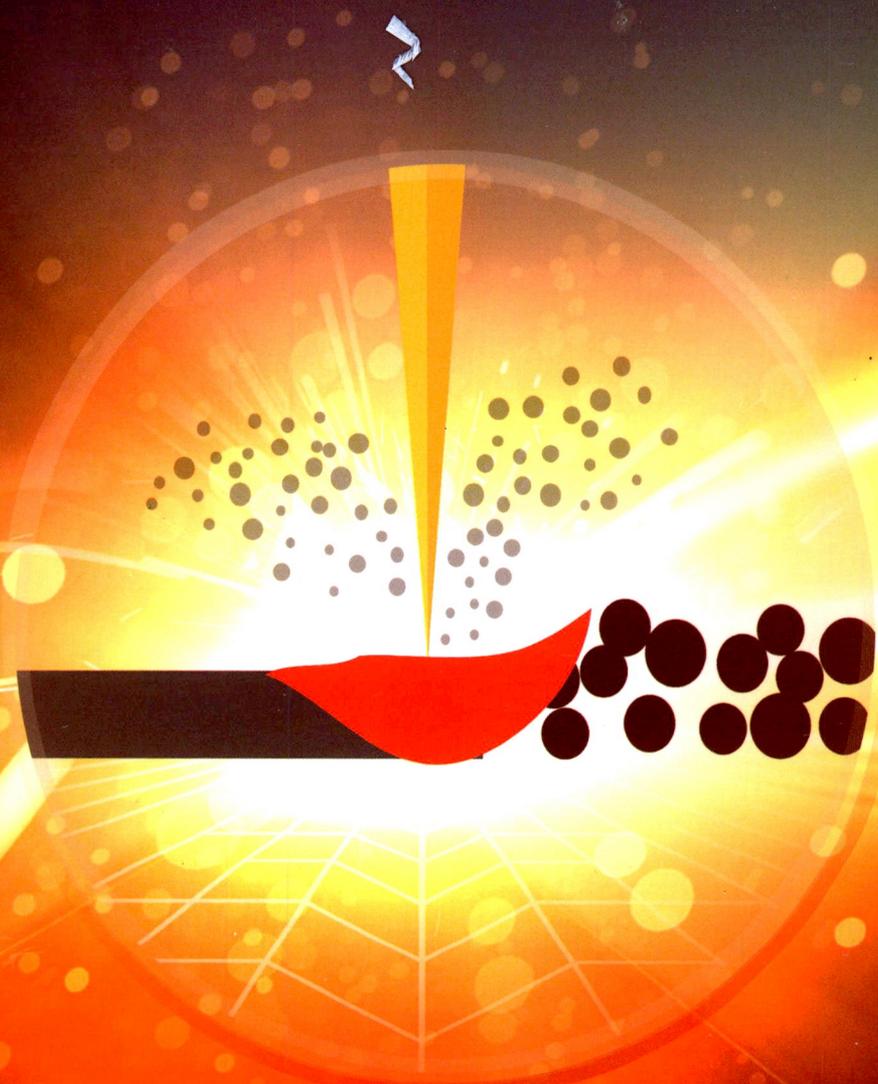


机械工程学报[®]

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

激光选区熔化单道扫描与搭接数值模拟及试验

梁平华 唐倩 冯琪翔 宋军



 中国机械工程学会 主办

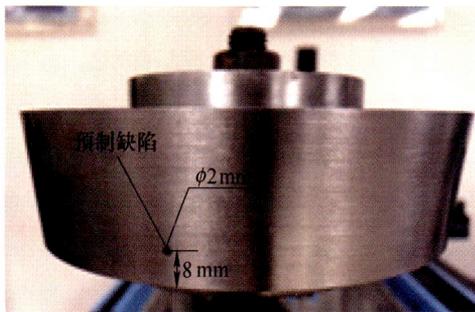
56卷 **22**期 **半月刊**
2020年11月刊

万方数据

/// 仪器科学与技术 ///

1 一种复杂结构件圆柱面扩散焊缝阵列超声检测方法

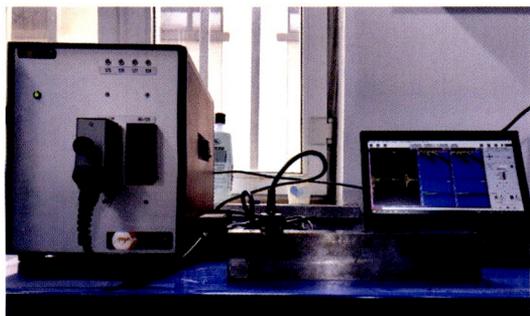
李文涛 周正干



摘要: 航空发动机某高温合金盘构件采用盘体与叶片环进行焊接的方式制备, 由于构件结构复杂, 在检测圆柱形焊接面缺陷时, 采用单晶超声检测换能器检测效率不高, 缺陷信号信噪比低。为提高该种结构件的检测能力, 研究圆柱面焊缝的阵列超声自动检测方法, 分析面积型缺陷和声源的相对位置对缺陷反射声压和波型转换的影响, 提出一种基于双阵列换能器的一发一收检测方案。根据高温合金盘结构设计基于双阵列换能器的声束发射-接收方法和圆柱面焊缝全覆盖检测方案; 基于时域有限差分方法建立高温合金盘的阵列超声声学响应仿真模型, 对检测参数进行设计和优化。对含有人工缺陷的实际试样进行检测试验, 结果表明所提出的双阵列超声换能器检测方法能有效检测到圆柱面焊缝区域 $\phi 2\text{ mm}$ 的当量缺陷。

8 基于自回归谱外推的全聚焦成像分辨力提升

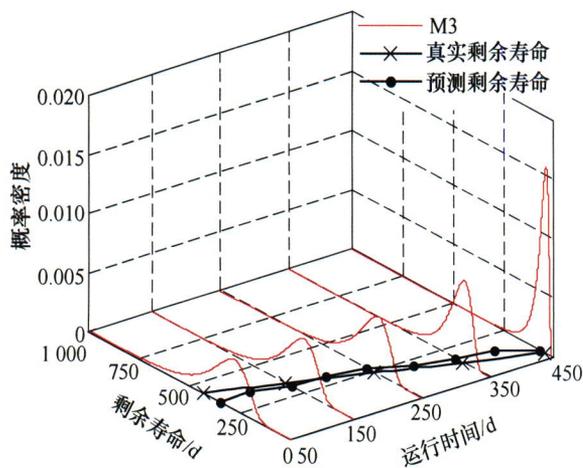
林莉 史思琪 孙旭 马志远 张晓峰 刘丽丽 金士杰



摘要: 针对相邻缺陷全聚焦超声成像混叠问题, 结合低阶、宽有效频带自回归谱外推方法, 压缩超声波时域脉冲宽度, 实现亚波长级全聚焦(Total focusing method, TFM)成像分辨力。建立碳钢试块模型, 设置两个中心间距 1.8 mm , 直径 1.3 mm 圆孔, 选用中心频率 2.25 MHz , 32 阵元相控阵探头采集全矩阵数据。针对全矩阵数据, 选择自回归阶数为 2 , 信号频谱最大幅值下降 14 dB 为有效频带, 建立自回归模型并外推有效频带外的高频与低频成分, 随后对全矩阵数据进行延迟叠加处理和 TFM 成像。仿真结果表明, 低阶、宽有效频带自回归谱外推处理方法具有较高的鲁棒性和准确性, TFM 成像后可有效分离中心间距 0.7λ (λ 为超声波长) 圆孔, 保留缺陷横向位置信息的同时, 定位误差不超过 0.73% 。对碳钢试块中相同位置及尺寸的圆孔进行试验验证, 定位误差不超过 1.06% , 有效地提高 TFM 成像分辨力。

14 基于复合非齐次泊松过程的不完美维修设备剩余寿命预测

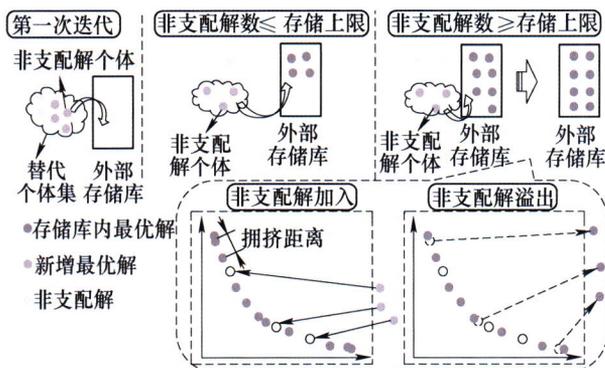
王泽洲 陈云翔 蔡忠义 项华春 王莉莉



摘要: 针对现有不完美维修设备剩余寿命预测方法难以准确反映设备真实维修规律的问题, 提出一种基于复合非齐次泊松过程的不完美维修设备剩余寿命预测方法。基于非线性 Wiener 过程构建设备随机退化模型; 假设不完美维修次数存在上限值, 并据此建立基于复合非齐次泊松过程的不完美维修模型; 然后, 基于设备的随机退化模型与不完美维修模型构建综合退化模型, 并采用极大似然方法估计模型参数; 基于首达时间的概念, 推导出不完美维修设备剩余寿命的概率密度函数。实例分析表明, 所提方法能够有效提升不完美维修设备剩余寿命预测的准确性, 具备工程应用前景。

24 面向柔性定制的并行不等效客车混装线生产计划主从联合优化

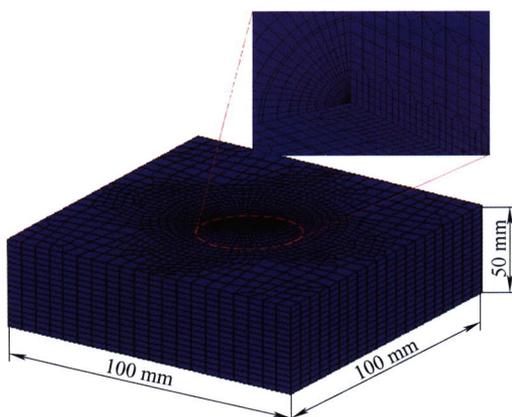
张炜 王少杰 甘雅文 侯亮 徐昌华



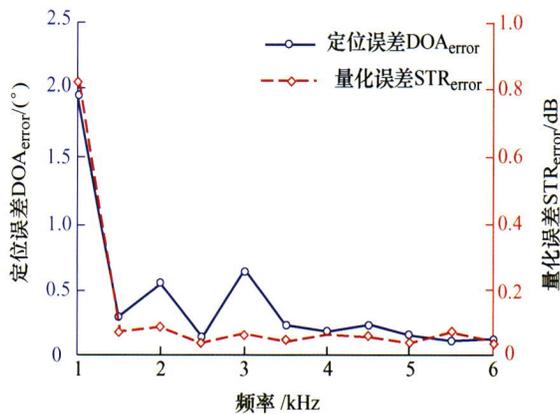
摘要: 针对客车制造过程中多条异构混装线之间加工能力、作业时间不等效的特征, 提出面向柔性定制的并行不等效客车混装线生产计划模型。分析订单分解和投产排序的耦合关联机理; 以产品紧急度、匹配度以及产线负荷为目标, 建立以订单分解为主、投产排序为从的主从联合优化模型。针对模型特征提出一种结合 Pareto 前沿解的双层交互式遗传算法。为了提高遗传算法的性能, 引入自适应调整方法对交叉概率和变异概率进行改进, 并采用小生境技术保证种群多样性。利用客车混装线中的案例对提出的模型进行了验证, 并与多阶段遗传算法以及企业的实际方案进行了比较。所提出的使用双层交互式遗传算法的模型可以真实地代表企业的实际情况, 并最大限度地提高混装线的效率。

38 套孔工艺对深孔法测量残余应力精度的影响

赵美娟 陈静 陈怀宁



摘要: 深孔法是目前三维残余应力测量方法中精度较高、破坏性较小、易于操作的一种技术, 相比于中子衍射法, 测量成本相对较低, 正受到越来越多的关注。针对轴向套孔工艺能准确测量应力范围有限的问题, 为提高该方法在高应力与复杂应力场中的测量精度、优化测量工艺, 提出环向套孔工艺。以 Q345 低合金钢为研究对象, 采用有限元分析方法分别建立两种套孔工艺计算模型, 对比分析两种套孔工艺在不同应力状态下模拟计算值与实际值的误差分布情况。结果表明, 两种套孔工艺均适用于弹性应力场的精确测量, 但在应力较大时(超过屈服强度 50%), 采用环向套孔工艺得到的应力计算结果精度更高、且深度方向应力分布的一致性更好。

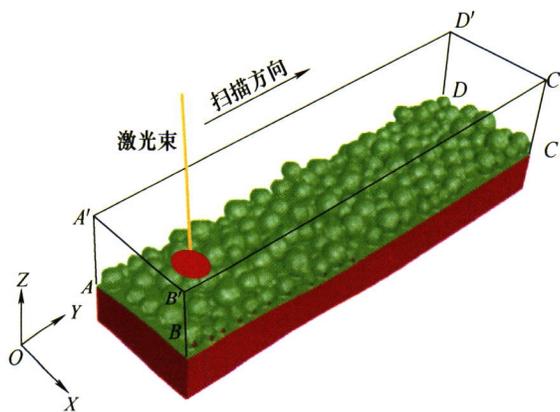


摘要: 基于平面传声器阵列测量和固定网格的传统二维压缩波束形成通过建立阵列传声器测量声压信号和假想声源网格点未知源强之间的欠定线性方程组, 基于主声源通常为稀疏分布这一事实, 利用稀疏促进算法求解上述方程组从而获得声源波达方向和源强的准确估计, 进而准确识别声源。然而, 当声源波达方向与网格点不一致、即发生基不匹配时, 性能会劣化。为克服该问题, 提出二维动态网格压缩波束形成声源识别方法。定义网格坐标和源强分布矢量为变量并采用对数求和罚函数构建目标函数以促进解的稀疏性; 基于优化最小化框架在目标函数的基础上构造合适的替代函数以降低优化复杂度; 通过梯度下降法对替代函数进行迭代优化求解, 从而使网格坐标和源强分布矢量逐渐收敛至真实值附近。仿真和试验均表明, 相较于传统固定网格的二维压缩波束形成, 该方法能够克服基不匹配问题、获得更高的定位精度和量化精度; 该方法能够适用于传声器随机分布的平面阵列, 且无需先验的信噪比(噪声干扰)及声源稀疏度等信息, 即使在传声器数量较少的情况下也能得到低污染高分辨率的声源成像, 保证了高精度的二维波达方向估计和源强量化。

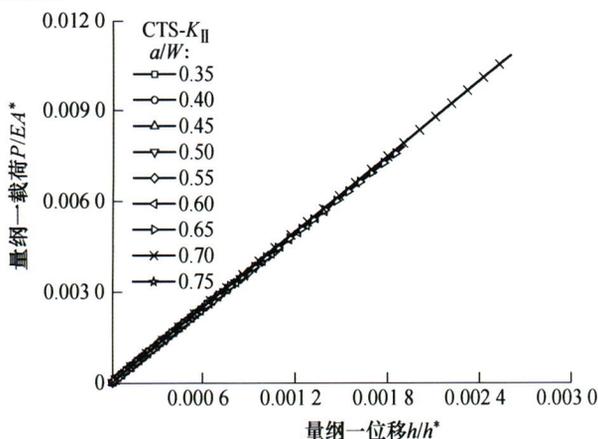
/// 材料科学与工程 ///

56 激光选区熔化单道扫描与搭接数值模拟及试验

梁平华 唐倩 冯琪翔 宋军

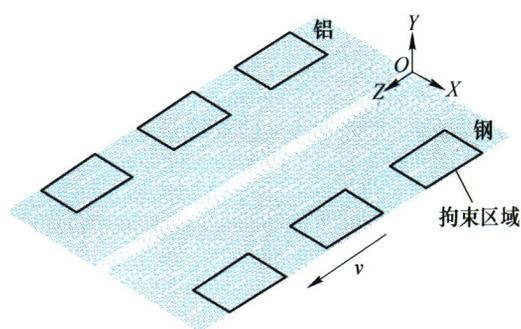


摘要: 激光选区熔化(Selective laser melting, SLM)单道扫描的数值模拟, 在数值建模时多采用规则实体模拟铺设的粉末层, 通过等效定义材料热物理属性模拟铺设粉末层中粉末与气体共存的情况, 难以模拟粉末颗粒的随机性而带来的扫描结果的随机性, 且难以分析熔池形貌、内部缺陷的微观衍变过程。针对 SLM 成形过程中激光功率和单道搭接率对扫描单道和单道搭接质量的影响, 以 316L 不锈钢材料为例, 建立 SLM 首层单道扫描与单道搭接数值模拟模型。SLM 的铺粉过程在基于离散单元法的 EDEM 中建立, 并得到数值化的粉床几何模型。SLM 的单道扫描与搭接的模拟基于有限体积法, 在 FLUENT 中实现, 采用两相流模型与熔化/凝固模型捕捉熔池形貌变化过程, 得到不同激光功率和扫描搭接率下成形单道与单道搭接的数值模型。最后结合试验表明了 100~300 W 激光功率下成形单道表面形貌与缺陷的形成, 当激光功率为 100~150 W 时, 单道形貌不规则, 且容易形成局部缺陷; 在 200~300 W 功率下, 激光功率越大, 保证搭接质量的最低搭接率越小, 当激光功率为 250 W 时, 应保证单道填充间距不大于 0.1 mm。研究成果对 SLM 工艺参数的调整与优化具有重要的参考价值。



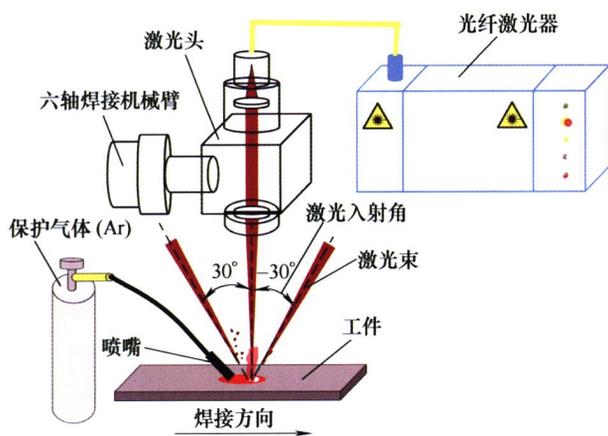
摘要: 应力强度因子 K 是控制脆性断裂与疲劳裂纹扩展行为的重要力学量,历史上各类裂纹试样的 K 因子计算方法与公式都较复杂,所得到的 K_I 和 K_{II} 表达式为不同形式的回归式,公式的适用范围有限。针对含 I-II 混合型裂纹的试样,基于能量密度等效原理提出求解 I-II 混合型裂纹的 K 因子半解析模型,模型参数少,形式简单,普适性强,适用范围广。半解析模型预测的应力强度因子与文献结果和有限元结果吻合,该模型为脆性断裂与疲劳裂纹扩展行为相关研究提供了重要的理论基础。

76 随焊氩气激冷控制铝/钢薄板残余应力与变形研究

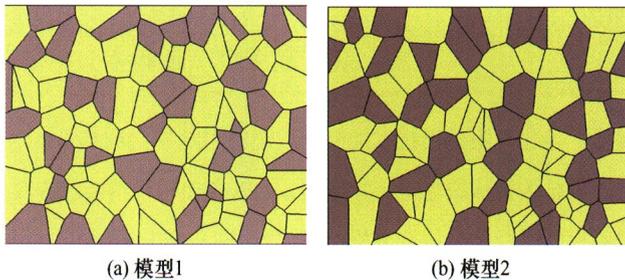


摘要: 针对铝/钢异种金属薄板焊接时容易产生残余应力与变形问题,提出采用随焊冷却氩气激冷对其进行控制。建立随焊氩气冷却激冷铝/钢异种金属熔钎焊的数值分析模型,研究不同冷却距离对残余应力和变形的控制效果,探究随焊激冷技术控制焊接变形与残余应力机理;同时,进行随焊激冷铝/钢异种金属熔钎焊试验,对焊接温度场、残余应力与变形进行测量,验证模型的准确性。结果表明,采用最优冷却距离 ($d=10\text{ mm}$),进行随焊冷却氩气激冷焊接试验时,纵向残余拉应力峰值和残余压应力峰值分别减小 42.1%和 74.4%,横向残余拉应力峰值和残余压应力峰值分别降低 11.3%和 14.4%,铝板和钢板外边缘焊接变形量分别减小 67.9%和 69.5%。随焊冷却氩气激冷技术可有效控制铝/钢薄板焊接时产生的残余应力与变形。

82 激光入射角影响焊接熔池匙孔瞬态行为数值模拟



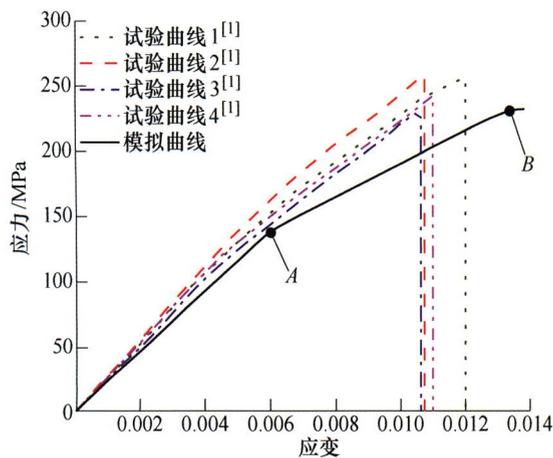
摘要: 在激光焊接中,激光入射角直接影响着熔池匙孔瞬态行为,而仅采用工艺试验方法难以探索其规律。利用数值模拟技术模拟激光入射角分别为 30° 、 0° 、 -30° 的焊接过程,研究激光入射角对熔池匙孔瞬态行为的影响。同时通过激光焊接试验对仿真结果进行验证,数值仿真的焊缝横截面形貌与试验结果吻合较好,表明仿真结果能够反映激光焊接过程。分析不同激光入射角下温度场、熔池内流场、匙孔后壁反冲压力、匙孔深度和匙孔后壁静压力的变化。结果表明,激光入射角的正负影响熔池内部流动的快慢;激光入射角为正时,有利于抑制飞溅形成,而激光入射角为负时,则促进飞溅生成;激光入射角的正负明显影响匙孔的稳定性,当激光入射角为负时,匙孔稳定性降低,坍塌频率增加,产生气泡的概率提高。使用合适的激光正入射角有利于提高激光焊接质量。



摘要: 对双相不锈钢的奥氏体相和铁素体相, 分别开展了不同加载模式(接触载荷和压入位移)和不同加载波形下的单向、循环纳米压痕试验, 对比分析了两相的基本力学性能和压痕循环变形行为的演化规律。基于压痕试验结果和修正 ABDEL-KARIM-OHNO 非线性随动硬化准则的弹塑性本构模型, 提出了一套双相不锈钢奥氏体相和铁素体相的塑性和循环塑性行为的本构模型参数表征方法。通过对微结构代表性体积单元整体拉伸和循环变形行为进行模拟, 并与宏观试验结果对比, 验证了参数表征方法的合理性。研究表明, 铁素体相的强度、硬度和抗棘轮变形的能力均高于奥氏体相, 两相之间通过晶界产生一定的交互作用; 在接触载荷控制的循环加载条件下, 奥氏体相与铁素体相均产生明显的压痕棘轮现象, 且载荷水平越高压痕棘轮变形程度越大; 所发展的本构模型参数表征方法可为研究多相材料各组相、小体积材料的循环变形行为提供借鉴和参考。

101 搭接长度对平纹机织复合材料胶接结构连接性能影响的多尺度分析

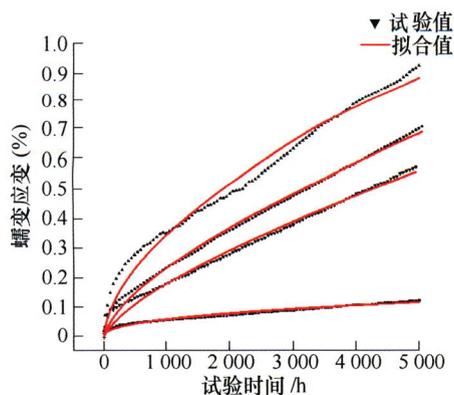
马晓龙 李 成 铁 瑛 侯玉亮 毛振刚



摘要: 针对平纹机织复合材料层合板, 首先基于均匀化方法确定细观模型的性能参数, 其次采用 Hashin 准则分析细观模型损伤过程, 最后引入连续损伤力学模型和内聚力模型建立层合板胶接结构宏观模型。研究表明, 平纹机织复合材料层合板的数值曲线与试验结果吻合较好, 验证多尺度模型的有效性; 搭接长度在 5~15 mm 时, 随着搭接长度的增大, 单搭和双搭胶接结构的极限失效载荷逐渐增大, 并趋于稳定, 而搭接剪切强度逐渐减小; 单搭和双搭胶接结构的失效形式随着搭接长度的增大逐渐由胶层剪切失效过渡到层间分层失效; 相同搭接长度下, 与单搭胶接结构相比, 双搭结构的极限失效载荷较大。基于均匀化方法、Hashin 失效准则、内聚力模型和连续损伤力学模型, 提出一种平纹机织复合材料多尺度模型, 对结构性能设计和使用寿命具有重要意义。

112 热采井口装置材料 30CrMo 的拉伸及蠕变性能研究

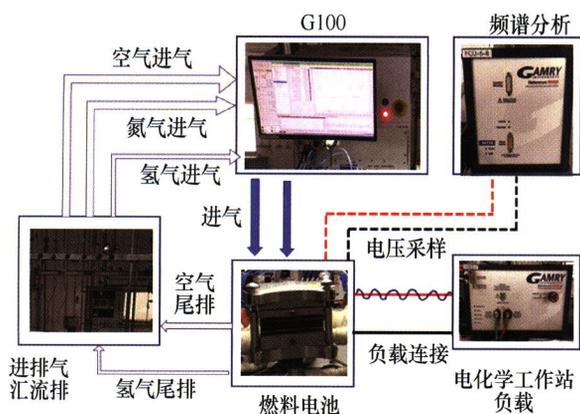
曹旭祥 颜廷俊 李鹏鹏 王亭沂 李 风



摘要: 针对油田热采井口装置服役寿命的评价问题, 对其材料 30CrMo 进行了拉伸和蠕变性能研究。通过拉伸试验获得了材料的常温和 390 °C 下的力学性能; 进行了该材料在 390 °C、五个不同应力下的蠕变试验, 并对试验数据进行 Norton-Bailey 方程拟合, 得到了低应力区和高应力区蠕变本构方程; 对原始试样和五个蠕变后的试样进行扫描电镜和透射电镜观察, 发现材料长期处于 390 °C 温度下, 晶体内的碳元素扩散造成基体上析出物数量的增多及颗粒的增大, 导致材料强度的下降; 材料 30CrMo 在低应力区和高应力区的蠕变微观组织变化机理不同, 低应力区以位错热攀移为主, 高应力区以 Orowan 绕越方式为主。

120 质子交换膜燃料电池电化学阻抗谱弛豫时间分布研究

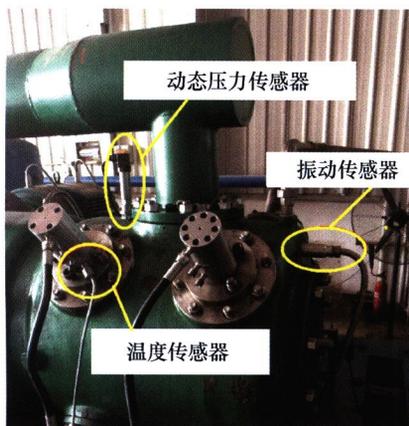
袁 浩 戴海峰 杜润本 魏学哲



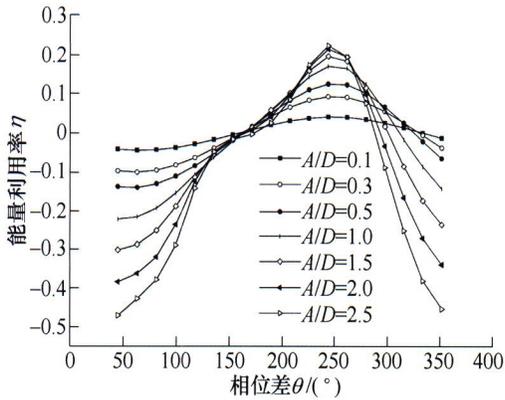
摘要: 电化学阻抗谱技术能够获取燃料电池不同频率阻抗,但对阻抗的构成缺乏进一步解析,难以直接构建精准的等效电路模型进行阻抗拟合分析,而弛豫时间分布(Distribution of relaxation time, DRT)方法不需要定义特定的等效电路模型,即可解析燃料电池不同时间常数的极化过程。针对实验室用质子交换膜燃料电池,在不同运行条件下对其进行阻抗谱测量,并通过 Kramers-Kronig 关系验证所记录阻抗数据的质量。基于 DRT 分析方法,系统地解释阻抗谱中各频段阻抗对应的物理或化学意义。研究表明,该电池的电化学阻抗谱主要由 3 个不同时间常数频段的极化阻抗构成,通过与运行条件相关性的系统分析,确定低频段阻抗为氧气在多孔介质中的传输阻碍,中频段阻抗为与氧还原反应有关的电荷传递阻碍,中高频段阻抗为阴极催化剂层中的质子传输阻碍。为进一步确定 DRT 分析结果的合理性,采用等效电路模型拟合测量的阻抗数据,辨识的电阻元件参数变化趋势与 DRT 分析结果一致。

131 往复压缩机气量调节控制失稳自愈调控方法研究

江志农 周 超 张进杰 刘雯华 王 瑶 孙 旭



摘要: 针对往复压缩机无级气量调节常见的调控失稳故障,构建包含压缩机、管道、缓冲罐、执行机构等部件的无级气量调节多系统耦合控制模型,仿真往复压缩机无级气量调节动态特性。以控制系统输出的脉宽调制控制信号作为输入,以压缩机各级排气压力作为输出,研究执行机构动态响应和控制系统调控参数对气量调节结果影响的规律;进一步针对执行机构性能参数变化导致气量调节控制失稳的问题,利用 BP 神经网络构建多参数负荷动态反馈模型实现调控失稳故障诊断和故障类型识别。基于故障异常类型识别结果提出一种调控参数自适应优化补偿的自愈调控方法。试验结果表明,提出的自愈调控方法可在失稳故障发生后主动施加调控参数补偿量,使得气量调节系统恢复到正常状态,实现故障在线自愈。

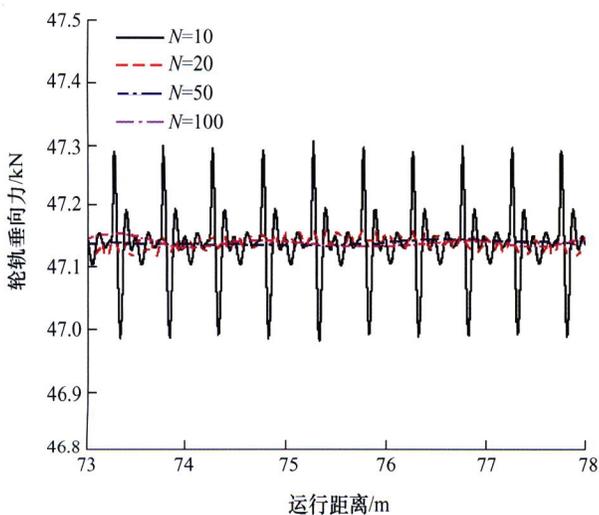


摘要: 提出一种旋转振动圆柱从潮流能中主动获取能量的方法。基于 Fluent 软件的用户自定义函数求解旋转振动圆柱升力, 采用动网格技术对一定速度下的旋转振动圆柱获取潮流能进行数值模拟研究。参照相关试验结果, 进行数值模拟结果确认, 得到的最大升力系数幅值与平均阻力系数幅值与试验结果基本吻合。分析相位差、振幅比及转动幅值对旋转振动圆柱获能效率的影响。结果表明, 同振幅比、同转动幅值的旋转振动圆柱, 能量利用率都是随着相位差先逐渐增大后减小; 同相位差、同转动幅值的旋转振动圆柱, 在有效获能范围, 其振幅比越大则能量利用率越高; 同相位差、同振幅比的旋转振动圆柱, 随着转动幅值的增加, 其能量利用率先逐渐增加后减小; 当相位差为 243° , 转动幅值为 3, 振幅比为 2.0 时, 能量利用率最高。

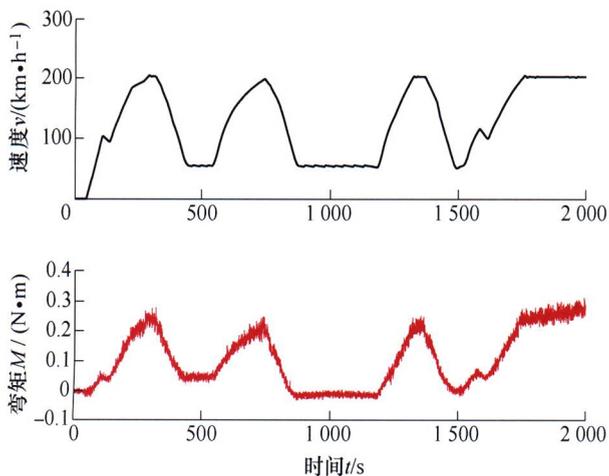
// 运载工程 //

148 地铁列车-嵌入式轨道系统动力学性能研究 I: 理论建模、试验分析及验证

韩健 李志辉 肖新标 杨刚 温泽峰 金学松



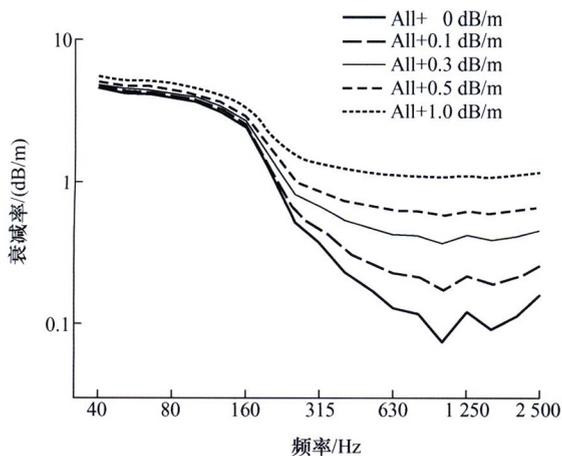
摘要: 嵌入式轨道作为一种减振降噪轨道结构型式, 通常是基于城市街道路面的低地板有轨电车系统设计的, 而嵌入式轨道的连续支承特性及其减振降噪优点使其在地铁中具有较好的应用前景。嵌入式轨道在地铁中应用, 将面临更高运行速度、更大轴重、更复杂线路条件等挑战, 地铁列车-嵌入式轨道系统的动力学行为有待研究。建立地铁列车-嵌入式轨道系统的动力学模型, 模型包括轨道系统模型、列车系统模型以及轮轨相互作用模型。其中, 轨道子系统为嵌入式轨道系统, 是建模和研究的重点。模型考虑了 TIMOSHENKO 钢轨模型、等效弹簧-阻尼单元支承的柔性轨道板模型、以及钢轨周围的填充材料模型, 填充材料模型采用考虑质量的黏弹性弹簧-阻尼单元来模拟以考虑填充材料的惯性、弹性和阻尼特性。在我国首例运用于地铁的嵌入式轨道试验线开展了动力学性能试验研究, 基于试验分析了动力学性能并通过试验验证了动力学模型的有效性, 建立的分析模型和相关结论为嵌入式轨道结构在我国地铁的应用提供了理论基础和参考。



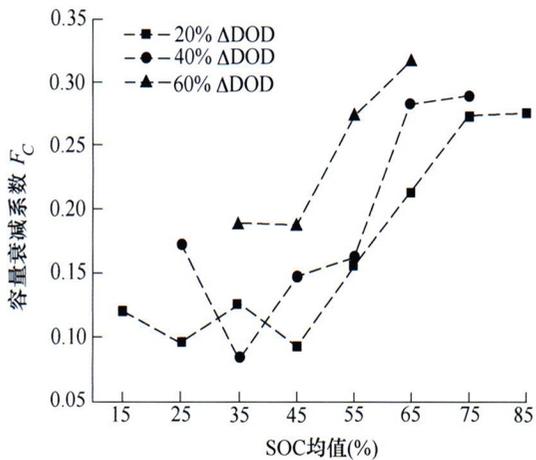
摘要: 制动盘螺栓对保证列车制动和运行安全具有十分重要的作用, 掌握制动盘螺栓弯矩分布规律对确保其使用寿命具有重要意义。采用高速动车组制动盘螺栓弯矩载荷测试技术, 对国内多条实际线路的制动盘螺栓弯矩进行测试, 获得了制动盘螺栓弯矩与动车组运行速度的关系。依据轮装制动盘螺栓连接结构的尺寸和工作环境开展理论分析, 获得了螺栓杆弯矩分布的理论值。建立轮装制动盘车轮结构有限元模型, 模拟仿真车轮高速旋转过程中螺栓杆受力情况, 得到不同速度下螺栓杆的弯矩分布有限元解。研究表明, 螺栓杆上的弯矩与列车运行速度密切相关, 且运行速度越大, 螺栓杆上弯矩越大。理论推导和有限元仿真结果均表明螺栓杆上各截面的弯矩大小和方向并不一致, 在内外侧面和中间截面出现弯矩极值, 且方向相反。由于车轮内外结构的不对称性, 导致螺栓杆上靠近轮缘一侧的截面弯矩大于外侧截面弯矩。研究工作为进一步研究制动盘螺栓的结构可靠性奠定了基础。

167 基于车内噪声的轨道衰减率限值研究

刘晓龙 韩健 徐泐文 肖新标 朱雷威 温泽峰



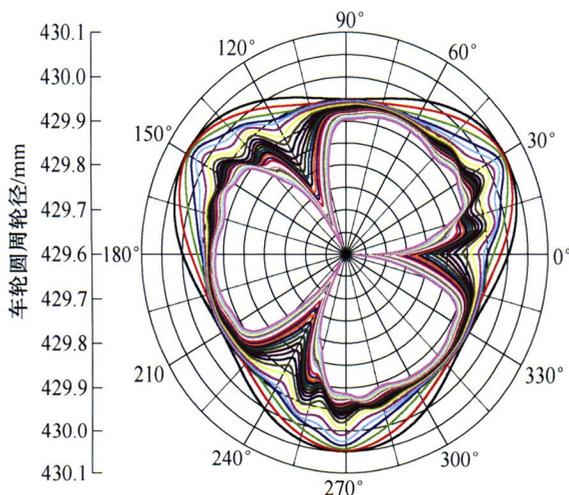
摘要: 轨道衰减率是反映钢轨动态特性的重要指标, 决定了钢轨的有效声辐射长度, 进一步影响轮轨噪声和车内噪声。我国地铁轨道结构型式较多, 轨道衰减率也相应地并不统一, 目前我国没有轨道衰减率的相关标准, 现有的国际轨道衰减率标准并不能与我国车内噪声标准相对应, 因此, 研究轨道衰减率与车内噪声的内在关联, 对基于噪声限值的轨道衰减率控制具有重要意义。首先建立轨道振动预测模型, 基于现场测试对模型进行验证, 并基于仿真预测分析扣件系统参数对衰减率的影响。根据有限元-边界元方法和轨道衰减率对轮轨噪声的贡献关系, 建立基于轨道衰减率的轮轨噪声预测模型; 根据线路试验研究, 建立轮轨噪声和车内噪声的传递函数, 从而采取仿真与试验联合的手段, 以轮轨噪声为“桥梁”, 建立轨道衰减率和车内噪声的对应关系, 根据车内噪声限值, 量化分析基于车内噪声控制的轨道衰减率限值, 确定较为优化的扣件系统参数。成果可为基于车内噪声的轨道衰减率控制, 以及扣件系统参数优化设计提供参考。



摘要: 串联电池组的一致性问题为电池成组使用的关键问题之一,常通过电池均衡技术进行干预调节。但现有均衡策略多着重于单次循环容量和能量的最大利用,忽视了长时间尺度下电池组的一致性演变。为实现长时间尺度下的电池组寿命最优,试验研究了工作区间对电池老化的影响,讨论了传统顶部均衡和底部均衡下的电池组一致性演变,提出了优化最差单体工作区间的寿命均衡策略。研究发现使用的三元锂电池在高荷电状态区间循环时存在较快的容量衰减,增加循环放电深度同样会加速容量衰减;顶部均衡和底部均衡虽然可以最大化电池组单次性能,但容量一致性依旧持续变差,表明了寿命均衡的必要性;提出的寿命均衡策略使最差单体循环在较低的荷电状态区间,减小其容量衰减速率,进而有效地提高电池整组的累计放电量;最后,设计的试验证实了所提出的均衡策略可以显著提高电池组的容量一致性,并设计了相应的系统实现方案。提出的寿命均衡策略也为未来电池组的均衡研究提供了新的方向。

184 高速列车车轮多边形磨耗演变行为

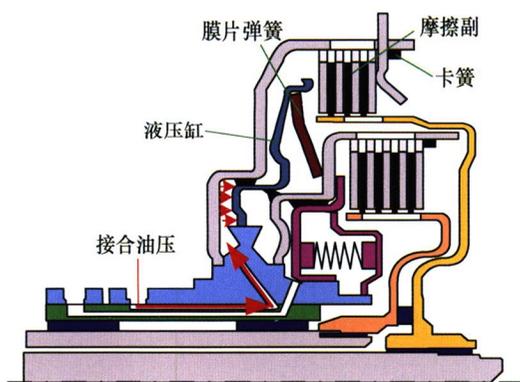
丁军君 杨九河 胡静涛 李 蒂



摘要: 车轮多边形不仅会严重影响高速列车的运行性能,同时会随着车轮的磨耗发生不断演变,因此其演变行为值得关注。对高速列车车轮多边形磨耗的演变过程进行数值模拟,并分析相位差对多边形磨耗的影响。结果表明,车轮初始3阶多边形会演变成多阶混合多边形,其中3的整数倍阶多边形占主要地位;车轮多边形发展过程中,存在一个磨耗急剧增大的“转折里程”,应在“转折里程”之前对车轮多边形进行处理;车轮多边形使轮轨垂向力和轮对构架垂向振动加速度增大,同时导致跳轨现象,影响车辆运行安全;多边形相位差会导致车轮的磨耗迅速增加,磨耗率在轮相位差为1/2周期时达到最大。研究成果为车轮多边形的控制手段及现场镟修策略提供了理论依据。

190 考虑摩擦副接触应力场和冷却流场的湿式离合器温度场分析

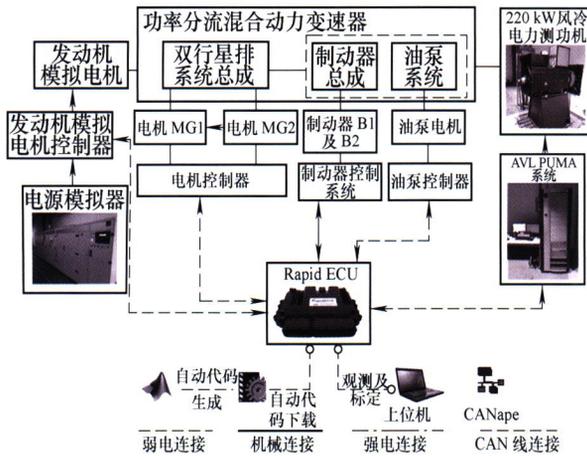
吴邦治 秦大同 胡建军 刘永刚



摘要: 温度对湿式离合器摩擦副的摩擦特性和热失效具有重要影响。为了获取湿式离合器温度场的分布规律,建立摩擦副接触应力分布有限元模型和摩擦片沟槽内冷却流场数值计算模型,获得了摩擦副接触应力随离合器接合油压的变化规律和冷却流场对流换热随离合器转速的变化规律。在此基础上,提出考虑离合器摩擦副接触应力分布时变特性和冷却流场分布时变特性的离合器温度场数值计算模型。将所建温度场模型的仿真结果与试验结果作对比,验证了所建温度场模型的正确性。通过计算获得了湿式离合器接合过程中不同钢片在半径和厚度方向的温度分布规律,揭示了摩擦副接触应力场和摩擦片沟槽内冷却流场对离合器温度场的影响规律。结果表明,在离合器摩擦副半径方向上,摩擦副的温度分布规律与接触应力分布规律相一致。而摩擦片沟槽内冷却流场的对流换热主要影响离合器同步阶段的温度分布。

201 复合功率分流系统发动机起动模型预测控制

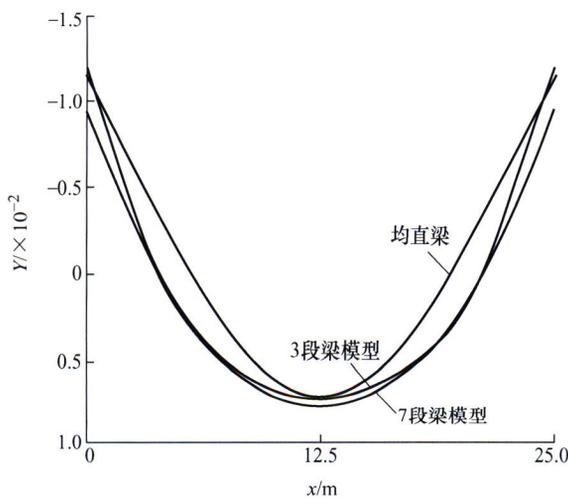
赵治国 付靖 蒋蓝星 范佳琦



摘要: 复合功率分流混合动力系统从纯电动模式至电子无级变速(Electronic-continuously variable transmission, E-CVT)混合动力模式的切换过程,伴随发动机的起动。由于发动机在整个起动过程始终与传动系相连,其低速往复脉动阻力矩特性对车辆模式切换过程的驾驶平顺性有直接影响,若控制不当,常引起较大的车辆纵向冲击。针对复合功率分流混合动力系统模式切换过程,基于 Matlab/Simulink 平台建立传动系动态模型和发动机阻力矩模型;提出一种发动机起动模型预测优化控制策略,在线计算电机转矩拖转发动机跟踪目标最优转速曲线并补偿输出端转矩波动。离线仿真及硬件在环台架试验结果表明,所开发的发动机模型预测转速跟踪控制策略能够快速起动发动机并使车辆平稳切换,将整车纵向冲击度限制在 11.0 m/s^3 以内,且对整车参数摄动具有较好的鲁棒抑制效果。

210 车体垂弯振型节点位置对其弹性振动的影响

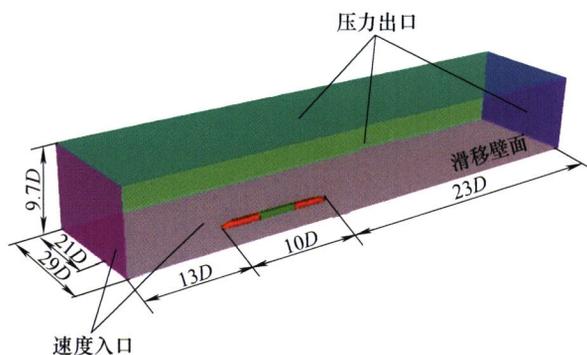
杨晟 李凡松 石怀龙 鄢平波



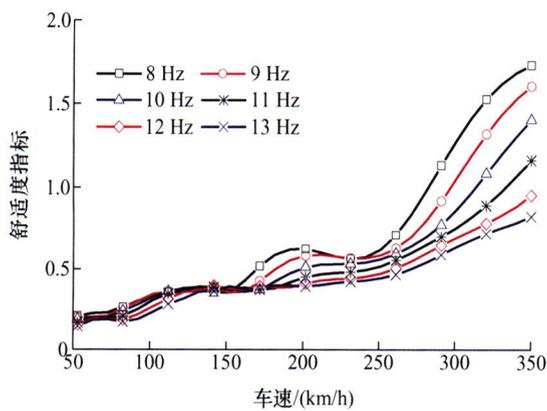
摘要: 根据车体的结构属性和质量分布将其考虑为多段变截面欧拉梁,建立包含车体一阶垂弯模态的车辆垂向动力学模型,研究车体一阶垂弯振型的节点位置对高速列车振动舒适度的影响,提出改善车体弹性振动的措施。基于变截面欧拉梁模型分析车体各截面的质量和抗弯刚度分布对模态振型的影响,发现不同截面之间的抗弯刚度和质量分布对整体模态振型影响显著,提高车体中部结构的抗弯刚度并减小其质量,可以增大节点间距和提高模态频率,而传统均直等截面梁模型则不能准确描述振型的幅值和节点位置。采用频域分析方法计算车辆在轨道随机激励下的振动响应,将车体垂弯振型节点调整到转向架二系上方附近时,车体的弹性振动水平显著降低,在车速为 300 km/h 时车辆舒适度指标可降低 50%。

219 横风作用下跨线运行动车组转向架气动力变化规律研究

黄尊地 池茂儒 冯永华 常宁 王前选



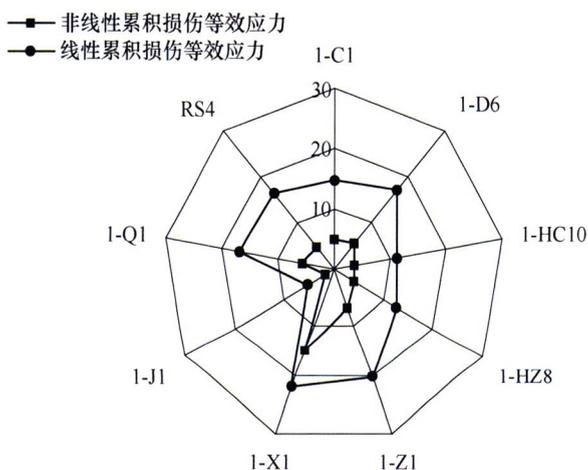
摘要: 为跨线运行动车组自适应转向架的设计提供理论依据,开展不同横风风速下高-低速动车组转向架气动力变化规律研究。建立三维模型,生成混合网格,采用 k-epsilon 双方程湍流模型进行稳态计算以及 Large Eddy Simulation 进行非稳态计算,并通过风洞试验验证其准确性。耦合车速和风速,基于上述仿真算法得出结论:各个转向架的阻力和侧向力变化规律基本一致;动车组运行速度对转向架阻力的影响敏感度大于横风风速,中间车转向架受到的阻力较大;横风风速对转向架侧向力的影响敏感度大于动车组运行速度,尾车转向架的侧向力明显较大,横向运行稳定性最差;转向架 1 和转向架 6 的垂向力变化规律类似,转向架 2 至转向架 5 的垂向力变化规律类似。



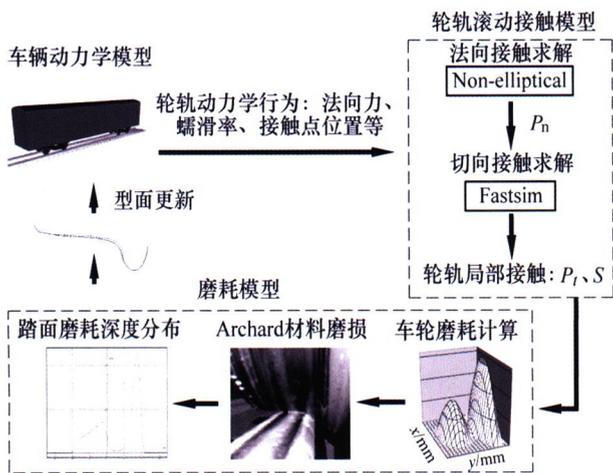
摘要: 为研究车下设备对动车组舒适度的影响,建立考虑车体弹性和多个车下设备的高速动车组垂向动力学模型,实现设备的质量参数、结构参数和悬挂参数等参数化建模,基于频域分析法推导系统加速度频响函数表达式,采用随机轨道不平顺激励功率谱和舒适度滤波函数计算舒适度指标,基于最优同调理论设计设备的最优悬挂频率和阻尼比并进行数值验证。结果表明,车体垂弯频率越高、设备质量越大且越靠近车体中心安装,舒适度指标越小,车辆乘坐舒适性越好,建议将大质量设备(4 t及以上)悬挂在距车体中心5 m以内;设备质心纵向偏心导致其吊挂点的作用力臂改变和转动惯量增加,造成舒适度指标略有增加;在优化设备悬挂参数时,可以忽略车体结构阻尼的影响;设备质量越大,最优悬挂频率越低、最优悬挂阻尼比越大,且应当基于加速度响应设计最优悬挂阻尼比,最优同调条件为车体和设备的相位差接近 $\pi/2$;针对所述车辆,设备最优悬挂频率和阻尼比分别为 7 Hz 和 0.2~0.3,车体加速度功率谱中的弹性振动主频得到充分抑制。

237 高速列车转向架构架损伤、等效应力及寿命分布特性研究

陈道云 王斌杰 肖 乾 李 强 孙守光

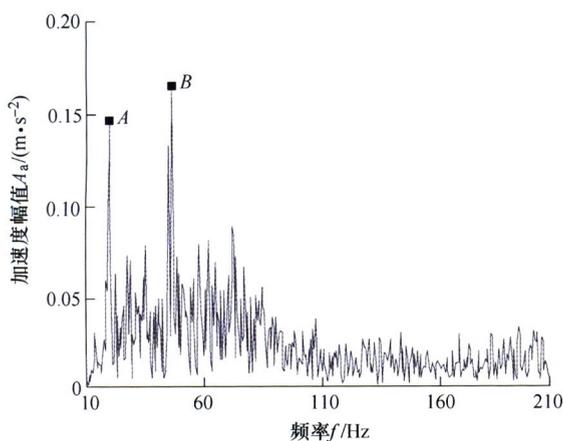


摘要: 为分析高速列车转向架构架损伤、等效应力及寿命分布特性,对构架疲劳关键测点进行动应力线路实测并对测点实测时域数据波形进行解析;基于实测应力时间历程及雨流计数法编制二维应力谱,利用 Goodman 等寿命方程将二维应力谱等效转换为一维应力谱;阐述线性累积损伤及非线性累积损伤模型的建立方法并对实测数据的线性累积损伤及非线性累积损伤进行了计算及对比分析;分别基于线性累积损伤理论及非线性累积损伤理论推导出各理论下的等效应力,基于实测数据对两种等效应力进行了计算及对比分析;通过结合非线性累积损伤及线性累积损伤理论计算的等效应力及不同可靠度下的材料 $S-N$ 曲线计算并对比分析构架结构的疲劳寿命。研究结果表明,与非线性疲劳分析理论相比,线性疲劳分析理论对高速列车转向架构架的疲劳特性评估偏于保守。

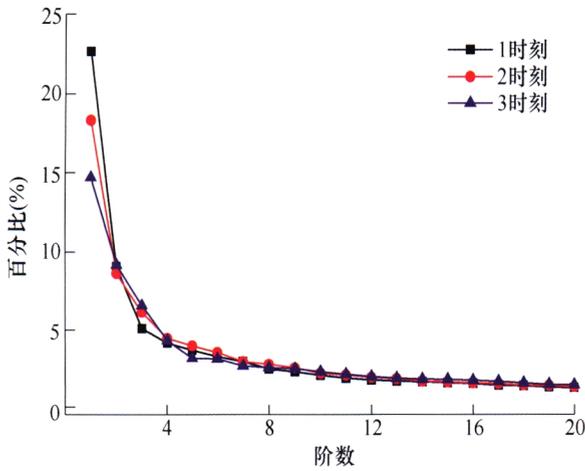


摘要: 轮对偏磨是铁道车辆常见的车轮磨耗形式。对国内某地铁线路的车轮磨耗进行测试分析,发现该线路车辆存在严重的车轮偏磨现象,左侧车轮以轮缘磨耗为主,右侧车轮以踏面磨耗为主。该地铁线路小半径曲线多,且左、右曲线分布严重不均,以及车辆不掉头运行是造成车轮偏磨的主要原因。基于 UM 动力学软件建立车轮磨耗预测模型,利用地铁车轮磨耗测试结果对磨耗预测模型进行验证,根据数值仿真结果提出轮对偏磨的解决措施。仿真结果表明,车辆掉头行驶能明显减缓车轮的偏磨现象,最佳掉头运行里程数为 $2 \times 10^4 \sim 4 \times 10^4$ km。小半径曲线占比对车轮磨耗影响较大,左、右曲线百分比差值小于 3% 时可不采取掉头措施。

交叉与前沿

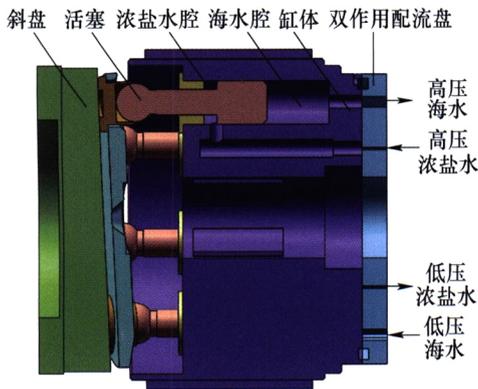


摘要: 消防炮自适应炮头可根据流体压力和流量变化自动调整炮口开度,从而提高消防炮的射流性能,快速高效地扑灭大型火灾。但炮头末端的自适应机构使射流系统具有流固耦合特性,在高速高压作用下,射流系统可能会发生振动乃至共振,进而影响灭火效率。考虑射流系统中流体域和固体域间的流固耦合效应以及炮头内连续体芯杆和端盖与其他离散结构间的连续离散耦合效应,通过集中质量法确定了芯杆和端盖结构的刚度矩阵,采用集中参数法建立了消防炮自适应炮头射流系统的动力学模型及方程。对射流系统进行了自由振动分析,确定了系统各阶固有频率及模态振型,分析了流体初始体积含气量和流体压力对系统固有频率的影响规律。由样机模态试验可知,理论与试验确定的一阶固有频率偏差仅为 0.51%,验证了消防炮自适应炮头射流系统动力学模型的准确性。本项研究可为消防炮自适应炮头射流系统的动力学优化提供理论依据。



摘要: 近距离下淹没冲击射流具有重要的应用前景, 但有关其动态流场特性的研究尚不充分。利用粒子图像测速技术 (Particle image velocimetry, PIV) 对冲击距离为 $H/D=1$ 时的动态流场特性进行测量, 研究雷诺数 Re 和喷嘴端面轮廓(壁面约束)对间隙内旋涡生成的影响, 并对试验数据进行傅里叶分析与本征正交分解方法(Proper orthogonal decomposition, POD)分析。结果表明, 雷诺数 Re 对不同喷嘴端面轮廓(壁面约束)的旋涡生成和迁移影响规律不同。雷诺数对直角型喷嘴的双涡环模式流态影响较小, 但对圆角型喷嘴卷吸流态影响较大, 且随雷诺数的增大流场出现动态对称涡旋, 该对称涡旋逐渐向间隙外迁移且呈现出明显的周期性变化特征。涡量分析得到时均场的涡量大小与分布情况, 通过与 POD 分析中瞬态场的含能大尺度结构分布相结合, 揭示间隙外涡旋能量的来源与变化规律。通过前 4 阶瞬态脉动速度场重构, 可以从微观时间尺度进一步说明瞬态速度场的突变性与周期性。研究成果将有助于加深对冲击射流本质的理解。

271 双介质双排量轴向柱塞泵配流窗处液体的泄漏和掺混特性



摘要: 为进一步提高反渗透海水淡化系统的集成度及其动力元件的工作效率, 同时降低该系统的能耗, 从理论上推导一种新型反渗透海水淡化变量电机泵中, 双介质双排量轴向柱塞泵配流窗处两种不同浓度海水的泄漏和掺混特性。同时, 通过有限元模拟的方法, 研究分析该柱塞泵在不同结构参数和运行参数下两对配流窗处两种不同浓度海水的泄漏和掺混特性。通过与理论分析结果对比, 验证分析模型和所得结果的正确性。分析结果表明: 该柱塞泵两侧配流窗处不同浓度海水的泄漏和掺混特性随缸体转速的升高而小幅减弱, 随液膜厚度增加而明显增强; 该柱塞泵外侧配流窗处不同浓度海水的泄漏和掺混特性几乎不受浓盐水侧压力变化的影响, 而其内侧配流窗处不同浓度海水的泄漏和掺混特性则随着浓盐水侧压力的增加而明显减弱。研究结果为海水淡化双介质双排量轴向柱塞泵设计及其配流窗处不同浓度海水的泄漏和掺混特性研究提供参考。

CONTENTS

- 1 Ultrasonic Array Detection Method on Cylindrical Surface Diffusion Weld of Complex Structural Parts**
LI Wentao ZHOU Zhenggan
- 8 Resolution Enhancement of Total Focusing Imaging Combining with Autoregressive Spectral Extrapolation**
LIN Li SHI Siqu SUN Xu MA Zhiyuan ZHANG Xiaofeng LIU Lili JIN Shijie
- 14 Remaining Useful Lifetime Prediction of the Equipment Subjected to Imperfect Maintenance Based on the Compound Nonhomogeneous Poisson Process**
WANG Zezhou CHEN Yunxiang CAI Zhongyi XIANG Huachun WANG Lili
- 24 Flexible Customization Oriented Leader-follower Joint Optimization of Production Planning for Parallel and Non-equivalence Bus Mixed-model Assembly Lines**
ZHANG Wei WANG Shaojie GAN Yawen HOU Liang XU Changhua
- 38 Influence of Trepanning Technology on the Accuracy of Residual Stress Measurement Using the Deep-hole Drilling Method**
ZHAO Meijuan CHEN Jing CHEN Huaining
- 46 Two-dimensional Dynamic Grid Compressive Beamforming for Acoustic Source Identification**
FAN Xiaopeng YU Lichao CHU Zhigang YANG Yang LI Li
- 56 Numerical Simulation and Experiment of Single Track Scanning and Lapping in Selective Laser Melting**
LIANG Pinghua TANG Qian FENG Qixiang SONG Jun
- 68 Semi-analytical Method for Solving the Stress Intensity Factor of Mode I-II Crack Based on Energy Density Equivalence Principle**
HUANG Maobo CAI Lixun QI Shuang
- 76 Study on the Control of Welding Residual Stress and Distortion by Welding with Trailing Cooling of Argon Gas for Al/Steel Thin Sheet**
FAN Ding HAN Miaomiao LI Chunling YU Xiaoquan ZHAO Jinlong

- 82 Numerical Simulation of Effects of Laser Incident Angle on Transient Behaviors of Molten Pool and Keyhole during Laser Welding**
GAO Xiangdong FENG Yanzhu GUI Xiaoyan PENG Cong ZHANG Yanxi PAN Chunrong
- 90 Nanoindentation Experiment and Finite Element Characterization of the Cyclic Deformation Behavior of Duplex Stainless Steel**
GUO Sujuan SHI Yanru JIA Yunfei ZHAO Jian
- 101 Multiscale Analysis on the Effect of Lap Length on Bonding Strength of Adhesively Bonding Structures of Plain Weave Composites**
MA Xiaolong LI Cheng TIE Ying HOU Yuliang MAO Zhengang
- 112 Study on Tensile and Creep Property of Thermal Recovery Wellhead Material 30CrMo**
CAO Xuxiang YAN Tingjun LI Pengpeng WANG Tingyi LI Feng
- 120 Distribution of Relaxation Times Analysis of Proton Exchange Membrane Fuel Cell Electrochemical Impedance Spectra**
YUAN Hao DAI Haifeng DU Runben WEI Xuezhe
- 131 Research on Self-healing Control Method of Reciprocating Compressor Capacity Control Instability**
JIANG Zhinong ZHOU Chao ZHANG Jinjie LIU Wenhua WANG Yao SUN Xu
- 142 Parameterized Study on Energy Acquisition of Vibrating Rotating Cylinder**
CUI Zhifei SUN Jinjing XU Bin HUANG Diangui
- 148 Study on Dynamic Behaviour of Metro Train and Embedded Track System I: Theoretical Modeling, Experimental Analysis and Verification**
HAN Jian LI Zhihui XIAO Xinbiao YANG Gang WEN Zefeng JIN Xuesong
- 159 Distribution and Variation of Bolt Bending Moment of Brake Discs under High-speed Rotation**
FAN Tongbai REN Zunsong ZHA Hao XU Ning
- 167 Study on the Limiting Value of the Rail Decay Rate Based on Interior Noise**
LIU Xiaolong HAN Jian XU Hanwen XIAO Xinbiao ZHU Leiwei WEN Zefeng
- 176 Consistency Variation Law and Equalization Strategy of Electric Vehicle Battery for Maximizing the Life of the Battery Pack**
WANG Yixiu WEI Xuezhe FANG Qiaohua ZHU Jiangong DAI Haifeng
- 184 Evolution of the Polygonal Wear of High-speed Train Wheels**
DING Junjun YANG Jiuhua HU Jingtao LI Fu
- 190 Analysis of Temperature Field of Wet Clutch Considering Contact Stress Field and Cooling Flow Field of Friction Pair**
WU Bangzhi QIN Datong HU Jianjun LIU Yonggang

- 201 Model Predictive Control of Engine Start-up for Compound Power-split Hybrid Powertrain**
ZHAO Zhiguo FU Jing JIANG Lanxing FAN Jiaqi
- 210 Effect of Modal Node Position of Vertical Bending of Car Body on Its Vibration**
YANG Sheng LI Fansong SHI Huailong WU Pingbo
- 219 Study on the Aerodynamic Change Law of EMU Bogies of Running-across-lines under Cross-wind Effect**
HUANG Zundi CHI Maoru FENG Yonghua CHANG Ning WANG Qianxuan
- 227 Influence of Car Body-suspended Equipment on the Ride Comfort of High-speed Railway Vehicles**
GUO Jinying SHI Huailong WU Pingbo WANG Jing
- 237 Study on Damage, Equivalent Stress and Life Distribution Characteristics of Bogie Frame of High-speed Train**
CHEN Daoyun WANG Binjie XIAO Qian LI Qiang SUN Shouguang
- 247 Causations and Countermeasures of Wheel Partial Wear of Metro Vehicles**
XIAO Guofang TAO Gongquan LIU Mengqi REN Dexiang WEN Zefeng ZHOU Xiaojiang
LU Wenjiao
- 256 Analysis of Free Vibration of Adaptive Head Jet System of Fire Water Monitor**
YUAN Xiaoming WANG Chu ZHAO Shiyi ZHANG Lijie
- 263 Dynamic Flow-field Characteristics of Close-range Submerged Impinging Jet**
HU Jianjun YANG Ziwen JIN Yaolan WANG Simin KONG Xiangdong
- 271 Liquid Leakage and Mixing Characteristics at Distribution Windows of Dual-medium and Dual-displacement Axial Piston Pumps**
SUN Yanan GAO Dianrong

《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) 张崢(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

22