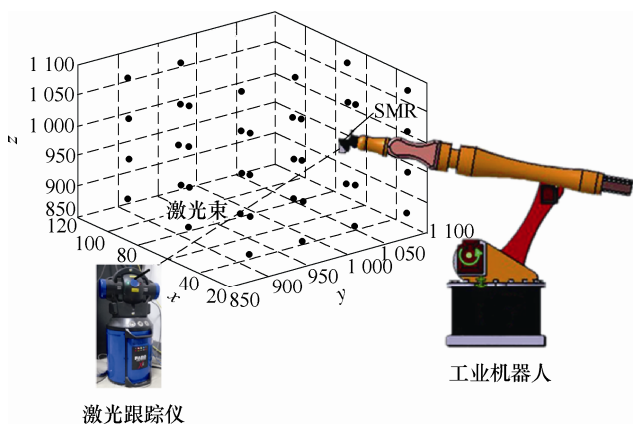


## /// 仪器科学与技术 ///

### 1 KUKA 工业机器人位姿测量与在线误差补偿

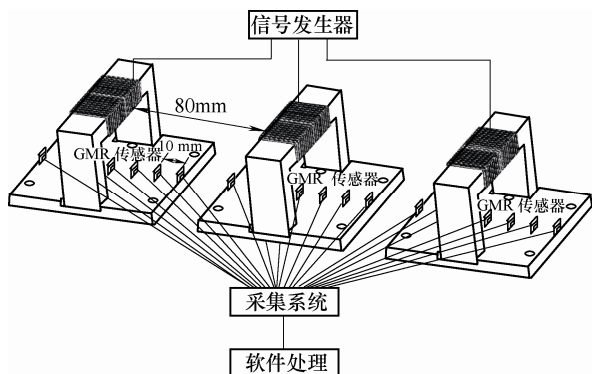
史晓佳 张福民 曲兴华 刘柏灵 王俊龙



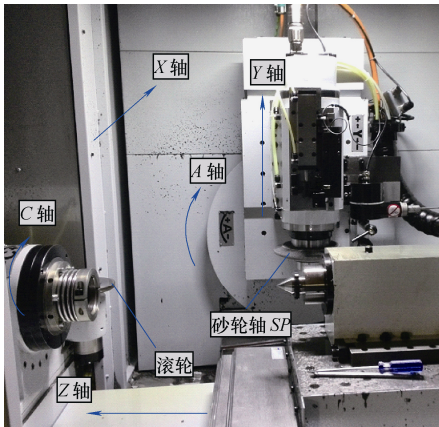
**摘要:** 工业机器人因其良好的重复定位精度而被广泛应用于堆垛、搬运、焊接等工业领域,但其绝对定位精度低,限制了其在高精度制造领域的应用。通过构建工业机器人误差测量与在线补偿闭环控制系统,对工业机器人的误差进行在线补偿。该方法综合考虑了几何参数和非几何参数引起的误差,提高了其位姿精度。研究基于 KUKA 机器人传感器接口(Robot sensor interface, RSI)进行位姿误差补偿的性能。通过研究 KUKA 机器人末端姿态的表示方式,提出一种基于激光跟踪仪测量工业机器人末端姿态的方法,并设计试验研究机器人在其工作空间的位姿误差特点。对搭建的闭环控制系统进行位姿误差补偿试验验证了该系统的位姿补偿效果。试验结果表明,经过第二次在线误差补偿后,其绝对定位精度由原先的 0.628 mm 提升到 0.087 mm,姿态精度接近 0.01°。

### 8 基于 ACFM 的隔水管表面裂纹链式阵列检测探头设计与试验研究

李伟 袁新安 陈国明 葛玖浩 贾廷亮 姜永胜



**摘要:** 隔水管是海洋钻井的关键设备,由于经受复杂交变应力和腐蚀环境,隔水管很容易产生应力腐蚀裂纹。针对海洋钻井隔水管应力腐蚀裂纹的特点,提出一种基于交流电磁场检测(Alternating current field measurement, ACFM)的链式阵列检测探头,建立针对隔水管表面裂纹的 ACFM 仿真模型,提取裂纹特征信号并分析 U 形载流磁心激励区域和裂纹区磁场影响范围,为阵列探头设计提供理论支持,在此基础上利用巨磁电阻(Giant magneto resistance, GMR)传感器设计基于 ACFM 的隔水管表面裂纹链式阵列检测系统,并开展隔水管裂纹检测试验。仿真和试验结果表明:单个 U 形磁心的激励区域为 $\pm 40$  mm,阵列激励磁心的设计间距应不大于 80 mm;裂纹上方畸变磁场影响区域为 $\pm 5$  mm,传感器排布间距应不大于 10 mm;利用 GMR 传感器设计的链式阵列 ACFM 探头可快速大面积定量、定位检测隔水管表面裂纹。

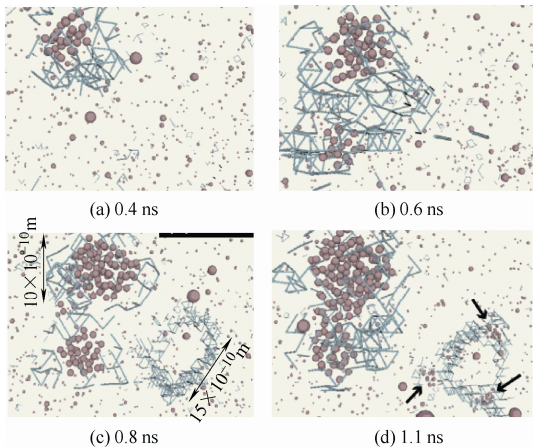


**摘要:** 矩独立重要性测度分析能够反映输入参数的不确定性对响应输出统计特征的影响程度。使用传统的数字模拟法计算重要性测度需要大量样本, 计算效率低, 限制了其在工程问题中的应用。针对这一问题, 提出一种高效的嵌套点估计方法计算两种矩独立重要性测度, 将传统的双层循环求解转化为单层循环求解, 大大提高了计算效率。该方法不依赖随机变量的分布类型, 利用随机变量的特征点和权值对重要性测度进行计算, 具有良好的适用性和可扩展性。使用所提方法对实际工程问题进行分析, 验证了其工程实用性。

材料科学与工程

25 面向等离子体钨基材料的辐照损伤行为研究现状

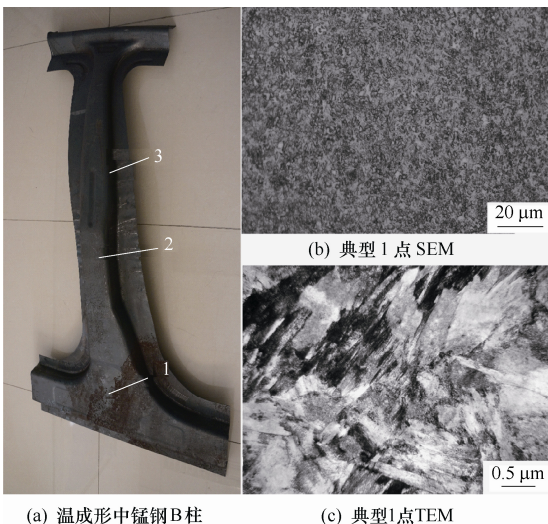
吴玉程 林锦山 罗来马 谷祥 朱晓勇 陈俊凌



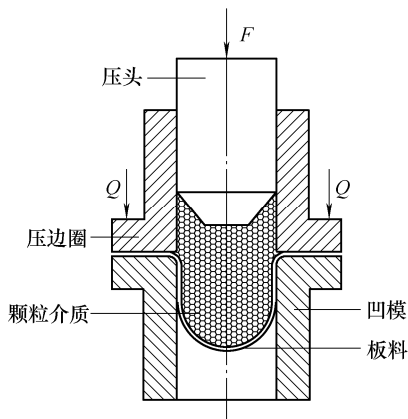
**摘要:** 解决人类能源问题的重要途径之一就是开发受控核聚变能。在受控核聚变反应堆装置中, 钨作为优选最有前途的面向等离子体第一壁材料, 具备许多优良特性, 如高熔点、高热导率、良好的高温强度等。然而钨基材料在离子中子辐照下会导致微观结构的改变, 例如气泡、孔洞、纳米结构的形成。辐照还会导致材料硬化并使材料变脆。钨的辐照损伤问题是钨作为面向等离子体第一壁材料要重点解决的问题之一。通过改变材料的结构和成分设计可以改变钨的抗辐照性能。国内外许多研究人员对纯钨、碳化物掺杂钨、氧化物掺杂钨以及其他钨基材料的辐照损伤行为进行相关研究。对这些相关的研究进展和趋势进行综述。

35 第三代汽车钢温热成形工艺研究及性能评价

李晓东 韩硕 王存宇 常颖 胡平 董瀚

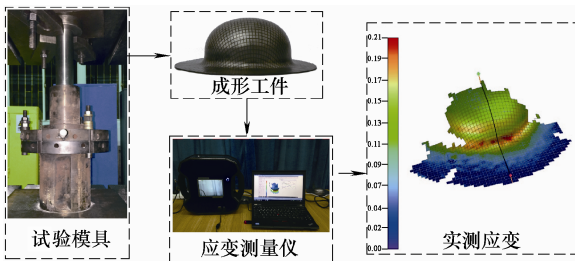


**摘要:** 中锰钢为最新的第三代汽车钢, 其成形性和力学性能的改善是当前汽车轻量化领域的前沿课题。提出超细晶中锰钢的温热成形技术, 通过科学优选奥氏体化温度、保温时间和成形温度作为工艺参数因子, 采用正交试验和极差分析的方法, 引入断裂韧性性能参数, 综合评估抗拉强度、伸长率、撕裂强度及单位面积裂纹扩展性能指标, 得出温热成形中锰钢的最优工艺参数组合, 即奥氏体化温度为 810 °C、保温时间为 7 min、成形温度为 550 °C。并通过断口形貌和真实的汽车 B 柱冲压件, 从微观结构和宏观性能角度验证了所得工艺参数的有效性。测试结果显示, 当采用最优工艺参数组合时, 具有均匀的断口形貌特征; 微观结构具有细化的马氏体板条形貌, 板条平均长度尺寸在 2~3 μm; 宏观性能良好, 抗拉强度均在 1 400 MPa 以上, 具有较好的塑性和断裂韧性。研究表明, 温热成形技术是有效的中锰钢冲压成形方法, 为第三代汽车钢的温热成形实际应用起到积极的促进作用。



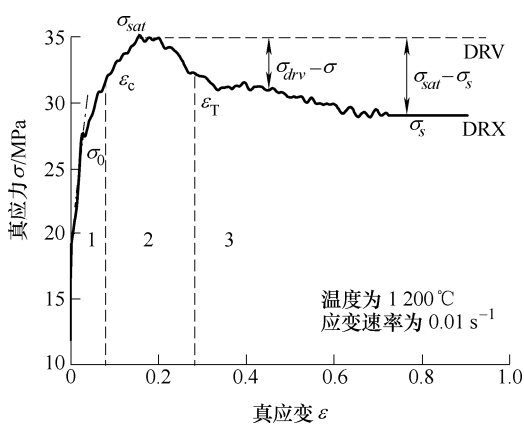
**摘要：**针对裂纹扩展引起残余应力重分布现象，基于 Hull-Rimmer 理论建立伴随损伤扩展的残余应力重分布预测模型，并通过组合应力强度因子及相应判据将其与裂纹扩展预测模型相结合，以充分模拟残余应力对裂纹扩展过程的影响规律。运用建立后的残余应力重分布预测模型对两种垂直于焊缝方向的裂纹扩展实例及一种沿焊缝方向的裂纹扩展实例的残余应力重分布情况进行预测研究，并将预测结果与裂纹扩展预测模型相结合来对考虑残余应力重分布情况下的裂纹扩展速率进行预测。结果发现基于 Hull-Rimmer 理论的残余应力重分布预测模型所预测出的结果与试验结果的平均相对误差仅为 4.86%，对于残余应力重分布现象及后续裂纹扩展的预测研究具有重要意义。

50 轴对称拉深成形中法兰变形区的解析方法

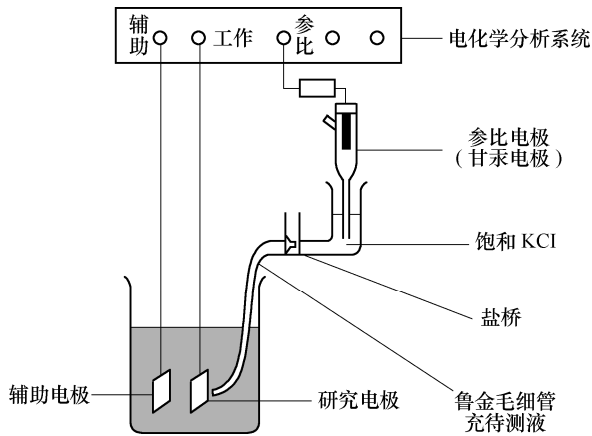


**摘要：**轴对称拉深成形中法兰变形区的应力、应变分析是研究板材拉深成形中失稳起皱和成形极限的基础。以轴对称拉深法兰变形区为研究对象，分别建立法兰变形区应力、应变两种解析方法，即以主应力法为基础的主应力解，以广义胡克定律和变形协调方程为基础的广义胡克定律解。分别通过试验和数值模拟对两种解析方法的计算结果进行比较，结果表明：主应力解在求解过程中忽略了法兰厚度的变化，使得径向应变的计算值较试验和模拟值偏差较大；采用以切向应变表示的平均硬化模型，使得切向应力的计算结果偏差较大，径向应力的计算结果与模拟相差不大，可以满足工程中对拉深成形力的估算。广义胡克定律解以广义胡克定律和变形协调方程为基础，避免了主应力解的缺陷，应力、应变的理论计算值与试验值、模拟值基本吻合，且相对偏差不大于 5%，是一种相对精确的理论分析方法。

58 耐热合金钢 P91 热变形过程静态及亚动态再结晶行为

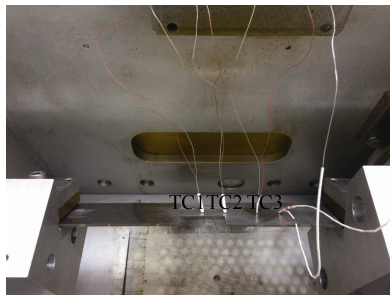


**摘要：**利用单道次、双道次热压缩试验研究铸态 P91 合金钢在热变形后的动态、静态、亚动态再结晶行为，探索不同变形温度、应变速率、变形量对静态、亚动态再结晶的影响并建立静态、亚动态再结晶动力学方程。研究得出：热变形结束后，静态再结晶率随变形温度、变形量及应变速率的增大而增大；亚动态再结晶率与变形温度、变形量和应变速率呈单调递增，并最终趋于稳定。以真应变为参数，铸态 P91 热变形后再结晶类型可按照真应变分为三种情况：当  $\epsilon < \epsilon_c$  时，道次间隔主要发生静态再结晶；当  $\epsilon_c < \epsilon < \epsilon_T$  时，同时发生静态、亚动态再结晶；当  $\epsilon > \epsilon_T$  时，主要发生亚动态再结晶。通过对双道次压缩试样的显微组织分析得出：相同变形条件下，亚动态再结晶晶粒比静态再结晶细小，再结晶晶粒随变形温度增加而增大，随应变速率增大而减小。



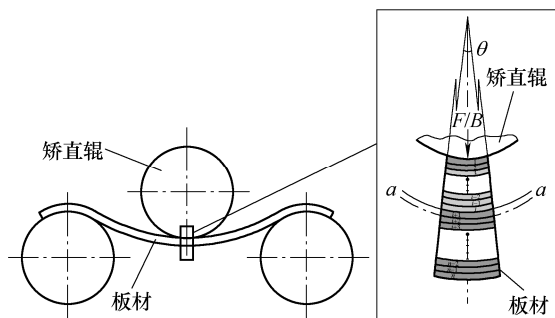
**摘要：**采用冷金属过渡 (Cold metal transfer, CMT)(ER309L 氩弧焊丝  $\phi$  2.5) 焊接方法对 Cr13 不锈钢进行堆焊, 为改善补焊工艺中堆焊金属的组织以及性能的不均匀性, 对堆焊金属进行表面高压滚压塑性变形处理。滚压压力为 12 kN, 滚压时间为 15 min, 6 个滚针 (GCr15,  $\phi$  8 mm $\times$ 10 mm) 等角分布, 滚针旋转速率为 2 r/min。之后借助光学显微镜 (Optical microscope, OM)、扫描电子显微镜 (Scanning electron microscopy, SEM)、显微硬度仪、摩擦磨损试验机、电化学工作站对其显微组织、硬度、耐磨性和耐蚀性进行评价。结果表明, 堆焊金属经表面滚压后, 晶粒均明显细化且存在一定厚度的高压滚压层和过渡层。高压滚压层的平均显微硬度为 403.62 HV, 原始堆焊金属的平均显微硬度为 287.83 HV。高压滚压层的摩擦特性更为稳定且磨损量更小, 但耐蚀性变差。高压滚压后组织和性能的不均匀性得到改善。

75 非均匀温度场下变梯度特性热成形技术研究

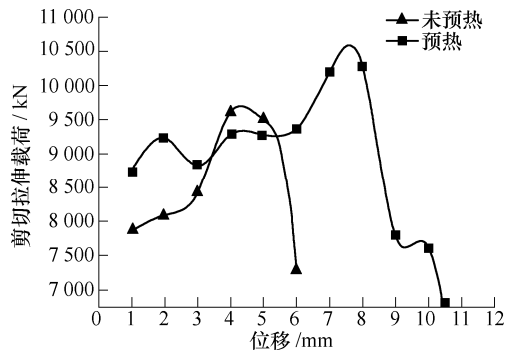


**摘要：**传统的热成形工艺所得制件虽具有超高强度, 但塑性通常较低, 且成形件各部位的力学性能相同, 综合力学性能不高, 难以满足日益增加的变梯度特性热成形制件的需求。对变梯度热成形技术进行较为深入的研究。利用有限元法分析非均匀温度场下板料热冲压过程, 并通过试验揭示非均匀温度场下热成形过程中微观组织的演变规律及其对材料性能渐变性的影响。利用金属固态相变原理中不同的微观组织条件下成形件的力学性能不同, 研究钢板热成形过程中板料初始非均匀温度场引起的板料微观组织分布状态, 得到分别为铁素体、珠光体组织; 铁素体、珠光体、马氏体混合组织; 马氏体组织梯度渐变的微观组织形态。这种通过建立板料非均匀温度场达到材料微观组织渐变分布、性能梯度分布的工艺显著提高了成形件的综合力学性能, 为深入探讨热成形技术提供了新的研究方向, 拓宽了热成形制件的范畴。

82 挖掘机工作臂高强度钢板的矫直理论与试验研究



**摘要：**挖掘机是一种在土石开挖等方面具有不可替代作用的重要工程设备, 核心部件质量诊断、智能化及整机轻量化是其发展的三大主要方向。针对钢板平直度对挖掘机工作臂焊接质量存在重要影响的问题, 在传统辊式矫直理论的基础上, 依据三点弯曲理论、板材变形特点及分层理论建立板材矫直过程中的应力中性层偏移量计算模型, 从理论上证明中性层偏移现象的存在以及它与反弯半径、板材厚度及材质的关系。通过室温拉伸试验得到高强度钢板 Q690 的力学性能以此作为模型构建的参数基础; 再结合弯曲试验研究矫直过程中中性层偏移规律, 得到中性层偏移值与反弯半径的变化关系。在本课题组多辊矫直机试验平台上对中性层偏移理论进行验证, 结果表明考虑中性层偏移的 Q690 钢板平直度小于 1 mm/m。



**摘要:** 以厚度均为 1.5 mm 的 TRIP980 高强钢/SPCC 低碳钢的异种钢板电阻点焊接头为研究对象, 以接头剪切拉伸载荷为评价指标, 运用正交试验优化其焊接参数, 采用极差法和方差法对结果进行分析, 随后增加焊前预热条件, 分析对比相同焊接电流、焊接时间、电极压力参数下采用预热和无预热时点焊接头的剪切拉伸载荷, 利用电子拉伸试验机、金相显微镜和显微硬度仪分别对预热和无预热两种条件下较优焊接参数时的点焊接头性能及显微组织进行测试和分析, 研究 TRIP980 高强钢/SPCC 低碳钢的异种钢板电阻点焊接头力学性能及接头各区域的金相组织、硬度特点。结果表明: 运用焊前预热能够获得性能良好的点焊接头, 相同焊接参数情况下, 预热点焊接头的剪切拉伸载荷比无预热高 5.5% 以上; 两种条件下较优焊接参数时, 无预热点焊接头为脆性断裂, 预热点焊接头为韧-脆混合断裂; 采用预热获得的点焊接头组织比无预热更为致密; 预热点焊接头熔核和母材的硬度比无预热时有所下降, 熔合线硬度过渡平缓。其主要机理是, 预热使点焊接头熔核周边优先发热, 热影响区扩大, 熔核韧性提高和熔核周边应力集中缓解, 从而提高了点焊接头的强度。

## /// 运载工程 ///

### 99 星球车车轮原地转向沉陷试验及模型研究

杨怀广 丁亮 高海波 郭军龙 邓宗全 刘振 吕焱



**摘要:** 星球车转向沉陷量是其转向力学研究的基础, 可以对星球车转向机构设计、车轮转向控制及仿真提供支持。利用星球车单轮测试台进行车轮原地转向沉陷量测试试验, 分析了垂直载荷和轮刺高度等因素对沉陷量的影响。结合试验数据对传统转向沉陷量模型进行分析, 发现通过改变沉陷指数可以极大的提高沉陷量的计算精度。进而对沉陷指数进行辨识和分析, 并推导出两种沉陷指数的理论计算模型。基于沉陷指数模型推导了修正的沉陷量计算模型, 其对于沉陷量的预测结果与试验数据相比最大相对误差约为 5%, 确定系数大于 0.97, 证明该模型可以反映车轮转向过程中由于土壤压实和流动等因素引起的动态沉陷。

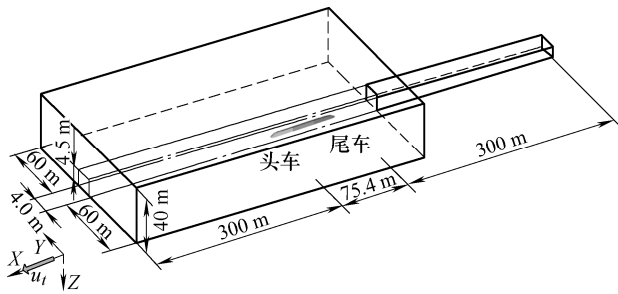
### 109 一种新的高速列车动应力谱分布估计方法

陈道云 孙守光 李强



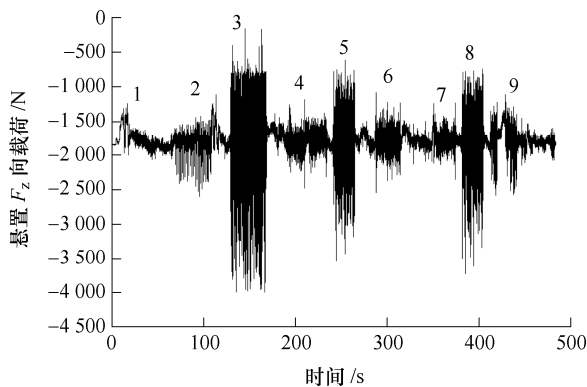
疲劳关键测点

**摘要:** 为克服参数估计方法对动应力谱分布估计的局限, 引入一种非参数估计方法——核密度估计法。为验证算法的有效性, 选取标准正态分布函数进行验证, 结果表明所得概率密度曲线与真实概率密度曲线吻合很好, 同时也证明了数据组距的大小对核密度估计结果没有影响。将高速列车关键部位动应力实测数据进行数据处理, 将得到的实测应力谱利用核密度法进行估计并推断, 结果显示核密度估计的谱损伤曲线与实测谱损伤曲线的总体走势一致且前者的每级损伤值均略大于后者, 这表明利用核密度估计方法对动应力谱的拟合估计有一定误差且略偏保守, 然而这种保守的估计方法对于保证结构在运用时的安全却是十分有益的。



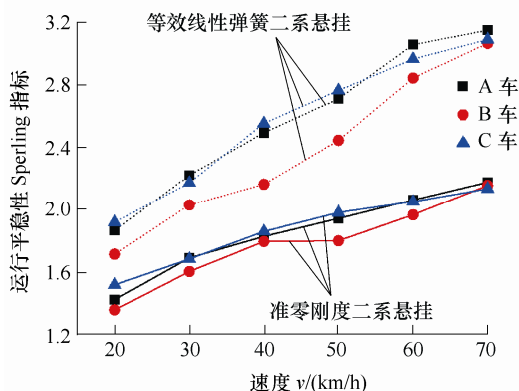
**摘要:** 基于计算流体力学和滑移网格技术, 数值模拟了列车通过引起的轨侧脉动压力波。建立列车通过轨侧脉动压力波的计算模型, 通过网格独立性检验选取合适的计算网格。研究列车通过轨侧脉动压力波的特征, 规律以及四种不同轨道基础形式对列车通过轨侧压力波的影响, 包括平地、单线路堤、复线路堤和复线桥梁。研究表明: 列车头部通过引起轨侧测点的压力峰峰值, 比列车尾部通过引起轨侧测点的压力峰峰值要大; 列车通过平地的压力峰峰值最大, 通过复线桥梁的压力峰峰值最小; 轨侧压力的峰峰值与距轨道中心线横向距离呈负指数关系, 不同速度下列车通过引起的轨侧压力峰峰值系数几乎一致。

124 基于小波变换的汽车零部件加速耐久性载荷谱编辑方法研究

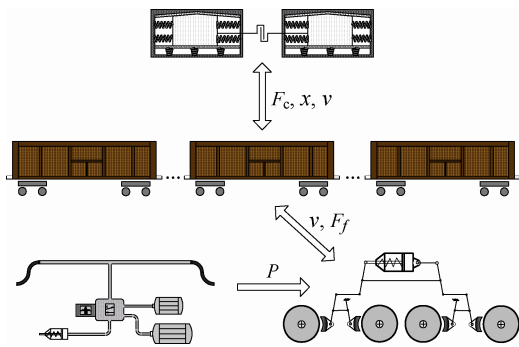


**摘要:** 介绍基于小波变换的汽车零部件加速耐久性载荷谱编辑方法的研究。利用 Daubechies 小波函数(db12)对零件的载荷谱信号进行小波分解, 得到不同尺度下的高频和低频下的小波系数, 对高频小波系数进行重构, 得到高频小波分量。基于分解后高频小波分量, 利用包络线损伤识别法, 将损伤贡献较大的信号片段从原始信号中识别并提取出来, 通过编辑得到零件的压缩载荷谱。以汽车动力总成悬置的载荷谱为例, 进行了基于小波变换和基于损伤保留两种方法的编辑。结果表明, 基于小波变换的载荷谱编辑方法得到的压缩载荷谱在统计参数(均值、方均根与峰值系数)、能量及信号的幅值分布等方面均与原始载荷谱吻合, 可以达到与原始载荷谱相同的加载效果, 说明该编辑方法可用于汽车零部件的加速耐久性试验研究中。

132 低地板有轨电车准零刚度二系悬挂系统研究

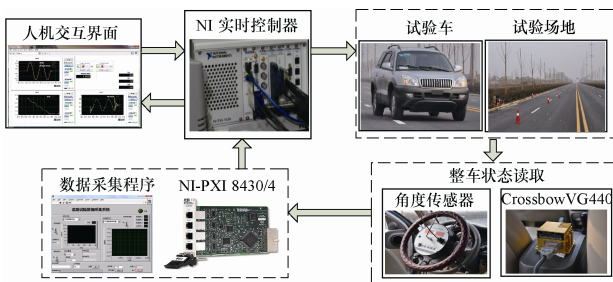


**摘要:** 利用一对横向放置的线性弹簧在垂向产生负刚度, 与垂向正刚度线性弹簧并联组成准零刚度隔振系统, 结合低地板有轨电车转向架 U 型侧架, 设计出适用于低地板有轨电车的准零刚度二系悬挂系统。对所设计的二系悬挂系统分别进行静力学、动力学分析, 得到其刚度特性和传递率特性。通过 SIMAPCK 动力学仿真软件建立了三车连挂低地板有轨电车模型, 与 MATLAB/SIMULINK 进行联合仿真。研究表明, 与等效线性弹簧二系悬挂系统相比, 准零刚度二系悬挂系统隔振频率范围更广, 尤其是在低频阶段, 具有良好的隔振特性, 可以有效减小车体振动, 提高运行平稳性, 改善乘坐舒适度。



**摘要:** 构建基于货车冲击试验数据的缓冲器修正模型模拟缓冲器动力学特性, 该模型包含附加阻尼和黏滞摩擦; 建立列车空气制动系统多参数数学简化模型表征重载列车空气制动特性; 建立以缓冲器动力学模型及空气制动系统模型为基础的列车纵向冲动动力学模型, 分析重载组合列车在不同线路条件和制动作用下的纵向动力学行为。结果表明: 缓冲器动力学修正模型能较为真实地反映出冲击试验中缓冲器的磁滞特性、尖峰现象及过渡曲线的平稳连接; 列车空气制动系统模型能够仿真获得与试验结果相近的制动缸充气特性曲线; 采用列车纵向冲动动力学模型仿真获得的大秦线重载组合列车纵向车钩力分布与列车试验值相符。

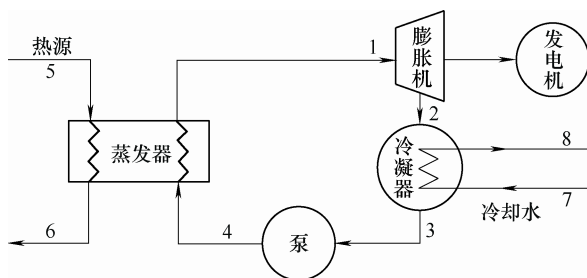
147 基于电子稳定控制与驱动力分配协调控制的四驱汽车性能分析



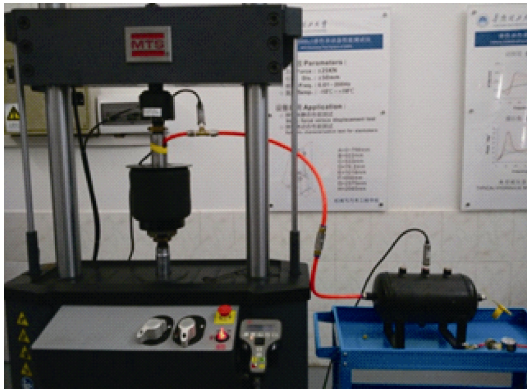
**摘要:** 为研究汽车在特殊路面及工况下的转向稳定性, 利用 Matlab/Simulink 搭建 7 自由度汽车模型, 讨论分析驱动力分配与制动力分配对改善汽车操纵稳定性的影响程度, 并基于分层协调控制思想设计汽车电子稳定控制程序(Electronic stability program, ESP)与动态驱动力分配控制(Dynamic performance control, DPC)系统的上层控制器, ESP 采用模糊控制, 并基于神经网络 PID 控制设计驱动力分配控制系统。在此基础上开展多种典型工况下的控制系统性能仿真后, 利用 NI-PXI 设备构建硬件在环试验仿真平台, 对控制系统进行试验验证。车速 50 km/h, 路面附着系数为 0.4 下双移线试验结果表明: 汽车在第一次变道时其横摆角速度与质心侧偏角分别降低了 0.027 rad/s 与 0.023 rad, 相比无控制时分别改善 8.3%与 43.8%; 在第二次变道严重失稳情况下, 运用所提控制系统依旧可将车辆转向状态稳定在安全区域。

/// 可再生能源与工程热物理 ///

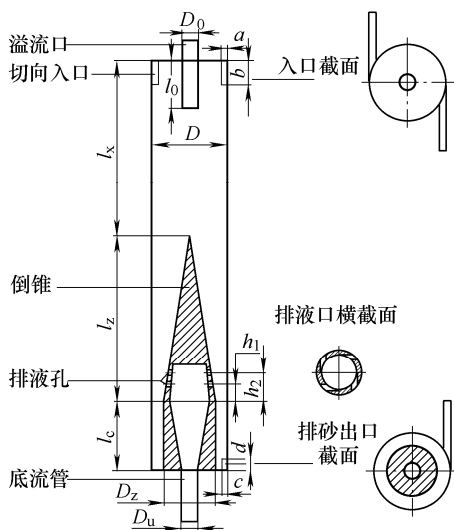
158 窄点温差匹配对 ORC 系统性能的影响



**摘要:** 选取多种有机工质, 以单位净功的换热面积(Heat exchanger area per unit power output, APR)为目标函数对有机朗肯循环(Organic Rankine cycle, ORC)系统进行优化分析, 讨论蒸发器与冷凝器的窄点温差匹配对系统经济性能的影响。探讨在不同的热源温度、冷源流量以及蒸发温度下, 窄点温差之比对系统经济性能的影响的变化, 从而确定最优的系统参数。研究表明: 对于所选工质, 均存在一最优窄点温差比, 使系统的经济性能最佳, 并且对于不同工质, 最佳窄点比存在差异。最佳窄点温差比随窄点温差之和以及热源温度增加而增大, 随蒸发温度升高而减小, 而冷源流量对最佳窄点温差比几乎没有影响。窄点温差的匹配对系统参数的选择有较大的影响, 合适的窄点匹配关系能有效改善 ORC 系统性能。



**摘要:** 考虑空气弹簧橡胶气囊力学特性, 采用摩擦模型和分数导数 Kelvin-Voigt 模型对橡胶气囊进行建模, 描述橡胶气囊的振幅相关性和频率相关性。以带节流孔和附加气室的空气弹簧为研究对象, 建立该空气弹簧的非线性模型。在空气弹簧标准工作高度(即平衡点)附近, 基于一阶泰勒展开和割线法建立带节流阻尼孔和附加气室的空气弹簧系统线性模型。以某空气弹簧为例, 辨识空气弹簧橡胶气囊的模型参数, 试验验证了橡胶气囊模型的有效性; 分析该系统的动态特性, 讨论橡胶气囊力学特性对整个空气弹簧动态特性的影响。该模型的建立为进一步研究空气阻尼悬架的刚度和阻尼设计、匹配提供了理论依据和有效参考。

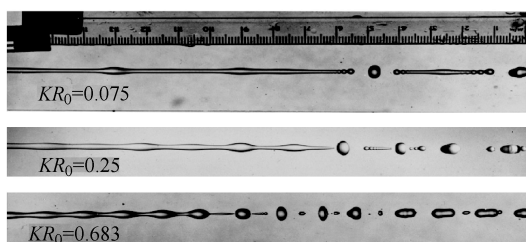


**摘要:** 三相分离旋流器是一种用于油田三元采出液气液固三相分离的新型旋流器。基于计算流体动力学(Computational fluid dynamics, CFD)软件 Fluent, 采用雷诺应力模型(Reynolds stress model, RSM), 开展不同采出液混合液相黏度变化对气液固三相分离旋流器速度场、压力特性和脱气除砂效果影响的数值模拟对比分析。研究表明: 在黏度不大于 6.42 mPa·s 时, 旋流器受黏度增大的影响, 切向速度幅值成降低趋势, 切向速度均值降低 12.4%, 整体上, 在研究范围内, 该结构旋流器速度场受黏度变化影响相对较小; 在黏度不大于 6.42 mPa·s 时, 旋流器脱气效率和除砂效率均高于 80%, 旋流器脱气效率最高可达 95.97%、对应除砂效率 95.19%; 研究范围内, 混合液黏度变化对旋流器压力降影响较大。随着黏度增加, 旋流器溢流压力降逐渐减小、底流压力降逐渐增加。根据相似参数准则, 制作了旋流器试验样机, 并开展了现场采出液室内试验。模拟与试验结果吻合良好, 从而验证了模拟计算结果的可靠性。研究可对适合高黏度介质分离三相分离旋流器的设计提供参考。



## 183 微量液滴分配机理与技术研究进展

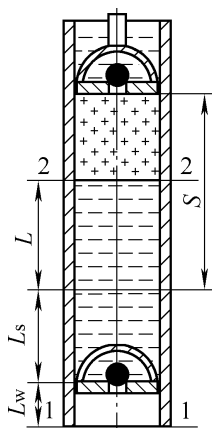
常家庆 黄博 刘亚欣 孙立宁



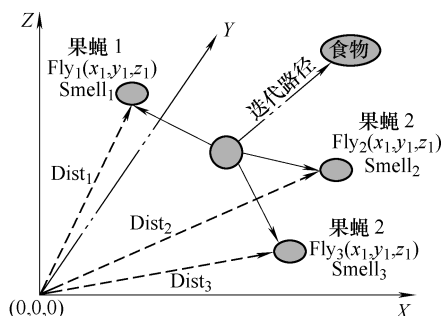
**摘要:** 现代生物及医药等学科的发展对液滴分配系统的微量、高精、快速、稳定等特性提出越来越高的要求。液滴分配系统是在液滴分离物理的基础上发展起来的, 根据液滴分离物理的特点, 可将其分为按需分离、瑞利分离、一阶风诱分离、二阶风诱分离以及喷雾。针对不同的液滴分离形式, 分析了其研究现状与关键特性参数, 比对了各数学模型与数值求解方法; 同时阐述了非牛顿流体的液滴分离特点。针对代表性的液滴分配系统, 分析并比对了各自的动作机理、分配特点和应用场合。基于上述分析展望了液滴分离物理和液滴分配技术的热点问题与发展趋势。

## 195 煤层气井排采系统有杆泵运行特性分析

刘新福 刘春花 蔡耀光



**摘要:** 煤层气井低沉没度下泵的运行特性和气水两相流中的动态充满度直接影响到有杆泵的工作优劣, 对保证有杆排采系统的正常工作具有重要意义。基于泵阀动力学和水力摩阻分析, 建立有杆泵泵阀动态特性数学模型, 依据数值求解并结合泵阀开启试验测试结果, 得到低沉没度时泵阀的动态特性和顺利开启的临界沉没度条件, 同时依据气液两相流数值求解和泵运行特性试验测试结果, 分析出泵筒动态充满度变化规律及合理沉没度时泵高效运行条件。结果表明, 泵阀开启瞬间阀球的水力摩阻较大, 其幅值周期波动的频率较快且在短时间内迅速变小后趋向平稳; 泵阀水力摩阻和临界沉没度随冲程冲次的增大而提升, 冲次由  $2.0 \text{ min}^{-1}$  调为  $6.6 \text{ min}^{-1}$  后, 临界沉没度由  $2.55 \text{ m}$  升至  $3.05 \text{ m}$ ; 减小冲次和气液比及增大泵入口压力会显著提升泵筒内液位和充满度, 且气液比的影响最为显著; 提升沉没度会使泵效先迅速增大, 达到  $70\% \sim 80\%$  时出现拐点而后增长缓慢, 煤层气井主要泵型的临界沉没度通常介于  $3.0 \sim 6.0 \text{ m}$ , 而合理沉没度需达到  $15.0 \sim 20.0 \text{ m}$  以上, 以维持高效运行。



**摘要:** 为了保证滚动轴承运行状态可靠度的预测精度同时增加预测步长, 提出一种数学形态学分形维数结合改进果蝇优化算法-支持向量回归(Improved fruit fly optimization algorithm-support vector regression, IFOA-SVR)的滚动轴承可靠度预测方法。提取振动信号的包络信号, 计算该包络信号的数学形态学分形维数, 将其作为滚动轴承性能退化状态特征。利用 IFOA 对 SVR 中的参数  $C$ ,  $g$  以及  $\varepsilon$  同时进行寻优, 建立 IFOA-SVR 预测模型。利用极大似然估计结合 IFOA 建立威布尔比例故障率模型 (Weibull proportional hazard model, WPHM), 进而得到可靠度模型。将退化状态特征作为 IFOA-SVR 预测模型的输入, 采用长期迭代预测法获取特征预测结果, 并将该结果嵌入到可靠度模型中, 从而预测出轴承运行状态的可靠度。试验结果表明, 利用所提方法对滚动轴承可靠度进行预测, 能在保证预测精度的前提下增加预测步长。

46 第 6 届上银优秀机械博士论文奖——佳作奖

61 第 6 届上银优秀机械博士论文奖——佳作奖

93 第 6 届上银优秀机械博士论文奖——佳作奖

**CONTENTS**

- 1 Position and Attitude Measurement and Online Errors Compensation for KUKA Industrial Robots**  
SHI Xiaojia ZHANG Fumin QU Xinghua LIU Bailing WANG Junlong
- 8 Research on the Detection of Surface Cracks on Drilling Riser Using the Chain Alternating Current Field Measurement Probe Array**  
LI Wei YUAN Xinan CHEN Guoming GE Jiuhao JIA Tingliang JIANG Yongsheng
- 16 Moment-independent Importance Measure Analysis Method Based to Point-estimate**  
WANG Wenxuan GAO Hangshan ZHOU Changcong
- 25 Irradiation Damage Behavior Research Status of Tungsten-matrix Materials Facing Plasma**  
WU Yucheng LIN Jinshan LUO Laima ZAN Xiang ZHU Xiaoyong CHEN Junling
- 35 Research on the Warm-hot Forming Process and Its Performance Evaluation for the Third-generation Automobile Steel**  
LI Xiaodong HAN Shuo WANG Cunyu CHANG Ying HU Ping DONG Han
- 43 Prediction Study of the Crack Propagation with Consideration of the Residual Stress Redistribution**  
ZHU Lin JIA Minping FENG Yuegui WANG Huifang HU Jingbo
- 50 Analytic Methods of Flange Deformation Region in Axisymmetrical Drawing Process**  
ZHAO Changcai JIA Xiangdong HE Liuyang LI Jianchao CAO Miaoyan MO Chen
- 58 Static and Metadynamic Recrystallization Behaviors of Heat-resistant P91 Alloy during Hot Deformation**  
JIA Lu LI Yongtang LI Zhenxiao
- 68 Structure and Property Study of CMT Deposited Metal Induced by High Pressure Surface Rolling on Cr13 Stainless Steel**  
ZHOU Jianan ZHANG Guodong ZHENG Fei YANG Hui MEI Qingsong
- 75 Study on Variable Gradient Characteristics Hot Forming Under Non-uniform Temperature Field**  
KONG Ling LIU Caiyi PENG Yan
- 83 Leveling Theory and Experiment Study on High Strength Steel Plate of Excavator Working Arm**  
FAN Qinrong ZHANG Hong JIANG Xuecheng
- 91 Properties and Optimized Process of TRIP980 High Strength Steel and SPCC Low Carbon Steel Resistance Spot Welding of Dissimilar Steel**  
CEN Yaodong CHEN Furong

- 99 Experimental Study and Modeling of Wheel's Steering Sinkage for Planetary Exploration Rovers**  
 YANG Huaiguang DING Liang GAO Haibo GUO Junlong DENG Zongquan LIU Zhen LÜ Yan
- 109 A New Dynamic Stress Spectrum Distribution Estimation Method of High-speed Train**  
 CHEN Daoyun SUN Shouguang LI Qiang
- 115 Numerical Simulation of Train-induced Aerodynamic Impulse Pressure Waves beside the Track**  
 LI Tian ZHANG Jiye ZHANG Weihua
- 124 Study of Load Spectrum Edition Method Based on the Wavelet Transform to the Accelerated Durability Test of the Vehicle Component**  
 ZHENG Guofeng SHANGGUAN Wenbin HAN Pengfei AHMED Waizuddin
- 132 Study on Second Quasi-zero-stiffness Suspension of Low-floor Tramcar**  
 SUN Yu GONG Dao ZHOU Jinsong SUN Wenjing XIA Zhanghui
- 138 Analysis and Test of Heavy Haul Train Longitudinal Impulse Dynamics**  
 SUN Shulei DING Junjun ZHOU Zhangyi LI Fu XU Li
- 147 4WD Car Performance Study Based on Electronic Stability and Torque Distribution Coordinated Control**  
 HU Fang CHEN Liqing HU Dongbao CHEN Wuwei
- 158 Effect of Pinch Point Temperature Difference Assignment on the Thermal Performance of ORC System**  
 WANG Jiansheng YUE Kaihong
- 166 Study on Modelling and Dynamic Characteristic of Air Spring with Throttling Damping Orifice and Auxiliary Chamber**  
 CHEN Junjie YIN Zhihong HE Jianghua SHANGGUAN Wenbin
- 175 Effect of Production Fluid Viscosity on the Performance of Three Phase Separation Hydrocyclone**  
 XU Baorui JIANG Minghu ZHAO Lixin
- 183 Research Progress on Micro Droplet Dispensing Mechanisms and Techniques**  
 CHANG Jiaqing HUANG Bo LIU Yaxin SUN Lining
- 195 Operating Performance of Sucker Rod Pump for the Pumping System in Coalbed Methane Wells**  
 LIU Xinfu LIU Chunhua QI Yaoguang
- 201 Reliability Prediction Method of a Rolling Bearing Based on Mathematical Morphology and IFOA-SVR**  
 KANG Shouqiang YE Liqiang WANG Yujing XIE Jinbao MIKULOVICH V I