

FPSO改装过程中的设备选型与系统集成管理

许亚峰

上海中远海运重工有限公司 上海 201913

摘要：本文探讨了FPSO（浮式生产储卸油装置）改装过程中的设备选型与系统集成管理。首先概述了FPSO的基本结构、功能与改装类型，详细分析了设备选型原则、流程及关键设备选型要点。在系统集成管理方面，文章讨论了其目标、流程、关键技术以及协调与沟通机制。设备选型与系统集成管理的协同作用也是本文的重点，包括选型对集成的影响、集成的反馈以及协同管理的策略与措施。通过科学的设备选型和高效的系统集成管理，可以确保FPSO改装项目的顺利实施和长期稳定运行。

关键词：FPSO改装；设备选型；系统集成管理

1 FPSO 改装项目概述

1.1 FPSO的基本结构与功能

FPSO作为海洋石油开发核心装备，集生产、储存、外输及生活保障等功能于一体。其船体是基础框架，多由油轮改装或专门建造，需具备良好耐波性与稳定性，内部舱室用于储存物资和容纳设备人员，设计时充分考量海洋环境因素。生产处理系统是核心，通过物理和化学工艺实现油气水分离、原油脱水及天然气处理，自动化控制系统保障处理效果稳定。储油系统采用双壳结构储油舱，配备完善监测装置与惰性气体保护系统，确保原油储存安全。外输系统借助外输泵、软管或硬管及系泊装置，实现原油稳定外输。另外，还配备生活设施、动力供应和安全消防系统，为装置稳定运行和人员安全提供保障。

1.2 FPSO改装的类型与目标

FPSO改装依实际需求分为多种类型。产能提升型改装针对产量增长，船厂需通过升级设备、优化流程，在不扩大船体规模的前提下提升原油处理量与效率，降低新建成本；功能拓展型改装是为满足新需求，船厂要增加天然气液化、原油调和、海水淡化等功能模块，提高资源利用率与产品竞争力；安全升级型改装因法规标准更新，船厂需对安全消防和防污染设备升级，确保符合最新安全环保要求；延寿型改装则针对老化FPSO，船厂通过检测维修船体、更换设备，延长其使用寿命。不同改装类型对船厂的技术能力、施工工艺提出了多样化要求^[1]。

1.3 FPSO改装过程中的关键环节

FPSO改装是复杂系统工程，涵盖多个关键环节，船厂在其中发挥着核心作用。前期规划与设计阶段，船厂需深入分析油田现状与规划，明确改装需求，组建专业设计团队开展结构、系统设计，综合考虑多因素并进行

经济评估，同时与船东、设备供应商等多方沟通优化方案。设备采购与制造环节，船厂依据设计清单，遵循选型原则，对关键设备定制化制造，严格监督质量，与供应商密切沟通确保按时交付。施工与安装在船厂船坞或海上进行，严格遵守规范，采用先进技术保障船体改造和设备安装质量与进度。系统调试与测试包括单机、联动及性能测试，船厂记录数据并整改问题。验收与交付阶段，船厂组织专业人员全面验收，涵盖结构、性能、质量和资料等方面，确保交付装置满足生产要求。

2 FPSO 改装过程中的设备选型

2.1 设备选型原则

在FPSO改装中，船厂主导的设备选型遵循可靠性、性能匹配、经济性、兼容性和可维护性原则。可靠性原则要求设备适应海洋恶劣环境，船厂采用优质材质和先进制造工艺，对关键部件冗余设计，降低故障率，如海上泵类设备选用耐腐蚀不锈钢材质和先进密封技术。性能匹配原则强调设备性能参数与FPSO生产能力、工艺流程适配，考虑未来发展预留提升空间，如油气水分离器处理能力与原油产量匹配，避免处理不足或设备浪费。经济性原则需船厂综合考量设备全生命周期成本，包括采购、安装、运行、维护等费用，在满足性能可靠性前提下，选择性价比高、节能型设备，降低长期运行成本。兼容性原则确保新设备与原有设备系统在硬件接口和软件系统上顺利对接，避免出现连接和信号传输问题，保障系统稳定连贯运行。

2.2 设备选型流程

FPSO改装的设备选型流程包含需求分析、市场调研、初步筛选、技术评估、商务谈判及合同签订与采购六个环节。需求分析时，船厂项目团队全面剖析FPSO现有设备、生产能力及改装目标，与船东、油田运营方等

各方沟通明确新设备功能、性能和技术要求，收集历史数据作选型依据。市场调研通过展会、资料查阅及与供应商沟通，广泛收集设备信息，研究技术趋势，建立供应商信息库。初步筛选依据选型原则排除不符设备，用评分法对初选设备从性能、价格、售后等综合评估，确定候选清单。技术评估由船厂专家对候选设备的技术原理、制造工艺等深入审查，验证关键技术，判断是否满足运行要求^[2]。商务谈判围绕最终选型设备，船厂与供应商协商价格、交货期等条款，明确权利义务，降低采购成本。

2.3 关键设备选型要点

油气水分离器选型注重分离效率、处理能力和适应性。船厂采用旋流、离心与重力分离结合的复合技术提升分离效果，根据原油产量和工艺计算选型，考虑对不同性质原油的适应能力，确保原油含水率和天然气含油量达标。外输泵选型关键在于流量、扬程、可靠性和安全性。船厂根据外输需求和距离确定流量扬程参数，选择密封耐磨性能好、配备过载超压保护装置的泵，同时考虑能耗和维护成本，选择节能易维护的设备。储油舱相关设备选型，液位监测装置需精度高、可靠性强，如雷达液位计、磁致伸缩液位计；压力监测装置实时监测舱内压力，保障安全；防泄漏设备选用密封耐腐蚀材料和装置，配备泄漏监测系统，防止原油泄漏。动力设备选型要实现功率匹配、高效稳定和环保。船厂精确计算用电负荷和动力需求匹配功率，选择效率高、稳定性好、抗干扰能力强的设备，同时符合环保排放标准，降低对海洋环境的污染。

3 FPSO 改装过程中的系统集成管理

3.1 系统集成管理的目标

系统集成管理致力于打造高效、稳定、安全且经济的FPSO运行体系，核心目标涵盖功能协同、可靠性提升、安全环保强化及成本控制，船厂是实现这些目标的关键执行者。在功能协同上，船厂通过统一数据通信协议与控制逻辑，打破生产处理、储油、外输等系统的数据壁垒。可靠性与稳定性方面，船厂在系统架构设计时引入冗余容错机制，关键设备如外输泵、分离器采用双机热备。通过接口标准化设计与兼容性测试，降低设备厂商差异引发的冲突风险，使系统在海洋恶劣环境下稳定运行时间延长超30%。安全环保层面，船厂集成多维度安全监测网络，涵盖可燃气体泄漏检测、火灾报警等子系统，异常时启动分级响应。环保处理系统配备高精度油水分离装置（处理精度达5ppm以下）与废气净化设备（硫氧化物排放浓度低于50mg/m³），满足MARPOL等

严苛标准。在高效运行与成本控制上，船厂利用智能化管理平台分析能耗与设备数据，优化启停时序降低能耗12%，通过故障预测模型提前3-5天预警，减少停机损失超200万美元/年，实现运营成本精细化管控。

3.2 系统集成管理的流程

系统集成管理流程涵盖规划设计、实施、测试优化和验收交付四大阶段，每个阶段船厂都承担着重要职责。规划设计阶段，船厂项目团队深入研究油田开发规划、FPSO现有架构及产量增长预期，运用BIM技术构建三维模型，提前发现并解决30%以上的设计冲突。同时组织多方联合评审，确保方案兼具技术可行性与经济合理性。实施阶段采用模块化安装技术，船厂在船厂预组装生产处理单元、储油模块等，完成内部调试后整体吊装。施工中，物联网传感器实时采集焊接温度、安装精度等参数，通过5G网络上传至管理平台，船厂质量管控人员远程纠偏。复杂接口采用激光对中技术（同心度误差<0.05mm）与压力测试（保压4小时，压力降≤5%）保障连接质量。测试与优化阶段实施分级测试，船厂单机调试检测设备性能，联动测试模拟生产全流程检验系统协同性，72小时满负荷试运行评估极端工况下的稳定性^[3]。验收交付阶段依据DNVGL规范等国际标准，船厂组织专家通过实操演示、数据推演、第三方检测等方式全面审查系统功能、安全、环境指标及文档资料。验收通过后，为运维团队提供3个月驻场培训，确保改装后的FPSO顺利投运。

3.3 系统集成管理的关键技术

系统集成管理依赖自动化控制、通信网络、数据融合和仿真模拟四大核心技术，船厂需熟练掌握并应用这些技术。自动化控制以DCS为中枢，融合PLC、SCADA等设备，构建全流程自动化网络。在原油脱水环节，DCS利用PID控制算法自动调节电脱水器参数，使脱水效率稳定在98%以上，误差率较人工控制降低80%。通信网络采用“卫星通信+光纤冗余”双链路架构，海底光纤提供10Gbps传输速率，卫星通信作为备用链路确保极端情况下数据传输不断。引入5G专网实现设备传感器数据低延迟（<10毫秒）、高可靠传输，支持远程控制与状态监测。数据融合技术通过统一数据中台整合生产、设备、环境等多源数据，利用AI算法深度挖掘。如分析设备振动与温度数据，提前72小时预警潜在故障，准确率达92%，并为管理层提供可视化决策看板。仿真模拟技术基于CFD与有限元分析构建数字孪生模型，在设计阶段优化设备布局减少海况影响，调试阶段复现故障场景验证应急流程。

3.4 系统集成过程中的协调与沟通

系统集成的复杂性凸显协调与沟通的重要性，船厂在其中发挥着协调枢纽的作用。内部协调通过矩阵式管理架构明确各团队职责，每日15分钟站会同步进展，每周跨部门协调会运用RACI矩阵解决分歧与冲突。外部协调聚焦设备供应商与船东、油田运营方，与供应商建立月度进度评审，对长周期设备驻厂监造。面对船东需求变更，船厂24小时内评估影响，72小时内制定方案并调整计划。定期高层沟通确保集成方案贴合生产需求。信息共享依托ERP、Project、OA等数字化平台实现。ERP管理采购与库存，Project跟踪进度设置预警，OA完成文件审批。同时建立多方即时通讯群组与协作平台，实时传递需求、变更等信息。

4 FPSO 改装过程中设备选型与系统集成管理的协同

4.1 设备选型对系统集成的影响

设备选型是系统集成的基础，船厂主导的设备选型结果对系统集成效果起着决定性作用。当设备选型合理时，设备的性能参数与系统整体需求高度匹配，能极大降低集成难度。设备的接口标准统一、通信协议兼容，可实现各系统间数据无缝传输与指令协同执行，有效增强系统稳定性。反之，若设备选型不当，将带来诸多风险。接口不兼容的设备，如不同厂商生产的控制系统采用不同通信协议，会导致数据传输中断或错误，增加集成调试时间和成本；性能不匹配的设备，如外输泵流量与储油系统输出能力不匹配，易造成原油积压或外输中断，引发生产故障。设备可靠性差会导致系统故障率升高，可维护性低则增加后期运维难度和成本。

4.2 系统集成对设备选型的反馈

系统集成过程是检验设备选型合理性的关键环节，能为船厂后续设备选型提供重要反馈和优化方向。在集成调试阶段，若发现设备之间存在兼容性问题，如某新型监测设备与原有控制系统无法建立通信连接，这一问题反馈至选型环节后，可促使船厂重新评估设备选型标准，要求供应商提供符合统一通信协议的设备，从而完善选型要求。通过这种反馈机制，设备选型能够不断优

化，使设备与系统集成需求高度契合，降低集成风险，提高系统整体性能^[4]。

4.3 协同管理的策略与措施

为保障FPSO改装项目顺利推进，船厂需采取有效策略实现设备选型与系统集成管理的协同。建立跨部门协同工作机制，组建由设备选型专家、系统集成工程师、施工人员、运维人员构成的联合团队，明确各成员在不同阶段的职责，通过定期召开联席会议，加强信息共享与沟通协作，及时解决选型与集成过程中的矛盾和问题；制定统一的规划和标准，从项目初期就将设备选型要求与系统集成目标相结合，统一设备接口标准、通信协议、性能指标等，避免因标准不一致导致的集成难题。另外，利用信息化管理平台，实现设备选型信息、系统集成进度、技术文档等数据的实时共享和交互；加强全过程监督和评估，建立考核指标体系，对设备选型质量、系统集成效果进行量化评估，根据评估结果优化工作流程，持续提升协同管理水平，确保项目高效完成。

结束语

综上所述，FPSO改装是一个复杂而精细的过程，涉及设备选型与系统集成管理等多个关键环节。设备选型需遵循可靠性、性能匹配等原则，确保设备适应海洋环境和生产工艺需求。未来，随着技术的进步和需求的升级，FPSO改装将更加注重智能化、环保化和可持续化发展。船厂需不断优化设备选型与系统集成管理流程，提高项目执行效率和质量，为海洋石油开发提供强有力的支持。

参考文献

- [1] 苏忠义,唐志广.FPSO改装中管支架材料自动汇总方法研究[J].中国修船,2025,38(1):48-51.
- [2] 周伟.FPSO改装工程牺牲阳极的计算及布置[J].船舶工程,2021,50(6):118-122,126.
- [3] 丁奎龙.FPSO改装项目货油泵选型分析[J].中国船舶,2024,37(2):31-35.
- [4] 柴文涛.FPSO改装项目内部转塔系统及安装工艺[J].造船技术,2020(2):62-64.