



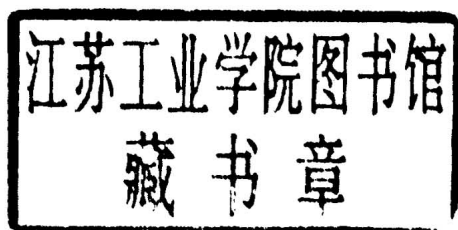
国家自然科学基金 机械学科资助项目结题成果汇编 (2006年)



国家自然科学基金委员会工程与材料科学部 组编
第九届海内外青年设计与制造科学会议 (ICFDM2010)

湖南大学出版社

国家自然科学基金机械学科
资助项目结题成果汇编
(2006 年)



湖南大学出版社

2010 年·长沙

目次

微纳摩擦学	1
内高压成形机理及塑性变形规律	2
机器人机械学	3
结构与系统动力学	4
现代机构创新及机械系统动态优化设计理论与方法的研究	5
各向异性软脆功能晶体高效精密和超精密加工技术基础	6
微型机械电子系统 (MEMS) 测试计量技术与理论研究	7
先进陶瓷精密高效加工技术基础研究	8
植入假体的生物摩擦学关键基础问题研究	9
振动吸附机理与小型仿生爬壁蠕虫研究	10
高速重载列车轮轨接触传热耦合问题的研究	11
飞行器结构相似比例模型的弹性特征重构	12
超磁致伸缩薄膜谐振微执行器及其智能控制方法研究	13
空间应力作用下的金属薄膜微电极韧性-蠕变断裂机理及解决方法研究	14
基于斯托克斯定理的具有自终止特性的视觉规划方法研究	15
高性能石墨材料高速铣削加工中的摩擦磨损特性研究	16
自蔓延-钎焊复合制造新型金刚石工具研究	17
基于遗传算法和高性能计算技术的机械结构系统全局动力优化方法研究	18
基于 AFM 加工技术的自组装有序纳米微结构形成机理研究	19
用于纳米操作的 6 自由度 3-PPSR 微动机器人	20
航空发动机高速轴承润滑的气液二相流行为及润滑特性研究	21
镁合金半固态坯新应变诱导-熔化激活法制备及触变成形机制	22
超细晶仿生层状陶瓷材料超塑成形基础研究	23
含随机间隙与摩擦的弹性机构非线性动力学研究	24
正交衍射光栅计量方法与 XY 驱动定位技术的研究	25
基于广义解调时频分布的机械故障诊断方法研究	26
电磁耦合无机变速传动系统研究	27
基于半监督学习的机械设备离群状态智能预报方法研究	28
纳米结构材料的切削加工制备、形成机理及性能研究	29
CPL 蒸发面微沟槽犁/挤成形及裂缝凹穴生成机理与控制	30
压铸模数字化集成制造 CAE 关键技术研究	31
二维平面电机复杂多变量耦合非线性动力学及控制研究	32
飞轮储能系统高速轴系的超声波悬浮支撑技术研究	33
压电/电流变混合超精密步进驱动机理及关键技术研究	34
板料多点与渐进复合数字化成形技术的基础研究	35
基于激光加热的微器件温挤压成形机理和方法研究	36
液压电机叶片泵的基础理论及实验	37
基于 EPAM 膜的仿生弹跳机器人基础技术研究	38
基于陶瓷轴承应用的 NCD 膜抑晶生长机理及其摩擦学性能研究	39

无损仿仿生体内定点介入诊疗机器人研究	40
表面特性对水基润滑成膜特性的影响规律	41
大射电望远镜馈源二次定位机构相似律特性研究	42
新型全解耦仿人机器人技术研究	43
空间曲线永磁同步直接驱动系统的研究	44
多源运动声场的声场获取及动态视频可视化	45
蠕变/疲劳交互作用下高温含缺陷结构的安全评定方法	46
基于自加热悬臂梁的谐振式 MEMS 气体传感器研究	47
重载大惯量装备快速高精度稳定控制策略与实验研究	48
复杂机械系统动力学建模的复合方法	49
基于温度效应的板料成形极限理论与实验研究	50
船舶大型结构件焊接自主移动机器人控制策略研究	51
喷射成形中柱状近终形沉积坯几何特征检测及智能控制的研究	52
计及操作者与工作环境影响的复杂机械系统耐久性研究	53
硬质合金基体金刚石涂层疲劳损伤机理与寿命预测研究	54
综合焊接热效应的车身封闭件 Hausdorff 距离匹配优化方法	55
新型磁性抛光体 MAGIC 的制备和抛光的关键技术的研究	56
基于 RFID 技术的制造车间智能控制方法研究	57
基于网格工作流的快速扩散制造技术及系统研究	58
高速列车-气流耦合振动研究	59
基可同步双转子系统内外转子不平衡量快速识别法研究	60
二元超冗余机器人构型综合及动力学特性分析研究	61
高速液压弹射系统多缸并联驱动同步控制方法研究	62
高速插秧机新型执行机构的弹性动力学建模与动态仿真研究	63
冲击载荷下超高压结构的缺陷/损伤自增强分析与安全评定	64
铸态镁合金塑性变形组织及性能演变规律研究	65
基于虚拟原型技术的分度凸轮系统的动力学研究	66
基于并行探针驱动的无掩模扫描等离子体加工技术的研究	67
基于压电声屏蔽栅的潜艇新概念吸声技术研究	68
拉锥制备光纤器件的 ($\text{SiO}_2 - \text{GeO}_2$) 重构与传输精度的关联规律	69
超声波在键合换能系统接触界面的传播机理与低能耗接触界面设计	70
泛网络机械测试系统中互操作统一模型的研究	71
废旧机电产品大批量定制化绿色再制造过程模型及优化技术研究	72
基于“免形状 (Form-free) 测量原理”的复杂形状测量仪研制	73
小直径铣刀高速铣削硬质模具钢特殊路径的动力学仿真及试验研究	74
自冲铆接理论及关键技术研究	75
振动摆动辗压精密成形机理研究及其计算机模拟	76
铸造粘土 (混合) 旧砂再生作树脂砂型芯机理及工艺的研究	77
难加工材料激光和化学复合刻蚀大尺度加工的基础研究	78
基于 STEP-NC 的 NURBS 曲面五轴加工运动学理论及应用研究	79
双相对置超磁致伸缩自传感驱动水压伺服控制阀理论及关键技术研究	80
半钢材料激光强化的裂纹衍生机理与预防机制研究	81
工件刀具耦合动力切削系统稳定性的结构-振动耦合控制方法与实验研究	82
基于自重构原理的新型节能高效螺旋桨机构的设计及应用研究	83
功能型广义柔性铰链的分析与设计	84

角膜移植手术缝合机构的创新设计与研究	85
电液作动器（EHA）复合调节控制策略研究	86
铝合金板料蠕变时效成形本构模型建立及回弹规律研究	87
动态测量系统的非统计分析方法及其应用基础研究	88
复合材料构件的非接触超声成像技术基础研究	89
叶轮机械中基于合成射流技术的密封气流激振自愈调控原理与方法	90
基于损伤力学的横轧中心材料损伤机理及损伤准则研究	91
少自由度并联机器人真实运动特性研究	92
基于共路光线漂移补偿的激光多自由度误差同时测量方法的研究	93
基于光谱色散线扫描的光纤干涉纳米表面三维在线测量原理与技术研究	94
非回转体轴零类件楔横轧精确成形关键技术研究	95
金属梯度结构轴界面特性及控制成形的研究	96
薄宽带钢的瓢曲机理和屈曲生成条件及全程变形行为的解析与数值研究	97
批量微小齿轮高效测量技术的研究	98
多尺度下空蚀磨损机理的计算机模拟及抗空蚀设计研究	99
微制造中有机高聚物超声时效理论与方法研究	100
多次压电效应的基础研究与在微传感执行器上的应用	101
面向 IC 制造的硅片机器人关键技术研究	102
低功率激光增强电弧复合焊接技术基础研究	103
超薄硬脆晶体基片的耦合能量软磨机理与关键技术研究	104
微流体驱动光学波前校正器的理论与关键技术研究	105
MEMS 中基于多模谐振的超声波悬浮颗粒分离方法研究	106
三维编织复合材料管件单胞模型和轴向动态压缩强度优化设计	107
基于光诱导介电泳的微纳米生物粒子操纵原理与实验研究	108
低压下分布参数微机械谐振系统空气分子阻尼机理研究	109
提高超环面行星蜗杆传动精度的研究	110
三维微细零件掺粉电解抛光机理与工艺研究	111
弹性浮动研磨新技术及其金刚石研磨应用研究	112
短波长激光超精密冷抛光蓝宝石晶片的新方法及其机理研究	113
具有前摄与反应复合控制机制的随机模具制造系统研究	114
面向再制造工程的复杂曲面形域自适应式模型快速重建与修复研究	115
冷拉伸滚压精密成型技术基础研究	116
金属橡胶构件内部微观组织结构对其性能影响的机理及其应用基础研究	117
薄壁回转结构动力学建模及形状智能控制研究	118
聚碳酸酯（PC）大尺寸复杂形面制件热成形及其机理的研究	119
PU-VER 梯次 IPNs/金属的界面行为及连接机理	120
单枪双钨极耦合焊接电弧的物理特性研究	121
含有限晶粒的电子封装微连接接头的微观力学行为	122
超大构件现场可重构加工系统有关理论的研究	123
电火花沉积与去除可逆加工技术研究	124
微结构的纳米切削机理及其力学特性基础理论研究	125
微结构功能表面的金刚石超精密加工技术	126
阵列式空间超分辨共焦显微扫描探测技术与理论	127
新型绿色切削冷却润滑关键技术及其应用基础研究	128
多操作机全口义齿排牙机理及实验研究	129

海底沉积物低扰动机械取样技术研究	130
近场声全息重建误差及其关键问题研究	131
基于误差分解溯源理论的动态测量系统最优设计原理及应用研究	132
锌空燃料电池极片干嵌法成形过程控制的理论与技术	133
面向模糊前端 (FFE) 的机械产品创新设想产生系统化方法研究	134
曲轴滚压关键参数设计理论研究	135
准双曲面齿轮数字化闭环制造的理论和关键技术研究	136
主被动结合新型汽车碰撞吸能方法及其关键技术研究	137
高硬难加工金属材料磨削过程中白层的形成机理与抑制对策的研究	138
微细透镜及模具的无电极 ELID 斜轴磨削工艺的理论及实验研究	139
新型微钻头 CNC 磨制装备关键技术研究	140
大型多支承回转机械健康维护原理与技术研究	141
风电涡轮叶片仿生物中轴图式的设计理论与拓扑优化	142
基于能量原理的摩擦特性与机理的研究	143
基于复杂性思维的制造信息系统建模新方法	144
高性能制氢微通道反应器载体沟槽犁削与成形机理	145
面向应力缓和设计的骤冷粒子动态生长特性的研究	146
金刚石锯片高效超窄锯缝切割石材的基础研究	147
液压系统污染控制不确定性优化理论及应用研究	148
基于真空泵的正负压连续控制系统研究	149
基于小波的机械故障警戒机方法	150
多因素耦合的大型海洋作业起重船舶非线性动力学研究	151
数字化设计与制造中复杂零件工艺方案全局多层并行优化方法及应用基础研究	152
两栖仿生龟机器人多介质环境下运动机理与仿生机构综合的研究	153
塑料注射成型过程中的形态演化与制品性能的数值模拟	154
等离子混相喷射制造高性能燃料电池的复杂形状复合功能模块	155
基于神经网络计算试验的制造系统行为预测理论与方法	156
基于多维正交磁化的钢管超高速漏磁检测原理研究	157
基于碳纳米管微气泡发生器的热喷印系统基础研究	158
轮胎复杂工况稳态力学特性预测的理论及试验研究	159
月球探测车行走系统结构设计与动力学分析	160
土壤磨料作用下的耐磨仿生几何结构表面	161
高速切削加工中毛刺形成机理及其控制	162
基于激光冲击波力效应的无损高防伪三维标识的研究	163
金属构件受控激光喷丸强化中的残余应力表征与控制	164
氧气保护的涡旋超声空气等离子电弧行为及切割机理	165
含多间隙机械系统的复杂动力学研究	166
铝合金 MIG 焊多信息融合及多变量解耦控制模型研究	167
毫米尺度块体的超声振动输送机理及驱动控制	168
固体火箭发动机整形装备主轴系统动力学优化设计	169
复杂应力状态下金属尘化结构的寿命预测技术研究	170
面向复杂螺旋桨的多层次优化模型及其求解算法	171
基于超声电机的五指灵巧手及主从控制技术	172
航空发动机微弱振动信号的识别与分离	173
自适应吸能结构中可控薄弱环节的原理和方法研究	174

柔性材料表面几何与化学织构的润滑机理研究 175

氮化碳基薄膜的仿生设计和水润滑摩擦特性的研究 176

喷射液束电解-激光复合加工技术研究 177

微电子器件平面化用固结磨料抛光垫的制备机理研究 178

磁悬浮轴承弹性阻尼组合支承柔性转子系统动态特性的研究 179

高冲击载荷作用条件下磁流变减振器的动态特性和控制研究 180

流变型土壤的切削与失效机理及工作部件设计 181

活性人工骨-软骨功能梯度结构的一体化建模与快速制造研究 182

用于超声引导微波消融治疗肝癌的机器人系统及关键技术研究 183

乘用车座椅-乘员系统动力学建模与分析 184

超低摩擦机理中跨尺度及复杂性问题的研究 185

超疏水表面形貌的界面效应影响研究 186

轻合金液态挤压成形过程热-力-流-质复杂凝固和力学问题的耦合建模与仿真研究 187

高压铸造过程铸造压力传递及界面热交换行为的研究 188

镁合金板材轧制成型的晶体塑性行为及织构预测 189

共形光学元件内凹面的磁流变抛光技术研究 190

电磁驱动超高频响直线式微进给系统研究 191

基于碳纳米管的阵列式气体传感器研究 192

高速焊接熔池流体动力学形态及焊缝成形机理的研究 193

基于高速切削热驱动的原位反应自润滑刀具关键技术及其相关基础理论和应用研究 194

磨削淬硬新技术数值模拟与实验研究 195

基于应变梯度塑性理论的高速微细切削变形学研究 196

基于 STEP - NC 的智能化数控理论和关键技术研究 197

高速滚珠丝杠副滚珠循环系统动力学分析与试验研究 198

稀土在电沉积耐磨陶瓷涂层中作用机理研究与应用 199

少无实验条件下分析性鲁棒设计理论与方法研究 200

触觉再现技术中高触感表现力振动激发方式的理论和实验研究 201

基于马氏体转变行为的亚稳奥氏体不锈钢板成形过程的摩擦学优化研究 202

高亮度/大功率半导体照明器件(LED)热超声倒装微制造研究 203

纳米结构 MoS₂/WS₂/(Ni, Ti) 梯度复合薄膜的摩擦学研究 204

基于近场超声悬浮原理的非接触输送与精密定位 205

结构钢热塑性成形中组织细化机理研究 206

基于力-热耦合作用的难加工材料高速切削物理建模与仿真研究 207

软地面半履带气垫车载荷匹配及行驶姿态的控制研究 208

面向大厚度和高强度的激光熔覆在线修复技术的基础研究 209

复杂多源多工序加工系统偏差流的建模理论与诊断体系研究 210

冷却液条件下激光在线检测加工表面质量的机理研究 211

永磁锁定的双稳态电热微驱动器与微继电器研究 212

面向 IMS 并基于信息融合的设备性能退化评估与预测 213

纳米干涉测长中的非线性问题研究 214

稀土金属辅助作用下的金刚石膜超高速抛光方法及机理研究 215

玉米种子脱粒损伤机理及柔性脱粒技术研究 216

具有认知机理的创新设计理论、方法及工具研究 217

螺纹、花键类零件冷滚压精密成形工艺理论与实验研究 218

300 MW 以上大型护环热锻短流程新技术的理论与实验研究 219

液压阀液动力补偿新方法、计算公式的完善及应用研究	220
动态负荷下镁合金焊接接头断裂机理和改善对策研究	221
电火花沉积与去除可逆加工技术研究	222
一种新型高速分度机构的研究	223
含刚柔混合支链的高速并联机械手的结构学原理与动态设计	224
双反馈和数字 Q 微梁调控方法及 AFM 高速成像技术的研究	225
面向复杂机械系统微弱特征信息提取的自适应变尺度随机共振研究	226
柔性变胞机构动力学及控制关键问题研究	227
节约型双螺杆磨浆机传动挤压复合建模及优化设计研究	228
并联机器人动力学建模及其非线性解耦控制研究	229
高速精密球轴承转动体三维运动状态检测的基础研究	230
动态规避并联机构运动奇异性扰动函数方法研究	231
数字样机公差设计及其影响预测的关键技术研究	232
高坝泄洪消能用新型抗冲蚀耐磨材料与结构设计	233
低雷诺数气动特性与微机电系统控制的多学科优化设计研究	234
船舶推进轴系与尾轴承尾密封装置间耦合特性及试验研究	235
车载飞轮电池磁悬浮转子的基础理论及关键技术研究	236
环件冷轧-淬火中细-微观变形与损伤规律研究	237
长寿命热锻模热应力缓解机理及设计方法的研究	238
基于资源的网络数字控制新理论及关键技术研究	239
多机器人系统无模型高精度同步协调控制	240
光纤动态测量润滑膜多维特征的旋转机械监测诊断方法	241
基于微动滑移模型的成圈弯扭叶片自适应减振机理研究	242
面向动态环境的机械系统人机界面设计方法的研究	243
超高能束空心超细柱晶叶片的成形机理及关键技术研究	244
面向粘性泥沙的节水灌水器微细流道抗堵设计研究	245
汽车发动机逆向创新设计理论与关键技术研究	246
基于彩色莫尔条纹的三维轮廓动态测量技术基础研究	247
基于全柔性机构的形状变化自适应结构及其在微型飞行器中的应用	248
面齿轮啮合传动理论及制造加工新技术研究	249
螺旋式宽带动力吸振器吸振机理与应用研究	250
飞行器早期故障智能自愈新方法探索性研究	251
激光单双面电弧负离子化高功率密度焊接热源特性研究	252
羽翼机构的运动稳定性、混沌运动及其控制的研究	253
地铁直线电机车辆动力学理论及直线电机恒隙控制研究	254
摆式列车机电耦合系统动力学及控制	255
高速钢轨疲劳裂纹形成机理研究	256
可控近场静电纺丝技术基本问题的研究	257
基于离散元法的润滑界面磨粒固液耦合运动与磨损研究	258
现代带钢冷轧机板形在线控制模糊神经模型的研究	259
薄带铸轧辊热辊型及其损伤机理的研究	260
大型内齿轮滚切加工理论及应用基础研究	261
基于提高仿真精度和可靠性的虚拟轧制系统关键技术基础研究	262
带有半埋藏裂纹金属结构在线止裂及机械性能研究	263
人足机构学仿生与生物融合机构系统研究	264

电解复合同步超声频振动实现微精加工关键问题研究	265
基于蜘蛛振动感知机理的仿生多维微拾振构件及应用基础研究	266
机械振动本底源信号半盲分离与重建方法的研究	267
多层圆柱形爆炸容器设计方法研究	268
机械对称性理论及其在设计中应用规律的研究	269
基于专利知识挖掘的产品创新设计方法研究	270
基于水下头足类动物运动机理的深海智能探测器研究	271
高速机床运动部件多孔金属拓扑可调热结构新构型的研究	272
消除残余应力的电击法及其应用基础研究	273
中小离散制造企业车间生产系统远程精益驾驶舱研究	274
强剪切流的空化机理研究	275
基于负载口独立控制的多负载电液比例节能系统研究	276
电液激振的新方法及分解控制技术研究	277
界面和涂层三维裂纹断裂强度及分析方法研究	278
强复合冲击条件下结构安全性分析的高效新方法	279
动静脉相结合制造系统及其自组织设计仓库研究	280
全矢谱技术体系构建及故障诊断基础研究	281
覆膜金属粉末制备新方法及其激光烧结成型特性研究	282
冲击波测量的动态不确定度应用基础研究	283
高灵敏度多层纳米膜隧穿微陀螺仪研究	284
无陀螺惯性测量的微加速度计耦合与解耦机理研究	285
微观粒子几何作用尺度 (GAS) 及其极限研究	286
涡轮机气路密封材料配副高温高速刮擦的摩擦学特性	287
金属基自润滑复合材料在摩擦过程中第三体和二次结构的形成与作用	288
电泳技术制备曲面位移压电微驱动器及其动态位移特性研究	289
高速涡轮泵健康监控系统中基于多信息源的故障预测理论与方法研究	290
潜艇辐射水声线谱混沌反控制技术研究	291
疲劳与日历退化交互作用下多处损伤结构剩余强度理论	292
铝热堆焊涂层触变成型机理及涂层摩擦磨损行为研究	293
铝合金变极性穿孔型等离子弧焊接熔池力学行为的研究	294
非导电难加工材料电火花铣削加工技术及机理研究	295
有源主动控制动力吸振式升沉补偿系统的设计理论与控制策略研究	296
芯片超声倒装多界面能量传递与强度结构演变规律研究	297
超声搅拌复合焊接机理及其关键技术研究	298
基于智能算法的复杂轮廓度误差评定	299
高速货车超偏载轮重扫描检测方法关键技术研究	300
基于整机柔性多体动力学的风力发电传动系统性能评价与优化方法	301
多界面、强噪声、冲击性机械故障特征量的传递机理与识别	302
高速电主轴机电耦合动力学分析及仿真与实验研究	303
表面自纳米化技术在异种材料扩散焊接中的应用	304
新型锥差液压传动	305
基于齿轮测量中心的锥齿轮测量与分析方法及其软件实现	306

微纳摩擦学

项目负责人 孟永钢 *

(依托单位 清华大学)

项目批准号: No. 50525515

资助金额: 160 万元

起止年月: 2006 年 01 月~2009 年 12 月

1 项目简介

针对 MEMS 和硬盘磁头/磁盘界面的微纳摩擦学问题开展实验和理论研究。在实验方面研制真实模拟 MEMS 器件摩擦磨损工况的微摩擦试验装置和磁头飞行状态测试装置, 并开展各种润滑和负载工况下的摩擦学特性研究; 探索用气相润滑、表面织构、外加电场等手段改善微纳尺度下器件摩擦磨损行为的方法和规律。在理论研究方面发展和完善考虑气体稀薄效应和表面力效应的润滑理论和数值分析方法以及微纳器件的摩擦学设计理论。项目的目标是建立具有自主知识产权和特色的 MEMS 器件与硬盘摩擦学模拟和测试系统, 丰富微纳尺度下表面和界面科学理论和技术, 为解决微纳器件中的表面界面问题提供有效的理论和技术手段。

2 主要创新点及其主要研究进展

研制出片内式和片内-片外复合式两类 MEMS 器件微摩擦测试模块, 通过实验测试获得了不同气氛环境下体硅 MEMS 器件侧壁面摩擦磨损的基本特性和实验规律, 发现乙醇气体的优良润滑效果, 为 MEMS 器件的可靠性评价提供了有效工具和方法。针对超高密度硬盘磁头滑块设计问题, 建立了考虑纳米间隙条件下气体稀薄效应和表面力作用效应的分析模型和计算方法, 发明了对称共光路激光偏振测量磁头飞行高度的技术, 形成了具有自主知识产权的磁头设计与飞行状态测试方法。深入研究了外加电场对表面活性剂分子在摩擦表面吸附/脱附过程的影响以及与摩擦系数变化之间的关系, 实现了在电化学窗口内通过调控分子膜吸脱附主动控制摩擦系数的大小。用电沉积方法在硅基表面制备出含单晶金刚石颗粒的纳米薄膜。

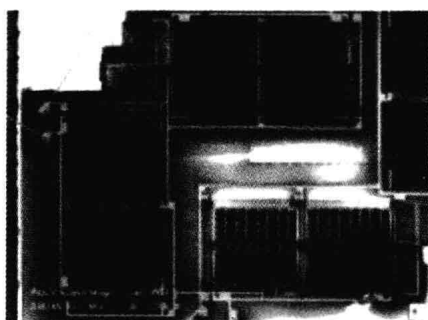


图 1 片内式 MEMS 微摩擦测试模块



图 2 乙醇气氛下摩擦 100 分钟后



图 3 空气中摩擦 5 分钟后

3 研究成果

在国际、国内刊物发表论文 40 篇, 其中 SCI 收录论文 19 篇、EI 收录论文 14 篇, 在国际学术会议发表论文 10 篇, 申请并获得授权国家发明专利 2 项。部分研究成果获得国家科技进步二等奖 (排名 9) 和教育部自然科学二等奖 (排名 2)。

* E-mail: mengyg@pim. tsinghua. edu. cn

内高压成形机理及塑性变形规律

项目负责人 苑世剑*

(依托单位 哈尔滨工业大学)

项目批准号: No. 50525516

资助金额: 160 万元

起止年月: 2006 年 01 月~2009 年 12 月

1 项目简介

汽车、飞机和火箭等运输工具迫切需要轻量化、整体结构以节约燃料、减少污染物排放和提高可靠性。轻质材料和轻体构件是实现结构轻量化的二个主要途径,对于弯扭载荷,空心变截面是一种合理的轻体结构。内高压成形技术是面向制造复杂异型截面空心构件发展起来的先进制造技术,所成形零件具有质量轻、整体性好、疲劳性能好等优点,对减轻汽车车身质量和提高飞行器可靠性具有重要意义。本项目对内高压成形基础理论和关键技术进行了深入系统的研究,初步建立了内高压成形理论体系,解决一系列工艺关键技术,发明了新的成形方法,揭示了成形机理和塑性变形及组织演变规律,为轻质材料变截面整体构件内高压成形技术工业应用提供了理论指导和技术基础。

研究成果已用于自主品牌及高档轿车国产化、长征系统火箭、先进战斗机和卫星,汽车工业应用达到 50 万件,“神七”舱外服风管件标志我国在载人航天工程领域的技术创新之一。随着我国汽车工业发展,预计未来 3~5 年需求量 500 万~1 000 万件/年。新一代飞机和大型运载火箭对整体管件的需求不断增加。

2 主要创新点及其主要研究进展

(1) 基本建立了内高压成形理论体系。给出了内高压成形应力状态在屈服轨迹的对应关系及壁厚变化趋势,揭示了内高压壁厚分布规律及影响因素,建立了内压与轴向载荷耦合作用下管材临界起皱应力理论模型。

(2) 提出了利用合理形状皱纹在模具型腔特定空间预置分配材料,控制壁厚分布和提高成形极限的方法。根据塑性增量本构关系,建立了皱纹合理形状皱纹的应力与应变条件。

(3) 发明了小圆角低压均匀成形的方法。通过预制坯诱发与摩擦力相反的推力促进材料向圆角区流动,有效降低成形压力和壁厚减薄。根据 Mises 屈服准则和摩擦切应力作用规律,控制贴模顺序及塑性区的发生发展,实现圆角区材料均匀变形及充填。

(4) 发明了轻合金管材热态内压成形方法,为难变形材料复杂形状空心构件成形提供新途径。根据温度对材料流变行为和摩擦行为的影响规律,提出利用梯度温度场提高镁合金、高强铝合金管材膨胀率的差温成形方法,揭示了热力耦合作用下塑性变形和组织演变规律。

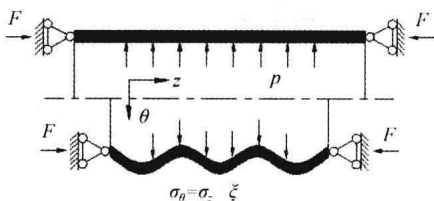


图 1 内压与轴向载荷耦合作用下管材起皱力学模型

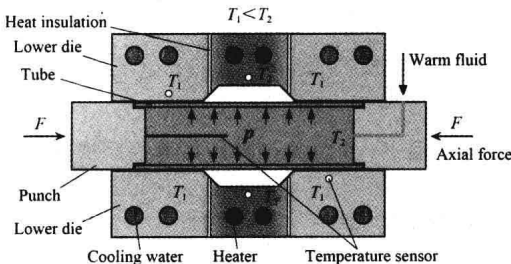
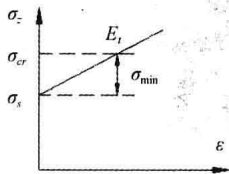


图 2 管材差温成形原理

3 研究成果

发表论文 60 余篇,其中 SCI 收录 26 篇, EI 收录 31 篇;申请专利 12 项,已授权 8 项;获得黑龙江省技术发明一等奖 1 项(“内高压成形工艺及设备关键技术”),出版专著 1 部(《现代液压成形技术》,北京:国防工业出版社,2009.4)。

* E-mail: syuan@hit.edu.cn

机器人机械学

项目负责人 朱向阳*

(依托单位 上海交通大学)

项目批准号: No. 50525517

资助金额: 160 万元

起止年月: 2006 年 01 月~2009 年 12 月

1 项目简介

本项目研究了生物信号解码及生物/机械接口研制的理论方法。以肌电假肢接口和智能人机交互装置为应用对象,研究了生理电信号(肌电信号、脑电信号)解码理论、方法与应用技术。提出了多通道肌电信号的“非平稳/非高斯/空间相关性”特征联合识别方法,脑电信号的“时域/频域/空域”联合滤波方法。研制的肌电信号解码器对手腕、手指 14 种离散动作的识别率达 98%~99%,序贯动作识别率 96%~98%,计算机字符输入接口对测试字符集的平均识别率达 90%。开发的脑机接口在 2008 年度国际脑机接口竞赛中获两个组别第 2 和一个组别第 5。

2 主要创新点及其主要研究进展

(1) 建立了包括 32000 组试验样本的肌电信号试验数据库,通过对标准试验样本进行解码对比实验,证明了肌电信号解码器的解码率对信号的非平稳、非高斯和空间相关特征敏感,为肌电信号解码研究提供了重要的参考依据。

(2) 提出了多通道肌电信号特征识别的交叉递归图及其量化指标分析、SLEX(互)谱分析、高阶谱特征参数分析等方法,解决了肌电信号的“非平稳/非高斯/空间相关性”特征联合识别问题。将理论研究成果应用于生机电一体化假肢开发,研制了 4 驱动、15 关节仿人手假肢样机(图 1),其控制接口对手指/手腕 14 种动作模式的平均解码率达 98%~99%,序贯动作的平均解码率 96%~98%。研制了基于肌电信号的计算机字符输入接口(图 2),采用动态时间规整技术解决了接口的个体适应性问题,该接口对手写测试字符集(字母 A~Z,数字 0~9)的识别率达 90%,与国际同类研究的先进水平相当。

(3) 在脑机接口方面,提出了基于频率选择和频率加权的 CSP 方法,将 CSP 方法从单一的空域滤波拓展到“时域/频域/空域”联合滤波,研究了基于高斯混合模型(IGMM)和模糊 C 平均的无监督自适应滤波方法,提高了脑机接口的解码性能和适应性。项目组参加 2008 年国际脑机接口竞赛,获得两个组别第 2 和一个组别第 5。

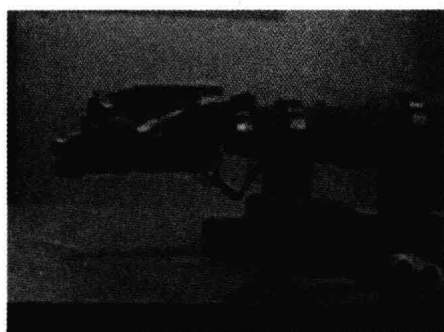


图 1 多自由度肌电假肢样机

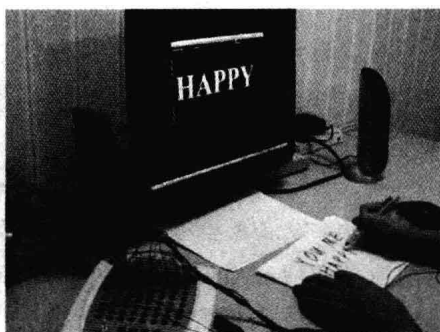


图 2 计算机输入接口



图 3 脑机接口

3 研究成果

项目成果在《IEEE T-RO》、《IEEE T-ASE》、《IEEE T-IE》等国内外期刊和国际学术会议发表论文 24 篇。“机器人操作规划与空间几何推理理论”获 2009 年上海市自然科学一等奖(项目负责人排名 1)，“工业机器人作业系统的关键技术研究、开发与应用”获 2007 年国家科技进步二等奖(项目负责人排名 4)。

* E-mail: mexyzhu@mail.sjtu.edu.cn

结构与系统动力学

项目负责人 张卫华*

(依托单位 西南交通大学)

项目批准号: No. 50525518

资助金额: 160 万元

起止年月: 2006 年 01 月~2008 年 12 月

1 项目简介

结合我国高速重载铁路的发展, 本项目研究了高速重载列车中的关键动力学问题。研究考虑列车全部自由度、牵引制动特性和任意编组的列车动力学仿真建模和计算, 完成我国高速动车组动力学性能设计; 建立列车-空气流固耦合系统动力学模型, 开展列车和空气的相互作用研究, 完成高速列车交会、站台通过和横风作用的流固耦合振动分析和安全性研究; 建立非线性参数频变特性, 提出有频变参数作用的系统动力学计算方法, 进而开展非线性频变参数机车车辆动力学研究; 从结构服役环境仿真的角度, 进行结构服役环境表征的研究, 为进一步的结构可靠性设计提供动载荷谱; 开展高速弓网关系研究, 发展了接触网和受电弓的系列建模方法, 完成我国提速和高速弓网的系统动力学分析, 有效解决了 350 km/h 双弓受流问题, 实现我国高速列车的长大编组运行。本项目从机车车辆动力学的理论和方法出发, 研究解决高速重载列车发展亟待解决的关键动力学问题, 为我国高速重载铁路发展提供了支撑。在本项目的支持下, 撰写相关学术论文 88 篇, 授权发明专利 6 项, 出版撰写专著 1 部, 获得国家科技进步一等、二等奖各 1 项。培养毕业的博士后 2 人, 博士研究生 1 人, 硕士研究生 30 名。

2 主要创新点及其主要研究进展

(1) 提出基于循环变量的列车动力学递推积分方法, 并研制出任意编组的列车动力学仿真软件, 实现重载长大列车和高速动车组系统的动态模拟。

(2) 研究发现并验证了钢弹簧的频变刚度特性, 并将这一模型应用于高速动车组的动力学研究中。

(3) 提出开展高速列车流固耦合动力学研究, 并纳入高速列车耦合大系统动力学的研究范围, 第一次研究得到气流作用对列车运行姿态的影响。完成京津高速列车流固耦合振动试验。提出站台与列车间距建议值及横风作用下列车运行安全阈值。

(4) 建立刚柔混合的车辆系统模型, 并应用于接触网和机车车辆结构的动应力分析。提出机车车辆结构件的服役仿真疲劳试验方法, 并搭建载荷仿真疲劳试验平台。首次提出应力互推方法, 并通过建立混合仿真方法, 实现了结构件的全局动应力再现。

(5) 提出基于负弛度法的接触网建模方法, 发展了全空间、全弹性模型在内的不同精确度受电弓模型族, 建立考虑接触几何效应、滑动效应和纵向振动效应在弓网接触模型。研究发现双弓受流弓间距对受流的周期影响规律及最佳弓间距的计算方法, 从而保证了我国长大编组动车组的运行。

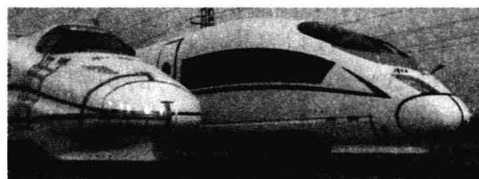


图 1 CRH 系列高速动车组线路试验

3 研究成果

在本项目的资助下, 获得国家科技进步一等奖 1 项和二等奖 1 项, 省部级特等奖 1 项、一等奖 2 项、二等奖 1 项。发明专利授权 6 项, 公开发明专利 3 项, 新型实用专利授权 5 项, 软件著作权登记 3 部。发表学术论文 88 篇, 国际会议论文 8 篇, 其中被 SCI 检索的论文 7 篇, 被 EI 检索的论文 42 篇。出版专著 1 本和英文版手册 1 章 (共 54 页), 主编英文版论文集 1 部, 编著高速动车组教材 1 部。

* E-mail: tpl@home.swjtu.edu.cn

现代机构创新及机械系统动态优化设计理论与方法的研究

项目负责人 闻邦椿, 黄田等*

(依托单位 东北大学, 天津大学, 哈尔滨工业大学)

项目批准号: No. 50535010

资助金额: 200 万元

起止年月: 2006 年 10 月~2009 年 12 月

1 项目简介

以混联机器人和大型旋转机械等重大机械装备为研究对象, 以复杂机械机构创新和产品优良功能和综合性能为目标, 以可能产生知识产权突破的混联机构和以非线性动力学为基础的动态优化设计方法为突破口, 系统研究现代机构结构学、运动学、动力学建模理论和机械系统的动态与智能集成优化的理论和方法, 开发具有我国自主知识产权和性能优良的机械装备提供必要的理论基础, 逐步形成一套独具特色, 在国际上具有重要学术影响力的现代机构和机械系统的动态和智能集成优化设计的理论与方法。

2 主要创新点及其主要研究进展

在机械系统动态优化设计理论与方法方面: ①在国际上首先提出了“基于系统工程的综合设计的理论和方法”的新体系, 从宏观角度和系统工程的观点出发, 提出了基于系统工程的产品综合设计理论与方法的新体系, 将产品研究与开发及设计分为 3I 调研、7D 规划、1+3+X 实施和 3A 设计质量检验四个阶段, 写出了《基于系统工程的综合设计理论与方法》系列著作六部; ②提出并构建了基于非线性理论的深层次广义动态优化设计理论与方法的新体系, 获国家科技进步二等奖一项, 省部级一等奖三项; ③将“非线性振动”拓展为“工程非线性振动”, 发表了大量学术论文, 写出了国际上第一部《工程非线性振动》专著; ④发展了振动同步理论, 出版了英文专著, 在“中国科学”上发表了两篇重要论文。

在现代机械的机构创新研究与设计方面: ①充分利用位移流形综合法等先进的拓扑结构综合理论, 发明出多种具有工程应用价值的少自由度机器人机构。应用不同类型的同维参数模型于一体的方法解决了数优化设计环节中不同类型性能指标冲突的问题; ②建立了严格而准确的拓扑分析与综合的几何理论, 使并联机构有关问题可以用串联机构的实现方法来解决; ③深入研究了商联机构的概念及其分析与综合问题, 建立了商联机构分析与综合的系统的理论架构与方法; ④提出了系统化的运动学优化设计方法, 应用受控随机搜索算法这一全局优化方法解决优化问题。



图 1 上海世博会
阳光谷钢结构工程



图 2 高速并联机械手在
娃哈哈饮料生产线的应用



图 3 综合设计理论在
高速列车上的应用

3 研究成果

(1) 出版著作 8 部, 机械设计手册 1 套, 教材 2 部。

(2) 在《ASME》、《MMT》、《IEEE》、《JSV》、《中国科学》、《物理学报》等发表论文 173 篇, 其中国内外重要期刊发表 105 (SCI 检索 18 篇, EI 检索 107 篇), 国际学术会议 68 篇 (EI 检索 19 篇, ISTP 检索 12 篇)。

(3) 授权国家发明专利 7 项, 申请国家发明专利 16 项。

(4) 国家科技进步二等奖 1 项, 教育部科技进步一等奖 1 项, 辽宁省科技进步一等奖 1 项, 天津市技术发明一等奖 1 项, 辽宁省成果转化一等奖 1 项。

(5) 组织会议 3 次, 参加国际交流 81 人次, 其中大会报告 5 次。

(6) 研究成果在上海世博会、娃哈哈生产线、铁道部高速列车、沈阳鼓风机集团等单位得到应用。

(7) 培养博硕士研究生 36 人。

* E-mail: bcwen1930@vip.sina.com

各向异性软脆功能晶体高效精密和超精密加工技术基础

项目负责人 张飞虎*

(依托单位 哈尔滨工业大学)

项目批准号: No. 50535020

资助金额: 200 万元

起止年月: 2006 年 01 月~2009 年 12 月

1 项目简介

本项目以磷酸二氢钾 (KDP)、碲锌镉 (CZT) 和氟化钙 (CaF₂) 等软脆功能晶体材料为研究对象, 针对其各向异性、软脆、易潮解等性能特点及高精度高表面完整性的加工要求, 通过理论分析和实验系统研究了各向异性软脆功能晶体材料特性和加工去除机理、超精密加工表面完整性、加工新原理和新方法、加工工艺优化等。研究成果为提高我国软脆功能晶体零件的超精密加工技术水平提供了理论基础, 为国家重大科学与工程提供了技术支撑, 具有重要理论意义和应用价值。

2 主要创新点及其主要研究进展

(1) 各向异性软脆功能晶体材料特性及切削去除机理研究。研究了 KDP 晶体和 CZT 晶体的纳米力学特性, 提出了各向异性软脆功能晶体最佳切削和磨削方向的确定原则, 给出了 KDP 和 CZT 晶体最佳切削和磨削方向及不同晶面最大脆塑转变临界切深。

(2) 各向异性软脆功能晶体超精密加工表面完整性研究。揭示了 KDP 晶体单点金刚石车削、磨削表面和亚表面损伤产生机理、影响因素及影响规律, 提出了“以磨代研+CMP”解决 CZT 晶体加工缺陷、实现高表面完整性加工的新途径, 揭示了 KDP 晶体超精密飞切加工表面微波纹的形成机制, 研究了 KDP 晶体超精密加工环境和工艺参数对表面雾化的影响规律及晶体表面雾化微观形貌的演变趋势, 并提出了相应的抑制措施。

(3) 各向异性软脆功能晶体超精密加工新原理和新方法研究。提出了基于可控潮解原理的 KDP 晶体无磨料抛光加工新方法, 研究了 KDP 晶体无磨料潮解抛光机理, 研制出 KDP 晶体无磨料潮解抛光液; 在国内率先开展了反应等离子体加工新技术的研究, 可在常温常压下通过等离子体化学反应实现高效、无残余应力和表面损伤的超光滑表面加工; 研究了 KDP、CaF₂ 等软脆晶体磁流变抛光材料去除机理, 建立了材料去除的三维模型; 提出了“超精密磨削+化学机械抛光 (CMP)”新方法, 研制出适用于 CZT 晶体的 CMP 抛光液, 获得了表面粗糙度 Ra0.54 nm 的超光滑表面。

(4) 各向异性软脆功能晶体超精密加工工艺优化研究。进行了各向异性软脆功能晶体高效精密和超精密加工优化工艺条件的研究, 获得了最佳切削参数组合; 提出了软脆晶体“超精密车削+磁流变修形”的高效、超精密加工新工艺, 大幅度提升了加工效率和表面完整性; 提出了一种基于电镀金刚石固结磨料线锯的低应力精密切割大尺寸 KDP 晶体坯片新工艺, 实现了 390 mm×80 mm 尺寸 KDP 晶体的精密切割。

(5) 理论成果的工程应用研究。自主研制了新一代大口径 KDP 晶体超精密飞切加工专用机床, 加工面形精度和表面质量指标接近和达到以美国 NIF 为代表的国际先进水平, 并在国家重大科学工程中得到应用; 研制了能满足软脆晶体材料复杂自由曲面抛光加工的六轴联动磁流变抛光机床; 研制成功了国内第一台大气等离子体抛光原型装置; 研究开发的碲锌镉晶体化学机械抛光液已在上海技术物理研究所等单位应用验证, 效果优于进口 CMP 抛光液。

3 研究成果

(1) “微纳米切削加工基础及相关技术” 2007 年获教育部自然科学奖一等奖。

(2) “纳米精度高效光学抛光数字化装备与技术” 2009 年获湖南省科学技术进步奖一等奖。

(3) 获得国家发明专利 4 项, 国防专利 2 项, 实用新型专利 1 项, 申请国家发明专利 7 项。

(4) 在国内外学术刊物发表论文 47 篇, 学术会议论文 16 篇, 其中 SCI 检索 13 篇, EI 检索 48 篇, ISTP 检索 9 篇, 被他人引用 26 次。

(5) 已毕业博士研究生 5 人, 在读 10 人; 毕业硕士研究生 18 人, 在读 5 人。

* E-mail: dshen@hit.edu.cn

微型机械电子系统 (MEMS) 测试计量技术与理论研究

项目负责人 蒋庄德*
(依托单位 西安交通大学)

项目批准号: No. 50535030

资助金额: 240 万元

起止年月: 2006 年 01 月~2009 年 12 月

1 项目简介

MEMS 测试计量技术与理论是 MEMS 设计、制造及质量控制和评价的关键环节之一。本项目的主要研究内容包括 MEMS 微结构特征的分析、提取、表征和评定理论, 包括构造基准面的数学模型; 基于扫描白光干涉法对薄膜和微构件位移、变形进行测量与表征, 提出相干峰提取的新算法; 对片内集成专用测试系统进行研究并用于 MEMS 静态性能的测量; 大加速度、高低温条件下 MEMS 动态测试的关键技术研究; 薄膜和微构件材料的力学性能测量与表征; 耐高温压力传感器设计、制造关键技术的研究; MEMS 器件和系统测试与评定的标准化。本项目系统地研究了 MEMS 测试计量理论与技术, 初步建立了 MEMS 位移、变形、特征结构、力学性能以及动静态特性的评价体系, 满足了 MEMS 技术发展的需要。

2 主要创新点及其主要研究进展

建立了多束白光干涉测试系统, 提出了最佳干涉条纹对比度的实验方案, 给出了白光干涉条纹的提取算法。基于新型复小波技术和数学形态学理论, 用 Sobel 边界检测法和沃尔夫简化算法对 MEMS 微结构特征进行了有效的提取、分析和表征。开展了 0~10 000 g 范围的典型微结构测试研究, 获得了高 g 值载荷对微结构谐振频率等动态特性影响的规律; 完成了薄膜结构静态特性参数片外测试系统的自主研发; 基于降阶宏模型, 实现了集成压阻式力敏单元的片内微拉伸测试。提出了灵敏度高、重复性好的基于局部基底弯曲法的薄膜残余应力测试方法; 开展了基于拉曼光谱技术的微结构动态应力测试。对耐高温压力传感器设计、制造关键技术进行了基础研究, 提出了新的芯片结构、封装工艺和不同压力传感器结构, 形成了产业化技术的重要基础。

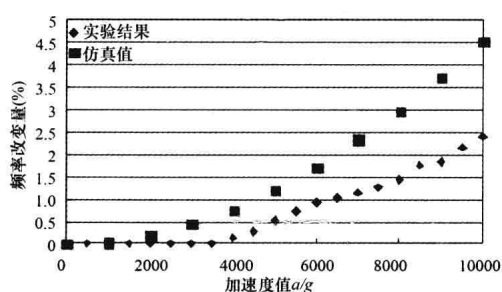


图 1 环境加速度对试件谐振频率的实验和仿真对比

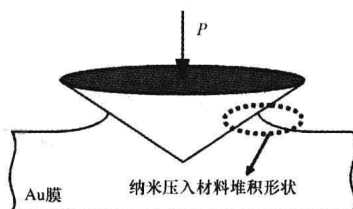


图 2 纳米压入材料堆积误差的处理方法研究

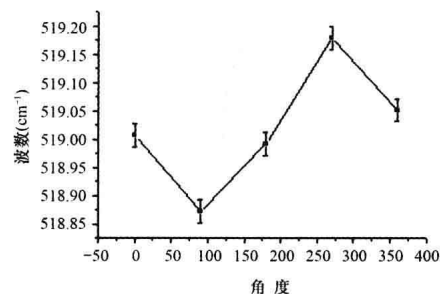


图 3 用拉曼频移测试构件动态应力

3 研究成果

发表论文 152 篇 (SCI 收录 20 篇, EI 收录 79 篇, ISTP 收录 46 篇), 出版论著 1 部; 授权发明专利 25 项; 参与起草了国际标准 1 项、国家标准 2 项; 相关研究成果获国家级科技奖励 2 项; 1 人获长江学者特聘教授、6 人入选教育部新世纪优秀人才计划; 1 人获得全国百篇优秀博士论文; 已毕业博士研究生 14 人、硕士研究生 21 人, 在读博士研究生 15 人、硕士研究生 25 人。

* E-mail: zdjiang@mail. xjtu. edu. cn

先进陶瓷精密高效加工技术基础研究

项目负责人 袁巨龙*

(依托单位 浙江工业大学)

项目批准号: No. 50535040

资助金额: 150 万元

起止年月: 2006 年 01 月~2009 年 12 月

1 项目简介

为解决硬质大颗粒对工件表面造成损伤所带来的表面质量降低和加工余量增大的难题, 原创性地提出能实现先进陶瓷少无损伤加工的半固着磨粒加工方法, 建立了半固着磨具的设计、制造和检测体系, 揭示了半固着磨粒与工件表面之间的作用机理、材料去除机理, 研制成功了具有陷阱效应的半固着磨具。半固着磨粒加工后的表面粗糙度 R_t 为游离磨粒加工的 $1/35 \sim 1/20$, 加入大颗粒时仅为 $1/100$; 半固着磨粒加工技术应用于单晶硅片等加工中较传统工序的加工效率可提高 2 倍以上。为解决传统球体加工存在的批直径变动量大和批一致性差的难题, 原创性地提出了能实现精密球体加工的偏心式和双自转式成球方式, 建立了球面研磨轨迹均匀性的定量评价方法, 研制成功偏心式和双自转式球体研磨机, 建立了相应的加工工艺体系, 与传统方法相比, 氮化硅球体的材料去除率提高了 80 倍以上; 球形误差 $0.05 \mu\text{m}$, 球直径变动量 $0.05 \mu\text{m}$, 球批直径变动量 $0.08 \mu\text{m}$, 表面粗糙度 $R_a 3 \text{ nm}$, 实现了高精度、高一致性的球体批量加工。上述研究揭示了先进陶瓷材料的精密高效加工所遵循的主要规律, 建立了面向大批量生产的先进陶瓷材料精密高效加工理论和技术体系。

2 主要创新点及其主要研究进展

(1) 原创性地提出了半固着磨粒加工新方法, 提出了半固着磨具设计理论, 揭示了半固着磨具/工件界面的微观行为, 创建了半固着磨粒加工理论与技术体系。(发明专利:《平面不锈钢的半固着磨粒抛光方法》、《修整可控型超精密抛光机》、《抛光垫修整装置》、《报警式自动控制滴料器》已授权;《软硬磨粒混合的半固着磨粒磨具》、《多级粒度磨粒混合的半固着磨粒磨具》已公示。实用新型专利:《修整环形智能超精密抛光机》已授权)

(2) 原创性地提出了能实现精密球体加工的偏心式和双自转式研磨方式, 揭示了球体批量研磨加工中的成球原理, 建立了球面研磨轨迹均匀性的定量评价方法, 研制成功偏心式和双自转式球体研磨机, 开发了球体加工工艺专家工艺数据库系统以及球体固着磨料研磨技术、化学机械抛光技术、研磨盘在位修整等关键工艺技术, 建立了相应的加工工艺体系, 为高一致性的精密陶瓷球高效批量加工提供了新的加工技术与装备。(发明专利:《一种球形零件的固着磨料研磨方法》已授权。实用新型专利:《高精度陶瓷球的固着磨料高效研磨设备》已授权,《研磨板修整机》(200820125497.X)已公示。《高精度球双自转研磨盘高效研磨装置》已授权;《双盘自转偏心 V 形槽研磨机》已公示。相关软件著作权:《Olymball-D600 双自转高效球体研磨机上位机控制软件》;《Olymball-D600 双自转高效球体研磨机磨盘压力控制软件》;《Olymball-E600 偏心式高效球体研磨机磨盘上位机控制软件》;《Olymball-E600 偏心式高效球体研磨机磨盘压力控制软件》。相关鉴定:湘科鉴字 [2007] 第 028 号、JK 鉴字 [2008] 第 2043 号、第 2044 号鉴定证书。)

3 研究成果

获得国家科学技术进步二等奖, 中国机械工业科学技术奖一等奖, 浙江省科技进步奖二等奖, 出版专著 2 部, 国际国内期刊发表论文 58 篇 (SCI 收录 5 篇, EI 收录 49 篇, ISTP 收录 26 篇); 申请 14 项专利, 获得发明专利 5 项, 4 项软件著作权; 培养博士 8 名, 硕士 22 名, 组织国内外学术会议 7 次。

* E-mail: jlyuan@zjut.edu.cn