



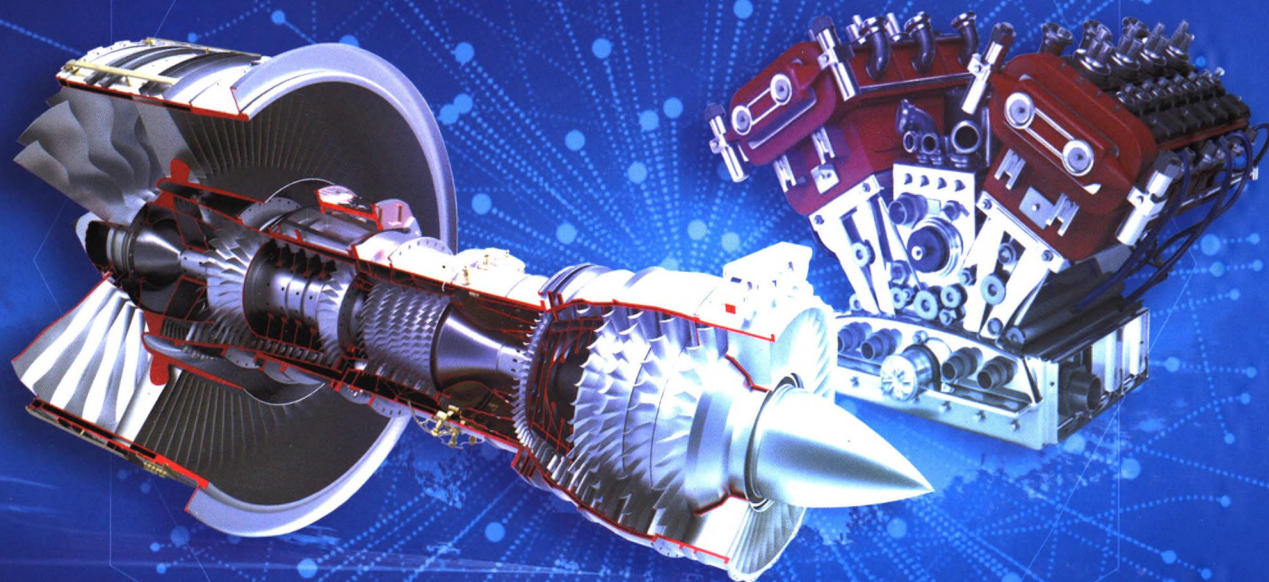
ISSN QK2020778
CODEN CHHKA2

机械工程学报[®]

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

iPoint3D曲面检测软件开发与工程应用综述

李文龙 李中伟 毛金城



中国机械工程学会 主办

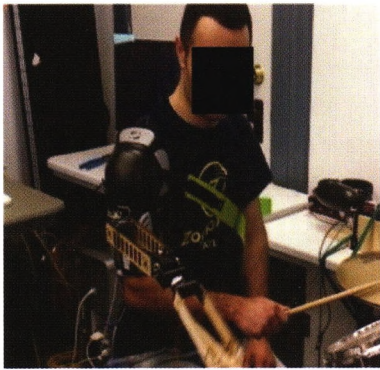
万方数据

2020年56卷7期 半月刊

/// 机器人及机构学 ///

1 外肢体机器人研究现状及发展趋势

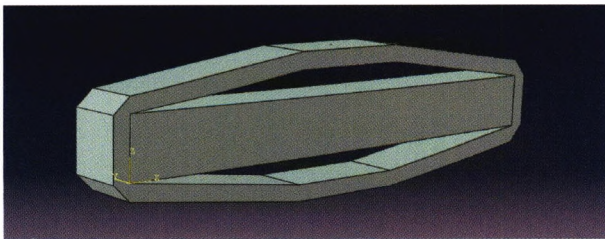
荆泓玮 朱延河 赵思恺 张清华 赵杰



摘要: 外肢体机器人是一种新型的可穿戴人体辅助设备,通过与人类肢体的对接融合、互助协作来提高人体活动、感知、操作等能力,在工业生产、医疗康复、助老助残及生活服务等领域都有着广阔的应用前景。分别针对当前国内外的外肢体机器人研究情况,对其本体结构、控制方法、应用领域等方面进行了综述。根据不同的本体结构与功能将外肢体机器人分为外肢体与外手指;根据结构柔顺特性将外肢体机器人分为刚性外肢体机器人与柔性外肢体机器人;归纳分析了外肢体机器人的控制方式,主要包括肢体映射控制、肌电信号控制与脑机接口控制;分析总结了外肢体机器人面临的技术挑战,并对外肢体机器人的技术发展趋势做出了展望。

10 压电驱动六自由度指向平台的力电耦合分析

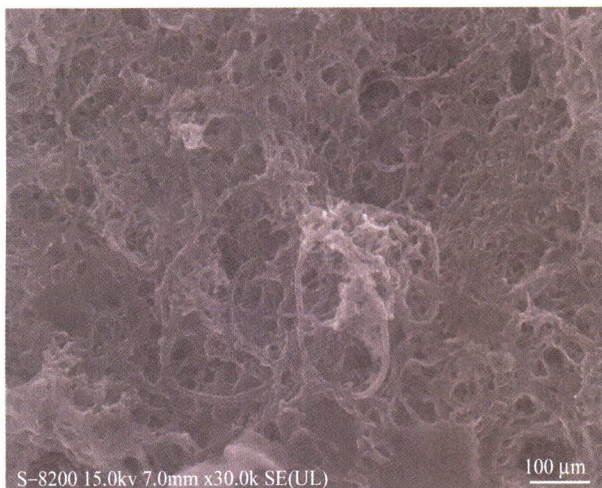
刘凡 周进雄 马小飞



摘要: 在高精度微调机构的研究中,面临的是一个包括多个部件、刚性与柔性并存、综合的力学-电学问题,对于机构的高精度微调指向性能以及后续的控制研究中,需要建立并得到整个系统的输入与输出的关系,即压电驱动器的输入电压和微调机构的指向关系。采用压电六自由度并联机构作为平台,基于压电材料的力电耦合理论,在考虑力电耦合效应、位移放大机构的弹性变形的影响下,提出并建立了平台的全系统解析和数值预测方法,其中分别包括了整个平台系统的部件级和系统级的分析理论及数值模拟方法。计算结果表明,所提出的解析和数值方法能够对此类六自由度平台的运动进行预测,通过压电驱动器的输入电压得到最终的平台输出姿态,这对高精度微调机构的设计提供了新的研究手段和重要指导依据。

231 碳纳米管对大粒度多层钎焊金刚石砂轮电解修整磨削性能的影响研究

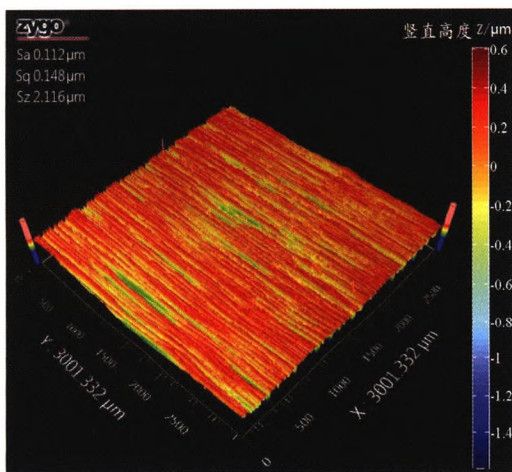
伍俏平 欧阳志勇 阳 慧 宋 琨 邓朝晖



摘要: 制备了一种含碳纳米管电解液以用于大粒度多层钎焊金刚石砂轮的电解修整,并分析了碳纳米管对电解氧化膜特性及电解修整磨削性能的影响。研究表明碳纳米管能显著提高电解液的电解能力,电解氧化膜厚度增大了 56.3%~80.2%,这有利于磨损磨粒的顺利脱落;螺旋卷曲状的碳纳米管在电解过程中能吸附、分布于氧化膜中,氧化膜的粘附强度增大了 30%~50%,这能充分发挥氧化膜的研磨、抛光效果。含碳纳米管电解液电解修整大粒度多层钎焊金刚石砂轮磨削力比普通电解液电解修整磨削力降低了 30%以上;磨削表面粗糙度小,且增长幅度相对平缓,即使当进给速度为 30 mm/s,磨削深度为 16 μm 时,表面粗糙度也仅为 0.15 μm 左右;含碳纳米管电解液电解修整大粒度多层钎焊金刚石砂轮磨削加工表面完整性较好,没有出现破碎、裂纹等加工缺陷,可有效实现超细晶硬质合金等难加工材料的高效精密磨削加工。

240 平面磨削粗糙表面的微观接触模型

安 琪 索双富 林福严 白玉柱 耿海旭 时剑文

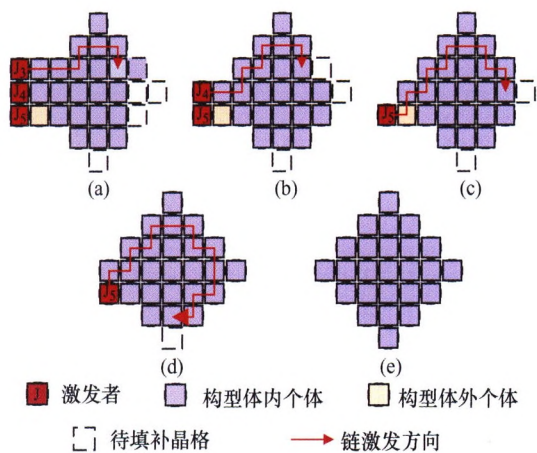


摘要: 通过拟合实测平面磨削表面单个微凸体的轮廓数据,提出一种采用半周期余弦曲线回转体等效微凸体的方法。通过对实测表面轮廓的峰谷标记处理,获得了等效微凸体轮廓的尺寸参数。结合高斯分布,建立了能够更加准确表征平面磨削表面形貌特征的模拟表面。在模拟表面的基础上,基于接触力学理论与统计学理论,重新解算了微凸体在弹塑性变形区间的临界压入深度。推导出接触区域内接触参数与接触压力的解析关系,进而建立起一种针对平面磨削表面的微观接触模型。最后将实测平面磨削表面的统计参数作为接触模型数据仿真的初始值,将本文模型与 CEB 模型以及 KE 模型就平均距离和真实接触面积的预测结果进行了对比分析。结果显示,在相同接触压力的条件下,该模型相比 CEB 模型与 KE 模型所得到的平均距离与真实接触面积的预测值更大,并且三者之间的差值随着接触压力的增加而逐渐增大。结合不同微凸体轮廓假设对平面磨削表面微凸体轮廓数据的拟合结果来看,该模型对于平面磨削表面接触参数的预测结果更加准确且合理。

71 第 9 届上银优秀机械博士论文奖——优秀奖

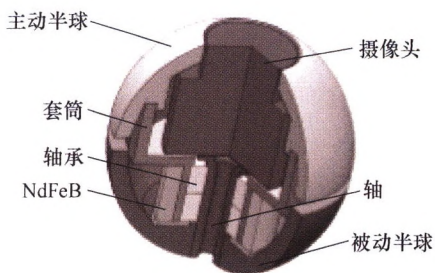
95 第 9 届上银优秀机械博士论文奖——佳作奖

118 第 9 届上银优秀机械博士论文奖——佳作奖



摘要: 针对复杂非结构环境下作业任务对机器人的多功能性、柔性化等特殊需求,以分布式、大规模晶格式集群机器人的局部交互与自主协作为基础,提出了一种机器人系统随任务柔性变形的成型方法。遵循“分层剥离、分层填补、迭代循环”的分层成型策略,将群体系统的全局行为转化为当前构型体外层个体的局部行为,从而使得大规模集群机器人的自主、有序成型成为可能。在分层成型策略指导下,设计了一种融运动链规划与执行为一体的集群机器人链式成型方法:依据“分层剥离”策略,通过边缘层内机器人个体之间的局部交互和协作,系统自主涌现出一条包含优先移动个体集的运动链,有效解决了群体成型过程中的“谁先走”问题;依据“分层填补”策略,通过个体成型规则引导运动链内个体沿构型体边缘有序地填充至待填补区域,解决了群体成型过程中的“怎么走”和“到哪里”问题。最后,设计并完成了一种晶格式、全向移动机器人本体模型和硬件实物,通过4类典型目标构型、数量多达169台机器人验证了集群机器人链式成型方法在通用性、可扩展性方面的有效性。这种“一套粒子、机机共融、一机多能”的新成型方式,可以实现通过“软编程”方式操控一群机器人自主、有序地完成给定二维目标构型任务的个性化定制。

27 双半球型胶囊机器人弯曲肠道内视觉导航方法



摘要: 为了实现主被动模态双半球型胶囊机器人在肠道内转弯行走,提出了一种视觉导航方法,首先利用动态调姿模态时胶囊轴线与万向旋转磁场轴线的同轴随动特性,并结合同一俯仰角和两个不同侧摆角下单目摄像头所拍摄的两幅无线传输图像确定摄像头的姿态,然后在摄像机坐标系内提取摄像头对准弯曲肠道时图像的暗区质心像素位置,在万向均匀旋转磁场条件下结合摄像头的姿态信息,通过计算固定坐标系下弯曲肠道图像暗区质心的方位来确定胶囊的视觉导航方位,最终确定胶囊转弯滚动磁场轴线方向,便实现胶囊在肠道内的视觉辅助导航作业。试验证明该方法可用于胶囊导航,不需要附加传感装置,胶囊结构紧凑,为实现胃肠环境内遍历检查与医疗作业奠定了基础。

35 基于豆荚杆的三棱柱式可展开薄膜支撑臂设计与优化

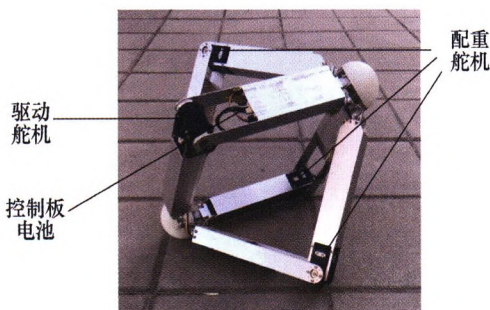
李冰岩 刘荣强 从强 郭宏伟 林秋红 邓宗全



摘要: 大型可展开支撑臂具有广泛应用于空间任务的潜力,传统的可展开支撑臂主要采用的是合金材料,而可展开豆荚杆作为一种轻型复合材料会大大降低空间结构整体质量。结合薄膜天线的应用背景,提出一种基于豆荚杆的三棱柱式可展开薄膜支撑臂形式,并进行设计与优化。建立豆荚杆支撑臂的参数化模型,分析豆荚杆刚度参数与几何参数的关系,根据支撑臂设计目标函数分析选择豆荚杆截面参数。研究三棱柱式豆荚杆支撑臂动力学优化模型,对支撑臂单元数、框架管外径和厚度、斜拉索直径和预应力等进行优化设计,实现薄膜支撑臂最小质量基频比。分析绳索预应力和单元数量的优化结果,研究参数优化对支撑臂力学性能的提高作用。

44 单自由度八面体概率滚动机器人

关永瀚 姚燕安 刘超



摘要: 提出一种由 10 个连杆, 12 个转动副构成具有八面体几何形态的单自由度概率滚动机器人,利用单自由度缩放变形实现定向前进步态和概率转向步态交替进行的翻滚运动。运用螺旋理论计算自由度,进行运动学分析和运动可行性分析,讨论了稳定性和翻滚条件,建立动力学模型进行仿真。在进行定向前进步态时机器人的移动方向是确定的;在进行概率转向步态时机器人有三个可能的移动方向,这个随机过程在理想条件下符合概率为 1/3 的拉普拉斯试验。机器人的移动路径为正交网格结点连线,可以实现遍历运动,提出了运动控制算法并进行运动仿真。制作一台原理样机进行运动试验,验证了前进和转向功能。

52 浮游式电力变压器内部巡检机器人

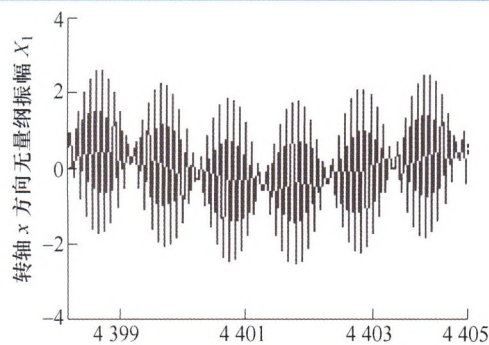
冯迎宾 于洋 高宏伟 李智刚



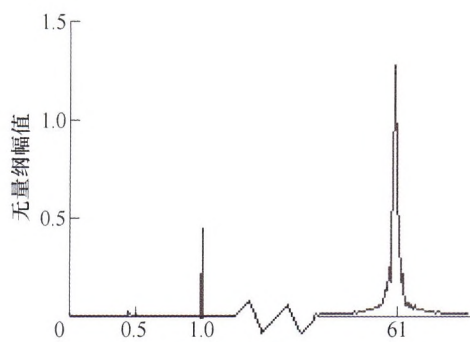
摘要: 针对变压器间接故障检测方法和人工检测手段存在的问题,提出了浮游式变压器内部巡检机器人。详细阐述了变压器内部结构特点,归纳了机器人应具备的特性。利用水下机器人密封技术设计了机器人球形密封舱体,机器人采用喷射推进方式运动,使机器人具备零回转半径、运动灵活的特点。利用电磁传播理论分析了无线信号在变压器油特殊介质传输的可行性,并设计了机器人控制系统详细方案,阐述了机器人搭载的关键传感器及设计了完善的机器人电源管理系统。最后,搭建了机器人原理样机,并在试验油池和 220 kV 变压器内部开展了示范应用。试验结果表明,机器人可代替人工在特殊的变压器内部环境下完成故障巡检任务。

60 转子系统盘轴松动故障动力学建模和仿真研究

李志农 刘 杰 卢文秀 褚福磊



(a) 波形图

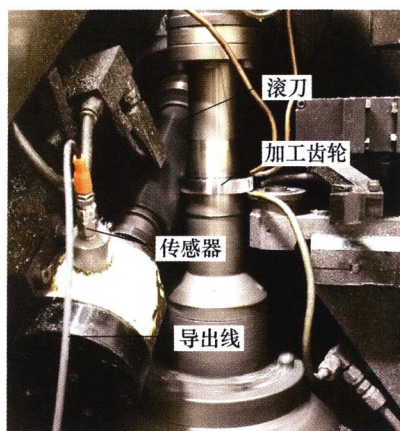


(b) 频谱图

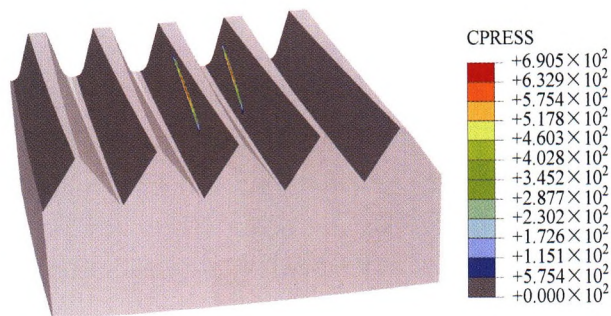
摘要: 现有的松动故障动力学特性研究主要集中在非转动部件的配合松动上, 而转动部件松动故障却忽略了。针对此不足, 采用 Hertz 接触理论, 建立了盘轴碰摩模型和盘轴松动转子系统的动力学模型, 并进行了仿真研究。讨论了转轴转速、盘轴弹性模量、盘轴间隙、转轴阻尼、转盘阻尼、转动阻尼、转盘初始转速对转盘运动状态的影响以及转盘振动特性、盘轴位移差的变化和盘轴运动轨迹。结果表明: 转轴转速、盘轴弹性模量、盘轴间隙、转轴阻尼、转盘阻尼、转动阻尼、转盘初始转速对转盘运动状态有明显的影响; 在某些转速下, 拍振现象会出现在转轴的波形中, 其原因可能是由盘轴碰摩或者盘轴碰撞所导致, 在频谱图中会出现二倍频、三倍频等高次谐波成分, 随盘轴转速差的增大, 高倍频的频率也会增多; 当转盘转速趋于平稳时, 盘轴位移差也会趋于平稳; 锯齿现象会出现在转轴转盘运动轨迹中, 盘轴摩擦力方向的改变会造成锯齿方向不确定, 且转盘的锯齿现象表现更加明显。研究成果对盘轴松动故障的动力学特性研究具有重要的参考价值。

72 滚刀主轴振动位移与加速度响应模型研究与验证

周 涵 鄢 萍 裴 洁 赵 桢 罗倩倩



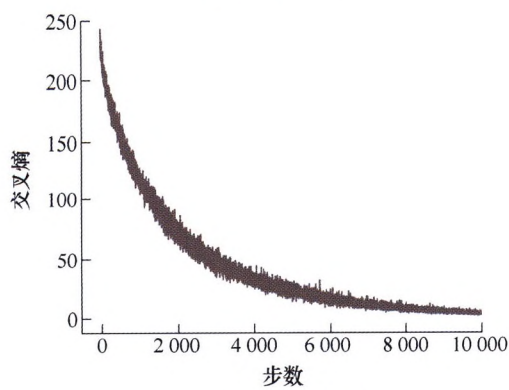
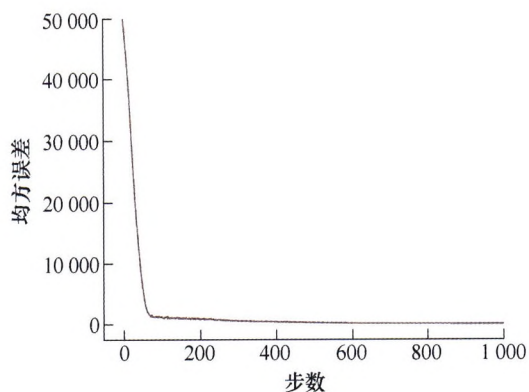
摘要: 滚齿机振动难以避免, 研究滚刀主轴的振动特性可为滚齿加工工艺参数优化和滚齿加工振动自补偿研究提供理论基础。为实现滚齿机振动控制、提高滚齿加工质量, 基于欧拉梁理论建立滚刀主轴振动平衡方程, 推导滚刀主轴各阶固有频率和各阶主振型计算公式。由模态分析法推导滚刀主轴坐标系下滚刀主轴沿任意方向的振动位移计算公式, 并基于坐标变换原理建立工件坐标系 X 方向和 Z 方向的振动位移和加速度响应函数模型。针对横向不受力和加工两种振动状态开展测试实验, 并对比加工状态下振动位移和加速度的仿真值与测试值, 相对误差均小于 5%, 验证滚刀主轴固有频率和振动响应函数模型的正确性。综合分析振动测试数据与振动响应函数模型仿真数据, 得出滚刀主轴振动量与振动方向、振动阶次的变化关系。最终基于振动响应函数模型提出了一种加工工艺参数优化的思路。



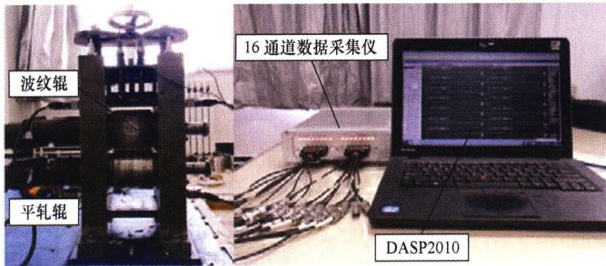
摘要: 为了解决面齿轮同轴分扭构型中不同支路面齿轮副的齿侧间隙调整问题,使输入轮或惰轮支路之间载荷分配更均衡,对锥形面齿轮副进行了研究。推导了齿廓修形的锥形渐开线齿轮和齿廓修形的面齿轮齿面几何,研究了面齿轮齿宽限制条件。为了评价锥形面齿轮副的传动性能,进行了轮齿接触分析(Tooth contact analysis, TCA)和应力分析。研究表明:为了保证锥形面齿轮副传动强度,锥形渐开线齿轮半锥角不宜过大;锥形面齿轮副对误差有较好的耐受性;对锥形渐开线齿轮或者面齿轮进行齿廓修形后,能有效避免边缘接触;在几乎不影响啮合传动的情况下,可通过改变小齿轮轴向安装位置,调整锥形面齿轮副的齿侧间隙。锥形面齿轮副适用于类似同轴面齿轮分扭传动构型等需要调整齿侧间隙的传动场合。

96 基于深度一维残差卷积自编码网络的齿轮箱故障诊断

周兴康 余建波

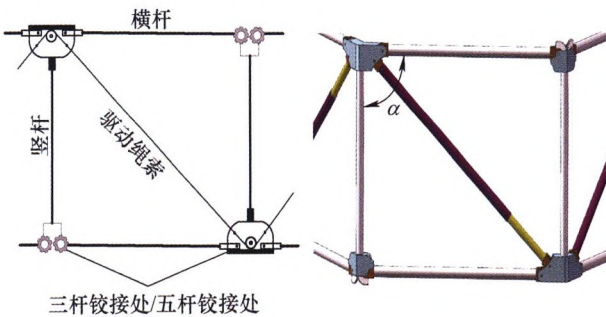


摘要: 一维振动信号常常被用于齿轮箱的监测与故障诊断中,使得能及时地对齿轮箱维护以减少损失。因此,从一维振动信号中提取出关键故障特征决定了故障诊断模型的准确性与可靠性。典型的深度神经网络(deep neural network, DNN),如卷积神经网络已经在故障诊断中表现出良好的性能并得到了广泛的应用,但其监督式训练方式往往需要大量的标签数据而限制了其可应用性。因此,提出一种新的深度神经网络模型,一维残差卷积自编码器(1-dimension residual convolutional auto-encoder, 1DRCAE),成功应用于振动信号的无监督学习及故障特征提取,显著提高了齿轮箱的故障诊断率。首先,提出了一维卷积层与自编码器的有效集成方法,形成了深度一维卷积自编码器;其次,引入残差学习机制训练一维卷积自编码器,实现对一维振动信号有效地特征提取;最后,基于编码器提取的特征,使用少量标签数据进行分类微调实现齿轮箱故障模式识别。通过齿轮箱试验台采集的传感器数据进行实验验证表明,这种无监督学习方法具有良好的去噪能力和故障特征提取能力,其特征提取效果好于典型的深度神经网络,如深度置信网络(Deep belief network, DBN)和堆叠自编码网络(Stacked auto-encoders, SAE),同时故障诊断效果也优于一维卷积神经网络(1-dimension convolutional neural network, 1DCNN)。



摘要: 基于波纹轧制工艺与结构, 利用检测装置对小型波纹辊系系统进行了振动特性分析。考虑了波纹轧制界面的非线性阻尼和非线性刚度, 建立了波纹辊轧机辊系二自由度非线性主共振动力学方程, 应用多尺度法求解了波纹辊轧机辊系在主共振情况下的幅频特性方程, 采用奇异性理论和普适开折理论得到了波纹辊系系统稳态响应的转迁集及相应的分岔曲线拓扑结构, 通过设计非线性参数控制器来改变波纹辊系系的稳态响应, 减小了系统的响应幅值和消除了共振时的鞍结分岔。通过数值仿真验证了该控制器设计的正确性和可行性, 为抑制波纹辊轧机的辊系振动提供了一定的理论指导。

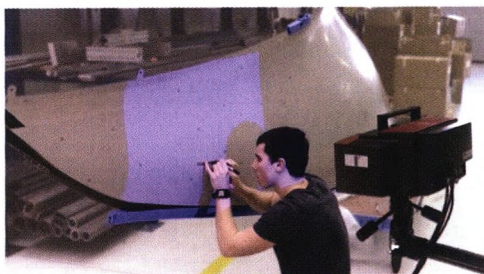
119 考虑桁架柔性的可展开天线动力学分析



摘要: 周边桁架式可展开天线的展开过程涉及复杂的动力学问题, 对天线展开过程的研究有助于展开天线的设计、研制和优化。综合考虑天线展开过程中桁架结构的柔性变形和索网结构的变拓扑特征, 建立了周边桁架式可展开天线展开过程的动力学模型。首先采用绝对节点坐标法的梁单元对外桁架结构建模, 然后引入过渡函数来描述索段由松弛到张紧状态的转变, 最后建立了周边桁架可展开天线的系统动力学方程。对天线进行动力学仿真分析, 结果表明该方法能有效地分析天线的展开过程, 桁架结构在内部索网张力的作用下会产生柔性变形, 对驱动力和展开速度产生显著的影响。

/// 数字化设计与制造 ///

127 iPoint3D 曲面检测软件开发与工程应用综述



(a) GOM公司ATOS产品测量蒙皮曲面

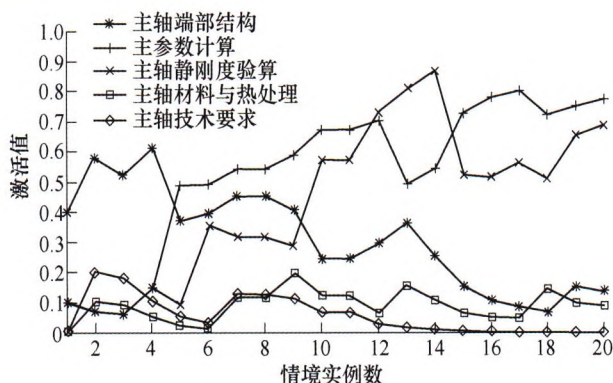


(b) 搭载机械臂上的线激光扫描仪

摘要: 三维光学测量为大型复杂零件精密制造提供了新手段, 但实际操作时面临两大难题: 其一, 非接触式光学测量存在数据规模大、测点噪声与层叠、测点密度不均、初始位姿任意、曲面误差计算难等诸多问题; 其二, 缺乏统一的数据存储格式、专用检测工艺库和批处理操作, 需多款商业软件人机反复交互, 效率低下、一致性差。针对这些难题, 系统介绍了相位移面阵测量原理、点云微分信息估计、点云精简/光顺、点云-曲面匹配、点云-曲面误差计算等大规模测点处理算法, 以此为基础综述了 iPoint3D 软件开发层次结构、主要功能模块、人机操作界面、IPD 数据存储格式, 并给出了 iPoint3D 软件批处理操作的实现方法和检测报告生成流程。最后介绍了完全自主开发的 iPoint3D 软件在汽车曲轴检测、航空叶片检测、锻造大叶片变形检测、机器人磨削叶片余量分配、机器人铣削蒙皮轨迹计算、核主泵法兰面机器人检测、柔性曲面共形打印视觉定位等工业场景的计算过程和应用效果, 并讨论了复杂曲面零件三维光学测量的发展趋势。

151 基于设计情境与脑机反馈融合的产品设计知识需求感知技术

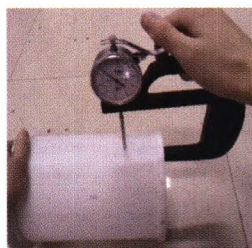
梁野 裘乐森 刘晓健 张树有 谭建荣



摘要: 针对产品设计知识主动推送过程中设计人员的知识需求难以自动获取的问题, 提出了一种基于设计情境与脑机反馈融合的产品设计知识需求感知方法。设计情境与脑机反馈融合构建知识需求感知框架, 由动态变化的设计活动信息驱动生成设计情境实例序列, 基于脑机反馈构建设计知识需求域。根据设计任务分解与产品结构的映射关系建立知识需求锚点, 以设计情景激活知识需求锚点的方式动态关联当前设计内容, 采用加权贝叶斯方法实现设计知识需求类型识别, 并在数控机床数字化设计中提出的需求感知方法进行了应用验证。

164 纵向波纹柱形耐压壳屈曲数值分析与试验研究

唐文献 李胜秋 张建 王月阳 王为民 张山



(a) 厚度测试

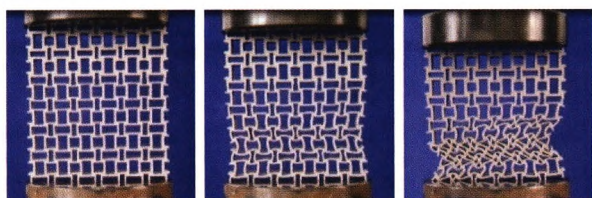


(b) 三维扫描

摘要: 采用周向或轴向波纹, 增强圆柱形耐压壳(简称圆柱壳)的承载能力已备受关注。采用数值与试验结合的方法, 研究等容积圆柱壳和纵向波纹柱形耐压壳(简称波纹柱壳)的屈曲特性。首先, 建立波纹柱壳的几何模型和数值模型, 分析均布外压作用下, 波纹参数变化对波纹柱壳屈曲特性的影响规律; 其次, 依据承载能力进行波纹参数优化设计, 并制造两组等壁厚和等容积的圆柱壳和波纹柱壳实物模型; 再次, 测量两种模型的实际几何数据, 分别建立其数值模型, 并进行屈曲特性分析; 最后, 对圆柱壳和波纹柱壳的实物模型进行静水压力试验, 与数值结果作对比分析。结果表明: 均布外压下, 等容积纵向波纹柱壳的屈曲性能优于柱形壳, 其平均屈曲载荷提高了 56.8%, 纵向波纹改善了圆柱壳的承载能力。

171 兼具吸能和承载特性的梯度结构宏观跨尺度拓扑优化设计

杜义贤 尹鹏 李荣 田启华 周祥曼



(a)

(b)

(c)

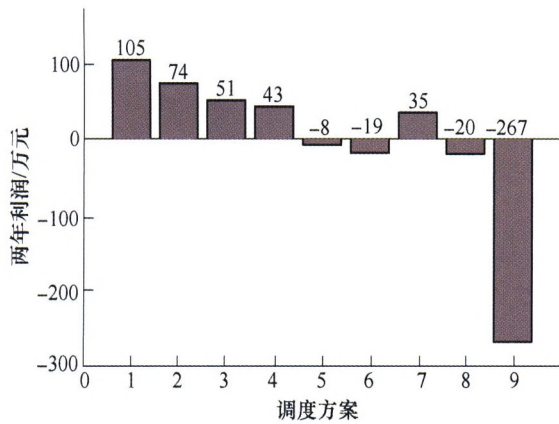


(d)

(e)

(f)

摘要: 理想的碰撞吸能结构在吸收碰撞能量的同时应具备一定的承载能力, 更好地保护人员及设备安全, 而现有方法一般仅从宏观或微观单一角度进行碰撞吸能结构设计, 不能很好地兼顾吸能和承载需求。构型呈梯度变化的梯度结构具有很好的碰撞吸能特性, 故本文利用宏观观一体化设计思想, 从宏观结构和单胞构型的两个方面出发, 以结构刚度表征承载特性, 负泊松比表征吸能特性, 提出了兼具吸能和承载特性的梯度结构宏观跨尺度拓扑优化方法。在宏观尺度, 基于功能梯度及聚类分析思想, 研究出具有刚度梯度特性的结构宏观区域划分优化方法; 在微观尺度, 基于能量均匀化理论建立了以结构刚度和负泊松比为目标函数的多目标拓扑优化模型。对优化得到的结构吸能与承载特性进行测试与分析, 结果验证了所提出的方法能够有效地应用于防撞结构设计。

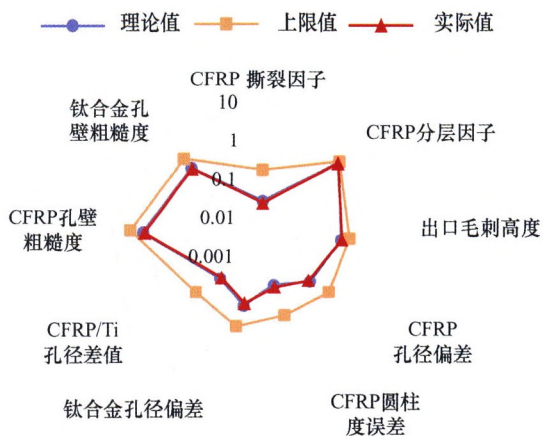


摘要: 为了对具有工序刚性约束的装配线进行优化配置,提出一种基于并行工位设计和装配序列规划的自动化装配生产线多目标优化方法,主要包括:①针对工序刚性约束的自动化装配线的特殊性,搭建了以成本和生产节拍为多目标的装配线优化数学模型;②针对数学模型中决策变量的离散性特点,提出基于随机键的两段式编/解码方法,综合考虑了装配工艺中的优先关系、直接优先关系、完全分配约束和最大并行度限制等,实现了对工序刚性约束的描述;③将基于拥挤度的 Pareto 评价方法嵌入回溯搜索优化算法,实现了工序刚性约束下的装配线多目标优化;④通过断路器自动化装配线进行案例验证。结果表明,在装配生产线上各作业元素时间和设备单元成本固定且均已知的条件下,所提出的方法能够为该类装配线计算出最优配置方案,且将计算出的优化配置方案(成本 517.5 万元,节拍 3.2 秒/级)与现有方案(成本 636.0 万元,节拍 5.4 秒/级)对比,发现生产效率提高了 40.7%,装配线成本降低了 18.6%。

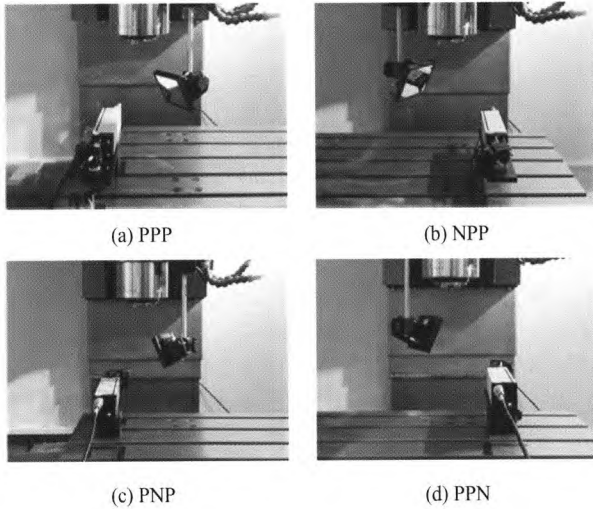
/// 制造工艺与装备 ///

193 CFRP/Ti 叠层构件钻孔工艺参数多目标优化方法

刘书暖 夏文强 王 宁 宋 晔 骆 彬 张开富



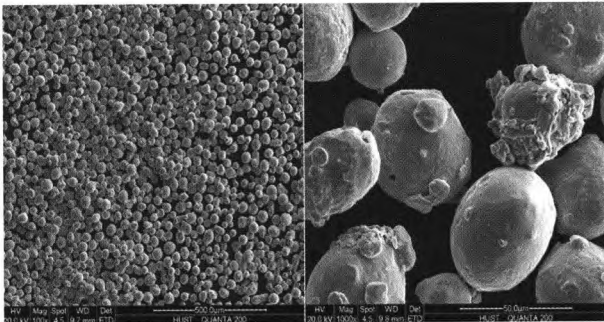
摘要: 碳纤维增强复合材料/钛合金(CFRP/Ti)叠层构件以其优异性能广泛应用于航空航天领域。为保证孔同轴度和加工效率,通常采用同一参数对 CFRP/Ti 叠层构件进行一体钻孔。而 CFRP 和钛合金的材料属性和切削性能各异,一体钻孔会出现不同程度的 CFRP 撕裂、钛合金出口毛刺、孔径偏差等多种质量缺陷。由于工艺参数对各个质量缺陷的影响不同,甚至存在矛盾,难以找到合适的参数使得各质量缺陷均达到最小。为得到最优工艺参数,提高钻孔综合质量,对 CFRP/Ti 叠层构件钻孔工艺参数多目标优化方法进行了研究。根据实际工艺情况建立了 CFRP/Ti 叠层构件钻孔工艺参数多目标优化模型;结合钻孔工艺参数离散化的特点,基于帕累托占优原理构建了帕累托最优工艺参数集穷举搜索算法,并基于宽容分层序列法构建最优工艺参数决策算法;以 T700-TDE85/Ti-6Al-4V 叠层构件为对象,得到了最优工艺参数,验证了方法的可行性和有效性。



摘要: 空间误差建模和补偿已成为提高机床精度和性能的最经济方法之一。然而, 空间误差元素测量耗时多等原因限制了空间误差补偿的广泛应用。为解决这一问题, 提出了一种基于灵敏度分析的空间误差快速建模和补偿方法。首先, 基于齐次坐标变换, 建立了立式加工中心的广义运动学模型。其次, 根据立式加工中心的所有误差元素的灵敏度分析, 确定关键误差元素。根据灵敏度分析结果, 在误差补偿过程中忽略了影响因子较低的角度误差元素。然后, 基于关键误差元素的测量数据和切比雪夫多项式, 建立了简化的空间误差快速补偿模型。接着, 利用 Fanuc 数控系统的 EMZPS 功能开发了实时误差补偿系统, 实现了空间误差的补偿。为了评估所提方法的有效性, 对每个平动轴和每条体对角线误差补偿前后的测量试验结果进行比较。结果表明, 沿三个轴的最大平移误差从 $21.9 \mu\text{m}$ 到 $6.5 \mu\text{m}$, 最大体对角线误差从 $81.6 \mu\text{m}$ 减小到 $35.5 \mu\text{m}$ 。最后, 将该方法应用于一批 20 个立式加工中心, 进行批量补偿试验。所有加工中心补偿后的精度均优于 $40 \mu\text{m}$ 。本研究的创新之处在于将灵敏度分析作为简化机床误差模型的理论依据, 并提出了出一种快速批量化建模和补偿的方法。该方法能有效提高误差补偿效率, 在未来机床误差补偿的广泛工业应用中有着巨大的潜力。

213 反冲压力作用下激光选区熔化熔池热动力学行为

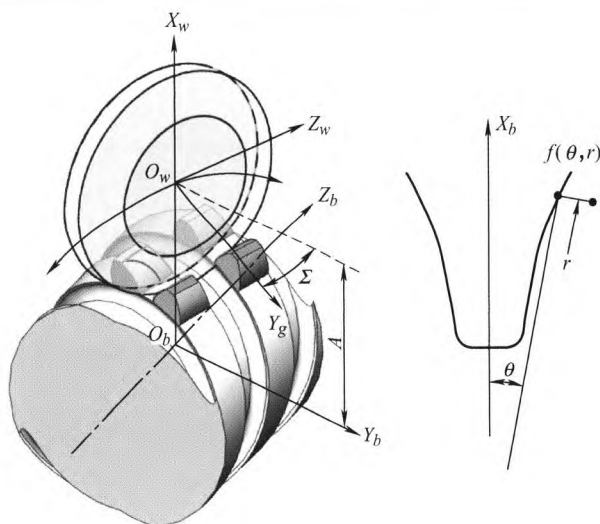
袁伟豪 陈 辉 魏青松



摘要: 激光选区熔化(SLM)过程中, 金属蒸发产生的反冲压力会改变熔池的热力学行为, 导致零件缺陷。以 316L 不锈钢粉末为对象, 通过数值模拟和试验测试, 分析了不同激光工艺参数下反冲压力对熔池温度场和速度场的影响规律。其中, 数值模型基于 VOF 多相流原理, 充分考虑金属蒸发的反冲压力, 同时结合了界面追踪热源模型。结果表明: 固定激光能量密度为 300 J/m^2 时, 较大的扫描速度(1.0 m/s)会得到沿扫描方向更大范围的熔池, 也会产生更深的凹陷; 当激光扫描速度一定时(1.0 m/s), 熔池凹陷深度随激光功率增大而增大; 并且凹陷深度越大, 熔池深度越大, 但沿扫描方向的熔池范围、熔化道表面形貌和宽度变化不大。

220 螺旋内齿圈拉刀精切齿磨削方法研究

贾 康 张银行 南凯刚 洪 军



摘要: 螺旋内齿圈拉刀是加工螺旋内齿圈的重要工具, 其精切齿的齿升量结构复杂、齿形精度要求高, 对磨削制造的效率和质量提出挑战。针对螺旋内齿圈拉刀的精切齿磨削加工, 在对切削齿进行几何结构与刀体分布建模的基础上, 以保证磨削表面质量、提升加工效率、易于程序化等为目标, 剖析磨削工艺与保障策略, 设计出适用于拉刀精切齿精细结构的无干涉磨削工艺与路径实现方法。基于螺旋内齿圈拉刀精切齿的双螺旋结构进行切削齿坐标的参数化建模, 并对精切齿非对称齿升量的分布模型进行解析与建模。从制造工艺保障与加工效率提升等角度对精切齿的磨削工序进行分析与规划, 并设计优化的磨削加工路径, 同时提出参数化驱动的精切齿磨削路径控制算法。此外, 基于成型磨削接触线对精切齿侧面完备且无干涉磨削的行程进行分析与计算, 并进一步针对可行砂轮半径最大化进行磨削工艺条件的优化分析。最后, 通过计算一把螺旋拉刀的磨削参数与磨削工艺条件对本研究的实用性进行验证。

CONTENTS

- 1 Research Status and Development Trend of Supernumerary Robotic Limbs**
JING Hongwei ZHU Yanhe ZHAO Sikai ZHANG Qinghua ZHAO Jie
- 10 Electro-mechanical Coupling Analysis of Piezoelectrically Driven Six-degree-of-freedom Pointing Platform**
LIU Fan ZHOU Jinxiang MA Xiaofei
- 16 Distributed Self-assembly Method Based on Motion-chain for Swarm Robotics**
YANG Hongan KONG Jie CAO Shuai ZAN Wenpei SHEN Gaopan
- 27 Visual Navigation Method of Dual Hemisphere Capsule Robot inside Curved Intestine Tract**
ZHANG Yongshun TIAN Feng WANG Zhibo YANG Huiyuan LIU Xu
- 35 Design and Optimization of a Tri-prism Deployable Membrane Support Arm Using enticular Collapsible Composite Tubes**
LI Bingyan LIU Rongqiang CONG Qiang GUO Hongwei LIN Qihong DENG Zongquan
- 44 Single-DOF Octahedron Robot with Probable Rolling**
GUAN Yonghan YAO Yanan LIU Chao
- 52 Floating Robot Design Method for Inspecting the Inside of Transformer**
FENG Yingbin YU Yang GAO Hongwei LI Zhigang
- 60 Research on Dynamic Modeling and Simulation of Rotors with Loose Disc**
LI Zhinong LIU Jie LU Wenxiu CHU Fulei
- 72 Research and Verification of Vibration Displacement and Acceleration Response Model of Hob Spindle**
ZHOU Han YAN Ping PEI Jie ZHAO Zhen LUO Qianqian
- 86 Generation, TCA and Stress Analysis of the Face Gear Drive with a Tapered Involute Pinion**
ZHOU Ruchuan ZHAO Ning LI Wang GUO Hui
- 96 Gearbox Fault Diagnosis Based on One-dimension Residual Convolutional Auto-encoder**
ZHOU Xingkang YU Jianbo
- 109 Research on Principal Resonance Bifurcation Control of Roller System in Corrugated Rolling Mills**
HE Dongping WANG Tao XIE Jiaquan REN Zhongkai LIU Yuanming MA Xiaobao
- 119 Dynamic Analysis of Deployable Antennas Considering Truss Flexibility**
DU Xuelin DU Jingli BAO Hong ZHONG Wang CUI Kai

- 127 The Development and Application Review of iPoint3D Software for Surface Inspection**
LI Wenlong LI Zhongwei MAO Jincheng
- 151 Technology for Product Design Knowledge Need Awareness Based on Design Context and Brain-computer Interface**
LIANG Ye QIU Lemiao LIU Xiaojian ZHANG Shuyou TAN Jianrong
- 164 Numerical and Experimental Study on Buckling of Longitudinal Corrugated Cylindrical Pressure Shell**
TANG Wenxian LI Shengqiu ZHANG Jian WANG Yueyang WANG Weimin ZHANG Shan
- 171 Macro and Micro Trans-scale Topological Optimization Design of Gradient Structure with Both Energy Absorption and Load-bearing Characteristics**
DU Yixian YIN Peng LI Rong TIAN Qihua ZHOU Xiangman
- 181 Research on Multi-objective Optimization for Automatic Assembly Line Considering Rigid Tasks Constraints**
YANG Yanfang YANG Miao SHU Liang WU Ziran CHEN Dingfang
- 193 Multi-objective Drilling Parameters Optimization Method for CFRP/Ti Stacks**
LIU Shunuan XIA Wenqiang WANG Ning SONG Ye LUO Bin ZHANG Kaifu
- 204 Volumetric Error Modelling and Compensation for Batch of Vertical Machining Centers Based on Sensitivity Analysis**
YANG Yun ZHU Mengrui LI Huimin DU Zhengchun YANG Jianguo
- 213 The Role of Recoil Pressure in Thermodynamic Behaviors of Molten Pool during Selective Laser Melting**
YUAN Weihao CHEN Hui WEI Qingsong
- 220 Research on Grinding Method of Finishing Cutting Teeth for Internal Helical Ring Gear Broach Tools**
JIA Kang ZHANG Yinhang NAN Kaigang HONG Jun
- 231 Influence of Carbon Nanotubes on Electrolytic Dressing Grinding Performance of a Multi-layer Brazed Coarse-grained Diamond Wheel**
WU Qiaoping OUYANG Zhiyong YANG Hui SONG Kun DENG Zhaohui
- 240 A Micro-contact Model for Rough Surface of Plane Grinding**
AN Qi SUO Shuangfu LIN Fuyan BAI Yuzhu GENG Haixu SHI Jianwen

《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) 张崢(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

0.7>