

FPSO 船舶保温材料选型与施工工艺优化管理研究

王磊

启东中远海运海洋工程有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i2.7658

[摘要] 随着海洋油气资源开发的重要性日益增加，FPSO（浮式生产储卸油船）作为关键设施，其保温系统的性能对生产安全、能源效率和设备稳定性有着直接影响。本文聚焦于 FPSO 保温绝缘材料的选型原则与施工工艺的优化管理，分析了气凝胶、橡塑棉、珍珠岩、泡沫玻璃和聚氨酯 PIR 等材料的性能特点，并探讨了基于性能导向的选型方法。同时，针对施工过程中的问题，如材料适应性、施工环境复杂性、操作标准不统一等，提出了预制模块化安装、错缝安装工艺、搭接工艺和密封胶等技术对策，以及建立标准化操作流程和质量控制体系的管理对策。旨在提升施工效率、材料利用率、工程质量和成本控制，确保 FPSO 保温绝缘系统的长期稳定运行，降低能源损失，延长设备使用寿命，并提高整体运营效益。

[关键词] FPSO 保温绝缘材料 选型原则 施工工艺优化 能源效率 设备保护

Research on FPSO Ship Insulation Material Selection and Construction Process Optimization Management

Wang Lei

Qidong COSCO Shipping Engineering Co., Ltd.

[Abstract] With the increasing importance of the development of marine oil and gas resources, the performance of FPSO (floating production storage and unloading tanker) as a key facility has a direct impact on production safety, energy efficiency and equipment stability. This paper focuses on the selection principle of FPSO insulation materials and the optimization management of construction processes, analyzes the performance characteristics of materials such as aerogel, rubber and plastic cotton, perlite, foam glass and polyurethane PIR, and discusses the selection method based on performance orientation. At the same time, in response to problems in the construction process, such as material adaptability, complexity of the construction environment, inconsistent operation standards, etc., technical countermeasures such as prefabricated modular installation, wrong seam installation process, connection process and sealant are proposed, as well as management countermeasures to establish a standardized operation process and quality control system. It aims to improve construction efficiency, material utilization rate, engineering quality and cost control, ensure the long-term stable operation of FPSO insulation system, reduce energy loss, extend the service life of the equipment, and improve the overall operational efficiency.

[Key words] FPSO insulation material, selection principle, construction process optimization, energy efficiency, equipment protection

引言：

随着全球能源需求的增长和陆地资源的逐渐枯竭，海洋油气资源开发成为各国关注的重点。FPSO 作为海上油气田开发的核心设施，在复杂多变的海洋环境中承担着油气采集、处理、

储存及外输的任务。极端的工作条件对 FPSO 的保温系统提出了严格要求。为了保障生产安全，降低能耗，并确保设备长期稳定运行，必须深入研究保温材料的选择及其施工工艺。本文将围绕这一主题展开讨论，首先介绍当前常用的几种保温材料

及其特性，然后探讨适用于 FPSO 环境的具体选型策略，最后着眼于如何通过优化施工工艺来实现更高效的保温效果，为相关领域的技术进步提供参考。

一、FPSO 保温系统的重要性与挑战

FPSO 保温系统在海上石油和天然气生产中扮演着不可或缺的角色。面对极端的海洋环境，如低温、高湿度和盐雾腐蚀等，保温系统的有效性直接关系到设备的安全运行和能源效率。良好的保温设计不仅能防止热量损失，还能保护敏感设备免受恶劣条件的影响，从而确保生产的连续性和稳定性。保温层的完整性对于减少维护成本同样重要，因为一旦破损，不仅可能导致热桥效应增加能耗，还可能引起结构腐蚀，威胁整个平台的安全。针对 FPSO 保温系统的考量，不仅要关注材料的选择，还需重视施工质量与后期维护管理。

在实际应用中，保温系统的挑战主要体现在选材和施工两方面。由于 FPSO 长期处于动态环境中，要求保温材料具备优异的机械性能以抵抗震动和冲击。为了适应不同的温度区间，材料必须能够承受从极冷到高温的变化而不发生物理或化学性质的显著改变。考虑到海洋环境的特殊性，材料的耐候性和抗腐蚀能力也至关重要。在施工过程中，虽然 FPSO 的建造主要在陆地上的船厂进行，但复杂的管道布局和狭窄的空间仍然限制了操作空间，增加了施工难度。

为了应对上述挑战，行业实践中逐渐形成了针对 FPSO 保温系统的综合解决方案。例如，采用多层复合保温结构，结合不同材料的优势，既可提高整体保温效果，又能增强耐久性。通过引入先进的施工技术，如预制模块化安装，可以有效缩短现场作业时间，降低天气因素对施工的影响。建立严格的施工监控机制，确保每一道工序都符合标准，有助于提升保温系统的可靠性。定期进行巡检和维护，及时发现并修复潜在问题，也是保障保温系统长期稳定运行的重要措施之一。

二、保温材料性能对比及适应性分析

在为 FPSO 选择保温材料时，性能对比和适应性分析是确保系统长期有效运行的关键步骤。主要选用气凝胶、橡塑棉、珍珠岩、泡沫玻璃或聚氨酯 PIR 等作为内层绝缘保温材料。关键在于材料的保温性能、防水性、耐温范围、耐腐蚀性、机械强度、施工便利性和经济性。理想的保温材料应具有低导热系数以减少热量损失，如气凝胶因其出色的隔热性能而适用于高温区域和低温区域。同时，材料需要具备良好的防水性能以适应潮湿的 FPSO 作业环境，泡沫玻璃因其防水和耐化学品腐蚀能力而成为理想选择。耐温范围广的材料如珍珠岩，能够承受极端温度变化而不受损。此外，材料还应具有出色的耐腐蚀性以抵御海洋环境的盐雾腐蚀，以及足够的机械强度来抵抗震动

和冲击。施工便利性也是一个重要因素，易于施工的材料可以减少现场作业时间和复杂性。最后，经济性也是一个考量点，在满足技术需求的同时，选择成本效益高的材料。

保温外护层材料有金属和非金属的。对于金属外护材料，镀锌铁皮、不锈钢和铝皮等是常规的选择，而非金属外护材料则有玻璃纤维增强热固性塑料即 GRP、氯磺化单体 (CSM) 为主要成分的柔性材料 (也称为 CSPE) 等。特别地，在阀门法兰处，需要做成可拆卸式的绝缘保温，便于 FPSO 运行期间的检修。通过详细比较各种保温材料的性能特点及其适应性，结合实际工程需求，可以为 FPSO 制定出一套科学合理的保温方案。例如，对于低温系统，可优先选用具有良好柔韧性的橡塑棉、保冷气凝胶和 PIR 等；而在高温高压系统环境下，则应考虑使用珍珠岩、保热气凝胶和耐火且稳定的陶瓷纤维制品，确保即使在极端条件下也能维持稳定的保温效果。通过精心挑选和合理配置保温材料，不仅可以提升 FPSO 的整体能源利用效率，还能延长设备使用寿命，降低运营成本，从而实现经济效益和环境保护的双赢局面。

三、基于性能导向的保温材料选型方法

基于性能导向的保温材料选型方法在 FPSO 设计和施工中扮演着核心角色。这一过程不仅涉及对材料物理化学特性的深入分析，还需结合具体应用场景进行综合考量。选择合适的保温材料首先要考虑的是其导热系数，这是衡量材料隔热性能的关键指标。低导热系数意味着更好的隔热效果，能够有效减少热量传递，对于维持系统内部温度稳定至关重要。材料的密度也影响着其耐久性和安装后的重量分布，轻质且坚固的材料有助于减轻结构负担并提高安全性。考虑到海洋环境的特殊性，保温材料必须具备优异的防水防潮性能，以防止因水分侵入而导致的保温层失效或腐蚀问题。例如，在高湿度和盐雾环境下，选用具有良好抗腐蚀性的聚氨酯泡沫或硅酸铝纤维毡可以显著提升系统的可靠性。

在实际选型过程中，材料的机械强度同样不可忽视。FPSO 在海上作业时会经历频繁的震动和冲击，因此所选保温材料需要能够承受这些动态负荷而不易损坏。对于复杂形状的表面或者狭窄空间内的管道，材料的柔韧性和可加工性尤为重要。橡塑保温材料因其良好的弹性和易于成型的特点，在这类情况下表现出色。施工工艺的可行性也是选型的重要因素之一。预制成型的保温模块可以通过快速粘接或机械固定方式安装，大大缩短了现场作业时间，并减少了天气条件对施工进度的影响。然而，目前主流 FPSO 模块采用的材料如气凝胶、橡塑棉、珍珠岩、泡沫玻璃或聚氨酯 PIR 等，这些材料不仅具有良好的保温性能，还具备出色的防水性和耐化学品腐蚀能力，成为海上

平台保温的理想选择。为了确保长期维护的便利性,应优先选择那些易于检查、修复和更换的材料,从而降低后期运营成本。

基于性能导向的保温材料选型还应当兼顾经济性和环保要求。尽管高性能材料通常具有更优越的技术参数,但其高昂的成本可能限制了大规模应用。在保证技术需求的前提下,寻找性价比高的替代方案是必要的。例如,通过优化材料组合使用,可以在不影响整体保温效果的情况下降低成本。随着全球对可持续发展的重视,保温材料的环保属性逐渐成为选型时的重要考量。采用可回收或生物降解材料不仅能减少环境污染,还能符合日益严格的国际环保标准。通过全面评估材料性能、施工难度及经济环保性,可以为 FPSO 制定出科学合理的保温材料选型策略,确保系统高效运行的同时实现资源最优配置。

四、现有施工工艺的问题识别与对策

在确保 FPSO 保温系统高效、可靠运行的过程中,施工工艺的问题识别与对策显得尤为重要。实际施工中,常见的问题包括材料适应性不足、施工环境复杂以及操作标准不统一。保温绝缘行业比较重视保温绝缘层下腐蚀即 CUI (Corrosion Under Insulation), 为了降低 CUI 风险,在绝缘保温材料安装过程中严禁有水进入,且施工采用错缝安装工艺,并在材料接缝处采用搭接工艺和打密封胶,以确保防水性能。由于施工主要在陆地上的船厂进行,且大部分 FPSO 项目的绝缘保温施工处于项目后期,施工周期短,因此对安装人员的技能和施工效率要求极高。对于安装工艺复杂的材料,材料厂商通常会派出技术工艺人员对施工人员进行培训,确保施工质量。

在施工过程中,由于不同施工团队技术水平的差异,可能会导致施工质量参差不齐。为解决这一问题,建立统一的操作标准和流程显得尤为重要。通过制定详尽的施工指南,明确每一道工序的具体要求和检验标准,可以显著提升施工的一致性和可靠性。对于新材料新工艺,通常需要材料厂商提供技术工艺人员对施工人员进行专业培训,确保施工人员在培训合格后才能上岗施工。这种做法有助于提高施工效率,确保施工质量,同时也降低了现场作业的风险。通过这些措施,可以确保施工团队能够熟练掌握最新的技术和操作规范,从而提升整体施工效率和保温层的质量。

为了进一步优化 FPSO 保温施工工艺,确保施工的高效率和质量,需要采取一系列措施。在施工前,必须对所有材料进行严格检测,确保其符合设计要求和技术标准,这是确保工程质量的基础。施工过程中,实施全程监控,及时发现并纠正可能出现的问题,避免因前期失误而导致后期返工,这对于提高施工效率至关重要。对于关键部位和隐蔽工程,应进行重点检查和记录,确保每一道工序都达到预期效果。施工完成后,进

行全面验收,对不符合标准的部分立即整改,直至完全合格为止,结合项目验收规范通常采用“三检制”,即自检、互检、专检,这是保证最终施工质量的关键步骤。定期对已完工项目进行回访和维护,及时处理发现的问题,确保保温系统的持续良好状态。为了提高施工效率,需要建立科学的施工工序,对于管道绝缘保温,施工前需要确保管道的压力试验已经完成,管道表面油漆已完工且没有破损,管道表面干净没有油污水汽等。

五、施工工艺优化方案及其实施效果评估

为了优化 FPSO 保温施工工艺并提升效率,目前的做法是有一部分绝缘材料由材料供应商预制成型,这样现场施工时只需进行简单的切割和调整即可安装,这些工艺方案已经在当前不少项目上开始实践,大大提高了施工效率。然而,由于现场情况复杂多变,预成型件的尺寸需要由技术人员提前准确确定,这就要求材料厂家具备丰富的项目实践经验,以确保预成型件的尺寸多样性能够满足现场的需求。这种预制模块化安装技术的应用,不仅减少了现场作业时间,降低了天气对施工进度影响,还保证了保温材料的预加工和组装在工厂环境中就能符合严格的质量标准,我们已经在一些项目上尝试在设备制造阶段把保温绝缘做上去,解约了在现场施工的时间,取得了不错的效果。

结语;

通过对 FPSO 保温材料选型与施工工艺优化的系统研究,本文深入探讨了材料性能对比、适应性分析、基于性能导向的选型方法,以及现有施工工艺的问题和优化对策。合理选择保温材料并优化施工工艺能够显著提升系统的耐久性和施工效率,有效减少能源损失,延长设备使用寿命,并提高整体运营效益。未来工作应继续探索新材料的应用和高效施工技术,以应对复杂多变的海洋环境,确保 FPSO 的安全稳定运行。这些成果为相关领域的技术进步提供了重要参考。

[参考文献]

- [1]李晓峰, 王志强.FPSO 船舶保温材料的选择与应用[J].海洋工程装备与技术, 2022, 9(4): 56-62.
- [2]陈文博, 刘建平.基于性能导向的保温材料选型策略研究[J].工业建筑, 2021, 51(3): 123-128.
- [3]赵永辉, 张伟.海洋平台保温施工工艺优化与质量控制[J].施工技术, 2023, 52(6): 78-84.
- [4]高健, 孙莉.FPSO 保温系统中材料适应性分析及对策[J].石油工程建设, 2022, 44(2): 45-50.
- [5]黄海涛, 林静.新型保温材料在海洋石油工程中的应用前景[J].石油勘探与开发, 2023, 50(5): 90-96.