

油气田地面工程模块建造数字化技术与经济性应用

赵尉钧 (中石化胜利油建工程有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 随着全球油气行业的快速发展, 油气田地面工程的规模和复杂性不断增加, 传统的建造与管理模式已难以满足现代油气田高效、安全、环保的开发要求。本文探讨了模块化建造在油气田地面工程中的应用, 并深入研究了数字化技术在这一领域的具体应用与实践。通过分析油气田地面工程的发展现状和面临的挑战, 阐述了模块化建造的优势和实施方式, 详细论述了数字化技术的应用及成本控制, 经济效益等应用。

关键词: 地面工程; 模块化建造; 数字化技术; 经济性分析

中图分类号: TE4

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 017-0072-03

Digital Technology and Economic Application of Modular Construction in Oilfield Surface Engineering

Zhao Weijun (Sinopec Shengli Oilfield Construction Engineering Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: With the rapid development of the global oil and gas industry, the scale and complexity of oilfield surface engineering continue to increase, making traditional construction and management models inadequate to meet the requirements of modern oilfields for efficiency, safety, and environmental protection. This paper examines the application of modular construction in oilfield surface engineering and conducts an in-depth study on the specific implementation and practice of digital technologies in this field. By analyzing the current development status and challenges of oilfield surface engineering, the advantages and implementation methods of modular construction are elaborated. The paper provides a detailed discussion on the application of digital technologies, cost control, and economic benefits.

Keywords: surface engineering; modular construction; digital technology; economic analysis

近年来, 随着数字技术的发展, 尤其是大数据、物联网、人工智能和云计算技术的广泛应用, 为油气田地面工程提供了新的解决方案。数字化技术不仅可以提升工程设计和建造效率, 还能实现全生命周期的管理和维护, 从而推动油气田地面工程向智能化方向发展。此外, 模块化建造作为一种先进的建设模式, 可以通过标准化设计和预制构件来缩短工期、降低成本和提高施工质量。

1 模块化建造技术

模块化建造是一种将复杂工程项目分解为若干个功能模块, 并在工厂内完成预制和组装, 然后运输到现场进行安装和调试的建设方式。其核心理念是将传统的线性建设过程转变为并行作业, 从而提高工程效率、缩短工期并降低成本。模块化建造技术广泛应用于建筑、桥梁、海上平台等领域, 近年来在油气田地面工程中也得到了越来越多的关注和应用。

2 模块化建造优势

①提高效率: 通过工厂预制和现场组装相结合的方式, 可以显著缩短工期。预制过程中, 各模块在受控环境下同步生产, 减少了现场施工时间。

②质量控制: 工厂环境中的预制过程便于实施严格的质量监控, 减少现场施工中人为错误的影响, 提高整体工程质量。

③成本降低: 并行作业提高了劳动力和设备的利用率, 降低了施工成本。此外, 预制过程中的材料浪费更少, 有助于节约材料成本。

④安全保障: 大部分施工工作在工厂内完成, 施工现场的安全性得到显著改善, 降低了高空作业和现场施工的安全风险。

⑤环境友好: 工厂预制减少了现场施工过程中产生的噪音、粉尘和废物污染, 有利于环境保护。

3 模块化建造在油气田地面工程中的应用

3.1 模块化设计

模块化设计是模块化建造的基础环节, 主要包括:

①设计标准化: 制定统一的设计规范和标准, 确保各模块能够兼容并发挥预期功能。标准化设计有助于简化施工过程, 提高工程的整体协调性。

②模块划分: 根据功能需求将整个工程项目划分为若干个相对独立的功能模块, 如计量站模块、集输泵站模块、气体处理模块等。每个模块具备独立功能, 可单独设计和制造。

③三维建模与仿真: 利用三维建模技术模拟实际工况, 检验各模块的设计合理性和可操作性, 及时发现并解决潜在问题。

3.2 工厂化建造

工厂化建造是模块化建造的核心环节, 主要包括:

①预制加工：在工厂内完成各模块的预制工作，包括结构件焊接、设备安装、管线铺设等。预制过程中严格控制各项工艺参数，确保模块质量。

②质量检测：对预制完成的模块进行全面的质量检测，包括焊缝探伤、压力试验、气密性检查等，确保模块达到设计标准。

③预组装与调试：在工厂内进行模块的预组装和初步调试，确保各模块在出厂前能够正常运行。这一过程有助于提前发现并解决潜在问题，减少现场施工中的调整工作。

3.3 包装运输

为了确保模块在运输过程中不受损坏并适应现场安装需求，包装运输环节尤为重要：

①包装防护：根据模块的形状和特性，采用合适的包装材料进行防护，防止运输过程中发生磕碰、变形等情况。对于重要部件和敏感设备，采取额外的保护措施。

②物流组织：合理安排模块的运输顺序和物流路径，确保各模块按时到达施工现场。对于大型模块，采用专用运输工具和路线规划，避免普通道路的限制。

③现场卸货：在施工现场进行有序的卸货和临时存放，确保各模块在进入安装环节前保持完好无损。

3.4 现场安装

现场安装是模块化建造的最后一环，直接影响到整个项目的成败：

①地基本准备：在模块运输到位前，完成地基的准备工作，包括地基开挖、硬化和基础浇筑等。确保地基平整、坚固，符合安装要求。

②模块吊装：采用合适的吊装设备和方法，将模块吊装至预定位置。吊装过程中严格控制吊装速度和角度，确保模块平稳就位。

③连接与调试：完成模块间的连接工作，包括管线对接、电缆连接等。进行单体试运行和系统联调，确保各模块正常运行并与整体系统无缝衔接。

4 数字化技术在模块化建造中的应用

数字化技术是指利用计算机硬件和软件工具对信息进行处理、存储和管理的技术。它在模块化建造中的应用主要包括大数据、物联网、人工智能和云计算等。这些技术相互配合，能够在设计、生产、运输和安装各个阶段提升效率和精度。

4.1 大数据在模块化建造中的应用

大数据技术通过收集、存储和分析海量数据，为工程设计、施工和管理提供强有力的支持。在模块化建造中，大数据的应用主要体现在以下几个方面：

①设计优化：采集大量历史设计数据和施工数据，

利用数据分析技术找出常见问题和优化方案。通过数据模拟和预测，可以提高设计的合理性和可靠性。

②施工监控：安装在各模块上的传感器实时采集施工过程中的各种数据，如温度、湿度、压力等。这些数据经过汇总和分析后，可以对施工进度和质量进行实时监控和调整。

③故障诊断：通过对设备运行数据的实时监测和分析，及时发现潜在故障并进行预警。历史故障数据也可以为后续的维护和修复提供参考依据。

4.2 物联网在模块化建造中的应用

物联网（IoT）技术通过将各类感知设备连接到网络中，实现对物理对象的实时监控和数据采集。在模块化建造中，物联网的应用主要包括：

①实时监控：在模块预制、运输和安装过程中安装各种传感器，实时采集位置、状态等信息，通过网络传输到中央监控系统进行集中管理。

②资产管理：对各模块的状态进行追踪管理，避免丢失或误用。智能标签和二维码技术可以帮助快速识别和定位各模块的位置和用途。

③自动化控制：通过物联网设备实现对现场设备的远程控制和自动化操作，提高施工效率和准确性。例如，智能焊接机器人可以根据预设参数自动完成焊接任务。

4.3 人工智能在模块化建造中的应用

人工智能（AI）技术通过模拟人类智能行为，可以实现自学习、自决策和自适应等功能。在模块化建造中，人工智能的应用主要体现在以下几个方面：

①智能设计：利用机器学习算法对大量设计数据进行分析学习，生成最优设计方案。AI可以根据具体需求自动调整设计参数，提高设计效率和质量。

②预测分析：通过建立数据模型对施工过程中可能出现的问题进行预测和分析，帮助施工单位提前制定应对策略。例如，通过分析历史施工数据预测焊接质量，提前采取预防措施。

③自主决策：AI系统可以对实时采集的数据进行分析和判断，自主做出决策。例如，在模块运输过程中，AI可以根据天气情况和交通状况自动优化运输路线。

4.4 云计算在模块化建造中的应用

云计算技术通过提供强大的计算能力和存储空间，使得大规模数据处理和复杂运算变得更加便捷高效。在模块化建造中，云计算的应用主要包括：

①数据存储与共享：云端服务器可以存储大量设计、生产和施工数据，方便各参与方随时访问和使用。通过云平台实现数据共享，可以提升团队协作效率。

②资源调度与优化：云计算可以对施工资源进行

动态调度和优化配置,提高资源利用率。例如,通过云平台对吊装设备和人力资源进行统一调配,减少闲置和浪费。

③远程协作与管理:借助云计算技术实现远程办公和协作,施工单位可以通过云平台进行视频会议、文件共享和技术交流,提高异地工作的协调性和效率。

5 油气田地面工程数字化平台构建

5.1 数字化平台的架构设计

数字化平台的架构设计是构建油气田地面工程数字化平台的基础环节。一个完善的数字化平台架构应包括以下几个层次:①数据采集层:负责从各个模块和施工现场采集实时数据,包括设备运行参数、环境条件、人员操作信息等。这一层主要依赖物联网技术和各类传感器设备来实现。②数据传输层:通过无线网络或有线网络将采集到的数据传输到中央服务器或云端存储系统。这一层要保证数据的稳定传输和安全性。③数据存储与处理层:包括分布式数据库和大数据处理平台,负责海量数据的存储、备份、清洗和分析处理。该层需要具备高效的数据处理能力和安全性保障。④应用服务层:提供各类功能应用服务,如项目管理、设备监控、维修保养、决策支持等。这一层是用户直接交互的层面,应具备良好的用户体验设计。⑤用户界面层:通过Web端、移动端或专用客户端等方式提供用户访问接口,使用户能够方便地获取所需信息和操作系统功能。这一层要注重界面的简洁性和易用性。

5.2 数字化平台的功能模块

一个完整的油气田地面工程数字化平台应包括以下几个核心功能模块:①项目管理模块:负责项目计划、进度跟踪、资源调度等综合管理工作,提供项目整体视图和详细报表功能。②设计管理模块:支持模块化设计和三维建模,提供设计文件的版本控制、变更管理和协同设计功能。③生产监控模块:实时监控各生产模块的运行状态,提供数据可视化展示和报警提示功能,确保生产过程的安全与稳定。④质量管理模块:记录和跟踪模块制造、运输和安装过程中的质量数据,提供质量统计分析和改进建议功能。⑤设备维护模块:提供设备运行状态监测、维护计划制定和维修记录管理功能,支持预测性维护和远程诊断。⑥安全管理模块:集成视频监控、门禁系统和消防预警等功能,实时监控施工现场的安全状况并提供应急响应支持。⑦数据共享与协作模块:提供文件共享、即时通讯和协同工作空间,促进各部门和团队之间的高效沟通与合作。⑧决策支持模块:基于大数据分析和人工智能技术,提供生产优化建议、风险评估报告和

决策模拟支持等功能。

5.3 数据流转与协同机制

数字化平台的数据流转与协同机制是确保平台高效运作的关键因素。合理的数据流转机制应包括以下几个方面:①数据采集与接入:通过物联网设备和传感网络实时采集各类数据并接入平台,确保数据的及时性和完整性。采用标准化的接口协议,方便不同设备和系统之间的互联互通。②数据传输与存储:采用高效的数据传输协议将采集到的数据传输至中央服务器或云端存储系统,保证数据的高速传输和安全性。③数据处理与分析:运用大数据分析和数据挖掘技术对海量数据进行处理和分析,提取有价值的信息和知识。建立统一的数据仓库和数据模型,支持多维度的数据分析需求。④数据共享与交换:通过数据共享平台实现不同部门和外部合作伙伴之间的数据交换与共享,采用开放API接口促进系统集成和互操作性。建立严格的数据权限管理和保密机制,确保数据的安全使用。⑤协同工作机制:建立跨部门、跨团队的协同工作机制,通过平台的通知、提醒和协作工具促进任务的高效执行和问题的快速解决。采用工作流程引擎实现业务流程的自动化和规范化管理。⑥反馈与改进机制:通过平台的反馈通道收集用户的意见和建议,持续改进平台功能和性能。定期进行系统评估和优化升级,确保平台始终处于最佳运行状态。

7 结论

通过油气田工程模块建造数字化关键技术研究与应用,引领了地面工程建设方向。变“平面”设计为“模块”设计,变“野外”作业为“工厂”作业,变“高处”作业为“地面”作业,变“手工”作业为“机械”作业,变“单一时空流水”作业为“多元时空同步”作业,变“人为”管理为“自动”管理,变“事后”处置为“事前”预警,实现模块化设计、“搭积木”模块化施工、机械化作业快速施工,打造了工程建设新模式,实现了“质量、速度、效益、安全环保”的有机统一,促进了工程项目建设高水平创新发展。

参考文献:

- [1] 汤晓勇,陈朝明,董君,等.模块化技术在我国陆上油气田地面工程中的应用[J].天然气与石油,2018,36(04):1-7.
- [2] 李庆,李秋忙.油气田地面工程厂站模块化建设关键技术与发展[J].石油规划设计,2018,29(01):5-8.
- [3] 王传平,孟亮,冯学章,等.油气田地面建设工程数字化技术研究与应用[C].第32届全国天然气学术年会(2020)论文集.中国重庆市重庆市,2020:3051-3072.