

FEM Simulation on Integral Hoisting for 49 m Flange Connection Flare Stack Structure

Huazhao Li¹, Xuanyu Sheng², Yachen Xu³

¹Management Center of Daqing Oilfield Construction, Daqing Heilongjiang

²Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing

³Research Center of Advanced Energy Equipment Technology, Tianjin Research Institute for Advanced Equipment, Tsinghua University, Tianjin

Email: xuanyu@tsinghua.edu.cn, shengxy@tsinghua-tj.org

Received: Sep. 7th, 2016; accepted: Sep. 27th, 2016; published: Sep. 30th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Knocked down assembly or segmentation hoisting is generally used for flare stack with flange connection structure. This paper presents a novel technology of integral hoisting of flare stack with flange connection structure. In the paper, CATIA finite-element-analysis is used to build the model of flare stack and to simulate working condition in both horizontal and vertical limit states during integral hoisting of flare stack. The strength and stability of flare stack during hoisting is checked and calculated. The dangerous points and weak structures are conducted through the reinforcement treatment to provide evidence for hoisting procedure design and formulation of hoisting plan.

Keywords

Flange Connection, Flare Stack, Integral Hoisting, CATIA Finite-Element-Analysis, Strengthen

49 m 法兰连接式火炬整体吊装有限元校核分析

李化钊¹, 盛选禹², 徐雅晨³

¹大庆油田基建管理中心, 黑龙江 大庆

²清华大学核能与新能源技术研究院, 北京

³清华大学天津高端装备研究院先进能源装备技术研究所, 天津
Email: xuanyu@tsinghua.edu.cn, shengxy@tsinghua-tj.org

收稿日期: 2016年9月7日; 录用日期: 2016年9月27日; 发布日期: 2016年9月30日

摘要

法兰连接结构火炬塔架安装一般采用散件组装或分节吊装, 由于施工条件苛刻本文提出一种法兰连接式火炬塔架一次性整体吊装技术方法的创新。使用CATIA有限元分析模拟火炬塔架整体吊装时的水平和竖直两个极限状态工况受力, 对吊装时塔架的强度和稳定性进行校核计算, 查找出危险点及提出薄弱结构的加固处理措施, 为吊装工艺设计提供依据。

关键词

法兰连接, 火炬塔架, 整体吊装, CATIA有限元分析, 加固

1. 引言

在石油化工场站施工建设中常常需要安装火炬, 因其构件组装的体积大、设备自身高、安装位置受限空间局限大等特点, 给安装带来了一定的困难[1]。常规的火炬塔架均采用高空散件组装或者分段吊装的方法进行安装。喇二浅冷站火炬系统维修工程需新建 49 m 法兰连接式火炬系统一套, 针对法兰连接结构火炬塔架一般采用分节吊装, 但施工期间已进入大庆地区的冬季, 气温低于 -25°C , 多风雪; 加上登高作业施工安全风险大, 作业人员劳动强度大; 经现场多方结合, 确定对塔架进行合理的加固然后采用整体吊装, 本文对火炬塔架整体吊装工艺进行校核分析计算。

2. 火炬塔架结构参数[2]

本工程的火炬塔架横断面为正三角形, 底角断面为 $9\text{ m} \times 9\text{ m}$, 塔架顶断面为 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$, 总高 45.8 m。火炬筒体下端为 $\Phi 630 \times 14$ 钢管, 高 7.31 m; 上端为 $\Phi 508 \times 12$ 钢管, 高 39.19 m, 火炬筒体高 49 m。塔架顶平台上有火炬头, 火炬头高 3.5 m。火炬头和火炬筒体总高 50 m。吊装物重量为火炬筒体、塔架及配件总重 29.5 吨, 高度 45.8 米; 火炬头重 1 吨, 高 3.5 米; 火炬底座 2.8 吨, 高度 7.3 米; 加固附件重量 2 吨。火炬塔架整体总重量 $Q_{\text{火炬}} = 29.5 + 1 + 2.8 + 2 = 35.3$ 吨。火炬塔架基础顶面距离地面高 0.3 m。

3. 火炬塔架模型建立及力学特性查询

3.1. 模型建立[3]

在 CATIA 三维设计和辅助分析一体化计算平台中建立火炬塔架一比一三维模型(如下图 1), 采用 CATIA 自带的四面体自适应非线性网格划分技术对整体模型进行网格划分, 并针对塔架受力变形较大位置进行局部网格细化以提高计算精度。

3.2. 火炬重量、重心位置和惯性矩校核结果

计算模型建立之后, 在 CATIA 软件中查看火炬塔架三维模型的机械属性, 对其进行评估分析得到计算总重量和重心位置坐标和体积质量等参数数据如下图 2 所示, 火炬塔总重量 27.4 吨, 整体高度 50 m, 经计算得出整体重心距离尾端 20.496 m。

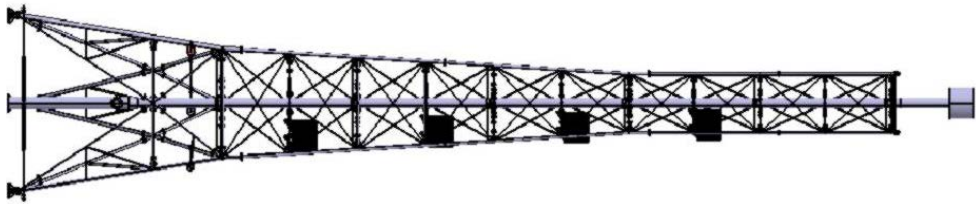


Figure 1. Three-dimensional model of the flare stack
图 1. 塔架三维实体模型

特性		惯性中心			
体积	: 3.455m ³	x	: -20.529mm		
质量	: 27158.318kg	y	: 24.475mm		
曲面	: 683.084m ²	z	: 20775.674mm		
惯性矩阵					
Ixx	: 5875143.85kg x m ²	Ixy	: 843.144kg x m ²	Ixz	: 988.211kg x m ²
Iyx	: 843.144kg x m ²	Iyy	: 5874740.237kg x m ²	Iyz	: -4996.371kg x m ²
Izx	: 988.211kg x m ²	Izy	: -4996.371kg x m ²	Izz	: 139361.623kg x m ²

Figure 2. Mechanical properties of the flare stack
图 2. 火炬塔架模型机械属性

4. 火炬塔架加固设置

1) 火炬塔底部加固

火炬塔底部采用 $\Phi 159 \times 6$ 无缝钢管与塔架焊接，并通过 C12.6 槽钢与火炬塔筒体相连进行加固(如图 3)。

2) 溜尾吊耳加固

如图 4，溜尾吊耳设置在距离塔架底平面的 9.3 米处，采用 $\Phi 159 \times 6$ 无缝钢管连接吊耳并与斜梁相连进行加固支撑。

3) 火炬筒体加固

火炬筒体采用 C12.6、C10.0 槽钢与横梁连接进行加固(如图 5)，隔层加固，共设 4 套加固。

5. 火炬塔架 CATIA 有限元分析校核

分析火炬塔架的起吊过程中两个极限位置受力状况，对火炬塔架的强度和稳定性进行校核。一是火炬塔架水平状态时，汽车吊和履带吊的钢丝绳按照与火炬塔架重心距离的反比共同承受火炬塔架的重量，此时吊耳、钢丝绳上的载荷不大，但要承受重力产生的弯矩，火炬塔架塔中部弯矩较大；二是火炬塔架竖直状态时，火炬塔架的全部重量作用在上部的主吊耳上，主吊耳承受火炬塔架的全部重量，此时吊耳以及吊耳附近的火炬塔身所受应力较大，需要重点对此位置进行校核。具体强度和稳定性校核分析如下：

5.1. 水平状态火炬塔架强度、稳定性校核

火炬塔架整体吊装处于水平状态时，主副吊耳的钢丝绳竖直向上，钢丝绳上端设定固定约束。计算的 Von Mises 应力如图 6 所示。结构整体应力水平很低，在 10~40 MPa 的量级，远低于材料的屈服强度值 240 MPa，因此结构整体处于水平位置时受力不大，强度满足安全要求。

结构处于水平状态时，塔架结构整体在重力作用下，会有向下的位移，若位移过大，结构在吊装过

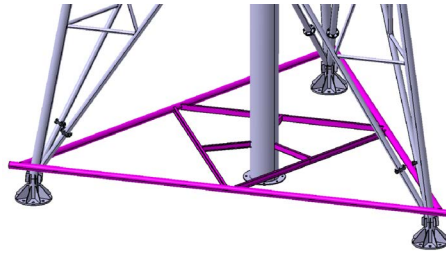


Figure 3. Strengthening of the flare stack bottom
图 3. 底部加固图

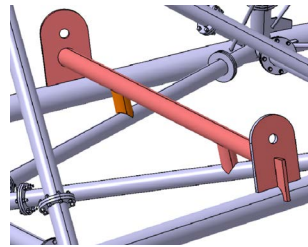


Figure 4. Strengthening of the lifting lug
图 4. 溜尾吊耳加固图

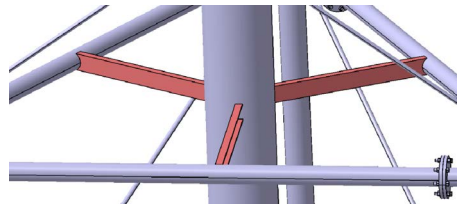


Figure 5. Strengthening of the flare stack body
图 5. 火炬筒体加固图

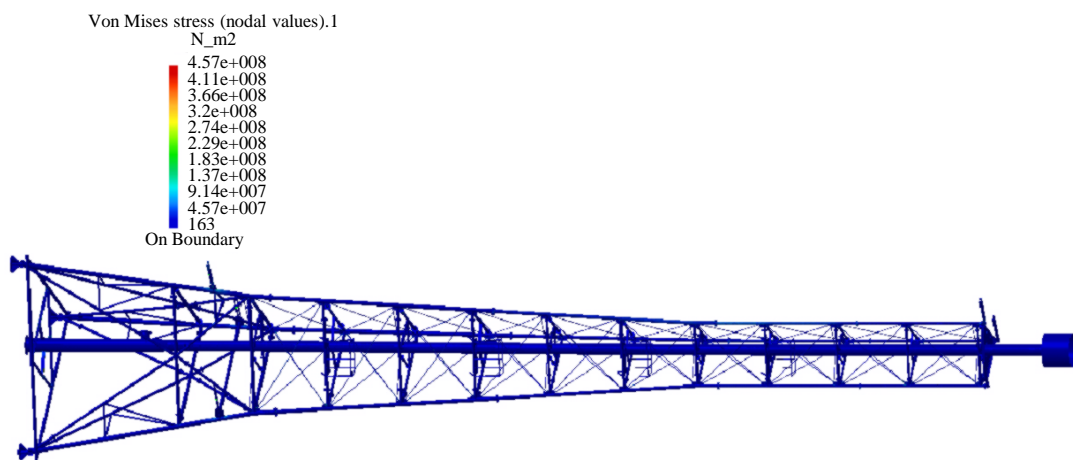


Figure 6. Stress simulated result of the flare stack
图 6. 整体应力计算结果图

程中可能会产生失稳破坏，通过水平位移情况可以校核水平起吊吊点设置合理情况。图 7 为火炬塔架在水平状态时的位移，中间部位位移最大，为 27.8 mm。两吊点距离 36.5 m，则最大挠度(f) (m) = $L/300 = 0.1217 \text{ m} > 0.0278 \text{ m}$ ，稳定性符合安全要求。

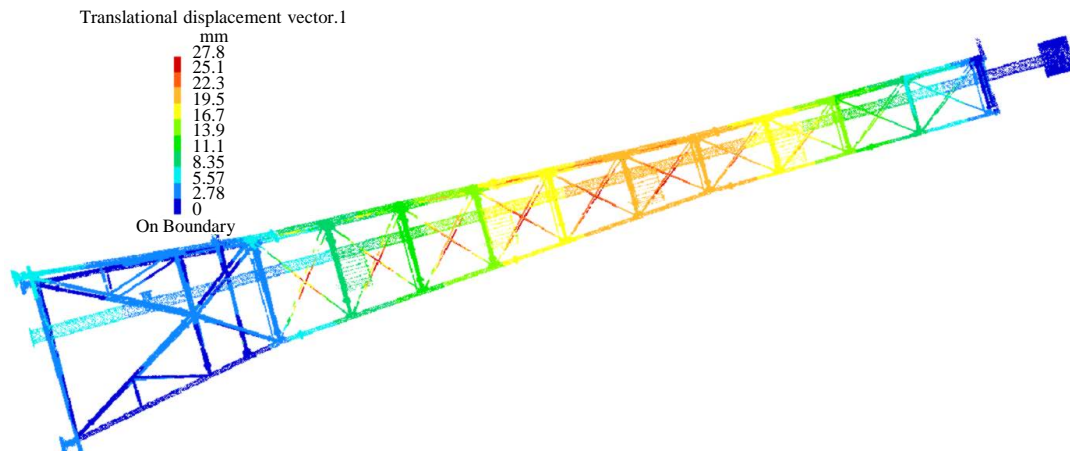


Figure 7. Displacement distribution in horizontal position of the flare stack
图 7. 水平位置整体位移计算结果

5.2. 竖直状态火炬塔架强度、稳定性校核

火炬塔架整体吊装处于竖直状态时，计算火炬塔架整体的 Von Mises 应力云图如图 8 所示。结构整体应力较小，在 10~50 MPa 的量级，远低于材料的屈服强度值 240 MPa，满足强度安全范围，因为结构本身只承受重力载荷作用，没有其它的外载荷。

火炬塔架整体位移计算显示(如图 9 所示)，在竖直位置时，火炬塔架结构不承受外力，只有重力载荷，计算结构的位移大小，结构的最大位移值为 15.9 mm，位于火炬塔架的最底部，符合最大变形量要求，满足安全条件。

5.3. 局部危险点检查及处理措施

水平状态时对火炬塔架的局部结构进行逐一检查(如下图 10 所示)，对主立柱法兰螺栓进行应力监测表明，水平状态时上部主立柱第 2、3、4 级法兰螺栓受力较大在 190~260 MPa 之间，第三级法兰螺栓受力超过 400 MPa，其切片图如图 11 所示，究其原因，这是由于第三级法兰临近斜主立柱和直主立柱的交界位置，故该处螺栓所受应力大。因此现场必须对这几处位置法兰进行加固处理。测得主、副吊耳处最大应力在 100 MPa 左右，也小于材料的屈服强度值，因此设计的吊耳在水平吊装位置时安全，能够满足安全要求。

竖直状态时，对火炬塔架局部结构进行危险点检测，塔架不受外力整体能够自由变形，故所受应力较小。由于塔身重量全加载在主吊耳法兰螺栓上，结构所承受的局部最大等效应力即在火炬塔架上部的吊耳法兰螺栓上(如图 12 所示)，塔架整体最大应力为主吊耳法兰螺栓所受拉应力(值为 293 MPa)，故需选用更高强度级别(8.8 级 M 20 × 100)的螺栓连接主吊耳。

6. 现场吊装实施

参照 CATIA 有限元校核分析计算结果，依据加固指导方案，工程现场完成对该火炬塔架的主吊耳副吊耳加固、立柱法兰加固工作(如图 13~15 所示)，2016 年 1 月 14 日经过 1 个小时的吊装作业，该火炬塔架整体吊装作业取得圆满成功(如图 16 所示)。

7. 结论

运用精确、可靠、成熟的计算机辅助分析计算(CAE)技术，针对 49 m 法兰连接式火炬塔架整体吊装

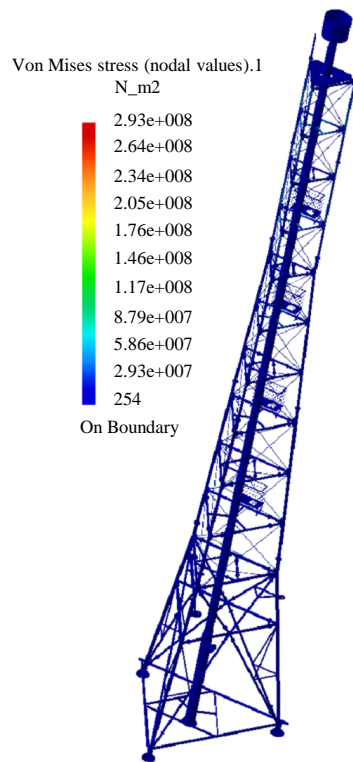


Figure 8. Stress cloud chart of the flare stack in vertical position
图 8. 竖直位置整体应力云图

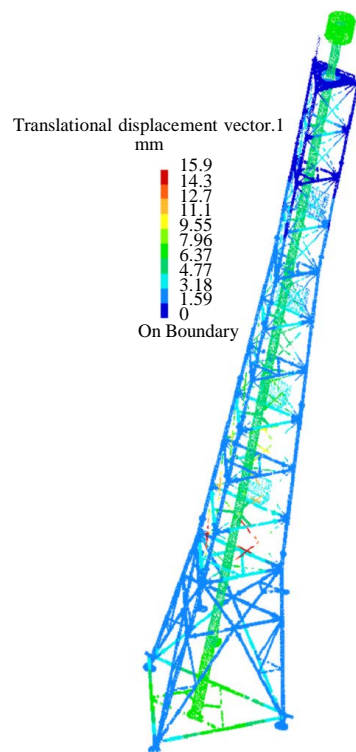


Figure 9. Displacement cloud chart of the flare stack
图 9. 整体位移云图

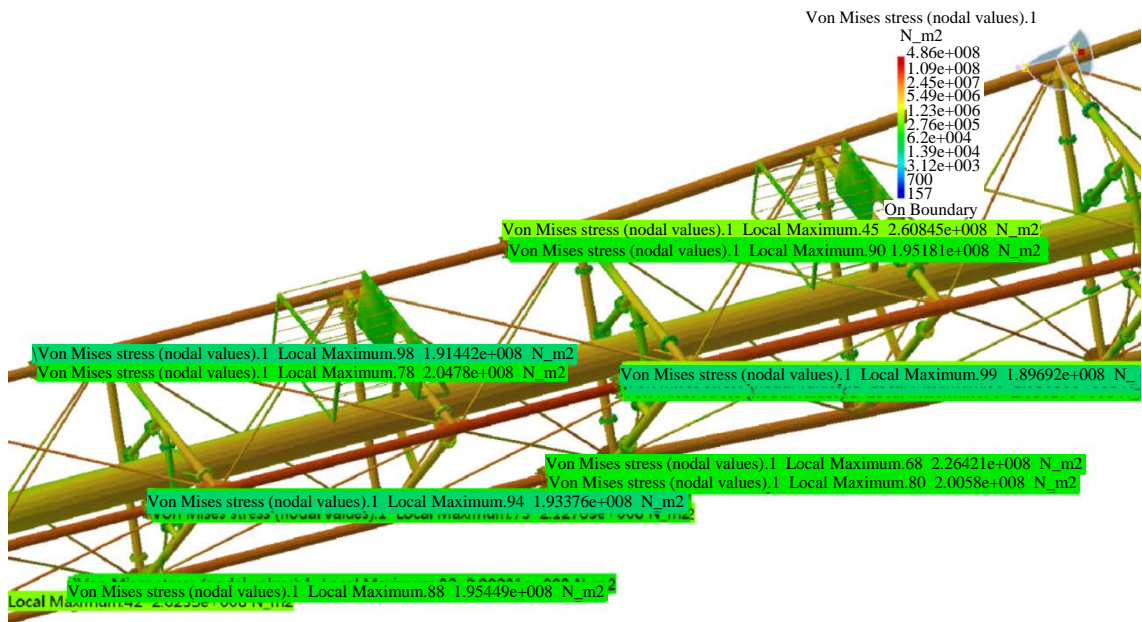


Figure 10. Checking results of the dangerous points
 图 10. 危险点检查结果显示

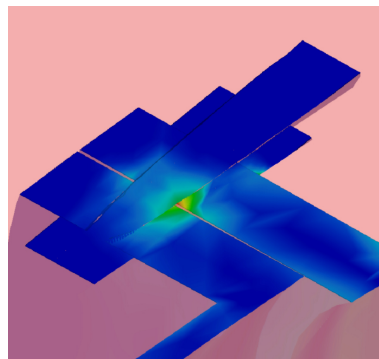


Figure 11. Illustration of the maximum stress
 图 11. 最大应力切片图

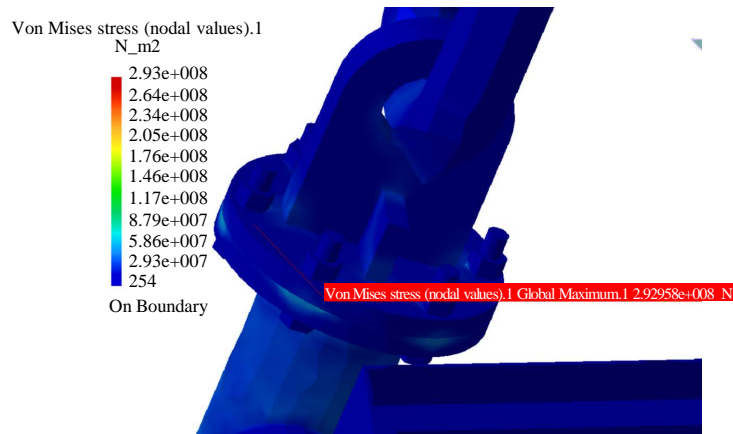


Figure 12. Demonstration of the local maximum stress
 图 12. 局部最大应力显示图



Figure 13. Strengthening of the lifting lug
图 13. 溜尾吊耳加固



Figure 14. Strengthening of the primary lifting lug
图 14. 主吊耳加固



Figure 15. Strengthening of the column of the flange
图 15. 立柱法兰加固



Figure 16. Result of the integral hoisting
图 16. 整体吊装过程

可能出现的法兰螺栓受力较大、整体结构变形过大、吊耳局部位置所受应力较大等问题进行 100% 实体建模，校核分析水平和竖直两种极限工况下火炬塔架整体的强度和稳定性基本满足安全要求。通过合理设置主、副吊耳及立柱法兰的加固措施和选用高强度等级的主吊耳法兰螺栓，保证了该火炬塔架整体吊装的强度和稳定性更加满足安全要求，保证火炬塔架整体吊装作业圆满完成。该法兰连接结构火炬塔架的整体吊装工艺，解决了冬季施工高空散件组装和分段吊装作业的诸多困难，为这种吊装方法推广打下坚实基础。

参考文献 (References)

- [1] 王业洛. 大型设备吊装管理浅析[J]. 中国高新技术企业, 2010(21): 131-132.
- [2] SH/T 3029-2014 石油化工排气筒和火炬塔架设计规范[M]. 北京: 中华人民共和国工业和信息化部, 2014.
- [3] 盛选禹, 唐守琴, 编. CATIA 有限元分析命令详解与实例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：met@hanspub.org