

Analysis on application and challenge of modular construction technology in surface facilities of oil and gas fields in alpine regions

Shijia Xing

Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang, 163000, China

Abstract

Oil and gas field development in high-altitude regions faces harsh environmental conditions, constrained by extreme weather, complex geology, and limited construction windows. These challenges result in tight schedules, cost control difficulties, and significant safety and environmental pressures for surface infrastructure projects. Modular construction technology, characterized by factory prefabrication and rapid on-site assembly, has been widely adopted for such facilities. This paper first outlines the fundamental principles and operational processes of modular construction, then analyzes its typical application models and achievements in infrastructure development including gathering stations and heating stations. Through practical case studies, it explores technical bottlenecks encountered during high-altitude applications, particularly in structural cold resistance and transportation coordination, while proposing optimization recommendations. Research demonstrates that modular construction technology effectively addresses the complexities of high-altitude environments, serving as a crucial support for green, safe, and efficient oil and gas field development. Future efforts should focus on strengthening standardization, innovating design approaches, advancing intelligent manufacturing, and enhancing collaborative capabilities to fully unlock its potential value.

Keywords

modular construction; alpine region; oil and gas field; surface facilities; application challenges

模块化建造技术在高寒地区油气田地面设施中的应用与挑战分析

邢世佳

大庆油田有限责任公司, 中国·黑龙江 大庆 163000

摘要

高寒地区油气田开发环境恶劣,受极端气候、复杂地质及短施工窗口期影响,地面工程建设面临工期紧、成本难控、安全环保压力大等难题。模块化建造技术因具备工厂预制、现场快速拼装的特点,被广泛应用于油气田地面设施建设。本文先梳理其基本原理与流程,剖析在集输站、加热站等设施建设中的典型应用模式及成效。同时,结合实践探讨该技术在高寒区应用时,在结构防寒、运输组织等方面遭遇的瓶颈问题,并提出优化建议。研究表明,模块化建造技术能应对高寒复杂环境,是油气田绿色、安全、高效开发的重要支撑。未来需加强标准建设、创新设计、推进智能制造、提升协同能力,释放其潜力价值。

关键词

模块化建造; 高寒地区; 油气田; 地面设施; 应用挑战

1 引言

油气田地面工程是油气田开发的关键支撑环节,直接关系到资源开发的效率、安全与经济性。随着我国油气勘探开发重心向西部、东北等高寒地区转移,地面工程建设面临自然环境恶劣、地质条件复杂、施工周期受限等诸多挑战。高寒地区常年低温、昼夜温差大、冻土层深厚,常规现浇建

造工艺难以满足快速、高质、安全的工程需求。与此同时,绿色低碳、智能高效、施工安全等对工程建设提出更高要求。

模块化建造技术以“标准化设计、工厂化预制、模块化施工、数字化交付”为核心,强调工程实体的模块化设计、工厂集成制造、现场快速拼装,能显著缩短工期、降低风险、提升质量与安全管控能力。近年来,国内外诸多高寒油气田项目陆续采用模块化建造技术,实现了工程质量、进度和成本的全面提升。但受限于气候、运输、接口等现实条件,模块化建造在高寒区的推广应用仍面临诸多挑战。本文将聚

【作者简介】邢世佳(1985-),男,中国黑龙江齐齐哈尔人,本科,工程师,从事油气田地面建设研究。

焦模块化建造技术在高寒地区油气田地面设施建设中的应用实践、关键技术及主要难点,分析未来发展方向和优化策略,为推动高寒区油气田地面工程建造模式创新提供理论支持与技术参考。

2 模块化建造技术原理及其在高寒油气田地面设施建设中的应用模式

2.1 模块化建造技术的基本原理与流程

模块化建造是一种以工业化思维推进建筑和工程项目的新型建造方式。它是将整个建筑或工程实体按照功能、结构或设备单元进行科学拆分,形成若干标准化、系列化的模块。这些模块在工厂内完成高精度的预制、加工、组装和检测,然后运输至施工现场进行吊装、拼接、系统集成和调试。其核心流程包括前期策划与整体方案设计、模块拆分与标准化设计、工厂制造与质量检测、现场运输与吊装、系统集成与功能调试,形成完整的闭环。

模块化建造注重全生命周期管理,强调从设计、采购、制造、运输、安装到后期运维的全流程一体化、协同作业。通过BIM等信息化手段,实现全过程数字化建模、工艺仿真、进度管控和质量追溯,提高项目管控的精细化和透明度。与传统建造方式相比,模块化建造显著减少现场作业时间和用工量,极大缩短工期,有效降低高温、高空、复杂地形等施工环境下的安全风险。同时,工厂化生产确保了构件质量的一致性和可控性,提高了工程整体质量与安全水平。模块化建造正成为绿色建筑、智慧建造和高质量工程项目的重要发展方向。

2.2 高寒地区油气田地面设施的模块化建造适应性

高寒地区油气田地面设施包括集输站、动力站、加热站、分输站、计量间等多个功能单元,需应对极端低温、强风、冰雪等恶劣自然条件,对设施的保温、防冻、结构耐久性和运行安全性提出了更为严苛的要求。模块化建造以工厂高精度预制为核心优势,有效规避了现场施工过程中因严寒天气导致的质量波动和进度延误。通过将复杂的焊接、设备集成、保温层敷设等工序转移到工厂内完成,实现对关键工艺和质量的严格管控,显著减少冬季施工窗口期压力,提升整体施工效率。

在实际应用中,油气田地面工程通常采用设备集成模块、工艺管廊模块和装配式房屋模块等多种模式。各类模块在工厂内已集成好主体结构、工艺管道、机电设备及保温防冻系统,运至现场后可实现快速吊装、精准拼接和高效调试。针对高寒环境,模块设计特别强化了保温层厚度,优化了结构防冻性能,并采用灵活、可靠的接口连接方式,确保模块拼装后的整体密封性与耐久性,有效保障油气田地面设施在极端气候下的长期安全稳定运行。

2.3 典型工程案例分析

近年来,国内多个高寒油气田项目成功应用模块化建

造技术,取得显著成效。以西北某油气田地面集输站为例,项目采用全模块化建造方式,工厂预制率超过70%,大幅提升了构件加工的标准化和质量可控性。现场施工周期相比传统工艺缩短了约40%,尤其在冬季极端低温条件下,现场作业天数显著减少,有效缓解了施工窗口期紧张的问题,提高了工程进度的可控性和安全性。此外,东北某大型天然气处理厂项目通过设备模块化和工艺集成设计,成功应对了极端寒冷气候和冻土基础施工的复杂挑战。该项目不仅优化了保温和防冻措施,还实现了节能降耗和绿色施工目标,降低了环境影响。

这些案例充分证明,模块化建造技术能够有效破解高寒地区油气田地面工程中普遍存在的工期短、气候恶劣、施工资源匮乏等难题。通过将复杂工序集中于工厂生产,减少现场施工风险,提升工程质量和安全水平。模块化建造为高寒油气田项目提供了科学、高效、环保的建造新路径,推动了我国油气田基础设施建设向智能化、工业化方向发展,具有广泛的推广价值和应用前景。

3 高寒地区模块化建造技术的关键优势与成效分析

3.1 提升工期效率和资源利用

高寒地区施工周期受气候影响显著,常规建造方式因冻融交替、气温骤降等常出现停工、返工和延误。模块化建造通过工厂预制和现场快速拼装,显著降低现场作业强度和消耗。模块工厂化生产减少了气候对工程进度的制约,项目整体工期压缩30%~50%。同时,模块设计便于材料标准化采购和批量制造,提高了资源利用效率,减少材料浪费和库存积压,降低了施工能耗和碳排放,助力绿色低碳发展。

3.2 保障施工质量和安全管理

工厂环境优于现场,模块预制过程中工艺控制精度高,易于实现多道工序集成、自动化加工和全程检测,大幅提升了工程实体的一致性与稳定性。高寒地区户外作业条件恶劣,模块化建造将高风险工序内移,降低人员伤害和安全事故概率。标准化模块设计和安装,有效减少了焊缝、连接等薄弱环节,提升了结构整体性和抗震防冻能力。通过全过程信息化管理,实现质量追溯、风险预警和动态管控,为高寒区工程建设安全保驾护航[1]。

3.3 推动技术创新与产业升级

模块化建造促进了油气田工程建设的流程再造和产业升级。工程信息模型(BIM)、智能制造、数字孪生等新技术在模块设计、制造、运输和装配各环节得到集成应用,提升了设计精度和建造智能化水平。工厂集成制造催生了新型建筑工业化体系,推动上下游协同创新。模块化理念引导企业加大研发投入,促进标准化、系列化、智能化装备技术发展,推动高寒地区油气田工程建设向更高质量、更高效率、更高安全性转型。

4 高寒地区油气田地面设施模块化建造面临的主要挑战

尽管模块化建造在高寒区应用成效显著,但实际推广过程中仍遇到多方面技术和管理难题。

4.1 结构防寒和模块适应性不足

高寒区极端低温对材料性能、结构防护和保温系统提出更严苛要求。部分模块化设计标准源于常温地区,保温厚度、材料韧性、接口密封等未能完全满足极端环境需求,影响了运行可靠性和维护便捷性。模块体积大、结构复杂,对防冻、防腐、抗风雪能力设计要求更高,需强化工程参数的适应性优化[2]。

4.2 运输与现场拼装组织难度大

高寒地区地广人稀、交通条件差,超大超重模块运输路线复杂,受道路、桥梁承载能力和气候影响较大。运输过程中,模块易受低温冲击、振动和冻融损伤,需特殊加固和保护。现场拼装窗口期有限,对吊装设备、工人技术和安全管控要求更高,稍有疏漏易造成工期延误和质量隐患。

4.3 接口集成和系统调试复杂

模块化建造需多专业、多系统同步设计和协同集成。现场接口对接环节多、技术标准不一,易出现管线错位、系统不兼容、信息误差等问题,影响整体运行效率。高寒区调试周期短,复杂工艺和自动化系统联调压力大,突发问题难以及时处置,考验工程管理和技术支撑能力。

4.4 质量与安全管控难题

高寒环境下部分工序无法完全内移,现场焊接、保温修补等易受气温和风雪影响,存在质量波动和安全风险。工厂与现场质量标准衔接、责任界定、验收流程等需进一步明确。异地制造和分段运输造成监理和验收链条延长,易出现质量管理盲区和责任推诿[3]。

5 优化高寒区油气田模块化建造应用的对策建议

针对上述挑战,推进高寒区油气田地面设施模块化建造技术发展,需要多方协同创新、持续优化。

5.1 加强高寒区专属模块化标准体系建设

应针对极端低温、冻土、强风雪等环境特征,制定差异化模块设计、制造、运输和安装标准,明确保温厚度、材料性能、接口密封等参数。鼓励模块化产品系列化、标准化研发,推动行业标准与地方规范衔接,提升模块系统的环境适应性和互换性。

5.2 完善全流程数字化协同管理

推广 BIM、数字孪生和智能制造平台,实现设计、采购、制造、运输、安装全过程数据贯通与动态监控。将模型数据延伸到数字化交付环节,推动模块化建设从“规模覆盖”向

“精深发展”转型。通过数字化仿真优化运输路径和拼装方案,提升风险预判和应急响应能力。建立项目全生命周期数字档案,支撑工程后期运维与技术升级[4]。

5.3 创新运输与现场施工组织

结合高寒区交通和地理特点,优化模块分拆与组合方式,合理控制模块体积和重量。研究模块拆解、结构稳定性等技术,开发高寒区专用模块运输装备和吊装工艺,增强现场装配的灵活性与安全性。加强与地方政府、交通管理部门的协作,提前规划运输路线、设置应急预案,提升整体物流效率和安全保障能力。

5.4 强化多专业协同与系统集成能力

项目策划阶段即组织多专业联合设计,提前识别和解决接口风险。推广模块一体化设计和工厂预装调试,减少现场系统集成压力。完善工厂与现场的质量标准、验收流程和责任机制,推动第三方质量监督和智能监测手段应用,提升质量与安全管理水平[5]。

5.5 加强人才培养与技术攻关

建立模块化建造高寒区技术人才培养体系,提升工厂、运输和现场各环节人员的专业能力与协同意识。鼓励产学研用联合攻关,围绕高寒区新材料、新工艺、智能装备等关键技术,持续突破技术瓶颈,助力油气田工程建设能力升级。

6 结语

模块化建造技术为高寒地区油气田地面设施建设带来了突破性变革,极大提升了施工效率、工程质量与安全保障能力,推动了绿色低碳与智能建造的发展进程。面对极端环境和复杂工况带来的挑战,模块化建造仍需在标准适应性、集成协同、智能制造和全过程管理等方面持续创新。未来,高寒区油气田地面设施模块化建造技术的发展,应以标准化为核心、数字化为支撑、智能化为引领、协同化为保障,进一步释放工业化建造潜力,推动油气田开发向高质量、可持续、智能化方向迈进。通过多方协作与技术创新,高寒区模块化建造必将在能源工程领域展现更大价值,为我国油气资源开发和能源安全提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 张振兴.油气田地面集输系统拓扑布局优化研究进展[J].山东化工,2022,51(02):64-66+70.
- [2] 汤林,云庆.油气田地面生产系统提质增效助力上游业务高质量发展[J].油气田地面工程,2019,38(01):1-6.
- [3] 唐长明,胡志峰,张翠云,等.油气田压裂用柴油机配机要求及发展展望[J].内燃机与动力装置,2017,34(03):75-78.
- [4] 黄涛,柳敏.油气田地面工艺及技术发展[J].化工管理,2014,(32):240.
- [5] 李海,高寒偏远地区油气田井场智能监测与管控系统关键技术研究.河北省,华北石油通信公司,2013-09-26.