

国家级虚拟仿真实验教学中心 申请书

数字化制造系统虚拟仿真实验教学中心

学校主管部门： 教育部

学 校 名 称： 清华大学

学校管理部门电话： 010-62781452

开放共享访问网址： <http://www.xlzx.tsinghua.edu.cn>

申 报 日 期： 2014.10

中华人民共和国教育部高教司制

填写说明

1. 申请书中各项内容用“小四”号仿宋体填写。
2. 表格空间不足的，可以扩展。

1. 基本情况

虚拟仿真实验教学中心名称		数字化制造系统虚拟仿真实验教学中心				
实验教学示范中心名称 / 级别 (省级或国家级)		基础工业训练中心 / 国家级 机械工程实验教学中心 / 国家级		批准时间	2006 年 2007 年	
实验教学示范中心主任	姓名	李双寿	性别	男	年龄	46
	专业技术 职务	教授	学位	博士	联系固话/ 手机号码	010-62773633/ 13910037210
	主要职责	<p>(1) 主持实验中心全面工作。</p> <p>(2) 负责实验中心发展规划及工作计划的制定,制定中心发展规划,主持国家与学校的重大教学投入项目,负责分配经费,组织落实与检查实施。</p> <p>(3) 督导实践教学及改革等,协调各部门之间的工作。</p> <p>(4) 负责建立高效运行机制与实践教学质量保证体系,积极推进现代教育技术和网络技术,完善各项管理制度,实现规范化管理。</p> <p>(5) 探索工程实践教学新理念、新模式,包括基地建设(环境建设),课程改革与建设、教材建设,创新实践教学模式,实验设备和实验技术的研究、转化与升级。</p>				
工作经历	<p>在清华大学机械工程系先后获得学士、硕士和博士学位。</p> <p>1994 年 4 月至今,一直在基础工业训练中心从事教学和科研工作。现任基础工业训练中心主任,主要学术兼职:教育部工程训练教学指导委员会副主任委员,教育部综合性工程训练实验教学示范中心学科组副组长,教育部教育装备专家指导委员会委员,华北地区高校金工研究会理事长,北京市高教学会金工研究会理事长。</p> <p>主持国家精品课《机械制造实习》和《实验室科研探究》,以及讲授《制造工程基础》和《现代汽车制造技术及管理》等课程。主持完成世界银行贷款、985 工程、211 工程、实践教学基地改造、质量工程等教改项目。</p> <p>科研方向:先进材料制备和精确成形技术及其应用。承担国家自然科学基金、航天创新重点基金、北京市科技计划项目等多项纵向科研项目,以及 20 余项与企业合作的横向项目。</p>					

	教研科研 主要成果 （科研成果 限填 5 项）	以第一、二作者发表文章 150 余篇；主编教材 3 部（其中 2 部列选十二五规划教材并获北京市优秀教材奖），参编教材 5 部；获批发明专利 3 项。获国家教学成果二等奖 2 项，北京市教学成果一等奖 2 项、二等奖 1 项；获清华大学教学成果一等奖 4 项，优秀教材一等奖 1 项，优秀教学软件一等奖 1 项，多次获其他校级教学奖项和集体奖项。获宝钢优秀教师奖和清华大学先进教育工作者奖。										
虚拟仿真实验 教学中心	教师基本 情况		正高	副高	中级	其它	博士	硕士	学士	其它	总人数	平均年龄
		人数	16	26	8	0	30	11	9	0	50	45
		占总人 数比例	32%	52%	16%	0	60%	22%	18%	0		
	实验教学 情况	实验课程数		面向专业数			实验学生人数/年			实验人时数/年		
		56		32			3210			121564		

2. 建设内容

2-1 虚拟仿真实验教学中心的建设概况

（一）建设背景

中国正在从制造大国升级为制造强国。十八大提出坚持走中国特色新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化道路。其中，两化融合即信息化和工业化的高层次的深度结合，以信息化带动工业化、以工业化促进信息化，走新型工业化道路。两化融合的核心就是信息化支撑，追求可持续发展模式，而利用数字化技术解决设计制造一体化问题是两化融合的关键。

清华大学为期一年的第 24 次教育工作讨论会的主题为：“创新教育模式，激发学术志趣，提高培养质量”。学校以学生为主体，实施价值塑造、能力培养、知识传授“三位一体”的教育，培养高素质、高层次、多样化、创造性的人才。学校高度重视实践教学，在“清华大学关于加强实践教学工作的若干意见”中提出：“为全面贯彻党的教育方针，满足国家对培养拔尖创新人才的要求，实现建设世界一流大学的奋斗目标，必须充分发挥实践教学在学校育人工作中的重要作用，切实提高学生的实践能力，培养学生的创新意识”。数字化建模与仿真技术已成为继理论研究、实验研究之后第三种人类认识世界、改造世界的工具，尤其是在制造工程领域，体现现代科技特点的虚拟仿真技术在拔尖创新人才培养中的作用是不可或缺的。

面临以上挑战和机遇，清华大学通过整合机械工程学院相关教学资源，依托“基础工业训练中心”和“机械工程实验教学中心”两个国家级实验教学示范中心，联合成立了“数字化制

造系统虚拟仿真实验教学中心”（以下简称中心）。

（二）建设理念和定位

如何培养适合现代社会需求的业界精英一直是我们多年来不断深入研究和探讨的重要课题。在不断研究、探索和实践过程中，我们进一步明确了数字化制造系统虚拟仿真教学中心的建设理念：建设响应前沿技术发展趋势的国际领先的虚拟仿真实验平台，将机械学科科研优势转化为人才培养优势，拓展学生学术视野，培养学生综合运用知识能力、创新创造能力和工程素养。以数字化设计与制造技术为手段，以产品全生命周期过程管理为主线，深入研究数字化制造系统的实验和实践环节，探索将多学科虚拟仿真科研过程和成果与虚拟实验训练相结合的教学新模式。

中心的定位：

- (1) 建设制造系统理论知识学习和工程实践能力培养的数字化平台。
- (2) 营造科研与学科优势转化为教学优势的研究型实践环境。
- (3) 提供不受时空限制的开放共享学习资源。

（三）建设内容

中心根据现代制造技术和实践课程教学改革的发展需求，构建高度仿真的制造系统虚拟环境和复杂机电产品实验对象，建设具有机、电、测、控、管一体化特色的实验教学平台，配备符合现代制造业发展的资源和环境，模拟产品开发及其制造的现实运行环境，实现真实实验难以完成的教学功能。为探索复杂大型系统的机理与深层次问题，提供可靠、安全和经济的虚拟实验，进行产品全生命周期的一体化模拟仿真过程，以适应工程训练和创新训练的教学需要，让学生通过“听、学、做”相结合的学习环境，深刻体会现代企业中先进制造技术各个环节的核心内容，达到更深入、更好的教学效果。

中心在建设时充分体现**虚实结合、相互补充、能实不虚**的原则，整合资源形成学习训练与科研探索相结合的虚拟实验内容体系，培养学生应用虚拟仿真技术和现代工具解决实际问题的工程实践能力。通过对企业完整生产过程的仿真，让学生在真实案例中学习和理解产品生命周期管理、物联网、云计算等前沿技术的内涵所在，将机电技术常规实验转变为真实工程背景下的系统技术集成训练，以及先进制造技术与工业管理相结合的综合性训练，是培养学生创新意识、创造性思维、系统思维和综合能力的先进实验教学平台。

中心建设紧紧围绕创新型人才培养这一主题，从广度和深度加大数字化设计、分析与制造实验内容的改革力度。重点建设量大面广的基础课虚拟仿真平台和具有前瞻性的工程创新虚拟仿真平台，使不同专业的学生（机械类、近机械类、非机械类）和不同层次的学生（低年级、高年级、研究生）都能有符合教学规律的虚拟仿真实验教学平台，使学生在掌握基本的数字化设计技能的前提下，也能学习和掌握数字化设计、分析与制造领域的前沿性、多学科的虚拟仿真技术。

通过四年不间断的、与理论课程环环相扣的虚拟仿真实验和物理环境下实践环节的锻炼，学生不但可以融会贯通地掌握机械工程领域具有实际应用价值的虚拟仿真关键技术，更能与现代企业的发展水平相适应，尽早成为业界的骨干人才。

中心下设“数字化产品设计虚拟仿真实验教学平台”、“数字化制造过程虚拟仿真实验教学平台”、“数字化生产管理虚拟仿真实验教学平台”三个平台，建设机械工程领域开放式、创新型的虚拟仿真实验教学中心，中心架构如图 1.1 所示。

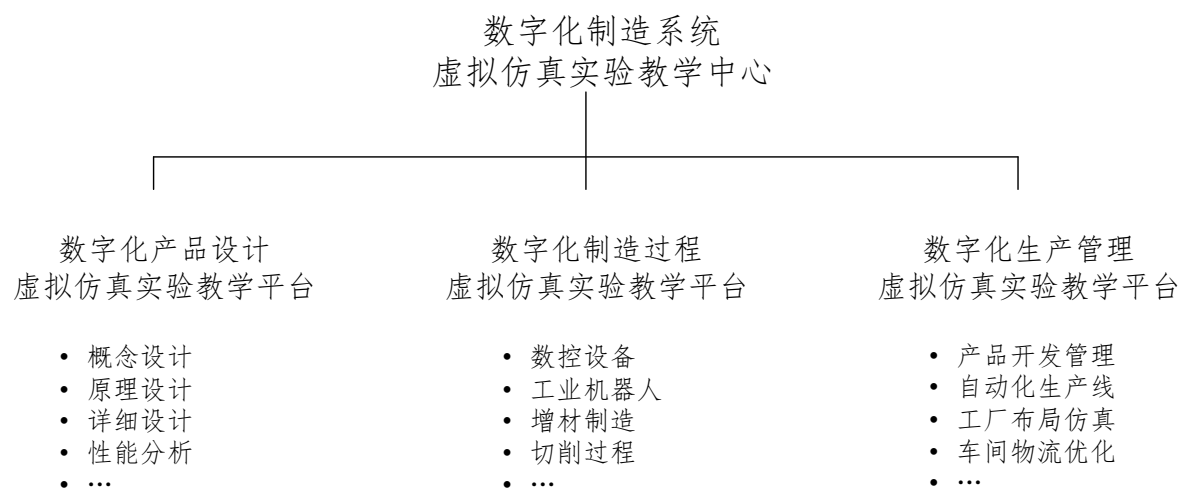


图 1.1 中心架构

中心对内开放服务于教学，对外开放集成企业和其他社会资源，拓宽多层次创新性人才的培养渠道，缩小学校的培养人才与社会需求的鸿沟。同时，与国内外著名大学和企业建立良好的合作关系，为学生提供高层次的国际学术交流和学习环境，打造出一流的数字化设计、数字化制造的实验和实践教学基地。经过多年探索，中心建设了以下内容：

- (1) 由浅入深、由基础到前沿的数字化制造系统实验教学体系，满足不同专业、不同层次学生的实验教学的需要，培养学生应用各种技术和现代工程工具发现问题、分析问题、解决问题的工程实践能力。
- (2) 覆盖全校相关专业、配备国际先进工程软件、具有较高水准的数字化设计与制造、多学科交叉融合的虚拟实验中心，为各院系的教学改革、科研活动和校企合作提供必要的软硬件基础，创建一流的人才培养环境。
- (3) 开放、跨学科的校内创新创业活动的数字化技术支撑平台，服务于学生科技活动和相关学科竞赛，实现创新创业训练项目的教学与研究相辅相成，包括：机械创新设计大赛、工程训练综合能力竞赛、虚拟仪器大赛、电子设计大赛、方程式汽车大赛、节能减排大赛等国际国内很有影响力的比赛。

中心建设了近 30 个完整的、涵盖产品全生命周期的虚拟仿真实验教学项目，支撑 50 多门涉及虚拟仿真实验教学的课程，从量大面广的机械制图课程（每年 90 个班）、机械制造实习（每年 1500 人）、本科新生研讨课、本科高年级专业课程、研究生学位课程到海外教授的短期课程，例如：机械制图、机械设计、机械基础认识实践、机械设计综合实践、现代设计技术、现代制造技术、创新设计、产品造型、生产系统规划与设计、CIMS 概论、机械制造实习、实验室科研探究、创业认识与实践、工业系统概论、制造工程体验等，课程的范围涵盖了精仪系、机械系、工业工程系、汽车系、自动化系、美术学院等 30 多个院系。

中心为学生的课外科技活动、相关领域的国际学术研讨会（2008 年虚拟现实国际会议）、前沿系列讲座及中外学术交流的网上协同设计、仿真提供了有力支持。中心覆盖范围广，受益学生多，是清华大学“211”、“985”、国家工科基础教学基地的建设项目，也是支撑多门“国家精品课”、“北京市精品课”、“清华大学精品课”教学实验的重要基地，还是工程训练类和机械类国家级实验教学示范中心重要组成部分。

2-2 虚拟仿真实验教学中心建设的必要性

制造的概念已经由狭义的“机电产品的机械加工工艺过程”演变为广义的“涉及制造业中产品设计、物料选择、生产计划、生产过程、质量保证、经营管理、市场销售和服务的一系列相关活动和工作的总称（国际生产工程学会，1990 年）”。复杂机电产品（譬如汽车、航空器、智能手机等）的开发与制造过程是一个非常庞大而且极其复杂的系统工程。

学生要学习、感知现代企业的制造过程，一般通过参观企业，在实验室里进行简单产品的设计制造，或在原型设备上做各种“试验”等方式。通过这些方式，学生只能达到“看到”产品的一部分研发流程，“做了”其中一个零部件加工这样的学习效果，缺乏直观感性的认识和系统的训练，从而导致书本上的理论知识与企业的实际生产相脱节。学生不能够理解真实产品开发的基本原理和过程，很难激发其创新潜力，发明出个性化创新产品，从而不利于创新型、综合型人才的培养。

如何能够让学生迅速了解新型产品的设计和生产过程，体会其开发过程，并且在了解基本原理的情况下，充分发挥其想象力，在产品开发中自主创新和发明创造，是很多教师关注的问题。但是，在现行的教学体系和教学条件下，学生不可能在真实的环境下把复杂机电产品的全部零部件设计加工出来，把产品的每一道生产装配工序都了解清楚。而学校配置现代制造企业中的大型先进生产设备和信息系统，需要耗费巨大的人力、物力和财力。

在机械工程实践教学中，通过将制造系统的数值仿真和物理仿真相结合，能够向学生充分展示现代制造企业的产品设计开发、连续化生产制造和信息化集成管理等具有**高成本、高消耗、综合训练**特点的实验项目。其中，数值仿真着重培养学生掌握现代设计工具的能力，物理仿真着重培养学生的动手实践能力，共同加深学生对产品开发过程和制造系统的认识和理解，有利

于对其进行理论升华，体会如何优化配置制造系统的各种资源进行来推动生产力的巨大跃升。在虚拟制造与现实制造的相互影响及作用的学习过程中，学生可以全面了解企业的生产组织管理工作，掌握如何正确做出决策，从而加快企业需求人才的培养速度。同时，通过虚拟仿真实验教学的方式可以达到接近现场实体教学的效果，实现安全、节约、高效，便于教学资源在兄弟院校等教学科研机构中共享。

在此背景下，清华大学提出建设数字化制造系统虚拟仿真实验教学中心，其根本任务是建设一个虚实结合、开放的制造工程实践教学平台，实验内容从量大面广的机械制图到真实实验难以完成的加工过程仿真，由浅入深，既注重基础，又涉及前沿，覆盖机械工程教学的众多环节。起到以下作用：①以复杂机电产品的开发项目为引导，通过虚拟的产品开发和制造过程，让学生迅速了解产品在现代制造企业中是如何从初始的用户需求分析、概念设计到各部件真正加工生产、装配调试、交付用户使用、配套服务这一系列步骤的产品全生命周期管理过程；②高水平科研项目转化为卓越人才培养教学资源的载体，科研与教学相互促进，将科研过程与能力训练相结合，通过探索性教学开拓学生视野和调动学生潜力，在学习方法上实现了从认识现象、了解结构到探究本质和机理，在实验手段上实现了科研方法和研究过程的密切结合；③虚拟仿真环境和实体实验室结合，提供了丰富配套学习资源，学生可以按照自己的时间自由安排学习进度，也可以根据自己的兴趣爱好选择非本专业的课程学习，让每个学生随时随地都可以协同工作，每时每刻都可以数据共享，自由创新。

2-3 虚拟仿真实验教学资源（罗列实验项目、功能及效果等）

数字化制造系统虚拟仿真教学中心拥有完备的硬件、软件、课程资源以及一支师资力量雄厚的教学队伍，中心以“基础工业训练中心”和“机械工程实验教学中心”为依托，具有专用的虚拟仿真教学实验室，具备教师授课、开展仿真实验、汇集计算机和软件资源等功能，拥有20多种计算机辅助设计、计算机辅助工艺设计、计算机辅助分析、计算机辅助制造、产品数据管理、车间制造执行系统、分布式数控系统的商用软件，拥有自主知识产权的复杂机电产品开发系统软件，拥有验证虚拟仿真实验结果的大型实验设备，如高精度数控加工中心、工业级3D打印机、柔性制造单元、汽车自动化生产线、焊接机器人等。同时，中心开发了完善的网络信息平台，实现了课程和软件资源共享、信息发布、数据分析等功能。

中心信息化设备和资源齐全，在本科生实验教学中开展了高成本、高消耗、综合训练特点的数字化制造系统虚拟仿真实验教学，建设了三个安全可靠、绿色节约的虚拟仿真实验教学平台，在机电常规实习、数字化制造车间和虚拟企业有机结合的大工程背景下，形成横跨基础技能训练、综合能力培养、学科前沿探索的机械工程实践教学体系，重点推行基于问题、基于项目、基于案例的教学，面向多学科、多年级、多层次人才进行培养。各平台的详细介绍和实验项目如下：

（一）数字化产品设计虚拟仿真实验教学平台

1. 平台总体介绍

“Design in China”，我国正在实现从“中国制造”到“中国智造”的转变，通过数字化产品设计虚拟仿真实验教学平台的建设，涵盖从概念设计、造型设计、零件设计、装配设计到产品力学性能分析（运动学、动力学、有限元）的完整产品设计流程，使学生可以自由发挥其想象力，全面开放创新设计理念，在数字化平台上完成设计创意，同时结合工业产品的性能要求设计出创新产品。

该平台涉及 CAD 软件（CATIA、Siemens NX、PTC Creo、SolidWorks、Autodesk Inventor、CAXA 等）和 CAE 软件（ADAMS、ANSYS、MARC 等），学生在平台上通过“设计-分析-再设计”的循环过程，在学习软件和动手实践的过程中将自己的创新思维和设计合理性结合起来。

该平台引入了创新设计 TRIZ 理论的学习、有限元分析理论的学习、机构分析与仿真的学习，与实际企业产品开发紧密结合起来，通过采用国内外企业的工程需求作为学生的训练项目，使学生学习的工程语言与现代化企业同步，构建符合现代设计理念的教学实验和实践平台，提高学生的创新设计能力和工程实践能力。

表 2.1 数字化产品设计虚拟仿真实验教学平台的实验项目

序号	项目名称	内容	工具	类型
1	曲柄活塞机构运动仿真	通过案例学习，使学生掌握：零部件虚拟装配的基本方法，学习常用运动副的定义，常用机构的运动仿真。使学生具备使用现代设计工具进行概念设计和结构设计的能力。	PTC Creo	基础技能训练
2	基于 Pro/E 的产品建模与运动学仿真	根据机械结构设计的需求，很多方面是在设计初期无法全面考虑或容易忽视的，比如运动的配合、运动范围、运动干涉与碰撞、设计运动死点等。Pro/E 的运动仿真可以全方位地对机构设计进行分析和展示。在课程中先用多个简单实例解释关于装配与连接的区别和使用方法，根据典型机构介绍运动机构常用连接：铰链、滑动杆、平面和沟槽等，以及最合理的选用方式。	PTC Creo	基础技能训练
3	轴承座受力有限元	借助于专用有限元分析平台，通过典型零	ANSYS	基础

	分析	件案例，让学生了解产品性能仿真过程中对底层几何信息的需求程度，比较集成和独立两种设计、分析模式的利弊以及网格划分中需要注意的相关问题和典型载荷和约束的施加方法。	Workbench	技能训练
4	无碳小车的设计与仿真	“无碳小车”是全国大学生工程训练综合能力竞赛的命题，该实验使用美国欧特克公司研制的 Inventor 软件在总体设计的基础上，绘制“无碳小车”零件图。在三维零件图的基础上，对“无碳小车”进行仿真装配、创建表达视图、创建工程视图和进行运动仿真。	Autodesk Inventor	综合能力培养
5	复杂曲面三维逆向工程	了解逆向工程的概念和基本方法；通过动手实验，掌握逆向设备、软件的使用方法；掌握复杂曲面逆向过程：（1）采用照相式三维扫描仪（JR-AF）对菩萨三维表面进行多片扫描；（2）使用 GeoMagic Studio 完成点云数据处理，利用该软件完成点云文件的修复、拼装、补洞和封装，输出 STL 文件，完成文件建模；（3）操作 3D 打印机完成原型打印。	照相式三维扫描仪与数据处理软件 JR-RECA ， GeoMagic Studio 点云数据处理软件， UP3D 打印机	综合能力培养
6	基于 Creo Elements /Pro 的有限元分析	通过本次实验使学生了解集成设计环境进行设计、分析迭代的基本方法，同时了解不同材料的同一零件有限元分析的处理方法以及热分析的处理方法，使学生基本能够掌握现代设计平台进行简单零件设计、分析的迭代方法。	PTC Creo	综合能力培养
7	并联机器人模块及仿真系统搭建	通过 UG 等三维软件建立不同的并联机器人模块，根据不同的并联机器人构型，选择不同的模块，搭建出相应的并联机器人单元，完成运动过程仿真和切削过程仿真，并可以将不同的并联机器人单位组合成生产线，完成系统级的生产任务仿真。	UG, SolidWorks 软件二次开发	学科前沿探索

8	类人机器人步态规划和自主巡航仿真实验	通过 OpenHRP 专用仿人机器人的开源仿真平台，根据不同仿人机器人构型，设计仿真各种步态，完成步态规划、运动学仿真，也可通过合理设计仿真控制器完成仿人机器人的动力学和自主巡航仿真。	OpenHRP, SolidWorks, PTC Creo	学科前沿探索
---	--------------------	--	-------------------------------	--------

2. 典型实验项目

实验项目 1：基于 Pro/E 的产品建模与运动学仿真

运动仿真软件能让设计工程师建立、评估和优化部件在现实环境中的运动，以便最佳地满足工程和性能需求。当在产品开发的早期阶段应用运动仿真，并且作为设计过程的一个完整部分时，运动仿真可以对产品性能提供宝贵见解，这些见解可以帮助发现 and 解决设计问题，此时，更改费用低，更改机会大。运动仿真有助于从一开始就获得产品模型，因此它可以提高产品质量和发扬设计优点，并减少开发时间、原型和成本。

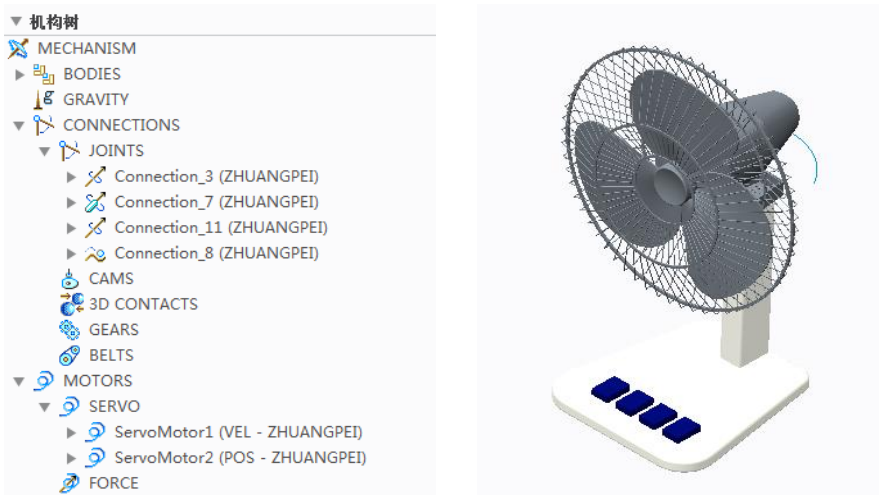


图 3.1 电风扇的机构树—连接方案以及双电机复合运动

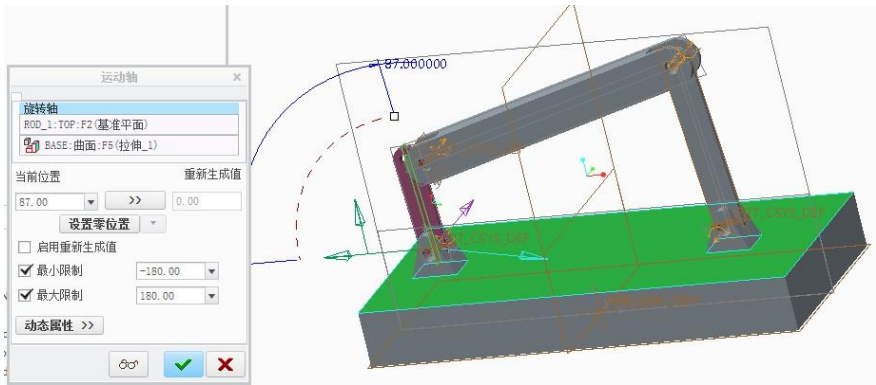


图 3.2 连杆机构运动干涉碰撞分析

根据机械结构设计的需求，很多方面是在设计初期无法全面考虑或容易忽视的，比如运动的配合、运动范围、运动干涉与碰撞、设计运动死点等。**Pro/E**的运动仿真可以全方位地对机构设计进行分析和展示。在课程中先用多个简单实例解释关于装配与连接的区别和使用方法，根据典型机构介绍运动机构常用连接：铰链、滑动杆、平面和沟槽等，以及最合理的选用方式。用几个综合型案例进行运动仿真的综合练习：例 1，摇头电风扇运动仿真，包含内容：装配—匹配、对齐；连接—铰链、圆柱、沟槽等；机构运动—添加伺服电机，约束旋转角度等。例 2，四连杆运动干涉碰撞分析，包含内容：连接—铰链、圆柱等；机构运动—添加伺服电机，调整旋转轴角度约束等；机构分析—运动中干涉碰撞分析。

实验功能和效果：运动仿真内容使学生了解运动仿真的构建过程、链接设置、自由度分析，在实例电风扇的运动过程仿真中，涉及到完全限制自由度的装配模式、留有限定自由度的链接，以及合理地组合使用装配和链接，该项目的完成能够实现对旋转动力的典型机械结构的仿真深入的理解和方法的掌握。干涉碰撞分析可以直观地显示设计缺陷，特别是在整个机构运动过程中可能出现的致命缺陷，便于及时地修改设计，完成机构功能，从而减少设计事故。

该实验项目支撑《基于 **Pro/ENGINEER** 的 **CAD/CAM**》课程，每年 96 名学生，来自机械、汽车、材料、航天航空、工业工程、化工、精仪等院系。

实验项目 2：基于 **Creo Elements/Pro** 的有限元分析

实验内容：在 **Creo Elements/Pro/Mechanica** 的集成模式下，首先完成一个实体模型的有限元分析，从零件实体模型建立三维的有限元模型，分析其在给定载荷和约束情况下零件各部分的应力情况，并对产生的变形进行仿真；针对一个轴类零件，根据其结构对称性抽取零件的一个横截面来分析，计算在管内压强和整体温度载荷的作用下载面的剪应力分布；最后对包含轴瓦和轴承座的复杂实体模型进行有限元分析。

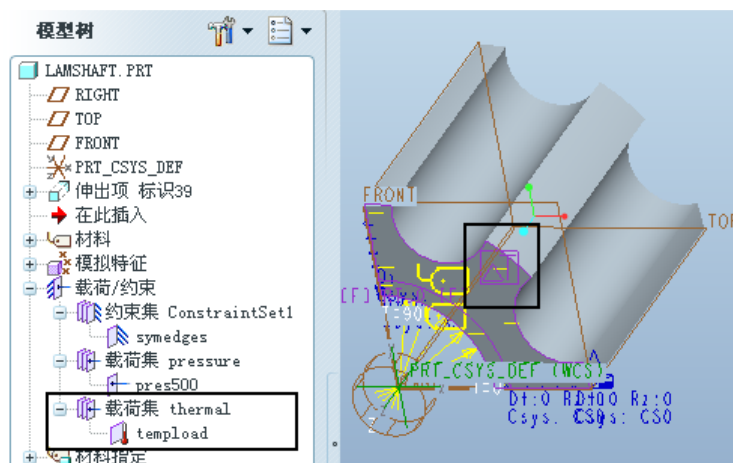


图 3.3 有限元分析模型

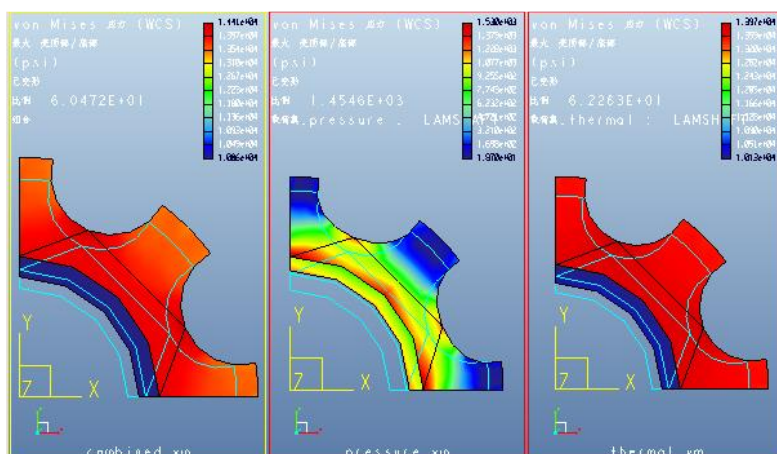


图 3.4 多物理场有限元分析结果

实验功能和效果：通过本次实验，了解集成模式（与三维 CAD/CAM 软件集成在一起）有限元软件的应用过程，掌握运用 **Creo Elements/Pro** 软件对模型进行有限元分析的一般流程。

该实验项目支撑《现代设计技术》课程，每年 63 名学生，来自机械工程学院。

实验项目 3：无碳小车的设计与仿真

实验内容：“无碳小车”是全国大学生工程训练综合能力竞赛的设计命题，要求在没有其它外在动力的条件下，仅依靠将重物的重力势能缓缓地转化为动能，来实现小车自主曲线前行，并以达到最远行程为竞赛目的。在“无碳小车”的结构设计中，集合了转向差速器装置、齿轮传动装置、偏心轮转向装置和滑轮放大行程装置等一系列典型的机械结构于一身，充分体现了对学生机械机构知识的综合考察；同时，由于竞赛的标准是行程最远，所以要通过提高加工精度来最大限度地减少阻力，对机械加工精度和装配调试的工艺水平也有非常好的考察，对于同学综合能力的培养和提高具有非常大的促进作用。项目使用美国欧特克公司的 **Inventor** 软件绘制“无碳小车”零件图，对“无碳小车”进行仿真装配、创建表达视图、创建工程视图，最后完成整车的运动学仿真。

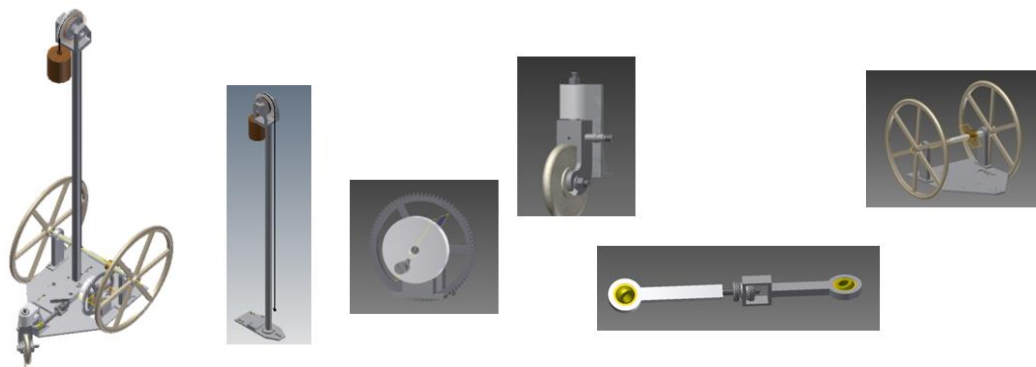


图 3.5 “无碳小车”各模块数字化模型

实验功能和效果：（1）通过设计“无碳小车”，引导同学分析所绘制零件的使用功能，加工工艺，制造难点等，启发同学进行创新设计，改进所绘制零件的结构，以此改善“无碳小车”的性能，使其行进轨迹更精确，行进的路程更远。（2）对“无碳小车”进行装配仿真，在仿真装配的过程中使同学们熟悉“无碳小车”，认识“无碳小车”，最终达到创新设计“无碳小车”。（3）对“无碳小车”进行运动仿真，使学生加深对设计的认识，加深对工艺的认识。

该实验项目支撑《创意设计制造》课程，每年 130 名学生，来自机械、汽车、材料、航院、工业工程、化工、精仪等院系。

实验项目 4：复杂曲面三维逆向工程

实验内容：“逆向工程”（Reverse Engineering），也称反求工程、反向工程等。一般传统的产品生产都是先设计图纸，然后安排合理的加工设备、适合的材料以及相应的工具完成产品制造，这种零件制造方法我们称之为正向工程。而产品的逆向工程是根据已有零件（或原型），通过三维扫描或三维照相的方式获取零件（或原型）数据，生成图样，再制造出产品。逆向工程可以应用于原型数据快速获得、产品创新、产品验证、医疗移植、服装设计、人机工程等方面。本实验以菩萨复杂曲面外形为载体，指导学生完成三维数据扫描、建模与原型制造。内容如下：

（1）数据采集，采用照相式三维扫描仪（JR-AF）对菩萨三维表面进行多片扫描；（2）使用 GeoMagic Studio 完成点云数据处理，利用该软件完成点云文件的修复、拼装、补洞和封装，输出 STL 文件；（3）使用 3D 打印机完成数字化模型打印。

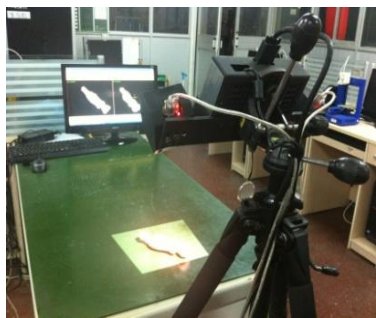


图 3.6 三维扫描仪联机扫描



图 3.7 多片扫描点云后处理



图 3.8 3D 打印菩萨模型

实验功能和效果：学生通过实验，了解了复杂曲面生成的原理与方法。通过动手，完成了复杂曲面原型的三维扫描、数据建模、原型打印等实验内容。使学生初步掌握了复杂曲面逆向设备与软件的使用方法，也使学生了解到了不同于正向制造的方法和技术，扩展了学生视野。

该实验项目支撑《机械制造实习》课程，每年 1500 名学生，来自机械、汽车、材料、航空航天、工业工程、化工、精仪等院系。

实验项目 5：并联机器人模块及仿真系统搭建

实验内容： 并联机器人的特点使其非常适合于模块化设计。本实验就是通过对并联机器人可能模块分析的基础上，采用 UG 等三维软件，构建出不同类型的机器人模块。学生通过所开发的仿真系统，选出不同的并联机器人模块，进而搭建出不同用途的并联机器人单元，通过施加必要的运动数据后，可以实现并联机器人的各项运动效果仿真，以及加工效果的仿真。另外，还可以通过仿真系统，搭建出多个不同构型的并联机器人，完成不同的加工、搬运和测量等任务，组成类似于生产线的仿真系统，实现对加工任务的更好仿真和模拟。


零件名称	零件编号	接口数量	零件图	零件名称	零件编号	接口数量	零件图
分度件二	43	48		球铰槽	49	2	
分度件一	44	48		动平台	50	7	
电机接口板	45	2		静平台框架	51	10	
分度件二2	46	48		扩展板1	52	4	
分度件一2	47	48		定长杆400mm	53	2	
分度件与杆连接件	48	2					

图 3.9 并联机器人基本模块

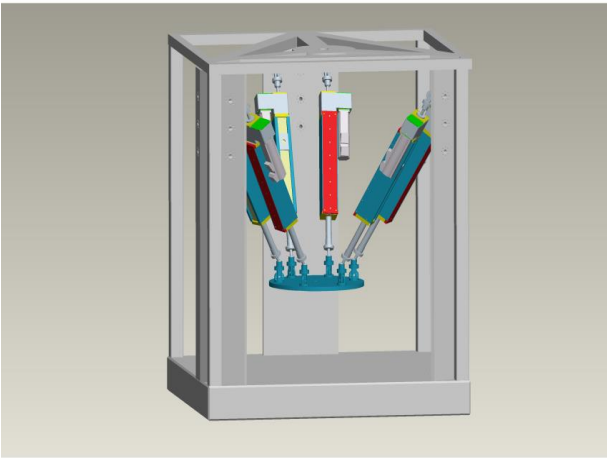


图 3.10 并联机器人单元模型

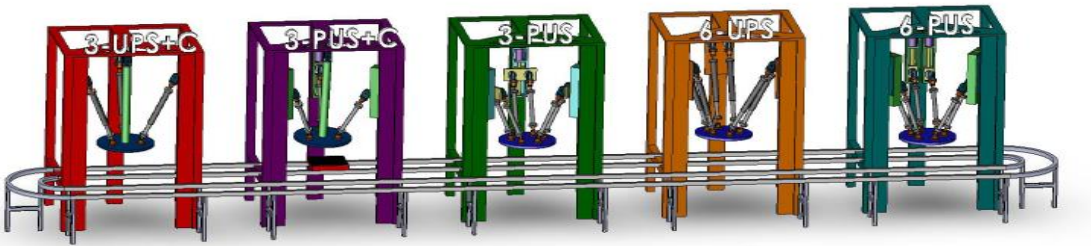


图 3.11 并联机器人系统搭建仿真

实验功能和效果： 由于并联机构构型多样，学生往往难以理解和掌握并联机构的运动特点，此套仿真系统可以让学生掌握并联机构的不同构型特点，完成并联机构的各项性能仿真，包括速度、加速度、运动自由度等，并可以实现零部件的加工仿真过程。通过此系统，还可以组合成类似于生产线的仿真系统，实现对不同加工任务的仿真和模拟。

该实验项目支撑《并联机器人重构与控制实践》课程，每年 32 名学生，来自机械工程学院。

实验项目 6：类人机器人步态规划和自主巡航仿真实验

实验内容：通过 OpenHRP 专用仿人机器人的开源仿真平台，根据不同仿人机器人构型，设计仿真各种步态，完成步态规划、运动学仿真。通过合理设计仿真控制器完成仿人机器人的动力学和自主巡航仿真。本虚拟实验的仿真模块图及仿真流程如图 3.12 所示，需开发如下模块：

(1) 仿人机器人的模型，采用三维造型软件生成零部件，并根据规则装配生成机器人模型，导入仿真环境；(2) 开发虚拟传感器状态解算模块。根据虚拟视觉、三轴陀螺、三轴加速度以及力传感器，生成机器人及环境状态；(3) 路径规划、轨迹生成、轨迹跟随和全方向运动步态规划四个核心算法模块，为主要算法模块；(4) 机器人巡航状态监测和数据评估模块，用于导出巡航仿真的结果，用于评估并优化巡航和步态规划参数。

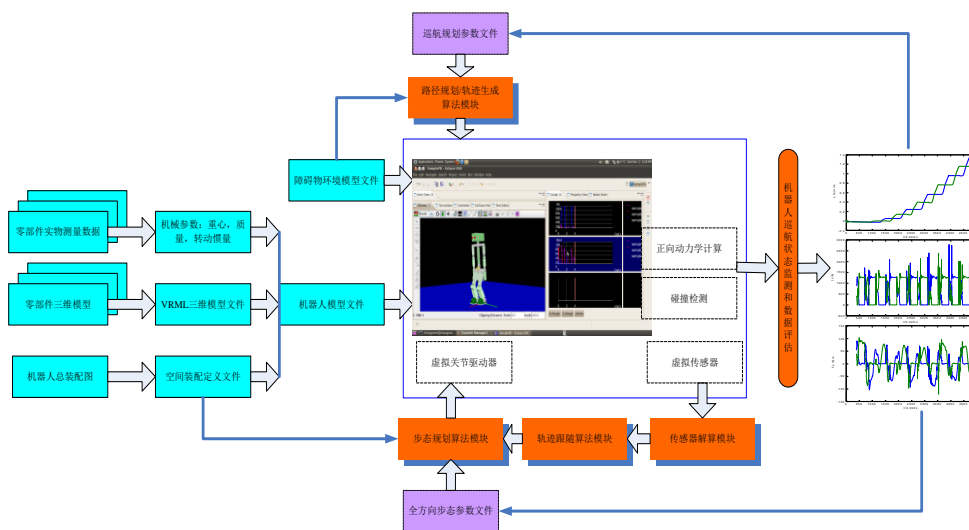


图 3.12 类人机器人步态规划流程

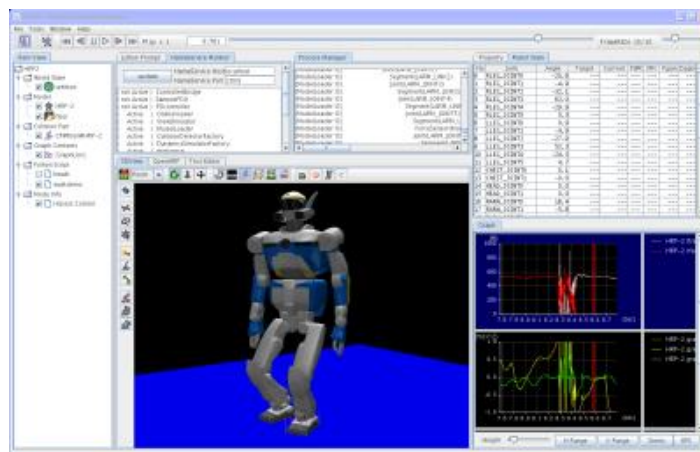


图 3.13 类人机器人自主巡航仿真

实验功能和效果：由于类人机器人运动学、动力学建模复杂性，学生难以理解和掌握，通过采用仿真软件建立不同自由度配置类人机器人运动学、动力学、步态规划、自主巡航模型，

完成各项性能仿真（包括关节速度、加速度、步态、路径等），并通过类人机器人实物样机，实现仿真结果的实验验证与对比。

该实验项目支撑《仿人机器人技术综合实践》课程，每年 10 名学生，来自航天航空学院钱学森力学实验班。

（二）数字化制造过程虚拟仿真实验教学平台

1. 平台总体介绍

数字化制造过程虚拟仿真实验教学平台是在数字化技术和制造技术全面发展和融合的背景下，利用虚拟现实、物联网、数据库和多媒体等技术，实现对产品制造工艺进行仿真验证，提前预告设计不合理问题，避免实际制造中造成不可逆错误或引起重大经济损失的系统平台。数字化制造主要是利用计算机的信息处理能力将参数化模型和信息转变为可以度量的数字、数据，在计算机和机床上将实际制造过程模拟仿真出来。

数字化制造过程虚拟仿真实验教学平台中包括制造装备的虚拟仿真（数控机床、工业机器人）、制造工艺的虚拟仿真等。数控机床数字化制造利用基于网络的 CAPP/CAM/MES/DNC 集成技术，通过参数化建模方法，实现产品全数字化制造过程。工业机器人数字化制造以机器人运动仿真结合自动化控制技术，通过计算机编程驱动生产线上的机器人手臂及自控设备完成规定动作。

表 2.2 数字化制造过程虚拟仿真实验教学平台的实验项目

序号	项目名称	内容	工具	类型
1	数控机床操作仿真入门实验	使用数控机床仿真平台实现机床运动控制和加工过程仿真，可以选择加工过程刀具轨迹仿真或实体加工仿真数控程序的执行结果，实现加工过程的加工轨迹、碰撞干涉、过切或欠切等可能出现的问题的检查，从而实现数控程序正确性的检验，保证实际加工的安全性，降低实际实验成本和实验时间。	CNC Partner	基础技能训练
2	3D 打印砂型	以现有 3D 砂型打印机为基础，利用 Pro-cast 软件对铸型 CAD 模型进行充型过程模拟，优化模型铸造工艺；利用 Aurora 软件进行 *.STL 文件的分层处理，分析模拟其数据查找及分类过程（切	Pro-cast 软件， Aurora 软件， Cark 软件，PCM 无模造型设备	基础技能训练

		片算法); 利用 Cark 软件对分层后数据文件进行数据插补, 得到数控加工代码; 利用砂型及粘结剂进行逐层打印, 最后制备出所设计的砂型, 直观体验 3D 砂型打印的全过程, 并比较体验其与传统铸造过程的区别与联系。		
3	焊接机器人编程与操作	讲解焊接机器人的原理、特点、适用范围以及常见应用案例; 指导学生学习并实践弧焊机器人的“示教—再现”编程和操作; 对焊接程序进行离线编程及仿真, 使学生了解数字化建模的过程; 指导学生独立完成三维空间焊缝的轨迹编程及机器人自动焊接过程。	弧焊机器人工作, CO2 供气系统, 专用焊接防护设施	基础技能训练
4	数控加工编程实验	在 CAD (SolidWorks) 软件上进行三维实体建模, 将三维实体模型导入 CAM (EdgeCAM) 软件中, 对所设计的零件进行加工编程操作, 并将所编的 G 代码程序传输输入数控机床进行加工制作。	EdgeCAM 软件及数控机床	基础技能训练
5	高精度数控铣数字化建模、仿真及加工实验	利用计算机辅助设计、计算机辅助制造软件进行个性化产品三维建模, 并对雕铣机加工过程进行离线模拟仿真, 为实际加工提供验证。	ES-SurfMill	综合能力培养
6	“无人化”生产之柔性制造单元实验	了解“无人化”生产的概念, 掌握六轴机械手臂的运动控制方式, 根据给定的样例程序编制机械手臂和数控加工中心的控制代码程序, 通过计算机软件虚拟仿真验证通过后, 在真实的实验台上完成自动化上下料和数控加工操作。要求通过 PLC 控制和 CAD/CAM 编程, 用 MES 系统实现一次性“无人化”自动控制 9 种不同零件的加工操作过程的虚拟仿真和实验操作。	硬件: 六轴机械手臂, 数控加工中心, 料架工作台 软件: 欧德吉 MES 系统, 网络 DNC , CAXA 制造工程师	综合能力培养
7	基于关节臂式测	实验采用关节臂式测量机和激光扫描测	软件: GeoMagic	综合

	量机的机械反求	头，对带自由曲面的典型零件轮廓进行测量，通过专业的逆向处理软件 GeoMagic Studio 进行数据处理，采用 Pro/E 进行参数化模型重建，通过 EdgeCAM 软件进行制造仿真，最后在机床上加工出实物。	Studio , PTC Creo, EdgeCAM 硬件：七轴关节臂及激光扫描头、数控机床	能力培养
8	金属切削过程虚拟仿真综合实验	针对金属切削过程中高速、大应变等非线形特点，开展难加工材料切削过程数值计算与实验验证，从而强化对于刀具参数、切削参数、复杂刃形、刀具涂层、工件材料等因素对于切削过程状态以及质量影响机理的研究。	AdvantEdge 6.0	学科前沿探索
9	微细特种加工过程仿真	在了解微细特种电加工基本原理及工艺基础上，利用 Ansys、Fluent、Pro/E 及自行开发的仿真平台实现图形化仿真，以了解微细电火花放电作用区域、微细电化学加工中的电场分布、三维微细电火花扫描工艺过程。	Ansys, Fluent, Pro/Engineer , 自行开发 3D-EDM 规划软件	学科前沿探索
10	超精密切削加工过程仿真	在了解金属切削基本原理、刀具振动辅助切削工艺基础上，利用 ABAQUS/DEFORM 仿真平台实现图形化仿真和输出过程参数规律曲线，以了解有/无直线/椭圆振动辅助下微薄切削量情况下，切削参数对切削力和温度、精度和效率等的影响特性。	ABAQUS/DEFORM	学科前沿探索

2. 典型实验项目

实验项目 1：数控机床仿真操作入门实验

实验内容：数控机床在现代制造企业，包括许多高新技术企业中，越来越多地投入使用。本实验为学生提供一个十分接近真实数控机床操作的平台，让学生能够在低成本、安全的条件下，通过实际操练，体会并熟悉操作数控机床的方法。首先，学生在数控机床旁接受基本知识培训，了解机床结构、功能特性，以及数控加工过程的主要步骤。随后，学生开始利用 **CNC Partner** 数控培训平台进行实操练习。教师带领学生从实验台构造、界面组成、仿真原理开始了解操作

实验台的要领，并在接令实操训练任务之后，开始利用实验台完成相应的数控加工任务，包括程序调用、刀具检查、程序检查与编辑、工件坐标系建立、对刀仪对刀、手动试切、自动程序执行等。



图 3.14 CNC Partner 数控培训平台

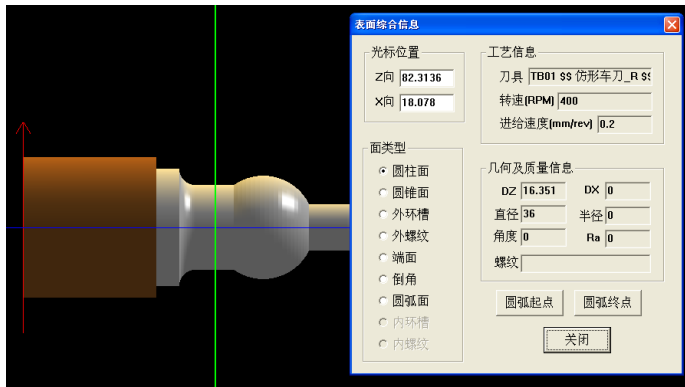


图 3.15 利用仿真平台练习刀具补偿值设置

实验功能和效果：学生通过实验，体会利用数控机床进行加工制造的过程。理解数控设备参照工件坐标系，精确执行加工路径的特点。对于刚刚接触数控设备的学生来说，仿真实验平台既可以通过操作面板提供接近真实操控机床的感受，又能够避免因操作生疏造成工件、刀具、机床的损坏，保证了学生的人身安全。经过仿真平台培训后，学生在操作数控机床时，能够更快理解操作原理，同时能够更为注意关键步骤上的谨慎操作，避免造成人员受伤或财产损失。

该实验项目支撑《机械制造实习》课程，每年 1500 名学生，来自机械、汽车、材料、航空航天、工业工程、化工、精仪等院系。

实验项目 2：3D 打印砂型

实验内容：3D 砂型打印是一种基于传统自硬树脂砂工艺相结合的新型快速成型工艺，与传统铸造相比，3D 砂型打印工艺具有无可比拟的优越性，它使铸造过程高度自动化、敏捷化，降低了工人的劳动强度。在技术上它突破了传统铸造工艺的许多障碍：无需木模、制造成本低、制造时间短、造型材料廉价易得等等。以现有 3D 砂型打印机为基础，在完成建模后，首先由老师利用 Pro-cast 软件向同学展示铸型 CAD 模型的充型过程，并优化模型结构。

模型修改完成后，利用 Aurora 软件进行分层参数的设置并生成加工路径，学生要理解分层参数的变化对砂型性能的影响，并学会根据加工对象的不同来设置分层参数，初步了解认识加工路径的种类及生成原理，分层工作完成后，利用 Cark 软件对加工路径进行直观展示，并生成加工代码，设置扫描参数，在此过程中让学生了解扫描参数对铸型质量的影响；最后，指导学生在现有 3D 砂型打印机（PCM 无模造型）设备上对砂型及粘结剂的逐层打印过程，直观地了解 3D 打印的成型原理，最后制备出所设计的砂型，体验其与传统铸造技术的区别与联系。

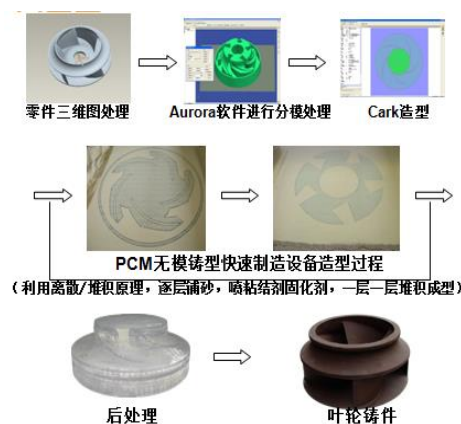
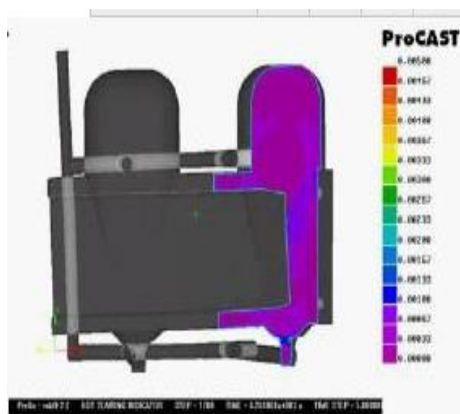


图 3.16 铸型充型模拟

图 3.17 3D 砂型打印工艺过程

实验功能和效果：学生通过实验，可以系统直观全面地体验从 CAD 数模优化到实体砂型制备的全过程，认识快速成型技术中分层及扫描参数对砂型质量的影响，并根据不同产品设计不同的打印参数。此外，在试验中学生还可以根据不同的铸造方法，提出不同砂型打印机的工作原理。经过实验教学后，学生首先可以了解 3D 打印及其与传统铸造方法的嫁接方式，加深其对现代铸造技术发展方向的理解，在老师的指导下，使所有学生均可以独立完成模型设计到打印的全过程。

该实验项目支撑《机械制造实习》课程，每年 1500 名学生，来自机械、汽车、材料、航空航天、工业工程、化工、精仪等院系。

实验项目 3: 焊接机器人编程与操作

实验内容：随着先进制造技术的发展，实现焊接产品制造的自动化、柔性化与智能化已成为必然趋势。目前，采用机器人焊接已成为焊接自动化技术的主要标志。焊接机器人突破了焊接刚性自动化的传统方式，开拓了一种柔性自动化生产方式。结合中心最新引入的由 **KUKA** 工业机器人和 **KEMPPI** 专用焊接系统构成的弧焊机器人工作站，为参加基础工业实习的学生开设了焊接机器人编程与操作的实验。该实验中，学生首先要了解焊接机器人的原理、特点、适用范围以及常见应用案例。

利用弧焊机器人工作站的操作和编程控制器（KUKA SmartPAD）学习并实践弧焊机器人的“示教—再现”编程和操作。在此过程中，为学生讲解焊接工艺参数对焊缝最终成型的影响，并帮助学生在加工中体会如何根据加工制造的对象来确定合理的焊接工艺参数。其次，利用 KUKA 机器人有限公司提供的 KUKA Sim Pro 仿真软件，对焊接程序进行离线编程及仿真，使学生了解数字化建模的过程。最后，指导学生独立完成三维空间焊缝的轨迹编程及机器人自动焊接过程。

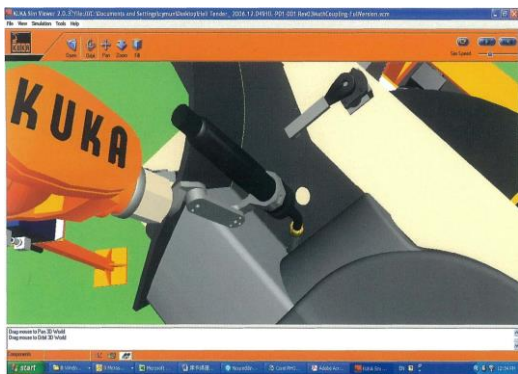


图 3.18 焊接机器人离线编程及仿真



图 3.19 学生进行弧焊机器人编程和操作

实验功能和效果：该实验能够让学生了解六轴工业机器人的组成结构、性能参数和应用范围，了解工业机器人在焊接领域的应用及发展；初步掌握面向三维空间焊缝的机器人“示教—再现”运动编程，以及机器人弧焊工艺参数的选择和调整；了解焊接机器人离线仿真编程技术。

该实验项目支撑《机械制造实习》课程，每年 1500 名学生，来自机械、汽车、材料、航空航天、工业工程、化工、精仪等院系。

实验项目 4：高精度数控铣数字化建模、仿真及加工实验

实验内容：高精度数控铣可以在微小零件上进行精密加工，用于制造精度要求较高的零件或工艺品等。在该实验中，学生首先要了解数控铣的原理、特点、适用范围以及常见应用案例。其次，利用 ES-SurfMill 软件对加工的产品进行设计，从而了解数字化建模的过程，并熟悉其方法。在完成建模之后，利用该软件加工模块，设置加工参数、生成加工路径，并对加工路径进行仿真模拟。

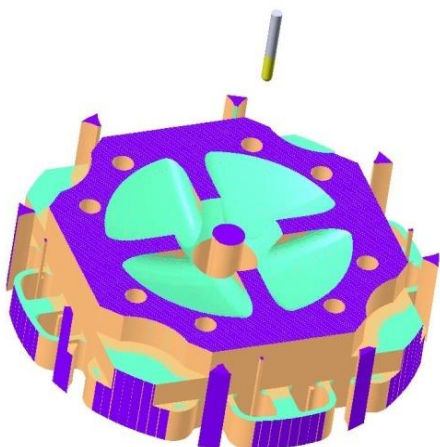


图 3.20 加工模拟仿真



图 3.21 学生作品

在此过程中，为学生讲解加工参数对产品最终成型的影响，并帮助学生在仿真模拟中体会如何根据加工制造的对象来确定加工参数。最后，指导学生通过北京精雕公司生产的最新型精雕机，了解现代化数控机床进行联网通讯以及加工路径执行的过程，熟悉数控机床加工方法，最终亲手将自己设计的图样加工出来。

实验功能和效果：学生通过实验，初步了解数控铣的基本概念和特点，并认识如何利用 CAD/CAM 软件进行建模、加工路径生成、加工仿真、数据传输、机床加工执行等完整的数字化制造过程。学生在其中根据各自专业，还会提出一些有关不同产品如何通过铣削加工完成生产的问题。经过实验教学后，所有学生都能够在教师的监督下，独立完成建模、加工路径生成、仿真、数控加工执行的全部过程。

该实验项目支撑《机械制造实习》课程，每年 1500 名学生，来自机械、汽车、材料、航空航天、工业工程、化工、精仪等院系。

实验项目 5：“无人化”生产之柔性制造单元实验

实验内容：利用实验现场提供的计算机、数控设备（数控加工中心）、机械手臂和配套料架，通过自主编程实现 9 种不同工件的“无人化”生产控制过程。要求：9 种工件各不相同，每一个工件有不同的工序内容。全部过程通过 PLC 控制，通过逻辑判断条件满足后执行下一步骤，不允许采用时间间隔方式，在 PLC 编程内容上采用判断保护机制，在系统运行不正常时，需强行终止运行。通过柔性制造单元这个实验平台，让学生利用数控加工中心和自动化控制的机械手臂配合，完成全部加工仅仅需要 1-2 个小时，这仅仅是一个熟练工人 1/8 的时间。



图 3.22 柔性制造单元

实验功能和效果：在这个实验平台上，有 9 种完全不同的零件能够实现可控的无人化批量加工。而且，数控设备和机械手臂比人更加节省，可以实现 24*7 方式工作，严格遵守每一个动作的操作时间，完全杜绝人为错误和情绪化失误的发生。

该实验项目支撑《机械制造实习》课程，每年 300 名学生，来自材料、航天航空、工业工程等院系。

实验项目 6：金属切削过程虚拟仿真实验

实验内容：精密切削技术是航空航天、汽车、能源、精密装备等行业的基础，其过程预测与优化对于提高加工质量与加工效率具有至关重要的意义。在本实验项目中，将重点针对目前国际上迅猛发展的金属切削过程仿真技术展开训练。利用 Thirdwave AdvantEdge 软件针对精密切削过程的有限元建模方法展开练习，重点培养学生三维刀具建模、材料特性标定、切削界面参数分析、非线性有限元模型建立、仿真结果分析与应用、精密切削过程实验设计与验证的能力，从而提高学生对于精密切削机理的认知以及定量法分析能力。

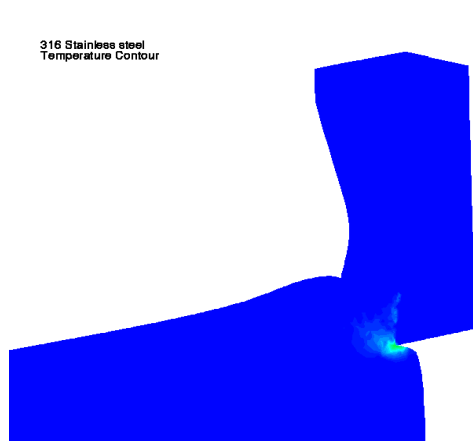


图 3.23 切削界面参数分析

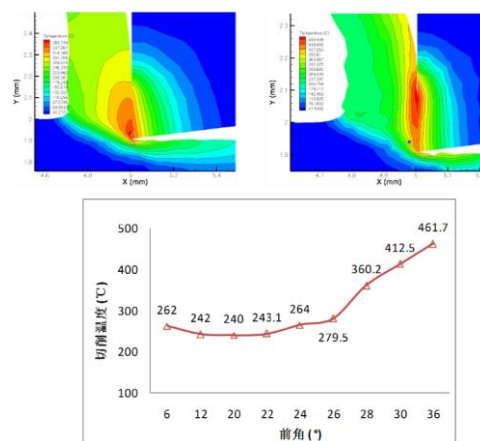


图 3.24 仿真结果分析

实验功能和效果：对切削过程有限元分析技术关键模块的建立进行系统化的练习，从而了解对于复杂物理过程精确化仿真的技术，强化对于精密切削理论的认识。

该实验项目支撑《制造过程数值模拟技术》、《制造技术》课程，每年 80 名学生，来自机械工程学院。

实验项目 7：微细特种加工过程仿真

实验内容：非接触式电加工原理的微细特种加工，不受工件材料硬度、刚度等机械性能限制，可在导电材料上加工微孔、微槽和微三维结构。以现有的仿真平台和系统为基础，利用 Ansys 仿真单脉冲电火花放电，分析放电参数对不同工件材料的加工特性；利用 Fluent 软件仿真微孔电解加工过程，分析电解液区域内电场分布情况及加工精度；利用 Pro/Engineer 及自行开发软件，仿真微三维型腔电火花扫描加工工艺 CAD 及 CAM 过程。

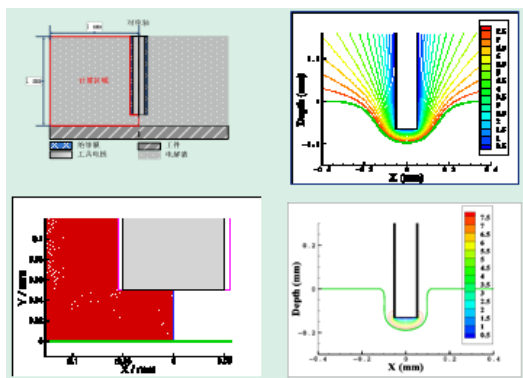


图 3.25 微孔电解加工过程模拟

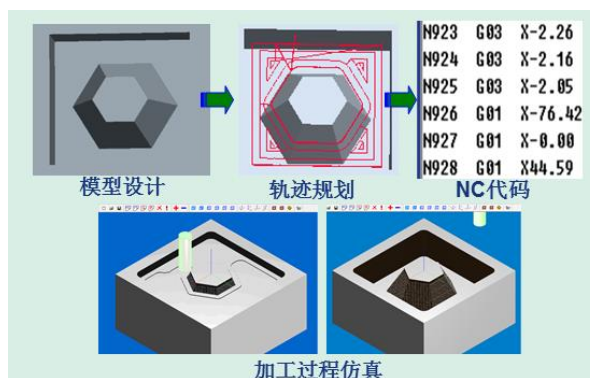


图 3.26 3D-SMEDM 的 CAD/CAM 过程

实验功能和效果：对微细电加工机理及工艺过程进行模拟和图形化展示，让学生了解影响微细电加工过程的关键因素及作用效果，熟悉微孔、微三维型腔加工工艺的设计过程，加深对微细特种电加工机理及技术的理解。

该实验项目支撑《微纳制造导论》课程，每年 32 名学生，来自机械工程学院。

实验项目 8：超精密切削加工过程仿真

实验内容：超精密切削可实现超高精度的加工表面，高频振动辅助超精密切削作为一种前沿技术，有望延长金刚石刀具寿命。以现有的 ABAQUS / DEFORM 仿真平台和研究成果为基础，通过图形化仿真和输出过程参数规律曲线，仿真分析刀具几何参数、振动参数对切削力和切削温度、表面质量、刀具磨损规律的影响。

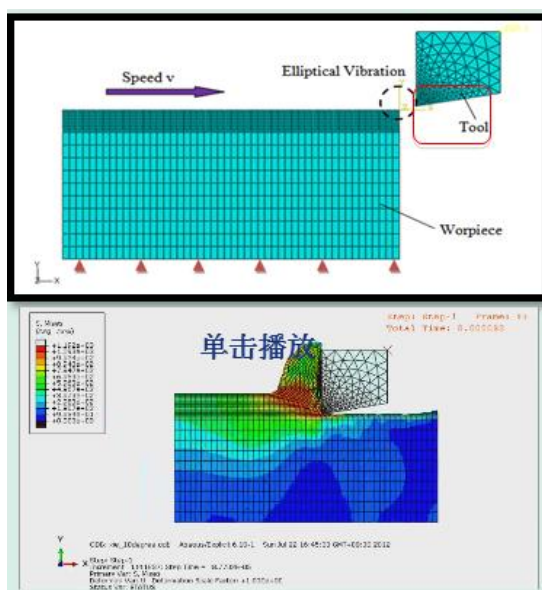


图 3.27 振动辅助切削过程模拟

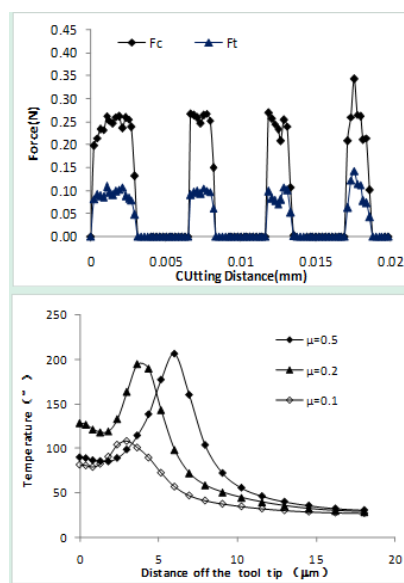


图 3.28 加工参数影响规律曲线

实验功能和效果：对超精密切削过程及辅助振动切削技术进行模拟和图形化展示，让学生了解影响加工过程的刀具几何形体、振动参数等关键因素及作用效果，加深对金属切削加工过程及振动辅助加工新技术的理解。

该实验项目支撑《微纳制造导论》课程，每年 32 名学生，来自机械工程学院。

（三）数字化生产管理虚拟仿真实验教学平台

1. 平台总体介绍

数字化生产管理平台是一个虚拟企业业务流程运转和生产计划管理的系统平台，它涵盖了现代制造企业的关键元素“人”、“财”、“物”的管理，根据企业的业务流程建立相应的实验项目，同时配备相应的部门人员和资源支持，最终在规定的时间内按质保量地完成整个项目。平台主要包括项目管理、产品数据管理、数控设备联网、工厂及车间布局设计、生产系统物流优化等功能模块，要求学生在计算机中将企业运行的全部过程操作熟练，按照企业的角色分工完成相应的项目内容，体会现代企业管理的业务流程。

数字化生产管理平台以项目驱动业务流程中的每一步骤，项目执行按照动态控制机制监控执行结果，以统计数据和项目文档体现项目的整个执行过程，评判项目执行结果。平台重点突出了管理的重要性，将企业管理的理念贯穿在整个项目执行过程中，理论和实践相结合，引导学生开阔视角，从另一个高度看到企业的全貌，满足现代制造系统和生产系统规划与设计课程改革的需要。该平台的实验案例经过精心选择，使学生能够将先进管理理念、现代设计方法及其使能技术融合贯通地加以综合应用。该平台不断跟踪国内外该领域的前沿技术，培养学生设计和开发复杂技术系统的能力，更好地交流能力，合作精神以及领导能力。

表 2.3 数字化生产管理虚拟仿真实验教学平台的实验项目

序号	项目名称	内容	工具	类型
1	生产系统物流仿真	确定存贮需求、物料处理需求（如叉车或拖车）以及工厂过道阻塞面积可能造成的流动瓶颈，生成物资流动和过道阻塞的图表和报告，据此优化生产系统的布局。	FactoryFlow	基础技能训练
2	生产计划与调度实验	在车间仿真软件 QUEST 上，进行建立车间模型、传送带模型、故障及工人模型、AGV 模型的基本训练，根据给定的几组零件，运行仿真模型得到仿真结果，为后续车间作业与调度的优化研究打下基础。	QUEST	基本技能训练
3	制造过程管理平台实践	全面了解和学会使用生产过程管理平台（MES），深入了解和体会企业制造过程	ETC3650, TC500R, i5 平	综合能力

		的运行方式。在一个完整的订单—排产—制造—交付—监控的流程中，进行角色分配与交流的学习实践。	台	培养
4	数字化制造与创新技能训练	以项目驱动为主线，用团队合作方式，在完成一个简化的项目从设计—工艺—制造—装配—总结与修正的过程中，进行一个虚拟化的企业流程的仿真实验，使用专业的软件、设备，每个人扮演虚拟的角色，进行生产或管理，在完成产品制造的同时，完成相应的设计、工艺及管理文档，按照不同的角色权限上传到适当的空间。	CAXA 制造工程师，CAXA DNC Monitor，CAXA DNC 代码管理客户端	综合能力培养
5	汽车车身装配自动化实验	涵盖汽车车体整车喷涂、装配系统的全部生产过程，包括：汽车生产线环节，节拍管理设计，产品订单数据管理及 PLM 规划，设备数字化联网管理及布局设计，生产系统物流优化及实时监控，基于服务器的开放虚拟系统-终端教学探索。	RSLogix5000，RSLinx，RSNetWorx，SoftLogix	学科前沿探索
6	数字化工厂布局仿真	进行工厂的布局图设计。学生可以在充分考虑零件安装信息、材料存贮需求、物流设备规格和零件包装信息的基础上，分析 / 优化工厂物流，从而在数字化工厂环境下调整布局设计。	FactoryPlan	学科前沿探索

2. 典型实验项目

实验项目 1：生产系统物流仿真

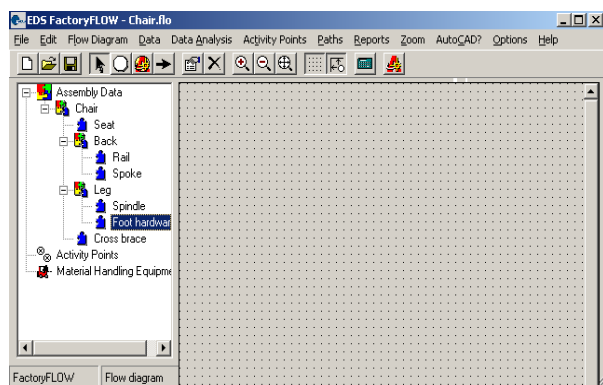


图 3.29 建立产品结构

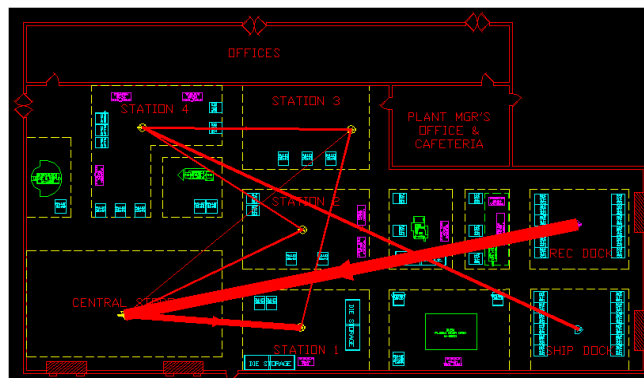


图 3.30 欧几里得数据分析

实验内容：利用 **FactoryFLOW** 软件可以创建生产系统物资流动和过道堵塞的图表和报告。学生首先明确研究的目标，决定范围或受到影响的产品，采用数据命名惯例，聚集并组织输入数据，通过车间布局平面图就可以生成报告和图表。**FactoryFLOW** 可以很容易地确定临界过道、可能的流动瓶颈、产品流动效率、贮藏空间需求、物资处理需求等指标。

实验功能和效果：通过学习 **FactoryFLOW**，学生可以掌握如何计划一个工作单元的布局或者生产线、部门、车间的布局，从而改善一个产品、一个零件或者成批的产品与零件的物资流动效率。通过改变产品混合、添加新的产品或改变车间效率等措施，实现新的生产理念。

该实验项目支撑《生产系统规划与设计》课程，每年 44 名学生，来自机械工程学院。

实验项目 2：车间制造过程管理平台实践

实验内容：以烛台设计加工装配为主线，以完整的 **MES** 系统管理系统为工具，以柔性智能制造单元为平台，进行订单、排产、加工、装配、完成的生产过程，全面了解和学会使用生产过程管理系统（**MES**），深入了解和体会企业制造过程的运行方式。具体实现方式：一个产品项目团体，分为虚拟的客户、管理、设计、工艺和制造人员，并具有一名管理人员：（1）用户角色学生工作：注册—定制礼品；（2）管理角色学生工作：进入管理系统—查询生产状态—排产；（3）工艺与制造角色学生工作：进行产品工艺设计—验证仿真—提交—加工；（4）工艺管理角色学生工作：使用智能终端，在各不同地点进行生产状态监控。（5）总体工作：分别完成自己的零件制造，最终进行装配，并拟写项目分析，进行项目总结，分析制造过程的效率、人员分配效率、物流及工具材料管理方案效率以及成本分析等。



图 3.31 订单加工界面



图 3.32 智能终端状态监控

实验功能和效果：在实验过程中学生通过生产管理流程的直接参与，直观地了解数字化制造过程管理系统，同时还学习了数字化车间部署，数字化文档管理，以及数控加工设备的使用。该系统对智能终端的使用，更好地展示了制造业信息化的前沿技术，诠释了制造过程中的数控

技术、加工仿真、生产计划、车间监控、设备效率、成本影响等核心内容。

该实验项目支撑《机械制造实习》课程，每年 1500 名学生，来自机械、汽车、材料、航空航天、工业工程、化工、精仪等院系。

实验项目 3：数字制造与创新技能训练

实验内容：以项目驱动为主线，用团队合作方式，在完成一个简化的项目从设计—工艺—制造—装配—总结与修正的过程中，进行一个虚拟化的制造企业流程的仿真实验，使用专业的软件、设备，每个人扮演虚拟的角色，进行生产或管理，在完成产品制造的同时，完成简化的设计、工艺及管理文档，按照不同的角色权限上传到适当的空间，并随时进行修正和备份。



图 3.33 学生正在进行产品设计

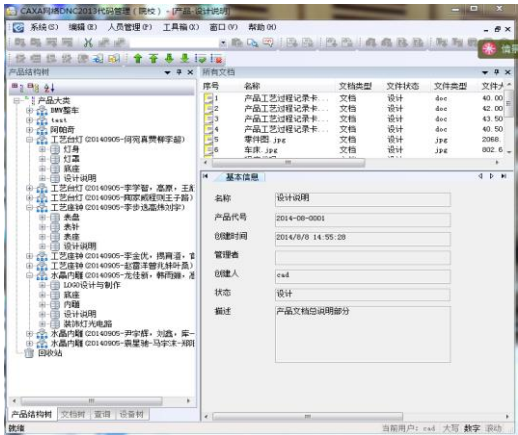


图 3.34 学生以不同角色上传文档

实验功能和效果：在实验过程中以现代企业数字化生产管理为主线，以了解数字化制造设备及软件为目标，以项目制造装配为载体，达到数字化制造过程的仿真教学实验任务。同时还学习了数字化车间部署、数字化文档管理以及数控加工设备的使用。

该实验项目支撑《机械制造实习》、《基于大型 CAD/CAM 软件的复杂形状建模与制造》课程，每年 570 名学生，来自材料、航天航空、工业工程、化工等院系。

实验项目 4：汽车车身装配自动化实验

实验内容：虚拟企业依托清华大学-罗克韦尔自动化联合实验室，学习现代制造业生产过程的特征和先进的控制思想，突出一网到底、各层网络之间的透明无缝连接的特点。着重培养学生自动控制应用的专业思路和实现方法，同时支持综合设计型和研究型的实验教学和实践活动，为学生及教师提供培训平台。汽车生产自动化系统由准备单元、升降单元、装配单元、转向单元、清洗单元、喷漆单元和整理单元组成，各单元之间由一条主输送线贯穿。每个单元均是一个典型的机电一体化设备，可以独立工作；使用网络控制技术又可以将这些单元连接成自动化、

无人干预可连续工作的生产设备。

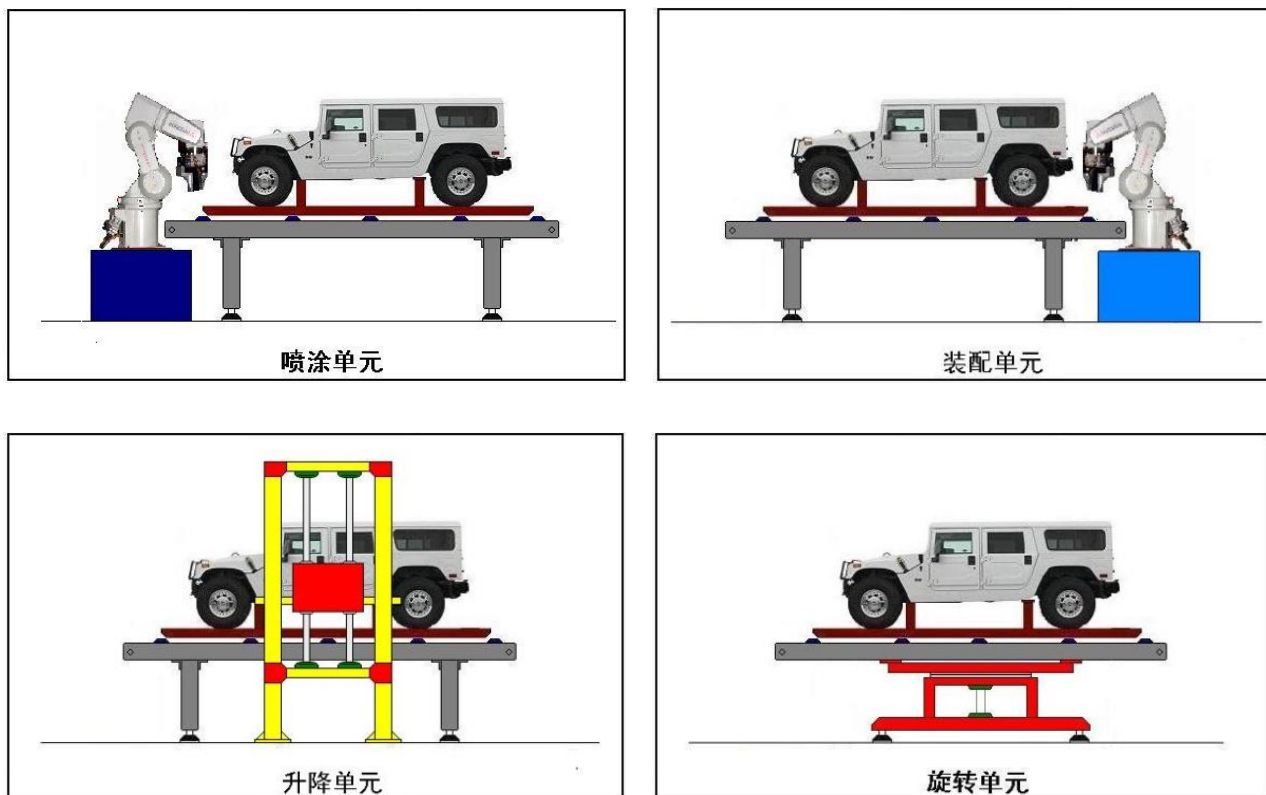


图 3.35 汽车自动化生产系统组成单元

实验功能和效果：本系统是一套仿真实际生产过程的汽车自动生产系统装置，它包括了机械传动技术、电气拖动技术、气动技术、传感器技术、变频调速技术、伺服驱动控制技术、步进驱动控制技术、触摸屏技术、PLC 控制技术、物联网技术等内容。

该实验项目支撑《机械制造实习》课程，每年 300 名学生，来自材料、航天航空、工业工程等领域。

2-4 虚拟仿真实验的教学平台（平台功能、信息化设备、网络与信息安全等）

（一）平台功能

清华大学数字化制造系统虚拟仿真实验教学中心网站，是学生使用该实验平台的门户入口，网站后台基于先进的工业云计算技术，充分整合云计算、物联网、移动互联网以及创新设计与协同制造等技术，为学生提供了“数字化产品设计虚拟仿真实验教学平台”、“数字化制造过程虚拟仿真实验教学平台”和“数字化生产管理虚拟仿真实验教学平台”三大模块，让学生在数字化的虚拟平台上完成创新设计和实验验证。



图 4.1 中心实验教学平台门户

网站提供了丰富的平台使用配套学习资源，包括清华大学各院系的精品课程课件，知名教授上课的视频录像资料，各种课程 PPT 资料、知识点讲解文档等等，供学生学习使用。学生在这里可以按照自己的时间自由安排学习进度，也可以根据自己的兴趣爱好选择非本专业的课程学习。



图 4.2 中心教学资源

系统采用云计算技术，可以有效降低学生的创新门槛和制造门槛，通过三大虚拟仿真实验教学平台，让每个学生都可以自由创新。同时，网站还是一个开放的资源共享平台，提供了数控设备、生产线、计算机机房、实验室等教学资源，供学生了解和预约使用等。

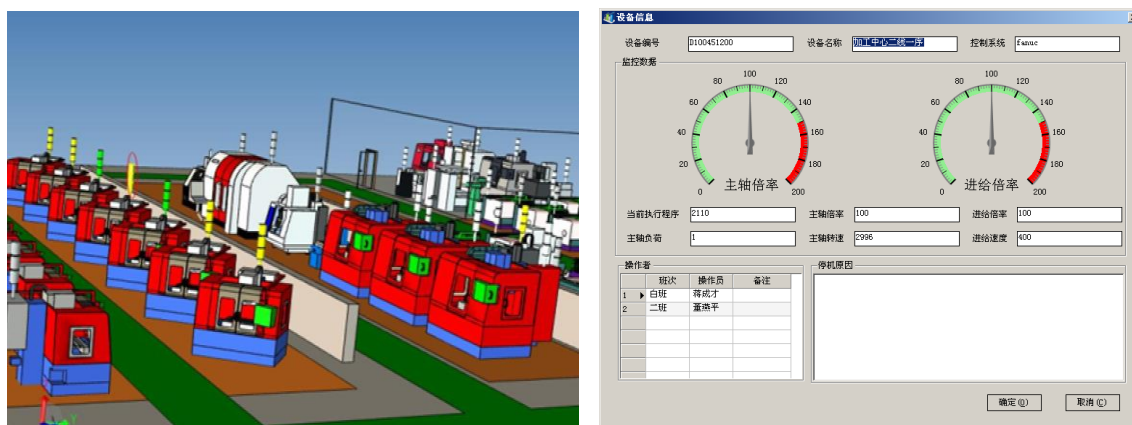


图 4.3 中心制造设备状态在线监控

系统整合了数字化产品设计、产品虚拟仿真制造、虚拟企业等服务项目，涵盖从建立企业车间模型、产品 CAD 设计、CAM 计算机辅助仿真制造、柔性生产线、虚拟装配流程设计和仿真等工具和服务，以及数控设备加工、3D 打印、激光特种加工、铸造、钣金等工程服务。

(二) 信息化设备

中心拥有两百多台教学用计算机、网络版互动教学系统、3D 虚拟仿真模拟系统，拥有 CATIA、Siemens NX、PTC Creo、CAXA、ADAMS、ANSYS、MARC、EdgeCAM 等 20 多种商

用软件，具有自主知识产权的产品设计与分析软件。信息化设备和资源齐全，能够充分支持虚拟仿真实验教学。

设备详表请见表 4.1 和 4.2。

(三) 网络与信息安全

1. 清华大学网络资源

清华大学网络资源丰富，为中心运行和网络化管理提供了必要支持。有线网络基础建设包括 4G Internet 连接，10G 骨干网络，230 个局域网，60000 个以太网端口，48000 个注册用户；无线网覆盖清华大学所有角落。利用清华大学网络资源和尖端信息化技术，能够开展大规模网络视频会议，也能通过 Dragon-Lab 进行远程实验。

清华大学校园教学实验区和学生公寓均实现校园网与无线网的 100%全覆盖，为中心的实验教学与科研提供了良好的网络环境。学校光纤网络千兆进楼、百兆上桌面，每个实验室均有网络端口，为中心运行和网络化管理提供了充分条件。

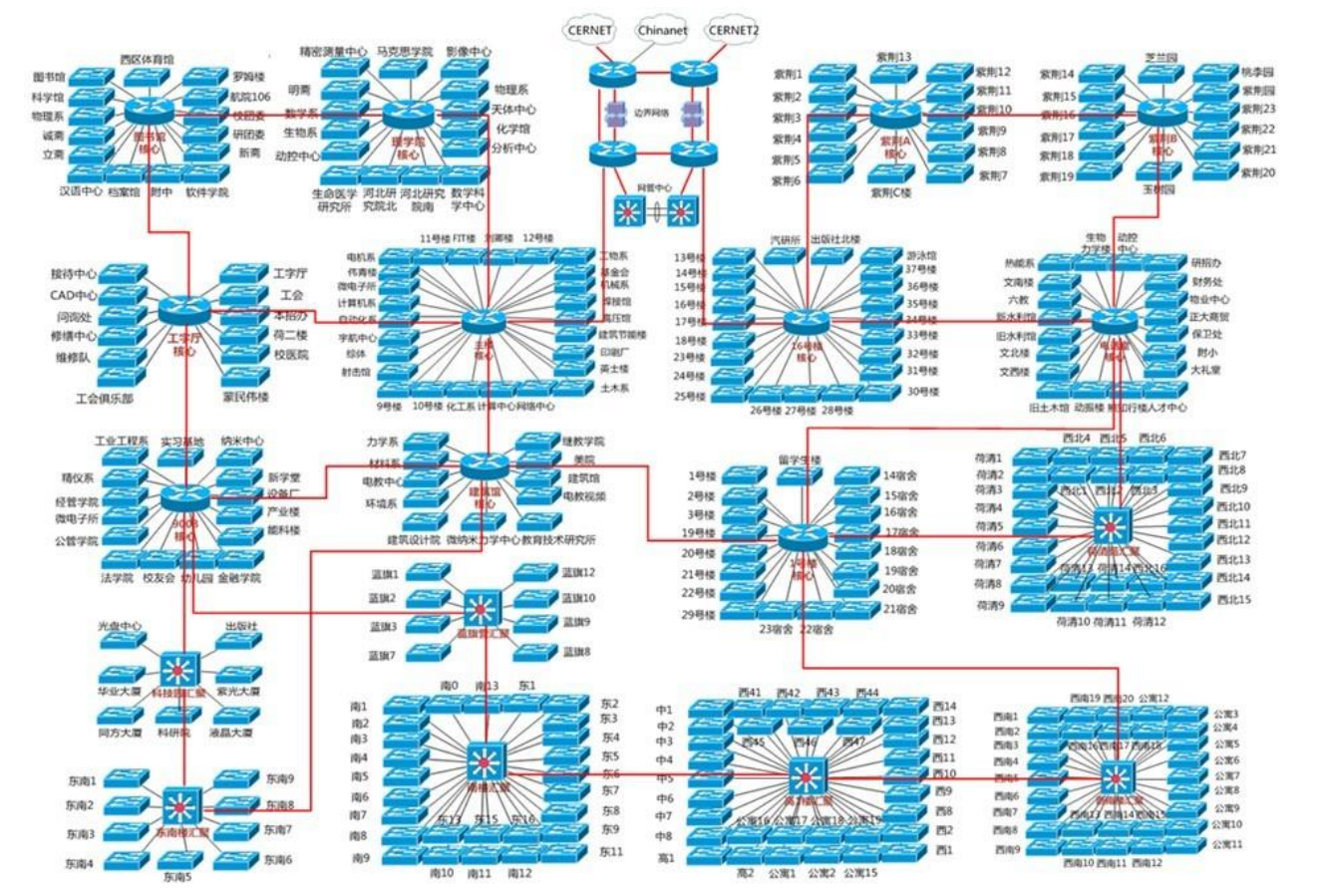


图 4.4 清华大学网络示意图

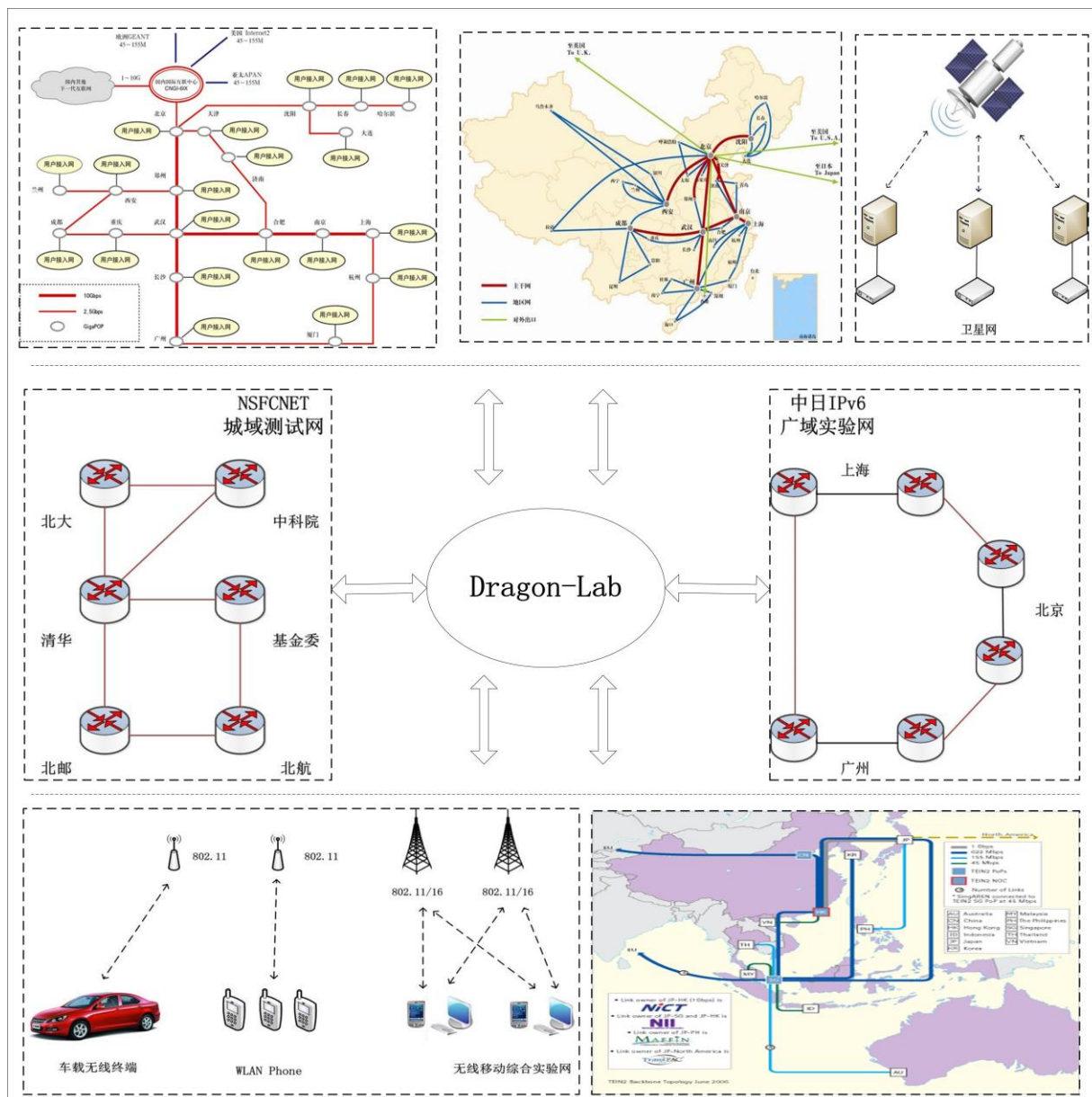


图 4.5 清华大学自主研发的远程网络实验室 DRAGON-Lab

2. 中心网络资源

中心的全部必修和选修课程的主要信息纳入学校网络平台，涵盖了实验设备管理、实验人员管理；排课、选课、预约实验、实验报告提交和批改、成绩统计和评定、实验过程记录等功能。并做到了实验室全面开放，为学生与教师提供了便利条件。

3. 网络与信息安全

中心构建了面向各实验室完备的门禁及视频监控系统，通过门禁系统对实验人员、实验设备的运行台时进行记录。为保证中心网络的安全性与可靠性，从以下几方面对整个中心的网络信息安全给予保障：



图 4.6 清华大学网络学堂

(1) 代理服务器

学校在建校园网络之时配置一台代理服务器，既保护内网资源不被外部非授权用户非法访问或破坏，也可以阻止内部用户对外部不良资源的滥用，外部网络只能看到该代理服务器而无法获知内部网络上的任何计算机信息，整个校园网络只有代理服务器是可见的，从而大大增强了校园网络的安全性。

(2) 防火墙

通过控制和检测网络之中的信息交换和访问行为来实现对网络安全的有效管理，在网络间建立一个安全网关，对网络数据进行过滤，控制数据包的进出，封堵某些禁止行为，提供网络使用状况（网络数据的实时/事后分析及处理，网络数据流动情况的监控分析，通过日志分析，获取时间、地址、协议和流量、网路是否收到监视和攻击），对网络攻击行为进行检测和告警等等，最大限度地防止恶意或非法访问存取，有效地阻止破坏者对计算机系统的破坏，可以最大限度地保证校园网应用服务系统的安全工作。

(3) 防治网络病毒

建立一整套网络软件及硬件的维护制度，定期对各工作站进行维护，对操作系统和网络系统软件采取安全保密措施。为了实现在整个内网杜绝病毒的感染、传播和发作，在网内有可能感染和传播病毒地方采用相应的防病毒手段，在服务器和各办公室、工作站上安装杀毒软件，对病毒进行定时的扫描检测及漏洞修复，定时升级文件并查毒杀毒。

(4) 口令加密和访问控制

对用户设置用户名和口令加密验证，加强对网络的监控以及对用户的管理。对内部网络设备路由器、交换机、防火墙、服务器的配置均设有口令加密保护，赋予用户一定的访问存储权限、口令字等安全保密措施，用户只能在其权限内进行操作，合理设置网络共享文件，对各工作站的网络软件文件属性可采取隐藏、只读等加密措施，建立严格的网络安全日志和审查系统，建立详细的用户信息数据库、网络主机登录日志、交换机及路由器日志、网络服务器日志、内部用户非法活动日志等，定时对其进行审查分析，及时发现和解决网络中发生的安全事故，有效地保护网络安全。

(5) 局域网部署检测设备：子网内设有流量监听分析设备，控制早期病毒。

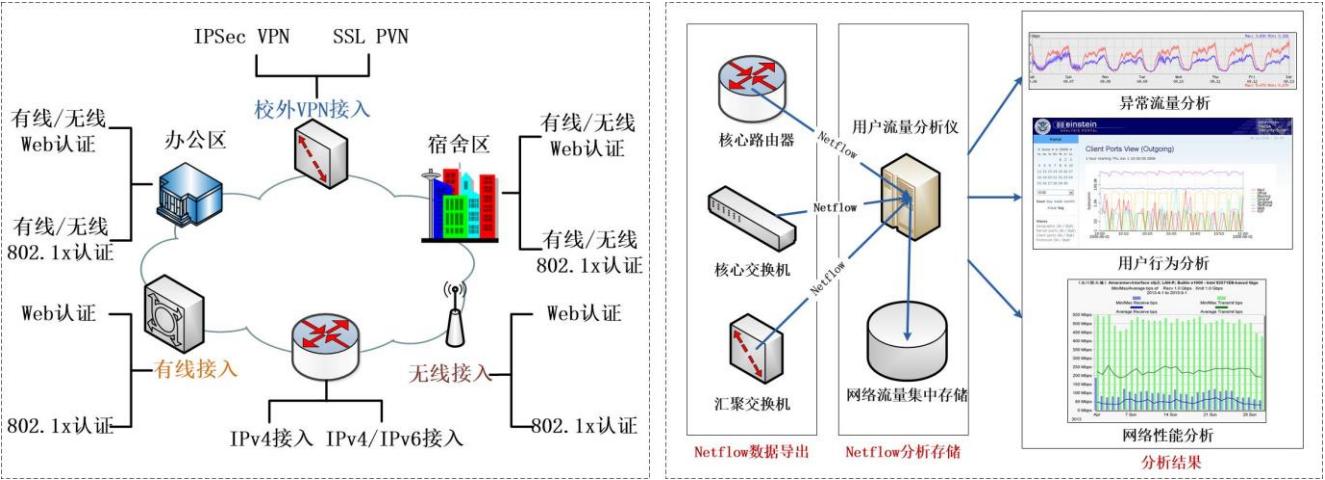


图 4.7 清华大学网络接入系统示意图

2-5 合作企业的概况、参与程度和合作成果

中心以清华大学深厚的工程应用基础为依托，充分发挥了合作企业的资源优势，这也是中心的一个特色。中心与达索系统公司、欧特克公司、PTC 公司、安世亚太科技有限公司、罗克韦尔自动化有限公司、北京数码大方科技股份有限公司、沈阳机床集团有限责任公司、库卡机器人有限公司、发思特软件有限公司、北京市创新天河软件技术有限公司等知名企业、研究院所签署合作协议，或建立了学生实习实践基地，或建立联合实验室，开设了各类仿真实验项目，联合培养学生，主要合作企业情况如下：

1. 罗克韦尔自动化有限公司

罗克韦尔自动化是全球著名的工业自动化跨国公司，为制造业提供一流的动力、控制和信息技术解决方案。罗克韦尔自动化公司整合了工业自动化领域的知名品牌，致力于打造全方位自动化解决方案，帮助客户提高生产力。罗克韦尔自动化公司从资金上和战略上注重帮助制造企业克服日益激烈的竞争压力，降低成本，保护资源，提高生产力，缩短产品和服务进入市场的周期。

2012 年，罗克韦尔自动化公司通过“与中国大学共勉”项目，与中心建立校企联合实验室，捐赠了多套自动化控制设备，完成了多项具有实际应用价值的实验模型，发表多篇学术论文并编写了多本实验指导书，同时辅助罗克韦尔自动化业务部门进行了大量的客户培训和学术研究。为了更好地帮助中国的高校加强全面素质教育，提高学生的动手操作能力和运用知识技能解决实际问题的能力，大学合作项目以联合实验室为平台，连结学术界与产业界，采取专业化的管理，研讨实验室课程的设置、实验模型的设计开发与制作、并广泛地为企业界人士提供技术培训和交流。这些活动一方面帮助提高了我校的自动化教育水平，另一方面也为学生提供了良好的动手操作环境，加强了学生的学术研究和开发能力。

2. 北京数码大方科技股份有限公司

北京数码大方科技股份有限公司（CAXA）是中国领先的工业软件和服务公司，主要提供数字化设计（CAD）、数字化制造（MES）、产品全生命周期管理（PLM）和工业云服务平台的产品和服务。CAXA 是中国最大的 CAD 和 PLM 软件供应商，也是中国工业云的倡导者和领跑者。CAXA 始终坚持技术创新，自主研发二维、三维 CAD 和 PLM 平台，是最早从事此领域全国产化的软件公司，研发团队拥有多年专业经验积累，具有国际领先技术水平，在北京、南京和美国设有三个研发中心，拥有超过 150 项著作权、专利和专利申请，并参与多项国家 CAD、CAPP 等技术标准的定制工作。

CAXA 的产品拥有自主知识产权，产品线完整：主要提供数字化设计（CAD）、数字化制造（MES）以及产品全生命周期管理（PLM）解决方案和工业云服务，公司用户覆盖机械装备、汽车、电子电器、航空航天、教育等行业。CAXA 与清华大学保持了多年的技术合作关系，向中心捐助了多套 CAD/CAM 软件。

3. 沈阳机床集团有限责任公司

沈阳机床（集团）有限责任公司是世界最大的机床研发制造企业，主要研究开发数控车床、车削中心、立式加工中心、卧式加工中心、数控铣镗床、数控系统、专用数控机床、激光切割机等多种机电产品，代表着中国机床工业发展的最高水平。凭借卓越的品质、优异的性能、良好的信誉以及完整的解决方案，企业近年研制的近百种代表当代技术水平的数控机床产品已成批量地进入国家重点行业核心制造领域。沈阳机床集团确立的长远战略目标是打造世界知名品牌、创建世界知名公司，提升自主创新能力和产品制造技术是沈阳机床实现长远发展战略的重要路径之一。

2012 年，中心在加工设备更新中全面采用了沈阳机床集团的普通车床和简易数控车床；同时，沈阳机床集团向中心捐赠了 2 台斜床身数控车床，成立了校企联合实验室，研究和推广该公司自主开发的 i5 数控系统。

4. 库卡机器人有限公司

德国库卡（KUKA）机器人有限公司是世界领先的工业机器人制造商，其企业核心实力是

开发、生产以及销售工业机器人、控制系统和软件程序。该企业是德国与欧洲的市场领导者，在全球排名第三。库卡机器人（上海）有限公司是德国库卡公司设在中国的全资子公司，成立于 2000 年，是世界顶级工业机器人制造商之一。公司工业机器人年产量超过 1 万台，至今已在全球安装了 15 万台工业机器人。库卡可以提供负载量从 3 千克至 1000 千克的标准工业 6 轴机器人以及一些特殊应用机器人，机械臂工作半径从 635 毫米到 3900 毫米，全部由一个基于工业 PC 平台的控制器控制。库卡机器人广泛应用在仪器仪表、汽车、航天、消费产品、物流、食品、制药、医学、铸造、塑料等工业，主要应用于材料处理、机床装料、装配、包装、堆垛、焊接、表面修整等领域。

2013 年，库卡机器人有限公司与中心成立机器人焊接联合实验室，合作开展机器人焊接技术开发和培训工作。

5. 发思特软件有限公司

发思特软件有限公司是计算机硬件和软件技术在世界切割行业应用的开拓者之一，在切割行业不同发展历史时期给切割焊接企业提供了先进适用的计算机技术和切割应用软件，持续不断地为切割行业做出过开创性的贡献。公司致力于钢材数控切割软件和硬件的开发和销售，传授数控切割知识，普及数控切割软件，推广绿色环保切割技术，开发创新先进的焊接坡口数字化切割与焊接先进制造装备和钢材仓储物流切割生产信息化管理系统，实现中国制造企业的智能切割和智慧工厂，推动中国切割焊接产业的工业化与信息化二化融合。

2009 年，发思特软件有限公司与中心成立数控切割联合实验室，并捐赠了多台数控切割设备和多套切割应用软件，合作开展数控切割解决方案开发和培训工作。

6. 北京市创新天河软件技术有限公司

北京市创新天河软件技术有限公司是一家专业从事制造业企业的数字化制造整体解决方案（CAD/CAPP/PLM/MES/EDPS...）开发、咨询、实施、服务、集成的高新技术企业。产品线覆盖设计、管理、工艺、生产信息化领域，自主版权软件 6 大体系 26 个产品。在业内享有：“设计、管理信息化专家，工艺、生产数字化领跑者”的美誉。用户遍布国防科工、重型机械、汽车工程、冶金化工、基础件行业、农机行业、机床行业、通用机械、电工行业、工程机械等领域如航天及国防科工领域的运载火箭总装厂、卫星（神六、神七）总装厂，电站能源设备行业等龙头企业。

2012 年，中心与天河软件合作建设 CAPP 及 PLM 的实验教学环境，通过 PLM 及 CAPP 系统的建设，学生可以体验从产品数据化设计、数字化工艺、数字化制造、数字化产品协同管理的全过程。

7. 达索系统公司

达索系统作为一个 3D 体验集团公司，为企业和个人提供一个虚拟世界，他们在这个虚拟世界里可以充分利用想象力，实现可持续创新。达索系统世界领先的 3D 软件应用程序以 3D 体验

平台为支架，彻底改变产品的设计、生产和支持方式，使企业能够为其客户提供令人愉快的体验。凭借 3D 体验平台，企业可让他们的客户介入创新过程，建设“社会型企业”。以其网上架构，3D 体验环境让企业能够在任何地方、在产品或服务开发的整个生命周期中，测试和评估将提供其客户的最终体验，赋予企业一种前所未有的创造力，大力推动今天的体验经济。

2005 年，清华大学与法国教育部合作，联合达索公司、惠普公司和法国机械教育网络成立了“中法 PLM 创新中心”，开发关于集成设计制造的相关课程，并为我校学生提供产品生命周期管理（PLM）的实践和研究平台。

8. PTC 公司

美国参数技术公司(PTC 公司)是 CAID/CAD/CAE/CAM/PDM 领域最具代表性的软件公司，在全球有超过 50000 个客户。PTC 公司提出的单一数据库、参数化、基于特征、全相关性及工程数据再利用等概念改变了传统 MDA 的观念，成为 MDA 领域的新业界标准。PTC 公司为制造业提供领先的产品开发系统、最佳的产品开发技术和产品，支持制造业的产品研发和创新，面向众多行业提供实现数据、流程和协同的管理软件以及文档管理，工程计算，绿色设计工具。PTC 公司进入中国开设办事处以来，以其先进的技术和完备的服务赢得了广大客户的信赖，PTC 公司集成的计算机系统已经帮助众多的用户提高了生产率，缩短了从概念设计到制造的周期，提高了产品的质量，加速了新产品的上市。PTC 公司目前在国内拥有客户近 1500 家，包括航空航天、汽车、家用电器、通用机械等各行各业。

2007 年，清华大学与 PTC 公司签署教育合作备忘录，向清华捐赠 500 套 Pro/E 及相关产品以满足全校相关院系的教学需要，清华大学的精仪系、机械系、工业工程系、汽车系、美术学院等多个院系的课程都采用 PTC 公司的软件产品作为教学平台，进一步巩固双方的合作关系。

2-6 虚拟仿真实验教学和管理队伍（教师水平、虚拟仿真实验教学和研发水平、队伍结构等）

中心具有一支以名师和教授领头，教师为核心，工程实验技术人员为主力，年龄与知识结构合理、教学科研相互促进的高水平教学团队，为实现名校、名师、名教材、名课程的目标奠定了基础。中心教师由主讲教师、实验技术人员和助教博士生三类人员组成。其中，主讲教师 38 人，实验技术人员 12 人，助教博士生每学年约 40 人。

1. 主讲教师是活跃在教学、科研一线的骨干教授、副教授，负责实验课程的设计与全程教学，推动实验课程教学内容的改革与更新，促进教学与科研结合，承担了国家科技重大专项、973、863、国家自然科学基金等项目。

2. 实验技术人员负责实验课程的准备与安排，帮助实验室建设与管理。新聘实验技术人员须具有硕士学位，受聘后会经过半年岗位轮训。

3. 助教博士生由相关专业在读博士生经人事处聘任后组成，经过学校岗前培训和主讲教师负责的业务培训合格后上岗，协助主讲教师负责某一课程的实验教学、辅导与考核。

为了不断提高实验教学队伍的整体水平，学校每年针对实验教学队伍的特点，通过各种渠道对实验技术人员和青年教师进修培养，主要形式如下：

1. 选聘骨干教师出国培训、访问交流。中心先后有多名教师前往美国、日本和欧洲等世界一流大学开展教学研究，进行访问交流。

2. 对青年骨干教师开展学位教育。中心先后有 7 名青年教师在职攻读博士学位，目前已有 2 名青年教师获得博士学位。

3. 每年举办针对性的各种培训班，吸引实验技术人员和青年教师参加，如开办计算机技术培训班、网络技术培训班和多媒体课件培训班等，不断提高实验技术队伍的业务水平，使队伍始终保持积极向上的精神状态。

中心师资力量雄厚，形成了高水平教学团队，支撑了 9 门国家精品课程。中心教师依靠本学科的学科优势和特色，及时将前沿研究成果转化为实验教学；整合优质教学资源，设置探究性实验课题，提高学生综合创新能力；拓展实践基地，将机械工程理论和实验教学紧密结合，取得了一系列显著的教学成果。

表 2.4 中心教师队伍

序号	姓名	年龄	学位	专业技术职务	承担教学/管理任务	备注
1	李双寿	46	博士	教授	中心主任，负责项目总体建设	专职
2	季林红	52	博士	教授	学术委员会主任，现代设计技术及系统优化教学	专职
3	赵海燕	44	博士	教授	中心副主任，中心平台建设负责人	专职
4	杨建新	37	博士	副教授	中心副主任，负责中心事务	专职
5	刘 莉	48	博士	研究员	实验室负责人，数字化制造与仿真	专职
6	王君英	53	硕士	副教授	实验室负责人，数字化设计与仿真	专职
7	李生录	55	学士	高级工程师	课程负责人，高消耗、高成本虚拟仿真实验	专职
8	洪 亮	51	硕士	副教授	课程负责人，高消耗、高成本虚拟仿真实验	专职
9	梁志芳	44	博士	副教授	课程负责人，高消耗、高成本虚拟仿真实验	专职
10	徐伟国	42	博士	副教授	课程负责人，可视化教学平台建设	专职
11	王 坦	50	博士	副教授	课程负责人，数字化产品设计教学	专职

12	左 晶	46	硕士	高级工程师	课程负责人，数字化制造过程仿真教学	专职
13	曾 攀	51	博士	教授	课程负责人，机械系统仿真及数字化建模教学	专职
14	阎绍泽	49	博士	教授	课程负责人，机械基础虚拟实验教学规划	专职
15	田 凌	50	博士	教授	课程负责人，计算机辅助技术实验教学规划	专职
16	冯平法	48	博士	教授	课程负责人，虚拟制造实验教学规划	专职
17	刘向锋	53	博士	教授	课程负责人，虚拟设计实验教学规划	专职
18	吴志军	54	硕士	教授	课程负责人，金属切削数字化仿真教学	专职
19	邹贵生	48	博士	教授	课程负责人，材料加工虚拟实验教学规划	专职
20	石 伟	48	博士	副教授	课程负责人，机械系统数字化仿真教学	专职
21	融亦鸣	58	博士	教授	课程负责人，制造过程数字模拟技术教学	专职
22	都 东	51	博士	教授	课程负责人，材料成型工艺虚拟实验教学	专职
23	程 嘉	34	博士	副教授	课程负责人，数字化设计及系统优化实验	专职
24	唐晓强	41	博士	副教授	课程负责人，数字化制造及工艺仿真实验	专职
25	尹文生	45	博士	副教授	课程负责人，机电一体化实验数字化仿真	专职
26	黄利平	48	硕士	副教授	虚拟仿真实验平台建设	专职
27	冯 涓	48	硕士	副教授	虚拟仿真实验平台建设	专职
28	李铁民	43	博士	副研究员	数字化制造及工艺仿真实验教学	专职
29	付成龙	34	博士	副教授	工业机器人仿真实验教学	专职
30	肖丽英	45	硕士	副教授	数字化产品设计与分析实验教学	专职
31	贾晓红	42	博士	副教授	机械动力学仿真实验教学	专职
32	索双富	51	博士	副教授	机构设计与综合数字化仿真	专职
33	赵景山	40	博士	副教授	产品设计及性能优化实验教学	专职

34	李 勇	53	博士	研究员	材料加工虚拟实验教学	专职
35	吴 丹	48	博士	教授	学生实践基地建设及竞赛负责人	专职
36	刘 敏	40	博士	讲师	学生课外 SRT 项目负责人	专职
37	韦思健	47	学士	高级工程师	综合实验及实验教材编写	专职
38	荣 键	45	学士	工程师	综合实验及实验教材编写	专职
39	姚启明	44	硕士	高级工程师	综合实验及实验教材编写	专职
40	张秀海	48	学士	高级实验师	综合实验及实验教材编写	专职
41	李学崑	31	博士	助理研究员	综合实验及实验教材编写	专职
42	赵 彤	42	博士	助理研究员	创新科技活动实践指导	专职
43	汤 彬	42	博士	副教授	科教转化	专职
44	高 炬	56	学士	高级工程师	科教转化	专职
45	初 晓	38	硕士	高级工程师	科教转化	专职
46	杨兴华	55	学士	高级实验师	科教转化	专职
47	陈 凯	37	学士	工程师	综合实验	专职
48	李啟文	45	学士	工程师	综合实验	专职
49	康珊珊	34	硕士	工程师	综合实验	专职
50	王德宇	26	硕士	工程师	综合实验	专职

精品课程：

- 1) 机械制造实习，国家精品课程，2004 年
- 2) 机械原理，国家精品课程，2004 年
- 3) 制造工程基础，国家精品课程，2005 年
- 4) 机械制图，国家精品课程，2006 年
- 5) 工程材料基础，国家精品课程，2005 年
- 6) 材料加工原理，国家精品课程，2006 年

- 7) 控制工程基础，国家精品课程，2008 年
- 8) 汽车理论，国家精品课程，2009 年
- 9) 实验室科研探究，国家精品课程，2009 年
- 10) 工业系统概论，北京市精品课程，2008 年
- 11) 机械设计基础与实践，北京市精品课程，2003 年

教学成果奖：

省部级以上奖励

- 1) “实验室科研探究课：转化科研优势，创新跨学科通识教学模式”，国家级教学成果二等奖，2014 年
- 2) “材料加工工程学科建设与创新型人才培养”，国家级教学成果二等奖，2009 年
- 3) “强化师资队伍建设，提高机械基础系列课程教学质量”，国家级教学成果二等奖，2009 年
- 4) “创建国内领先的工程训练教学示范中心”，国家级教学成果二等奖，2005 年
- 5) 机械设计与制造系列课程国家级优秀教学团队，2007 年
- 6) 工程训练系列课程国家级优秀教学团队，2009 年
- 7) “实验室科研探究课：转化科研优势，创新跨学科通识教学模式”，北京市教育教学成果（高等教育）一等奖，2013 年
- 8) “提升实践能力，放飞创新梦想—机械工程及自动化本科创新实践教育探索”，北京市教育教学成果（高等教育）一等奖，2012 年
- 9) “机器人创新设计实践教学研究—探究课、SRT、科技竞赛相衔接的教学模式研究”，北京市教育教学成果（高等教育）一等奖，2008 年
- 10) “强化师资队伍建设，提高机械基础系列课程教学质量”，北京市教育教学成果（高等教育）一等奖，2008 年
- 11) “材料加工工程学科建设与创新型人才培养”，北京市教育教学成果（高等教育）一等奖，2008 年
- 12) “创建国内领先的工程训练教学示范中心”，北京市教育教学成果（高等教育）一等奖，2005 年
- 13) “以资源为依托、课程为载体、育人为根本，创建开放型工程训练教学体系”，北京市教育教学成果（高等教育）二等奖，2008 年
- 14) 北京市教学名师奖，田凌，2007 年；卢达溶，2009 年；季林红，2013 年
- 15) 宝钢优秀教师奖，季林红，2004 年；田凌，2006 年；李双寿，2013 年
- 16) Autodesk Inventor 杯首都高校第三届机械创新设计大赛优秀组织奖，2006 年

清华大学教学奖励

- 1) 2012 年清华大学教学成果奖一等奖 6 项，二等奖 6 项。
- 2) 2010 年清华大学教学成果奖一等奖 4 项，二等奖 5 项
- 3) 2008 年清华大学教学成果奖特等奖 1 项，一等奖 3 项，二等奖 4 项
- 4) 2006 年清华大学教学成果奖一等奖 1 项，二等奖 3 项
- 5) 2013 年清华大学教书育人先进个人 1 项
- 6) 2012 年清华大学优秀教学软件二等奖 1 项
- 7) 2008 年清华大学教材及优秀教学软件（一等奖 3 项，优秀奖 3 项）
- 8) 清华大学青年教师教学优秀奖 3 人
- 9) 2010 年清华大学实验技术成果奖二等奖 3 项，三等奖 8 项
- 10) 2008 年清华大学实验技术成果奖二等奖 3 项，三等奖 8 项
- 11) 2011 年清华大学学生实验室建设贡献奖三等奖 2 项
- 12) 2011 年学生实验室建设指导奖 2 项
- 13) 2010 年清华大学学生实验室建设贡献奖二等奖 3 项，三等奖 2 项
- 14) 2009 年清华大学学生实验室建设贡献奖一等奖 1 项，二等奖 5 项，三等奖 1 项
- 15) 2008 年清华大学学生实验室建设贡献奖二等奖 2 项，三等奖 5 项

出版教材：

序号	教材名称	作者	出版社	出版年	入选规划或获奖情况
1	机械制造实习	傅水根，李双寿	清华大学出版社	2009 年	十二五规划教材 北京市高等教育精品教材
2	机械制造实习系列实验	李双寿	清华大学出版社	2007 年	十二五规划教材
3	机械设计综合实践	季林红，阎绍泽	清华大学出版社	2011 年	十二五规划教材
4	金属工艺学实习（非机类）（第 2 版）	严绍华，张学政	清华大学出版社	2006 年	十二五规划教材
5	电子技术工艺基础（第 2 版）	王天曦，王豫明	清华大学出版社	2009 年	十二五规划教材
6	机械制造工艺基础（第 2 版）	傅水根	清华大学出版社	2006 年	北京高等教育精品教材

7	金属工艺学实习教材（第3版）	张学政	高等教育出版社	2006年	北京高等教育精品教材
8	热加工工艺基础(第3版)	严绍华	高等教育出版社	2006年	北京高等教育精品教材
9	工业系统概论（第2版）	卢达溶	清华大学出版社	2006年	北京高等教育精品教材
10	以项目驱动的机械创新设计与实践	傅水根,王坦,初晓	清华大学出版社	2013年	
11	机械创新设计	高志,刘莹	清华大学出版社	2009年	
12	机械制图教学资源库	许纪旻,杨小庆,田凌	清华大学出版社	2008年	
13	机械设计教程	刘向锋	清华大学出版社	2008年	
14	机械CAD技术基础(第3版)	童秉枢	清华大学出版社	2008年	
15	机械零件设计（缩编版）	刘莹,李威	机械工业出版社	2007年	
16	机械制图（机类、近机类）	田凌,冯涓,刘朝儒	清华大学出版社	2007年	普通高等教育“十一五”国家级规划教材
17	计算机辅助设计与绘图（AutoCAD 2007 中文版）（第2版）	李学志	清华大学出版社	2007年	
18	机械制图习题集（机类、近机类）	田凌,许纪旻	清华大学出版社	2007年	
19	PC 数控原理、系统及应用	周凯	机械工业出版社	2006年	
20	Visual LISP 程序设计（AutoCAD 2006）	李学志	清华大学出版社	2006年	
21	机器人技术应用	陈垦,杨向东,刘莉,杨东超	清华大学出版社	2006年	

22	机械基础实验技术	刘莹，邵天敏	清华大学出版社	2006 年	普通高等教育 “十一五”国家级 规划教材 北京市高等教育 精品立项教材
23	机械可靠性设计（第二版）	刘惟信	清华大学出版社	2006 年	
24	机械设计课程设计手册（第 3 版）	吴宗泽，罗圣国主编,高志，刘莹参编	高等教育出版社	2006 年	
25	机械设计学（第 3 版）	黄靖远，高志	机械工业出版社	2006 年	
26	机械制图（第 5 版）	刘朝儒	高等教育出版社	2006 年	
27	计算机辅助绘图基础（第 4 版）（AutoCAD 2006）	陆润民	清华大学出版社	2006 年	
28	现代制造技术	郁鼎文，陈垦	清华大学出版社	2006 年	
29	虚拟样机软件 MSC.ADAMS 应用与提高	范成建	机械工业出版社	2006 年	
30	机械原理多媒体教学系统（升级版）	申永胜主编	清华大学出版社	2005 年	普通高等教育 “十五”国家级 规划教材，第 1 版被评为“九五” 国家重点教材和 面向 21 世纪教 材，2002 年获全 国普通高等学校 优秀教材一等奖

31	机械原理教程 (第2版)	申永胜主编	清华大学出版社	2005年	普通高等教育 “十五”国家级 规划教材,第1 版被评为“九五” 国家重点教材和 面向21世纪教 材,2002年获全 国普通高等学校 优秀教材一等奖
----	-----------------	-------	---------	-------	---

代表性教学论文:

- 1) 李双寿. 工程训练中心建设发展展望. 华北金工研究会第十一届学术年会论文集: 工程实践和创新教学探索与研究, 清华大学出版社, 2014, 3-9.
- 2) 刘莹, 申永胜, 武静. 通过学科竞赛促进学生综合素质培养. 机械类课程报告论坛论文集 2008: 1-3.
- 3) 卢达溶, 汤彬, 李双寿, 傅水根. 基于广泛科研资源和人文资源的工程文化体验. 清华大学教育研究, 2009, 30(2): 33-38.
- 4) 傅水根, 严绍华, 李双寿等. 创建国内领先的工程训练教学示范中心. 实验技术与管理, 2006, 23(4): 1-2.
- 5) 童秉枢, 田凌, 冯涓. 10年来我国工程图学教学改革中的问题、认识与成果. 工程图学学报, 2008, 4: 1-5.
- 6) 冯涓. 美国高校工程图学教育特色分析. 工程图学学报, 2008, 3: 139-144.
- 7) 杨义勇, 王成彪, 索双富. 以实际问题为载体开展实践教学培育科技创新人才. 高等理科教育, 2008, 3: 114-116.
- 8) 刘向锋, 高志. 原版教材《机械工程设计》改编浅析. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2009, 32: 41-43.
- 9) 阎绍泽, 申永胜. 研究型大学机械类精品课程教学的六个基本要素. 中国大学教学, 2009, 9: 5-7.
- 10) 阎绍泽, 申永胜. 机械原理精品课程的教学条件建设. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2009, 32: 33-35.
- 11) 马赛, 郝智秀. 学分制在哈佛大学创立和发展的历史轨迹——兼论美国学分制产生和发展的社会背景. 高教探索, 2009, 1: 70-75.
- 12) 郝智秀, 季林红, 冯涓. 基于 CDIO 的低年级学生工程能力培养探索——机械基础实践教学案

例. 高等工程教育研究, 2009, 5: 36-40.

- 13) 冯涓, 田凌. 空间能力测试及其对机械制图课程学习的影响. 工程图学学报, 2009, 6: 143-147.
- 14) 刘莹, 申永胜, 郝智秀, 高志, 刘向锋, 吴丹, 王小红. 机械设计与制造基础系列课程拔尖创新人才培养的探索与实践. 机械类课程报告论坛论文集, 2010, 107-109.
- 15) 阎绍泽, 申永胜, 刘向锋, 季林红, 田凌, 冯平法. 统筹协调整体推进机械设计与制造基础系列课程建设. 机械类课程报告论坛论文集, 2010, 110-115.
- 16) 谯莉芳, 阎绍泽. 利用专利资源培养学生创新能力. 机械设计教学研究, 中国机械工程学会机械设计分会编, 北京, 机械工业出版社, 2010, 1-3.
- 17) 付成龙, 杨小庆, 田凌. 机械制图研究型小课题的探索与实践. 工程图学学报, 2010, 31(4): 156-160.
- 18) 吴志军, 张建富, 冯平法, 郁鼎文. 面向网络实验教学的虚拟协同装配技术研究. 工程图学学报, 2010, 31(4): 172-178.
- 19) 张辉, 冯平法, 冯之敬. 制造工程基础平台课教学实践的思考. 机械类课程报告论坛论文集, 2010, 193-195.
- 20) 刘向锋, 刘莹, 高志, 肖丽英. 机械设计课程研究型教学的探索与实践. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版), 2011, 13: 94-97.
- 21) 贾晓红, 阎绍泽, 沈强, 申永胜. 机构组合与搭接实验的建设与教学实践. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版), 2011, 13: 187-189.
- 22) 郝智秀, 申永胜, 冯平法, 刘向锋. 伯克利分校机械基础课程剖析. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版), 2011, 13: 219-220.

代表性科研论文:

- 1) Shuang-Shou Li, Bin Tang, Xin-Yan Jin, Da-Ben Zeng. An investigation on hot-cracking mechanism of Sr addition into Mg-6Al-0.5Mn alloy. Journal of Materials Science, 2012, 47(4): 2000-2004.
- 2) 彭浩, 赵平, 李双寿, 刘金海. Mg-Ni-RE 块体非晶合金的制备及稳定性能. 稀有金属材料与工程, 2013, 42(2): 366-370.
- 3) Peng Hao, Li Shuangshou, Huang Tianyou. Mg-Ni-Gd-Ag bulk metallic glass with improved glass-forming ability and mechanical properties. Intermetallics, 2011, 19(7): 829-832.
- 4) 赵平, 李双寿, 彭浩, 刘金海. 碳纳米管-镁基非晶复合材料的制备及力学性能. 特种铸造及有色合金, 2011, 31(7): 656-660.
- 5) 彭浩, 李双寿, 黄天佑, 汤彬. 非晶态 Mg-Ni-Pr 储氢合金的差压铸造及电化学性能. 特种铸

造及有色合金, 2009, 29(5): 436-438.

- 6) 徐伟国, 毕世华, 陈阵. 导弹发射车悬架的多目标集成优化. 弹箭与制导学报, 2009, 29(2): 246-250.
- 7) 彭浩, 李双寿, 汤彬, 黄天佑. Mg70Ni15Gd10Ag5 块体非晶的制备及晶化行为研究. 稀有金属材料与工程, 2010, 39(9), 1655-1657.
- 8) 徐伟国, 杨锁红, 姜勇. 新型微机式母线保护装置通信管理系统的设计. 华东电力, 2008, 36(10), 74-77.
- 9) 徐伟国, 毕世华, 陈阵. 发射装置支撑刚度对火箭弹初始扰动的影响研究. 兵工学报, 2008, 29(6): 709-712.
- 10) 汤彬, 李双寿, 高精秀, 李越飞, 曾大本. 不锈钢熔模铸造缺陷分析及质量控制. 特种铸造及有色合金, 2008, 28(8): 624-626.
- 11) 冯鹏发, 唐靖林, 李双寿, 曾大本. A356 合金流变压铸成型试验研究. 铸造, 2007, 56(1): 31-35.
- 12) Jun Wu, Jinsong Wang, Liping Wang, Tiemin Li. Dexterity and stiffness analysis of a 3-DOF planar parallel manipulator with actuation redundancy. Proceedings of the I MECH E Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2007, 221(8): 961-969.
- 13) Chen Tao, Wu Chao and Liu Xinjun. Structure and kinematic analysis of a novel 2-DOF translational parallel robot. Progress in Natural Science, 2007, 17(10): 1213-1219.
- 14) Jing-Shan Zhao. Optimizing the Kinematic Chains for a Spatial Parallel Manipulator via Searching the Desired Dexterous Workspace. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2007, 23(1): 38-46.
- 15) Wenbo Duan, Fulei Chu. A Bulk-Flow Analysis of Static and Dynamic Characteristics of Floating Ring Seals. Tribology International, 2007, 40(3): 470-478.
- 16) Fangfang Wu, Rencheng Wang. Effect of Noise-Enhanced on the Balance Control Ability in Older Adults. V.G. Duffy (Ed.): Digital Human Modeling, HCII 2007, LNCS 2007, 4561: 483-489.
- 17) 王晓凤, 冯之敬. 压电式微位移机构设计与实验研究. 机械工程师, 2007, 3: 17-19.
- 18) 姚蕊, 唐晓强, 李铁民, 任革学. 大型射电望远镜馈源定位 3T 索牵引并联机构分析与设计, 机械工程学报, 2007, 11(43): 105-110.
- 19) 冯平法, 盛力. 柱塞式液压泵曲轴载荷特性及力学性能分析. 机械设计与制造, 2007, 5: 155-157.
- 20) 季林红. 基于自适应 Chirplet 分解的偏瘫肌强直症状评估. 清华大学学报 (自然科学版), 2007, 47(5): 627-630.

- 21) 贾晓红. 一体化小腿假肢对线角度优化设计. 清华大学学报 (自然科学版), 2007, 5, 47(5): 647-650.
- 22) 韩福柱, 马莹. 微细阵列电极的电火花线切割加工研究. 2007 年中国机械工程学会年会论文集, 2007, 173-177.

部分教材、获奖及论文复印件请见附件一。

2-7 虚拟仿真实验教学中心的管理体系（组织保障、制度保障、管理规范等）

（一）组织保障

中心挂靠机械工程学院，中心实行统一规划、统筹管理、分工负责、资源共享的管理模式，由相关院系的主要负责人组成管理委员会，统筹规划中心发展以及负责中心日常管理、实验教学课程安排等工作。

根据学科建设与教学任务，中心制定统一的发展规划，根据任务的轻重缓急和经费情况，分期分批地进行建设。岗位设置、经费分配做到统筹兼顾。中心资源共享，分工明确，确保有限资源发挥最大效益。中心所属各实验室实行实验室主任负责制，在实验教学中心主任的领导下，负责各实验室的日常管理工作。

1. 中心主任全面负责中心的建设规划和管理，统一调配人力、财力和物力，并通过召开主任会议，统筹建设思路及课程体系改革。

2. 中心内部实行实验室主任负责制，由实验室主任具体负责各个实验室日常运行管理工作和课程改革。

3. 中心成立了学术委员会，由具有丰富教学经验的教师组成，每季度召开一次会议，研讨实验教学的发展规划，分析实验教学过程中出现的新问题。

（二）制度保障

中心有完备的管理制度，主要包括有：

1. 清华大学政策、措施及规章制度

- (1) 清华大学事业发展“十二五”规划纲要
- (2) 关于制定本科培养方案与教学计划的工作意见
- (3) 清华大学本科生专业设置管理暂行规定
- (4) 清华大学本科生综合论文训练教学管理条例（试行）
- (5) 清华大学大学生研究训练（SRT）计划的有关规定
- (6) 大学生研究训练（SRT）计划指南

- (7) 清华大学优秀教材成果奖励办法
- (8) 关于设立教学附加津贴的实施细则
- (9) 关于完善工程实验技术人员岗位聘任和设立关键岗位津贴的实施办法
- (10) 工程实验技术系列培训工作
- (11) 工程实验技术系列按岗位聘任，设研究员
- (12) 清华大学申请实验技术系列高级实验室（高级工程师）的必备条件
- (13) 清华大学优秀实验技术人员奖评选办法
- (14) 清华大学实验室创新基金管理办法（试行）
- (15) 清华大学实验室开放基金管理办法
- (16) 清华大学实验技术成果奖实施办法
- (17) 清华大学学生实验室建设贡献奖评选办法
- (18) 清华大学实验室工作规定
- (19) 实验技术人员编制计算办法（试行）
- (20) 清华大学一级实验室评估实施办法
- (21) 清华大学固定资产管理条例
- (22) 清华大学仪器设备管理办法
- (23) 清华大学低值仪器设备和器材管理办法
- (24) 清华大学仪器设备购置管理规定
- (25) 清华大学仪器设备进口工作程序及注意事项
- (26) 清华大学仪器设备技术档案工作的规定
- (27) 清华大学公用房管理条例(试行)
- (28) 清华大学技术安全管理规定
- (29) 清华大学化学危险物品安全监督管理的规定
- (30) 清华大学实验室安全用电的管理规定
- (31) 清华大学特种设备安全管理规定
- (32) 清华大学有毒、有害化学废液及固体废物处理的管理规定

2. 数字化制造系统虚拟仿真实验教学中心规章制度

(1) 实验室日常管理制度

实验教学中心实验室守则

实验教学中心实验管理人员岗位职责

实验教学中心实验教学人员岗位职责

实验教学中心开放管理制度

实验室安全管理制度

(2) 实验教学中心的建设规章制度

实验教学中心管理体制

实验教学中心信息平台的建设

实验教学中心教学队伍建设规划及相关措施

实验教学中心运行机制

详细制度请见附件二。

(三) 管理规范

1. 教学管理

中心的教学工作在校教务处和院系教务管理部门的统一管理下运行。每个学生可在学校提供的二级选课系统中在众多开放时间中选择个人最合适的实验课时间。为保证学生能够投入足够的时间用于实验教学课程的学习,实验中心的大多数实验室实现了每天 8 小时随时对选课学生开放。学生在课余还可在开放时间来到实验室进行课前预习,课后补做,或选做更多的实验题目。中心欢迎学生自带题目来开展 SRT, 并安排指导老师, 提供相应的实验条件和实验器材。

2. 教师管理

中心在学校统一安排下, 每年对所有专职实验人员进行教学质量、工作量考评, 做到奖惩分明。学校已经建立了行之有效的教学质量评价体系和学生评教、同行互评、领导督教制度。教师对照教学评估指标, 通过自我评价与同行专家、学生评价进行综合分析比较, 可以真切地感受到主观的努力与客观的实际效果之间的差距, 从而采取有针对性的改进措施, 不断提高教学质量。中心根据学校教学督导制度, 创立了分别以课程负责人牵头的课程建设组、教学督导组 and 教学保证组, 形成了从课程规划建设、课程实施、信息反馈与持续改进的教学质量保证体系。中心对所有新上岗的教师、实验技术人员和实习指导人员严格实行岗前培训, 考核通过, 带证上岗, 以突出教学工作的严肃性和规范性, 保证教学质量。对于综合评价突出的, 中心进行表彰和奖励。

3. 设备管理

中心有完备的管理制度, 对仪器设备实行分级管理: 中心资产管理使用资产管理系统负责全中心的仪器设备管理; 每台设备建有设备卡, 对设备的定期维护, 保养检修。中心严格执行实验室各项规章制度(包括操作规程、借用制度、赔偿制度、危险品管理制度)。中心设有专门资产管理, 使用资产管理系统负责全中心仪器设备管理。每台设备建有设备卡。实验室每学期结束前要进行一次清产核资工作。实验技术人员对设备进行定期维护。仪器损坏做好记录并及时修理, 保证仪器设备的完好率 100%, 保证实验教学的正常进行。中心重视安全工作, 落实实验室“四防”措施, 加强对易燃易爆和剧毒、腐蚀、放射性等危险品的管理, 做到领用有手

续，使用有记录。

4. 实验室开放管理

为加强实验室建设，培养学生的创新意识、创新精神和创新能力，全面提高实验教学质量，提高教学科研管理水平，实验教学中心对学生开放部分实验室，让学生利用课余时间进行实验操作或跟随指导教师进行实验课题研究。为使开放实验室的工作能顺利进行，中心制定有开放管理制度。实验室在开放期间严格执行实验室的各项规章制度，负责实验室的安全工作。开放实验室实行登记制度，凡在室内做实验的师生应填写相关登记表。

具体管理规范举例如下：

(1) 实验教学中心实验室守则

第一条 实验室是开展实验教学、科学研究的场所，所有实验室工作人员及进入实验室的人员均应遵守本守则。

第二条 实验室负责人或指导教师必须对学生进行遵守实验室规章制度的教育，学生必须听从指导教师和实验室工作人员的安排。

第三条 实验人员要遵守操作规程、爱护仪器设备、节约实验材料、认真记录实验数据，保持整洁，按指定地点丢弃污物和废液。

第四条 实验室要加强对仪器设备和实验材料的管理，定期检查和维修，防止因保管不善造成损失。

第五条 在使用大型精密仪器前，必须经过技术培训，经考核合格后方可使用，使用中要严格遵守操作规程，并认真填写使用记录。

第六条 实验室必须重视安全工作，加强对易燃、易爆和有腐蚀、有毒等危险品的管理，做到领用有手续，使用有记录。凡有危险性的实验，要二人以上进行。多余的危险品要及时上交或妥善保管，不得过量存放。

第七条 实验室必须配备相应的消防器材，工作人员要熟悉各种消防器材的使用方法。要经常检修、维护电源线路及通风、防火设备等。

第八条 实验中，仪器设备如有损坏，要及时报告登记。一旦发生事故，要及时采取措施，迅速如实地向有关部门报告，并保持现场，认真分析事故原因。

第九条 实验室须建立安全值班制度，每次实验完毕或下班前，要做好整理工作，必须关闭电源、水源、气源、门窗。

第十条 对违反本守则和有关规章制度造成的事故，要追究当事人的责任，严肃处理。

(2) 实验教学中心实验管理人员岗位职责

第一条 实验室是开展实验教学、科学研究的场所，实验室管理人员要树立高度的工作责任心，积极主动地做好各项管理工作。

第二条 实验室管理人员应加强学习，不断提高政治、业务水平、增强为教育教学服务的意识，树立现代化的实验教学观念，认真做好本职工作，努力为教育教学创造最优环境和条件。

第三条 实验室管理人员要提前做好实验仪器、实验材料的准备及安装调试工作，以保证实验教学的正常进行。

第四条 做好实验室仪器设备的日常维护及修理工作，仪器损坏要做好记录并及时修理，保证仪器设备的完好率 100%。

第五条 做好实验室仪器设备和物资材料的帐目管理工作，做到帐卡物相符，要求仪器设备相符率 100%，低值易耗品相符率 90%以上。各实验室每学期结束前要进行一次清产核资工作。

第六条 与实验教师密切合作做好学生实验指导工作，并根据需要，承担一定的实验教学工作任务。并积极创造条件，开放实验室，协助教师组织好学生课外科技活动等。

第七条 要重视安全工作，落实实验室“四防”措施，加强对易燃易爆和剧毒、腐蚀、放射性等危险品的管理，做到领用有手续，使用有记录。

第八条 负责保持实验室环境整洁，仪器安放整齐。定期打扫卫生，做到墙壁无蛛网，仪器、桌面无灰尘，地面无积水垃圾。

第九条 实验室管理人员实行安全值班制度，按时上下班，外出要留言，认真及时处理有关日常事务，做好实验室日志的记录工作，每次实验完毕后关闭电源，水源、气源、门窗，以确保实验室无事故。

第十条 负责实验室有关数据资料的收集整理，配合做好实验室有关报表的填报工作。

第十一条 严格执行实验室各项规章制度（包括操作规程、借用制度、赔偿制度、危险品管理制度）

第十二条 完成实验室主任分配的其它工作任务。

（3）实验教学中心实验教学人员岗位职责

第一条 实验教师必须爱岗敬业，树立现代的实验教学观，以全面提高学生的实验能力和综合科学素质为己任，认真做好实验教学工作。

第二条 根据科学发展的要求，主持或组织实验课题的研究，及时更新实验内容，编写高质量的实验课教材、实验指导书，并撰写科研论文。

第三条 积极承担对实验技术人员的培养提高工作，在条件允许的情况下，参加研究生的指导工作。

第四条 掌握先进的实验技术手段，承担或参加指导新实验设备的研制及有关设备的改造工作，解决实验技术中的疑难问题。

第五条 负责实验室一般仪器设备的维修和实验室建设、改造、大修工作，认真做好实验仪器设备的选购、验收、安装、调试和数据测定等工作。

第六条 做好教学实验的准备工作，指导教学实验，及时掌握学生的每次实验情况，注意实验方法的改进和质量的提高。

第七条 参加编写实验课教材或讲义,讲授实验课。参加新开实验方案的制定和设计和预研,编写实验教材,不断更新实验内容,引进新技术,改革实验方法,提高实验课质量。

第八条 严格指导学生实验,包括辅导答疑、批改实验报告及评定学生实验成绩,记录实验教学情况,做好实验总结,积极提出改进实验的意见。

第九条 熟悉了解国内外先进实验仪器设备实验等情况,引进先进的实验方案及实验技术,积极做好实验仪器设备的改造、更新工作,不断提高技术水平和管理工作能力,促进实验室的现代化建设。

第十条 努力学习和掌握现代科学理论和技术,不断充实和提高技术水平。

第十一条 认真做好实验室的日常管理工作。

(4) 实验教学中心开放管理制度

第一条 为加强实验室建设,培养学生的创新意识、创新精神和创新能力,全面提高实验教学质量,提高教学科研管理水平,实验教学中心对学生开放部分实验室,让学生利用课余时间进行实验操作或跟随指导教师进行实验课题研究。为使开放实验室的工作能顺利进行,特作如下管理规定。

第二条 实验室开放要注重实效。开放项目可以是教学计划要求的课内实验,也可以是课外内容,以满足不同层次学生的要求。

第三条 实验室在开放期间要严格执行系实验室的各项规章制度,负责实验室的安全工作。

第四条 参加实验课题的学生应接受实验室工作人员的培训,未经培训,未掌握操作方法的学生,不得独立操作使用精密仪器。

第五条 开放时间一般为学生的课余时间,不能占用正常的教学时间。对于实验操作技能的培训,可以在规定开放时间进入实验室进行训练,对于实验研究性项目,可以让学生利用业余时间不限定时间进入实验室进行实验研究。

第六条 开放实验室实行登记制度,凡在室内做实验的师生应填写相关登记表。

第七条 实验完毕后,开放实验使用人应对所使用的仪器设备归位,实验台面、地面都要清洁,桌椅摆放整齐,实验中心管理老师在开放记录表后签名确认后方可离开。

第八条 开放实验室的仪器设备的管理实行损坏赔偿制度,损坏仪器要登记,按仪器价格酌情赔偿。

(5) 实验室安全管理制度

第一条 实验室是教学科研的重要基地,实验室的安全管理是实验工作正常进行的基本保证。凡进入实验室操作的人员,必须遵守实验室规章制度,不得擅自动用实验室的仪器设备和安全设施,不准在实验室吸烟,就食,不准随地吐痰。必须遵守本制度。

第二条 实验室负责仪器设备及人身的安全保护工作,由本室的安全负责人负责实施。实验

室管理人员及实验人员一定要树立“安全第一”的思想，任何实验都要有安全防护措施，仪器设备要有安全操作规程。

第三条 实验室负责对进入实验室的人员进行安全教育，并在每学期初开设一次安全教育课，所有初入实验室工作人员必须参加。定期进行例行的安全检查，及时发现和解决不安全隐患。

第四条 新生进入实验室前要参加系里的安全教学课，所有上课者均签署《安全教育课程结业和安全责任书》。进入实验室操作仪器设备或参加操作培训之前，实验人员应首先查验其《安全教育课程结业和安全责任书》。

第五条 对违反安全规则的情况，实验室有权当面制止并要求马上纠正；如短期内未采取切实措施有效改进者，限期整改；如逾期不改，则全系通报批评，

第六条 对实验室存在的不安全因素，要及时向有关部门反映、整改，若发生安全事故，应在采取补救措施的同时如实报有关部门，对造成安全事故者，应根据情节轻重,按有关规定及时处理。

第七条 实验室工作学习人员不得将门卡、各房间钥匙转借他人或复制。

第八条 实验室工作人员作为实验室安全防护的当然责任者，应随时随地按照本制度进行检查，做好安全防护工作，院系领导要经常督促检查。

第九条 实验中如发生事故，应有急救措施，同时保护现场，并立即报告有关部门。

2-8 虚拟仿真实验教学中心的特色与创新

数字化制造系统虚拟仿真实验教学中心可以让学生直接体验现代制造业中的先进技术和管理模式，达到学生掌握的知识与社会应用同步，使他们近距离地了解制造的时代意义，并利用它加快创新的步伐，目前已成为校企合作的桥梁、工程培训的纽带和兄弟院校交流的平台，进一步提升我校虚拟仿真实验教学在国内外高校中的地位和影响力，具有以下特色与创新：

（1）教学内容和体系的先进性

依托清华大学机械工程学科的优势，长期坚持教学与科研结合，不断地将科研成果转化为实验、实践教学资源，并产生了一批研究型教学项目。该平台将数值仿真和物理仿真相结合，内容与技术发展紧密衔接，将制造系统常规实验转变为真实大工程背景下的综合性实践教学，形成了集工程基础认知、创新实践课程和综合素质训练为一体的虚拟仿真实验教学体系。

（2）教学方法和模式的创新性

通过教育教学的前瞻性研究，不断探索满足现代社会需求的课程体系和教学内容的改革，推行基于问题、基于项目、基于案例的教学方法，支持学生开展研究性学习、创新性训练，以学生为主体、教师为主导、能力培养为主线，形成教师与学生信息互动，启发学生创造性思维，鼓励学生自主探究性学习的实验、实践教学新模式的理念。

(3) 教学平台和服务的开放性

综合利用云计算、物联网、多媒体等技术，搭建了开放的虚拟仿真实验教学平台，面向的应用对象包括所有可以登录到互联网上的用户，不仅可以支持清华大学校内各个院系的课程管理、项目管理、资源管理等功能，还可以支持其他大学、合作企业的各种应用，充分体现了资源开放、应用开放、服务开放的特色。

3. 资源共享

3-1 目前教学资源共享的范围和效果

中心教学资源的软件、硬件和课程资源对全校各相关院系开放，各院系教师利用中心资源开设实验课程，提供现代设计工具的教学和培训。中心通过共建实验室等方式多次为中法、中美学生的协同设计等学术活动提供平台，多次举办了相关领域的海外教授短期课程。同时，中心支持学生的课外科技活动，如我校学生的毕业设计、研究训练（SRT）项目、挑战杯课外科技竞赛、全国大学生机械创新设计大赛、全国大学生工程训练综合能力竞赛、全国大学生节能减排社会实践与科技竞赛、创新创业社团等。某些本科生利用中心软件资源开展虚拟仿真研究工作，在国内外期刊发表学术论文。

中心编写的《机械制造实习》、《机械制图》、《机械原理教程》、《机械制造工程原理》、《机械创新设计》等教材已被多所高校采用，发行量均达数万册，研制的机械制造实习、机械原理和制造工程基础等课程的多媒体教学系统已推广应用于全国百余所高校。同时，中心自主研发的“数控机械创新设计实践教学平台”、“并联机构创新设计实践教学平台”、“模块化可重构教学机器人”、“MOS2007 仿人足球机器人”已推广到哈尔滨工业大学等多所高校。

目前，中心教学资源的软件、硬件和课程资源对部分兄弟院校和参与中心建设的企业开放。例如：中心为北京市高校教师进修提供了现代机械性能分析工具的培训，协助青海大学建立 CAD 实验室，并为青海大学培训师资多名，并协助举办相关领域的国际学术会议和技术研讨，起到了很好的效果。

近年来，不少兄弟院校先后到中心来参观交流，包括北京航空航天大学、北京理工大学、北京科技大学、北京化工大学、北京工业大学、浙江大学、上海交通大学、太原理工大学、西安交通大学等。中心还不断参与国际交流，与国外著名高校教学负责人交流，不仅促进中心发展，也起到很好地辐射示范作用。

3-2 进一步实现共享的计划与安排

中心将增加课程资源的共享，力图将课程视频、仿真实例在网络学堂上共享，增加学生学习的自由度。

中心将扩大资源共享的范围，从面向国内院系扩展到面向国外相关院校，提升中心的影响力和示范作用。

中心将扩大国际交流的范围和规模，培养具有国际化视野的高水平拔尖创新人才，进一步建设跨学科的学生创意创新创业训练平台，成为面向全国高校、科研院所、企业开放的公共服务平台。

4. 条件保障

4-1 基础条件（仪器设备配置情况、环境与安全、运行与维护等）

（一）仪器设备配置情况

软件资源：

通过与国际一流的相关领域企业的交流与合作，中心获得了大量正版软件支持，现有一千余套国际流行的 CAD/CAM/CAE/PLM 工程软件和系统仿真软件。目前已通过网络认证服务于全校。

表 4.1 主要软件系统清单

序号	软件或系统名称	数量（用户或节点）	厂家
1	CATIA	60	达索系统公司
2	DELMIA	60	达索系统公司
3	ENOVIA	60	达索系统公司
4	SOLIDWORKS	500	达索系统公司
5	Creo 全套软件，包括：Creo Parametric、Creo Direct、Creo Simulate、Creo Sketch、Creo Layout、Creo Schematics、Creo Illustrate、Creo View MCAD、Creo View ECAD	500	PTC 公司
6	Windchill	500	PTC 公司

7	MathCAD	500	PTC 公司
8	Education Master Suite 软件包	无限制	欧特克公司
9	Entertainment Creation Suite 软件包	无限制	欧特克公司
10	ANSYS	无限制	安世亚太公司
11	EdgeCAM	50	EdgeCAM 公司
12	电子 DFM 软件	15	以色列 Valor 公司
13	NI 电路设计套件	无限制	美国 NI 公司
14	FastCAM 自动编程套料软件	无限制	发斯特软件（上海）有限公司
15	Active-HDL 软件	无限制	美国 ALDEC 公司

硬件资源：

中心在“211”、“985”以及“工科基地建设”等项目支持下，建设了 8 间教学机房，配有 200 余台计算机和 workstation，以及配套的网络环境和多台套数字化制造设备。

表 4.2 主要仪器设备清单

序号	设备仪器名称	厂家	规格型号	数量
1	柔性装配线仿真教学系统	罗克韦尔自动化有限公司	8 工位	1
2	柔性制造单元—加工中心及工业机器人仿真教学系统	科挺巨轮	6 轴机器人 3 轴立式加工中心 MES 管理系统	1
3	焊接机器人仿真教学系统	KUKA	焊接机器人 4 台 变位机 1 台	4
4	数字车间 DNC/MDC 仿真教学系统	北京数码大方科技股份有限公司	DNC10 个点 MDC5 个点 通讯模块 15 个 管理模块 1 个	1
5	高精度 3D 打印机	3D System	0.032mm 层高	1
6	彩色 3D 打印机	3D System	64 色	1
7	便携式微型数控火焰切割机和龙门式火焰等离子切割机	发斯特软件（上海）公司		1

8	二氧化碳激光雕刻机	北京开天科技有限公司		1
9	实验 SMT 生产线	美国伟创力公司		1
10	计算机	清华同方股份有限公司	Core i7 2600, 4G 内存, 500G 硬盘, 21' 液晶显示器	60
11	计算机	联想	Core Q8300, 2G 内存, 160G 硬盘, 17' 液晶显示器	34
12	工作站	惠普	PIV 3.0G, 2G 内存, 160G 硬盘, 19' 液晶显示器	25
13	计算机	联想	PIV 3.2G, 1G 内存, 160G 硬盘, 17' 液晶显示器	80
14	服务器	联想	Xeon E5506*2, 32G 内存	3
15	投影仪		1024*768	3
16	打印机	惠普	A3 激光	1
17	打印机	惠普	A3 彩色激光	1
18	绘图仪	惠普	A1 8 色喷墨	1

（二）环境与安全

中心安全工作包括安全管理规程、安全责任、消防、防盗、电气安全措施等部分。中心做到安全责任层层落实。中心主任是第一安全责任人，每间实验室均有指定的安全责任人。各实验室均具有先进的楼宇管理系统，包括保安监控、消防安全系统，由专门物业公司负责管理。每间实验室均有专门的卫生、安全责任人。

1. 实验室的智能化建设

根据中心自身管理工作的需要，部分实验室独立开发了实验室管理信息系统，实现了实验室网络化、计算机化的管理模式，包括身份认证、权限管理、信息发布等相关管理项目。

2. 安全与环保措施

根据安全的需要，中心各个房间内部供电系统按照机房需求进行设计施工，并安装了漏电保护，保障上机人员安全。中心安装了烟雾报警系统，分布在房间、楼道以及顶棚，监控火灾

隐患。同时中心配置了灭火器，可以及时对小范围火灾进行自救，所有工作人员都进行了操作培训。中心安装了防盗监控系统，实现全天监控，预防盗窃事件发生。中心所有工作人员电话均张贴在值班室，消防和公安电话也予以张贴，遇紧急情况可以及时通知有关人员和部门。中心各种安防设备均按照规定定期检查，及时修复及更换，保障安全有效。

在设备购置方面，采购符合环保要求的设备；在设备运行方面，利用技术手段，将设备运行的能耗减少到最少状态；在空调管理上，设定合理的环境温度，提供一个既舒适有节能的环境。通过门窗改造和通风设施的改进，保证了良好的教学实验环境。

（三）运行与维护

中心有完备的管理制度，对仪器设备实行分级管理。中心资产管理使用资产管理系统负责全中心的仪器设备管理。每台设备建有设备卡。实验技术人员对设备进行定期维护，每学期末全面检查设备状况。仪器简单故障由实验技术人员维修，复杂故障由供应商检修。

实验室仪器设备有专人管理、维护与使用，大型仪器设备配备具有高级专业技术职务的人员担任技术指导，进行功能改造和开发。对仪器设备的管理要求如下：

1. 实验室建立仪器设备的固定资产账，做到账、物相符，大型仪器设备建立技术档案，归档保存。建立低值设备和易耗品管理的明细账，做到记录清晰。
2. 建立安全制度，制订操作规程和使用指南，做好开放服务。
3. 定期校验仪器的技术性能，保持其测试精度指标。定期维护仪器，做到无灰尘、无油垢，状态良好。
4. 大型仪器设备坚持填写使用和维护记录。
5. 实验室对仪器设备的购入、调进、调出、借用、报废、报失要有详细记录。仪器设备报损报废采取分级审批，学校统一处理的原则。大型仪器设备的报损报废组织专家评议，然后报批。

实验室开展大型仪器设备公共服务，通过校园网向校内、外开放仪器设备信息，为教学、科研服务。在设备维护方面，中心制定了定期巡视制度，及时发现系统软硬件故障，及时进行维护，保障了教学实验正常运行。

4-2 经费来源及使用规划

（一）经费来源

中心的仪器设备、软件资源购置费和运行费用主要来自三个方面：一是学校 985 及 211 经费的支持，二是相关院系教学经费的投入，三是申请校外经费支持，例如北京市教委共建项目等。中心近三年获得建设经费共 2000 万，运行经费年均 200 万。

（二）使用规划

1. 扩大中心教学规模，增加实验项目数量 10%。

2. 完善虚拟仿真学生创意创新创业支撑平台，鼓励学生自主设计创新型实验项目。
3. 依托前沿科研课题，每年设立数个本科生研究训练项目，鼓励学生自主研究，在本科生中培养创新型人才。
4. 每年召开教学研讨会 2 次，邀请国外著名院校或企业的技术专家、高管来中心交流讨论。
5. 在校企合作过程中，支持学生在企业开展探索性研究项目。

5. 学校和主管部门意见

<p>学校意见</p>	<p>“数字化制造系统虚拟仿真实验教学中心”以国家级实验教学示范中心“基础工业训练中心”和“机械工程实验教学中心”为依托，拥有丰富的教学资源和卓越的教学团队，围绕产品全生命周期管理流程，已经开展了大量高成本、高消耗、综合训练的虚拟仿真实验教学项目。中心建立了安全、可靠的教学环境，开展绿色实验教学，并建设了网络教学信息平台。中心还充分发挥学科优势和专业特色，与企业紧密合作，形成了自己的特色。</p> <p>中心已形成了一套高效管理方法和实验教学机制，在精品课程建设、实践基地建设、师资队伍建设等方面取得了丰硕的成果，已经发挥出一定的示范辐射作用。</p> <p>我校同意推荐该中心申报国家级虚拟仿真实验教学中心。</p> <p style="text-align: right;">负责人签字 (公章) 年 月 日</p>
<p>教育主管 部门意见</p>	<p style="text-align: right;">负责人签字 (公章) 年 月 日</p>