

FPSO 生产水处理沉降舱改造工程项目方案研究

王美波

海洋石油工程股份有限公司, 天津 300451

摘要:中国海洋石油某 FPSO 生产水系统流程主要依靠水离心机进行处理,实际处理效果并不理想,随着生产水量的不断增加,为满足环评要求,需要对现有生产污水处理系统进行改造。经过研究,利用 FPSO 现有的 2 个不合格原油舱代替污油水舱功能,将 2 个污油水舱和 2 个燃料油舱改造成两级生产水沉降舱,并在 2 个雨水舱中增加生产水沉降舱浮油收集功能,以达到生产水处理流程缓冲和扩容的目的,同时为在役 FPSO 舱室功能调整以解决生产中遇到的难题提供了新思路。

关键词:FPSO;生产水处理;沉降舱;扩容

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2018.06.019

Research on Reforming Project of Sedimentation Tanks for FPSO Production Water Treatment

Wang Meibo

Offshore Oil Engineering Co., Ltd Engineering Company, Tianjin, 300451, China

Abstract: The process design of a certain FPSO production water system mainly depends on the water centrifuge, but the actual treatment effect is not ideal. With the increase of production water, the existing wastewater treatment system needs to be reformed to meet the environmental assessment. Through the study, the existing two unqualified crude tanks of FPSO are used to replace the slop tank, and the two slop tanks and two fuel tanks are transformed into two stage production water sedimentation tanks. And the oil collection function of the production water settling tank is added to the two rainwater tanks, so as to achieve the purpose of buffering and expansion of the production water treatment processing and provide new method for function adjustment of FPSO in service.

Keywords: FPSO; Production water treatment; Sedimentation tanks; Expansion

0 前言

中国海洋石油某 FPSO (Floating Production Storage and Offloading) 生产水系统^[1-3]设计处理能力为 $6.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,主要依靠国外进口水力离心机进行处理,实际处理效果并不理想。虽然在生产过程中对闪蒸罐、化学

药剂进行了改造,基本达到现有水量的处理要求,但随着油田不断注水开发,日产水量会进一步增大,现有设施将很难满足水质的处理要求,需要对现有生产污水处理系统进行改造,以满足生产水水量由 $6.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 调整至 $6.9 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的处理要求。本工程方案实施前,船东已委托专业公司进行了多方案比选,详细分析

收稿日期:2018-08-13

基金项目:中国海洋石油“FPSO 舱室改造工程项目”(C-0815119)

作者简介:王美波(1982-),男,天津人,高级工程师,硕士研究生,主要从事海洋石油机械设计工作。

了诸如大型斜板除油装置 + 大型气浮选装置 + 大型核桃壳过滤器三级水处理工艺、其他新型水处理工艺设备等多个方案,鉴于现役 FPSO 船体和模块部分已无可利用新增设备的布置空间,故本工程实施方案重点围绕对现有舱室的功能调整及改造展开探索,以实现大舱两级沉降,经过研究,利用 FPSO 现有的 2 个不合格原油舱代替污水水舱功能,将 2 个污水水舱和 2 个燃料油舱改造成两级生产水沉降舱,并对 2 个雨水舱中增加生产水沉降舱浮油收集功能,以达到生产水处理流程缓冲和扩容的目的。

1 FPSO 改造前概况

1.1 FPSO 生产水处理系统改造前概况

FPSO 原油系统分离出的生产水首先进入生产水闪蒸罐,再由生产水增压泵增压至下游离心机需要的压力后,经过滤器过滤后送至离心机处理,离心机处理后的生产水输送至注水系统进一步处理后达标回注,分离出的污水回到原油系统处理,流程见图 1。

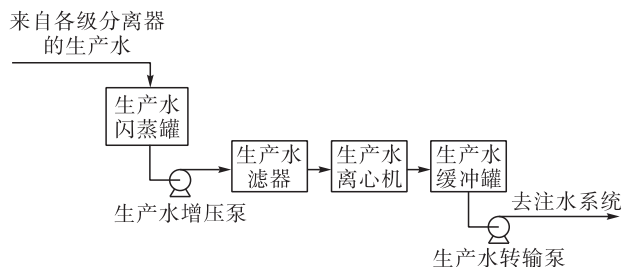


图 1 现有生产水处理流程

1.2 FPSO 舱室改造前状态

FPSO 舱室改造前状态见表 1,相关各舱室改造前功能描述如下^[4-9]:

1) 污水水舱改造前功能用于收集来自船舶船艙机械处所、雨水舱、上部组块开闭排系统、锅炉的排放水和所有货油舱及未处理燃油舱的扫舱水。污水水舱的污水水经 500 m³/h 污水水泵输送到上部模块处理。

表 1 FPSO 舱室改造前状态

改造前舱室	单舱容积 /m ³	单舱尺寸 /m
2 个污水水舱	5 032	15.2 × 10.92 × 30.8
NO.1 未处理燃油舱	2 571	10.4 × 8.19 × 31
NO.2 未处理燃油舱	2 557	10.4 × 9.1 × 30.75
NO.1 已处理燃油舱	2 954	10.4 × 10 × 30.75
NO.2 已处理燃油舱	2 274	10.4 × 7.28 × 31
2 个雨水舱	2 413	4.8 × 17.29 × 30.8
2 个不合格原油舱	20 209	40 × 17.29 × 29.8

2) 未处理燃油舱及已处理燃油舱改造前功能分别是作为储存锅炉和主机用原油的备用,闲置未用。

3) 雨水舱改造前功能是用于收集船体和上部模块区域的雨水。收集的雨水中可能含油,含油污水在雨水舱里沉淀实现油水分层。雨水舱内设有排量 250 m³/h 的雨水舱泵,用于雨水输送。舱水出口设置含油分析仪,经分析后含油雨水被送至原污水水舱,不含油雨水排海。

4) 不合格原油舱用于储存上部组块处理不合格原油。不合格原油经 1 250 m³/h 不合格原油输送泵再输送回上部组块处理。

1.3 大舱改造原则

1) 改造及增加结构的施工尽量不在与货油舱共用的舱壁上进行^[10-15]。

2) 施工尽量通过现有开孔进行,应避免在甲板及舱壁此类高应力集中区临时施工大开孔。

3) 舱室功能改造应尽量按照原设计原则,即左右舷功能对称,避免影响稳性。

2 大舱改造方案

充分利用现有舱室(污水水舱和燃料油舱),改造成 2 个系列生产水沉降舱,以满足油田整体开发需求,并进一步改善生产水水质。

为进一步提高水沉降舱的出水水质,在一级水工艺舱入口管线上预留化学药剂注入接口,用于注入絮凝剂等药剂。

生产水闪蒸罐出口生产水首先进入一级水工艺舱(原污水水舱改造)进行沉降,经一级水工艺舱沉降处理后,左右舷生产水经过舱壁开孔依靠液位差溢流分别进入二级水工艺舱(NO.2 未处理燃油舱和 NO.1 已处理燃油舱)进一步沉降,而后经新增生产水输送泵输送至上部组块现有生产水离心机进一步处理。两级水工艺舱收油槽收集的污水经舱壁开孔溢流进入雨水舱,最后与不合格原油一起经不合格原油泵送至上部组块原油系统处理。

大舱沉降分离使得离心机入口水中含油量及固体悬浮物含量降低,改善了离心机入口水质,同时运行维护工作量也随之降低。

根据生产水处理能力及配产,改造流程中二级水工艺舱(原 NO.2 未处理燃油舱和 NO.1 已处理燃油舱),各新增 2 台 1 440 m³/h 的生产水增压泵。正常工况下,左右舷平均进水,2 舱均启动 1 台新增生产水增压泵;当其中 1 舱进行洗舱时,另外 1 舱需启动 2 台新增生产水增压泵满足最大处理量要求。另外,改造流程中生产水输送泵不再使用,需取消生产水闪蒸罐液位信号对该生产水输送泵变频的控制,并在生产水闪蒸罐出口增加液位控制阀,维持罐液位,见图 2。FPSO 改造后舱室功能见表 2。

式,排量均为 $12\,500\text{ m}^3/\text{h}$ 。按规范要求惰气系统应以船舶最大卸货速率 125% 的速率向液货舱输送惰性气体,经核算惰气总量满足规范要求,但生产水一级沉淀舱和生产水二级沉淀舱惰气支管需加大。

$$\begin{aligned} Q_j &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \\ &= 6\,250 + 625 + 1\,562.5 + 625 + 3\,125 \\ &= 12\,187.5\text{ m}^3/\text{h} < 12\,500\text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

故原惰气系统能力满足要求。

式中: Q_j 为船体最大惰性气体耗量, m^3/h ; Q_1 为最大卸船条件下惰气耗量, m^3/h ; Q_2 为污水水泵工作时惰气耗量, m^3/h ; Q_3 为不合格原油泵工作时惰气耗量, m^3/h ; Q_4 为燃料油泵工作时惰气耗量, m^3/h ; Q_5 为生产水提升泵工作时惰气耗量, m^3/h 。

2.7 液压系统

由于新增4台液压潜没式生产水提升泵,需对整个液压系统进行校核和改造。

改造前货油泵液压系统共有3个液压动力单元,每个液压动力单元内配置有4台主马达,1台辅马达,每个液压动力单元内的主辅马达能独立运行。原液压单元是按5台货油泵、2台未处理原油泵、2台压载泵同时工作工况配置的。2个液压动力单元同时工作,1个液压动力单元备用,即有4台液压主马达,1台辅液压马达备用,见表3。

表3 单个液压动力单元能力

马达	能力 / ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	压头 / kPa
主马达	5 264	29 100
辅马达	313	29 100

改造后,新增4台生产水输送泵,2台泵同时工作,最大液压能力需求见表4。

表4 液压动力单元能力需求

用户	所需液压参数	
	能力 / ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	压头 / kPa
5台货油泵	8 400	25 500
2台未处理原油泵	410	24 000
2台压载泵	1 710	21 500
2台生产水输送泵	3 120	25 000
合计	13 640	

故增加2台生产水输送泵后,3个液压动力单元需同时工作,但其中1个液压动力单元内仍有2台主马达备用。

经过上述流程改造,在正常生产工况下,船体左右舷两舱均投入运行,停留时间可达到3.5 h。在污水水舱

入口水含油量 300 mg/L 前提下,燃油舱出水含油量可降至 $50 \sim 100\text{ mg/L}$,水中固体悬浮物经过大舱沉降,含量也会有所降低,经过大舱沉降处理的生产水再进入 FPSO 原生产水离心机进行处理后,生产水缓冲罐出水含油达到 $30 \sim 45\text{ mg/L}$,最终输送至注水系统进一步处理后回注。改造前舱室结构三维示意图见图3。

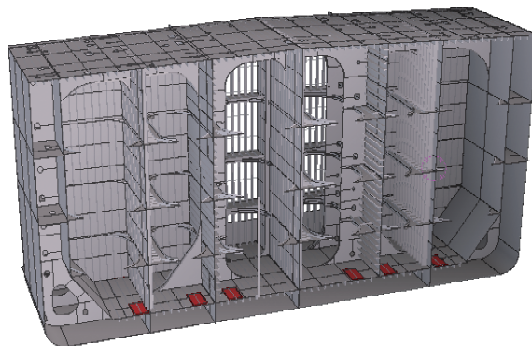


图3 FR44-63 三维示意图

3 舱室改造施工内容

舱室改造施工主要内容如下^[16-18]:

- 1) 新增管线(管线系统)、阀组等安装(需根据管线布置图并结合现场测量进行)。
- 2) 液压系统改造。
- 3) 电伴热系统改造。
- 4) 中控系统改造。
- 5) 电缆铺设。
- 6) 拆除2台换热器,及相应管线、电缆等。
- 7) 恢复涂装、保温等。
- 8) 舱室改造。
- 9) 舱室开孔。
- 10) 梯子改造、增加检修小平台。
- 11) 拆除两台液货泵。
- 12) 安装四台液货泵。
- 13) 布水器及溢流管线(管线系统)、阀组等的安装,(需根据管线布置图并结合现场测量进行)。
- 14) 安装牺牲阳极。
- 15) 恢复涂装等。

4 舱室改造施工注意事项

本次改造是在 FPSO 运行期间不停工进行的,施工时应注意^[19-20]:

- 1) 上部模块的改造工作需先于舱室改造前完成。
- 2) 左右舷改造需按照现场生产需求制定合理的施工计划,尽量降低改造带来的不利影响。
- 3) 44-63肋位的舱室空间狭小,目前只有几个现有开孔可以进行施工及新增材料、设备的运输。为了避免

舱室局部强度受损,改造过程中应尽量少开较大工艺开孔,且施工完毕后需做好补强。

4)舱室内改造前必须做好清舱、测爆、通风工作。

5)动火工作前清除附近所有可燃物品。

6)作业时必须监控舱内空气含量及定期测爆。

7)舱壁焊接作业后,注意相关舱室的涂装恢复。

8)切割作业时要有专人看火,并持灭火器、准备水管。

9)施工完毕后,需完成所有脚手架的拆除及现场清理工作。

10)施工时注意防范高空坠落风险。

5 结论与建议

1)通过对中国海洋石油某 FPSO 现有生产污水处理系统进行改造升级,充分利用大舱舱容,对生产污水采用两级沉降分离,有效解决了现有污水处理系统能力不足的问题,同时为渤海在役 FPSO 舱室功能调整以解决生产中遇到的难题提供了新思路。

2)对于现役 FPSO 改造方案应充分考虑不解脱状态下的各种风险因素,对于防火、防爆、环境保护、人员防护需要制定严格的预案,并报船级社审批。

3)工程设计阶段应尽可能详尽地对陆地预制材料进行梳理,包括货物运输及装船方案均应咨询专业公司完成。

4)海上现场作业需要严格按照拟定工序分步进行,并符合中国海洋石油总公司 HSE 体系各项规定要求。

5)所有大舱施工作业前需由外委专业公司进行清舱洗舱、通风、测爆等一系列准备工作,舱内脚手架的搭设可充分借助舱内附属结构,严禁相邻舱室间交叉热工作业。

6)为保证工程质量,各项检验工作均需按照中国海洋石油总公司检验操作规程执行,HSE 作业计划书需报船东报批。

参考文献:

- [1] 高国权,单彤文. 海洋石油工程机械设备设计[M]. 北京:石油工业出版社,2007:131-175.
Gao Guoquan, Shan Tongwen. Offshore Petroleum Engineering Machinery and Equipment Design [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007: 131-175.
- [2] 陈可越. 船舶设计实用手册(轮机手册)[M],北京:国防工业出版社,2002:45-59.
Chen Keyue. Ship Design Practical Manual (Volume of Engine) [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2002: 45-59.
- [3] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. 国经贸安全[2000] 944号海上固定平台安全规则[Z]. 北京:中华人民共和国国家经济贸易委员会,2000.
State Commission for Economics and Trade of the People's Republic of China. China's Economic and Trade Security Safety [2000] NO. 944 Rules for Offshore Fixed Platforms [Z]. Beijing: State Commission for Economics and Trade of the People's Republic of China, 2000.
- [4] 中国船级社. 钢制海船入级规范 2015 第三分册:轮机[M]. 北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
China Classification Society. Rules for the Classification of Sea-Going Steel Ships 2015 Third Volume: Marine Engine [M]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2015.
- [5] 中国海洋石油总公司. 浮式生产储油装置 FPSO 安全规则[Z]. 北京:安全监督总局办公厅,2010.
China National Offshore Oil Corporation. Safety Rules for Floating Production and Oil Storage Installations [Z]. Beijing: Office of the General Administration of Safety Supervision. 2010.
- [6] 中国石油天然气集团公司. 油田采出水处理设计规范:GB 50428-2015[S]. 北京:中国计划出版社,2015.
China National Petroleum Corporation. Code for Design of Oilfield Produced Water Treatment GB 50428-2015 [S]. Beijing: China Planning Press, 2015.
- [7] IMO. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, as Amended by the Protocol of 1978, Annexes I through IV [S]. London: IMO, 1978.
- [8] DNV. Rules for Classification of Floating Production and Storage Unit [S]. Oslo: DNV, 2003.
- [9] 席时春,袁翔,郝孟江. 论 FPSO 总体设计[J]. 中国造船,2013,54(2):140-144.
Xi Shichun, Yuan Xiang, Hao Mengjiang. A Brief Discussion on Overall Design of FPSO [J]. Shipbuilding of China, 2013, 54 (2): 140-144.
- [10] 吴奇林. FPSO 舱室的结构优化对生产污水和老化油的预防处理[J]. 中国石油和化工标准与质量,2014,10(2):99.
Wu Qilin. Structural Optimization of FPSO Compartments for the Prevention and Treatment of Wastewater and Aged Oils [J]. China Petroleum and Chemical Standards and Quality, 2014, 10 (2): 99.
- [11] 张绍广. 海洋石油 102 FPSO 生产系统工艺流程改造与实践[J]. 中国海上油气,2012,24(2):69-71.
Zhang Shaoguang. The Practice and Optimization of "HYSY 102" FPSO Production System [J]. China Offshore Oil and Gas, 2012, 24 (2): 69-71.
- [12] 张绍广. 海洋石油 102 FPSO 生产污水综合治理方法探索与实践[J]. 清洗世界,2015,31(6):22-26.

- Zhang Shaoguang. Exploration and Practice of Marine Oil FPSO's Production Sewage Systems [J]. Cleaning World, 2015, 31 (6): 22-26.
- [13] 刘晶, 张振友. 渤海油田污水处理流程应用探讨[J]. 石油和化工设备, 2017, 20(6): 111-112.
- Liu Jing, Zhang Zhenyou. Discussion on Application of Produced Water Treatment Process Flow for Bohai Oilfield [J]. Petro & Chemical Equipment, 2017, 20 (6): 111-112.
- [14] 唐婷婷. FPSO 工艺舱污水水处理模式优化标准探索与实践[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2017, 37(21): 11-12.
- Tang Tingting. Exploration and Practice of Optimized Standards for Treatment of Polluted Oil and Water in FPSO Process Cabin [J]. China Petroleum and Chemical Standards and Quality, 2017, 37 (21): 11-12.
- [15] 党学博. 浮式生产储油装置结构改造原则及关键技术[J]. 中外能源, 2013, 18(5): 37-39.
- Dang Xuebo. Principles and Key Technologies for FPSO Structure Reformation [J]. Sino-Global Energy, 2013, 18 (5): 37-39.
- [16] 陈飞. FPSO 改装工程建设设施需求和改造实例分析[J]. 造船技术, 2017, 20(5): 1-5.
- Chen Fei. FPSO Modification Engineering Construction Facility Requirements and Reconstruction Case Analysis [J]. Marine Technology, 2017, 20 (5): 1-5.
- [17] 刘振国. FPSO 改造项目质量管理[J]. 中国造船, 2004, 45 (增刊): 471-480.
- Liu Zhenguo. Quality Management on FPSO Conversion [J]. Shipbuilding of China, 2004, 45 (Suppl): 471-480.
- [18] 盛朝辉. 大型 FPSO 维修改造项目的 HSE 管理[J]. 化工安全与环境, 2013, 11(5): 12-13.
- Sheng Chaohui. HSE Management of Large-Scale FPSO Maintenance and Renovation Project [J]. Chemical Safety & Environment, 2013, 11 (5): 12-13.
- [19] 肖文伟. 海洋工程 FPSO 改造生产设计关键环节研究及应用[M]. 广州: 华南理工大学, 2013: 10-22.
- Xiao Wenwei. Research and Application of Key Links in FPSO Reconstruction Production Design of Ocean Engineering [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2013: 10-22.
- [20] 马延德. 浮式生产储油船 (FPSO) 设计建造研究[M]. 大连: 大连理工大学, 2008: 11-18.
- Ma Yande. Floating Production Storage Vessel (FPSO) Design and Construction Research [M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2008: 11-18.

欢迎订阅 2019 年《天然气与石油》

《天然气与石油》是中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司主办的石油化工类科技刊物,以“推广国内外油气田地面建设先进技术,探讨建设及运行中难点问题”为办刊宗旨,主要报道油气储运与处理,油气勘探与开发,腐蚀与防护,公用工程,信息、安全与管理,工程勘察,技术经济等方面的最新科技成果。

《天然气与石油》每期定价 20.00 元,全年共 120.00 元(含邮费),详情咨询编辑部。地址:(610041)四川省成都市高新区升华路 6 号,电话/传真:(028)82978130。

《天然气与石油》编辑部