

浅地层剖面仪在强潮流冲刷海域海底管道检测中的应用

李金铎, 赖纪海*, 施兴安, 贺智能

自然资源部宁波海洋中心, 浙江 宁波

收稿日期: 2024年12月8日; 录用日期: 2025年1月1日; 发布日期: 2025年1月9日

摘要

以舟山海域为例, 应用浅地层剖面仪对强潮流冲刷海域海底管道进行定期检测, 并根据海区的实际情况优化检测方法, 选择小潮平潮时段, 关闭动力, 慢速横穿管线, 得到清晰完整的海底剖面 and 管道状态的图像。预先沿路由走向测量, 可以优化检测断面的布设。结合其他仪器测量和沉积物采样结果, 对声学图像进行对比和验证, 对海底冲淤和海底管道的现状以及可能的发展趋势进行综合判断。从而查明管道的埋深现状, 分析海底管道建成以来的冲淤变化状况及其原因和趋势, 为管道的安全运行和维护提供决策依据。

关键词

浅地层剖面仪, 潮流冲刷, 海底管道

Application of Sub-Bottom Profiler for Submarine Pipeline Inspection in Strong Tidal Current Scour Sea Areas

Jinduo Li, Jihai Lai*, Xing'an Shi, Zhineng He

Ningbo Marine Center, Ministry of Natural Resources, Ningbo Zhejiang

Received: Dec. 8th, 2024; accepted: Jan. 1st, 2025; published: Jan. 9th, 2025

Abstract

Taking Zhoushan sea area as an example, the sub-bottom profiler was applied to carry out regular

*通讯作者。

文章引用: 李金铎, 赖纪海, 施兴安, 贺智能. 浅地层剖面仪在强潮流冲刷海域海底管道检测中的应用[J]. 测绘科学技术, 2025, 13(1): 10-14. DOI: 10.12677/gst.2025.131002

inspection of submarine pipelines in strong tidal scouring sea areas, and the inspection method was optimized according to the actual situation of the sea area, choosing the neap-tide period and shutting down the surveying vessel's power to cross the pipelines at a slow speed, so that a clear and complete image of submarine profiles and pipeline status could be obtained. Pre-measurement along the route courses could optimize the layout of the detection sections. Combined with other instrument measurements and sediment sampling results which provide comparison and validation for acoustic images, the current status of seabed scouring and submarine pipeline and the possible development trend could be comprehensively judged. Thus, the current situation of the buried depth of the pipeline could be identified, and the changes in the bury status of the submarine pipeline since its construction, as well as its causes and trends, could be analyzed to provide a basis for decision-making on the safe operation and maintenance of the pipeline.

Keywords

Sub-Bottom Profiler, Tidal Current Scour, Submarine Pipeline

Copyright © 2025 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. 引言

通常海底管道铺设和掩埋在海底泥沙之中,但是在潮流较为强劲的海域,海底管道易被冲刷而露出海底,甚至悬空,给海底管道的安全运行造成影响和破坏。目前国内对海底管道状态的检测主要使用浅地层剖面仪、多波束测深仪、侧扫声呐等仪器,其中浅地层剖面仪可以穿透一定深度的海底沉积物,利用其声图像特征可以查明其中海底管道的位置、埋藏情况及周边海底的冲淤状况等,因而得到广泛应用,并取得了很多成果[1]-[6]。各种检测方法和仪器的优劣势和适用性已得到对比和总结,并且新的检测技术如三维成像声纳技术和电磁感应方法等也逐渐发展和应用[2]。

浙江舟山群岛岛屿众多,受到局部地形约束,岛屿间以及岛屿与附近大陆之间的水道内潮流强劲,海底冲淤状况复杂多变[7][8]。随着社会经济的发展,岛屿与大陆之间以及各岛屿之间海底管线密集分布,以满足油气和输水等生产生活的迫切需要;同时,管线两岸及附近围垦、码头以及跨海桥梁等大量涉海工程的建设也对海底冲淤产生较大的影响。在这种潮流强劲,路由沿线地形变化较大的海域,海底管道周边海底沉积容易发生冲刷、掏蚀;另一方面,探测仪器和检查方法受到的干扰和限制也较多,容易造成图像模糊、杂乱和失真[3][4]。但目前关于此类海域海底管道的检测方面的研究尚比较欠缺。本文根据舟山海域某海底输水管道的定期检测工作,总结了在此类海域浅地层剖面仪的应用效果、注意事项以及优化方法等,为海底管道的安全运行提供技术依据,供同行参考。

2. 仪器原理和方法

利用声波在海底不同介质中的反射和透射,浅地层剖面仪可以探测到水下浅部地层结构剖面(见图1),广泛应用于海洋地质调查、工程勘测、环境监测、海底管线路由调查等多个领域[9][10]。

海底管道铺设一般先开挖一定深度的管沟,管道沿路由走向敷设,利用周围的沉积物进行人工掩埋,或者借助于海底沉积物在水动力的作用下自然的冲淤过程,经过一段时间后,管道逐渐被沉积物埋藏其中。声波与遇到海底管道时在其顶部发生绕射,在浅地层探测剖面上形成双曲线形状的绕射曲线,同时,海底管道与其周边的海底沉积物之间波阻抗相差较大,其相对位置,即管道的埋藏、裸露或悬空状态,

可以清晰地反映在图像上[4] [5]。

本文研究采用美国产 EdgeTech 3200-XS 型浅地层剖面仪, SB-216S 拖鱼。系统由甲板单元(工控机)、拖鱼及拖缆组成, 配备数据采集软件。主要技术性能指标为:

采用线性调频脉冲技术(Chirp)技术, 穿透深度大、分辨率高。在泥质海底最大穿透可达 80 m, 垂直分辨率 6~10 cm。脉冲类型为全频谱(幅值、相位加权调频), 发射频率 2~16 kHz。导航定位采用 Trimble R10 型 RTK 和浙江 CORS 系统, 定位精度为平面 $\pm (1 + 1 \times 10^{-6})$ cm, 高程精度 $\pm (2 + 1 \times 10^{-6})$ cm。

拖鱼吊装在船舷中前部, 以减少船尾螺旋桨的干扰, RTK 天线安装在其上方的船边, 保证探测数据与空间坐标相对应。船上其他部位安装单波束测深仪、侧扫声纳等仪器。根据实时水深情况, 利用船上绞车系统将拖鱼投放到距离海底 2~5 m 左右的水中, 垂直于管道路由方向布设浅地层剖面仪检测测线。测量船速度控制在 5 节以下。在附近海域沿管线进行了沉积物采样。

获得的图像包括两部分, 即沿测线断面上海底沉积的垂直剖面 and 海底管道的绕射曲线, 二者结合即可判断出该断面管道的掩埋、裸露或悬空状态, 结合管道的位置信息可以获得整个海底管道的状态成果。

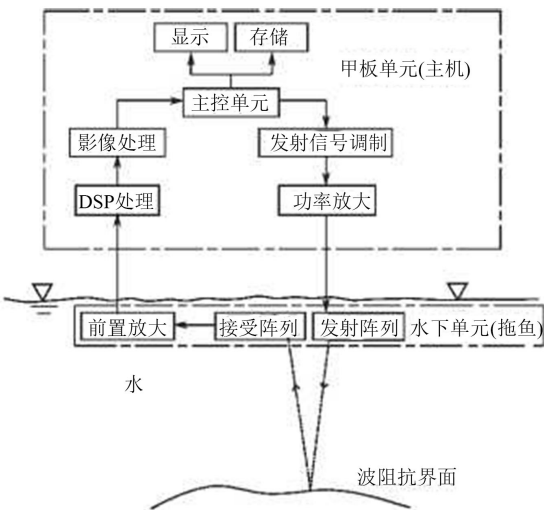


Figure 1. Operating principle layout of sub-bottom profiler
图 1. 浅地层剖面测量的工作原理

3. 检测结果与应用优化

3.1. 海底沉积物及管道状态图像特征

根据浅地层剖面记录特征, 调查海域浅部地层大体上可以分成两到三个地层单元, 穿透厚度 5~15 m, 反射波连续性好, 层理发育, 下部地层密度增大, 可见局部可见浅层气上冲(图 2)。根据记录特点和表层沉积物特征判断, 地层为全新世晚期海相沉积物, 岩性以粘土质粉砂等细颗粒沉积物为主, 流塑至软塑状, 富含水份, 孔隙度高, 易受到潮流、风浪等冲刷的影响。

根据绕射曲线的特征, 可以判断出管道的状态。如一期管道(管 I)已建设多年, 海底沉积物冲淤与潮流运动达到了新的平衡, 管道基本上处于埋藏稳定状态(见图 2), 二期管道(管 II)和三期管道(管 III)施工建设后不久, 可见施工时开挖的管沟尚未完全被海底泥沙淤积填埋(见图 2(a)), 或者由于潮流的冲刷, 管道裸露海底(见图 2(b)), 尤其在海底管道路由的中部区域, 水道内潮流较为强劲, 多个断面管道裸露海底, 甚至处于悬空状态, 需要引起注意, 做进一步的探摸调查, 采取防控措施。

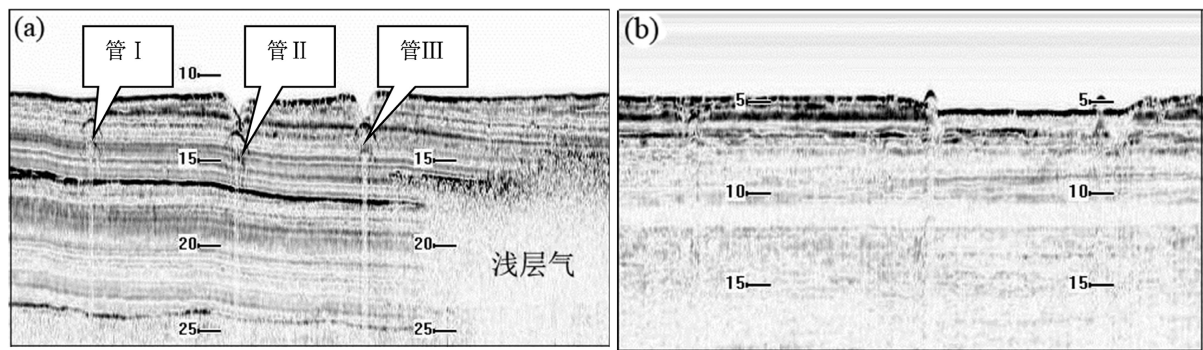


Figure 2. Sediment layers and submarine pipeline features revealed by sub-bottom profiler

图 2. 浅地层剖面记录显示浅部地层和管道状态

3.2. 检测方法的优化

利用浅地层剖面仪进行海底管道状态检测, 获得的图像质量和解译成果受到多种因素影响[1]-[3], 如方法本身的特点, 仪器性能、仪器安装与参数设置、测量海域条件、资料采集和解译的水平和经验等。根据实际情况, 除了选择合适的仪器设备和设置合理的测量参数外, 可以在方法上做一些改进和优化。

(1) 研究海域潮流流速大而且有层化和漩涡, 水体含沙量高。据此情况, 实际工作中尽量选择小潮的高平潮、低平潮前后两小时的时间段进行测量, 潮流速度较小, 水体中的泥沙含量较低, 气泡和漩涡较少, 测量效果较好。研究表明, 测量船速较慢, 匀速、顺流测量时, 管道的绕射曲线成像效果较好[1]。因此选择顺流方向进行测量, 测量船在到达管线附近时, 关闭船舶发动机, 测量船和浅地层剖面仪在水流的作用下以平稳的姿态慢速横穿管线, 管道的绕射曲线比较宽, 易于识别, 而且避免了拖鱼顶水前进形成水花和摇晃, 同时也消除了船舶发动机振动和螺旋桨转动形成尾流的影响, 提高数据信噪比, 从而得到清晰完整的海底剖面 and 管道状态的图像。图 3 显示了正常船速(大约 5 节)(见图 3(a))和关闭船舶发动机仅靠潮流的漂移作用时(船速大约 1 节)同一个地方的浅剖图像(见图 3(b)), 可以看出后者图像能够清晰地分辨出管道的状态以及附近海底地层的结构, 而前者则模糊难辨。

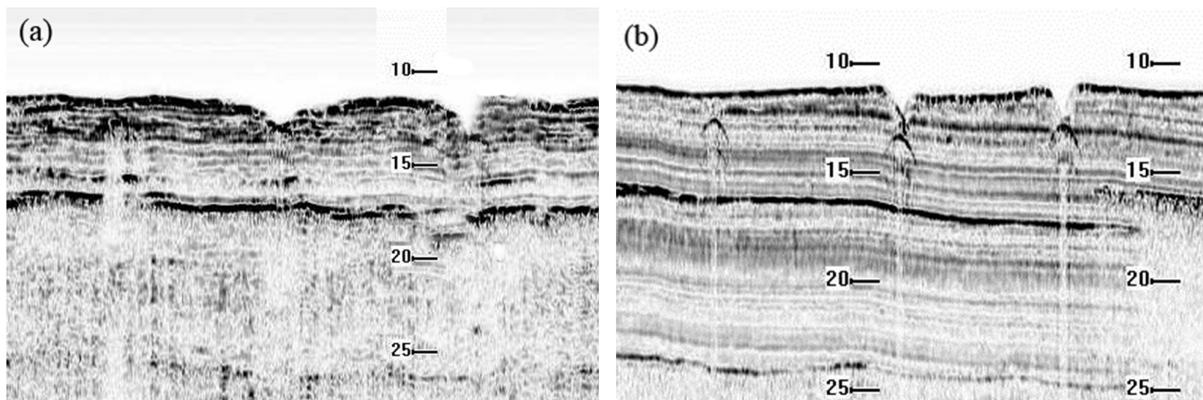


Figure 3. Comparison of sub-bottom profiler images obtained at normal ship speed (a) and unpowered drift (b)

图 3. 正常船速(a)和无动力漂移(b)时浅地层剖面记录对比

(2) 海底管道检测实践中, 浅地层剖面测线一般是垂直管线方向按照一定的距离间隔布置多个断面[3], 获取的是某断面处海底管道的状态特征, 但对于整个管道来说, 得到的结果是不连续的。因此, 参考路由勘测工作的做法, 沿路由走向布置几条测线, 对海底管道附近海底地形地貌变化和潮流对海底的

冲刷情况有一个整体的了解,之后再合理布置垂直的测线进行管道检测,在海底较稳定的地段测线间距可以大一点,而在冲刷较为明显的地段要加密测量。

(3) 使用浅地层剖面仪进行管道检测的同时,结合使用其他仪器比如多波束、侧扫声纳、磁力仪等的探测结果,能更准确和全面地掌握管道的状况[1]-[3]。本文中,综合使用浅地层剖面仪、单波束测深仪和侧扫声纳,获得海底垂向结构的同时,可以根据水深和地貌情况,对海底冲淤和海底管道的现状以及可能的发展趋势进行综合判断。同时,根据浅地层剖面仪和侧扫声纳的探测情况,在重点关注区域进行沉积物的采样,根据采样的难易以及沉积物样品的成分、结构、粘塑性等特征,对声学图像进行验证,使其解译更为准确。采样点要离开海底管道一定的安全距离。

4. 结语

(1) 应用浅地层剖面仪获得海底管线附近海域浅部地层和管道的埋藏和裸露状况,用以查明管道检测段的埋深现状,分析海底管道建成以来的冲淤变化状况及其原因和趋势,为管道的安全运行和维护提供决策依据。

(2) 在强潮流冲刷的海域,根据海区的实际情况优化检测方法。选择小潮平潮时段,关闭动力,测量船舶和浅地层剖面仪在水流的作用下慢慢横穿管线,得到清晰完整的海底剖面 and 管道状态的图像。预先沿路由走向测量,可以对海底管道附近地形地貌变化进行整体了解,并优化检测断面的布设。结合单波束测深仪、侧扫声纳、表层沉积物采样结果,对海底冲淤和海底管道的现状以及可能的发展趋势进行综合判断,使声学图像解译更为准确。

基金项目

宁波海洋中心海洋科技基金项目资助(参量阵浅剖、三维侧扫声纳在海底管线路由勘测和围填海面积量算中的应用)。

参考文献

- [1] 何良,金犇,高尚,等.浅地层剖面仪在海底管道检测中的应用与优化[J].水利水电快报,2024,45(11):56-61,76.
<https://link.cnki.net/urlid/42.1142.TV.20240416.1615.002>
- [2] 刘恩泽,李海东,王恒波,张汉女.海洋地球物理方法对海底管道检测的应用探讨[J/OL].海岸工程:1-15.
<https://link.cnki.net/urlid/37.1144.U.20240801.1532.002>,2024-12-28.
- [3] 宋永东,杨慧良,栾振东,等.SES-2000 浅地层剖面仪在福建 LNG 海底管道检测中的应用[J].海洋地质前沿,2020,36(5):73-77.
- [4] 刘臻,曹立华,童思友,等.高频浅地层剖面技术在海底管道探测中的应用[J].海洋地质前沿,2015,31(7):66-70.
- [5] 安永宁.海底管道测量声学剖面特征分析[J].海洋测绘,2015,35(6):62-68.
- [6] 王继立,黄潘阳,胡涛俊,等.浅地层剖面仪在海底管道检测中的应用[J].船舶工程,2013,12(3):161-163.
- [7] 郑胜,朱业,陈新平,等.基于浪流耦合模型的舟山海域水动力特性研究[J].海洋湖沼通报,2024,46(2):82-90.
- [8] 陆凡,沈良朵.舟山复杂海域条件下新建码头工程水动力及泥沙冲淤变化研究[J].水运工程,2022(8):24-31.
- [9] 谢向文,郭玉松,张晓予,等.水声勘探中的浅地层剖面技术应用[J].港工技术,2009,46(5):53-55.
- [10] 刘保华,丁继胜,裴彦良,等.海洋地球物理探测技术及其在近海工程中的应用[J].海洋科学进展,2005,23(3):374-384.