

一种管壳式换热器管板有限元分析

赖颖峰

(新疆伊犁新天煤化工有限责任公司 新疆伊犁 835000)

摘要: 本文采用 workbench 软件, 以一种管壳式换热器为例, 建立管板的有限元模型。通过对管板结构进行模态分析探究其振动特性, 并得到考虑预应力下的管板的模态振型和固有频率, 得出最大变形发生的危险位置。为换热器设计提供理论依据。

关键词: 换热器; 管板; 模态分析; 预应力;

The utility model relates to finite element analysis of tube-plate of a shell-and-tube heat exchanger

Yingfeng Lai

(Xinjiang Yili Xintian Coal Chemical Co., LTD Yili Xinjiang 835000)

Abstract: In this paper, the finite element model of a shell and tube heat exchanger is established by using workbench software. Through the modal analysis of tube-plate structure, the vibration characteristics are investigated, and the modal mode and natural frequency of tube-plate under prestress are considered, and the dangerous position of maximum deformation is obtained. It provides theoretical basis for heat exchanger design.

Key words: heat exchanger; Tube plate; Modal analysis; Prestress;

1. 引言

管壳式换热器作为一种传统的换热设备长期以来在石油化工, 能源工业中得到普遍使用。它有着易于制造, 成本低, 适应性强, 可靠性高, 适用于高温高压等优点, 凭借其优异的经济性和可靠性, 特别是在高参数工况下的稳定性占据当今换热设备的主导地位^[1]。其中管板作为管壳式换热器中连接管程和壳程的重要组件对换热器的安全稳定运行起到至关重要的作用, 由于结构和承受多种复杂载荷, 开展管板的应力应变研究对换热器的设计提供了理论依据, 同时对管板与换热器的连接方式, 胀接技术和工艺参数的选择提供技术支撑, 具有重要的工程应用价值^[2]。黄克智, 薛明德^[3]对管板德不布管区的应力以及当管板与壳体中面不再同一平面内的管板应力进行分析, 发现不布管区虽然很窄但是对管板的应力分布有显著的影响; 若管板与壳体法兰中面不在同一平面时, 管板自身的拉伸力将会大大增加壳体法兰的旋转刚度, 同时指出换热管与管板的胀接对管板有显著的加强作用。之后对我国 GB151 中的管板应力计算方法提出很多的改进方法^[4-7]。刘俊明等^[8]在使用有效弹性常数简化氨冷器管板之后利用有限元软件对管板进行了分析并利用 JB4732-1995 进行了校核, 指出最终决定管板厚度的主要是管板中心处的膜加弯应力水平。在管板的模态分析方面, 赫勇^[9]整理出模态分析中相关模态参数^[10]的推到过程及物理意义, 结合工程实例, 为结构振动问题的研究提供了参考。陈波, 王红等^[11,12]考虑温度载荷和压力载荷, 对管板结构进行有限元分析, 同时进行模态分析得

到其固有频率和振型, 为换热器管板的设计计算提供了理论依据。

2. 管板模型建立与网格划分

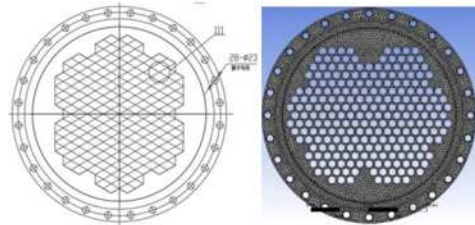


图 1 管板模型

图 1 是管板的模型图。采用 workbench18.0 建立管壳式换热器管板有限元模型, 划分网格数量 228147, 节点数 401810。换热器结构为立式, 换热器壳程参数见表 1。

表 1 换热器壳程参数

参数	数值
壳程规格	Φ600×1410
介质	水
管板材质	不锈钢
换热管规格	Φ25×2.5
换热管数量	239

3. 管板模态分析

3.1 不考虑预应力下的管板模态分析

模态分析时对管板的最大圆柱面施加全约束, 并求出前 6 阶模态。图 2 (a) 为各阶模态的频率, 可以看出主要的模态频率在高频区域。图 2 (b) 是各阶模态的最大变形量, 可以看出 5 阶模态时具有最大变形量。图 3 为总变形云图。从图看出主要变形集中在管板密

封面附近。

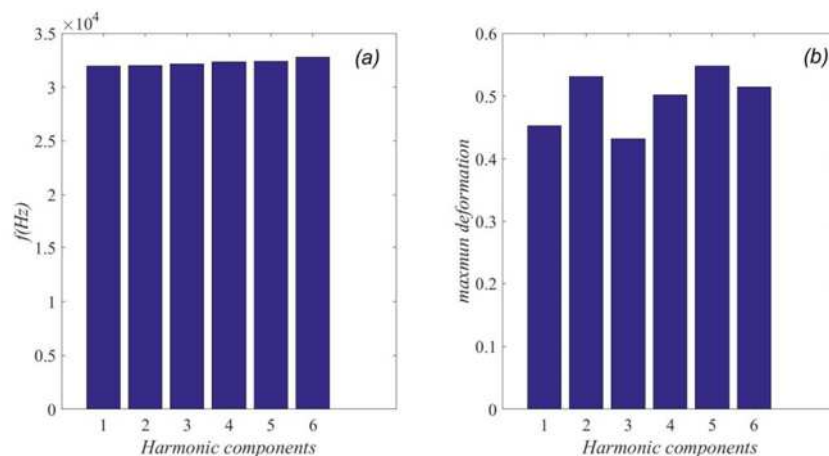


图2 各阶模态频率和最大变形量

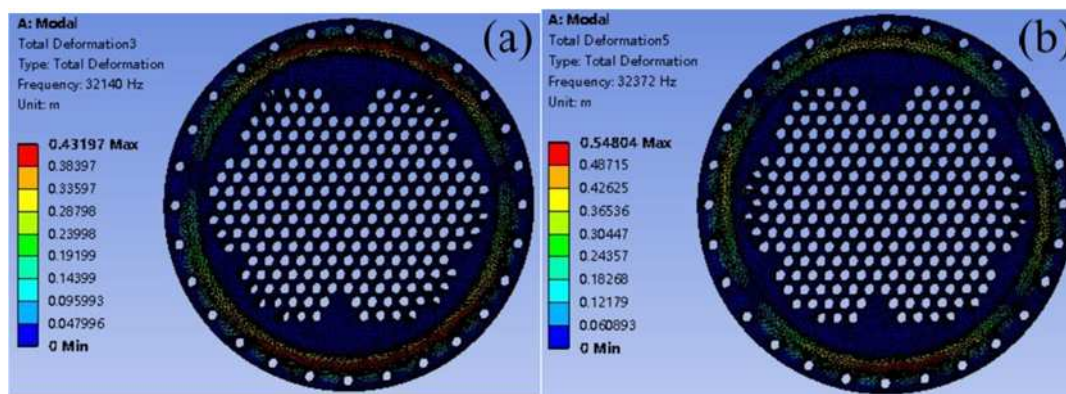


图3 三阶和五阶模态总变形云图

3.2 预应力下的管板模态分析

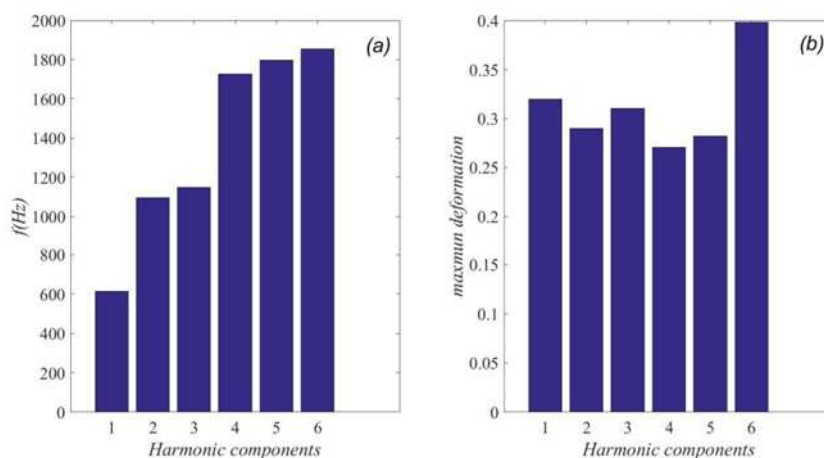


图4 各阶模态频率和最大变形量

图4为考虑预应力时的各阶模态的频率和最大变形量。预应力大小为壳程物料的重量，方向沿壳程方向。从图4(a)可以看出前六阶模态的频率范围在600~1800HZ，和考虑预应力时相比，各阶振型的频率大幅降低。这是因为预应力会影响管板的刚度，使固有频率降低。从图4(b)看出六阶模态下变形量最大。

换热器在运行过程中管板受到流体冲击载荷作用发生振动，当达到管板固有频率时会产生结构共振或材料疲劳。图5为1-6阶

振型云图。从图看出随着固有频率增加，相对位移出现多个波峰，最大相对位移出现在第6阶振型，最大变形位置处于管板中心，当变形达到一定程度时，容易引起结构破坏，导致换热器失效。在实际运行过程中，管板受管程流体压力，壳程流体压力，管板自重，管壳程温差应力等多种载荷的影响，且管板处于管程与壳程的交界处容易产生复杂的局部应力，尤其是在管板中心，管板与短节，壳体的焊接处很可能出现局部应力集中。

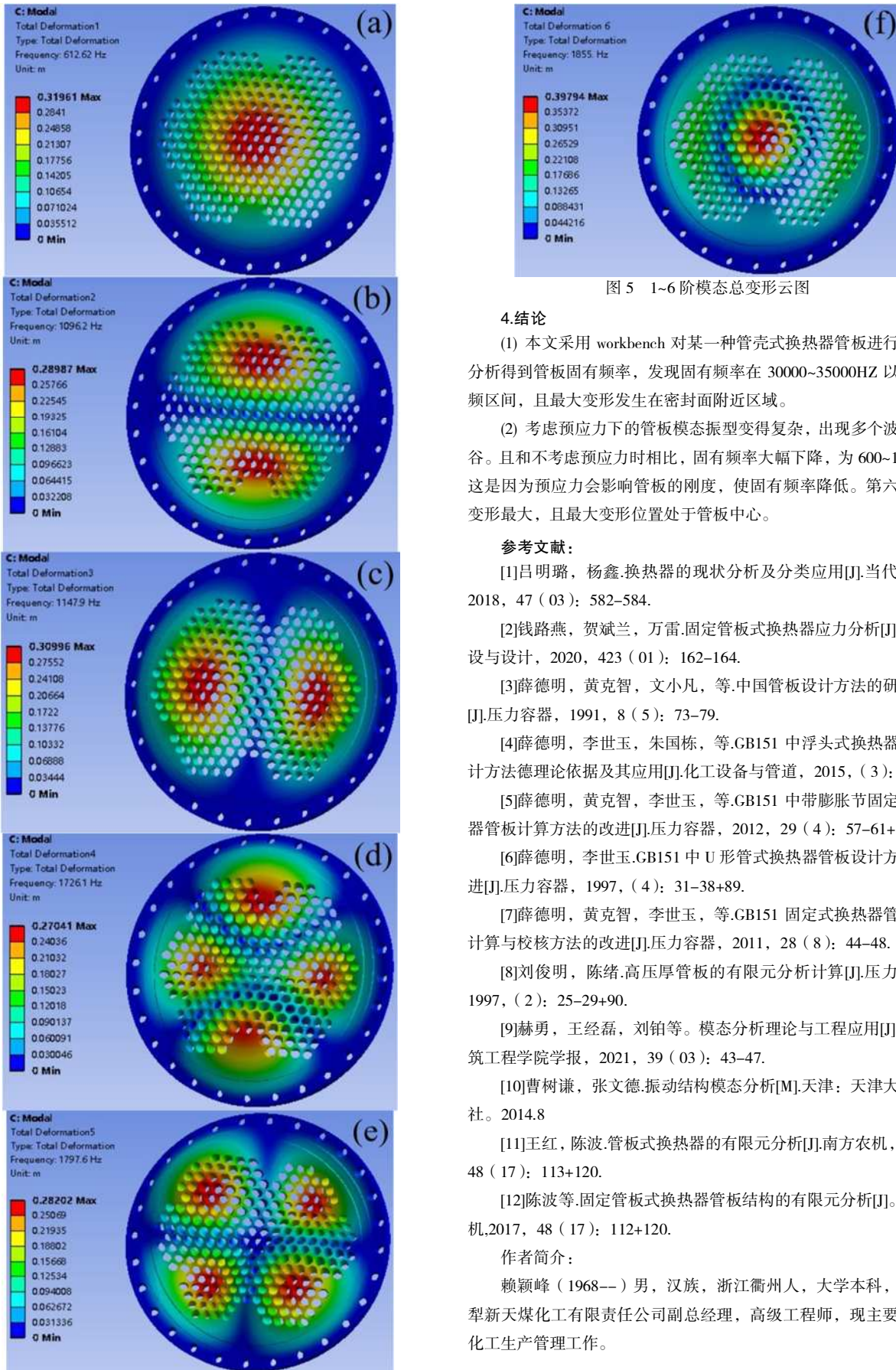


图5 1~6阶模态总变形云图

4.结论

(1) 本文采用 workbench 对某一种管壳式换热器管板进行了模态分析得到管板固有频率,发现固有频率在 30000~35000Hz 以上的高频区间,且最大变形发生在密封面附近区域。

(2) 考虑预应力下的管板模态振型变得复杂,出现多个波峰和波谷。且和不考虑预应力时相比,固有频率大幅下降,为 600~1800Hz。这是因为预应力会影响管板的刚度,使固有频率降低。第六阶模态变形最大,且最大变形位置处于管板中心。

参考文献:

- [1]吕明璐, 杨鑫.换热器的现状分析及分类应用[J].当代化工, 2018, 47 (03): 582-584.
 - [2]钱路燕, 贺斌兰, 万雷.固定管板式换热器应力分析[J].工程建设与设计, 2020, 423 (01): 162-164.
 - [3]薛德明, 黄克智, 文小凡, 等.中国管板设计方法的研究进展[J].压力容器, 1991, 8 (5): 73-79.
 - [4]薛德明, 李世玉, 朱国栋, 等.GB151 中浮头式换热器管板设计方法德理论依据及其应用[J].化工设备与管道, 2015, (3): 1-6.
 - [5]薛德明, 黄克智, 李世玉, 等.GB151 中带膨胀节固定式换热器管板计算方法的改进[J].压力容器, 2012, 29 (4): 57-61+80.
 - [6]薛德明, 李世玉.GB151 中 U 形管式换热器管板设计方法的改进[J].压力容器, 1997, (4): 31-38+89.
 - [7]薛德明, 黄克智, 李世玉, 等.GB151 固定式换热器管板应力计算与校核方法的改进[J].压力容器, 2011, 28 (8): 44-48.
 - [8]刘俊明, 陈绪.高压厚管板的有限元分析计算[J].压力容器, 1997, (2): 25-29+90.
 - [9]赫勇, 王经磊, 刘铂等.模态分析理论与工程应用[J].河北建筑工程学院学报, 2021, 39 (03): 43-47.
 - [10]曹树谦, 张文德.振动结构模态分析[M].天津: 天津大学出版社. 2014.8
 - [11]王红, 陈波.管板式换热器的有限元分析[J].南方农机, 2017, 48 (17): 113+120.
 - [12]陈波等.固定管板式换热器管板结构的有限元分析[J].南方农机, 2017, 48 (17): 112+120.
- 作者简介:
赖颖峰 (1968--) 男, 汉族, 浙江衢州人, 大学本科, 新疆伊犁新天煤化工有限责任公司副总经理, 高级工程师, 现主要从事于化工生产管理工作。