

自升式平台的结构强度分析

林钟明, 陈瑞峰, 姚艳萍

(中国船级社, 北京 100006)

摘 要

自升式钻井平台是指具有活动桩腿, 并可将平台主体上升到海面以上一定高度进行作业的平台, 它在海洋石油开发中被广泛采用。本文采用 Zenscad 海工结构分析软件, 对一个典型的自升式钻井平台进行了结构静力分析, 并分别针对预压载工况、正常作业工况以及极端工况, 对平台主体和桩腿的强度进行了校核。荷载主要是考虑了结构自重、功能荷载以及环境荷载。有限元建模主要采用了梁单元和板壳单元, 其中梁单元用于模拟桩腿、强横梁、底肋板、纵桁、舱壁垂直和水平扶强材等强力构件, 板壳单元用于模拟主甲板、底板、船体外围板以及舱壁板等结构。基于上述分析, 结果给出了构件的应力水平、最大节点位移以及桩基支反力。本文对自升式平台的结构设计和在位分析具有一定的参考价值。

关 键 词: 自升式平台; 结构分析; 有限元

1 概 述

自升式平台是指具有活动桩腿, 且其主船体能沿支撑于海底的桩腿升至海面以上预定高度进行作业的平台, 此种平台在海洋石油开发中被广泛应用。本文对某典型自升式平台进行了有限元建模及结构强度计算。其计算工况为: 预压工况、正常作业工况以及自存工况。

该平台为悬臂自升式平台, 采用三角形箱形主船体, 配有三根圆柱形桩腿, 艏一艉二。平台主体甲板划分为三个区域: 船艏生活区、船艏工程设备区和船艏生产作业区。平台作业水深范围为 4.5m~25m。平台主要结构由主船体和桩腿两部分组成。主船体上艏部设有三层甲板室结构和直升机平台结构; 平台舯部设有主机房、配电室、锅炉房等工作房结构; 艉部设有修井作业系统及其它修井作业专用设备。平台进行修井作业时悬臂梁伸出平台体外; 拖航或移位时则收回主甲板内。修井作业时井架中心至主船体艉部边沿最大距离为 8m; 井架中心左右横向移动距离为 3.5m。

本平台桩腿采用长度为 60m, 直径为 2.7m, 壁厚为 30-40mm 的圆柱形结构, 桩腿的平面位置分布以及主船体的平面形状如图 1 所示。平台主体在与桩腿连接区域设立相应的围阱区, 并对围阱区纵横壁板进行加强, 使载荷合理地传到平台主体各区域。平台主体采用三角形箱体结构, 有 4 道纵舱壁(中间 2 道纵向连续)和 7 道横舱壁, 把箱形平台主体划分为若干个水密舱, 形成具有很大抗扭刚性的平台主体结构。

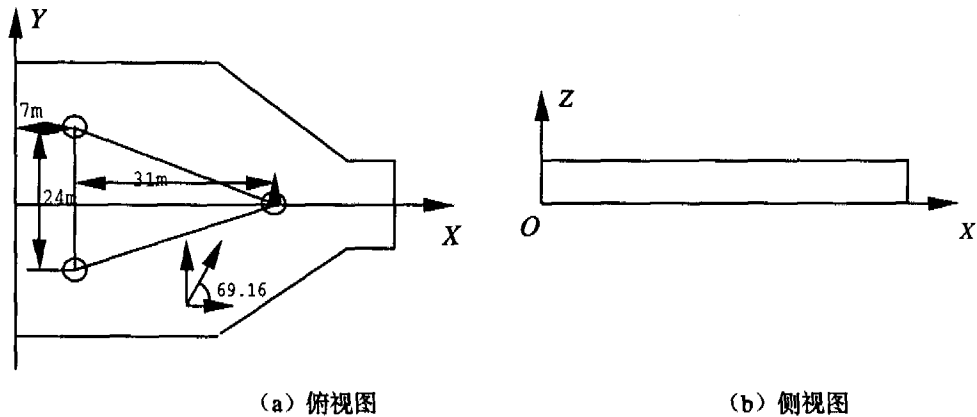


图 1 平台外形以及桩腿位置分布图

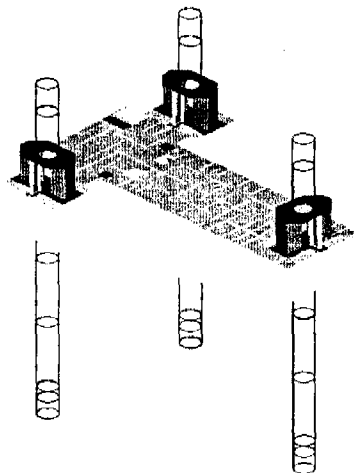
2 计算模型

结构建模和分析采用 StruCAD*3D (4.10 版本) 软件, 该程序为针对海上固定、移动式设施进行结构有限元分析的专用软件, 可以完成包括静力、动力以及疲劳分析在内的各种分析计算。

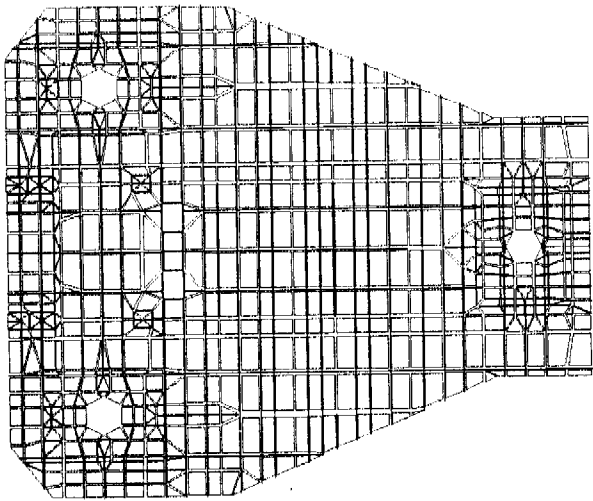
根据该平台的结构特点, 建模中采用了梁元和板壳元的适当组合, 将平台模拟为空间板壳、梁的组合结构。其中梁单元用于模拟桩腿、强横梁、底肋板、纵桁、舱壁垂直和水平扶强材等强力构件, 板壳单元用于模拟主甲板、底板、船体外围板以及舱壁板等结构。板壳单元主要采用三结点和四结点平板壳元。对于平台附属结构, 比如甲板室、直升机平台、横向轨道、悬臂梁、钻杆堆场、吊机等没有直接进行建模, 而是通过将局部强度分析结果给出的边界条件施加在主体结构上加以考虑。风载荷的计算中包括了未建模构件受到的风力。

本平台桩腿和平台的连接是通过齿轮齿条啮合系统来实现的, 二者之间通过齿轮齿条来传递竖向力, 同时平台升降室壁有导向结构来约束他们之间的水平位移。在建模时通过设定主从节点来模拟二者之间的上述约束关系。其次, 由于桩腿房顶部的导向环刚性很大, 因此在总体分析中导向结构作为刚性板来处理。另外, 平台着底状态时, 桩腿底部边界条件的考虑按照《海上移动平台入级与建造规范》的相关规定, 取海底泥面以下 3m 处铰接。

需要注意的是, 当板梁复合弯曲时, 必须考虑板、梁中和轴不重合所导致的偏心问题。在建立模型时, 根据平台结构的真实尺寸, 分别赋予梁单元相应的偏心值, 从而使得计算模型和真实结构相吻合。图 2 给出了平台主体结构的有限元模型图。



(a) 三维立体图



(b) 主甲板有限元网格图

图 2 平台主体结构的有限元模型

3 计算荷载

3.1 功能荷载

功能荷载包括固定荷载和与操作工况相关的可变荷载。固定荷载主要包括平台结构的自重和设备荷载，其中自重由程序根据所建模型自动完成计算，而设备荷载根据甲板荷载说明书和甲板荷载图进行施加。可变荷载主要涉及到各液舱的配载，平台修井作业时相关荷载、直升机降落对平台的冲击荷载、甲板吊机荷载、其它的生活供应设备等。

3.2 环境荷载

环境荷载主要包括风、波浪和海流荷载。环境荷载的作用方向分别取为 0° （纵向）、 69.16° （斜向）、 90° （横向），如图 1（a）所示。

4 结构强度的分析结果

4.1 环境参数

各种工况下环境参数的选取列于表 1。

表 1 环境参数取值表

| | 预压工况 | 正常作业工况 | 自存工况 |
|---------|--------|--------|-------|
| 风速(m/s) | 13 | 36 | 51.5 |
| 波浪 | 波高 (m) | 0.5 | 6.6 |
| | 周期 (s) | 9 | 9 |
| 流速(m/s) | 1.285 | 1.285 | 1.285 |

4.2 正常作业和自存条件下的分析

4.2.1 载荷工况

表 2 列出了 10 种基本工况和 6 种组合工况。

表 2 作业、自存条件下的载荷工况

| 工况编号 | 描述 |
|------|----------------------------------------|
| 1 | 结构自重 (包括浮力) |
| 2 | 设备载荷 (不随工况变化的部分) |
| 3 | 作业工况下可变载荷 |
| 4 | 自存工况下可变载荷 |
| 5 | 作业工况环境载荷 (0° 入射, 含同方向吊机载荷) |
| 6 | 作业工况环境载荷 (90° 入射, 含同方向吊机载荷) |
| 7 | 作业工况环境载荷 (69.16° 入射, 含同方向吊机载荷) |
| 8 | 自存工况环境载荷 (0° 入射) |
| 9 | 自存工况环境载荷 (90° 入射) |
| 10 | 自存工况环境载荷 (69.16° 入射) |
| 11 | 1+2+3+5 (作业工况) |
| 12 | 1+2+3+6 (作业工况) |
| 13 | 1+2+3+7 (作业工况) |
| 14 | 1+2+4+8 (自存工况) |
| 15 | 1+2+4+9 (自存工况) |
| 16 | 1+2+4+10 (自存工况) |

4.2.2 位移分析结果

平台在作业、自存工况下的最大位移如下表所示:

表 3 作业、自存工况下平台最大位移

| 结点编号 | 结点位置 | 工况 | 最大位移(cm) | | |
|------|-------------|----|----------|-------|-------|
| | | | X | Y | Z |
| 2358 | 艏右桩顶点 | 14 | 49.67 | | |
| 2309 | 艏桩顶点 | 16 | | 56.08 | |
| 1580 | Z=2.2 平面左舷侧 | 16 | | | -2.23 |

从表 3 可以看出, 在风暴自存工况下, 环境载荷作用方向为纵向时将引起结构发生最大纵向位移 (水平), 其值为 49.7cm; 环境载荷作用方向为斜向时将引起结构发生最大横向位移 (水平), 其值为 56.1cm。船体垂向位移比较小。

4.2.3 桩腿支反力

表 4 给出了各桩在不同组合工况下的支反力。

表 4 作业、自存工况下桩腿支反力

| 组合工况 | 艏桩支反力 (KN) | 艏左桩支反力 (KN) | 艏右桩支反力 (KN) |
|------|------------|-------------|-------------|
| 11 | 11722.060 | 9569.940 | 8440.675 |
| 12 | 10566.681 | 11273.176 | 7892.818 |
| 13 | 11053.613 | 11028.796 | 7650.266 |
| 14 | 11789.784 | 7574.088 | 7802.192 |
| 15 | 10241.354 | 9890.384 | 7034.326 |
| 16 | 10916.223 | 9600.845 | 6648.995 |

4.2.4 应力计算结果

结构的应力水平可用应力比来衡量。所谓应力比是指实际应力和许用应力的比值,因此大于 1.0 的应力比提示应力超标。计算分析结果表明 95.4%的杆件应力比在 0.5 以下,另外 4.6%的杆件应力比位于 0.5 到 1.0 之间,最大应力比为 0.91。对板壳单元而言,相应的比例分别为 93.4%和 6.6%,最大应力比为 0.95。因此,对正常作业和自存工况而言,平台的强度是满足要求的。

4.3 预压条件下的分析

4.3.1 载荷工况

表 5 列出了预压条件下的 6 种基本工况和 3 种组合工况。

表 5 预压条件下的载荷工况

| 工况编号 | 描述 |
|------|--------------------|
| 1 | 结构自重(包括浮力) |
| 2 | 设备载荷(不随工况变化的部分) |
| 3 | 预压工况下可变载荷 |
| 4 | 预压工况环境载荷(0°入射) |
| 5 | 预压工况环境载荷(90°入射) |
| 6 | 预压工况环境载荷(69.16°入射) |
| 7 | 1+2+3+4 |
| 8 | 1+2+3+5 |
| 9 | 1+2+3+6 |

4.3.2 位移分析结果

平台在预压工况下的最大位移列于表 6。

表 6 预压工况下平台最大位移

| 结点编号 | 结点位置 | 工况 | 最大位移(cm) | | |
|------|-------------|----|----------|------|-------|
| | | | X | Y | Z |
| 2358 | 艏右桩顶点 | 7 | 5.13 | | |
| 2358 | 艏右桩顶点 | 9 | | 3.24 | |
| 1701 | Z=2.2 平面右舷侧 | 7 | | | -2.29 |

从表 6 可以看出,在预压工况下,平台在三个方向的位移值都比较小。

4.3.3 桩腿支反力

表 7 列出了各桩在不同组合工况下的支反力。

表 7 预压工况下桩腿支反力

| 组合工况 | 艏桩支反力(KN) | 艏左桩支反力(KN) | 艏右桩支反力(KN) |
|------|-----------|------------|------------|
| 7 | 14148.716 | 13146.725 | 13590.320 |
| 8 | 14014.711 | 13344.260 | 13526.790 |
| 9 | 14070.282 | 13317.846 | 13497.632 |

4.3.4 应力计算结果

结构计算分析结果表明,在预压工况下边舱支柱的应力水平比较高,最大应力比为 0.94,其危险工况对应波浪横向入射。应力比小于 0.5 和大于 0.5 的杆件比例分别为 97.0%和 3.0%。而板壳单元最大应力比为 0.93,相应的比例分别为 95.8%和 4.2%。所有单元的应力比在许用应力范围之内。

5 结 语

依据作者给出的详尽的有限元模型, 本文对某自升式平台在各种着底工况下的结构强度进行了计算分析, 从环境条件的选取、荷载工况的确定、以及位移、支反力、应力水平等方面给出了分析步骤和计算结果。本文对该类平台的结构设计、审图以及在位状态评定具有一定的参考意义。

参 考 文 献

- 1 API RP 2A (WSD). Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms -Working Stress Design[M]. Version 20th. 2000.
- 2 中国船级社. 海上移动平台入级与建造规范[S]. 北京, 1992.
- 3 StruCAD*3D user manul[S], 2002.

Structural Strength Analysis of the Jack-ups

LIN Zhong-ming, CHEN Rui-feng, YAO Yan-ping

(Offshore Engineering Dept, China Classification Society, Beijing 100006, China)

Abstract

Jack-up is a unit with movable legs capable of elevating its hull above the surface of the sea, which is widely used in the offshore oil exploration. Zenscad program is used to perform the static analysis of one typical jack-up in this paper. The analysis is conducted for the hull structure and legs under normal operation, survival and preloading conditions, for which dead, operational and environmental loadings are considered. Beam and shell elements are used in the finite element modeling, in which beam element simulates the main girders and frames, and shell element simulates the main deck, bottom plate, side plates, internal side walls and watertight bulkheads. Nominal stresses for all members are checked according to the allowable stress. Maximum deflections of the joints and the support reactions are also given. This paper can be a reference for the design and in-place structural assessment of self-elevating type units.

Key words: jack-up; structural analysis; finite element method