

三桩吸力式风电导管架整体吊装吊点强度分析

Strength Analysis of Integral Hoisting Point of Three Pile Suction Air Duct Support

方自彪

Zibiao Fang

惠生（南通）重工有限公司 中国·江苏南通 226009

Wison(Nantong) Heavy Industry Co., Ltd., Nantong, Jiangsu, 226009, China

摘要：论文依托有限元分析软件对大型三桩吸力式导管架基础的过渡段结构、吊点结构及加强筋板等结构进行了建模。通过载荷加载模拟计算，对吊点强度进行校核，考察等效应力分布情况，确保产品整体吊装及海上施工过程中的安全。

Abstract: Based on the finite element analysis software, the transition section structure, lifting point structure and stiffener of large three pile suction jacket foundation are modeled in this paper. Through load loading simulation calculation, the strength of the lifting point is checked, and the equivalent stress distribution is investigated to ensure the safety of the overall product lifting and offshore installation.

关键词：导管架；有限元；吊耳

Keywords: jacket; finite element method; lifting lug

DOI: 10.12346/etr.v3i11.4646

1 引言

三桩吸力式导管架基础是一种针对深远海域，创新性的海上风机基础。吸力式导管架基础除了具有传统钢管桩式导管架基础的优点外，还具有用钢量较省，可降低造价，海上安装快速便捷等特点。中国福建长乐外海 A 区项目采用的吸力桩式导管架基础是中国首个在深远海海上风电场的应用，导管架建造完工后，采用整体滑移或整体吊装方式进行装船，运输到海上安装位置后再使用大型浮吊进行卸船并安装就位。大型吊装的安全，无论在哪里都是施工管理的重点，因此采用先进的有限元分析软件进行仿真计算确认大型设备整体吊装强度分析十分必要，利用有限元技术，可使大型吊装工艺更趋科学、安全、实用^[1]。

2 有限元模型

2.1 有限元模型简化及假设条件

本项目导管架基础过渡段起吊时，设计了专用的起吊工具和导管架过渡段结构上的吊耳相连，连接方式为铰接，专用吊具销轴和吊耳销轴距离 1200mm，见图 1。

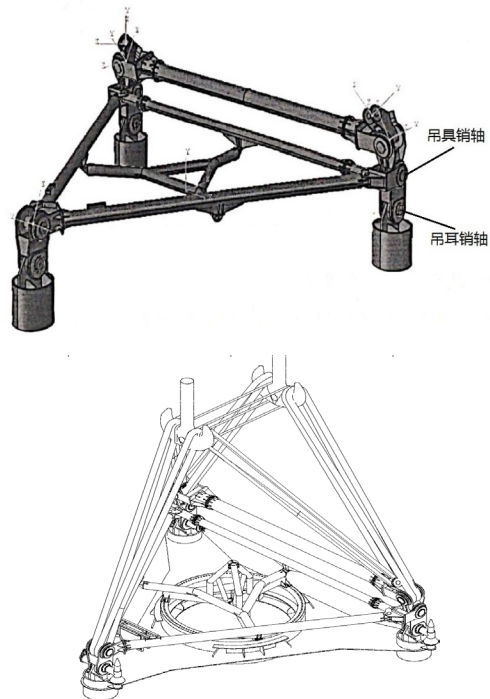


图 1 专用吊具和吊耳的连接方式

【作者简介】方自彪（1975-），男，中国安徽桐城人，硕士，工程师，从事海洋工程装备设计与建造研究。

此次分析主要针对导管架基础过渡段吊耳及支撑管的受力进行分析,在进行有限元前处理过程中,对过渡段三维模型进行了适当修改和简化,简化后的几何模型如图2所示。几何模型的简化和假设条件如下:

- ①不考虑专用吊具的变形,导管架过渡段吊耳不受水平力的影响,仅承受竖直方向的拉力;
- ②仅保留导管架过渡段及吊耳结构,忽略导管架基础其他结构;
- ③忽略所有键槽、小倒角、小圆角等细节特征;
- ④假定材料变形是在弹性范围内,忽略材料的各向异性;
- ⑤认为焊材性能认为与母材相同。

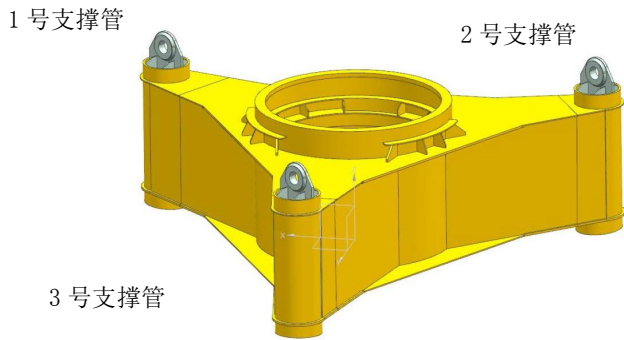


图2 导管架过渡段几何模型简化图

2.2 有限元网格划分

网格数量的多少将影响计算精度和计算规模的大小,一般来讲,网格数量增加,计算精度会提高,但同时计算规模也会增加。在计算数据梯度变化比较大的部位(如应力集中处),为较好地反映数据变化规律,需要采用比较密集的网络^[2]。

本项目过渡段分析模型采用壳单元进行网格划分,整体网格大小200mm×200mm,其中吊耳位置的网格进行了局部细化,网格大小50mm×50mm,整体模型网格参照图3,吊耳位置局部细化网格参照图4。

2.3 坐标系

模型采用右手笛卡尔坐标系,其中:

坐标原点:取在过渡段底板高程与Φ6700mm主钢管圆心位置交汇处;

X正方向:Φ6700mm主钢管圆心指向2#Φ1600mm支撑柱圆心;

Y正方向:垂直于X方向,指向1#和2#Φ1600mm支撑柱之间;

Z正方向:沿导管架过渡段高度方向,垂直向上为正。

2.4 单位系统

模型所用单位系统定义如下:

质量:吨(t);

长度:毫米(mm);

力:牛(N);

应力:兆帕(MPa)。

2.5 材料属性及许用应力

模型中钢材的特性为:

杨氏模量: $E=2.06 \times 10^5 (N/mm^2)$;

泊松比: $\mu=0.3$;

密度: $\rho=7.85 (t/m^3)$;

屈服强度: $s=355 \text{ Mpa}$, 材料为DH36 yd;

许用应力^[3]: $eq C_{yd}=326 \text{ Mpa}$, 吊装属于静载工况, C取1.0;

DH36材料 $y_d=326 \text{ Mpa}$ 。

3 边界条件及载荷

3.1 边界条件

在1#、2#和3#支撑管(Φ1600mm)的环形底面上施加固定约束。

3.2 载荷

载荷分为重力载荷和吊耳上的力。为模拟实际受力情况,在吊耳销轴孔中心设置刚性节点,通过Coupling/Ceqn > Rigid Region命令将吊耳销轴孔上半圆边界的节点,与中心刚性节点进行耦合生成约束方程;吊耳所受的拉力F施加在中心刚性点上,通过有限元软件载荷加载功能自动分配到对应销轴孔上半部节点。

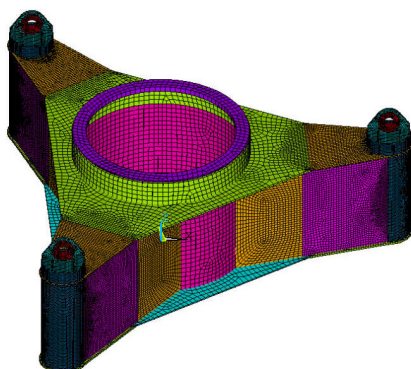


图3 整体模型网格划分

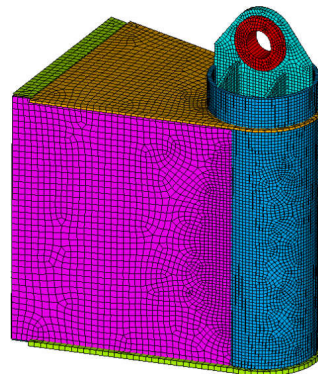


图4 吊点位置细化网格划分

导管架受到的重力（总起吊重量 2200t）：

$$2200000 \times 9.81 = 21582000N$$

每处吊耳上受到的竖直向上的拉力：

$$F1 = F2 = F3 = 21582000 / 3 = 7194000N$$

4 分析结果

4.1 等效应力

吊耳总体等效应力最大值为251.92Mpa，位于2#吊耳主板销轴孔处，小于材料的许用应力326Mpa，吊耳加筋板最大应力141.97Mpa。吊耳各构件应力汇总如表1所示，详细的应力大小及位置如图5~图7所示。

表 1 吊耳构件应力汇总

序号	构件名称	最大等效应力 (Mpa)	
		吊耳主板	吊耳加筋板
1	吊耳总体	251.92	141.97
2	1# 吊耳	234.49	136.74
4	2# 吊耳	251.92	141.97
6	3# 吊耳	234.50	234.50

4.2 应力云图

详细的应力大小及位置如图5~图7所示。

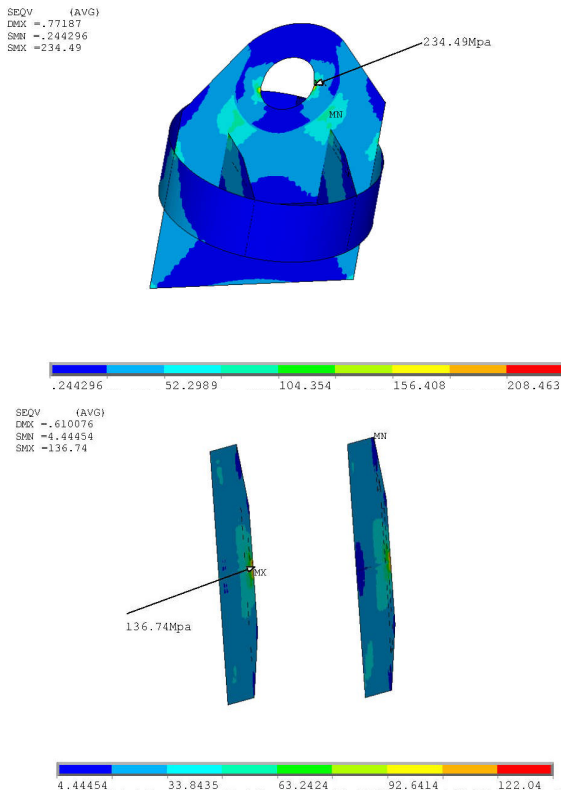


图 5 1# 吊耳主板和加筋板等效应力

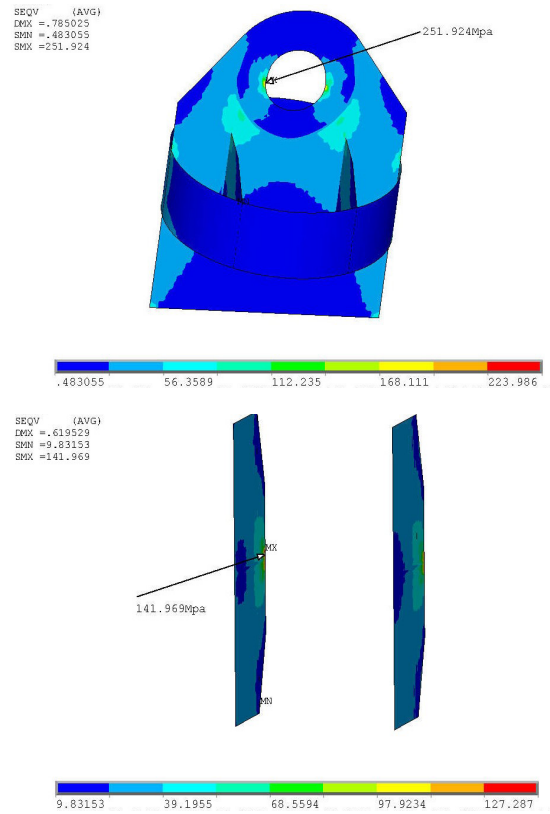


图 6 2# 吊耳主板和加筋板等效应力

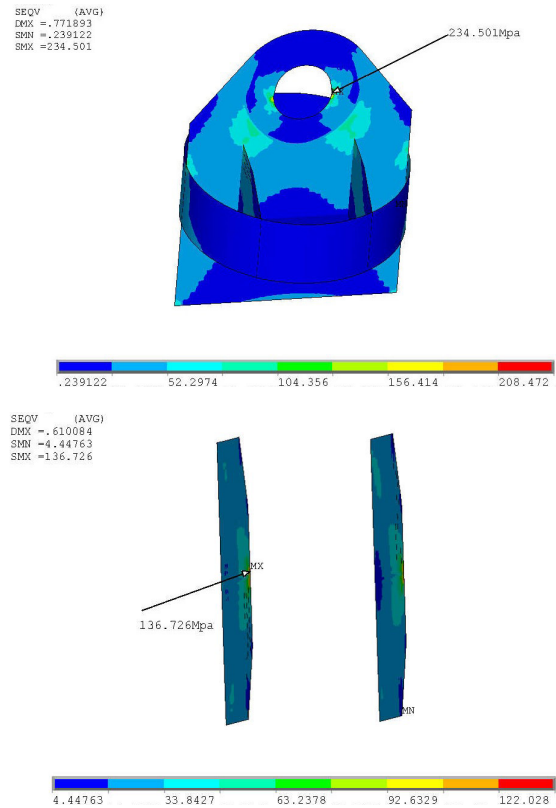


图 7 3# 吊耳主板和加筋板等效应力

(下转第 128 页)

混凝土浇筑完成后,强度满足 1.2MPa 时,进行墙体内侧模板及对拉螺栓、主次楞的拆除,拆除时不得使用大锤或撬杠硬撬,如果拆除困难,可用采用撬杠人工底部轻微撬动,保持起吊时模板与墙体的距离,保证混凝土表面及棱角不因拆除受损。墙体外侧 TC 复合保温板无需拆除。对拉螺栓拆除后及时进行整理,周转使用。保温层厚度范围内的螺栓孔采用憎水玻化微珠填塞封堵,结构墙厚度范围内的螺栓孔采用聚合物砂浆填塞封堵。

3.3 质量保证措施

① TC 保温复合板及配套材料的品种、规格及性能应符合设计要求和相关规程的规定。

TC 保温复合板外墙外保温工程所采用的复合板的保温材料的导热系数、密度、垂直于板面方向的抗拉强度、抗压强度、燃烧性能应符合设计要求。

② TC 保温复合板每平方米上专用连接件的安装数量及位置应符合设计要求。

③ TC 保温复合板外墙外保温工程所采用的复合板、胶粘剂、抹面胶浆、连接件、玻纤网,进场时应按规范要求要求进行抽样复验,同一厂家、同品种产品,按照扣除门窗洞口后的保温墙面面积,在 5000m² 以内时应复验 1 次;当面积每增加 5000m² 时应增加 1 次,增加的面积不足规定数量时也应增加 1 次^[2]。

④ TC 保温复合板拼接处、阴阳角以及填充墙相交处用聚合物抗裂砂浆抹压补缝找平,并铺设 300mm 宽玻纤网。

⑤ TC 复合保温剪力墙墙体混凝土施工应符合下列要求:

现浇混凝土的坍落度宜控制在 150~210mm。浇筑混凝土时,应用镀锌铁皮扣在 TC 保温复合板上口,形成保护帽;混凝土应分层浇筑,一次浇筑高度不得大于 500mm;混凝土下料点应均匀分散布置,混凝土浇筑时应连续进行,间隔时间不得超过 2h。振捣棒的振捣间距宜小于 500mm;每个振捣点的连续振捣时间应以混凝土中无气泡和表面呈现涂浆及不再沉降为适度,严禁振捣紧靠 TC 保温复合板。洞口处浇筑混凝土时,应控制洞口两侧的浇筑高度。

(上接第 119 页)

5 结语

根据有限元分析结果,可以得出如下结论:整体起吊工况下,最大的等效应力值为 252.92MPa,位于 2# 吊耳销轴孔内圆弧处,且小于该工况下材料的许用应力 326Mpa;从有限元分析结果可以得出,吊耳上的拉力主要靠吊耳主板传递到导管架过渡段结构上,辅助筋板的主要作用是限制吊耳主板的侧向位移;为了减小应力集中水平,建议对吊耳焊缝、销轴孔及其与其他结构件交汇位置进行精细的圆角打磨并

3.4 安全施工措施

TC 保温复合板在运输和进场堆放过程中,应采取防护措施,不可重压或与锋利物品碰撞。产品应放在干燥通风处贮存,不宜露天长期暴晒。

施工现场应按有关规定,实现安全文明施工。TC 保温复合板系统的施工现场温度不应高于 35℃,也不应低于 5℃,在五级及以上大风和雨雪天气不得施工,如低于 5℃ 环境下和雨雪天气施工时,应采取防雨雪及冬季施工的措施;夏季应避免阳光暴晒。

施工现场应配置灭火器材与设施,作业前应对相关施工人员进行防火安全教育培训。

TC 保温复合板施工中与外墙相毗邻的竖井、凹槽、平台等不得堆放可燃物。

TC 保温复合板在吊装过程中,应有模具支撑和有效的材料固定措施,防止绳索挤压破坏材料表面或高空坠落。

外墙 TC 复合保温板施工过程及完成后,后续工序与其他正在进行的工序应注意对成品进行保护。禁止在保温墙面上随意剔凿,避免尖锐对象撞击。

4 结语

采用 TC 复合保温模板代替木模板,减少了工程中木材的使用,降低了建筑工地木材损耗,符合国家绿色节能政策要求。TC 保温复合板施工技术将墙体保温功能与建筑外墙围护功能融为一体,省去后期单独施工外墙保温的工序,加快了现场整体施工进度。采用多层结构设计形式,实现了建筑外保温与结构外墙模板一体化技术,建筑保温与墙体结构同寿命,从根本上杜绝了建筑外墙保温施工后保温层易脱落、防火效果差、使用寿命较短的问题^[3]。

参考文献

- [1] DBJT02—130—2019 矩形槽保温复合板系统建筑构造[S].
- [2] DB13(J)/T237—2019 矩形槽保温复合板应用技术规程[S].
- [3] 李泽亮.TC复合防火自保温外模板技术研究[Z].

按相关要求要求进行无损探伤。

参考文献

- [1] 韦晓强.船舶上层建筑的整体吊装及有限元应用[J].船舶设计通讯,2013(3):7-9.
- [2] 杜平安.有限元网格划分基本原则[J].机械设计与制造,2000(8):12-13.
- [3] 海上移动平台入级与建造规范[Z].