

基于数字孪生的油气储运地面建设与运维一体化研究

胡 杨

新疆中油路桥机械工程有限公司，新疆 阿克苏 841000

[摘要]随着数字化与智能化技术不断发展，数字孪生在工业和能源领域应用越来越广泛，在油气储运系统里，其于建设与运维一体化管理方面展现出了独特优势。文章围绕数字孪生技术在油气储运地面设施建设和运维中的应用展开研究，分析其在数据采集、设备健康预测、风险识别、应急响应、运维优化以及建设与运维一体化模型构建等环节的作用。通过深入探讨数字孪生技术架构及应用场景，提出构建高效运维管理体系的方法，为油气储运系统高可靠性运行、资源优化配置以及可持续发展提供理论参考和实践指导。研究显示，数字孪生在运维管理和建设优化方面能提高系统运行效率，还能在保障安全的同时降低资源消耗，为能源基础设施数字化转型提供新思路和技术支撑。

[关键词]数字孪生；油气储运；地面建设；运维一体化

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17617

中图分类号: TE832

文献标识码: A

Research on the Integration of Ground Construction and Operation of Oil and Gas Storage and Transportation Based on Digital Twins

HU Yang

Xinjiang Zhongyou Road and Bridge Machinery Engineering Co., Ltd., Aksu, Xinjiang, 841000, China

Abstract: With the continuous development of digital and intelligent technologies, digital twins are increasingly widely used in the industrial and energy fields. In the oil and gas storage and transportation system, they have shown unique advantages in the integrated management of construction and operation. The article focuses on the application of digital twin technology in the construction and operation of oil and gas storage and transportation ground facilities, analyzing its role in data collection, equipment health prediction, risk identification, emergency response, operation and maintenance optimization, and the construction of integrated models for construction and operation. By delving into the architecture and application scenarios of digital twin technology, a method for constructing an efficient operation and maintenance management system is proposed, providing theoretical reference and practical guidance for the high reliability operation, resource optimization and allocation, and sustainable development of oil and gas storage and transportation systems. Research shows that digital twins can improve system operational efficiency in operation and maintenance management, as well as construction optimization. They can also reduce resource consumption while ensuring security, providing new ideas and technical support for the digital transformation of energy infrastructure.

Keywords: digital twins; oil and gas storage and transportation; ground construction; integrated operation and maintenance

引言

油气储运属于能源供应链里的关键环节，其建设以及运维效率会对能源安全、供应可靠性还有经济效益产生直接影响。在传统的模式当中，建设跟运维存在着信息分割、管理分散以及响应滞后的诸多问题，很难达成全生命周期的高效管理。伴随数字孪生技术不断发展起来，凭借虚拟模型所具备的实时数据同步以及分析的能力，给油气储运地面设施的建设与运维一体化带来了全新的解决办法。数字孪生通过针对物理系统展开虚拟映射的操作，可实现对数据的实时采集、状态监控、运行预测以及风险分析等，让建设以及运维环节可以协同进行优化。着重探讨数字孪生技术在油气储运系统当中的应用框架以及实施路径，全面且细致地分析运维数据采集、设备预测、风险管理、运维优化以及一体化模型构建的方法。本文所涉及的研究内容，一方面丰富了数字孪生在能源基础设施领域内的理论

研究内容，另一方面也给实际的工程应用提供了具有可操作性的方案。

1 数字孪生技术概述

数字孪生技术是一种把物理实体、运行过程以及环境状态在虚拟空间里予以精准映射的技术方式，它的关键之处就在于达成物理系统和数字模型之间的双向且实时的互动交流。借助传感器以及监测设备来收集实时数据，再与历史运行数据相结合并开展仿真分析，数字孪生可以精准地反映出系统的实际状态、性能状况以及潜在存在的风险情况，进而为相关决策给予科学层面的依据。在油气储运系统当中，数字孪生不但可以在建设阶段实施虚拟建模以及方案方面的优化工作，而且在运维阶段也能够达成设备健康状况的监测、故障发生的预测以及风险程度的评估等一系列目的，由此形成了从设计环节、施工环节一直到运维环节的全流程数字化管理方式。数字孪生技术得以实

现是依靠数据采集、数据处理、模型仿真以及可视化展示等诸多核心环节,从而构建起一个呈现出多层次特点且能够动态协同运作的系统架构。它的应用能够提升油气储运设施在运行过程中的可视化程度,强化管理决策所具备的科学特性,对资源配置加以优化,并且凭借预测性运维来降低设备出现的损耗以及系统存在的风险,进而为建设与运维一体化管理筑牢了坚实的技术根基。

2 地面建设的关键要素

地面建设是油气储运系统的基础,其设计、规划、施工和维护环节直接影响着整个系统的可持续性。在设计和规划方面,考虑到地质条件、环境影响和社会因素是至关重要的。设计阶段需要深入分析地质结构,确保油气设施的安全性和稳定性。同时,设计还应当充分考虑环境友好性,采用符合可持续发展标准的技术和材料。规划阶段不仅涉及项目布局,还需要明确资源利用计划和时间进度。综合考虑能源需求、输送距离和资源分布,科学合理的规划可以降低系统建设和运营的成本,提高整体效益。施工阶段需要高度专业化的工程团队,确保设施按照设计要求和标准进行建造。施工时,必须严格遵循环保和安全规定,采用先进的建筑技术,确保设施的长期稳定运行。在这个过程中,项目管理的有效性也至关重要,包括进度的监控、成本的控制以及对变更的灵活应对。设施的定期检修和维护工作需要系统性的计划,以确保各个组件的性能和安全性。地面建设的关键要素包括设计和规划、施工和维护。这一系列环节紧密相连,相互影响,通过科学合理的设计和规划,高效专业的施工实践以及系统性的维护管理,可以最大限度地降低环境和社会风险,推动油气储运系统向更可持续发展的方向。

3 运维一体化管理与数字孪生应用

3.1 运维数据采集与实时监控

在运维管理领域当中,数据采集以及实时监控这两个方面,属于数字孪生应用的最为基础的环节所在。借助于去布设诸如传感器、智能终端还有监测设备等一系列相关设备,便可以实时且有效地获取到油气储运设施所涉及的各项关键参数,像温度、压力、流量、振动以及能耗等方面的信息均包含在内。而这些所采集到的数据,会通过高速通信网络传送到中央处理平台之上,在此之后,经过一系列如清洗、校验以及融合处理等诸多操作流程,进而达成对系统在整个生命周期状态下实时可视化的这样一个效果。运维人员能够凭借直观的界面,迅速知晓设施的实际运行状况,从中发现存在的异常情况或者潜在的风险隐患,并且及时采取与之相应的应对措施,如此一来便能够有效避免出现停运或者是事故发生的不利情形。实时监控一方面为日常的管理工作给予了数据方面的有力支撑,另一方面也为后续开展的预测性维护、风险评估以及决策分析等相关工作打下了坚实的基础,使得运维管理整体而言变得更加科学、更为精准以及更高效率。

3.2 设备状态预测与健康管理

数字孪生技术借助对设备历史数据以及实时监控数据展开综合分析的方式,构建起设备状态预测以及健康管理方面的模型。该系统针对设备的运行行为、性能指标还有环境影响因素加以建模处理之后,便能够提前察觉到设备出现的磨损情况、潜在的故障问题以及性能呈现出来的下降趋势,进而达成预测性维护的目的。健康管理并非仅仅着眼于单台设备,其还涉及到整个系统的运行特性。通过针对各类设备处在不同工况之下所做出的响应展开仿真分析,可为运维人员给予维护决策的相关依据以及优化方面的策略,并且还能够是不一样的运行条件以及环境发生变化的情况下,对设备寿命以及可靠性予以评估,以此来保证维护计划具备科学性以及可操作性。预测性维护模式能够在故障尚未发生之前就采取相应的干预举措,如此一来便能够缩减非计划停机所花费的时间,压低运维方面所耗费的成本,同时也能够确保油气储运设施可以持续且可靠地运行下去。除此之外,该模型能够联合设备之间存在的关联性展开分析,进而对系统整体性能做出评估,优化能源的使用状况以及资源的分配情况,达成全系统协同运行的目标以及将风险降至最低的程度。这种依托数字孪生所开展的状态预测与健康管理工作,不但大幅提升了系统的安全性以及资源利用的效率,而且还为油气储运设施实现长期稳定的运行给予了稳固的技术保障以及决策方面的有力支撑。

3.3 风险识别与应急响应仿真

在油气储运系统的运行进程里,设备出现故障、操作过程中出现失误以及受到环境方面因素的影响,都有可能引发安全风险。数字孪生凭借构建起与现实设施高度保持同步的虚拟模型这一方式,可以针对潜在的风险展开实时的识别与预测工作,而且还能借助仿真技术来评估不同应急措施所取得的效果。该系统能够模拟出各类紧急的情况,像设备出现异常状况、发生泄漏事故还有能源供应突然中断等等这类情况,并且会分析应急响应流程给系统安全性所带来的影响,进而对应急方案以及资源分配加以优化。经过仿真的预演环节,运维管理者便能提前察觉到其中存在的薄弱环节,进而制定出科学且合理的风险应对策略,使得事故响应的速度以及处理的效率都得到显著的提升,同时也增强了油气储运系统的整体韧性以及安全保障方面的水平。

3.4 运维优化与资源调度

运维优化以及资源调度属于数字孪生在油气储运系统当中的关键应用范畴。借助对实时运行数据、设备状态信息还有历史运维记录加以综合剖析的方式,系统便能够生成行之有效的运维策略以及资源分配方案,进而对设备运行参数、维护周期以及能源消耗等方面予以优化处理。资源调度所涉及的方面并不仅仅局限于人力以及物资,还囊括了能源供应以及运输路径规划等内容。凭借数字孪生

模型展开协同分析的操作,可以达成设施运维与资源配置之间的精准匹配效果,从而使得系统运行效率得以最大限度地提升。经过优化之后的运维管理工作,能够在确保设施安全且稳定的状态下,有效降低能源消耗以及运营成本,并且与此同时还能进一步提升应急响应能力,进而为建设与运维一体化给出具备科学性且切实可行的实施途径。

4 建设与运维一体化的数字孪生模型

4.1 模型架构设计

数字孪生模型的架构设计构成了其功能得以实现的根基所在。就油气储运系统来讲,一体化模型一般涵盖数据采集层、信息处理层、仿真分析层以及可视化应用层这几个层面。其中,数据采集层主要承担着从传感器、监测设备还有历史记录当中去获取实时数据以及静态数据的任务,并且要针对所获取到的数据展开标准化方面的处理工作^[1]。信息处理层会针对采集上来的数据实施融合操作、清洗处理以及建模事宜,从而为后续的仿真分析给予高质量的数据输入保障。仿真分析层这边,则是借助物理模型、行为模型以及运行规律来开展虚拟实验活动,进而对系统的运行趋势以及潜在存在的风险做出预测。可视化应用层则是通过图形界面、三维模型以及动态仪表盘等方式,把分析所得的结果以一种直观的形式展现给管理者,以此达成由数据所驱动的决策支持效果。而合理的模型架构设计能够切实保证在建设阶段以及运维阶段能够实现信息的同步状态,并且达成协同优化的目标,进而为系统的安全状况以及运行效率筑牢坚实的根基。

4.2 数据集成与信息流管理

在一体化模型当中,数据集成以及信息流管理属于极为关键的核心环节。油气储运系统所涉及的数据来源颇为广泛,囊括了在建设阶段时的设计参数、施工记录,还有处于运维阶段的实时监控数据、设备状态数据以及历史运维数据等。借助于数字孪生模型,其能够凭借统一的数据平台达成对多源数据的整合处理以及结构化的管理方式,以此来保障数据在整个各个不同环节之间具备连续性与一致性。与此信息流管理可实现数据的高效传输、存储以及调用操作,进而能够让建设方面的管理者以及运维方面的管理者都能够实时地获取到自身所需的各类信息^[2]。数据集成一方面提高了模型仿真的精度,另一方面也为预测性运维以及决策优化给予了可靠的依据,从而促使建设环节与运维环节达成深度融合并实现协同运作的状态。

4.3 多维可视化与仿真分析

多维可视化与仿真分析属于数字孪生模型的关键应用方式,其可把复杂的系统状态以直观且动态的形式展现给管理者,进而提升信息理解的效率以及决策的科学性。在油气储运系统当中,借助三维建模、时序动画以及指标仪表等多种可视化技术,能够完整呈现设施布局、设备状态、能源流动、物料输送还有潜在风险分布情况,助力管理者从空间与时间两个维度全方位把控系统运行状况。仿

真分析凭借历史数据、实时监控信息以及预测性算法来开展工况模拟、故障演练以及应急预案验证工作,让管理者可在虚拟环境里评估不同方案的实施效果、风险程度以及资源消耗状况,以此优化运维策略和资源配置,达成安全性、经济性与效率的综合均衡。多维可视化与仿真分析可支撑跨部门协同管理,把建设、运维、应急和调度信息整合到统一界面,使得管理者能同步掌握全系统的状态,快速应对突发事件,并持续迭代优化运维方案,从而为建设与运维的一体化管理给予稳固、可靠并且可持续的技术支撑。

4.4 模型验证与迭代更新

数字孪生模型要靠持续的验证以及不断的迭代更新来保证其有效性,在油气储运系统里,模型得和实际设施的运行状态高度一致才行,借助历史数据回溯以及实时监控的方式去校验模型,以此来确保预测以及仿真的结果是准确的^[3]。并且,随着设施的改造、运维经验的积累还有技术的推进,模型得持续迭代更新,以便能适应新的工况、新的设备以及新的需求,迭代更新既涵盖模型参数的调整以及数据的补充,也涉及到对建模算法以及仿真逻辑的优化,进而提高系统的响应速度以及预测的精度。凭借持续的验证以及迭代,数字孪生模型可长期维持对建设以及运维环节的高适应性,给油气储运系统的安全、稳定以及高效的运行给予强有力的保障。

5 结语

数字孪生技术给油气储运地面设施的建设以及运维一体化带来了全新的管理模式和技术途径。借助构建高精度的数字孪生模型,该系统可在建设阶段达成虚拟优化,在运维阶段实现实时监控以及预测性管理,同时于风险识别、资源调度还有运维优化等方面给予科学决策方面的支撑。数字孪生不但强化了系统的可视化程度、可控性以及智能化水准,而且推动了建设与运维环节展开深度协同,进而为油气储运系统的高效运作、安全无虞以及可持续运行给予了强有力的保障。在未来,伴随技术不断向前发展以及应用经验逐步积累起来,数字孪生在油气储运乃至更为广泛的能源基础设施管理领域将会释放出更大的潜能,促使能源系统朝着数字化、智能化以及绿色化的方向不断发展前行。

【参考文献】

- [1]肖开阳,曾庆林,陈伟.油气田地面建设储运工艺技术的创新发展分析[J].化工管理,2022(26):162-164.
 - [2]赵连成.地面建设与油气储运系统的可持续发展研究[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(12):98-100.
 - [3]魏哲明.油气田地面建设储运工艺技术的创新发展研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(4):184-186.
- 作者简介:胡杨(1978.9—),毕业院校:新疆农业大学,所学专业:城镇建设,当前就职单位名称:新疆中油路桥机械工程有限公司,就职单位职务:生产管理员,职称级别:工程师。