

超超临界机组脱硫搅拌器力学仿真分析

李夕强¹, 杨庆旭¹, 王环丽², 李 焱¹

(1.江苏方天电力技术有限公司,江苏 南京 211102;2.国华徐州发电有限公司,江苏 徐州 221135)

摘要: 建立仿真计算模型,对超超临界机组脱硫搅拌器进行了静力学仿真计算分析,并利用轴模拟焊接试件的试验结果,对其焊接修复后的状态进行了疲劳仿真分析,验证了搅拌器轴焊接修复工艺的适用性。

关键词: 超超临界机组;脱硫搅拌器;焊接修复;仿真分析

中图分类号: X773

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2016)05-0094-03

目前,超超临界机组脱硫脱硝技术以锅炉尾部加装脱硫脱硝装置并利用碱性溶液为吸收剂,对锅炉烟气中的 SO_2 和 NO_x 进行吸收的湿法为主^[1,2],脱硫吸收塔是湿法脱硫装置的核心设备,其搅拌器则是脱硫吸收塔的关键设备之一,多采用进口设备,一旦搅拌器设备磨损破坏,备品备件进货及更换周期长、进口单价高等因素制约脱硫装置的可靠运行。为研究相对更经济、快速、有效的技术措施修复脱硫用搅拌器的磨损腐蚀部件,选用了适当的焊材和焊接工艺,分别焊接了脱硫搅拌器轴和叶轮模拟试件,并对模拟试件进行了分析和试验。为确保焊接修复后的转子能够满足使用工况,采用有限元法建模对转子的受力状况进行了分析,以验证焊接修复工艺的适用性。

1 仿真方法与有限元模型

有限单元法作为一种有效的数值分析方法,在结构分析中得到了广泛应用。其基本思想是将结构离散为若干个单元,利用最小势能原理或 Hamilton 原理建立结构分析的基本方程,然后对基本方程按现场预设不同工况求解,最后根据研究要求分析整理成各种所需的成果^[3]。

采用 ANSYS 有限元软件将搅拌器转子分为轴、叶轮和键三部分分别进行建模,在建模过程中,将不涉及的叶轮端轴头外的部分进行了尺寸简化,再进行装配,即完成建模过程,如图 1 所示。

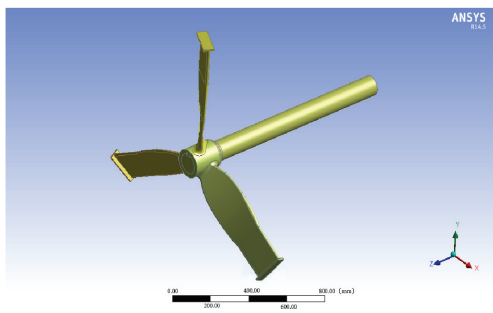


图 1 脱硫搅拌器转子模型

建模完成后,将轴的材料设定为奥氏体不锈钢 1.4529,叶轮材料设定为双相不锈钢 1.4517,键的材料设定为奥氏体不锈钢 1.4529。

2 静力学分析

2.1 边界条件和载荷设置

在静力学仿真分析过程中,边界条件设置所面临的主要问题如下。

(1) 整个结构的受力极其复杂,涉及到叶轮与周围流体的留固耦合,同时电机的输出扭矩也并非定值,且结构并非时刻处于平衡状态,因此荷载和约束的设置不能完全模拟实际的工作状态。

(2) 三部件之间的接触问题。三部件共计 14 组接触面。有限元中的接触类型共分为 5 种:

- ① Bonded 无相对位移。就像共用节点一样;
- ② No separation 法向不分离,切向可以有小位移;
- ③ Frictionless 法向可分离,但不渗透,切向自由滑动;
- ④ Rough 法向可分离,不渗透,切向不滑动;
- ⑤ Frictional 法向可分离,但不渗透,切滑动,有摩擦力。

(3) 静力分析中,叶片的应力分析与其真实的受力状况存在差别,因为其真实的受力状况除了受到轴传递来的扭矩以外还承受流场中与流体的相互作用。

根据该仿真分析部件的使用情况,考虑其最大输出扭矩的瞬时状态,轴向叶轮传递 8010 Nm 的扭矩,叶轮在此瞬时看作无角加速度,可看做瞬间平衡。所以整个结构在此时的受力状态可以等同于轴根部受 8010 Nm 扭矩,叶轮的叶片约束各方向自由度,如图 2 所示。对于接触条件,根据实际运行中各组接触面实际的受力情况,分别设置了 Bonded、No separation、Frictionless 3 种接触方式,其中 Frictionless 为非线性接触。因该仿真分析主要研究轴及叶轮圈,整个结构并非时刻处于平衡状态,因此假定叶轮匀速转动时,电机传递过来的扭矩,和流体对于叶轮转动的阻力矩相平

衡, 同样电机以最大扭矩启动和叶轮加速瞬时都处于这样的平衡。基于这种平衡设置约束和荷载, 假定叶轮所有运行状态中承受荷载最大, 自身产生应力也是最大的状态, 对整个结构进行静力学分析。

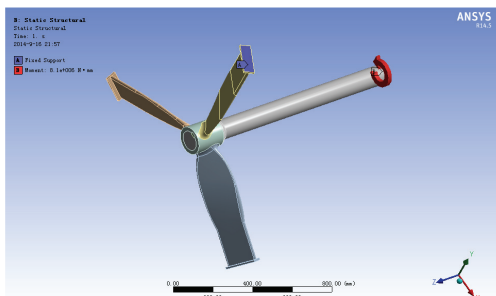


图2 转子仿真分析边界条件的设置

2.2 分析结果

轴的受力分析结果: 脱硫搅拌器轴在承受最大扭矩时的应力分布云图如图3、图4所示, 整个结构最大的折算应力位于转轴的键槽顺时针部位, 来自于电机输出的扭矩正是通过该部位传递给键进而传导到叶轮。其最大折算应力为372 MPa, 已远超过材料的屈服强度(固溶状态 $R_{p0.2} = 295$ MPa)。

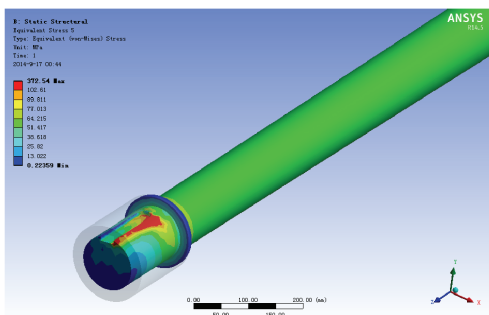


图3 脱硫搅拌器轴应力分布云图

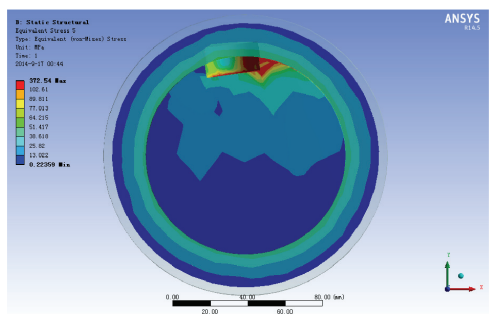


图4 脱硫搅拌器轴横断面应力分布云图

键的受力分析结果: 键在承受最大扭矩时的应力分布云图如图5所示, 键最大应力值为264 MPa, 位于逆时针上侧, 同样在顺时针下侧也存在较大折算应力, 整体来看键作为一个受力体呈顺时针的扭转状态。

叶轮圈的受力分析结果: 与轴的应力分布相反, 叶轮圈在键槽附近存在较大应力, 但最大的折算应力键槽逆时针部位的内侧表面, 最大值为220 MPa, 如图6所示。

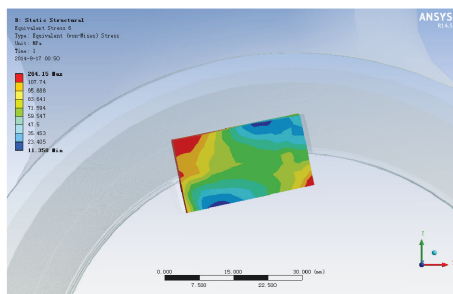


图5 键横断面应力分布云图

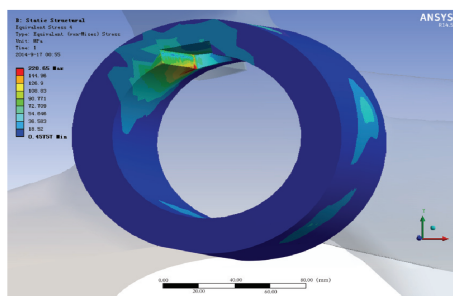


图6 叶轮圈的键槽附近应力分布云图

综合所述, 其基础应力分布状态均呈局部应力集中分布, 其余部位应力水平较低; 轴、键和叶轮圈最大应力分别为372 MPa, 264 MPa, 220 MPa, 分布位置均与实际运行后失效部件破坏部位一致, 如图7所示, 同时也是在承受交变应力情况下, 疲劳破坏的危险位置。



图7 运行后失效的脱硫搅拌器转子

3 疲劳分析

在完成静力学分析之后, ANSYS的Workbench界面中有专业的疲劳分析模块Fatigue tools对结构进行疲劳寿命数值分析, 输入金属材料的疲劳强度(S)-循环次数(N)曲线、荷载类型、定义名义应力修正理论等完成疲劳寿命计算。

3.1 疲劳累积损伤理论

大多数零件所受循环荷载的幅值都是变化的, 即大多数零件都是在变幅荷载下工作。变幅荷载下的疲劳破坏是不同频率和幅值的荷载所造成的损伤逐渐累积的结果。目前已提出的疲劳累积损伤理论不下几十种, 工程中比较广泛应用的是Palmgren-Miner法则, 当材料承受高于疲劳极限的应力时, 每一个循环都使材料产生一定的损伤, 每一个循环所造成的平均损伤为 $1/N$ 。这种损伤是可以积累的, n 次恒幅荷载所造成的损

伤等于其循环比:

$$D = n/N \quad (1)$$

变幅载荷的损伤 D 等于其循环比之和, n 个循环造成的损伤为:

$$D = \sum_{i=1}^l \frac{n_i}{N_i} \quad (2)$$

其中: l 为变幅载荷的应力水平等级; n_i 为第 i 级载荷的循环次数; N_i 为第 i 级载荷下的疲劳寿命。

转子在工作状态下近似承受等幅荷载, n 个循环造成的损伤累积到 1 则认为材料疲劳强度不足。

3.2 边界条件选取

利用模拟试件焊接接头疲劳试验获得的 $S-N$ 曲线及其结论: 对焊接接头的疲劳数据及 $S-N$ 曲线分析, 50%存活率下焊接接头的疲劳强度为 390.39 MPa, 95%存活率下焊接接头的疲劳强度为 372.89 MPa。选取较为保守的 95%存活率下焊接接头的疲劳强度进行疲劳分析, 在 workbench 中输入 $S-N$ 曲线数据, 绘制 $S-N$ 曲线。

定义荷载类型: 该计算采用典型的脉动循环载荷, 载荷按正(余)弦曲线以载荷比由 0 到 1 随时间变化。

平均应力的影响: 反映疲劳性能的 $S-N$ 曲线是在给定应力比 R 的条件下得到的。不同应力比时的疲劳极限是不同的, 将不同应力比 R 的疲劳极限画在 σ_a 和 σ_m 图上, 即为疲劳极限图。Workbench 给出 3 种经验模型, 包括 Gerber 抛物线模型、Goodman 直线模型、Soderberg 直线模型。该计算选择风险相对适中的 Goodman 直线模型来估算疲劳强度与寿命。LoadType 类型选择 Zero-Based。

3.3 疲劳分析结果

根据以上设置的材料参数、荷载谱计算脱硫搅拌器轴的疲劳寿命及安全系数。

疲劳寿命云图如图 8 所示, 按照 95%存活率下焊接接头的疲劳强度为 372.89 MPa 进行仿真疲劳计算, 转子所有部位的应力循环次数均可以达到 10^7 次以上。对于承受交变应力的零件, 一般认为经过 10^7 次循环仍不破坏即可以承受无限次循环。因此, 可以认为脱硫搅拌器轴经过局部补焊后其疲劳寿命为无限寿命, 可以满足脱硫搅拌器的使用要求。

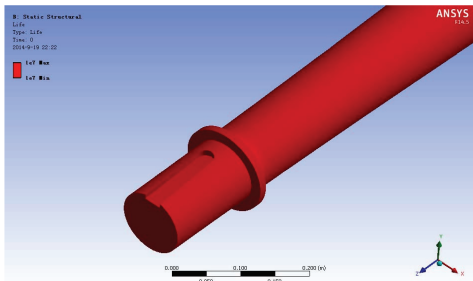


图 8 补焊后脱硫搅拌器轴疲劳寿命云图

安全系数云图如图 9 所示, 经过局部补焊的脱硫搅拌器轴安全系数最小的位置是键槽顺时针侧受压部位, 最小安全系数为 1.86, 大于 1.5 的搅拌器轴类零件许用最大安全系数值 (轴的疲劳计算许用安全系数取 1.3~1.5)^[4], 且具有一定的安全裕度。

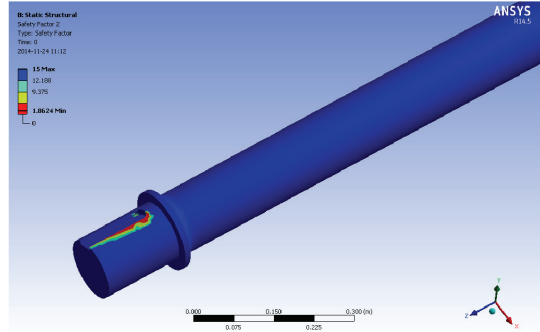


图 9 补焊后脱硫搅拌器轴安全系数云图

4 结束语

通过 ANSYS 软件对脱硫搅拌器轴、叶轮和键进行建模, 设置边界条件, 进行有限元静力学仿真分析, 分析结果轴、键、叶轮圈的折算应力最大值分别为 372 MPa, 264 MPa, 220 MPa, 基础应力分布状态均呈局部应力集中分布, 其余部位应力水平较低, 最大值发生部位与实际使用中磨损失效部位相同; 以轴模拟试件疲劳试验结果作为边界条件对轴进行了疲劳分析, 分析结果表明, 转子各个部位的疲劳寿命均达到了 10^7 次以上, 转子的安全系数最小为 1.86, 与脱硫搅拌器轴设计最大许用安全系数 1.5 相比, 仍有一定的安全裕度, 满足脱硫搅拌器轴的设计要求, 表明搅拌器轴补焊焊接工艺完全适用于现场补焊。

参考文献:

- [1] 彭祖辉. 江苏省燃煤机组脱硝装置运行现状分析[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(6): 77-80.
- [2] 祝业青, 傅高健, 顾兴俊, 等. 脱硫废水处理装置运行现状及优化建议[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(1): 72-75.
- [3] 王志刚, 杨庆旭, 李 焱, 等. 超超临界塔式锅炉水冷壁应力数值分析[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(S1): 82-85.
- [4] 东北大学《机械零件设计手册》编写组. 机械零件设计手册(下)[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994: 46.

作者简介:

李夕强(1972), 男, 山东诸城人, 高级工程师, 从事电站焊接、金属结构评估和金属材料理化分析等相关工作;
杨庆旭(1978), 男, 河南平顶山人, 高级工程师, 从事电站焊接、金属结构评估和金属材料理化分析等相关工作;
王环丽(1968), 女, 江苏徐州人, 高级工程师, 从事电站焊接及金属监督工作;
李 焱(1988), 男, 江苏泰兴人, 工程师, 从事电站金属材料力学分析等相关工作。

- [2] 闫仕军. 防止超超临界锅炉受热面超温的技术措施分析[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(3): 75-77.
- [3] 李 青. 火力发电厂节能技术及其应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007: 255.
- [4] 刘滋奇. 1000 MW 超超临界塔式锅炉运行优化调整[C]//2014 年江苏省电机工程学会锅炉专委会论文集. 南京: 江苏省

电机工程学会, 2014, 102.

作者简介:

陈国华(1976), 男, 江苏连云港人, 工程师, 从事火力发电厂设备运行管理工作。

The Method of Inside Guide Wheel Replacement Online in Coal Boiler Slag Conveyor

CHEN Guohua

(Jiangsu Xinhai Power Generation Co. Ltd., Lianyungang 222023, China)

Abstract: With the problem of inside guide wheel falling-off from west side of tail-end of the running slag conveyor in No.1 unit of Xinhai power generation company, professionals decided to reduce the load and isolate part of the boiler bottom seal to replace the inside guide wheel online. In a pinch, short-time destroying the boiler bottom seal could be performed. To ensure the safety of staffs and devices, the scheme of operation and inspection was carried out with preliminary adequate planning and preparation. With the well-controlling of operation parameters, the implementation process would be achieved, which could be serve as references for the repair scheme establishment of coal-fires boiler with similar slagging type.

Key words: coal-fires boiler; slag conveyor; boiler bottom seal; guide wheel; inspection

(上接第 89 页)

Analysis of Abnormal Action of Bus Differential Protection Caused by Line Fault

ZHANG Xuemei, LYU Zhan

(Dispatching and Control Center, State Grid Nanjing Power Supply Company, Nanjing 210019, China)

Abstract: In this paper, a special case of bus differential protection caused by 110 kV outgoing line fault in 220 kV substation is analyzed. It is found that the cause of the differential protection action is the current waveform distortion through the detailed analysis of the protection action. And according to this circumstance, the differential protection improvement measures and the method to handle such accident are put forward in the end of the paper.

Key words: bus differential protection; line fault; waveform distortion

(上接第 96 页)

Mechanical Simulation Analysis on the Desulfurization Agitator for the USC Unit

LI Xiqiang¹, YANG Qingxu¹, WANG Huanli², LI Ye¹

(1. Jiangsu Frontier Electrical Power Technology Co. Ltd., Nanjing 211102, China;

2. Guohua Xuzhou Electric Power Generating Co. Ltd., Xuzhou, 221135, China)

Abstract: According to the simulation calculation model, the desulfurization agitator of USC unit was analyzed by the static simulation. With the test results of simulation welding specimens, fatigue simulation analysis has been performed on the condition after welding repair, and the applicability of the welding process was verified.

Key words: USC unit; desulfurization agitator; welding repair; simulation

下 期 要 目

- 一种基于增量式编码器的冲击发电机转速与相位测量方案
- 智能变电站与传统变电站若干关键比较
- 基于保护配置现状的智能配电网大功率缺额孤岛自愈方案
- 特高压变电站监控系统测试技术应用分析
- 特殊工况下基于三角形计算的高精度输电线路单端测距方法