



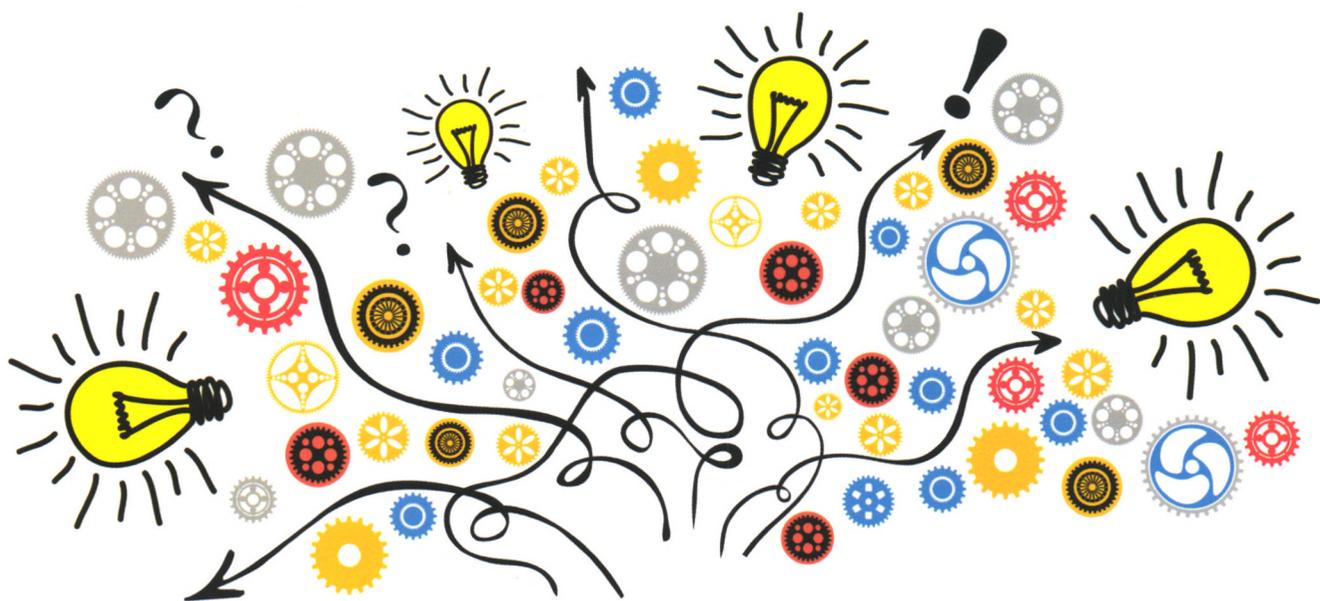
QK1723178

# 机械工程学报

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

特邀专栏：设计思维及在创新设计中的应用

客座主编：李彦



中国机械工程学会 主办

万方数据

2017年53卷15期 半月刊

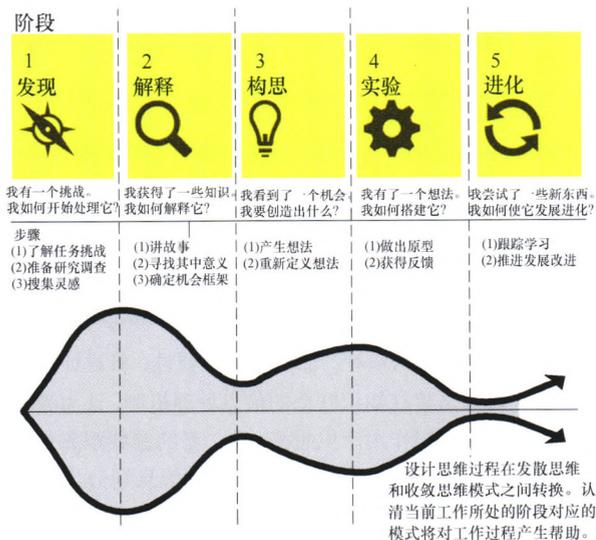
## /// 特邀专栏 ///

### 设计思维及在创新设计中的应用

客座主编：李彦教授（四川大学）  
策划编辑：郑小光（《机械工程学报》编辑部）

#### 1 设计思维研究综述

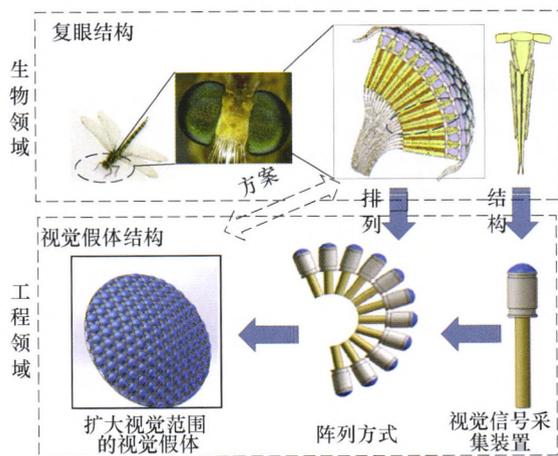
李 彦 刘红围 李梦蝶 袁 萍



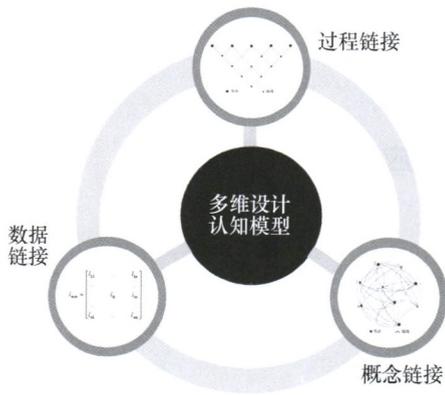
**摘要：**设计与创新是当前时代的主题。创新不等同于技术发明，而是通过设计将技术传递给用户的过程中创造价值，实现这种创新过程的思维方式就是设计思维。设计思维是一种有影响力、高效、可广泛采用的创新方式。设计思维可以广泛地扩展和整合到社会各领域、各层次，任何人或团体都可以利用设计思维高效地创造出新想法、实现这些想法，并使之发挥作用。目前，国内外学者对于设计思维及其相关方面已展开较为广泛的研究工作。从设计思维的内涵、设计思维的实施过程、设计思维方法和工具、以及设计思维的研究方法等方面系统地评述国内外学者对设计思维的研究现状，并给出目前研究存在的问题以及进一步研究的一些建议。

#### 21 生物激励的知识建模与创新类推方法

胡 洁 马 进 戚 进 彭颖红

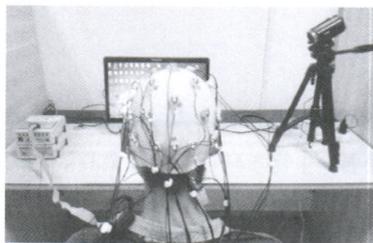
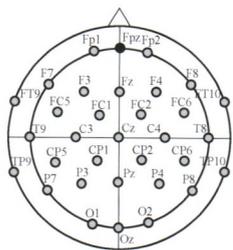


**摘要：**生物激励设计作为最具活力的设计创新方法之一，是工程领域创新设计解决方案产生的重要途径。针对生物激励设计中缺乏系统的跨领域实例获取和类推方法以支持将生物领域实例映射到工程领域激励创新解决方案生成的问题，提出了规范化的生物领域功能-行为-结构( $F_{bio}-B_{bio}-S_{bio}$ )知识元模型和基于知识元模型的解/问题驱动转换-聚类检索-关联映射-设计综合(Transformation-clustering-mapping-synthesis, TCMS)创新类推过程模型。在解/问题驱动类推过程中，首先根据公理化设计的原则构建类推实例的非耦合知识元模型，完成设计需求/实例到功能模型的转换，然后根据生物功能与依存环境密切相关的特点，进行基于环境特征的聚类检索，以知识元模型功能基为桥梁建立生物与工程领域知识元间映射关系，最后通过对功能分解路径的回溯实现对工程领域知识元模型的设计综合，该类推模型的可能性和有效性在视觉假体装置的设计中得到了验证。

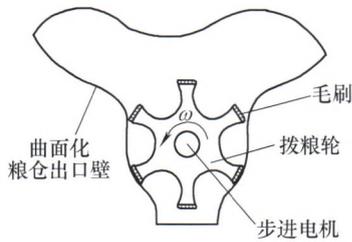


**摘要:** 针对复杂设计认知过程及其概念演化研究的模糊与不确定问题,从设计认知语义推理及链接关系表征出发,以设计认知沟通文本为基础,建立集成数据链接、过程链接和概念链接的多维设计认知模型。该模型采用矩阵存储语义链接数据,处理非结构化设计认知数据,进而融合确定性信息理论 T-code 编码方法与链接表求取链接节点熵值,评判设计认知过程的复杂性,实现关键创意概念捕获和剖析设计意图转换。在非时序化的概念空间关系构建方面,基于语义网络的聚类分析设计认知的概念演化,并回溯提取演化路径。以此为基础,运用实例分析验证多维建模方法的有效性,开发设计认知可视化辅助分析工具,从多维度提供设计修改和评估依据,提升设计认知计算研究效率。

40 基于 EEG $\alpha$  波活动探究信息激励距离对产品设计思维的影响



**摘要:** 研究基于知识联系对产品设计的重要性,将设计思维理解一种核心是建立知识联系的信息处理机制,认为激励信息和设计问题协同作用产生想法,且二者的领域距离是影响知识联系的关键因素之一。由此将激励信息划分为领域内、近领域和远领域三种抽象层次,进行以自行车设计为设计任务的脑电(Electroencephalogram, EEG)实验,采集并处理 1 个自由设计任务和 3 个信息激励设计任务中 8 名被试认知活动数据及 EEG $\alpha$  波(包括高波和低波)数据。认知活动数据分析证实了想法产生的思维过程以知识联系为核心。以经典多用途(Alternative uses, AU)任务实验作为大脑活动分析的参考,EEG $\alpha$  波活动数据的方差分析表明,在自由设计任务和 AU 任务中,设计者的  $\alpha$  高、低波同步性没有显著性差异;同时,在信息激励任务中  $\alpha$  高、低波同步性高于自由设计任务,说明设计者在信息激励任务中表现出更专注的设计认知过程;任务、脑区等因素的多重比较则显示信息激励距离和大脑活动水平存在一定关系。



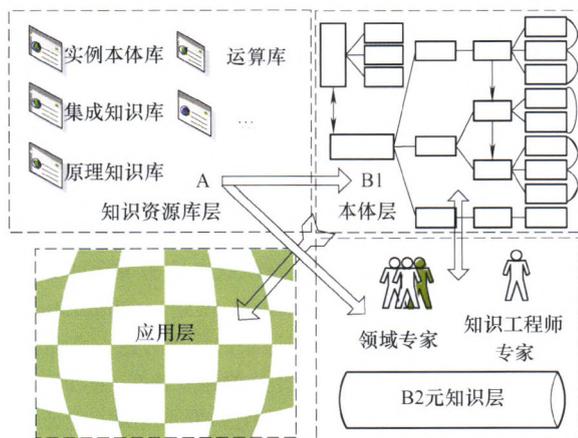
**摘要:** 通过对创新问题认知思维过程及规律的研究, 提出模糊前端创新设想产生的过程模型, 把模糊前端划分为的机会识别、机会表征、设想产生、设想评价四个阶段。在分析各个阶段的思维特征基础上, 结合创新设想产生和新产品开发的实际, 将质量功能布置、物质一场分析、系统功能分析、冲突矩阵求解等方法, 按照其在创新设想产生过程中的作用集成到模糊前端各阶段, 提出了一种多方法集成的模糊前端创新设想产生过程模型。最后以超市自动售粮机为例, 依据该模型指导新项目创新设想的产生, 验证了该模型的有效性和实用性。

58 产品造型设计中的思维固化策略及应用

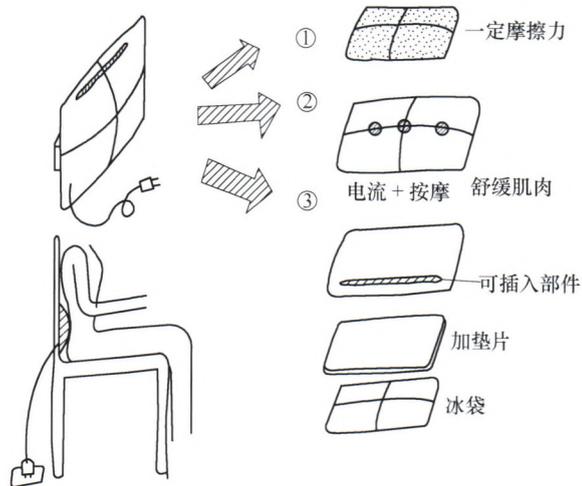


**摘要:** 在产品造型设计中, 思维固化是设计师经常面临的问题。采用有意还是克制思维固化策略, 是设计师秩序化设计活动中需要考虑的问题。首先, 通过分析产品造型设计思维的流程和特点, 综合文献成果, 提炼了影响思维固化的关键要素, 即: 创新度要求、设计问题属性、设计师偏好、设计刺激手段; 然后, 通过建立基于问题域到特征域映射过程的产品造型设计思维固化策略模型, 指出关键要素在映射过程中的位置、内容及关系, 明朗化各思维阶段与思维固化之间的联系, 并且认为有意思维固化策略关键在于框架化知识与偏好集合的不断补充, 以及依据具体问题描述和创新度要求的筛选, 而克制思维固化策略关键在于设计刺激起点信息的内容、表达形式以及所处设计阶段; 最后, 将有意和克制思维固化策略应用于实际的产品造型设计项目中, 定性评价了思维策略和设计方案。研究表明, 有效运用有意或克制思维固化策略, 能够提高产品造型设计的效率。

66 面向创新设计的工艺设计知识模型及检索方法研究



**摘要:** 在工艺设计领域, 为扩展创新设计知识空间, 提出面向创新设计的工艺设计知识模型及检索方法。在讨论工艺知识特征及知识表达方法的前提下, 针对工艺知识特点及领域范围, 提出基于目标的工艺设计知识构成要素、基于本体的工艺知识管理逻辑架构, 建立工艺设计知识组织模型, 以“功能+流+案例”为规则构建作用本体及流本体, 并完成对抽象流、工件特征以及制造资源等功能的本体化表达。通过结合创新方法与工艺案例的方法, 提出面向目标的工艺设计知识语义模型。基于对功能和流相关本体词汇同位及上下位扩展的研究, 利用扩展算法、知识语义检索、分词模型等方法提出可满足创新设计目标的工艺知识检索模型, 并建立了原型系统。

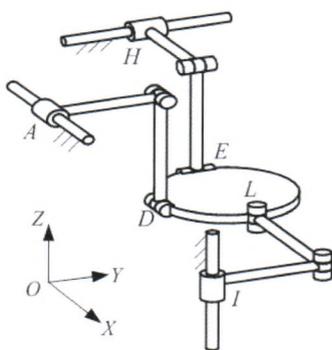


**摘要:** 创意众包通过招募大众完成产品概念、平面广告等创意设计工作, 是获取创意方案的重要手段。但创意众包中参与者通常为非专业设计人员, 参与者资源整合不易。为此, 提出一种引入均衡探索范式的创意众包进化计算方法, 结合设计专家的专业能力与计算机的计算能力整合众包参与者资源。该方法依据设计认知领域中对专家行为的研究成果改进创意众包流程, 使众包群体行为更接近专家的设计过程, 提升产出的创意方案质量。具体的, 利用专家行为的均衡探索范式, 包括“持续信息引入”、“结构化探索”、“广度深度均衡探索”、“新老方案均衡探索”等行为准则, 计算创意方案的进化适应度, 改进进化计算中的基因编码、交叉遗传等操作, 引导众包的方案进化。为验证此创意众包方法, 实施了一个创意众包实例, 招募 252 名参与者就坐姿矫正产品利用提出的方法产出三代创意方案。实例验证该方法能够扩展众包探索的设计空间, 提升众包的创意方案质量。

## /// 机构学及机器人 ///

### 81 以对过约束的认识看自由度分析的历史发展

卢文娟 张立杰 谢 平 张一同 黄 真



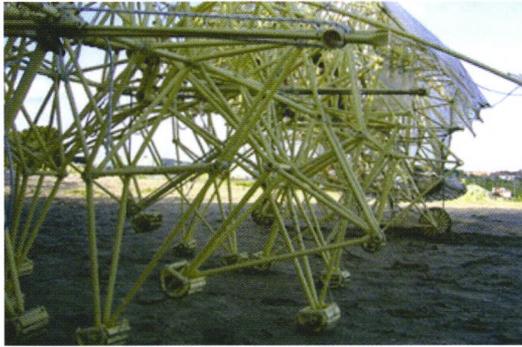
**摘要:** 过约束的处理是自由度计算的关键也是瓶颈, 探索统一的自由度计算公式已经历一百五十多年的历史, 回顾整个发展历程, 其间伴随着人们对过约束由无到有, 由浅入深的认识。以自由度计算的核心——“过约束”为线索, 贯穿整个自由度发展历史, 介绍具有代表性的四十余种自由度公式, 按照各自对过约束的处理方式将其分为三大类: 原始的自由度公式、考虑机构阶的自由度公式以及考虑全部过约束的自由度公式, 总结各类公式的特点、分析其历史地位, 从一个新的角度了解自由度发展的历史, 为能进一步找出研究工作将来的发展方向, 同时提出具有通用性, 实用性的自由度新理论奠定基础。

### 93 基于粒子群优化算法的单腿机器人膝踝协调运动控制

吴伟男 朱秋国 吴 俊 熊 蓉

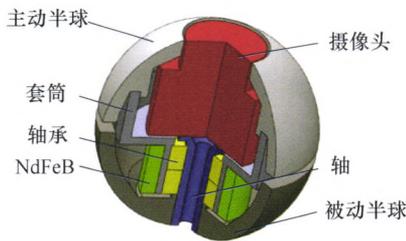


**摘要:** 针对三段式冗余单腿机器人的高效运动问题, 通过采集人体跳跃的运动学数据, 分析人体在跳跃中膝踝关节的做功机理, 提出冗余单腿机器人在跳跃中膝踝协调运动的定义, 研究基于粒子群优化算法(Particle swarm optimization, PSO)搜索算法实现膝踝关节协调运动的优化方法, 优化结果验证了膝踝关节协调运动规划算法的高效率性。通过仿真试验, 实现了单腿机器人膝踝协调的连续跳跃运动, 验证了规划算法和控制算法在跳跃中的有效性, 通过实物试验验证了算法的有效性和鲁棒性。



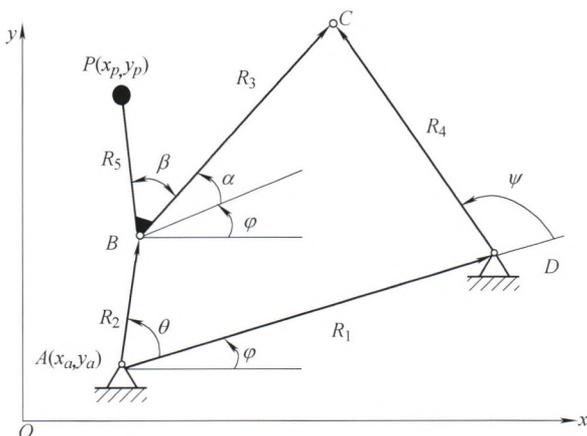
**摘要:** 通过基于标准 Theo Jansen 仿生腿(Jansen-leg)机构研制出的小型仿生机器人实物样机的性能测试,发现该机构存在足端运动轨迹单一、地形适应性差等不足之处,针对此进行 Jansen-leg 机构的系统优化与革新设计。将双边测量中的距离方程应用于标准型仿生腿的运动学建模,作为机构优化中动态变换点的运动学分析的理论依据。通过可重构的优化设计方法,得到了能够适应趾行、避障、泥地、攀爬等运动的诸多新型足端运动轨迹模式。受到优化设计过程和结果的启发,在继承 Jansen-leg 机构优点的同时对其进行机构革新设计。设计的新机构不但具有很好的越障性、通过性、足端运动轨迹模态多样性,还具有控制简单、关节运动协调性好等诸多优点。提高了该机构对非结构地形环境的适应性,拓展了该机构的应用范围。

110 一种新型双半球形胶囊机器人



**摘要:** 为了实现食管、胃部和结肠等非结构宽裕环境内的介入诊疗作业,提出一种主被动模式双半球胶囊机器人,通过空间万向旋转磁场可控制两种模式相互转换,机器人采用被动模式实现“悬停”调姿,采用主动模式实现滚动行走。本文研究双半球胶囊机器人主被动模式转换机理,推导被动模式下“悬停”姿态调整力学模型与主动模式下滚动力学模型,确定胶囊“悬停”调姿稳定性条件,试验表明该双半球胶囊机器人可实现定点“悬停”调姿下的全景观察与沿弯曲环境滚动行走。双重作业模式分离关键技术的突破为构成集窥视、诊疗为一体的胶囊机器人系统,实现胃肠非结构宽裕环境内遍历检查与医疗作业奠定了基础。

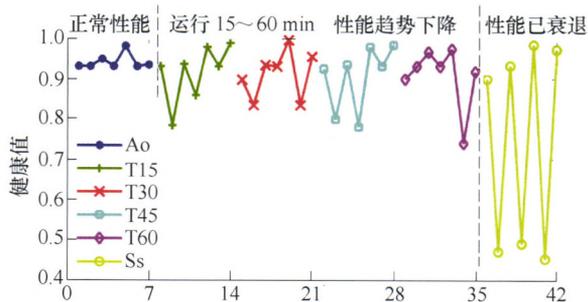
119 平面轨迹机构时变可靠性分析的联合概率方法



**摘要:** 机构运动时变可靠度用以度量机构在指定运动区间上的满足运动要求的概率,该类可靠度反映了机构运动的总体效应,其实质为机构系统可靠度。现有针对函数生成机构提出的运动时变可靠性分析方法不适用于轨迹机构的可靠性分析。为此,提出一种基于联合概率的轨迹机构运动时变可靠性分析方法。对于轨迹型机构,在任一坐标分量上的运动误差超过允许误差就意味着机构运动失效,因此可认为平面轨迹机构包括两种失效模式。基于此,将平面轨迹机构的系统可靠性处理为由各失效模式组成的串联系统可靠性,同时每个坐标分量也处理为  $N$  个轨迹离散点构成的串联系统,进而采用多维正态分布函数实现轨迹机构的运动可靠度求解,最后给出两个平面轨迹机构验证方法的有效性。

125 基于拉普拉斯特征马氏距离的滚珠丝杠健康评估

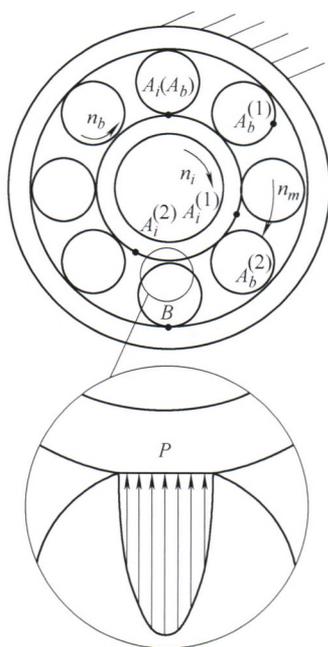
赵 帅 黄亦翔 王浩任 刘成良 刘 晓 梁鑫光



**摘要:** 滚珠丝杠的性能是影响数控机床加工精度的重要因素之一。提出一种机床滚珠丝杠的性能衰退及健康状态的评估方法，该方法结合拉普拉斯特征降维与马氏距离分析模型，建立不同健康状态下传感器信号样本点在特征空间中与健康值的非线性映射关系，从而得到滚珠丝杠性能衰退程度的量化评估。通过不同健康状态的滚珠丝杠性能试验，将该方法应用于滚珠丝杠的驱动电动机速度和转矩信号，通过对传感器信号的内蕴流形及其不同健康状态下的采样特征点在内蕴特征空间中分布相关性分析，以得到量化的性能评估结果。与常见方法所得结果相比，该模型能准确地反映滚珠丝杠的性能衰退趋势，鲁棒性更好。该方法可采用数控机床自带的传感器，无须改动机床整体结构，不影响其动态加工性能，可广泛应用于工业数控机床滚珠丝杠的在线实时健康状态评估。

131 深沟球轴承内部载荷序列与寿命计算

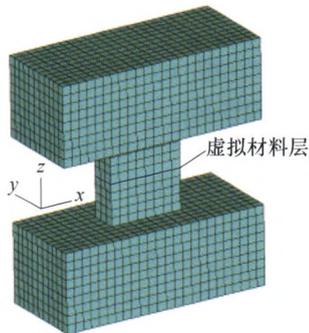
汪久根 徐鹤琴



**摘要:** 以深沟球轴承为研究对象，建立钢球与内外滚道的滚动接触模型，在疲劳寿命的计算中考虑轴承的运动特性。考虑球轴承中同时承载的滚动体个数随时间变化，提出了一种更为准确的载荷分布计算模型。分析了相同外部载荷作用下，不同游隙、不同转速对轴承内部载荷的影响。针对 4 种不同运动状态下的深沟球轴承，分析内圈、外圈和滚动体上一点的接触应力随时间的变化规律，计算得到其载荷序列。考虑内外圈不同运动状态对轴承应力循环次数的影响，对 Lundberg-Palmgren(L-P)寿命模型进行了修正，计算了轴承内圈、外圈、滚动体以及轴承整体的寿命。对比不同运动状态下两种模型计算的寿命，在仅有一个套圈旋转时，修正的寿命与初始 L-P 寿命较为一致，当两个套圈同时旋转时，修正的 L-P 寿命与常用的 L-P 寿命计算结果存在较大差异。

## 141 基于等效横观各向同性虚拟材料的固定结合部建模方法

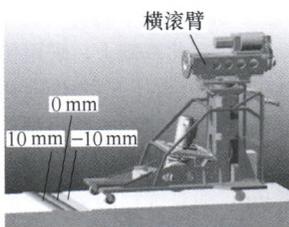
张学良 范世荣 温淑花 王余松 陈永会 兰国生



**摘要:** 为提高固定结合部的建模精度以及通用性,考虑固定结合部在法向和切向的不同特性,提出利用横观各向同性虚拟材料等效的固定结合部动力学参数化建模方法,将固定结合部两接触面的微观接触部分等效为一种等截面的横观各向同性虚拟材料,等效虚拟材料与两侧零件均为固定连接。基于接触分形理论和固定结合部接触刚度分形模型,根据横观各向同性材料弹性常数的定义,理论推导了等效虚拟材料弹性常数以及密度的理论计算模型。在此基础上,对具有固定结合部的试验模型进行了有限元建模与模态分析,进而将理论分析模态与试验模态进行比较,结果表明:试验模型的理论模态与实验模态的前6阶振型完全一致,相应固有频率的相对误差的绝对值在10%以内,说明了建模方法的正确有效性,为数控机床固定结合部动力学建模提供了一种新的方法,实现了固定结合部动力学建模与有限元分析软件的无缝衔接集成。

## 148 新型G形臂X光机设计与力学分析

曾达幸 郜鹏 樊明洲 张星 侯雨雷 张军



**摘要:** 为解决现有X光机工作空间不足,及其承载车对地面冲击较大的问题,并缩短X光机调姿的时间,结合手术临床需求,设计一台由双C臂并联构成G形臂的新型X光机。建立X光机的三维模型,取其中的水平C臂进行刚度分析和结构优化。基于D-H法得到水平C臂与全向移动承载车(以下简称承载车)的位姿转换关系,解得G形臂的工作空间。针对承载车在地面全向平动和匀速越障两种情况,建立其静力学模型并进行分析,结果表明承载车能够实现全向平动和仿地形驱动。利用ADAMS软件建立两组不同驱动形式下的承载车越障模型,对比分析两组模型中横滚臂受到震动冲击的大小,结果表明采用中间驱动轮的承载车能够减少地形突变所造成的冲击,从而验证承载车设计的合理性。

## 156 排气涡轮基于顺序流固耦合传热数值模拟研究

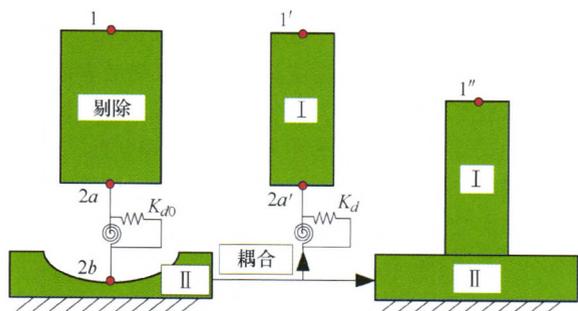
汪超台 李自成



**摘要:** 针对某四缸发动机涡轮增压器排气涡轮在高温及废气气动载荷、离心载荷下的综合数值模拟研究,该数值模拟联合计算流体动力学和有限元分析进行顺序流固耦合传热分析。首先利用STAR CCM+精确模拟计算涡轮增压器排气涡轮的温度场、表面压力场、壁面传热系数分布,将其作为第三类边界条件和压力载荷映射到排气涡轮有限元模型上。通过ABAQUS进行稳态热传导数值模拟,计算出排气涡轮有限元模型网格所有节点的温度场和表面温度,将计算所得的温度场作为预定义场进行热应力分析,最后结合气动载荷和离心载荷进行综合应力分析。

165 车削加工过程中轴类工件频响函数的快速预测

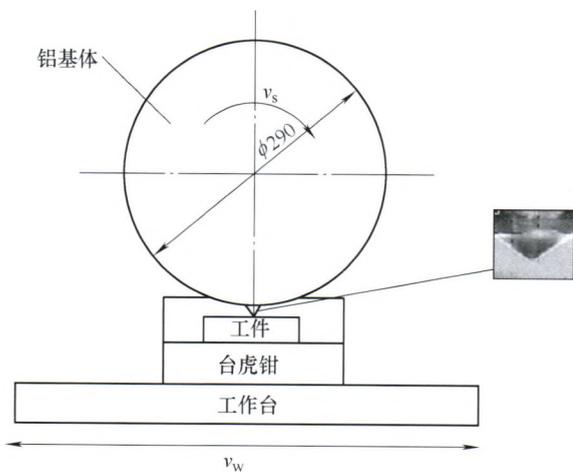
李翔宇 张俊 位文明 赵万华



**摘要:** 轴类工件在车削加工过程中由于材料去除, 其动力学特性会实时变化。快速准确预测工件频响函数是构建车削稳定性极限图, 防止车削颤振的关键环节。通过分析轴类工件连接界面的变形特性, 发现刚性耦合条件下的频响耦合子结构法在预测轴类工件频响函数时具有局限性。在此基础上, 考虑连接界面刚度影响因素, 推导出连接界面刚度的计算方法, 利用柔性耦合条件下的频响耦合子结构法建立了加工过程中轴类工件频响函数求解快速预测模型。试验与理论分析结果表明: 柔性耦合模型能够快速准确地预测轴类工件随材料去除时的频响函数变化; 与刚性耦合模型相比, 柔性耦合模型对频响函数预测的准确性受工件尺寸变化影响较小, 模型应用范围更广。

171 不同圆角半径金刚石划擦单晶 SiC 过程中的材料去除机理研究

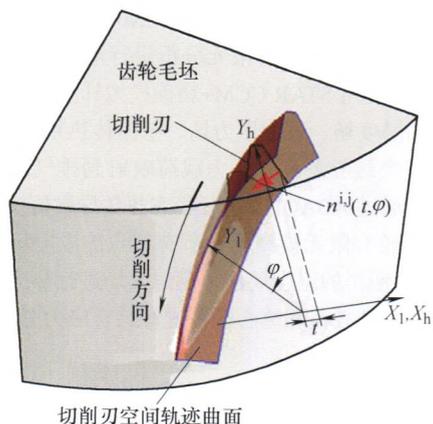
段念 黄身桂 于怡青 黄辉 徐西鹏



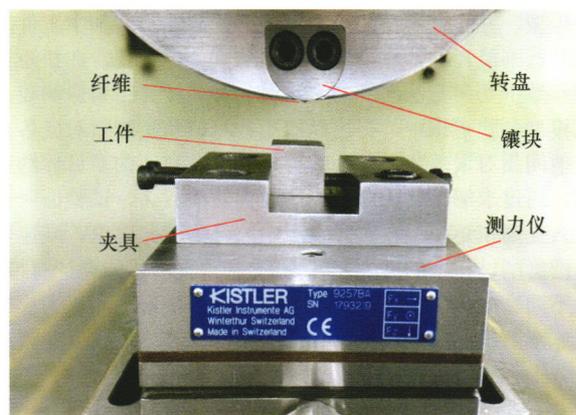
**摘要:** 以单晶碳化硅(SiC)作为加工对象, 通过不同尖端圆角半径的圆锥型金刚石磨粒划擦试验观察了单晶 SiC 的去除过程, 并采用 FEM 与 SPH 耦合算法模拟仿真了三种不同尖端圆角半径的单颗磨粒划擦 SiC 过程中的材料去除过程, 试验结果与模拟结果基本一致。在此基础上, 采用仿真手段从最大等效应力和接触力的角度分析了三种不同尖端圆角半径对单晶碳化硅材料脆塑转变过程材料去除机理的影响。仿真结果表明: 随着尖端圆角半径的增加, 弹塑性变形-脆塑临界转变点趋近于  $0.14 \mu\text{m}$ , 而且纯粹的塑性变形模式逐渐消失; 脆塑临界去除模式所占的区域逐渐变长, 由脆塑临界-脆性去除的转变点的深度也在不断变深; 脆塑转变过程中的微裂纹的长度及粗细程度逐渐增加, 材料破坏的形式也逐渐升级。

181 高速干切滚齿工艺滚刀切削刃载荷分布特性研究

陈永鹏 曹华军 杨潇



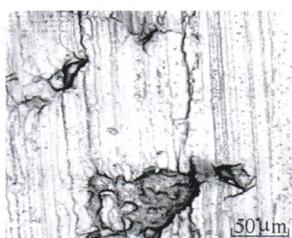
**摘要:** 高速干切滚齿工艺是一种发展迅速的齿轮绿色制造工艺, 但干切条件下刀具容易磨损, 特别是滚切工艺材料去除过程的复杂性, 导致切削刃的载荷分布不均, 刀具局部磨损严重, 影响该工艺的经济性。面向齿轮滚切工艺的材料去除过程, 提出了基于三维切屑的切削刃载荷计算方法, 根据不同切屑几何获得相应单刃切削载荷分布状态及批量加工中切削刃的平均载荷分布状态。通过仿真计算和滚切试验案例, 对比分析了切削刃载荷分布与切削刃实际磨损的关系, 发现侧刃和顶刃过度圆弧处切削载荷最大, 切削刃磨损也最严重, 验证了该方法的有效性。最后, 基于该方法分析了滚切进给方向和进给量对切削刃载荷分布的影响, 其结论对于生产实践中控制刀具磨损具有指导意义。



**摘要:** 利用放电等离子烧结技术和电火花线切割技术制备了尺寸为  $6\text{ mm} \times 0.8\text{ mm} \times 0.8\text{ mm}$  的 CBN-WC-10Co 复合材料纤维, 刃磨后纤维前角为  $0^\circ$ 、后角为  $20^\circ$ 、刃口锋利平直, 能够将这种 CBN-WC-10Co 纤维替代传统 CBN 磨粒并进行有序排布制备成有序化纤维刀具。开展了单纤维和单颗 CBN 磨粒在相同条件下单道切削 TC4 钛合金的对比试验。结果表明, CBN-WC-10Co 单纤维的切削力比 ( $F_n/F_t$ )、切削比能小, 且加工质量可与 CBN 单颗磨粒相媲美; 切削时纤维是以零前角对工件进行切削加工, 且纤维的两侧面均与加工表面始终保持相互垂直, 工件材料受到纤维的挤压作用而向纤维前端及两侧塑性流动大大减少, 切削划痕两侧和切出端的材料堆积现象大为减轻; 纤维切削划痕沿着切削方向的材料去除率为  $98.1\% \sim 99.1\%$ , 材料堆积率为  $0.9\% \sim 1.9\%$ , 而磨粒的材料去除率和材料堆积率分别为  $-54\% \sim 86\%$  和  $10\% \sim 160\%$ , 表明纤维的材料去除性能比单颗磨粒的好, 因此, 可以适当地增大纤维的切削参数来实现材料的高效切削加工。

## 201 可加工微晶玻璃陶瓷磨削表面成形机制

马廉洁 巩亚东 顾立晨 王 华 田俊超 李 亮



**摘要:** 通过在 MK9025A 型曲线磨床上开展微晶玻璃陶瓷磨削试验, 研究可加工陶瓷表面成形机制和表面粗糙度。结果表明, 可加工陶瓷材料磨削时其材料去除具有延性去除、延脆性去除、脆性去除三种模式, 以硬脆材料相关系数  $M_r$  改进可加工陶瓷未变形切屑厚度模型, 提出延性域系数  $\eta_0$ 、延脆性域系数  $\eta_1$ , 用以构建延性-延脆性和延脆性-脆性两个临界磨削深度模型。根据可加工微晶玻璃陶瓷单因素磨削试验, 提出了复合磨削因子  $Q$ , 基于以上未变形切屑厚度模型和两个临界磨削深度模型建立表面粗糙度模型, 得到了表面粗糙度与复合磨削因子之间的关系, 利用标准差检验模型精度。正交试验验证结果表明, 可加工微晶玻璃陶瓷表面粗糙度试验值与所建立的表面粗糙度模型理论值吻合度较高。



**摘要：**非圆磨削加工过程的磨削能耗研究对实现曲轴、凸轮轴等复杂轴类零件大批量生产的低碳制造具有重要意义。分析异形零件非圆磨削运动特点，建立异形零件非圆磨削加工过程中的磨削力经验模型，并结合零件的受力情况，构建非圆磨削中工件所受扭矩以及磨削能耗的计算模型。通过仿真分析发现，在扭矩计算模型的参数中切向与法向磨削力比值 $\lambda$ 对其计算结果影响较大。为此在模型参数辨识中，提出以扭矩计算值和实测值对应各点间及峰峰值间相对误差为目标函数构造关于参数 $\lambda$ 的多目标约束优化问题，通过求解该优化问题得到最优的参数 $\lambda$ 。试验证明该方法能有效提高扭矩模型在实际应用中的可信度。以RV减速器偏心轴非圆磨削过程中的磨削能耗为例，利用提出的能耗计算模型，分析了不同磨削参数和磨除率对非圆磨削过程磨削能耗的影响，指导了非圆磨削低能耗加工参数的选取，为进一步优化非圆磨削加工能效提供了基础。

**CONTENTS**

- 1 Review on Research of Design Thinking**  
LI Yan LIU Hongwei LI Mengdie YUAN Ping
- 21 Knowledge Modelling and Innovative Analogy Methodology of Biologically Inspired Design**  
HU Jie MA Jin QI Jin PENG Yinghong
- 32 The Multidimensional Modeling Method of Design Cognition Based on Semantic Link**  
XU Jiang WANG Xiuyue WANG Yi OU Xifan
- 40 An Exploration into the Influence of Stimulation Distance of Stimulus Information on Design Thinking based on EEG Alpha Activity**  
YUAN Ping XIONG Yan LI Yan LIU Longfan LI Mengdie
- 49 Study on the Generation of Fuzzy Frond End Innovative Ideas in Multi-method Integration**  
LIU Limeng ZHANG Huangao TAN Runhua
- 58 Thinking Fixation Strategy in Product Form Design and Its Application**  
ZENG Dong GONG Dunwei LI Meizi LI Nan
- 66 A Study of Knowledge Modeling and Retrieval Methods Oriented Towards Innovative Design of Manufacturing Planning**  
GUO Xin ZHAO Wu WANG Jie WANG Chen ZHANG Kai CHEN Ling
- 73 An Evolutionary Computation Method of Crowdsourcing Ideation that Integrates the Balanced-exploration Pattern**  
XIANG Wei SUN Lingyun XIA Suochen XU Jiang
- 81 Review on the Mobility Development History with the Understanding of Overconstraints**  
LU Wenjuan ZHANG Lijie XIE Ping ZHANG Yitong HUANG Zhen
- 93 Coordinated Motion Control between the Knee and Ankle Joints for One-legged Robot Based on Particle Swarm Optimization Algorithm**  
WU Weinan ZHU Qiuguo WU Jun XIONG Rong
- 101 Research and Optimization Design of Mechanism for Theo Jansen Bionic Leg**  
ZANG Hongbin SHEN Lianguan
- 110 A New Kind of Dual Hemisphere Capsule Robot**  
ZHANG Yongshun ZHOU Huatao ZHANG Linxia YANG Huiyuan
- 119 Joint Probability Method to Time-dependent Reliability for Planar Path Mechanisms**  
CHEN Fang LI Xinling SHE Xia LONG Yu ZHANG Junfu

- 125 Laplacian Eigenmaps and Mahalanobis Distance based Health Assessment Methodology for Ball Screw**  
ZHAO Shuai HUANG Yixiang WANG Haoren LIU Chengliang LIU Xiao LIANG Xinguang
- 131 Load Sequence and Life Analysis of Deep Groove Ball Bearing**  
WANG Jiugen XU Heqin
- 141 Modeling Method of Fixed Joint Interfaces Based on Equivalent Transversely Isotropic Virtual Material**  
ZHANG Xueliang FAN Shirong WEN Shuhua WANG Yusong CHEN Yonghui LAN Guosheng
- 148 Design and Mechanics Analysis of a New-type G-arm X-ray Apparatus**  
ZENG Daxing GAO Peng FAN Mingzhou ZHANG Xing HOU Yulei ZHANG Jun
- 156 Numerical Simulation Research of Sequential Fluid-solid Coupling Heat Transfer of Exhaust Turbine**  
WANG Chaotai LI Zicheng
- 165 Rapid Prediction for Frequency Response Function of Shaft Parts during Turning Process**  
LI Xiangyu ZHANG Jun WEI Wenming ZHAO Wanhua
- 171 The Material Removal Mechanism of Monocrystal SiC Scratching by Single Diamond Grit with Different Tip Radius**  
DUAN Nian HUANG Shengui YU Yiqing HUANG Hui XU Xipeng
- 181 Research on Load Distribution Characteristic on the Cutting Edge in High Speed Gear Hobbing Process**  
CHEN Yongpeng CAO Huajun YANG Xiao
- 188 Cutting Performance of Single cBN-WC-10Co Fiber**  
MAO Cong LU Ji LIANG Chang ZHANG Mingjun HU Yongle
- 201 Mechanism of Surface Forming in Grinding Machinable Glass Ceramics**  
MA Lianjie GONG Yadong GU Lichen WANG Hua TIAN Junchao LI Liang
- 208 Modelling and Analysis of Grinding Energy Consumption in Non-circular Grinding Process**  
SHEN Nanyan WANG Weidong LI Jing CAO Yanling WANG Yu

# 《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(教授) 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) 陈焯彰(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(教授)  
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)		



ISSN 0577-6686



9 770577 668170

15