

半潜式钻井平台甲板极限强度有限元分析

夏 苏

(上海交通大学 船舶海洋与建筑工程学院, 上海 200030)

摘 要:以某半潜式平台甲板为研究对象,利用非线性有限元软件 ABAQUS 建立有限元模型,计算了在横开弯矩、横关弯矩两种载荷模式下的极限强度,分析计算了结构弯矩与时间的关系曲线,得出了结构应力分布,为该类型甲板的结构承载能力评估提供了参考。

关键词:半潜式钻井平台;甲板结构;极限强度;有限元

中图分类号:U661.4

文献标识码:A

文章编号:1671-9891(2018)01-0030-05

0 引言

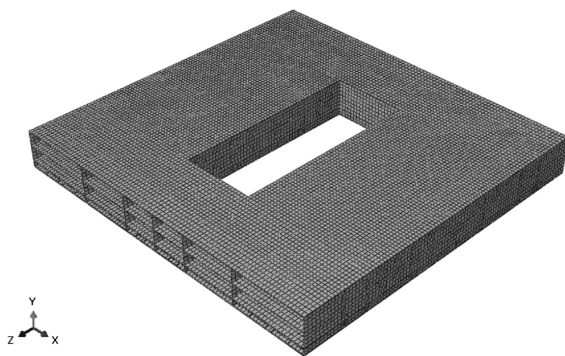
对于半潜式平台这种大型的复杂结构,在其建造或使用过程中,若遇到危险工况,极易发生局部结构的受损甚至破坏,最终导致平台整体的沉没。因此,研究局部结构的极限承载能力是十分必要的。所谓结构的极限强度,是指对结构不断增加环境荷载来计算其受力及变形状态,直到结构不再承受更高荷载为止。^[1]对于半潜式平台甲板来说,一般用极限弯矩来评估它的结构承载能力。本文分别计算了某半潜式平台甲板在横开弯矩及横关弯矩下的极限强度。

1 几何模型

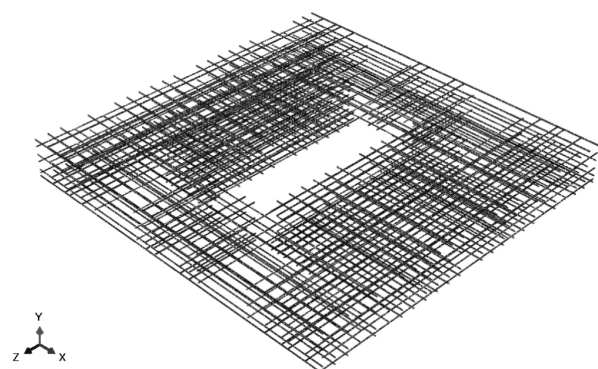
图 1 为半潜式平台甲板的简化模型:整个甲板共分四层,分别为 deck30、deck31.7、deck35.15、deck38.6,共设置 7 道纵舱壁和 5 道横舱壁,甲板及舱壁由许多纵横交错的骨材予以加强,且每两层甲板之间,在各舱壁上设置一道加强筋。由于作业需要,每层甲板中间位置均有较大的开口。图 1 中 x 轴方向为纵向,所有的构件均设置为 shell 单元。平台甲板的主尺度参数如表 1 所示。

表 1 平台甲板的主尺度参数

甲板总长/m	甲板总宽/m	甲板型深/m
77.48	74.42	8.60



(a)总体外观



(b)骨架及加强筋

图 1 半潜式平台甲板结构图

收稿日期:2017-12-06

作者简介:夏苏(1988—),男,江苏南通人,上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院硕士生。

2 材料及尺寸

所有材料均为 AH32 高强度钢 ,其屈服应力 $\sigma_r = 315 \text{ MPa}$,杨氏模量 $E = 210 \text{ GPa}$,泊松比 $\nu = 0.3$,材料假设为理想弹塑性模型。甲板板材规格如表 2 所示 ,每层甲板骨材规格如表 3 所示。

表 2 甲板板材规格

编号	甲板所在位置	板厚 / mm	屈服应 σ_r / MPa	杨氏模 E / GPa	泊松比 ν
Deck30	最下层	16	315	210	0.3
Deck31.7	第二层	14	315	210	0.3
Deck35.15	第三层	12	315	210	0.3
Deck38.6	最上层	20	315	210	0.3

表 3 每层甲板骨材规格

所在甲板	尺寸 / mm	类型	屈服应 σ_r / MPa	杨氏模 E / GPa	泊松比 ν
Deck30	220×10	扁钢	315	210	0.3
Deck31.7	200×10	扁钢	315	210	0.3
Deck35.15	140×9	扁钢	315	210	0.3
Deck38.6	220×10	扁钢	315	210	0.3

3 计算工况

半潜式平台甲板下方有两个浮筒 ,浮筒之间由横撑连接 ,如图 2 所示。当浮筒在波浪等的作用下相互远离时 ,平台甲板受到的力可以简化为施加在甲板两侧的一对大小相等、方向相反的弯矩 ,即为横开弯矩 ;同样地 ,当浮筒在波浪等的作用下相互靠近时 ,甲板受到横关弯矩作用。

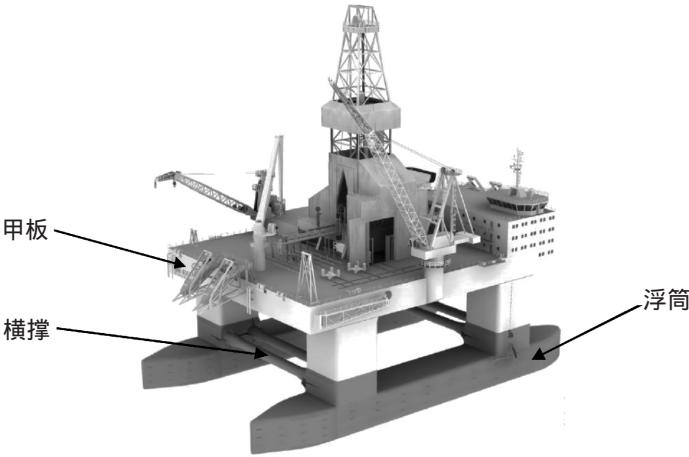


图 2 半潜式平台结构示意图

3.1 横开弯矩

在模型的两侧选取参考点 RP-1 及 RP-2 ,然后将甲板两侧分别与两参考点建立耦合约束(Coupling),即这两个参考点与和其建立关系的两侧上的点相对位置保持不变 ,就可以在参考点上施加载荷及边界条件 ,刚体的运动就随这个参考点上施加载荷及边界条件进行 ,这与在两侧施加弯矩等效。

对于横开弯矩 ,在结构左侧(RP-2)约束 U_1 、 U_2 、 UR_2 、 UR_3 ,在结构右侧(RP-1)约束 U_1 、 U_2 、 U_3 、 UR_2 、 UR_3 ,如图 3 所示。在这种约束条件下 ,甲板右侧只能沿 x 方向转动 ,左侧能在 z 轴平移及在 x 轴方向转动。这种约束类似于“简支” ,如图 4 所示。

为了求得模型的极限弯矩 ,利用准静态法对参考点施加恒定的角速度 ,对于结构右侧(RP-1) ,其角速度如式(1)所示 ,对结构左侧(RP-2) ,其角速度如式(2)所示。

RP-1 : $VR_1 = + 0.1 \text{ rad / s}$ (1)

RP-2 : $VR_1 = - 0.1 \text{ rad / s}$ (2)

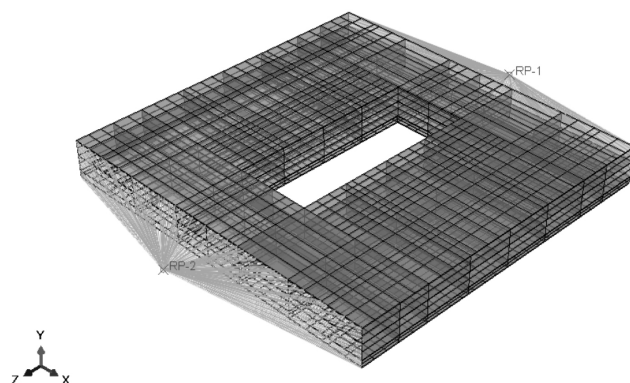


图3 约束条件及载荷

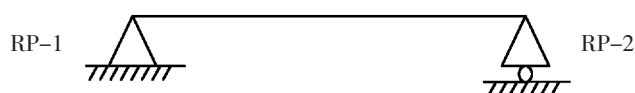


图4 简支示意图

3.2 横开弯矩

约束条件与横开弯矩相同,即结构左侧(RP-2)约束 U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 ,结构右侧(RP-1)约束 U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 。此时在参考点施加的角速度与横开弯矩情况不同,对于结构右侧(RP-1),其角速度如式(3)所示;对结构左侧(RP-2),其角速度如式(4)所示。

$$\text{RP-1: } \dot{\varphi}_1 = -0.1 \text{ rad/s} \quad (3)$$

$$\text{RP-2: } \dot{\varphi}_1 = +0.1 \text{ rad/s} \quad (4)$$

4 计算结果及分析

4.1 横开弯矩下的结构极限承载力分析

(1)弯矩—时间曲线。弯矩与时间的关系曲线如图5所示。从图中可以看出,结构在 37.5 ms 达到极限状态,其极限弯矩为 3 700 MN·m。

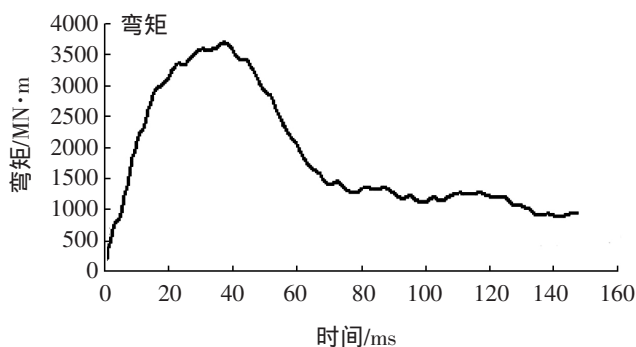


图5 结构弯矩—时间曲线图

(2)应力图。根据计算结果,可得到横开弯矩下的结构应力图,其中 7.5 ms 时结构应力图如图6所示,22.5 ms 时结构应力图如图7所示,37.5 ms 时结构应力图如图8所示,60 ms 时结构应力图如图9所示。

从图6、图7、图8、图9可以发现,结构在达到极限状态前,高应力区位于各个横舱壁的四隅,其中最外侧的横舱壁应力最大;之后高应力区向中纵方向延伸,同时甲板中的骨架及加强筋也开始承担载荷。在 22.5 ms 时,部分构件达到屈服极限,但直到 37.5 ms,甲板整体才达到极限状态。达到极限弯矩之后,失效构件进一步增加,甲板最大承载力逐渐降低。由此可见,甲板的破坏是一个非线性的渐进过程。当断面上一个最弱的构件因屈曲、进入塑性或者两种的某种组合而不能有效地承担载荷时,将使甲板的刚度减小,但由于其他构件仍可以进一步承担载荷,包括失效构件转嫁来的载荷,断面上的内力重新分配。因此,甲板仍能继续承载。随着一个又一个构件发生破坏,甲板的刚度逐渐减小,直到变形急剧增加而发生崩溃。^[2]

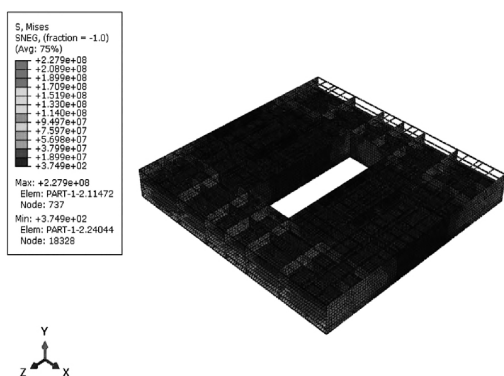


图 6 7.5 ms 时结构应力图

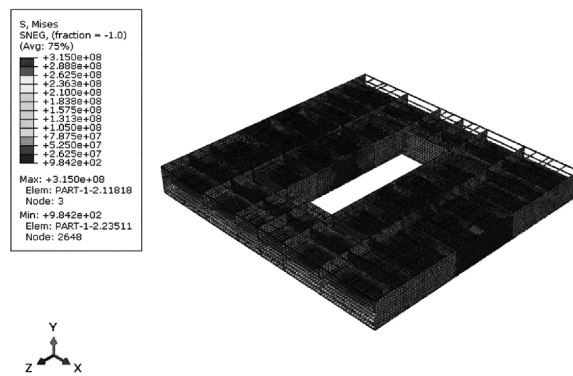


图 7 22.5 ms 时结构应力图

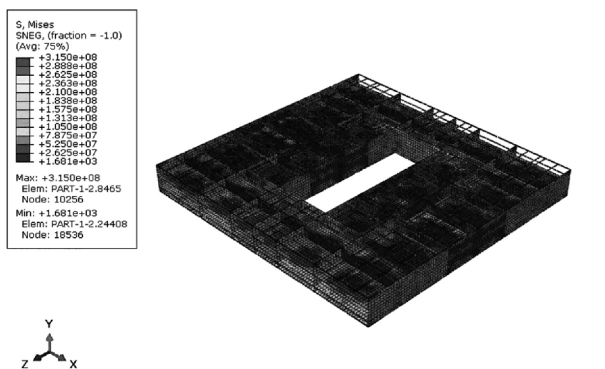


图 8 37.5 ms 时结构应力图

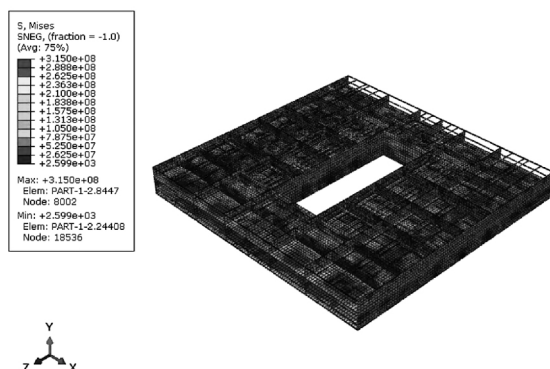


图 9 60 ms 时结构应力图

4.2 横弯矩下的结构极限承载力分析

(1) 弯矩—时间曲线。弯矩与时间的关系曲线如图 10 所示。可以看出, 结构在 37.5 ms 时达到极限状态, 极限弯矩为 3 630 MN·m。

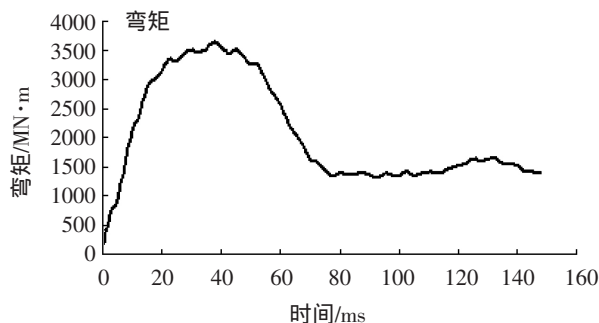


图 10 结构弯矩—时间曲线图

(2) 应力图。根据计算结果, 可得到横弯矩下的结构应力图, 其中 7.5 ms 时结构应力图如图 11 所示, 22.5 ms 时结构应力图如图 12 所示, 37.5 ms 时结构应力图如图 13 所示, 60 ms 时结构应力图如图 14 所示。

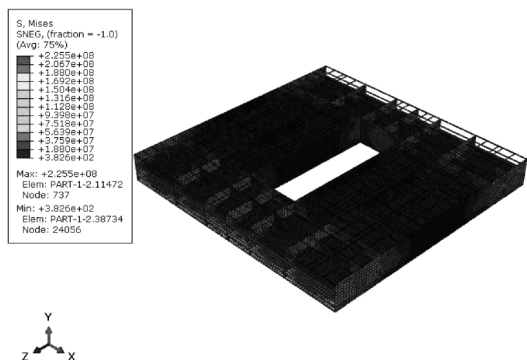


图 11 7.5 ms 时结构应力图

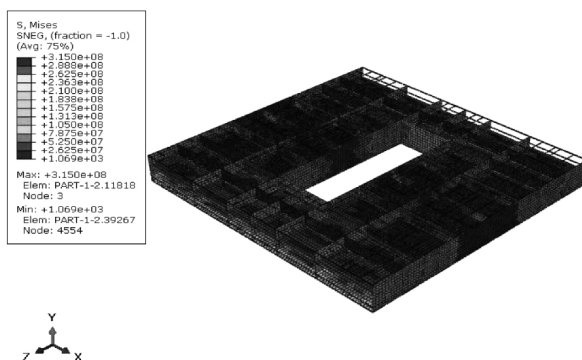


图 12 22.5 ms 时结构应力图

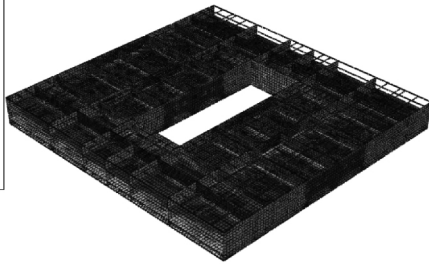
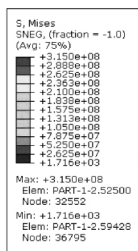


图 13 37.5 ms 时结构应力图

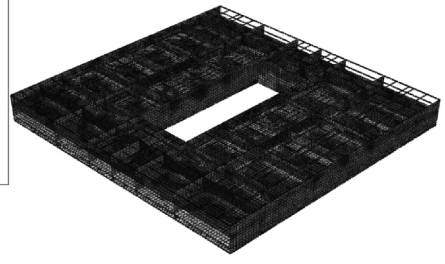
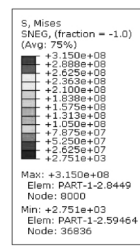


图 14 60 ms 时结构应力图

从图 11、图 12、图 13、图 14 可知,结构在横关弯矩作用下承受载荷的方式与在横开弯矩下大致相同,应力集中区从耦合面附近开始向中纵方向延伸。首先横舱壁上的应力较为集中,之后甲板板、舱壁、加强筋和骨材开始都承担一部分载荷。在 22.5 ms 时部分构件开始达到屈服极限,37.5 ms 时结构达到极限强度。

5 结束语

本文建立了半潜式平台甲板有限元模型,并对甲板在两种工况下的极限承载力进行了计算分析,并得到以下结论:甲板在横开弯矩下的极限弯矩为 3 700 MN·m;甲板在横关弯矩下的极限弯矩为 3 630 MN·m;结构在达到极限状态前,高应力区位于各个横舱壁的四隅,其中最外侧的横舱壁应力最大,之后高应力区向中纵方向延伸,同时甲板中的骨架及加强筋也开始承担载荷。当部分构件达到屈服极限,甲板整体并未失效,当弯矩继续加载一段时间后甲板才达到极限状态。达到极限弯矩之后,失效构件进一步增加,甲板最大承载力逐渐降低。

参考文献:

- [1]贺双元,卫国,陆浩华.运用 MARC 进行箱梁的极限强度分析[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2006,(5):889-891.
- [2]丁艳伟,杨平.船体桁材开孔后的极限强度研究[J].船海工程,2011,(3):44-46.

(责任编辑:顾力豪)

Finite Element Analysis of Ultimate Strength of Semi-submersible Drilling Platform Deck

XIA Su

(School of Naval Architecture, Ocean and Civil Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: Taking a semi-submersible platform deck as a research object, the nonlinear finite element software ABAQUS is used to establish the finite element model, and its ultimate bending strength is obtained by calculation in the horizontal closing and opening load modes. The relative curve between structure bending moment and time is analyzed and computed, based on which the distribution of structural stress is drawn. It provides reference for assessing the loading capacity of such type of deck structure.

Key words: Semi-submersible drilling platform; Deck structure; Ultimate strength; Finite element