

大型导管架海上吊装框架结构方案设计研究

刘 瑞

海洋石油工程股份有限公司, 天津 300451

摘 要:为解决大型导管架水下吊点方案吊点结构设计困难、液压卡环费用高以及导管架吊装实施技术风险大等问题,提出了一种吊装框架结构方案。对吊装框架结构方案的设计、建造及海上安装流程进行了阐述,基于 SACS 软件及 ANSYS 分析软件,对吊装框架主结构及吊点结构进行了强度分析和校核,验证了吊装框架结构方案的可行性,并总结了吊装框架结构设计特点和要点。分析结果显示,吊装框架结构方案,适用于大型导管架的海上吊装,可供同类项目的设计、建造和海上安装阶段参考。

关键词: 吊装框架;耳轴式吊点;大型导管架;ANSYS

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2021.04.016

Study on the design of offshore lifting frame for large jacket

LIU Rui

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

Abstract: A lifting frame structure design scheme is introduced in this paper to solve the difficulties in the design of lifting point for large offshore structure, the high procurement cost of the hydraulic clasp, and the high risk of jacket lifting implementation. The structural design plan, construction, and offshore installation process and key points of the lifting frame are elaborated in this paper. Based on SACS and ANSYS analytical software, the strength analysis and code verification on the main structure and trunnion of the lifting frame are carried out, the feasibility of the lifting frame structural design scheme is verified and the key structural design features and main points are summarized. According to the analysis result, it is shown that the lifting frame is suitable for offshore lifting of large jackets. These results can be used as a reference for the design, fabrication and offshore installation of future large offshore jacket projects of the same nature.

Keywords: Lifting frame; Trunnion; Large jacket; ANSYS

0 前言

随着海上油气开发的不断发展,海洋石油平台数量不断增多,规模也越来越大。以浮托法安装的组块为代

表,海上平台正在向集约化大型化方向发展^[1],上部组块的安装重量通常上万吨,随着水深的增加以及上部组块重量的增加,作为上部组块支撑结构的导管架安装重量也相应增加。中国大型浮托平台开发多集中在渤海

收稿日期:2021-01-24

基金项目:国家重点研发计划项目“深海结构物全生命周期安全可靠性评估与完整性诊断技术研究与应用”(2018YFC031500)

作者简介:刘 瑞(1982-),男,重庆人,高级经济师,硕士,主要从事海洋油气工程项目管理工作。E-mail:lrui@cooec.com.cn

和南海海域,渤海海域导管架作业水深一般不超过 30 m,导管架重量不超过 3 000 t,通常采用设置水下吊点进行导管架海上安装,吊点一般位于主腿第一水平层下方位置附近,该位置结构强度容易满足吊装强度要求,且可以避免浮托船舶干扰,以往项目采用眼板式吊点形式^[2-5]。南海海域导管架作业水深一般超过 100 m,导管架重量在万吨以上,通常采用滑移下水、小浮吊辅助扶正的方式进行海上安装。

在中国海洋石油国际化发展的大背景下,近年来国内油气开发公司积极承揽国际项目。而国外海洋石油平台所在海域的水深及土壤地质数据同国内差异很大,海洋平台设计也不尽相同。中东阿拉伯湾海域水深约 50 m,大型 8 腿浮托平台导管架结构重量在 6 000 t 以上,如采用水下吊点的吊装方案,因重量较大,吊绳力也会相应增大,需要选用超大规格的液压卡环,费用较高,超大吊绳力有可能使液压卡环失效导致吊绳不能及时解脱,技术风险较大;另外,常规板式吊点结构形式因主板厚度限制设计难度大。而滑移下水方案相较吊装下水方案对浮力要求高,往往需要被迫增加导管架杆件直径和增加临时浮筒的方式来满足安装对浮力的要求,另外还需要增加注水系统和下水桁架等结构,用钢量较大,建造和安装过程复杂,经济性差。因此对于这类大型导管架结构,开发一种既能满足技术可行性要求,又能保证经济性的海上安装方案显得尤为必要。

本文针对 6 700 吨级的导管架结构,提出了一种吊装框架方案用于导管架海上吊装,基于 SACS 软件计算及 ANSYS 软件有限元分析对吊装框架的整体、局部强度进行了计算分析,验证了技术可行性,该方案能较好解决上述存在问题,可实施性强。

1 吊装框架设计及施工方案

1.1 设计方案

以某大型 8 腿浮托平台导管架为例,所在海域导管架作业水深 52 m,吊装重量约 6 700 t。

吊装框架结构设计方案见图 1,其四个立柱焊接在导管架主腿顶部,与导管架形成一个整体,增强吊装时整体受力性能。吊装框架主结构以单向的受弯为主,故主结构梁采用组合梁的截面形式,长跨方向弯矩较大,选用组合梁规格较大,短跨方向的组合梁可选用相对较小规格,主梁和立柱采用环板连接,结构梁的规格由吊装计算确定。中部 20 m 范围内布置小梁和甲板,用于放置吊装索具,兼具实现索具平台的功能。和以往水下吊点方案相比,因未单独设置索具平台节省了钢材用量,也减少了相关建造和海上安装工作量以及船舶资源的占用,经济效益明显。边缘布置小梁及甲板,作为走道满足吊点索具安装及拆卸的操作需求。

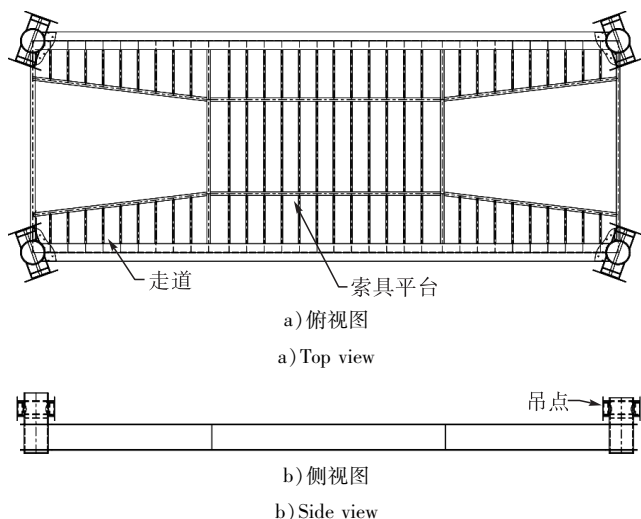


图 1 吊装框架结构设计方案图

Fig. 1 Design scheme of lifting frame structure

吊装框架顶部设置耳轴式吊点结构,见图 2。耳轴式吊点一般用于较大型结构物吊装^[6-9],通过 ANSYS 软件进行吊点结构强度校核。

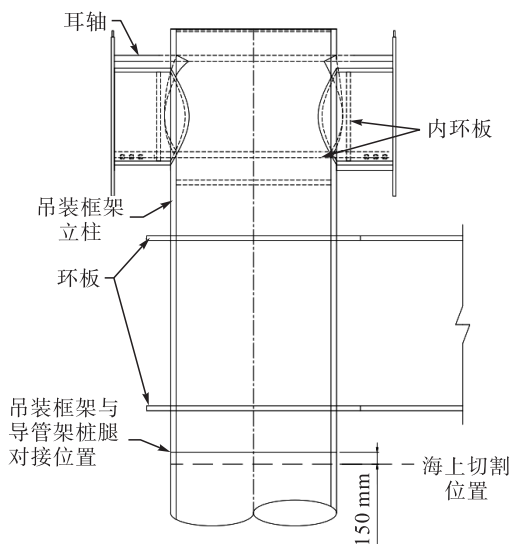


图 2 耳轴式吊点结构图

Fig. 2 Trunnion structure

1.2 吊装框架施工方案

吊装框架建造及导管架海上安装流程图见图 3。

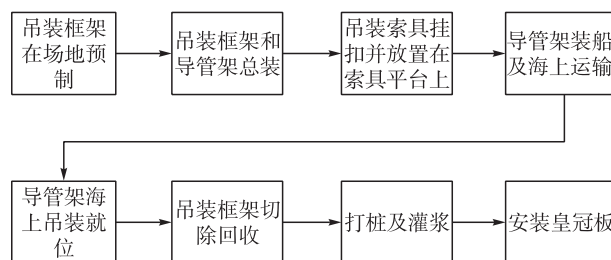


图 3 吊装框架建造及导管架海上安装流程图

Fig. 3 Flowchart of lifting frame construction and jacket offshore installation

在安装过程中,需要注意以下几点。

1) 导管架建造时,导管架主腿顶部需要和吊装框架进行焊接完成总装,在吊装框架海上切割后,导管架顶部需要和皇冠板进行焊接,为解决导管架主腿顶部焊接时的焊缝返修问题,在建造过程中导管架主腿顶部标高位于海上切割 150 mm 处(见图 2),吊装框架立柱底部的设计标高相应进行调整。

2) 吊装框架和导管架对接时,需要设计插尖等导向

装置,以满足对接精度要求。本文吊装框架重约 400 t,重量较大且吊管架高度较高,需要选用合适的履带吊以满足吊装能力要求,必要时可以选用多台履带吊联合作业完成其与导管架的总装。

2 方案比选

吊装框架方案和常规水下吊点方案对比分析结果见表 1。

表 1 吊装方案比选表

Tab. 1 Lifting plans comparison

方案	吊装框架重量 /t	水下吊点重量 /t	吊点位置主结构加强重量 /t	索具平台重量 /t	液压卡环 /套	摘扣方式	摘扣风险
吊装框架方案	300	含在吊装框架中	—	含在吊装框架中	—	水上	小
水下吊点方案	—	50	120	50	4	水下	大

由表 1 可知,吊装框架方案的钢材用量比水下吊点方案约多 80 t,但节省了 4 套 2 500 t 级液压卡环的采办费用,整体费用节省数百万元。相比水下吊点方案,吊装框架方案不适用液压卡环,避免了因液压卡环失效导致摘扣困难的技术风险,且吊点位于海面以上,施工人员通过框架上的走道可以直达吊点位置,吊绳摘扣作业简单,施工风险小。

吊装框架为整体预制,然后再通过履带吊吊装完成与导管架主结构的对接,预制工作可以和其他建造作业同步进行,不会导致项目整体工期的增加。海上安装结束后,吊装框架方案需要进行框架的拆除,而水下吊点方案需要对索具平台进行拆除,海上安装时两者的工期相当。

综上所述,吊装框架方案和水下吊点方案相比,两种方案施工工期相当,但是吊装框架方案可节省费用,经济性更好,实施风险更小。

3 结构强度分析

3.1 计算模型

采用 SACS 软件进行结构建模及计算,SACS 结构模型包括吊装框架和导管架主结构两部分,附属结构以荷载形式加载到结构模型对应的杆件和节点上,吊钩位置为固定约束,吊绳只承受轴向拉力的属性通过对杆件进行杆端约束释放来模拟。在导管架主腿底部节点设置软弹簧约束,计算所得弹簧力需小于 1 kN,吊装 SACS 模型见图 4。

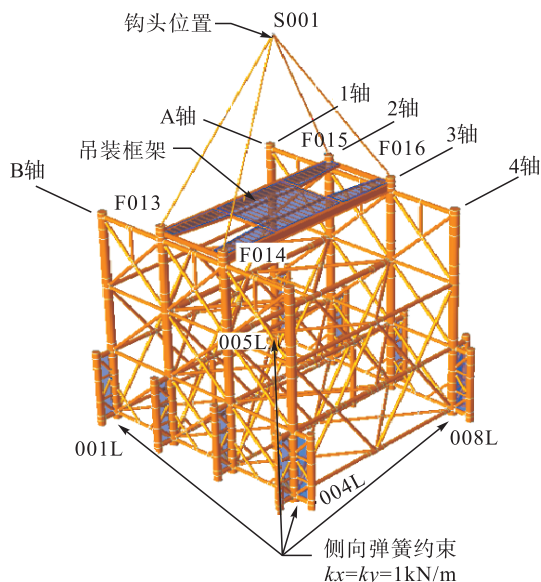


图 4 吊装 SACS 模型

Fig. 4 Lifting SACS model

3.2 计算参数

根据 API RP 2A-WSD *Recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms-working stress design* 规范规定,在开敞海域,对于吊点以及吊点相连的主要杆件,应采用最小 2.0 倍动荷载系数进行结构校核,对于其他杆件应采用最小 1.35 倍动荷载系数,吊点位于导管架重心正上方位置,吊绳和水平方向的夹角需满足最小 60°要求^[10-13]。

3.3 计算结果

根据对吊装框架以及导管架主结构强度进行校核,

计算结果显示,在 2.0 倍动荷载工况下,和吊点相连杆件的最大应力比为 0.98,位于吊装框架立柱位置。在 1.35 倍荷载工况下,最大杆件应力比为 0.86,位于导管架主腿位置。所有杆件的应力比均小于 1,吊装框架的强度满足要求^[14-17]。

从 SACS 软件吊装分析结果中可以得到各吊绳力值,见表 2。其中,杆件 F014-S001 对应的吊绳力最大,为 45 528 kN,后面将以此吊点为例,对吊点结构进行有限元分析。

表 2 吊绳力计算结果表

Tab. 2 Sling force calculation results

杆件编号	最大吊绳力 /kN
F013-S001	39 639
F014-S001	45 528
F015-S001	37 675
F016-S001	43 317

吊装分析计算结果显示,节点 001L 处的弹簧力最大, x 向为 0.078 kN, y 向为 0.004 kN,均小于 1 kN 满足要求。由此可知,吊装分析没有明显侧向位移,计算过程合理。

4 耳轴式吊点有限元分析

4.1 计算模型

根据杆件 F014-S001 吊装计算中最大吊绳力,进行耳轴式吊点设计,由于结构不规则,故采用有限元进行模拟计算。吊点有限元模型见图 5,单元类型采用 SLOID 实体单元。在耳轴及和立柱相连位置应力较大,为重点关注位置,这些位置采用致密网格,网格大小取 0.5 倍的板厚来划分单元。在其余位置采用稀疏网格,采用 2 倍板厚来划分网格,以提高计算效率。

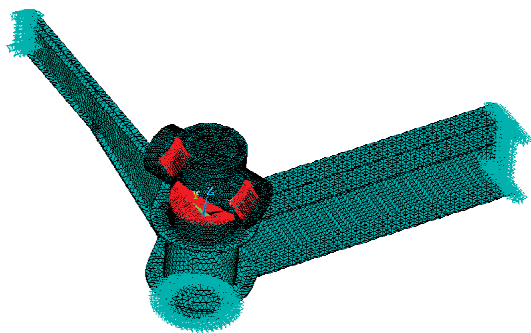


图 5 耳轴式吊点有限元模型图

Fig. 5 Finite element model of trunnion

和立柱相连的主梁远端处以及立柱底部为固接约束。根据吊绳力计算结果,保守取 46 000 kN 作为耳轴式吊点结构设计荷载,吊绳角度 60° 。假设吊绳力按余弦分布作用在与立柱和耳轴相连的圆环接触面上,且接触面上各节点的受力平行于吊绳作用方向^[4],见图 6。

材料的弹性模量取 2.06×10^5 MPa,泊松比取 0.3,材料屈服强度为 355 MPa,许用应力按 0.9 倍的屈服强度即 320 MPa 取用^[18-20]。

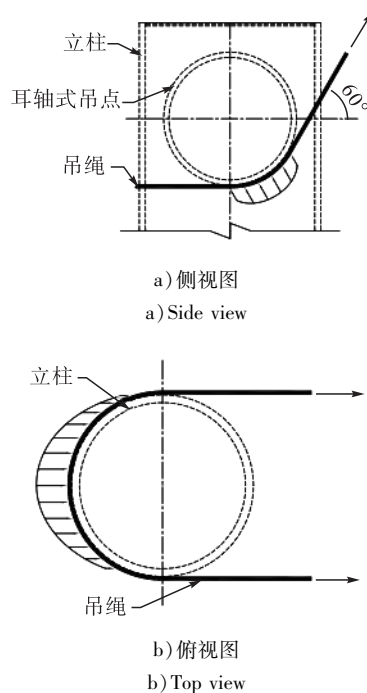


图 6 吊绳作用力示意图

Fig. 6 Schematic diagram of rope force

4.2 计算结果

计算得到的吊点结构应力分布云图见图 7,计算结果显示,最大冯·米赛斯应力为 291 MPa,位于耳轴和立柱的连接处,小于许用应力 320 MPa,耳轴式吊点结构强度满足要求。

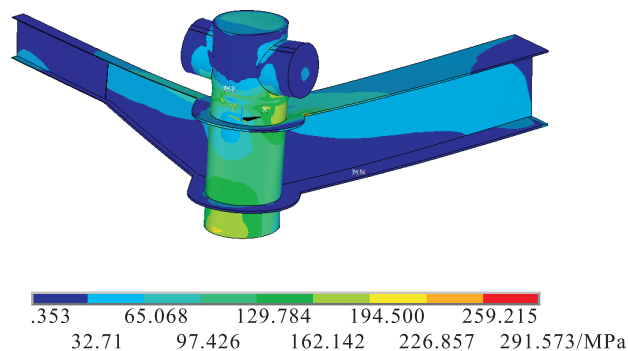


图 7 耳轴式吊点结构应力云图

Fig. 7 Stress contour of trunnion structure

5 结论

1)和常规水下吊点方案相比,本文提出的吊装框架设计方案,可解决吊点结构设计困难、液压卡环费用高、卡环失效摘扣困难等问题,技术风险可控,经济效益明显,适用于大型导管架的海上安装。

2)基于 SACS 软件和 ANSYS 软件,总结了一套吊装框架结构及耳轴式吊点的设计流程和计算方法,以某大型 8 腿导管架为例,对其结构强度进行了分析校核,验证

了吊装框架方案的可行性,供同类项目的设计、建造和海上安装阶段参考。

参考文献:

- [1] 秦立成. 我国海洋平台浮托安装技术现状及未来[J]. 海洋工程装备与技术. 2019, 6(增刊 1): 189-194.
QIN Licheng, Latest progress perspective in float-over technologies of installation offshore platforms in China [J]. Ocean Engineering Equipment and Technology. 2019, 6 (Suppl 1): 189-194.
- [2] 周可佳. 海上钢结构物典型吊点的比较与应用[J]. 船海工程, 2013, 42(1): 126-128.
ZHOU Kejia. Comparison and application of the typical lifting pad-eye for offshore steel structure [J]. Ship & Ocean Engineering, 2013, 42 (1): 126-128.
- [3] 刘全刚, 刘进华, 岳学, 等. 浅谈海洋固定式平台海上安装方法[J]. 中国造船, 2010, 51(增刊 2): 435-441.
LIU Quanguang, LIU Jinhua, YUE Xue, et al. General study on installation methods of the fixed offshore platform [J]. Shipbuilding of China 2010, 51 (Suppl 2): 435-441.
- [4] 刘庆, 刘健, 顾永新, 等. 按照海工国际标准设计计算眼板及发现的问题[J]. 船舶标准化工程师, 2015, 48(6): 10-11.
LIU Qing, LIU Jian, GU Yongxin, et al. Calculation of pad eye and problem found according to offshore international standard [J]. Ship Standardization Engineer, 2015, 48 (6): 10-11.
- [5] 石晓, 杨玉良, 田玉芹, 等. 四桩腿导管架平台吊装受力分析[J]. 电子质量, 2018(6): 78-80.
SHI Xiao, YANG Yuliang, TIAN Yuqin, et al. Analysis of lifting force of the four-leg jacket platform [J]. Electronic Mass, 2018 (6): 78-80.
- [6] 付殿福, 韩频, 孙钦, 等. 大型组块海上整体吊装方案优选研究[J]. 船海工程, 2015, 44(1): 162-165.
FU Dianfu, HAN Pin, SUN Qin, et al. Optimization research on offshore integral lifting project for large deck [J]. Ship & Ocean Engineering, 2015, 44 (1): 162-165.
- [7] 刘波, 杨亮, 田其磊, 等. 海洋平台上部组块吊装方案优化分析[J]. 石油工程建设, 2011, 37(4): 24-26.
LIU Bo, YANG Liang, TIAN Qilei, et al. Optimum scheme analysis for lifting topside of offshore platform [J]. Petroleum Engineering Construction, 2011, 37 (4): 24-26.
- [8] 王利金, 张宗峰. 海洋平台上部组块海上吊装优化分析[J]. 中国造船, 2009, 50(增刊 2): 397-402.
WANG Lijin, ZHANG Zongfeng. The optimum analysis of offshore lifting design of offshore platform deck [J]. Shipbuilding of China, 2009, 50 (Suppl 2): 397-402.
- [9] 刘建峰, 王彦多, 张胜强. 海洋平台上部组块一体化吊装框架技术研究与应用[J]. 石油工程建设, 2019, 45(2): 24-27.
LIU Jianfeng, WANG Yanduo, ZHANG Shengqiang. Study and application of integrated lifting frame with topsides of offshore platform [J]. Petroleum Engineering Construction, 2019, 45 (2): 24-27.
- [10] 于雷, 朱绍宇, 于森. API 规范和 LOC 手册在海洋工程吊装分析中的应用[J]. 中国造船, 2012, 53(增刊 2): 124-129.
YU Lei, ZHU Shaoyu, YU Miao. Application of API specification and LOC guideline in offshore lifting analysis [J]. Shipbuilding of China, 2012, 53 (Suppl 2): 124-129.
- [11] American Petroleum Institute. API RP 2A-WSD. Recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms-working stress design [S]. Washington D. C.: API, 2010.
- [12] American Institute of Steel Construction. AISC 335. Allowable stress design specification for structural steel buildings [S]. Chicago: AISC, 1989.
- [13] 李记忠. 海洋工程结构物海上吊装吊绳力的计算[J]. 化学工程与装备, 2020(11): 131-133.
LI Jizhong. Sling force calculation of offshore structure lifting [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2020 (11): 131-133.
- [14] 杨宝真. 海工工程吊装技术探讨[J]. 中国造船, 2009, 50(增刊): 36-40.
YANG Baozhen. Discussion on lifting technology in marine engineering [J]. Shipbuilding of China, 2009, 50 (Suppl): 36-40.
- [15] 杨宏, 胡江. 大型复杂结构物码头吊装方案设计[J]. 造船技术, 2020(5): 24-28.
YANG Hong, HU Jiang. Scheme design of wharf lifting of large complex structure [J]. Marine Technology, 2020 (5): 24-28.
- [16] 王宁, 徐田甜. 西江 23-1 油田平台模块海上吊装优化设计[J]. 石油矿场机械, 2007, 36(8): 26-30.
WANG Ning, XU Tiantian. The optimum offshore lifting design of platform modules of Xijiang 23-1 oil field [J]. Oil Field Equipment, 2007, 36 (8): 26-30.
- [17] 王利金. 埕岛油田计量平台上部组块整体吊装技术[J]. 石油工程建设, 2009, 35(增刊): 123-124.
WANG Lijin. Integrated hoisting of metering platform upper module in Chengdao oilfield [J]. Petroleum Engineering Construction, 2009, 35 (Suppl): 123-124.
- [18] 郑东强, 阎祥安, 于皓. 大型导管架吊. 分步离散优化设计[J]. 海洋工程, 2005, 23(4): 73-76.
ZHENG Dongqiang, YAN Xiang'an, YU Hao. Discrete optimal design of large jacket lifting eyes by stages [J]. The Ocean Engineering, 2005, 23 (4): 73-76.
- [19] 冯加果, 刘小燕, 谢彬, 等. 基于 ANSYS 的海洋平台吊点结构强度分析[J]. 石油矿场机械, 2016, 45(5): 32-37.
FENG Jiaguo, LIU Xiaoyan, XIE Bin, et al. Strength analysis of lifting pad eye on platform based on analysis [J]. Oil Field Equipment, 2016, 45 (5): 32-37.
- [20] 吴俊生. 基于有限元分析的导管架结构强度分析[J]. 技术研究, 2020(10): 19-21.
WU Junsheng. Lifting strength analysis of jacket structure based on finite element analysis [J]. Technical Study, 2020 (10): 19-21.