

模块化施工在石油天然气工程中的应用与效益探讨

纪北芳

中石化中原油建工程有限公司 河南 濮阳 457001

摘要：模块化施工凭借其集成化、预制化优势，为石油天然气工程建设模式革新注入新动能。在设备安装、管道铺设、钢结构搭建及控制系统构建等环节，模块化施工通过工厂化预制、现场快速组装，实现资源高效配置。经分析，该模式在降低建设成本、缩短工期、保障工程质量及提升施工安全水平等方面成效显著，不仅优化项目管理流程，更契合石油天然气工程对高效、优质、安全建设的需求，为行业高质量发展提供有力支撑。

关键词：模块化施工；石油天然气工程；应用；效益

引言

随着石油天然气行业竞争加剧及建设标准提升，传统施工模式在效率、成本与质量管控上的局限性日益凸显。模块化施工作为一种创新建设模式，将工程拆解为标准化模块，于工厂完成预制后现场组装，有效突破传统模式瓶颈。本文深入探讨模块化施工在石油天然气工程设备安装、管道铺设等核心环节的具体应用，并从成本、工期、质量、安全等维度剖析其效益，旨在为行业转型升级提供理论与实践参考。

1 模块化施工概述

模块化施工作为一种先进的工程建造模式，将传统施工现场的部分作业转移至工厂化生产环境，通过在预制工厂完成模块单元的设计、加工、组装与调试，再运输至现场进行快速拼接安装。这种建造方式打破了传统施工受场地、气候、人力等条件限制的局限，利用工厂标准化生产线实现构配件的精确加工与高效生产，大幅提升了施工效率和质量稳定性。模块化单元通常由结构体系、围护体系、设备管线系统及装饰装修集成而成，各模块在工厂内完成机电设备安装、管线预埋、墙面地面装饰等多道工序，通过预留接口实现模块间精准对接。钢结构、混凝土结构或木结构等多种材料均可作为模块主体，依据建筑功能需求进行定制化设计。例如，高层住宅项目可将卫生间、厨房等功能区域设计为独立模块，酒店客房以完整房间作为标准单元，商业综合体的共享空间采用大跨度模块构建。在施工过程中，模块运输与吊装环节是关键技术节点。预制模块需采用特殊运输车辆和吊装设备，依据现场施工顺序和场地条件制定科学的运输方案，确保模块在运输与吊装过程中的完整性与安全性。模块间连接技术直接影响建筑整体性能，通过高强度螺栓、焊接、承插式连接等方式，实现模块间结构传力可靠、防水密封良好、管线贯通顺畅，

最终形成具备完整使用功能的建筑实体。相较于传统建造方式，模块化施工显著缩短建设周期，降低现场施工安全风险，减少建筑垃圾产生，在提升建筑工业化水平和可持续发展能力方面展现出独特优势，广泛应用于住宅、酒店、医疗设施、数据中心等各类建筑工程领域。

2 模块化施工在石油天然气工程中的具体应用

2.1 设备安装模块化

在石油天然气工程里，设备安装模块化是把各类相关设备集成在一个或多个模块中进行整体制造、运输与安装。以天然气处理厂的脱水装置为例，将脱水塔、再沸器、冷凝器以及相应的泵、管道和仪表等，依据工艺流程与空间布局要求，在工厂内组装成一个完整的模块。在工厂环境下，能够借助先进的设备和专业的技术工人，严格把控组装质量，保障各设备间连接的精准性与密封性。完成模块内部的调试工作，可提前发现并解决潜在问题，显著减少现场安装的调试时间与难度。比如某大型天然气处理项目，采用模块化的脱水装置，相比传统现场分散安装，安装周期缩短了约三分之一，且调试一次成功率大幅提高。对于海上石油平台，设备安装模块化优势更为突出。由于海上作业空间有限、施工条件恶劣，将多个设备集成在一个模块，可在陆地完成大部分安装与调试，再整体运输至海上平台进行安装。像海上平台的发电模块，集成了发电机组、配电设备以及控制系统等，整体运输安装后，只需连接外部的管道和电缆，就能快速投入运行，极大地提高了海上作业的效率与安全性，降低了海上施工的风险与成本^[1]。

2.2 管道铺设模块化

管道铺设模块化涵盖了管道的预制以及现场快速连接等关键环节。在预制阶段，依据设计图纸，将管道按照一定的规格和长度进行分段预制，同时在预制过程中完成管道的焊接、防腐处理以及部分附件的安装。例

如,在长输天然气管道项目中,在工厂预制车间,将管道切割成合适的长度,利用自动化焊接设备进行焊接,确保焊接质量稳定可靠,同时完成防腐涂层的喷涂,提高管道的耐腐蚀性能。预制好的管道模块运输到施工现场后,采用快速连接技术进行安装。常见的快速连接方式有法兰连接、卡箍连接等。在某城市天然气输配管网建设中,大量采用了模块化管道铺设技术。通过在工厂预制不同管径和类型的管道模块,包括直管段、弯管段以及带有阀门、仪表等附件的特殊模块,现场使用法兰连接进行快速组装。这种方式大大减少了现场焊接作业量,降低了因现场焊接环境因素导致的质量风险,同时提高了施工速度,使项目工期缩短了约20%。模块化管道铺设便于后期维护和检修,当某一段管道出现问题时,可以快速拆卸和更换相应的模块,减少对整个管网运行的影响。

2.3 钢结构模块化

钢结构模块化是把石油天然气工程中的钢结构,如管廊、平台、支架等,分解设计成多个独立的模块进行制造和安装。在模块制造阶段,利用先进的加工设备和工艺,在工厂内完成钢结构模块的切割、焊接、涂装等工序。以大型石油炼化厂的管廊钢结构为例,根据管廊的跨度、高度以及承载要求,将其设计成多个标准的钢结构模块。在工厂车间内,使用数控切割设备精确切割钢材,通过自动化焊接机器人进行焊接,保证焊缝质量和结构精度,然后进行整体涂装,提高钢结构的防腐性能。运输到施工现场后,使用大型起重设备进行快速吊装和组装。各个钢结构模块之间通过高强度螺栓连接或者焊接方式进行固定。在某大型石化项目的建设,管廊钢结构采用模块化施工,提前在工厂预制了数百个钢结构模块。现场安装时,每天能够完成多个模块的吊装和连接工作,相比传统的现场散装方式,施工效率大幅提高,安装周期缩短了约40%。由于工厂制造的质量可控性强,钢结构的整体质量得到显著提升,减少了因现场施工质量问题导致的返工和整改,保证了项目的顺利推进^[2]。

2.4 控制系统模块化

控制系统模块化是将石油天然气工程中的自动化控制系统,按照功能和区域划分成多个独立的模块进行设计、制造和集成。例如,在天然气集输站场的控制系统中,可分为数据采集与监控模块、过程控制模块、安全保护模块等。在数据采集与监控模块中,集成了各类传感器、数据采集器以及通信设备,能够实时采集现场的压力、温度、流量等参数,并传输至中控室进行监控。过程控制模块则包含了控制器、执行器以及相应的控制

软件,根据预设的控制策略对工艺流程进行自动控制。安全保护模块配备了紧急停车系统、可燃气体报警系统等,保障站场的安全运行。在工厂内,将这些模块进行独立组装和调试,确保各模块功能正常,然后运输到现场进行整体集成和联调。在某新建天然气集输项目中,采用了模块化的控制系统。各个模块在工厂完成组装和测试后,运输到现场进行快速安装和连接。通过标准化的通信接口和协议,实现各模块之间以及与现场设备之间的无缝通信和协同工作。这种模块化的控制系统不仅安装调试速度快,而且便于后期的维护和升级。当某个模块出现故障时,可以快速更换备用模块,减少系统停机时间。随着技术的发展和工艺的改进,能够方便地对特定模块进行升级,提高整个控制系统的性能和可靠性。

3 模块化施工在石油天然气工程中的效益分析

3.1 成本效益

(1) 模块化施工通过工厂化预制实现资源集约化配置,在钢材下料、管件加工等环节形成规模化生产效应,大幅降低单位构件制造成本。预制车间标准化生产线减少材料损耗15%-20%,自动化焊接设备使焊接材料利用率超90%,材料综合成本显著降低。模块化运输采用专业装载方案,优化构件尺寸与装载密度,结合多式联运降低运输成本,尤其适用于长距离运输场景。(2) 模块化施工有效降低现场施工强度,减少临时设施搭建、场地平整等辅助工程投入。现场施工人员需求减少30%-40%,食宿、通勤、安全防护等后勤成本显著下降。工厂预制提升设备周转效率,缩短机械租赁周期,降低设备成本。预制模块标准化设计便于库存管理,减少备件积压与资金占用。(3) 模块化项目采用整体交付模式,减少施工界面交叉的协调成本,避免设计变更、工序衔接不畅导致的返工浪费。工厂化预制的质量控制降低后期维修成本,全生命周期成本分析表明,其运营阶段维护费用较传统项目降10%-15%。项目投资回报周期因此缩短,提升资金使用效率与项目经济性。

3.2 工期效益

(1) 模块化施工打破传统线性施工模式,将部分施工工序转移至工厂同步进行,实现设计、制造、运输与现场安装的并行作业。预制模块在工厂制造期间,现场可同步开展基础施工,缩短关键路径时长。某LNG接收站项目中,模块化施工使施工周期从36个月压缩至28个月,缩短约22%,有效提升项目投产进度。(2) 工厂化预制不受现场自然环境制约,消除极端天气、季节变化对施工进度影响。在北方严寒地区或沿海台风高发区域,工厂车间恒温恒湿环境保障全年不间断生产,而现

场施工受气候影响的有效作业天数可增加40%-50%。预制模块标准化安装流程进一步提高现场施工效率,大型吊装设备的精准作业使模块安装时间大幅缩短。(3)模块化施工采用标准化设计与预制,减少现场施工不确定性。预制模块出厂前完成系统调试和功能测试,现场仅需对接与接口调试,避免安装误差、系统匹配问题致工期延误。某海上石油平台项目中,模块化安装使现场调试周期缩60%,加速交付,助企业抢占市场先机^[3]。

3.3 质量效益

(1)工厂化预制环境为质量控制提供稳定条件,高精度加工设备与自动化焊接技术确保构件制造的一致性和可靠性。预制车间配备先进的无损检测设备,对焊缝进行100%探伤检测,相比现场抽检模式,缺陷检出率提升50%以上。标准化作业指导书和严格的过程管控,使构件制造精度控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内,远超现场施工的精度水平。(2)模块化施工实现质量控制关口前移,在模块预制阶段完成设备安装、管道连接、电气布线等工作,避免现场交叉作业带来的质量隐患。预制模块在出厂前进行系统压力测试、气密试验和联动调试,确保各系统功能完备。某炼油厂项目中,模块化施工使管道泄漏率从传统施工的0.3%降至0.05%,显著提升工程质量和运行安全性。(3)模块化施工的标准化设计便于质量追溯与管理,每个预制模块均有唯一标识,记录制造过程中的关键参数和质量检测数据。通过数字化管理系统,可实现全生命周期质量监控,一旦出现质量问题,能快速定位责任环节并采取纠正措施。模块化设计的互换性特点便于后期维护与升级,保障工程长期稳定运行。

3.4 安全效益

(1)模块化施工将大量危险作业转移至工厂可控环境,减少现场高空作业、受限空间作业和动火作业量。预制车间配备完善的安全防护设施和应急救援系统,机械自动化程度高,降低操作人员暴露在危险环境中的风

险。相比传统施工,现场安全事故发生率可降低40%-60%,尤其在复杂工艺安装环节,安全优势更为显著。

(2)模块化施工简化现场施工流程,减少多工种交叉作业带来的安全隐患。模块整体吊装就位后,现场主要作业为接口连接,作业区域相对集中,便于实施封闭化管理和安全监护。标准化安装流程和专用工具的应用,降低因操作不当引发的安全事故风险。某管道工程项目中,模块化施工使现场安全违章行为减少70%,有效提升施工现场安全管理水平。(3)预制模块在工厂完成系统调试和功能测试,减少现场调试阶段的安全风险。模块内部设备、管道和电气系统在出厂前已通过安全验证,现场仅需进行简单的对接调试,避免因系统不匹配或安装缺陷导致的设备故障和安全事故。模块化施工的系统化设计还便于紧急情况下的安全疏散和应急处置,提升项目整体安全性^[4]。

结语

综上所述,模块化施工在石油天然气工程中的应用展现出多维度显著效益。通过优化施工流程、整合资源配置,实现了成本降低、工期缩短、质量提升与安全保障。这一模式不仅是工程建设技术的创新,更是行业管理理念的革新。未来,随着技术的持续进步与经验积累,模块化施工有望在石油天然气工程领域进一步拓展应用深度与广度,为行业绿色、高效发展发挥更大价值。

参考文献

- [1]肖天雪,左欣然.国家石油天然气管网企业供应链风险识别与应对策略研究[J].知识经济,2025,716(16):135-137.
- [2]李思,周诗崇,范开峰,等.石油与天然气行业人才供需差距分析及对策[J].中国高校科技,2025(5):33-39.
- [3]宋德忠,刘卫东,孔文柯.模块化施工技术的发展[J].石油化工建设,2023,45(1):25-29,40.
- [4]陆友平.模块化施工在建筑工程中的应用[J].中国建筑装饰装修,2023(14):165-167.