

基于 ANSYS 的海洋修井机井架强度分析

苏一凡 (长江大学机械工程学院, 湖北 荆州 434023)
(中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 广东 湛江 524057)
徐宏伟 (吐哈石油勘探开发指挥部钻井二公司, 青海 茫崖 816400)
徐黔斌 (中海油田服务股份有限公司, 北京 101149)
吴文秀 (长江大学机械工程学院, 湖北 荆州 434023)

【摘要】总结了考虑多种风载的某海洋修井机井架的不同工况, 并利用 ANSYS 软件对其进行了三维有限元分析, 得到了位移及应力分布。在此基础上, 对支架进行了强度分析和校核。结果表明, 该井架可满足大多数工况下的钻修井作业要求, 但是不能满足在极限工况下的强度要求, 必须采取结构加强。首次提出将正风向风载考虑为载荷组合工况, 计算表明是合理的。

【关键词】海洋修井机; 井架; 有限元法; ANSYS

【中图分类号】TE922

【文献标识码】A

【文章编号】1000-9752 (2008) 02-0607-04

在海洋钻井领域, 新建海洋石油模块钻机或租用悬臂梁式钻井平台在现有油田导管架平台钻水平调整井, 费用昂贵。因此, 在严格遵守有关海洋安全、环保作业要求和操作规范的前提下, 对海洋石油导管架平台现有的修井设备加以改造, 使之既保留原有的修井作业功能, 又可满足钻多底水平调整井的要求, 已引起有关石油公司的高度重视。

海洋修井机能否改造成可钻调整井的钻机, 必须依据现有修井机的设备能力和后期配备的顶部驱动钻井装置, 针对钻调整井的钻井参数, 对提升能力、主要载荷系统以及支撑系统等进行校核计算。笔者重点对某油田原有进口修井机井架能否满足钻井工程的需要进行精确的力学计算, 并给出相应评价。

海洋修井机井架是一大型复杂的金属刚架结构^[1], 由于是进口设备, 缺乏设计计算依据, 故首先要对现修井机井架做有限元分析, 探讨其在不同工况下的承载能力情况和安全性, 在此基础上考虑钻井以及安装顶驱的实际条件, 对井架做进一步的有限元分析, 作出安全评价。

1 井架的计算载荷和组合工况

1.1 井架的计算载荷

作用在本井架上的载荷有井架总成的自重(恒载)、大钩载荷、工作绳作用力、风载和立根水平载荷 5 种基本载荷, 同时将地震载荷作为特殊载荷也考虑在组合工况里。

1) 恒载 井架承受的恒载指那些长期作用在井架上的不变载荷, 包括井架本身的重量、二层台的重量以及安装在井架上各种设备和工具(主要包括顶驱系统、天车、游车、大钩等)的重量。

2) 大钩载荷 当钻至最大井深时, 大钩载荷即是悬挂在大钩上的钻柱重量, 称为最大钻柱重量 $Q_{柱}$ 。

3) 工作绳作用力 工作绳作用力是指在给定的游动系统下, 快绳和死绳拉力的水平和垂直分力。

4) 立根载荷 立根载荷实际包括立根自重和立根所受风载的联合作用通过二层台对井架产生的作用力。

5) 风载 海洋修井机井架的主要特点之一是承受由海洋环境所带给的载荷, 因而风力的研究在海

【收稿日期】2007-12-09

【作者简介】苏一凡(1962-), 男, 2003 年大学毕业, 工程师, 硕士生, 现主要从事海洋钻机、修井机管理与技术工作。

洋修井机井架设计中是必不可少的一部分。关于平均风载对井架的作用,风向是十分重要的,对于该研究课题,选对结构最不利的几种风向。通过分析,选择背面吹风为第 1 风向,因为该向风加剧了井架向井口方向的倾斜。第 2 风向则选为侧面吹风,这主要是考虑到井架上体正面的梯子增大了迎风面积,该向风载对井架的影响也比较大。第 3 风向则选为正面吹风,因为该向风加剧了立根对井架的靠力,同时迎风面积比第 1 风向略大。

1.2 井架的组合工况

综合有关文献^[2~4],分析该海洋修井机实际使用情况以及载荷出现的概率,确定该海洋修井机在进行分析时的实际工况为:最大钩载工况;严重钻修井工况;正常钻修井工况;等待天气工况;保全设备工况。由于考虑采用顶驱,每一种工况必须加顶驱进行对比(表 1)。

表 1 工况载荷组合表

工况	模式	恒载	最大钻 柱重量	最大 钩载	工作绳 作用力	立根 载荷	立根 风载	背面 风载	侧面 风载	正面 风载	8 级 地震	风力	顶驱 自重	反扭矩
1	最大钩载	1		1							1			
2	最大钩载+顶驱	1		1							1	1	1	
3	严重钻修井 1	1	1.4		1	0.6	1	1			1	8 级		
4	严重钻修井 2	1	1.4		1	0.6			1		1	8 级		
5	严重钻修井 3	1	1.4		1	0.6	1			1	1	8 级		
6	严重钻修井 1+顶驱	1	1.4		1	0.6	1	1			1	8 级	1	1
7	严重钻修井 2+顶驱	1	1.4		1	0.6			1		1	8 级	1	1
8	严重钻修井 3+顶驱	1	1.4		1	0.6	1			1	1	8 级	1	1
9	正常钻修井 1	1	1		1	0.6	1	1			1	8 级		
10	正常钻修井 2	1	1		1	0.6			1		1	8 级		
11	正常钻修井 3	1	1		1	0.6	1			1	1	8 级		
12	正常钻修井 1+顶驱	1	1		1	0.6	1	1			1	8 级	1	1
13	正常钻修井 2+顶驱	1	1		1	0.6			1		1	8 级	1	1
14	正常钻修井 3+顶驱	1	1		1	0.6	1			1	1	8 级	1	1
15	等待天气 1	1				1	1	1			1	93 节		
16	等待天气 2	1				1			1		1	93 节		
17	等待天气 3	1				1	1			1	1	93 节		
18	等待天气 1+顶驱	1				1	1	1			1	93 节	1	
19	等待天气 2+顶驱	1				1			1		1	93 节	1	
20	等待天气 3+顶驱	1				1	1			1	1	93 节	1	
21	保全设备 1	1						1			1	107 节		
22	保全设备 2	1							1		1	107 节		
23	保全设备 3	1								1	1	107 节		
24	保全设备 1+顶驱	1						1			1	107 节	1	
25	保全设备 2+顶驱	1							1		1	107 节	1	
26	保全设备 3+顶驱	1								1	1	107 节	1	

注: 1 节=0.514m/s, 表示风速。

2 井架的有限元分析

2.1 几何模型的建立

某海洋修井机井架形式为前开口直立无绷绳伸缩式井架,由井架上体、井架下体、井架支座、井架撑杆、天车和二层台等组成,井架起升方式为利用起升油缸起升。修井机井架的几何模型的建立是先创建关键点,然后连接成直线来代替井架的立体结构。在满足计算精度的情况下,为了减少计算工作量,需要对几何模型作一些适当的简化^[5~7]:①井架本体为刚架结构,井架各杆之间焊接可靠,为刚性连接。②二层台、天车、井架护栏、护梯、栏杆、二层台撑杆等井架附件,建模时全部去掉;但二层台和天车的质量较大,在建立有限元模型时其质量作用应加以考虑。③井架上下体在工作时连接可靠,不发生相互窜动现象。经简化后的修井机井架的几何模型主要由井架上体、井架下体、井架支座、井架撑杆

组成。

2.2 有限元模型的建立

1) 单元类型 由于修井机井架是三维杆件结构,井架各杆件不仅承受轴向力,而且也承受附加的弯矩作用。因此采用三维梁单元 Beam4 能更好地表达井架的实际受力情况。

2) 实常数 由于修井机井架的杆件主要由不同截面的型钢构成,研究中定义了24种截面类型,同时也就对应了24组实常数。

3) 有限元模型 根据上述的元素类型,实常数和材料特性的描述,建立支架有限元模型。模型中节点的确定应遵循如下原则:①杆件与杆件的焊接连接处即井架的节点为模型的节点;②井架与二层台的连接点为模型的节点;③对于变截面构件或焊有加强板的梁,在构件长度方向增加多个节点,使其等效为多段等截面梁。综合考虑,该有限元模型单元的大小设为0.1m,通过划分网格,有限元模型共有6931个节点和7206个单元。

4) 边界条件 井架安装在底座上,由于底座的刚度很大,将其视为刚体,井架下体通过4个销子与井架支座和井架撑杆连接,其销节点5个自由度受约束,绕销轴方向(Z向)旋转自由度放开。而井架支座通过4个螺栓使井架与底座连接,螺栓固定点6个自由度全部约束,井架撑杆通过2个销子使井架与底座连接,其销节点5个自由度受约束,绕销轴方向(Z向)旋转自由度放开。

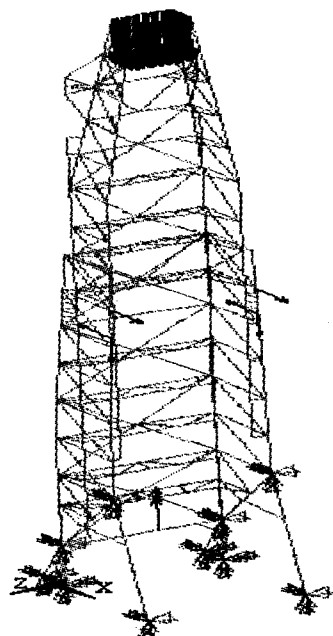


图1 某海洋修井机井架的有限元模型

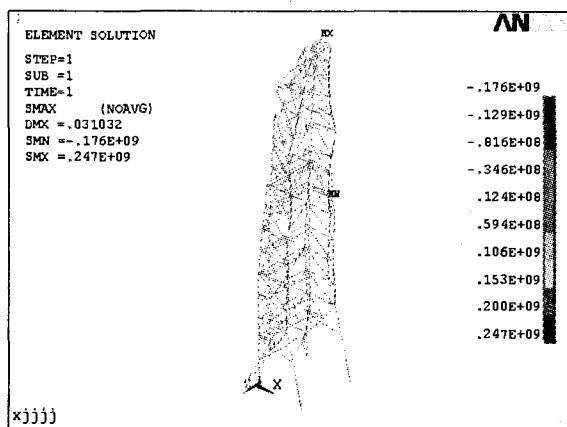


图2 保全设备工况3的X向位移云图

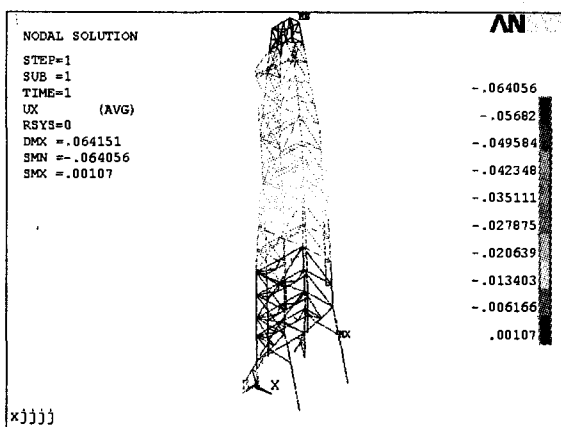


图3 最大钩载加顶驱工况下最大应力云图

5) 施加载荷 对于该研究课题,井架自重可按集中载荷作用在井架的所有节点上,天车和游动系统、顶驱以及顶驱导轨重量以集中力平均施加到井架最上一层的所有节点上。二层台的重量可换算后作用在与井架连接的4个节点上。最大钩载、大钩静载荷(钻柱重量)、工作绳作用力同样是作用在天车台上,因此它们的重量也以集中力平均施加到井架最上一层的所有节点上。立根自重和立根受风载共同作用下的立根水平靠力作用在二层台与井架连接的上面2个节点上。3种风向的风力以集中力平均施加到井架迎风面所有节点上。按要求修井机井架能抵抗8级地震烈度要求,因此将0.5g水平惯性载荷和0.25g竖直惯性载荷施加到所有节点上。由于安装顶驱系统后,作业过程中顶驱系统会对井架产生反扭矩,作用在井架支座的门字梁上。图1为在最大钩载加顶驱工况下施加载荷后的有限元模型图。

2.3 分析计算

利用ANSYS软件26种工况的有限元模型进行逐一分析,得到相应的应力和位移分布,通过后处理手段将它们表示出来^[8]。

3 计算结果分析与校核

计算前述的 26 种典型工况, 依次给出了各单元的最大轴向总应力和井架 3 个方向的位移值, 该应力为轴向拉压应力及 2 个弯曲应力之和。井架材料为 16Mn (Q345), 其许用应力 $[\sigma] \approx 210\text{MPa}$ 。从应力水平考察, 修井机井架的最危险工况为最大钩载+顶驱工况, 最大应力值为 247MPa (图 2), 出现在天车底座梁上, 大于许用应力。最大钩载工况、严重修井工况以及严重修井+顶驱工况的最大应力值分别为 230 、 227 和 245MPa , 也大于许用应力 210MPa 。在该井架上安装顶驱后, 分析计算其最大应力值均大于不安顶驱的情况, 可见安装顶驱会使该井架的安全性降低。从位移水平考察, 修井机井架的最危险工况为保全设备工况 3 (正面吹风不加顶驱), 最大位移为 X 方向 64.056mm (图 3), 出现在天车底座梁上, 此时井架有一定的倾覆倾向。

4 结 论

1) 根据将该修井机改为钻修井机, 并安装顶驱装置进行作业的实际, 提出了该修井机井架的 26 种不同工况, 并利用 ANSYS 软件对其进行了三维有限元分析, 得到了位移及应力分布。

2) 首次提出将正风向风载考虑为载荷组合工况之一, 通过计算, 正是在这一风载下出现最大位移情况, 可见这一提法是合理的。此法丰富了解决类似问题时的风载荷工况, 有明显的实际意义。

3) 综合有限元分析结果, 并对支架进行强度分析和校核, 表明该井架可满足大多数工况下的钻修井作业要求, 但是不能满足在最大钩载工况、最大钩载+顶驱工况、严重修井工况、严重修井+顶驱工况等极限工况下的强度要求, 必须采取结构加强措施。

[参考文献]

- [1] 陈淮, 王伟. 石油井架力学行为分析 [J]. 特种结构, 1996, (13): 33~36.
- [2] 曲守平, 赵登峰, 单东升 等. 40t 修井机井架强度的有限元分析 [J]. 长春大学学报, 2000, 10 (6): 1~4.
- [3] 何霞, 刘清友, 金迅 等. HX90 海洋修井机井架力学分析 [J]. 天然气工业, 2004, 24 (2): 59~60.
- [4] 何军国, 刘永勤. 无缆绳桅杆海洋井架的有限元计算结果分析 [J]. 石油矿场机械, 2000, 29 (3): 30~32.
- [5] 薛继军, 郭谊民, 何正嘉 等. CAE 技术在井架设计中的应用 [J]. 应用力学学报, 2004, 21 (1): 134~138.
- [6] 梁会高, 陈俊. 基于 StruCAD_3D 的旅大 4_2 海洋修井机井架设计计算 [J]. 石油矿场机械, 2006, 35 (5): 67~69.
- [7] 张波, 吕圣仕, 彭代清 等. 应用 CAE 软件分析计算钻机井架静应力 [J]. 石油矿场机械, 2004, 33 (3): 39~41.
- [8] 陈精一, 蔡国忠. 电脑辅助工程分析 ANSYS 使用指南 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.

[编辑] 苏开科