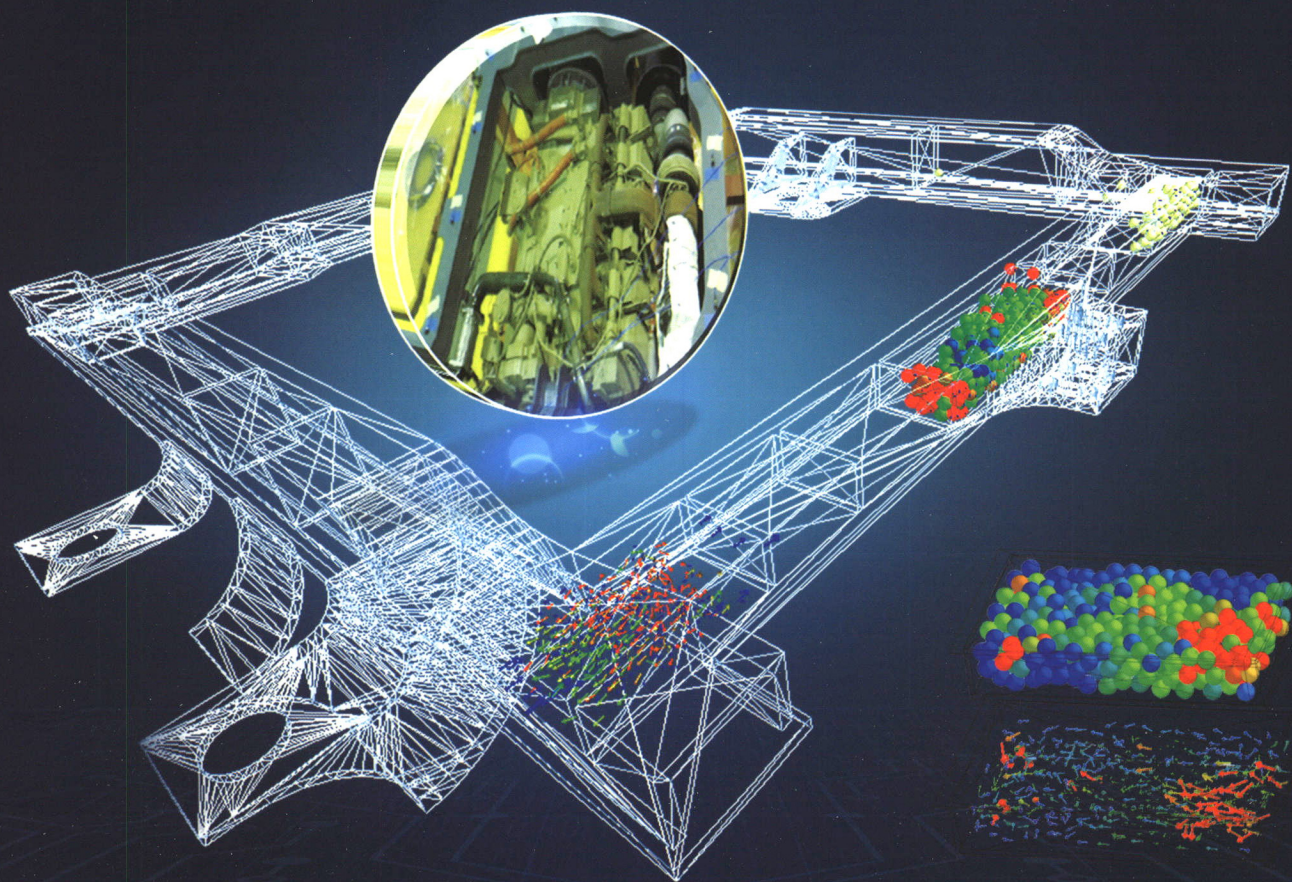


# 机械工程学报®

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

封面文章：基于颗粒阻尼的内燃动车组动力包构架多工况减振研究

作者：肖望强 陈辉 许展豪 王兴民 贾尚帅 潘德阔



58卷 **4** 期 **半月刊**  
2022年2月刊



## // 仪器科学与技术 //

### 1 压水堆核电站无损检测与状态监测研究综述

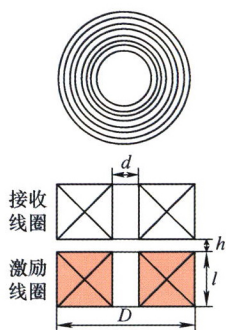
黄松岭 孙洪宇 王 珅 赵 伟 彭丽莎



**摘要:** 核电站无损检测和状态监测对保障核电站安全稳定运行具有重要意义, 在役的不同类型的传感器也在发挥着其独特的作用。在基于新型传感技术的背景下, 对核电站的无损检测、状态监测和传感系统优化方法进行全面综述。研究并阐述常规超声、相控阵超声、激光超声和电磁超声等主流的超声检测诸多方法的同时, 也对其他检测无损检测手段进行对比分析。论述和总结基于光纤传感的新型核电站状态监测方法, 并讨论不同光纤材料在状态参数测量中的适用性。调研和概括大规模复杂核电站传感系统的优化和状态监测方法以及传感器的状态监测后端所涉及的信息分析手段, 并依据当今的先进工业互联网和人工智能技术对核电站的无损检测和状态监测未来发展给出设想。

### 14 基于空频去混叠的 CFRP 材料纤维纹路涡流成像

程 军 游 勇 汪步云 许德章 余 成 杨继全

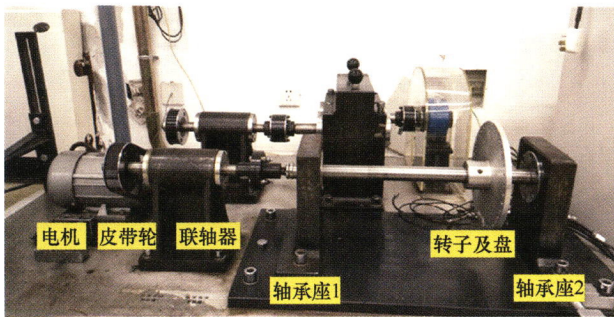


**摘要:** 空间分辨率是图像质量评价的一项关键性指标, 在涡流成像技术的应用中非常重要。针对碳纤维增强树脂基复合材料(Carbon fiber reinforced polymer, CFRP)电涡流成像中欠采样频谱混叠引起的纤维纹路粗大和模糊难以辨别等问题, 研究基于空频域去混叠的涡流图像增强方法, 显著提高图像的空间分辨率和对纤维排布以及缺陷的检测精度。建立 CFRP 层合板的细观电磁仿真模型, 揭示涡流纹路成像机理和周期性结构信号的混叠规律; 接下来对涡流探头的点扩散函数进行研究和估计, 结合信号波形特征提取, 评价不同结构尺寸发射-接收(Transmitter-Receiver, T-R)型探头图像的空间分辨率; 提出基于点扩散函数和傅里叶变换的逆卷积纹路细化聚焦方法, 实现对 CFRP 层合板中纤维方向和铺层缺陷的高精度成像, 并达到图像反映复合材料缺陷真实形状的目的。



## 22 基于改进群延迟估计的同步压缩变换及其在冲击类振动信号提取中的应用

贺雅 胡明辉 卢子元 明焯 贾彦飞

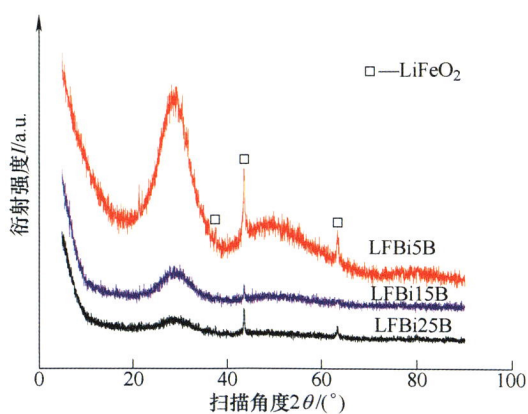


**摘要:** 旋转机械振动信号中的冲击特征通常代表着轴承损伤、齿轮损伤等常发故障的出现,为了准确提取信号中的冲击分量,提出一种基于改进群延迟估计的同步压缩变换时频分析方法。分析时间重分配同步压缩变换原型算法在处理实际强频变信号时的特性,发现其易导致明显的时频模糊问题。构建基于局部最大搜索算法的改进型经典群延迟估计方法,以克服 TSST 在分析强频变信号时带来的时频模糊问题,并在此基础上提出了群延迟自适应估计策略。形成一种基于改进群延迟估计的自适应同步压缩变换方法,在其基础上提出一种振动信号中脉冲特征提取方法。仿真信号和试验数据分析结果表明,该方法可较准确地提取出振动信号中的冲击特征,相较其他常用时频分析方法能够生成更为聚集的时频表示。

## // 材料科学与工程 //

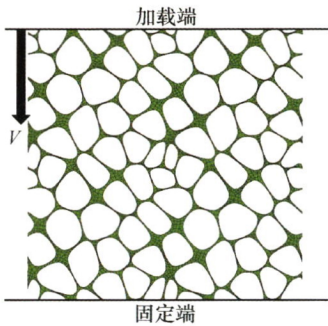
## 34 磁性微晶玻璃连接锂铁氧体接头组织演变及磁性能模拟

陈倩倩 马典 林盼盼 林铁松 何鹏



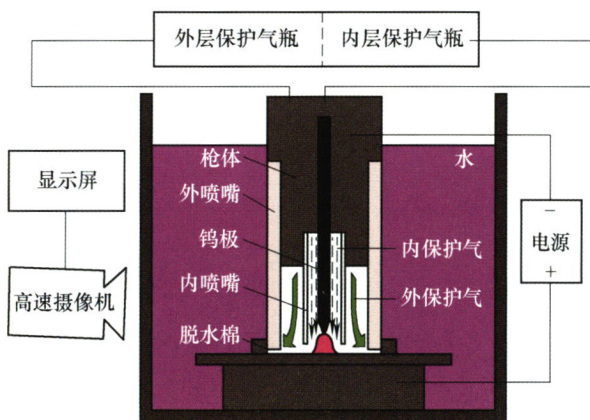
**摘要:** 锂铁氧体的玻璃连接技术能够克服常规烧结法无法制备复杂结构微波铁氧体构件的困难,并且微晶玻璃能够在铁氧体接头中原位析出磁性微晶相,进而实现连接件结构-功能一体化。设计并制备 LFBi5B、LFBi15B、LFBi25B 微晶玻璃钎料用于连接锂铁氧体,研究微晶玻璃在锂铁氧体表面的润湿性,钎料成分和连接温度对接头微观组织的影响规律,及锂铁氧体接头中焊缝的磁性来源。结果表明,三种微晶玻璃在铁氧体表面均具有较好的润湿性,锂铁氧体接头中原位析出  $\text{LiFeO}_2$  晶体;随着连接温度升高,部分析出晶溶解,生成少量钛酸铋晶须。第一性原理模拟结果表明,钎缝中析出的主晶相  $\text{LiFeO}_2$  总磁矩不等于 0,上下自旋能带不对称,态密度图呈现自旋劈裂状态,均证明  $\text{LiFeO}_2$  晶体具有磁性,其磁性来源为 Fe、O 原子的 p、d 态电子交换作用。通过试验与理论相结合,采用微晶玻璃连接锂铁氧体实现了接头中  $\text{LiFeO}_2$  磁性微晶相的原位形成,验证了  $\text{LiFeO}_2$  晶体的磁性来源,为磁性接头结构功能一体化设计提供了新思路。





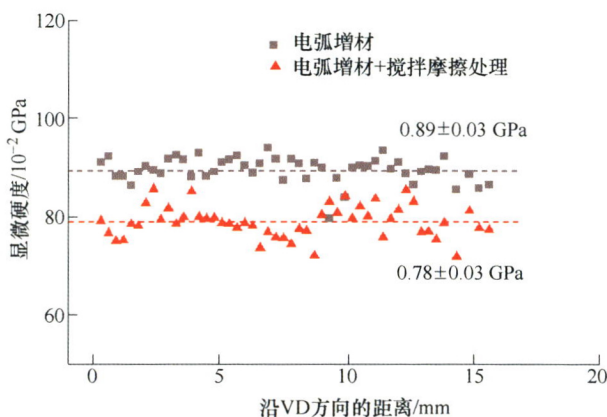
**摘要:** 闭孔泡沫铝材料因其轻质、比强度和比刚度高、抗冲击和吸能特性好等优点在汽车制造等领域应用广泛。然而,目前用于仿真计算的泡沫铝材料几何建模研究仍有不足,广泛使用的 Voronoi 模型无法模拟真实泡沫铝材料内部圆弧状的胞孔结构。在传统 Voronoi 模型基础上,建立具有周期性边界的二维 Bezier 曲线优化模型。通过引入填充度概念,并建立孔隙率关于填充度的一元幂函数方程,可以生成 71%~93%指定孔隙率二维泡沫铝几何优化模型,能够还原真实泡沫铝内部结构。利用优化模型进行了泡沫铝材料单轴压缩仿真计算,结果相较于传统 Voronoi 模型更接近试验值。分析优化模型仿真计算过程中随机剪切带的演化,从细观变形角度验证了优化模型的准确性。Bezier 曲线优化模型的开发为泡沫铝材料高仿真几何建模研究提供了理论基础。

48 双相不锈钢水下局部干法 TIG 焊接工艺



**摘要:** 为改善水下焊接环境,提高焊缝质量,研究适合水下焊接的 TIG 焊枪及其焊接方法。研制一把双层气体保护的小型可移动气罩式水下 TIG 焊枪,对 2507 双相不锈钢进行焊接,研究焊接工艺参数对焊接质量的影响。结果表明,当内气流量 10 L/min,外气流量 5 L/min 时,焊缝成形最好,焊缝深宽比最大;保证内、外气流量不变,增大焊接电流会降低熔池稳定性,但电流过大时,电弧受到内喷嘴和内保护气的约束作用,会使得焊缝熔深和深宽比增加;同时发现脉冲焊接在水下环境中可以增加电弧稳定性。对水下、陆上焊接接头对比分析发现,水的快速冷却作用会促使铁素体晶粒内析出的奥氏体形状由针状转变为粒状,奥氏体相的析出方式由晶界转为晶内,并且奥氏体析出相减小,晶粒细化。试验证实,此焊枪可以实现水下 TIG 的稳定焊接,通过选择合适的焊接参数,能获得与陆上环境性能相似的焊缝,对于水下焊接维修有着重要意义。

55 搅拌摩擦处理对镁合金电弧增材修复层缺陷调控

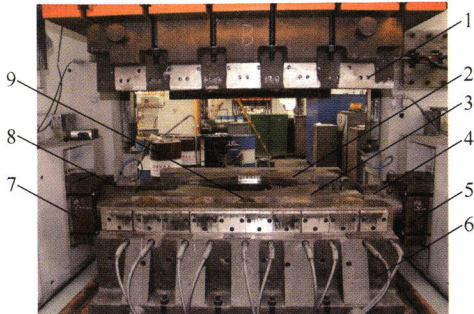


**摘要:** 镁合金电弧增材冷金属过渡焊(Cold metal transition, CMT)电弧增材过程中存在导热快、结晶不规则等问题,易在搭接处形成明显孔洞缺陷,且零件表面粗糙,研究修复层缺陷调控对镁合金增材制造修复的发展和实际应用具有重要意义。研究表明,镁合金 CMT 快速增材制造实现了多焊道的搭接,并获得细小的晶粒(约 10.5 μm),平均显微硬度达 0.89 GPa,具备较高的力学性能;经过搅拌摩擦处理,不仅改善了表面质量,还消除了焊道搭接与基板的界面处孔洞,晶粒得到进一步细化(约 9.7 μm),降低材料服役过程中的断裂风险。重点验证了镁合金电弧熔覆与搅拌摩擦处理复合制造的可行性,为高性能镁合金增材制造方法提供了新的思路。



## 62 大尺寸复杂形状汽车桥壳管件胀压成形机理分析及内外压施加准则的确定

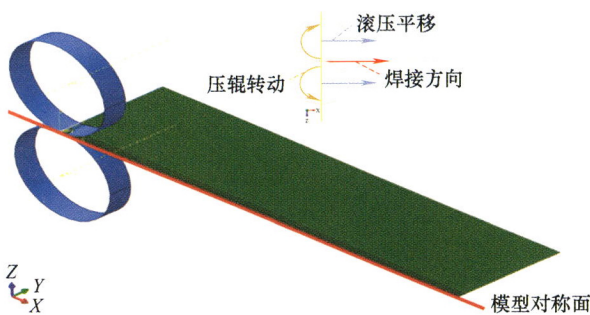
王晓迪 王连东 金 淼 刘 恒 徐世旺



**摘要:** 胀压成形是制造大尺寸复杂形状汽车桥壳管件的新工艺, 成形性好、所需内压低, 但成形机理尚不明晰, 尚未有明确的内外压确定方法。简介胀压成形工艺, 分析了预成形管坯充液压制过程, 揭示出横截面小圆角及大圆弧区的成形机理, 推导出应力大小与内压、外压的表达式; 提出内压、外压的施加准则, 给出初始内压的计算公式及压制方式的数学表达式。针对某轴荷 10 t 桥壳管件的胀压成形过程进行了有限元模拟, 结果表明横截面小圆角、大圆弧区的应力状态及其变化趋势同理论分析一致, 揭示了小圆角两侧剪切应力的变化规律, 得到了最佳内压系数  $n_f$ 、压制系数  $k_s$ 。进行了桥壳管件胀压成形工程试验, 实测模具压制力及样件典型横截面的小圆角尺寸、大圆弧区壁厚, 相同条件下的有限元模拟与试验结果吻合, 最大偏差为 6.81%。

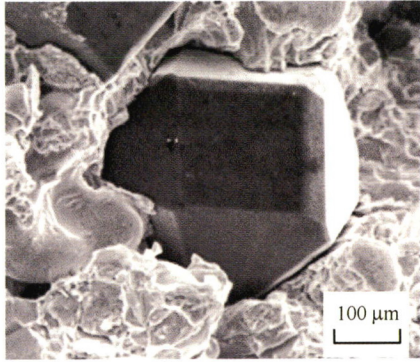
## 72 超薄板焊后波浪变形的形成原因及控制方法探讨

张景祺 相志磊 王细波 雷永平 林 健



**摘要:** 针对超薄板焊后面外失稳变形的机理以及矫正的研究目前仍较少。以厚度为 0.07 mm 的不锈钢金属箔为研究对象, 建立基于壳单元的有限元计算模型, 采用热-力顺序耦合的方法针对激光焊中出现的波浪变形现象进行数值模拟。波形分布的数值模拟结果与实测基本吻合。分析认为在整个焊缝长度上的焊接应力会在焊接过程中自身平衡, 拉伸应力区外会有压应力来平衡, 从而产生间隔分布的局部压应力区导致波浪变形出现。发现采用 0.15% 的预拉伸方法可以大大减少薄板的面外失稳变形量, 其主要原因是焊后焊缝中的塑性应变发生了由压缩向拉伸应变的转变。采用滚轴碾压可以矫正焊缝处的波浪变形, 随焊碾压可以使超薄板焊后整体面外变形幅度降低, 由原来的 0.46 mm 下降至 0.25 mm, 直径 72 mm 滚轴碾压后焊缝处波浪变形高度差被基本控制在 0.002 mm 之内, 接近平直。研究结果对提高超薄板结构的焊接质量具有积极的参考价值。

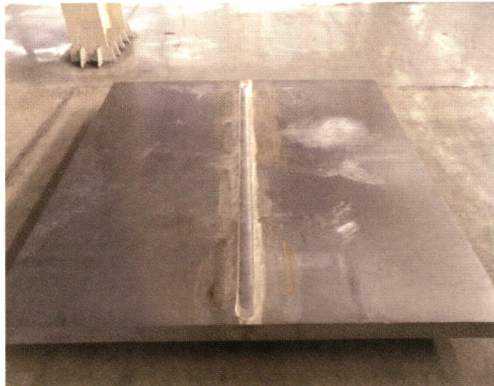




**摘要:** 现有的钎焊金刚石方法无法避免金刚石石墨化以及高温热损伤,因此基于金刚石/钎焊合金界面润湿性、金刚石钎焊机理、钎焊金刚石方法,综合分析影响钎焊金刚石性能的主要因素,并概括总结国内外单层和多层钎焊金刚石工具的研究成果。详细论述钎料合金成分、钎焊温度、保温时间、钎焊气氛以及表面金属化等因素对钎焊金刚石的影响。各因素不但影响钎料合金/金刚石界面相互作用(包括界面润湿、界面化学反应、界面微观结构、金刚石热损伤等),而且会引起残余热应力的产生,进而影响焊接接头的质量。如钎料合金中的活性元素在界面处相互扩散并形成化合物是金刚石与基体以及钎料合金实现高强度连接的关键;适宜的钎焊温度以及恰当的保温时间不但会使界面结合力增强,降低界面残余应力,还能减少反应界面微观孔洞、疏松等缺陷的形成;采用真空或保护气氛环境,可以降低金刚石的氧化和石墨化程度。通过现阶段钎焊金刚石工具的发展现状,结合社会生产现实需要,对其发展方向和未来要克服的难题进行展望。

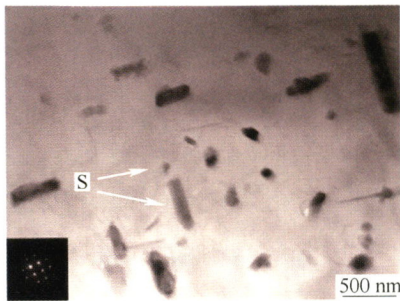
## 94 厚板 5083 铝合金搅拌摩擦焊接头沿厚度方向组织与力学性能

方远方 张华



**摘要:** 目前,国内外对 100 mm 以上厚度的铝合金搅拌摩擦焊研究较少。针对 110 mm 厚 5083 铝合金(o 态)板材进行搅拌摩擦焊双面对接试验。焊后试样进行焊缝表面渗透检测、接头力学性能检测,对焊缝横截面、拉伸试样断口进行光学显微镜金相组织观测、扫描电镜观测。结果表明,试验所得焊接接头质量良好,焊缝表面无渗漏,焊缝内部没有孔洞、隧道等缺陷;试样抗拉伸强度平均值达到母材的 98% 以上,屈服强度平均值达到母材 90% 以上,伸长率平均值分别达到母材的 75.5% 和 82.4%,抗拉伸强度沿厚度方向呈现先降低后升高的“V”型趋势;焊缝横截面微观组织无缺陷,晶粒分布均匀并有 Mg 元素富集相析出;接头断裂机制为混合断裂,从焊缝表面至底部,断裂机制由韧性断裂向脆性断裂趋势发展。试验将 110 mm 厚铝合金搅拌摩擦焊接头沿厚度方向进行性能分析与研究。

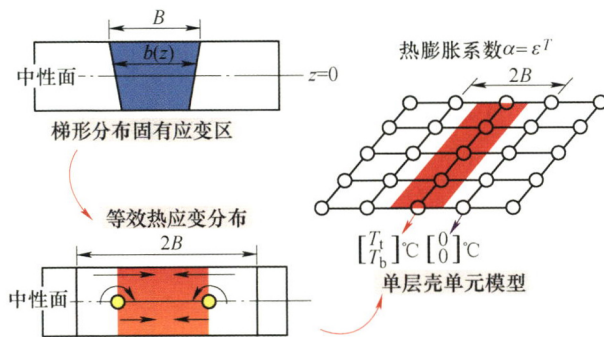




**摘要:** 二次时效(T614)处理工艺即在单级时效的欠时效时间点改变时效温度,对合金进行低温二级时效处理。二次时效处理能够改善 Al-Cu-Mg 合金的微观组织,适当提高其力学性能以及耐腐蚀性能。通过硬度测量、剥落腐蚀性能测试、晶间腐蚀性能测试、应力腐蚀开裂测试、扫描电镜和透射电镜观察,研究二次时效对 Al-Cu-Mg 合金组织及性能的影响。经试验得出,经二次时效处理后,由于 Al-Cu-Mg 合金的晶内形成了细小弥散的  $\theta'$  相,此时 S 相  $\theta'$  相同时均匀弥散分布于基体中,采用 170 °C 时效 2 h 再在经过 100 °C 时效 30 h 二次时效的 Al-Cu-Mg 合金在力学性能上优于传统单级时效处理,并且耐蚀性能也得到显著提升,抗拉强度、伸长率、维氏硬度、剥落腐蚀等级、晶间腐蚀深度和应力腐蚀开裂指数分别为 490 MPa、8.5%、156.3 HV<sub>0.5</sub>、EA、98.6  $\mu\text{m}$  和 0.220。

### 111 焊接变形预测中基于假定热应变法的弹性有限元建模

王超 吴春彪 邵龙潭

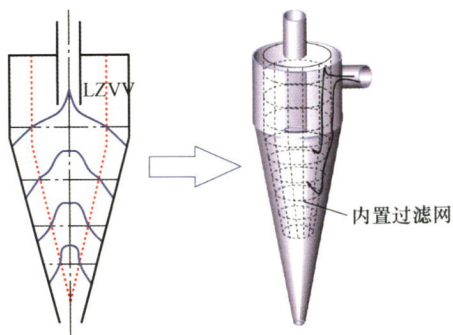


**摘要:** 传统的固有应变法在固有应变载荷的施加中,因难以准确反映实际固有应变分布规律而影响焊接变形预测精度。通过传统等效载荷法与应变直接边界法的融合优化,所提出假定热应变法能够有效弥补传统载荷法逐层输入固有应变载荷的失真,以及应变直接边界法无法预测凸型角变形及纵向弯曲的不足。同时,该方法通过等效力学模型综合考虑多样的固有应变分布,使由凸型角变形和凹型纵向弯曲组成的马鞍形屈曲变形实现准确的分析计算。通过试验、热-弹塑性有限元模型,应变直接边界法弹性模型和假定热应变弹性模型综合比较,研究 5052 铝合金平板堆焊下所形成的屈曲变形。结果表明,假定热应变弹性模型对屈曲变形实现准确和快速的预测,可以应用于大型焊接结构及激光增材制造中的变形预测,并能够为固有应变理论中实现实际固有应变分布的转换提供新的思路。

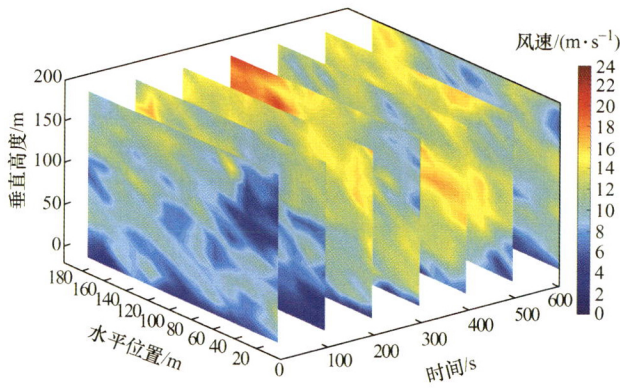
## // 可再生能源与工程热物理 //

### 120 过滤-旋流耦合技术在非均相分离中的研究及应用

刘洋 赵立新 张爽 刘琳 徐保蕊

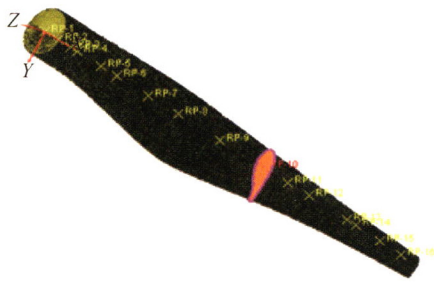


**摘要:** 过滤-旋流耦合分离装置作为一种新型分离设备,将旋流分离与过滤相结合,既充分地发挥传统水力旋流器的快速、高效、旋转涡流运动等优点,又通过深度过滤而提高传统水力旋流器的分离精度。从其各种形式的结构特点和工作原理的不同出发,阐述一些具有代表性和实用性的内置式、外置式、壁面过滤式分离器的研究成果。分别针对入口、旋流腔、溢流管、锥段、底流管、过滤材料等部分的结构参数,以及从针对入口流量、压力降和压降比、固体颗粒特性、流体特性、分流比/底流率、增压方式等操作工况和介质条件的研究现状出发,重点讨论分析过滤-旋流耦合分离装置的结构参数和操作工况在非均相介质分离中的影响情况,并展望将过滤-旋流耦合分离与其他分离工艺相结合,研发新型分离技术与设备将成为过滤-旋流耦合分离技术的潜在研究方向。



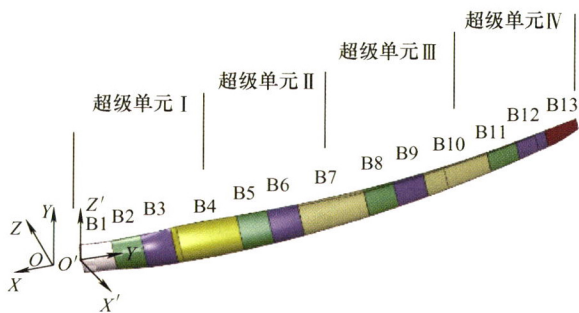
**摘要:** 为研究大型单桩式海上风力机结构的 TMD 振动控制效果, 采用实测地震发生时土壤位移时域响应作为地震激励, 通过文克尔模型及  $p-y$  曲线法构筑的非线性土-构耦合模型模拟土壤中地震释放的能量传递给风力机的过程, 以 NREL 5 MW 大型单桩式海上风力机为研究对象, 建立有限元模型, 研究 TMD 对支撑结构在突发地震时的作用及瞬态动力学响应, 并采用 VMD 方法对时域结果进行分析, 从不同频带分析 TMD 对海上风力机的控制效果。结果表明, 突发性地震导致塔顶发生大幅剧烈震颤, 机舱加速度激增。地震发生时, TMD 与风力机塔顶的位移响应形成明显相位差是其实现对风力机在地震发生时被动控制的主要机理, TMD 对塔顶位移及机舱加速度响应的高频带分量控制效果更好, 保证塔顶诸多重要部件的稳定运行。

165 风力机叶片铺层参数多目标优化设计



**摘要:** 叶片铺层设计为一个多参数、多目标的复杂耦合作用过程, 其性能主要取决于铺层参数。通过推导正轴刚度不变量和弯扭刚度矩阵间的关系, 构建层合板刚度等效模型与铺层顺序表征参数之间的数学关系, 实现铺层顺序的量化; 应用均匀试验设计、有限元分析和多元非线性回归法, 构建铺层参数和叶片性能间的耦合数学模型, 分析单参数和两两参数对叶片刚强度的影响; 为实现叶片刚强度的多目标优化, 应用层次分析法计算各目标函数权重, 建立叶片多目标优化数学模型; 基于模拟退火算法进行求解, 得到叶片综合性能最优的铺层参数组合为铺层角度  $45^\circ$ 、 $\pm x^\circ$  铺层厚度比例为 58%、铺层顺序为  $[\pm x^\circ / 0^\circ / 90^\circ / \pm x^\circ]_{7N}$ 。结果表明优化后叶片的最大位移和 Tsai-wu 失效因子分别降低了 2.79% 和 5.87%, 性能得以提高, 验证所提出多目标优化方法的有效性和可行性。

174 后掠风力机叶片非正常气弹耦合模型与响应分析

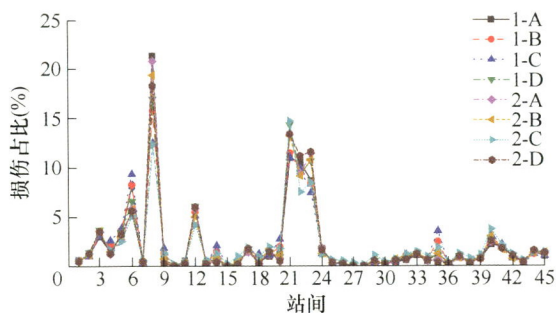


**摘要:** 后掠叶片外展段后掠, 弹性轴与扭转轴分离, 致使叶片非线性变形显著, 气流沿叶片展向流动和气弹耦合特性增强。为精确分析后掠叶片结构与气动之间的耦合关系, 采用螺旋尾涡升力线模型结合修正的 B-L 动态失速模型, 并计及积叠线瞬时变形对诱导速度的影响, 计算非正常气动载荷; 叶片结构部分通过超级单元后将后掠叶片离散成多体系统, 借鉴成熟的多体递归建模技术, 实现转动叶片的高效组装与数值求解。通过模拟 NREL 5 MW 直叶片的稳态响应, 验证计算模型的有效性; 然后分析 5 MW 后掠叶片, 在变桨距和不变桨距情况下的非正常气动响应。数值仿真结果表明, 该模型能有效地模拟后掠叶片非线性变形和非正常气动特性, 能为新型降载增效后掠叶片的气动性能、疲劳载荷谱分析与结构优化设计提供有效数值分析方法。



183 基于动应力的地铁构架疲劳损伤与疲劳寿命计算

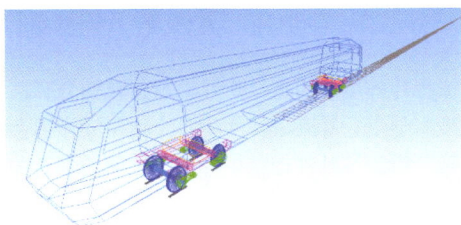
谢树强 王斌杰 王文静 张浩楠 李强 姜朝勇



**摘要:** 作为轨道车辆走行部的极关键结构, 转向架构架的服役安全性受到极大重视与关注。以新设计的地铁车辆动车转向架样本构架为研究对象, 基于其在位使用状态下的动应力进行疲劳损伤与疲劳寿命研究。结合车辆运行状态数据, 研究构架关键部位的损伤分布特征, 分析构架疲劳损伤快速累积的原因。针对样本构架关键部位: 计算其裂纹萌生寿命; 基于雨流计数后的应力幅子样完成应力幅分布核密度估计; 建立裂纹扩展模型, 采用蒙特卡洛法与反函数法计算构架关键部位不同运行里程下的累积失效概率。结果表明, 构架累积失效概率随运行里程增加而快速增加, 裂纹萌生后对应于 97.5%可靠度的运营里程为 3 万 km; 构架疲劳寿命为裂纹萌生寿命与扩展寿命之和, 97.5%可靠度下为 48.39 万 km。研究结果为进一步提升构架抗疲劳设计、优化转向架检修周期提供研究基础。

191 两种典型动车组车轮磨耗演变规律及其动力学影响研究

侯茂锐 陈秉智 成棣 胡晓依 孙丽霞

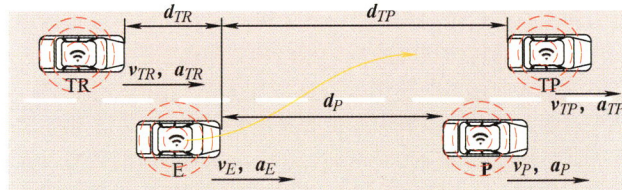


**摘要:** 为对比不同线路、相同平台动车组车轮磨耗演变规律及其对动车组动力学性能的影响, 对速度等级 250 km/h 的 A、B 两条高速线路上运行的同平台动车组车轮磨耗进行长期跟踪测试。将实测车轮踏面与实测钢轨廓形匹配, 对比分析车轮磨耗对等效锥度、接触点分布等轮轨接触几何关系的影响。利用多体动力学软件建立动车组拖车动力学仿真模型, 研究车轮磨耗演变规律对动车组动力学性能及轮轨滚动接触疲劳损伤的影响。研究表明, A 线路车轮平均磨耗速率为 0.05 mm/万 km, 踏面磨耗分布在 -20~30mm 范围内, 呈现凹形磨耗; 等效锥度增大速率约为 0.006/万 km; 轮轨接触点逐渐向钢轨轨肩处靠拢, 存在明显跳跃现象。B 线路车轮平均磨耗速率约为 0.025 mm/万 km, 踏面磨耗分布在 -35~50 mm 范围内, 磨耗分布较均匀; 等效锥度稳定在 0.03 左右, 随运营里程的增大没有明显的变化趋势, 轮对横移量在 10 mm 以内的轮轨接触点始终保持车轮踏面中部与钢轨轨顶中部接触, 轮轨接触点分布均匀。随着运行里程的逐渐增大, A 线路的动力学性能略有下降, B 线路的动力学性能基本稳定。B 线路的车轮表面疲劳指数小于 A 线路, 车轮发生滚动接触疲劳裂纹的可能性较小。



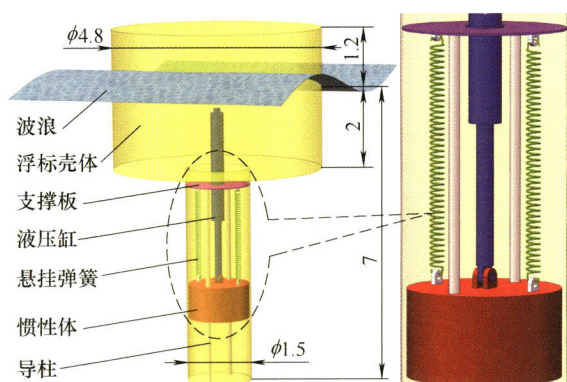
**摘要:** 为解决无人水面艇动态环境目标动态感知问题, 研究无人艇三维激光雷达目标实时识别系统。设计出无人艇三维激光雷达目标实时识别系统结构、硬件组成及数据通信协议。基于点云库(Point cloud library, PCL)、Qt 和 Visual Studio 平台开发了无人艇三维激光雷达目标实时识别系统软件, 实现了点云数据校正、实时处理、数据显示、状态输出、远程通信等功能。考虑到无人艇航行时周边环境障碍物三维激光点云分布特征, 将三维激光点云投影至多属性二维栅格进行表示, 利用八邻域算法实现了障碍物栅格的聚类, 解决了点云数据处理、目标分割、点云图像远程交互等关键技术。最后, 构建了室外水池环境下的无人艇三维激光雷达目标实时识别系统试验平台, 测试结果表明该系统能够可靠、准确识别无人艇周围 100 m 范围内的障碍目标。

212 基于规则与机器学习融合的换道决策建模方法研究



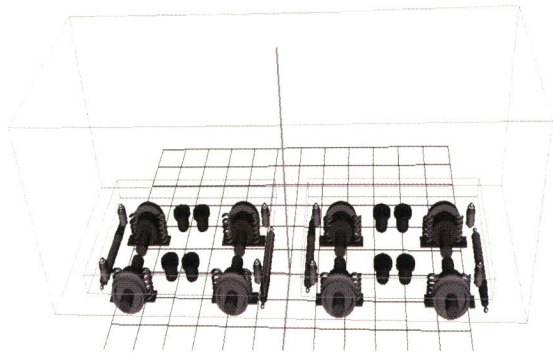
**摘要:** 自主换道系统是智能车辆技术的重要发展方向, 而换道决策是自主换道系统的关键。针对结构化道路下的自由换道场景, 提出基于规则与机器学习融合的换道决策模型。针对换道决策过程中存在的多参数与非线性问题, 提出基于支持向量机的换道决策模型, 并引入贝叶斯优化算法确定决策模型的最优参数。从基于规则的角度出发, 分析换道决策过程中的影响因素, 包括换道必要性、安全性与换道收益, 并将上述规则转化为模型训练数据的新特征与安全约束, 对原有训练样本进行增广, 以提升支持向量机模型的分类准确率。在 NGSIM 数据集上进行测试验证, 结果表明, 仅利用周围车辆基本行驶信息进行模型训练, 对换道行为预测的准确率为 73.05%, 而引入基于换道规则计算得到的新特征后, 模型预测准确率提升至 83.83%。

222 惯性式波浪能供电浮标的液压能量转换系统设计研究



**摘要:** 浮标是海洋探测的重要工具, 就地取能利用波浪能为浮标供电可以满足其对高电能供给的需求。针对惯性式波浪能供电浮标, 研究其液压能量转换系统的设计方法。利用 CUMMINS 时域方程建立描述由浮标和内部惯性体组成的双体系统的非线性间断动力学模型, 得到影响波浪能量捕获过程的主要因素如下: 蓄能器的压强体积比  $K_a$  和综合液压马达排量、发电机负载电阻与特征系数的影响系数  $K_r$ 。在液压蓄能器容积为无限大的假设前提下, 得到悬挂弹簧的最优弹性系数。对液压系统参数的研究表明,  $K_a$  不影响捕获的波浪能功率以及蓄能器平均压强但影响蓄能器压强的波动幅度; 捕获的波浪能功率为  $K_r$  的单峰函数, 而峰值处对应着  $K_r$  的最优值; 使蓄能器压强标准差系数达到规定阈值的最大  $K_a$  值即为  $K_a$  的最优值。

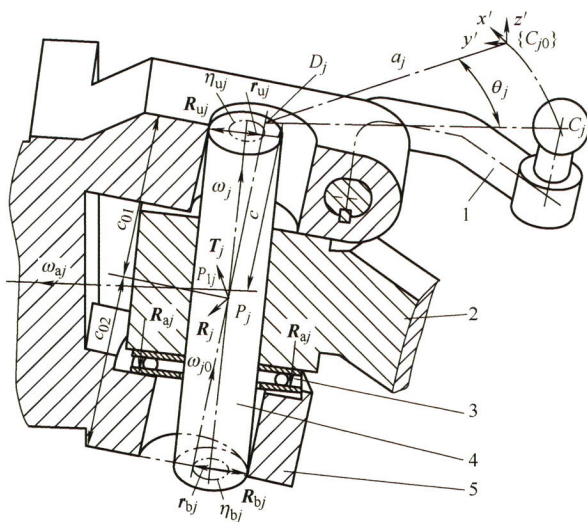




**摘要:** 独立旋转轮对轨道车辆由于左右车轮解除耦合作用, 失去了传统刚性轮对所具有的自动复位能力。为改善独立旋转轮对的导向性能, 提出一种独立旋转轮对车辆的自适应导向控制方法。该方法可以自动识别车辆是否处于曲线段并且计算曲线半径的大小, 针对不同线路状态采取适合的控制策略, 实现独立旋转轮对轨道车辆的运行的自适应控制。在加入自适应控制后, 独立旋转车辆恢复了纵向蠕滑力和直线复位对中能力, 使独立旋转轮对具备更加优良的导向性能。总体来看, 自适应控制下的车辆的曲线导向性能与安全性能均优于独立旋转轮对车辆; 在小半径曲线上, 自适应控制车辆具备比传统刚性轮对车辆更加优良的曲线导向性能以及安全性能; 在曲线半径较大时, 由于纵向蠕滑力不足, 自适应控制车辆的导向性能要弱于传统刚性轮对车辆。

## 240 运动副间隙及受力状态对空间转向机构转向误差的影响

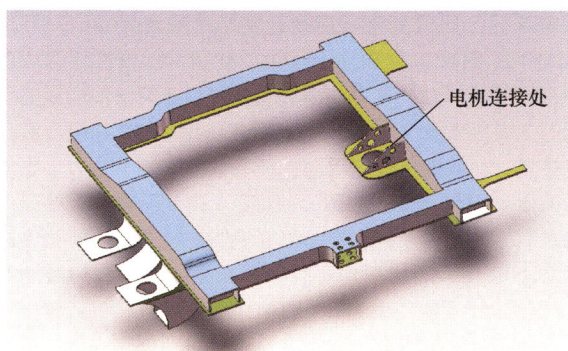
王成志 王云超



**摘要:** 根据车辆转向梯形机构中转向节主销上下端受力方向不同和转向横拉杆的二力平衡状态, 用主销的销、孔倾斜模型和转向横拉杆的变长杆模型描述机构中的运动副间隙, 并用螺旋理论分析地面对轮胎反力传递作用在转向节的情况和转向节参考点绕含间隙主销回转副的运动, 求出主销约束反力和左右车轮转向角, 提出附加转向误差和敏感度指标用于评价参数对转向误差的影响程度和对间隙的敏感性。通过样例分析转向误差的变化趋势及 12 个参数对间隙的敏感度, 结果表明, 与无间隙情形产生的原理性误差相比, 车辆朝装有摇臂机构侧大转向角转弯时, 有运动副间隙时的转向误差反而有所减小; 小转向角转弯时两处副间隙都会引起比较大的转向误差; 主销后倾角、车速对间隙显著敏感; 与纵向力和法向力对主销取矩相关的因素则相对不敏感。结果可为合理设计对运动副间隙敏感的参数值及合适的间隙制造公差和其许用大小提供指导。

## 250 基于颗粒阻尼的内燃动车组动力包构架多工况减振研究

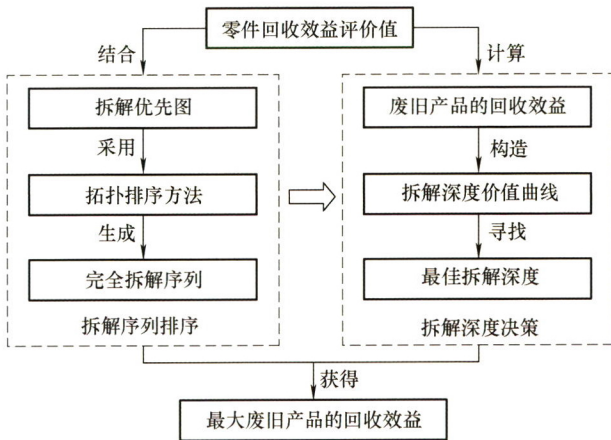
肖望强 陈辉 许展豪 王兴民 贾尚帅 潘德阔



**摘要:** 减少转向架振动有利于控制铁路列车车体平稳, 延长结构寿命, 对动力包构架的减振研究工作有重要意义。基于颗粒阻尼对某型内燃动力总成(简称动力包)转向架构架进行减振研究, 结合有限元方法和模态试验, 分析转向架构架的动力学特性, 确定颗粒阻尼器安装位置。建立颗粒系统—转向架构架的离散元模型, 计算不同阻尼颗粒参数对应的能量耗散值, 得出在给定工况下转向架构架最优阻尼颗粒参数。按照计算所得的最优参数, 设计、制造、安装颗粒阻尼器, 在动力包试验台架上对比分析各工况下转向架构架减振前后测点振动加速度。结果表明, 在目标工况下, 转向架构架振动幅值在垂向上减少 60.7%; 在其他档位时, 转向架构架振动加速度幅值有 15.5%到 67.4%不等的减振效果, 平均减振效果为 49.33%, 为转向架构架以及列车其他部件的减振提供了新方法和设计准则。

258 基于零件回收综合评价的废旧产品拆解序列与拆解深度集成决策研究

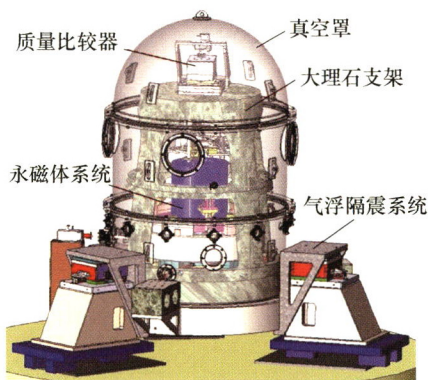
郭洪飞 陈志彬 任亚平 屈挺 李建庆



**摘要:** 产品更新换代的速度不断加快导致生活中废旧产品的数量与日俱增,对废旧产品进行合理拆解并回收再利用已成为发展可持续制造的重要途径。论文针对废旧产品拆解规划问题,将零件回收评价融入拆解序列和拆解深度的决策过程。综合考虑影响废旧产品内部零件回收效益的多项评价指标/准则以及这些评价指标/准则间的相互作用关系,构建零件回收综合评价模型,并基于零件回收综合评价模型提出拆解序列与拆解深度集成决策方法,利用零件回收效益评价快速确定可行且高质量的拆解序列和拆解深度,以最大化废旧产品的回收效益。最后以动力电池和随机生成的不同规模废旧产品为拆解对象,验证论文构建的模型和提出的方法的可行性与有效性,计算结果表明零件回收综合评价模型和拆解序列与拆解深度集成决策方法在计算效率上的优势会随着废旧产品规模的扩大而增加。

269 能量天平精密无固有力低漏磁电磁阻尼器的设计与应用

王大伟 许金鑫 刘永猛 白洋 曾涛 李正坤 张钟华 谭久彬

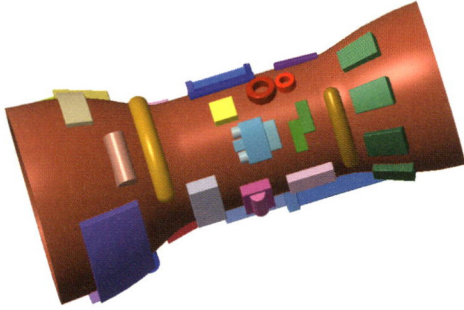


**摘要:** 针对能量天平试验中力矢量加载引起悬挂系统持续摆动给测量引入系统误差的问题,提出一种同时兼顾悬挂线圈和砝码托盘的精密被动电磁阻尼器。该电磁阻尼器基于磁场的涡流效应,由金属阻尼片和永磁体组成。为了避免置于磁场中的弱磁性阻尼片给天平称重引入附加力,阻尼片由抗磁性材质和顺磁性材质按一定比例采用“铜-铝-铜”三层复合结构组合而成,复合型阻尼片在磁场中静止时受力被抵消。此外,为了避免阻尼器泄漏的强磁场磁化精密金属砝码,电磁阻尼器外设计组合式磁屏蔽罩:内部单层电工纯铁屏蔽罩和外部双层坡莫合金屏蔽罩。设计的阻尼器及其屏蔽罩进行有限元仿真分析、试验验证,结果表明,复合阻尼片静止时,固有力约为 0.92  $\mu\text{g}$ ;电磁阻尼器在称重砝码位置的外泄磁场约为 5.04  $\mu\text{T}$ ,小于地磁场量级;阻尼器将原有悬挂系统摆动时间缩短约 88.3%;设计的阻尼器总体满足能量天平试验要求。



## 277 基于改进多目标人工蜂群算法的航空发动机管路智能布局方法

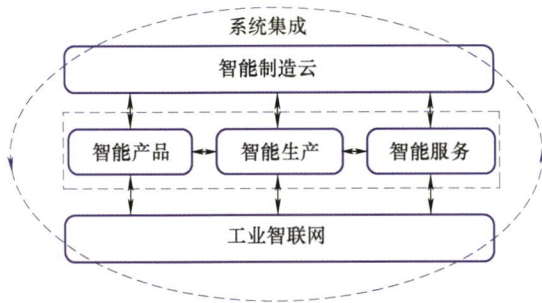
张禹 公健 唐滋阳 吕董 常育嘉 巩亚东



**摘要:** 针对航空发动机管路布局目前存在的问题,一种基于改进多目标人工蜂群算法的航空发动机管路智能布局方法被提出。在该方法中,首先以管路长度最短、弯头数最少和流阻最小为优化目标,将管路弯曲半径、夹角、直线段长度、距离、贴壁以及跨度约束作为约束条件,建立航空发动机管路多目标布局优化数学模型。进一步,基于约束违背度理论、混沌算法和 A\*算法,并结合雇佣蜂变长度邻域搜索、跟随蜂指数排序选择、侦查蜂自适应邻域搜索,设计出应用于航空发动机管路智能布局的改进多目标人工蜂群算法,从而实现了航空发动机管路布局的多样性和智能化,提高了管路布局质量和效率。最后,以标准测试函数为例对算法性能进行测试,并通过实例研究验证所提方法的可行性。

## 285 面向 2035 的智能制造技术预见和路线图研究

臧冀原 刘宇飞 王柏村 苗仲桢 薛源 李培根



**摘要:** 近年来,我国围绕智能制造技术及其应用开展了大量研究工作,面对智能制造不断涌现的新技术、新理念、新模式,为更好推动后续智能制造技术相关研究的有序开展,对智能制造中的智能产品、离散型制造、流程型制造、新模式新业态、工业物联网、智能制造云等六个方向,分别通过技术体系构建与技术态势扫描、技术清单制定、问卷调查与专家研讨等方法与过程,从目标层、实施层、保障层等三个层次绘制面向 2035 年的智能制造技术路线图,并指出目前智能制造需要集中力量攻克的关键技术清单,以期为未来智能制造技术发展的政策制定、价值评价、竞争力评价、战略管理和科学研究等提供参考。

## **CONTENTS**

- 1 Nondestructive Testing and Condition Monitoring of Pressurized Water Reactor Nuclear Power Plants: A Review**  
HUANG Songling SUN Hongyu WANG Shen ZHAO Wei PENG Lisha
- 14 Eddy Current Imaging of Fiber Textures in CFRP Composite Based on Spatial Frequency Domain De-aliasing Method**  
CHENG Jun YOU Yong WANG Buyun XU Dezhang YU Cheng YANG Jiquan
- 22 Synchrosqueezing Transform Based on Improved Group Delay Estimation and Its Application in Extracting Impulse Vibration Signal**  
HE Ya HU Minghui LU Ziyuan MING Xuan JIA Yanfei
- 34 Microstructure Evolution of Magnetic Glass-ceramic Brazed Lithium Ferrite Joint and Simulation of Magnetic Properties**  
CHEN Qianqian MA Dian LIN Panpan LIN Tiesong HE Peng
- 41 Study on Optimization of Voronoi Foam Aluminum Geometric Model Based on Bezier Curve**  
ZHUANG Weimin SUN Jian XIE Dongxuan
- 48 Underwater Local Dry TIG Welding of Duplex Stainless Steel**  
MA Zhaoxuan LIU Yibo WANG Jianfeng SUN Qingjie
- 55 Control of Defects in Mg Alloy Arc Additive Repair Layer by Friction Stir Treatment**  
LI Jianwei HE Zhi LONG Jianzhou YIN Fengliang GAO Hongyue ZHAO Yue GUO Xiaolin  
WANG Zhimin LIU Yuping ZHANG Tiejun GUO Bin
- 62 Analysis of Bulging-pressing Forming Mechanism and Determination of Internal and External Pressure Application Criteria for Large and Complex Shape Automobile Axle Housing Pipe**  
WANG Xiaodi WANG Liandong JIN Miao LIU Heng XU Shiwang



- 72 Formation Mechanism and Control Method of Wave Deformation of Ultra-thin Plate Caused by Laser Welding**  
ZHANG Jingqi XIANG Zhilei WANG Xibo LEI Yongping LIN Jian
- 80 Research Progress of Brazing Diamond and Application of Tools**  
MAO Yamei HEI Hongjun GAO Jie ZHENG Ke YU Shengwang WANG Yao
- 94 Microstructure and Mechanical Properties for Thick Plate 5083 Aluminum Alloy Friction Stir Welding Joint along the Thickness Direction**  
FANG Yuanfang ZHANG Hua
- 102 Effects of Secondary Aging on Microstructure and Properties of Al-Cu-Mg Alloy**  
SU Ruiming JIA Yongxin HU Shiyang QU Yingdong LI Rongde
- 111 Development of Elastic Finite Element Model for Predicting Welding Deformation Based on Artificial Thermal Strain Method**  
WANG Chao WU Chunbiao SHAO Longtan
- 120 Research and Application of Filtering-swirl Coupling Technology in Heterogeneous Separation**  
LIU Yang ZHAO Lixin ZHANG Shuang LIU Lin XU Baorui
- 155 ANTI-seismic of Offshore Wind Turbine with TMD Based on VMD Method**  
YAN Yangtian LI Chun YANG Yang MIAO Weipao LI ZhiHao
- 165 Multi-objective Optimization of Ply Parameters for Wind Turbine Blade**  
DONG Xinhong SUN Pengwen ZHANG Lanting WANG Zongtao
- 174 Unsteady Aeroelastic Coupling Model and Dynamic Response Analysis of Back-swept Blade on Wind Turbines**  
GUO Kunxiang XIA Hongjian LI Deyuan HUANG Jundong
- 183 Calculation for Fatigue Damage and Fatigue Life of Metro Bogie Based on Dynamic Stress**  
XIE Shuqiang WANG Binjie WANG Wenjing ZHANG Haonan LI Qiang JIANG Chaoyong
- 191 Two Typical Wheel Wear Evolution Characteristics and Its Influence on Dynamic Performance of High-speed EMU**  
HOU Maorui CHEN Bingzhi CHENG Di HU Xiaoyi SUN Lixia
- 202 3D LiDAR Based Real-time Object Recognition System for Unmanned Surface Vehicles**  
LIU Chenguang GUO Juehan WU Yong CHU Xiumin WU Wenxiang LEI Chaofan

- 212 Lane-changing Decision Model Development by Combining Rules Abstract and Machine Learning Technique**  
JIA Hanbing LIU Peng ZHANG Lei WANG Zhenpo
- 222 Research on Design Method of the Hydraulic Energy Conversion System of Inertial Wave-energy-powered Buoy**  
WU Jinming CHEN Ni QIAN Chen
- 232 Research on Adaptive Steering Control of Independent Rotating Wheelset**  
ZHANG Jimin ZONG Zhenhai ZHOU Hechao KOU Jie
- 240 Influence of Clearances and Force State of Joints on Steering Error of Spatial Steering Mechanism**  
WANG Chengzhi WANG Yunchao
- 250 Study on the Vibration Reduction of Internal Combustion EMU Powerpack Frame under Multiple Loading Conditions Based on Particle Damping**  
XIAO Wangqiang CHEN Hui XU Zhanhao WANG Xingming JIA Shangshuai PAN Dekuo
- 258 Research on Disassembly Sequence and Disassembly Length Integrated Decision of End-of-life Products Based on Parts Recovery Comprehensive Evaluation**  
GUO Hongfei CHEN Zhibin REN Yaping QU Ting LI Jianqing
- 269 Design and Application of No Inherent Force and Low Magnetic Leakage Precision Damper for Joule Balance**  
WANG Dawei XU Jinxin LIU Yongmeng BAI Yang ZENG Tao LI Zhengkun  
ZHANG Zhonghua TAN Jiubin
- 277 Method for Intelligent Aeroengine Pipeline Layout Based on Improved Multi-objective Artificial Bee Colony Algorithm**  
ZHANG Yu GONG Jian TANG Ziyang LÜ Dong CHANG Yujia GONG Yadong
- 285 Technology Forecasting and Roadmapping of Intelligent Manufacturing by 2035**  
ZANG Jiyuan LIU Yufei WANG Baicun MIAO Zhongzhen XUE Yuan LI Peigen



# 《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) 潘际奎 (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 668224

04