

文章编号：1001 - 4500 (2001) 03 - 0012 - 05

大开口自升式海洋平台的设计与强度分析

刘 刚，郑云龙，赵德有，梁园华
(大连理工大学，大连 116023)

郑 东
(大连造船厂，大连 116005)

摘 要：针对船东提出的中间大开口矩形平台主体的设计，为了保障平台的安全性，对平台整体进行了三维有限元分析，并提出了结构的改进方案。

关键词：海洋平台；有限元；强度分析

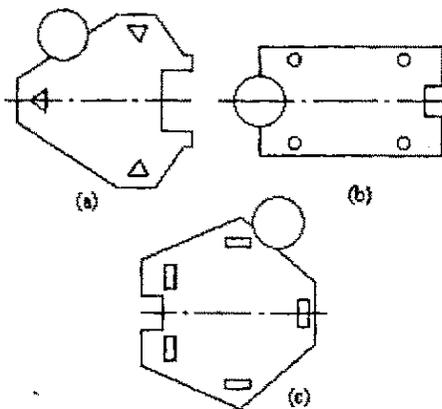
中图分类号：P752

文献标识码：A

1 前言

自升式平台由平台主体、桩腿和升降机构三大部分组成。平台主体的平面形状一般有三角形（三腿）、矩形（四腿）和五边形（五腿）等，如图 1 所示。平台主体通常是一个具有单底或双层底的单甲板箱形结构。其内部根据作业、布置和强度要求设有纵舱壁和横舱壁，但在桩腿之间的连线上必须设置强力舱壁作为平台主体的主桁材。甲板、底板、舱壁等和一般船舶一样需要扶强材或强桁材加强。

为了增加海洋平台的作业范围及功能，船东提出了一个中间大开口矩形平台主体的设计方案，如图 2 所示。由于中间大开口，平台主体实际上相当于两个船体与两个连桥的组合体，整个平台的总纵强度受到很大的削弱。对于这种特殊的结构形式，按照现有的平台建造规范进行设计，其结构可能是偏于危险的。因此，为了保障平台的安全性，本文对平台整体进行了三维有限元分析，并提出了结构的改进方案。



(a) 三角形 (b) 矩形 (c) 五边形
图 1 平台主体的平面形状

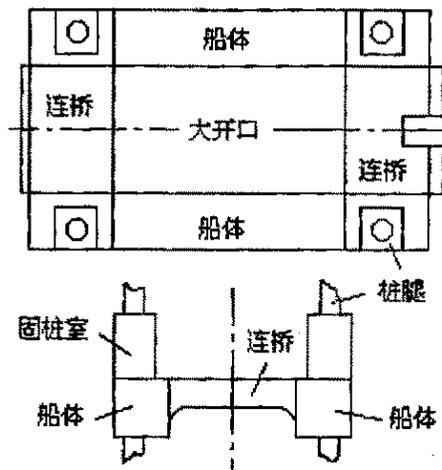


图 2 大开口平台结构示意图

2 平台基本数据和环境条件

收稿日期：2000 - 08 - 29

作者简介：刘刚 (1975 -)，男，博士生。

平台基本数据和环境条件如下：

平台主尺度	长 57.75m, 宽 34.5m, 型深 5m
平台开口	长 33.75m, 宽 18.5m
桩腿尺寸	外径 2.3m, 长 45m
基线距海底	28.5m
设计水深	20m
最大潮高	4m
自存波高	6.5m
波浪周期	7~13m
最大流速	1.5m/s
最大风速	41.15m/s
迁航波高	4m
迁航航速	4kn
自重	2350.0t
活载荷	379.0t

平台结构主体部分全部采用普通碳素钢, 屈服应力和许用应力分别取 235MPa 和 141MPa; 固桩室和桩腿采用高强度钢, 屈服应力和许用应力分别取 355MPa 和 213MPa。

3 三维有限元结构模型及计算方案

平台主体结构有限元分析采用空间板梁组合模型, 即平台结构中的板全部简化为空间板单元; 平台骨架如纵桁、纵骨、横梁、肋骨等全部简化为空间梁单元; 在平台内部还有很多撑杆, 用空间杆单元来处理。固桩室同样简化为空间板梁组合模型。桩腿简化为圆管梁。平台整体三维有限元模型节点总数为 21602 个, 单元总数为 41566 个, 其中板单元 24474 个, 梁单元 16612 个, 杆单元 480 个。

在自存工况下, 根据不同的海况分析三种计算方案, 即平台在满载情况下, 分别受纵向、横向和斜向三个方向的风浪流载荷。同时考虑海底横向倾斜 1 度, 且只有三条桩腿插入海底。

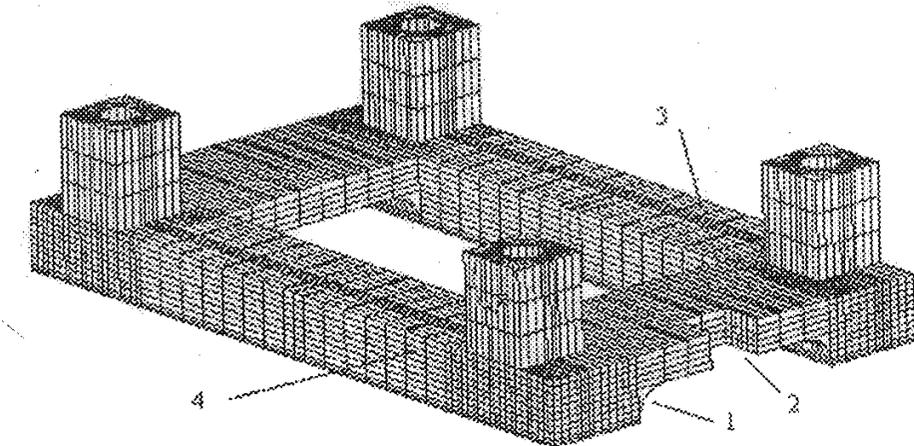


图 3 平台三维有限元几何模型

4 强度分析及结构改进

4.1 原结构强度分析

经过三维有限元分析, 发现平台主体的总体强度是偏弱的。如图 3 所示, 平台在四个区域的等效

应力是比较大的。

(1) 两个连桥部分的横舱壁应力值是很大的，尤其是最外侧的封板。整个平台的最大等效应力为243MPa，出现在连桥与船体相接的肘板处。由于连桥的高度只有船体的一半，因此从总体上讲，连桥部分是个薄弱环节。

(2) 在平台首部的开口处，外板的等效应力也很大，最大值达到207MPa。

(3) 由于平台中间开了一个大方口，在四个拐角处的应力集中是很严重的，最大等效应力为205MPa。虽然局部采用了高强钢，但当考虑到疲劳问题时，它仍然是个敏感部位。

(4) 平台左右舷侧的等效应力也很大，最大值达到200MPa。平台在中间开口以后，其总纵强度受到很大削弱，在这种情况下，实际上就靠四个纵舱壁来承受。另外，固桩室结构相对较强，在船体与固桩室连接处，难免会出现应力集中现象。

根据以上计算结果，本文对应应力值比较大的区域进行了局部加厚，但应力值下降很小，而且随着厚度的增加，应力下降的趋势也越来越小。下表为连桥与船体相接处肘板加厚后的计算结果。

表 连桥与船体相接处肘板加厚后的应力值

板厚 (mm)	12	14	16	18
应力值 (MPa)	243	221	204	200

从表中可以看出，仅靠增加板厚是行不通的，或者说这不是局部强度问题，而是平台整体强度不够。

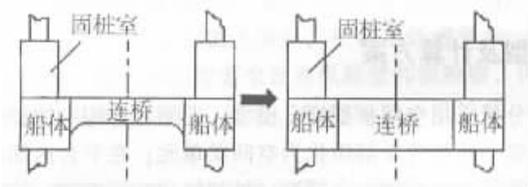


图4 平台连桥的改进方式

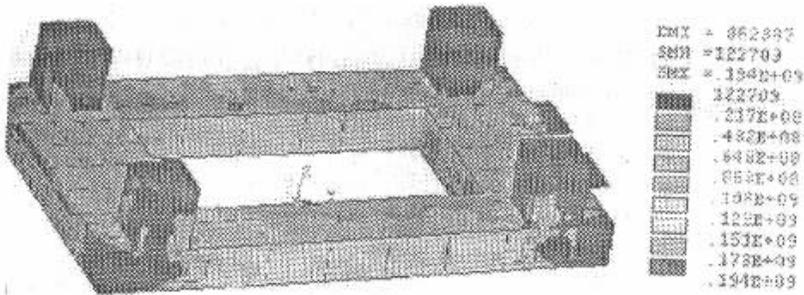


图5 平台主体等效应力云形图

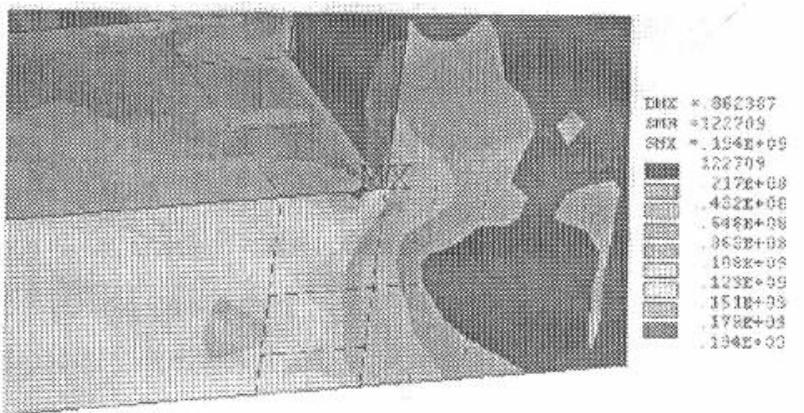


图6 船体与固桩室相接处的应力分布

4.2 改进后结构的强度分析

如果平台有一条桩腿脱离海底，或者说起不到支撑平台的作用，那么平台就主要靠另外对角的两条桩腿来承受。这时就要求平台主体具有很强的抗扭能力。再考虑到平台所受到风、浪、流的作用，原设计方案中连桥的高度以及它和船体的连接方式显然是不利的。为了增加连桥的强度，连桥的底板被降到了基线位置，结构改进方式如图 4 所示。

改进后的平台主体计算结果如图 5 所示。最大等效应力为 194MPa，出现在左右舷侧靠近固桩室的舱壁上。由于在连桥内部分别有三道横舱壁和三道纵舱壁，在连桥高度加大一倍以后，其强度得到了很大的提高，从而避免了连桥与船体相接处应力很大的问题。同时，在首部小开口处外板的应力集中也得到了很大改善。

增加连桥的高度也带来了一个不利的因素，即增加了平台主体的重量。从图 7 可以看出，此时平台主体形成一个首尾两头很重，而中间船体相对较弱的结构形式。另外在船体部分还设有机舱、油水舱以及压载舱等，在船体甲板上还有两辆桁车作纵向来回移动，因此当其中一条桩腿不能支撑平台时，由于平台自重及设备和水油的重量，平台将承受巨大的扭矩，靠近固桩室的船体纵舱壁则是一个薄弱部位。

因为原设计要求平台主体采用普通碳素钢，从图 7 可以看出，平台左右舷侧以及内侧两道纵舱壁是不满足强度要求的。笔者曾同样想通过增加舱壁的厚度来降低结构的应力，但收效甚微。左右舷侧板厚的原设计尺寸为 10mm，在增加 4mm 后，应力值仅降低 20MPa 左右，所以仅靠增加舱壁厚度来降低应力是行不通的。

考虑到由于平台主体中间大开口，整体强度受到很大削弱，笔者最终提出的设计方案是：平台左右舷侧全部采用高强度钢，并在靠近固桩室附近局部加厚 4mm。平台内侧的两道纵舱壁，则在靠近开口的四个拐角处局部采用高强度钢。

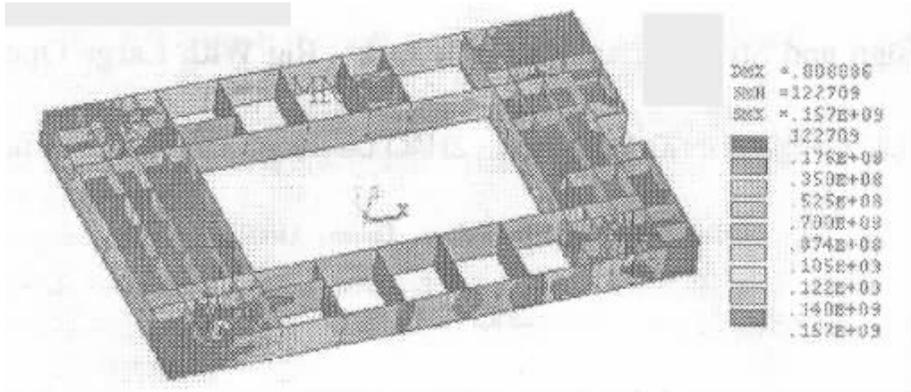


图 7 平台内部纵、横舱壁的等效应力云形图

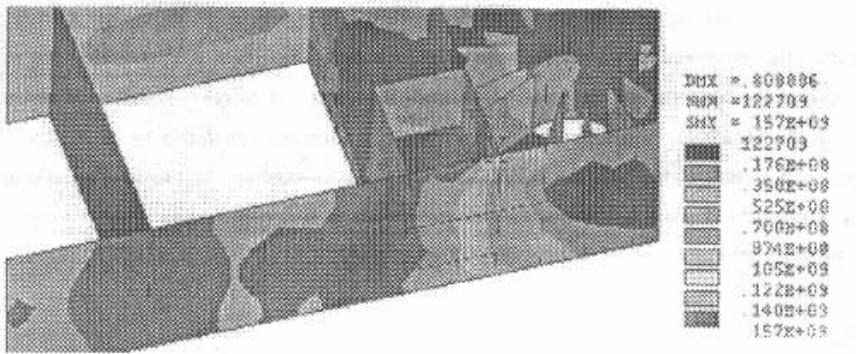


图 8 靠近固桩室的纵舱壁的等效应力

5 结语

(1) 为了设计出一个多功能平台,而在平台主体中间大开口,从结构强度这个角度来考虑是相当不利的。在总纵强度和抗扭能力大大削弱的情況下,要求船体部分的四道纵舱壁具有足够的强度。

(2) 由于中间大开口,平台内侧舱壁也会受到风载荷的作用,即增大了平台的受风面积,这样就会增加桩腿的受力。同时,平台主体的刚性较弱,对桩腿同样会产生极为不利的影响。

(3) 中间大开口导致在开口的四个拐角以及靠近固桩室的纵舱壁等局部区域应力集中非常严重,是结构最容易产生疲劳的部位。因此,在建造工艺上要提高要求。

(4) 由于平台的特殊性,要求平台在管理及操作上要制定严格的规范,尽量减少人为因素对平台带来的损坏。

参考文献

1. 任贵永. 海洋活动式平台 [M]. 天津大学出版社, 1989
2. 李润培, 王志农. 海洋平台强度分析 [M]. 上海交通大学出版社, 1992
3. 中国船级社海上移动平台入级与建造规范 [S]. 人民交通出版社, 1992
4. 王杰德. 船舶强度与结构设计 [M]. 国防工业出版社, 1995
5. 辽勘六号平台结构强度有限元分析报告 [R]. 大连理工大学船舶工程系, 2000

Design and Strength Analysis of a Jack – Rig With Large Opening

LIU Gang , ZHENG Yun – long , ZHAO De – you , LIANG Yuan – hua

(Dalian University of Technology , Dalian , 116023 , China)

ZHENG Dong

(Dalian Shipyard , Dalian , 116005 , China)

Abstract : A jack – up offshore platform was designed with a large opening in its middle part in order to increase the function of the rig. Obviously , with such large size of opening (33. 75m long and 18. 5m wide) , the general structural strength of the platform will be greatly weakened if the current rulers was still used in the design. For the sake of safety of the structure , the strength of the whole platform was analyzed by using three dimension finite element method. The result shows that the original design is unreasonable and unsuitable. An improved structural design is then proposed and some useful conclusions are drawn in this paper.

Key words : offshore platform , strength analysis , large opening