脱硫塔顶部放置临时烟囱的选型设计

夏怀鹏,汪洋,赵冰
(中国华电科工集团有限公司,北京 100160)

摘 要:利用有限元分析软件 ANSYS 对脱硫塔顶部放置临时烟囱的结构进行建模,根据实际情况模拟该结构形式和荷载组成,分析该结构在各种荷载组合工况下的受力和变形特点。结果表明,脱硫塔顶部放置临时烟囱是可行的,有限元计算可以清楚地得到结构的受力情况,根据有限元分析的结果,选择合理的塔壁厚度和内部杆件截面,对薄弱部位采取合理的构造措施,可以实现设计优化。

关键词:脱硫塔;临时烟囱;有限元分析;受力;变形
中图分类号:X 701.3 **文献标志码**:B **文章编号**:1674 - 1951(2018)01 - 0062 - 03

0 引言

燃煤电厂在开展超低排放烟气治理改造工程时,场地条件的限制是一个很大的障碍。在改造工程中,既有构筑物和设备之间的空间很小,平面上很难布置新的构筑物,需要考虑利用高处空间。设置临时烟囱是很多电厂改造中需要面临的一个问题,临时烟囱高度基本都在 60 m 左右,地面没有空间时,往往考虑把临时烟囱布置在脱硫吸收塔的顶部。临时烟囱布置在吸收塔的顶部,能节省 2/3 的烟囱钢结构及烟囱基础,降低此类结构的造价,因此在工程应用上越来越多。

塔体顶部放置临时烟囱的结构受力较为复杂,会对原有脱硫塔的受力产生明显的影响,传统的塔体和烟囱分算的方法很难算清楚这种复杂结构的受力,只有利用有限元软件才能完全模拟这类结构。为了明确这类结构的受力状况,本文结合某正在施工工程,利用有限元分析软件 ANSYS 对该类结构进行建模,根据实际情况对结构形式和荷载组成进行模拟,通过大量的计算,明确该结构在各种荷载组合工况下的受力和变形特点,得出了一些结论,对此类结构的设计提供了一些建议[1-4]。

1 自振周期的确定

此类结构的设计,首先需要计算结构的自振周期。NB/T 47041—2014《塔式容器》提供了自振周期的计算公式(该公式采用分段法计算)[5]。

$$T_1 = 114.8 \times 10^{-3} \times \sqrt{\sum_{i=1}^{n} m_i \left(\frac{h_i}{H}\right)^3 \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{H_i^3}{E_i^t I_i} - \sum_{i=2}^{n} \frac{H_i^3}{E_{i-1}^t I_{i-1}}\right)},$$

式中:T_1 为结构的第一自振周期;H 为结构总高度;H_i 为塔式容器顶部至第 i 段底截面的距离;h_i 为第 i 段的高度;m_i 为第 i 段的质量;E_i^t 为第 i 段在设计温度下的弹性模量;n 为塔高范围内的分段数。

根据该公式对结构的周期进行了计算,得出 $T_1 = 0.275$ s;根据有限元模型的计算结果,结构的第一自振周期为 0.396 s;两者相差 44%。

规范给出的公式是一个近似的计算公式,不能准确地反映复杂结构的周期特性,但利用有限元分析软件可以准确得到结构的周期。风荷载和地震荷载的计算都与自振周期有关,根据计算周期可以更准确地确定结构的风荷载和地震荷载。

2 风荷载和地震荷载的计算

此类高耸结构对水平荷载比较敏感[6],风荷载和地震荷载对结构的受力影响非常大,因此,要准确地计算此结构的水平荷载。NB/T 47041—2014《塔式容器》规范给出了风荷载的计算公式[5]

$$P_i = K_1 K_{2i} p_0 f_i l_i D_{ei} \times 10^{-6},$$

式中:P_i 为第 i 段的水平风力;p_0 为基本风压;K_1 为体型系数;K_{2i} 为第 i 段的风振系数;f_i 为风压高度变化系数;l_i 为第 i 段计算长度;D_{ei} 为第 i 段的有效直径。

根据计算要求,将结构在高度范围内进行分段,利用规范给出的参数和表格进行计算,可以得到每一段上风荷载的标准值,将此标准值作为面荷载施加在有限元模型上进行有限元分析。此类结构需要验算临界风速,在计算得到当量直径和自振周期之后,可以根据规范给出的公式计算临界风速,判断是否发生共振。

地震荷载在高烈度区,对此类结构的影响很大。同样根据分段情况,计算每一段的质量和地震影响

收稿日期:2017 - 09 - 25;**修回日期**:2018 - 01 - 09

系数,按照规范的公式可以得到每一段的地震力。NB/T 47041—2014《塔式容器》规范给出了地震荷载的计算公式[5]

$$F_{1k} = \alpha_1 \eta_{1k} m_k g \ ,$$

式中:F_{1k}为集中质量 m_k 引起的基本振型水平地震力;α_1 为自振周期 T_1 的地震影响系数;η_{1k}为基本振型参与系数;m_k 为距地面 h_k 处的集中质量;g 为重力加速度,取 9.81。

由于地震力是沿着同一个方向的,在给有限元模型施加地震力的时候,需要将地震力转化为节点荷载施加到有限元模型上。

3　结构静力分析

利用 ANSYS 提供的 shell181 单元建立塔体的壁板,beam188 单元建立塔体内部的水平横梁和喷淋主管,得到有限元模型。根据实际工程中的地脚螺栓布置,设置相同数量的节点位移约束,建立边界条件。

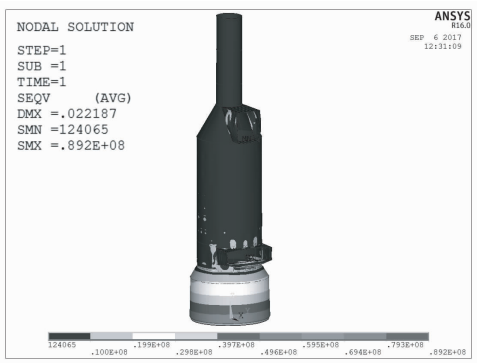
依据 NB/T 47041—2014《塔式容器》的规定,此类结构的计算采用容许应力法。荷载采用标准组合,强度设计值采用材料的许用应力。根据荷载作用的情况,首先要进行荷载的标准组合,本文的计算考虑了如下 8 种组合:(1)恒荷载 + X 向风荷载;(2)恒荷载 + Y 向风荷载;(3)恒荷载 + 活荷载 + 烟气正压;(4)恒荷载 + 烟气负压;(5)恒荷载 +0.25X 向风荷载 + X 向地震荷载;(6)恒荷载 +0.25Y 向风荷载 + Y 向地震荷载;(7)恒荷载 + 活荷载 + X 向风荷载;(8)恒荷载 + 活荷载 + Y 向风荷载。表 1 列出了 8 种荷载工况下结构的最大变形和最大应力。

根据 8 种荷载组合工况下结构的响应可以看出,在给定的荷载条件下,此结构整体处于弹性状态,工况 5(如图 1a 所示)结构的最大应力为 89.2 MPa,低于容许应力值 113.0 MPa,强度满足规范要求;塔体的整体变形顶部最大,约为 10 mm(图 1b 所示)约为高的 1/600,塔体局部的变形很小,塔体的刚度满足规范要求;但是,在水平荷载参与的组合工况下,最大变形发生在塔体内部的支撑梁上,最大变形约为 22.1 m(如图 1c 所示)变形也满足 GB 50017—2003《钢结构设计规范》中规定的主梁挠度 1/400 的限值[7-8]。

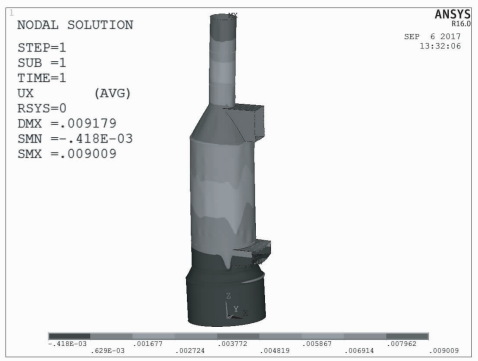
从计算结果来看,塔壁的开洞造成了结构刚度的突变,形成了结构的薄弱部位,导致开洞附近出现了应力集中现象(如图 1d 所示)在与开洞方向垂直的水平荷载作用下,塔体在洞口附近存在扭转现象,如图 1e 所示。塔壁开洞处是烟气的出口和入口,水

表 1　8 种荷载工况下结构的最大变形和最大应力

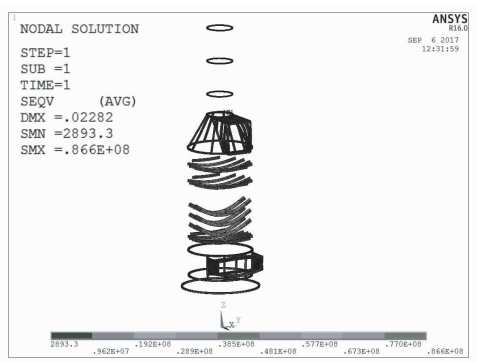
荷载组合工况	1	2	3	4	5	6	7	8
最大变形/mm	9.1	8.8	21.9	5.9	22.1	22.3	22.1	22.2
最大应力/MPa	34.3	35.8	88.6	62.8	89.2	89.0	89.1	89.0



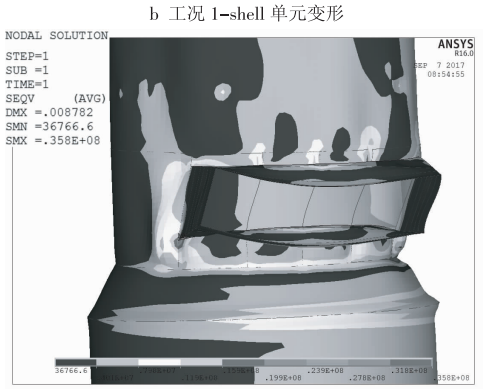
a 工况 5-shell 单元应力



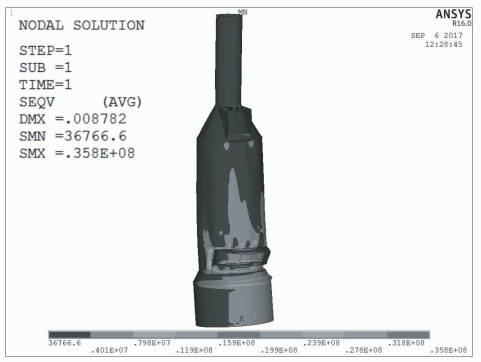
b 工况 1-shell 单元变形



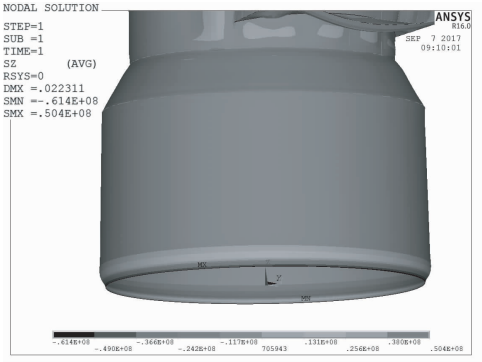
c 工况 5-beam 单元变形



d 工况 2-shell 单元应力集中区域



e 工况2-shell单元应力



f 工况5-shell单元轴向应力

图1　有限元分析结果

平段的烟气出口和入口需要采取加强构造措施,以保证局部稳定。

塔体底部的轴向应力往往是最大的,根据规范要求,需要验算底部塔壁的轴向应力[9]。GB 150.1～150.4—2011《压力容器》规范查表可以得到轴向稳定应力系数限值,与ANSYS计算得出的轴向应力进行对比,从而校核轴向稳定的应力,如图1f所示[10]。

4　临时烟囱的连接

由于是临时烟囱,在整个项目改造完成后,烟气的出口会统一汇集到永久烟囱里面,临时烟囱届时将被拆除,因此,临时烟囱应该方便拆除。

临时烟囱位于脱硫吸收塔的顶部,而脱硫塔内部的防腐材料是易燃物质,因此临时烟囱的安装和拆除都必须考虑防火安全性,尽量不使用电焊和气割。出于安全和方便考虑,临时烟囱与脱硫塔的连接采用螺栓连接。临时烟囱自身有20多m高,烟囱本身在安装和拆除时需要分节。根据现场吊装的情况,将临时烟囱分成3节,每节之间用螺栓连接。螺栓连接强度需要根据软件计算的结果,提取节点的反力进行计算,另外也需要满足螺栓连接的构造要求。

5　结论

此类结构对水平荷载比较敏感,设计时必须考虑水平荷载的组合。计算首先要确定结构的自振周期(计算周期更为可靠),进而根据计算周期进行风荷载和地震荷载的计算。

计算结果显示:在壁厚选择合理的情况下,塔体整体变形较小,强度和刚度都能满足设计要求,最大变形往往发生在塔体内部的支撑梁上,需要根据规范的变形限值控制截面的设计;塔壁的开洞减弱了塔体的抗扭刚度,导致结构在一些工况下会出现扭转,需要根据规范要求对开洞附近的壁板进行加强,包括设置环肋和局部加厚壁板。

塔壁属于薄壁类构件,对局部变形比较敏感,必须验算轴向稳定应力。

临时烟囱需要根据实际情况进行分节,尽量采用螺栓连接。螺栓的连接需要经过计算,并满足构造要求。

根据荷载的最不利组合工况下的最大应力和变形,调整塔壁的厚度和内部杆件的截面,迭代计算,从而实现设计优化,节省建造成本。

参考文献:

[1]张波,盛和太. ANSYS有限元数值分析原理与工程应用[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
[2]常磊,叶献国,王德才,等. 关键部位对脱硫塔结构的动力影响分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版),2009,32(8):1249-1252.
[3]李明惠,时文忠,刘德宏,等. 大直径薄壁大开孔塔结构的有限元分析[J]. 压力容器,2005,22(2):14-17.
[4]陈小辉,徐志杨,秦广乐,等. 地震载荷对筒仓的影响分析[J]. 北京联合大学学报(自然科学版),2011,25(2):38-41.
[5]塔式容器:NB/T 47041—2014[S].
[6]陈绍蕃. 钢结构稳定设计指南[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1996.
[7]钢结构设计规范:GB 50017—2003[S].
[8]美国钢结构协会. 美国建筑钢结构设计规范[M]. 中国钢结构协会,译. 北京:冶金工业出版社,2016.
[9]王国璋. 压力容器实用设计手册[M]. 北京:中国石化出版社,2013.
[10]压力容器:GB 150.1～150.4—2011[S].

(本文责编:刘芳)

作者简介:

夏怀鹏(1981—),男,宁夏隆德人,工程师,从事环保研发方面的工作(E-mail:xiahp@chec.com.cn)。