

# 浅海 FPSO 单点系泊系统型式论证简析

张文杰 兰一雄 崔宇涛

中国海洋工程装备技术发展有限公司 上海 200010

**【摘要】**：通过调研在浅海作业的 FPSO 单点系泊系统的应用，并对不同转塔系泊装置进行适用性分析。针对近年国内海上石油开采从近岸走向浅海，逐步迈向深海，对浅海 FPSO 单点系泊装置进行分析研究，提出适合浅海 FPSO 的单点系泊装置方案。

**【关键词】**：单点系泊；FPSO；内转塔；外转塔

DOI:10.12417/2811-0528.26.16.084

## 引言

海洋是个聚宝盆，有着丰富的石油气资源。我国是个海陆兼备的国家，濒临渤海、黄海、东海、南海及台湾以东的太平洋等辽阔海域。而我国的海上油田开采已经从近岸走向浅海、深海。随着开采水深越来越深，近岸导管架平台加接岸海底管线已经不能满足开采和外输的需求，需要 FPSO 等海上浮式装备对开采的原油进行生产处理及对外输送，而 FPSO 海上浮式装备会在其 20-30 年的设计年限内在指定的作业海域位置永久系泊，在浅海特别是水深 50 米以下的海域有多种系泊定位方式。本文对位于海域水深 50 米左右作业的 FPSO 系泊定位系统进行分析。

## 1 单点系泊装置的应用

单点系泊装置的选用受到浮式装置系泊解脱模式、作业海域环境条件等影响。

### 1.1 单点系泊装置的解脱模式

FPSO/FSO 设计寿命一般不会小于 20 年，在全寿命服务周期内通常不会进坞维修，船体长期处在连续工作的状态，但当遇到台风窗口期是否需要快速解脱躲避台风是在设计系泊系统时需要确定的重要设计输入。在单点系泊系统中，台风期间系泊系统根据是否能够快速解脱分为两种模式可解脱式系泊和永久式系泊模式。

(1) 可解脱式系泊模式。可解脱式系泊是单点设备具有可快速同船体解脱与回接的功能。当台风来临前船体与单点设备解脱，通过自航或拖船拖航移位至安全海域避风。台风过后再移位至油田、船体同单点设备回接后复产。采用可解脱模式的 FPSO 设计环境条件可明显降低，通常采用一年一遇台风环境参数，在极端恶劣条件下 FPSO 可以迅速解脱以规避危险海况，一般用于恶劣环境、季节性飓风区和冰区油气田开发，从系泊系统、船体强度及立管的设计上采用较低的环境要求来降低建造成本。

(2) 永久式系泊模式。永久式系泊就是在台风期间船体与单点装置不解脱，共同抵抗台风袭击。在台风来临前需要关井停产，并将 FPSO 上人员安全撤离平台。永久式系泊模式的 FPSO 设计环境通常采用百年一遇台风环境参数甚至更高。随着单点系泊技术的发展成熟，结合 FPSO 避台风解脱对油田脱产经济性的影响。业主通过项目的经济性分析，会更倾向于采用永久式系泊，船体本身不从系泊设备解脱，而将人员撤离，在台风过后能用最少的时间回复油田生产，减少停产损失。

(3) 适用的单点系泊装置型式。现在各个厂家的单点系泊型式较多，有的仅用于可解脱系泊模式如悬链浮筒式单点系泊系统（CALM），单锚腿式系泊系统，有的即可用于可解脱系泊模式也可用于永久式系泊模式如塔架式软刚臂系泊装置、外转塔系泊装置和内转塔系泊装置。

### 1.2 单点系泊装置的功能特点

单点系泊系统相比于多点系泊系统可以抵抗更恶劣的环境条件，一般通过设于船艏的单点系泊系统将船体固定，由于船体可绕着固定点做 360° 转动，因而船体可在作业海域风浪流综合作用下一直保持在迎浪方向，形成“风标效应”。这也是转塔型单点系泊对比多点系泊最突出的优点。

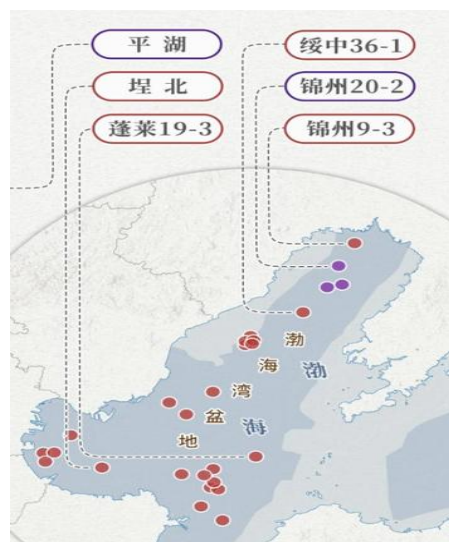
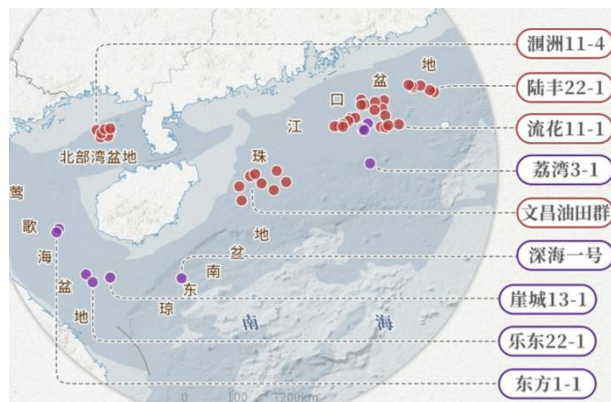
单点系泊系统具有功能如下：

- (1) 将 FPSO 定位于海上某个地理位置；
- (2) 输送井液，提供 FPSO 与井口之间的电力、通信等；
- (3) 使 FPSO 具有风向标效应，容许 FPSO 绕单点自由转动，从而有效地减少风浪流的作用力；
- (4) 单点系泊系统十分有利于穿梭油轮卸油：穿梭油轮可与 FPSO 串靠连接，形成穿梭油轮随 FPSO 同时绕单点自由转动，具有操作方便、安全、效率高等优点；

## 2 单点系统在我国及南海周边国家应用情况调研

### 2.1 我国 FPSO 单点系统的应用

我国现有 19 艘 FPSO，主要分布在渤海湾、南海北部文昌油田群和南海东部珠江盆地，作业水深从 20m 到 420m。



南海油气田分布示意渤海油气田分布示意

我国 FPSO 基本情况汇总

| 序号 | 船名            | 油田                   | 单点系泊系统  | 载重量(万吨) | 水深    |
|----|---------------|----------------------|---------|---------|-------|
| 1  | 渤海友谊号海洋石油 101 | 渤海渤中 28-1            | 塔架式软刚臂式 | 5.2     | 23 m  |
| 2  | 渤海长青号海洋石油 102 | 渤海渤中 34-2            | 塔架式软刚臂式 | 5.2     | 20 m  |
| 3  | 渤海明珠号海洋石油 105 | 渤海绥中 36-1            | 塔架式软刚臂式 | 5.8     | 32 m  |
| 4  | 渤海世纪号海洋石油 109 | 渤海秦皇岛 32-6           | 塔架式软刚臂式 | 16      | 20 m  |
| 5  | 南海奋进号海洋石油 110 | 南海文 13-1/13-2        | 内转塔式    | 15      | 117 m |
| 6  | 海洋石油 111      | 南海番禺 4-2/5-1         | 内转塔式    | 15      | 105 m |
| 7  | 海洋石油 112      | 渤海曹妃甸 11-1/11-2      | 塔架式软刚臂式 | 16      | 24 m  |
| 8  | 海洋石油 113      | 渤海渤中 25-1            | 塔架式软刚臂式 | 16      | 18 m  |
| 9  | 海洋石油 115      | 南海西江 23-1            | 内转塔式    | 12      | 90 m  |
| 10 | 海洋石油 116      | 南海新文昌 19-1/15-1/14-3 | 内转塔式    | 12      | 123 m |
| 11 | 海洋石油 117      | 渤海蓬莱 19-3 II         | 塔架式软刚臂式 | 30      | 25 m  |
| 12 | 海洋石油 118      | 南海恩平 24-2            | 内转塔式    | 15      | 90 m  |
| 13 | 海洋石油 119      | 南海流花 16-2            | 内转塔式    | 15      | 420 m |

从上表中可以看出，在南海北部海域文昌油田和南海东部海域番禺、恩平等油田水深在 90~123 米，海洋石油 119 位于的流花油田水深达到了 420 米，FPSO 单点系泊系统均采用了内转塔型式。而渤海油田水深在 18~32 米，FPSO 单点系泊系统均采用了塔架式软刚臂型式。

### 2.2 我国周边国家海域水深 50 米左右 FPSO 单点系泊应用情况

根据统计全球部分 FPSO 相关信息，选取调研水深 50 米

左右南海西南部周边国家 FPSO 项目系泊型式实例。

(1) 越南 FPSO 系泊型式应用。越南海域位置距离南海北部湾最为接近，海况环境相似，风的季节变化明显，冬季表现为东北季风，12 月份平均风速最大为 4.8m/s，各月有效波高约在 0.45 米-0.65 米之间，最大可达 1.36 米。夏季表现为西南季风 8 月平均风速最大为 3.8m/s，各月有效波高在 0.33 米-0.61 米之间，最大可达 1.3 米。

越南 FPSO 项目在南海附近 50 米左右水深系泊型式：

| 船名             | 水深(米) | 系泊型式  |
|----------------|-------|-------|
| ARMADA TGT1    | 47    | 外转塔   |
| BA VI          | 48    | 浮筒软刚臂 |
| CHI LINH       | 50    | 浮筒软刚臂 |
| CUULONG MV9    | 48    | 外转塔   |
| RUBY II        | 49    | 外转塔   |
| SONG DOC MV19  | 55    | 多点系泊  |
| Ruby Princess  | 50    | 外转塔   |
| PTSC Lam Son   | 51    | 外转塔   |
| Thai Binh Vien | 52    | 外转塔   |

从上表分析,越南FPSO大都是采用外转塔型式,MV19更靠近泰国湾湾口采用了多点系泊,有两艘采用了浮筒软刚臂最多只能抵抗十年一遇极值环境。

(2) 近南海西南部其它国家浅水FPSO系泊型式应用。南海西南部周边国家除了越南,主要还有泰国和马来西亚。泰国FPSO项目主要分布在泰国湾海域,马来西亚浅水FPSO项目主要分布在马来西亚西部海域靠近泰国湾湾口,两者海况环境相似,偶尔会受到台风影响,但强度不高。其气候属于热带季风气候,每年11月份至次年3月份盛行东北风,4月到10月盛行西南风,除湾口外,湾内全年各月平均浪高小于1m,平均水深45.5m,最大深度86m。百年一遇海况下波浪有义波高为4.5m,谱峰周期为7s,1小时风速主极值为18.3m/s,海流的主极值为0.93m/s。该海域海况气象环境明显优于我国南海海域。

近南海西南部其它国家FPSO在50米左右水深系泊形式:

| 国家       | 船名                  | 水深(米) | 系泊型式 |
|----------|---------------------|-------|------|
| Malaysia | BUNGA KERTA         | 62    | 外转塔  |
| Malaysia | PERINTIS            | 75    | 外转塔  |
| Malaysia | MV29                | 71    | 多点系泊 |
| Malaysia | Mampu 1             | 67    | 多点系泊 |
| Malaysia | FPSO Cendor         | 70    | 多点系泊 |
| Malaysia | FPSO Bertam         | 66    | 多点系泊 |
| Malaysia | MTC Ledang          | 71    | 多点系泊 |
| Malaysia | FPSO Berantai       | 64    | 多点系泊 |
| Malaysia | FPSO Helang         | 94    | 内转塔  |
| Thailand | JASMINE VENTURE MV7 | 60    | 外转塔  |
| Thailand | TANTAWAN            | 74    | 外转塔  |

|          | EXPLORER |    |     |
|----------|----------|----|-----|
| Thailand | FPF-003  | 60 | 外转塔 |

从以上表格分析,马来西亚浅水FPSO位于泰国湾以南海域,大多采用多点系泊型式,在更深的94米水深海域用到了内转塔型式,在75米水深以下有两艘外转塔型式。泰国的FPSO项目在泰国湾内几乎都是采用的外转塔型式。

### 2.3 对我国及南海周边国家FPSO单点系泊型式应用分析

在海域环境条件较好的马来西亚浅水FPSO大多采用多点系泊,而塔架式软刚臂型式的单点系泊系统最大水深用在了32米,没有更深水深的使用案例。在环境较恶劣的50米左右及以上水深海域,内外转塔是更多被采用的单点系泊系统装置。

### 3 内外转塔单点设备适用性分析

(1) 内转塔适用性分析。在北海、墨西哥湾和南海海况恶劣的海域使用FPSO就要考虑减少船体和转塔处立管系统的运动响应。内转塔单点系统能平衡风向标效应和减小船体转塔处立管系统运动响应,是在恶劣海况海域FPSO的主要系泊形式。统计数据表明,超过1/3的FPSO采用内转塔系泊系统。内转塔系泊装置优点是转塔直径可设计得很大,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得到很好的保护。不足之处有二:一是转塔的存在对船体结构造成了影响,也减少了舱容;二是系泊船的“风标效应”效果受转塔位置的制约。适用于中等程度到恶劣海况区以及深水区作业,如墨西哥湾、北海、北大西洋、中国海以及巴西、澳大利亚和新西兰外海等。

(2) 外转塔适用性分析。外转塔型式抵抗恶劣天气环境能力较内转塔稍弱,在50米至2000多米水深都有不少使用案例。其装置通常设计在船首或悬伸出船首,优点是无需将船体拖至船坞内进行大范围的改装、方便转塔的维修与检查、建造周期短、经济性高,并且不会影响油轮存储容量和甲板布局。但其缺点也同样明显,首先,生活楼将位于滑环下风向,后者是潜在最大的泄露风险源,其次,波浪冲击的时候,远离船舶重心的船首运动响应最大,特别是在深水系泊时,单点位置前移会导致立管荷载的动态放大效应,而且外转塔单点的立管和转塔都在波浪拍击的范围内,不适合环境条件过于恶劣的海域,因此外转塔单点多用于巴西海域,南中国海南部海域(包括越南海域、印尼海域、泰国海域),澳大利亚海域,非洲海域)等。

(3) 塔架式软刚臂适用性分析。塔架式软刚臂型式抵抗恶劣天气能力弱,大部分使用案例均在我国渤海海况良好、水深较浅的FPSO项目上,最大使用的水深仅30米左右。优点

是建造安装可以与船体分开进行不影响船体的建造周期,且价格较转塔有很大优势。

#### 4 结语

(1) 我国 FPSO 作业水深分布主要在渤海的 18~32 米以及南海的 100 米左右海域,最深的是海洋石油 119 在南海流花的 420 米作业水深。在渤海 FPSO 主要采用的是塔架式软刚臂式系泊装置,在南海则都是采用的内转塔系泊装置,国内没有外转塔的使用案例,现也没有 50 米左右水深作业的 FPSO。

(2) 我国南海周边海域其它国家在水深 50 米左右的 FPSO 多采用了外转塔系泊装置,外转塔系泊装置相较内转塔安装更容易,建造周期更短,价格更便宜,但是其立管安装位置在水面以上,立管及系泊链会长期受到海水抨击,疲劳寿命不如内转塔,所以其适用海域环境不如内转塔恶劣。

(3) FPSO 在国内浅海 50 米左右水深的作业是个空白,内转塔系泊装置和外转塔系泊装置都可作为其永久式单点系泊的选择。

#### 参考文献:

- [1] Design and Analysis of Station keeping Systems for Floating Structures.API RECOMMENDED PRACTICE 2SK THIRD EDITON, OCTOBER 2005.ADDENDUM,MAY 2008.REAFFIRMED,JUNE 2015.
- [2] 吴希明,王明龙,林华春. 涠洲海域 FPSO 单点系泊型式研究技术研究 2018 第 10 期.