

60 万桶 FPSO 开发研究

蔡乾亚¹, 杨世明¹, 杨葆和²

(1. 江南造船(集团)有限责任公司; 2. 中国船舶重工集团第 708 研究所)



摘 要: 60 万桶海上浮式生产储油轮(以下简称 60 万桶 FPSO)是针对挪威北海边际油田开发的灵便型 FPSO, 须满足当今世界海洋工程最高要求的规范、规则 and 标准、挪威北海恶劣海况要求, 以及灵便型 FPSO 对其性能、布置及系统设计的高要求。其研究开发具有很高的难度和先进性, 此过程也是一次学习世界海洋工程技术和运作理念的机会。文章重点介绍了 60 万桶 FPSO 的技术特点。

关键词: 海上浮式生产储油轮; 设计; 建造

中图分类号: U674.38⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6982(2005) S-0125-11

Research and Development of the 600k BBL FPSO

CAI Qian-ya¹, YANG Shi-ming¹, YANG Bao-he²

(1. Jiangnan Shipyard (Group) Co., Ltd., CSSC; 2. No.708 Research Institute, CSSC)

Abstract: The 600k BBL FPSO is a kind of handy size FPSO designed for the marginal oilfields in Norwegian North Sea. It must be designed to meet offshore rules, regulations and standards with the highest requirements. Moreover, it should meet the requirements of the rough environments in North Sea. The performance, arrangement and system are specially designed for the handy size FPSO. The research and development of the FPSO are of much difficulty and advancement. The work also provides an opportunity to learn the world's advanced offshore engineering technique and management. This paper is focused on the characteristic introduction of the 600k BBL FPSO.

Key word: FPSO; design; construction

1 概述

FPSO 是海上油田开发的一项重要工程设施。通过特殊的系泊装置长期驻留在海上, 将由钻井平台开采上来的海底油气进行油、水、气处理, 储存并通过穿梭油船向外输送。

近海油田开发已有 100 多年的历史。由于 FPSO 储油能力大、油田生产连续、抗风浪能力强、投资低、见效快, 已成为世界海上石油开发的主流装置。随着海上油田开发技术日趋成熟, 以及能源需求量日益增大, “边际油气田”的开发已提上一些石油公

司和投资家们的重要议事日程。“边际油气田”的特点是海上油田分散、储量较少、海底地貌复杂、油气成分复杂以及作业海域环境恶劣。常规 FPSO 只是为某个油气田“量身度造”的, 不能满足同一海区多个“边际油气田”的开发。这就需要开发一种适应于上述“边际油气田”使用的灵便型 FPSO, 这种灵便型 FPSO 的主要特点是:

- 造价相对较低、储油量在 60 万桶左右;
- 可以根据不同“边际油气田”的油气成分, 灵活地更换或配置油气处理模块;

作者简介: 蔡乾亚 男, 高级工程师。现任江南造船(集团)有限责任公司设计部副部长。

- 有一定的自航能力, 在 FPSO 的第一个作业油田生命期结束后, 可移位到相近的“边际油气田”进行作业;

- 有良好的水动力性能和辅助动力定位性能, 适应恶劣的作业环境。

60 万桶 FPSO 正是针对这种“边际油气田”需求而开发的, 其工作海域为挪威北海 Haltenbanken 海域 (图 1)。该海域百年一遇的波浪统计值如下:

水深: 350m

有效波高: 16.5m

平均峰值周期: 17.0~19.0s

风速: 37.0m/s

流速: 0.90m/s (十年一遇统计值)

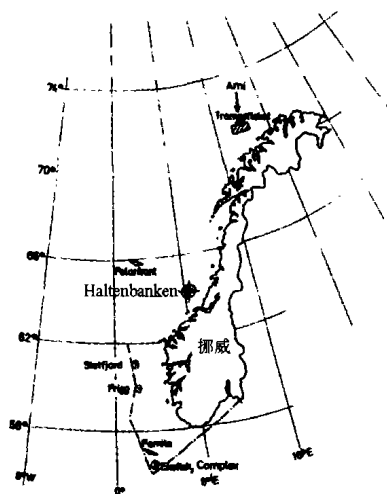


图 1 60 万桶灵便型 FPSO 工作海域

2 主要技术指标

通过调研挪威北海海域 FPSO 主要要素, 获得挪威北海海域 FPSO 主尺度的均值为: $Loa/Lbp = 229.7m/216.6m$; $B=41.5m$; $D=21.3m$; $T=15m$; $Disp=112567t$ 。经与业主商议及考虑本公司造船坞宽 40m 的限制条件, 进行综合布置和性能优化后确定了主要技术指标。

主要尺度要素:

船长: 约 223.0m

两柱间长: 216.0m

型宽: 37.50m

型深: 22.50m

吃水: 15.50m

载重量: 约 90,000t

货油舱容积: 约 99,500m³ (60 万桶)

人员: 50 人

性能指标:

原油处理能力: 约 13,000m³/d

不解脱时间: 5 年

疲劳寿命: 25 年

移位航速: 约 7 节

船级: DNV +1A1 Oil Production and Storage Vessel (N), POSMOOR ATA, CRANE, HELDK, ECO, Inert

船旗: 挪威旗

3 设计规范体系

3.1 入级规范

入级规范包括 DNV 船舶入级规范和 DNV 海洋工程标准 (DNV OS)。

挪威船级社 DNV 海洋工程标准为以下三个等级的文件:

- 第 1 等级为“Offshore Service Specifications”, 编号为 DNV-OSS-xxx, 它规定了 DNV 入级、发证、检验和咨询服务的规则和程序。

- 第 2 等级为“Offshore Standard”, 编号为 DNV-OS-xxxx, 它规定了海洋工程工业通用的技术条款和衡准, 并作为 DNV-OSS 服务的技术基础。

- 第 3 等级为“Recommended Practices”, 编号为 DNV-RP-xxxx, 它给出了已被证实的技术和正确的设计以及达到上述第 1、第 2 等级服务或技术较高水平的建议。

这三个等级的文件为 FPSO 入挪威船级社的基本规范。

3.2 挂旗规范

挪威海事局 (NMD) 的规范为“可移动的海洋工程装置规则” (Regulations for Mobile Offshore Units, 1999)。该规范的目的是为了保护生命、健康、海洋工程财产以及保护海洋环境, 并按此进行检验与认可。对挪威海洋工程 NMD 可签发证书, 并应用于挪威大陆架。

3.3 北海海域开采石油规范

挪威和英国在北海海域石油开发活动已经有很长历史，针对该海域石油开发活动，在环境、安全和健康方面都制定了严格的规范、规则 and 标准。这些规范、规则 and 标准可分别称之为 NCS（挪威大陆架）规范体系及 UKCS（英国大陆架）规范体系。60 万桶 FPSO 设计将遵照这些规范进行。

1) NCS 规范体系

在挪威大陆架进行石油开采活动必须符合挪威石油局（NPD）、挪威防污染当局（SFT）、挪威健康委员会（NBH）制定的规范（即改版的 NPD 规范）见表 1。

表 1 改版的 NPD 规范

规范名称	简称
Regulations relating to Health, Environment and Safety in the Petroleum Activities, 2001-08-31	The Framework Regulations
Regulations relating to Management in the Petroleum Activities, 2001-09-03	The Management Regulations
Regulations relating to Material and Information in the Petroleum Activities, 2001-09-03	The Information Duty Regulations
Regulations relating to Design and Outfitting of Facilities etc. in the Petroleum Activities, 2001-09-03	The Facilities Regulations
Regulations relating to Conduct of Activities in the Petroleum Activities, 2001-09-03	The Activities Regulations

2) UKCS 规范体系

甲板油气处理模块、流程设计按下述规范、规则及有关标准进行。

- UK Statutory Instrument 1992 No. 2885 - “The Offshore Installations (Safety Case) Regulations 1992”
- UK Statutory Instrument 1995 No. 738 - “The Offshore Installations and Pipeline Works (Management and Administration) Regulations 1995”
- UK Statutory Instrument 1995 No. 743 - “The Offshore Installations (Prevention of Fire and Explosion, and Emergency Response) Regulations 1995”
- UK Statutory Instrument 1996 No. 913 - “The Offshore Installations and Wells (Design and Construction, etc.) Regulations 1996”

3.4 挪威石油公司行业标准（NORSOK）

挪威 NORSOK 标准是由挪威石油工业发展起来的，广泛参考国际标准，制定了使用现有设施和将来发展石油工业的标准，供各石油公司参考，以

统一各石油公司采用的标准。NORSOK 中与 FPSO 相关的主要是有关工作人员居住空间设计、生活设施布置、工作处所及设备的设计和布置要求。

3.5 其他国际组织规范、标准

包括 MODU，API、SOLAS、MARPOL 73/78、OCIMF、ASME、ANSI、ASTM、AWS、IEEE、IEC、ISA、NACE、NEMA、NA、ISO 等。

4 性能分析、模型试验

60 万桶 FPSO 为船形海上浮式生产储油装置，双底双壳结构，采用全回转推进装置在油田进行辅助定位和相对风浪角度控制。借助全回转推进装置，60 万桶 FPSO 也具有一定的自航能力。

4.1 线型设计

由于 FPSO 要求具有大储油量，对航速基本没有要求，因而从简化建造工艺、缩短建造周期考虑，FPSO 一般采用特大方型系数线型。在作业海域的条件下，FPSO 多采用单向曲度、部分折角线的简单线型。易制造、单点系泊状态下良好的水动力响应特性（即良好的耐波性、良好的甲板上浪、拍击

和良好的保持航向的性能)是 FPSO 线型设计的关键点。60 万桶 FPSO 线型如图 2 所示,满载方型系数为 0.9。

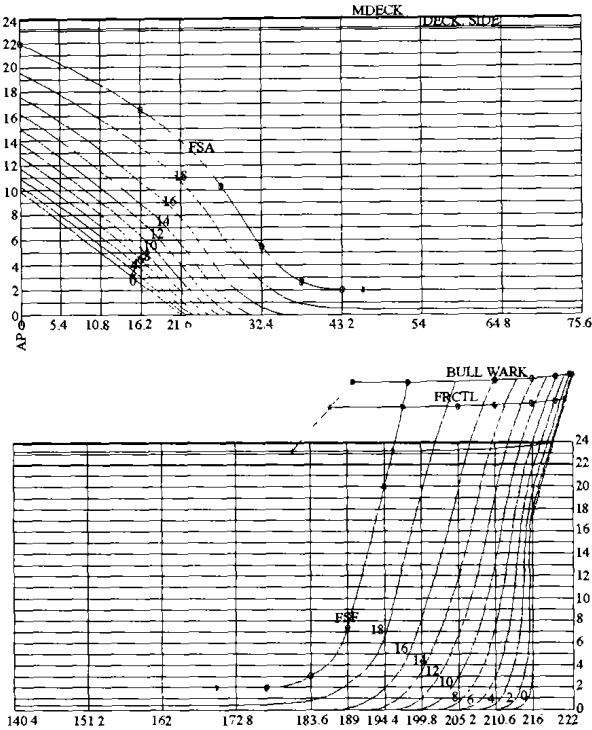


图 2 60 万桶灵便型 FPSO 的线型

4.2 完整稳性及破舱稳性

60 万桶 FPSO 的完整稳性和破舱稳性设计需考虑整个油气的生产、储油、卸油以及营运期间的检查等诸多状态中的稳性。其衡准包括 DNV 海洋工程标准和挪威当局 NMD 法规,以及 MARPOL 的要求。由于 60 万桶 FPSO 宽度受限制,在稳性设计中确实遇到了很大的困难,从破舱稳性的衡准来看,

最难满足的是 NMD 要求的单边二舱破损平衡状态下最大横倾角不超过 17 度的衡准条件。最终不得不大范围调整设计方案,减小压载边舱的宽度和双层底的高度,将货舱范围内的压载边舱一分为二。

值得一提的是 NMD 在完整稳性和破舱稳性的规定中,对压载系统的能力提出了一定的要求。

- 通过改变吃水实现船舶从任意的操作状态转变到生存状态,压载系统应有足够的能力在 3 小时内完成相应的压载水调整;

- 船舶发生破损时,在所有压载泵均完好的情况下,压载系统应能在 3 小时内完成相应的压载水调整,使船舶扶正并且具有合理的吃水,以满足强度方面的要求。若任一压载泵无法正常工作时,压载系统仍能完成相应的压载水调整,使船舶扶正并且具有合理的吃水,满足强度方面的要求。

为了与压载系统的能力相配合,选定了一系列典型工况及相应的生存状态,并考虑到最恶劣的破损情况,对破损后船舶扶正所需的平衡水量进行了分析计算。

4.3 船模试验

FPSO 模型试验的目的是进行各种作业条件的风浪流作用下的 FPSO 运动性能的模型试验研究,测试分析 FPSO 运动性能、系泊力及转塔受力、船体拍击、穿梭油轮与 FPSO 的相对运动、缆绳受力、上浪情况、加载辅助动力定位后的运动性能及受力情况。

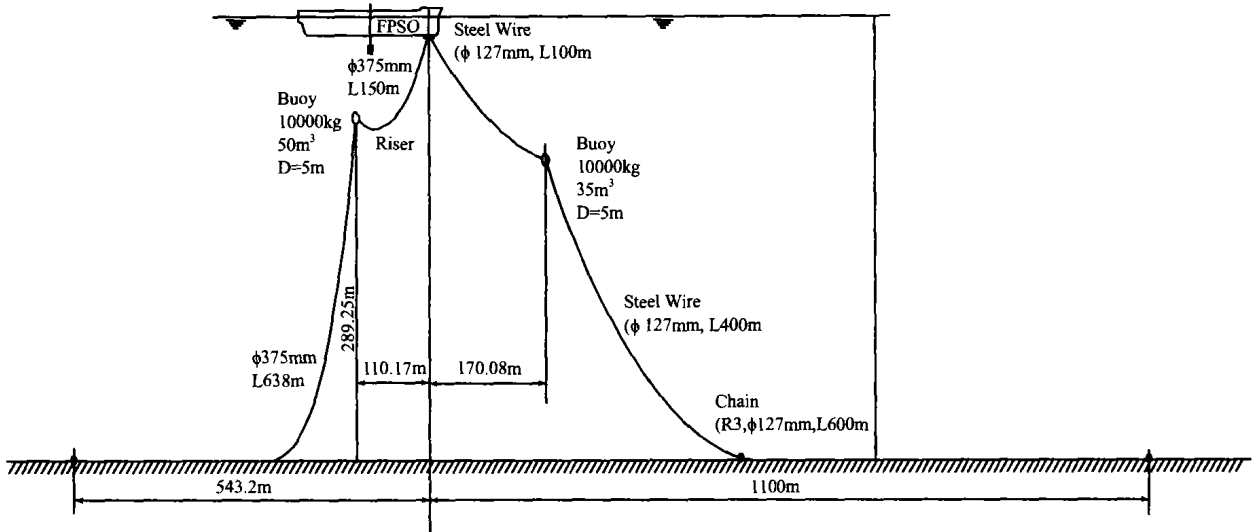


图 3 60 万桶灵便型 FPSO 锚泊系统与立管系统布置侧视图

6.1 结构布置

60 万桶 FPSO 船体部分为典型的油轮结构，货油舱区域为双底双壳单甲板，纵骨架式结构。典型中横面图如图 5。靠近首部船体结构内布置有一大

月亮井，用以安装内转塔系泊装置（Turret）以及连接钻井平台的油、气、水管路。尾部采用全宽甲板，纵骨架式结构。

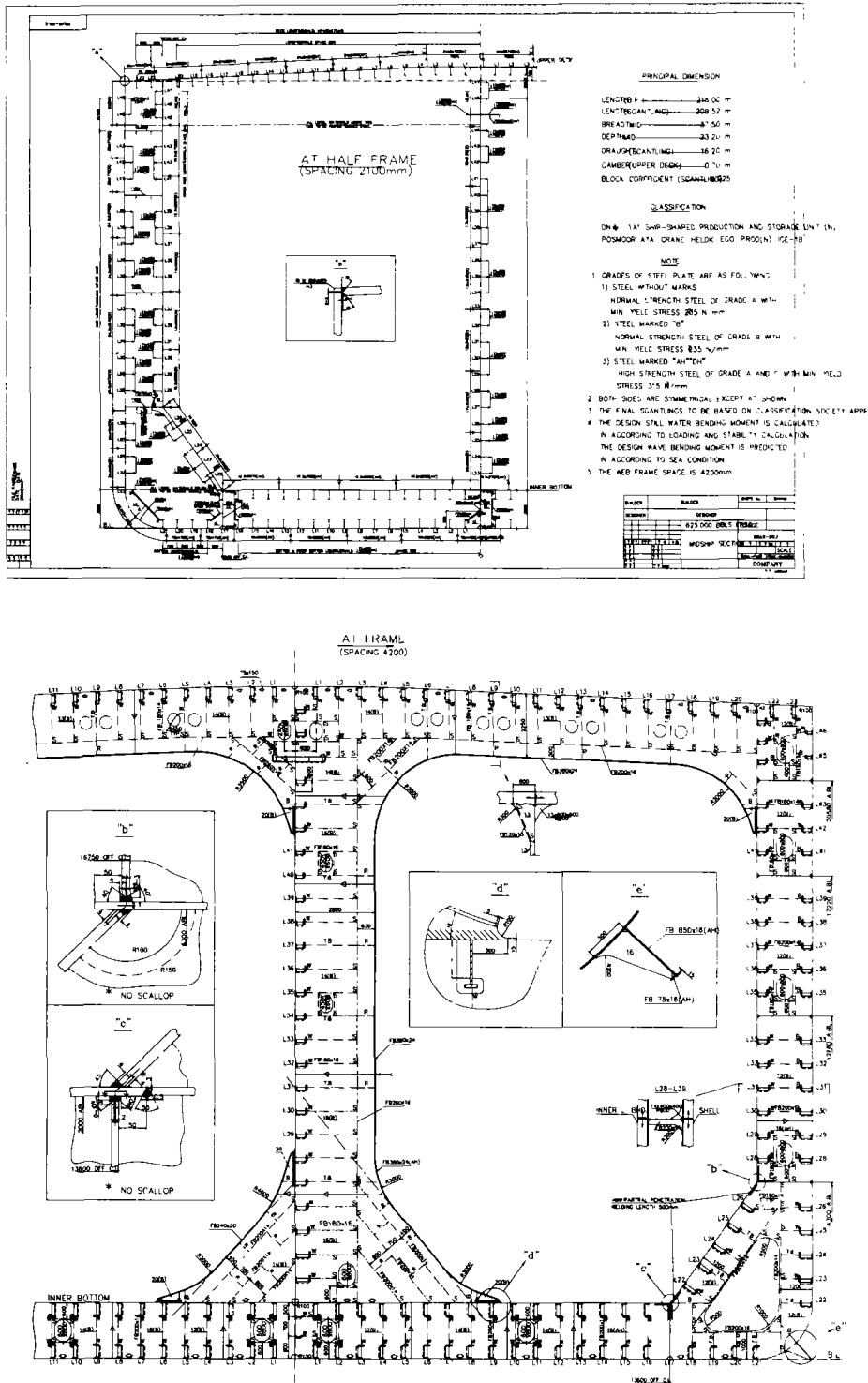


图 5 60 万桶 FPSO 典型中横剖面结构图

为安装油气处理模块以及发电设备等动力模块，主甲板上 4.5m 高度处另装有一层非连续甲板，

又称处理模块甲板。为支撑处理模块甲板，在两层甲板之间布置了很多支座结构。处理模块甲板的安

装高度要兼顾稳性和甲板上浪, 支座结构设计要考虑船体梁的变形。部分支座为滑动型。

根据图 6 干舷计算结果, 为防止甲板上浪, 保护甲板上设备, FPSO 的首楼结构往往做得很高, 并尽量向后延伸, 在尾部也设计了尾楼结构, 尾输油装置布置在尾楼甲板上。同时, 在首楼上和船两侧根据需要可能还要布置挡浪板结构。

60 万桶 FPSO 上的局部结构包括: 甲板上模块的支撑结构、推进装置的支撑结构、内转塔系泊结构及其支撑结构、起重机座、火焰塔、防火墙、甲板管架、逃生通道管弄、模块甲板结构等。船体结构是这些局部结构的弹性支撑, 计算分析时必须正确地反映其支撑刚度。

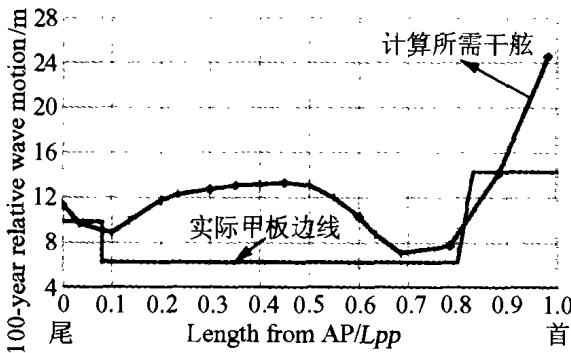


图 6 计算干舷沿船长分布

6.2 总纵强度

6.2.1 载况

FPSO 船体结构除了满足船舶本身的要求外, 还需考虑以下工况:

- 生产期间外部环境工况;
- 外输油期间的外部环境工况;
- 单点解脱之前的极限工况;
- 海上维修/检查工况;
- 拖航/自航移泊工况。

6.2.2 静水弯矩

与常规船相比, 油船的中拱静水弯矩总是大于中垂静水弯矩, 而 FPSO 正好相反。FPSO 静水弯矩与其甲板上油气处理模块、动力模块等的数量和布置以及系泊装置的布置有很大的关系。

6.2.3 波浪弯矩

FPSO 的波浪弯矩需要用直接计算法给出, 通

常将迎浪情况的长峰波波浪诱导弯矩作为波浪设计弯矩。FPSO 的波浪弯矩是针对特定海域的, 计算结果表明挪威北海海域海况对应的波浪弯矩值要比同等尺度油轮规范波浪弯矩计算值高 40%以上, 其对船体纵向结构材料的影响很大。

6.3 强度评估

60 万桶 FPSO 结构设计按表 2 规范进行。

表 2 FPSO 规范要求

项 目	规范要求
船体局部强度	主船级+1A1
波浪载荷, 100 年一遇, 直接计算	直接计算
纵总强度	DNV OS
材料	DNV OS
焊接	主船级+1A1
火焰塔	DNV OS
转塔及其支撑结构	DNV OS
甲板上模块支撑结构	DNV OS
疲劳强度	DNV-RP-C203

通过装载计算, 并根据经验将最大的静水弯矩设定在:

$$M_s = -4.200 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m} \text{ (中垂)}$$

$$M_s = 2.763 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m} \text{ (中拱)}$$

100 年一遇的船体最大波浪弯矩计算值为:

$$M_s = 5.287 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

60 万桶 FPSO 船体中剖面模数如表 3 所示。

表 3 中剖面模数计算

部位	实际剖面 模数/m ³	规范要求 模数/m ³	实际/规范 /%
底部	44.121	42.353	104.2
甲板	43.723	42.353	103.2

7 甲板油气处理流程

甲板油气处理模块流程 (TOPSIDE PROCESS) 用来把从海底油井开采上来的油、水、气等混合物予以分离处理, 降低原油含水量, 分离出初级商品原油, 储存到货油舱; 把伴生的燃气分离出后供双燃料发电机与锅炉使用, 并把多余的燃气净化后送到燃烧火炬塔烧掉; 分离出来的大量污水经处理后

排放。当油井达不到自喷能力时，可将污水处理后通过高压水注入模块向油井注入，以维持油井压力，继续开采。60 万桶 FPSO 油气处理流程包括图 7 所示的八个生产模块，分别为：主生产模块—高压分离模块 M10H（一级分离器与试验分离器）；主生产模块—低压分离模块 M10L（二级分离器）；辅助模块—Utility Module M20；燃烧分离筒模块（Flare Knock Out Skid）M30；高压气体压缩模块 M40H；低压气体压缩机模块 M40L；高压水注入模块 M50；海底辅助模块 M70。模块总重达 3600 多 t，最大模块达 800t。

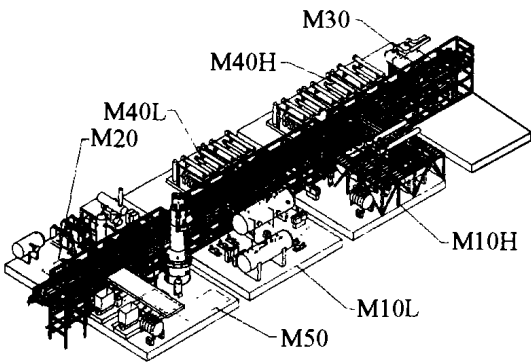


图 7 60 万桶 FPSO 甲板油气处理模块布置

60 万桶 FPSO 甲板油气处理模块的设计能力如表 4。

表 4 60 万桶 FPSO 甲板油气处理模块的设计能力

最大液体处理量	80000 bl/d (12720 m ³ /d)
最大产油量	60000 bo/d
	@ °API 30 ~ 40(9540 m ³ /d)
最大水处理量	60000 bw/d (9540 m ³ /d)
天然气、油比率 (GOR)	300 ~ 1500 scf/bbls (54 ~ 267 Sm ³ /m ³)
最大产气量	30 ~ 40 MMSCFD (0.85 ~ 1.1 MMSm ³ /d)

8 STP 内转塔单点系泊系统

60 万桶 FPSO 采用挪威 APL 公司开发的内转塔单点系泊装置 STP（Submergeal Turret Production），内转塔舱位于船首部，为一个直径约 12m 的筒体状，从主甲板一直延伸到船底（如图 8）。STP 的锥形单点浮筒、转环管架等均布置在内转塔舱内。

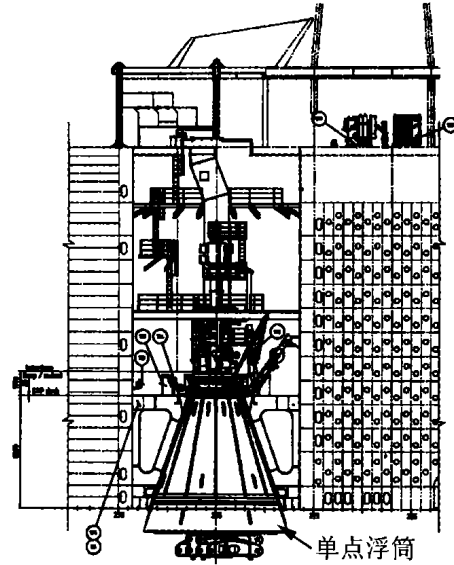


图 8 内转塔舱及单点系泊系统

系泊系统是 STP 系统的核心，整个系泊系统由单点浮筒、系泊索和锚桩组成。60 万桶 FPSO 系泊系统布置见图 9。若干根系泊索一端与安装在船体的单点浮筒连接，另一端与固定在海底的锚桩连接，这样就将 FPSO 牢固地系泊在工作海域，若受到风、海流等外界作用力，FPSO 可围绕着系泊点进行转动。单点浮筒是系泊系统的关键部件，它所承担的主要任务包括：

- 为 FPSO 提供风标功能；
- 将 FPSO 系泊定位；
- 提供方便可靠的海上安装型式；
- 连接支撑立管系统。

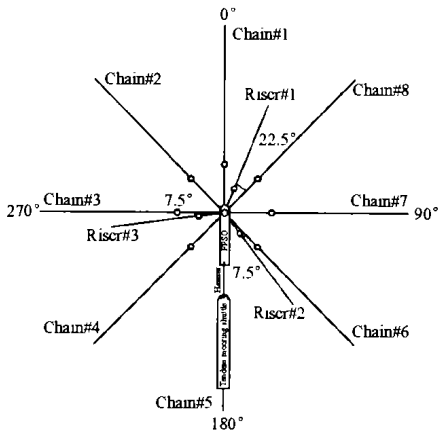


图 9 60 万桶 FPSO 系泊系统布置俯视图

FPSO 在海上工作期间，单点浮筒锥体通过内转塔舱内的上下配合环定位于结合舱里，并通过液

压操纵的锁紧装置固定。

立管系统主要由若干根输油软管、海底电缆，以及相关的接口设备（转环管架）组成，它建立了 FPSO 与海底管汇基盘之间的连接，一方面将由井口平台开采出的原油传输到 FPSO 上，另一方面又将 FPSO 上动力模块产生的动力电源通过海底管汇基盘的接口输送到井口平台上。STP 上的转环管架是 FPSO 与立管系统的连接接口装置。与 FPSO 的油、气、水处理能力相配套，设计的立管系统从油井到处理装置的传输能力为：

- 最大液体传输量：80,000bl/d(2 转环接头)；
- 最大油传输量：60,000bo/d @ API 30-40；
- 最大处理水传输量：60,000bw/d。

9 船用设备、系统

60 万桶 FPSO 船用重要设备系统包括双燃料透平发电机组、全回转 AZIMUTH 推进装置、锅炉热站、甲板起重机、货油深井泵、柴油机驱动消防泵、污水处理系统、海水提升系统、尾输油装置、计量模块、高/低压配电系统、全船集成自动化系统及其它船用系统等。

9.1 电站

60 万桶 FPSO 电站设计采用两台可燃天然气和燃油的双燃料透平发电机组，功率共计 24,000kW，功率负荷情况见表 5。另预留第三台发电机的安装位置，以备将来扩充。

表 5 电站总用电负荷

工 况	夏季所需功率	冬季所需功率
生产	21360.2kW	21667.4kW
生产及卸油	24036.8kW	24344.1kW
正常航行	6854.6kW	7176.9kW
应急	864.3kW	984.3kW

- 所选的双燃料透平发电机组主要参数如下：
- 生产厂商：Solar Turbines
 - 型号：TITAN130，2 套
 - 发电机：ABB CACA 14855kVA(11884kW)，
Cosφ=0.8, 6600V, 50Hz

9.2 全回转 AZIMUTH 推进装置

60 万桶 FPSO 尾部装有两台 360 度全回转推进装置，该装置为电动、固定螺旋桨，单桨功率 2800kW。用于推进、辅助系泊定位和穿梭油轮作业时 FPSO 相对风浪角度控制。该推进装置不作为单点系泊装置某根锚链断裂情况下补偿的动力定位要求。全回转推进装置通过系泊定位系统（Position Mooring，简称 POSMOOR）控制，POSMOOR 接口的设备有：DGPS、电罗经、推进装置系统，以及定位，风力风向传感器等。

9.3 卷筒式尾输油装置

60 万桶 FPSO 采用较为先进的卷筒式尾部纵向外输油方式，外输油装置如图 10 所示，包括输油系统、液压系统、控制系统和辅助服务吊机几部分。输油系统主要由软管卷车、输油软管及附件等组成。液压系统主要由电动机、液压泵、储油箱、冷却器、储能器、液压阀组、压力传感器、电控箱等组成。输油软管的最大设计输卸油率为 5400m³/h。

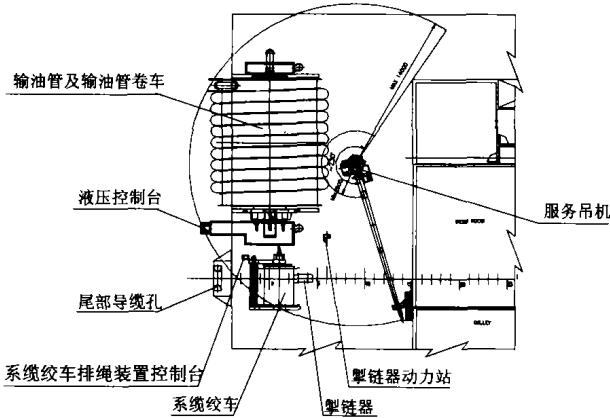


图 10 卷筒式尾输油装置

9.4 货油深井泵

60 万桶 FPSO 货油系统设计货油注入管系和外输管系完全独立，无共用部分，每个油舱配有独立的潜液式货油泵，能始终在海上进行连续生产操作，具有油舱间调驳操作能力。货油泵配置如下：

- 潜液式货油泵(液压驱动)10 台，排量 900m³/h×130mlc，基于货油密度 0.85t/m³，运动粘度 10cSt，工作温度 20℃~90℃；
- 潜液式污水水舱泵(液压驱动)2 台，排量 500m³/h×130mlc，基于海水密度 1.025t/m³，运动粘度 1cSt，工作温度 20℃~90℃；

- 可移式潜液货油泵(液压驱动)1 台， $240\text{m}^3/\text{h} \times 70\text{mlc}$ ，基于海水密度 $1.025\text{t}/\text{m}^3$ ，运动粘度 5cSt ，工作温度 $20^\circ\text{C} \sim 90^\circ\text{C}$ 。

9.5 甲板起重机

60 万桶 FPSO 货油区甲板上安装两台电液驱动回转吊臂式起重机，其能覆盖货油区甲板上的起重吊运及为供应拖轮服务。在有义波高为零时的起吊能力为 $15\text{t} \times 47\text{m}$ ，轻压载状态从水线面起的吊高为 75m 。

9.6 配电系统

60 万桶 FPSO 电气设计选择了中压 $11\text{kV} + 6.6\text{kV}$ 供电配电，配电系统的电压为：

中压：交流 6.6kV ，三相三线，中点经高电阻接地；

低压：交流 690V ，三相三线，中点经高电阻接地；

交流 400V ，三相四线，中点直接接地；

交流 220V ，直流 115V ；直流 24V 。

9.7 全船集成自动化系统

由于 60 万桶 FPSO 上自动化集中控制和管理的高度集成，系统非常复杂。其自动化系统(SAS)具有以下主要功能：

- 为 FPSO 管理者提供日常工作管理信息；
- 为海上油田生产人员提供日常工作过程的处理信息，保证生产安全、连续运行；
- 为全船人员提供必要的安全信息，保障人员安全；
- 接受与处理各项实时信息并做出分析，以防止潜在危险的发生；
- 实现数据有序的录入和输出；
- 为公司管理层提供必要的实时信息，便于公司运行的管理；
- 与国际互联网的安全连接，便于与外界联系。

60 万桶 FPSO 全船自动化系统主要包括下列子系统（见图 11）：

- 船舶管理系统(VMS)
- 生产模块控制系统(PCS)
- 安全系统 (SSS)
- 应急切断系统 (ESD)
- 火警/气体探测系统(F&G)
- 信息管理系统(IMS)
- 单点系泊系统 (Turret)
- 系泊定位系统(POS Moor)

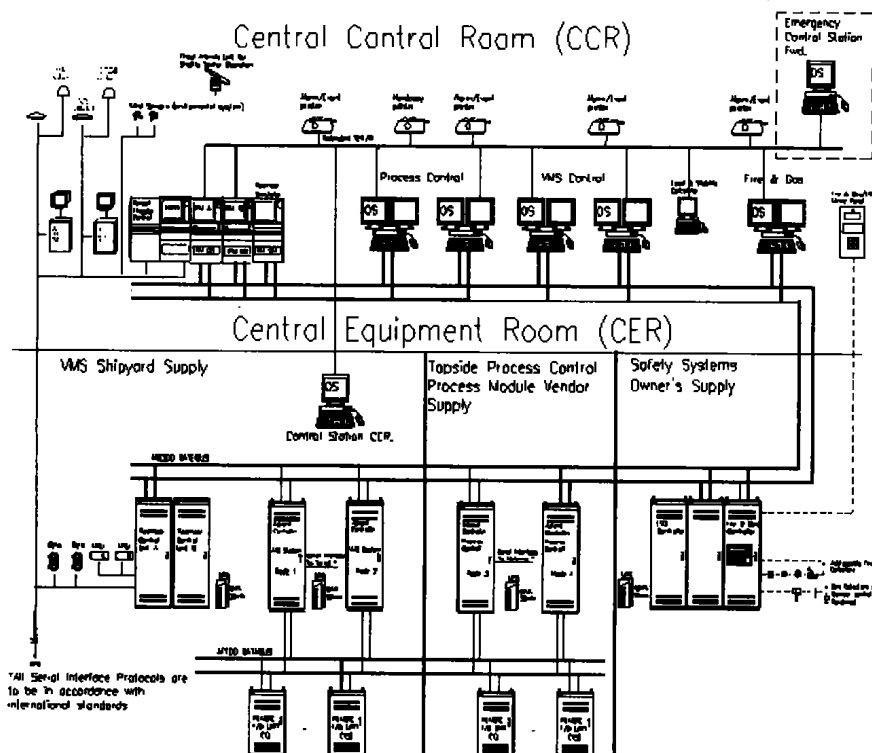


图 11 60 万桶 FPSO 全船自动化系统

9.8 其它船用系统

9.8.1 舱底水系统

60 万桶 FPSO 可以自航, 根据船级社的意见舱底水系统仍按商船要求设计, 而不必照 DNV-OS-D101 进行。

9.8.2 压载水系统

60 万桶 FPSO 压载水泵的总排量设计为满足将船舶总压载水量在 10~14 小时内排空的要求, 同时要满足 NMD 对 FPSO 的压载系统在船舶破损时的扶正时间要求。

9.8.3 压缩空气系统

60 万桶 FPSO 压缩空气系统包括仪表压缩空气系统及日用压缩空气系统二部分, 每一部分均向油气处理设备及船舶设备供气。

9.8.4 惰性气体系统

惰性气体系统应能够向货油舱至少提供船舶额定卸油量(以容积计算)125%流量的惰性气体。惰性气体系统的容量应考虑污油舱泵同时工作。

9.8.5 燃油系统

考虑燃油系统设备容量的主要依据是设备使用的燃油品种及设备的燃油消耗量。60 万桶 FPSO 使用燃油作能源的设备有燃气透平发电机(可用天然气或燃油)、辅助锅炉(可用天然气或燃油)、应急发电机及柴油机驱动的消防泵。本船采用单一燃油品种 DMX/DMA 供设备使用。燃油透平发电机及辅助锅炉均可采用天然气及燃油双燃料作能源, 而天然气是 FPSO 上油气处理的副产品, 这两设备在整个生产过程中部分使用燃油工作。确定燃油的储存量还与穿梭油轮周期有关。

9.8.6 冷却水系统

60 万桶 FPSO 冷却水系统分为两部分: 一部分采用中央冷却系统专门向船舶设备提供服务; 另一部分设置两台电动式潜液离心泵, 单独为石油处理

模块装置提供冷却海水以及注入油井内的海水。

向油气处理模块提供冷却用海水的电动式潜液离心泵装在船底, 船底设一根可拆的软管通向海面以下 50~70m 深处。潜液泵通过此软管把深海的海水提上来供油气处理模块冷却用。深海的海水温度仅+3~12℃, 比海平面的水温低很多, 这样可以大大减少石油处理装置所需的冷却海水量; 另一优点是深海海水的含氧量很低。

10 结束语

本项目开发的 60 万桶 FPSO 适用于北海边际油田, 尺度适宜, 布置合理, 模块可互换, 设备可扩充、解脱、自航, 其设计技术要求完全按照挪威船级社 DNV 海洋工程标准及挪威当局法规, 设计和建造技术难度大大超过了国内以往建造的 FPSO, 因此, 其开发研究成果, 为实现自行设计与建造 FPSO, 真正走出国门奠定了坚实的基础。

参考文献:

- [1] 蔡乾亚, 赵耕贤。60 万桶灵便型 FPSO 项目研究技术报告, K23005-TR。
- [2] 蔡乾亚, 赵耕贤。灵便型 FPSO 型及总体设计技术优化研究, K23005-A。
- [3] 蔡乾亚, 赵耕贤。灵便型 FPSO 水动力性能和线型优化研究, K23005-B。
- [4] 赵耕贤, 王璞。灵便型 FPSO 的结构设计和优化研究, K23005-C。
- [5] 景宝金, 赵耕贤。灵便型 FPSO 货油、辅助系统和电站分析研究, K23005-D。
- [6] 杨世明, 赵耕贤。灵便型 FPSO 建造技术和工艺研究, K23005-E。
- [7] 杨世明, 赵耕贤。灵便型 FPSO 项目运作管理, K23005-F。

其他作者简介:

杨世明 男, 高级工程师(研究员级)。现任江南造船(集团)有限责任公司副总工程师。

杨葆和 男, 高级工程师(研究员级)。现任中国船舶重工集团第 708 研究所高级工程师。