

喀麦隆Mokoko-Abana油田的 中央生产平台甲板的安装

A. W. Gatto
Pecten Intl. Co.

周 珊 译
赵毓珊 校

摘 要

为降低开发Mokoko-Abana油田的成本, Pecten Cameroon公司最大限度地采用了整体组装装置。生产设备在建造过程中就安在甲板单元上, 在承包商的制造场试运转, 然后启运。然而, 中央生产平台甲板重5000英吨(4500公吨), 超出了一般海上设备的提升能力, 因此, 发展了一套独特的安装技术, 即设计出一种浮式甲板(Flo-deck)系统, 它可以利用潮汐的变化和使驳船快速压载, 将组装好的甲板安放在专门设计的导管架上。

一、前 言

1981年至1984年期间, Pecten Cameroon公司开发了喀麦隆海上Mokoko-Abana油田, 该油田位于离岸大约30英里(50公里)、水深150英尺(50米)处(见图1)。1980年制定的开发计划采用9个附有辅助装置的卫星钻井平台和一个用于原油处理、装船、注水的处理、气体压缩和人员起居的平台。为降低组装造价, 在建造过程中就把全部生产平台安装在甲板上, 启运之前进行试运转。还包括一条管径为8英寸(200毫米)、长15英里(23公里)的管道, 用于将处理过的原油输到ELF公司Kole油码头的原有储罐, 并装船。后来, 又增加一条管径为10英寸(280毫米)、长7英里(11公里)通往TEPCAM的Moudi油码头的管道(见图2)。

卫星钻井平台40英尺(12米)见方, 由垂直腿式导管架支承着用沉垫式自升式钻井平台打的9—15口井。这些井完钻并完井之后, 安装一个70英尺×80英尺(21米×24米)的双层甲板结构。每层甲板有试井及其它生产设备, 而且可以安放一台带辅助船的钻机, 以便将来打开发井或修井。

Pecten公司解决建造海上结构的方法, 是最大限度地利用国际市场, 寻找合格的欧洲和西非的投标者来进行各种工程。建造、运输和安装9个钻井平台和一个中央生产平台的合同被ETPM所得。这些平台已及时地、成功地在毗邻加蓬的地方建造了, 安装中也很少出现计算上的问题。

这些卫星平台的甲板及其全套生产设备是在欧洲和美国建造的, 甲板组件的提升重量保

持在500英吨（450公吨）以下，致使单件吊装时可以使用当地的起重船。

中央生产平台的甲板建造在美国墨西哥湾沿岸。这种甲板提出了特殊要求，因为用单台起重机提升时可能过重（5000英吨，4500公吨）。即使把所有设备减少到最低限度，仍然需要只有北海才可能有的那种起重设备。而用许多小模块安装或组合，价格昂贵，又浪费时间。Pecten公司的解决办法是一种独特的“浮式甲板”的方案，可以使得组装一套中央生产平台及其整体装置不用起重船。

二、“浮式甲板（Flo-deck）”方案

Pecten公司及其从Shell石油公司请来的技术顾问为中央生产装置平台研究出三种选择方案：一种是通常的具有一些模块的八条腿甲板；另一种是自升式平台；第三种即浮式甲板（Flo-deck）。

这种模块式的设计是一种三块甲板结构，它安装在有八条腿的沉垫导管架上。各种装置安装在模块内，并在甲板就位后吊装。在西非所用的起重船的最大起吊重量是500英吨（450公吨），这就严重地限制了其应用。

该工程小组研究的自升式平台乃是有全套装置的单个甲板，可以用驳船将其运至海上现场，并用六条大直径桩腿进行安装。待六条腿插入海底后，甲板即被顶起就位。这种自动安装的方案有其优点，即装置的安装和先期调试可在建造现场完成。值得研究的是如何使施工作业确保升降系统、基础系统和使甲板置于水平过程的可靠性。

浮式甲板的方案是用具有组合装置的单个甲板安装在一个特殊设计的沉垫导管架上。第一层导管架水平构件正好位于水平面以下，只有导管架的桩腿露出水面。组装好了的具有各种装置的甲板，用驳船运到预定地点，浮送到导管架上方，通常控制运输驳船的压载使之下落就位。这种浮式甲板可以把整体组装设备的甲板安装在一个通常用的沉垫式导管架上。不过这种安装受海况影响很大。

这三种选择方案的比较列于表1。费用的初步估算表明，模块式的解决办法可能是最费钱的，首先是由于海上安装作业时间比较长。而浮式甲板又比自升式平台好，因为导管架桩腿支承系统已经过验证，而且安装简单。

安装作业的设计海况无明确规定，因此就着手研究西非的气象资料、波浪大小和作业记录。很快就发现，喀麦隆海上的气象条件季节分明。从4月至10月，风主要来自西南方向，长距离吹过大西洋，结果形成大量的、长周期的浪涛。然而，从11月至次年3月，通常是强劲的北风，从撒哈拉大沙漠吹过来大量沙土，使得能见度很差，作业条件困难，但海况相对平静。于是决定Mokoko-Abana油田中央生产装置平台采用浮式甲板，并计划在从11月到次年3月的气候条件下进行安装。

三、安装系统设计

浮式甲板的基础设计是要搞一个简单而可靠的系统，无需新工艺，也无需研制设备或交货期长的组件，不用复杂的控制，也无需精密仪器即可操作。这套系统能放在根据11月至次年3月气候条件要求的非常紧凑的安装时刻表内完成，如果需要，也可在现场加以完善。

安装系统曾考虑两种方法：一种是柔性系统，采用相对“软”的缆绳和弹性浮标作为消能器，以便在严格的组装作业过程中使驳船的移动减少到最低程度；另一种是“硬”系统，在作业期间将利用导管架作为系船柱。因为安装将在外海进行，可能会发生难以预测的巨大海浪，在甲板/驳船系统产生很大的惯性力。为减少易损的导管架桩腿超载的可能性，选用了软系泊系统。

对11月至次年3月期间的气象和海洋资料进行研究后，为安装系统确定了以下参数：

最大风速：15节（8米/秒）

最大浪高：3.0英尺（0.9米）

最大波浪周期：10秒

1. 运送—安装用驳船

驳船的选择根据远洋拖运和安装作业两者的参数来定。计划从美国墨西哥湾沿岸用一般的方法拖运到喀麦隆，但要求运载驳船符合美国船级社关于海洋移动式钻井平台的稳定性规范。甲板组合和连结件的设计适用于有效浪高32英尺（9.8米）。

安装甲板时，根据作业的需要，对于驳船的大小和压载能力提出了若干限制。驳船的一般规范如下：

（1）涨潮前三小时驳船必须进入导管架，导管架支腿的上端和甲板支腿的下端至少要有3英尺（0.9米）的垂向间距。

（2）在整个组装过程中，驳船必须能使导管架水平构件的上平面与驳船的底部之间能保持至少3英尺（0.9米）的垂向间距。

（3）驳船进入导管架时，驳船的每一舷侧和导管架的支腿（包括临时用的碰垫）之间至少有1英尺（0.3米）的横向间隔。

（4）驳船必须使泵有足够的排量，以100%备用排量，使之在潮汐一涨一落时仍能保持恒定的高程，在实际组装作业中并能使驳船很快充水。

浮式甲板安装现场的海潮的平均幅度是5.2英尺（1.6米），最大的变化为每小时1.36英尺（0.41米），全周期的平均变化为每小时0.87英尺（0.27米）。压载系统要能使加载和卸载的幅度局限为每小时1.1英尺（0.34米），这是潮汐的平均变化和最大变化的平均值。如果需要，能运用压载系统使驳船不管潮水涨落都处于稳定的垂直位置。一条典型的400英尺×100英尺（122米×30米）的船型驳船，每英尺吃水的排水量约为1100英吨（1000公吨），因此，压载系统所需的泵量应为1200英吨（1100公吨）/小时或4800加仑/分（300升/秒），外加单独动力的100%的备用泵。

经过调查，有几条驳船符合上述规范。压载系统成功地完成了全负荷的试验后，Tokyo Marine Services的TMS-6驳船签订了合同。该船的主要规格列于表2，虽然TMS-6驳船是一艘潜没式的驳船，对这一特性并不需要。一艘具有足够加载、卸载能力的普通驳船或许对浮式甲板的安装更适合。

2. 系泊系统

系泊系统的设计考虑两个因素：

（1）把驳船移入导管架上方的最终位置；

(2) 安装作业过程中, 吸收波浪的能量以减少驳船的移动。

柔性系泊系统的示意图如图3。采用了一个基本上是有预先安装好的系泊浮标的六点系统。海上拖船系在浮标1上, 系泊缆绳2、3、5、6将供应船系在浮标上, 用工作船上的绞车来拉紧或放松系泊缆绳, 从而避免在满载的驳船上长期租用许多绞车和再安放设备。在驳船上仅增加一台具有2000英尺(610米)、1 $\frac{1}{2}$ 英寸(38毫米)钢丝绳的50吨的绞车, 它系在浮标上, 将驳船拖入预定位置。

系泊作业用的其余设备见图3, 它们是:

(1) 两条多用拖船——用于保持驳船的稳定, 抵消船身侧面受持续的海浪和风力的冲击, 同时在系泊缆绳失效时, 可作为备用船。

(2) 交叉的直径为10英寸(250毫米)的尼龙船尾缆绳——使驳船船尾固定在导管架支腿之间。

3. 定 位 桩

一旦驳船进到了导管架支腿之间的位置上, 需要一种方法来限制甲板和导管架之间的相对运动, 以便使甲板支腿能插入导管架内, 设计了两根定位桩在插入作业中保持水平状态。定位桩的垂直部分是一根直径为24英寸(610毫米)的管子, 这根管子能从甲板下落进入导管架的导管, 如图4所示。定位桩要有足够的刚性, 以便把驳船就位, 但设计的定位桩的破坏载荷比导管架支腿的能力低得多。

4. 砂 接 头

这种设备是用来缓冲垂向冲击和使甲板落到最终位置并处于水平的机械, 类似于古埃及人用来建造金字塔的那种砂千斤顶, 如图5所示。

砂接头是一节直径为42英寸(1067毫米)的圆筒, 其中有一厚层砂子和一个氯丁橡胶的支承垫。导管架六根桩柱的顶部都各装一个砂接头, 支承垫可以在组装作业时缓冲甲板的冲击。然后, 砂子可以从一个小孔中排放出来, 使甲板下落到最终水平位置。既然砂接头在安装设计中是如此重要的部件, 在Lehigh大学的Fritz工程实验室中, 制造了一台原型并进行了试验。1983年6月进行了四次载荷试验, 其周期性的载荷高达4000千磅(1800公吨), 试验结果如下:

- (1) 支承垫/砂系统能容易地承受住安装过程中所预计的负荷量;
- (2) 采用圆粒的、粒度一致的砂可以在载荷时减少偏差;
- (3) 砂的排放是均匀的, 并且容易控制(在砂管出口安一个插板, 可以在满载下止住砂流)。

5. 安 装 程 序

以下是安装程序中的主要步骤。图6列举了根据潮汐周期安排的安装时间。

- (1) 把海上拖轮系在1号浮标上, 把其它主要的系泊缆绳系在相应的浮标上(图3);
- (2) 用船尾绞车把驳船拉到导管架上面(图7);
- (3) 拉紧各系泊缆绳以保持最终位置, 落下定位桩, 减少移动(图8);
- (4) 给驳船加载, 把甲板从驳船上移至导管架的桩系统(图9);

(5) 移去驳船, 使用砂接头使甲板坐平。

四、安 装 作 业

Mokoko-Abana 平台甲板是在美国墨西哥湾沿岸建造的。1983年12月 McDermott Fabricators 获得了结构制造、设备模块制造、吊装和预先试运转的主合同。其它模块(例如56个人的生活间和压缩机)在厂外建造。虽然驳船已经采取了大量内部加强措施, 甲板已经可以连同其模块吊装, 但甲板还是单独吊装, 而在驳船上组装模块。1983年8月甲板滑到 TMS-6 船上, 并随即开始把各模块组合和安装上去。机械设备、电气系统和工具的最后检查是在12月份。1983年12月24日完工的装置运往喀麦隆。

1984年2月4日, 甲板平安地拖航到喀麦隆海上。若干天后, Pecten/Shell 石油公司的安装队到达, 对安装场所的气候条件进行了探测, 查明此处经常的西南风掀起的海浪高为3—5英尺(0.9—1.5米)。这种情况持续了几天, 安装队得出结论: 由平常的北风转为西南风比预计的提前了两个月。

1. 首次试安装——1984年2月12日

既然气候条件勉强可以, 1984年2月12日进行了一次安装试验。当时的条件是:

有效浪高: 2—4英尺(0.6—1.2米)

最大浪高: 5英尺(1.6米)/11秒

风 速: 西南南风2—6节

系泊和移入作业(第一步和第二步)进行得顺利。可是, 驳船的运动(沉浮2.6英尺(0.8米), 纵荡3英尺(0.9米))比预料的大。增大缆绳的张力对于减少驳船的位移见不到明显效果。每条船/浮标不规则地移动, 使得驳船随着缆绳的一张一弛而受到附加的垂向力。增加压载, 定位桩落了下去, 但是, 经过反复几次加载, 定位桩被半腰剪断, 说明甲板/驳船系统位移产生的力量比导管架所能承受的要大。TMS-6号船只好卸载, 并脱离导管架。

第一次试安装得出下列结论:

- (1) 最佳气候条件已经错过, 气候条件可能会继续变得比设计规定的更严峻;
- (2) 在现有海况下, 目前的系泊系统不可能把驳船的位移减少到可以接受的程度;
- (3) 所形成的水平力将会使导管架的腿和桩超载。

2. 安装系统的改进

既然气候条件在六个月内不会变化, 增强导管架也不可能, 采取了改进系泊系统的措施。原来的系统适合于将驳船移动就位, 但不足以把驳船拉紧, 以便驳船在现有海况下安装就位。工作船/浮标所产生的纵向力, 由于系泊缆绳被拉紧, 情况更加不好。

设计了一种新的安装系统, 可以使驳船的运动减少到惯性力不致于损坏导管架的程度。

研制成一种新的索具系统, 不同船用缆绳而更好地控制驳船的摆动。该系统采用五股的尼龙绳连接在导管架中间桩腿和驳船甲板上的四台风动卷扬机之间, 当驳船就位以后, 尼龙绳将会被拉紧, 并且通向各船的缆绳则被放松。这些尼龙绳由于它的弹性最初对驳船的摇动

几乎不起作用,但是尼龙绳慢慢地拉紧以后,将会逐渐承受更多的负荷,并且减少驳船的摆动,其结果会使这一系统的惯性力减少,作用于导管架的最大负荷取决于尼龙绳的断裂强度。

这一改进后的系统的第二个特点是在驳船两侧安装了18英寸(0.5米)厚、3英尺(0.9米)高、10英寸(0.3米)^①长的木制碰垫。碰垫的目的是减少驳船和导管架桩腿之间的间距,进而使驳船在定位桩插入之前避免任何的横摆和纵摇。

最后,新的定位桩是用24英寸(610毫米)管子制造的,还有两根附加的定位桩,桩与其导管之间的公差加大3英寸(76毫米)。当甲板和导管架之间的水平间距小于3英尺(0.9米)时,这两根新加的桩就落下去,而索具系统就使纵摇总幅度减少到6英寸(150毫米)以下。驳船经过压载,间距达到1英尺(0.3米)时,其它两根桩就落下去,而使驳船的纵摆减少到2英寸(50毫米)以下。这几根桩使纵摆保持在2英寸(50毫米)左右,而使甲板的插入端进入导管架桩腿顶部,沿着插入端的圆锥部分接合。

3. 最后的安装——1984年2月23日

1984年2月23日,采用上述改进系统进行了甲板安装。作业过程中的气象条件如下:

有效浪高:涌浪2—3英尺(0.6—0.9米),局部波浪1—2英尺^②(0.3—0.6米)。

最大浪高:4英尺(1.2米)/10秒。

风速:西南南风8—10节。

安装记录摘要如下:

0240——开始将驳船推向导管架。

0730——甲板的第一条支腿处于导管架顶部的上方,驳船的起伏在船中部是9英寸。四角支腿处的起伏+横摇+纵摆总幅度是18~24英寸。

0900——处于导管架上方,用尼龙绳挂联起来。开始交替地向前或向后拖2英尺,使得每次拖动之间的摆动趋于稳定。

0930——满潮,开始加压载。

1020——使甲板支腿锥体和砂接头顶部的额定间距保持在2英尺左右。纵向缆绳继续绷紧。

1120——平均纵向摆动幅度约6英寸,最大纵向摆动是12英寸,而且大多数时间几乎不动。

1125——落下第一组两根定位桩,重新加压载,驳船以每分钟1英寸的速度下落(包括潮水的影响)。

1140——甲板支腿与砂接头之间的间距是1英尺,落下其余两根定位桩。整个纵向波动幅度是1—3英寸,总计上下起伏是12—18英寸。

1205——甲板支腿开始接触砂接头的支承垫。冲击载荷被支承垫有效地缓冲,声响出乎意料地小。

1240——大约50%的甲板重量转移到导管架上,仔细控制卸载—加载作业,开始抵消落

① 编注:原文数字有误。

② 译注:原文误为3英尺。

潮的影响, 50—70%的甲板重量保持在导管架上。松开并去掉栓系和固定物。

1520——再加压载, 去掉最后的固定物, 甲板整个支承在导管架上, 驳船空载。

1700——驳船完全离开导管架。

次日, 对甲板支腿进行了水准测量, 正如预料, 支承垫在最大载荷的支腿下面被压缩得更多了, 超过水平最大达7/16英寸(11毫米)。把支承着较高支腿的砂接头中的砂放出一些, 甲板就趋于水平。各个砂接头排放出相近数量的砂子后, 整个结构下沉8¹/₄英寸(210毫米), 以满足焊接的要求。

整个校正水平和下沉的作业进行得很平稳, 总共用了3小时。甲板/导管架桩腿的焊接开始于次日。生活间的完工是2月26日——甲板安装后的三天。隔水管的连接和生产设备的试运行在38天内完成, 于是, 4月5日原油开始通过这套装置处理。从甲板开始制造时算起还不到15个半月。

五、结 论

浮式甲板的安装设计已被证明是一种可行的方法, 适用于在外海上安装大型的、整体生产平台甲板组合。

气象和海洋条件在安装过程中是最重要的因素, 决定着在特定区域采用这一安装设计的技术可行性。在作出这一评价时, 要考虑以下几点:

(1) 季节的影响——气象记录表明在一年中的特定时间里海况是否比别的时候更恶劣?

(2) 浪的方向——浪是不定向的。导管架的长轴线必须同浪的主方向一致, 因为上述安装系统对于垂直于长轴线的浪所引起的大的摇晃和摆动是无法控制的。

(3) 波的高度和周期——估计在安装过程中可能遇到的主要的、最大的波涛是什么样的? Mokoko-Abana甲板是在主要波涛为3英尺(0.9米)/10秒的情况下安装的。可以预料, 这套设计方案可以在更恶劣的环境下采用, 因为在安装过程中可以搞成控制左右摇动和摆荡的装置, 而且所设计的导管架结构可以承受更大的系泊力。

采用浮式甲板方案的节约

(1) 时间——据估计, Mokoko-Abana生产平台要比该油田已经采用的一般模块甲板提前六个月投产。

(2) 加速了生产——中央生产甲板安装完成后通过临时平台的产量大约是12000桶/日。永久平台投产后, 产量迅速上升为25000桶/日, 到年底通过扩建平台, 处理量几乎达50000桶/日。如果采用一般的甲板, 其永久平台的投产和扩建要推迟六个月, 将会少产油676万桶(1.1×10^6 立方米)。

(3) 油田开发成本——采用浮式甲板设计方案所实现的主要成本节约, 在于减少试生产和安装成本。实际工作内容没有减少, 但是由于这些任务不是在海上, 而是在工厂场地完成的, 效率高, 工时费用低, 所以减少了完成这一工程的费用。估计在制造场地上对各模块和试生产设备的内部联结工程花了50000工时, 这同一般海上安装相比, 净节约115万美元。

表 1 Mokoko-Abana 中央生产装置平台几种方案的比较

	普 通 式	自 升 式	浮 式 甲 板
1.基础支承	桩/沉垫	独立的沉箱	桩/沉垫
2.甲板/装置的结构	三块甲板加 设备模块	整体的	整体的
3.甲板/装置的 安装方法	起重船	液力千斤顶	潮汐/压载
4.甲板/装置的 限 重	一次起吊500英吨 (450公吨)	无限制	无限制
5.海况对安装的影响	一般	一般	大
6.甲板/装置安装、装配、试运转、投 产的时间	6—9个月	2—3个月	1—2个月

表 2 TMS-6 驳船的性能

总长度	122.5米
型 宽	30.5米
型 深	7.6米
负载线	6.0米
空载排水量	3636.0公吨
满载排水量	18420.0公吨
设备:	
发电机:	
主机	144kW柴油发电机 1 台
辅机	40kW柴油发电机 2 台
压载泵:	
离心泵	2台3000立方米/时(20MTH)用350马力, 1200转/分柴油机驱动
甲板用设备:	
锚系统	
20吨(10米/分)液力起锚机	1 台
两套3.2吨的锚以及250米50毫米的锚链	
系泊系统	
5吨(10米/分)液力绞盘	2 台
20吨(10米/分)液力系泊绞车	1 台
压载系统	
本船有特别大的能力, 可使驳船的吃水深度每小时变化1.7米。驳船有一 套完整的压载系统, 能使14个主要压载舱中任一个加载或卸载	

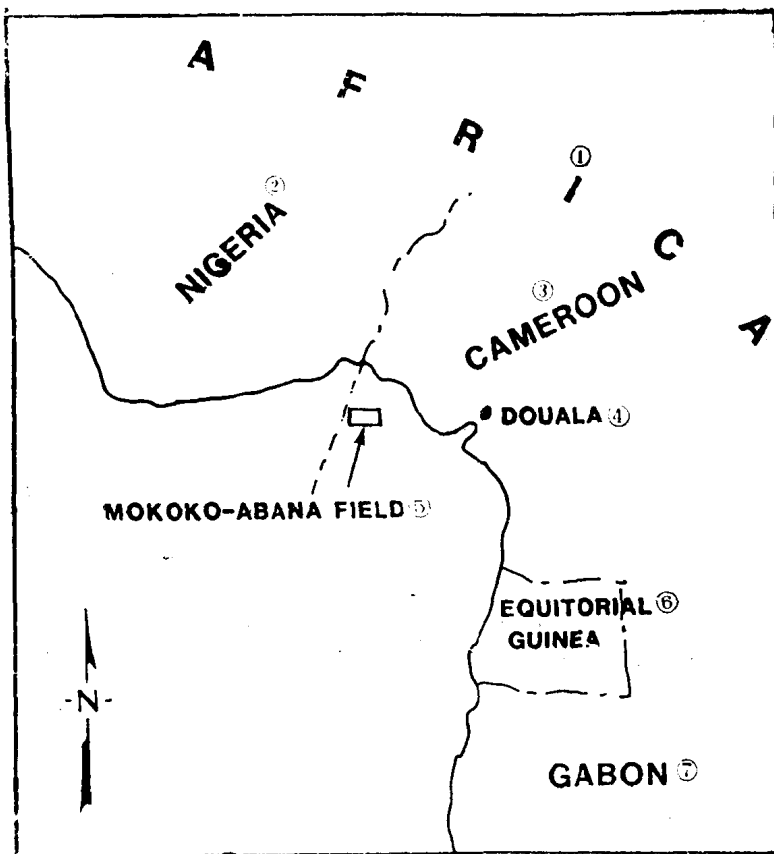


图 1 Mokoko-Abana油田位置图

①非洲；②尼日利亚；③喀麦隆；④杜阿拉；⑤Mokoko-Abana油田；⑥赤道几内亚；⑦加蓬

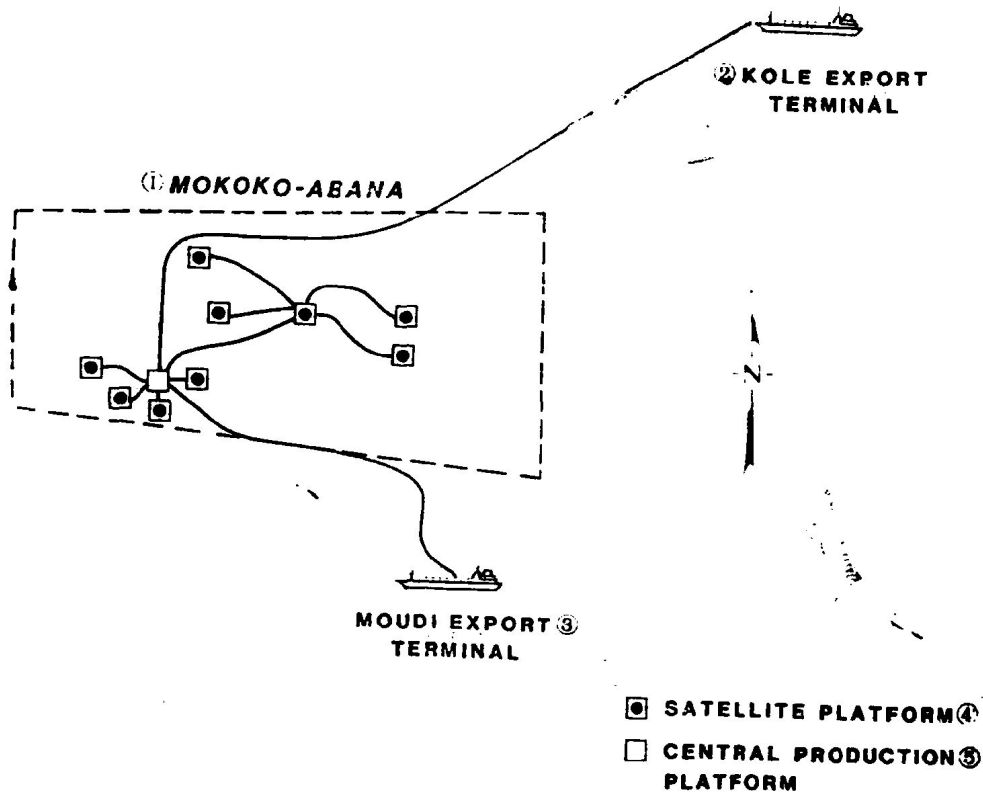


图 2 Mokoko-Abana油田布局

①Mokoko-Abana; ②Kole出口码头; ③Moudi出口码头; ④卫星平台; ⑤中央生产平台

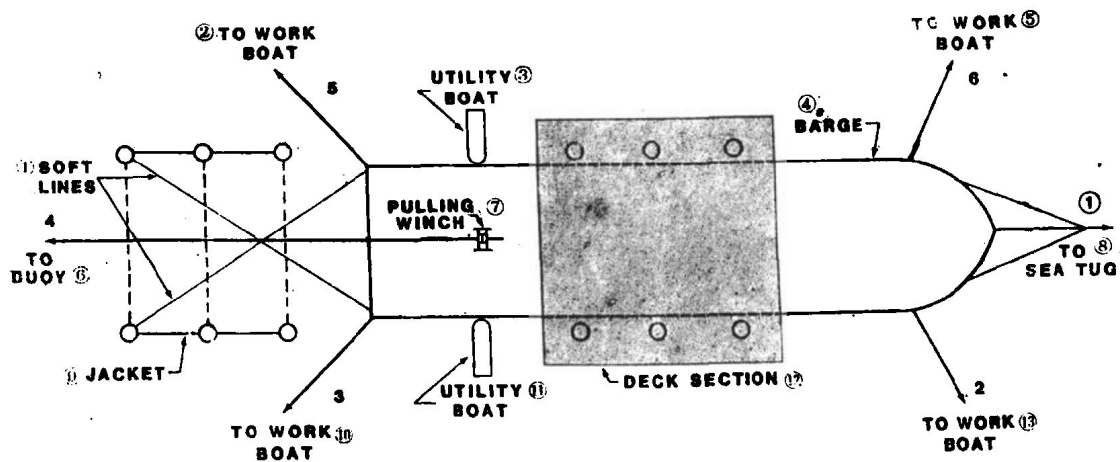


图 3 最初系泊位置

①软缆绳; ②至工作船; ③公用船; ④驳船; ⑤至工作船; ⑥至浮标; ⑦拖挂卷扬机; ⑧至海上拖船;
⑨导管架; ⑩至工作船; ⑪公用船; ⑫甲板部分; ⑬至工作船

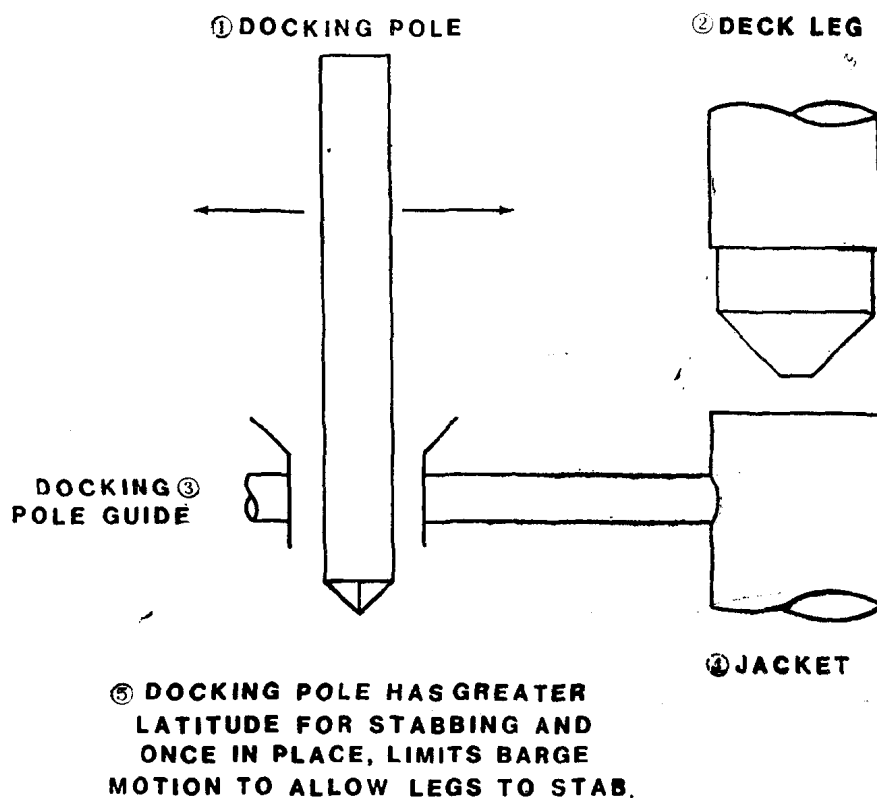


图 4 定位船

①定位桩；②甲板支腿；③定位桩导管；④导管架；⑤定位桩有较大的活动余地，以便插入，插落后使驳船不能活动，以致使各支腿插入

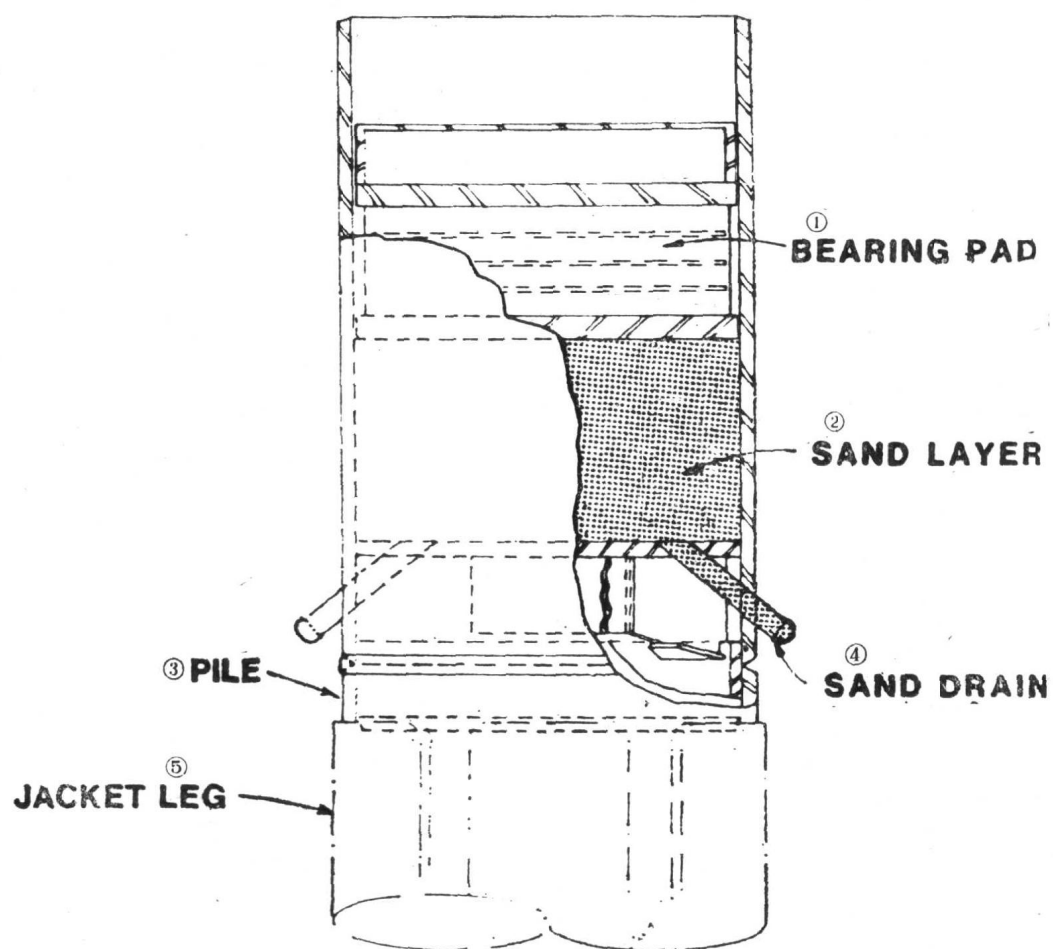


图 5 砂接头

① 支承架；② 砂层；③ 桩柱；④ 排砂口；⑤ 导管架支腿

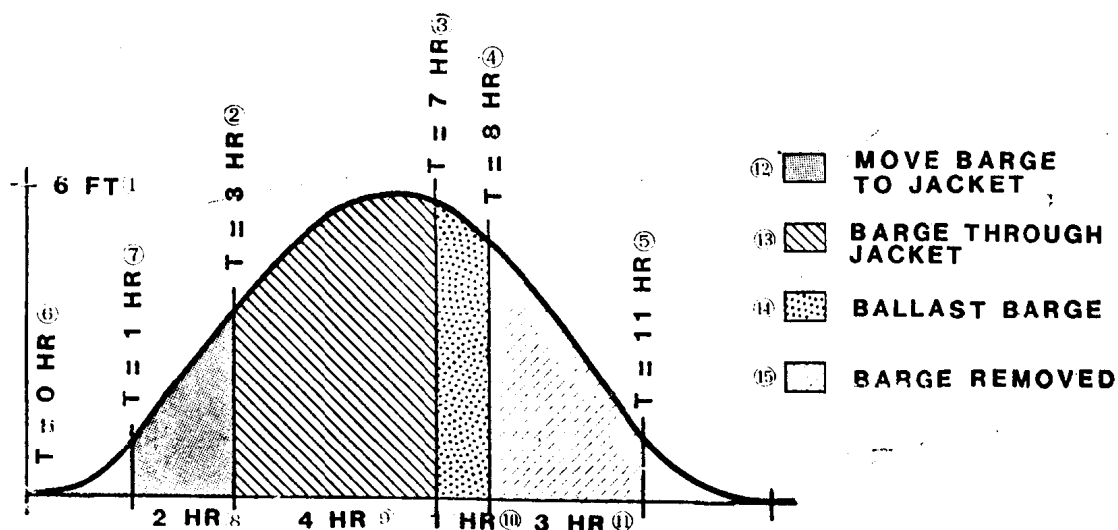


图 6 适应于潮汐周期的安装时间

①6英尺；②3小时；③7小时；④8小时；⑤11小时；⑥零小时；⑦1小时；⑧2小时；⑨4小时；
⑩1小时；⑪3小时；⑫驳船移向导管架；⑬驳船穿过导管架；⑭给驳船压载；⑮驳船重新移动

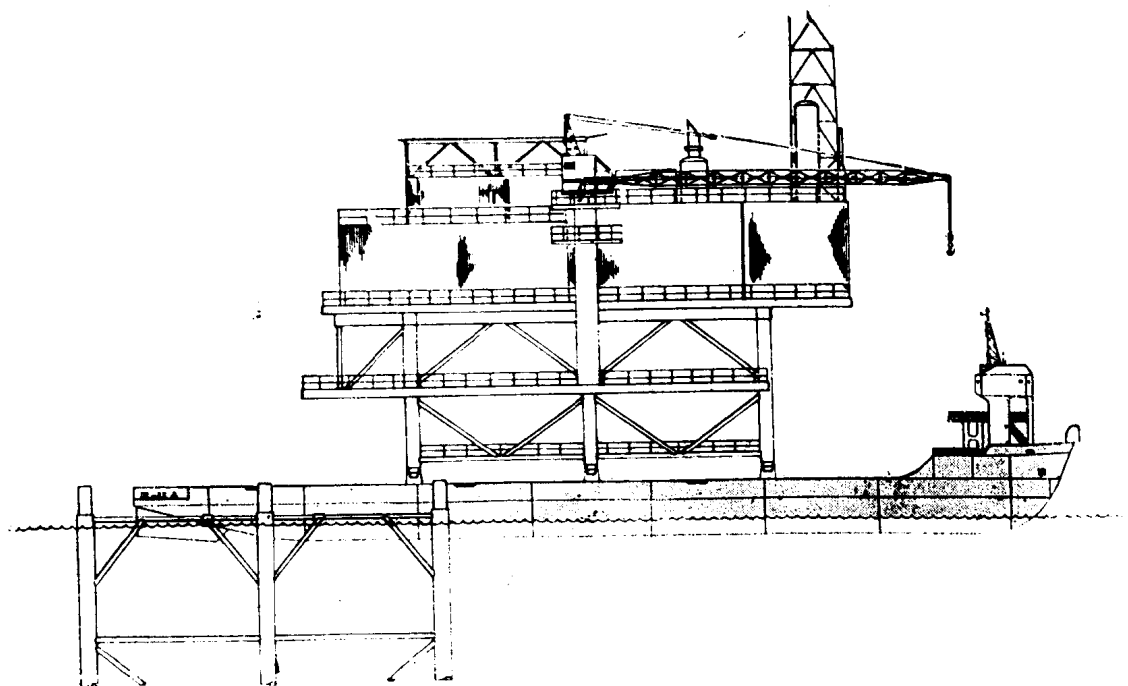


图 7 驳船被绞车拖向就位

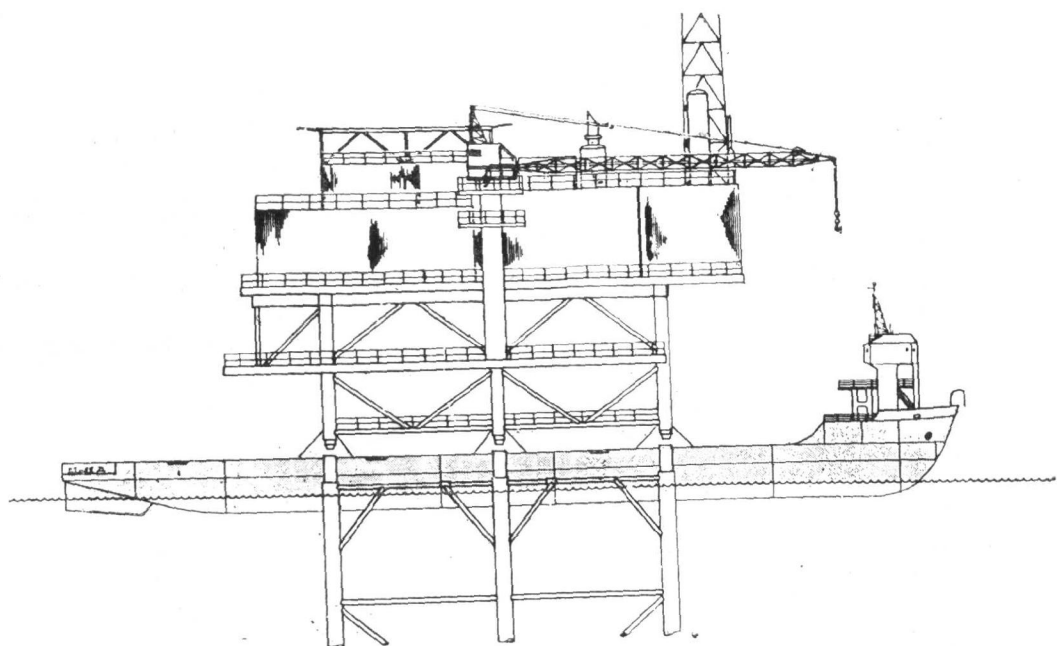


图 8 甲板在导管架上方就位

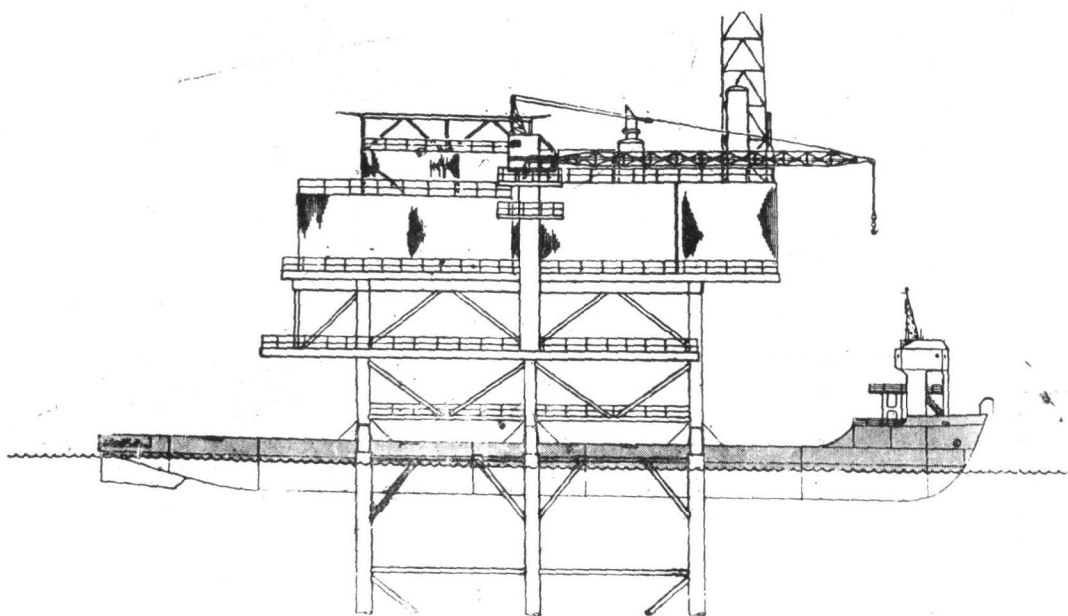


图 9 全压载下的最佳位置