

# 涠洲终端单点水下软管抢修更换实践探讨

湛江中海石油检测工程有限公司

赵超

地址：广东省湛江市坡头区南油山区华岳大楼五楼水下作业班

邮编：524057

摘要:通过实践施工克服涠洲单点水下软管抢修时的抛锚就位、旧软管拆卸、新软管组装转运、两组法兰对接及不停产等作业难点，成功完成涠洲单点水下软管抢修更换，比原计划提前3天完工。

关键词:水下软管；抛锚就位；软管转运；法兰对接；不停产；

中图分类号： 文献标志码：

## 0 引言

涠洲单点系泊装置从1998年投入至今已经服役20年，在长期开放式海洋环境下，水下软管使用期间出现漏点，进行临时堵漏，鉴于海洋环保与提油外输的重要性，抢修更换迫在眉睫。

## 1 单点介绍

涠洲单点位于广西壮族自治区北海市涠洲岛以西约2.9KM处，属于悬链式锚腿系泊系统。单层原外输管线（海上2.9KM，陆地1KM）、1998年8月分建成完工投产运行。



图1：涠洲单点

### 1.1 基本参数

浮筒直径：11×4.27米

系泊锚桩尺寸：6×36"×21.5米

浮筒干舷：2.2米

转运部分：

PLEM重力式基盘：12×12米。

水下管串：

中国灯笼式：2×16"

Dunlop单条长度：2×26米（带浮子）

漂浮软管：2×16"

MPDU：双通道，通径2×16"，重约：14t,ANSI 150IB。

### 1.2 设计条件

生存条件（无系泊船）： $H1/3 \leq 5.7m$   $Vw \leq 51.8m/s$   $Vc \leq 1.66m/s$

操作条件（有船系泊并有外输作业）： $H1/3 \leq 2.5m$   $Vw \leq 15m/s$   $Vc \leq 1m/s$

系泊条件（有船系泊）： $H1/3 \leq 2.7m$   $Vw \leq 26m/s$   $Vc \leq 1m/s$

### 1.3 操作条件

#### 输油作业：

最大入口压力：13bar

最大入口温度：52℃

出口压力：>3bar

出口温度：>40℃

输油速率：4500m<sup>3</sup>/h(双管)

#### 油水置换作业：

置换时间：2.5小时

介质：水

温度：50℃

流速：800m<sup>3</sup>/h（单管）；

入口压力：10bar

#### 热水循环：

速率：800m<sup>3</sup>/h（单管）

入口压力：10bar

温度：52℃

循环总压降：705kpa

循环温度：12.8℃.

循环路径：U管，管臂16"旁通管线，基盘上有12"旁通管线。漂浮软管（尾端）提升长度20米，单管（充油）提升重量7吨，双管（充油+U管）提升重量14.6吨。

#### 1.4 系泊参数

系泊缆：过度链加三角板（6个120吨卸扣加2米锚链加一个三角板），采用单缆，14"周径，长约46米，中间加10米摩擦链和浮子连接提升缆80米，拾取缆30米组成。

### 2 抢修施工方案

单点水下软管抢修工期计划有限，正值北部湾西南涌季节海况恶劣及强对流天气频发时节，时间紧任务重，在不停产前提下进行施工，因此抢修方案必须考虑周全，可操作性强的方案。

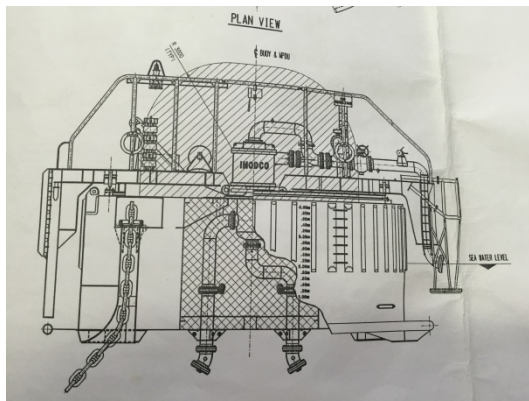


图2：浮筒结构图



图3：水下基盘原始安装前照片

### 3 抢修作业步骤

涠洲作业公司聘请海工方面的专家组织施工方案研讨会，充分考虑工期与现有浮吊、人力、船舶等资源，形成了如下抢修步骤：

(1) 人员设备动员至作业船；

- (2) 新水下软管及浮子码头组装，按规范要求试压；
- (3) 作业船按方案抛锚就位；
- (4) 确认所需更换水下管线隔离阀门全部关闭，取样确认扫线干净；
- (5) 拆卸旧水下软管两端法兰，从上而下，两端法兰封堵盲板；
- (6) 旧水下软管两端封堵盲板充压0.3mpa，用守护船拖运到码头吊装上岸；
- (7) 根据天气情况及提油计划，选择合适时机，将新水下软管充压充压0.3mpa，吊装到海面，用守护船拖运到作业船；
- (8) 新水下软管下端法兰对接；
- (9) 新水下软管上端法兰对接；
- (10) 上下两端法兰螺栓调整按要求加固；
- (11) 测量新装水下软管构型是否符合要求；
- (12) 对新装水下软管按规范要求进行试压；
- (13) 水下拍照录像；
- (14) 业主验收；
- (15) 人员、设备复原；
- (16) 完工报告编制提交。

#### 3.1 施工准备

##### (1) 作业船锚位选择确认

充分考虑单点的水下结构复杂性；6条水下锚链、2条海管、水下基盘、法兰方位与锚链夹角等进行勘察确认，做好位置标识，选择最佳抛锚方案及备选方案，避免作业船抛锚就位造成绞缠和损伤。

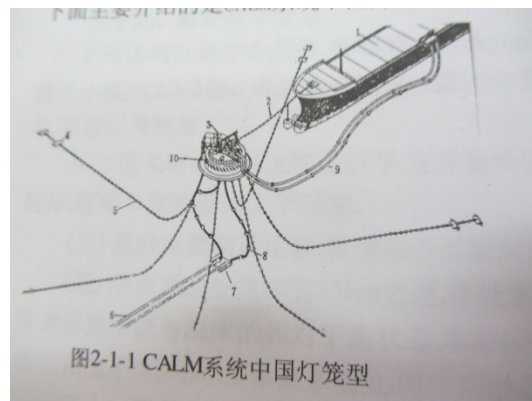


图4：单点结构图

#### 3.2 作业船参数确认及施工设备选择

- (1) 甲板可使用面积。
- (2) 吊机起吊吨数，把杆作业半径，吊机没有副钩。
- (3) 锚缆的长度及数量。

(4) 供电功率。

(5) 绞车类型数量位置及钢丝绳直径。

通过掌握的作业船参数选择合适的潜水设备及辅助设备。

### 3.3 施工方案完善

组织骨干力量多次研讨施工方案及备选方案，达成统一意见，细化施工方案，使施工方案具有很强操作性。

## 4 抢修难点

### 4.1 工程船抛锚就位

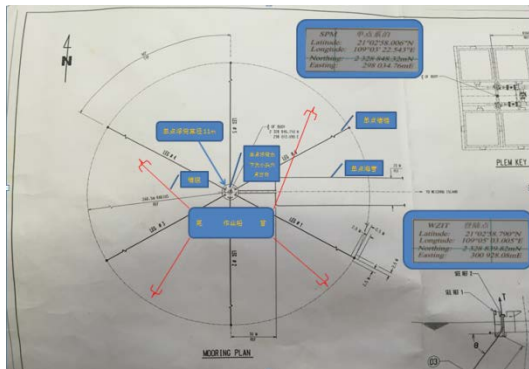


图 5：首选作业船抛锚就位示意图

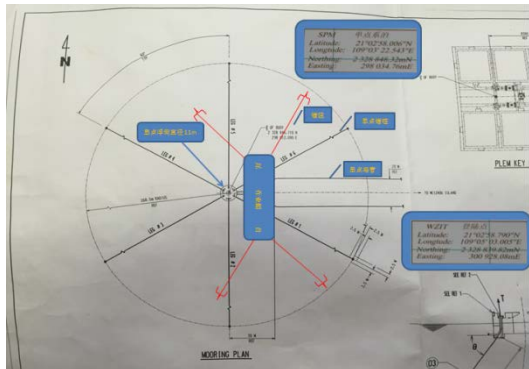


图 6：备用作业船抛锚就位示意图

具体如下：

涠洲单点半径 5.5m，安全区半径 268.5m，施工船，长 40m、宽 18m。作业船右侧距离单点 5m，根据作业船的实际大小和管线路由图，推算出施工船 4 个锚 ABCD 分别抛 300m，AB 两后锚点的直线距离为 448.3m，AB 两锚位点距离安全区 98.5m，AD 两锚点的直线距离为 486.3m，DC 两前锚距离安全长 30.3m，DC 两锚位点分别距离至涠洲终端海管直线距离为 214.1m。见图 5：首选抛锚就位图。

#### 4.1.1 平面坐标控制系统

本次定位采用 WGS-84 坐标系，相关参数如下：

参考椭球：WGS-84；

$a=6378137.0\text{m}; 1/f=298.2572;$

中央子午线= $111^\circ \text{E}$ ; 纬度原点= $0^\circ$ （赤道）；

假东（F.E.）= $500000\text{M}$ ；假北（F.N.）= $0\text{M}$ ；

比例因子= $0.9996$ 。

#### (1) 导航定位系统

本次调查采用 Hemishpere VS100GPS 罗经进行导航定位。该设备是一种高性能、全新概念的差分系统，信标、GPS 二机合一，两种信号同时由一个天线接收处理，接收机能提供快速精确的亚米级定位精度信息。接收信号采用先进数字处理技术，无论在任何恶劣的干扰环境下，都能确保数据的稳定可靠。

#### (2) 定位设备

Hemishpere VS100

主要性能参数如下：

- GPS 通道：14 通道，12 单频 GPS (L1) 通道和 2 个 SBAS 通道；
- 数据更新率：1HZ,2HZ,5HZ,10HZ;
- 键盘和显示单元：2 行 16 字符 VFD 荧光液晶显示；
- 单键开关机启动；
- 水平精度：典型值  $<1\text{m}$ ；
- 垂直精度：典型值  $<5\text{m}$ ；
- 数据输入/输出协议：NMEA0183；
- 原始观测值数据：专有的二进制数据（可以转换为 RINEX 格式）；
- 外部电源：10.5V 至 28VDC 外部电源输入带有过压保护装置；
- 功耗：4.5W，18V。

#### (3) 定位软件

本次调查使用的导航定位软件为美国 Coastal Oceanographics 公司生产 Hypack 软件。Hypack 基于 WINDOWS 操作界面，功能丰富，是目前国际上最完善的海洋测量软件包，具有准备、测量、外理、成果输出等多个模块，可以满足导航定位中的各种需要。在测量过程中，Hypack 可实时显示船舶方位、偏航状态及 GPS 接收卫星信号状态等情况。并可以支持多显示器功能，方便为舵手显示导航数据。

#### 4.1.2 抛锚点就位坐标

##### (1) 涠洲单点坐标（实测）

本次实测涠洲单点中心坐标为：

东坐标 298035.390mE；

北坐标 2328852.900mN；

经度 109-03-22.8232E；

纬度 21-02-58.0768N。

由于流向和风向的影响，单点实测坐标与实际就位坐标或设计坐标存在偏差。

#### (2) 施工锚位坐标（设计）

A：东坐标 297746.258mE、

北坐标 2329077.032mN

经度 109-03-12.7157E

纬度 21-03-05.2485N

B：东坐标 297746.258mE、

北坐标 2328628.768mN

经度 109-03-12.9052E

纬度 21-02-50.6758N

C：东坐标 298232.522mE、

北坐标 2328628.768mN

经度 109-03-29.7445E

纬度 21-02-50.8685N

D：东坐标 298232.522mE、

北坐标 2329077.032mN

经度 109-03-29.5555E

纬度 21-03-05.4413N

#### 4.2 新水下软管转运

作业船把杆有限（20米），整条水下软管3节共计26米长，不能直接起吊，需要将水下软管充压具备适当浮力，通过守护船拖运到作业船合适位置进行起吊固定，具体如下：

(1) 转运工序繁琐，海况不是很理想情况下稍有不慎容易损伤软管，绞缠作业船锚缆；特别在拖运到作业船进行挂钩过程中，作业船两条锚缆太近，给拖运的守护船操作空间有限，潜水员下水距离保持动力的守护船太近，存在安全风险，因此必须统一指挥抓住时机，一气呵成。



图 7：码头吊装到海面



图 8：守护船拖运整条水下软管



图 9：潜水员水面挂吊钩

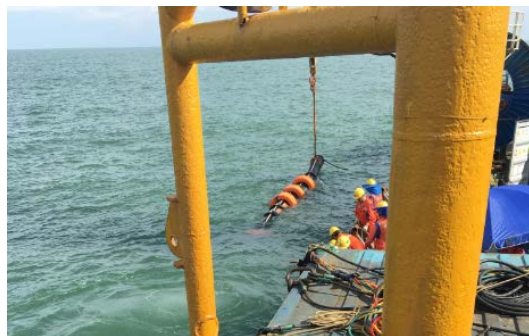


图 10：挂钩成功开始起吊

(2) 水下软管起吊后固定困难：由于对接两端法兰需要 2 天左右时间，因此需要将吊起的水下软管临时固定，天气不太理想情况下，吊机在把杆升至最大高度，重心高，摇摆幅度大，用吊带不能完全把整条水下软管锁定，导致吊机钢缆相互摩擦，存在严重的安全风险，通过现场讨论采取密切关注天气预报，降低吊机把杆重心（在水下软管不与作业船锚缆摩擦前提下），多个方向加密吊带固定，有效控制吊机钢缆间相互磨损，为对接两端法兰争取时间。



图 11：吊机起吊至最大高度

#### 4.3 新水下软管两端法兰对接

**注：**在实施对接作业前，需提前查看未来几天的天气状况，选择符合作业要求的连续 2-3 天时间，且这个时间段与单点提油计划不相冲突。一旦确认进行对接作业，需要一鼓作气将两端法兰对接完成，否则，若只完成法兰一端的对接作业，而另一端无法有效固定，则很有可能对软管和浮子造成损伤，更严重的将会影响到提油作业，从而造成停产等一系列严重后果。在安装过程中，若漂浮软管及系泊缆总成随着潮汐变化影响到作业时，使用辅助船舶将其拖拽到不影响作业的合适位置。附照片（见图 12）：



图 12：船舶拖拽漂浮软管

因水下软管的结构特点（法兰对接面约 45 度夹角，导向点少），在海水中进行回装时，其夹角、长度（26m）、重量、浮力等给安装带来的不小难度，直接影响安装的效率及整个项目完工进度。通过合理使用手扳葫芦调节对接法兰，最终高效率完成了水下软管的连接：潜水员先完成水下软管下端与基盘法兰对接；然后通过绞车的牵引钢缆把对接法兰收紧到合适距离，倒换手扳葫芦合理调节使水下软管与单点筒体底部的法兰间达到适宜的对角夹角，完成水下软管上端与单点筒体底部的法兰对接，详细步骤如下：

(1) 先组装整条水下软管，水下软管由三段组成，其中上下两段为普通型，中间一段为加强型。水下软管每段都有一条从头到尾的连续白色直条纹，组装水下软管时要注意把三段软管的白色直条纹对齐安装。安装过程中注意清理连接的法兰面，连接完成的软管按要求进行压力试验以检查连接法兰位置是否有渗漏，如果有渗漏需要重新安装直至试压合格，按照图纸安装水下软管浮子。

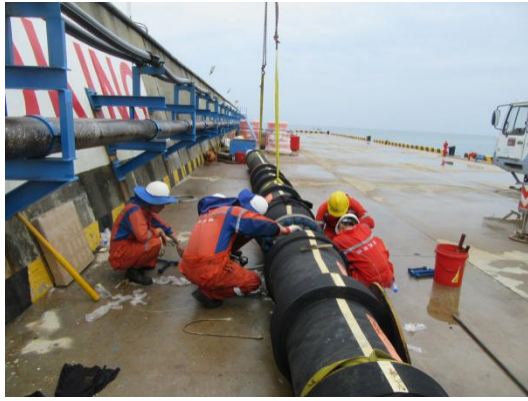


图 13: 新水下软管组装

(2) 在吊机配合下将新水下软管吊至码头海面, 连接气源充气直至整条软管浮在水面。

(3) 用守护船将新水下软管拖运至工程船附近, 通过导向连接工程船绞车将新水下软管拉到作业船舷附近, 挂上吊钩, 打开排气阀, 起吊到最大高度, 在水下软管合适位置固定在船舷边。

(4) 潜水员入水拆卸下端封堵盲板, 在 11-7 点和 13 -5 点位置用铁丝固定 2 条木条, 防止对接时碰伤法兰面。

(5) 2 名潜水员携带 2 条牵引绳沿入水绳到达下端基盘法兰, 在法兰 3 点和 9 点螺孔位置从下而上分别穿牵引绳, 临时固定, 适当收紧, 潜水员沿牵引绳检查牵引线路是否合适 (无交叉绞缠、导向受力时避开锚链) 确认无误后通过牵引绳将牵引钢缆头分别穿过 3 点和 9 点螺孔, 潜水员将 2 条牵引绳拴在穿过螺孔的钢缆头上, 携带牵引绳沿各自的点位钢缆上升出水面, 注意不要交叉, 沿新水下软管到达下端法兰, 按法兰上钟点标记, 分别对应应在 3 点和 9 点螺孔位置从下而上穿牵引绳, 临时固定, 适当收紧, 潜水员沿牵引绳检查牵引线路是否合适 (无交叉绞缠、导向受力时避开锚链) 确认无误后通过牵引绳将牵引钢缆头分别穿过新水下软管下端法兰 3 点和 9 点螺孔, 穿螺帽, 钢缆头固定牢固, (见图 14: )。

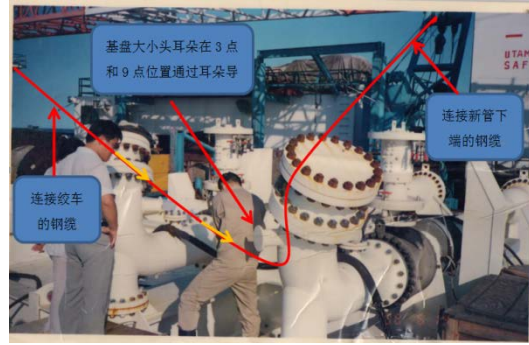


图 14: 水下基盘法兰牵引钢丝走向

(6) 水面人员指挥吊机将新水下软管调整到靠近单点浮筒附近, 潜水员在基盘法兰处合适位置指挥 2 条牵引钢缆收紧, 2 条钢缆受力后, 再次沿钢缆检查牵引是否合适, 确认无误后指挥绞车钢缆继续收紧新水下软管, 同时吊机缓慢放松, 新水下软管下端法兰收紧调整到基盘法兰合适的位置后, 倒换手板葫芦合理调节使下端连接法兰间达到适宜的对接夹角穿牵引螺栓 4 套 (  $\Phi 24 \times 193\text{mm}$  ), 拆卸木条, 用棘轮扳手 (41#) 收紧牵引螺栓, 穿标准螺栓 (  $\Phi 11/4 \times 71/2$  ) 10 个, 拆开水下软管上的牵引钢缆, 放钢垫 (16 寸 300 磅), 将剩下 10 个标准螺栓穿好后, 依次收紧 (棘轮扳手 50#), 对角加力 2 遍, 检查 1 遍。

**注:** 如对接法兰不顺利可以通过配重、吊机、B 线大小头进行导向调整, 上下两端法兰定位, 用钟点法, 弯头法兰的大弯为 12 点, 水下软管定位用白线 (白线必须在 6 点位置), (见图 15、16)。

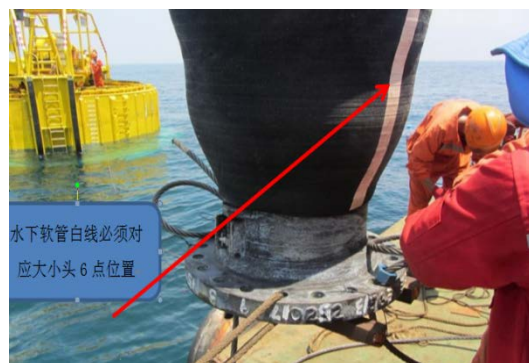


图 15: 下端法兰穿牵引钢丝绳

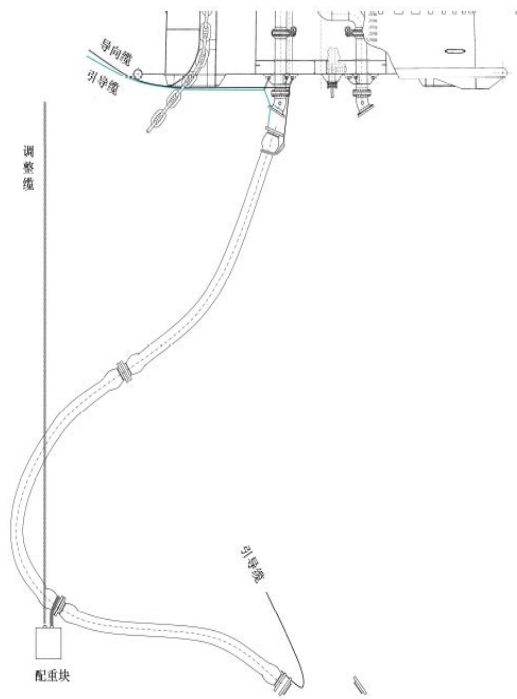


图 16: 水下软管安装图

(7) 用吊机将新水下软管上端调整至靠近作业船舷边, 拆卸盲板, 在 11-7 点和 13-5 点位置用铁丝固定 2 条木条, 防止对接时碰伤法兰面。

(8) 2 名潜水员携带牵引绳到达浮筒底部上端法兰处, 在法兰 3 点和 9 点螺孔位置从上而下分别穿牵引绳, 临时固定, 适当收紧, 潜水员沿牵引绳检查牵引线路是否合适(无交叉绞缠、导向受力时避开锚链)确认无误后通过牵引绳将牵引钢缆头分别穿过 3 点和 9 点螺孔, 潜水员将 2 条牵引绳拴在穿过螺孔的钢缆头上, 携带牵引绳沿各自的点位钢缆出水面, 注意不要交叉, 沿新水下软管到达上端法兰, 按法兰上钟点标记, 分别对应 3 点和 9 点螺孔位置从上而下穿牵引绳, 临时固定, 适当收紧, 潜水员沿牵引绳检查牵引线路是否合适(无交叉绞缠、导向受力时避开锚链)确认无误后通过牵引绳将牵引钢缆头分别穿过新水下软管上端法兰 3 点和 9 点螺孔, 穿螺帽, 钢缆头固定牢固。



图 17: 上端法兰牵引钢丝绳走向



图 18: 上端法兰牵引钢丝绳走向

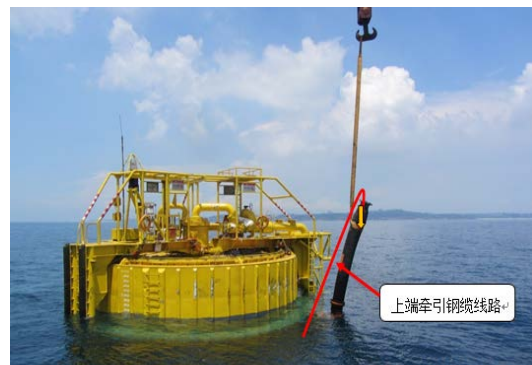


图 19: 上端对接事宜图

(9) 潜水员在浮筒底部法兰处合适位置指挥 2 条牵引钢缆收紧, 2 条钢缆受力后, 再次沿钢缆检查牵引是否合适, 确认无误后指挥钢缆继续收紧新水下软管, 同时吊机缓慢放松, 新水下软管上端法兰收紧调整到浮筒底部法兰合适的位置后, 倒换手板葫芦合理调节使水下软管与单点筒体底部的法兰间达到适宜的对角夹角, 穿牵引螺栓 4 套 ( $\phi 24 \times 193 \text{mm}$ ), 拆卸木条, 用棘轮扳手 (41#) 收紧牵引螺栓, 穿标准螺栓 ( $\phi 11/4 \times 71/2$ ) 10 个, 拆开水下软管上的牵引钢缆、吊机吊带, 放钢垫 (16 寸 300 磅), 将剩下 10 个标准螺栓穿好后, 依次收紧 (棘轮扳手 50#), 对角加力 2 遍, 检查 1 遍, (见图 20-23)。

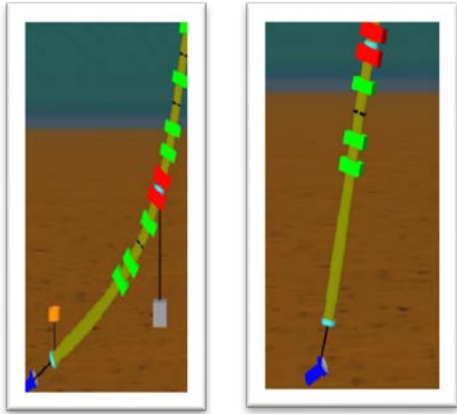


图 20: 水下软管安装图

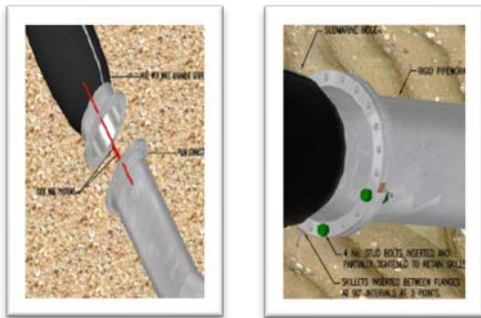


图 21: 水下软管安装图



图 22: 放置垫片

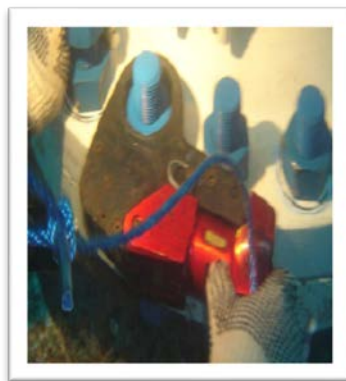


图 23: 螺栓紧固水下软管构型调整

(10) 新水下软管对接完成后按照标准要求的扭矩值, 采取对称角度分二次分别将上下端的法兰全部螺栓进行紧固, 附标准扭矩。

**Note:** The theoretical calculation for such values assumes a specific value of friction coefficient which is itself theoretical, and no responsibility is offered for their utilisation.

Bolt diameter (m.)	Torque (ft-lb)	Torque (N-m)
0.75	157	213
0.875	250	339
1.0	373	506
1.125	538	730
1.25	740	1003
1.375	1000	1356
1.5	1307	1772

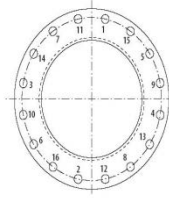


图 24: 螺栓扭矩标准

(11) 测量水下软管的弧形, 用一条较细的测量绳在一头系上铅锤, 测量水下管汇到泥面的距离  $h$  并记录, 从铅锤顶端取  $h$  点为零点, 从下往上每隔两米做一个记号。

(12) 从单点浮筒的中心管位置下放测量绳, 至少 2 名潜水员下水到浮筒底部, 测量绳贴着水下软管下放到铅锤底端正好与泥面接触后停止, 沿着软管垂直而平行移动测量绳, 直到测量绳上记号点与水下软管相交时, 在水下软管上做好相应的标记, 潜水员再用另一条有长度标记的测量绳测量水下管汇的中心点到水下软管标记上的距离, 并做好相应记录。

(13) 将浮筒底部到泥面的距离和单点浮筒中心与水下管汇的中心偏移量测量出来, 并做好记录。

由此根据上面的测量数据, 将新水下软管的形状草图勾画出来, 以此与设计要求进行比较, 不满足设计要求时通过调整水下软管的浮子的位置或数量进行调整, 调整完成后, 继续用上述方法重新测量, 直到满足设计要求为止。注意调整浮子时不能同时超过两个以上, 以便水下软管能稳定成形。

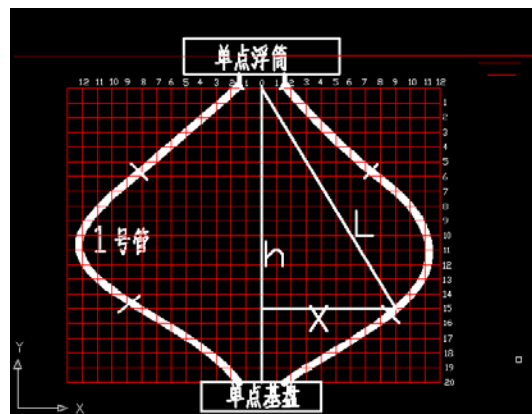


图 25: 水下软管构型图



注:垂高  $h(m)$  弦长  $L(m)$  弦长软管到中心距离  $x(m)$

(14) 打开新装水下软管上所有阀门充水,充满水后,关闭所有阀门,在管线取样口装 3 通,对新换的水下软管进行压力试验,加压到工作压力的 1.25 倍,稳压 2 小时无泄漏,并做好记录,如出现压力不能稳定或泄漏情况,应对两端法兰进行检查并做进一步的调整,如仍然不能密封,则应考虑卸压,取出垫片检查并更换,再加压,直至完全密封。

(15) 业主验收,对安装的新水下软管进行水下录像和拍照,人员设备复原。

## 5 结论

2018 年 6 月 11 日至 6 月 28 日,历时 18 天。作业人员在时间紧、任务重的情况下,克服了恶劣海况和作业船资源有限(吊机把杆不够长没有副钩,作业甲板有限)等诸多不利因素,并在不停产的情况下,高效、圆满的完成了抢修任务,为业主消除了重大环保隐患。同时,作业人员也获得了采用创新方式更换水下软管的宝贵实践经验,得到了业主高度认可并发来表扬信。附参与抢修任务的其中 3 艘作业船(见图 26)。



图 26: 作业船舶

## 参考标准

IMODCO 公司绘制的浮筒结构装配图及有关说明书;

《海上单点系泊装置安全规则》中华人民共和国船舶检验局 1988;

《海上单点系泊装置建造与入级规范》CCS;  
《单点系泊装置建造与入级规范》SY/T10032-2000;

《海上油气开发工程术语 单点系泊装置和定位系统》GB/T14090.3-93;

《单点维修保养手册》CT/9615-WZ-SPM;  
《外输软管检测维修存储运输技术指南》Q/HS 9013-2012;

《海上石油作业系物安全规程》SY/T6564-2003;

《中华人民共和国潜水条例》交体法发(2009) 22 号;

ADCI《商业潜水及水下作业公认标准》6.1 版 ;

《空气潜水安全要求》GB26123-2010;

《潜水呼吸气体及检测方法》GB 18435-2007;

《空气潜水减压技术要求》GB/T 12521-2008;  
《减压病加压治疗技术要求》GB/T 17870-1999。