

数字孪生技术在燃气场站运维管理中的应用

曹善俊（山东汇通能源集团有限公司，山东 烟台 264000）

摘要：随着技术的快速发展，数字孪生技术逐渐成为优化燃气场站和智能运维管理的重要工具。本文详细探讨了数字孪生技术在大型燃气场站运维管理中的应用，阐述了该技术如何帮助管理者提高操作精确性、优化维护策略以及增强员工的操作技能和应急响应能力，为燃气场站的远程调度和决策管理提供了强大支持。数字孪生技术在燃气场站运维管理中的作用将愈发显著，必将推动燃气行业朝着智能化、高效化与安全化的方向不断迈进。

关键词：数字孪生；燃气场站；运维；管理

在当今高度数字化与自动化的工业环境中，燃气场站作为能源供应体系的关键节点，其运维管理的效率与安全性不言而喻。随着技术的日新月异，数字孪生技术已逐渐崭露头角，成为推动工业系统优化与智能化管理的强有力工具。

数字孪生技术是一种依托模型驱动的技术，其核心在于将现实世界的设备、工艺流程及整个工厂等构建成高精度的数字化模型，通过不断收集和分析实时数据，实现实体世界与虚拟环境之间的即时交互，并赋能智能决策。该技术通过构建与现实世界中物理设施一一对应的动态数字模型，使运维团队得以在虚拟环境中对燃气场站的运行进行精准监控、深入测试、有效预测及持续优化。

本文旨在深入剖析数字孪生技术在大型燃气场站运维管理中的具体应用，探究这一技术如何助力场站管理者提升操作的精确性、优化维护策略以及增强员工的操作技能与应急反应能力。

1 数字孪生技术现状

“数字孪生”这一前沿概念，其起源可追溯至2003年的一个标志性时刻，彼时，美国密歇根大学的Michael Grieves教授在一次面向高管的专业培训中，首次阐述并引入了这一创新理念。他在论文中创新性地提出了“虚拟数字表示等价于物理产品”的新定义。随后，在2017年，Kirill Borodulin进一步推动了数字孪生技术在智能工厂中的应用，他通过数据驱动、知识赋能以及系统流程仿真，实现了数字孪生模拟与工业过程预测，这一成果极大地促进了数字孪生技术的发展。进入2018年，国内工业互联网领域的企业纷纷将数字孪生作为工业变革的新起点，开展了广泛的智能制造和数字化管理实践，并取得了显著的成果。2022年，赵惟仪研究开发了基于数字孪生技术的航空产品虚拟制造单元物流系统，打破了传统制造业的计

划组织模式，设计了数字孪生技术驱动的虚拟成组调度模式。到了2023年，于永志基于数字孪生理念，提出了数字孪生油田注水系统融合理论及总体概念模型，并设计开发了数字孪生油田注水系统可视化平台。这一平台实现了油田注水系统的数字孪生3D可视化的虚拟交互与数据联动，极大地推动了油田注水系统的智能化发展。

尽管数字孪生技术在许多领域取得了突破性进展，但在燃气行业，对数字孪生技术的研究仍主要停留在概念与理论层次。如何将这一技术应用于燃气场站的管理运维中，以缓解当前面临的困难，并高效、便捷地实现数字孪生技术在场站运维设置中的应用，成为了一个亟待解决的难题。

2 数字孪生技术在燃气场站运维管理中的应用

2.1 数据实时监控

燃气场站，作为一个高度复杂的综合系统，其智能化管理不仅依赖于尖端的技术设备，更涵盖了高效的数据采集、处理、分析以及业务操作流程的持续优化。在这片领域中，数字孪生技术凭借其卓越的数据集成与处理能力，引发了一场革命性的变革浪潮。

燃气场站实体涵盖了设备、管线组件、建筑、环境以及工作人员等多个方面，同时还有传感器数据集合和业务操作流程。关键数据监控要素包括：储罐，作为燃气安全存储的关键设施，需定期检测其压力、温度及液位状态，确保燃气存储的安全可靠性；压缩机，负责增压燃气，以提升输送效率，其运行状态、功率及能耗是监控重点；泵机，在液化天然气站等液体输送场景中，泵机的性能直接关系到输送能力；各类传感器，包括但不限于温度、压力、流量及泄漏检测传感器等，实时监测环境参数和设备状态；巡检机器人，能够自动巡检，减少了人工过渡干预，使得巡检的效率与安全性大幅提升；管线组件，如输气管道、阀门、法兰等，需监测其

密封性、腐蚀情况及流量变化,预防泄漏等安全隐患;建筑,如控制室、储罐区围堰、检修车间等,需关注其结构安全、防火防爆措施及环境监测;环境监测,包括场站内外的空气质量、噪声水平、温湿度等环境因素,以保障作业环境的安全与舒适度;工作人员管理,通过智能穿戴设备、定位系统等先进技术,实时掌握人员位置与状态,确保安全作业。

数字孪生技术的优势在于其数据信息的智能化采集能力,这一关键过程的实现高度依赖于物联网技术的强大数据传输支撑。物联网通过深度整合传感技术与通信技术,构筑起一个无缝连接物理世界与数字世界的桥梁,使得物体之间、物体与人之间的信息交换变得前所未有的全面与精确。这一融合应用不仅促进了环境及设备的全方位感知,还确保了数据采集的准确性和高效性。数字孪生技术将采集到的各类数据即时传输至数字孪生模型中,实现对燃气场站运行状态的实时监控与精细管理。这种实时性确保了数据的时效性,有助于及时发现并处理异常情况。

2.2 可视化展示

随着燃气场站设备的日益增多和管理成本的持续攀升,确保场站系统及设备的安全稳定运行,已成为行业管理与发展的重要课题。在此背景下,三维可视化技术应运而生,它以其独特的优势为深入理解并精准掌握场站运维的复杂规律提供了强有力的技术支撑。在油气场站的虚拟实体构建过程中,场站的静态数据源自工厂的历史资料 and 知识规则库。而运维过程中的动态数据则来自传感器和巡检机器人,这些数据涵盖了结构数据、非结构数据等多种类型。为实现有效管理,运维过程状态的可视化成为场站系统交互呈现的核心内容。动态三维场景可视化技术的实现,涉及场站三维可视化仿真技术、油气场站设备实时参数可视化技术以及巡检机器人的动态模拟可视化技术等多项关键技术。这些技术共同协作,使得从场站设备零件到大规模三维场站模型的更新和优化得以顺利实现。

数字孪生技术以其卓越的可视化能力为核心优势,通过运用最先进的高保真度三维渲染引擎,将燃气场站的运行状态、实时监测数据、深度数据分析结果、故障预警信息以及详尽的应急预案等多元、多层次且复杂的信息,以高度直观且易于理解的方式呈现给运维人员。

这种可视化展示方式的独特之处在于,它将原本抽象、难以理解的数据转化为具象的三维模型和动态图像,极大地提升了信息传递的效率和准确性。无论

是设备运行的实时监控,还是设备状态的深度剖析,甚至是预测性维护的警示信息,都能够通过三维立体图形或动画演示得以生动展现,极大地降低了理解难度,使得运维人员能够迅速掌握关键信息,有效地参与到日常的运维管理中。

这种高效的可视化展示降低了场站管理对专业技术知识的依赖,使得即便是非技术背景的运维人员也能迅速地掌握关键信息,有效地参与到日常的运维管理中。这不仅优化了工作流程,使得运维工作更加高效有序,也加速了决策的制定过程,特别是在应对突发事件时,能够迅速做出反应并实施有效的应急措施。这些显著优势使得数字孪生技术在燃气场站管理中展现出巨大的潜力,其未来的应用前景极为广阔。

2.3 远程调度与决策

数字孪生技术在燃气场站远程调度中的运用,极大地增强了管理效率和决策能力。这一技术创新依赖于覆盖燃气场站的物联网传感器网络,这些传感器实时捕捉站内各项关键数据,并通过远程调度中心,形成了一个实时、精确的信息桥梁。远程调度中心接收到数据后,采用先进的大数据分析技术,对海量信息进行了深度融合与智能解析。通过历史数据与实时数据的对比分析,系统能够精准识别潜在的运行异常,并评估不同调度方案的预期效果。

借助可视化模型技术,远程调度中心能够直观呈现燃气场站的实时运行状态。结合动态数据,调度人员可在虚拟环境中实现对燃气场站的远程监控,迅速发现并应对任何异常情况。此外,三维可视化展示极大地提升了信息传递效率,使得调度指令的传达更加直观、精确。

基于实时数据与三维模型的深度分析,远程调度中心能够自动生成最优化的调度方案。这些方案综合考虑了燃气需求预测、管网压力分布、设备运行状态等多个变量,旨在实现燃气供应的均衡性、高效性和安全性。智能调度决策不仅提升了调度的准确性和响应速度,还降低了人工干预的需求,减少了潜在的人为误差。

总而言之,数字孪生技术通过实现实时监测、远程监控与可视化、智能调度等多个层面,为燃气场站的远程调度和决策管理提供了强大支持,显著提高了燃气供应的可靠性和稳定性。

2.4 应急模拟和培训

结合人工智能(AI)和大数据分析技术,数字孪生平台通过将实体世界的应急演练过程进行精准映射和虚

拟仿真,构建出一个与现实场景高度一致的数字化演练环境。应急场景模拟在虚拟环境中,可以模拟各种复杂的应急场景,如设备故障、气体泄漏、火灾等。这些场景可以根据实际需求进行定制,以满足不同应急演练的需求。通过场景重现,培训人员能够身临其境地体验应急处置流程,增强应急反应的直观性和真实感。

在应急演练需求启动之际,数字孪生平台能够依据预先设定的应急预案流程,或基于实时数据的动态分析,智能生成模拟的突发紧急事件,并精准触发相应的演练计划执行路径。这表明系统能够根据可能发生的各种危机情况,灵活地、按需进行演练方案的部署,确保在真实事件发生时,相关人员能够迅速且有效地应对。演练执行的过程中,数字孪生平台采用先进的AI算法,对关键参数与指标进行实时监控和分析,如响应速度、资源调配效率、决策准确性等。系统能够根据预设规则对演练进程进行动态调整与干预,以更紧密地模拟真实情况下的复杂多变环境。在完成演练活动之后,数字孪生平台随即启动了对整个演练过程的全面且深刻的评估与分析工作。系统能够基于客观数据,精准地识别出表现优秀的地方以及有待改进的领域,并为每位参与者生成个性化的反馈报告。这些报告提出了针对性的改进建议和提升方向,旨在助力整个应急管理体系持续优化和完善。

数字孪生技术不仅能够支持应急模拟与演练,还能够作为培训与知识普及的有效工具。通过平台上的教学资源 and 互动功能,培训人员可以系统地学习燃气场站的安全知识、应急预案和处置技能。数字孪生技术的虚拟仿真不仅提高了员工学习安全知识的热情,还有助于安全培训教育目标的实现,对于石油化工企业的安全生产来说,有着重要的作用。

2.5 故障预警与维护

通过持续不断地对这些数据进行严密监控与深度分析,数字孪生技术能够即时捕捉到任何偏离正常范围的参数迹象,这些往往是潜在故障的早期预警信号。

为了进一步提升故障预测的精确度与前瞻性,数字孪生模型引入了先进的机器学习算法,对大量历史数据进行深度挖掘与智能学习。经过模式识别与趋势分析的洗礼,模型能够揭示设备故障发生前的固有规律与模式,从而精准预测未来可能发生的故障类型、预估其出现的时间节点,并判断可能波及的设备范围。凭借强大的数据洞察力与智能预测能力,数字孪生技术为燃气场站构建了一套全面且高效的故障预警系

统。一旦数字孪生模型预测到即将发生的故障,系统将立即触发预警信号,并通过推送方式及时通知相关人员,确保故障得到迅速而有效的响应与处理。

在实施维修或更换部件之前,数字孪生模型还可用于模拟故障场景并测试多种解决方案。基于模拟与预测结果,我们可以制定出科学合理、针对性强的维护策略,推动从“定期维护”向“预测性维护”的转变。这一技术的多维应用极大地提升了燃气场站的维护效率与设备可靠性,显著减少了意外停机时间、降低了维护成本,并有效提高了整体安全与经济效益。随着技术的不断进步与应用的深入拓展,数字孪生将持续引领能源行业迈向更智能、更高效的美好未来。

3 结语

综上所述,数字孪生技术在燃气场站运维管理中的应用,不仅彻底颠覆了传统的运维模式,还极大地提升了管理效率、决策精度以及应急响应速度。更为关键的是,数字孪生技术所驱动的远程调度与决策系统,成功突破了物理空间的局限,实现了对燃气场站的远程实时监控与智能调度。这一重大变革不仅显著降低了人力成本,还借助大数据的深入分析和智能优化算法,极大地提升了调度决策的科学性和精准性,从而确保了燃气供应的稳定性和安全性。

展望未来,随着技术的持续进步和应用场景的不断拓宽,数字孪生技术在燃气场站运维管理中的角色将愈发突出。它有望与人工智能、物联网、云计算等前沿技术实现深度融合,构建出更加智能化、高效化的运维管理体系,为燃气行业的可持续发展注入强大动力。因此,我们有充分的理由相信,数字孪生技术将成为燃气场站运维管理的重要趋势,引领整个行业迈向更加智慧化、安全化、高效化的未来。

参考文献:

- [1] 赵惟仪. 基于数字孪生的某航空产品虚拟制造单元物流系统研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2022.
- [2] 于永志. 数字孪生油田注水系统可视化平台的设计与研究 [D]. 大庆: 东北石油大学, 2023.
- [3] 董绍华, 韩忠晨, 费凡, 等. 输油气站场完整性管理与关键技术应用研究 [J]. 天然气工业, 2013, 33(12): 117-123.
- [4] 耿玥瑶. 数字孪生与深度学习融合驱动的智慧油气场站系统研究与实现 [D]. 北京: 中国石油大学, 2022.
- [5] 王佳佳, 程琬淇, 韩凌. 数字孪生 VR 技术在气田应急演练中的应用 [J]. 信息系统工程, 2024(08): 44-47.