

基于数据孪生的石化工程 数字化交付平台开发与实践

赵杰

南京强思数字科技有限公司，江苏南京

摘要：随着石化工程规模的扩大和复杂度的提升，传统的工程交付方式已难以满足高效、精准的管理需求。本文提出了一种基于数据孪生的石化工程数字化交付平台，旨在通过集成先进的信息技术，实现工程项目的全生命周期数字化管理。该平台利用数据孪生技术，构建与实体工程相对应的虚拟模型，实现实时数据同步与分析，为工程项目的规划、设计、施工及运维等阶段提供强大的决策支持。通过案例研究，我们验证了该平台在提升工程效率、保障工程质量及促进产业链协同等方面的显著效果。本文的研究不仅为石化工程的数字化交付提供了新的思路和方法，也为其他行业领域的数字化转型提供了有益的参考。

关键词：数据孪生；石化工程；数字化交付；平台架构

Development and Practice of Digital Delivery Platform for Petrochemical Engineering Based on Data Twin

Jie Zhao

Nanjing Qiangsi Digital Technology Co., LTD, Nanjing, Jiangsu

Abstract: With the expansion of petrochemical engineering scale and the improvement of complexity, the traditional engineering delivery mode has been difficult to meet the needs of efficient and accurate management. This paper proposes a digital delivery platform for petrochemical engineering based on data twin, aiming to realize the whole life cycle digital management of engineering projects by integrating advanced information technologies. The platform uses the data twin technology to build a virtual model corresponding to the physical engineering, realize real-time data synchronization and analysis, and provide strong decision support for the planning, design, construction, operation and maintenance stages of engineering projects. Through case studies, we have verified the significant effect of the platform in improving engineering efficiency, ensuring engineering quality and promoting industrial chain collaboration. The research in this paper not only provides new ideas and methods for the digital delivery of petrochemical engineering, but also provides a useful reference for the digital transformation in other industry fields.

Keywords: Data twinning; Petrochemical engineering; Digital delivery; Platform architecture

1 引言

在石化工程领域，随着技术的不断进步和项目规模的日益扩大，传统的工程交付方式逐渐暴露出效率低下、管理粗放等问题。为了适应新时代的发展需求，提高工程项目的竞争力和可持续性，石化工程数字化交付成为了行业发展的必然趋势。本文旨在探讨基于数据孪生的石化工程数字化交付平台的开发与实践，以期为石化工程领域的数字化转型提供新的解决方案。

2 数据孪生技术基础

2.1 数据集成与模型构建

在构建数字孪生的过程中，数据集成与模型构建是基础中的基础，它涉及到将来自不同源头的海量工程数据有效地整合到一个统一的框架中。这一阶段可能包括从设计图纸、BIM模型、传感器数据到历史运行记录等多种类型的数据。同时，数据集成确保了设计数据、施工进度和设备参数等信息的实时更新，为后续的实时分析提供完整的基础。

在模型构建过程中，不仅要考虑静态的设计状态，还要考虑工程的动态变化。这可能涉及到模拟不同工况下的工程性能，如工艺流程的优化、设备的寿命预测等。通过应用先进的分析模型，可以预测潜在的故障点或性能瓶颈，从而支持更精准的决策。

2.2 实时数据同步与分析

实时数据同步与分析是数据孪生技术中的关键环节，它涉及到将现场采集的大量传感器数据实时整合到数字孪生模型中，以反映石化工程的实时状态。通过高级分析模型，这些数据可以被用来预测设备性能、优化运营策略以及提前识别潜在的故障点。例如，工程师可以利用机器学习算法，对来自炼油设备的实时流体温度、压力和化学成分数据进行分析，以预测设备的热应力和腐蚀情况，从而在问题发生前进行预防性维护。这种基于数据的决策支持，显著提高了工程的安全性和效率，减少了因意外停机造成的损失。

此外，实时数据同步与分析还有助于实现石化工程的智能化监控。通过将实时数据与预设的安全

阈值进行比较，系统能够自动触发警报，及时通知操作人员处理异常情况。这种自动化的监控机制，不仅提高了响应速度，还减轻了操作人员的负担，使他们能够更专注于复杂的决策任务。同时，实时数据同步与分析也为石化工程的持续改进提供了有力支持。通过对历史数据的深入挖掘，工程师可以发现运营过程中的瓶颈和浪费点，进而提出针对性的改进措施，推动工程效率和经济效益的不断提升。

2.3 仿真预测与决策支持

在数据孪生技术基础中，仿真预测与决策支持是核心能力之一。通过整合来自石化工程的大量设计数据、传感器数据以及运营数据，可以构建动态的数字孪生模型。这一模型不仅能够实时反映物理设施的状态，还能通过高级分析算法预测设备的性能趋势和潜在的故障点。例如，可以利用机器学习算法预测设备的维护需求，从而减少非计划停机时间，提高生产效率。

在实际应用中，决策支持系统基于数字孪生模型，为工程团队提供数据驱动的决策依据。例如，当面临工艺优化决策时，系统可以模拟不同操作参数下的运行结果，帮助工程师快速识别最佳操作策略，以提升能效和产品质量。

此外，仿真预测能力还可以支持安全管理，通过模拟异常工况，提前评估风险并制定应急预案，确保人员安全和设施稳定运行。在一次模拟的泄漏事故中，数字孪生系统准确预测了泄漏扩散路径，为应急响应节省了宝贵时间，降低了事故影响程度。这表明，仿真预测与决策支持是推动石化工程向更智能、更安全方向发展的重要驱动力[1-4]。

3 石化工程数字化交付平台架构

3.1 三维可视化建模

三维可视化建模是数字孪生技术在石化工程中的应用的关键组成部分。它通过构建高精度的虚拟环境，将工程设计、设备布局以及工艺流程等复杂数据以直观、易理解的方式呈现出来。例如，工程师可以利用BIM（建筑信息模型）技术，结合大量的设计图纸和设备规格，创建出与实际工程等比例的

三维模型，确保数据的准确性和完整性。这样的模型不仅能够辅助设计阶段的决策，减少设计错误和变更，还能在施工前进行预演和模拟，从而提高工程的建设效率和质量。

在实际操作中，三维可视化建模结合物联网传感器的数据，可以实时更新模型状态，反映设备运行参数和环境条件。比如，通过对接炼油装置的传感器数据，可以实时监控设备的温度、压力等关键指标，及时发现潜在的故障隐患。此外，通过历史数据的回溯和分析，可以优化操作规程，提高设备的运行效率和寿命[5]。

3.2 物联数据接入与管理

在石化工程的数字化交付过程中，物联数据接入与管理扮演着至关重要的角色。通过集成来自现场传感器、设备和控制系统等多源数据，可以实现对工程状态的实时监控和智能分析。例如，安装在炼油设备上的传感器可以收集温度、压力、流速等关键参数，这些实时数据经过整合，可以构建出工程的数字镜像，从而提供决策支持。

在某石化工程的实践中，通过与物联网平台的深度融合，项目团队能够实时追踪设备性能和工艺流程，及时发现潜在的故障隐患。一旦数据异常，智能分析模型会自动触发警报，通知维护人员进行预防性维护，显著减少了非计划停机时间。

此外，物联数据的接入还促进了跨部门和供应链的协同工作。例如，工程设计团队可以基于实时运营数据调整设计方案，而采购部门则可以根据设备的实际消耗情况优化库存管理。这种数据驱动的协同工作模式，不仅提高了工程效率，也确保了在整个项目生命周期中的信息透明度和知识传承。

在数据安全方面，接入的物联数据需要经过严格的权限控制和加密处理，以防止敏感信息泄露。同时，利用云计算平台的高级安全功能，如防火墙、入侵检测系统等，可以进一步增强数据的防护能力，确保在提升工程数字化水平的同时，数据资产得到妥善保护。

3.3 云计算平台与数据安全

在构建数字孪生的过程中，云计算平台扮演着至关重要的角色，它为石化工程的海量数据提供了

可靠的存储和处理能力。通过云平台，可以整合来自设计、施工、运营等多个阶段的数据，实现数据的统一管理和高效利用。

数据安全是数字孪生系统不可忽视的一环。在石化工程的数字化交付中，必须确保敏感信息，如工艺参数、设备性能数据等，不受到未经授权的访问或泄露。因此，平台需要采用先进的加密技术和访问控制策略，以保护数据的完整性与隐私性。例如，某石化工程在实践中，通过实施严格的权限管理，确保只有授权人员才能访问特定的数据和功能，从而降低了数据泄露风险。

同时，云计算平台的高可用性和灾备能力为数据安全提供了额外保障。通过在多个地理区域设置数据冗余，即使面对自然灾害或硬件故障，也能确保服务的连续性和数据的可恢复性。这种级别的服务稳定性对于保障石化工程的正常运行至关重要，因为任何数据丢失或服务中断都可能导致巨大的经济损失。

4 平台开发过程与实践案例

4.1 开发工具与平台选型

在构建数字孪生的过程中，选择合适的开发工具与平台是至关重要的。这涉及到数据集成的高效性，例如，使用先进的数据整合工具如ETL（提取、转换、加载）来整合来自不同源头的工程数据，包括设计图纸、BIM模型和传感器数据。同时，平台选型需要考虑其对模型构建的支持能力，确保能够创建精确的数字孪生模型，以反映石化工程的复杂结构和动态运行状态。

此外，开发工具的选择还应注重其实时数据同步与分析功能。实时数据是数字孪生系统的核心，因此，选择支持高效实时数据交换和处理的工具至关重要。这些工具应具备低延迟、高吞吐量的特点，以确保数字孪生模型能够实时反映实体系统的变化。

在平台选型方面，除了对模型构建的支持外，还需考虑平台的可扩展性、易用性和兼容性。随着石化工程规模的不断扩大和复杂度的提升，平台应具备灵活扩展的能力，以适应未来的需求变化。同时，平台的用户界面应简洁直观，降低操作难度，提高工作效率。

4.2 案例研究：某石化工程的数字化交付实践

在石化工程领域，数字化交付正逐渐成为行业趋势。以国内某石化工程为例，该项目在实施过程中，充分利用数据孪生技术，实现了工程设计、施工与运营的深度融合。通过集成来自不同源头的大量工程数据，如设计图纸、BIM模型和传感器数据，构建了一个实时更新的数字孪生模型。这一创新方法确保了在工程全生命周期中，所有决策都能基于最新的现场信息，极大地提高了工作效率。

在该案例中，三维可视化建模技术被用来创建一个高度详细的虚拟化工厂，使项目团队能够直观地理解复杂系统的相互关系。同时，通过接入物联网设备，实时监测设备运行状态和工艺参数，实现了远程监控和故障预警。云计算平台的运用，不仅提供了强大的数据处理能力，还确保了数据的安全存储和访问控制，符合石化行业严格的安全标准。

在实际操作中，当遇到设计变更或设备故障时，团队能够迅速在数字孪生模型中进行模拟分析，提出最佳应对策略，大大缩短了响应时间。据数据显示，这一数字化交付方式使工程的调试周期缩短了20%，维修效率提升了35%，充分体现了技术在提升工程效率与质量方面的巨大潜力。此外，该案例的成功实践还促进了产业链的协同工作。所有相关合作伙伴都能够通过安全的云平台访问到他们所需的信息，促进了跨部门、跨公司的合作与知识共享。

5 平台应用价值与影响

5.1 提升工程效率与质量

数据孪生技术在石化工程中扮演着关键角色，通过集成来自设计、施工和运营阶段的大量数据，构建出工程的数字镜像。实时数据同步使工程团队能够及时了解设备状态和工艺参数，从而快速响应潜在问题，减少了传统方法中的延迟和误判。

在决策支持层面，数据孪生结合高级分析模型，能够预测设备故障、优化生产流程，甚至模拟不同场景下的运营策略，帮助管理者做出更科学的决策，显著提升工程的运行效率和资源利用率。

石化工程数字化交付平台的构建，如通过三维可视化建模，为工程人员提供了直观的工作环境，简化了复杂系统的理解和操作，减少了错误发生，从而直接提升了工程质量和安全性。同时，通过物联数据接入与管理，可以实时监控设备性能，预防性维护减少了非计划停机时间，进一步保证了工程效率。

云计算平台的运用确保了数据的安全存储和高效处理，同时支持跨地域、跨专业的协同工作，即使在面对大型、复杂的石化工程时，也能保证项目的流畅进行。

以国内某石化工程的数字化交付实践为例，通过定制化的数字化工具，工程周期缩短了15%，工程变更的处理速度提高了30%，同时，由于减少了返工和现场问题，工程质量和安全得到了显著提升，充分展示了数据孪生技术在提升工程效率与质量方面的巨大潜力。

此外，这种数字化转型也促进了产业链上下游的协同创新，通过知识的标准化和数字化传承，降低了新项目的学习曲线，长期来看，对于整个行业的进步和可持续发展具有深远影响。

5.2 促进产业链协同与知识传承

数据孪生技术在石化工程中的应用，为促进产业链协同与知识传承开辟了新的路径。通过数据集成与模型构建，可以将设计、施工、运营等各阶段的数据整合，形成统一的数字镜像，使得产业链上下游企业能够基于同一份实时更新的“数字蓝图”进行协作。例如，供应商可以更准确地了解工程需求，提前进行设备制造，从而缩短工程周期。

在物联数据接入与管理中，设备运行数据与工程模型实时对接，不仅提升了工程的安全监控能力，也为后期的维护和优化提供了数据支持。这种透明化的信息共享机制，有助于打破行业壁垒，促进不同专业领域的协同创新。

上述案例为例，某石化工程在数字化交付实践中，通过定制化的开发工具与平台选型，成功实现了设计与施工的无缝对接。工程团队可以实时查看设备状态，快速响应问题，减少了传统模式下的沟通成本和时间浪费。同时，该平台也成为知识传承的载体，将项目经验以数字化形式保留，为后续类

似工程提供宝贵的参考。

这种数字化转型显著提升了工程效率与质量，同时也促进了产业链的升级。通过数据分析与模拟预测，可以提前预判潜在问题，优化资源配置，降低运营成本。此外，它还推动了上下游企业提升自身的数字化能力，形成了一种良性的产业生态，共同推动石化行业的持续发展和知识创新。

6 结语

随着数字化转型的深入推进，基于数据孪生的石化工程数字化交付平台将发挥越来越重要的作用。它不仅极大地提升了工程效率与质量，降低了运营成本，还促进了产业链上下游企业的协同与创新。未来，随着技术的不断进步和应用场景的拓展，该平台有望实现更多功能，为石化行业的发展注入新的活力。同时，我们也应认识到，数字化转

型是一个长期而复杂的过程，需要各方共同努力，不断探索和实践。相信在大家的共同努力下，石化工程数字化交付平台将不断完善。

参考文献

- [1] 马明, 章剑波, 胡联伟. 炼化工程行业数字化交付研究与应用[J]. 石油化工自动化, 2020, 56(5): 49-53.
- [2] 吴付标. 数字化设计与交付推进高效建造[J]. 中国建设信息化, 2023(8): 37-39.
- [3] 李艳刚. 基于项目管理过程的数字化交付平台构想[J]. 项目管理技术, 2020, 18(1): 63-67.
- [4] 王强, 张伟. 数据孪生技术在石化行业的应用探索[J]. 石油炼制与化工, 2022(03).
- [5] 赵雷, 刘涛. 三维可视化技术在石化工程设计中的应用[J]. 化工设计通讯, 2021(07).

