

掩埋海底管道探测方法及新技术应用研究

Discussion methods of buried submarine pipeline detection and application of new technology

杨 敏^{1,2}, 宋 涅¹, 王 芳³, 官文宁⁴

(1. 中国海洋大学, 山东 青岛; 2. 国家海洋局 北海海洋技术保障中心, 山东 青岛; 3. 国家海洋局 烟台海洋环境监测中心站, 山东 烟台; 4. 国家海洋局 北海标准计量中心, 山东青岛)

中图分类号: P714+.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2015)06-0129-04
doi: 10.11759/hyxx20141210001

在海洋油气资源开发中, 最常用和有效的油气运输方法是使用海底管道进行输送, 因此, 随着海洋油气资源的不断开发, 海域内所铺设的海底管道数量越来越多, 密度不断增高, 种类越来越复杂。这些海底管线长期在海洋复杂环境下工作, 出现悬空、平面位移、管体损伤等情况, 与原始设计状态有很大差异, 但未得到精确探测与校核, 存在很多事故隐患, 对环境和生产造成极大的威胁^[1]。因此, 准确探明海底管道的状态和位置, 评价其安全风险, 对于预防和排除安全隐患非常重要^[2]。另一方面, 我国的海底管道铺设历史已有数十年, 目前早期的海底管道已经或者即将超过其设计使用年限, 对于到期的海底管道处置提上议程, 搁置海底肯定不是办法, 最好的办法还是将其捞起后集中处置, 为便于打捞, 准确探明其位置和状态也非常必要。

目前国内外探测海底管道的方法很多, 通常有人工潜水探摸、ROV 技术、测深技术(包括多波束测深)、侧扫声呐、海洋磁力仪、浅地层剖面仪等^[2]。这些方法和技术, 大部分是对出露海底的管道有很好的探测效果, 而对于掩埋的海底管道探测手段相对单一而不系统, 准确探测掩埋海底管道的埋深和状态仍然是世界性难题。针对这一问题, 本文将探讨掩埋海底管道探测方法和新技术应用, 提出综合的探测建议。

1 掩埋海底管道探测方法

掩埋海底管道的探测, 目前实际应用的手段不多, 主要是磁力探测和浅地层剖面仪探测, 以后者为主要手段。

1.1 磁力仪探测

海洋磁力仪是在磁法勘察基础上发展起来的, 是一种测量地球磁力场精度很高的磁场测量设备, 是地球物理调查的重要内容, 特别是在海洋地球物理调查中, 大面积地震调查比较困难, 所以磁法勘察就更为重要。世界各国对海洋调查越来越重视, 磁法勘察仪器也得以快速发展。经过几十年的发展, 海洋磁力仪在灵敏度、分辨率和精度等方面有了很大提高, 并出现了多种类型的海洋磁力梯度仪。

磁力仪利用岩土介质之间的磁性差异所引起的磁场变化来查明海底构造或解决其他地质问题^[1]。海洋磁力仪的应用范围很广, 除了包括科研方面的常规地球物理调查外, 在工程方面的应用也越来越广泛, 在诸如海底油气管线、海底光缆及通讯电缆调查, 在海洋石油工业中的钻探井场调查, 事故处理方面海底沉船、失事飞机的寻测等, 都广泛使用海洋磁力仪。在环境保护方面, 对河流、湖泊、港口的污染沉积物探测等等。磁力仪在军事上的作用也越来越受到重视, 如在反潜、搜寻海底军火等方面的应用。

海洋磁力仪应用于海底管道探测, 是因为海底管道使正常的磁场分布发生了变化, 从而产生了磁异常, 就可以利用磁力仪探测出这些磁异常的分布。磁力仪可以探测各种不同直径的海底管道, 但只能探测其平面位置, 不能探测其悬空或埋藏深度, 并

收稿日期: 2014-12-18; 修回日期: 2015-02-12

基金项目: 国家海洋局北海分局科技基金项目 (2014B14)

作者简介: 杨敏(1981-), 山西太原人, 高级工程师, 主要研究方向为岩土工程、海洋技术, 电话: 0532-58761207, Email: yangmin@bhfj.gov.cn

且只能探测金属物体,对于非金属材料管道无能为力。需结合声呐、多波束和浅地层探测等资料进行综合分析^[1]。

1.2 浅地层剖面仪探测

浅地层剖面仪是20世纪60~70年代问世的一种水下声波探测系统,它所发射的低频声波对海底有一定的穿透深度,是利用声波在介质中传播时遇到不同声学特性的分界面时会发生反向散射,接收反向散射声波并按回波的时间先后、并用灰度等级或色彩来表征回波的强度在平面上绘制出好象瀑布一样的剖面图,这种平面图可以直观的看到水底以下地质构造情况。地层剖面仪广泛应用于海洋地质调查、港口建设、航道疏浚、海底管线布设以及海上

石油平台建设等方面。与钻孔取样相比,利用剖面仪进行地质调查具有操作方便,探测速度快,记录图像连续且经济等优点^[3]。

当地层中有管道时,由于地层与管道的界面两侧声阻抗差异较大,容易形成强烈的反射波,同时在这一界面处常常产生绕射波,而绕射波在时距剖面图像上为双曲线反映,双曲线顶部位置距航迹的直线距离最近,在浅剖图像中,埋藏管道的双曲线顶部位于海床面以下,可以据此判断管道埋藏深度;出露管道的双曲线顶部位于海床面之上,可以据此判断管道的暴露高度(图1)。由上面论述可知,浅地层剖面可以探测埋藏海底管道,通过时距剖面上的特征图像就能确定管道的位置及其埋深^[4]。

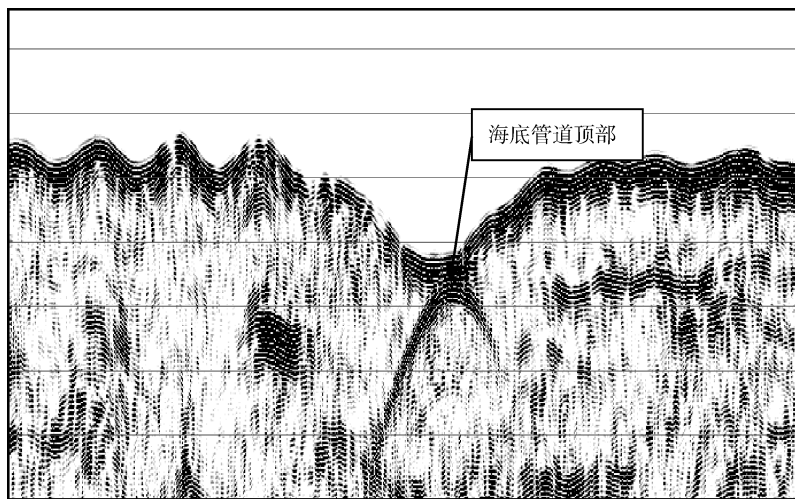


图1 浅地层剖面记录图谱记录的埋藏海底管道

浅地层剖面仪根据频率和功率的不同,分为深层、中层、浅层多种穿透能力的不同类型,海底管道探测一般使用高频、高分辨率、穿透较小的剖面仪,通常称为管线探测仪,主要有 SES-96、SES2000 参量阵剖面仪、Chirp III 浅地层剖面仪、EdgeTech 3100P 便携式浅地层剖面仪,这些设备一般使用高频高分辨技术,垂向分辨率可以达到几厘米。因为海底管道管径一般在20~100cm,埋深一般不大于2m,高分辨剖面仪对其有很好的探测效果。

但是剖面仪有其固有的缺陷,在探测作业时测线必须垂直于海底管道轴向才能探测到管道,作业时测线布设基本原则是垂直管道走向布设,一般采用以管道的走向为轴线,按“Z”字形走航测量的方式来进行测量,平行管道布设测线探测不出管道。这样大大降低了探测效率和作业难度,并且探测的

仅仅是测线和管道相交时的一个点,不能连续探测管道。

2 新技术应用

为解决埋藏海底管道的探测难题,世界各国都在探索有效的探测技术,其中低频合成孔径声呐技术是其中之一,随着不断的技术进步,这项技术逐渐趋于成熟,接近应用的水平。同时,近一两年国外出现了三维海底成像系统。

2.1 合成孔径声呐

合成孔径声呐是国内外海洋探测领域的研究热点和前沿之一,它通过二维或三维的成像结果,使人们获取对水底地形地貌直观而准确的资料。合成孔径声呐是一种高分辨率成像声呐,是成像声呐新

的发展趋势。基本原理是利用小尺寸基阵沿空间的匀速直线运动来虚拟大孔径的基阵，从而获得沿运动方向的高分辨率。做法是在运动轨迹上的顺序位置发射并接收回波信号，根据空间位置和相位关系，对不同位置的回波信号进行相干叠加处理进而获得运动方向的高分辨率。

合成孔径技术主要有两项优点，一是对目标的分辨能力与距离和采用的声信号频率无关，因此既

可以采用高频信号进行高分辨率成像，也可以采用低频发射信号进行掩埋目标的探测；二是可以采用小尺度的声呐基阵获得高分辨率的目标图像，且方位向分辨率在全测绘带上保持恒定高分辨率，不受作用距离影响。合成孔径技术兼具高分辨率的特点和沉底、半掩埋、掩埋目标的探测能力，是掩埋目标探测的理想技术。图 2 为合成孔径声呐工作原理图。

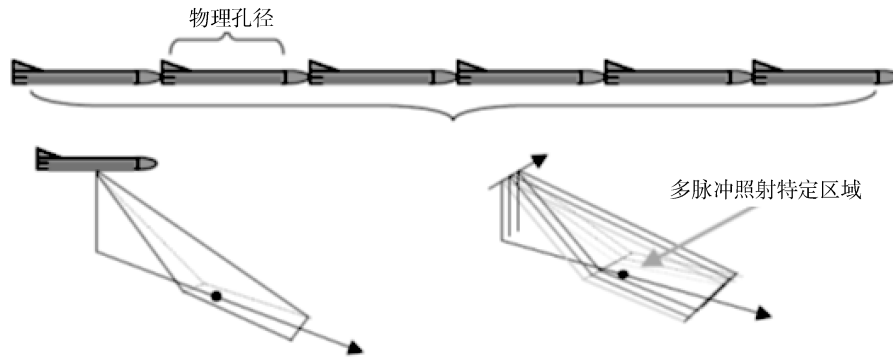


图 2 合成孔径原理图

随着水下导航和高速数字信号处理等技术的快速发展以及多子阵成像和运动误差估计等方面研究工作不断取得新的进展，合成孔径声呐(Synthetic Aperture Sonar, SAS)研究取得快速发展。在水下拖曳平台、水下无人移动平台(Underwater Unmanned Vehicle, UUV)等多种平台应用均取得重大成功；在地貌成像、沉底小目标成像、掩埋小目标成像、海底管道探测、海底光缆探测等多种任务中均取得重要进展。鉴于合成孔径声呐在国防领域和国民经济领域极具应用前景，世界各主要海洋国家均在大力发展合成孔径声呐技术。目前，法国、美国、英国、意大利、中国等国家在合成孔径声呐领域处于领先地位。

国内目前有高技术企业先后生产了高频合成孔径声呐(110kHz)，低频合成孔径声呐(12kHz)，中频合成孔径声呐(20kHz)以及高低频双频合成孔径声呐。完成了多型拖曳式合成孔径声呐设备生产的同时，还完成了 UUV 合成孔径声呐设备的研制。在双频合成孔径成像技术方面居于国际领先地位，生产的双频合成孔径声呐工程样机，多次进行海上试验，实现了对水下掩埋目标的探测。

双频合成孔径声呐在进行海底管道探测时，最大可探测 300m 范围，探测深度可达 2m。在探测范围内，无论管道怎么走向，都可以探测出连续的管

道图像(图 3)，并很方便的对海底管道进行跟踪探测。这很好的解决了浅地层剖面仪只能垂向交点探测的不足，大大提升了探测精度和工作效率，是掩埋海底管道探测的有效技术手段。

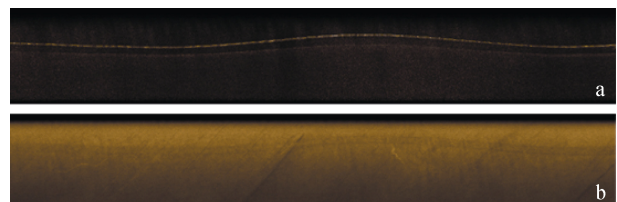


图 3 海底石油管线成像结果(a.低频图像, b.高频图像)

双频合成孔径声呐探测的不足是，目前对掩埋深度只能进行定性判断，尚不能定量的计算埋藏深度。在以后解决了埋深计算的问题后，低频合成孔径声呐是比较完美的掩埋海底管道探测技术。

2.2 三维海底成像系统

所谓三维海底成像系统，是通过高低频探测技术的组合设计，加上高效率的处理软件，形成对一定尺度和范围海底的三维探测成像记录，在三维记录图中，可以准确判断地层及其中的物体(包括掩埋海底管道)的尺度。目前正在国内推广的如 Sub-Bottom Imager (SBI)海底成像器，可以对海底以下 5m × 5m(宽 × 深)的地层形成测绘带，可以达到

10cm 的三维分辨率, 并且可以装配到船舶、ROV、AUV 等平台, 具有一定的灵活性(图 4, 图 5)。

应用于掩埋管道探测虽然准确性高, 缺点也比较明显, 一是由于探测范围小, 需要很好的定位能力, 很难准确的定位在管道的位置上; 二是效率较低, 成本高。



图 4 三维海底成像系统工作示意图

3 结论

通过上面的分析, 掩埋海底管道探测技术有多种^[5-6], 都有其优点, 也都有其局限性, 表 1 列出了各种技术优缺点的对比。

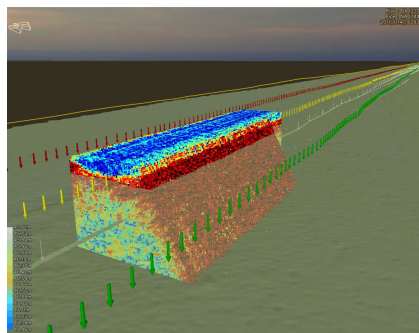


图 5 三维海底成像系统工作效果图

表 1 各种探测技术对比

	磁力仪	浅地层剖面仪	合成孔径声呐	三维海底成像系统
优点	探测磁力场变化, 只 能推测大体位置	二维信号探测, 在垂向经过管 道上方时可探测埋深	三维探测, 可快速准确确定 埋藏管道位置, 可追踪探测	带状探测, 三维海底地层成像, 可准确计算埋深, 分辨率高
缺点	不能探测埋深, 不能 探测非金属管道	位置精度较差, 不能保持在管 道上方, 探测效率低	目前不能准确计算埋深, 只 能定性推测	不能保持在管道上方, 对载体 要求高

准确探测掩埋海底管道位置和状态是一个世界性难题, 虽然有多种仪器设备可以进行探测, 但由于各种仪器本身功能的局限, 很难一种设备兼具准确和高效。在目前情况下, 最可行的办法是综合运用多种手段^[7-8], 进行掩埋海底管道状态的探测。在上面介绍的几种方法中, 首先使用磁力仪和合成孔径声呐技术, 初步确定掩埋海底管道的位置和粗略掩埋情况, 对于需要精确探测埋深的路由段, 使用浅地层剖面仪进行探测, 确定准确埋深。这样综合运用探测手段, 充分发挥各仪器设备的特长, 达到既提高探测效率, 又满足准确性的要求。同时在进行数据处理时, 将磁力仪、合成孔径声呐、浅剖等数据进行综合分析, 对各项探测结果进行相互检核, 从而最终确定管道在海底的准确位置和状态。

参考文献:

[1] 徐继尚, 李广雪, 曹立华, 等. 海底管道综合探测技术及东方 1-1 管道不稳定因素[J]. 海洋地质与第四

纪地质, 2009, 29(5): 43-49.

[2] 徐国强, 开发庆, 阚长宾, 等. 浅海海底管道探测技术探讨[J]. 海岸工程, 2013, 32(2): 20-29.
 [3] 周兴华, 姜小俊, 史永忠. 侧扫声呐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.
 [4] 仲德林, 吴永亭, 刘建立. 埕岛海上石油平台周边海底管道与电缆的探测技术研究[J]. 海岸工程, 2004, 23(4): 32-37.
 [5] 王新怡, 连展, 李淑江, 等. 海底缆线在海洋观测中的应用[J]. 海洋科学, 2012, 11: 111-113.
 [6] 郭常升, 李会银, 成向阳, 等. 海底底质声学参数测量系统设计[J]. 海洋科学, 2009, 12: 73-78.
 [7] 王海平, 张伟, 李春雷, 等. 海底浅层地质灾害的高分辨率地震识别技术[J]. 海洋科学, 2014, 7: 103-109.
 [8] 胡洪勤. 埕岛油田海底管道冲刷及工程治理[J]. 海洋科学, 2005, 6: 13-16.

(本文编辑: 梁德海)