



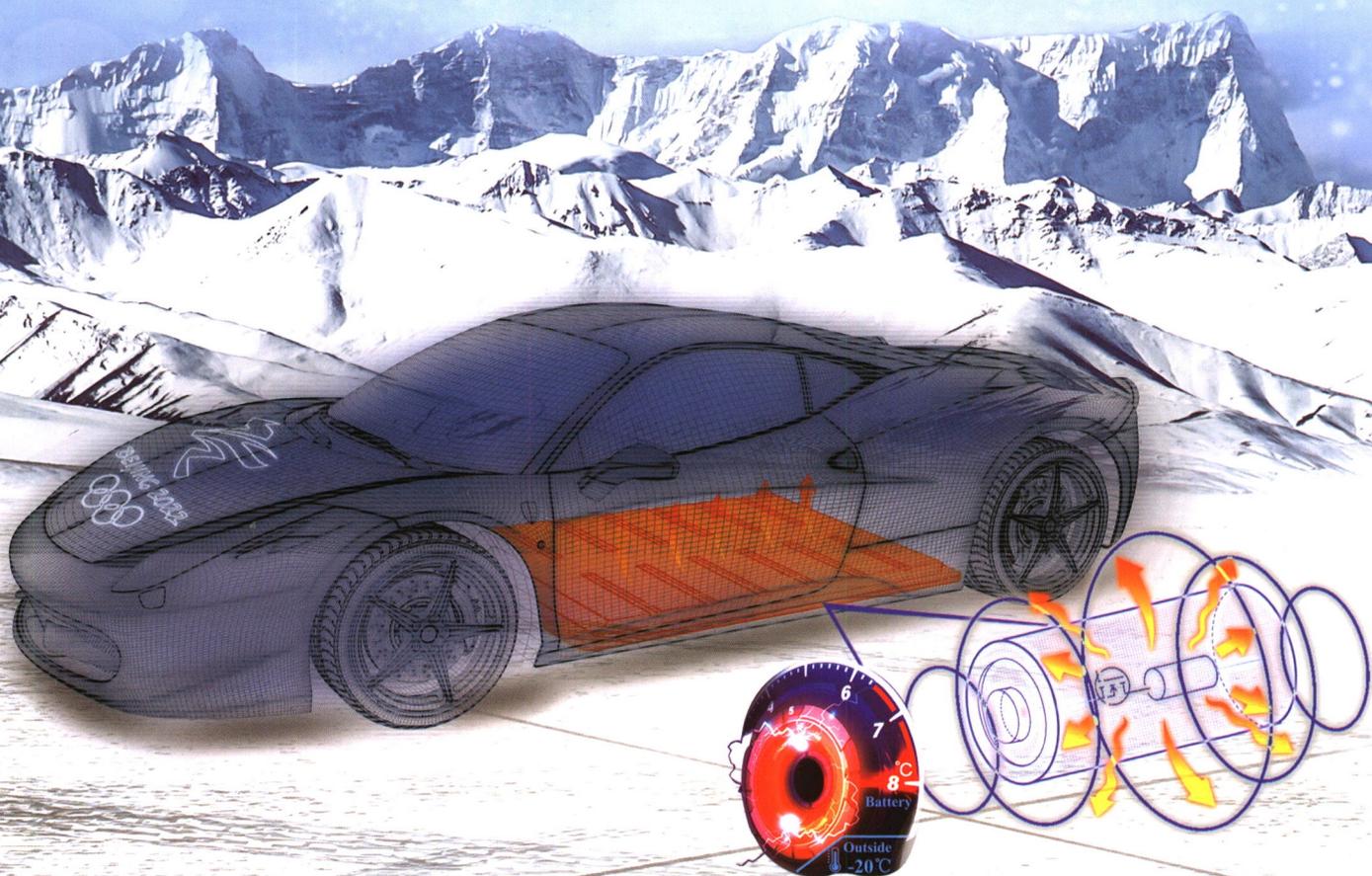
QK2111371

# 机械工程学报

## JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

### 锂离子电池极速自加热中的电-热耦合特性及建模

熊瑞 马骥骅 陈泽宇 孙逢春



57卷 2期 半月刊  
2021年1月

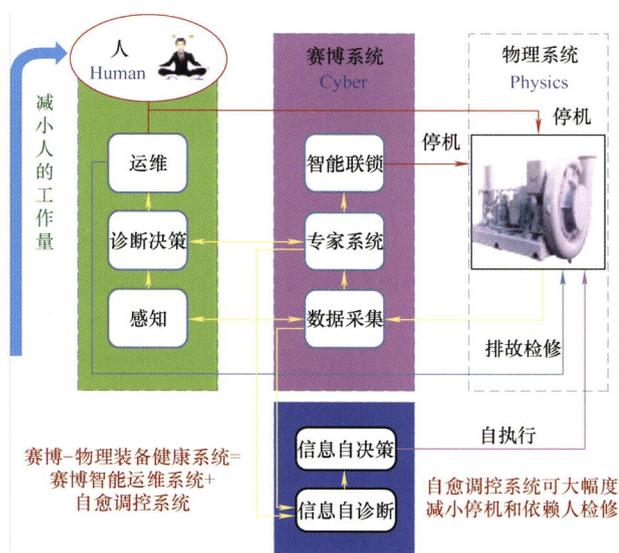
中国机械工程学会 主办

万方数据

## /// 仪器科学与技术 ///

### 1 人工自愈概论

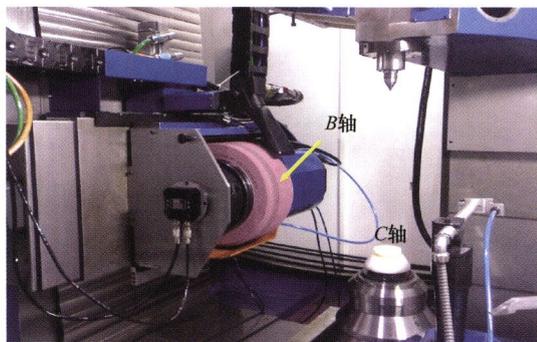
高金吉



**摘要:** 论述了仿生机械学研究的新领域——人工自愈原理: 借鉴中华传统医学“自主调理是治疗学的第一原理”, 将人和动物的自愈机制赋予机器, 使机器储存、补充和调动自愈力以维持机体健康状态。人工自愈技术包含自修复、代偿、自防护和自愈调控技术。人工智能模仿人脑的意识思维控制行为实现自动化, 可使机器更聪明; 人工自愈可模仿人体无意识思维的自愈机制, 在运行中防止和抑制故障实现自愈化。论述了工程自愈论是控制论研究领域的一个新的分支学科, 拓展了控制论和工程控制论研究领域。提出人工自愈和人工智能赛博-物理系统 CPS 三体模型。人工自愈会让机器装备更健康, 从故障快准溯源诊断到精稳自愈调控, 是机器乃至人造物系统自主健康基础, 应用前景广阔。

### 11 机器信息学: 机械产品智能化的学科支撑

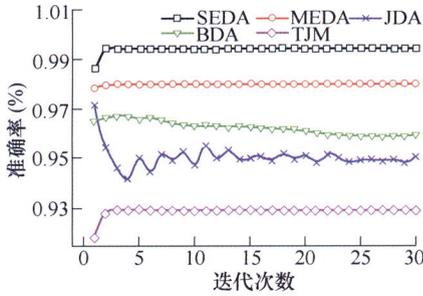
林京



**摘要:** 不断将新技术融入装备的全生命周期, 使其品质和效能获得显著提升, 是提升装备及其制造水平的重要手段。随着两化融合的深入开展, 如何将现代信息技术与机械装备深度融合, 是提升机械产品智能化水平的关键。机器信息学正是在这一背景下, 通过信息科学与技术、机器学、制造科学与技术等多学科的交叉融合, 揭示机器全生命周期各阶段与其品质、效能相关的信息及其动态变化过程。本文围绕机器信息学的研究内涵、学科基础、研究思路等进行阐述, 并结合具体案例给出了在装备诊断过程中机器信息学的内涵和应用, 最后对机器信息学的发展方向进行展望。

## 21 子空间嵌入特征分布对齐的不同工况下旋转机械复合故障诊断

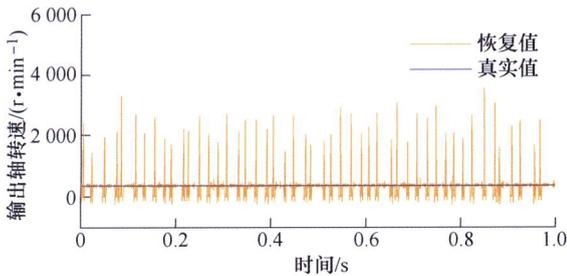
陈仁祥 吴昊年 张霞 汤宝平 胡小林 蔡东吟



**摘要:** 针对不同工况下复合故障诊断时跨域特征对齐与分布差异自适应调节的问题, 提出子空间嵌入特征分布对齐的不同工况下旋转机械复合故障诊断方法。利用相关对齐方法在目标域子空间对齐源域与目标域对应特征, 有效抑制域偏移; 在该空间训练基分类器为目标域预测伪标签, 用于定量估计两域边缘分布与条件分布各自权值, 以适配两域特征分布差异; 通过结构风险最小化框架构造核函数, 建立分类器以传递上述两步学习规则, 并通过迭代更新获得最优系数矩阵完成复合故障诊断任务。在两组多类别复合故障诊断实验证明了所提方法的可行性和有效性。

## 30 基于 SVD-KDR 算法的工业监测数据插补技术

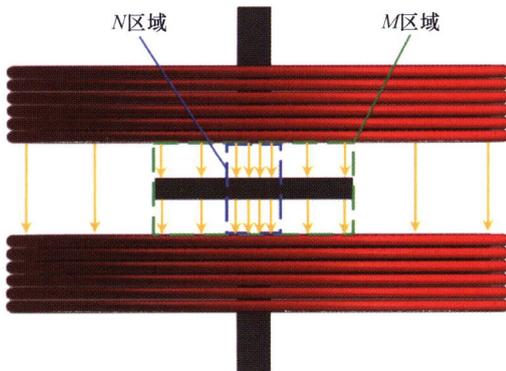
陈帅 赵明 郭栋 林京



**摘要:** 监测数据的完整性和可用性是工业大数据时代信息提取与知识发掘的前提和基础。然而由于采集中断、传输干扰、存储不当等诸多原因, 监测数据的缺失问题在工业场景中频繁发生, 严重影响数据价值密度。提出一种基于 SVD-KDR 的高精度、高鲁棒性缺失数据插补算法。该方法将一维工业数据转换为高维矩阵, 弥补了传统方法直接从低维空间插补工业监测数据的维度局限。通过发掘插补过程中非缺失数据的低秩特性, 借助奇异值分解理论 (Singular value decomposition, SVD) 建立了鲁棒性更强的 SVD-KDR 算法模型, 有效减弱了缺失数据对参数估计精度的不利影响。试验结果表明, 相比于传统插补算法, 所提出算法在高缺失率下仍具有较高插补精度和稳健性。此外, 该方法不仅能够有效恢复缺失数据的波形, 而且能充分还原原始数据所蕴含的波动信息。提出的 SVD-KDR 算法可有效解决数据缺失问题, 为工业大数据分析提供了数据恢复与信息处理工具。

## 39 高精度双线圈式磨粒传感器的设计及研究

史皓天 张洪朋 马来好 曾乃斌 刘城 陈海泉



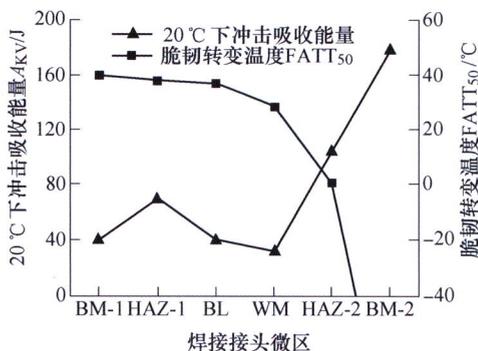
**摘要:** 提出了一种可检测电感和电阻参数的高精度双线圈式磨粒传感器, 其可对液压油污染物的检测提供技术支持。激励硅钢片和内置硅钢片通过磁化作用以及对磁场的聚集作用在检测区域中生成了高强度磁场, 从而提升了传感器的检测精度。正方形检测通道的设计充分利用了两电感线圈之间的区域, 提高了传感器的检测通量。试验表明, 内置硅钢片不会改变磨粒传感器的信号噪声, 有助于获取更优的信噪比。并且激励硅钢片和内置硅钢片对置区域的磁场强度最强, 金属颗粒通过该区域时就会产生电感和电阻变化的脉冲峰值。在搭建的测量系统对油液中的金属磨粒进行检测试验, 结果表明电感参数能够检测到 25  $\mu\text{m}$  铁颗粒和 100  $\mu\text{m}$  铜颗粒, 电阻参数方式可检测 35  $\mu\text{m}$  铁颗粒和 85  $\mu\text{m}$  铜颗粒。通过结合电感参数检测结果和电阻参数检测结果, 磨粒传感器可实现对 25  $\mu\text{m}$  铁颗粒和 85  $\mu\text{m}$  铜颗粒的区分检测。



**摘要:** 电磁超声换能器一般采用具有超强磁力的稀土永磁制作,在实际检测中由于磁力不可控,存在偏置磁场不够强导致换能效率过低和磁力过强造成操作不方便等问题。提出一种偏置磁场磁力可控的电磁超声换能器,采用电磁铁与永磁铁相结合的方式,达到偏置磁场磁力可控的目的。通过有限元仿真和试验得出,提出的偏置磁场磁力可控的电磁超声换能器,在电磁铁处于关闭模式下,永磁铁能够提供基础磁场;采用增强模式或减弱模式,无被测物时,换能器下表面平均垂直磁通最大分别增强 78.58%和减弱 19.36%,而提高 2 mm 检测钢板时,换能器下方钢板表面平均垂直磁通最大分别增强 52.99%和减弱 38.02%;得出 3 种模式下,探头磁力随着提高距离缩小而增强的试验曲线;通过增强模式对铝板和钢板进行测厚试验,将检测信号幅值分别提高 46.91%和 62.01%。所设计的磁力可控电磁超声换能器不仅具有磁力可控的功能,还能够提高检测信号幅值。

/// 材料科学与工程 ///

53 12Cr/30Cr2Ni4MoV 异种转子钢焊接接头微区冲击韧性研究



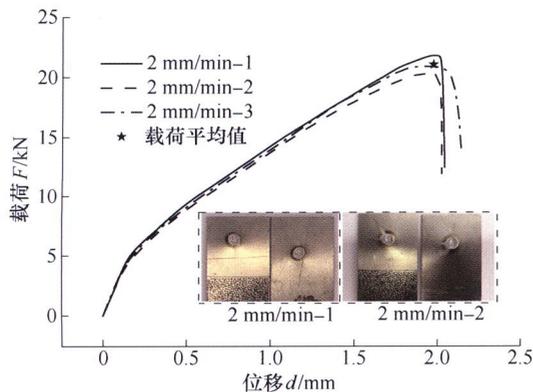
**摘要:** 采用窄间隙钨极氩弧焊(Narrow-gap tungsten inert gas, NG-TIG)和窄间隙埋弧焊(Narrow-gap submerged arc welding, NG-SAW)组合焊接技术制造了带有过渡层的异种转子钢焊接接头(12Cr/30Cr2Ni4MoV)。采用微剪切试验获得了接头微区的剪切强度,通过分区测试法获得了微区韧脆转变温度 FATT<sub>50</sub>,研究了显微组织对微区硬度、强度和韧性的影响。研究表明,焊接接头的硬度和剪切强度分布特征基本一致,热影响区力学性能梯度分布,熔合线界面两侧力学性能不匹配;过渡层存在局部弱化区,显微硬度为 227 HV,为整个焊接接头最为薄弱的区域;由母材 12Cr 过渡至 30Cr2Ni4MoV,接头微区脆韧转变温度 FATT<sub>50</sub> 逐渐降低;20 °C 下,母材 30Cr2Ni4MoV 及其热影响区冲击韧性优异,裂纹萌生于基体/第二相界面,通过微孔聚集发生韧性断裂,其余微区均发生准解理断裂,焊缝冲击韧性最差。



**摘要:** 安定性分析是承受循环载荷作用的结构设计与安全评定的重要理论依据,更能反映结构的实际承载能力。材料在循环载荷作用下会呈现一定的循环硬化/软化特性,从而影响结构的安定性。以常用的 Q235 钢为研究对象,分别对 Q235 板材进行单向拉伸和对称应变控制的循环加载试验,测量相应的应力-应变曲线及材料力学性能参数,研究其单向拉伸性能及循环硬化/软化特性。运用试验所测得的不同加载条件下的材料参数对箱型承载结构进行安定性数值分析,并与文献中该箱型结构的安定性试验研究结果进行对比。结果表明, Q235 在循环载荷作用下表现出循环软化特性。采用单向拉伸条件下的性能参数得到的安定性分析结果与物理试验结果相比,误差为 25.3%;采用材料循环加载条件下的性能参数得到的安定性分析结果与物理试验结果相比,误差为 6.7%,考虑循环软化特性时安定性分析结果更接近物理试验结果。

## 70 DP780 双相钢电阻点焊接头动态载荷下失效行为研究

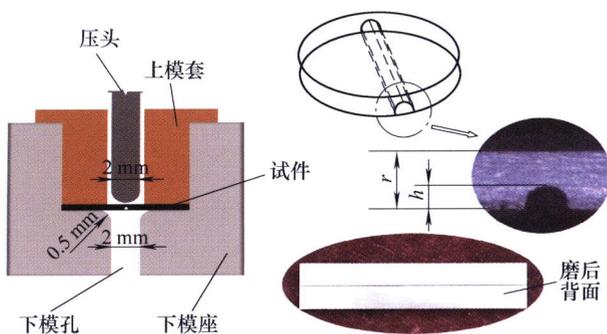
崔俊佳 董东营 王琼 李光耀



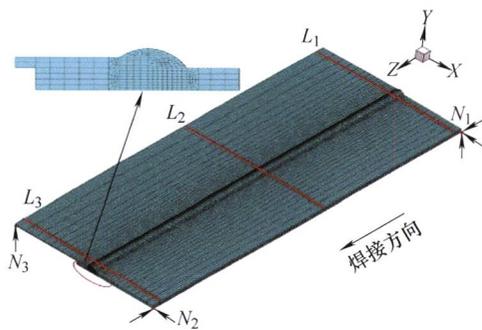
**摘要:** 采用 DP780 双相钢电阻点焊接头,针对不同拉伸速度下接头的失效行为进行了研究。利用数字图像相关(Digital image correlation, DIC)技术分析接头的全场应变,同时对不同失效模式下的接头微观断面形貌进行分析。结果表明,准静态与动态拉伸下接头的失效模式主要有界面断裂与熔核拔出两种。随着拉伸速度的增加,接头的失效位置由界面断裂向母材撕裂变化,同时接头失效的峰值载荷与吸能值逐渐增大。2 mm/min 测试速度下的峰值载荷为 21.08 kN,相比 2 mm/min, 2 m/s、6 m/s、10 m/s 的峰值载荷分别提升了 26.57%、46.92%、63.99%。四种测试速度下的失效吸能值分别为 10.16 J、31.37 J、52.83 J 和 63.77 J。由于拉伸时搭接接头焊点会发生偏转,造成了焊点上方拉伸作用为主,下方压缩作用为主。焊点不同程度的偏转,将使接头发生不同的失效模式。随着拉伸速度的提升,接头断口切窝的摩擦分层越发剧烈。

## 80 U 型缺口试件微压剪试验及其有限元模拟

王莹 赵锡龙 郑韶先 李渊博



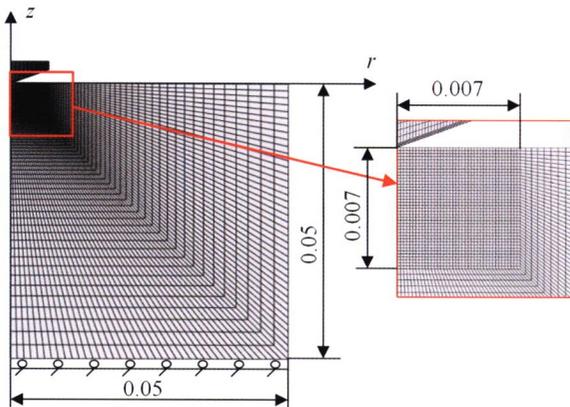
**摘要:** 在金属试件背部开 U 型缺口,利用微压剪试验装置对 TC4 钛合金薄板进行微区力学性能测试。采用 ABAQUS 软件建立背部开缺口微压剪试件有限元模型,结合有限元逆向反推技术获得 TC4 钛合金高三向应力状态下的局部力学性能参数,并分析等效应力和孔洞体积分数的变化规律。结果表明,随着压头的不断下压,试件缺口尖端等效应力不断增加,达到峰值应力 1 150 MPa,缺口尖端孔洞体积分数逐渐增加到临界孔洞体积分数后迅速增大并导致试件失效破坏。试件上表面处,其孔洞体积分数较低;随着压头的进一步下压,缺口根部区域等效应力逐渐减小,而试件缺口根部区域和压头边缘区域都表现出较高的孔洞体积分数。当达到峰值载荷时,缺口根部区域路径方向上的应力三轴度从 2.28 降到 -0.64,孔洞体积分数在缺口根部区域表现为最大值,而在路径末端相对较低,其分布趋势与应力三轴度相似。



**摘要:** 基于搭接结构造成的电弧热源非对称分布和过热熔滴热焓的热作用特征, 建立非对称型四椭圆热源和均匀体热源的组合热源, 并基于热-弹-塑性有限元理论, 数值分析 1 mm 厚 5052 铝合金和 2 mm 厚镀锌钢搭接接头 MIG 电弧熔-钎焊接应力应变场演变, 讨论残余应力分布特征。计算结果表明, 随着到焊缝中心的距离增加, 镀锌钢母材近钎焊缝区域所受内应力由压应力逐渐转为拉应力。铝侧焊缝区域的残余应力表现为等于室温铝合金屈服强度的拉应力, 在焊根处降低为零或转变为压应力。钎焊界面两侧存在较大的残余应力差, 不同焊接热输入下界面两侧焊接残余应力差的分布均呈 n 形, 并与钎焊界面剪切强度呈负相关, 随着热输入的增大, 界面残余应力差增大, 而接头剪切强度逐渐下降。

## 97 基于纳米压痕的激光修复层晶体材料常数反演方法

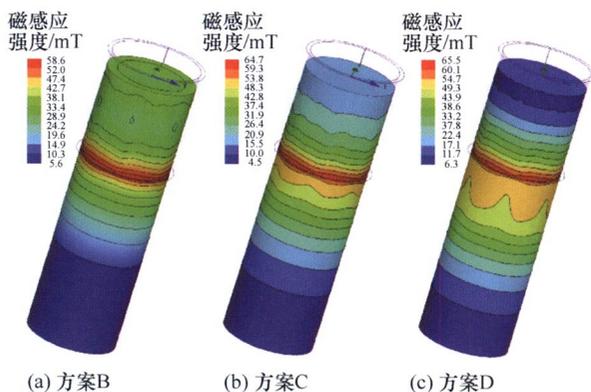
李银银 蒋玮



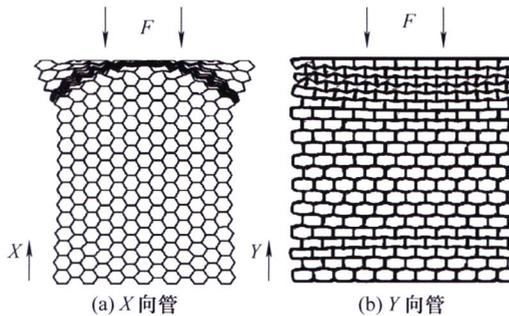
**摘要:** 为了研究裂纹激光修复层的细观力学行为, 利用纳米压痕试验确定激光修复层晶体塑性材料常数。首先, 运用纳米压痕仪获得添加 304 不锈钢粉末及其质量分数为 5% 的纳米 WC 的激光修复层的载荷-位移曲线。然后, 运用纳米压痕的常规有限元模型对修复层材料的宏观弹塑性参数进行求解, 通过堆积/沉陷参数对试验载荷-位移曲线进行修正。最后运用拉伸试件的晶体塑性有限元模型对修复层材料的晶体塑性常数进行反演。结果表明, 通过堆积/沉陷参数对试验载荷-位移曲线进行修正, 能够有效地减小计算误差; 同时该方法能够以较小计算量和较高计算精度确定晶体塑性常数, 为通过纳米压痕试验获得晶体塑性材料常数提供了一种新的方法, 也为从细观尺度研究材料的力学行为提供了方便。

## 105 结晶器电磁搅拌对高强齿轮钢大圆坯凝固行为的影响

王璞 肖红 沈厚发 陈希青 陈列 兰鹏 张家泉



**摘要:** 结晶器冶金对于特殊钢连铸过程凝固与后续产品质量至关重要。以高强齿轮钢 42CrMo 以铸代锻  $\phi 650$  mm 特大断面圆坯连铸生产工艺为背景, 基于三维电磁-流动-传热-凝固耦合模型, 研究了结晶器电磁搅拌(Mold electromagnetic stirring, M-EMS)器安装位置对大圆坯连铸结晶器冶金行为的影响。结果表明, 结晶器铜管磁屏蔽效应导致搅拌器安装位置越低, 搅拌效率越高; 电磁搅拌可显著减轻因水口侧孔射流冲刷所造成的坯壳生长不均匀性、强化钢液过热耗散, 也会不同程度地增强液面波动。搅拌器位置由 330 mm 下移至 730 mm 三个代表性工况下, 钢液面最大波高差降低 2.5 mm, 坯壳凝固前沿最大冲刷速度增加 0.069 m/s, 铸流中心钢液过热耗散位置后移 0.159 m, 结晶器出口坯壳厚度极差降低 1.1 mm。综合认为, 搅拌器安装位置在弯月面下约 530 mm 时, 既有利于控制合适的液面波动与坯壳生长均匀性以改善铸坯表面质量, 也有利于因钢液过热耗散促进等轴晶形成而提高大圆坯的中心质量。

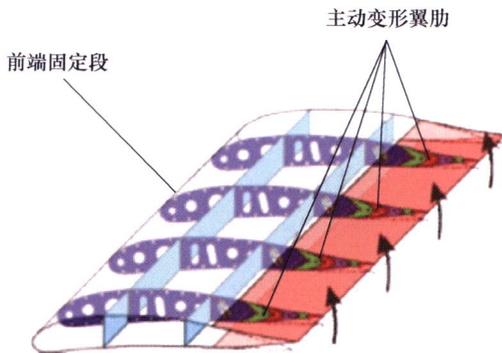


**摘要:** 借鉴波纹管、夹层管和泡沫填充管等设计思想,利用纸蜂窝和聚乙烯泡沫这两种优质缓冲吸能材料,提出聚乙烯泡沫单填充正多边形纸蜂窝夹层管的设计思路。通过静态和动态轴向压缩试验分析,研究这类结构的轴向缓冲吸能特性,探讨结构参数、跌落冲击参数对变形特征和关键吸能指标的影响,为其结构设计 with 性能优化提供参考。结果表明,在轴向静态压缩情况下,单填充纸蜂窝夹层管发生渐进屈曲变形且泡沫发生非均匀变形, X 向管的屈服强度、抗压强度和塑性平台应力均优于 Y 向管。随着管横截面边数的增加,单填充管的比吸能、行程利用率和比总体效率都呈下降的趋势。在轴向跌落冲击载荷作用下, X 向管的比吸能、比总体效率都高于 Y 向管,而行程利用率低于 Y 向管。随着管长比或管横截面边数的增加,管的比吸能、行程利用率和比总体效率都有明显的下降,而随着跌落冲击能量的增加,管的比吸能、行程利用率和比总体效率近似于线性增加。

## /// 运载工程 ///

### 121 机翼中小尺度主动变形研究进展及关键技术

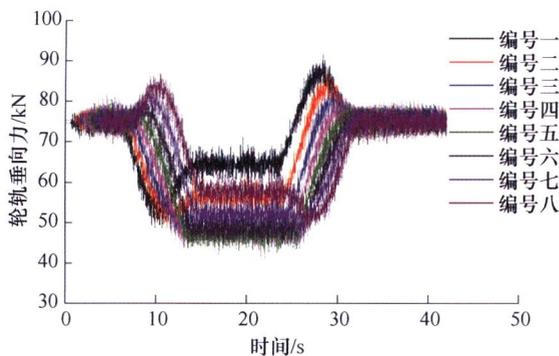
周文雅 张宗宇 王晓明 吕维梁 钱卫



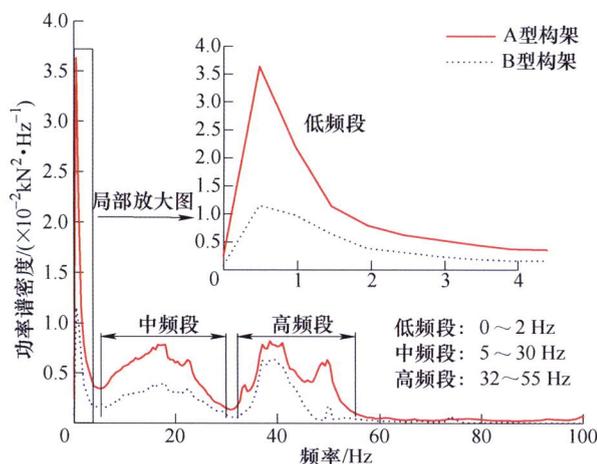
**摘要:** 变形机翼能够根据飞行工况的变化,主动调节自身形状以改善飞行器任务适应性,是未来飞行器设计的研究前沿与热点。阐述国内外机翼中小尺度主动变形技术的研究进展,围绕机翼设计中柔顺变形能力与气动承载能力间冲突,对现阶段变翼型弯度、变厚度和扭转变形机翼中的机械变形结构设计方案进行重点分析探讨。对变形机翼设计中变形蒙皮、轻质高输出驱动系统、协调变形控制系统设计等关键技术的研究瓶颈及技术方案进行阐述分析,探讨变形机翼未来发展方向,为变形机翼设计与工程应用提供技术参考。

### 139 货物非均匀装载对高速货运动车组动力学性能的影响

罗天祺 陈再刚 蒋建政 王家鑫 王开云

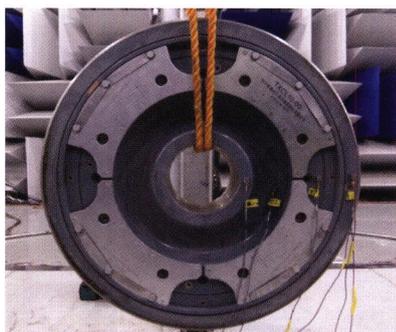


**摘要:** 为改变我国现有的物流格局,有效利用我国庞大的高速铁路路网资源,充分发挥我国高速铁路的效能,开行高速货运动车组列车无疑是铁路货运发展的一种新途径。为深入研究货物装载差异引起的载荷不均匀分布对高速货运动车组列车动力学性能的影响,以我国 CRH 某型动车组为研究对象,建立了八节编组的高速货运动平组列车系统动力学模型。通过设置不同的货物装载质量分布情况,分析相应工况下的高速货运车辆运行安全性、车辆运行平稳性、车辆与轨道动态作用性能。研究表明,在惰行、牵引和制动时,均匀分布的满载高速货运动车组比轻载的脱轨系数、轮重减载率小,安全性好。总体而言,货物质量均匀分布有利于提高高速货运动车组列车动力学性能。



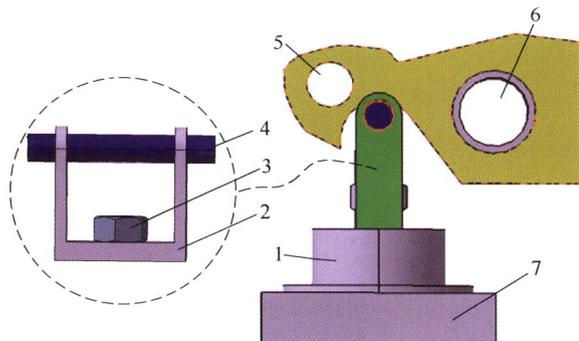
**摘要:** 以两种结构型式(A/B型)的高速列车转向架构架为研究对象,采用直接测试法识别相同运用条件下两种构架的扭转载荷,对比分析扭转载荷的时域、频域及载荷值分布特征,并对扭转载荷谱的相似性进行评价,基于疲劳损伤仿真计算结果验证两种构架扭转载荷谱互用的可行性。研究结果表明,各典型运用工况下两种构架扭转载荷的时域、频域特征一致;A型构架的扭转载荷值范围大于B型构架,且两者在不同站间具有相对稳定的比值关系;两种构架的扭转载荷值分布特征一致,均大致以y轴为中心呈尖峰对称分布;在两种构架扭转载荷谱长度及形状高度相似的前提下,考虑载荷值比例关系的互换载荷谱,其产生的最大损伤与本型结构载荷谱产生的最大损伤比值为1.3(A型构架)、1.5(B型构架),满足用于构架疲劳评估的要求。

## 158 有轨电车-嵌入式轨道曲线啸叫噪声时域建模分析

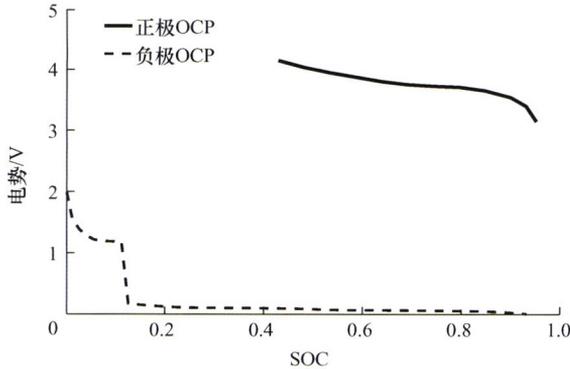


**摘要:** 有轨电车通过小半径曲线时易产生严重的啸叫噪声,产生机理复杂且影响因素较多,目前曲线啸叫的产生机理及其关键影响因素在国内外研究中并未形成统一认识。基于轮轨摩擦曲线下落特性引起轮轨系统不稳定自激振动的曲线啸叫产生机理,建立有轨电车-嵌入式轨道曲线啸叫噪声时域预测模型,主要包括考虑弹性车轮、嵌入式轨道结构特性的轮轨结构动力学预测模型、轮轨滚动摩擦及轮轨时域自激振动循环预测模型。通过曲线啸叫噪声预测结果与现场试验数据的对比分析,表明建立的有轨电车-嵌入式轨道曲线啸叫噪声预测模型是合理有效的。该预测模型可用于有轨电车通过嵌入式轨道曲线线路时轮轨振动响应、车轮辐射噪声的预测,以及后续的曲线啸叫的关键影响因素调查分析和曲线啸叫噪声控制措施研究。

## 169 一种汽车自动制动踏板机构设计及试验



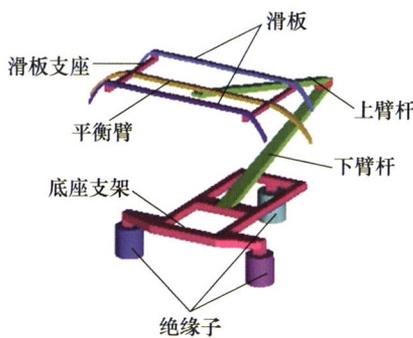
**摘要:** 为方便传统汽车制动踏板的机械自动化,根据汽车制动踏板结构形式,设计一种带有圆弧形截面的自动制动踏板机构。运用机构运动学原理,建立自动制动踏板运动学模型,提出一种根据踏板结构几何约束确定最优圆弧形截面尺寸的方法。以某电动汽车制动踏板为例,计算获得该踏板最优圆弧形截面的设计尺寸,并与CATIA DMU模型和台架试验数据进行对比,验证所建立运动学模型的正确性。通过开展实车制动试验,说明所设计自动制动踏板机构的可行性。结果表明,建立的自动制动踏板机构运动学模型与CATIA DMU模型的计算结果完全一致,与台架试验数据亦十分接近;在最优圆弧形截面的制动仿真中,运动销与圆弧形截面的切点和运动销顶点的横向偏差不超过0.54 mm,该机构能平稳连续的传递制动推力;实车制动试验表明,所设计自动制动踏板能有效实现慢速、快速和人-机分离等自动驾驶车辆的制动过程。



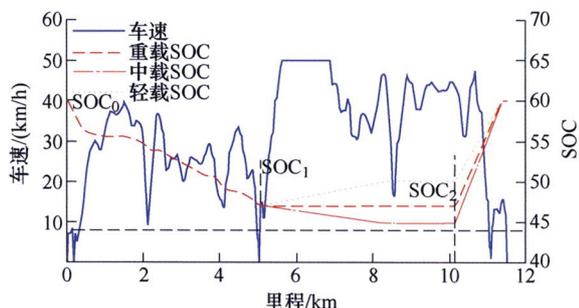
**摘要:** 动力电池低温下充放电时存在严重析锂、内阻增大、容量骤降等现象, 导致其低温应用时能量不足, 性能衰退增速以及安全事故频发等问题。针对当前锂离子动力电池低温加热速度慢制约全气候应用的难题, 发现电触发极速生热特性, 开发了间歇式极速加热系统; 设计出系统的加热试验方法研究极速生热行为, 明晰加热频率、占空比以及初始电量对电池温升速率和安全性的影响规律; 发现加热温升与占空比和初始电量均呈正相关, 加热使用的周期性电流是影响温升的关键, 精确控制电流是加热策略实施的基础; 建立低温加热电-热耦合模型, 分析加热过程中颗粒锂离子浓度分布, 结果表明, 提出的极速加热方法不影响活性颗粒整体可循环锂浓度, 证实了加热频率及占空比对加热效果的影响规律。

## 190 低温对受电弓气动性能的影响

史佳伟 李牧晶 张淑敏 杨世均 葛 帅 圣小珍

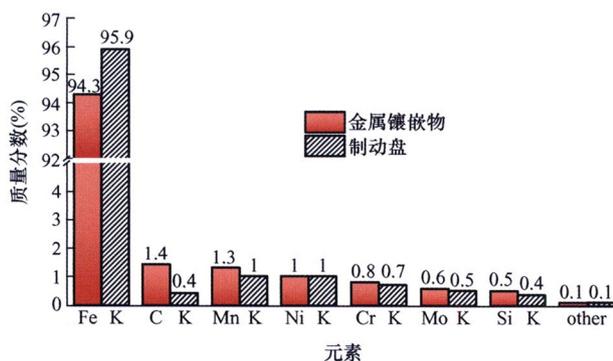


**摘要:** 为研究低温对受电弓气动力和气动噪声的影响, 基于三维可压缩黏性流体模型对速度 200 km/h、300 km/h 和 400 km/h, 温度 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下受电弓周围流场进行数值模拟, 并应用 Ffowcs-Williams/Hawkings (FW-H)方程计算受电弓远场气动噪声。在此基础上分析了受电弓气动力和气动噪声随温度的变化规律以及气体压缩性的影响。研究表明, 随着温度降低, 受电弓所受压差阻力和黏性阻力均增大。环境温度由  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  降至 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 总的气动阻力增幅分别为 14%和 30%。速度越高, 温度对气动阻力的影响越显著。在低温环境下, 受电弓顶部部件气动升力波动更加剧烈, 对对流质量有不利影响。低温导致受电弓表面脉动压力幅值增大且波动更加剧烈从而使远场气动噪声增大。在 400 km/h 速度下, 环境温度由  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  降至 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 距受电弓 7.5 m 的水平半圆上的测点声压级分别平均增大约 1.4 dB 和 3.2 dB, 但不同温度下的气动噪声频谱特征相似。不同速度下温度降低引起的气动噪声声压级增长量相差较小。环境温度变化导致的空气密度变化是影响不同温度下受电弓气动力和气动噪声的主要因素。在上述计算条件下, 使用不可压缩模型计算受电弓气动力和气动噪声声压级也可以获得较为精确的结果。



**摘要:** 矿用自卸车运行线路固定、无交通约束,但行驶地形复杂且装载质量变化大。重载下长坡时,传统的自适应等效燃油消耗最小策略(Adaptive equivalent consumption minimization strategy, A-ECMS)可能由于电池荷电状态(State of charge, SOC)处于高位而无法最大限度地利用电制动进行能量回收。为解决该问题,针对矿山实际工况,提出一种融合坡度信息和整车质量估计的预测性 ECMS 策略(Predictive equivalent fuel consumption minimum strategy, P-ECMS)。结合 GPS 提供的地形信息实现路面坡度预测,并利用递推最小二乘法对装载后的整车质量进行在线估计;建立能量回收预估模型分别计算满载和空载时车辆下坡制动前的目标 SOC 值,加权平均后得到参考 SOC 轨迹;采用一种传统 A-ECMS 算法实现对参考 SOC 轨迹的跟踪和功率分配的瞬时优化。进行了控制器在环仿真试验,结果表明,所提出的 P-ECMS 算法能在车载控制器中实时运行,能适应不同的装载载荷,且燃油经济性相比传统 A-ECMS 最高可改善 7.21%。

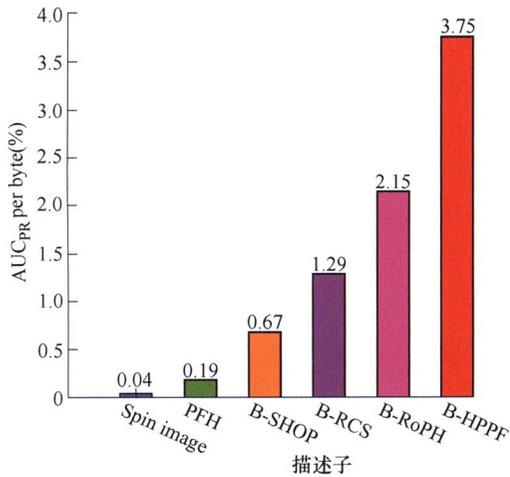
210 基于微尺度的列车制动金属镶嵌行为研究



**摘要:** 列车制动过程中,无论是踏面制动还是盘式制动都存在金属镶嵌现象,造成车轮踏面与制动盘盘面损伤,从而对车辆运行带来安全隐患。为研究金属镶嵌的形成原因及行为,选取低摩擦因数合成闸瓦与车轮、粉末冶金闸片与制动盘两种摩擦副产生的金属镶嵌物,进行宏观与微观形貌观察、材料物理及力学性能试验和材质成分含量分析。采用有限元软件 ABAQUS 建立盘式制动方式的微尺度结构模型,研究硬质磨粒对制动盘表面的划擦磨损过程,以及不同初始制动速度对制动盘面的磨损情况。结果表明,闸瓦及闸片上存在的金属镶嵌物源于车轮和制动盘材料,不同车速下的制动过程对制动盘材料塑性应变与最大接触应力影响不大,但较高速度加剧了材料变形,使塑性功转变为大量热。且当摩擦副间具备冷焊条件时,外界硬质磨粒易熔融于闸瓦或闸片表面成为金属镶嵌物的起始点,受到挤压切削作用并不断长大,影响车轮踏面及制动盘的工作性能。

219 二进制点云局部特征描述子研究

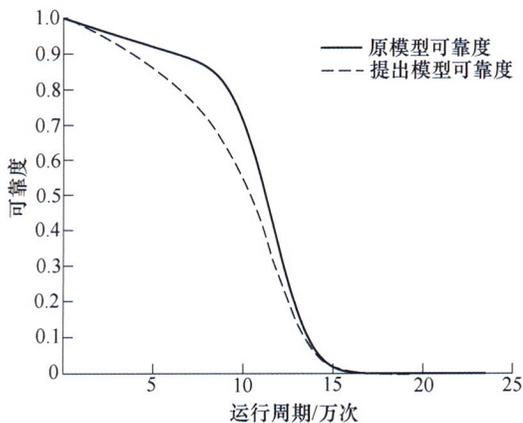
唐敏杰 赵欢 丁汉



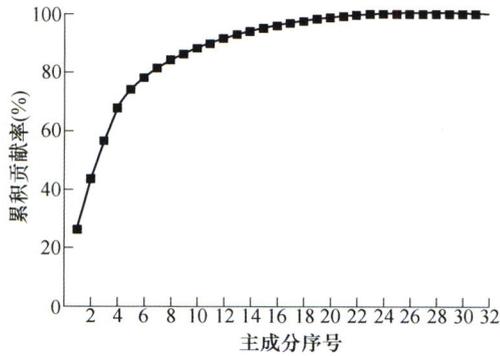
**摘要:** 基于点云局部特征描述的三维目标识别是机器人视觉领域一个具有重要研究价值且富有挑战性的研究方向。尽管目前已有大量三维特征描述子的相关研究工作,但它们大多数采用浮点数,对计算和存储的开销很大,并且鉴别力较弱,鲁棒性不强。鉴于此,从点对特征出发,提出一种鉴别力高,鲁棒性强,结构紧凑,计算迅速的高性能点云局部描述算法——二进制点对特征直方图(Binarized histogram of point pair features, B-HPPF)。对模型进行降采样,根据点位置与点法线信息,计算局部邻域中点对的七个特征;利用其将局部点对集划分为若干区域,并对每一区域进行信息提取;通过轮换比较各信息量的大小将特征进行二进制编码;将每一区域的二进制子特征串联组合生成最终的二进制描述子 B-HPPF。所提出的 B-HPPF 描述子在多个公开数据集上进行了测试,并与经典的描述算法进行对比,结果表明,所提出的方法在鉴别力、鲁棒性、紧凑性和计算效率等方面获得了优越的综合性能。此外, B-HPPF 的实用性也在目标识别数据集上得以进一步验证。

230 基于互依关系的退化与随机冲击建模研究

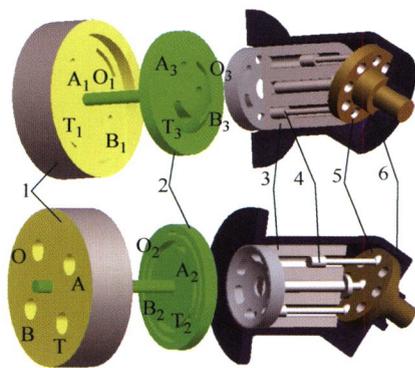
王嘉 张云安 韩旭



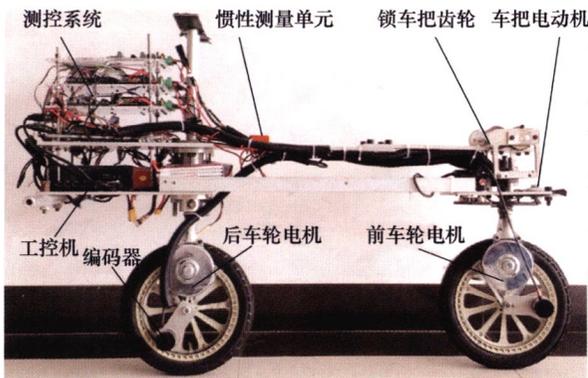
**摘要:** 复杂系统内部的零件老化、疲劳等自然退化以及外界环境诸如高温、高压等随机冲击均会引发系统失效,失效类型包括系统自然退化和非致命冲击带给其累积退化增量的综合影响超过特定阈值诱发的软失效,以及致命冲击造成的硬失效。现有研究大多考虑随机冲击带给自然退化过程的作用,忽略自然退化过程同样会对随机冲击产生影响。提出一种基于互依关系的退化与冲击模型,该模型的互依关系体现在两方面:非致命冲击会带给自然退化过程累积退化增量;反过来自然退化过程也会影响冲击过程,表现为随机冲击分类(非致命冲击和致命冲击)的阈值随自然退化状态而变化,且非致命冲击带给系统的累积退化增量同样受其自然退化过程的影响,分别用与自然退化状态相关的函数表示。当状态函数为线性时,推导出可靠性及失效时间分布的解析表达式。通过具体案例对比提出的模型和应用较为广泛的仅考虑冲击对自然退化影响的模型,并对模型参数进行敏感度分析,结果表明,仅考虑冲击对退化过程的影响,而忽略两者互依关系的退化与冲击模型可能高估系统可靠性,状态函数参数的变化对可靠度评估影响较大,考虑退化与冲击过程的互依关系获得的结果更加准确合理。



**摘要:** 热轧板带力学性能预报具有十分广阔的应用前景。但目前的力学性能预报模型精度不高、泛化能力较差,且无法评价预测结果的准确性,限制了其在实际应用中的效果。为了提高力学性能预报模型的精度和实现预测结果的可靠性评价,采用 BP 神经网络将目前直接预测力学性能结果的建模方法转换为对样本间的力学性能偏差分布预测的建模,并结合模型预测结果分布的离散程度设计可靠性评价指标,同时采用集成学习提高模型的泛化能力。通过试验验证,该集成学习模型具有较高的预测精度,进一步,根据可靠性评价指标分析,除了其中占比约 3.5% 样本的预测结果具有较大不确定性,剩余样本的屈服强度和抗拉强度在误差  $\pm 30$  MPa 的预测准确率达到了 98.45% 和 98.97%,延伸率在误差  $\pm 5\%$  下的预测准确率达到了 99.48%,有效地提高了模型预测准确率,在生产现场应用中具有一定的指导意义。



**摘要:** 针对现有新型液压变压器在实现变压的同时其进出口流量也会随之变化的问题,提出一种斜轴柱塞式 4 口液压变压器,它能够在不改变原有液压系统的情况下,回收因节流浪费的压差能、制动动能及重力势能。通过建立其变压比数学模型和分析发现,影响变压比特性的主要因素是配流盘控制角、缸体主轴转速以及回收压差,根据其所实现的功能,设计并试制出原型机,搭建 4 口液压变压器试验装置;通过试验对该变压器的变压比特性进行试验验证。研究表明,油口 A 和 B 等流量相当于一台液压马达,油口 O 和 T 等流量相当于一台液压泵,可通过改变配流盘控制角来改变其变压比;当配流盘控制角度不变时,随着缸体转速的升高或回收压差的降低,变压比会随之降低。所得结论不仅使 4 口液压变压器的理论基础更加完善,对其应用具有重要的参考和指导意义。



**摘要：**系统的机械结构参数对其性能具有重要的影响。针对一种无机械平衡调节器的无人驾驶自行车，研究不同的车把前倾角对其 90° 圆周平衡运动的影响问题。给出基于查普雷金(Chaplygin)方程的系统欠驱动力学模型，结合部分反馈线性化的控制方法设计圆周 90° 运动的平衡控制器，分别设定车把前倾角的角度为 0°、8°、16°、24°，对自行车 90° 圆周运动进行数值仿真和物理样机试验。结果表明，在一定范围内增大车把前倾角，有利于减小无人驾驶自行车的横滚角、横滚角速度及前轮驱动力矩，但会使其前车轮转速增大。研究结果可为无人驾驶自行车的结构优化提供理论参考。

## **CONTENTS**

- 1 Overview on Artificial Self-recovery**  
GAO Jinji
- 11 Machinery Informatics: A Fundamental Discipline to Intelligent Machinery**  
LIN Jing
- 21 Compound Fault Diagnosis of Rotating Machinery under Different Conditions Based on Subspace Embedded Feature Distribution Alignment**  
CHEN Renxiang WU Haonian ZHANG Xia TANG Baoping HU Xiaolin CAI Dongyin
- 30 Missing Data Imputation Using SVD-KDR Algorithm in Industrial Monitoring Data**  
CHEN Shuai ZHAO Ming GUO Dong LIN Jing
- 39 Design and Research of High Sensitivity Double-coil Wear Debris Sensor**  
SHI Haotian ZHANG Hongpeng MA Laihao ZENG Naibin LIU Cheng CHEN Haiquan
- 46 Design and Characteristics of Electromagnetic Acoustic Transducers with Controllable Magnetic Force**  
TU Jun CAI Zhuoyue ZHANG Xu SONG Xiaochun
- 53 Research on Impact Toughness in Microzones of 12Cr/30Cr2Ni4MoV Dissimilar Rotor Steel Welded Joint**  
ZHU Bo WANG Wenke GUO Yang XIONG Jiankun ZHANG Jianxun
- 62 Shakedown Analysis of Box Bearing Structure by Considering Cyclic Softening Effect**  
ZOU Zongyuan HAN Shuting WANG Hongzhong LI Qun GUO Baofeng JIN Miao
- 70 Failure Behavior Analysis of Resistance Spot Welding Joints of DP780 Dual-phase Steel under Dynamic Load**  
CUI Junjia DONG Dongying WANG Qiong LI Guangyao
- 80 Investigation on Small Punch Test with U-shaped Notch and Its Simulation**  
WANG Kun ZHAO Xilong ZHENG Shaoxian LI Yuanbo
- 87 Numerical Analysis of Stress Evolution in MIG Arc Brazing-fusion Welding of Al Alloy to Galvanized Steel Plate**  
QIN Guoliang GENG Peihao CHEN Yong REN Wenjian
- 97 Extracting Crystal Parameters of Laser Repaired Layer by Nanoindentation**  
LI Yinyin JIANG Wei
- 105 Effect of Mold Electromagnetic Stirring on the Gear Steel Solidification Behavior of Its Large-sized Round Casting**  
WANG Pu XIAO Hong SHEN Houfa CHEN Xiqing CHEN Lie LAN Peng ZHANG Jiaquan

- 112 Cushioning Energy Absorption of Paper Honeycomb Sandwich Tube Single-filled by Polyethylene Foam under Axial Drop Impact**  
WEI Qing GUO Yanfeng FU Yungang JI Meijuan HAN Xuxiang
- 121 Research Progress and Key Techniques of Active Morphing Wing at Medium and Small Scales**  
ZHOU Wenya ZHANG Zongyu WANG Xiaoming LÜ Weiliang QIAN Wei
- 139 Effect of Non-uniform Freight Distribution on Dynamic Performance of High-speed Freight EMUs**  
LUO Tianqi CHEN Zaigang JIANG Jianzheng WANG Jiabin WANG Kaiyun
- 147 Study on Torsional Load Characteristics of High-speed Train Bogie Frame**  
JI Chengxiang SUN Shouguang YANG Guangxue MENG Qingdao
- 158 Time-domain Modeling and Analysis of Curve Squeal Noise Caused by Tram and Embedded Rail Track**  
ZHAO Yue WANG Ruiqian LI Muxiao JIN Xuesong
- 169 Design and Test of Automatic Brake Pedal Mechanism for Automobiles**  
TIAN Guoying CHEN Zhaoxiang SUN Shulei DENG Pengyi PENG Yiqiang
- 179 Electrochemical Thermal Coupling Characteristics and Modeling for Lithium-ion Battery Operating with Extremely Self-fast Heating**  
XIONG Rui MA Suxiao CHEN Zeyu SUN Fengchun
- 190 Effect of Low Temperature on Aerodynamic Performance of Pantograph**  
SHI Jiawei LI Muxiao ZHANG Shumin YANG Shijun GE Shuai SHENG Xiaozhen
- 200 Predictive Equivalent Consumption Minimization Strategy for Power Split Hybrid Electric Mining Truck**  
ZHOU Wei LIU Hongyuan XU Biao ZHANG Lei
- 210 Research on the Metal Mosaic Behavior of Train Braking Based on Microscale**  
ZHOU Suxia BAI Xiaoyu PEI Dingfeng SUN Yuduo YANG Wenche
- 219 Research on Binarized Local Feature Descriptors of Point Clouds**  
TANG Minjie ZHAO Huan DING Han
- 230 Research on the Degradation Process and Random Shocks Modeling Based on Their Interdependency**  
WANG Jia ZHANG Yunan HAN Xu
- 239 Ensemble Learning Model for Mechanical Performance Prediction of Strip and Its Reliability Evaluation**  
LI Feifei SONG Yong LIU Chao LI Bo ZHANG Shiwei
- 247 Oblique Axis Piston Four-port Hydraulic Transformer and Its Pressure Transformation Ratio Characteristics**  
ZHOU Lianquan LIU Qiang JIANG Jihai
- 256 Influence of the Handle Forward Bar Angle of Riderless Bicycle on the 90° Circular Motion**  
ZHUANG Wei SU Xiao ZHAO Yizhou ZHANG Ruixin

# 《机械工程学报》第十一届编委会

## 名誉主任

钟群鹏(院士) 路甬祥(院士) 潘际銮(院士)

## 名誉委员

王玉明(院士) 石治平(研高) 叶声华(院士) 宁汝新(教授) 过增元(院士) 刘大响(院士)  
刘友梅(院士) 刘宏民(教授) 李圣怡(教授) 周祖德(教授) 胡正寰(院士) 柳百成(院士)  
钟掘(院士) 闻邦椿(院士) 耿荣生(教授) 徐金梧(教授) 徐滨士(院士) 熊有伦(院士)

## 主任

陈学东(院士)

## 副主任

王国彪(教授) 邓宗全(院士) 李奇(编审) 陈超志(教授级高工) 邵新宇(院士)  
黄田(教授) 黄庆学(院士)

## 国内委员

丁汉(院士) 王雪(教授) 王田苗(教授) 王华明(院士) 王庆丰(教授) 王时龙(教授)  
王树新(教授) 王海斗(教授) 王润孝(教授) 王耀南(院士) 孔祥东(教授) 卢秉恒(院士)  
史玉升(教授) 冯吉才(教授) 权龙(教授) 曲兴华(教授) 朱胜(教授) 朱荻(院士)  
朱向阳(教授) 华林(教授) 刘强(教授) 刘少军(教授) 刘军山(研究员) 刘志军(教授)  
刘辛军(教授) 刘检华(教授) 刘雪峰(教授) 刘献礼(教授) 刘德顺(教授) 孙伟(教授)  
孙汉旭(教授) 孙逢春(院士) 严新平(院士) 杜雪(教授) 杜朝辉(教授) 李大勇(教授)  
李荣德(教授) 李涤尘(教授) 杨永强(教授) 杨华勇(院士) 杨兆军(教授) 杨绍普(教授)  
何存富(教授) 沈功田(研究员) 张峥(教授) 张义民(教授) 张卫红(教授) 张立军(教授)  
张宪民(教授) 陈新(教授) 陈文华(教授) 陈兵奎(研究员) 陈雪峰(教授) 苑世剑(教授)  
苑伟政(教授) 范志超(研究员) 林京(教授) 林峰(教授) 林忠钦(院士) 周仲荣(教授)  
周华民(教授) 单忠德(院士) 项昌乐(院士) 赵杰(教授) 赵继(教授) 赵韩(教授)  
赵丁选(教授) 赵宏伟(教授) 赵国群(教授) 柯映林(教授) 钟志华(院士) 段吉安(教授)  
段宝岩(院士) 姜澜(教授) 洪军(教授) 宫声凯(院士) 姚建华(教授) 姚振强(教授)  
袁巨龙(教授) 袁寿其(教授) 都东(教授) 贾振元(院士) 夏长亮(院士) 钱林茂(教授)  
徐西鹏(教授) 殷国栋(教授) 高金吉(院士) 郭万林(院士) 郭东明(院士) 涂善东(院士)  
陶飞(教授) 黄卫东(教授) 黄传真(教授) 黄明辉(教授) 梅雪松(教授) 彭艳(教授)  
彭芳瑜(教授) 葛世荣(教授) 韩旭(教授) 焦宗夏(教授) 温激鸿(研究员) 谢建新(院士)  
雒建斌(院士) 廖维新(教授) 谭建荣(院士) 翟婉明(院士) 熊蔡华(教授) 融亦鸣(教授)  
戴一帆(教授)

## 国际委员

Bi Zhang(美国) Denis Cavallucci(法国) Dong-Pu Cao(英国)  
Duc Truong Pham(英国) Erhan Budak(土耳其) Guang-Bo Hao(爱尔兰)  
Gui-Yun Tian(英国) Hai-Jun Su(美国) Han Huang(澳大利亚)  
Hong-Chao Zhang(美国) Jian-Sheng Dai(英国) Jie(Peter) Liu(加拿大)  
Jin Wang(英国) Jorge Angeles(加拿大) Jun Wang(澳大利亚)  
Kai Cheng(英国) Kazushi Sanada(日本) Lian-Xiang Yang(美国)  
Li-Hui Wang(瑞典) Marco Ceccarelli(意大利) Ming-Jian Zuo(加拿大)  
S.S. Park(加拿大) Shao-Ping Bai(丹麦) Shin Usuki(日本)  
Tamás Insperger(匈牙利) Wei Gao(日本) Wei-Dong Li(英国)  
Wei-Ming Shen(加拿大) Xian-Wen Kong(英国) Xiao-Ping Du(美国)  
Xi-Chun Luo(英国) Xu-Dong Zhao(英国) Xun Chen(英国)  
Y. Lawrence Yao(美国) Yan Jin(英国) Ye-Hwa Chen(美国)  
Yong Huang(美国) Yong-Bo Deng(德国) Yu-Chun Xu(英国)  
Zhao-Jie Ju(英国)



ISSN 0577-6686



9 770577 668217

02