



机械工程学报[®]

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

高速列车车轮多边形磨耗、机理、影响和对策分析

金学松 吴越 梁树林
温泽峰 吴兴文 ×王平



中国机械工程学会 主办

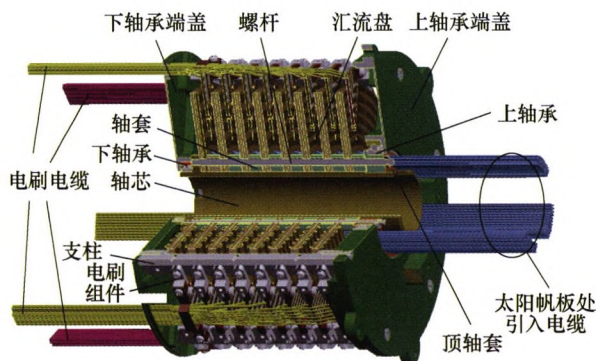
万方数据

2020年56卷16期 半月刊

仪器科学与技术

1 航天用导电滑环失效建模与工艺优化研究

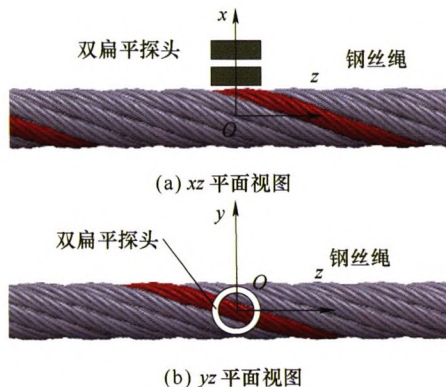
孙远航 王永松 孙习武 刘贤军 余建波



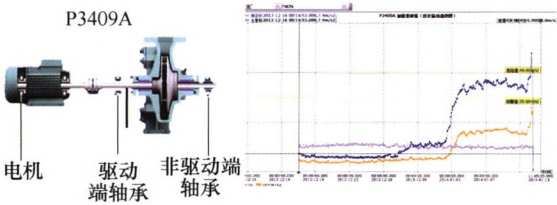
摘要：航天信号传输系统是航天系统的生命线，而导电滑环是航天系统信号传输系统的重要组成部分，是整星少数几个单点失效环节之一。由于导电滑环的工作环境中涉及电流和摩擦影响，使得滑环处于多场耦合的复杂环境，导致对其进行物理建模尤为困难；同时由于滑环价格高、试验过程复杂的特点，更进一步增加滑环研究的难度。为了提升航天信号传输系统稳定性与可靠性，对航天系统中重要的信号传输部件导电滑环进行失效物理建模，并基于模型对滑环工艺进行优化。针对导电滑环运行原理和失效特点，将滑环失效的关键部位摩擦副产生的磨屑量作为滑环性能退化特征量；应用赫兹接触理论和传热学方法分别计算摩擦副磨损过程中的接触区域变化和温度变化，量化热力电多场耦合对摩擦副磨损的影响；同时结合磨损计算方法建立多物理场耦合磨损模型，对摩擦副磨损寿命进行预测，达到对滑环可靠性与稳定性提升的目的。通过与真实滑环磨损试验数据进行对比，验证模型的正确性，并将该模型应用于实际的滑环摩擦副工艺设计。结果表明，多场耦合模型可有效揭示滑环摩擦副微观运作机理并实施寿命预测，进而可靠地实施滑环工艺优化，提高滑环寿命与运作可靠性，满足新一代长寿命卫星空间无故障长期可靠运行的需求。

13 扁平线圈钢丝绳捻距涡流响应分析及试验研究

李腾宇 寇子明 吴娟 焦少妮 毛清华



摘要：捻距作为钢丝绳重要参数之一，对其进行检测可间接反映钢丝绳受力状态和表面损伤状态。针对现有图像识别方法受限于外界光照及钢丝绳表面附着物覆盖情况、漏磁法需要磁化钢丝绳等问题，提出采用双扁平线圈差分电桥的钢丝绳捻距涡流检测方法。结合 A_r , $V-A_r$ 表述建立钢丝绳涡流响应分析控制方程，对单绳股涡流分布进行分析。探头正下方绳股表面涡流形成漩涡，绳股两侧曲面上涡流分布存在对称性。对扁平线圈的中径进行优化设计，当中径小于等于股间隙时，捻距检测精度高且检测灵敏度高，然后搭建试验平台进行捻距检测。试验结果与仿真均表明扫描信号中相邻波峰或者相邻波谷的间距为股间隙，一个捻距范围内扫描信号出现的波峰或者波谷数量与钢丝绳绳股数目相关。利用集合经验模态分解方法对试验结果进行后处理可以有效提取有用信号，涡流法得到钢丝绳捻距的相对误差不超过 0.13%。

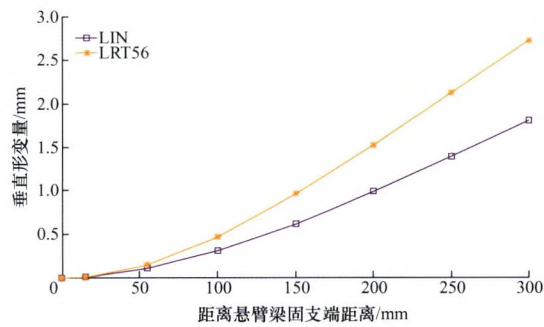


摘要: 传统在线监测系统未能实现早期故障预警, 旋转机械状态劣化评估采用固定阈值分级报警方法, 存在较多的误报警和漏报警现象, 难以指导企业设备预测性维修开展, 设备运行安全性、可靠性、利用率难以保障。立足于工程应用, 研究基于小波包分解、动态核主成分分析、 T^2 统计分析、Beta 分布预警控制限自学习等技术, 构建了数据驱动基于振动信号分析的旋转机械早期故障检测模型。应用辛辛那提大学智能维修系统中心滚动轴承试验数据和中国某石化公司加氢裂化装置 P3409A 离心泵轴承“运转到坏”的在线监测振动数据, 对构建的设备早期故障检测模型进行验证, 结果表明, 构建的设备早期故障检测模型, 相比传统固定阈值分级报警方法, 能够检测滚动轴承早期故障并实现早期故障准确告警, 能够有效降低错误报警率和漏报警率。构建的基于振动信号的旋转机械早期故障检测模型, 只需要知道监测部件正常运行状态历史数据, 无需外部专家支持, 实时数据驱动即可实现早期故障检测预警。

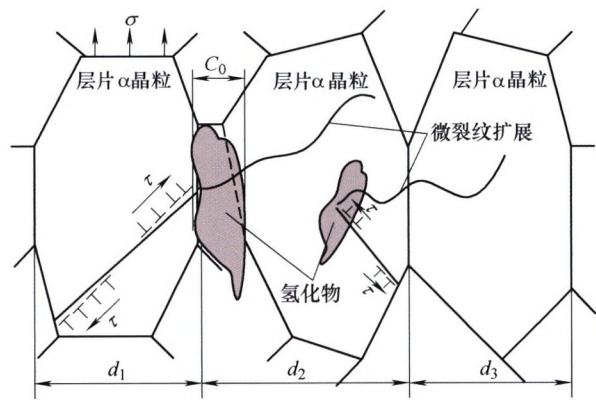
/// 材料科学与工程 ///



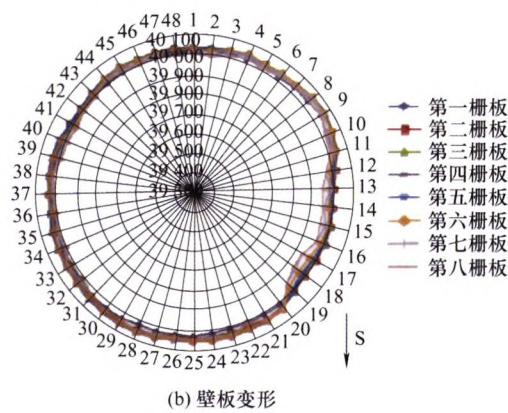
摘要: 在保持等效应力幅一致的前提下, 开展 LZ50 钢在 7 种不同拉扭应力幅比(λ)载荷作用下的疲劳短裂纹复型试验。结果表明, 拉扭应力幅比的变化未改变短裂纹萌生与扩展总体规律。裂纹均萌生于铁素体晶粒内部或晶界处, 在微观短裂纹阶段受铁素体晶界和珠光体带状结构边界阻碍, 扩展速率出现两次较明显下降; 进入物理短裂纹阶段后, 微观结构对裂纹扩展影响减弱, 扩展速率持续上升。同时, 随着拉扭应力幅比减小, 相同短裂纹尺度下的扩展速率下降, 断裂面与试样轴向的夹角逐渐减小, 裂纹由单源萌生逐渐过渡为多源萌生, 试样疲劳寿命呈增加趋势。此外, 通过构建拉扭应力幅比—寿命曲线方程, 证明相同等效应力幅条件下, 轴向拉压载荷对材料的疲劳损伤贡献大于扭转载荷, 且随着拉扭应力幅比的减小, 试样疲劳寿命提高的程度不断增强。



摘要：航天环境中大型挠性结构的振动衰减一直是亟待攻克的难题，粗纤维压电(Micro-fiber composite, MFC)的高柔性、强制动力特点以及碳纳米管(Carbon nanotube, CNT)的超高弹性模量、低密度属性使得 CNT 梯度增强纤维压电智能结构特别适用于航天高落差温度环境，基于一阶剪切变形大转角几何全非线性理论 (First order shear deformation-large rotation theory, FSDT-LRT56)建立碳纳米管梯度增强粗纤维压电复合板壳分析模型具有重要的意义。模型中区别了两种结构的粗纤维压电，即 MFC-d31 和 MFC-d33。悬臂梁板壳结构的力学响应及功能梯度碳纳米管频域分析验证了模型的准确性，基于该模型探究了碳纳米管增强体的分布形式、压电纤维角度对其力学性能的影响。研究表明，几何全非线性模型更能真实地反映板壳结构的实际变形情况；X 型功能梯度分布可以更有效地改善板壳的刚度，使板壳力学性能最佳；MFC 控制方式及纤维角度是板壳形状控制的主要因素，控制纤维角为 90°时，结构变形取得最小值；不同的控制模式对板壳扭转控制产生很大的区别。基于大转角几何全非线性理论对压电智能薄壳结构的仿真分析对实现航天领域内大型挠性部件的形状控制、振动抑制等具有巨大的应用价值。

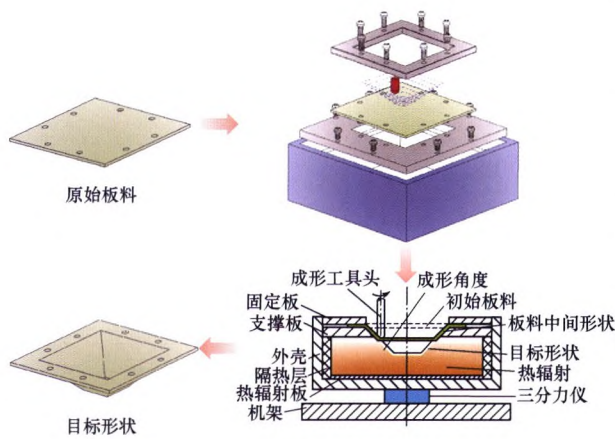


摘要：钛合金焊接件在氢环境中服役面临着氢脆断裂风险，断裂韧度对钛合金损伤容限设计至关重要。研究了充氢量对钛合金焊接接头断裂韧度、断口形貌和断裂方式的影响，揭示了固溶氢、氢化物导致焊接接头断裂韧度演变的微观机理。充氢 0 ~ 0.21wt.% CT 试样断裂韧度 K_Q 值由 39.6 MPa · m^{1/2} 减小到 22.1 MPa · m^{1/2}，扩展区断口形貌由大量韧窝+局部少量脆性断裂转为脆性断裂，氢致断裂韧度损失和脆性断裂加剧。应力诱导氢扩散使固溶氢局部富集形成富氢气团，气团存在内压剪切分量使产生局部塑性变形所需外应力下降，焊接接头表观屈服应力下降，促进微裂纹在低 K_I 下孕育。位错运动无法直接切过大尺寸氢化物，位错塞积在氢化物界面处，致局部应力集中，微裂纹在氢化物界面处孕育；同时氢化物为软基体金属中的一种脆性相，应力集中致其产生高应变，氢化物自身断裂，微裂纹在氢化物内部孕育；固溶氢、氢化物均致焊接接头加速开裂。



摘要：根据实测数据，验证数值分析大型储罐结构响应的可靠性及有效性。在此基础上，对空载储罐展开屈曲分析，结果显示现实中不存在空载储罐结构失稳的倾斜沉降。进一步地，变液位分析临界倾斜沉降，随着液位升高，临界沉降值也会变化，其中满载液位临界沉降最低但高于现行标准。不同液位，临界沉降对应的最大变形区域大相径庭，最大应力及位置也存在差别。综合分析，低液位时，储罐的倾斜沉降主要表现为刚体转动，因而径向变形与倾斜沉降为线性关系，最大应力值和区域变化不大；高液位时，因倾斜导致的静压差产生附加弯矩使罐体径向变形区不再对称，且最大应力不断升高，且出现位置也与低液位有所不同。鉴于此，不但应结合工程实践适时修订倾斜沉降控制范围，还应使储罐液位保持合理水平，以确保其完整性。

71 聚合物板料热辅助单点渐进成形方法

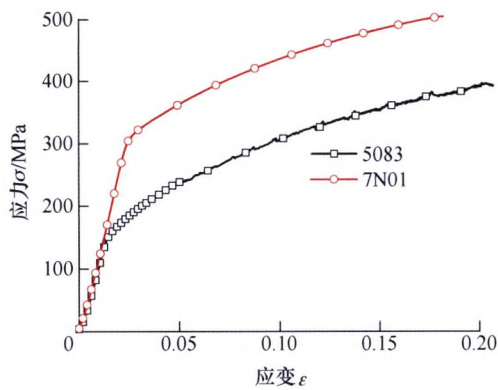


摘要：聚合物广泛应用于汽车、航空、医疗等领域，传统的聚合物加工方法只适用于产品的大批量生产，并不适用于产品的柔性化定制。常温条件下单点渐进成形方法难以满足聚合物板料复杂形状高成形性要求，为了实现聚合物的小批量、柔性化制造，得到成形精度、表面质量更好的产品，开发了桌面级热辅助单点渐进成形设备，首次提出了聚合物热辅助渐进成形方法。针对四种不同的高分子聚合物：聚碳酸酯(Polycarbonate, PC)，聚醚醚酮(Polyetheretherketone, PEEK)，聚甲基丙烯酸甲酯(Polymethylmethacrylate, PMMA)，聚氯乙烯(Polyvinylchloride, PVC)，通过螺旋刀具轨迹成形出金字塔形状，并对成形过程中的温度、成形力、几何精度及表面质量进行了分析。结果表明，热辅助渐进成形方法提高了聚合物板料的成形性，适用于个性化定制，柔性化成形聚合物板料零件。

78 铝圆管蜂窝材料制备及其准静态压缩性能研究



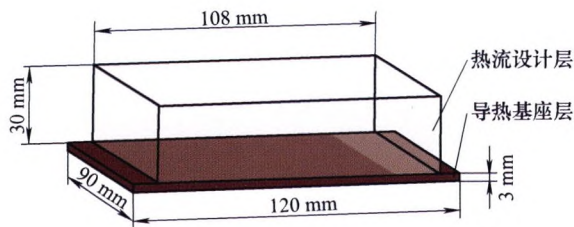
摘要：圆管蜂窝的制备是制约其发展和应用的一个关键问题。采用钎焊方法，设计钎焊工艺流程，制备铝圆管蜂窝材料，为蜂窝材料的生产提供了一种方法。对制备的蜂窝材料进行了准静态压缩试验，研究圆管的变形特征和力学响应。采用有限元对试验进行模拟，考虑钎焊焊缝和制备缺陷影响，建立圆管蜂窝的有限元模型，发现有限元模拟应力-应变曲线和变形过程与试验结果吻合良好。制备缺陷导致蜂窝提前密实化，对力学性能的影响不可忽略。在此基础上对不同壁厚圆管蜂窝进行了准静态压缩模拟，同时基于弹塑性理论推导了蜂窝的等效弹性模量和塑性初始屈服应力的计算公式，结果表明考虑焊缝影响时解析解和模拟结果相近，都要高于相同条件下不考虑焊缝的理想解，且随着相对密度的增加，焊缝的影响作用增大。



摘要：基于仪器化压入试验和有限元理论，建立考虑接头微区力学性能的热-电-力耦合的异种铝合金电阻点焊有限元模型，并用该模型模拟 5083 与 7N01 铝合金电阻点焊接头截面上的整体残余应力场分布。用金相显微镜、硬度测试仪和全释放应变法获得点焊接头的熔核形貌、硬度分布及上下表面的残余应力，探讨点焊前后微区力学性能变化对接头残余应力大小及分布的影响。试验结果表明，5083 与 7N01 铝合金进行电阻点焊后，熔核和热影响区材料发生软化，其硬度和流动应力与 7N01 母材相比明显降低。模拟结果表明，接头微区力学性能变化对残余应力分布规律的影响较小，对残余应力的峰值影响较大，熔核处于三向拉应力状态且熔核心部的残余应力最大。考虑微区力学性能的有限元模型计算得到的残余应力与试验测试结果一致，证明模型的有效性。

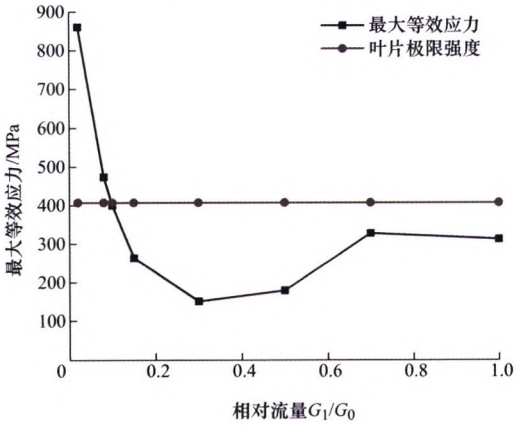
/// 可再生能源与工程热物理 ///

91 基于拓扑优化的风冷热沉研究

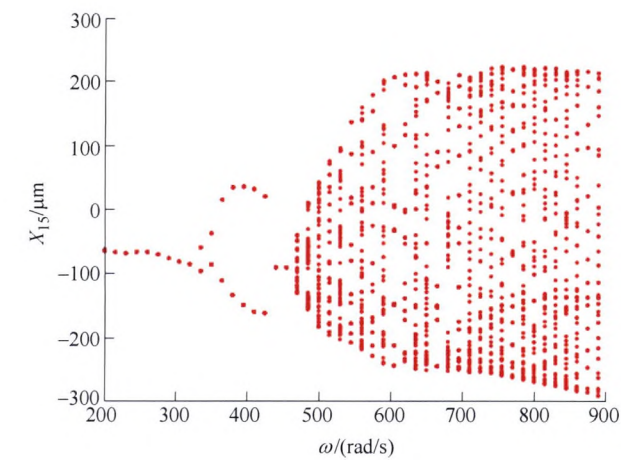


摘要：随着电子芯片的集成度越来越高，相应的热管理问题也愈加严峻，对热沉进行有效设计则成为一种很好的解决办法。采用变密度的拓扑优化方法对强制风冷热沉进行优化设计，建立由导热基座层和热流设计层组成的伪三维优化模型，并考虑更有实际意义的对流边界和利用 RAMP 法对热导率和对流传热系数进行插值；以压降最小化为优化目标，以空气吸收热 Q 最小值为 2 W 为热约束，分析三组基座温度 T_b (314 K、330 K、350 K) 下的优化结果。利用拉伸三维热沉的数值模拟验证伪三维优化模型的物理有效性。结果表明，基座温度 T_b 升高过程中，翅片四周光滑度有所提升但表面积在缩小，占设计区域的比例分别为 18%、16%、14%；目标函数 ϕ 逐渐降低，分别为 0.073、0.036、0.025；设计区域内速度最大值逐渐变小但速度和温度分布更加均匀。三维热沉模拟结果中沿 Z 轴的速度和温度变化量很小，从而验证伪三维优化模型的物理有效性。

98 深度调峰工况下汽轮机低压缸最小流量的确定



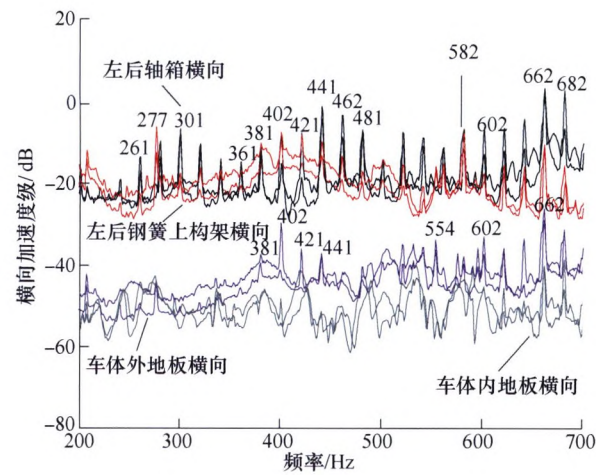
摘要：在火电机组深度调峰工况下，汽轮机进汽量明显减少，低压缸甚至处于小流量工况下，严重威胁叶片的安全稳定运行。为了研究深度调峰工况下，叶片强度极限内最小流量确定的问题，利用 ANSYS-Workbench 软件对末级叶片进行流固耦合运算和模态分析。结果表明，最大等效应力与最大变形量所处位置不一致，最大等效应力出现在叶顶，最大变形量出现在叶片中部。随着流量的减小，最大等效应力和最大变形量呈先减小后增大的趋势。 $G_1/G_0=0.1$ 时，最大等效应力为 451.52 MPa，较额定工况时增加了 18.94%，最大变形量为 0.725 74 mm，较额定工况时降低了 7.8%。 $G_1/G_0<0.1$ 时，最大等效应力超出强度极限，不满足强度要求。随着流量的减小，叶片固有频率均能避开激振力频率，叶片不会发生共振。综合考虑应力、应变、频率、振型等强度因素，低压缸最小流量不得低于额定流量的 10%。



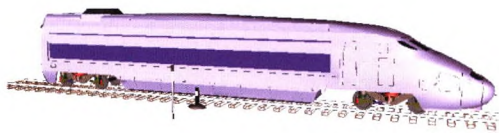
摘要：目前，高速直驱式转子系统成为一种重要的发展趋势，为了研究多跨转子系统在弹性联轴器联接下含有不对中故障的多圆盘轴承-双跨转子动力学模型，通过将联轴器质量矩阵和刚度矩阵作为总体质量和刚度矩阵的一部分，并考虑重力、不平衡力、油膜力和不对中力的作用，采用 Newmark- β 方法求解运动微分方程，获得双跨转子系统的振动响应。对比研究有无不对中故障下系统的动力特性，采用轴心轨迹图、分叉图、Poincare 映射图和 FFT 频谱图分析了平行不对中度、角向不对中度和联轴器刚度对转子动力学响应的影响。分析结果表明，不对中度会使系统的非线性特征更加复杂，但对转子系统的失稳转速作用不明显；膜盘联轴器径向刚度增大后，转子系统出现强 $2\times$ 响应并产生 $4\times$ 和 $6\times$ 的偶数倍频分量，联轴器角向刚度的增加会提高转子系统的失稳转速和 $2\times$ 振动分量。研究结果可对转子系统结构设计和故障诊断提供理论参考。

// 运载工程 //

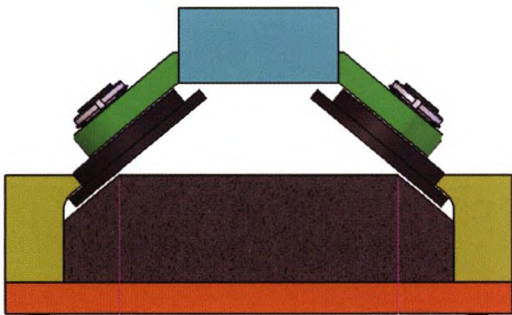
118 高速列车车轮多边形磨耗、机理、影响和对策分析



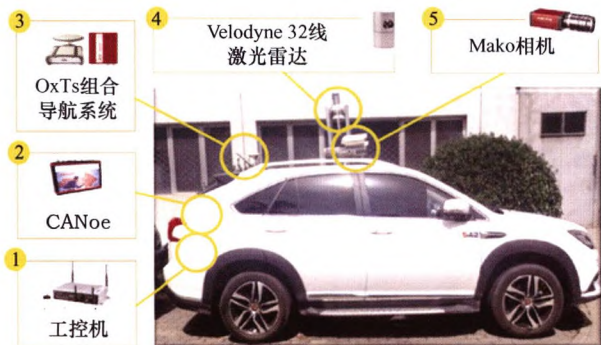
摘要：简要地介绍我国高速列车车轮技术研究现状和应用情况，提出它们服役过程中出现的影响列车运行品质、安全运营和运输成本的几个主要问题，主要关心的是高速车轮非圆化或车轮多边形磨耗问题，简单介绍国内外对车轮多边形磨耗的研究现状以及对策。总结分析我国高速车轮多边形磨耗情况和特征，其显著特征是车轮多边形磨损凸显了 $2\sim 3$ 主波长的不均匀磨损，主要为偏心磨损(1 阶)以及 $14\sim 23$ 边($14\sim 23$ 阶)磨损。确立车轮多边形磨耗诱发和快速发展的基本条件，发现在轮径变化的几个特殊阶段，如果满足这一基本条件的话，车轮多边形磨耗易快速发展。给出并简单讨论多边形磨损对车辆行为、轮轨附件冲击载荷、振动噪声和疲劳的影响。仔细讨论影响车轮多边形形成和快速发展的基本因素。论述若干种抑制多边形发展的对策，部分对策已经被现场运营经验所证明是十分有效的。提出多边形车轮维修策略和目前关键亟待开展的研究问题。



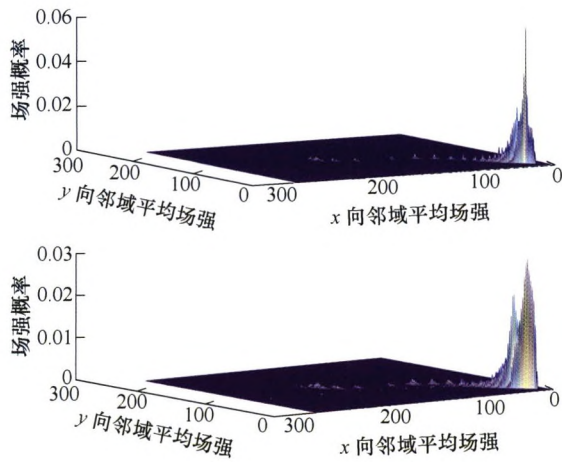
摘要：通过调研发现运行于某线的 CRH6A 城际动车组车轮存在磨耗异常现象和较多以非均衡速度通过曲线的情况。基于运行线路曲线半径及列车运行速度数据，通过建立车辆动力学计算模型和车轮磨耗预测模型研究曲线上列车运行速度对车轮磨耗的影响。结果表明，该城际动车组曲线半径主要为 500~3 500 m，且运行于该线的城际动车组基本均以低于均衡速度的状态通过曲线。在均衡速度以下 70%至均衡速度以上 10%的范围内通过半径 500 m 曲线，车轮整体磨耗受速度影响较小。在 1 500 m 及以上半径曲线上运行时，随速度降低磨耗功指标及磨耗深度指标均呈现增大趋势，尤其是轮缘磨耗指标明显增大。在实际运营过程中应该综合考虑运行安全性和磨耗性能，设定车辆通过曲线速度。总结而言，该城际动车组运营线路曲线半径相对较小且车辆基本低于均衡速度通过曲线导致其车轮磨耗严重，轮缘磨耗尤其严重。



摘要：为提高城市胶轮导轨车辆的电差速导向性能，从运动学角度分析曲线上各车轮转速与曲线半径的关系，推导车辆质心侧偏角和横摆角速度状态观测方程。建立胶轮导轨车辆的动力学模型，提出前后轮转角传递方案。将预设路径作为输入信息，建立线路前馈和转速反馈的闭环控制系统。在 50 m 半径曲线上，通过 SIMAT 联合仿真，对比分析胶轮导轨车辆的电差速主动控制和自适应差速的导向性能差异。结果表明，相较于电机自然差速特性，提出的基于转速反馈的电差速控制技术，其导向车轮的稳态冲角、横向力、横向滑移率、磨耗指数分别减小了 2%、13%、16%、15%，横摆角速度增益提高了 7%；电差速控制既能降低车轮冲角和磨耗，还能提高车辆转向的灵敏度。

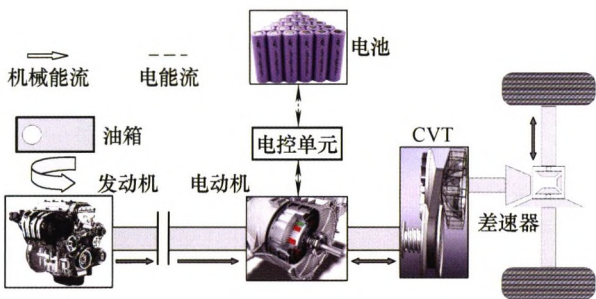


摘要：类人驾驶系统是通过学习人类驾驶员知识与经验来提升无人驾驶系统适用性与接受度的重要技术途径。为解决驾驶员轨迹和操控层面经验的表述问题，以采集得到的大量真实驾驶数据为依托，提出一种基于轨迹基元与操控基元的分层式驾驶员经验表述模型。轨迹基元以动态运动基元算法进行表征，并由概率提取算法完成基元从无标签连续轨迹数据中的分割提取。操控基元在轨迹基元的提取分类结果上，利用高斯混合模型完成基元的训练，并利用高斯回归算法完成转向操控序列的预测。结果表明，概率提取算法既利用到了表征与提取之间的相互关联关系，又借助于初始分割点的合理设置，提升了算法的效率并使得提取得到的运动基元符合特定的驾驶假设。此外，所提出的运动基元既能以较高精度完成对驾驶员轨迹和操控层面数据的表征，又具备良好的泛化能力以应对运动基元再生成时在期望位置和时间尺度上的变化需求。最终构建了描述全工况驾驶行为的运动基元库，并大幅提升了运动基元应对不同行车环境时的适用性。

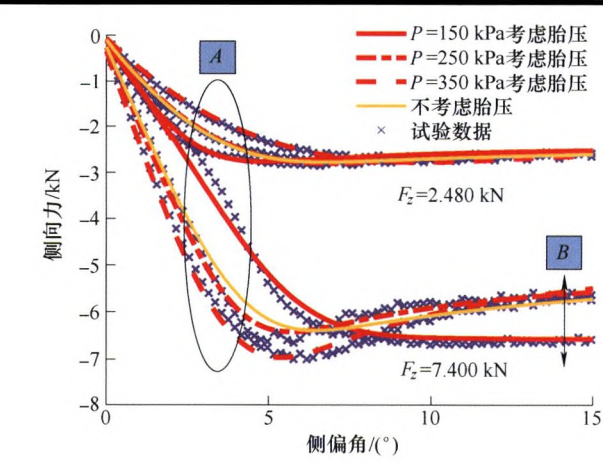


摘要：为解决智能汽车人机协同共驾驾驶权仲裁的普适性和规模可控性问题，提出虚拟随机车路场下的驾驶人驾驶能力机理分析及评估体系。作为适应于驾驶人驾驶能力机理分析的评估环境，虚拟随机车路场模型通过耦合车辆运动模型及车路可行驶区域空间拓扑结构的时空状态，得到可揭示微观驾驶场景下人-车-路耦合机理及车路协同规律的驾驶场景。驾驶能力机理分析体系在严格定义驾驶能力的基础上，建立满足高阶非线性驾驶能力属性的离线辨识模型。模型中关键参数经解耦和降维组成的样本集，为表征驾驶能力内在属性的关键依据。采用主客观相结合方式分类驾驶能力，采用基于混合高斯隐马尔科夫过程实现驾驶能力的实时辨识。结果表明，所提出的虚拟随机车路场模型可以客观地反映交通流的波粒二象性，通过虚拟随机车路场下的驾驶能力机理分析，可以得到准确且可靠的驾驶能力评价结果。虚拟随机车路场下的驾驶人驾驶能力机理分析体系，优化了驾驶权仲裁机制的合理性，提高了人机协同共驾系统的安全性和驾驶人可接受性。

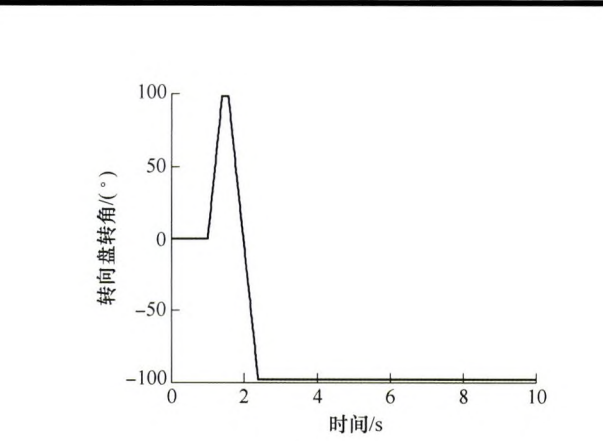
181 基于机器学习速度预测的并联混合动力车辆能量管理研究



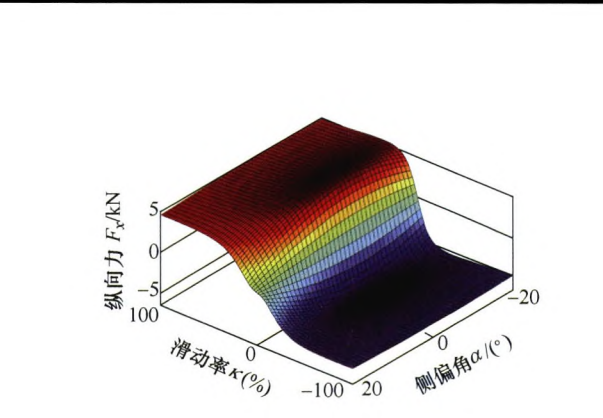
摘要：针对当前混合动力汽车模型预测控制(Model predict control, MPC)能量管理中预测域速度预测不精准问题，进行基于机器学习的速度预测研究。首先建立基于无极变速(Continuously variable transmission, CVT)的单轴并联混合动力汽车模型，其次采用机器学习方法对未来时间窗内的行车速度进行预测，得到三种不同预测方法下的方均根误差(Root mean squared error, RMSE)精度，其中长短期记忆(Long short term memory, LSTM)神经网络最佳，前馈神经网络次之，支持向量机最差。然后，利用模型预测控制策略对车辆进行能量流分配，验证不同预测方法对燃油消耗、SOC 的影响，且分析对比不同预测时间窗长度下的能量管理性能，找到不同预测方法下的最小油耗预测域。最后将预测控制与传统动态规划(Dynamic programming, DP)、等效燃油消耗(Equivalent consumption minimization strategy, ECMS)能量管理策略进行性能比较，发现机器学习预测控制对减少油耗具有良好的潜力，同时对模型预测控制算法预测域内的扰动量预测具有重要指导意义。



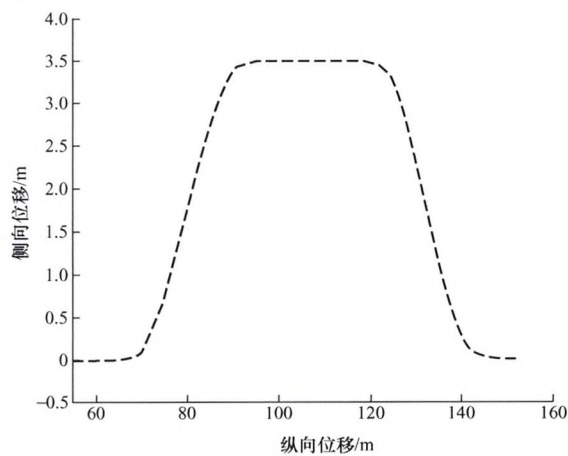
摘要：胎压的变化会显著地影响轮胎力学特性，进而影响车辆的操纵稳定性，而当前关于胎压对复合工况轮胎力学特性影响的研究还较为匮乏。为描述不同胎压下的复合工况轮胎力学特性，建立考虑胎压影响的 UniTire 复合工况轮胎模型。通过试验观察和理论模型分析相结合的方法，揭示胎压和载荷耦合效应对轮胎侧纵向滑移刚度等关键力学特性的影响规律及其机理。进一步通过分析胎压载荷耦合影响下复合工况轮胎接地印迹内总切力方向的变化规律，完善总切力方向因子表达式，建立考虑胎压载荷耦合影响的复合工况轮胎模型。利用轮胎试验数据对模型进行广泛验证，结果表明所建立的 UniTire 复合工况模型能精确地描述大范围胎压和载荷变化下的轮胎力学特性。



摘要：为提高分布式电动汽车的控制性能，提出一种更加综合、全面的车辆状态及参数估计方法。针对车辆在行驶过程中某些动力学状态及参数难以实时量测的问题，以分布式电驱动汽车为研究对象，探讨基于无迹卡尔曼滤波的车辆状态估计及参数识别方法。建立 7 自由度时变参数车辆模型；以车辆易于测量的纵向加速度、侧向加速度、横摆角速度和轮速为观测变量，通过状态扩维，将车辆相关参数引入到车辆状态矢量中，采用无迹卡尔曼滤波算法设计一种车辆状态和参数的联合观测器，以便同时估计和辨识车辆纵向速度、侧向速度、轮胎侧向力、车辆质量、转动惯量、质心位置及其高度；在 Simulink/Carsim 平台上进行鱼钩角输入、滑行和加速工况的仿真验证，结果表明，该联合观测器能够有效的估计和辨识出上述相关车辆状态和参数，收敛效果较好。

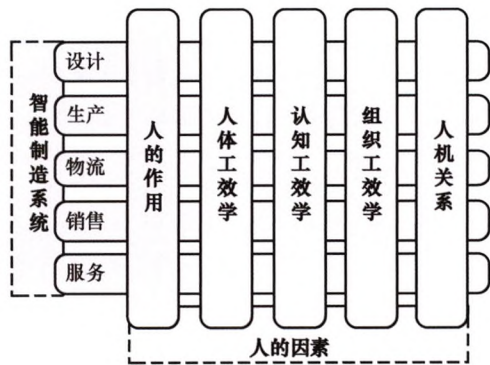


摘要：信息映射的精度和效率不足制约着自动驾驶汽车的性能。对自动驾驶复合信息进行数据结构和映射方式的优化以提高运算效率和精度；建立自动驾驶轨迹分类求解模型，根据操纵输入求解轨迹信息和姿态信息；通过多重拟合实现操纵、轨迹和姿态信息的参数化表达。针对自动驾驶信息的参数化特征，提出轨迹张量的概念；利用张量系统高阶次、多维度的数据结构，形成轨迹规划和轨迹跟随中两类基本映射关系的数据样本；利用样本在离线环境下充分训练深度学习系统，得到两类基本映射关系模型。经仿真试验证明，所有组别驾驶数据映射计算效率均高于常规微分方程法，且计算误差均在允许范围内。基于轨迹张量的信息映射模型可有效提升轨迹规划和跟随的精度和效率，提高自动驾驶汽车的安全性和适应性。

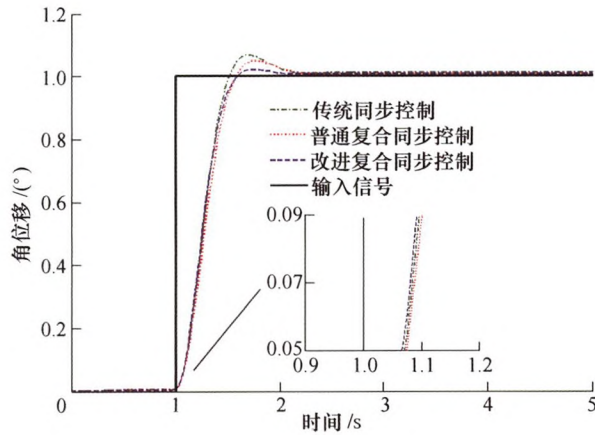


摘要：四轮轮毂电机驱动电动汽车是典型的过驱动系统，可有效提高车辆操作稳定性和安全性，但由于驱动电机数目多且工作条件恶劣，增大了驱动系统失效概率，而电机失效时由于异侧驱动力不等极易导致车辆横摆失稳。针对四轮轮毂电机驱动电动汽车驱动电机失效，提出基于多方法切换的容错控制策略。该策略包含转矩转移法、控制分配法、约束方程直接求解法三种控制方法，通过对三种控制方法适用工况以及转矩重构对转向系统影响的分析，构建了基于车辆预估跑偏距离与附加横摆角速度的控制方法切换规则，既保证了驱动电机失效情况下的车辆动力性与横摆稳定性，又有效提高了控制策略的执行效率。最后，在多种直线行驶与转弯行驶工况下，仿真验证了该控制策略的有效性，保证了四轮轮毂电机驱动电动汽车在电机失效时的安全性。

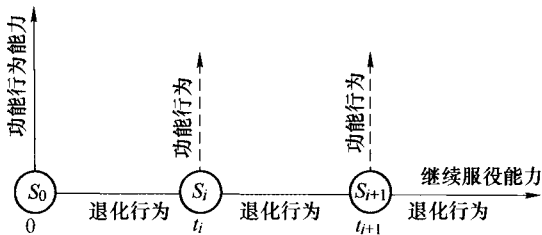
交叉与前沿



摘要：面向智能制造的人因工程是人因工程学(或称人类工效学)在智能制造领域的应用，秉承“以人为本”的理念，在人-信息-物理系统(Human-cyber-physical systems, HCPS)语义下，系统研究解决人、物理系统、信息系统之间的关系问题，确保系统安全高效运行。从智能制造系统人的作用出发，系统梳理面向智能制造的人因工程的研究内容，论述国内外在智能制造系统人因工程与人机关系等领域的研究进展和重点，具体包括人的安全、虚实融合、组织结构扁平化、产用融合、人机协作、人与 CPS 的关系等方面。结合我国在智能制造人因工程领域所面临的挑战，从学科建设、科学研究、社会关注等层面提出了进一步发展的建议，包括加强顶层战略设计、完善学科体系建设、宣贯系统设计理念、加强定量定性研究的融合、促进新兴技术的创新应用等内容。



摘要：为提高双液压马达同步控制系统的同步控制精度，消除由于两组阀控马达系统的差异导致的同步误差，提出采用压力反馈的共反馈同步误差校正同步控制策略。同时采用一种改进的粒子群优化算法用于寻找同步控制系统的最优 PID 控制系数。这种改进的粒子群算法引入遗传算法中的交叉和变异操作提高传统粒子群算法的寻优性能。在考虑传动轴刚度的情况下，建立双液压马达同步控制系统的数学模型。进一步的仿真与试验结果表明，基于压力反馈的同步控制与改进的粒子群算法相结合的复合控制策略，能有效减小系统系统超调与同步控制误差，提升系统响应速度。研究成果为改善粒子群算法的寻优性能以及提升马达同步控制系统的动态响应性能与稳态精度提供了理论指导。



摘要：针对长贮装备服役退化后的可靠性和继续服役能力再认定问题(简称性能退化评估)，总结归纳长贮装备的“状态退化性”、“环境突变性”、“使用一次性”、“后果要害性”等基本特点，分析长贮装备的退化行为与功能行为，提出描述其行为特性的退化行为方程和功能行为方程，基于确信可靠性理论和裕量可靠原则，给出功能行为能力和继续服役能力的基本测度，形成性能退化评估的理论基础，在此基础上建立进行性能退化评估的总体框架，包括健康状态与功能状态信息获取、裕量与不确定性量化、继续服役能力与功能行为能力的确信可靠性评估等。讨论性能退化评估涉及的退化行为机理、多场环境模拟、多不确定性量化等科学技术问题，分析性能退化评估理论与技术体系及其研究进展、发展趋势。

CONTENTS

- 1 Research on Failure Modeling and Process Optimization of Transmission Conductive Slip Ring for Aerospace**
SUN Yuanhang WANG Yongsong SUN Xiwu LIU Xianjun YU Jianbo
- 13 Analysis of Eddy Current Response to Lay Length of Wire Rope with Pancake Coil and Experimental Study**
LI Tengyu KOU Ziming WU Juan JIAO Shaoni MAO Qinghua
- 22 Research on Construction and Application of Data-driven Incipient Fault Detection Model for Rotating Machinery**
WANG Qingfeng WEI Bingkun LIU Jiahe MA Wensheng XU Shujian
- 33 Influence of Tension-torsion Stress Amplitude Ratio on Short Fatigue Crack Behaviour of LZ50 Steel**
YANG Bing DAI Sheng LIAO Zhen MENG Fei XIAO Shoune YANG Guangwu ZHU Tao
- 44 Geometrically Nonlinear Modeling and Analysis of Functionally Graded Carbon Nanotube-reinforced Composite Rectangular Plate Shells with MFCs**
XUE Ting QIN Xiansheng ZHANG Shunqi WANG Zhanxi BAI Jing
- 54 Fracture Toughness Evolution Induced by Hydrogen of TA10 Titanium Alloy Welded Joints**
LIU Quanming LONG Weimin FU Li ZHANG Zhaohui ZHANG Lei SONG Xiaoguo
- 61 Plane-tilt Tanks' Structural Analysis Based on Measured Data**
YU Jin CHEN Wei HU Jiushao ZHOU Yang JIANG Jinyu CHENG Wei
- 71 Study on the Heating-assisted Single Point Incremental Forming of Polymers**
YANG Zhiyun CHEN Fei
- 78 Fabrication and Quasi-static Compression Performance of Aluminum Circular Honeycomb**
ZHANG Jinshan QIAO Jisen KONG Haiyong MIAO Hongli
- 84 Overall Residual Stresses in the Resistance Spot Welding Joint of Dissimilar Aluminum Alloys**
MAO Zhendong KAN Ying JIANG Yunlu HAN Xiaohui CHEN Huaining

91 Research on Air-cooled Heat Sink Based on Topology Optimization
PEI Yuanshuai WANG Dingbiao WANG Xiaoliang WANG Guanghui YUAN Honglin

98 Determination of Minimum Flow Rate of Low Pressure Cylinder of Steam Turbine under Deep Peak Load Regulation Conditions
CAO Lihua WANG Wenlong LUO Huanhuan HU Pengfei WANG Yong SUN Liang

109 Nonlinear Dynamics of Two-span Rotor-bearing System with Flexible Coupling Misalignment
ZHEN Man TIAN Yongsheng SUN Tao ZHANG Hualiang TAN Chunqing

118 Characteristics, Mechanism, Influences and Countermeasures of Polygonal Wear of High-speed Train Wheels
JIN Xuesong WU Yue LIANG Shulin WEN Zefeng WU Xingwen WANG Ping

137 Wheel Wear of Intercity EMU at Non-equilibrium Speed on Curves
KOU Jie ZHANG Jimin ZHOU Hechao WANG Chengping

147 Electronic Differential Control Method of Urban Guideway Vehicle
LI Haotian CHI Maoru LIANG Shulin LIU Kaicheng JIA Peng ZHAO Yunlong

155 Motion Primitives Extraction and Regeneration Based on Real Driving Data
WANG Boyang GONG Jianwei ZHANG Ruizeng CHEN Huiyan

166 Mechanism Analysis of Driving Capability in the Virtual Random Vehicle-road Field
SUN Bohua DENG Weiwen WU Jian LI Yaxin

181 Machine Learning Velocity Prediction-based Energy Management of Parallel Hybrid Electric Vehicle
HU Xiaosong CHEN Keping TANG Xiaolin WANG Bin

193 UniTire Model under Combined Slip Conditions with the Coupling Effect of Inflation Pressure and Vertical Load
XU Nan ZHOU Jianfeng GUO Konghui YANG Chao LI Fei

204 State and Parameters Estimation for Distributed Drive Electric Vehicle Based on Unscented Kalman Filter
SONG Yitong SHU Hongyu CHEN Xianbao JING Changqing GUO Cheng

214 Methodology on Comprehensive Mapping of Multi-information of Autonomous Driving Based on Trajectory Tensor
LIU Zhaolin CHEN Jiqing LAN Fengchong XIA Hongyang

- 227** **Fault Tolerant Control Based on Multi-methods Switching for Four-wheel-independently-actuated Electric Vehicles**
ZHANG Lei YU Wen WANG Zhenpo DING Xiaolin
- 248** **State-of-art of Human Factors/Ergonomics in Intelligent Manufacturing**
WANG Baicun HUANG Sihan YI Bing BAO Jinsong
- 254** **Synchronous Control Strategy of Dual Hydraulic Motors Based on Improved Particle Swarm Optimization Algorithm**
TAN Dun TAO Jianfeng WANG Xuyong
- 262** **Discussion on Performance Degradation Assessment of Long-term Storage Equipment**
WEI Fayuan XIE Chaoyang SUN Changpu KANG Rui

《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) 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 668200