

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.03.018

基于有限元的钢制烘缸应力计算与评定

高红利¹, 李伟军²

(1. 广东石油化工学院机电学院, 广东 茂名 525000;
2. 广东省特种设备检测研究院顺德检测院, 广东 佛山 528300)

摘要:为研究一台带内拉筒的钢制焊接烘缸的应力分布情况和结构安全性,采用有限元法,对烘缸的应力进行了有限元计算和分析,得到了烘缸的应力分布图,并对危险区域的应力强度进行了分析和评定。结果表明:最大应力出现在烘缸盖板与外筒体及内拉筒连接处的环带和盖板人孔开孔处的内侧区域,该区域是影响结构安全的危险区域。

关键词:造纸机械;钢制烘缸;有限元;应力分析

中图分类号:TS734

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2014)03-0071-03

Stress Analysis and Evaluation of Steel Dryer Based on Finite Element Method

GAO Hongli, LI Weijun

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming, Guangdong 525000, China;

2. Shunde Detection, Special Equipment Inspection Institute of Guangdong Province, Foshan, Guangdong 528300, China)

Abstract: To study the stress distribution and the safety of a steel dryer in paper making machine, the finite element method was used and the 3D finite element model was built. The stress on the dryer was calculated. The stress distribution contour of the dryer was obtained and the maximum stress was analyzed and evaluated. The results show that the zones with maximum stress occur at the connection area of head with cylinders and inside of boundary stress region of manway opening.

Key words: paper making machinery; steel dryer; finite element method; stress analysis

烘缸是造纸机干燥部的主要部件,它利用蒸气对湿纸页进行干燥。现用的烘缸大多采用铸铁烘缸,其优点是价格便宜、耐磨性和耐腐蚀性好,但壁厚较大,制造成本和能耗都较高,且设计压力不能太大,国家质量监督检验检疫总局在《固定式压力容器安全技术监察规程》^[1]中规定灰铸铁压力容器的最高设计压力不能超过0.8 MPa。随着高速卫生纸机的发展,为了提高干燥能力,需要大型高压烘缸,而钢制烘缸以其强度高、承受压力大、制造成本低、整体质量轻,能耗低等优势在卫生纸机中应用日益广泛。某造纸厂一台经过结构改造的带内拉筒的钢制焊接烘缸,外径为 $\varnothing 3\ 660$ mm,幅宽3 230 mm,设计压力1.0 MPa,为了了解该烘

缸的应力分布情况和结构安全性,对该烘缸建立了有限元模型并进行应力分析和评定,并根据整体应力分布图找出了结构的危险区域,并对危险区域的应力强度进行了分析和评定。

1 有限元模型的建立

烘缸外径为 $\varnothing 3\ 660$ mm,幅宽为3 230 mm,壁厚为30 mm,内拉筒直径 $\varnothing 1\ 460$ mm,壁厚为20 mm;盖板为平板,壁厚70 mm,与筒体焊接连接,筒体与盖板材料均为Q345R;烘缸盖板上开有 $\varnothing 420$ mm的人孔,盖板中央有 $\varnothing 700$ mm的开孔与轴头连接。烘缸内的工作介质为过热蒸气,设计压力1.0 MPa,设计温度200 ℃。

收稿日期:2013-11-28;修回日期:2014-02-21

作者简介:高红利(1970),女,陕西宝鸡人,副教授,主要从事过程设备强度及结构优化方面的研究。E-mail:luckymeghl@139.com

根据以上的几何参数和设计条件建立有限元模型。在建立有限元模型时,可以把烘缸看成由轴承支撑的卧式薄壁容器,考虑到结构及载荷的对称性,可以按轴对称情况分析^[2-7]。由于烘缸及盖板的结构与载荷都具有对称性,建模时筒体长度取总长度的1/2,盖板则以人孔与轴头开孔的中心连线作为对称轴,取1/2区域建立模型,故计算模型为包含筒体在内的1/4实体有限元模型。烘缸的三维实体模型和有限元网格模型分别如图1、图2所示。有限元网格模型节点数为75 987,单元数为15 612。

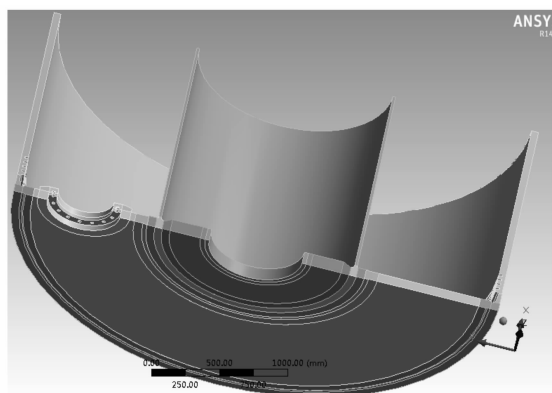


图1 三维实体模型图

Figure 1 3D finite element model

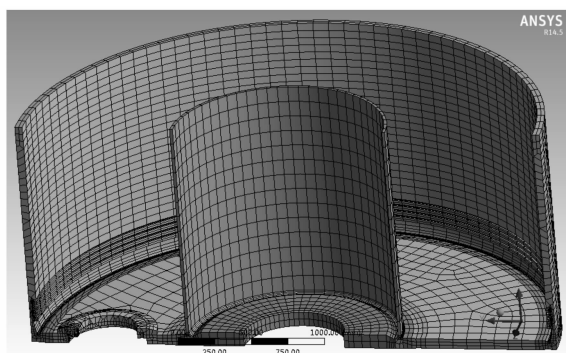


图2 有限元网格模型图

Figure 2 Mesh diagram of 3D finite element model

2 边界条件

2.1 位移边界条件

分析模型为1/4实体模型,在盖板中心的对称截面施加对称约束;在筒体及内拉筒的中心轴向对称截面以及周向对称截面亦施加对称约束;为了避免刚体移动,在内拉筒内径端点施加固定约束。

2.2 载荷边界条件

烘缸承受的载荷主要有蒸气内压、内外温差载荷、转动产生的离心力、纸幅张力作用的拉力及烘缸自重、冷凝水重等载荷的作用。由于温差应力对强度影响较

小,在烘缸静态分析时可不予考虑;拉力、自重等载荷水平较低,应力值很小,也可忽略^[8-9]。因此本模型加载时只考虑内压和离心力作用。

载荷施加如下:在盖板以及圆筒各受压面施加1.0 MPa的压力载荷;考虑人孔开孔和轴头开孔的影响,在盖板人孔的螺栓孔所在圆环面上和盖板轴头开孔处的螺栓孔圆环面上施加轴向平衡拉伸力;在整体模型上以角速度的方式施加离心力。

平衡拉伸力和离心力的大小分别按以下方法确定:

1) 平衡拉伸力。由于烘缸内部的蒸气压力作用在人孔盖上,通过螺栓传递到盖板上,考虑盖板上人孔的影响,同时考虑螺栓孔对盖板强度的削弱影响,可得盖板人孔开孔处螺栓所在圆环面的平衡拉伸力 p ,该力以均布载荷施加到圆环面上,其大小为

$$p = \frac{p_d \times D^2}{D_0^2 - D_i^2 - N \times D_b^2}$$

式中: p_d 为设计压力, D 为开孔直径, D_0 为螺栓所在圆环面外径, D_i 为螺栓所在圆环面内径, N 为螺栓个数, D_b 为螺栓直径。

代入参数,可得人孔开孔处螺栓所在圆环面的均布平衡载荷为1.55 N/mm²;同理,可得盖板轴头开孔处的均布平衡载荷为4.18 N/mm²。

2) 离心力。纸张的线速度为1 700 m/min,换算成烘缸的角速度为15.50 rad/s,因此,由转动产生的离心力按照绕中心轴旋转且大小为15.50 rad/s的角速度方式施加到整体模型上。

设计工况载荷作用下,有限元模型的边界条件施加情况如图3所示。

3 应力分析及评定

按照以上的有限元模型和边界条件,对烘缸在已知设计条件下的应力进行计算。设计工况载荷作用下,烘缸的应力分布云图如图4所示。

从图4可以看出:烘缸应力危险区主要分布在盖板与外筒体及内拉筒连接处的环带、盖板人孔开孔处的内侧,应力强度最大点位于盖板与内拉筒连接处,远离这些区域的部位,应力分布均匀,应力值较小。

为了对危险区域的应力进行评定,在以上危险区域沿壁厚方向选取路径并对各路径的应力进行线性化处理。路径位置分别为:盖板与外圆筒连接处的高应力区(路径1)、盖板上人孔开孔高应力区域(路径2)、盖板与内拉筒连接处的高应力区(路径3)、盖板上轴头开孔边缘处(路径4),对上述应力危险区域各路径

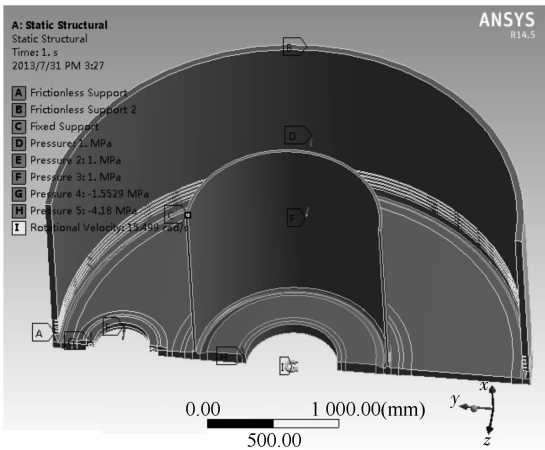


图3 有限元模型的边界条件加载图

Figure 3 Boundary condition and loading diagram on the finite element model

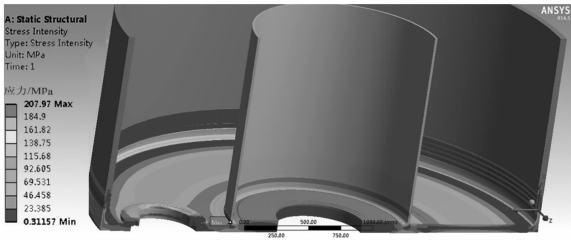


图4 应力分布云图

Figure 4 Stress distribution nephogram

进行应力线性化处理并进行强度校核。

烘缸筒体和盖板材料均为 Q345R,在设计温度 200 ℃ 下,材料设计应力强度 $S_m = 150 \text{ MPa}$,在连接区域和开孔高应力区,存在一次局部薄膜应力和二次应力,按照 JB4732-2005^[10] 对各路径上的应力进行分类和评定。各路径的应力强度及评定结果见表 1。

表1 应力强度评定结果

Table 1 Evaluation results of stress intensity

路径	一次局部 薄膜应力 强度 S_{II} /MPa	一次 + 二次 应力强度 S_{IV} /MPa	$1.5 S_m$ / MPa	$3 S_m$ / MPa	评定 结果
路径 1	35.1580	141.630	225	450	合格
路径 2	112.2400	174.820	225	450	合格
路径 3	71.9190	181.920	225	450	合格
路径 4	9.4049	29.247	225	450	合格

4 结语

本文用有限元法计算得到了带内拉筒的钢制焊接烘缸的应力分布规律,结果表明烘缸应力危险区在烘缸盖板与外筒体及内拉筒连接处的环带和盖板人孔开孔处的内侧区域,究其原因,该区域均处于结构不连续区域,盖板与筒体连接处的环带是由于变形协调产生的较大的边缘应力,盖板人孔开孔内侧是由于存在较大的应力集中,但该应力都属于二次应力,对结构安全影响较小,在设计条件下,应力能满足强度要求。通过对其它几台相似结构的烘缸建模计算,其应力分布有相同的规律,因此,本文的计算结果,可以作为该类型烘缸结构优化的理论依据。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. TSG R0004 - 2009 固定式压力容器安全技术监察规程[S]. 北京: 新华出版社, 2009.
- [2] 章春亮. 造纸机用钢制烘缸设计[J]. 中国造纸, 2001, 20(1): 47 - 49.
- [3] 章春亮. 烘缸有限元计算模型的建立[J]. 轻工机械, 2002, 20(3): 18 - 21.
- [4] 卞学询, 苏培德, 张东峻, 等. 造纸机烘缸研究中的力学问题[J]. 力学与实践, 1993, 15(3): 22 - 25.
- [5] 张炜, 王循明, 祝勇. 造纸机烘缸整体有限元分析与强度评定[J]. 轻工机械, 2008, 26(1): 108 - 112.
- [6] 王应植, 马歆. 进口纸机铸铁烘缸的安全评定[J]. 压力容器, 2009, 26(1): 37 - 42.
- [7] 韩树新, 盛水平, 李伟忠, 等. 在用铸铁烘缸的检测及评定[J]. 压力容器, 2008, 25(9): 38 - 43.
- [8] 李杰, 焦磊, 王乐勤, 等. 大型高压铸铁烘缸有限元分析与应力产生机理[J]. 中国造纸学报, 2005, 20(2): 160 - 163.
- [9] 罗佩, 洪文健. 造纸机烘缸的强度计算[J]. 压力容器, 2000, 17(1): 51 - 53.
- [10] 全国压力容器标准化技术委员会. JB4732-1995, 钢制压力容器-分析设计标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.