

深水浮式生产装置资产完整性管理 技术研究

郭文敢 吕 劲 易涤非 蔡 鹏

中海油安全技术服务有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057

摘 要:为达到资产安全性与经济性的统一,深水浮式生产装置关注重点是消除潜在的风险,提高资产高效执行核心功能的能力。采用英国海上石油安全案例(UK Safety Case)法规,基于风险的检验(Risk Based Inspection, RBI)完整性管理技术,以计划服役于陵水 17-2 项目的深水浮式生产装置为研究对象,提出了符合中国实际情况、切实有效的深水浮式生产装置全生命周期的资产完整性管理技术方法。为陵水深水浮式生产装置设计、采办、建造、安装调试及运维各个阶段的完整性管理提供技术指导,在满足船级社、行业标准及政府法规要求的同时,构建事故案例、良好作业实践数据库,有助于显著降低运营成本,降低事故扩大化的概率,减少生产设施的损失和检修时间,增加生产作业的可用时间。深水浮式生产装置资产完整性管理技术可提升全生命周期的资产完整性管理水平。

关键词:深水浮式生产装置;资产完整性管理;陵水 17-2;全生命周期

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2020.06.021

Research on Asset Integrity Management Technology of Deepwater Floating Production Unit

Guo Wengan, Lü Jin, Yi Difei, Cai Peng

CNOOC Safety & Technology Services Co., Ltd. Zhanjiang Company, Zhanjiang, Guangdong, 524057, China

Abstract: In order to achieve the unity of asset safety and economy, the focus of deepwater floating production unit is to eliminate potential risks and improve the ability of assets to perform core functions efficiently. UK safety case and risk based inspection are adopted for the deepwater floating production unit planned to be used in Lingshui 17-2 of South China Sea as the research object. This paper puts forward a practical and effective asset integrity management technology method for the full life cycle of deep-water floating production unit, which fits the actual situation of China, and provides technical guidance for the design, procurement, construction, installation, commissioning and operation and maintenance of Lingshui Deepwater Floating production unit. While meeting the requirements of classification society, industrial standards and governmental regulations, the compilation of industry safety incidents and good operation

收稿日期:2020-07-07

基金项目:中海油安全技术服务有限公司湛江分公司重点生产项目“陵水 17-2 气田开发工程项目完整性管理”(CCL 2018 HNFN 0009)

作者简介:郭文敢(1987-),男,山西晋中人,工程师,学士,主要从事海上设备设施管理。E-mail:706333170@qq.com

practices database can significantly lower its operating costs, reduce the probability of loss of control of accident consequences, the loss of production facilities and maintenance time, increase the available up time of production operation. The asset integrity management for Deepwater Floating Production Unit can improve management level of the assets integrity over full life cycle of the asset.

Keywords: Deepwater floating production unit; Asset integrity management; Lingshui 17-2; Full life cycle

0 前言

深水浮式生产装置全生命周期(设计、采办、建造、运营)的各个阶段均存在不同风险,如果前一阶段的有关风险未采取合理的削减措施,往往可能造成生命周期后一阶段的风险剧增,每个阶段工作的缺失都会对下一阶段产生不利影响。因此开展完整性管理,将有效减少全生命周期各个阶段风险,降低运维期资本投入,达到全生命周期资产安全性与经济性统一的目的^[1]。

以往中国海域浮式生产装置,最深工作水深 400 m, 并且还是 FPSO 形式。而陵水 17-2 项目是中国第一个 1 500 m 级深水浮式生产装置,多项指标达到国际国内先进水平。无论是船体结构、系泊系统或是 SCR 立管,国内没有任何单位有过类似的实际经验。船体结构、系泊系统和 SCR 立管,具有装备结构复杂、技术难度高、所处环境恶劣、失效后果严重等特点,其风险能否被有效控制,直接关系到深海油气开采的成败。深水浮式生产装置资产完整性管理技术的研究及应用将有助于建立有效的风险识别、评估、减缓消除的风险控制系统,将极大地提高深水浮式生产装置全生命周期的完整性管理水平、安全运营能力^[2]。

1 设计阶段资产完整性管理

英国海上石油安全案例(UK Safety Case)法规要求英国管辖海域内油气设施,必须基于以往相关案例开展安全评估,以确定是否已经采取适当的措施来控制风险,安全管理系统是否行之有效^[3]。开展基于案例、良好作业实践的风险分析,识别项目重大事故风险、安全关键要素,制定性能标准,在基本设计阶段提出指导性建议^[4]。项目前期开展完整性管理将有效减少后期变更,降低项目全生命周期资本投入^[5]。UK Safety Case 法规完整性管理流程,收集并分析以往相关安全案例,根据定义的重大事故风险选择标准,从危险识别研究(船体 HAZID 报告、安全分析和上部组块 HAZOP 报告)中筛选出危险情景。安全关键要素被定义为防

止、控制或减轻重大事故风险或由于故障可能导致重大事故风险发生的设备或结构。因此,基于 HAZID 和 HAZOP 报告的审查确定安全关键要素,为每个安全关键要素制定性能标准(PS),以确定对安全关键要素的基本要求,见图 1。



图 1 UK Safety Case 法规完整性管理流程图

Fig. 1 UK Safety Case regulatory integrity management chart

针对陵水 17-2 项目设计阶段,通过梳理世界范围内相关案例,采用组织专家头脑风暴的方法,确定项目船体结构、系泊系统、立管、压载系统及凝析油储存四个方面存在的重大风险,后续阶段主要围绕这四个方面开展深水浮式生产装置资产完整性管理技术研究,见表 1。以系泊系统为例,由于陵水 17-2 项目平台为半潜式生产平台,因此本文未考虑张力腿系泊缆类型。在 2001 年至 2012 年期间,共发生 26 起有记录的永久系泊系统故障事件。其中,8 个系泊系统因多条缆绳断裂(重大事故)而发生系统故障,其余 18 起事故多为单缆破断。研究发现,许多单缆破断事故往往会有额外的系泊缆受到损坏,如果其损坏未被发现,也可能会过早失效。有些事故会导致浮式生产装置短距离漂移,立管破裂,生产关闭,少量油气泄漏。需耗费较大精力与时间来修理或更换损坏的管路。实际上,几起单缆破断事故对剩余系泊缆造成了一定程度的损害^[6]。

虽然在最严重的多条系泊缆破断故障情况下,不会因系泊系统完全断裂导致完全自由漂移,也不会造成重大伤害或生命损失。但由于修复和更换失效系泊缆所需时间长,在此期间的任何后续风暴都可能超过剩余系泊缆的承载能力,导致深水浮式生产装置完全自由漂移,甚至造成所有立管和脐带缆断裂^[7]。因此,有必要实时监测系泊性能,并在系统故障前快速检测出每条系泊缆故障,以确保深水浮式生产装置在使用过程中的完整性^[8]。

表 1 设计阶段重点风险清单及建议表

Tab. 1 List of key risks and suggestions in the design phase

项目	风险	设计阶段建议
船体结构	如果设计师对结构重量进行优化设计,可能会引入“关键区域(CA)”或“关键结构区域(SCA)”或“结构关键检查点(SCIP)”,这些区域具有高应力、低疲劳寿命、复杂的几何结构或特殊材料等特性	在易于接近的区域,采用较小的安全系数,因在运行检查周期中需较少的检查时间/资源;采用较大的安全系数,以便减少关键区域的数量,但此项在设计阶段不具有成本效益,仅在运行中的检查阶段才具有成本效益(即对成本的增减需仔细核算优化)
	不可检查区域的性能未知,可能导致无法通过年度检验或监管机构的使用寿命延期批准	设计人员可在此类不可检查区域选择具有较高裕度的安全系数,确保在平台的设计寿命期间不会出现任何问题
立管	带或不带 PLET 的立管安装需要单独分析	立管安装引起的疲劳和安装期间的立管与土壤周期性相互作用可能会对立管造成疲劳损伤,总疲劳寿命应结合各来源的疲劳损伤来确定
系泊系统	船级社入级规则仅提供最低设计要求/指导,基于主要运营商的设计经验,2 条缆绳损坏案例较常见	对双系泊缆断裂破坏情况进行评估时,应特别注意避免渐进破坏(多条系泊缆损坏)的假设;为消除永久松弛并增加系泊索的刚度,预紧顺序应在设计者建议范围内;系泊系统预张力必须与设计批准值一致,任何偏离目标值的情况都应在安装竣工分析后进行评估
内部船舱	在 FEED 和详细设计阶段,内部船舱通风系统的设计布置效率低下将导致不同空间内进出时,需要额外时间、成本和资源	使用舱室通风管进行通风;油舱通风管组合到一个公共集管中,可能需要一个便携式排气管从柱的顶部连接到每个进入的舱室入口

2 采办阶段资产完整性管理

结合项目特点,开展关键设备的风险分析,对关键设备采办提出指导性建议。采办阶段的完整性管理有助于项目完善采办技术资料,提升关键设备采办的质量与效率^[9]。针对陵水 17-2 项目,提出了采办阶段资产完整性管理应关注的重点:

1) 用于采办的技术文件必须建立在市场可供应性基础上,避免市场上没有可以完全满足规格书要求的供应商。

2) 对于行业内尚未被现场使用证明过的新技术、新材料、新设备,不要做第一个吃螃蟹的人,水下环境未知数太多,除非市场上找不到可替代的产品^[10]。

3) 加强材料、制造、测试、运输、接收全过程的质量检验和监测,承包商不一定会严格按照规格书执行合同,质量检验和监测就成了质量保证的必要手段^[11]。

4) 在评价供应商和承包商时,应给按时供货能力更高的权重,尤其是那些影响工期的设备和服务,海上项目的安装,经常是一环套一环,按期交货特别重要。

5) 采办界面要合理和清晰,一个分割合理、定义清晰的界面可以让合同的执行变得容易。

6) 采办策略上尽量减少界面数目和承包商数目,需要协调的地方越少,管理越容易,产生问题的概率也越低。

7) 备件考虑应该基于将潜在的安装船舶等待时间降到最低,因为相较于安装船舶的成本,备件的成本往往便宜很多^[12]。

3 建造阶段资产完整性管理

基于世界范围内深水设施资产完整性管理的经验

与教训,结合陵水 17-2 项目实际情况,提出建造阶段资产完整性管理应关注的重点,并对关键性能指标进行现场验证,为项目质量控制提供合理化建议,保障项目总体质量^[13]。符合性验证基于案例、良好作业实践,参照行业建议性做法和详细设计图纸对验证对象进行符合性验证,并对验证过程提供详细的追溯,根据验证结果提出意见和建议,不同于船级社的入级检验^[14]。同时收集装置基线数据,为运营维护阶段资产完整性管理打好基础。陵水 17-2 项目建造阶段资产完整性管理的重点:

1) 船体立柱与浮筒、系泊、外输设备等特殊区域施工工艺符合性验证。

2) 船体结构应力集中、高疲劳风险区域焊缝后处理验证。

3) 船体及舱室防腐施涂装工艺流程符合性验证。

4) 船体牺牲阳极布置、焊接及电位测量符合性验证^[15]。

5) 船体检修通道符合性验证。

4 运营维护阶段资产完整性管理

开展基于风险的检验(Risk Based Inspection, RBI)完整性管理,RBI 完整性管理技术是一个风险评估和风险管理的过程,重点是由材料弱化机理引发的失效模式,可通过对设备、结构的检验进行风险管理和控制^[16]。

RBI 完整性管理技术是一种科学的、先进的制定检测策略的方法和手段,以设备的风险分析和相应的风险分布为基础,制定合理的检测计划,延长低风险设备的检验周期,在保证设备安全运行的基础上提高经济效

益,可作为船级社定期检验的替代方法^[17]。针对深水浮式生产装置船体结构、系泊系统、立管系统及静设备开展基线数据收集,依据强度分析与疲劳分析的结果,组织相关专家对船体结构、系泊系统、立管进行定性评价,以识别结构的高应力、低疲劳寿命区域、主要连接部位,同时对结构物的弱化机理进行量化分析研究,弱化机理包括腐蚀、磨损、疲劳、断裂等。静设备可通过采用风险数据库,运用工业软件,对所有静设备进行定性、定量风险分析技术研究。根据风险排序结果制定科学的检验策略实现对高风险设备设施进行重点检验,低风险设备设施放宽检验周期,以达到在保证设备安全运行的基础上显著降低检验成本的目的,见图2。

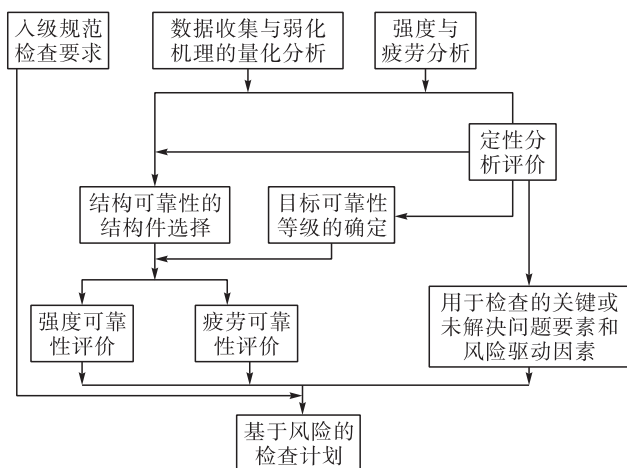


图2 运营维护阶段RBI完整性管理技术方法图

Fig. 2 Technical method chart of RBI integrity management during operation and maintenance period

目前,国际上已有不少RBI软件,比如挪威船级社(DNV)的ORBIT ONSHORE和法国船级社(BV)的RBEYE软件,中国还没有自主知识产权的相关软件。现有国外软件根据国外设备的制造水平、使用环境、企业管理模式等研发的,不一定完全适合中国现状。开发中国自主知识产权的RBI技术和软件势在必行^[18]。

为此,针对深水浮式生产装置开发了基于RBI完整性管理软件,程序功能包含:三维模型的导入及显示,三维模型上能显示各区域风险等级,能通过模型上选取区域调出基线数据、检验结果、腐蚀情况、维修情况等,另外还能自动提醒检验,自动生成检验方案报告等^[19]。软件的成功应用将对陵水17-2项目的安全运营起到积极作用,并将为后续深水浮式生产装置的运维提供借鉴意义。

5 全生命周期资产完整性管理

深水浮式生产装置全生命周期资产完整性管理重点在于构建事故案例、良好作业实践数据库,借助于大数据、智能化手段不断完善和扩容数据库,结合风险分

析结果及装置特点制定有针对性的性能标准,同时在本设计阶段提出具有指导性、建设性建议^[20]。

在工程建设阶段针对关键性能指标进行针对性的验证,为项目质量控制提供合理化建议,保障项目总体质量。收集基线数据应用于运营维护阶段RBI完整性管理,借助RBI完整性管理软件进行风险排序,并制定科学合理的检维修策略,见图3。

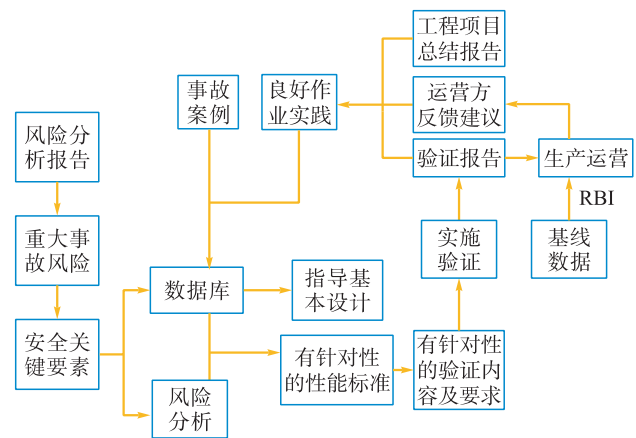


图3 深水浮式生产装置全生命周期资产完整性管理技术方法示意图

Fig. 3 Technical method chart of life cycle asset integrity management for deepwater floating production unit

6 结论

本文采用了UK Safety Case、RBI等完整性管理技术,提出了深水浮式生产装置全生命周期资产完整性管理技术,包含设计、采办、建造及运营维护各阶段的具有针对性的技术手段,将有效提高深水浮式生产装置资产安全、高效地执行核心功能的能力。通过持续改进,以及事故案例、良好作业实践数据库的不断积累,将为中国深水油气田的开发提供助力,不断提高深水油气田资产完整性管理水平,达到安全性与经济性的有效统一。

参考文献:

- [1] 张全解. 油田企业设备设施完整性管理体系的构建[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2013.
Zhang Quanjie. Structure of Mechanical Integrity Management System of Oilfield Enterprises [D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2013.
- [2] 牟善军. 建立设备完整性管理体系的必要性[J]. 中国石化, 2006(7): 30-32.
Mu Shanjun. Necessity of Establishing Equipment Integrity Management System [J]. Sinopec Monthly, 2006 (7): 30-32.
- [3] Energy Institute. Guidelines for The Management of Safety Critical Elements: 1097899 [S]. 2nd ed. London: Energy

- Institute, 2007.
- [4] The Health and Safety Executive. A Guide to the Offshore Installations (Safety Case) Regulations : SI 2005 /3117 [S]. London: The Health and Safety Executive, 2005.
- [5] The Health and Safety Executive. Offshore Installations (Prevention of Fire and Explosion, and Emergency Response) Regulations: SI 1995 No. 743 [S]. London: The Health and Safety Executive, 1995.
- [6] 胡国后. 锚链系泊系统完整性管理研究与运用[J]. 石油工程建设, 2012, 38(6): 73-76.
Hu Guohou. Research and Application of Mooring System Integrity Management [J]. Petroleum Engineering Construction, 2012, 38(6): 73-76.
- [7] 肖泥土. FPSO 软刚臂式单点系泊系统风险评估[D]. 天津: 天津大学, 2016.
Xiao Nitu. Risk Assessment of FPSO Soft Yoke Mooring System [D]. Tianjin: Tianjin University, 2016.
- [8] 张月华, 汤娜, 胡垠如, 等. 分析海洋石油工程物资的采办管理[J]. 化工管理, 2018(26): 110-111.
Zhang Yuehua, Tang Na, Hu Yinru, et al. Analysis on the Procurement Management of Offshore Oil Engineering Materials [J]. Chemical Enterprise Management, 2018(26): 110-111.
- [9] 冯丽梅. 聚酯缆在深水系泊系统中的应用[J]. 海洋工程装备与技术, 2016, 3(5): 315-319.
Feng Limei. Usage of Polyester Rope in Deepwater Mooring System [J]. Ocean Engineering Equipment and Technology, 2016, 3(5): 315-319.
- [10] 邢媛, 赵辰, 郑艺博, 等. 国际海洋石油工程项目采办过程质量管理浅析[J]. 石油和化工设备, 2018, 21(9): 99-100.
Xing Yuan, Zhao Chen, Zheng Yibo, et al. Research on Procurement Quality Management of International Offshore Oil Project [J]. Petro & Chemical Equipment, 2018, 21(9): 99-100.
- [11] 刘洋. 海洋石油工程项目采办管理浅析[J]. 管理观察, 2015(32): 61-62.
Liu Yang. Analysis on Procurement Management of Offshore Oil Engineering Projects [J]. Management Observer, 2015(32): 61-62.
- [12] 齐建强. 浅谈海洋石油工程物资的采办管理[J]. 化工管理, 2016(23): 58-59.
Qi Jianqiang. Discussion on Procurement Management of Offshore Oil Engineering Materials [J]. Chemical Enterprise Management, 2016(23): 58-59.
- [13] 赵森, 顾晓波. 船舶建造中的检验项目管理[J]. 中国水运, 2014, 14(10): 46-48.
Zhao Miao, Gu Xiaobo. Management of Inspection Items in Shipbuilding [J]. China Water Transport, 2014, 14(10): 46-48.
- [14] 吴磊. 浅谈船舶建造质量检验[J]. 建筑工程技术与设计, 2017(23): 2942.
Wu Lei. Discussion on Ship Construction Quality Inspection [J]. Architectural Engineering Technology and Design, 2017(23): 2942.
- [15] 刘博, 贾秋玄, 黄芊芊. 船体钢结构防腐用牺牲阳极设计[C]//2014年第三届中国海洋工程技术年会论文集. 宁波: 中国造船工程学会近海工程学术委员会, 中国海洋学会海洋工程分会, 中国石油学会海洋石油分会, 中国高科技产业化研究会海洋分会, 2014.
Liu Bo, Jia Qiuxuan, Huang Pingping. Design of Sacrificial Anode Anticorrosive for Hull Structure [C]//Proceedings of the Third Annual Meeting of China Ocean Engineering Technology, 2014. Ningbo: Offshore Engineering Academic Committee of China Shipbuilding Engineering Society, Ocean Engineering Branch of China Ocean Society, Offshore Oil Branch of China Petroleum Society, Marine Branch of China High Tech Industrialization Research Association, 2014.
- [16] American Petroleum Institute. Risk-Based Inspection: API Recommended Practice 580 [S]. Third Edition. Washington D. C.: American Petroleum Institute, 2016.
- [17] American Petroleum Institute. Risk-Based Inspection Methodology: API Recommended Practice 581 [S]. 3rd Ed. Washington DC: American Petroleum Institute, 2016.
- [18] 刘富君, 孔帅, 胡东明, 等. Application and Development of Risk Based Inspection Technology in China 风险评估技术在我国的应用进展[J]. 无损检测, 2009, 31(12): 953-958.
Liu Fujun, Kong Shuai, Hu Dongming, et al. Application and Development of Risk Based Inspection Technology in China [J]. Nondestructive Testing, 2009, 31(12): 953-958.
- [19] American Bureau of Shipping. RBI Guide Guide for Risk-based Inspection for Floating Offshore Installations [S]. Houston: American Bureau of Shipping, 2018.
- [20] 中国海洋石油集团有限公司, 设备专业标准化委员会. 设备设施完整性管理规范: Q/HS 9036-2017 [S]. 北京: 石油工业出版社, 2017.
China National Offshore Oil Corporation, Equipment Professional Standardization Committee. Equipment and Facilities Integrity Management Specification: Q/HS 9036-2017 [S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2017.