



2008-2009

机械工程学科发展报告

(机械制造)

Report on Advances in Mechanical Engineering

中国科学技术协会 主编

中国机械工程学会 编著



 中国科学技术出版社



2008-2009

机械工程学科发展报告

(机械制造)

REPORT ON ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING

中国科学技术协会 主编

中国机械工程学会 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

2008—2009 机械工程学科发展报告(机械制造)/中国科学技术协会主编;
中国机械工程学会编著. —北京:中国科学技术出版社,2009.3

(中国科协学科发展研究系列报告)

ISBN 978-7-5046-4937-9

I. 2… II. ①中…②中… III. 机械工程—研究报告—中国—
2008-2009 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 018553 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志,未贴防伪标志的为盗版图书。

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62103210 传真:010-62183872

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京凯鑫彩色印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:14.25 字数:330 千字

2009 年 3 月第 1 版 2009 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:43.00 元

ISBN 978-7-5046-4937-9/TH·52

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

2008—2009
机械工程学科发展报告(机械制造)
REPORT ON ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING

首席科学家 钟志华

撰写专家组

组 长 雷源忠

副组长 吴锡兴 盛晓敏

成 员 (按姓氏笔画排序)

王玉新	邓朝晖	刘战强	汤 勇	孙立宁
杨 合	李光耀	李落星	郑 力	房丰洲
袁巨龙	高 峰	黄传真	裘祖荣	

评审专家组 (按姓氏笔画排序)

丁 汉	宁汝新	卢秉恒	叶声华	任露泉
宋天虎	陈超志	邵天敏	林忠钦	赵淳生
胡 平	黄 田	谭建荣		

学术秘书 吴锡兴 赵清亮

序

当今世界,科技发展突飞猛进,创新创造日新月异,科技竞争在综合国力竞争中的地位更加突出。党的十七大将提高自主创新能力、建设创新型国家摆在了非常突出的位置,强调这是国家发展战略的核心,是提高综合国力的关键。学科创立、成长和发展,是科学技术创新发展的科学基础,是科学知识体系化的象征,是创新型国家建设的重要方面,是国家科技竞争力的标志。近年来,随着对“科学技术是第一生产力”认识的不断深化,我国科学技术呈现日益发展繁荣局面,战略需求引领学科快速发展,基础学科呈现较快发展态势,科技创新提升国家创新能力,成果应用促进国民经济建设,交流合作增添学科发展活力。集成学术资源,及时总结、报告自然科学相关学科的最新研究进展,对科技工作者及时了解和准确把握相关学科的发展动态,深入开展学科研究,推进学科交叉、渗透与融合,推动多学科协调发展,适应学科交叉的世界趋势,提升原始创新能力,建设创新型国家具有非常重要的意义。

中国科协自2006年开始启动学科发展研究及发布活动,圆满完成了两个年度的学科发展研究系列报告编辑出版工作。2008年又组织中国化学会等28个全国学会分别对化学、空间科学、地质学、地理学、地球物理学、昆虫学、心理学、环境科学技术、资源科学、实验动物学、机械工程、农业工程、仪器科学与技术、电子信息、航空科学技术、兵器科学技术、冶金工程技术、化学工程、土木工程、纺织科学技术、食品科学技术、农业科学、林业科学、水产学、中医学、中西医结合医学、药学和生物医学工程共28个学科的发展状况进行了研究,完成了中国科协学科发展研究系列报告(2008—2009)和《学科发展报告综合卷(2008—2009)》。

这套由29卷、800余万字构成的学科发展研究系列报告(2008—2009),回顾总结了所涉及学科近两年来国内外科学前沿发展情况、技术进步及应用情况,科技队伍建设与人才培养情况,以及学科发展平台建设情况。这些学科近两年产生了一批重要的科学与技术成果:以“嫦娥一号”探月卫星成功发射并圆满完成预定探测任务、“神舟七号”载人飞船成功发射为代表的一系列重大科技成果,表明我国的自主创新能力又有较大提高,在科研实践中培养、锻炼了一批

高层次科技领军人才,专业技术人才队伍规模不断壮大且结构更为合理,科技支撑条件逐步得到改善,学科发展的平台建设取得了显著的进步。该系列报告由相关学科领域的首席科学家牵头,集中了本学科广大专家学者的智慧和学术上的真知灼见,突出了学科发展研究的学术性。这是参与这些研究的有关全国学会和科学家、科技专家研究智慧的结晶,也是这些专家学者学术风范和科学责任的体现。

纵观国际国内形势,我国仍处于重要战略发展机遇期。科学技术事业从来没有像今天这样肩负着如此重大的社会使命,科学家也从来没有像今天这样肩负着如此重大的社会责任。增强自主创新能力,积极为勇攀科技高峰作出新贡献;普及科学技术,积极为提高全民族素质作出新贡献;加强决策咨询,积极为推进决策科学化、民主化作出新贡献;发扬优良传统,积极为社会主义核心价值观体系建设作出新贡献,是党和国家对广大科技工作者的殷切希望。我由衷地希望中国科协及其所属全国学会坚持不懈地开展学科发展研究和发布活动,持之以恒地出版学科发展报告,不断提升中国科协和全国学会的学术建设能力,增强其在推动学科发展、促进自主创新中的作用。

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Chen Yong, the President of the Chinese Association of Science and Technology at the time.

2009年3月

前 言

《2008—2009 机械工程学科发展报告(机械制造)》(以下简称《报告》)是根据中国科协学会部科协学发[2008]74号《关于印发〈中国科协学科发展研究项目管理实施办法(试行)〉的通知》与[2008]87号《关于开展2008年学科发展研究及发布活动的通知》的精神和要求编写的。

中国机械工程学会组织了以中国工程院院士、本会常务理事钟志华教授为首席科学家的专家撰写组,下设12个专题小组,在收集资料、调查研究和充分掌握信息的基础上,经过多次开会研讨和修改,并征求了国内13位知名专家学者的意见,形成了这个报告。

《报告》共设综合报告及现代机械设计、高速高效加工、超精密加工、微纳制造、表面功能结构制造、复杂曲面制造、非传统加工、板料成形、轻合金成形、重型制造装备、机械制造测量、未来制造系统12个专题,涵盖了机械制造学科的主要领域。共有50多位专家学者参加了《报告》的研讨及撰写工作,撰稿者都是工作在我国机械制造学科研究第一线的知名中青年学者及专家。本会常务理事、生产工程分会副主任委员、国家自然科学基金委员会研究员雷源忠执笔撰写了“综合报告”,并与生产工程分会吴锡兴总干事、湖南大学盛晓敏教授一起负责组织了本报告的撰写工作。

《报告》力图站在学科前沿和国家战略需求的高度,比较分析了机械制造学科的国内外研究动态、前沿和发展趋势;《报告》对机械制造学科近年来产生的主要新观点、新理论、新方法和新技术进展及成果进行了评述。

《报告》采用德尔菲调查、科学分析方法和图文表达方式,对学科发展未来进行了科学预测,展望了今后5~10年,甚至更长时期中国机械制造学科的发展未来,对学科的发展具有前瞻性和预见性;《报告》提出我国机械制造学科未来发展的优先领域、重要的科技问题和发展对策建议,可为国家相关部门及从事机械工程学科研究的专家学者提供参考。

由于时间、信息和撰写水平的局限,《报告》中存在的遗漏和错误之处,欢迎读者指正。

中国机械工程学会
2008年12月

目 录

序	韩启德
前言	中国机械工程学会

综合报告

机械工程学科发展现状与前景展望	(3)
一、机械工程学科的定义、范围及重要性	(3)
二、机械工程学科发展现状及重要进展分析	(3)
三、机械工程学科的国内外比较分析	(15)
四、制造业发展展望和预测	(18)
五、机械工程学科发展的战略和策略	(26)
参考文献	(28)

专题报告

现代机械设计领域科学技术发展研究	(31)
高速高效加工领域科学技术发展研究	(40)
超精密加工领域科学技术发展研究	(54)
微纳制造领域科学技术发展研究	(74)
表面功能结构制造领域科学技术发展研究	(89)
复杂曲面加工领域科学技术发展研究	(105)
非传统加工领域科学技术发展研究	(115)
板料成形学科领域科学技术发展研究	(126)
轻合金成形领域科学技术发展研究	(140)
重型制造装备领域科学技术发展研究	(154)
机械制造测量领域科学技术发展研究	(164)
未来制造系统领域科学技术发展研究	(179)

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Research on the Development of Mechanical Engineering	(199)
---	-------

Reports on Special Topics

Research on the Development of Advanced Mechanical Design Area	(201)
--	-------

Research on the Development of High Speed and Efficiency	
Machining Field	(202)
Research on the Development of Ultra-Precision Machining Area	(203)
Research on the Development of Micro-Nano Manufacturing Area	(204)
Research on the Development of Surface Functional Structure	
Manufacturing Area	(204)
Research on the Development of Complex Surface Machining Area	(206)
Research on the Development of Non-Conventional Machining Area	(207)
Research on the Development of Sheet Metal Forming Area	(209)
Research on the Development of Advanced Forming for Light Alloys	
Materials Area	(209)
Research on the Development of Heavy-Duty and Large Capacity	
Manufacturing Equipments Area	(210)
Research on the Development of Manufacturing Measurement Area	(211)
Research on the Development of Advanced Manufacturing Systems Area	(214)

综合报告

机械工程学科发展现状与前景展望

一、机械工程学科的定义、范围及重要性

机械工程科学是研究机械系统和产品的性能、设计及制造的理论、方法和技术的科学,包括机械学和制造科学两大领域。

机械学是研究机械结构和系统性能及其设计理论与方法的科学,包括制造过程及机械系统所涉及的机构学、传动学、动力学、强度学、摩擦学、设计学、仿生机械学、微纳机械学及界面机械学等。

把原材料变成产品全过程的生产活动称为制造。现代制造包含制造产品的决策及设计、产品的制造及销售、产品的维护及再制造等。研究与上述制造过程和制造系统相关的科学称为制造科学。

制造科学涵盖产品设计、成形制造(铸造成形、塑性成形、连接成形、模具制造、表面工程等)、加工制造(超精密加工、高效加工、非传统加工、复杂曲面加工、测量及仪器、装备设计及制造、表面功能结构制造、微纳制造、仿生和生物制造)和制造系统运作管理等科学。

制造技术是制造业生存和发展的强大支撑,机械工程科学(机械学及制造科学)的研究是现代制造技术的不竭源泉。

二、机械工程学科发展现状及重要进展分析

制造业是国民经济的支柱产业,是国家创造力、竞争力和综合国力的重要体现。它不仅为现代工业社会提供物质基础,为信息与知识社会提供先进装备和技术平台,也是国家安全的基础。

经过 30 年的改革、开放和发展,中国制造业取得了举世瞩目的成就。我国经济规模和综合实力大幅增长,装备制造业技术水平和生产能力大幅提升,国际竞争力显著增强。2008 年中国已成为世界第二制造大国和出口大国,多种产品产量列居世界第一位,全球制造中心正在向我国等发展中国家转移。

推动我国制造业自主发展的主要驱动力是先进制造技术。航天和国防先进装备几乎完全立足于自主创新技术。在航空、车辆、家电、微电子、轻工业、石化、工程机械等制造业,自主创新的技术和自主品牌也越来越多。

制造业的强盛依赖于制造技术的创新,而制造技术的创新来源于机械学和制造科学的基础研究。

在国家自然科学基金等的支持下,机械工程学科领域近年来取得了一系列突出进展和原创性成果,为我国经济建设和机械工程提供了大批新理论、新技术和新方法,在国内外产生了重要影响,有的领域已在国际学术界占有一席之地。

1. 摩擦学领域

纳米摩擦学、生物摩擦学、极端环境下的摩擦学和界面摩擦学是近年来摩擦学的主要发展趋势和前沿。

清华大学温诗铸、雒建斌群体研究中发现动力润滑和边界润滑之间存在一个过渡区,进而提出了薄膜润滑的概念,发明了纳米薄膜测量技术,建立了薄膜润滑的物理和理论模型。薄膜润滑研究架起了动力润滑和边界润滑之间的桥梁,被国际上著名专家 Granick、Hartl、Spikes 等评价为“是对润滑研究的一个重要贡献”。摩擦学国家重点实验室近来又在纳米尺度界面微观黏着摩擦与生物运动的关系中,建立了壁虎爬行中快速黏附和脱附理论模型;将分子膜气体润滑理论与表面力作用相耦合,计算了磁头运动方程中范德华力对磁头飞行特性的影响,使磁头滑块的承载能力和俯仰转矩明显减小,改善了磁头飞行运动的稳定性;在界面减阻研究中,提出了微旋涡、微凸体、微空泡减阻新理论及新技术,大幅度降低了表面摩擦阻力,该技术已经成功用于国家重要工程中。

西南交通大学周仲荣研究群体针对工程中出现的大量微动失效问题,发现了切向微动混合区域、建立了新的运行工况和材料的微动图理论;提出了复合微动损伤机制,创造性地发展和完善了微动摩擦学理论;在生物摩擦学,特别在自然牙的摩擦学研究中,揭示了自然牙的微观织构及其摩擦磨损机制;结合高速铁路中的轮轨关系问题,系统开展了轮轨摩擦学研究,首次在试验中发现了轮轨波磨现象,从理论和试验上深入分析了轮轨波磨的形成机制,取得了重要突破。

中国科学院兰州化学物理研究所刘维民等将自主发明的纳米固体润滑技术用于我国航空航天工程,发挥了重要作用。由于上述一系列突出的学术进展和成就,摩擦学成为我国机械工程学科在国际学术界最具影响的学科之一。

2. 机器人机构学领域

并联机器人机构学是近 20 年来国际机构学的研究热点和学科前沿,也是我国学者在国际上具有重要学术影响的研究领域之一。

燕山大学黄真、上海交通大学高峰、香港科技大学李泽湘、金陵石化杨廷力等以螺旋理论、李群和李代数、集合论等为数学工具,提出少自由度并联机构综合的普适性方法和通用的自由度计算公式、主螺旋解析识别模型、一阶和二阶运动影响系数模型以及性能与构件尺度空间模型。利用上述理论综合出数十种新机构,开发出力传感器、微操作机器人、地震模拟器,并为锻造操作机、伺服压机、电铲等装备的自主设计提供了重要的理论依据。

天津大学黄田、清华大学汪劲松等提出基于线性空间理论的少自由度并联机构雅可比矩阵普适性建模方法及包括运动/力传递特性和优质尺度域在内的多种性能评价与参数优化设计方法,攻克了运动学标定、轨迹规划、运动/力控制、动态性能检测等关键技术。利用上述理论和关键技术,开发出 5 轴联动大型龙门混联机床、飞行模拟器、柔性支撑装备、高速包装机器人、5 自由度混联机器人作业单元等多种工程化装备,并在大型水电叶轮加工、射电望远镜重大科学工程、大型钢管相贯线火焰切割、新型网架节点数字化制造以及医药软袋和锂离子电池自动化生产线中得到成功应用。

北京航空航天大学宗光华等建立了一套以柔度矩阵为核心的全柔性并联精微机构设计理论,开发出若干微纳操作/装配并联柔性微动平台。哈尔滨工业大学孙立宁等提出基于大行程柔性铰链的宏微一体化柔性并联微动平台的理论和技术。华南理工大学张宪民等以平面三自由度并联柔顺精密定位机构为平台,提出综合考虑固有频率、最大应力、最大驱动力等在内的低耦合精密定位机构,并在电子制造装备中得到应用。

3. 机械动力学领域

非线性动力学、复杂机电系统的故障预示分析和智能维护是机械动力学的前沿研究领域。

天津大学陈予恕等在高维非线性系统的分叉研究中,提出了约束分叉理论、时变产生系统的安全域侵蚀理论、非线性转子系统的稳定性量化分析方法,提出了转子系统非线性故障诊断的系列方法和技术,解决了国内十几个发电机组的振动疑难问题。

东北大学闻邦椿等在国际上率先提出振动利用工程的概念,提出了概率一等厚筛分理论、振动同步和控制同步理论,并采用动态设计方法,设计研制了数十种工程振动机械,构建了振动利用工程学科。

西安交通大学屈梁生等针对大型机组转子振动难题,提出了全息谱的概念,发现了转子平衡过程在全息谱上的表现,提出了用全息谱技术识别和诊断机组故障、实现转子全息动平衡的方法和技术,在机组故障分析诊断中发挥了重要作用并在国际上产生了重要影响。

南京航空航天大学胡海岩研究了三类典型的非线性振动控制系统,提出了含时滞控制系统动力学、含弹性约束的振动控制系统分叉机理和控制方法、含迟滞阻尼振动控制系统的建模和控制方法,被国内外学术界多次评价和引用,美国控制专家 Schaechter 在 *Applied Mechanics Review* 上评价该研究成果为“耳目一新的系统方法”。

西南交通大学翟婉明提出了被国际学术界称为“翟·孙模型”的“机车车辆—轨道系统耦合动力学模型”,研制了具有自主知识产权的机车车辆—轨道耦合动力学仿真系统和安全性现场测试评估体系,并将其应用于我国铁路机车的开发设计和铁路提速改造工程中,取得了重大的经济和社会效益。

4. 机械传动学科领域

高速、高效、低能耗、低污染、高智能、微型化是近年来机械传动和控制研究前沿的基本特征。

超声电机是基于压电效应和超声振动的一种新型微电机,它突破了传统电磁效应电机原理,具有力矩重量比大、结构简单、响应快、噪声低等优点。其研究涉及振动学、摩擦学、材料学、电子学、控制和超精密加工等多个学科领域。南京航空航天大学赵淳生率领的研究团队在新型超声电机运动机理、机电耦合模型、结构参数优化设计、驱动与控制技术等方面提出了系统的理论和设计方法,并撰写了专著《超声电机技术与应用》,该书荣获2008年第二届中华优秀图书奖。他们还发明和研制了30多种独具特色的新型行波、驻波超声电机以及驱动器,其中已经有不少产品应用于重要工程中。鉴于他们在理论和技术上的突出进展和成就,他们多次受邀在国际重要的学术会议上做大会特邀报告,在国际

上产生了重要影响。德国著名专家 Wallaschek 教授评价说:“超声电机研究中心是中国乃至世界最具实力的研究机构之一。”

华中科技大学陈学东在高速超精密运动控制研究中,率先发现并阐明了气浮轴承气旋现象产生的机理,提出了气浮气膜的支撑刚度和阻尼的计算和控制方法,在国际学术界产生了重要影响。他们提出的驱动系统分析控制软件已经用于我国大规模集成电路光刻机驱动系统的研制中。

针对机械传动,特别是船舶推进系统中轴承使用贵重金属以及用油做润滑剂造成河海污染问题,重庆大学王家序等提出了一种新型复合材料水润滑动密封轴承,揭示了载荷、速度、时间、间隙、温度等因素对水润滑橡胶合金轴承摩擦磨损性能的影响规律,建立了水润滑条件下的润滑方程,发明了具有多曲面与直线圆弧凹槽有机组合的水润滑橡胶合金轴承。这种轴承节省了大量贵金属,以自然水代油做润滑剂大大减少了对河海水的污染,在国内外船舶等传动系统中得到广泛应用。

5. 仿生机械和生物制造领域

机械工程学科与纳米科学、信息科学和生物科学的交叉是 20 年来学科发展的最大特点。其中仿生机械科学已经发展成为一门相对独立的交叉学科体系。

吉林大学任露泉领导的研究团队在脱附降阻表面结构研究方面取得了重要进展:在国际上首先发现了土壤动物的表面脱附减阻现象。通过 1 万多只动物实验和理论分析,揭示了动物表面脱附减阻的形成机理;通过 1000 多个不同形状和尺寸的仿生非光滑推土板实验、仿真模拟和理论分析,掌握了非光滑表面脱附减阻的规律和技术,开辟了我国机械仿生学领域。近年来该研究团队又在仿生柔性动态减阻、仿生电渗脱附等方面取得了重要进展,在国际仿生学界产生了重要影响。他们发明了一系列地面机械脱附减阻仿生技术,并成功地应用于农业机械和国防工程。将脱附减阻仿生技术应用于犁壁、圆盘犁犁体以及深松机具工作部件等农业机械触土部件,减阻效果明显。

西安交通大学卢秉恒、李涤尘等在人工骨仿生制造研究中发现了人骨组织中“Y”和“H”形结构,建立了骨组织的模型,优化分析了骨组织结构,阐明了骨微组织的构建对于骨转化的作用规律;建立了骨缺损的复合结构修复方法,采用快速成型法制造了人工骨的结构框架,并在动物骨缺损修补中获得成功。

清华大学颜永年等在人工细胞培育和制备方面进行了初步探索。

北京航空航天大学在生物加工成形方面,加工出了微小齿轮等零件,并揭示了生物去除加工的机理;采用微生物金属化约束成形,制备出了高介电常数雷达波吸收剂和隐身蒙皮,直接利用鲨鱼皮生物约束成形出了机械鱼减阻蒙皮;提出了脂质体基生物芯片的脂质体合成与喷射一体化微喷工艺,与中国科学院生物物理研究所合作操作脂质体,形成了脂质体微阵列在基片上的连接与固定,并实现了分子马达在脂质体表面上的驱动纳米镍棒旋转。

6. 先进电子制造领域

21 世纪初,钟掘等从战略高度提出了“极端制造”的理念和优先领域。我国先后在深海探测、航空航天、微纳制造、电子制造和重大装备等领域设置了各类重大项目,在先进电

子制造领域围绕重要的科学技术问题展开了深入研究。

21 世纪初我国机械工程科学家面向国家重大战略需求,第一次规模性地将研究触角伸向一个并不熟悉的多学科交叉领域信息器件制造工艺与装备。以青年学者丁汉、雒建斌为首的项目组围绕硬盘驱动器(存储器)和 IC(芯片级)制造中的关键科学问题开展了系统的基础理论和应用技术研究,提出了纳米量级划痕深度和长度可控的单颗磨粒磨削方法,建立了硅片自旋转磨削的砂轮临界切深模型和实现延性域磨削的工艺规范;揭示了计算机磁盘和磁头超精密抛光的工艺规律,提出了专用抛光液的制备原理;揭示了高加速度运动系统的宽频多模态复合运动特征,提出了高加速度、高精度、高可靠性精密驱动平台的设计理论与控制方法;阐明了超声键合界面原子快速扩散机理,发现了键合界面的“粘滑”运动特性,提出了变参数加载工艺。

7. 数字制造领域

数字制造是机械制造学科与信息学科交叉的产物,是机械制造现代化最重要的体现。现在数字制造已成为信息化制造的代名词,已经广泛深入到机械系统和制造过程中。

华中科技大学熊有伦、尹周平科研团队针对发动机类零件设计、制造、测量中存在的普遍难点问题,以复杂曲面零件快速开发中的共性理论和关键技术为突破口,提出了基于可视锥的几何推理新方法、复杂曲面轮廓误差的统一判别理论,基于线几何理论的直纹面类型判别与参数重构、复合形夹持理论及定性定量分析等数字制造基础理论;开发出了具有自主知识产权的复杂产品数字建模和可制造性分析软件系统;建立了集成快速测量、数字建模及面向制造设计于一体的系统平台,应用于缸盖类、进排气管道类、叶片类等复杂曲面零件快速产品开发,在汽车、国防等行业得到成功推广,取得了重大的社会效益和经济效益。

武汉理工大学周祖德科研团队提出了数字制造的概念和内涵、建模理论、基于制造网格的数字制造资源共享、数字制造环境下敏捷供应链理论模型、数字制造车间智能调度的理论和算法、数字制造设备远程虚拟场景重构理论与模型、数字制造中信息安全理论;发明了基于布拉格光纤光栅传感的大型机械装备数字监测的新原理、新方法;建立了基于制造网格的制造资源共享平台、数字制造环境下虚拟数控加工系统以及数字制造设备远程操作、监控与诊断平台、嵌入式数字控制系统及数字产品协同交互设计平台和协同交互设计工具集等;创办了颇具特色的数字制造学术刊物;发明了光纤光栅高速解调器系统、基于光纤光栅的旋转体机械监测无线光传输的基本原理和方法,解决了重大机械装备中用传统方法无法解决的监测和诊断的难题。

上海交通大学丁汉、朱向阳等将距离函数和伪距离函数理论应用于力旋量和运动旋量空间的定性定量几何推理,建立了夹具和夹持机构的封闭性、稳定性的定性定量分析和评价指标体系,可以统一处理包括摩擦约束、运动学和动力学约束在内的各种非线性约束。应用伪距离函数的微分性质,提出了一个最优接触点构形规划的增量算法,这是国际上迄今为止唯一的通用算法,可以应用于任意三维物体、任意接触点数的夹持规划。以约束条件下夹持点最优静力分配为目标,提出了满足定量指标约束的全部夹持构型计算方法,为操作规划及夹具设计的多性能指标优化提供了理论基础。在上述研究工作的基础上,开发了 38 套工业机器人作业系统,广泛应用于焊接、装配、码垛和机械加工等行业。

8. 机械测量学科领域

大尺寸和微纳尺寸测量、极端环境条件下的测量、纳米计量、无线网络测量和智能数字化测量是近年来测量领域的主要发展方向。机械测量是近年来机械工程研究中原创性技术成果产生最多的领域。

仪器校准和量值传递是保证精度的最重要基础,天津大学叶声华等在先进制造测量领域发明的空间尺寸测量的现场校准方法和装置,解决了现代制造中急需解决的现场校准及其装置问题。该成果的主要创新点在于:利用多种靶标特殊几何结构和自身基准尺寸以及在测量空间内不同位置的量值传递关系作为约束条件,建立了全新的现场校准方法和装置,能够在大范围空间进行现场校准;提出了小分束角渥拉斯顿棱镜和直角棱镜作为反射镜的共光路自适应系统,测量结果稳定性好;提出了互易回归非线性现场校准方法,对测量结果进行回归,发现各自测量的非线性误差,实现高分辨率测微仪现场校准。在上述基础上,提出了基于机器人的柔性视觉现场误差测量技术,已经用于飞机和汽车白车身的高精度制造误差测量。

清华大学张书练等以其发明的正交偏振激光器为核心技术,研发了多种精密测量仪器。在激光器内植入双折射光学元件,使一个激光纵模分裂成两个偏振正交,间隔可调的频率,频差可从 40MHz 到 kHz,发明了频差大于 40MHz 双折射双频激光器;研究发现了双折射双频激光器腔调谐的三偏振特性,以此为原理发明了测量位移的“激光器纳米测尺”。

哈尔滨工业大学谭久彬、赵维谦等在大型超精密仪器研究方面取得了重要突破。提出了超精密主轴回转润滑面和直线导向复合节流与匀压等方法,发明了高性能系列直线及回转运动基准装置。提出基于自身参照原理的仪器运动基准间误差分离等方法,发明了一种新误差分离装置,使仪器基准间的位置精度提高一个数量级以上。提出了差动、超分辨、复色和二次共焦扫描测量方法,发明了基于上述方法的多种共焦扫描测量装置和显微镜,使水平、垂直分辨力达到了亚纳米量级。基于上述超精密核心单元的技术已经成功地用在我国航天、国防工业和精密装备制造领域,为我国研制出第一台圆柱度和微小深孔测量仪标准装置,使我国具备了在该领域进行量值传递和溯源的能力。

重庆大学秦树人等在虚拟仪器研究中,提出了“智能虚拟控件”概念和原理,建立了信号变换的统一模型,奠定了这一新型仪器模式的理论基础,并在此基础上研制成功了上千种独具特色的虚拟仪器开发系统(VMIDS)和可直接用于组建仪器产品的“智能虚拟控件”产品,已经广泛用于教学和科研测量分析中,产生了重大的社会 and 经济效益。

重庆工学院彭东林发明的“时栅位移传感器及其测试系统”,是近几年来精密测量领域少见的原始创新成果,是对传统栅式位移传感器的重大突破。其主要创新包括:提出了精密位移测量“时空转换”思想,把基于空间刻画的精密位移测量转化为简易精确的时间差测量问题;根据上述思想发明了全新原理的时栅位移传感器,用圆周单刻线实现了任意圆周分度精密测量。时栅角位移精密测量仪器的测量精度达 0.8 角秒,由于精度高、成本低、稳定性好,已广泛用于各种数字精密角位移测量。

大连理工大学孙宝元研究组提出了新型压电石英传感器及测量技术,成功解决了机械制造中复杂力学量的测量问题。发现了石英晶体切向灵敏度分布规律、石英晶体扭转效应、多次压电感应效应,发明了系列化压电传感器与测量仪并进入国内外市场;研制成