

天然气净化厂尾气焚烧炉 有限元分析

撰文 / 西安长庆科技工程有限责任公司 杨建东 董艳国

摘要: 运用通用有限元软件 ANSYS, 对高 120m 的塔架式钢烟囱结构进行了横载、活载和风载荷分析, 然后根据规范要求对各工况荷载作用下 Von mises 应力组合, 得出关键部位最大应力和最大变形, 验算塔架式烟囱强度和刚度。其验算结果均满足现行规范要求, 也为同类结构的研究提供参考。

关键词: 塔架式烟囱, 有限元分析, 强度和刚度校核

天然气净化厂尾气焚烧炉是将脱硫装置脱除的酸气进入尾气焚烧炉焚烧, 将酸气中的 H_2S 转化成 SO_2 后排入大气, 是保证净化厂连续、稳定和安全生产的必需设施, 又是减少化工大气对周围空气污染的一个重要手段。

尾气焚烧炉采用钢烟囱形式, 通常包括自立式、拉索式和塔架式 3 种形式。塔架式钢烟囱一般靠钢筒体承受竖向力自重, 塔架承受水平荷载, 而塔架整体上是竖向桁架, 材料性能得到充分发挥, 经济适用, 应用广泛。本文以长庆天然气第四净化厂尾气焚烧炉塔架式钢烟囱为例, 利用大型有限元分析软件 ANSYS 对其进行静态分析。

一、塔架式烟囱有限元分析方法

塔架式钢烟囱属高耸结构, 需要很大的强度和刚度。其正常使用的极限状态和承载能力的极限状态, 基本都由横向荷载控制, 而风载带有明显的动力效应。分析塔架的刚度问题属于大型结构的力学问题, 要直接利用数学、力学等理论知识进行求解往往很困难, 若要考虑烟囱、塔架与平台的

整体刚度问题则更为困难。根据塔架式烟囱的结构、各种受力和约束, 应用有限元法模拟, 可以计算出塔架式烟囱的最大变形, 能够较真实地模拟出塔架在风载使用过程。

首先要建立塔架式烟囱的三维模型, 结合烟囱的材料及属性转化为有限元分析模型, 对有限元模型添加约束边界并施加载荷, 然后计算求解, 进行塔架式烟囱的结构静力分析, 通过有限元后处理分析结果可分别获得塔架式烟囱的最大变形和最大应力, 结合材料特性和相关标准规范判断, 从而为改进和优化塔架式烟囱设计提供可靠的数据支持。

二、塔架式烟囱有限元模型建立

本文塔架式烟囱为分层空间桁架, 每一层腹杆为十字形, 如图 1 所示。烟囱高度为 120m, 钢架 113m, 分为 13 层, 共设有 7 个平台。立柱、腹杆及水平支撑为圆形钢管, 平台框架为槽钢。

基于计算精度、计算时间和经济性方面的综合要求, 在不影响计算精度的前提下, 需要对模型进行适当的简化和

收稿日期: 2015-06-30, 修回日期: 2015-08-04

作者简介: 杨建东 (198.11-), 男, 陕西西安, 工程师, 从事油田机械设备和压力容器设计工作。

修改，避免在网格划分时由于不必要的小特征而产生大量单元，简化之后的结构就是我们在分析中所要用到的理想化的计算模型。该计算模型与实际结构存在着一定的差异，但仍然保持了原结构的主要力学特征，这样就使得计算所得的结果与实际情况并不会存在过大差异。

为了便于建模以及划分有限元网格，在建模之前对原始模型进行了合理的简化。

- (1) 塔架各杆的交汇点，均为理想的铰接点。
- (2) 平台只保留框架部分，平台面部分忽略。
- (3) 烟囱裙座简化成固定支撑，同样塔架支座也当做固定端。
- (4) 平台和烟囱接触部分绑定。

本项目中，烟囱为薄壁结构，采用壳单元；塔架为空间桁架结构，采用梁单元。设置单元属性时，需要各部分的截面和材料，如表 1 所示。

表 1 各部分截面和材料

截面类型	尺寸 /mm	适用位置	材料
截面 1	Φ580×18	最外侧主框架	Q345-E
截面 2	Φ325×10	平台 -1 以下横梁	Q345-E
截面 3	Φ299×10	平台 1-3 之间横梁	Q345-E
截面 4	Φ219×10	平台 3 以上横梁	Q345-E
截面 4	Φ219×10	节与节之间交叉梁	Q345-E

建立的有限元网格模型如图 2 所示，该模型共有节点 143 万，单元 92 万。



图 1 塔架式烟囱现场照片

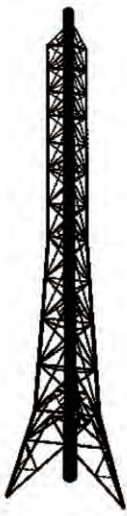


图 2 塔架式烟囱整体网格

三、塔架式烟囱的有限元分析

1. 塔架式烟囱的静力分析各载荷介绍

塔架式烟囱所承受的载荷包括：部件的重量、平台载荷、风载和温度载荷等。各类载荷的具体描述如下。

(1) 平台载荷：恒载、活载。

平台载荷主要包括恒载和活载，恒载为平台自重，可根据实际模型计算出来；活载为人员检修操作带来的载荷，本项目中活载为恒载的二倍，计算出的载荷如表 2 所示。

表 2 平台载荷

层号	水平撑尺寸			平台载荷		节点载荷	
	标高 /m	直径 /m	宽度 /m	恒载 /KN	活载 /KN	恒载 /KN	活载 /KN
		φ3	B	Λx1.0	Λx2.0	Λx1.0/3	Λx2.0/3
1	13.0	0.325	14.195				
2	20.0	0.377	11.000	52.393	104.786	17.5	34.9
3	32.0	0.299	9.820				
4	42.0	0.325	8.740	33.076	66.152	11.0	22.1
5	53.5	0.245	7.710				
6	63.5	0.325	6.600	18.861	37.723	6.3	12.6
7	72.5	0.219	6.600				
8	81.0	0.219	6.600	18.861	37.723	6.3	12.6
9	88.5	0.219	6.600				
10	95.0	0.219	6.600	18.861	37.723	6.3	12.6
11	101.0	0.219	6.600				
12	107.0	0.219	6.600	18.861	37.723	6.3	12.6
13	113.0	0.219	6.600	18.861	37.723	6.3	12.6

(2) 风载。

风荷载是各种工程结构的重要设计荷载，对高耸结构常起控制作用，因此风荷载的计算非常关键。本工程结构计算时考虑 45° 方向的风荷载，风荷载按节点从属面积简化为集中力施加在节点上。因风荷载标准值的计算与结构构件尺寸及结构自振周期有关，根据高耸结构设计规范施加在结构单位面积上的风荷载标准值按以下公式计算式：

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 \tag{1}$$

式中， β_z 为 Z 高度处的风振系数； μ_s 为风荷载体型系数； μ_z 为风压高度变化系数； w_0 为基本风压 /kN · m⁻²。

风振系数 β_z 计算如下式所示：

$$\beta_z = 1 + \frac{\xi \times v \times \varphi_z}{\mu_z} \tag{2}$$

式中， β_z 为风振系数； ξ 为脉动增大系数； v 为脉动影

表 3 风载计算结果

	X 向塔架风载荷 (塔柱 A,B 各层节点)	Z+ 向塔架风载荷 (塔柱 A,B 各层节点)	Z+ 向塔架风载荷 (塔柱 c 各层节点)	Z- 向塔架风载荷 (塔柱 A,B 各层节点)
高度 (米)	节点总风载 (KN)	节点总风载 (KN)	节点总风载 (KN)	节点总风载 (KN)
13.0	22.0	19.3	27.1	21.9
21.0	21.3	17.9	24.3	21.3
32.0	19.9	17.7	24.9	19.7
43.0	30.0	24.4	31.7	29.8
53.5	19.3	18.5	25.6	20.4
63.5	31.8	25.9	33.2	31.2
72.5	19.0	16.5	22.8	18.4
81.0	30.3	23.5	29.4	29.4
88.5	18.5	15	20.7	17.2
95.0	29.0	21.1	26.7	27.3
101.0	18.1	13.5	15.9	16.2
107.0	28.5	21.2	23.8	27.6
113.0	21	15.8	19.8	21.1

响系数; φ_z 为 Z 高度处的振型系数; μ_z 为高度系数。

风荷 W 计算结果如表 3 所示。风载加载到节点上, 如图 3 所示。

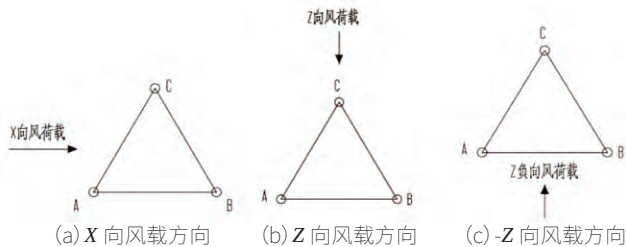


图 3 各方向风载

(3) 其他载荷。

① 裹冰荷载, 在空气湿度较大的地区, 当气温急剧下降时, 结构物的表面会有结冰现象, 即成为裹冰。结冰主要取决于建筑物所在地区的气象条件, 即空气湿度的大小和气温的高低。一般来讲, 裹冰是在无风或弱风时发生的。本工程, 考虑焚烧炉有辐射热的作用, 可不考虑裹冰影响。

② 温度荷载, 塔架平台与排烟筒之间的连接, 一般都采用滑道连接, 纵向可自由变形。滑道应留有足够的横向膨胀间隙, 以保证横向自由变形。塔架结构的温度应力和温度变形一般可以不予考虑。

2. 组合载荷下的变形

(1) 组合载荷。

按照表 4 所示, 按最不利工况条件的组合工况进行计算。

表 4 组合工况

工况	名称
基本组合 1	1.2 恒载 +0.98 活载 +1.4 X 风载
基本组合 2	1.2 恒载 +0.98 活载 +1.4 Z+ 风载
基本组合 3	1.2 恒载 +0.98 活载 +1.4 Z- 风载

(2) 加载后的分析。

将计算出来的风载分别加到各层结点上, 约束塔架和烟囱底部的全部自由度, 计算出来的变形如图 4 ~ 6 所示。

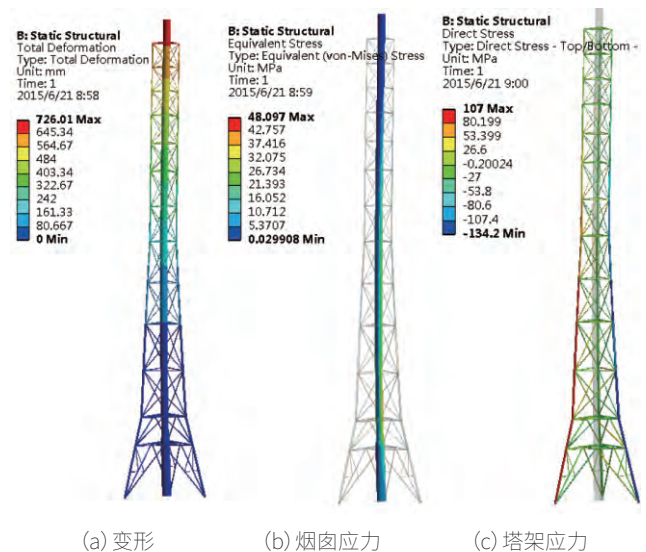


图 4 基本工况 1 计算结果

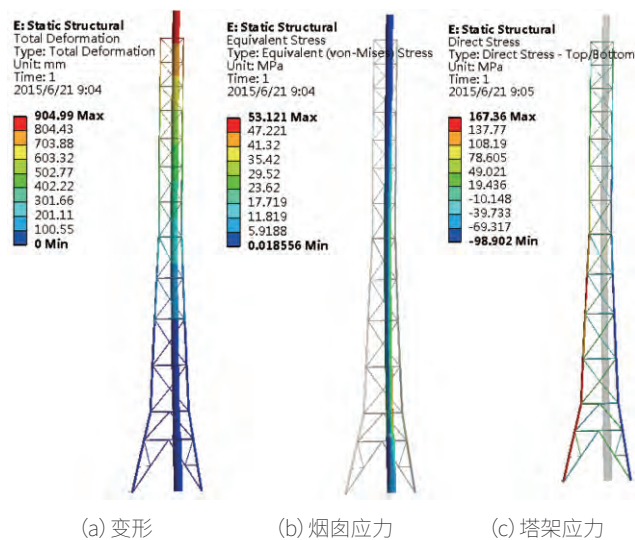


图5 基本工况2计算结果

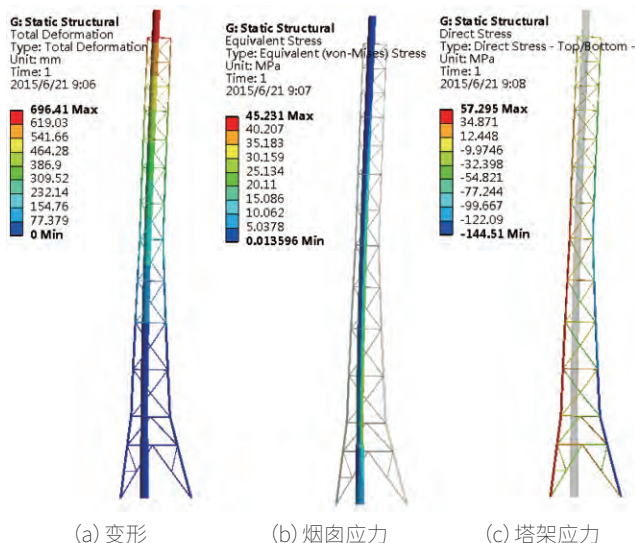


图6 基本工况3计算结果

①在X风载作用时，最大变形出现在烟囱顶部，最大变形为726mm；最大应力不超过107MPa，出现在烟囱背风面。

②在Z风载作用时，最大变形同样出现在烟囱顶部，最大变形为905mm；最大应力不超过167MPa，同样出现在烟囱背风面。

③在-Y风载作用时，最大变形出现在烟囱顶部，最大变形为696mm；最大应力不超过57MPa，出现在烟囱背风面。

从3种工况结果可知，最大变形为905mm，变形小于规范要求的变形量1,200mm（高度的1%）；应力最大为167MPa，小于其许用应力要求。

三、结语

通过运用ANSYS软件对塔架式烟囱进行分析，将组合载荷加载在整个塔架式烟囱上进行静力分析，可以验证设计的正确性，具有实际意义，经仿真得到的结果为结构合理性验证提供了有力条件，同时为塔架式烟囱的优化做了一定的基础。

参考文献

- [1] 同济大学. GB50135—2006 高耸结构设计规范[S]. 中国计划出版社, 2007.
- [2] 中国建筑科学研究院. GB50009—2001 建筑结构荷载规范(2006版)[S]. 中国建筑工业出版社, 2002.
- [3] 中国石化洛阳石油化工工程公司. SH3030—1997 石油化工塔型设备基础设计规范[S]. 中华人民共和国国家行业标准, 2003. 