

海底管道在位状态调查实践

陈冠军¹, 郝高建¹, 刘在科², 冯湘子¹, 陈岱新¹

(1. 中海油田服务股份有限公司, 天津 300459; 2. 中海油研究总院有限责任公司, 北京 100027)

摘 要:根据调查设备搭载器的不同,将海底管道在位状态调查方法归为船载、自治水下机器人搭载(AUV 搭载)和无人遥控潜水器搭载(ROV 搭载)三类;在浅水段采用船载调查,在深水段采用 AUV 搭载调查,在此基础上进行重点关注区域筛选,开展 ROV 调查,最后进行整体评价和分析对比,这种“(船载/AUV)+ROV”组合模式很好地实现了多种调查方法的优势互补。实际上,采用 AUV 搭载进行海底管道在位状态调查在国内业界尚属首次。调查所取得的管道位置、埋深、周边障碍物的分布以及管道人工处理情况等成果,为后期开展管道维护工作提供了重要的基础数据。此次成功实践可为以后从浅水到深水的管道在位状态调查提供经验和借鉴。

关键词:海底管道;深水段;AUV;组合模式

中图分类号:P756.2; P714+.8

文献标识码:A

文章编号:1002-3682(2020)04-0287-10

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2020.04.007

引用格式:CHEN G J, HAO G J, LIU Z K, et al. Survey practice of submarine pipeline in-position state[J]. Coastal Engineering, 2020, 39(4): 287-296. 陈冠军, 郝高建, 刘在科, 等. 海底管道在位状态调查实践[J]. 海岸工程, 2020, 39(4): 287-296.

在储运罐、管道等油气输送工具中,海底管道具有油气输送效率高、成本低、输送量大等优点,成为油气运输最经济、快捷、可靠的方式,所以海底管道是海上油气田的“生命线”。海底管道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道产生一定的影响^[1-2],因此,有必要定期对海底管道在位状态进行调查。

海底管道在位状态的调查仪器有测深仪、侧扫声呐、浅地层剖面仪(或管线仪)、磁力仪、水下摄像机和 TSS440 管线探测仪等,各类调查方法都有优缺点。例如,测深仪、侧扫声呐以及水下摄像机都只能调查裸露海底的管道;浅地层剖面仪和磁力仪可以调查掩埋的管道,但是需要布设和管道走向垂直的测线,工作量较大,水深较深的情况下,需要对进行水下定位;TSS440 管线探测仪一般需要搭载于 ROV 上,尽量靠近管道进行调查,作业费用较高。在调查过程中应该根据实际情况运用合适的调查方法,提高调查效率,保证调查效果^[1-8]。

在充分考虑上述调查设备优缺点的基础上,本文结合调查区域内水深的不同,将调查设备与搭载平台进行合理匹配,提出了“(船载/AUV)+ROV”组合调查模式,值得一提的是,采用 AUV 搭载进行海底管道在位状态调查在国内业界尚属首次。本文的调查实践为后期开展管道评估及维护工作奠定了基础,同时也进一步丰富了海底管道在位状态调查方法体系。

1 调查方法

根据调查设备搭载平台的不同,将海底管道在位状态调查方法归为船载、自治水下机器人(Autonomous Underwater Vehicle, AUV)搭载(简称 AUV 搭载)和遥控无人潜水器(Remote Operated Vehicle, ROV)搭

收稿日期:2020-05-06

资助项目:国家“十三五”科技重大专项课题——荔湾气田群开发工程设计与监测技术集成应用与验证(2016ZX05057-001)

作者简介:陈冠军(1986-),男,工程师,硕士,主要从事海洋地球物理和海洋工程勘察方面研究. E-mail: chengj17@cosl.com.cn

(王佳实 编辑)

载(简称 ROV 搭载)三类(图 1)。本文选取位于南海的荔湾工区为调查区域(图 2),根据调查区域水深的不同,在浅水段和深水段分别采取不同的调查方法,并针对其中的重点关注区域开展了 ROV 搭载调查,取得了良好的调查效果。

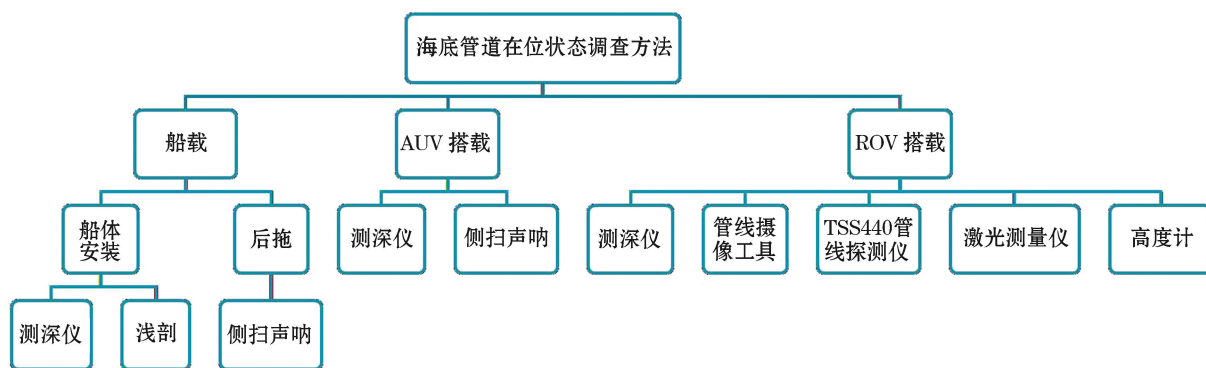


图 1 海底管道在位状态调查方法

Fig.1 Methods for the survey of submarine pipeline in-position state

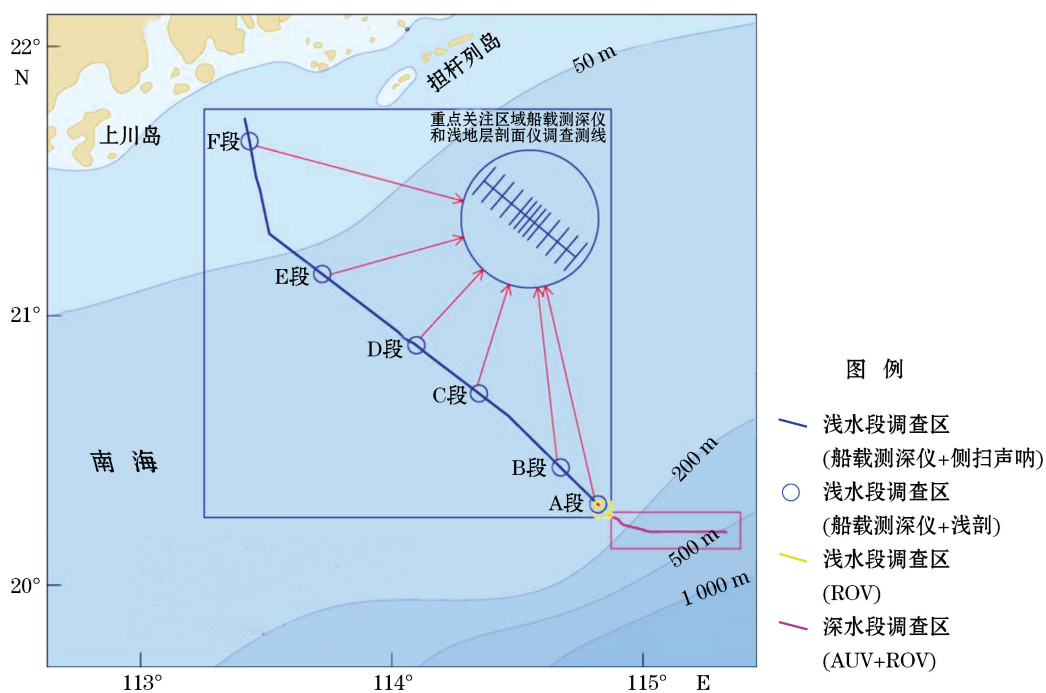


图 2 海底管道调查位置

Fig.2 Survey location map of the submarine pipeline

1.1 船载

船载可具体划分为船体安装和后拖两种方式,常用到的调查设备有测深仪、浅地层剖面仪(简称浅剖)和侧扫声呐等,在调查中常常需要多种调查设备相组合,以达到最佳调查效果^[1,7-8]。

本文先使用“船体安装测深仪+后拖侧扫声呐”对调查区域浅水段海底管道进行全覆盖调查,再根据调查结果,对裸露、悬跨、人工跨越处理等重点关注区域,开展“船体安装浅剖”的组合调查(表 1),这种多设备

组合应用调查方法很好地满足了调查需求,也大大地提高了调查效率。

表 1 船载调查所用设备特点及调查效果

Table 1 The characteristics and surveying results of the equipment used in shipbore survey

调查设备	测线布设	优 点	缺 点	本次调查效果
测深仪	平行于海底 管道走向	直观、高效、分辨率高,作业效率高	无法探测完全掩埋的管道,水深较大时,难以确定管道的赋存状态	两者相结合,进行较大范围调查,具有效率高,效果好的特点,可识别出一些裸露、悬跨、人工跨越处理等区段
侧扫声呐		形象直观、分辨率高、扫描宽度大	无法探测完全掩埋的管道,位置精度较差	
浅地层剖面仪	垂直于海底 管道走向	能探测裸露和掩埋管道的位置和埋深	盲探工作量大,效率低;对管径小于 101.6 mm 的管道探测效果差	针对重点关注区域开展调查,获取海底管道的在位状态数据

1.2 AUV 搭载

随着调查区域水深的增加,船载多波束测深仪的波束脚印变大、分辨率降低,对海底管道的准确识别存在一定的难度,因后拖设备的拖缆长度增加,拖体在水下的高度和位置不易控制,资料质量不易保证,这都极大地增加了作业难度,降低了作业效率,影响了作业效果,所以在深水段为了弥补这些不足,引入了 AUV 搭载调查。

AUV 搭载调查段水深为 300~500 m,AUV 搭载调查用到多种海洋调查设备,通过预编程模式下潜到预定工作深度,依靠 AUV 系统自身的能源动力系统,在调查区域内维持海底以上一定的高度,按照预定测线全自动开展调查作业^[9-10],待作业结束之后回收至母船,进行资料分析。

1.3 ROV 搭载

ROV 搭载采用检测数据管理系统(Survey Information Management System,SIMS)可以集数据、事件、视频、数据处理和成果于一体,三维同步展示海底管道的在位状况,对海底管道周围的垃圾、受损、修复、阳极和悬空等情况可以做到细致调查,可快速查找和检查任意位置的细节,极大地方便了后期的资料处理。本次作业使用的 ROV 搭载了多波束测深仪、TSS440 管线探测仪、激光测量仪和高度计等多种设备,用以满足近平台、近岸段、登陆段以及不同水深条件下的调查需求^[10-11]。

对船载和 AUV 搭载调查成果进行综合分析,选取悬空、悬跨、珊瑚礁和沙波区等重点关注区域,操作 ROV 搭载沿着海管中心慢速前行进行调查,获取准确的位置信息,测得水深、埋深、悬跨长度等基础数据,查清管道在位状态、管道悬跨人工支撑状况、海底障碍物分布状况、管道交叉跨越状况和光缆交叉跨越状况等。

2 调查结果

通过调查区域不同水深、不同调查目的的搭载设备选型和实际作业,分别获取了船载、AUV 搭载和 ROV 搭载三种作业模式的基础数据和调查结果。

2.1 船载

通过在浅水段开展船载调查,并对多波束、浅剖和侧扫声呐资料进行综合分析,发现浅水段海底管道主要呈现裸露、悬空、碎石覆盖以及跨越等特征(图 3 和图 4)。

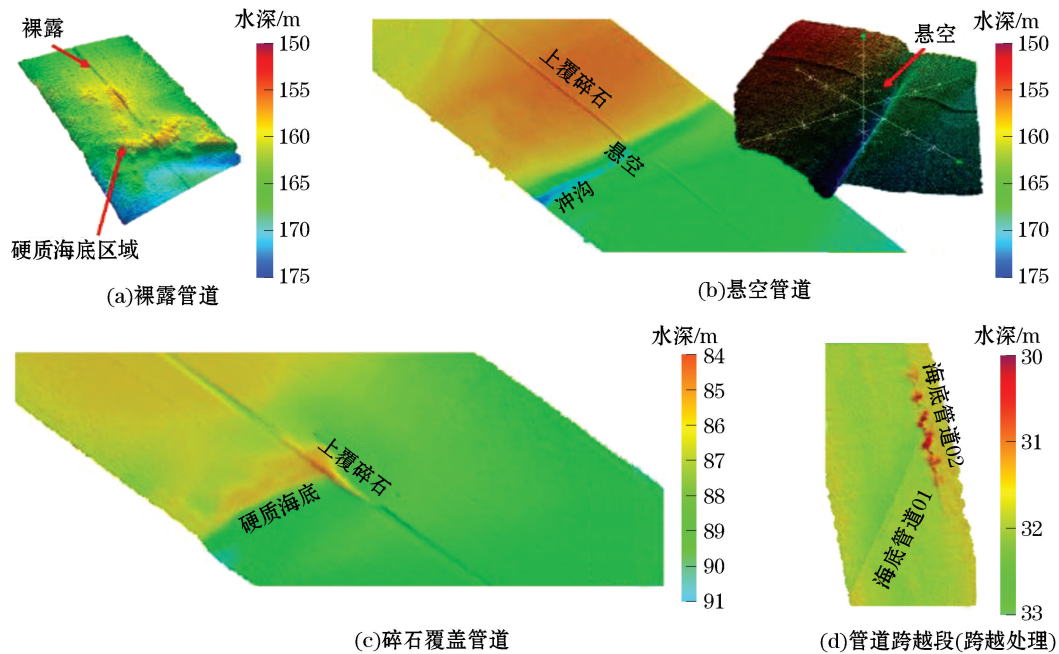


图3 浅水段船载调查水深成果

Fig.3 A bathymetric map obtained by using shipborne survey in the shallow waters

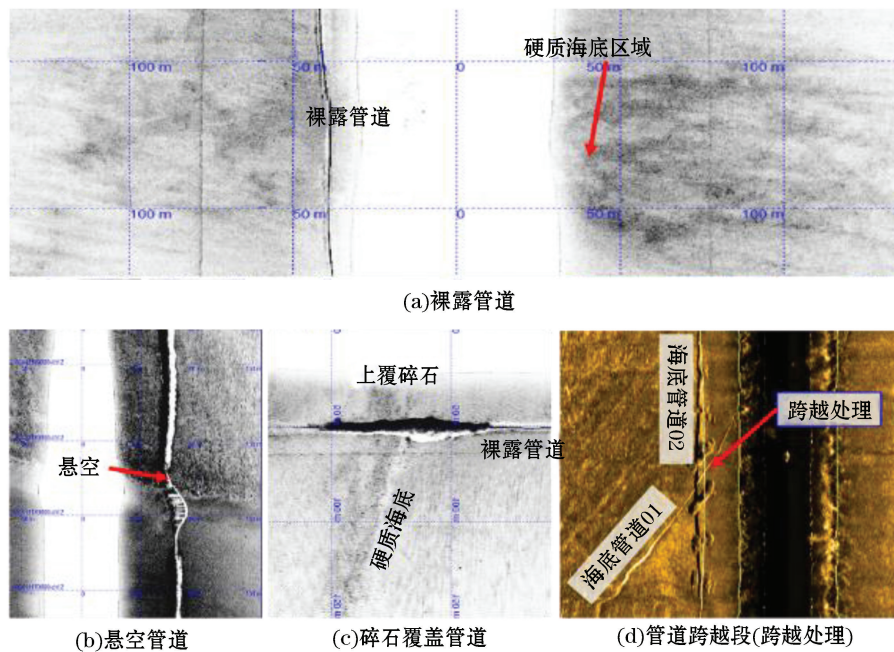


图4 浅水段船载调查地貌成果

Fig.4 A geomorphic map obtained by using shipborne survey in the shallow waters

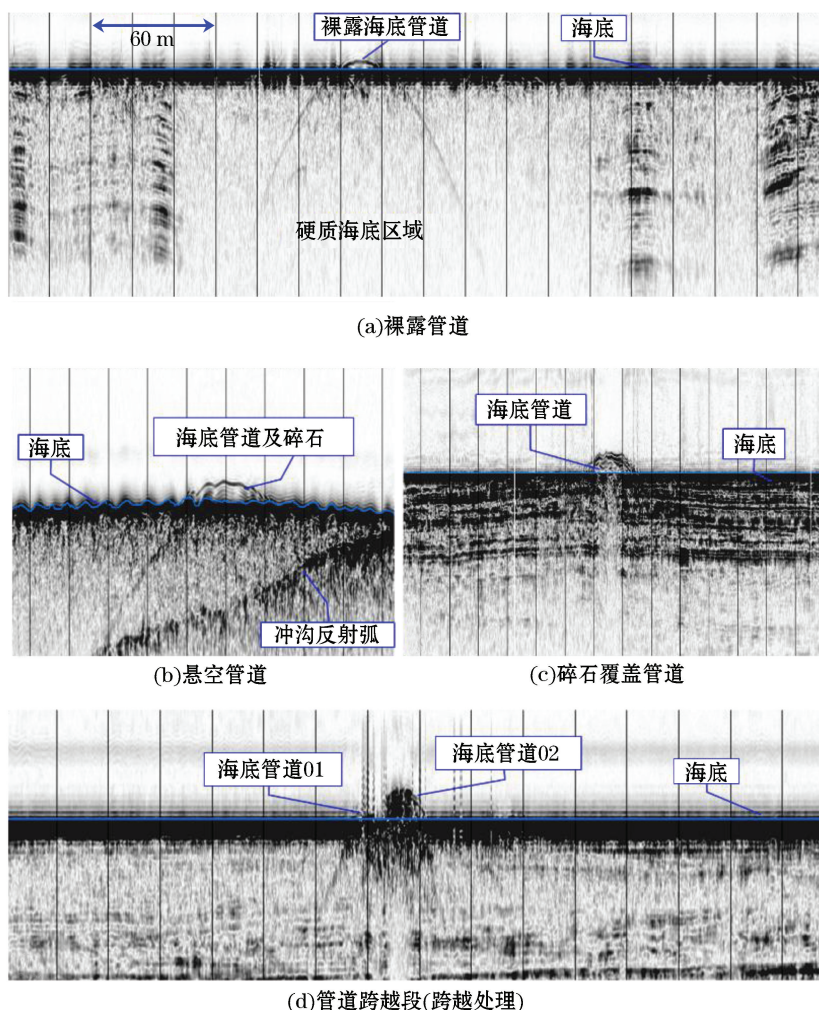
1)海底面呈现不规则起伏,管道贯穿该起伏区(图 3a),在地貌图上表现为强反射(图 4a),由浅地层剖面可看出其地层呈现因表层遮挡造成的空白反射(图 5a),表明此处为硬质海底。由图 3a 和图 4a 可见明显的管道特征,浅剖上弧形反射的顶部高出海底,所以判断此处管道呈现裸露状态。

2)海底面表现为一个较为明显的冲沟(图 3b),三维立体图更清晰地呈现出冲沟的形态,由图 4b 可见管

道与其阴影之间存在海底面透空反射^[2],浅地层剖面上管道反射弧的顶部明显高于海底(图 5b),综合判断此处管道呈悬空状态。

3)海底面表现为一些高低起伏变化(图 3c),由图 4c 可见因起伏造成的声学阴影区,浅地层剖面上可看到明显的弧形反射(图 5c),但与图 5a 和图 5b 中清晰而单一的管道反射弧不同,此处的反射弧线成组出现,综合判断此处海底管道存在上覆碎石。

4)由图 3d 可见 2 条明显的海底管道(图 3d),且海底管道 02 进行了跨越垫块处理,海底管道 02 在海底面投射的声学阴影区投射到了海底管道 01 之上(图 4d),对管道 01 造成了遮挡。根据此投射和遮挡关系可判断出海底管道 01 先铺设于海底面,海底管道 02 从其上跨越,且两侧进行了跨越垫块处理(图 4d),浅地层剖面上可看到 2 个邻近的弧形反射(图 5d),左侧弧顶高度较低,弧线稍细的为海底管道 01,右侧弧顶高度较高,反射弧线成组出现,同图 5c 类似,为部分垫块以及海底管道 02,此反射弧更多地反映了垫块的特征。



注:每 2 条紧临竖线间隔均为 20 m

图 5 浅水段船载调查浅地层剖面成果

Fig.5 Sub-bottom profiles obtained by using shipborne survey in the shallow waters

2.2 AUV 搭载

随着水深的增加,船载调查的效果已经难以满足要求,因此,在深水段(这里选择水深 300~500 m)范围内,采用 AUV 进行调查,结果显示,深水段地形地貌特征丰富,主要是沙波和裸露海床的珊瑚礁,地形起伏较大,局部坡度超过 20°,其特殊的地形地貌特征包括:^[12-13]

- 1)海底面较为平整,无明显的起伏,海底管道裸露海床之上,在位状态良好(图 6a);
- 2)每条管道都可看到 2 处支撑垫块,支撑垫块地貌上反射清晰,易于辨识,海底管道裸露海床之上,在位状态良好(图 6b);
- 3)成片分布的裸露海底的珊瑚礁,珊瑚礁硬度较大,对海底管道的状态存在一定的影响(图 6c);
- 4)可以看到裸露海底的珊瑚礁和沙波区,沙波存在运移的可能,对管道的安全运营存在一定的影响(图 6d);
- 5)高出海底的珊瑚礁,其中较大的几个珊瑚礁直径大约为 26~27 m,高出海底约 1.3~1.9 m,且有 2 处珊瑚礁距离海底管道较近,对管道存在一定的影响(图 6e);
- 6)有 3 处较大的珊瑚礁,直径大约为 9~12 m,明显高出海底,高度可达 4 m,且中间的 1 处距离海底管

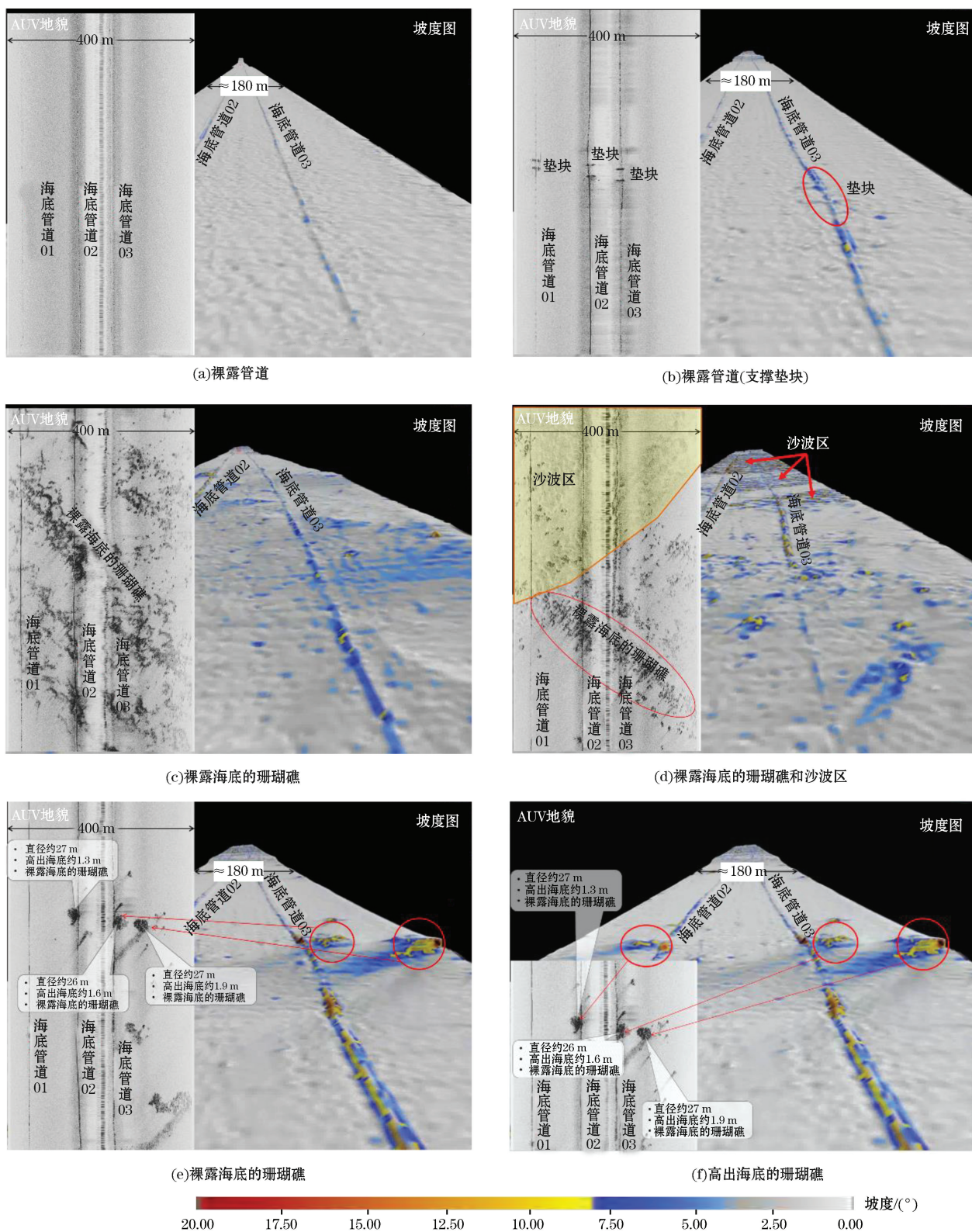


图6 深水段 AUV 搭载调查成果

Fig.6 Results from the AUV survey in deep water areas

道 03 较近,对管道存在一定的影响,这些特殊的地形地貌特征对于海底管道的安全和维护存在着较大的威胁,都是需重点关注的区域。

在深水段,与船载调查方式相比,AUV 具有更接近海底、受调查船和水体噪音影响更小、姿态更稳定等优势,获得的调查资料具有高质量、高密度和高精度的特点。

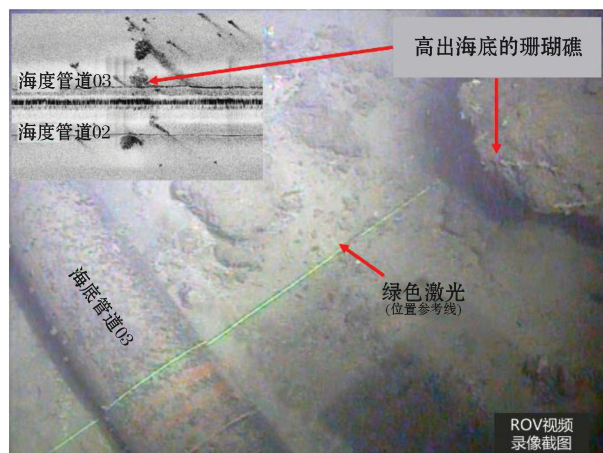
2.3 ROV 搭载

为了对船载和 AUV 搭载调查过程中发现的悬空、悬跨、珊瑚礁以及人工支撑状况、管道交叉跨越状况等特征有更加直观而精确的认识,在这些特征点区域开展了 ROV 搭载调查。调查结果其特征如下:

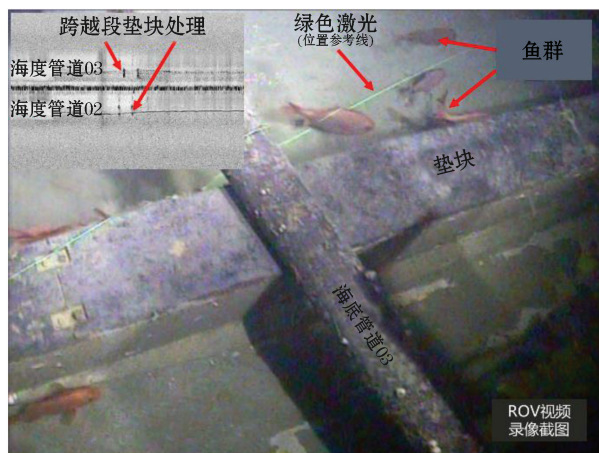
1)高出海底、呈强反射、圆形分布的珊瑚礁在 ROV 搭载视频中可清晰地分辨出来(图 7a),大珊瑚礁块附近零散分布着小珊瑚礁块,距离海底管道较近,但珊瑚礁并未对海底管道造成挤压等危害。

2)在 ROV 搭载视频中可见人工放置的跨越段垫块(图 7b),垫块状态仍然比较完好,未发生倾倒、移位等损坏情况。

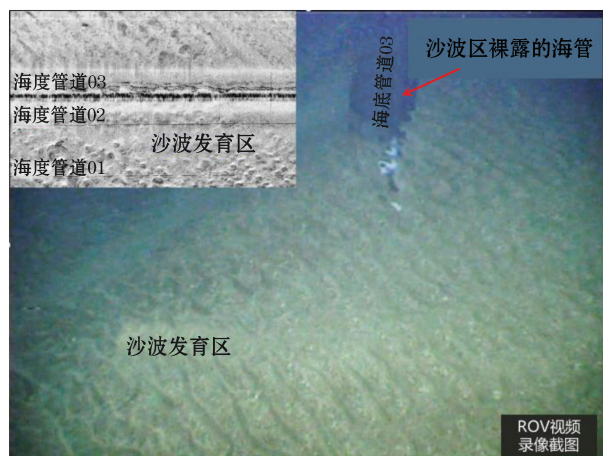
3)AUV 搭载地貌上显示海底管道周围存在一定规模的沙波区,在 ROV 搭载视频截图上可以清晰地看到起伏的沙波,部分海底管道被沙波掩埋或呈裸露状态(图 7c),沙波可能产生运移,对管道的安全运营存在影响,防止出现因沙波运移造成的管道悬空等现象。



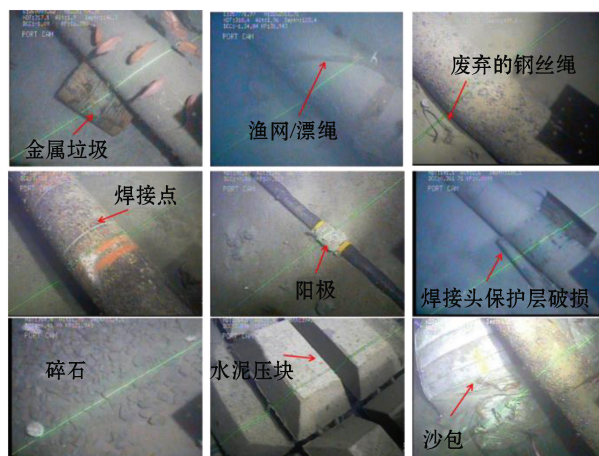
(a)高出海底的珊瑚礁



(b)跨越段垫块处理



(c)沙波区



(d)ROV调查中海底管道状态

图 7 重点关注区域侧扫声呐图像及 ROV 调查视频截图

Fig.7 Side scan sonar image and ROV survey video capture in the key areas

4)在 ROV 搭载调查过程中还对海底管道的焊接点情况、管道埋设的人工处理情况以及管道周围的障碍物等进行了调查(图 7d)。调查结果显示,管道的焊接点整体完好,少数位置处出现保护层破损;水泥压块、沙包支撑等状态完好;在管道旁边周围发现了多处杂物,包括渔网、金属垃圾和废弃钢丝绳等,经分析判断这些渔网、金属垃圾和废弃钢丝绳未对管道的运营安全造成威胁。

与船载和 AUV 搭载相比,ROV 搭载调查结果更加直观,可进一步地验证和确认前两者的调查结果。但 ROV 搭载调查需要动力定位船只的支持,作业费用高昂。

3 “(船载/AUV)+ROV”组合模式应用价值分析

本文根据各种调查方式的特点,将调查区域划分为浅水段和深水段,在浅水段采用船载调查,技术与设备成熟,作业效率高,在深水段采用 AUV 搭载调查,调查数据密度大,精度高,受干扰小,在此基础上进行重点关注区域筛选,开展 ROV 搭载调查,最后进行整体评价和分析对比。这种“(船载/AUV)+ROV”组合模式(图 8),很好地实现了多种调查方法的优势互补,调查效率高、调查质量好。总结船载、AUV 搭载和 ROV 搭载在海底管道调查过程中的特点以及各自的适用范围如表 2 所示。

表 2 “(船载/AUV)+ROV”组合调查方法特点

Table 2 Characteristics of the survey method of shipbore/AUV+ROV combination mode

搭载平台	特 点	适用范围
船载	技术和设备都比较成熟,对船舶要求较低,作业效率高,但是无法调查完全掩埋的海底管道	浅水段
AUV	数据密度大,精度高,受干扰影响小,但是无法调查完全掩埋的海底管道	深水段
ROV	调查成果直观,信息和数据的传递和交换快捷方便、数据量大,采集的资料质量高,可以对管道进行综合性探测,对掩埋的管道也可准确计算埋深,对 ROV 操作人员技术能力要求高,需要动力定位船只支持,资料采集速度慢	重点关注区域

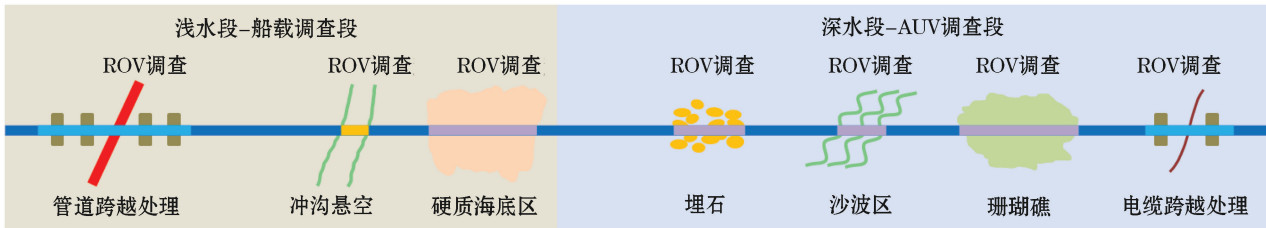


图 8 “(船载/AUV)+ROV”组合模式

Fig.8 The combination mode of shipbore/AUV+ROV

随着油气勘探开发不断向深水迈进,在未来将会铺设越来越多的深水海底管道,这些海底管道的运营和维护等环节都需要不断地进行在位状态调查,从本文分析可见,常规单一的调查手段和方法已经难以满足这些需求,“(船载/AUV)+ROV”组合模式却提供了很好的解决思路,相信海底管道在位状态调查方法会在未来的调查实践中不断更新、发展和完善。

4 结 论

本文通过分析各类海底管道调查设备的优缺点,归纳总结了船载、AUV 搭载以及 ROV 搭载的实际调查结果和各自优势,提出了“(船载/AUV)+ROV”组合调查模式,为海底管道评估及维护工作提供了可靠的数据基础,进一步丰富了海底管道在位状态调查方法体系。

1)海底管道在位状态调查中,要充分基于调查区域水深情况和各类调查设备的优缺点进行设备选型,更

好的发挥多种调查方式和方法的互补优势。

2)伴随着海洋深水油气勘探开发进程的不断加快,为了更好保障海底管道在位运营安全,精细获取和评估海底管道的在位状态显得尤为重要,必须给予高度重视。同时,随着调查设备、调查技术以及方法手段的不断发展,也需要在未来的调查实践中不断摸索和创新。

参考文献(References):

- [1] YANG X D, LIU Z W, XU S, et al. Study on the detection technology of submarine pipelines covered with a hard protective layer[J]. Coastal Engineering, 2017, 36(2): 29-35. 杨肖迪,刘振纹,徐爽,等. 上覆硬质保护层海底管道检测技术探讨[J]. 海岸工程, 2017, 36(2): 29-35.
- [2] AN Y N. Detection principle of side scan sonar and its application in treatment and detection of submarine pipeline suspension[J]. Coastal Engineering, 2017, 36(2): 58-62. 安永宁. 侧扫声呐探测原理及其在海管悬空治理检测中的应用[J]. 海岸工程, 2017, 36(2): 58-62.
- [3] LAI X H, MA J L, PAN G F, et al. Application of multi-beam echo sounding techniques in submarine pipeline inspection[J]. The Ocean Engineering, 2006(3): 68-73. 来向华,马建林,潘国富,等. 多波束测深技术在海底管道检测中的应用[J]. 海洋工程, 2006(3): 68-73.
- [4] JING S D, JIN Y D. Application of side scan sonar to exploration of submarine pipeline landform characteristics[J]. Journal of Engineering Geology, 2012, 20(5): 827-831. 荆少东,金永德. 侧扫声纳系统在管道穿越段海底地貌特征探测中的应用[J]. 工程地质学报, 2012, 20(5): 827-831.
- [5] LI B, YANG W D, ZHANG Y B, et al. Characteristics of the seabed pipeline's reflection in the sub-bottom profiling and interpretation [J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2010(5): 56-58. 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, 2010, 30(5): 56-58.
- [6] WANG J L, HUANG P Y, HU T J, et al. Application of sub-bottom profiler in submarine pipeline inspection[J]. Ship & Ocean Engineering, 2013(3): 161-163. 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]. 船海工程, 2013(3): 161-163.
- [7] LIU Z F, ZHU Y S, CHEN G J. Application of submarine pipeline detection technique[J]. China Offshore Platform, 2019, 34(3): 1-7, 54. 刘振方,朱友生,陈冠军. 海底管道探测技术应用[J]. 中国海洋平台, 2019, 34(3): 1-7, 54.
- [8] XU J S, LI G X, CAO L H, et al. Integrated submarine pipeline investigation techniques and DF1-1 pipeline unsafety factor analysis[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2009(5): 43-50. 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(5): 43-50.
- [9] LUO J H, ZHU P M. Analysis of gravity induced deposits in the continental slope of qiongdongnan basin: based on ultrahigh resolution AUV Data [J]. Geological Science and Technology Information, 2019, 38(6): 42-50. 罗进华,朱培民. 琼东南盆地陆坡区重力流沉积体系超高精度解析[J]. 地质科技情报, 2019, 38(6): 42-50.
- [10] FENG X Z. Error analysis of data accuracy of vehicle-mounted mutli-beam echo sounder[J]. Coastal Engineering, 2015, 34(4): 55-60. 冯湘子. 影响载体搭载多波束测深系统数据精度的误差分析[J]. 海岸工程, 2015, 34(4): 55-60.
- [11] PANG W X, LI Q P, LI X K. Current and future applications of ROV in offshore oil and gas development in China[J]. Oil & Gas Storage and Transportation 2015, 34(11): 1157-1160. 庞维新,李清平,李迅科. 我国海洋油气 ROV 作业能力现状与展望[J]. 油气储运, 2015, 34(11): 1157-1160.
- [12] LIU L J, FU M Z, LI J G, et al. Geologic hazards in the deep pipeline routing area of the liwan 3-1 gas field in the south china sea[J]. Advances in marine Science, 2014, 32(2): 162-174. 刘乐军,傅命佐,李家钢,等. 荔湾 3-1 气田海底管道深水段地质灾害特征[J]. 海洋科学进展, 2014, 32(2): 162-174.
- [13] WANG H H, LIU G H. Statistics and analysis of subsea pipeline accidents of CNOOC[J]. China Offshore Oil and Gas, 2017, 29(5): 157-160. 王红红,刘国恒. 中国海油海底管道事故统计及分析[J]. 中国海上油气, 2017, 29(5): 157-160.

Survey Practice of Submarine Pipeline In-Position State

CHEN Guan-jun¹, HAO Gao-jian¹, LIU Zai-ke², FENG Xiang-zi¹, CHEN Dai-xin¹

(1. *China Oilfield Services Limited Co., Ltd*, Tianjin 300459, China;

2. *CNOOC Research Institute Co., Ltd*, Beijing 100027, China)

Abstract: According to the difference in survey equipment carriers, the survey methods of submarine pipeline in-position state can be classified into three types: shipborne survey, AUV survey and ROV survey. The shipborne survey is commonly used in the shallow water areas, the AUV survey is adopted in the deep water areas and the ROV survey is conducted in the key areas screened based on the above two surveys. Finally, the overall analysis and evaluation are carried out. Such a combination mode of shipborne/AUV+ROV can well realize the complementary advantages of various investigation methods. It is the first time that AUV is used to investigate the submarine pipelines in-position state. The results obtained by using these methods include the position, the buried depth, the other submarine obstacles distributed around the pipelines and the manual handling status of the pipelines. All these can provide important basic data for the future pipeline maintenance. This successful practice has provided valuable experiences and references for the future similar surveys of submarine pipeline in-position state from the shallow waters to the deep seas.

Key words: submarine pipeline; deep waters; AUV; combination mode

Received: May 6, 2020