

海上油田 FPSO 换热器改造工艺与经济性分析

马 明 (中海油能源发展股份有限公司渤海地区管理服务中心, 天津 300452)

摘要: FPSO (浮式生产储油卸油装置) 作为海上油田开发的关键设施, 其性能与效率直接关系到油田的生产效益。换热器作为 FPSO 中的重要设备, 对于维持生产流程的稳定和提高能源利用效率至关重要。渤海油田蓬莱号 FPSO 原换热器因材料老化、设计缺陷等问题, 频繁出现换热板片开裂、内漏串液等故障, 维修成本高且无法彻底解决问题。对其进行国产化改造, 新型换热器采用材料升级、改进密封技术等措施, 优势显著。改造后, 不仅解决了原设备问题, 提升了换热效果, 降低了维修成本, 还提高了设备可靠性, 具有显著的经济效益。

关键词: 海上油田; FPSO; 换热器; 改造工艺; 经济性分析

中图分类号: TE54 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 014-0061-03

Process and Economic Analysis of Heat Exchanger Modification for Offshore Oil Field FPSO

Ma Ming (Bohai Regional Management Service Center of CNOOC Energy Development Co., Ltd., Tianjin 300452, China)

Abstract: FPSO (Floating Production Storage and Offloading Unit) is a key facility for offshore oil field development, and its performance and efficiency are directly related to the production efficiency of the oil field. As an important equipment in FPSO, heat exchangers are crucial for maintaining the stability of production processes and improving energy utilization efficiency. Due to material aging, design defects, and other issues, the original heat exchanger of the Bohai Oilfield's Pengbo FPSO frequently experienced failures such as cracking of heat exchange plates and internal leakage of fluids, resulting in high maintenance costs and inability to completely solve the problem. Domestically transforming it, the new heat exchanger adopts measures such as material upgrading and improved sealing technology, with significant advantages. After the renovation, not only did it solve the original equipment problems, improve heat exchange efficiency, reduce maintenance costs, but it also improved equipment reliability, with significant economic benefits.

Keywords: offshore oil fields; FPSO; Heat exchanger; Transforming the process; economic analysis

FPSO 作为集油气生产、储存、外输于一体的浮动式生产设施, 在海上油田开发中发挥着不可替代的作用。随着油田开发的深入, 对 FPSO 设备的性能要求也越来越高。在 FPSO 生产领域, 冷媒换热器是保障生产系统稳定运行的关键设备之一。它通过高效的热交换, 确保生产过程中热量的合理分配和利用^[1]。

然而, 海上环境的特殊性 (如盐雾、海浪冲击、高温高湿等) 对换热器的性能提出了更高的要求。渤海油田蓬莱号 FPSO 的原冷媒换热器频繁出现换热板片开裂, 引发内漏、串液等问题, 严重影响了生产的安全性和稳定性, 对油田生产经济效益产生了不利影响。尽管对部分开裂板片进行补焊能暂时维持使用, 但补焊后的板片寿命短且存在介质串液的隐患, 同时维修成本不断增加。

为解决这些问题, 对剩余 2 台换热器中的 1 台进行整体国产化改造势在必行。本研究旨在通过国产化改造, 降低维修成本, 提高换热效果, 确保海上生产安全。并进行经济性分析, 以期为相关实践提供借鉴。

1 FPSO 概述及其换热器作用

1.1 FPSO 概述

FPSO (Floating Production Storage and Offloading) 即浮式生产储油卸油装置, 是一种集油气生产、储存、外输于一体的浮动式生产设施。它通常由一艘或多艘大型油轮改装而成, 具备油气处理、储存、外输以及人员居住、生活支持等功能。FPSO 通过海底管线与海底油井相连, 接收并处理采出的油气水混合物, 将处理后的合格原油储存在船舱中, 待达到一定量后通过穿梭油轮输送至陆地。FPSO 具有适应性强、灵活性高、可移动性好等优点, 特别适用于远离陆地的深海、边际油田开发。随着海上油田开发的不断深入, FPSO 已成为海上油气田开发的重要设施之一。

1.2 换热器作用

FPSO 换热器在海上油田开发中发挥着至关重要的作用。它主要用于实现油气水混合物之间的热量交换, 以满足生产工艺对温度、压力等参数的要求。具体而言, FPSO 换热器的作用主要体现在以下几个方面: ①原油加热: 在原油处理过程中, 换热器可将低

温原油加热至适宜的温度，以提高原油的流动性和处理效率。同时，加热后的原油也更易于储存和运输。②天然气冷却：天然气在开采过程中往往携带有大量的水分和热量。通过换热器对天然气进行冷却，可以去除其中的水分和热量，从而提高天然气的品质和纯度。③能量回收：在生产过程中，部分能量会以热能的形式散失。通过换热器将这些热能回收并重新利用，可以提高能源利用效率，降低生产成本。④保护设备：在高温或低温环境下，设备容易受到损坏。通过换热器对介质进行加热或冷却，可以保护设备免受损坏，延长设备使用寿命。

2 FPSO 换热器改造工艺分析

2.1 改造背景及必要性

蓬勃 FPSO 海上原换热器自投入使用以来，多次出现换热板片开裂现象。原换热器型号为 T50-MFD，单台换热面积为 1281.6 m²，由阿法拉伐生产，2006 年出厂，板片材质为 TA1，板片厚度 0.6mm。部分开裂板片虽经补焊维修，但仍无法彻底解决问题，且维修成本逐渐升高，严重影响了海上生产的经济效益和安全性。

2.2 国产化改造的优势

国产化改造不仅能解决当前的故障问题，还能提升设备性能，满足海上生产的长期需求^[2]。新型换热器采用先进的设计理念和制造工艺，具有以下优势：①材料升级：新型换热器采用 0.7mm 厚的高性能钛合金板片，增强了板片的刚性和耐腐蚀性。②密封技术改进：新型换热器密封垫片采用免粘机械镶嵌技术，更换密封垫片更加方便，减少了安装工作量，提高了效率，还解决了传统垫片粘合剂对板片密封槽的腐蚀问题，延长了换热板片的使用寿命。③成本降低：国产化换热器的制造成本和维修成本显著低于进口设备，能够有效降低海上生产的运营成本，提升经济效益。

3 施工方案概述

3.1 施工前调研

施工前的实地调研是项目实施的重要基础。施工团队前往 FPSO 平台，详细了解原换热器的运行状况，包括设备的运行时间、故障频率、换热效率等^[3]。同时，对原换热器的技术参数进行精确测量和记录，如换热面积、介质流量、压力等，为新换热器的设计提供准确依据。此外，还对现场安装环境进行勘查，包括空间布局、管道走向、周边设备等，以便制定合理的施工方案。

3.2 陆地准备工作

在陆地阶段，根据调研收集的信息，进行换热器的设计工作。设计过程中充分考虑原设备的运行参数、

现场安装条件以及未来生产的发展需求，确保新换热器在性能上能够满足要求。完成设计后，进行材料预处理，对原材料进行检验、加工和防腐处理，确保材料质量符合标准。同时，开展无损检验工作，采用先进的检测技术对材料和零部件进行检测，及时发现潜在的缺陷。此外，还需完成相关取证工作，确保施工过程符合法律法规和行业标准的要求^[4]。

根据设计图纸，在陆地工厂完成换热器的制作，并进行组装调试。在制作过程中，严格控制每一个生产环节的质量，确保零部件的加工精度和装配质量。组装完成后，进行全面的调试工作，对换热器的性能进行测试和优化，确保设备在出厂前达到最佳状态。

3.3 海上施工作业

准备好出海吊笼及各种工机具，将设备和材料从陆地运送至海上。在运输过程中，采取严格的防护措施，确保设备和材料不受损坏。同时，对运输路线进行规划，选择安全、便捷的运输方式，确保运输过程的顺利进行。在海上平台，首先进行新旧换热器的拆除工作。拆除过程中，严格按照施工方案进行操作，确保拆除工作的安全、高效。拆除完成后，进行新换热器的安装工作。安装过程中，对每一个部件的安装位置、连接方式进行精确调整和固定，确保设备安装牢固、运行稳定。安装完成后，对新设备进行全面调试，检查设备的运行状况，对发现的问题及时进行调整和优化，确保设备满足现场使用要求^[5]。

项目结束阶段，拆除脚手架材料，清理施工现场，解除相关隔离措施。组织项目验收工作，邀请业主、监理等相关方参与，对项目的施工质量、设备性能等进行全面检查和评估。验收合格后，签署完工报告，将人员和设备进行复原，确保平台恢复正常生产状态。

4 FPSO 换热器改造经济性分析

4.1 成本分析

FPSO 换热器改造的成本主要包括以下几个方面：

①材料成本：包括换热管、管板、密封件等部件的采购成本。这些材料的成本取决于材质、规格和数量等因素。②施工成本包括拆卸、清洗、改造施工、安装调试等阶段的成本。这些成本取决于施工难度、工期和人工费用等因素。③停机损失：在改造过程中，FPSO 需要停机进行改造施工。停机期间的生产损失也是需要考虑的成本之一。停机损失的大小取决于生产规模、停机时间和产品价格等因素。④维护与运营成本：改造后的换热器在长期使用过程中需要进行维护和运营。这些成本包括定期清洗、检查、维修等费用。

4.2 效益分析

FPSO 换热器改造的效益主要体现在以下几个方

面：①提高传热效率：通过改造，可以提高换热器的传热效率，降低能耗。这将有助于降低生产成本，提高经济效益。②延长使用寿命：通过材质升级和结构优化设计等措施，可以延长换热器的使用寿命，减少更换频率和维护成本。这将有助于降低长期运营成本。③提高生产稳定性：改造后的换热器具有更好的性能和更高的可靠性，有助于提高生产稳定性。这将有助于减少生产中断和故障率，提高生产效率。④提升安全性：通过加强安全管理和风险防控等措施，可以确保改造过程中的安全性和改造后的设备安全性。这将有助于保障人员生命财产安全和生产环境的安全稳定。

4.3 敏感性分析

为了评估 FPSO 换热器改造的经济性，还需要进行敏感性分析。敏感性分析主要考察不同因素变化对改造经济性的影响程度。以下是对几个关键因素的敏感性分析：

①材料成本变化：材料成本是影响改造成本的重要因素之一。当材料成本上升时，改造成本将增加；反之，当材料成本下降时，改造成本将降低。因此，需要对材料成本进行敏感性分析，以评估其对改造经济性的影响程度。

②施工周期变化：施工周期的长短直接影响改造期间的停机损失和人工费用等成本。当施工周期延长时，停机损失和人工费用将增加；反之，当施工周期缩短时，这些成本将降低。因此，需要对施工周期进行敏感性分析，以评估其对改造经济性的影响程度。

③能源价格变化：能源价格是影响生产成本的重要因素之一。当能源价格上升时，生产成本将增加；反之，当能源价格下降时，生产成本将降低。由于改造可以提高传热效率并降低能耗，因此能源价格的变化将对改造的效益产生一定影响。需要对能源价格进行敏感性分析，以评估其对改造效益的影响程度。

④维护与运营成本变化：维护与运营成本是长期考量 FPSO 换热器改造经济性的关键因素。这些成本包括定期的检查、清洗、维修以及可能的部件更换等。随着技术的进步和运维策略的优化，维护与运营成本可能会发生变化。例如，采用更高效的运维手段可以降低维护频率和成本；而新技术或材料的引入，尽管初期投资较高，但可能带来更低的长期运维成本。因此，需要对维护与运营成本进行敏感性分析，评估其变化对改造项目整体经济性的影响。

4.4 投资回收期分析

投资回收期是衡量 FPSO 换热器改造项目经济效益的重要指标。它表示从项目开始实施到通过节约的

能耗、降低的维护成本以及可能的生产效率提升等途径收回全部投资所需的时间。投资回收期的长短取决于多个因素，包括改造成本、预期效益、生产规模以及能源价格等。一个较短的投资回收期通常意味着项目具有较高的经济效益和更快的回报速度。

在进行投资回收期分析时，需要综合考虑改造项目的所有成本和预期效益，并基于合理的假设和预测进行计算。这包括考虑未来的生产规模、能源价格变动趋势、技术进步等因素对效益的影响。同时，还需要考虑资金的时间价值，使用适当的贴现率将未来的效益和成本折现到当前价值，以更准确地评估项目的经济效益。

5 结论与建议

FPSO 换热器改造项目对于提高海上油田生产效率、降低运营成本具有重要意义。通过对改造成本、预期效益以及投资回收期等方面的详细分析，可以发现改造项目具有较高的经济效益和投资价值。为了确保改造项目的成功实施并取得预期效果，建议在实际操作中注意以下几点：①加强前期调研和论证工作，确保改造方案的科学性和可行性；②严格控制施工质量和进度，确保改造效果符合预期要求；③加强安全管理和风险防控措施，确保改造过程中的安全稳定；④密切关注市场动态和技术发展趋势，及时调整策略和计划；⑤加强人员培训和技术交流，提高团队的专业水平和应对能力。

通过以上措施的实施，可以进一步提高 FPSO 换热器改造项目的经济效益和成功率，为海上油田的可持续发展提供有力支持。

参考文献：

- [1] 谭淑元, 吴春发. 对换热器常见腐蚀问题与防腐措施的探讨 [J]. 云南化工, 2024, 51(S1):29-32.
- [2] 刘羽, 吴旭维, 于本水, 等. 海洋平台换热器海水系统超级双相钢耐蚀分析 [J]. 科技和产业, 2024, 24(09):266-270.
- [3] 赵威, 张宁, 曹志兴, 等. 海水换热器串流故障分析及解决 [J]. 辽宁化工, 2023, 52(07):989-991+998.
- [4] 秦逸涵, 高鹏, 窦培举, 等. 海上平台循环冷却水系统温度参数选取与节能增效 [J]. 工业用水与废水, 2022, 53(06):52-56.
- [5] 张慧跃, 辛顺, 张凯, 等. 国产印刷板式换热器在半潜式平台上的应用 [J]. 石油和化工设备, 2022, 25(04):37-40+36.

作者简介：

马明 (1983-)，男，本科，工程师，主要从事安全生产方面的科研和管理工作。