

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.01.023

过渡圆弧结构在火管锅炉中的应用

龚明明, 虞斌, 郝彪

(南京工业大学机械与动力工程学院, 江苏南京 211816)

摘要:针对火管锅炉管板与壳体连接结构的设计过程中,常常依据设计者的经验设计而无法进行精确的结构优化。文章对给定的3种不同过渡圆弧半径的火管锅炉结构采用有限元分析方法进行热应力分析,得到连接管板与壳体的过渡圆弧应力集中部位,通过对比3种过渡圆弧半径的应力分布和位移状况,建议优化设计圆弧时 R 取值不宜过大,与此同时也要保证最大应力区的应力在许用的范围内,这对类似结构下的优化设计提供了有力的依据。

关键词:火管锅炉;过渡圆弧;应力分析;轴向位移

中图分类号:TQ051.5 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2014)01-0093-04

Application and Research of Transition Arc Structure in Fire-Tube Boiler

GONG Mingming, YU Bin, HAO Biao

(School of Mechanical and Power Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 211816, China)

Abstract: For design of connection structure between tube plate and housing in fire-tube boiler, precise structure optimization always cannot be obtained due to empirical design from designers. The fire-tube boiler structures with three different transition radius were analyzed through ANSYS, the stress concentration of transition arc which connecting tube plate and housing was obtained. The stress distribution and displacement conditions of three transition radius were contrasted, and it was given that R should not be too large for arc optimized design, to ensure the stress in maximum stress areas is still within permitted scope while solving the problem of transition arc expansion. It provides a strong basis for optimal design of such structures.

Key words: fire tube boiler; transition arc; stress analysis; axial displacement

挠性薄管板结构的火管锅炉,在高温烟气载荷以及锅筒内部蒸气压力的作用下,会承受巨大的应力作用^[1-3]。尤其管板内外两侧出现较大的温差时,产生较大的轴向力,需要在筒体区域设置膨胀节结构以补偿轴向的热膨胀,但其结构复杂,如果管板采用挠性薄管板,管板边缘增加圆弧过渡段,这样可以减小管板的轴向温差载荷,同时减小换热管和壳体的温差应力,补偿轴向的热膨胀^[4],但不同的圆弧半径对管板及其自身的影响也不相同,文章重点讨论了这一问题。

1 管板过渡结构设计

考虑到高温高压作用下的火管锅炉在工作过程中会产生热膨胀,管板与壳体的连接部位受到管、壳之间的膨胀差所形成的较大弯曲应力作用,因此需要在管

板与壳体连接处设置一过渡圆弧用来补偿热膨胀和避免较大的弯曲应力。如图1为过渡圆弧结构,其中, δ_t 为过渡圆弧厚度; δ_z 为直边段厚度; δ_i 为壳体厚度。

转角半径 R 的大小直接关系到挠性薄管板的允许换热管轴向位移的大小^[5],当取管板厚度等于壳体厚度,过渡圆弧的厚度和直边的厚度等于管板与壳体的厚度时^[6],得出管板过渡段结构尺寸,如表1。

表1 管板过渡段结构尺寸

Table 1 Size of the structure of the transition section of the tube plate

折边管板 厚度 δ /mm	折边管板直边 长度 L /mm	对接边缘厚度差 ($\delta_z - \delta_i$)/mm
>20	$0.5\delta_z + 25$	$\delta_z - \delta_i \leq 0.1\delta_z + 1$, 且 ≤ 4

收稿日期:2013-04-25;修回日期:2013-07-20

作者简介:龚明明(1986),男,江苏邳州人,硕士研究生,主要研究方向为新型高效传热传质技术。E-mail: gong_ming_2010@126.com

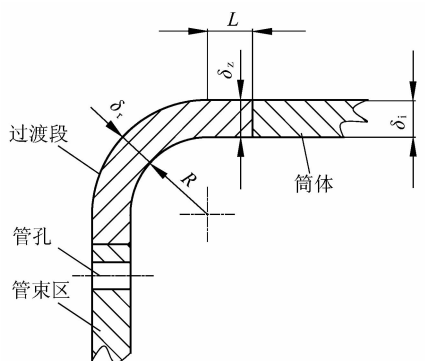


图1 过渡圆弧结构

Figure 1 Excessive arc structure

过渡圆弧处应力可运用梁理论求解,设定梁的边界条件和载荷情况与实际情况相同,将管板与过渡圆弧简化为图2梁结构^[7]。

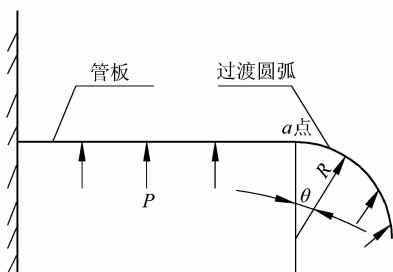


图2 梁理论模型

Figure 2 Beam theory model

当圆弧 $\theta = \theta_1$ 时应力为

$$\sigma_{\theta_1} = \frac{6(M_{\theta_1} + M'_{\theta_1})}{s^2}$$

其中: θ —过渡圆弧角; σ_{θ_1} — $\theta = \theta_1$ 区域应力; M_{θ_1} — $\theta = \theta_1$ 时的弯曲; M'_{θ_1} — $\theta = \theta_1$ 时的单位弯矩; s —过渡圆弧厚度。

2 不同圆弧半径模型有限元分析

由于转角半径 R 的大小直接关系到挠性薄管板的允许换热管轴向位移的大小^[8],通过改变过渡圆弧半径的尺寸进一步分析圆弧半径的大小对此区域的影响。分别取过渡圆弧半径 $R = 40 \text{ mm}, 60 \text{ mm}, 80 \text{ mm}$ 。

分析圆弧半径区域需要以火管锅炉整体为研究对象,因此需要对火管锅炉整体建立有限元模型^[9],根据结构对称性与承载特性,有限元模型选取火管锅炉周向 $1/4$;温度场分析选用 8 节点六面体 Solid70 热单元,热应力分析采用 8 节点六面体 Solid45 实体单元。火管锅炉管程温度载荷 350°C ,压力载荷为 0.05 MPa ,壳程温度载荷为 260°C ,压力载荷为 4.2 MPa ,属于中低温、中低压操作工况。在 $1/4$ 模型对称面上施

加对称位移约束;换热管与壳体的烟气进口端与管板连接,换热管的另一端与壳体的另一端施加轴向的位移约束。计算模型如图3所示。

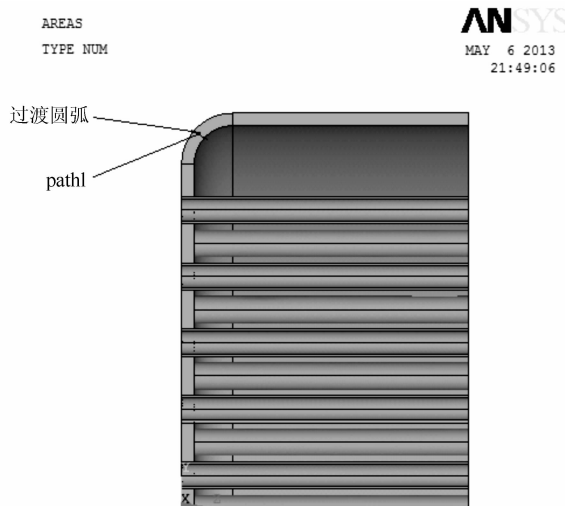
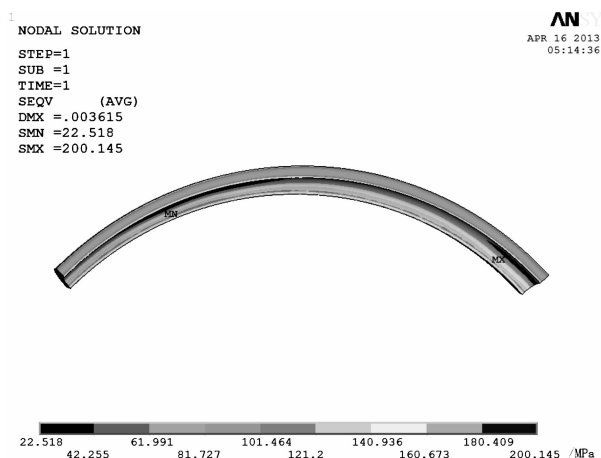


图3 火管锅炉有限元模型图

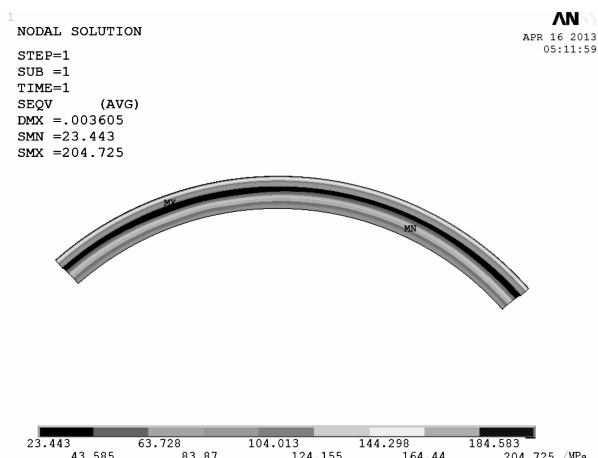
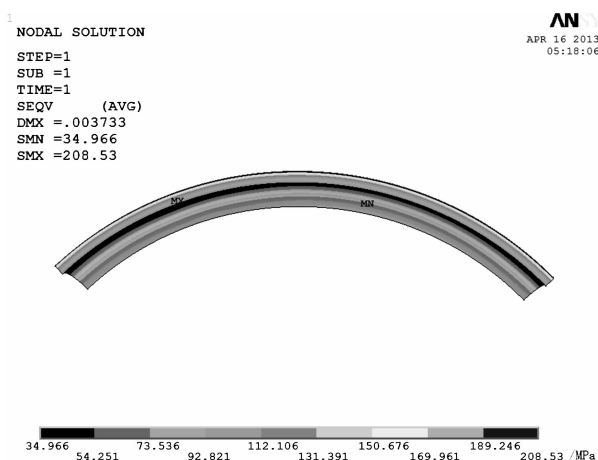
Figure 3 Finite element model of fire-tube boiler

2.1 不同半径的过渡圆弧有限元计算结果分析

在不改变其他条件的前提下,通过改变过渡圆弧半径的尺寸进一步分析圆弧半径的大小对此区域的影响。分别取过渡圆弧半径 $R = 40 \text{ mm}, 60 \text{ mm}, 80 \text{ mm}$ 。通过 ANSYS 软件分析,得出火管锅炉不同半径的过渡圆弧结构的应力计算结果,图4、图5和图6分别为过渡圆弧半径 $R = 40 \text{ mm}, 60 \text{ mm}, 80 \text{ mm}$ 时过渡圆弧热应力场云图。

图4 $R = 40 \text{ mm}$ 时,过渡圆弧热应力云图Figure 4 $R = 40 \text{ mm}$, transition arc thermal stress cloud

由图4、图5和图6可知,最大热应力分布在过渡圆弧中间内外两侧,在此区域厚度方向设置路径 path1

图5 $R=60$ mm时,过渡圆弧热应力云图Figure 5 $R=60$ mm, transition arc thermal stress cloud图6 $R=80$ mm时过渡圆弧热应力云图Figure 6 $R=80$ mm, transition arc thermal stress cloud

作为分析对象,见图3。图7,图8和图9为不同圆弧半径沿 path1 应力强度曲线图,表2为过渡圆弧半径 $R=40$ mm, 60 mm, 80 mm 时沿 path1 的应力强度值,其中 P_L 为一次局部薄膜应力, P_b 为弯曲应力, $P_L + P_b$ 为一次应力 + 二次应力, F 为峰值应力。

表2 不同圆弧半径 path1 处最大应力值对比

Table 2 Different arc radius path of a stress contrast

路径	过渡圆弧 R /mm	P_L /MPa	$P_L + P_b$ /MPa	F /MPa
Path1	40	55	154	184.7
	60	115	172	190.9
	80	113	179	195.3

由图7~图9和表2可以发现, Path1 处一次局部薄膜应力随过渡圆弧半径的增大呈增大趋势,由图可以发现 Path1 处一次应力 + 二次应力和峰值应力的最

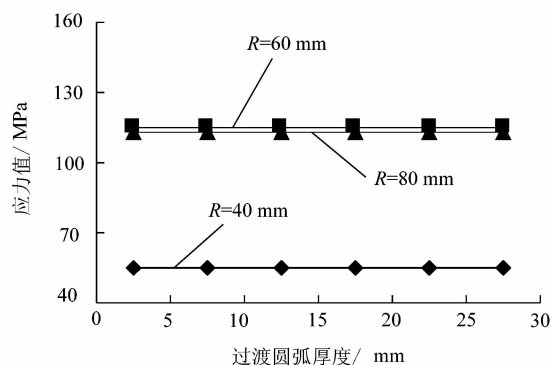


图7 各圆弧半径 path1 处一次局部薄膜应力曲线图

Figure 7 Each radius a local film stress curve figure at path1

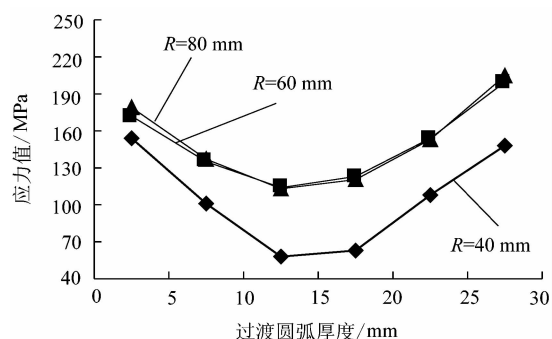


图8 各圆弧半径 path1 一次应力 + 二次应力曲线图

Figure 8 Each radius once stress + secondary stress curve figure at path1

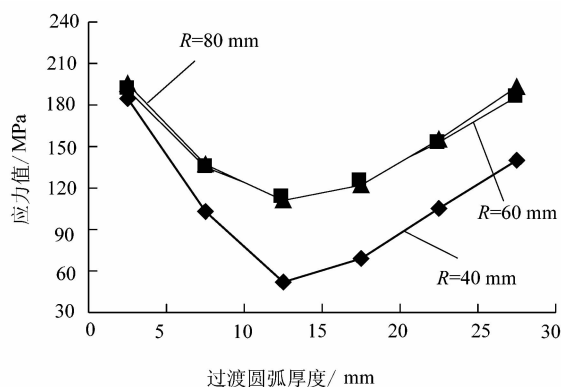


图9 各圆弧半径 path1 处峰值应力曲线图

Figure 9 Each radius peak stress curves at path1

大值随着过渡圆弧半径的增大而增大,其中从 40 mm 到 60 mm 各应力增大幅度较大,而从 60 mm 到 80 mm 各应力略有增大,但不明显;总应力缓慢上升。由曲线图可知一次应力 + 二次应力和峰值应力在过渡圆弧厚度方向上呈两边大中间小的分布。

2.2 不同半径过渡圆弧区域轴向位移

图10~图12为过渡圆弧在 Z 轴方向的位移分布云图。

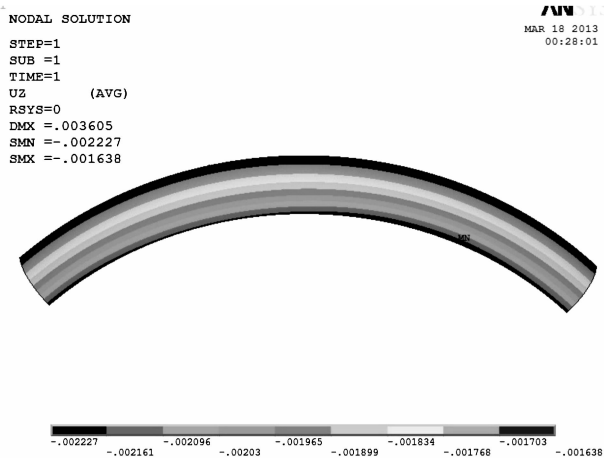


图10 $R=40$ mm时,过渡圆弧区域
 Z 轴方向位移变化情况

Figure 10 $R=40$ mm, the displacement
of the change in the arc transition
region the direction of the Z axis

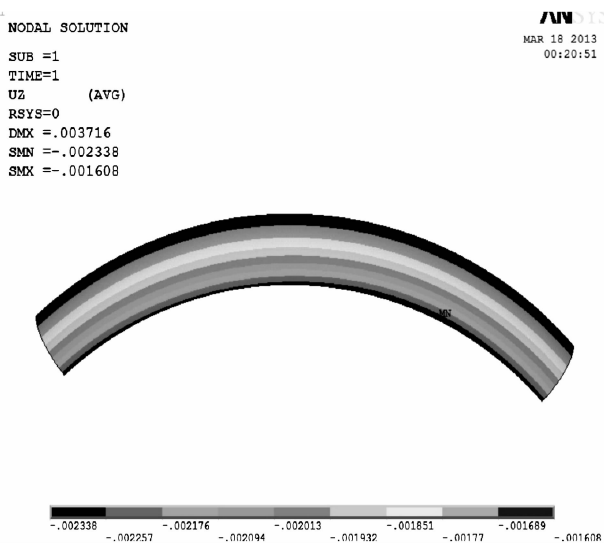


图11 $R=60$ mm时,过渡圆弧区域
 Z 轴方向位移变化情况

Figure 11 $R=60$ mm, the displacement
of the change in the arc transition
region the direction of the Z axis

通过对图10~图12分析发现,过渡圆弧区域随着圆弧半径的增大,其 Z 轴方向最大位移逐渐增大,而且过渡圆弧 Z 轴位移为负方向的位移,靠近管板区域负位移最大,远离管板逐渐减小,至与壳体连接处负位移处变为最小。可以得出较大的过渡圆弧半径可以

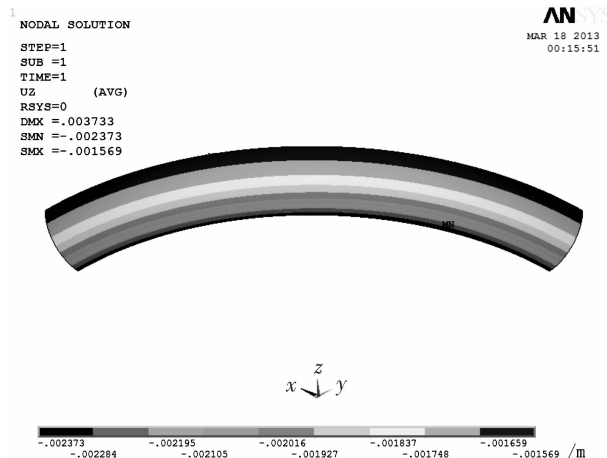


图12 $R=80$ mm时过渡圆弧区域
 Z 轴方向位移变化情况

Figure 12 $R=80$ mm, the displacement
of the change in the arc transition
region the direction of the Z axis

很好地补偿壳体 and 换热管的热膨胀。

3 结语

对于管板两侧温差较高的火管锅炉采用挠性薄管板结构可以降低较大的热应力对管板的影响,而且通过增大过渡圆弧半径 R ,可以更好地解决壳体与换热管的热膨胀问题,但是也发现在过渡圆弧半径 R 增大的同时,过渡圆弧区域最大应力区的薄膜应力、膜薄+弯曲应力和总应力都出现了增大现象;因此应合理选取过渡圆弧半径 R 的尺寸,使其最大应力区的应力要在许用的范围内。

参考文献:

- [1] 俞向东. 硫磺制酸火管锅炉的选型及结构设计要点[J]. 硫磺设计与粉体工程, 2000(1): 27-29.
- [2] 李学红. 硫磺制酸火管锅炉的工艺设计[J]. 化学工程与装备, 2010(9): 95-96.
- [3] 程孝福. 废热锅炉的结构设计[J]. 压力容器, 2009, 26(6): 13-18.
- [4] 周林, 张平, 何小华. 带膨胀节固定管板换热器管板设计方法探讨[C]//中国机械工程学会. 压力容器设计技术研究: 第七届全国压力容器设计学术会议暨第七届中国机械工程学会压力容器分会设计委员会委员会议论文集. 溧阳: 中国机械工程学会, 2010: 48-50.
- [5] 张福森. 挠性薄管板设计方法[J]. 森林工程, 2002, 18(5): 37-38.
- [6] 何智灵. SHT3158-2009 石油化工管壳式余热锅炉[S]. 北京: 中国石化出版社, 2009.
- [7] 李生昌. 薄挠性管板的分析[J]. 化工设备设计, 1991(2): 16-21.
- [8] 叶增荣. 柔性薄管板换热器的结构分析与优化[J]. 压力容器, 2011, 28(5): 21-26.
- [9] 叶增荣. 管壳式废热锅炉薄管板的热应力分析[J]. 压力容器, 2011, 28(12): 23-29.