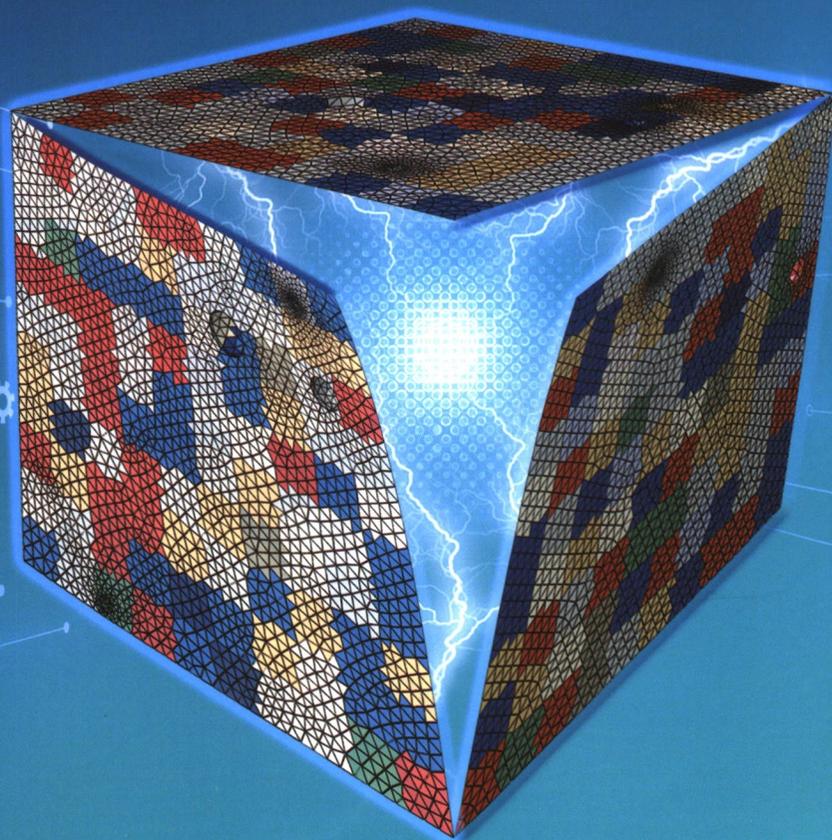


机械工程学报[®]

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

特邀专栏：耦合材料-结构的设计与评估方法

客座编辑：张乐乐 教授 BROECKMANN Christoph 教授
陈耕 教授 常超 副教授



57卷 **22**期 **半月刊**
2021年11月刊

/// 特邀专栏 ///

耦合材料-结构的设计与评估方法

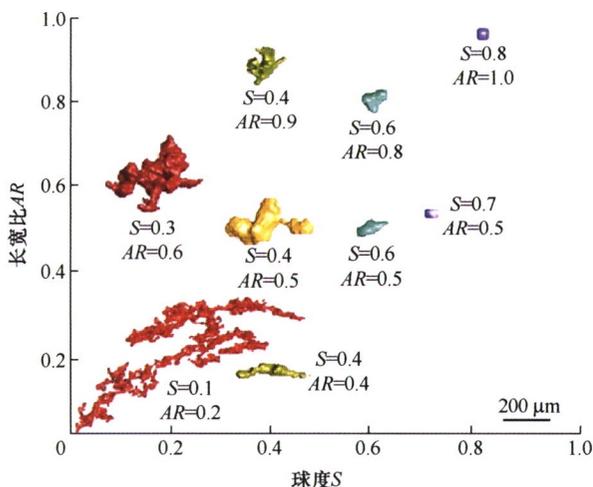
客座编辑: 张乐乐 教授 (北京交通大学)
BROECKMANN Christoph 教授 (亚琛工业大学)
陈 耕 教授 (北京交通大学)
常 超 副教授 (太原科技大学)
策划编辑: 田 旭 (《机械工程学报》编辑部)

1 耦合材料-结构的设计与评估方法

张乐乐 陈 耕 BROECKMANN Christoph 常 超

3 增材制造材料缺陷表征及结构完整性评定方法研究综述

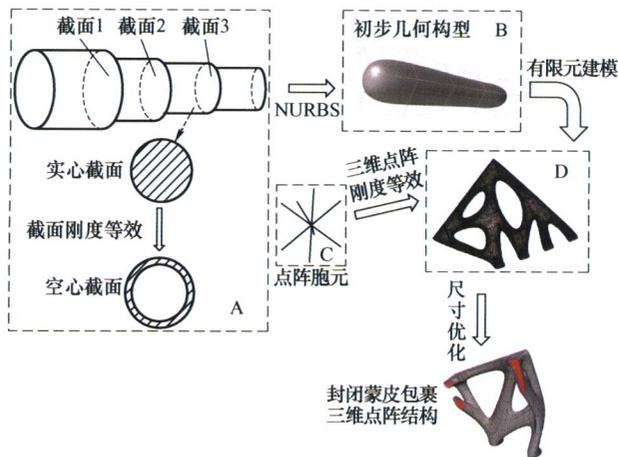
吴圣川 胡雅楠 杨 冰 张海鸥 郭广平 康国政



摘要: 金属增材制造过程中不可避免地会产生气孔和未熔合缺陷。尽管采取参数优化和后热处理能够在一定程度上降低缺陷水平,但至今尚无有效方法予以完全消除。这些缺陷作为典型的应力集中源,会诱导疲劳裂纹形核,从而大幅降低材料的疲劳强度和寿命,被视为增材构件可靠性服役的“顽疾”。从静态缺陷表征、动态缺陷演化、缺陷分级、缺陷-疲劳强度设计方法以及缺陷-疲劳寿命评估技术等五个方面论述增材制造缺陷与疲劳行为的研究进展。重点介绍借助X射线成像技术开展缺陷特征及演化的三维、无损、可视化表征与定量统计方法;进一步地,论述基于同步辐射光源的原位力学和疲劳测试系统及表征方法及其在原位、无损、实时、动态追踪缺陷或者裂纹演化机制方面的应用;增材缺陷具有全域分布、形态多样、尺寸跨度大等特征,总结六种缺陷等级判断方法;在缺陷容限和损伤容限框架内,建立基于材料表面/亚表面/内部缺陷特征的疲劳强度和寿命评价方法。最后,指出借助数据驱动的高通量试验平台和机器学习算法、多尺度多物理场数值模拟是实现增材制造材料工艺设计-缺陷表征-性能评价一体化研究的重要研究课题。

35 一种全封闭蒙皮点阵支撑结构的优化设计与试验验证

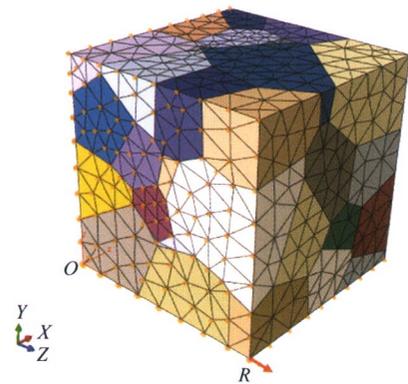
张龙 李昂 赵云鹏 曹哲 曾惠忠 周浩 陈耕 张啸雨



摘要: 随着人类航天活动范围的不断扩大, 复杂航天任务对于结构轻量化技术提出了更高的要求。在传统的结构形式基础上, 单纯通过应用高性能材料等手段已经无法满足后续航天任务对于航天器载荷支撑结构轻量化的要求。提出一种封闭蒙皮包裹三维点阵层级结构的设备支撑结构形式, 建立设备支撑结构的拓扑优化设计模型, 并对优化后的结构进行封闭蒙皮包裹三维点阵化设计。运用激光选区熔化方法制备了支撑结构实物, 并进行了振动力学试验验证, 试验结果表明设备支撑结构比采用传统设计及制造方法的结构减重 46.4%, 实物已应用于某型号卫星载荷支撑任务。提出的封闭蒙皮包裹三维点阵的结构形式可以有效提高支架类结构的设计效率, 在航天器结构轻量化方面具有推广应用前景。

43 CrMnFeCoNi 高熵合金拉伸断裂的晶体塑性有限元模拟

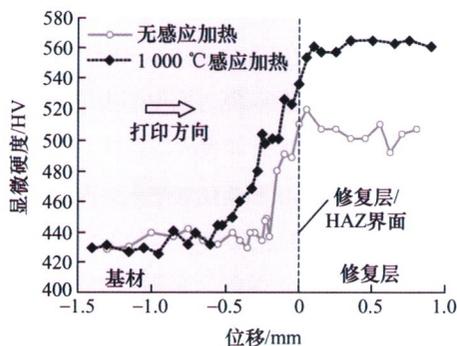
王姝予 宋世杰 陆晓翀 阙前华 康国政 张旭



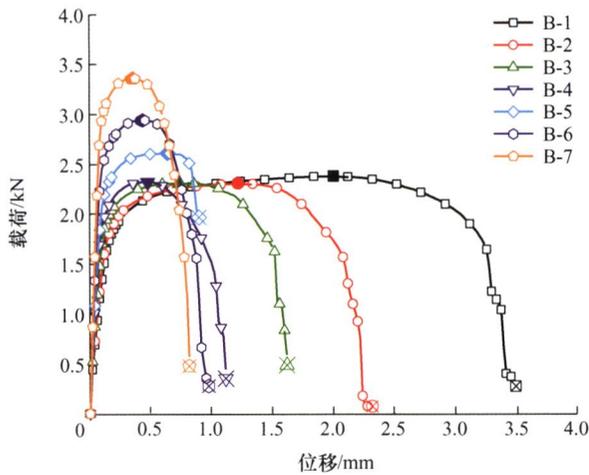
摘要: CrMnFeCoNi 高熵合金的优异力学性能使其具有广阔的工程应用前景。材料力学行为的本构描述对其服役行为的安全评估至关重要, 但是描述 CrMnFeCoNi 高熵合金拉伸断裂行为的本构模型少见报道。基于晶体塑性本构模型, 利用 Cohesive 单元在多晶代表性体积单元内部植入含损伤破坏机制的晶界, 模拟了 CrMnFeCoNi 高熵合金在单轴拉伸下的晶间断裂过程。模拟结果与试验所得的应力-应变曲线吻合较好, 且能准确描述断裂发生时的应力下降过程, 说明采用晶体塑性本构模型与 Cohesive 本构模型可以有效描述材料的宏观响应行为和断裂失效行为。进一步分析表明: 裂纹从应力集中处开始萌生; 随着应变的持续增加, 裂纹沿着晶界扩展, 最终造成断裂; 晶粒随机取向对裂纹萌生位置与扩展路径有显著影响, 但对宏观拉伸应力-应变曲线几乎没有影响。

52 感应加热对激光增材修复高温合金 DZ125L 组织和力学性能的影响

李尧 党晓凤 陈凯 何卫锋

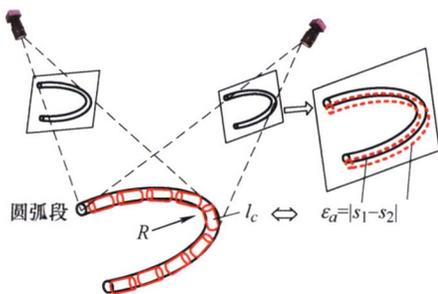


摘要: 通过研究感应加热条件下激光增材修复高温合金 DZ125L 的组织和显微硬度分布规律, 揭示了感应加热对高温合金修复层附近组织与性能的调控机制。结果表明, 与无感应加热样品相比, 1000 °C 感应加热可以有效降低温度梯度, 进而导致修复层枝晶间距由 3.8 μm 增加到 7.2 μm , γ' 强化相尺寸从 19.8 nm 增加到 74.0 nm, 热影响区范围由 200 μm 增加至 500 μm 。在热影响区中, 显微硬度持续增加, 并在修复层维持恒定。热影响区硬度值的连续增加主要与一次 γ' 和二次 γ' 的体积分数变化有关, 而修复层硬化机制主要与不同尺寸 γ' 的强化效果有关。

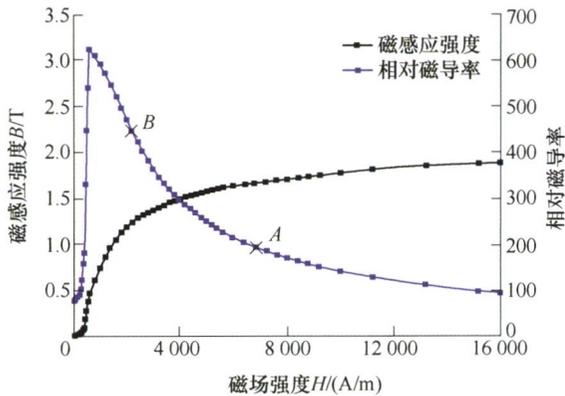


摘要: Johnson-Cook 模型是适用于金属高应变率、大变形的强动载材料模型之一, 其对应于材料的参数标定是模型应用的关键。由于没有考虑复杂应力状态对材料性能的影响, 在不同应力状态下使用传统标定方法标定的模型进行模拟计算, 计算结果与实际情况存在显著的差异。为了减小这种差异, 使用 6005A-T6 铝合金, 设计用以表征不同应力状态的缺口试件, 在应变率 $4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 条件进行准静态单向拉伸试验。使用一种基于遗传算法的反演标定方法, 将不同应力状态条件下的试验数据纳入到遗传算法的训练集中, 以 Matlab-LS-DYNA 联合编程进行数据交互与集成, 从而获得标定参数的最优解。结果表明, 该方法标定的材料模型参数弥补了传统方法的不足, 在复杂应力状态条件下具有更好的适用性。

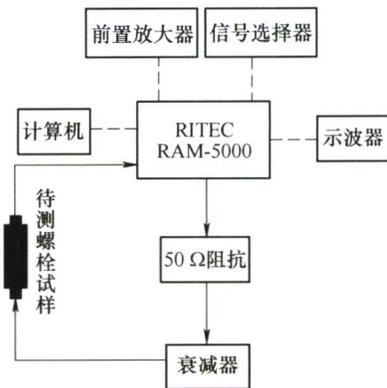
/// 仪器科学与技术 ///



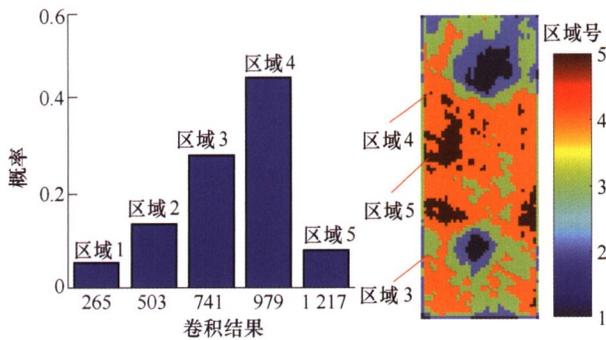
摘要: 导管广泛应用于汽车、船舶、航天等领域中, 测量加工后导管的空间形态是保证其制造精度和装配可靠性的重要手段。目前, 工程中常用的测量方法过于依靠人为操作; 近年来兴起的基于计算机视觉的测量方法无法兼顾导管直线段和圆弧段的高效、精确测量。基于自适应基元导管测量方法的提出, 旨在解决导管测量的难题。根据导管的形状特点, 将圆柱体作为几何基元, 与图像中导管的轮廓匹配对导管初始化重建, 并识别直线段和圆弧段; 针对圆弧段的测量, 用不同长度的基元测量不同弯曲半径的圆弧段, 获得相应的测量精度, 以此作为训练数据, 利用支持向量机(Support vector machine, SVM)建立基元参数预测模型。根据圆弧段不同的弯曲半径, 在满足测量精度的前提下, 预测长度最长的基元, 保证导管直线段和圆弧段的高效、精确测量。



摘要: 因高频热激励磁场趋肤效应的限制, 涡流热成像无法实现生产过程中管道内表面裂纹的在线检测。为突破上述问题, 提出了基于偏置磁化的管道涡流热成像检测方法: 在偏置磁化场作用下, 铁磁性管道内表面裂纹会引起外表面趋肤深度层内磁导率分布发生畸变, 进一步形成表面非均匀温度场分布, 从而可建立内表面裂纹与外表面温度场的关联关系。以电磁感应加热原理与铁磁性材料非线性磁特性为基础, 对新方法检测原理进行了阐述; 建立有限元仿真模型, 利用数值有限元仿真方法分析并获得不同埋藏深度裂纹缺陷引起的磁力线挤压现象以及磁导率变化规律; 建立管道偏置磁化涡流热成像检测系统, 对不同埋藏深度内表面裂纹进行自动化检测试验, 试验结果证明, 在移动速度为 150 mm/s 条件下新方法能够有效检测埋藏深度为 5.0 mm 的内表面裂纹。新方法不仅可以用于管道涡流热成像自动化检测, 对其他铁磁构件的热成像无损检测同样具有重要的理论意义与实用价值。



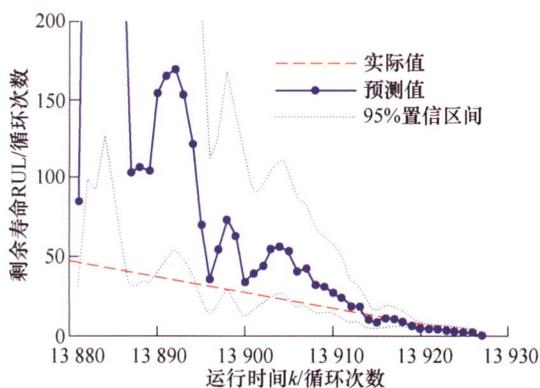
摘要: 在工作过程中, 螺栓常受到轴向应力的作用, 作为最常见的紧固件之一, 螺栓的服役质量对于安全生产至关重要。非线性超声技术对材料内部微结构的变化敏感, 在检测螺栓轴向应力方面有极大的潜力。根据超声波在各向同性材料内部的传播规律, 分析了非线性系数与基波幅值以及高次谐波幅值之间的关系, 搭建了非线性超声检测系统。以 45 钢和 304 不锈钢材质的螺栓为研究对象, 对不同轴向应力下的螺栓进行非线性超声检测, 得到非线性系数与螺栓轴向应力之间的关系曲线。结果表明, 螺栓的超声非线性系数随轴向应力的增大而单调增加, 当轴向应力超过一定值时, 非线性系数显著增大, 说明非线性系数对应力变化敏感, 可以用来表征螺栓的轴向应力。通过对相对非线性系数进行归一化和多项式拟合, 得到螺栓轴向应力与归一化相对非线性系数之间的函数关系, 然后采用非线性超声和线性体波检测两种方法对电子拉伸试验机施加的螺栓轴向应力进行检测验证试验, 200 MPa 以上的轴向应力采用非线性超声检测误差在 6% 以下, 明显优于线性超声体波检测, 研究结果为服役状况下螺栓的轴向应力检测提供了有效支撑。



摘要: 为解决太赫兹(Terahertz, THz)图像内泊松高斯混合噪声导致芳纶纤维蜂窝材料脱粘缺陷轮廓检测精度低的问题, 基于 Anscombe 变换与小波阈值法构建了 THz 图像降噪模型。高斯噪声方差为降噪模型的必要参数, 但实际 THz 图像噪声分布未知, 且噪声与纹理在高频混叠, 给方差准确估计提出了挑战。为此, 首先以样件纹理几何形状为先验信息, 构造 Benzene-ring 算子去除 THz 图像纹理, 使其小波域高频分量中仅含有噪声; 然后提出改进的 Logistic 混沌映射提高样本集的多样性, 以训练 Elman 神经网络准确建立高频分量与高斯噪声方差间映射关系; 最后依据噪声方差估计值, 基于 Anscombe 变换将泊松高斯混合噪声转化为高斯噪声, 并利用小波阈值法与 Anscombe 逆变换得到了最终 THz 降噪图像。仿真与试验结果表明, 所提出的方法降噪效果最佳并有效提高缺陷轮廓检测精度, 相比于高斯滤波、小波阈值以及非局部均值法, 平均梯度指标分别提升 12%、33%、9%, 缺陷面积绝对误差分别降低 234 mm²、304 mm²、263 mm²。

106 数字孪生驱动的航空发动机涡轮盘剩余寿命预测

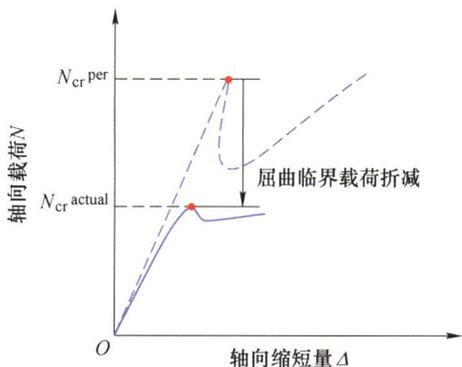
付洋 曹宏瑞 郜伟强 高文辉



摘要: 为解决航空发动机涡轮盘剩余寿命在线预测难题, 提出一种数字孪生驱动的涡轮盘剩余寿命预测方法。在建立数字孪生模型的过程中, 首先, 分析涡轮盘疲劳裂纹损伤机理, 构建性能退化指标, 建立涡轮盘性能退化过程的共性表征模型; 其次, 分析多种不确定性因素, 采用状态空间模型建立涡轮盘性能退化过程的个性表征模型; 然后, 通过动态贝叶斯网络描述状态空间模型随时间的演化规律, 建立涡轮盘性能退化过程的动态演化模型; 最后, 采用粒子滤波算法实现涡轮盘退化状态追踪和剩余寿命预测, 从而完成涡轮盘性能退化数字孪生模型的建立。融合涡轮盘实时传感数据, 通过贝叶斯推理实现对该数字孪生模型的动态更新。通过某型涡轮盘试验数据对该方法进行验证, 结果表明该数字孪生模型能够较好地解决涡轮盘剩余寿命在线预测问题。

114 基于初始缺陷敏感性的轴压薄壁圆柱壳屈曲分析研究进展

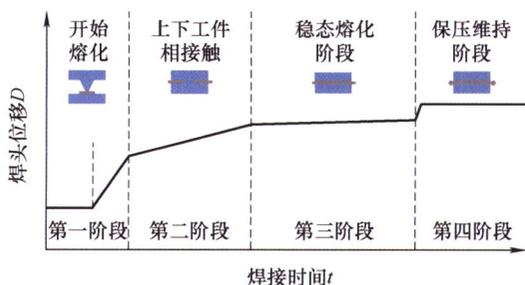
陈志平 焦鹏 马赫 顾亚楠 葛鹏



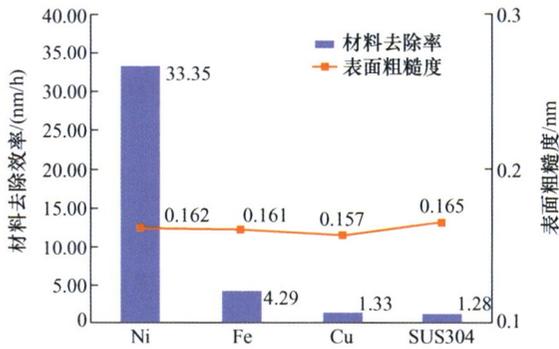
摘要： 屈曲是轴压薄壁圆柱壳结构最主要的失效模式之一。围绕轴压下薄壁圆柱壳结构的承载能力对初始缺陷具有高度敏感性这一问题，系统回顾半个多世纪以来国内外学者在考虑初始缺陷对轴压薄壁圆柱壳屈曲临界载荷影响方面所做的理论、试验以及数值模拟等工作。研究表明，目前已形成了两类等效考虑初始缺陷影响的方法，即：基于数值模拟的确定性分析方法和基于概率统计的不确定性分析方法。其中，前者主要针对初始几何缺陷，而后者则还包括非传统初始缺陷，如材料、厚度及加载缺陷等。两类方法在开展轴压薄壁圆柱壳屈曲载荷预测和设计方面各具特点和优势，相较于试验结果，多点扰动载荷法和单边界扰动法的预测精度最高，两者均能达到 90% 以上的预测精度且同时具有一定的安全裕度。最后展望未来基于初始缺陷敏感性的轴压薄壁圆柱壳屈曲研究方向和亟待开展的研究工作，为相关研究的开展提供了一定的参考和指导。

130 碳纤维增强热塑性复合材料超声波焊接研究进展

杨苑铎 李洋 李一昂 王柏村 敖三三 罗震

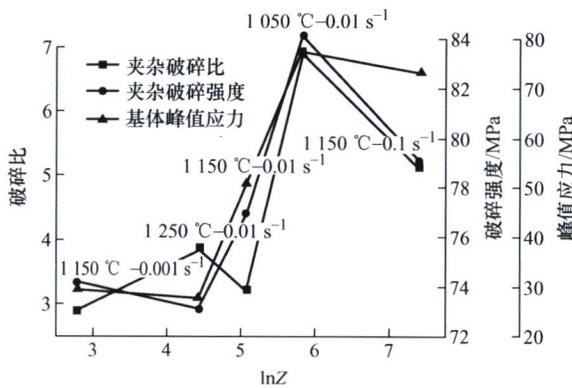


摘要： 碳纤维增强热塑性复合材料(Carbon fiber reinforced thermoplastic composite, CFRTP)由于其优越的力学性能、较低的加工成本及可回收性，逐渐成为继铝合金、高强钢之后的新一代轻量化材料。国内外科研机构和材料企业都投入巨资和人力竞相开展相关研究，部分高校、企业已开始探索将 CFRTP 应用于机身与车身的制造与装配。超声波焊接是最适合焊接热塑性材料的方法之一，也是实现大规模装配 CFRTP 零部件的关键使能技术之一。从 CFRTP 超声波焊接基本过程、接头形式、数值模拟、质量监控和异种材料连接五个方面进行分析，系统讨论 CFRTP 超声波焊接最新研究成果，展望 CFRTP 超声波焊接中有待解决的共性问题，以期 CFRTP 零部件的大规模装配应用提供参考。



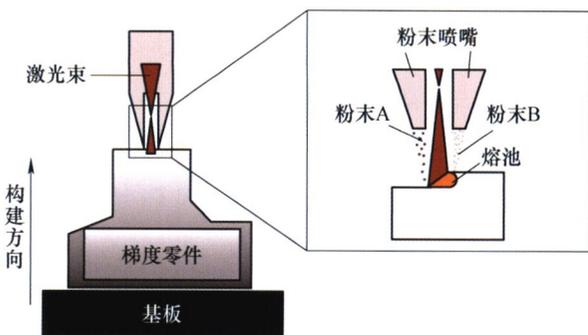
摘要: 近些年来, 化学气相沉积(CVD)单晶金刚石在电子学领域的应用令人瞩目, 这得益于CVD单晶金刚石在生长技术和半导体掺杂技术上的进展。一直以来, 成熟的衬底加工技术是半导体材料得以应用的基础, 其中超精密抛光作为晶圆衬底加工的最后一道工序, 直接决定了晶圆表面粗糙度和亚表面损伤程度。可以预见, 超精密抛光技术将会在制备大尺寸高质量金刚石衬底中发挥重要作用。对目前国内外现有的单晶金刚石抛光方法进行综述, 以制备大尺寸高质量单晶金刚石衬底为目标, 从加工设备、工艺参数、加工精度、加工效率和材料去除机理等方面进行分析, 总结各种抛光方法的优势和缺点, 展望未来大尺寸单晶金刚石衬底抛光技术的发展趋势。目前鲜有针对大尺寸单晶金刚石抛光技术的综述, 本文为国内学者展开单晶金刚石抛光相关工作的研究提供综述资料。

172 氧化铝夹杂破碎与弥散行为的试验研究

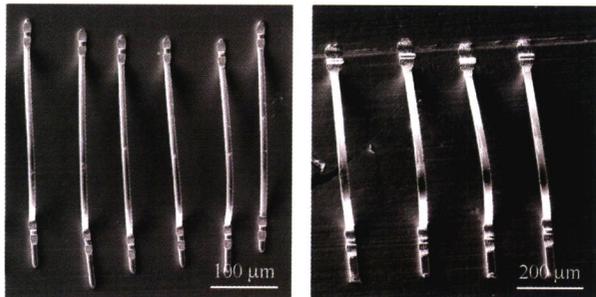


摘要: 金属零件基体中的非金属夹杂物不可避免且对基体力学性能影响严重, 而锻造变形是使非金属夹杂物在金属基体中破碎和弥散的主要途径。以钢中常见的 Al_2O_3 硬性夹杂为研究对象, 采用粉末冶金技术与3D打印熔覆成形技术相结合的方法制备了内含不同气孔率 Al_2O_3 夹杂的金属试样。进行含 Al_2O_3 夹杂金属试样在系列变形条件下的锻造试验, 通过变形后 Al_2O_3 夹杂的形貌观察, 研究分析了夹杂气孔率和锻造工艺参数(变形温度、变形速度、变形路径)对 Al_2O_3 夹杂破碎及弥散行为的影响。结果表明, 夹杂气孔率越高, 越易发生破碎行为。降低变形温度或提高变形速度可促进较高气孔率 Al_2O_3 夹杂的破碎及弥散; 对于具有较低气孔率的 Al_2O_3 夹杂, 提高变形温度是加剧其破碎程度的主要方式。同时变形路径的复杂化可显著提高 Al_2O_3 夹杂的破碎程度, 促进其在金属基体中进一步的弥散。

184 梯度功能合金的增材制造技术研究进展



摘要: 梯度功能材料是由两种或多种材料复合且成分呈连续梯度变化的一种新型复合材料, 在当今飞速发展的工程领域受到了广泛的关注。但传统的梯度功能材料制备技术无法满足航空、医疗、军事等工业领域的需要。而增材制造作为一种新兴技术, 提供了一种全新的思路来解决梯度功能材料的制备问题。系统总结了增材制造制备梯度功能合金的主要方法, 讨论了利用激光熔覆与选区激光熔化技术制备钛基、铁基及金属-陶瓷等梯度合金的研究现状及在相应领域的重要应用, 并结合现有工作论述利用选区激光熔化制备连续梯度功能合金的原理与研究进展, 最后阐述了利用增材制造技术制备梯度功能合金的挑战和机遇, 并展望了本领域的未来发展方向。

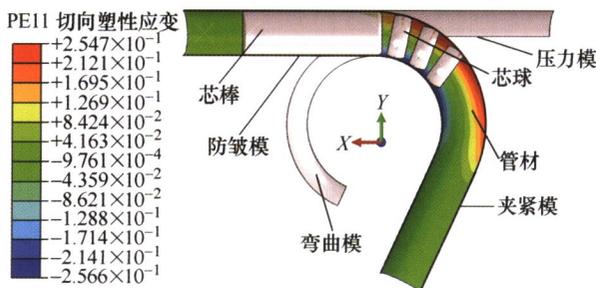


(a) 金丝整体形貌

(b) 金带整体形貌

摘要： 作为有源相控阵雷达的关键组成部分，T/R (Transmitter and receiver)组件的尺寸与性能决定着装备的重量和功能。引线键合是 T/R 组件中常用的互连技术之一，随着组件集成度的提高势必也要开发相应的高密度引线键合技术，这使得键合线的尺寸越来越小，而超细的引线会使焊点力学性能降低，造成可靠性下降等问题。采用超声热压楔形键合的方法实现了的超细金丝与金焊盘的连接，并对工艺进行优化。结果表明，随键合压力、键合时间和超声功率的增大，键合后引线形变量逐渐增大，而键合后金丝的拉力先增加后减小，且工艺参数对金带形变量的影响小于金丝；由于第二焊点作用力过大会导致引线形变量较大、最大拉力小于第一焊点，需增加题焊点数量；最后，通过正交试验方法获得了金线和金带的最佳键合工艺参数，实现了超细尺寸引线的键合，对 T/R 组件的小型化具有重要意义。

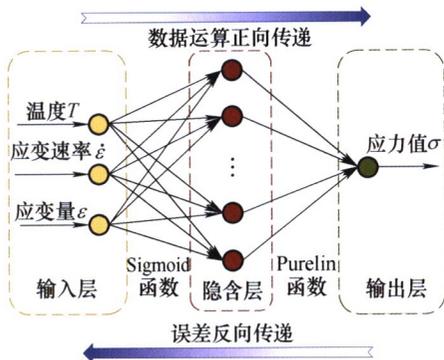
209 铝合金管弯曲成形表面粗化宏观细观耦合建模仿真



摘要： 铝合金管弯曲成形中的表面粗化缺陷严重影响了其表面质量和服役性能，迫切需要探明该成形过程中的表面粗化形成规律以避免此类缺陷的产生。管材弯曲成形宏观有限元模型无法准确描述细观尺度不均匀变形导致的表面粗化行为，而细观力学模型又难以应用到具有复杂加载边界条件的实际成形过程分析。将基于 Voronoi 图和晶体塑性理论的代表性体积单元 (Representative volume element, RVE) 细观模型引入宏观有限元模型，建立了铝管弯曲三维宏观细观耦合模型，模拟研究了 5052-O 铝管在弯曲过程中的表面粗化特征，系统分析了细观材料参数对弯曲过程表面粗化行为的影响规律。结果表明：晶粒尺寸越小，晶粒内部与晶界附近的应变差值越小，其变形越均匀，能获得越小的表面粗糙度；对于 Cube 织构和随机织构混合的模型，随着 Cube 织构含量的增多，弯曲变形后表面粗糙度呈下降趋势；织构分布与加载方式耦合影响表面粗化行为。

218 核电用高温合金 Inconel 617B 高温变形本构模型

罗锐 崔树刚 陈乐利 刘天 曹赞 高佩 邱宇 程晓农

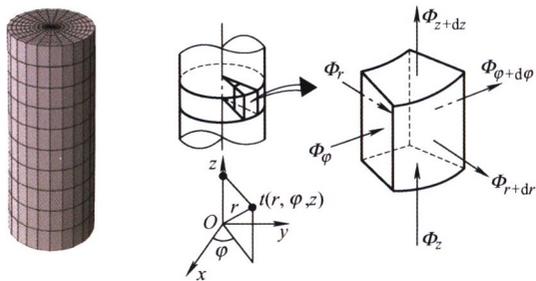


摘要: 传统的 Arrhenius 本构模型因对流变应力的预测精度较低而存在局限性。通过应变变量补偿构建高温合金 Inconel 617B 的唯象型本构模型,同时构建合金的 BP 人工神经网络 (Back propagation-artificial neural network, BP-ANN)型本构模型。结果表明:合金的流变应力对变形温度、变形速率和应变变量较为敏感。唯象型本构模型预测流变应力的相对误差 δ 为 9.020%, 相关系数 R 为 0.981 4; 而 BP-ANN 型本构模型(最佳结构确定为 $3 \times 20 \times 1$)预测结果的相对误差仅为 1.527%, R 达到 0.998 9, 可更加准确地预测 Inconel 617B 的流变应力。说明 BP-ANN 构建本构模型可提高预测精度,更为合理地描述 Inconel 617B 高温合金的流变应力与变形参数间的本构关系。

// 运载工程 //

226 动力电池低温极速自加热系统加热一致性及其影响因素的建模分析

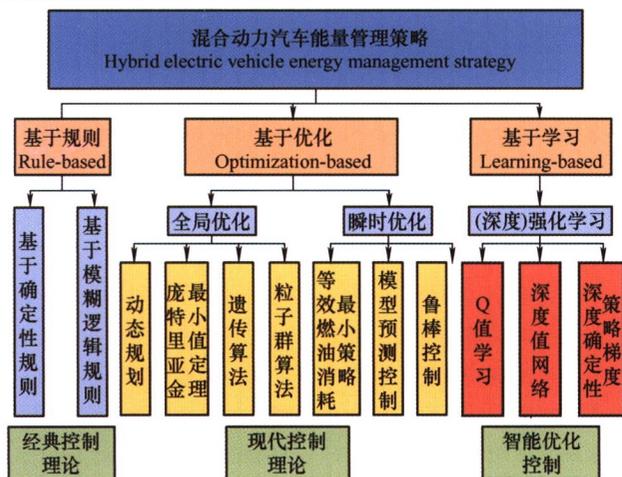
陈泽宇 张渤 熊瑞 李世杰



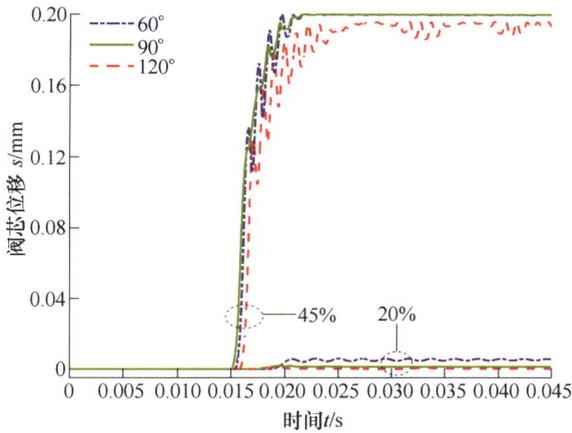
摘要: 锂离子动力电池在低温环境下性能急剧衰退,制约了电动汽车在全气候范围内的推广应用。针对电触发热速加热系统:首先进行电热特性建模方法研究,开展电特性表征,建立考虑材料各向异性的电池产热及热扩散有限元模型,试验验证表明电流误差低于 98.2 mA, 温升误差小于 4.09%; 仿真研究不同占空比、电池初始 SOC 情况的加热特性,进而对电池组在加热过程中的加热行为一致性进行研究,结果表明可在 270 s 内从 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 加热到 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最大温差低于 $3.94\text{ }^{\circ}\text{C}$; 分析电池单体不一致性与加热系统控制参数对加热行为一致性的影响特性,结果表明电池组温升不一致性与单体电池内阻标准差呈正线性相关,且受控制频率与占空比影响显著,其中占空比对温升影响幅度高达 15%。

237 基于深度强化学习的混合动力汽车智能跟车控制与能量管理策略研究

唐小林 陈佳信 刘腾 李佳承 胡晓松

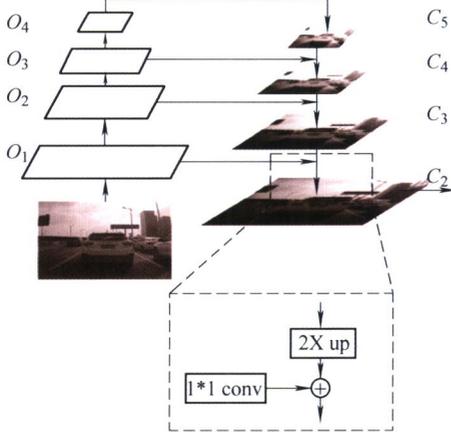


摘要: 以研究智能混合动力汽车控制技术与深度强化学习算法为目标,首先,在两辆混合动力汽车的跟驰环境中,针对领航车提出一种基于深度神经网络算法的能量管理策略,实现深度强化学习对发动机与机械式无级变速器的多目标协同控制;其次,针对跟随车建立基于深度强化学习的分层控制模型,实现面向智能混合动力汽车的上层跟车控制与下层能量管理;最后,仿真验证分层控制模型的有效性。结果表明,基于深度强化学习的跟车控制策略具有理想的跟踪性能;同时,基于深度强化学习的能量管理策略在领航车与跟随车中均实现了较好的燃油经济性;此外,基于深度强化学习的能量管理策略输出每组控制动作的平均时间为 1.66 ms,保证了实时应用的潜力。



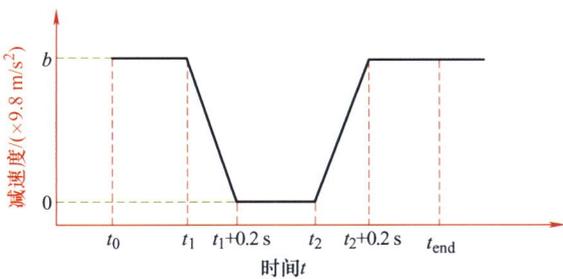
摘要: 受限于成本原因, 电控液压制动系统中多使用高速开关阀, 但在液压阀开关控制中电磁阀的敲击噪声、液压冲击噪声和压力波动造成制动控制品质和精度劣化, 因此通过脉冲宽度调制控制实现高速开关阀线性化调控性能是此类高速开关阀的设计关键。高速开关阀动态运动特性受瞬态液动力、非线性电磁力与机械惯性、弹簧力综合作用, 电磁阀动力学特性决定其线性调控工作范围窄, 需要系统设计电磁阀系列结构力学参数, 才能实现电磁阀阀口一定开度范围内的多种非线性力的线性化变化。为此, 建立高速开关阀与液压控制单元的动力学模型与联合仿真模型, 通过仿真与试验验证, 分析出阀座锥角、节流孔径、气隙大小等结构参数对电磁阀线性特性的影响。从而设计出合理的电磁阀结构参数, 并应用于一款液压控制回路中, 实现线性工作范围的拓宽, 满足汽车制动安全控制的要求。

255 基于 Libra R-CNN 改进的交通标志检测算法

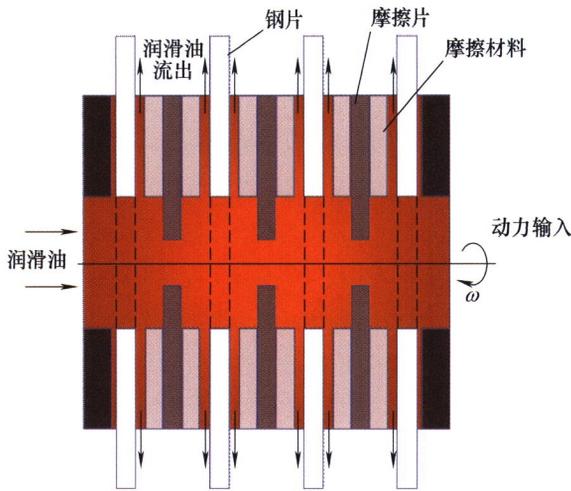


摘要: 随着人工智能领域的快速发展, 深度学习在无人驾驶领域中的应用逐渐成熟, 但是其中交通标志检测任务作为难点问题仍有很大的改进空间。城市道路下的交通标志检测具有环境复杂、小目标多、目标种类多且数量不平衡的特点, 针对这些问题, 提出基于 Libra R-CNN 进行改进的方案。Libra R-CNN 目标检测网络是基于平衡提出的, 能够较好应对目标种类多及数量不平衡问题, 在 Libra R-CNN 网络的锚框提取样本阶段, 使用 GA-RPN 生成锚框, 从而在训练期间产生更精确更多样化的样本, 减少背景影响和小目标不好定位的问题, 提高检测准确率。该方法通过试验验证了有效性。试验是在 MS COCO 2017 和交通标志数据集上进行的。改进后的 Libra R-CNN 的 mAP 提高了超 2.7 个百分点。试验结果表明, 改进后的网络相比原有的目标检测网络性能有了显著提升。

266 真实事故中通过制动控制降低人地碰撞损伤的潜在效益及时空约束



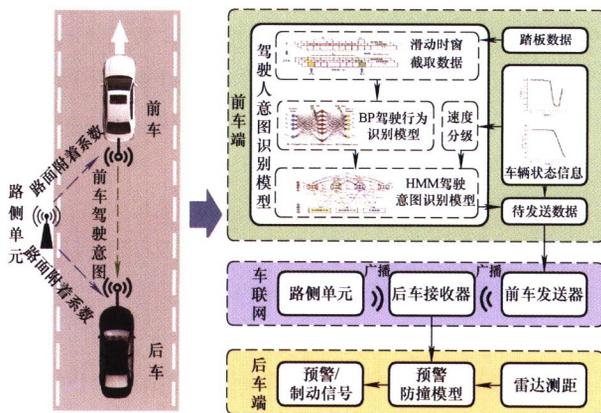
摘要: 为研究制动控制在降低人地碰撞损伤方面的潜在效益及其时空约束, 首先从前期积累的事故数据库中筛选出 139 例真实的人车碰撞事故, 利用 PC-Crash 对所有事故进行再现, 再通过控制车辆制动以降低人地碰撞损伤, 最后采集人体各部位损伤、头车与头地碰撞位置及制动控制过程中的时空约束等信息。分析结果显示, 在真实事故中人车首次接触后车辆完全制动与否不会对人体损伤造成显著影响; 通过制动控制能够显著降低头、臀与地面碰撞所致损伤, 并能降低头车、头地碰撞位置的重合率, 且不会加重车辆所致损伤; 但要求车辆在较短时间内做出判断以正确控制车辆, 且 8.4% 的案例在现实中未有足够空间让车辆实施制动控制。

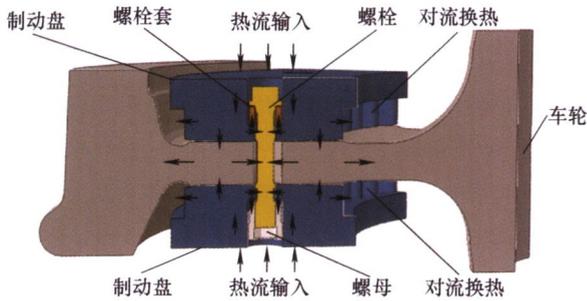


摘要: 轴向和周向作用力影响湿式离合器宽速域范围工作性能。针对湿式离合器对偶片间带排转矩与轴向力演变问题,根据湿式离合器简化结构,开发湿式离合器模型流场可视化与受力测试试验装置。通过试验测试分析流场演变过程,得到对偶片间带排转矩与轴向力参数影响规律。结果表明,流场包括全液相流和气流分层流两种基本流型,在纯液相和纯气相区之间可形成一个稳定的边界。随着转速的增大、流量的减小和间隙的增加,对偶片间流场中的油液体积分数减小,两相边界向内侧移动。流量和间隙对带排转矩的拐点有显著影响,减小流量和增大间隙都可降低拐点对应的转速。随着转速增大、流量减小和间隙增加,对偶片间轴向力呈现下降趋势。在带排转矩拐点附近,轴向力的作用方向发生改变,且最终轴向力几乎减小到零。

284 车联网环境下考虑前方车辆驾驶人意图的汽车主动预警防撞模型

摘要: 前方车辆驾驶人意图信息对后方车辆预警防撞模型危险判断至关重要,针对传统防撞模型误警率高、制动不及时等问题,设计了一种考虑前方车辆驾驶人意图的汽车主动预警防撞模型。首先,选择BP神经网络(Back-propagation neural network, BPNN)和隐马尔可夫模型(Hidden Markov model, HMM)作为驾驶行为层与驾驶意图层的主体模型,并利用驾驶模拟器采集的前车制动踏板、加速踏板和车速等意图观测数据作为输入构建意图识别模型,从而实现对前车驾驶人加速驾驶、匀速驾驶、正常制动和紧急制动意图的识别;其次,利用车联网将前车驾驶人意图识别结果与路面附着信息传递给后方车辆,建立考虑前车驾驶人意图的汽车主动预警防撞模型,动态判断碰撞危险并调整预警及制动执行逻辑;最后,为验证所提出的意图识别模型准确性和主动预警防撞模型的有效性,搭建基于 Simulink、Carsim 及 PreScan 的联合仿真平台,并进行多工况试验测试。结果表明,所提出的BP-HMM 模型对前车驾驶人意图的平均识别准确率为 94.17%,优于传统 BP 或 HMM 识别模型;主动预警防撞模型在预警测试中的平均正警率为 93.43%,与 TTC、Mazda 及考虑后车驾驶人意图的三种模型相比,平均误警率分别降低了 16.12%、23.43%和 26.67%,且在自动紧急制动测试工况中均能成功避免碰撞,两车最短相对距离大多保持在 2~8 m 范围内,平均值为 3.698 m,具有更高的安全性和稳定性。



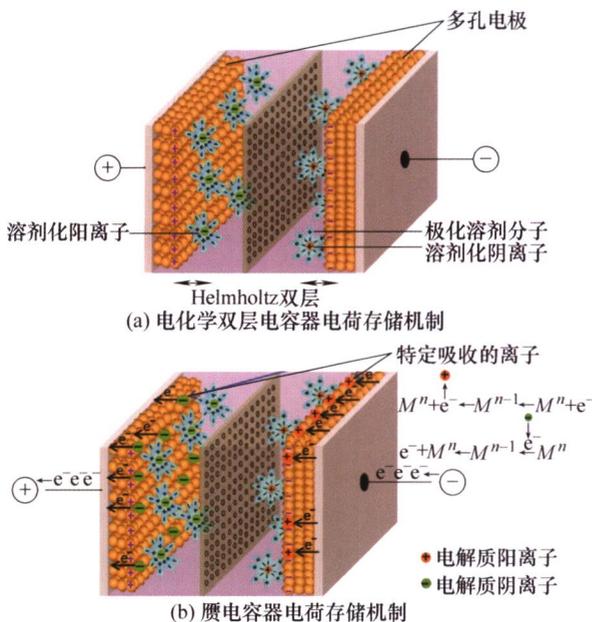


摘要: 接触界面间存在的接触热阻对制动盘内部热流传递过程有重要影响, 进而影响制动盘热机耦合仿真分析的准确性。通过建立考虑接触热阻的有限元模型, 结合制动台架试验, 系统分析某高速列车轮装制动盘在紧急制动过程中的温度分布、盘面变形、螺栓载荷以及螺栓孔边应力等热机耦合行为。结果表明, 选定的接触热阻模型得到的仿真结果与台架试验结果在较大的速度范围内吻合较好。制动系统内的温度梯度导致制动盘体产生较大的热应力并发生离面变形, 是导致螺栓载荷增大的主要原因。制动盘面螺栓孔边沿制动盘半径方向的 0° 和 180° 位置附近的周向应力变化量较大, 且处在较高的平均应力水平, 是最容易产生制动热疲劳裂纹的两个方向。

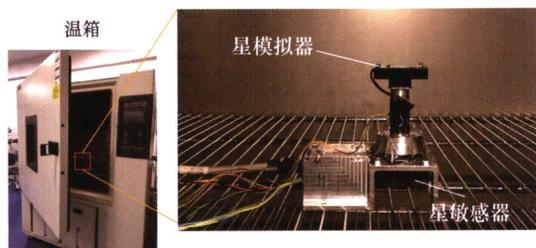
/// 可再生能源与工程热物理 ///

305 高电压微型超级电容器的制造方法及研究进展

汤 勇 白石根 吴耀鹏 袁 伟 万珍平 谢颖熙



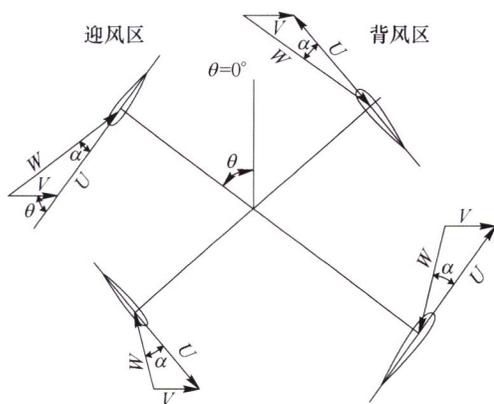
摘要: 在微电子和微机械的高压应用中, 如微型机器人、软致动器、皮肤电子、微型传感器和集成电子电路等, 迫切需要高输出电压的储能/补给装置。近年来, 高电压微型超级电容器(High voltage micro-supercapacitors, HVMSCs)因其微小型、便携式、柔韧性、高循环寿命及高功率/能量密度等优势而频繁作为功率补给装置应用到微机电系统, 可满足一定范围的电压输出和能量供给, 并且 HVMSCs 在电路中可作为储能器件应用可使电子产品更有可能趋向于集成式、高密度以及小型化。现有研究表明, 增大 MSCs 的工作电压窗口, 可以显著提升 MSCs 的输出能量密度, 进而能最大限度地扩展其应用场合。因此, 如何从材料、结构以及制造方法方面着手, 制备全固态 HVMSCs 成为研究热点。基于此, 首先对 MSCs 的电荷存储机制及电化学性能特征进行概述, 其次分析高电压 MSCs 的实现原理, 接着详细归纳 HVMSCs 的制造方法, 主要包括高电压电极材料的制备(碳基材料、过渡金属氧化物、导电聚合物以及复合电极材料)以及高电压封装结构的制造(激光加工、喷墨打印、3D 打印、丝网印刷、卷对卷印刷以及掩膜涂层), 并且总结 HVMSCs 在储能功率器件、柔性传感以及可穿戴设施等方面的应用。在综合探讨 HVMSCs 的研究现状的基础上, 最后对其在可穿戴和便携式电子设备等高电压领域的研究趋势和发展前景进行相应的展望。



摘要: 目前, 国内机构针对星敏感器的温控研究与设计较少, 多集中于星图的图像处理和图像算法的优化。着重以星图中目标能量变化、信噪比、质心定位误差等参数为指标, 分析温度对该星敏感器的热影响, 从而实现高精度星敏感器在空间复杂热环境下的可靠应用。进一步基于星敏感器的结构及热分布, 对星敏感器进行热设计及散热路径优化, 提出星敏感器热电制冷器(Thermoelectric cooler, TEC)的热控措施。以典型在轨高温工况与低温工况为例, 利用有限元仿真软件进行该热设计的有效性合理性仿真分析。在以上的设计与分析基础上, 完成一套温度控制系统, 通过模拟星敏感器在高温工况下的环境条件, 使用热电制冷方式对星敏感器采取制冷措施, 使星敏感器探测器温度维持在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 达到温控指标, 保证星敏感器能够在恶劣温度环境下持续提供高精度姿态信息。重点阐明热环境因素与成像质量之间的关系, 完成温度与星点识别精度的关联性分析, 为后续星敏感器热控设计及定姿精度提升提供参考。

335 喷管式翼缝对垂直轴风力机气动性能影响研究

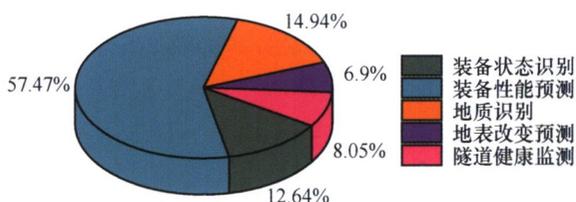
张强 缪维跑 李春 张万福



摘要: 具有良好动态性能是垂直轴风力机叶片高效捕获风能的关键, 合理的流动控制方法可有效改善叶片气动性能, 提高风能利用率。基于二维 H 型垂直轴模型研究不同椭圆形渐缩式翼缝及其开口宽度对垂直轴风力机动态失速的影响。结果表明, 翼缝的主要作用机理是通过控制流动分离以延缓动态失速, 较之原始翼型, 椭圆形翼缝翼型在尖速比为 0.5 时转矩系数提高 53.8%, 显著增强了垂直轴风力机的起动转矩, 但在尖速比大于 1.5 时因流动分离并不明显, 从而作用效果并不明显; 与传统渐缩式直翼缝相比, 椭圆形翼缝因出口处流体与翼型表面相切而未显著影响外流场, 从而使其在尖速比较大时功率系数相对更高。此外, 椭圆形翼缝因减弱吸力面逆压梯度使叶片失速相位角推迟, 从而有效抑制了流动分离, 提高了风力机运行稳定性。

344 隧道掘进机大数据研究进展：数据挖掘助推隧道挖掘

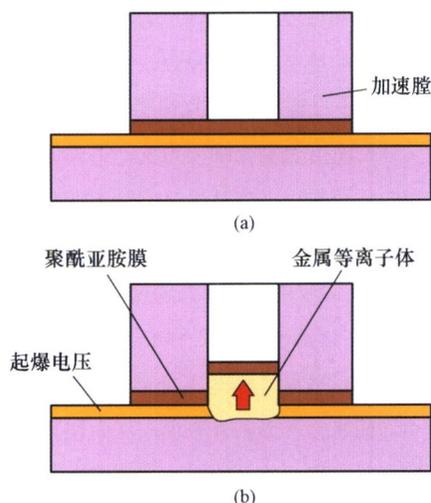
石茂林 孙伟 宋学官



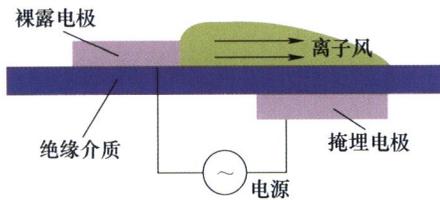
摘要：随着传感与智能化技术不断发展，隧道掘进机的运行监测日趋完善，所记录的海量实测数据不仅包含了装备作业过程的重要信息，也蕴含了装备内部及其与外部环境的相互作用机理，通过一定方法对这些数据进行深度挖掘与分析对于提升装备设计、分析、运行与维护水平具有十分重要的意义。为总结和分析隧道掘进机实测数据研究方法与应用状况，首先概述隧道掘进机实测数据的来源、构成与特点，从数据驱动的装备状态识别与性能预测、地质识别与地表改变预测、隧道健康监测与预警三个方面综述国内外相关文献，总结和归纳当前研究的难点、优点与不足，最后从隧道掘进机实测数据预处理方法、多源异构数据建模方法、模型泛化能力提升方法、数据计算平台等方面对未来研究方向进行初步分析与展望，为后续隧道掘进机大数据研究提供参考与借鉴。

359 MEMS 起爆器研究现状与发展趋势

胡腾江 任炜 赵玉龙

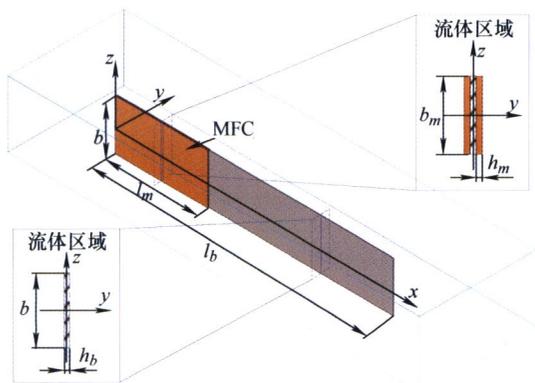


摘要：随着微纳技术的广泛应用，以 MEMS 技术为支撑的新一代起爆器成为含能器件领域的研究热点。MEMS 起爆器可以实现大规模高密度的集成制造，并且器件输出性能一致性较好，具有微型化、集成化、高能化的特征。MEMS 起爆器按结构不同，可以分为爆炸箔结构、半导体桥结构以及多孔硅结构三大类。爆炸箔起爆器主要采用电爆炸原理，结构简单，安全性能较高。半导体桥起爆器起爆电压低，应用领域广泛，可通过增加含能材料来提高器件的能量输出。多孔硅起爆器反应活性高，与由碳氢氮氧组成的传统含能药剂相比，多孔硅含能材料的环境友好性更好。通过分析对比 MEMS 起爆器的结构组成、起爆方式、制作工艺以及输出能量等方面，指出 MEMS 起爆器结构微型化、输出高能化、起爆可控化的特征，并提出能够兼顾高能性与安全性的 MEMS 起爆系统为未来重要的发展方向。

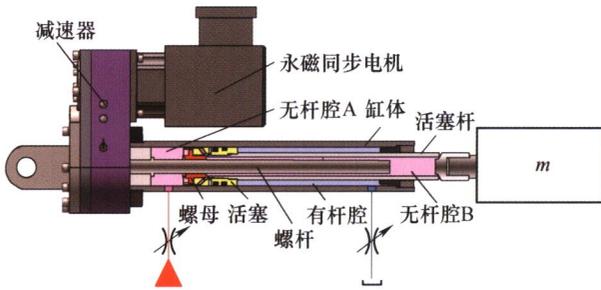


摘要: 近年来, 表面介质阻挡放电等离子体激励器(Surface dielectric barrier discharge plasma actuator, SDBD-PA)已经成为流动控制领域的研究热点。为研究 SDBD-PA 的击穿特性, 为 SDBD-PA 相关研究的参数区间选取提供参考, 首先采用控制变量法研究各激励器参数对 SDBD-PA 击穿电压和放电稳定性的影响, 然后选取对击穿电压有影响的激励器参数, 基于 DOE 方法进行试验, 使用 Isight 软件建立二次回归模型并分析激励器参数对击穿电压的影响。研究表明, 对 SDBD-PA 击穿电压和放电稳定性有影响的参数包括频率 f 、电极间隙 d_1 和激励器长度 L ; 拟合所得三元二次回归模型经验证具有良好的精确度, 可作为 SDBD-PA 击穿电压的预测模型; 对 SDBD-PA 击穿电压影响最大的参数是 f , 其次为 L 和 d_1 ; f 和 L 对击穿电压的影响为负效应, d_1 对击穿电压的影响为正效应; d_1 和 f 之间以及 f 和 L 之间的交互作用对击穿电压也有很大影响, d_1 和 L 之间的交互作用对击穿电压的影响非常小。

376 黏性流体环境中压电宏纤维致动柔性结构的流固耦合振动特性及试验

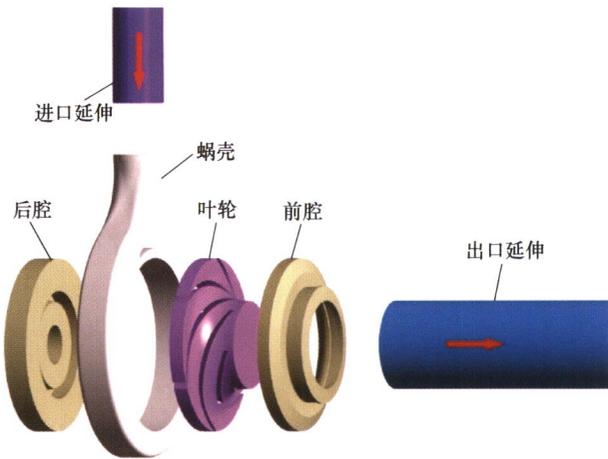


摘要: 柔性结构与周围流体的耦合作用机制广泛应用于仿生机器人、水下航行器、精密仪器及生命医疗等领域。具有驱动变形大、防水性好且柔韧性好的压电宏纤维(Macro fiber composite, MFC)致动器是水下柔性结构变形控制的首选。建立 MFC 内部致动弯矩和水动力载荷共同作用下柔性结构的流固耦合动力学模型。对粘贴 MFC 致动器的柔性结构特征截面进行计算流体动力学(Computational fluid dynamics, CFD)分析, 得到不同振动特征频率下柔性结构周围流场、压力分布及所受水动力载荷, 分别拟合得到 MFC 致动柔性结构水动力函数的实部和虚部表达式。结果表明柔性结构水动力载荷的附加质量和阻尼效应都随着振动频率的增加而减小。在等振动特征频率下, MFC 致动梁结构水动力函数的实部大于匀质等截面梁的实部; 在高振动频率下其水动力函数虚部同样大于匀质等截面梁。试验测试了 MFC 致动柔性结构的水下振动特性, 试验所得 MFC 激励下柔性结构末端稳定振动的幅频特性和相频特性与建立的耦合动力模型相吻合, 证实了所建立 MFC 致动柔性结构的水动力函数及流固耦合振动模型的有效性。

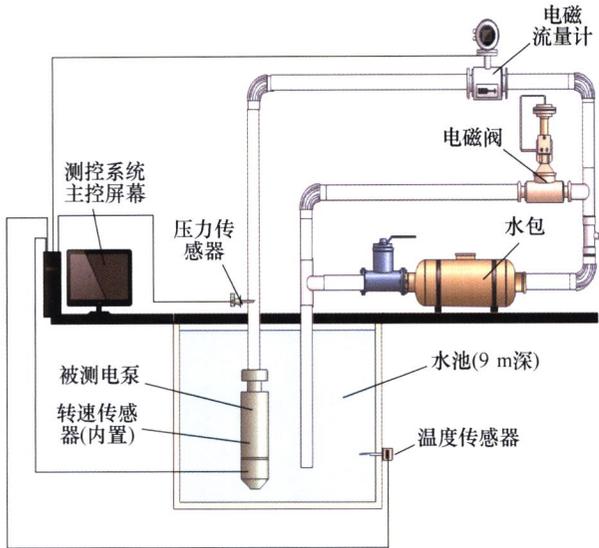


摘要: 液压系统与电-机械系统是广泛应用于航空航天、工业、非道路移动机械等领域的两种不同驱动方案。在实际中,两者通常单独使用,电-机械驱动方案能效高,但承载能力弱,液压驱动方案功率密度大、动态响应快,但能量效率低。为此,结合两个驱动方案优点,集成设计电-机械执行器与液压缸,构建一种新型液电混合直线驱动系统,分析系统工作原理及两个非相似驱动子系统耦合特性、力纷争现象及其影响。在此基础上,提出一种电-机械驱动单元运动控制与液压驱动单元力控制的调控方案。研究表明,采用所提调控方案可减轻两个非相似驱动子系统耦合作用,在液压阀低压损的同时,可获得良好的位置控制特性。新型液电混合直线驱动系统将为液压系统和电-机械系统的进一步发展提供新思路。

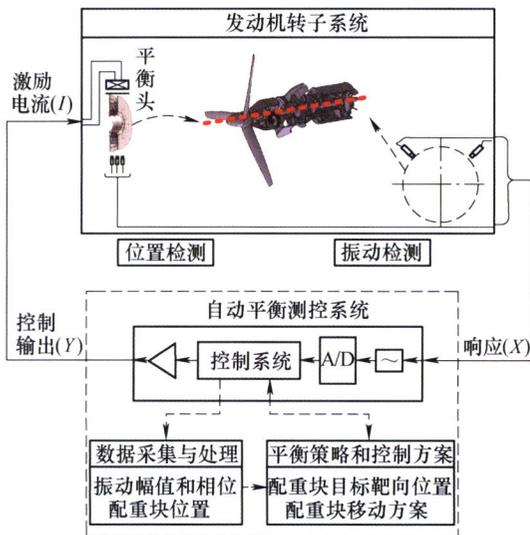
395 离心泵作透平最佳工况点下的瞬态流动特性分析



摘要: 为揭示离心泵作透平在最佳工况点下主要过流部件的瞬态流动特性,采用修正的 PANS 模型对一台比转速为 90 的离心泵作透平的瞬态流动特性进行数值模拟,通过试验验证数值计算的准确性;根据叶片的进、出口速度三角形计算理论最佳工况点,并对最佳工况下叶栅内部的流动规律进行预测;对蜗壳、叶轮在最佳工况点下的内部瞬态流动特性进行分析。结果表明,叶轮理论进、出口最佳工况点分别为 $55 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $108 \text{ m}^3/\text{h}$,实际最佳工况点为 $80 \text{ m}^3/\text{h}$;叶片与蜗壳隔舌的动静干涉会促进隔舌前缘旋涡的脱落,当叶轮前缘与隔舌前缘平齐时,蜗壳内压力脉动强度最低;叶栅内旋涡的脱落频率约为 $2f_n$,涡量的演变主要由其输运方程中的拉伸项及科氏力项共同主导;吸力面附近涡量的演变对叶轮前、中部流道内的压力脉动影响较大,而叶片尾缘涡量的演变对叶轮出口处的压力脉动影响较大。研究结果可为提高离心泵作透平在余能回收系统中的运行稳定性提供参考。



摘要: 针对我国自主研发的深海输送电泵运行在非设计工况下这一客观情况,其内部的非定常流体径向力可能会导致泵的振动甚至给整个采矿系统带来危害,目前还无法直接通过理论公式准确计算该径向力,故采用数值模拟的方法研究径向力的产生机理及作用规律。通过输送电泵的水力性能试验验证了数值模拟方法的准确性,研究六级深海输送电泵内的压力分布云图以及各级泵内的流体径向力分布情况和产生机理。对比分析不同流量下两级深海输送电泵的径向力分布规律。结果表明,各级叶轮内的流体径向力均呈周期性规律变化,且越到末级规律性越强;各级叶轮内的流体径向力的变化周期均与叶轮的叶片数相关;在其他参数不变的情况下,流量越小,径向力越大,径向力的不平衡特征越严重。



摘要: 针对旋转机械不平衡振动故障,搭建基于电磁驱动式自动平衡的不平衡故障模拟试验台,研究电磁驱动式自动平衡装置实现稳定的配重块自锁、配重块驱动原理及设计方法,根据设计条件分析控制极限影响因素,计算自动平衡系统的最大平衡能力、最小平平衡能力和平衡精度。依此设计出一套可稳定工作的电磁驱动式自动平衡装置。通过建立不平衡振动故障转子诊断模型,从理论上分析不平衡振动产生机理,提出用轴心轨迹重构法进行不平衡振动辨识,分别采用水平方向、垂直方向和椭圆长轴方向振动矢量作为自动平衡控制输入信号,并在模拟试验台上进行试验验证。结果表明在相同条件下,三种信号输入方式均能实现降振,重构法提出的椭圆长轴矢量的控制相比较传统的单通道水平方向或者垂直方向控制输入,可以使自动平衡后的控制效果更好,降幅为 74.84%,同比其他两种方式多下降约 5%。

95 第 10 届上银优秀机械博士论文奖——银奖

105 第 10 届上银优秀机械博士论文奖——银奖

200 第 10 届上银优秀机械博士论文奖——铜奖

208 第 10 届上银优秀机械博士论文奖——铜奖

375 第 10 届上银优秀机械博士论文奖——铜奖

CONTENTS

- 1 Materials and Structures Integrated Methods for Design and Evaluation of Mechanical Components**
ZHANG Lele CHEN Geng BROECKMANN Christoph CHANG Chao
- 3 Review on Defect Characterization and Structural Integrity Assessment Method of Additively Manufactured Materials**
WU Shengchuan HU Yanan YANG Bing ZHANG Haiou GUO Guangping KANG Guozheng
- 35 Optimal Design and Experimental Verification of an Enclosed Skin Lattice Support Structure**
ZHANG Long LI Ang ZHAO Yunpeng CAO Zhe ZENG Huizhong ZHOU Hao CHEN Geng ZHANG Xiaoyu
- 43 Tensile Fracture Behavior of the CrMnFeCoNi High Entropy Alloy: A Crystal Plasticity Finite Element Simulation**
WANG Shuyu SONG Shijie LU Xiaochong KAN Qianhua KANG Guozheng ZHANG Xu
- 52 Effect of Induction Heating on the Microstructure and Mechanical Property of Laser Additively Repaired Ni-based Superalloy DZ125L**
LI Yao DANG Xiaofeng CHEN Kai HE Weifeng
- 60 Inverse Determination Method of Johnson-Cook Model Parameters Based on the Stress State Test of Notched Specimens**
RU Yifan ZHANG Lele LIU Wen CHEN Geng DOU Weiyuan
- 71 Tube Measurement Method Based on Adaptive Primitives**
LIU Jianhua HUANG Hao JIN Peng LIU Shaoli
- 80 DC-biased Induction Thermography for Sub-surface Defects of Pipelines**
WU Jianbo XU Zhaoyuan JI Fang ZHANG Muchao XIA Hui CHEN Yanting KANG Yihua
- 88 Research on Nonlinear Ultrasonic Testing Technology of Bolt Axial Stress**
PAN Qinxue CHANG Meile PAN Ruipeng XU Xiaoyu LI Shuangyang ZHANG Yunmiao
- 96 Denoising Model of Terahertz Imaging of Honeycomb Material Based on Geometric Texture and Anscombe Transformation**
SUN Fengshan FAN Mengbao CAO Binghua YE Bo LIU Lin

- 106 Digital Twin Driven Remaining Useful Life Prediction for Aero-engine Turbine Discs**
FU Yang CAO Hongrui GAO Weiqiang GAO Wenhui
- 114 Advances in Buckling Analysis of Axial Compression Loaded Thin-walled Cylindrical Shells Based on Initial Imperfection Sensitivity**
CHEN Zhiping JIAO Peng MA He GU Yanan GE Peng
- 130 Advances in Ultrasonic Welding of Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic Composites**
YANG Yuanduo LI Yang LI Yiang WANG Baicun AO Sansan LUO Zhen
- 157 Research Status and Prospect on Polishing Technology of Large Size Single Crystal Diamond Substrate**
WEN Hailang XIAO Ping LU Jing
- 172 Experimental Study on Crushing and Dispersion Behavior of Alumina Inclusions**
YANG Shuai ZHANG Qifei LU Yun CHEN Lei GUO Baofeng JIN Miao
- 184 Research Progress of Functional Graded Alloy Prepared by Additive Manufacturing Technology**
LI Qiqi WEN Yaojie ZHANG Baicheng QU Xuanhui
- 201 Study on Ultrafine Wire Bonding and Performance of Radio Frequency Devices**
WANG Shang WANG Kaifeng ZHANG He XU Jiahui YANG Dongsheng HANG Chunjin
TIAN Yanhong
- 209 Macro-meso Scale Coupling Modeling and Simulation of Surface Roughening in Aluminum Alloy Tube Bending**
GUO Xiaoxi LI Heng FENG Zhenyong ZHANG Duo
- 218 High Temperature Deformation Constitutive Model of Superalloy Inconel 617B for Nuclear Power**
LUO Rui CUI Shugang CHEN Leli LIU Tian CAO Yun GAO Pei QIU Yu CHENG Xiaonong
- 226 Modeling Analysis of Heating Consistency and Influencing Factors of Low-temperature Extreme-speed Self-heating System of Battery**
CHEN Zeyu ZHANG Bo XIONG Rui LI Shijie
- 237 Research on Deep Reinforcement Learning-based Intelligent Car-following Control and Energy Management Strategy for Hybrid Electric Vehicles**
TANG Xiaolin CHEN Jiaxin LIU Teng LI Jiacheng HU Xiaosong
- 247 Design and Verification of Linear High-speed On-off Valve**
MU Hongyuan CHENG Shuo LI Kai LI Liang PAN Pan ZHAO Xun

- 255 Improved Traffic Sign Detection Algorithm Based on Libra R-CNN**
ZHAO Zijing LIU Hongzhe CAO Dongpu
- 266 Potential Benefits and Constraints of Reducing Ground Related Injury by Controlling Vehicle Braking in Real World Vehicle-pedestrian Accidents**
ZOU Tiefang LIU Qi LIU Zhuzi HU Lin
- 277 Model Experimental Study on Flow Field and Force of Wet Clutch**
LI Shenlong WU Wei HU Jibin YUAN Shihua WEI Chunhui HU Chenhui
- 284 Active Anti-collision Warning Model Considering the Driver's Intention of the Vehicle Ahead under Internet of Vehicles**
YANG Wei LIU Jiajun LIU Jingyu
- 296 Analysis of Thermal-mechanical Coupling Behavior of Brake Disc of High Speed Trains Considering Thermal Contact Resistance**
LÜ Xuemei WANG Xi LUO Mingsheng
- 305 Manufacturing Methods and Research Progress of High Voltage Micro-supercapacitors**
TANG Yong BAI Shigen WU Yaopeng YUAN Wei WAN Zhenping XIE Yingxi
- 325 Thermal Design Method and Experimental Verification of Star Sensor System**
JI Songsong SUN Ting XING Fei
- 335 Study on the Influence of Nozzle Airfoil Slots on the Aerodynamic Performance of Vertical Axis Wind Turbine**
ZHANG Qiang MIAO Weipao LI Chun ZHANG Wanfu
- 344 Research Progress on Big Data of Tunnel Boring Machine: How Data Mining Can Help Tunnel Boring**
SHI Maolin SUN Wei SONG Xueguan
- 358 Research Status and Development Trend of MEMS Detonators**
HU Tengjiang REN Wei ZHAO Yulong
- 368 Experimental Study on Breakdown Characteristics of SDBD-PA Based on Regression Model**
ZHANG Yanghui HU Xingjun LIU Yichen LI Jiuchao YU Tianming SANG Tao WANG Jingyu
- 376 Analysis and Experiment of Fluid-structure Coupled Vibration of MFC-actuated Flexible Structure Immersed in Viscous Fluids**
HUANG Juehao LOU Junqiang YANG Yiling CHEN Tehuan CHEN Hairong WEI Yanding

386 Coupling Characteristics and Position Control of Hydraulic-electric Hybrid Linear Drive System

HAO Yunxiao QIAO Shufei XIA Lianpeng QUAN Long ZHAO Bin

395 Analysis of the Unsteady Flow Characteristics of Chemical Centrifugal Pump as Turbine at the Best Efficiency Point Condition

LIN Tong LI Xiaojun ZHU Zuchao XIE Huadong HU Jianxin

406 Research on Unsteady Radial Force of Multi-stage Deep-sea Electric Pump

KANG Yajuan LIU Shaojun JIANG Yongming

416 Self-recovery Principle and Method for Unbalanced Vibration of Rotating Machinery

CHEN Lifang LI Zhaoju WANG Weimin GAO Jinji

《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

2 2>