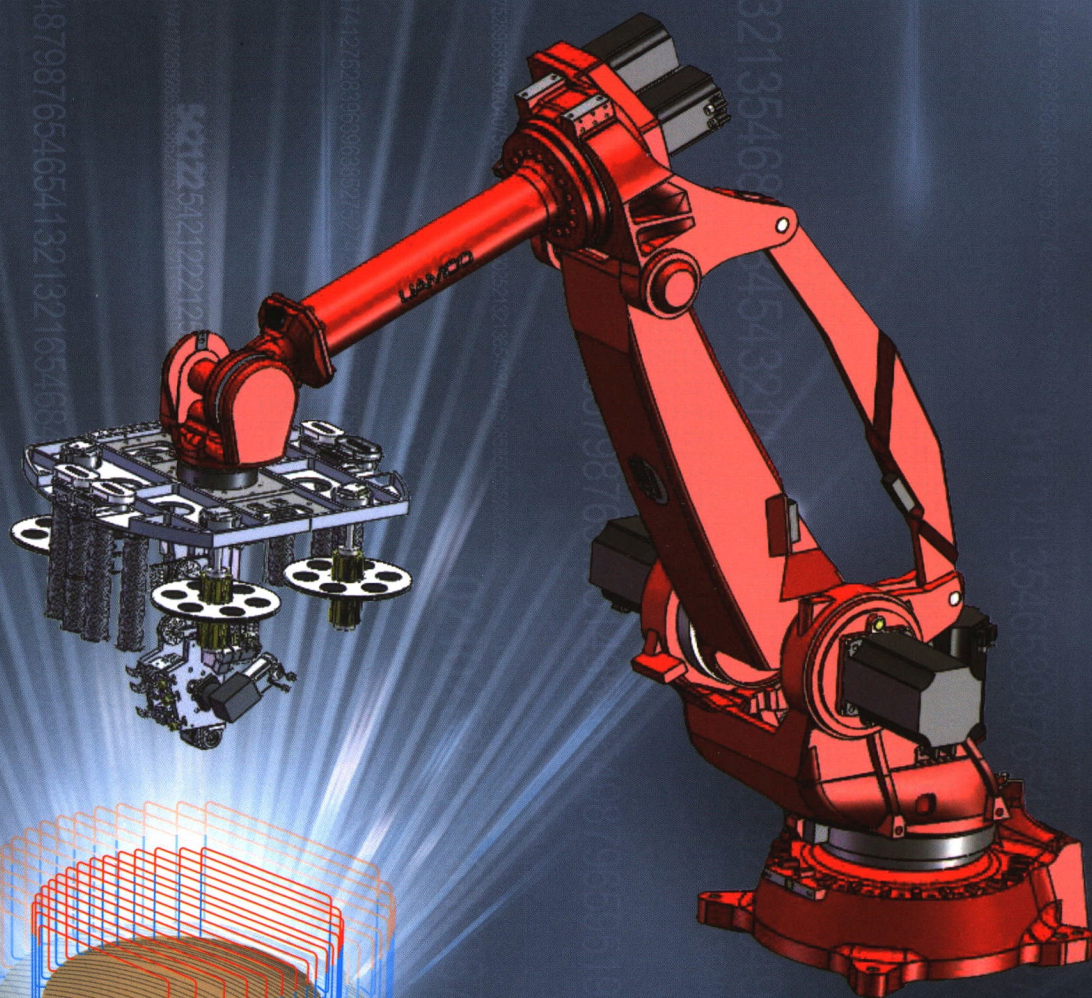


机械工程学报[®]

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

封面文章：变角度自动铺丝制造缺陷特性及影响因素的研究进展

作者：靳子昂 韩振宇 项宇 孙守政 富宏亚

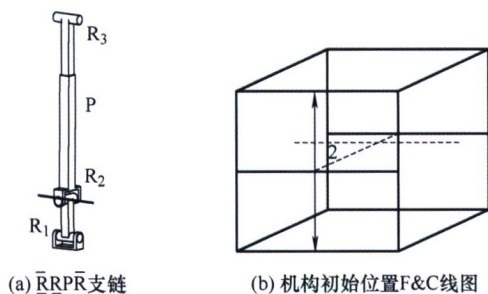


58卷 **23**期 半月刊
2022年12月刊

// 机器人及机构学 //

1 基于图谱法的新型运动分岔并联机构型综合

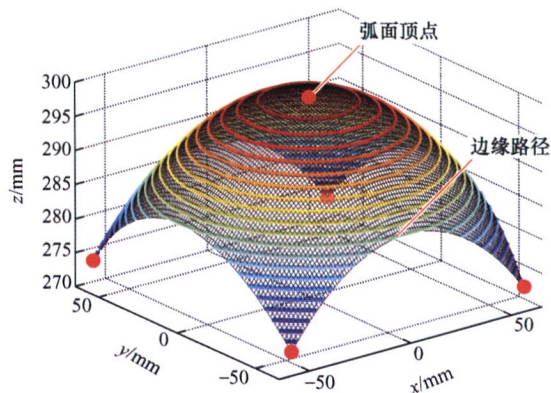
李永泉 郑天宇 江洪生 张舵 张立杰



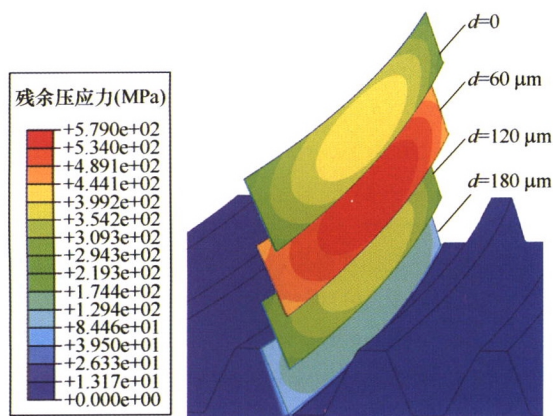
摘要: 多模式并联机构在航空航天、机械加工、医疗康复等领域均极具应用前景,但目前能够实现多模式的运动分岔并联机构类型较少,绝大多数运动分岔并联机构中含有变自由度性质的 RER 支链,为此基于图谱法综合了一类新型运动分岔并联机构且机构中含有 4 类变自由度性质支链与已有的 RER 支链不同。首先基于图谱法以机构初始位置两瞬时转动自由度线非共面且相互垂直为例对 2T1R 运动分岔并联机构进行综合,随后将机构含有的 UR \bar{R} 支链中和定平台相连接的 R 副轴线方向改变,使其具有 2R2T 和 3R1T 两种自由度性质。将改进后的 UR \bar{R} 支链配置方案应用到部分 4 自由度和 5 自由度支链中,提出另外三类变自由度支链,每种类别支链分别有 4、12、32 种。以机构中含有 4 类不同变自由度性质的支链为分类依据,综合出四大类同时具有 2T1R+2R1T 两模式新型运动分岔并联机构,共包括 12 种子类别;以第 4 类变自由度支链为例,将其引入到并联机构中,通过图谱法综合出具有 3T1R+2R2T 两模式新型运动分岔并联机构。

18 空间 2 自由度冗余驱动并联机构运动学性能分析

王世杰 冯伟 李铁军 张建军 杨冬 刘今越



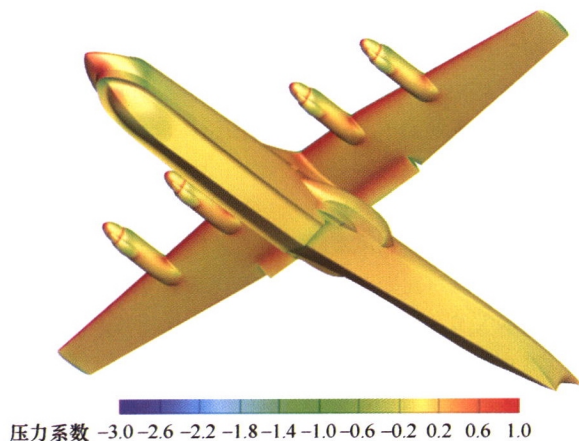
摘要: 面向建筑机器人领域的高性能机械臂需求,提出了一种空间 2 旋转自由度的 3-UPS&U 冗余驱动并联机构。基于螺旋理论和修正的 G-K 公式对机构的整体自由度进行分析,确定了其围绕恰约束支链万向副旋转的运动特性。建立驱动参数与末端参数之间的映射关系,得到其工作空间模型。通过主驱动并联、从动约束串联的独立建模,构造了该并联机构完整的广义雅可比矩阵,进一步得到动平台末端中心点线速度与驱动关节速度之间的无量纲化雅可比矩阵,并据此建立了特定工作空间下机构的灵巧度、承载能力和刚度性能评价指标。最后结果表明,3-UPS&U 冗余驱动并联机构进行较高频次上下摆动作业时,在约束支链所布置的对应转轴方向上,具有更佳的综合运动学性能,且能大大降低性能衰减的幅度。



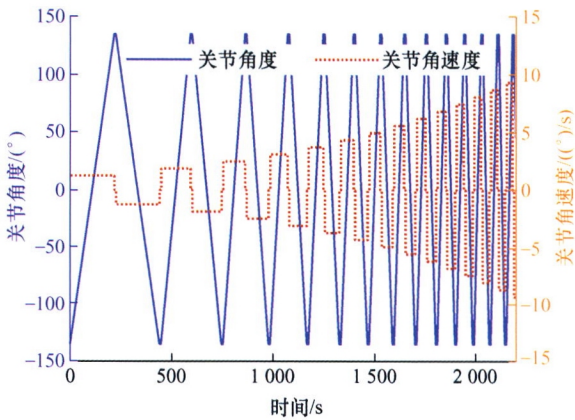
摘要: 考虑渗碳、磨齿、喷丸等工艺产生的齿面残余应力,建立齿面接触应力与残余应力的复合应力场,提出一种螺旋锥齿轮接触疲劳裂纹萌生-扩展寿命计算方法。构建齿轮有限元接触分析模型,计算多轴交变接触应力场。考虑空间螺旋曲面残余应力分布的复杂性,将变曲率齿面离散为网状节点;测量各节点表面与次表面的残余应力,建立齿面残余应力场。基于 Dang Van 多轴疲劳准则,构建齿面裂纹萌生模型;计及残余应力与裂纹闭合效应,构建齿面裂纹扩展模型。计算复合应力场下齿轮接触疲劳寿命,研究残余应力对齿面裂纹萌生-扩展寿命的影响规律。结果发现:复杂齿面空间变曲率会影响喷丸等工艺产生的残余应力分布,中心区域的残余压应力高出齿面边缘区域约 20%;复合应力场下齿面裂纹萌生位置与寿命主要取决于接触应力,残余应力会改变齿面节点平均应力进而影响疲劳寿命;齿面裂纹扩展寿命约占全寿命的 10%,表征齿轮接触疲劳快速失效至迅速断裂。上述研究对于高性能齿轮传动的长寿命、高可靠性设计具有一定的参考价值。

39 基于自适应神经网络的多模式小失效概率分析方法

王攀 辛富康 邓亚权 张浩

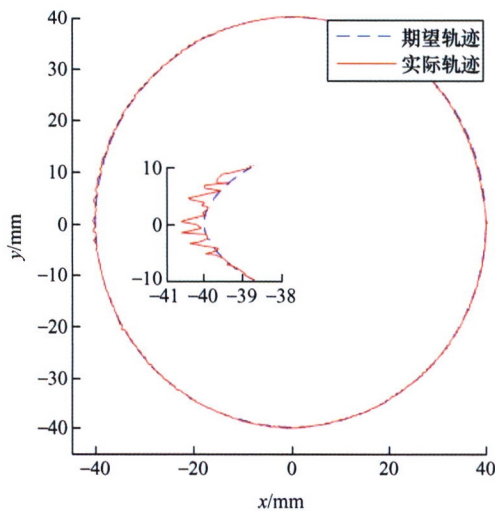


摘要: 针对水陆两栖飞机的襟翼运动机构小失效概率可靠性分析问题,首先通过开展气动载荷模拟分析得到注水灭火典型剖面的载荷历程曲线,并将其简化加载于襟翼运动机构模型中进行仿真分析。然后考虑摩擦系数、装配位置等因素的随机不确定性,建立了具有襟翼机构卡滞和运动精度不足两种失效模式的可靠性模型。为了提升分析效率,建立了一种基于自适应神经网络的可靠性分析方法。通过引入超球抽样使得样本点在整个标准正态空间内均匀分布,利用最优超球面将样本空间进行划分,大大缩减了样本空间。同时提出了一种新的学习函数来避免对不重要的区域进行探索,以找到最佳训练点进行模型更新。最后通过数值算例验证算法的计算效率和精度,进而实现了水陆两栖飞机襟翼运动机构可靠性的高效高精度分析。



摘要: 围绕护理机器人的人机安全接触和轻量大负载需求, 提出了一种 2R 耦合驱动关节构型, 并解决了耦合驱动动力学建模问题, 为高性能运动控制器搭建提供基础。该关节设计紧凑、负载能力强, 两个伺服电机经过三级减速后, 通过差动结构实现两自由度耦合输出, 且表面光滑适宜与人接触。通过运动学分析了耦合驱动的原理, 利用拉格朗日法建立了耦合驱动动力学模型。为解决速度零点摩擦力不连续, 造成基于模型的控制运动性能变差的问题, 引入了连续可微摩擦模型, 利用连续可微特性采用灰色模型提高了辨识精度。研制了机器人关节样机, 进行了关节解耦、摩擦数据采集、参数辨识及轨迹跟踪等试验, 结果表明所设计的耦合驱动关节可以完成周转、俯仰两个转动自由度的单独及耦合运动, 并且输出扭矩与重量的比值达到了 $143.6 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{kg}$, 可以满足轻量大负载护理需求, 同时基于所建立动力学模型的运动控制可以显著提高轨迹跟踪的准确性。

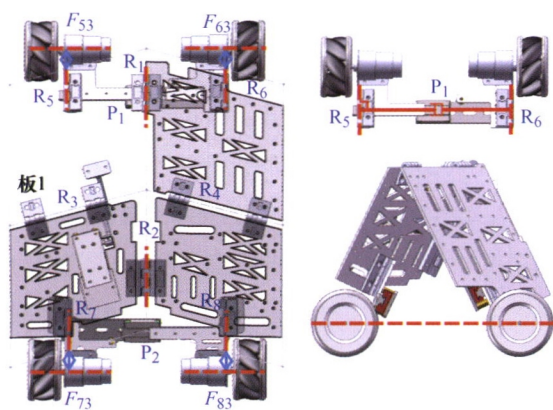
65 Vex4 冗余驱动并联机构的动力学建模、力优化及力位混合控制



摘要: 并联机构引入冗余驱动可消除机构奇异位型, 提高刚度和负载能力。但冗余驱动造成驱动力求解不唯一, 可能引起内力对抗, 造成能量损耗甚至机构损坏。因此冗余驱动并联机构的动力学建模与控制必须考虑驱动力分配和优化。应用自然正交补(NOC)法对 Vex4 三自由度冗余驱动并联机构进行动力学建模, 采用右 Moore-Penrose 广义逆矩阵通过 QR 分解转置系数矩阵得到最小驱动力优化解。为平衡驱动力并跟踪轨迹, 在力位混合即非冗余支链位置控制、冗余支链力(矩)控制基础上, 采用动力学差分提出一种位控、力控支链驱动力同步优化方法, 设计同步优化力位混合控制器实现轨迹跟踪控制。搭建 Vex4 冗余驱动并联机构样机开展轨迹跟踪试验, 验证了所提优化和控制方法的有效性。

75 基于刚性折纸的新型可折叠移动机器人折展原理分析及验证

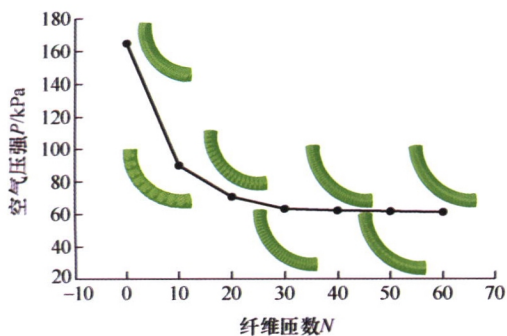
杨富富 卢帅龙 宋亚庆 张俊 姚立纲



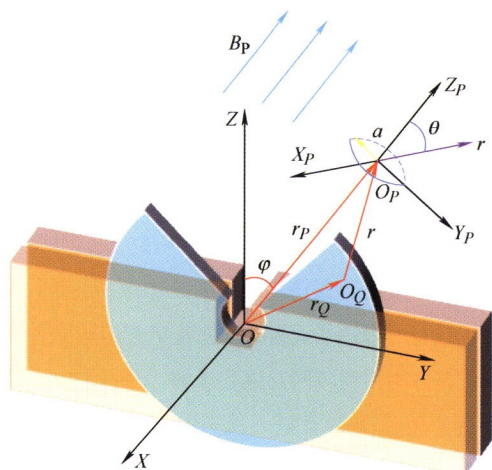
摘要: 针对现有轮式机器人的本体相对固定无法适应复杂环境的问题, 将自由度较少、折展比大的刚性折纸机构与高效的轮式运动相结合, 提出一种新型可折叠移动机器人机构, 提升了移动机器人在复杂环境下的通过性能。对此机构折展原理进行分析, 得到机器人三维尺寸与驱动角之间的关系, 并通过建立简化模型, 对动力学进行研究, 得到不同位置的驱动力矩随驱动角的变化, 从而得到最优驱动布置方案, 之后通过运动协调算法研究, 实现了机器人移动与折展协调运动, 使其能够在复杂环境中高效运动。最后搭建物理样机以及控制系统, 并通过试验验证机器人的移动及折展性能。结果表明, 该可折叠移动机器人具有三维折展比大, 运动灵活高效的优点, 可通过切换姿态适应复杂路径, 有望在探测、检测以及救援等工程领域得到应用。

88 基于三维软体驱动器的手部康复装置研究

马凯威 高爽 蒋振江 范保杰 徐丰羽



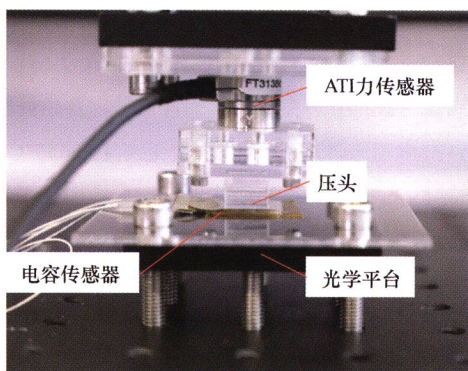
摘要: 针对手部康复装置结构复杂、穿戴舒适性差、制作成本高等问题, 提出了一种基于三维软体驱动器的新型手部康复装置。首先, 根据手部功能运动范围分析, 设计了具有三空腔结构和纤维增强结构的三维软体驱动器。其次, 利用 Yeoh 模型、虚功原理和结构分析, 建立了以空气压强、纤维匝数为输入量, 弯曲角度为输出量的数学模型。然后, 通过有限元分析, 确定了纤维匝数和建议工作压强, 降低了数学模型的计算量。最后, 使用 3D 打印技术和硅胶材料完成了样机的制作。为了验证以上理论, 在软体驱动器综合实验平台上进行了性能测试。结果表明, 该软体驱动器的最大弯曲角度、指尖力和相对误差分别为 230° 、 1.08 N 和 25.04% ; 该装置可以模仿常见手势, 抓取日常生活用品, 能够满足基本的手部康复训练。



摘要: 机械设备油液中不可避免会引入一些污染物, 这些污染物会对设备的正常运行造成影响, 尤其金属磨粒。在一定程度上, 磨粒的属性反映着设备的磨损状态。目前检测磨粒的方法有很多, 而电感检测法因结构简单而被广泛应用。传统的电感检测法精度不高, 此研究在检测线圈的两侧贴上开有矩形槽的高导磁坡莫合金, 可以使磁场向感应区域聚集。先通过仿真对比分析了不同坡莫合金结构的磁场强度, 结果表明三角形槽的结构磁场集中但不均匀, 矩形开口槽有更高的磁场强度, 磁场分布均匀且集中。然后根据仿真结果进行相关实验, 结果表明加入矩形槽的坡莫合金后, 铁磁性金属颗粒检测信噪比提升 20%, 检测下限提升至 $30\ \mu\text{m}$; 非铁磁性金颗粒检测信噪比提升 70%以上, 检测下线提升至 $100\ \mu\text{m}$, 传感器检测精度明显提高。此研究提供了一种高精度电感检测方法来检测油液中的污染物, 这对于油系统的寿命诊断和健康监控具有重要意义。

106 可测量法向力和剪切力的带屏蔽软体电容传感器

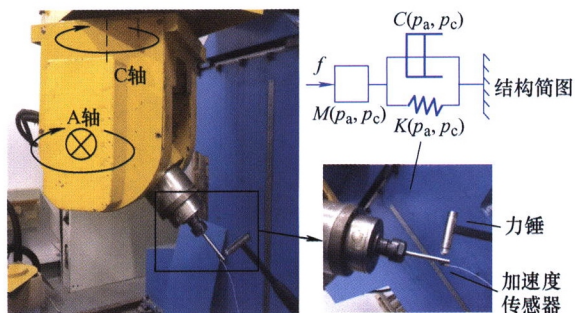
郝雨飞 李长胜



摘要: 软体电容传感器因其高柔顺性和高灵敏度等特征在人机交互、可穿戴设备和软体机器人中有很好的应用前景, 然而电容检测很容易受到外界电磁场的干扰, 因此提出了一种带屏蔽的软体电容传感器。为了能够同时检测法向压力和剪切压力, 设计了一种三电极的双电容结构, 同时在传感器上下表面添加屏蔽层来屏蔽外界电磁场干扰。为解决因屏蔽层变形产生的寄生电容对检测电容的影响, 提出了一种刚度分层的方法, 电极之间的电介质感知区域采用一种厚度仅约 $0.6\ \text{mm}$ 的硅胶海绵结构, 而电极和屏蔽层之间采用实心硅胶, 从而保证按压传感器时感知区域的变形远大于屏蔽层。实验结果表明, 传感器可以同时检测法向压力和剪切压力的变化, 法向灵敏度可达到 $0.12\ \text{kPa}^{-1}$, 单位剪切压强的电容变化达 $10\ \text{fF}$, 与不带屏蔽的传感器相比, 该传感器可将交流高压($1400\ \text{V}$)电场引起的噪声减小到 9%。这种带屏蔽的传感器在电吸附皮肤、软体机器人、可穿戴医疗设备等电磁干扰较强的环境中具有潜在的应用价值。

114 线性变参数振动系统的全局辨识

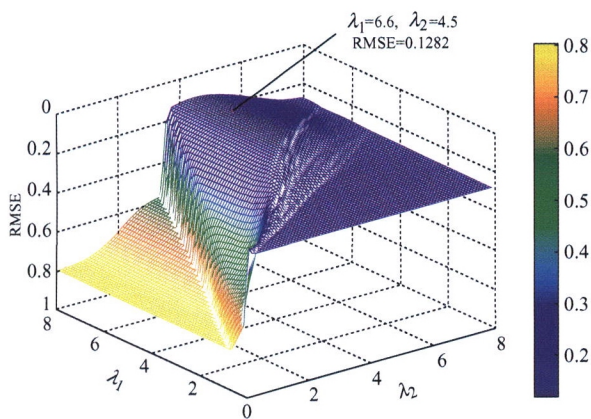
蔡宇 刘旭 程英豪



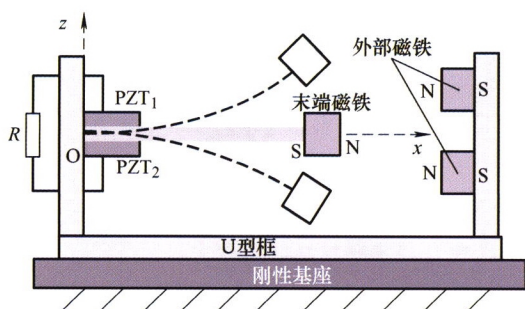
摘要: 制造系统中存在大量振动特性随特定参数变化而变化的线性变参数振动系统。这类线性变参数振动系统的辨识目前主要通过局部辨识方法,为了准确辨识需要在不同调度变量下进行大量实验,往往效率很低。为了准确而高效地辨识线性变参数振动系统,提出一种全局辨识方法。对调度变量连续变化的线性变参数振动系统持续施加激励,将系统的振动微分方程进行时域离散,利用过完备字典函数库对离散模型进行表征,并利用稀疏回归进行求解,即可根据调度变量数据和系统的激励-响应数据一次辨识得到系统模型。以实际机床刀尖结构的模态参数数据,建立线性变参数振动系统代理模型进行验证。在单调度变量和多调度变量案例中,全局辨识得到的模态参数平均误差均在 2.7%以下,充分显示了所提出全局辨识方法的有效性,也验证了线性变参数振动系统全局辨识的可行性。

123 广义平滑对数正则化稀疏分解方法研究及其在齿轮箱复合故障诊断中的应用

宋泽树 黄伟国 石娟娟 王俊 沈长青 郭剑峰 刘金朝 朱忠奎

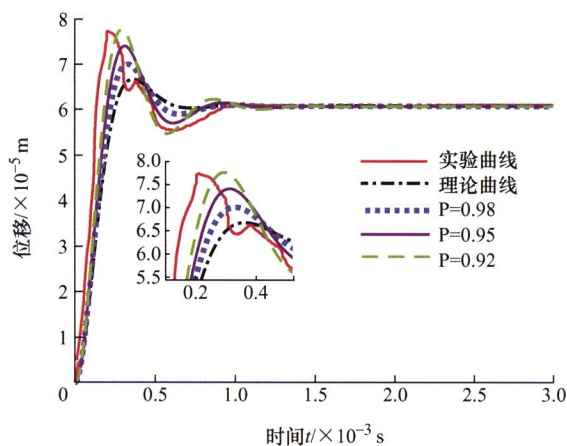


摘要: 齿轮箱由于其工况复杂、工作环境恶劣,极易发生故障,并且振动信号中往往包含多种成分并且伴随着强烈的背景噪声,给齿轮箱故障诊断带来了很大的困难。稀疏分解方法能够在强背景噪声下有效地提取瞬态特征成分,针对传统稀疏分解方法存在的计算效率低,幅值低估以及估计精度不足等问题,提出了一种基于调 Q 小波变换(Tunable Q-factor wavelet transform, TQWT)作为稀疏表示字典的广义平滑对数正则化稀疏分解方法。该方法研究了满足紧框架条件的 TQWT 来构建稀疏表示字典,然后基于 Moreau 包络平滑思想提出广义平滑对数正则化方法,该罚函数可以在保持幅值的基础上精确重构出齿轮箱故障瞬态成分,最后利用前向后项分裂(Forward-backward splitting, FBS)算法精确求解该稀疏表示模型。仿真信号和试验信号验证了所提方法在齿轮箱复合故障诊断中的有效性。



摘要: 提出一种基于线性放大与非线性磁力复合增强的三稳态压电振动俘能器, 实现在宽频范围内有效地采集低能轨道振动能量。将质量块和弹簧组成的线性放大机构置于三稳态压电俘能器与基座之间, 调节线性放大机构与俘能器之间的质量比和刚度比, 使三稳态俘能器获得较大的输入动能从低能轨道运动跳转到高能轨道运动, 从而获得更高的输出性能和更宽的工作频带。利用能量法建立了描述该复合压电振动俘能器系统动态响应的非线性机电耦合数学模型; 采用动态分岔图仿真研究了系统质量比和刚度比对压电俘能器动态输出性能的影响及其能量俘获机理。实验验证了理论结果的正确性。研究表明: 合理调节系统质量比和刚度比, 复合俘能器可以在低能轨道振动时获得更宽的工作频带和更高的发电能力。与传统刚性基座三稳态压电俘能器相比, 实验获得复合压电俘能器的阱间运动频率范围由 3~14 Hz 扩大到 2~21.5 Hz, 从低能轨道振动跳转到高能轨道振动所需的激励加速度由 13.5 m/s^2 降至 5.8 m/s^2 。

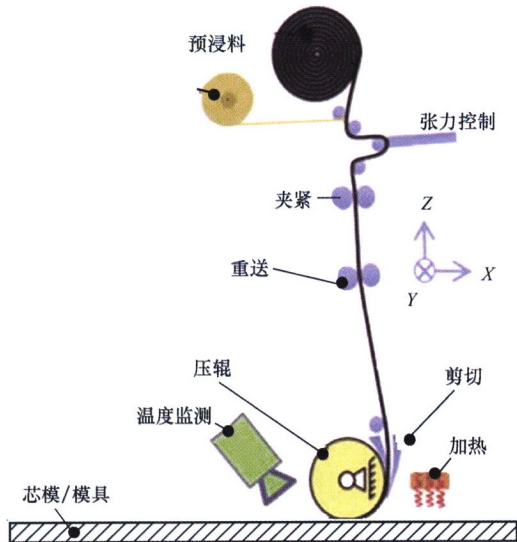
151 基于分数阶阻尼的超磁致伸缩致动器非线性动力学研究



摘要: 为进一步揭示超磁致伸缩致动器 (Giant magnetostrictive actuator, GMA) 系统非线性运动过程中的内在机理和动力学特征, 基于分数阶微积分理论, 将 GMA 动力学系统模型拓展至分数阶, 建立含有分数阶阻尼的非线性 GMA 系统动力学方程, 基于平均法分析系统主共振, 得到系统的幅频响应方程; 使用幂级数方法求解系统的数值解, 通过 Matlab 数值模拟分析不同激励幅值和阻尼阶次对 GMA 系统的影响机理, 从定性和定量的角度研究系统的分岔和混沌运动现象。结果表明: 激励幅值和阻尼阶次对系统的幅频特性有显著影响; 阻尼阶次对系统的分岔和混沌行为影响较大; 不同阻尼阶次下由激励幅值变化引起系统的动力学行为相似但混沌区域不同。该研究有助于更好地了解 GMA 系统动力学特性, 对工程实践中控制 GMA 系统稳定运行提供新的视角。

164 变角度自动铺丝制造缺陷特性及影响因素的研究进展

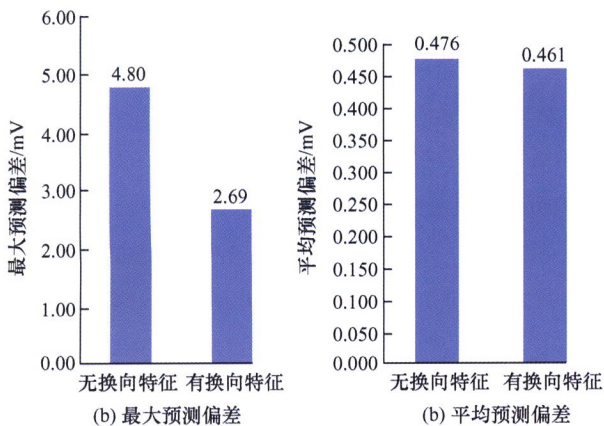
靳子昂 韩振宇 项宇 孙守政 富宏亚



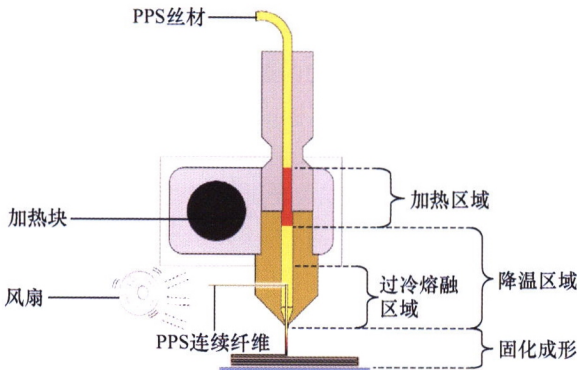
摘要: 自动铺丝作为一种先进的复合材料自动化成型技术被广泛应用于航空航天等领域, 其中采用变角度自动铺丝能够提升航空航天结构件的设计空间, 对于提高构件整体力学性能具有重要的意义。但目前该技术的加工工艺并不成熟且在成型过程中不可避免产生制造缺陷, 对构件的力学性能带来不利的影响。针对变角度自动铺丝成型过程中的制造缺陷特性及其主要影响因素进行综述, 介绍了自动铺丝的工作原理及变角度铺丝的优势, 分析了褶皱、间隙和重叠缺陷的形成机制及其对变刚度层合板力学性能的影响, 深入探讨了变角度铺丝制造缺陷的影响因素类型及作用机理, 并论述了制造缺陷的抑制方法, 最后总结了现阶段变角度自动铺丝技术存在的不足, 并对该技术的未来研究趋势进行了展望。

178 考虑控制电信号中间量的机床运动控制误差数据驱动建模方法

管寅昕 杨吉祥 丁汉

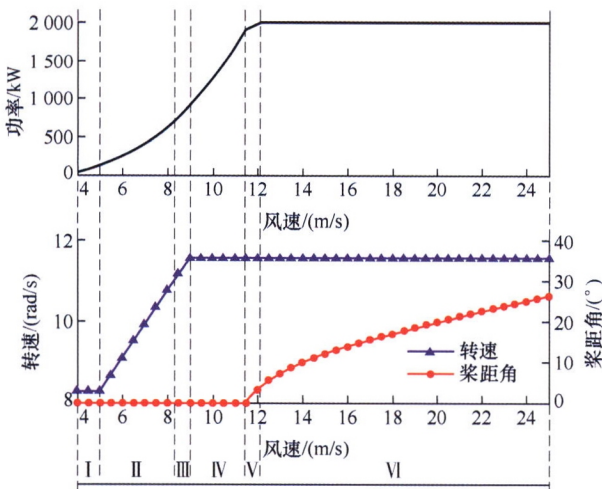


摘要: 现有数据驱动的机床运动控制误差建模方法通常使用端到端的模型, 即通过机器学习算法直接构建参考轨迹信息(速度、加速度等)与伺服误差之间的模型, 以降低建模复杂度。然而, 该方法忽视了控制电信号对运动控制系统非线性扰动的反映, 而导致建立的模型精度受限。为解决此问题, 提出了一种使用控制电信号作为中间量的数据驱动运动控制误差建模方法。该方法采集参考轨迹信息(速度、加速度、急动度等)、控制电信号、跟踪误差以及构造的换向特征, 构建并训练基于参考轨迹信息的控制电信号预测网络, 以及基于电信号和参考轨迹信息的运动控制误差预测网络, 利用控制电信号这一中间量有效反应系统所受非线性扰动的特点, 实现了高精度的运动控制误差数据驱动建模。在实际验证测试时, 将参考轨迹信息输入电信号预测网络, 而后将得到的预测控制电信号和参考轨迹信息输入跟踪误差预测网络, 即可实现运动控制误差的预测。通过实验对所提出的建模方法进行了验证, 所提出方法相对于传统的端到端建模方法, 运动控制误差的预测精度在 X 轴和 Y 轴分别提升 16.33% 和 20.42%, 误差补偿后运动控制轮廓精度相较于未补偿提升 85.59%, 验证了所提出方法的可行性。

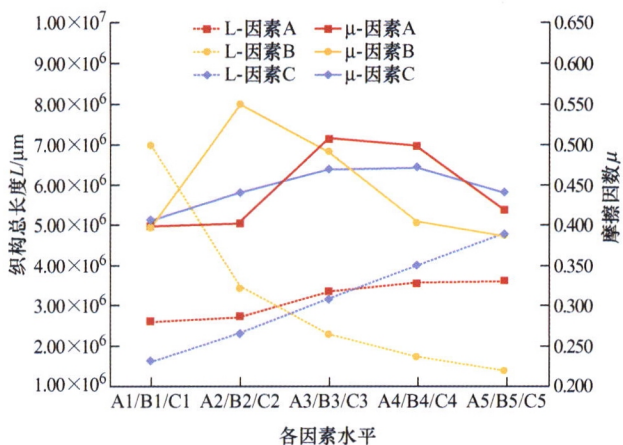


摘要: 连续纤维增强复合材料 3D 打印工艺的出现, 为复合材料构件低成本快速制造提供了一种新方法, 为了充分利用 3D 打印连续纤维增强热塑性复合材料成形快, 易成形复杂零部件的特点, 结合自增强复合材料具有良好界面结合性, 可循环利用的优势, 分析了自增强复合材料 3D 打印技术研究的发展现状, 提出一种利用过冷的自增强复合材料熔融挤出打印喷头, 采用聚苯硫醚(Polyphenylene sulfid, PPS)纤维与 PPS 树脂作为自增强复合材料原材料, 探究自增强复合材料成形打印温度窗口、复合材料力学性能、微观界面结合性, 以及对连续纤维自增强复合材料完全可回收性能研究分析。

196 基于运行规律和 TICC 算法的风电 SCADA 高维时序数据聚类方法

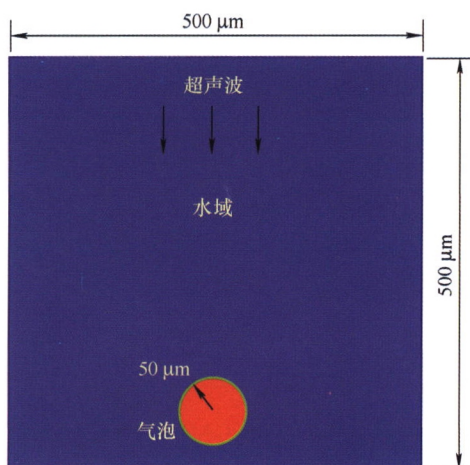


摘要: 针对大型风力发电机组高维 SCADA 时序数据的工况识别问题, 结合风电机组运行规律和 TICC 算法, 提出一种自动分割聚类方法。从高维的 SCADA 数据中选取风速、转速和桨距角等少量特定参数作为初始分割聚类对象, 分析特定参数的运行规律, 确定风电机组理论的运行工况。选取一段特定参数的历史数据, 利用 TICC 算法进行离线聚类分割, 获得聚类的最优特征参数。将最优特征参数作为 TICC 算法的输入, 对新的特定参数时间序列数据进行分类。最后根据特定参数时间序列的聚类结果, 对未进行分割的 SCADA 时序数据进行聚类处理。选取某 2.5 MW 双馈风电机组的 SCADA 时间序列数据对方法进行验证, 同时将所提出的方法与 FCM 算法、GMM 算法、K-Means 算法进行对比研究。实例验证和对比研究表明, 所提的聚类方法充分融合理论知识和 TICC 算法的优点, 可高效处理高维 SCADA 聚类分割问题, 同时保证聚类结果与理论分析结果一致性。



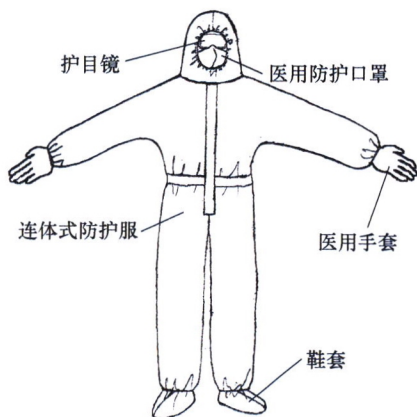
摘要: 在再制造和设备运维阶段的拆卸过程中, 过盈配合表面常因强烈的摩擦效应发生损伤。实验发现在配合界面上添加激光凹坑织构可有效降低拆卸损伤, 且激光加工形成的熔融层增大了过盈配合面间的滑移阻力, 有利于提升其服役承载能力。正交实验结果显示, 相较于织构密度, 织构图案尺寸与织构形状对界面滑移阻力的影响更为显著; 等效圆直径 100 μm、面密度 25% 的椭圆织构具有良好的滑移阻力提升效果。在 60 MPa 到 150 MPa 的接触压力范围内, 该类型织构表面的法向变形量大于无织构表面; 且随着接触压力的增大, 具有熔融层的织构表面的法向变形量更为稳定, 其增幅远小于无熔融层织构表面和无织构表面。

218 超声空化对细微流道中固体颗粒的运动特性研究

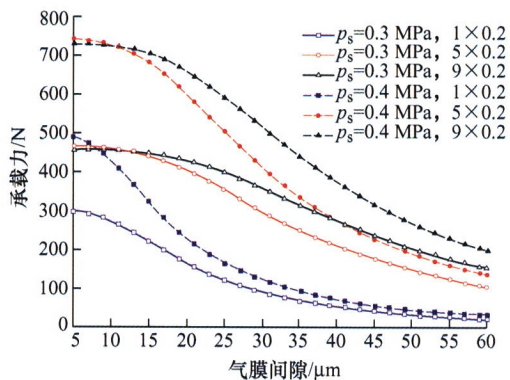


摘要: 针对细微流道中的多相流调控问题, 研究超声空化效应对微流道内固体颗粒运动特性的影响。利用 Fluent 有限元技术对空化气泡溃灭的过程进行模拟, 得在超声声压作用于近壁区的气泡时, 气泡凹陷、破壁、溃灭的演变过程, 并对其周围流场的速度矢量分布进行研究, 仿真结果显示, 空化气泡溃灭能够产生射向壁面的高速微射流, 其最大速度达到 28 m/s, 进而确定细微流场观测实验的最优参数; 利用高速摄像机对细微流道中气泡的演变过程进行观测实验, 并与仿真实验结果进行对照, 观测实验结果表明, 利用超声空化效应能够实现固体颗粒向流道壁面运动的有效引导, 为实现细微流道的流场调控、提高加工精度等问题提供理论支持。

227 融合 RE 与 BID 的产品创新方法研究及应用



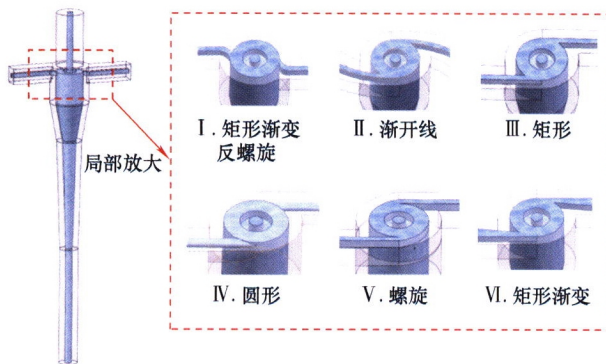
摘要: 针对已有产品的再创新、创新方法选用及创新方向的明确性等问题, 提出一种融合逆向工程(Rreverse engineering, RE)和生物启发设计(Bio-inspired design, BID)的产品创新过程模型。首先, 通过 RE 对已有产品进行分析, 经过结构分解、行为匹配及功能构建等步骤, 建立其功能模型; 其次, 以该模型为基础, 搜集产品用户需求, 通过需求进化分析、需求重要度计算及功能进化, 得到产品概念的功能再创新, 进而组合出产品新功能待求解模型; 最后, 以生物系统逆向工程建模方法为基础, 搜索并整理生物案例。利用所建立的生物启发设计辅助系统求解产品新功能, 得到产品再创新方案。以方舱医院医护人员用防护服为例, 验证了 RE 与 BID 融合的产品创新方法具有较好的可行性。



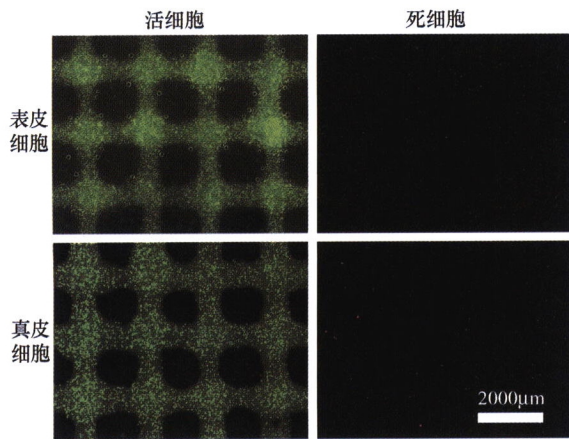
摘要: 为了进一步探索和研究气浮静压润滑支承机理及气浮静压导轨承载性能, 提出并研制了一种具有气浮静压润滑支承的精密二维运动平台。结合气浮静压导轨的物理模型建立了其笛卡儿坐标系下的控制方程, 采用有限差分方法和流量平衡原理对其控制方程进行了离散差分推导, 运用超松弛迭代以及二分快速寻找收敛区间法对其承载性能进行数值计算并开展了实验研究。结果表明: 气浮静压导轨承载性能受节流器类型的影响比较显著, 多节流孔节流器的承载性能明显优于单节流孔节流器; 供气压力对气浮静压导轨承载性能影响显著, 供气压力越高其承载性能越强; 同等条件下气浮静压导轨组合形式承载性能均优于单独形式承载性能; 气浮静压导轨的承载性能实验测试结果和数值计算结果具有较好的一致性, 验证了数值计算的有效性。相关研究对推动和促进气浮静压轴承和导轨在精密运动机构和测量设备的研究和工程应用具有较好的借鉴和指导意义。

251 适用于超低进液量的微型水力旋流器结构优化

邢 雷 李新亚 蒋明虎 赵立新 蔡 萌



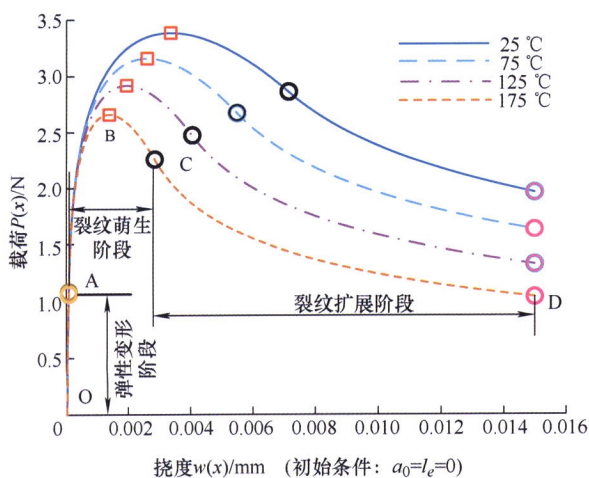
摘要: 针对超低进液量条件下油水旋流分离精度难以保障问题, 提出了一种微型水力旋流器结构。借助 3D 打印技术试制微型水力旋流器样机, 开展室内分离性能测试。基于 Plackett-Burman 设计对影响旋流器分离性能的主要结构参数进行显著性筛选, 得出了结构参数对底流口含油浓度影响的显著性排序。结合最陡爬坡设计与响应曲面法, 对显著性较高的结构参数与底流口含油浓度间的数学关系模型进行构建, 基于最小二乘法对模型进行求解, 确定出可提高分离性能的结构参数最佳匹配方案。对初始微型水力旋流器结构及优化结构开展不同分流比、处理量以及含油浓度条件下的分离性能对比实验, 实验得出优化后结构在溢流分流比为 30%, 处理量为 1.0 L/min, 含油浓度为 2% 时质量效率最高, 达到 99.85%。优化后旋流器的分离性能明显高于初始结构, 实验结果验证了响应面设计优化方案的准确性, 同时也证明了设计的微型水力旋流器在超低进液量条件下油水分离的高效性。



摘要: 3D 打印技术已经在生物医学、传感器制造等领域得到广泛应用。然而, 传统 3D 打印机由于自身工作方式的不同, 适用范围不同, 难以同时兼容生物制备和传感器制备。因此, 以电磁阀作为 3D 打印机的喷头, 自主设计并构建具有独特工作方式的 3D 打印机, 将高精度液滴分配方式应用于 3D 结构打印。研究料筒气压、电磁阀开关时间、喷头高度对打印液滴直径的影响, 并对点、线、网、面图案的打印质量进行评估; 利用所构建的打印机制备具有真皮乳头结构的组织工程皮肤和阵列式柔性压力传感器, 测试组织工程皮肤的细胞活性及压力传感器的压-阻转换特性。结果表明, 打印液滴直径尺寸与料筒气压、喷头开启时间、喷头高度均成正相关; 3D 打印机对点、线、网、面图案的打印效果较为理想; 可成功应用于具有真皮乳头结构的组织工程皮肤和柔性压力传感器的制备。所构建的 3D 打印机融合喷墨式打印机和挤出式打印机的优势, 对打印墨水有较好的兼容性, 具有打印方式简单、打印速度快、成型质量高的优点, 对组织工程皮肤及柔性压力传感器的研究具有重要意义, 为实现具有感知功能仿生皮肤的制备奠定基础。

271 平纹编织 CFRP 制孔分层形成机制的热-力学理论建模及试验分析

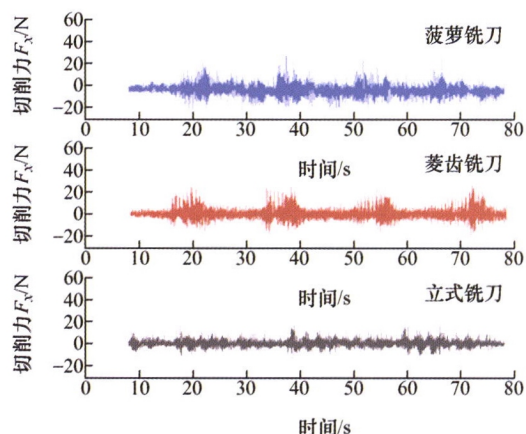
苏 飞 李 枫 刘广涛



摘要: 碳纤维增强复合材料(Carbon fiber reinforced plastics, CFRP)在航空航天领域获得了广泛应用, 但由于各向异性和层间连接较差等特点, 钻削过程中极易出现分层缺陷, 严重影响构件的使用性能。为分析钻削温度对平纹编织 CFRP 制孔缺陷的影响机制, 基于弹性地基梁理论、黏聚力学模型和热力学理论, 建立了新钻型钻削平纹编织 CFRP 制孔分层形成的理论模型。结果表明: 当新钻型多刃尖(III)钻削孔边缘的最表层材料时, 钻削温度达到最大值, 对最终分层的形成最为关键; 钻削温度和制孔分层随着主轴转速的增大而逐渐降低, 随着进给速度的增大而逐渐升高。当纤维角度(θ)在 $0^\circ/90^\circ/180^\circ/270^\circ$ 附近时, 层间分层的临界轴向力达到最大值, 分层相对较大, 当纤维角度(θ)在 $45^\circ/135^\circ/225^\circ/315^\circ$ 附近时, 临界轴向力最小, 分层并非极大。因此, 临界力的大小只能反映产生分层缺陷的难易程度, 不能决定分层的最终形状和大小。考虑温度影响时的制孔分层形态预测与试验观测基本吻合, 而不考虑温度影响下所获得的预测值总体上偏小。此外, 平纹编织 CFRP 分层形状基本呈近似圆形。

284 高温合金蜂窝芯高速铣削材料去除机理与损伤行为

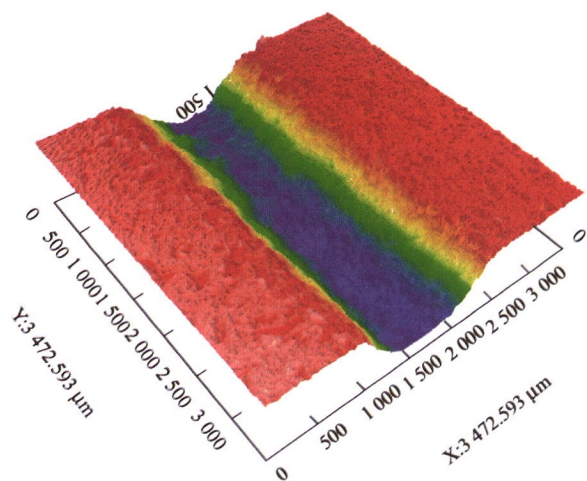
史兰宇 王晨光 陈杰 郭国强 黄文斌 安庆龙 明伟伟 陈明



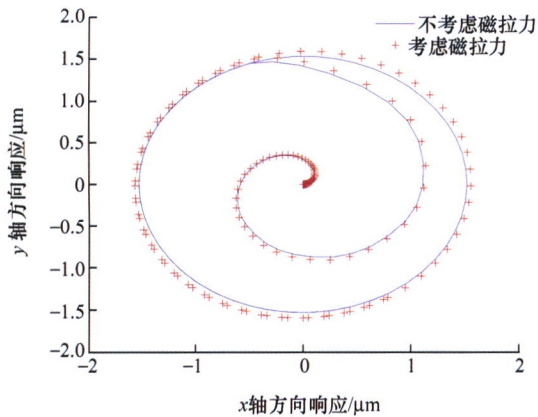
摘要: 高温合金蜂窝芯材料具有高比刚度、轻质和能量吸收特性好等优异性能, 被视为下一代高超声速飞行器热防护结构极具潜力的材料。高速铣削是高温合金蜂窝芯零件成型过程中重要的减材制造工艺, 在蜂窝芯材料高速铣削时, 蜂窝芯材料面内刚度低且高温合金塑性好, 较小的切削力就会使蜂窝壁产生较大的塑性变形, 导致蜂窝芯加工精度较低、加工损伤难以控制, 对后续焊接、装配等工序产生不利影响。基于有限元仿真对蜂窝壁切削材料去除机理进行了深入研究, 探索了铣削参数、刀具类型和铣削方式对铣削过程中切削力和加工损伤的影响。研究表明, 蜂窝壁切入角是影响蜂窝芯材料切削加工过程中瞬时应力分布和成屑机理的关键性因素。得到了铣削参数、刀具类型和铣削方式对高温合金蜂窝芯加工过程中加工损伤的影响规律。对于铣削参数, 过大的进给量会导致芯格变形等加工损伤, 降低切削速度会提高微小毛刺等加工损伤发生的频率; 本文采用的三种刀具的对比结果表明, 立式铣刀加工质量最好。插铣方式会产生明显的轴向冲击, 而侧铣方式可以有效避免轴向冲击。研究成果为高温合金蜂窝芯低损伤高性能加工提供了理论依据和工艺技术储备。

296 磨料水射流单次铣削钛合金截面轮廓特征预测

万亮 钱亦楠 涂翊翔 杜航 巫世晶 李登



摘要: 钛合金广泛应用于航空航天等领域, 但存在加工困难和加工效率低的难题。磨料水射流技术具有冷态和能量密度高等特点, 加工钛合金优势明显。为探究磨料水射流铣削钛合金的特性, 综合考虑射流压力、磨料流量、靶距、射流角度和进给速度五个因素加工截面轮廓的影响, 以 TC4 钛合金为试样进行单次铣削正交实验, 并以截面轮廓最大深度 h_{max} 、最大宽度 b_{max} 和半深宽度 $b_{0.5}$ 为特征评价目标。首先通过量纲分析法建立了预测截面轮廓特征的经验模型, 然后根据轮廓特征影响因素的非线性特点建立了 BP 神经网络预测模型, 再引入 PSO 算法对模型的权重进行全局优化建立了 PSO-BP 预测模型。研究表明: 三种模型预测的平均误差均小于 10%, 经验模型的预测精度高于 BP 网络模型, 但低于 PSO-BP 网络模型。与 BP 网络模型相比, PSO-BP 网络模型的 h_{max} 、 b_{max} 、 $b_{0.5}$ 的平均误差分别下降了 25.09%、14.67% 和 9.66%, 优化后的模型显著提高了截面轮廓特征预测的准确度, 可为提高磨料水射流铣削钛合金效率提供工艺参数指导。



摘要: 针对磁悬浮铣削电主轴在切削过程中因切屑进入刀具容屑槽中而导致“刀具-主轴”系统质量变化,进而引起系统回转精度不稳定的问题,以变质量质点理论为依据建立“切屑-刀具-主轴”系统的变质量动力学模型。分析系统的不平衡质量变化时所引起的系统振动,进而导致磁悬浮轴承定/转子间气隙磁场不均所产生不平衡磁拉力,并利用等效磁路法建立不平衡磁拉力模型。利用 Riccati 传递矩阵法求解磁悬浮铣削电主轴转子-刀具系统的稳态动力学模型,得到系统的模态参数和初始偏心质量影响下的不平衡响应。考虑铣削力、变质量力、切屑质量不平衡离心力和不平衡磁拉力等因素,采用 Newmark- β 算法求解磁悬浮铣削电主轴转子-刀具变质量系统的瞬态动力学模型。对系统从起动到切削过程的动态响应进行仿真分析,结果表明,质量不平衡是影响磁悬浮铣削电主轴转子-刀具系统稳态响应的主要因素;在切削过程中,变质量力是影响系统瞬态响应的主要因素;不平衡磁拉力对系统响应的影响与系统的稳定性成负相关与系统的振幅成正相关。

CONTENTS

- 1 Type Synthesis of New Kinematic Bifurcation Parallel Mechanism Based on Atlas Method**
LI Yongquan ZHENG Tianyu JIANG Hongsheng ZHANG Duo ZHANG Lijie
- 18 Kinematic Performance Analysis of Spatial 2-DOF Redundantly Actuated Parallel Manipulator**
WANG Shijie FENG Wei LI Tiejun ZHANG Jianjun YANG Dong LIU Jinyue
- 28 Calculation Method of Contact Fatigue Life of Spiral Bevel Gears Considering Residual Stress**
ZHOU Changjiang WANG Haoye JIN Guanghu AI Yongshen
- 39 Adaptive Neural Network Based Approach for the Analysis of Small Failure Probability with Multiple Modes**
WANG Pan XIN Fukang DENG Yaquan ZHANG Hao
- 51 Research on Dynamic Modeling and Parameter Identification of 2R Coupling Drive Joint**
LU Hao GUO Shijie YANG Zhiqiang CHEN Li DENG Fei WANG Hongbo
- 65 Dynamics Modeling, Force Optimization and Force/Position Hybrid Control for a Vex4 Redundantly Actuated Parallel Robot**
WANG Yaojun ZHANG Haifeng LI Qinchuan
- 75 Analysis and Verification on Working Principle of a New Deployable Mobile Robot Based on Rigid Origami**
YANG Fufu LU Shuailong SONG Yaqing ZHANG Jun YAO Ligang
- 88 Research on Hand Rehabilitation Device Based on 3D Soft Actuator**
MA Kaiwei GAO Shuang JIANG Zhenjiang FAN Baojie XU Fengyu
- 98 Research on Inductive Oil Contaminant Detection Sensor Based on High Gradient Magnetic Field Structure**
BAI Chenzhao WANG Chengjie WANG Xiaotian YU Shuang ZHANG Hongpeng LI Wei
SUN Yuqing LI Guobin

- 106 Shielded Soft Capacitive Sensor for the Measuring of Normal Force and Shear Force**
HAO Yufei LI Changsheng
- 114 Global Identification of Linear Parameter-varying Vibration Systems**
CAI Yu LIU Xu CHENG Yinghao
- 123 Research on Generalized Smooth Logarithm Regularization Sparse Decomposition Method and Its Application in Compound Fault Diagnosis of Gearbox**
SONG Zeshu HUANG Weiguo SHI Juanjuan WANG Jun SHEN Changqing GUO Jianfeng
LIU Jinzhao ZHU Zhongkui
- 138 Vibration Energy Harvesting Mechanism and Dynamic Characteristics of a Compound Tri-stable Piezoelectric Vibratory Energy Harvester Combining a Linear Amplifying Mechanism and Nonlinear Magnetic Force**
ZHENG Youcheng ZHU Qiangguo ZHAO Zexiang JU Yang LI Ying LIU Zhoulong
ZHOU Shuo WANG Guangqing ZHANG Beiqi
- 151 Nonlinear Dynamics Study of Giant Magnetostrictive Actuator Systems Based on Fractional Damping**
YAN Hongbo FU Xin WANG Jianxin YU Juncheng
- 164 Research Progress on Defect Characteristics and Influencing Factors of Variable Angle Fiber Placement**
JIN Ziang HAN Zhenyu XIANG Yu SUN Shouzheng FU Hongya
- 178 Data-driven Machine Tools Motion Control Error Modeling Method Using Control Signal as Intermediate Value**
GUAN Yinxin YANG Jixiang DING Han
- 188 Research on 3D Printing of Continuous Fiber Self-reinforced Composites and Its Recyclability**
CAO Hanjie ZHANG Manyu TIAN Xiaoyong LIU Tengfei LI Dichen
- 196 Clustering Method of High-dimensional Time Series SCADA Data from Wind Turbines Based on Operational Laws and TICC Algorithm**
XIAO Zhao DENG Jiewen LIU Xiaoming DUAN Shuyong XU Shouliang
- 208 Experimental Study on the Effect of Laser Pit Texture on Bearing Capacity of Interference Fit in Service**
ZHOU Dan WU Liang XU Yi LAN Sen

- 218 Study on the Motion Characteristics of Solid Particles in Fine Flow Channel by Ultrasonic Cavitation**
LI Chen YUAN Mu XU Qingduo GE Jiangqin LI Zhian
- 227 Research & Application of Product Innovation Method Incorporating RE and BID**
LIU Xiaomin YANG Dong CHEN Liang FAN Shuai
- 240 Calculation and Research on Bearing Performance of the Aerostatic Guideway of Two-dimensional Motion Platform**
LU Zhiwei LIU Xiyao LU Han HUANG Peng ZHU Sida LIU Bo ZHANG Junan
- 251 Structure Optimization of Micro-hydrocyclone for Ultra-low Inlet Flow Rate**
XING Lei LI Xinya JIANG Minghu ZHAO Lixin CAI Meng
- 262 Construction and Application of 3D Printer with Solenoid Valve Micro-jet Function**
SANG Shengbo SHEN Zhizhong ZHOU Chuangang SUN Lei QUAN Long
- 271 Thermo-mechanical Modeling and Experimental Analysis of the Plain-woven CFRP Drill-exit Delamination**
SU Fei LI Feng LIU Guangtao
- 284 Material Removal Mechanism and Damage Behavior in High-speed Milling of High-temperature Alloy Honeycomb Core**
SHI Lanyu WANG Chenguang CHEN Jie GUO Guoqiang HUANG Wenbin AN Qinglong
MING Weiwei CHEN Ming
- 296 Prediction of the Profile Features of Titanium Alloy Milled by Abrasive Waterjet with a Single Pass**
WAN Liang QIAN Yinan TU Yixiang DU Hang WU Shijing LI Deng
- 306 Study on Dynamic Characteristics of Magnetic Suspension Milling Motorized Spindle Rotor-tool Variable Mass Unbalance System**
OUYANG Zhihai KANG Huimin LIU Houcai DUAN Lianghui CAO Zheng ZHOU Yue
JIANG Guan LI Wang

《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)

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 (院士) 王海斗 (教授) 王润孝 (教授) 王耀南 (院士) 孔祥东 (教授) 卢秉恒 (院士)
史玉升 (教授) 冯吉才 (教授) 权龙 (教授) 曲兴华 (教授) 朱胜 (教授) 朱荻 (院士)
朱向阳 (教授) 华林 (教授) 刘强 (教授) 刘少军 (教授) 刘军山 (研究员) 刘志军 (教授)
刘辛军 (教授) 刘检华 (教授) 刘雪峰 (教授) 刘献礼 (教授) 刘德顺 (教授) 孙伟 (教授)
孙汉旭 (教授) 孙逢春 (院士) 严新平 (院士) 杜雪 (教授) 杜朝辉 (教授) 李大勇 (教授)
李荣德 (教授) 李涤尘 (教授) 杨永强 (教授) 杨华勇 (院士) 杨兆军 (教授) 杨绍普 (教授)
何存富 (教授) 沈功田 (研究员) 张崢 (教授) 张义民 (教授) 张卫红 (院士) 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 (院士) 韩旭 (教授) 焦宗夏 (教授) 温激鸿 (研究员) 谢建新 (院士)
雒建斌 (院士) 廖维新 (教授) 谭建荣 (院士) 翟婉明 (院士) 熊蔡华 (教授) 融亦鸣 (教授)
戴一帆 (教授)

国际委员

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



ISSN 0577-6686



9 770577 668224

23