

侧扫声呐探测原理及其在海管悬空治理检测中的应用

安永宁^{1,2}

(1.交通运输部 天津水运工程科学研究所,天津 300456;
2.天津市水运工程测绘技术重点实验室,天津 300456)

摘 要:根据悬空海底管线治理后的水下结构特点,主要可分为非透空式和透空式两类,其在侧扫声呐探测图像上有着各自不同的反射特征,据此原理可采用侧扫声呐探测方法进行悬空海管治理效果的检测与评估。通过对实际工程中不同治理方式下悬空海管的声呐探测图谱进行总结与分析,揭示了采用侧扫声呐进行悬空海管治理检测的声学解译方法及应用效果。悬空海管在治理前,管线下方与海底面之间的空隙反映到声呐图谱上,表现为管线强反射与声学阴影区之间存在海底面透空反射。如果采用“抛填砂袋结合覆盖层”等非透空式方法治理,由于空隙被填充,声呐图谱上的透空反射会消失,且管线强反射图像会粗化,呈现颗粒状;如果采用“水下短桩支撑”等透空式方法治理,在声呐图谱上只是增加了水下短桩的反射特征,而声学透空反射仍然存在。

关键词:侧扫声呐;海底管线;悬空;抛填砂袋;水下短桩

中图分类号:P229.5

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2017)02-0058-05

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2017.02.007

海底管线是海上油气田的生命线,其运行状况直接关系到海上油气田的安全。海底管线所处的海洋环境状况复杂,潮流、波浪、潮汐、风暴潮、海洋灾害地质等外营力作用都会对海底管线产生一定的影响,特别是在平台井架附近,人工构筑物的修建改变了局部流场,使得水动力条件加强,通常会在平台周边产生冲刷,因此,平台根部的海底管线更易裸露和悬空。

胜利油田坐落于沉积物松散、泥沙活动强烈的黄河三角洲区域,2009—2011 年对该区域内 128 条海底管线的调查结果显示,总长 227.7 km 的海底管线,悬空部分总长达到了 10.8 km,占比为 4.74%。在唐山沿岸海域、辽东湾海域,由于较强的水动力以及海管的长期服役,部分海底管线也已出现了较多的悬空段。海底管线悬空是安全生产的重大隐患,当悬空管线的悬跨长度超过允许范围时,应及时进行治理。

1 悬空管线治理方法简述

对于海管的悬空治理方法,已有很多学者进行过研究,大多已被应用于工程实际,包括:抛填砂袋结合覆盖层、水下短桩支撑、抛填砂袋结合仿生草覆盖、水下桩结合仿生草覆盖等^[1-3]。本文根据治理后水下结构物形式的不同,将上述治理方法分为两类:非透空式治理和透空式治理。

以“抛填砂袋结合覆盖层”法为例,其治理方法是:在悬空管道及其周围一定范围内抛填重约 30 kg 的砂袋,在抛填砂袋过程中由潜水员对砂袋进行整理,保证悬空管线底部填满砂袋,抛理砂袋完成后,再在管道上铺设覆盖层。显然,经“抛填砂袋结合覆盖层”法治理后,管线与海床面的空隙被填充,形成非透空式结构。

收稿日期:2017-02-13

资助项目:国家重点研发计划项目——基于多源观测数据联合反演的海啸预警技术研究及应用(2016YFC1401506);国家自然科学基金项目——南海北部陆坡白云深水区海底斜坡失稳的发育特征及主控因素研究(41306057)

作者简介:安永宁(1981-),男,高级工程师,硕士,主要从事海洋工程调查评估方面研究.E-mail:tksayn@qq.com

(王 燕 编辑)

再以“水下短桩支撑”法为例,其原理是在管线悬空段设置支撑支架,以减小横向和纵向振动幅度,防止在水流作用下产生的涡激振动引起管线断裂;具体思路是沿悬空管线设置水下短桩支撑,以缩短管线悬空跨长,水下钢管桩沿悬空管线两侧交替设置,桩入土均约 15 m,每一钢管桩在靠近海管附近位置设有悬臂梁。可见,经“水下短桩支撑”法治理后,管线与海床面之间仍然存在空隙,为透空式结构。

非透空式治理和透空式治理后的实际效果,均可通过侧扫声呐探测方法进行检测。

2 侧扫声呐检测原理

侧扫声呐技术运用海底地物对入射声波反向散射的原理来探测海底形态,它能直观地提供海底形态的声成像。通过声呐线阵向左右两侧发射扇型波束,海底反向散射信号依时间的先后被声呐线阵接收,有一定高度的海底障碍物在侧扫声呐资料上能产生“阴影”^[4-7]。通过对不同的成像条件下得到的声呐图谱中“阴影”的研究,可以判断海底管线的状态为透空还是非透空,从而评价悬空管线治理效果。

当海底管线状态为悬空时,侧向发射的声呐波束首先遇到管线形成强反射,其反射时程最短,最先成像在声呐图谱上;管线下方与海床面之间的空隙(空隙高度即为悬空高度)可允许声呐波束穿过,形成“声学透空区”,其反射时程次之,在声呐图谱上位于管线强反射外侧;管线本身会遮挡一定宽度范围的声呐波束穿过,形成“声学阴影区”,其理论反射时程最长,在声呐图谱上位于“声学透空区”外侧。如此,悬空管线形成的声呐图谱由近及远依次为:管线强反射、“声学透空区”海底面反射、“声学阴影区”空白反射(图 1a)。

当悬空管线经过非透空式治理之后,侧向发射的声呐波束首先遇到管线及其下方支撑的砂袋,形成较强反射,其反射时程最短,最先在声呐图谱上成像;同时,管线及其下方支撑的砂袋本身会遮挡一定宽度范围的声呐波束穿过,形成“声学阴影区”,其反射时程较长,反映到声呐图谱上,就是在管线与砂袋强反射外侧成像。如此,悬空治理之后管线形成的声呐图谱由近及远依次为:管线和砂袋的强反射、“声学阴影区”空白反射(图 1b)。

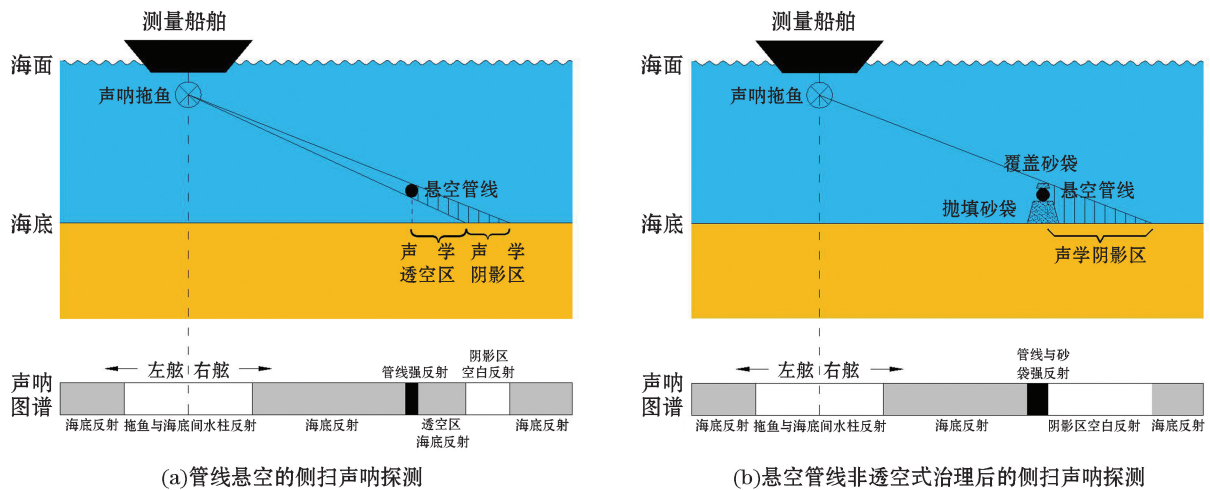


图 1 悬空管线治理前后侧扫声呐探测原理

Fig.1 Detection principle of side scan sonar before and after the treatments of the suspended submarine pipelines

当采用水下短桩支撑等透空式方法治理时,在水下短桩处会产生图 1b 所示的波束路径和声呐图谱,而两管线桩之间区域的反射特征相当于管线悬空时的探测结果(图 1a)。

3 工程实例

在使用侧扫声呐探测时,选择较高的频率可得到较高的分辨率,较近的探测距离与较小的量程设置可获

取更为清晰的声呐图像,但并不是探测距离越近越好,试验发现,当发射声波与海底面的夹角保持在 20° 左右时,管线悬空的探测效果最为理想^[8]。另外,当管线下部海底面存在凹坑等负地形时,其反射特征容易与管线在声呐图谱上的“阴影”混淆,可在悬空管线周围以不同方位、不同距离进行探测,获取丰富的探测资料,有助于减少资料解译中的误判。

本文在海上作业时,采用的侧扫声呐设备为美国 EdgeTech 公司生产的 4200-MP 型双频侧扫声呐,选择其高频(410 kHz)进行测量,在保证能探测到目标的前提下,尽量选择较小的量程,而且,每条测线都进行正反向重复测量,以便能够剔除由偶然因素引起的图像干扰。在平台附近,当测量受到平台结构物影响时,根据平台与管线的相对位置、海流状况等因素,灵活地调整探测角度与距离。

3.1 非透空式治理后的探测结果

经“抛填砂袋结合覆盖层”方法治理后的检测实例如图 2 所示。可以看出,以不同的角度探测,治理后的管线悬空段总是沿着声呐波束的发射方向形成“声学阴影区”,该区表现为能量空白的反射特征,“声学阴影区”时大时小,与探测角度、测线与管线的相对位置等相关,这也进一步表明它不是海底凹陷等负地形的反射特征。同时,“声学阴影区”与“管线、砂袋强反射区”相邻,中间没有悬空管线特有的“声学透空区”,表明抛填砂袋位于悬空管线正下方,自海底面至管线处形成一道“墙”,阻挡了声呐波束的穿过。此外,治理后的悬空管路段强反射图像有粗化现象,呈现出“颗粒状”,这是管线下部抛填、上部覆盖的砂袋堆垒后的反射特征,也可以看作经治理后,声呐图像从管线的反射特征演化为微型砂坝的反射特征。在图 2a 中,量取测量水深、管线距声呐拖鱼的距离、“阴影”宽度等参数后,通过几何关系计算可得管线及砂袋的高度约 1.0 m,结合治理前资料给出的 0.7 m 的悬空高度,可知,治理后管线上方覆盖层的厚度约为 0.3 m。

在图 2b 中还可看出,治理管线北侧有一条管线处于悬空状态,其反射特征为:在管线强反射区外侧有一段宽约 2 m 的“声学透空区”,再外侧是“声学阴影区”。由几何关系计算可得其悬空高度约为 0.7 m。

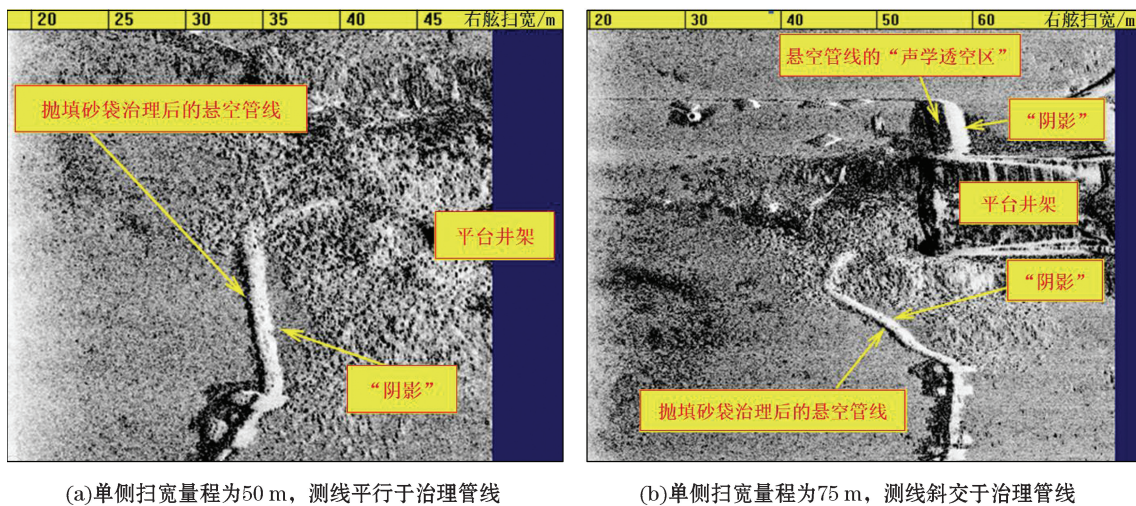


图 2 非透空式治理后的声呐探测图像

Fig.2 Side scan sonar image after treated with the non-permeable method

3.2 透空式治理后的探测结果

图 3 为经“水下短桩支撑”方法治理后的检测实例。可以看出,在海管悬空段共打入了 4 根水下钢管桩,水下钢管桩交替设置于悬空管线两侧,其中,近平台侧的两根设于管线右侧(从阅读者角度看),其余 2 根设于管线左侧,4 根水下短桩将悬空段分成了 5 小段,有效减小了悬跨长度,降低了管线在涡激振动后受损的

风险。

在水下短桩位置处,钢管桩强反射与管线强反射的图像交叉,反映出水下钢管桩与管线存在接触关系,交叉点处较粗的强反射是支撑悬臂梁的反射特征,钢管桩强反射外侧即是“阴影”,而位于水下短桩之间的区域,管线强反射与“阴影”之间还存在一定宽度的“声学透空区”。图 3 中的“声学透空区”宽度较大,通过几何关系计算得出,该管线的最大悬空高度约 1.9 m,悬空情况较为严重。

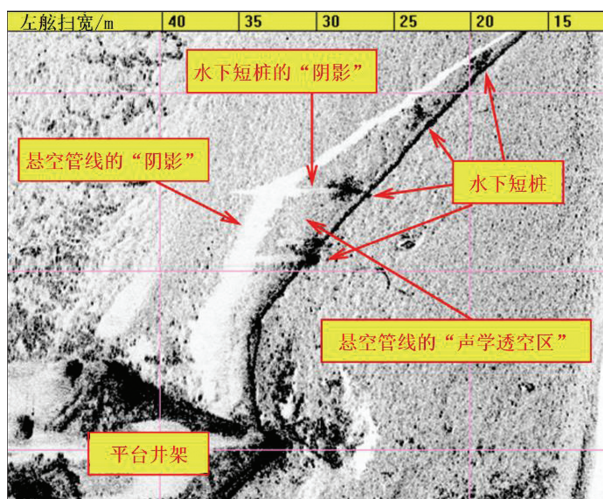


图 3 透空式治理后的探测图像

Fig.3 Side scan sonar image after treated with the permeable method

4 结 语

本文通过分析侧扫声呐探测海底障碍物的成像原理,探讨了侧扫声呐在海管悬空治理效果检测中的应用,并分别以“抛填砂袋结合覆盖层”和“水下短桩支撑”治理效果检测为例,进一步说明了侧扫声呐在非透空式与透空式治理中的探测结果和声图解译情况。非透空式治理后海管在声呐图谱上的反射特征依次为:管线强反射、“声学透空区”海底面反射、“声学阴影区”空白反射;透空式治理后依次为:管线与砂袋的强反射、“声学阴影区”空白反射。

运用侧扫声呐探测技术检测悬空管线的治理效果方便快捷、图像清晰、方法可行。在悬空管线周围以不同方位、不同距离进行多次探测,有助于减少资料解译中的误判。如需查明抛填砂袋的具体形态、详细分布、精确厚度等其他信息,还可结合多波束测深或水下扫描声呐探测等其他测量方法。

参考文献:

- [1] MIAO W C. Analysis and settlement of hidden trouble of pipeline on Chengdao Seabed[J]. Petroleum Engineering Construction, 2004, 30(3): 48-50. 苗文成. 埕岛海域海底管道隐患分析及治理[J]. 石油工程建设, 2004, 30(3): 48-50.
- [2] MENG F S, XU A M, LI J. Control of hanging problem of offshore subsea pipeline[J]. China Offshore Platform, 2006, 21(1): 52-54. 孟凡生, 徐爱民, 李军. 滩海海底管线悬空问题治理对策[J]. 中国海洋平台, 2006, 21(1): 52-54.
- [3] YANG B Z. Suspension hazard of submarine pipeling risers and treatment problem[J]. Shipbuilding of China, 2009, 50(Suppl.): 621-627. 杨宝真. 海底管线立管悬空的危害及治理方案[J]. 中国造船, 2009, 50(增刊): 621-627.
- [4] XU F, CONG H W. Acoustic image analysis of side scan sonar[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2001(1): 58-61. 许枫, 丛鸿文. 侧扫声呐声图判别[J]. 海洋测绘, 2001(1): 58-61.
- [5] YANG K, SUN Y J, SUI H C, et al. Application of investigation of sub-bottom profile sidescan sonar in Boxi oil field project[J]. Journal

- of Waterway and Harbour, 2003(1): 43-47. 杨鲲, 孙艳军, 隋海琛, 等. 声纳和浅剖在渤西管线物探调查中的应用[J]. 水道港口, 2003(1): 43-47.
- [6] ZHOU X H, JIANG X J, SHI Y Z. Application of side scan sonar and sub-bottom profile in the checking of submerged pipeline in Hangzhou Bay[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2007, 27(4): 64-67. 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.
- [7] WEI R H, CHEN T X, GUO C. Application of side-scan sonar in suspended submarine pipeline investigation[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2014, 34(2): 63-65. 魏荣灏, 陈铁鑫, 郭晨. 侧扫声纳系统在海底管道悬空调查中的应用[J]. 海洋测绘, 2014, 34(2): 63-65.
- [8] JIANG J J, TANG M Q, ZHENG X L. Application of side-scan sonar in suspended submarine pipeline investigation[J]. China Science and Technology Information, 2008(14): 49-51. 蒋俊杰, 汤民强, 郑西来. 侧扫声纳系统在海底管道悬空调查中的应用[J]. 中国科技信息, 2008(14): 49-51.

Detection Principle of Side Scan Sonar and Its Application in Treatment and Detection of Submarine Pipeline Suspension

AN Yong-ning^{1,2}

(1. Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, M.O.T., Tianjin 300456, China;

2. Tianjin Key Lab of Survey Technology for Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China)

Abstract: According to the underwater structural characteristics of the submarine pipelines after their treatment, the treatments of pipeline suspension can be mainly classified into two types: the non-permeable type and the permeable type. These two types of pipeline suspension treatment have different acoustic reflection features in the side scan sonar images. According to this principle, side scan sonar can be used to detect and evaluate the effect of the suspended submarine pipeline treatment. By summarizing and analyzing the sonar images of the suspended pipelines which have been treated by means of different methods in real projects, the acoustic interpretation method and application effect by using side scan sonar for treating and detecting the suspended submarine pipelines are revealed. Before the treatment of the suspended pipelines, the gap between the bottom of the suspended pipelines and the surface of the seabed shows in the sonar images that there exists a permeable reflection along the seabed surface between the intense acoustic reflection of the pipeline and the acoustic shadow. After the treatment, two phenomena occur in the sonar images, depending on the treatment methods adopted. If the suspended pipeline is treated with the non-permeable method such as “filling with sand bags and together with cap rocks”, the permeable reflection in the sonar image can disappear due to the filling of the gap and the intense reflection of the pipeline becomes bolded and shows a granular shape; If treated with the permeable method such as “underwater short pile support”, the only change in the sonar image is the adding of the reflection of the short piles, and the permeable reflection of the gap still exists.

Key words: side scan sonar; submarine pipeline; suspended pipeline; filling with sand bags; underwater short piles

Received: February 13, 2017