

文章编号: 1008-8857(2025)01-0041-05

DOI: 10.13259/j.cnki.eri.2025.01.006

基于物联网技术的海洋石油平台溢油 在线监测预警方法

郝建树, 胡述浩, 李响

(海洋石油工程股份有限公司, 天津 300461)

摘要: 为提高海洋石油平台溢油在线监测预警的准确性和及时性, 有效预防和应对溢油事故, 利用物联网技术, 提出了一种全新的海洋石油平台溢油在线监测预警方法。首先, 基于物联网技术, 实时监测海洋石油平台的动态变化, 及时发现任何潜在的溢油迹象; 其次, 根据监测结果, 估算溢油量; 然后, 评估溢油风险, 设定溢油预警等级并制定相应的预警响应措施。实验结果表明, 所提出的方法在投入应用后, 溢油预警准确率达到99%以上, 具有较高的可靠性和有效性, 能够更准确地监测预警海洋石油平台是否存在溢油隐患。

关键词: 物联网技术; 海洋; 石油; 溢油; 在线; 监测; 预警

中图分类号: TE938

文献标志码: A

Online monitoring and early warning of oil spills on offshore oil platforms based on internet of things technology

HAO Jianshu, HU Shuhao, LI Xiang

(Offshore Oil Engineering Co., Ltd., Tianjin 300461, China)

Abstract: To enhance the precision and promptness of online oil spill monitoring and alerts on offshore oil platforms, and to effectively avert and address oil spill incidents, a novel online monitoring and alerting methodology for oil spills on offshore platforms was introduced, utilizing internet of things (IoT) technology. Initially, leveraging IoT technology, the dynamic fluctuations of oceanic platforms and any potential indicators of oil spills are monitored in real-time. Subsequently, the volume of oil spills is appraised based on the monitoring outcomes. Subsequently, after assessing the oil spill risk, warning levels are established, and corresponding response strategies are formulated. The results demonstrate that the proposed method achieves an oil spill warning accuracy exceeding 99%, characterized by high reliability and efficacy, enabling more precise monitoring and warning of potential oil spill risks on offshore platforms.

Keywords: internet of things technology; ocean; oil; oil spills; online; monitoring; early warning

收稿日期: 2024-01-31

第一作者: 郝建树(1987—), 男, 工程师。研究方向: 环境工程。E-mail: jidengba41z@163.com

在科学技术与全球经济飞速发展的背景下,物联网技术已经逐步深入应用到各个行业领域,其中就包括海洋石油工业。随着对石油资源的需求日益增长,海洋石油开采成为重要的能源供应来源。然而,与此同时,海洋石油平台的溢油事故也频繁发生,给海洋环境带来了巨大的威胁^[1]。海洋石油平台溢油事故是该行业面临的一大难题,不仅对环境造成严重污染,还可能对人员安全构成威胁。为保证海洋石油平台的运行安全,研究有效的智能监测与预警方法显得尤为重要^[2]。溢油在线监测预警方法是一种实时监测和预测溢油事故的技术手段。其目的是及时发现和预警溢油事故,以便采取有效措施进行处置。目前,传统的溢油监测方法多数采用视频监控的方法,通过在海洋石油平台上安装高清摄像头,实时拍摄平台周围的海域,并对拍摄的视频进行分析后,检测是否存在溢油现象。该方法具有直观、可追溯等优点^[3]。但是,在实际应用中,该方法受天气、海浪等因素影响较大,导致监测预警结果准确性较低;另一方面,还存在监测范围有限、反应速度慢等问题。物联网技术的应用为解决这些问题提供了新的可能性。物联网技术以其强大的数据采集、传输和处理能力,可以实时监测油位、温度、风速等关键参数,及时发现溢油迹象,为海洋石油平台溢油在线监测预警提供了技术支持^[4]。因此,本文利用物联网技术,设计并实施一种全新的海洋石油平台溢油在线监测预警方法,以期减少溢油事故的发生及其带来的损失作出贡献。

1 海洋石油平台溢油在线监测预警方法

1.1 基于物联网技术的海洋石油平台溢油在线监测

海洋石油平台溢油在线监测的主要目的是及时发现潜在的溢油问题,从而为预警机制和应对措施提供重要依据^[5]。要实现这一目标,首先是在海洋平台上设置一套高效可见光视频监控系统。该系统不仅是溢油监测的核心设备,还能提供实时、直观的画面,帮助工作人员准确判断是

否有溢油现象发生。在完成监测设备的安装和调试后,启动海洋石油平台溢油的初始数据采集工作。这一阶段的数据收集至关重要,因为它不仅为后续的监测提供了基准,还为判断溢油趋势和模式提供了依据。数据采集是一个持续的过程,需要定期进行,以确保能够及时捕获任何潜在的溢油迹象^[6]。在采集过程中,需要特别注意不同天气和光照条件下数据的准确性,因为这些因素可能会影响可见光视频监控系统的性能。在此基础上,利用物联网技术,设计在线监测数据传输网络,以确保监测数据传输的实时性与有效性,为后续溢油预警提供基础保障。基于物联网技术的在线监测数据传输网络流程如图1所示。

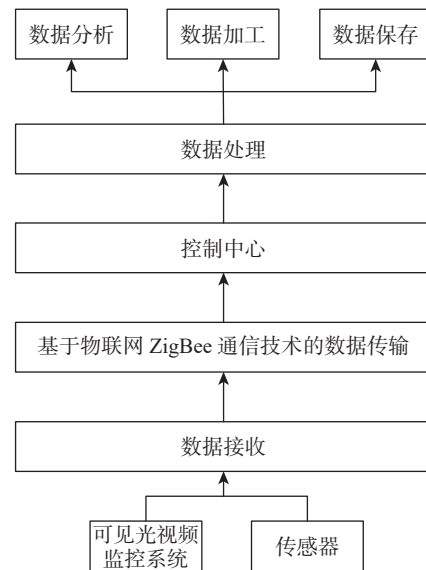


图1 基于物联网技术的在线监测数据传输网络流程
Fig.1 Network process of online monitoring data transmission based on internet of things technology

如图1所示,首先,在海洋石油平台周围部署一系列的传感器,实时监测海洋环境参数。其次,通过物联网 ZigBee 通信技术,将可见光视频监控系统与传感器在线监测数据上传至控制中心。最后,处理数据,包括数据分析、加工与保存,及时发现异常情况,初步确定是否有溢油事故发生以及溢油的严重程度,以便进一步处理和决策^[7]。物联网技术注重实时数据传输和处理,通常具有更快的反应速度,尤其在识别异常情况和发出预警方面表现更好。且物联网技术整合了

多个传感器节点, 可覆盖更广泛的监测范围, 而传统视频监控会受设备位置和视野范围限制。因此, 物联网技术相比传统视频监控系统具有更强的数据整合能力和智能化分析能力, 可以更好地适应多变的监测环境, 提高监测效率。通过这种方式可以更全面地了解溢油状况。

在获得溢油在线监测结果后, 需要对这些数据进行深入分析, 以掌握油分浓度、油膜面积以及油膜移动速度等关键参数的动态变化。表 1 为海洋石油平台参数动态变化及说明。

表 1 海洋石油平台参数动态变化及说明

Tab.1 Dynamic changes and interpretation of offshore oil platform parameters

参数	动态变化
油分浓度	持续上升: 溢油量正在增加 逐渐下降: 溢油已经停止或者被有效控制
油膜面积	大面积: 溢油量较大
油膜移动速度	快速移动的油膜可能意味着其受到风力或水流的影响, 这有助于预测溢油的未来位置

表 1 中这些参数的变化趋势不仅揭示了溢油的性质, 还能帮助判断溢油的来源以及可能的扩散方向。

1.2 海洋石油平台溢油量估算

在完成海洋石油平台溢油在线监测后, 对溢油量进行估算。这一步骤至关重要, 因为它不仅提供溢油的具体规模, 还可为后续的预警和应对措施提供坚实的基础。首先, 利用卫星遥感, 采集海洋石油平台溢油遥感图像。然后, 根据图像中各个区域的颜色和特征差异, 将溢油异常区域细分为多个子区域, 以便更准确地定位溢油的具体位置和范围, 从而提高估算的精度^[8]。通过分析每个子区域的特征和属性, 计算出各个子区域的溢油面积。最后, 估算各个子区域的溢油厚度, 进而根据已知的溢油品种的密度, 估算出整个海洋石油平台的溢油量。估算公式为

$$G = \sum_{i=1}^n U_i S_i \rho \quad (1)$$

式中: G 为海洋石油平台现场总溢油量; U_i 为第 i 种颜色所在子区域对应的油膜面积; S_i 为第 i 种颜色所在子区域对应的油膜厚度; ρ 为溢油品种的密度; n 为油膜颜色的种类。

1.3 溢油预警

根据海洋石油平台溢油量估算结果, 评估溢油风险, 设定相应的预警等级并作出预警响应。首先, 根据实际情况, 确定评估溢油量的范围, 如溢油量的大小、溢出地点的影响范围等。收集并整理溢油量数据, 包括溢油量的大小、时间、地点等。选择合适的溢油扩散模型, 根据实际情况和数据, 建立数学模型描述溢油的扩散过程^[9]。将溢油量、风速、海流速度、海水温度和盐度等参数输入到扩散模型中, 进行模拟计算, 得出溢油在不同时间的扩散范围, 并生成溢油扩散图, 从而直观地展示溢油的扩散范围。根据模拟结果和扩散图, 确定溢油可能影响的区域, 包括直接扩散范围、可能漂浮物影响的范围等。根据扩散模型和模拟结果, 计算溢油的扩散系数 D 。该参数用于描述溢油在海水中的扩散速度, 从而评估溢油风险。计算公式为

$$D = \frac{u^2}{2\nabla p} \quad (2)$$

式中: u 为海洋石油平台对流速度; ∇p 为海洋石油平台压力梯度。

一般来说, 较大的溢油扩散系数对应的溢油风险等级较高。在此基础上, 根据溢油扩散系数设定溢油预警等级并制定相应的预警响应措施, 如表 2 所示。

按照表 2 所设定的预警等级, 对海洋石油平台的溢油情况作出实时在线监测预警。在具体应用中, 可以根据溢油扩散系数的实时监测数据和历史数据, 动态调整预警等级, 并及时发布预警信息^[10]。同时, 为了提高溢油预警的准确性和可靠性, 需要不断完善溢油监测和预警流程, 确保在紧急情况下能够迅速、有效地应对溢油风险。

2 实验分析

2.1 实验准备

为了验证基于物联网技术的海洋石油平台溢油在线监测预警方法的可行性和有效性, 选择 S 海洋石油平台作为实验研究对象。该平台是一座大型石油钻井平台, 属于固定式钻井平台, 具

表 2 海洋石油平台溢油在线监测预警等级

Tab. 2 Online oil spills monitoring and warning levels on offshore oil platforms

预警等级	扩散系数	说明	预警响应
I	<0.5	溢油扩散能力较弱, 风险较低	保持监测, 关注溢油发展趋势, 采取预防措施
II	0.5 ~ 1.0	溢油具有一定的扩散能力, 可能对环境和生态造成一定的影响	加强监测, 准备应急响应措施, 启动应急预案, 采取必要的清理措施和其他减轻影响的措施
III	>1.0	溢油扩散能力强, 可能对环境和生态造成较大的影响	立即启动应急响应, 组织人员和资源进行溢油清理, 采取必要措施减轻影响

有重要的生产能力, 同时也面临着发生溢油事故的风险。根据平台结构和溢油风险评估情况, 在海洋石油平台的以下关键区域部署传感器。这些传感器能够实时监测相关参数。传感器部署情况如表 3 所示。

表 3 传感器部署情况

Tab. 3 Deployment of sensors

区域	传感器类型	传感器个数	用途
油罐区	油位传感器	5	监测油罐的实时油位
输油管道	温度传感器	4	监测输油管道的温度
平台边缘	风速传感器	5	监测平台周围的风向和风速
输油管道	压力传感器	3	监测输油管道的压力

表 3 中的所有传感器均采用无线传输方式, 并基于物联网技术, 将实时数据传输至数据中心。设定数据采集频率为每 2 s 一次, 以确保数据的实时性。在数据中心, 利用大数据分析和人工智能技术, 对采集的实时监测数据进行处理和分析。通过本文设计的在线监测预警流程, 对溢油事故进行实时监测和预警。

2.2 结果分析

将采用本文提出的基于物联网技术的海洋石油平台溢油在线监测预警方法的组别设置为实验组, 采用文献[3]、文献[6]提出的预警方法的组别分别设置为对照组 1 与对照组 2。利用 MATLAB 软件模拟实验场地各装置溢油过程, 根据实验要求设置溢油类型, 包括油轮泄漏、输油管道破裂、储油罐泄漏、钻井平台井喷等, 标号分别为 01 ~ 04, 以模拟海洋石油平台溢油场景。安装数据采集设备, 以确保能够实时监测模拟溢油事件的发展情况和溢油的影响范围。

传感器采集到的部分溢油事件发生时的数据

如图 2 所示。从图 2 中可以看出, 在 9 s 左右, 温度出现异常波动且超出安全范围, 油罐内油位骤然下降, 压力陡然升高, 升幅超过 32 MPa。这表明传感器可以有效检测异常情况, 从而为后续的海洋石油平台溢油预警提供依据。

在实验期间, 分别对实验组和对照组的预警数据进行采集, 并进行整理和分析。根据模拟情况, 判定实验期间发生的溢油事件是否为真实预警事件。实验中共预警 300 次, 根据准确预警次

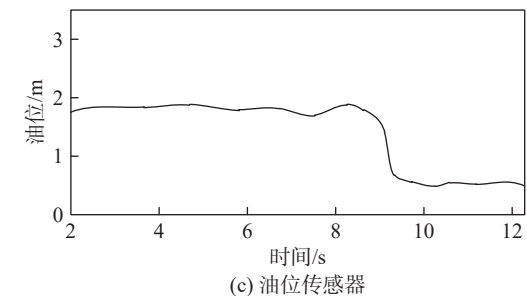
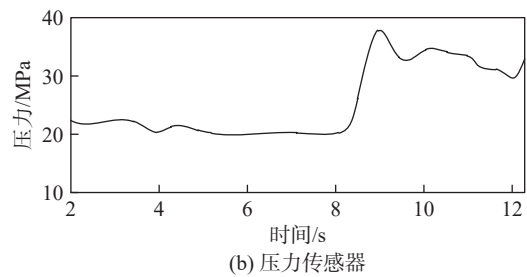
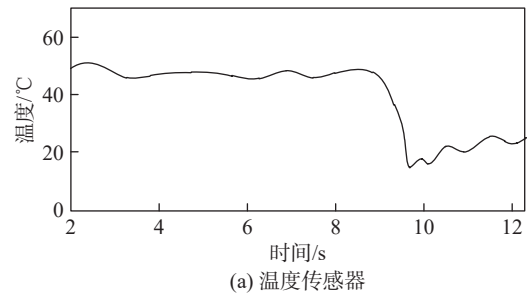


图 2 传感器数据

Fig. 2 Sensor data

数, 计算实验组和对照组的预警准确率。通过对比实验组和对照组的预警准确率, 分析物联网技

术方法在提高预警准确率方面的优势。海洋石油平台溢油预警准确率对比结果如表 4 所示。

表 4 海洋石油平台溢油预警准确率对比结果
Tab. 4 Comparison of marine oil spills warning accuracy

溢油类型	实验组		对照组1		对照组2	
	准确预警次数	预警准确率/%	准确预警次数	预警准确率/%	准确预警次数	预警准确率/%
01	298	99.33	271	90.33	286	95.33
02	297	99.00	264	88.00	288	96.00
03	299	99.67	283	94.33	260	86.67
04	298	99.33	254	84.67	268	89.33

从表 4 中的对比结果可以得知, 本文提出的在线监测预警方法表现出良好的性能优势, 对 4 种溢油类型的预警准确率明显高于另外两种预警方法, 且均达到 99% 以上。这表明本文提出的方法具有较高的可靠性和有效性, 能够更准确地预测和识别海洋石油平台溢油隐患, 且性能表现更好, 可以为采取相应的溢油预防和应对措施提供有力的支持。

3 结论

通过引入物联网技术, 对海洋石油平台溢油在线监测预警方法展开了研究。基于物联网技术实时监测海洋石油平台的动态变化, 估算溢油量并进行风险评估, 设定溢油预警等级并制定相应的预警响应措施。这不仅实现了对海洋石油平台动态变化的实时监测, 还可以根据监测数据进行溢油量估算和风险等级评估。实验结果表明, 该方法在实际应用中表现出极高的准确性和可靠性, 溢油预警准确率高达 99% 以上, 具有较高的实用价值和应用前景。

参考文献:

[1] 杨波, 王鑫章, 萧阳, 等. 基于边缘云计算的 FPSO 现

场生产运营数据平台 [J]. 能源研究与信息, 2023, 39(1): 68 - 72.

[2] 齐云龙, 唐作兴, 王晓立, 等. 动态多元状态估计算法在火力发电设备智能预警中的应用 [J]. 能源研究与信息, 2023, 39(4): 232 - 236.

[3] 孙建明, 王仁强, 刘昌华. SAR 技术在舰船海面溢油监测系统的应用 [J]. 舰船科学技术, 2023, 45(10): 139 - 142.

[4] 王国柱, 王妮, 李亚辉, 等. 海上平台外排生产水在线监测系统构建与监测数据分析 [J]. 天津科技, 2023, 50(5): 34 - 37, 41.

[5] 陈胜利, 宋积文, 陆原, 等. 基于海洋石油平台的生态环境监测系统研究 [J]. 海洋技术学报, 2022, 41(3): 34 - 42.

[6] 秦小刚, 杨风允, 王文祥, 等. 基于振动监测和支持向量机的海洋石油离心泵智能预警技术研究 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2022(1): 101 - 105.

[7] 迟守峰, 宋鑫, 文杨, 等. 浅析基于无损压缩微实验室技术的海洋渔业环境在线监测系统 [J]. 中国水产, 2022(1): 80 - 82.

[8] 郭旭. 基于图像灰度值分布的改进多重形算法及其在溢油监测中的应用 [J]. 水道港口, 2020, 41(5): 619 - 624.

[9] 杨在江, 李进, 李政, 等. 海洋石油离心泵在线监测及智能快变预警技术研究与应用 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2020(5): 40 - 42, 65.

[10] 王昕喆, 张福良, 谢彦, 等. 溢油监测预警设备在石化企业小型溢油事件中的应用 [J]. 工业安全与环保, 2020, 46(5): 61 - 64, 102.