

直升机降落时海洋平台结构拓补优化研究

上海交通大学 曹金浩

摘要

摘要内容：海洋平台为在海上进行钻井、采油、集运、观测、导航、施工等活动提供生产和生活设施的构筑物。按其结构特性和工作状态可分为固定式、活动式和半固定式三大类。活动式平台浮于水中或支承于海底，能从一井位移至另一井位，按支承情况可分为着底式和浮动式两类。近年来正在研究新颖的半固定式海洋平台，它既能固定在深水中，又具有可移性。目前，我国海洋石油行业在向深水领域进军，海上平台的施工作业安全问题日益成为工程关注的焦点。海上直升机是海上石油平台正常运行的一种交通工具，供其降落及起飞的直升机平台的设计在整个海洋平台的设计中是必不可少的环节。直升机甲板一般布置在整个平台的上部模块，直升机起飞、降落、停靠过程中对海洋平台的安全存在潜在的危害。在整个平台的工程设计中，又不能为了控制直升机运动产生的力而去增大海洋平台的体积、重量等。因此，有必要分析直升机对平台的影响，从而分析海洋平台的运动，对海洋平台进行拓补优化，使得海洋平台结构精简的同时强度也满足要求。

关键词：海洋平台，直升机平台，拓补优化

ABSTRACT

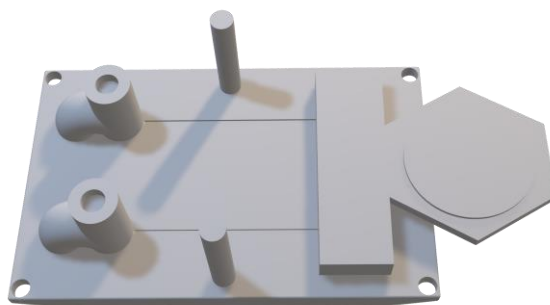
Abstract content: The offshore platform is a structure providing production and living facilities for drilling, oil extraction, transportation, observation, navigation, construction and other activities at sea. According to its structural characteristics and working state, it can be divided into fixed, movable and semi-fixed three categories. Mobile platforms float in water or support at the bottom of the sea, and can be moved from one well to another. In recent years, new semi-stationary offshore platforms are being studied, which can be fixed in deep water and movable. At present, China's offshore oil industry is marching into the field of deep water. The sea helicopter is a kind of transportation vehicle for the normal operation of the offshore oil platform. The helicopter deck is generally arranged in the upper module of the whole platform. During the take-off, landing and docking, the helicopter may cause potential harm to the safety of the offshore platform. In the engineering design of the whole platform, the volume and weight of the offshore platform cannot be increased to control the force generated by the helicopter movement. Therefore, it is necessary to analyze the impact of helicopters on the platform, so as to analyze the movement of the offshore platform, and carry out topographic optimization on the offshore platform, so that the offshore platform can meet the requirements in terms of its structure simplification and intensity at the same time.

KEY WORDS: marine platform, helicopter platform, extension and optimization

正文

1. 基于实体模型 Altair Evolve™软件缩放建模

为尽可能接近海洋平台实际情况，现保留实体海洋平台主要结构，略去次要结构，如旗杆、挂钩、导管、锚链等。保留 2 个潜入式底座，4 个主要支撑柱，2 个粗直径弯型管道，2 个舷侧同轴圆柱，1 个多孔长方体基座，1 个直升机平台。海洋平台主体部分与直升机平台连接，直升机平台简化成以六边形为样图的结构。为描述方便，参见下图经 Evolve 建模后输出的 STL 模型，属 3D 模型，旋转模型可全方位观看。



图一 海洋平台与直升机平台组合体

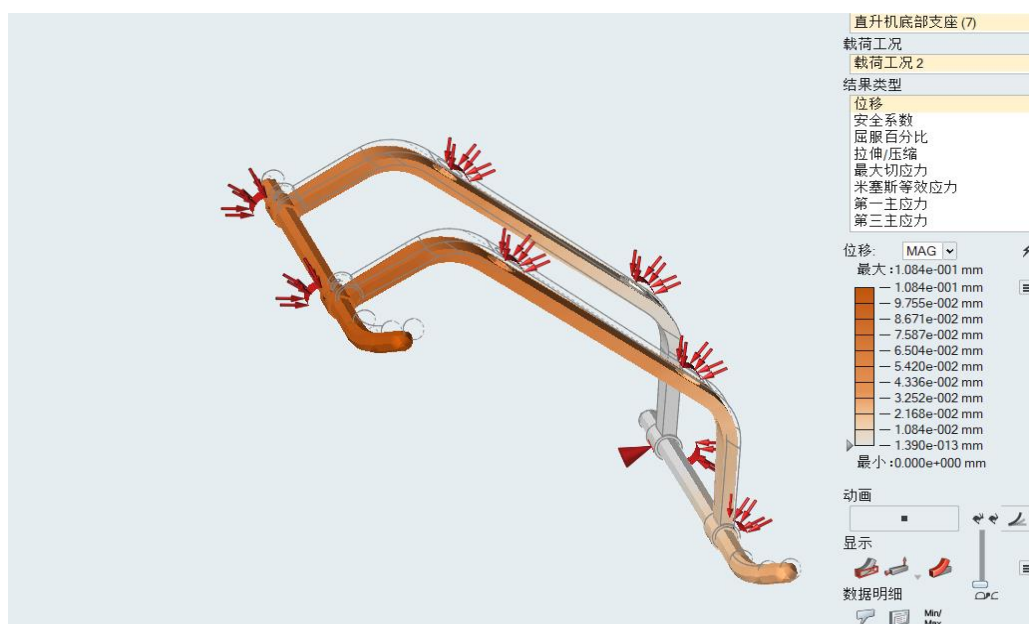
同时，为准确获得直升机降落时，直升机底座对于直升机平台的载荷作用情况，同样，保留直升机底部主要接触构件，省略底部支座以上全部构件，Evolve 软件初步建模设计。圆柱构件与板型连接件交汇处存在铰孔，连接件存在两处铰孔，总计八处载荷施加点。为描述方便，参见下图输出的 STL 模型，效用同上。



图二 直升机底部支座

2. 运动仿真分析下直升机底部支座运动情况

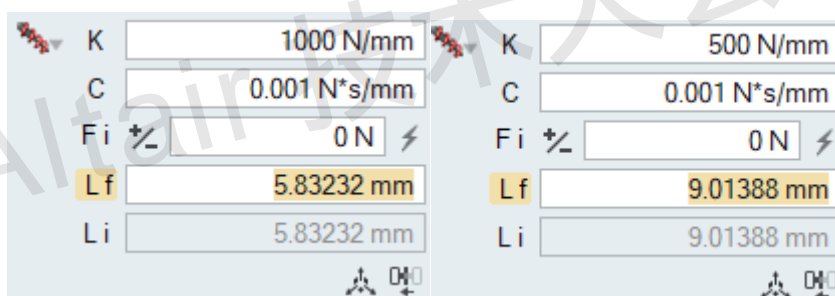
预留的八处铰孔，连接件的四处铰孔处施加 1Mpa 的平面载荷，而其余的 4 处铰孔施加 0.5Mpa 的曲面载荷。考虑到直升机降落时人工操作误差，无法做到底座完全同时相切接触，通常为单点停靠转向整体平衡。充分利用 Altair Inspire™软件的运动分析，由于单点停靠的随机性，最大位移总是发生在关于重心的停靠点镜像处，同时，最大位移的偏移量可简化到竖直方向。因此，力的传递结果可以等效为竖直方向的正弦震动。结果分析如下图所示：



图三 直升机底部支座特定载荷工况下运动分析

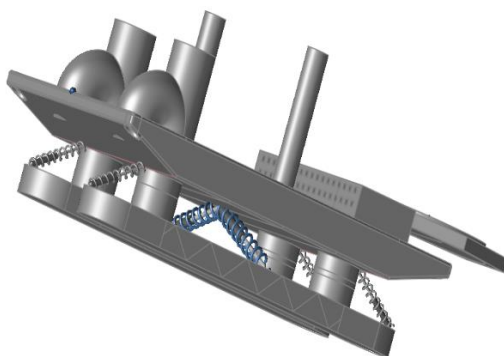
3. 运动仿真分析下海洋平台的拓补优化

为满足海浪对平台冲击的真实性，施加 6 根弹簧模拟水动力影响下上层平台与下层基座的变形趋势。其中四处支撑柱处弹簧（左）以及潜入式底座与平台主板连接弹簧（右）相关系数如下图所示：



图四 弹簧参数设置

考虑直升机底座传递载荷的正弦性，于六边形平台施加平动电机，平动电机相关参数设置以及弹簧支撑结构如下图所示：



名称	值
常规	
名称	平动电机 2 (单波)
类型	位移
使用控	<input checked="" type="checkbox"/>
位移	4 mm
反转方	<input type="checkbox"/>
锁定的	<input type="checkbox"/>
维持同	<input type="checkbox"/>
施加于	
零件	零件 1 切片 9
位置 X	2.13201 mm
位置 Y	1.3 mm
位置 Z	7.32167 mm
方向 X	0
方向 Y	1
方向 Z	0
轮廓	
函数	单波
开始时	0 s
时间间	2 s
增量时	0.05 s
控制器	
控制器	软约束
比例因	50000 N/mm
微分因	2500 N*s/mm
显示	
Visible	<input checked="" type="checkbox"/>
轴颜色	R:114, G: 89, B: 76
轴半径	1 mm
轴旋转	0 deg
机座颜	black
机座规	1
机座旋	0 deg

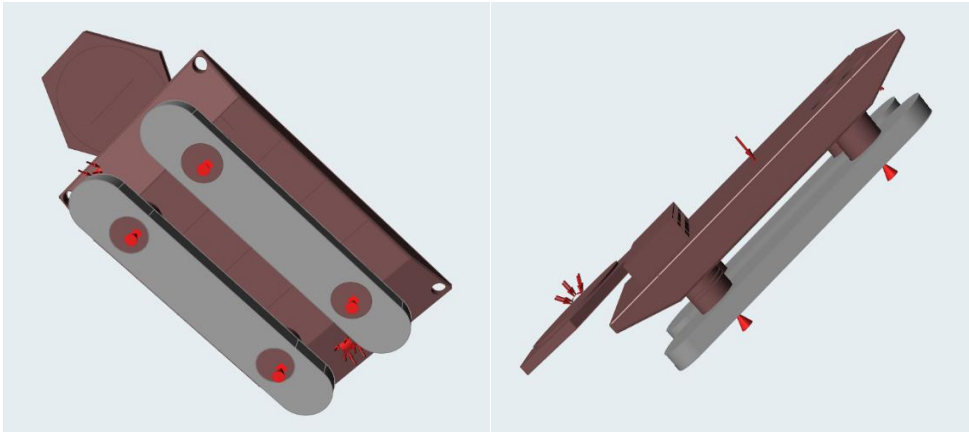
图五 平动电机参数以及弹簧支撑图

4. 运动结果分析以及改进建议

施加平动电机模拟直升机降落时的动态载荷变化,发现平台主板沿长度方向,上下跃动幅度两端最大,中间部分最小。据此,可以调整海洋平台作业区与起居区相对位置,首尾两端跃动幅度大,加之海浪冲击,均不适宜作业与起居。但是,较大的波动为波浪能的利用提供了可能性,可在首尾两端设置波浪能收集装置,一方面有效获取甲板上浪的能量,另一方面减轻外力冲击,增大纵向强度,保护海洋平台。中间部分靠近舷侧部分适宜作业,靠近重心位置适宜起居以及原油运输管道主干线的铺设。但是,值得注意的时,四个主要支撑柱与两个潜入式底座的相对运动趋势极大,是整个海洋平台最脆弱的地方,特别是对于某些可升降的平台,海洋平台出水高度越大,晃动越严重,受破坏的可能性越大,因此,就支撑柱而言,应改为上窄下宽的圆台型体,彰显结构决定功能的性质。直升机持续降落、起飞对平台的压迫,极易造成结构疲劳而断裂。可降低直升机平台高度,使其接近水面,利用海水缓冲。

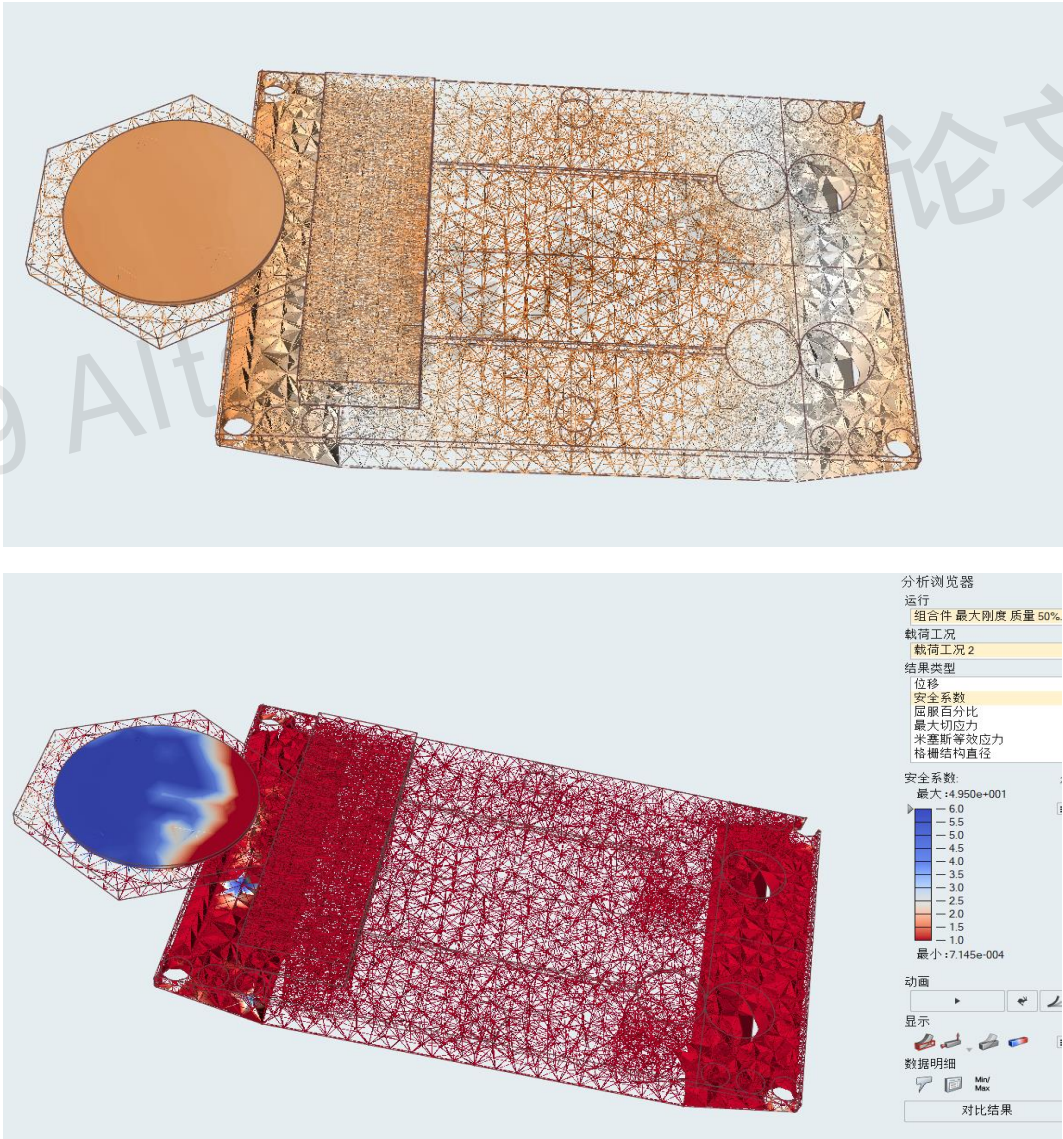
5. 点阵结构与拓补优化结果

对于平台各处施加载荷如下图所示，直升机平台 1MPa，平台主板中线 10000N，前后两个倾斜面 1MPa，四个支撑柱底部固定。如下图所示，



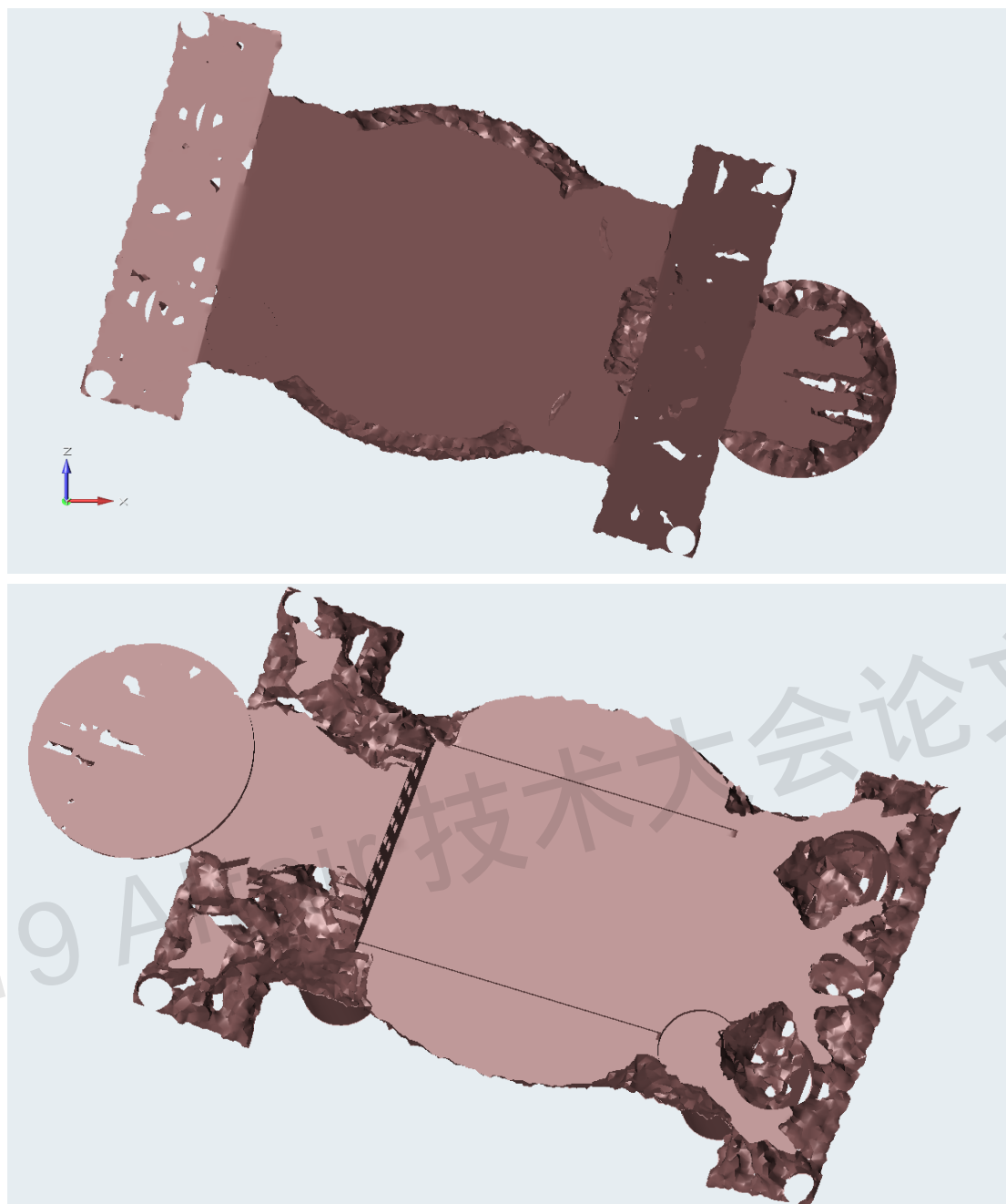
图六 平台载荷施加图

得到点阵结构如下图所示：



图七 点阵结构图

拓步优化结构图：



图八 拓步优化结构图

可见，海洋平台整体形状趋于“工”字型，中间区域呈现圆弧状，因此在实际制造时，可以考虑上述形状，尽量不采用原来整体矩形平板的样式。一来，节省大量钢材与板材；二来，在不影响结构的前提下，减小平台体积。

参考文献

- 【1】 姜盛玉，陈国明，李新宏，何睿，董澈. 基于系统动力学的海洋平台安全脆弱性分析. 中国石油大学（华东）海洋油气装备与安全技术研究中心，山东青岛. 2019.
- 【2】 肖建华. 直升机平台支架结构优化研究. 大连中远船务工程有限公司.
- 【3】 罗朝云，杨建军，赵锦. 基于有限元的结构优化分析方法——拓补优化. 西南交通大学（峨眉校区）.