

# 浮式平台一体化海洋监测系统的利用和发展

朱海山<sup>1</sup>, 何骁勇<sup>1</sup>, 陈勇军<sup>2</sup>, 王婷婷<sup>1</sup>, 张大刚<sup>2</sup>

(1. 中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028; 2. 北京迪玛尔海洋技术有限公司, 北京 100085)

**摘要:** 我国海洋油气开发已经逐步迈入深水区域。由于深远海地区的环境恶劣, 为了确保平台的安全运营和及时了解平台的运行状态, 在平台上安装一体化海洋监测系统显得尤为重要。首先介绍了监测系统的发展和利用历史; 其次详细描述了系统组成, 监测参数和设备, 传感器连线方式, 以及数据采集和展示软件等。最后以某实际平台为例, 阐述了其传感器布置和实测数据分析效果。研究成果对我国采用监测系统提高浮式平台安全运维将起到借鉴作用。

**关键词:** 浮式平台; 监测系统; 海洋环境; 平台姿态

**中图分类号:** P751 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 07—0071—03

2021年安装于我国南海1500米水深陵水气田的“深海一号”能源站—陵水半潜式生产储油平台, 是我国第一座深水浮式生产平台, 也是第一次采用聚酯缆系泊系统和第一次采用钢制悬链线立管<sup>[1]</sup>。由于南海环境条件恶劣, 作业公司对于新型平台在极端环境下的响应缺乏了解, 对于深水平台运维缺乏相应的经验, 因此这对平台安全性提出了严峻挑战。为了保障平台在全生命周期内安全作业和提高运维管理效率, 平台上安装了一套完整的一体化海洋监测系统(Integrated Marine Monitoring System, IMMS)。监测系统不仅可以帮助平台作业人员实时了解平台的实际运行状态, 从而为决策提供数据支持; 而且通过对实测数据的处理和分析, 可以校核数值计算结果, 从而改善设计方法等。

## 1 一体化海洋监测系统的发展

英国BMT公司于1987年在康菲石油的Joliet张力腿平台上安装了一套性能监测系统, 这是一体化海洋监测系统的雏形。1995年, 第一座混凝土船体的张力腿平台Heidrun安装在挪威海域, 平台上配置了一套用于采集环境参数、张力腿张力和运动响应等信息的监测系统<sup>[2]</sup>。2002年, 世界上第一座超深水平台由英国石油安装在墨西哥湾1650米水深的Horn Mountain油田。平台配备了一套完整的一体化海洋监测系统, 能够实现对船体、系泊系统、以及立管系统响应信息的同步测量<sup>[3]</sup>。现在, 几乎所有的深水浮式生产平台都配置有一套监测系统, 虽然监测的内容不尽相同。

在我国, 从1990年开始, 现场监测就被应用于南海和渤海油气平台, 但是主要集中在FPSO平台。魏跃峰等人基于“南海奋进号”平台现场实测数据分析研

究了FPSO尾甩现象<sup>[4]</sup>。杜宇等人为“南海挑战号”半潜式平台上设计安装了现场监测系统, 同时对监测数据进行了分析和研究<sup>[5,6]</sup>。上海交通大学依托国家科技重大专项, 研发了“深海平台安全保障监测系统”, 并且成功应用于“海洋石油981”钻井平台<sup>[7]</sup>。但是总体而言, 我国对浮式生产平台的监测仍处于试验和验证阶段。

近年来, 随着海洋平台的监测内容越来越广泛, 越来越多的专业公司参与监测系统的设计、安装和集成。如英国Pulse, 美国Stress Engineering, 丹麦Force Technology等公司专长于系泊和立管监测; 英国BMT和Straininstall公司专长于海洋环境和平台姿态监测, 以及系统集成等。为了避免相互孤立, 平台上一般都将各子系统的网络集成在一起, 形成一体化海洋监测系统, 在统一的集成软件上进行展示, 从而让作业人员能够综合评价平台整体状态。在我国, 虽然早期的监测系统都由国外公司集成; 但是近年来多条FPSO平台的监测系统改造和升级, 以及监测软件的开发集成等已经开始由国内公司自己主导。

如今, 平台上每天采集的监测数据量非常巨大, 如何有效地整理、分析、和利用这些数据为工程设计、日常运维、管理决策提供支持显得越来越重要和紧迫。近年来, 随着人工智能、大数据、数字孪生等新兴技术的蓬勃发展, 这一问题正逐渐得到解决。

## 2 一体化海洋监测系统的组成

深水浮式油气生产平台的一体化海洋监测系统用于监测海洋环境、平台姿态、结构应力、系泊立管张力等。除了海洋环境和平台姿态外, 其他部分(子系统)通常都由专门的公司负责, 自成体系; 与主体监测系统

只是进行数据交互，如图1所示。

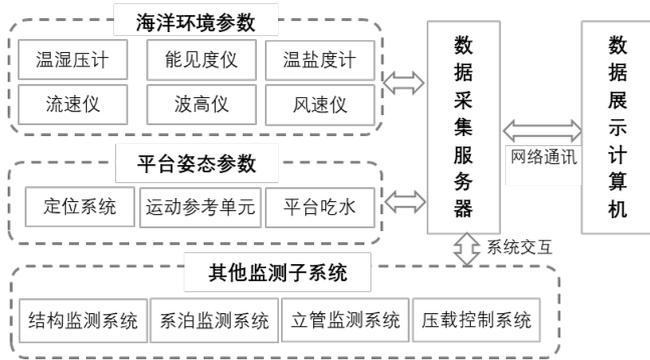


图1 一体化监测系统组成

## 2.1 监测内容和设备

海洋环境是造成浮式平台动态响应的主要因素。海洋环境监测的主要内容包括风速和风向、海流剖面、波浪参数、空气温度和湿度、大气压力、能见度、水温和盐度等。

测量风速和方向的仪器是风速计。最常用的为超声波型；其他的还包括机械风杯式、热电式、电容式、压差式、气压式等。

测量波浪参数的主要仪器包括波浪浮标，平台甲板气隙探测设备，和X-波段雷达等三种。

测量流的主要仪器是声学多普勒流速剖面仪(ADCP)；其他的类型还包括旋桨式流速仪、电磁式流速仪等。为了测量整个水柱的流速和流向，一般需要装置多个ADCP—水平型用于测量表面流速和垂直型用于测量不同深度的流剖面。

平台位置和姿态是平台作业者最关心的数据之一，相关的监测内容包括平台6个自由度的运动和加速度、平台吃水、以及甲板气隙等。

平台的位置和位移一般可以通过差分全球定位系统准确地测量到。平台的方位角和倾斜角则可以通过惯性导航系统测量。

一体化海洋监测系统的传感器设备与数据采集器的连接方式一般包括三种形式。硬连线型是最常见的形式，采用缆线供电和传送数据，具备安装方便，维护容易，数据传输实时等优点；但是缆线容易损害，布置需要避免穿过非安全区域等。硬连线主要用于安装在平台上部组块和浮体内部的传感器。独立应用型是将所有相关设备集中放置在一个金属容器内，包括电池和储存卡；然后定期采用ROV取回，更换电池和下载监测数据。独立应用型虽然安装处理方便容易，但是取得的监测数

据非实时，ROV使用成本高。所以独立应用型主要用于深水和海底的结构物监测。声波传输型是介于独立和硬连线之间，包含用于与平台进行通讯和数据传递的声学调制解调器；设备采用电池供电，数据储存在平台上。安装在平台基线附件的流速仪便采用声波传输。

## 2.2 数据采集和展示软件

一体化海洋监测系统的集成软件主要包括数据采集和数据展示两个模块，如图2所示。数据采集模块用于从各个传感器采集实时测量到的数据，并进行清洗和储存；以及鉴定和警示可能失效的传感器等。为了不影响平台在台风撤离期间的数据采集，系统一般都配备有UPS不间断电源。

传感器的数据采集一般采用串口通讯或网络方式获取数据。集成软件与其他子系统的数据交互则一般采用Modbus或OPC Server进行。数据采集模块一般采用LabVIEW语言进行开发。

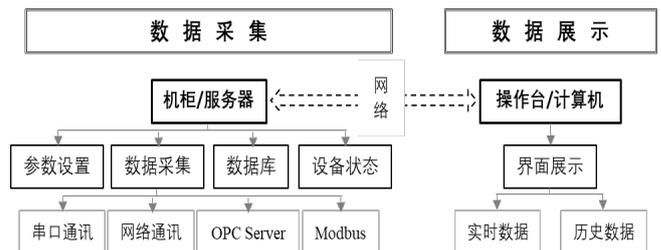


图2 集成软件总体架构图

数据展示模块主要是对实时监测数据用仪表盘、表格、和动画等形式进行可视化显示；对历史数据进行查询、导出、和时间序列绘制，以及基本统计分析等。数据展示模块一般采用C++、C#等常规编程语言进行开发。图3为平台姿态实时数据展示界面。

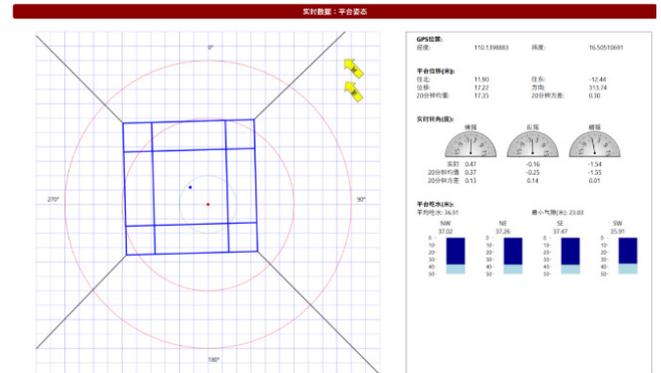


图3 数据展示界面示意图

## 3 监测案例和效果分析

美国Anadarko公司的Marco Polo平台位于墨西哥

湾 1300 米水深处，是一个监测比较齐全的深水浮式生产平台。为了检验深水 TLP 的设计方法、评估环境荷载及平台运动，美国多家公司为这个平台的监测及数据处理成立了一个为期 5 年的 JIP 项目（2004–2009）。平台主要监测设备和传感器布置如图 4 所示。

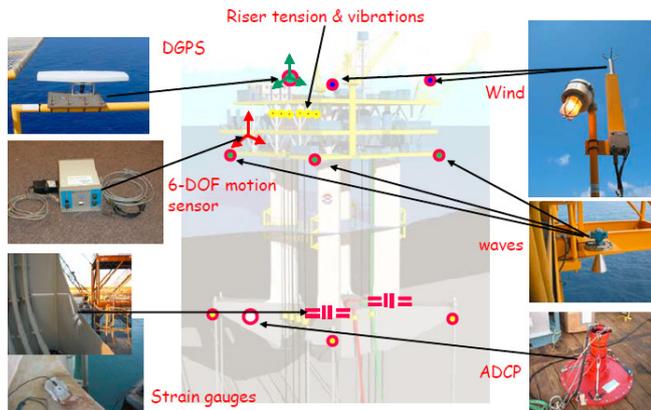


图 4 平台传感器布置

在 JIP 项目期间，平台监测数据记录正常运行时间达 99%；经历了 Ivan、Katrina、Rita、Ike 等多个飓风，最大风速达 62m/s，最大浪高达 28m。平台虽然接近飓风中心，最近距离仅 45 海里，但是没有受到明显损害，而且还完整地监测和记录了飓风过程中的海洋环境和平台响应等数据，达到了 JIP 项目的目的。

图 5 为平台测量得到的 Ike 飓风过境的波浪数据，包含上升和衰减过程，最大有义波高达 12.1 米。图 6 为平台监测到的垂荡运动谱与数值分析结果比较 – 虽然谱形状有一定的差异，但是谱峰及对应的频率非常接近。通过对监测数据的分析和与数值分析的校核，不但可以证明数值分析的准确性，而且也同时可以证明监测数据的可靠性。

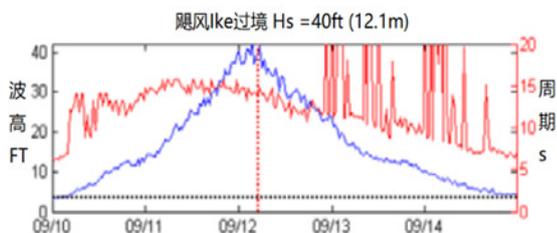


图 5 平台飓风 Ike 过境测得的极端波浪

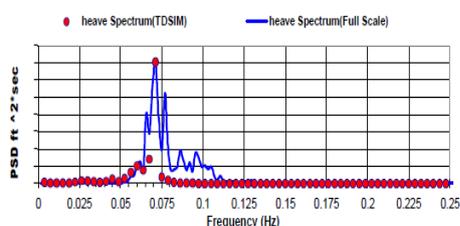


图 6 平台垂荡运动谱比较 – 实测和分析

## 4 结论

基于我国海上油气开发逐步走向深水，并开始采用技术先进的浮式生产平台，本文综合阐述了用于保证浮式平台安全生产的一体化海洋监测系统的历史、组成、现状、案例及监测效果分析等，对我国深水油气田开发将起到一定的借鉴作用。

### 参考文献：

- [1] 朱海山, 李达, 魏澈, 等. 南海陵水 17-2 深水气田开发工程方案研究 [J]. 中国海上油气, 2018, 20(4): 170–177.
- [2] WANG P, et al. A Review of the State-of-the-Art Developments in the Field Monitoring of Offshore Structures[J]. Ocean Engineering, 2018, 147: 148–164.
- [3] EDWARDS R, et al. Review of 17 Real-Time Environment Response and Integrity Monitoring Systems on Floating Production Platforms in the Deep Waters of the Gulf of Mexico[C]//Proceedings of Offshore Technology Conference, Houston, USA, 2005: OTC 17650.
- [4] 魏跃峰, 杨建民. FPSO 运动实测数据统计研究 – “南海奋进号” FPSO 实船测量研究 [J]. 海洋工程, 2011
- [5] 杜宇, 武文华, 岳前进. “南海挑战号” FPS 现场监测系统 [C]// 第十六届中国海洋(岸)工程学术讨论会. 中国大连: 2013 年 8 月
- [6] 杜宇, 武文华, 王廷林, 岳前进, 时忠民. “南海挑战号”半潜式平台原型测量系统 [J]. 海洋工程, 2014, 32(3): 1–7, 21
- [7] 马伟. 海交大研发深海平台安全保障监测系统已成功应用于我国南海“海洋石油 981”深水钻井平台 [J]. 科技中国, 2015(2): 72–72.
- [8] DUK R, BOOM H. Full Scale Monitoring Marco Polo Tension Leg Platform[C]//Proceeding of the 26th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. San Diego, USA: 2007, OMAE 2007–29635

基金项目：陵水半潜式生产平台研究专项（LSZX–2020–HN–05–0402）