

浅谈浮式生产储卸油装置

运动与倾斜对油气生产的影响

李 治 曹 贵 曾楠诺 刘 哲 王 伟

(中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057)

摘要: 浮式生产储卸油装置依靠单点系泊系统系泊于作业海域, 在风浪、洋流以及不同的压配载情况下, 船体会处于不同的倾斜状态, 同时产生围绕单点的旋转运动与不同维度的摇荡运动。本文实例分析了船体倾斜、摇荡, 对 FPSO 上的油气生产设备、生产处理系统产生的影响, 并提出了相应的改进措施。对后续 FPSO 设计建造、生产运营具有一定的指导意义。

关键词: FPSO; 倾斜; 摇荡; 油气生产设备; 生产处理系统; 影响

0 引言

浮式生产储卸油装置(floating production storage and offloading, FPSO)可对海上开采出的石油进行处理、存储、外输, 并可自主发电提供动力, 以及为海上工作人员提供生活支持等。FPSO 依靠单点系泊系统, 可根据风浪、洋流等情况 360° 自由旋转, 具备较好的抗风浪能力, 同时具有适应水深范围广、可转运使用等优点, 在世界各油气聚集海域有着广泛运用。我国是世界上使用 FPSO 最多的国家之一, 目前在役的 FPSO 已达 18 艘, 支撑着国内海上油气约 80% 的产能。

1 南海某 FPSO 概况

南海某 FPSO 总体布置, 船体长, 船体宽, 船体甲板至船底高, 该 FPSO 主要由单点系统、船体、上部模块三大部分构成, 单点系统为内转塔式布置于船头, 船体部分主要有压载系统、货油系统等, 上部模块从船头至船艉分别布置工艺模块、热站模块、动力模块, 生活楼模块。

根据油田原油特性, 该 FPSO 设计了两套原油处理系统, 分别用于处理轻质原油和中质原油。轻质原油处理系统主要由轻质一级分离器、轻质二级分离器、轻质输送泵等组成, 中质原油处理系统主要由两套并行的中质一级分离器 A/B、中质二级分离器、电脱水器、中质输送泵等组成。两个系统的含水原油分别经过各自的处理流程进行脱气、脱水处理后再混合在一起进入货油舱进行储存与外输, 系统分离出的天然气经过燃气处理系统冷却、过滤、压缩等工艺后供电站等系统使用, 分离出的生

产水进入生产水舱经静置沉降后, 通过生产水处理系统处理合格后直接排放, 用于压力泄放的闭排系统布置于靠近船头部分的主甲板上。

2 FPSO 倾斜对生产动设备的影响

2.1 FPSO 右倾导致燃气压缩机关停

该 FPSO 在工艺模块纵向布置有两台燃气压缩机, 用于将天然气进行压缩处理。该油田在投产初期, 夜间多次出现由压缩机曲轴箱滑油液位开关低低信号触发导致的压缩机停机而引发的生产关停, 造成大量产量损失。最终排查发现两台压缩机的滑油液位开关均布置在曲轴箱左侧, 当船体右倾到一定角度时, 尽管曲轴箱内有足够滑油, 液位开关内的液位也将下降, 当下降至阈值, 触发液位低低信号, 引起压缩机关停。

针对此问题, 采取了以下措施: ①通过改造降低滑油液位开关高度, 降低其对右倾的敏感性; ②严格控制船体状态, 始终保持船体处于左右平衡或稍微左倾的状态。通过这两种方式, 有效解决了燃气压缩机因滑油液位低而导致的关停问题。

2.2 FPSO 左倾导致艏闭排泵滑油泄露

该 FPSO 在船主甲板布置有一套闭排系统, 其中两台离心泵横向布置于左舷主甲板上做为闭排泵用于处理闭排罐内液体。在实际运行过程中, 两台闭排泵恒位油杯油位无法稳定下降迅速, 油杯加满油后 3-4 天就会漏空, 而通过轴承箱滑油视窗观测, 滑油并不缺少, 同时轴承处存在较严重的滑油泄露, 维修人员多次更换恒位油杯与油封未果。分析认为, 闭排泵恒位油杯漏空与油封泄露由泵体

倾斜导致。由于受燃气压缩机曲轴箱滑油液位开关影响,该 FPSO 长期处于左倾状态,且主甲板面为两边低中间高的凸面,闭排泵布置于左舷,从而使泵体处于较大的左倾角度运行。同时由于轴承箱在泵体左侧,当泵体左倾时,轴承箱内滑油液面就会出现左高右低的情况,即使轴承箱内有足够滑油,处于右侧的恒位油杯其进气点也将在工作液位以上,从而导致油杯内滑油逐渐内漏至轴承箱,而轴承箱左侧的滑油液位由于左倾以及不断从油杯漏入的滑油,其滑油液位会远大于工作液位,从而导致运行过程中产生较严重的油封泄露。

针对此问题,采取了以下措施:①尽量控制船体状态避免船体出现严重左倾;②正常情况下,不再向油杯补充滑油,而是通过视液窗观察轴承箱滑油情况,从而在一定程度上减缓滑油泄露的情况。

3 FPSO 倾斜对生产分离器的影响

3.1 FPSO 倾斜导致分离器液位计示值差异

该 FPSO 二级分离器油相、水相液位计各有两个,油相两个液位计分别安装于分离器前后两端,水相两个液位计分别安装于分离器水包左右对称的两侧。在生产运营过程中发现,两台二级分离器油相、水相各自的两个液位计示值始终存在较大差异,靠近船艏的液位计示数明显低于船艉的液位计,而船体左侧的液位计示数液稍高于右侧的液位计,仪表人员多次清洗、校验也无法消除。最终分析认为,油相两个液位计示值差异主要由船体艏倾造成,为保持稳定 FPSO 一般处于艏倾状态,而分离器为纵向分布,进而造成靠近船艏的液位大于靠近船艉的液位,同理水相左右两个液位计示值差异,由船体横倾造成。在船体倾斜的状态下,分离器不同位置的油水相实际液位必然存在差异,且船体倾斜越大,液位计的差异也越大。

3.2 FPSO 倾斜导致并行一级分离器进液不均

中质系统的一级分离器 A/B 为两个处理量、运行参数完全相同的三相生产分离器,两个分离器靠船体右侧并联运行。在实际运行过程中发现,进入一级分离器 A 的混合液体相对于右侧一级分离器 B 存在着气少、油少、水多的特征,从而导致一级分离器 A 油相出口含水偏高,通过油水界面、药剂调整并未取得良好效果。经过排查发现,由于外输管线距离较长,油气水三相流体在管汇中发生了一定的分离,在管道中运行中分了层,从而在管道中形成了层流,管道底部为生产水,中间为原油,顶部为气体,而船体长期左倾,导致左侧一级分离器

A 相对位置低于一级分离器 B,从而更多的液体进入一级分离器 A,进而引发其油相含水偏高的问题,同时更多的原油和气体进入一级分离器 B,从而导致气体超过分离器处理量的问题,给现场安全生产造成了一定的影响。

针对此问题,主要有以下几种解决途径:①对船体进行合理的压配载,尽量避免船体发生左右倾斜,使船体保持在相对平稳的状态,从而降低两个分离器进液不均的程度;②减小左侧中质一级分离器 A 入口截止阀开度,同时调整两个分离器的运行压力,使一级分离器 A 的运行压力高于一级分离器 B,增加流体进入一级分离器 A 的运行阻力,从而减少其分量流量;③在分离器入口管线增加流量分配器,从而实现流量的自动分配。三种手段结合使用,一定程度上解决了两个并联式分离器进液不均的问题,中质一级分离器 A 油中含水偏高的难题得以改善。

4 FPSO 倾斜对设备设施腐蚀的影响

该 FPSO 由于受燃气压缩机曲轴箱滑油液位开关的影响,船体长期处于左倾状态,而船体左倾使得左舷更为靠近海面,同时左舷设备离海面的距离更近,更易受海面水汽影响,现场也实际呈现出左舷更为潮湿,右舷更为干燥的状态,左舷设备腐蚀速率明显高于右舷,左舷设备防腐循环周期液明显偏高,液进而造成整个 FPSO 左右舷设备设施腐蚀速率差异大的问题。

FPSO 在正常生产过程中,一直处于艏倾的状态,船艏吃水深度略高于船艉吃水深度,从而容易造成液体在设备靠近船艏的方向聚集,针对于船体机泵舱的设备来说,该种现象尤为明显。由于设备长期处于积液、潮湿的环境,造成设备腐蚀速率明显偏高。对于同一设备而言,其靠近船艏部位的腐蚀速率也明显高于船艉部位。

同时,由于部分设备在前期设计安装的时候,未考虑到船体长时间处于艏倾状态,从而部分设备底座的排液口以及地漏位置设计不合理,不能有效的将设备撬块内的积液排干净,从而导致撬块内长时间积液,从而加剧了设备的腐蚀。

针对于上述问题,主要有以下几种解决途径:①合理调整压配载,避免船体发生左右倾,可有效避免船体左右舷的不均匀腐蚀;②设备在前期设计安装时,需充分考虑船体艏倾的影响,排液口和地漏口需安装在设备撬块内靠船艏的位置,从而保证撬块内部积液能及时排走,避免撬块内积液;③针

对于机泵舱的设备, 定期处理撬块内积液, 可有效降低设备腐蚀速率, 提高设备使用寿命。

5 FPSO 运动对设备设施的影响

FPSO 受风浪、洋流的影响主要有围绕单点的旋转运动, 以及船体纵荡、横荡、垂荡、横摇、纵摇、艏摇的 6 个自由度运动, 而这些运动对该 FPSO 上的设备设施的运行产生了较为明显的影响。

5.1 FPSO 运动对透平发电机组的影响

该 FPSO 在动力模块安装有三台透平发电机组, 为保证机组运行安全, 三台透平机组设定了纵倾、横倾报警与关停信号, 横倾 ± 8 度报警, ± 10 度关停, 纵倾 ± 2 度报警, ± 4 度关停。在正常风浪条件下, 合理的压配载可以确保船体在较小的纵横倾范围内运动, 保证透平发电机组正常运行。但在极端天气如抗击台风过程中, 船体虽然在正常纵横倾范围内, 但巨大的风浪会使船体产生各个方向的大幅摇荡, 横摇和纵摇的叠加, 使船体摇晃更剧烈, 从而使倾斜角度超过报警值或关停值, 导致机组关停, 最终导致油田停产。

根据实际经验, 在极端天气、恶劣海况条件下, 横向上应提前通过调整压配载, 增加船体的吃水深度, 从而增加船体的稳定性, 使船体左右尽量平衡, 减少横摇造成横倾过量的概率。纵向上为保持船体的稳定, 可适当艏倾, 但不宜过量, 使船体顶浪稳定, 避免纵摇时使纵倾超过阈值。

5.2 FPSO 运动对油水分离工艺的影响

沉降分离是海上油田进行油水分离的重要手段, 其主要依靠油水密度差异进行油水分离。设备能够保持静止稳定是油水分离效果的重要前提, 因此 FPSO 的摇荡运动会对油水分离效果产生较大的影响, 生产水的达标排放以及原油的处理质量与之关联紧密。根据实际化验分析结果表明, 中质一级分离器在 8 级大风天气下油出口含水率将比正常风浪条件下高约 5%。而 FPSO 的摇荡运动不仅会影响生产分离器外, 更会严重影响用于生产水沉降的生产水舱, 由于生产水舱舱容巨大 (2000 方), 且内部缺少防浪部件, 船体的摇荡会导致其内部搅动更为剧烈, 进而恶化生产水排放质量。该 FPSO 所在海域冬季 (11 月 - 次年 3 月) 受季风影响长期存在 6-8 级大风, 海况恶劣, 船体摇荡严重。该 FPSO 上透平发电机组记录的全年摇摆度曲线, 通过透平发电机组记录的摇摆度曲线, 液可以客观的反映船体的摇摆度, 通过曲线我们可以看出, 船体的横倾、纵倾摇摆度在冬季明显高于夏季 (4 月

-10 月)。

下表是冬季与夏季生产水排海浓度曲线图, 从表中可以看出, 生产水排海效果, 夏季明显好于冬季, 冬季生产水排海含油浓度明显高于夏季生产水排海浓度。

表 1 生产水排海含油浓度对比

时段	2019 年 10 月 -2020 年 4 月 (冬季)	2020 年 4 月 -2020 年 10 月 (夏季)	2020 年 10 月 -2020 年 12 月 (冬季)
平均排海含油浓度 (mg/L)	52	45	54

通过分析可知, 船体摇荡运动会严重影响油水分离效果, 为保证生产水的排放效果, 主要采取以下措施: ①在对各类油水处理设备检修时, 其内部防浪部件的检查检修应列为重要内容之一, 对于有破损、断裂的防浪部件及时更换, 同时, 对于内部结构没有防浪部件的分离器, 可适当增加防浪部件, 避免分离器内部液体随船体剧烈摇晃; ②而当海况恶劣时, 可优化调整化学药剂注入浓度、提高分离器水桶高度从而提高分离器油水界面、适当降低来液量等措施, 以降低船体摇荡对油水处理的负面影响。从而保证极端天气情况下, 生产水的达标排放, 以及原油的外输质量。

6 结束语

通过分析该 FPSO 运动与状态对油气生产影响的各类实例, 我们可以得知 FPSO 的倾斜、摇荡会对油气生产的各类设备、设施、系统产生较大影响, 并根据这些影响表现对 FPSO 生产运营、设计建造提出以下建议: ① FPSO 在生产运营时, 当对某些设备、设施、系统出现的问题进行分析时, 船体倾斜、摇荡应作为一个重要因素进行充分考虑; ② FPSO 在生产运营时, 应尽量保持船体平衡, 避免长期处于某种固定的倾斜状态, 长期固定的倾斜状态可能会对各类设备、设施、系统带来潜在的负面影响; ③ FPSO 在设计建造时, 要区别于陆地与固定平台, 各类设备、设施、系统的设计与部署, 前期顶层设计, 要充分考虑船体倾斜、摇荡带来的负面影响, 并采取相应措施进行减缓或消除。

参考文献:

- [1] 杜庆贵, 沈晓婵, 檀国荣, 刘聪, 付东明. FPSO 应用现状及发展趋势浅析 [J]. 海洋工程装备与技术, 2017, 4(2).