

挤出机(挤出造粒)仿真场景构建及其虚拟实验教学实践

何志才,余彬彬,杨旭宇,王庆丰,闫瑞强,武承林,肖圣威*

(台州学院 医药化工学院,台州 318000)

摘要:挤出造粒是模塑产业中重要的生产工艺环节之一,在高分子材料专业本科教学人才培养方案与专业核心能力考核中均有体现。为了提高学生对挤出机(挤出造粒)知识和相关技能的掌握,本文详细介绍了利用虚拟现实技术构建的挤出机(挤出造粒)仿真场景及其虚拟实验教学实践,该成果获得“挤出机(挤出造粒)工艺仿真软件 V1.0”软件著作权(登记号:2019SR1039132)。通过开设挤出机(挤出造粒)虚拟仿真实验可实现学生在虚拟环境中模拟进行挤出(挤出造粒)操作工艺,激发学生学习专业知识的兴趣,提高学生实际操作和分析解决问题的能力。

关键词:挤出机(挤出造粒);虚拟仿真;成效分析;学生评价

模塑产业是台州的“千亿”产业之一^[1],其发展需要大量综合素质全面、工程实践能力较强、具备创新创业能力的“一线”高分子工程技术人才。作为台州本地高校,台州学院高分子材料与工程专业承担了人才培养与智力支持的责任,重点聚焦塑料成型加工这一模塑核心领域,科学制定人才培养方案,专门开设了《高分子材料成型加工》《聚合物成型机械》《聚合物共混改性原理》《卓越工程师计划》《专业综合实训》等理论和实践课程,着力培养高分子工程技术人才所必须的实验操作能力、工程实践技能与科学研究方法^[2]。

在高分子工程技术人才培养过程中,实验条件对人才培养质量影响明显,高分子专业本科教学大纲和专业核心能力考核中对挤出机知识及操作技能掌握都有明确要求,但挤出机属于大型工程机械,学校实验室仅配置一台,难以满足大量学生实践教学需要,在可预期的将来也难以解决此设备所需场地及其相应配套问题。更为重要的是挤出机工作时处于封闭状态,教学过程中不便观察设备内部结构及物料状态变化,学生感性认识不深,高分子工程技术人才培养质量难以得到保证。

从以上分析可看出,传统教学模式和现有实验条件均难以满足高分子材料专业本科教学的人才培养要求,借助于现代信息技术特别是先进的虚拟现实技术有望解决以上问题。为此,本文从构建挤出机(挤出造粒)仿真场景并开设相应的虚拟仿真实验来展开,通过虚拟仿真实验实现传统理论教学与传统实验教学的无缝对接。

1 挤出机(挤出造粒)仿真场景构建

挤出机是通过挤出机料筒和螺杆转动作用实现物料塑化和向前推送,连续通过挤出机头而制成各种截面制品(或半制品)的一种塑料加工设备,利用虚拟现实技术可构建挤出机(挤出造粒)仿真场景,高度还原挤出造粒过程。学校实验室现有挤出机为科倍隆(南京)机械有限公司的同向双螺杆挤出成型机,型

10.14028/j.cnki.1003-3726.2022.10.018

收稿:2021-07-31;

基金项目:浙江省“十三五”高校虚拟仿真实验教学项目(2020315),浙江省基础公益研究计划项目(LGG21E030002),台州市科技计划项目(21gya28),台州学院教学成果培育项目(2022019),浙江省“十三五”省级产学研合作协同育人项目(119);

作者简介:何志才(1978-),男,博士,副教授,主要从事高分子材料成型加工及改性研究。Tel:15868692016, E-mail: hezhicai@tzc.edu.cn;

* **通讯联系人:**肖圣威(1985-),男,博士,副教授,主要从事高分子软材料制备与性能研究。Tel:15868841931, E-mail: xiaosw@tzc.edu.cn.

号为 CTE-35,其仿真场景构建有四部分,分别为控制柜仿真与参数预设、挤出主机仿真、冷却系统仿真和切粒机仿真。

1.1 控制柜仿真与参数预设

CTE-35 挤出机的控制柜是人机对话窗口,其上归集了挤出机绝大部分预设参数与操作指令,控制柜的仿真场景构建对整个仿真软件建设起决定作用。CTE-35 双螺杆挤出机的控制柜如图 1(b)所示,根据该真实场景构建的仿真场景如图 1(a)所示,主要包括显示及警示灯、温度设定、功能设定及显示面板、喂料旋钮、功能按钮和电源开关六个部分。

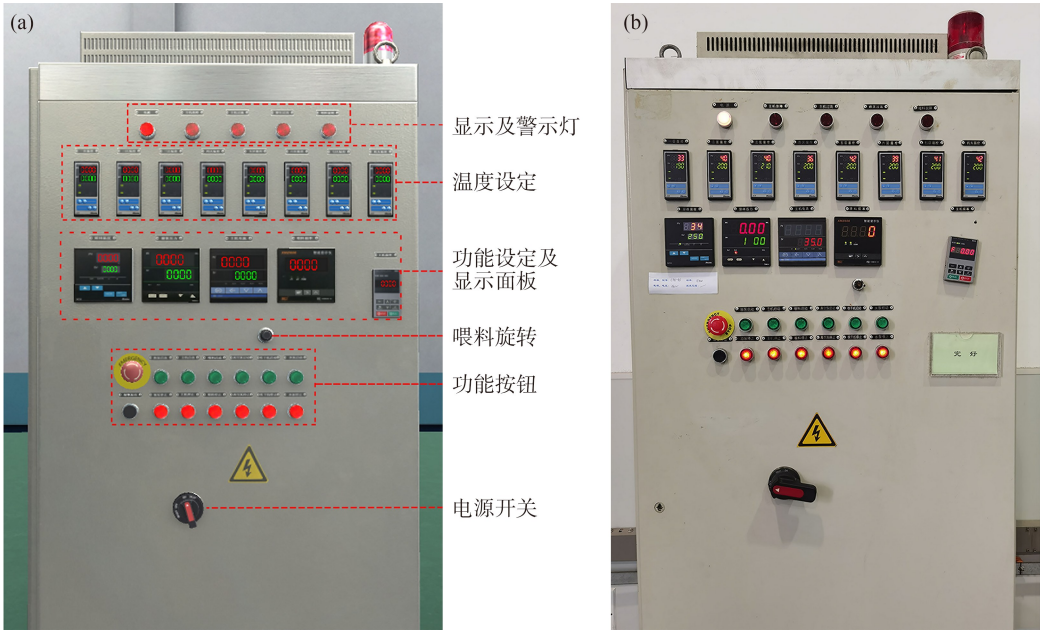


图 1 控制柜(a)仿真场景与(b)真实场景对比

Figure 1 Control cabinet comparison of (a) simulation scene and (b) real scene

显示及警示灯区域包括电源指示灯、主机故障警示灯、主机过流警示灯、熔压过高警示灯和喂料故障灯,该区域警示灯仿真方便学生了解故障源头并掌握排除方法。

温度设定区域用来控制螺杆及机头的温度,CTE-35 双螺杆挤出机主要用于通用塑料制备,因此该仿真场景预设了聚丙烯(PP,预设挤出温度:100~240 ℃)、聚乙烯(PE,预设挤出温度:100~220 ℃)、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS,预设挤出温度:100~250 ℃)和尼龙 6(PA6,预设挤出温度:100~270 ℃)四种塑料,学生可根据所掌握知识完成挤出螺杆七个区域及挤出机头温度设定。

功能设定区域包括熔体预警温度、熔体预警压力、主机预警电流、喂料频率和主机频率设定及其显示面板,其中 PP、PE、ABS 和 PA 熔体预警温度预设值分别为 220~240 ℃、210~220 ℃、240~260 ℃、270~290 ℃,熔体预警压力预设值为 10~15 MPa,主机预警电流预设值为 32~40 A,喂料频率预设值为 2~15 Hz,主机频率预设值为 5~35 Hz。

功能按钮区域包括急停、复位、水泵启停、油泵启停、主机启停、喂料启停、真空泵启停和吹风机启停,预设开机顺序:启动水泵→启动油泵→启动主机→启动喂料→启动真空泵→启动吹干机,预设关机顺序:关闭喂料→关闭主机→关闭油泵→关闭真空泵→关闭吹干机→关闭水泵。

1.2 挤出主机仿真

CTE-35 挤出主机功能是把塑料原料融化并通过口模挤出成料条,主要包括加料系统、真空系统、主螺杆及加热套、电动机及联轴器以及温度调节系统,真实场景如图 2(b)所示,构建的仿真场景如图 2(a)所示。加料系统包括料斗、搅拌器、加料电机和加料螺杆,可以实现粒料和粉体连续输入主螺杆;真空系

统包括真空电动机、真空阀门和真空表,其目的是抽出螺杆中水汽及其他小分子物质,提高加工塑料性能;主螺杆及加热套提供加工塑料熔融所需的热量及共混所需的剪应力,主螺杆的结构、功能及物料状态变化是本场景构建的关键点;主机电动机及联轴器部分是挤出螺杆的动力源,其场景构建倾向于联轴器使用,预设条件为带上石棉手套转动联轴器,判断物料温度设置的合理性,防止螺杆被不当操作损坏;温度调节系统包括电磁阀自动调温和冷却水循环系统,保障加热套温度的恒定性。

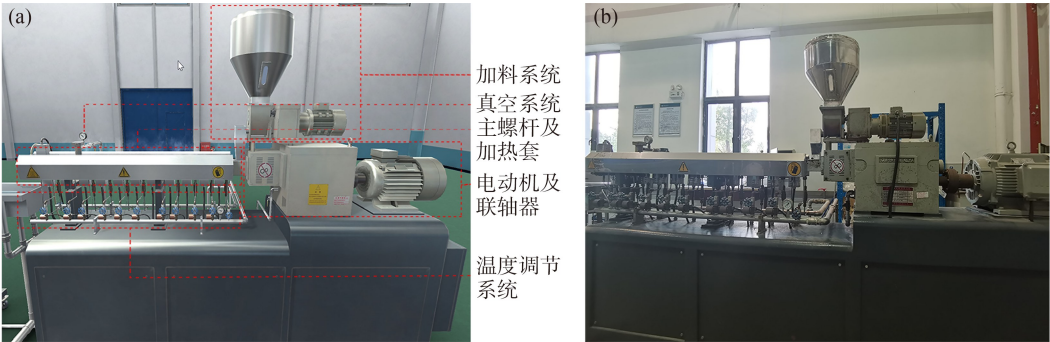


图 2 挤出主机(a)仿真场景与(b)真实场景对比

Figure 2 Extruder comparison of (a) simulation scene and (b) real scene

1.3 冷却系统仿真

CTE-35 挤出机的冷却系统主要功能是冷却定型挤出料条,包括冷却水槽和风冷系统,真实场景如图 3(b)所示,构建的仿真场景如图 3(a)所示。冷却水槽是传统冷却方式,辅以风冷系统,可以吹去料条上水分,冷却定型效率高。

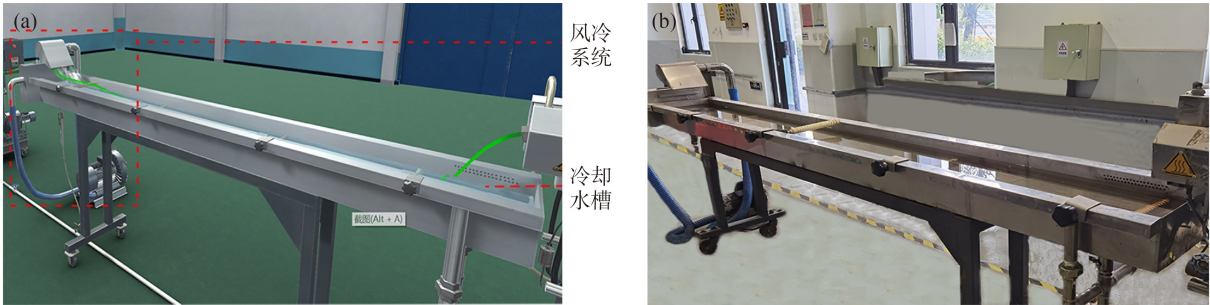


图 3 冷却系统(a)仿真场景与(b)真实场景对比

Figure 3 Cooling system comparison of (a) simulation scene and (b) real scene

1.4 切粒机仿真

CTE-35 挤出切粒机功能是将挤出料条切成塑料颗粒,其结构包括调速表、料条牵引及切粒系统和切粒电机,真实场景如图 4(b)所示,构建的仿真场景如图 4(a)所示。调速表可设定和显示刀具转速,参数预设 50~1000 r/min;料条牵引及切粒系统包括牵引轮、压紧轮和切粒刀具,牵引轮和压紧轮可以根据切粒刀具转速快慢输送料条,切粒刀具为旋转滚刀,可将挤出料条切为符合要求的塑料颗粒。

2 挤出机(挤出造粒)虚拟仿真实验教学实施

2.1 虚拟仿真实验安排

挤出机(挤出造粒)虚拟仿真实验可为高分子材料与工程及相关专业本科学生开设,实验的先修课程为《高分子材料成型加工》《聚合物成型机械》《聚合物共混改性原理》,故该实验宜安排在相关专业基础课之后毕业设计之前(即第六学期或第七学期),实验安排 8 课时,具体安排如表 1 所示。实验场地安排在

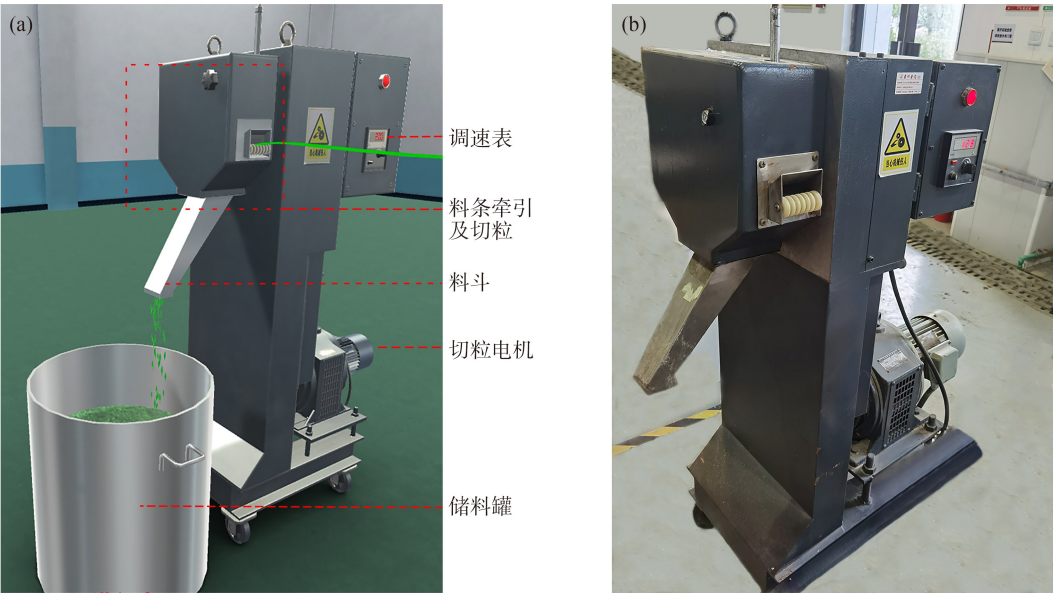


图 4 切粒机(a)仿真场景与(b)真实场景对比
Figure 4 Pelletizer comparison of (a) simulation scene and (b) real scene

学院虚拟仿真实验室,实验完成后,学生需将实验过程中出现的问题、现象、结果等进行分析总结并上交实验报告。

表 1 实验安排

Table 1 Experimental schedule

实验部分	计划学时	具体内容	涉及知识点
课前任务布置及理论讲解	2	以集中教学方式介绍实验目的、实验原理、实验步骤、数据处理和注意事项等,并对挤出机(挤出造粒)虚拟仿真软件使用进行演示教学。	挤出机基本知识,挤出螺杆结构及功能,挤出造粒,共混改性。
挤出机(挤出造粒)虚拟仿真软件使用	2	学习挤出机(挤出造粒)虚拟仿真软件上所归集的挤出机简介、工作原理和操作步骤等基本知识,在“演示模式”和“操作模式”下学习挤出机的操作。	挤出机基本知识,挤出机(挤出造粒)虚拟仿真软件操作步骤。
完成软件嵌入的四个共混改性实验	4	完成 POE-g-MAH 增韧 PP/GF、EUG 增韧 GF/HDPE、EPDM-g-MAH 以及 POE-g-MAH 增韧 PA6、PBT 增韧改性 ABS/PET 四个实验,做好数据记录。	挤出造粒,增韧改性,相容剂和界面作用。

2.2 虚拟仿真实验过程

在“演示模式”下学习挤出基本知识,在“操作模式”下学习挤出操作技能,如图 5(a,b),系统通过操作准确度自动考核评分,如图 5(c)所示。

选择并完成虚拟仿真软件嵌入的 POE-g-MAH 增韧 PP/GF、EUG 增韧 GF/HDPE、EPDM-g-MAH 以及 POE-g-MAH 增韧 PA6、PBT 增韧改性 ABS/PET 四个共混改性实验,如图 6 所示,做好数据记录。

2.3 实验数据记录

为提高学生对挤出机和共混改性的学习效果,需记录实验过程中的各种参数,具体包括原料名称(配方)、料筒和机头温度(℃)、螺杆频率(Hz)、喂料频率(Hz)、熔体压力(MPa)、熔体温度(℃)、主机电流(A)、切粒速度(r/min)等,并要求对实验数据进行分析总结,以期解决实际问题。



图 5 虚拟仿真实验过程:(a)实验模式选择,(b)实验操作,(c)考核评分

Figure 5 Virtual simulation experiment process: (a) experiment mode selection, (b) experiment operation, (c) assessment score

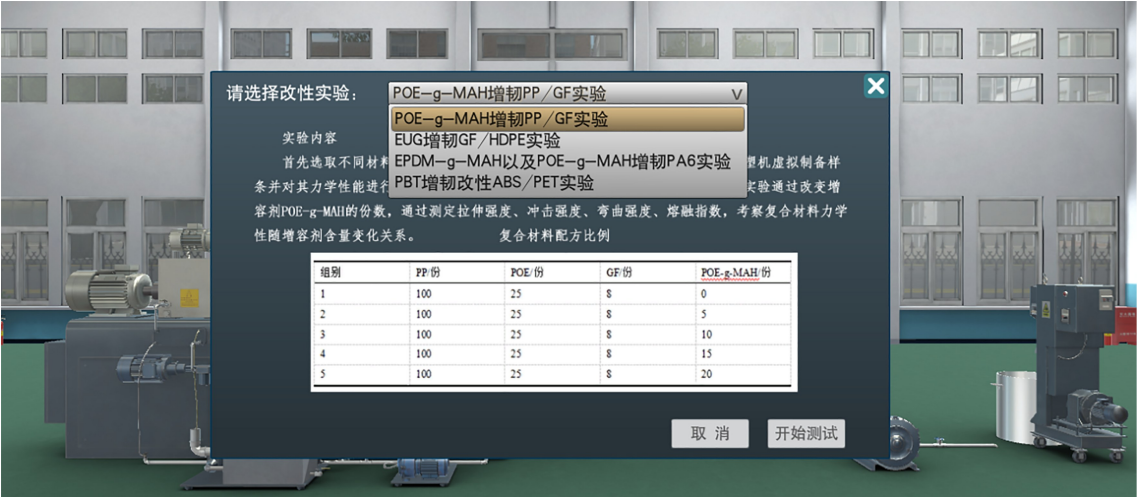


图 6 共混改性实验的选择及实施

Figure 6 Selection and implementation of blending modification experiments

3 成效分析及学生评价

利用虚拟现实技术已成功构建挤出机(挤出造粒)虚拟仿真场景,并获得“挤出机(挤出造粒)工艺仿真软件 V1.0”软件著作权,软件登记号为 2019SR1039132。

利用挤出机(挤出造粒)工艺仿真软件开设的虚拟仿真实验立足于高分子材料专业本科大学生实践能力和创新精神的培养,摒弃了“以教师为中心,以知识为本位”的传统教学法,突出了“以学生为中心,以能力为本位”的教学理念^[3-5]。虚拟现实技术可将挤出机(挤出造粒)实验场景形象、直观、动态展现出来,学生在虚拟环境中自主操作设备,边操作边学习,践行“做中学”和“学中做”理念^[6],激发学习专业知识的兴趣,实现由被动接受知识向自主探究和自我评价转变。

挤出机(挤出造粒)工艺仿真软件建成后已纳入到高分子材料类专业的《专业综合实训》实验课程教

台州学院教学模式改革课程学生意见调查表							
课程名称	专业综合实训	实验名称	排课教师(排课人)	排课教师(排课人)			
课程课组	15 高分子	授课时间	15 高分子	15 高分子			
评价观测点	教学内容	逻辑清楚，重点突出，能够有有效的利用多媒体资源，内容新颖，不落俗套，能够利用新技术，新成果等学科前沿知识引入课堂；注重理论联系实际，能够有效提升学生的综合应用能力和发展能力。					
	教学方法	不流于形式，符合课程特点及学生实际，能够吸引学生的注意力，引导学生主动参与、独立思考和自主学习。					
	考核方式	符合课程特点，方式多样，注重过程考核，成绩评定科学、公平，能够帮助学生通过考试了解自身的知识掌握程度和实际应用能力。					
	信息技术利用	能够采取建设丰富的网络教学资源等现代教育信息技术手段，提升学生的学习效果和课程教学质量。					
总体评价	请各同学参考以上4个观测点并结合自身的总体感受对门课做出评价。在以下5个选项中选择一项填写在右侧空框处。 ☒ A. 十分满意 ☐ B. 满意 ☐ C. 一般 ☐ D. 不满意 ☐ E. 很不满意						
意见或建议（可从教师教学、实验方案设计、考核方式等方面提出意见和建议） 何老师的授课认真负责，内容详实，条理清晰，易于理解。在授课中何老师经常与学生互动，让我们提出意见和建议，并及时给予回应。何老师的授课内容与实际工作紧密结合，让我们了解不同国家的现象及其特点。							
学生（签名）				李海强			

教学模式改革课程学生满意度调查表					
实例	实验名称	提出问题的教师姓名及职称	授课教师姓名及职称	学号	系别专业
乙	课程讨论		潘海林		
容	条理清楚，重点突出，能够使学生对知识的消化吸收更深刻、不浪费。能够加深理解，形成较为牢固的理论知识体系；注重理论联系实际，能够有效提升学生的综合能力培养和发展。				
法	不同于形式，符合课程特点及学生实际，能够吸引学生的注意力，引导学生主动参与，独立思考并自主学习。				
式	符合课程特点，方式多样，注重过程性考核，成绩评定科学、公开，能够帮组学生通过考试了解自身的知识掌握程度和实践能力应用水平。				
利用	能够采取建设丰富的网络教学资源等现代教育信息技术手段，提升学生的学习效率和课堂教学质量。				
①请考生在下列选项中选择最符合自己的态度填写在相应表格内。 ②选项中选择一个填写并在右侧空格处。					
十分满意 A 很满意 B 一般 C 不满意 E 很不满意 F 1. 教学方法设计 2. 考核方式等方面是否提出意见和建议： 真诚表达您的认识和建议，具有良好沟通技能， 合作，便于沟通交流易被接受，保持积极向上的学习态度， ③尊重学术规范，避免抄袭行为的影响。 存在部分漏洞，如测试程序有待进一步修正。					
学生（签名）： 范宇坤					

学院教学模式改革课程学生意见反馈表			
备注说明	实验名称	教师姓名	授课学时
学号	姓名列明	姓名列明	姓名列明
	课程时间		
内容	教学目标、重点难点、能否有效解决知识难点或问题、内容容量、难易程度、能够掌握新技术、能及时掌握前沿知识并深入探讨、注意理论与实践联系、能够有效提升学生的实践能力和发展能力。		
方法	课堂教学方式、符合课程特点及学生实际、能够吸引学生的注意力、引导学生主动参与、独立思考与自主学习。		
方式	公开课程特点、方式多样、注重过程考核、成绩评定科学、公平合理能够使学生通过考试了解自身的知识掌握程度和实践能力应用。		
利用	能够采取建设丰富的网络教学资源等现代教育信息技术手段，提升学生的学习效率和课堂教学质量。		
对教学上存在个别问题并结合自身的总体感受对该门课程提出批评、5个选项中选择一项填写在空白处。			
☒ A.非常满意 B.满意 C.一般 D.不满意 E.很不满意 附举：实验方案建议、教学方法等方面的意见和建议(选填)。 该课老师很有经验且为人平易近人，而且讲课是易懂，对知识的讲解和对问题的理解有深入到底，善于举一反三，能够让学生体会到教师的教学方法和技巧。			

图 7 学生评价

Figure 7 Student evaluation

4 结语

挤出机(挤出造粒)仿真场景构建借助了虚拟现实技术模拟产生的三维空间,高度还原挤出机的结构和功能,让使用者如同身临其境,可以及时、没有限制地 360°旋转观察三维空间内的事物,实现高效人机交流。挤出机(挤出造粒)虚拟仿真实验严格按照真实实验情况来模拟,可实现学生虚拟仿真实验与真实实验的无缝对接,得到学生的一致好评。

参考文献:

- [1] 解文雅. 台州日报, 2019-9-3(01 版).
- [2] 杨旭宇, 何志才, 闫瑞强, 黄国波. 台州学院学报, 2020, 42, 221(3):88~92.
- [3] 杨燕, 陈智栋, 刘春林, 张洪文. 高分子通报, 2016, (11):88~91.
- [4] 马兰超, 梁永日, 戴玉华. 高分子通报, 2019, (8):65~70.
- [5] 邹国享, 赵彩霞, 徐建平, 张洪文. 高分子通报, 2019, 245(9):101~106.
- [6] 林永静. 时代教育, 2017, (16):18~18.

Construction and Virtual Teaching of Extruder (Extrusion Granulation)
under Emulational Scene

HE Zhi-cai, YU Bin-bin, YANG Xu-yu, WANG Qing-feng, YAN Rui-qiang,
WU Cheng-lin, XIAO Sheng-wei*

(School of Pharmaceutical and Chemical Engineering, Taizhou University, Taizhou 318000, China)

Abstract: Extrusion granulation is one of the most important components of the molding industry, and is exhibited both in the talent training scheme and core competence assessment in polymer materials. Aiming to help students to highly master the knowledge and related skills of the extruder (extrusion granulation), this paper introduces a kind of new teaching mode, which construct an unreal extruder (extrusion granulation) by using virtual reality technology. Importantly, we have owned the software copyright of the “Extruder (Extruding Granulation) Craft Simulation Software V1.0” (NO. 2019SR1039132). As a result, students can learn the whole extrusion granulation craft on computer rather than in person. Additionally, the new teaching mode will further stimulate students' interest in learning professional knowledge and helps to improve the ability to operate in real and analyze-solve problems.

Key words: Extruder (Extrusion granulation); Virtual reality technology; Effectiveness analysis; Student evaluation