

文章编号:1671-7953(2008)01-0015-04

复杂载荷下集汽联箱开孔接管部位的动态响应分析

申文才,杨自春,曹跃云

(海军工程大学 船舶与动力学院,武汉 430033)

摘 要:针对集汽联箱开孔接管部位采用 UG 软件建立三维模型,利用有限元分析软件 ANSYS 求得集汽联箱内部对流换热系数,并对模型进行瞬态热-结构分析,得到了在受压受热环境下联箱紧急启动过程的瞬态应力大小及分布,分析裂纹产生的原因并预测了裂纹产生的位置和发展趋势。

关键词:集汽联箱管座;热-结构分析;ANSYS

中图分类号:TK222 **文献标志码:**A

Analysis of Dynamic Response of Header of Steam Collecting Channel under Complex Load

SHEN Wen-cai, YANG Zi-chun, CAO Yue-yun

(School of Naval Architecture and Power, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: Aimed at header of steam collecting channel, a 3D model was built by using of software of UG, and the convection coefficients were got by ANSYS. The transient thermal-structural analysis was carried out on the model to get the stress values and distribution of the header of steam collecting channel during emergency starting. The paper discussed about the causes for the crackes, forecasted where they most likely to happen, and the trends of spreading.

Key words: header of steam colleting channel; thermal-structural analysis; ANSYS

锅炉的主要承载部件上均需要设置各种形状的开孔接管结构。这些开孔或接管不但消弱了部件的强度,而且在承载壳体与接管的连接处破坏了结构的连续性,使之在内压力和热载荷作用下产生很高的局部应力。由于开孔接管部位大都存在壳体和接管的角接焊缝,而且这些焊缝及其热影响区通常存在各种缺陷,在高应力作用下这些缺陷就容易扩展开裂^[1],可以说开孔接管部位作为锅炉典型的结构组成,其应力和变形状况直接决定着锅炉运行的安全性、可靠性及使用寿命。因此分析开孔接管部位在工作环境下的应力和变形,对及早发现缺陷和分析部件的可靠性有重要的意义。

1 计算方法与步骤

采用瞬态热-结构分析方法计算集汽联箱开

孔接管部位的温度场及应力场分布,并分析了开孔接管部位的温度和应力随时间的变化情况。在求解热应力时采用间接法,即首先用 Thermal Solid: Tet 10node 87 单元进行热分析,求得结构的温度场,然后用 Structural Solid: 10node 92 单元进行热结构分析,将前面求得的温度场作为体积载荷加到结构中,求解应力分布。具体步骤为:

- 1) 在 UG NX 4.0 中建立联箱的模型,以 Parasolid 文件形式导出。
- 2) 在 ANSYS 中,导入 Parasolid 文件,并对导入的模型进行网格划分。
- 3) 定义热分析所需材料特性。
- 4) 加载求解温度场,查看温度场分布及 A、B 点温度随时间变化的情况。
- 5) 重新进入前处理,转换单元类型,设置结构分析中的材料属性。
- 6) 设置边界条件约束。
- 7) 施加节点温度载荷,读入热分析的结果文件,施加压力载荷。
- 8) 求解热应力。

收稿日期:2007-09-21

修回日期:2007-10-21

作者简介:申文才(1983—),男,硕士生。

研究方向:结构可靠性。

E-mail: zwp18570004@sohu.com

9) 查看应力分布,及 C, D 点应力随时间变化的情况。

2 开孔接管部位在复杂载荷作用下的有限元计算

2.1 计算模型与网格划分

1) 联箱材质 12Cr1MoV, 规格: 直径 273 mm × 36 mm; 接管材质 12Cr1MoV, 规格: 直径 168 mm × 24 mm; 集汽联箱工作参数为 9.8 MPa, 540 °C, 取联箱长 1 000 mm, 管外伸 200 mm, 见图 1。

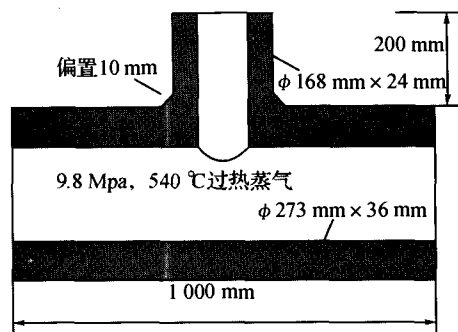


图 1 联箱及接管模型

2) 联箱材料的热物理性能参数见表 1、2^[1-2]。

表 1 不同温度下 12Cr1MoVg 的导热系数 λ

$\theta/^\circ\text{C}$	20	200	300	400	500	600
$\lambda/[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}]$	35.59	35.59	35.17	33.50	32.24	30.56

表 2 12Cr1MoVg 的热物理性能参数

弹性模量 E/GPa	泊松比 ν	密度 $\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	线膨胀系 数/ $^\circ\text{C}^{-1}$	比热容 $c/[\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}]$
158	0.3	7 800	1.42×10^{-5}	460

3) 取整体的 1/4 为计算模型。整体自由划分, 开孔接管处细划分, 共 5 392 个单元, 10 183 个节点, 见图 2。

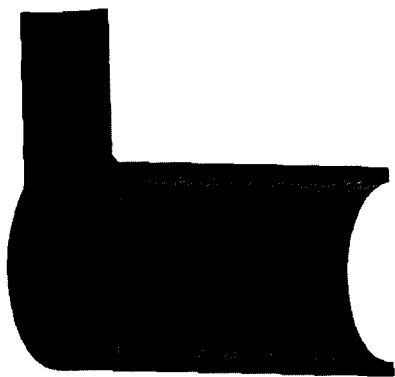


图 2 单元网格划分图

2.2 边界条件和载荷

2.2.1 载荷分布情况及边界条件约束

当过热蒸汽从联箱和接管内流动时, 热流从内向外, 内壁温度要高于外壁, 此时管壁沿轴向的变形, 在无约束时, 内壁膨胀量要大于外壁。但是管壁是一个整体, 只能产生一个平均伸长, 这样, 管壁内部被拉长, 外部被压缩, 于是产生轴向热应力。当联箱冷却后, 就会产生方向相反的残余应力。所以联箱工作时内部将产生轴向拉应力, 外壁产生轴向压应力, 当联箱停止工作时则产生相反的应力。事实上锅炉联箱正是承受着这种反复的拉压作用, 而长期承受这种大幅变化的热应力作用以及筒内较大的压力作用, 开孔接管部位就会产生疲劳破坏。

由于联箱内存在压力, 作用在两端封头上的轴向力等于内压力乘圆筒截面上介质所占据的面积, 所以内压力作用在圆筒和管的截面上的拉应力大小为轴向力除以截面面积。由公式 $\sigma_{\text{拉}} = \frac{p}{\left(\frac{r_w}{r_n}\right)^2 - 1}$ ^[1]

计算得筒截面受拉应力为 $\frac{p}{0.3268}$ MPa, 接管截面受拉应力为 $\frac{p}{0.3610}$ MPa。式中, p 为联箱内

压力, r_w 为接管或筒的外径, r_n 为内径。因为计算模型取实际的 1/4, 所以需要对其进行边界条件约束。即约束联箱纵向截面上 Z 轴方向位移, 约束横向截面上 X 轴方向位移, 在关键节点处约束 Y 轴位移。联箱边界条件和载荷情况见图 3 和表 3。

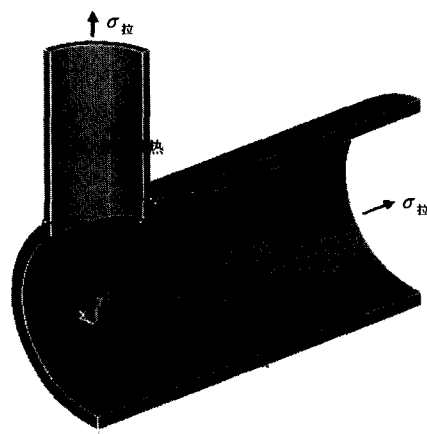


图 3 开孔接管 1/4 模型

表 3 联箱载荷

t/s	蒸汽温度 / $^{\circ}\text{C}$	外壁 A/B 处 温度/ $^{\circ}\text{C}$	筒内压 力/MPa
180	100	71/68	1.08
240	150	104/98	2.13
300	200	146/139	3.52
360	300	210/202	5.26
420	350	281/270	6.30
600	450	411/405	7.35
900	540	520/517	9.80

2.2.2 对流换热系数的求解

由于集汽联箱内部换热状况复杂,采用经验公式计算换热系数难以得到精确的结果,因此本文采用有限元方法反算对流换热系数^[3]。首先测出各联箱启动时各时刻外壁和蒸汽的温度,并假定一个换热系数,通过有限元求解得出一个外壁温度,用计算出的壁温与测得的壁温比较,然后适当的调节先前假定的换热系数,再次求解壁温,并与测得的壁温比较并调整换热系数,这样不断的迭代计算直到得出吻合的结果为止,得到联箱启动过程中各时期的对流传热系数见表 4。

表 4 各时刻内壁对流传热系数 K 反算结果 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$

t/s	0~180	>180~240	>240~300	>300~360
$K/[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})^{-1}]$	833.0	919.4	919.4	988.0
t/s	360~420	420~600	600~900	
$K/[\text{W} \cdot (\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})^{-1}]$	1 043.8	1 071.6	1 071.6	

2.3 计算结果及分析

2.3.1 查看温度场和应力场分布情况

温度场求解共 7 个载荷步,设置载荷子步长为 10 s,求得温度场分布见图 4;应力场求解共设 7 个载荷步,设置载荷子步长为 10 s,求得各向应力分布见图 5-7。

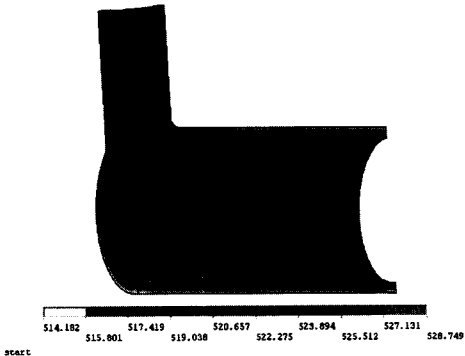


图 4 900 s 时温度场分布情况

由图 4 可见开孔接管部位温差最大,因此该部位产生的热应力也最大。通过查看等效应力分

布可知 C 点处应力最大,该处等效应力值为 276~309 MPa,其次是 D 点处,其等效应力值为 145~178 MPa。显然联箱在冷态紧急启动时 C、D 两处应力值已经接近甚至超过了材料的屈服极限,因此频繁启动时这些部位很容易产生裂纹。

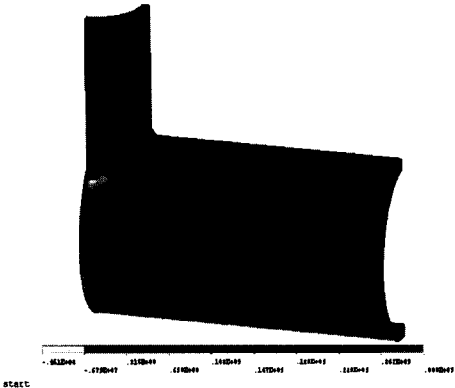


图 5 900 s 时 x 方向应力场分布情况

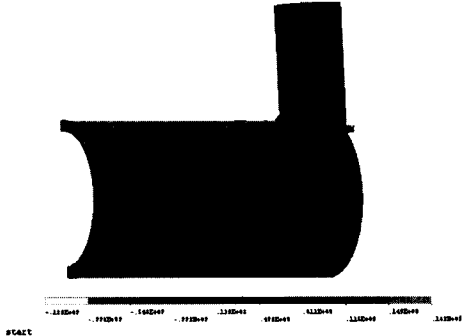


图 6 900 s 时 y 方向应力场分布情况

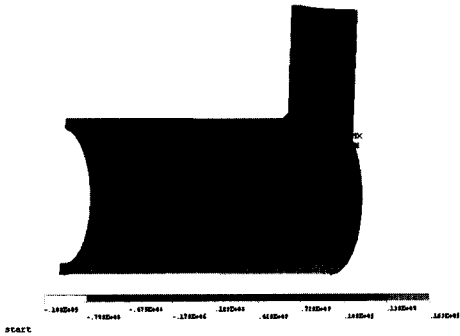


图 7 900 s 时 z 方向应力场分布情况

由图 5-7 可知联箱启动 900 s 时,开孔接管部位 C 处 x 方向应力较大,其值在 262~300 MPa 之间。又 C 位于接管部位内壁,则联箱疲劳破坏时裂纹会在该处沿 x 轴方向裂开并向 y、z 轴方向延伸;D 位于接管部位外壁,而且该处 y 轴和 z 轴方向应力较大,分别为 149~183 MPa,133~163 MPa。因此裂纹会在该处沿着接管部位的弧线延伸;由于 C 处应力值超出了材料的屈服极限

并且大于 D 处的应力, C 处又位于联箱内壁, 所以当联箱外壁 D 处出现裂纹时, C 处裂纹早已形成并扩展开了。

2.3.2 温度及应力随时间变化情况分析

利用时间历程后处理查看联箱开孔接管部位外壁 A 、 B 2 点处温度随时间变化情况, 以及 C 、 D 2 点处各向应力和等效应力随时间变化情况, 见图 8~10。

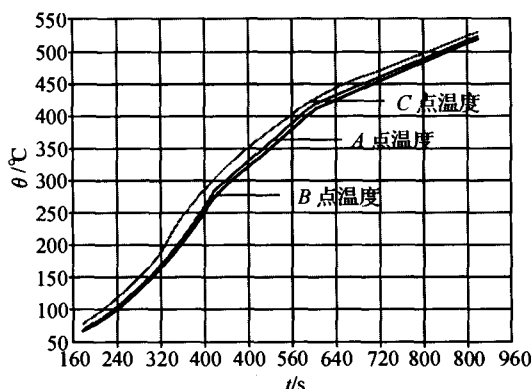


图 8 A、B、C 点处温度随时间变化情况

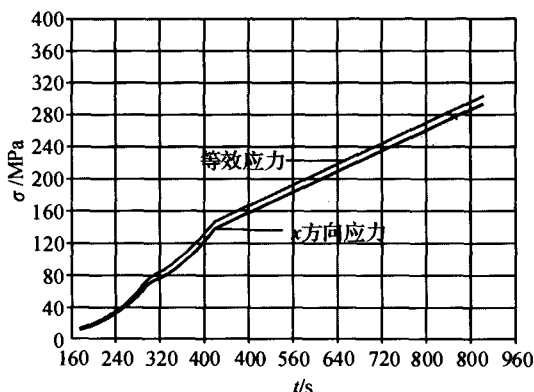


图 9 C 点处等效应力及 x 方向应力随时间变化情况

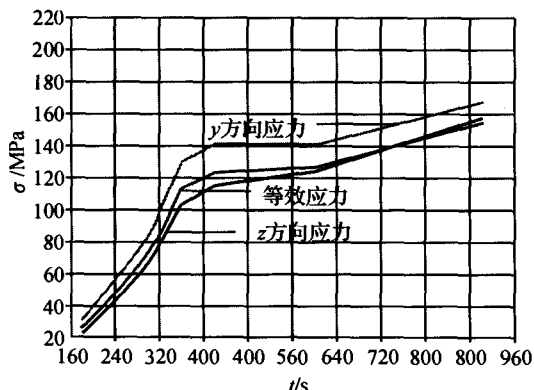


图 10 D 点处等效应力及 y 、 z 方向应力随时间变化情况

由图 8 可知开孔接管部位最大温差出现在联箱启动后 360 s 时, 因此该时刻产生的热应力最大。由于联箱内压力在管壁产生的径向应力总是压应力, 环向应力总是拉应力; 而温度变化在管壁产生的环向应力, 外表面是压应力, 内表面是拉应力。 C 处压力和温度变化产生的环向应力都是拉应力, 所以该处 x 方向应力较大; D 处压力和温度变化产生的环向应力分别是拉应力和压应力, 因此该处总的应力值稍小, 又由于外表面径向压应力为 0, 所以 D 处 x 方向应力很小。通过上述分析及图 8~10 可以得出结论: 在保证 D 处应力不超过材料屈服极限时, 可以通过将最大温差控制在启动过程的前期来降低 C 处的最大应力值。

3 结论

1) C 点处应力值最大, 已经超出了材料的屈服极限, 该处裂纹将沿 x 方向裂开并向横向截面扩展。

2) D 点处应力值接近材料的屈服极限, 该处裂纹将沿着开孔接管的弧线形成并扩展。

3) 开孔接管部位裂纹首先在内壁与横向截面相交处即 C 点处产生; 联箱启动过程中, 在保证 D 点处应力值不超出材料屈服极限情况下, 将最大温差控制在前期, 可降低 C 点处的最大应力值; 实际工作中应尽量避免锅炉联箱紧急启动, 在平时锅炉维护保养中应仔细的检查 C 、 D 两个部位, 以防止和及时消除故障。

参考文献

- [1] 王泽军. 锅炉结构有限元分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [2] 《汽轮机 锅炉 发电机金属材料手册》编写组. 汽轮机 锅炉 发电机金属材料手册[M]. 上海: 上海人民出版社, 1973.
- [3] 杨自春, 黄玉盈. 某型船用主锅炉联箱在复杂换热条件下的瞬态温度场有限元分析[J]. 热能动力工程, 1995, 10(6): 359-365.