

# 国外海洋油气田 开发工程报告集

渤海石油公司  
渤海工程设计公司

一九九一年九月

# 目 录

## 福尔马(Falmar)油田开发工程

摘要	3
一、概况	3
二、地质及开发情况	3
(一)地质情况	3
(二)开发钻井	5
三、工程方案	5
(一)方案的提出	5
(二)结构重量及其工程造价	6
四、平台及浮式生产系统	7
(一)主平台及井口平台	7
(二)SALM 系统	8
(三)浮式储油装置(FSU)	12
五、天然气管线系统	14
六、福尔马油田的项目管理工作	15
结论	15
主要参考文献	15

## 布蝉(Bachan)油田开发工程

一、概况	19
二、油藏特性	20
三、油田开发工程	20
1. 开发工程方案	20
2. 开发工程设施	21
—浮式生产平台	22
—生产/外输立管束装置	24
—水下管汇	27
—湿式采油树及出油管线	29
—海底基盘	30
—CALM 系泊及装油系统	31
四、钻井及完井	35
五、控制系统	36
六、污水处理	37
七、防腐蚀	37
八、油田费用	37
九、经验及教训	38

## 卡斯特利翁(Castellon)油田开发工程

一. 概况	43
二. 油田开发历程	44
(一)油田开发方案	44
(二)开发设施的设计和建造	44
(三)油田设施的现场安装	47
(四)生产历程	49
三. 油田开发设施	50
(一)水下完井及控制和修井设备	51
(二)单锚腿系泊系统	53
1. 锚基	53
2. 万向接头	53
3. 张紧立管	53
4. 系泊軛架	54
(三)出油管线与控制管线	55
(四)储油轮及处理设备	56
1. 储油轮	56
2. 处理设备	56
(1)天然气处理方案的选择	57
(2)焚烧炉原理	57
(3)卡斯特利翁油田焚烧炉系统	58
(五)安全与环境保护设施	61
四. 结论	62

## 红都(Hondo)油田开发工程

摘要	65
一、概述	65
二、油田开发工程	66
(一)、油田开发方案	66
(二)、油田开发工程设施	69
1. Hondo 油田的“A”平台	69
2. 单锚腿系泊装置(SALM)	75
3. 海上储油及处理油轮(OS&T)	79
4. 海底天然气管线	84
三、经验	92
四、结语	93
主要参考文献	94

国外海洋油气开发工程报告之十一

# 英国福尔马(Fulmar) 油田开发工程

编写:杨振玉

审校:王金英

渤海石油公司工程设计公司  
一九九一年九月



## 摘 要

福尔马(Fulmar)油田位于英国北海中部,水深 82 m。1975 年发现,1982 年投产。Shell/Esso 公司作为操作者。该油田是北海的一个中型油田,原油可采储量为  $7.95 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,伴生气  $5.66 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。

本文简要介绍了福尔马油田的地质概况,开发钻井情况;还介绍了海况条件,工程方案结构型式及工程造价。另外,还较为详细地叙述了生产平台、钻井平台,单锚腿系泊系统及浮式生产储油轮的结构设施及其建造、施工、海上组装等情况。并对天然气管线系统及项目管理工作做了简要介绍。

## 一、概 况

福尔马油田位于北海中部的英国地区,距苏格兰的 Dundee 东大约 274 km,水深 82 m。英国壳牌公司为该油田制订了开发计划,决定采用带有永久系泊储油轮的海上输油系统。当时在北海这样恶劣的海况条件下使用这种系统还没有先例。福尔马油田的位置见图 1。

Shell/Esso 公司作为福尔马油田的操作者执行风险合同。该油田于 1975 年发现,1982 年投产。

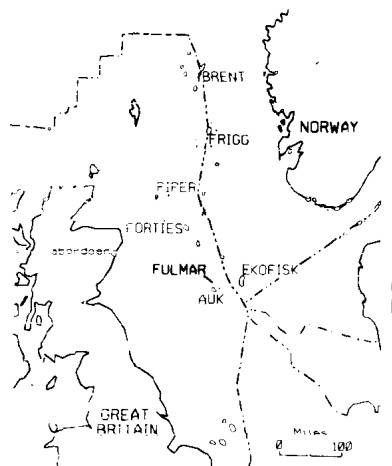


图 1 福尔马油田位置图

## 二、地质及开发情况

### (一)地质情况

福尔马油田是一个高起伏、丘状构造,由上侏罗系砂岩构成。该构造有一个大约 305 m 的三角形穹窿圈闭,是个广延的断层。构造深度约为 3 350 m,油层厚度大约 177 m。含油面积约为  $10 \text{ km}^2$ 。

Shell/Esso 公司于 1975 年在 36/16 区块打井发现油田,并向北延伸到 30/11 块上。原油可采储量为  $7.95 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,伴生气  $5.66 \times 10^9 \text{ m}^3$  这是在北海侏罗系砂岩中的有效发现。该油田最初没有气顶;80%以上的油层都是由高渗透率的砂岩组成。平均每口井的采油指数是  $1.15 \text{ m}^3(\text{d-kpa})$ 。有关福尔马油田油层及流体的特性见表 1。

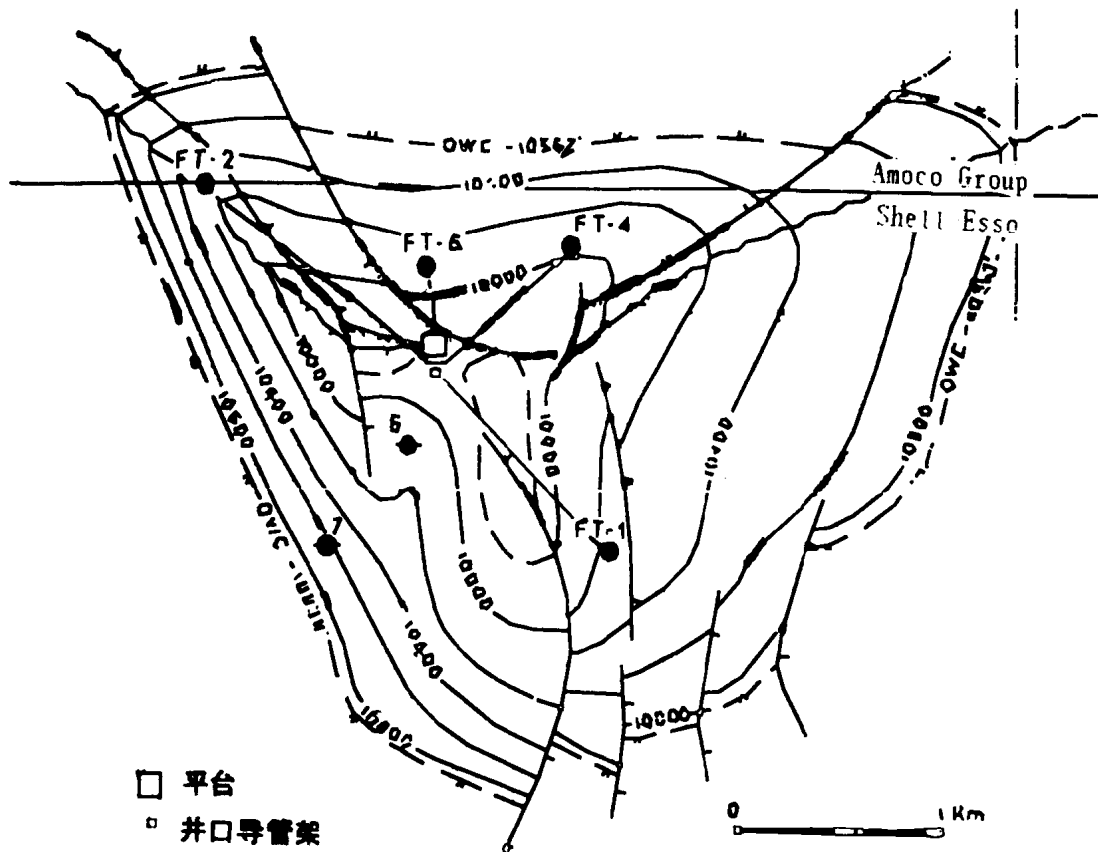


图2 福尔马油田构造及井位图

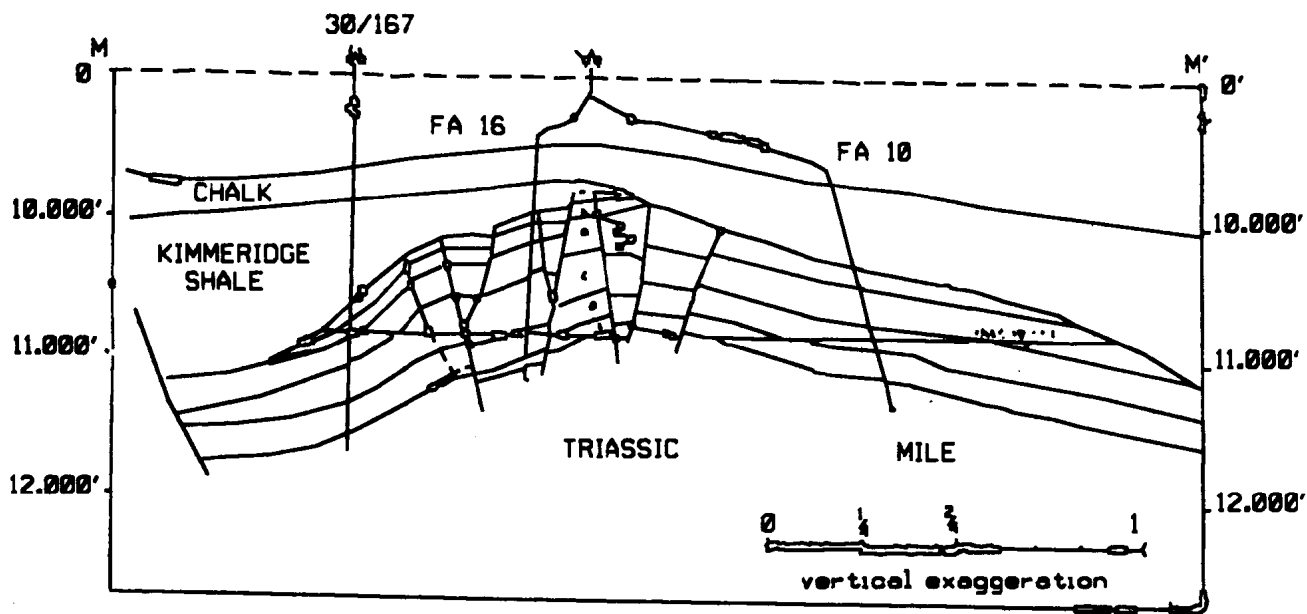


图3 福尔马油田断面图

表1 福尔马油田油层及流体特性

原始地层压力	39 300 kpa
饱和压力	12 300 kpa
孔隙度	18%—30%
渗透率	5—1 000 (md)
油层温度	127℃
比重	40° API
粘度	0.5 mpa
凝固点	-12℃
含硫量	0.26(%)
油气比	116 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> (650 ft <sup>3</sup> /b)
最小混相压力	24 1130 kpa

## (二)开发钻井

如前所述,福尔马油田在1975年发现,两年后决定开发。油田自1982年投产以来,仅两年作业时间,油田压力就降了6 900 KPa。为了满足生产要求,将采出的天然气重新注入地层,因而形成了气顶。

平台的钻井作业均由自升式钻井船来完成,井口小导管架上的五口井全部在左侧,以便在采油之前立即射孔。

到1986年为止,共钻井23口,其中12口油井均已采油,总产量为894 m<sup>3</sup>/h。油藏外围的10口注水井,保持操作压力(31 000—34 500 kpa)。余下一口井用来向油层顶部重新注入采出的天然气。

投产后二年油田的最高产量为28 600 m<sup>3</sup>/d。估计开发费用为10亿美元。

油田寿命20年。

## 三、工程方案

### (一)方案的提出

海况条件:

水深	82 m
百年一遇,一分钟平均风速	44 m/s
一年一遇,一分钟平均风速	36 m/s
百年一遇,最大波高	26.5 m
一年一遇,最大波高	19.0 m
百年一遇,海面流速	1.34 m/s
一年一遇,海面流速	1.08 m/s

由于福尔马油田波浪高,水深相对较浅,所以该油田的结构和机械设计要经受特殊的考验。

当Shell/Esso公司决定承担福尔马油田的开发时,考虑了几种可供选择的外输原油的方案。一个方案是用油轮直接从油田外输原油;其二是铺设一条输油管线到岸上或进入外输管



线。由于铺设管线费用很高,且外输管线缺少富裕容量而拒绝采用。另外,为了储油,选用重力式平台,因为这种平台造价高而被排除;由于水深浅,也妨碍了使用辘式储、输油系统。而浮式储油输油设施满足上述要求,是最有吸引力的方案。

最后确定福尔马油田的工程方案是包括主平台,小井口平台,输油管线,单锚腿系泊(SALM),浮式储油装置(FSU)在内的早期生产系统(图4)。

由于当时在北海条件下永久系泊大型油轮还没有先例,所以为了稳妥起见,要进行一系列的研究来证实这种做法的可行性。通过初步设计完成了几种不同的系泊形式,然后用模型试验来证实设计计算。模型试验表明,单锚腿系泊系统的设计,在有效设计波高为14.4 m的情况下仍可以控制船位。结构研究表明,铰接轴的荷载较以往设计的高3倍,但初步设计表明铰接轴采用标准材料和标准预制方法建造是可行的。转盘上部的轴承荷载高,可在技术上采取措施,用滚柱轴承传送这些荷载。最后的研究表明,系泊浮筒和刚臂结构能够经受住作用在其上面的波浪力。

## (二)结构重量及其工程造价

如前所述,福尔马油田的生产设施是平台+SALM+FSU

2-1 平台部分的主要结构部件如下:

主导管架: 设计水深82 m,重13 000 t。7亿美元。

上部结构: 包括1 700 t的设备重4 700 t。分三个单独部分。

组块1和2: 公用设施和动力发电组块。每块重量大约2 000 t。

组块3和4: 注水(33 400 m<sup>3</sup>/d)和天然气压缩(2.5×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/d,每块大约重2 000 t)。

组块5和6: 工艺处理组块(28 600 m<sup>3</sup>/d)和井口(36根导管)组块,总重量每块大约2 000 t。

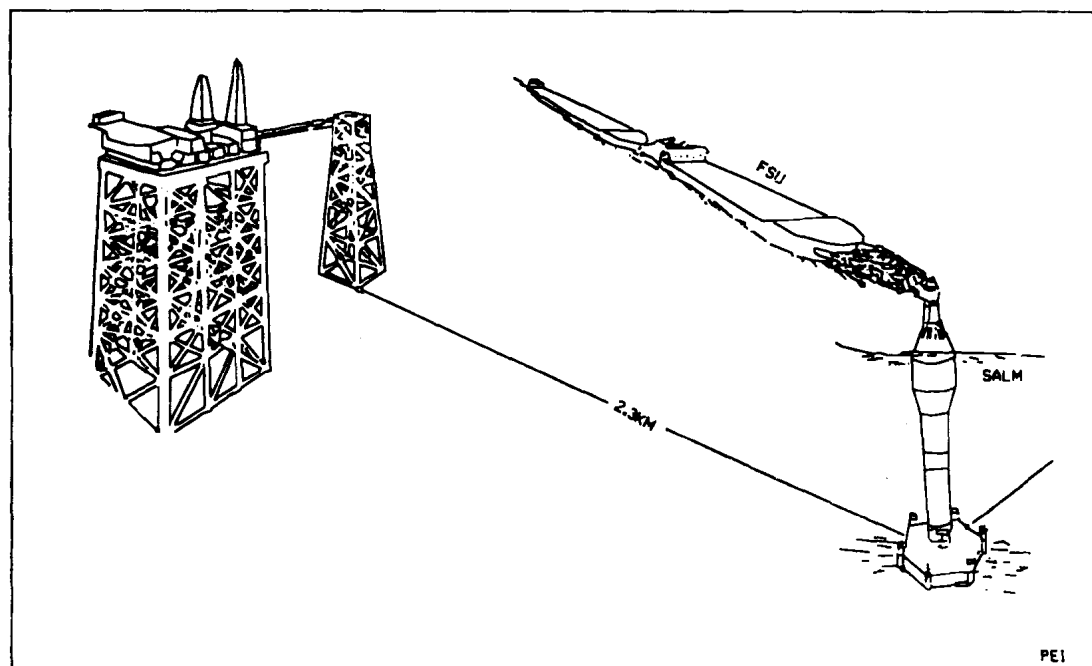


图4 油田布置图

生活区和直升飞机甲板：生活区可容纳 248 人，重 2 500 t。

钻井组块：两个装置，总重量 5 000 t。

井口导管架：安装重量 1 300 t。6 个井槽，4 口井，1 400 万美元。

2-2 SALM：

包括基座和刚臂总重量为 3 500 t，5 200 万美元。

2-3 FSU：由 210 000 t 油轮改装而成，8 000 万美元。

## 四、平台及浮式生产系统

### (一)主平台及井口平台

**主平台** 福尔马油田的主平台是完全自给式的生产平台，采用常规的钢质导管架结构，能钻井 36 口。其中 16 口生产井，10 口注水井，2 口注气井，其余 8 口井备用。

主平台上的各主要组块都进行精心制造。公用设施和动力组块在 Lowestoft 制造；天然气管压缩和注水组块在 Teeside 建造；工艺处理和井口组块在法国的 Bordeaux 制造，生活组块在西德汉堡组装。

当主平台安装及组块连接时，出油管线穿过长约 60 m 的栈桥，将小平台采出的原油输到主平台的生产控制设施上。最初平台的产量约为 1 600 m<sup>3</sup>/d。

随着主平台的安装，便着手按计划钻井。注水井打在外围，这样通过向井内补充水，能保持地层压力。平台上的完井水处理系统可处理海水。石油和天然气由三级分离器在二条平行的工艺处理系列分离。平台上还装有天然气管压缩设备。用二台压缩机重新向油层注入天然气以保持地层压力。

另外，结构上还装有一个可伸缩的火炬结构，这种火炬在吊装时可节省时间。

主平台的导管架在苏格兰的尼格湾(Nigg Bay)建造，于 1980 年下水。该导管架有 4 条瓶状腿和四条辅助腿。

主平台上的全部钻井工作由一台钻机完成。大约用 2 个月的时间可钻到 3 050—3 660 m。但是，打大角度井(如，打外围注水井)。用的时间则长些。

在平台钻井期间，油层上部遇到一层不稳定页岩层，切削这种岩层非常难，有时将钻头滚成球形，下钻时，钻头顶部井壁坍塌，形成孔洞。这些井用水基泥浆，控制页岩时费用很高。因此，在页岩层钻井时，该平台换成油基泥浆。

在主平台上原油经过加工处理后，由泵打入跨在栈桥上 0.4 m(16")直径的管线中，送到井口导管架上，然后用一立管下到海底，通过大约 2.3 km 长的海底管线，输到 SALM 型式的装油塔柱。

主平台导管架四个角的腿，每条腿周围打 5 根桩。四条中心腿，每条腿周围三根桩。所有 32 个导向段都在一个方向有 6:1 的斜度，外径 1.83 m，壁厚 5 cm。角上的导向段长度为 69 m，中心部位的导向段为 63 m。桩打入海底以下 34 m。

在福尔马油田平台安装期间，首次应用了新型的液压水下桩锤 MHU1700。该液压锤的主要特点是，桩锤与桩径相同，可直接打到导向段，该锤设计简单，采用特殊的钢砧座，所以基本上不需要维修。用 MHU1700 打桩锤共打入 8 根桩，平均每根桩所用时间为 75 分钟。毫无争议，使用 MHU1700 打桩锤比用普通的方法打桩节省时间。

**井口平台** 井口平台距主平台 45 m，用栈桥连接。于 1979 年建造完后浮出建造场地。小

平台还安装了海底基盘,基盘每边长 12.2 m,通过海底基盘可钻 6 口井,但只钻 5 口井。由自升式钻井船 Ocean Voyager 号进行钻井。

予钻井使 Shell/Esso 公司集中精力进行组装和调试主平台,减少了钻井队和组装队之间同时作业和有可能发生的冲突。这样,一旦主平台导管架建造好后,就立即安装、打桩、组装模块,在这同时,便可在小平台上采油。

## (二)SALM 系统

SALM(单锚腿系泊)系统是福尔马油田的主要工程设施之一。它是由浮筒、刚臂、基座和连接它们的机械式铰轴组成。SALM(图 5)高 96 m,水面以上 15.8 m,最大外径为 15.9 m。

由于水深相对浅,有效设计波高相对高,环境条件比较恶劣,所以该装置的铰接轴荷载要大些。SALM 采用百年一遇持续 6 小时的风暴作为确定最大设计系泊荷载的环境条件,尽管最大流滞后最大风几小时,但是认为环境条件的最大总值是最大风、最大波和最大流同时发生。

设计所取 100 年一遇生存风暴条件为:

有效波高	14.4 m
最大波高	26.8 m
波周期	16.4 s
一分钟平均风速	43.9 m/s
一小时平均风速	37.5 m/s
表面流速	2.6 kn

福尔马油田 SALM 系统的设计和分析所用哲理是将此结构作为通常海洋设计对待,但对生存荷载的关键部件,采用保守的许用应力。

将 AISC(美国钢结构学会)中“结构钢的设计规范”作为设计标准使用。浮筒外壳的设计要满足 DnV“固定海上结构:1977 年设计、建造和检验标准。”

该 SALM 在荷兰的鹿特丹船厂建造。与大多数 SALM 不同,福尔马的单锚腿是刚性的,浮筒用万向接头与基座连接,然后通过系泊旋转接头直接连到刚臂。

浮筒可对系泊储油轮提供回复力,支撑刚臂,及容纳的管线立管。刚臂连接油轮和浮筒。在油轮的一端与刚臂用铰轴连接,这样就允许刚臂和油轮之间产生相对的纵摇。在浮筒端,刚臂可纵摇、横摇,可顺风向绕浮筒相对运动。基座是海底的固定锚点。

**结构部件** 浮筒下端部的外径为 8 m,最大外径为 15.9 m,顶部外径 5.5 m。浮筒是常规有加劲板结构,重 1 829 t。为了提供稳定性和控制进水能力,浮筒分为 18 个舱室。一个直径 3 m 的中心柱为检查和维修提供了进入各个舱室的通路。中心柱除了装有辅助管线和其他机械、电力设备外,还装了 2 条生产管线。中心柱的入口是在系泊旋转接头顶部的任何一个(共有二个)水密门。除了平衡舱室以外,全部浮筒舱室在正常的工作条件下都能保持干燥。

万向接头上面的浮筒舱,在安装期间直接装满了水和高密度的赤铁矿颗粒的混合物。其重量大约 2 580 t,这些压载物减少了作用在万向接头和基座总成上的净浮力。

该系统中的刚臂与其他永久性系泊储油轮设施采用的方案类似。按恶劣的设计条件确定出刚臂桁架结构重 800 t。刚臂长 61 m,在连接油轮的铰接处宽 30.5 m。刚臂还提供储油轮与系泊旋转接头之间的结构连接。并支撑两条生产管线、所有的公用设施管网,电力管道,以及储油轮通向浮筒运送设备的走道。

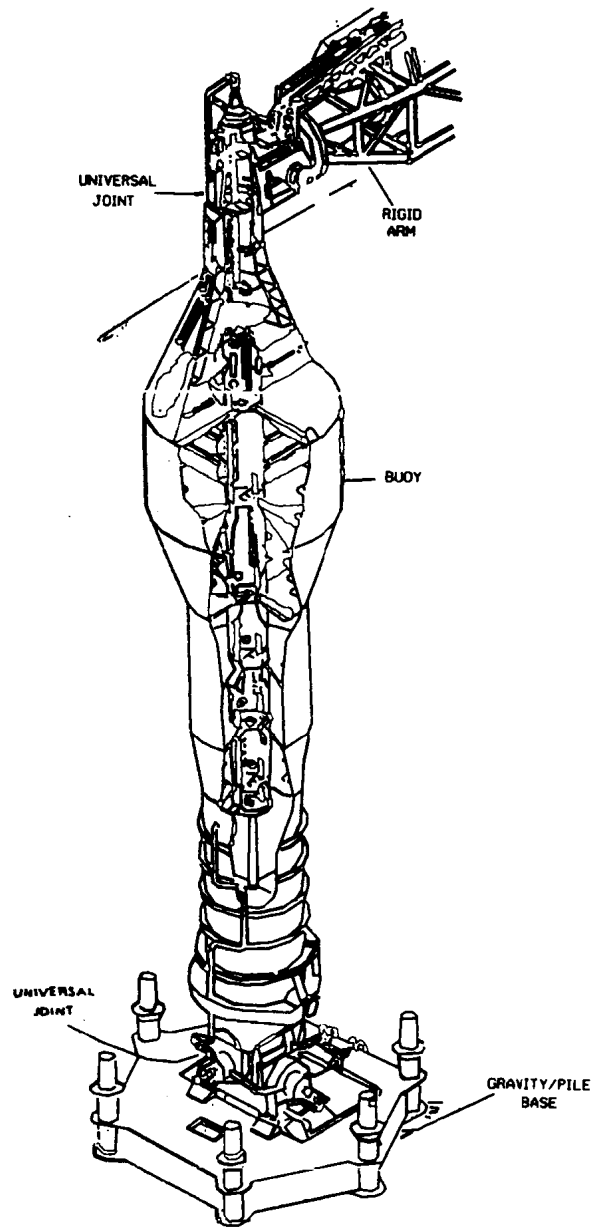


图 5 SALM

横向荷载通过轴线推力装置从刚臂传到储油轮,该推力装置与固定在油轮左、右舷两侧球形轴承上的2个铰相连。轴线推力总装置装有永久润滑的铝青铜耐磨面,该面与铬镍铁合金包层的轴承衬套接触。为了简化轴安装和保证轴承与座完全接触,用泵将环氧树脂合成剂注入到轴承周围的环形空间。选用在储油轮船艏连接的方法,可以简化建造和轴承对中工作以及减小和更好规定在每个销轴处的荷载。

由于通过系泊旋转接头传递的荷载量较大,故该装置的设计与其他现有的SALM很不相同。该装置的偏移纵摇销栓能使刚臂和浮筒顶部之间产生较大的环向运动。用一对滚柱轴承代替通常所用的单转盘轴承,这样可以使浮式储油轮顺风向转动。另一对滚柱轴承安装在刚臂端部的滚动轴中。尽管尺寸不同,但这两对轴承的功能相似。滚柱轴承具有低摩擦性、易于安装,密封简化,减少偏心,减少磨损,能够较好地控制结构偏移等优点,所以选用滚柱轴承是最佳方案。这四个滚柱轴承的直径从1.8 m到3.5 m。

在海上安装期间,利用能绕浮筒主轴如风标一样转动的方式,将储油轮和刚臂连接到浮筒上。浮筒主轴朝顶部呈锥形,这样易于滚柱轴承安装,在底部也呈锥形,允许在海上与浮筒连接。360 t重的万向接头(图6)用两个直径1.56 m,长7.9 m的管状销和联接器套筒装置,将浮筒底上的突缘和基座结构上的突缘连接。该万向接头要做到在各个方向浮筒和基座相对运动达到30°的情况下,能将浮筒荷载传送到基座结构上。

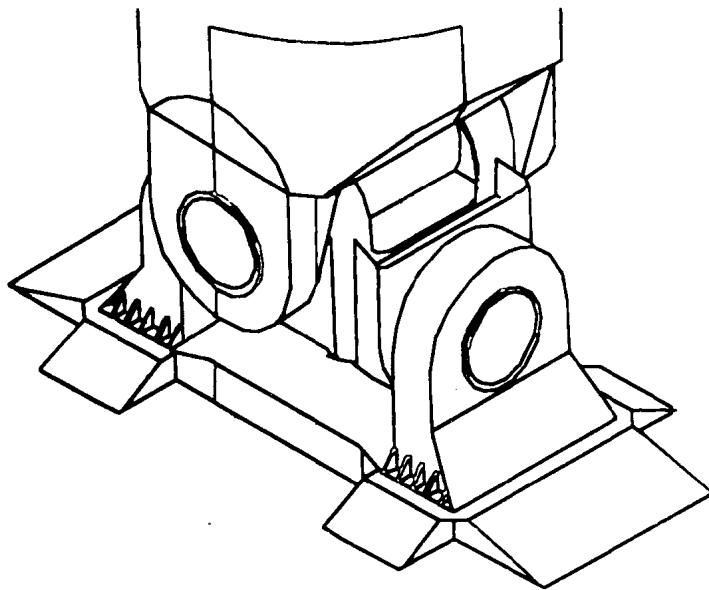


图6 万向接头装置

该万向接头的套筒装置由上、下二个套筒组成。套筒不重合,互相垂直,且由水平板和垂直板连接。2个连接销分别将套筒装置上轴毂和浮筒连接,下轴毂和基座连接。通过每个套筒的连接销由一个滚动管状中心段连接重型锻造端段所组成。

福尔马油田SALM重力式与打桩相结合的基础是由常规加强板和钢板予制的。基座是六

角形的,在每个角分别用桩套管固定。在海上安装期间,基座的 16 个舱室用赤铁矿泥填满。为了完成 SALM 的锚固,要打入 6 根入土 29 m 深的钢桩,然后给桩套管灌浆以抵抗环境荷载。

SALM 生产管线由两条从基座到油轮之间 0.4 m 直径的管线组成。每条管线最大输送能力为 47 000 m<sup>3</sup>/d,最大操作压力为 1 900 KN/m<sup>2</sup>。工作期内,两条管线交替使用,这样它们将保持操作状态。除了位于油轮和刚臂之间的弹性膨胀波纹管以外,所有管线都是钢的。

在每个铰接处(油轮铰,刚臂轴,纵倾销和万向接头销)都使用了为本工程特殊研制的轴向弹性液压旋转接头。这些旋转接头中的密封件由于小的偏移而产生弹性变形,因此,在发生 6 度振幅之后允许打滑。

系泊旋转接头装置可顺风向转动,该装置由主生产管线上一个轴向弹性旋转接头,辅助生产管线上一个同轴旋转接头以及动力、仪表和控制信号传递安装的一个电力/仪表气动循环旋转接头组成。

为提供维修和保养通道,除了浮筒的中部和上部外,管线均布置在各个结构部件的外围。这样可减小对舱室的影响。

在 SALM 上安装了数据采集和控制(DAC)系统。并用坚固的电缆通到油轮控制室。多通路电旋转接头允许油轮绕浮筒似风标转动。DAC 系统的主要功能是检测和控制基座上的五个水下管线阀,检测并显示浮筒内的碳氢化合物含量,测量并检查浮筒舱室的压力和灌水情况。DAC 系统还可检测并显示浮筒的倾角,刚臂的角度及结构所受的力。该系统还可对浮筒水仓泵进行自动和人工控制,检测防火系统,控制气体的排放,控制显示灯,检测所有“不正常”状态的输入信号。

**分析** 福尔马的 SALM 系统的大多数设计荷载是根据统计分析模型试验数据来确定的。主要设计荷载是由模型试验系列中“直接”测得,和经统计分析得到的荷载。次要设计荷载则是根据模型试验中测得数据的综合,即“间接”确立。

另外,还选择了若干部件作为关键结构需要进行更详细的荷载分析。这些部件是:旋转接头毂,旋转接头刚臂轴,纵倾销,船体连接铰,铰销,刚臂连接铰,刚臂,万向接头,所有颈轴和滚柱轴承。

对各个部件都进行了疲劳计算以便检验该系统是否达到所需要的 20 年设计寿命。疲劳分析使用谱分析方法。浮筒的疲劳寿命计算根据从计算机分析研究得来的“响应曲线”得出。所有其他部件的疲劳寿命根据特殊的模拟试验的响应谱计算出。

**建造及安装** 1979 年 3 月在鹿特丹的马斯河岸边的 RSV(Rhine—schelde—Verolme)建造。Shell 公司认为 RSV 具备建造 SALM 的能力;具有建造和运输重型复杂结构的经验和能力;具有较先进的机械设施及起重能力;并能提供下水和海上运输的便利设施。

SALM 的几个主要组件如旋转接头,浮筒主轴,刚臂主轴等利用了 RSV 的最大的预制能力。

装有液压内部连接悬挂系统的多轮运输拖车被用来将浮筒和刚臂装到运输驳船上。该浮筒是世界上有史以来采用这种方式运输的最重货物。浮筒在驳船上固定后,基座与浮筒连接。用三台大的人字架浮吊来转动基座,并使基座在驳船上就位。然后将靠下部的万向接头销插入,完成组装工作。

1981 年夏天,由半潜式起重船 Balder 号安装 SALM 和油轮。该船有二台起重机,总的起重能力为 4 360 t。

浮筒和基座总成用运输驳船拖到现场后,由起重船从驳船上吊起浮筒和基座。然后水平地

放在水中。基座将自由灌水逐步下沉而沉入水中。吊着浮筒底部的起重机松脱后,向浮筒内灌水,浮筒竖立。吊着浮筒顶部的吊机稳定地移动,直到把基座安放到海底。除了中心柱舱外,浮筒舱灌水到标高-13 m,基座将进行压载,以便提供足够的重量使基座的抗剪切裙板贯入到海底。这样才能具有足够的稳性,经受住十年一遇的夏季风暴,起到一个重力基础的作用。

为了将刚臂与油轮连接,将刚臂放到驳船上运到一个船坞。当刚臂的两个销轴进到油轮销轴梁位置时,给驳船压载,以便将刚臂的重量传到油轮上。在刚臂处于油轮铰中心后,则安装铰接销和推进器轴承。刚臂上的两个临时浮力罐使刚臂浮出水面。储油轮带着刚臂被拖到现场。

在现场,浮吊将刚臂一端提起,与浮筒顶部的锥形浮筒连接。旋转接头组套作为一个总成安装在系泊旋转接顶部。最后完成浮筒内管线连接和纵摇销的安装工作。

### (三)浮式储油装置(FSU)

福尔马油田选用的浮式装置是由三菱重工公司按照英国劳埃德船级社的标准,于1968年在日本长崎为壳牌公司建造的 Medora 号油轮改装的。改装油轮的调整,操作和鉴定工作由劳氏船级社完成。该油轮的排水量为 210 000 t,全长 325 m。可用的装货总容量为 180 000 t,大于 7 天的油田最高日产量(28 600 m<sup>3</sup>/d)。

Medora 号油轮在法国南部的马赛改装后,成为新的永久系泊的浮式储油装置(FSU)。改装工作首先需要切掉船艏部分,船艏经过加强后,能够经受由刚臂连接 SALM 所产生的力。主要改装工作是拆下涡轮机,传动轴螺旋桨,舵机和舵。在驾驶室装上一个新的机器控制房。遵照北海防火规则,居住设备全部被拆除,并整修重建了电气和自动化控制系统。经过改装后能够满足英国能源部的安全要求。并由英国能源部批准,登记为“海上结构物”,作为主要的生产平台。

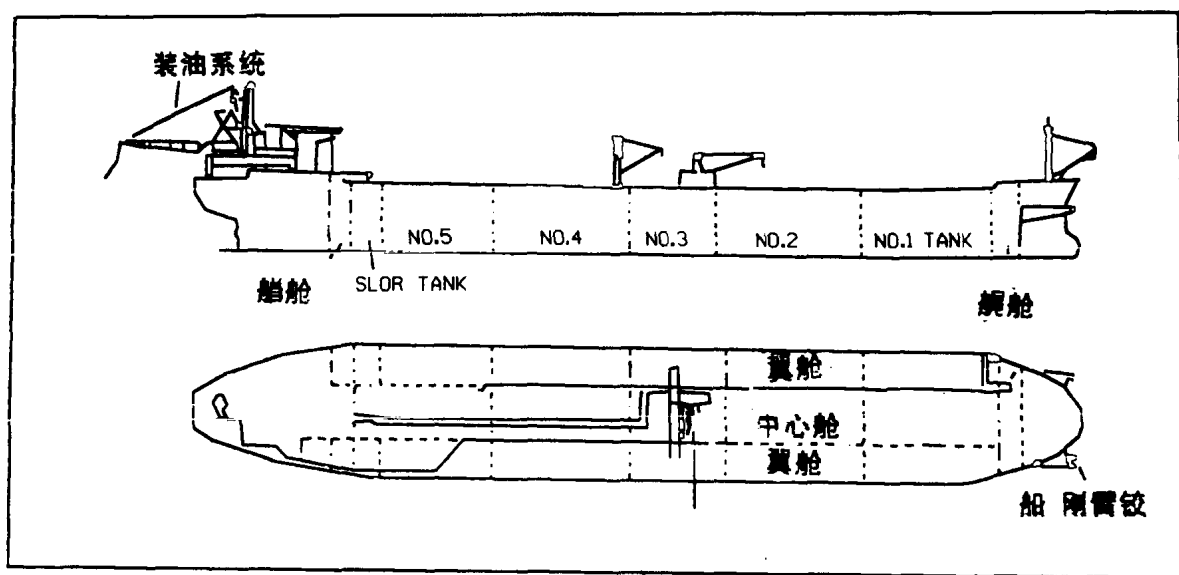


图7 原油压载控制系统

改装油轮的宗旨是尽可能多的使用船上的现有设备,这样与英国海上规则一致,可长期使用。改装工作包括两个主要的要求。

(1)修改并改进现有结构,以便使其与现在北海海上结构的要求一致。

(2)修改并改进油轮使其经受住 20 年的油田操作寿命。

为了满足要求(1),要完全除掉用于内部建筑的所有易燃材料,所有改装的区域都与最新的防火和安全要求相一致。救生艇设计必须满足要求,装在船的两舷,提供救生能力。此外,还要安装直升飞机平台和海上储油控制设施。

完成(2)的工作包括,给船舱中已损坏的部位刷漆;填平舱底上的焊缝,并将超过 5 mm 深的坑穴磨平;将所有压载舱进行清洗并涂漆;对水下部分的船体进行清洗、喷砂和涂漆;维修整个甲板和上部结构;给其他空间部位进行装饰性涂漆。另外,大部分管线要更新。

所有的外加电流阳极均被重新更换,可更换阳极的辅助系统装在船体的外部。货舱和污水舱的底部均装有阳极块,这样可以保护那些涂层可能被破坏或由于坑穴造成问题的部位。

FSU 被隔离成 6 个压载舱,如图 8 所示,2 号中心舱,3 号翼舱,前部压载舱,艏部深水舱和 2 个艉部压载舱。设计条件要求在百年一遇风暴期间,吃水在满载的 50%—100%之间。为了满足这种条件,2 号中心舱和艏部深水舱被改成压载舱。

装油程序是将平台的原油输到 4 号中心舱,由一个级联系统将原油从接收舱分配到各个储存舱。级联系统由 4 号中心舱内在 18 m 高,占容量 75%处的一根朝上的吸入管组成,用该管将原油送入底部的管网中,在经过级联系统达到最高液位后,每个舱都要压好以便减小自由液面的影响,为了测定液位,在所有舱与船体装油监测系统相匹配处都安装了遥控量油系统。在平台上经脱水的原油进入接收罐后,某些沉淀出的水可排到污水罐中。接收罐能使送到储油罐的原油中的水含量减到最小。

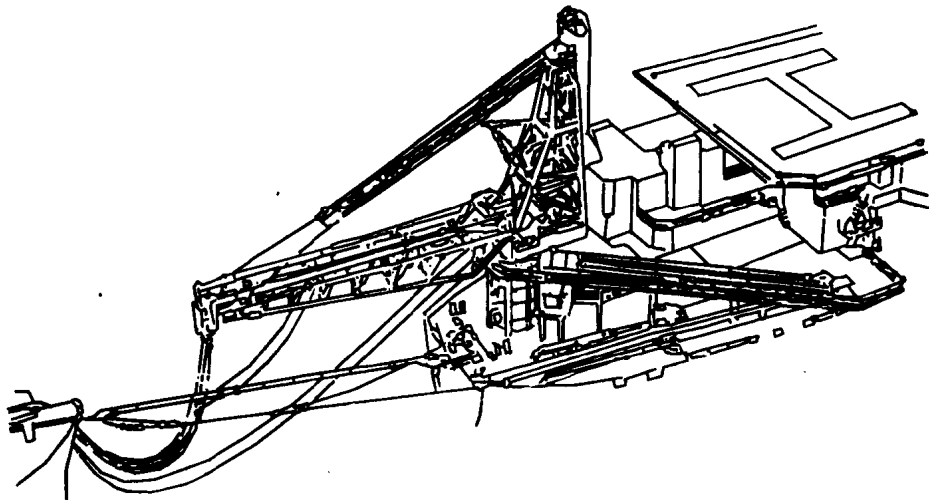


图 8 输油管

有三个独立的泵送系统,一个用于装油,一个用于压载,一个用于清舱。每个系统都装有控制和检测系统,并都能在中心控制室操作。

惰性气体系统也进行了改装。安装该系统是为使油舱保持不可燃条件的大气压力。该系统也允许“封闭装油”的方法,这样减少了可燃气体在甲板上燃烧的危险性,也减少了油舱中由于氧气的存在而造成的腐蚀。

油舱的清洗保留了封闭循环热/冷水冲洗和原油冲洗系统。全部油舱清洗在操作中都用惰性气体系统来进行。油舱清洗机固定在每个油舱里。



**外输油轮装油** FSU 输油的主要方法是通过在 FSU 船艏的特制输油臂和在 FSU 艉部及串靠系泊的穿梭油轮艏部之间的悬跨软管。有两艘 110 000 t 的穿梭油轮来担任外输原油的工作。在 FSU 的右舷船艏装有管汇,允许与两条 0.4 m 直径的软管连接。

在该油田,考虑到安全和环境条件恶劣等问题,选用软缆系泊串靠油轮认为是最合适的方法。系泊缆绳是 168 mm 直径的尼龙缆,40 m 长,系到 FSU 的系泊托架上。在连接处加一个荷载指示器。穿梭油轮端是一条 6 m 长,76 mm 直径的防擦链。系泊作业完成后,系泊缆被拉到 FSU 的大头滚柱轴上。

FSU 有一个安全可靠的输油臂,其结构与 Brent 油田所用的输油臂类似。生产管线和软管由输油臂携带,装在本身的支撑结构部和转盘上。每根软管都装有一个能承受 20 t 破坏荷载的防破坏装置。输油臂正常工作角度与水平面成 $\pm 20^\circ$ 。能够自动旋转跟随穿梭油轮的船艏运动。原油外输系统的设计要求在风速 20 m/s,有效波高 4.5 m 状态下能够作业。

共有三台输油泵,每台泵的输油能力是 3 500 m<sup>3</sup>/h。其中两台工作,一台备用。从 FSU 输出的全部原油均通过计量站来计量,该计量站有经能源部认可的标准体积环管。

## 五、天然气管线系统

福尔马油田自 1982 年投产以来,Shell 公司已经发现,伴生气已超过最初估计的 20% 左右。这就不得不对天然气的处理进行重新评价。最初投产时,采出的天然气重新注入油藏,但是 Shell 公司研究表明,这种做法到 1986 年必须停止。随后 Shell/Esso 公司决定用 4.72 亿美元,铺设一条从福尔马油田到苏格兰的 St. Fergus 的天然气管线,管线长 290 km,直径 0.51 m,铺设管线水深大约 120 m。所铺管线用钢管约为 4 000 t,合 2 700 万美元。

铺管工作由英国的 Saipen 有限公司铺设。管线设计压力为 17 237 kPa 的含硫单相重气;此项工程是英国 Shell 公司开发北海油、气田的一部分。1984 年开始铺设,延续到 1985 年,于 1986 年底将天然气输出到 St. Fergus 交给用户。天然气输送峰值可达  $2.7 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/d。

为了满足生产需要,在平台和 St. Fergus 的管线终端还需另外安装工艺设施。诸如,外输仪表,清管器发射器和其他操作设施。

升压压缩机可以操作外输系统的入口压力,但在天然气进入管线之前,还需要进一步加工处理。Shell 公司认为,进入管线的单相重气的脱水要求由分子筛分情况来确定。

为了对付来自 Brent 区块两相流气管线,Shell/Esso 公司在 St. Fergus 装有广泛的天然气接受设备。现场为接受单相重气将提供进一步的设施。可对天然气进行脱水、脱硫等进一步处理。经过处理的天然气被送到分馏厂。

**铺管施工** 管线一部分开沟埋设,一部分为岩石保护。外部涂层均用沥青磁漆。为了保持稳定性和保护管子,有些管段附加混凝土加重层。1985 年 6 月,管线铺设完毕后,该系统进行了最后的预调试。

Shell 公司认为,管线内部要尽可能保持清洁。这就需要采取特殊的措施,包括在铺管之前,在涂层场地进行蒸汽清扫,在铺管船上用钢丝刷进行内部清扫,和进行特殊的化学处理。

**清管作业** 虽然该管线是将天然气由 Fulmar A 平台输到 St. Fergus,但由于平台上空间和设备所限,所以决定在清管时采取逆流作业。这样,首要任务就是在 St. Fergus 的管线端安装一个临时的清管器发射器。在平台上则装有固定的清管器接收器。

整个清管作业有 5 项主要工作。首先是球体清扫;其次是 kaliper 通径和测量;然后是机械清管器清扫;再用胶质清管;最后是排水。使用 24 个不同清管器组成清管器系列,分成 23 段。