

## 数字孪生技术在智能制造控制系统中的建模与仿真

岳琰峰

北京移动系统集成有限公司 北京

**【摘要】**数字孪生技术在智能制造控制系统中的应用越来越广泛，能够显著提高制造过程的效率与精确度。本文探讨了数字孪生技术在智能制造控制系统中的建模与仿真方法，提出了如何基于实时数据和物理模型构建精确的虚拟模型，并通过仿真实现对生产过程的实时监控与优化。本文分析了数字孪生在智能制造中的具体应用，包括生产过程优化、设备维护预测和质量控制等方面，并提出了现阶段该技术面临的挑战及其解决方案。最后，结合未来发展趋势，探讨了数字孪生技术在智能制造中进一步发展的潜力。

**【关键词】**数字孪生；智能制造；控制系统；建模；仿真

**【收稿日期】**2025 年 4 月 13 日

**【出刊日期】**2025 年 5 月 23 日

**【DOI】**10.12208/j.jer.20250215

### Modeling and simulation of digital twin technology in intelligent manufacturing control systems

Yanfeng Yue

Beijing Mobile System Integration Co., Ltd., Beijing

**【Abstract】**The application of digital twin technology in intelligent manufacturing control systems is becoming increasingly widespread, which can significantly improve the efficiency and precision of the manufacturing process. This paper explores the modeling and simulation methods of digital twin technology in intelligent manufacturing control systems, and proposes how to construct accurate virtual models based on real-time data and physical models, and achieve real-time monitoring and optimization of the production process through simulation. This paper analyzes the specific applications of digital twin in intelligent manufacturing, including production process optimization, equipment maintenance prediction, quality control, etc., and proposes the challenges faced by this technology at the present stage and their solutions. Finally, in combination with the future development trend, the potential for the further development of digital twin technology in intelligent manufacturing is discussed.

**【Keywords】**Digital twin; Intelligent manufacturing; Control system; Modeling; Simulation

#### 引言

智能制造是当前工业领域的重要发展方向，它依赖于先进的信息技术、自动化技术及数据分析来提升生产效率和质量。随着物联网、人工智能等技术的快速发展，数字孪生技术在智能制造中的应用变得愈加重要。数字孪生通过实时映射物理世界与虚拟世界，能够实现设备状态的实时监控、生产过程的优化调整以及潜在故障的预测与预警。尤其在控制系统中，数字孪生的建模与仿真技术能够帮助实现对复杂生产过程的精准控制，为智能制造提供了强大的技术支撑。如何在实际应用中有效建立和优化数字孪生模型，仍是当前智能制造领域的一个关键问题。本文将深入探讨数字孪生在智能制造控制系统中的应用，重点讨论其建模与仿真技术的挑战与解决方案。

#### 1 数字孪生技术在智能制造控制系统中的基本概述

数字孪生技术作为一种创新的物理和数字世界融合的方法，在智能制造控制系统中发挥着越来越重要的作用。其核心思想是通过创建一个虚拟的、动态更新的物理对象或过程模型，来实时反映物理实体的状态变化。在智能制造中，数字孪生技术不仅能够对设备进行虚拟建模，还能够通过与物联网设备、传感器网络等的结合，实现对生产系统的全面监控。通过精准的数据采集与模型更新，数字孪生能够帮助制造商实时了解生产过程中的各种信息，如设备运行状态、生产线效率、质量控制数据等，极大地提升了生产的智能化和自动化水平。

在智能制造的应用场景中，数字孪生技术通过对

物理实体的虚拟化处理，能够帮助控制系统实现精细化管理。生产线上的每一台设备、每一个工序都可以通过数字孪生模型来进行动态模拟，并根据实时数据对生产进程进行优化。这种模拟不仅可以预测设备故障和性能衰退，还能够在发生时及时作出预警。通过与传统控制系统的结合，数字孪生技术能够实现从设备层到生产线层的多层次管理，为企业提供高效、智能的生产解决方案。

数字孪生技术在智能制造控制系统中的应用也面临一些挑战。数据的实时性和准确性是实现有效控制的关键。由于数字孪生依赖于大量的实时数据来更新虚拟模型，如何保证数据的及时性与精确性成为一项技术难题。建立高质量、可扩展的数字孪生模型需要较高的技术门槛，尤其是在复杂的生产环境中，如何确保虚拟模型的精确性与适应性，是当前技术研究的重点。尽管如此，随着大数据、云计算等技术的进步，数字孪生的应用前景依然广阔，其在智能制造领域的深度融合将进一步提升生产系统的智能化水平，推动制造业的转型升级。

## 2 数字孪生建模方法及其实现路径

数字孪生建模方法是智能制造中实现虚拟与物理系统精准映射的核心。通过对设备、生产线或整体工厂的建模，数字孪生能够准确反映物理世界中的运行状况。在建模过程中，数据采集是至关重要的一步。通过与传感器、物联网设备等硬件的集成，数字孪生能够实时获取设备的工作状态、环境条件以及生产过程中的其他关键信息。这些数据不仅为建模提供了基础，还保证了虚拟模型的动态更新和精确性。采用物理建模与数据驱动建模相结合的方式，可以在不完全依赖实际设备的情况下，通过已有数据来推测设备的运行状态和性能表现，这为复杂生产系统中的建模提供了更高的灵活性和可扩展性。

在实现路径上，数字孪生的构建通常分为多个阶段，涉及数据收集、模型设计、模型验证和持续优化等环节。数据的采集需要确保其高效性与准确性，尤其是在复杂环境下，如何通过高精度传感器采集关键数据并实时传输，成为建模的技术难题。接下来，通过建立适合特定制造系统的数学模型，如有限元分析模型、热力学模型等，虚拟世界中可以精确再现设备或生产过程的物理特性。最后，为确保数字孪生模型的有效性，必须进行模型验证与调试，确保虚拟模型与实际生产中的反馈一致，并在此基础上进行持续优化。这个过程需要不断反馈实时数据，调整模型参数，以适应不断变

化的生产环境和设备状态。

随着人工智能、机器学习等技术的发展，数字孪生的建模方法逐渐向更高层次的智能化方向发展。通过引入深度学习算法，数字孪生模型可以从海量数据中提取潜在规律，逐步实现模型的自我优化与智能化调整。结合云计算技术，数字孪生的计算能力也得到了显著增强，能够更高效地处理和存储海量数据。这使得复杂的制造系统、甚至整个生产工厂的数字孪生建模变得更加高效、精确，并且具备了更强的预测和优化能力。未来，随着计算力的进一步提升，数字孪生技术将在智能制造领域展现出更加广泛和深远的应用潜力。

## 3 数字孪生仿真技术在智能制造中的应用与挑战

数字孪生仿真技术在智能制造中的应用已经成为提升生产效率和精确度的重要工具。通过对虚拟模型的实时仿真，制造商能够在不干扰实际生产的情况下，对生产流程进行全方位的分析与优化。仿真技术使得制造过程中的各类数据得以充分利用，帮助企业在设计阶段验证产品性能，在生产过程中预测设备故障，甚至在操作层面优化工艺流程。以生产线为例，通过数字孪生仿真技术，可以模拟不同生产条件下的工作状态，预测潜在的瓶颈或不稳定因素，从而为生产调度提供科学依据。这种技术的应用也能够提高生产线的灵活性，当需要调整生产策略时，仿真技术能够帮助企业快速评估不同方案的可行性和效果。

数字孪生仿真技术在智能制造中的应用也面临诸多挑战。仿真模型的准确性和可信度是成功应用的关键。尽管数字孪生通过数据和物理模型的结合能够提供较为精确的仿真结果，但在复杂的制造环境中，由于多种不可控因素的存在，如何保证仿真结果的高精度一直是难题。数据的质量、传感器的精度以及环境的复杂性都会对仿真效果产生影响。实时仿真对于计算资源的需求非常高，尤其是在处理大规模生产线或复杂设备时，如何保证仿真过程的实时性和效率成为技术瓶颈。高效的数据传输与计算架构的设计，尤其是在云计算和边缘计算的支持下，成为解决这一问题的重要方向。

数字孪生仿真技术的集成问题也是智能制造面临的重要挑战之一。当前，许多制造企业的设备和系统较为传统，不同设备之间的互联互通存在困难。在实施数字孪生仿真时，需要面对现有生产环境与新技术的兼容性问题。为了确保仿真技术能够真正发挥作用，必须进行系统化的改造和升级，包括设备的智能化改造和数据平台的构建。随着技术的不断进步和标准化的推

进, 数字孪生仿真技术在智能制造中的应用将愈加成熟, 能够更好地支持高效、灵活的生产决策过程, 推动智能制造朝着更高效、更智能的方向发展。

#### 4 数字孪生技术在智能制造中的发展趋势与前景

随着智能制造的不断发展, 数字孪生技术也在朝着更高精度、更广泛应用的方向演进。未来, 数字孪生技术将进一步与物联网、人工智能、大数据等技术深度融合, 实现生产过程的全自动化和智能化。通过利用先进的传感器和边缘计算技术, 数字孪生模型将能够实时获取更多维度的数据, 不仅限于设备状态, 还包括环境因素、生产工艺等, 这使得数字孪生模型能够更加全面地反映生产系统的真实状况。未来, 数字孪生将不再局限于单一设备或生产线的仿真, 而是能够覆盖整个制造企业的生产流程, 实现跨系统、跨设备的协同优化。

随着云计算和边缘计算技术的成熟, 数字孪生技术的计算能力和处理效率也将得到极大提升。云计算可以为大规模数字孪生仿真提供强大的数据存储和处理能力, 使得不同工厂之间的数据能够互通共享。而边缘计算则通过在设备附近进行数据处理, 减少了数据传输的延迟, 提高了实时性。这两者的结合, 将大大提升数字孪生技术在智能制造中的应用效率和灵活性, 尤其是在实时监控、故障预测以及生产优化等领域。借助 AI 与机器学习技术, 数字孪生模型的自学习能力将不断增强, 能够根据生产数据的变化自动调整优化方案, 从而实现更加智能化的决策支持。

未来, 数字孪生技术将成为智能制造中不可或缺的一部分, 推动制造业向数字化、智能化转型。通过精确的虚拟仿真与实时数据反馈, 数字孪生能够帮助企业大幅提升生产效率, 降低能源消耗, 并提高产品质量和设备的可靠性。随着技术不断进步, 数字孪生的应用将向更为复杂的领域扩展, 包括供应链管理、产品生命周期管理以及跨领域的协同设计等。未来, 数字孪生技术将在制造业中发挥更加广泛的作用, 推动整个产业向更加智能、高效、绿色的方向迈进。

#### 5 结语

数字孪生技术在智能制造中的应用为行业带来了巨大的变革, 它不仅提高了生产效率和产品质量, 还推

动了制造业向智能化、数字化转型。随着技术的不断发展, 数字孪生将与物联网、人工智能等技术深度融合, 进一步提升智能制造的精度和效率。尽管当前仍面临诸多挑战, 如数据准确性、实时性和计算资源等问题, 但随着技术创新的不断推进, 数字孪生在未来将发挥更加重要的作用, 成为智能制造的核心支撑, 为制造业的可持续发展提供强有力的技术保障。

#### 参考文献

- [1] 李钰龙,张红梅,陈普银,等.数字孪生技术在智能制造实训中的应用研究[J].南方农机,2025,56(07):156-159+171.
- [2] 杨明,董倩男,董梦莹.数字孪生技术在智能制造中的建模、仿真与优化分析[J].上海轻工业,2025,(01):132-134.
- [3] 王娟,石振岩,陈乐,等.数字孪生技术在南阳市智能制造产业发展中的应用研究[J].造纸装备及材料,2024,53(12):87-89.
- [4] 赵翠俭,刘淑杰,容旭巍,等.数字孪生技术在智能制造人才实训体系中的应用研究[J].石家庄学院学报,2024,26(03):145-148+160.
- [5] 韦兰花,黄亮.数字孪生技术在智能制造中的应用[J].电子技术,2024,53(04):366-368.
- [6] 范帅,相茂利,张恩亮.数字孪生技术在智能制造领域中的应用[J].造纸装备及材料,2024,53(04):86-88.
- [7] 夏丹.数字孪生技术在智能制造领域的发展与应用[J].现代农机,2023,(05):118-120.
- [8] 许衍泽.数字孪生技术在智能制造专业群实训教学项目中的应用研究[J].现代制造技术与装备,2023,59(07):209-212.

**版权声明:** ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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

