

# 装备制造及自动化虚拟仿真实验教学体系建设

叶建华<sup>1,2</sup>, 曾寿金<sup>1</sup>, 黄卫东<sup>1</sup>

(1.福建工程学院 机械与汽车工程学院, 福建 福州 350118;

2.福建工程学院 先进制造生产力促进中心, 福建 福州 350118)

**摘要:** 针对智能制造背景下教育生存与发展环境的变化, 引入虚拟现实技术, 重构装备制造及自动化实验教学体系。在装备制造及自动化虚拟仿真实验体系建设需求分析的基础上, 以机械系统构成原理构建虚拟仿真实验体系, 以企业的技术业务流程整合教学资源, 以企业岗位技术要求开发实验教学项目, 形成完善的虚拟仿真实验教学资源体系。以“时间、空间、资源”三维共享为目标, 建设虚拟仿真实验教学平台, 服务于新时代要求下的复合型创新人才的培养。

**关键词:** 虚拟现实; 智能制造; 实验教学

中图分类号: G203

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2019)04-0403-06

## Construction of a virtual simulation experimental teaching system of equipment manufacturing and automation

YE Jianhua<sup>1,2</sup>, ZENG Shoujin<sup>1</sup>, HUANG Weidong<sup>1</sup>

(1.School of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2.Productivity Promotion Center, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

**Abstract:** In view of the changes in educational survival and development environment against the background of intelligent manufacturing, virtual reality technology is introduced to reconstruct the teaching system of equipment manufacturing and automation. Based on the requirement analysis of equipment manufacturing and automation virtual simulation experimental system construction, the virtual simulation experimental system was constructed on the basis of the principle of the mechanical system. The workflow of the enterprise was integrated into the teaching resources, experimental teaching projects were developed with job requirements, and a perfect virtual simulation experimental teaching resource system was formed. The construction of the experimental teaching service platform with the three-dimensional sharing of "time, space and resources" as a goal will serve the training of compound innovative talents under the requirements of the new era.

**Keywords:** virtual reality technology; intelligent manufacturing; experimental teaching

随着美国工业互联网、德国工业 4.0 以及中国制造 2025 的相继推出, 传统制造业正加速向智能制造方向变革<sup>[1]</sup>。在信息化、智能化的驱动下, 当前装备制造及自动化相关专业的教育生存与发展环境发生根本性的变化<sup>[2]</sup>。应用型高校必须对原有实验教学体系进行优化与重构, 以响

应智能制造时代背景下新产业对人才能力的新需求。在传统物理实验的基础上引入虚拟现实技术, 建构多层次的虚拟仿真实验教学体系, 能丰富实践教学内容、提高教学服务能力, 能全新升华传统实验体系, 可满足智能制造背景下新工科人才培养要求<sup>[3-5]</sup>。

收稿日期: 2019-07-09

基金项目: 福建省教育科学“十三五”规划 2018 年度重点课题(FJJKCGZ18-827); 福建工程学院本科实验教学改革项目(SJ2017025)

第一作者简介: 叶建华(1980-), 男, 福建宁德人, 副教授, 博士, 研究方向: 制造过程自动化与信息化, 增材制造。

本文以促进大学生全面发展和适应智能制造产业发展需求为宗旨,构建了以培养大学生工程实际能力、提升创新创业精神为核心的装备制造及自动化虚拟仿真实验教学体系。通过物理实验和仿真实验相结合,建设从工程基础到单元技术再到综合训练、工程应用,从简单演示到系统仿真再到工程案例的实践教学体系,形成了多元化的虚拟仿真教学资源;通过共享教学平台,实现时间、空间、资源的三维共享。

## 1 虚拟仿真实验教学体系建设的需求分析

### 1.1 智能制造产业发展的需求

智能制造背景下,制造能力、信息素养、复杂工程综合解决能力成为高素质人才的基本特征。传统的工程训练体系受场地、设备、资金、技术能力的影响,所建的实训环境与真实的生产实践脱节大,已不能满足产业发展对人才能力的需求。需要在传统实验训练体系的基础上,引入虚拟仿真技术,重塑从简单演示到系统仿真再到全周期流程的实训体系,融入数字化、网络化、协同化、智能化等新一代信息技术,以满足新形势下的人才素质与能力的培养要求。

### 1.2 机械装备技术发展的需要

个性化定制是智能制造发展的大趋势,产品对象的多样性决定了现代机械装备系统功能及产品的多样性;信息技术与工业化的深度融合造就了现代机械装备的复杂性。针对“多样、复杂”的机械装备发展趋势,如果继续沿用传统实物式“结构认识→机构设计→零件制造→系统分析”的教学模式,则会因教学内容“少类型、简单化”,而使学生能力培养无法适应上述发展要求,毕业生岗位适应能力、复杂工程系统的解决能力差是必然结果。虚拟现实技术,通过数字模型直观、生动地展示装备的结构与工作过程,通过计算机辅助分析开展复杂动态控制系统仿真,可以解决传统实物教学的不足。

### 1.3 装备制造及自动化类专业人才培养的需要

应用型高校实验教学体系建设应与区域经济发展对人才能力的需求相匹配。实验教学是理论联系实际的桥梁,是应用型人才培养的重要抓手。福建省装备制造业以中小民营企业居多,涉及的产品领域广。一方面,中小企业在技术业务

活动方面,为了节约成本,业务流程往往利用信息技术进行集约化,传统的技能岗位式培养无法让学生构建业务流程理念;另一方面,传统的实体实验教学所能涵盖的行业、企业和产品数量有限,难以满足民营中小企业要求技术人员具有承担多个岗位工作能力和维持各类机械产品生产的综合能力。因此,需要利用信息技术,面向福建省优势行业主导产品的设计、制造和技术管理,构建虚实结合的企业技术业务实验教学环境,以让学生尽可能多的熟悉和适应区域产业、产品和企业。

### 1.4 教学方法改革的需要

新一代信息技术的广泛应用,对知识的传播手段、学生的学习行为方式、教学内容的承载能力与容量都产生了影响,必然要求对教学方法进行改革。第一,需要变革传统教学实体模型、纸质图纸的教学方式。如在传统拆装和测绘实践中,通过虚实结合教学系统,可将对象延展到复杂机械系统,降低学习难度,提高学习容量。第二,改革传统固定时间、固定地方的教学方式。通过虚拟教学系统,学生可以在课后、在宿舍完成实验的虚拟仿真,通过网络预约方式到真实物理实验室加以验证,同传统的实践教学模式相比,提高教学资源利用率和学习效率。第三,可改革传统结果评价、团体评价的教学方式。引入虚拟平台后,借助信息化手段全程记录实验过程与实验结果,据此对每个学生进行综合评价,更客观全面。

### 1.5 部分实践项目特殊性的需要

智能制造背景下,对实验项目、实训条件的多样性、完整性、复杂性要求更高。通过虚拟仿真技术,可实现经济、安全和多样化实训场景,解决物理实验平台在高危险性、高成本、高投入项目上的不足。针对危险性实践项目,如机床结构认识和拆装综合实验,通过虚拟仿真代替现实物理实验能解决学生操作的规范性问题、提高安全性。针对实验场地受限项目,如工程机械液压系统负载控制实验、汽车路面实验,真实实验需要到作业试验场或汽车试验场进行,通常只有大型企业或国家定点检测机构才能建设,而借助虚拟仿真实验,则可避免场地、资金的限制。针对高成本实验项目,如五轴数控编程实验,借助虚拟仿真技术即可解决高价值设备的台套数不足问题。

## 2 虚拟仿真实验教学资源体系建设

结合制造业智能化、信息化时代背景下区域

经济建设对工程实践能力和高信息素养创新人才的需要,按照“虚实互补、能实不虚”的原则,重构实验教学体系,开发虚拟仿真实验教学资源。

2.1 以机械系统构成原理构建实验教学体系

现代装备制造系统往往由零件到组件、再复合成为复杂的机电液一体化智能系统,同时是由静态机构集成的动态系统。针对机械专业实验实践教学的实际,依据上述机械系统构成原理,以及装备制造企业技术业务流程,构建虚实结合的三维一体实验体系,如图 1。

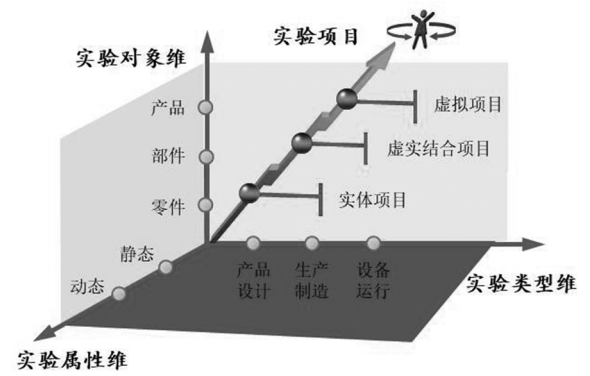


图 1 三维一体实验体系

Fig.1 Three-dimensional integrated experimental system

面向“基础技能训练、单元技术训练、专业综合能力培养到复杂工程能力锻炼”四个层次,从实验对象维、实验属性维和实验类型维 3 个角度构建了虚实结合、逐层递进的三维一体实验体系。实现零件、部件到产品对象,静态到动态,产品设计、生产制造到设备运行全方位的实验教学内容设计。在此基础上,结合区域特色产业、工程项目,通过固化典型机械装备制造企业技术活动、解决方案、运行模式,构建虚拟仿真实验教学平台,以保证实践项目教学目标实现,从而保证专业办学定位,提高毕业生的岗位适应能力。

2.2 以企业的技术业务流程构建虚拟仿真教学资源体系

在三维一体实验体系的总体框架中,进一步从业务流程与技术流程两个维度,建构如图 2 所示的虚拟仿真实验教学资源体系。机械装备制造企业的典型技术主要涉及产品的设计、制造以及设备的运行维护,业务流程包括需求规划、概念设计、详细设计、分析验证、生产制造、售后支持等。依据企业的技术业务流程对人才的能力需求,从

专业基础技能、专业单元技术、专业综合能力、复杂工程能力等四个层次整合虚拟仿真教学资源,形成包括精益研发虚拟仿真平台、数字化制造虚拟仿真平台、机电装备虚拟仿真平台、复杂工程案例实训仿真平台等四大核心教学平台。

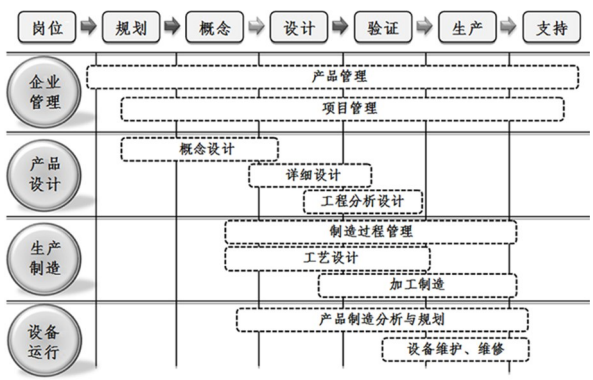


图 2 虚拟仿真实验教学资源体系

Fig.2 Virtual simulation experimental teaching resource system

2.3 以企业岗位技术要求开发实验教学项目

在四层次、四平台的虚拟仿真教学资源体系的基础上,根据设计工程师、制造工程师、设备管理维护工程师的专业岗位技术能力需求,从产品设计、生产制造、设备运行维护维度出发,按专业基础与技能、专业单元技术、专业综合能力、复杂工程能力四个层次,借助虚拟仿真技术对传统实验教学资源的进行数字化、信息化、可视化提升以及对缺失项目的补充开发,形成如图 3 所示的实验项目资源库。

3 虚拟仿真实验教学平台建设

在虚拟仿真实验资源体系建设的基础上,通过实验资源和组织管理的有效融合,构建一个健康、开放、共享且可持续发展的虚拟仿真资源共享平台,实现时间、空间、资源三维共享。平台由虚拟仿真核心教学系统和开放式实验教学管理系统组成。

3.1 虚拟仿真核心教学系统

在虚拟仿真实验资源体系建设的基础上,根据课程设置、教学设置需求,开发虚拟仿真核心教学系统,包括精益研发虚拟仿真平台、数字化制造虚拟仿真平台、机电装备虚拟仿真平台、复杂工程案例实训仿真平台,具体架构如图 4 所示。



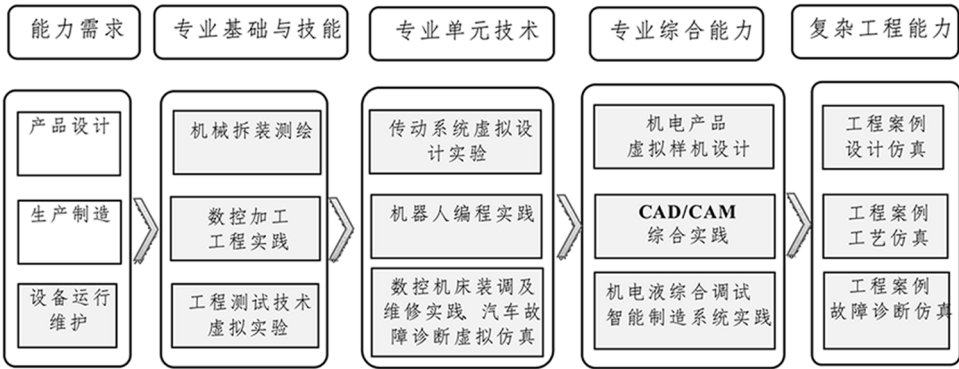


图 3 实验项目库  
Fig.3 library of experiment projects

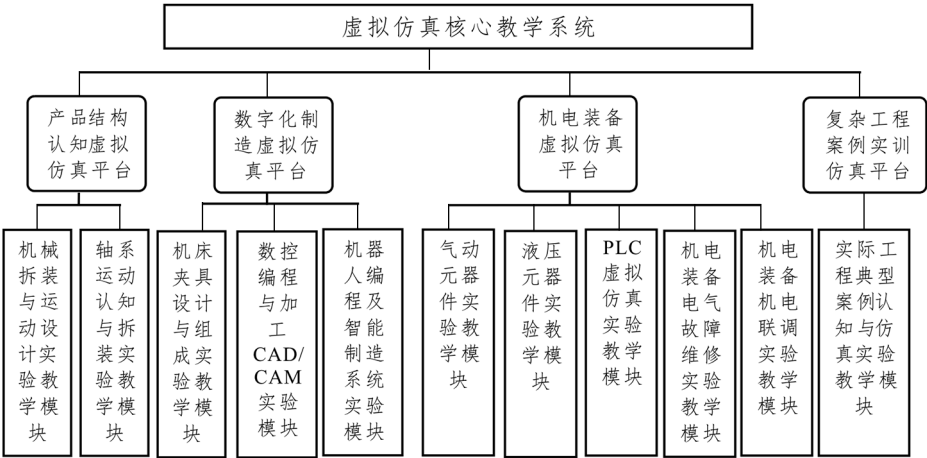


图 4 虚拟仿真核心教学系统结构框图  
Fig.4 Block diagram of the structure of the virtual simulation core teaching system

3.1.1 产品结构认知虚拟仿真平台

以 CAD、CAE 软件为支撑,通过虚拟仿真系统构建设计、拆装任务与场景实现学生产品精益研发能力的培养。为涉及产品拆装与研发设计的专业课程提供仿真教学与实训,便于学生与教师互动,有效的改善教学方法方式与教学手段,提升教学效果。包含的模块有:轴系运动认知与拆装教学模块、机械拆装与运动设计实验教学模块。

3.1.2 数字化制造虚拟仿真平台

以 CAM、RE/RP 软件、网络 DNC 为支撑,结合工装夹具、数控机床、工业机器人、智能制造系统等硬件平台,在虚拟现实技术的支持下,形成虚实结合的实验平台开展数字化制造相关实验教学,培养产品的生产制造能力。主要用于制造技术基础、制造技术装备、柔性加工、智能制造等相

关实践环节的仿真教学与实训。其模块有:机床夹具设计实验教学模块、数控加工与 CAD/CAM 实验教学模块、机器人编程及智能制造系统实验模块。

3.1.3 机电设备虚拟仿真平台

在气动、液压、电控等实验室基础上,构建虚实结合的虚拟仿真实验项目,开展机电一体化控制、运行维护相关实验教学,培养设备的运行维护管理能力。其模块有:气动元器件实验教学模块、液压元器件实验教学模块、PLC 虚拟仿真实验教学模块、机电装备故障诊断实验教学模块、机电装备机电联调实验教学模块。

3.1.4 复杂工程案例实训仿真平台

汇集合作企业和科研成果转化而来的优势资源。结合区域特色产业、工程项目,通过转化典型机械装备制造技术、解决方案、前沿成果,结合数

字化、信息化技术,形成了综合性、创新性、系统性和复杂性的虚拟仿真实验教学资源。通过工程典型案例的认知和模拟设计、分析、优化,以及系统、复杂工程案例的模拟演练,全面培养学生的复杂工程问题的解决能力,以保证实践项目教学目标和人才培养目标的实现,进而提升毕业生的未来岗位适应能力。

### 3.2 开放式实验教学管理系统

实验教学管理系统以“时间、空间、资源”三维开放、共享的目标,提供全过程的教学服务。系统以虚拟实验中心门户网站对接教师、学生和管理员,底层通过开放式虚拟仿真实验的教学管理和共享支撑平台连接系统资源,具体的组成架构如图5所示。通过该系统平台,实现教学实施过程的网络化、教学资源的信息化共享。

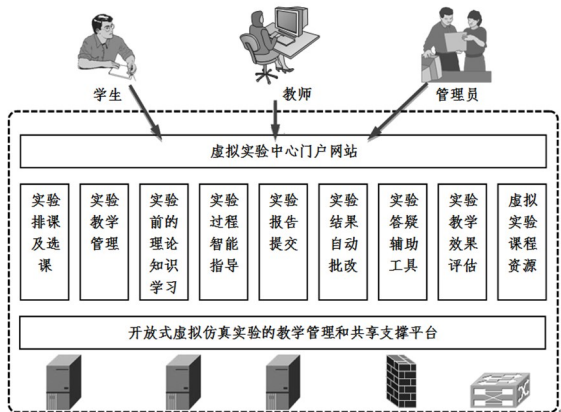


图5 开放式实验教学管理系统

Fig.5 Open experimental teaching management system

## 4 建设成效与特色

装备制造及自动化虚拟仿真实验教学体系的建构与实施,经过多年的不断建设与完善,取得了显著的建设成效,形成了特色,成为了省级虚拟仿真中心。

### 4.1 构建了全过程能力培养的虚拟仿真实验教学体系

结合海西经济区建设对工程实践能力和高信息素养创新人才的需要和机械专业的实际情况,通过对装备制造及自动化虚拟仿真实验教学体系建设的需求分析和现有专业实验教学体系的剖析,整合现有软硬件资源,从实验对象维、实验属性维和实验类型维三个角度构建了虚实结合、逐

层递进的“三维一体”实验体系,实现多方位、多角度、全过程的虚拟仿真实验的参透应用。形成在专业基础课程中,借助虚拟仿真实验实施体验教学,搭建理论教学与实践应用的桥梁;在专业课程中,基于仿真软件、虚拟教学资源构建专业单元技术、专业综合技术的学习场景,实现智能化、信息化技术的应用强化和知识的自我建构;在实践教学环节中,多方位借助虚拟仿真实验教学资源引入复杂工程实际案例,培养解决实际工程问题的能力。

### 4.2 构建了满足智能制造产业发展需求下的虚实结合实验教学资源体系

基于企业技术业务流程对专业技术人才能力的需求,按专业基础与技能、专业单元技术、专业综合能力、复杂工程实际能力四个层次,设计体系化的虚拟仿真实验模块。遵循虚拟源于真实、贴近真实,理论源于实践、指导实践的宗旨,注重科研成果对实验资源的转化,对装备制造要素、自动化流程要素进行数字化转换,形成依托学科、专业课程、教学任务、知识要点的虚拟仿真教学实验项目,形成模块化、系统化的实验教学项目库。在此基础上,搭建了包括精益研发虚拟仿真平台、数字化制造虚拟仿真平台、机电装备虚拟仿真平台、复杂工程案例实训仿真平台等四大核心教学平台。

### 4.3 形成时间、空间、资源三维共享的实验教学服务平台

围绕人才培养、服务社会的建设目标,从实验教学和组织管理两个维度建设虚拟仿真实验教学资源服务和教学管理平台。通过实验资源和组织管理的有效融合,构建开放、共享可持续发展的虚拟仿真资源共享平台,实现了时间、空间、资源三维共享。基于平台提供的全开放式的实验教学资源,扩大了学生的自主选择空间。

## 5 结语

为满足智能制造背景下对人才培养的新要求,借助虚拟仿真技术,重塑装备制造及自动化虚拟仿真实验体系,构建了“三维一体”的虚实结合实验体系,形成了“四平台、四层次”的虚拟仿真实验教学资源。通过虚拟的信息化资源与真实的实训场景、设备的结合,实现专业教学过程与岗位工作过程在信息化环境下的完全对接,实现人才全流程实践能力的培养。通过“时间、空间、资

源”三维共享的教学服务平台,能激发学生的学习、自主创新能力的培养。  
学习兴趣,引导学生自主探究,自我评价,实现自主

参考文献:

[1]王昕,刘军,刘新宇. 工业 4.0 与智能制造背景下对工业工程专业人才培养的几点思考[J]. 教育教学论坛, 2019 (25): 254-255.  
[2] 张戈, 张学军, 朱玉平, 等. 智能制造背景下工程训练中心建设探究[J]. 实验技术与管理, 2017, 34(2): 209-213.  
[3] 马登成, 张新荣, 胡永彪, 等. 工程机械虚拟仿真实验教学中心体系建设[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(4): 143-146, 183.  
[4] 蔡钊, 陈爱城, 王明兹, 等. 虚拟仿真实验教学中心网络化实验教学体系的构建[J]. 实验室科学, 2018, 21(1): 121-123, 127.  
[5] 江晓敏. 虚拟现实技术辅助下的高校健身气功教学研究[J]. 福建工程学院学报, 2018, 16(2): 199-204.  
[6] 周世杰, 吉家成, 王华. 虚拟仿真实验教学中心建设与实践[J]. 计算机教育, 2015(9): 5-11.

(责任编辑:方素华)

(上接第 390 页)

从表 2 所示可以看出,相较编号为 24 的线路,编号为 16 的线路为初始故障线路时,发生连锁跳闸的危险度更高。

6 结论

电网的连锁跳闸现象与初始故障发生前电网的运行状态密切相关。当电网运行于临界状态附

近时,是相当危险的,一旦发生初始故障,极易引起连锁跳闸。本文结合了连锁跳闸实际行为中继电保护的動作,提出基于危险度分析的方法,给出了较为严密的数学表示形式,可有效评估电网当前的运行状态是否处于临界状态及其与临界状态距离的远近,并通过仿真验证了方法的有效性。该方法可为后续的研究提供一定的借鉴。

参考文献:

[1] 李勇, 刘俊勇, 刘晓宇, 等. 基于潮流熵的电网连锁故障传播元件的脆弱性评估[J]. 电力系统自动化, 2012, 36 (19): 11-16.  
[2] 丁明, 过羿, 张晶晶. 基于效用风险熵的复杂电网连锁故障脆弱性辨识[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(17): 52-57.  
[3] 潘一飞, 李华强, 贺含峰, 等. 小世界网络下电网连锁故障预测[J]. 电力系统及其自动化学报, 2013, 25(2): 148-153.  
[4] 李扬, 苏慧玲. N-k 故障下影响电力系统脆弱性的关键线路研究[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(3): 60-67.  
[5] 邓慧琼. 考虑连锁跳闸的电网安全裕度研究[J]. 福建工程学院学报, 2016, 14(3): 255-261.  
[6] 邓慧琼, 李培强, 郑荣进. 电网连锁故障中的受扰支路及其关关节点分析[J]. 福建工程学院学报, 2015, 13(3): 223-228.  
[8] 陈珩. 电力系统稳态分析[M]. 3 版. 北京: 中国电力出版社. 2007: 75-76.  
[9] 张伯明, 陈寿孙, 严正. 高等电力网络分析[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2007.  
[10] HOLLAND J H. Adaptation in natural and artificial systems[M]. The MIT Press, 1992. DOI: 10. 7551/mitpress/1090. 001. 0001.

(责任编辑:方素华)