

基于 CFX 仿真分析汽轮机再热蝶阀卡阀现象

张守印¹, 汤春梅², 张峻峰³

(1. 万达文化旅游规划研究院有限公司, 北京 100022; 2. 北京联合思力科技有限公司, 北京 100016;
3. 兰州理工大学 温州泵阀工程研究院, 浙江 温州 325105)

摘要: 汽轮机再热蝶阀是汽轮机的重要元件, 该类型蝶阀在冷启动过程中经常发生卡阀。研究表明, 由于零件间热量传递速度存在差异, 所以在冷启动过程中, 不同零件物理性能差异导致了径向间隙和轴向间隙的变化不同。本文采用 CFX 流固耦合有限元法定量分析再热蝶阀在冷启动过程中阀体和阀瓣之间的间隙变化, 这对于解决该类工程问题具有重要的理论价值和指导意义。

关键词: CFX; 流固耦合; 蝶阀; 热分析; 卡阀

中图分类号: TH 134 **文献标志码:** A

Analysis of Steam Turbine Reheat Butterfly Valve Jam Phenomena based on CFX Simulation

ZHANG Shouyin¹, TANG Chunmei², ZHANG Junfeng³

(1. Wanda Cultural Tourism Planning & Research Institute Co., Ltd, Beijing 100022, China;
2. Beijing United Thinking and Technology Co., Ltd, Beijing 100016, China; 3. Engineering Institute of Wenzhou Pump & Valve, Lanzhou University of Technology, Wenzhou 325105, China)

Abstract: The reheat butterfly valve is a vital component in the steam turbine unit, mechanical jamming often emerges in such mechanisms during the cold start. Research showed that the different physical property leads to the different transmission speed of heat in parts, so the radial and axial clearance varies greatly in the process of cold start. CFX fluid-solid coupling finite element method was used to quantitatively analyze the clearance variation between valve body and valve clack, which has important theoretical value and realistic guiding significance to the solution of such engineering problems.

Key words: CFX, fluid-solid coupling, butterfly valve, thermal analysis, jamming

某汽轮机组是一种超临界参数和中间再热的抽气凝汽式汽轮机, 再热主汽门控制中压缸的蒸汽流通, 各缸通流能力都没有改变, 供热抽气口设置在中压缸排气口处, 再热蝶阀装在中、低压缸之间的连通管上, 再热蝶阀如图 1 所示。在实际运行过程中, 该类型机组再热蝶阀出现卡阀故障的概率较高, 严重影响了机组的安全运行。



图 1 再热蝶阀

引起阀门卡阀的因素很多, 就再热蝶阀而言, 机械加工误差、装配误差、填料过磨损、零件锈蚀以及介质与其发生化学作用等都是造成其卡阀的原因。在出厂试验时, 再热蝶阀起闭一般正常; 当汽轮机处于稳态运行状态时, 起闭再热蝶阀出现卡阀的概率很小; 在冷态启动过程中, 机组初启动, 冲转到较高的转速一段时间后, 起闭再热蝶阀过程常常出现卡阀。在汽轮机机组中, 上述卡阀现象发生的概率最大^[1]。

1 理论基础

1.1 CFX 流固耦合原理

采用 ANSYS Workbench 平台的 CFX 流固耦合分析方法进行再热蝶阀流场热力分析。流固耦合是流体与结构的耦合分析, 流体流动的温度和压力作用于结构, 结构将产生变形, 而结构的变形又影响了流体的流道; 因此是相互作用的。流固耦合分为单向流固耦合和双向流固耦合, 单向流固耦合应用于流场的边界形貌改变很小, 不影响流场分布的情况; 双向流固耦合应用于固体结构变形比较大的情况, 当流场的边界形貌发生明显变化时, 需要考虑固体变形对流场的影响, 两者相互作用。本文使用 CFX 有限元法对再热蝶阀组件进行热结构单向流固耦合分析, 先计算出流场分布, 然后将其中的关键参数作为载荷加载到固体结构上^[2]。

1.2 再热蝶阀热力学分析

在再热蝶阀冷启动过程中, 高温蒸汽经过阀体内腔, 热量通过对流传热方式从高温蒸汽传递给阀体和阀瓣等零件。当物体内部无热源时, 物体内部的温度梯度可由 Fourier 导热微分方程表示:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\kappa}{c\rho} \nabla^2 T$$

式中, T 是温度; t 是时间; κ 是导热系数; c 是比热

容; ρ 是材料密度。

阀门各零件材料的比热容、热膨胀系数、泊松比与弹性模量差别不大,但导热系数比值不同。在再热蝶阀中,阀体和阀瓣的导热系数不同,导致了其温度场到达平衡的时间不同,进而产生不同的变形量,而造成卡阀。

再热蝶阀内部温度变化时,阀体内任意微小单元将产生热变形,由于阀体的外在约束以及阀体内各部分之间的相互约束,在阀体内产生热应力,同时由于阀体的弹性引起附加的变形。热弹性力学就是研究弹性体内温度场的变化与热应力、热应变的相互关系,单元的热弹性力学基本方程为:

$$\begin{cases} \epsilon_x = \frac{1}{E}[\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)] + \alpha_1 T \\ \epsilon_y = \frac{1}{E}[\sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)] + \alpha_1 T \\ \epsilon_z = \frac{1}{E}[\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)] + \alpha_1 T \\ \gamma_{yz} = \frac{1}{G}\tau_{yz} \\ \gamma_{zx} = \frac{1}{G}\tau_{zx} \\ \gamma_{xy} = \frac{1}{G}\tau_{xy} \end{cases}$$

式中, α_1 是线膨胀系数; G 是切变模量; E 是弹性模量; μ 是泊松比; $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ 分别是坐标轴 x, y, z 方向的正应变; $\gamma_{yz}, \gamma_{zx}, \gamma_{xy}$ 分别是3个坐标面的剪应变; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 分别是坐标轴 x, y, z 方向的正应力; $\tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{xy}$ 分别是3个坐标面的切应力。

考虑到阀门制造和装配误差的不确定性,再热蝶阀动态行为分析结构合理地解释了工程实践中出现的问题,如再热蝶阀出厂试验时和常态时不卡阀,冷起动后某一段时间出现卡阀的概率最大,稳态时出现卡阀的概率最小,上述现象与工程实践中出现的问题相吻合。为了获得更加精确的评价效果,对再热蝶阀机构的冷起动过程进行了热结构耦合分析,得到更加详尽和可靠的数据,可支持卡阀问题的解决^[3]。

2 数值模拟

本文的再热蝶阀流场热力分析所用 ANSYS Workbench 平台中的模块有几何建模(geometry)、流固耦合(CFX)、稳态热力分析(steady-state thermal)和静力结构分析(static structural)。共形成3套网格和边界,其中包含特殊定义的耦合边界和状态、参数,耦合软件将通过定义的耦合边界来传递耦合参数,并指挥流体和固体求解器计算,依次实现流

固耦合分析。

2.1 涡轮几何模型的建立与网格划分

模型分为3部分:阀体、阀瓣和流道。把建立的三维模型导入 CFX 软件中进行非结构网格划分,为了获得较高的模拟精度,采用四面体单元,非结构化网格。按照实际的结构划分为3部分模型,固体域和流体域网格拓扑结构和节点分布如图3~图5所示^[4]。

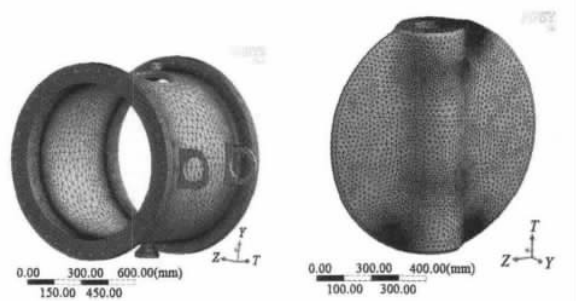


图3 固体域网格划分 (阀体)

图4 固体域网格划分 (阀瓣)

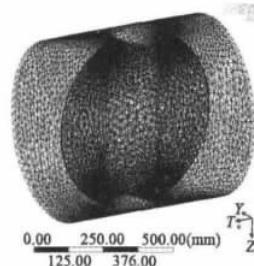


图5 流体域网格划分

2.2 流体模型边界条件设置

用 CFX 软件对流场进行数值模拟,本例所选的是 $k-\epsilon$ 湍流模型。流场设置的主要步骤如下。

- 1) 导入几何文件。
- 2) 划分网格及定义单元属性。
- 3) 对流体的性质进行设置,选择“Air Ideal Gas”。
- 4) 流场域等边界条件:以气体作为流场介质输送介质,采用进口温度边界条件(airinlet_temp)和进口速度边界条件(airinlet_vel),进口温度设置为 260 °C,进口速度设置为 65 m/s。出口采用压力出口边界条件(airoutlet_pre),出口压力设置为1 MPa。壁面上采用无滑移条件的流固耦合界面的壁属性。

2.3 固体模型边界条件设置

在 ANSYS Workbench 软件中对其结构进行 CFX 流固耦合分析,具体步骤如下。

- 1) 导入几何文件。
- 2) 划分网格及定义单元属性。
- 3) 定义阀体和阀瓣材料的弹性模量 E 、密度 ρ 及泊松比 γ 。
- 4) 添加边界约束条件,将阀体和阀瓣转动轴部

分节点约束径向和轴向自由度,将阀体、阀瓣轴内壁以及阀体两端法兰设置成“Fixed Support”。

5)定义流固耦合壁面。

3 仿真结果

首先计算出流场分布,然后将其中的计算温度作为载荷加载到固体结构上,阀体内壁的温度分布如图6所示,阀瓣外壁的温度分布如图7所示。从图6和图7可以看出,阀体出口处的内壁出现温度最高点,阀体轴孔处的内壁出现温度最低点;阀瓣轴间处的外壁出现温度最高点,阀瓣轴孔处的中部外壁出现温度最低点。

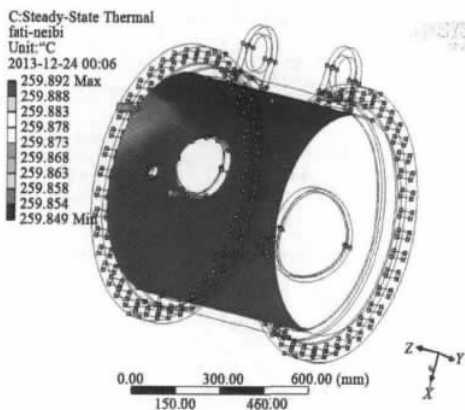


图6 阀体内壁温度分布

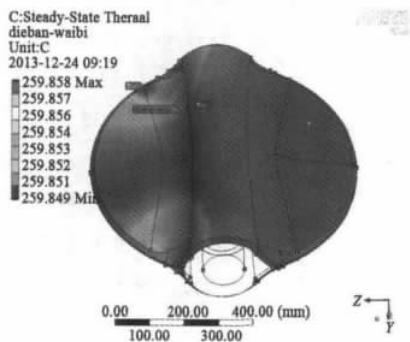


图7 阀瓣外壁温度分布

之后,进行稳态热力分析和静态结构分析,将CFX计算所得的温度分布加载到阀体和阀瓣上,进而得到阀体和阀瓣受热后的轴向变形(Y向),如图8所示。从图8可以看出,阀体轴孔处的变形为0.507 mm,阀瓣轴孔处的变形为1.095 mm。这与阀体和阀瓣的最大温度分布规律相同,阀瓣轴向变形大于阀体轴向变形,即阀门关闭时会造成卡阀。

对再热蝶阀进行保温措施,仿真时在阀体外壁加载230℃保温,如图9所示。其作用有2个:1)使再热蝶阀内的物质对介质产生保温效果,使介质不会凝结或粘在阀体内部,避免阀体内部粘接造成卡阀;2)使再热蝶阀冷启动过程预热,避免其在冷启动

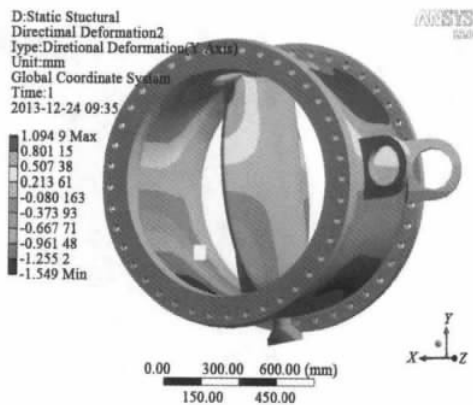


图8 阀体组件轴向形变时,阀体与阀瓣因变形不同而造成卡阀。



图9 阀体保温时的温度加载方式

再热蝶阀保温至230℃时,阀体和阀瓣的变形云图如图10所示,阀体轴孔处的预变形为0.599 mm,即阀体已达到工作时的变形量(±0.09 mm),阀瓣在阀体预热的状态下起闭正常。那么,保温空载时可以正常起闭的再热蝶阀在工作时也能够正常起闭。

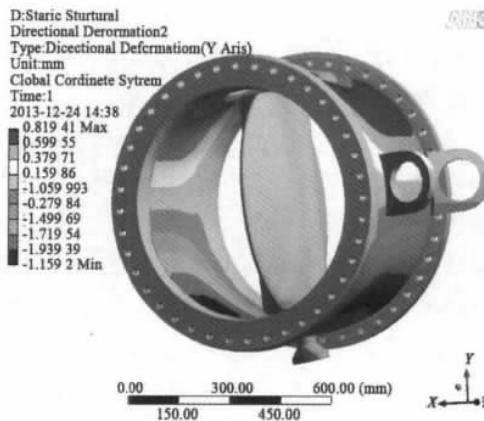


图10 阀体保温时的组件轴向变形

4 结语

本文验证了ANSYS Workbench平台的CFX流固耦合分析方法对于再热蝶阀研究的可行性。采

飞机结构的腐蚀防护与腐蚀疲劳研究的发展趋势*

张 勇,孙 强,卞贵学,李 岩

(海军航空工程学院 青岛校区,山东 青岛 266041)

摘 要:介绍了飞机结构腐蚀监控与防护、腐蚀疲劳和腐蚀防护用品应用等方面的国内、外研究现状及发展趋势。重点阐述了防腐蚀用品(CPCs,主要是缓蚀剂)的应用及其对飞机结构疲劳寿命及疲劳裂纹扩展影响的研究现状,并预测了其发展趋势。

关键词:飞机结构;腐蚀疲劳;腐蚀防护

中图分类号:V 250.2 **文献标志码:**A

Research on Development Trend of Corrosion Protection and Corrosion Fatigue of Aircraft Structures

ZHANG Yong, SUN Qiang, BIAN Guixue, LI Yan

(Qingdao Branch, Naval Aeronautics Engineering Institute, Qingdao 266041, China)

Abstract: The current status and development trend of corrosion inspection and protection, corrosion fatigue and application of corrosion preventive compounds to aircraft structures in domestic and abroad were presented. Several key techniques were discussed including the effects of corrosion preventive compounds(CPCs, mainly inhibitors) on the fatigue life and the effects of CPCs on the growth of cracks. It's development trends were predicted.

Key words: aircraft structure, corrosion fatigue, corrosion protection

腐蚀会严重影响飞机结构的完整性,并增加飞机维修或维护的费用。飞机在海洋环境中长时间服役,其金属结构必将比在常规环境中遭受更加严重的损伤^[1-2]。飞机的大梁、桁条、隔框和蒙皮大多由高强度铝合金制成。由于飞机的蒙皮接缝、紧固件孔洞和襟翼等处容易形成积水区和排水不畅区,当飞机长时间在沿海机场环境中停放或海上飞行归来,就有可能使海水溶液或盐分进入结构缝隙或凹槽中,导致搭接部位缝隙产生腐蚀。目前,缓蚀剂被广泛应用于飞机金属结构腐蚀的预防、延缓和控制,在减少飞机结构腐蚀、降低生命周期和维护成本方面起着重要作用^[3]。

本文介绍了飞机腐蚀监控与防护研究以及飞机结构腐蚀和疲劳机理研究的发展趋势,重点阐述了

缓蚀剂在飞机结构上的应用、需要解决的问题及研究发展趋势。

1 飞机结构腐蚀监控与防护研究的发展趋势

开展飞机对海洋腐蚀环境的适应性研究,为飞机的“三防”(防湿热、防盐雾和防霉菌)设计及飞机结构抗腐蚀设计提出技术要求和理论依据,是海军飞机腐蚀与控制的重要研究内容。目前的研究还不能完全适应现役海军飞机,特别是舰载飞机结构所面临的严峻腐蚀形势,这一领域的关键技术还有待进一步拓展研究^[4]。目前,已经相继研究出高性能电镀、阳极化、化学处理、缓蚀防锈、去污清洗和补充防护等一系列表面防护技术,正在向综合性能优异、可靠性高和节能环保的新一代防护技术发展,如开

用单向流固耦合方法,将再热蝶阀内部流场计算所得的结果加载到固体结构中,得到了其内部的温度和变形分布情况,揭示了其工作过程中内部的变化规律。提出了对再热蝶阀保温,使其冷起动过程预热,避免冷起动的方法,可以防止卡阀。再热蝶阀数值解析的可视化结果为后续设计与结构优化提供了一定的理论参考。

参考文献

[1] 张俊杰,石朝夕,袁军,等. 亚临界 600MW 机组汽轮机主汽阀关闭异常原因分析和消除[J]. 热力发电, 2008, 37(2):43-47.

[2] 刘性全,徐海,毕传萍,等. 应用流固耦合理论研究套损机理[J]. 西安石油大学学报:自然科学版,2007,22(2):129-132.

[3] 时兵,鲍劲松,金焯,等. 一种汽轮机再热主汽阀门机构的动力学建模与虚拟样机仿真[J]. 上海交通大学学报, 2008,42(7):1085-1089.

[4] 李诗久. 工程流体力学[M]. 北京:机械工业出版社,1980.

作者简介:张守印(1978-),男,工程师,主要从事游乐设备流体传动与控制等方面的研究。

收稿日期:2013-12-30

责任编辑 郑练