

基于突发海洋生态灾害防范的 海洋工程海冰灾害风险监测

——以渤海石油平台为例

许宁^{1,2}, 刘雪琴^{1,2}, 袁帅^{1,2}, 张大勇³, 王延林³, 岳前进³, 史文奇^{1,2}, 陈伟斌^{1,2}

(1. 国家海洋环境监测中心 大连 116023; 2. 国家海洋局近岸海域生态环境重点实验室 大连 116023;

3. 大连理工大学海洋科学与技术学院 盘锦 124221)

摘要: 基于突发海洋生态灾害防范的需求, 文章以渤海石油平台为例, 研究海洋工程海冰灾害风险监测系统及其应用。研究表明, 围绕风险监测的目标和内容确定系统构架, 渤海石油平台海冰灾害风险监测系统主要包括结构运行状态监测和海冰环境要素监测 2 个子系统, 可综合结构振动监测和冰情监测直接判别和动态监控风险等级。

关键词: 突发海洋生态灾害; 海洋工程; 海冰灾害; 风险监测; 海上油气平台

中图分类号: P75; P731.15; X43

文献标志码: A

文章编号: 1005-9857(2018)04-0089-04

Sea Ice Risk Monitoring System on Offshore Structure Based on Emergent Marine Ecological Disaster Risk Prevention: A Case Study of Oil Platform in the Bohai Sea

XU Ning^{1,2}, LIU Xueqin^{1,2}, YUAN Shuai^{1,2}, ZHANG Dayong³, WANG Yanlin³,
YUE Qianjin³, SHI Wenqi^{1,2}, CHEN Weibin^{1,2}

(1. National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China;

2. Key Laboratory for Ecological Environment in Coastal Areas, SOA, Dalian 116023, China;

3. School of Ocean Science and Technology, Dalian University of Technology, Panjin 124221, China)

Abstract: In order to meet the requirements of marine ecological disaster prevention, this paper discussed the marine engineering risk monitoring system, and took Bohai Sea oil platform as an example. The framework of sea ice risk monitoring system should be determined by its purpose and content, which mainly included two subsystems on structural performance and sea ice environment. The sea ice risk level could be evaluated directly by monitoring data on structure and sea ice environment.

Key words: Emergent marine ecological disaster, Marine engineering, Sea ice risk, Risk monitoring, Offshore oil & gas platform

收稿日期: 2017-08-15; 修订日期: 2018-04-02

基金项目: 国家重点研发计划“全球变化及应对”专项项目(2017YFA0604901); 海洋行业公益性科研专项项目(201505019)。

作者简介: 许宁, 副研究员, 博士, 研究方向为海洋工程海冰灾害机理与防范技术

海冰、风暴潮、海浪和海啸等海洋灾害是诱发沿海储藏/炼化基地、港口码头、核电站和海上油气平台等大型海洋工程和海上船舶安全事故的重要原因,进而引发溢油、温排水以及危险化学品和放射性物质泄露等海洋污染,是突发海洋生态灾害的主要诱因之一^[1-2]。我国《水污染防治行动计划》(“水十条”)指出,定期评估工业聚集区的环境和健康风险是严格控制环境风险和加强水环境管理的重要途径;《国家海洋局海洋生态文明建设实施方案(2015—2020年)》规定,强化事前防范,建立海洋环境灾害和重大突发事件风险评估体系。基于此,开展海洋生态灾害风险源的监测和评价技术研究,尤其是建立大型海洋工程和海上船舶的海洋灾害风险动态监测体系,从根本上降低污染物排放入海的海洋生态灾害风险;通过建立海洋工程灾害风险监测预警机制,加强对突发海洋生态灾害的防范。

本研究的重点是海洋工程海冰灾害风险监测系统,主要是由于一旦在有冰海域突发海洋生态灾害,救援和应急处置会受到海冰环境的限制,这也是当前国际研究的热点和难点;选取渤海石油平台为例,主要是由于海上油气平台是突发海上溢油事故的主要工程风险源,且是当前渤海海域分布最密集的大型工程实体。

1 海洋工程海冰灾害风险监测系统

传统的海洋工程海冰灾害风险监测的重点集中在海冰要素,监测的内容、时空和精度都不能满足突发海洋生态灾害事前防范的需求。因此,应基于海冰灾害的形成机理,结合海洋工程结构物本身的特性,有针对性地开展风险监测和预警。如,核电站工程重点监测导流堤海冰冲击和爬坡以及取水口海冰堵塞情况,油气平台工程重点监测结构变形、振动响应和累积疲劳损伤情况,港口码头工程重点监测堤坝海冰冲击和爬坡以及桩柱稳定性情况。

海洋工程海冰灾害风险监测系统包括2个子系统:①海冰环境监测信息子系统,根据海冰灾害风险指标体系明确的致灾因子和灾害风险的发生机理,建立海冰灾害特征参数监测系统,动态评估灾害风险;②海冰灾害风险监测信息子系统,综合海

冰环境和灾害风险监测信息,动态监控典型海冰灾害风险类别,为风险防范提供科学、直接和准确的依据。

2 渤海石油平台的海冰灾害风险监测系统

渤海冰期通常为每年12月至次年3月,单层平整冰厚可达0.3 m,冰速可达1.2 m/s。海冰对渤海石油平台的安全运行造成巨大威胁,曾发生平台被推倒、导管架断裂和甲板上部管线被振断等安全事故^[1],是突发海上溢油事故的重大隐患。

为保障冬季冰区的安全生产,我国自1998年建立渤海石油平台海冰监测系统^[2]。随着研究的深入,目前明确海冰灾害引发的石油平台失效模式包括主体结构失效模式和非主体结构失效模式^[3]。其中,主体结构失效模式包括:①极值静冰荷载下结构整体的抗性失效(静力失效),判别指标为结构极值应力、最大变形和安全系数;②动冰荷载下结构整体的疲劳失效(动力失效),判别指标为管节点交变应力。非主体结构失效模式包括:①动冰荷载下作业人员的感受失效,判别指标为甲板振动加速度均方根值、振动方向、振动频率和等效持续时间等;②动冰荷载下上部设施的失效,判别指标为甲板振动加速度均方根值。

目前渤海石油平台海冰监测系统包括2个子系统:①结构运行状态监测子系统,根据海冰灾害风险模式,重点监测工程结构整体姿态、结构关键节点应变(热点应变)、结构振动和设备运行状况;②海冰环境要素监测子系统,重点监测和记录海冰类型、冰厚和冰速等冰情信息以及海冰对工程结构的作用荷载。系统结构如图1所示。

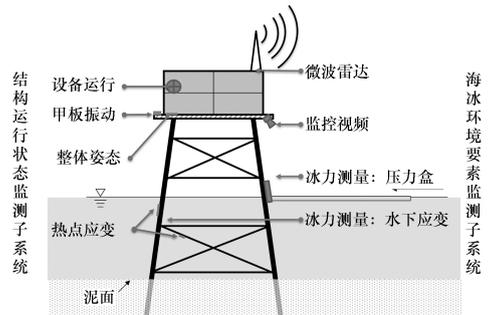


图1 渤海石油平台海冰监测系统

2.1 结构运行状态监测子系统(工程风险监测)

(1)结构整体姿态监测。主要采用倾角监测传感器,如 DGK-6750 大地梁式倾斜仪的测量精度可达 0.001° ,内置温度补偿和非线性修正功能,尤其适用于大坝和边坡等结构的准静态倾斜测量。

(2)结构关键节点应变监测。海上油气平台钢结构的节点较多,可能出现应力集中现象,尤其是水下部分的热点应力对结构水平荷载非常敏感,是结构整体安全的风险点。基于对结构的模拟分析,确定关键热点位置,再选用适合的应变传感器进行实时监测。

(3)结构振动监测。由于平台的振动为低频振动,应采用低频特性好的振动传感器(如 891-II 型拾振器)。结构振动监测系统具有灵敏度高和测量范围大等优点,可测量速度、加速度和动位移 3 种物理量。为监测结构在不同方向的水平振动和扭转振动,在每层甲板布置多个拾振器,分别测量每层甲板的振动情况。为保证结果的准确性,在测量前应进行系统标定。

(4)设备运行监测。在高危管线上直接安装加速度传感器,实时监测管线设备的运行情况。

2.2 海冰环境要素监测子系统(海冰环境监测)

(1)冰情监测。冰情参数主要包括海冰类型、冰厚、冰速和来冰方向,通过在平台结构上采用可见光视频、航海雷达和人工判读的方法获取冰情信息。其中,可见光视频方法将摄像头安装在距离水面较近的位置,通常为下层甲板,监测和记录冰情参数信息^[4];航海雷达的原理是向目标发射固定波长的电磁波,通过接收回波的强度发现和识别目标^[5],辽东湾某平台上安装的测冰雷达可识别莲叶冰、光滑平整冰、粗糙冰和冰脊^[6]。

(2)冰荷载监测。海冰对结构的作用力可通过压力盒直接测量^[7],也可通过结构应变响应间接测量^[8]。

3 系统应用

渤海石油平台的海冰灾害风险监测系统保障平台在高风险条件下的安全运行,从而最大限度地避免和降低溢油等海洋生态灾害突发的可能性。本研究以平台结构冰激振动引发的非主体结构失

效模式为例,分别分析通过工程风险监测和海冰环境监测达到海冰灾害风险动态监测的目的。

将抗冰平台动冰力作用下的失效等级、破坏状态和加速度均方根值界限进行归纳^[9](表 1)。

表 1 石油平台甲板振动导致的失效等级

总体失效等级	破坏状态	加速度均方根值/ ($m \cdot s^{-2}$)	不同破坏模式 失效等级
I	人员基本正常、 设备轻微损坏	0~0.110	—
II	影响人员舒适感、 设备轻微损坏	0.110~0.347	人员感受 I 级: 舒适性界限
III	影响人员效能、 设备轻微损坏	0.347~0.400	人员感受 II 级: 效能降低界限
IV	影响人员效能、 法兰松动	0.400~0.694	设备风险 I 级: 法兰松动
V	影响人员健康、 法兰松动	0.694~1.040	人员感受 III 级: 暴露性界限
VI	影响人员健康、 管线断裂	大于 1.040	设备风险 II 级: 管线断裂

3.1 基于结构振动监测的风险等级直接判别

根据工程风险监测中的结构振动监测(甲板振动加速度监测),可直接判断当前时刻的结构失效等级和破坏状态(图 2)。

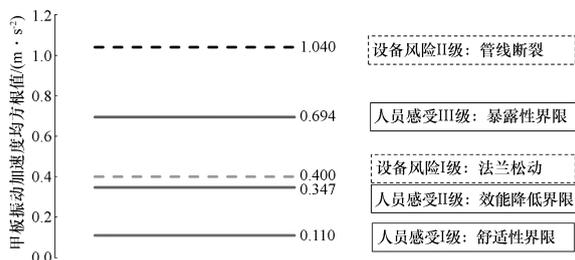


图 2 石油平台冰激振动与结构失效等级和破坏状态

3.2 基于冰情监测的风险等级动态监控

利用数值分析、实测数据统计和理论分析等方法,可计算获得不同冰情与结构振动的关系;利用结构振动与失效等级的关系,可建立冰情与结构失效等级的关系。由于不同结构的动力特征不同,冰情与结构振动的关系相差较大,需分别分析。

根据渤海可能出现的冰情,选择冰厚为 0~50 cm、冰速为 0~100 cm/s,利用数值分析方法,分别分析辽东湾 2 个典型石油平台案例,得到冰情与

结构振动(甲板振动加速度)的关系^[10](图3)。

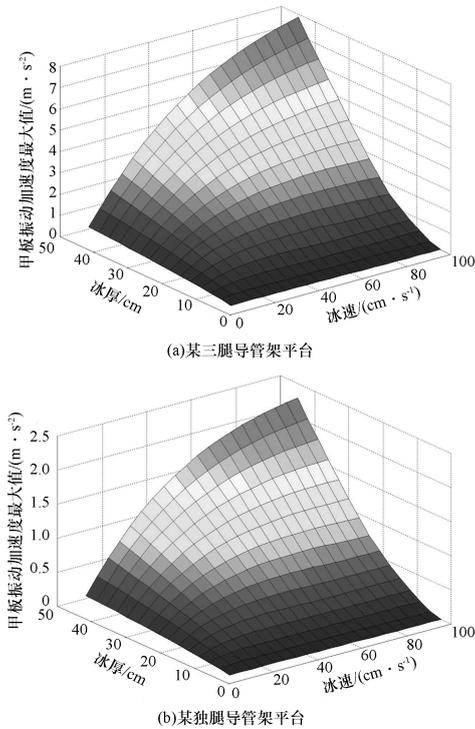


图3 冰情与甲板振动加速度最大值的关系

根据2010—2011年现场监测数据,获得冰厚为6 cm、8 cm、10 cm和12 cm时,冰速与2个石油平台加速度均方根值的关系^[10](图4)。

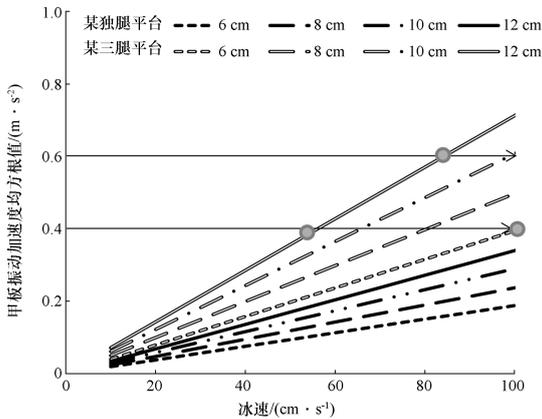


图4 冰情与甲板振动加速度均方根值的关系

分析结果表明,在一般冰厚情况下,处于低风险的某独腿导管架平台不会因结构振动而失效;处于高风险的某三腿导管架平台则需随时关注失效风险;在冰速高于60 cm/s时开始密切关注结构情况,当冰速达到80 cm/s时可能需要采取必要的破冰措施。结合冰情预测结果,可对结构风险进行客

观科学的预判和评估,实现海冰灾害风险动态监控。

基于结构振动监测的风险等级直接判别和基于冰情监测的风险等级动态监控各有利弊:前者可对结构风险进行实时监测和直接判断,但风险预判时效性不强;后者结合冰情监测和预测信息,可对结构风险进行预判,但需针对各承灾体情况分别分析冰情与结构风险的关系。因此,将二者综合即可获取更加客观、科学和实用的指导性结论。

4 结语

本研究通过渤海石油平台海冰灾害风险监测系统的结构和应用,重点阐明2个观点:①应密切围绕风险监测目标和内容,确定海冰灾害风险监测系统构架;②海洋工程海冰灾害风险监测既包括传统的海冰环境要素监测,又包括工程结构风险监测。将本研究的理论框架扩展到其他海洋工程和海洋动力灾害风险监测以及灾害风险事前、事中和事后的管理全过程,将是下一步研究和应用的重点。

参考文献

- [1] 王群,耿云玲.日本福岛核事故分析与思考[J].国防科技,2012,33(6):11-19.
- [2] 张彬,吴宛青,于桂峰.液化天然气船舶海上泄漏危害性与风险分析[J].大连海事大学学报,2006,32(4):81-83.
- [3] 季顺迎,岳前进.工程海冰数值模型及应用[M].北京:科学出版社,2011.
- [4] YUE Q, BI X. Ice-induced jacket structure vibrations in Bohai Sea [J]. Journal of Cold Regions Engineering, 2000, 14(2): 81-92.
- [5] ZHANG D, XU N, YUE Q, et al. Sea ice problems in Bohai Bay oil and gas exploitation [J]. Journal of Coastal Research, 2015, 73: 676-680.
- [6] 季顺迎,王安良,王宇新,等.渤海海冰现场监测的数字图像技术及其应用[J].海洋学报,2011(4):79-87.
- [7] 岳前进,毕祥军,季顺迎,等.航海雷达识别与跟踪海冰试验[J].大连理工大学学报,2000,40(4):500-504.
- [8] 季顺迎,陈晓东,刘煜,等.基于油气平台的海冰雷达监测图像处理及冰速测量[J].海洋学报,2013(3):119-127.
- [9] WANG Y, YUE Q, BI X. Ice force measurement technology of jacket platform in Bohai Sea [J]. International Journal of Offshore and Polar Engineering, 2012, 22(1): 46-52.
- [10] 许宁,岳前进,王延林.基于导管架水下光纤应变监测的结构总冰力测量方法[J].海洋工程,2014,32(5):9-14.