

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 第三次会议纪要

(2011年11月12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三次会议于2011年11月11日—13日在清华大学召开，钟掘院士、任露泉院士等16位学术委员会委员，熊有伦院士、赵淳生院士、王玉明院士、范守善院士等14位咨询专家委员会委员出席了本次会议。本次会议还邀请到宋玉泉院士、宋天虎副理事长等10位专家出席。（参会委员名单见附录一及附录二）。科技部基础司王静副处长、国家自然科学基金委员会工程与材料科学部王国彪，清华大学科研院副院长王治强、精仪系精仪系党委书记冯平法出席本次会议。

11月12日上午首先由温诗铸院士介绍来宾并主持会议，科技部基础司基地处王静副处长发表讲话，清华大学科研院副院长王治强和系党委书记冯平法分别致欢迎词。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。

实验室工作汇报由咨询专家委员会主任熊院士主持，摩擦学国家重点实验室主任雒建斌教授做了实验室年度工作汇报，实验室副主任孟永钢教授汇报自主研究课题情况，学术委员会秘书刘大猛助理研究员介绍了2011年度摩擦学国家重点实验室开放基金申请情况。

上午最后的讨论会由钟掘院士主持，讨论主要关注温诗铸院士枫叶奖评奖事宜。多名委员建议重点实验室尽快开办英文学术期刊。专家委员们各抒己见，热烈讨论，提出许多中肯的建设性意见，详细会议记录见附录四。

11月12日下午全体参会委员参加下午的专家报告会，由任露泉院士和郭东明教授主持。温诗铸院士应邀做主题专家报告，讲述自己八十年的人生经历和学术生涯，对师生提出要求和期望。黄平教授、钱林茂教授、丁建宁教授、田煜教授分别作了学术报告。报告题目详见附录五。

学术委员会主任：钟掘

2011-11-14

二、2011 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。

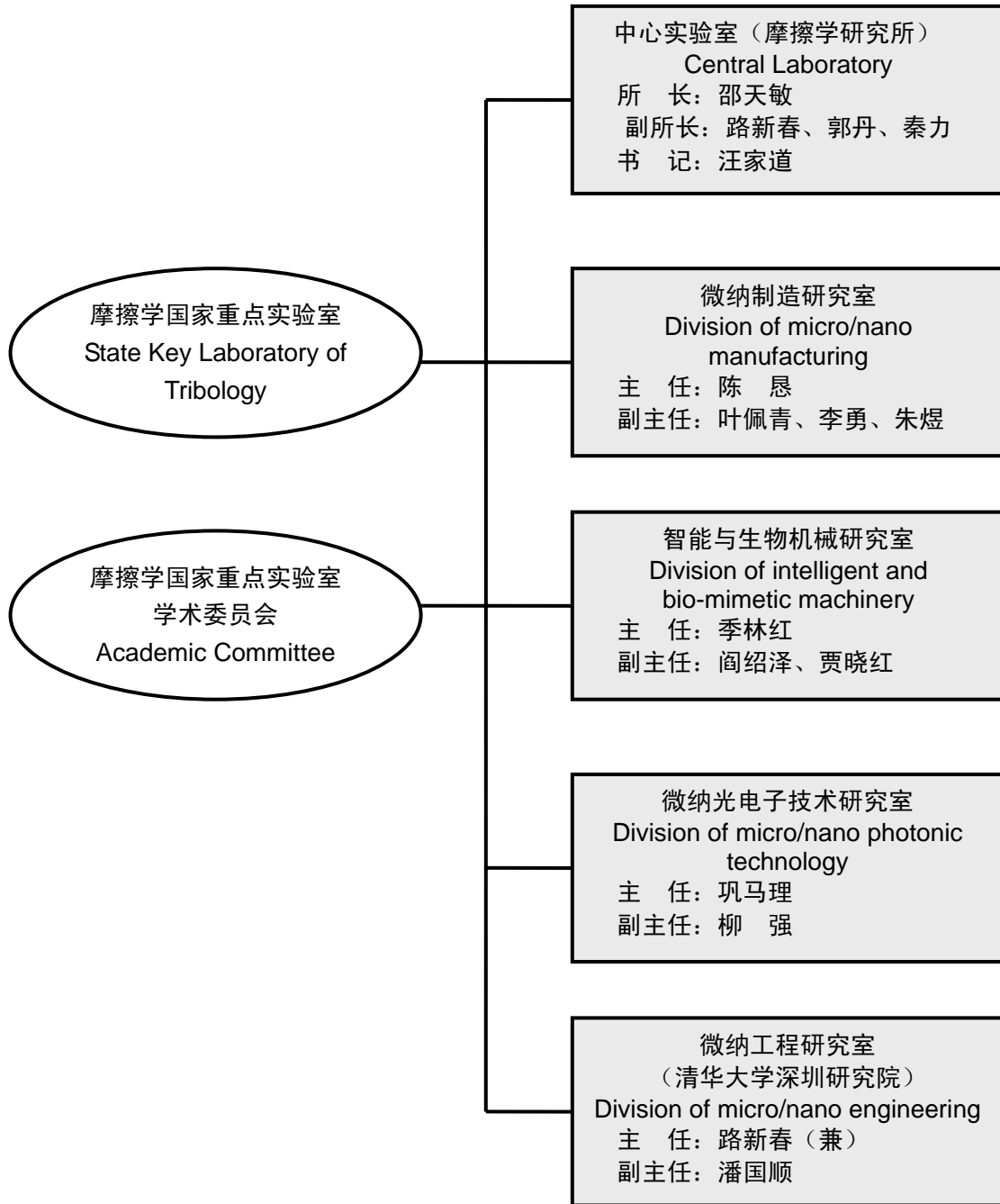
2008 年 3 月，本实验室参加了科技部组织的工程领域国家重点实验室评估，评估结果为 A 类实验室。评估完成后，实验室进行了部分人员和结构调整。

摩擦学国家重点实验室目前有固定人员 89 人，其中教授、研究员 31 名，副研究员、副教授 37 名。有博士学位者 69 人，占固定研究人员总数的 78%。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 悬 褚福磊 巩马理 田 煜	研究员 教授 教授 教授 研究员
秘书	刘大猛	助理研究员

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	雒建斌	2011
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
新世纪人才	张晨辉	2011

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。2011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 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。揭示了材料的纳米级去除机制、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 0.05 nm 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 项和国际学术组织奖励，并被多次邀请在国际学术会议上做 Plenary 报告和 Keynote 报告。

2) 超低下压力 CMP 系统研制及工艺开发

该项目为国家 02 科技重大专项“极大规模集成电路制造装备及成套工艺”项目。项目的总体目标是：针对铜互连和低 k 介质材料，研制超低下压力化学机械抛光 (Ultra-Low-Downforce CMP, 简称 ULDCMP) 系统，并在研制的抛光系统上完成超低下压力下铜膜快速均匀去除的抛光工艺开发。针对总体目标和技术要求，在 ULDCMP 系统架构、超低下压力抛光头、抛光转台、终点检测与膜厚在线测量、CMP 抛光后清洗以及超低下压力抛光工艺等方面展开了深入研究和系统研发，先后成功研制出了 ULDCMP 多分区下压力控制平台、可实现“干进干出”的原理样机以及 ULDCMP α 机，所研制系统的主要技术指标已达国际主流抛光机台技术水平，并在系统架构设计、

分区可控超低下压力抛光头、直驱抛光盘和纳米金属薄膜厚度电涡流测量等关键方面取得了技术突破，已申请专利 89 项（包括 10 项国际专利），已授权 20 项，形成了从低端（玻璃、硅、蓝宝石抛光等）到高端（铜、阻挡层等抛光）的 CMP 抛光装备设计、制造和抛光工艺的具有自主产权的核心技术和专利体系。其中所研制的 ULDCMP α 机已成功与上海盛美公司研制的 SFP 无应力抛光系统(Stress Free Polishing)集成，该集成系统可实现铜膜的超低下压力和无应力集成抛光，表面铜膜抛光过程中对低 k 和超低 k 介质造成任何损伤，可显著提高晶圆抛光良率。该项目的完成和所获得技术成果将有力促进我国 CMP 抛光装备设计和制造水平的发展，填补我国在铜膜 CMP 抛光装备设计制造领域的空白，对促进我国半导体技术和产业的发展具有极其重要的应用价值。



图 1 (a) ULDCMP 多分区下压力控制平台；(b) ULDCMP α 机



图 2 (a) “干进干出”的原理样机改造；(b) ULDCMP-SFP 集成系统

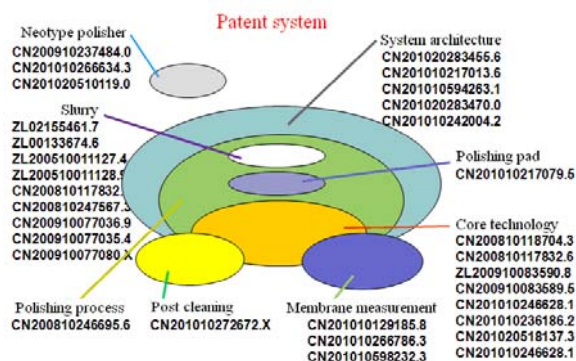


图 3 构建的专利体系

3) 电场与材料摩擦学行为间耦合作用机理的研究

本项目获得国家自然科学基金委优秀国家重点实验室专项基金资助，主要围绕电控摩擦的机理、电场对薄膜润滑成膜特性的影响以及摩擦起电的规律开展系统的实验和理论研究。本年主要取得以下进展：

a) 在电控摩擦机理研究方面，在前两年关于含表面活性剂水基润滑液的电控摩擦效应以及表面活性剂分子在金属表面吸附和脱附受表面电位影响规律研究的基础上，将极性分子受控吸脱附引起的电控摩擦研究拓展到非水润滑液的情况，并探索更加有效的控制方法。首先，对电场作用下各种润滑油添加剂在不锈钢晶片上的吸脱附行为进行了试验研究，所用基础油分别为液体石蜡、四氢呋喃和碳酸丙烯酯，所用添加剂分别为硬脂酸钠、硬脂酸、油酸钠和油酸。实验中所施加的电场由电化学工作站通过三电极体系提供，实验采用 QCM 对添加剂在不锈钢晶片上的吸脱附动力学过程进行检测。结果表明，在电化学工作站设定的工作电极电位下，液体石蜡中各种添加剂在不锈钢晶片上均没有明显的吸脱附行为，测得的吸附膜质量变化在 -10 ng/cm^2 至 $+10 \text{ ng/cm}^2$ 之间。值得注意的是，对于液体石蜡中各种添加剂的实验，电化学工作站对工作电极电位的设定并不能真正改变工作电极电位，工作电极电位的实际值近似为零，这是由于液体石蜡的电导率太低的缘故。在一定电场作用下，碳酸丙烯酯中的添加剂在不锈钢晶片上表现出特定的吸脱附行为。在工作电极电位为 -1.0 V vs. SCE 下碳酸丙烯酯中的油酸钠在 100s 内持续吸附量达 450 ng/cm^2 ，同样电位下碳酸丙烯酯中的硬脂酸钠在 100s 内持续脱附量为 60 ng/cm^2 。因此，以碳酸丙烯酯为基础液，添加一些油性剂后，预期可以取得一定的电控摩擦效果。其次，利用球盘摩擦试验机开展了非水溶液润滑条件下的电控摩擦实验，实验中使用的润滑液依次为油酸钠的碳酸丙烯酯 (PC) 溶液、十二烷基苯磺酸钠 (SDBS) 的 PC 溶液、葡萄糖的 PC 溶液、聚乙醇 (PEG400) 的乙醇溶液。摩擦副为 ZrO₂ 球/不锈钢盘副。以不锈钢盘试件作为工作电极，对电极采用石墨电极，参比电极采用饱和甘汞电极，工作电极与对电极之间的导电介质为润滑液。实验结果表明，在某些非水基润滑液中确实存在电控摩擦效应。在针对油酸钠的 PC 溶液、SDBS 的 PC 溶液、葡萄糖的 PC 溶液的电控摩擦实验中，当工作电极电位负跳变时，摩擦系数不同程度地升高，而在针对 PEG400 的乙醇溶液的电控摩擦实验中，当工作电极电位负跳变时，摩擦系数有所降低。另外，以上实验中所用的非水基润滑液均没有添加支持电解质，这与 Ogano 等的工作是有区别的。

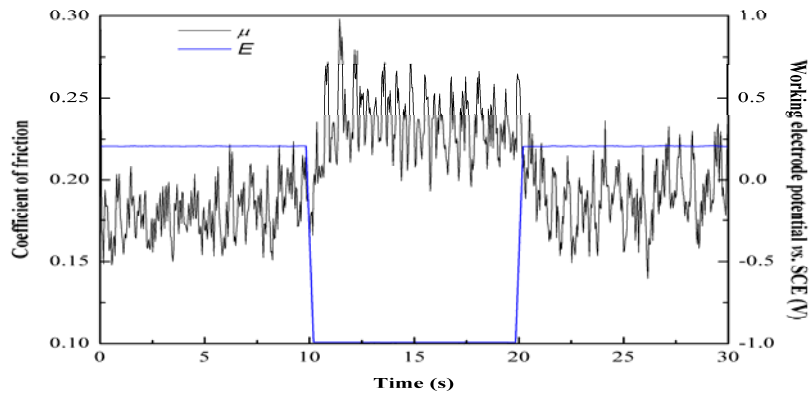


图 4 基于油酸钠的 PC 溶液润滑的电控摩擦实验结果

b) 在电场对薄膜润滑成膜特性影响方面，在对液晶类分子在外场作用下的成膜特性的基础上，进一步实验研究烷烃类润滑剂的链长和端基类型的影响、复合型润滑油的成膜能力与外加电场的关系以及润滑油介电特性的影响。实验结果表明，当对不同油膜外加电压后，可以发现它们的中心膜厚随滚动速度的变化趋势存在差异。正庚烷在不同电压下的中心膜厚没有明显差异。对于正庚酸而言，外加电压后的中心膜厚比未加电压的略微增加。比如，在低速区，外加 30 V 电压时的中心膜厚比未加电压时的增加了 2-3 nm；在高速区膜厚增加了 5-6 nm。对于正庚醇而言，外加电压下中心膜厚的增加更为明显，特别是在低速区，增加了 5-7 nm。对于溴代庚烷而言，不同电压下的中心膜厚差异最大。

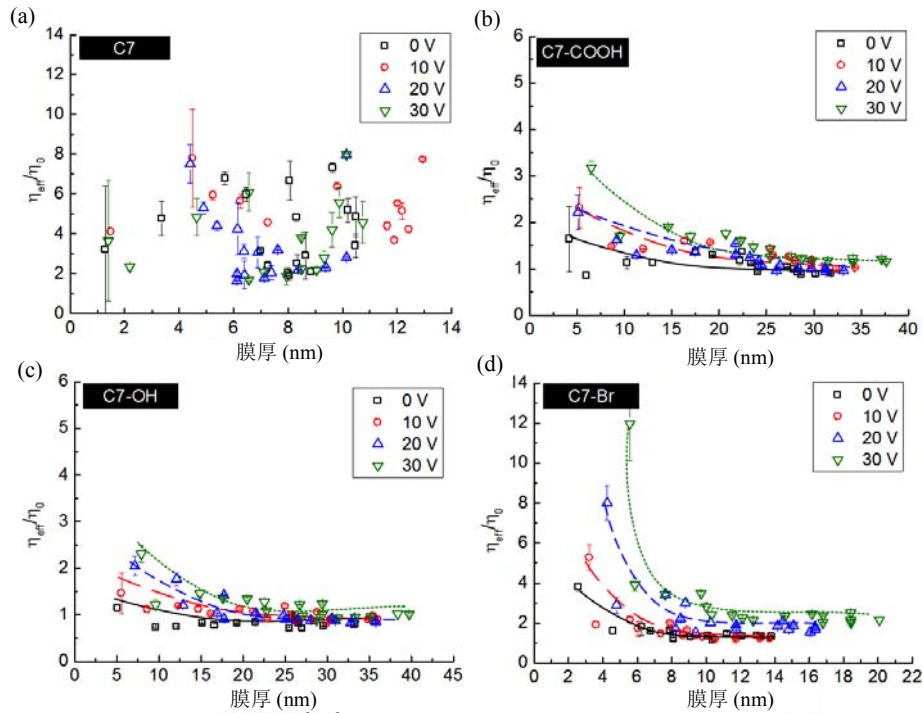


图 5 不同外加电压下，不同液体膜的等效粘度归一化值和滚动速度之间的关系：(a) 正庚烷；(b) 正庚酸；(c) 正庚醇；(d) 溴代庚烷。

c) 在材料表面结构对摩擦起电影响的研究方面，在所研制的接触起电测量装置

的基础上，考察不同材料在不同条件下的接触起电现象，力求得到材料性质对接触起电影响的规律；增加摩擦起电测量功能，并开展相应的研究工作。一方面改进金属—绝缘体的接触起电测量模型，试验探索载荷、湿度等因素对金属—绝缘体接触起电大小的影响规律；另一方面，利用第一性计算原理和分析软件，对两种不同金属之间的接触起电行为开展理论分析，从电子层面探讨接触起电的机理。当与 GCr15 接触时，PTFE、UHMWPE 带负电荷，POM 带正电荷。在低载荷条件下，电荷量随接触面积增大而增大，电荷密度变化不大；而当载荷大于某一值后，电荷密度显著增加。造成这一结果的原因，初步解释为随载荷的增加，接触由弹性发展为塑性所致。在相同的载荷条件下，电荷量随湿度增加而逐渐降低。对于这一现象的解释，在已有的文献中主要归结于在较高的湿度条件下，电荷被空气当中的水分子中和，造成电量的减少。而我们认为造成这一结果还有另外的原因，即在较高的湿度条件下，水分子在材料表面形成一层吸附膜，造成了金属与高分子材料的不完全接触，而水分子与金属的接触起电电荷较少，也成为湿度对接触起电的影响的解释之一，本课题根据第一性原理对此进行计算的结果，也证明了上述解释。

4) 基于声发射技术的空化空蚀状态监测与评估研究

该研究针对流体机械空化空蚀状态难以直接准确监测和评估的问题，首次提出了基于声发射技术对空化空蚀状态进行监测和评估的方法和研究思路。结合空泡动力学，分析了空化从无到有、从弱到强的过程中相应声发射信号的时频特征，提出了基于共振峰的空化状态识别方法，利用共振峰参数可对空化状态进行正确辨识；结合损伤力学观点和分析方法，研究了空蚀破坏的损伤形态和机制以及相应的声发射源机制和特性，探讨了空蚀破坏过程与声发射特征参量及其演变规律的内在关系，提出了基于声发射特征参数的空蚀发生发展过程阶段划分标准和状态评估方法。该研究成果为流体机械的空化空蚀状态直接监测和评估提供了有效手段，为流体机械空化空蚀防护提供了新的技术手段和技术支持。

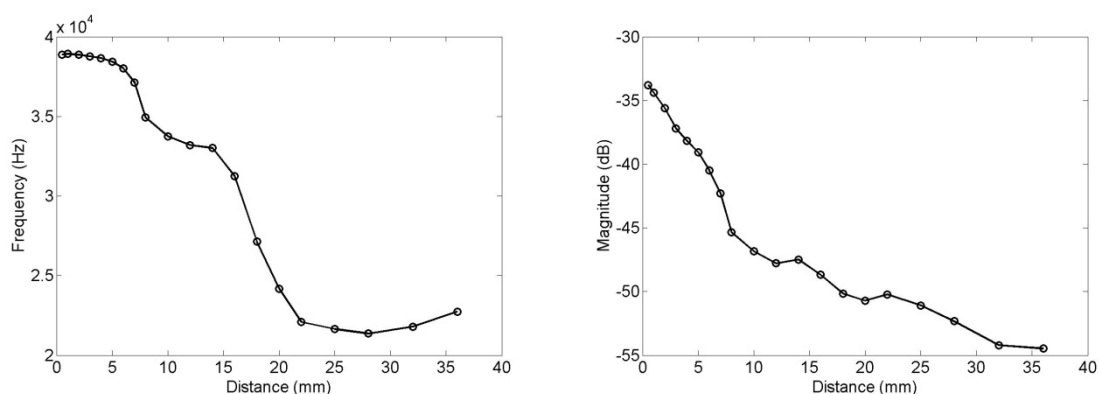


图 6 (a) 空化强度与共振峰基频频率的关系；(b) 空化强度与第 4 阶谐振频率峰值的关系

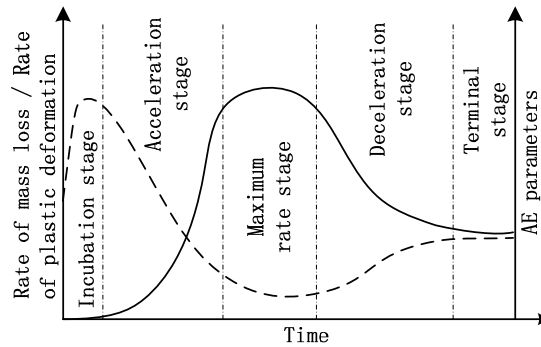


图 7 基于声发射特征参数的空蚀发展过程评估

5) 仿生功能表面行为研究

随着微/纳米技术的发展，人们已成功制备具有强粘着力功能仿生表面。而如何使强粘附功能表面同时具有易脱附性能成为目前表面广泛应用的主要问题。该研究针对壁虎仿生功能表面的剥离行为进行数值计算，考察了纤维几何参数和背部基底刚度对剥离区域和剥离力的影响，并从理论上讨论了仿生表面的强粘附和易脱附特性的设计准则。在此基础上，给出了基于剥离行为的仿生粘附表面的粘附和剥离设计图。数值分析给出了仿生表面的最佳参数优化实际上是强粘附性能和易脱附性能的综合考虑，此结论与生物粘附系统的参数取值吻合。进一步地，使用数值计算方法及设计准则，当取典型值进行参数设计时，剥离强度和粘着强度相差超过三个数量级。因此，粘附和剥离设计图可望有效指导壁虎仿生表面的设计和制备。该结果发表在 *Journal of the Royal Society Interface* 杂志上。

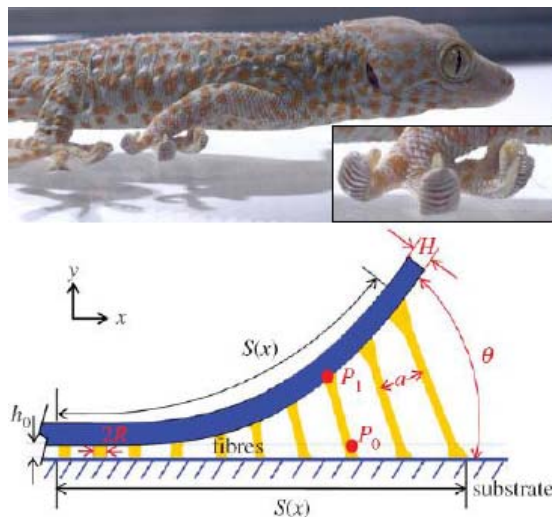


图 8 ?

实验中发现，壁虎刚毛的重要力学性质之一是其摩擦各向异性。其摩擦各向异性源于结构的各向异性，因而引起不同方向上微米、纳米量级的变形差异，进而产生了和其结构相适应的各向异性范德华粘附力。基于上述原理，本研究给出了一种倾斜的各向异性定向碳纳米管的制备方法，实验中得到的典型摩擦各向异性约为

40%，并能在 4000 次往复实验中保持稳定。实验表明，碳纳米管末梢的倾斜方向决定了摩擦各向异性性质。考虑碳纳米管末梢的变形接触，建立了基于范德华作用力的定量理论模型并用于讨论实验中的摩擦各向异性现象。该结果发表在 Carbon 杂志上。

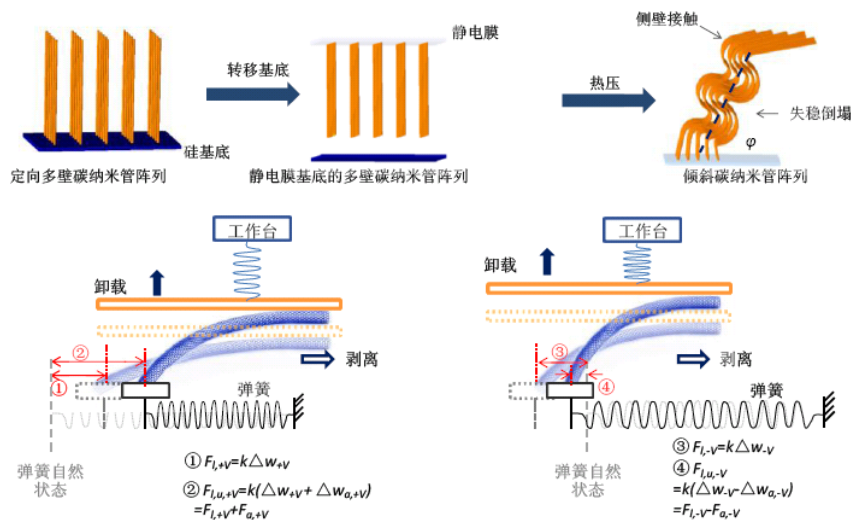


图 9 ?

6) 细观与分子水平润滑摩擦的行为与机理

该研究通过对细观表面粗糙度和分子量级润滑和摩擦现象的研究，建立了求解流体润滑和固体接触耦合问题的计算模型和方法；定量揭示了从液体润滑到边界摩擦的转化规律及粗糙度、温度和热弹性变形等因素的影响；发现了纳米间隙中润滑剂分子构型和流变特性的改变以及润滑分子极性对其迁移、铺展和润湿规律的影响；分析了纳米固体薄膜的生长机制及剪切诱导结构相变和超低摩擦机制；进而揭示了液体和固体薄膜在摩擦过程中的能量耗散机理。并通过自行研制的表面力仪等装置对理论分析结果进行了实验验证。该研究已经在美国通用公司汽车零部件的润滑设计中得到直接的应用。研究成果获 2011 年教育部自然科学一等奖和摩擦学最佳论文奖等。

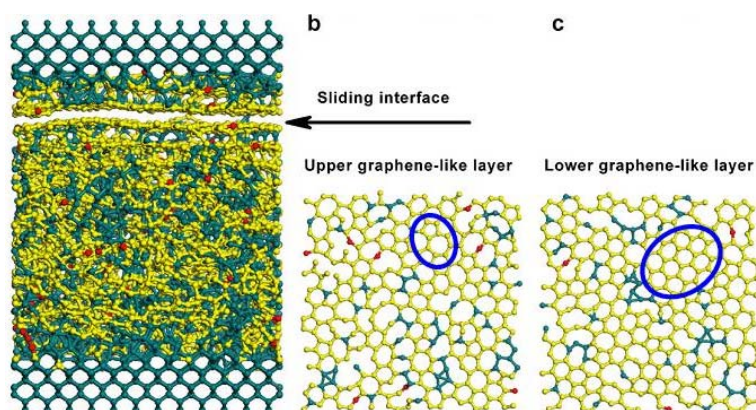


图 10 基于剪切诱导石墨化的类金刚石膜超滑机制

7) 基于空泡坍塌的热核聚变研究

研究提出了实现 DD 聚变的关键在于为空泡坍塌提供持续增强的压力环境的概念，通过对空泡内等离子体状态转化过程、空泡内物质在不同阶段的力学特性与热力学特性、空泡运动的动力学等过程的分析，采用超声驱动、设置狭窄工作区间、构造双电层静电力、控制空泡 Zeta 电位等综合技术，为空泡坍塌提供了一个持续增强的压力环境，保证了空泡在坍塌前的几何对称性，在重水介质中获得了有效中子发射。通过 ^3He 正比计数器检测，在已经进行的百余次的试验中，获得的中子计数均高于背底数百倍以上，中子谱符合费米-狄拉克分布的基本特征，60s 时长试验获得的最高中子计数达到 54000，高于背底 9000 倍。研究证明了空泡坍塌时空泡中心处于极高温与极高压状态，内部物质已经演变为高温等离子体，达到了实现 DD 聚变所需要的极端物理条件，表明空泡坍塌实现的聚变反应属于热核聚变，为热核聚变的发展提供了一条新的有效途径。

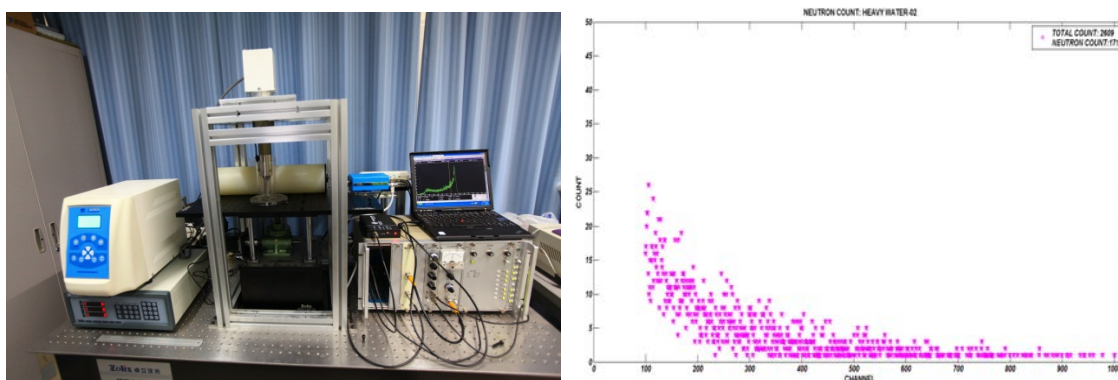


图 11 (a) 实验系统；(b) 时长 15s 的实验数据，在高道处有大量中子。由于空泡聚变在重水中进行，中子经重水慢化，形成的中子谱符合费米分布(1/e)的主要特征，表明实验成功。

8) 表面工程研究

开展了元素掺杂CN_x 薄膜制备研究，考察了Ti、Zr、Si等元素掺杂对CN_x薄膜微观结构和性能的影响及其作用机理，重点研究了Si掺杂在提高CN_x薄膜性能方面的作用；采用离子束辅助沉积技术，利用双溅射离子源分别溅射高纯石墨和高纯硅靶材，辅以氦离子辅助轰击，成功制备了不同Si含量的CNSi薄膜，研究了硅含量对薄膜结构和性能的影响。结果表明，在CN_x中加入适量的Si所形成的SiCN薄膜，依靠Si的热力学驱动，改变了薄膜的成键特性，降低了薄膜中sp²含量，提高了CNSi薄膜的硬度。相关成果已申请国家发明专利。

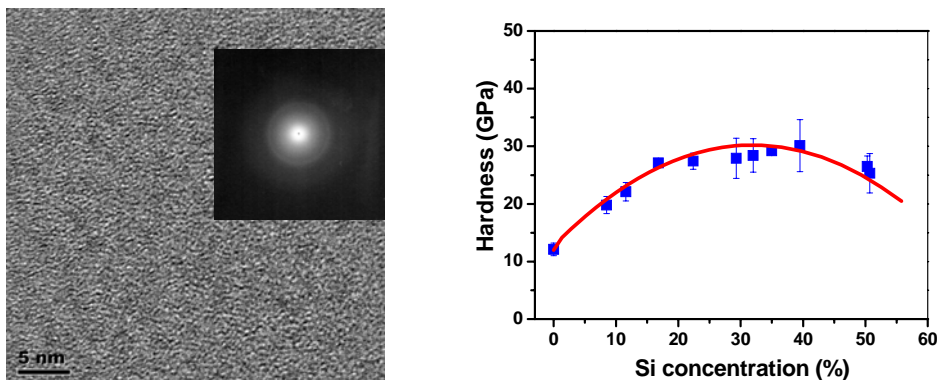


图12 (a) 利用离子束辅助沉积制备的CNSi薄膜的响高分辨率透射电镜照片和选区电子衍射图; (b) Si含量对CNSi薄膜纳米硬度的影

开展了激光表面微观织构制备研究。利用超声腐蚀方法，实现了直径为 $1\sim 5\ \mu\text{m}$ 微细光纤的快速批量制备，利用其作为激光聚焦元件，加工出了亚微米级的线状沟槽，所获得沟槽的最小线宽为约 270nm ，小于入射激光的半波长。利用 COMSOL Multiphysics 多物理场耦合分析软件对光纤聚焦进行了模拟计算，结果表明，当光纤直径在 $1\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 附近，光纤后场出现能量汇聚现象，可在基底上形成宽度小于三分之一波长的能量聚集区。实验结果与模拟结果取得了很好的一致。相关成果已申请国家发明专利。

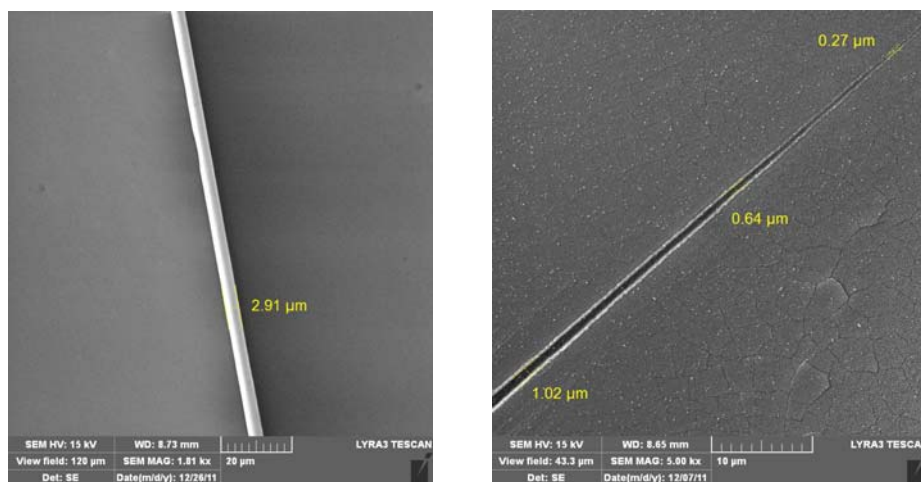


图 13 (a) 超声辅助腐蚀得到的微细光纤; (b) 利用光纤聚焦激光加工得到的微沟槽

9) 微纳光电子技术研究

固体激光：该方向主要开展了高能激光、中红外激光以及紫外激光技术的研究工作。面向微加工工业应用，研制出 $5\sim 30\text{W}$ 系列实用化紫外激光器，解决了工艺工装、可靠性以及光束质量难题，在微纳加工领域已经得到了初步应用。中红外激光方面提出了采用 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器样机，输出单脉冲能量达到 65mJ。该成果通过了教育部组织的专家鉴定，鉴定结论为总体技术达到国际领先水平，正在申报成果奖励。

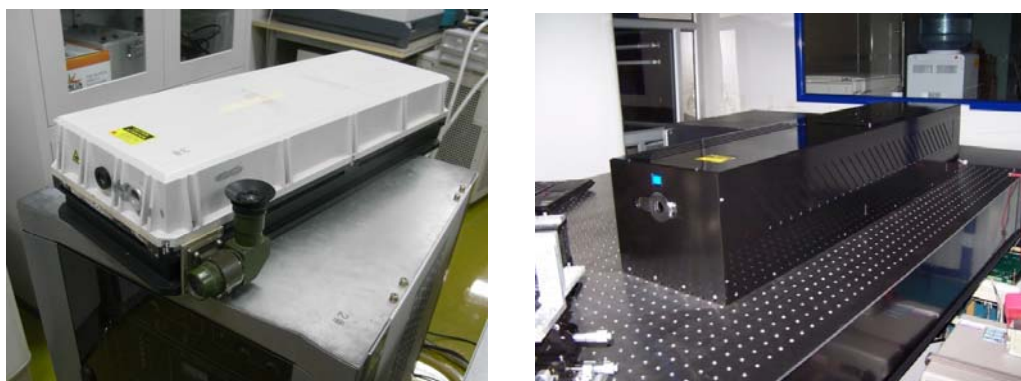


图 14 (a) 大能量中波红外激光样机； (b) 30W 紫外激光样机

光纤光学：为了提升光纤激光器的平均功率和单脉冲能量，开展了级联光纤激光器及其模块化研究，以及宽带脉冲大模场光纤放大器的研究。在理论上研究了激光模式在特种增益光纤的传输过程，提出了新型泵浦光纤激光器的高效振荡方法，设计并研制新型泵浦耦合器；建立起超大模场全光谱行波瞬态速率方程，研究高功率、宽带脉冲在超大模场光纤中的传输与放大物理机制。实验上实现了 1.6kW 全光纤激光器输出，成功地解决了千瓦泵浦功率注入，掺镱增益光纤焊接点的再涂覆和冷却问题。完成了 1.2kW 全光纤激光器模块，为千瓦级高功率光纤激光器走向应用打下基础。实现了百瓦新泵浦波长光纤激光器。搭建了高能量的宽光谱光纤放大器，实现了单脉冲 50mJ。脉宽 10ns，峰值功率达到 5MW 的巨脉冲输出，验证了宽光谱技术实现光纤高能量和高峰值功率的发展思路，该成果达到国际先进水平，正在申报成果奖励。



图 15 1.2kW 全光纤激光器模块

主动光学：该方向针对高能量激光聚变系统的大口径激光光束像差及波前控制要求，开展了 400mm 口径变形镜的新理论、新技术和新方法的研究。开展了基于薄板理论的大口径变形镜的理论分析与研究，建立了基于 Fried 和 Hudgin 算法的新型哈特曼探测重构模型，针对大口径光学镜面加工、镀膜、装配全过程的面形变化特性，研究各阶段特定的面形补偿加工技术，使得大口径光学镜面初始面形可控、附加面形变化可控、系统校正变形量可控。成功研发了创新性的高刚性、微变形、弱

应力、抗强激光损伤的大口径镜面连接技术。研制完成的400mm口径样机的波前控制精度达到45nm。该技术对高能量激光聚变系统的高精度激光光束波前像差控制具有极为重要的应用价值，研制完成的样机已在装置上稳定运行，使得高能激光的穿孔通过率由原来的85%显著提高到95%，取得了突破性成果。

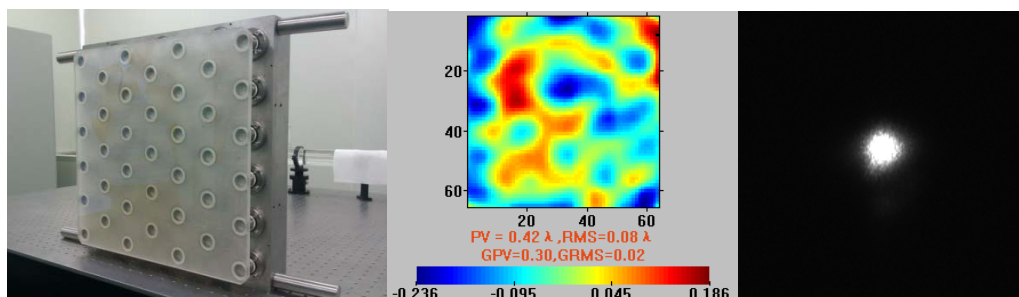


图 16 400mm 口径变形镜样机及波面补偿效果

10) 微纳制造研究

a) 开展了切削、磨削、磨损等物理过程的材料微去除机理研究，发展了微米尺度下的材料动态力学性能测试方法，设计了相应的实验测试平台，建立了反映宏观—介观—微观多尺度的材料本构模型，结合实验和数值仿真技术揭示了切削、磨削、磨损等物理过程的材料微观组织演变机理及其与材料去除过程的内在联系，为加工工艺优化、磨损控制提供了理论基础。该研究成果获得国家自然科学基金面上项目和青年项目的进一步资助，同时应用于东方汽轮机有限公司的复杂刀具和切削工艺优化中，并获得2013年“高档数控机床与基础制造装备”重大专项资助。发表相关论文9篇，其中SCI、EI双收录3篇，EI收录6篇。

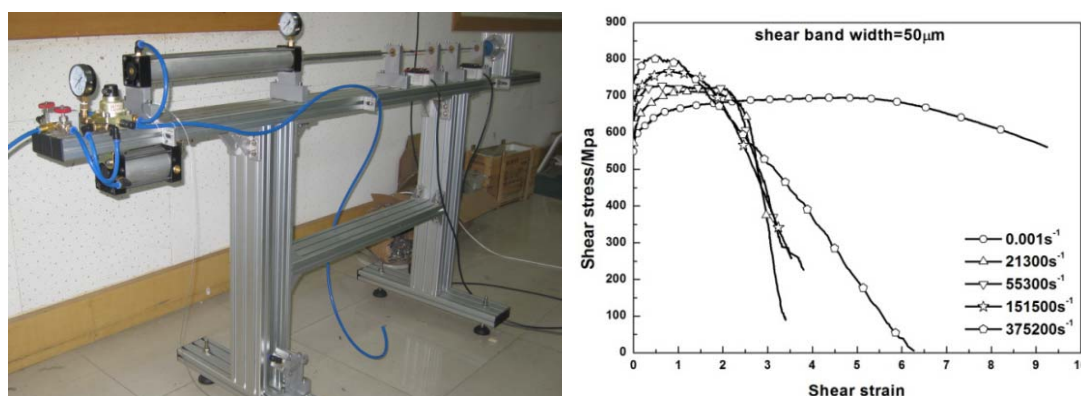


图 17 微米尺度下的材料动态力学性能测试平台及实验结果

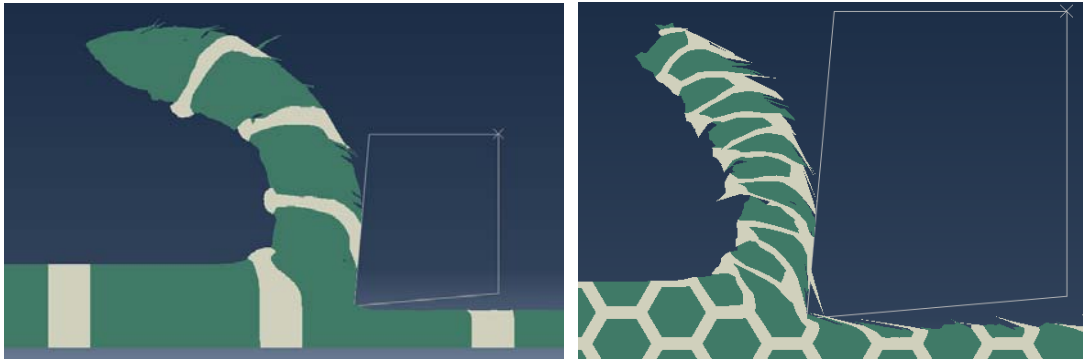


图 18 考虑材料微观组织演变的切削数值仿真技术

b) 该研究针对钛合金难加工的特征，开展了利用表面织构刀具改善钛合金切削刀屑摩擦特性的研究。成功的制造了微米量级条纹织构刀具与亚毫米级微坑刀具，并完成了相应的切削实验，有效降低了切削力，提高了刀具的使用性能；实现了表面织构刀具切削钛合金的仿真研究，建立了织构槽面积效应与次生切削综合作用的表面织构刀具减摩模型，为表面织构刀具的进一步研究与织构参数选择提供理论依据。

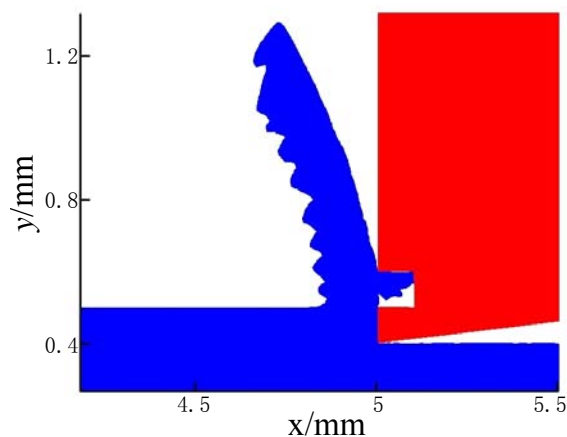
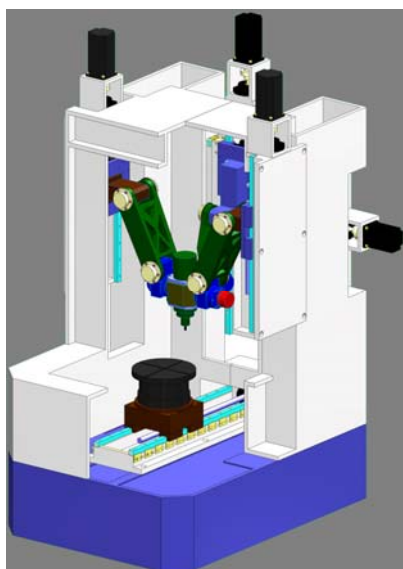


图 19 表面织构刀具次生切削

c) 该研究针对典型自由曲面加工、复合角度加工等典型工艺需求，开发了具有“一次装卡五面加工”特性的五轴联动混联铣床。开展了少自由度并联机构的构型综合研究并建立了系统的构型综合方法，提出了新型冗余少自由度并联机构以及五轴混联原理新构型；开展了冗余并联机构的运动学优化设计研究，提出了基于运动/力传递特性的性能评价指标，为冗余并联机构的运动学优化设计奠定理论基础，并进行了该混联构型的尺度综合；深入开展了关键部件多物理场耦合的拓扑优化设计方法研究，针对所提出的新构型进行了基于修正“导重法”的拓扑优化设计和尺寸优化设计，有效提高了其刚度质量比以及频率特性，该优化方法的建立对关键制造装备的轻量化设计具有重要的理论意义和工程应用价值；铣削实验结果表明，加工样件的表面粗糙度 $Ra \approx 0.218 \mu m$ ，表面微观特征为“不可辨加工痕迹方向”，应用效

果良好。该研究对五轴联动混联机床的国产化以及实用化具有积极的推进作用。



(a) CAD 模型



(b) RASPET150 五轴联动冗余混联铣床样机



(c) 五轴联动铣削实验



(d) 加工所得自由曲面样件

图 20 五轴混联原理新构型

11) 超声振动辅助超精密切削加工研究

为解决金刚石刀具切削黑色金属的严重刀具磨损问题，提出了超声振动辅助切削结合石墨氛围保护的切削方法。即在切削过程中，在刀具上辅助超声振动基础上，同时随切削液喷洒石墨粉末进行含碳的氛围保护。该方法的鲜明特点在于，首次将刀具超声振动和石墨氛围保护两种方法复合起来，有利于将石墨粉末输送至切削区达到石墨饱和氛围，抑制金刚石刀具碳原子在铁原子催化下的石墨化反应。两种方法在减磨机理上是耦合的，有望起到 $1+1>2$ 的减磨效果。开展了超声振动切削结合石墨氛围保护下的切削实验，实验验证出该方法的有效性。已发表研究论文 4 篇，申报国家发明专利 3 项。进一步的研究有望显著抑制金刚石刀具在加工黑色金属中的磨损，以期实现稳定、持续的切削过程。

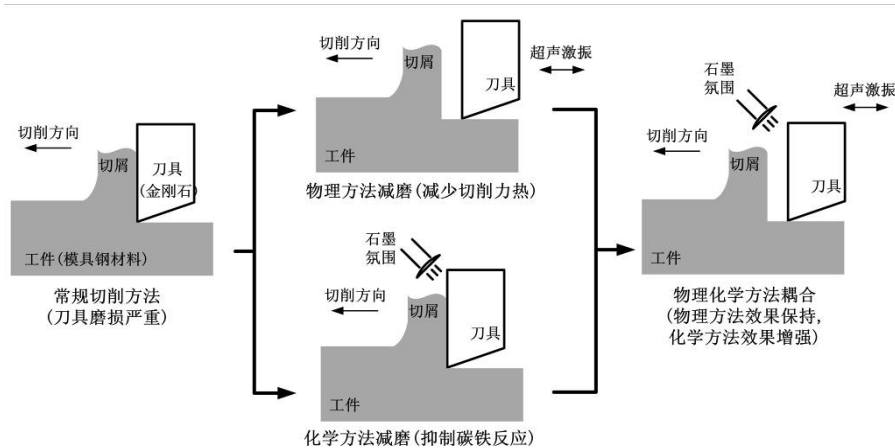


图 21 超声振动和石墨氛围复合的刀具保护机理

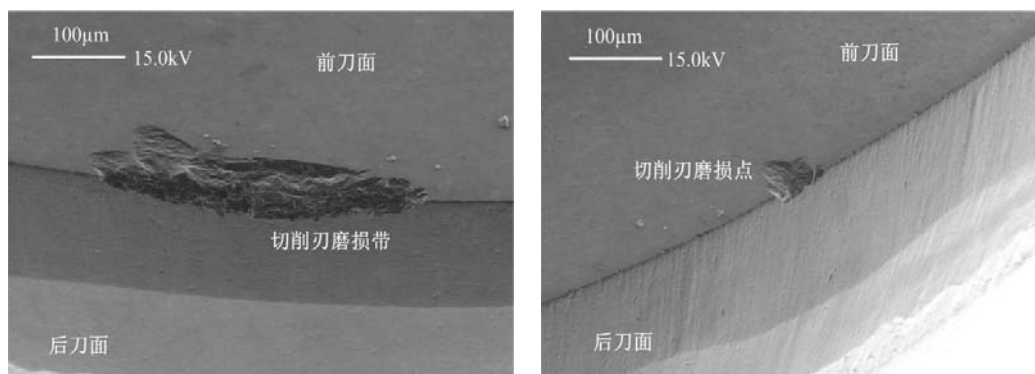


图 22 a) 常规切削模具钢的金刚石刀具磨损; b) 超声振动辅助耦合石墨氛围保护下的切削模具钢的金刚石刀具磨损

12) 喷油嘴微细喷孔电火花加工技术与装备

针对高端喷油嘴微细喷孔的孔径小、孔数多、倒锥孔形、空间孔位的特殊需求，在精密机电控制、高频辅助振动、高频微能脉冲电源、放电状态检测、数控系统集成等关键理论和技术研究基础上，研究开发出满足国 4（欧 IV）排放标准以上的、倒锥形微细喷孔的电火花加工技术与装备。设计出集成压电陶瓷激振、电极损耗补偿、电极丝倒锥推摆等模块的复合功能主轴机构；设计出喷油嘴轴向夹角、周向夹角、变焦点的空间定位夹紧机构；研究出高一一致性、高效率、批量化的微细喷孔加工工艺，集成开发出高端喷油嘴微细喷孔电火花加工专用装备。喷孔角定位精度优于 $\pm 0.1^\circ$ ，孔径 $\Phi 100 \sim 200 \mu\text{m}$ ，加工精度 $\pm 2 \mu\text{m}$ ，单孔电火花加工效率达 $1.5 \sim 2 \text{mm}/\text{min}$ 。该专用加工装备在油泵油嘴生产骨干企业生产线上已小批量实际应用，替代价格昂贵的进口设备。已申报国家发明专利 6 项，发表学术论文 9 篇。



图 23 高端喷油嘴微细喷孔电火花加工装备

13) 立式干气密封氦气压缩机核心部分研制与试验

该课题是国家重大专项高温气冷堆中核心关键设备的工程验证系列课题之一，是完成重大专项目标和任务的重要组成部分。自 2012 年 1 月启动以来，已完成立式四轴承支承的整体结构原理方案设计与论证评审；完成复杂工况下（变速范围 800~4200r/min 等）的立式轴系系统临界转速（5600r/min）、滑动轴承支承刚度、转子动力学特性的设计与分析，达到设计要求；完成关键部件干气密封的结构设计与性能分析计算即将投产；完成具有自主知识产权的保压检修密封模拟试验台设计、制造及静密封的多项试验，达到工艺氦气最低泄漏（大气压下 24L/h）的要求，验证了主要密封件的工作可靠性。初步完成密封控制系统的方案、工程验证试验辅助系统回路、试验台土建施工方案等的设计。本课题的成果将用于高温气冷堆核电示范工程立式干气密封氦气压缩机的设计、制造、安装、调试和运行。

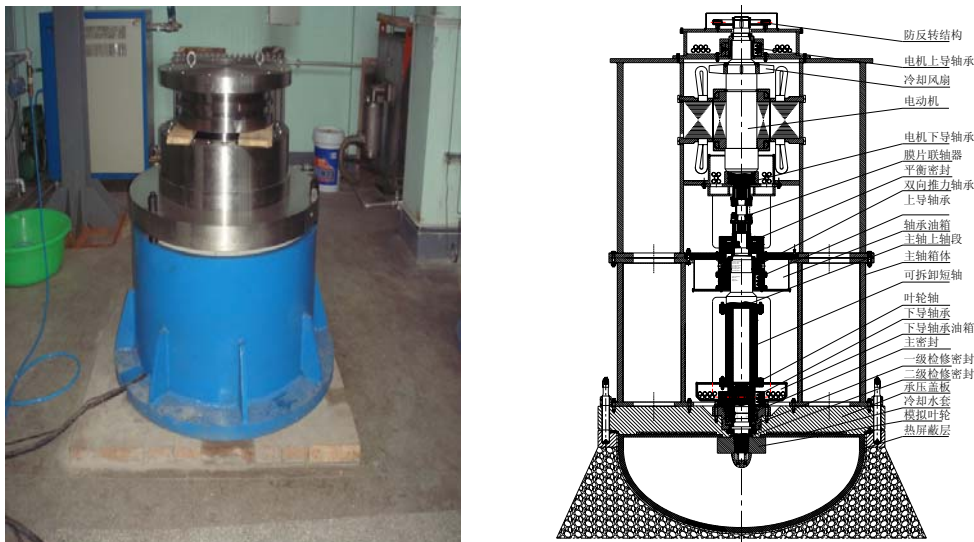


图 24 (a) 保压检修密封等比模拟试验台；(b) 立式氦气压缩机核心部分转子系统结构原理示意图

14) 动静压波度密封多场耦合作用机理研究

以压水堆核电站主冷却泵用流体动静压结合型波度端面机械密封为研究对象，分别建立了纯流场、流热耦合及流固热多场耦合模型，进一步揭示了带有锥度的波度密封稳态多场耦合作用机理；研究了纯流场模型下具有轴向偏斜、轴向激励（位移和初始速度）下动力学性能，深化了对波度密封动压下发生空化现象后对其密封静稳态与动态性能影响作用机制的认识，为该类密封的参数优化设计奠定了基础。研究成果为实现国产化设计提供了理论基础。建立了以核主泵轴封结构为参照的缩比波度密封实验台，与国防科技大学等单位合作开展了带有锥度和波度复杂表面形貌的硬质合金材料表面磨削加工方法，初步获得具有一定精度的密封试验件；开展了光纤传感技术测量密封膜厚、声发射技术测量辅助密封振动特性等实验研究，对先进测试技术在机械密封微观性能测试的可行性进行了探索；通过实验初步验证了波度密封稳态工作机理。

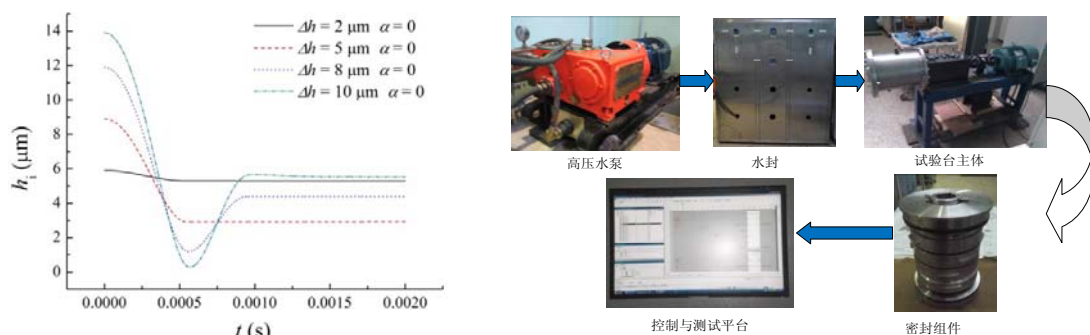


图 25 (a) 波度密封动特性分析; (b) 波度密封试验系统

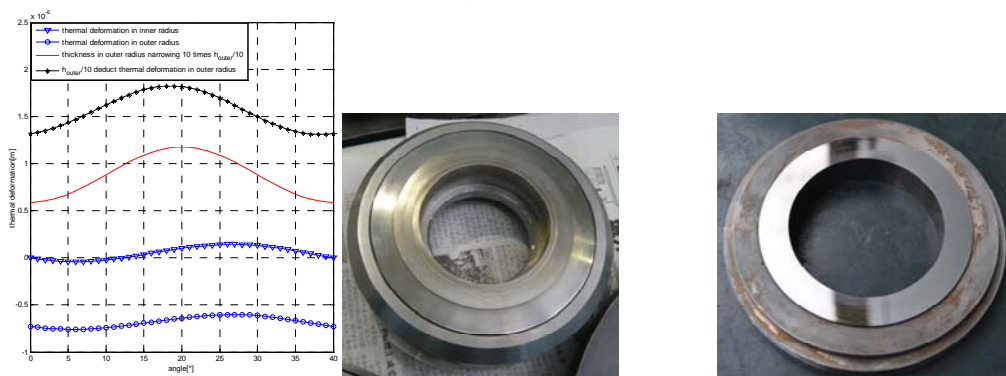


图 26 (a) 流热耦合作用下的波度密封热变形分析; (b) 不同材质波度密封试验件

15) 流体静压型核主泵密封热流固耦合模型和试验研究

在流体静压型核主泵机械密封的热流固耦合稳态和动力学模型、副密封特性研究方面取得了具有创新性的成果，初步建立起了一套较为完整的流体静压型核主泵机械密封的理论体系和实验平台。理论方面，在求解方式上，精确、适用范围广的数值仿真方法与高效、便于工程应用的解析方法相结合；在物理机制上，考虑了流场、传热和固体变形及它们之间的耦合作用，研究了稳态性能并进行了稳定性分析，并研究了副密封对追随性的影响。实验方面，设计加工了实验密封，完成了全尺寸的密封性能实验，验证了理论模型的准确性，并积累了宝贵的核主泵密封设计、加

工和实验的经验；还进行了副密封的实验测试，取得了重要的副密封相关参数。这些研究成果一方面丰富和深化了核主泵机械密封的理论研究体系，另一方面也为促进核主泵密封的国产化提供了知识储备和技术支持。



图 27 流体静压型全尺寸密封试验系统

16) 旋转唇封的性能仿真与实验研究

旋转唇封是一种典型的橡塑密封，应用非常广泛。但材料老化和磨损会导致密封性能的衰减，从而影响主机系统的工作可靠性。考虑唇口的固体变形、接触区的传热、流场和微观接触力学的耦合作用，建立了密封性能数值仿真模型。研制了唇封实验台，不仅可以验证理论模型，也可以从实验角度研究密封性能。初步形成一套较为完整的用于研究唇封性能的理论体系和实验平台。同时，针对橡胶材料容易磨损和老化的特点，开展了大量的材料磨损和老化实验，探索速度、时间、载荷、温度等因素对材料特性和唇口轮廓的影响规律，为下一步预测唇封寿命和评估可靠性提供基础数据。

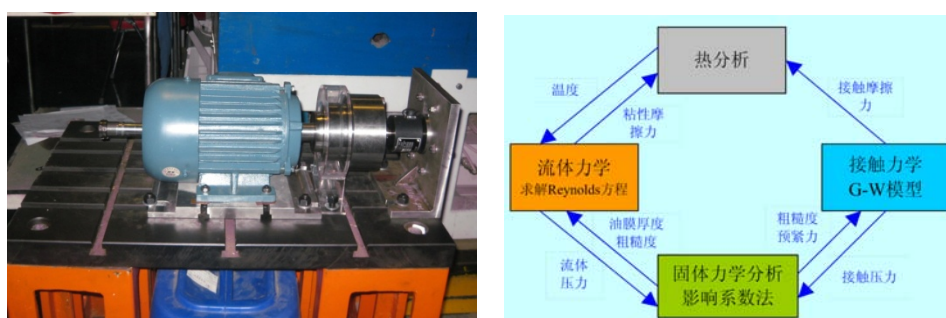


图 28 (a) 唇封实验台；(b) 唇封性能数值仿真

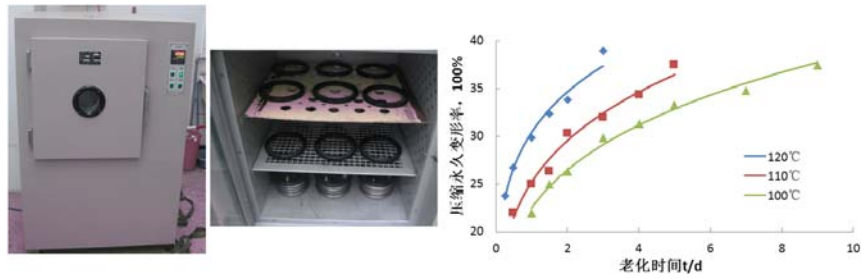


图 29 橡胶老化实验

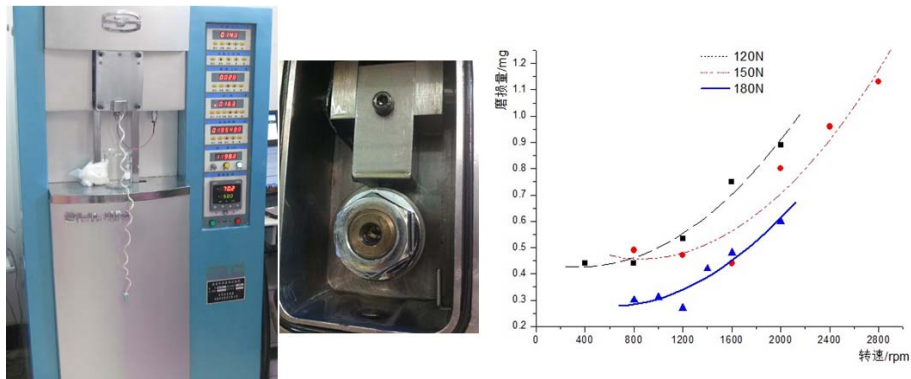


图 30 橡胶磨损实验

17) 航天器太阳翼故障模式分析及性能预测

以典型航天太阳翼为研究对象，将变拓扑结构理论与多体动力学相结合，构建了星-箭-包带连接结构-太阳翼的动力学模型，提出了星箭解锁分离冲击下压紧状态太阳翼的动力学特性分析方法；应用热辐射理论建立了在轨太阳翼热-结构耦合模型，提供了用于冷热交变的太空环境下太阳翼在轨运行性能预示的分析手段；从连接结构非线性、固定连接松动、重力势对结构的影响，分析了太阳翼产生频率漂移的机理；在太阳翼故障模式分析的基础上，提出了关键部件重要程度与影响程度的定量评价指标，以及采用可靠性框图和模糊推理 Petri 网的太阳翼可靠性分析方法。这项研究对提高航天太阳翼设计水平和改善太阳翼的动态性能具有理论指导意义。其中部分技术已应用于预研航天器展开结构与动力学分析。

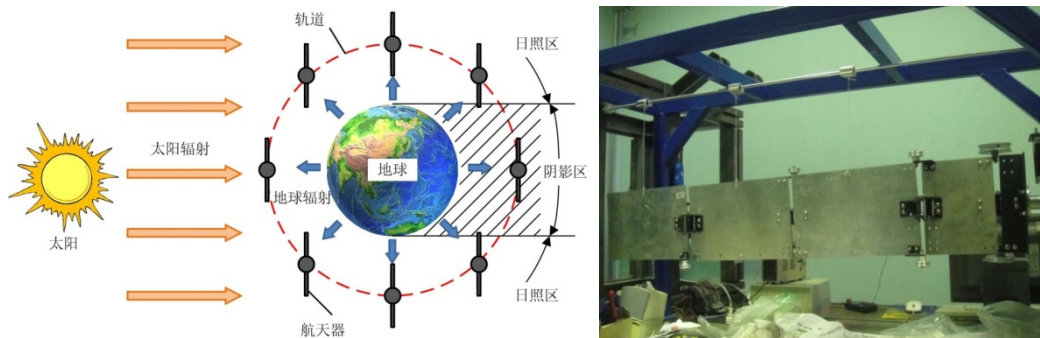


图 31 (a) 在轨太阳翼的空间热环境；(b) 悬吊式模拟太阳翼实验装置

18) 齿面点蚀对行星齿轮系统动态响应的影响

风力发电机组长期承受非平稳、强冲击的风载作用，具有可靠性要求高、服役环境恶劣、运行维护不便的特点。在非连续非平稳载荷作用下，风电机组频繁的低速启动，动力传动系统关键接触界面很难形成设计期望的稳定润滑油膜，使得界面润滑失效，进而引发接触界面性能退化，导致点蚀、剥落、烧伤甚至断齿等损伤。齿面点蚀是风力发电机行星齿轮传动系统早期故障形式之一，研究该故障对于系统振动特性的影响对于风力发电机组系统早期故障诊断和监测具有重要意义。基于力学理论，给出含点蚀的轮齿啮合刚度定量描述方法；进而建立行星齿轮系统故障动力学模型；数值仿真了不同部件（太阳轮，行星轮及齿圈）出现点蚀，以及不同点蚀宽度、深度和位置对行星齿轮系统啮合刚度与动态响应频谱特性的影响。结果表明：发生齿面点蚀时，啮合刚度会降低，不同宽度、深度及位置对啮合刚度影响不同；点蚀对行星系统动态响应的影响与定轴齿轮系统不同，故障特征频率与发生点蚀的部件及行星轮个数都有关系；不同点蚀大小对啮合频率振幅影响不大，但对频谱边带幅值的影响很大。研究结果为行星齿轮系统的故障诊断及机理研究提供了基础。

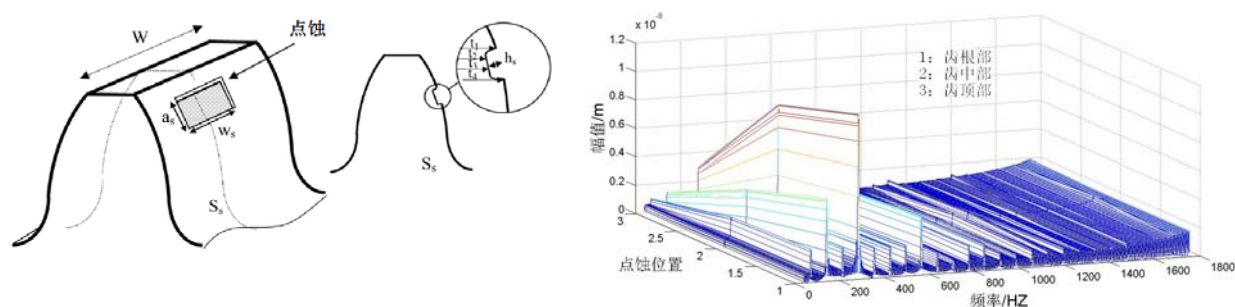


图 32 (a) 齿面点蚀示意图；(b) 不同点蚀位置时齿圈扭转方向频谱边带放大图

19) 滚动轴承故障特征提取的频谱自相关方法

滚动轴承广泛应用于风电齿轮箱、航空发动机等机械的旋转部件支承，不可避免地会产生磨损、点蚀、剥落等缺陷，对支承部件的运行精度、工作效率及使用寿命会造成极大的影响。快速、准确地检测出轴承故障对于机组的正常运行与事故预防具有重要的指导意义。针对轴承早期故障会导致振动信号产生冲击调制的特征，将时域的自相关概念引入频域，提出了轴承故障特征提取的频谱自相关方法。该方法将时域信号变换到频域后，将傅里叶系数进行自相关，有效地将位于高频共振区的调制边频特征转移到低频区，形成以故障特征频率为基频的谐频特征；对于内圈故障信号，频谱自相关结果还保持了载荷调制的边频特征。该方法去掉了时域自相关的拖尾现象，高阶故障特征频率比包络分析具有更小的衰减率，更有利于轴承故障特征的提取，具有较高的工程应用价值。

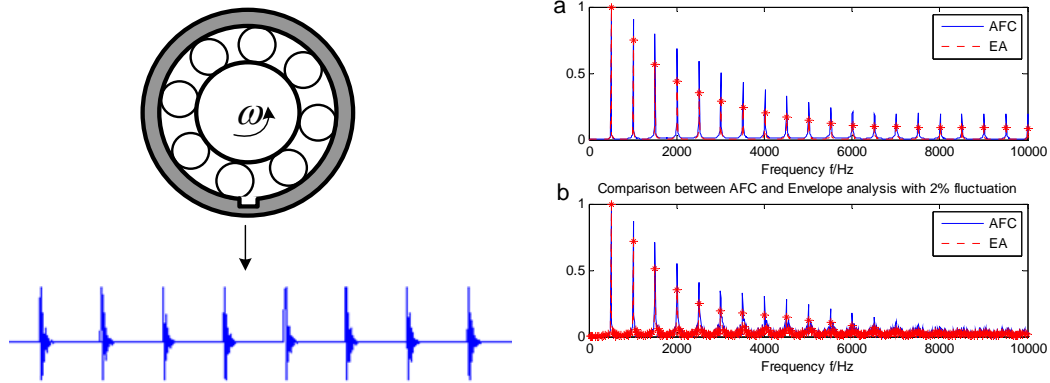


图 33 (a) 轴承故障及其振动信号；(b) 频谱自相关方法结果与包络谱对比

20) 基于简化 Jones-Harris 方法的球轴承接触角研究

球轴承是旋转机械的重要支承部件，接触角作为球轴承的重要结构参数之一，它对轴承组件的载荷分布、运动关系、润滑、摩擦等都有重要的影响。该研究将求解惯性力所涉及的变量耦合关系进行简化，提出了用于研究球轴承接触角特性的简化 Jones-Harris 方法(SJHM)，通过预先给定内圈偏转角，克服了直接迭代法难以考虑内圈偏转角对接触角影响规律的不足。以 b218 轴承为对象，验证了 SJHM 方法的有效性；在此基础上，分析了离心力、陀螺力矩、轴向载荷、径向载荷和内圈偏转角对接触角的影响规律。研究表明：相比陀螺力矩的影响，离心力对内、外接触角的影响更加显著；接触角对轴承内圈偏转角的变化非常敏感，内圈偏转角会使同一个滚动体的内、外接触角同时增大或减小。该研究提出的接触角简化分析方法及所得结论对接触角影响下的转子系统动态稳定性研究具有重要的指导意义。

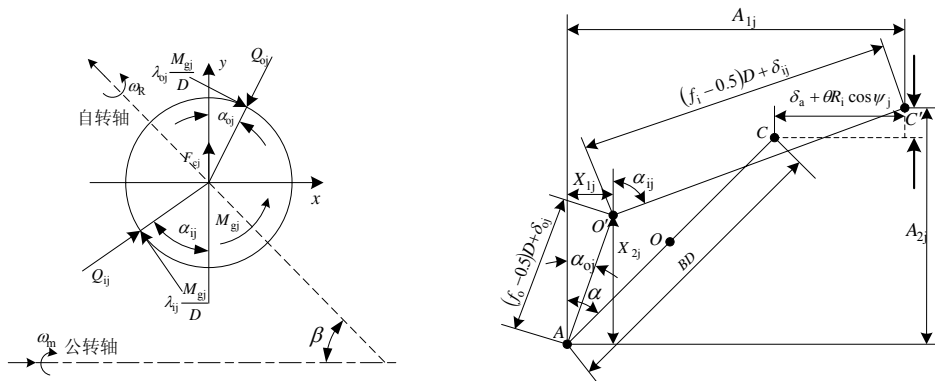


图 34 (a) 滚动体的力学模型；(b) 轴承组件相对位置的变化

三、2011 年摩擦学国家重点实验室年度报告

1. 年度工作计划总结

在 2011 年按计划开展了实验室各项工作，承担了多项国家重大科研任务，包括 973 项目，国家重大科技专项、基金委重大研究计划等，进校经费约 2 亿元，在超滑、超精表面制造、超高精度运动平台方面取得了重要进展。新增实验室仪器和装备价值 1100 余万元；进一步加强了国际交流与合作，多名国际知名学者来实验室进行短期工作。进行了实验室自主研究课题的立项、进展和结题检查，实验室开放课题的进展和立项；2011 年实验室申请专利数、论文影响因子、引用次数较上年度有较大幅度增加；新增科学院院士 1 名、新世纪人才 1 名，获国家科技奖 1 项、教育部自然科学奖一等奖 1 项、中国机械工程学会青年科技成就奖 1 项、国际学术机构奖励 2 项。

① 自主研究课题执行情况

根据科技部 2008 年国家重点实验室科研业务费的使用管理规定，摩擦学国家重点实验室年依据五个主要研究方向分四批设立了自主研究课题共 57 项，重点课题支持在实验室主要研究方向进行巩固、开拓和发展的研究，确保主要研究方向长期稳定发展；自由探索课题支持实验室主要研究方向涵盖内的创新生长点的研究，共设立重点课题 14 项，自由探索课题 30 项，奖励课题（含主任基金）13 项；其中 2011 年设立重点课题 2 项[①超滑材料的特性与机理研究、②大型风电装备失效机理与故障诊断]，自由探索课题 7 项[①基于高电极电位表面特性的新型抗空蚀材料制备及应用基础研究、②基于动电效应的微流体运动及控制的研究、③考虑间隙和摩擦的机械系统碰撞动力学建模与仿真、④液晶涂层表面剪应力传感器的研究、⑤微结构波导激光阵列自组织亮度提升研究、⑥柔性支撑并联机器人的力学特性及抑振控制研究、⑦航空发动机气膜密封机理研究]，奖励课题（含主任基金）7 项[①冗余驱动并联机床内力优化及高精度控制技术研究、②等离子体放电过程容性/感性耦合机制研究、③旋转机械主动隔振控制能力问题研究、④机械密封混合润滑模型中烧结材料特性的影响、⑤三维微结构扫描电加工机理及集成工艺研究、⑥腹腔介入治疗机器人系统理论及技术研究、⑦刀具表面织构对钛合金切削刀屑摩擦特性的影响]。

项目的总体设立与研究情况：

围绕摩擦学理论与技术方向设立重点课题 4 项，结题 2 项，在研 2 项：①超滑材料的特性与机理研究、②核主泵用流体机械密封特性研究；自由探索课题在研 4 项。

围绕表面/界面科学与技术方向设立重点课题 3 项，结题 1 项，在研 2 项：①大型风电装备失效机理与故障诊断、②气/汽相结构对固液界面效应的影响研究；自由探索课题在研 1 项。

围绕微纳制造理论与技术方向设立重点课题 4 项，结题 1 项，在研 3 项：①介观

尺度下微刃去除材料机理及应用研究、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；自由探索课题在研 3 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；自由探索课题在研 3 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，已结题；自主探索课题在研 1 项。

实验室组织专家组于 2011 年 12 月对所有重点课题及自由探索的结题项目进行了汇报检查，并检查了在研项目提交的研究进展报告。专家组对每个项目的进展或结题情况进行了评比与指导。检查情况表明，大部分自主研究课题在 2011 年进展顺利，特别是在水基润滑与超滑机理、超低摩擦的分子动力学模拟、铜互连无应力抛光设备、上肢神经康复机器人、动态波前误差的自适应光学实时校正与波面闭环控制的研究及产业化研究等方面取得了阶段性重要成果。2011 年结题的重点和自由探索项目大部分完成了任务书所规定的研究内容，部分取得了重要理论研究进展和应用研究成果，但定量性或突破性重要理论成果还偏少。

实验室将于 2012 年下半年对 2009 年立项的重点课题和 2010 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

2011 年度实验室共设立开放课题 16 项，共资助经费 79 万元。其中自由申请课题 10 项，共计经费 34 万元，用于资助外单位人员使用实验室的实验设备，扩大实验室开放度。资助重点课题 6 项，经费共计 45 万元。重点课题的研究内容与实验室的主要研究方向密切相关，用于支持相关科研工作。2011 年度，开放基金支出金额共计 21.36 万元，支出方向是实验费和差旅费费用。

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

2011 年，围绕以上主要研究方向，实验室积极组织和参加国家重点基础研究项目、国家自然科学基金重大研究计划、国家科技专项和国防创新研究项目的立项和申报工作。雒建斌院士任首席科学家承担“973”项目“超大规模集成电路制造装备基础问题研究”；2011 年，新增刘岩为首席科学家承担 973 项目“高性能 LED 制造与装备中的关键基础问题研究”。目前，作为项目总体负责单位承担“973”计划超低压下异质表面纳米精度平坦化新原理与实现项目 1 项，雒建斌院士任首席科学家；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。承担了国家 02 重大课题专项 IC 装备工艺模拟与多领域建模工艺仿真设计平台项目 1 项，季林红教授为课题负责人。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已经获得了第二期（2011-2013）资助；

2011 年，实验室承担在研课题 200 余项。在国内外学术刊物及学术会议发表论文 154 篇，其中 SCI 收录 113 篇（影响因子情况 $IF>3$ 的 21 篇），EI 收录 39 篇。此外，获得国家发明专利授权 29 件，教育部自然科学奖一等奖 1 项、中国机械工程学会青年科技成就奖 1 项、国际学术机构奖励 2 项。实验室固定人员共计在国内外会议上做邀请报告 10 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

关于碳基材料的超低摩擦在实验中机理的研究。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。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。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。建立了层状石墨烯粘滑摩擦的物理模型，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。

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。

对磁流变效应中的剪切增稠现象的研究，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。研究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。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。

2) 机械表面/界面科学与性能控制

在表面涂层研究方面，实验室本年度的研究工作包括：开展了元素掺杂 CN_x 薄膜的制备及其性能研究，考察了 Ti、Zr、Si 等元素掺杂对 CN_x 薄膜性能的影响及其作用机理，重点研究了 Si 掺杂在提高 CN_x 薄膜性能方面的作用；开展了以高速切削刀具为应用背景的 TiAlN/Ta、SiCN/TiCN 多层膜研究，与相应的单层膜相比，薄膜性能得到了明显的提高；进行了以提高刀具涂层热稳定性为目的的 TiAlSiN 涂层的制备及性能研究，初步的切削实验表明，所制备的涂层性能达到了预期的要求；基于图形化薄膜技术改善涂层残余应力和膜基结合力的研究方面取得了显著进展，结果表明，适当设计的图形化薄膜可以有效降低薄膜中的残余应力并提高膜/基结合力；同时，还进一步开展了热式流速传感器 Ni/Cr 薄膜的制备、微观结构和电性能的研究。

进一步开展了基于光纤聚焦的激光表面微观织构制备研究。利用超声腐蚀方法，实现了直径为 1~5 μm 微细光纤的快速批量制备，利用其作为激光聚焦元件，用 1064nm 波长的 YAG 固体激光单脉冲照射（脉宽为 10ns，激光能量在 20mJ 左右），在物理气相沉积镀制的 TiAlSiN 薄膜（基体为单面抛光的多晶硅）表面加工出了亚微米级的线状沟道，所获得沟槽的最小线宽为约 270nm，小于入射激光的半波长。同时，利用 COMSOL Multiphysics 多物理场耦合分析软件对光纤聚焦进行了模拟计算。模拟结果表明，当光纤直径在 1 μm~5 μm 附近，光纤后场出现能量汇聚现象，汇聚光可在基底上形成宽度小于三分之一波长的能量聚集区。刻蚀结果与模拟结果

取得了很好的一致。

开展了材料接触起电问题的研究，建立了金属/金属、金属/绝缘体、绝缘体/绝缘体之间的接触起电模型以及相应的接触起电电荷测量实验装置。利用所建立的模型和实验装置，研究了载荷、材料、环境湿度、接触次数等对接触起电电荷的影响。已有的接触起电研究认为接触起电的电荷量是材料功函数之差以及接触面积的线性函数。本实验研究结果表明，接触起电产生的电荷不仅与二者有关，还与材料的表面性质、环境湿度等因素有直接的关系。此外，还利用基于密度泛函理论的第一性原理方法，研究了金属与金属在接触状态下电荷的转移过程。进行了电荷布居分析，计算了差分电荷密度和态密度分布。相关工作正在进行之中。

轴表加工方法对橡塑密封性能的影响的研究工作，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。

该研究针对航天工程中对动力学性能及高可靠性的要求，以火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火箭系统外载荷的关系，建立了考虑包带连接的火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。部分技术已用于火箭解锁分离、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。

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究开发。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。

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

3) 生物摩擦学与生物机械

对于上肢神经康复机器人的研究及产业化的研究，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。

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。

仿生智能假肢的研究是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。

4) 微纳制造理论与技术

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。

基于国家科技重大专项 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。对超低压力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力协同控制。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。

5) 微纳光电测试理论与技术

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： $12\text{J}/\text{cm}^2$ (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。

本研究完成了该最大的单一口径射电天文望远镜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。

3. 队伍建设和人才培养

实验室一共有固定研究人员 89 人，固定实验室管理人员 6 人，研究助理 69 人，在站博士后 48 人，在读博士和硕士研究生 245 人。

2011 年实验室主任雒建斌教授当选中国科学院院士。实验室也加强了青年研究骨干的培养和人才引进工作，本实验室出站博士后张洪玉和李党国留校并在摩擦学

国家重点实验室工作，其中张洪玉于英国哈德斯菲尔德大学精密技术中心获得博士学位。实验室马天宝助理研究员晋升副研究员，柳强副研究员晋升为研究员。张晨辉列入新世纪人才支持计划。

4. 学术交流与运行管理

2011 年实验室进一步加强与国际学术界的交流与合作。实验室参加出国讲学、短期工作访问或国际学术会议活动的师生有 20 余人。雒建斌教授在 2011 年日本召开的 5 年一次的日本国际摩擦学大会 (ITC) 上做 Plenary 报告，孟永钢教授担任了分会主席。雒建斌、田煜和刘宇红受邀请在德国举行的中德纳米制造与纳米摩擦学会议上做了邀请报告。邵天敏教授和胡元中教授在兰州举行的第六届中国国际摩擦学学术会议上做邀请报告；路新春教授受邀请在第九界中国摩擦学大会上做大会报告。博士生魏松波参加第 38 届冶金涂层与薄膜国际会议 (38th ICMCTF) 并获由美国真空学会 (AVS) 先进表面工程分支机构颁发的研究生奖 (Graduate Student Awards)。这也是此奖项设立以来首次颁发给中国学生。博士生赵德文在韩国举行的国际 CMP 技术会议 ICPT2011 上获得最佳 poster 论文奖，这也是我国学生第一次获得该奖项。另外，有 30 多位教师和研究生参加了 2011 年在北京举办的青年摩擦学大会和在武汉举办的第十届全国摩擦学大会。实验室 4 位教师参加了在美国亚特兰大召开的第 66 届 STLE 年会；

2011 年实验室邀请国际知名专家多次来访，并进行学术交流。其中邀请了以色列魏兹曼科学研究院/英国牛津大学 Jacob Klein 教授，以色列理工学院的 Izhak Etsion 教授，美国 Easion 公司的朱东博士，新加坡南洋理工大学原机械学院院长林石甫教授等来实验室进行开展长期的实验研究；德国柏林大学 5 位教师、15 位学生来实验室进行了 30 天的学术交流与培训；英国帝国理工的摩擦学研究中心 6 为教授、副教授来实验室开展了为期 2 天的双边学术交流。邀请了新加坡南洋理工大学杜和军教授，以色列特拉维夫大学 Michael Urbakh 教授，加拿大 Alberta 大学 Hongbo Zeng 教授，加拿大原子能公司流体密封技术部李金通博士，我国机构学著名学者、机构学界最高奖"机构学学术创新奖"获得者、杨廷力教授来实验室进行学术交流；与日本 NSK 公司、Panasonic 公司、Toshiba 公司、IHI 公司，德国 Siemens 公司，芬兰 KONE 公司等开展了国际合作研究。

5. 实验室公众开放活动

国家重点实验室的作为重要的对公众开放的科技展示平台，有向公众展示科研成果，进行科普教育的义务和责任。2011 年度实验室多次接待社会团体、企业和其它机构来实验室参观访问。其中，2011 年 11 月，接待了中国科协组织的“明天小小科学家”入评中学生团队参观；2011 年 12 月份，接待了台湾富士康集团董事长郭台铭

一行来实验室访问、交流，并讨论双方合作意向。实验室作为公共开放平台，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。通过各种形式的对外开放，提高了社会对实验室科学研究工作的认知度，促进了实验室和社会各界的合作与交流，推动实验室研究成果的产学研转化。

6. 实验室大事记

为配合清华大学百年校庆活动，对实验室进行了进一步规划和修整，为实验室的后续发展创造了更好的条件。实验室对化学间进行清理和改造工作，提高化学间的使用效率和安全性。对重点实验室全部房屋进行粉刷和维修维护的工作，房屋的粉刷面积 1000 平米，并维修房屋防水，更换门窗。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教师与实验室管理人员参加的专门小组进行设备采购工作，目前 2009、2010 年批复的设备购买都已谈判完毕,已签订采购合同并完成了相关的采购工作。2011 年度实验室共采购包括多功能摩擦磨损试验机、可控环境摩擦磨损试验机等 9 台大型设备，这些设备均已完成采购验收工作，并已投入实验室使用。

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。2011 年度，在实验室设备采购的过程中，清华大学协助提供高效快速的设备采购服务，为实验室完成设备采购提供积极支持。实验室在精密仪器与机械学系的帮助下，加强安全管理工作，增设夜间值班岗位，并实现和精仪系安全工作的统筹管理。

四、科研项目

2011年，实验室承担在研课题200余项，科研经费约2亿元。围绕以上主要研究方向，实验室积极组织和参加国家重点基础研究项目、国家自然科学基金重大研究计划、国家科技专项和国防创新研究项目的立项和申报工作。雒建斌院士任首席科学家承担“973”项目“超大规模集成电路制造装备基础问题研究”；2011年，新增刘岩为首席科学家承担973项目“高性能LED制造与装备中的关键基础问题研究”；目前，作为项目总体负责单位承担“973”计划超低压下异质表面纳米精度平坦化新原理与实现项目1项，雒建斌院士任首席科学家；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。承担了国家02重大课题专项IC装备工艺模拟与多领域建模工艺仿真设计平台项目1项，季林红教授为课题负责人。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已经获得了第二期（2011-2013）资助。

1. 主要承担项目：

973项目

序号	项目名称	编号	类别	负责人
1	超大规模集成电路制造装备基础问题研究	2009CB724200	"973"项目	雒建斌
2	航空/新型能源关键结构激光制造及性能控制	2011CB013004	"973"课题	周明
3	纳尺度下生物溶液流变行为研究	2011CB707603	"973"课题	田煜
4	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
5	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
6	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
7	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
8	高压微间隙中的润滑及其尺度效应	2007CB607604	"973"课题	路新春
9	全断面掘进系统性能仿真与试验	2007CB714007	"973"课题	冯平法
10	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-结构设计及优化课题	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	纳米图案的旋转式近场光刻制造系统与关键技术	91123033	国家自然科学基金	孟永钢
2	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
3	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
4	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

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	开始时间	结束时间
----	------	------	------	------	------	------

				人		
1	日本	LED 制造中超硬衬底晶片表面化学机械抛光研究	东京大学	潘国顺	2012-01	2014-12
2	美国	Study of the lubrication of textured surfaces	Shell Global Solutions (US)	孟永钢	2011-7	2013-12
3	芬兰	Research on friction of textured surfaces and metallic and alloy coatings on steel and iron	KONE Elevators Co., Ltd.	邵天敏	2011.4	2012.9
4	日本	Basic Studies of Mechanisms about Grease Lubrication of Rolling Contact	日本 IHI 公司	田煜	2011-01	2012-12
5	日本	苛刻条件润滑机理及润滑材料研究	东京大学	郭丹	2011-07	2014-12
6	日本	电火花加工抬刀参数的最优控制	日本牧野	韩福柱	2010-05	2011-03
7	日本	支持 STEP-NC 和并行算法的 NC 内核研究	东京大学	叶佩青	2010-10	2011-12
8	德国	The research on new wear and corrosion resistance, thermal conductive coatings	Siemens Ltd., Chian	张晨辉	2010-09	2011-08
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	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
11	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
12	日本	原子级光滑表面抛光研究	东京大学	潘国顺	2008-08	2011-12
13	日本	紫外光纤激光器研究	日立 Via 机械	巩马理	2005-01	2011-07

2. 本年度新增其它项目：

序号	项目名称	编号	类别	负责人
1	利用空间磁场信息的六自由度精密实时测量研究	51175296	国家自然科学基金	胡金春

五、科研成果

1. 科研奖励和论文奖励

类别	等级	完成单位次序	成果名称	获奖人员	获奖单位	年度
高等学校优秀成果奖自然科学奖	一等	1	细观与分子水平润滑摩擦的行为与机理	胡元中,王文中,马天宝,王慧,邹鲲,李欣,彭倚天,李瑞,刘雨川,冷永胜,张宇军	清华大学、北京理工大学	2011
摩擦学最佳论文奖(中国机械工程学会摩擦学分会发)		1	Molecular dynamics simulation of shear-induced graphitization of amorphous carbon films	马天宝,胡元中,王慧	清华大学	2011
美国真空学会(AVS)先进表面工程分支机构颁发的研究生奖(Graduate Student Awards)		1	Bonding Structures and Mechanical Properties of Silicon Doped Carbon Nitride Films (San Diego)	魏松波(博士生),邵天敏	清华大学	2011

2. 发明专利

获得国家发明专利授权 29 项。

序号	发明专利号	专利名称	发明人
1	ZL200810117832.6	一种集成电路铜布线的无磨粒化学机械抛光液	路新春、张伟、雒建斌、刘宇宏、潘国顺
2	ZL200810246695.6	一种集成电路铜布线电沉积用的电解液	路新春、张伟、雒建斌、刘宇宏、潘国顺
3	ZL200910083589.5	一种电机内置式抛光机转台	路新春、赵德文、王同庆、雒建斌
4	ZL200910083590.8	集成外转子式直驱抛光机转台	路新春、赵德文、王同庆、雒建斌
5	ZL200910083720.8	一种内循环冷却抛光盘	路新春、赵德文、王同庆、雒建斌
6	ZL200910089150.3	一种用于对抛光垫进行修整的修整装置	路新春、彭静、赵德文
7	ZL200910237484.0	一种超声辅助化学机械抛光蓝宝石衬底材料的装置及方法	路新春、许文虎、潘国顺、雷源忠、雒建斌

8	ZL201010120263.8	电致轴承破坏试验的方法和装置	雒建斌、解国新、李刚
9	ZL200810246694.1	一种用于玻璃模具表面的 Ni-W-纳米 CeF ₃ 复合镀层及电镀方法与电解液	路新春、韩宝磊
10	ZL200910077035.4	一种超高纯二氧化硅溶胶的纯化方法	潘国顺、顾忠华、雒建斌、路新春、刘岩
11	ZL200910082481.4	一种高平均功率高重复频率的固体激光器	柳强、巩马理、付星、闫兴鹏、崔进宇、黄磊、闫平、张海涛
12	ZL200910243005.6	双包层光纤的泵浦方法及双包层光纤激光器	巩马理、高松、刘欢、柳强、闫平、张海涛、黄磊
13	ZL200910243722.9	一种改善非对称散热板条型激光器热聚焦不对称的装置	巩马理、高松、刘欢、柳强、闫平、张海涛、黄磊
14	ZL200710064682.2	一种实现大功率泵浦光高效率耦合的光纤耦合器	巩马理、黄磊、殷树鹏、柳强、闫平、李晨
15	ZL201010034309.4	一种光纤端面的镀膜方法	巩马理、闫平、张海涛、郝金平、廖素英
16	ZL200910082601	一种减重步行康复训练机器人.	王人成、王爱明、贾晓红、陈鹏、程方、马辰
17	ZL200910082500	一种竖直随动式减重步行康复训练机器人	王人成、贾晓红、王爱明、陈鹏、程方、马辰
18	ZL200910077455	一种用于康复训练的装置	王人成、王爱明、贾晓红.
19	ZL200810240424	基于声发射技术的水轮机故障诊断及装置	卢文秀、褚福磊
20	ZL201010163459.5	一种纸币捆扎机捆扎圈形成与检测机构	索双富、葛方俊、王志豪、宋琳、吴琼
21	ZL201010168182.5.	一种用于反应堆冷却剂泵或冷却剂风机检修的密封机构	高志、李永健、索双富、黄伟峰、刘莹、刘向锋、王玉明.
22	ZL200810119387.7.	一种压电旋转驱动器	高志、刘向锋、刘莹、刘大伟、丘天.
23	ZL200810057401.5	一种轮足两用机器人腿	吴丹、赵旦谱、杨宏源、郭丽峰、宾洋、刘宗政、陈恳
24	ZL200910241631.1	一种整体式的点样针清洗装置	吴丹、宋立滨、潘玉龙、刘飞、陈恳
25	ZL200910079713.0	柔性 MEMS 减阻蒙皮及其制造方法	李勇、黄伟峰、陈旭鹏、朱效谷
26	ZL200910236371.9	微三维结构的电火花电解组合铣削加工方法	李勇、佟浩、胡满红、陈旭鹏
27	ZL200910235782.6	三维微细电火花伺服扫描粗精加工结合工艺	佟浩、李勇

28	ZL200910236548.5	微小放电间隙的双反馈自适应解析模糊伺服控制方法	佟浩、李勇
29	ZL201010129185.8	一种金属薄膜厚度的电涡流测量方法	赵乾、孟永钢、乐承宁、路新春

3. 发表论文

在国内外学术刊物及学术会议发表论文 154 篇，其中 SCI 收录 113 篇，EI 收录 39 篇，有 36 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（出版社）名称	卷、期、页	作者
1	Double Loop Optical Buffer With Vertical 8-Figure Structure Based on a Collinear 3 x 3 Coupler	IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS	23(24):1845-1847(2011)	Wang, Yaping; Wu, Chongqing; Gong, Mali; Yan, Ping
2	Comparison of surface damage under the dry and wet impact: Molecular dynamics simulation	APPLIED SURFACE SCIENCE	258(5):1756-1761(2011)	Chen, Ruling; Liang, Min; Luo, Jianbin; Lei, Hong; Guo, Dan; Hu, Xiao
3	Numerical analysis on the clamping reliability of fixture-workpiece facility considering partial slip	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART J-JOURNAL OF ENGINEERING TRIBOLOGY	225(J12):1186-1198(2011)	Wang, L.; Wang, Z-J; Wang, W-Z; Hu, Y-Z; Wang, H.
4	Effects of Cr buffer layer thickness on the microstructure and the properties of Ni thin films deposited on polyimide substrate	APPLIED SURFACE SCIENCE	258(4):1565-1571(2011)	Xu, Jun; Shao, Tianmin
5	Reliability analysis method of a solar array by using fault tree analysis and fuzzy reasoning Petri net	ACTA ASTRONAUTICA	69(11-12):960-968(2011)	Wu, Jianing; Yan, Shaoze; Xie, Liyang
6	Preparation, Characterization and Formation Mechanism of Thermoplastic Polyurethane Nanostructures Using Solution Wetting Template	JOURNAL OF NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY	11(11):10240-10246(2011)	Han, Guiquan; Liu, Yuhong; Luo, Jianbin; Lu, Xinchun
7	Dependence of curvature type of thermal lensing on number of bounces in a zigzag slab laser: numerical modeling	CHINESE PHYSICS B	20(11):(2011)	Fu Xing; Liu Qiang; Yan Xing-Peng; Gong Ma-Li
8	Numerical and experimental investigation on multi-zone chemical mechanical planarization	MICROELECTRONIC ENGINEERING	88(11):3327-3332(2011)	Wang, Tongqing; Lu, Xinchun

9	Synergistic roles of mixed inhibitors and the application of mixed complexing ligands in copper chemical mechanical polishing	MICROELECTRONIC ENGINEERING	88(11):3372-3374(2011)	Wang Ning; Pan Guoshun; Liu Yan
10	Preparation of silane modified SiO ₂ abrasive particles and their Chemical Mechanical Polishing (CMP) performances	WEAR	273(1):100-104(2011)	Pan, GuoShun; Gua, ZhongHua; Zhou, Yan; Li, Tuo; Gong, Hua; Liu, Yan
11	Modeling of particle removal processes in brush scrubber cleaning	WEAR	273(1):105-110(2011)	Huang, Yating; Guo, Dan; Lu, Xinchun; Luo, Jianbin
12	Influence of Illumination on Settlement of Diatom Navicula sp.	MICROBIAL ECOLOGY	62(4):931-940(2011)	Cao, Shan; Wang, Jiadao; Chen, Darong
13	Frictional behaviour of engineering surfaces in overall lubrication regimes of point contacts	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART J-JOURNAL OF ENGINEERING TRIBOLOGY	225(J11):1071-1080(2011)	Wang, S.; Hu, Y-Z; Tan, Q-C
14	Analysis and optimum design of rider-bicycle mechanisms: Design of bicycle parameters for a specified rider	SCIENCE CHINA-TECHNOLOGICAL SCIENCES	54(11):3027-3034(2011)	Liu XinJun; Wang Jing; Yu WeiYang; Wu JinHua
15	Experimental Investigation of Lubrication Failure of Polyalphaolefin Oil Film at High Slide/Roll Ratios	TRIBOLOGY LETTERS	44(2):107-115(2011)	Qian, Shanhua; Guo, Dan; Liu, Shuhai; Lu, Xinchun
16	Adaptive Robust Repetitive Control of an Industrial Biaxial Precision Gantry for Contouring Tasks	IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY	19(6):1559-1568(2011)	Hu, Chuxiong; Yao, Bin; Chen, Zheng; Wang, Qingfeng
17	Global Task Coordinate Frame-Based Contouring Control of Linear-Motor-Driven Biaxial Systems With Accurate Parameter Estimations	IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS	58(11):5195-5205(2011)	Hu, Chuxiong; Yao, Bin; Wang, Qingfeng
18	Long range interactions between micro spheres and alloy surfaces in water changed by ion implantation	APPLIED SURFACE SCIENCE	258(1):474-477(2011)	Li Jiang; Chen Haosheng; Liu Fengbin
19	Influences of temperature, H ₂ SO ₄ concentration and Sn content on corrosion behaviors of PbSn alloy in sulfuric acid solution	JOURNAL OF POWER SOURCES	196(20):8789-8801(2011)	Li, D. G.; Chen, D. R.; Wang, J. D.; Chen, H. S.
20	Shear-induced lamellar ordering and interfacial sliding in amorphous carbon films: A superlow friction regime	CHEMICAL PHYSICS LETTERS	514(4-6):325-329(2011)	Ma, Tian-Bao; Hu, Yuan-Zhong; Xu, Liang; Wang, Lin-Feng; Wang, Hui

21	The contribution of the micropores in bone cement surface to generation of femoral stem wear in total hip replacement	TRIBOLOGY INTERNATIONAL	44(11):1476-1482(2011)	Zhang, Hongyu; Brown, Leigh; Blunt, Liam; Jiang, Xiangqian; Barrans, Simon
22	The Effect of Boundary Condition on the Biomechanics of a Human Pelvic Joint Under an Axial Compressive Load: A Three-Dimensional Finite Element Model	JOURNAL OF BIOMECHANICAL ENGINEERING-TRANSACTIONS OF THE ASME	133(10):(2011)	Hao, Zhixiu; Wan, Chao; Gao, Xiangfei; Ji, Tao
23	Improvement of orthodontic friction by coating archwire with carbon nitride film	APPLIED SURFACE SCIENCE	257(24):10333-10337(2011)	Wei, Songbo; Shao, Tianmin; Ding, Peng
24	Development of a Piezoresistive Force Transmitter for Gauging Yarn's Linear Density in High-Speed Textile Machinery	IEEE SENSORS JOURNAL	11(10):(2011)	Zhao, Libo; Zhao, Yulong; Liu, Yuanhao; Li, Jianbo; Liang, Jianqiang; Jiang, Zhuangde
25	Experimental research into time-frequency characteristics of cavitation noise using wavelet scalogram	APPLIED ACOUSTICS	72(10):721-731(2011)	He, Yongyong; Liu, Yuan
26	All-Fiber Mode-Locked Ring Laser With a Sagnac Filter	IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS	23(18):1301-1303(2011)	Zhou, Jie; Yan, Ping; Zhang, Haitao; Wang, Dongsheng; Gong, Mali
27	Role of external magnetic field during friction of ferromagnetic materials	WEAR	271(11-12):2991-2997(2011)	Jiang, Jile; Tian, Yu; Meng, Yonggang
28	Periodic adjustment of the position of a laser beam spot on a semiconductor saturable absorber mirror in a passively mode-locked solid-state laser	CHINESE PHYSICS B	20(9):(2011)	Xia Pa-Keti; Yan Ping; Gong Ma-Li
29	A lubrication model between the soft porous brush and rigid flat substrate for post-CMP cleaning	MICROELECTRONIC ENGINEERING	88(9):2862-2870(2011)	Huang, Yating; Guo, Dan; Lu, Xinchun; Luo, Jianbin
30	Molecular alignment of nano-thin film using Raman spectroscopy	ACTA PHYSICA SINICA	60(9):(2011)	Zhang Hong-Yu; Zhang Shao-Hua; Liang He; Liu Yu-Hong; Luo Jian-Bin
31	Effects of PFPE Lubricant Properties on the Critical Clearance and Rate of the Lubricant Transfer from Disk Surface to Slider	TRIBOLOGY LETTERS	43(3):275-286(2011)	Li, Ning; Meng, Yonggang; Bogy, David B.
32	Experimental investigation on high-performance coordinated motion control of high-speed biaxial systems for contouring tasks	INTERNATIONAL JOURNAL OF MACHINE TOOLS & MANUFACTURE	51(9):677-686(2011)	Hu, Chuxiong; Yao, Bin; Wang, Qingfeng; Chen, Zheng; Li, Cong

33	Abnormal refraction of microwave in ferrite/wire metamaterials	OPTICS EXPRESS	19(17):15679-15689(2011)	Zhao, Hongjie; Li, Bo; Zhou, Ji; Kang, Lei; Zhao, Qian; Li, Weibin
34	Direct observation of oil displacement by water flowing toward an oil nanogap	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	110(4):(2011)	Xiao, Huaping; Guo, Dan; Liu, Shuhai; Xie, Guoxin; Pan, Guoshun; Lu, Xinchun; Luo, Jianbin
35	Superlubricity Behavior with Phosphoric Acid-Water Network Induced by Rubbing	LANGMUIR	27(15):9413-9417(2011)	Li, Jinjin; Zhang, Chenhui; Luo, Jianbin
36	A hybrid model for multiscale simulations of nanoindentation	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART J-JOURNAL OF ENGINEERING TRIBOLOGY	225(J8):845-853(2011)	Zhu, P-Z; Hu, Y-Z; Wang, H.
37	Tapered fused fiber bundle coupler capable of 1 kW laser combining and 300 W laser splitting	LASER PHYSICS	21(8):1415-1419(2011)	Xiao, Q.; Yan, P.; He, J.; Wang, Y.; Zhang, X.; Gong, M.
38	A 12 mJ 11 ns spectrally narrow fiber amplifier with a pulsed pump	JOURNAL OF OPTICS	13(8):(2011)	Cheng, Wenyong; Zhang, Haitao; Liu, Ming; Zheng, Chao; Yan, Ping; Gong, Mali
39	Influence of fusion splice on high power ytterbium-doped fiber laser with master oscillator multi-stage power amplifiers structure	OPTICS AND LASERS IN ENGINEERING	49(8):1054-1059(2011)	Yin, Shupeng; Yan, Ping; Gong, Mali
40	An experimental study on the normal stress of magnetorheological fluids	SMART MATERIALS & STRUCTURES	20(8):(2011)	Jiang, Jile; Tian, Yu; Ren, Dongxue; Meng, Yonggang
41	High-power 266 nm ultraviolet generation in yttrium aluminum borate	OPTICS LETTERS	36(14):2653-2655(2011)	Liu, Qiang; Yan, Xingpeng; Gong, Mali; Liu, Hua; Zhang, Ge; Ye, Ning
42	Vanishing stick-slip friction in few-layer graphenes: the thickness effect	NANOTECHNOLOGY	22(28):(2011)	Xu, Liang; Ma, Tian-Bao; Hu, Yuan-Zhong; Wang, Hui
43	Nanoparticle-wall collision in a laminar cylindrical liquid jet	JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE	359(2):334-338(2011)	Xu, Xuefeng; Luo, Jianbin; Guo, Dan
44	Three-Dimensional Plasto-Elastohydrodynamic Lubrication (PEHL) for Surfaces with Irregularities	JOURNAL OF TRIBOLOGY-TRANSACTIONS OF THE ASME	133(3):(2011)	Ren, Ning; Zhu, Dong; Wang, Q. Jane

45	Effect of Substrate Positioning on Surface Quality of TiAlN Films Deposited by Multi-Arc Ion Plating	RARE METAL MATERIALS AND ENGINEERING	40:481-487(2011)	Wang Ximei; Shao Tianmin
46	Relationship between the size of SiO ₂ nanospheres and the structure colour	MICRO & NANO LETTERS	6(7):527-529(2011)	Li, Xi; Li, Jiawen; Li, Jinjin; Liu, Yi; Huang, Wenhao
47	Dimension optimization of an orientation fine-tuning manipulator for segment assembly robots in shield tunneling machines	AUTOMATION IN CONSTRUCTION	20(4):353-359(2011)	Wu, Chao; Liu, Xin-Jun; Wang, Li-Ping; Wang, Jinsong
48	Investigation on Semi-conductive Properties of Hot Growth Film on 316L Austenitic Stainless Steel	CHEMICAL RESEARCH IN CHINESE UNIVERSITIES	27(4):697-702(2011)	Li Dang-guo; Chen Da-rong; Wang Jia-dao; Chen Hao-sheng
49	Kinematic calibration of the 3-DOF parallel module of a 5-axis hybrid milling machine	ROBOTICA	29:535-546(2011)	Wang, Li-Ping; Xie, Fu-Gui; Liu, Xin-Jun; Wang, Jinsong
50	A semi-analytical calculation method of bending loss for large-mode-area fibers with arbitrary refractive-index profile	OPTICS COMMUNICATIONS	284(14):3575-3580(2011)	Liao, Suying; Gong, Mali
51	Microfluidic Generation of Multifunctional Quantum Dot Barcode Particles	JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY	133(23):8790-8793(2011)	Zhao, Yuanjin; Shum, Ho Cheung; Chen, Haosheng; Adams, Laura L. A.; Gu, Zhongze; Weitz, David A.
52	36.5 W high beam quality 532 nm green laser based on dual-rod AO Q-switched resonator	OPTICS COMMUNICATIONS	284(13):3383-3386(2011)	Liu, Q.; Chen, H.; Yan, X.; Gong, M.
53	Synthesis of Biomimetic Superhydrophobic Surface through Electrochemical Deposition on Porous Alumina	JOURNAL OF BIONIC ENGINEERING	8(2):122-128(2011)	Wang, Jiadao; Li, Ang; Chen, Haosheng; Chen, Darong
54	Unipolar Resistive Switching Properties of Diamondlike Carbon-Based RRAM Devices	IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS	32(6):803-805(2011)	Fu, Di; Xie, Dan; Feng, Tingting; Zhang, Chenhui; Niu, Jiebin; Qian, He; Liu, Litian
55	Adaptive Robust Precision Motion Control of Systems With Unknown Input Dead-Zones: A Case Study With Comparative Experiments	IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS	58(6):2454-2464(2011)	Hu, Chuxiong; Yao, Bin; Wang, Qingfeng
56	Thin liquid film lubrication under external electrical fields: Roles of liquid intermolecular interactions	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	109(11):(2011)	Xie, Guoxin; Luo, Jianbin; Liu, Shuhai; Guo, Dan; Zhang, Chenhui
57	Single mode MOPA structured all-fiber Yb pulse fiber amplifier at low repetition	LASER PHYSICS	21(6):1081-1084(2011)	Zheng, C.; Zhang, H. T.; Cheng, W. Y.; Liu, M.; Yan, P.; Gong, M. L.
58	A new solution for topology optimization problems with multiple loads: The guide-weight method	SCIENCE CHINA-TECHNOLOGICAL SCIENCES	54(6):1505-1514(2011)	Liu XinJun; Li ZhiDong; Chen Xiang

59	Spreading of a fluid phase on a spherical surface	JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE	358(1):284-289(2011)	Sui Tao; Wang Jiadao; Chen Darong
60	Tribological properties of oleic acid-modified graphene as lubricant oil additives	JOURNAL OF PHYSICS D-APPLIED PHYSICS	44(20):(2011)	Zhang, Wei; Zhou, Ming; Zhu, Hongwei; Tian, Yu; Wang, Kunlin; Wei, Jinquan; Ji, Fei; Li, Xiao; Li, Zhen; Zhang, Peng; Wu, Dehai
61	Study of effect of indenter shape in nanometric scratching process using molecular dynamics	MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING A-STRUCTURAL MATERIALS PROPERTIES MICROSTRUCTURE AND PROCESSING	528(13-14):4522-4527(2011)	Zhu, Peng-zhe; Hu, Yuan-zhong; Wang, Hui; Ma, Tian-bao
62	Structure Parameter of Electrorheological Fluids in Shear Flow	LANGMUIR	27(10):5814-5823(2011)	Jiang, Jile; Tian, Yu; Meng, Yonggang
63	Nd:GdVO4 slab laser with line-shaped end-pumping profile operating at 912 nm	LASER PHYSICS	21(5):855-860(2011)	Hong, H.; Liu, Q.; Liu, H.; Fu, X.; Gong, M.
64	Angular spectrum characters of high gain non-critical phase match optical parametric oscillators	CHINESE PHYSICS B	20(5):(2011)	Liu Jian-Hui; Liu Qiang; Gong Ma-Li
65	Superlubricity of a Mixed Aqueous Solution	CHINESE PHYSICS LETTERS	28(5):(2011)	Ma Zhi-Zuo; Zhang Chen-Hui; Luo Jian-Bin; Lu Xin-Chun; Wen Shi-Zhu
66	Design and experimental study of the SPKM165, a five-axis serial-parallel kinematic milling machine	SCIENCE CHINA-TECHNOLOGICAL SCIENCES	54(5):1193-1205(2011)	Xie FuGui; Liu XinJun; Zhang Hui; Wang JinSong
67	Numerical simulation and experimental study of shaft pumping by laser structured shafts with rotary lip seals	TRIBOLOGY INTERNATIONAL	44(5):651-659(2011)	Jia, Xiaohong; Jung, Steffen; Haas, Werner; Salant, Richard F.
68	Breakup of Double Emulsion Droplets in a Tapered Nozzle	LANGMUIR	27(8):4324-4327(2011)	Li, Jiang; Chen, Haosheng; Stone, Howard A.
69	Abrasive rolling effects on material removal and surface finish in chemical mechanical polishing analyzed by molecular dynamics simulation	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	109(8):(2011)	Si, Lina; Guo, Dan; Luo, Jianbin; Lu, Xinchun; Xie, Guoxin
70	Combining whitening filter and wavelet transform to de-noise cavitation noise for cavitation state monitoring	INSIGHT	53(4):205-211(2011)	He, Yongyong; Wu, Yue
71	Influence of pH, immersion time, and benzotriazole concentration on copper corrosion in citric acid based slurries	CHINESE SCIENCE BULLETIN	56(11):1158-1164(2011)	Lue XiaoRen; Lu XinChun; Luo JianBin

72	Distributed-Side-Pumped Slab Lasers: Theoretical Design and Modeling	IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS	47(4):479-485(2011)	Fu, Xing; Liu, Qiang; Gong, Mali
73	30 W output of short pulse duration nanosecond green laser generated by a hybrid fiber-bulk MOPA system	LASER PHYSICS	21(4):708-711(2011)	He, J.; Yan, P.; Liu, Q.; Huang, L.; Zhang, H.; Gong, M.
74	Combined guiding effect in the end-pumped laser resonator	OPTICS EXPRESS	19(7):6883-6902(2011)	Yan, Xingpeng; Liu, Qiang; Wang, Dongsheng; Gong, Mali
75	Dual-rod, 100 Hz, 388 mJ nanosecond Nd:YAG oscillator	APPLIED OPTICS	50(8):1186-1189(2011)	Liu, Qiang; Liu, Jianhui; Gong, Mali
76	High-power all-fiber superfluorescent source with fused angle-polished side-pumping configuration	APPLIED OPTICS	50(8):1164-1169(2011)	Xiao, Qirong; Yan, Ping; Wang, Yaping; Hao, Jinping; Gong, Mali
77	Effect of microparticle properties on erosion in solid-steam mixtures	CHINESE SCIENCE BULLETIN	56(9):933-937(2011)	Xu WanLi; Wang JiaDao; Zhao Wei; Chen DaRong
78	Electronic Properties of Passive Films Formed on G3 and G30 Nickel-based Alloys in Bicarbonate/Carbonate Buffer Solution	CHEMICAL RESEARCH IN CHINESE UNIVERSITIES	27(2):304-312(2011)	Li Dang-guo; Wang Jia-dao; Chen Da-rong
79	Progress of marine biofouling and antifouling technologies	CHINESE SCIENCE BULLETIN	56(7):598-612(2011)	Cao Shan; Wang JiaDao; Chen HaoSheng; Chen DaRong
80	Fabrication of a micro-structured surface based on interfacial convection for drag reduction	CHINESE SCIENCE BULLETIN	56(7):626-632(2011)	Dou ZhaoLiang; Wang JiaDao; Yu Feng; Chen DaRong
81	Near-field-smoothing of periodic chirped pulse with applied angular dispersion	OPTICS AND LASERS IN ENGINEERING	49(3):371-375(2011)	Cheng, Wenyong; Zhang, Xiaomin; Su, Jingqin; Zhang, Rui; Gong, Mali
82	Correlation Between Adsorption/Desorption of Surfactant and Change in Friction of Stainless Steel in Aqueous Solutions Under Different Electrode Potentials	TRIBOLOGY LETTERS	41(3):485-494(2011)	He, Siqing; Meng, Yonggang; Tian, Yu
83	Fusion splicing of double-clad specialty fiber using active alignment technology	CHINESE OPTICS LETTERS	9(2):(2011)	Yin, Shupeng; Yan, Ping; Gong, Mali; He, Jianwei; Fu, Chen
84	Design and control of an electromagnetic fast tool servo with high bandwidth	IET ELECTRIC POWER APPLICATIONS	5(2):217-223(2011)	Wu, D.; Zhou, S.; Xie, X.
85	Back conversion in optical parametric process	ACTA PHYSICA SINICA	60(2):(2011)	Liu Jian-Hui; Liu Qiang; Gong Ma-Li
86	Investigation on Electronic Property of Passive Film on Nickel in Bicarbonate/Carbonate	CHINESE JOURNAL OF CHEMISTRY	29(2):243-253(2011)	Li Dangguo; Wang Jiadao; Chen Haosheng; Chen

	Buffer Solution			Darong
87	Numerical simulation of bubble dynamics in a micro-channel under a nonuniform electric field	ELECTROPHORESIS	32(3-4):414-422(2011)	Luo Jing; Guo Dan; Luo Jianbin; Xie Guoxin
88	100 W ytterbium-doped monolithic fiber laser with fused angle-polished side-pumping configuration	LASER PHYSICS LETTERS	8(2):125-129(2011)	Xiao, Q.; Yan, P.; Yin, S.; Hao, J.; Gong, M.
89	Film Thickness of Ionic Liquids Under High Contact Pressures as a Function of Alkyl Chain Length	TRIBOLOGY LETTERS	41(2):471-477(2011)	Xiao, Huaping; Guo, Dan; Liu, Shuhai; Pan, Guoshun; Lu, Xinchun
90	Electrically controllable fishnet metamaterial based on nematic liquid crystal	OPTICS EXPRESS	19(2):1563-1568(2011)	Zhang, Fuli; Zhang, Weihong; Zhao, Qian; Sun, Jingbo; Qiu, Kepeng; Zhou, Ji; Lippens, Didier
91	Effects of the ultrasonic flexural vibration on the interaction between the abrasive particles; pad and sapphire substrate during chemical mechanical polishing (CMP)	APPLIED SURFACE SCIENCE	257(7):2905-2911(2011)	Xu, Wenhui; Lu, Xinchun; Pan, Guoshun; Lei, Yuanzhong; Luo, Jianbin
92	Mechanisms for nano particle removal in brush scrubber cleaning	APPLIED SURFACE SCIENCE	257(7):3055-3062(2011)	Huang, Yating; Guo, Dan; Lu, Xinchun; Luo, Jianbin
93	Electrical potential modulation of dynamic film properties of aqueous surfactant solutions through a nanogap	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	109(2):(2011)	Xie, Guoxin; Luo, Jianbin; Liu, Shuhai; Guo, Dan
94	Reversible shear thickening at low shear rates of electrorheological fluids under electric fields	PHYSICAL REVIEW E	83(1):(2011)	Tian, Yu; Zhang, Minliang; Jiang, Jile; Pesika, Noshir; Zeng, Hongbo; Israelachvili, Jacob; Meng, Yonggang; Wen, Shizhu
95	Modeling the Chemical-Mechanical Synergy during Copper CMP	JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY	158(2):H197-H202(2011)	Li, Jing; Lu, Xinchun; He, Yongyong; Luo, Jianbin
96	Molecular dynamics simulation on carbon nanotube bundles sandwiched between Si surfaces	ACTA PHYSICA SINICA	60(1):(2011)	Li Rui; Hu Yuan-Zhong; Wang Hui
97	The Extended Peel Zone Model: Effect of Peeling Velocity	JOURNAL OF ADHESION	87(11):1045-1058(2011)	Zhou, Ming; Tian, Yu; Pesika, Noshir; Zeng, Hongbo; Wan, Jin; Meng, Yonggang; Wen, Shizhu

98	The Significance of the Micropores at the Stem-Cement Interface in Total Hip Replacement	JOURNAL OF BIOMATERIALS SCIENCE-POLYMER EDITION	22(7):845-856(2011)	Zhang, H.; Blunt, L.; Jiang, X.; Brown, L.; Barrans, S.
99	Fabrication and Electrical Characterization of Multiwalled Carbon Nanotube-Based Circuit at Room Temperature	JOURNAL OF NANOMATERIALS	10.1155/2011/297534(2011)	Peng, Yitian; Hu, Yuanzhong; Lu, Weibing
100	Characterization and Electrochemical Properties of Gold-Ion Implanted Boron-Doped Diamond	JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY	158(12):K230-K235(2011)	Jiao, Jiao; Wang, Jiadao; Chen, Qunxia; Hu, Jingbo
101	Reactions in double emulsions by flow-controlled coalescence of encapsulated drops	LAB ON A CHIP	11(14):2312-2315(2011)	Chen, Haosheng; Zhao, Yuanjin; Li, Jiang; Guo, Ming; Wan, Jiandi; Weitz, David A.; Stone, Howard A.
102	High power composite Nd:YAG/YAG zigzag dual-slab laser oscillator	LASER PHYSICS	21(1):48-51(2011)	Fu, X.; Liu, Q.; Yan, X.; Cui, J.; Gong, M.
103	72-kW high-peak-power linearly-polarized single-mode pulsed fiber laser with 80 kHz repetition rate and 4.5 ns duration	LASER PHYSICS	21(1):180-183(2011)	He, J.; Yan, P.; Wushouer, X.; Zhou, J.; Gong, M.
104	Optimization design for mechanical seals in reactor coolant pumps based on a fluid-solid strong-interaction model	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART C-JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING SCIENCE	225(C8):1851-1862(2011)	Liao, C-J; Huang, W-F; Wang, Y-M; Suo, S-F; Liu, X-F
105	Kinematic accuracy analysis of flexible mechanisms with uncertain link lengths and joint clearances	PROCEEDINGS OF THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS PART C-JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING SCIENCE	225(C8):1973-1983(2011)	Yan, S.; Guo, P.
106	Breakup of double emulsions in constrictions	SOFT MATTER	7(6):2345-2347(2011)	Chen, Haosheng; Li, Jiang; Shum, Ho Cheung; Stone, Howard A.; Weitz, David A.
107	Investigation of the film formation mechanism of oil-in-water (O/W) emulsions	SOFT MATTER	7(9):4207-4213(2011)	Ma, Liran; Zhang, Chenhui; Luo, Jianbin
108	Fluid drag reduction on superhydrophobic surfaces coated with carbon nanotube forests (CNTs)	SOFT MATTER	7(9):4391-4396(2011)	Zhou Ming; Li Jian; Wu Chunxia; Zhou Xiaokang; Cai Lan
109	Nanoconfined liquid aliphatic compounds under external electric fields: roles of headgroup and alkyl chain length	SOFT MATTER	7(9):4453-4460(2011)	Xie, Guoxin; Luo, Jianbin; Liu, Shuhai; Guo, Dan; Zhang, Chenhui

110	Electrospreading of dielectric liquid menisci on the small scale	SOFT MATTER	7(13):6076-6081(2011)	Xie, Guoxin; Luo, Jianbin; Liu, Shuhai; Guo, Dan; Zhang, Chenhui; Si, Lina
111	Molecular Dynamics Study on Friction Due to Ploughing and Adhesion in Nanometric Scratching Process	TRIBOLOGY LETTERS	41(1):41-46(2011)	Zhu, Peng-zhe; Hu, Yuan-zhong; Ma, Tian-bao; Wang, Hui
112	Finite Element Modeling of the Nano-scale Adhesive Contact and the Geometry-based Pull-off Force	TRIBOLOGY LETTERS	41(1):65-72(2011)	Zhang, Xiangjun; Zhang, Xiaohao; Wen, Shizhu
113	Parametric Study on a Wavy-Tilt-Dam Mechanical Face Seal in Reactor Coolant Pumps	TRIBOLOGY TRANSACTIONS	54(6):878-886(2011)	Liu, Wei; Liu, Ying; Wang, Yuming; Peng, Xudong

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	地点	时间	报告人
Tribology in nanomanufacturing	Chinese-German Symposium-Nanomanufacturing and Nanotribology	德国柏林	2011-05	雒建斌
Shear Thickening in Electrorheological / Magnetorheological Fluids	Chinese-German Symposium-Nanomanufacturing and Nanotribology	德国柏林	2011-05	田煜
Effect of Alkyl Chain and Fluoroalkyl Silane on the Water-Based Lubrication Behaviors	Chinese-German Symposium-Nanomanufacturing and Nanotribology	德国柏林	2011-05	刘宇宏
Understanding the Role of surface roughness in lubricated contacts	第六届中国国际摩擦学会议 CIST2011	兰州	2011-08	胡元中
The Effect of Running-in Process on Wear of Silicon MEMS Devices	第六届中国国际摩擦学会议 CIST2011	兰州	2011-08	孟永钢
Reduction of residual stress of TiAlN coating by masked deposition	第六届中国国际摩擦学会议 CIST2011	兰州	2011-08	邵天敏
Tribology of Head-Disk Interface in Hard Disk Drives	Tsinghua & Yonsei Joint Workshop	韩国首尔	2011-08	孟永钢
离子束在表面技术中的应用	第十届全国摩擦、减摩、耐磨材料和技术学术研讨会	福州	2011-10	邵天敏

Thin Film Lubrication (Plenary)	International Tribology Conference (ITC)	日本广岛	2011-10	雒建斌
纳米精度表面制造	第十届全国摩擦学大会	武汉	2011-11	路新春
电控摩擦研究的若干进展	第十届全国摩擦学大会	武汉	2011-11	孟永钢

2. 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
孟永钢	Tribology Letters	编委	2011-10
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
陈昱	Mechatronics	Associate Editor	2009-09
陈昱	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

3. 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	Izhak. Etsion	以色列	Technion-Israel Institute of Technology	2011.8.16 -2011.9.4	讲学、交流
2	Jacob Klein	以色列	Weizmann Institute of Science, Rehovot	2011.8.18 -8.23	讲学、交流
3	林石甫	新加坡	新加坡南洋理工大学	2011.6.1- 7.18	学术交流
4	Johannes Thaten, Jasminka Starcevic, Valentin Popov 等三位教授和 15 位学生	德国	柏林工业大学	2011.08.2 7-09.25	学术交流
5	杜和军	新加坡	新加坡南洋理工大学	2011.11.1 9-11.27	学术交流
6	Michael Urbakh	以色列	以色列特拉维夫大学	2011.11.1 0-11.16	学术交流
7	Hongbo Zeng	加拿大	加拿大 Alberta 大学	2011.6.23 -6.27	学术交流
8	杨廷力	中国	中国石化	2011.4.8	学术报告
9	Michael Dugger (STLE 主席), Edward Salek (执行副主席), Edward Becker(前主席), Hong Liang, Dong Zhu, Jane Wang 等 6 人	美国	Society of Tribologists and Lubrication Engineers (STLE)	2011.08	学术交流
10	Braham Prakash	瑞典	吕勒奥理工大学	2011.8.23 -8.28	学术交流
11	Jacob Israelachvili	美国	University of California, Santa Barbara (UCSB).	2011.2.18 -2.20	学术交流
12	Kenneth Holmberg	芬兰	VTT Technical Research Centre of Finland	2011.8	学术交流
13	Tonder?	挪威	??	2011.8	??
14	Philippa Cann, Daniele Dini, Andy Olver, Tom Reddyhoff, Hugh Spikes, Janet Wong 等 6 位教授	英国	英国帝国理工大学	2 天	双边学术交流

4. 学术报告留影



Chinese-German Symposium-Nanomanufacturing and Nanotribology



胡元中教授在作邀请报告



孟永钢教授在 5th TU-SNU-UT Joint Symposium 上作欢迎致词



马天宝副研究员获摩擦学最佳论文奖



博士生魏松波获由美国真空学会（AVS）先进表面工程分支机构颁发的研究生奖 (Graduate Student Awards) (May2-6 2011. San Diego, USA)

七、实验室平台建设

图片预计 3/4 页（具体见图片）

附录一：学术委员会和咨询专家委员会参会人员名单

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： 任露泉 院士，吉林大学

委员(按姓氏拼音字母为序)：

陈大融 教 授，俄罗斯工程院外籍院士，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 健 教授级高工，武汉材料保护研究所
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
赵淳生 院 士，南京航空航天大学
王玉明 院 士，清华大学
范守善 院 士，清华大学

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
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
黎 明 研究员，国家自然科学基金委
罗继伟 教授级高工，河南洛阳轴承研究所
王海斗 教 授，装甲兵工程学院（代表徐滨士院士）
杨沛然 教 授，青岛理工大学
赵 源 教授级高工，武汉材料保护研究所
靳忠民 教 授，西安交通大学
张预民 博 士， Quaker Chemicals Co. Ltd., 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	机械工程	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
嵇世山	男	1965-07	正高	物理化学	摩擦学理论与技术
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
冯平法	男	1966-02	正高	机械制造	微纳制造理论与技术
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	1980-09	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
李党国	男	1980-01	中级	材料学	机械表面/界面科学与性能控制
张洪玉	男	1982-05	中级	生物医学工程	生物摩擦学与生物机械
李永健	男	1980-03	中级	机械学	摩擦学理论与技术
宋立滨	男	1980-03	中级	微纳制造	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