



ISSN **QK1919887**  
CODEN CHHKA2

# 机械工程学报<sup>®</sup>

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

**特邀专栏：焊接力学与结构设计**

**客座主编：武传松 教授**



 **中国机械工程学会 主办**

2019年55卷6期 半月刊

万方数据



## /// 特邀专栏 ///

### 焊接力学与结构设计

客座主编：武传松教授（山东大学）

策划编辑：田旭（《机械工程学报》编辑部）

#### 1 基于等承载思想的低匹配 T 型接头设计

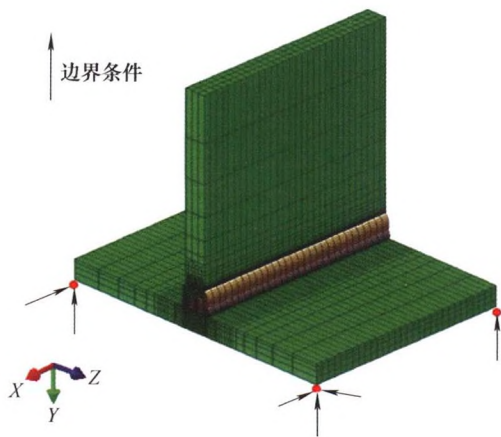
郭军礼 董志波 刘雪松 王 苹 方洪渊



**摘要：**针对低匹配焊接接头承载能力不足的问题，基于等承载思想建立等承载基本理论，通过定义广义匹配比和广义力学集中系数，提出广义力学集中系数与广义匹配比相等为等承载的实现条件。构建等承载设计的一般方法：明确接头失效形式，确定目标失效模式；确定接头危险位置；构建承载能力与几何参数、材料力学性能关系式；分别求解焊缝临界曲线并取包络线。以承受静拉伸的 T 型接头为例验证了以上方法的可行性：失效形式为静载断裂，按照全面屈服(焊缝)断裂模式进行设计，给出明确的实现条件；建立理论应力集中系数与几何参数的关系式；结合 T 型接头几何特点给出求解步骤；建立等承载 T 型接头弹塑性有限元模型，接头的断裂模式为全面屈服(焊缝)断裂，承载能力达到了母材的屈服水平。结果表明等承载基本理论和方法具有一定的普适性，能为更多的焊接接头等承载设计问题提供解决方案。

#### 11 不同有限元软件对 Q390 钢厚板 T 型接头焊接残余应力和变形预测精度与计算效率的比较

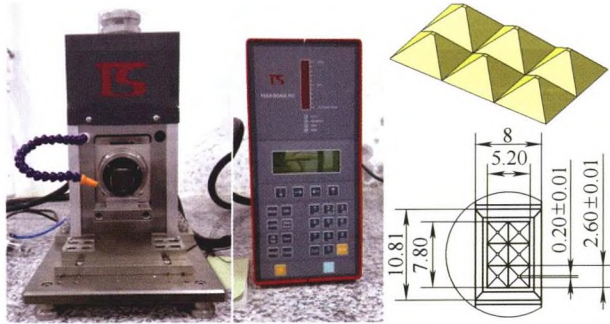
逯世杰 郑 乔 张超华 王义峰 邓德安



**摘要：**以 Q390 高强钢厚板多层多道焊 T 型接头为研究对象，分别基于 ABAQUS、MARC 和 SYSWELD 三款不同的有限元软件平台，开发“热-弹-塑性有限元方法”模拟接头的焊接温度场、残余应力与焊接变形。采用理论方法检验三种数值模拟软件在计算焊接温度场时的热量损失情况。结果表明，通过 ABAQUS 软件进行多层多道焊温度场的计算时，在后续焊道单元的添加和激活过程中，会造成热量的损失，对此提出了相应的解决方案；另外两个软件对焊接温度场的计算不存在热量损失问题。同时，采用试验方法实测接头的焊接残余应力和焊接变形。通过对比数值模拟结果与试验结果可知，三种不同的数值模拟软件对焊接残余应力都有较高的预测精度。对于焊接变形，ABAQUS 的预测精度最高，然而计算时间最长；MARC 次之，与 ABAQUS 相比计算效率提高了 55%；SYSWELD 对多层多道焊焊接变形的预测精度相对较差，但其计算效率最高，与 ABAQUS 相比效率提高了 66%。为充分利用各个软件的优势进行焊接数值模拟的研究提供了较好的借鉴和参考价值。

## 23 焊接能量对 Mg/Al 超声波焊接接头微观组织与力学性能的影响

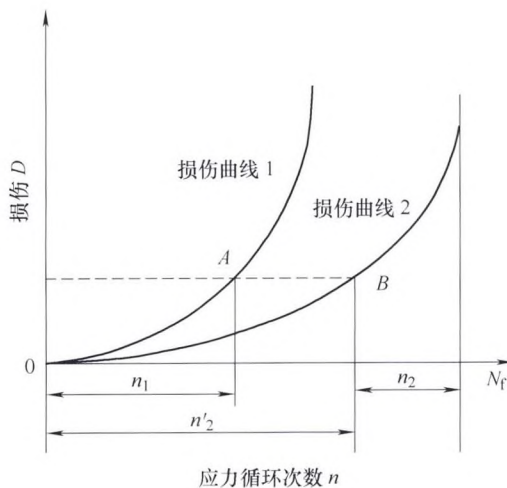
谷晓燕 刘 婧 刘东锋 孙大千 李东来



**摘要:** 在 Mg/Al 超声波焊接(USW)领域, 现有研究侧重于接头的组织性能, 但对焊接过程中的界面应力分布和成形机制报道较少。运用 USW 技术制备了 Mg/Al 异种金属搭接接头, 通过 FEA、OM、SEM、EDS、XRD 及剪切试验等测试手段, 研究不同焊接能量对接头的界面应力分布、界面峰值温度、界面连接状态、微观组织特点以及力学性能的影响规律。研究发现: 焊接过程中 Mg/Al 界面应力分布较均匀, 连接界面较平直, 未出现明显的漩涡状塑性流动和机械咬合。随着焊接能量的增加, 界面应力水平提高, 峰值温度升高, 界面冶金结合区域逐渐增大。以有限元仿真模拟为基础, 系统地分析阐述界面成形机制, 指导选择合适的热输入量, 以期为 Mg/Al 超声波焊接在实际生产应用中提供必要的技术和数据支撑。当焊接能量为 500 J 时, 界面处生成  $Al_{12}Mg_{17}$  金属间化合物(IMC), 而且随着焊接能量的增加, IMC 层增厚, 导致接头剪切性能随着焊接能量的增加呈现出先增加后减小的趋势, 厚度适中的 IMC 层对提高接头力学强度具有重要意义。

## 32 基于非线性损伤理论的焊接疲劳设计

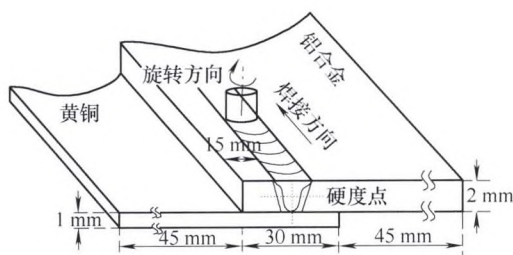
薛齐文 杜秀云



**摘要:** 构建一种基于非线性损伤理论的焊接疲劳设计模式, 能有效地用于多级疲劳载荷作用下焊接接头的疲劳设计与分析。所构建的设计模式, 不仅考虑了多级疲劳载荷的加载次序效应, 也考虑了载荷间的相互影响。采用 Manson-Halford 累积损伤模型以及改进模型来处理加载次序效应, 以应力比的形式来体现载荷间相互作用, 利用所构建疲劳设计模式对标准焊接接头进行疲劳设计, 讨论了不同疲劳载荷加载次序以及载荷级数等因素对焊接结构疲劳设计参数应力因数的影响, 并将设计结果与基于传统 Miner 理论的设计结果进行比较。数值结果表明, 基于非线性累积损伤理论所建的焊接疲劳设计模式, 可对焊接接头的疲劳特性进行有效的设计分析, 具有较高的精度和可信度。所建焊接结构疲劳设计模式能够较好地处理载荷次序效应以及载荷间的相互影响, 且模型参数相对较少, 可应用于实际工程设计。

## 39 铝/黄铜异种金属搅拌摩擦焊接接头显微组织与力学性能

于明润 赵洪运 蒋智华 周 利 黄永宪 宋晓国

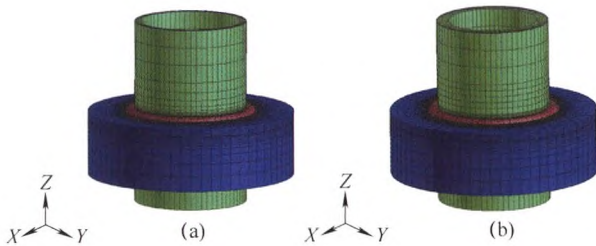


**摘要:** 采用搅拌摩擦焊方法对 5052 铝合金及 H62 黄铜异种金属进行搭接, 搅拌头转速固定为 1 000 r/min, 焊速为 100~300 mm/min, 对接头微观组织和力学性能进行研究。结果表明: 搭接接头铝侧分为焊核区、热机影响区和热影响区。接头铝侧与搅拌头直接作用的区域, 晶粒发生一定的细化。搭接界面处两板间分界明显, 界面处有黄铜和铝的机械混合, 且有金属间化合物产生。接头显微硬度分布表明铝侧焊核区显微硬度最高, 硬度最低点在热影响区。界面处的硬度明显大于铝及黄铜母材。随着焊速的增大, 接头拉剪载荷先增大后减小。接头拉伸时断于界面区, 断口为解理断裂。



## 46 熔敷顺序和管壁厚度对异种钢管板接头焊接残余应力与变形的影响

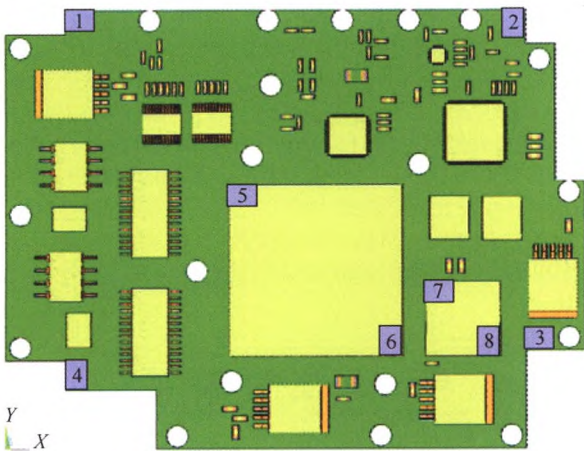
郑乔 逯世杰 李索 林旭东 王义峰 邓德安



**摘要:** 异种钢焊接接头广泛应用于机械、化工、电力和交通等领域的装备制造中, 由于异种钢接头的材料不同, 焊接过程中产生的残余应力分布十分复杂, 但关于异种钢焊接接头残余应力的研究还很不充分。以 SYSWELD 有限元软件为平台, 开发用于模拟异种钢焊接接头残余应力与变形的热-弹-塑性有限元计算方法。基于此方法, 以异种钢管-板焊接接头为对象, 研究不同熔敷顺序和管壁厚度对接头焊接残余应力与变形的影响。在数值模拟过程中, 针对不同类型的材料采用不同的本构模型来模拟材料的力学行为。采用接触式三维坐标测量仪测量焊接接头特征位置的变形量, 验证有限元计算方法的有效性。研究表明, 管板接头的残余应力分布受熔敷顺序的影响十分显著, 变形分布形态也在一定程度上受到了熔敷顺序的影响。随着管壁厚度的增加, 圆管径向变形量反而减小, 周向残余应力的峰值有所增加, 同时圆管与焊缝异材界面处的周向残余应力梯度也明显增大。开发的数值模拟方法将是预测异种钢焊接接头残余应力与变形的有力工具, 模拟结果将为焊接结构的健全性评价供理论支撑。

## 54 PCB 组装板多器件焊点疲劳寿命跨尺度有限元计算

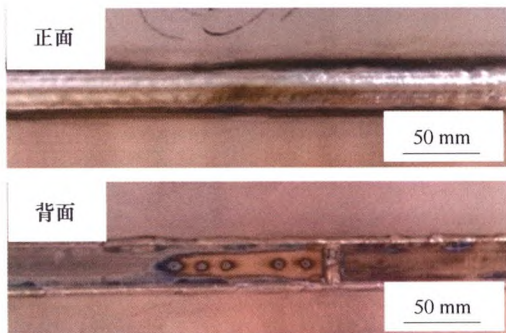
李跃 田艳红 丛森 张伟玮



**摘要:** 随着电子设备向着小型化、多功能化方向发展, 互连的可靠性越来越受到人们的重视。现有研究的分析对象大多为单个器件, 而实际服役过程中, 印制电路板(Printed circuit board, PCB)的形变、传热、受力情况都将对焊点可靠性产生影响。传统焊点可靠性有限元分析以单一器件为基础, 而将仿真对象扩展为整个 PCB 板, 对于提升焊点可靠性评估的准确性和有效性具有重要的意义。利用 ANSYS 有限元软件, 对处于不同尺度的焊点、器件以及 PCB 板进行建模, 分析再流焊载荷下各器件焊点的残余应力应变分布, 讨论热循环后各器件焊点的危险位置, 并根据修正的 Coffin-Manson 模型, 给出各封装类型焊点的热循环寿命。通过与器件级焊点可靠性模拟结果的对比, 说明板级有限元分析的必要性和不可替代性, 进一步完善焊点可靠性有限元分析理论。

## 61 TC4 钛合金磁控窄间隙 TIG 焊试板热处理前后三维应力

余陈 陈静 陈怀宁 张宇鹏 房卫萍

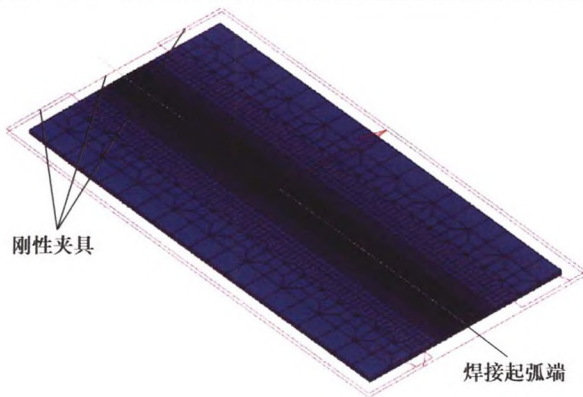


**摘要:** 针对 100 mm 和 31 mm 厚 TC4 钛合金磁控窄间隙非熔化极惰性气体保护(Tungsten inert gas, TIG)焊试板, 采用压痕应变法测量表面残余应力分布, 采用全释放应变法测量厚度方向的三维残余应力分布。结果表明, 两种厚度试板的焊接残余应力数值有所不同: 100 mm 厚试板表面纵向和横向残余应力峰值高达 600~700 MPa, 接近材料屈服强度的 70%~80%; 31 mm 厚试板表面纵向和横向残余应力峰值较低, 仅达到材料屈服强度的 40%~50%。两种厚度残余应力差异较大的原因主要由较大厚度下横向收缩的累积效应造成。经过 650 °C 的真空焊后热处理, 两种厚度的焊接试板纵向和横向应力均显著降低, 应力降低幅度最高超过 50%, 剩余残余应力峰值均不超过 200 MPa, 焊缝处沿厚度方向分布的各向残余应力均接近零值, 表面残余应力出现了重新分布。



## 67 1561 铝合金薄板随焊干冰激冷变形控制

闫德俊 王 赛 郑文健 余 洋 谢 浩 钟美达 邹晓峰 杨建国

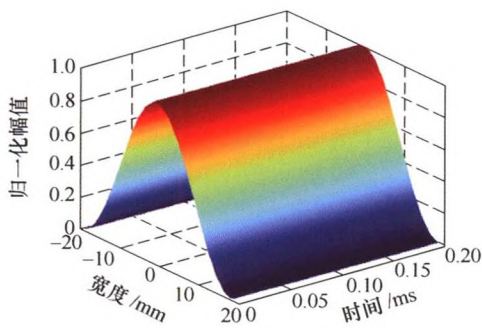


**摘要:** 目前随焊激冷技术存在装置复杂、占用空间大、冷却介质低效等缺点,为改善其在船舶制造业上的应用,提出随焊干冰激冷技术。采用数值模拟与试验分析相结合的方法研究随焊干冰激冷对铝合金薄板变形的控制。对喷嘴喷射干冰形成的冷源温度场进行测量。并基于测试结果建立冷源模型,实现了随焊干冰激冷的有限元数值模拟。通过研究冷却距离对残余应力和变形的控制效果,优化随焊干冰激冷工艺。研究表明,现有条件下最优的冷却距离约为 40 mm。通过施加随焊干冰激冷最优工艺,纵向残余拉应力峰值减小 46.9%,纵向压应力峰值减小 40.8%,焊接变形量减小 51.5%。理论及试验结果表明,随焊干冰激冷技术是一种控制薄板焊接应力及变形的有效手段,为随焊激冷技术在船舶制造业上的应用提供一个方向。

## /// 仪器科学与技术 ///

## 74 基于空间-频率-波数法的梁中分层缺陷定量检测

何存富 李子明 刘增华 冯雪健 任 捷 吴 斌



**摘要:** 为了描述梁中 Lamb 波的传播特性并对梁中的分层缺陷进行定量检测,以铝梁为研究对象,分别从有限元仿真和试验两方面进行研究。采用基于 Matlab 和 ABAQUS 相结合的方法,构建含分层缺陷的铝梁三维有限元仿真模型。通过提取覆盖缺陷的矩形区域接收点的时域信号,对铝梁中 Lamb 波与分层缺陷的作用规律进行分析。讨论了对称边界和自由边界两种条件下,波场幅值分布的一致性与差异性,并得到了入射波幅值在梁宽度方向上的变化规律。同时,搭建 EMAT/激光检测系统对有限元仿真结果进行验证,发现二者具有良好的一致性。针对接收波形中复杂的时域信息,采用空间-频率-波数法对铝梁中的分层缺陷进行定位和定量评估。研究表明,从仿真和试验分析,采用空间-频率-波数法对铝梁中分层缺陷的测量误差均在 6%左右。

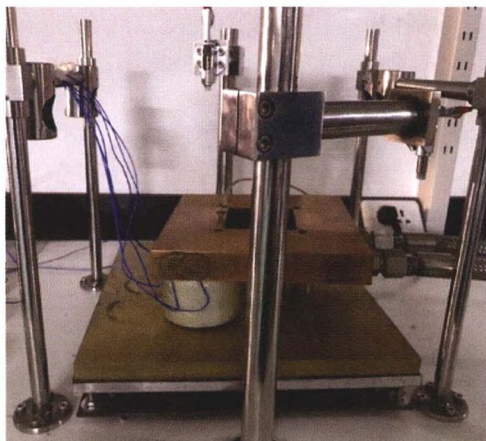
## 83 基于双隐层量子线路循环单元神经网络的状态退化趋势预测

李 锋 向 往 陈 勇 汤宝平 王家序



**摘要:** 针对现有人工智能预测方法在旋转机械状态退化趋势预测中存在预测精度较差、计算效率较低等缺点,提出基于双隐层量子线路循环单元神经网络(Double hidden layer quantum circuit recurrent unit neural network, DHL-QCRUNN)的旋转机械状态退化趋势预测方法。首先采用量纲一化排列熵误差构建状态退化特征集,然后将该特征集输入 DHL-QCRUNN 以完成旋转机械状态退化趋势预测。在所提出的 DHL-QCRUNN 中,设计双隐层结构以提高网络的非线性映射能力;并引入量子相移门和多位受控非门以实现信息的传递;通过双隐层的量子反馈机制获得输入序列的整体记忆;最后采用输出层激发态的概率幅表示输出,通过以上方法改善了网络的非线性逼近能力和泛化性能,使所提出的旋转机械状态退化趋势预测方法具有较高的预测精度。此外,通过量子 Levenberg-Marqudt(LM)算法更新 DHL-QCRUNN 的网络参数,提高该网络的收敛速度,使所提出的状态退化趋势预测方法具有较高计算效率。滚动轴承状态退化趋势预测实例验证了该方法的有效性。提出了基于 DHL-QCRUNN 的旋转机械状态退化趋势预测新方法,该方法具有较高的预测精度和较高的计算效率。



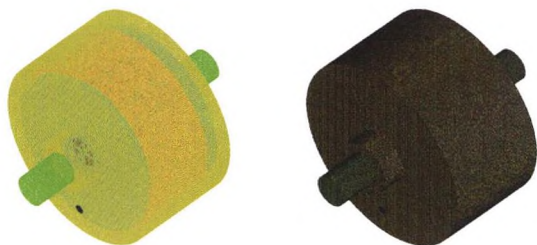


**摘要:**为实现结构内部温度场的无损、实时与高精度探测,研究设计一种可非接触式测量的电磁超声测温原理性试验系统。通过检测超声波回波信号在结构内部传递过程中波速的变化,根据热/声耦合理论,采用基于灵敏度法的温度场重建技术实现了对超声传播路径上温度非均匀分布状态的测量。基于钢试件的标定试验、稳态传热试验和瞬态传热试验,对超声测温系统及灵敏度测温方法的可靠性和准确性进行了试验研究。试验结果表明,采用灵敏度法的超声测温技术,结合无损非接触式探测的电磁超声方法,能够有效测量结构内部稳态/瞬态温度场分布状态,具有重要的工程应用价值。

## // 运载工程 //

### 100 汽车磁流变液制动器温度特性仿真与试验研究

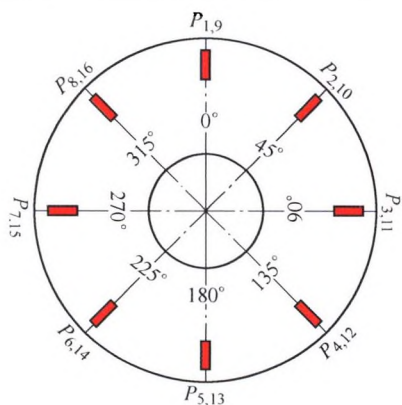
王道明 姚 兰 邵文彬 瞿 斌 陈无畏



**摘要:**针对磁流变液制动器工作时内部热量聚集造成其制动性能下降问题,采用仿真分析与试验验证相结合的方法对其温度特性进行研究。首先分析计算磁流变液制动器的热量来源和生热率,在此基础上建立其温度场数学模型;其次分别针对汽车正常制动、紧急制动和频繁间隙制动等三种不同制动工况,进行磁流变液制动器的瞬态温度场仿真分析;最后搭建汽车磁流变液制动器试验平台开展输出制动力、制动性能和温度特性的试验研究。结果表明:在相同线圈电流下,磁流变液制动器表现出良好的恒减速度制动特性;不同制动工况下一个制动周期内工作间隙处的温度均呈现先迅速增大后逐渐降低的变化过程,并且制动初速度和线圈电流越大,温升幅度和速率均越大;整个制动周期内测点处温度的试验值与仿真值在数值和趋势上较为吻合,表明所建立的温度场仿真模型能够较好地反映磁流变液制动器实际制动过程的温度特性。

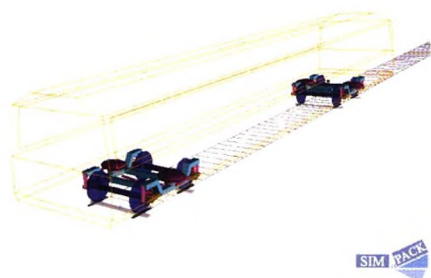
### 108 城际动车组轮轨力统计特征

丁 然 李 强 任尊松



**摘要:**目前很少见与城际动车组相关的轮轨力方面的研究。考虑到其速度等级和线路条件等均与高速动车组有很大不同,有必要对其轮轨力作进一步的研究。利用测力轮对技术对某城际动车组的轮轨力进行 4 600 km 的线路测试,结果表明提速后的新修线轮轨力的动荷系数为 0.25~0.35,对比既有线没有明显变化,且与 350 km 高速动车组也无明显差异。统计结果表明即使是同一线路的去程和返程,其轮轨力垂、横向分力的联合分布也有明显差异。所得轮轨力的载荷谱和各种典型运用工况下的具体统计特征可用于车辆安全性、可靠性的评估及车辆动力学等相关领域的后续研究。

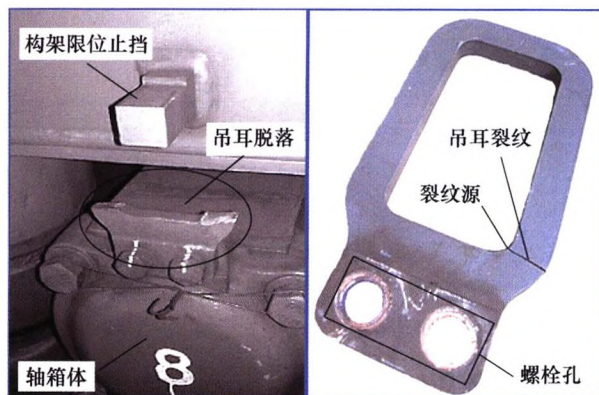




**摘要:** 目前国内对于轨道车辆扭曲试验无论是开展现场试验还是进行仿真计算都没有成熟的经验,通过对比不同扭曲试验标准表明了出口铁路客车扭曲试验标准明显严苛。利用 SIMPACK 软件针对某型出口客车进行动力学建模,并依据试验标准进行了扭曲试验仿真计算,同时开展现场扭曲试验进行仿真计算结果验证。无论仿真计算还是现场试验结果均表明原有动力学参数的扭曲试验结果远超出试验标准的规定值。利用试验设计 DOE 方法调查了上千种不同动力学参数组合下对扭曲试验结果的影响,获得了动力学关键参数对于车辆扭曲试验的影响度,并基于各种不同参数的影响度重新优化了动力学参数。结果表明,所提出的车辆扭曲试验仿真计算流程弥补了仿真方面的不足,另一方面动力学参数影响度可以为企业产品设计提供理论依据,保证了出口车辆扭曲试验的通过性。

## 122 地铁车辆轴箱吊耳断裂机理和试验研究

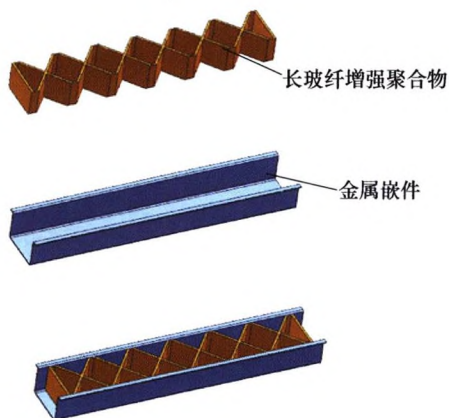
石怀龙 王建斌 戴焕云 鄢平波



**摘要:** 地铁车辆在正常运营过程中发生轴箱吊耳断裂问题,采用有限元分析方法和线路试验开展断裂机理研究,并对吊耳振动水平进行评估。通过分析振动激励源和结构响应特性,确定断裂原因和提出解决方案并进行试验验证。仿真表明吊耳第一阶固有模态为横向弯曲,主频约 260 Hz;吊耳根部内圆弧处为强度薄弱点,与现场裂纹位置吻合。试验表明轴箱体、吊耳振动水平与线路区间相关,钢轨波磨是导致车辆振动水平激增的主因,波长 61.5 mm;钢轨波磨波长、车辆常用速度共同作用导致波磨频率在吊耳固有模态频带内,导致结构共振从而引发疲劳破坏,提出钢轨打磨、优化吊耳结构设计和使用的管理条件等解决措施。开展钢轨打磨效果验证性试验,表明钢轨打磨可显著降低吊耳加速度水平,使结构应力降低 50%以上,但部分线路仍存在轻微波磨,可根据车辆振动数据特征对波磨路段进行定位从而再次进行打磨。

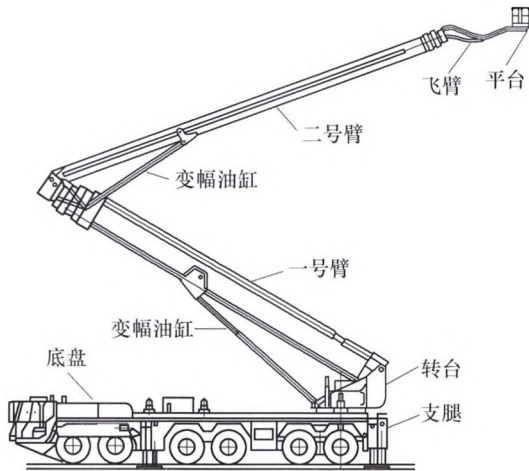
## 129 基于参数映射的玻纤增强 PMH 结构数值方法

聂昕 雷发桂 朱国华 汪冬冬 熊东箭



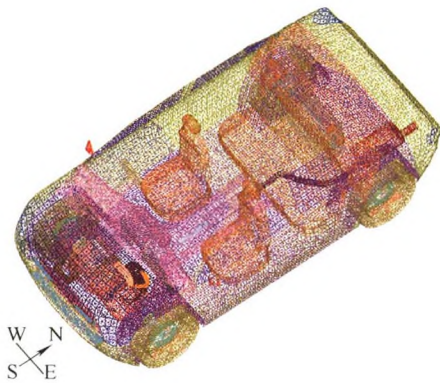
**摘要:** 针对传统数值分析方法对于注塑成型的长纤维增强聚合物-金属混杂(Polymer metal hybrid, PMH)结构存在的缺陷,提出一种基于材料参数映射的全新数值仿真方法。采用多重连续介质理论(Multiple continuum theory, MCT),将微观代表性体积元(Representative elemental volume, RVE)中的复合平均参数转化到各组分(纤维增强体和基体)上,通过各组分平均参数变化来预测复合材料的损坏演变和失效,无须建立反映实际的微观机械应力场模型。基于此材料参数模型,将模流分析得到的纤维取向和残余应力信息与材料的拉伸试验数据进行拟合,得到结构分析模型所需的纤维、基体的弹塑性参数,最后将上述参数结果映射到结构分析模型中。该方法很好地将模流分析得到的大量分析数据映射到结构分析模型中,实现更准确、高效的数值分析。基于这种方法,对车身典型 PMH 大梁结构进行研究,探究金属-聚合物界面粘接层粘接强度对残余应力、翘曲收缩变形及在标准工况下对整车各力学性能的影响,研究表明:当界面粘接强度大于 20 MPa 后,PMH 结构件的翘曲收缩变形量趋于一个较小的稳定值,各典型工况下力学性能不会发生折损。





**摘要:** 为提高举高消防车作业的及时性、可靠性与安全性, 提出一种考虑动作平稳、无冲击的时间最优轨迹规划算法。引入伪位移参量  $s$  表示路径, 利用 B 样条曲线对举高消防车臂架系统各个关节运动离散点进行拟合, 构造连续运动几何路径。结合连续路径, 以  $s$  及其对于时间的各阶导数表示时间最优目标函数与各个关节速度、加速度约束, 建立时间最优轨迹规划的凸优化模型。利用 B 样条曲线以有限维向量  $x$  表示轨迹, 采用内点法对凸优化模型进行求解, 在保证速度、加速度、加加速度连续的条件下求得最优解, 进而得到各个关节的运动轨迹。利用提出的方法对大高度举高消防车进行轨迹规划, 经仿真表明, 在满足动作平稳性的同时得到时间最优运动轨迹。

## 145 多因素耦合的多层结构传热模型及车舱内动态传热特性



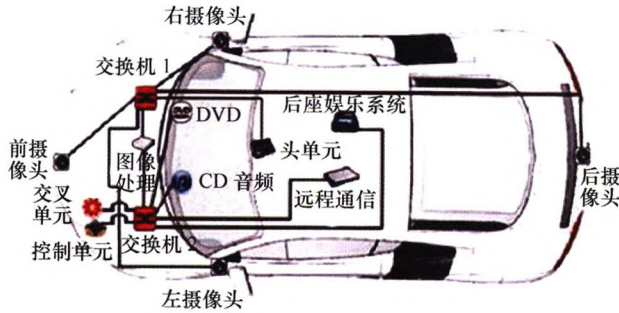
**摘要:** 针对目前单层结构传热研究中难以准确反映汽车结构内外层复杂的非均匀动态传热问题, 在汽车全天候动态温度特性试验的基础上, 提出一种与自然环境中多因素相耦合的多层结构动态传热模型分析方法。与单层模型相比, 多层模型动态温度误差均在 10% 以内, 具有更高的准确性。仿真得到乘坐区非均匀温度分布和动态传热特性规律, 定量对比和分析辐射、对流和传导三种传热方式对乘坐区吸热和散热的影响, 分析结果表明, 太阳辐射不均衡分布是自然暴露试验中乘坐空间出现多个局部高温区的主要原因。重点研究和预测不同车窗、车身和座椅属性组合下乘坐区动态传热特性变化规律, 该传热模型和研究方法可用于评估乘坐空间动态传热特性, 可为汽车设计制造提供一种研究乘坐空间动态热负荷和热舒适性的方法。

## 156 基于自适应扩展卡尔曼滤波的分布式驱动电动汽车状态估计



**摘要:** 纵向车速和质心侧偏角是车辆主动安全控制系统的关键参考状态信号, 通常采用卡尔曼滤波算法估计。当系统噪声和测量噪声的统计特性存在不确定性时, 不仅估计精度会降低, 甚至导致估计器发散。结合分布式驱动电动汽车 4 个车轮转矩和转速可直接测量的特点, 提出一种车辆状态自适应扩展卡尔曼滤波估计方法。基于量纲一化新息平方实现车辆状态估计有效性检测, 提出滑动窗口长度自适应调整规则; 根据新息统计特性提出卡尔曼滤波增益和状态估计误差协方差矩阵的自适应调整策略, 及基于车辆状态估计稳态误差和动态响应速度的自适应参数确定原则。数值仿真和试验证明, 所提出的车辆状态估计方法, 不仅估计精度较高, 而且实时性和易用性较强。



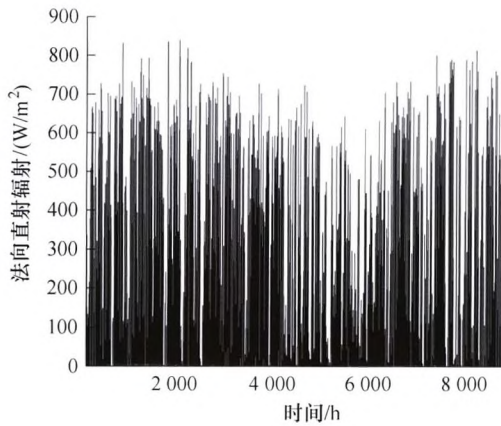


**摘要:** 为确保车载 Ethernet AVB 网络的传输实时性, 在分析智能汽车网络拓扑结构和消息特性基础上, 引入预定流量类型, 给出面向音视频流和实时控制类消息流混合传输的时间感知整形调度机制; 推导出该机制下流预留(SR)类消息的最坏响应时间计算式; 给出 IEEE 标准预留带宽参数配置方法导致网络不可调度的证明, 并以超预留带宽最小为目标, 以 IEEE 标准规定的最大预留带宽和 SR 类消息响应时间为约束, 提出 Ethernet AVB 网络超预留带宽优化设计模型, 给出求解该模型的 OAPO 和 OBPO 算法。在 Vector CANoe 中的试验结果表明: 与 IEEE 标准中配置方法相比, 所提出的方法不仅可以确保 Ethernet AVB 网络中各类消息传输的实时性, 而且还能使网络预留带宽达到最优, 进而更好地满足智能汽车网络高速实时的通信要求。

/// 可再生能源与工程热物理 ///

178 基于有机朗肯循环的太阳能驱动冷热电联供系统设计方法及性能分析

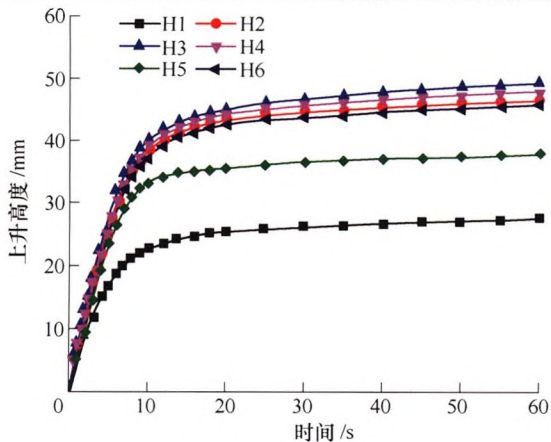
马铭璐 邓帅 赵力 林杉 张莹 倪佳鑫 苏文



**摘要:** 经济发展与环境污染解耦发展的新模式, 促使利用太阳能等可再生能源的冷热电联供系统(Combined cooling heating and power system, CCHP 系统)研究成为热点。针对一种太阳能光热驱动的串联式 CCHP 系统展开研究, 系统由槽式集热器(Parabolic trough collector, PTC)、集热环路、储热罐、补燃锅炉、有机朗肯发电循环(Organic rankine cycle, ORC)和溴化锂吸收式制冷循环组成, 夏季供冷, 冬季供暖, 全年供电。提出一套针对系统 PTC 面积、储热罐和补燃锅炉容量的工程设计方法, 可分别采用能量利用效率、年值费用和效率与费用的耦合式作为系统的设计指标。基于该方法, 针对一个实际建筑, 以耦合指标为例, 确定出系统关键部件容量, 并应用上述三种不同指标, 对设计辐射、太阳能保证率和储能比例的敏感程度进行分析。结果表明, 为了在设计阶段使三种评价指标达到最优, 随着设计辐射量的增加, 选取的太阳能保证率也应增加。

186 平板铝热管微沟槽吸液芯的制备及毛细性能研究

唐恒 汤勇 万珍平 陆龙生 伍晓宇 鲁艳军



**摘要:** 采用犁切-挤压(P-E)和表面化学加工相结合的方法制备出一种新型的铝沟槽吸液芯结构, 通过毛细上升红外测试方法对其毛细性能进行测试表征, 研究不同的  $\text{CuCl}_2$  溶液浓度和浸泡时间对吸液芯结构毛细性能的影响。研究结果表明, 化学加工后的铝沟槽吸液芯的毛细性能显著提高, 其最大毛细上升高度可达 49.3 mm, 相比于未经化学加工的犁切沟槽, 其毛细上升高度提高约 79.3%; 当  $\text{CuCl}_2$  溶液浓度超过 1 mol/L 时, 浸泡时间和溶液浓度对铝沟槽吸液芯的毛细压力影响较小。该方法能够简单、有效的提高铝沟槽吸液芯的毛细性能, 为平板铝热管吸液芯的制备提供了一种新手段。



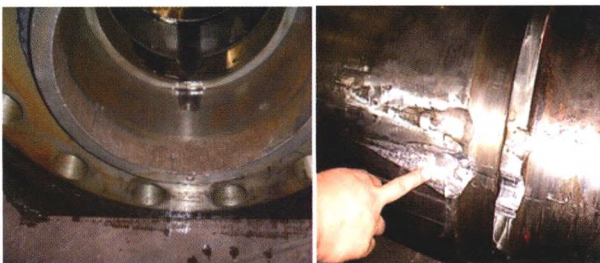


**摘要:** 变频空调的长期运行数据是空调在实际环境中运行状态最直接的反映, 空调运行的内在规律潜藏在其长期的运行数据中, 分析其长期运行数据时, 由于数据冗余、存在异常数据等原因, 需要采用数据挖掘的方法进行研究。采用聚类算法进行分析, 空调的运行模式可总结为三种模式, 即上午高负荷模式、下午高负荷模式以及低频平稳模式, 三种模式下空调的送风温度都比较接近, 但室外温度有所区别。上午(下午)高负荷模式中, 室外温度在上午(下午)最高, 功率及制冷性能系数(Energy efficiency ratio, EER)分别处于峰值及谷值, 低频平稳模式下, 室外温度并不高, 开机后空调运行比较稳定, 运行参数变化不大。此后, 采用控制变量法和多项式拟合来分析环境工况参数对空调性能的影响, 室外侧环境温度、空调回风温度的升高均导致空调的功率增加, 而空调的 EER 随着回风温度的升高而增加, 随着室外温度及空调的功率(运行频率)的增加而下降。采用神经网络算法, 研究基于空调送风侧参数预测变频空调性能的方法, 并建立神经网络预测模型, 该方法的预测误差在 15%以内, 可以通过控制空调运行时的送风侧参数, 达到控制空调性能的目的。最后, 根据以上研究成果, 提出变频空调控制优化方法, 提高空调在线长期运行能效。

## 交叉与前沿

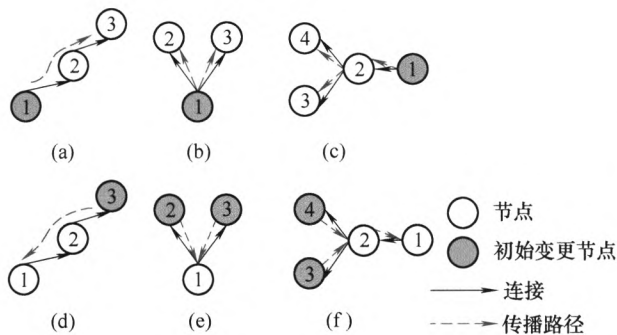
### 203 液压滚切剪机新型伺服缸控制系统动态解耦及仿真试验

马丽楠 赵晓冬 马立峰 马强俊 韩贺永



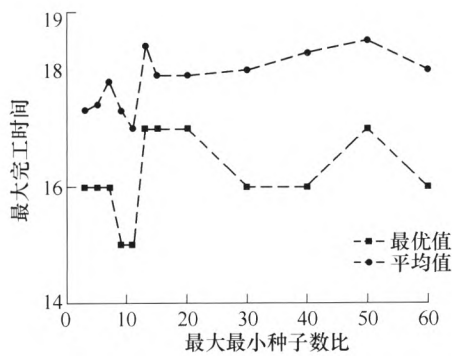
**摘要:** 全液压滚切剪是伺服缸为滚切剪刀提供精准曲线力。因重载缸卧式铰接安装, 缸筒自重等会引起密封处摩擦过大, 造成拉缸、泄漏而导致输出力不足等现象。为克服自重对密封的影响, 提出在全液压滚切剪的伺服缸端底用一小缸进行支撑, 并设计压力-位置双闭环 PID 控制系统, 该系统通过精准控制小缸压力和位移以满足所需工况。对该控制系统进行耦合特性分析, 推导出压力与位置独立闭环控制系统的数学模型, 进行稳定性分析。在基于理论分析研究的基础上, 运用 AMESim/Matlab 联合仿真, 进一步验证了压力-位置双闭环独立 PID 控制系统的合理性。结果表明该控制系统能够实现小缸的压力和位移精准控制, 实现了重载卧式缸在输出曲线力时不受自重因素影响, 密封装置几乎不受工况所限无摩擦运行。通过工程试验证明了该控制系统的可行性与可靠性, 为理论分析和工程实际应用提供了重要依据。





**摘要:** 提出一种基于有向加权网络模型的复杂产品多源设计变更路径优化方法。首先,以零部件为节点,零部件之间的物理连接关系为边构建复杂产品结构的有向网络模型。采用 Linkrank 算法计算零部件连接重要度,考虑节点出度和入度定义变更传播指数,进而结合设计任务执行时间及变更传播概率计算变更传播强度(Change propagation intensity, CPI),并以此作为边的权重,建立变更分析网络模型。其次,选取多个零件作为多个变更源,通过改进的蚁群算法对复杂产品多源设计变更搜索累积变更传播强度最小的最优传播路径。最后,以某型号直流电钻行星轮齿轮箱多源设计变更为例验证了方法的可行性和有效性。

223 基于自适应变级遗传杂草算法的 FJSP 研究



**摘要:** 针对以最小化最大完工时间为目标的柔性作业车间调度问题,建立其数学模型并提出一种自适应变级遗传杂草算法求解之。改进基本入侵杂草优化算法以适应柔性作业车间调度问题的组合优化特点,提出基于总个体数的评价指标,用其分析入侵杂草优化算法在解决柔性作业车间调度问题时的性能及参数对算法的影响,得出入侵杂草优化算法的种群数和个体产生种子数对算法性能的影响关系。分析入侵杂草优化算法和遗传算法在求解柔性作业车间调度问题时各自的优缺点。结合这两种算法,引入汉明距离来测度种群多样性并用该测度值作为变级控制的依据,提出一种根据多样性测度值的动态变化而自适应地在遗传算法和入侵杂草优化算法间串行变级的遗传杂草算法。通过实例对比入侵杂草优化算法、遗传算法和自适应变级遗传杂草算法,证明了自适应变级遗传杂草算法的有效性和优越性。将自适应变级遗传杂草算法用于标准测试实例与多种算法比较,证明了该算法能够有效求解柔性作业车间调度问题。

10 第 8 届上银优秀机械博士论文奖——优秀奖

155 第 8 届上银优秀机械博士论文奖——优秀奖

165 第 8 届上银优秀机械博士论文奖——特别奖

232 第 8 届上银优秀机械博士论文奖——特别奖



**CONTENTS**

- 1 Design of Undermatching T Joints Based on the Thought of Equal Load Carrying Capacity**  
 GUO Junli DONG Zhibo LIU Xuesong WANG Ping FANG Hongyuan
- 11 A Comparative Study on Computational Accuracy and Efficiency of Welding Residual Stress and Deformation in a Q390 Steel Thick Plate T Joint among Three Kinds of Different FEM Software**  
 LU Shijie ZHENG Qiao ZHANG Chaohua WANG Yifeng DENG Dean
- 23 Effect of Welding Energy on Microstructure and Mechanical Properties of Mg/Al Joints Welded by Ultrasonic Spot Welding**  
 GU Xiaoyan LIU Jing LIU Dongfeng SUN Daqian LI Donglai
- 32 Fatigue Design of Welded Structure Based on the Non-linear Cumulative Damage Theory**  
 XUE Qiwen DU Xiuyun
- 39 Research on Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Lap Welded Aluminum/Brass Dissimilar Joint**  
 YU Mingrun ZHAO Hongyun JIANG Zhihua ZHOU Li HUANG Yongxian SONG Xiaoguo
- 46 Influence of Deposition Sequence and Thickness of Tube on Welding Residual Stress and Deformation in Dissimilar Steel Tube-block Welded Joint**  
 ZHENG Qiao LU Shijie LI Suo LIN Xudong WANG Yifeng DENG Dean
- 54 Multi-scale Finite Element Analysis into Fatigue Lives of Various Component Solder Joints on Printed Circuit Board**  
 LI Yue TIAN Yanhong CONG Sen ZHANG Weiwei
- 61 Triaxial Stresses in TC4 Ti-alloy Weldments by Magnetically Controlled Narrow Gap TIG Welding before and after PWHT**  
 YU Chen CHEN Jing CHEN Huaining ZHANG Yupeng FANG Weiping
- 67 Control of Welding Distortion by Welding with Trailing Cooling of Drikold of 1561 Aluminum Alloy Thin Sheet**  
 YAN Dejun WANG Sai ZHENG Wenjian YU Yang XIE Hao ZHONG Meida ZOU Xiaofeng YANG Jianguo
- 74 Quantitative Detection of Lamination Defect in Beams Based on Space-frequency-wavenumber Method**  
 HE Cunfu LI Ziming LIU Zenghua FENG Xuejian REN Jie WU Bin
- 83 State Degradation Trend Prediction Based on Double Hidden Layer Quantum Circuit Recurrent Unit Neural Network**  
 LI Feng XIANG Wang CHEN Yong TANG Baoping WANG Jiaxu
- 93 Experimental Study on Sensing the Internal Temperature Distributions of Structures by Electromagnetic Ultrasonic**  
 WEI Dong SHI Youan HU Bin SHOU Binan GUI Yewei



- 100 Simulation and Experimental Study on Temperature Characteristics of Magnetorheological Fluid Brake for Vehicles**  
WANG Daoming YAO Lan SHAO Wenbin ZI Bin CHEN Wuwei
- 108 Statistics Characters of Wheel/Rail Loads of Intercity EMU**  
DING Ran LI Qiang REN Zunsong
- 116 Influence of Kinetic Parameters on Vehicle Twist Test of Exported Train**  
DUAN Liang SONG Chunyuan LIU Chuang WU Jinxian
- 122 Crack Mechanism and Field Test of the Metro Safety Hanger**  
SHI Huailong WANG Jianbin DAI Huanyun WU Pingbo
- 129 Numerical Methods of Glass Fiber Reinforced PMH Structure Based on Parameter Mapping**  
NIE Xin LEI Fagui ZHU Guohua WANG Dongdong XIONG Dongjian
- 138 Time Optimal Trajectory Planning of Elevating Fire Truck Based on Convex Optimization**  
TENG Rumin LI Yuxin WANG Xin ZHAO Zhe
- 145 Multi-factor Coupled Heat Transfer Model with Multi-layer and Dynamic Heat Transfer Characteristics in Vehicle Cabin**  
DENG Zhiyong LAN Fengchong CHEN Jiqing ZHANG Xiaodong
- 156 State Estimation of Distributed Drive Electric Vehicle Based on Adaptive Extended Kalman Filter**  
ZHANG Zhiyong ZHANG Shuzhi HUANG Caixia ZHANG Liuzhu LI Bohao
- 166 Design and Optimization of Ethernet AVB Network for Intelligent Vehicle**  
WANG Yuefei HUANG Bin WU Yuan GUO Zhongfei
- 178 Design Method and Performance Analysis of CCHP Driven by Solar Energy and Based on Organic Rankine Cycle**  
MA Minglu DENG Shuai ZHAO Li LIN Shan ZHANG Ying NI Jiaxin SU Wen
- 186 Fabrication and Capillary Performance of Micro-grooved Wicks for Aluminium Flat-plate Heat Pipes**  
TANG Heng TANG Yong WAN Zhenping LU Longsheng WU Xiaoyu LU Yanjun
- 194 Variable Frequency Room Air Conditioner Operation Pattern Recognition and Data Mining**  
LIANG Zhihao WU Jianghong XIE Zili
- 203 Dynamic Decoupling and Simulation Research on Control System of New Servo Cylinder of Rolling Cutter Servo Cylinder**  
MA Linan ZHAO Xiaodong MA Lifeng MA Qiangjun HAN Heyong
- 213 Multi-source Design Change Propagation Path Optimization for Complex Product Based on Weighted and Directed Network Model**  
LI Yupeng LI Mengze WANG Zhaotong
- 223 Self-adaptive Multistage GA-IWO for Solving Flexible Job Shop Scheduling Problem**  
SHI Xiaoqiu LI Yanyan DENG Dingshan LONG Wei



# 《机械工程学报》第十一届编委会

## 名誉主任

王补宣(院士) 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(教授)  
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(教授) 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(教授) 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(研究员) 项昌乐(教授) 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(教授) 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(教授) 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(教授)  
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 668194

06