

油轮改装FPSO的关键技术研究与项目管理

徐晓华

上海中远海运重工有限公司 上海 201913

摘要：在海洋油气开发中，FPSO作用突出。将油轮改装为FPSO，可充分利用资源，降低成本、缩短周期，极具经济与实用价值。本文聚焦其关键技术与项目管理，先分析油轮与FPSO在功能定位、结构设计和系统配置上的技术差异，再研究船体改造、油气处理系统集成等关键技术，探讨项目管理核心要素，结合案例分析，总结结论，为相关项目提供理论与实践参考。

关键词：油轮改装；FPSO；关键技术；项目管理

1 油轮与 FPSO 的技术差异分析

1.1 功能定位差异

油轮作为海洋运输的重要工具，其核心功能在于高效、安全地运输原油或成品油。其设计理念紧密围绕这一核心功能展开，追求货油装载量的最大化、运输效率的提升以及航行过程中的高度稳定性。油轮依据不同的航线规划，利用自身动力或依赖拖船的牵引，穿梭于各大港口之间，完成油气的转运任务。相比之下，FPSO（浮式生产储卸油装置）则更多地服务于海洋油气田的现场生产作业，是集油气开采、处理、储存和外输功能于一体的综合性设施。FPSO无需进行长途航行，而是长期系泊于固定的海域，通过海底管道直接与油井相连，接收井口产出的油气混合物，并经过一系列的处理流程后，将合格的原油安全储存，再通过穿梭油轮或海底管道实现外输。FPSO还需提供完备的生活和工作设施，以保障现场作业人员的日常生活与工作需要，因此其功能定位更为综合和复杂，对技术的要求也更为严苛。

1.2 结构设计差异

油轮的结构设计旨在最大化提升货油舱的容积，以容纳更多的油品。船体线型设计注重减少航行阻力，从而在保证航行速度的同时，提高燃油效率，降低运营成本。货油舱通常采用分隔式设计，以适应不同种类油品的运输需求，同时舱体结构相对简单，主要考虑的是油气的密封性和装载需求。而FPSO的结构设计则需满足长期海上系泊作业的特殊要求，其船体强度和稳性标准远高于普通油轮。为抵御海洋环境荷载，如波浪、风力和水流等的冲击，FPSO的船体结构进行了强化设计，特别是在系泊系统连接部位和船体关键受力区域，采用了更为坚固和复杂的结构设计。FPSO还设有专门的上部模块区域，用于安装油气处理设备、动力系统、生活模块等关键设施，这使得其甲板布局和船体内部空间划分与油

轮存在显著的区别，更体现了FPSO作为综合性海上生产平台的独特性^[1]。

1.3 系统配置差异

油轮的系统配置主要围绕航行和货油运输展开，包括动力推进系统、导航通信系统、货油装卸系统、压载水系统等。动力推进系统为油轮航行提供动力，导航通信系统保障航行安全，货油装卸系统实现油气的快速装载和卸载。FPSO的系统配置更为复杂多样，除了基本的船体系统外，还包括油气处理系统（分离、脱水、脱硫等设备）、油气储存系统、外输系统、系泊系统、动力系统、控制系统以及生活保障系统等。其中，油气处理系统是FPSO的核心系统之一，直接影响油气产品的质量；系泊系统确保FPSO在海上的稳定定位；控制系统实现对整个生产过程的自动化监控和调节。

2 油轮改装为 FPSO 的关键技术研究

2.1 船体结构改造技术

船体结构改造是油轮改装为FPSO的基础环节，首先需要对油轮进行全面的强度评估，结合FPSO的作业环境和载荷要求，确定结构强化的区域和程度。对于长期承受波浪冲击和系泊力的船体部位，如船首、船尾和舷侧，需采用加厚钢板或增加加强筋等方式进行强化，以提高船体的整体强度和抗疲劳性能。由于FPSO的货油舱需要长期储存原油，需进行严格的防腐和防渗处理。通常采用喷涂防腐涂层、铺设防腐衬里等方法，防止原油对舱体的腐蚀。同时，对货油舱的内部结构进行调整，增设必要的搅拌装置和加热系统，以保证原油的流动性和储存稳定性；根据FPSO的稳性和吃水要求，重新设计压载水舱的容量和分布，优化压载水的注入和排出流程。通过调整压载水系统，确保FPSO在不同装载状态和海洋环境下都能保持良好的稳性和浮态。

2.2 油气处理系统集成技术

首先需根据油气田的产能和油气性质，进行油气处理模块的选型。处理模块包括油气分离设备、脱水设备、脱硫设备、计量设备等，选型时要考虑处理效率、设备可靠性和占地面积等因素。在安装过程中，需合理规划处理模块在甲板上的布局，确保各设备之间的连接管道短捷、流畅，减少压力损失，要注重设备之间的协同工作，通过优化工艺流程，提高油气处理的整体效率^[2]。例如，将分离后的天然气进行回收利用，作为动力系统的燃料，实现能源的高效利用。另外，油气处理系统还需配备完善的辅助设备，如泵、阀门、过滤器等，以保证系统的稳定运行。在集成过程中，要进行严格的调试和测试，确保各设备和系统之间的匹配性和协调性，满足油气处理的质量和产量要求。

2.3 系泊系统改装技术

系泊系统改装直接关系到FPSO在海上的定位稳定性。系泊系统的选型需根据作业海域的环境条件，如水深、风速、波浪高度、海流速度等，选择合适的系泊方式，如单点系泊、多点系泊等。单点系泊适用于水深较大、环境条件相对温和的海域，具有操作灵活、适应能力强等优点；多点系泊则适用于水深较浅、环境荷载较大的海域，能提供更好的定位稳定性。系泊设备包括锚链、锚、系泊缆、连接器等，安装时要确保设备的连接牢固、可靠，符合设计要求。在调试过程中，需进行系泊力测试和定位精度测试，通过调整系泊设备的张力和角度，使FPSO在各种海洋环境条件下都能保持稳定的位置；连接部位的船体结构需进行特殊强化设计，采用高强度材料和合理的连接方式，确保能承受系泊力的作用。同时，要定期对系泊系统进行检查和维护，及时发现和处理设备的磨损、腐蚀等问题，保障系泊系统的安全可靠运行。

2.4 控制系统与自动化技术

控制系统与自动化技术是提升FPSO生产效率和安全性的主要手段。控制系统需实现对油气处理、储存、外输等整个生产过程的集中监控和管理，包括数据采集、参数调节、故障报警等功能。采用分布式控制系统（DCS），能实现对各个生产环节的实时监测和控制，提高系统的可靠性和灵活性。自动化技术的应用主要体现在生产流程的自动化操作上，例如，油气处理过程中的阀门开关、泵的启停、参数调节等可通过自动化控制系统实现，减少人工干预，提高生产效率和操作精度。同时，引入先进的传感器技术和数据分析技术，对生产过程中的关键参数进行实时监测和分析，及时预测和诊断设备故障，为设备维护提供依据。另外，控制系统还

需具备良好的通信功能，能与岸基控制中心和其他相关设备进行数据交换和信息共享，实现远程监控和管理。在系统设计和集成过程中，要注重安全性和保密性，防止数据泄露和系统遭受恶意攻击。

3 油轮改装为FPSO的项目管理核心要素

3.1 项目规划与设计管理

项目规划与设计管理是油轮改装项目顺利实施的前提。在项目规划阶段，需明确项目目标和范围，包括改装后的FPSO性能指标、生产能力、作业海域等。根据项目目标，制定详细的项目计划，包括进度计划、资源计划、成本计划等，合理安排项目的各个阶段和任务。设计管理是项目规划与设计管理的核心内容。需选择具有丰富经验的设计单位，进行改装方案的设计。设计过程中，需要充分考虑油轮的原有结构和性能，结合FPSO的功能需求，进行方案的优化和论证。同时，要加强设计过程中的沟通与协调，确保设计方案符合相关标准和规范，满足项目的各项要求；在设计完成后，需进行设计评审，组织专家对设计方案的可行性和安全性、经济性等进行评估，及时发现和解决设计中存在的问题^[3]。

3.2 采购与供应链管理

在项目启动之初，精心制定详细的采购计划，该计划需清晰界定所需采购物资的种类、确切数量、严格的质量标准以及明确的交货期限。依据这一计划，应审慎选择具备资质和信誉的供应商，通过公开招标、询价对比等透明程序来执行采购，以确保所购物资的质量上乘且价格公正。必须密切关注物资的运输流程、存储条件以及配送安排，确保每一环节都高效且符合标准。建立一套健全的信息管理系统，实时追踪物资的采购进展和库存变动，从而保障施工现场的物资供应既准时又充足。另外，加强与供应商的深度合作与有效沟通，构建稳固而持久的合作关系，能显著提升供应链的可靠性和整体运作效率。在采购执行期间，必须严格遵守采购合同条款，对采购物资实施严格的检验和验收程序，保证所有物资均符合设计要求和质量规范。对于核心设备和关键材料，更需进行现场试验与全面测试，只有在验证合格后，方可正式投入使用。

3.3 施工过程管理

在施工前，需编制详细的施工组织设计，明确施工流程、施工方法、质量控制要点和安全注意事项。对施工人员进行培训和技术交底，确保施工人员熟悉施工方案和操作规程。在施工过程中，加强现场管理，合理安排施工工序和资源，确保施工有序进行。严格执行质量控制制度，对每道工序进行检查和验收，不合格的工

序不得进入下一道施工环节。同时要加强安全管理，设置必要的安全防护设施，开展安全检查和隐患排查，防止安全事故的发生；施工过程中要做好施工记录和资料整理工作，及时收集和归档施工过程中的各种数据和资料，为项目的验收和后续维护提供依据。

3.4 风险管理

在项目初期，需进行全面的风险识别，识别项目实施过程中可能面临的技术风险、经济风险、安全风险、环境风险等。对识别出的风险进行评估，分析风险发生的可能性和影响程度，确定风险等级。根据风险评估结果，制定相应的风险应对措施。对于高风险项目，要制定专项应急预案，采取有效的预防和控制措施，降低风险发生的可能性和影响程度。在项目实施过程中，要加强风险监控，及时跟踪风险的变化情况，调整风险应对措施；建立风险预警机制，当风险指标达到预警阈值时，及时发出预警信号，采取应急措施进行处理。

3.5 调试与验收管理

调试与验收管理是检验项目成果的关键环节。在调试阶段，需制定详细的调试方案，对FPSO的各个系统和设备进行全面调试。按照调试方案，逐步进行单机调试、系统调试和联动调试，确保各系统和设备运行正常，各项性能指标达到设计要求。在调试过程中，要做好调试记录和数据整理工作，对调试中发现的问题及时进行整改。调试合格后，进入验收阶段。验收工作需按照相关标准和规范进行，组织专家和相关方进行验收。验收内容包括项目的质量、性能、安全、环保等方面，验收合格后方可交付使用。验收完成后，要及时办理验收手续，整理和归档验收资料。因此，要制定完善的售后服务和维护计划，为FPSO的长期稳定运行提供保障。

4 案例分析

4.1 案例一：某超大型油轮改装FPSO项目

该项目选用一艘载重吨为30万吨的超大型油轮进行改装，目标是将其改造为适用于深海油气田开发的FPSO，作业海域水深约1500米，年均波浪高度较大。在关键技术应用方面，船体结构改造采用了高强度钢材对船体关键部位进行强化，货油舱采用了新型防腐涂层和衬里材料，提高了防腐性能和使用寿命。油气处理系统集成了高效的分离和净化设备，处理能力达到每天10万桶原油。系泊系统采用了多点系泊方式，配备了先进的

锚链和系泊缆，确保在恶劣海洋环境下的定位稳定性。控制系统采用了分布式控制系统，实现了生产过程的全自动化监控。项目管理过程中，制定详细的项目计划和严格的进度控制，确保项目按时完成^[4]。在成本管理方面，通过优化采购方案和施工流程，有效控制项目成本，实际成本较预算降低5%。质量管理方面，建立完善的质量控制体系，对施工全过程进行严格监督，项目验收一次性通过。

4.2 案例二：某老旧油轮改装FPSO项目

该项目的油轮已服役20年，船体结构存在一定程度的老化，改装目标是将其改造为适用于浅海油气田开发的FPSO，作业海域环境相对温和，但周边渔业活动频繁。通过对船体进行全面检测和评估，采用了局部换板和加强筋加固等技术措施，恢复了船体的结构强度。油气处理系统采用模块化设计，便于安装和维护，同时考虑与周边渔业活动的协调，优化外输流程。项目管理中，注重风险管理，针对老旧油轮改造的不确定性，制定多项应急预案。在施工过程中，加强了与当地渔业部门的沟通与协调，减少施工对渔业活动的影响。通过优化施工组织和资源配置，缩短了施工周期，提前半个月完成项目验收。项目实施后，运行稳定，各项性能指标满足设计要求，取得良好的经济效益和社会效益。

结束语

油轮改装为FPSO是一个复杂而重要的工程，涉及多方面的关键技术、严格的项目管理。通过深入研究和案例分析，可以看到，合理的技术选择和管理措施对于项目的成功至关重要。未来，随着海洋油气开发的不断深入和技术的进步，FPSO的应用将会更加广泛。希望本文的研究能为相关领域的从业人员提供参考，推动油轮改装为FPSO技术的发展，为海洋油气开发贡献更多的力量。

参考文献

- [1]肖文彬.FPSO改装之单点系泊结构建造工艺研究[J].科学技术创新,2019(4):20-21.
- [2]徐恒,汪永茂.FPSO改装船的建造关键技术与应用[J].军民两用技术与产品,2018(4):103-104.
- [3]齐晓亮,韦晓强,王丹,等.碳捕集技术在FPSO运营中的应用及挑战[J].中国高新科技,2025(9):152-154.
- [4]徐世杰.智能船舶技术驱动下的FPSO智能化研究[J].船舶物资与市场,2024,32(11):37-39.