



QK1823030

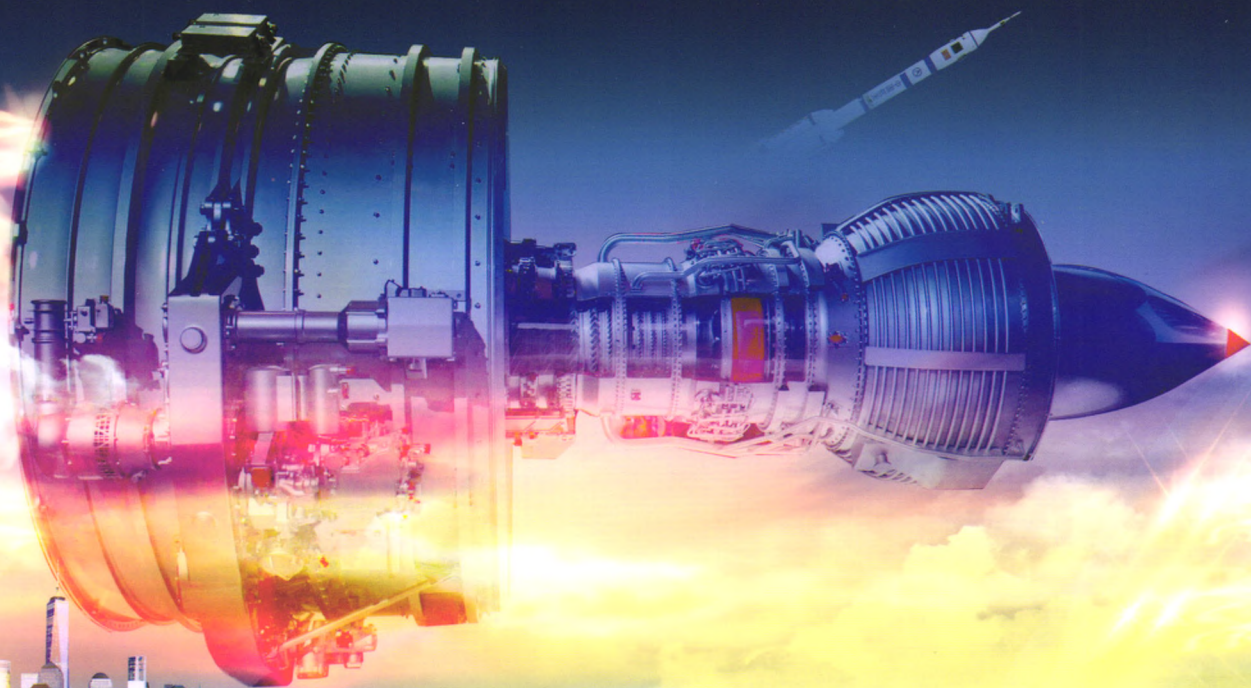
ISSN 0017-9568

CODEN CHHKA2

# 机械工程学报<sup>®</sup>

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

特邀专栏：航天先进制造技术



中国机械工程学会 主办

万方数据

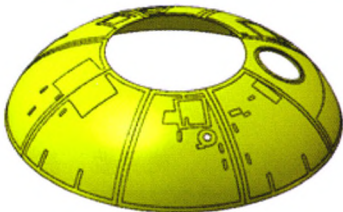
2018年54卷9期 半月刊

/// 航天先进制造技术专栏 ///

策划编辑：罗晓琪 田 旭（《机械工程学报》编辑部）

1 航天先进制造技术研究联合基金管理工作报告综述

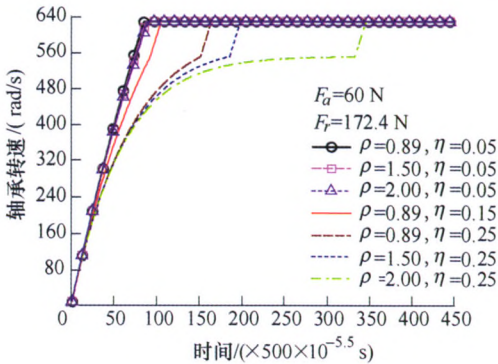
黎 明 师宏耕 赖一楠 黄 迅 李宏伟 赵春章 叶 鑫



**摘要：**介绍国家自然科学基金委员会与中国航天科技集团有限公司联合设立的航天先进制造技术研究联合基金(简称航天先进制造联合基金)运行三年来的申请、评审及资助情况。重点列举了 2015 年度第一批获批项目取得的重要进展，并对今后联合资助工作进行了展望。

9 角接触球轴承-转子加减速过程动力学分析

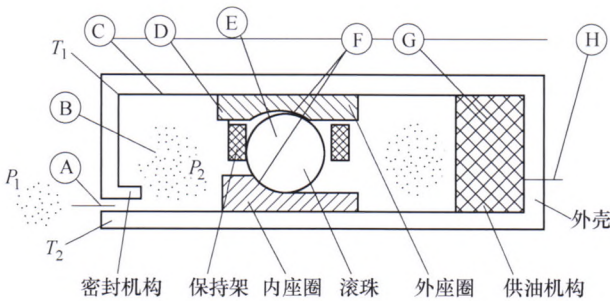
王云龙 王文中 卿 涛 张韶华



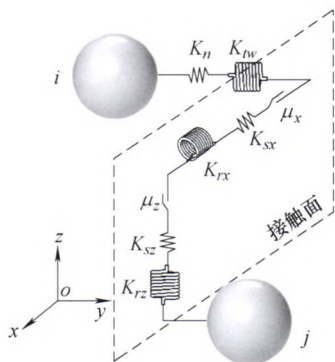
**摘要：**角接触球轴承的动态性能对轴承-转子系统的性能至为关键。考虑轴承各元件的相互作用建立了角接触球轴承-转子系统的动力学分析模型，模型中钢球与滚道间的摩擦力采用弹流润滑理论计算，钢球与保持架间的作用等效为高刚度弹簧，引导套圈与保持架间摩擦力采用短轴承理论计算，基于四阶 Runge-Kutta 实现了动力学模型的快速求解。研究了润滑油的密度和粘度、引导方式和轴向预紧力对轴承启动加速和停止减速过程以及打滑的影响。结果表明：高密度和大粘度润滑油将使启动加速变慢而使停止减速变快；内圈引导时轴承的启动加速最慢；轴向预载不足将导致轴承在启动及稳定运转阶段产生严重打滑。

17 空间用多孔聚合物轴承保持架材料研究进展

张 迪 王 超 卿 涛 王齐华 王廷梅



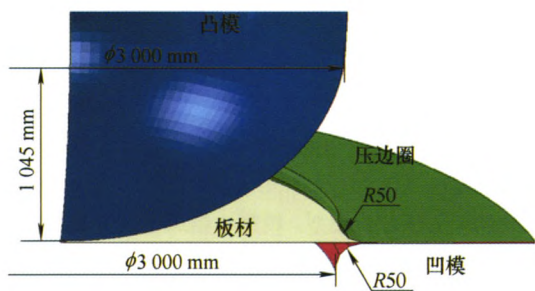
**摘要：**多孔聚合物轴承保持架具有质轻、噪声小、耐腐蚀性强、自润滑性能好、可以循环供油等优点，是一种能满足特殊工况的新型润滑材料。作为空间高速轴承的核心部件，多孔聚合物轴承保持架的理化性质及润滑特性在很大程度上决定了航天器的运行精度和服役寿命。介绍了棉布-酚醛、尼龙、聚酰亚胺和聚醚醚酮四种常见的空间用多孔聚合物轴承保持架材料及其制备方法。基于多孔含油轴承的润滑机理，从材料的出油速率和吸油速率两个方面总结了影响其含油润滑性能的各项因素。综述了空间轴承在材料、空间润滑及失效理论、轴承寿命验证与评估三个方面中存在的问题及其解决方法。



**摘要：**针对深层月壤采样过程钻具参数对钻具受力及月壤采样量的影响问题，开展了离散元仿真分析。建立考虑扭转、弯曲力矩及等效引力作用的新型三维离散元月壤模型，通过三轴仿真试验进行细观参数标定，得到内聚力 0.90 kPa、内摩擦角 42.25°的满足真实月壤宏观力学指标的仿真模型。选取钻头立齿形状、头体形状，钻杆导程、牙宽，回转转速等重点钻具参数进行对比分析，仿真结果表明：圆柱立齿有利于月壤采样，而八角立齿有利于钻具受力，“漏斗”形头体相比于“圆锥”形头体受力较小；钻杆导程的增加会使得月壤采样量增大，但同时也会使得钻具受力增大，钻杆牙宽取 3 mm 时月壤采样量最大、钻具受力最小；回转转速过大，月壤采样量会急剧减小，回转转速过小，钻具受力会急剧增大。

37 薄壁曲面整体构件流体压力成形起皱机理与控制

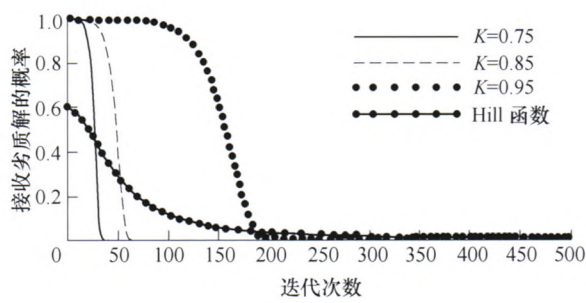
刘 伟 徐永超 陈一哲 苑世剑 胡 蓝 张志超 郭立杰



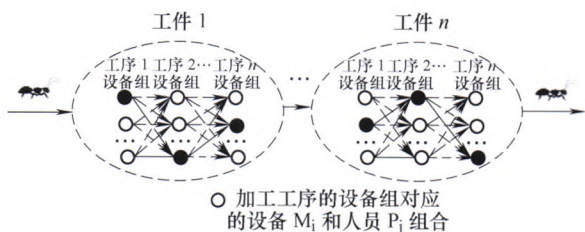
**摘要：**塑性失稳诱发起皱是制约薄壁曲面构件整体成形的瓶颈问题，通过考虑悬空区反胀效果的曲面薄壳流体压力成形力学分析，推导抑制起皱和破裂的非线性流体压力加载曲线，建立临界起皱应力模型为塑性失稳提供理论判据；在此基础上，针对大型贮箱整体箱底构件流体压力成形起皱预测和控制难题，理论计算大型箱底流体压力成形加载路径，分析流体压力加载路径对反胀区形状、失稳行为和应力分布影响规律，揭示曲面薄壳流体压力成形起皱抑制机理；采用我国自主研发的超大型数控流体压力成形装备(成形力 1.5 万 t/高压液体体积 5 m³)，首次试制出直径 3 m 级运载火箭燃料贮箱整体箱底，解决了大型超薄(厚径比 2‰)曲面薄壳失稳难题。

45 面向节能的导弹结构件混线生产作业车间多目标调度研究

魏 鑫 张泽群 唐敦兵 杨长祺 金永乔 秦 威

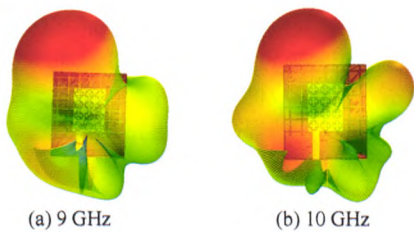


**摘要：**针对导弹结构件混线生产过程中具有的型号多、工艺复杂、生产能耗大、交货期紧的特性，以能量消耗和完工时间为目标，建立了基于设备-能耗曲线的柔性作业车间混线生产系统的数学调度模型。提出了一种二元混合的改进遗传算法对该调度模型进行求解，具体包括：引入粒子群算法的信息共享机制，对遗传算法的交叉算子进行改进，提高算法的寻优能力；用 Hill 函数构建传统模拟退火的温度更新函数，替代遗传算法的变异部分，以弥补遗传算法容易陷入早熟收敛的不足。采用多指标加权灰靶决策模型从得到的一组 Pareto 解集中选择最满意调度方案。分别用完全柔性和部分柔性的作业实例对算法进行验证，证明了改进算法的有效性。最后，将算法用于上海航天精密机械研究所结构件生产车间的生产实例，取得了较好生产的指导效果。



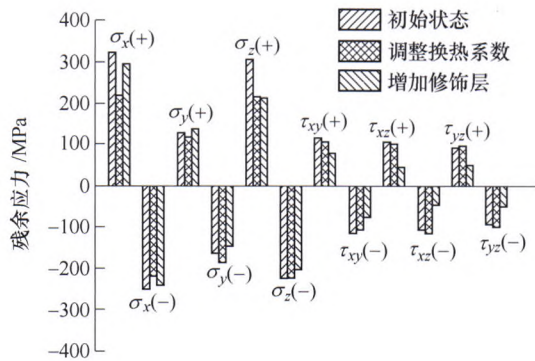
**摘要：**针对航天结构件生产调度过程中工序加工时间随操作人员能力级别而变化，关重件和关键工序特定设备和人员要求约束等问题，构建综合考虑关键设备和人员双资源约束的柔性车间作业调度数学模型，解决航天结构件生产设备资源维、人员资源维、工序信息维的描述。为实现双资源约束下的柔性调度，提出嵌套式蚁群-遗传混合算法，针对结构件加工工序设备和人员双资源选择问题，建立资源选择问题与蚁群并行搜索的映射关系，设计蚁群算法实现资源选择；为提高算法搜索性能，利用遗传算法求解当前蚂蚁资源选择下的调度问题，在避免人员资源使用冲突前提下实现设备加工工序的优化排序，使得关键设备利用率最大，总完工时间最短，并通过综合考虑蚁群和遗传算法阶段的求解目标进行蚁群算法信息素的更新，大大提高算法获得较优解的性能。最后，通过航天结构件车间实际案例进行算法测试，测试结果表明，嵌套式蚁群-遗传混合算法能有效地求解双资源约束的航天结构件车间生产调度问题，可降低资源总负荷，提高关键设备利用率，避免人员资源冲突，具有良好的综合调度性能。

64 一种基于超材料的宽频带定向性微带天线

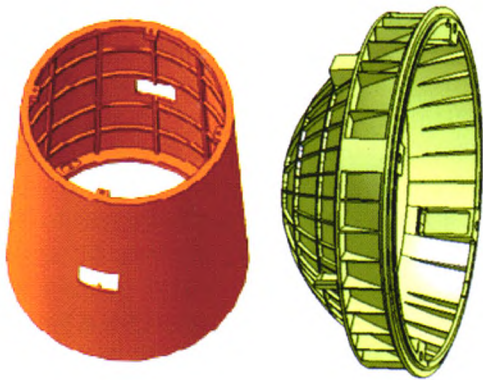


**摘要：**针对传统微带天线频带窄，增益低等不足，通过在天线的辐射贴片和接地板上分别刻蚀花型和十字交叉缝隙图案，设计并制作了一种基于超材料的宽频带定向性微带天线。刻有图案的金属贴片和接地板间形成电容感应等效回路并改变了天线电磁场的辐射方向。天线电磁场的辐射方向主要集中在水平-x方向而不是传统微带天线的垂直方向。相比传统微带天线，该设计天线的性能得到明显改善。仿真结果表明：天线的工作带宽为 3.5~11.6 GHz(是传统微带天线的 23.8 倍)，相对带宽为 107.3%，在整个频带内天线的电压驻波比小于 2，增益均大于 5 dB。测试结果表明：设计天线的工作带宽为 2.82~12.69 GHz(是仿真模型的 1.22 倍)，相对带宽为 127.3%。该设计天线可广泛地用于弹载天线，炮瞄雷达，卫星通信网络、汽车雷达等。

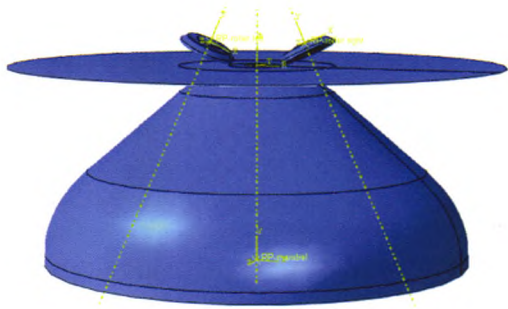
69 基于等 Biot 数的 ZL205A 铝合金大型薄壁件准同步淬火微变形研究



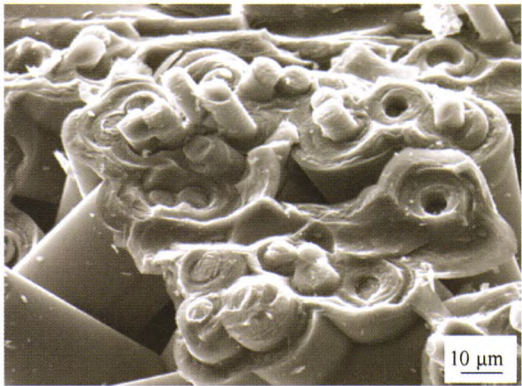
**摘要：**针对构件热加工过程变形控制的世界性难题，创建了差异壁厚/差异结构构件加热或冷却过程零畸变的等 Biot 数模型，首次以 Biot 数替代综合换热系数  $h$ ，并将 Biot 数引入温度场方程，由此建立了随 Biot 数变化的动态温度场和应力场耦合模型。利用 ABAQUS 软件对 ZL205A 铝合金差异壁厚构件淬火过程的温度场和应力场进行了预报。模拟结果表明，ZL205A 铝合金构件淬火变形源于差异壁厚导致的二者温度差；对于薄厚比为 1:4 制件，540℃固溶淬火 0.37 s 时，薄壁厚特征位置最大温差为 276℃，厚壁中最大热应力 84 MPa，超过相应温度下该合金屈服强度，导致制件淬火变形，且变形以径向变形为主。通过对厚壁或薄壁处以高导热或低导热系数覆层材料修饰，获得了差异壁厚的等 Biot，并对修饰后的构件进行 540℃固溶淬火变形进行预报。结果表明，与无修饰构件相比变形降低 82.6%，实现了差异壁厚的准同步淬火。



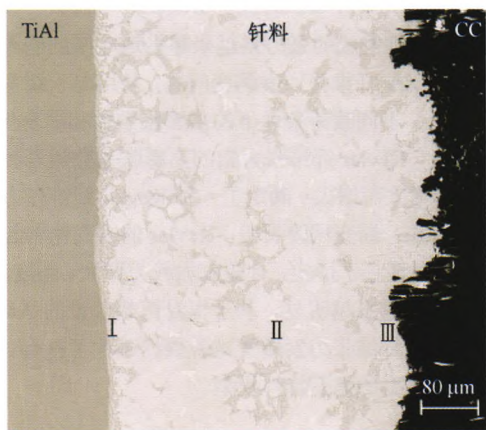
**摘要：**航天大型铝合金构件“一体化制造”随着商业航天迅速发展而得到日益广泛的应用，制造流程中铸造形成的微孔洞、偏析及晶粒尺寸等微观组织特征，对工艺及服役过程中材料力学行为的影响至关重要，是理解与预测构件复杂变形规律的基础。针对铝铜合金铸造-热处理的制造流程，定量表征了铸造微孔洞、成分、析出物等典型微观组织特征的分佈规律，进一步建立了淬火析出相、微孔洞、成分偏析等对延伸率、屈服强度、流动应力等力学行为的影响模型。研究表明，微孔洞及合金偏析对淬火与时效后的力学性能有着不可忽略的影响。研究深化了制造过程铝合金力学性能形成的理解，是基于微观组织特征的本构模型的建立基础，并将为航天铝合金大型构件一体化制造提供理论支持与技术指导。



**摘要：**大型薄壁异型曲面整体构件是航天航空等重要领域迫切需要的高性能轻量化构件。旋压和淬火是实现该类构件整体化制造和性能控制的一种有效途径。然而，大型薄壁异型曲面旋压是多因素耦合作用下的多次局部加载/卸载复杂过程，成形过程中易出现局部损伤破裂、起皱、隆起、不贴模等缺陷，且旋压后的淬火过程还易造成大的残余应力和淬火变形，并决定着构件的最终使用性能。在建立大型薄壁异型曲面构件旋压和淬火全过程有限元模型的基础上，分析大型薄壁异型曲面构件旋压过程中应力应变分佈与变化规律；研究失稳起皱缺陷的形成机理，获得旋压工艺参数对薄壁壳体凸缘周向压应力的影响规律，提出控制凸缘起皱的方法；研究板坯尺寸波动对成形质量的影响；研究获得大型薄壁异型曲面封头旋压件淬火残余应力分佈规律和淬火变形规律。

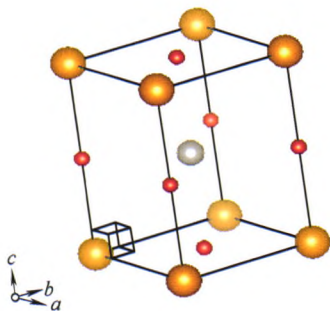


**摘要：**采用电耦合化学气相渗(Electric-coupling chemical vapor infiltration, E-CVI)工艺制备了 C/C 复合材料，系统研究了增强体类型、铺层方向对 C/C 复合材料力学性能、断裂行为和热物理性能的影响。结果表明，以碳毡作为增强体的 C/C 复合材料具有最差的力学性能；无纬布 C/C 和斜纹布 C/C 随着铺层秩序从 0°/0°、0°/90°变化到 0°/45°，其拉伸强度、弯曲强度和模量依次降低。在拉伸载荷下，0°/0°无纬布 C/C 的断裂行为主要表现为 0°纤维束的拔出和断裂；0°/90°无纬布 C/C 表现为 90°纤维层的界面脱粘和基体开裂，以及 0°纤维束的拔出与断裂；0°/45°无纬布 C/C 表现为纤维与基体沿着±45°和 90°纤维层的界面脱粘与基体开裂，以及±45°和 0°纤维束的拔出。纤维预制体对 C/C 复合材料力学性能的影响主要取决于加载方向的纤维含量和取向、孔隙分佈以及纤维束之间的界面结合。对于热物理性能，0°/90°无纬布 C/C 具有最小的热膨胀系数，碳毡 C/C 最大；0°/45°无纬布 C/C 具有最高的热导率，碳毡 C/C 最小；0°/90°无纬布 C/C 具有最大的 TSR 值。纤维预制体对 C/C 复合材料热物理性能的影响主要依赖于测量方向上纤维含量和取向，以及热解炭片层的取向。



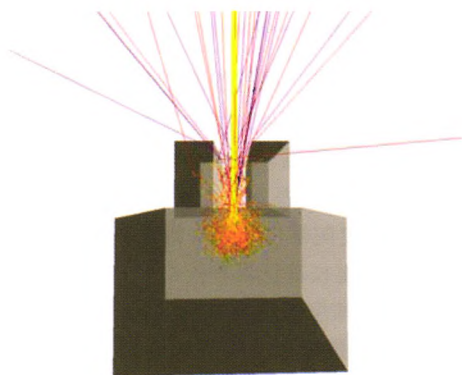
**摘要：**采用(Ti/Ni/Cu)<sub>r</sub>多层箔状钎料进行 C/C 复合材料与 TiAl 合金的钎焊，实现了良好的界面结合，保证了接头的高温力学性能。研究表明：钎焊过程中，首先在 Ti/Ni 界面处接触反应形成低熔共晶液相，Cu 元素的溶解促进了钎料的完全熔化和扩散，接头组织一般为 C/C/TiC/Al<sub>2</sub>(Cu,Ni)Ti<sub>3</sub>C/Ti(Cu,Ni)+Al(Cu,Ni)<sub>2</sub>Ti/Al(Cu,Ni)Ti+Ti<sub>3</sub>Al/TiAl，Ti(Cu,Ni)基体相和球状弥散分布的 Al(Cu,Ni)<sub>2</sub>Ti 相是钎缝的主要组成部分。当钎焊温度较低或者保温时间较短时，由于钎缝中生成了大量的脆性 Ti<sub>2</sub>Ni 相，降低了接头的力学性能；当钎焊温度较高或保温时间较长时，C/C 复合材料母材界面处开裂，且 TiC 层从母材脱落，也削弱了接头的抗剪强度。当钎焊温度为 980 ℃，保温时间为 10 min 时，C/C 复合材料与 TiAl 合金的接头室温抗剪强度达到最大值 18 MPa，600 ℃时接头的高温抗剪强度达到 22 MPa。

115 基于第一性原理计算的空间微波器件低的二次电子发射系数材料的研究



**摘要：**将第一性原理计算方法应用于空间大功率微波器件的低的二次电子发射系数材料的选材研究上。依据材料最大二次电子发射系数与功函数的关系，发现具有较低功函数的材料可能同时具有较低的最大二次电子发射系数值。以此为基础，对石墨烯结构覆盖的 Ni(111)和 Pd(111)表面形成的两种复合结构的功函数进行了计算，结果表明复合材料的功函数数值要明显的低于两种组分材料所具有的功函数数值。这一结果显示复合材料有可能具有较低的最大二次电子发射系数，为低的二次电子发射系数材料的选材的研究提供了新的思路和方法。

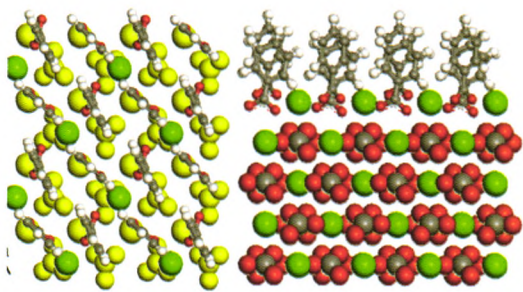
121 基于表面构型的二次电子发射及微放电特性研究



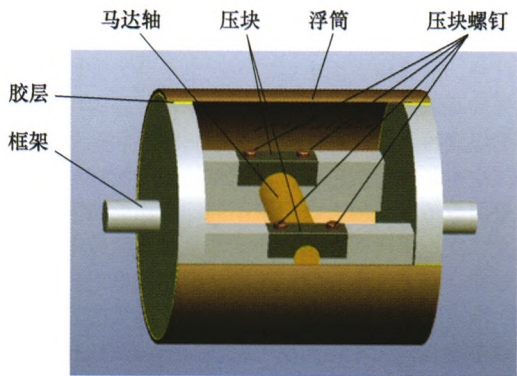
**摘要：**针对航天有效载荷微波部件频发的微放电现象，采用微陷阱表面构型来抑制微波材料表面的二次电子发射，从而达到微放电抑制效果。通过硅基材料的表面刻蚀和金属 Ag 的表面溅射获得规整的金属表面微陷阱结构，将表面处理过的金属样品在二次电子发射平台的电子枪 20~4 000 eV 照射下，采用电流法获得金属微陷阱表面的二次电子产额曲线及抑制特性。此外，通过将表面出射的二次电子分为弹性背散射电子、非弹性背散射电子和本征二次电子，并跟踪电子在陷阱结构内的级联再入射过程，建立表面圆柱孔和矩形槽微陷阱表面的二次电子发射数值模型，模拟结果与测试结果能很好吻合。采用数值模拟的方法构造不同深宽比的微陷阱结构表面，最大二次电子产额、第一交叉能量以及微放电品质因子的变化规律。研究结果表明：陷阱结构的侧壁遮挡能有效抑制二次电子从表面发射，并且深宽比越大的表面陷阱结构抑制效果更强，而在相同深宽比情况下，圆柱孔陷阱结构比矩形槽陷阱结构对二次电子的抑制效果更好，此外，陷阱结构的深宽比不仅能使得最大二次电子产额减小、第一交叉能量增大，还会近线性地增大材料的微放电品质因子 F。



**摘要：**Kevlar 纤维具有高强高模、耐高温、耐辐射等优越性能，由 Kevlar 纤维制成的张力索越来越多地应用到航天航空领域。针对 Kevlar 纤维张力索蠕变问题，利用电子蠕变机测试了不同温度、不同载荷条件下的热膨胀系数和蠕变规律。通过试验发现，Kevlar 纤维张力索的热膨胀系数随着温度升高、力密度的增大而增大；确定了一种 Kevlar 纤维张力索合适的预拉伸方法；蠕变试验表明，Kevlar 的蠕变速率起初迅速下降，最后逐渐趋于恒定，且随着加载力增大、温度升高，Kevlar 蠕变现象越来越明显。基于恒温恒载假设的 Andrade 理论，对 Kevlar 纤维张力索蠕变试验数据进行了拟合，建立了考虑张力和温度的蠕变特性模型。



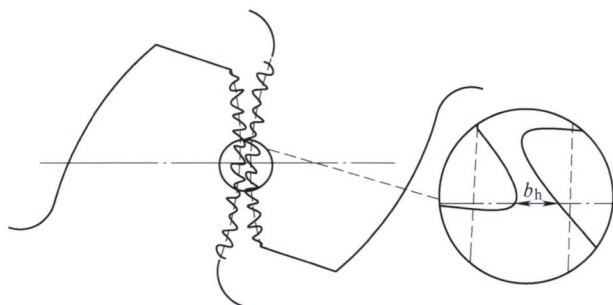
**摘要：**针对惯性陀螺仪表起动困难、零件磨损等问题，现阶段各国广泛采用固体润滑结合边界润滑的方式对动压马达关键零件表面进行处理。为保证边界润滑的成膜质量，需要进一步对其微观成膜机理、纳米尺度仿真及检测表征手段等方面进行深入研究。首先介绍了边界润滑相关理论的研究进展，具体包括边界润滑成膜机理、理论模型、基底表面状态及成膜工艺等方面。在此基础上阐述了边界润滑分析表征技术的研究进展，针对近年来普遍采用的边界润滑分子动力学仿真方法和原子力显微镜等检测方法进行了较详尽的综述。通过纳米尺度理论仿真分析和纳米尺度检测表征技术，可望帮助研究学者从深层次揭示边界润滑机理，从而进一步推动边界润滑技术的实际工程应用。



**摘要：**高精度陀螺仪是一种重要的惯性导航器件，广泛用于航空、航天及船舶等，对装配工艺的要求极高，尤其是随着精度要求的不断提高，组件结构的稳定性成为目前研究的焦点。而装配应力是影响组件结构稳定性的主要因素，为此，从高精度陀螺仪的结构特点和误差形成机理研究出发，建立了陀螺仪理论误差模型，分析仪表组件结构的稳定性对陀螺仪精度的影响情况。在此基础上，分别对陀螺仪中的两种主要连接结构螺纹连接和胶粘连接进行研究，并结合结构设计和装配工艺提出了有效可行的装配应力控制方法。

153 具有分形特性的齿侧间隙对齿轮-轴承系统动态特性的影响

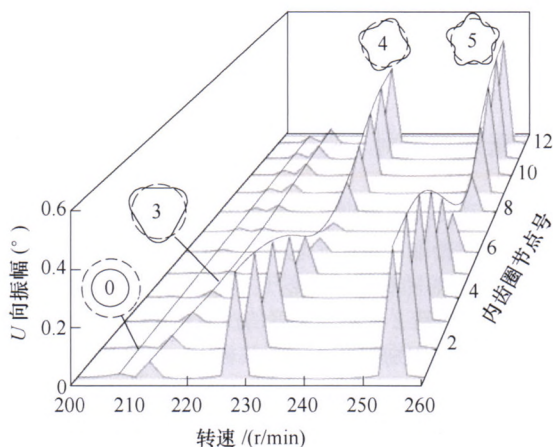
李小彭 牟佳信 潘五九 闻邦椿



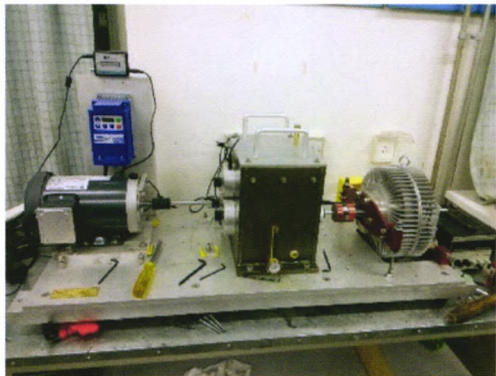
**摘要：**主要研究具有分形特性的齿侧间隙对齿轮-轴承系统动态特性的影响。首先建立该系统的动力学模型，考虑转轴、轴承等重要部件对齿轮系统动态特性的影响。模型中计及滑动轴承非线性油膜力、综合传递误差及齿轮时变啮合刚度等非线性因素。在对系统的动力学分析中引入分形理论，讨论齿侧间隙表现出的分形行为，并使用 W-M 函数对其进行描述。通过 Runge-Kutta 法求解动力学方程并得到系统响应的相图，Poincaré 截面图与分岔图。结果表明：当啮合刚度较大时，系统的分岔行为减少，1 周期与混沌交替出现；当齿侧间隙在小范围内波动时，相比于固定齿侧间隙，使用具有分形特性的齿侧间隙时系统响应表现出了更多细节，可以更准确地描述系统的动态特性；随着啮合刚度的增大，系统可以在分形维数  $D$  较大的情况下依然保持准周期运动，即刚度较大时系统较稳定。

161 内激励下弹性边界柔性直齿内齿圈振动响应研究

许华超 秦大同

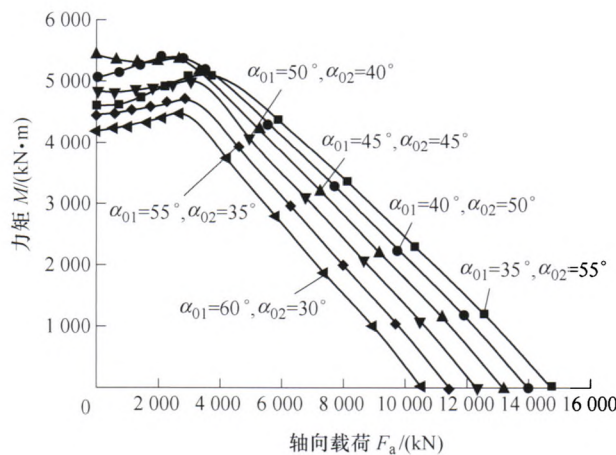


**摘要：**以行星轮系柔性内齿圈为研究对象，为计入拉伸、剪切和弯曲变形等因素，使数学模型更好与工程实际相匹配，根据其结构及边界特点采用平面梁单元建立弹性边界柔性直齿内齿圈的振动分析模型，并对其固有特性进行了研究。基于叠加原理和力向一点平移定理，采用组合激振法等等效模拟了沿啮合线作用的啮合激励，并从频域角度揭示了啮合激励对弹性边界柔性内齿圈振动响应的影响。研究表明，弹性边界柔性内齿圈振型可归结为三类：平移振动模式(内齿圈各点具有相同的运动)，弯曲振动模式(内齿圈发生弯曲变形的振动)和扩展振动模式(内齿圈各点仅产生径向振动)；啮合激励对扩展振动模式影响较小，而对弯曲振动模式影响显著；对直齿内齿圈而言，弯曲振动模式是引起振动与噪声的主要原因；当扩展振型(波数  $m=0$ )发生共振时，内齿圈呈等幅振动；当波数  $m$  不为零的振型共振时，内齿圈呈  $m$  个波形。



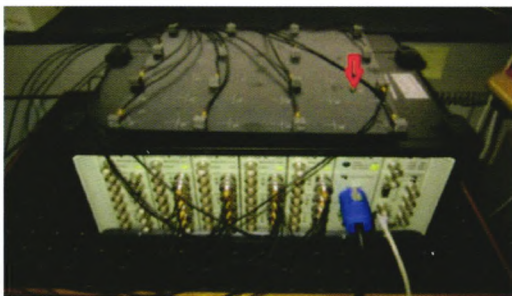
**摘要：**针对轴承振动信号的非线性、非平稳性，提出一种基于多尺度本征模态排列熵和模拟退火优化支持向量机 (Simulated annealing - support vector machine, SA-SVM) 的列车轴承故障诊断方法。该方法首先对获取的轴承振动信息进行小波降噪处理，接着通过集合经验模态分解 (Ensemble empirical mode decompose, EEMD) 将去噪信号分解成若干个平稳的本征模态函数 (Intrinsic mode function, IMF)，并提取多尺度本征模态排列熵作为 SVM 输入，在用样本训练 SVM 时，用 SA 对 SVM 的核函数进行优化，提高其分类准确率，最终实现智能化故障诊断。实验结果表明，基于多尺度本征模态排列熵和 SA-SVM 的列车轴承故障诊断方法能准确识别列车轴承故障类型，具有重要的实际工程应用价值。

177 双排非对称四点接触球转盘轴承力学性能分析



**摘要：**接触角是轴承设计的一个重要参数，它直接影响轴承的变形、受力和寿命等特性。随着轴承空间限制和高承载能力的目标要求，本文对传统负游隙对称型 ( $\alpha_{01}=\alpha_{02}=45^\circ$ ) 双排四点接触球转盘轴承进行改进，提出非对称型接触角设计 ( $\alpha_{01}=35^\circ\sim60^\circ$ ,  $\alpha_{02}=90^\circ-\alpha_{01}$ )，并建立非对称双排四点接触轴承的力学模型，分析非对称接触角对轴承载荷分布、轴承刚度和承载能力的影响。结果表明：随着非对称接触角的增大，非对称双排四点接触球转盘轴承四点接触球个数先减小后增大，轴承的最大接触载荷先减小后增大；单向载荷作用下，随着非对称接触角的增加，轴向刚度  $K_{aa}$  不断提高，径向刚度  $K_{rr}$  和角刚度  $K_{\theta\theta}$  在非对称接触角为  $60^\circ$  时最大， $45^\circ$  时最小。联合载荷条件下，非对称接触角为  $45^\circ$  和  $50^\circ$  时的主刚度明显小于其它非对称接触角情况，辅刚度具有明显的对称性；在轴承正常工作区域，随着非对称接触角  $\alpha_{01}$  的增加，轴承的静承载能力基本呈下降趋势，以轴承静承载能力为选型指标可取非对称接触角  $\alpha_{01}=35^\circ$ ,  $\alpha_{02}=55^\circ$ 。

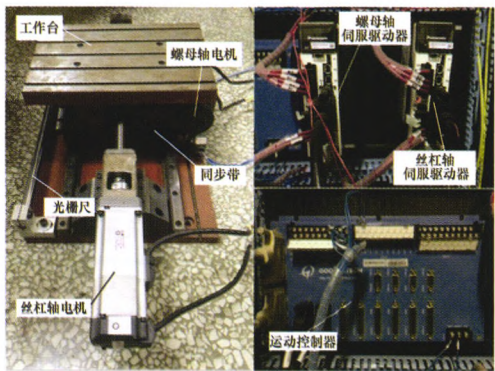
187 基于随机子空间法的模态参数自动提取



**摘要：**为了自动且有效地剔除虚假模态、避免人为参与模态模型定阶及模态拾取，进而实现模态参数的自动准确识别，提出了一种新型的随机子空间法运行模态参数自动识别方法。该方法首先构造 2 个不同维度的汉克尔矩阵对应的随机子空间法运行模态识别模型并求解其极点，在此基础上针对 2 个模型的同阶极点进行匹配进而获得超清的稳态图，最后再对该稳态图进行谱系聚类分析，最终自动准确识别出模态参数。5 自由度质量-弹簧-阻尼仿真系统及矩形平板的运行模态试验识别结果均验证了方法的有效性。

195 一种新型双轴差速式微量进给系统的建模与分析

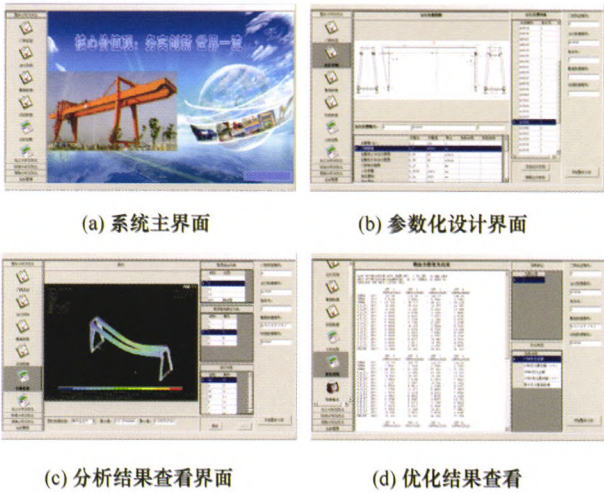
杜付鑫 冯显英 李沛刚 岳明君 王兆国



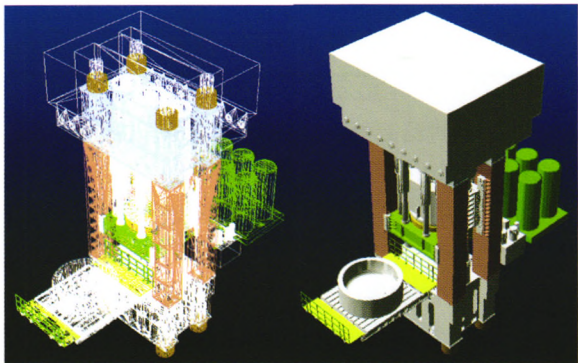
**摘要：**常规驱动进给系统(Conventional drive feed system, CDFS)的低速运行动态性能对机床的跟踪及定位精度、零件表面加工质量等有着非常重要的影响。非线性摩擦使 CDFS 在低速运行时出现爬行现象，从而严重影响其低速性能。为了克服 CDFS 的精度极限，提出一种新型的双轴差速式微量驱动进给系统(Dual-axis differential micro-feed system, DDMS)。在 DDMS 中，将常规“丝杠旋转型”滚珠丝杠副替换为“螺母旋转主驱动型”滚珠丝杠副，丝杠和螺母均由伺服电动机驱动。两个驱动轴(电动机驱动丝杠和电动机驱动螺母)的运动方向一致，速度几乎一样，通过“螺母和丝杠复合驱动”的差速式传动结构进行合成，可以使被驱动件在极低速下获得均匀、稳定的微量进给。和 CDFS 相比，丝杠和螺母都在高速下旋转，所以滚珠丝杠副的非线性摩擦干扰会显著降低。系统的摩擦特性用 LuGre 模型来描述，而且对滚珠丝杠传动副和直线运动导轨处的摩擦分别进行建模。通过仿真和试验研究发现，和 CDFS 相比，DDMS 可以使工作台在极低速下获得稳定的速度响应和极高的分辨率。并且，DDMS 在低速下的位置跟踪精度也比 CDFS 高。因此，提出的 DDMS 可以有效降低摩擦对系统的不利影响，为低速下驱动进给系统动态性能提高建立了基础。

205 起重机快速轻量化设计系统研究及应用

李 艳 向 东 李啟文 王君英



**摘要：**参数化设计和结构优化设计是复杂结构快速轻量化设计系统的核心，也是促进起重机轻量化设计技术在企业推广应用的关键。但是，现有起重机快速设计系统大多以实现参数化设计为主，难以实现结构的自动优化设计。而已公开的优化方法实现过程复杂，且大多采用连续变量优化，结果难以直接运用于实际生产。进行系列化起重机的参数化建模，建立多位置、多状态的载荷模型，集成含零阶优化、参数圆整、局部再优化的二次优化设计方法，开发了具有参数化设计、轻量化优化等功能的起重机快速轻量化设计系统，并完成了箱型门架的快速轻量化设计系统与软件。应用结果表明，该系统显著缩短了设计周期，减少了设计人员的大量繁琐计算工作量。仅对部分截面尺寸进行优化，虽然门架应力应变在容许范围内有所增加，但整机质量下降 10.5%，节约了后期成本。



**摘要：**性能约束满足是复杂产品设计的关键因素。传统概念设计求解的研究着重于功构映射及其推理实现，忽略了性能在求解过程中的演化规律，导致性能在设计过程中存在上下文孤立以及无法溯源等问题。为了解决这一问题，提出了基于性能演化的概念设计求解过程模型与实现方法。通过分析概念设计过程中的性能特性，构建集成期望性能、行为性能和结构性能的规范化性能演化模型。以此为基础对模型进行解析计算，主要包括面向期望性能辨识的重要度分析、面向行为性能均衡的单元规划求解以及面向结构性能适配的方案生成，同时建立了性能演化驱动的产品概念设计过程，以支持性能认知、性能优化以及性能计算的设计求解实现。最后以某型号液压机概念设计过程为例验证本方法的可行性与有效性。



**摘要：**为解决复杂压铸件浇道系统生成繁琐、关联性差，以及在建模过程中设计信息易产生随机变异和理解偏差等问题，提出一种以语义为主导的3D建模方法，定制“三层参数和二级语义映射”机制，实现几何信息与设计意图契合统一；另外，借鉴压铸模知识原理，将浇道复杂零部件做结构、功能上的区别统一，抽象为多语义类，各类按设计优先级高低细分为多语义单元，进而构建出浇溢语义模型库。以上述理论为基础，结合拓展参数化设计技术，以UG/NX为开发平台，开发出浇道设计系统。实例分析表明，该建模方法使得设计者能够从语义层直观编辑浇道特征，通过调用修改接口实现模型驱动，在对诸多复杂压铸件模具设计中具有良好的精确性、高效性及广泛的自适应性，能有效地缩短开发周期。

CONTENTS

1	<b>Review on Management at Joint Fund for Aerospace Advanced Manufacturing Technology Research</b>
	LI Ming SHI Honggeng LAI Yinan HUANG Xun LI Hongwei ZHAO Chunzhang YE Xin
9	<b>Dynamic Analysis of Angular Contact Ball Bearing-rotor System during Start up and Shut Down</b>
	WANG Yunlong WANG Wenzhong QING Tao ZHANG Shaohua
17	<b>Research Progress of Porous Polymer Bearing Retainer Materials Used in Aerospace</b>
	ZHANG Di WANG Chao QING Tao WANG Qihua WANG Tingmei
27	<b>Analysis on Influence of Drill Parameters in the Sampling of Deep Lunar Soil</b>
	LIU Tianxi MA Liang LIANG Lei ZHAO Yang CAO Dengqing LIU Deyun
37	<b>Mechanism and Controlling of Wrinkles during Hydroforming of Integral Thin-walled Curved Shell</b>
	LIU Wei XU Yongchao CHEN Yizhe YUAN Shijian HU Lan ZHANG Zhichao GUO Lijie
45	<b>Energy-saving Oriented Multi-objective Shop Floor Scheduling for Mixed-line Production of Missile Components</b>
	WEI Xin ZHANG Zequn TANG Dunbing YANG Changqi JIN Yongqiao QIN Wei
55	<b>Scheduling the Production of Aerospace Structural Parts with Dual Resource Constraints</b>
	ZHOU Yaqin YANG Changqi LÜ Youlong JIN Yongqiao ZHANG Jie
64	<b>Broadband and Directional Microstrip Antenna Based on Metamaterials</b>
	LIU Min ZHANG Binzhen DUAN Junping
69	<b>Quasi-synchronous Quenching Micro Distortion in ZL205A Aluminum Alloy Large Thin-wall Workpiece Based on Equal-Biot Number</b>
	YAN Mufu LU Chen ZHANG Chengsong
77	<b>Microstructural Characteristics-based Mechanical Behavior of Aerospace Al-Cu Alloys</b>
	WANG Gang REN Ke HU Yisen YE Mao WANG Shuqing RONG Yiming
86	<b>Advances in Spinning of Aluminum Alloy Large-sized Thin-walled and Special-curved Surface Head</b>
	ZHAN Mei LI Zhixin GAO Pengfei MA Fei LI Rui CUI Xiaolei ZHANG Hongrui CHEN Shuwan
97	<b>Effects of Preform Structures on the Mechanical Properties, Fracture Behaviors and Thermophysical Properties of C/C Composites</b>
	PANG Shengyang HU Chenglong YANG Zhi TANG Sufang

**108    Brazing of C/C Composite to TiAl Alloy Using (Ti/Ni/Cu)<sub>f</sub> Multi-foil Filler**  
CAO Jian   HE Zongjing   QI Junlei   WANG Houqin   FENG Jicai

**115    Low Secondary Electron Yield Materials for Space Microwave Devices Based on First Principles Computation**  
WANG Xiaojie   WANG Dawei   LI Yongdong   CHANG Qunfeng   ZHANG Chuxian

**121    Research on Secondary Electron Emission and Multipactor Discharge via Surface Micro-trapped Structure**  
FENG Guobao   CUI Wanzhao   HU Tiancun   CHEN Bangdao   WANG Ning

**128    Creep Behaviors of Kevlar Tension Cable**  
MA Xiaofei   LI Tuanjie   WANG Hui   CHU Keping

**135    Applications of Boundary Lubrication to Gyro Motor: Research Progress and Development**  
GUO Shusen   CAO Yongzhi   SUN Tao   GU Le   ZHANG Chuanwei   LI Hongchuan   XU Zhiqiang

**145    Assembly Technology of Structure Stability Control for High Precision Gyroscope**  
YAO Zhuxian   HU Jianzhong   ZHANG Zhijing

**153    Influence of Fractal Backlash on Dynamic Behavior of Gear-bearing System**  
LI Xiaopeng   MU Jiaxin   PAN Wujiu   WEN Bangchun

**161    Vibration Response of Flexible Spur Ring Gear with Elastic Foundation under Internal Excitation**  
XU Huachao   QIN Datong

**168    Railway Rolling Bearing Fault Diagnosis Based on Muti-scale IMF Permutation Entropy and SA-SVM Classifier**  
YAO Dechen   YANG Jianwei   CHENG Xiaoqing   WANG Xing

**177    Mechanical Properties Analysis of Asymmetric Double Row Four-point-contact Slewing Bearing**  
NIU Rongjun   XU Jinchao   SHAO Xiuhua   DENG sier

**187    Autonomous Modal Parameter Extraction Based on Stochastic Subspace Identification**  
ZHANG Yongxiang   LIU Xin   CHU Zhigang   HUANG Di   WANG Guangjian

**195    Modeling and Analysis for a Novel Dual-axis Differential Micro-feed System**  
DU Fuxin   FENG Xianying   LI Peigang   YUE Mingjun   WANG Zhaoguo

**205    Research and Application on Rapidly Lightweight Design System of Cranes**  
LI Yan   XIANG Dong   LI Qiwen   WANG Junying

**214    The Solving Process of Conceptual Design for Complex Product Based on Performance Evolution**  
ZHENG Hao   FENG Yixiong   GAO Yicong   TAN Jianrong

**224    Research on the Modeling Method of Die Casting Channel Based on Semantics**  
DONG Yude   YANG Guanghui   ZHU Guanqun   LING Leshu

# 《机械工程学报》第十届编委会

## 荣誉主任

王补宣 (院士) 路甬祥 (院士) 潘际銮 (院士)

## 荣誉委员

王玉明 (院士) 王先逵 (教授) 石治平 (研高) 叶声华 (院士) 宁汝新 (教授) 过增元 (院士)  
刘 飞 (教授) 刘人怀 (院士) 刘大响 (院士) 刘友梅 (院士) 关 桥 (院士) 杨叔子 (院士)  
宋玉泉 (院士) 陈学俊 (院士) 林尚扬 (院士) 周孔亢 (教授) 周尧和 (院士) 柳百成 (院士)  
钟 掘 (院士) 钟秉林 (教授) 闻邦椿 (院士) 徐金梧 (教授) 徐滨士 (院士) 郭孔辉 (院士)  
温诗铸 (院士) 谢友柏 (院士) 熊有伦 (院士) 潘健生 (院士)

## 主 任

钟群鹏 (院士)

## 副 主 任

王文斌 (编审) 王国彪 (教授) 陈学东 (院士) 陈超志 (研高) 黄 田 (教授) 雒建斌 (院士)  
MCCARTHY J Michael (教授)

## 国内委员

丁 汉 (院士) 王 雪 (教授) 王田苗 (教授) 王立平 (教授) 王庆丰 (教授) 王时龙 (教授)  
王树新 (教授) 王祖温 (教授) 王润孝 (教授) 孔祥东 (教授) 邓宗全 (院士) 卢秉恒 (院士)  
史铁林 (教授) 付铭旺 (副教授) 仪垂杰 (教授) 吕 明 (教授) 刘 强 (教授) 刘少军 (教授)  
刘宏民 (教授) 刘献礼 (教授) 刘德顺 (教授) 孙汉旭 (教授) 严新平 (教授) 李大勇 (教授)  
李永堂 (教授) 李圣怡 (教授) 李杨民 (教授) 李荣彬 (教授) 李荣德 (教授) 李剑峰 (教授)  
杨华勇 (院士) 杨兆军 (教授) 杨兆建 (教授) 何存富 (教授) 张 峥 (教授) 张士行 (教授)  
张义民 (教授) 张宪民 (教授) 张湘伟 (教授) 陈 新 (教授) 陈 鹰 (教授) 陈炤彰 (教授)  
陈朝阳 (教授) 邵新宇 (教授) 苑世剑 (教授) 苑伟政 (教授) 范光照 (教授) 林忠钦 (院士)  
周祖德 (教授) 项昌乐 (教授) 赵 继 (教授) 赵 韩 (教授) 赵丁选 (教授) 胡正寰 (院士)  
钟志华 (院士) 姚振强 (教授) 秦大同 (教授) 袁巨龙 (教授) 袁寿其 (教授) 耿荣生 (教授)  
贾振元 (教授) 顾佩华 (教授) 徐西鹏 (教授) 高咏生 (教授) 高金吉 (院士) 郭万林 (院士)  
郭东明 (院士) 黄明辉 (教授) 黄洪钟 (教授) 梅雪松 (教授) 葛世荣 (教授) 韩 旭 (教授)  
曾 攀 (教授) 谢建新 (院士) 雷源忠 (研究员) 廖运炫 (教授) 谭建荣 (院士) 谭援强 (教授)  
翟婉明 (院士) 黎 明 (研究员) 檀润华 (教授)

## 国外委员

ALGIN Vladimir (白俄罗斯) CAO Dongpu (英国) CAVALLUCCI Denis (法国)  
CECCARELLI Marco (意大利) CHEN Ye-Hwa (美国) CHEN Yongkang (英国)  
CHEN Yubao (美国) CHENG Harry H (美国) CHENG Kai (英国)  
CHETWIND Derek G (英国) CHIU George (美国) DAI Jiansheng (英国)  
DEAN Trevor Anthony (英国) DONG Zuomin (加拿大) FATIKOW Sergej (德国)  
FENG Yuntian (英国) FLEWITT Peter E J (英国) GAO Wei (日本)  
GE Qiaode Jeffrey (美国) GIOVANOLA Jacques (瑞士) GOGU Grigore (法国)  
GU Fengshou (英国) GUO Yuebin (美国) HAGIWARA Ichiro (日本)  
HUANG Yong (美国) HUANG Han (澳大利亚) IWATSUKI Nobuyuki (日本)  
JAUREGUI Juan Carlos (墨西哥) Wallaschek Jörg (德国) LI Dongyang (加拿大)  
LI Xiaoping (新加坡) LIM Teik Chin (美国) MORGAN Michael (英国)  
PARK Jong-Kweon (韩国) SINAPIUS Michael (德国) SU Chunyi (加拿大)  
SU Daizhong (英国) TIAN Guiyun (英国) WANG Jun (澳大利亚)  
XUE Deyi (加拿大) YANG Lianxiang (美国) YE Lin (澳大利亚)  
ZHANG Bi (美国) ZHANG Chun(Chuck) (美国) ZHANG Hongchao (美国)  
ZHANG Liangchi (澳大利亚) ZHAO Xudong (英国) ZHOU Libo (日本)  
ZUO Mingjian (加拿大)

