

保障海洋石油平台输油管线可靠运行的措施分析

刘瀚霖 刘雨露（中海石油（中国）有限公司天津分公司，天津 300459）

摘要：海洋石油某海上油田群所开采的海底油气资源，经过多个中心平台油气处理装置处理后，得到的合格原油通过海底输油管线由中心平台输送至陆地终端处理厂。由于海洋环境复杂，受管道服役年限、环境腐蚀及过往船只锚泊等影响，管线面临严峻的泄露风险，如何有效的进行安全监测至关重要。文章结合海底管线现有实际工况，采用通导预警系统、音波测漏系统、腐蚀监测系统、虚拟航标系统、无人机巡线等多项保障措施相结合，用于监测防止管线泄漏事故的发生，保障输油管线安全可靠运行。

关键词：海底管线；海洋石油平台；运行；保障措施

Abstract: The subsea oil and gas resources exploited by an offshore oilfield group of Offshore Oil are processed by multiple central platform oil and gas processing devices, and the obtained qualified crude oil is transported from the CEPA platform to the land terminal processing plant through the subsea oil pipeline. Due to the complex marine environment, pipelines face severe leakage risks due to the service life of pipelines, environmental corrosion, and the anchoring of ships in the past. How to effectively conduct safety monitoring is crucial. Combined with the existing actual working conditions of submarine pipelines, this paper adopts a combination of a number of safeguard measures such as conduction early warning system, sonic leak detection system, corrosion monitoring system, cathodic protection monitoring system, and drone line inspection to monitor and prevent pipeline leakage accidents. to ensure the safe and reliable operation of oil pipelines.

Key words: Subsea pipeline; Offshore oil platform; Operation; Safeguard measures

1 前言

在海洋石油平台中，海底管线作为物流输送的重要通道，安全可靠的运行有着重要意义。而影响海底管线安全运行的最大风险就是海管泄露，一旦发生管线泄露，不但造成严重的能源浪费，更会造成海洋环境的污染，从而带来巨大的经济财产损失。造成海管泄露的主要原因有几个方面：一是海上过往船只较多，船舶的非法抛锚对海管剐蹭，这是造成海管泄露的最主要的原因；二是随着海管服役年限的增长，海洋环境的腐蚀造成海管泄露；三是人为的破坏，造成海管的泄露；四是设计的不合理性，随着时间的增长，设计缺陷越发明显造成海管泄露。

海管泄露的风险时刻存在，传统的单一技术手段已不能满足海管的安全运行要求，在传统技术手段基础上，必须结合更加高效、更加智能的多种监测手段，有效防止海管泄露事故的发生，保障海底输油管线的安全可靠运行。

2 海底管线运行监测技术的应用

2.1 通导预警系统

通导预警系统为软件系统，以电子海图为核心，AIS 与雷达为数据源。系统对目标进行实时监控，即在地图上显示雷达目标、AIS 目标以及雷达与 AIS 融

合目标的实时位置，通过数据推送接口对实时目标信息进行更新。在实时监控过程中，可随时通过在地图上选取坐标点来进行面积、距离及位置测量；当关闭测量窗口时，地图上所有的测量轨迹都将被清除。通过实时目标信息功能主要实现对实时目标信息的图层查看、气泡信息查看、轨迹查看、标记目标、预警确认、轨迹分析信息查看以及目标光电视频信息查看的功能。

系统提供电子围栏区域管理功能，主要管理区域的基本信息和报警条件信息，后台电子围栏算法会根据区域的预警时间段、区域类型和相应的预警条件分析是否有目标触动预警，并在预警分析中进行展示。可设置黑名单列表，当实时目标中与黑名单列表的船舶 MMSI 或船舶名称相匹配则实时目标将在地图上持续闪烁，并进行目标跟踪。目标跟踪主要实现对疑似违规的目标和黑名单目标进行跟踪，一旦出现跟踪目标和黑名单目标，目标将在地图上闪烁。通过智能监控功能，及时发现异常情况并通知相关人员进行处理，提高了海上交通的安全性和管理效率。

通导预警系统的应用加强了对海底管道及海缆的监视预警功能，能够及早发现过往船舶停留或抛锚对海底管道造成的危险，最大限度的避免风险，减小对

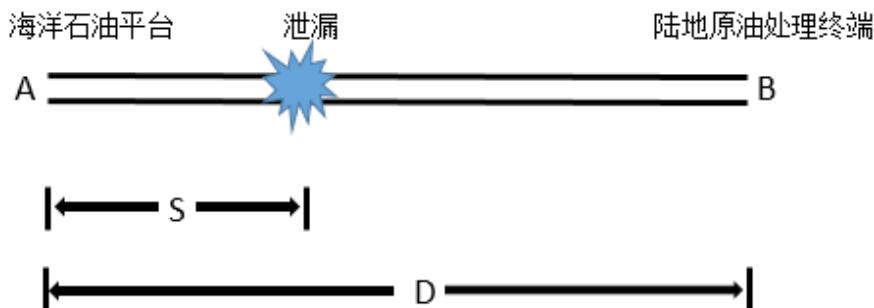


图 1 音波测漏系统工作原理图

海洋环境及平台生产的影响。

2.2 音波测漏系统

音波测漏系统基于声学原理，运用声波沿海管内传输介质、管壁快速传输的特性，管道因自身老化、腐蚀或被破坏发生泄漏时，介质从泄漏点喷射而出，与破损的管壁高速摩擦形成振动而发出声音，泄漏的声波信号沿着管道向管道两端传播。管道两端设有监测装置，全天候实时接收并监控管道内产生的动态音波信号，消除管道的背景噪声和已知干扰信号，然后利用人工智能技术和相关算法，分析两端传感器接收的有效信号，确定是否发生泄漏。通过计算采集到信号的时间差，准确计算出泄漏位置。

如图 1 所示，假设在泄露发生的泄露点到传感器的距离为 S ，传感器布控距离为 D ，泄漏点的声波到达传感器的时间分别为 T_1 、 T_2 ，声波传递速度为 V ，通过计算可确定出泄漏点 S 的位置，即：泄漏点位置 $S=D/2+1/2(T_1-T_2)V$ 。

音波泄漏监测系统由一个负责数据处理、报警识别和定位计算的主站系统和若干个负责数据采集处理的分站系统组成。分站系统包括次声波传感器、前置放大器、数据采集处理器，北斗 /GPS 接收装置等。次声波传感器安装在管道上，实时检测管道中次声波信号；前置放大器负责将微小的次声波信号放大；数据采集系统负责对现场各种次声波信号的实时采集和处理，当处理后的次声波信号中疑似包含管道泄漏信号时，可以将这些数据通过无线通讯系统上传到数据服务器中，然后进行二次信号处理和判别，以确定是否存在泄漏。

北斗 GPS 接收装置采用北斗和 GPS 双模模式，既可接收北斗授时信号，也可以接收 GPS 授时信号，当一种授时信号由于某种原因中断时，可以自动切换模式，接收另一种授时信号，不影响授时信号的接收，从而提高系统运行的安全性。主站系统的检测主机安

装运行监控该条管道的泄漏监测分析软件。泄漏监测分析软件通过网络接收各分站的采集数据并进行数据分析及报警逻辑运算，根据运算结果判定泄漏事件发生的位置。

音波测漏系统适用于长距离原油海底管线泄漏检测，在油田应用至今，系统得以稳定的运行，通过操作人员的日常维护和定期测试，取得了良好的效果，系统稳定性好、可靠性强、响应迅捷，配合海管运行压力趋势监控，方便操作人员对海管的状态监控，在发生管道破裂时能及时报警通知监控人员，将安全环保隐患降到最低。实时监测海洋石油平台和陆地终端间输油管线的泄露和人为偷盗，迅速定位到泄漏点，最大限度的减少了能源损失和环境污染的发生，有效保证输油管线的安全平稳运行。

2.3 腐蚀监测系统

腐蚀监测是一项非常重要的工作，它涉及使用各种仪器、工具和分析方法来监测材料在工艺介质环境中的腐蚀速率。通过将金属样品置于测试线圈产生的磁场中，金属样品的厚度变化影响磁场强度变化可以实时监测金属腐蚀程度的变化，当金属样品腐蚀变薄时，线圈的等效电感和感抗发生变化，可以通过检测电感变化 ΔL 来计算金属样品的腐蚀程度。这种监测方法有助于及时发现并预防金属腐蚀问题，为维护金属结构的稳定性和安全性提供有力支持。

海洋石油平台电感探针数据采集器安装在海底管线入口端，其作用是将采集的数据通过 RS485 通讯传输给服务器并进行存储；内腐蚀在线监测软件为 CR-1000，其主要的功能是处理与解读从装置传输到数据服务器上的腐蚀监测数据。CR-1000 对腐蚀监测数据处理后，使用者会看到所监测的海管腐蚀速率、腐蚀损耗等腐蚀监测结果，通过对这些监测结果的读取，使用者会对此监测点的实时腐蚀状态，有一个直观、准确、有效的了解。

2.4 虚拟航标系统

目前渤海区域水上水下设施众多，矿产位置相对集中，众多设施之间通过海底管道及通信线缆连接，涵盖油气输送、电缆、光缆等管道样式众多，管道的运行安全至关重要。鉴于目前航行船舶海图更新频率低，作业及路过船舶信息更新慢，水下设施信息掌握不准确，没有有效手段进行实时信息同步，尤其是外部船舶设施保护意识及保护区概念薄弱，船舶落起锚、拖锚、渔业撒网收网、以及物体坠落都对海管的安全存在巨大威胁。

为降低海上船舶对输油管线运行的威胁，沿海底管线每隔1海里设置一个虚拟航标，虚拟航标在现实中是不存在的，但是当船舶靠近海管时，即船舶靠近虚拟航标时，船舶会收到虚拟航标消息播发机发出的虚拟航标信息，告知其附近有海底管线，当系统检测船舶慢速靠近、减速靠近海底管线时，系统将警示信息推送到船舶端，提示船舶注意避让、不要进行抛锚等作业，以免破坏海管。

虚拟航标技术解决了无法向进入警戒区船舶进行预警报警提示的问题，同时可有效降低船舶驱离成本。未来虚拟航标技术将成为水下设施防护的一种重要手段。

2.5 无人机巡线技术

目前渤海海域内有存在多条习惯航路，船舶流量大，平台众多，海底输油管线错综复杂，如若船舶在海底管道附近发生抛锚、走锚现象，极易造成海底管线损伤从而发生原油泄漏，存在着较大的安全环保风险。为实现对非法船舶的锁定、跟踪和驱离，防止船舶随意抛锚和随意靠近平台航行，实现保护无人平台、海底管线和海底电缆的目的，使用无人机对海底管线进行巡线。

无人机应按海底管道路由巡线，完成区域内石油管道水面部分的日常巡检工作，对区域内管道及周边区域异常情况进行光学监视，负责巡查海底管道路由区域内有无从事对海底管道安全运行有影响的各种作业的船舶、有无油气泄漏现象、有无新建建筑物出现。警告过往油气田的船舶避开油气田安全作业区域，并喊话驱离不听警告的船舶离开油气田安全作业区域，保证油气田海底管道的安全运行。

随着无人机巡线技术的日益加强，未来针对油气长输管道，可通过无人机实时通讯远传技术的研究，结合5G技术应用，提升图像传输速度。通过开展无

人机专项智能识别等技术研究，对保护油气长输管线安全运行的实施具有重要意义。

3 结语

海底输油管线作为连接海上石油平台和陆地终端厂之间的油气输送通道，它的安全运行不仅保障油气资源开采，也关系到保护海洋生态环境。在通导预警系统、音波测漏系统、无人机巡线等多项先进技术共同保障下，能够有效防止因船舶抛锚、海洋环境腐蚀带来的海管泄露风险，同时节省了因船舶巡线所造成的经济开支，即使发生泄漏时，也能在第一时间发生报警，并准确定位泄漏点，为快速启动应急预案提供基础保证，最大限度的减少经济资源损失，减少海洋环境的污染。在保护海洋环境、绿色能源发展的今天，各项先进技术的应用与协调配合，有力保障了海洋石油海管的可靠安全运行。

参考文献：

- [1] 于耀宗, 杨光. 音波测漏技术在海洋石油海底输油管道中的应用 [J]. 化工管理 ,2019(31):85-86.
- [2] 王潇. 海洋石油平台腐蚀检测技术综合应用与结果分析 [J]. 盐科学与化工 ,2022,51(05):42-46.
- [3] 陈胜利, 兰志刚, 宋积文. 海洋石油平台的腐蚀监测技术 [J]. 全面腐蚀控制 ,2022,24(06):22-25.
- [4] 陈小刚. 某海上油气田雷达及 AIS 预警系统介绍 [J]. 化工管理 ,2021(24):181-182.
- [5] 邓志强, 阙颢, 陈远鹏. 无人机技术在油气长输管道巡检应用研究进展 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2021,41(22):182-183.
- [6] 燕涛. 海洋石油海底输油管线的分析研究 [J]. 化工管理 ,2023(09):121-123.
- [7] 邹子龙, 徐雯露, 王晓东. 探索海洋输油管道智能化生产技术的创新与应用 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A,2024(03):157-159.
- [8] 刘婉婷. 海底管线泄漏应急抽油控制技术研究 [D]. 化工管理 ,2023(13):66-68.
- [9] 尹志勇, 朱方平, 陈明. 输油管道泄漏监测系统在埕岛油田的应用 [J]. 油气田地面工程 ,2023(07):48.
- [10] 倪平凡, 钟仕荣. 海底输油管道的稳定性评价方法及算例 [J]. 海洋石油 ,2022(12):4-6.
- [11] 周晶, 冯新, 李昕. 海底管线全寿命安全运行的关键问题研究 [J]. 工程力学 ,2021(S2):97-108.
- [12] 支雄飞. 海底管道监测三维动态显示技术研究 [D]. 合肥 :安徽大学 ,2021.