

# 石门电厂 300 MW 机组引风机振动分析

王运民<sup>1</sup>, 肖汉才<sup>1</sup>, 赵世长<sup>2</sup>, 李正富<sup>2</sup>

(1. 长沙电力学院 动力系, 湖南 长沙 410077; 2 石门电厂, 湖南 石门 415300)

**摘 要:** 对石门电厂引风机振动进行分析和试验, 找出了引风机振动过大的原因, 并有针对性地进行了相关的改进工作。改进措施实施后, 引风机的振动性大为改善, 从根本上解决了以前引风机振动过大影响电厂安全经济运行问题。

**关 键 词:** 电厂; 引风机; 振动

中图分类号: 223.26 文献标识码: A

## 1 前 言

石门电厂共有两台 300 MW 的火电机组, 每台机组的锅炉配置两台型号均为 AN25eb 的静叶可调轴流式引风机。根据锅炉运行日志统计, 在 1997 年的一年时间里, 两台机组的 4 台引风机就因振动过大而被迫停止运行检修 7 次, 合计检修时间 270 h, 除花费了大量的人力、物力外, 还减少发电量约  $350 \times 10^4$  kWh。

为解决这一问题, 长沙电力学院和石门电厂有关人员共同组成课题攻关小组, 自 1998 年以来, 多次对引风机的振动进行分析、试验, 找出了引风机振动过大的原因, 并进行了相关的改进工作。

由于两台机组的 4 台引风机结构及安装条件相同, 造成各台引风机振动过大的原因也类似, 所以本文叙述中, 仅以 2 号炉的 B 引风机为例进行说明。

## 2 引风机振动过大的原因分析

引风机振动有两个方面的原因, 一个是机械方面的原因; 另一个是气流不稳定对振动的影响。为确切地找到引风机振动原因所在, 我们分别进行了频谱分析、挡板开度试验及支承系统的差别振动测试等工作。

### 2.1 引风机振动的频谱分析及挡板开度试验

#### 2.1.1 引风机振动的频谱分析

频谱分析是查找振动原因的一种较好的方法。

根据振动理论, 气流不稳定主要包括旋转失速, 不稳定进口涡流和喘振三个方面, 其频率特征是: 旋转失速的频率是工频的 0.2~0.3 倍, 喘振的频率不高于 1 Hz, 不稳定的进口涡流是一种压力脉动, 其频率为工频的 1~3 倍; 至于机械方面引起的振动, 则以工频为主, 也可能有一定的倍频分量。

采用 PL202 实时频谱分析仪和磁电式速度传感器对引风机进行了振动频谱测试, 测点位置在引风机出口导叶处外壳水平中分面的径向和轴向。测量时, 机组的负荷为 280 MW。测试结果如图 1 所示。

由图 1 可看出, 引风机的振动主要是 16.25 Hz 的工频振动, 除此之外还有一定的 2 倍频、3 倍频等高倍频分量, 无低频分量出现, 且 3 倍频及以上的高频分量值较小。所以根据频谱分析的结果, 引风机振动有机械方面的原因和不稳定进口涡流的原因, 但可以排除旋转失速、喘振所造成的影响。至于不稳定进口涡流有多大的影响, 可结合挡板开度试验进一步确定。

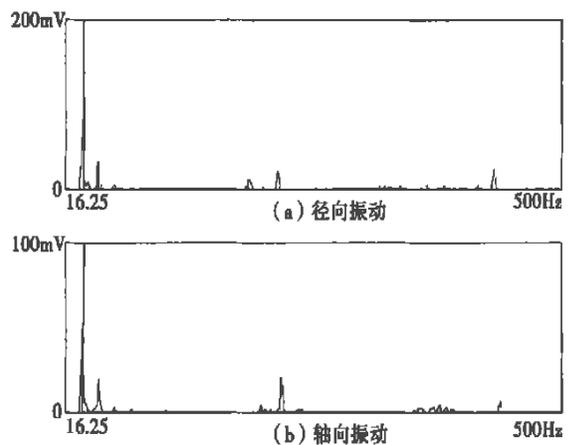


图 1 B 引风机出口导叶处外壳振动的频谱

#### 2.1.2 引风机进口导叶处的挡板开度试验

挡板开度试验时分 4 个开度进行, 开度分别为 25%、50%、75% 和 100%。试验时, 机组负荷 201 MW, 进口烟气温度 122 °C, 每个挡板开度下稳定 15 min 左

右。试验结果如表 1 所示。

表 1 B 引风机挡板开度试验结果

| 时间   | 挡板开度/ % | 径向振动/ $\mu\text{m}$ | 轴向振动/ $\mu\text{m}$ |
|------|---------|---------------------|---------------------|
| 8:30 | 50      | 145                 | 37                  |
| 8:47 | 50      | 149                 | 35                  |
| 8:55 | 75      | 146                 | 35                  |
| 9:10 | 75      | 129                 | 44                  |
| 9:14 | 100     | 118                 | 63                  |
| 9:30 | 100     | 118                 | 63                  |
| 9:34 | 25      | 120                 | 54                  |
| 9:45 | 25      | 126                 | 54                  |

由表 1 可看出, 引风机挡板开度对振动有一定的影响: 挡板开度 50% 时, 引风机径向振动较大, 轴向振动较小; 挡板开度 100% 或 25% 时, 引风机径向振动较小, 轴向振动较大。但不论挡板开度如何, 入口气流对风机振动影响并不大, 且开度减小时, 并未发现由涡流作用引起的强烈噪声及 1~3 倍频振动增大的现象, 从而也可以排除不稳定进口涡流对引风机振动的影响。所以, 影响引风机振动的因素只有机械方面的原因。

## 2.2 机械方面造成引风机振动的原因分析

### 2.2.1 转子的质量动平衡问题

由于该引风机从冷态启动至工作转速时, 径向和轴向工频振动均不大, 一般未超过  $70\mu\text{m}$ , 较好时, 工频振动还低于  $50\mu\text{m}$ 。所以该风机的转子平衡性能良好, 不存在质量不平衡的问题。

### 2.2.2 电动机转子与风机转子中心偏差较大

该引风机通过钢制弹簧片式挠性联轴器与电动机转子相连接。由于引风机的介质为烟气, 带负荷后因烟气加热, 使引风机支承标高上抬, 从而引起轴系中心偏差。这样, 在负荷增加传动力矩增大的情况下, 挠性联轴器的角偏斜增大, 从而由中心不正产生扰动力使引风机振动增大。

### 2.2.3 支承刚度较差

该引风机转子由轴承组支承后固定在芯筒端板上, 芯筒端板由出口导叶支撑, 出口导叶固定在外壳上, 风机外壳再由支架和基础支承。因此支承刚度应包括:

- (1) 轴承组和芯筒端板的连接刚度;
- (2) 出口导叶支撑芯筒的刚度;
- (3) 支架和基础支承风机的刚度。

该引风机在试运行期间, 曾因轴承组与芯筒端板的固定螺栓(共 8 个 M20×70 高强度螺栓)断裂或松动发生多次故障, 当时已进行了改进, 并积累了不少经验, 所以(1)项原因可排除。出口导叶共 36 个, 分别用螺栓固定在外壳上。由于出口导叶刚性较差, 且

受排烟温度变化的影响, 所以这方面可能存在一定的问题。至于支架和基础的支承刚度也有不足之处。该引风机的外壳沿轴向共有三道支承, 每道支承中, 风机的外壳都是经过左右两侧的钢板(支架)分别支承在两个基础(两个水泥座)上, 中间一道支承位于风机的出口导叶处, 如图 3 所示。由于钢板较薄, 水泥座较高, 且同一支承中的两水泥座中间是空档, 所以风机支承的横向刚度可能存在问题。

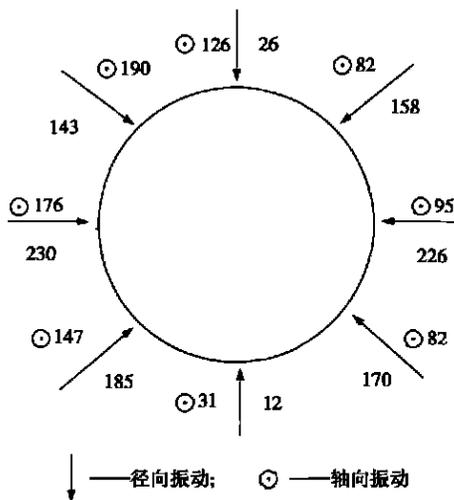


图 2 B 引风机出口导叶处外壳振动分布(顺烟气流动方向往后看)

为了核实出口导叶的支承刚度以及支架、基础的支承刚度是否存在问题, 我们对引风机进行了差别振动测量试验。测试时, 机组的负荷稳定在 240MW, 测试结果如图 2 和图 3 所示。

由图 2 可看出, 各个位置的径向振动和轴向振动差别较大, 水平中分面两侧径向振动分别为  $230\mu\text{m}$  和  $226\mu\text{m}$ , 垂直中分面两侧径向振动分别为  $26\mu\text{m}$  和  $12\mu\text{m}$ 。因此可断定该引风机支承的横向刚度较差。

由图 3 可看出, 引风机的三道支承中, 中间一道支承的水平振动(横向振动)和轴向振动最大, 其外壳中部水平振动  $247\mu\text{m}$ , 支架上部水平振动  $123\mu\text{m}$ , 支架下部水平振动  $83\mu\text{m}$ , 水泥座上上部水平振动  $77\mu\text{m}$ , 中部水平振动  $48\mu\text{m}$ , 下部水平振动  $22\mu\text{m}$ 。外壳中部水平振动与水泥座上上部水平振动的比值为  $247/77 \approx 3.1$ , 说明振动衰减不大, 抗振性能较差。

## 3 引风机振动过大的改进措施

针对以上造成引风机振动过大的原因, 我们采取了以下具体措施。

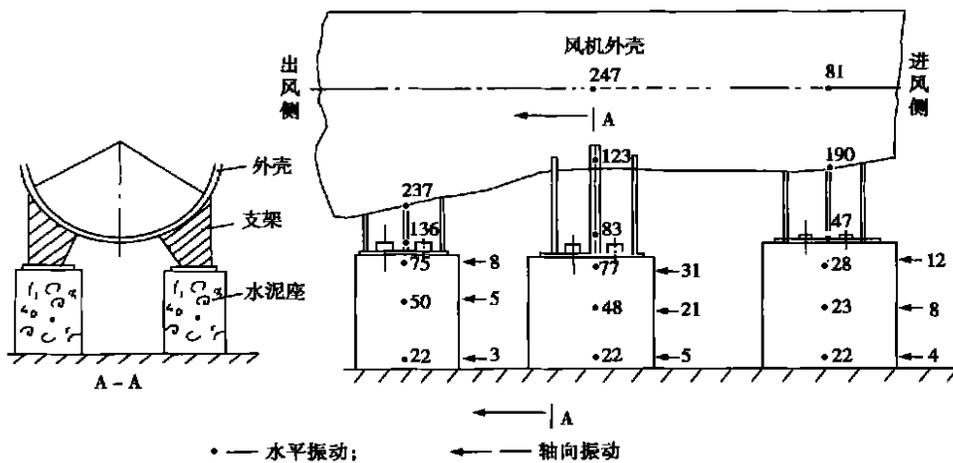


图3 B引风机支架和基础的振动情况

(1) 对引风机的轴系重新进行找正。轴系找正时,考虑了热态烟气温度的影响,采用电动机转子比风机转子高0.1~0.2mm(制造厂原建议电动机转子上抬1mm,偏大),对轮为上张口0.05~0.07mm。

(2) 引风机出口导叶处沿圆周方向每隔90°采用Φ30圆钢支撑加固,共4根圆钢,以增加芯筒的刚性,防止风机运行时芯筒位置发生变化。

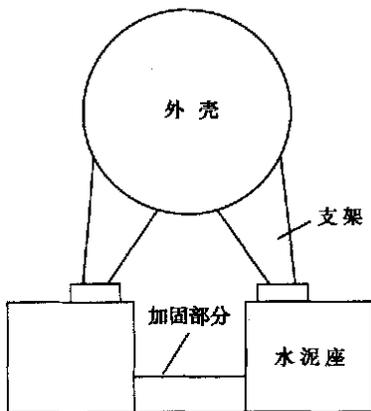


图4 B引风机水泥座加固示意图(顺烟气流动方向往后看)

(3) 为加强支承的横向刚度,将引风机出口导叶处及出口风道处的水泥座进行加固处理。具体做法是,将每道支承中原来两个独立的水泥座连成一体,中间填满水泥(包括地下部分),如图4所示。考虑到引风机的检修空间,加固部分的高度仅离地面700mm。

### 4 改进后引风机的振动性能

在进行上述改进措施后,我们重新对引风机振动进行了测试。测试时机组负荷同样为240MW,测试结果如图5和表2所示。

(1) 将图2和图5进行比较可看出,改进后引

风机各点的径向振动和轴向振动较改进前明显降低。例如,水平中分面两侧:改进前,径向振动分别为230μm和226μm,轴向振动分别为176μm和95μm;改进后,径向振动则变为100μm,轴向振动则变为12μm和4μm。

(2) 改进后,引风机支承系统的刚度明显提高,这主要体现在以下几点:

a. 引风机出口导叶处外壳水平中分面和垂

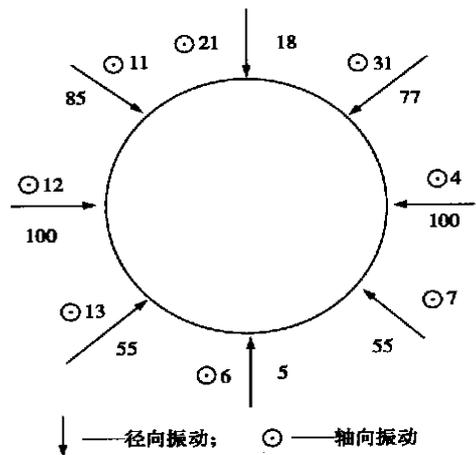


图5 改进后B引风机出口导叶处外壳振动分布(顺烟气流动方向往后看)

直中分面的径向振动差值缩小。如图2和图5所示,改进前,水平中分面左侧径向振动为垂直中分面上侧径向振动的8.9倍,改进后则变为5.6倍。

b. 支承系统中各对应点的振动值较改进前明显降低,如表2所示。

c. 出口导叶外壳中部水平振动与基础上部的水平振动比值为100:20=5:1,而改进前,其比值为247:77≈3:1。可见振动的衰减程度大大增加。

表2 B引风机改进前后水平振动比较 (μm)

| 时间顺序 | 出口导叶处 | 支架  |    | 基础(水泥座) |    |    |
|------|-------|-----|----|---------|----|----|
|      | 外壳中部  | 上部  | 下部 | 上部      | 中部 | 下部 |
| 改进前  | 247   | 123 | 83 | 77      | 48 | 22 |
| 改进后  | 100   | 45  | 34 | 20      | 15 | 5  |

# 透平导叶应用不同周向弯曲母线改进设计的研究

方传慧, 戴 韧, 陈康民

(上海理工大学 动力工程学院, 上海 200093)

**摘 要:** 应用数值计算的方法, 比较研究了某型导叶叶片不同周向弯曲对叶栅流动性能的影响, 结果包括总压损失系数、出口气流静压、马赫数沿叶高分布。计算基于时均 N-S 方程, 湍流模型为 Baldwin-Lomax 模型。结果表明, 该导叶简单的斜置叶片可以提高叶根局部的流动性能, 叶顶流动性能差, 对整个叶栅的流动性能的提高却十分有限, J 型弯曲可以兼顾叶根和叶顶流动而且弯曲母线易于计算优化。C 型弯曲叶顶流动性能较好, 但弯曲母线选择优化困难。

**关 键 词:** 弯曲叶片; 生成母线; 总压损失; 叶栅流动

中图分类号: TK263.3 文献标识码: A

## 1 引 言

叶片弯扭联合成型是汽轮机通流部分现代化改造的重要技术措施之一。叶片周向弯曲实质上是给叶轮机械的气动设计增加了一个设计自由度。王仲奇教授<sup>[1~2]</sup>提出叶片周向弯曲降低流动损失的机理在于: 叶片周向弯曲沿径向产生可变大小和方向的叶片力, 控制了沿叶高方向的静压梯度, 从而抑制径向二次流, 减弱端部的横向二次流, 加大中部负荷使叶栅的总损失下降。弯扭叶片的设计方法先后用于汽轮机叶片、燃气涡轮的技术改造, 均取得了显著成效。弯曲叶片设计的技术关键是侧型面的生成线, 冯国泰等<sup>[3]</sup>提出了弯扭叶片的综合优化流型的成型方法。研究结果表明, 对于一定叶型、径高比以及子

午型面的叶栅, 存在一个最佳弯曲角度。

本文应用弯曲叶片的设计思想, 对某型工业汽轮机的次末级导叶进行改造设计, 研究不同周向弯曲对降低流动损失的作用, 从而得出该级导叶的最佳弯曲生成线。研究基于流动的数值模拟, 通过计算得出总压损失系数沿叶高的分布以及叶栅出口截面的平均损失系数, 比较弯曲方案的优劣。

## 2 周向弯曲母线的改型设计

原导叶设计采用径向等截面直叶片, 叶片展弦比 3.679, 安装角  $57^\circ$ , 叶顶子午扩张角  $26^\circ$ , 本研究在直叶片的基础上分别改型为正倾斜、J 型和 C 型。

## 3 数值计算方法

应用数值计算的方法, 比较流动的总压损失, 叶栅出口气流角以及静压沿叶高的分布, 网格生成与计算工作在 IGG/FINE<sup>[5]</sup> 软件中完成。

### 3.1 计算格式

采用了 Navier-Stokes 方程的 Jamson 格式, 以时间推进求解定常叶栅流动, Jamson 格式是采用中心差分的有限体积法离散, 并加上二阶和四阶人工粘

收稿日期: 2002-06-18; 修订日期: 2002-10-08

作者简介: 方传慧(1978-), 女, 安徽淮南人, 上海理工大学硕士研究生。

## 5 结束语

经过对石门电厂 4 台引风机的改进, 振动得到了明显地减小。现在引风机运行时, 径向振动和轴向振动均在合格的范围内。

2001 年下半年, 石门电厂两台 300 MW 机组经

历了长达 153 天的高负荷连续运行, 没有因为引风机的振动问题而影响机组的运行安全或引起机组出力降低。

## 参考文献:

[1] 李庆宜. 通风机[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.

(何静芳 编辑)

Industry Co., Tangshan, Hebei Province, China, Post Code: 063502) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3). — 272 ~ 275

After the injection of a gaseous mixture of steam and gas into a turbine a change in turbocharger operating condition will take place. In this connection the authors have performed a thermodynamic analysis of the turbocharger after steam injection. It is concluded that the increase in steam-gas ratio will lead to an increase in turbocharger speed, compressor airflow rate and pressure ratio. The impact of injected steam temperature on compressor pressure ratio is relatively small. During part-load operating conditions the injection of steam will result in an increase in turbine corrected flow rate and expansion ratio. During high-load operating conditions the range of increase in expansion ratio and corrected flow rate diminishes. Different steam-gas ratios have a relatively small influence on turbine efficiency characteristics. **Key words:** turbocharger, steam injection, steam-gas ratio

电站煤粉锅炉飞灰浓度模型 = **Fly-ash Concentration Model for a Utility Pulverized Coal-fired Boiler** [刊, 汉] / XUAN Yi-min, FENG Chang-qing, LI Qiang (Power Engineering Institute under the Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, China, Post Code: 210094) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3). — 276 ~ 279

On the basis of the basic theory of boiler thermal balance and combustion theory set up is an online monitored parameters-based fly-ash concentration calculation model. The model has a definite practical engineering value for the online measurement of fly-ash carbon content. **Key words:** pulverized coal-fired boiler, fly-ash carbon content, fly-ash concentration, thermal efficiency

基于小波变换的离心风机弱失速特征分析 = **Analysis of Weak Rotating-stall Characteristics of a Centrifugal Fan Based on Wavelet Transformation** [刊, 汉] / HOU Jun-hu, WANG Song-ling, WANG Qiang, et al (Power Engineering Department, North China Electric Power University, Baoding, Hebei Province, China, Post Code: 071003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3). — 280 ~ 284

A rotating-stall test was conducted of a lab 4-73 No. 8d fan with harmonic wavelet transformation being introduced into the study of rotating stall. Through a time-frequency analysis of fan-casing pressure signals during a weak rotating-stall stage determined were the rotating-stall energy intermittency, frequency characteristics and sensibility of regulation function at that stage. This indicates that the weak rotating-stall stage of the centrifugal fan is a major region worthy of close attention on the part of operational and maintenance personnel. In addition, the foregoing also has laid a firm basis for the further in-depth research of centrifugal fan rotating-stall. **Key words:** harmonic wavelet, centrifugal fan, rotating stall, weak rotating stall, analysis of characteristics

石门电厂 300 MW 机组引风机振动分析 = **An Investigation on Induced-draft Fan Vibrations in a 300MW Unit of Shimen Power Plant** [刊, 汉] / WANG Yun-min, XIAO Han-cai (Changsha Electric Power Institute, Changsha, Hunan Province, China, Post Code: 410077), ZHAO Shi-chang, et al (Hunan Shimen Power Plant, Shimen, Hunan Province, China, Post Code: 415300) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18 (3). — 285 ~ 288

The vibrations of an induced-draft fan installed at Shimen Power Plant are analyzed and tested. The cause of the excessive vibrations has been identified and proper measures were taken to alleviate them. The results of operation thereafter indicate that the vibration performance of the induced-draft fan has significantly improved, fundamentally resolving the problem of safe and economical operation of the power plant caused by the excessive vibrations of the fan. **Key words:** power plant, induced-draft fan, vibration