

海洋石油平台陆地建造中的预制模块化技术及其施工效率研究

孙晓伟

中石化胜利油建工程有限公司

【摘要】海洋石油平台是海洋油气资源开发的重要基础设施,其传统建造方法因受限于恶劣的海洋环境和复杂的施工条件,工程周期长、成本高且风险大。预制模块化技术通过在陆地上进行预制,将模块化构件运输到海上组装,显著提高了施工效率和质量,降低了工程风险和成本。本文首先介绍了预制模块化技术在海洋石油平台建造中的应用,包括设计、制造、运输和安装各个阶段。接着,分析了该技术在实际应用中面临的施工效率难题,如模块化设计与协调难度、制造工艺与质量控制、运输和安装的技术瓶颈及技术与管理协同问题等。针对这些难题,本文提出了一系列优化方案,如应用BIM技术提高设计效率、引入自动化制造设备和智能制造系统优化制造工艺和质量控制、改进运输和安装技术以及加强技术与管理协同优化等。研究表明,预制模块化技术不仅可以全面提升海洋石油平台建造的施工效率,还可以有效降低施工风险和成本,具有重要的现实研究意义和应用前景。

【关键词】海洋石油平台; 陆地建造; 预制模块化技术; 施工效率

Research on Prefabricated Modular Technology and Construction Efficiency in Land Construction of Offshore Oil Platforms

Sun Xiaowei

Sinopec Shengli Oilfield Construction Engineering Co., Ltd

【Abstract】 Offshore oil platforms are important infrastructure for the development of offshore oil and gas resources. Their traditional construction methods are limited by harsh marine environments and complex construction conditions, resulting in long engineering cycles, high costs, and high risks. Prefabricated modular technology significantly improves construction efficiency and quality, reduces engineering risks and costs by prefabricating on land and transporting modular components for assembly at sea. This article first introduces the application of prefabricated modular technology in the construction of offshore oil platforms, including various stages such as design, manufacturing, transportation, and installation. Subsequently, the construction efficiency challenges faced by this technology in practical applications were analyzed, such as modular design and coordination difficulties, manufacturing processes and quality control, technical bottlenecks in transportation and installation, and coordination issues between technology and management. In response to these challenges, this article proposes a series of optimization solutions, such as applying BIM technology to improve design efficiency, introducing automated manufacturing equipment and intelligent manufacturing systems to optimize manufacturing processes and quality control, improving transportation and installation technology, and strengthening the collaborative optimization of technology and management. Research has shown that prefabricated modular technology can not only comprehensively improve the construction efficiency of offshore oil platforms, but also effectively reduce construction risks and costs, which has important practical research significance and application prospects.

【Key words】 offshore oil platform; Land construction; Prefabricated modular technology; Construction efficiency

引言

海洋石油平台是海洋油气资源开发的重要基础设施,其建造和维护涉及复杂的工程技术。传统的海洋石油平台建造方法通常是在海上进行,受限于恶劣的海洋环境和复杂的施工条件,工程周期长、成本高且风险大^[1]。随着海洋油气开发需求的增加和技术的进步,预制模块化技术在海洋石油平台建造中的应用日益广泛。该技术通过在陆地上进行预制,将模块化的构件运输到海上进行组装,从而大幅度提高施工效率和质量,降低工程施工风险和项目整体成本。因此,对于海洋石油平台陆地建造工程而言,预制模块化技术具有重要的现实意义。

1 预制模块化技术概述

预制模块化技术在海洋石油平台建造中具有显著的优势,其核心在于将复杂的施工工作转移到陆地上的工厂内进行,从而减少海上施工的难度和风险。

1.1 设计阶段

在设计阶段,预制模块化技术要求精确的模块化设计,确保各个模块之间的无缝对接。设计过程包括以下几个关键步骤:

(1) 模块化设计: 将整体海洋石油平台划分为多个独立的模块,每个模块具备独立的功能,如生活区、钻井区、生产区等。设计时需考虑模块之间的接口和连接方式,确保整体结构的稳固性和功能的完整性^[2]。

(2) 结构分析: 通过有限元分析等方法,对模块进行力学性能分析,确保其在运输、吊装和运行中的结构安全性。尤其在海洋环境下,需考虑波浪、风荷载等外部因素对结构

的影响。

(3) 可制造性设计：在设计时充分考虑制造工艺的可行性和经济性，确保设计方案能够在实际制造过程中实现，减少制造误差和成本。

1.2 制造阶段

制造阶段是预制模块化技术的核心环节，其质量直接影响到最终的施工效率和平台性能。主要包括以下几个方面：

(1) 工厂化生产：在陆地上的工厂内进行模块的预制制造，工厂化生产环境相对稳定，能够有效控制质量，提高生产效率。采用先进的数控机床和自动化生产线，确保各个构件的精度和一致性。

(2) 质量控制：制定严格的质量控制标准和流程，包括材料检验、焊接质量检测、尺寸测量等，确保每个模块的质量符合设计要求。利用无损检测技术，如超声波、射线检测等，对焊接接头进行全面检查，避免质量隐患^[1]。

(3) 装配与调试：在工厂内进行模块的预装配和调试工作，确保各个子系统的功能正常。通过模拟运行和功能测试，提前发现和解决潜在问题，减少海上安装调试的工作量和风险。

1.3 运输和安装阶段

运输和安装阶段是预制模块化技术的关键环节，需确保模块在运输和安装过程中不受损坏，并能顺利完成现场的拼装和调试。

(1) 运输：采用专业的运输工具，如重型卡车、驳船等，将预制模块从工厂运输到海上安装现场。运输过程中需采取防护措施，避免模块在运输过程中受损。运输路线和方式需经过详细的规划和评估，确保安全和高效。

(2) 吊装：在海上安装现场，利用大型起重设备将模块吊装到指定位置。吊装过程中需精确控制位置和角度，确保模块之间的无缝对接。吊装方案需经过详细的设计和模拟，确保安全和准确。

(3) 现场安装与调试：在模块吊装到位后，进行现场的连接和调试工作。包括模块之间的结构连接、管道和电缆的连接、系统的综合调试等。现场安装需严格按照设计和施工规范进行，确保平台的整体性能和安全性。

通过对设计、制造、运输和安装各个阶段的详细分析，可以看出，预制模块化技术在海洋石油平台建造中具有显著的优势。其不仅可以全面提高工程的施工效率，缩短海洋石油平台建造工期，还可以有效降低施工风险和工程成本，具有重要的现实研发意义。然而，预制模块化技术在应用过程中也面临一些挑战，需要通过技术创新和优化方案来克服。

2 预制模块化技术施工效率难题

虽然预制模块化技术在海洋石油平台的陆地建造中展现出诸多优势，但在实际应用过程中，其施工效率仍受到多种因素的制约。

2.1 模块化设计与协调难度

模块化设计是预制模块化技术的核心环节，但在实际操作中，设计与协调难度还是较大。一方面，模块化设计要求精确和细致的设计方案，才能确保模块之间的无缝对接和功

能一致性。然而，海洋石油平台的复杂性和多样性使得设计过程繁琐且时间耗费较大。设计人员需要综合考虑平台的结构安全、功能分区、管线布局等多个因素，这无疑增加了设计难度和时间成本。另一方面，模块化设计一般需要多个专业（如结构、机械、电气、管道等）之间的密切配合，才能真正做到各模块的设计协调一致、符合整体要求。然不同专业之间的协调工作量大，信息传递和沟通效率低，常常容易导致设计变更和重复工作，如此自然就影响了整体施工效率。

2.2 制造阶段的工艺与质量控制

制造阶段是预制模块化技术的关键，在此阶段的工艺水平和质量控制效果都会对施工效率产生重要的影响。预制模块通常包含大量复杂的机械和电气设备，其制造工艺复杂且需要高度精密的操作。制造过程中稍有差错，就可能导致模块在后续安装中的问题，进而影响施工效率。同时，尽管工厂化生产环境相对稳定，但质量控制仍面临诸多挑战。模块的制造质量不仅影响后续的安装效率，还直接关系到平台的整体性能和安全性。严格的质量控制流程增加了制造时间，而一旦发现质量问题，就需要返工和重新检测，这自然就进一步降低了施工效率。

2.3 运输和安装的技术瓶颈

运输和安装是预制模块化技术实施中的关键环节，但也正是这个环节比较容易出现的技术瓶颈。一方面，预制模块从陆地工厂到海上安装现场的运输过程需要克服诸多技术难题。模块体积大、重量重，运输过程中容易受到外部环境的影响，如海况变化、运输工具限制等。这些不确定因素增加了运输的风险和成本，并可能导致施工延误。另一方面，海上吊装又需要大型起重设备和精确的操作技术。吊装过程中，模块的位置和角度需要精确控制，以确保模块之间的无缝对接。然而，海上环境的复杂性（如风浪等）增加了吊装的难度，一旦操作不当就可能对模块造成损坏或连接不牢固，进而影响后续的施工进度和质量。此外，模块在海上现场安装后，还需要进行大量的连接和调试工作。这些工作包括结构连接、管道和电缆的连接、系统的综合调试等，此类工作要求高度的精度和协调性。现场环境的限制（如空间狭小、海况复杂等）往往会增加安装和调试的难度，导致施工效率受到较大影响。

2.4 技术与管理的协同问题

预制模块化技术的成功应用不仅依赖于技术，还需要各方参与人员有效的管理和协同。一般而言，预制模块化技术需要大量具备较高专业素质和操作技能的技术人员。然而，实际施工中，技术人员的素质参差不齐，部分人员缺乏足够的培训和经验，导致施工过程中的操作不规范和技术问题频发，影响施工效率。而且，预制模块化技术涉及设计、制造、运输、安装等多个环节，各环节之间的管理和协调至关重要。然而，实际施工中，管理与协调不足的问题较为普遍，信息传递不及时、决策滞后等问题导致施工进度延误，影响整体效率。

3 预制模块化技术施工效率优化方案

3.1 提高设计阶段的效率

在海洋石油平台陆地建造工程中,为了解决设计阶段效率低的问题,首先,可以应用 BIM (建筑信息模型) 技术,在设计初期进行三维建模和虚拟建造。通过 BIM 技术,可以精确模拟各模块的尺寸、结构和连接方式,提前发现并解决设计中的冲突和潜在问题,提高设计精度和可靠性。BIM 还可以实现各专业(如结构、机械、电气等)之间的信息共享和协同设计,确保各模块设计的协调一致性。此外,引入参数化设计和模块化设计方法,通过参数化建模工具,对模块的几何尺寸、连接方式和材料选择进行优化设计,提高设计效率。为了进一步提升设计阶段的效率,可以采用设计自动化软件,如 CATIA、SolidWorks 等,通过预先设定的设计规则 and 标准,自动生成符合规范的设计方案,减少人工设计的时间和误差。最后,设计过程中应用有限元分析 (FEA) 对模块进行详细的结构分析和优化,可以确保其在运输、吊装和运行中的结构安全性。通过这些技术手段,可以显著提升设计阶段的效率和质量,为后续的制造和施工奠定坚实基础。

3.2 优化制造工艺和质量控制

在海洋石油平台陆地建造工程中,为了提升预制模块化技术的制造工艺和质量控制,可以尝试应用先进的自动化制造设备和智能制造系统,提高生产效率和制造精度。例如,采用数控机床进行模块的加工和成型,确保各构件的尺寸精度和一致性。利用机器人自动焊接技术,提高焊接质量和效率,减少焊接缺陷和返工。此外,制造过程中实施严格的质量控制流程,利用无损检测技术(如超声波检测、射线检测等)对关键部位进行全面检查,确保模块的内部质量和焊接接头的可靠性。为了进一步提升制造质量,可以引入实时监测和数据采集系统,对生产过程中的关键参数(如温度、压力、应力等)进行实时监测和控制,确保生产过程的稳定性和一致性。在模块制造完成后,需要进行全面的预装配和功能测试,通过模拟运行环境,提前发现并解决潜在问题,确保模块的功能和性能符合设计要求。通过这些技术手段,可以显著提升预制模块的制造工艺和质量控制水平,确保模块的制造质量和可靠性。

3.3 改进运输和安装技术

在海洋石油平台陆地建造工程中,为了提升预制模块的运输和安装效率,需要优化模块的运输方案和技术,利用 GIS (地理信息系统) 对运输路径进行详细规划和模拟评估,选择最优的运输路径和工具,确保运输过程的安全和高效。为了减少运输过程中的风险和损坏,可以采用专业的运输设备和防护措施,如重型卡车、驳船、防震支架和防护罩等。此外,运输前对模块进行详细的检查和防护,确保模块在运输过程中的完好性。安装过程中,应用先进的吊装技术和设备,确保模块的吊装位置和角度准确无误。利用大型起重设

备和精确的吊装技术,采用如 SPL (自平衡吊装) 技术等,提高吊装的精度和效率,确保模块的无缝对接。在模块安装完成后,进行全面的连接和调试工作,包括结构连接、管道和电缆的连接、系统的综合调试等。通过这些技术手段,可以显著提升预制模块的运输和安装效率,确保模块的安装质量和整体性能。

3.4 技术与管理的协同优化

在海洋石油平台陆地建造工程中,为了提升预制模块化技术的整体施工效率,需要加强技术与管理的协同优化。首先,可以加强技术培训和考核,提高技术人员的专业素质和操作技能,确保施工过程中的技术操作规范和质量控制。为了确保各环节的协调一致,可以建立多专业、多部门之间的协同工作机制,利用项目管理软件 and 信息系统,实现各环节的信息实时传递和共享,确保设计、制造、运输和安装的紧密配合和协调。施工过程中,应用先进的项目管理技术和工具,如项目管理信息系统 (PMIS)、进度控制系统 (CPM) 等,实现项目进度、资源和成本的实时监控和管理,确保项目目标的透明度和可控性。此外,建立科学的施工组织和调度体系,合理安排施工资源和工序,优化施工流程,减少施工的等待时间和资源浪费。在施工现场,不断加强安全管理和环境保护,制定严格的安全管理制度和措施,确保施工人员的安全和健康。通过这些技术手段和管理措施,可以显著提升预制模块化技术的整体施工效率,确保海洋石油平台陆地建造工程的顺利实施和高效完成。

4 结论

通过本文的研究,可以得出以下结论:预制模块化技术在海洋石油平台陆地建造中具有显著的优势。首先,该技术将复杂的施工工作转移到陆地工厂进行,使得施工环境更加可控,施工质量更易保证。其次,模块化设计使得各个模块在功能上更加独立,整体结构的稳定性和功能性得到保障,同时缩短了施工周期,降低了成本和风险。然而,在实际应用中,预制模块化技术仍面临一些挑战,如模块化设计的复杂性、制造阶段的质量控制、运输和安装过程中的技术难题以及各环节间的管理与协调问题。为此,本文提出了一系列优化方案,包括提高设计效率、优化制造工艺和质量控制、改进运输和安装技术以及加强技术与管理的协同。这些措施的实施不仅可以提升预制模块化技术的应用效果,还可以推动海洋石油平台建造技术的整体进步。未来,随着技术的不断创新和应用经验的积累,预制模块化技术将在海洋石油平台建造中发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]王喜龙,杨恒,杨涛,吕增伟. 海洋石油平台运维工程管线预制技术分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44 (11): 178-180.
- [2]陈林. 海洋石油平台工艺管线安装技术及质量控制探析[J]. 化工管理, 2024, (12): 59-61.
- [3]赵士桥,王宇. 海洋石油平台工艺管道安装控制研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43 (22): 18-20.