

FPSO改装技术要点分析

徐晓华

上海中远海运重工有限公司 上海 201913

摘要：本文聚焦FPSO改装技术要点，详细剖析船体结构、上部模块、系泊系统及安全环保等关键改装技术，阐述模块化设计、智能化监控等创新方向。通过某VLCC油轮改FPSO项目案例，展示改装后原油处理能力从10万桶/日提升至18万桶/日，天然气处理能力达1200万立方米/日，经济效益与环境效益显著。研究表明，科学合理的改装技术应用，可有效提升FPSO性能，推动海洋油气开发行业可持续发展。

关键词：FPSO改装；技术要点；结构改造

1 FPSO 改装概述

FPSO作为海洋油气开发的核心装备，其改装工作对于提升油气生产效率、适应复杂海况及满足环保要求意义重大。随着油气资源开发向深海推进，以及法规标准的日益严格，对FPSO性能的要求不断提高，促使大量老旧或功能单一的FPSO进行改装升级。改装内容涵盖多个关键领域。在船体结构方面，需根据上部模块和系泊系统需求，对甲板、舱室等部位进行加强和改造，确保其强度与稳定性；上部生产处理模块的升级是重点，通过更换原油处理、天然气处理等系统设备，提升油气处理能力和产品质量；系泊系统则多采用内转塔等先进系泊方式，保障FPSO在恶劣海况下的安全稳定；安全与环保系统的完善也不可或缺，先进的消防、救生设备及高效的污水处理、废气处理装置，确保生产符合严格的安全环保标准^[1]。以某VLCC油轮改FPSO项目为例，历时27个月、投资30亿元完成改装后，原油处理能力从10万桶/日提升至18万桶/日，天然气处理能力达1200万立方米/日，每年可减少二氧化碳排放23万吨。可见，FPSO改装不仅能大幅提升油气生产效益，还能推动行业绿色可持续发展。

2 FPSO 改装关键技术要点分析

2.1 船体结构改装技术

船体结构改装是FPSO改装的重要基础工作。在改装过程中，需根据上部模块和设备的重量、布局以及系泊系统的受力情况，对船体结构进行重新设计和加强。对于由旧油轮改装的FPSO，由于原船体的结构设计主要是为了满足运输功能，与FPSO的使用要求存在差异，因此需要对船体的甲板、舱室、舱壁等部位进行改造。同时为了满足原油储存和生产工艺的要求，需要对舱室进行重新划分和改造，调整舱室的容积和形状，优化舱室的布置。在结构改装过程中，还需要考虑船体的强度、稳定性和抗疲劳性能，采用先进的焊接工艺和材料，提

高船体结构的可靠性和耐久性。还需对船体的水密性进行严格检测，确保在改装后船体能够满足海上作业的防水要求。

2.2 上部模块改装技术

上部模块改装是实现FPSO生产功能升级的核心。上部模块包括原油处理、天然气处理、发电、供热、消防等多个系统，改装过程涉及众多复杂的工艺和设备。在原油处理模块改装方面，需要根据油气田的原油特性，对原油脱水、脱盐、稳定等工艺进行优化和升级^[2]。天然气处理模块的改装则主要针对天然气的脱硫、脱水、压缩等工艺。随着环保要求的提高，对天然气中硫化物的含量限制更加严格，因此需要采用先进的脱硫技术，如醇胺法脱硫、克劳斯法硫磺回收等，确保天然气达到外输标准。同时，发电、供热等公用工程模块的改装也至关重要，需要根据生产负荷的变化，合理配置发电机组和供热设备，提高能源利用效率。在模块改装过程中，还需要注重模块之间的接口设计和系统集成，确保各模块之间能够协同工作，实现整个FPSO生产系统的高效运行。

2.3 系泊系统改装技术

系泊系统改装直接关系到FPSO在海上的安全稳定运行。随着海洋环境条件的变化和FPSO作业要求的提高，原有的系泊系统可能无法满足新的需求，需要进行升级改造。在系泊方式的选择上，需要综合考虑油气田的位置、水深、海况等因素。在系泊系统的改装过程中，需要对系泊缆、锚链、转塔等关键部件进行检查和更换。由于长期在海洋环境中使用，系泊缆和锚链会受到海水腐蚀、磨损和疲劳等影响，性能下降，因此需要定期进行检测和维护，必要时进行更换。同时，对于转塔系统，需要对其机械结构、旋转接头、液压系统等进行全面检查和调试，确保转塔能够正常旋转和传递动力。还需要对系泊系统的控制系统进行升级，采用先进的传感

器和监测技术,实时监测系泊系统的受力情况和运行状态,提高系泊系统的安全性和可靠性。

2.4 安全与环保技术

安全与环保技术是FPSO改装中不可或缺的重要内容。在安全技术方面,需要对FPSO的消防、救生、危险气体探测等系统进行全面升级。消防系统是保障FPSO安全的关键,需要配备先进的灭火设备,如泡沫灭火系统、水喷雾灭火系统和气体灭火系统等,并根据不同的区域和设备特点进行合理布置。同时,还需要设置完善的火灾自动报警系统,能够及时发现火灾隐患并发出警报。救生系统则需要配备足够数量的救生艇、救生筏和救生衣等设备,并确保其性能可靠,便于人员在紧急情况下迅速撤离。危险气体探测系统能够实时监测FPSO内的可燃气体、有毒气体浓度,一旦超过安全阈值,立即发出报警信号,并采取相应的通风、切断气源等措施。在环保技术方面,需要对FPSO的含油污水处理、生活污水处理和废气处理等系统进行改造升级。含油污水处理系统采用物理、化学和生物等多种处理工艺,将含油污水中的油含量降低到规定标准以下,再进行排放或回用。生活污水处理系统则需要对生活污水进行收集、处理,使其达到排放标准。废气处理系统主要针对发电设备和加热设备产生的废气进行处理,采用脱硫、脱硝、除尘等技术,减少废气对大气环境的污染,确保FPSO在生产过程中符合严格的环保要求。

3 FPSO 改装技术创新方向

3.1 模块化设计与建造

模块化设计与建造是FPSO改装技术创新的重要方向之一。采用模块化设计,将FPSO的上部生产处理模块、生活模块等划分为多个功能独立的模块,每个模块在船厂或陆上工厂进行预制和调试,然后运输到现场进行组装。这种设计建造方式具有诸多优势,一方面可以提高建造效率,缩短改装周期。由于各模块可以同时进行预制,减少现场施工时间,降低施工成本。另一方面,模块化设计便于设备的更换和升级,当某个模块出现故障或需要进行技术升级时,可以单独对该模块进行更换或改造,而不影响其他模块的正常运行,提高了FPSO的可维护性和灵活性。模块化设计还能够提高设计的标准化和通用性,降低设计成本,便于不同项目之间的技术共享和经验借鉴。通过不断优化模块设计和制造工艺,实现FPSO改装的高效、便捷和经济。

3.2 智能化管理与监控

智能化管理与监控是未来FPSO改装的必然趋势。随着物联网、大数据、人工智能等技术的快速发展,将这

些先进技术应用到FPSO的运营管理中,可以实现设备的智能化监控和生产过程的自动化控制^[3]。通过在FPSO上安装大量的传感器,实时采集设备运行状态、生产参数、环境数据等信息,并将这些数据传输到中央控制系统进行分析处理。利用大数据分析和人工智能算法,能够对设备的故障进行预测和诊断,提前采取维护措施,减少设备停机时间,提高生产效率。智能化管理系统还可以根据生产需求和环境变化,自动调整生产参数和工艺流程,实现生产过程的优化运行。此外,智能化监控系统还能够对FPSO的安全状况进行实时评估,及时发现安全隐患并发出预警,提高FPSO的安全性和可靠性。

3.3 绿色与低碳技术

在全球对环境保护和可持续发展日益重视的背景下,绿色与低碳技术在FPSO改装中的应用具有重要意义。一方面,需要采用新型的节能设备和技术,降低FPSO的能源消耗。另一方面,需要加强对温室气体排放的控制,采用碳捕集、利用与封存(CCUS)技术,对FPSO生产过程中产生的二氧化碳进行捕集和处理,减少二氧化碳排放。在污水处理和废气处理方面,也需要不断研发和应用更加先进的环保技术,提高处理效率,降低污染物排放。还可以考虑采用可再生能源,如太阳能、风能等,为FPSO提供部分能源,减少对传统化石能源的依赖,实现FPSO的绿色低碳发展。通过应用绿色与低碳技术,不仅能够满足日益严格的环保要求,还能降低运营成本,提高FPSO的经济效益和社会效益。

3.4 全生命周期阴极保护

全生命周期阴极保护技术是保障FPSO船体和设备在海洋环境中免受腐蚀的重要手段。传统的阴极保护方法主要是通过牺牲阳极或外加电流的方式,对船体和设备进行局部保护。而全生命周期阴极保护则是从FPSO的设计阶段开始,综合考虑船体结构、材料特性、海洋环境等因素,制定全面的阴极保护方案。在设计阶段,合理选择耐腐蚀材料和涂层,优化船体结构设计,减少腐蚀隐患。在建造过程中,严格控制施工质量,确保阴极保护系统的安装符合设计要求。在运营阶段,通过先进的监测技术,实时监测阴极保护系统的运行状态和船体设备的腐蚀情况,根据监测结果及时调整保护参数,确保阴极保护系统始终处于最佳工作状态。同时还需要对阴极保护系统进行定期维护和升级,保证其在FPSO的整个生命周期内都能有效发挥作用,延长FPSO的使用寿命,降低维护成本,提高FPSO的安全性和可靠性。

4 案例分析:某VLCC油轮改FPSO项目技术实践

4.1 项目概况

某VLCC（超大型油轮）油轮改FPSO项目是为开发某深海边际油气田而实施的一项重大工程。该油气田位于水深超过1000米的海域，环境条件恶劣，海况复杂，对FPSO的性能和可靠性提出了极高的要求。原VLCC油轮建造于2005年，载重吨位为30万吨，船体结构和设备状况良好，但需要进行全面改造才能满足FPSO的生产运营需求。项目的主要改装内容包括：对船体结构进行加强和改造，以适应上部模块的安装和生产作业要求；更换和升级上部生产处理模块，包括原油处理、天然气处理、发电、供热等系统，提高油气处理能力和效率；改造系泊系统，采用内转塔系泊方式，确保FPSO在恶劣海况下的安全稳定；升级安全与环保系统，配备先进的消防、救生、危险气体探测设备以及高效的含油污水处理、生活污水处理和废气处理系统，满足严格的安全环保标准。项目从启动到完工历时27个月，总投资达到30亿元。

4.2 技术要点实施效果

在船体结构改装方面，通过对船体甲板、舱室等部位的加强和改造，成功安装了重达4.4万吨的上部生产处理模块，并且经过严格的测试，船体的强度、稳定性和抗疲劳性能均满足设计要求，能够承受长期的海上作业负荷。上部模块改装后，原油处理能力从原来的10万桶/日提高到18万桶/日，天然气处理能力也大幅提升，从原来的500万立方米/日提升至1200万立方米/日，产品质量达到国际先进水平。新型的原油处理设备和天然气处理工艺，有效降低油气中的含水量和杂质含量，提高产品的市场竞争力。系泊系统改装采用内转塔系泊方式后，FPSO在强风、巨浪和海流的作用下，能够自由旋转，减少系泊系统的受力，提高FPSO的安全性和稳定性^[4]。经过实际运行验证，系泊系统运行可靠，未出现任何故障和安全隐患。安全与环保系统升级后，消防系统能够在火灾发生后的短时间内迅速启动并进行有效灭火，救生系统能够保障全体人员在紧急情况下安全撤离。含油污

水处理系统处理后的污水含油量远低于排放标准，生活污水处理和废气处理系统也均达到环保要求，实现了生产过程的清洁环保。

4.3 经济效益与环境效益

该VLCC油轮改FPSO项目取得了显著的经济效益和环境效益。在经济效益方面，项目投产后，预计每年可生产原油365万吨，天然气43.8亿立方米，实现销售收入200亿元，为企业带来了可观的利润。通过采用先进的节能设备和技术，降低能源消耗，每年可节约燃油10万吨，降低运营成本5亿元。在环境效益方面，项目严格遵守环保法规和标准，通过先进的环保技术和设备，有效减少了污染物排放。与传统的油气开发方式相比，该项目每年可减少二氧化碳排放23万吨，减少含油污水排放50万吨，保护海洋生态环境，实现油气开发与环境保护的协调发展，为推动行业的可持续发展做出积极贡献。

结束语

综上所述，FPSO改装技术要点对提升海洋油气开发效率与安全性至关重要。从船体结构强化到环保系统升级，各技术环节相互关联、协同作用。随着技术创新不断推进，模块化、智能化、绿色化技术的应用将为FPSO改装带来新突破。未来，持续探索和优化改装技术，有助于进一步降低开发成本、减少环境影响，助力海洋油气产业高质量发展，实现经济效益与生态效益的双赢。

参考文献

- [1]孙恪成,李牧,李鹏,等.FPSO系泊系统失效原因探讨[J].天津科技,2020,47(1):49-51,54.
- [2]吴猛,黄涣青,朱继欣.300000DWT级FPSO改装项目首部延伸结构设计[J].广东造船,2020,39(1):34-36,33.
- [3]王辉,罗对禹,冯士伦,等.FPSO运动对跨接柔性管动力响应影响分析[J].海洋技术学报,2025,44(2):107-114.
- [4]朱绍锋,张恒玮,王秀鹏.FPSO船体管线质量控制要点分析[J].山东化工,2025,54(4):198-200.