



国防特色学术专著·船舶与海洋工程

FPSO浮式生产 储油装置工程研究

FPSO FUSHI SHENGCHAN
CHUYOU ZHUANGZHI GONGCHENG YANJIU

胡安康 编著

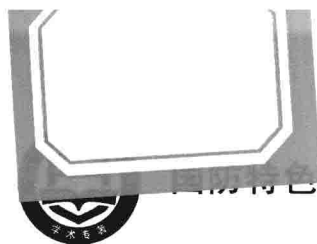
HEUP 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

北京航空航天大学出版社

北京理工大学出版社

哈尔滨工业大学出版社

西北工业大学出版社



学术专著·船舶与海洋工程

FPSO 浮式生产储油装置工程研究

胡安康 编著

哈尔滨工程大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

本书主要介绍了 FPSO 浮式生产储油装置工程的设计与建造技术,包括总体设计概念、选型设计总则、主船体尺度的确定、船体型线设计、总体性能与运动分析、总体布置工艺与模块设计等;结构设计的载荷、总强度、极限强度、疲劳强度分析等;系泊系统设计、立管系统设计、货油系统设计、数字化设计及 FPSO 的建造与安装各类技术成果。书中还提供了许多有用的技术方案和经实践验证的资料,可供读者在设计和科研工作中参考。

本书主要供有一定船舶设计基础知识的工程技术人员学习和参考,也可供相关专业的高校学生作参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

FPSO 浮式生产储油装置工程研究/胡安康编著. —
哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2011.5
ISBN 978-7-5661-0359-8

I. F… II. 胡… III. ①储油设备-研究
IV. ①TE972

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 103758 号

FPSO 浮式生产储油装置工程研究

胡安康 编著
薛 力 责任编辑

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行
哈尔滨市南岗区东大直街 124 号 发行部电话:0451-82519328 传真:0451-82519699
<http://press.hrbeu.edu.cn> E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn
黑龙江省教育厅印刷厂印装 新华书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:14.75 字数:365 千字
2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷 印数:1000 册
ISBN 978-7-5661-0359-8 定价:45.00 元

前 言

FPSO(Float Production Storage and Offloading)海上浮式生产储油船,是对开采的石油进行油气分离、处理含油污水、动力发电、供热、原油产品的储存和运输,集人员居住与生产指挥系统于一体的综合性的大型海上石油生产基地。与其他形式石油生产平台相比,FPSO 具有抗风浪能力强、适应水深范围广、储/卸油能力大,以及可转移、重复使用的优点,广泛适合于远离海岸的深海、浅海海域及边际油田的开发,目前已成为海上油气田开发的主流生产方式。

FPSO 的概念始于 1976 年。1976 年 8 月,大西洋里杰菲尔德(Rich Field)公司首次将一艘水泥驳船改装成浮式液化石油气生产装置。近几年来 FPSO 规模急剧扩大,根据 Fearnley Offshore 的统计,以 FPSO 开始生产的时间为准,截至 2010 年 8 月,FPSO 数量为 186 艘,其中新建 FPSO 数量占 36%,改造 FPSO 数量占比为 64%。在接下来的两年内还将有 20 艘 FPSO 投入使用。

20 世纪 90 年代后期到 2004 年 9 月。随着中国海洋石油事业的飞速发展和我国设计建造 FPSO 能力的提升,形成了工期短和造价低的优势,加上由中国海油统一建造并出租给油田的管理模式,降低了油田开发门槛,调动了中外双方合作的积极性,一批边际油田得以开发,使我国 FPSO 产业迎来了黄金时代。

经过多年的努力,我国 FPSO 的研究走出了自主创新之路,攻克了一些船体功能和系统设计方面的世界难题。其主要包括多单元负载系统总体优化设计技术、大型浮体浅水效应技术、抗强台风永久性系泊系统设计技术,等等。这些技术只是我国 FPSO 发展中的一个缩影。在众多中国研究学者工程师的努力下,中国 FPSO 技术在近几十年内已经得到了飞速发展,许多技术已达到国际先进水平。

本书主要介绍了 FPSO 浮式生产储油装置工程的设计与建造技术,包括:总体设计概念、选型设计总则、主船体尺度的确定、船体型线设计、总体性能与运动分析、总体布置工艺与模块设计等;结构设计的载荷、总强度、极限强度、疲劳强度分析等;系泊系统设计、立管系统设计、货油系统设计、数字化设计及 FPSO 的建造与安装各类技术成果。书中还提供了许多有用的技术方案和经实践验证的资料,可供读者在设计和科研工作中参考。

本书主要面向有一定船舶设计基础知识的工程技术人员和高校学生。在此由衷感谢哈尔滨工程大学孙丽萍教授、艾尚茂博士,上海中集海洋工程研发中心的沈金芳、黄守成二位研究员和中海油肖启梁总工程师等组成的团队的竭诚帮助;特别感谢中海油肖启梁总工程师对全书的审核,提出了许多宝贵的修改意见,帮助极大。

FPSO 的设计建造技术还在不断的发展之中,由于作者水平有限,书中难免有不足之处,谨请读者批评指正。

编著者

2012 年 1 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 船体部分	1
1.3 上部生产模块	3
1.4 转塔和旋转接头	4
1.5 系泊系统	8
1.6 立管系统	10
1.7 卸油系统	11
1.8 FPSO 的发展	13
第 2 章 FPSO 总体设计	21
2.1 FPSO 总体设计概念	21
2.2 设计规范和标准	23
2.3 选型设计总则	25
2.4 主船体尺度的确定	31
2.5 船体型线设计	35
2.6 总体性能计算	39
2.7 总体布置工艺与模块设计	47
2.8 运动性能计算	63
第 3 章 FPSO 结构设计	71
3.1 船体结构设计概述	71
3.2 船体结构设计载荷	73
3.3 船体总纵强度分析	79
3.4 船体极限强度分析	89
3.5 船体疲劳强度分析	97
第 4 章 FPSO 系泊系统设计	112
4.1 系泊系统概述	112
4.2 单点系泊的形式及特点	115
4.3 单点系泊系统设计	123
4.4 单点系泊模型试验	136
4.5 系泊工程案例	137
第 5 章 FPSO 立管系统设计	140
5.1 FPSO 立管形式及特点	140
5.2 FPSO 立管布置	149
5.3 FPSO 立管关键部位	151

5.4	FPSO 立管设计方法	157
5.5	立管监测及检测技术	164
第 6 章	FPSO 货油系统设计	171
6.1	外输方式概述	171
6.2	串靠外输	173
6.3	旁靠外输	175
6.4	独立卸载终端外输	177
6.5	外输风险及失效案例	179
第 7 章	FPSO 数字化设计	184
7.1	FPSO 三维设计	184
7.2	数值仿真信息链	186
7.3	虚拟设计与制造	192
第 8 章	FPSO 的建造与安装	200
8.1	FPSO 的建造	200
8.2	FPSO 的改造	206
8.3	FPSO 海上安装	208
8.4	FPSO 调试与投产	217
8.5	FPSO 运营管理	222
参考文献		227

第1章 绪 论

1.1 概 述

FPSO 即 Float Production Storage and Offloading 的缩写,中文是海上浮式生产储油船。FPSO 是对开采的石油进行油气分离、处理含油污水、动力发电、供热、原油产品的储存和运输,集人员居住与生产指挥系统于一体的综合性的大型海上石油生产基地。

与其他形式石油生产平台相比,FPSO 具有抗风浪能力强、适应水深范围广、储/卸油能力大,以及可转移、重复使用等优点,广泛应用于远离海岸的深海、浅海海域及边际油田的开发,目前,已成为海上油气田开发的主流生产方式。

FPSO 集合了各种油田设施,对油气水实施分离处理和原油储存,故被称为“海上工厂”、“油田心脏”。

FPSO 主要由船体、负责油气生产处理的上部模块和水下单点系泊系统三部分组成,如图 1.1 所示,一般适用于 20 ~ 2 000 m 不同水深和各种环境的海况,通过固定式单点或悬链式单点系泊系统固定在海面,可随风浪和水流的作用进行 360°全方位的自由旋转,可规避风浪带来的破坏。

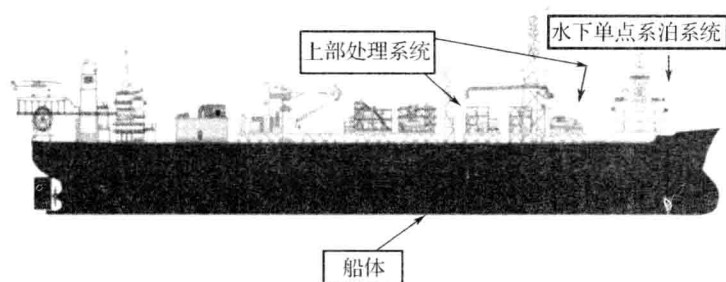


图 1.1 全船布置图

1.2 船 体 部 分

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,结构局部强度要作特殊设计。

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, 如图 1.2 所示。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, 安全、救生、环保等要求高。

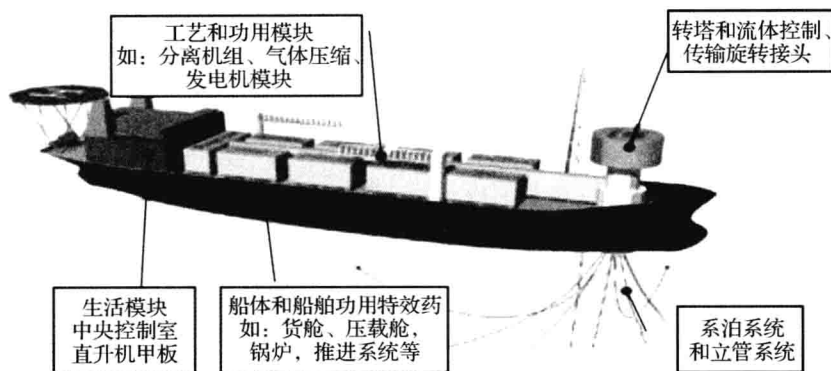


图 1.2 各部分模块布置图

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, 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。

FPSO 主体尺寸选择主要取决于原油产量、储存量和甲板工艺模块的体积等因素, 如表 1.1 及图 1.3 所示。

表 1.1 船型比较表

Vessel Type	Length/m	Breadth/m	Storage/dwt
Aframax	250	42	115,000
Suezmax	274	48	159,800
VLCC	333	58	310,000
Panamax	228	32	72,500

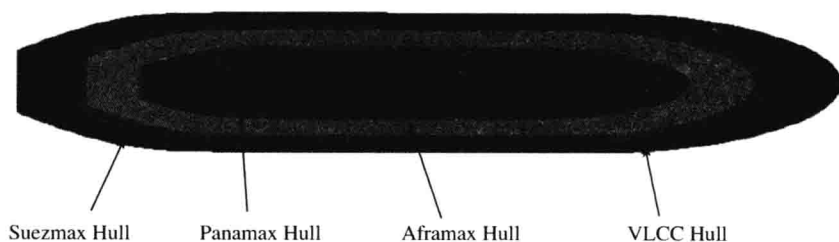


图 1.3 各类船型

应注意的问题:

细长的船尾可以降低潜在的碰撞和碰撞损坏(允许穿梭油轮在糟糕的环境下操作), 只有

用于卸油操作的设备允许安装在船尾区域,这些区域可能受到潜在的碰撞。

船尾的汽轮机尾气对穿梭油轮上的员工和气体传感器产生影响。

FPSO 船体部分可以通过 VLCC 等船体进行改建,也可新建。

1.3 上部生产模块

FPSO 甲板上的原油处理设施通常称为上部模块,如图 1.4 和图 1.5 所示。

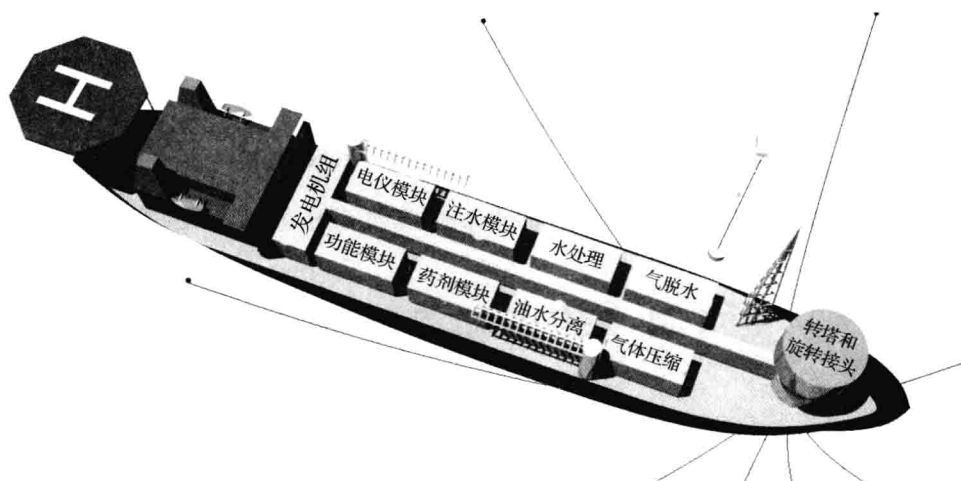


图 1.4 上部模块布置图

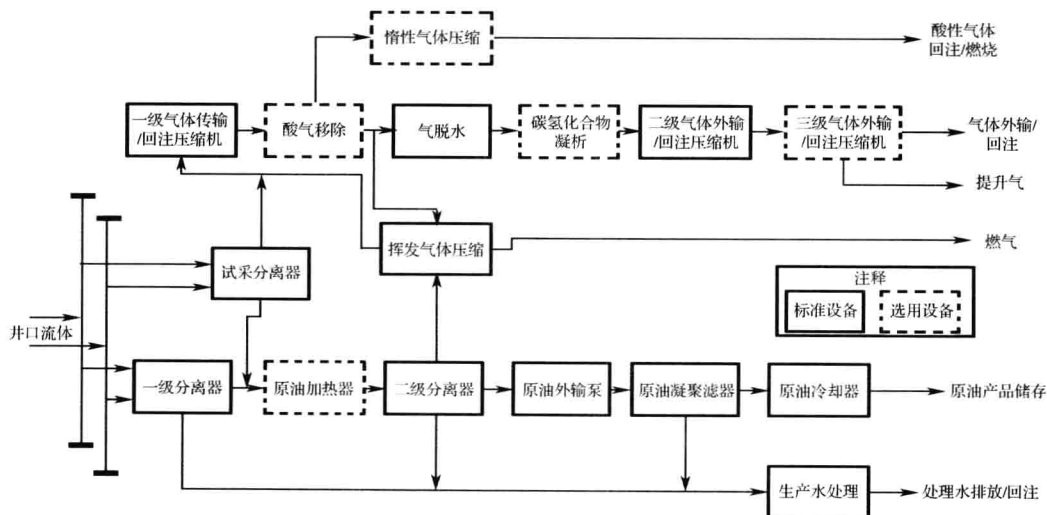


图 1.5 上部模块流程图

FPSO 上的处理设备和其他的生产平台类似,通常以模块形式建造。FPSO 生产设备包括水分离、气体处理、原油加工、水回注和气体压缩。

FPSO 生产工艺流程的功能是进行油、气、水等生产处理,大致分为三大类系统。

1. 主要工艺系统

是指将各井口平台输送来的生产流体进行脱气、脱水及脱除杂质等的原油处理系统,以达到外输标准,同时要保证原油回收率最大。还应考虑除砂、防蜡、破乳、消泡等措施。

2. 辅助工艺系统

主要包括生产污水处理系统、火炬放空系统、化学药剂注入系统、开式排放及闭式排放系统、燃料气处理系统。

3. 公用系统

主要包括热介质系统、仪表电气系统、海水系统、柴油系统、淡水/热水系统等。

1.4 转塔和旋转接头

转塔和旋转接头是 FPSO 的关键组成部分之一,它必须能让 FPSO 绕其进行 $n \times 360^\circ$ 的旋转,以增加 FPSO 的适应性,使其能适应除台风等终极环境外的各种海况条件。

转塔分为内转塔、外转塔、可分离浸没式转塔、可分离立管式转塔,见图 1.6 所示。

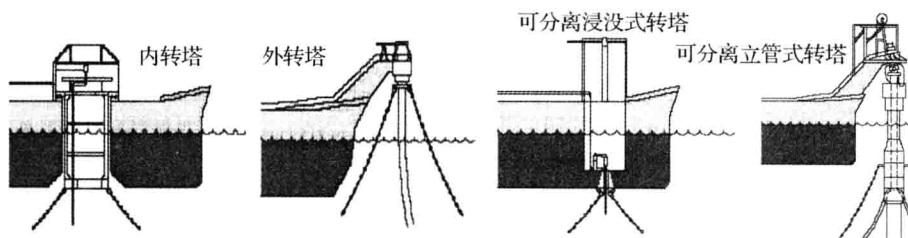


图 1.6 各类转塔图

1.4.1 转塔

1. 内转塔系统

转塔布置在船体内部、首部、尾部、中部均可,如果布置在中部,一般都配备辅助螺旋桨来调整方向。内转塔可以更好地适应恶劣的环境,容纳的立管数量更多,最大为 75 个,如图 1.7 所示。

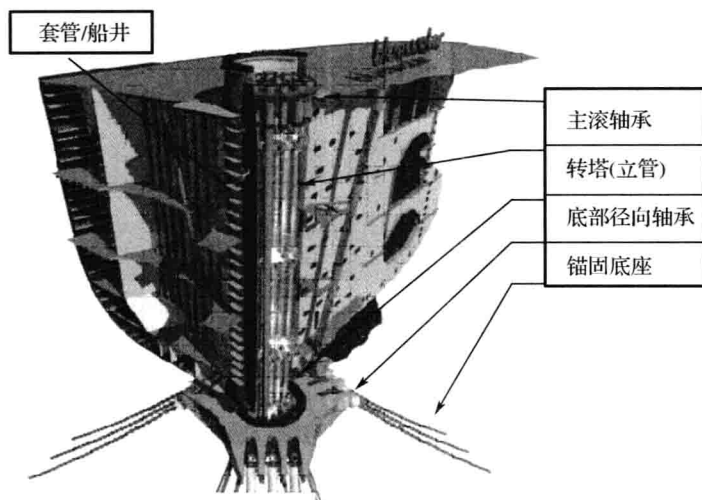


图 1.7 内转塔系统结构图

2. 外转塔系统

在船首部突出一部分作为承载结构,适用于中等海况(最大浪高 $< 10\text{ m}$),最大可容纳 20 个左右的立管,相对内转塔系统来说,成本低一些,如图 1.8 所示。



图 1.8 外转塔系统结构图

3. 可分离浸没式转塔

该转塔可以做到高效分离或者连接作业,可躲避台风等恶劣环境。一般可在 $6 \sim 12$ 小时内完成连接,继续生产,如图 1.9 所示。

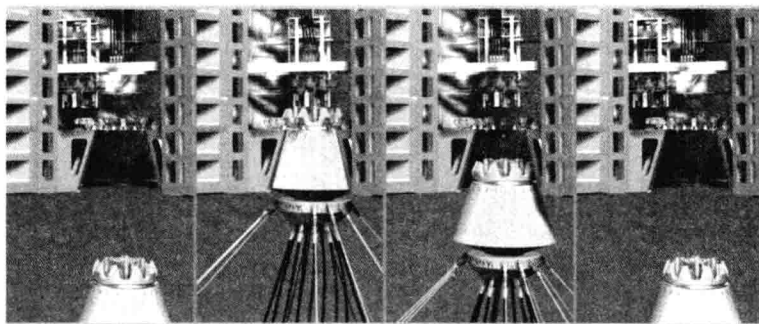


图 1.9 可分离浸没式转塔结构图

4. 可分离立管式转塔

该系统属于外转塔的一种,立管束端可与转塔端分离,使 FPSO 避开恶劣施工条件,如图 1.10 所示。

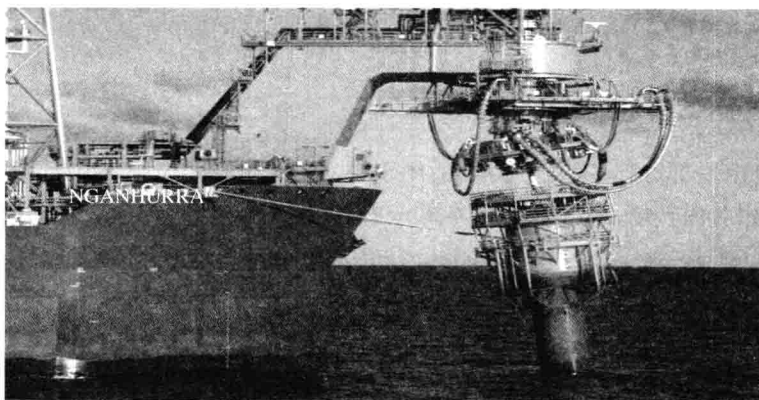


图 1.10 可分离立管式转塔结构图

1.4.2 旋转接头

旋转接头是实现流体或者电信号、电流在 FPSO 和立管、脐带管之间输送的一个关键部分,如图 1.11 所示。

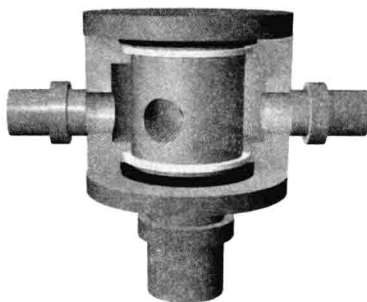


图 1.11 旋转接头图

其主要结构包括以下几部分,如图 1.12 所示。

静止部分:相对地面静止,由蜘蛛板连接系泊系统。

转动部分:相对于船体静止,绕静止部分转动。

轴承:上下两个轴承分别承载径向力和轴向力。

旋转接头:使流体从立管部分输送到油轮上的部分。

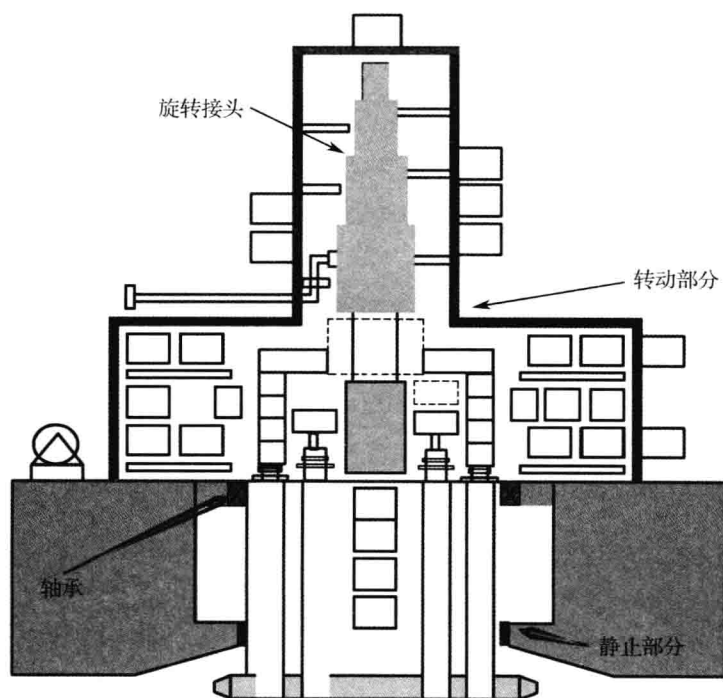


图 1.12 旋转接头结构图

工作原理:与系泊系统相连接的部分相当于定子,旋转部分相当于转子,转子和定子紧密配合、密封、旋转,使流体得以输送,如图 1.13 所示。

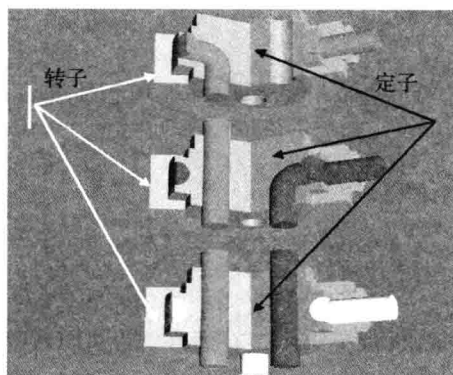


图 1.13 旋转接头工作原理图

1.5 系泊系统

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。按系泊方式系泊系统分为单点系泊系统和多点系泊系统。单点系泊系统是指锚泊系统与船体只有一个接触点,多点系泊系统是指锚泊系统与船体有多个接触点。

1.5.1 转塔系泊系统

转塔系泊系统见图 1.14 所示,在转塔的底部设有对地静止的锚固连接板,FPSO 绕转塔转动。多用于恶劣环境下的固定方式。

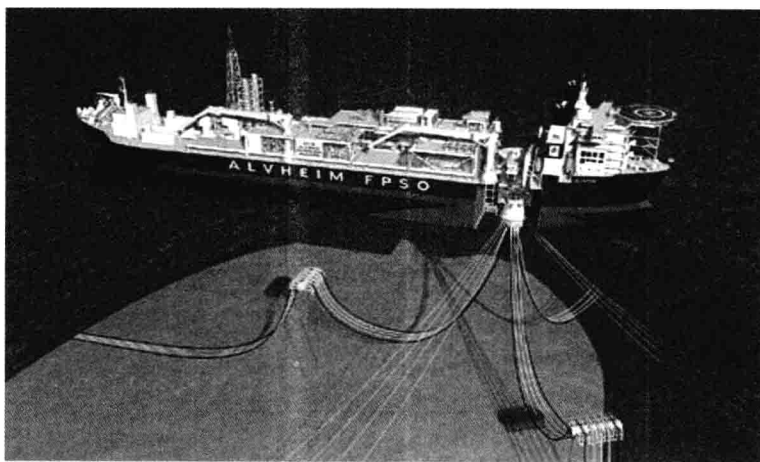


图 1.14 转塔系泊系统图

1.5.2 多点系泊系统

从四个方向将 FPSO 固定在水面,不做转动,一般用于环境载荷较小的域。

1.5.3 海床固定方式

1. 吸力锚

将锚筒用大吸力泵吸入海床,将锚链固定在海底,配合 ROV 监控锚链的方向,有效减少吸力锚收到外部载荷的力矩,使其所受载荷达到最小,如图 1.15 所示。

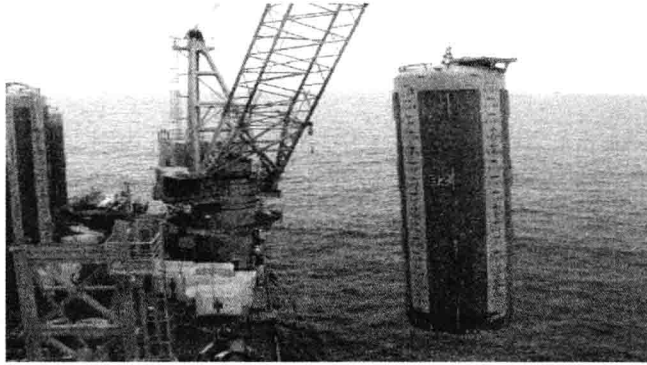


图 1.15 吸力锚系统图

2. 固定锚

如同导管架施工中打水桩一样,将锚链连接到桩管上,用液压锤将桩打进泥里,固定锚链。固定桩在打桩时,桩会转动,这样很难控制锚链的方向,一旦超出 $\pm 2^\circ$ 的误差范围,会使桩受到的力矩增大,影响系泊系统的质量,如图 1.16 所示。

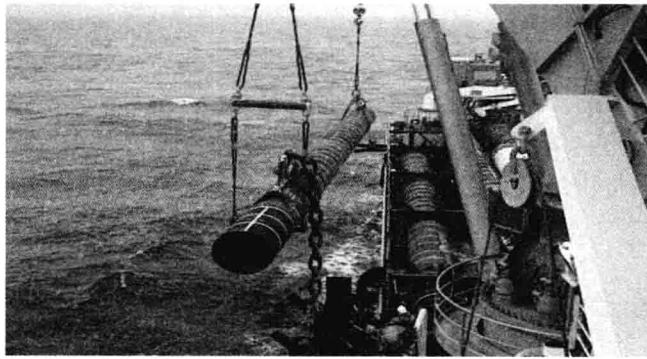


图 1.16 固定锚系统图

3. 拉力锚

像普通船用锚那样,用布锚船布置到设定位置。一般用 12 ~ 16 个锚固定 FPSO 系统,如图 1.17 所示。



图 1.17 拉力锚系统图

1.5.4 Hi-load 锚固系统

该系统本身是一种浮式结构,将该结构用锚链缆绳复合机构固定于海床上,并利用其自身的摩擦吸附系统,附着于油轮船体之上,可帮助油轮定位,这样可以很大程度上节省油轮定位时间,提高工作效率。流体从 FPSO 由 Hi-load 的油管输送到油轮上,如图 1.18 所示。

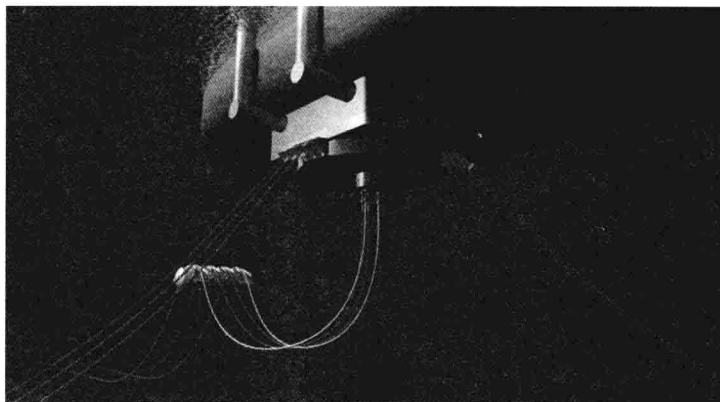


图 1.18 Hi-load 锚固系统图

1.6 立管系统

1.6.1 转塔立管系统

转塔立管结构的 FPSO,通常用柔性立管,尤其是可分离的转塔,因为转塔分离后,其浮筒和系泊组块需要下沉到水下 30 m 处,以确保海流对其影响最小化。这就要求立管有局部较大的弯曲能力,柔性立管恰好能满足这一要求,而且柔性立管想对刚性立管有更多的布置方式,来减小外部载荷的影响,如图 1.19 所示。

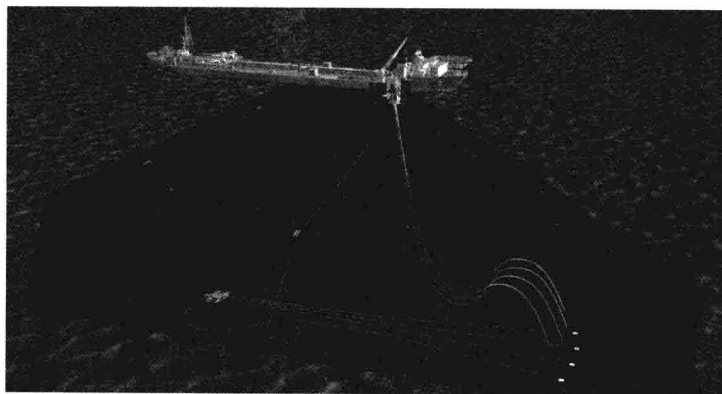


图 1.19 转塔立管系统图

1.6.2 多点系泊立管系统

刚性立管用于多点系泊的 FPSO,立管从左右两侧靠舷侧上的甲板,实现流体输送。刚性立管的好处是成本低,布置简单,适应水深较深,如图 1.20 所示。

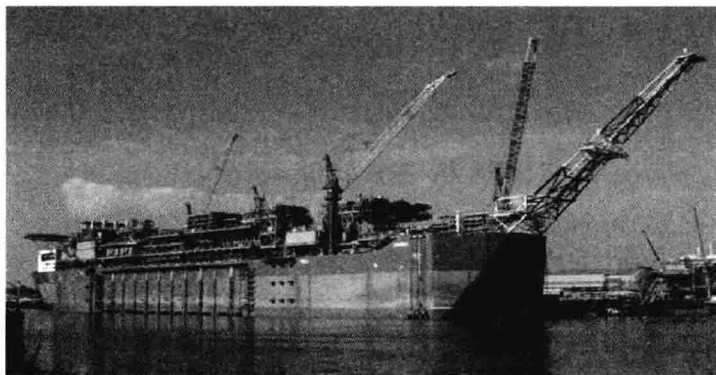


图 1.20 多点系泊立管系统图

1.6.3 混合立管系统

混合立管是刚性立管和柔性立管的混合体。先由海底经刚性立管,使流体上升到海面以下 70 m 左右,刚性立管顶部是刚性浮筒,提供保持立管竖直的浮力,然后经柔性立管将流体输送到 FPSO,无论是转塔结构,还是多点系泊方式,都可以使用混合立管系统,如图 1.21 所示。

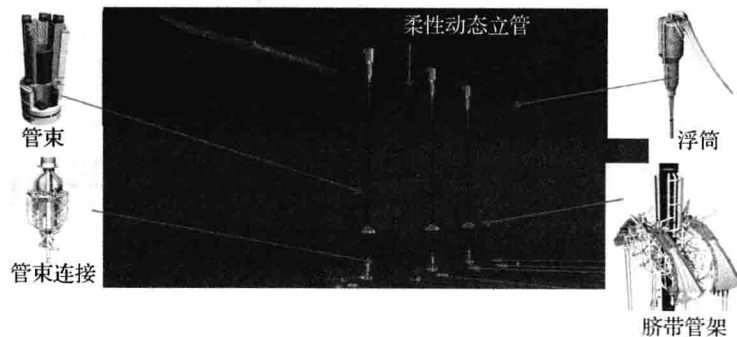


图 1.21 混合立管系统图

1.7 卸油系统

1.7.1 拉紧式钢缆系统

经艏部改造的专用穿梭油轮与 FPSO 以艏艙方式授油时,有辅助拖轮反方向拖拽油轮,使