

机械工程学报[®]

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

封面文章：重大装备形性一体化数字孪生关键技术

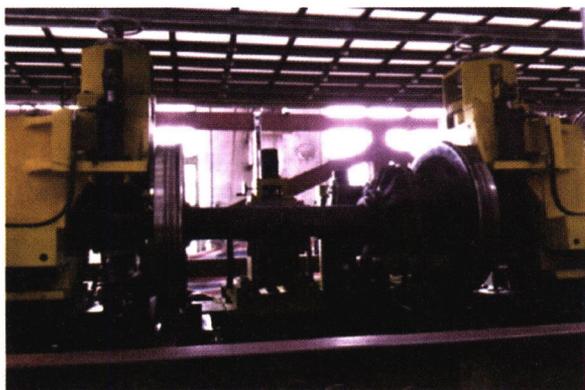
作者：宋学官 来孝楠 何西旺 杨亮亮 孙伟 郭东明

58卷 **10**期 **半月刊**
2022年5月刊

// 仪器科学与技术 //

1 基于分层算子形态小波的轮对轴承复合故障检测

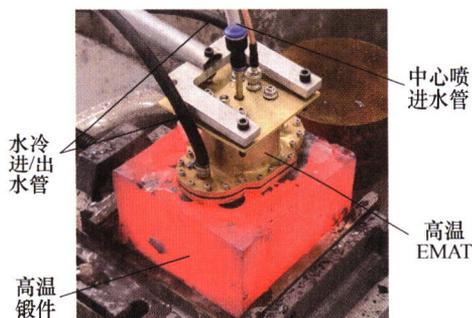
李奕璠 杨杰 陈再刚 易彩 林建辉



摘要: 形态学算子可以分为降噪型算子和特征提取型算子两大类。现有的形态非抽样小波方法在多层分解的每一层均使用相同的形态学算子,但反复使用某种降噪型或特征提取型算子有时很难准确获得信号的特征信息。为此,提出分层算子形态非抽样小波,每一层分解采用不同的形态学算子,通过对去噪型和特征提取型算子的有机融合,方法在故障特征提取方面具有更强的针对性、灵活性,同时也具有明确的物理意义和可解释性。针对轮对轴承复合故障的特点,提出一种局部特征幅值比原则,从不同分辨率对应的不同分析尺度的分析结果中,分别挑选出对不同类型故障最为敏感的分析尺度,进而实现复合故障中各故障的有效分离。在试验台采集轮对轴承复合故障振动信号,将提出的分层算子形态小波应用于实测数据的分析。研究表明,提出的方法能有效检测轮对轴承复合故障,与现有的形态非抽样小波方法相比,分层算子形态小波对复合故障的辨识能力更强。

12 高温锻件在线快速检测螺旋线圈 EMAT 优化设计

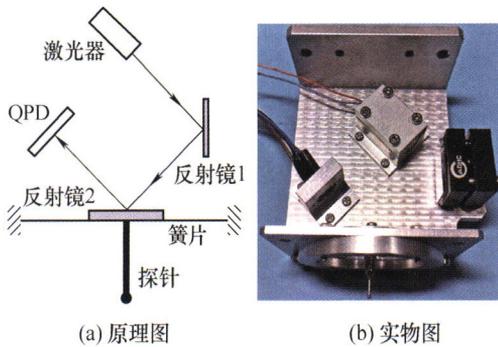
陈巍巍 石文泽 卢超 程进杰 陈尧 陈果



摘要: 在高温铸造/锻造过程中进行缺陷的检测、控制和修复以及厚度测量,并据此调整加工工艺参数,及时剔除缺陷/尺寸超标件,避免进入下一步工序,对提高产品合格率、实现环保制造,具有重要的工程应用价值。针对电磁超声换能器(Electromagnetic ultrasonic transducer, EMAT)在大提高、强环境电磁干扰、高温等严苛条件下对表面粗糙形貌、晶粒粗大的铸锻件进行快速检测时的信噪比和空间分辨率差这一难题,建立基于 chirp 信号激励的螺旋线圈 EMAT 检测过程的有限元模型,采用正交试验表,分析 EMAT 设计参数、chirp 信号带宽、脉宽等因素对脉冲压缩后的回波主瓣峰值和主瓣宽度的影响,分别获取主瓣峰值\主瓣宽度最佳参数组合,并通过试验加以验证。设计耐高温 EMAT 探头,比较单一正弦脉冲激励信号和 chirp 脉冲压缩在 650 °C 以上高温锻件检测的信噪比和主瓣宽度。结果表明,采用 chirp 脉冲压缩技术,高温 EMAT 检测的信噪比(Signal-to-noise ratio, SNR)、空间分辨率和检测效率更高。在 720 °C 高温锻件、提高为 3 mm 且无同步平均条件下,与单一正弦脉冲激励相比,采用脉冲压缩技术,SNR 提高了至少 5.4 dB,主瓣宽度减小了 58.8%。

24 基于遗传算法和 Elman 神经网络的接触式探头动态特性补偿

程真英 江文姝 方旭 李瑞君 黄强先

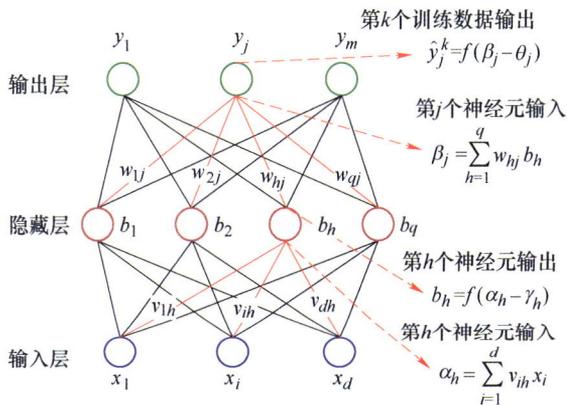


摘要: 动态特性不理想是接触式探头系统动态测量误差的重要来源, 严重制约探头测量速度和精度的提升。提出一种基于遗传算法优化 Elman 神经网络的探头动态特性补偿方法。针对微纳米接触式探头, 采用遗传算法优化 Elman 神经网络的方法对其动态响应输出信号进行了补偿, 使用自适应递推最小二乘方法辨识出补偿前后的探头系统动态模型。探头系统的动态测量不确定度由补偿前的 77.8 nm 减小至 12.1 nm。遗传算法具有较好的全局搜索能力, 克服了 Elman 神经网络容易陷入局部极值的缺陷, 该动态补偿方法具有较快的网络训练速度和较高的动态补偿精度。仿真分析及不确定度评定结果都验证了该方法的有效性。

材料科学与工程

31 数据驱动的钢铁耐磨材料性能预测研究综述

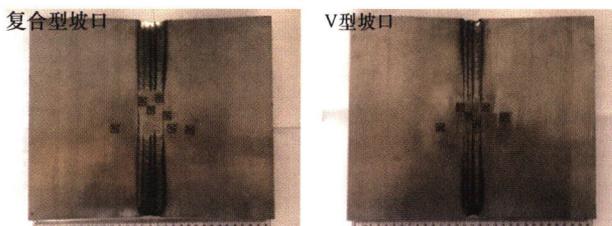
刘源 魏世忠



摘要: 数据驱动方法利用机器学习算法挖掘数据中隐藏的规律, 是一种符合“第四范式”的研究方法。该研究方法的开展基于大量材料基础数据。通过对比国内外材料基础数据平台, 分析利用现有数据平台已开展的研究, 指出钢铁耐磨材料基础数据存在数据匮乏和缺乏统一采集标准两个问题。针对此, 介绍了符合材料基因组计划的数据采集标准, 并给出钢铁耐磨材料专用数据平台的框架以及数据来源。分析了钢铁耐磨材料性能的影响因素, 讨论各种特征选择技术的特点。回顾在材料科学研究中成功应用的几种机器学习算法, 分析每种算法的应用场景, 讨论它们的优缺点, 并对算法性能进行了比较。最后总结一些建议为特征提取和机器学习算法选择提供指导, 并指出数据驱动方法在性能预测、发现新材料和自动化自主试验等方面具有良好的应用前景。

51 坡口形式对双金属复合板多层多道焊接头残余应力演变的影响

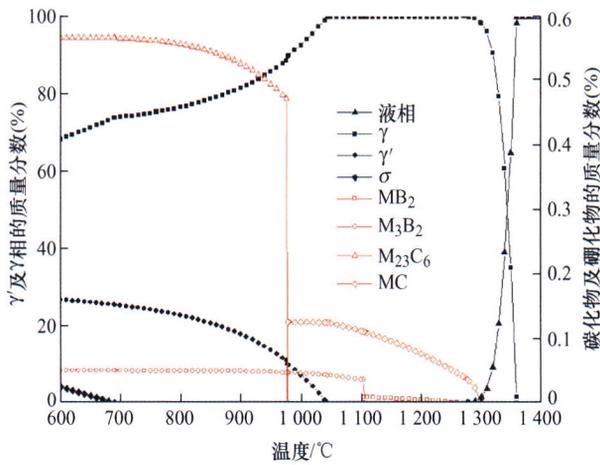
朱敏 郑乔 吴巍 钱伟方 夏立乾 张延松 王宝森



摘要: 采用 TIG 焊制备了 13 mm 厚 Incoloy825 / X52 双金属复合板的对接接头, 采用数值模拟与试验手段相结合的方法, 分析了不同坡口形式对复合板接头焊接残余应力分布的影响, 揭示了双金属复合板多层多道焊过程中残余应力的演变特征。结果表明: 对于双金属复合板而言, 复合型及 V 型坡口接头内部最高应力集中区域均位于过渡层内, 沿水平方向呈现长条状分布, 坡口形式的变化对于接头内部和表面应力的分布特征及峰值没有明显影响; 从残余应力的产生和演变过程来看, 只有当复合板接头的基层、过渡层和复层都焊接完成后, 过渡层内才会产生最高应力集中区域; 此外, 最终焊道对复合板接头的应力分布起着决定性作用, 会对最终应力状态产生很强的牵引作用, 使其呈现偏离试板中心线的不对称分布。

59 新型优质 GH738 合金热变形过程动态再结晶模型的建立

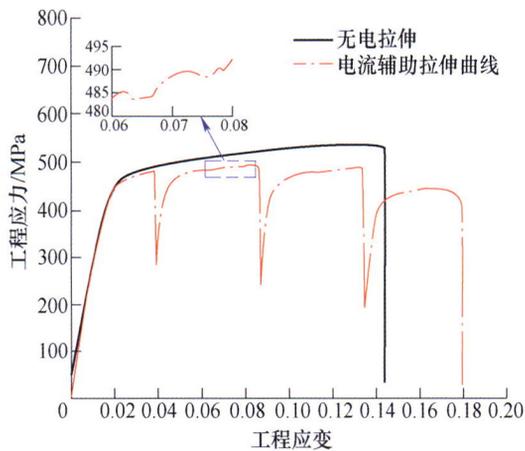
郭晶 牛文龙 马思文 张麦仓



摘要:采用 MTS810-25T 低周疲劳试验机对新型优质 GH738 合金进行热压缩试验,分析该合金在不同初始晶粒尺寸(42~340 μm)、变形温度(1 020~1 100 °C)、应变速率(0.01~1 s⁻¹)和应变量(0.15~0.70)条件下的动态再结晶(Dynamic recrystallization, DRX)组织演化规律,并利用 Avrami 方程构建了该合金的动态再结晶模型,进而结合 DEFORM 软件及热压缩试验进行验证。结果表明,随着初始晶粒尺寸的减小,应变速率的降低,变形温度升高,应变量增加,动态再结晶的体积分数增加;有限元结果及验证试验均表明,建立的新型优质 GH738 合金的动态再结晶临界应变模型、体积分数模型以及晶粒尺寸模型,具有良好的预测精度。

68 极低频电脉冲处理对 Al-Zn-Mg-Cu 铝合金力学性能的影响规律与机理

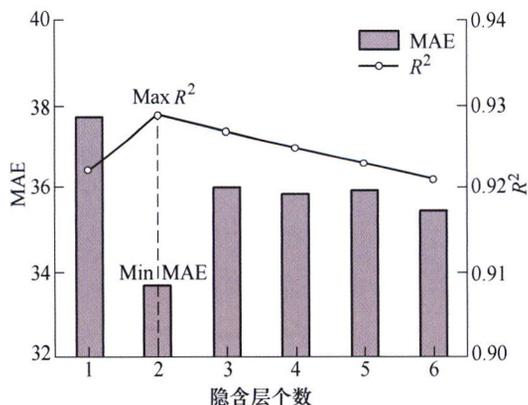
宋燕利 郝川川 宁世儒 吴文林 刘鹏



摘要:电流辅助塑性成形是国际先进制造领域的研究热点,也是高强轻质合金精确成形制造的重要发展方向。研究极低频电脉冲对 7075-T6 铝合金力学性能的影响规律。结果表明,通过电脉冲辅助拉伸,7075-T6 铝合金抗拉强度降低,试样断后延伸率最高可提升 32.3%,且电流密度和持续时间与应力降值之间可建立线性关联关系。揭示电-力耦合时机对铝合金塑性性能的影响机制,在弹性变形阶段施加电脉冲,高速移动电子流会破坏原子间结合力,导致裂纹源提前出现,使铝合金塑性性能降低;而在塑性变形阶段施加电脉冲,高速移动电子流会促进位错运动,提升铝合金塑性性能。研究结果有助于推进高强铝合金在航空航天、舰船、高铁、汽车等领域的广泛应用。

78 基于改进遗传算法优化人工神经网络的 304 不锈钢流变应力预测准确性研究

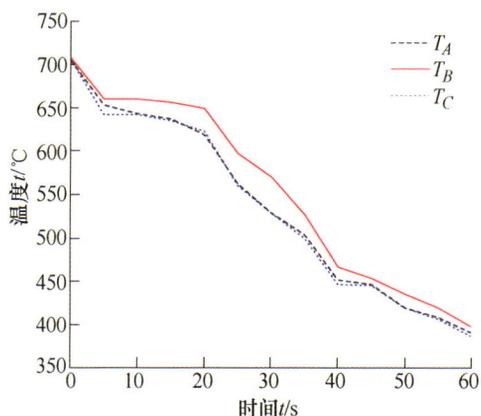
丁军 古愉川 黄霞 宋鹏 路世青 王路生



摘要:随着航空航天和武器装备等国防军工领域对金属材料高温、高应变速率服役条件下的力学性能提出了更高要求。以 304 不锈钢为例,提出一种基于改进遗传算法选择算子的优化人工神经网络预测金属在复杂服役环境下流变应力的新模型。以应变范围为 0.1~0.5、温度变化范围为 20~600 °C、应变速率区间为 0.001~100 s⁻¹下的 304 不锈钢流变应力试验数据为基础,构建了 304 不锈钢流变应力预测模型,并将预测结果与决策树、线性回归和未改进遗传神经网络模型进行对比,以平均绝对误差 MAE 和决定系数 R²为检验参数来评价所建立模型的准确性。结果显示,改进遗传神经网络模型在测试集数据上的 MAE 和 R²最佳,表明该模型能够很好预测 304 不锈钢流变应力。

87 功率超声与挤压铸造耦合工艺对 Al-5.0Cu 合金凝固组织影响的数值模拟与试验研究

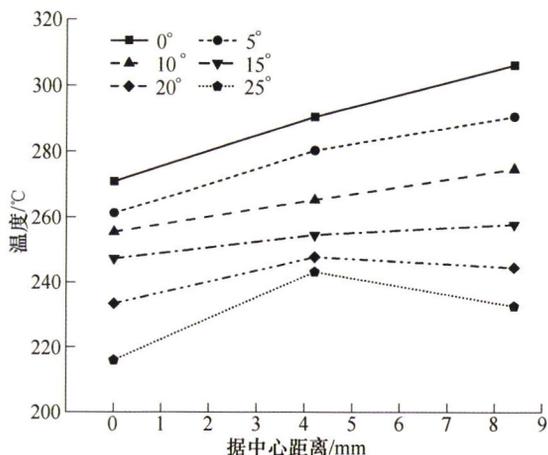
林波 范滔 张杨 赵愈亮 张卫文 王莹



摘要: 采用挤压铸造和功率超声耦合的方式处理 Al-5.0Cu 合金熔体, 利用光学显微镜观察不同工艺参数下的 Al-5.0Cu 合金的微观组织。使用反分析法计算出耦合作用下铸件-模具的界面换热系数曲线, 在此基础上结合 CAFE 宏-微观耦合模型模拟出不同工艺下 Al-5.0Cu 合金的凝固组织, 并与宏观腐蚀结果进行对比, 试验同时测量了熔体内部不同位置的温度变化。通过数值模拟和试验验证相结合的方式, 对比研究了不同工艺对 Al-5.0Cu 合金凝固组织的影响。模拟和试验结果均表明, 功率超声和挤压铸造的耦合作用较于单一外场作用能进一步改善合金的凝固组织, 同时可以完全消除铸造缺陷; 耦合作用还可以使得熔体内部温度分布更加均匀, 显著细化 Al-5.0Cu 合金的初生晶粒, 有利于得到均匀、细小微观组织。该结果为细化 Al-5.0Cu 合金的组织, 提高合金的力学性能提供了新的思路。

95 锥形端面对铝/钢连续驱动摩擦焊接头界面温度及摩擦扭矩影响的研究

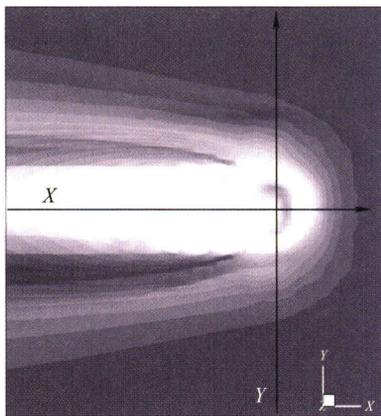
张昌青 师文辰 罗德春 王树文 刘晓 崔国胜 陈波阳 辛舟 芮执元



摘要: 铝/钢复合结构在汽车制造、能源、航空航天领域广泛应用, 在连续驱动摩擦焊接 (Continuous drive friction welding, CDFW) 过程中, 由于母材流动特性与径向摩擦扭矩分布不同, 界面上的氧化物和杂质难以排出、界面产热功率与界面金属间化合物 (Intermetallic compounds, IMCs) 不均匀分布等问题, 将对接头性能产生不利影响。以 1060 纯铝和 Q235 低碳钢棒为研究对象, 在钢棒待焊端面设计 5°、10°、15°、20°、25° 的锥度角 θ 开展焊接试验研究, 分析不同锥度下界面温度、摩擦扭矩、能量输入及接头强度的变化规律。结果表明, 随着锥度角的增大, 初始峰值扭矩减小, 稳态扭矩、后峰值扭矩、焊接全过程能量输入先增大后减小, 初始摩擦阶段能量输入增大; 10°~15° 的接头径向方向的温度与强度变化趋于平缓。锥形结构使界面处热流的高温区域发生移动, 20° 之后峰值温度出现在 1/3R 附近区域, 最高强度出现在 1/2R 附近区域。在 CDFW 过程, 合适的锥度角可在焊接产热足够的情况下改善界面温度与力学性能的不均匀性, 从而得到性能良好的接头, 为异种金属的端面结构设计提供一定的理论指导。

103 焊接速度对电弧增材熔池流动及焊道形貌影响的数值模拟研究

周祥曼 王礴允 袁有录 柏兴旺 田启华 付君健 杜义贤

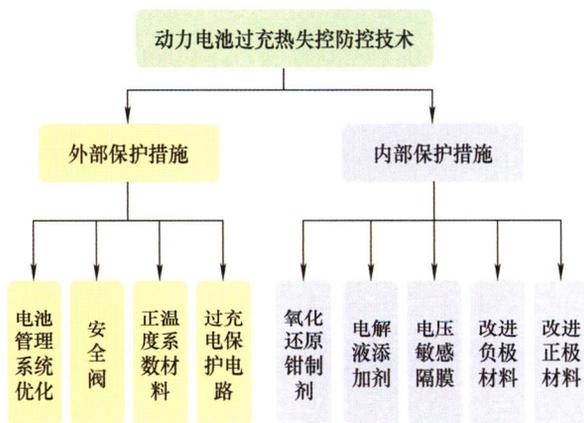


摘要: 焊接速度对电弧增材成形过程中传热传质以及焊道成形有重要影响,为探究其影响机理,建立 TIG 电弧增材成形过程的三维瞬态数值模型,采用 VOF 方法追踪熔池自由界面,研究不同焊接速度下单道熔积成形过程中的传热及熔池流态,并分析焊接速度对单道焊道形貌的影响。数值模拟结果表明,随着焊接速度减小,熔池的热积累增强,体积增大,熔池表面峰值温度提高,弧坑深度也加深;同时,在电磁力和熔池表面力的共同作用下,熔池表面流速峰值随焊接速度减小而减小,熔池内部流速增大,对流更充分。此外,随着焊接速度减小,成形焊道的宽度和高度均有不同程度的增加。相同条件下的试验与数值模拟的焊道轮廓对比验证了数值模拟结果的有效性,研究结论可为电弧增材技术的工艺参数调控提供理论支撑和依据。

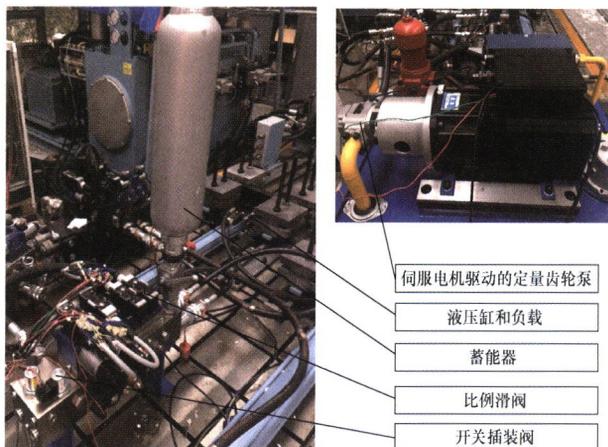
// 运载工程 //

112 新能源汽车动力电池“过充电-热失控”安全防控技术研究综述

周洋捷 王震坡 洪吉超 曲昌辉 山彤欣 张景涵 侯岩凯



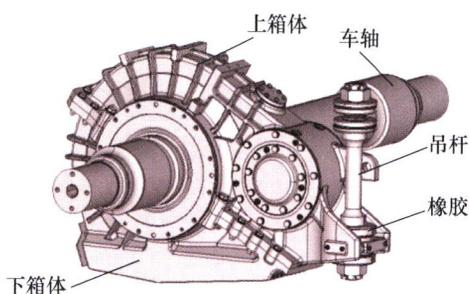
摘要: 锂离子动力电池具有高能量密度、低放电率和长寿命等优点,是新能源汽车的核心部件之一。概述新能源汽车动力电池“过充电-热失控”内外机理和外部特征,并提出过充热失控防控技术新思路。介绍触发动力电池过充热失控的内外部因素及产热、释气等主要外部表征,总结不同触发条件下过充热失控反应机理及特征阶段划分,阐述了当前针对动力电池“过充电-热失控”研究常用的电化学和热力学建模方法;重点归纳了当前动力电池防控过充热失控的常用技术手段及优缺点。基于新能源汽车大数据平台和实车运行数据,提出动力电池过充热失控“六步分析法”,为未来面向实车安全运行的动力电池过充热失控防控新技术研究提供了思路,填补了本领域缺少中文综述的空白。



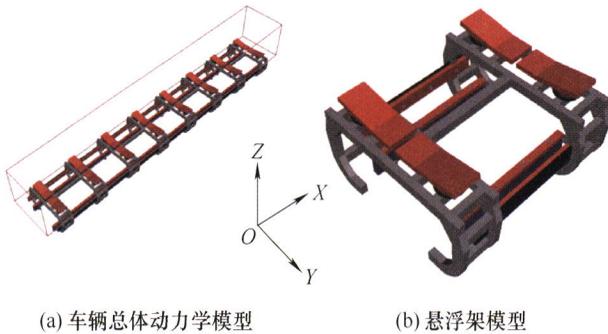
摘要：在智能制造和节能减排的大背景下，电液系统的执行器控制精度和系统能效都十分重要。现有技术实现高精度或高效率单一目标并不困难，但同时实现两个目标仍面临挑战。从电液系统对高精度和高效率的实际需求出发，概述液压回路和控制方法两方面的相关研究现状；其次，以同时实现高精度与高效率为目标，提出并联式泵阀协调电液系统的原理方案，并与单阀芯阀控、负载口独立阀控、开式泵控等常用系统进行对比分析；进而，针对液压缸速度轨迹高精度跟踪任务，采用理想补偿的自适应鲁棒控制方法，设计速度跟踪闭环运动控制器，并从理论上证明了闭环系统的稳定性和跟踪性能；最后，开展了对比试验研究，结果证明该系统能够取得与负载口独立阀控系统相同的高精度，并显著降低系统能耗，即同时实现了高精度与高效率的预定目标。

152 高速列车齿轮箱动应力分布特性研究

杨广雪 安钱钱 李爽 张子璠 李广全 李国顺 陈璨

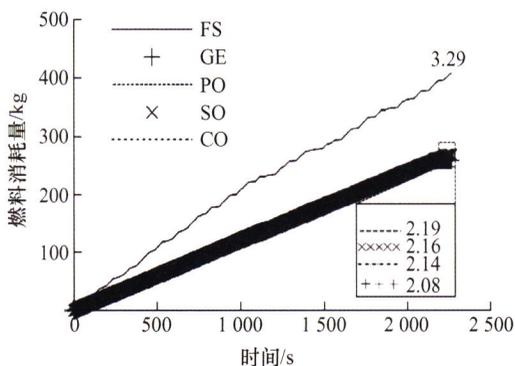


摘要：通过在标准动车组齿轮箱关键部位布置应变传感器获得齿轮箱动应力时间历程曲线，结合 GPS 信号分析高、低速直线运行，牵引状态变化和转矩波动工况下齿轮箱动应力的变化规律。利用雨流计数法统计齿轮箱动应力幅值，并采用核密度估计函数和威布尔分布函数对其进行拟合分析。在此基础上提出组合分布函数来推断动应力最大值并编制动应力扩展谱，最后根据 Miner 线性累积损伤理论得到不同应力等级对齿轮箱疲劳损伤的贡献量。结果表明，列车运行速度、电机输出转矩对齿轮箱动应力幅值均有不同程度的影响；依据基于核密度函数和威布尔分布函数提出的组合分布函数，求解得到齿轮箱端部动应力最大值为 25.43 MPa；根据采用组合分布概率密度函数编制的齿轮箱动应力扩展谱，得到齿轮箱端部在 9~17 MPa 的应力所产生的疲劳损伤比重约占全部损伤的 71.3%，因此在齿轮箱疲劳损伤评估时应关注结构中作用频次高的应力幅值，避免齿轮箱结构的早期疲劳失效。



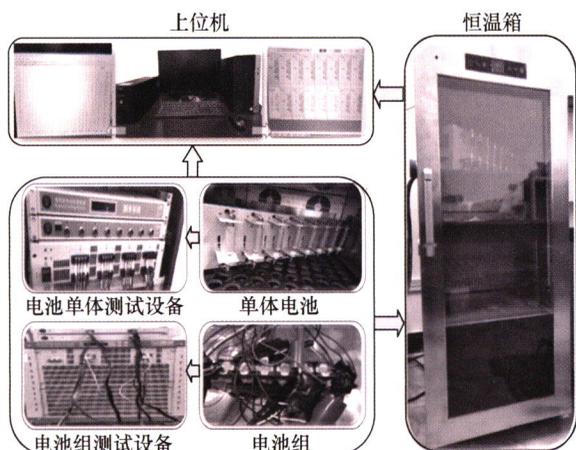
摘要: 建立常导高速电磁悬浮车辆系统动力学模型, 模型详细考虑了电磁悬浮系统、控制系统电动力特性、悬挂系统的非线性特性。传统高速电磁悬浮车辆为摇枕+空簧+吊杆结构, 其结构复杂, 制造、维护成本高。探索性提出取消传统摇枕, 采用大变位空簧直接支撑车体的二系悬挂方案, 并进一步研究无摇枕增设抗侧滚扭杆的二系方案。基于车辆系统动力学模型, 从车辆运行平稳性, 曲线通过性能等角度, 对三种二系悬挂配置下的车辆动力学性能进行了对比分析。得出以下结论: 有摇枕方案的各项动力学指标均较优于无摇枕方案; 相对于无抗侧滚的二系结构, 有抗侧滚的车辆车体横向、垂向及侧滚角位移均有所降低, 并且已经达到了与有摇枕方案基本相当的水平; 无摇枕增设抗侧滚结构的二系悬挂方案能够达到简化车辆悬挂系统结构的效果, 同时能够满足动力学性能要求, 推荐在日后的结构设计中采用该方案并进行试验验证。

169 燃料电池有轨电车能量管理与速度曲线协同优化



摘要: 能量管理策略与目标速度曲线对有轨电车的运行成本具有重要影响。为了降低燃料电池有轨电车的运行成本, 提出三种能量管理策略与目标速度曲线同步优化方案: 并行方案、顺序方案和协同方案。并行优化方案的两者优先优化过程相互独立, 顺序优化方案的两者优先优化过程具有单向联系, 而协同优化方案基于混合智能算法求解, 实现了两者优先优化的双向联系。借鉴有轨电车全寿命周期成本的构成形式, 成本函数由能量源设备初始投资、运行和更换维护等三类成本组成, 其中更换维护成本考虑了能量源的寿命因素。基于武汉某有轨电车线路数据, 分析三种同步优化方案的应用效果, 并与单独优化方案进行对比。结果表明, 协同优化方案可获得最佳列车运行成本和燃料电池效率。

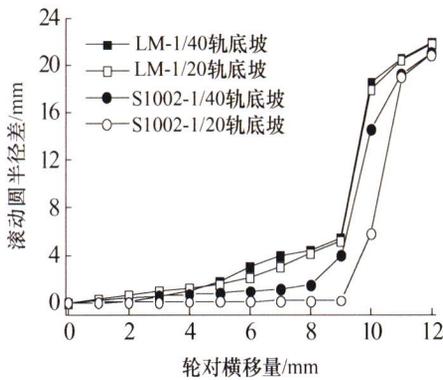
180 基于信息熵与 PSO-LSTM 的锂电池组健康状态估计方法



摘要: 针对目前锂电池组健康状态估计方法的不足, 提出一种基于信息熵与粒子群算法(Particle swarm optimization, PSO)优化长短时记忆神经网络(Long short-term memory neural network, LSTM)的锂电池组健康状态估计方法。基于锂电池组恒流-恒压充电阶段锂电池组内各单体端电压的信息熵和平均温度信息, 应用 PSO-LSTM 方法提取锂电池组电压熵、平均温度和锂电池组健康状态之间的映射关系, 从而建立锂电池组健康状态估计模型。应用实验室测量的锂电池组老化数据对提出的方法进行测试。测试结果表明, 该方法能够准确估计锂电池组的健康状态, 平均估计误差在 1% 以内。同时, 为验证提出的方法可推广至锂电池单体, 利用美国航天航空局测得的锂电池加速老化数据再次测试, 平均估计误差在 0.7% 以内。并针对锂电池组与锂电池单体设计对比试验, 进一步验证提出的方法具有良好的估计性能。

191 基于轮轨型面匹配数值模拟的地铁车轮异常磨损原因分析

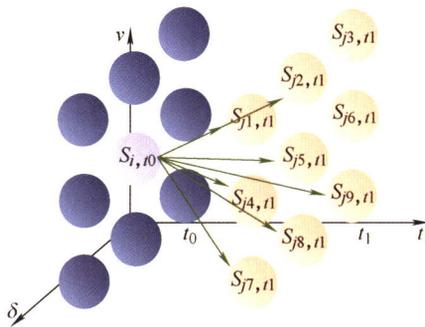
任德祥 陶功权 李 伟 陆文教 温泽峰 金学松



摘要: 通过线路测试和数值仿真对某 B 型地铁列车车轮异常磨损现象进行深入分析。结合轮轨接触几何关系和轮轨滚动接触理论进行轮轨静态接触分析; 基于 UM 软件建立该地铁车辆动力学仿真模型和磨损预测模型, 计算轮对运动状态和车轮磨损水平。通过对比不同轮轨匹配的仿真结果来分析该地铁车辆发生轮缘和踏面异常磨损的原因, 进而提出相应的控制措施。结果表明, 该地铁线路小半径曲线占比较大且钢轨轨底坡异常。地铁车辆轮缘和踏面异常磨损是由较大轨底坡线路条件下轮轨型面匹配关系不合理所导致。将全线轨底坡修正成 1/40 对车轮异常磨损现象的减缓效果有限。为有效减轻该地铁车辆车轮异常磨损, 可考虑将车轮踏面外形由 S1002 镟修为 LM。

200 自动驾驶赛车路径与车速协同规划方法

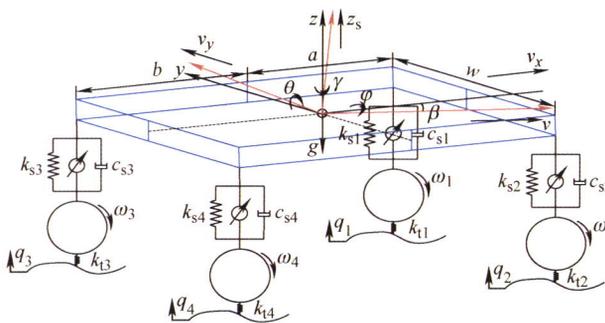
李荣霖 庄伟超 殷国栋 刘昊吉 郑芝芸



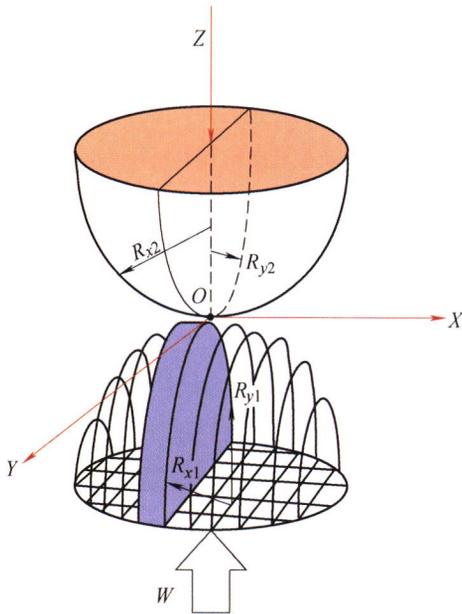
摘要: 自动驾驶赛车需实现路径与车速的同步规划以满足最快驾驶策略需求, 但车辆行驶路径与车速的时空耦合关系使得优化问题难以构建与求解。为此, 提出一种面向自动驾驶赛车的轨迹规划方法(Simultaneous path and speed planning, SP²), 实现路径与车速的快速协同规划。首先, 构建包括赛道边界与车辆动力学约束的自动驾驶赛车轨迹规划问题; 然后, 建立赛车的稳态动作空间与包含时空位置信息的状态-动作空间, 通过离线遍历法确定赛车的可行运动状态转移关系; 接着, 基于稳态动作空间与运动状态转移网, 将原时间最优轨迹优化问题转换为单位时间步长内运动距离最远的优化问题, 并通过滚动多步优化实现赛车圈速最小(时间最优)轨迹的优化。最后, 开展自动驾驶赛车轨迹规划的仿真与微缩试验平台试验。结果表明, 所提出的 SP² 算法可以高效地实现自动驾驶赛车的全局路径与车速规划, 并且较常规中心线轨迹具有更快的圈速。

209 电动轮驱动汽车空间稳定性底盘协同控制

张利鹏 段嘉瑶 苏 泰 任晨辉



摘要: 电动轮驱动汽车可以独立控制各车轮驱/制动力矩, 并能够通过驱动、制动、转向和悬架系统的协同显著提升线控底盘的动力学控制能力, 但车辆各子系统控制功能的简单叠加无法发挥整车控制能力。为改善线控底盘的整车稳定性控制效果, 提出综合前轮主动转向、四轮差动驱动和悬架主动调控的空间稳定性协同控制方法。搭建整车动力学仿真平台, 分析车辆失稳过程特征; 构建底盘协同控制架构, 计算出车辆状态期望值及主动悬架介入条件, 设计出前轮主动转向和四轮差动驱动直接横摆力矩控制权重分配方法; 设计出基于模型预测控制的前轮主动转向控制器、基于滑模变结构控制的直接横摆力矩控制器及基于非奇异终端滑模控制的主动悬架控制器并完成了仿真验证。研究表明, 提出的底盘协同控制方法在不同附着条件路面上均能保证车辆安全、稳定行驶, 所完成研究为线控底盘集成控制策略开发提供了新思路。

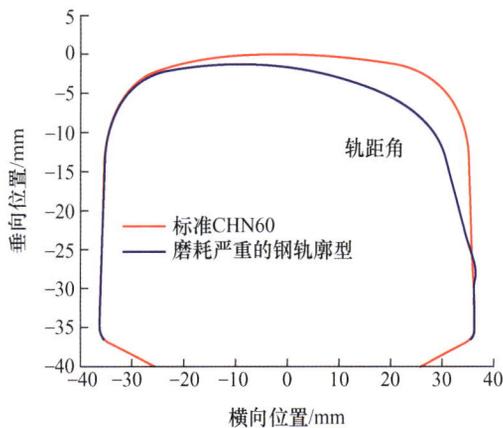


摘要: 针对现有金属带式无级变速器(Continuously variable transmission, CVT)滑摩传动过程中润滑机制影响金属带传递安全性与效率的问题。以某国产自主研发 CVT 为研究对象,对 CVT 从动带轮与金属带摩擦片之间作用力和应力分布趋势的分析,建立金属带轮运动下的热弹流润滑模型。由于 CVT 运行过程中油膜状态在多变约束空间下具有临界极值的特性,提出润滑特性符合最小作用量原理的假设,构建符合最小作用量原理的 CVT 润滑特性 Lagrange 函数及最小作用量原理模型,推导出 CVT 润滑过程中实际作用量和理论最小作用量的数值,厘清变温环境下膜厚作用量的变化趋势,验证假设的合理性。求得金属带轮与摩擦片间宏观摩擦因数与微观油膜剪切力的函数表达式,结合 CVT 传动综合试验,分别测试摩擦因数、温度、传动效率与转矩比的工作关系,计算金属带最佳传递转矩数值。将运行特定工况参数范围得到的结果进行插值处理,确定 CVT 滑摩传动安全裕度,分析变速机构不同速比、输入转矩与转速在确定安全裕度下传动效率的变化特性。结果表明,基于最小作用量原理优化下的 CVT 传动效率可有效提升 2.62%~3.76%。为解决 CVT 传递安全性及效率问题提供了一种新的优化思路。

235 温度和电压因素对超级电容性能衰退的影响机制及其老化建模研究

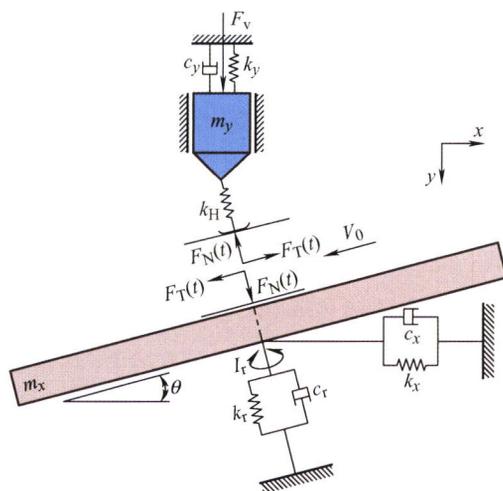
摘要: 具有卓越高比功率特性的超级电容在电动载运工具上备受青睐,开展性能退化机理分析和建模对其高效可靠地工作具有重要意义。为获得全面的老化数据且提升模型的适应性,选用两款超级电容进行不同温度和截止电压条件下的加速老化试验,试验表明温度和截止电压均会影响电容的衰退性能,其中提升截止电压会显著加速内阻增长。为表征超级电容的容量衰退特性和内阻变化规律,采用 Box-Cox 变换技术将超级电容容量衰退数据转换为线性衰退轨迹以构建线性老化模型,然后应用 Arrhenius 定律建立数据驱动的超级电容容量和内阻的衰退预测模型。针对不同截止电压和老化状态下超级电容容量衰退差异的问题,构建了全寿命周期的比例系数函数。试验与仿真结果表明,容量衰退轨迹的预测误差在 5%以内,内阻变化轨迹的预测误差在 10%以内。





摘要: 为了缓解重载曲线钢轨易出现的磨耗严重、接触应力大的问题, 建立曲线钢轨廓形非对称优化设计方法, 分析优化策略对轮轨磨耗和轮轨接触应力的影响。基于车辆-轨道动力学理论、轮轨磨耗理论、赫兹接触理论、遗传优化算法、层次分析法, 以钢轨廓形离散点坐标为优化变量, 以车辆动力学性能指标和钢轨几何特征为约束条件, 以磨耗和应力作为优化目标, 获得曲线钢轨廓形非对称优化设计方法。运用该方法研究在优化迭代中只考虑磨耗、只考虑应力和同时考虑磨耗-应力的三种优化设计策略。结果表明, 与现场实际钢轨廓形相比, 只考虑磨耗的设计策略会导致应力上升 24%, 综合评价指数上升 8%; 只考虑应力的策略会导致磨耗上升 149%, 综合评价指数上升 258%; 同时优化磨耗和应力的策略使磨耗和应力分别下降 32%和 22%, 综合评价指数下降 17%; 最优钢轨廓形在能够提供较大轮对横移量的同时并没有加剧轮缘磨耗, 更有利于曲线通过; 随着速度和载重的增大, 最优钢轨廓形的磨耗指数、接触应力以及脱轨系数等性能指标相比实测廓形更小。

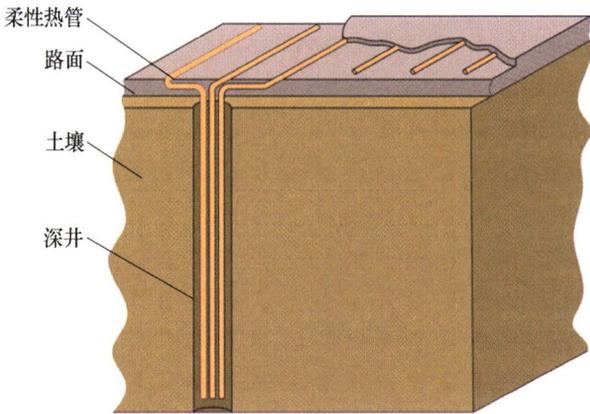
254 基于模态耦合与负阻尼理论的啸叫噪声的研究



摘要: 车辆通过小半径曲线轨道时会产生高频的啸叫噪声, 其产生原因被归结为摩擦蠕变曲线的负斜率引入了负阻尼效应, 即负阻尼理论。然而, 有研究发现当负斜率被消除时, 啸叫噪声仍会产生。为解决该问题, 基于模态耦合与负阻尼理论建立二自由度耦合动力学模型, 并应用复特征值法分析关键参数对系统稳定性的影响。结果表明当关键参数在一定范围内时, 系统较不稳定并易于激发啸叫噪声。由于啸叫噪声的产生和声压级受初始条件的影响, 因此有必要对系统进行混沌动力学分析。混沌行为的分析结果可阐明系统从稳态到准周期再到混沌的演化过程。此外, 还确定了系统振动行为较易受影响的参数范围。该模型进一步引入了扭转振动自由度用于分析扭转振动对系统振动的影响, 分析结果阐明了扭转振动在组合参数区间上对系统振动的影响, 这为有效预测及缓解啸叫噪声提供了理论依据和分析方法。

265 柔性热管的研究现状与发展趋势

汤勇 孙亚隆 唐恒 万珍平 袁伟



摘要: 热管凭借高传热效率、高稳定性、长寿命和低成本等优势已经成为解决高性能微电子器件散热难题的主要方案。然而,日益兴起的柔性可穿戴式电子设备对高热流密度电子器件的散热系统提出了柔性化需求,传统铜、铝基热管已经难以满足轻薄型柔性电子设备的散热需求。可弯曲、高性能、轻薄化的柔性热管逐渐成为热管技术的研究热点和发展方向。详细介绍柔性热管的结构类型、封装工艺和应用领域,重点综述目前国内外关于柔性热管在吸液芯结构和封装工艺等方面的研究进展,分析讨论了其在柔性微电子器件散热领域应用中存在的不足,并对柔性热管的发展趋势进行科学预测与展望。

280 基于分段四次速度矩分布的叶片式气液混输泵导叶设计方法

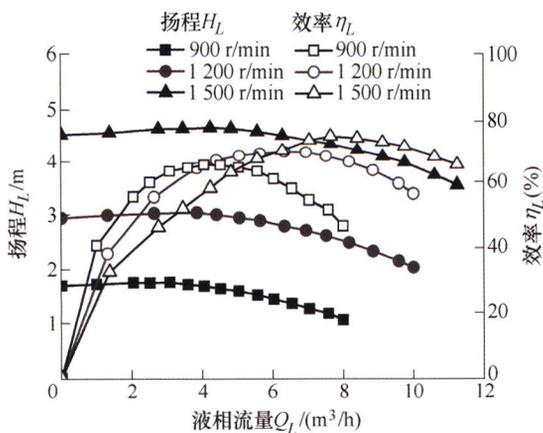
刘明 谭磊 曹树良



摘要: 叶片式气液混输泵是深海油气资源开采的核心装备,导叶对其输运性能影响较大,而混输泵导叶设计相关的研究很少。提出一种基于分段四次速度矩分布的叶片式气液混输泵导叶设计方法,利用三段四次函数控制导叶速度矩的分布规律,通过给定控制点流线长度及载荷等参数确定分布规律。将该设计方法应用到三级叶片式气液混输泵中,并选取轮毂前控制点载荷 L_{1h} 、轮毂前后控制点载荷差 ΔL_h 、轮缘前控制点载荷 L_{1s} 、轮缘前后控制点载荷差 ΔL_s 、前控制点流线长度 m_1 、后控制点流线长度 m_2 、起点载荷系数 k_0 等 7 个参数,对混输泵导叶进行 7 因素 3 水平的 $L_{18}(3^7)$ 正交优化。完成混输泵导叶设计和优化后,泵效率在单相和两相工况下分别平均提升 6.73% 和 4.10%。优化前后的流场显示,导叶内流场低速区范围明显缩小,流动分离的范围和强度都受到了明显抑制。

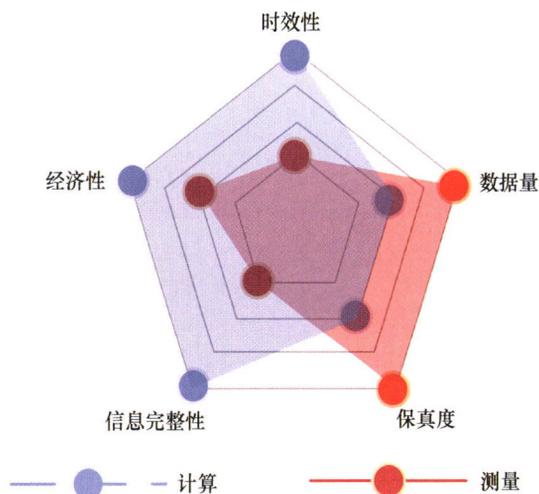
289 泡状入流条件下离心泵喘振特性试验研究

贺登辉 张振铎 常壮 郭鹏程 白博峰



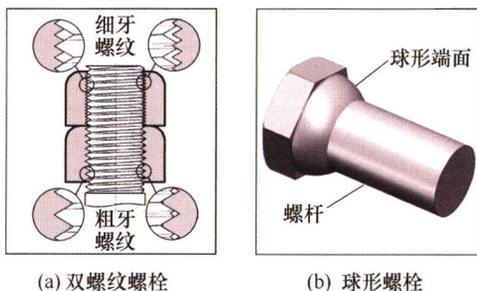
摘要: 设计离心泵全流道可视化试验装置,结合高速摄像技术研究泡状入流条件下离心泵的喘振特性,揭示叶轮内气液相分布与泵喘振的关联机制,分析入口体积含气率、液相流量和转速对泵喘振特性的影响,并基于研究对象和试验结果,对比几个典型泵喘振临界体积含气率预测关联式。结果表明,离心泵的喘振主要受泵内气液两相分布影响,当叶轮内流型由气囊流转变为分离流时,泵发生喘振现象;入口体积含气率增加直接导致泵发生喘振,入口体积含气率的变化影响叶轮内流型,进而影响泵的性能;离心泵喘振条件下,通过合理调节液相流量来改变泵内流型,可以减轻泵的喘振;增加转速可以延缓叶轮内气液分离,推迟泵喘振现象发生,增加泵的携气能力,进而改善泵的性能。已有的喘振预测模型获得的临界体积含气率与试验结果相比尚存在一定的偏差,目前仍然缺乏针对蜗壳式离心泵的喘振预测模型。

宋学官 来孝楠 何西旺 杨亮亮 孙伟 郭东明



摘要: 重大装备形态和性能的精准预测与分析是实现其智能化和自主创新的关键技术之一。数字孪生作为连接物理世界和数字世界的纽带,可用于在数字世界中建立物理实体材料选择、结构设计、加工制造和运维管理的全生命周期真实镜像。面向重大装备几何形态和结构力学性能,通过分析当前建立数字孪生的需求与难点,提出机理模型与实测数据联合驱动的“算测融合”解决方案;综合考虑孪生模型的时效性与准确性要求,构建重大装备“形性一体化”的数字孪生框架。详细论述当前构建重大装备数字孪生所面临的“算不了”、“算不准”、“算不快”、“测不了”、“测不全”和“测不准”六个具体问题,并给出相关解决方案和关键技术。通过典型案例验证了所提框架与关键技术的可行性与有效性,为数字孪生在重大装备中的落地应用提供了理论和技术参考。最后,探讨了重大装备数字孪生的未来发展趋势和所面临的进一步挑战。

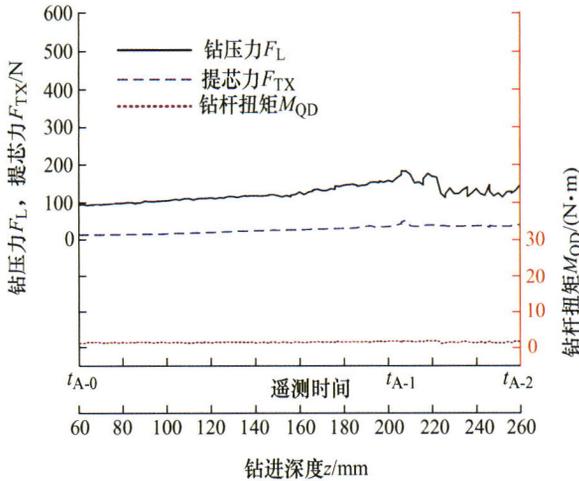
巩浩 刘检华 冯慧华



摘要: 螺纹松动失效将导致螺纹连接失去原有的功能、降低机械产品性能,甚至在某些情况下诱发紧固件疲劳断裂,进而引发严重的安全事故。国内外学者针对螺纹连接的松动机理和防松方法展开大量的研究,为充分了解松动机理和防松方法的研究进展,推动相关问题的深入研究,在阐述螺纹连接松动内涵的基础上,提出将螺纹连接松动分为非旋转松动和旋转松动两个类型,并从非旋转松动和旋转松动两个方面对螺纹连接松动的相关研究进展进行综述;同时从传统防松结构和新型防松结构两个方面,对螺纹连接防松方法的相关研究进展进行综述。最后,对论文进行了总结,并展望了螺纹连接松动机理和防松方法的未来研究方向。

348 嫦娥五号月壤剖面钻进取芯状态分析与解译

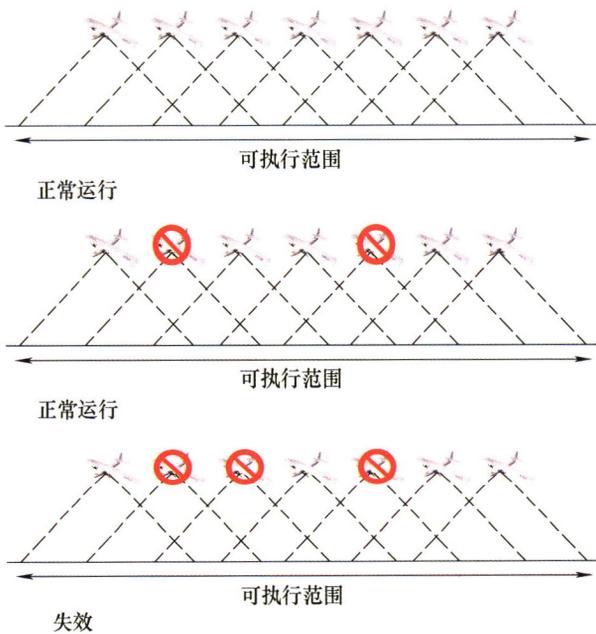
姜生元 梁杰能 赖小明 邓湘金 庞勇 张伟伟 唐钧跃 全齐全 彭兢 张高 邓宗全



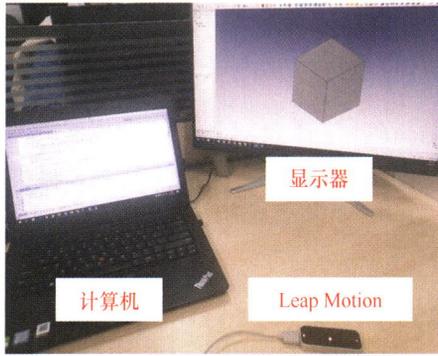
摘要:嫦娥五号探测器通过表取和钻取的方式分别采集了表层和剖面月壤,并将月壤样品返回地球。月面钻进取芯过程的遥测数据直接反映了采样钻具与剖面月壤之间的相互作用状态,对其进行分析与解译能提高月面钻取采样任务的科学价值。基于嫦娥五号钻取采样装置的系统构成、工作原理和性能指标,从遥测数据中辨识出代表性钻进取芯工况。结合机-壤相互作用机理以及地面钻取采样试验数据,分析钻进取芯过程及其负载波动状态的月壤结构成因,并对全钻进剖面的月壤层序状态进行机理性解译。研究表明,嫦娥五号钻进点月壤剖面至少具有三个明显的层序结构,钻进剖面内存在着毫米级尺度月壤颗粒;钻取采样装置面对非确知月壤剖面已充分发挥其预定效能,并针对我国后续拟实施的星壤剖面采样探测技术做出了展望。

361 无人机集群任务可靠性建模及重要度分析

白光哈 张驰 兑红炎 张云安 陶俊勇

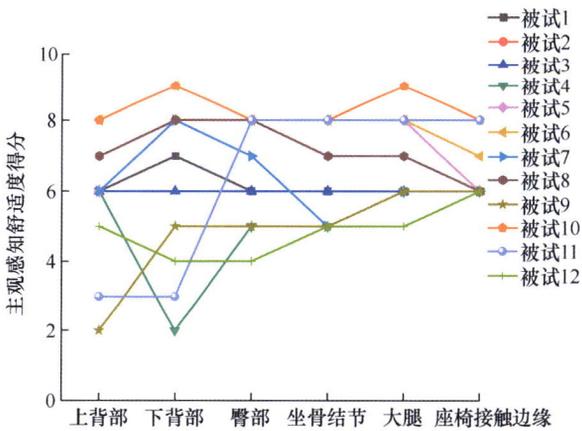


摘要:面对复杂、高对抗的战场环境,传统以平台为中心的静态可靠性评估难以满足无人机集群执行多样化任务的可靠性分析需求。由于无人机集群本身具有一定的冗余性,对其可靠性的研究重点已转变为以任务为中心的可靠性。及时、准确评估无人机集群任务可靠性,并分析集群的薄弱环节,对于任务规划、决策制定和提高任务成功率具有重要意义。根据集群的编队队形和任务,建立基于一维线性连续 n 中取 k 系统和二维连续 (m, n) 中取 (r, s) 系统的无人机集群任务可靠性模型,并得出当集群中不同位置的某架或某些无人机失效时对集群任务可靠性变化以及性能的影响。然后分别建立无人机集群在一维、二维空间的 Birnbaum 重要度和综合重要度分析模型,确定集群中的薄弱环节和关键无人机。最后基于不同编队形式的无人机集群任务可靠性算例,分析无人机失效对集群任务可靠性以及性能的影响,验证了提出方法的正确性和有效性。



摘要: 自然的设计意图表达是概念设计阶段的重要需求之一, 探索自然、直观的交互模式逐渐成为 CAD 技术的新发展方向。目前, 基于手势的自然交互模式已成为实现新型 CAD 交互模式的重要途径。然而, 现有基于手势的 CAD 交互方法中仍存在着映射关系固定, 难以利用少量手势表达较多的操控指令的瓶颈问题。为此, 提出一种基于情境的 CAD 模型手势操控技术, 建立一种描述 CAD 建模过程中人机交互场景的情境模型, 通过试验采集用户在 CAD 建模情境中的手势偏好, 利用决策树模型建立在特定情境下手势与 CAD 指令的映射关系, 实现手势与 CAD 指令一对多柔性映射, 手势可映射 CAD 指令数量增加 100%。进一步通过试验对比手势和键盘鼠标两种交互模式在 CAD 建模过程中的操控速度和精确度, 结果显示手势交互模式能够更加快速地表达出用户设计意图, 且操控精度与键盘鼠标交互模式几乎无差异。

383 基于理想压力的机车座椅优化设计与舒适度试验研究



摘要: 为了提高某出口型电力机车司机座椅舒适性, 结合人机工程仿真软件 JACK、主观感知舒适度量表及压力坐垫对司机座椅人机系统进行分析, 进而基于人体工程学的座椅靠背设计方法对座椅靠背形态进行优化, 对优化后座椅靠背的人机匹配度进行了仿真分析和主客观试验验证, 结果表明优化后的靠背设计方案比靠背原型的人机交互匹配度更高, 且能对司机背部形成良好的支撑。最后利用 Matlab LIBSVM 工具箱建立舒适度预测模型对座椅舒适度进行预测分析, 得到均方误差 $MSE=0.0037534$ 、相关系数 $R=93.0631\%$, 该模型预测精度高, 可大幅简化主观评价流程。该座椅靠背设计方法可为轨道交通装备司机座椅的舒适性设计提供理论参考和试验依据。

CONTENTS

- 1 Wheelset-bearing Compound Fault Detection Based on Layered-operator Morphological Wavelet**
LI Yifan YANG Jie CHEN Zaigang YI Cai LIN Jianhui
- 12 Optimal Design of Spiral Coil EMAT for Online and Rapid Detection of High-temperature Forgings**
CHEN Weiwei SHI Wenze LU Chao CHENG Jinjie CHEN Yao CHEN Guo
- 24 Dynamic Compensation for Contact Probe Based on Genetic Algorithm and Elman Neural Network**
CHENG Zhenying JIANG Wenshu FANG Xu LI Ruijun HUANG Qiangxian
- 31 Review on Data-driven Method for Property Prediction of Iron and Steel Wear-resistant Materials**
LIU Yuan WEI Shizhong
- 51 Study of Influences of Groove Type on Welding Residual Stress Evolution in Bimetallic Clad Plate Joints during Multi-layer and Multi-pass Welding**
ZHU Min ZHENG Qiao WU Wei QIAN Weifang XIA Liqian ZHANG Yansong WANG Baosen
- 59 Dynamic Recrystallization Model Analysis of New Type High Quality GH738 Alloy during Its Hot Deformation Processes**
GUO Jing NIU Wenlong MA Siwen ZHANG Maicang
- 68 Effect of Extremely Low Frequency Pulse Current Treatment on the Mechanical Properties of Al-Zn-Mg-Cu Aluminum Alloy**
SONG Yanli HAO Chuanchuan NING Shiru WU Wenlin LIU Peng
- 78 Research on Prediction Accuracy of Flow Stress of 304 Stainless Steel Based on Artificial Neural Network Optimized by Improved Genetic Algorithm**
DING Jun GU Yuchuan HUANG Xia SONG Kun LU Shiqing WANG Lusheng
- 87 Numerical and Experimental Study on Solidification Microstructure of Al-5.0Cu Alloy under Combined Fields of Power Ultrasonic and Squeeze Casting**
LIN Bo FAN Tao ZHANG Yang ZHAO Yuliang ZHANG Weiwen WANG Ying

- 95 Study on Influence of Conical Terminal on Joint Interface Temperature and Friction Torque of Aluminum/Steel Continuous Drive Friction Welding**
ZHANG Changqing SHI Wenchen LUO Dechun WANG Shuwen LIU Xiao CUI Guosheng
CHEN Boyang XIN Zhou RUI Zhiyuan
- 103 Numerical Simulation Study of the Effects of Travel Speed on the Molten Pool Flow and Weld Bead Morphology of WAAM**
ZHOU Xiangman WANG Boyun YUAN Youlu BAI Xingwang TIAN Qihua FU Junjian
DU Yixian
- 112 Review of Overcharge-to-thermal Runaway and the Control Strategy for Lithium-ion Traction Batteries in Electric Vehicles**
ZHOU Yangjie WANG Zhenpo HONG Jichao QU Changhui SHAN Tongxin ZHANG Jinghan
HOU Yankai
- 136 Parallel-connected Pump-valves Coordinated Electro-hydraulic System: Comparative Study and Motion Control**
LÜ Litong CHEN Zheng YAO Bin
- 152 Research on Dynamic Stress Distribution Characteristics of High Speed Train Gearbox**
YANG Guangxue AN Qianqian LI Shuang ZHANG Zifan LI Guangquan LI Guoshun CHEN Can
- 160 Comparison and Optimization of Secondary Suspension Structure of High Speed EMS Vehicle**
CHEN Zhixian LI Zhongji YANG Jizhong WU Xingwen ZHOU Yongli
- 169 Cooperative Optimization for Fuel Cell Tram Energy Management and Speed Profile**
ZHANG Han YANG Jibin ZHANG Jiye XU Xiaohui
- 180 State-of-health Estimate for Lithium-ion Battery Using Information Entropy and PSO-LSTM**
ZHANG Chaolong ZHAO Shaishai HE Yigang
- 191 Investigation on Abnormal Wear of Metro Wheels through Simulations of Wheel/Rail Profile Matching**
REN Dexiang TAO Gongquan LI Wei LU Wenjiao WEN Zefeng JIN Xuesong
- 200 Simultaneous Path and Speed Planning of Driverless Racing Car**
LI Rongcan ZHUANG Weichao YIN Guodong LIU Haoji ZHENG Zhiyun
- 209 Chassis Cooperative Control of In-wheel Motors Drive Electric Vehicle for Improving Spatial Stability**
ZHANG Lipeng DUAN Jiayao SU Tai REN Chenhui
- 222 Research on Safety Margin Optimization of CVT Transmission Based on Principle of Least Action under Lubrication Mechanism**
HAN Ling ZHAO Wei CAO Yue WANG Jinwu

- 235 Research on Performance Degradation and Modeling of Supercapacitors Considering the Effects of Temperature and Voltage**
HUANG Wenhao WANG Jun XIONG Rui CHEN Huan WANG Chun
- 245 Optimal Design of Curved Rail Profile for Wear and Stress**
WU Lei DONG Yong KANG Yanbing TANG Yanling ZHANG Huapeng
- 254 Investigation of Squeal Noise Based on Mode Coupling and Negative Damping Theory**
LIU Xiaogang WU Junbo
- 265 Development Status and Perspective Trend of Flexible Heat Pipe**
TANG Yong SUN Yalong TANG Heng WAN Zhenping YUAN Wei
- 280 Design Method of Diffuser in Rotodynamic Multiphase Pump Based on Fourth-order Distribution of Velocity Moment**
LIU Ming TAN Lei CAO Shuliang
- 289 Experimental Investigation on Surging Characteristics of Centrifugal Pump under Bubble Inflow Conditions**
HE Denghui ZHANG Zhenduo CHANG Zhuang GUO Pengcheng BAI Bofeng
- 298 Key Technologies of Shape-performance Integrated Digital Twin for Major Equipment**
SONG Xueguan LAI Xiaonan HE Xiwang YANG Liangliang SUN Wei GUO Dongming
- 326 Research Review on Loosening Mechanisms and Anti-loosening Methods of Threaded Fasteners**
GONG Hao LIU Jianhua FENG Huihua
- 348 Analysis on Drilling and Coring Process and Lunar Regolith Stratification State Interpretation in Chang'E-5**
JIANG Shengyuan LIANG Jieneng LAI Xiaoming DENG Xiangjin PANG Yong ZHANG Weiwei
TANG Junyue QUAN Qiquan PENG Jing ZHANG Gao DENG Zongquan
- 361 Mission Reliability Modeling and Importance Analysis of UAV Swarm**
BAI Guanghan ZHANG Chi DUI Hongyan ZHANG Yunan TAO Junyong
- 374 Gesture Control Technology of CAD Model Based on Situation Model**
LONG Hui HAO Jia NIU Hongwei WANG Guoxin ZHANG Feifan
- 383 Experimental Research on Optimization Design and Comfort of Locomotive Seat Based on Ideal Pressure**
FAN Qinrong JIANG Xingchen WU Xueliang NIE Min XIN Yunsheng LI Haolin JIA Xianyu

《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)

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) 官声凯(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 668224

1.0