinforcement Learning and Finite Element Method**  
GUO Peng ZHANG Xinyan YU Jianbo
- 59 Materials Flow Behavior during Probeless Friction Stir Spot Welding and Its Correlation with Macroscopic Morphology and Grain Characteristics of Joints**  
DING Wangzhen ZHANG Yong LU Tian WANG Puze CHU Qiang LI Wenya
- 66 Cellular Automaton Simulation of Dynamic Recrystallization Behavior in BT25 Titanium Alloy**  
FENG Rui WANG Kelu LU Shiqiang LI Xin OUYANG Delai ZHOU Xuan ZHONG Mingjun
- 74 Dynamic Mechanical Properties and Modification of J-C Constitutive Model of 6061-T651 Aluminum Alloy**  
DENG Yunfei ZHANG Yong WU Huapeng ZENG Xianzhi
- 82 Influence Mechanisms of Keyhole on the Arc Characteristics in Plasma Arc Welding**  
XIN Jianwen WU Dongsheng LI Fang ZHANG Yuelong HUA Xueming
- 88 Fatigue Propagation Behavior of Mode II Crack of 30Cr2Ni4MoV Rotor Steel**  
QI Shuang CAI Lixun BAO Chen LIU Xiaokun
- 98 Dynamic Performance of High-speed Gauge-changeable Railway Vehicle**  
SHI Huailong GUO Jinying WANG Yong

- 106 Structural Torque Ripple Suppression Method of Switched Reluctance Motor**  
CHEN Jiqing XIAN Haolan LAN Fengchong LIANG Qiaodan
- 120 Driving Habit Recognition and Shifting Correction Control of Vehicle Automatic Transmission**  
XIA Guang ZHANG Yang WEI Zhenya TANG Xiwen CHEN Wuwei
- 134 Holistic Topology-parameter Optimization Method for the Rail Vehicle End Structure**  
LIU Fengjia TANG Zhao ZHANG Jianjun
- 146 Vibration Characteristics and Transmission of High-speed Track Structure**  
XIN Xin REN Zunsong LI Xiang
- 155 Influence of the Temperature of Lubricating Oil on the Friction Torque of Cu-based Wet Clutch**  
YU Liang MA Biao CHEN Man ZHANG Cunzhen WU Junfeng
- 164 Accelerating Edition Strategy of Load Spectrum for Durability Analysis of Automotive Chassis**  
DONG Guojiang HAN Jie YAN Feng ZHANG Meng
- 174 Aero-engine Pipe Layout Optimization Based on Adaptive Beetle Antennae Search Algorithm**  
YU Jiapeng YUAN Hexiang YANG Yonghua ZHANG Shuo FEI Qiang
- 185 Dynamic Contact Analysis of Current Collector Shoe and Third Rail under Quasi High Speed Condition**  
XIANG Xiaodi LUO Xiangping GONG Zheng TIAN Shiqiao
- 195 Study on Dynamic Characteristics and Modeling of Elastic Ring Squeeze Film Damper Based on Fluid-structure Interaction**  
ZHOU Hailun ZHANG Chenshuai AI Yanting SUN Dan CHEN Xi
- 206 Structure and Performance of Piezoelectric Generator with Amplitude Limit**  
WANG Shuyun ZHU Yana KAN Junwu ZHANG Zhonghua HUANG Leshuai YANG Zemeng
- 214 Development of Flow Pattern and Pressure Drop in Gas-liquid Swirl Flow inside Horizontal Pipe**  
LIU Wen LI Huazheng WANG Xue WANG Shuli
- 223 Framework and Dynamic Mechanism of Reliability Analysis of Manufacturing System**  
KONG Fansen
- 237 Study on an Iris Idling Power Loss Suppression Method in Hydrodynamic Retarder**  
WEI Wei LIU Tangzhu YAN Qingdong AN Yuanyuan
- 246 Research on Parameter Vibration of Adaptive Head Jet System of Fire Water Monitor Considering Pressure Pulsation**  
YUAN Xiaoming WANG Chu ZHAO Shiyi ZHANG Lijie
- 255 Comparative Analysis of Performance for Two Kinds of Automated Vehicle Storage/ Retrieval Systems**  
QIN Caiyun WU Yingying WU Yaohua LIU Ziwei

# 《机械工程学报》第十一届编委会

## 名誉主任

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(院士)  
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(院士) 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(院士) 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(院士) 项昌乐(院士) 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(院士) 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(院士) 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(院士)  
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)		



ISSN 0577-6686



9 770577 668200

20