

液化器异形偏心锥有限元应力分析

张恒星

(上海森松压力容器有限公司, 上海 201323)

摘要:以客户提供的液化器设计结构草案和设计载荷为基础进行分析,对液化器下部带夹套的异形偏心锥体结构进行强度核算. 首先利用三维建模软件 SOLIDWORK 建立实体模型,然后将模型导入有限元分析计算软件 ANSYS 中定义单元、划分网格和施加载荷,再进行有限元内压静载荷分析和外压屈曲稳定性分析,最后依据国家标准 JB4732-1995(2005 确认)中的相关评定规则对分析结果进行评定. 对结构草案中弯曲应力超过标准要求的不连续结构区域进行结构改造,降低弯曲应力,使液化器下部锥体的最终设计方案能够满足国家标准的要求和客户的要求.

关键词:压力容器;异形偏心锥;屈曲分析;有限元

中图分类号:TQ053

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2012.08.019

0 引言

随着现代工业的迅速发展,化工设备中出现了各种复杂、不规则的结构. 由于这些结构的特殊性,其强度核算已经超出了常规设计的适用范围,此时通常采用有限元分析的方法进行强度核算.

在承接一台液化器的强度核算和制造时,其特殊结构在平常实际工作中很少见,拟与同行共同探讨. 该设备为整体夹套结构,内筒体直径 3 200 mm,夹套直径 3 350 mm. 筒体上部接常见的正锥结构,筒体下部接无折边的锥体,锥体底端接两个左右对称的接管. 整个下锥体类似于一条裤子的结构,由两个偏心锥体部分重叠而成的结构,具体结构如图 1 所示.

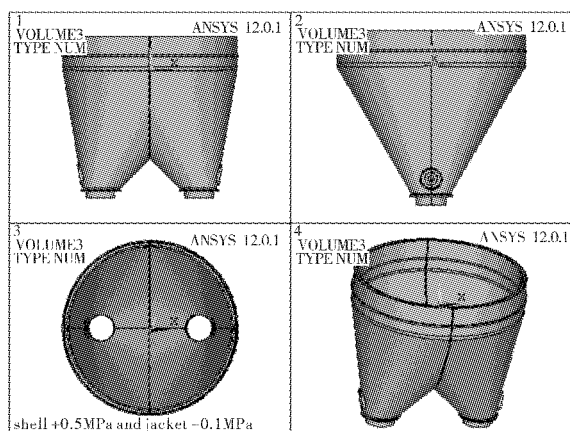


图1 下锥体 3D 模型

Fig. 1 3D model for bottom cone

虽然新版的国家标准 GB150.3-2011 已经收入了偏心锥体的强度计算方法,但由于此结构是两个局部的偏心锥对称布置,故仍不能按照 GB150.3-2011 的方法进行校核. 拟采用有限元应力分析的方法进行强度核算. 利用三维建模软件 SOLIDWORK 和有限元分析计算软件 ANSYS,对液化器下锥体部分进行了局部的应力核算及评定.

1 结构分析

设备的初始设计结构中,内外锥体之间没有连接. 经过应力分析后发现左右两个锥体连接处弯曲应力太大(见图 2),应力最大点的一次加二次应力总和为 238.8 MPa,超过了标准允许的 1.5 倍应力强度. 设备的结构尺寸如图 3 所示.

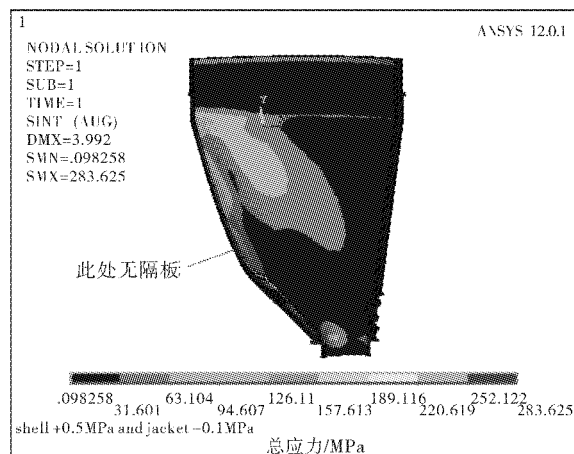


图2 原始结构的应力云图

Fig. 2 Static analysis result for original structure

收稿日期:2012-06-23

作者简介:张恒星(1977-),男,辽宁鞍山人,工程师.研究方向:压力容器设计.

针对所出现的问题,修改了原设计方案,在内外锥体之间增加了一块连接板,即图 3 中的中间隔板. 本文后续内容均为最终结构的校核内容.

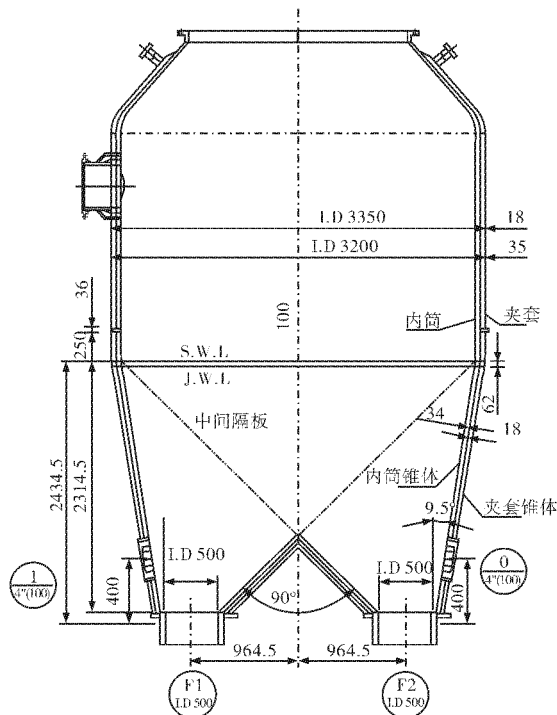


图 3 设备简图

Fig. 3 Structure drawing

2 载荷参数及材料性能参数

设备的载荷参数和材料的力学性能如表 1 所示.

表 1 载荷参数和力学性能

Table 1 Load data and material property

参数	内筒	夹套
设计压力/ MPa	0.5	-0.1
操作压力/ MPa	0.4	-0.06
设计温度/℃	320	320
操作温度/℃	230	300
材料	SA-516 70	SA-516 70
应力强度/ MPa	132.8	132.8
屈服强度/ MPa	260	260
弹性模量/ MPa	1.826×10^5	1.826×10^5
泊松比	0.3	0.3

由表 1 可知,设备的压力载荷为静载荷,温度也不存在温差波动问题,故无需考虑疲劳断裂的情况^[1].

3 模型分析

考虑到主要关心的部件为双对称结构,同时

承受的载荷也有双对称性质,为了节省模型尺寸,提高效率,采用了 solid95 号单元创建四分之一实体模型. 模型主要包括了内筒锥体和夹套锥体、锥体底部的接管、锥体上部的部分筒体及相应的加强圈. 不包括上封头和远离锥体处的筒体,这部分结构对锥体部分的内力采用几何约束的方式代替. 具体的几何模型如图 4 所示.

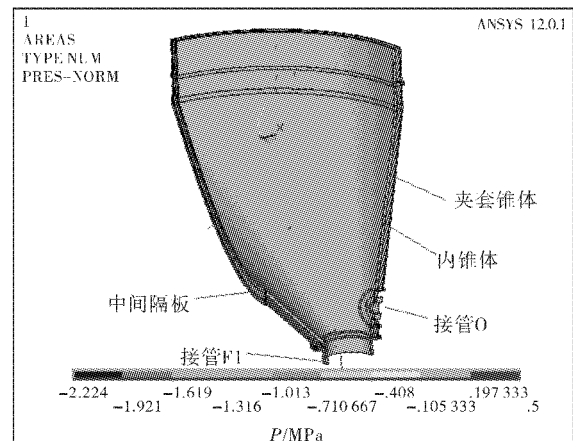


图 4 几何模型及载荷

Fig. 4 Geometry model and load data

由于模型结构不规则,直接利用 ANSYS 软件建模的难度较大. 故笔者借助于三维建模功能很强的 SOLIDWORK 软件来建立实体模型. 然后将实体模型导入到 ANSYS 软件中. 再进行定义单元、划分网格和定义载荷及约束等工作. 此部分不是本文所要论述的内容,故不再展开.

4 边界约束与载荷

由于采用了四分之一模型,故在两个对称面上都采用了对称约束. 在远离锥体的筒体端面,限制了沿设备轴线方向的位移和绕设备轴线旋转的周向位移.

对内筒和夹套两个腔体施加相应的压力载荷,两个接管的末端施加当量的压力载荷,具体计算如下:

内筒压力为 0.5 MPa,夹套压力为 -0.1 MPa.

接管 F 外径为 560 mm,内径为 506 mm,当量压力载荷为

$$\frac{-0.5 \times 506^2}{(560^2 - 506^2)} = -2.224 \text{ MPa}$$

接管 O 外径为 230 mm,内径为 116 mm,当量压力载荷为

$$\frac{-0.5 \times 116^2}{(230^2 - 116^2)} = -0.171 \text{ MPa}$$

5 强度计算

设备内筒承受正压,仅进行静应力分析即可;

而夹套承受负压,除静应力校核外,还需要考虑稳定性问题.故强度核算分为静应力计算和稳定性校核两个步骤.本例中稳定性校核采用特征值屈曲分析法^[2],具体步骤如下:

第一步按静态分析模式进行计算.由于下一步稳定性分析时需要计算应力刚度矩阵,故此时需将“预应力影响效果”激活,否则在下一步计算的时候得不到正确的结果^[3].计算结果的应力云图如图5所示.

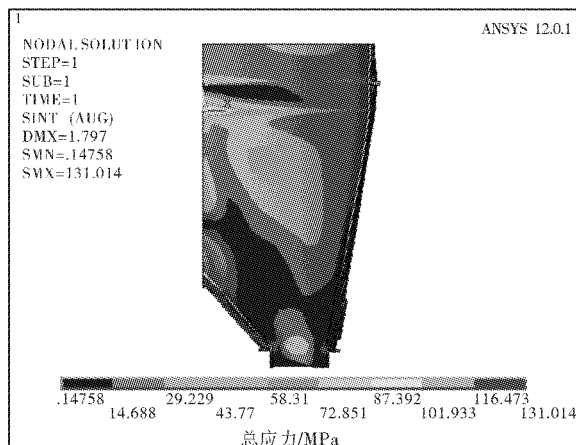


图5 静力分析的应力云图

Fig.5 Static analysis result

第二步是在静应力解的基础上进行特征值屈曲分析.此部分主要考核承受外压的夹套锥体.在静应力求解结束后,设定新的分析模式为 Eigen Buckling,然后选择模态分析理论为 Block Lanczos,提取1阶模态输出.最后设定模态扩展,令 Nmode 取1,执行运算.屈曲系数结果如图6所示.

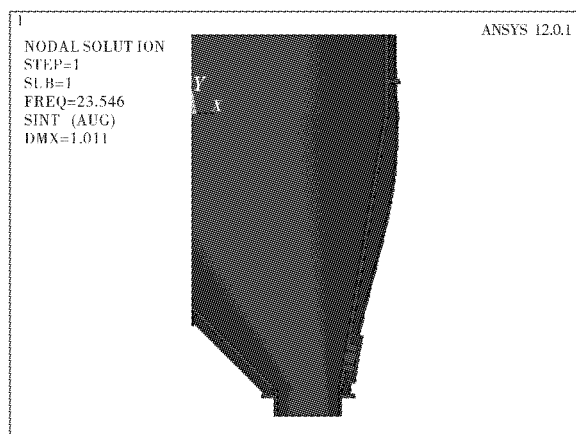


图6 屈曲分析

Fig.6 Buckling analysis result

6 结果评定

首先进行静应力评定.根据 JB4732,在不考虑疲劳载荷情况下,需要同时满足四个条件:

(1) $P_m \leq K S_m$; (2) $P_L \leq 1.5 K S_m$; (3) $P_L + P_b \leq 1.5 K S_m$; (4) $P_L + P_b + Q \leq 3 S_m$. 本例中 $K = 1$,由图5可知应力最大处 $P_L + P_b + Q = 131.014 < S_m = 132.8$.故静应力校核合格.

然后进行稳定分析评定.由图4可知,屈曲载荷系数为23.546,本例中外压载荷是按照设计载荷输入的,故只要屈曲载荷系数大于外压安全系数即可.通常外压安全系数取 $N = 5$ ^[4],故本例中稳定性校核通过.

7 结 语

经过上述的计算和评定,液化器的下部锥体结构完全能够满足设计工况的要求,且安全裕度较大.其中静应力评定时一次加二次应力是许用值的2倍.

从图5中可以看出,应力最大处位于设备左右对称的中面靠近锥体大端的锥体部分.经过对最大应力点做线性化,发现此处弯曲应力非常大,薄膜应力很小.出现这种现象的原因是由于此处为总体结构不连续最为突出的部分,在均布的压力作用下产生了很大的弯曲应力.

虽然修改后的锥体结构满足了设计工况的要求,但这种几何形状突变的结构在工程实践中很少见,没有更多的应用实例可以借鉴.如果能采用常见的椭圆封头开孔结构,则元件的厚度会减小很多,结构更为合理.

参考文献:

- [1] 王成刚,王小雨,郑晓敏,等.基于有限元法活塞杆应力集中的研究[J].武汉工程大学学报,2011,33(1):88-90.
- [2] 高耀东. ANSYS 机械工程应用25例[M].北京:电子工业出版社,2007:171-180.
- [3] 谢全利.压力容器稳定性分析[J].化工设备与管道,2009(2):9-11.
- [4] 刘小宁.钢制薄壁外压圆筒的可靠性稳定系数[J].化工设计,2003(13):26-30.

Finite element analysis of devolatilizer abnormity eccentric cone

ZHANG Heng-xing

(Shanghai Morimatsu Pressure Vessel Co. Ltd, Shanghai 201323, China)

Abstract: The structure drafts and loading data of devolatilizer provided by owners were analyzed, and the strength of abnormity eccentricity cone with jacket on bottom of devolatilizer was calculated. Solid model was created by SOLIDWORK, then the model was introduced into ANSYS to define elements, divide networks and apply load. The calculation of static internal pressure and external pressure bucking was performed. The results were assessed by JB4732-1995(2005 confirmed). Local structures which bend stress were larger than allowed were amended so that the bend stress was reduced. The amended structure meets the requirements of JB4732 and owner.

Key words: pressure vessel; abnormity cone; bucking analysis; finite element analysis

本文编辑:陈小平



(上接第 74 页)

- [6] Morejon Mario. Eyeing Visual Studio 2005, SQL Server 2005 [J]. CRN, 2005(1164): 60-64.
- [7] Gheea. Serban. Application tool for experiments on SQL

Server 2005 transactions [J]. WSEAS Transactions on Computers, 2007, 6(2): 223-228.

Storage box database management system based on the Web

LIU Chang-hui, ZHU Lei, WANG Miao, XU Chun-mei, CAI Dun-bo

(School of Computer Science and Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China)

Abstract: It is difficult to track down the stolen commercial secrets using the traditional electronic storage box to protect the enterprise business information. A design of remote-control electronic storage box was proposed. The technologies of password, IC card and fingerprint identification based on the database management system were applied to the design. We can manage the confidential documents remotely using internet technology. The experimental results show that the design eliminates many defects of the current storage box system, enhances the security, convenience and easy maintenance greatly, and meets the demand of enterprise to protect commercial secrets.

Key words: network; electronic storage box; database; commercial secrets

本文编辑:陈小平