

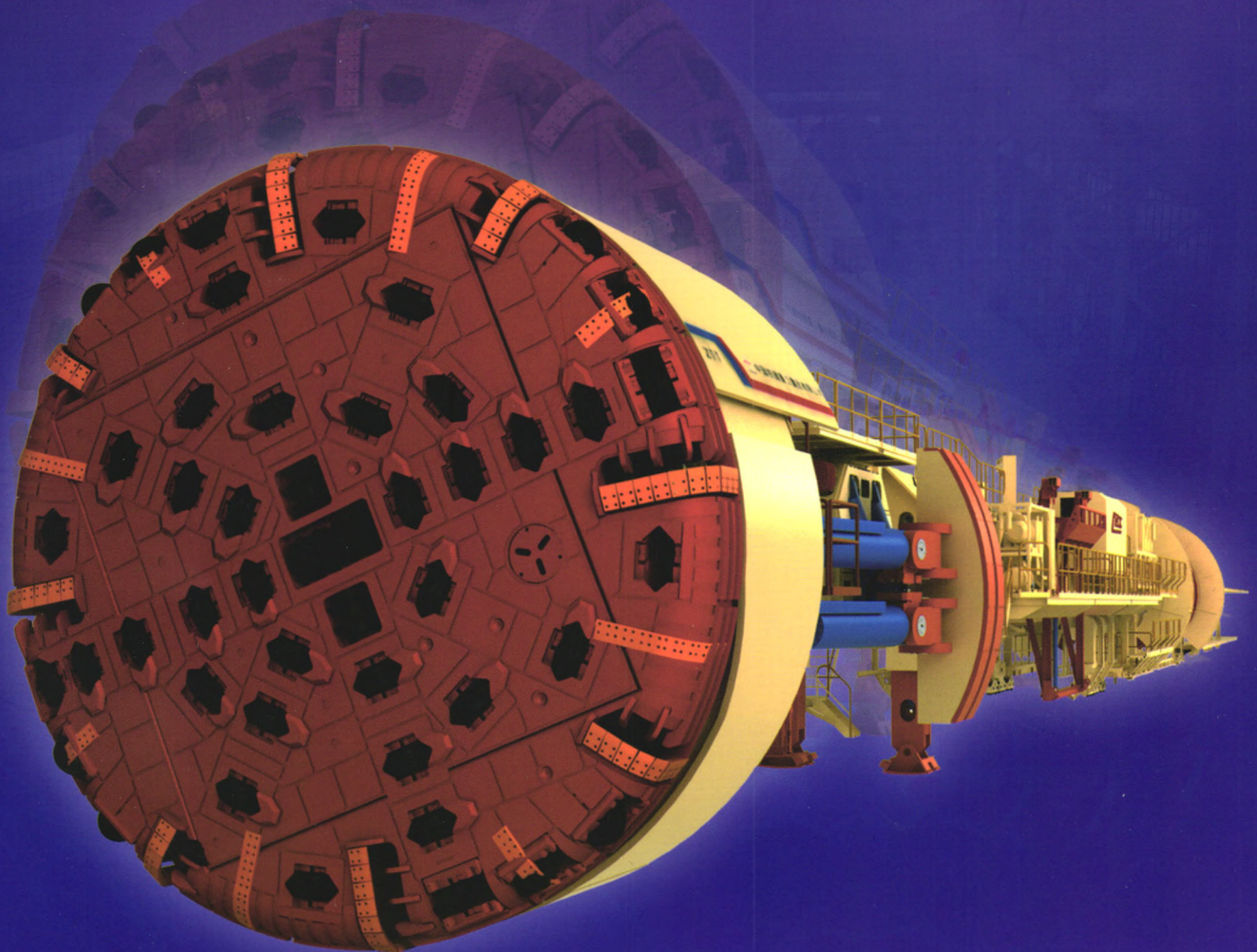
ISSN 0577-6633
CODEN CHHKA2

机械工程学报[®]

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

特邀专栏：硬岩掘进装备（TBM）的关键基础问题

客座编辑：谢海波



中国机械工程学会 主办

万方数据

2018年54卷1期 半月刊

/// 特邀专栏 ///

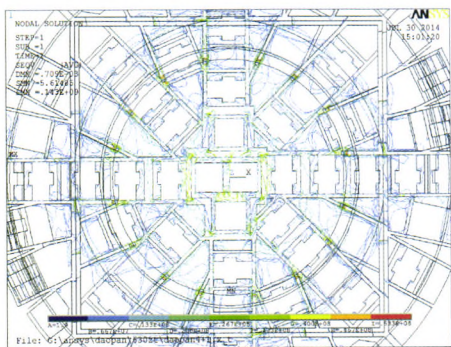
硬岩掘进装备 (TBM) 的关键基础问题

客座编辑: 谢海波教授 (浙江大学)

策划编辑: 罗晓琪 (《机械工程学报》编辑部)

1 TBM 刀盘地质适应性设计方法及其应用

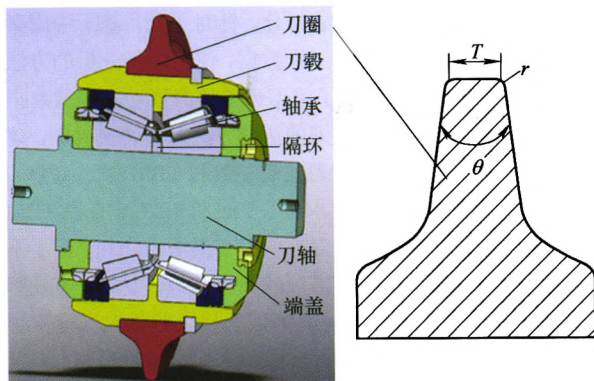
程永亮 钟掘 暨智勇 梅勇兵



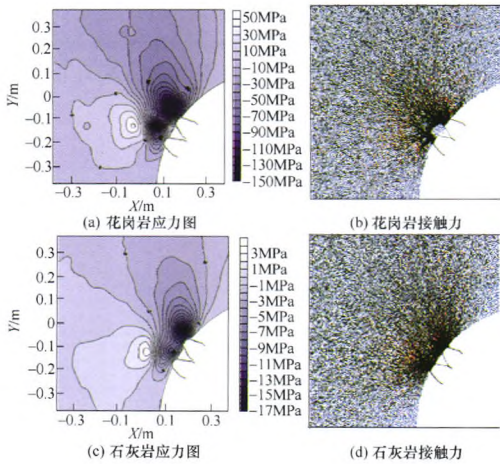
摘要: 刀盘是全断面硬岩掘进机(TBM)的核心部件, 其结构的地质适应性是决定 TBM 掘进效率的关键因素。根据 TBM 刀盘制造企业设计的实际需要, 制定了刀盘设计基本流程, 结合掘进地质条件、刀盘结构参数和掘进参数, 建立了刀具布置、开口、盘体设计等关键参数计算模型, 提出相应的 TBM 刀盘地质适应性设计方法。将 TBM 刀盘设计方法应用于某供水工程, 对该工程所用 TBM 的刀具布置参数、刀盘驱动性能与掘进参数以及刀盘结构参数进行地质适应性设计, 并对设计方案进行了力学性能和出渣性能仿真分析。研究结果表明, 刀盘设计方法能有效实现刀盘结构、刀具布置以及相关掘进参数地质适应性设计, 所设计的刀盘力学性能满足施工要求。目前该刀盘在引水工程中累计已掘进 12 km, 工作状态良好。

10 盘形滚刀刀圈结构地质适应性设计方法

夏毅敏 林赉贻 贺飞 吴遁 李正光 暨智勇

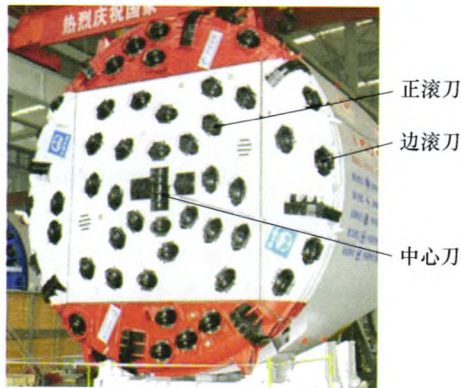


摘要: 为提高盘形滚刀破岩性能与使用寿命, 基于滚刀刀圈结构设计要求与原则, 提出一种滚刀刀圈结构地质适应性设计方法。以滚刀破岩能力、破岩能耗、轴承受载以及磨损性能为优化目标, 建立滚刀刀圈结构多目标优化设计模型。采用模糊层次分析法计算不同地质条件下目标函数权重值, 并通过遗传算法对模型进行求解。将滚刀刀圈结构地质适应性设计方法应用于某供水工程 TBM 项目滚刀优化设计, 结果表明: 不同地质条件下刀圈结构参数设计需要具有针对性, 滚刀刀圈优化设计方法通过专家评判合理设置优化目标权重系数可实现刀圈结构地质适应性设计与选型, 有效提高了滚刀破岩性能与使用寿命。



摘要: 盘形滚刀是全断面硬岩掘进机(Tunnel boring machine, TBM)破碎岩石的关键部件,边缘滚刀因其安装位置的特殊性,破岩行为不同于正面滚刀。为了研究边缘滚刀组合破岩特性以及破岩参数对其破岩性能的影响,采用颗粒离散元法建立边缘滚刀组合破岩模型,研究边缘滚刀组合破碎花岗岩与石灰岩时岩体裂纹演化过程、应力分布特征以及刀具载荷变化规律。在此基础上,建立基于敏感度熵权的边缘滚刀破岩参数综合评价模型,研究边缘滚刀破岩敏感性参数对破岩效率、裂纹扩展能力等的影响程度。研究结果表明:不同岩石条件下,滚刀破岩特性以及破岩参数敏感度有所区别;滚刀间倾角差、刀盘圆弧半径和刀刃角对边缘滚刀破岩性能影响最为显著,刃宽与贯入度影响次之,刀盘转速影响最小。

27 基于裂纹失效区域划分的 TBM 刀盘裂纹位置预估及分析

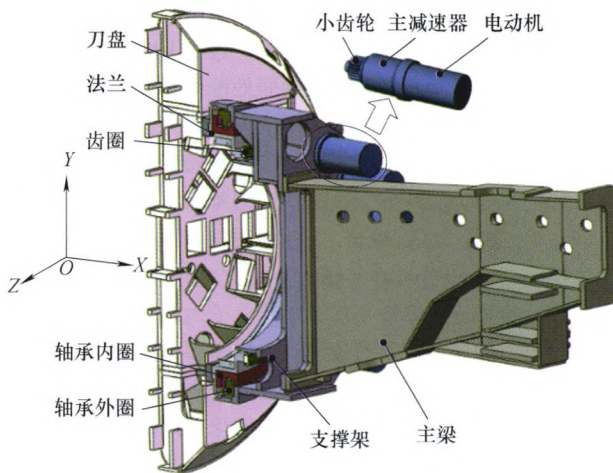


摘要: 裂纹是造成 TBM 刀盘失效的主要原因,由于 TBM 刀盘本身体积庞大,受力情况复杂等原因,导致 TBM 刀盘不同部位的裂纹扩展情况不同,加上无法准确预估裂纹的位置,进而无法准确地计算 TBM 刀盘疲劳寿命。针对这种情况本文提出一套基于 TBM 刀盘裂纹失效区域划分的 TBM 刀盘裂纹位置预估与分析方法。结合受力及结构形式的不同划分刀盘易发生裂纹的危险区域,根据实际掘进情况,将 TBM 刀盘掘进过程分为四种工况,分析总结各个工况下 TBM 刀盘的应力分布,结合裂纹失效统计结果,预估 TBM 刀盘裂纹位置,根据裂纹失效区域划分的结果统计预估裂纹位置所在区域,以此作为依据分析计算 TBM 刀盘疲劳寿命裂纹所需参数,以吉林伊沁 TBM 刀盘为例,刀盘易发生裂纹的部位可划分为 10 个区域,根据计算显示中心块面板,支撑筋与面板连接处、中心刀、边滚刀刀座焊接处、出渣槽等位置为裂纹易出现的位置,结合分区结果计算各区域应力幅值,为后期计算 TBM 刀盘疲劳寿命奠定基础。

36 基于能量法的 TBM 滚刀磨损机理分析研究



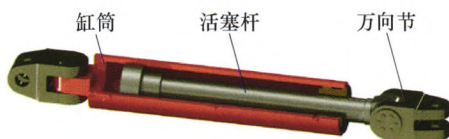
摘要: 滚刀的磨损消耗是全断面岩石隧道掘进机(Tunnel boring machines, TBM)掘进成本的重要组成部分。针对于此,基于中国秦岭和挪威 Røssåga 硬岩隧道的实际工程数据,使用能量分析的方法对滚刀磨损进行了分析研究。提出了滚刀刃单位磨损功和等效磨损函数,通过分析刀盘上不同区域滚刀的运动、受力和磨损机制,建立了基于各刀位滚刀破岩载荷、滚刀安装参数和 TBM 掘进参数的滚刀刃单位磨损功计算公式。通过求解 8.8 m 和 7.23 m 直径 TBM 的等效磨损函数,并计算相应的滚刀刃单位磨损功,对比分析了不同刀盘、不同地质条件和不同刀盘区域的滚刀磨损,发现:等效磨损函数与滚刀寿命系数(CLI)成反比,等效磨损函数的对称轴位置取决于滚刀布局,对称轴位置的滚刀破岩和磨损状态最理想。揭示了刀盘内侧和外侧区域滚刀高磨损率的原因,提出了增大刀盘内侧滚刀间距、增大 30°~40° 倾角的边滚刀数目的滚刀布局建议。



摘要: 提出一种适用于全断面岩石掘进机(Tunnel boring machines, TBM)刀盘驱动系统的分层次建模方法, 考虑系统变频电机运行特性、齿轮时变啮合刚度和啮合误差等非线性因素, 基于动力学相似理论建立刀盘驱动系统整机动力学模型。研究了刀盘驱动系统在电动机启动、稳态载荷与冲击载荷等工况下的动力学响应, 分析结果表明各构件的振动频率主要集中在各级啮合频率的倍频处; 动态啮合力的最大幅值均发生在相应啮合频率的倍频处且动态啮合力的波动随着外部激励的增加而加剧。基于模型试验台, 测试得到不同转速工况下刀盘驱动系统的振动响应, 结果表明各级传动系统的啮合频率及倍频是系统振动的主要频率成分, 验证了分层次建模方法的适用性, 分析结果为刀盘驱动系统的动力学设计提供了理论依据。

56 全断面岩石隧道掘进机支撑-推进-换步机构静刚度分析

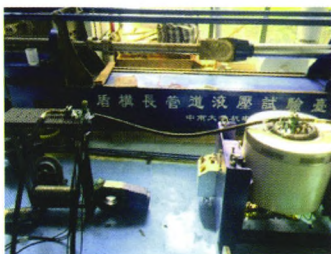
王晓龙 杨玉虎 黄田



摘要: 针对全断面岩石隧道掘进机(Tunnel boring machine, TBM)在施工过程中掘进轨迹经常偏离预设轨迹、严重影响掘进精度及效率的问题, 研究其支撑-推进-换步机构刚度半解析建模方法。从分析机构的变形协调条件入手, 构造出计及所有支链构件及末端自身弹性贡献的半解析静刚度模型, 该模型综合考虑了复杂物理边条(围岩)、机械系统刚度及液压系统刚度。通过算例揭示整机静刚度在掘进全域随位姿的变化规律, 并借助有限元分析软件验证了所建模型的正确性。

66 基础振动对编织式液压胶管钢丝层应力分布影响研究

陈朵云 杨忠炯 周立强 包捷 李俊



摘要: 液压胶管在硬岩掘进机液压系统中大量使用, 作为易损件容易影响系统的安全可靠性, 为了得到胶管的应力分布, 基于复合材料经典层合板理论进行编织式液压胶管的理论分析, 建立了基础振动下编织式胶管的数学模型; 仿真与试验研究得到了液压及振动参数对胶管应力分布的影响, 研究结果显示: 当基础振动频率在胶管共振频率附近时, 应力最大, 振动最明显; 当基础振动振幅越大, 胶管振动越明显, 且应力随着振幅增加而减小; 当振动加速度达到一定值时将导致胶管钢丝层最大主应力发生突变; 液压对胶管钢丝层所受应力的影响较小。

74 复杂地质条件下 TBM 撑靴液压缸导向铜套微动损伤分析

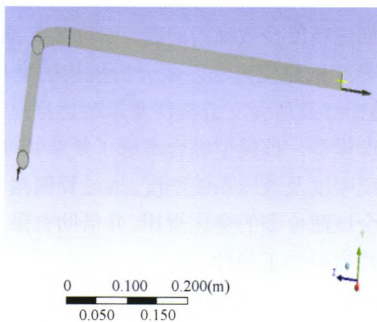
余海东 李琳 赵勇 陶建峰



摘要: 为分析硬岩掘进机的撑靴液压缸在强振动工作环境下内衬铜套断裂的损伤机理, 建立考虑撑靴与围岩接触刚度、缸筒和活塞杆接触面处等效刚度和液压油等效刚度的撑靴液压缸系统的集中参数动力学模型。研究不同支撑刚度条件下, 撑靴液压缸导向套和内衬铜套接触面的法向力、切向力、法向压缩量和切向滑移量的变化规律。基于 Hertz 理论, 分析掘进机在不确定地质条件下掘进时导向套与内衬铜套界面之间的接触载荷分布规律。根据连续介质损伤力学建立了内衬铜套结构含损伤材料本构模型, 以液压缸动力学模型得到不同接触刚度下的内衬铜套接触面处的微动载荷为初始条件, 分析了撑靴液压缸的内衬铜套的损伤演化规律。结果表明随着支撑刚度的增大, 切向力和切向滑移减小, 损伤的萌生和演化速率降低。适当提高围岩和撑靴之间的接触刚度, 降低撑靴液压缸导向铜套的损伤概率。

82 TBM 液压弯管动态特性分析

瞿维 张怀亮 宁海辉 刘森



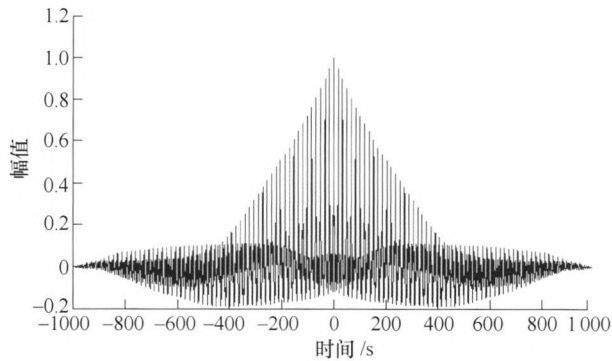
摘要: 针对硬岩掘进机(Tunnel boring machines, TBM)上外激励改变弯管动态特性导致其传递效率降低的问题, 利用双向流固耦合的方法, 建立了流体域和固体域的仿真模型。运用有限元分析软件求解了弯管的应力, 发现求解结果和试验结果具有很好的一致性。对比分析了有无基础振动下弯管的动态特性; 研究了不同的外激励基础振动参数和弯管的结构参数对弯管动态特性的影响规律。结果表明: 应用双向流固耦合的方法更清晰地反映了弯管在强振动环境下的动态特性, 为弯管的设计和选型提供一定的参考。

90 基于视觉辅助的隧道轮廓监测

李华 雷勇 甘创



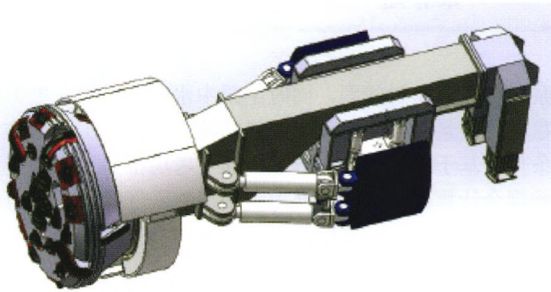
摘要: 隧道掘进机(Tunnel boring machine, TBM)被广泛地运用于隧道施工中。隧道的变形是影响 TBM 施工安全的主要因素之一, 过大的隧道变形会引起隧道塌方、TBM 卡机等事故, 影响施工进度, 威胁施工人员的生命安全。针对 TBM 施工情况, 介绍基于视觉辅助的隧道轮廓监测系统。采用荧光涂料设计人工标志点, 单目视觉检测目标, 云台驱动激光位移传感器瞄准目标。基于极坐标测量原理, 获取目标点三维坐标。为进一步提高测量效率, 提出基于半定规划的双目视觉系统辅助测量方案。试验结果表明系统的精度可达 1 mm 并具有较高的测量效率。



摘要: 针对油液混合动力挖掘机燃油效率偏低、能量损失较大等问题, 提出一种基于转矩预测的油液混合动力挖掘机动态规划控制策略。分析挖掘机工况循环的负载特性; 确定进行需求转矩预测所需的最小样本长度; 利用经验模态分解对挖掘机需求转矩曲线进行周期分割, 并得到下一周期的预测转矩; 提出基于动态规划算法的控制策略。通过仿真分析可知, 利用该控制策略可使发动机最大输出转矩下降 28.9%, 燃油消耗量降低 32.5%, 同时将蓄能器压力维持在设定范围内。

107 TBM 刀盘驱动系统协调控制

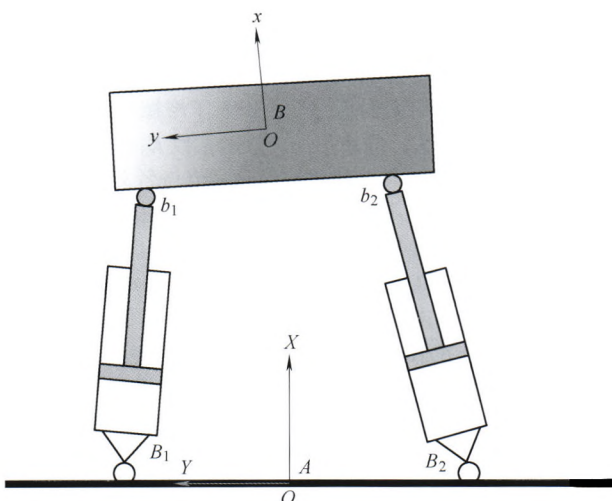
廖建峰 姚 斌



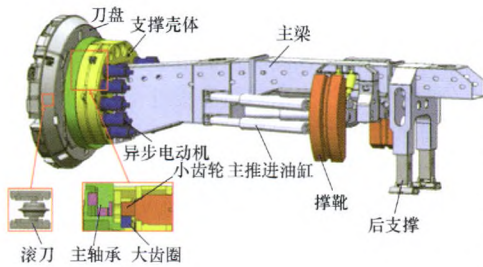
摘要: 刀盘驱动系统是硬岩掘进装备的重要组成部分。对冗余驱动 TBM 刀盘驱动系统的协调控制问题展开研究。本文提出一种时变的非线性动力学模型用于描述硬岩掘进装备刀盘驱动系统。针对 TBM 刀盘驱动系统, 提出一种集成控制分配的 TBM 棒控制器, 驱使刀盘跟踪期望的速度且各电动机的驱动转矩实现协调控制。其中, 上层控制器用于处理变化的不确定性和作用于刀盘的可变负载, 控制分配策略用于分配驱动转矩使得各电动机驱动转矩均衡分布。各种对比仿真用于证明提出控制器的优越性能。仿真结果表明提出的控制器不仅能够满足刀盘的速度控制也能够实现各驱动电动机驱动转矩的均衡分布。

113 基于自适应鲁棒控制算法的硬岩隧道掘进机水平方向轨迹纠偏控制

邵诚俊 廖建峰 刘之涛 苏宏业



摘要: 硬岩隧道掘进机在施工过程中掘进轨迹与施工设定轴线无法时刻保持一致, 需要轨迹纠偏控制来实现施工的顺利进行。敞开式硬岩隧道掘进机可通过调节左右推进油缸推力对装备的水平方向位姿进行调节。对掘进装备的主驱动-推进-撑靴多系统进行运动学分析和动力学建模, 得到掘进机的水平方向纠偏调向模型。为解决模型中的参数不确定项和不确定非线性项, 利用自适应鲁棒控制策略设计轨迹纠偏控制器, 通过仿真结果可知, 设计的控制器能快速、平滑且精确地进行纠偏调控。

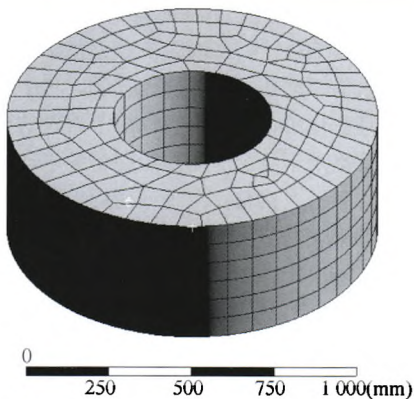


摘要: 为了保证 TBM 掘进过程中各电动机扭矩同步输出, 确定合适的控制策略尤为重要。机电耦合动力学模型考虑各齿轮的动态负载和同步控制策略下电动机输出扭矩之间的耦合关系, 能够更加精确地计算主驱动系统动态特性。因此以 TBM 突变冲击动态载荷为输入, 基于主驱动系统机电耦合动力学模型, 分别对转矩主从控制和转速跟随控制下各电动机扭矩输出同步性和齿轮的三向振动情况进行了分析。分析结果表明: 采用转矩主从控制策略时, 由于直接对电动机输出扭矩进行干预调整。在其控制下各电动机能够更好地保证输出扭矩的一致性, 同时减少齿轮的三向振动。而采用转速并联控制时, 由于各电动机之间相对独立。系统通过同步转速而被动协调输出扭矩, 这导致系统同步性能较差, 其在同一时刻输出扭矩的最大差异为转矩主从控制策略下的 3.5 倍左右。这种扭矩的异步输入直接恶化了齿轮的振动情况。大齿圈径向振动增大了 2 倍以上, 这极易造成齿轮齿面断裂, 齿轮轴扭断等安全事故。

/// 摩擦学 ///

127 屏蔽式核主泵水润滑可倾瓦推力轴承推力盘的离心效应

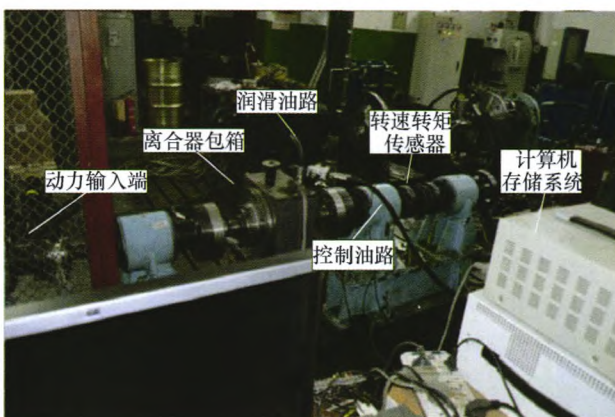
宋智翔 刘莹 郭飞 刘向锋 王玉明



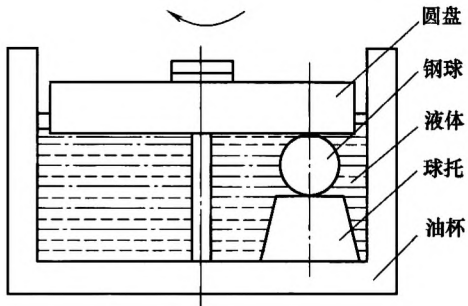
摘要: 屏蔽式核主泵避免了动密封问题, 同时主泵中水润滑可倾瓦推力轴承有着尺寸大、推力盘转动惯量大、离心效应明显的特点。针对主泵中推力盘的结构特点及工况条件, 基于有限元分析方法, 建立考虑推力盘离心变形的可倾瓦推力轴承多场耦合计算模型。基于推力盘变形独立性探索了推力盘装配结构中两个关键间隙的设计参数: 内轮毂端面与端面板直接接触, 外套环与端面板之间留有间隙, 屏蔽套与外套环之间应至少预留 1.74 mm 的间隙; 探讨了推力盘装配结构对离心变形的影响: 低转速下可倾瓦轴承可通过瓦块倾斜补偿推力盘变形, 转速大于 3 600 r/min 时推力盘变形迅速增大, 极大增加润滑失效可能性; 分析计算了不同结构尺寸下离心变形对推力轴承工作性能的影响: 飞轮内轮毂凸沿外径的合理尺寸范围为 0.63~0.67 m。

136 离合器配对摩擦副径向温度梯度对接触比压的影响

李和言 王宇森 熊涔博 陈飞 李明阳 杨硕



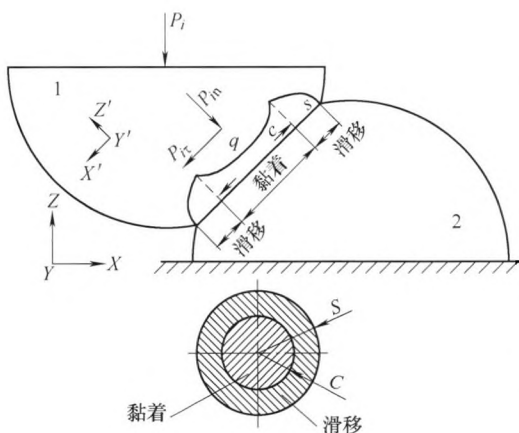
摘要: 针对离合器滑摩过程中摩擦副元件温度场和应力场分布, 建立摩擦热流密度与真实接触面积的动态滑摩过程分析模型, 通过动态测温和静态比压试验验证了理论模型对接触比压分布研究的适用性。引入了摩擦副元件动态滑摩热弹性变系数 K_a 、静态不均匀接触系数 K_s 和离合器接触比压扰动系数 K 。 K 值为接触比压最大值与名义平均接触比压之比, K 值越大, 配对摩擦副接触界面比压扰动越大, 表明配对摩擦副接触特性越差, 真实接触面积越小, 离合器越可能出现局部高压与高温区。理论分析与试验结果表明: 所研究的铜基粉末冶金摩擦材料与 65Mn 对偶钢片组成的配对摩擦副: 在低、中摩擦热流密度时, 真实接触面积为名义接触面积的 40%~60%; 高摩擦热流密度时, 真实接触面积约为名义接触面积 20%~40%; 当达到或超过临界摩擦热流密度时, 配对摩擦副真实接触面积仅为名义接触面积的 10%~15%。



摘要: 选取丙二醇无规共聚醚(Propylene glycol random copolyether, PPE)作为水基润滑液的基础添加剂,研究了 PPE 水溶液的摩擦学性能。试验中首先利用 MRS-10 型四球试验机对 PPE 水溶液进行摩擦磨损性能、极压性能和稳定性能试验研究,试验结果表明 PPE 水溶液具有较好的减摩抗磨性能和稳定性能,质量分数为 10% 的 PPE 水溶液的最大无卡咬负荷(即 P_B 值)在 755~784 N 之间。然后利用 NGY-6 型纳米膜厚测量仪对 PPE 水溶液进行成膜性能研究,结果表明 PPE 水溶液具备较好的成膜特性, PPE 的加入大大提高了纯水的成膜能力,在一定质量分数范围内其膜厚随着水溶液质量分数的增大逐渐增大。总体而言, PPE 是一种应用前景良好的水基润滑添加剂。

150 法向加-卸载过程中弹塑性微凸体侧向接触能耗研究

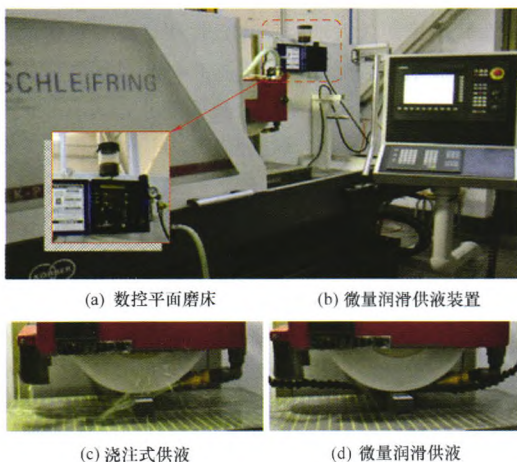
高志强 傅卫平 王 雯 娄雷亭 吴洁蓓



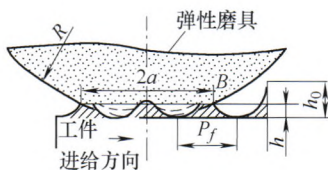
摘要: 针对法向加-卸载作用下双粗糙表面上微凸体接触阻尼能耗问题,提出弹性、弹塑性、塑性微凸体侧向接触能耗计算方法。基于微凸体接触球形假设,根据微凸体侧向接触受力分析,将其分解为垂直于微凸体接触点公切面的法向分力和沿该面的切向分力。采用 HERTZ, ETSION 理论,分别建立了加-卸载过程中微凸体发生弹性、弹塑性、塑性变形时,法向分力与变形之间关系;依据 CATTANEO-MINDLIN 黏着-滑移理论, BKE 模型, ERITEN 模型理论,建立了加-卸载过程中三个变形阶段的切向分力与位移之间关系。利用法向分力-变形和切向分力-位移之间的关系,求得微凸体在法向、切向分力共同作用下产生的应变能耗以及摩擦能耗,进而求得微凸体侧向微观接触在三个阶段下的能耗。研究表明,微凸体侧向接触时耗能包括应变能耗和摩擦耗能,且法向变形量越大,应变能耗、摩擦耗能越大;接触角度越大,应变能耗越大,摩擦耗能越小。

161 MoS₂/CNTs 混合纳米流体微量润滑磨削加工表面质量试验评价

张彦彬 李长河 贾东洲 李本凯 王要刚 杨 敏 侯亚丽 张乃庆 吴启东

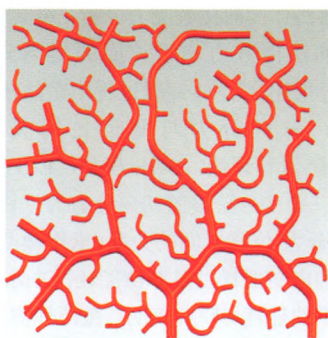


摘要: 结合国内外对混合纳米流体微量润滑磨削的研究现状,研究二硫化钼和碳纳米管混合纳米流体微量润滑磨削镍基合金的工件表面质量。以工件表面粗糙度 R_a 值、表面轮廓曲线的自相关分析和工件表面微观形貌,作为表面质量表征参数。试验结果表明:纳米流体微量润滑由于纳米粒子高的强化换热能力从而避免了工件烧伤;混合纳米流体由于起到了“物理协同作用”,较单一纳米流体得到了最低的表面粗糙度 R_a 值(0.311 μm)和磨削温度峰值(52.8 $^{\circ}\text{C}$);随纳米流体质量分数的增加,表面粗糙度 R_a 值呈现上升趋势,这是由于质量分数的增加改变了微量润滑雾滴与工件的接触角,从而改变了浸润面积;而摩擦系数和磨削温度峰值在 6%取得最低值后呈上升趋势,这是由于纳米粒子的团聚破坏了纳米流体性能。通过工件表面轮廓曲线的自相关分析进一步验证,纳米粒子在磨削区起到“润滑作用”和“微加工”作用,从而提高了加工精度。因此,综合磨削性能、表面粗糙度和自相关分析,选择混合纳米流体质量分数 6%为纳米流体的优选质量分数。

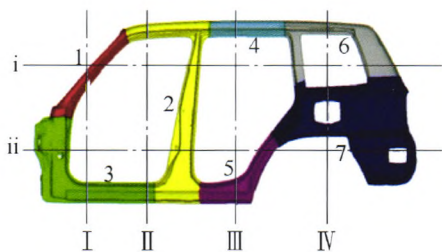


摘要: 硬质合金曲面磨抛过程中, 影响因素较多且存在耦合, 加工效率低, 废品率高。为提高相对滞后的曲面光整技术, 从理论上得到磨抛效率与接触特征的关系, 以 M300 钢为研究对象, 通过对弹性磨具的微观接触分析, 建立残留峰数学模型, 得到残留峰移除率与影响磨抛精度的主要因素的精确表达式, 确定了各个因素对磨抛效果的影响程度和最佳参数组合, 并验证了该参数组合的正确性, 为硬质材料曲面超精磨抛提供了理论指导。

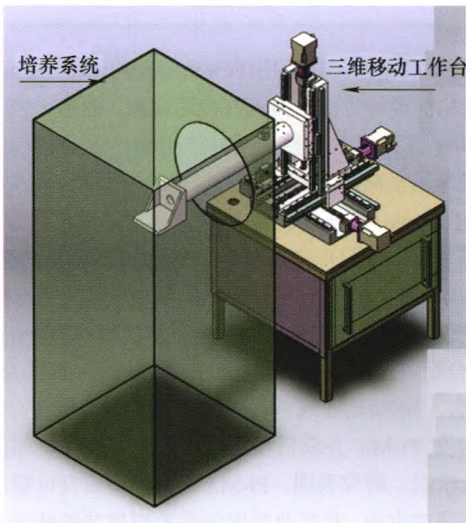
/// 数字化设计与制造 ///



摘要: 针对颅骨组织工程支架由于缺乏血管结构从而限制了细胞的生长及成骨量的形成等问题, 提出一种基于人体颅骨板障静脉特征的血管支架参数化设计方法。通过显微计算机断层扫描技术(Micro computed tomography, 显微 CT), 对天然颅骨样本进行扫描、脉管特征识别和形态分析, 基于二叉树结构, 建立血管支架的参数化模型, 并基于人体静脉血流特征, 建立流固单向耦合有限元模型, 分析流动血液对弹性血管结构的影响。结果表明该血管支架可实现参数化的结构设计, 并具有血液流动功能, 主血管以及带小血管的血管段血流稳定, 流体压力、速度和剪切力的分布满足层流规律, 血管的变形和应力分布基本合理。该方法可用于指导与完善血管设计, 为颅骨组织工程支架体外血管化奠定基础。



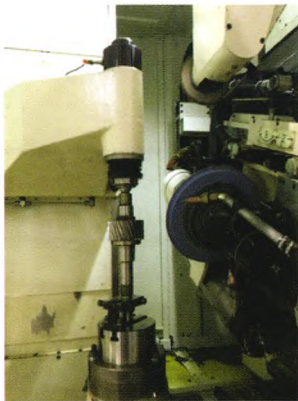
摘要: 为实现概念设计阶段在汽车模块化平台下对汽车白车身结构进行的模块化设计, 提出一套划分模块并从中筛选出共享模块和非共享模块的方法。首先, 在保证车身性能的同时考虑车身制造成本和装配成本, 提出一种改进的图分解算法, 进而能够定义出车身装配结构的最佳划分方式, 并依此进行车身结构模块的划分; 以该划分方式为基础, 根据结构发生改动时所涉及到模具的成本和制造的复杂程度进行优先级排序, 定义并筛选出其中的核心共享模块、参数化设计模块和柔性调整模块; 在施加平台级约束后, 平台下某车型的性能和单独优化该车性能的差值应控制在一定范围内, 可根据该差值是否满足要求动态调整三种模块的筛选结果。算例以某三款车型的白车身底板为对象进行了划分和筛选, 结果证明了该方法的有效性。



摘要: 人类对于大脑这一复杂功能器官认知不足限制了大脑疾病研究的进展, 由于组织离体保存的难度和人脑组织研究所涉及的伦理问题, 现代医学对于大脑的探究和脑疾病相关药理研究大多依赖于活体动物, 而动物与人的差异导致动物实验药理研究结果应用于临床后效果不佳。因此, 通过组织工程的方法进行类脑组织的体外构建将为大脑结构和功能的研究提供基础。在阐述了人类大脑灰质宏/微复杂结构基础上, 揭示了采用 3D 打印技术体外构建类脑组织在脑科学研究中的重要意义和面临的巨大挑战; 同时对目前存在的类脑组织的体外构建方法及局限性进行了全面论述, 并提出类脑组织打印培养一体化的类脑组织体外构建方法。该系统通过打印与培养过程的整合, 促进打印后细胞成活和组织功能化。

205 基于数字法的成形砂轮廓形计算及包络面仿真

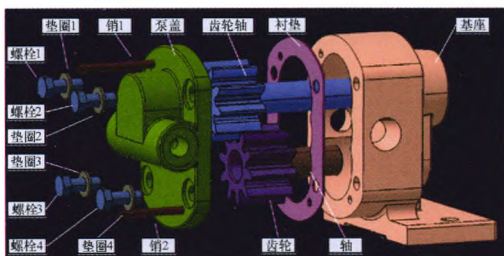
何坤 李国龙 蒋林 董鑫 刘鹏祥



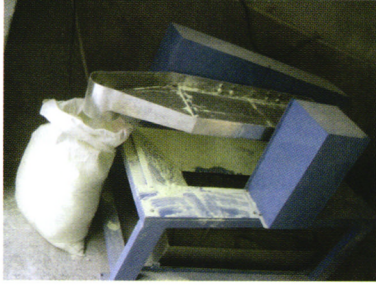
摘要: 成形磨齿过程中, 砂轮的廓形精度直接影响到最终齿轮的加工精度。针对成形磨削时砂轮廓形精确计算的需求, 提出了一种基于点矢量包络的数字法, 用于砂轮廓形计算及包络面仿真。将齿轮的端面廓形离散为一系列点矢量, 利用点矢量完整地描述廓形离散点处的几何特征, 将曲面的包络转换为点矢量沿齿面螺旋线的运动包络; 通过坐标变换及旋转投影, 将点矢量包络运动形成的空间点矢量族投影到选取的计算平面上形成点矢量族; 建立点矢量逼近算法, 求取计算平面上各点矢量族的包络点, 所有的包络点通过拟合的方式构成砂轮廓形。利用点矢量在包络过程中的空间映射关系, 确定砂轮廓形点对应的空间接触点, 所有的接触点构成砂轮与齿轮的接触线; 在确定的砂轮廓形及磨削路径前提下, 采用点矢量包络法计算不同磨削位置处的接触线, 利用所有的接触线完成对砂轮包络面的仿真, 并提取包络面的端面廓形进行误差显化和预测。最后以一种齿轮为例, 完成了对成形砂轮廓形的计算和包络面的仿真, 并通过标准齿轮磨削试验验证了点矢量包络方法的计算精度, 通过齿向修形齿轮磨削试验验证了包络面仿真结果的准确性。

214 基于装配特征偶的设计意图建模方法

徐志佳 王清辉 李静蓉



摘要: 产品建模是影响制造企业竞争力的关键因素之一, 包括零件建模和装配建模两个方面。在当前的计算机辅助设计系统 (Computer-aided design, CAD) 中, 当设计一个零件时, 设计者知道该零件将如何与其他零件配合, 但这一信息(装配设计意图)并未存储在零件模型中, 因此需要在装配建模阶段通过大量地拾取几何元素、输入约束命令进行重复表达, 工作量巨大、操作过程繁琐。为减轻上述问题, 首先对装配设计意图的表现形式和传递过程进行系统分析, 明确其建模的基本原理; 其次, 基于前期发展的装配特征偶 (Assembly feature pair, AFP) 概念, 对装配设计意图涉及的配合结构和行为进行系统建模; 最后, 阐述在产品建模和装配过程仿真中依托 AFP 传递设计意图的模式, 并通过实例验证基于 AFP 描述装配设计意图、实现两个阶段集成的可行性。该方法可为装配设计意图的一致性、简化传递奠定基础, 丰富并发展现有 CAD 建模理论和技术体系。



摘要：研究提出少输入-多输出(Fewer input-more output, Fi-Mo)并联机构的设计方法及其潜在应用前景,为基于较少驱动输入而动平台具有多个独立及其伴随输出运动机构的装备设计提供理论基础。建立 Fi-Mo 并联机构的驱动输入数 W 、自由度数(Degree of freedom, DOF)及其输出方位数 N_{out} 三者的数学模型;给出了(1~5)-DOF Fi-Mo 并联机构的所有基本类型;提出了 Fi-Mo 并联机构设计的基于驱动副逐个固化——等效支链替代的演化法,以及基于构造含伴随运动支链的设计法;分别以一平移两转动输出、三转动输出的 Fi-Mo 并联机构为例,详细说明了这两种设计方法的设计过程;介绍基于单自由度 Fi-Mo 并联机构的三种多维并联振动筛的研制及其试验情况。研究表明:Fi-Mo 并联机构研究可望成为一个重要的研究方向,对产业发展所需的新型节能装备设计具有较好的指导作用。

26 第7届上银优秀机械博士论文奖——银奖

98 第7届上银优秀机械博士论文奖——铜奖

170 第7届上银优秀机械博士论文奖——铜奖

232 第7届上银优秀机械博士论文奖——优秀奖

CONTENTS

- 1 Geological Adaptive Design Method and Application of TBM Cutterhead**
CHENG Yongliang ZHONG Jue JI Zhiyong MEI Yongbing
- 10 Geological Adaptability Design Method of Disc Cutter Ring**
XIA Yimin LIN Laikuang HE Fei WU Dun LI Zhengguang JI Zhiyong
- 18 Rock-breaking Characteristics of TBM Gage Disc Cutters and Sensitivity Analysis of Their Influencing Factors**
LIN Laikuang XIA Yimin JIA Lianhui WU Dun SHEN Bin ZHANG Xuhui
- 27 Predict and Analysis the Locations of Fatigue Crack in TBM Cutterhead Based on Crack Failure Regions Division**
SUN Wei ZHU Ye HUO Junzhou HUANG Xiaoqi
- 36 Analytical Research on the Wear Mechanism of TBM Disc Cutters Based on an Energy Approach**
GENG Qi WEI Zhengying REN Junhui
- 44 Hierarchical Modeling and Dynamic Analysis of Cutterhead Driving System in TBM**
SUN Wei MA Honghui DING Xin WANG Lintao
- 56 Stiffness Analysis of an Open Tunnel Boring Machine Gripping-thrusting-regripping Mechanism**
WANG Xiaolong YANG Yuhu HUANG Tian
- 66 Stress Distribution of Steel Wire Braid Hydraulic Hose with Vibration of Foundation**
CHEN Duoyun YANG Zhongjiong ZHOU Liqiang BAO Jie LI Jun
- 74 Fretting Damage of Copper Sleeve Gasket in Gripper Cylinder of TBM Excavating in Complex Geological Structures**
YU Haidong LI Lin ZHAO Yong TAO Jianfeng
- 82 Dynamic Characteristics of the Hydraulic Bend Pipe on the TBM**
QU We ZHANG Huailiang NING Haihui LIU Sen
- 90 Tunnel Deformation Monitoring Based on Vision Assistant**
LI Hua LEI Yong GAN Chuang
- 99 Control Strategy of Hybrid Excavator Based on Torque Prediction**
ZHAO Pengyu CHEN Yinglong ZHOU Hua YANG Huayong
- 107 Coordinated Control for Overactuated Hard Rock Tunnel Boring Machine Cutterhead Driving System**
LIAO Jianfeng YAO Bin

- 113 Trajectory Tracking Control in Horizontal Direction of Open-type Hard Rock Tunnel Boring Machine Based on Adaptive Robust Control Strategy**
SHAO Chengjun LIAO Jianfeng LIU Zhitao SU Hongye
- 120 TBM Electromechanical Coupling Modeling and Comparative Analysis of Synchronous Drive Control Strategy**
HUO Junzhou WU Hanyang ZHU Dong SUN Wei BAO Youneng
- 127 Influence of Centrifugal Deformation of Thrust Collar in Water-lubricated Tilting-pad Thrust Bearings of Nuclear Canned Pump**
SONG Zhixiang LIU Ying GUO Fei LIU Xiangfeng WANG Yuming
- 136 Effect of Radial Temperature Gradient on Interface Pressure of Clutch Friction Pair**
LI Heyan WANG Yusen XIONG Cenbo CHEN Fei LI Mingyang YANG Shuo
- 144 Tribological Properties of Propylene Glycol Random Copolyether Aqueous Solutions**
GU Jun ZHANG Chaohui HUANG Baocheng WANG Lei LI Kuankuan
- 150 Energy Dissipation Study of Elastic-plastic Asperity Side Contact during Normal Loading-unloading**
GAO Zhiqiang FU Weiping WANG Wen LOU Leiting WU Jiebei
- 161 Experimental Evaluation of the Workpiece Surface Quality of MoS₂/CNT Nanofluid for Minimal Quantity Lubrication in Grinding**
ZHANG Yanbin LI Changhe JIA Dongzhou LI Benkai WANG Yaogang YANG Min HOU Yali ZHANG Naiqing WU Qidong
- 171 Research on Processing Efficiency and Contact Characteristics of M300 Steel Surface Grinding with Elastic Abrasives**
WU Xiaojun CHEN Zhu ZHOU Tianze MA Changjie SHU Xiao DONG Jianyuan
- 178 Parametric Design for Skull Tissue Engineering Vascular Scaffold**
LIU Jie ZHENG Shuxian LI Jia
- 188 Modular Platform-oriented Method for Module Identification and Selection**
HOU Wenbin SHAN Chunlai YU Ye ZHANG Hongzhe
- 197 The Development Frontier of 3D Printing – the Brain-like Tissue Printing**
WANG Ling FANG Ao SHEN Hao LI Dichen ZHANG Kun HAO Zhiyan MAO Xinggang
- 205 Calculation of Form Grinding Wheel Profile and Simulation of Envelope Surface Based on Digital Method**
HE Kun LI Guolong JIANG Lin DONG Xin LIU Pengxiang
- 214 Modeling Assembly Design Intent Based on Assembly Feature Pair**
XU Zhijia WANG Qinghui LI Jingrong
- 223 Design Methods and Applications for the Fewer Input-More Output Parallel Mechanisms**
SHEN Huiping DENG Jiaming MENG Qingmei LI Ju ZHU Wei

《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) 陈绍彰(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)		



ISSN 0577-6686



9 770577 668187