

黄明泉, 徐景平, 施林炜. ROV 在海洋油气田开发中的应用及展望[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(2): 77-84.

ROV 在海洋油气田开发中的应用及展望

黄明泉^{1,2,3}, 徐景平², 施林炜³

(1 哈尔滨工业大学, 哈尔滨 150000; 2 南方科技大学, 深圳 518055;

3 中海辉固地学服务(深圳)有限公司, 深圳 518067)

摘要:水下机器人 (ROV) 以其综合优势, 在海上油气田勘探、开发和生产全生命周期中的各个阶段发挥着重要的作用。结合行业应用实际, 系统介绍了 ROV 的原理和系统组成, 以及海上油气田开发过程间各种作业类型中 ROV 的应用, 对其工作内容、方式和风险进行了全面的详细论述和总结。同时, 对 ROV 以后的技术发展趋势进行了展望。

关键词:水下机器人; 海洋油气田; 水下工作风险; 深水路由

中图分类号: P756; P744.4 文献标识码: A DOI: 10.16028/j.1009-2722.2020.030

0 引言

近 10 年来, 中国新增石油产量的 80% 以上来自海洋, 其中又有一半是在水深 > 500 m 的深海, 而陆上油气资源呈下降趋势。随着全球油气资源需求的不断增长, 海洋已成为全世界油气资源接替的主要区域, 其中又以深水海域潜力巨大。海洋油气的勘探和开发正成为我国原油产量上升的关键。随着深水油气勘探开发技术的不断发展, 水下机器人的应用得到了迅猛发展, 其中缆控无人水下机器人尤为突出, 是目前世界上使用最为广泛的水下机器人。

1 ROV 概述

1.1 水下机器人

水下机器人又称潜水器, 按使用方式主要分为载人潜水器 (Human Occupied Vehicle, HOV) 和无人潜水器 (Unmanned Underwater Vehicle, UUV)。无人潜水器又分为缆控 ROV (Remotely Operated Vehicle)、自主式水下航行器 AUV (Autonomous Un-

derwater Vehicle) 和兼顾 AUV 和 ROV 功能的自主/遥控两用水下机器人 ARV (Autonomous and Remotely Operated Vehicle), 分类见图 1^[1]。

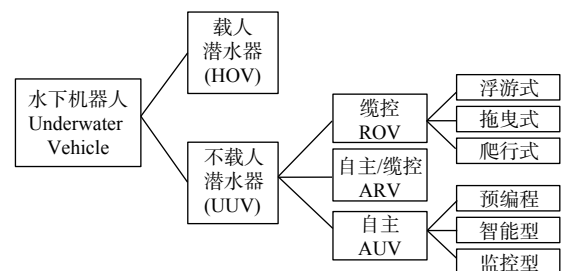


图 1 水下机器人分类

Fig.1 Underwater vehicle classification

近年来, 我国深海潜水器的自主研发不断发展, 主要用于科研领域(表 1)。其中, 载人潜器 HOV 有蛟龙号、深海勇士号和全海深万米级载人潜器“奋斗者号”, 走在世界前列。AUV 主要有潜龙和探索系列。ROV 主要有海龙和海马系列。

1.2 ROV 发展历史

ROV 是最早得到开发和应用的无人潜水器, 20 世纪 50 年代, 第 1 代 ROV 的雏形“Poodle”诞生^[2-3]。1953 年, 第 1 艘 ROV 问世, 活跃在军工领域或是科研院所的实验室内。1960 年, 美国成功研制了世界上第 1 台真正意义上的 ROV-CURV1 号, 成功回收 1 枚氢弹, 引起了世界各国的重视。石油短缺使得海洋石油产业得到迅速发展, 也促进了 ROV 的迅猛发展, 并且开始形成了 ROV 产业^[2]。1975 年, 第 1 套商业用 ROV “CRV125” 首先应用

收稿日期: 2020-03-10

资助项目: 国家自然科学基金国际合作项目“马尼拉海沟深海浊流模式及其控制机理研究”(41720104001)

作者简介: 黄明泉(1983—), 男, 在读博士, 工程师, 主要从事海洋地质、ROV 调查及海洋测绘相关技术的研究工作。E-mail: huangmq@cosl-fugro.com

表1 国内主要深海潜器情况表

Table 1 Main deepwater vehicles in China

类型	名称	设计潜深/m	研发单位
HOV	蛟龙号	7 000	中国船舶集团
	深海勇士号	4 500	
	奋斗者号	10 000	
	彩虹鱼号	11 000	
AUV	潜龙一号	6 000	中国科学院
	潜龙二号	4 500	
	潜龙三号	4 500	
	探索4 500	4 500	
ROV	海龙III	6 000	上海交通大学
	海马4 500	4 500	上海交通大学
	海星6 000	6 000	中国科学院
	海马11 000	11 000	上海交通大学
ARV	北极号	4 000	中国科学院
	海斗号	11 000	

于北海油田和墨西哥湾执行水下管道连接和水下钻井,之后 ROV 进入大发展时期。1995 年,日本海

洋研究中心研发的“海沟号”ROV 下潜至 11 022 m 深的马里亚纳海沟,创造了潜水器最大作业深度的记录^[1]。

随后,一些销量较大的优秀 ROV 相继出现,例如,美国 Ametek 公司的 Scorpio 号 ROV、Perry 公司的 RECON-IV 和 TRITON 号、DSSI 公司的 Max Rover 以及加拿大 ISE 公司的 Hysub 号等。据不完全统计,全球有近 300 家厂商可提供各种 ROV 整机、零部件以及 ROV 服务^[2]。在 ROV 技术研究和应用方面,美国、加拿大、英国、法国等国处于领先地位^[4-5]。

目前,全球主要的 ROV 制造商有 Oceanering、Forum、SMD、Technip-FMC、Fugro 等,其中 Oceanering、Fugro、Saipem、Subsea7 等既是制造商又是运营商,全球范围工作级 ROV 系统已超过 1 000 套。目前,应用在海洋石油领域的主要国外 ROV 型号见表 2。

表2 用于海洋油气领域的主要国外型号 ROV 基本参数

Table 2 The main manufacturers' ROVs basic specification in overseas

生产厂家	国家	ROV名称及型号	级别	最大下潜深度/m	功率/HP	动力源	重量/kg	作业方式
Oceanering	美国	MAGNUM	工作型	3 000	150	液压	3 000	TMS
Forum(Perry&Sub-Atlantic)	美国	Perry Triton XLX	工作型	3 000	200	液压	4 900	TMS
SMD	英国	Quasar	工作型	6 000	200	液压	4 500	TMS
Technip-FMC(Schilling)	美国	Schilling UHD	工作型	5 000	200	液压	2 450	TMS
Fugro	荷兰	FCV 3000C	工作型	3 000	200	液压	4 000	TMS
Subsea 7(i-Tech)	英国	Centurion SP	工作型	4 000	230	液压	3 200	TMS
IKM	挪威	WR200	工作型	3 000	200	电动	3 000	TMS
ISE	加拿大	HYSUB130-4000	工作型	4 000	130	液压	3 400	自游式
SAAB(Seaeeye)	英国	Seaeeye Panther Plus	观察型	1 000	75	电动	500	自游式

我国的 ROV 研发相对较晚,从 20 世纪 70 年代末开始。1985 年底,由中科院沈阳自动化所与上海交大联合研发的我国第 1 套 ROV “海人一号”试验成功。近 30 年来,ROV 行业迅猛发展,自主研发了“海马”、“海龙”等系列,但与国外产品还存在一些差距。

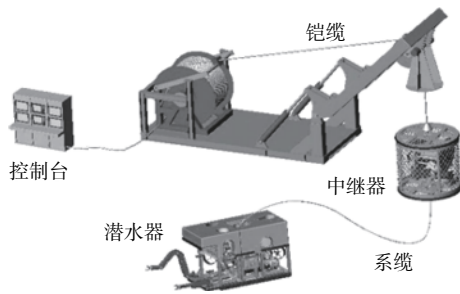
目前,国内商业应用的 ROV 系统多为进口产品。自从 20 世纪 80 年代初引进第 1 台 ROV 开始,从国外引进各类工作型 ROV 已经超过 50 套,包括数套最先进的第 5 代 ROV 产品,主要集中在海洋石油应用领域。

1.3 ROV 系统组成

ROV 通过配置摄像头、多功能机械手,携带具

有多种用途和功能的声学、光学探测仪器以及专业工具进行各种复杂的水下作业任务。主要组成部分有水面控制单元、收放系统、脐带缆和水下潜器等(图 2)。水面控制单元通过控制系统遥控 ROV;由液压站、绞车和 A 型架组成的收放系统进行潜器的下水和回收;脐带缆连接水下系统,通过它进行通讯并提供动力;水下潜器接收水面指令进行水下作业。

大部分深水 ROV 系统还带有中继器 TMS (Tether Management System),它是 ROV 系统的重要组成部分,用于储存和收放中性缆的装置。为了保持 ROV 本体在水下具有良好的动作灵活性、运动平稳性和可操作控制性,消除或减小水面的扰动对 ROV 的影响,并增大 ROV 的作业半径,在 ROV

图 2 ROV 系统组成示意图^[6]Fig.2 Structure of the ROV system^[6]

与甲板吊放系统之间设置中继器。中继器主要由中性缆绞车、导缆通道、对接锁机构、液压动力单元、信息传输单元、控制单元、传感器单元以及框架结构等组成^[7]。主要有车库式和顶置式 2 种形式,以顶置式应用较为广泛。

按照功能分类,ROV 系统还可分为控制系统、通讯系统(数据传输、中心控制板卡)、动力系统(电液控制、电磁阀)、运动系统(推进器)、视觉系统(水下灯、摄像头、云台和声呐)和感知系统(方向、姿态、深度、压力和温度等传感器)^[8-9]。

1.4 ROV 的分类

根据 IMCA 标准,按作业能力将 ROV 可以分为 5 级:1 级是纯观察型,只能完成水下纯粹的观察作业,不能携带任何水下作业工具和设备;2 级是带有负载能力的观察型,能够带有简单设备完成水下观察作业;3 级是工作型,通常情况下带有机械手,能够完成水下较为复杂的工作;4 级是拖曳爬行类,主要指挖沟机和挖沟犁等;5 级是原型或改进型,包括那些改进的或特殊用途的又不能归于其他级别的 ROV^[10]。

按动力源不同,分为电动和液压驱动 2 种。按运动方式可分为浮游式、履带式 and 爬行式 3 种。浮游式呈现零浮力,依靠其自身推进器在水下进行三维空间运动;履带式多用于电缆铺设等海底施工;爬行式目前比较少见^[11-12]。

ROV 以其经济、高效、作业深度大、作业时间无限制、极端环境适应强、无人员安全风险等综合优势,广泛应用于海洋科考、海洋调查、海洋观测、海上救捞、水利、考古、军事,以及海上油气开发等领域。ROV 在海上油气开发领域应用最为广泛,涉及到海上油气田勘探、开发、生产和弃置各个阶段,包括钻井水下支持、各类工程建设项目支持,具体功能有导管架安装、管缆铺设、水下设施安装连接、工程前后调查、水下系统干预、生产期间的检测/维修和

维护、深水调查以及弃置期间水下作业等,在海洋油气开发的全生命周期内发挥着不可替代的重要作用^[13-25]。

2 ROV 在海上油气田开发中的应用

2.1 ROV 钻井支持

在完成油气田地震勘探和地质研究之后,需要进行探井作业来进一步了解地质结构并分析与评价,确定商业开发后再进行开发井的钻井作业。钻井作业水深超出常规潜水作业能力的 100 m 后,都离不开 ROV 的支持,这也是 ROV 应用于海上油田开发最早的领域,即代替人工潜水作业。

钻井平台在下钻过程中需要 ROV 协助对开钻前的井场附近进行地貌扫描,并参与钻杆的定位、套管就位、BOP 协助就位(如图 3)以及井口清理等一系列的作业。在此工程中 ROV 需要 24 小时在海底对钻井活动进行严密的监控,一旦发现有异常情况,向钻井作业者及时通报。



(a) 协助 BOP 对接井口

(b) 进行盖井口帽

图 3 平台钻井 ROV 主要工作

Fig.3 ROV work in drilling support

浅水与深水钻井作业过程中 ROV 的工作也不尽相同,特别是在完成钻井后对于井口的处理方式不同:

(1) 浅水弃井 根据海洋石油钻井规范要求,ROV 需监控 36 inch 套管的切割以及回收,密切关注海底套管切割情况,与钻井平台进行密切配合,完成弃井工作。

(2) 深水弃井 不采用切割井口头的方式进行弃井,而需要 ROV 携带井口帽盖在井口头上进行弃井工作。

在常规钻井支持作业中,ROV 使用的主要工具包括 1.5 inch 液压剪、软绳割刀、密封圈安装等工具。在完井及深水钻井作业中,ROV 使用的主要工具有井口刷、高压水枪、流体注入撬、BOP 干预撬(提供 BOP 测试和应急操作所需的乙二醇防冻液)、

水下 PH/温度测量仪、水下压力测试工具等。

2.2 工程建造 ROV 支持

油气田进入工程开发阶段, 需要根据开发设计方案, 进行各种油田设施的工程建造和海上安装, 包括采油/处理导管架平台、海底管线/电缆、水下生产系统和水下系泊系统等。

2.2.1 导管架安装

在导管架安装期间涉及大量水下作业, ROV 的支持是必不可少的, 并且直接影响安装作业进度和效率。主要包括: ①导管架下水前海床预调查。②利用 ROV 进行视频观察、声呐扫描, 对导管架坐床区域的地形和障碍物等情况进行调查, 对发现的地形异常或障碍物进行及时处理, 保证安装要求。③导管架下水就位, 不同类型导管架下水就位 ROV 作业有所不同。④按设计要求把导管架精确移动到目标位置, 并调整导管架艏向, 在其下水过程中, ROV 需在海底观察导管架最底部, 同时吊钩把导管架底部放至海底, ROV 确认后, 吊钩将悬重放至零为止。解开扶正、就位锁具。引导钢桩进入导管架群桩套筒内。引导桩锤套入钢桩并观察钢桩打入海底预定位置。⑤导管架固定桩的安装。⑥测平和调平。ROV 引导调平器套入钢桩与群桩套筒之后, 观察调平效果, 完成后观察调平器并安全提出钢桩。⑦导管架群桩套筒的水泥灌注, 水泥通过导管架顶部从水泥灌注口注入, ROV 需要观察导管架群桩套筒的水泥溢出和后凝情况。⑧导管架/导管架组块安装完成后调查, 主要检查导管架的结构, 如导管架的横梁、竖梁、各主要连接点和水泥灌注情况。

2.2.2 海管铺设

海底管道是海上油气田不可缺少的集输管道。海底管道的铺设随着水深的增加步入开阔海域, 水文及海况对管线铺设的影响也在不断产生变化, 管线的施工也越加困难, 影响因素也趋于复杂。ROV 对海管铺设起到了不可或缺的辅助作用, 主要包括: 观察海管水下情况; 检查船尾托管架及导向轮; 观测海管与船尾托管架接触情况; 剪切牺牲钢缆; 海管终端和开始封头检查; 海管触泥点的检查; 铺设后调查(状态、位置及悬空情况等)。

2.2.3 水下生产系统、系泊系统等安装

水下生产系统是 20 世纪 60 年代发展起来的, 它利用水下完井技术结合固定式平台、浮式生产平台等设施组成不同的海上油田开发形式。水下生

产系统可以避免建造昂贵的海上采油平台, 节省大量建设投资, 受灾害影响较小, 可靠性强^[26]。随着海上深水油气田及边际油田的开发, 水下生产系统的油气田开发方式得到了广泛应用。

全球已有 1 200 多套水下生产系统应用在超过 250 个油气田项目开发中。中国南海已有多个水下生产系统开发的油气田, 例如陆丰 22-1、流花 11-1、流花 4-1、番禺 35-1/2、荔湾 3-1、流花 19-5、崖城 13-4、文昌 10-3、流花 16-2、陵水 17-2、流花 29-1、流花 29-2 等, 其中陵水 17-2 水深已超过 1 500 m。

典型的水下生产系统由水下设备和水面控制设施组成。按照功能可分为井口及采油树系统、管汇系统及连接系统、水下控制及脐带缆系统。ROV 结合水下扭力工具、注入器等各种复杂的 ROV 水下工具对水下系统安装和运维起到关键性的作用。ROV 的主要工作有: 水下的外观检查, 阴极检测; 相关水下阀门检查及操作; 调试期间 ROV 相关水下辅助操作; 水下更换电飞缆及其他应急操作; 吸力桩的对接和吸泥等。

2.3 水下设施 ROV 检测/维修和维护

海上油气田经过工程建造阶段后, 所有生产设施将移交生产管理部门正式进入生产阶段, 定期按规范进行检测、维修和维护是海上油气田安全生产和设施完整性管理必不可少的工作(图 4)。

在海水及水下环境的长期影响下, 对于水下设施的工作状态情况的了解就显得尤为重要。如果不能及时地掌握水下设施的工作状态, 提前采取预防措施, 那么一旦发生问题将会产生严重的后果, 影响整个油气田的运行, 甚至可能给海洋环境带来不可估量的损失^[27]。这个时候 ROV 在水下设施检测/维修和维护方面的优势作用就显得尤为突出。主要包括:

(1) 导管架检测 从水面至海床的所有导管架主结构杆件和节点以及附属件包括: 导管架主结构杆件及节点(含导管架桩基)、隔水套管及其导向结构、开排沉箱、海水提升护管、原油输送立管、电缆和柔性立管护套管、阴极保护系统、隔水套管、立管、J 型管、套管、沉箱和其他附属件。ROV 检查内容可分为以下几大类: GVI/CVI 外观检查、阳极检查及电位测量、杂物调查及移除、海底冲刷调查、海生物调查、杆件进水检测等。

(2) 海管/海缆系统检测 海管海缆(包括立管及动态软管或动态缆等)及其附属件(管汇、基盘等)

进行 ROV 水下检查, 内容可分为以下 5 大类: GVI 外观检查、路由调查及确认、阳极检查及电位测量、海管悬空调查、杂物调查及移除。

(3)FPSO/FPS 系泊系统检测 对整个 FPSO/FPS 的系泊系统的所有水下构件(包括锚链、动态软管及电缆)及附属件进行 ROV 检查, 检查内容可分类以下 3 大类: GVI/CVI 外观检查、阳极检查及电位测量、系泊腿张角测量等。

(4)水下生产系统检测 对水下生产系统的所有水下结构(包括采油树、管汇、跨接管及飞线等)及附属件进行 ROV 检查, 检查内容可分类以下 4 大类: GVI 外观检查、相关阀门及接头确认、阳极检查及电位测量、杂物调查及移除。

(5)ROV 常规维修 维修范围主要是针对发现的检测异常来进行, 主要包括海管超限悬跨的修复治理、各类牺牲阳极安装、泄露检测及处理、海生物清理等。

在水下设施检测维修阶段, ROV 需要搭载的工具或设备相对较多, 包括: CP 电位测量仪、UT 测厚仪、荧光查漏仪、海生物厚度测量仪、激光仪、角度测量仪等各类检测类工具; 水下声呐、双头扫描声呐、多波束扫描声呐、三维激光测量仪、声学摄影仪、TSS440/350 管缆探测仪等多种声学 and 光学调查测量仪器; 水下切割机、打磨钢刷、喷吸泵、高压水枪、液压剪、开孔器、水下摩擦焊等各类维修类工具等。

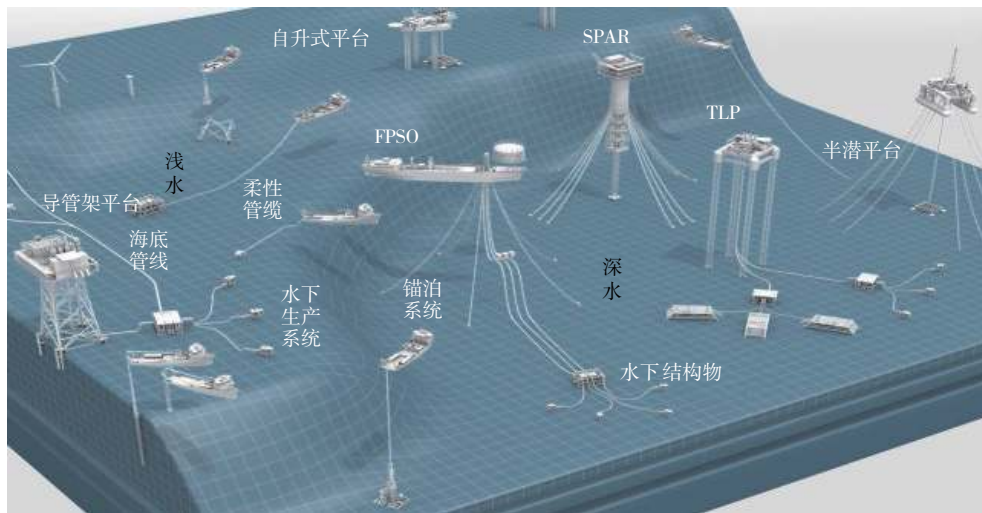


图 4 海上油气田设施类型

Fig.4 Offshore facility types

2.4 水下生产系统干预

水下生产系统结构复杂, 特别是连接生产平台的部分, 需要 ROV 对水下生产系统进行长期干预, 对控制阀门进行操控, 以确保整个系统的安全运行。ROV 在水下生产系统干预中的工作内容包括: 使用机械手完成各位置的锁销插拔、电缆插头安装; 按要求对水下生产系统各个阀门进行开关控制(如图 5); 检查水下生产系统各个密封接头的密封情况等。

在水下生产系统干预中, ROV 需要配合使用各种不同功能和类型的专业水下辅助工具, 包括高性能智能机械手、API/ISO 型号扭力工具、智能控制阀箱、液压油注入撬、线性导向工具、Hotstab、LVOT/LAOT 和 LLOT/LOT 等^[28]。



图 5 水下采油树阀门的 ROV 操作

Fig.5 ROV subsea intervention work

2.5 油田弃置

油气田企业在勘探开发生产过程中建造了大量的井、油气集输设施、输油气水管线等, 在油气田生产寿命终止时, 为了保护海洋生态环境和维护海上航行安全, 国家要求对所有油气田工程设施进行弃置拆除, 涉及井口、导管架、海管、立管及水下设施的弃置。

平台和海底管线的移除,需要大量的水下探测、水下引导吊索具就位、水下切割等工作。通常情况下,油田弃置最大的挑战就是需要在安全和环保的前提下进行切割和拆除,潜水作业不可或缺,ROV是主力军。

2.6 深水路由/场址调查

在海上油气田开发过程中,经常需要进行工区、场址或者路由的预先调查,包括平台进场前的场址调查、海管铺设前的路由调查等。通过调查了解作业区域海底地形、地貌和浅层地质情况,掌握可能影响施工的障碍物、海生物、海底已有管缆、地质灾害等情况。初步查明各种现象的具体位置、规模、性质、并评价它们对后续施工的影响程度。为工程建设提供切实可靠的数据和资料。

通过 ROV 搭载相关调查设备进行的调查包括:视频调查、水深地形测量(多波束,如图 6)、地貌调查(旁侧声纳)、浅层地质调查(浅地层剖面系统,如图 7)和电磁探测(TSS350/440)等。

传统的路由/场址调查方式有拖鱼式(Tow-fish)、

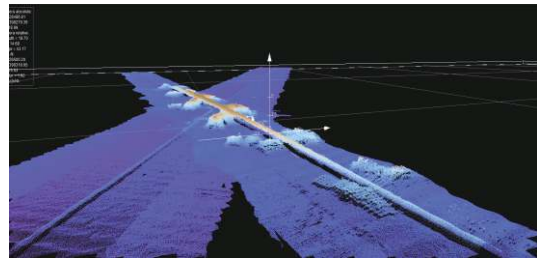


图 6 ROV 搭载多波束进行海管调查的成果

Fig.6 Pipeline survey result from ROV mount MBES

深拖式(Deep-tow)和自主式水下航行器(AUV, Autonomous Underwater Vehicle)等方式,但随着水深的加深,特别是水下地形复杂、起伏变化很大,且需要同时进行视频调查的情况下,以上方式就无法满足要求。随着拥有光纤传输技术的新一代 ROV 广泛应用,以 ROV 为载体进行地球物理调查的方式应运而生。

ROV 在深水路由及井场调查中以数据丰富、安全性能高为突出优势,唯一的缺点是受 ROV 飞行速度的限制,调查效率比传统方式要低,适合小范围的深水路由和场址的精细调查。目前该方式在中国南海已经获得多次成功应用,效果良好。

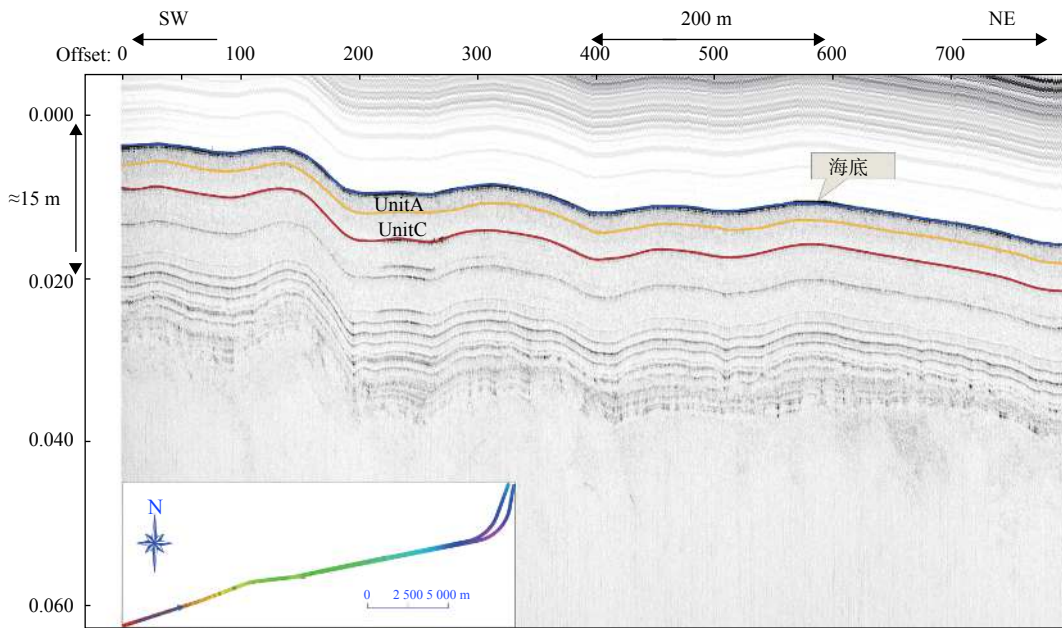


图 7 ROV 搭载浅地层剖面记录实例

Fig.7 SBP record from ROV mounted equipment

3 ROV 水下作业的优势

动员时间快:ROV 在水下作业系统成员中动员速度相对较快。ROV 可以做到 2 天左右完成动员,迅速投入到工程项目中。

人员风险低:海上作业坚持“安全第一”的理念。

ROV 的操作人员均在水面的母船上,避免了潜水或载人潜器人员下水而带来的人员安全风险。

作业时间长:ROV 拥有持续水面动力,水下作业时间不受限制,正常情况下可以实现全天候 24 小时连续水下作业。

环境适应好:受海洋环境影响相对较弱,虽然在设备的收放期间受到一定的环境影响,但自身有

一定的抗流能力以及先进的位置保持能力,且能在高温和极寒水下环境作业。

拓展空间广: ROV 作为一种水下载体,通过自身负载、液压动力、自主定位等能力,可以在各种水下工程中,根据项目需要搭载各种专用、特种水下工具,完成特定的作业任务。

4 ROV 水下作业风险与管理

液压动力 ROV 系统由水上控制系统、脐带缆和水下作业系统 3 个主要部分组成,是涉及电子通讯、液压动力、控制及机械等各种元件(液压泵、控制阀、液压缸和马达、管路、过滤器和补偿器等)和知识的复杂系统。这样的系统通过海上作业平台(支持船或平台)持续水下作业,受水面和水下环境以及自身系统的因素影响,会存在一些作业风险,需要加以识别和管理,最大限度避免因 ROV 无法工作给整个海上项目施工带来停工和待机的风险。

影响 ROV 作业风险的因素主要包括:作业平台、水面动力、ROV 设备本身、海洋环境(风浪、水流、能见度等)、水下作业环境(交叉作业、结构物、海床变化)等。根据多年的行业应用实践,ROV 容易发生的安全环境事故主要有:丧失液压推进能力、丧失电动能力、中继器(TMS)丧失控制能力、被水下物体缠绕、支持船失去稳定性、脐带受损或断裂、收放时坠落、液压油/燃油泄漏等。

在钻井作业期间的风险有:极端天气情况下 ROV 收放、水下与钻杆/套管/导向绳之间的缠绕、电缆与平台水下横梁或浮箱的摩擦、水流方向与 ROV 的位置和飞行路线,以及能见度差时的作业。在水下设施检测期间的风险有:支持船的 DP 失效、进入导管架内部的缠绕、与潜水员的交叉作业、水下螺旋桨对 ROV 脐带缆的影响等。在工程建造作业期间的风险有:与托管架/海管的缠绕、脐带缆在海底的磨损等。

水下作业是一个高风险的作业类型,需要通过建立完善的风险识别(HAZard Identification)、风险评估(JSEA, Job Safety & Environmental Assessment)和应对各种风险事故的应急响应程序(Emergency Response Process)等完善的风险管理体系,把 ROV 水下作业风险降到最低。

5 ROV 技术发展趋势

随着海上油气田开发不断走向深水,水下油气

设施增多,能源公司降本增效、技术创新的新需求,加上网络通讯、人工智能等新技术的发展,对 ROV 的需求和要求也越来越高,未来的 ROV 技术也将不断地创新发展^[29-34]。

(1)远程化 随着通讯、网络和数据压缩技术的突飞猛进,实时大容量数据通讯、远程快速遥控成为现实,这将减少海上操作人员的配置,实现陆地管理者与海上作业现场的无缝对接和实时互动。如 FUGRO-X 等技术,在未来可以告别必须人员跟随母船才能操作 ROV 的形式,转变到在陆地就可以对远在大洋的 ROV 进行远程控制,并实时获取视频数据。

(2)智能化 一些 ROV 制造商已紧跟水下人工智能潮流,开始研制全新产品,从传统机型跨越至水下常驻、离岸操作、无缆巡航、AI 任务规划,操作简单化。在控制和信息处理系统中,也将采用图像识别、人工智能技术、大容量知识库系统,提高信息处理能力和精密导航定位的随感能力等,向水下智能机器人发展。

(3)协同化 多类型潜器/机器人协同作业,共同完成更加复杂的任务,也会是机器人技术的发展趋势。水下机器人将利用智能传感器的融合和配置技术及通过网络建立的大范围通讯系统,建立机器人相互间及机器人与人之间的通信与磋商机理,完成群体行为控制、监测与管理及故障诊断,实现群体协同作业。

(4)专业化 单一某种型号的水下机器人很难完成所有的任务。很多情况下,需要针对具体作业情况,设计配置专用设备,完成少数特定任务。种类会更加分化,专业化程度会更高。

参考文献:

- [1] 谭界雄,田金章,王秘学,等.水下机器人技术现状及在水利行业的应用前景[J].中国水利,2018(6):33-36.
- [2] 封锡盛.从有缆遥控水下机器人到自治水下机器人[J].中国工程科学,2000,2(12):29-33,58.
- [3] 范士波.深海作业型ROV水动力试验及运动控制技术[D].上海:上海交通大学,2013.
- [4] 盛堰,谭鹰,陈宗恒,等.ROV在我国海洋区域地质调查中的应用[J].海洋地质前沿,2013,29(11):67-71.
- [5] 陈宗恒,盛堰,陶军.遥控水下机器人(ROV)结构综述—以hysub130-4000ROV为例[J].海洋地质,2009(3):67-71.
- [6] 郭威,崔胜国,赵洋,等.一种遥控潜水器控制系统的应用[J].机器人,2008,30(5):398-403.
- [7] 赵俊海,张美荣,王帅,等.ROV中继器的应用研究及发展趋势[J].中国造船,2014,55(3):222-232.

- [8] SHEPHERD K. Remotely Operated Vehicles (ROVs)[M]// STEELE J H. Encyclopedia of Ocean Sciences. Amsterdam: Elsevier, 2001: 2408-2413.
- [9] AHMAD H, OMERDİC E, NOLAN S, et al. Integration and Testing of Multi-Purpose Platform Technologies System and High Resolution Multi-Beam Sonar on ROV[C]//8th IFAC Conference on Control Applications in Marine Systems, 2010:289-294.
- [10] 黄明泉. 水下机器人ROV在海底管线检测中的应用[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(2): 52-57.
- [11] 刘春媚. 遥控式水下机器人运动控制技术的研究[D]. : 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007.
- [12] CHRIST R D, WERNLI R L. The ROV Manual: a User Guide for Remotely Operated Vehicles [M]. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2013.
- [13] 张洪欣, 马龙, 张丽婷, 等. 水下机器人在海洋观测领域的应用进展[J]. 遥测遥控, 2015, 36(5): 23-27.
- [14] 陶军, 陈宗恒. “海马”号无人遥控潜水器的研制与应用[J]. 工程研究, 2016, 8(2): 185-191.
- [15] 任福君, 张岚, 王殿君, 等. 水下机器人的发展现状[J]. 佳木斯大学学报, 2000, 18(4): 317-320.
- [16] 张杰, 纪文亮. ROV原理及在我国海洋石油工程中的应用[J]. 中国造船, 2007, 48(S1): 132-136.
- [17] 张杰, 纪文亮. 在海洋石油工程项目中ROV的基本运作模式[J]. 中国造船, 2007, 48(S1): 137-140.
- [18] 李士涛. 机器人ROV在海洋工程水下施工中的应用技术研究[J]. 中国造船, 2009, 50(S1): 222-228.
- [19] 周凯, 易杏甫. 水下机器人概述和发展应用前景[J]. 电子科技, 2010(24): 283-284.
- [20] 刘阳, 李军安. ROV在深水海底电缆铺设中的应用研究[J]. 湖南农机, 2010, 37(2): 34-51.
- [21] 率鹏. 水下机器人在海洋石油工程中的应用[J]. 石油和化工设备[J]. 石油化工设备, 2019, 22(5): 63-65.
- [22] 肖钢. 浅谈ROV在水下采油树检修中的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(10): 105-106.
- [23] SHUKLA A, KARKI H. Application of robotics in offshore oil and gas industry— A review Part II[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2016(75): 508-524.
- [24] DENNIELOU B, DROZ L, BABONNEAU N, et al. Morphology, structure, composition and build-up processes of the active channel-mouth lobe complex of the Congo deep-sea fan with inputs from remotely operated underwater vehicle (ROV) multi-beam and video surveys[J]. Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2017(142): 25-49.
- [25] CAPOCCI R, DOOLY G, OMERDİC E, et al. Inspection-Class Remotely Operated Vehicles-A Review[J]. Marine Science and Engineering, 2017,5(1): 1-32.
- [26] 田冷. 海洋石油开采工程[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 2015: 62-63.
- [27] YONG B, QIANG B. Pipeline Inspection, Maintenance and Repair[M]//YONG B, QIANG B. Subsea Pipelines and Risers. Amsterdam: Elsevier, 2005. 655-682.
- [28] YONG B, QIANG B. ROV Intervention and Interface. Subsea Engineering Handbook Second Edition. 2019. 806-831.
- [29] 刘彬, 莫子翠, 张杰, 等. 双频识别声呐在浑浊海域ROV海管调查中的应用[J]. 广西科学院学报, 2017, 33(3): 191-194.
- [30] RICHARDS C. Technology Trends in the Offshore Oil & Gas Industry ROV Sensors & Subsystems[J]. Ocean News & Technology, 2011, 17(3): 32-33.
- [31] 庞维新, 李清平, 李迅科, 等. 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.
- [32] WERNIL R. The present and future capabilities of deep ROVs[J]. Marine Technology Society Journal, 1999-2000, 33(4): 26-40.
- [33] CHEN H P, STAVINOHA S, WALKER M, et al. Opportunities and Challenges of Robotics and Automation in Offshore Oil & Gas Industry[J]. Intelligent Control and Automation, 2014, 5: 136-145.
- [34] ROBERT D C, ROBERT L, WERNLI R L. The Future of ROV Technology[M]. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014: 643-661.

APPLICATION AND PROSPECT OF ROV IN OFFSHORE OIL AND GAS FIELD DEVELOPMENT

HUANG Mingquan^{1,2,3}, XU Jingping², SHI Linwei³

(1 Harbin Institute of Technology, Harbin 510000, China; 2 Southern University of Science and Technology, Shenzhen 518055, China;

3 China Offshore Fugro GeoSolutions (Shenzhen) Co., Ltd., Shenzhen 518067, China)

Abstract: With its advantages, ROV played an important role in the lifecycle of offshore oil and gas exploration, development and production phases. Based on the practical applications in the industry, this paper systematically and comprehensively introduced the application of ROV in various operations during the development of offshore oil and gas fields, gave a detailed description of its scope of work, steps and summarized risks related with ROV. At the same time, the future development trend of ROV was forecasted.

Key words: ROV; offshore oil and gas field; risk of subsea operations; deep-sea route