

FPSO-STP 中深水单点系泊系统

谭静轩, 刘振国, 景勇
(中海石油基地集团采油服务分公司)

摘 要

结合“南海奋进”和“海洋石油 111”FPSO 单点系泊系统 (STP-Submerge Turret Production) 在中国中深海油田开发中的应用实例, 探讨了该类单点系泊系统 (STP) 在设计、建造及海上安装方面应注意的问题, 并针对这两艘 FPSO 单点系泊系统在投入使用后所出现的问题进行了分析。对未来该类单点系泊 (STP) 的设计、建造和海上安装提出了建议, 阐明了该类单点系泊系统 (STP) 在中国海域的应用前景。

关 键 词: FPSO; STP 系泊系统; 中深海域油气田开发

随着海洋石油开发向纵深海域的发展, FPSO (Floating Production Storage and Offloading Units) 装置在海上油气资源开发中的广泛应用, 如何在中深海域使 FPSO 系泊系统安全有效地工作就成为作业者们所关心的关键问题之一。

根据 FPSO 作业环境和作业水深, 采用的系泊系统是不一样的, 目前世界上所用的系泊系统主要包括有塔式 (Tower) 系泊、浮筒 (Buoy) 系泊、散射 (Spread) 系泊和转塔式 (Turret) 系泊等。对于南中国海处于热带风暴海洋环境区域, 通过试验分析和实际应用, 采用内转塔系泊系统及 STP (Submerge Turret Production) 系泊系统比较合适, 目前基本均采用这种系泊方式。STP 是内转塔系泊系统中的一种系泊系统, 该技术由挪威 APL 推出。

1 STP 系泊系统介绍

STP 是一种简单、紧凑和柔性塔式系泊的有效方式, 目前广泛应用于 FPSO 内转塔的系泊方式。STP 系统的核心就是将浮筒系泊到海床上, 系泊系统与 FPSO 船体通过一个锥度匹配的浮筒连接在一起。浮筒的内部就是连接系泊和立管系统的塔, 浮筒外壳与船体一起通过两组轴承能够围绕浮筒轴芯做自由旋转运动。STP 通过各类不同的滑环 (旋转连接器) 实现 FPSO 与井口平台之间的液体、气体、动力和信号的传输。

STP 主要由一个 STP 浮筒、吸力锚及系泊链、液压系统、应急系统、污油处理系统、PLC 控制系统、提升系统、锁紧装置和旋转头总成等等构成。

STP 的基本特点主要体现在以下几个方面:

- 适应性强, 应用范围广; 可以适应不同装载的油轮和恶劣的海域;
- 该系统可以最大程度地减少船体的受力 (风向标原理减少船体受力);
- 在立管和脐带的数量和能力上具有较大的弹性;
- 构造结构简单;
- STP 系统的操作和维护量小;
- 浮筒的几何尺寸已经标准化;

- 旋转头总成被动旋转，不需要驱动装置；
- 液压加机械密封系统；
- 整个系统的安全系数高。

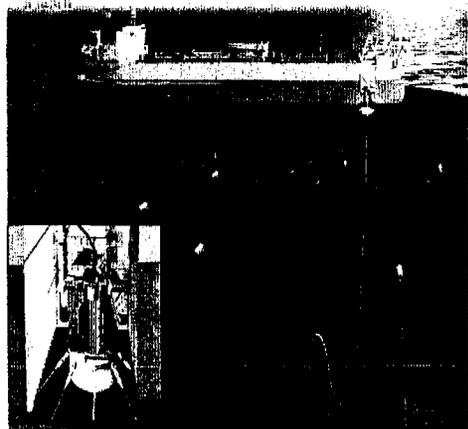


图1 STP系泊系统布置总揽图

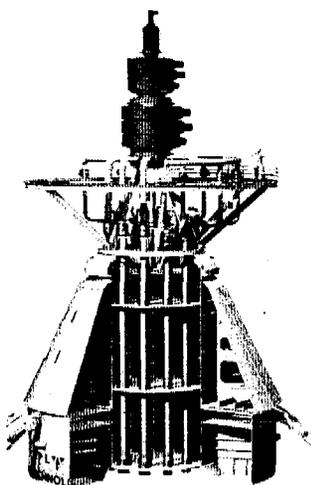


图2 浮筒及旋转头总成

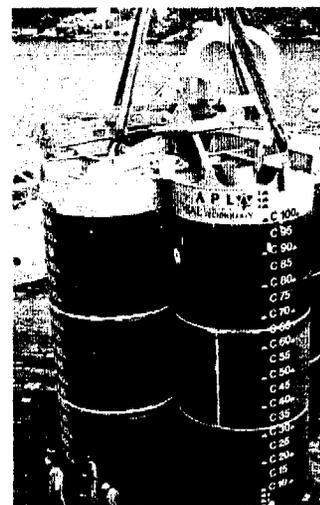


图3 吸力锚

STP系泊系统由于操作简单、结构紧凑和设计灵活等特点而被应用，目前这种方式在南中国海和北海应用较多。最早使用STP系泊系统的是1997年的南中国海陆丰油田，其作业水深约为330m。下面是STP的应用状况统计表：

表1 STP应用状况

油田	陆丰	Pierce	文昌	番禺	Alvheim
作业者	Statoil	Shell	CNOOC	Devon	Marathon
油田位置	南中国海	北海	南中国海	南中国海	北海
水深(m)	330	85	110	110	125
应用	FPSO	FPSO	FPSO	FPSO	FPSO
系泊腿/锚	6/吸力锚	8/基盘	9/吸力锚	9/吸力锚	12
设计环境(m)	7	12.8	12.3	13.1	14.6
设计装载(t) DWT	100000	103000	160000	150000	不详
设计油田产量 (bpd)	60000	60000	60000	70000	50000
安装时间	1997	1998	2002	2003	2006

2 STP系泊系统的设计、建造及海上安装

2.1 STP系泊系统的设计

STP系泊系统的设计要考虑的限制因素主要有：该海域的风浪条件、水深、潮流强度、海床情况、FPSO的回转半径、作业者要求的最大安全系数、锚链的布置和根数、单锚链的最大受力、FPSO全年最大的受力方位、STP系统所允许的最大重量、STP的安装位置、STP的工作温度、恶劣海况下是否解脱等等因素。

在设计过程当中，设计工程师根据限制因素进行受力分析计算，在分析过程中采用‘准静力法’，结合流体静力学、流体动力学、波浪理论、波谱理论以及统计理论进行计算，然后得出最佳的设计

方案来满足所业者的要求, 达到即适用又经济的目的。关于这些力的计算已经开发出多个计算软件, 船级社对该系泊系统的建造和入级也有了专门的规范。

另外, 在中深海中的 STP 系泊系统的锚链设计时, 由于 FPSO 所受的垂向载荷增加、水平恢复力降低和漂移增大, 又由于系泊线的长度与水深成一定的比例关系, 水越深, 锚链越粗, 重量越大。而系泊线的悬链部分(除了卧在地面上的部分外)的重量全部由船体承担, FPSO 就需要牺牲宝贵的载重量(DWT)。因此, 这就要求设计者想方设法降低系泊线单位长度的重量。“南海奋进”和“海洋石油 111”号 FPSO 的系泊系统中的悬链部分就是采用钢缆代替锚链, 有效地减少了悬链部分的重量。正常情况下相同受力下, 钢缆的重量是锚链重量的 1/5 到 1/3。

同样道理, 在极深海域(3000m)进行油田开发, 如果采用 STP 系泊系统, 那么钢缆也变得不适用了, 而采用更轻的聚酯纤维缆替代钢缆。它的优点是: 强度/重量比大、弹性好; 成本也比钢缆低得多, 最长达 50%。研究分析表明, 聚酯纤维缆在深水、环境条件恶劣的海域应用, 有十分明显的优势。对于在极深海域进行油田开发, 如果海况较好, FPSO 采用动力定位系统进行控制也是不错的选择。

除了上述的设计外, 设计时还必须充分考虑到后期的维修和操作空间。“南海奋进”号的“清管器接收系统”就没有考虑到操作和维修空间, 因为设计时没有设计一个与该系统保持相对静止的一个操作平台, 从而导致接收“清管器”时操作非常困难并且操作起来非常危险。“海洋石油 111”的浮筒转动刻度盘设计时就没有充分考虑到船体的转动和浮筒动密封仪表气管之间的摩擦, 从而导致浮筒动密封在单点系泊系统投用后不久就被撕裂而损坏。

2.2 STP 系泊系统的建造

STP 系泊系统主要由单点舱内的转塔、浮筒、钢缆/锚链、吸力锚、液压系统、提升系统、应急处理系统、船体单点回接舱等八部分组成, 在建造时都是分别建造, 然后到目的地进行安装。对于转塔、浮筒、钢缆/锚链、吸力锚、液压系统、提升系统等六部分由系泊系统厂家根据设计图纸完成建造, 取得相关船籍社证书后交付安装使用; 油田作业者主要工作就是进行质量监督和资料收集, 确保质量和进度。对于单点回接舱以及其它支持结构的建造, 由船体建造厂完成, 在建造过程中, 船厂必须严格按照设计图纸施工, 特别是浮筒回接舱, 如果与图纸有误差, 就可能严重影响下一步的海上回接, 因为回接舱的尺寸和锥度与浮筒的尺寸和锥度不匹配就无法完成海上回接工作。还有就是结构强度和刚度, 必须保证按照设计选材和施工, 确保整个单点舱的强度和刚度满足设计要求, 这样才能确保该系统的后期很好的使用。建造质量的好坏, 直接影响到后期的安装和使用, “南海奋进”和“海洋石油 111”号 FPSO 的 STP 系统在建造过程中就很好地做到了这一点, 直到现在都没有出现大的由于建造质量问题引起的故障发生。

另外为了满足安全要求, 在单点舱内还需建造消防系统、应急管段系统、通风系统、火气系统和 CCTV 及广播系统来满足在舱内工作和检查的安全。

2.3 STP 系泊系统的安装

STP 系统的安装分为三个部分, 第一部分是单点舱的转塔、液压系统和提升系统的安装, 第二部分是海上吸力锚及钢缆、浮筒、软管和电缆等的安装, 第三部分是海上的回接。

2.3.1 单点舱的转塔、液压系统和提升系统安装

单点舱的转塔、液压系统和提升系统的安装是在船厂船体建造阶段进行: 转塔的安装又包括原油滑环、电滑环、公用滑环的安装等等, 同时还包括电缆及原油管线的敷设; 该部分的难点是如何吊装才不会损坏所有滑环的密封和穿越电缆, 以及测试舱内滑道与转塔之间的配合是否满足要求。液压系统的安装主要指操作转塔和提升绞车用的主副液压站的安装, 以及液压管线的敷设; 该部分的难点是液压系统的串油工作是否彻底(达到设计要求), 如果串油不达标就将影响到提升大绞车的工作和原油滑环密封部的工作, 后果不堪设想。提升系统的安装是指大绞车、提升缆和大绞车操作站等的安装; 该部分的安装重点在大绞车与其基座之间的安装, 因为该部在回接过程中将受到几百吨的水平拉力, “南海奋进”号 FPSO 在回接过程中最大拉力在 280t 左右, “海洋石油 111”号 FPSO 在回接过程

中最大拉力在 340t 左右, 所以该部分的强度是否达到设计要求是回接能否成功的关键之一。

2.3.2 海上吸力锚及钢缆、浮筒、软管和电缆等安装

海上吸力锚及钢缆、浮筒、软管和电缆等的安装是在海上进行, 在安装该部分之前必须完成海底管线和电缆的敷设, 只有海底管线和电缆敷设到设计的海床后才能开始该部分的工作。该部分安装主要是指吸力锚的抛放, 在抛放吸力锚时需要借助于卫星定位系统、浮吊和拖轮, 按照设计通过卫星定位系统和拖轮将吸力锚及相连的锚链分别布置到指定位置, 只有每一个吸力锚都基本布置到了设计位置后才能保证浮筒的位置, 否则将给海上回接工作带来困难。由于吸力锚和锚链及钢缆特别重(根据水深的不同重量有所不同), 所以在选用拖轮的时候一定要考虑拖轮的最大托拉力和合适的天气, 不然就会增加工作的难度。“南海奋进”号油轮在安装吸力锚的过程中, 就出现过天气变坏而增加了施工难度和延缓施工进度。另外抛放任意一个吸力锚及锚链时都必须保证其指示标可靠并容易发现, 特别是在中深海域, 不然将发生连接时找不到锚链的情况。

2.3.3 海上回接

海上回接也是在海上进行, 该步是最后一步, 如果回接成功, 就标志作单点的安装工作完成 95% 以上的工作量, 实施该步工作至少需要三艘拖轮和卫星定位系统支持。当 FPSO 拖拉到位前, 就需要在 FPSO 的首尾各连接一艘拖轮用于控制油轮的运动轨迹, 同时通过卫星定位系统确认浮筒所在位置, 充分考虑风向和潮流, 让油轮从浮筒的下游海域缓慢靠近浮筒所在位置, 直到油轮上的单点回接舱基本处在浮筒所处位置的上方时保持油轮的位置。然后通过提升大绞车、信号线、引缆和提升缆将浮筒慢慢提升到回接舱, 直到指示系统显示浮筒已经就位后启动单点舱内的液压锁紧装置将浮筒锁紧在单点回接舱内, 最后通过 FPSO 尾部的拖轮托着油轮做 360° 转动, 如果转动顺利, 就标志着油轮回接成功, 这以后油轮就会通过浮筒上的旋转总成围绕浮筒芯轴旋转。在这过程中, 我们必须确保油轮的运动轨迹要平缓, 不要有大的波动; 同时必须保证卫星定位系统工作可靠。卫星定位系统的工作人员在确定浮筒位置和测量单点回接舱的位置时一定要确保准确无误, 否则将导致回接工作受阻。在“海洋石油 111”油轮回接的过程中, 就由于卫星定位系统的工作人员没有准确测量单点回接舱的具体位置, 导致回接时油轮的回接舱位置与浮筒所在位置的误差达到 10m 以上, 最终导致油轮艏部拖轮的拖缆在回接过程中拉断; 提升绞车的提升力达到 340t, 超过设计提升力 40t 以上, 这些都给我们回接工作带来了极大的安全隐患。另外在回接之前, 我们必须检查液压系统的冷却系统是否能够很好工作, 如有必要就应该对该冷却系统的换热器进行清洗。因为在提升过程中, 液压油的温度会升高, 从而降低液压系统的安全操作性能。

3 STP 系泊系统的操作与维护

3.1 STP 系泊系统的操作

STP 系泊系统的日常操作主要包括清管器的接收、液压系统、应急系统的操作以及原油滑环的清洗等:

为了保证海底管线内没有沉砂和接蜡现象出现, 保证海管的流通能力, 就需要对海管进行定期冲刷以保证管线畅通, 特别是对于稠油或出砂严重的油田。冲刷的一般作业程序是通过井口平台的清管器发送器发送一个清管器到海管里, 然后通过压差将清管器推送到油轮 STP 系统的清管器接收器中, 油轮操作人员在 STP 舱内将清管器取出。清管器的工作方式是依靠安装在其上的塑料刷子或依靠清管器的外表面将海管的内表面刷一次, 然后依靠液体的流动再将内表面冲洗干净, 从而达到清洗海管的目的。清管器的发送和接受系统的设计根据不同油田的油品有所区别, “南海奋进”号 FPSO 的清管器接收系统操作难度高, 操作步骤繁琐, 并且又没有操作平台; 而“海洋石油 111”油轮的清管器接收系统相对于“南海奋进”号的设计就合理的多, 它设计简单操作方便, 并且有固定操作平台。

液压系统的操作, 正常情况下该系统处于自动控制状态, 基本不需要任何人为操作; 但当单点舱

发生大量泄漏,就需要人为操作液压应急排污泵进行处理。应急系统的操作主要是指对单点转塔上的应急关断阀的操作,正常情况下该系统也是出于自动控制状态,只有当控制系统发生故障时才采取人为控制。原油滑环的清洗是在需要对原油滑环进行维修之前,需要在转塔下游管线的连接头处注入热的淡水,然后在转塔的上游(应急关断阀的下游)的排放口处排放,直到出来的热水干净后结束清洗作业。

3.2 STP 系泊系统的维护

STP 系泊系统的维护工作主要包括液压系统的维护、浮筒动静密封的维护、电滑环及接线盒的维护、单点污水井内液位仪表和排污泵的维护、提升系统的维护等等:

(1) 液压系统维护

液压系统的维护主要包括对主辅液压泵的维护,液压密封件的维护、仪表和控制站的维护以及液压管线的维护等。主液压泵是斜面式活塞泵,辅液压泵是齿轮泵,对于这两类泵的维护主要根据 C 文件要求进行,正常情况下只需对其工况进行日常巡检;对于液压密封件的维护是指对有泄漏的密封部位进行维修;对于仪表和控制站的维护主要是指对压力仪表和液位仪表的维护,以及对 PLC 故障的排除;对于液压管线的维护是指对损坏或泄漏的管线进行维修。由于该系统相对中控系统来说比较简单且独立性较强,所以维护量较少,到目前为止,“南海奋进”和“海洋石油 111”号油轮的单点液压系统没有发生过大的故障,只是对几个损坏了的压力仪表进行过更换。但液压密封在“海洋石油 111”的单点系统中的流量调节阀处就发生过,由于该处密封的刮油片安装时没有安装好,导致在使用时刮油片损坏密封圈而发生液压油泄漏,更换刮油片和密封圈后恢复正常。

(2) 浮筒动静密封维护

浮筒动静密封的维护主要包括对其密封气源和压力进行检查、对动密封槽的清洁和动密封的更换等工作。由于动静密封均是采用气囊式密封,所以气压的大小直接关系到密封的效果和密封气囊的使用寿命,在“南海奋进”和“海洋石油 111”号油轮上的动静密封的密封气压力一般保持在 1.5 公斤左右。由于动密封安装在浮筒外侧的上部,在单点舱内可以对其进行维护,又由于该部分总是有一些杂质或海水进入,影响该部的密封效果,所以就经常对其进行清洁。清洁比较简单,首先需要将船首的吃水调到 8m 以下,然后拆除动密封的压盖就可以进行清洁了。在“南海奋进”和“海洋石油 111”号油轮上,由于设计的原因,动密封气囊都发生过损坏;由于该气囊是用纤维素 B 做成,所以发生损坏后就只有更换新的,但更换时对于接头的处理必须严格按照维修程序进行才能保证密封效果。

(3) 其它附件的维护

对于电滑环及接线盒的维护主要是进行外观检查,确保接地线完好、密封元件无损坏、加热器工作正常等,如果需要开盖检查就必须停产放电后进行作业;电滑环的维护主要是指对电滑环的接触和锁紧装置的检查,以及加热器和密封元件的维护。对于单点污水井内液位仪表和排污泵的维护主要工作是保证液位变送器的通讯正常,能够准确反映污水井内的液位;还有就是保证启动排污泵工况良好。对于提升系统的维护主要就是对提升大绞车的保养,由于该绞车在回接结束后几年或十几年时间里都不会使用,为了确保在以后能够再使用就必须对其进行保养,保养的工作主要是指除锈刷漆和液压管线的维护。

4 对 STP 系统设计的探讨

“南海奋进”和“海洋石油 111”号油轮 STP 系泊系统使用至今,还没有发生过较大的由设计不当而引起的问题。但为了以后该系统能更好地适应中深海域的作业,有以下四个地方值得改进:

首先是单点转塔中的应急关断阀和清管器接收系统的隔离阀之间的距离太近,该距离没有一个清管器长度长。这样如果清管器在海管中被损坏而不能完全推进到清管器接收装置中去,这时就只有要

求停产、冲洗海底管线,然后排液取出清管器;并且保证应急管断阀在这期间不会关闭,否则就有损坏应急关断阀阀芯的危险。如果我们将应急关断阀和清管器接收器的隔离阀之间的距离增加到大于清管器长度的 1.1 倍,那么如果发生清管器不能完全进入接收器,我们就可以临时停产关闭应急关断阀,排液后取出清管器,这种方式比现在“南海奋进”和“海洋石油 111”号油轮的设计至少每次可以减少 5 个小时的作业时间,同时还可以大大降低作业风险(不存在溢流原油的风险)。

第二就是单点舱内的电缆接线盒的高度有缺陷:“南海奋进”和“海洋石油 111”号油轮 STP 系泊系统中的电缆接线盒的高度在离船底 9m 左右的位置(正常情况下船首的吃水深度在 9m 以上),虽然该接线盒的防护等级是 IP56 的,但万一浮筒的动静密封失效,发生大的泄漏导致单点舱内严重进水,这样就有可能导致海水进入接线盒而对电缆的绝缘造成严重影响,这就降低了单点系统的安全系数。如果我们将该高度增加一米以上,就可以大大增加该系统的安全系统,同时也利于平时的维护保养。

第三就是提升系统的大绞车,该绞车只在 STP 系统回接或需要解脱时才使用,平时根本利用不上而长期暴露在阳光和风雨中,这样会给该绞车带来严重的腐蚀。如果我们在设计时为其设计一个可拆卸的房屋来遮挡风雨,这样就可以解决外界的腐蚀问题,同时也利于我们平时的保养维护。

第四在设计单点塔及软管的工作温度时,应充分考虑到地质情况的不确定性,尽量将安全系数提高,这也许将增加不少的项目费用,但可以为后期的使用带来很大的经济效益和增加整个油田的安全系数。如“海洋石油 111”的 STP 系泊系统的设计操作温度是 75℃,但现在整个油田的井液温度在 90℃以上,到达油轮的温度在 80℃左右,这已经超出了设计的操作温度,必将影响到 STP 系统的使用寿命,有可能还会带来极大的溢油事故。

5 结 语

随着中国国内对能源需求量越来越大,以及海洋石油总公司的不断发展,可以预测 FPSO 在未来的海洋油气田开发中将扮演越来越重要的角色,特别是在离陆地较远的中深海域,由于建陆地终端的成本远远高于建 FPSO 费用,所以在中深海域进行油田的开发,选择建 FPSO 作为终端将是一种趋势,这就必然会对系泊系统提出越来越高的要求。由于南中国海的海况比较恶劣,通过前面比较分析,不难看出 STP 系统在恶劣的中深海域 FPSO 的利用上具有许多优点,必将导致该系统在我国海域具有很好的利用前景。

STP Mooring System of FPSO in Middle & Deep water

TAN Jing-xuan , LIU Zhen-guo, JING Yong
(Production Service Co., CNOOC Oil Base Group Ltd.)

Abstract

In this paper, combining with the STP(Submerge Turret Production) mooring system of "NanHaiFenJin" and "HaiYangShiYou 111", we have elucidated that this type mooring system has a good application during the oil field exploitation at the sea area of middle & deep water. And then considering all the problems that had happened at the mooring system of "NanHaiFenJin" and "HaiYangShiYou 111", we have discussed all the problems and gave some advices that we should pay more attention during the designing and building and installation of this STP mooring system, and analyzed the good application market in China Sea.

Key words: FPSO, STP mooring system ; oil field exploitation for middle & deep water