

木器绿色涂料涂装虚拟仿真实验建设与实践

李小杰, 刘 仁, 罗 静*, 刘敬成, 刘晓亚

(江南大学化学与材料工程学院, 无锡 214122)

摘要: 涂料涂装是高分子材料与工程专业学生工程实践的重要环节。但是由于占地多、高成本, 存在易燃、溶剂排放等安全环保隐患问题, 涂装实践教学资源短缺, 难以在高校里开展, 这种现象严重制约了创新意识及高素质人才的培养。我们采用虚拟仿真技术开发了木器绿色涂料涂装虚拟仿真实验, 将实际实验中的木器涂装环境、涂装设备和涂装工艺流程的操作过程仿真呈现, 解决了涂料涂装实验中存在的高成本、高风险、高消耗、占地大的实验教学瓶颈, 并突破了传统涂装实验教学时间和空间上的局限性, 有效拓展与延伸实验教学的内容与宽度、时间和空间, 使学生更好地理解涂装环境、涂装设备、涂装工艺、固化原理、生产安全等, 增强学生的实践能力和工程意识。

关键词: 虚拟仿真实验; 木器涂料; 绿色涂料; 涂装工艺

涂料是一种施涂在物体表面能形成薄膜而起保护、装饰或其他特殊功能(绝缘、防锈、防霉、耐热等)的一类液体或固体材料。传统涂料主要来源于植物油基的成膜物, 在我国主要为桐油和大漆。自 20 世纪初以来, 尤其是 20 世纪 30 年代以来, 高分子科学的快速发展使得以石油为原材料的合成树脂大量涌现, 这些合成树脂性能优良、质量稳定、价廉易得, 目前占据涂料工业的主要市场。作为高分子材料应用领域中的一个重要方向, 涂料在汽车、家具、建筑、航空航天、军事等领域起着至关重要的作用, 已成为衡量一个国家国民经济发展程度的重要标志之一。国家发改委《产业结构调整指导目录》《涂料工业十二五规划》及《涂料行业科技中长期发展规划》等均提出重点发展水性、粉末、无溶剂、光固化等环境友好、资源节约型涂料, 大幅降低传统溶剂型涂料在涂料工业中所占份额。以光固化、水性涂料等为代表的绿色涂料已是建设美丽中国, 勾画健康生活的重要手段。

立足涂料专业特色发展的江南大学高分子材料与工程专业经过 20 年发展, 成长为国家级“特色专业”和一流专业, 并通过国家工程教育专业认证, 已建立了系统的涂料化学基础—涂料树脂合成—涂料制备表征—涂料涂装的理论和实践教学体系^[1~3]。涂料涂装是高分子材料与工程专业学生工程实践的重要环节, 但其过程常需要在高温、易燃环境中进行, 存在着潜在的危险, 且占地多、高成本、高消耗, 还造成环境污染, 使得涂料涂装实践活动受到很大限制, 涂装实践教学资源短缺, 与实际技术发展严重脱节! 这导致学生对具体的生产过程和设备工作情况缺乏理解, 学习效果较差, 严重制约了创新意识及高素质人才的培养。虚拟仿真训练系统很好地解决了这一难题, 通过模拟影像营造出近似真实的场景, 使学生能够在近似真实的环境下开展涂装训练, 既达到训练效果, 又避免了以上问题。另外, 虚拟仿真实验教学可以不受时空的限制, 学生可以根据需要进行“重复实验”“随时实验”“移动实验”, 这样课堂教学能够获得时间和空间上的延伸, 学生的自主性和个性得以充分拓展, 学生能够真正实现自主学习^[4~7]。所以, 在实践教学条件受限的情况下引入虚拟仿真实验教学是非常必要的。

我们从教学实际出发, 以占全球涂料市场总价值约 15% 的木器涂料为代表, 开发了木器绿色涂料涂装虚拟仿真实验, 将实际实验中的木器涂装环境、涂装设备和涂装工艺流程的操作过程仿真呈现(图 1),

10.14028/j.cnki.1003-3726.2022.12.021

收稿: 2022-01-12; 修回: 2022-02-17;

基金项目: 江南大学 2021 年本科教育教学改革项目(JG2021070), 涂料方向课程群建设的研究与实践;

* 通讯联系人: 罗静, E-mail: jingluo19801007@126.com.

解决了涂料涂装实验中存在的高成本、高风险、高消耗、占地大的实验教学瓶颈,结合线下实操,符合教育部“能实不虚,虚实结合”的虚拟仿真项目建设理念。通过基于虚拟仿真实验的木器绿色涂料和涂装实验,学生可以开展涂装线设计、仿真体验设备操作、虚拟进行木器涂装、掌握涂料化学交联原理、加深环保安全理念,切实提高学生对绿色涂料和涂装的认知及实践水平,巩固相关知识的掌握和对涂料行业的了解,提高学生的科学素养和工程能力。本实验已在我校高分子材料与工程专业本科生中应用了 2 年,取得了良好的教学效果。

木器绿色涂料和涂装虚拟仿真实验

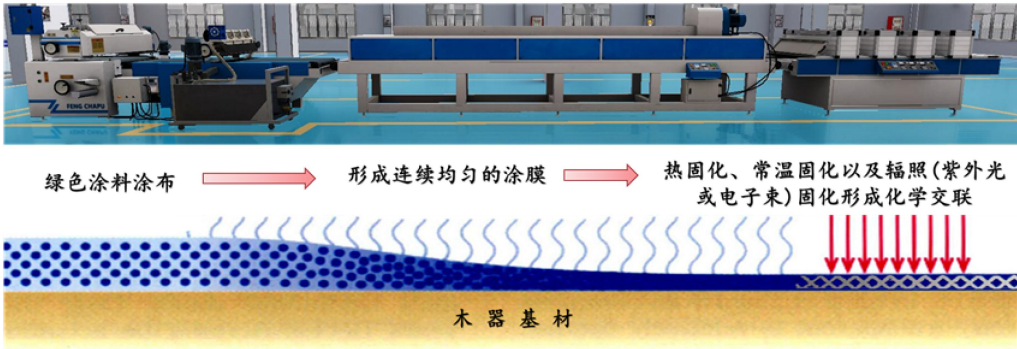


图 1 木器绿色涂料涂装虚拟仿真实验示意图

Figure 1 The illustration of simulation experiment of green coating on wood

1 实验目的

(1)了解并学习木器涂料的组分、原漆性能、施工性能、漆膜性能及环保性能,能够根据需求正确选用。

木器涂料主要包括底漆和面漆。底漆由成膜物质、填料和助剂组成,主要是用于填充毛孔、提高涂膜的厚度、使物体达到一定的装饰效果。面漆由成膜物质、颜料和助剂组成,主要是起装饰作用和保护作用。从功能上,面漆必须具备相当的保光保色、硬度、附着力、流平性等性能。在控制界面设置了底漆和面漆各个组分选项的按钮,这些按钮均有相应的说明文字,解释每种组分的作用。如果搭配选择错误,系统会进行提示。

(2)了解并学习这些典型木器涂料涂装设备(涂布机、流平机、固化机、砂光机及除尘机)的基本结构、运行原理、适用范围、操作流程及注意事项、常见故障及处理方法,以及日常维修维护方法。并深入了解和掌握刷涂、淋涂、辊涂及喷涂涂装工艺的原理及操作。典型木器涂装 3D 虚拟仿真,使学生掌握涂料施工过程。

(3)了解并学习木器涂料涂装生产线上设备的布局规划。木器涂料涂装生产工艺包括基材处理、除尘、涂料涂布、涂层固化、打磨、成品质量检测等工序。根据木器材料属性和形状以及所用涂料的物化性质及固化成型方式,考虑各种生产设备的适用范围、各个生产工序之间的联系、作业区间的位置关系等多种因素,在虚拟环境下对生产设备进行选型、搭配及布局规划,搭建合理的虚拟木器涂料涂装生产线,提高生产效率以及设备和空间利用率。

(4)学习并掌握完整的木器涂料固化工艺,实时监测固化设备的运行状态,充分了解和学习常温固化、热固化、紫外光固化、电子束固化的原理和操作。了解各项固化技术的环保性,掌握固化工艺参数与漆膜性能之间的联系,能够通过调整和设定相应工艺参数来实时调整生产效率,解决制品漆膜缺陷及表面问题。

(5)了解并能排除施工现场整洁度、通道通畅性、噪声、刀头与辊轮、高压、有机挥发成分(VOC)、紫

外线、高温、粉尘等因素可能带来的安全隐患,做好安全技术措施及个人防护措施,如佩戴护目镜、口罩、手套、耳塞等;在源头和过程中控制 VOC 的产生,完善废气收集,提升废气治理水平。

2 实验仪器设备

木器涂料涂装 3D 虚拟仿真软件(包括通讯软件、三维虚拟场景、控制系统和智能评价系统)和线下沉浸式 VR 虚拟仿真平台(主动式 VR 大屏幕和 35 台沉浸式视觉 PC 系统)。

3 实验内容与步骤

本实验采用 3D 虚拟仿真的手段,对木器涂料涂装工艺进行模拟仿真,对工厂布局、设备结构和生产操作等内容进行整合和模拟,内容包括模拟真实木器涂料涂装工艺的认识实习、主要设备学习以及生产工艺过程操作,培养学生的工程认知和生产操作能力以及安全与环保意识。实验步骤具体可分为五大块:①实验人员准备;②任务领取;③涂装工艺设计;④设备运行;⑤涂布固化,每一大块又可将其进行分割,分为不同的步骤,具体如图 2 所示。实验操作部分需 2 个课时,共计 10 余个步骤,结构清晰,实验参数可自主配置。

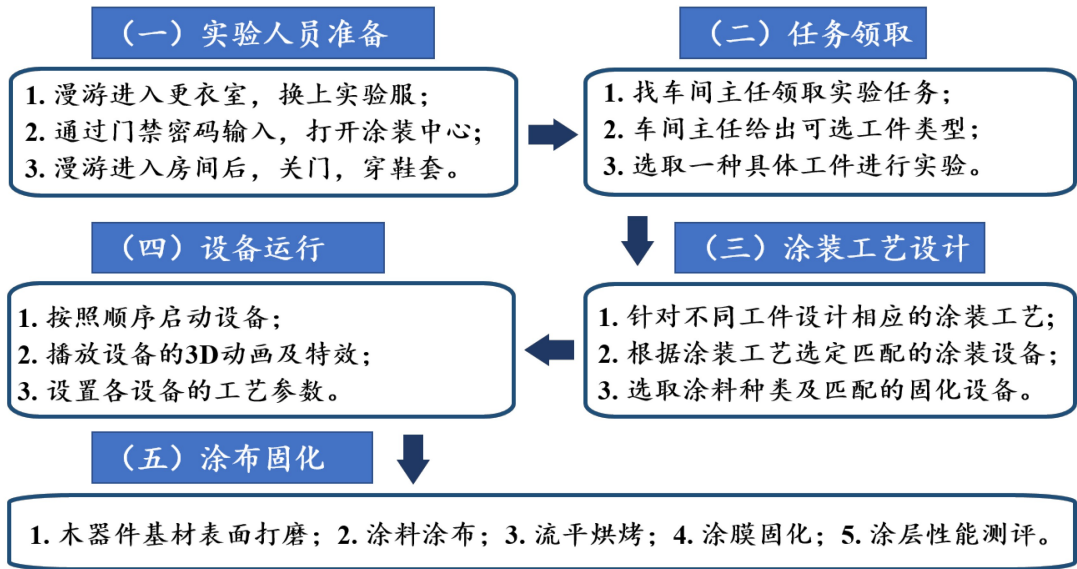


图 2 虚拟仿真实验具体步骤
Figure 2 The exact steps of the simulation experiment

(1)木器涂料涂装工厂及主要设备 3D 虚拟仿真认识实习

以 3D 虚拟仿真技术模拟木器涂料涂装生产的工厂布局和设备构造为例。进入虚拟工厂,以鸟瞰的方式了解工厂的整体布局、设备分布等(图 3),对工厂有一个整体的认识。通过自主漫游,熟悉木器涂料涂装的基本原理、生产的主要流程,了解各个工序涉及的生产设备、设备 3D 构造及动态运行原理,熟悉环保与安全生产知识以及应急处理方法。

(2)木器涂料涂装 3D 虚拟仿真实验

基于动态过程仿真软件运行平台开发,利用虚拟现实技术,以 3D 形式模拟木器涂料涂装工艺操作过程。在 3D 仿真界面模拟真实生产工艺过程及设备运行情况(图 4),包括基材处理、除尘、涂料涂布、涂层固化、打磨、成品质量检测等木器涂料涂装的完整过程。在控制界面模拟真实生产工艺参数的设置、控制和调控(图 5),如静电喷涂包括了静电压力参数的设定、流速压力参数的设定、雾化压力参数的设定、涂料的参数设定、喷涂距离参数的设定、喷嘴型号参数的选定、输送链速度参数的设定等。还设置了冷态



图 3 厂区鸟瞰场景和角色漫游
Figure 3 Aerial view of the plant area and role roaming

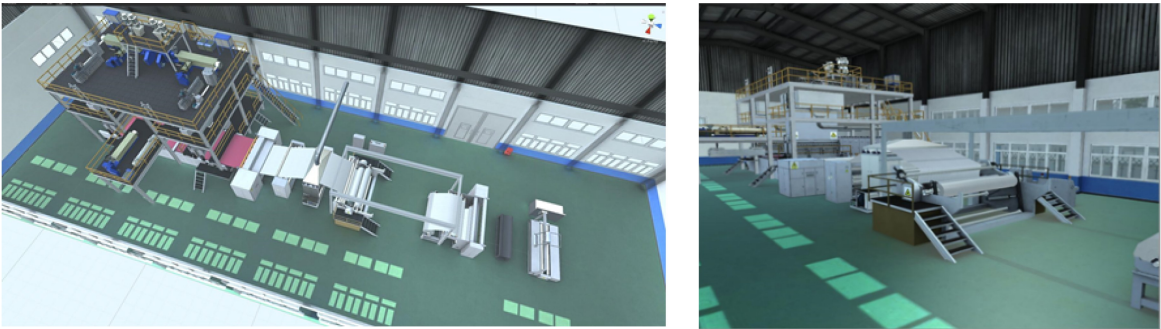


图 4 设备运行
Figure 4 Equipment operation

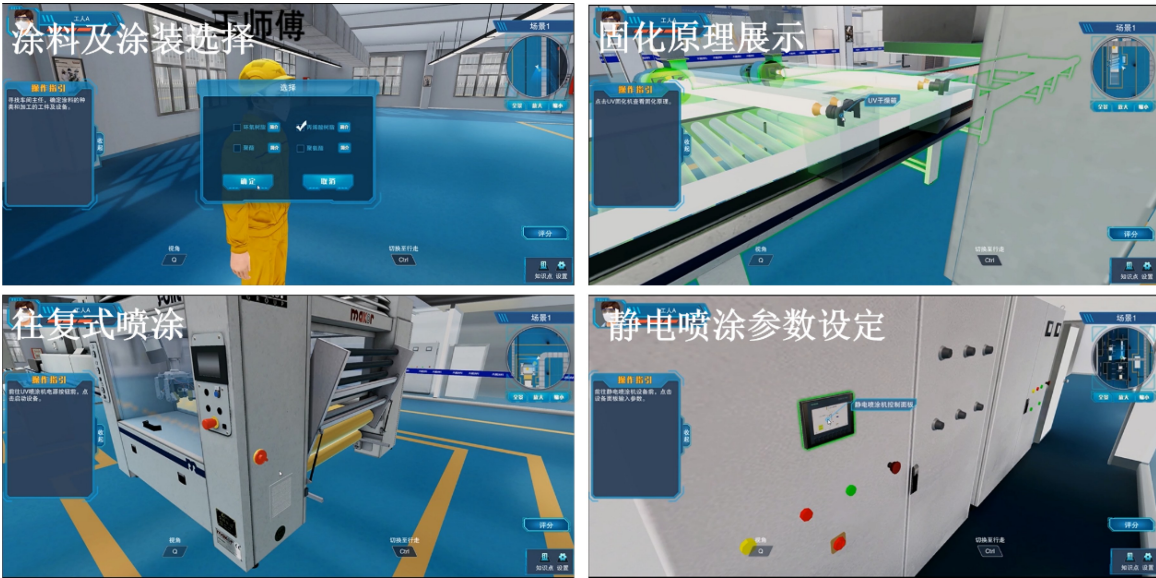


图 5 涂装过程中各种参数的设定
Figure 5 The setting of various parameters during the coating process

开车、正常操作、正常停车、常见事故处理等情境，最终构建“3D 虚拟现场+控制中心”相结合的模式。

通过三维建模，模拟真实涂料涂装生产的工厂布局、设备结构等，动态地展示涂料的种类、涂装工艺以及不同的固化方式，开展涂装线设计和仿真体验设备操作，虚拟进行木器涂装，掌握涂料化学交联原

理,加深环保安全理念。利用虚拟现实技术展现涂装设备的基本结构、运行原理、以及适用范围,并利用所选定的涂装设备进行涂装实验。学生可以实现自主操控、按任意路径漫游、操作相关设备仪器、设置生产工艺参数等,为学生提供沉浸式的人机交互体验。

在实验数学模型设计过程中,与实体木器涂料涂装公司开展合作,收集整理实验数据,参考了一百多组真实实验数据,不断对模型进行优化设计,对真实的涂装过程进行数值模拟,构造了涂装设备、涂装工艺、涂料配方、固化条件和涂层性能之间的变化函数。通过建立以上模型,每个学生的实验结果均不一样,同时可以反映真实实验的数据变化规律,最大程度地重现真实实验的数据测量过程和结果^[7],使知识传授和实践训练系统化紧密对接,达到实验教学和实践训练的目的。

4 教学模式

(1)集中讲解(2 课时)

在仿真教室进行理论和软件教学,对实验内容中规定学生必须掌握的基本概念和理论知识进行讲解(图 6),总体上讲解实验目的、工艺流程、软件界面及操作、课程具体安排、注意事项等。对于一些比较容易出现问题的操作,先讲清要领再让学生操练。重点对背景工艺流程、实验设备、软件中自动控制设备的调节和设置等进行讲解。



图 6 集中讲解场景

Figure 6 The scene of centralized teaching

(2)实际仿真实验(6 课时)

学生掌握知识点后,在实验课进行虚拟仿真实践,在控制界面与 3D 虚拟现场之间进行协调操作,教师可观察学生在线学习及操作过程;在学生熟练掌握三维仿真软件使用的基础上,教师对软件进行设置,设定考核策略、考核时间等参数,通过软件系统对学生的实践操作过程进行评价。

(3)评价体系

建立评分系统,对学生在虚拟现实场景和控制系统中的操作进行实时评定。设立教师站,设置软件的培训模式、授权管理、组织考试、统计成绩等。评价体系将对学生练习时间、练习成绩、学生自主操作的成绩情况及问题分析等进行考核(图 7),使教师能及时了解学生对流程的掌握程度和生产操作熟悉情况,以便在课程中给出针对性解决方案。

本实验中,学生单人单机操作,虚拟仿真实验平台可以跟踪记录学生整个实验项目的学习情况,软件将根据学生的操作痕迹(如是否按照实验步骤操作,是否符合操作规范等)进行形成性评价,并实现在线测试与及时评价反馈(图 8)。本课程采用虚拟仿真实验操作成绩与在线测试相结合模式对学生进行评价,从预习到实验操作到实验报告,学生对于木器绿色涂料、涂布工艺、化学交联机理的知识得到递进、反复的巩固。



图 7 学习记录考核界面

Figure 7 The interface of learning record evaluation



图 8 在线测试与及时评价反馈界面

Figure 8 The interface of online test and timely feedback

5 实施效果

(1)教学内容更加形象、生动、直观

仿真软件将实际的木器涂料涂装生产线真实呈现,最真实贴切地了解涂料涂装生产过程中各工艺参数的设置、控制和调控。学生可以进入虚拟厂区进行实际观察和操作,自由选择不同的涂装方式和固化手段,并能直接观察到涂装工艺的选择对所得成品的效果。如此形象、生动、直观的教学内容可以很好地提升教学效果。

(2)教学实践过程更安全环保

涂料涂装关系到很多较高或大型的实验设备(如涂布机、流平机、固化机、砂光机、高压柱塞泵、空气喷枪等),学生操作真实实验设备的机会较少,初学者使用的危险性也较高。另外,涂料涂装往往会用到大量溶剂,且基材处理打磨过程中会产生大量粉尘,未使用完的涂料需要专业三废处理,因此存在健康和环保风险。在计算机上开展虚拟仿真教学,安全系数将大大提高,学生能操作的内容也大大增多,从基材

的处理、涂料的涂布到涂层的固化、成品质量的检测等都能通过软件模拟进行,并能直观地看到各个条件下的运行状态。

(3) 教学成本更节约

木器涂料涂装车间占地面积较大,所涉及到的设备价格较高,且消耗大,往往涂装一次就需要使用数公斤涂料,教学成本较大。虚拟仿真实验采用计算机模拟生产,可以大大节约成本,即便学生操作失误,也可以重复进行,不必担心原材料消耗的问题。

(4) 解决工厂实习难的困局

涂料企业普遍存在安全和环保问题,生产过程也日趋自动化、集成化、连续化,想找到合适的实习企业越来越难,学生能真正动手的机会也越来越少。通过虚拟仿真项目可以帮助学生更好地理解涂装环境、涂装设备、涂装工艺、固化原理、生产安全等,增强学生的动手能力和工程意识。

6 总结和展望

本文所述的虚拟仿真实验线上平台部署在阿里云服务器,保证了全国各地访问大资源时的带宽,能支持 500 个学生同时在线并发访问和请求,线下平台依托学院线下沉浸式 VR 虚拟仿真平台,包括主动式 VR 大屏幕和沉浸式视觉 PC 系统,能同时满足一个班级的线下教学要求。本实验已通过国家信息安全二级保护,并申请了软件著作权“木器涂料绿色涂装虚拟仿真实验软件”。实验于 2019 年 9 月试运行,2020 年 9 月正式上线,已在我校高分子材料与工程专业的高分子综合实验和生产实习中开设该虚拟仿真实验,服务人次 500 次,调查结果显示大部分学生对引入虚拟仿真实验教学持肯定态度,普遍反映加深了对涂料制备、涂料涂装和涂料固化的理解和掌握。该虚拟仿真实验还对外开放,可为涂料生产和使用企业培养具有综合能力的操作技术人员和管理人员。后面将进一步通过中国涂料协会、《涂料工业》期刊等组织的会议平台进行软件宣传,发挥面向社会的教学实践平台的作用,推进行业技术水平的进一步提升。

参考文献:

- [1] 罗静,刘仁,施冬健,魏玮,东为富,刘晓亚. 高分子通报,2021,(5):107~114.
- [2] 罗静,刘仁,刘晓亚. 化学教育,2021,42(2):6~10.
- [3] 刘敬成,罗静,刘仁. 中国涂料,2021,36:65~69.
- [4] 宋莎. 化学教育,2019,40(22):74~78.
- [5] 张万群,朱平平,邵伟,胡万群. 大学化学,2021,36:2109094.
- [6] 程捷,闫红强,方征平,郭正虹. 高分子通报,2021,(8):63~68.
- [7] 张海波,刘海燕,丁琼,黄驰,赵发琼,刘欲文. 大学化学,2021,36(1):2006051.

Construction and Practice of Virtual Simulation Experiment of Green Wood Coating

LI Xiao-jie, LIU Ren, LUO Jing* , LIU Jing-cheng, LIU Xiao-ya

(School of Chemical and Material Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Coating preparation and coating is an important part of engineering practice for students majoring in polymer materials and engineering. However, due to the large area of land, high cost, flammability, solvent emissions and other safety and environmental protection problems, coating practice teaching resources is in great shortage, which seriously restricts the cultivation of innovative consciousness and high-quality talents. We apply virtual simulation technology to develop the virtual simulation experiment of wood green coating, and simulate the operation process of wood coating environment, coating equipment and coating process in the actual experiment, which solves the experimental teaching bottleneck of high cost, high risk, high consumption and large footprint in coating experiment. The developed virtual simulation experiment break through the traditional coating experiment teaching time and space limitations, effectively extend the experimental teaching content, and help students better understand the relevant process principle, operating environment, process and control system, production safety.

Key words: Virtual simulation experiment; Wood coating; Green coating; Coating practice