

超临界煤粉锅炉高温过热器出口 联箱应力分析

卢洪波¹,姚建龙¹,张超²

(1. 东北电力大学 能源与动力工程学院,吉林 吉林 132012;2. 福建大唐国际宁德发电有限责任公司,福建 宁德 355006)

摘 要:以某电厂 600 MW 锅炉高温过热器出口联箱为研究对象,通过有限元软件 ANSYS 对模型温度场的分布、热应力的分布、机械应力的分布和总应力的分布进行计算,找出应力最大点 MX,并对该点进行重点研究分析,得出了热应力与内外壁温差、温度变化率以及机械应力与联箱内蒸汽压力的变化关系,并确定了总应力与热应力和机械应力的关系,得出联箱总应力值的大小接近机械应力值。

关 键 词: ANSYS;温度场;温度变化率;应力

中图分类号: TK225

文献标识码: A

电力产业是国民经济的基础产业,是关系着国民经济的民生产业,是国民经济的第一产业,是世界各国发展的战略性优先产业。随着中国经济的发展飞速,对电力的需求又上一个新台阶^[1]。2013 年全国装机总量为 12.5 亿千瓦,位居全世界第一。2014 年,全国社会用电总量为 5.5233 亿千瓦时,同比增长 3.8%。2015 年发电总量为 6.0038 亿千瓦,2015 年我国电力装机总容量为 14.9 亿千瓦,2020 年将达到 20 亿万千瓦,2050 年将达到 38 亿千瓦^[2]。随着用电总量的增加,我国用电峰谷差值也在增大,最大的时候可达 50%,而用电峰谷差值的增大主要是由于用电结构和地方经济发展的不平衡造成的^[3]。为了解决用电峰谷差值大的问题,我国新建了大批的 600 MW 超临界煤粉锅炉作为调峰机组。调峰机组具有以下两大特点:第一,负荷变化剧烈;第二,启动频繁^[4]。

在调峰运行过程中,锅炉的载荷部件应力波动变化幅度较大,对机组造成极大损耗,成为机组安全运行的重大隐患^[5,6]。锅炉承压部件的损坏 70% 是因交变热应力而导致的疲劳损坏^[7,8],这就不得不对锅炉承压部件进行热应力的分析。高温过热器出口联箱是锅炉承压部件中承受的温度最高、压力最大的部件,联箱能否安全运行直接影响电厂的安全运行和经济效益^[9]。因此,有必要对此结构进行重点的研究分析。

1 模型的建立和边界条件的确定

1.1 模型的确定

本文所研究的对象为某电厂 600 MW 锅炉高温过热器出口联箱,联箱筒身的直径为 635 mm,壁厚为 136 mm,筒身均匀分布 64 排蒸汽引入管,每排 10 根外接管,外接管的直径为 46 mm,壁厚为 11.3 mm,相邻两排蒸汽引入管横向间距 304.8 mm。联箱轴向示意图如图 1 所示,径向示意图如图 2 所示。

收稿日期:2016-03-07

基金项目:吉林省科技发展规划重点资助项目(20110409)

作者简介:卢洪波(1968-),男,博士,教授,主要研究方向:电站锅炉节能技术、高效清洁燃烧技术。

电子邮箱:luhongbo129@163.com(卢洪波);494034739@qq.com(姚建龙);332135634@qq.com(张超)

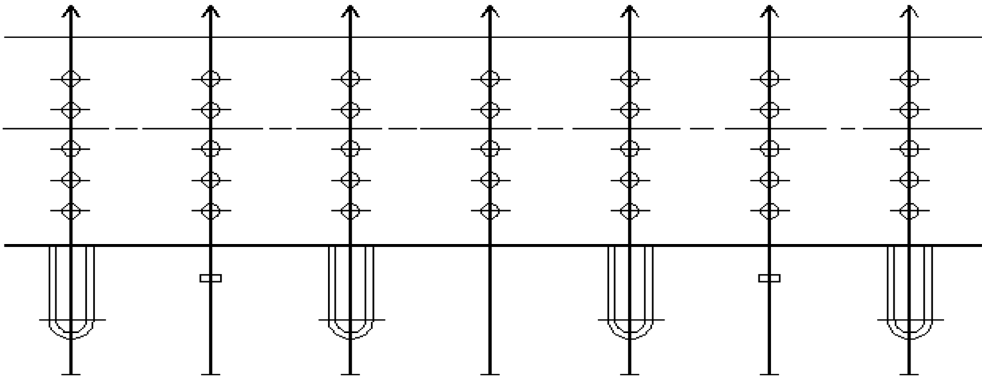


图 1 联箱轴向示意图

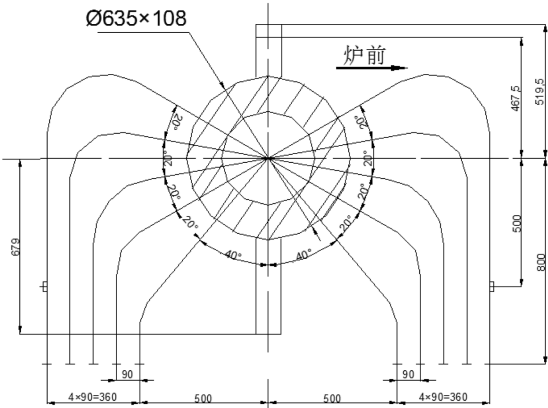


图 2 联箱径向示意图

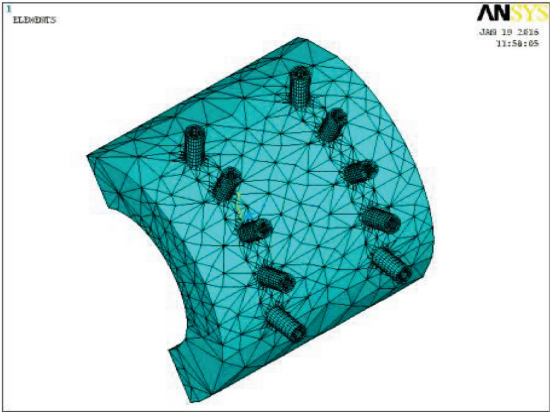


图 3 划分网格后的实体模型

1.2 材料属性的确定

本次分析中,研究对象的高温过热器出口联箱筒体及蒸汽引入管所选用的材料为 SA-213T92/P92,其中 T92 表示小直径钢管,P92 表示大直径钢管,T92 具体性能参数如表 1 所示。

表 1 T92 钢物性参数

温度/℃	膨胀系数 10^{-6}℃^{-1}	弹性模量 10^5MPa	热导率 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	密度 $10^3 \text{kg}/\text{m}^3$	定压比热容 $\text{KJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
500	12.9	1.52	29	7.85	0.58
600	13.1	0.98	29.3	7.85	0.63

1.3 单元类型与边界条件的确定

温度场计算采用的六面体 8 节点单元 SOLID70,采用分块划分网格,划分后的模型有节点 21 207 个,单元 29 965 个,划分好网格后的实体模型如图 3 所示。

根据有关大直流锅炉在线寿命检测系统的研究发现:在相同的升温速率、不同的换热系数条件下,不同放热系数的内外壁温差值基本一致^[10]。尽管集箱内介质对内壁放热系数很复杂,但就研究集箱内外壁温差,可视为第一类边界条件,不用考虑具体的放热系数。因此,联箱的内壁考虑为第一类边界条件^[11,12]。

2 温度场的分布

以下为机组在升降负荷过程中联箱内壁温度动态变化图,如图 4 和图 5 所示。

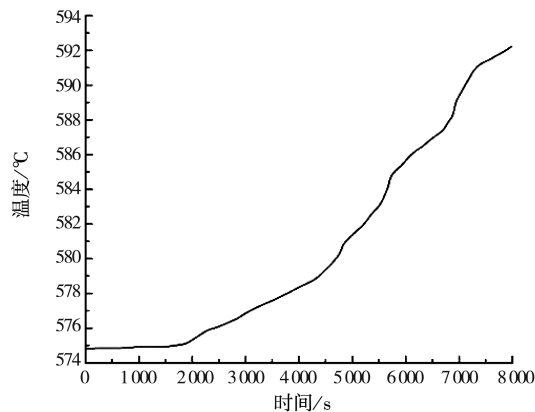


图 4 升负荷过程内壁温度随时间变化曲线

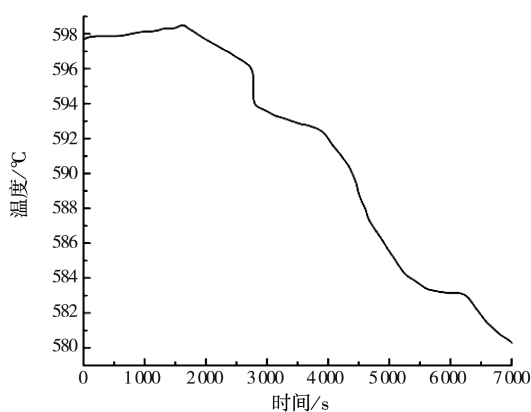


图 5 降负荷过程联箱内壁温度变化曲线

升降负荷过程的高温过热器出口联箱温度场分布如图 6 和图 7 所示。

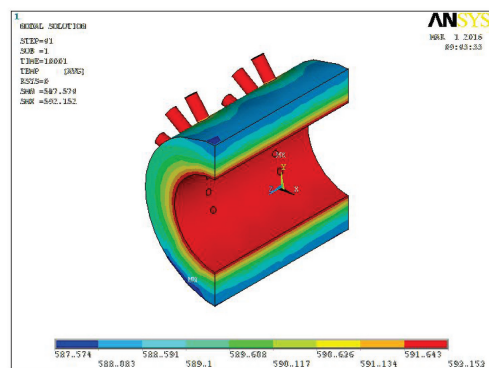


图 6 升负荷温度分布云图

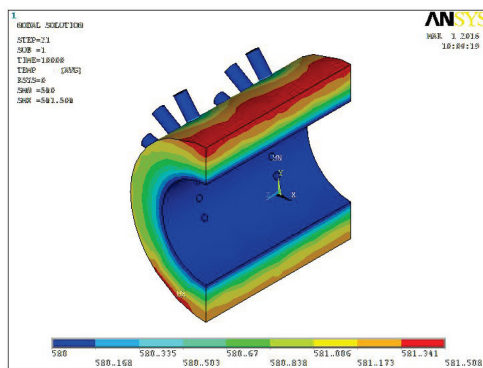


图 7 降负荷温度分布云图

从图 6 和图 7 中可以清晰直观地发现:升负荷过程中,联箱筒体内外壁的颜色由红色逐渐过渡到蓝色,红色区域代表的温度高于蓝色区域代表的温度,由此可知联箱内壁温度高于外壁温度,温度沿着壁厚由内到外逐渐降低,且内外壁温度差值最大为 $4.83\text{ }^{\circ}\text{C}$;降负荷过程中,联箱筒体内外壁的颜色是由蓝色逐渐过渡到红色,由此可知,联箱内壁温度低于外壁温度,温度沿着壁厚由内壁到外壁逐渐升高,且温差最大为 $4.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。但是在升降负荷过程中,蒸汽引入管的内外壁的颜色相同,联箱外界管的温度分布特别均匀,接近内壁温度,这是由于蒸汽引入管壁厚较小,传热较快,且传热较为充分,因而内外壁温度基本保持一致,温差接近为零。

3 联箱应力分布

3.1 联箱热应力的分析

3.1.1 内外壁温差与热应力的关系

联箱的应力分布,如图 8 和图 9 所示。观察图 8、图 9 可以发现,升降负荷过程中,联箱外界管的热应力最小,这是因为外界管壁厚较小,传热过程较快,其内外壁温差很小。在外界管与联箱相贯区域出现应力集中现象,即最大热应力点 MX,联箱危险点热应力与内外壁温差变化的关系如图 10 和图 11 所示。

根据图 10 和图 11 可知:升降负荷过程中,危险点热应力的大小与内外壁温差绝对值的变化趋势一致,内外壁温差越大,热应力值越大,内外壁温差越小热应力越小。虽然内壁温度可以进行调节,但是内壁温度与热应力之间没有直接的对应关系,所以对内壁温度的调节达不到调节热应力的效果。

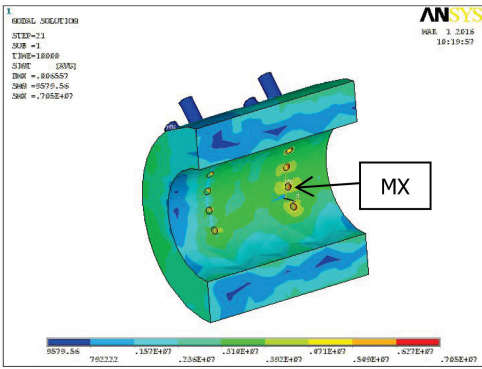


图 8 升负荷热应力分布图

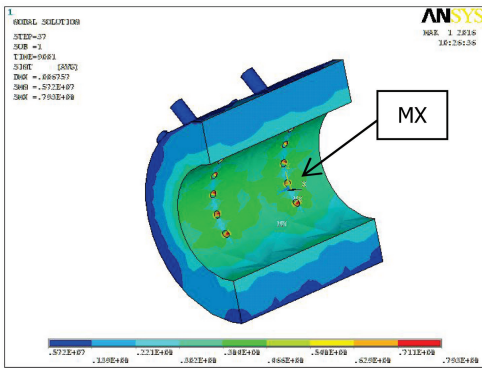


图 9 降负荷热应力分布图

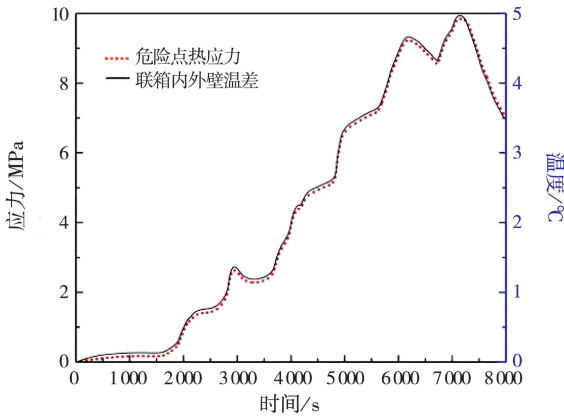


图 10 升负荷过程危险点热应力与内外壁温差的关系

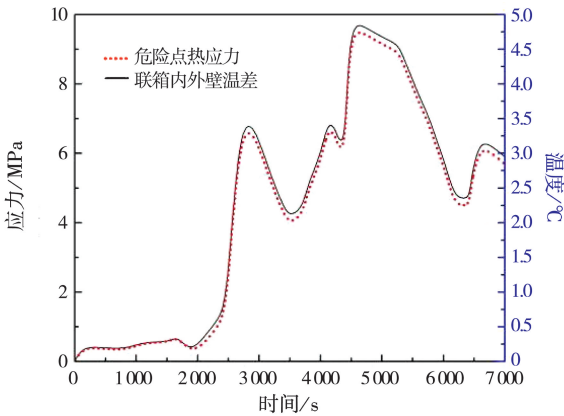


图 11 降负荷过程危险点热应力与内外壁温差的关系

3.1.2 温度变化率与热应力的关系

在实际运行过程中,内外壁温差与热应力并没有直接的关系,内外壁温差也不能直接进行调控,所以只研究内外壁温差并没有多大意义。与热应力直接相关的是温度变化率,它具有直接可调性,对热应力有着显著的影响。取应力最大点即危险点为研究对象,着重分析该点的温度变化率与热应力的关系,如图 12、图 13 所示。

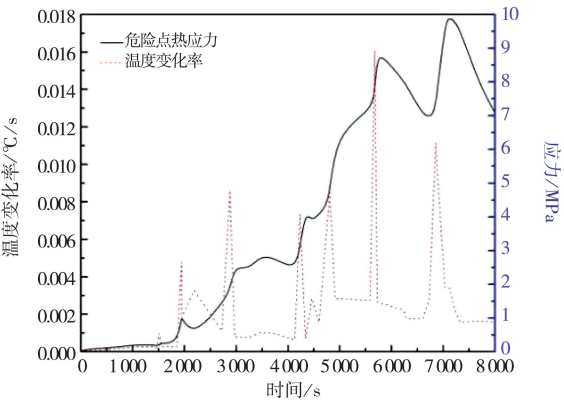


图 12 升负荷过程危险点热应力与温度变化率的关系

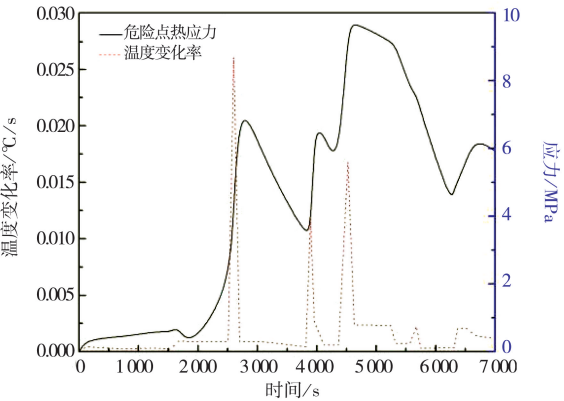


图 13 降负荷过程危险点热应力与温度变化率的关系

通过上图可以看出,大部分时间温度变化率的值比较平稳,当温度变化率突然增大时,热应力值也随之突然增大,但当温度变化率突然降低时,机械应力也随之突然降低,但降低速度较慢,且持续时间较长。这主要是由于联箱的筒壁较厚,当温度变化率突然增大时,联箱内壁温度立即响应,温度升高,但热量的传递需要一定时间,此时外壁温度没有受到温度变化率的影响,内外壁温差较大,所以热应力值较

大;在整个传热过程中,温度变化率对外壁温度也会有一定的影响,而此时的温度变化率不变,但内壁温度的增长值有所减小,导致热应力的增长速度也会降低;当温度变化率绝对值减小时,内外壁温差增长速度进一步降低甚至会减少,从而热应力也随之减小。

3.2 联箱机械应力分析

机组在升降负荷过程中联箱内壁压力动态变化图,如图 14、图 15 所示。

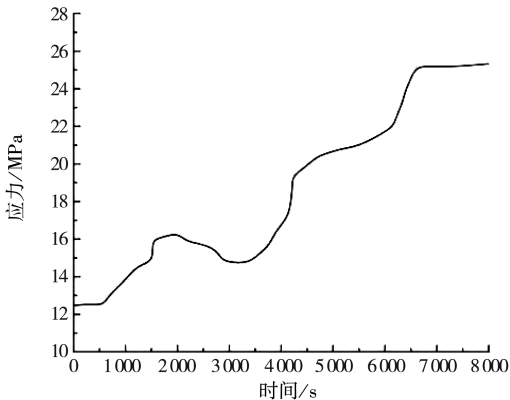


图 14 升负荷过程联箱内壁压力随时间变化曲线

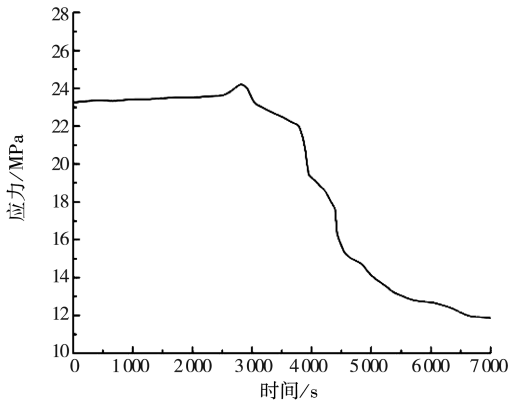


图 15 降负荷过程联箱内壁压力随时间变化曲线

联箱机械应力的分布云图,如图 16、图 17 所示。

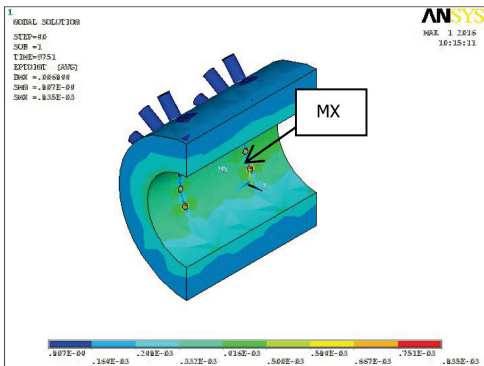


图 16 升负荷过程联箱机械应力分布图

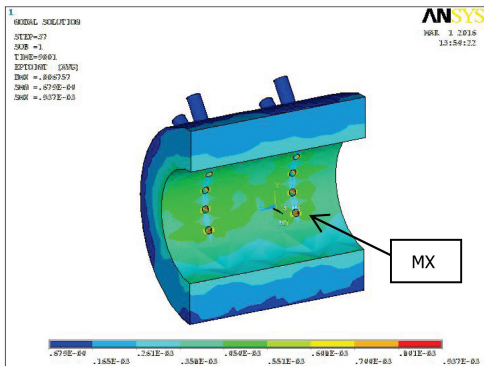


图 17 降负荷过程联箱机械应力分布图

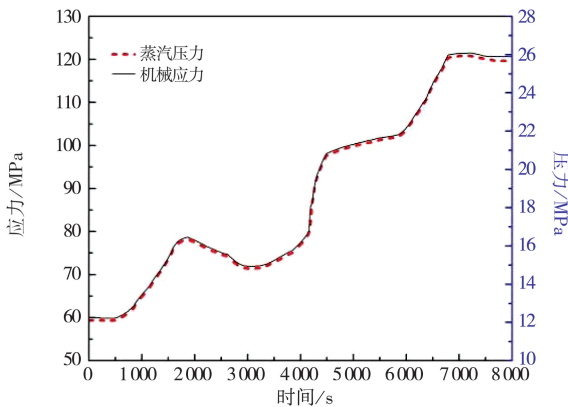


图 18 升负荷过程危险点机械应力随时间变化曲线

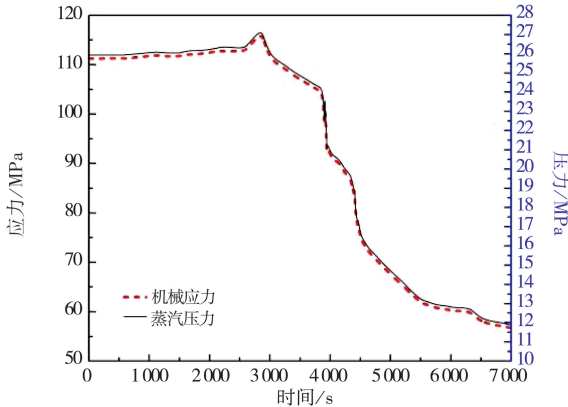


图 19 降负荷过程危险点机械应力随时间变化曲线

在升负荷和降负荷过程中,联箱外界管处的机械应力值最小,且分布均匀,内壁处的机械应力值大于外壁处的机械应力值,在联箱与外界管相贯区域的应力值明显大于其他区域,且该区域出现明显的应力集中现象,也就是危险点,即应力最大点,升降负荷过程中,应力集中点比较固定,如图 16 与图 17 所

示的 MX 点,对该点进行了重点分析研究,升负荷过程机械应力值一直在增大,最大应力值为 124.6 MPa;降负荷过程,刚开始一段时间应力比较平稳,在 2 960 s 时,应力开始下降,应力值最大值为 116.8 MPa。在升负荷和降负荷过程,机械应力和联箱内壁压力的变化趋势一致,压力增大,机械应力增大,压力降低,机械应力减小。根据图 18 和图 19 得出结论:联箱机械应力只受联箱内壁蒸汽压力影响,其变化趋势与内壁压力变化趋势一致。

3.3 联箱总应力分析

总应力是由温度和压力共同作用下产生的,是机械应力与热应力的叠加,以下为 MX 点三种应力在升降负荷情况下的变化情况,图 20 和图 21 为总应力、机械应力、热应力的变化情况。

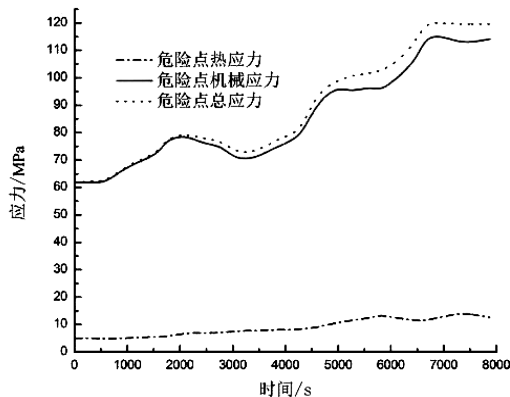


图 20 升负荷过程三种应力变化情况

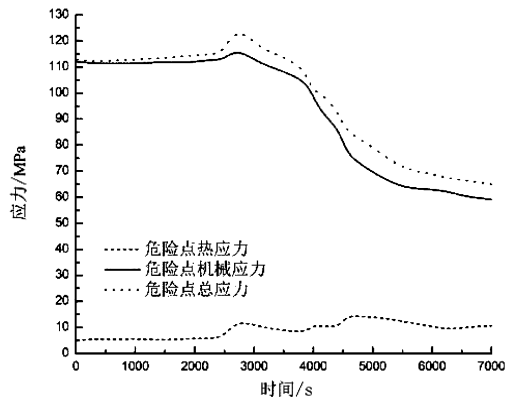


图 21 降负荷过程三种应力变化情况

从图中可以发现,在升负荷和降负荷的整个过程中,联箱的机械应力和总应力的变化趋势一致,且总应力值的大小接近机械应力值,而热应力远远小于机械应力和总应力,整个变负荷过程,热应力对总应力的影响可以忽略不计。升负荷过程总应力小于机械应力,是由于在升负荷过程,联箱内壁温度高于外壁温度,热应力的方向是由内壁到外壁,而机械应力的方向是由外壁到内壁,热应力会抵消一部分机械应力,所以总应力小于机械应力;而降负荷过程,热应力的方向与机械应力方向相同,都是由外壁到内壁,所以总应力大于机械应力。

贺林博^[4]关于联箱寿命管理的研究结论:(1)总应力是由机械应力和热应力耦合的,且机械应力占比重较大;(2)联箱的机械应力和内压比值是一定的,运行过程热应力作用很小,总应力和内压比值一定。本论文与此结论吻合。

4 结 论

- (1)升负荷过程,联箱内壁温度高于外壁温度,降负荷过程,联箱外壁温度高于内壁温度。
- (2)联箱热应力与内外壁温差有关,但联箱内壁温度与热应力无直接关系,不可进行联箱热应力的调控,而温度变化率可对热应力进行调控。
- (3)联箱的机械应力是由联箱内壁蒸汽压力的作用产生的,是联箱的主要的应力。
- (4)总应力由联箱内蒸汽温度和压力共同作用形成,但热应力远远小于机械应力,对联箱的总应力影响较小;总应力和联箱机械应力接近,且变化趋势相同。

参 考 文 献

- [1] 张国旗,王占森.我国电力行业的成长及发展分析[J].科技与研究,2014(5):577-588.
- [2] 彭源长.里程碑:我国人均装机达 1 千瓦[J].中国电业,2015(2):10.
- [3] 李娜,阎维平.1000MW 锅炉汽水分离器的模态应力有限元分析[J].锅炉技术,2013,44(1):6-9.
- [4] 贺林博,600MW 超临界机组过热器出口联箱寿命分析[D].北京:华北电力大学,2011.

- [5] 李兵. 日本火电厂锅炉部件中剩余寿命诊断技术[J]. 华北电力技术, 1997(8): 5-10.
- [6] 攀永峰, 超临界机组受热面管寿命管理研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2012.
- [7] Li DY, Z. G. Fu, Q. Zhang, et al. Mechanical stress analysis of a 600MW supercritical boiler superheater outlet header[J]. Scientific Research, 2013, 5(1): 66-68.
- [8] 刘玉敬, 尹民权, 张春阳. 600MW 机组锅炉再热器爆漏的分析与对策[J]. 东北电力大学学报, 2009, 29(2): 44-47.
- [9] 李斌, 贺林博, 李建伟. 超临界锅炉冷态启动汽水分离器温度场和应力场的数字模拟[J]. 电站系统工程, 2010, 26(6): 16-18.
- [10] 池作和, 周昊, 蒋啸, 等. 大容量锅炉在线寿命检测系统[J]. 锅炉技术, 1995(5): 16-23.
- [11] 徐晓晖, 锅炉汽包热应力的产生及控制研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012(10): 174.
- [12] 王永芳, 王璋奇, 王家昕. 锅炉集汽联箱在线寿命监测系统(续)[J]. 水利电力机械, 2005, 27(2): 17-19.

The High Temperature Superheater Outlet Header Stress Analysis of Pulverized Coal Fired Boiler

Lu Hongbo¹, Yao Jianlong¹, Zhang Chao²

(1. Energy Resource and Power Engineering College, Northeast Electric Power University, Jilin Jilin 132012; 2. Fujian Datang International Ningde Power Generation Co., Ltd., Ningde Fujian 355006)

Abstract: This paper takes 600 MW boiler superheater outlet header as the research object. The model temperature field distribution, thermal stress distribution, mechanical stress distribution and total stress distribution was calculated by using the finite element software ANSYS, finding the maximum stress point MAX. Focus on the point of research and analysis, get the change relation of thermal stress and the temperature difference between the inner and outer walls, temperature change rate, mechanical stress and steam pressure in united box. Eventually, the relationship between the total stress, thermal stress and mechanical stress is determined. It is concluded that the total stress value of the united box is close to the value of mechanical stress.

Key words: ANSYS; Temperature filed; The temperature change rate; Stress