

文章编号: 1001-3482(2007)09-0021-04

导管架平台冰激振动响应分析

王世敬

(中国石油大学(华东)机电工程学院,山东 东营 257061)

摘要:根据导管架平台的结构特点,建立了导管架平台有限元模型。对其进行模态分析,获得前 3 阶固有频率和模态振型,计算结果与实测结果相符合,表明导管架平台的有限元模型是准确的。在此基础上,对导管架平台施加风、海流静载荷及动冰载荷,进行导管架平台的动力响应分析,获得了导管架平台各个关键点的位移和加速度响应曲线。

关键词: 导管架平台;有限元;动力特性;动冰载荷;动力响应

中图分类号: TE952

文献标识码: A

Study of Ice-induced Response on Jacket Platform

WANG Shi-jing

(College of Mechanical and Electronic Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257061, China)

Abstract: Finite element model of offshore fixed jacket platform is built according to actual structure of it. Analysis of dynamic characteristics for the platform is made by using the method of dynamic finite element, and its 3 preceding modes are obtained. The calculating results are very close to the testing results, so the calculating model of the platform is valid. On the basis of the analysis, the ice-induced response of offshore fixed jacket platform is calculated by exerting wind, current drift static load and dynamic ice force on offshore fixed jacket platform, to obtain the displacement and acceleration dynamic response curves of each key point for offshore fixed jacket platform.

Key words: jacket platform; finite element; dynamic characteristics; dynamic ice force; dynamic response

位于冬季冰情较严重海域的导管架平台,在服役期间除要承受风、浪、流等环境载荷作用外,冬季还要承受冰载荷的作用。每年冬季分布在海面上的具有一定厚度的冰排在海流或风的驱动下撞击海洋平台的桩腿且连续破碎时,会引起平台振动,即冰激振动。在冰情较严重的冬季,平台在海冰的作用下发生强烈振动,使海上油气生产无法正常进行,并严重影响平台结构的疲劳寿命及平台上设备和工作人员的安全。这就要求所设计的海洋平台不但要满足静强度要求,还要有良好的动力特性。鉴于海洋平

台存在的冰激振动问题,本文在研究平台结构的动力特性的基础上,研究了冰板不同破坏方式对导管架平台动力响应的影响,所获得的结论对于导管架平台设计有一定的参考价值。

1 有限元模型的建立及模态分析

在冰区海域的某海洋固定平台为 4 腿 4 桩导管架,以此导管架为实例研究导管架平台在动冰力作用下的特性。该导管架平台由 3 层甲板构成,隔水套管共有 4 根,甲板结构采用由梁柱板和斜支撑构

收稿日期:2006-12-29

作者简介:王世敬(1957-),男,山东单县人,副教授,1982年毕业于华东石油学院石油矿场机械专业,主要从事石油机械设计、研究及教学工作,E-mail:wangsj668@sina.com。

成的空间桁架。甲板由4条立柱提供支撑,有2片纵桁架、2片横桁架和2层甲板。直升机甲板、上层甲板和下层甲板的高分别为24.8、17.0和13.0 m。

根据导管架平台的实际结构建立其有限元模型,与其他类型的平台建模的方法基本类似,只是增加一类板单元来模拟梁柱板。单元 PIPE59 为三维管单元,2个节点,每个节点有6个自由度,用于模拟位于海平面以下导管架的管形构件和桩。PIPE59 可以自动生成附连水质量,以及作用在管内外的静水压力、浮力、波浪载荷及海流荷。单元 PIPE16 为三维管单元,2个节点,每个节点有6个自由度,用于模拟甲板结构上管形构件。BEAM4 为三维梁单元,2个节点,每个节点有6个自由度,用于模拟组成甲板结构及上部生活模块结构的各个工字梁或L型构件。MASS21 为点单元,1个节点,节点可以有6个自由度,用于模拟简化到节点上的集中质量。对于甲板及上部生活模块上附加装置或可移动装置的质量,可简化成集中质量。板单元 PLANE42 为两维的平面单元,4个节点,每个节点有2个自由度,用于模拟甲板结构上的梁柱板。

总体坐标系原点位于海平面处,垂向轴为Z轴,Z轴的正向指向上。

导管架平台计算模型的边界采用等效桩,固定4个桩腿端部,即限制桩腿端部所有自由度。同样打入海底土层中的4根隔水套管的下端部也采用等效桩,隔水导管上端的节点与甲板上相应位置的节点耦合起来,限制X、Y方向的移动和转动自由度,保留Z方向(即垂直方向)的自由。

导管架平台的有限元模型如图1所示,整个模型共有节点241个,单元641个。

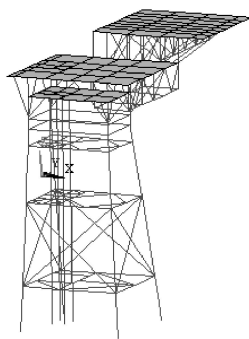


图1 导管架平台的有限元模型

对如图1的导管架平台的有限元模型进行结构动力特性分析,可以得到其各阶固有频率和振型,计算取平台的前10阶固有频率,其中前3阶固有频率

如表1所示。结构的前3阶模态振型分别为绕Z轴的扭转振动、在X方向上的摆动振动和在Y方向上的摆动振动。

表1 导管架平台前3阶固有频率

模态阶次	ANSYS 计算值	SACS 计算值
1	0.97	0.967
2	1.07	1.083
3	1.53	1.522

2 动力响应分析

导管架平台的设计载荷组合为自重和环境载荷(包括风、海流及冰载荷)。为研究导管架平台的动力响应特性,分2种情况:在桩腿上安装抗冰锥体,冰发生弯曲破坏;在桩腿上不安装抗冰锥体,冰发生挤压破坏。分别计算平台的冰激振动响应,并将计算结果分析对比。

2.1 计算参数

冰厚 40 cm;冰速 40 cm/s;风速 37.1 m/s;海流速度 2.14 m/s

2.2 瑞雷阻尼计算

按计算公式 $\zeta_i = \frac{\zeta_1}{2} + \frac{\zeta_2}{2}$,取结构阻尼比 $\zeta_1 = 0.02$, $\zeta_2 = 0.97$, $\zeta_3 = 1.07$,可以计算得到 $\zeta_1 = 0.0197$, $\zeta_2 = 0.0204$ 。

2.3 海冰发生弯曲破坏时平台的动力响应

取冰速 $v = 40$ cm/s,沿X方向对平台施加冰载荷,对导管架平台进行动力响应分析。锥体上的动冰力函数^[1]的数学表达式为

$$F(t) = \begin{cases} F_0 (1 - \frac{t}{T}), & (0 \leq t < T) \\ 0, & (t \geq T) \end{cases}$$

式中, F_0 为作用在锥体上的周期性冰力峰值, $F_0 = 3.2 \times 10^2 (D/l_b)^{0.34}$; t 为冰厚; l_b 为冰的破碎长度; D 为锥体水线上的直径; T 为冰周期, $T = l_b/v$ 。一般取 ζ 为周期值的 $1/3$, $l_b = 7t$ 。

对导管架平台进行动力响应分析,在上层甲板中间位置取一个节点 N118,该节点能代表上层甲板的动力响应,节点 N118 加速度时程曲线和位移时程曲线如图2~3所示。

图4为冰速 $v = 40$ cm/s 时,单元2,节点 N24 的等效应力时程曲线。节点24为导管架中部的一点,平台在冰载荷的作用下该点的应力为交变应力,冰速越高,应力变化频率越高。对静冰载荷的计算结果表明该点的应力放大系数在1.3左右。

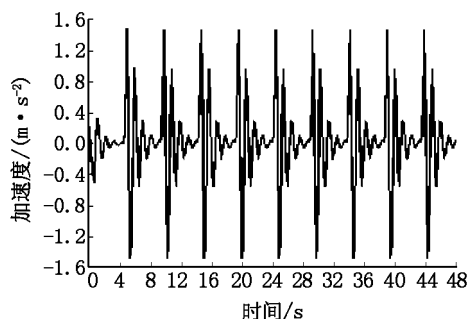


图 2 节点 N118 弯曲破坏加速度时程曲线

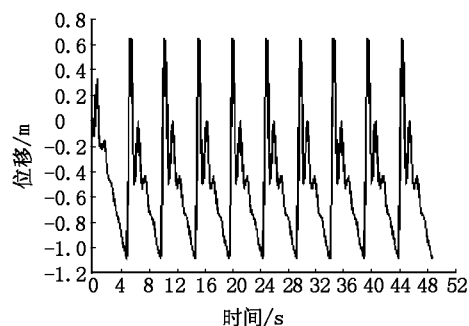


图 3 节点 N118 弯曲破坏位移时程曲线

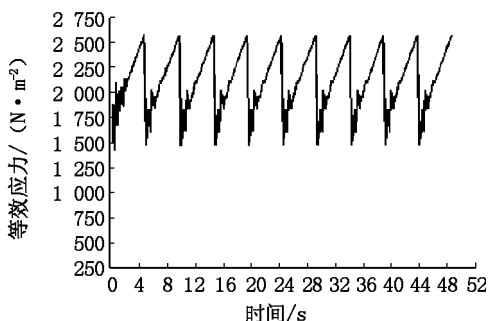


图 4 节点 N24 弯曲破坏等效应力时程曲线

2.4 海冰发生挤压破坏时平台的动力响应

取冰速 $v = 40 \text{ cm/s}$, 沿 X 方向对平台施加冰载荷。桩腿上的动冰力函数的数学表达式为

$$F(t) = \begin{cases} \frac{1}{3} F_0, & (0 < t < T) \\ F_0 \frac{2t-T}{T}, & (\frac{2}{3} T < t < T) \end{cases}$$

式中, F_0 为作用在桩腿上的周期性冰力峰值, $F_0 = lmkDhc^{[2]}$; m 为形状系数, 取 0.9; k 为接触系数, 取 0.3; l 为嵌入系数, $l = \sqrt{5 \frac{h}{D} + 1}$; D 为桩直径; h 为冰厚; c 为冰的单轴抗压强度, 取 1.96 MPa。

根据试验统计^[3], 冰力函数周期 $T = l/v$, l 为海冰的挤压破碎长度, 一般取 $l = (0.1 \sim 0.3) h$ 。

节点 N118 的加速度时程曲线和位移时程曲线如图 5~6 所示。

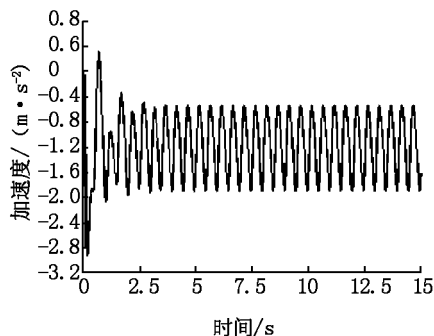


图 5 节点 N118 挤压破坏加速度时程曲线

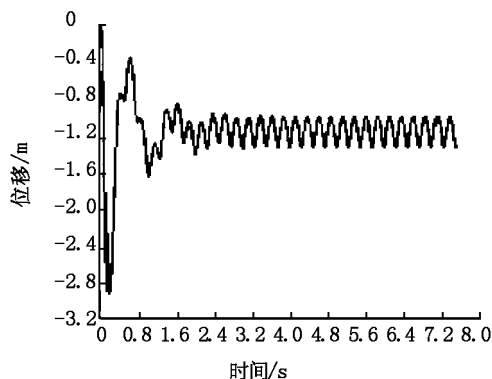


图 6 节点 N118 挤压破坏位移时程曲线

对比图 2~3 和图 5~6 在同一节点 N118 的加速度、位移时程曲线, 由于冰板的破坏方式不同, 2 种情况下的加速度、位移时程曲线差异明显。2 条曲线的加速度和位移幅值不同, 并且图 2~3 加速度、位移时程曲线出现了突变。另外 2 种情况下加速度、位移时程曲线的变化频率也不同, 弯曲破坏降低了冰力频率。因此, 桩腿上安装锥体改变了冰的破碎频率, 同时也改变了结构的振动频率和幅值。

图 7 为当冰速 $v = 40 \text{ cm/s}$ 时, 单元 2, 节点 N24 的等效应力时程曲线。比较图 4 和图 7, 冰板发生挤压破坏时, 节点 N24 等效应力的幅值降低比在海冰发生弯曲破碎时的应力幅值有明显的降低, 只是应力变化频率增加较多。

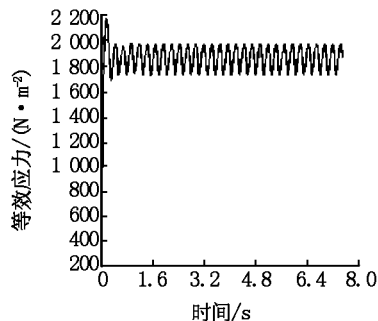


图 7 节点 N24 挤压破坏等效应力时程曲线

文章编号: 1001-3482(2007)09-0024-04

弯曲井段内连续油管稳定问题的存在性分析

罗丽华¹, 綦耀光¹, 王子磊¹, 齐建波²

(1. 中国石油大学(华东)机电工程学院, 山东 东营 257061; 2. 中石油管道工程有限公司, 河北 廊坊 065000)

摘要: 基于弹性杆大位移-小变形理论, 利用微分方程法, 给出了弯曲井段内连续管柱失稳临界载荷的解析结果, 并讨论了弯曲井段内, 连续管柱存在稳定问题的条件。研究表明, 弯曲井段内临界载荷不仅与连续管柱几何特性参数相关, 还与井眼直径和曲率有关。井眼直径和曲率半径越小, 临界载荷越大, 其他条件一定, 井眼曲率半径减小到一定程度时, 临界载荷超过强度极限载荷, 管柱稳定问题转化为强度问题。

关键词: 连续油管; 弯曲井段; 稳定分析

中图分类号: TE933.802

文献标识码: A

Existence Analysis of Coiled Tubing Stability in the Crooked Section in Horizontal Well

LUO Li-hua¹, QI Yao-guang¹, WANG Zi-lei¹, QI Jian-bo²

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257061, China;

2. China Petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd., Langfang 065000, China)

Abstract: An analytic stability result of the CT in the crooked section of horizontal well is obtained with the differential equation analysis and the large displacement/ small-strain theory of an elastic rod. The conditions of CT buckling in the crooked section are discussed and the possibility of buckling is demonstrated in theory. The results show that the critical load in the crooked sec-

3 结论

1) 由动冰载荷作用下的导管架平台动力响应分析可知, 平台的动力响应仍为周期性响应, 响应周期与冰力激励周期相同, 平台的振动为稳态振动。

2) 在冰板为弯曲破坏时加速度时程曲线陡峭, 反映了平台的摆动速度变化很大。

3) 在桩腿上安装抗冰锥体可以改变冰排破碎的频率或周期, 但不一定就能降低平台的动力响应, 由于冰排的厚度及冰速无法准确估计, 也就不能通过设定锥体的几何参数来控制冰排的破碎频率, 从

而达到控制冰力周期的目的。

4) 平台上部的动力响应要大于平台下部的响应, 采取隔振措施可避免振动向上部结构传递。

参考文献:

- [1] 岳前进, 季顺迎, 于学兵. 局地海冰数值预测的冰激结构响应计算[J]. 海洋工程, 2003, 21(2): 32-37.
- [2] 欧进萍, 王刚, 段忠东. 海洋平台结构的冰力作用模型[J]. 海洋工程, 2002, 20(1): 7-14.
- [3] 岳前进. 渤海海冰研究及其工程应用中期研究报告(国家自然科学基金重点项目报告)[R]. 大连: 大连理工大学, 1999: 51-70.

收稿日期: 2007-02-07

作者简介: 罗丽华(1983-), 女, 四川仪陇人, 在读硕士研究生, 现从事石油机械工程方面的研究工作, E-mail: luolihua1003@163.com。