



工业和信息化部“十二五”规划教材
黑龙江省精品图书出版工程

浮式结构定位系统设计与分析

DESIGN AND ANALYSIS OF STATION
KEEPING SYSTEM FOR FLOATING STRUCTURES

主 编 罗 勇

副主编 王宏伟 闫发锁

HEUP 哈尔滨工程大学出版社



工业和信息化部“十二五”规划教材
黑龙江省精品图书出版工程

浮式结构定位系统设计分析

DESIGN AND ANALYSIS OF STATION
KEEPING SYSTEM FOR FLOATING STRUCTURES

主 编 罗 勇

副主编 王宏伟 闫发锁

HEUP

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书在一定广度和深度上讲述船舶与海洋工程中浮式结构定位系统设计与分析的方法及相关理论。主要包括:浮式结构定位系统的类型和特点;系泊系统静力及动力分析方法;常用的规范标准;总体设计过程,环境载荷的计算方法;疲劳分析的理论和方法;动力定位系统;定位系统模型试验;锚的设计与选型;国内外研究进展及最新技术等,并结合一定的工程案例进行阐述。

本书可作为高等院校船舶与海洋工程专业的本科生教材和研究生教材参考用书,还可供从事船舶与海洋工程研究、设计的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

浮式结构定位系统设计与分析 / 罗勇主编. — 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2014. 5

ISBN 978 - 7 - 5661 - 0728 - 2

I. ①浮… II. ①罗… III. ①海上油气田—油气开采—浮式开采平台 IV. ①TE53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 081434 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 787 mm × 1092 mm 1/16
印 张 17.5
字 数 461 千字
版 次 2015 年 4 月第 1 版
印 次 2015 年 4 月第 1 次印刷
定 价 41.00 元
<http://www.hrbeupress.com>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前言

毫无疑问,能源,尤其是石油,是一个国家国民经济发展的动力。随着陆地有限能源的不断减少,世界各国越来越多地投入海上油气的开发与生产,中国也不例外。中国是个海洋大国,海洋油气资源十分丰富,极具勘探开发潜力。但与发达国家相比,我国的海洋资源开发利用程度较低,海洋工程技术,尤其是深海油气开发技术急需提高。21世纪是海洋的世纪,也是海洋工程技术向深海发展的世纪。可以预见,中国深海油气开发的时代即将到来。用于海洋资源开发的各种浮式结构,包括我们常用的采油平台,必须由定位系统来约束控制其海上位置,才能保证在设计海洋环境下的正常作业和恶劣海况下的生存安全。浮式结构定位系统的设计是一个复杂的系统过程。平台功能、结构类型和尺寸不同,作业海域环境不同,定位系统的设计和效果也截然不同。此外,在世界海洋工程技术快速发展的今天,浮式结构设计的理论方法和开发技术日新月异。新型系泊材料的应用,深水系泊形式,动力定位技术等不断涌现。可见,对于海洋工程浮式结构定位系统的设计与研究,还有很多问题亟待我们去解决。

本书立足于介绍浮式结构定位系统的设计与分析的基本方法、原理和相关规范,以及最新进展及试验技术等。全书共分为10章:第1章介绍国内外海洋工程的发展现状,浮式结构定位系统的特点、主要类型及技术研究现状等;第2章介绍常见的定位方式及适用条件,不同的系泊线材料及其组成部件的特点和选择方法;第3章介绍系泊系统的静力分析方法,推导得出单一成分乃至多成分系泊线的静力特性方程,可以作为系泊系统初始分析的重要手段;第4章介绍集中质量法和细长杆理论两种系泊系统动力分析方法,以及各主要参数对系统动力特性的影响;第5章介绍定位系统的分析规范,对系统的分析方法、运动与受力、分析过程等具体规范要求进行了说明;第6章介绍浮式结构定位系统设计的主要过程,应用的基本理论和相关计算方法,并进行案例分析;第7章介绍海洋工程浮式结构疲劳分析的基本原理以及系泊系统疲劳分析的特点、常用方法和分析过程;第8章介绍动力定位技术,包括动力定位系统的发展和组成、能力设计、可靠性与分级及其应用;第9章介绍定位系统模型试验技术,包括试验方案的设计、试验材料和仪器设备的准备、试验的主要内容、深海系泊系统试验的挑战以及混合模型试验技术的应用;第10章介绍定位系统的主要基础设施——锚,对锚的发展、种类、各自的工作原理及安装方法等进行阐述。

本书由罗勇、王宏伟和闫发锁共同编写。主编罗勇教授曾先后在英国伦

敦、美国休斯顿等地从事船舶与海洋工程水动力及定位系泊方面的工作 20 余年,直接参与并主持多项大型海洋工程定位系统设计方面的项目,有着坚实的理论基础和丰富的工程实践经验。王宏伟和闫发锁也从事深海工程及其定位系统方面的教学与科研工作多年,有着一定的工作经验。因此,本书是三位作者长期从事海洋工程定位系统设计和相关工作的基础上形成的一本教材。具体分工如下:罗勇编写第 1 章、第 5 章、第 7 章;王宏伟编写第 2 章、第 3 章、第 4 章、第 6 章;闫发锁编写第 8 章、第 9 章、第 10 章。全书由罗勇统稿。

在本书的编写过程中参考了同行专家和学者的大量资料和研究成果,在此向他们表示感谢。在“细长杆理论”的编写中得到马刚老师的帮助,同时还有许多其他专家和学者给编者提供了相关资料和有益的建议,在此一并表示衷心的感谢。

本书得到了哈尔滨工程大学本科生教材立项的支持,特此致谢。另外对支持本书编写的哈尔滨工程大学船舶工程学院、深海工程技术研究中心也表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,本书在撰写过程中难免有错误和不妥之处,希望各位读者和专业人士不吝赐教,我们将非常感激并及时更正。

编 者

2013 年 9 月

目录

第1章 概论	1
1.1 浮式结构定位系统的特点及现状	1
1.2 多点系泊定位系统	2
1.3 单点系泊定位系统	3
1.4 动力定位系统	19
1.5 思考与练习	20
第2章 定位方式与系泊材料	21
2.1 常见的定位方式	21
2.2 系泊线材料及特性	23
2.3 系泊线连接部件	31
2.4 思考与练习	36
第3章 浮式结构系泊系统静力分析	37
3.1 不考虑弹性的系泊线悬链线方程	37
3.2 单一成分系泊线静力分析	39
3.3 多成分系泊线静力分析	42
3.4 考虑弹性的系泊线静力方程	46
3.5 浮式结构系泊系统静力分析	49
3.6 思考与练习	54
第4章 浮式结构系泊系统动力分析	55
4.1 动力分析的重要性	55
4.2 集中质量法	58
4.3 细长杆理论	67
4.4 系泊阻尼	73
4.5 思考与练习	82
第5章 浮式结构定位系统分析规范	83
5.1 系泊系统强度分析	83
5.2 浮式结构运动与系泊线受力	86
5.3 频域内系泊系统强度分析	90
5.4 时域内系泊系统强度分析	92
5.5 动力定位辅助系泊系统强度分析	92
5.6 瞬态系泊系统强度分析	93
5.7 案例分析	94
5.8 思考与练习	99

第6章 浮式结构系泊系统设计过程	100
6.1 基本设计流程	100
6.2 浮式结构水动力分析	107
6.3 系泊系统总体运动分析	111
6.4 波浪力的计算	114
6.5 风力和流力的计算	120
6.6 系泊力的计算	137
6.7 常用系泊分析软件及特点	137
6.8 案例分析	138
6.9 思考与练习	147
第7章 浮式结构系泊系统疲劳分析	148
7.1 海洋工程结构疲劳分析基本原理	148
7.2 系泊系统疲劳分析的特点和常用公式	159
7.3 系泊系统疲劳分析的步骤	163
7.4 案例分析	163
7.5 思考与练习	167
第8章 动力定位系统	168
8.1 动力定位简介	168
8.2 动力定位系统的发展	169
8.3 动力定位系统的组成	173
8.4 动力定位能力设计分析	188
8.5 动力定位系统的可靠性与分级	197
8.6 动力定位系统的应用	199
8.7 思考与练习	202
第9章 定位系统模型试验技术	203
9.1 定位系统模型试验的特点	203
9.2 定位系统模型试验的前期准备	210
9.3 定位系统模型试验的主要内容	218
9.4 深水定位系统模型试验	224
9.5 案例分析	228
9.6 思考与练习	235
第10章 锚的设计与选型	236
10.1 锚的类型及特点	236
10.2 锚的工作原理	242
10.3 锚的设计与选型	261
10.4 锚的安装	263
10.5 思考与练习	269
参考文献	270

第 1 章 概 论

1.1 浮式结构定位系统的特点及现状

能源,被称为“工业血液”,是一个国家的重要战略物资,直接影响到国家的经济发展和安全需要。然而,人类社会的快速发展使得陆地能源日趋紧张,能源短缺正在成为制约社会可持续发展的不利因素。因此,人类开始把目光转向海洋,向海洋要资源,要财富,要发展。据统计,世界海洋石油资源的总量约为 1 350 亿吨,占石油资源的 27%~45%,海上天然气约 140 万亿 m^3 ,占全球天然气总储量的 50%~55%。

海底石油的大规模开发活动始于 20 世纪 50 年代后期,并逐渐进入高潮。如今,海上油气的勘探和开采已遍及除南极以外的所有大陆架,有 100 多个国家和地区在从事海上油气开采。虽然从目前来看,浅水油气田的总储量仍占主导地位,但已不能满足人类的大量追求,世界各国对于深水油气的开发已经越来越多,进程也正在加快,从浅水走向深水已经是油气开采的必然趋势。按照工业标准,大于 153 m 即为深水。到 20 世纪 80 年代,深水的上限是 780~1 850 m。而现在,深水的上限可达到 3 000 m。因此,现在通常的办法是把水深分为浅水、深水、超深水,并确定 500 m 以下为浅水,500~1 500 m 为深水,1 500 m 以上为超深水。

茫茫大海中的各种浮式结构,必须由定位系统来控制其海上位置,以保证在各种恶劣海况下安全作业,常用的定位方式有两种:系泊定位和动力定位。

系泊定位是自古以来逐渐发展并不断改进和完善的传统定位方式,也是最常用的被动式平台定位方式。在海底设置固定的基底设备,用系泊线将水面浮式结构与基底设备连接起来,以限制浮式结构的位移范围,同时也确保系泊系统本身的强度,在制约位移的同时不产生过大的约束力。系泊定位通常分为两类:一般船用系泊系统和离岸定位系泊系统。

一般船用系泊定位是普通船舶为了满足临时停泊需要而配备的系泊设备,主要是限制船舶的活动范围,使其不致任意漂流,多在无风暴的浅水区进行使用。系泊方式以单锚单线系泊为主,有时为双锚双线系泊。系泊设备一般布置在船首。系泊材料多为单一成分的链条,有时为钢缆。系泊线受力一般为几吨至几十吨,大型油轮系泊受力可能超过 100 t。抛锚起锚由船舶本身的设备进行,操作方便。

离岸定位系泊系统是因海上石油勘探和开采,以及与其相关的离岸作业的需要而发展起来的系泊系统。能限制被系留物的位移,保证钻杆、立管等不会有过大的偏斜。离岸定位系泊系统可适用于各种可能遇到的恶劣海况,水深由几十米到几千米,分为作业条件和生存条件两种作业要求。系泊方式主要有单点系泊、多点系泊两种,通常由至少四根、多至十几根的系泊线组成。系泊材料种类很多,如钢链、钢缆、新型聚酯纤维材料、配重块、浮筒,或者以上不同材料的组合。系泊线的受力通常大于 100 t,有的甚至高达 1000 t 以上。抛锚起锚需要靠专用的辅助船进行,操作复杂。

按定位时间不同,离岸定位系泊系统可分为以下三类:

(1) 移动性系泊系统,适用于铺管船、埋管船、起重船、后勤辅助船等。这些船在工作时,需要拖着它们所用的锚沿着预定的路线行进,锚的移动由一两艘辅助船来完成。

(2) 暂时性系泊系统,适用于钻井平台、钻井船,在某一海域钻井作业几周几个月,更换作业海域。

(3) 永久性系泊系统,适用于各种不同类型的浮式结构。根据油田的大小不同,需要在某一海域锚泊定位几年到几十年。

按照系泊系统对浮式结构方向的控制,又可分为多点系泊和单点系泊,将在下面两节分别予以介绍。

动力定位系统是通过建立系统水面浮式结构和海底某定点之间的通信联系,或水面浮式结构和导航卫星之间信号传递来控制其推进装置的运转,使浮式结构的位置保持在一定的安全作业区域之内,是主动式的。动力定位系统复杂,技术难度大,成本高,但是其机动性好,易于操作,对外界环境改变能做出快速响应,适合于在深水或者环境条件恶劣海域作业的浮式结构。

1.2 多点系泊定位系统

多点系泊是传统的船舶系泊形式的自然推广,即在浮式结构周围对称分布一定数量的系泊线,能够在一定程度上控制浮式结构的直线运动和旋转运动,保证其安全工作。相对来说,多点系泊系统简单、经济,不需要复杂的机械设施,一旦抛锚定位完成,浮式结构的位置和方向就都被有效制约了,而且可以安装较多的立管及脐带系统。采用多点系泊的典型浮式结构如:单柱式平台(SPAR)、半潜平台(SEMI-SUBMERSIBLE)、浮式生产储卸油平台(FPSO)、船形浮式结构,另外,张力腿平台(TLP)也属于多点系泊,只是用张力腿代替了系泊线,如图1-1~1-4所示。

对于多点系泊的FPSO和船形浮式结构,系泊线固定于船头、船尾并呈发散型向外展开,能够阻止船体的横向位移,同时固定船体的方向。虽然从理论上讲,多点系泊系统只要具有足够的强度,就可以用于任何海域。但实际上,如果船形浮式结构受到很大的横浪,迎浪的系泊线会承受很大的载荷,并有破断的危险,外加向输油轮卸油困难增加,危险加大,

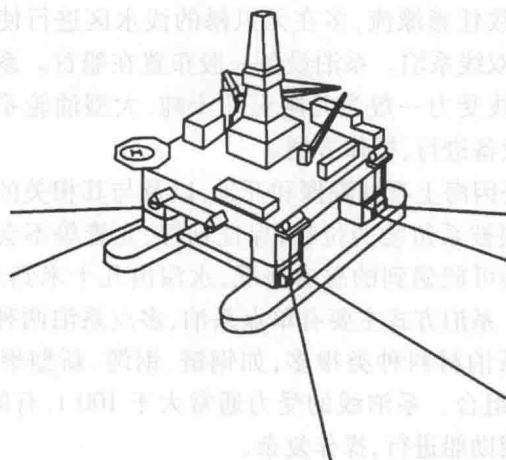


图1-1 半潜平台多点系泊(源自 www.offshoremoorings.org)

可操作性降低。因此,从成本效益原则出发,船形浮式结构的多点系泊只适合于外载荷的方向性十分确定、海况较好的海域,即风、浪、流方向单一、设计海况较低的区域,如西非海域。

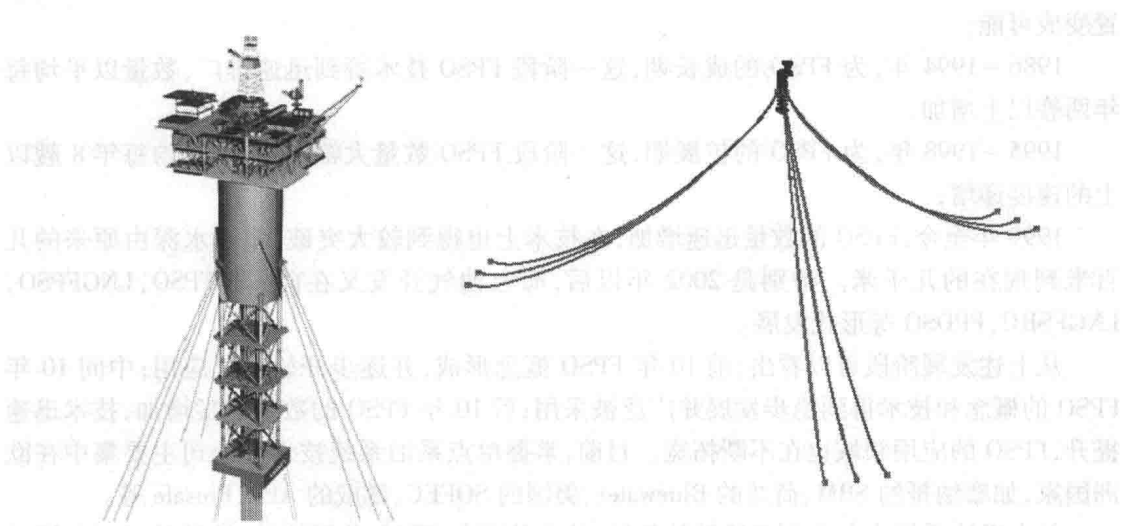


图 1-2 SPAR 平台多点系泊(源自 Technip)

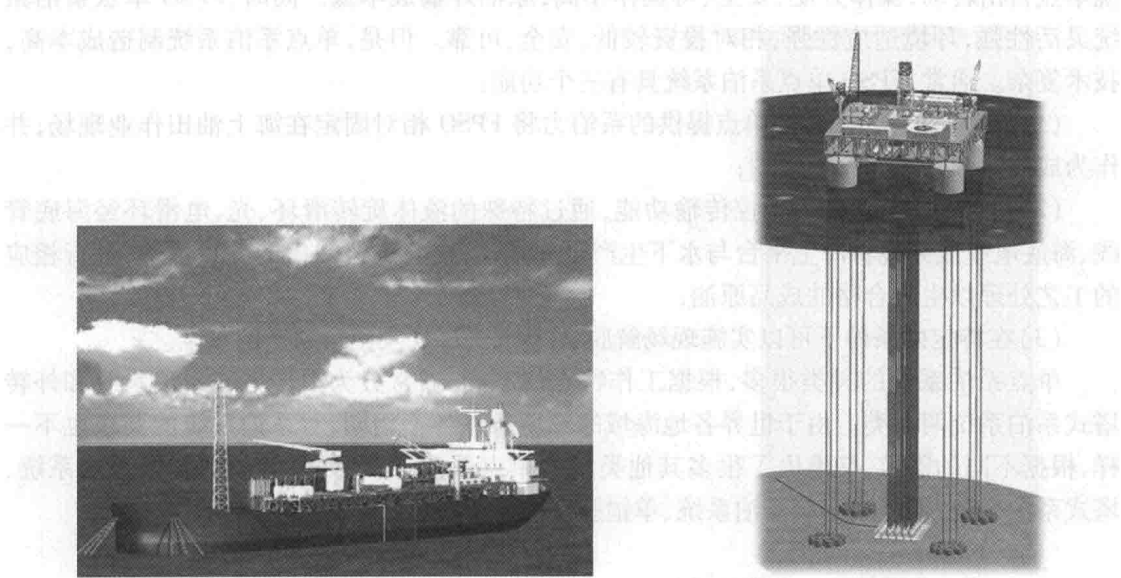


图 1-3 FPSO 多点系泊(源自 SBM)

图 1-4 TLP 平台多点系泊

1.3 单点系泊定位系统

考虑到对 FPSO 进行多点系泊存在的困难,进而产生单点系泊,现有的大部分 FPSO 用单点系泊进行定位。单点系泊系统容许 FPSO 在风标效应下绕单点自由转动,从而有效地减少风、浪、流的作用力,这样系泊线的尺度也相应地减小。

世界上第一座单点系泊系统诞生于 1959 年,为瑞典皇家海军所有,而将单点系泊系统应用于 FPSO 则始于 20 世纪 70 年代。实际上 FPSO 及其系泊系统的蓬勃发展则是在近十

年之内,目前已有百余艘 FPSO 分布在北海、西非、南美及亚洲等世界各个海域,其中多数采用单点系泊系统。全球 FPSO 系泊系统的发展大体上经历了四个阶段,即:

1976 ~ 1985 年,为发展早期阶段,通过单点系泊系统使 FPSO 成为一种海上油气生产装置变成可能;

1986 ~ 1994 年,为 FPSO 的成长期,这一阶段 FPSO 技术得到迅速推广,数量以平均每年两艘以上增加;

1995 ~ 1998 年,为 FPSO 的扩展期,这一阶段 FPSO 数量大幅增加,以平均每年 8 艘以上的速度递增;

1999 年至今,FPSO 的数量迅速增加,在技术上也得到较大突破,作业水深由原来的几百米到现在的几千米。特别是 2002 年以后,海上油气开发又在向 LPGFPSO, LNGFPSO, LNGFSRU, FPDSO 等形式发展。

从上述发展阶段可以看出,前 10 年 FPSO 概念形成,并逐步开始商业应用;中间 10 年 FPSO 的概念和技术得到稳步发展并广泛被采用;后 10 年 FPSO 的数量迅猛增加,技术迅速提升,FPSO 的应用领域也在不断拓宽。目前,掌握单点系泊系统技术的公司主要集中在欧洲国家,如摩纳哥的 SBM、荷兰的 Bluewater、美国的 SOFEC、挪威的 APL、Prosafte 等。

单点系泊系统十分有利于输油轮卸油,输油轮可与 FPSO 首尾连接,输油轮、FPSO 同时绕单点自由转动,操作方便、安全、可操作率高,原油外输成本低。同时,FPSO 单点系泊系统灵活性强,环境适应性强,相对投资较低、安全、可靠。但是,单点系泊系统制造成本高,技术复杂。通常,FPSO 单点系泊系统具有三个功能:

(1) 定位系泊功能,通过单点提供的系泊力将 FPSO 相对固定在海上油田作业现场,并作为成品原油外输的海上终端;

(2) 液体输送及电力、光控传输功能,通过特殊的液体旋转滑环、光、电滑环经海底管线、海底电缆或光缆将海上平台与水下生产设施相连,接收来自油田的井口液体,进行相应的工艺处理以生产合格的成品原油;

(3) 在特定的条件下可以实施现场解脱,以保证 FPSO 及生命财产的安全。

单点系泊系统的种类很多,根据工作特点的不同,通常分为内转塔式系泊系统和外转塔式系泊系统两大类。由于世界各地海域的环境条件各不相同,对系泊系统的要求也不一样,根据不同的需求,又推出了很多其他类型的单点系泊方式,如可解脱式转塔系泊系统、塔式系泊系统、悬链式浮筒系泊系统、单锚腿系泊系统等,以下将分别予以介绍。

1.3.1 转塔式系泊系统

转塔系泊装置是一种钢结构装置,其上部与 FPSO 直接相连,下部与系泊线连接,顶部装有旋转接头,可以允许安装超过 50 根立管及脐带系统。FPSO 在风、浪、流的作用下可绕转塔内部轴承转动。柔性立管通过法兰与转台底部的刚性管连接。转塔式系泊系统的准确构造设计根据工作要求、船体尺寸、环境条件等不同而不同。根据转塔所在位置的不同,转塔式系泊系统通常可以分为内转塔式和外转塔式两类。

在 FPSO 所采用的系泊系统中,内转塔式系泊系统应用最广泛,如图 1-5 所示,常用于中等水深及深水海域的平台,如北海海域的 FPSO。内转塔式系泊系统的系泊装置一般设在 FPSO 的船首,转塔位于船体内部,系泊线固定在转塔底部,来自海底的柔性管汇与转塔内

部的刚性管汇连接,或直接向上连接到转塔的上部,通过旋转接头实现井口流体的转换与传输。内转塔可以用单轴承或双轴承支撑。FPSO 内转塔式系泊系统主要包括以下组成部分:

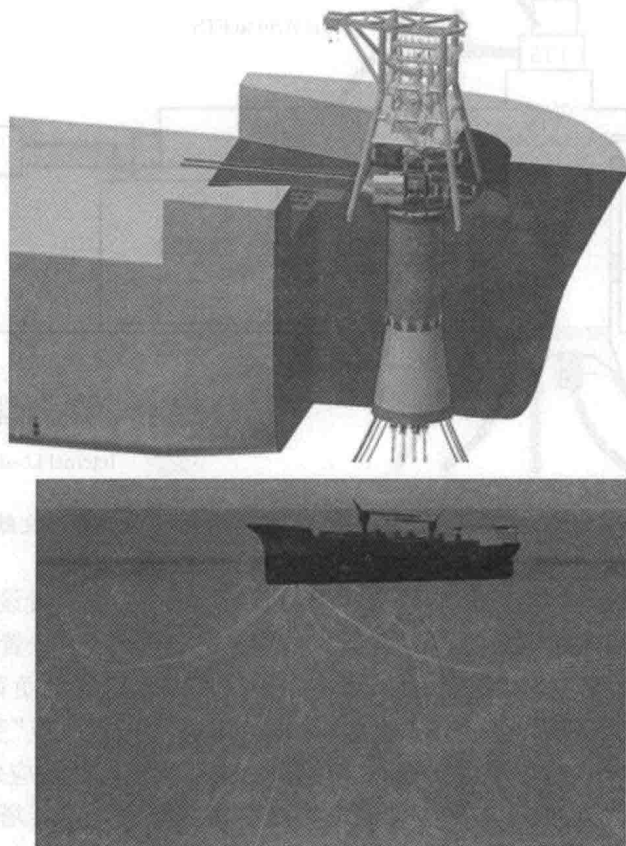


图 1-5 内转塔式 FPSO 系泊系统

(1) 转塔及其套筒

转塔是连接系泊线的部分,而安装于 FPSO 船体上与转塔对接的部分为转塔套筒(Moonpool)。两部分通过上部主轴承和下部轴承共同连接,从而允许 FPSO 根据天气情况自由地绕转塔达到一个稳定状态,并且作用于 FPSO 上的荷载最小。根据来自于海底油井的立管和脐带系统的需求不同,转塔直径通常在 5 m 到 20 m 之间。

(2) 锚

锚位于海底,用以固定系泊线的海底端。通过对系泊系统所受风、浪、流的计算来决定最优的锚布置方案,同时通过对海底地质条件的调查,确定锚的形式和尺寸。

(3) 液体传输系统(FTS, Fluid Transfer System)

液体传输系统是整个转塔式系泊系统的中心,位于转塔上部。从海底终端系统的信号、立管传输液体通过转塔传输系统(TTS, Turret Transfer System)传输到 FPSO。其基本组成部分包括立管、旋转体、船上处理管线。

(4) 龙门结构

龙门结构是位于转塔顶部的结构式平台,以适应不同的设备,如拉紧系泊线的绞盘、电

力控制设施等。

内转塔系统组成如图 1-6 所示。

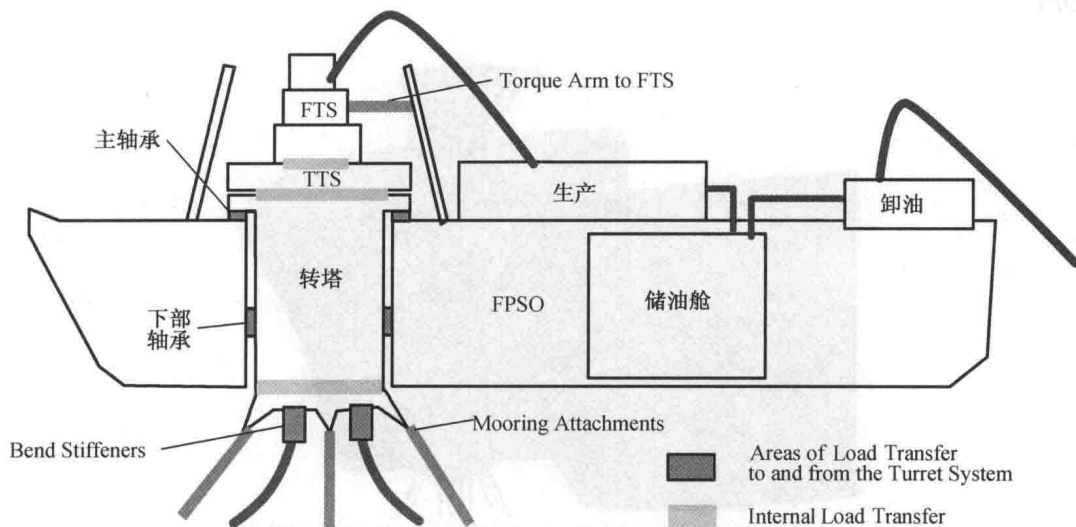


图 1-6 FPSO 内转塔系统组成及载荷传递示意图(源自参考文献[5])

内转塔式系泊系统的优点是:转塔直径可以设计得很大,为布置设备和管汇提供足够的空间,内转塔嵌入船体之中后可以得到很好的保护,内转塔系泊位置使得生产储油装置在转塔处的垂直运动相对外转塔更小,减小了系泊线和柔性立管的负荷。缺点是:转塔的存在对船体结构造成了影响,也减小了舱容,同时 FPSO 的“风标效应”受转塔位置的制约,当转塔的位置接近 FPSO 的中心时,风标效应消失。按照产生风标效应效果的强弱,内转塔式系泊系统可分为顺应式内转塔和主动式内转塔两类。顺应式内转塔轴承类型为滚柱轴承,无旋转锁紧系统,液体传输系统为多通道旋转接头。顺应式内转塔在转动时不受约束,可做 360°自由旋转,无锁紧能力,但不利于转塔维修。主动式内转塔轴承类型为滑动衬垫轴承系统,旋转锁紧系统为液压钳或液压动力油缸,液体传输系统为旋转接头或牵引链。主动式内转塔可通过锁紧装置控制船体的运动,可避免船体在卸载情况下的突发运动,但当采用牵引链作为液体传输系统时,FPSO 仅可做 270°旋转,见图 1-7 和 1-8。

外转塔式系泊系统类似于内转塔式系泊系统,只是转塔位于船体的外部,见图 1-9。其主要特点包括:

(1) 外转塔式系泊系统减少了对船体必需的维修,并且允许在码头沿岸安装,而内转塔式系泊系统只能在干坞中安装;

(2) 外转塔式系泊系统限制了立管的数量;

(3) 外转塔式系泊系统的系泊链工作台通常位于水平面以上,不影响船体的存储量,而内转塔式系泊系统的系泊链工作台则位于水下;

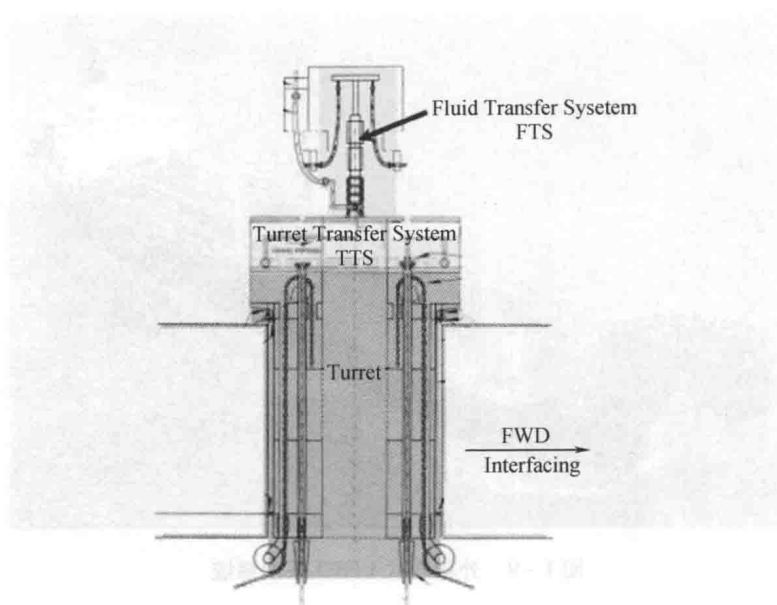


图 1-7 用旋转接头 swivel 作为 FTS 的内转塔剖面图 (源自参考文献[5])

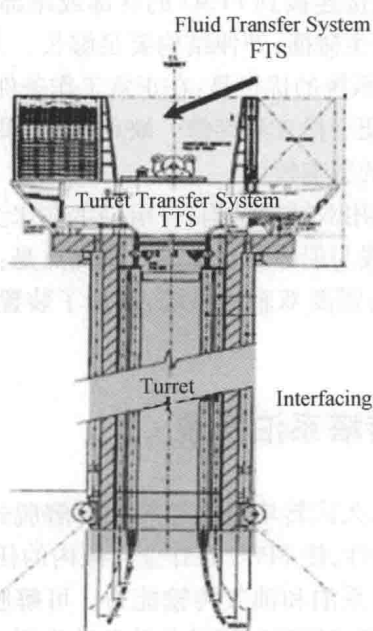


图 1-8 用牵引链作为 FTS 的内转塔剖面图 (源自参考文献[5])



图 1-9 外转塔式 FPSO 系泊系统

(4) 外转塔式系泊系统多用于浅水海域。

根据转塔外伸的位置不同,外转塔式系泊系统又可分为水上转塔系泊和水中转塔系泊两种。

水上转塔系泊装置转塔直接连接到 FPSO 的首部或尾部的外伸结构上,且位于水面以上。为了防止系泊线与船体发生碰撞,外伸结构要足够长。井口采出的油流经转塔上部的旋转接头输送到 FPSO 上。该系统的优点是:在正常工作条件下,轴承、链组、柔性管线连接部分以及转塔均位于水面上,便于检查和维修。缺点是:如果转塔外伸结构过长,在恶劣海况下,柔性立管的上部受波浪的影响较大。

水中转塔系泊装置通常采用双轴承结构,一组轴承在水上,一组轴承在水下,系泊线的固定点在水下,可以避免系泊线与船体发生碰撞。其优点是:外伸结构很小,柔性立管在水下,不受波浪的拍打。缺点是:需要双轴承系统,增加了装置的复杂性,系泊线和柔性立管需要在水下维修,操作困难。

1.3.2 可解脱式转塔系泊系统

转塔式系泊系统可分为永久式转塔系泊系统和可解脱式转塔系泊系统。永久式转塔系泊系统能够保证采油的连续性,使 FPSO 在作业年限内的任何工况下都能正常工作,并且在绝大多数工况下具有最大的系泊和油气传输能力。可解脱式转塔系泊系统具有解脱和回接功能,在极端恶劣条件下可以解脱以规避各种危险海况,更适合于恶劣环境、季节性飓风区和冰区,如美国的墨西哥湾、加拿大的东海岸等。

可解脱式转塔的设计方法有很多种,目前常用的有:立管式转塔系泊(RTM, Riser Turret Mooring),浮筒式转塔系泊(BTM, Bouy Turret Mooring),沉没式转塔装卸系统(STL, Submerge Turret Loading),沉没式转塔系泊(STP, Submerge Turret Production),分别如图 1-10至图 1-13 所示。

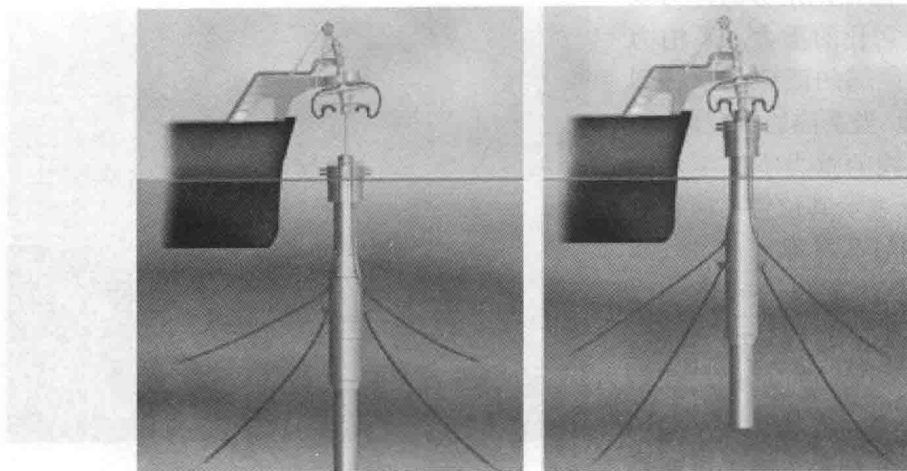


图 1-10 立管式转塔系泊系统(RTM)(源自 SBM)

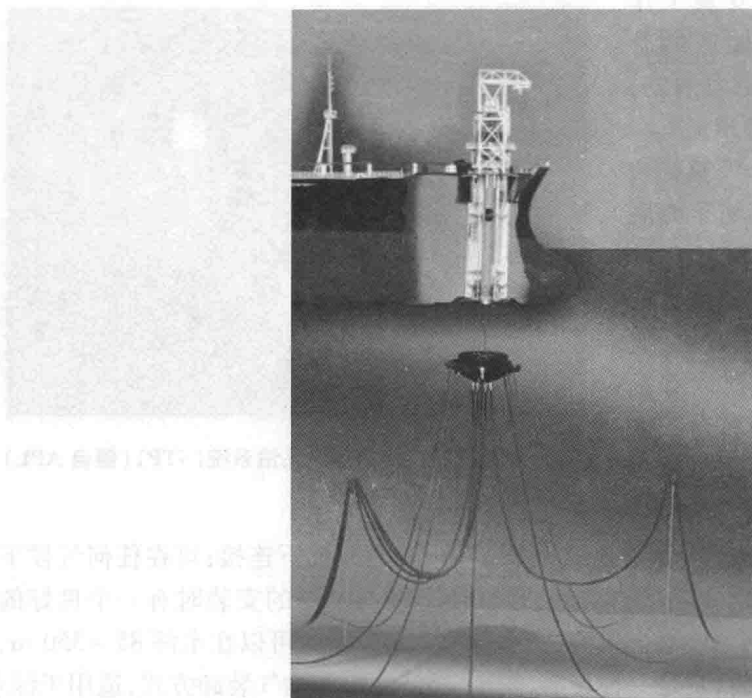


图 1-11 浮筒式转塔系泊系统(BTM)(源自 SBM)

RTM 系统主要由外伸转塔、铰接头连接器、圆柱形系泊立管、系泊链、万向接头、旋转接头及机械连接装置组成,适用于受台风影响比较频繁的海域,但它对回接海况的要求比较严格,因而不利于 FPSO 作业效率的提高。RTM 系统的优点是:投资省、易制造和拆迁、具有解脱和回接功能、系泊特性缓和。缺点是:对回接海况的要求比较严格,系统在解脱后,立管由于富余浮力的存在受波浪的影响较大,不利于回接,从而影响 FPSO 作业效率的提高。

继 RTM 之后发展起来的 BTM,在回接性能方面则有所改进。BTM 是由一个嵌入到船首的内转塔和一个“蜘蛛”型系泊浮筒组成,两者通过结构连接器连接。浮筒包括浮筒体和

系链台,浮筒体能提供足够的浮力以承受系泊线和立管的重力。系泊力的传递是通过底部的滚珠轴承传到系泊浮筒上的。当系泊船解脱时,该浮筒由于系泊线的重力下沉至水面以下,由一浮标表示其位置。回接时在船首把浮标拾起,从船底通过绞车经转塔通道拉起,完成与转塔的连接。作为早期的系泊产品,BTM 的优点是:由于浮筒与转塔的连接是在船底下进行的,因而受风浪影响小,回接操作比较容易;在恶劣海况下能靠近管汇、液体旋转接头和其他关键性部件进行维修保养;转塔安装可在坞内进行,可减少海上现场安装工作量。缺点是:浮筒体露在船底的外面,在恶劣海况下浮筒的受力加剧,不适用于更高海况的深水油田。

STL 由水下浮筒和一个完整的转塔系统组成,其核心就是系泊于海底的浮筒。该浮筒体不同于 BTM 中的蜘蛛浮筒,为圆锥形,在回接时,浮筒嵌入到船体底部的锥形浮子穴内,完成耦合式的安装连接。浮筒内部是连接系泊链和立管系统的转台。安装后浮筒的外部结构可以和船体一起绕转塔自由旋转。解脱后,浮筒将

漂浮在水中。STL 的主要特点是:能在有义波高 5~6 m 的海况下连接;可在任何气候下解脱;具有简单快速的解脱和回接功能;标准化设计使之为在与油船的安装时有一个良好的界面;灵活的系泊系统;最小的原油溢出风险,安全性高。STL 系统可以在水深 85~350 m、有义波高至 16.4 m 的海域安装,它是一种灵活、安全、经济的海洋油气装卸方式,适用于深水、浅水、浮冰区,还可作为输入输出的终端。

STP 是 STL 转塔和系泊技术与多功能旋转接头相结合的产物,是一个集系泊系统、转塔装置和旋转接头为一体的新一代内转塔式单点系泊系统。STP 系统由带有完整转塔系统的 STP 浮筒、与 STL 相仿的系泊系统、安装和捕捉 STP 浮筒的船上工作系统以及万向旋转接头组成。其中多功能旋转接头是 STP 系统的关键组成部分,它由生产集液旋转接头、电刷接头、液压控制接头和电信号接头自下而上搭接而成,是将井口油、水、气、信号和电力从与地球相对位置不变的立管内传至船上管道系统的唯一通道。STP 的特点是:标准化的 STP 浮筒设计;能为船体提供充分的风标效应效果;立管和脐带系统所占的空间及数量可调节;船体改装简易,结构影响小,且改装时间短、成本低;万向旋转接头可自由转动,不需要驱动机

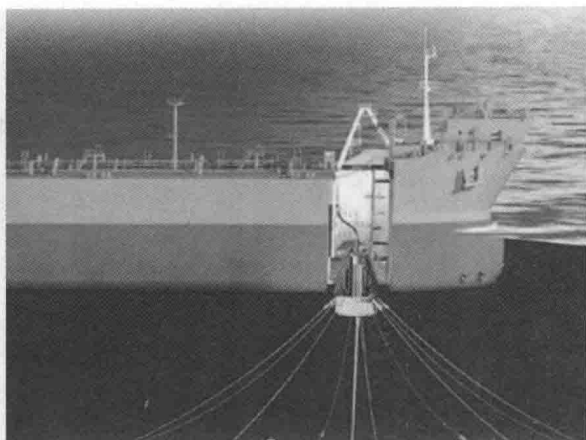


图 1-12 沉没式转塔装卸系泊系统(STL)(源自 APL)



图 1-13 沉没式转塔生产系泊系统(STP)(源自 APL)