

油库全维数据融合与数字孪生技术的应用探索

张韶田 何俊霖* 梁文文 张红梅 方昌冉
重庆科技大学, 中国·重庆 401331

摘要: 论文探讨了数字孪生技术在油库安全管理中的应用, 强调了通过全维度数据集成和数字孪生技术实现油库实体与数字模型深度融合的重要性。首先概述了油库智能化建设的背景和技术需求, 随后详细介绍了数字孪生模型的构建原理和全维数据融合的实现路径。通过案例分析, 展示了数字孪生技术在提升油库安全性能、操作效率和降低运营成本方面的显著成效。最后, 论文对油库信息化建设的未来进行了展望, 预测了数字孪生技术将如何与人工智能、区块链等先进技术结合, 以推动油库管理向更智能、更安全的方向发展。

关键词: 数字孪生技术; 数据融合技术; 智能化油库建设; 高效化安全管理

Exploration of the Application of Full Dimensional Data Fusion and Digital Twin Technology in Oil Depots

Shaotian Zhang Junlin He* Wenwen Liang Hongmei Zhang Changran Fang
Chongqing University of Science & Technology, Chongqing, 401331, China

Abstract: This paper explores the application of digital twin technology in oil depot safety management, emphasizing the importance of achieving deep integration between physical and digital models of oil depots through multi-dimensional data integration and digital twin technology. Firstly, the background and technical requirements of intelligent construction of oil depots were outlined, followed by a detailed introduction to the construction principle of digital twin models and the implementation path of full dimensional data fusion. Through case analysis, the significant achievements of digital twin technology in improving the safety performance, operational efficiency, and reducing operating costs of oil depots have been demonstrated. Finally, the paper looks forward to the future of information technology construction in oil depots and predicts how digital twin technology will be combined with advanced technologies such as artificial intelligence and blockchain to promote the development of oil depot management towards a smarter and safer direction.

Keywords: digital twin technology; data fusion technology; construction of intelligent oil depots; efficient security management

0 前言

油库作为储存与转运石油和天然气等国家重要能源的枢纽^[1], 其安全管理程度直接关系着中国能源供应的安全性和稳定性。伴随着中国在信息技术和智能制造领域的高速发展, 智能化油库建设已成为提高油库安全运营效率和应对各种挑战的关键策略。

解决油库高效智能化安全管理的根本在于将现代高精尖技术实地应用于油库, 使其借助全维度数据集成和数字孪生技术推进的时空虚拟仿真技术^[2], 实现实体油库与数字模型的深度融合, 这使得对油库运行状况的实时监控、模拟分析和决策优化成为可能。这项技术不仅增强了油库的安全性能和操作效率, 还有效降低了运营成本, 为油库的日常管理提供了坚实的技术支持。同时, 数字孪生技术的应用还允许在虚拟空间中创建油库的精确复制体, 这为油库的生产流程提供了实时监控、详尽分析和即时反应的能力, 从而为油库的科学化管理提供了重要的决策依据^[3]。

1 技术需求及模型原理

1.1 技术需求

数字孪生技术是一种先进的解决方案, 它结合了物理世界的实体与数字化转型, 以便于模拟、监控以及优化这些实体或系统的性能^[4]。通过集成物理模型、传感器更新、历史数据和其他信息来源, 这种技术能够创建出精确的虚拟副本, 用于实时数据采集、深入分析及优化决策。在智能制造和复杂的系统管理领域, 数字孪生技术以其即时映射、持续改进、深入洞察及快速决策的能力而备受推崇^[5]。它不仅能够实时反映物理系统的情况, 还能提供预测性分析, 帮助决策者做出基于最新、最准确信息的决定。

数据融合则是指将来自多种不同来源的数据, 包括但不限于结构化与非结构化的数据, 进行综合处理, 以提炼出更深层次的信息和知识。这项技术在信息处理、数据分析和辅助决策方面发挥着重要作用^[6]。数据融合涉及几个关键阶段: 首先是数据预处理, 包括清理、降噪和标准化; 其次是

数据转换,即将多种格式的数据转换成一致的形式;再次是实际的数据融合,即把来自不同来源的数据合并起来;最后是数据评估阶段,用于确定融合后数据的质量和效用。

1.2 模型构建原理

在构建数字孪生模型时,数据建模是核心环节,它涉及将现实世界的数据转化为数字形式的模型,包括使用统计建模、机器学习、深度学习、物理建模和数据挖掘等方法。这些模型可以用于故障诊断、预测性维护、性能优化和决策支持^[4]。数据建模不仅包括三维建模,更重要的是能够反映物理实体的动态行为和特性,这通常需要集成传感器数据、历史操作数据和环境参数等。

数字孪生技术依赖于从物理实体中实时采集的数据,这通常需要部署多种类型的传感器来监测如温度、压力、振动和位置等参数。通过应用物理学原理和工程知识,创建物理对象或系统的数学模型,从而更好地理解并预测其行为。此外,借助机器学习算法和人工智能技术来分析收集的数据,从中揭示出模式和规律。这些数据驱动的方法不仅能补充传统的物理模型,在处理复杂的非线性关系和多变量相互作用时,还可以作为有效的替代手段^[7]。将物理模型与数据驱动模型相融合,并运用仿真软件构建一个全面的虚拟环境,使得我们能够在这一环境中测试不同的假设和参数变动,进而观察这些变化如何影响系统的表现。结合实时数据反馈与先进的分析技术,数字孪生技术因此成为一种强大且灵活的工具,有助于更深入地理解、预测并优化物理系统的性能。

2 模型的构建及全维数据融合

2.1 数字孪生模型构建

创新的物理建模工具在数字孪生模型的构建中扮演着至关重要的角色。通过运用三维扫描建模技术,可以快速且精确地获取物体的三维数据,这为创建高保真的数字孪生体提供了基础。三维扫描技术能够直接从物理对象获取点云数据,这些数据包含物体表面点的三维坐标、反射强度和颜色信息,为三维模型重建提供了精确的数据基础。此外,无网格划分仿真技术如 Altair、SimSolid 软件,它通过独特的算法和计算能力,简化了复杂结构分析的操作,省去了烦琐的网格划分步骤,同时保证了仿真分析的准确性和可靠性。这些技术的应用不仅提高了分析效率,降低了出错的可能性,还为用户提供了丰富的分析功能和直观易用的操作体验。无网格法如 MeshFree 技术,它通过隐式边界法(IBM)跨越了传统有限元网格划分的局限性,使得用户可以直接导入 CAD 模型,输入荷载和边界条件,然后进行分析,大大减少了仿真分析的准备时间。这些创新工具的应用显著提升了数字孪生模型的构建效率,为实现精准的数字孪生模型提供了强有力的支持。

结合传统统计分析与人工智能技术,可以显著增强数

字孪生的预测建模能力,通过融合这两种方法,能够在数字孪生中构建更为复杂且精确的预测模型^[8],这些模型不仅能够预测未来事件,还能辅助优化决策、识别异常情况并评估风险。在储油库项目中,利用传统统计分析与人工智能技术建立库存预测模型,可以预测未来的供需状况并优化供需平衡。在应用这些技术时,需确保数据的完整性和准确性,并精心选择与优化算法和模型以保证其适用性和效能^[9],同时还需对模型进行验证与持续监控,以确保预测模型的准确性和可靠性。

2.2 油库全维数据融合的实现路径

油库全维数据融合的实现路径涉及建立统一的数据管理平台,利用云计算、大数据、物联网和人工智能等先进技术,实现油库内人、设备、环境等要素的全面感知和信息整合。关键在于制定数据标准,通过数据集成技术整合异构数据源,确保数据的一致性和准确性。同时,信息安全是构建智慧油库的前提,必须采取有效措施保护数据安全。智能化应用如智能巡检和安全生产能提升管理效率和安全性^[10]。技术创新和研发是适应技术发展和业务需求变化的重要手段。优化业务流程和加强环保意识也是实现油库数据融合的关键因素。通过这些综合措施,油库能够提高运营效率,增强安全性,实现更高效的管理和操作。

在油库的日常运作中,会接触到来自多个源头的广泛数据,如设备状态监测数据、环境监测数据以及员工操作数据等。这些数据不仅类型繁多,结构各异,而且数量庞大,因此需要进行有效的整合和管理系统。通过安装传感器和监控摄像头等设备,可以实时收集油库运行过程中的各种数据^[11]。之后,必须对这些数据进行清洗、去噪和标准化处理,以保证数据的准确性和一致性。针对油库运营的具体需求,应设计合适的数据融合策略,运用诸如联邦学习技术、元数据管理、数据质量评估和多维度数据分析等方法,高效地整合不同来源的数据,进而生成更有价值的综合数据^[12]。

3 案例分析

某大型油田原油库的数字化转型通过采用数字孪生技术,成功地在虚拟空间中创建了实体工厂的精确映射,实现了两者的同步运行和实时交互。这种结合虚拟与现实的“虚+实”策略,使得油库能够实时监控设备状态,并通过视频监控系统深入分析生产流程和设备性能,极大地提高了巡检的效率和质量。数字孪生技术的应用贯穿于油库的建设和运营全过程,促进了工程设计的协同作业、采购流程的数字化、施工过程的可视化以及运营管理的智能化。在运营阶段,数字孪生体与物理工厂的数据融合,进一步提升了生产效率,优化了工艺流程,加强了安全管理,减少了操作人员数量,引发了组织结构和运行模式的深刻变革^[4]。

某大型海上石油公司的数字孪生海洋平台项目,通过数字化手段模拟了海洋平台的工艺流程,实现了动态仿真。

这一技术的应用不仅包括了虚拟调试和工况模拟,还涵盖了瓶颈分析、管线清管方案模拟、虚拟计量和仪表、偏流预测以及自动参数调整等多个方面。这些高级功能的集成,确保了海洋平台运营的稳定性、高效性和安全性,从而提高了整体的运营效能^[13]。

借助数字孪生技术,能够构建一个高度仿真的虚拟联合站。这一创新举措不仅提升了生产运行的效率和安全生产的水平,还实现了绿色低碳和精细化管理,同时将用工数量减半,显著推动了站库运行的现代化升级。数字孪生技术使得原油、天然气和水处理系统的关键工艺流程实现了完全的自动化控制,通过在线状态监测系统对核心设备进行实时监控,实施了基于条件的维护策略,有效降低了维护成本和设备故障率^[14]。

4 结论与展望

论文深入探讨了油库全维度数据融合和数字孪生技术驱动的时空虚拟仿真技术,提出了系统的总体架构和关键技术路线。通过构建油库的数字孪生模型,实现了对油库运营状态的实时监测、模拟分析和优化决策。该技术不仅提高了油库的安全性和效率,还有助于降低运营成本,为油库管理提供了强有力的技术支持。

未来,随着信息技术的不断发展和创新,油库信息化建设将进一步深化,油库全维度数据融合与数字孪生技术驱动的时空虚拟仿真技术将不断完善和升级。通过引入更多先进的技术手段和方法,如人工智能、区块链等,可以进一步提高系统的智能化水平和安全性。同时,该技术还可以拓展到更多领域和场景,为更多行业提供智能化的解决方案和服务。我们也将继续探索新技术在油库管理中的应用,推动油库信息化建设迈向新的高度。

参考文献:

[1] 宫敬,宋尚飞,魏生远,等.管道运输对能源供应链韧性和安全性的关键作用[J].前瞻科技,2024,3(2):19-29.

- [2] 朱宜生,王超.石油化工油气储运设备的有效管理及维护措施[J].中国设备工程,2023(20):58-60.
- [3] 赵俊宇.油库智能化建设工作研究[J].现代盐化工,2024,51(1):58-60.
- [4] 彭扬.“虚”数字“活”起来——数字孪生技术首次在胜利油田应用[J].炼油技术与工程,2024,54(6):64.
- [5] 刘宝洪.数字孪生助力大型储油库提质增效[J].山东化工,2024,53(8):192-195.
- [6] 钟盛燃.地下水封油库三维精细水文地质模型的构建与应用[D].沈阳:东北大学,2021.
- [7] 曾豪能.探索“新能源”战略背景下的智慧型安全油库建设研究[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(5):60-62.
- [8] 陈佳桥,陈旭海,叶春,等.基于数字孪生的大规模储能站运维技术研究[J].能源与环境,2024(4):76-78.
- [9] 葛勇,赵光艺.动态多维数字孪生模型的构建及应用研究[J].机械工程师,2024(8):123-126.
- [10] 耿相海.GD石油公司成品油库存优化研究[D].广州:华南理工大学,2011.
- [11] 周云峰,文涛,郑圣东,等.基于大数据分析的油库泄漏事故应急处置系统设计[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(16):4-6.
- [12] 徐敬波,田永强,赵振学,等.油库多源设备数据采集和处理系统设计研究[J].自动化仪表,2024,45(1):80-85.
- [13] 冯定,王健刚,张红,等.数字孪生技术在油气钻完井工程中的应用与思考[J/OL].石油钻探技术,1-14[2024-09-15].
- [14] 王福全,付莲.西北油田数字孪生技术驱动“深地一号”站库运行提档升级[N].中国石化报,2024-07-29(006).

作者简介: 张韶田(2003-),男,中国河南安阳人,本科,从事石油工程研究。

通讯作者: 何俊霖(2004-),男,中国重庆人,本科,从事石油工程研究。