

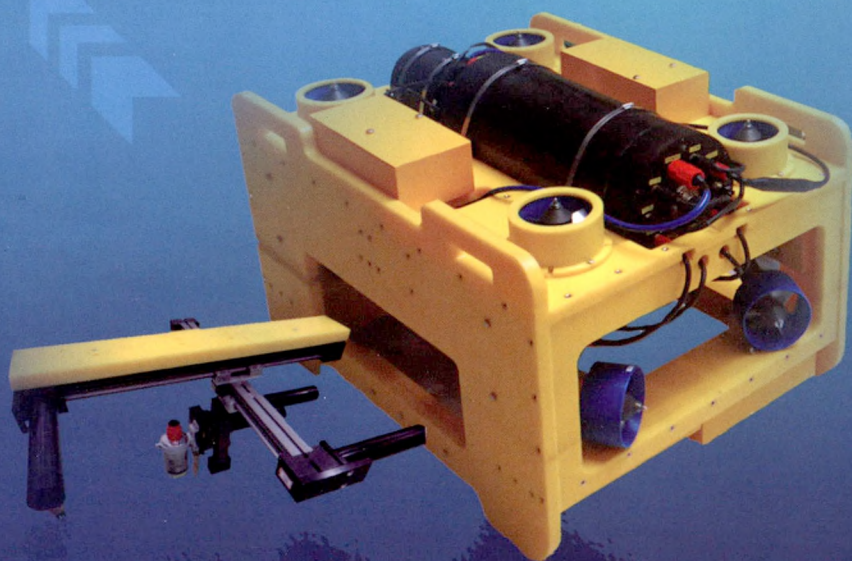
Q K 2 0 4 8 2 9 8
CODEN CHHKA2

机械工程学报[®]

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

类空化效应下的水下螺旋桨推进器推力预测

罗阳 李战东 陶建国 邓立平 邓宗全



中国机械工程学会 主办

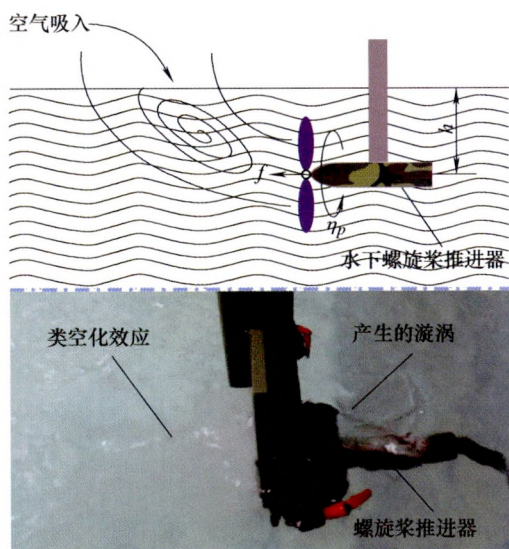
万方数据

2020年56卷17期 半月刊

/// 机器人及机构学 ///

1 类空化效应下的水下螺旋桨推进器推力预测

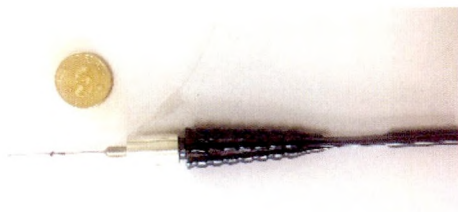
罗 阳 李战东 陶建国 邓立平 邓宗全



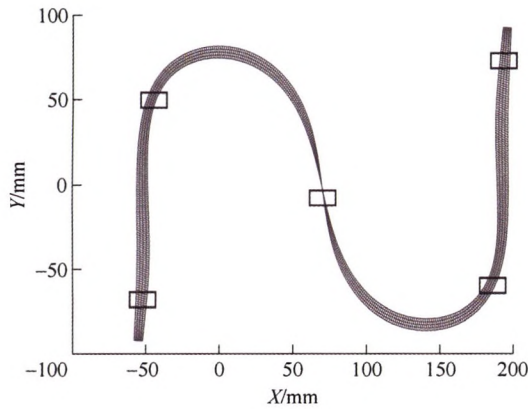
摘要: 类空化效应是由于水下螺旋桨推进器近水面高速旋转时, 在螺旋桨与水面之间形成漩涡, 从而将空气吸入桨内导致推进器效率极大降低, 引起推力损失和噪声的现象。螺旋桨推进器作为大多数水下机器人的唯一动力源, 类空化效应的产生将极大影响机器人运动控制的稳定性。提出了一种基于高斯过程的水下螺旋桨推进器推力预测方法, 可以实现类空化效应下的高精度推力预测。介绍了类空化效应并揭示类空化效应的产生机理。建立了基于贝叶斯估计的推进器推力模型, 对未出现空化效应时的推进器推力进行准确预测。在此基础上, 提出了基于高斯过程的推进器推力预测模型, 利用基于贝叶斯估计的推力预测模型与基于高斯过程的类空化误差补偿, 实现对类空化效应下的推力预测。通过试验验证了基于高斯过程的类空化预测模型的精确性与有效性, 为水下机器人近水面的高精度运动控制奠定基础。

12 具有微力感知的眼科手术器械的设计与实现

邬如靖 韩少峰 广晨汉 贺昌岩 马 科 杨 洋



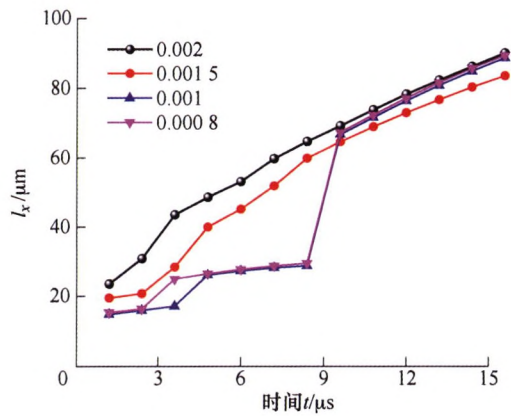
摘要: 针对眼内显微手术过程中器械与组织器官之间作用力微小、不易感知, 且过大的操作力会造成组织损伤甚至撕裂等问题, 设计一种基于光纤布拉格光栅(FBG)的微力传感器。在建立 FBG 反馈波长变化与力的关系基础上, 探讨了温度对波长变化的影响, 提出了温度补偿方法。利用自行研制的微力传感器标定系统进行传感器标定试验(精度 0.42 mN)。将所研制的微力传感器集成到眼内手术镊末端, 对离体猪眼球进行了连续环形撕囊操作试验。通过对 19 组数据分析, 得到最大撕囊力的平均值为 22.43 mN。研究对眼科手术的精准操作和手术机器人进行微力控制奠定了基础。



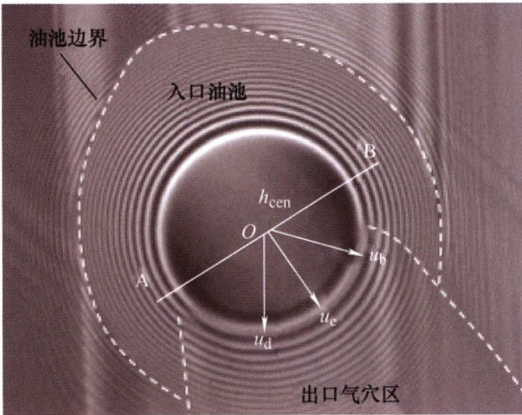
摘要：“S”形试件用于综合检测多轴机床的加工精度，但是由于“S”形试件理论切削误差的存在，导致多轴机床的精度检测产生偏差，因此，提出了一种有效减小理论切削误差的方法。基于双三次均匀B样条曲面模型建立了“S”形试件模型，获得了扭曲角在所选择的三条测量线上的分布规律，同时分析了扭曲角对“S”形试件理论切削误差的影响。此外，通过分析传统单点偏置方法的不足，提出了一种优化的单点偏置方法。基于此方法和CAD/CAM软件生成了“S”形试件的刀具轨迹。最后，通过试验验证了该方法的可行性。试验结果表明，基于优化的单点偏置方法产生的“S”形试件平均理论切削误差比传统的单点偏置方法降低了50.1%。此外，基于优化的单点偏置方法产生的理论切削误差近似小于0.005 mm，可以忽略不计。因此，所提出的方法可以有效地避免理论切削误差对多轴机床精度检测结果的干扰。该方法的核心思想可以直接应用到其他类型的检测试件。

216 气流对含气泡油滴撞壁铺展流动过程的影响

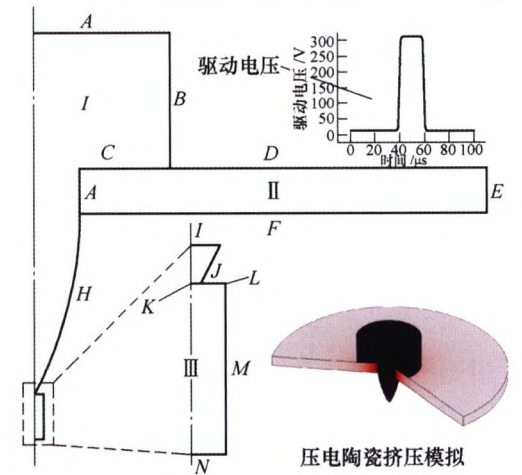
童宝宏 苏家磊 张国涛 郑楠 郭丹 王伟 刘焜



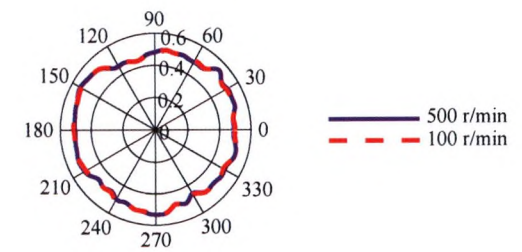
摘要：油-气润滑系统工作过程中，有效的润滑油膜是确保摩擦副润滑效果的关键，其形成质量与输送气流作用下含气泡油滴撞壁后的铺展流动过程密切相关。为探索该铺展流动过程，基于VOF(Volume of fluid)方法对输送气流作用下含气泡油滴的撞壁过程进行数值模拟研究。观察了输送气流作用下含气泡油滴撞壁后的铺展流动过程，探讨了气流入射角及碰撞-气流速度比对含气泡油滴铺展特性的影响，分析了铺展过程中的气泡破裂及中心射流机制。发现当气流方向与含气泡油滴碰撞方向(竖直方向)存在差异时，含气泡油滴撞壁后在x方向的铺展呈非对称性。随着气流入射角的减小，非对称铺展现象越明显。碰撞-气流速度比增大时，非对称铺展现象减弱。碰撞速度较低(碰撞-气流速度比小于4)时含气泡油滴撞壁后，上侧油膜厚度不断减小直至达到极限值，最终在气流拖曳力、黏性剪切力及表面张力的共同作用下发生破裂。碰撞速度较高(碰撞-气流速度比等于4)时含气泡油滴撞壁后，其内部产生的速度涡旋致使部分铺展油液向气泡底部汇聚，中心射流得以形成。中心射流逐步发展直至穿透上侧油膜，气泡发生破裂。之后，气泡两侧油膜发生破碎并形成膜油滴，壁面油膜逐渐收缩成油膜层。



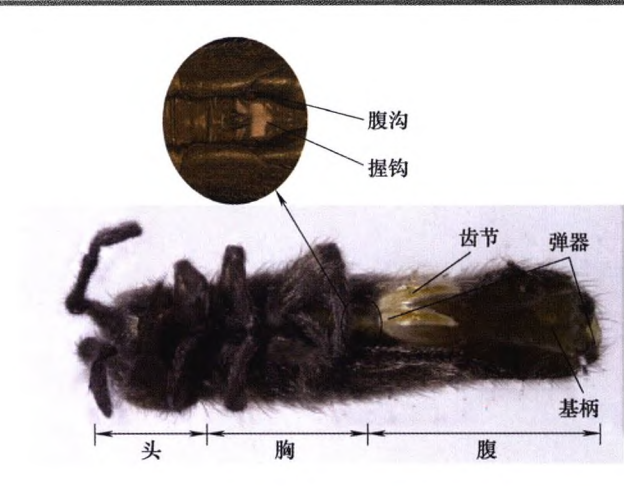
摘要：试验研究了异向卷吸作用对润滑剂回填增强效应和成膜特性的影响。采用球-盘点接触光干涉油膜测量仪，通过控制钢球运动方向产生卷吸速度与滑动速度呈夹角的异向卷吸作用。试验发现，限量供油条件下异向卷吸与同向卷吸相比，接触区入口供油状态得到明显改善，其特征是在入口区产生了与经典乏油工况不同的充盈油池，该油池的出现使油膜厚度接近于充分供油下油膜厚度。试验观察了不同角度、速度、供油量和黏度下的入口油池外形及非对称性油膜特征。接触副表面上侧带与滚道重叠并被卷吸到入口区，是入口油池形成的主要机制；热黏度楔效应是诱发油膜外形非对称性的原因；入口剪切热、侧泄、接触区热量向入口区迁移和剪稀效应，是润滑油膜厚度随角度减小的原因。试验结果表明，将经典的乏油边界条件应用于异向卷吸工况具有局限性。



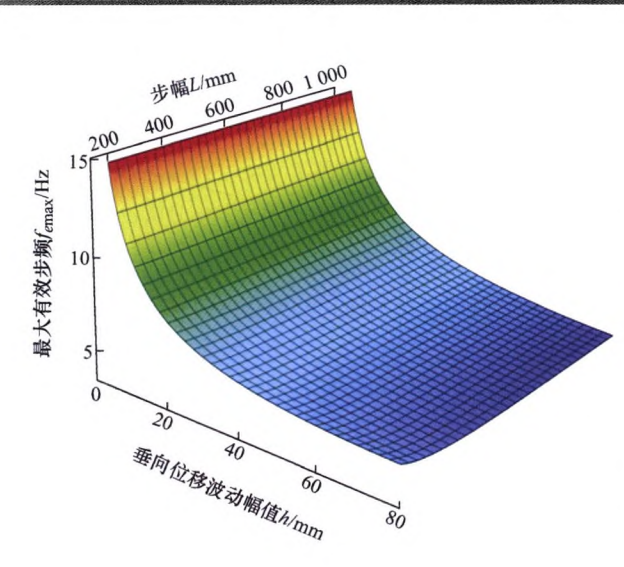
摘要：针对目前挤压管型压电式喷头结构复杂、组装工艺要求高及价格昂贵等问题，设计一种结构简化的环形压电陶瓷直接驱动喷射材料的微滴喷射装置。通过建立多物理场耦合压电式喷头微滴喷射两相流模型，研究驱动电压、流体黏度及表面张力等参数对微滴成形动力学行为的影响。在此基础上，利用构建的压电式喷头进行微滴喷射试验。结果表明：驱动电压幅值与产生微滴的速度及体积大小呈线性关系，喷射材料黏度增大产生的微滴喷射速度及体积减小，表面张力直接影响液滴形成过程的喷射材料液体丝带长度及断裂距离；采用喷嘴孔径为 65 μm 的喷头，在稳定喷射条件下，可按需产生直径约 80 μm 的均匀微滴，验证了设计的直接驱动式压电喷头按需产生均匀微滴的可行性。



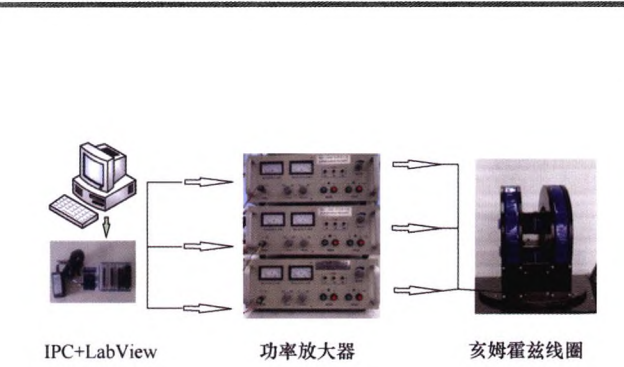
摘要：回转精度是衡量主轴加工性能的重要指标。现有的回转精度测量方法通常借助标准球并在空转条件下进行，无法计入切削载荷等负载带来的影响，难以反映主轴在切削状态下的真实精度。针对该问题，提出一种基于动力学模型的主轴回转精度动态预测方法。首先建立高保真的高速主轴-轴承系统动力学模型，并将切削力等激励载荷作为输入边界条件。然后利用测力仪测量、修正切削力，并将其输入动力学模型，实现主轴振动响应和径向回转误差的动态预测。设计并制作一套主轴回转误差在线测量装置，对回转精度预测结果进行试验验证。将不同切削工况下的仿真与试验结果进行对比分析，结果表明提出的方法能够准确预测主轴回转精度的变化规律，可以为主轴加工性能评估提供依据。



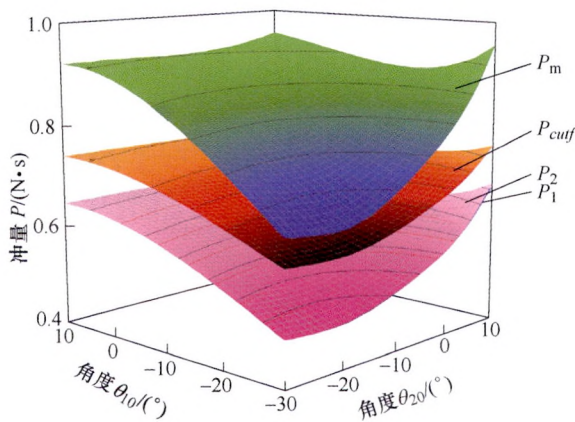
摘要：针对弹尾虫的生物体结构与运动特性，复合轮式与跳跃运动设计了一种新型跳跃机器人。利用弹尾虫独特的跳跃运动机制设计了跳跃原理结构，并使用拉格朗日法完成跳跃原理结构着地起跳、腾空阶段动力学方程的构建与仿真，分析并验证了跳跃过程及跳跃原理的可行性。通过轮式结构的复合设计，使得机器人具备平衡轮式移动特性，展现跳跃原理结构的可移植性。搭建机器人控制系统，使用3D打印技术完成样机制作，最终设计机器人长15 cm、宽9.5 cm、高7.5 cm，整体重268.6 g。试验测试表明，机器人具备快速连续运动性能，1 s内完成能量蓄积与释放，0.5 s内实现姿态复位；具备多运动模式，可实现高20 cm、远15 cm的跳跃动作，同时可完成跳跃后的姿态复位，平衡轮式移动以及传统平衡小车难以实现的倒地后自主平衡复位。



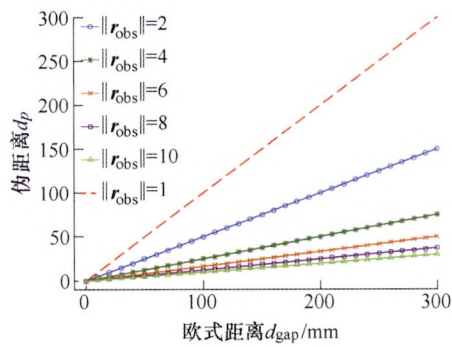
摘要：提出一种闭链多足移动系统的足地接触轮廓曲线设计方法，用于补偿在行走过程中因闭链连杆机构的足端轨迹不可调整而导致的机身垂向位移波动，从而有效提高移动速度并提升驱动效率。首先，针对由曲柄驱动的闭链多足移动系统进行运动特性分析，获得机身垂向位移波动与最大有效步频之间的函数关系，确定机身垂向位移波动幅值为限制移动速度提升的关键因素。其次，采用矢量环路法建立并求解机械腿的运动学模型，基于反转法原理在小腿坐标系下构造与机身固定的虚拟地面，由运动周期内小腿姿态随曲柄相位的连续变化形成虚拟地面直线簇，求解包络线方程得到足地接触轮廓曲线。然后，根据轮廓曲线的补偿相位进行闭链多足移动系统的整机布置设计，并基于ADAMS软件进行垂向位移波动、行走速度和缓坡负重行走的动力学仿真分析。最后，设计制作原理样机并开展平地测速试验和缓坡负重行走试验，验证了应用所提足地接触轮廓曲线设计方法补偿机身垂向位移波动以提升行走速度和驱动效率的可行性。



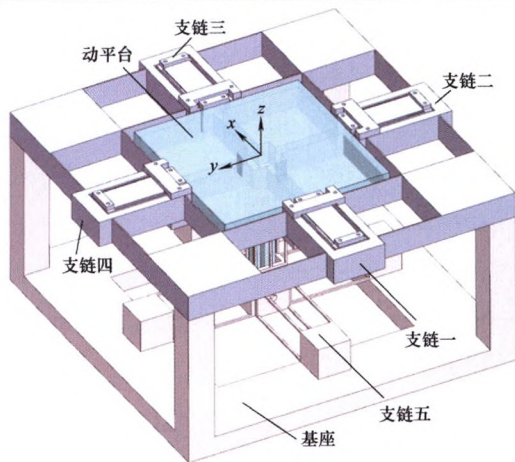
摘要：为实现微型机器人无缆驱动，设计一种基于磁弹性复合材料的磁控微型软体爬行机器人，通过三维亥姆霍兹线圈构建变换空间磁场，控制磁性材料产生磁力矩，并耦合机器人重力、摩擦力及自身的弹性变形，使得机器人实现多个连续的姿态变换，完成爬行动作。介绍微型软体爬行机器人结构和制作流程，建立机器人准静态力平衡方程，利用Abaqus有限元仿真和试验对比分析了机器人弯曲变形、接触面摩擦、爬行步长、转向等运动特性，在此基础上建立机器人爬行动作的速度模型，研究控制信号频率与幅值对机器人爬行速度的影响，并最终实现爬行机器人的路径规划控制。试验和仿真结果表明，该机器人能实现在xy平面内任意方向的爬行动作，为进一步揭示磁控微型机器人的运动特性及规律奠定了基础。



摘要：研究变胞机构在构态切换过程中的冲击问题。根据变胞机构的变胞方式，将构态切换时产生的冲击运动分为静冲击运动和动冲击运动两类。采用 Newton-Euler 方程分别建立变胞机构的静/动冲击动力学模型，并结合经典碰撞理论和恢复系数方程，推导出构态切换时变胞构件的静/动冲量求解模型。对变胞机构的静/动冲击动力学模型进行等效分析，分别求得变胞运动副处的冲量与静/动冲量之间的函数表达式，并以此为基础，结合树系统内部冲击动力学理论，建立变胞机构非变胞运动副处的冲量求解模型。以平面 3 自由度变胞机构和平面纸板折叠变胞机构为例，研究机构在构态切换时的冲击问题并进行数值仿真计算，分析不同输入特性和恢复系数对机构冲击运动的影响。所提理论与方法也适用于多系统内部构件之间冲击问题的研究。

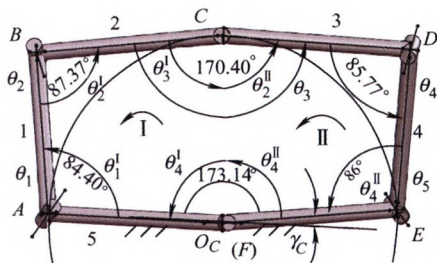


摘要：针对冗余机器人避障问题，提出一种基于伪距离且无需主从任务转换的冗余机器人避障算法。采用具有解析式的伪距离算法计算机器人与障碍物之间的接近程度，通过分析伪距离与欧式距离换算关系求取机器人与障碍物之间最小欧式距离，从而提高冗余机器人与障碍物之间的最小欧式距离求解效率。基于最小伪距离判别指标，在机器人末端轨迹上赋予末端沿最小距离方向避障速度实现末端避障。在零空间避障问题求解中提出一种自适应阻尼控制方法，产生虚拟排斥力使机器人连杆远离障碍物，并自适应调整阻尼增益参数响应避障速度。通过七自由度冗余机器人的仿真和试验验证了该算法的高效性和有效性。仿真结果表明，该算法提出的末端避障方法避免了传统的主从任务转换避障算法在任务切换时所引起的末端振荡且缩短了避障时间，同时该算法提出的零空间避障方法能够在低误差跟踪末端期望轨迹下避免机器人连杆与障碍物相碰撞。试验结果表明，该算法能够完成多障碍物避障，验证了该算法的末端避障方法和零空间避障方法的正确性。



摘要：为设计具有毫米级运动行程、良好的静、动态特性且结构多样的三维平动柔性微定位平台。首先，提出两种新型的多自由度大行程柔性运动副。其次，基于该运动副，给出三种新型大行程空间平动柔性微定位平台实例。然后，采用非线性方法建立平台力位移关系、输入耦合及丢失运动的理论模型，并采用柔度矩阵法建立平台的刚度及固有频率模型。随后，以提高平台的静、动态性能为目标对平台进行参数寻优。最后对平台进行有限元分析，验证理论模型的正确性。根据理论与仿真结果，平台一阶固有频率为 49.6 Hz，在 1 mm 运动行程内，x、z 轴方向的丢失运动分别小于 0.32%、0.7%，输入耦合小于 1.2% 且输出完全解耦。为空间平动柔性微定位平台的设计、分析及优化提供了一种系统化的研究方法。

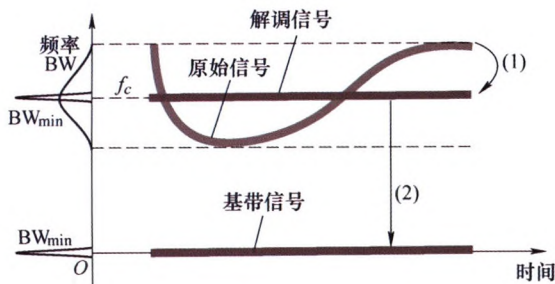
82 7 杆 Goldberg 机构的结构参数和位移方程



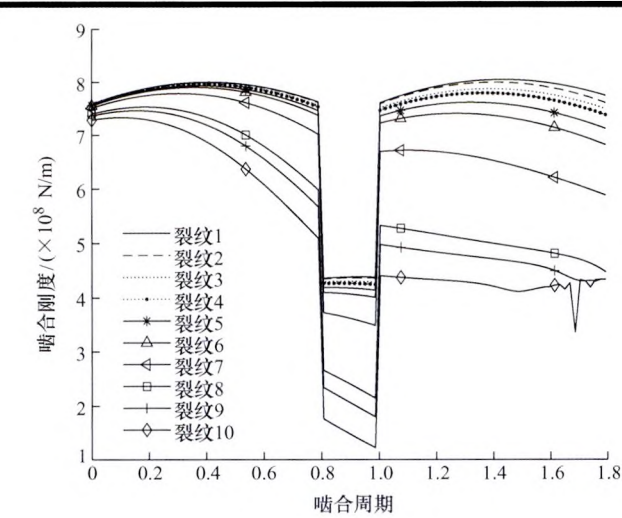
摘要：目前，5 杆和 6 杆 Goldberg 机构的闭环位移方程都是用相邻杆件外角表示的。为了能更清晰和直观地表达多杆 Goldberg 机构相邻杆之间的角度关系，给出了用相邻杆件内角表示 5 杆和 6 杆 Goldberg 机构的位移方程。通过对 5 杆和 6 杆 Goldberg 机构的分析，提出了一种新的 7 杆 Goldberg 机构，给出了它的用相邻杆件内角表示的结构参数方程和闭环位移方程。通过实例验证了 7 杆 Goldberg 机构的闭环位移方程和输入输出方程的正确性。分析并给出了 7 杆 Goldberg 机构的存在条件：除了满足连杆和连架杆必要的 Bennett 约束条件之外，还必须满足不同虚拟环路的机架共线的条件。在理论上拓宽了 Goldberg 机构的概念和应用范围。

机械动力学

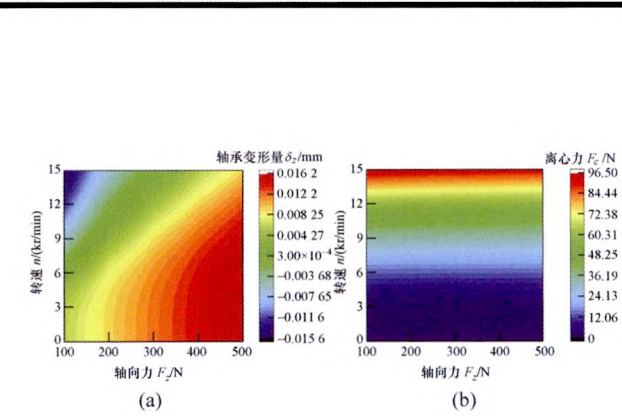
91 信号分解及其在机械故障诊断中的应用研究综述



摘要：重大装备制造业是国民经济的支柱，也是关系到国家安全的战略性产业，而重大机械装备的运行安全一直是备受关注的焦点。机械设备由于工作环境恶劣、工况复杂，其关键部件容易受损，导致设备性能退化，甚至造成设备崩溃。健康状态监测和故障诊断是保证重大机械装备安全运行的必要手段。通过信号分解可以抑制机械振动信号中的环境噪声和无关成分干扰，从而有效提取故障特征，因此信号分解在机械故障诊断中发挥着关键作用。目前，围绕信号分解理论及其在机械故障诊断中的应用，国内外学者开展了大量研究工作。首先，从时域、频域和时频域三个方面系统综述了国内外学者对信号分解理论的研究现状；其次，从轴承、齿轮和转子碰摩三个方面详细梳理了信号分解在机械故障诊断中的应用研究现状；最后，归纳总结了信号分解及其在机械故障诊断应用中面临的挑战。



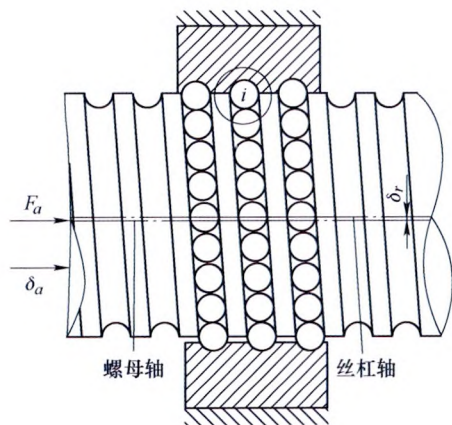
116 联合载荷下角接触球轴承的动态特性分析



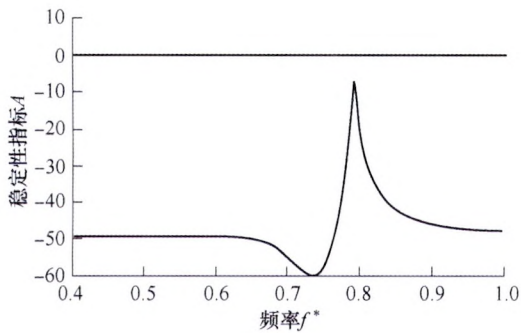
摘要：齿轮系统在复杂的工况条件下，容易产生裂纹故障，对正常运转造成困难。时变啮合刚度作为齿轮传动系统重要内部激励之一，刚度的变化能够良好地反映齿轮的动力学响应，因此使用精确的刚度算法能够有效地进行齿轮系统动力学特征分析。考虑齿轮过渡曲线函数，通过分析完整的齿廓曲线，采用势能法计算齿轮时变啮合刚度，研究 10 种不同裂纹长度的刚度变化。考虑时变啮合刚度和齿间滑动摩擦，建立 6 自由度齿轮系统动力学模型，利用 Runge-Kutta 法仿真求解齿轮不同裂纹长度时的动力学响应。通过分析位移响应发现齿轮存在裂纹时会产生冲击特征，随着裂纹长度增加，冲击特征越来越明显。最后比较分析了多种统计指标随裂纹扩展程度的变化趋势，结果表明峭度指标对故障特征最为敏感。

摘要：高速轴承是我国国民经济和国防工业急需的关键零部件，基于非线性弹性赫兹接触理论以及琼斯哈里斯模型，在原有三自由度动力学模型的基础上，提出一个五自由度拟静力学分析模型，考虑离心力，陀螺力矩，接触角等因素的影响。从角接触球轴承(Angular contact ball bearing, ACBB)内部几何关系入手，根据勾股定理列出几何平衡方程，分别对滚珠和轴承内圈进行受力分析，列出受力平衡方程，采用牛顿拉夫逊方法结合迭代步长调节因子对平衡方程组进行求解。通过求解特定工况下的轴承刚度和轴承动态参数与已有文献的结果进行对比，验证本文方法的准确性，稳定性和通用性。根据已建立的动力学模型，分别开展轴承外载荷和转速对轴承动态特性的研究。结果表明，在联合载荷作用下，轴向和径向载荷对轴承动态参数和轴承刚度有重要影响，且两者在一定程度上相互制约。力矩对轴承的动态特性影响较小。

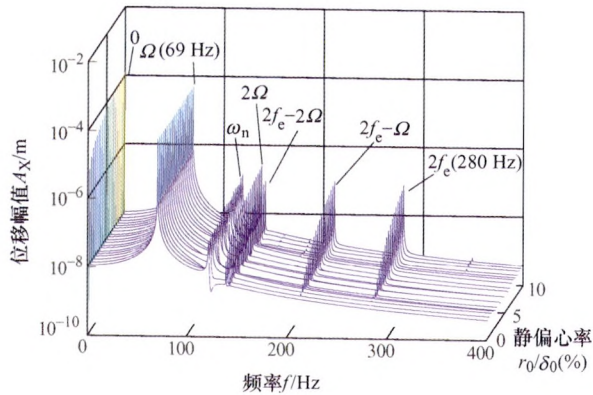
126 复合载荷下滚珠丝杠副全滚珠载荷分布建模与分析



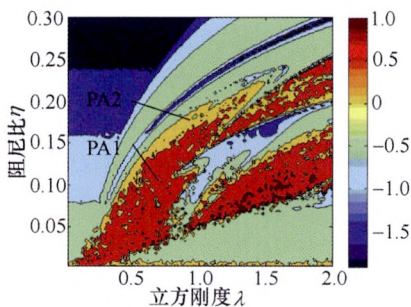
摘要：滚珠丝杠副是将旋转运动转换直线运动的精密驱动部件，对数控机床的传动精度有着重要影响。在外载荷作用下以往都是假定所有滚珠与滚道的接触载荷均匀一致的，忽略了各滚珠接触载荷的差异性，严重影响滚珠丝杠副定位误差补偿的准确性。为提高定位精度，提出一种全滚珠载荷分布模型，分析了在轴向载荷和径向载荷复合作用下所有滚珠动静态接触载荷分布状况。通过与有限元建模分析比较，验证模型的准确性。在此基础上分析了滚珠几何误差对滚珠动静态接触载荷分布的影响。基于全滚珠载荷分布模型和弹性变形理论，利用数值仿真获得复合载荷下滚珠丝杠副的位置偏差及位置跳动量变化情况。试验结果表明，提出的复合载荷作用下考虑滚珠几何误差的载荷分布模型，对提高滚珠丝杠副的位置精度预测及其定位误差补偿有较好的参考意义。



摘要: Sommerfeld 效应是由于非理想原动机在转子系统临界转速附近无法提供足够的动力而产生的一种非线性跳跃现象。研究了由感应电动机驱动的一个质量偏心单盘转子系统的 Sommerfeld 效应及不平衡响应。将感应电动机的动力学模型引入到转子系统中，建立了电动机-转子系统动力学模型。在充分考虑电动机与转子系统相互作用的基础上，得到了供电频率与转子转速之间的关系表达式，并进行了稳定性分析。对具有不同质量偏心的电动机-转子系统的不平衡响应进行了分析，并基于 Matlab/Simulink 进行了仿真验证。结果表明：当转子偏心质量与转子总质量的质量比 $\eta < 0.026$ 时，电动机能够提供足够动力使转子系统平稳通过临界转速，电动机-转子系统不会出现 Sommerfeld 效应；当质量比满足 $0.026 < \eta < 0.083$ 时，在转子系统临界转速附近，电动机所提供的最大电磁转矩小于转子系统平稳通过临界转速所需输出转矩，电动机-转子系统出现 Sommerfeld 效应；当 $\eta > 0.083$ 时，随着感应电动机供电频率的增加，电动机将无法提供足够的动力使转子系统通过临界转速，转子系统转速将始终低于临界转速。通过研究，可以为转子系统的动力设计与选型提供借鉴。

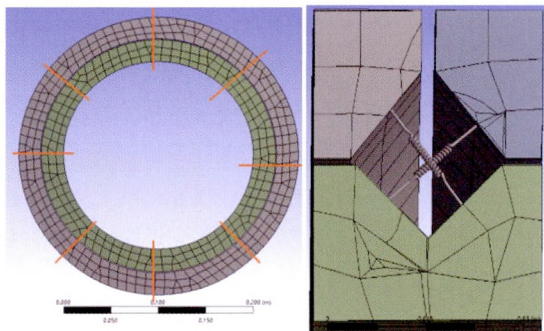


摘要: 针对重力载荷下具有初始静偏心的动车牵引电机转子振动特性，首先利用磁势乘磁导法和 Maxwell 应力张量法给出了具有静气隙偏心故障和任意磁极对数的电机空载/负载运行下的不平衡磁拉力统一解析表达式，然后采用 Jeffcott 模型建立了不平衡磁拉力、机械不平衡力和重力共同作用下的某型动车牵引电机转子系统动力学方程，并采用 Runge-Kutta 算法求解系统动力学响应，最后重点讨论了初始静偏心和重力载荷对牵引电机转子轴心轨迹和位移频谱的影响规律。结果表明：① 重力载荷对电机转子系统的影响等价于在重力方向上施加一个恒定静偏心量，其与初始静偏心的矢量叠加组成气隙的综合静偏心量；② 综合静偏心量的大小和方向影响转子轴心轨迹的位置和方向，偏心量越大转子轴心轨迹的偏移距离也越大且偏移方向沿静偏心方向；③ 静偏心量的增大使该型牵引电机转子轴心轨迹略微增大，可以认为基本不变，同时，静偏心量增大也使转子位移频谱成分更加显著和多样化。

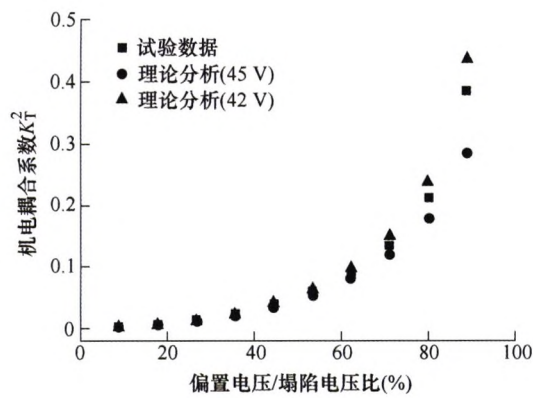


摘要: 为提高超大长径比超临界汽轮机转子内孔的加工精度,研究了高速 BTA 深孔精密扩孔工艺中的钻杆(刀轴)横向振动问题。通过建立以流体扰动为主要诱因的深孔钻杆系统的非线性横向振动模型,运用 Melnikov 方法分析了流体扰动下系统横向非线性振动的混沌性态;利用图胞映射理论研究多初值条件下的流体扰动对 BTA 深孔加工系统安全盆地中吸引子和吸引域的流形变化,明确了在多初值条件下,该系统吸引子的运动特性。结合分岔、最大 Lyapunov 指数、双参平面分岔等特征,分析了流体扰动激励下 BTA 深孔切削系统随各类参数变化的非线性动力行为,通过双参平面分岔分析,讨论了该系统在双参变化时的非线性动力特性,揭示了 BTA 深孔加工系统在单参、双参变化时的非线性动力行为演变机制,并对系统横向振动的混沌参数域进行了解析,得到系统在双参数平面上混沌运动、稳定周期运动的参数域。该研究结果可为 BTA 深孔切削加工的生产实践提供一定理论指导。

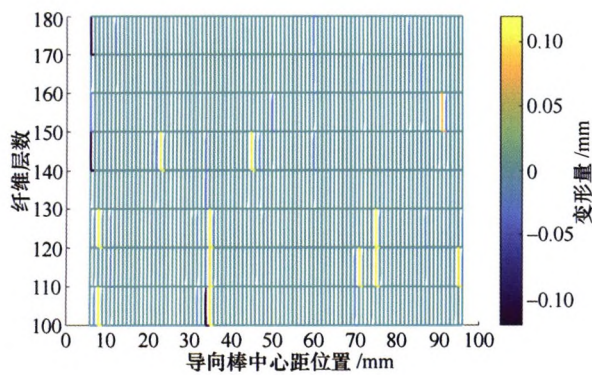
/// 数字化设计与制造 ///



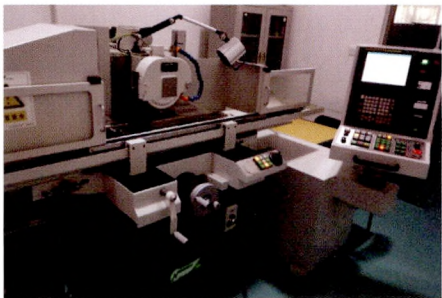
摘要: 提出一种针对多零部件、大重量级的机床的分块建模、分块试验拟合的建模方法。以摆角铣头为实例,将摆头划分为几个模块,模块之间以结合面、轴承等非固结连接结构为分界,建立起等效的动力学模型;分块进行激励试验,基于试验数据通过优化算法得到结合面及轴承参数。最后整合成整机模型,并通过频响函数预测并验证模型可靠性。相比于先建模、后进行试验验证的传统建模方法,分块建模方法精度更高、能更好地总结误差来源,方便对比研究建模中各种简化方案对最终整机结果的影响,可以推广应用到其他机床。针对摆头模型的特殊性,提出了动态和静态两种模型边界条件,基于此模型对位姿与频响函数的关系分析动静特性的影响因素,优化摆角铣头结构。



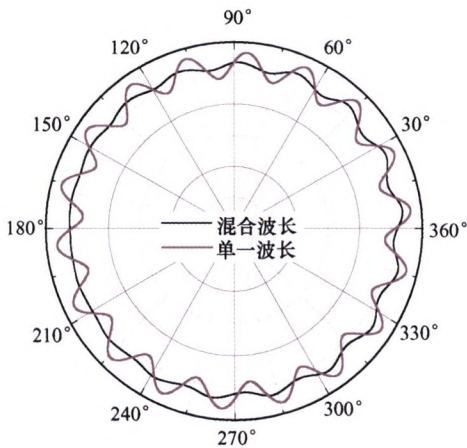
摘要：电容式微加工超声换能器(CMUTs)在便携式超声成像与治疗、家庭超声诊断系统、基于超声波的非接触式人机接口等领域具有极其可观的应用前景。实现低功耗、高机电耦合系数 CMUTs 的研发是解决上述应用需求的关键，而这就需要对 CMUTs 机电耦合系数的变化规律及其对功耗的影响具有更深入的理解。针对圆形和方形薄膜 CMUTs，利用基于固定电容和自由电容比值的原理建立了圆形和方形薄膜 CMUTs 的机电耦合系数解析式，同时利用有限元仿真和对已有 CMUTs 芯片机电耦合系数的试验测试来验证理论解析式的正确性；开展了机电耦合系数的参数化研究；建立了 CMUTs 功耗与偏置电压之间的函数关系。结果表明圆形和方形薄膜 CMUTs 的机电耦合系数解析式能在低于塌陷电压 96% 的偏置电压范围内准确分析不同偏置电压下的机电耦合系数。在相同偏置电压下，机电耦合系数随着空腔高度增加而降低，但随着薄膜半径增大而增加；在相同偏置电压/塌陷电压比下，具有不同结构参数的 CMUTs 机电耦合系数相同。此外，从功耗与机电耦合系数的内在关系研究中可知通过减小塌陷电压或提高在低偏置电压下的机电耦合系数则可实现低功耗和高机电耦合系数这两种相互制约的性能参数的协调设计。



摘要：为实现三维结构复合材料的高质量成形，研究了复合材料柔性导向三维多针织造成形过程中导向阵列的变形特征。利用导向阵列边缘导向棒的中心距变化情况进行导向阵列变形特征研究，主要采用图像处理手段对中心距大小进行分析，从而获得不同织物高度条件下导向阵列中心距的变化特征，并对成形后复合材料预制体的成形精度和内部质量进行分析，建立了具有微变形的导向棒压实协调变形模型，探究导向阵列变形对预制体成形质量的影响。基于复合材料柔性导向三维多针织造成形工艺，导向阵列边缘导向棒中心距整体呈高斯分布，导向阵列变形的主要原因是导向棒自身的变形，且随织造过程进行，导向棒变形加剧。在进行导向棒选择和布置时，应选择初始变形小于 1.4 mm，变形区幅宽与变形区中心高度之比大于 0.845 的导向棒，有利于减小导向阵列变形情况，避免成形过程使导向棒进一步变形的可能。



摘要：蓝宝石精密磨削过程中易产生表面裂纹、微观断裂、位错等缺陷，同时也会产生残余拉应力，对后续加工及性能发挥产生不良影响。采用热修复方法对磨削后蓝宝石表层进行处理，以氩气作为保护气，在不同热修复温度、保温时间以及降温速度等条件下，对 A、C、R、M 面的蓝宝石晶体进行热修复试验。结果表明，热修复方法能够有效降低表面残余拉应力，同时提升表面晶格完整性，其中热修复温度 1 500 ℃时残余拉应力降幅最高，可达 53%；随着热修复温度的增加以及热修复时间的增长，蓝宝石磨削表面残余应力逐渐降低，而且表面晶格完整性变好；随着降温速度增加，表面残余拉应力的降幅减小，热修复效果减弱；在不同晶向的蓝宝石中，R 面蓝宝石热修复后表面残余拉应力降幅最大；通过对抛光后蓝宝石进行热修复，观察到了表层原子重新排列的台阶结构。证实热修复方法为蓝宝石的低损伤加工提供了一种有效方法。



摘要：列车车轮多边形磨耗问题广泛存在于我国高速列车上，会显著增大轮轨之间的相互作用力，严重影响列车运行安全性和舒适性，其产生和发展机理值得探究。车轮多边形磨耗与钢轨波浪形磨损(简称：波磨)从磨耗特征来看较为相似，只是发生磨耗的载体不同，钢轨波磨是否对车轮多边形磨耗存在根本的影响值得深入研究。以我国某线路上运行的高速动车组列车为研究对象，通过建立车轮多边形磨耗仿真预测模型，结合现场试验数据，调查钢轨波磨对车轮多边形磨耗产生和发展的影响。研究表明，钢轨波磨虽然可以导致轮轨力和蠕滑率等磨耗关键参数沿车轮圆周发生周期性波动，但是在车辆实际运营条件下，钢轨波磨导致车轮多边形磨耗产生这一观点的成立条件极为“苛刻”，对车轮和钢轨波磨区段起始点的接触位置、钢轨波磨的波长以及车轮周长都有严格的要求。在实际中该条件难以满足。因此，钢轨波磨的存在并不是车轮多边形产生的根本原因。结果可为高速列车车轮多边形形成机理的相关研究提供参考和指导。

CONTENTS

- 1 Thrust Prediction of Underwater Blade-propeller-type Thrusters under Quasi-cavitation**
LUO Yang LI Zhandong TAO Jianguo DENG Liping DENG Zongquan
- 12 Design and Implementation of A Micro-force Sensing Instrument for Ophthalmic Surgery**
WU Rujing HAN Shaofeng GUANG Chenghan HE Changyan MA Ke YANG Yang
- 20 Design of Balanced Wheeled Jumping Robot Based on the Motion Mechanism of Springtail**
CHEN Ziming LU Jie DENG Peng GUO Yu LI Yanwen
- 29 Foot-ground Contact Contour Curve Design Method of Close-chain Multi-legged Mobile System**
RUAN Qiang YAO Yanan WU Jianxu
- 39 Motion Characteristics of Magnetic Control Micro-soft Crawling Robot**
XIANG Hongbiao LI Yan BA Jiancheng WANG Shoujun HUANG Xian XU Hang
- 48 Analysis and Simulation of Impact Problem of Metamorphic Mechanism Considering Configuration Transformation**
SONG Yanyan CHANG Boyan JIN Guoguang WEI Zhan LI Bo
- 59 Obstacle Avoidance Algorithm for Redundant Manipulators Based on Pseudo-distance Method**
WAN Jun YAO Jiafeng YU Liang ZHANG Liangan WU Hongtao
- 71 Design Analysis and Optimization of Large Range Spatial Translational Compliant Micro-positioning Stage**
CAO Yi WANG Baoxing MENG Gang LIN Miao ZHANG Hong
- 82 Structural Parameters and Displacement Equation of 7-Bar Goldberg Mechanism**
MU Dejun ZHANG Yitong LI Yanwen HU Bo LU Wenjuan
- 91 Review of Signal Decomposition Theory and Its Applications in Machine Fault Diagnosis**
CHEN Shiqian PENG Zhike ZHOU Peng
- 108 Vibration Characteristic Analysis of Cracked Gear Based on Time-varying Meshing Stiffness**
MENG Zong SHI Guixia WANG Fulin ZHAN Xuyang FAN Fengjie

116 **Analysis of Dynamic Characteristics of Angle Contact Bearings with Combined Loads**
LI Zhen GUAN Xianlei ZHONG Rui WANG Qingshan

126 **Modeling and Analysis of Full Ball Load Distribution of Ball Screw with the Combined Load**
ZHAO Jiajia LIN Mingxing SONG Xianchun LUO Weichao SONG Liwei

137 **Sommerfeld Effect and Unbalanced Response Analysis in Single Disk Rotor System with Eccentric Mass Considering Induction Motor Model**
KONG Xiangxi NIU Junkai LUO Yuanqing XU Qi

145 **Initial Static Eccentricity and Gravity Load on Rotor Orbit of EMU Traction Motor**
ZHOU Shengtong ZHU Jingwei XIAO Qian GUO Weinian ZHOU Xinjian

155 **Nonlinear Transverse Vibration Induced by Fluid Disturbance on BTA Deep Hole Precision Reaming System**
ZHAO Wu HUO Boyi HUANG Dan

165 **Finite Element Modeling Method and Analysis for Bi-rotarymilling Head Based on Experimental Parameter**
YANG Zhe LIU Chengying

173 **Analytical Expressions for the Electromechanical Coupling Coefficient of Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducers (CMUTs) and Its Effects on Power Consumption**
LI Zhikang ZHAO Libo LI Jie ZHAO Yihe XU Tingzhong LUO Guoxi GUO Shuaishuai
LIU Zicheng JIANG Zhuangde

182 **Study on Deformation of Three-dimensional Weaving Guide Array of Carbon Fiber Composites**
DU Wudi LIU Feng SHAN Zhongde WU Xiaochuan LI Siyuan

190 **Research on Thermal Repairing Characteristics of Sapphire Precision Grinding Surface**
LIANG Zhiqiang ZHONG Jin LIN Hai WANG Yinhui LUAN Xiaosheng WANG Xibin
YANG Haicheng SU Ying

198 **Effect of Rail Corrugation on Initiation and Development of Polygonal Wear on High-speed Train Wheels**
WU Yue HAN Jian ZUO Qiyu JIN Xuesong XIAO Xinbiao LIANG Shulin

209 **A Method for Reducing Theoretical Cutting Error of “S” Shaped Test Piece**
TAO Haohao FAN Jinwei WANG Peitong

216 **Effect of Airflow on the Spreading Process of Hollow Oil Droplets after Wall Impacting**
TONG Baohong SU Jialei ZHANG Guotao ZHENG Nan GUO Dan WANG Wei LIU Kun

225 Experimental Investigation into Enhancement of Lubricant Replenishment Induce by Angled Entrainment
LI Xinming ZHOU Guangyun GUO Feng ZHANG Jianjun

233 Numerical Simulation and Experimental Research of Micro-droplet Generation by Directly Actuated Piezoelectric Nozzle
XIAO Yuan ZHANG Wei WANG Pan LI Hongying

240 Dynamic Prediction Method for Machine Tool Spindle Rotational Accuracy under Cutting Condition
KANG Ting CAO Hongrui

《机械工程学报》第十一届编委会

名誉主任

钟群鹏 (院士) 路甬祥 (院士) 潘际銮 (院士)

名誉委员

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

主任

陈学东 (院士)

副主任

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

国内委员

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

国际委员

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



ISSN 0577-6686



9 770577 668200

17