

FPSO 单点滑环安装技术的研究与应用

胡 双

海洋石油工程股份有限公司, 天津 300461

摘 要:为解决 FPSO 单点滑环日益严重的原油泄漏问题,以渤中 28-1 油气田“渤海友谊号”FPSO 单点滑环更换项目为例,研究了 FPSO 单点滑环更换安装技术。通过对泄漏滑环与新滑环在结构尺寸、操作参数等方面的对比分析研究,确定泄漏滑环与新滑环的互换性;通过对新滑环内管加长、运输框架及海上吊装方案的创新设计,成功解决了滑环更换安装无偏差连接精度要求高、运输要求高、吊装风险大等施工难题;同时通过项目应用实践,介绍了滑环更换安装的施工流程及海上吊装、拆卸、安装及调试等关键工序的施工方法。应用实践表明,FPSO 单点滑环安装技术能安全、高效地实现单点滑环的海上更换安装,可供生产者或施工者借鉴。

关键词: FPSO; 单点; 滑环堆栈; 安装

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2017.06.018

Research and Application of Swivel Installation on FPSO

Hu Shuang

Offshore Oil Engineering Co., Ltd, Tianjin, 300461, China

Abstract: In order to solve the leakage of swivel, the FPSO SPM swivel installation technology was studied with the example of "BohaiYouyi" FPSO SPM swivel replacement project in BZ28-1 oilfield. By analyzing and comparing the structural size and operating parameters of the two swivels, the interchangeability between the new swivel and the leakage swivel is determined and the procedure of the swivel lifting is optimized. Through the expansion of the new inner pipe, innovative design of transportation frame and offshore hoisting, issues for swivel replacement and installation are successfully solved such as high precision connection, high demand for transportation, high hoisting risks and others. At the same time, the construction process of swivel installation and key processes such as hoisting, dismantling, installation and commissioning are introduced. It is indicated through application that the offshore replacement and installation of swivel can be realized with FPSO SPM swivel installation technology, which can be used for reference by manufacturer or construction company.

Keywords: FPSO; SPM (single point mooring); Swivel stack; Installation

收稿日期:2017-05-18

基金项目:海洋石油工程股份有限公司科研项目“30万吨级 FPSO 干拖运输技术研究”(E-0817 P 003)

作者简介:胡 双(1983-),男,湖北当阳人,工程师,硕士,主要从事海洋石油平台设计、施工等工作。

0 前言

“渤海友谊号”FPSO 单点位于渤海南部海域的渤中 28-1 油气田,作业水深 23.4 m,接收来自渤中 28-1 南北平台、渤中 34-1 平台及渤中 26-2 平台的原油,同时输送天然气至龙口终端,是中国海洋石油总公司渤南作业区的核心油气处理装置。

滑环是 FPSO 单点系泊系统的核心关键设施,承担 FPSO 与井口平台之间原油、天然气、电力、光纤信号等介质的多通道传输^[1-2]。2015 年 12 月,“渤海友谊号”FPSO 单点滑环堆栈第四层 6"液滑环(N 4-6", $l=25.4\text{ mm}$)出现原油泄漏现象,并有扩大的趋势,对油田的正常生产造成了一定的安全隐患,为排除隐患,减少损失,FPSO 生产方在 2016 年 8 月停产检修期间,使用新滑环更换了泄漏滑环。

目前,国内外针对 FPSO 单点滑环更换安装技术的研究很少,刘雪宜等人^[3]论述了停产条件下滑环更换的可行性和施工方案设计,但对滑环的互换性研究及更换安装的关键工序未做深入论述。本文在研究滑环互换性的基础上,针对滑环安装精度要求高、运输难度大、吊装风险高的特点,提出了与传统方案不同的新滑环内管加长、运输框架及海上吊装方案,并结合实际应用,详细论述滑环更换安装的施工流程及海上吊装、拆卸、安装、调试等关键工序的施工方法。为将来涉及 FPSO 单点滑环更换的类似项目提供了工程借鉴,具有重大意义。

1 滑环堆栈系统

“渤海友谊号”FPSO 单点滑环堆栈系统由五层组成,

表 1 滑环信息

滑环代号	滑环上游平台	滑环尺寸 /"	工作介质	工作压力 /MPa	重量 /t	备注
N 4	渤中 34-1 平台	6	原油	0.3	5.06	泄漏滑环
N 3	渤中 28-1 南北平台	6	天然气 /原油	5.7	4.9	
N 2	渤中 26-2 平台	14	原油	3.6	25.3	
N 1	龙口终端	14	天然气	5.4	25.3	

2 滑环互换性分析

新滑环与泄漏滑环同属 SBM Offshore 公司生产的同批次同系列滑环,均由滑环本体和滑环底座通过螺栓连接组成,两者设计压力、设计温度和使用介质相同,但底座结构与高度存在一定偏差。更换后的新滑环上部能与 N 5 电滑环底座、下部能与 N 3 气液滑环无偏差连接,同时滑环内管及外部管线无高度差连接,这就要求新滑环与泄漏滑环具备互换性,才能满足泄漏滑环的更换施工^[4-5]。但难点在于滑环属进口专利设备,其结构核心尺寸图纸由国外公司掌握,不对外公开,因此如何确定滑环的互换性

见图 1。

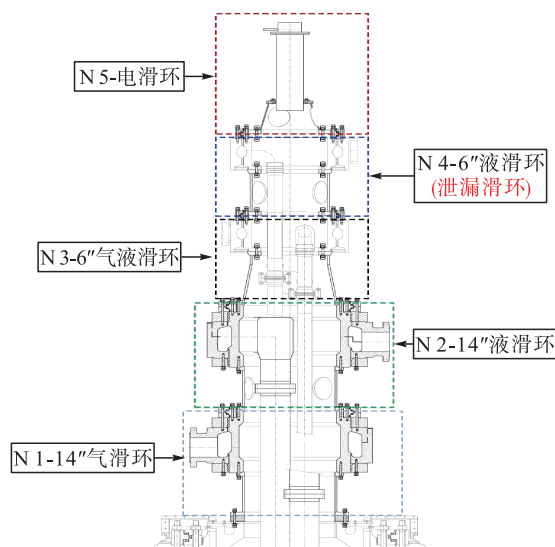


图 1 “渤海友谊号”FPSO 单点滑环堆栈

滑环堆栈由下至上分别是: N 1-14"气滑环,承担 FPSO 与龙口终端之间天然气的传输; N 2-14"液滑环,承担 FPSO 与渤中 26-2 平台原油介质的传输; N 3-6"气液滑环,承担 FPSO 与渤中 28-1 南北平台之间天然气 /原油介质的混输; N 4-6"液滑环,承担 FPSO 与渤中 34-1 平台之间原油介质的传输,该滑环出现了严重的原油泄漏,影响了油田的正常生产; N 5-电滑环,承担 FPSO 与平台之间电力、光纤信号的传输,每层滑环均有滑环本体及其底座相连组成。滑环信息见表 1。

非常重要。泄漏滑环与新滑环的结构见图 2。

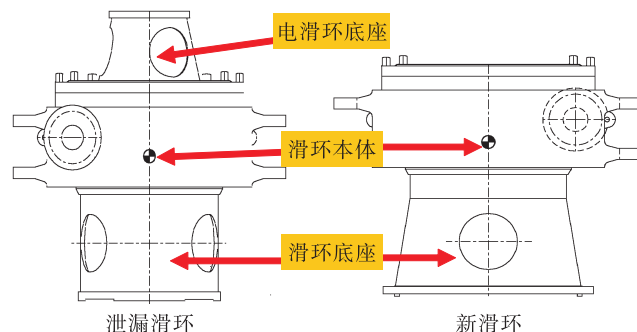


图 2 泄漏滑环与新滑环结构示意图

滑环互换性分析的方法是通过现场测绘比较 2 个滑环的主体尺寸,主要测绘尺寸包括滑环本体尺寸、滑环

内管外管接口尺寸及驱动臂尺寸等内容。泄漏滑环与新滑环互换性分析见表 2。

表 2 泄漏滑环与新滑环互换性分析

mm

序号	对比内容	泄漏滑环	新滑环	结论
1	滑环本体尺寸	外径 $\Phi 1\ 400$,高 700	外径 $\Phi 1\ 400$,高 700	一致
2	滑环上侧尺寸	外径 $\Phi 1\ 283$,内径 $\Phi 680$	外径 $\Phi 1\ 283$,内径 $\Phi 680$	一致
3	滑环下侧尺寸	法兰内径 $\Phi 690$	法兰内径 $\Phi 690$	一致
4	驱动臂尺寸	1 050 × 740.5 × 200	1 050 × 740.5 × 200	一致
5	滑环底座高度	800	700	相差 100
6	滑环内管长度	1 770	750	相差 1 020
7	滑环外管(法兰中心距滑环本体下侧距离)	305	305	一致

由表 2 分析可知:泄漏滑环与新滑环本体尺寸一致,但两者在底座和内管尺寸方面有偏差,泄漏滑环底座比新滑环底座高 100 mm,内管比新滑环长 1 020 mm。若实施滑环互换,可只进行滑环本体互换,同时为保证内管无高度差连接,新滑环内管应加长 1 020 mm。综上所述,泄漏滑环与新滑环本体具备互换性,满足更换安装施工条件。

3 滑环更换安装方案设计

在滑环本体具备互换性的基础上,对滑环更换安装方案进行合理化设计,可减少停产时间和船舶资源使用率,有效控制施工风险,降低成本^[6-7]。

3.1 滑环内管加长设计

滑环内管见图 3,内管上端侧接口以螺纹旋进方式与滑环本体连接,下端侧接口以法兰抱卡(GRAYLOC)的方式与立管连接。传统内管加长方案是将内管与本体拆卸分离后,通过焊接同规格同材质的加长管段实现。传统方案具有焊接操作方便,管段平直度易控制等优点,但内管与本体拆卸分离会破坏经完整性泄漏试验测试的管线密封性,同时因再次安装内管会导致内管螺纹损伤几率增高,施工风险控制难度大,可操作性不强。

优化方案是在保证内管与本体不分离的情况下,在内管中段附近水平切割分段后,焊接 1 020 mm 管段实现内管加长。与传统方案相比,优化方案不需要拆卸分离内管,降低了内管损伤的风险,同时只需检验加长管段的两道焊口,即可验证管线的密封性,避免重复进行完整性泄漏试验,具有施工风险可控、操作性强、效率高等优点。

3.2 滑环运输框架设计

为保证新滑环在陆海两栖运输及海上吊装期间功能状态完好,不受结构干扰物磕碰,须对滑环进行正确的运输方案设计。根据滑环内管超长的结构特点及海上的工况要求,设计了滑环专用运输框架,该运输框架具备可拆卸性、可运输性及便于吊装等优点。滑环运输框架见图 4。



图 3 滑环内管

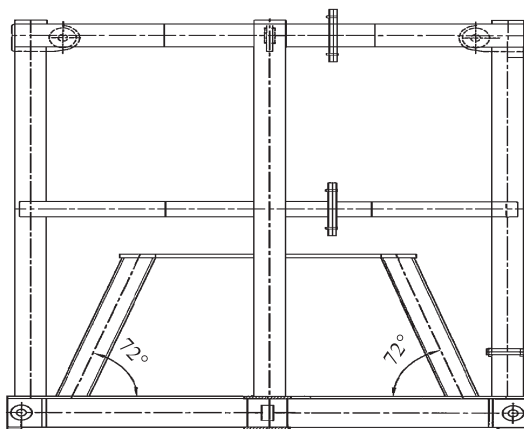


图 4 滑环运输框架

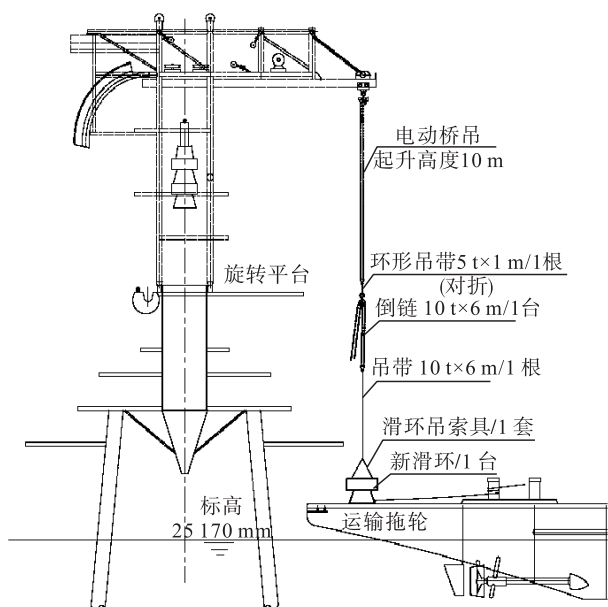
整个滑环运输框架由 H 型钢焊接而成,呈四面体型。为便于陆地运输,框架高度与宽度均控制在 2.5 m 内;为便于海上吊装,框架左右通过螺栓连接,可实现框架左右开启功能;为便于海上运输与固定,立柱上单独设计固定吊耳,下侧结构梁中心设有卡槽,用以固定内

管;同时为保护滑环不受磕碰,滑环与框架接触部位设计有柔性胶皮。

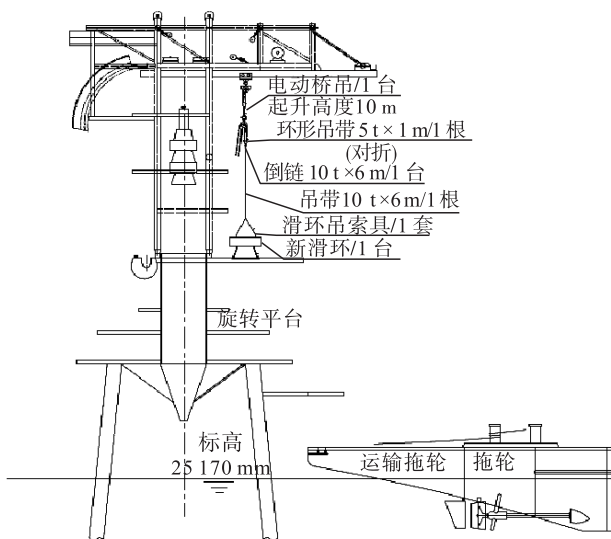
3.3 滑环吊装设计

刘雪宜等人^[3]采用联合电动桥吊和15 t绞车吊带设计方案实施滑环海上吊装,由于该方案同时使用电动桥吊和15 t绞车,因此受制于设备的完好率,一旦绞车发生功能性故障,则滑环海上吊装施工无法实施。

优化方案采用电动桥吊挂接倒链的设计方案,即通过单轨工字钢梁尾端作为支点,单独使用电动桥吊将滑环吊离运输拖轮,然后倒链在空中接力,实现滑环上下单点的吊装,滑环吊装见图5。优化方案的优点在于摒弃了15 t绞车,单独使用电动桥吊吊装滑环,排除了由于绞车故障带来的施工隐患,同时因不再使用绞车,不必对绞车进行水袋吊重试验,减少了工作量并节省了工期,可操作性高。



a) 新滑环在运输拖轮上挂扣



b) 新滑环吊装至旋转平台

图5 滑环吊装

4 项目应用与效果评价

4.1 施工流程

滑环更换安装施工主要包括前期准备和停产施工两部分,施工流程见图6。

应充分重视前期准备工作,因为这将影响到后期滑环的更换安装施工是否能顺利实施,尤其是要重视单点吊装设备检修、吊重设备水袋试验等工作^[8]。

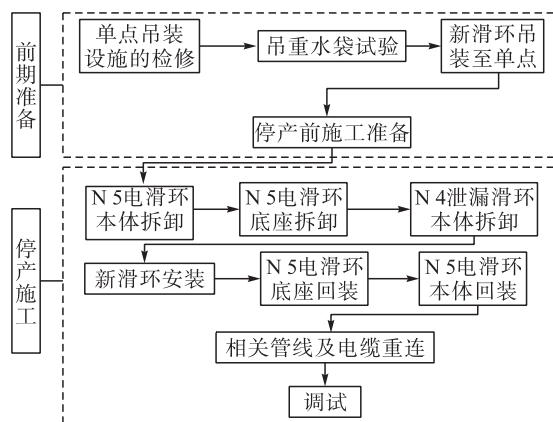


图6 施工流程

4.1.1 新滑环吊装

新滑环的吊装应选择合适的天气窗口,一般在风速不大于6级,有效波高不超过1.5 m的条件下进行。新滑环吊装主要步骤如下:

- 1) 运输拖轮靠近 FPSO 单点,电动桥吊将吊装索具下放至拖轮甲板,新滑环挂扣连接索具。
- 2) 电动桥吊缓慢起吊新滑环,提起过程中使用牵引绳控制滑环。
- 3) 当吊装索具中的倒链提升至旋转平台后,电动桥吊停止提升同时收紧倒链。
- 4) 当倒链完全收紧后,电动桥吊继续提升,直至新滑环底部超过旋转平台后停止提升。
- 5) 电动桥吊在滑轨上向 FPSO 单点中心位置移动,将新滑环移动至旋转平台上后下放存放。
- 6) 解除电动桥吊与新滑环索具的连接,新滑环吊装上 FPSO 单点作业完成。

4.1.2 泄漏滑环拆卸与新滑环安装

泄漏滑环拆卸与新滑环安装施工在油田停产期内完成,施工前应仔细检查电动桥吊的工作状态,确保其起吊、移动、转向功能正常。泄漏滑环拆卸主要步骤如下:

- 1) 拆卸电滑环内环及外围电缆并做好标记,拆卸电滑环本体。
- 2) 拆卸泄漏滑环内管与立管相连的法兰抱卡及外围出口管线法兰等。
- 3) 拆卸泄漏滑环仪表管线并用丝堵封口做好标记。

4) 拆卸泄漏滑环驱动臂连接螺栓, 以及滑环本体与底座连接螺栓。

5) 电动桥吊起吊泄漏滑环本体存放至旋转平台, 完成泄漏滑环拆卸施工。

新滑环安装过程中的关键是控制新滑环的安装精度, 安装步骤如下:

1) 对新滑环内管的长度进行精度测量, 使其长度误差控制在 $\pm 2 \text{ mm}$, 同时利用水平仪测量内管垂直度使其误差控制在 $\pm 1^\circ$ 。

2) 电动桥吊起吊新滑环, 通过主副双重导向控制新滑环精确就位, 主导向见图 7-a), 采用 3 根牵引绳系挂在新滑环外侧吊耳进行粗定位; 副导向见图 7-b), 采用 6 根定位销对新滑环的安装位置进行精定位。

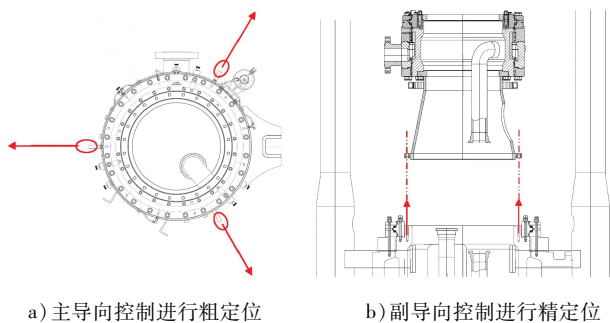


图 7 滑环就位安装示意图

3) 新滑环就位后, 滑环本体与底座螺栓预紧, 利用塞尺测量滑环本体内腔与底座之间的圆周间隙(以 45° 角间隔均匀测量 8 个点), 若测量数据不均匀则用倒链微调。

4) 新滑环本体与底座螺栓按规定力矩紧固后, 利用水平仪测量新滑环上表面平面度, 若测量数据偏差较大, 则检查新滑环本体与底座连接螺栓是否均匀紧固。

5) 按照规定的力矩连接新滑环内管与立管的法兰抱卡、外部管线及附属仪表管线、驱动臂等螺栓, 完成新滑环安装。

6) 按照拆卸的逆工序恢复电滑环底座、本体、内环及外围电缆的安装, 利用水平仪测量电滑环本体垂直度, 使其精度满足要求, 完成电滑环的恢复安装。

精度控制对新滑环的安装施工至关重要, 其控制水平直接影响新滑环的运行功能^[9], 因此必须严格按工艺程序进行施工控制, 否则造成返工甚至损伤新滑环内管的严重后果。

4.1.3 滑环调试

滑环调试是检验滑环功能达到正常要求的关键步骤, 滑环调试主要包括系统冲洗及压力试验和旋转试验两部分。

4.1.3.1 系统冲洗及压力试验

系统冲洗即冲洗新滑环内腔及其连接管线、管件

等, 以清除新滑环腔体及管道内的铁锈等杂质, 一般由 FPSO 生产方根据生产工艺流程进行, 以在排放口流出洁净水至少 1 min 以上为冲洗合格。

冲洗合格后进行压力试验, 包括水压试验和气密试验, 以确认新滑环管线系统是否具有足够的安全强度以承受静压, 并确认接头是否泄漏。试验控制参数如下:

1) 水压试验压力为最大操作压力的 1.1 倍, 本项目新滑环操作压力为 6.2 MPa, 故试验压力应达到 6.82 MPa; 气密试验压力根据平台要求按 0.7 MPa 进行。

2) 水压试验压力应以 15~20 MPa/min 的速度缓慢升高, 系统在试验压力且无渗漏时, 应保压 60 min 无渗漏; 气密试验压力分级逐步增加, 按最大试验压力 10% 递增, 每级稳压 3~5 min, 在达到试验压力时, 保持至少 30 min 无泄漏。

压力试验控制的重点:

1) 气密试验时应安装压力安全阀以防超压, 安全阀设置不高于试验压力加 345 kPa 或者试验压力的 10%。

2) 压力试验合格后, 压力试验的记录表格需经业主方、施工方工程师现场签字确认。

4.1.3.2 旋转试验

旋转试验用来检测新滑环的旋转功能及在带压情况下测量新滑环密封泄漏率, 以检验新滑环密封性能是否正常。旋转试验控制参数如下:

1) 在 FPSO 旋转前, 保持新滑环 30 min 的压力稳定时间(环路中压力 6.6 MPa)。

2) 由拖轮带动 FPSO 做 1 圈旋转(顺时针或逆时针皆可), 使单点进行顺/逆时针 360° 旋转, 旋转试验见图 8。

3) 旋转持续时间宜大于 1 h, 每 10 min 通过压力温度记录仪记录新滑环的压力、温度及泄漏口的泄漏率等参数, 并记录新滑环旋转经过的角度^[10-11]。

4) 旋转试验过程中新滑环无异常声响、运行平稳, 根据 SBM 规范要求泄漏率不超过 20 ml/h 即为合格。

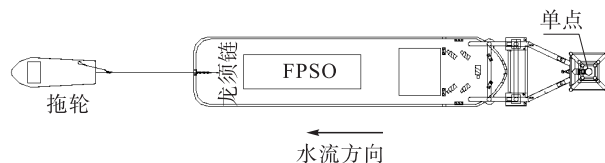


图 8 旋转试验

调试合格后, 试验结果应由专人记录形成调试报告, 并由业主方、施工方共同见证和签字(盖章)确认。

4.2 效果评价

2016 年 9 月初, “渤海友谊号” FPSO 单点滑环堆栈第四层 6”液滑环完成海上更换施工, 通过对新滑环内管加长、运输框架及滑环吊装的优化设计解决了新滑环安

装精度要求高、运输难度大、吊装风险高的施工困难,在施工前期准备充分的情况下,将原计划5 d的施工时间缩短至3.5 d完成,缩短了施工工期和节省了船舶资源,整个项目的质量、进度、安全管理满足业主要求。

5 结论

通过滑环互换性分析和海上更换方案的优化设计,成功实施了FPSO单点滑环更换安装。实践证明,滑环的互换性分析是施工的前提,滑环更换方案的优化设计是施工成功的关键,FPSO单点滑环安装技术在项目上解决了滑环吊装风险大、船舶资源占用时间长等问题,安全、高效地实施了泄漏滑环的更换作业。同时该技术打破了国外公司的技术垄断,摆脱了对国外公司的依赖,有效降低了施工成本,对今后类似单点滑环的更换项目具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 《海洋石油工程设计指南》编委会. 海洋石油工程设计指南: 海洋石油工程 FPSO 与单点系泊系统设计 (第 9 册) [M]. 北京: 石油工业出版社, 2007: 321-322.
The Editorial Board of the Design Guideline of Offshore Oil Project. The Design Guideline of Offshore Oil Project: Offshore Oil Project FPSO and SPM Mooring System Design (Volume IX) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007: 321-322.
- [2] 吕立功, 景 勇, 温宝贵, 等. FPSO 系泊系统设计上的考虑[J]. 中国造船, 2005, 46(增刊 1): 348-356.
Lv Ligong, Jing Yong, Wen Baogui, et al. Design Consideration for Mooring System of FPSO [J]. Shipbuilding of China, 2005, 46 (Suppl 1): 348-356.
- [3] 刘雪宜, 林 杨, 李爱刚. 局部停产状态下单点滑环更换方案设计与实践——以“渤海友谊号”单点系泊系统为例[J]. 中国海上油气, 2015, 27(5): 125-129.
Liu Xueyi, Lin Yang, Li Aigang. Design and Practice of SPM Swivel Replacement Program under Partial Shutdown Condition: A Case Study of Bohai Youyi SPM [J]. China Offshore Oil and Gas, 2015, 27 (5): 125-129.
- [4] 谭家翔. 边际油田水下液滑环总体设计分析[J]. 船海工程, 2014, 43(5): 53-59.
Tan Jiexiang. The Overall Design of Underwater Liquid Swivel for Marginal Oil Fields [J]. Ship & Ocean Engineering, 2014, 43 (5): 53-59.
- [5] 刘生法. 单点系泊系统关键技术探讨[J]. 中国海洋平台, 2012, 27(1): 39-43.
Liu Shengfa. The Critical Technology of Single Point Mooring System [J]. China Offshore Platform, 2012, 27 (1): 39-43.
- [6] 中国船级社. 海上移动平台入级与建造规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
China Classification Society. Rules for Construction and Classification of Mobile Offshore Drilling Units [S]. Beijing: China Communications Press, 2005.
- [7] 石昀杭, 孟祥志, 王志杰. 内转塔式单点系泊系统液体旋转接头的虚拟装配研究[J]. 机械设计与制造工程, 2016, 45(9): 61-63.
Shi Yunhang, Meng Xiangzhi, Wang Zhijie. Research on Virtual Assembly of the Liquid Rotary Joint for Dantian Tower Single-point Mooring System [J]. Machine Design and Manufacturing Engineering, 2016, 45 (9): 61-63.
- [8] 徐化奎, 刘锡鹏. FPSO 单点系泊核心部件液体滑环的修复研究与应用[J]. 石化技术, 2015, 28(7): 95-96.
Xu Huakui, Liu Xipeng. Natural Gas Processing Terminal Gas Turbine Exhaust Waste Heat Utilization [J]. Petrochemical Industry Technology, 2015, 28 (7): 95-96.
- [9] 宋志鹏, 邓邵春. 浮式生产储油卸油船多通道流体旋转接头性能分析[J]. 船海工程, 2010, 39(4): 53-57.
Song Zhipeng, Deng Shaochun. Performance Requirements of Multi-channel Fluid Swivel Stack in FPSO [J]. Ship & Ocean Engineering, 2010, 39 (4): 53-57.
- [10] 张世双. 单点系泊(液滑环)功能性试验技术研究[J]. 重工与起重技术, 2012, (4): 15-16.
Zhang Shishuang. Study of Testing Technique of Functionality of Single-point Moorage (Hydraulic Slip Ring) [J]. Heavy Industrial & Hoisting Machinery, 2012, (4): 15-16.
- [11] 熊清海, 孟祥志, 吕 伟, 等. 单点系泊系统液体旋转接头密封圈实验研究[J]. 石油工程建设, 2017, 43(2): 16-19.
Xiong Qinghai, Meng Xiangzhi, Lv Wei, et al. Experimental Study on Seal Ring of Liquid Swivel for Single Point Mooring System [J]. Petroleum Engineering Construction, 2017, 43 (2): 16-19.