



中國石油大學 (华东)
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM

海洋石油装备—FPSO

寇 杰

二〇一一年二月





主要内容

- FPSO简介
- 国内外FPSO的研制及发展现状
- FPSO的组成结构及主体设计
- FPSO的生产工艺流程
- FPSO的未来发展趋势





一. FPSO简介

1. FPSO概念

FPSO是英文**Floating Production Storage and Offloading**的缩写，中文译为浮式生产、储油、卸油船。这种船并不是一种真正意义上用于运输的船，它兼有生产、储油、卸油的功能，一般与水下采油装置和穿梭油船组成一套完整的生产系统，是目前海洋工程船舶中的高技术产品。近年来**FPSO**船市场十分兴旺，世界各大船厂都纷纷加入到**FPSO**建造大军中，竞争十分激烈。我国也是这一建造大军中的一员，并在**FPSO**建造方面取得了突破性进展。





一. FPSO简介

FPSO外形类似油船，但其复杂程度要远远高于油船，涉及的复杂系统包括二十几个大类，例如：单点锚泊系统、动力定位系统、油处理系统、废水处理系统、注水处理系统和直升机起降系统等，这类系统在运动型船中很少遇到。其他的惰性气体发生系统、消防救生系统、监控系统、发电系统等都要高于运输型船舶的建造要求。





一. FPSO简介

2. FPSO特点

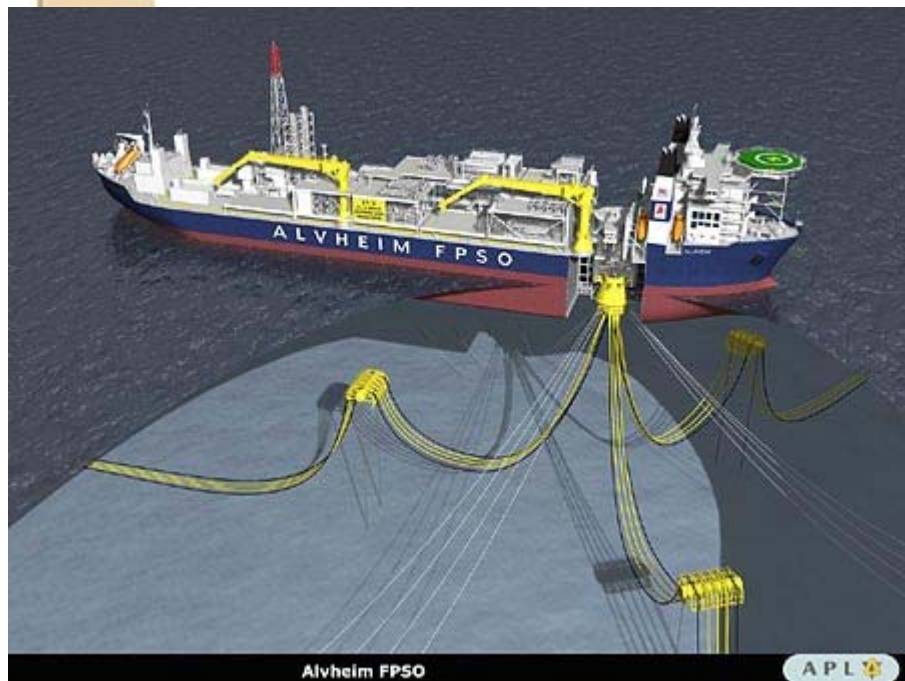
FPSO 的主要特点为机动性和运移性好，具有适应深水采油（与海底完井系统组合）的能力、在深水域中较大的抗风浪能力、大产量的油气水生产处理能力和大的原油储存能力。**FPSO**可以与导管架井口平台组合，也可以与自升式钻采平台组合成为完整的海上采油、油气处理和储油、卸油系统，但更主要的是用于深水采油，与海底采油系统（包括海底采油树、海底注水井、海底管汇等）和穿梭油轮组合成为完整的深水采油、油气处理、原油储存和卸油系统（如下图）。浮式生产设施的应用已很普遍，在全世界已有**100**多艘**FPSO**正在操作运行，甚至有取代固定式平台的趋势。



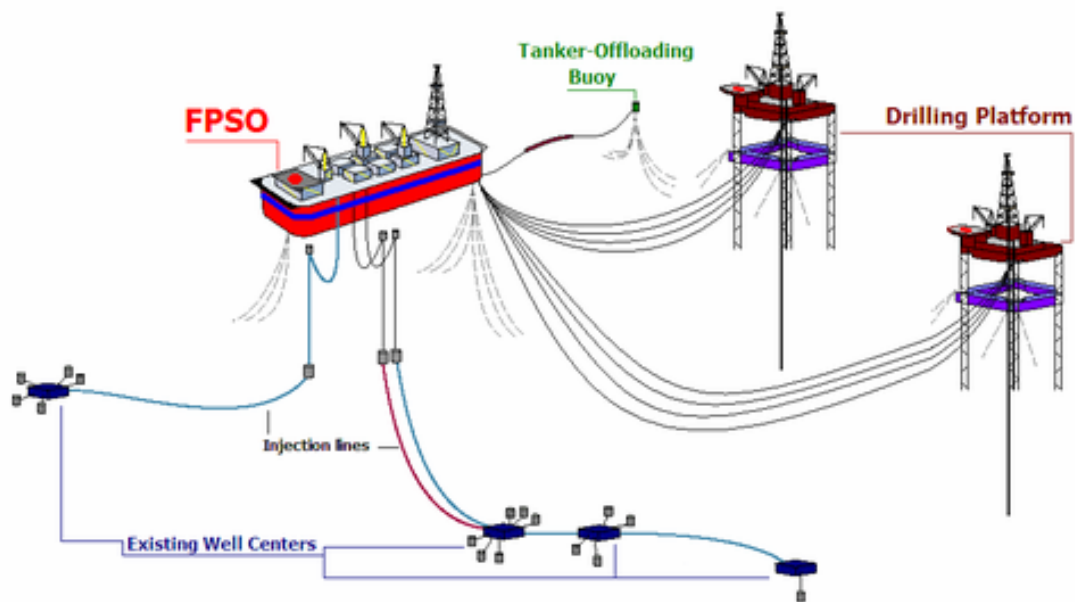
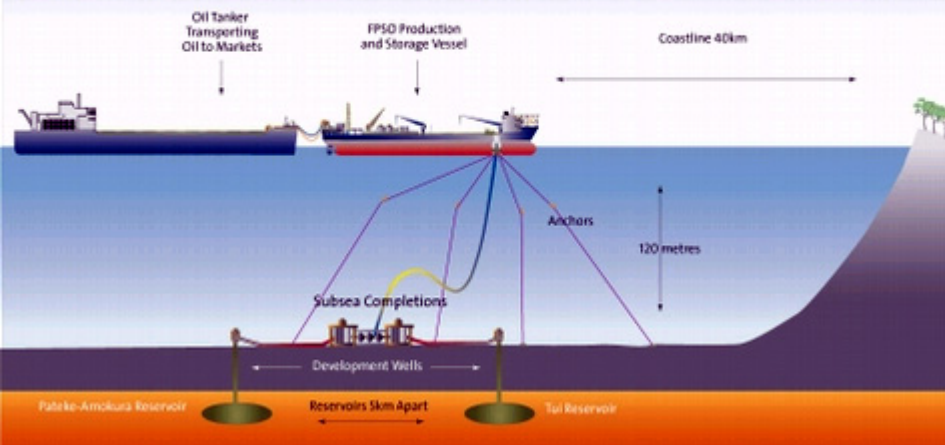


以油轮为主体的浮式生产系统





Tui Oil Development





2011-6-13

储运工程系 寇杰

10



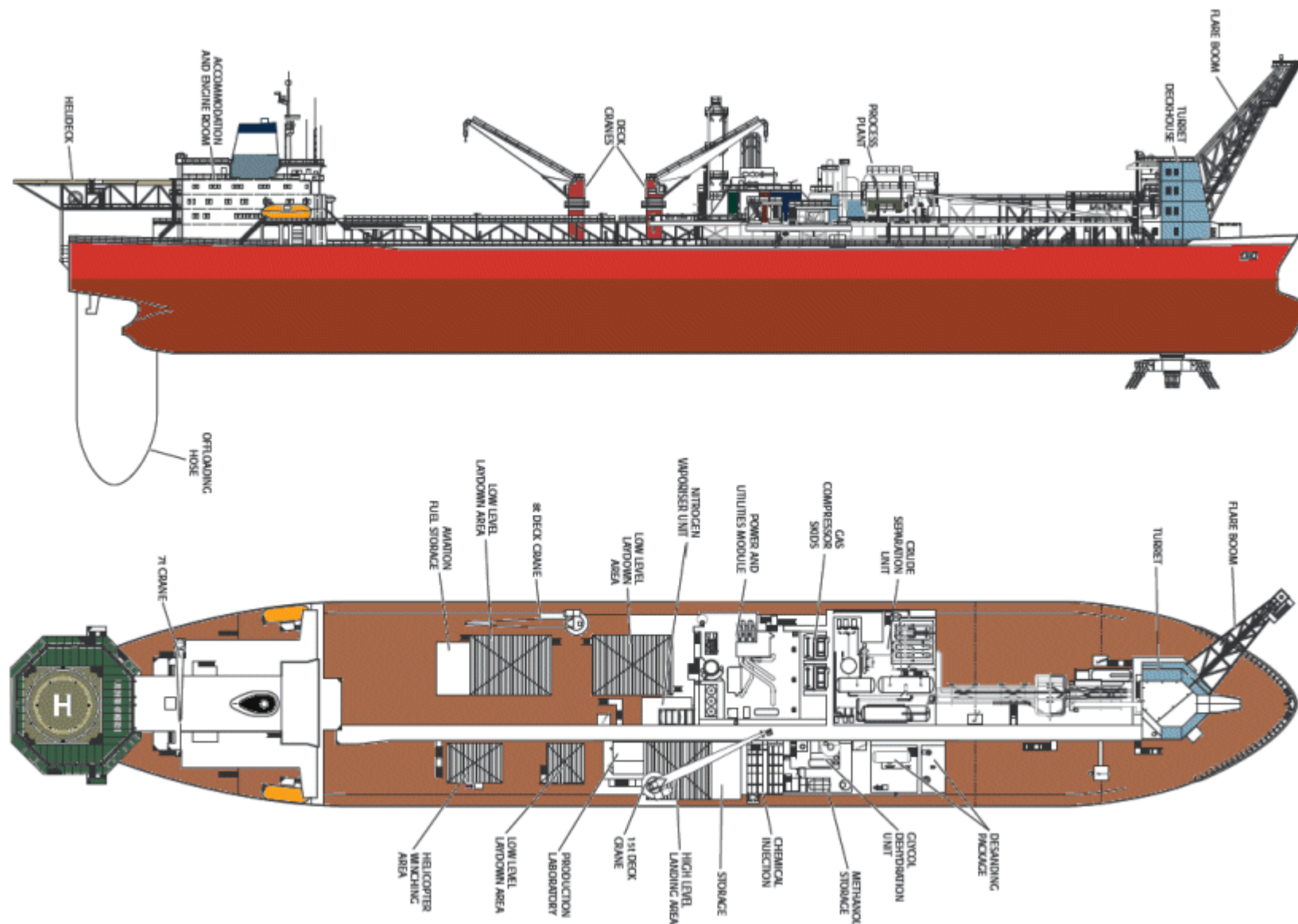
中国石油大学 (华东)



2011-6-13

储运工程系 寇杰

11





一. FPSO简介

FPSO是把生产分离设备、注水（气）设备、公用设备以及生活设施等安装在一艘具有储油和卸油功能的油轮上，油气通过海底管道输到单点后，经单点上的油气通道通过软管输到油轮（FPSO）上，FPSO上的油气处理设施将油、气、水进行分离处理，分离出的合格原油储存在FPSO上的油舱内，计量标定后由穿梭油轮运走。





一. FPSO简介

3. FPSO功能

- (1) 兼有生产和储油的作用，是一座海上油气加工厂，具有小至几千立方米，大到几百万立方米的油气处理能力。
- (2) 是一座储油轮，目前世界上正在服役的**FPSO**，其储油能力已达**35万吨**。
- (3) 适应能力强，可在**20-1000m** 水深范围内工作。
- (4) 可省去外输海底管道，用穿梭油轮将商品油运往外地。
- (5) 设计重现期高（**100年**），抗风浪能力强，可长期系泊、连续工作。
- (6) 与“固定式导管架平台+海底管道”方案相比，具有投资省、见效快、可重复使用、风险小等特点，特别适用于远离海岸的中、深海及边际油田的开发。有人将**FPSO**列为近**10**年来海上油气开发的主流方式，称之为海工装备中最耀眼的“明星”。



一. FPSO简介

4. FPSO种类

从总体结构上看，FPSO是被系泊约束了的船。因此系泊系统是FPSO的关键技术之一。按系泊方式不同可分为以下三种类型：

(1) 转塔式：在船艏部位设STP内转塔筒体结构，在锥型筒体结构与船体之间，设置若干加强板。STP内转塔高度一般与船的型深相同，下部直径超过10m。STP内转塔底部用多点锚链与海底固定。中海油的“南海发现”号、“南海开拓”号就属于内转塔式浮式生产系统。（如图）





中國石油大學 (华东)
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM

内转塔式浮式生产系统





一. FPSO简介

(2) 软刚臂式：软刚臂式浮式生产系统由导管架、旋转接头、系泊铰接臂以及储油轮上的支架组成。由于刚臂连接处为铰接，可绕着导管架上的将军柱随风浪、潮流转动，随涌浪在一定范围内升降、摇摆，所以称之为软刚臂式单点系泊。如渤中28-1、渤中34-2、绥中36-1 等就属于软刚臂式浮式生产系统（如图）





中國石油大學 (华东)
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM

软刚臂式浮式生产系统





一. FPSO简介

(3) **硬刚臂式**：硬刚臂与软刚臂有许多相似之处，也可随风浪、潮浪转动，但刚臂与船体之间为刚性连接，锚固单点与船体保持同步升降。

硬
刚
臂
式
浮
式
生
产
系
统





一. FPSO简介

5. FPSO主要优点

随着海洋油气田的开发、生产向深海不断进入，FPSO与其他海洋钻井平台相比，优势明显，主要表现在以下四个方面：

- ✓ 生产系统投产快，投资低，若采用油船改装成FPSO，优势更为显著。而且目前很容易找到船龄不高，工况适宜的大型油船。
- ✓ 甲板面积宽阔，承重能力与抗风浪环境能力强，便于生产设备布置。
- ✓ 储油能力大，船上原油可定期、安全、快速地通过卸油装置卸入穿梭油船中运输到岸上，穿梭油船不仅可与FPSO串联，也可傍靠FPSO系泊。最新FPSO还具备了海上天然气分离压缩罐装能力。
- ✓ 应用灵活，移动方便，其海上自航能力是其他海洋平台系统所不具备的，因此，FPSO可根据作业需要和实际情况迅速转换工作海域和回厂检修。





二. 国内外FPSO的发展及 研制现状



国外FPSO的发展及研制现状



国内FPSO的发展及研制现状





二. 国内外FPSO的发展及研制现状

1. 国外FPSO的发展及研制现状

FPSO海工结构至今不过30多年的历史。1976年壳牌石油公司用一艘59000t的旧油轮改装成了世界上第一艘FPSO，1977年应用在地中海卡斯特利翁油田(西班牙近海)。由于FPSO具有储油多、投资省、可转移等优点，所以得到迅速发展。

据资料统计，截止到2003-08，全世界投入运行和在建的FPSO为119艘(根据Penn Well公司调查，FPSO的数量为137艘)，其中旧船改造65艘，占54.6%；新建54艘，占45.4%，截止到2003-09，全世界正在建造的FPSO有11艘，其中韩国现代重工为Exxon Mobil 公司建造的FPSO 排水量达到了3618 万吨，至2009年，全世界投入运行FPSO有149艘。





二. 国内外FPSO的发展及 研制现状

目前FPSO 的工作水深主要在100~500 m，但随着采油工作水深的增加，大于500 m工作水深的FPSO将逐年增加。由Roar Ramde和挪威海事技术公司联合设计、韩国现代重工施工建造的Ramform Banff 号FPSO 工作水深达1 524 m(5 000英尺)，属英国所有，由Conoco公司作为操作者计划用于北海的Banff/Kyle 深水油田，其抗风浪能力为百年一遇，浪高可达16.76 m (55 英尺)。





二. 国内外FPSO的发展及 研制现状

另一艘英国所有、工作水深达2 000 m(6 560英尺)、堪称目前世界顶级采油水深的浮(船)式生产储油卸油船，由**Harland&Wolff** 负责全部设计和建造，由巴西国家石油公司承担操作，用于深海海底完井系统组合的采油。这些**FPSO** 的适应风暴能力大都为**50a** 或**100a** 一遇，有相当数量属于非解脱型，即在大风暴来临时，仍然锚泊在采油原位而无需将船用液压连接或脱卸机构快速解脱而避风浪。





二. 国内外FPSO的发展及 研制现状

目前在用的FPSO 的原油储存能力在 $10 \times 10^4 \sim 20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的占了大多数, 最大原油储存能力达到 $31.8 \times 10^4 \text{ m}^3$, 因此船的主要尺寸也相当大, 如巴西国家石油公司的巴油31、巴油32、巴油33、巴油35、巴油37 和FPSO VII、“N”kossa N KP号等FPSO, 其长度达到344.2 m(1 130英尺), 宽度达到54.3 m(178 英尺), 型深达到28.3 m(93英尺), 最大吃水深度达到22 m;日处理能力在5 000~10 000 m^3 的占了近1/2, 最大日处理能力已超过30 000 m^3 , 其中, 由新加坡远东利文斯顿船厂(简称FELS)建造、挪威国家石油公司所有并操作使用的Norne号FPSO日处理能力达到 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ (220 000 bbl), 生产水处理能力也较大, 为19 900 m^3/d , 注水能力高达40 000 m^3/d 。





二. 国内外FPSO的发展及 研制现状

据《Quest Off shore Resources Inc》预测，今后还将有更多的FPSO投入建造，向更深的水域、更大的储油能力发展，特别是2002年以后，海上气田开发出现了LPG & FPSO、LNG & FPSO等新技术，节省了敷设海底输气管道的巨额投资，使离岸遥远的气田开发具有了商业价值。





中國石油大學 (华东)
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM



2011-6-13

储运工程系 寇杰

27



集天然气生产、液化和储存为一体，结构重量 20 万吨，456 米长，74 米宽，100 米高。单艘价格 50 亿美元，相当于 35 艘超级油轮价格总和。它能够储存 45 万立方米天然气，预计 2016 年投产后每年可以从澳洲西北海域的油气田生产 350 万吨天然气。





二. 国内外FPSO的发展及 研制现状

2. 国内FPSO的发展及研制现状

中国海洋石油总公司是国内目前惟一应用FPSO的公司，1986 年在我国北部湾油气开发中首次采用了FPSO，该FPSO 由法国道达尔公司设计，新加坡胜宝旺船厂承建，是由一艘载重 $17 \times 10^4 \text{ t}$ 的旧油轮改造而成，命名为“南海希望”号。





二. 国内外FPSO的发展及 研制现状

我国自行设计建造的第1艘FPSO是在1989年由船舶工业第708研究所设计、上海沪东造船厂建造的“渤海友谊”号，采用软刚臂系泊方式，工作水深23 m。“渤海友谊号”浮式生产储油船的设计与建造成功实现了国内浮式生产储油轮建造零的突破，它对世界FPSO技术的贡献在于首次将FPSO用于有冰的渤中28-1油田海域，是我国船舶工业在海洋工程领域的标志性产品，该船机动灵活，已成功用于渤海3个油田的开发，是获得奖项最多、最高的项目，也是我国海洋工程具有标志性的项目。





二. 国内外FPSO的发展及 研制现状

进入20 世纪90 年代，中国海洋石油总公司又相继建造了“南海发现号”、“南海开拓号”和“南海胜利号”，分别在南海惠州油田、西江油田、流花油田和陆丰油田作业。截止到2004 年，中国海洋石油总公司共有FPSO 13 艘，最小的是在渤中28-1 油田的“渤海友谊号”，载质量 $5.2 \times 10^4 \text{ t}$ ；最大的是在渤中25-1油田的“海洋石油-113号”，储油量 $16.5 \times 10^4 \text{ t}$ ， 2004-06 建成。至今，最大的为“海洋石油-117号”，储油量 $30 \times 10^4 \text{ t}$ 。我国已成为世界上新建FPSO数量最多的国家。





国内部分FPSO概况表

名称	载质量/t	系泊方式	服务油田
渤海友谊号	5.5×10^4	软刚臂式	渤中 28-1 油田
渤海常青号	5.2×10^4	软刚臂式	渤中 34-2 油田
渤海明珠号	5.5×10^4	软刚臂式	绥中 36-1 油田
渤海世纪号	15.0×10^4	内转塔式	秦皇岛 32-6 油田
南海发现号	23.0×10^4	内转塔式	惠州 21-1 油田
南海开拓号	15.0×10^4	内转塔式	陆丰 22-1 油田
南海睦宁号	9.0×10^4	内转塔式	陆丰 22-1 油田
海洋石油 111	15.0×10^4	内转塔式	番禺 4-2 油田
海洋石油 112	16.0×10^4	软刚臂式	曹妃甸 11-1 油田
海洋石油 113	16.5×10^4	软刚臂式	渤中 25-1 油田
海洋石油 115	10.0×10^4	内转塔式	南海油田
海洋石油 116	10.0×10^4	内转塔式	文昌新油田群
海洋石油 117	30.0×10^4	软刚臂式	蓬莱 19-3 油田





• 海洋石油-113号

“海洋石油-113号”船体总长**287.4m**，型宽**51m**，型深**20.6m**，为双底双壳结构，有**10**个货油舱，总储油量**110**万桶，船体自重约为 **40×10^4 kN**。理论适用水深**20-2000m**。它集原油处理、储存、外输为一体。该轮无自航能力，甲板面积相当于**2.5**个足球场，从船底到上部建筑共**45m**，船上共有**10**个原油舱，最大的一个容积为 **1.5 万 m^3** 。船上定员**130**人。船上有**4**座发电站，配备**4**台**1.25** 万kW的燃气透平发电机。船上设有信息中心和通讯指挥中心，**6**个钻井平台上的流程控制信号都将传输到这两个中心。海洋石油-113上设有直升机机场，可起降直升机，如下图：





中國石油大學 (华东)
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM

海洋石油-113号



shipoo
中国船务在线



• 海洋石油-113号

该船设计使用寿命为25年，可以做到20年不靠岸，它具有抗强台风的能力，强台风袭来时，即使130名船员全部撤离，整个FPSO仍可保证自动采油、加工、储存和发电。

“海洋石油-113 号”从设计启动到投产，目标工期为22 个月。设计、施工由上海外高桥造船有限公司、中海油渤海公司、中海油海洋工程公司和中国船舶工业第708研究所共同完成，上海船检局监造，设计工时累计达30万小时，项目总投资超过17亿元人民币。





• 海洋石油-117号

2007-05-15，代表当今世界海洋工程装备建造领域先进水平的30万t海上浮式生产储油轮——“海洋石油-117”号在外高桥造船公司举行了命名仪式，“海洋石油-117”号是由中国海洋石油有限公司和康菲石油中国有限公司共同投资建造的，是我国迄今建造的吨位最大、造价最高、技术最新的海上浮式生产储油轮。建造这艘巨轮对加快我国海洋经济发展，推动我国能源战略实施，促进我国船舶工业产品结构调整，提升海上装备制造制造业整体水平具有重大意义。





• 海洋石油-117号

海洋石油-117 号由中船集团所属的上海外高桥造船有限公司建造，是迄今为止是我国承建的最大的海洋工程建造项目。该FPSO 长超过323 m，宽超过63m，储油能力可达200 万桶原油，原油日处理能力可达19 万桶(年处理能力1000 万 m^3)，生产液日处理量达51 万桶。作为目前为止全球建造的最大的FPSO之一，海洋石油-117 号的船体建造有力地提升了中国造船业和海洋工程业的综合实力，标志着中国在世界超大型海上浮式生产储油装置的建造市场中占据了一席之地，船体建造完成后，海洋石油117 号已拖航至新加坡继续完成上部模块的安装，并于2008 年底建成投产，作为油田核心装置服役于中国海洋石油有限公司与康菲石油中国有限公司合作的蓬莱PL19-3 项目。2009年3月12日，海洋石油117号，在蓬莱PL19-3油田成功就位。





中國石油大學 (华东)
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM

海洋石油-117号





• 海洋石油-117号

该船由中船集团708 所负责设计，20 a 来该所已研发设计了具有世界先进水平的各类FPSO 船10 余艘，约占全球总量的1/ 6，实现了由小吨位到大吨位，由软刚臂式到内转塔式，由旁输到尾输，从适用于海况良好区域到海况恶劣区域，从适用浅海海域到适用较深海域，从国内走向全球的转变。





二. 国内外FPSO的发展及 研制现状

我国从单纯设计、建造更大储油能力的结构来讲是没有问题的，但目前尚无整体设计**FPSO** 的实践(包括更深的工作水深和更大的储油能力)，大型油轮的建造水平基本与当代世界水平同步，但独立设计大型油轮的能力略逊于国外先进水平，且尚无建造特大型油轮的船坞设施。





三. FPSO的组成结构及 主体设计

1.FPSO组成

FPSO主要结构系统及其功能可见下表所示。

FPSO主要结构	功能
系泊系统	主要将FPSO系泊于作业油田。FPSO在海域作业时系泊系统多采用一个或多个锚点、一根或多根立管、一个浮式或固定式浮筒、一座转塔或骨架。FPSO系泊方式有永久系泊和可解脱式系泊两种
船体部分	既可以按特定要求新建，也可以用油轮或驳船改装
生产设备	主要是采油和储油设备，以及油、气、水分离设备等
卸载系统	包括卷缆绞车、软管卷车等，用于连接和固定穿梭油轮，并将FPSO储存的原油卸入穿梭油轮。其作业原理是通过海底输油管线把从海底开采出的原油传输到FPSO的船上进行处理，然后将处理后的原油储存在货油舱内，最后通过卸载系统输往穿梭油轮
配套系统	在FPSO系统配置上，外输系统是其关键的配套系统

资料来源：上海科学技术情报研究所分析整理



FPSO由海底系统、船体系统、系泊定位系统、动力系统、油气处理系统、消防监控系统、储油与外输系统、生活系统等十几个大类组成。

(1) 海底系统

海底系统由基座、水下卧式采油树、海底管汇、液压井控、立管等组成。以陆丰**22-1**油田为例，海底井口布置成紧凑的扇型，长宽各**9m**，各井口的原油通过各自的采油树汇集到中心管汇中，然后由两条**177.8mm(7in)**的海底生产管道输送到储油轮上。设计中未考虑修井功能，但设置了水下泥线增压泵和**ROV**水下机器人，增压泵的排量为**25000 桶/d**，由**400kW** 的马达带动，增压泵的电缆有**3**种不同的功能（供电、信号传输、补压），电缆（**10000v, 246A**）可以进行湿式接头作业。



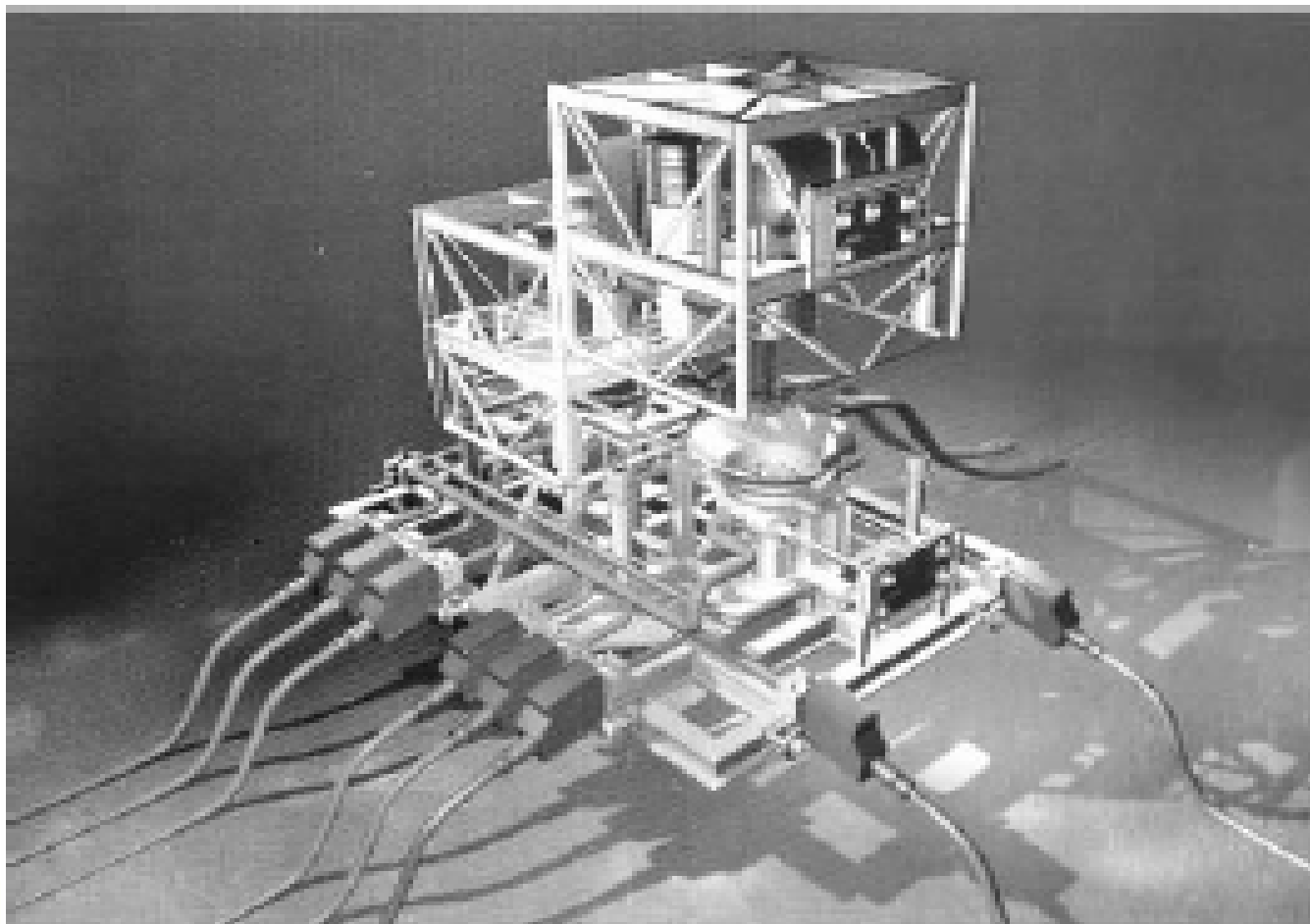
三. FPSO的组成结构及 主体设计

井控所需的各种信号以及中控室对电、液、阀等各种指令通过海底电缆传送。有人把海底井口系统称为具有高技术含量、富有挑战的环节之一。陆丰22-1井口底盘，由挪威KOS海洋工程公司与FMC井口设备制造公司共同研制，中心模块重300kN。中心模块和中心管汇在海上安装共用了331h。如图所示：





海底系统





三. FPSO的组成结构及 主体设计

(2) 船体系统

FPSO外形类似油轮，但复杂程度远高于油轮。

其一，船体在风、浪、流、潮作用下，能够长期被约束在一定范围内，所受的外载荷比普通油轮复杂得多，结构局部强度要做特殊设计。

其二，作为载体，其上面包容着动力模块、生产模块、储油模块、消防模块、生活模块等，在布局 and 分隔上更加讲究，安全性问题要作重点考虑。在设计时除了要达到《船舶建造入级规范》、《移动式海上平台入级建造规范》、《浮式生产系统入级建造规范》等通用性规范外，还要顾及到国际海事组织（**IMO**）的**MARPOL**和**SOLAS** 公约等一些行业技术标准（共**38** 种标准），安全、救生、环保等要求高。

其三，**FPSO**的业主一般要求长期系泊在海上，进行不间断生产，因此设计风险等级高（**100**年一遇的重现期），防腐等耐久性措施要求严，一般能做到**20**年或更长时间不进坞维修。





三. FPSO的组成结构及 主体设计

(3) 系泊定位系统

系泊定位系统是FPSO中最有特点的系统。它通过导管架或吸力锚提供足够的系泊力。按系泊方式分为单点系泊和多点系泊。如图：



图6 单点系泊系统

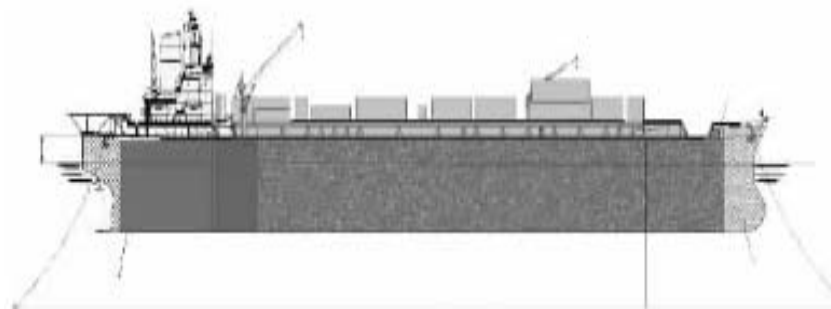


图7 多点系泊系统



三. FPSO的组成结构及 主体设计

单点系泊是指锚泊系统与船体只有一个接触点，多点系泊是指锚泊系统与船体有多个接触点。如南海流花11-1油田的FPSO，该海域水深310m，由半潜式生产平台和浮式储油、卸油两套装置组成。其中，半潜式生产平台采用了11条127mm的锚链+深水吸力锚组成的系泊系统，为多点系泊；浮式储油、卸油装置也用吸力锚提供锚固力，其特别之处是采用了10条114mm的锚链系泊在一个沉没式浮筒上，再由浮筒通过专用接头与船体相连，为单点系泊。





三. FPSO的组成结构及 主体设计

系泊定位系统具有机械强度高、密封性好的机械旋转头。该旋转头可随风、浪、流转动，不仅承受着巨大的动荷载，而且还要在运动中保证管道畅通、供电和信号的传输。例如“睦宁号” FPSO的旋转头有2条直径203.2mm 的原油生产立管、6条高压电缆、1组液压动力管和1组信号采集与传输电缆。这些从海底传接过来的立管（电缆）包括生产集液旋转头、电刷接头、液压控制接头和电信号接头，根据其尺寸大小依次从上到下分层布置，通过可解脱接头实现管道与船体的连接。这种可解脱接头技术含量高，目前尚未国产化，一直被国外公司所垄断。





三. FPSO的组成结构及 主体设计

(4) 油气处理系统

FPSO的油气处理系统与陆上油气处理系统大体相同，包括油、气、水分离系统、计量系统、污水处理系统和火炬燃烧系统等。所不同的是**FPSO**油气处理系统总体布局更加紧凑，安全规定更加严格；工艺流程在确保顺畅的同时，重要模块的布局要顺应船体运动要求并留足维修空间；具有比陆上集成化更高、配置更完备的自动化控制系统。

在油气处理设备的选择上力求高效、紧凑。如在流花油田的**FPSO**上采用了电脱盐/脱水合二为一的技术装备，在一个罐内可同时完成脱盐/脱水，日处理液量可达 $4.77 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

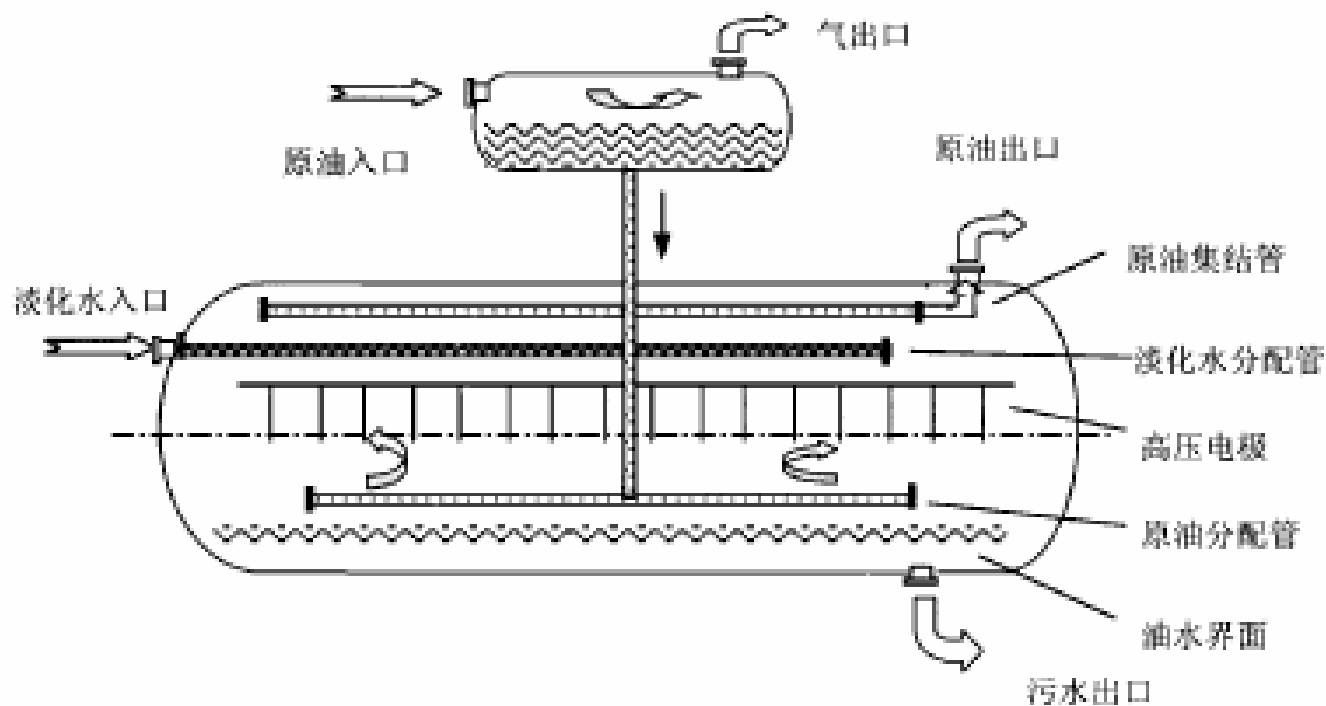


图 2-3-5 流花油田电动态脱盐装置