

海洋工程中复合材料防护结构的安装研究

陈晓彦¹, 初星澎¹, 段立志², 丁庆强³, 黄家和^{2*}, 位予瑄²

(1. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 深圳 518000; 2. 中海油深圳海洋工程技术有限公司 深圳 518000;
3. 北京玻璃钢院复合材料有限公司 北京 102101)

摘要: 复合材料因其具有重量轻、强度高、耐腐蚀、不易生长海生物、制造及安装成本低等优点, 正不断被用作水下防护结构的理想材料。本文利用 Orcaflex 软件建立了复合材料 PLET 防护结构的水下安装分析模型, 同时研究对比了复合材料 PLET 防护结构在吊装过程中使用被动波浪补偿技术 (PHC) 与未使用波浪补偿技术的结果差异。利用被动波浪补偿技术的结构物安装能够大幅度提升最大允许作业海况, 提升复合材料结构物的安装效率。本研究为复合材料防护结构的海上安装提供了参考。

关键词: 复合材料; 被动升沉补偿; 安装方式; 防护结构

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2025) 05—0119—03

水下结构物的安装是海洋工程建设项目的重点工作之一^[1]。海底管线终端设备 (以下简称 PLET) 通过跨接管或者软管连接其他结构或水面浮式生产储油船 (Floating Production Storage and Offloading, 简称 FPSO)^[2]。而 PLET 保护罩具有普通钢材保护罩所不具备的优势, 如重量轻、强度高、耐化学腐蚀、可堆叠运输等^[3-5]。

船舶会随着波浪的运动而产生多个方向的剧烈运动, 在船体上的安装设施, 如吊机、钢丝绳、索具等也会随着船舶一起运动, 尤其是在垂直方向上的升沉会引起吊机钢丝绳载荷的大幅度变化^[6,7], 这给整个安装系统带来了巨大的作业风险和隐患。被动升沉补偿系统 (Passive Heave Compensation System, 以下简称 PHC) 在钢丝绳由于船舶升沉而松弛时及时补偿张力^[8], 从而避免或减轻结构物安装对起重机或甲板面的冲击。

本文旨在根据复合材料和水下防护结构的特点, 来研究 PHC 对改善水下结构物安装窗口的作用是否显著, 为国内水下结构物的安装提供参考。

1 PLET 复合材料保护结构

本项目设计的 PLET 复合材料保护罩整体如图 1 所示, PLET 保护罩主体结构与界面框架之间通过螺栓连接, 总体尺寸为 19.2 米 × 11.8 米 × 3.3 米。参数如表 1 所示。

2 安装船舶及工机具介绍

进行 PLET 保护结构吊装的作业船舶为国内一艘具有 3000 米级作业深度的深水多功能船舶, 携带 DP2 级定位系统, PLET 保护罩安装方法拟采用吊装安装法^[9], 通过驳船起吊, 四点平吊的方式直接下放吊装入水。

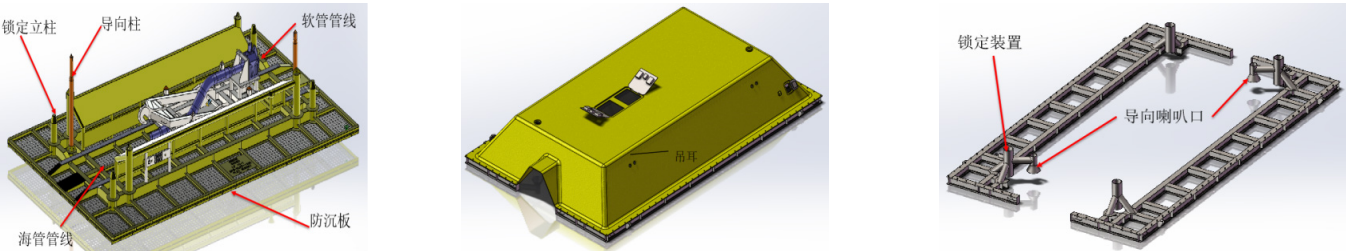


图 1 PLET 复合材料保护结构

表 1 PLET 保护罩参数

项目	PLET 复合材料防护结构	PLET 复合材料保护罩	界面框架
材质	玻璃纤维增强塑料+钢制基座结构	玻璃纤维增强塑料	钢
空气中重量/te	53.66	35.6	18.06
海水中重量/te	33.56	17.8	15.76
功能	-	防渔具拖挂 防落物冲击 防沙坡堆积 ROV 友好	配重功能 导向功能 锁定功能

3 安装分析方法

3.1 安装方法

本次安装拟采用基于被动波浪补偿的吊装方法。PHC 通过气缸的压缩和拉伸来被动地补偿结构物的运动,最大工作载荷为 85 吨(如图 2 所示),冲程为 4 米。气缸的存在降低了吊装系统的刚度,从而可以减小吊装动载和运动位移,避免吊装索具的松弛。



图 2 85tc 被动补偿装置

3.2 分析方法

本文使用 Orcaflex 建立 PLET 复合材料保护结构分析模型(如图 3 所示),分别分析不同工况下的最大允许安装有义波高,指导海上安装施工的天气窗口。

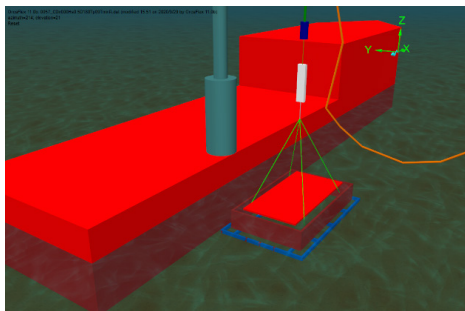


图 3 PLET 保护罩吊装模型

3.3 环境影响因素

3.3.1 浪

结构物吊装入水时,需要考虑 $\pm 15^\circ$ 度的波浪载荷对船舶的作用(如图 4 所示)。对浪向的方向的约定基于全局右手坐标系。即 180° 为船舶 0 度迎浪, 165° 和 195° 为船舶 -15° 度迎浪和 $+15^\circ$ 度迎浪。

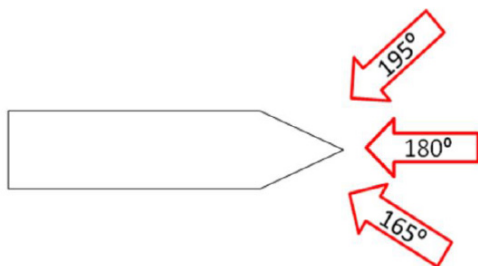


图 4 波浪方向

3.3.2 风

结构物的入水吊装和水下吊装工况,风对结构物产生的载荷相对于海水对结构物产生的载荷可忽略不计。结构物的空中吊装工况,风载荷会引起被吊结构物在空

中的摆动,增加吊装作业风险,吊机手需确定吊装作业允许的风力等级,再执行结构物的吊装作业。

4 OrcaFlex 模型

采用 OrcaFlex 模型对 PLET 保护罩位于海平面以上、过飞溅区和位于水中三种安装工况进行分析研究。三种安装工况的工作半径为 18 m,吊高为 40 m,索具长度一致。

4.1 结构物位于海平面上

考虑到保护罩底部钢架及侧面的垂向迎水面较小,保护罩顶部垂向迎水面较大,应考虑保护罩顶部刚刚接触海平面这一安装状态(如图 5 所示),该基本工况主要用来考虑保护罩的砰击载荷(Slamming Load)的动力响应问题。

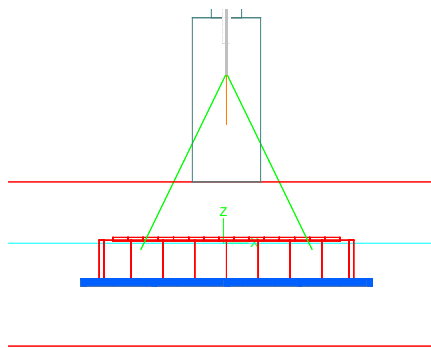


图 5 位于海面上的安装工况 PLET 保护结构模型

4.2 结构物过飞溅区

该工况考虑保护罩顶部在水下 1 米的情况(如图 6 所示)。本工况考虑结构在飞溅区的水动力,有义波高的大小对海上安装的安全影响至关重要,由它造成的水动力运动将会造成船舶的摇晃和海上吊装的不稳定。

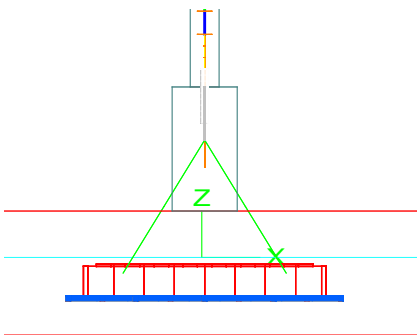


图 6 过飞溅区的 PLET 保护结构模型

4.3 结构物位于水中

本工况将考虑结构物在水中的水动力运动情况,分析该工况考虑保护罩顶部在水下 4 米的情况(如图 7 所示)。

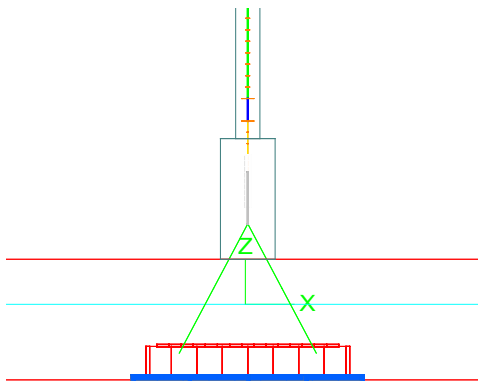


图7 水中的 PLET 保护结构模型

5 结果与讨论

利用 OrcaFlex 软件进行安装分析对 PHC 在提高最大允许作业海况方面进行模拟。结构物位于海平面上、结构物过飞溅区和结构物完全淹没于水中时最大允许波高如图 8-10 所示,可以看出在使用 PHC 后,允许作业的有义波高变大,说明 PHC 显著改善了结构物的安装窗口,因此对于水动力影响大的结构物,无论海况如何均可使用 PHC 进行安装。

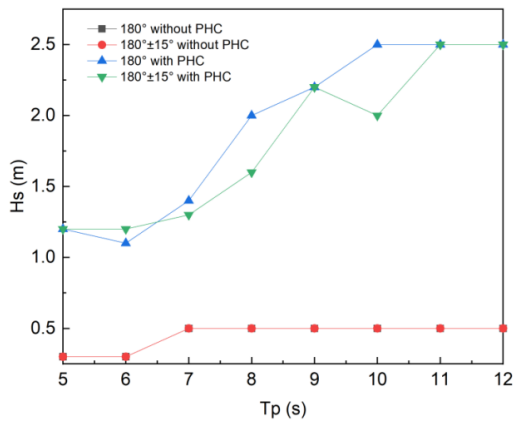


图8 位于海面上的最大波高

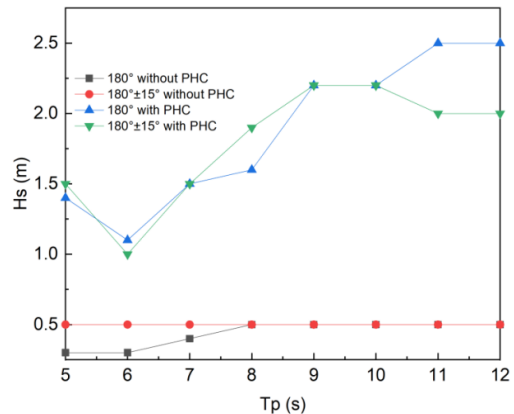


图9 过飞溅区的最大波高

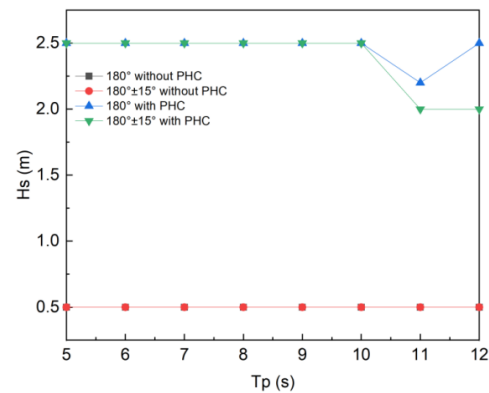


图10 水中的最大波高

6 结论

本文基于首套国产化海洋工程 PLET 复合材料防护结构的特点,研究 PHC 对水下结构物安装天气窗口的改善作用。通过研究计算,可以得出以下结论:

(1) PLET 保护罩在海面上、过飞溅区以及在水中三个安装工况环境中使用 PHC 安装时有义波高显著增大,说明使用 PHC 对改善结构物安装天气窗口的效果显著。

(2) 使用 PHC 安装所需的最小有义波高满足现场施工要求,技术方案可行,具备能够在南海相关油田进行推广的条件,同时为后续国内复合材料水下防护结构物的安装提供方向。

参考文献:

- [1] 石锦坤,刘辉,张西伟,等.复合材料水下防护结构在海洋油气开发的应用[J].复合材料科学与工程,2021,(12):5.
- [2] 石磊,尹汉军,璐选择,等.深水分体式海底管线终端设备工程样机研制[J].石油机械,2020,48(11):7.
- [3] 邱帅博.无人机复合材料保护罩的设计与制造问题探索[J].中国科技纵横,2021,000(004):64-65,73.
- [4] 赵珂,杨恒.混杂复合材料导流器保护罩的研制[J].航天制造技术,2006,(02):4.
- [5] 严侃,黄朋.复合材料在海洋工程中的应用[J].玻璃钢/复合材料,2017,(12):99-104.
- [6] 郭娟.不同海况条件下船舶动力定位混合控制系统设计[D].上海交通大学,2012.
- [7] 张祥瑞,竺盛捷,张子文,等.基于实海域风浪数据库的船舶耐波性预报系统[J].船舶工程,2022,44(9):8.
- [8] 倪佳,刘少军,李小飞.深海采矿被动升沉补偿系统建模及仿真研究[J].计算机仿真,2010,(05):5.
- [9] 宋强,畅元江,刘秀全,等.深水水下采油树下放作业窗口研究[J].石油机械,2015,43(8):5.