

在线监控技术在软钢臂系泊系统完整性管理中的应用研究

李 诚

中海油能源发展装备技术有限公司, 天津

收稿日期: 2021年8月11日; 录用日期: 2021年10月7日; 发布日期: 2021年10月14日

摘 要

随着单点系泊系统完整性管理理念的逐步推广, 如何使管理者更加有效、深入地管理单点系泊系统成为完整性管理的重要课题。本文通过对单点系泊系统在线监控技术在完整性管理中的应用, 对单点系泊系统在线监控的基本内容、软件架构、硬件采办等各指标进行了梳理与汇总。

关键词

单点系泊, 在线监控, 完整性管理

Research on the Application of Online Monitoring Technology in the Integrity Management of the Soft Steel Arm Mooring System

Cheng Li

CNOOC Energy Development Equipment Technology Co. Ltd., Tianjin

Received: Aug. 11th, 2021; accepted: Oct. 7th, 2021; published: Oct. 14th, 2021

Abstract

With the gradual promotion of the integrity management concept of the single-point mooring system, how to make managers more effective and in-depth management of the single-point mooring system has become an important issue of integrity management. This article sorts out and summarizes the basic content, software architecture, hardware procurement and other indicators of the online monitoring of the single-point mooring system through the application of the online monitoring technology of the single-point mooring system in integrity management.

Keywords

Single-Point Mooring, Online Monitoring, Integrity Management

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 概述

随着海洋石油生产储油装置(FPSO)在我国海洋石油开采过程中的广泛应用,如何有效在线监测 FPSO、单点系泊系统的实时状态,有效消减、分析其潜在风险成为广泛关注的问题[1] [2] [3] [4]。FPSO 及油田内各平台普遍在服役之初即已经各自装备了简单的环境监测、GPS 定位等监测系统,但经过长期的使用反馈,普遍存在各监测单元相互独立,系统无法集成同一的监测与显示处理单元,监测数据难以二次利用等多种问题[5] [6] [7]。因此,迫切需要一种可实现对 FPSO 系泊姿态、单点受力、环境等多种因素的持续在线监测并能有效预测 FPSO 系泊系统状态和潜在风险的在线监测系统。基于此,单点在线监测系统(SPM Online Monitoring System)应运而生。本文通过对单点系泊系统在线监控技术在完整性管理中的应用,对单点系泊系统在线监控的基本内容、软件架构、硬件采办等各指标进行了梳理与汇总。

2. 单点系泊系统在线监控技术应用现状

单点在线监测系统(SPM Online Monitoring System)是一套为单点系泊系统服务的监控系统,其最基本的功能是可以监控并及时显示系泊力的大小,同时对系泊力变化的原因——海况条件(即风、浪、流)以及相应的运动姿态进行监控。通过实时监测与单点系泊系统相关的船体运动、系泊力、系泊构件、环境条件等因素,实现对系泊系统运动状态的监控,从而达到数据分析、预防突发事件、降低潜在风险的目的[8] [9]。

2013 年,中国海洋石油有限公司正式颁布《塔架式水上软钢臂单点系泊系统完整性解决方案》[10]。在线监测系统作为 FPSO 单点系泊系统持续监控的重要措施,是单点系泊系统完整性管理过程中不可缺少的组成部分。早期于明珠号、友谊号、长青号安装的单点系泊监测系统不具备浪向监测与风险减缓措施建议的功能,海洋石油 116 的单点系泊监测系统仅能够提供风力风向、GPS 及船体运动监测,其余 FPSO 及系泊系统在近年相继推动监控设备的安装工作,组建形成更加完善的系泊系统。

目前,中海石油有限公司天津分公司已编制并发布《软钢臂单点系泊系统监测标准》,在线监测系统成为单点系泊系统完整性管理工作的重要一环。本文将结合实际工作经验与理论计算研究,浅述单点系泊在线监测系统在完整性管理中的应用。

3. 软钢臂系泊系统风险分析

软钢臂系泊系统目前主要服役于我国渤海海域,该类系泊系统的风险主要可归纳为三类风险[11]:

3.1. 环境风险

主要指极端天气变化,如台风、涌浪、浅水效应作用、风浪流等瞬时变化等引起的系泊结构失效。导致这类事故的主要原因在于,系泊系统实际海况超出原始设计或发生了原始设计中未考虑到的海况。如长青号 FPSO 曾发生由于风浪流突然剧烈变化,船体姿态调整速率远小于风向标效应,引起船体向前

对单点系泊系统冲击，导致 YOKE 筒柱压溃变形，横摇纵摇轴承下移事故。类似的案例同样存在于其他软钢臂系泊系统上，如海洋石油 112 等。环境因素造成的 FPSO 前冲下，除可能引起 FPSO-YOKE 碰撞外，还连带引起系泊腿大幅横摆和艏向角偏移，严重时可能造成结构失效、YOKE 压载水泄露等。显然，这类 FPSO 前冲导致的风险是在软钢臂系泊系统设计环境未考虑到的。

此外，考虑到 FPSO 设计服役年限，原始设计环境条件可能已与当前渤海环境气息条件产生了较大的差异，这也是重要的环境风险。

3.2.结构风险

主要指结构疲劳、外输作业过程中额外系泊力对系泊结构影响、结构安全储备强度等，如明珠号系泊腿结构由于疲劳问题进行更换、长青号系泊钢架(MSS)基座发现疲劳裂纹、海洋石油 112 扭矩筒裂纹等。

3.3.关键设备设施

主要指系泊腿轴承、横摇/纵摇轴承、水下软钢臂系泊系统轴承螺栓、滑环堆栈等对系泊系统至关重要的设备、结构等风险。如海洋石油 112 水下软钢臂系泊系统系泊塔柱水下螺栓断裂、系泊腿(链)应力过大，友谊号系泊腿下方万向节轴承过度磨损等。该类风险最根本的原因在于设计缺陷问题，因此，需在后续监控、风险管控过程中予以特别注意。

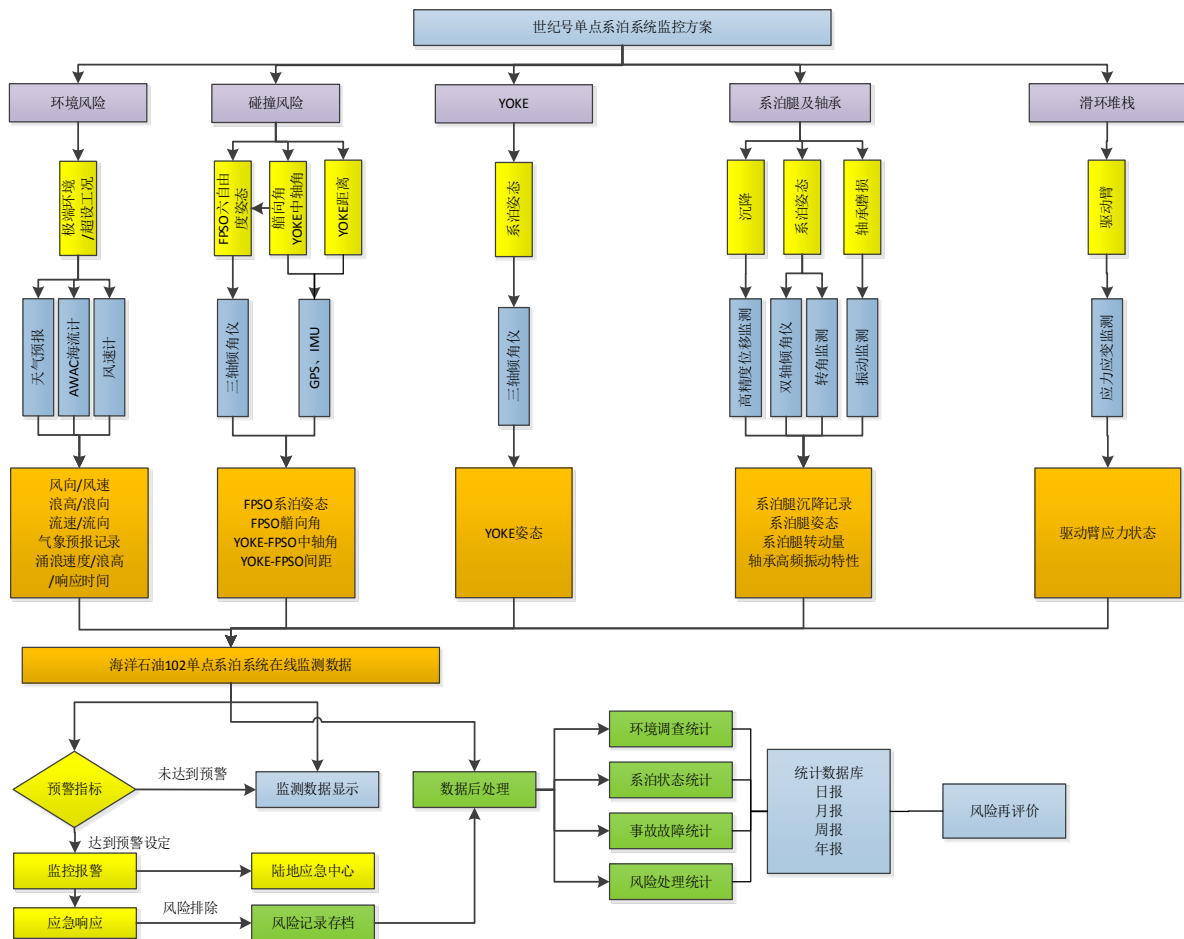


Figure 1. Online monitoring system scheme of soft rigid arm mooring system

图 1. 软刚臂系泊系统在线监测系统方案

针对以上风险,可归纳软刚臂系泊系统在线监测系统方案如图 1,通过对环境风险、碰撞风险、YOKE、细泊腿及轴承、滑环堆栈等风险的关键性指标进行监测,得到相应的在线监测数据,然后运用数据后处理的手段以及对预警指标进行预警判断,达到风险再评估的目的。其中,监测系统的预警值计算主要通过工程分析单点系泊系统水动力、结构的各项指标得出,监测系统预警值标准具备自身对比校正的功能,可通过以下途径实现:a、基于工程分析预测 FPSO 及软钢臂系统的表现,如果有任何超过设计限制条件的趋势触发报警装置;b、基于实时监测数据如果监测参数超过设计限制条件一定百分比,例如 80%即触发预警装置;c、持续监测关键参数并就可以预见的风险对作业者提供预警。

4. 软钢臂系泊系统软件方案设计

系泊系统监控软件定制化功能分析

FPSO 单点系泊系统在线监控功能应满足完整性管理的基本要求,反映单点系泊系统全生命周期内的工作状态,因此,软件功能应至少包括:

1) 环境条件特征调查统计

监控软件应具备根据统计结果与原始设计指标的对比分析功能,通过长期的监控分析,可有效了解实测数据与设计数据的差异,便于管理人员及时掌握不同海况条件下的安全裕量,提供决策支持,并为后续的新建单点系泊系统提供参考借鉴。

2) 系泊状态特征值调查统计

应能够对 FPSO 船体、YOKE、系泊腿等主结构姿态极值和系泊力大小进行分析统计(如 FPSO-YOKE 中轴角、YOKE 横摇极值、间距极值等),且应具备极值-时间(月/年)分析功能。

3) 监测系统的针对性

目前,单点系泊系统是高度定制化的大型油田关键设施,根据油田所处海域气象、水深、FPSO 吨位等有这不同的设计,因此如图 2,单点系泊监测系统也应对不同的单点系泊系统进行定制化的监测功能,如按照《世纪号单点运维管理指导书》的要求,针对世纪号单点系泊腿轴承磨损沉降的问题针对性地增加系泊腿沉降监控指标等:

世纪号系泊腿沉降间隙初始值为 25 mm,目前是每周通过卷尺进行人工测量,测量数值在 26 mm 左右,不可避免地存在人工测量误差。按照实际情况,在左右系泊腿与下方万向节连接位置各安装一台微距监测器,用来监测该间隙的大小。



Figure 2. Customized function of single-point mooring monitoring system: mooring leg settlement monitoring

图 2. 单点系泊监测系统定制化功能: 系泊腿沉降监测

4) 预警、报警:

- 对极端天气、高系泊力条件下各项指标的预警报警: 对于各项指标的预警值设计, 应首先通过工程分析单点系泊系统水动力、结构的各项指标, 以得出基准值, 并综合考虑以下因素:
 - 基于工程分析预测 FPSO 及软钢臂系统的表现, 如果有任何超过设计限制条件的趋势触发报警装置;
 - 基于实时监测数据如果监测参数超过设计限制条件一定百分比, 例如 80% 即触发预警装置;
 - 持续监测关键参数并就可以预见的风险对作业者提供预警;
- 周期性检维修计划的制定、查询、执行结果等;
- 各异常处理记录。

5) 风险减缓消除措施的响应:

单点系泊监测系统对以下风险类型和相应的风险减缓消除措施进行了应急准备:

- 极端环境预警与消除;
- 环境剧变风险预警与响应;
- 吃水间隙预警与响应;
- FPSO-YOKE 水平间隙预警与响应;
- 系泊力预警与响应;
- 系泊腿横摇角预警与响应;
- 系泊腿沉降警报;
- 系泊结构应力应变监测。

6) 预留与其他监控软件的兼容接口

新建 FPSO 上普遍安装有靠船旁输系泊力监控、FPSO 配载软件、船舶 GPS 定位软件等基础软件, 为尽可能降低现场管理人员工作强度, 单点系泊系统在线监控软件在设计时, 应充分考虑兼容性, 并预留相应的软件接口。

7) 数据远程传输

应具备由 FPSO 向陆地支持管理中心传输数据的功能, 便于管理中心对系泊状态的及时了解与管控, 减少应急响应时间。

5. 小结

FPSO 在油田作业区起到重要的中枢作用, 是确保作业区正常生产运营的重要资产。单点系泊系统的正常服役不仅仅对 FPSO 还对整个作业区起到了举足轻重的作用。近年来, 受极端气象环境或者系泊设计本身的缺陷, 导致了多起系泊结构的失效。针对这些原因, 将单点系泊在线监控系统引入完整性管理的范畴, 可有效减少系泊系统失效概率, 并大大提前应急响应时效。随着在线监控系统在海洋石油 109、海洋石油 117 等 FPSO 上的应用, 将间接产生极高的经济与社会效益。

参考文献

- [1] 袁鑫悦, 吴洁, 姚潇, 等. FPSO 多点系泊技术的发展趋势[J]. 船舶工程, 2021, 43(1): 125-130+137.
- [2] 高巍, 马林静, 董璐, 等. 南海某 FPSO STP 单点系泊系统的再评估[J]. 船舶工程, 2017, 39(7): 79-83.
- [3] 肖泥土, 唐友刚, 何鑫, 等. FPSO 软刚臂单点系泊系统定量风险分析[J]. 海洋工程, 2017(6): 19-27.
- [4] 杨凯东, 王连佳, 李鹏, 郝杰, 牛志刚. FPSO 重大风险监测系统设计与实施[J]. 船海工程, 2019, 48(5): 75-79.
- [5] 杨小龙, 蔡元浪, 宋安科, 李洁, 喻龙. 塔架式单点系泊 FPSO 的监测与预警系统开发[J]. 船舶工程, 2014, 36(z1): 198-201.
- [6] 李牧. 水下软刚臂 FPSO 数值计算与监测数据对比分析[J]. 船海工程, 2017, 46(5): 61-64+69.

- [7] 李牧. 渤海环境条件对 FPSO 运动及系泊响应的影响研究[J]. 资源节约与环保, 2017(2): 78-83.
- [8] 刘莉峰, 赵玉梁. FPSO 单点软刚臂系泊监测系统[J]. 船海工程, 2015, 44(3): 83-86.
- [9] 罗晓明, 汪建平, 景勇. 浅谈生产期间 FPSO 系泊系统的完整性管理[J]. 资源节约与环保, 2012(5): 149-151.
- [10] 中海石油(中国)有限公司. 塔架式水上软钢臂系泊系统完整性管理解决方案[R]. 中国, 2013.
- [11] 杨光, 张建勇, 王宁, 等. 在役水上软钢臂式系泊系统风险评价简述[J]. 科技创新导报, 2015(6): 242-245.