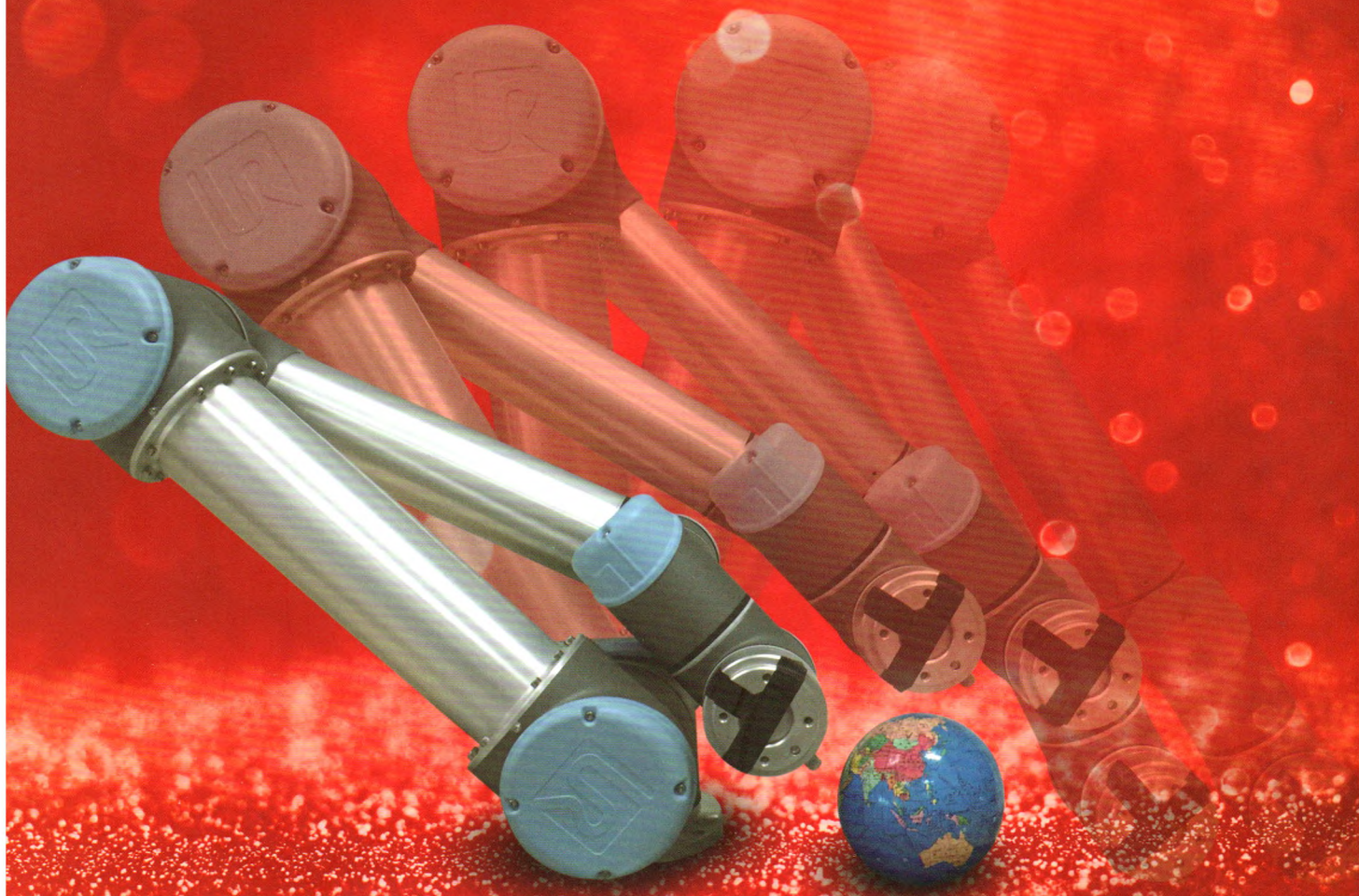


ISSN 0577-6686  
CODEN CHHKA2

# 机械工程学报<sup>®</sup>

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

基于主从任务转化的  
闭环控制避障算法



中国机械工程学会 主办

万方数据

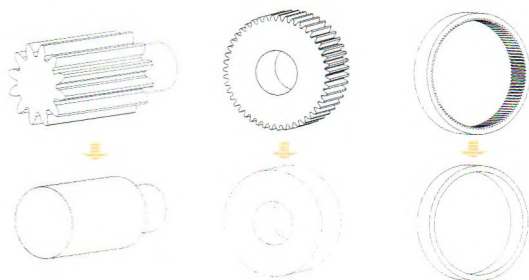
2017年53卷1期 半月刊



## 目次

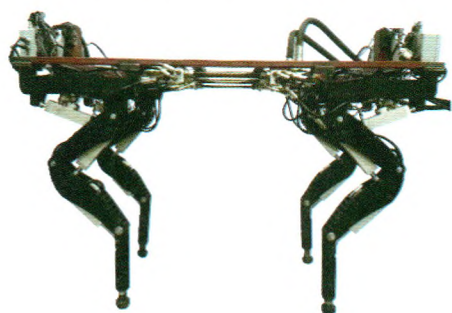
### 机构学及机器人

- 1 考虑结构柔性的行星轮系耦合振动特性研究  
魏静 张爱强 秦大同 舒锐志



**摘要:** 针对传统集中质量法精度不高和大规模有限元模型计算量大、后处理困难的问题,在轴系单元法基础上提出一种针对行星轮系耦合振动分析建模方法。根据行星轮系结构特点,将行星轮系中各种构件分为简单轴系单元、行星架轴系单元及齿圈轴系单元等轴系模型,建立不同类型的行星轮系耦合动力学模型。研究表明,考虑结构柔性后,在低速阶段动态啮合力偏差与集中质量法求解结果基本相同,但随着转速增加,而动态啮合力偏差与系统各阶共振频率均略有降低;而同一转速下,动态啮合力偏差随着齿圈厚度增大逐渐增加,但其变化量呈逐渐减小趋势。在所有结构中,轴的柔性化对振动影响最大,而行星架柔性对振动影响最小;各级齿轮副啮频相互耦合共同成为系统激励频率,而高速级啮频为最主要激励频率;振动能量不仅沿功率流方向传递,同样也会逆功率流方向传递。

- 13 基于力反馈的液压足式机器人主/被动柔顺性控制  
柯贤锋 王军政 何玉东 汪首坤 赵江波



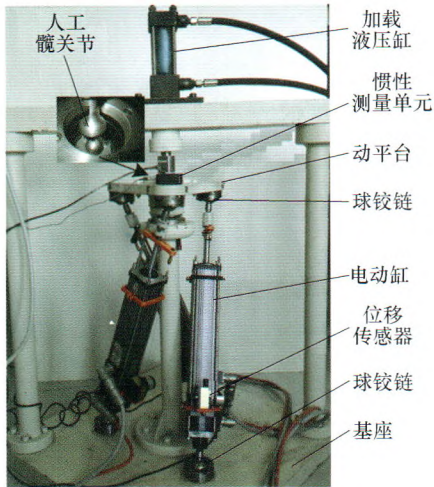
**摘要:** 在足式机器人运动过程中,柔顺性控制能有效减少足端触地冲击力,提高环境适应能力。被动弹簧常被用来实现机器人与环境柔性接触,但不能有效吸收剩余冲击能量。主动柔顺能够根据环境不同而调整末端刚度与阻尼,却由于冲击力作用时间很短,对执行器的响应速度有较高的要求。实验发现将主动柔顺控制与被动柔顺相结合,可弥补上述不足,并实现机器人柔顺性触地。在单液压执行器系统中验证了这种方法的有效性,将此控制策略应用在四足机器人单腿系统,得到了同样的效果。通过分析单自由度执行器系统,总结所提柔顺性控制器参数设计原则,进而为四足机器人整体柔顺性设计提供依据。

- 21 基于主从任务转化的闭环控制避障算法  
张建华 胡平 张小俊 刘进长 刘璇



**摘要:** 冗余度机械臂避障算法研究一直是机器人领域的研究热点之一。针对传统算法的不足提出一种基于主从任务转化的闭环控制避障算法。主从任务转化通过监测机械臂各杆件与障碍物之间的最小距离变化实现避障任务和期望轨迹跟踪任务的主从切换,从而解决当障碍物位于机械臂末端期望轨迹上时避障运动和期望轨迹跟踪运动存在的相互冲突问题。考虑到机械臂避障时其末端跟踪精度差的问题,引入对冗余度机械臂末端期望位置 and 实际位置的误差控制,使得机械臂末端跟踪精度显著提高。同时,该算法还适用于多障碍物避障和动态避障且具有计算量小和躲避速度变化连续等优点。通过三自由度平面冗余度机械臂的仿真试验,验证了该算法的正确性。仿真结果表明,该算法能够有效解决当障碍物位于机械臂末端期望轨迹上时存在的冲突问题,而且机械臂在避障的同时也能够高精度跟踪末端期望轨迹,且能够完成多障碍物避障和动态避障。

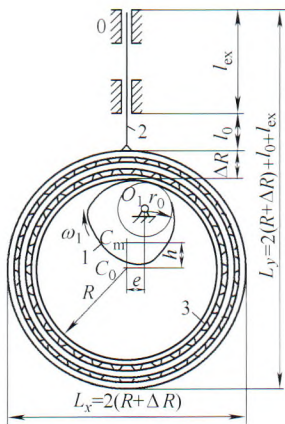
28 考虑关节摩擦的 3SPS+1PS 并联机构显式动力学建模研究  
山显雷 程 刚



并联机构样机

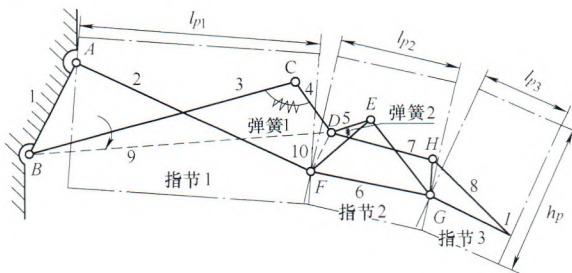
**摘要:** 显式动力学模型是并联机构控制器设计的基础, 由于并联机构的闭环结构特点, 导致其显式动力学建模过程通常比较复杂。为了避免动力学建模过程中繁琐的求导过程, 考虑关节摩擦并基于牛顿-欧拉法对 3SPS+1PS 并联机构的显式动力学模型进行了研究。在并联机构运动学及受力分析的基础上, 建立其具有一般形式的动力学模型, 选取动平台上球铰链所在位置点的运动学参数作为中间变量, 并将其表示为各运动参数的函数, 通过参数替换, 最终得到包含人工髋关节、推力球轴承、球铰链及电动缸等处摩擦且具有显式形式的动力学模型。将所建立并联机构动力学模型的数值仿真结果与实测结果进行对比分析, 验证了所建立模型的有效性。得到的动力学模型可用于并联机构的动力学控制器设计及摩擦补偿控制研究, 所使用的方法同样适用于其他构型并联机构的显式动力学建模。

36 负半径滚子直动推杆盘形凸轮机构的可视映射尺度综合与比较优势  
常 勇 吴秋平 陈续扬 林荣富 杨富富 李延平



**摘要:** 针对新型的负半径滚子直动推杆盘形凸轮机构, 提出通用有效的可视映射尺度综合方法。阐释新型机构形态构成、基本/总体尺寸和尺寸综合问题准确描述、求解的基本思路与步骤, 提出四项性能评价指标及解析表达, 构建尺寸坐标系  $ORr_0e$ 、尺寸空间  $\Omega(R, r_0, e)$  并离散化-网格化处理, 采取“遍历搜索”思想方法, 在解决单一约束下边界线/解域、边界面/解空间基础上, 解决归并约束下边界线/解域、边界面/解空间问题, 成功实现朝二维、三维尺寸坐标系、尺寸空间的可视映射。据此, 发现和揭示“谷底点/脊底点”、“非劣解区间/区域/空间”、“脊面”、“谷底线/脊底线”和“壑底点”等存在性、重要内涵和求解方法, 系统全面解决了新型机构的尺寸综合问题。通过尺寸综合结果比较, 得到大载荷下, 负半径滚子较正半径滚子机构, 具有“跨数量级”尺寸紧凑、占据空间小的关键性、重要性结论即其优势所在, 对推动、促进广泛付诸工程应用具有重要理论价值和实际意义。

47 全转动关节欠驱动手指机构及其运动学分析  
吴立成 孔岩萱 李霞丽



**摘要:** 欠驱动机器人手指结构紧凑、抓持力大、操作简单, 在工业机器人、拟人机器人、人体假肢及航天机器人等领域都具有广泛的应用前景。提出一种新型的全转动关节连杆式欠驱动机器人手指机构, 提出一种基于最小阻尼原理推导欠驱动手指机构在不同抓持状态下(即与目标物体的不同接触情况下)的等效机构, 进而基于等效机构实现运动学分析的方法。采用所提出的方法推导了所提出机构的运动学方程和极限运动位置求解方程。最后通过 Matlab 编程进行数值仿真, 验证了方法的正确性和有效性。仿真结果表明所提出的欠驱动结构具有较大的可达空间, 并可实现良好的抓物轨迹。



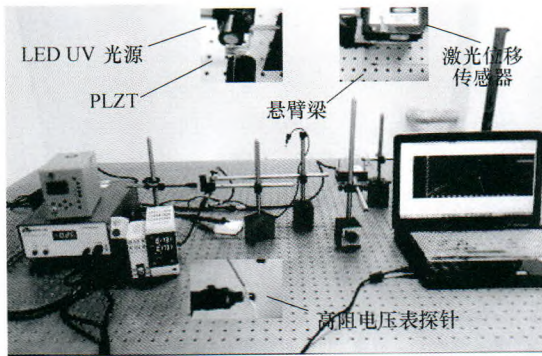
55 高重合度内啮合复合摆线齿轮传动设计与分析  
 贵新成 詹隽青 叶鹏 李红勋



**摘要:** 重合度是衡量齿轮传动性能的重要指标,较高的重合度对于提高齿轮的承载能力和传动的平稳性具有重要意义。考虑到摆线齿形的优越性,提出一种具有高重合度的新型内啮合复合摆线齿轮副;根据内、外摆线无包心形成法与包心形成法之间的等效关系,阐明内、外齿轮齿顶与齿根之间的齿廓配合关系,给出使重合度最大化的圆弧啮合线位置及其数学描述;结合坐标变换和齿轮啮合原理,建立共轭齿廓的数学方程,并由已知的啮合线推出适用于任意齿廓形状的齿轮端面重合度的统一计算式,推算上述内啮合摆线齿轮副的最大重合度,分析影响重合度的相关因素,指出提高重合度的可能途径。据此,运用 Solidworks 软件实现了高重合度内啮合摆线齿轮副的参数化建模,结合具体实例与标准渐开线内齿轮副进行比较研究,并就同时参与啮合轮齿的对数情况进行有限元仿真分析和光弹试验测试。结果表明,所设计的内啮合摆线齿轮副具有很大的重合度,可以达到十几甚至更大,且仿真及实测结果与理论分析吻合,验证了该齿轮传动理论的正确性。

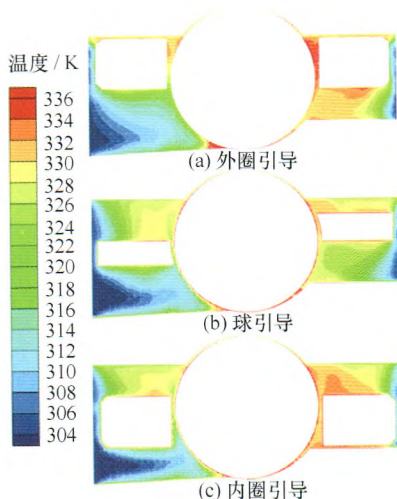
机械动力学

65 光控压电混合驱动特性及影响因素分析  
 姜晶 李晓楠 岳洪浩 邓宗全



**摘要:** 提出光控压电混合驱动,即利用铁电陶瓷改性锆钛酸铅( $P_6\text{LaZrTi}$ , PLZT)在紫外光照射下产生的光电压驱动压电作动器。这种新型光控方式的研究实现了 PLZT 作动器的非接触激励、抗电磁干扰的光激励特性与压电作动器响应速度快等优势互补。基于等效电学模型建立了在光-热-力-电等多能耦合作用下,压电作动器驱动电压及应变的本构模型;对作动器应变滞后性进行试验分析并与 PLZT 作动器进行了对比;对光控压电混合驱动的影响因素进行研究,探讨了光照强度、作动器电极表面面积、厚度等尺寸参数对作动器驱动电压的影响规律。

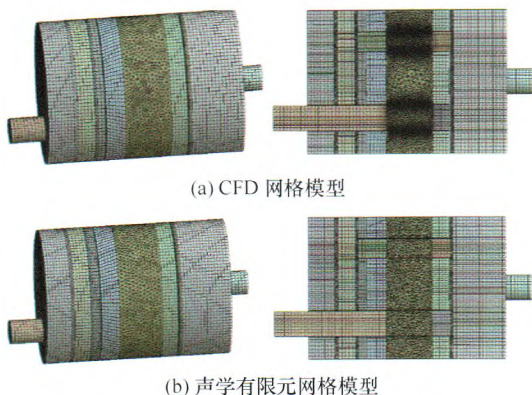
72 保持架不同引导方式下角接触球轴承腔内气相流动分析  
 王亚泰 闫柯 朱永生 洪军 张优云



**摘要:** 滚动轴承高速运转时,轴承腔内空气流动加剧诱发漩涡及高压气障,影响油气输运及整体润滑性能。针对超高速时( $d_m n$  值 $\geq 2.0 \times 10^6 \text{ mm} \cdot \text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ )角接触球轴承腔内的气相流动问题,考虑轴承结构特点、接触特征及运动边界,采用旋转坐标系定义组件运动,建立轴承腔内气相流动高精度分析模型,分析了在保持架不同引导方式下轴承腔内压力分布、气相流动与阻力,温度场等变化规律,并基于场协同理论评判了轴承内部关键接触润滑区域的流动与换热性能。结果表明,超高速下轴承腔内压差急剧增大,外圈引导时轴承腔内流速、流阻、流动协同角最大,钢球表面动压明显。当转速超过  $3.0 \times 10^4 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  时,轴承内圈接触区入口附近出现不同程度漩涡流动,导致接触区入口协同角增大,流动性能变差。该研究对超高速轴承结构设计、润滑结构及润滑参数优化具有重要的参考意义。



79 基于计算流体力学计算结果的穿孔管消声器声学性能研究  
郭立新 范威



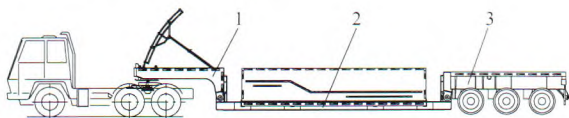
**摘要:** 为了准确研究温度与气体流动对某轿车穿孔管消声器声学性能的影响, 建立消声器的结构模型与内部流体域模型, 并分别划分流体域的计算流体力学(Computational fluid dynamics, CFD)网格与声学有限元网格。利用 Fluent 软件对消声器内部的温度场与气流速度场进行仿真计算。通过网格映射的方法, 将 CFD 网格上温度、气流速度等数据转移到声学网格中, 以 CFD 计算结果作为声场分析的边界条件, 应用声学软件 LMS Virtual.Lab Acoustics 对消声器内部声场进行数值模拟, 得到传递损失曲线。研究表明, 介质温度升高使传递损失曲线向高频方向移动; 存在气体流动时传递损失曲线向低频方向移动, 传递损失也有所增加, 尤其是在 20~200 Hz 的低频段内变化较为明显, 但总体来看变化幅度不大。

86 高强度钢板残余应力振动时效消减技术试验研究  
张清东 曾杰伟 罗晓明 张晓峰 陈兵



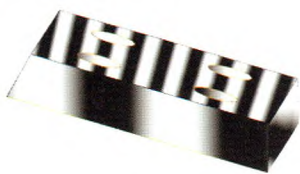
**摘要:** 根据振动时效(Vibration stress relief, VSR)原理, 采用高频振动台作为振动时效的激振装置, 设计安装于振动试验台、用于给钢板施加面内拉伸载荷的钢板张力加载机构, 在实验室搭建出钢板振动时效试验研究平台, 对振动时效消除高强度钢板残余应力的有效性进行试验研究。在 VSR 处理前后采用 X 射线衍射方法对马氏体高强度钢板和试验对照用 T2 镀锡基板的表面残余应力分布进行测量表征, 并同时测量对试样的板形瓢曲和翘曲程度做了测量。研究表明, 所设计的振动时效试验平台可以实现带张力工况下的钢板同频激振; 在一定的激振频率和时间的振动时效处理后, 两种试验钢板的残余应力均得到一定程度的消减和均匀化, 但是对于板形瓢曲和翘曲缺陷基本没有改变; 相对而言, 马氏体高强度钢板的时效效果明显弱于 T2 镀锡基板; 试验结果可以反映材料强度对于振动时效效应的显著影响和振动时效对于板形瓢曲及翘曲缺陷的微弱影响。

93 大型精密装备快速运输车减振装置  
赵静一 康绍鹏 范亮贞



**摘要:** 为实现大型精密装备的长途快速运输, 保证运输过程中装备的安全性, 在运输车鹅颈部分设计一套减振缓冲装置, 可以在行车方向和垂直方向上有效减少装备的振动; 在运输车中车架和后车架部分的连接处设计一种限高定位减振装置, 不仅能够保证运输过程中车架的离地高度, 而且能够有效地降低中车架部分的振动; 运输车的后车架部分采用空气悬挂结构, 该机构在行车方向和垂直方向上均有很好的减振缓冲性能。建立整个运输车的力学模型和数学模型, 在不同工况下进行振动仿真分析和试验研究, 证明了减振缓冲装置的可行性和实用性, 能够有效地保障大型精密装备在运输过程中的安全性, 对运输车减振缓冲性能的研究具有指导作用和经济实用价值。

101 五轴数控机床动态精度检验试件特性研究  
王伟 陶文坚 李晴朝

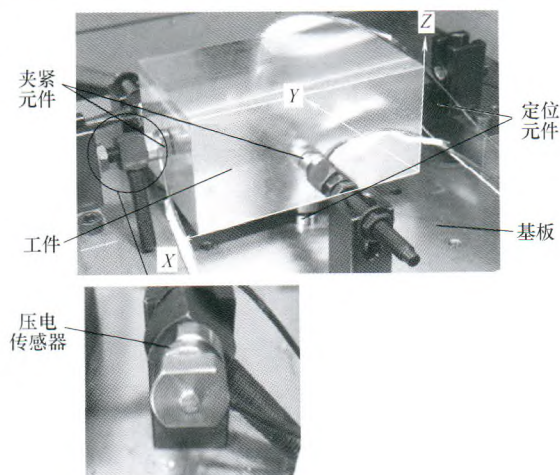


**摘要:** 检验试件是对机床动态精度的最终考量, 然而目前基于试件切削的机床性能评估还存在很多不确定性。通过分析四种常用的五轴机床精度检验试件造型方法, 计算各试件的曲率、开闭角、扭曲角等重要几何特征, 研究试件加工过程中各轴加速度冲击的跳变位置, 得出试件几何特征是其具备检验特性的关键。最终, 通过切削试验验证中国“S”试件的优越性。基于检验试件的分析有助于建立试件与机床动态性能间的映射关系, 完成加工后误差的定向溯源与辨识, 为采用试件切削的评价方法提供更加充分的依据。



### 110 基于动力学与遗传算法的工件位置偏离预测与控制方法

秦国华 何志芬 王华敏 肖洁



**摘要:** 装夹布局的合理规划是影响工件加工质量与生产安全的关键因素,为此系统地提出了工件位置偏离的动力学预测模型及其控制方法。首先通过将工件与夹具之间的接触模式等价地转化为线性弹簧-阻尼系统,利用运动学和弹性力学理论推导出工件的振动微分方程,以确定工件在装夹布局中的位置偏离。根据工件与夹具之间的接触为单向这一实际情况,运用胡克定律建立了工件位置偏离的约束条件。通过坐标转换方法,提出在约束条件下振动微分方程的模式分析求解方法,实现工件位置偏离的预测,试验结果表明所提出预测结果与试验结果完全吻合。其次,为使工件位置偏离达到最小,构建工件位置偏离的最小 2-范数为目标的装夹布局优化模型,通过以合理装夹布局中工件位置偏离的 2-范数为自变量构造个体适应度,提出装夹布局优化模型的遗传算法求解技术。提出的工件位置偏离预测与控制方法,能够避免工件处于非稳定状态下优化模型的求解过程,为复杂工件装夹布局方案的合理设计提供了基础理论。

### 121 钢丝绳弹塑性损伤本构模型研究

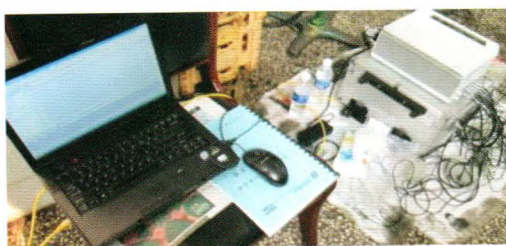
任志乾 于宗乐 陈循



**摘要:** 通过分析钢丝绳的结构与材料特点以及主要失效形式,将材料损伤力学理论引入到钢丝绳失效模型,结合材料损伤理论,建立了含损伤的钢丝绳弹塑性损伤本构模型,推导了钢丝绳受到拉伸载荷作用时的损伤变量演化方程,编写了含损伤与不含损伤的钢丝绳弹塑性损伤有限元仿真分析程序,计算得到了钢丝绳在受到拉应力作用下的损伤演化历史,对比计算了不含损伤与含有损伤的两种本构模型的仿真计算结果,为进一步开展基于损伤力学的钢丝绳寿命与可靠性研究提供了基础。

### 130 数控滚齿机滚刀主轴振动特性研究

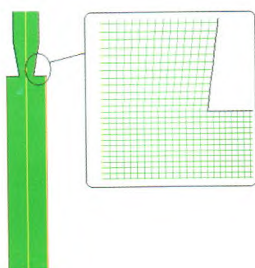
李先广 杨勇



**摘要:** 为了探寻滚齿机滚削振动特性,根据机床滚刀主轴结构、工艺参数及 Euler-Bernoulli 梁振动理论,建立了滚刀主轴 X 向的振动响应函数模型,开展了振动试验测试,得到了滚齿机滚刀主轴振动频率、X 向振动加速度及位移数据曲线。经分别比较滚刀主轴振动加速度与位移最大幅值的理论与测试数据,两者相对误差均小于 5%,表明理论与试验值的一致性较好,验证了该型号滚齿机滚刀主轴振动响应函数模型推导的正确性;并且由测试数据分析可知,该研究对滚齿机主轴结构、加工工艺参数选择与优化及加工误差预测具有指导意义,为该系列其他滚齿机主轴振动特性理论与试验研究提供经验借鉴与参考价值,且也为滚齿机振动特性的后期深入与实用性研究奠定理论与试验基础工作。

### 140 压电喷墨过程动力学建模与供墨方法

占红武 胥芳 郭维锋 谭大鹏

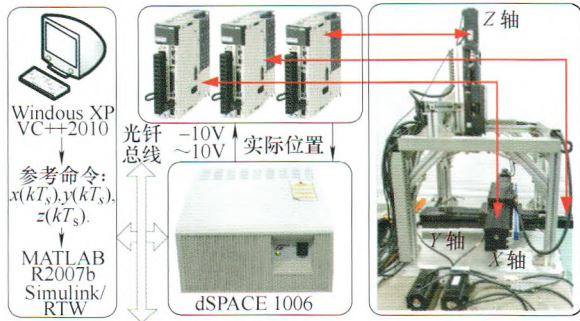


**摘要:** 针对压电喷墨过程中墨水的黏度对喷墨质量造成的液滴拖尾、卫星墨滴和墨带的问题,提出一种压电喷墨过程动力学建模与供墨方法。基于流体体积模型,建立面向墨滴喷射物理过程的动力学模型。基于该模型,对墨滴生成、断裂以及飞行的过程进行数值模拟,通过不同的边界条件设定,分析墨水特性对液滴喷射的影响因素,得到喷头工作的最佳黏度范围。通过控制温度调节墨水特性以及控制液位调节供墨压力的方法,设计一种基于微机控制的独立供墨子系统。采用模糊 PID 算法,实现了对墨水温度的快速、平滑响应控制,得到了良好的墨水特性和供墨特性的控制效果。搭建了压电喷墨试验平台,得到了微滴喷射过程中完整微滴的形成过程以及典型特征,验证了本文方法的有效性。



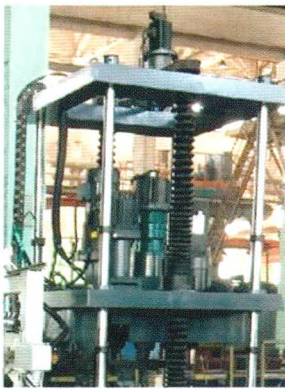
# 数字化设计与制造

## 150 面向伺服动态特性匹配的轮廓误差补偿控制研究 李祥飞 赵欢 赵鑫 丁汉



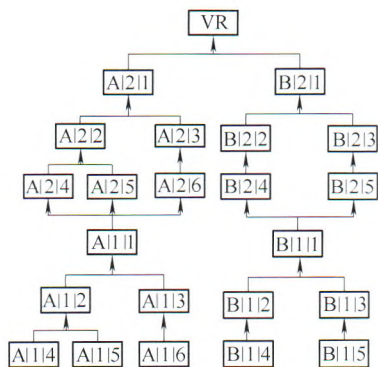
**摘要:** 在多轴数控加工中, 轮廓误差直接决定零件最终加工精度。交差耦合控制和任务坐标系法通过估计轮廓误差, 并设计轮廓跟踪控制器来提高轮廓精度。这两种方法存在大曲率位置轮廓误差估计精度差, 轮廓控制增益整定依赖于工程经验等问题。为此, 从伺服轴动态特性匹配出发, 提出了一种基于轮廓误差精确计算的轮廓误差补偿控制方法。根据足点定义, 采用解析方法快速准确计算轮廓误差。将轮廓误差分量分别补偿到各伺服轴的速度环和转矩环, 提高各伺服轴动态特性的匹配程度。采用二维和三维 NURBS 曲线开展轮廓跟踪试验。试验结果表明: 所提出的轮廓误差计算方法可以精确求解轮廓误差; 所提出的轮廓误差补偿控制方法不需要建立轮廓误差与伺服跟踪误差间的映射关系, 且可通过调整控制器增益定量显著减小轮廓误差。

## 157 基于机器视觉铸件布氏硬度在线检测技术研究 单忠德 张飞 任永新 张静 聂军刚



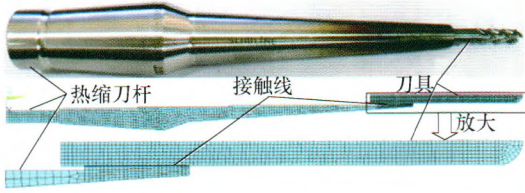
**摘要:** 为实现铸件布氏硬度的在线检测, 应用基于机器视觉的布氏硬度自动测量系统采集压痕图像, 研究压痕图像滤波、压痕图像轮廓直径提取、直径标定系数等算法。根据压痕图像的特点, 提出基于粒子群的 Snake 模型压痕轮廓提取算法。引入压痕直径标定系数, 解决了视觉测量中的压痕直径像素与压痕物理直径的换算关系, 并对直径标定系数进行最小二乘法拟合, 提高了测量精度。应用布氏硬度在线测量装置对 180~210 HBW 标准硬度块进行试验测试。试验表明: 测量平均误差为 0.72%, 测量精度在 $\pm 2$  HBW 之间, 测量标准差为 125 HBW, 装置重复性好, 精度高, 完全能够满足铸件的布氏硬度在线检测要求。

## 165 不确定知识化制造环境下航空发动机装配车间滚动自进化 姜天华 严洪森 汪峰



**摘要:** 针对产品装配次数不确定且装配组的调整时间与工序间排序相关的航空发动机装配车间, 对不确定环境下知识化制造系统(Knowledgeable manufacturing system, KMS)的自进化问题进行研究。采用事件和周期混合驱动型的自进化机制, 结合滚动时域方法实现航空发动机装配车间自进化, 并给出一种可行的滚动规则。建立系统在各个决策时刻的静态决策子问题的数学模型, 并针对该模型提出一种具有双层结构的遗传算法进行求解。在下层的混合型遗传算法中, 给出一种直接解码算法, 并引入了变邻域搜索算法, 以增强局部搜索的能力。通过仿真对算法的性能进行了测试, 此外, 试验数据表明执行自进化操作的系统具有较好的生产性能。尤其是对于更敏感于自身调整的系统, 自进化操作发挥的作用更大。

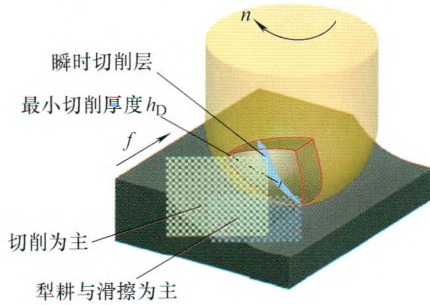
174 热缩刀杆装夹温度的影响因素  
周后明 刘 博 张高峰 周友行 彭锐涛



**摘要:** 为得到热缩刀杆与刀具配合公差与其最小装夹温度之间的精确关系,对影响刀杆接触面最小热位移差值的感应加热长度、热缩刀杆壁厚、锥角、配合长度、内径等因素进行了研究。采用 ANSYS 参数化设计语言,构建具有过盈特征的刀杆与刀具配合的参数化有限元模型,通过试验验证了模型的可靠性。通过获取热缩刀杆接触面的位移分布,结合刀杆与刀具接触状态的表征方法对接触面上最小热位移差值进行了计算。计算结果表明,配合面最小热位移差值随着热缩刀杆壁厚、配合长度、锥角的增加而减小,随着内径的增大而增大,且适当增大感应加热长度也有利于刀具的装夹。最终建立了配合公差所对应的过盈量  $f$  与最小装夹温度  $T$  之间的计算关系式,对刀具在热缩刀杆中的装夹及刀杆的结构设计提供理论指导。

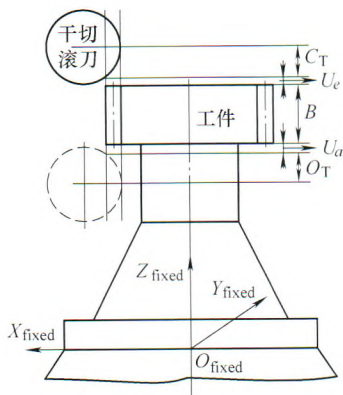
制造工艺与装备

180 基于球头铣削方式的淬硬钢最小切削厚度确定  
刘献礼 马 晶 岳彩旭 万 泉



**摘要:** 汽车覆盖件模具精加工中,精加工余量较小,较小的精加工余量与刀具刃口钝圆半径处于相同数量级,为了实现汽车覆盖件模具的高品质加工,刀具刃口钝圆半径的影响应当引起重视。刀具刃口钝圆半径存在,使得塑性材料加工中存在最小切削厚度,当实际切削厚度小于模具材料最小切削厚度时,刀具与工件之间将出现滑擦,导致汽车覆盖件模具的加工精度和表面质量难以保证。提出一种确定最小切削厚度的新方法,该方法基于球头铣削方式,并验证所提出方法的有效性;以汽车覆盖件模具常用材料淬硬钢 AISI D2 为研究对象,采用所提出的最小切削厚度确定方法,确定不同硬度淬硬钢 AISI D2 材料的最小切削厚度值,研究速度效应对淬硬钢 AISI D2 材料最小切削厚度的影响规律,研究结果表明:在所选切削参数范围内,温度效应对淬硬钢 AISI D2 材料成屑的影响大于应变率效应的影响,此时随着切削速度的增加,最小切削厚度值增大。

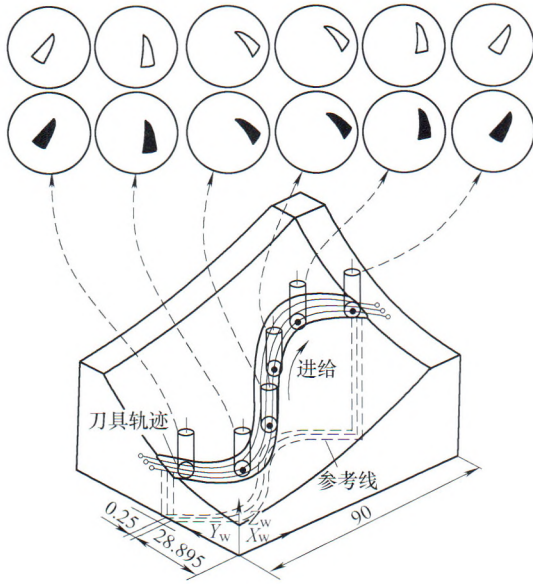
190 齿轮高速干式滚切工艺参数优化模型及应用系统开发  
陈 鹏 曹华军 张 应 朱利斌 杨 勇



**摘要:** 齿轮滚切工艺是应用最广泛的齿部成形加工工艺,高速干切工艺的出现和逐步成熟为齿轮滚切实现绿色环保加工以及高效自动化生产提供了技术条件。但由于高速干切工艺切削速度高且缺少切削油/液的冷却润滑,因而工艺参数对机床热变形误差、刀具寿命和工件质量等影响很大,需要开展深入研究。以自动化加工效率、齿轮单件成本为目标,工件材料、刀具涂层以及切削速度、进给量和滚刀顶刃最大切屑厚度等因素为变量,建立一种齿轮高速干式滚切工艺参数优化模型。通过数据分析和试验验证,基于工件材料的抗拉强度,得出齿轮高速干切滚齿工艺切削速度和滚刀顶刃最大切屑厚度推荐值;同时,为实现模型在齿轮自动化生产线上的应用,建立了高速干切滚齿工艺参数在机自适应优化修正模型,并基于西门子 840D 数控系统开发了高速干切滚齿工艺参数优化支持系统。该系统在某轿车齿轮自动生产线的生产实践中得到应用,取得了良好的效果。

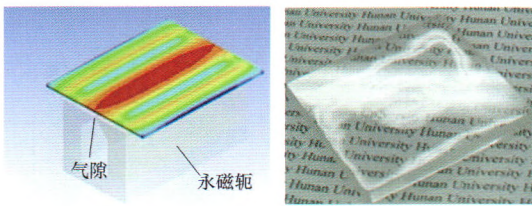


198 球头铣刀曲面多轴加工的刀具接触区半解析建模  
魏兆成 王敏杰 王学文 赵丹阳



**摘要:** 刀具接触区界定了切削过程刀具与工件的相互作用范围,是研究切削力学/动力学的基础,复杂曲面加工的刀具接触区往往呈现不规则几何形状且沿曲线刀具轨迹不断变化。针对球头铣刀复杂曲面多轴加工,提出一种刀具接触区半解析建模方法。基于微元离散和刚体旋转变换的思想,将一般复杂曲面加工看成是一系列微小斜面加工的组合,并且认为球头铣刀斜面多轴加工的刀具接触区,可由球头铣刀水平面三轴立铣加工的刀具接触区经刚体旋转变换而得。通过将切削余量材料看成是一系列微厚材料薄层的叠加,构建了球头铣刀水平面三轴立铣加工的刀具接触区解析模型,从而建立球头铣刀复杂曲面多轴加工的刀具接触区半解析模型。仿真实例分析了模型的精度和效率,结果表明该半解析模型能够精确高效地描述复杂曲面多轴加工的刀具接触区。

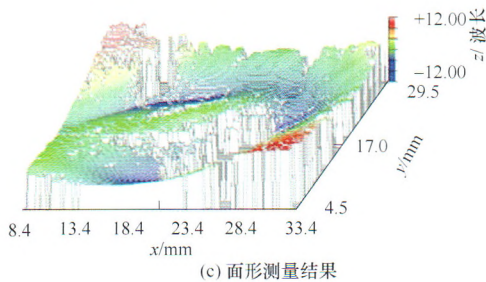
206 磁流变平整加工中平动对平整度的影响  
王永强 尹韶辉 李叶鹏 胡天 陈逢军



(a) 永磁轭上方磁场分布

(b) 样品实物

**摘要:** 为改善平整度,提出在磁流变平整加工中加入平动。建立工件在磁流变硬化研抛工具上的运动轨迹方程,以该轨迹方程为基础建立了材料去除量的数学模型,对材料去除量分布作了仿真分析,探讨了轨迹规划、平动行程及平动速率等加工参数对平整度的影响;并进行了研抛试验。结果表明:工件沿磁轭的宽度方向单向平动,对平整度的改善最为显著,且平整度随平动行程增加而大幅降低,而平动速率对平整度的影响较弱。利用平动方式的磁流变平整加工方法研抛 K9 光学玻璃可获得微米级面形精度的超光滑平面。



(c) 面形测量结果



# JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

Vol.53 No.1 January 2017

## CONTENTS

- Coupling Vibration Analysis for Planetary Gear System Considering Flexible Structure  
.....WEI Jing ZHANG Aiqiang QIN Datong SHU Ruizhi (1)
- Active/Passive Compliance Control for a Hydraulic Quadruped Robot Based on Force Feedback  
.....KE Xianfeng WANG Junzheng HE Yudong WANG Shoukun ZHAO Jiangbo (13)
- Closed Loop Control Algorithm for Obstacle Avoidance Based on the Transformation of Master and Slave Tasks  
.....ZHANG Jianhua HU Ping ZHANG Xiaojun LIU Jinchang LIU Xuan (21)
- Explicit Dynamic Modeling of a 3SPS+1PS Parallel Manipulator with Joint Friction  
.....SHAN Xianlei CHENG Gang (28)
- Dimension Synthesis of Cam Mechanisms with Negative Radius Follower Based on  
Technology of the Visualization-oriented Mapping and Comparative Advantage  
.....CHANG Yong WU Qiuping CHEN Xuyang LIN Rongfu YANG Fufu LI Yanping (36)
- Fully Rotational Joint Underactuated Finger Mechanism and Its Kinematics Analysis  
.....WU Licheng KONG Yanxuan LI Xiali (47)
- Design and Analysis of Internal Compound Cycloid Gear Transmission with High Contact Ratio  
.....GUI Xincheng ZHAN Junqing YE Peng LI Hongxun (55)
- The Characteristic and Influence Factors Analysis of Non-contact Hybrid Photostrictive/Piezoelectric  
Acutation Mechanism .....JIANG Jing LI Xiaonan YUE Honghao DENG Zongquan (65)
- Investigation on Internal Air Flow Pattern of Angular Contact Ball Bearing with  
Different Cage Guiding Approaches  
.....WANG Yatai YAN Ke ZHU Yongsheng HONG Jun ZHANG Youyun (72)
- Acoustic Attenuation Performance of Perforated Tube Silencer Based on Computational Fluid  
Dynamics Results.....GUO Lixin FAN Wei (79)
- Experimental Study on Residual Stress Reduction for the High-strength Steel Based on Vibration  
Stress Relief.....ZHANG Qingdong ZENG Jiewei LUO Xiaoming ZHANG Xiaofeng CHEN Bing (86)
- Damping Device Used in Large-scale Precision Equipment Rapid Transporter  
.....ZHAO Jingyi KANG Shaopeng FAN Liangzhen (93)
- Research on Characteristic of Test Specimen for Five-axis CNC Machine Tools  
.....WANG Wei TAO Wenjian LI Qingzhao (101)
- Prediction and Control of Workpiece Position Deviation Based on Dynamics and Genetic Algorithm  
.....QIN Guohua HE Zhifen WANG Huamin XIAO Jie (110)
- Study on Wire Rope Elastic-plastic Damage Constitutive Model  
.....REN Zhiqian YU Zongyue CHEN Xun (121)



Research on the Vibration Properties of Hob Spindle for CNC Gear Hobbing Machine .....	LI Xianguang YANG Yong (130)
Dynamics Modeling and Ink Supply Methods of Piezoelectric Ink-jetting Process .....	ZHAN Hongwu XU Fang GUO Weifeng TAN Dapeng (140)
Research on Contour Error Compensation Method with Matched Servo Dynamic Characteristics .....	LI Xiangfei ZHAO Huan ZHAO Xin DING Han (150)
On Line Detection Technology of the Hardness of Cast Iron Parts Based on Machine Vision .....	SHAN Zhongde ZHANG Fei REN Yongxin ZHANG Jing NIE Jungang (157)
Rolling Self-evolution of an Aero-engine Assembly Shop in Uncertain Knowledgeable Manufacturing Environment .....	JIANG Tianhua YAN Hongsen WANG Zheng (165)
The Influence Factors of Shrink-fit Tool Holder Clamping Temperature .....	ZHOU Houming LIU Bo ZHANG Gaofeng ZHOU Youhang PENG Ruitao (174)
Determining the Minimum Cutting Thickness (MCT) of Hardened Steel Based on Ball End Milling Method .....	LIU Xianli MA Jing YUE Caixu WAN Quan (180)
The Process Parameters Optimization Model of Gear High-speed Dry Hobbing and Its Application System Development .....	CHEN Peng CAO Huajun ZHANG Ying ZHU Libin YANG Yong (190)
A Semi-analytical Cutter Workpiece Engagement Model for Ball End Milling of Sculptured Surface .....	WEI Zhaocheng WANG Minjie WANG Xuwen ZHAO Danyang (198)
Effects of Translational Movement on Surface Planarity in Magnetorheological Planarization Process .....	WANG Yongqiang YIN Shaohui LI Yepeng HU Tian CHEN Fengjun (206)



# 《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) 陈熠彰(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

01