

## 工程实践

## 柔性复合海底管道复位和回接方法

楚金勇<sup>\*1</sup> 于银海<sup>2</sup> 兰学杰<sup>2</sup> 史殿龙<sup>2</sup> 郭建国<sup>1</sup>

(1.中海油深圳海洋工程技术服务有限公司 2.海洋石油工程股份有限公司)

**摘要** 以渤海某海上油田新铺柔性软管工程为例,针对软管起始端和终止端受海上已有结构影响,无法一次铺设到设计路由,需要通过二次搬移的方式使偏离设计路由的软管复位。设计了以浮袋为主要辅助手段的柔性软管路由搬移复位方案,从理论上分析了可行性。根据目前常用的海管法兰对接方法,结合平台上部结构对回接工作的影响,分别提出了浮袋、倒链和吊梁辅助的柔性软管法兰连接的优化方案。工程实践证明,依托浮袋辅助软管路由大范围搬移能够保证软管结构的安全,且操作方法简单,提出的2套柔性软管法兰连接的优化方案降低了施工难度和风险。

**关键词** 柔性软管 路由 浮袋

中图分类号 TE 42

DOI: 10.16759/j.cnki.issn.1007-7251.2024.06.014

## Resetting and Reconnection Methods for Flexible Composite Submarine Pipelines

CHU Jinyong YU Yin Hai LAN Xuejie SHI Dianlong GUO Jianguo

**Abstract:** Taking the newly laid flexible hose project in an offshore oil field in Bohai as an example, it was necessary to reset the deviated hose from the design route through secondary relocation, as the starting and ending ends of the hose could not be laid to the design route in one go due to the influence of the existing offshore structure. A flexible hose routing and relocation reset scheme with floating bags as the main auxiliary means had been designed, and the feasibility had been theoretically analyzed. Based on the commonly used flange docking methods for subsea pipelines and considering the impact of the upper structure of the platform on the reconnection work, optimization schemes for flexible hose flange connections assisted by floating bags, chain blockers, and lifting beams were proposed. Engineering practice had proven that relying on floating bags to assist in the routing and large-scale movement of flexible hoses could ensure the safety of the hose structure, and the operation method was simple. The proposed optimization plan for two sets of flexible hose flange connections reduced construction difficulty and risk.

**Key words:** Flexible hose; Road relocation; Floating bag

## 0 引言

当前国际形势复杂多变,大多数国家已经把能源

安全上升到国家战略高度,石油作为传统能源仍然发挥着至关重要的作用。前些年,石油开发比较看重开采的经济性,许多海上边际油田项目<sup>[1]</sup>因投资收益

\* 楚金勇,男,1978年生,本科,工程师。深圳市,518000

率较低暂时被搁置。随着新技术不断发展,油气田开发标准化建设趋于成熟,再加上国际能源形势变化,石油价格大幅上涨,海上边际油田的开发程度也逐渐加大。柔性复合海洋软管是一种新型管道,经过多年的生产实践和工程应用,其国产化生产技术已经较为成熟,且具有防腐性能好、对地形适应强、可连续铺设、施工效率高、工程总成本低等优点,在国内海上油气田开发中应用越来越广<sup>[2-4]</sup>,特别是在边际油田开发中备受青睐。随着海上油田规模不断壮大,受海上已有设施或其他因素影响,可能存在无法按照设计路由一次性把软管铺设到设计路由位置的情况,或者铺设后需要进行移位处理,才能满足软管法兰与平台或水下设施的回接要求<sup>[5-6]</sup>。本文以渤海某海上油田新铺柔性软管工程为例,介绍了 1 条新铺管道无法一次精准铺设到设计路由,并存在较远距离的大范围偏离,需要进行路由复位和回接的施工方法,以及成功实施的工程实践。

## 1 概述

某渤海海上油田两个生产平台间新铺设 1 条柔性复合注水海底管道,该柔性管道路由设计阶段,为了避免影响未来钻井船在平台钻井就位,把设计路由避开了划定的钻井船就位避让区域,给软管铺设工作增加了一定难度,造成该条软管无法按照设计路由一次性铺设到位。在铺设起始端的近平台端约 180 m 范围需要偏离路由铺设,最大偏离设计路由约 44 m,起始端法兰铺设点距立管连接法兰约 21 m;在铺设终止端近平台约 120 m 范围的软管采取 S 形铺设,终止法兰弃置点距立管连接法兰约 17 m,偏离设计路由最大距离为 18 m,给后续回接和路由复位工作带来了巨大困难。海管起始铺设施工路由和设计路由对比如图 1 所示,终止铺设路由和设计路由对比情况如图 2 所示。

该柔性复合海底管道内径为 150 mm,其主要参数如表 1 所示。

受平台结构影响软管起始端法兰和终止端法兰无法直接铺设至立管法兰位置,不能与立管法兰直接连接,需要先把软管法兰调整至靠近立管法兰 0.5 m 范围内后,才能进行对接。此外由于海底管道海域批复使用范围为沿管道设计路由两侧各 10 m,该项

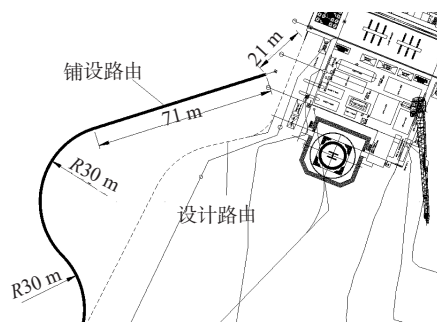


图 1 海管起始铺设路由和设计路由对比

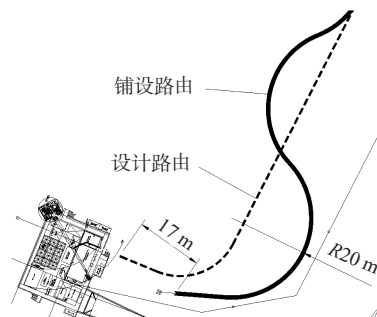


图 2 终止铺设路由和设计路由对比

表 1 管道基本参数

管道属性	参数
软管内径/mm	133.6
软管外径/mm	233.7
最小在位服役半径/m	4.5
最小储存半径/m	3
最小安装半径/m	3
设计压力/MPa	18.4
最大轴向拉力/kN	273
最大轴向压力/kN	55
抗弯刚度/(kN·m <sup>2</sup> )	44.77
轴向刚度/kN	212 400
空管质量(空气中)/(kg·m <sup>-1</sup> )	85.57
空管质量(海水中)/(kg·m <sup>-1</sup> )	41.60
充水质量(海水中)/(kg·m <sup>-1</sup> )	55.99

目软管铺设后的起始和终止端路由均超出了海域使用范围,为了保障管道施工符合用海要求,需要对软管路由进行复位。

## 2 软管路由复位的方案设计

海上已有平台会对常规钢制海底管道铺设产生

影响,导致海管起始和终止管头远离平台立管时,在管道路由不超出批复的用海海域情况下,通常使用增加膨胀弯<sup>[7-8]</sup>管道连接铺设的平管与立管。当铺设后的平管路由超出用海海域时,则需要把超出海域的管道通过平管起吊搬移至设计路由<sup>[9-10]</sup>。起吊搬移平管的方法一般是在工程船舷侧布置几个A吊,并用浮袋辅助,从船舷侧把偏离路由的海管整体起吊离开海床后,向管道路由方向移船,一次性把偏离路由的管道移动至设计路由,然后下放到海床上,图3是某条终止端偏离设计路由约300 m的钢制海管的起吊和搬移模型。复合软管有较好的柔韧性,可以像钢管一样提升和整体移位,需要增加大量吊点或者浮袋辅助等方式,工作量巨大,且在海流的影响下不易控制,容易造成管道局部弯曲或扭转使结构受损,作业风险极高,通常不采用该方法。

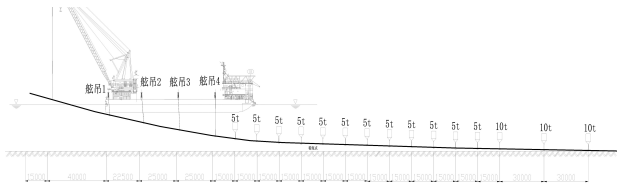


图3 钢质海管平管起吊

本项目的方案为:从距软管管端1 m位置开始,每间隔24 m绑扎1个浮袋,在软管铺设起始端绑扎8个,终止端绑扎6个,分别给浮袋充气至其浮力达到1 t,使浮袋绑扎点软管起升离开海床约1 m,在立管法兰附近设置导向滑轮,把船上绞车牵引缆穿过导向滑轮与软管端部法兰封头连接,绞车缓慢拖动使软管端部法兰封头与立管法兰靠近。然后在浮袋之间的软管上选取横向拖拽点,连接牵引缆,多次向设计路由上拉拽软管,使软管复位。起始端软管浮袋布置如图4所示。

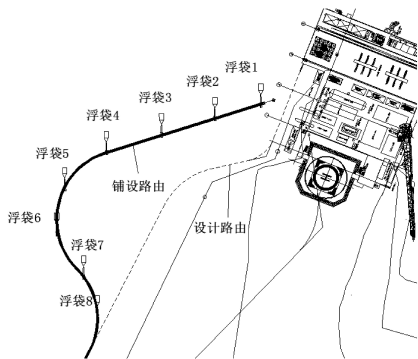


图4 起始端软管浮袋布置

使用OrcaFlex软件对软管起始端和软管终止端进行拖拉分析,结果如表2所示,作业过程中软管最小弯曲半径及受力均满足软管属性要求。

表2 软管拖拉分析结果

位置	最大弯矩/ (kN·m)	最大 剪切力/kN	最小 弯曲半径/m	绞车 牵引力/kN
起始端	11.7	4.7	3.8	8.4
终止端	14.7	4.9	3.1	5.0

### 3 施工实践

#### 3.1 软管管端法兰位置调整

为了实现软管全部复位并与立管法兰完成对接,首先要调整软管管端法兰与立管法兰靠近。以起始端法兰连接为例,如图4所示,工程船先于浮袋8位置就位,从平台远处向平台方向移船,潜水员依次给8个浮袋充气,使浮袋绑扎位置软管在浮袋浮力作用下被提升约1 m,然后把船上绞车的牵引缆穿过立管法兰附近设置的导向滑轮与软管起始端封头连接,缓慢启动绞车使软管管头靠近立管法兰,直至距离在0.5 m以内,施工情况如图5所示。

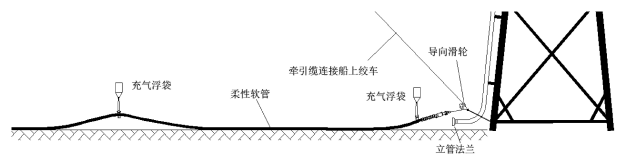


图5 牵引软管管端靠近立管法兰

由于起始端铺设远离设计路由较多,调整软管法兰靠近立管法兰后,因2个法兰轴线方向存在较大夹角,对接的两个法兰盘螺栓孔无法同时穿过螺栓,因此需要把软管法兰与立管法兰进行同轴度调整,使法兰能够顺利对接。在距立管法兰约20 m位置的平台导管架底部横拉筋附近寻找软管横向移位拖拽点,使用水平倒链、吊带与软管连接,通过收紧倒链拉动软管缓慢向路由方向靠近,直至移至设计路由,确保软管法兰与立管法兰位于同一轴线,如图6所示,从而达到满足法兰对接的条件,如图7所示。

#### 3.2 软管法兰与立管法兰连接

本工程柔性软管起始端和终止端所在平台因上

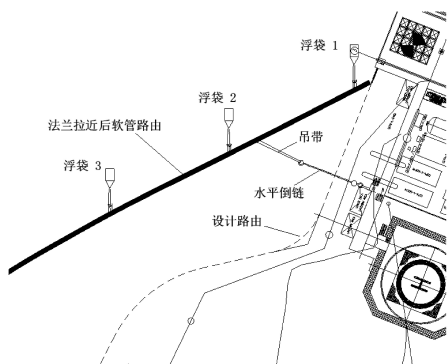


图 6 软管法兰与立管法兰同轴度调整

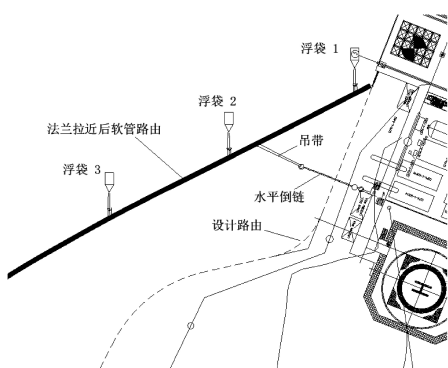


图 7 起始端软管法兰连接状态路由

部组块外探尺寸不同，采用了不同的对接方法。其中起始端平台上部组块外凸较多，无法使用工程船吊机协助软管法兰与立管法兰对接，采取了浮袋+倒链的配合方式。软管起始端法兰与立管法兰处于同一轴线后，按照图 8 所示的方式，在立管底部导管架横拉筋上设置 2 个固定点，使用吊带、倒链与软管法兰连接，然后在软管接头位置和距接头 3~4 m 处分别绑 1 个浮袋，并给浮袋充气，使软管管端水平浮起，与立管法兰保持同样高度，潜水员收拉倒链把软管法兰和立管法兰拉拽至能够穿入螺栓的状态，在法兰螺栓孔中对称穿入螺栓，预紧螺栓使法兰面最终靠近，然后

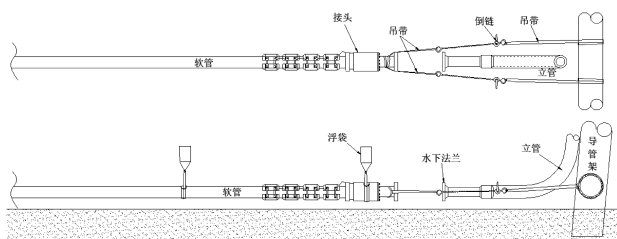


图 8 浮袋+倒链的软管与立管对接方法

在法兰中间放入密封圈，穿满螺栓并进行全部预紧，完成软管起始端法兰与立管法兰的连接工作。

该工程终止端平台因上部组块几乎无外探，对使用吊机辅助软管法兰与立管法兰对接无影响，采取了吊梁辅助的对接方式。如图 9 所示，选取 1 根长吊梁，在下方均匀布置 3 个吊点，使用工程船吊机把吊梁下放至软管终止端上方，通过倒链、吊带将吊梁与软管管头连接，起升软管通过收放倒链让软管法兰保持水平，然后调整高度使软管法兰与立管法兰间穿入螺栓后完成对接。

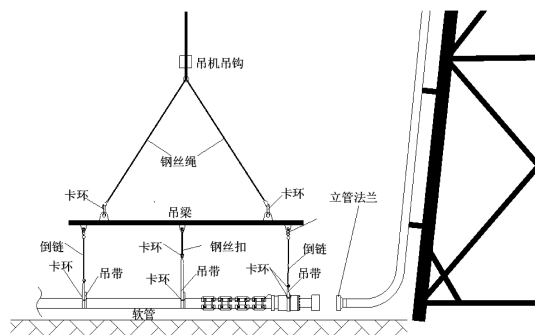


图 9 吊梁辅助软管端部法兰对接

### 3.3 远离平台区域软管路由复位

柔性软管起始和终止段法兰连接完成后，仍有如图 7 所示的较大范围路由偏离批复的海域，需要移位至海域范围内。在起始端平台借助平台底部结构做导向，软管起始端路由局部复位，实现了软管起始端法兰与立管法兰顺利对接的目的，但远离平台仍然偏离设计路由的部分软管，则无法采用该方式继续进行路由的复位工作。因此，现场设计了一种利用船舶横向牵引软管移船的方案，通过多次移船拉动软管，使软管进入全部海域许可范围内，如图 10 所示。对全部浮袋充气后，在浮袋之间软管的靠中间位置，间

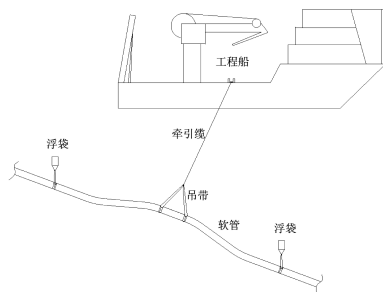


图 10 工程船带动软管横向移位

隔约3 m绑2个吊带汇集到1根牵引缆与工程船连接,然后工程船垂直软管路由横向缓慢移位,拉动局部软管到设计路由区域范围内,重复多次后,把所有起始端180 m和终止端120 m偏离路由的软管全部复位到海域许可范围内。

### 3.4 实践效果

针对软管调整后路由的状态,油田业主对软管起始和终止端进行潜水探摸调查和整体路由扫侧,所有管道均在海域许可范围内,起始段最终路由情况如图11所示。对软管进行清管试压,清管球通过软管后状态良好,试压一次性合格。

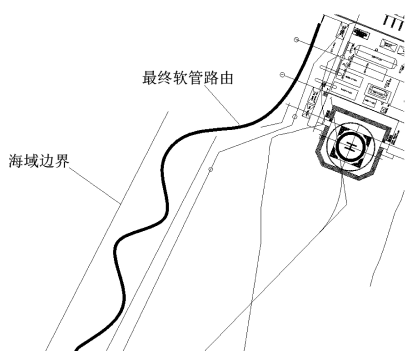


图 11 软管起始端最终路由

## 4 结语

柔性复合海底管道国产化技术已经较为成熟,已投产的国产柔性海管均保持着良好的运行状态。因柔性管道能连续铺设,较常规钢质海底管道铺设效率高,工程总投资成本低,在海上油气田开发中应用越来越广。随着海上新建油气田的开发程度迅速增加,现有油气田的扩建和增容调整力度也越来越大,使得

海上油气设施和海底管道数量迅速增加,这也给新建工程海上施工带来了一定不便。本工程通过浮袋和导向牵引的方法调整软管路由,使用浮袋和倒链或者吊梁辅助软管回接的工程实践达到了良好的效果,可以为后续其他柔性软管铺设工程提供借鉴。

## 参考文献

- [1] 周万德,陈强,万宇飞,等.渤海边际油田开发海底管道关键技术[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(17):196-198.
- [2] 潜凌,李培江,张文燕.海洋复合柔性管发展及应用现状[J].石油矿场机械,2012,41(2):90-92.
- [3] 陈海.国产海底软管在海上油气田的应用[J].石油机械,2016,44(5):61-65.
- [4] 石锦坤,方霖,高原,等.柔性软管敷设过程及安装计算分析[J].中国海洋平台,2020,35(1):67-74.
- [5] 顾天宝.静态柔性软管铺设和回接技术应用[J].化工管理,2018,487(16):53-54.
- [6] 魏行超,骆承树,蔡长松.柔性软管回接管安装工艺在某油气田开发中的应用[J].石化技术,2015,22(9):176-177.
- [7] 刘朋,奉虎,于银海,等.法兰连接式柔性软管膨胀弯在工程中的应用[J].油气储运,2020,39(9):1076-1080.
- [8] 刘朋,崔占明,于银海,等.限制空间安装膨胀弯的推荐方法[J].石油工程建设,2021,47(4):15-19.
- [9] 魏国涛.海底管道路由偏差复位技术研究与实践[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(9):205-206.
- [10] 田震,王欣东,柴昕辰,等.受限海域海底管道铺设施工方法[J].天津科技,2022,49(10):56-59.

(收稿日期:2023-12-17)

## 上海市化工行业协会承办的首个团体标准发布

最近,上海市化工行业协会承办的首个团体标准——《石油化工装置安全阀在线检测技术规程》相继在全国团体标准信息平台和上海市市场监督管理局网站发布。

《石油化工装置安全阀在线检测技术规程》团体标准的发布,

填补了国内安全阀在线检测标准的空白,满足了上海化工产业发展需求和行业规范作业的需要。该团体标准研制工作取得的初步成果,为上海市化工行业协会在团体标准领域深耕,为企业拓展市场与提质增效,为团体标准在国内行业推广,为发展巩固

我国先进化工制造业等积累了经验。

上海市化工行业协会将秉承“把握方向、团结会员、服务行业、做强产业”的宗旨,进一步探索推进团体标准研制工作,为发展“新质生产力”搭好平台,打造行业发展新“增长极”。