

IS **QK2046079**  
CODEN CHHKAZ

# 机械工程学报®

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

点焊接头疲劳研究综述

杨龙 杨冰 阳光武 肖守讷 朱涛



中国机械工程学会 主办

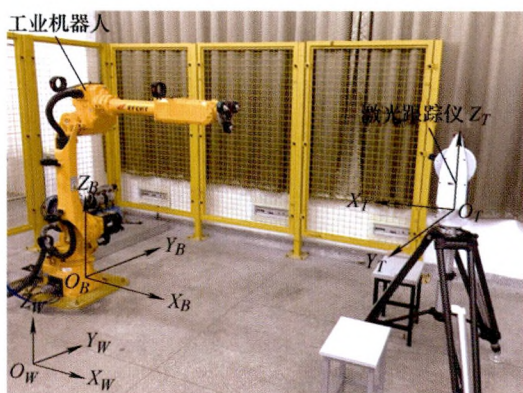
万方数据

2020年56卷14期 半月刊

## /// 仪器科学与技术 ///

### 1 串联机器人标定系统的坐标系快速转换方法

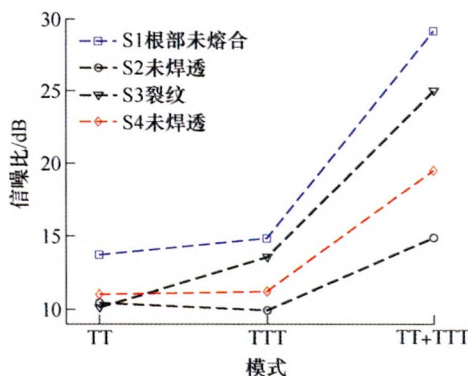
乔贵方 孙大林 宋光明 温秀兰 韦中 宋爱国



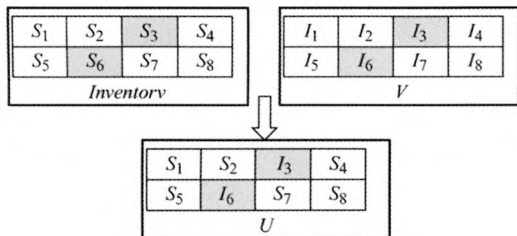
**摘要:** 针对串联机器人标定系统中的工业机器人基座坐标系{B}与激光跟踪仪测量坐标系{T}的转换问题,提出一种融合多点拟合法和轴线矢量测量法的坐标系快速转换方法。该融合坐标系快速转换方法首先利用轴线矢量测量法获得旋转矩阵  $R$ , 然后利用多点拟合法获得位移矢量  $T$ , 进而得到坐标系转换矩阵  $T_B R$ 。试验结果表明该融合坐标系快速转换方法的测量时间比多点拟合法减少了 184.68 s, 但综合 RMSE(Root mean squared error, RMSE)增加了 0.215 mm; 相比于基于关节圆交点的坐标系转换方法, 该方法的综合 RMSE 降低了 0.626 mm, 测量时间仅增加了 51.26 s; 相比于基于平面拟合转换法, 该方法的综合 RMSE 与测量时间分别降低了 2.790 mm 和 120.0 s。因此, 该融合坐标系快速转换方法的转换精度远优于基于轴线测量的坐标系转换方法, 相比于多点拟合法具有相近的转换精度和更好的测量效率。

### 9 奥氏体不锈钢小径管焊缝缺陷多模式超声复合全聚焦成像研究

吴斌 杨敬 焦敬品 何存富 齐高君

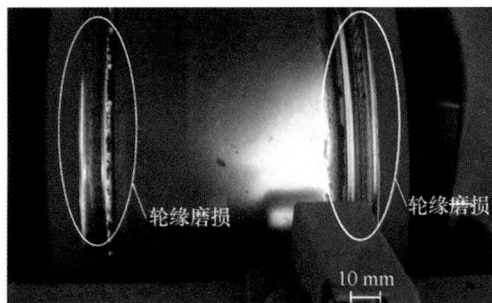


**摘要:** 奥氏体不锈钢广泛应用于重大装备的关键部件中,而焊缝是整个装备的薄弱部位。在考虑超声波的多路径和易发生波型转换的特性情况下,进行奥氏体不锈钢小径管焊缝多模式超声相控阵检测方法研究。通过数值仿真,对比分析 4 种不同直达波检测模式和 8 种不同底面一次反射波检测模式对小径管焊缝中典型缺陷的检出能力。基于优选出的一种直达波检测模式和一种底面一次反射波检测模式,发展了一种多模式复合全聚焦成像方法。在此基础上,进行奥氏体不锈钢小径管焊缝缺陷检测试验。结果表明,多模式复合全聚焦成像方法可以很好实现小径管中多种缺陷检测,与单一模式全聚焦成像相比,多模式复合全聚焦成像方法不仅可以提高成像的信噪比,且可以大大减小伪像的产生。项目研究工作为奥氏体不锈钢小径管焊缝检测提供了可行的技术方案。

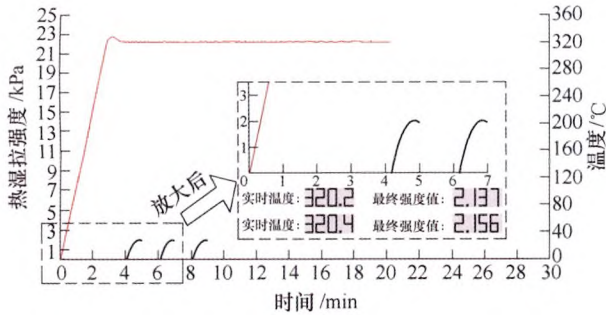


**摘要:** 针对传统边际分析法求解多级可修备件库存模型解质量不高的问题, 提出两种改进差分进化算法对模型进行求解, 一种是带局部搜索的改进差分进化算法, 另一种是基于边际分析法的改进差分进化算法。两种算法分别运行了 20 次, 每次迭代上限设置为 5 000 次, 得到相同的最优解, 该解与已发表文献采用边际分析法求出的最优解相比库存总经费降低了 4.44%, 说明了两种算法具有一定的优越性。另外, 基于边际分析法的改进差分进化算法较带局部搜索的改进差分进化算法具有明显的优越性, 其中库存总经费均值低 2.4%、库存总经费标准差低 63.8%、迭代次数均值少 38.7%, 说明基于边际分析法的改进差分进化算法在优化水平、算法稳定性以及算法计算效率三个方面优于带局部搜索的改进差分进化算法。

254 轨道连接处缺陷对起重机运行冲击系数及疲劳剩余寿命的影响



**摘要:** 为了分析起重机运行过程中轨道连接处缺陷对金属结构冲击系数的影响, 通过正、余弦函数分别模拟高低缺陷和间隙缺陷所引起的不平度, 并提出起重机越过轨道缺陷过程的动力学模型。理论推导起重机通过轨道连接处高低缺陷和间隙缺陷时的运行冲击系数方程, 并将其与 GB/T 3811:2008 和 ISO 8686—1:2012 中方法进行形式和结果的比较, 从而证明理论推导结果的正确性。基于起重机车轮尺寸及两种轨道缺陷不平度函数, 分析轨道连接处高低缺陷和间隙缺陷发生耦合作用的临界条件, 结果表明高低缺陷在冲击过程中起主要作用, 二者同时存在时可忽略间隙缺陷影响。通过试验测试满载工况下无轨道缺陷和 7 mm 高低缺陷时主梁最危险点的应变时间历程, 并计算危险点的最大应力; 将理论推导的运行冲击系数应用到有限元模型中, 计算在无轨道缺陷和 7 mm 轨道高低缺陷时对应测点的最大应力值, 有限元分析结果与试验测试相对误差为 2.63%, 从而通过工程试验验证运行冲击系数理论推导的正确性。分析轨道缺陷对起重机剩余寿命的影响发现, 起重机的临界裂纹长度、疲劳剩余寿命均随着轨道高低缺陷增大而减小, 而影响度随着轨道缺陷增大而增大, 轨道高低缺陷增大会使运行冲击系数增大且导致起重机主梁剩余寿命降低。



**摘要:** 热湿拉强度是表征型砂力学性能的重要指标之一, 在传统的湿拉强度设备研究中, 设计者多数将测试仪定位在实验室检测或现场的检测, 使其无法兼顾实验室和生产现场的检测; 同时, 传统的测试仪多数存在无法实时观察型砂热湿拉强度曲线动态变化的问题, 而只能获得到一个强度值, 这就使得试验者无法准确掌控整个测试过程。为此, 设计一款新型移动式热湿拉强度测试仪, 既可满足实验室检测又能适应生产现场检测, 还能实时观察热湿拉强度曲线动态变化, 具有一定意义。测试仪以 GB/T 2684—2009《铸造用砂及混料试验方法》为基准, 以型砂微变形理论为设计基础, 通过计算机、PLC、高精步进电机、传感器、采集器等完成硬件的设计, 以 DELPHI 为编程语言完成测试界面及软件设计, 稳定的实现了对标准试样测试过程中的数据实时采集、处理及保存等功能, 并实时绘制热湿拉强度-时间-温度曲线。整体结构采用框架式, 在保障结构稳定性的同时极大程度减轻整体重量, 且测试仪底部配有万向轮便于测试人员移动。最后, 用自主研发的新型移动式热湿拉强度测试仪与某品牌测试仪进行了对比试验, 采用标准方法进行制样, 试验结果表明, 本测试仪具有较高的精确度和精密度, 且操作更加方便。

/// 材料科学与工程 ///

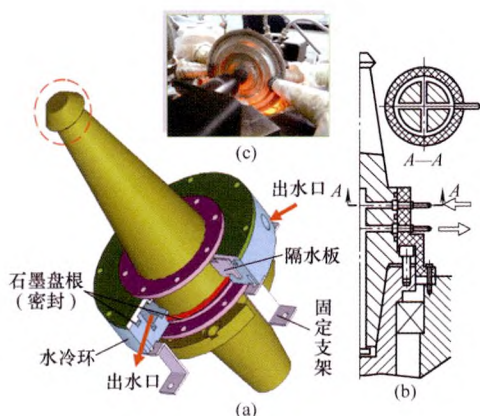
26 点焊接头疲劳研究综述



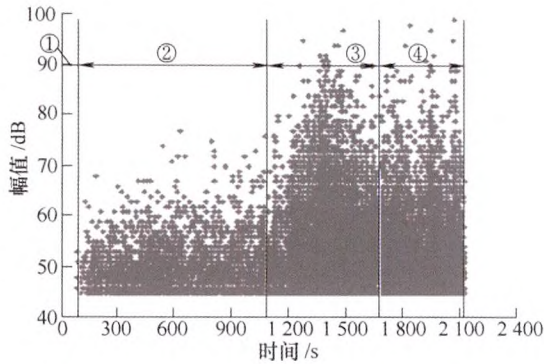
侧墙梁与蒙皮接头    端墙梁与板接头    底架横梁与地板接头    车顶横梁与车顶板接头

**摘要:** 对点焊接头疲劳研究近几十年的发展进行全面的综述。从数值分析、试验分析、有限元分析和疲劳评估方法等 4 个方面系统梳理和综述点焊接头的疲劳研究成果, 将点焊静态理论、局部应力、结构应力和断裂力学等数值分析方法进行归纳总结; 从静态试验、拉剪疲劳试验、剥离试验和缺口试验等试验方法中研究点焊接头失效模式、失效机理和疲劳寿命; 对 8 种点焊接头有限元模型的特点、建模方法、适用范围进行了对比综述, 认为 C\_WELD 和 C\_BAR 模型适用于大型点焊结构中; 对载荷-寿命法、名义应力法、热点应力法、等效结构应力法等多种点焊接头疲劳评估方法的适用条件、适用对象、评估效果等进行归纳总结, 认为等效结构应力法值得在工程领域进行推广应用。最后对存在的问题和进一步研究方向进行评述和探讨, 对点焊接头更深入的疲劳研究具有一定的指导和帮助。

44 盘件无模碾压技术进展及产业化分析



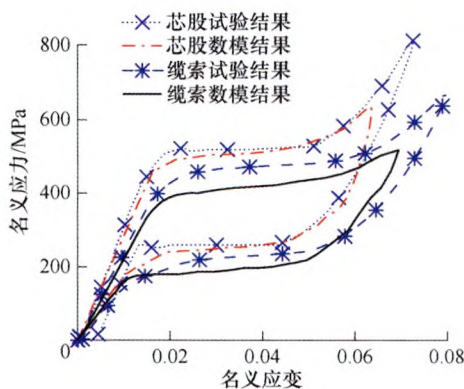
**摘要:** 无模碾压技术在发动机用双性能涡轮盘成形方面具有特色优势, 并广泛应用于高温合金、钛合金、轻合金和钢类等大型复杂盘件的加工成形。通过详细剖析无模碾压技术及设备研究现状, 分析并探讨了现有设备样机存在的问题及实现无模碾压技术产业化应用的主要途径。研究表明, 目前仅有俄罗斯和美国 GE 掌握无模碾压成形工艺和装备, 国内仍处于基础研究阶段; 现有样机设备刚度和强度不足, 在框架结构、加热系统、成形工艺及模拟仿真方面还存在一些问题, 尚不能满足高温合金涡轮盘样件的成形需求, 亟需开发新一代无模碾压成形设备; 基于前期在电阻炉加热系统、碾压头设计、工艺计算软件和工艺数控执行系统的研究成果, 依托现有成熟的卧式数控辗环机并在其基础上改造升级, 是无模碾压技术快速实现产业化的最佳途径。



**摘要:** 热障涂层是一种典型的脆性、非均质、多层结构的材料。服役过程中受热-力载荷的作用,将会导致涂层过早的剥落失效,其主要的失效形式为陶瓷层开裂和界面剥落失效。热障涂层的失效主要是微裂纹萌生、扩展及连通导致。利用声发射技术结合微观形貌观察,研究了拉伸载荷下热障涂层的失效过程,并识别热障涂层裂纹损伤模式。根据不同载荷下的微观形貌观察,研究拉伸载荷下热障涂层的失效过程;利用声发射特征参数分析法(如声发射事件数、幅值),将热障涂层的失效过程分为几个不同阶段,并结合形貌观察,建立声发射特征参数与裂纹损伤失效信息之间的联系;利用快速傅里叶变换(Fast Fourier transform, FFT)识别热障涂层的损伤模式。结果表明:热障涂层拉伸失效过程为裂纹首先在陶瓷层表面萌生,随后向陶瓷层/粘结层的界面处扩展,到达界面后,裂纹将沿着界面生长与扩展,最终导致热障涂层分层剥落;将热障涂层的失效过程分为四个阶段;频谱分析结果表明基体频率成分大约在 0.020 MHz,表面裂纹的频率成分在 0.20~0.25 MHz,界面裂纹的频率成分在 0.15~0.20 MHz。

## 65 形状记忆合金超弹性缆索力学行为的有限单元法

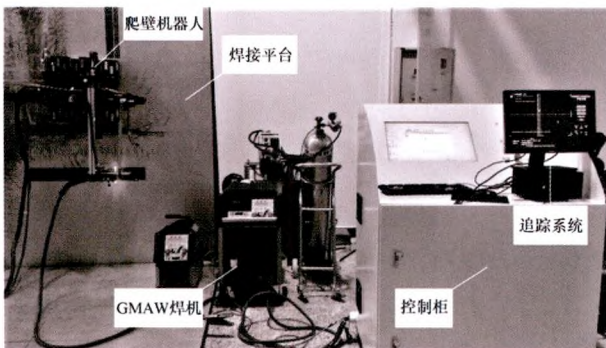
康泽天 王志勇 周博 薛世峰



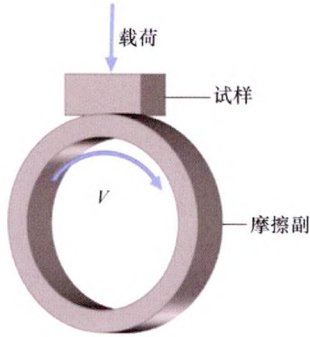
**摘要:** 由于涉及材料和接触双重非线性问题,很难建立描述形状记忆合金(Shape memory alloy, SMA)超弹性缆索力学行为的理论模型,为了克服试验成本高和易受环境因素影响的缺点,基于形状记忆因子概念和 SMA 本构模型,推导了适于有限单元法的增量型 SMA 本构模型。利用 ABAQUS 二次开发功能,考虑相变过程中 SMA 弹性模量的变化,编写了 SMA 用户材料子程序,实现了 SMA 超弹性缆索力学行为的有限单元法。利用建立的有限单元法对 SMA 超弹性缆索的相变和力学行为进行数值模拟,并将数值结果与文献中试验结果进行了对比验证,在此基础上,分析了 SMA 超弹性缆索外线股螺距对缆索整体力学行为的影响。计算结果及其与试验结果的对比表明,提出的有限单元法能有效描述和预测 SMA 超弹性缆索在拉伸过程中的相变和力学行为, SMA 超弹性缆索外线股轴线螺距对缆索整体相变和力学行为有明显影响,研究工作可为 SMA 超弹性缆索设计及工程应用提供计算方法与技术指导。

## 73 立向高速 GMAW 驼峰焊缝的试验研究

郭震 张理 周伟 毕贵军 韩冰



**摘要:** 驼峰焊缝的产生严重制约了高速熔化极气体保护焊(Gas metal arc welding, GMAW)在立向焊接上的应用,目前对该技术难点研究甚少,尚无简单有效的抑制措施提出。因此,通过梳理水平高速 GMAW 驼峰焊缝的形成机理,以此为基础,运用自主研发的爬壁机器人焊接试验平台对立向高速 GMAW 驼峰焊缝进行试验研究。研究发现:立向上焊时,高速 GMAW 会产生驼峰焊缝缺陷,熔池中由电弧压力、熔滴冲击力和重力作用下产生的动量很大的后向液体流是形成驼峰焊缝的主要原因。此外,焊接电流和焊接速度显著影响驼峰焊缝的形貌。立向下焊时,因焊接方向和焊枪倾斜位置发生改变,使熔池中由电弧压力和熔滴冲击力作用下产生的后向液体流流向与自身重力方向相反,可有效抑制驼峰焊缝的形成。通过利用金属液体流自身重力来抑制立向高速 GMAW 焊接过程中驼峰焊缝的形成,大大提高了焊接速度和焊接电流,具有较高应用价值。

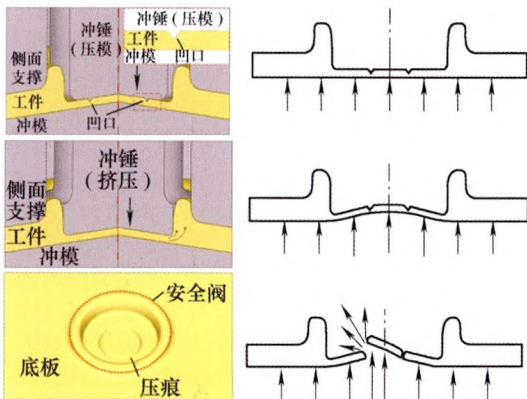


**摘要:** 高锰钢是应用最广泛的耐磨材料之一, 随着服役条件的不断恶化, 传统高锰钢已经无法满足使用要求。对传统高锰钢 Mn13 进行 Mo 合金化处理获得 Mn13Mo 钢, 通过金相显微镜、扫描电镜和 EBSD 等分析手段, 对比研究 Mn13Mo 钢和 Mn13 钢在室温下的拉伸力学性能以及在相同磨损条件下的摩擦磨损行为。研究表明 Mo 能显著细化高锰钢晶粒, 降低奥氏体层错能。在变形过程中 Mn13Mo 钢更易激活孪晶, 形成更高密度的形变孪晶, 展现出高强度和高的延伸率。在磨损试验中, Mn13Mo 钢因其优异的加工硬化能力和塑性, 形成高硬度的硬化表面和更深的应变层, 展现出更佳的耐磨性能, 并且在表面形成了硬化与磨损的动态平衡, 磨损时间越长, 其耐磨性优势更加明显。研究成果对高锰钢合金化处理有指导意义和参考价值。

/// 运载工程 ///

91 锂离子动力电池热失控与安全管理研究综述

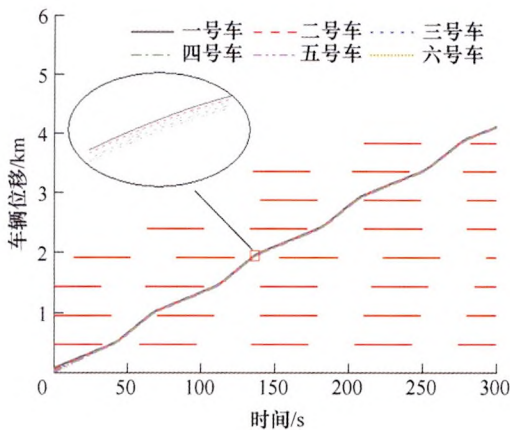
朱晓庆 王震坡 WANG Hsin 王 聪



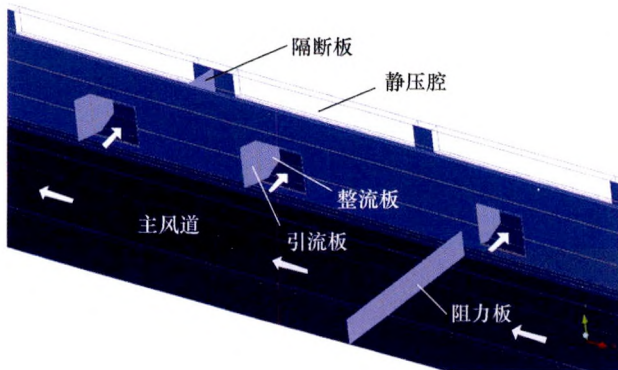
**摘要:** 锂离子动力电池具有能量密度高、循环寿命长、无记忆效应等优点, 被认为是最具前景的一类动力电池。随着整体能量密度的不断提高和制造成本的降低, 以热失控为特征的锂离子动力电池安全事故频发, 严重威胁着乘客的人身和财产安全。因此, 以防止锂离子电池热失控为核心的研究成为近几年电动车辆研究领域的热点, 同时, 相关领域的发展也需要这样的综述类文章来的引领。从动力电池安全角度出发, 对目前锂离子动力电池热失控研究现状进行综述, 总结了最新研究成果。较为具体地阐明了热失控触发条件和发生机理, 比较全面地总结了提高锂离子动力电池系统安全性的方法, 以期促进先进锂离子动力电池系统安全管理方法与策略的开发, 进而提高动力电池系统的安全性。填补了该领域缺少中文综述的空白。

119 网联环境下基于分层式模型预测控制的车队能量控制策略研究

唐小林 李珊珊 王 红 段紫文 李以农 郑 玲

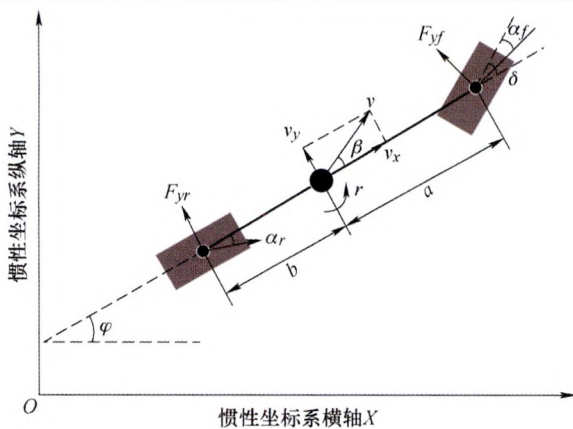


**摘要:** 网联环境下如何同时兼顾车间协同控制与车辆燃油经济性是提高交通效率与发挥节能潜力的关键技术之一。首先, 为解决车队协同控制, 同时减少车辆燃油消耗, 以功率分流式混合动力汽车车队为研究对象, 以城市道路为背景, 建立多车速度规划与跟驰模型, 基于该模型设计了模型预测控制(Model predictive control, MPC)算法, 规划汽车队列的未来车速, 以提高混合动力汽车车队的跟车稳定性; 其次, 利用分层式模型预测控制设计出一种实时能量管理策略, 上层从优化速度及频繁加减速等为目标获取最优经济车速, 下层控制系统根据该最优车速对混合动力汽车实施能量管理; 最后该实时能量管理策略在保证跟车稳定的前提下, 优化车辆燃油经济性; 将该算法与动态规划(Dynamic programming, DP)进行结果对比。结果表明, 该方法能够实现整个车队的协同跟车控制, 获得较好的燃油经济性。



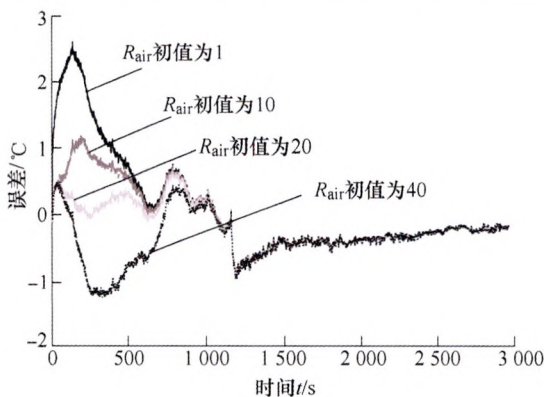
**摘要:** 针对双层铁路客车客室送风均匀性问题, 建立双层客车风道及客室通风数值计算模型, 分析风道的送风均匀性和车内风速大小, 按照 ASHRAE 23 的相关舒适性评价指标对客室风速场进行评估, 并依据仿真结果进行优化。研究表明, 等截面风道不能满足均匀送风要求, 其头部出风量小、尾部出风量大, 内部风口的出风有很大的纵向速度, 导致风量沿风道下游端部聚集; 风道直角拐角处压力损失大, 采用圆角过渡能有效减小局部流动阻力, 减小幅度达 40%; 风道出风口处静压腔空间较小, 不能有效减小内部风口处射流冲击, 需要用横向整流措施来减小气流的纵向速度; 增加横向整流板、引流板、阻力板、三角导流板等措施能有效调节风道沿纵向的出风均匀性; 综合风道优化措施能在不改变原有风道安装空间和外形的情况下, 保证车内送风的均匀性且满足标准要求。

138 智能汽车的路面附着极限横向轨迹跟踪控制



**摘要:** 在极限轮胎-路面条件下, 智能汽车的横向操纵性能急剧恶化, 增加了自动驾驶系统的控制难度。现有研究主要聚焦智能汽车轨迹跟踪的性能, 但是难以解决低附着路面、紧急避障等极限工况下的智能汽车轨迹跟踪时的安全性和稳定性。利用模型预测控制方法实现了智能汽车的轨迹跟踪, 同时保证智能汽车行驶稳定性和安全性, 仿真试验同样表明该控制器具有较好的鲁棒性。结合二次型代价函数和安全约束构建了轨迹跟踪的开环最优预测控制问题, 通过约束车辆的前后轮侧偏角, 保持极限工况下智能汽车的行驶稳定性。研究方法与结果可为智能汽车设计提供参考。

146 基于双卡尔曼滤波算法的动力电池内部温度估计

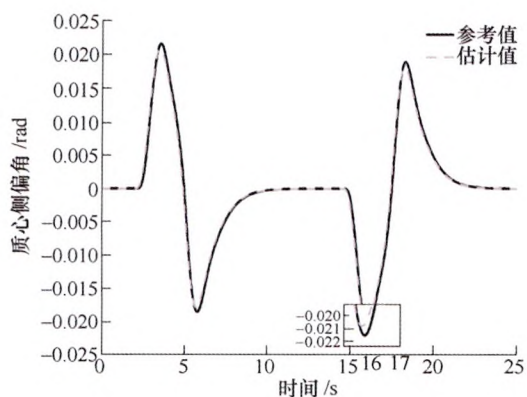


**摘要:** 准确的内部温度估计对提高动力电池使用安全和可靠性极为重要, 然而, 受限与传感器和测试手段等因素, 内部温度难以实时获取。通过融合 Bernardi 电池生热模型与热路传热模型, 应用状态方程分析法实施了电池内外温度的表达, 建立了温度的离散时间系统; 利用双扩展卡尔曼滤波, 建立电池内部温度和环境参数的实时估计模型, 实现了电池内部温度在线估计。基于内置温度传感器的动力电池测试验证表明, 该方法能在线估算锂离子电池的内部温度, 估计误差小于 1 °C, 为动力电池的实时安全监控提供了有力保障。



**摘要:** 车轮失圆是铁路轮轨列车较为常见的问题之一,对车辆运行安全和轮对维护具有较大影响。通过对 80 km/h 速度级 B 型地铁车辆车轮不圆度进行大量测试,发现测试的 6 条线路中有 5 条线路车轮主要表现为偏心磨损,且车轮失圆发展非常缓慢,仅 1 条线路的车轮失圆较为严重,主要表现为偏心和 5~8 边形。失圆严重的车轮存在明显凹形磨耗,并且闸瓦-车轮匹配关系较差,闸瓦不能起到圆度修形作用,导致车轮失圆发展较快。根据现场调研和试验结果分析,提出了降低列车启动加速度、改善闸瓦-车轮匹配关系和降低轮轨动力作用等措施减缓车轮失圆的发展。根据车轮失圆对车辆动力学性能影响的仿真分析,提出了车轮低阶多边形的镟修限值,建议采用径跳 0.4 mm 的统一限值对低阶失圆车轮进行镟修。

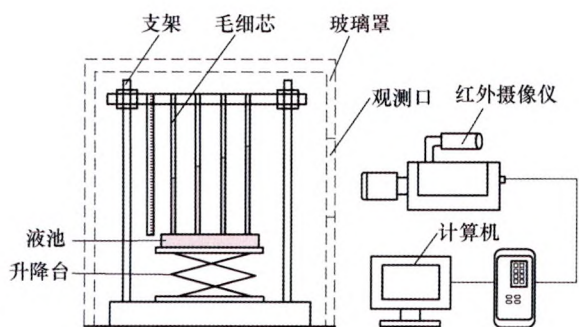
161 多轴轮边驱动铰接客车的横摆稳定性控制策略



**摘要:** 多轴轮边驱动铰接客车兼具铰接车辆的力学特性和分布驱动的动力特性,针对其在极限工况中可能出现的折叠、甩尾、横摆等问题,进行横摆稳定性控制策略研究;建立线性三自由度参考模型,通过粒子滤波对前车厢的相关状态变量进行估计,估计结果证明模型的有效性;根据三自由度参考模型得到理想响应,采用分层控制的思想,在上层采用模糊等效切换滑模控制,前车厢采用横摆角速度和铰接角联合控制,后车厢采用横摆角速度控制,从而得到前后车厢所需附加横摆力矩;下层采用二次规划法,以轮胎附着利用率为优化目标进行转矩分配。在 dSPACE-ASM 平台上进行转向角阶跃工况和双移线工况的仿真分析。结果表明,该控制策略能够在多种工况下有效改善车辆的横摆稳定性,与等转矩分配相比,轮胎附着利用率得到有效减小,控制效果更加显著。

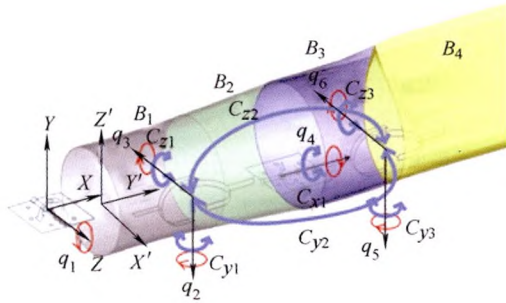
/// 可再生能源与工程热物理 ///

173 颗粒形貌及表面润湿性对毛细芯及环路热管性能的影响



**摘要:** 利用粒径 63.5 μm 的球形铜粉和 66.0 μm 的枝状铜粉烧结了两种不同结构的环路热管(Loop heat pipe, LHP)毛细芯,并采用 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 化学氧化方法对毛细芯进行了润湿性改进处理,试验分析了颗粒形貌和润湿性对毛细芯的吸液性能以及 LHP 换热性能的影响规律。结果表明,与球形颗粒毛细芯相比,工质在枝状颗粒毛细芯内具有较快的爬升速率。对于改性前的亲水毛细芯,蒸馏水在枝状颗粒毛细芯内爬升 18.0 cm 所用时间降低了约 85.0 s,且枝状颗粒毛细芯的总吸液质量较大,为球形颗粒毛细芯吸液量的 2.0 倍。毛细芯经 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 氧化后表层生长出纳米级的片状结构,增强了毛细芯的亲水性,吸液性能得以提高。热性能试验结果显示,与球形颗粒毛细芯 LHP 相比,枝状颗粒毛细芯 LHP 的运行温度较低。在加热功率为 280 W 时,运行温度降低了 7.6 °C。





**摘要:** 针对风力机尺寸增大, 叶片刚柔耦合和气弹耦合特性增强, 研究大型风力机转动柔性叶片弯曲与扭转耦合变形下的气弹模态及其稳定性。为准确描述柔性叶片的非线性变形特性, 采用“超级单元”将柔性叶片离散成若干个刚体, 并由运动副与力元连接构成多体系统, 而后通过牛顿-欧拉方程建立叶片非线性动力学方程; 气动模型则采用叶素动量理论结合修正的 B-L (Beddoes-Leishman, B-L) 动态失速模型, 计算非定常气动载荷; 然后基于变分原理, 线性化叶片结构与气动载荷动力学方程, 构建转动叶片的气弹线性化状态方程。最后以 NREL 5 MW 叶片为研究对象, 在确定尖速比下, 分析大型柔性叶片转动条件下的气弹复模态, 计算叶片气弹频率与气弹阻尼比, 分析叶片气动阻尼对颤振的影响, 探究大型叶片颤振失稳机理。

## 188 半封闭变频螺杆制冷压缩机降噪方法及试验

陈文卿 沈九兵 严思远 刘 华 周明龙

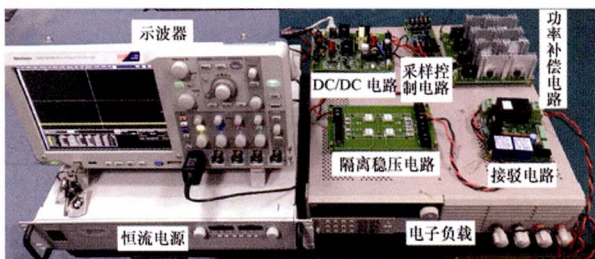


**摘要:** 变频螺杆制冷压缩机因其部分负荷节能特性已成为一种螺杆制冷压缩机的发展趋势, 宽频的脉动噪声是限制其市场应用与竞争力的关键因素。基于变频螺杆制冷压缩机结构特点与噪声原理, 提出排气端面脉动衰减装置和排气管路消声器两种降噪设计方法, 并通过试验研究分别验证了各降噪方法的有效性。研究表明, 排气端面衰减装置对压缩机不同位置的噪声都有衰减作用; 排气管路消声器只对排气侧噪声有显著削弱; 同时采用两种降噪方法后, 压缩机不同转速下平均降噪效果能达到 5.0~10.0 dBA, 压缩机运行噪声不高于 85.5 dBA, 且压缩机平均降噪效果随转速增加而增强。基于上述研究结果, 排气端面脉动衰减装置和排气管路消声器两种降噪方法都能降低排气侧基频和倍频噪声, 进而促进变频螺杆制冷压缩机的技术发展。

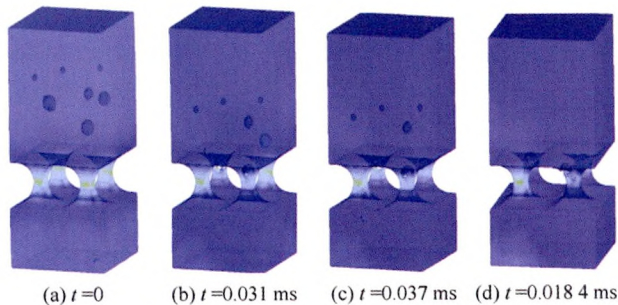
## 交叉与前沿

## 196 模块化 CC/CV 变换器及其控制策略

肖 洒 李德骏 陈燕虎 杨灿军 金 波



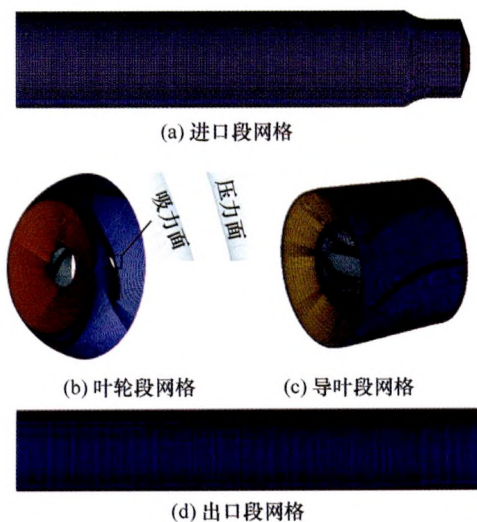
**摘要:** 为实现长期深海观测, 并充分利用恒流输电海底观测网抵抗输电电缆短路故障能力强, 可靠性高, 鲁棒性好等优点, 设计并实现了海底观测网多模块恒流变换器。综合考虑系统体积、电能变换效率、可靠性以及输入输出电压和功率等级等多方面因素, 提出采用推挽拓扑和输入串联输出并联的多模块堆叠结构的恒流转恒压电能变换系统(CC/CV)。针对恒流输电系统稳定性特性问题, 分析设计用于功率补偿作用的功率平衡器, 并对基于共占空比的功率平衡器控制策略进行研究。设计出在低频段具有高增益, 在中频段具有足够相位裕量, 在高频段能有效抑制高频干扰功能的补偿控制器以获得更佳的控制效果。在实验室环境下验证了 CC/CV 电能变换技术, 测试结果验证了各模块间的兼容性和系统整体的可靠性, 为今后研究和建设长期实用型的多节点恒流输电海底观测网提供了理论依据和技术支持。



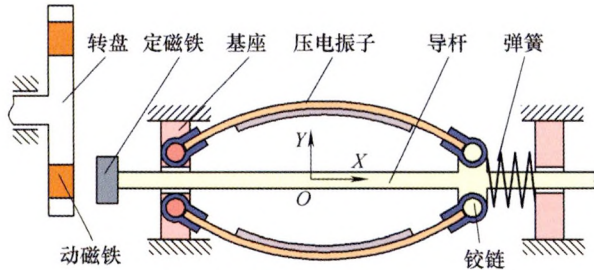
**摘要:** 目前对微孔滤膜堵塞机理的研究主要是基于对滤膜堵塞试验数据分析所得的堵塞指数, 而从虚拟仿真角度使滤膜堵塞过程可视化则有利于人们对滤膜堵塞机理的深刻认识。以 10  $\mu\text{m}$  微孔滤膜为分析对象, 基于 FLOW-3D 对膜孔尺寸附近的颗粒相对于微孔滤膜的摆放位置及倾斜角度与膜孔堵塞的关系, 以及颗粒与膜孔间的架桥截留等进行了仿真分析。研究表明, 短径大于膜孔尺寸的颗粒一定会被膜孔截留, 短径小于膜孔尺寸的颗粒通常情况下都会通过膜孔, 除非该颗粒恰好位于膜孔上方、短径与膜孔尺寸相近且长径与膜孔平行。堵孔后的颗粒表面会承受较大的液体压力。小颗粒与大颗粒的组合会形成稳定的架桥, 架桥是长短径均小于膜孔尺寸颗粒的主要沉积形式。呈一定尺寸分布的颗粒在通过滤膜微孔时, 大颗粒拦截首先发生, 然后才是小颗粒之间的架桥, 这两个机理联合作用导致膜孔堵塞。实际污染样液对滤膜微孔的堵塞结果验证了仿真分析的正确性。仿真结果可为基于滤膜堵塞法的油液污染颗粒定量检测模型研究提供参考。

## 216 第二代涡识别方法在混流泵内部流场中的适用性分析

赵斌娟 谢昀彤 廖文言 韩璐遥 付燕霞 黄忠富

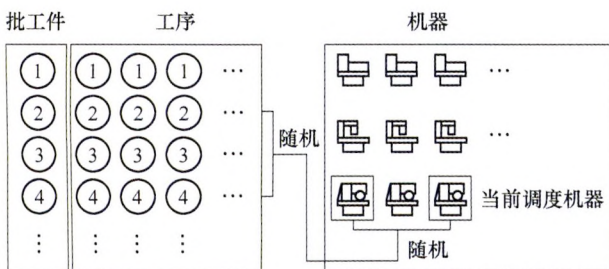


**摘要:** 流体机械内部涡的产生会严重影响流体机械的内流场及外性能, 速度、压力等传统方式并不能全面揭示流场真实的流动情况, 而涡识别方法可以表征混流泵内部涡结构, 识别涡的大小、位置和演变规律。采用大涡模拟对混流泵内部流场进行高精度数值模拟, 由此获得不同涡识别方法(涡量、螺旋度方法、 $\lambda_2$  准则和  $Q$  准则)在混流泵内流场中识别出的涡结构。结果表明: 与涡量准则法相比, 采用第二代涡识别方法更能获得详细的混流泵内部的涡结构。其中,  $Q$  准则能剔除绝大部分的剪切层影响, 较其他涡识别方法更好地捕捉混流泵内部的涡结构, 显示的涡大小更加精确。通过  $Q$  准则的识别, 提取了混流泵叶轮流道内规则的通道涡, 此类型涡结构均匀分布在各个流道, 叶片叶顶泄漏涡结构清晰, 摆脱了壁面剪切层的干扰; 导叶叶片靠近轮毂处同样获取了规则的通道涡, 通道涡均匀的分布在各个流道内, 叶片尾缘脱落涡摆脱了壁面剪切层的干扰, 可以看到清晰的涡结构。 $Q$  准则在第二代涡识别方法中脱颖而出, 更适用于混流泵内流场的涡识别, 在涡结构以及涡大小的显示方面都具有优势, 可用于旋转机械内流场的分析。



**摘要:** 针对现有旋转式压电俘能器存在的问题以及旋转机械监测系统的自供电需求, 提出一种旋磁激励式预弯梁压电俘能器。建立了俘能器动态响应模型, 通过数值仿真和试验方法获得了转速、磁铁数量比、压缩比及负载电阻对其输出性能的影响规律。结果表明, 磁铁数量比对激振力作用形式、最佳转速、谐振峰数及输出电压(振幅放大比)均有影响; 激振力形式随磁铁数量比增大由脉冲激励逐渐变为正偏置的三角波激励; 随着磁铁数量比的增加, 谐振峰数量及最佳转速减小, 存在最佳磁铁数量比使得输出电压(振幅放大比)最大; 压电振子预弯装配后俘能器可实现等应变发电, 适当增大压电振子的压缩比可降低俘能器轴向刚度提高俘能器在低转速域内的输出能力, 最佳转速随压缩比的增加而减小, 且相邻谐振峰的间距随着压缩比的增加而减小。压缩比为 0.17 时的最大输出电压是压缩比为 0.02 时的 1.5 倍; 当磁铁数量比为 0.26, 压缩比为 0.08, 转速为 448 r/min 时输出功率可达 1.55 mW。

231 批量投放与交付的柔性动态 Job Shop 调度问题及其调度仿真研究



**摘要:** 基于汽车零部件生产企业制造系统, 提出一种工件批量投放与交付的柔性动态 Job shop 调度问题, 工件以批量方式动态陆续投放, 整批交付, 车间中具有多种类型的机器集合, 以批工件总拖期及拖期批工件百分比作为调度目标。由于问题属于强 NP 困难问题, 采用离散事件动态系统仿真方法对问题进行了仿真调度试验研究。提出问题的离散事件仿真建模中批工件投放时间与交货期的设置方法, 设计 6 个新的调度规则, 与选择的文献中所提出的 9 个调度规则一并纳入仿真调度试验。对仿真调度进行试验设计, 采用单因素方差分析和验后比较对试验结果进行统计处理, 并详细分析 15 个调度规则对所提调度问题的求解性能。结果表明, 所提出的 EMDD.b (Equivalent modified earliest due date for batch) 规则在各种试验参数配置下均表现出最优的性能, 所提出的其他一些新规则在两个调度目标(或某个调度目标)下也表现出较好性能。

**CONTENTS**

- 1 A Rapid Coordinate Transformation Method for Serial Robot Calibration System**  
QIAO Guifang SUN Dalin SONG Guangming WEN Xiulan WEI Zhong SONG Aiguo
- 9 Study on Ultrasonic Multi-mode Composite Total Focusing Imaging Method for Welds Defect Inspection in Small-diameter Tube of Austenitic Stainless Steel**  
WU Bin YANG Jing JIAO Jingpin HE Cunfu QI Gaojun
- 19 Development of New Movable Hot-wet Tensile Strength Tester**  
LIU Yang LU Decai LIANG Bo WANG Ao SHI Dequan LI Dayong
- 26 Overview of Fatigue Research of Spot Welded Joints**  
YANG Long YANG Bing YANG Guangwu XIAO Shoune ZHU Tao
- 44 Technical Progress and Industrialization Analysis of Dieless Rolling for Turbine Disk**  
FAN Lulu LIU Xiaofei ZHAI Yuewen WU Jinjun JIN Quanlin
- 57 Research on Crack Failure Modes of Thermal Barrier Coatings Based on Acoustic Emission Technique**  
LI Xuehuan DI Yuelan WANG Haidou LI Guolu DONG Lihong
- 65 Finite Element Method for Mechanical Behavior of Shape Memory Alloy Superelastic Cables**  
KANG Zetian WANG Zhiyong ZHOU Bo XUE Shifeng
- 73 Experimental Research on Humping Bead of Vertical High-speed GMAW**  
GUO Zhen ZHANG Li ZHOU Wei BI Guijun HAN Bing
- 81 Effect of Mo Alloying on Wear Behavior of Hadfield Steel**  
MA Hua CHEN Chen WANG Lin XU Ming CHANG Guoji ZHANG Fucheng
- 91 Review of Thermal Runaway and Safety Management for Lithium-ion Traction Batteries in Electric Vehicles**  
ZHU Xiaoqing WANG Zhenpo WANG Hsin WANG Cong
- 119 Research on Energy Control Strategy Based on Hierarchical Model Predictive Control in Connected Environment**  
TANG Xiaolin LI Shanshan WANG Hong DUAN Ziwen LI Yinong ZHENG Ling
- 129 Ventilation Simulation and Uniformity Optimization of Air Supply for Double-deck Passenger Cars**  
CAI Lu ZHANG Jiye LI Tian

- 138 Lateral Trajectory Following for Automated Vehicles at Handling Limits**  
XIN Zhe CHEN Hailiang LIN Ziyu SUN Enxin SUN Qi LI Shengbo
- 146 Battery Internal Temperature Estimation Method through Double Extended Kalman Filtering Algorithm**  
XIONG Rui LI Xinggang
- 152 Analysis of the Wheel Out-of-roundness of Type B Metro Train**  
TAO Gongquan ZHOU Xiaojiang ZHOU Yeming WEN Zefeng
- 161 Yaw Stability Control Strategy of Multi-wheel Independent Electric Articulated Bus**  
WANG Wenwei ZHAO Yifan ZHANG Wei LIN Cheng
- 173 Effect of Particle Morphology and Surface Wettability on Performance of Porous Wick and Loop Heat Pipe**  
GUO Hao JI Xianbing XU Jinliang
- 180 Nonlinear Aeroelastic Modal Analysis of Large Wind Turbine Flexible Blades**  
HUANG Jundong XIA Hongjian LI Deyuan GUO Kunxiang
- 188 Design and Experimental Research of Noise Reduction Method for Semi-hermetic Variable Frequency Twin-screw Refrigeration Compressor**  
CHEN Wenqing SHEN Jiubing YAN Siyuan LIU Hua ZHOU Minglong
- 196 Modular CC/CV Converter and Its Control Strategy**  
XIAO Sa LI Dejun CHEN Yanhu YANG Canjun JIN Bo
- 207 Simulation on the Fouling Mechanism of Micro-pore Filter Membrane in Size of 10  $\mu\text{m}$  with FLOW-3D**  
LU Jixia LU Wenhao ZHAO Zihe ZHAO Xiuqi WANG Shan
- 216 Adaptability Analysis of Second Generation Vortex Recognition Method in Internal Flow Field of Mixed-flow Pumps**  
ZHAO Binjuan XIE Yuntong LIAO Wenyan HAN Luyao FU Yanxia HUANG Zhongfu
- 224 Prebending-cantilever Piezo-harvester Excited by Rotary Magnet**  
WANG Shuyun ZHU Yana KAN Junwu FU Jiawei ZHANG Zhonghua ZHANG Xiaoyi
- 231 Scheduling Simulation for Flexible Dynamic Job Shop Scheduling Problem with Jobs Releasing and Delivering Both in Batches**  
XIONG Hegen WU Jian YANG Guangcan
- 245 Research on Multi-level Inventory Optimization Algorithm of Repairable Spare Parts Based on Two Improved Differential Evolution**  
GU Tao LI Sujian
- 254 Influence of Rail Joint Defects on the Running Impact Coefficient and Fatigue Residual Life of Crane**  
XIN Yunsheng DONG Qing XU Gening

# 《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)

