

23-30

钻井船

系泊设计

海洋钻井装置

(5)

钻井工具设备

TE951.02

1500m 深水钻井船的系泊设计

T. K. Towns 等

Town, TK

陈会年 柯星洁 译
何金南 校

前言

由于可用的动力定位钻井船有限,所以埃克森(Exxon)海洋钻井公司(DODI)拥有和经营的“海上勇士号”,在墨西哥海湾的东断裂区钻井,那儿的水深达到 1500m。该承包项目还包括把现在的 1220m 深水系泊系统按下列要求升级为 1500m 深水系泊系统:

(1)把现有的 $\phi 82.55\text{mm}$ 的锚链的长度由 1128m 增加到 1387m;

(2)用 10 吨重的高抓力锚替代 13.6 吨重的锚;

(3)用新的高强度 $\phi 88.9\text{mm}$ 电镀锚绳替代现有的 $\phi 88.9\text{mm}$ 锚绳。

另外,埃克森公司还承包了一艘锚运船(AHV),使其和 Ensco Kodiak I 锚运船一起进行系泊作业。该承包项目包括锚运船绞车拉力由 2.5MN 升级为 4.5MN。

ECI 公司的工程师和作业监督负责在实际的系泊操作中帮助 DODI 公司的海上职员。在检查系泊装置和系泊分析时,EPR 公司为 ECI 公司和 DODI 公司提供了技术帮助和现场监督。这些井正由埃克森开采公司(EEC)钻井。

系泊设计标准

ECI 公司的设计标准:可移式海洋钻井装置的系泊系统是基于 API 标准和运用埃克森

公司职员的系泊经验设计的。

ECI 公司设计标准中推荐作法的目的是帮助确定系泊装置的性能:(1)满足要求;(2)足够的稳定性;(3)能进行正常的检查;(4)用可以接受的方法操作。

通过对已有系泊设备进行调研,可发现系泊系统的最薄弱环节。这有助于决定系泊设备改进,检查的范围和推荐改进方案。

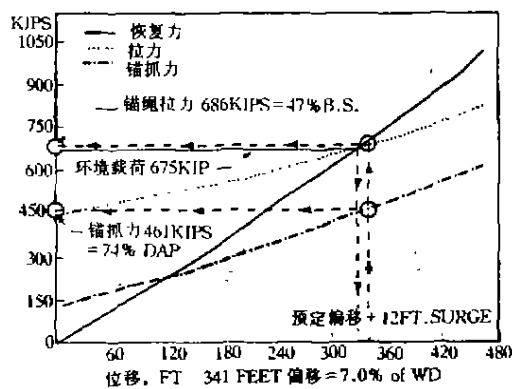
ECI 公司标准的其他关键部分是:(1)锚绳应是电镀的;(2)锚尾端应由锻造材料制成;(3)在钻井船上锚绳应留下足够的长度以便在紧急情况下能向任何方向移动 92m;(4)锚运船应装备有颚式夹紧装置。

锚绳替换:根据 ECI 公司标准和与深水系泊技术相关的 确定性风险,决定用新的高强度的 $\phi 88.9\text{mm}$ 的电镀锚绳替换用了七年的 $\phi 88.9\text{mm}$ 非电镀锚绳。

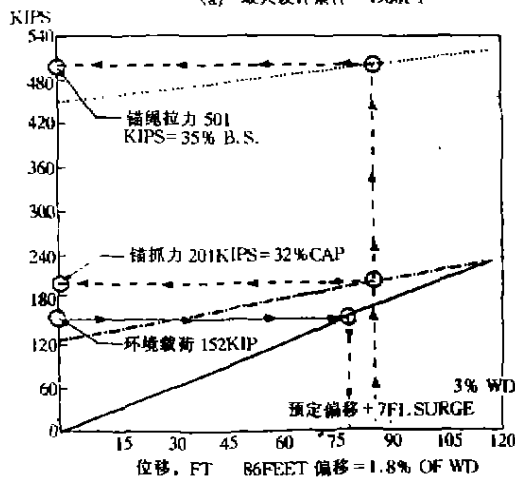
ECI 标准要求电镀绳使用时间不超过 8 年,虽然在锚绳替换作业中对现有锚绳都做了 API 外观检查,表明这些锚绳未受内部损伤。

系泊分析

本文采用了几种系泊设计原理。DODI 公司在系泊分析中给出了锚绳断裂的例子,并考虑了通过松开锚绳来减小锚绳高拉力的某些相关管理因素。ECI 公司既未给出锚绳断裂的例子,也没有考虑松开锚绳的情况。系泊系统被设计为拉伸载荷超过锚绳或锚链的断裂应



(a) 最大设计条件—4900FT



(b) 最大作业条件—4900FT.

图1 系泊特性曲线

力前锚便能滑脱。

1. 准静态分析

系泊的准静态分析由 ECI、DODI 和 EPR 公司利用“10 年重现期”独立完成。10 年重现期内的风速、波浪和水流是根据 EPR 公司对墨西哥湾海洋气候资料的分析而定的。

虽然 API 和 ECI 标准都要求当钻井船远离其他海上结构工作时用 5 年重现期的准静态分析作为“最大设计条件”，但根据该技术外延的幅度，在系泊分析时仍选用 10 年重现期作为附加设计余量。

2. 天气准则

EPR 公司利用标准的地区平均值法以及来自墨西哥湾海洋水文极端条件风暴追算中心 (GUMSHOE) 和美国海洋大气管理部门 (NOAA) 提供的追算数据评价了东断裂区域

的天气准则。

最大设计条件 (10 年重现期) 是根据 GUMSHOE 追算数据 (包括 1900~1980 年间总共 100 次热气流数据) 确定的。GUMSHOE 追算数据中含有大量的热气流资料，为确定风速和浪高的极值提供了基本依据。对于最大设计条件，采用 95% 的未超标环境，并依据 NOAA 的 42001、42002、42003 号浮标 (这些浮标都在 3048m 深水中) 得到的数据。

3. 系泊分析结果

图 1(a) 是基于最大设计条件 (风速 60 节，浪高 8m，水流速度 1.4 节) 的准静态分析结果，假设把环境四等分，则净环境载荷为 3003kN，是锚抓力的 73%，锚绳断裂力的 47% (锚绳全部完好，且没有管理问题)。

这些结果符合 API 和 ECI 准则：(1) 锚绳载荷小于其断裂力的 50%；(2) 锚抓的载荷小于在最大设计条件下的额定锚抓力。

图 1(b) 是基于最大工作条件下的准静态分析结果。假设把条件四等分，则系泊设计将保持钻井船偏移小于 2%。净环境载荷为 6767KN，是锚抓力的 31%，是锚绳断裂力的 34%。

系泊设计因素

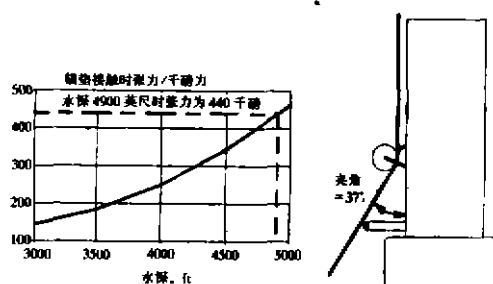
钻井船系泊设计的第一个目的，是在 1500m 深水系泊作业时使钻井船上的锚绳和锚垫间的接触最小。第二个设计目的，是考虑系泊系统在较浅水域中的性能。

1. 锚垫接触

图 2 说明了锚垫与锚绳的接触。在“海上勇士号”上，引线孔和锚垫的布置是这样的：当导引角小于 37° (与垂直方向夹角) 时产生锚垫接触。

尽管这种接触是允许的，但是由于摩擦和海蚀作用可能会对锚绳有累积损坏。随着水深的增加，锚绳倾角变小，但是由于增大了操作拉力，因而锚垫接触可能变小。

在半潜式平台设计中，若水深为 1220m 以下，根据隔水管因素要求的锚绳拉力足够保

图2 锚垫与 $\phi 88.9\text{mm}$ 锚绳接触(海上勇士号)

持锚绳离开锚垫。然而,在1500m深水中,操作拉力必须大于1957KN才能使锚绳离开锚垫。考虑到正常的气候影响和绞车的提升能力,预拉力应达到2002KN。不过,这样高的预拉力可能出现问題。

建议在深水钻机升级前着手解决锚垫接触问题。如果通过预拉力不能控制锚垫接触,则改进锚垫使之旋转,并把锚垫闭合器移到钻井船上,提高导引孔的高度,使导引孔离开钻井船或改造绞车。上面方法如能综合运用,可以提高实用性。

2. 锚绳选择

新锚绳的尺寸选择是一个设计问题。表1所示的是 $\phi 82.55\text{mm}$ 和 $\phi 88.9\text{mm}$ 锚绳的数据。在1500m深水中,“悬链”长度(锚绳和锚链展开长度的总和)在最大设计条件下(10年重现期)允许值为2957m。

钻井船上已有的绞车滚筒能缠绕 $\phi 88.9\text{mm}$ 锚绳1707m或 $\phi 82.55\text{mm}$ 锚绳2012m。如果选择 $\phi 88.9\text{mm}$ 而不是 $\phi 82.55\text{mm}$ 锚绳,则要求把锚链的长度增至1387m。少用锚链可以把系泊腿载荷减小343KN,而低载荷可以提高钻井船和锚运船绞车的起升能力。

表1 锚绳选择有关数据

环境条件	基础寿命 年	风速 节	浪高 m(英尺)	水流速 节
工作状态	9.5	28	2.74(9)	0.6

极限状态	10	60	7.92(26)	1.4	
锚绳外径 mm	锚绳拉力 KN	锚总长 m	船外绳长 m	$\phi 82.55\text{mm}$ 链长, m	锚抓力 KN
$\phi 88.9\text{mm}$	6450	1707	1524	1387	2760
$\phi 82.55\text{mm}$	5338	2012	1829	1128	2760

在1500m深水中, $\phi 82.55\text{mm}$ 锚绳要求拉力小,以避免与锚垫接触。然而, $\phi 88.9\text{mm}$ 锚绳具有较高的气候能力容限。因为这个原因,同时为避免改造绞车,DODI公司选择了 $\phi 88.9\text{mm}$ 锚绳,最小断裂载荷为6450KN。

另外,与原先 $\phi 88.9\text{mm}$ 锚绳的断裂力为5560KN相比,新的 $\phi 88.9\text{mm}$ 锚绳的材料和结构使断裂力增加了890KN,且还具有附加的气候设计余量。

3. 锚的选择

当减少系泊腿重量时,为提高抓力就要提高锚的海底的贯入度。选择拉力为100KN布鲁斯双杆扁平锚爪——MK4锚,其额定载荷为2762KN;也可选择MK5锚。

锚滑脱前,2762KN的锚抓力转化成3692KN的钻井船锚绳拉力。虽然这仅是锚绳及锚链断裂力的57%,但不能选择较重的锚,原因是:

- (1)根据在墨西哥湾的美国海洋钻井船的经验,100KN拉力已足够;
- (2)拉力100KN时备用锚数量最小;
- (3)更大的锚需要更大的力来插入海底。
- (4)在墨西哥湾,锚愈大,用锚运船运装就越困难。

4. 系泊系统最大负荷

确定从钻井船绞车上放开多少锚绳时,应该考虑锚的标准负荷。

使放长的锚绳数量最大,有助于保持钻井船性能状态,且可获得高预拉力,而这正是使锚垫接触最小的前提。随着锚绳起升并缠绕在钻井船绞车上,力臂增大而绞车的起升能力降低。

“海上勇士号”上的8部绞车是由单牵引

马达驱动的 ETW-350/52 型联合系泊绞车/绞盘。每个滚筒架都由枢轴销子固定,且装有测力计(测量锚绳和锚链的拉力)。

为了在钻井船上以 240KN 的拉力对系泊系统进行标准负荷试验,决定尽可能地放长锚绳。从钻井船上放开 1646m 长的锚绳,还有 61m 缠在绞车上(绞车滚动第一层的最小数定为 10 圈)。

试验表明,绞车必须在滚筒上卷起 94m 锚绳以得到 2000KN 的预拉力,卷起 133m 锚绳以得到 2400KN 的锚绳标准负荷,以上绳长均包括 60.90m 长的后拖锚绳,它使锚头倾斜且插入放置处的海底。另外,试验中假定锚运船能输送 952KN 的系绳柱拉力来拉伸系泊腿,使锚离井眼中心的水平距离达 2408m。

绞车上的锚绳总长在预拉力 2000KN 和标准负荷 2400KN 状态下分别为 155m 和 194m。试验得知,绞车上第二层锚绳的起升力极限是 2687KN。既然第一层和第二层锚绳总长实为 216m,而标准值为 194m,则第二层和第三层间仅有 22m 的差距。

在拉伸系泊腿时,如果锚运船没有得到 952KN 的最小系绳柱拉力,那么锚将停留在更接近钻井船的地方(与设计比)。那么,钻井船上的绞车将不得不卷起额外的锚绳以得到要求的拉力。如果锚的位置比设计的近 30m,那么绞车将能在第三层上缠完锚绳。

试验表明,第三层具有 2460KN 的起升能力。所以,选择 2400KN 作为最大标准试验载荷。试验得知,锚爪载荷为 1157KN,或是 10 年期内锚抓载荷 2090KN 的 53%。在第一次系泊作业时,钻井船上的一个绞车在完成系泊作业时,将锚绳在第三层上缠完。

设计标准推荐了标准试验载荷等同于最大设计条件下的最大锚绳拉力。如果这不可能,那么系泊试验载荷应不小于最大设计条件下的最大锚绳拉力或最大作业条件下的最大锚绳拉力。

把 5 年期作为最大设计条件和把锚绳放松 30m,估计最大锚绳拉力是 2322KN,低于

标准试验载荷(2400KN)。

系泊配置设计

系泊配置设计的目的是通过评价 4500KN 绞车并对 Ensco Kodiak I 号锚运船绞车进行改造,以便在 1500m 深水中应用。

1. 锚运船选择

天气晴朗时,在 1500m 深水中下入系泊装置的最小系绳柱拉力大约为 1100KN。天气恶劣时,系绳柱拉力增至 1500KN 才能拉开系泊腿,使锚垫接触最小。

选择 Ensco Kodiak I 号船的理由:额定系绳柱拉力大、经济上合算且能减少在 1500m 深水中锚运的风险。埃克森公司职员进行第一次深水作业时,Ensco Kodiak I 号和 I 号船的绞车都安装了故障自动保险系统。如果在系泊时发电机组出现故障,那么绞车上的绞车片就停止展开锚绳。

2. 锚运船稳定性分析

1990 年埃克森公司利用“海上美利坚号”船(“海上勇士号”姊妹船)进行系泊作业过程中,当锚链和锚绳形成交叉时从钻井船上放下锚链。

这表明对于锚链偶然放松的分析是有价值的。分析得知,突然放松使锚运船尾部集中了 1913KN 的载荷(总长 1400m 的锚链会悬浮于 1500m 深水中)。这种集中载荷可能会转移到另一侧且与其它载荷一起加在拖绳的销子上。

根据分析结果,在系泊作业中锚运船尾部要排掉部分压舱水,直到锚运船把 580m 的槽绳展开,然后在船尾压载以使系统桩承拉能力最大,在锚落到海底前能伸开系泊腿。

3. 锚运船锚绳要求

根据计算,当锚接触 1500m 深水海底时,动用 Ensco Kodiak I 号和 I 号船额定功率的 20~30% 就可展开 1890~1980m 槽绳,以确保锚很快落在船的正下方海底。

为补偿天气和水流对锚运船的影响,需要附加一定的功率。

4. 锚运船锚绳尺寸考虑

采用长 2073m 的 $\phi 88.9\text{mm}$ 槽绳将是在 1500m 深水中系泊时的最佳锚绳设计。然而,墨西哥湾现有的可用绞车是不可能缠完这么多锚绳的。

在 Ensco Kodiak I 号和 II 号船上的 Smatco 8s-250-2T 型绞车有两个安装在同一框架上的滚筒。每个滚筒都能缠绕 2804m “可用”的 $\phi 76.2\text{mm}$ 锚绳或 2012m “可用”的 $\phi 88.9\text{mm}$ 锚绳。

1500m 深水系泊需要 1980m “可用”槽绳,因此 Smatco 250MT 绞车的所有滚筒必须串联使用。当锚绳从绞车上松开时,其上的扭曲可通过一个旋转接头消除。然后,在与其他滚筒连接前,系泊作业人员可安全地截断联接。

工作锚绳的长度成为另一个必须考虑的设计参数。固定在滚筒内且占去滚筒容量的工作锚绳不是“可用”的槽绳。工作锚绳的最小长度等于从绞车到锚板的距离再加上 $\phi 914.4\text{mm}$ 滚筒第一层的几圈锚绳长度(约 76.2m)。

然而,由于锚绳失效,Smatco 250T 绞车上工作锚绳的实际长度是 293m($\phi 76.2\text{mm}$)或 259m($\phi 88.9\text{mm}$)。这些锚绳把滚筒的有效直径提高到约 1524mm。根据经验,当滚筒中心直径 1524mm 或更大时不会出现锚绳失效。

5. Ensco Kodiak I 号船的绞车改造

合同要求用新的 Smatco 140-EAW-1000/1000 型双滚筒水力绞车改造 Ensco Kodiak I 号的绞车。这种绞车不适合在第一次系泊作业中使用。

按设计,这种绞车在每一个 1524mm 粗的滚筒上能容纳 3048m 的 $\phi 76.2\text{mm}$ 锚绳或 2286m 的 $\phi 88.9\text{mm}$ 锚绳,在 1500m 的深水中系泊时,新绞车可能会减少工作锚绳的需要。每个滚筒由 $2 \times 735\text{KN}$ 的 GE-752 直流电动机驱动,能产生 4448KN 的锚绳拉力。

埃克森公司证实,在深水系泊作业中新型绞车的性能有所提高(减少系泊时间约 30%

或 4 小时),系泊风险有所减小。

系泊程序开发

DODI 公司共用 8 个多月完成最终程序开发,该程序开发过程鼓励了集体工作且规定了参与这项工程的人员如何输入。利用分布力系泊程序,可比实际系泊作业提前几个月完成任务。

1. 系泊程序要点

系泊配置的详细程序指出了涉及系泊作业的每个人的工作。当载荷均布时,不能同时放开钻井船或锚运船的锚绳或锚链。

载荷均布对于绞车获得目标载荷是重要的。程序进行下一个步骤前必须给出明确的推荐作法。当一部绞车正在放开锚绳时,另一部绞车就充分利用其静刹车(即带刹车)时间。

2. 载荷分配技术

根据 Barker 等报道,在钻机和锚运船间分配锚绳载荷为扩大已有绞车的能力提供了一条途径。不管钻井船绞车还是锚运船绞车,都能独立地下放或起升锚绳。

载荷分配由锚绳和锚运船上槽绳放开连续曲线图来完成,包括每一步处理锚垫接触问题和克服海底滑动摩擦力所要求的锚运船功率。下面所示的是单一系泊设备浮重(未与海底接触):

- 1) Bruce MK4 锚 93.4KN
- (2) 1387m 的 $\phi 82.55\text{mm}$ 锚链 1833KN
- (3) 1646m 的 $\phi 88.9\text{mm}$ 锚绳 432KN
- (4) 永久的锚链槽 36KN
- (5) 1981m 的 $\phi 76.2\text{mm}$ 锚运船系绳 392KN
- (6) 总静重 2785KN

3. PC 计算机程序

埃克森公司为这项工程研制和应用的 PC 程序是一个有力工具,但其原理在工业标准与出版物中是很普通的。

PC 程序模拟了钻井船和锚运船绞车间的锚绳载荷,这有助于使系统能力最大。因为载荷分配程序的研制要求大量计算,而手算及用

常规工具计算的最优化程度有限。

对以前系泊程序的另一个间接改进是在 PC 程序中用编码系统跟踪系泊步骤序号。这使系泊作业中的交流更容易。因此,现场人员可通过 PC 程序产生的图形显示来观测海平面以下发生的事。

在第一次系泊作业中记录的载荷非常接近 PC 程序模型预测的载荷。

4. 载荷均布设计依据

钻井船或锚运船绞车额定起升功率的 90%(取最大值)作为载荷均布设计依据。

虽然钻井船和锚运船绞车的动力制动额定值比较高,但是不能用其作设计依据。

因为 PC 程序考虑了在展开或收回系泊系统时钻井船上的锚垫接触问题,所以最佳载荷分配的迭代结果使锚垫接触最小。

计算中附加力是根据锚运船到钻井船和多悬链系泊腿位置的距离确定的。结果,设计者必须平衡锚垫接触量和两个绞车上载荷,使载荷分配方案最优。

5. 最大锚绳载荷

据埃克森公司 1989~1990 年 1500m 深水系泊作业统计分析,当钻井船绞车上的最大载荷仅是其起升能力的 80%时,锚运船绞车上的载荷将是其起升能力的 110%。使用 PC 程序可使以前的载荷分配计划最优。在把钻井船绞车上最大载荷增加到其起升能力的 86%时,锚运船绞车最大载荷可减至其起升能力的 87%。

锚运船最大载荷的减少可通过优化锚运船槽绳长度和把更多的载荷转移到钻井船绞车上来实现。

6. 交点载荷

下面讨论在钻井船上锚链和锚绳交点以及锚运船绞车上下两个滚筒交点的最大载荷。定义钻井船或锚运船绞车上交点的锚绳伸出量为载荷分配的设计变量,而且是唯一变量(在锚绳尺寸选择中已说明)。

根据埃克森公司深水系泊作业的回顾,可以确定 60%的非系泊作业时间与锚运船锚绳

失效有关。所以,决定使锚运船上槽绳的接头数最少,并使接头在重载下经过船尾滚筒的位置最优。

在墨西哥湾市场上能租到的锚绳,最大长度约是 609.6m。因为接头失效带来的高花费和因扩大使用深水系泊技术带来的高风险,决定采用一条新的、连续的 $\phi 76.2\text{mm}$ 槽绳。

PC 程序分析表明,锚运船绞车上下两个滚筒上的最佳锚绳长度应该有所不同。然而,为了使多余锚绳量最小,决定用相同长度的槽绳。

当输送 $\phi 76.2\text{mm}$ 锚绳时,发现每个滚筒仅容纳 990m 的锚绳,所以,需要把每个滚筒都加上一段 152m 长的 $\phi 76.2\text{mm}$ 锚绳。

顶部滚筒上 990m 长的 $\phi 76.2\text{mm}$ 锚绳在穿过下部滚筒后具有下放的优点。这说明上部滚筒比以前具有更高的锚绳拉伸能力。随着每个滚筒缠满锚绳,滚筒的起升或制动能力下降,因而瞬时力臂增大,而水力马达功率和传动比不变。

7. 动力制动

深水系泊设计最重要的因素之一是在任一点对系泊设备完全制动。

在系泊时,钻井船使用了 3675KN 的 Parmat 水利车作为主要的动力刹车。因为水利车不能完全制动载荷,故当水利车限制了绳索放开速度时用一带刹车彻底制动系泊设备。

钻井船与 Parmac 水利车用高压密封垫进行升级改造(试压至 690KPa)。锚运船上使用低压水利车作为动力制动系统。在设计极限内操作时,这种刹车方法能完全停止系泊作业。如果超过设计极限,那么绞车将连续卸载。因为带刹车主要为静制动而设计(使用带刹车进行动力制动会导致刹车过热和打滑),所以,不要求在锚运船上使用带刹车来控制动载荷。

8. 再生制动

在钻井船绞车上实现再生制动是减少锚运船绞车最大锚绳载荷的关键。使用 GE-752 直流分流马达作为再生制动的一个发电机。锚绳动载的动能转化成电能且在钻井船硅

整流(SCR)系统中消耗掉。

GE-752 马达是一种额定功率为 735KW 的新型马达。它把再生制动能力从 1094KN 增加到 1481KN。虽然绳索最大放开速度是 0.508m/s,但是为了提供一些备用制动能力宜把放开速度限制在 0.102m/s。

因为再生制动允许用高拉力,低放开速度,当锚链和锚绳交叉时,钻井船绞车可能会有更大的载荷。因此,原先系泊程序中载荷均布曲线应改进,以加快第一个 305m 长的锚运船槽绳放开。改进后步骤如下:

- (1) 钻井船放开 335m 的锚链;
- (2) 锚运船放开净长 305m 的槽绳;
- (3) 离锚链与锚绳交点 61m 时钻井船停止放开锚链;
- (4) 钻井船放开剩余的锚链(再生制动);
- (5) 钻井船使得锚链、锚绳交叉;
- (6) 钻井船放开 305m 锚绳(再生制动)。

这种改进使锚运船绞车上的载荷减少了 147KN,而且更重要的是钻井船上锚绳/锚链交叉时出现最大载荷时允许锚运船绞车处在其较低层上。

系泊作业

1. 最少系泊时间

因为在 1500m 深水中用两条锚运船同时下入两个锚要耗费 14 小时,所以考虑天气因素把系泊作业时间指标定为 2 天。这为下入 4 个主要的锚提供了时间(假定无设备故障,约有 20 小时的附加时间)。下锚前,钻井船到锚运船尾部的每条系泊腿的长度是 4877m。

当风速超过 30 节(15.4m/s)时,钻井船起重机的作业可能成为系泊作业中的一个限制因素,因为起重机需要通过独立的链槽组合把锚从钻井船上吊到锚运船上。另外,系泊人员在深水海上工作比在水深 2~3m 的墨西哥湾工作困难更大。

2. 同时下入系泊装置

用两条锚运船同时下入系泊装置不但可以减少系泊时间,而且在设备出现故障时还可

提供一条备用锚运船,以减小作业风险。

当同时下入两个反向系泊装置时,钻井船会把锚链同时放开到锚运船上。然后一艘锚运船需要逆向牵引钻井船而另一锚运船在钻井船放开锚绳前把功率增加到额定值的 75%,使锚垫接触最小。一旦第一条锚运船下入锚,钻井船将开始向另一条锚运船放开系泊锚绳。

借助于钻井船拖船,保持钻井船位于井位上方。在最后 2 个主要锚的下放过程中,试图同时放开锚绳,但因为顺风的锚运船拉力大于逆风锚运船,钻井船从井位移动了 305m。结果导致锚放在离要求位置 152.4m 的地方。这额外剩余的锚绳缠在钻井船绞车滚筒第三层上。

虽然可能把钻井船的锚绳全部同时放开,但它需要钻井船、两条锚运船和拖船积极配合。在第二次系泊中,没有试图同时放开锚绳(同时放开能进一步减少深水系泊时间)。

3. 拉紧锚运船槽绳

因为锚绳载荷高,所以在开始系泊作业前需要拉紧锚运船槽绳。最初,把反向锚装到两条锚运船上,放开钻井船上约 152m 长的 $\phi 82.55\text{mm}$ 锚链。然后,两条锚运船放开滚筒上所有槽绳,直到系统缆桩拉力达 445KN 时,再把它拉起。

上部滚筒上 990m 长的 $\phi 76.2\text{mm}$ 锚绳不需要重新拉紧。随着锚运船把独立的链槽收到到钻井船上,锚绳便均匀地缠在滚筒上。

上部滚筒和下部滚筒形成交叉时,下部滚筒上 1143m 长的 $\phi 76.2\text{mm}$ 锚绳的计算载荷和槽绳组合重量约为 267KN。所以,上部滚筒的 $\phi 76.2\text{mm}$ 槽绳具有足够的拉力,能缠紧在滚筒上且可避免勒入下面的锚绳层中。

不重新拉紧上部滚筒的槽绳和不拉紧下部滚筒的 274m 锚绳,对 7 条系泊腿来说均节约 2 小时。结果,仅拉紧了总长 1981m 的槽绳中的 716m。

当完成 Ensco Kodiak 1 号的改进时,通过使用固定在绞车滚筒上一条单一的槽绳,可进一步缩短拉紧槽绳的时间。

4. 锚运船槽绳损坏

锚运船下部滚筒有 259m 长的 $\phi 76.2\text{mm}$ 工作锚绳固定于滚筒上,另一端与 $\phi 76.2\text{mm}$ 的球窝接头相连。绞车滚筒较低层上有这种接头时锚绳不能均匀地缠绕。

这段 259m 长的 $\phi 76.2\text{mm}$ 工作锚绳应该有 193m 长。因为变短,球窝接头停在滚筒第 4 层的中间,而接头的高拉力及方台肩在锚绳通过时会损坏槽绳(离交叉点约 229m)。

建议在最初的缠绕过程中调整工作锚绳的长度以确保球窝接头在绞车法兰上方。

5. 锚绳测量方法

钻井船和锚运船的锚绳放开量需要准确测量。因为如果在某一步骤中仅 152m 锚绳没有测量,则大的载荷能从一条钻井船移到另一条钻井船上。

虽然钻井船和锚运船上安装了锚链和锚绳测量器,但是目测读数仍然是主要的测量方法。在钻井船上,通过计算每一层的锚绳股数和应用测视图估算放开的锚绳量及绞车滚筒上剩余的锚绳量来测量。在锚运船上,当锚绳被缠绕在绞车滚筒上时,槽绳被交替染成 30m 白色段和 152m 红色段作为标志(在关键点用独特的标志,每 30m 一段)。

6. 锚绳拉力测量

在系泊作业中,对锚绳和锚垫接触的目测是钻井船上一项关键操作。通过钻井船压舱使锚垫位于飞溅区,海水将帮助散除锚绳穿过锚垫时产生的热量。

虽然钻井船绞车上有绞车拉力显示器,但在系泊作业中这个读数对检测实际锚绳拉力是不可靠的。

在系泊过程中钻井船上最可靠的拉力测量是绞车马达的安培表,但是这种测量仅能在绞车起升时使用。DODI 公司研制了一种曲线图,让绞车操作员在锚链和锚绳形成交叉时把绞车马达安培数转化为千磅力。然后把这些测量结果与系泊作业中预期载荷相比较。

锚运船上测量拉力仅有的方法便是绞车上的压力表。为了将来的深水系泊作业,现在正在研制压力/拉力转换图。

结 论

(1)半潜式钻井船能在 1500m 深水中成功地系泊和钻井作业。

(2)在系泊设计阶段,应用系泊设计标准可为减少深水系泊风险提供一种系统方法。

(3)把系泊程序通知有关工程人员,有助于清楚地理解和执行程序。

(4)实际作业前 8 个月,管理者对工程人力和物力的早期评估是工程成功的前提。

(5)在开发深水系泊程序中使用 PC 计算机,与原先计划相比改进了钻井船和锚运船间载荷分配。

(6)深水系泊系统在正常作业中可能出现锚垫接触。这在选择操作拉力时应予以考虑。

(7)系泊时,发现有轻微的锚垫接触,然而锚垫或锚绳损坏程度并不严重,但是并不清楚累积效应。

(8)如果锚运船槽绳上需要接头,应事先计划好锚绳的长度和直径以使接头靠在滚筒法兰上。

(9)如果锚绳固定在滚筒上,能极大减少槽绳的拉力。但是,若不需要工作锚绳和球窝接头,可进一步减少拉紧槽绳所花的时间。

(10)用新的锚运船槽绳降低了锚绳失效风险。每一次深水系泊作业前应重新端接所有锚运船槽绳上的球窝接头。

(11)锚运船绞车上拉力测量设备的有效性,可减少深水系泊作业中设备超载的风险。

(12)PC 计算机程序中的系泊作业图形显示,有助于系泊作业步骤形象化。

——摘译自 IADC/SPE 35096