

# 一、摩擦学国家重点实验室第五届学术委员会暨第二届咨询专家委员会 第二次会议纪要

(2010年10月11日)

清华大学摩擦学国家重点实验室第五届学术委员会暨第二届咨询专家委员会第二次会议于2010年10月11日—12日在清华大学召开，钟掘院士、任露泉院士等15位学术委员会委员、熊有伦院士、赵淳生院士、张嗣伟教授等13位咨询专家委员会委员到会（参会委员名单见附录一）。科技部基础司周文能处长、清华大学科研院副院长王治强、精仪系主任尤政、精仪系党委书记冯平法出席本次会议。

10月11日上午，首先由温诗铸院士介绍来宾，科技部基础司周文能处长发表讲话，清华大学科研院副院长王治强和系主任尤政分别致欢迎词。第五届学术委员会主任钟掘院士、第二届咨询专家委员会首席咨询专家熊有伦院士分别简要总结了本届学术委员会和咨询专家委员会一年来的工作。

实验室的工作汇报由学术委员会主任钟掘院士主持。摩擦学国家重点实验室主任雒建斌教授做实验室年度工作汇报，并回答委员提问。实验室副主任孟永钢教授汇报自主研究课题情况。11日上午后半段会议分别由首席咨询专家熊有伦院士主持。微纳光子分室主任巩马理教授、智能与生物机械分室主任季林红教授、微纳制造分室朱煜教授以及微纳工程分室潘国顺副研究员分别对各分室年度工作进行了汇报。

10月11日下午的会议首先由学术委员会秘书张晨辉副研究员介绍了2010年度摩擦学国家重点实验室开放基金申请情况，接着各参会委员对本年度开放基金的申请课题进行了评审。本年度共有4个重点项目和9个自由申请项目获得摩擦学国家重点实验室开放基金资助，资助金额共计70万元。获得基金资助的课题名称和资助金额见附录二。之后，学术委员会委员和咨询专家委员会委员在学术委员会副主任任露泉院士、首席咨询专家赵淳生院士和张嗣伟教授、特邀咨询专家桂长林教授的主持下，对上午的工作汇报进行了认真讨论。讨论主要集中在如何更好地建立国际一流实验室这一战略目标上。委员们各抒己见，热烈讨论，提出许多建设性意见。会议记录见附录三。

10月12日上午，全体参会委员参加了本次会议的学术研讨会。钟掘院士和温诗铸院士分别做了专家报告。

学术委员会主任：

2010-12-14

## 二、2010 年摩擦学国家重点实验室情况简介

### 1. 重点实验室概述

清华大学摩擦学国家重点实验室是经原国家计委和原国家教委批准建设的国家重点实验室，1986 年开始筹建，1988 年 11 月通过验收。实验室实行学术委员会指导下的实验室主任负责制，经教育部批准，温诗铸、陈大融曾先后分别担任第一、二届和第三届实验室主任，雷天觉和谢友柏曾先后担任实验室学术委员会主任。实验室现任主任由清华大学雒建斌教授担任，中南大学钟掘院士担任学术委员会主任。

经过十几年的发展和调整，摩擦学重点实验室已形成一个以摩擦学理论与技术、表面科学与技术、微纳制造理论与技术、智能微系统设计、制造技术、微纳光电器件测试理论与技术为主要研究方向的科学研究和人才培养基地，承担着多项国家 973 计划项目、863 计划项目、国防专项课题、自然科学基金重大与重点项目以及大量国际合作和企业合作研究项目。2005 年获教育部创新团队，2007 年获国家自然科学基金优秀群体。

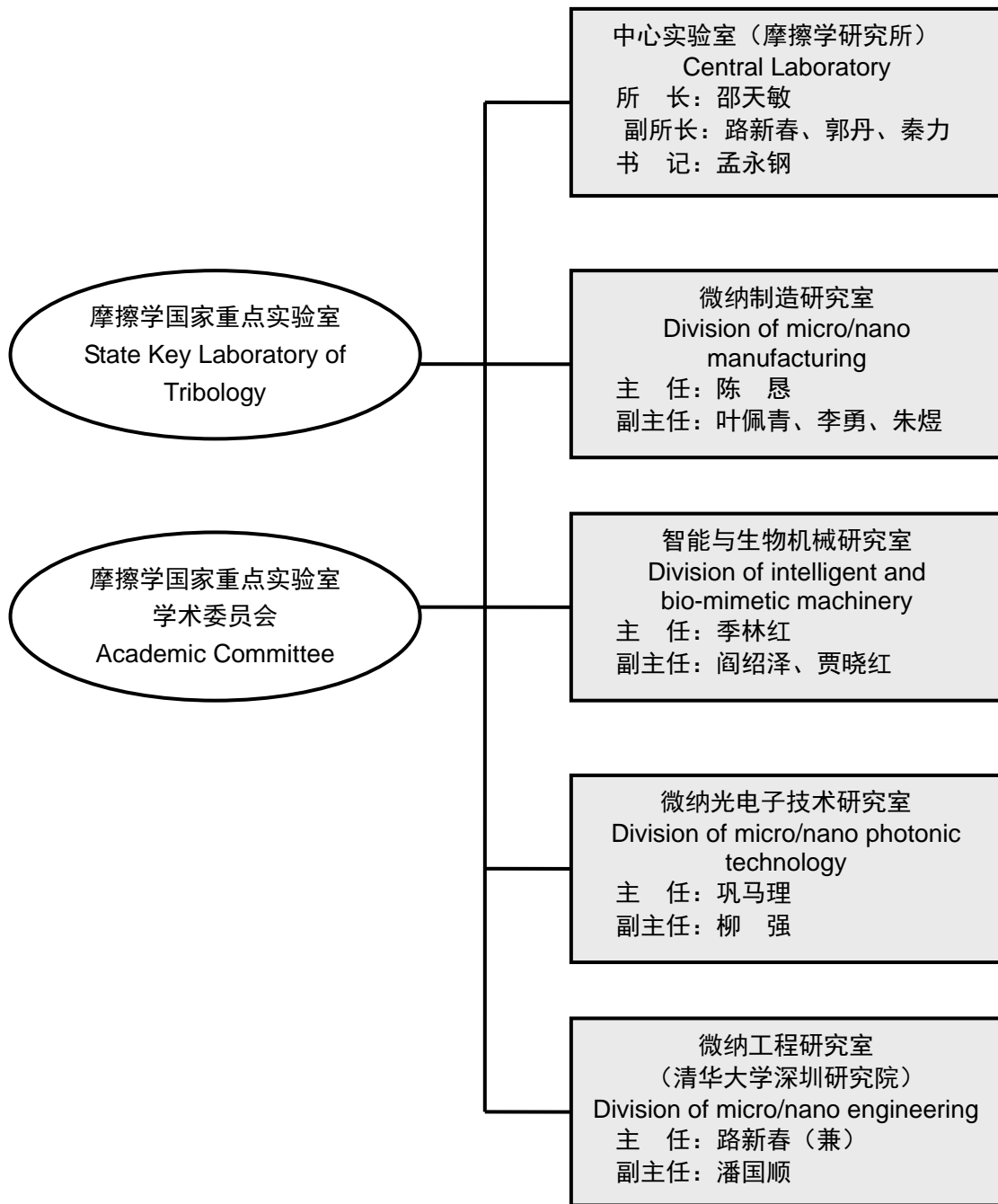
2008 年 3 月，本实验室参加了科技部组织的工程领域国家重点实验室评估，评估结果为 A 类实验室。评估完成后，实验室进行了部分人员和结构调整。

摩擦学国家重点实验室目前有固定人员 84 人，其中教授、研究员 30 名，副研究员、副教授 37 名。有博士学位者 64 人，占固定研究人员总数的 76%。实验室拥有中国科学院院士、中国工程院院士、俄罗斯工程院外籍院士、长江学者特聘教授、国家杰出青年基金获得者和教育部跨世纪优秀人才等各层次人才。

#### 摩擦学国家重点实验室负责人

名誉主任	温诗铸	院士
主任	雒建斌	研究员
副主任	孟永钢（常务） 陈  愚 褚福磊 巩马理 田  煜	研究员 教授 教授 教授 研究员
秘  书	张晨辉	副研究员

### 2. 重点实验室的组织结构图



### 3. 队伍建设（包括学术带头人）

荣誉称号	姓名	获得年份
中国科学院院士	温诗铸	1999
中国工程院院士	王玉明	2003
俄罗斯工程院外籍院士	陈大融	2000
长江特聘教授	雒建斌	2003
长江特聘教授	周明	2009
长江特聘教授	路新春	2010
杰出青年基金	雒建斌	2000

杰出青年基金	褚福磊	2004
杰出青年基金	孟永钢	2005
杰出青年基金	路新春	2008
百人计划	周明	2010
千人计划	融亦鸣	2010
新世纪人才	何永勇	2005
新世纪人才	柳强	2006
新世纪人才	田煜	2007
新世纪人才	刘辛军	2008
新世纪人才	赵景山	2009
新世纪人才	汪家道	2010

#### 4. 主要研究方向及代表性研究成果

重点实验室的主要研究方向包括：1) 摩擦学理论与技术；2) 机械表面/界面科学与性能控制；3) 生物摩擦学与生物机械；4) 微纳制造理论与技术；5) 微纳光电测试理论与技术。2010 年取得的代表性进展如下：

##### 1) 纳米精度平坦化新原理与实现研究：

该研究针对 IC、计算机硬盘和 LED 基体制造中对超光滑表面的要求，开展了近理想光滑表面的制造方法、原理和技术研究。揭示了材料纳米去除机制、表面微缺陷的形成机理以及表面抛光过程纳米颗粒的行为控制方法。开展了基于柔性纳米刷抛光新原理的研究；建立了考虑抛光盘、抛光垫、薄层流体及抛光颗粒相互作用的化学机械平坦化 CMP 模型。成功地实现了表面粗糙度 Ra 为 0.08nm 的计算机硬盘基片制造和 Ra 为 0.05nm 的超光滑单晶硅表面制造，已接近理想光滑表面的粗糙度(Ra 为 0.02nm)。该技术对 IC 制造发展和计算机硬盘密度的提高具有重要的应用价值。其中部分技术已被产业界采用。研究成果获得国家科技进步奖二等奖 1 项，国际学术组织奖励 3 项。

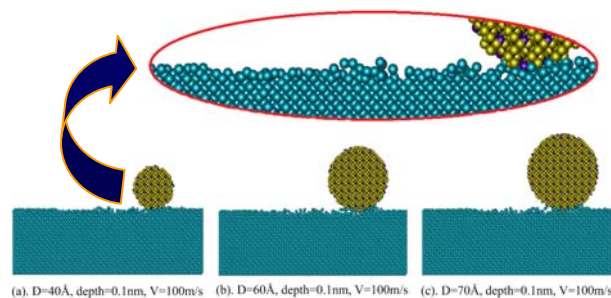


图 1 表面材料纳米级去除机制与缺陷的形成

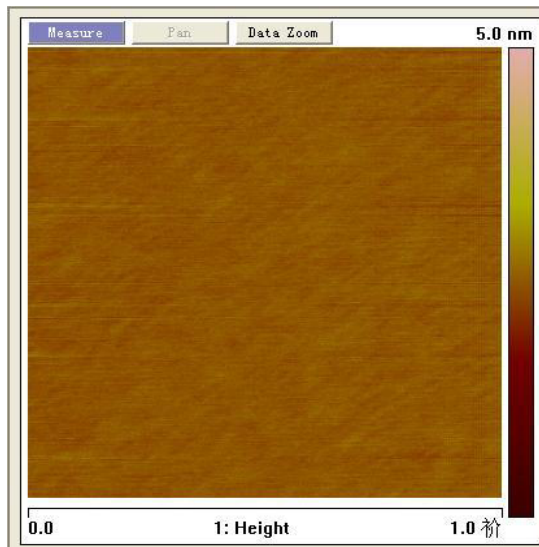


图 2 超光滑单晶硅表面 CMP 后表面粗糙度 Ra 为 0.05nm

## 2) 超低下压力 CMP 系统研制:

由摩擦学国家重点实验室承担的国家科技重大专项课题“超低下压力 CMP 系统研制及工艺开发”(2008ZX02104-001)在本年度取得跨越式进展。3 月份研制出原理样机,并进行了初步工艺试验。10 月份,研制出 Alpha 机。该机具有 2 个 CMP 单元,1 个擦洗单元,1 个兆声清洗单元,1 个晶圆厚度全局测量单元。工艺试验结果表明,该 Alpha 机的主要技术指标达到国际先进商用 CMP 设备的水平,主要参数如下:

名称	参数规格
晶圆	300mm
运动形式	旋转式
系统配置	双头双盘
抛光头压力	0-10.0psi
抛光头转速	0-120rpm
抛光头摆动行程	0-30mm
抛光盘直径	760mm
抛光盘转速	0-120rpm
修整头压力	0-3.0psi
修整头转速	0-120rpm
抛光液流量	0-300ml/min

名称	技术指标
抛光速率	>6000 埃/分钟
片内不均匀度	5%
片间不均匀度	2%
抛光压力	0.5 psi-3.5psi
抛光压力不均匀度	+/- 0.1 psi
表面粗糙度	Ra< 1 nm

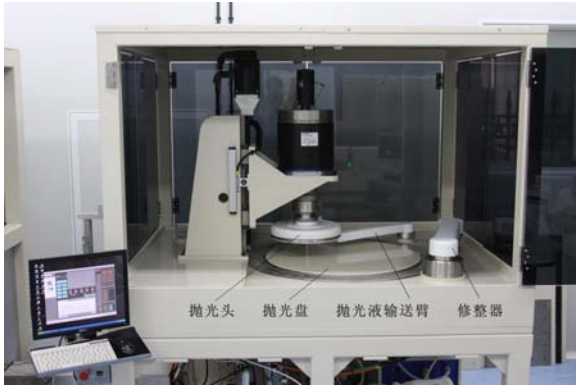


图 1 原理样机照片



图 2 Alpha 机照片

### 3) 气动减阻研究获得重要进展

提出了利用展向沟槽形成微旋涡，通过控制微旋涡形态、涡动量，以及近壁面主流能量的耗散与恢复过程，降低微区压差阻力，并在流固界面间形成滑移，获得降低摩擦阻力效果的微旋涡减阻技术，经计算与分析，形成了与雷诺数不相关的界面效应减阻理论的雏形。

在中国航空气动力研究院 FD-06 风洞进行了亚音速与跨音速的减阻试验，试验流速 0.3-1.15M，试件攻角  $\alpha = -1^\circ, 0^\circ, 1^\circ$ ，在亚音速条件下获得高减阻率，其中 0.4M 下的最高减阻率达到 45.6%。



图 1 在航天部三院 FD-06 跨音速风洞进行减阻试验



图 2 正在进行风洞试验的模型

### 4) 碳基材料原子、分子尺度摩擦行为

碳基材料的超低摩擦在实验中已有报道，然而机理尚不清楚。我们利用分子动力学模拟方法研究了类金刚石（DLC）膜在法向载荷作用下的摩擦行为。发现 DLC 膜在剪切作用下发生石墨化相变，形成双层类石墨烯结构界面膜，摩擦力曲线表现出明显的磨合过程，伴随着石墨化相变的发生，相对滑动界面逐渐由 DLC 膜表面转移至类石墨烯片层之间（图 1a）。从而提出了基于剪切诱导石墨化的超低摩擦机理，该机理对于较高滑动速度和载荷等工况有较好的适用性，并已获得多次实验验证。

石墨烯是近年新发现的一种新型的碳纳米材料，因其具有优异的电学、热学和力学性能而成为研究热点。石墨烯的应用研究需要对一系列基础问题有深入理解，多层石墨烯的层间滑移特性及其摩擦行为是其中重要的方面，它对于石墨烯的可控层

数制备，性能调控，作为纳米尺度下减摩润滑材料等应用具有重要的意义。同时，作为一种理想的层状材料，它也是研究摩擦起源、加深对微观摩擦机理理解的理想体系。我们采用分子动力学方法模拟了多层（2~8）石墨烯在剪切作用下的层间滑移，运动行为及摩擦特性（图 1b）。建立了层状石墨烯粘滑摩擦的物理模型（式 1），成功预测了石墨烯层数对摩擦的影响，以及滑动状态由“粘滑摩擦”向“连续滑动”的转变。以上研究得到国家自然科学基金项目（50730007, 51075226, 51005129）和国家重点实验室自主课题的资助。

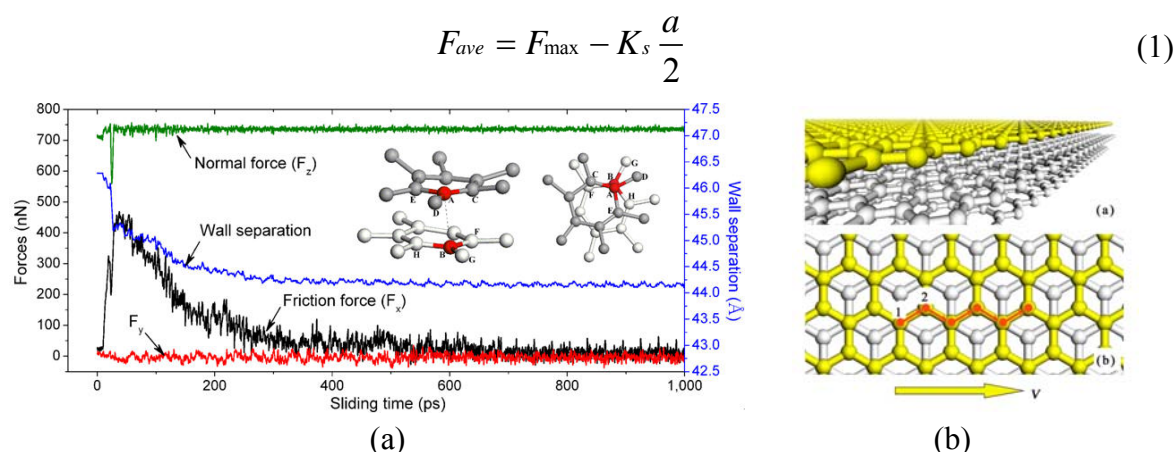
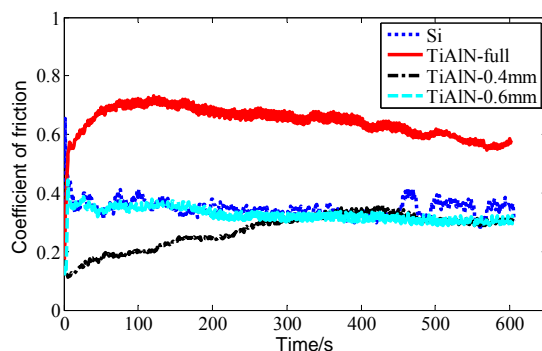


图 1 (a) DLC 膜剪切诱导石墨化和超低摩擦机制; (b) 石墨烯粘滑摩擦的分子动力学模拟

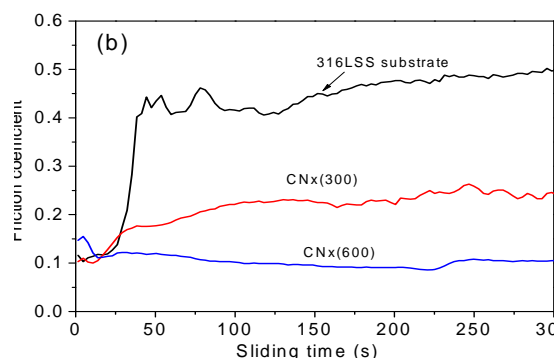
## 5) 表面工程研究

2010 年度，摩擦学国家重点实验室在表面工程领域主要开展了表面织构技术、表面涂层技术及其性能等方面的研究工作。承担了包括国家自然科学基金重点和面上项目、973 课题、国家科技重大专项课题等多项课题。具体研究工作包括：a) 表面织构的制备技术及其性能研究是当前国际上摩擦学领域的研究热点之一，主要研究内容包括：基于掩模沉积技术的织构化薄膜技术；表面织构的高温摩擦学行为研究；表面织构在水润滑条件下的摩擦学行为研究；基于光纤聚焦的激光表面微观表面织构制备及其性能研究；基于激光诱导电场增强的表面微纳米织构制备技术研究；主办了中国表面织构国际专题学术研讨会 (China International Workshop on Surface Texturing 2010, 简称 CIWST 2010)，来自中国、美国、以色列、日本、德国、意大利、波兰、捷克等 8 个国家的 50 位活跃在表面织构研究领域的专家学者参加了会议。



水润滑条件下，掩模沉积制备的TiAlN薄膜与全膜的摩擦系数对比

b) 表面涂层技术在摩擦学及其相关领域具有重要的应用价值，实验室本年度开展的研究工作包括：CN<sub>x</sub> 薄膜的制备技术及其性能研究；以微小型飞行器为应用对象的 Ni 薄膜传感器的研究；以高速切削刀具为应用背景的 TiAlN 及其复合薄膜的研究。



牙弓丝表面制备的CN<sub>x</sub>膜和不锈钢弓丝在模拟唾液润滑条件下与不锈钢托槽摩擦时的摩擦系数对比

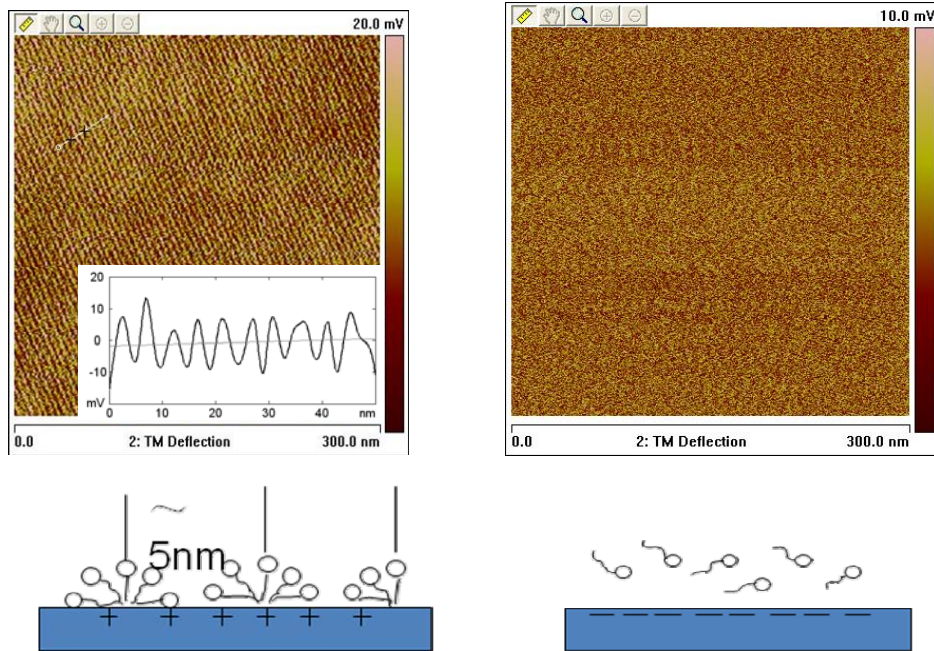
c) 材料接触起电问题研究，摩擦副之间发生的摩擦起电现象是一个古老的话题，但对于摩擦起电的机理及其摩擦起电对摩擦副摩擦学行为影响仍有很多问题有待进一步的研究。材料接触起电是研究摩擦起电的基础。本年度工作主要是建立了相应的实验装置并对材料在接触过程中发生的电荷转移现象进行了初步研究。

#### 6) 电控摩擦研究进展

围绕电场对边界摩擦的影响机理、电场对薄膜润滑的影响机理以及固体接触摩擦过程中的静电现象开展实验研究，取得如下进展：

a) 在电控摩擦的机理研究方面，澄清了表面活性剂水溶液中电控摩擦现象发生的电极电位条件，修正了过去的认识；实验验证了电控摩擦现象源于电极电位对分子膜吸附和脱附调控的猜想，并证实吸附和脱附的可逆性导致摩擦的升降变化；找到了提高摩擦系数恢复速度的有效方法；将电控摩擦研究由阴离子型表面活性剂水溶液体系拓展到阳离子型表面活性剂水溶液体系和非水溶液体系。b) 在电场对薄膜润滑影响机理的研究方面，实验表明外电场对离子液体和乳化液的成膜能力有增强作用；通过对比润滑液的极性和有无介电膜对电场诱发微气泡行为的影响，基本确认热效应是微气泡产生的主要机制，有些情况下也伴随电化学反应。c) 在接触摩擦起电和载流摩擦研究方面，建立起真空条件下测量接触起电的试验装置，获得了钢球与聚合物接触和摩擦时表面静电积累的初步试验结果。





(a) 电极电位为+30mV 时 (b) 电极电位为-400mV 时

不同电极电位情况下用 AFM 测得的 SDS 表面活性剂分子吸附膜形态

### 7) 微纳流变与电磁流变研究

通过实验研究，发现了磁流变效应中的剪切增稠现象，从而将电/磁流变效应机理通过剪切增稠和颗粒间电磁场作用力等统一起来，对其机理提出了新的认识。即电磁流变液的剪切抗力可来源于颗粒间静电力或磁场力作用控制的摩擦力作用（包括粘性力）。从而可以合理解释颗粒类型、几何形貌、基础液类型不同而具有的电磁流变效应具有很大不同的现象及电磁流变液在剪切过程中的复杂流变特性。

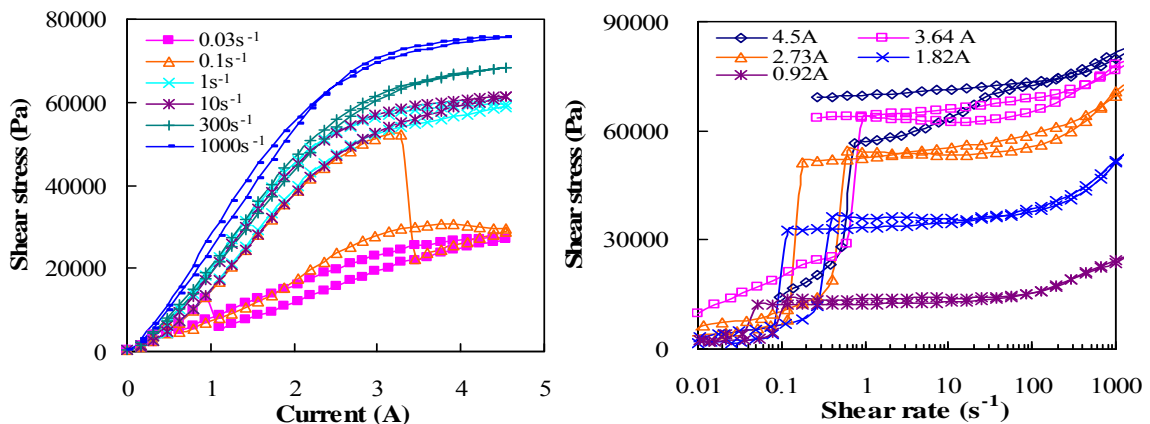


图 1 磁流变中的剪切增稠。(a) 扫描电流 0-4.5 A(0-1.2 T) 得到的测试结果；(b) 扫描剪切速率得到的测试结果。

恒定剪切速率  $0.1s^{-1}$ ，当电流上升到约 3 A，剪切应力突然从一个较高值大幅掉到一个较低值，而且随着电流继续升高，剪切应力仍远小于电流 3A 时的剪切应力，超出了传统理论的认识。对普通电流变液进行不同速率的压缩，在 0.6 kV/mm 的低场强下获得了超过 100 kPa 的剪切屈服应力，远远超过剪切模式得到的屈服应力和巨电流变效应的强度。这一研究结果表明电流变液的颗粒结构在其强度中具有异常重

要的作用。在以前的研究中，人们发现考虑到电流变液在压缩过程中颗粒链结构可能产生变化，并引起电流变液材料强度的变化，但对其结构参数从来都无定量表征。

电磁流变液中剪切增稠现象的存在对电磁流变效应机理的深入认识有较大推动作用。磁流变液剪切增稠的研究结果发表在 *Applied Physics Letters* 2010,97,151904. 上。关于电流变效应中的剪切增稠的实验结果及理论分析的研究成果已被 *Physical Review E* 接收。电流变液中的颗粒结构参数及速度效应的定量研究成果已发表于 *Smart Mater. Struct.* 2010,19:035009(被推荐为该期的 Featured Articles)和 *Smart Mater. Struct.* 2010, 19: 105024。研究得到了国家自然科学基金(50875152)的资助，关于生物溶液纳流变行为的研究获得一项 973 课题(2011CB707603)的资助。

#### 8) 微纳光电子技术研究：

主动光学工艺与检测技术研究方面：解决了动态波前误差的自适应光学实时校正与波面闭环控制、大尺寸连续波面支撑矩阵性能及影响函数评价、大口径镜面的加工与补偿等关键技术，成功研制了主动反射变形镜系统，达到了技术指标：光束口径：400mm；驱动单元：大于 60；初始面形：反射波前 PV 小于 0.3 $\mu\text{m}$ ；工作波长：1053nm；反射率：HR>0.995 (1053nm)；损伤阈值：12J/cm<sup>2</sup> (1053nm，平均通量)；工作带宽：1Hz；模式范围：3~25 项 Zernike 多项式模式；变形量： $\pm 10\mu\text{m}$ ；拟合残差：PV 小于 0.25 $\mu\text{m}$ ，RMS 小于 0.05 $\mu\text{m}$ 。

光纤激光技术方面：解决了高功率光纤激光器泵浦注入技术；双包层光纤低损熔接；kW 级光纤泵浦耦合器制作工艺；全光纤千瓦级光纤激光器模块化等核心关键技术，达到的技术指标如下：全光纤化；平均功率 $\geq 1000\text{W}$ ；光束质量  $M^2 \leq 3$ 。

中波红外激光技术方面：提出了采用 1064nm 激光直接泵浦 OPO 获得中波红外激光输出总体技术方案，突破了临界角匹配、最佳泵浦参数的确定以及双向泵浦双晶体补偿等关键技术，研制成功了中红外激光样机。达到的技术指标如下：重复频率 40Hz；中心波长 3.76 $\mu\text{m}$ ；脉冲能量 42mJ。该样机已经在我国光电对抗总体论证单位某系统中试用。



图 a 大能量中波红外激光器



图 b 大口径主动光学控制系统

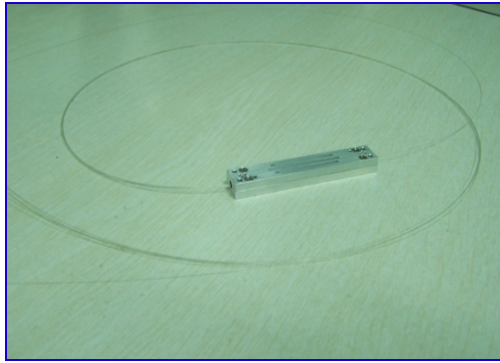
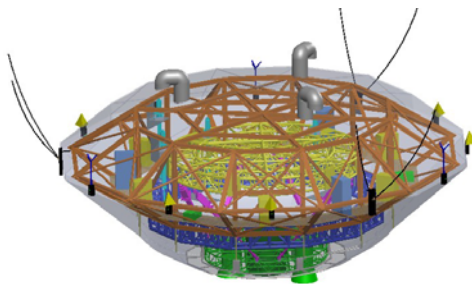


图 c kW 级光纤合束器

### 9) 射电望远镜馈源舱方案设计研究

我国正在建造世界上最大的单一口径射电天文望远镜 (FAST 项目), 其馈源接收舱为重达 30 吨、15 米尺度的刚柔多级耦合混联定位机构。如下图所示, 本研究完成了该馈源定位接收舱的方案设计工作, 解决了如下的关键技术问题: (1) 针对馈源舱重量不能超出 30 吨的要求, 在进行多级精度分析的基础上, 设计了桁架结构的主体结构和桁架形式的多级平台结构, 分析了各结构在不同倾角下的变形误差和总体误差, 并提出相应的变形补偿策略, 保证了桁架系统最大误差不超过 3mm 的目标。

(2) 从高可靠性出发, 提出了冗余驱动的结构和控制策略, 并完成相应的方案设计, 实现了冗余与模块化的统一。(3) 提出包含 A-B 机构与并联定位机构的混联结构方案, 有效地解决了并联定位机构转角范围较小的问题, 实现了馈源舱跟踪天顶角达到 40 度的要求。(4) 建立了兼顾桁架变形、重心时变、铰链误差、加工误差和温度影响条件下的复合误差模型, 优化出能够实现馈源舱终端精度的各级尺度和精度指标。本技术不仅对 FAST 项目有实际的工程意义, 对相关刚柔机构的研制和分析也具有重要的应用价值。研究成果申请中国发明专利 2 项。

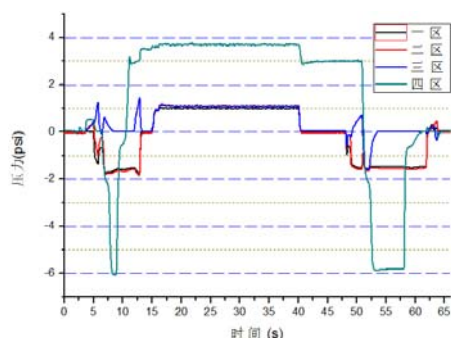


FAST 项目馈源舱方案

### 10) 超低压气囊反馈控制研究

该项研究针对国家科技重大专项——65-45nm铜互连无应力抛光设备研发子课题“CMP控制系统的研究开发”展开。对超低压气囊反馈控制方案以及检测进行了研究, 搭建了实验平台并进行了验证。通过仿真建模以及实验研究, 得到了多区协调同步控制规律, 分别提出了变容积问题转变为定容积, 并完成单区控制参数辨识, 在此基础上, 进行多区控制参数优化的工程解耦方法和多区压力耦合控制的神经元解耦思路, 采用逆控制完成了多路超低压协同控制。研究中, 设计并完成了气路系统和电气控制系统的构建, 为工艺实验建立了研究平台。实验结果表明多区同时

加压下，能够实现0.5-2psi压力范围内的精度控制指标 $\pm 0.1\text{psi}$ ，可以满足CMP设备的工艺要求。



抛光实验中全程各区压力响应曲线图

### 11) 蛋白质自动化提取与多孔板微阵列制备技术

本项目针对生命科学中蛋白质分析和药物筛选研究对高通量自动化操作的迫切需求，开展了蛋白质自动化提取与多孔板微阵列制备关键技术研究、系统开发和小批量生产与示范应用。创造性地提出了原位冷冻研磨和离心分离的蛋白质提取方法和实现技术，研制出两种不同原理的蛋白质自动化提取系统，一种是面向固态生物组织采用原位冷冻研磨离心的蛋白质提取系统；另一种是面向液态生物样本基于磁珠免疫分离法的蛋白质提取系统，可以实现宽范围蛋白质的粗分离和自动化提取，不仅解决了分离操作存在效率低的问题，而且显著提高了蛋白质的回收率。建立了狭缝针接触分样的流体静力学和动力学模型，提出了分样头结构和表面特性的优化设计方法和制造工艺，实现对不同生物样本的高质量微阵列制备；通过理论分析和实验研究，定量分析了狭缝针、样品、机器人运动等不同参数对微阵列制备质量的影响规律，建立了多因素作用下的微阵列制备质量控制方法，为优化制备工艺及参数提供了理论依据；突破了采用狭缝针的接触式分样头的设计制造核心技术，打破了国外对分样头技术的垄断。在此基础上，研制出多孔板微阵列制备样机，进行了产品定型和小批量生产。所开发的系统分别在军事医学科学院蛋白质组学研究中心、南京大学化学系、中国药科大学、中科院微纳米中心得到应用。

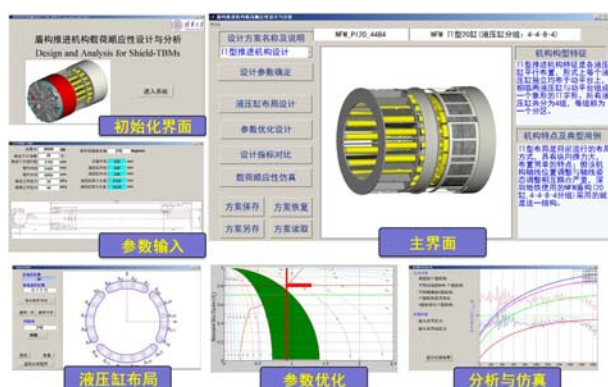


微阵列制备仪蛋白质自动化提取仪

### 12) 大型掘进装备复杂机械系统顺应性设计

本课题（973 项目 2007CB714003）针对盾构掘进机构工作环境恶劣、设备承载力大、突变载荷大、振动强烈、地层复杂、工作环境变化大等极限作业条件，以

及盾构在工作过程中既要求有足够大的刚性承受极限重载荷，又要求其足够大的柔性来顺应外突变大载荷这一对矛盾，提出了盾构掘进机构载荷顺应性设计理论与方法，以指导盾构这一存在机电液多场强耦合、具有时变性、严重非线性的现代复杂机电系统、系统推进机构的设计功能分析工作。所提出的盾构掘进机构载荷顺应性设计理论与方法以顺应中心设计为约束，以柔顺性、优质传动空间、优质承载空间为设计目标，使机构在工作域内顺应性最好，从而使掘进机能够适应载荷大、变载大的工况，达到较好的工作能力。开发了掘进机推进机构实验装置以及相应的设计、分析与仿真软件，以验证其载荷顺应性；提出了新型的 V 型掘进机推进机构构型，为下一代掘进机推进机构的设计打下了良好基础。



载荷顺应性设计与分析软件开发

### 13) 高端燃油喷射系统核心喷油部件的关键制造技术与装备

该研究涉及精密机电控制、高频辅助振动、高频微能脉冲电源、数控系统集成等关键技术问题。研制出微细电极自动进给补偿模块、压电陶瓷激振模块、空间定位专用工装夹具机构、微能高频脉冲放电电源及检测模块、数控系统功能模块。研究开发出微细孔电火花加工四轴机床和喷油嘴微喷孔电火花加工七轴机床，以及高效率、批量化微细喷孔加工工艺。

研究成果实现了喷油嘴多个变焦距微细喷孔的全自动化加工和初步工业应用，达到了国 3、国 4 标准的喷油嘴产品加工要求。技术指标如下：空间角度精度优于  $\pm 0.5^\circ$ ，孔径加工范围  $\phi 0.1\text{mm} \sim \phi 0.2\text{mm}$ ，孔径加工精度优于  $\pm 2 \mu\text{m}$ ，加工效率达到  $1.5\text{mm}/\text{min} \sim 1.7\text{mm}/\text{min}$ ，流量系数达到  $0.85 \sim 0.95$ 、流量离散度达到  $\pm 3\%$ ，产品成品率  $>96\%$ 。



#### 14) 磁悬浮无铁芯永磁平面电机研究

大行程、非接触，零摩擦、高速度、高加速度，特别是高定位精度的磁悬浮无铁芯永磁平面电机及其相关技术是光刻机等集成电路制造装备的关键和核心部件之一。该研究针对磁悬浮无铁芯永磁平面电机的结构分析与设计，首先建立了磁悬浮无铁芯永磁平面电机推力的解析模型，分析了电机推力波动的来源，得出了以削弱推力波动为目标的设计准则。以此准则为约束，以效率为目标对电机的永磁阵列和线圈阵列的拓扑结构分别进行了优化。然后，通过实验分别验证了平面电机推力的解析模型和以削弱推力波动为目标的结构设计准则的正确性。将优化得到的新型永磁阵列和新型线圈阵列组合得到了一种新型结构的磁悬浮无铁芯永磁平面电机，并对其尺寸参数进行了优化。最后归纳了磁悬浮无铁芯永磁平面电机的设计准则和方法。与现有采用 halbach 永磁阵列和由非叠绕组组成线圈阵列的平面电机相比，该新型平面电机悬浮时的功耗低 31.4%，而推力波动则基本不变。

#### 15) 包带局部连接特性及星-箭-包带耦合动力学特性研究

包带连接结构是目前航天领域应用最广泛的星箭连接结构形式，其连接性能直接关系到火箭的运载能力，影响星箭系统在飞行过程中的动力学特性。该研究以大型航天器和长征系列运载火箭为研究对象，合理表征包带连接结构各组件间接触、摩擦非线性力学行为，建立了包带连接结构局部力学模型，探讨了连接结构特征参数、包带预紧力、外载荷与包带非线性连接特性之间的关系；将包带连接结构力学模型引入星箭对接面，构建星-箭-包带耦合系统动力学模型，考虑发射过程中推进剂消耗和级间分离等因素，研究了星-箭-包带耦合系统动力特性，掌握了发射过程中包带连接结构对全箭动特性的影响规律。本项研究为包带连接结构的设计和应用提供理论指导，有助于改善发射过程中卫星的载荷环境，提高发射可靠性和安全性，具有重要的理论和实际意义。

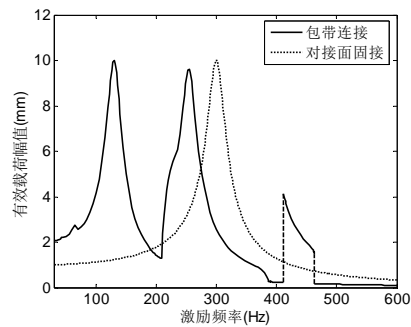
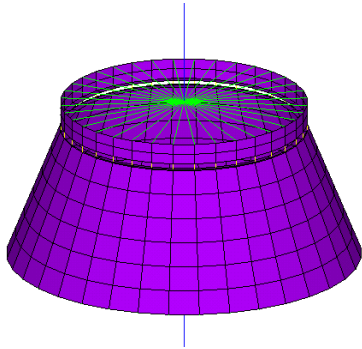
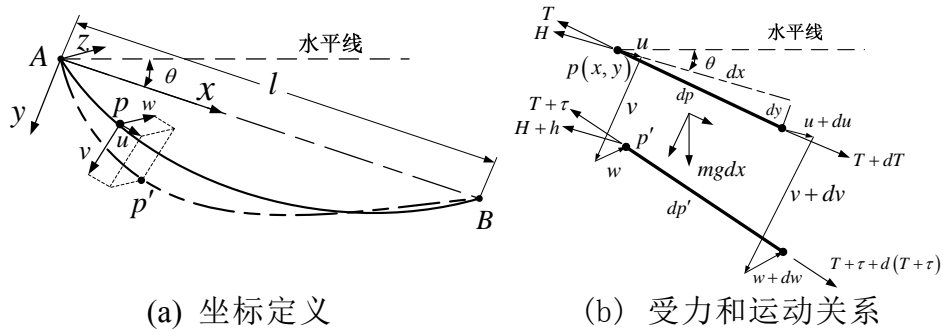


图 1 包带连接局部非线性力学模型      图 2 包带连接和固接的幅频响应曲线

#### 16) 弹性拉索及索网结构动力学特性分析

弹性拉索结构广泛应用于航天工程、大跨度桥梁等现代工程结构中。为了精确预示斜拉索及其复杂组合结构的动力学特性，该研究对弹性斜拉索静力学和动力学建模及其特性分析进行了系列研究。考虑沿弦向重力分量的作用，建立了斜拉索动力学模型，通过求解该模型，得到了斜拉索解析形式的自由振动模态函数和频率方程；提出了基于动态刚度的斜拉索单元动力学建模方法，斜拉索单元动态刚度矩阵中计及重力、拉索垂度、倾角等因素，并考虑了斜拉索面内振动的耦合和重力弦向分量的作用；以斜拉索自由振动方程为基础，考虑弦向重力分量作用，建立了弹性斜拉索无量纲化的非线性运动微分方程组，采用伽辽金方法和多时间尺度法数值模

拟分析了弹性斜拉索 1:2 内共振非线性特性。该研究能够为拉索结构的设计提供技术支持，并对使用中可能出现的动力学行为进行预测，具有重要的现实意义。



(a) 坐标定义 (b) 受力和运动关系

图 1 斜拉索坐标定义和微段的受力和运动关系

### 17) 裂纹板湿模态分析

针对水轮机叶片、船用螺旋桨、液体容器等与水体接触的结构在使用过程中出现的裂纹问题，研究了水体和裂纹对结构固有振动特性的影响。引入角函数描述裂纹尖端的奇异性，并基于势流理论获得了采用位移基函数描述的水体附加质量，建立了包含任意边缘裂纹和流体附加质量的薄板自由振动模型，计算了水体和裂纹作用下，自由、简支、固支圆板和具有典型边界条件的矩形板的固有频率降低率，并分析了水体和裂纹对振型的影响。该部分工作可以为水下裂纹结构在流场激励下的响应计算提供理论基础，对该类结构的状态检测和安全运行具有重要的意义。

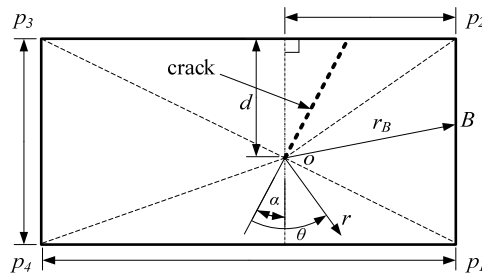
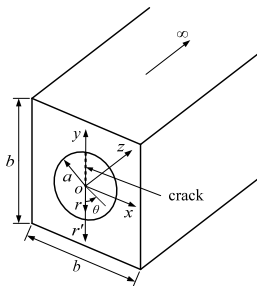


图 1 裂纹圆板-水体耦合振动系统 图 2 带有任意边缘裂纹的矩形板

### 18) 航空发动机鼓筒直通型篦齿封严气动力分析

鼓筒篦齿是航空发动机风扇部分的重要封严结构，其密封性能极大地影响着航空发动机的整机性能。该研究基于 CFD 理论，采用旋转叶轮机械专用分析程序 NUMECA 建立了某型航空发动机二级鼓筒直通型篦齿封严二维流场模型，计算了典型工况下鼓筒封严篦齿流场，讨论了旋转速度和篦齿封严出口静压对鼓筒表面静压的影响规律。该研究对于合理确定鼓筒气动载荷边界条件，正确分析气动载荷作用下鼓筒的动力学特性并进而指导航空发动机的设计具有重要理论意义和应用价值

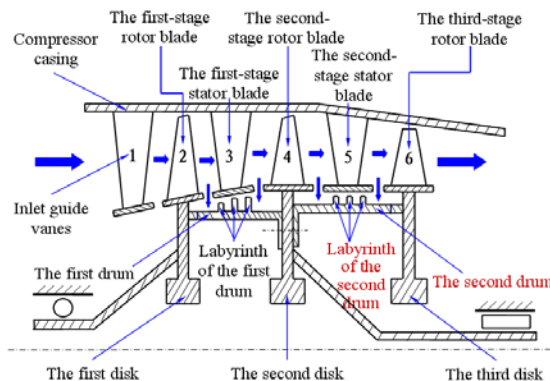
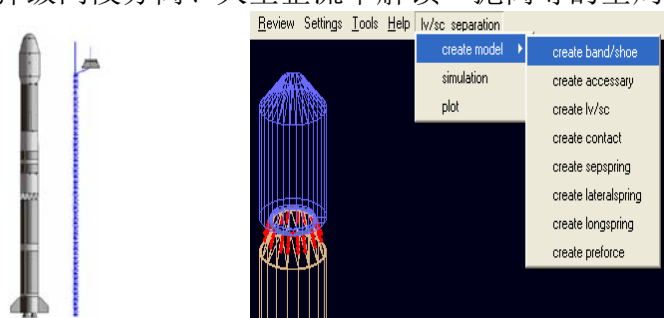


图 1 某型航空发动机风扇转子结构示意图

### 19) 星箭分离系统及太阳电池阵动力学建模及其性能预测

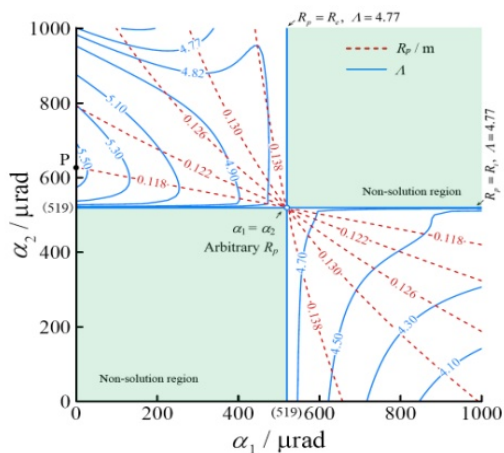
该研究针对航天工程中对动力学性能及高可靠性的要求，以星箭分离系统和太阳电池阵为对象，开展了运动副间隙建模方法、变拓扑结构系统动力学表征及模拟技术研究。揭示了包带预紧力与星箭系统外载荷的关系，建立了考虑包带连接的星箭分离动力学模型和考虑间隙等多种干扰因素的太阳电池阵动力学模型。基于 ADAMS 软件平台编制了卫星-火箭分离动力学数值模拟系统和太阳电池阵动力学数值模拟系统。提出了太阳能电池阵系统的可靠性评估方法和可靠性分配原理。该技术对航天动力学发展以及航天器设计水平的提高具有重要的应用价值。部分技术已用于星箭解锁分离、战略导弹级间段分离、大型整流罩解锁—抛离等的全局预测仿真模拟。



卫星-火箭分离动力学数值模拟系统

### 20) 压水堆核电站主泵轴密封机理和性能研究

压水堆核电站主泵机械密封是影响核电站运行安全的关键部件，是少数技术难度最高、尚不能实现国产化的核电站设备或部件之一。面向国家的重大需求，以国内核电站使用最为普遍的流体静压型和流体动压型核主泵轴密封为研究对象，对特殊工况下的大型机械密封的关键技术进行研发。在两种类型核主泵密封的机理分析、性能研究、参数设计及密封环表面材料改性技术研究方面取得了重要研究成果，为核主泵密封的国产化奠定了重要基础。



核主泵密封端面参数优化

### 21) 高温气冷堆核电站主氦风机干气密封关键技术研究

高温气冷堆是具有第四代技术特征的先进反应堆堆型，是国家重点支持的科技重大专项，受到清华大学领导的高度关注。受清华核研院委托，课题组承担了高温气冷堆核电站的关键部件——主氦风机干气密封关键技术研究及核心设备——轴封型主氦风机的轴系设计工作。在自行研制的立式大功率机械密封试验台上对主氦风



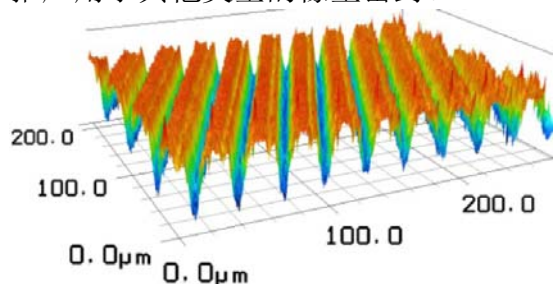
机干气密封进行了试验，结果表明其性能达到了设计要求。在国家科技重大专项支持下，课题组负责总设计的采用干气密封的主氦风机工程样机将在核研院昌平基地进行建造和试验。



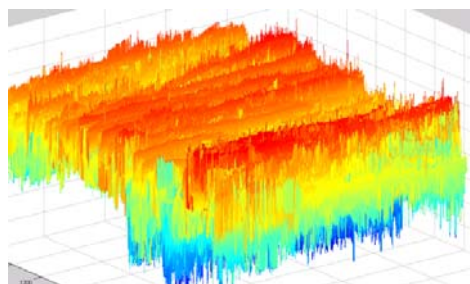
主氦风机干气密封试验装置

## 22) 轴表加工方法对橡塑密封性能的影响研究和抗磨设计

唇形密封广泛用于往复轴或者旋转轴的油/气动密封。采用理论分析和实验研究相结合的手段，研究密封性能和磨损特性，并进行寿命预测。比较轴表不同加工方法对密封性能的影响，并以此为基础，通过轴表改形和改性技术进行抗磨设计，以延长密封寿命，提高工作可靠性。基于以上工作建立的理论研究和实验测量方法，推广用于其他类型的橡塑密封。



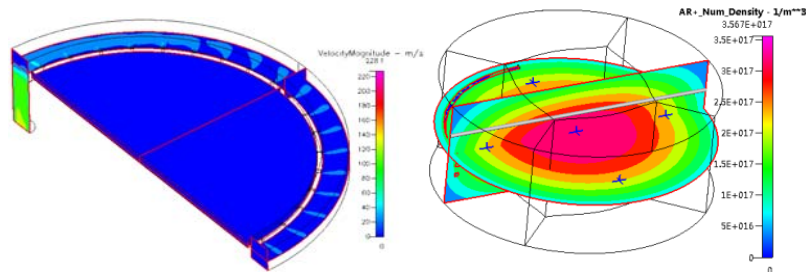
轴表微型螺旋槽



Plunge ground 加工方法

## 23) IC 装备工艺模拟与多领域建模工艺仿真设计技术研究

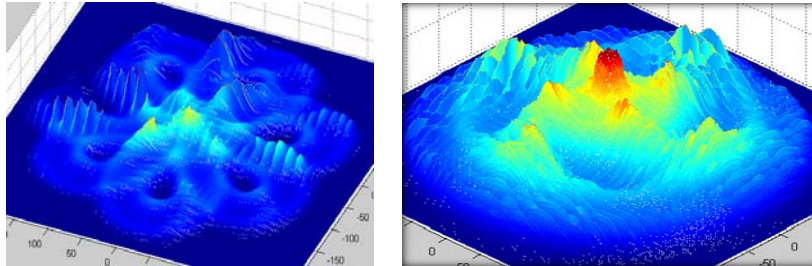
02 专项项目“IC 装备工艺模拟与多领域建模工艺仿真设计平台”启动，该项目由摩擦学国家重点实验室智能与生物实验分室牵头组织实施。项目以主流 PVD、PECVD、刻蚀机、高温扩散炉、LPCVD 和光刻机工件台为应用对象，搭建由实验数据支撑的软件平台，实现关键工艺过程仿真和设备优化设计。研究内容主要包括等离子体工艺腔室的多场耦合建模与分析仿真，微纳尺度刻蚀与沉积工艺过程的分析与仿真，等离子体参数设计仿真验证与关键参数测量平台，含工艺腔室类 IC 装备建模仿真、多学科协同设计支持系统及实验平台，超精密运动部件多领域建模、仿真与优化等。项目组在深入基础研究的同时、已为 5 家 IC 装备制造企业提供了建模、分析仿真与优化设计的技术服务，明确产业技术需求，项目（课题）各项工作进展顺利。该项目的开展将为实验分室在复杂机械系统设计理论与技术的研究方面提供高水平的研究载体和平台。



仿真设计平台

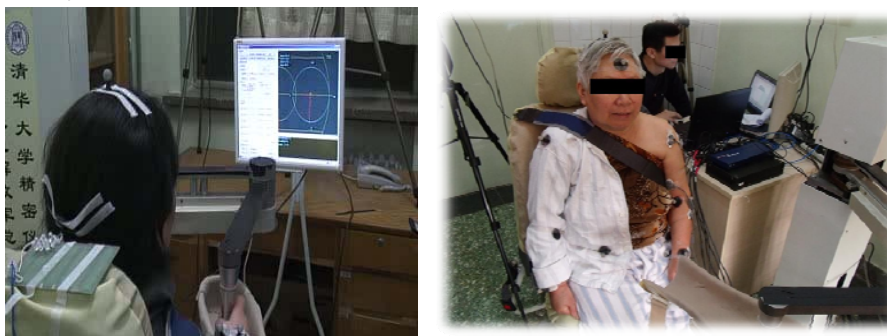
#### 24) 磁控溅射磁电管仿真、设计与评价方法的研究

针对大规模集成电路制造中磁控溅射 PVD 工艺靶材利用率低的问题，建立了磁控溅射腔室磁场和等离子体计算模型，提出了靶材刻蚀形貌仿真技术方法，设计了两种新型磁电管，并制造了实验样机。利用有限元方法分析了磁电管形状、位置及运动对靶材刻蚀形貌的影响，研制了磁电管磁场检测平台，其中部分装置已经为 PVD 生产企业新产品设计提供技术服务。研究成果已经申请两项发明专利和一项软件著作权，其中一项同时申请了国际专利。



#### 25) 上肢神经康复机器人的研究及产业化

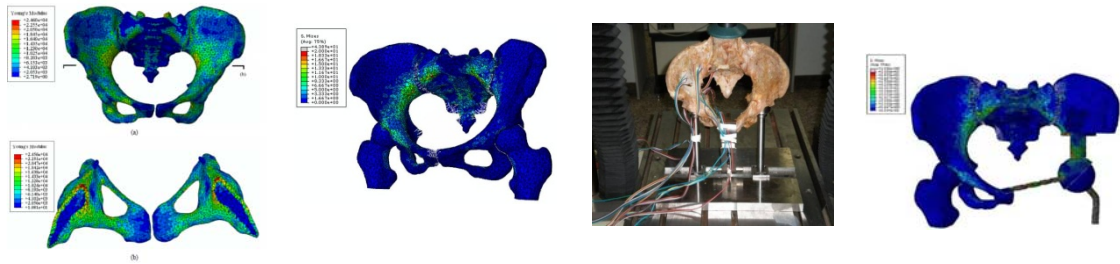
为满足每年新增上百万脑卒中等神经损伤患者临床康复的需求，在完成国家支撑计划课题的基础，进一步开展了上肢神经康复机器人智能化训练模式、临床评价等关键技术研究，与 301 医院以及 305 等医院开展了临床验证的研究工作。该项技术获得 5 项国家发明专利。本年度成功完成专利使用权的转让工作、并协助企业获得了北京市科委产业化开发的立项支持。为康复机器人产业化发展及大规模临床推广迈出了关键一步。



临床实验中的上肢神经康复机器人

#### 26) 骨盆及其切除重建的生物力学研究

骨盆骨折和骨盆骨肿瘤是骨盆损伤最常见的病例，而骨盆生物力学的研究是临床诊断和治疗骨盆骨折，进行骨折定位修复以及骨盆肿瘤切除后重建骨盆功能的关键，研究采用有限元方法，基于骨盆螺旋 CT 扫描图像对骨盆进行三维有限元模型构建，探讨了骨盆特殊的“三明治”结构的骨组织弹性模量分布、边界条件对骨盆生物力学特性的影响等问题，并将骨盆生物力学特性分析的有限元方法应用于临床骨盆 II 型切除重建力学分析，以指导重建人工骨盆的设计和重建手术的优化。



骨盆弹性模量分布图

骨盆应力分布图

骨盆应力实验

骨盆 II 型切除重建后应力分布图

## 27) 仿生智能假肢的研究

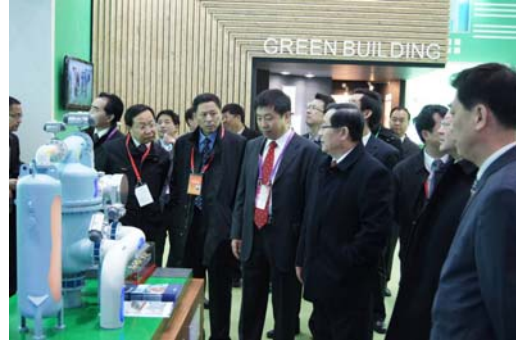
针对截肢者对假肢操作灵活性和仿生性要求的日益提高，在国家“十一五”科技支撑计划项目的支持下，开展了人体-假肢生机电系统的生物机械建模、神经控制机理和仿生假肢设计原理和制造方法研究。建立了包含神经信息的生物机械系统模型，开展了仿生机构和仿生控制方法研究。研制了能够自适应不同步速的仿生膝关节和踝足假肢，构建了用于多指多自由假手仿生控制的肌电信号分析识别平台。其中部分技术正在进行小批量临床试用，研究成果获得省级科技进步奖三等奖 1 项。



智能仿生踝足假肢及仿生膝关节

## 28) 远洋船舶压载水处理装备技术的产业化开发

在完成国家“十一五”支撑计划课题基础上，针对船舶压载水处理技术的装备产业化亟待解决的技术问题，在中远运输集团的支持下进一步开展了大功率中压紫外反应器设计计算方法和生物验证方法研究。完成了算法的筛选和计算平台建设，是我国第一套紫外反应器理论计算剂量验算平台，成为中远海盾压载水管理系统系列化产品开发的核心技术。该平台工具对于解决其它用途的紫外反应器设计问题也可以起到关键的支撑作用。本年度，在压载水处理技术领域形成产权和著作权 2 项。中远海盾压载水管理系统获得中国船级社的型式认可证书。产品样机参加了 2011 年 3 月在北京举办的“十一五重大科技成就展”和 7 月的北戴河巡回展。中远海盾压载水管理系统已被国家列入《2011 年度国家重点新产品计划》。



### 29) 环锭纺自动落纱机

中国是纺织大国，其中纺纱锭总数在 8000 万以上，占世界总数的三分之一以上，其中多数纺纱机是传统的手工落纱方式。在劳动力成本不断上升的今天，降低劳动强度，提高自动化水平显得特别迫切，我们与安徽铜陵松宝机械厂联合开发的环锭纺自动落纱机经过 4 年的努力，在 2011 年 5 月通过纺织总会的鉴定，并投放市场，获得了广泛的欢迎。研制的设备，获得国家专利 16 项，鉴定专家给予了填补国内空白、世界首创的高度评价。设备将为我国纺纱工业的自动化提供显著帮助。



### 三、2010 年摩擦学国家重点实验室年度报告

#### 1、年度工作计划总结

##### 1) 自主研究课题执行情况

根据科技部对国家重点实验室科研业务费的使用管理规定，自 2008 年以来，摩擦学国家重点实验室分三批设立了自主研究课题共 41 项，其中重点课题（资助强度 100-150 万元，期限 3 年）12 项，自由探索课题（资助强度 20-50 万元，期限 2 年）26 项，奖励课题（资助强度 20-50 万元，期限 2 年）3 项。重点课题主要围绕实验室的五个主要研究方向开展研究，对实验室主要研究方向的长期稳定发展起到支撑作用；自由探索课题支持主要研究方向框架内的创新生长点。

围绕摩擦学理论与技术方向设立重点课题 3 项：①微纳米尺度表面界面行为研究、②核主泵用流体机械密封特性研究、③水基润滑剂研制及润滑评价，另外设立自由探索课题 5 项。

围绕表面/界面科学与技术方向设立重点课题 2 项：①微射流损伤机理研究、②气/汽相结构对固液界面效应的影响研究，另外设立自由探索课题 1 项。

围绕微纳制造理论与技术方向设立重点课题 4 项：①芯片制造中平坦化关键技术及其应用研究、②近场旋转式纳米图案制造中的科学与技术问题研究、③纳米精度非球曲面的振动辅助金刚石切削基础研究、④介观尺度下微刃去除材料机理及应用研究，另外设立自由探索课题 10 项。

围绕生物摩擦学和生物机械方向设立重点课题 2 项：①面向生命科学的机器人微纳操作理论与技术研究、②可控生物自组织多维分级微纳功能结构设计制造基础研究，另外设立自由探索课题 6 项。

围绕微纳光电器件测试理论与技术方向设立重点课题 1 项：①超短脉冲固体激光器及其应用技术研究，另外设立自由探索课题 2 项。

实验室在 2010 年 12 月对所有立项的重点课题及自由探索的结题项目进行了汇报检查，所有项目提交了研究进展报告，实验室组织了专家组对每个项目的进展或结题情况进行了评比。从汇报情况来看，大多数课题进展都比较顺利，但也有部分课题研究不够深入。实验室预定将于 2011 年下半年对 2008 年立项的重点课题和 2009 年启动的自由探索课题进行结题检查，对其他项目进行研究进展汇报检查。

##### 2) 开放课题执行情况

2010 年度实验室共设立开放课题 13 项，共资助经费 70 万元。其中重点课题 4 项，经费共计 45 万元。所设立重点课题的研究内容与实验室的主要研究方向表面/界面科学和微纳制造理论与技术密切相关。自由申请课题 9 项，经费共计 25 万元，用于资助外单位人员使用本实验室的实验设备。2010 年度，开放基金使用支出共计 34.87 万元，主要用于实验费和差旅费的支出。

## 2、研究工作和水平

承担研究课题的重要性及完成情况，研究成果的水平和影响，在国内外重要学术会议上做特邀报告的情况。实验室最新研究进展。

摩擦学国家重点实验室的主要研究方向如下：

- 摩擦学理论与技术
- 机械表面/界面科学与性能控制
- 生物摩擦学与生物机械
- 微纳制造理论与技术
- 微纳光电测试理论与技术

2010年，实验室围绕上述主要研究方向积极组织和参与国家重点基础研究项目、国家科技专项、国家自然科学基金重大研究计划和国防创新研究项目的立项和申报工作，作为项目总体负责单位承担“973”计划项目1项，雒建斌教授任首席科学家；承担国家02重大专项CMP抛光机研制子项目1项，路新春教授为课题负责人；承担国家02重大专项光刻机平台研制项目1项，朱煜教授为课题负责人。另外还承担其它国家重大专项项目、863项目和国家自然科学基金委创新研究群体研究项目。其中国家自然科学基金委创新研究群体研究项目在第一期（2008-2010）结题后，获得了第二期（2011-2013）资助；新承担了国家02专项重大课题1项，季林红教授为课题负责人。

2010年，实验室承担在研课题160余项，科研经费：18461万元。在国内外学术刊物及学术会议发表论文123篇，其中SCI收录86篇，EI收录29篇，有31篇论文发表在影响因子大于2.0的重要国际刊物上。此外，获得国家发明专利授权33项，教育部自然科学奖一等奖1项、教育部科技进步奖二等奖1项。实验室固定人员共计在国内外会议上做邀请报告8次。

本年度取得的最新研究进展介绍如下：

### 1) 摩擦学理论与技术

利用分子动力学（MD）模拟方法研究了类金刚石（DLC）膜在法向载荷作用下的摩擦行为。模拟结果表明：剪切作用会诱导DLC膜内应力弛豫，导致表面附近的 $sp^3$ 结构逐渐向 $sp^2$ 结构转化，表面原子发生自组织，并最终在滑动界面处形成类石墨的层状结构；采用分子动力学模拟的方法研究了半球形探针纳米刻划过程，定量区分出纳米刻划过程中摩擦的犁沟分量和粘着分量，并与经典的摩擦理论进行了对比。

利用示差扫描量热仪（DSC）研究了受限在不同孔径碳纳米管（CNT）中5CB液晶的相变规律，证明由于界面诱导作用，固体壁面纳米距离受限的5CB液晶呈现分子有序化排列，且有序化程度和相变温度会随着受限尺度的减小而显著增强；用石英晶体微天平（QCM）测试了从几十纳米到几百纳米膜厚下5CB液晶的流变特性

变化，结果证实受限膜厚在 700nm 以下时，5CB 液晶分子会由于逐渐增强的有序化程度导致剪切粘度显著的降低；采用外加电场实现了近壁面 100nm 厚度液晶分子有序化排列的诱导和主动控制，并在此基础上实验验证了由于近壁面液晶分子有序化排列导致的边界润滑系数的显著降低。

研究了导磁材料在外加磁场下摩擦行为的变化，包括摩擦力信号、噪声信号、声发射信号、磨痕形态以及磨痕成分，确定磁场对导磁材料干摩擦行为影响的作用机理。研究表明，施加磁场产生的额外的法向力导致的摩擦力、摩擦系数以及声发射的变化拥有相同的趋势。如果单纯用增大的法向载荷来等值代替外加磁场所产生的法向力，那么摩擦系数以及声发射信号有几乎一致的变化规律。如果外加机械作用产生的法向力大于外加磁场产生的法向力，那么摩擦力、声发射信号高于外加磁场情况下的摩擦力与声发射信号。

针对水基润滑液普遍存在的润滑性能差的缺点，开展了高水基润滑液配方的研究，应用多种分析手段分别对水基润滑液的流变特性、成膜特性、在钢-铝和钢-钢摩擦副间的减摩抗磨特性以及抗磨极压特性进行了系统的研究，测试了各组成成分的成膜能力、抗磨性、防锈性等方面的性能，系统研究了水溶性聚醚为基础液的水溶液的成膜特性、在钢-铝摩擦副的减摩抗磨特性以及四球试验的抗磨极压特性；并开展了添加剂方面的筛选，找到对钢铝均不腐蚀的防锈剂、极压剂、抗泡剂、杀菌剂。

建立了核主泵流体静压机械密封间隙场的计算模型，分析结构参数对性能的影响，并针对密封的结构参数进行了优化设计；以密封组件为对象，建立了核主泵流体静压机械的固热耦合模型，分析了间隙内的流场、温度分布、弹性变形和热变性，研究了密封主要结构与工况参数对密封性能的影响，提出了流体静压机械密封的性能评价指标；并开展了核主泵用副密封材料的摩擦特性实验研究。

## 2) 机械表面/界面科学与性能控制

通过数值计算，研究了金属材料在水射流冲击作用下的塑性形变，发现韧性材料在空蚀后所形成的蚀坑形状比较规则，大致呈半球形，坑沿有材料堆积形成坑唇。通过数值方法研究了金属材料在空蚀过程中，由于水射流冲击作用下层裂现象的形成原因。发现材料在短时间内产生大形变时，材料内部能量会以应力波的形式进行传播，应力波反射使材料局部位置承受拉压交变应力，形成脆性断裂；用二氧化硅球形颗粒-水-铝青铜固壁体系研究空泡与固壁在水中的相互作用，通过在铝青铜表面进行离子注入改变固壁的表面特性，提出固壁表面电荷分布的改变，不仅能够改变空泡与固壁之间的相互作用力的大小，而且可能使相互作用力从引力变为斥力；在铝青铜表面注入不同离子得到四种不同固壁表面，通过实验验证了固壁表面电荷分布的改变能够改变空泡与固壁之间相互作用力的结论。

将导光纤作为激光束的聚焦元件，激光器发出的脉冲激光经光纤聚焦于基底表面实现对材料的刻蚀，研究了织构化表面在干摩擦、水润滑和油润滑条件下的摩擦学行为，研究发现，微观织构的面积率是影响其摩擦磨损行为的重要因素，水润

滑条件下，摩擦系数由于织构的存在而显著增加；而在油润滑条件下，织构的存在则明显改善了摩擦行为。将薄膜沉积技术与表面织构技术相结合，建立了以实现表面摩擦学性能调制为目的的掩模沉积法，重点研究了织构化 TiAlN 薄膜的摩擦学行为，研究发现，与全膜相比，织构化薄膜的摩擦系数明显的降低；水润滑条件下，表面织构显著改变摩擦系数，织构的存在会使摩擦系数增大，且摩擦系数随织构面积率的增加而增大。

利用计算和实验观察相结合研究了液滴与水平固体壁面碰撞后的铺展过程，并系统地讨论了液滴在铺展的各个阶段的压力分布特性和速度分布特性。计算结果表明，液滴与固体壁面的接触角、液滴半径大小、液滴粘度、冲击速度等因素对铺展过程中液滴的最大铺展半径和最大反弹高度有较大影响，实验观察结果与数值模拟计算结果相一致；通过微凹坑形貌的几何参数设计以及制备合适的材料接触角，可以有效实现微气泡（空化泡）在形貌内驻留以及在下壁面的不断铺展，从而大幅度降低壁面流动摩擦阻力；表面微结构对水滴运动形态有显著影响，可以通过控制表面微结构以改善水滴运动形态来提高表面的自清洁性能。

建立了导轴承和推力轴承的非线性油膜力方程，分析各种非线性因素对机组的动态响应影响规律；研究了发生导轴承间隙调整不当、导轴承支承部件有松动或裂纹、推力轴承润滑不良等故障时机组振动、油温、瓦温与故障之间的关系，获取轴承发生故障时的动力学特征；搭建模拟叶片的悬臂梁实验台，试验分析了不同部位、形状和大小的裂纹对叶片的动态响应，建立了叶片的动力学模型，研究了叶片在空蚀和裂纹作用下的动力学响应，裂纹和空蚀扩展对转轮动力学的影响规律。

建立星箭分离动力学模型以及模拟分析星箭分离时太阳能电池阵动力学行为，编制了星箭分离动力学软件；建立考虑多种干扰因素的太阳能电池阵动力学模型，编制软件，并进行性能分析；从帆板结构非线性、固定连接松动、连接结构间隙非线性、重力势影响、结构设计缺陷等方面分析太阳能电池阵产生频率漂移的机理；研究太阳能电池阵系统的可靠性评估方法和可靠性分配原理，建立太阳能电池阵的可靠性评估模型；完善简易模拟太阳能电池阵实验装置，开展实验研究，并设计和加工悬吊式模拟太阳能电池阵实验装置。

### 3) 生物摩擦学与生物机械

围绕面向生命科学的机器人微纳操作理论与技术研究，建立了机器人末端微操作器的运动控制方法，研制出微操作器。对微操作器的机械和电气结构进行详细设计，研究运动控制方法，并对微操作器进行加工调试和性能测试，满足使用要求；建立了显微视觉闭环控制系统，研究高速图形采集与处理技术，建立实时视觉控制方法，提高视觉控制的速度和精度；进行了微小活体对象的运动学和动力学建模与分析，建立了微操作过程中微小活体对象的运动学和动力学模型，并对其特性和操作过程进行仿真分析。

完成上肢康复机器人的机构与结构的优化设计，完成控制与驱动系统的设计；



开展人体肢体运动轨迹的规划方法和评价方法的研究，分别对上肢和下肢的运动协调规律进行实验和理论分析，开展肌电、力参数以及运动参数评价运动能力和协调性评价的理论与实验研究，得到患者相关运动信息和生理信息的基本特征，为建立参数检测和康复效果评价平台奠定基础；完成上肢康复机器人的设计与系统集成，完成上肢第一轮临床患者实验；在进行上肢康复机器人临床对照试验的同时，开始进行下肢康复机器人的关键功能试验和研究，设计完成下肢康复机器人第一台样机的研制，并开展将康复机器人研究成果和临床技术在产业界推广的工作。

基于骨盆医学图像对骨盆进行三维几何重建，结合骨盆组织的力学特性，建立适用于骨盆生物力学分析的三维有限元模型，并考虑髋臼关节、骶髂关节的复杂曲面接触特性；在探讨骨盆生物力学特性有限元仿真分析方法的基础上，模拟研究骨盆在生理载荷下的应力分布特点，得到骨盆主要承载区和载荷传递方式。开展骨盆离体实验，测量骨盆主要承载点的应变值，将仿真结果与测量结果进行对比，分析骨盆模型的有效性；针对骨盆Ⅱ型切除重建术进行模拟模型的构建，对比研究重建前后骨盆生物力学特性的变化，同时对重建方法和植入假体进行优化。

在脊髓层面的仿生控制上，提出了一种传感反射与同步协调相结合的仿生行走控制策略，并给出了一种变关节刚度的控制策略；在高级中枢层面上，提出了一种双足步行过渡模式转换的学习方法和基于能量的控制参数自适应调整方法；研制了气动肌肉驱动的平面欠驱动仿生双足机器人 THR-II，从控制、结构、驱动三个层面进行仿生，成功实现了机器人的稳定行走；构建人体步行在脊髓层面的神经控制体系，在 Matlab 下面进行脊髓层面的系统仿真，完成样机系统集成和调试，进行行走实验；

#### 4) 微纳制造理论与技术

针对芯片制造中 Si 晶片、Cu 布线等被抛光材料，研究进一步提高表面粗糙度、平面度等指标，并控制表面粘污、杂质离子等缺陷的高端 CMP 抛光液技术；在硬盘盘片抛光方面，研究降低表面粗糙度指标，控制表面缺陷的高端抛光液技术；研制具有优异性能的高精抛光粒子，包括研究抛光粒子的形貌、尺寸、均匀度、悬浮稳定性、有害离子、杂质大颗粒等的形成规律和控制方法，解决制备高精抛光颗粒的关键难题；研究抛光液超纯净化控制技术，主要包括固体大颗粒控制技术和杂质离子的去除等技术。

搭建了以椭圆超声振动装置为驱动刀具运动的重要功能部件，超精密加工机床为实验平台的基础硬件设备，切削实验时，采用人造 PCD 金刚石和单晶金刚石的刀具，以搭建起超声辅助的单点金刚石超精密切削实验系统。对机床数控系统进行二次开发，开发出纳米级数控伺服进给控制的、适用于非球曲面数控加工的非圆曲线插补算法及相应插补模块，同时研制安装可实时测量切削力和椭圆振动轨迹等物理量的传感器系统。

针对快速刀具伺服系统中数据采集模块信噪比小而影响控制性能的问题，提出改进数据采集硬件电路原理，并通过在控制算法中采用数字滤波器，极大地提高了信噪比，降低了噪声信号的影响，提高了控制器的性能；通过分析微结构表面超精密车削原理和工件几何形状和尺寸特征，给出了基于运动学特性的刀具轨迹生成方法，并依据 FTS 的动力学特性，提出了刀具参考运动轨迹的修正方法，开发了刀具轨迹生成程序；根据微结构表面超精密车削原理，建立了实验系统的硬件结构，并确定了工件周向位置反馈元件主轴编码器，为实施精确的闭环控制，提高加工精度奠定了基础。

开展了 KDP 晶体材料的纳米压痕和显微压痕试验研究，分析研究了 KDP 晶体材料不同晶面、不同晶向的物理性能参数（弹性性能、塑性性能等），并进行了 KDP 晶体材料的各向异性理论及试验研究，在此基础上开展了相应的仿真实验研究；建立了旋转超声加工脆性材料的切削力数学预测模型，开展了大量光学晶体 K9 玻璃的旋转超声平面铣削和钻削加工的试验研究，分析研究了加工工艺参数（进给速度、主轴转速、吃刀量、横向进给等）对切削力、表面粗糙度、加工孔崩边尺寸等加工效果的影响；通过试验验证了旋转超声加工方法在一定的加工工艺条件下，可以作为加工 KDP 晶体的一种有效加工方法。

#### 5) 微纳光电测试理论与技术

全固态紫外激光器具有光束质量好、效率高、寿命长、可靠性高、结构紧凑体积小、重量轻的优点。采用双端泵浦单块复合 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体，两级放大结构，获得了大于 100WTEM00 模 1064nm 输出，通过腔外 LBO 晶体倍频和三倍频，在重复频率 50-100kHz 条件下，获得了 35W，355nm 紫外激光，光光转换效率约 35%。在工程化方面，基本解决了 10W 工程化样机窄脉宽、寿命、可靠性问题，完成了紫外平均功率 10W 样机的研制工作。

采用了 ns 级的短脉冲对单晶硅进行刻槽实验，激光源采用了实验室现有的脉宽为 10 ns、重频为 100 kHz、平均功率可达 10 W 的绿光激光器，单晶硅的厚度为 300  $\mu\text{m}$ ，由电控平移台控制刻槽速度，平台精度可达 5 $\mu\text{m}$ 。加工完成后，我们通过浓度为 12% (w/v) 的 NaOH 溶液和丙酮对样品进行 80 $^{\circ}\text{C}$  下的清洗工作，并烘干。最后在光学显微镜下进行观测。主要研究了不同的激光参数和其他工作参数对刻槽结果的影响。工作参数包括了激光的功率 P、重复频率 f，加工的次数 N，以及加工速度 v；对刻槽结果的评定主要包括腐蚀前和腐蚀后，测定的参数包括了槽的宽度及深度。

基于泽尼克像差理论和薄板小扰动理论，建立了大口径能动反射镜波前像差拟合的理论分析模型，给出了波前像差拟合阶数与反射镜参数之间的关系，分析了波前像差拟合误差的影响因素；基于大口径能动反射镜波前像差拟合理论，通过目标面形和目标影响函数的分析，完成了能动反射镜外形尺寸、结构参数、致动器布局等详细的构型设计，完成了单层多过渡点的整体结构设计。根据理论仿真分析，设计完毕的能动反射镜能够校正 10 阶以上像差，校正精度小于 60nm。

完成了能动反射镜的连接工艺研究，通过实验分析，掌握了能动反射镜从加工阶段到镀膜阶段到连接阶段等全部工艺过程中的面形变化规律，研究了针对性的加工和镀膜补偿方法，探索出微变形低应力的连接方式，最终研制完成了高面形精度的大口径薄镜面，镜面厚度 10mm，初始面形精度为 2.5 $\mu\text{m}$ ；完成了能动反射镜的主要性能测试与研究：研究了新型致动器的响应特性。实验中我们采用了新型高精度步进微精电机，单步位移量 35nm，可动范围 $\pm 1\text{mm}$ 。通过实验测试，分析了不同负载下致动器的位移精度、线性度、重复定位精度、迟滞性、一致性等等。

研究了能动反射镜的影响函数与动态特性，分析了基于影响函数的本征模特征，完成了能动反射镜位相控制的性能测试。通过实验分析，使用大口径激光干涉仪，对能动反射镜激光波前位相控制能力进行测试与分析，测试结果表明，所研制的能动反射镜能够实现有效的波前位相控制，位相控制精度为 46nm。

### 3、队伍建设和人才培养

实验室一共有固定研究人员 77 人，固定实验室管理人员 6 人，研究助理 27 人，在站博士后 35 人，在读博士和硕士研究生 251 人。

2010 年实验室加强了青年研究骨干的培养和人才引进工作。融亦鸣教授作为“千人计划”学者加盟实验室；赵景山副教授入选教育部新世纪人才支持计划；刘辛军副教授获清华大学学术新人奖；韩福柱晋升为研究员，赵乾和黄磊两位博士晋升为副研究员。

### 4、学术交流与运行管理

2010 年实验室与国际学术界的学术交流进一步活跃。有 20 多人次出国讲学、短期工作访问或参加国际学术会议。实验室 10 多位教师和研究生参加了 2010 年在杭州举办的工业摩擦学和青年摩擦学大会。实验室 3 位教师参加了中国摩擦学会-日本摩擦学会高层论坛。

2010 年实验室邀请国际知名的摩擦学专家，以色列魏兹曼科学研究院/英国牛津大学 Jacob Klein 教授等 10 多位国际著名学者来实验室进行了访问和学术交流；邀请美国 Eaton 公司的朱东博士和以色列的 I.Etsion 教授来实验室作长期交流和访问；与日本 NSK 公司、Panasonic 公司、Toshiba 公司、IHI 公司等开展了国际合作研究项目；实验室组织了 China International Workshop on Surface Texturing 国际会议，是世界上表面织构方面的首次专题国际会议，来自 8 个国家的 50 位知名学者和研究人员参加了会议，继续提升实验室在国际学术界和产业界的影响力。

2010 年实验室继续坚持对国内外的开放，开放基金课题新立项 13 项，资助金额达 70 万元。2010 年度，开放基金共计支出 34.87 万元。实验室大型仪器设备 10 台套全面对外开放服务，总服务机时达 3199 小时，为开放基金课题以及校内外的相关科研项目提供了大量高质量的测试服务。

### 5、实验室公众开放活动

国家重点实验室的一个重要的功能是作为科技展示平台对公众开放，展示科研成

果，进行科普教育。2010 年度多次接待社会团体来实验室参观访问。2010 年 4 月份，接待了广东省肇庆市和佛山市的领导来实验室访问、交流。同时，实验室还多次接待来自国内外高校、研究所、企业人员的个人参观和访问。实验室还参加了北京市教委组织的北京青少年科技创新学院翱翔计划，每年接收 1 到 2 名高中生来实验室参加科技活动。2010 年接收了北师大燕化附中的一名高中生来实验室进行为期 1 个月的科技活动。通过各种形式的对外开放，实验室提高了社会知名度，同时促进了实验室和企业界的合作与交流。

## **6、实验室大事记**

2010 年对实验室进行了进一步规划，进行了实验室使用面积和功能的调整，为实验室的后续研究发展创造了更好的条件。与清华大学精仪系其他研究所一起进一步完善了 MEMS 加工超净实验室的改造和设备更新调整。实验室化学机械抛光的超净间也在 2010 年改造完毕，并投入使用。经过广泛调研和比较，在清华大学 211 经费的支持下，新订购了多功能椭偏仪，已经到货安装，目前已经开始运行服务，红外热像仪已经订货。对科技部 2009 年和 2010 年批复的实验室设备更新与改造，实验室进行了计划和工作安排，对每项重要设备组织了专门的小组进行购买相关的系列工作，目前 2009 年批复的设备购买大都已谈判完毕,并签订采购合同，不过自制和改造设备的进展稍微缓慢一些。按计划，2011 年应该可以顺利完成相关设备的采购工作。

## **7、依托单位与管理部分的支持。**

摩擦学国家重点实验室依托清华大学，挂靠在精密仪器与机械学系。依托单位对实验室的人事、财务、固定资产进行管理。清华大学每年向实验室投入 50 万元运行费。2010 年度，清华大学通过内部挖潜，向实验室提供了 150 平米的面积房屋供租赁，在一定程度上缓解了实验室面积不足的矛盾。

#### 四、科研项目

2010年，实验室承担在研课题160余项，科研经费：18461万元。2010年，实验室围绕上述主要研究方向积极组织和参与国家重点基础研究项目、国家科技专项、国家自然科学基金重大研究计划和国防创新研究项目的立项和申报工作，作为项目总体负责单位承担“973”计划项目1项，雒建斌教授任首席科学家；承担国家02重大专项CMP抛光机研制子项目1项，路新春教授为课题负责人；承担国家02重大专项光刻机平台研制项目1项，朱煜教授为课题负责人。另外还承担其它国家重大专项项目、863项目和国家自然科学基金委创新研究群体研究项目。其中国家自然科学基金委创新研究群体研究项目在第一期（2008--2010）结题后，获得了第二期（2011-2013）资助；新承担了国家02专项重大课题1项，季林红教授为课题负责人。

##### 1. 主要承担项目：

##### 973项目

序号	项目名称	编号	类别	负责人
1	超低压下异质表面纳米精度平坦化新原理与实现	2009CB724200	“973”项目	雒建斌
2	超低压下异质表面纳米精度平坦化新原理与实现	2009CB724201	“973”课题	雒建斌
3	大惯量多体系统的多场多尺度建模与纳米运动精度生成	2009CB724205	“973”课题	朱煜
4	晶圆表面加工中几何参数的纳米精度在线测量方法与表征	2009CB724207	“973”课题	孟永钢
5	高压大直径动密封与动压轴承的自适应机理	2009CB724304	“973”课题	王玉明
6	高压微间隙中的润滑及其尺度效应	2007CB607604	“973”课题	路新春
7	全断面掘进系统性能仿真与试验	2007CB714007	“973”课题	冯平法
8	材料表面/界面结构的润滑抗磨性能及其控制	2007CB607605	“973”课题（合作）	邵天敏

##### 科技重大专项

序号	项目名称	编号	类别	负责人
1	光刻机双工件台系统样机研发-集成课题	2009ZX02208-001	国家科技重大专项	朱煜
2	超低下压力CMP系统及工艺开发	2008ZX02104-001	国家科技重大专项	路新春
3	主动光学工艺与检测技术研究	05010206.2	国家科技重大专项	巩马理、黄磊
4	12英寸靶室与终端系统运动仿真轨迹规划与控制算法研究	2008ZX02105002	国家科技重大专项	杨开明

5	高速龙门五轴加工中心子课题	2009ZX04002-011-02	国家科技重大专项	刘辛军
6	光刻机双工件台系统样机研发-电机设计与验证课题	2009ZX02208-003	国家科技重大专项	朱煜、胡金春
7	光刻机双工件台系统样机研发-结构与优化课题	2009ZX02208	国家科技重大专项	朱煜、张鸣
8	光刻机双工件台系统样机研发控制总体课题	2009ZX02208-004	国家科技重大专项	朱煜、尹文生
9	光纤总线开放式全数字高档数控装置	2009ZX04009-012	国家科技重大专项	叶佩青
10	喷胶、显影、刻蚀等多种工艺喷嘴的开发	2009ZX02008-005	国家科技重大专项	向东
11	数控机床结合面特性及整机性能分析技术	2009ZX04014-035	国家科技重大专项	郁鼎文
12	超精加工用高性能硬质合金刀具表面改性技术	2010ZX04014-071	国家科技重大专项（合作）	邵天敏

### 自然科学基金重点项目

序号	项目名称	编号	类别	负责人
1	纳米器件中的表面界面行为与控制	50730007	国家自然科学基金	温诗铸
2	电场与材料摩擦学行为间耦合作用机理的研究	50823003	国家自然科学基金	孟永钢
3	纳米级薄膜润滑的物理化学特性测量原理及仪器研制	51027007	国家自然科学基金	雒建斌

### 重要国际合作项目

序号	合作国别	项目名称	合作单位	项目负责人	开始时间	结束时间
1	日本	Basic Studies of Mechanisms about Grease Lubrication of Rolling Contact	日本 IHI 公司	田煜	2010-02	2010-12
2	芬兰	Adaptive Self-reconfigurable modularity technology for future mobile multimedia devices	诺基亚	杨东超、陈恳	2008-12	2010-12
3	日本	Makino 电火花加工的基础研究	Makino	韩福柱	2004-09	2010-04
4	日本	Research on improvement of prediction accuracy with numerical simulation and basic research for deformation and residual stress on cutting process	日本 IHI 公司	冯平法	2010-01	2010-12

5	日本	Research on the film forming mechanics and the tribology properties of water based lubrication	日本精工株式会社 (NSK)	刘宇宏	2009-01	2010-12
6	德国	The research on new wear and corrosion resistance, thermal conductive coatings	Siemens Ltd., Chian	张晨辉	2010-09	2011-08
7	日本	弹性流体动力润滑理论与模拟的深化研究 (II)	日本 Panasonic 公司	孟永钢	2009-04	2010-03
8	日本	高水基润滑新材料及润滑机理研究	日本名古屋大学	郭丹	2008-10	2011-12
9	日本	高速电火花加工方法研究	日本牧野公司	韩福柱	2010-05	2012-12
10	美国	高压空化腔 CFD 模型的 PIV 流场检测	宝洁公司	陈皓生	2008-09	2010-07
11	德国	聚合物固体润滑涂层磨损预测的计算机模型研究	博世 (中国) 投资有限公司	胡元中	2007-10	2010-03
12	日本	面向 45nm 以下线宽集成电路的平坦化新技术研究	NSK	雒建斌	2007-12	2010-12
13	德国	陶瓷涂层的性能表征与研究	西门子	雒建斌	2009-06	2010-09
14	日本	硬盘盘基片原子级表面抛光技术研发	日本东北大学	潘国顺	2009-07	2012-12
15	日本	原子级光滑表面抛光研究	东京大学	潘国顺	2008-08	2011-12
16	日本	紫外光纤激光器研究	日立 Via 机械	巩马理	2005-01	2011-07

## 2. 本年度新增项目:

序号	项目名称	编号	类别	负责人
1	摩擦能量耗散中晶格振动、界面阻尼和耗散系数的研究	51075226	国家自然科学基金	胡元中
2	星-箭-包带连接结构解锁分离动力学研究	11072123	国家自然科学基金	阎绍泽
3	类金刚石膜结构相变、界面膜形成及超低摩擦机理	51005129	国家自然科学基金	马天宝
4	抑制硅藻污染的界面效应研究	51075228	国家自然科学基金	汪家道
5	非接触式机械密封间隙中的杂质颗粒两相流动研究	51005131	国家自然科学基金	黄伟峰

6	废弃线路板资源化中塑封集成电路分层机理研究	51075233	国家自然科学基金	向东
7	复杂工况下大型风电装备传动系统失效机理研究	51075224	国家自然科学基金	褚福磊
8	基于水合作用的超滑现象及机理研究	51075227	国家自然科学基金	张晨辉
9	高功率超辐射脉冲超大模场光纤传输与放大特性研究	61077034	国家自然科学基金	张海涛
10	精微机电产品结构设计方法与集成设计工具	20101860008	"863"计划	朱煜、张鸣
11	甜高粱茎穗联合收获技术与装置研究	2010AA101404	"863"计划	刘辛军

## 五、科研成果

### 1. 科研奖励

类别	等级	完成单位次序	成果名称	获奖人员	获奖单位	年度
国家科技进步奖	二等	3	100nm 高密度等离子刻蚀机研发与产业化	程嘉(8)	清华大学	2010
教育部自然科学奖	一等	1	摩擦过程中微粒的行为、作用机制与控制	雒建斌, 温诗铸, 张晨辉, 路新春, 徐学锋, 齐军, 徐进, 解国新, 郭丹, 沈明武, 荆阳, 刘书海	清华大学	2010
教育部自然科学奖。	二等	1	全固态激光的泵浦方法及其输出特性研究	巩马理, 柳强, 闫平, 张海涛, 黄磊。	清华大学	2010

### 2. 发明专利

获得国家发明专利授权 33 项。

序号	发明专利号	专利名称	发明人
1	ZL200910083590.8	集成外转子式直驱抛光机转台	路新春、雒建斌、赵德文、王同庆
2	ZL200810008077.8	基于导光纤聚焦的材料表面激光微加工方法及装置	邵天敏、周一倩、尹亮
3	ZL200810106395.8	一种运动解耦并联式 A/B 轴主轴头结构	刘辛军、汪劲松、谢福贵



4	ZL200810104937.8	一种多轴联动混联机床	刘辛军、汪劲松、谢福贵
5	ZL200610165571.6	一种并联式三轴主轴头结构	刘辛军、王立平、李铁民 汪劲松、吴超
6	ZL200810057399.1	仿生轮足两用式机器人	吴丹、陈恳、赵旦谱、杨宏源、郭丽峰、宾洋、刘宗政
7	ZL200810056851.2	轮足两用式移动机器人	吴丹、陈恳、赵旦谱、杨宏源、郭丽峰、宾洋、刘宗政
8	ZL200810104408.8	一种面向产品级仿真的零部件模型降阶方法	田凌、薛莲、范灿升
9	ZL200710064897.4	一种光学材料的散热结构	巩马理、黄磊、柳强、闫平、何发红
10	ZL200910131505.0	一种光刻机硅片台双台交换系统	朱煜、张鸣、尹文生、段广洪、胡金春、汪劲松、徐登峰、田丽、许岩
11	ZL200910001094.3	一种保持车轮定位参数不变的多连杆后独立悬架	赵景山、褚福磊、赵盛、冯之敬
12	ZL200810112279.7	一种用于土压平衡盾构的推进机构	冯平法、王立平、唐晓强、邓孔书、陈旭
13	ZL200910090916.X	一种膝上截肢髌关节功能康复训练器	郝智秀、张济川、高相飞、张晓玉、陶春静
14	ZL200610012004.7	一种具有横向肋条减阻疏水表面的水中航行体	高志、崔艳梅、张松、陈翔宇、李枢、汤丽萍
15	ZL200810111890.8	微细电火花加工用微细电极丝进给导向机构	李勇、徐明刚、刘伟、陈旭鹏、贾维溥
16	ZL200810104938.2	并联式三轴主轴头结构	刘辛军、王立平、汪劲松、郝齐
17	ZL200810114738.5	低功耗双足步行移动系统及其步行控制方法	付成龙、陈恳、王健美、黄元林
18	ZL200810227523.4	用于微创手术机器人的手术针夹持快换装置	杨向东、陈恳、熊璟、刘少丽、冯涛、梁萍、王旻、鲁通
19	ZL200810055619.7	一种仿真数据的可视化与协同共享方法	田凌、薛莲、范灿升
20	ZL200810227055.0	一种水轮发电机组转轮处横向水力载荷的测定方法	褚福磊、卢文秀、赵景山、佘晓辉、冯辅周
21	ZL200810223763.7	一种有压雪功能的小型扫雪车	季林红、王子羲、伍昌键、张波
22	ZL200710178343.7	一种压电式扭转驱动器	刘向锋、刘莹、高志、刘大伟、丘天
23	ZL200810223700.1	一种滚动轴承式水轮机推力轴承减载装置	刘向锋、刘莹、褚福磊、高志、梅贵
24	ZL200810113768.4	一种多轴联动混联装置	刘辛军、汪劲松、谢福贵

25	ZL200810227522.X	磁传感器环境下的手术机器人进针定位装置	杨向东、陈慧、熊璟、刘少丽、冯涛、梁萍、王旻、鲁通
26	ZL200610088848.X	压电双晶片驱动的精密转动机构及其装置	阎绍泽、温诗铸、张付兴
27	ZL200910090915.5	一种膝下截肢膝关节功能康复训练器	郝智秀、张济川、高相飞、张晓玉、陶春静
28	ZL200910131507.X	一种光刻机硅片台双台交换系统	朱煜、张鸣、尹文生、段广洪、胡金春、汪劲松、徐登峰、田丽、许岩
29	ZL200810064124	具有多种运动和反馈模式的运动训练脚踏车	王人成、姜洪源、马长波、闫辉、敖宏瑞
30	ZL200810118210	一种气缸固定式四杆机构智能假肢膝关节	王人成、姜洪源、马长波、闫辉、敖宏瑞
31	ZL200810106139.9	一种用于盾构掘进模拟的扭矩和力加载装置	王立平、冯平法、唐晓强、邓孔书

### 3. 发表论文

在国内学术刊物及学术会议发表论文 123 篇，其中 SCI 收录 86 篇，EI 收录 29 篇，有 31 篇论文发表在影响因子大于 2.0 的重要国际刊物上。

序号	论文题目	期刊名称	卷、期、页	作者
1	Chemical composition and Mott-Schottky analysis of passive film formed on G3 alloy in bicarbonate/carbonate buffer solution	ACTA METALLURGICA SINICA-ENGLISH LETTERS	23(6):461-472(2010)	Li, Dangguo; Chen, Darong; Wang, Jiadao; Chen, Haosheng
2	High energy eye-safe and mid-infrared optical parametric oscillator	LASER PHYSICS LETTERS	7(12):853-856(2010)	Liu, J.; Liu, Q.; Huang, L.; Gong, M.
3	Chatter suppression in fast tool servo-assisted turning by spindle speed variation	INTERNATIONAL JOURNAL OF MACHINE TOOLS & MANUFACTURE	50(12):1038-1047(2010)	Wu, Dan; Chen, Ken
4	Field Emission Property of Hydrogenated Chemical Vapor Deposited Diamond Films Studied by Scanning Tunneling Microscopy	JOURNAL OF NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY	10(11):7319-7323(2010)	Liu, Fengbin; Wang, Jiadao; Chen, Darong
5	Investigation on viscoelastic behaviors of near-interface 5CB liquid crystal under electric field with quartz crystal microbalance	ACTA PHYSICA SINICA	59(11):7998-8004(2010)	Xiong Yi; Zhang Xiang-Jun; Zhang Xiao-Hao; Wen Shi-Zhu

6	Determination of Thermal Lensing and Dynamic Operating Point of Quasi-Concentric Laser Resonator With Line-Shaped End-Pumping Profile: The Influence of TEM(00) Beam Size	IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS	46(11):15 68-1576(2010)	Gong, Mali; Fu, Xing; Wang, Qi
7	A novel prism beam-shaping laser diode bar end-pumped TEM(00) mode Nd:YVO(4) laser	LASER PHYSICS	20(11):19 49-1953(2010)	Huang, L.; Gong, M.; Liu, Q.; Yan, P.; Zhang, H.
8	All-fiber normal-dispersion mode-locked laser with gain filter	LASER PHYSICS	20(11):19 81-1983(2010)	Zhou, J.; Yan, P.; Wang, D.; Gong, M.
9	Nonlinear pressure-dependent conductivity of magnetorheological elastomers	SMART MATERIALS & STRUCTURES	19(11):11 7001(2010)	Zhu, Xuli; Meng, Yonggang; Tian, Yu
10	Water film confined in a nanoscale gap: Surface polarity and hydration effects	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	108(8):08 4315(2010)	Liu, Shuhai; Guo, Dan; Xie, Guoxin
11	A shear thickening phenomenon in magnetic field controlled-dipolar suspensions	APPLIED PHYSICS LETTERS	97(15):15 1904(2010)	Tian, Yu; Jiang, Jile; Meng, Yonggang; Wen, Shizhu
12	High pulse repetition frequency all-solid-state 1053 nm Nd:YLF laser	LASER PHYSICS LETTERS	7(10):722- 725(2010)	Sun, Y.; Zhang, H.; Liu, Q.; Huang, L.; Wang, Y.; Gong, M.
13	Performance evaluation of parallel manipulators: Motion/force transmissibility and its index	MECHANISM AND MACHINE THEORY	45(10):14 62-1476(2010)	Wang, Jinsong; Wu, Chao; Liu, Xin-Jun
14	Experimental Investigation of Lubrication Properties at High Contact Pressure	TRIBOLOGY LETTERS	40(1):85-9 7(2010)	Xiao, Huaping; Guo, Dan; Liu, Shuhai; Lu, Xinchun; Luo, Jianbin
15	Analysis of time domain characteristics of high energy nano-second optical parametric oscillator	OPTICS COMMUNICATIONS	283(19):3 773-3776(2010)	Liu, Jianhui; Liu, Qiang; Gong, Mali
16	A simple walking strategy for biped walking based on an intermittent sinusoidal oscillator	ROBOTICA	28:869-88 4(2010)	Fu, Chenglong; Tan, Feng; Chen, Ken
17	Parameter self-adaptation in biped navigation employing nonuniform randomized footstep planner	ROBOTICA	28:929-93 6(2010)	Xia, Zeyang; Xiong, Jing; Chen, Ken
18	Structure factor of electrorheological fluids in compressive flow	SMART MATERIALS & STRUCTURES	19(10):10 5024(2010)	Tian, Yu; Zhu, Xuli; Jiang, Jile; Meng, Yonggang; Wen, Shizhu
19	Dynamic phase transformation of crystalline silicon under the dry and wet impact studied by molecular dynamics simulation	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	108(7):07 3521(2010)	Chen, Ruling; Luo, Jianbin; Guo, Dan; Lei, Hong
20	Symmetric TEM(00) output from Q-switched quasi-concentric laser resonator with line-shaped end-pumping profile	OPTICS EXPRESS	18(20):21 047-2105 2(2010)	Fu, Xing; Liu, Qiang; Yan, Xingpeng; Wang, Qi; Gong, Mali

21	Voltage tunable short wire-pair type of metamaterial infiltrated by nematic liquid crystal	APPLIED PHYSICS LETTERS	97(13):134103(2010)	Zhang, Fuli; Zhao, Qian; Zhang, Weihong; Sun, Jingbo; Zhou, Ji; Lippens, Didier
22	Study of AFM-based nanometric cutting process using molecular dynamics	APPLIED SURFACE SCIENCE	256(23):7160-7165(2010)	Zhu, Peng-zhe; Hu, Yuan-zhong; Ma, Tian-bao; Wang, Hui
23	Electric-fields-enhanced destabilization of oil-in-water emulsions flowing through a confined wedgelike gap	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	108(6):064314(2010)	Xie, Guoxin; Luo, Jianbin; Liu, Shuhai; Guo, Dan; Zhang, Chenhui
24	Efficient corner-pumped Nd:YAG/YAG composite slab 1.1 $\mu\text{m}$ laser	OPTICS EXPRESS	18(19):19603-19611(2010)	Liu, Huan; Liu, Qiang; Gong, Mali
25	High repetition frequency PPMgOLN mid-infrared optical parametric oscillator	LASER PHYSICS LETTERS	7(9):630-633(2010)	Liu, J.; Liu, Q.; Yan, X.; Chen, H.; Gong, M.
26	High peak power picosecond hybrid fiber and solid-state amplifier system	LASER PHYSICS LETTERS	7(9):644-649(2010)	Wushouer, X.; Yan, P.; Yu, H.; Liu, Q.; Fu, X.; Yan, X.; Gong, M.
27	The microstructures of the diamond (100) surfaces with different density of hydrogen adsorption	ACTA PHYSICA SINICA	59(9):6556-6562(2010)	Liu Feng-Bin; Wang Jia-Dao; Chen Da-Rong; Zhao Ming; He Guang-Ping
28	Atomistic simulations of the effect of a void on nanoindentation response of nickel	SCIENCE CHINA-PHYSICS MECHANICS & ASTRONOMY	53(9):1716-1719(2010)	Zhu PengZhe; Hu YuanZhong; Wang Hui
29	Preparation and Characteristics of Nanoscale Diamond-Like Carbon Films for Resistive Memory Applications	CHINESE PHYSICS LETTERS	27(9):098102(2010)	Fu Di; Xie Dan; Zhang Chen-Hui; Zhang Di; Niu Jie-Bin; Qian He; Liu Li-Tian
30	Effect of solid surface on the formation of thin confined lubricating film of water with micro-content of oil	APPLIED SURFACE SCIENCE	256(22):6574-6579(2010)	Ma, Liran; Luo, Jianbin; Zhang, Chenhui
31	Iridescent rings around cavitation erosion pits on surface of mild carbon steel	WEAR	269(7-8):602-606(2010)	Chen Haosheng
32	Effect of ion beam bombardment on the properties of Ni films deposited on polyimide by ion beam assisted deposition	SURFACE & COATINGS TECHNOLOGY	204(21-22):3443-3450(2010)	Xu, Jun; Shao, Tianmin; Wei, Songbo; Qin, Li
33	35.1 W all-solid-state 355 nm ultraviolet laser	LASER PHYSICS LETTERS	7(8):563-568(2010)	Yan, X.; Liu, Q.; Chen, H.; Fu, X.; Gong, M.; Wang, D.
34	Observation of time-frequency characteristics of the acoustic emission from defects in rolling element bearings	INSIGHT	52(8):412-418(2010)	He, Yongyong; Zhang, Xinming; Friswell, M. I.

35	Comparative investigation on performance of acousto-optically Q-switched dual-rod Nd:YAG-Nd:YVO(4) laser and dual-rod Nd:YVO(4)-Nd:YVO(4) laser	APPLIED OPTICS	49(22):41 31-4138(2010)	Yan, Xingpeng; Liu, Qiang; Fu, Xing; Chen, Hailong; Wang, Dongsheng; Gong, Mali
36	Single-Side-Pumped Slab Laser Amplifier Chain: Design and Numerical Modeling	IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS	46(8):119 7-1205(2010)	Fu, Xing; Gong, Mali
37	Investigation of Erosion Damages Induced by Wet Steam Containing Micro-Particles	TRIBOLOGY LETTERS	39(2):115-120(2010)	Xu, Wanli; Wang, Jiadao; Qin, Li; Chen, Haosheng; Chen, Darong
38	Response Characteristics of the Potential-Controlled Friction of ZrO(2)/Stainless Steel Tribopairs in Sodium Dodecyl Sulfate Aqueous Solutions (vol 38, pg 169, 2010)	TRIBOLOGY LETTERS	39(2):225-226(2010)	He, Siqing; Meng, Yonggang; Tian, Yu; Zuo, Yinghong
39	Experimental and theoretical study of the weak-modulation all-normal-dispersion mode-locked fiber lasers	JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA B-OPTICAL PHYSICS	27(8):158 9-1593(2010)	Zhou, Jie; Yan, Ping; Wang, Dongsheng; Gong, Mali
40	1 mJ, 500 kHz Nd:YAG/Nd:YVO(4) MOPA laser with a Nd:YAG cavity-dumping seed laser	LASER PHYSICS	20(8):170 7-1711(2010)	Fu, X.; Liu, Q.; Yan, X.; Cui, J.; Gong, M.
41	A novel orthogonally linearly polarized Nd:YVO(4) laser	CHINESE PHYSICS B	19(8):084 202(2010)	Yan Xing-Peng; Liu, Qiang; Chen Hai-Long; Fu Xing; Gong Ma-Li; Wang Dong-Sheng
42	Friction and Wear of Semi-Crystalline Polytetrafluoroethylene with Spherulitic Micro-Morphology	CHINESE JOURNAL OF CHEMISTRY	28(7):129 6-1300(2010)	Wang Xiaoqun; Zhao Zhenlu; Chen Darong; Du Shanyi
43	High Power Q-Switched TEM(00) Nd:YVO(4) Laser with Self-Adaptive Compensation of Thermal Lensing Effect	LASER PHYSICS	20(7):159 4-1597(2010)	Chen, H.; Liu, Q.; Yan, X.; Gong, M.
44	Plasto-Elastohydrodynamic Lubrication (PEHL) in Point Contacts	JOURNAL OF TRIBOLOGY-TRANSACTIONS OF THE ASME	132(3):03 1501(2010)	Ren, Ning; Zhu, Dong; Chen, W. W.; Wang, Q. Jane
45	The Film Behaviors of Grease in Point Contact During Microoscillation	TRIBOLOGY LETTERS	38(3):259-266(2010)	Li, Gang; Zhang, Chenhui; Xu, Hongyi; Luo, Jianbin; Liu, Shuhai
46	Gain guiding effect in end-pumped Nd:YVO(4) MOPA lasers	JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA B-OPTICAL PHYSICS	27(6):128 6-1290(2010)	Yan, Xingpeng; Liu, Qiang; Fu, Xing; Wang, Dongsheng; Gong, Mali

47	High-Pulse-Stability Double-End Continuous-Grown YVO(4)/Nd:YVO(4)/YVO(4) Acousto-Optically Q-Switched Laser at High Repetition Rates	LASER PHYSICS	20(6):1316-1319(2010)	Wang, Y.; Gong, M.; Huang, L.
48	Segmented Circular LD Arrays Side-Pumped a Nd:YAG Laser Rod	LASER PHYSICS	20(6):1344-1349(2010)	Wang, W.; Gong, M. L.; Zhao, Q.; Hu, Z. Y.; Fu, C.
49	Bubble generation in a nanoconfined liquid film between dielectric-coated electrodes under alternating current electric fields	APPLIED PHYSICS LETTERS	96(22):223104(2010)	Xie, Guoxin; Luo, Jianbin; Liu, Shuhai; Guo, Dan; Zhang, Chenhui
50	From boundary to thin film lubrication under water: Influence of surface hydrophilicity on adsorbed water layer	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	107(10):104323(2010)	Liu, Shuhai; Xie, Guoxin; Guo, Dan; Liu, Yonghe
51	Erosion and abrasion on mild carbon steel surface by steam containing SiC micro particles	WEAR	268(11-12):1547-1550(2010)	Xu Wanli; Qin Li; Chen Haosheng; Chen Darong
52	All-fiber cascaded ytterbium-doped nanosecond pulsed amplifier	CHINESE OPTICS LETTERS	8(5):457-459(2010)	Zhou, Jie; Yan, Ping; Yin, Shupeng; Wang, Dongsheng; Gong, Mali
53	Effects of electric field on characteristics of nano-confined lubricant films with ZDDP additive	TRIBOLOGY INTERNATIONAL	43(5-6):975-980(2010)	Xie, G. X.; Li, G.; Luo, J. B.; Liu, S. H.
54	Response Characteristics of the Potential-Controlled Friction of ZrO(2)/Stainless Steel Tribopairs in Sodium Dodecyl Sulfate Aqueous Solutions	TRIBOLOGY LETTERS	38(2):169-178(2010)	He, Siqing; Meng, Yonggang; Tian, Yu; Zuo, Yinghong
55	Spike suppression in fiber amplifiers through nonlinear polarization rotation	OPTICS LETTERS	35(9):1407-1409(2010)	Zhou, Jie; Gong, Mali; Yan, Ping; Zhang, Haitao; Wang, Dongsheng
56	Study of CNx films on 316L stainless steel for orthodontic application	DIAMOND AND RELATED MATERIALS	19(5-6):648-653(2010)	Wei, Songbo; Shao, Tianmin; Ding, Peng
57	Efficient high-output diode side-pumped electro-optical Q-switched Nd:YAG/KGd(WO(4))(2) Raman laser with conductive and air cooling	LASER PHYSICS LETTERS	7(4):294-297(2010)	Wang, W.; Gong, M. L.; Hu, Z. Y.; Zhao, Q.; Fu, C.
58	Design of a Normal Stress Electromagnetic Fast Linear Actuator	IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS	46(4):1007-1014(2010)	Wu, Dan; Xie, Xiaodan; Zhou, Shunyan
59	Ultrasonic flexural vibration assisted chemical mechanical polishing for sapphire substrate	APPLIED SURFACE SCIENCE	256(12):3936-3940(2010)	Xu, Wenhui; Lu, Xinchun; Pan, Guoshun; Lei, Yuanzhong; Luo, Jianbin

60	Influence of LD temperature fluctuation on the performance of corner-pumped TEM(00) CW composite Nd:YAG laser	LASER PHYSICS	20(4):790-792(2010)	Gao, S.; Gong, M.; Liu, H.; Wang, D.
61	Single output LD end-pumped passively mode-locked Nd:YVO(4) laser with semiconductor saturable absorber mirror	CHINESE PHYSICS B	19(4):044205(2010)	Xia Pa-Keti; Yu Hai-Juan; Yan Ping; Gong Ma-Li
62	Design of a Three-Axis Articulated Tool Head With Parallel Kinematics Achieving Desired Motion/Force Transmission Characteristics	JOURNAL OF MANUFACTURING SCIENCE AND ENGINEERING-TRANSACTIONS OF THE ASME	132(2):021009(2010)	Liu, Xin-Jun; Wang, Li-Ping; Xie, Fugui; Boney, Ilian A.
63	Partial Slip Contact Analysis on Three-Dimensional Elastic Layered Half Space	JOURNAL OF TRIBOLOGY-TRANSACTIONS OF THE ASME	132(2):021403(2010)	Wang, Zhan-Jiang; Wang, Wen-Zhong; Wang, Hui; Zhu, Dong; Hu, Yuan-Zhong
64	Monoatomic layer removal mechanism in chemical mechanical polishing process: A molecular dynamics study	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	107(6):064310(2010)	Si, Lina; Guo, Dan; Luo, Jianbin; Lu, Xinchun
65	Relationship between the geometric features of carbon steel cavitation erosion debris and the cavitation erosion stages	CHINESE SCIENCE BULLETIN	55(7):670-676(2010)	Liu ShiHan; Chen DaRong
66	Flying-Height Measurement With a Symmetrical Common-Path Heterodyne Interferometry Method	IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS	46(3):928-932(2010)	Song, Nanhai; Meng, Yonggang; Lin, Jing
67	Ultrahigh yield stress in a general electrorheological fluid under compression	SMART MATERIALS & STRUCTURES	19(3):035009(2010)	Tian, Yu; Zhang, Minliang; Zhu, Xuli; Meng, Yonggang; Wen, Shizhu
68	Lubricating Properties of Organic Phosphate Ester Aqueous Solutions	TRIBOLOGY LETTERS	37(3):573-580(2010)	Liu, Shuhai; Guo, Dan; Li, Gang; Lei, Hong
69	Freezing of Nanoconfined Fluids under an Electric Field	LANGMUIR	26(3):1445-1448(2010)	Xie, Guoxin; Luo, Jianbin; Liu, Shuhai; Guo, Dan; Zhang, Chenhui
70	Criterion for Reversal of Thermal Marangoni Flow in Drying Drops	LANGMUIR	26(3):1918-1922(2010)	Xu, Xuefeng; Luo, Jianbin; Guo, Dan
71	Compact corner-pumped Nd:YAG/YAG composite slab 1319 nm/1338 nm laser	LASER PHYSICS LETTERS	7(2):124-129(2010)	Liu, H.; Gong, M.; Wushouer, X.; Gao, S.
72	Diode-pumped Q-switched Nd:YAG-KGW Raman laser operating in two-color modulation	OPTICS EXPRESS	18(3):2655-2661(2010)	Wang, Wei; Gong, Mali; Zhao, Qin; Hu, Zhenyue; Fu, Chen

73	Nanoconfined ionic liquids under electric fields	APPLIED PHYSICS LETTERS	96(4):043-112(2010)	Xie, Guoxin; Luo, Jianbin; Guo, Dan; Liu, Shuhai
74	Ratcheting short crack behavior in medium carbon bainitic back-up roll steel under mild tractive rolling contact	WEAR	268(1-2):302-308(2010)	Dou, Peng; Suo, Shuangfu; Yang, Zhigang; Li, Youguo; Chen, Darong
75	Flyability and Durability Test of Dynamic Fly-Height Sliders at 1-nm Clearance	TRIBOLOGY TRANSACTIONS	53(2):212-218(2010)	Li, Ning; Zheng, Lanshi; Bogy, David B.; Meng, Yonggang
76	A Numerical Elastic-Plastic Contact Model for Rough Surfaces	TRIBOLOGY TRANSACTIONS	53(2):224-238(2010)	Wang, Zhan-Jiang; Wang, Wen-Zhong; Hu, Yuan-Zhong; Wang, Hui
77	The Cavitation Erosion of the 45# Carbon Steels Implanted with Titanium and Nitrogen	TRIBOLOGY TRANSACTIONS	53(2):239-243(2010)	Liu, Fengbin; Wang, Jiadao; Chen, Darong; Xu, Yanji; Zhao, Ming
78	Dynamic Contact Model Based on Meniscus Adhesion For Wet Bio-Adhesive Pads: Simulation Experiments	TRIBOLOGY TRANSACTIONS	53(2):280-287(2010)	Zhang, Xiangjun; Yi, Xiong; Ahmed, S. I. -U.; Kosinskiy, Michael; Liu, Yonghe; Schaefer, J. A.
79	Investigation of the Effect of Milli-Scale Dimples on Planar Contact Lubrication	TRIBOLOGY TRANSACTIONS	53(4):564-572(2010)	Wang, Jiadao; Chen, Haosheng; Han, Zhongling; Chen, Darong
80	Slurry parameters effect on Chemical-Mechanical Planarisation (CMP) of deposited silver (Ag) on chips	INTERNATIONAL JOURNAL OF SURFACE SCIENCE AND ENGINEERING	4(3):237-249(2010)	Dai, Y. J.; Pan, G. S.; Pei, H. F.; Sun, J. Z.; Liu, Y.; Du, H.
81	Preparation and characterisation of carbon nitride films deposited by pulsed laser arc deposition	INTERNATIONAL JOURNAL OF SURFACE SCIENCE AND ENGINEERING	4(3):250-257(2010)	Yin, L.; Shao, T. M.; Wei, S. B.; Zhou, Y. Q.
82	Solution agreement between dry contacts and lubrication system at ultra-low speed	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART J-JOURNAL OF ENGINEERING TRIBOLOGY	224(J10):1049-1060(2010)	Wang, W-Z; Hu, Y-Z; Liu, Y-C; Zhu, D.



83	Model-based virtual surface texturing for concentrated conformal-contact lubrication	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART J-JOURNAL OF ENGINEERING TRIBOLOGY	224(J8):6 85-696(2010)	Zhu, D.; Nanbu, T.; Ren, N.; Yasuda, Y.; Wang, Q. J.
84	Performance of Sodium Dodecyl Sulfate in Slurry with Glycine and Hydrogen Peroxide for Copper-Chemical Mechanical Polishing	JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY	157(12):II 1082-II10 87(2010)	Pan, Yan; Lu, Xinchun; Pan, Guoshun; Liu, Yuhong; Luo, Jianbin
85	Effect of Grooves on Cavitation Around the Body of Revolution	JOURNAL OF FLUIDS ENGINEERING-TRANSACTIONS OF THE ASME	132(1):01 1301(2010)	Li, Yongjian; Chen, Haosheng; Wang, Jiadao; Chen, Darong
86	The Effects of Structure Defects on the Performance of a Micro Comb Resonator	MATHEMATICAL PROBLEMS IN ENGINEERING	726843(2010)	Guo, D.; Zhu, Y.

#### 4. 专著

名称	作者	出版社
Tribology of nanostructured surfaces' in 'Comprehensive nanoscience and technology'	胡元中	ACADEMIC PRESS
仿人机器人理论与技术	陈愚、付成龙	清华大学出版社

## 六、学术交流与合作

### 1. 会议邀请报告

大会特邀报告名称	会议名称	报告人	地点	时间
Interaction between a nanoparticle and worked surface in the manufacturing of ultra-smooth surfaces (Keynote)	2ed International Conference on nanomanufacturing, nanoMan 2010	雒建斌	Tianjin, China	2010-09
Tribology in China (Plenary)	ASIATRIB 2010-Tribology Congress in Australia	雒建斌	Perth, Australia	2010-12
Progress in Superlubricity of Liquid Lubricants (Keynote)	Advance Forum on Tribology 2010	雒建斌	Morioka, Japan	2010-11
Advancements of Tribology in Nanomanufacturing (Plenary)	14th Nordtrib, 2010, Sweden	雒建斌	Sweden	2010-06

Tribology Research in China (Invited)	14th Nordtrib, 2010, Sweden	胡元中	Sweden	2010-06
表面织构技术研究进展 (邀请)	2010 全国青年摩擦学学术会议	邵天敏	浙江杭州	2010-08
偏瘫康复中的辅助训练技术及临床应用与发展 (邀请)	高层论坛	季林红	国家康复辅具研究中心	2010-09
神经康复机器人的研究进展 (邀请)	清华大学与日本东京工业大学学术交流年会	季林红	日本东京工业大学	2010-05
Friction at liquid/liquid interface (Invited)	Advanced Forum on Tribology	田煜	Morioka, Japan	2010-11
Shear thickening in rheological fluid (Invited)	The 4 <sup>th</sup> Tsinghua University-Soel University-University of Tokyo academic forum	田煜	Tokyo, Japan,	2010-03.
环境扫描电子显微术在生物学和材料科学研究中的应用 (邀请)	2010 年度扫描电子显微镜最新技术与实验技术讲座	杨文言	北京	2010-11

## 2. 组织的重要学术活动

2010年9月19日-21日，由清华大学摩擦学国家重点实验室主办，南京航空航天大学协办的中国表面织构国际研讨会 (China International Workshop on Surface Texturing 2010, 简称 CIWST 2010) 在清华大学近春园召开。本次会议是国际上首次召开的表面织构领域的国际专题学术研讨会，来自中国、美国、以色列、日本、德国、意大利、波兰、捷克等8个国家的50位活跃在表面织构研究领域的专家学者参加了会议。会议主席为清华大学摩擦学国家重点实验室邵天敏教授，副主席为以色列技术大学 Izhak Etsion 教授、清华大学摩擦学国家重点实验室孟永钢教授和南京航空航天大学王晓雷教授。表面织构技术研究是当前国际上摩擦学领域的研究热点之一，得到了越来越广泛的关注。本次会议安排的18个报告全部为邀请报告，报告人均活跃在当前表面织构研究领域的学者。这些报告覆盖了当前摩擦学表面织构领域中的主要前沿和热点问题。会议在每个报告单元结束后还另行设置了提问和讨论环节，给参会者提供了更多的交流机会。此外，本次会议还有6篇墙报展示，这些墙报分别来自国内5个不同的研究单位。会议既体现了近期国际表面织构的研究进展和特点，又有深入而又热烈的讨论。被认为是国际表面织构研究领域的一次“重要事件和里程碑” (“Important event and milestone”, Izhak Etsion)。



参会人员合影



会议讨论

### 3. 期刊任职

姓名	学术期刊名称	职务	任职开始时间
温诗铸	润滑与密封	编委会主任	2002-01
温诗铸	机械强度	编委会副主任	2003-01
王玉明	机械工程学报	编委会副主任	2002-01
王玉明	流体机械	编委会名誉主任	2001-01
王玉明	润滑与密封	编委会顾问	2003-01
雒建斌	Surface Science and Engineering	编委	2006-06
雒建斌	Surfaes and Coatings Technology	编委	2004-10
雒建斌	Tribology-Materials, Surfaces & Interfaces	编委	2006-10
雒建斌	科学通报 Chinese Science Bulletin(中英文)	编委	2002-10
雒建斌	摩擦学学报	副主编	2005-10
雒建斌	润滑与密封	编委会副主任	2008-01
陈大融	Frontiers of Mechanical Engineering in China	编委	2005-01
胡元中	PIMech E part J: Journal of Engineering Tribology	Associate Editor	2002-12
胡元中	摩擦学学报	编辑委员会委员	2002-08
邵天敏	中国表面工程	编委	2004-02
路新春	Journal of Bionics Engineering	编委	2004-01
褚福磊	振动工程学报	编委	2005-01
陈曩	Mechatronics	Associate Editor	2009-09
陈曩	机器人	编委	2009-09
巩马理	Semiconductor Photonics and Technologies (国内英文版)	编委	2003-01
巩马理	激光技术	副主编	2011-01
季林红	中国康复医学	编委	2006-12
朱煜	半导体学报	常务理事	2007-01
王人成	中国康复医学	编委	2006-01
陈皓生	系统仿真学报	编委	2005-02
柳强	激光技术	编委	2006-01
赵景山	The Open Mechanical Engineering Journal	编委	2006-12

刘辛军	Romanian journal UPB Scientific Bulltin, Series D: Mechanical Engineering	编委	2008-10
刘辛军	Frontiers of Mechanical Engineering	编委	2010-12

#### 4. 代表性国际来访学术活动

编号	姓名	国别	单位	时间	来访形式
1	Wolfgang P. Weinhold	德国	Innowep Inc	2010.3.2	讲学
2	Jacob Klein	以色列	Weizmann Institute of Science, Rehovot	2010.5.10-5.20	讲学、交流
3	I. Etsion	以色列	Technion-Israel Institute of Technology	2010.9.5-9.26	讲学、交流
4	Valentin Popov	德国	Institut fuer Mechanik	2010.12	学术报告、交流
5	Dong Zhu	美国	Eaton	2010.8.1-11.30	合作研究
6	S. H. Kim	美国	Pennsylvania State University	2010.9	学术报告
7	Frank Talke	美国	Univ Calif San Diego	2010.9	学术报告
8	Hong Liang	美国	Mechanical Engineering, Texas A&M University	2010.9	学术报告
9	K.-H. Zum Gahr	德国	Univ Karlsruhe, Inst Mat Sci & Engr	2010.9	学术报告
10	Alberto Rota	意大利	CNR-INFN National Research Center	2010.9	学术报告
11	Stephen M. Hsu	美国	George Washington University	2010.9	学术报告
12	Noritsugu Umehara	日本	Nagoya University	2010.9	学术报告
13	Shinya Sasaki	日本	Department of Mechanical Engineering Tokyo University of Science	2010.9	学术报告
14	Pawel Pawlus	波兰	Rzeszow Univ Technol, Rzeszow	2010.9	学术报告
15	Ivan Krupka	捷克	Brno Univ Technol, Fac Mech Engr, Inst Machine & Ind Design	2010.9	学术报告
16	Jane Wang	美国	Northwestern University	2010.6	学术报告
17	S. Machida	日本	日本摩擦学理事会会长	2010.6.14	交流
18	Eric J. Amis	美国	美国联合技术公司物理科学部部长	2010.6.15	交流
19	Hongbo Zeng	加拿大	University of Alberta	2010.7.1	交流

20	Erjia Liu	新加坡	Nanyang Technological University	2010.7	交流
21	Akira Ito	日本	IHI	2010.9	交流

## 5. 领导视察

- 2010年8月21日上午，温家宝总理视察摩擦学国家重点实验室深圳微纳工程研究室，雒建斌主任向温总理汇报了研究团队近年来在表面纳米制造方面所取得的科研成果。温总理对研究团队在计算机磁头、硬盘盘基片及集成电路硅晶片表面亚纳米级抛光等方面取得的关键技术突破，打破国外技术垄断等情况表示满意。温总理亲切勉励科研人员要有广阔的视野和雄心壮志，有攀登高峰的毅力和追求真理的决心，用自身的辛勤劳动和汗水，在科研与生产结合的道路上取得更加光辉的成就。



温家宝总理视察深圳清华大学研究院微纳工程重点实验室

- 海军装备部领导检查项目研究进展



海军装备部领导检查项目研究进展

## 6. 学术报告留影



雒建斌教授在第二届微纳制造国际会议上作 Keynote 报告



雒建斌教授在瑞典摩擦学大会作 Plenary 报告



胡元中教授在瑞典摩擦学会议上作邀请报告



邵天敏教授在 2010 年 STLE-ASME Joint Conference 上作学术报告



以色列的 Etsion 教授受邀来清华交流访问

## 七、实验室平台建设

根据功能将主要设备进行分类并给出照片（秦老师提供）

图片预计 3 页（见宣传册）



## 附录一：学术委员会和咨询专家委员会成员

### 学术委员会成员

学术委员会主任： 钟 掘 院士，中南大学  
学术委员会副主任： 薛群基 院士，中国科学院兰州化学物理研究所  
任露泉 院士，吉林大学  
张曙光 副总工程师，铁道部

委员(按姓氏拼音字母为序):

陈大融 教 授，清华大学  
葛世荣 教 授，中国矿业大学  
郭东明 教 授，大连理工大学  
郭万林 教 授，南京航空航天大学  
胡元中 研究员，清华大学  
黄 平 教 授，华南理工大学  
李涤尘 教 授，西安交通大学  
李 健 教授级高工，武汉材料保护研究所  
林忠钦 教 授，上海交通大学  
刘 焜 教 授，合肥工业大学  
刘 莹 教 授，南昌大学  
史铁林 教 授，华中科技大学  
严新平 教 授，武汉理工大学  
张永振 教 授，河南科技大学  
赵亚溥 研究员，中国科学院力学研究所  
周仲荣 教 授，西南交通大学

### 咨询专家委员会成员

首席咨询专家：熊有伦 院 士，华中科技大学  
徐滨士 院 士，装甲兵工程学院  
范守善 院 士，清华大学  
王玉明 院 士，清华大学  
赵淳生 院 士，南京航空航天大学  
张嗣伟 教 授，石油大学

特邀咨询专家：(按姓氏拼音字母为序):

桂长林 教 授，合肥工业大学  
何丹农 教 授，上海交通大学  
Jiang Xiangqian, Professor, University of Huddersfield, UK  
Daisuke Konno, Dr., ETT, Japan  
雷源忠 教 授，国家自然科学基金委员会  
李 曙 研究员，中国科学院金属研究所  
Li Yuzhuo, Professor, Clarkson University, USA  
罗继伟 教授级高工，河南洛阳轴承研究所  
黎 明 教 授， 国家自然科学基金委员会  
Hisashi Machida, Dr., NSK, Japan  
王成焘 教 授，上海交通大学  
黄柏林 副教授，香港城市大学  
杨沛然 教 授，青岛理工大学  
Zhang Yumin, Dr., Quaker Chemicals Co. Ltd., USA  
赵 源 教授级高工，武汉材料保护研究所  
Zhu Dong, Dr., STLE fellow, Eaton Corporation, USA

## 附录二：开放基金情况

序号	课题名称	申请人	申请单位	经费
1	Contact Mechanics of Coated Surfaces (SKLTKF10A02)	Izhak Etsion	Technion University	10
2	CVD 金刚石薄膜水润滑摩擦学性能及应用研究(SKLTKF10B02)	孙方宏	孙方宏	3
3	The Foundation of the State Key Laboratory of Tribology (SKLTKF10A01)	Jacob Klein	Weizmann Institute of Science	15
4	化学机械抛光中纳米颗粒与固体表面相互作用研究(SKLTKF10A03)	徐学峰	北京林业大学	10
5	基于碳纳米管的绿色水基润滑剂的研究(SKLTKF10B05)	彭倚天	东南大学机械学院	3
6	聚合物滚动摩擦中弹性滞后系数的计算和测定方法研究(SKLTKF10B09)	黄传辉	徐州工程学院	2
7	聚四氟乙烯端面扭动摩擦学行为及其润滑抗磨改性研究(SKLTKF10B01)	王世博	中国矿业大学(徐州)	3
8	铝合金表面防腐耐磨层的微波快速熔覆制备方法和理论(SKLTKF10B03)	王延庆	中国矿业大学	3
9	纳米级润滑添加剂的合成及摩擦学性能(SKLTKF10B08)	江贵长	天津科技大学	2
10	水基超精密抛光的表面损伤机理(SKLTKF10B04)	王永光	江南大学	3
11	钛合金表面涂覆碳纳米管/碳纤维填充环氧树脂复合物的摩擦学性能研究(SKLTKF10A04)	程先华	上海交通大学	10
12	油/水体系中碳钢腐蚀磨损行为的研究(SKLTKF10B07)	段德莉	中国科学院金属研究所	3
13	激光多尺度表面处理及对摩擦学性能的影响	杨海峰	中国矿业大学(徐州)	3

### 附录三：固定人员的名单

姓名	性别	出生日期	职称	专业	研究方向
温诗铸	男	1932-11	正高	机械工程	摩擦学理论与技术
王玉明	男	1941-01	正高	机械工程	摩擦学理论与技术
雒建斌	男	1961-08	正高	机械工程	机械表面/界面科学与性能控制
陈恳	男	1954-11	正高	机械制造	微纳制造理论与技术
褚福磊	男	1959-09	正高	力学	摩擦学理论与技术
巩马理	男	1959-10	正高	光学	微纳光电测试理论与技术
孟永钢	男	1961-12	正高	金属成型	机械表面/界面科学与性能控制
田煜	男	1975-05	正高	机械工程	生物摩擦学与生物机械
陈大融	男	1946-12	正高	自动控制	机械表面/界面科学与性能控制
段广洪	男	1950-01	正高	机械工程	微纳制造理论与技术
韩福柱	男	1966-12	正高	机械制造	微纳制造理论与技术
胡元中	男	1946-09	正高	机械工程	摩擦学理论与技术
季林红	男	1962-01	正高	机械设计	生物摩擦学与生物机械
李勇	男	1962-02	正高	机械制造	微纳制造理论与技术
刘伟强	男	1959-10	正高	生物医学工程	生物摩擦学与生物机械
刘向锋	男	1961-11	正高	机械设计	摩擦学理论与技术
刘岩	男	1955-07	正高	精密仪器	微纳制造理论与技术
路新春	男	1966-05	正高	材料科学	微纳制造理论与技术
融亦鸣	男	1958-09	正高	机械工程	微纳制造理论与技术
邵天敏	男	1963-09	正高	材料科学	机械表面/界面科学与性能控制
田凌	女	1963-02	正高	机械制造	微纳制造理论与技术
王立平	男	1967-07	正高	机械制造	微纳制造理论与技术
闫平	女	1965-09	正高	光学	微纳光电测试理论与技术
阎绍泽	男	1964-01	正高	机械工程	生物摩擦学与生物机械
叶佩青	男	1963-11	正高	微纳制造	微纳制造理论与技术
郁鼎文	男	1962-10	正高	机械制造	微纳制造理论与技术
周明	男	1972-01	正高	机械制造及其自动化	生物摩擦学与生物机械
朱煜	男	1965-01	正高	机械制造	微纳制造理论与技术
冯平法	男	1966-02	正高	机械制造	微纳制造理论与技术
陈皓生	男	1975-11	副高	机械工程	机械表面/界面科学与性能控制
高志	男	1952-09	副高	机械设计	机械设计
郭丹	女	1970-05	副高	固体力学	摩擦学理论与技术
郝智秀	女	1966-12	副高	机械设计	生物摩擦学与生物机械
何永勇	男	1967-07	副高	转子动力学	摩擦学理论与技术
胡金春	男	1972-03	副高	控制	微纳制造理论与技术
黄磊	男	1977-09	副高	光学	微纳光电测试理论与技术
贾晓红	女	1972-12	副高	机械设计	生物摩擦学与生物机械
李铁民	男	1971-01	副高	机械制造	微纳制造理论与技术
刘成颖	女	1960-04	副高	机械制造	微纳制造理论与技术

刘辛军	男	1971-03	副高	微纳制造	微纳制造理论与技术
刘莹	女	1965-12	副高	机械设计	摩擦学理论与技术
柳强	男	1971-06	副高	光学	微纳光电测试理论与技术
卢文秀	男	1974-02	副高	机械学	摩擦学理论与技术
潘国顺	男	1965-12	副高	材料科学	微纳制造理论与技术
索双富	男	1963-12	副高	机械设计	摩擦学理论与技术
汪家道	男	1971-11	副高	机械工程	机械表面/界面科学与性能控制
王罡	男	1976-07	副高	材料科学与工程	微纳制造理论与技术
王人成	男	1966-01	副高	机械设计	生物摩擦学与生物机械
吴丹	女	1966-10	副高	机械制造	微纳制造理论与技术
吴志军	男	1960-10	副高	机械制造	微纳制造理论与技术
向东	男	1972-01	副高	机械工程	微纳制造理论与技术
肖丽英	女	1969-06	副高	机械设计	摩擦学理论与技术
杨东超	男	1975-05	副高	微纳制造	微纳制造理论与技术
杨向东	男	1966-05	副高	机械制造	微纳制造理论与技术
尹文生	男	1968-06	副高	微纳制造	微纳制造理论与技术
张海涛	女	1973-03	副高	光学	微纳光电测试理论与技术
张辉	女	1969-09	副高	微纳制造	微纳制造理论与技术
张向军	女	1968-08	副高	机械工程	摩擦学理论与技术
张晨辉	男	1974-12	副高	机械工程	机械表面/界面科学与性能控制
付成龙	男	1980-08	副高	微纳制造	微纳制造理论与技术
赵景山	男	1977-05	副高	机械设计	摩擦学理论与技术
赵乾	男	1975-10	副高	材料物理与化学	摩擦学理论与技术
赵彤	男	1972-12	副高	微纳制造	微纳制造理论与技术
程嘉	男	1981-01	中级	机械工程	摩擦学理论与技术
刘大猛	男	1979-01	中级	物理	机械表面/界面科学与性能控制
顾忠华	男	1982-09	中级	物理化学	微纳制造理论与技术
黄伟峰	男	1978-06	中级	力学	摩擦学理论与技术
李学崑	男	1981-10	中级	机械工程	微纳制造理论与技术
刘欢	男	1980-09	中级	光学工程	微纳光电测试理论与技术
刘宇宏	女	1978-06	中级	物理化学	机械表面/界面科学与性能控制
马天宝	男	1901-01	中级	机械工程	摩擦学理论与技术
佟浩	男	1978-01	中级	机械制造及其自动化	微纳制造理论与技术
王子羲	男	1972-08	中级	机械设计	生物摩擦学与生物机械
吴军	男	1978-12	中级	机械制造及其自动化	微纳制造理论与技术
杨开明	男	1970-09	中级	微纳制造	微纳制造理论与技术
张鸣	男	1973-11	中级	微纳制造	微纳制造理论与技术
周艳	女	1982-02	中级	高分子化学与物理	微纳制造理论与技术

朱永华	男	1976-09	中级	材料学	微纳制造理论与技术
郭炎	男	1953-11	副高	电子	电子
及开元	男	1950-09	副高	机械	机械
刘莉	女	1965-04	副高	微纳制造	微纳制造
杨文言	女	1955-07	副高	电镜	电镜
秦力	男	1970-12	中级	机械	机械
赵磊	女	1963-07	中级	形貌分析	形貌分析