

## 智能制造《数字孪生装配工艺规划与仿真技术》在线教学研究

王兴华 张珂 唐玉婷 郑中华 王剑刚 徐轶 郑刚 杨瑞君  
上海应用技术大学 机械工程学院, 上海 201148

**[摘要]** 本论文探讨了在定制化与多样化生产日益成为主流的背景下, 传统装配工艺流程面临的挑战以及数字孪生技术如何作为一种前沿手段应对这些挑战。首先, 本论文分析了传统装配工艺规划过程中的局限性, 包括高昂的成本、长周期和缺乏灵活性等问题, 并指出现代制造系统产生的数据量呈指数级增长, 高效地收集、处理及利用这些海量数据成为提升生产效率、优化产品质量的关键。其次, 文章详细介绍了数字孪生技术的概念、核心思想及其在制造业中的应用实例, 展示了该技术如何帮助企业改进装配流程, 以及基于数字孪生的通用产品装配工艺规划与实施体系架构的教学内容设计。最后, 针对本课程的教学特点、现状和不足, 探讨了教学改革措施, 融合线上线下模式以弥补现代教育环境的缺陷, 旨在提高学生的理论水平和实践能力。

**[关键词]** 数字孪生技术; 工艺规划; 产品装配; 制造业

DOI: 10.33142/fme.v6i1.14968

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

### Research on Online Teaching of "Digital Twin Assembly Process Planning and Simulation Technology" in Intelligent Manufacturing

WANG Xinghua, ZHANG Ke, TANG Yuting, ZHENG Zhonghua, WANG Jiangan, XU Yi, ZHENG Gang, YANG Ruijun  
School of Mechanical Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai, 201148, China

**Abstract:** This paper explores the challenges faced by traditional assembly processes in the context of increasingly mainstream customization and diversified production, and how digital twin technology can serve as a cutting-edge means to address these challenges. Firstly, this paper analyzes the limitations of traditional assembly process planning, including high costs, long cycles, and lack of flexibility. It points out that the amount of data generated by modern manufacturing systems is growing exponentially, and efficiently collecting, processing, and utilizing this massive data has become the key to improving production efficiency and optimizing product quality. Secondly, the article provides a detailed introduction to the concept, core ideas, and application examples of digital twin technology in the manufacturing industry, demonstrating how this technology can help enterprises improve their assembly processes, as well as the design of teaching content for a universal product assembly process planning and implementation system architecture based on digital twin. Finally, based on the teaching characteristics, current situation, and shortcomings of this course, teaching reform measures were discussed, integrating online and offline modes to compensate for the deficiencies of modern educational environment, aiming to improve students' theoretical level and practical ability.

**Keywords:** digital twin technology; process planning; product assembly; manufacturing

### 引言

在定制化与多样化生产日益成为主流的背景下, 传统装配工艺流程面临着系列挑战。首先, 其规划过程往往依赖于物理实验和试错方法, 这不仅导致了高昂的成本投入, 同时也延长了产品开发周期, 并且限制了生产过程的灵活性<sup>[1]</sup>。其次, 随着现代制造系统的发展, 所产生的数据量呈指数级增长, 如何高效地收集、处理及利用这些海量数据成为了提升生产效率、优化产品质量的关键所在。此外, 面对全球范围内产业结构调整和技术革新的大趋势, 众多传统行业正经历着深刻的转型升级过程, 在这一过程中, 积极引入并应用新兴技术对于保持企业竞争力而言至关重要。综上所述, 探索更加智能化、灵活化的装配工艺解决方案, 以及充分利用大数据等信息技术手段促进制造业向更高层次发展, 已成为当前亟待解决的问题之一。

数字孪生技术 (Digital Twin, DT) 作为一种前沿手段, 可以通过实时数据采集与深度分析, 显著增强生产过程的可视化程度和可预测性, 为装配工艺规划开辟了新的路径。该技术的应用不仅有助于优化资源配置、提高生产效率, 同时也促进了产品质量的提升, 标志着制造业向更加智能化、精细化方向发展的重要一步。因此, 开展相关教育培训对于促进我国制造业转型升级具有重要意义。

### 1 教学内容设计

#### 1.1 基础理论学习

作为一个在信息时代兴起的学科, 数字孪生是广受关注的交叉学科领域。它融合了多个学科的理论和技术, 包括计算机科学、机械工程、电子工程、控制理论等。数字孪生是一种在虚拟空间中构建与现实世界实体完全对应的数字化模型的技术。它通过集成物理模型、传感器数据

和运行历史等多种信息<sup>[2]</sup>,实现对实体的全生命周期管理和优化。其核心思想是将实体与其数字模型之间建立起一种互动的“孪生”关系,实时地反映实体的状态和变化。这种关系使得数字模型能够动态地模拟和分析实体的特征、性能和行为,为实体的设计、制造、运行和维护提供有力支持。

显然,这是一门交叉性、前沿性、综合性很强的学科,教学内容安排上要注重理论和应用结合,突出融知识传授、能力培养、素质教育于一体,同时体现数字孪生装配工艺与仿真技术的最新研究、应用情况<sup>[3]</sup>。通过该课程的学习使学生掌握数字孪生所涉及的基本理论、基础知识和基本技能,具备综合运用所学知识开展装配工艺规划与仿真设计的能力,具备机械设计工程师的基本专业素质。

### 1.2 行业案例分析

在理论教学的同时,也要选取典型行业应用实例,深入剖析数字孪生如何帮助企业改进装配流程。以汽车制造业为例,数字孪生技术被广泛应用于车身装配线的改进中。在该行业中,数字孪生首先通过高精度传感器收集生产线上各个环节的实时数据,包括机器运行状态、工件位置、装配质量等关键信息。随后,这些数据被传输到中央处理系统,与预先建立的数字孪生模型进行对比分析。基于对比结果,系统能够自动识别出装配过程中的潜在问题,如设备故障、操作不当或物料短缺等,并及时发出预警。

此外,数字孪生还能模拟不同的装配场景和工艺参数,帮助企业评估各种改进方案的效果。例如,通过调整机器人路径规划或优化工件夹具设计,企业可以在不影响实际生产的情况下,预测这些改变对装配效率和产品质量的影响。这种能力使得企业能够在实施新方案前进行全面的风险评估和成本效益分析,从而做出更加明智的决策。

总之,数字孪生技术在汽车制造业中的应用不仅提高了装配线的自动化水平和生产效率,还显著降低了生产成本和不良品率。通过实时监控和数据分析,企业能够及时发现并解决潜在问题,确保生产过程的稳定性和可靠性<sup>[4]</sup>。同时,借助于数字孪生的模拟和优化功能,企业还能够不断探索新的装配工艺和方法,推动持续创新和发展。

### 1.3 实践操作指导

基于数字孪生技术,本文旨在构建一个面向通用产品装配过程的工艺规划与实施的应用体系架构。该体系架构以信息物理系统(Cyber-Physical Systems, CPS)为核心,通过在数字空间中进行装配工艺规划与仿真,生成用于指导实际装配现场的可视化装配工艺文件。同时,研究物理空间中装配现场的工艺执行过程及其信息构成,探讨数字空间与物理空间之间的关联交互反馈机制。

具体而言,首先明确基于数字孪生的通用产品装配工艺规划与实施体系架构的主要功能,包括:(1)在数字空间中实现装配工艺的规划与仿真;(2)生成可视化的装配工艺文件,以指导实际装配操作;(3)实时监控物理空间中的装配过程,收集相关数据并进行分析;(4)建立数字空间与物理

空间之间的双向通信机制,实现信息的实时交互和反馈<sup>[5]</sup>。

其次,重点探讨在数字空间中进行通用产品装配工艺规划与仿真的方法和技术。通过利用数字孪生技术,可以创建一个虚拟的装配环境,模拟实际装配过程中的各种因素和条件。在此基础上,可以进行装配工艺的规划和优化,生成最优的装配顺序和方法。同时,还可以通过仿真技术对装配过程进行验证和评估,确保其可行性和有效性。

此外,还需关注物理空间中装配现场的工艺执行过程及其信息构成。通过对实际装配过程的监测和数据采集,可以获得关于装配质量、效率和成本等方面的信息。这些信息可以用于评估装配工艺的效果和性能,并为后续的工艺改进提供依据。

最后,探讨数字空间与物理空间关联的交互反馈机制。通过建立双向通信机制,可以实现数字空间与物理空间之间的实时数据交换和信息共享。这使得在实际装配过程中可以根据数字空间中的信息进行调整和优化,提高装配的准确性和效率。同时,也可以将实际装配过程中的数据反馈给数字空间,用于进一步分析和改进装配工艺。

## 2 教学改革措施

为了提高《基于数字孪生的装配工艺规划与仿真技术》课程教学效果,针对本门课程的教学特点、现状和不足,提出以下几个方面措施和建议:

### 2.1 线下学习模式

线下学习模式虽然有其优势,但在现代教育环境中也显现出了一些不足,特别是在与在线学习等新兴模式相比时。以下是线下学习模式的一些主要不足之处:(1)缺乏灵活性:线下学习模式通常要求学生和教师在特定时间、地点集中,这对学习的时间和地点有较高的限制,可能不利于学生安排自己的学习进度,特别是对于需要兼顾其他事务的学习者来说,较难平衡;(2)资源共享受限:线下课堂的资源(如讲义、实验设备等)有限,难以实现大规模的资源共享,学生通常无法随时随地访问课堂资料,也不利于多媒体资源的引入和充分利用;(3)课堂参与受限:线下教学中,学生的参与方式主要依赖于提问、讨论等传统手段,参与度和互动性可能不足,尤其是对于较为害羞或不太活跃的学生,参与机会有限,课堂互动性可能不够充分;(4)学习数据难以记录:在传统的线下课堂中,很难系统性地收集和分析学生的学习数据,例如学习进度、答疑情况等,这对于改进教学方式、及时跟进学生的学习效果带来了一定困难;(5)突发情况影响大:受不可预见事件的影响较大,例如天气、交通、疫情等情况,可能会中断线下学习的正常进行,影响课程的连贯性。

### 2.2 混合式学习模式

虽然线下学习在促进师生互动和课堂管理方面有其不可替代的优势,但以上不足限制了其在现代教育环境下的应用效果,因此本文选择融合线上线下模式以弥补这些缺陷。结合线上视频讲解与线下小组讨论的形式,既可以保证知识

传授的效率又增加了互动性。这种教学模式充分利用了现代信息技术的优势,为学生提供了更加丰富和灵活的学习体验。

在线上视频讲解环节,教师可以精心制作教学视频,详细讲解数字孪生技术的基本原理、应用场景以及装配工艺规划与仿真的关键技术等内容。通过生动的图像、动画和案例分析,帮助学生深入理解抽象的概念和技术细节。同时,视频讲解还可以随时随地进行回放,方便学生根据自己的学习进度进行复习和巩固。

而在线下小组讨论环节,教师可以根据学生的学习情况和兴趣,组织相关的讨论主题或项目任务。学生可以分成小组,围绕特定的问题或场景进行深入探讨,分享自己的见解和经验。这种互动性的学习方式不仅可以激发学生的学习兴趣 and 积极性,还可以培养他们的团队合作能力和创新思维能力<sup>[6]</sup>。

此外,为了进一步提高教学效果,教师还可以利用在线平台进行实时互动和答疑解惑。例如,在视频讲解过程中设置弹幕功能,让学生可以随时提出自己的疑问;或者在课后通过在线论坛或社交媒体与学生进行交流,解答他们的困惑并提供个性化的学习建议。

### 2.3 项目驱动型任务

通过设置贴近真实工作场景的项目作业,鼓励学生运用所学知识解决实际问题。这种教学模式不仅能够提高学生的实践能力,还能增强他们对未来职业的信心和期待。

在项目作业的设计上,教师可以模拟真实的装配工艺规划与仿真场景,让学生扮演工程师的角色,进行装配工艺的设计、优化和仿真分析。例如,可以提供具体的产品或设备模型,要求学生根据其结构特点和使用需求,制定合理的装配工艺方案,并通过数字孪生技术进行仿真验证。在这个过程中,学生需要综合考虑各种因素,如装配顺序、工具选择、时间成本等,以确保装配工艺的可行性和经济性。

为了增加项目作业的挑战性和趣味性,教师还可以引入一些实际案例或竞赛元素。比如,可以邀请企业提供真实的装配问题或挑战,让学生尝试提出解决方案并进行比较;或者组织一场装配工艺规划与仿真技术的竞赛,鼓励学生发挥创造力和团队合作精神,争取获得最佳成绩。

此外,教师还可以利用在线平台的优势,为学生提供丰富的资源和支持<sup>[7]</sup>。例如,可以建立专门的学习社区或论坛,让学生在其中分享自己的项目进展、遇到的问题和解决方案;或者提供一些在线工具和软件,帮助学生更好地完成项目作业。

### 2.4 成果评价机制

除了根据平时参与度、作业完成情况和终结性考试等因素综合评定成绩之外,还可以增加一项创新能力加分项,对于提出新颖想法或解决方案的学生给予额外奖励。这种评分机制旨在激发学生的创新思维 and 实践能力,鼓励他们在学习过程中不断探索和尝试新的方法和思路。

在具体实施中,教师可以设立一个专门的创新奖项或积分系统,用于记录和评价学生在课程学习中的创新表现。例如,当学生在某个项目作业中提出了独特的装配工艺方案或优化建议时,教师可以根据其创新性和实用性给予相应的加分和奖励;或者当学生在讨论环节中提出了有深度的见解或问题时,也可以给予一定的创新积分。

为了确保创新能力加分项的公正性和有效性,教师需要制定明确的评分标准和流程。例如,可以设立一个由多位教师组成的评审小组,对学生的创新成果进行评估和打分;或者采用同行评审的方式,让学生之间互相评价和学习。此外,教师还可以定期组织创新分享会或展示活动,让学生有机会展示自己的创新成果并获得反馈和认可。

## 3 结语

综上所述,本文深入分析了当前制造业面临的挑战,并提出了通过引入数字孪生技术来促进装配工艺规划与仿真的新思路。数字孪生技术的应用不仅有助于优化资源配置、提高生产效率,同时也促进了产品质量的提升,标志着制造业向更加智能化、精细化方向发展的重要一步。因此,开展相关教育培训对于促进我国制造业转型升级具有重要意义。此外,本文还提出了一系列教学改革措施,包括混合式学习模式、项目驱动型任务以及成果评价机制等,以此提高学生的综合素质 and 创新能力。总之,面对全球范围内产业结构调整和技术革新的大趋势,积极引入并应用新兴技术对于保持企业竞争力而言至关重要。

基金资助:2023年上海高校本科重点教改项目“四维一体,协同驱动”,智能制造应用创新型人才培养模式的创新与实践”资助;2022年上海高校青年教师培养资助计划资助。

### 【参考文献】

- [1] 万志远, 戈鹏, 张晓林, 等. 智能制造背景下装备制造业产业升级研究[J]. 世界科技研究与发展, 2018, 40(3): 316-327.
  - [2] 王威丽, 唐伦, 陈前斌. 基于数字孪生网络的6G智能网络运维[J]. 中兴通讯技术, 2023, 29(3): 8-14.
  - [3] 徐振龙. 对智能制造工程专业《人机交互技术》思政融入式教学的探索[J]. 中国设备工程, 2022(7): 260-261.
  - [4] 刘志进. 基于智能控制的汽车机械制造系统优化[J]. 汽车知识, 2024, 24(8): 135-137.
  - [5] 张棚翔. 基于数字孪生的通飞产品装配工艺规划与仿真技术研究[D]. 河北: 河北科技大学, 2019.
  - [6] 牛艳敏. EGP与ESP教学整合新模式在高校英语教学中的应用[J]. 新课程研究, 2023(21): 39-41.
  - [7] 魏松峰. 学分银行背景下课外学习成果的学分认证与转换[J]. 甘肃教育, 2023(22): 60-64.
- 作者简介: 王兴华(1985.11—), 男, 汉族, 山西忻州人, 博士/博士后, 校聘副教授, 上海应用技术大学, 研究方向: 智能装备和智能检测技术。