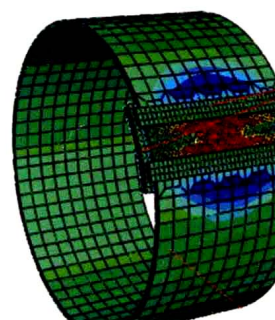
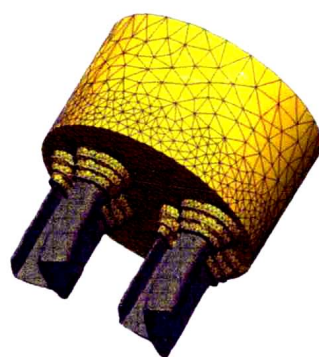
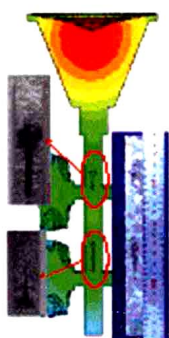
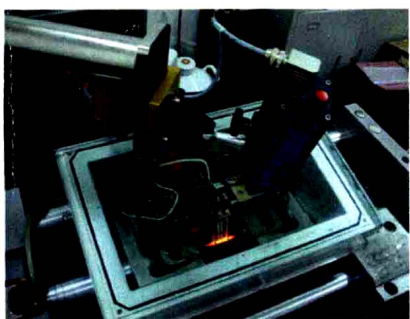


先进成形制造模拟仿真研讨会 论文集

(2008年12月6日 北京)



清华大学机械工程系

先进成形制造教育部重点实验室

“先进成形制造模拟仿真”研讨会 论文集

清华大学机械工程系
先进成形制造教育部重点实验室
2008 年 12 月 6 日 北京

序 言

未来的成形制造发展具有这样一些趋势,即:考虑全生命周期的环境友好的成形制造是发展方向,与高新技术相互融合的成形制造新技术是实现手段,采用数字化技术的成形制造是技术核心;针对极端条件下的成形制造是发展的重要领域。一些发达国家在展望 2010 年的制造业时,进一步把“材料净成形工艺”发展为“无废弃物成形加工技术”,要求材料成形加工向更轻、更精、更强、更韧、成本低、周期短、质量好方向发展。随着现代科技的发展,材料科学与工程已从传统的领域向着与计算机、自动化、新型材料、生命科学等学科的交叉与融合方向发展,形成了数字化、智能化、精细化、极端化等典型特征。

人类认识客观世界的首要任务就是获取复杂对象的各类信息,这是人们从事科学研究、进行工程设计的基础,理论分析、科学实验、科学计算已被公认为重要的三大科学研究方法,甚至就一些新型领域,由于科学理论和科学实验的局限,科学计算还不得不是唯一的研究手段。就工程领域而言,数字化技术就是极为重要的方法之一,利用它可以获取几乎任意复杂工程结构的各种机械性能信息,还可以直接就工程设计进行各种评判,可以就各种工程事故进行技术分析。1990 年 10 月美国波音公司开始在计算机上对新型客机 B-777 实现了完全的“数字化设计”,仅用了三年半的时间,于 1994 年 4 月第一架 B-777 便试飞成功,这是制造技术史上划时代的成就,其中在结构设计和评判中就大量采用数字化分析这一重要手段。据有关资料,一个新产品的课题有 60% 以上可以在设计阶段消除,如果人们拥有先进的精确分析手段,就可以在产品的设计(包括结构和工艺设计)时进行参数分析和优化,在最短的时间里制定新工艺,以获得高品质的产品,而工程计算和评判将在这一过程中起关键作用。目前,国际上有 90% 的机械产品和装备都要采用数字化手段进行分析,进而进行设计修改和优化。实际上数字化分析已成为可以减少大量实物试验的数字化“虚拟试验”,可以做到高效率 and 低成本。

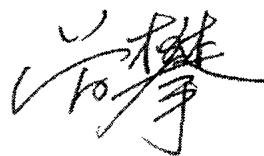
先进成形制造教育部重点实验室、清华大学机械工程系近年来采用数字化手段,先后进行了我国第三代正负电子对撞机核心部件的分析、长江三峡 1200 吨起重机焊接变形分析、长江三峡水轮发电机组大型叶片成形工艺的数字化研究、世界上最大的 3.6 万吨大口径钢管挤压机以及我国最大的 4 万吨航空模锻液压机的数字化设计等。近年来,又在数字化快速成形制造、激光加工成形、生物制造方面取得重要进展。可以说,数字化设计与制造已经成为现代成形制造的重要领域,正发挥着不可或缺的独特作用。

先进成形制造教育部重点实验室和清华大学机械工程系联合发起和举办“先进成形制造模拟仿真”研讨会,就液态成形和凝固过程、塑性成形与加工、焊接及连接、热处理等成形制造工艺及装备的模拟仿真展开讨论,希望通过这次学术研讨会,充分展示我系在先进成形制造模拟仿真方面的研究成果,加强学科交叉的集成,进一步整合队伍和培养杰出人才,通力合作,突出重点,以取得更多的标志性、创新性成果。

机械工程系系主任

先进成形制造教育部重点实验室主任

长江学者



2008 年 12 月 06 日

目 录

主题报告（摘要）

建模与仿真是数字化制造的核心技术	1
柳百成	
构造自主创新的数字化制造平台一及其在塑性成形领域的应用	3
阮雪榆	
热处理模拟仿真技术的改进及工程应用	4
潘健生	
数字化设计现状与前景 — 数字样机共性关键技术及其应用	5
谭建荣	
数字化的结构分析与应用	10
曾攀	
焊接结构应力与变形数值分析的关键技术及应用	11
吴爱萍	

1 凝固过程及铸造工艺的数值模拟

三峡水轮机叶片的反变形量的计算	12
张家锋, 康进武, 柳百成等	
大型钢锭铸造工艺与模拟仿真	17
李文胜, 沈厚发, 柳百成等	
航空发动机涡轮盘热处理过程热应力分析	23
张家锋, 康进武, 柳百成等	
压铸过程中铸件-铸型界面换热系数与铸件凝固速率之间的关系	29
郭志鹏, 熊守美, Li Mei 等	
采用基于两套网格的 CA 方法模拟铸造镁合金凝固过程枝晶形貌演化	37
霍亮, 韩志强, 柳百成	
铝合金挤压铸造凝固过程热-力耦合建模与仿真	43
韩志强, 朱 维, 柳百成	
熔模铸造凝固过程多尺度模拟和实验研究	50
潘冬, 许庆彦, 柳百成	
镁合金凝固过程形貌选择与微观组织演化的相场法数值模拟研究	57
汪明月, 荆涛	
一种大型钢锭凝固过程的数值模拟	64
朱跃峰, 松田崇之, 大中逸雄等	
一种用于合金凝固过程宏观偏析的计算模型	72
朱跃峰, 大中逸雄, 朱金东	

基于铸坯凝固传热数值模拟和铸坯凝固末端位置与表面温度优化的连铸二冷段水量动态控制....	78
张嘉, 沈厚发, 黄天佑等	
Numerical Simulation of Aeration Sand Filling for Green Sand Molding Machine based on Two Phase Flow Model	86
Li Wenzhen, Wu Junjiao	
网络化铸造工艺 CAE 系统应用研究	94
荆涛	
XMT 在熔模铸造型壳工艺模拟仿真研究中的应用	99
熊晋, 崔旭龙, 吕志刚	

2 弹塑性变形分析及塑性加工工艺的数值模拟

基于状态固有应变的原位等效焊接单元构建	107
高懿, 曾攀, 雷丽萍	
Bi-2223/Ag 线材跑道模拉拔的工艺与试验研究	118
卢永进, 曾攀, 雷丽萍等	
铰链波纹管实体受力分析	128
赵加清, 曾攀	
核电压力容器整体封头热成形工艺分析	138
石伟	
高炉铜冷却壁有限元分析	144
鄒宜伟, 雷丽萍	
7020 铝合金热变形本构参数及加工图的分析	151
刘清俊, 方刚	
汽车发动机连杆锻造过程模拟及预锻毛坯的优化	159
姚波, 方刚	
基于有限元模拟的轴承钢球冷锻工艺及模具优化	168
张剑寒, 方刚	

3 焊接、连接过程的模拟及变形分析

焊接结构应力与变形数值分析的关键技术及应用	175
吴爱萍, 赵海燕, 史清宇等	
典型 Al 合金焊接液化裂纹敏感性物理模拟评估	186
张海波, 邹贵生, 白海林等	
胶接接头冲击性能的实验与数值模拟研究	192
段新杰, 赵海燕, 蔡志鹏等	
电子束深熔焊焊缝成形新型热源模型研究	199
史清宇, 王学东, 王鑫	

铝合金筒体焊接数值模拟接触模型的建立	205
史清宇, 张增磊, 鄢东洋	
搅拌摩擦焊接的数值模拟研究进展	210
鄢东洋, 吴爱萍, 史清宇等	
韧性胶拉剪接头变形与失效过程模拟	218
鲁立, 赵海燕, 蔡志鹏等	
激光深熔焊接中小孔形成过程的数值模拟	226
张斌, 赵海燕	
弧焊机器人三维场景交互式离线编程研究	231
张文增, 崔乐卿, 孙乐等	
材料热加工物理模拟的设备及其应用现状	237
白海林, 邹贵生, 王庆等	



柳百成

中国工程院院士、清华大学机械工程系教授

简介：

1955 年清华大学机械工程系毕业，获优秀毕业生金质奖章。现任清华大学学术委员会委员、机械工程系教授。1978 年至 1981 年以访问学者身份在美国威斯康星大学及麻省理工学院从事科学研究 2 年。1999 年当选为中国工程院院士。2002 年获光华工程科技奖。

长期从事用信息技术提升传统铸造行业技术水平及提高铸造合金性能的研究。获部委级科技进步奖一等奖 2 项、二等奖 5 项、三等奖 4 项、国外奖励 2 项及发明专利 2 项。已培养博士 40 名，获北京市高校优秀教学成果一等奖。

近年来，致力于振兴我国制造业及推广先进制造技术等战略研究。参加《国家中长期科学和技术发展规划战略研究》，参与起草专题三《制造业发展科技问题研究》及《制造业发展战略与技术经济政策研究》总报告。参加中国工程院咨询项目《装备制造业自主创新战略研究》，参与起草综合报告。

应邀赴美国麻省理工学院等 30 余所大学讲学，多次主持及召开国际学术会议，在国际学术会议作特邀报告及宣读论文 30 余篇。发表论文 300 余篇，主编出版“未来的制造科学与技术”，参与主编“节约型制造科技前沿”。

建模与仿真是数字化制造的核心技术

报告摘要：

中国已是制造大国，但远不是制造强国。我国装备制造业的突出问题是：自主技术创新能力不强。一是：二核心制造技术基础薄弱；三技术创新体系尚未形成。

要振兴装备制造业一是要与高新技术相互融合，发展高技术装备制造业，二是要用信息技术来促进和提升装备制造技术水平。《国家中长期科学与技术发展纲要》已把发展“数字化设计与制造”放在优先发展的重点领域。

建模与仿真（Modeling and Simulation）是数字化设计与制造的核心技术。美国波音公司研制波音 777 型号飞机是采用数字化设计与制造的典范，它广泛采用建模与仿真技术，更好、更快、更为用户接受的研制成功创新产品，并缩短了研发周期 40%，减少了返工量 50%。福特汽车公司研制汽车也广泛采用建模与仿真技术。

中国工程院最近完成的“装备制造业自主创新战略研究”咨询报告，把“数字化、智能化设计与制造技术”放在要突破的八项关键共性技术的首位。其中，又把“多尺度、多学科和多功能数理建模理论与方法及高精度、高效率的大规模仿真计算方法与技术放在十分重要的地位。

基于知识的数字化加工制造技术可大大提高企业的核心竞争能力，为企业带来显著的经济效益。

基于建模与仿真的数字化成形制造技术已在国内外很多工厂推广应用，并获得了显著的经济和社会效益。成形制造技术建模与仿真的发展趋势是：多尺度、多功能、全过程、高精度、高效率。美国福特汽车公司多年来一直致力于多尺度虚拟铝合金发动机缸体铸造，已为企业带来显著的经济。

最近，美国国防高级研究计划署（DARPA）为加快材料与工艺的研发，制订了“加快材料研发计划（AIM）”，要求能预测和优化零部件的组织与性能，可大大缩短航空发动机涡轮盘及叶片材料与工艺的研发周期。近年来，国外还提出“集成计算材料工程（ICME）”，及“多尺度、全过程建模与仿真”等新概念。



阮雪榆

中国工程院院士、上海交通大学塑性成形工程系主任、
教授

简介:

阮雪榆（1933.1- ），广东省中山市人，1953年毕业于上海交通大学。现任上海交通大学教授、塑性成形工程系主任、国家模具 CAD 工程研究中心主任、上海模具技术研究所所长、国家数字化制造技术中心主任、数字化造船国家工程实验室学术委员会主任委员、联合国教科文组织(UNESCO)“冷锻技术教席”负责人、美国福特汽车公司—上海交通大学 C3P 联合研究室主任、瑞士 FEINTOOL 公司高级顾问、德国《Production Engineering-Research and Development》杂志编委。曾任韩国《International Journal of Automotive Technology》杂志编委、德国《Research in Engineering Design》杂志编委、国际环境保护与制造委员会(ICEM)常务委员。1994 年当选为中国工程院院士。

构造自主创新的数字化制造平台—及其在塑性成形领域的应用

报告摘要:

上海交通大学国家模具 CAD 工程研究中心和国家数字化制造中心是拥有双核心技术、双轨制管理和多部门支持的单位，中心致力于构造自主创新的数字化制造平台，涵盖如下 11 个方面内容：设计的可视化技术；产品智能设计技术；设计数值仿真技术；多学科优化技术与稳健设计技术；模具、检具与主模型的设计制造数字化技术；逆向工程技术；数据转换技术；计算材料学；数字化医学；产品信息管理技术和智能维护技术。



潘健生

中国工程院院士、上海交通大学、教授

简介：

潘健生，男，1935年1月生，广东省广州市人。1959年毕业于上海交通大学冶金系金属材料及热处理专业，留校任教至今。上海交通大学材料科学与工程学院教授、博士生导师，中国工程院院士。中国机械工程学会热处理分会名誉理事长，国际热处理数学模型与模拟技术委员会主任，上海市热处理学会理事长。

多次获优秀教学奖，1995年获上海市优秀教育工作称号，2000年被评为上海市劳动模范。历年来由他作为第一负责人完成的科研项目获得了国家科技进步二等奖1项，国家发明三等奖1项，部委和上海市科技进步一等奖2项，二等奖3项，其中1项列入国家级科技成果重点推广计划，发明专利20项，发表学术论文百余篇。

热处理模拟仿真技术的改进及工程应用

报告摘要：

热处理过程中工件与炉内气体，各种工装夹具、炉罐、搅拌器、发热器、炉衬等相互热交换，原有的热处理模拟仿真技术是将求解域局限在工件本身，难以正确反映实际生产情况，为了克服这一缺陷，建立热处理过程流场、温度场、相变、应力应变多场多体耦合模型，其中流-固界面采用耦合导热算法，其换热系数是计算的结果而不是预先设定的数值，流场采用多参考坐标系或滑移网格算法以反映在搅拌器驱动下流场状况。例举若干实例介绍热处理模拟与仿真技术在工程应用的效果，并讨论了热处理模拟仿真技术所存在的问题。



谭建荣

中国工程院院士、浙江大学求是特聘教授、“国家杰出青年科学基金”获得者、浙江大学机械工程学系主任

简介:

计算机辅助设计与图形学国家重点实验室(浙江大学)副主任,浙江大学机械工程学系主任,1954年10月出生,浙江湖州人,工学硕士、理学博士,浙江大学求是特聘教授,首届“国家杰出青年科学基金”获得者,2007年12月当选为中国工程院院士。

主要从事机械设计及理论、数字化设计与制造方面的研究,先后提出并用软件系统实现了结合国产重要装备和国内企业特点的批量与定制相结合的大批量定制的技术体系,提出了特殊状态建模与数字样机集成仿真技术,提出了数值与几何相结合的复杂装备多部件关联、多层次配置与多参数分析计算设计技术等。承担并完成国家级、省部级和企业委托的重要项目20余项。获国家科技进步二等奖2项,国家优秀教学成果一等奖1项、二等奖1项,省、部级科技进步一等奖6项。开发并获得计算机软件著作权登记权12项,在国内外重要学术期刊发表的论文中142篇被SCI、EI检索,出版学术专著或编著8本。现兼任教育部工程图学教学指导委员会主任委员,中国工程图学学会副理事长,中国机械工程学会理事,浙江省工程图学学会理事长。

数字化设计现状与前景 — 数字样机共性关键技术及其应用

报告摘要:

数字化设计与数字样机技术是综合机械设计制造、计算机模拟仿真的高新技术。采用数字化设计与基于虚拟现实的数字样机技术,对于促进产品自主设计、自主创新和吸收、引进、消化、再创新具有重要意义。通过采用数字化设计与数字样机技术,对产品进行结构建模、虚拟装配、功能验证与性能分析,将减少产品研发中实物样机试制次数,降低产品开发成本,缩短产品开发周期,增加企业的综合竞争能力。

近年来,数字化设计与数字样机技术已在众多复杂装备制造业获得成功应用,从飞机(波音777、空客A380)到汽车(福特、大众)、从航空母舰(美国海军下一代航母CVN 21)、载人太空探索飞船(美国NASA)到高速列车(西门子),数字化设计与数字样机已成为提升开发能力的关键技术,应用产品制造全过程中。

在航空领域,波音公司在波音777飞机的研发过程中全部采用数字化设计与基于虚拟现实的数字样机技术,减少了设计更改次数,降低了94%的研制费用,提高模具设计精度10倍,研制周期降低50%。设计过程中,采用虚拟装配修正了2500处设计干涉问题,便于测定间隙、确定公差以分析

重量、平衡和应力等，装配时出现的问题减少了 50%-80%，最终产品一次接装成功。洛克希德·马丁公司在研制 JSF 战斗机 X-35 过程中应用虚拟现实技术，使 JSF 飞机装配制造过程的周期从 15 个月缩短到 5 个月，缩短了 67%，工艺装备由 350 件减少到 19 件，减少了 95%，制造成本降低了 50%。法国空客公司在 A380 开发中，设计了一套模拟试飞系统，试飞员和试飞工程师在模拟器上进行虚拟驾驶，使得 A380 实际首飞之前，试飞员已对飞行中预计会出现的状况了然于胸。

在航天领域，美国 NASA 采用虚拟维修技术成功实现哈勃望远镜的维修。NASA 在新一代载人太空探索飞船（Crew Exploration Vehicle）计划中，在虚拟环境中实现驾驶员座舱的数字化设计、零重力情况下飞船着陆过程仿真分析。欧洲空间局 EVA 在 Hermes 空间飞船和 Columbus Free Flier 研发中，开发了单用户虚拟现实训练器样机，宇航员通过虚拟环境中的交互操作打开舱盖，然后取出内部的盒子形状的物体，通过按钮进行激励加速和反向加速喷气，并获得操作视觉和听觉反馈。

在汽车制造领域，德国大众汽车公司构建了 5 个投影面的 CAVE 数字样机系统，检验汽车座椅位置和仪表盘的布置是否合理，甚至还可以虚拟操作各种操纵杆。奔驰汽车公司的 VRF（Virtuelles Fahrzeug）系统可帮助消费者了解汽车的可选装部件及功能，同时看到并感受汽车的三维模型，诸如喷漆颜色、车内装饰风格、镶边种类等。VRF 提供座椅位置和结构的选择，消费者可以通过特殊装置完成推、拉、旋转等操作，“坐”在车内不同座位上环顾四周。

在军事领域，美国海军下一代航母 CVN 21 是第一艘完全在虚拟环境中设计的航母，设计者在虚拟环境中完成航母的系统布局设计与装配模拟，例如，在哪里放置管道，如何在上层甲板安装之前建造下层甲板，实现航母上舰载机调运与设备作业流程仿真等。

在高速列车制造领域，自 1999 年以来，西门子研发人员就在高速列车设计过程中使用虚拟现实数字样机技术，研发团队通过虚拟现实平台定期开会，在虚拟环境中研究新型列车，并与其他部门的同事进行讨论。2003 年，开发了使用模拟装配说明书的数字工厂，通过装配模拟，工人们既能了解装配的整体情况，也能看到每一个列车部件装配的细节，大大压缩了学习时间，减少了装配操作失误；2006 年，西门子在所有工厂启用了全面数字样机流程链，高速列车设计的各个阶段，包括从概念设计，到开发、生产准备、制造、装配，都在数字样机平台中进行在生成高速列车的数字样机仿真。预计到 2009 年，从设计、服务直到保养，整个产品生命周期都将实现数字化。虚拟现实技术使西门子研发生产高速列车的平均时间从三年降低到两年半，平均年产列车达到了 450 列。图 1 所示为西门子研发团队通过虚拟现实平台研究新型列车。

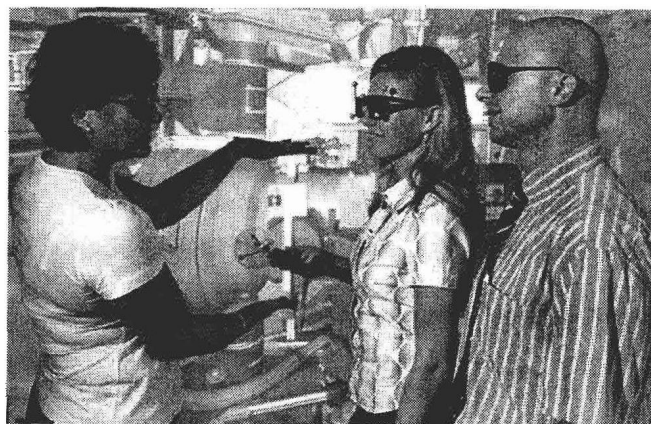


图 1 西门子研发团队通过虚拟现实平台研究新型列车

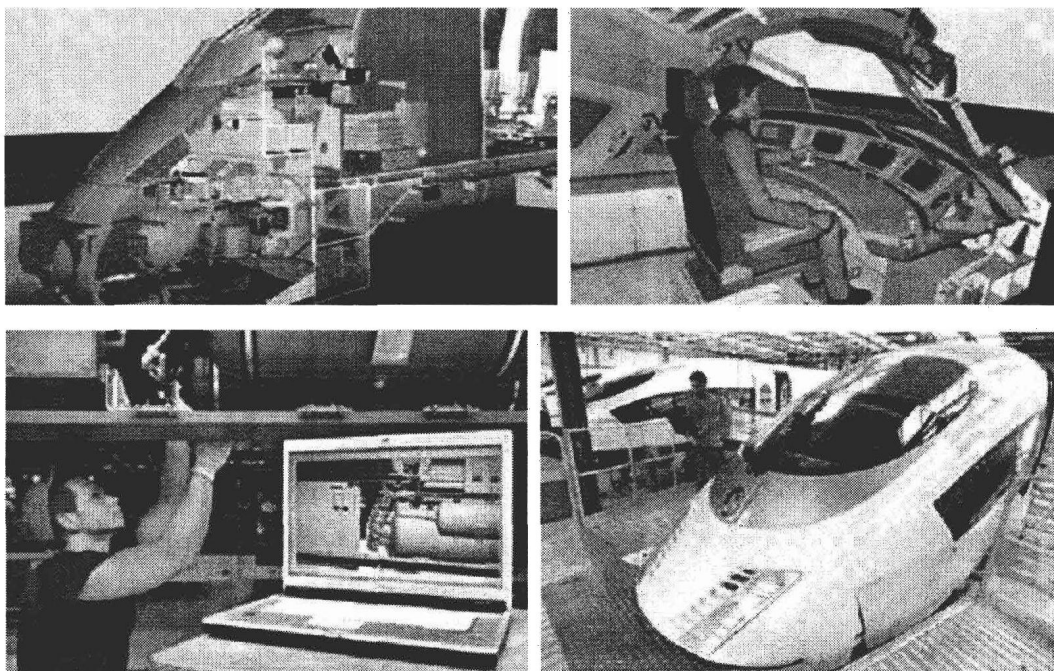


图2 西门子高速列车的产品全生命周期数字样机设计

浙江大学机械工程及自动化系和 CAD&CG 国家重点实验室数字化设计制造与数字样机课题组主要从事计算机辅助设计与分析、虚拟现实的理论与应用研究。实验室拥有国内高校最好的虚拟现实硬件设备，建有四个投影面的 CAVE 系统、双通道大屏幕虚拟现实投影系统、桌面式虚拟现实系统等虚拟现实环境，拥有 Immersion 公司的 CyberGlove 数据手套、Sensable 公司的 PHANTOM 力反馈交互设备、Ascension 公司的 Flock of birds 方位跟踪器与三维鼠标、StereoGraphics 公司的立体眼镜 CrystalEye3、V8 头盔等虚拟现实交互设备。实验室拥有先进齐全的虚拟现实软件，包括视景仿真软件 VEGA、数字化制造仿真软件 DELMIA V5, VISMCKUP; CAD 建模软件 Pro/Engineer, UG NX3, CATIA V5, Solidworks, Ideas; CAE 分析软件 ADAMS, ANSYS, NASTRAN 等。

近年来，课题组在数字化设计制造与数字样机方面先后承担了一批国家级科研项目和国际合作项目，取得了一批重要成果，所发表的研究论文为国际学术界广泛引用，多项成果获国家奖励。所做的代表性研究工作有：

1) 虚拟现实环境构建

在虚拟现实环境构建方面，解决了沉浸感立体图形生成、多投影面图像的边缘融合、多投影面图像协同显示、多通道交互信息融合、高置信度物理建模与求解、真实感力反馈等一系列关键技术。

近年来，分别构建了 3 种类型的虚拟现实环境：

(1) 沉浸式虚拟现实环境 CAVE

在国内率先构建了 4 个投影面的全沉浸式 CAVE 虚拟现实环境。该系统可运行在 SGI ONXY2 图形工作站或多 PC 集群计算等硬件平台。图 7 所示为 CAVE 环境及其硬件示意图。

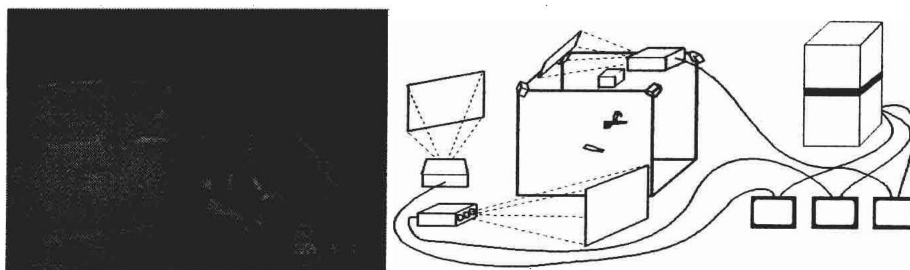


图 7 CAVE 环境及其硬件示意图

(2) 桌面式虚拟现实环境

面向中小型企业应用，构建了基于微机图形工作站的桌面式虚拟现实环境，采用数据手套和方位跟踪器进行手势的输入，通过头盔实时显示立体虚拟场景。该系统支持设计者在虚拟环境中进行产品形状设计与装配仿真。图 8 所示为桌面式虚拟装配系统。



图 8 桌面式虚拟现实环境

(3) 大屏幕投影虚拟现实系统

基于 PC 图形工作站，构建了双通道大屏幕投影系统，该系统具有高亮度（6000 流明）、高分辨率（1400*1050）、大尺度（7m*3m）的特点，可有效地实现大规模视景仿真、虚拟样机 1:1 设计与分析。

2) 虚拟装配设计

开发了虚拟装配设计系统，系统支持设计者在虚拟环境中直观自如地建立机电产品装配模型，

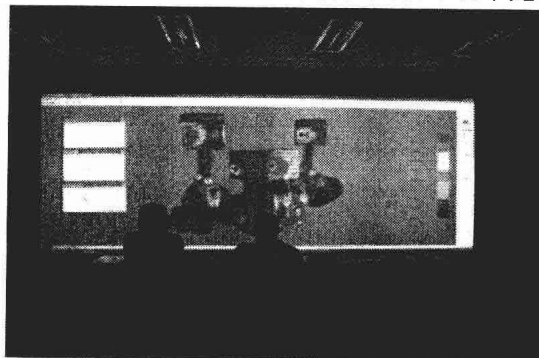


图 9 大屏幕投影虚拟现实环境中曲柄活塞机构的动力学与应力场、温度场耦合可视

进行装配模拟，检查装配过程中的干涉情况，分析产品的装配性能。实现了虚拟装配中的手势交互方法，支持用户通过数据手套控制与操作虚拟产品模型。为了提高装配仿真的操作效率，帮助用户在虚拟环境中自如地完成零件的精确定位，我们提出了基于规则的虚拟样机装配约束识别方法，实

时捕捉用户的装配意图，实现装配关系的智能获取与推理；并通过运动自由度分析，对用户的装配操作进行导航，使得虚拟环境中零件的运动始终满足用户的装配意图。

3) 虚拟样机运动学与动力学分析

开发了虚拟样机运动学动力学分析系统，主要用于对机械产品进行运动学和动力学性能分析评测。根据产品的 CAD 模型，建立产品的虚拟样机仿真模型，利用多体运动学和动力学求解器对构建的模型建立微分代数方程并进行求解获得样机的运动仿真结果，并在虚拟环境中实时地进行运动过程仿真。系统具有建模和仿真计算速度快、仿真分析接近实际、结果数据信息丰富等特点。

4) 车间作业虚拟仿真

开发了机器人焊接生产线作业仿真系统。该系统采用离散事件建模方法，通过虚拟人操作仿真、虚拟焊接机器人的动作与轨迹仿真，进行焊接生产线布局设计、干涉检查、焊接位置可达性分析与焊接姿态分析。

5) 产品虚拟变形设计系统

开发了产品虚拟变形设计系统，支持设计者直观地对零件进行设计与交互变形，实现了基于虚拟现实交互的产品变形模型表达、设计意图的理解与识别、变形约束的交互管理、变形区域的交互划分、样条曲面变形实时求解、几何特征参数化变形求解等功能，支持用户通过立体眼镜实时观察具有深度感知的产品设计与变形效果。

6) 虚拟样机物理属性可视化系统

开发了虚拟样机物理属性可视化系统，支持设计者直观地对虚拟样机的物理属性（例如温度场、应力场）进行实时交互可视化。

开发的系统已在柴油发动机、汽车车身、汽车底盘、摩托车和等多个制造企业的典型产品和重要军工项目产品研发中获得成功应用，取得了良好的技术经济效益，获国家、省部级科技进步奖、软件著作权登记多项。在国际著名学术期刊上发表了一批有影响的学术论文，有力地推动了推动了数字化设计制造与数字样机技术研究与应用，促进了制造企业的技术进步，提升了企业产品设计与研发的能力。



曾攀

清华大学机械工程系主任、先进成形制造教育部重点实验室主任、教授、长江学者、“国家杰出青年科学基金”获得者

简介:

曾攀，男，1963年生，海南省海口市人，博士；为国家杰出青年科学基金获得者(1998)、长江学者(2000)、德国“洪堡”学者(1994-1995)，入选“新世纪百千万人才工程”国家级人选。现为清华大学机械工程系主任、教授、博士生导师、先进成形制造教育部重点实验室主任，为《机械工程学报》、《工程力学》、《塑性工程学报》等五个学术期刊的编委，为两个国家重点实验室学术委员会委员，先后主持国家级基金项目7项，其它项目近20项，获教委科技进步二等奖、机械部一等奖、北京高等教育教学成果二等奖各一项，获国家发明专利授权两项；已出版学术著作、研究生教材、翻译著作4本，发表论文100多篇。主要从事材料加工中的数值模拟、计算力学、结构设计与分析等方面的研究。

数字化的结构分析与应用

报告摘要:

现代工程结构愈来愈复杂、愈来愈庞大，要求也愈来愈高，特别是一些重大装备和精密机械（如航天飞机、大型汽轮机组、石油平台、万吨轮船、核反应堆、超高层建筑、特大型水利大坝、巨型桥梁、海底隧道、高速列车、人造卫星，等等）的设计分析和制造在国民经济建设和科技发展中起到愈来愈关键的作用。在现代结构设计与制造技术中，数字化及其大规模工程计算将在制造业信息化过程中发挥举足轻重的作用。据有关资料，一个新产品的问題有60%以上可以在设计阶段消除，几乎所有的重要机械产品和装备都要采用数值计算进行分析，发达工业国家的机械产品的设计一次成功率由20世纪60年代的30%~40%提高到目前的90%以上。

数字化及其大规模计算在科学研究上，已成为探知复杂对象本质规律的定量分析手段，在工程设计和工艺设计上，可以成为减少大量实物试验的数字化“虚拟试验”，做到高效率 and 低成本。事实上，成形制造过程的数字化将是真正实现制造过程信息化、制造工艺精确化、制造装备极限化的可靠保证。本报告将针对数字化结构分析中的几个关键问題进行评述：高精度问題、高梯度问題、多尺度问題、多场问題、全过程问題以及大规模高效计算问題；指出这些问題的特征，并给出处理这些问題的典型方法，将具体介绍近年来的一些工作，包括：

- 高精度问題：复合单元方法
- 高梯度问題：梯度问題描述与建模处理
- 多尺度问題：无网格方法，纳米分子的计算问題
- 多场问題：高温超导带材的塑性成形
- 全过程问題：薄板焊接变形的模拟，对撞机核心部件张拉过程的模拟
- 大规模高效计算问題：4万吨航空模锻液压机的整机分析



吴爱萍

清华大学机械工程系副主任、教授

简介:

吴爱萍，工学博士，清华大学机械工程系教授、博士生导师，焊接学会理事，宇航材料与工艺专业委员会委员。主要从事新材料连接、异种材料的焊接、以及数值模拟技术在焊接中的应用等方面的研究工作。负责和完成包括自然科学基金、“863”项目、攻关项目等科研课题 20 余项，获教育部科技进步一等奖 1 项、国家发明专利授权 2 项，发表学术论文 80 余篇。

焊接结构应力与变形数值分析的关键技术及应用

报告摘要:

焊接是结构制造的主要方法之一，焊接结构的应力与变形是构成焊接构件质量的重要因素，将数值模拟技术应用于焊接结构应力和变形的分析与预测以及用于优化焊接过程和工艺参数，数值分析的精度和效率是关键，本课题组针对上述关键问题开展了焊接热源模型的研究与建立、材料性能模型的影响研究、热及力学边界条件的影响研究及确定等方面的工作，并开展了分段移动热源等效焊接热过程计算焊接变形、采用复合单元技术和自适应网格重划分技术减少单元数量、以及并行计算等方面的工作，以提高焊接结构应力与变形数值模拟的精度与效率，使数值模拟技术可以应用于实际大型结构件焊接应力与变形的预测与控制。本文主要针对焊接应力与变形数值分析的关键技术及应用综述了课题组所开展的部分工作。