

基于教学导向的数控机床数字孪生模型设计

尉哲铭*, 李智威, 郭佩灿, 李羽佳, 李艳龙, 林星全

天津商业大学艺术学院, 天津

收稿日期: 2024年5月5日; 录用日期: 2024年6月21日; 发布日期: 2024年6月28日

摘要

随着装备制造业的不断发展, 企业对机械、智能制造类专业人员的需求不断增加, 但高校培养的毕业生未能完全满足企业的用人需求, 究其原因之一, 机械制造类学科教学实训中存在的设备成本高、危险性大等问题是高校培养专业人才的制约因素。因此, 开发一款基于教学导向的数控机床数字孪生模型能够解决机械制造类学科教学实训中存在的问题, 降低实操过程中存在的风险、高效培养专业型人才。本文在前期充分调研的基础上, 从数字孪生建模方法、Web端教学实训平台开发等方面进行研究, 旨在提高高校对于机械类专业学生教学实训质量, 为国家培养机械制造类学科高素质人才。

关键词

数控机床数字孪生建模, Web端, 教学实训

Design of Digital Twin Model for CNC Machine Tools Based on Teaching Orientation

Zheming Yu*, Zhiwei Li, Peican Guo, Yujia Li, Yanlong Li, Xingquan Lin

School of Arts, Tianjin University of Commerce, Tianjin

Received: May 5th, 2024; accepted: Jun. 21st, 2024; published: Jun. 28th, 2024

Abstract

With the continuous development of the equipment manufacturing industry, the demand for mechanical and intelligent manufacturing professionals in enterprises is constantly increasing. However, the graduates trained by universities have not fully met the employment needs of enterprises. One of the reasons is that the high equipment cost and high danger in the teaching and training of mechanical manufacturing disciplines are the limiting factors for universities to cultivate professional talents. Therefore, developing a teaching-oriented digital twin model for CNC machine

*通讯作者。

文章引用: 尉哲铭, 李智威, 郭佩灿, 李羽佳, 李艳龙, 林星全. 基于教学导向的数控机床数字孪生模型设计[J]. 设计, 2024, 9(3): 1045-1053. DOI: 10.12677/design.2024.93416

tools can solve the problems in teaching and training mechanical manufacturing disciplines, reduce the risks in the practical operation process, and efficiently cultivate professional talents. On the basis of thorough research in the early stage, this article conducts research on digital twin modeling methods and the development of web-based teaching and training platforms, aiming to improve the teaching and training quality of mechanical engineering students in universities and cultivate high-quality talents in mechanical manufacturing disciplines for the country.

Keywords

CNC Machine Tool Digital Twin Modeling, Web End, Teaching and Training

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着全球市场竞争日益激烈，企业需要不断提升自身的竞争力，数字化转型是当前企业普遍面临的挑战和机遇，为实现生产过程的数字化、网络化和智能化，企业对机械、智能制造类专业人员的用人需求不断增加。智能制造是指利用先进的数字技术和智能化系统来提高制造业生产效率、质量和灵活性的技术密集型领域，可以通过实时监控和智能优化，帮助企业提高产品质量，实现更高效、灵活和创新的生产方式，从而更好地满足个性化需求。

基于企业对机械、智能制造类专业人员用人需求的上升趋势，高校作为为社会培养专业人才的摇篮，应同步更新对相关学科的教学方式，如教学实训的技术革新等。现如今高校对机械、智能制造类学科教学计划中的教学实训可以让学生接触真实的工业场景，了解智能制造在实际生产中的应用，有助于将理论知识与实际应用相结合，使学生对理论的认识更加深刻，在实践中遇到的挑战有助于激发学生的创造性思维和解决问题的能力，更好地适应现代智能制造领域的发展。但我国高校目前对机械、智能制造类学科所开展的教学实训存在设备资源匮乏、安全隐患、设备更新换代速度较慢等问题。针对这些挑战，数字孪生技术能够为数控机床教学提供全新的解决思路。

数字孪生模型是将实体系统的物理特征、运行规律与数字仿真技术相结合，形成一个与实体系统相对应的虚拟模型，能够实时模拟实体系统的运行状态，学生可以在 Web 端有更加直观、生动的学习体验，在保证安全的前提下增强学生对数控机床操作原理和技术特点的理解。因此，本研究旨在基于教学导向，探索数控机床模型的设计方法与实现的技术，以期为数控机床教学提供更加有效的辅助工具和教学手段。通过本研究的开展，不仅可以为提升数控机床教学质量提供技术支持，还能够为培养高素质制造业人才和推动制造业智能化发展作出积极贡献。

2. 前期调研

2.1. 数控机床教学实训

数控机床作为现代制造业中的关键设备，有加工精度高、自动化程度高、节约人力成本、多样化生产等特点，不仅能够提高生产效率、降低生产成本，还能够改善产品质量和制造灵活性，推动了制造业向数字化、智能化的方向发展。

在我国，数控技术在 20 世纪 80 年代被引入，经过几十年的演进，已经发展成熟并在各个领域得到

广泛应用。在 20 世纪 90 年代, 数控加工专业课程开始在我国各高等院校中设立, 旨在理论与实际相结合, 更加高效地培养学生实际的机床操作技能。通过亲自操作数控机床, 学生能够更深入地了解掌握机床的结构、使用方法、工艺流程以及与数控编程相关的技能; 数控机床教学实训通常需要学生面对实际的制造问题, 例如工艺优化、程序调整和故障排除, 这有助于培养学生的创新思维和解决问题的能力。我国虽积极开展数控技术培训, 但各个学校在教学方式、教学内容等方面还在不断地尝试, 仍存在不少问题:

(1) 制造类专业学生在拆装机床过程中存在由于对机床结构的不了解、对机床使用不熟悉而造成的不可避免的操作失误, 如机床启动时 NC 电源与机床总电源开关顺序错误; 在完成对刀操作后没有按“确认”键, 系统不承认新对刀的刀补数值的情况下进行加工出现打刀事件等安全隐患[1]。

(2) 由于数控系统的多样性, 给操作者带来一定的不便。如企业实际使用的如今数控界主流机床如三菱、法克拉等, 而高校多采用华中数控操作系统, 学院很容易将二者混为一谈, 进入企业后对新操作界面需要重新适应[2]。

(3) 数控技术培训需要很强的实践性, 想获得良好的教学效果需要进行高强度的实践[3]。尽管培训机构有数控培训基地、培训中心或实验室, 但因规模大小不一, 设备种类和数量参差不齐, 实训变成了“演示”, 这种教学方式不适合培养对实践能力要求较高的数控人员[2]。

2.2. 数字孪生技术

数字孪生是一项创新型技术, 其基本思想是利用数字化方式将现实世界中的物理对象、系统或过程以数字形式复制到计算机中, 通过模拟和分析这个数字副本来实现对实际物体或系统的实时监控、优化和预测。数字孪生技术的核心是建立物理对象与数字模型之间的连接关系, 物理对象通过传感器和检测设备获取数据, 然后将数据与数字模型进行实时同步。数字模型是通过数字建模、仿真和数据分析来模拟物理对象的行为、状态和性能。数字孪生技术被广泛应用于制造业、能源、医疗和建筑等领域, 为实体物体的设计、生产和运营过程提供了全新的解决方案。对于数字孪生技术是否适合运用于数控机床教学实训领域, 本文对现有的数字孪生技术的应用进行了调研。数字孪生技术由于其高保真镜像与实时映射等特点, 可以为数控机床实训提供新的解决思路, 北京航空航天大学陶飞等[4]提出了数字孪生五维模型, 可应用于数字孪生车间等领域, 通过物理车间、虚拟车间、车间服务系统、车间孪生数据及两两间的连接, 在融合的孪生数据的驱动下实现各部分的迭代运行和双向优化, 从而达到车间管理、计划与控制的最优, 对国内数字孪生技术的研究起到重要指导作用。张南等[5]提出基于数字孪生的车间作业监控及可视化方法, 实现了车间生产作业过程的三维虚拟可视化及实时动态交互功能。

张炜等[6]提出了将数控机床数字孪生模型导入 VR 设备, 学生可通过佩戴 3D 眼镜进入虚拟场景中, 通过操作手柄实现装配、拆卸和检修与真机一样的设备。但 VR 或 MR 设备的价格一般都在 2000~10,000 元以上, 且设备定期检修成本较高, 这可能成为数字孪生技术向高校教学实训普及的不利因素。而 Web 端应用可通过浏览器轻松访问而无需特殊设备, 这使得学生可在任何地方和设备上进行数控机床实训, 相对 VR 或 MR 设备更易被普及于校的数控机床教学实训中。

2.3. Web 端技术

Web (World Wide Web)端作为 Web 应用程序的用户程序和交互部分, 即用户通过 Web 浏览器(如 Chrome、Firefox、Safari 等)访问的部分, 被广泛应用于电子商务、社交网络、在线教育等领域。其主要组成部分包括前端(前端端点)、后端(后端端点)、数据库、服务器和前后端通信。HTML 是一种标记语言, 用于创建和组织网页内容, 可以描述网页的结构和语义, 帮助浏览器理解内容的意义和层次关系。CSS

则是一种样式表语言，它用于描述 HTML 元素在屏幕、纸张或者其他媒体上的展示样式。CSS 能够控制网页中诸如字体、颜色、布局、尺寸、间距、显示效果等各种视觉表现形式。Vue.js 是构建用户界面的 JavaScript 框架，有响应式数据绑定、组件化、虚拟 DOM 等核心特性。利用 HTML 构建网页的骨架和内容，通过 CSS 构建网页的外观和布局，最终导入进 Vue.js 前端框架，可开发出功能丰富且交互性强的 Web 应用。用户可通过 Web 浏览器发送请求，请求由服务器处理，后端执行相应的业务逻辑，访问数据库，如 MySQL、PostgreSQL、MongoDB 等并生成响应，最终通过网络传回到前端，用户在浏览器中看到相应的结果。整个过程构成了一个客户端 - 服务器模型。对于高校学生教学实训而言，Web 端教学平台可轻松整合到学校的在线教育系统中，支持多人同时实训等教育活动。

牟占生等[7]提出 Web3D 可提供近似真实的环境，如医学解剖、飞行驾驶以及军事上的训练模拟和作战模拟，并提出利用 Web3D 技术可以彻底打破空间的限制，弥补教学条件的不足，避免真实实验或操作带来的各种潜在危险。孙倩娜等[8]认为，虚拟环境所具有的沉浸性、交互性及想象性的三大特性，与近年来学者所主张的建构主义学习理论有高度的相关性。程鹏飞[9]利用 Web 端技术架构，构建电工实训仿真教学平台，分为 Web 客户端、服务器端和数据库三部分，选择集中与分布相结合的方式平台结构[10]设计，在数据库内集中存储全部电工实训仿真教学的相关数据，在 Web 客户端内分布式存储各用户的相关信息。建构主义认为，学习是在个体与外界环境的相互作用中发生的，学习者在真实或虚拟再现的情景中的亲身体验，远比通过他人的描述及各种符号表征的间接体验要深刻，更有利于意义建构。

本文针对数控机床教学实训时存在的痛点，利用数字孪生技术构建数控机床高保真镜像模型，搭建 Web 端用户操作平台，实现数控机床主轴和进给系统、车刀架及尾座的拆卸及复位，帮助高校学生在无安全隐患的前提下高效理解和掌握机床结构。

3. 关键技术

3.1. 模型构建

利用 SolidWorks 绘制机床的基础实体，在绘制完成后使用拉伸、旋转和剪切等功能将草图转化为三维实体，使用 SolidWorks 的装配功能将数控机床的各部件组装在一起。SolidWorks 生成的模型是由实体和特征构成，会生成非常精确但过于复杂的几何体，而虚拟现实的开发通常需要轻量级的几何体，因此利用 SolidWorks 构建的数控机床模型难以实现开发其拆卸、复位等功能，于是将完成构建的机床模型导入 3DMax 中进行进一步优化。3ds Max 更适用于多边形建模，且提供更多细节和效果的选择，如粒子系统、模拟等。比照 SolidWorks 构建的数控机床模型，利用 3ds Max 的建模功能对其进行轻量化精确优化，得到轻量级数控机床模型。为实现高保真数控机床数字孪生模型，需要将模型比照现实中机床模型的颜色、材质等外观特征，利用 3ds Max 的渲染功能进行渲染。3ds Max 是一款用于创建和渲染高质量静态图像的软件，其渲染出的模型不能够很好地适应后期动态实时渲染的需求，不能够满足用户在实时中看到并与渲染的模型互动的要求。Unity 是一款支持多平台部署的实时应用平台，它允许用户与三维场景进行交互，利用 Unity 的渲染功能将机床模型进行进一步光照、阴影、颜色校正等处理，以改善最终渲染的外观，形成最终的数控机床虚拟模型如图 1 所示。

3.2. 爆炸、复位等功能开发

(1) 复位及爆炸

在 Unity 中，通过

```
Game Object Find ("Box001").Get Comp <Transform> ().position = new Vector3(-15.309F, 0.800018F, 0.0768058F);
```

确定摁下按钮后物体“Box01”的中心坐标。通过

Game Object Find ("Box001"). Get Component <Transform> ()transform.rotation = Quaternion.Euler(0f, 90f, -90f);

确定物体“Box01”的旋转角度即物体的朝向。之后将完成的代码放入到 unity 的层级面板预设好的 Button 中，如图 2 所示，这其中的按钮要选则合适的位置。

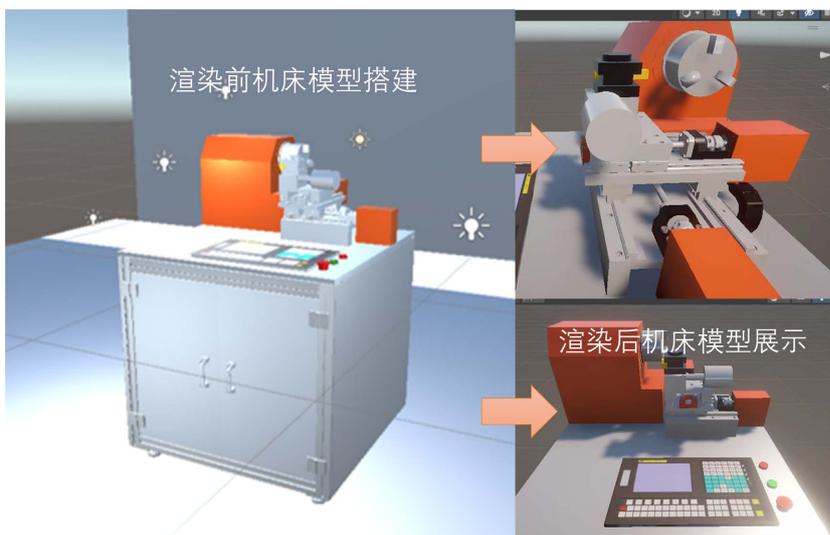


Figure 1. Virtual model of CNC machine tool

图 1. 数控机床的虚拟模型^①

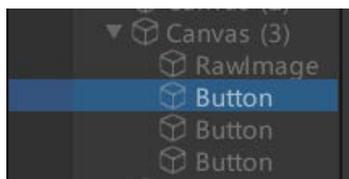


Figure 2. Unity-Button

图 2. Unity-Button^②

之后在检查器面板中设置该按钮的属性，并将代码设为可运行即可实现复位和爆炸，结果如图 3 所示。



Figure 3. Reset and explosion options

图 3. 复位及爆炸选项^①

(2) 移动部件

编写移动逻辑脚本，添加到要实现拖拽的物体上，并设置可用。为物体添加 collider，确保鼠标可以识别物体，即可完成对物体的拖拽。其中包含移动主轴和进给系统、车刀架的、尾座，具体内容如图 4 所示，学生可在保证安全的情况下利用以下操作快速且详细熟悉数控机床结构。

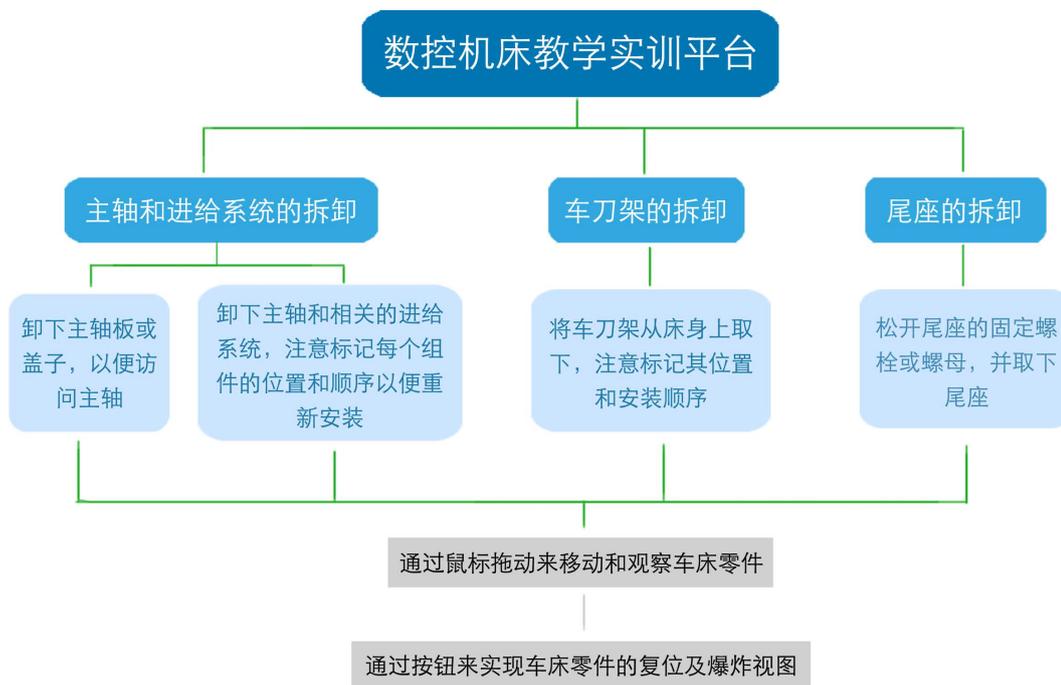


Figure 4. Specific contents that can be disassembled

图 4. 可实现拆卸具体内容^①

(3) Unity 打包及上传至 Web 端及网页构建

在 unity 中添加 WebGL 模块如图 5 所示。

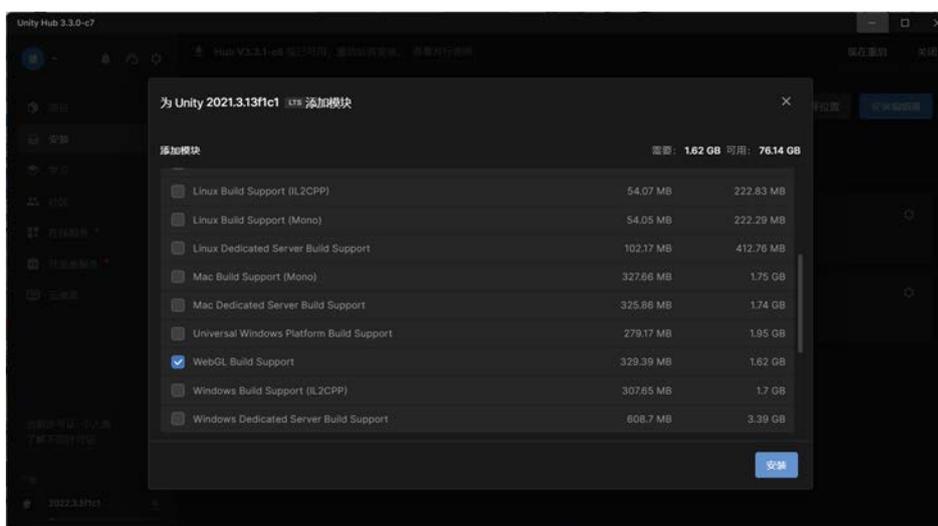


Figure 5. Add WebGL module

图 5. 添加 WebGL 模块^②

将 Build settings 切换至 WebGL 平台，并在 players settings 中将 color space 更改为 gamma 模式，如图 6 所示。

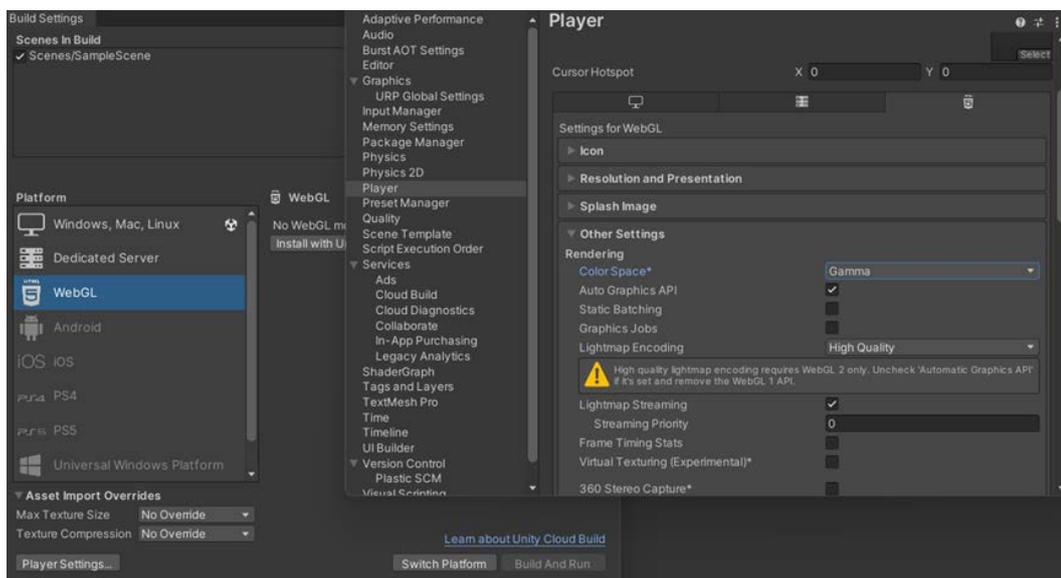


Figure 6. Gamma mode
图 6. Gamma 模式^②

build and run 生成和运行如图 7 所示。

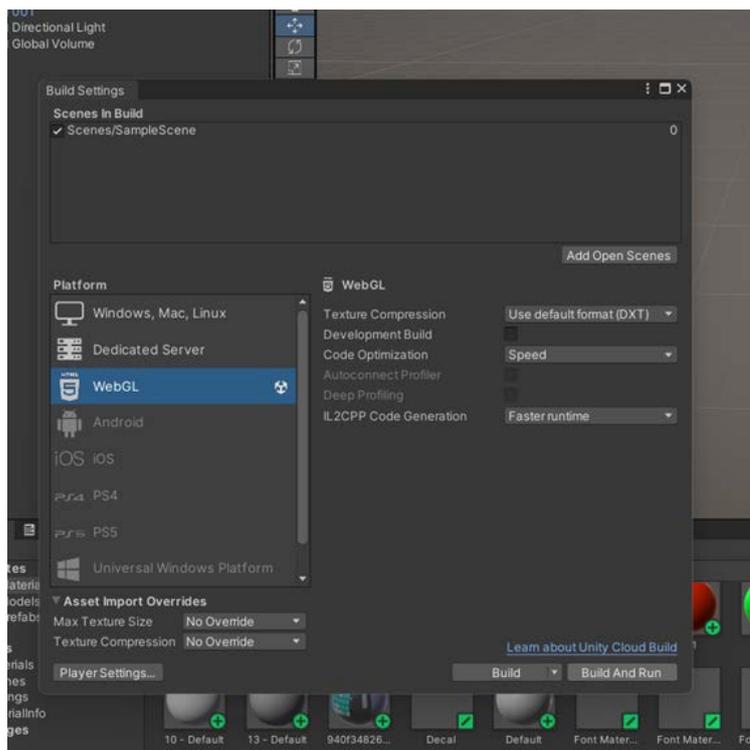


Figure 7. Build and run generation and running
图 7. Build and run 生成和运行^②

WebGL 生成和运行成功，生成的内容是 Web 端的登录页面之一。将 WebGL 嵌入到 Vue 项目中，将 unity 生成的文件夹拖入工程文件中，再通过通过 iframe 代码创建行内框架，将 unity 嵌入到网页中，嵌入成功如图 8 所示。

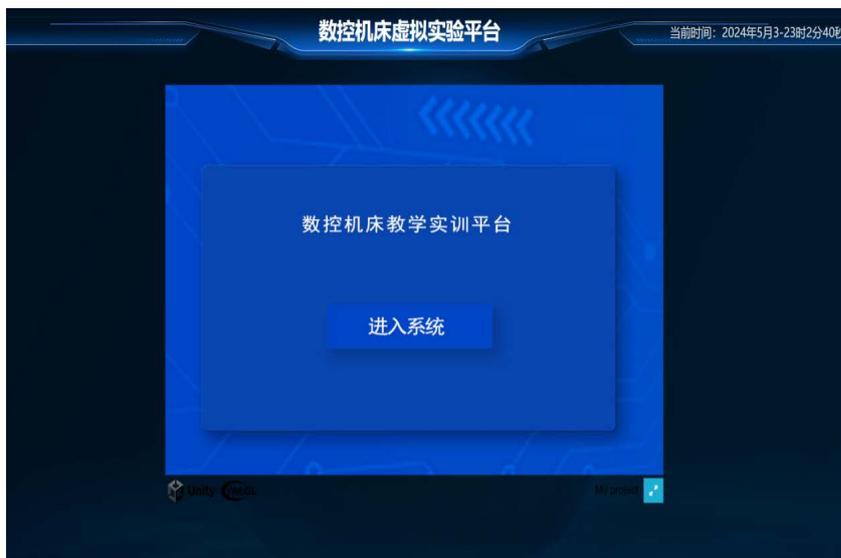


Figure 8. Embedded successfully

图 8. 嵌入成功^①

使用 JavaScript 编写交互代码，最后用 Vue.js 编写框架。将以上内容全部整合至 Web 端，学生可通过登录页面进入数控机床模拟操作系统如图 9 所示，学生可在此系统内利用鼠标实现对机床及其零部件的拆分、爆炸及复位。



Figure 9. Student practical training operation page

图 9. 学生实训操作页面^①

4. 结语

在数字化时代，数控机床数字孪生模型与 Web 端教学实训开发技术的结合为工程教育带来了新的可能性。通过数字孪生模型的建立，学生可以在虚拟环境中进行实际操作与实验，从而提高其技能水平与理论应用能力。同时，Web 端教学平台的应用使得教学实训更加高效、便捷。因此，数控机床数字孪生

模型 Web 端教学实训开发将高校的传统教学实训推进了一个崭新的时代, 将此技术应用于各大高校的教学实训中, 将更加有利于国家对于机械制造领域人才的培养。

基金项目

天津市大学生创新训练计划项目(重点支持领域)(项目编号: 202310069030)。

注 释

①图 1, 图 3, 图 4, 图 8, 图 9 来源: 作者制作

②图 2, 图 5~7 来源: Unity 截图

参考文献

- [1] 李扬新. 数控机床实习安全隐患[J]. 安全与健康, 2007(11): 38-39.
- [2] 周伊. CNC 加工中心教学仿真平台的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2020.
- [3] 井百祥. 论国有企业的劳动力溢出效应[J]. 广西大学学报(哲学社会科学版), 2001(3): 55-62.
- [4] 陶飞, 刘蔚然, 张萌, 等. 数字孪生五维模型及十大领域应用[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(1): 1-18.
- [5] 张南, 张顺, 刘利勋, 等. 基于数字孪生的车间生产过程监控方法[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2022(7): 156-159.
- [6] 张炜, 马进中, 汪炳森. 实融合的数控机床虚拟仿真实实践教学平台建设与实践[J]. 机电工程技术, 2023, 52(9): 114-117.
- [7] 牟占生, 胡丽芳, 张红军. Web3D 技术在教育中的应用[J]. 电脑学习, 2008(4): 31-32.
- [8] 孙倩娜, 李芄. Web3D 技术在教育中的应用概述[J]. 软件导刊, 2007(18): 34-35.
- [9] 程鹏飞. 基于 Web 的电工实训仿真教学平台构建[J]. 物联网技术, 2023, 13(11): 133-135.
- [10] 贺辉, 黄君浩. 基于眼动跟踪的人机交互应用[J]. 山东大学学报(工学版), 2021, 51(2): 1-8.