

深海管道法兰连接方案研究^{*}

王立权¹ 王文明¹ 赵冬岩² 曹 为² 王才东¹

1. 哈尔滨工程大学机电工程学院 2. 中国海洋石油工程股份有限公司

王立权等. 深海管道法兰连接方案研究. 天然气工业, 2009, 29(10): 89-92.

摘 要 法兰式连接是深水海底管道常用的机械连接方式,也是海底管道回接技术急需解决的课题。为此,对深海管道法兰连接机具的发展现状进行了概述,对比了典型法兰连接机具的特点,通过分析国外典型机具(包括国外机具的机构特点和工作原理),提出了具有自主知识产权的三瓣式深海管道法兰连接机具的结构方案,设计了机具连接作业过程方案。该研究成果对于追踪国外先进科技,为机具进一步设计提供依据和提高我国深水回接作业水平具有一定意义。

关键词 深海管道铺设 法兰连接技术 机具结构设计 水下作业 方案 连接作业过程

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.10.028

对油气资源需求量越来越大的今天,人们正在将目光投向海洋。全球海上油气资源大约有 44% 储存在海平面 300 m 以下的深水海域。中国海洋石油总公司正在建造 3 000 m 深水铺管船,在“十一五”期间要建成 3 000 m 海底管道敷设能力。因此,在海洋石油走向深水的发展趋势下^[1],水下自动化作业机具的研制具有重大现实意义。

水深 500 m 左右的浅水海底管道大多是通过潜水员直接操纵或以水下密封舱作为作业空间实施连接。而深水区域海底管道的连接方法大都是机械连接方法^[2],大致可以分为 3 种:卡爪式连接、夹具式连接和法兰式连接。法兰式连接是常用机械连接方式,是当前海洋探索研究的管道回接方式之一^[3]。针对深海管道法兰连接技术,着重介绍其作业机具的发展现状,并对其工作原理进行总结,以便为法兰连接机具的研制提供研究思路。

1 深海管道法兰连接技术

1.1 水下法兰连接技术概述

水下回接是深海管道敷设重要组成部分。水下回接技术是指将新开发的生产管道并入已建的管网,充分利用已建设施,使边际小油田开发变得经济有效,其主要内容包括:管道与平台的连接、管道与

管网的连接、管道与立管的连接和管道间的连接等。深海管道法兰连接技术属于水下回接技术,是将海底管道通过法兰螺栓连接方式连接,实现管道敷设的技术^[4]。深海管道法兰连接机具是应用于海底管道水下作业技术的一种特种机具。机具可以完成海底管道的法兰连接,是回接过程的最后一步。其同时可以应用于水下维修,适合于各类海区和不同水深的作业要求^[5]。因为潜水员在深水海底不能直接施工,只有在水下机器人 ROV (Remotely Operated Vehicle) 的辅助下作业,同时深海又具有高静压、腐蚀等特性,导致深海管道法兰连接机具设计具有很大难度。设计出远程操控的法兰连接机具将大大提高我国在水下回接的技术水平。

1.2 典型法兰连接机具

在深海管道法兰连接机具的研究和应用领域中,美国 Sonsub 公司、挪威 Acergy 公司和瑞士的 Allseas Group 公司均拥有相关技术和产品。其中 Sonsub 公司和 Acergy 公司的深海管道法兰连接机具最具有代表性,并都有实际工程应用。

1) Sonsub 公司水下管道连接 BRUTUS 系统^[6-7]的法兰连接机具如图 1 所示。法兰连接机具由两部分构成,分别是螺栓插入张紧机具 BITT (Bolt Insertion and Tensioning Tool) 和螺母库

^{*} 本文受到国家高技术研究发展计划(863 计划)(编号:2006AA09A105-4)的资助。

作者简介:王立权,1957 年生,教授,博士生导师;参与多项国家“863”计划、国家自然科学基金项目;从事深水回接技术、水下作业设备和仿生机器人技术研究工作。地址:(150001)黑龙江省哈尔滨市哈尔滨工程大学机电工程学院海洋智能机械研究所逸夫馆 110 室。电话:(0451)82589251,13796034520。E-mail:wangwenmingjob@qq.com

NM(NUT Magazine)。图1-a为螺栓插入张紧机具,用于携带连接法兰的螺栓;图1-b为携带螺母的螺母库。螺栓插入张紧机具和螺母库上安装有ROV接口模块,ROV可以携带螺栓插入张紧工具和螺母库在水下运动,并向螺栓插入张紧工具和螺母库提供动力和控制信号,同时将反馈信号传递给工作母船。为了方便水下操作,螺栓插入张紧工具和螺母库上安装有浮力材料,使其处于零浮力状态。机具对孔操作由水下电视监测,通过视觉观察不断调整误差,完成对孔作业。对螺栓预紧力监测采用传感器,以便精确控制预紧力。2000年在挪威外海400 m深处完成了406.4 mm管道法兰的连接和254.0 mm软管法兰的连接。该机具最大工作水深是3 000 m,最大连接管径是609.6 mm,适用于API标准法兰。

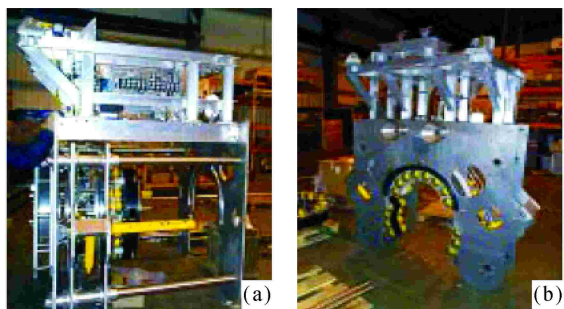


图1 美国 Sonsub 公司的 FCT 图

2)Acergy 公司的 MATIS 系统^[8-9] 法兰连接机具如图2所示。该机具结构是一体的,所有功能部件都安装在外框架上,包括螺栓插入功能部件、螺母拧紧功能部件、机械手和一个存储螺栓、螺母、密封垫片的机具仓等。采用模块化设计可依据连接管道



图2 挪威 Acergy 公司的 FCT 图

尺寸、工作水深和连接管道形式的不同采用不同的组合方式。螺栓插入功能部件和螺母拧紧功能部件被安装在一个滑动梁上,在液压缸的推动下螺栓插入功能部件和螺母拧紧功能部件可沿着滑梁移动,完成螺栓插入等动作。法兰连接机具上设置 ROV 接口和浮力块,整套机具可由 ROV 水下携带,并从 ROV 获得动力和控制信号。ROV 可以在工作母船上安装到连接机具上,也可以在水下与连接机具结合。对孔操作由水下电视监测,通过视觉观察不断调整误差,完成对孔作业。该机具装有一个存储螺栓、螺母和密封垫片的机具仓,携带的螺栓、螺母和密封垫片数量能够满足三对法兰的连接,所以一次下水可以进行多次连接,并减少了由于螺栓、螺母或垫片跌落造成的连接失败概率。

Acergy 公司对法兰连接机具的研究起于1994年,机具具有更多的工程应用和更深的水下工作记录。第一次应用于1999年,在挪威为 Statoil 公司(挪威国家石油公司)完成了一个228.6 mm管道法兰的连接,水深98 m。2000年10月又为 Statoil 公司在北海的 Gullfaks 完成了558.8~609.6 mm管道法兰的连接,水深215 m。2001年10月在西非安哥拉的 Girassol 进行了100多个法兰的连接,管道法兰尺寸为228.6~330.2 mm,最大水深达到1 400 m,连接形式包括管道与平台的连接、管道与立管的连接等。Acergy 法兰连接机具的最大工作水深达3 000 m,可连接管径范围是101.6~914.4 mm,适用于API和ANSI标准法兰。

综上所述,目前深海法兰连接机具技术只掌握在国外少数大公司手中,而国内较少有相关研究,没有成熟设备,都是通过租赁美国或挪威等国家水下机具进行作业。

2 三瓣式深海管道法兰连接机具结构设计

深海管道法兰连接机具采用三瓣式结构,主要包括:外框架、内框架、液压控制模块、水下摄像机、卡爪机构、螺栓库、螺母库和ROV接口平台等8部分。三维模型如图3所示。外框架为桁架式结构,是整个机具的支撑体,联结各个部件并保证各部件与管道、法兰的相对位置精度;内框架搭载螺栓库和螺母库,其可以绕管道周向转动,保证螺栓与法兰孔可以实现对准;液压阀箱内液压阀的开合,驱动液压缸和液压马达动作,实现机具的各项功能;水下摄像机监测机具作业状态,反馈管道与机具、法兰与机具

的位置信息,并将其显示在上位机显示终端上;卡爪机构与外框架通过螺栓连接,可将整个机具定位于海底管道;ROV 接口平台与辅助作业 ROV 上的专用接口对接,实现 ROV 动力液压源、信号源与机具连接;螺栓库用于存放螺栓并插入螺栓,安装在管道的活动法兰一侧,采用三瓣式结构,具有拉伸预紧螺栓的功能;螺母库用于存放螺母并拧入螺母,安装在管道的固定法兰一侧,也采用三瓣式结构,拧入固定法兰一侧的螺母。管道为机具的操作对象。操控系统由操控面板和上位机 PC 组成,操控系统发出指令后,PLC 下位机控制系统控制液压阀箱动作,实现机具各部分作业。远程操控的 ROV,可以为无人法兰连接提供必要的辅助作业,如携带机具定位到管道上、与 ROV 接口平台对接等,同时为机具提供液压动力源。

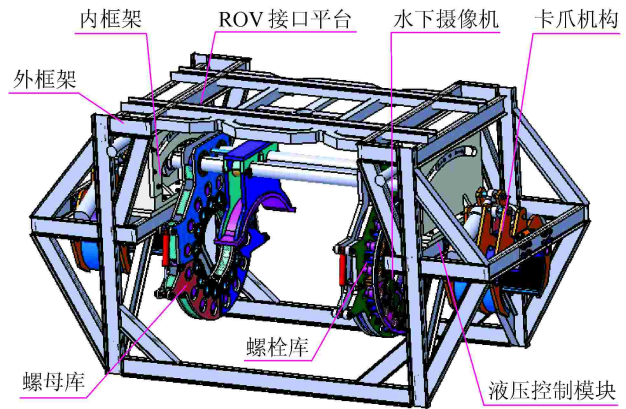


图 3 深海法兰连接机具库三维模型图

机具工作原理:机具通过卡爪机构定位到管道后,螺栓库与螺母库随内框架转动;螺栓库携带的螺栓部分插入旋转法兰孔,带动旋转法兰转动,调整旋转法兰与固定法兰使其对正;法兰孔对正之后,螺栓库插入螺栓,另一侧的螺母库拧入螺母。其中,螺栓库沿周向均布 16 个结构相同的拉伸拧紧机构,采用拉伸螺栓预紧方式,每个都具有拉伸螺栓拧入螺母的功能,法兰两侧的螺母拧入施加了预紧力的螺栓,最终实现管道的法兰螺栓连接。

3 三瓣式深海管道法兰连接机具作业方案

深海管道的连接,由于受到水深的制约,不可能采取潜水员作业形式,也不便采取水下密封舱作业形式,它采用一种无潜水员的自动回接方法,通过水下机器人 ROV 控制法兰连接机具完成管道的法兰

连接。该自动法兰连接机具的前提条件有:ROV 控制整个过程,可以监测法兰孔的对正精度、提供液压油源等外部动作;两个管道已经由其他作业机具拖拽靠近,且保证两个管道的法兰贴近距离和管道同轴度在规定的范围内。图 4 为作业机具就位图,包括连接机具和辅助机具。辅助机具具有轴向对准机具、接应机具、ROV 和 H 架等。在法兰连接作业之前,H 架将管道提升离海底面一定高度,轴向对准机具和接应机具配合作业实现管道的初对准,这样辅助机具可以将两管道对齐到一定精度,再由法兰连接机具作业,最终实现管道法兰的连接。

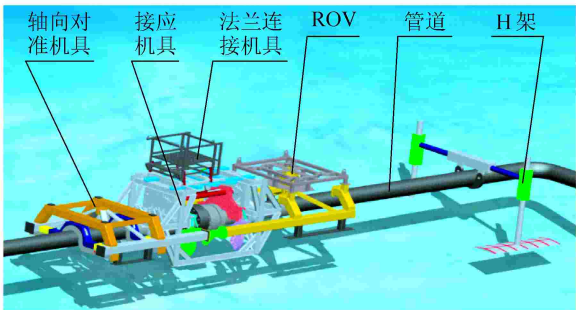


图 4 作业机具就位示意图

详细连接作业过程方案如下,部分动作如图 5 所示:

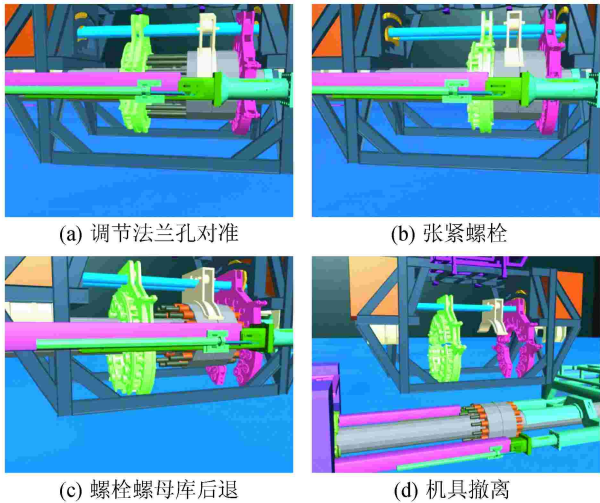


图 5 机具连接作业过程图

1)海上操控船装载法兰连接机具和其他辅助机具定位到回接地点的海面,然后把所有设备传送到水下回接地点,准备进行对接任务。

2)ROV 携带辅助机具就位到工作地点后,轴向对准机具和接应机具将管道粗对准。

3)ROV 将机具传送到完成粗对准的管道上,控制机具的卡爪机构夹紧管道,三瓣式开合机构闭合,螺栓库和螺母库中心线基本与法兰中心线对正。

4)控制机具框架调节装置推动螺栓库前进,至接近法兰端面停止;旋转机构转动螺栓螺母库,调节螺栓与旋转法兰的法兰孔对准。

5)待螺栓与法兰孔对准后,推动螺栓库前进,将螺栓末端插入旋转法兰孔;再次转动螺栓螺母库,调节旋转法兰与固定法兰的法兰孔对准,如图 5-a。

6)待法兰孔对准后,将螺栓完全插入旋转法兰,同时推动螺母库前进与法兰端面贴合;控制机具螺母库旋入螺母。

7)待螺母旋入后,控制机具螺栓库张紧螺栓,如图 5-b;完成连接后,推动螺栓螺母库后退,如图 5-c。

8)待螺栓螺母库后退到初始位置,控制机具开合机构爪瓣与夹紧机构卡爪张开,准备撤离机具;最后,由 ROV 控制机具撤离管道,如图 5-d。至此,作业结束,完成管道法兰的远程操控连接。

4 结 论

我国深水海域环境较为复杂,海底管道法兰连接需要多机具联合作业,设计具有难度。针对深海管道敷设的需求,综合考虑作业环境、水下作业机具要求等因素,提出了具有自主知识产权的三瓣式法兰连接机具结构和作业过程方案,为进一步研究法兰连接机具指明了方向。

参 考 文 献

- [1] 焦向东,周灿丰,陈家庆,等.21 世纪海洋工程连接技术的挑战与对策[J].焊接,2007,1(5):23-26.
- [2] 周灿丰,焦向东,陈家庆,等.海洋工程水下连接新技术[J].北京石油化工学院学报,2006,14(3):20-22.
- [3] 于达.海底天然气管道投产案例分析[J].天然气工业,2007,27(10):109-111.
- [4] 时黎霞,李志刚,赵冬岩,等.海底管道回接技术[J].天然气工业,2008,28(5):106-108.
- [5] 刘春厚,潘东民,吴谊山.海底管道维修方法综述[J].中国海上油气,2004,16(1):60-61.
- [6] GIOVANNI CORBETTA, DAVID S. COX. Deepwater tie-ins of rigid lines: horizontal spools or vertical jumpers [C]// SPE Offshore Europe Conference Proceedings. Aberdeen (Scotland): Society of Petroleum Engineers (SPE),1999:203-209.
- [7] CORBETTA G, CURDEN R. A new approach to capex and opex reduction: an integrated system for remote tie-ins and pipeline repair[C]// Proceedings of the Annual Offshore Technology Conference. Houston: Offshore Technology Conference,2000:313-319.
- [8] VINCENT ALLIOT, IAN FRAZER. Tie-in system uses low-cost flanges on deepwater girassol development[J]. Oil & Gas Journal,2002:96-104.
- [9] Stolt offshore limited. Remote bolted flange connection apparatus and methods of operation thereof;Norway, International Patent, WO 03/040602[P].2005-05-15.

(修改回稿日期 2009-08-07 编辑 何 明)