

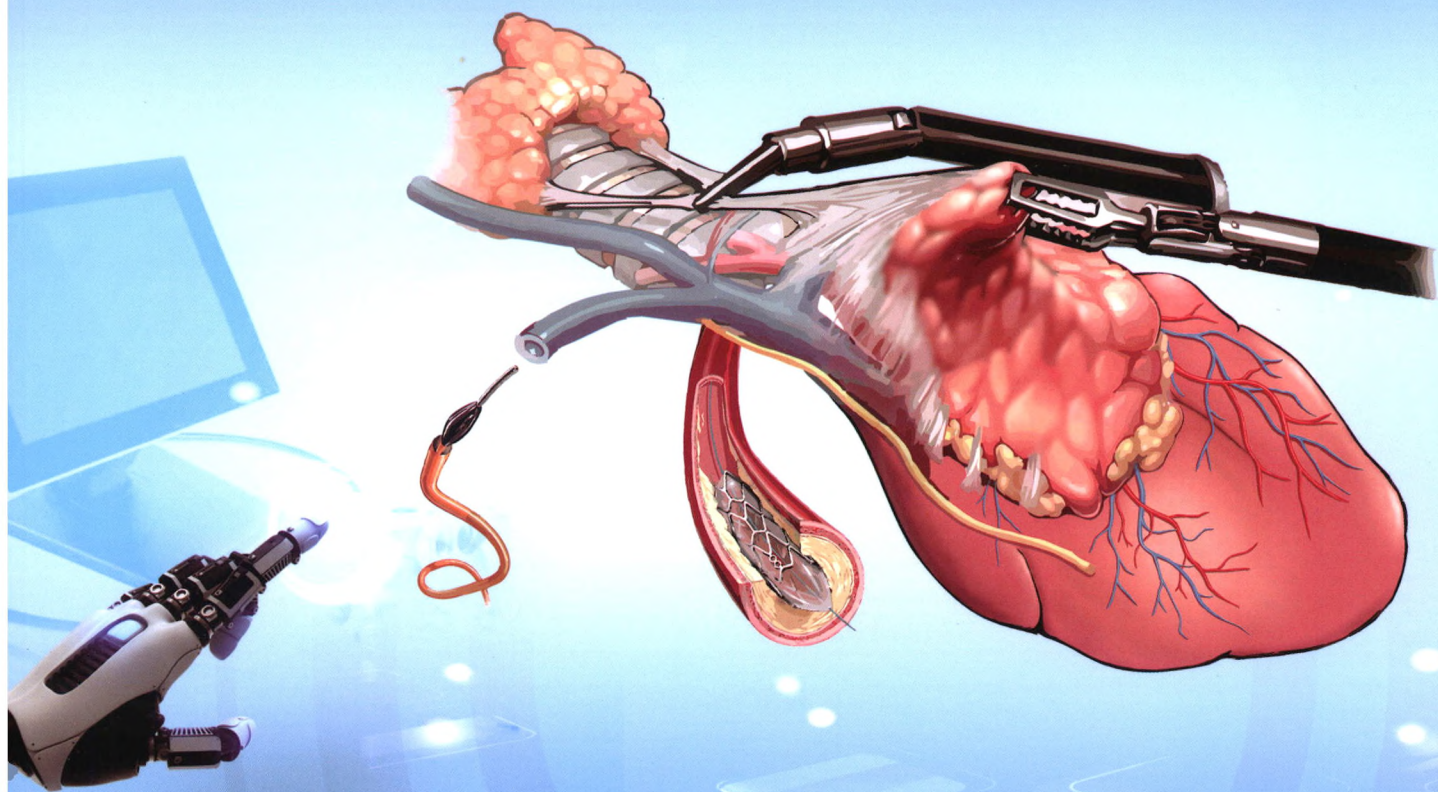
机械工程学报[®]

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

特邀专栏：生物组织精准手术器械设计制造

客座主编：王成勇 教授

客座编辑：陈华伟 教授 宋清华 教授



57卷 **11** 期 半月刊
2021年6月刊

特邀专栏

生物组织精准手术器械设计制造

客座主编：王成勇 教授（广东工业大学）

客座编辑：陈华伟 教授（北京航空航天大学）

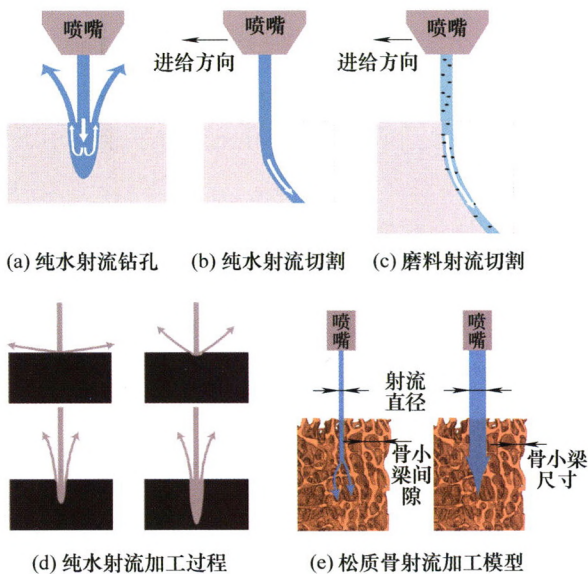
宋清华 教授（山东大学）

策划编辑：岑 伟（《机械工程学报》编辑部）

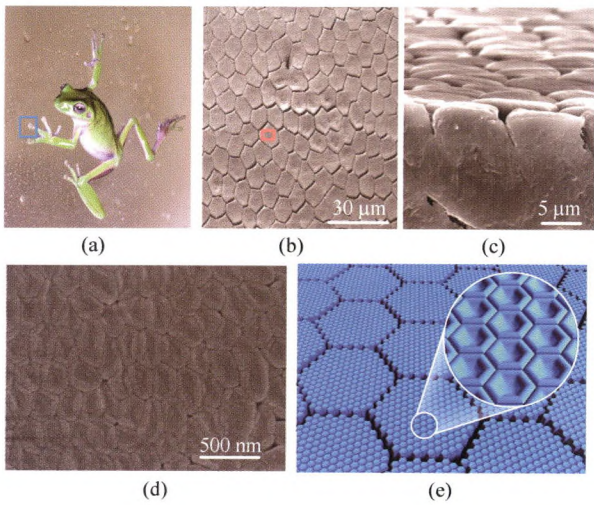
1 生物组织精准手术器械设计制造专栏序

2 生物骨材料切除理论研究综述

王成勇 陈志桦 陈华伟 宋清华 任莹晖 隋建波 舒利明 陈 滨 郑李娟

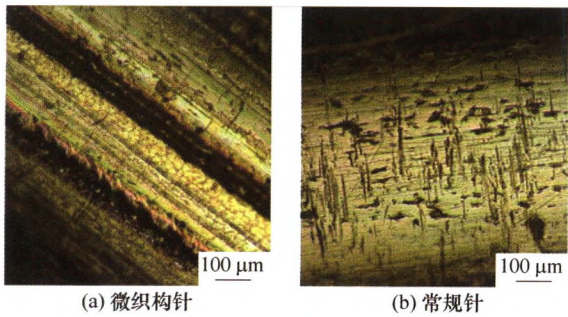


摘要：生物骨材料是一种结构复杂的各向异性材料，其切削加工是外科手术中一项基础而关键的操作。骨材料的加工质量直接影响手术治疗效果、人工假体植入稳定性、以及术后康复时间。人体不同部位的骨材料的力学性能存在一定差异，手术器械种类繁多且操作不同，使骨材料的加工方式呈现多样化。在外科手术中，各类器械需要对骨材料进行高精度、高效率、低损伤的加工，其加工机理研究对提高手术器械的使用性能，手术治疗效果和康复效果具有重大意义。因此，从生物骨材料的基础力学与断裂力学等特性出发，阐述了包括钻、铣、磨、锯等机械加工方式以及超声、激光、和水射流等特种能场加工方式对骨材料的切除机理，分析了不同机械加工方式下的切削力与切削温度理论模型，特种能场的切除机理与加工特性，指出骨材料加工的发展现状以及目前存在的一些问题，提出了骨材料加工的主要研究重点。

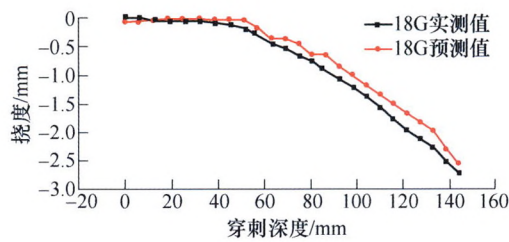


摘要：随着生活水平的日益提高，人们对医疗健康关注和需求逐渐增大，精准医疗已成为全球关注热点。精准医疗器械仪器形式多样，包括微创手术器械、可穿戴传感等，几乎都会与人体组织、细胞和生理液等接触形成复杂的生/机接触界面。由于医疗器械种类、应用环境、接触模式等变化大，生/机接触表界面功能需求呈现多样化趋势，例如电刀/电凝钩的防粘、可穿戴传感界面的防湿滑等。针对不同生/机界面最常见湿表面防滑增摩和高温下防粘功能需求，本研究选取自然界湿环境生物树蛙(强湿爬附)和猪笼草(口缘超湿润滑)，提取其优势功能表面的材质特性和微纳结构特征，揭示表面结构材质耦合作用的界面液膜调控规律，建立强湿摩擦和超湿润滑机制。结合自组装、微结构转印腐蚀等微纳结构制备工艺，完成仿生强湿摩擦表面和超湿润滑表面的设计与制备。最终，将仿生表面应用于精准医疗器械，仿生可穿戴传感器的湿防滑效果提升约 5 倍和仿生手术电刀的组织粘附量降低约 55%，完成了仿生精准医疗器械可行性验证。

44 医用穿刺针表面特性对穿刺过程的影响研究

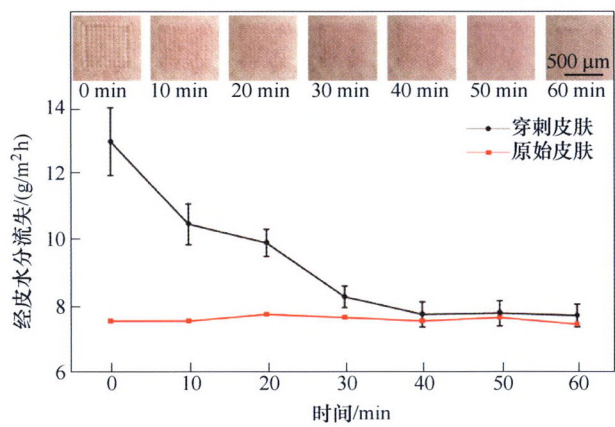


摘要：穿刺活检取样是一种获取骨与软组织肿瘤组织从而进行病理诊断的主要方法，实现这一过程所用的穿刺针被广泛应用于组织取样、局部药物投放等医疗手段中。穿刺针表面的润滑程度以及表面微纹理与穿刺过程的摩擦受力、组织的粘连以及针体的弯曲程度息息相关，对穿刺针的表面进行优化可以很好地改善穿刺过程中摩擦力、针体的偏转以及对软组织的损伤程度。文章探究了不同的应用于穿刺针表面的处理方式，制备相关的试验材料以及表面优化穿刺针，利用两组不同的试验研究不同表面处理方法形成的优化穿刺针对穿刺过程的各方面影响。研究表明，与常规的穿刺针相比，针体表面添加涂层与微纹理能够极大的减小穿刺过程中的摩擦力以及穿刺过程针的偏转，同时改善组织粘连的问题。其中涂层对于减小穿刺力的作用非常明显，而表面微结构的存在能够更有效地防止组织与针体的粘连，对于阻止针体偏转，表面涂层与微纹理具有相似的效率，这对于研究生物组织与医用穿刺针表面的界面特征以及开发新型的医疗穿刺针具有指导意义。



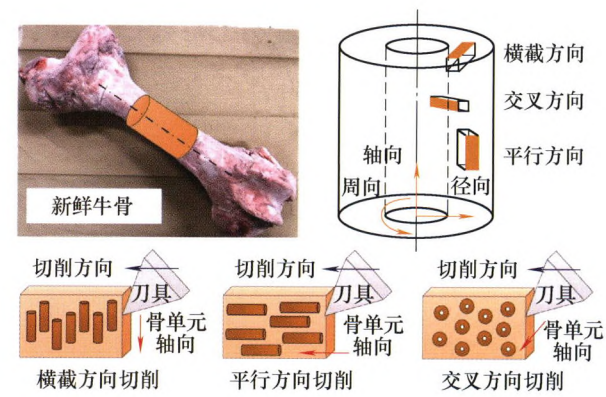
摘要: 在临床应用中,精确控制柔性针到达靶点是一个挑战。在穿刺过程中,作用在柔性针上的力会导致组织变形和针偏转,进而造成针尖错位。针和软组织之间的相互作用涉及大量的生物物理特征,而且这些参数不可能通过物理建模或直接估算得出。为解决这一难题,提出一种预测针尖轨迹的方法。对柔性针进行受力分析,建立力学模型;在力学模型的基础上,建立了一种基于 BP 神经网络的力视感知预测模型,预测穿刺过程中的针尖轨迹。使用三种不同型号的柔性针进行试验,采集数据并对模型进行训练。最后通过试验得到针尖轨迹,与模型预测进行比较。结果表明,模型预测的针尖在 x,y 方向的位移与试验结果基本一致,误差在 2 mm 以内,能够较准确地预测穿刺轨迹。

61 用于生理电信号测量的金属微针阵列电极制备及其性能研究



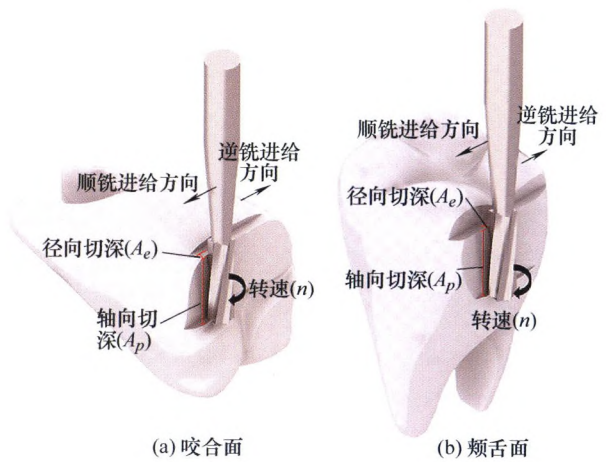
摘要: 生理电信号是疾病诊断与治疗的重要指标,在临床上具有重要意义。医用微针阵列电极是测量人体生理电信号的重要传感元件,但因工艺复杂,易脆断,稳定性差等问题,至今无法商用。设计并制造了一种金属微针阵列电极,可对人体心电、肌电、脑电等生理电信号进行直接、高效测量。采用慢走丝线切割方法制备 316L 不锈钢四棱锥微针阵列电极。微针阵列电极 10×10 排布,微针高度 $930\text{ }\mu\text{m}$,底部宽度 $400\text{ }\mu\text{m}$,针尖半径 $10\text{ }\mu\text{m}$,微针加工精度高。力学试验表明,微针阵列电极多次穿刺无弯折或者断裂,具有良好的力学性能。微针阵列穿刺皮肤角质层,在皮肤表面形成微孔阵列通道。通过经皮水分流失测试发现,穿刺皮肤可在 40 min 后恢复,无炎症与感染现象。微针阵列电极检测的心电信号在波形,频率,峰值方面与标准电极非常相似;肌电信号可准确反映肌肉运动状态,较标准电极具有更高的幅值;微针阵列电极可准确完整记录人体睁闭眼,眨眼动作过程中脑电信号。微针阵列电极具有良好的生理电信号测量性能,且微针阵列电极无需皮肤准备,直接贴敷检测,适合长期监测,有望部分替代传统商用电极。

柏 伟 潘鹏飞 舒利明 王 栋 张建国 许剑锋



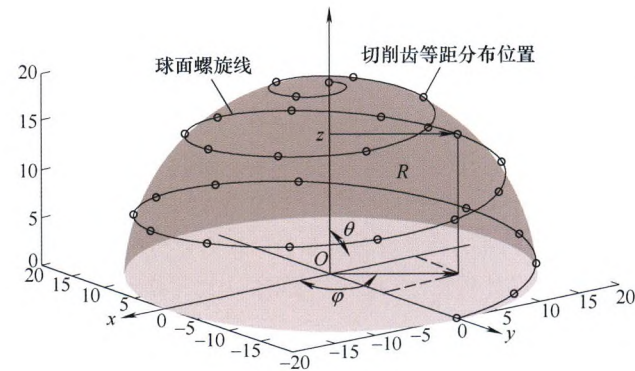
摘要：骨组织高效、低负荷、低损伤切削去除对外科手术具有重要意义。然而，皮质骨的硬脆性和各向异性使得骨切削过程极易产生不规则的裂纹扩展、大块断裂切屑及骨表面损伤，严重影响组织的高精高效去除和术后恢复。基于正交切削过程研究了皮质骨普通切削与超声辅助切削切屑形成、裂纹扩展和切削力的差异，并基于扩展有限元法建立了考虑微观结构的皮质骨切削模型，分析了骨组织超声辅助切削裂纹萌生与扩展规律。结果表明：骨组织普通切削过程不同切削方向裂纹扩展规律不同，产生大块断裂切屑且表面损伤严重，而超声辅助切削过程裂纹主要沿主剪切方向扩展，且产生小尺寸三角形切屑并迅速脱离刀具前刀面；骨组织超声辅助切削相比普通切削主切削力显著降低近 70%。原因是高频冲击切削过程产生的高应变率致使裂纹穿透骨单元扩展而非在骨单元外周的骨粘合线偏转，从而使裂纹主要沿主剪切面扩展而去除切屑，产生与普通切削不同的切屑形态、更小的切削力和更低的损伤。本研究对于揭示骨组织超声冲击切削机理、创成低损伤骨切除器械具有重要的理论意义与临床价值。

吴世雄 倪湧潜 王成勇 李苏洋



摘要：牙釉质表面高速切削是牙科修复手术的一个关键过程，切削中可能出现较大切削力、低表面质量以及表面损伤等问题，因此有必要开展相关科学研究。针对活体牙的咬合面和颊舌面，设计硬质合金刀具高速铣削牙釉质表面试验方案，获得关键加工特征，并进一步讨论材料断裂和表面形成机理。结果表明，逆铣加工形成高摩擦和挤压，诱发非稳态材料断裂，切削力、表面粗糙度和表面损伤均因此明显增大。口腔修复手术牙釉质表面切削应优先选择顺铣加工方式。切削中材料断裂及表面生成主要有三类方式：产生层片状相对稳态切屑的相对稳态材料断裂方式、产生断裂切屑的非稳态材料断裂方式、通过脆化效应和熨压机制造形成光滑塑性表面方式。顺铣方式下咬合面和颊舌面切削可获得一些亚微米厚层片状稳态切屑，内有褶皱和裂口，反映出高应变速率下的材料脆化及位错作用。与咬合面的垂直相交切削方式不同，颊舌面切削时切削刃斜交牙釉柱。此方式下材料更难断裂，从而导致非稳态块状或撕裂切屑更容易出现，切削力和表面损伤更大。顺铣方式下得到的良好塑性表面与切入-切出尾段圆弧直接相关。尾段圆弧满足产生塑性加工表面条件，加工结果由脆化效应和熨压机制造所主导。

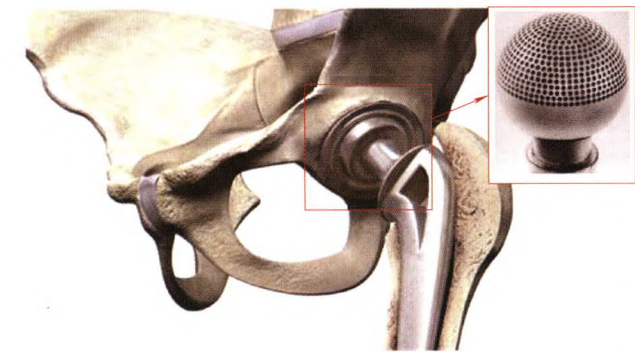
隋建波 郭凯杰 罗嘉琪 陈志桦 刘志华 王成勇 陈 滨



摘要：全髋关节置换术中髌臼铣削表面质量是影响髌臼假体初期稳定性和骨组织长入的重要因素，髌臼铣削表面质量差是造成髌臼假体早期固定失效的重要原因。定义了两个参数-未切除断面最大高度 h_1 和未切除断面面积 A -来评价髌臼铣削的表面质量，并以这两个参数为目标建立了髌臼铣削表面质量的关系模型，然后基于此关系模型分析了髌臼铣各结构参数对表面质量的影响规律，并据此设计新结构参数的髌臼铣，最后利用 3D 打印技术制备了新结构髌臼铣，并进行了试验验证。结果表明，由髌臼铣削表面质量关系模型获得的预测值与试验结果比较符合，未切除断面最大高度预测误差小于 4.4%，未切除断面面积预测误差小于 6.2%；髌臼铣上切削齿的数量、齿形和排布方式对表面质量具有重大影响；新结构髌臼铣可有效提高髌臼铣削的表面质量，改善髌臼假体的初期稳定性和骨组织长入，避免髌臼假体的早期固定失效，提高手术质量。

102 仿生织构表面对人工髋关节副动压润滑性能及减摩性分析

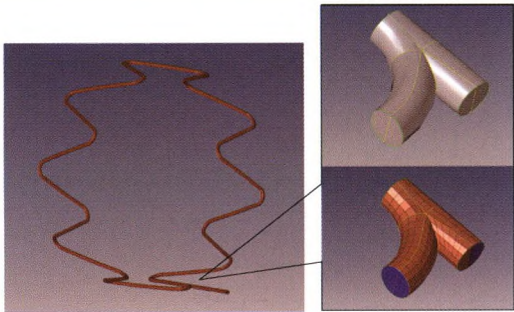
郑清春 毛璐璐 史于涛 张春秋 胡亚辉



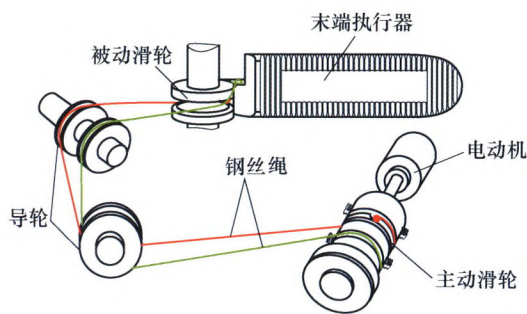
摘要：为提高钛合金 TC4 人工髋关节假体的耐磨性，从仿生学角度在钛合金关节表面设计出菱形织构。基于雷诺方程建立织构化关节表面流体动压润滑数学模型，采用有限差分法对其进行离散，通过 Matlab 编程进行迭代求解，获取织构表面的润滑油膜压力分布以及织构化关节表面的摩擦因数，分析织构几何参数(菱形织构对角线长度 b 和织构深度 h_p)对摩擦性能的影响规律。加工钛合金销-盘摩擦副，用激光在盘试样上加工出菱形织构，并在牛血清润滑状态下以及相同载荷和转速的条件下进行摩擦磨损试验。结果表明：随着菱形织构参数 b 和织构深度 h_p 的增加，摩擦因数呈先增加后减小的趋势。并且试验结果与数值仿真结果具有较高的一致性，在菱形织构参数 b 为 $447\ \mu\text{m}$ ，织构深度 h_p 为 $10\ \mu\text{m}$ ，存在最小摩擦因数为 0.14。微织构的存在可以实现流体动压润滑，提高关节副的承载力，降低摩擦因数，从而改善关节副的摩擦性能。该研究为提高人工髋关节的寿命提供理论依据。

112 几何参数对主动脉支架生物力学性能的影响

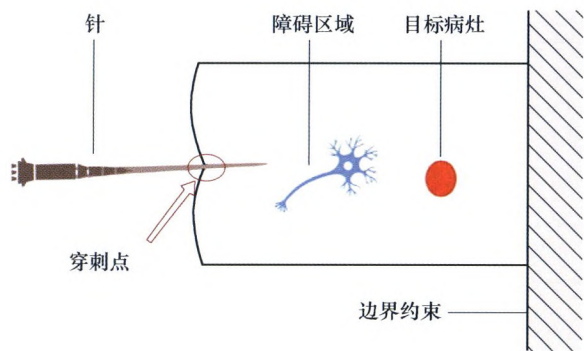
刘宗超 吴林辉 陈贡发



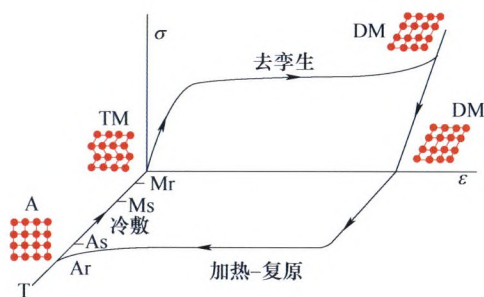
摘要：径向支撑力是评估支架在血管内移位和血管再狭窄等并发症的重要力学指标。目前针对主动脉覆膜支架的径向支撑力的研究较为少见。借助正交试验的方法，利用有限元分析全面地研究了覆膜支架主要几何参数对径向支撑力的影响。研究结果表明支架丝的直径对径向支撑力的影响最为显著，主要几何参数对支架径向支撑力的影响程度排序为：支架丝径>轴向长度>支架波峰数>波峰半径。同时径向支撑力的改变也会改变血管表面的应力环境，有可能导致血管的损伤。本研究为支架的结构优化设计具有指导意义。



摘要：机器人辅助微创手术器械一般采用丝传动来实现手术器械大长径比结构下的动力传递，传力过程中钢丝绳的张力传递损失会引起手术器械关节运动误差，因此研究丝传动张力变化是保证手术器械运动精度的前提。根据手术器械结构特点，引入导轮与钢丝绳的半径比及张力倾斜角来表征钢丝绳弯曲刚度，通过对钢丝绳与导轮接触区域与非接触区域的受力分析，得到了钢丝绳的张力比计算公式。试验结果表明，应用所提出的张力比计算公式获得的张力值与传感器直接测得的张力值比较吻合。此外，应用张力比计算公式分析了包角、摩擦因数、半径比、张力倾斜角等结构参数对钢丝绳张力变化的影响。该研究工作可为手术器械的精确运动控制及结构设计提供理论指导。



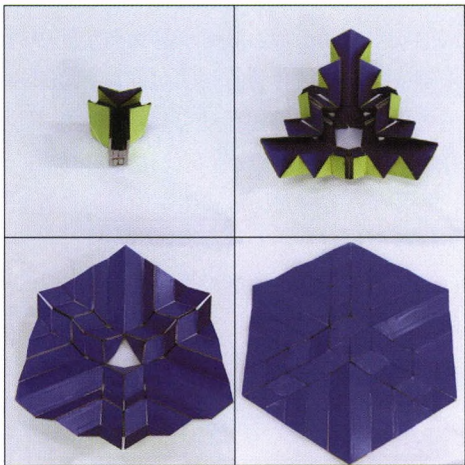
摘要：轨迹规划在机器人辅助柔性针穿刺中有着重要作用。在针-组织交互大变形下，针-组织耦合模型可以对由于针组织交互作用产生的针轨误差进行预测。提出一种基于迭代的轨迹规划算法：首先在离线状态下，基于可达域理论生成刚性空间下的初始路径集，并通过遗传模拟退火优化算法选择出最优路径；再基于针-组织耦合力学模型对柔性空间的针挠曲、组织形变进行预测，并根据偏差预测值和迭代学习算法不断修正柔性空间中的针控序列以满足穿刺精度要求，最后得到最优规划参数并且对针轨迹规划算法中的参数进行全局敏感性分析；最后，搭建了针穿刺试验台对提出的针轨算法进行验证，试验结果表明算法的轨迹平均误差小于 0.45 mm。



摘要：连续体机器人是一种能在工作空间中连续弯曲的机器人，其因能在非结构化和狭窄的环境中灵活运动而得到广泛的关注。形状记忆合金(Shape memory alloy, SMA)材料具有良好的形状记忆效应和超弹性，通过施加不同的温度便能够实现 SMA 的形状控制，是作为连续体机器人驱动装置的理想材料。基于 SMA 驱动连续体机器人有着结构体积小，控制简便，运动范围广，自由度高，易于避障等优点，十分适用于环境复杂的医疗手术环境之中。对 SMA 的驱动原理和方式进行了分析，介绍了基于 SMA 驱动连续体机器人在医疗手术方面的研究现状及建模方法，最后，对发展趋势进行了展望。

153 基于正六边形折纸的单自由度可展结构

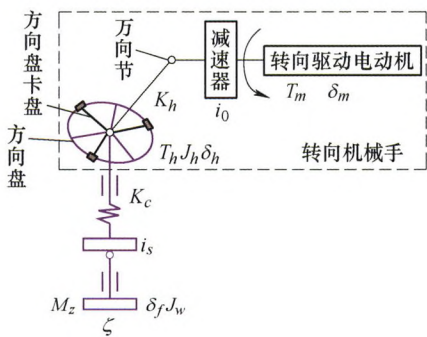
张 霄 李 明 崔琦峰 陈学松 马家耀 陈 焱



摘要：可展结构在航空航天领域应用广泛，其性能的优劣直接决定航天任务的成败。随着各种空间设备向着大型化和复杂化方向发展，对性能优良的可展结构的需求与日俱增。为了设计具有高可控性、大收纳率的可展结构，从刚性折纸的角度出发，对一种已有折纸图案进行改进，设计出一种新型零厚度正六边形折纸。进一步结合桁架理论和厚板折纸理论分析并降低了其自由度，从而提高了该机构的可控性，并借助 D-H 法对其进行了运动学分析。考虑到实际工程中应用的空间设备多有一侧为平整的工作表面，通过采用新的机构对原有机构进行运动等效替换，使其具有一侧平整展开表面，最终得到了一种具有单自由度大折展比的可展结构设计方案。

165 驾驶机器人纵横向操纵协调控制方法

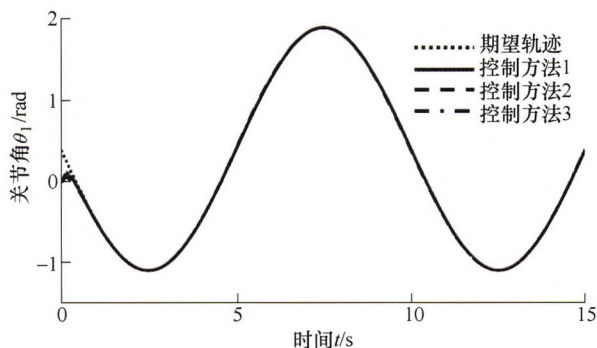
陈 刚 顾爱博 王良模 李 旭 张为公



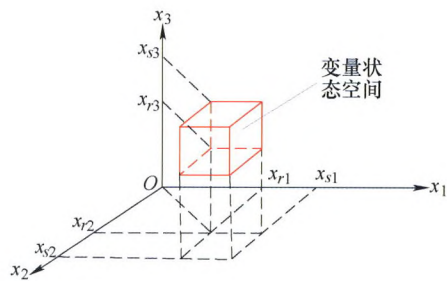
摘要：为了实现对驾驶机器人的精确控制，提出了一种驾驶机器人纵横向操纵协调控制方法。首先通过分析系统结构，建立了驾驶机器人纵横向操纵耦合动力学模型。然后分析驾驶机器人纵横向操纵协调控制策略。在此基础上，设计加速和制动操纵模糊滑模控制器以及转向操纵鲁棒反演控制器分别用于精确稳定地控制驾驶机器人对试验车辆的纵横向操纵。仿真及试验结果表明，提出的方法能够精确稳定地控制驾驶机器人操纵试验车辆，避免加速与制动的频繁切换，并能对纵横向操纵进行有效的协调控制。

177 基于自适应时延估计的空间机械臂连续非奇异终端滑模控制

张建宇 高天宇 于潇雁 陈 力

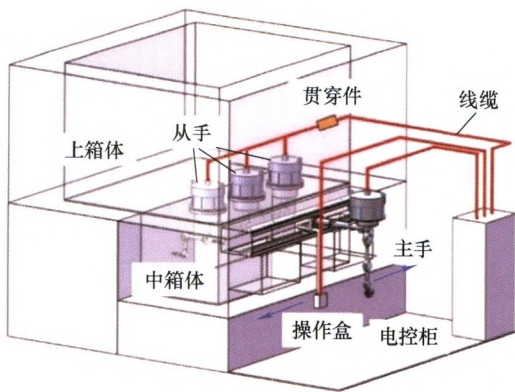


摘要：针对载体位姿不受控的漂浮基刚性空间机器人系统，提出了一种基于自适应时延估计的连续非奇异终端滑模控制方法。首先针对传统时延估计技术在不同情况下一直使用一固定的动力学方程惯性矩阵估计值，导致系统控制效果退化的问题，利用自适应时延估计方法根据系统状态对该估计值进行调整，引入改进的连续非奇异快速终端滑模补偿自适应时延估计技术带来的误差，保证了滑模面的连续性与系统的非奇异性，同时提高了系统在接近滑模面时收敛速度，提高了系统控制精度。然后选取合适的李雅普诺夫函数进行稳定性分析，证明了控制方法的稳定性。最后用 Matlab 进行仿真验证，验证了该控制方案的有效性。



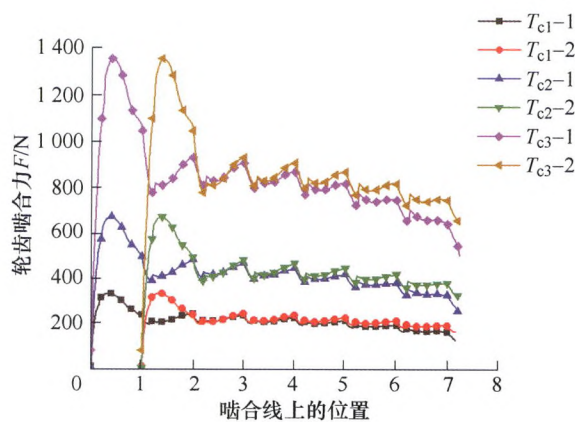
摘要：针对含概率随机变量和非概率区间变量的面向任务可控变胞机构的多失效模式运动可靠性模型，提出了一种可靠度计算的方法，该方法根据可靠性变量生成含有概率信息的状态空间，结合多失效模式的失效功能函数及其变量的相关性函数生成的安全空间函数，得到变量状态空间中的安全空间，对其求解或空间离散化计算得出可靠度。在此基础上，提出了多失效模式的变胞机构运动可靠性的优化方法，得出满足约束条件的最优目标函数值及优化变量对应的可靠度分布情况。运用所提出的方法对实例中的变胞码垛机器人系统运动可靠性模型进行分析与优化，通过与传统的计算方法进行对比，验证了所提方法的准确性。研究工作为变胞机构可靠性的研究提供了参考。

195 倒挂式主从遥控机械手重力补偿方法



摘要：在核工业热室放射性环境中，由于操作人员不能直接进入封闭热室而使得只能采用主从机械手进行遥控操作，针对主从遥控机械手维持自身操作稳态的问题，提出了机械手重力补偿方法。首先，给出了热室内主从遥控机械手配置形式，以及主从手随动控制工作原理。其次，通过 D-H 运动学分析建立了机械手坐标变换矩阵与旋转矩阵，通过运动链分析得到旋转编码器与电机输出轴之间的关系矩阵以及各关节和电机输出轴之间的角度变换矩阵。再次，计算各个位姿下主机械手各关节连杆对各关节轴的扭矩，换算到电机输出轴上，使电机输出反向补偿扭矩以维持主手稳态。最后，在主从遥控机械手测试系统上进行试验验证。通过理论分析和试验研究表明，重力补偿算法精确，补偿效果显著。

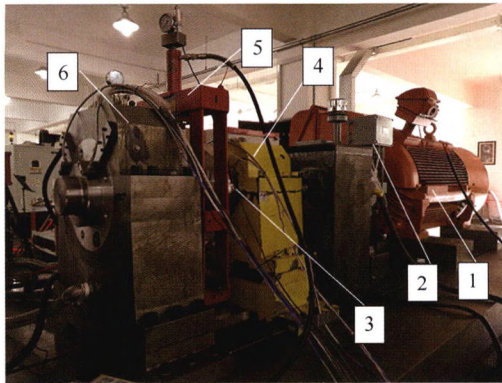
206 基于有限元法的高重合度摆线内齿轮副时变啮合特性研究



摘要：高重合度摆线内齿轮副作为一种新型传动形式，目前尚无一整套成熟的与之匹配的结构设计和性能分析理论与方法。基于加载接触有限元分析原理，给出了仿真分析的关键技术和前处理方法，利用 Python 编程对 ABAQUS 进行二次开发，实现了参数化建模分析、自动化操作过程和快速化收敛设置，并通过与单轮齿对啮合作用力和赫兹接触应力解析计算值的比较，验证了仿真分析的正确性和有效性。在此基础上，分析了齿数和模数、齿顶高系数、摩擦系数、作用载荷等主要因素对啮合特性参数的影响规律，研究了节点附近不参与啮合的齿廓修形区域优化问题以及含加工、安装误差的时变啮合特性，为该齿轮副的结构设计、性能预测和误差控制提供重要依据和参考。研究表明，该齿轮副对精度要求很高，误差范围控制在微米级为宜，且承载能力直接受限于齿面接触强度。

220 两相流中气泡含量对大型可倾瓦径向轴承性能影响的试验研究

胡 杨 朱礼进 孟永钢

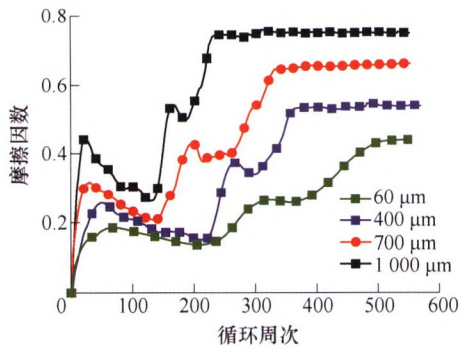


(b) 实物照片

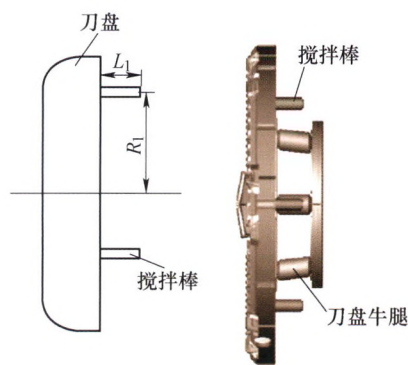
摘要：可倾瓦滑动轴承是大型燃气轮机等旋转机械的重要部件，转子与轴瓦间隙内为复杂的油气混合两相流，其特性直接影响轴承性能。为了研究油气两相流对可倾瓦轴承性能的影响，本研究搭建了高速可倾瓦滑动轴承实验台，针对大尺寸定向润滑可倾瓦径向滑动轴承，在多载荷和多转速工况下进行不同气泡率的油气两相流试验。通过试验研究载荷、转速和两相流中气泡率对可倾瓦滑动轴承油膜压力、油膜厚度、瓦面温度和电动机功率的影响。相关试验结果有助于解释和理解空穴和贫油效应，并为优化可倾瓦轴承性能提供依据。

228 悬索桥主缆平行钢丝动态接触与滑移机理研究

王大刚 朱辉龙 高文丽 张德坤 谭佃龙 赵 霞

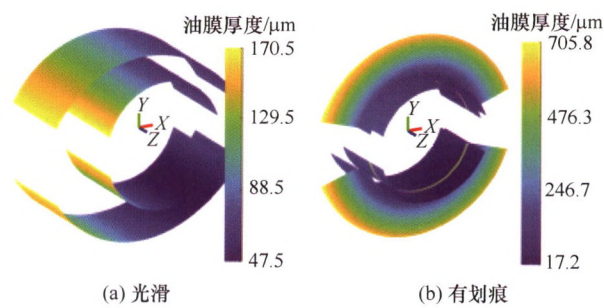


摘要：为揭示悬索桥主缆钢丝动态接触与滑移机理，运用自制钢丝动态接触与滑移试验台开展单摩擦周期中平行钢丝间动态接触与滑移试验，通过高速度数码显微系统原位观测、扫描电子显微镜、能谱仪和有限元仿真揭示了平行钢丝间动态接触和滑移特性(横向滑移、纵向变形、接触状态、摩擦力、摩擦因数、应力分布)及磨损机理(磨痕形貌和元素分布)及其受到横向和纵向接触位置、循环周次、滑移幅值和接触载荷的影响规律。结果表明：在单摩擦周期中，钢丝间动态接触状态均为黏着-完全滑移-黏着-完全滑移，钢丝横向滑移和摩擦力均呈增加-稳定-减小-稳定-增加的变化趋势，上、下钢丝纵向变形总体呈相反变化趋势。固定的下钢丝沿上钢丝运行方向的横向位置及与接触面距离增大方向的纵向位置的横向滑移和纵向变形均降低。循环周次增加导致下钢丝的横向滑移和纵向变形均增加，摩擦因数呈增加-减小-增加-稳定变化趋势，磨损机理包括黏着磨损、磨粒磨损、挤压磨损、疲劳磨损。滑移幅值和接触载荷的增加均导致冲程第2阶段下钢丝横向变形均值增大，分别导致上、下钢丝纵向变形波动幅值增大、纵向变形差异性变化，摩擦因数分别增大和降低，磨损机理包括黏着磨损、挤压磨损、疲劳磨损和磨粒磨损。



摘要: 由于盾构在地下土质工程全断面开挖的独特优势及其技术密集的特点, 被赋予“国之重器”。但目前应用的盾构都是平面刀盘盾构, 这样盾构在孤石、古树根或建筑物桩基等地质段的施工一直是工程界的难题。为此, 通过深入研究, 提出了锥面刀盘盾构的概念; 进一步研究发现, 其主参数——盾构推力和刀盘扭矩与平面刀盘盾构相比有着本质的差异, 为此, 以土力学理论为基础, 深入研究了锥面刀盘盾构作业过程中的力学特点并因此建立了锥面刀盘盾构推力和刀盘扭矩的力学模型。当锥顶角为 180° 时得到的模型解与对应平面刀盘盾构主参数的相对误差分别是: 盾构推力为 5.5% , 刀盘扭矩为 7.8% 。模拟显示, 掌心面与土仓的压差随锥面刀盘锥顶角的增大单调减小, 即, 在掌心面压力不变的情况下, 土仓压力随锥顶角的增大单调增加, 这说明, 锥面刀盘土仓压力小于平面刀盘, 掌心面土体较平面刀盘具有较大的流动推力; 而对螺旋输送机中的柱塞效应要求降低, 亦即, 锥面刀盘盾构具有更好的土体适应性。

256 划痕对椭圆瓦轴承润滑特性及转子稳定性的影响



摘要: 由于异物入侵而造成的轴瓦表面划伤是滑动轴承运行过程中的常见现象。为研究表面划痕对径向滑动轴承润滑特性的影响规律, 考虑紊流、质量守恒边界等效效应建立了热流体动力学润滑分析模型, 采用有限元法求解了轴承的静动性能, 从理论与试验角度对比了不同转速、载荷等工况下划痕对轴承润滑性能的影响规律(油膜厚度、油膜压力、温升、功耗、流量、刚度、阻尼等), 探讨划痕对刚性转子系统稳定性的影响。结果表明: 在静特性方面, 当划痕深度与间隙达到相同量级或更高时, 导致轴承最小油膜厚度显著降低, 最高油膜温度升高, 最大油膜压力显著增加, 并引发附加弯矩; 在动特性方面, 划痕对轴承转子系统的刚度、阻尼、不平衡响应和稳定性均有显著影响, 规律较为复杂; 总体上, 划痕导致转子系统临界转速降低, 振幅增加, 低速工况降低系统稳定性, 高速工况增加稳定性。该研究对评估划痕对轴承润滑性能的影响具有一定的工程借鉴价值。

CONTENTS

2 **A Review on Cutting Mechanism for Bone Material**
WANG Chengyong CHEN Zhihua CHEN Huawei SONG Qinghua RENG Yinghui SUI Jianbo
SHU Liming CHEN Bin ZHENG Lijuan

33 **The Mechanisms of Bio-instrument Interfacial Functionalization in Precision Medicine**
LIU Guang GUO Yurun ZHANG Liwen ZHANG Deyuan CHEN Huawei

44 **Influence of Surface Characteristics of Medical Needle on Puncture Process**
GAO Fan SONG Qinghua LÜ Zongkai LIU Zhanqiang

52 **Trajectory Prediction of Bevel-Tip Flexible Needle Based on Force and Vision Perception**
WANG Linze GAO Dedong BAI Huiquan ZHAO Yan CUI Jiali LI Murong LEI Yong

61 **Fabrication of Metal Microneedle Array Electrode for Bio-signals Monitoring**
LIU Bin YANG Zhilun ZHENG Ying YIN Zhen FU Ting REN Lei JIANG Lelun

69 **Mechanism of Chip Formation and Crack Propagation in Ultrasonically Assisted Cutting of Bone Tissue**
BAI Wei PAN Pengfei SHU Liming WANG Dong ZHANG Jianguo XU Jianfeng

78 **Research on the Mechanism of the High Speed Milling of Enamel Surface**
WU Shingxiong NI Yongqian WANG Chengyong LI Suyang

93 **Study on Surface Quality of Acetabular Reaming in Total Hip Replacement**
SUI Jianbo GUO Kaijie LUO Jiaqi CHEN Zhihua LIU Zhihua WANG Chengyong CHEN Bin

102 **Analysis of Biomimetic Texture Surface on Dynamic Compression Lubrication and Friction Reduction of Artificial Hip Pair**
ZHENG Qingchun MAO Lulu SHI Yutao ZHANG Chunqiu HU Yahui

112 **Influences of Geometrical Parameters on Mechanical Properties of Aortic Stent-grafts**
LIU Zongchao WU Linhui CHEN Gongfa

120 **Study on the Tension Transmission of Steel Cable-driven Surgical Instrument for Robot-assisted Minimally Invasive**
FENG Mei LI Yan ZHAO Ji HU Yong GAO Kuihong

128 Flexible Needle Path Planning Based on the Iterative Learning Algorithm
LI Murong LEI Yong HUANG Cheng HU Yingda DU Shilun GUAN Haotian GAO Dedong

138 Review of Continue Surgical Robot Actuated by SMA
YAN Lutao WANG Qi LI Haiyuan LI Duanling XIA Jiqiang

153 Regularly Hexagonal Origami Pattern Inspired Deployable Structure with Single Degree of Freedom
ZHANG Xiao LI Ming CUI Qifeng CHEN Xuesong MA Jiayao CHEN Yan

165 Coordination Control Method of Longitudinal and Lateral Manipulation for Driving Robot
CHEN Gang GU Aibo WANG Liangmo LI Xu ZHANG Weigong

177 Continuous Non-singular Terminal Sliding Mode Control of Space Robot ased on Adaptive Time Delay Estimation
ZHANG Jianyu GAO Tianyu YU Xiaoyan CHEN Li

184 Analysis and Optimization on Kinematic Reliability of Metamorphic Mechanisms with Multiple Failure Modes
WANG Rugui CHEN Huiqing

195 Gravity Compensation Method of Hanging Master-slave Telemanipulator
JIANG Junxia DONG Qun JIN Jiefeng

206 Research of Time-varying Mesh Characteristics of Cycloid Internal Gear Pair with High Contact Ratio Based on Finite Element Method
LI Hongxun JIN Xiaohui YE Peng GUI Xincheng HOU Weifeng

220 Experimental Study on Influence of Gas Volume Fraction in Two-phase Flow on Lubrication Performance of Large Tilting Pad Journal Bearing
HU Yang ZHU Lijin MENG Yonggang

228 Research on Dynamic Contact and Slip Mechanisms of Parallel Steel Wires in the Main Cable of Suspension Bridge
WANG Dagang ZHU Huilong GAO Wenli ZHANG Dekun TAN Dianlong ZHAO Xia

243 Determination Theory of Main Parameters and Simulation Analysis of the Conical Cutterhead Shield
ZHANG Zhaohuang JI Wei WENG Zicai

256 Effects of Scratches on Lubrication Performance of Elliptical Bearing and Stability of Rotor System
WANG Xiaohong PEI Shiyuan CHANG Shan

《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 668217

