

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.

SES-2000 浅地层剖面仪在福建 LNG 海底管道检测中的应用

宋永东¹,杨慧良^{2*},栾振东^{1,3*},王 冰¹,连 超³,阎 军¹

(1 中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室,青岛 266071;2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所,青岛 266071;3 中国科学院海洋研究所深海极端环境与生命过程研究中心,青岛 266071)

摘 要:利用声学浅地层剖面仪对海底管道在海底的赋存状态检测是确保海底输油气管道安全运行的重要措施之一。介绍了新型参量阵浅地层剖面仪 SES-2000 的基本原理及其特点,通过对福建湄洲湾 LNG 海底管道检测实际应用,有效识别出了埋藏、裸露和悬空等 3 类海底管道赋存状态,尤其对沙包回填治理后的管道埋深能有效探测识别。检测结果表明,该设备具有高分辨率和强穿透的特点,稳定性好,能获取高品质的管道检测数据,应用效果良好。获取的基础数据为海底管道日常维护提供了科学依据和技术支持。

关键词:SES-2000 浅地层剖面仪;海底管道检测;埋藏状态;湄洲湾

中图分类号:P756.2

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2019.037

0 引言

海底管道是海洋工程建设中最常见的一类工程设施。铺设在海底这样一个特殊的工程地质环境中,有些区段长期受到海流和潮流的交替冲刷,对海底管道路由区形成侵蚀作用,致使管道逐渐出现裸露、悬空和平面位移以及管道损伤等情况,这将对管道安全运行和生产以及海洋环境造成极大的事故隐患。为保证海底管道的安全运行,对其平面位置和埋藏状态进行定期检测就显得非常

必要。一般检测内容包括获取管道路由区域内水深、海底地形地貌、海底管道赋存状态数据等,检测方法包括多波束测深、单波束测深、旁侧声呐扫描和低频浅地层剖面测量等^[1-4]。其中,高频浅地层剖面仪是检测海底管道最直接的设备,因此,浅地层剖面仪的选择关系到管道的检测效果和后期资料的解释质量。根据浅地层剖面形成原理,浅地层剖面仪含有 2 个关键的参数:发射功率和发射频率,低频穿透深度大,但分辨率低;高频穿透深度小,而分辨率高。以往使用的浅地层剖面仪如基于采用线性调频脉冲(CHIRP)技术的 Edge-Tech 3200XS 系列或频率固定的 GeoAcoustics T14K 等^[5],为了兼顾足够的穿透深度和较大的分辨率,其换能器往往大而笨重,而且发射的波束角大,影响了对地层的分辨率^[6]。近年来,中国科学院海洋研究所引进了一种以非线性调频(参量阵)为原理的新型浅地层剖面仪,即德国 Innomar 公司生产的 SES-2000 浅地层剖面仪。本文简要阐述了该设备的工作原理和基本配置参数,并以福建湄洲湾 LNG 海底管道检测为例进行了应用

收稿日期:2019-04-20

资助项目:中国科学院战略性先导科技专项(A类)“近海与海岸信息集成与演示”(XDA19060201)

作者简介:宋永东(1977—),男,工程师,主要从事海洋地球物理和海洋工程地质方面的研究工作.E-mail:ydsong@qdio.ac.cn

* 通讯作者:杨慧良(1977—),男,高级工程师,主要从事海洋探测技术及海洋地球物理方面的研究工作.E-mail:qdyhuiliang@163.com

* 通讯作者:栾振东(1976—),男,教授级高工,主要从事深海探测技术及海洋地形地貌方面的研究工作.E-mail:luan@qdio.ac.cn

效果分析,获取的基础数据为海底管道日常维护提供了科学依据和技术支持。

1 设备工作原理

根据水声学原理,声学参量阵是一种利用非线性声学现象,在声场的远场产生差频和频谱信号的声发射装置^[7-8],即参量阵声呐在高压下可同时向同一方向发射2个频率接近的主频高频初始声波信号(F1、F2),当穿过水体时,产生一系列二次频率,其中一个高频主频(F1)用于探测海底深度,而两个主频之差(F1-F2)具有较强的穿透性,用来探测海底浅地层内部结构。相对于传统的线性浅地层剖面仪,参量阵声呐换能器可以发射脉宽很短的尖脉冲低频声波,且波束角较小,没有旁瓣,因此波束指向性好,图1所示,1表示10 kHz线性调频声呐的波束指向性,2表示10 kHz参量阵声呐的波束指向性,3表示100 kHz线性调频声呐的波束指向性,明显参量阵声呐波束指向性更好。在低的信噪比情况下这种尖脉冲声波信号更加容易识别,能够反映出细小的沉积物界面声阻抗的变化^[9-11]。

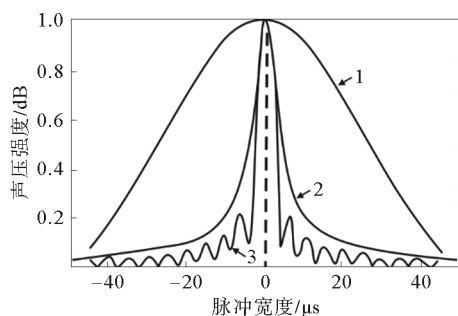


图1 参量阵声呐和线性声呐的波束指向性比较

Fig.1 Different beam directivity between parametric array and linear sonar

InnomarSES-2000 浅地层剖面仪实物见图2,其采用2个100 kHz的频率作为主频,可根据测量的不同目的选择合适的频率和发射脉宽,其差频率有5、6、8、10、12、15 kHz等多个低频,波束角 $\pm 1.8^\circ$,发射脉冲长度66~800 μs ,低频发射波形有CW波、Ricker波、LFM(CHIRP)波可选择。作业水深1~500 m,最大地层穿透深度50 m,最小分辨率优于5 cm,声波发射和信号接收

集成与一个换能器中,其尺寸30 cm $\times$ 26 cm $\times$ 7 cm,空气中重量22 kg,具有轻巧便携的特点,非常适合近岸浅水区海洋工程测量,有“管道检测仪”的美称,在InnomarSES-2000浅地层剖面仪采集界面上可直观识别出管道。该系统由主机、换能器和涌浪滤波器组成,操作系统为Windows 7,主机上有显示屏,便于现场观察和参数调节。



图2 参量阵浅地层剖面仪 SES-2000 实物图

Fig.2 Product photo of SES-2000 SBP

2 数据采集过程

2.1 检测方法

福建湄洲湾LNG海底管道长度约5.5 km,管道外直径813 mm,壁厚17.5 mm,管道材质为API5L标准的直缝埋弧焊钢管,外包裹49 mm混凝土配重保护层,管道铺设进行后挖沟并埋设,管道埋深为1.5 m,管沟采取碎石回填和原土掩埋的方式,海底面受海流自然回淤。管道运行以来,局部受潮流冲刷侵蚀出现裸露或悬空,运营方曾采取沙袋填埋方式,对海底管道裸露及悬空段进行保护。

探测海底管道的浅地层剖面测线布设以横切管道为原则,垂直管道中心线走向为主测线,用来探测水深与管道埋藏情况,以及管沟海床侵蚀情况。检测线间距25 m,测线长度以管道路由中心线为轴线向两侧各150 m。根据现场实时探测初步结果,发现管道裸露、悬空处需要进行测线加密。

导航定位使用加拿大 Hemisphere R110 DGPS定位系统,定位水平精度优于0.5 m,方位精度可达0.3°。涌浪矫正使用法国 SMC IMU108涌浪仪,涌浪分辨率0.01 m,测量精度5 cm,实时监测和输出高精度的横摇、纵摇和升降数据用于检测数据涌浪补偿矫正。

本次检测使用木质小船,有效降低了船体机械噪音,船速控制在 5 节左右,沿测线保持直线匀速行驶。测量时,GPS 定位天线位置和换能器位置处于同一铅垂线下以减小测量误差,涌浪滤波器靠近换能器,换能器杆用支架固定安装在船侧舷中部,以避开发动机噪音和尾流气泡生产的影响,吃水深度在 1.2 m(图 3)。由于发射频率的大小决定了穿透深度和图像的分辨率,因此,开始检测前,应根据测区水深、底质条件,充分调试仪器,选择适合本海域海底地层的最佳参数。福建湄洲湾 LNG 管道路由区海底底质以泥砂质沉积物为主,地层厚度较薄,且目前管道掩埋平均深度约 1.5 m,经过仪器反复调试,选用检测频率为 10~12 kHz,增益约 18~22,记录长度 10 m 为工作参数,可获得高质量检测数据。



图 3 SES-2000 换能器实测安装位置图

Fig.3 The installation location of SES-2000 transducer in the measurement

2.2 数据处理

SES-2000 浅地层剖面仪可同时记录 2 种格式数据,一种为通用的 RAW 格式的原始数据,一种为自定义的经过预处理的 SES 格式的数据,该数据格式可转为标准的 Segy 格式共第三方软件处理。系统自带专门的数据后处理软件 ISE2.0,只能加载自身采集的 RAW 格式和 SES 格式的数据。数据处理流程与一般的声学剖面资料类似,通过频带宽门限设置、调整时变增益、去除水体和机械噪音、调整压缩比和平滑等参数,在高频和低频下,可以分别读取水深和管道掩埋深度数据,输出 ASCII

格式数据,可进行海底地层的划分和厚度计算等。

3 应用效果分析

根据同步调查时多波束和侧扫声呐所得的地形地貌资料分析(图 4、5),湄洲湾 LNG 管道路由水深 3~20.5 m,平均水深约 15m。路由区地形崎岖不平,由东向西水深变浅,地形逐渐抬高,形成东低西高的坡地。垂直管道两侧地形基本平坦,顺管道展布“U”型沟槽,管沟明显。地貌类型主要发育海底沙波等自然地貌和采砂痕迹、以及拖锚痕迹等人工地貌。

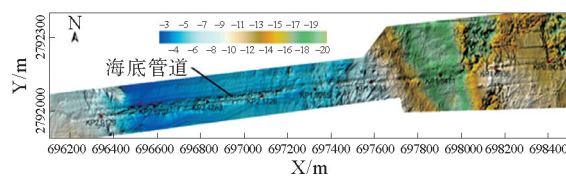


图 4 湄洲湾 LNG 管道路由区水深地形图

Fig.4 The bathymetric map of LNG pipeline routing area in Meizhou Bay

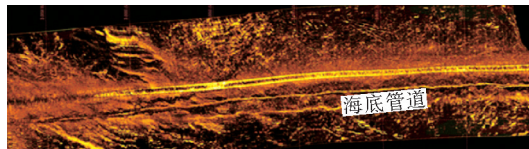


图 5 湄洲湾 LNG 管道路由区地貌图

Fig.5 The geomorphological map of LNG pipeline routing area in Meizhou Bay

根据声学反射原理,海底管道等水平圆柱状体的声学反射呈抛物线状强反射^[12-15],即管道在剖面特征图像为上凸的半圆弧。可以根据管道反射半圆弧顶部与海底之间的距离判断管道的埋藏深度及管道埋藏状态,资料解译时利用该特征先识别出管道所在位置,再计算出自海底面到管道顶部深度值之差,来判断管道赋存状态。当海况较差等原因致使获取的外业资料品质较低时,海底管道有可能因形成的假信号而难以判别,处理资料需要充分对比高频和低频海底反射信号特征,以准确获取海底管道的位置和埋深数据。另外,管道悬空与沙包回填之后信号的变化,也要结合以往的检测经验和历次检测成果对比分析,才能准确判别当前管道的真实赋存状态。本文中根据 InnomarSES-2000 实测资料,将湄洲湾 LNG

海底管道赋存状态一般分为埋藏、裸露和悬空 3 种类型(图 6),并绘制了管道埋藏剖面图(图 7),可以看出,管道大部分处于埋藏状态。

3.1 埋藏状态

埋藏管道指浅地层剖面上曲线顶部在海底之下的管道,见图 6a。管道位置的反射弧信号清晰,反射界面强,海底界线明显,对沙包回填治理后的管道也能有效探测,易于识别。海底面以下沉积层组不连续,海底下凹为当时开挖掩埋的管沟,管道埋藏于海底面以下,管道处于稳定状态。根据反射曲线顶部与海底面的高度差,得出管道埋藏深度,经计算,湄洲湾 LNG 海底管道约 85% 处于埋藏状态,平均埋深 1.5 m。

3.2 裸露状态

裸露管道指管道顶部出露于海底表面之上的

管道,且裸露高度小于管道直径。浅地层剖面显示反射弧圆滑,能量强且清晰,剖面图上可直观判断位置,见图 6b。说明管道出露位置处于强冲刷作用的区域内,管道状态不稳定,存在悬空的可能。经结果分析,湄洲湾 LNG 海底管道约 10% 处于裸露状态,平均裸露高度 0.3 m。

3.3 悬空状态

悬空管道指管道顶部离海底的高度大于管道外径,即管道下部与海底不接触,存在悬空或半悬空状态,一般为海流侵蚀管道底部造成。悬空管道的最大特点就是信号圆滑清晰,屏蔽现象明显,弧状信号之中无绕射现象(图 6c)。实测表明,InnomarSES-2000 浅地层剖面仪对悬空管道反射作用强,湄洲湾 LNG 海底管道约 5% 处于悬空状态,主要位于管道近岸段水流冲刷严重的区段,需回填治理。

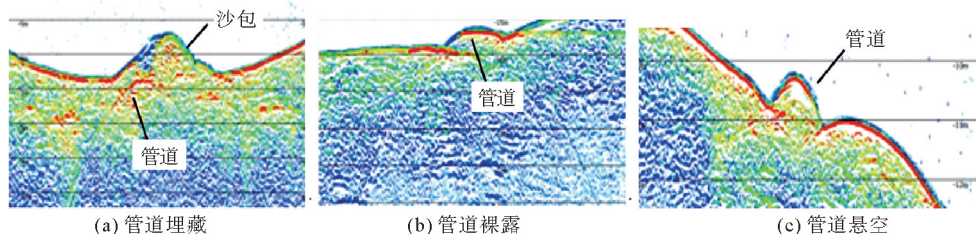


图 6 湄洲湾 LNG 海底管道赋存状态实测图

Fig.6 The real situation of LNG pipeline under the sea

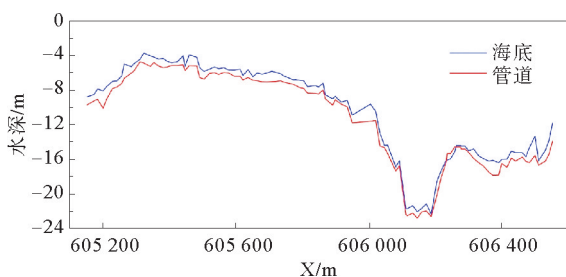


图 7 湄洲湾 LNG 管道埋藏剖面图

Fig.7 The profile graph of buried LNG pipeline in Meizhou Bay

4 结论

通过对湄洲湾 LNG 海底管道检测的实际应用,证明参量阵浅地层剖面仪 InnomarSES-2000

具有分辨率高、抗干扰力强和较好的穿透性能,能获得高品质的管道检测数据,在海底管道的检测中应用效果良好。利用 Innomar SES-2000 获取的高分辨率管道剖面图,根据管道埋藏深度将湄洲湾 LNG 海底管道赋存状态分为埋藏、裸露和悬空等 3 类,整体管道以埋藏为主。检测数据能准确高效地揭示出管道的海底赋存状态和管道所处的地形情况,为海底管道的安全运行和治理施工效果的评价提供了科学依据和技术支持。

参考文献:

- [1] 王继立,黄潘阳,胡涛骏,等. 浅地层剖面仪在海底管道检测中的应用[J]. 船舶工程,2013,42(3):161-163.
- [2] 徐国强,开发庆,阙长宾,等. 浅海海底管道探测技术探讨[J]. 海岸工程,2013,32(2):20-29.
- [3] 蔡春麟,张异彪,顾兆峰. 参量阵浅地层剖面技术在海底管

- 道检测中的应用[J].海洋地质动态,2007,23(4):38-42.
- [4] 来向华,潘国富,傅晓明,等.单波束测深技术在海底管道检测中的应用[J].海洋工程,2007,25(4):66-72.
- [5] 韩孝辉,李亮,苟鹏飞.探测海底输油气管线状态的方法[J].工程地球物理学报,2017,14(6):633-639.
- [6] 孟宪阔,严天赦.常用海底管道探测技术比较分析[J].港工技术,2017,54(2):109-113.
- [7] 李颂文.参量阵及其在水声工程中的应用进展[J].声学技术,2011,30(1):13.
- [8] 祝鸿浩.参量阵浅地层剖面技术研究[D].上海:上海船舶电子设备研究所,2015,3:7-10.
- [9] 褚宏宪,赵铁虎,史慧杰,等.参量阵浅地层剖面测量技术在近岸海洋工程的应用效果[J].物探与化探,2005,29(6):526-532.
- [10] 侯志民,施健,胡斌.侧扫声纳和浅地层剖面仪在海管断裂点定位中的应用[J].海洋测绘,2017,37(1):79-82.
- [11] 张伟,孙伯娜,王朝,等.海底管线路由探测方法研究[J].港工技术,2015,52(6):111-113.
- [12] 杨敏,宋涅,王芳,等.掩埋海底管线探测方法及新技术应用研究[J].海洋科学,2015,39(6):129-132.
- [13] 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.
- [14] 李斌,杨文达,张异彪,等.海底管道的浅地层剖面图上反射特征与判读方法[J].海洋测绘,2012,30(5):56-59.
- [15] 周兴华,姜小俊,史永忠.侧扫声纳和浅地层剖面仪在杭州湾海底管线检测中的应用[J].海洋测绘,2007,27(4):64-67.

APPLICATION OF SES-2000 SUB-BOTTOM PROFILER TO DETECTION OF LNG SUBMARINE PIPELINES IN THE OFFSHORE FUJIAN PROVINCE

SONG Yongdong¹, YANG Huiliang^{2*}, LUAN Zhendong^{1,3*},

WANG Bing¹, LIAN Chao³, YAN Jun¹

(1 Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2 Qingdao Institute of Marine Geological, China Geological Survey, Qingdao 266071, China;

3 Center of Deep Sea Research, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: In order to ensure the safety of submarine oil and gas pipelines, it is important to know the status of submarine pipelines with time. SES-2000 acoustic sub-bottom profiler is selected as the tool for a case study in Meizhou Bay of Fujian province. In this paper, we briefly introduced the principles and features of the sub-bottom profiler, and presented the results of the study case. Buried, exposed and suspended submarine pipelines are effectively identified, and especially the pipe system after sand bag back filling is effectively detected. The application results suggest that SES-2000 sub-bottom profiler has high resolution and strong penetration. It may effectively acquire high-quality pipeline data for application and provide scientific evidences and technical supports for the maintenance of submarine pipelines.

Key words: SES-2000 sub-bottom profiler; submarine pipeline detection; existence state; Meizhou Bay