

# 某 300 MW 机组主蒸汽管道二次应力超标分析与治理

万 瑜, 李 烨, 邓广发

(江苏方天电力技术有限公司, 江苏 南京 211102)

**摘 要:** 火力发电站 300 MW 燃煤机组主蒸汽管道因水压试验临时吊架未拆除, 导致管道热位移受阻, 管道二次应力超过材料许用应力, 具有极大的安全风险。根据相关国家标准, 采用整体应力分析软件 CAESAR II 对该管道进行了静载荷分析, 调整了管系的部分支吊装置, 管系最大二次应力下降到许用应力的 53.2%, 提高了管道的安全裕度。

**关键词:** 主蒸汽管道; 静载荷分析; 支吊架; CAESAR II; 二次应力

**中图分类号:** TK223.1+1

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-0665(2016)03-0098-03

主蒸汽管道是火力发电站重要的炉外管道, 用于将锅炉燃烧生产的过热蒸汽输送至汽轮机发电。某火电厂 4 号燃煤机组装机容量 300 MW, 其主蒸汽管道设计温度 546 °C, 压力 17.6 MPa, 迄今已运行 10 000 h。为确保管道的安全运行, 对主蒸汽管道进行了应力分析和支吊架热、冷态状态检查, 并据此调整了部分支吊装置, 实现了管系应力的合理分配。

## 1 管系及支吊架检查

对主蒸汽管道进行了支吊架热、冷态检验及资料审查。该型锅炉主蒸汽管道用于连接高过出口集箱至主汽门, 管系共采用 3 种规格的管子, 高过出口集箱至炉顶大小头为  $D457 \times 45$  mm 的 10CrMo910 管, 大小头至汽机三通为  $ID387 \times 41$  mm A335P91 管, 汽机侧支管为  $ID273 \times 29$  mm 的 A335P91 管。全管段共有 12 个弯头和 26 只支吊架, 其中包括恒力吊架 9 只、弹簧吊架 10 只、导向支架 1 只、限位支架 1 只、刚性吊架 1 只、阻尼装置 4 只(如图 1 所示)。

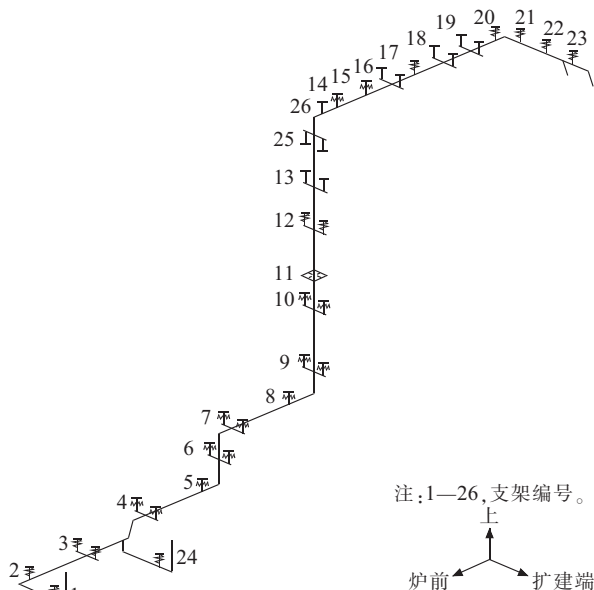


图 1 主蒸汽管系简图

对支吊架进行现场检查, 发现炉顶弯头处的 14、15 号恒力吊架及 25 号阻尼器的热位移量均远小于标定值(见表 1), 24 号弹簧吊架未安装, 检查结果如表 2 所示。

表 1 支吊架热位移值

吊架编号	热位移值 /mm	
	实际	标定
14	5	88
15	9	60
25	14	59

表 2 支吊架检查结果

编号	支吊架类型	检查结果
1、2、3、12、17、20、21、22、23、24	弹簧吊架	24 号吊架未安装
4、5、6、7、8、9、10、14、15	恒力吊架	14、15 号吊架的热位移量远小于标定值
16、18、19、25	阻尼装置	25 号阻尼器的热位移量远小于标定值
13	刚性吊架	未见异常
11	导向支架	未见异常
26	限位支架	未见异常

## 2 管系应力分析

### 2.1 应力计算理论基础

管道应力划分为一次应力和二次应力。

一次应力是内压、管子自重以及其他外部载荷作用所产生的应力, 用于平衡外力载荷。其特点是没有自限性, 当管子内的塑性区扩展达到极限, 成为几何可变的结构时, 将产生不可限制的塑性流动, 直到破坏。

二次应力是在管子热胀冷缩、位移受约束时产生的应力, 不直接与外力载荷平衡。具有自限性是二次应力的显著特征, 结构微量变形或局部屈服就能满足变形连续要求或位移约束条件。

按照文献[1]的要求, 管子在持续载荷下的应力验算和热胀应力范围应分别满足:

$$\sigma_L = \frac{pD_i^2}{D_o^2 - D_i^2} + 0.75 \frac{iM_A}{W} \leq 1.0[\sigma]^t \quad (1)$$

$$\sigma_E = \frac{iM_c}{W} \leq f[1.2[\sigma]^{20} + 0.2[\sigma]^t + ([\sigma]^t - \sigma_L)] \quad (2)$$

式中:  $p$  为管子内压;  $D_o$  为管子外径;  $D_i$  为管子内径;  $M_A$  为持续外载作用在管道横截面上的合成力矩;  $M_c$  为热胀引起的合成力矩;  $W$  为管道截面抗弯矩;  $i$  为应力增加系数;  $[\sigma]^{20}$  为材料在 20 °C 下的许用应力;  $[\sigma]^t$  为材料在设计温度下的许用应力;  $\sigma_L$  为管道在工作状态下, 由持续载荷产生的轴向应力之和。

## 2.2 应力计算

主蒸汽管系是由管道结构和支吊体系构成的一个相对独立的空间弹性系统。系统载荷主要由支吊架承担<sup>[2]</sup>。

根据实际采集的载荷数据, 采用整体应力分析软件 CAESAR II 对管道系统进行多工况计算。纯热态、冷态(EXP、SUS)2 个工况的计算结果表明, 管道的一次应力控制在合理水平, 但二次应力超过材料许用应力(见表 3)。

表 3 一次和二次应力计算结果

项目	计算值
计算压力 /MPa	17.6
计算温度 /°C	546
钢材 20 °C 时弹性模量 /GPa	213
钢材计算温度下弹性模量 /GPa	154.673
线膨胀系数 $\times 10^{-6} / [m \cdot (m \cdot ^\circ C)^{-1}]$	13.02
最大一次应力 / 许用应力 / %	56.34
最大二次应力 / 许用应力 / %	153.25

从一次应力在整个管系的分布来看, 管道最大一次应力出现在管道炉侧支管与主蒸汽门的接口处, 最大二次应力出现在 26 号支架处, 达到 408.33 MPa, 是材料许用应力的 153.25%。计算结果表明, 管道一次应力处于合理水平, 但二次应力严重超标。

## 2.3 原因分析

二次应力是管道受约束产生的, 26 号竖直方向限位支架设置在距离弯头仅 1000 mm 的直管段上, 且在距离支架仅 500 mm 位置还设置有 14 号恒力吊架(在竖直方向上的设计热位移达到 88 mm)。从设计思路考虑, 弯头是增大管道柔性, 产生热位移变形的部位, 附近的 14 号恒力吊架表明该处竖直方向具有较大的热位移, 而在两者之间设置刚性限位是极不合理的。考虑管道进行水压试验时的特殊情况, 管内充满密度远大于蒸汽的液态水, 按管内蒸汽介质设计的支吊架可能满足不了水压时的载荷要求, 在弯头等部位加装支吊架保护管道是通常的做法。综合上述分析结果和

现场调研情况, 认定 26 号吊架应为确保水压安全而设计的临时吊架。

实际状态下, 管道加装了限制竖直方向上热位移的 26 号支架, 使得该处热位移为 0, 因此管道在该处膨胀受阻产生了较大的二次应力, 最终导致该处的应力超过材料的许用应力。

虽然二次应力具有自限性、只要不反复加载就不会造成材料的破坏<sup>[3]</sup>, 但主蒸汽管道在高温、高压的环境下运行, 在负荷波动过程中还受到交变载荷的作用, 因此过高的二次应力极易造成管道的疲劳破坏, 具有很高的安全风险<sup>[4]</sup>。

## 2.4 解决方案

按照文献[5]的要求以及管控管道系统风险的实际需要, 应重新对管道进行载荷验算, 并据此通过支吊架的调整、更换实现载荷的合理分配<sup>[1]</sup>。

针对管道弹性体系, 以原设计思路为基础, 采集实际热、冷状态下的支吊架载荷数据, 着重考查管系的热位移状态。

合理的一次应力分配, 表明管道支吊架的位置及载荷设计优良, 无需大范围改动支吊架载荷, 但管道没有安装 24 号弹簧吊架, 虽然从计算上看在没有安装该吊架的情况下一二次应力变化不大, 但考虑到缺少吊架会减小管系的刚度, 而且该位置靠近主汽门, 汽机的高速转动极易在该处诱发明显的振动响应, 因此从抗振角度上讲, 应加装该吊架。二次应力超标是因为在管系较大热位移处安装了限位支吊架, 限制了管系的自由膨胀, 因此应对该限位吊架进行调整, 并确保一次应力不会大幅上升。基于管道支吊架实际受力、热位移状态及 CAESAR II 静载荷计算的结果, 拟定了施工方案, 并据此拆除了 26 号限位支架并加装了 24 号弹簧吊架。表 4 可见, 该方案在保证低水平一次应力的前提下, 实现了管道的自由膨胀, 将二次应力降低到安全范围内。

管道改造后重新投入运行, 对管系及支吊架进行

表 4 支吊架调整前后应力结果

管系	支吊架调整情况		最大一次应力 / 许用应力 / %	最大二次应力 / 许用应力 / %
	24 号弹簧吊架	26 号限位支架		
改造前	未安装	安装	56.34	153.25
改造后	安装	拆除	61.31	53.20

复查, 管系膨胀良好, 支吊架状态正常。

## 3 结束语

在管系较大热位移处, 为确保管系水压安全而加装的临时吊架限制了管道的热位移, 是主蒸汽管道二次应力超过许用应力的根本原因。在管系柔性较大的

弯头部位或设计有较大热位移的恒力支吊架的临近设置限位支吊架是极不合理的,应在支吊架的检查工作中予以重视。汽水管道二次应力超标,运用 CAESAR II 软件进行载荷及热位移计算,并据此调整支吊架实现载荷的合理分配和确保管道的自由膨胀,是解决问题的有效途径。

#### 参考文献:

- [1] 国家发展和改革委员会. DL/T 5366—2006 火力发电厂汽水管道应力计算技术规程[S].
- [2] 万 瑜,邓广发,李 烨. 基于 CAESAR II 的主蒸汽管道应力超标分析与治理[J]. 化工机械,2015,42(5):666-668.
- [3] 陈胤密,庄发成,关键强. 燃气-蒸汽联合循环机组管道应力

计算的研究[J]. 电力与电工,2009,29(3):21-24.

- [4] 邓广发,张超群,董 强,等. 发电厂给水管道的振动原因分析及消除[J]. 江苏电机工程,2004,23(3):36-37.

- [5] DL/T 616—2006 火力发电厂汽水管道与支吊架维修调整导则[S].

#### 作者简介:

万 瑜(1985),男,重庆人,工程师,从事火力发电站承压部件的失效分析、力学分析工作;

李 烨(1988),男,江苏泰州人,助理工程师,从事火力发电站承压部件的力学分析和仿真工作;

邓广发(1971),男,江苏盐城人,高级工程师,从事火力发电站承压管道支吊架研究工作。

## Excessive Secondary Stress Analysis and Treatment of Main Steam Pipe in a 300 MW Unit

WAN Yu, LI Ye, DENG Guangfa

(Jiangsu Frontier Electric Technology CO. Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** Due to the support-hangers for temporary pressure test was not removed, the thermal displacement of main steam pipes in 300 MW coal-fired unit was blocked, and the secondary stress of pipes exceed allowable stress of materials. According to the national standards, integrated stress analysis software of CAESAR II was applied to analysis the static load of pipes, then the support-hangers were redesigned appropriately. The peak secondary stress of the piping was declined to 53.2% of the allowable stress, and the safety margin of the pipe was improved.

**Key words:** main steam pipe; stress analysis; support-hangers; CAESAR II; secondary stress

(上接第 97 页)

## The Design and Application of one Anti-blocking Sampling Tube of Furnace Pressure Measuring Device

GONG Jun, DAI Yiming, WU Zhigang

(Jiangsu Guoxin Yangzhou Power Generation Co. Ltd., Yangzhou 225131, China)

**Abstract:** With the inaccurate measurement of sampling tube of negative pressure measuring device caused by plugging ash, this paper introduced the sampling tube which can continuous purge and prevent dust. Fluid mechanics basic theory was applied to describe the effect of compensation purge on the design of sampling tube. Field test data was used to determine the flow rate and pressure of the purge. In addition, attentions should be paid in the field were described. The negative pressure sampling device could prevent ash fouling, which can be used as the negative pressure measuring device of furnace in power plant.

**Key words:** automatic compensation; measuring device; static debugging; dynamic debugging

## 国家发改委、国家能源局发布能源技术创新行动计划

国家发改委、国家能源局近日下发了《能源技术创新行动计划(2016-2030 年)》,同时发布了《能源技术创新重点创新行动路线图》。

《计划》明确了我国能源技术革命的总体目标:到 2020 年,能源自主创新能力大幅提升,一批关键技术取得重大突破,能源技术装备、关键部件及材料对外依存度显著降低,我国能源产业国际竞争力明显提升,能源技术创新体系初步形成;到 2030 年,建成与国情相适应的完善的能源技术创新体系,能源自主创新能力全面提升,能源技术水平整体达到国际先进水平,支撑我国能源产业与生态环境协调可持续发展,进入世界能源技术强国行列。

《路线图》15 项重点任务包括:煤炭无害化开采技术创新,非常规油气和深层、深海油气开发技术创新,煤炭清洁高效利用技术创新,二氧化碳捕集、利用与封存技术创新,先进核能技术创新,乏燃料后处理与高放废物安全处理处置技术创新,高效太阳能利用技术创新,大型风电技术创新,氢能及燃料电池技术创新,生物质、海洋、地热能利用技术创新,高效燃气轮机技术创新,先进储能技术创新,现代电网关键技术创新,能源互联网技术创新和节能与能效提升技术创新。

(摘编自北极星电力网)