

导管架海洋平台的海冰载荷环境响应研究

牛书涛

海洋石油工程股份有限公司 天津 300450

摘要: 导管架平台是海洋工程结构物的主要形式,海冰载荷会影响结构稳定性,威胁工作人员的人身安全。以海洋导管架平台为研究对象,针对海冰载荷下结构响应问题,对所受环境载荷计算分析,对导管架平台整体建模,分析不同海流速下桩腿位移。表明正常环境载荷下平台下甲板部位产生位移,某些极端情况桩腿位移达5m左右。桩身变形存在差异,桩基中下部塑性分布范围增加。计算荷载施加后不影响桩基下部应力分布特征。

关键词: 导管架; 海洋平台; 海冰载荷; 环境响应

Study on the environmental response of jacket offshore platform under sea ice load

Shutao Niu

Offshore Oil Engineering Co., Ltd. Tianjin 300450

Abstract: The jacket platform is the main form of offshore engineering structure. Sea ice load will affect the stability of the structure and threaten the personal safety of workers. Taking the offshore jacket platform as the research object, aiming at the structural response under sea ice load, the environmental load was calculated and analyzed, the whole jacket platform was modeled, and the pile leg displacement under different sea velocities was analyzed. It shows that the deck part of the platform displaces under normal environmental load, and the displacement of the pile leg is about 5m in some extreme cases. The deformation of the pile body is different, and the plastic distribution range increases in the middle and lower parts of the pile foundation. The stress distribution under the pile foundation is not affected by the calculated load.

Keywords: jacket; Offshore platform; Sea ice load; Environmental response

海洋中蕴藏丰富的石油资源,海洋资源开采是国家能源开发的重点。导管架广泛应用于海洋资源开发各方面,桩腿是支撑平台的主体,导管架平台桩腿长期处于复杂服役环境,由于环境温度变化,平台桩腿结构发生腐蚀,导致整体抗力衰减。当前我国拥有大量在役海洋钻井平台,一些海洋平台为老龄化结构,在役龄25年以上的海洋结构失效率达35%。中国学者研究海洋平台海冰灾害预防措施,基础研究集中于冰力计算方法,工程结构冰力抗力等方面。评估结构性冰灾所需海冰数据不同,我国在役平台维护保养等方面落后于发达国家。如何综合考虑环境载荷对导管架平台桩腿的影响,提出维保方案具有重要意义。

1. 导管架海洋平台海冰载荷研究

海洋平台结构有多种类型,根据用途功能分为钻井采油平台,油气处理平台等。海洋平台发展距今已

有百年历史,经历从木材到钢筋砼等多种结构形式。目前有关海洋平台结构研究中对动静力学分析方面研究较多,随着数学领域优化方法研究的发展,对海洋平台优化研究逐渐增多。对海洋平台研究比较广泛,但对结构优化设计研究较少,现有研究未达到工程实用目的,对海洋平台结构多方面考虑优化设计非常必要。结构优化包括尺寸形状与拓扑优化,传统尺寸优化法分为准则法与数学规划法。国内外海洋平台静力优化设计研究较多,LRFD法结合WSD法考虑抗力与荷载随机性。海洋平台受到环境荷载为动荷载,动态响应特性是结构设计的重要指标,目前海洋结构动力优化集中于简单问题,基于可靠度结构优化设计较少。结构动态响应与设计变量是高度非线性关系,可行性态不良使得优化问题难度加大。

结冰海域抑制海洋平台冰激振动成为科学界研究重

点,常通过提高平台结构刚度增加抵抗冰激振动能力。目前抗冰振措施包括结构阻尼隔振体系,减轻平台甲板上部质量,增设粘弹性耗能斜撑结构等^[1]。海冰研究核心问题是确定冰对结构物的作用力,国内外专家考虑不同因素建立力学模型,由于冰荷载研究复杂性,各国学者对冰的破碎过程有不同看法,计算公式存在较大差异,冰激振动标准冰力函数尚无设计规范。冰荷载主要体现在基础位移差异,导管架平台结构方面差异,对冰区导管架平台冰激振动分析难以建立统一标准。目前对海洋平台隔振技术研究较少,需要加强导管架海洋平台海冰荷载分析研究。

2. 导管架海洋平台海冰荷载分析

海洋石油开发是涉及多种学科的综合工程,海洋平台是大型复杂结构,目前各国拥有各类平台大多为钢结构固定式,海洋平台是海上生产作业的基地,其涉及水平反映海上石油开发水平,对海洋平台结构优化设计研究具有重要意义^[2]。海洋平台结构复杂,所处海洋环境恶劣,海冰作用于结构等不利因素导致平台结构抗力衰减。海洋环境存在不确定因素,将先进优化设计法应用于平台结构中非常必要。导管架海洋平台结构受到海冰荷载的影响,需要分析海冰荷载理论,为导管架海洋平台结构设计提供依据。

海冰是受大气压与大海作用的晶体材料,海冰结冰挤压排出盐分,未排出气体形成气泡,海冰表层由很小粒状冰晶构成。海冰根据状态分为固定与流冰,浮冰是随风浮动在海水表面的冰,流冰面积占1/8的海绵不连接流冰为稀流流冰。我国自80年代开始进行海洋油气开发,渤海湾每年冬季形成海冰,辽东湾是我国海冰灾害严重的地区^[3]。海冰厚度确定方法包括热平衡法等,海冰工程研究要将其视为固态材料研究力学性能,冰排与海上结构物影响破坏形式包括屈曲挤压与剪切破坏。移动冰排与斜面结构物接触时前沿发生弯曲破坏,冰排在风流推动下与结构物接触受压失稳破坏,冰排周期性屈曲产生冰压力波动。冰排受到剪切应力达到极限发生破坏出现裂缝。

目前我国渤海导管架平台冰激振动模式分为直立腿与加固定桩腿结构,直立腿结构是未加装隔振装置平台桩腿,冰与直立结构作用发生弯曲破坏,冰挤压破碎对直立结构影响显著,冰力高周期短,随着冰速变化出现蠕变挤压破碎。挤压破碎冰力下结构发生准静态与随机振动,稳态振动结构强烈持续时间长,短期导致结构出现疲劳破坏。直立腿结构挤压破坏中平台结构受到外

冰力影响,高阶微幅振动对平台井口等上部建筑造成很大的影响。固定桩体是基于振源减振理论阐述,我国最早在渤海石油平台设置破冰桩体,桩体引导冰使挤压破坏转化为弯曲破坏,降低平台振动水平。桩体结构海冰破坏模式主要是弯曲破坏,冰力有时有显著的周期性,冰速达到特定值时冰力周期趋近于结构固有周期,平台抗冰效果明显,打乱破坏周期冰力周期与结构固有周期远离^[4]。

海冰结构冰力具有独特特点,国内学者对海冰固定结构物进行大量理论计算实验,得出固定结构物冰力计算方法,包括挤压与弯曲破坏计算。渤海常见导管架平台结构件与水平面夹角大于75°为垂直结构,工程中常采用挤压破坏冰力计算法。冰在结构前挤压破坏时对结构产生冰载荷,垂直的孤立柱水平冰力最大值计算公式为 $F = mlfcoDh$, f_c 为接触系数, m 为形状系数,方形界面冰正相作用力取1.0; F 为冰载荷; l 为嵌入系数。结构物宽度 $D < 2.5m$,最小值可取最大值的1/10。冰与桩体结构作用为弯曲破坏,研究利用压力盒实验建立冰力函数 $F_0 = (1 - t/\tau)$, $0 < t < \tau$, F_0 为冰力幅值, τ 为冰与桩体相互作用时间。

3. 导管架海洋平台的海冰荷载环境响应

石油天然气在能源结构中占据重要地位,世界油气勘探开发走向广阔的海洋,已证实石油储量中海洋石油占50%。海洋平台是油气资源开发基础性设施,海洋平台结构复杂,所处海洋环境恶劣,环境腐蚀等不利因素导致平台结构构件衰减,严重的海冰引发各种灾害形式,渤海是我国重要的油气能源基地,海洋平台集中先进的设计制造技术,结构设计采用试验修改法,对海洋平台结构系统研究已有较多成果,但采用优化技术实现海洋平台结构优化研究不够完善,研究分析海冰荷载环境响应有利于对导管架海洋平台结构优化。

表1 导管架平台几何参数属性

模型名称	梁单元名称
Deck beam1、2	Deck beam
Deck Pipe Horizontal Pipe1-5	Pipe780
Tilt Pipe Deck Tilt Pipe	Pipe508
Main Pipe1、2	Pipe1200

模型采用有限元软件ABAQUS建立,采用shell,皮蓬模型对甲板支撑梁建模,支撑梁长20m,甲板立柱长8m,水平支撑杆长18m,斜撑杆直径0.51m,桩腿直径1.205m。建模后对桩腿底部施加约束,重力加速度设置为 $-9.8m/s^2$,平台顶部约5000t,建模采用质量单元进行

等效, 在模型施加海冰荷载, 通过中国固定平台计算公式确定, $F=mIeKc(D/H_i)O_c$, Ie 为局部挤压系数 2.4, D 为主导管直径 1.2m, m 为形状系数圆柱取 0.9, Kc 为接触条件系数 0.45; O_c 为冰的单轴抗压强度 980kPa。计算海冰荷载 $F=1428840N$, 荷载方向为沿海平面水平方向。导管架下甲板长端两侧位移明显。海平面流速为 1.0m/s 桩顶位移为 0.21m, 海平面流速为 3.0m/s 桩顶位移为 1.92m, 海平面流速为 5.0m/s 桩顶位移为 5.03m。

表 2 有淤泥地质海域下桩基打入海底深度

方案	D1	D2	D3
岩桩入泥深度 m	-18	-13	-8

导管架工作在沿海大陆架浅水域, 设置嵌岩桩不同入泥深度, 桩基打入海底深度变化到 -13m, XZ 方向位移减小。变化到 -25m 转角不变。D3 方案受力情况严重, 受力情况随桩基打入深入增加先减后平。考虑安全因素桩基打入海底深度为 -8m 取得最佳效果。对导管架海洋平台有限元分析, 海冰厚度为 10cm, 分析不同入射角度下平台模态响应, 0° 角度入射最大位移值为 5.7cm, 90° 角入射最大位移值为 7.6cm。冰厚为 20cm, 分析不同入射角度平台模型响应, 0° 角入射最大为位移值为 13.68cm, 90° 入射时最大位移值为 11.6cm。冰急动随冰厚增加, 冰力周期性干扰频率接近平台一阶共振固有频率, 平台响应呈现逐步衰减态势。冰厚度为 40cm, 入射角度为 0° 时最大位移为 20cm, 倾覆力矩为

70392kN-M^[5]。

4. 结语

随着我国石油开发重心转向海上, 提高结构安全性能的先进行平台设计受到关注。平台结构受到动冰冲击荷载作用, 动力优化法成为结构设计领域的热点。研究海洋平台结构优化设计技术具有重要价值。本文介绍导管架海洋平台海冰荷载研究, 分析导管架海洋平台海冰荷载理论, 建立导管架海洋平台的海冰荷载环境响应模型, 通过 ABAQUS 有限元软件对平台建模, 分析不同海流速下桩腿位移变化, 导管架平台甲板部分易受到环境荷载影响, 导致甲板长端侧产生较大位移。桩腿位移变化受海流速度影响较大, 桩腿上部位移达, 导管架平台应及时停止作业。桩基变形受桩腿入泥深度影响。

参考文献:

- [1]王铭基.海洋平台冰振危害监测与分析方法研究[D].大连理工大学, 2021.
- [2]孙星宇.海洋立管抗冰性能研究[D].大连理工大学, 2021.
- [3]邱少华.导管架海洋平台整体结构海冰荷载环境下响应分析[J].船海工程, 2020, 49(04): 30-33.
- [4]刘大辉.半潜式钻井平台抗冰性能多维优化设计及评估方法研究[D].浙江大学, 2020.
- [5]李非帆.海洋平台导管架在撞击和地震极端工况下的结构动力响应分析[D].华中科技大学, 2020.