

橡胶炼胶工艺过程虚拟仿真系统的开发与设计

吴晓帆¹, 孙明典¹, 王世委², 王涛^{1*}

(1. 沈阳化工大学材料科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110142;
2. 天津世维科技有限公司, 天津 300000)

摘要: 该文章基于橡胶加工的研究, 利用 Unity3D, 3Dmax 等计算机技术构建炼胶工艺车间三维场景和工艺流程, 设计开发了炼胶工艺过程的虚拟仿真系统, 使其具有能透视观察内部工艺过程、自由移动参观、交互仿真性强、页面设计专业等特色。系统以 F270 型密炼机组为例, 演示了主要设备的结构和工作原理, 并进行交互操作, 展现了炼胶工艺与虚拟仿真平台结合的优势和特点。

关键词: 炼胶工艺; 虚拟仿真; Unity3D; 交互仿真

中图分类号: TQ330.493

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2026)01-0026-03

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2026.01.005

0 引言

橡胶制品业是国民社会重要基础性行业之一, 行业的发展反映了国民经济和现代高科技领域的整体发展水平, 大力推广信息化与自动化技术, 实现橡胶生产的规范化与智能化也是行业发展的趋势。橡胶制品种类繁多, 生产工艺过程基本相同, 其中炼胶是极为重要的工序^[1]。生胶要通过多段塑炼过程, 使用开炼机、密炼机、上下辅机系统、胶片冷却机、切胶机等多种设备^[2], 经过配料、混炼、压片等多个环节, 获得符合性能要求的混炼胶胶料, 为后续成型加工做准备。

由于现实炼胶工艺过程中存在密炼机组设备多、占地面积大、操作过程复杂、人工操作困难等问题, 因此将炼胶工艺过程利用 Unity3D, 3DMAX 等计算机技术构建虚拟仿真系统, 模拟真实工厂生产场景, 关键操作过程进行实时交互, 让使用者获得身临其境的感觉, 同时可以进行自由探索和互动^[3]。系统具有独特的交互性、学习性、操作便利性、趣味性等优点, 可用于培训和教学等领域, 对橡胶制品行业以及相关企业人员, 可以充分结合理论和实践, 熟练掌握实操要领, 达到自主学习的效果。

1 炼胶工艺虚拟仿真系统的设计流程

本系统以橡胶炼胶工艺过程为研究对象, 以 F270 型密炼机组为实物模型, 以轮胎生产企业为原型, 展

开脚本、实验、场景等高仿真度设计。利用 3DMAX 构建炼胶工艺车间三维场景和工艺流程, 将建好的模型全部放入 Unity3D 平台进行关联, 使用 C# 编码来实现各类仪器设备之间的交互过程。炼胶工艺虚拟仿真系统的设计流程见图 1 所示。

2 炼胶工艺虚拟仿真系统的组成设计

首先针对密炼机组进行建模, 主要建模设备包括炭黑储存和粉料称量系统、油料输送和称量系统、切胶机、皮带运输机、密炼机、开炼机、胶片冷却机等^[4]。对于设备中联轴器、轴筒、转子等可旋转移动的结构部分, 设置坐标轴进行单独建模, 便于实现仪器的运动过程和组装过程。由于设备众多, 以炭黑储存和粉料称量系统为例进行设计说明, 其他部分按照类似步骤设计实现。

炭黑种类繁多, 对橡胶有补强作用, 是炼胶工艺不可或缺的原料。由于配料过程需要添加多种炭黑, 因此设计了多组炭黑储料罐。针对以上特性, 参照企业实物模型进行建模设计。首先利用软件进行漫反射操作, 添加材质, 之后进行渲染处理, 得到细致的场

作者简介: 吴晓帆 (1998-), 女, 硕士研究生, 主要从事高分子材料类虚拟仿真教学。

资助项目: 沈阳化工大学教育教学培育工程教学成果重点培育项目

* 通讯作者

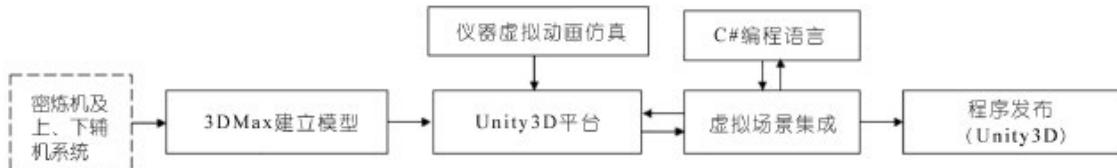


图1 炼胶工艺虚拟仿真的设计流程

景纹理。为不同的材质、管道、设备进行纹理依附，之后分别导入 Unity3D 平台中，在平台中安排各部分的相对位置。对场景中炭黑罐的管道连接、电路分配以及场景灯光进行虚拟仿真建模，使其具备分散喂料的功能，最终实现高度仿真的三维立体模型，体现了炭黑储存模型的仿真性。见图 2 炭黑储料罐的建模与实际场景对比图。



图2 黑储料罐的建模与实际场景对比图

对炭黑喂料过程以及粉料称量过程，在 Unity3D 平台中通过粒子系统来实现。粒子具有动态性，它的大小、速度可以随着周期或者速度的改变而改变。首先，做出扫描效果，对需要透视部分的模型添加颜色、扫描宽度等属性值；然后建立公式，定义粒子发射器的方向和形状大小，设置初始状态和重力加速度；再将物体材质改为透明材质，避免太生硬，并叠加亮度，然后开始实现透视功能，通过多次 V-Ray 渲染引擎进行渲染，实现透视效果和动画展示效果，最终通过模拟透视的形式进行演示观察，可以清晰地看到内部螺旋式结构送料的进程，炭黑喂料机进料效果图见图 3。



图3 炭黑喂料机进料效果图

以上展示了炭黑储存和粉料称量工艺过程的设计，除此之外的注油过程、切胶运输过程、密炼机内部的转子运行方式，胶片冷却过程等均使用可视化的虚拟仿真设计，解决了由于设备的密闭性，只能看到局部无法看见内部运行状况，缺乏对加工原理的深刻认识等难题。

3 炼胶工艺虚拟仿真系统的效果开发

3.1 自由观察效果

根据实际操作的需要，该虚拟仿真系统设计能够通过对摄像机的操控，自由地对密炼机、开炼机等大型设备进行环绕观察、推进观察这些操作，完成全方位的认识。使用 Unity3D 平台的物体建模之间的防撞设计，来实现沉浸式的自由视角体验，密炼机组全景图见图 4。



图4 密炼机组全景图

3.2 场景交互效果

场景交互主要由第一人称视角进行漫游操作^[5]。选取主相机为主视角，通过 W、A、S、D 来进行人物自由移动的动作。主相机通过对人物进行跟随，在行动过程中，设备碰撞检测，具体对工厂立柱、设备等障碍物进行检测，最后进行数据表现。场景整体主要是对炼胶工艺车间进行建模。车间共有四层楼，每个楼层具有不同的设计，从上至下分别是四楼炭黑原料储存，三楼油料储存和炭黑称量，二楼密炼、一楼压片。交互实现通过按钮来进行控制。以二楼密炼过程交互功能为例，首先根据胶料配方表，依次进行原料的添

加操作。生胶、防护剂、硫化剂、软化增塑剂以及其他助剂在对应数值框内添加原料所需重量，正确输入数值后，点击后面所对应的加号按钮，即可进行下一步操作，错误输入后，操作无法继续进行。原料都添加完成后，交互启动皮带运输机，实现相对移动等一系列动作的实现，来达到场景虚拟交互的效果。密炼车间交互效果见图 5。

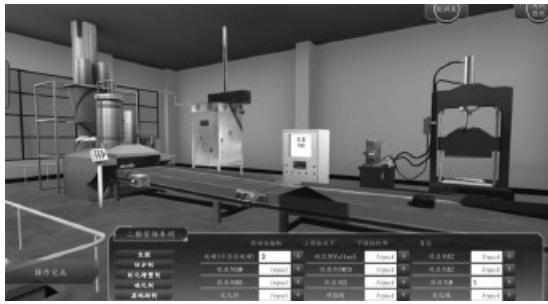


图 5 密炼车间交互效果

3.3 扫描透视效果

系统采用扫描透视方式，目的是更好的了解和观察大型仪器的内部结构、运动方式以及组合方式。此功能的实现以密炼机的转子运动方式为例，在转子与混炼室壁、上顶栓、下顶栓组成的混炼系统内，物料受到不断变化和反复进行的剪切、撕拉和搅拌的作用，从而达到混炼的目的。通过模拟透视进行演示观察，可以明显地看到内部转子结构，体会胶料剪切变形带来的真实感受，密炼机转子透视效果对比图见图 6。

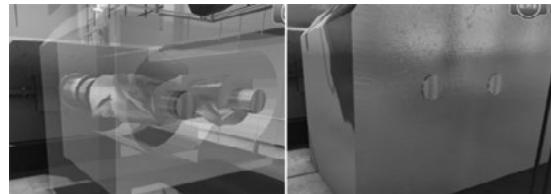


图 6 密炼机转子透视效果对比图

4 结语

基于以上设计开发了炼胶工艺过程虚拟仿真系统，具有能透视观察内部工艺过程、自由移动参观、交互仿真性强、页面设计专业等特色，采用虚拟现实技术相结合，完成系统总体设计，进行多次系统的运行优化，最终实现系统的流畅运行，满足了炼胶工艺虚拟仿真交互性的需求，降低工厂实习培训操作成本，保证工人实操练习安全，并能利用平台随时随地进行学习，实现资源充分利用。

参考文献：

- [1] 李小健, 徐家栋, 莫晨剑, 等. 中小型橡胶企业生产工艺废气治理技术探讨 [J]. 环境与发展, 2020, 32(05):95–96.
- [2] 于振鑫. 分析炼胶工序设备的优化改进 [J]. 科技创新与应用, 2019,(12):100–101.
- [3] 赵向前. 实践与创新——虚拟技术在开放教育中的应用 [J]. 中国市场, 2016,(19):67+81.
- [4] 杨栋生. 轮胎工厂布置方案对比 [J]. 橡塑技术与装备, 2019,45(15):54–58.
- [5] 王昱东. 虚拟现实技术在古建复原中的运用方法研究 [J]. 企业科技与发展, 2018,(02):203–206+209.

Development and design of virtual simulation system for rubber mixing process

Wu Xiaofan¹, Sun Mingdian¹, Wang Shiwei², Wang Tao^{1*}

(1. Shenyang University of Chemical Technology, Shenyang 110142, Liaoning, China;

2. Tianjin Shiwei Technology Co. LTD., Tianjin 300000, China)

Abstract: Based on rubber processing research, this article utilizes computer technologies such as Unity3D and 3Dmax to construct a three-dimensional scene and process flow of the rubber mixing workshop. It designs and develops a virtual simulation system for the rubber mixing process. This system features perspective observation of the internal process, supports free movement for visitors, has strong interactive simulation capabilities, and professional page design. Taking the F270 type internal mixer as an example, the system demonstrates the structure and working principle of the main equipment and achieves interactive operation, fully reflecting the advantages and characteristics of combining rubber mixing technology with a virtual simulation platform.

Key words: rubber mixing process; virtual simulation; Unity3D; interactive simulation

(R-03)