

N300 MW 机组振动爬升与低频振动的原因及其对策

李录平¹, 张国忠², 胡幼平³, 黄丕维², 周可¹, 甘伏泉³

(1. 长沙电力学院 动力工程系, 湖南 长沙 410077; 2. 湖南省电力试验研究所, 湖南 长沙 410070;

3. 湘潭发电责任有限公司, 湖南 湘潭 411100)

摘要: 根据大量的现场试验结果, 论述了某国产 300 MW 汽轮发电机组振动爬升与低频振动的特征及其原因, 提出了消除机组振动爬升与低频振动的技术措施。实施这些技术措施后的现场试验结果表明, 本文提出的消除该类机组振动爬升与低频振动的技术措施是非常有效的。

关键词: 汽轮发电机组; 振动; 故障诊断

中图分类号: TK268. ⁺¹ 文献标识码: A

1 机组振动的历史状况

某国产 N300 MW 汽轮发电机组由高中压转子、低压转子、发电机转子和励磁机转子组成, 见图 1。整个轴系由 8 个支持轴承支承, 汽轮机的四个支持轴承均为带球面瓦套的椭圆轴承。其中, 1 号和 2 号轴承为双侧进油; 3 号和 4 号轴承通用, 单侧进油, 另一侧开有排油孔。各转子间采用刚性联轴器联结。另外还有一个独立结构的推力轴承, 为活支可倾瓦块型。



图 1 机组轴系结构示意图

该机组自 1998 年 2 月投运以来, 存在的振动问题较多。根据对多次测量结果的分析, 发现该机组的振动存在如下三个方面的突出问题。

1.1 振动的爬升问题

机组振动随着机组的状态发生变化。当机组经历了从抽真空、冲转、并网、带负荷至满负荷这样一个过程时, 机组的振动幅值逐步增加。有时, 机组并网后, 振动并不大。但是, 随着机组负荷的增加, 振动逐步爬升, 振幅最大可爬升到 130 ~ 140 μm 。

1.2 低频振动问题

1 号和 2 号轴振 25 Hz 左右的低频分量, 且很不稳定, 曾因振动突发性增大而使保护动作跳机。

1.3 动静碰磨问题

低压转子轴颈预载荷大, 在运行中有碰磨现象。

本文对该机组的振动爬升和低频振动问题进行研究。为了找到该机组振动爬升和低频振动问题的原因及其影响因素, 课题组开展了下列现场试验: 机组的升速特性试验; 带负荷试验; 轴心运动轨迹的测定和轴中心平均位置的测定; 振动与低压汽缸温度之间的关系试验; 负荷快速变化试验; 轴承动态标高测量试验。

2 振动爬升问题的试验研究与分析

从现场试验结果可以看出, 机组振动的爬升过程有如下特点。

(1) 冷态开机时, 在 2 000 r/min 转速下暖机过程中, 2 号轴振的振幅可增大 30 ~ 40 μm , 相位变化 50 ~ 60。图 2 是冷态开机 2 000 r/min 暖机过程中, 2 号轴振(幅值和相位)的变化曲线。

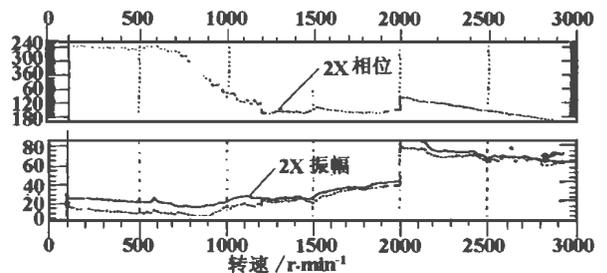


图 2 2 000 r/min 暖机时 2 号轴振变化情况

(2) 冷态开机升速到工作转速时, 1 号、2 号、3 号和 4 号轴振并不大, 均在允许范围内。

(3) 并网带负荷后, 振动继续增加, 一般可增大 60 ~ 70 μm 。

(4) 带负荷后振动增加主要是在低负荷阶段, 当负荷超过 200 MW 时, 变化很小, 在高负荷下运行一段时间后, 振动略有降低。图 3 是机组带负荷过程中振动(值幅和相位)的变化曲线。

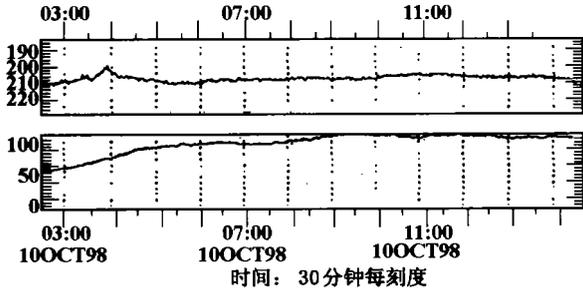


图 3 负荷从 0 增加到 200 MW 时 2 号轴振变化情况

(5) 振动的爬升规律与高中压缸的缸温有一定的对应关系。特别是 2X 振动变化规律与高中压缸金属温度的变化规律有良好的对应关系。

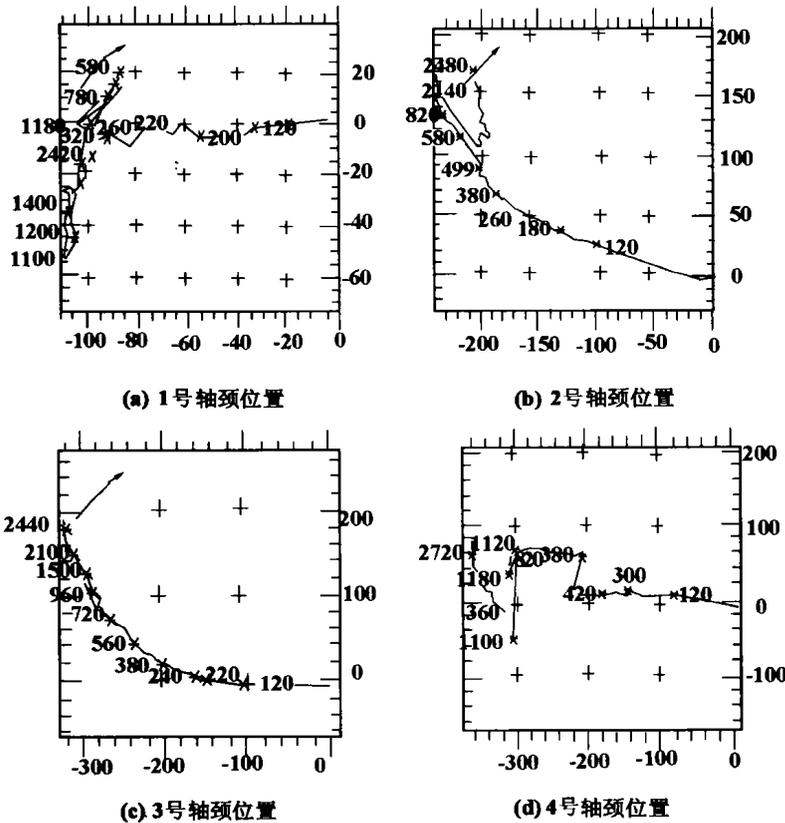


图 4 升速过程中轴颈中心的位置变化

生突然变化。这说明转子上的力矩大小与振动之间并没有明显的关系。

(7) 机组在经历抽真空—冲转—并网—带负荷—满负荷过程时, 高中压转子和低压转子的质量不平衡分布发生了较大的变化。

根据机组振动的特征, 可以发现, 振动爬升纯粹与机组的热状态有关, 即与转子的温度有关。产生上述规律的振动爬升, 主要原因可能有: (1)冷态时, 转子上有过大的内应力。机组在经历抽真空—冲转—并网—带负荷—满负荷过程时, 转子的温度逐渐升高, 转子内部的应力分布也逐步发生变化, 从而改变了转子的不平衡质量的分布, 使得振动爬升。(2) 转轴材质不均匀。转轴在浇铸、锻造和热处理过程中形成的直径方向纤维组织不均, 造成线膨胀系数存在差别。当转子温度升高后, 线胀系数大的一侧膨胀量大于线胀系数小的一侧, 使转子形成弯曲。当转子冷却后, 弯曲又消失。由于这种弯曲值正比于转子温升, 因此, 在经历抽真空—冲转—并网—带负荷—满负荷过程时, 转子的温度逐渐升高(特别是在低负荷阶段, 转子的温度升高较快), 转子的弯曲值逐渐增大, 振动爬升。

3 低频振动问题的试验研究与分析

机组的低频振动主要存在于汽轮机的高压转子和低压转子的轴振(1号、2号、3号、4号、X和Y方向轴振)。其中以1号轴振的低频分量最为突出。这种低频振动是一种不稳定的振动, 时时刻刻都在发生跳跃式变化, 包括振动的幅值和相位。甚至低频振动的频率范围也在发生变化, 有时出现准确的 0.5 倍频振动; 有时同时出现 24.25 Hz 和 25.75 Hz 的振动, 这两种频率的低频振动的幅值基本相等。

现场试验表明:

(1) 低频振动与机组的负荷大小及负荷的变化过程没有明显的关系。这说明, 这种低频振动与汽轮机内的蒸汽流动状态没有明显的关系。

(2) 低频振动与轴颈在轴承中位置有一定的对应关系。图 4 为在一次启动

(6) 机组负荷突然变化后, 机组的振动并不发

升速过程中测得的轴颈位置的变化情况。1 号轴颈位置在启动升速过程中变化不规则, 上抬量很小, 与低速相比, 上抬量最大仅 0.02 mm, 而 2 号轴颈上抬量为 0.16 mm, 3 号轴颈的上抬量为 0.20 mm, 4 号轴颈的上抬量为 0.08 mm。由此可见, 1 号轴颈处油膜的动压力太小, 从测得的低频分量看, 以 1 号、4 号轴振最大, 3 号最小。

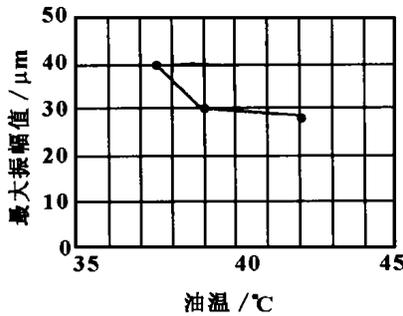


图 5 1X 低频振动的最大幅值与轴承润滑油温度的关系

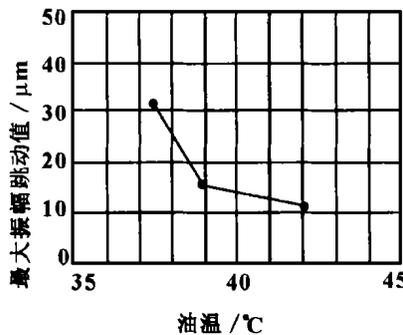


图 6 1X 低频振动的跳动值与轴承润滑油温度的关系

润滑油温的变化关系见图 5 和图 6。

(4) 这种低频振动与汽轮机阀门的控制方式没有明显的关系。

(5) 在升速过程中, 当转速达到 2 840 r/min (实为 2 700 r/min) 时, 产生了频率为 23.5 Hz 的低频 (0.5 倍频) 振动。随着转速的升高, 该低频振动不消失。

(6) 机组振动有爬升现象。随着机组振动的爬升, 低频振动也爬升。

由低频振动的特征可以看出, 这种低频振动是由轴瓦的自激振动引起的。引起轴瓦自激振动的原因可能是如下几个方面原因之一, 或几个原因的综合作用:

(1) 1 号和 2 号轴承的载荷太轻。从轴中心平均位置图上可以发现, 轴颈在 1 号和 2 号轴承内的

位置浮得太高。特别是, 在机组经历抽真空一冲转一并网一带负荷过程时, 3 号和 4 号轴承的标高下降, 2 号轴承的标高略有上升, 从而使得 1 号轴承的载荷更加减小。

(2) 轴承的顶隙过大。在轴瓦稳定性计算中, 不论是圆筒瓦、椭圆瓦还是三油楔瓦, 随着轴瓦半径间隙的增大, 稳定性增高。但是, 轴瓦半径间隙的增大, 势必会增大顶隙, 而顶隙过大, 会显著减小上瓦的油膜力, 即降低了轴瓦的预载荷, 使轴瓦偏心降低, 稳定性下降。

(3) 轴瓦的型式不合理。1 号和 2 号轴承为双侧进油的椭圆瓦。这种轴瓦比圆筒瓦的稳定性好。但由于 1 号和 2 号轴承的动态载荷小, 故容易失去稳定。

(4) 机组在热态时, 由于振动的爬升, 从而在轴颈处产生过大的扰动, 使得轴承的稳定性更加降低。

4 振动处理措施

根据机组的具体实际情况, 降低机组振动的技术措施主要包括如下几个方面。

4.1 减小轴颈处的扰动力

4.1.1 对高中压转子和 2 号对轮进行动平衡

在对高中压转子进行返厂动平衡后, 1 号轴振有较大的降低, 工频振动由 110 μm 降至 40 μm 以下, 而 2 号轴振与平衡前相比有所增加, 工频振动由 80 μm 增加到 110 μm 。因此, 在现场利用对轮进行了动平衡, 在对轮平衡槽内加重 345 克, 使 2 号轴振由 110 μm 降至 90 μm , 而 1 号轴振变化不大。

4.1.2 调整对轮螺栓的紧力

在对轮加重平衡过程中, 发现按动平衡计算加重不能达到预定的效果, 在高转速下振动有突变。分析认为, 对轮连接刚度不够。对轮螺栓的紧力是用螺栓的伸长量表示的, 制造厂规定为 0.16 ~ 0.20 mm。经核算并参照同容量机组, 认为对轮螺栓的连接紧力不足, 决定将螺栓紧力增加到 0.32 ~ 0.35 mm。螺栓紧力增加后, 使轴振较稳定, 并在带负荷后使 2 号轴振降低。在 300 MW 时, 2 号轴振工频振动由 133 μm 降至 112 μm , 降到了报警值以下。

4.1.3 更换主油泵的主轴

主油泵短轴是一根挠性轴, 它通过一齿式对轮与主轴相连。由于短轴挠性大, 在高速旋转时会产生变形, 从而对高中压转子产生一个扰动力。故在

机组第一次大修时,将短轴由挠性轴更换为刚性轴。

4.1.4 调整高中压缸注窝中心

从理论上可知,当因制造、安装、运行等原因使得高压转子与高压汽缸之间的径向间隙沿周向不均匀时,高压转子就会受到一个垂直于位移方向的扰动力,激发转子的低频振动。因此,建议在机组大修时,对高中压缸汽封注窝中心进行测量,测量结果表明,前汽封处两侧间隙相差 0.48 mm,偏差较大。在大修中根据测量结果进行了调整,从而能降低由汽流产生的扰动力。

4.2 更换 1 号和 2 号轴承

为了提高 1 号和 2 号轴承的稳定性,提高其抗干扰能力,并能有效地减小低频振动,在第一次大修时将 1 号和 2 号轴承由椭圆瓦更换为 5 块瓦的可倾瓦。

4.3 调整 2 号轴承静态下的标高及轴颈与轴瓦之间的径向间隙

在现场试验中发现,在机组抽真空及带负荷过程中,3 号和 4 号轴承的标高是下降的,而 2 号轴承的标高是略有上升的。这种变化趋势,势必会降低 1 号轴承的动态载荷,使 1 号轴承的稳定性更加降

低。因此,在大修时,将 2 号轴承的标高降低约 25~30 μm 。

5 采取振动处理措施后机组的振动状况

在采取上述振动处理措施后,经过一段时间的运行考验,机组振动情况一直比较平稳。振动测试结果表明,在机组启动带负荷过程中,各轴承处的轴振动均在 85 μm 以下,特别是高中压转子两端轴振均达到了“优”的标准,各轴承振动也均在 25 μm 以下,符合新机组投产后振动质量标准。并且,机组振动的低频分量也大幅度减小,不会影响机组的安全运行。

参考文献:

- [1] 黄文虎,夏松波,刘瑞岩等.设备故障诊断原理、技术及应用[M].北京:科学出版社,1996.
- [2] 顾晔.汽轮发电机组的振动与平衡[M].北京:中国电力出版社,1998.
- [3] 施维新.汽轮发电机组振动[M].北京:水利电力出版社,1991.
- [4] 宋斌,许怀志.东方 300 MW 机组异常振动故障的处理[J].振动、测试与诊断,1998,18(3):179-183.

(何静芳 编辑)

(接 48 页)

4 结论

(1) 在燃烧器区域以上的上部炉膛空间,炉内气流旋转动量流率矩沿炉膛高度方向是逐渐衰减的,并且其衰减变化又可以明显地分为两个区域:在上部炉膛高度的前半段(至炉膛高度的 53%),其旋转动量流率矩衰减较快,衰减了 70%;在上部炉膛高度的后半段,其旋转动量流率矩衰减得较为缓慢。

(2) 在炉膛出口气流仍存在一定的旋转强度,这是引起水平烟道内烟气流速度偏差的根本原因。

(3) 从减小炉膛出口残余旋转和水平烟道烟气流速度偏差的角度考虑,建议实际炉膛高度取为原设计高度 H 的 1.05~1.10 倍。

参考文献:

- [1] 杨君义.四角切圆燃烧方式锅炉水平烟道中的烟气流速度偏差[A].

锅炉燃烧技术学术会议论文集[C].哈尔滨:中国动力工程学会锅炉专业委员会,1996:65-68.

- [2] XU Tong-mo, HUI Shi-en, GUO Hong-sheng, *et al.* The developing tendency and countermeasure of the combustion in furnace of large pulverized-coal boilers[C]. The Proceeding of ICOPE, Shanghai China, 1995:305-308.
- [3] 徐通模,惠世恩,周月桂等.300 MW、600 MW 引进型切向燃烧锅炉烟气偏差的实验研究与数值模拟[R].西安:西安交通大学,1998.
- [4] 贾鸿祥,许晋源.切圆燃烧煤粉炉燃尽区速度场的研究[J].动力工程,1985,(2):21-27.
- [5] 阎维平.炉膛高度的选取对高温过热器工况影响的研究[J].锅炉技术,1999,(5):1-3.
- [6] 周月桂,窦文宇,周屈兰等.四角切向燃烧锅炉折焰角结构对水平烟道烟速偏差影响的试验研究[J].动力工程,1999,19(3):7-10.

(孙显辉 编辑)

(Energy Source College under the Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2001, 16(1). —33~38

Spectral data of water vapor molecules have been widely used in the fields of aerospace science, atmospheric science, astrophysics, thermal energy and power engineering. On the basis of the newest high-resolution high-temperature gas spectral data base HITEMP and by way of a rational extrapolation obtained were the water vapor spectral band-model parameters in the 300 - 3000 K temperature range. The latter include an average absorption factor, spectral line density, spectral line half-width. As a result, set up was a more up-to-date and detailed model parameter table than that promulgated by NASA in 1973. With the model parameter table serving as a basis the authors have through the use of a statistical spectral band model calculated emission spectra under various optical paths, which have been found to be in very good agreement with experimental values. **Key words:** infrared radiation, water vapor, spectral band model parameter

N300 MW 机组振动爬升与低频振动的原因及其对策 = An Analysis of the Causes of Climbing Vibrations and Low-frequency Ones in a N300 MW Unit and Some Measures Taken for Their Elimination [刊, 汉] / Li Lu-ping, Zhou Ke (Changsha University of Electric Power Engineering, Changsha, China, Post Code: 410077), Zhang Guo-zhong, Huang Pi-wei (Hunan Provincial Electric Power Research Institute, Changsha, China, Post Code: 410070), Hu You-ping, Gan Fu-quan (Xiangtan Electric Power Co. Ltd., Xiangtan, Hunan, China, Post Code: 411100) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2001, 16(1). —39~42

On the basis of numerous test data obtained on-site the authors expounds the characteristic features of climbing and low-frequency vibrations in a Chinese-made 300 MW turbogenerator set and the causes of their emergence. Some technical measures have been recommended for their elimination. The on-site test results obtained after the implementation of these technical measures indicate that the measures adopted have been very effective in eliminating the above-mentioned vibrations. **Key words:** turbogenerator set, vibration, fault diagnosis

运行参数对粉煤流化床(PC-FB)燃烧效率的影响 = The Effect of Operation Parameters on the Combustion Efficiency of a Pulverized-coal Fluidized Bed [刊, 汉] / Chen Hong-wei (North China National Electric Power University, Baoding, Hebei, China, Post Code: 071003), Jin Bao-sheng, Xu Yi-qian (Southeastern University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2001, 16(1). —42~45

With the help of a pulverized-coal fluidized bed (PC-FB) test rig with 0.3 MW heat input test data were obtained of the PC-FB combustion efficiency under various operation parameters. A detailed discussion and study was conducted focusing on the mechanism of influence of these operation parameters on PC-FB combustion efficiency. The study results indicate that the combustion efficiency of the PC-FB can be as high as 98% - 99%, comparable with that of a pulverized-coal furnace. The authors also pointed out for the first time in the present study that under a certain set of conditions it is possible to realize a low-temperature high-efficiency combustion of the pulverized-coal. These conditions include, among others a rational matching of the following items: combustion temperature, particle residence time, flame turbulence and in-furnace oxygen concentration and particle concentration. **Key words:** fluidized bed, pulverized coal, combustion efficiency, operating parameters

四角切向燃烧锅炉炉内气流流动特性及炉膛高度的选取 = In-furnace Flue-gas Flow Characteristics and Selection of Furnace Height for a Tangentially Fired Boiler [刊, 汉] / Zhou Yue-gui, Zhang Ming-chuan (Energy Source Department, Shanghai Jiaotong University, Shanghai, China, Post Code: 200030, Ai Wei-guo, Xu Tong-mo, Hui Shien (Energy Source Department, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. —2001, 16(1). —46~48, 42

With a model HG-2008/18.2-YM2 tangentially fired boiler serving as a prototype a cold-state modeling test was conducted with a view to studying the gas flow characteristics in the boiler furnace and the effect of furnace height on the gas ve-