

# 330 MW 汽轮发电机组振动故障分析与处理

赵闫涛 訾娟

(内蒙古国华准格尔发电有限责任公司, 内蒙古 准格尔, 010300)

**摘要:** 内蒙古国华准格尔发电有限责任公司 330 MW 汽轮发电机组大修后一直存在发电机前瓦轴振动值大的问题。从激振力及基础支撑刚度等方面, 对可能引发机组振动故障的原因进行了逐一排查。分析认为发电机地脚载荷分配不均、支撑刚度降低是引发机组振动故障的根本原因。通过检修处理, 重新对发电机定子基础垫片进行调整后, 彻底解决了机组的振动问题。

**关键词:** 330 MW 汽轮发电机组; 振动; 伯德曲线; 动刚度; 地脚螺栓

## Vibration Analysis and Treatment on 330 MW Turbogenerator Unit

Zhaoyantao, zijuan

(Inner Mongolia GuoHuaZhungeer Power generation co.,ltd, inner, 010300)

**Abstract:** Abstract: One 330 MW turbogenerator unit present vibration value high after overhauling in Inner Mongolia Guohua Zhungeer Power Generation Co., Ltd. From the aspects of exciting force of vibration and foundation support dynamic stiffness, checked the reasons one by one which might cause vibration. Believed that the anchor load distribution uneven and the generator support dynamic stiffness reduction was the root cause of the vibration problem. Through repairing, re-adjustment of generator stator base gasket, completely solved the vibration problem.

**Keywords:** 330 MW turbogenerator unit; vibration; BODE curve; dynamic stiffness; anchor bolt

### 0 引言

汽轮发电机组属于高速转动的机械设备, 振动异常会严重影响机组的安全稳定运行。机组发生振动故障的原因较复杂, 需要根据设备运行状态、安装检修工艺、工质参数状况及振动测试数据等进行综合判断。内蒙古国华准格尔发电有限责任公司(以下简称为国华准电)1号机组大修后发生了7号瓦(发电机前瓦)振动大故障, 通过对振动现象进行分析研究, 从提高支撑系统的抗干扰能力及减小激振力2方面着手, 利用检修机会及时排除了隐患。

### 1 振动情况简介

国华准电1号汽轮机组为北京汽轮机有限责任公司引进法国ALSTHOM公司技术生产的亚临界、一次中间再热、冲动、凝汽式330 MW机组, 汽轮机型号N330-17.75/540/540。汽轮发电机组轴系由高压转子、中压转子、低压转子、发电机和励磁机转子组成, 励磁机转子悬挂于发电机转子8号轴承后端部。从机头看, 机组呈逆时针方向旋转。轴系共有8个径向椭圆形支持轴承, 推力轴承为米切尔轴承。各径向轴承上分别布置2个互相垂直的电涡流传感器振动测点(位于缸体水平中分面上部45°位置), x向靠近除氧器侧, y向靠近锅炉侧。机组7号瓦、8号瓦轴振动值动逻辑保护设定值: 报警值110 $\mu\text{m}$ , 自动跳闸值180 $\mu\text{m}$ <sup>[1]</sup>。

### 2 故障情况与原因分析

#### 2.1 故障情况

国华准电1号机组大修后启动过程中, 7号瓦x向振动出现异常, 振动值呈逐渐增大趋势, 期间出现过2次异常突变的情况, 历次振动监测数据见表1。从表1可以看出, 2012-04-03—09-14, 6y的最大变

化量达 48.35  $\mu\text{m}$ , 7x 的最大变化量达 34.9  $\mu\text{m}$ 。

表 1 发电机前瓦及相邻瓦的振动趋势

时间	6 X	6 Y	7X	7Y	8X	8Y
4.03	38.8	31.05	70	43.7	55.1	61.3
4.15	41.3	30.2	81.4	54.5	59.6	60.2
4.29	39.6	30.3	82.9	52.3	57.9	67.5
5.15	41.6	39.2	84	55.5	57.5	51.2
5.3	40.2	32.7	93.4	58	62.8	73.8
6.15	39.1	29.8	95.5	59.3	62.4	64.4
6.3	38.6	22.1	102	60.4	66	78.1
7.08	39.8	42.7	104.9	59.4	69.4	83.1
8.14	20.68	55.61	92.58	56.56	61.05	70.42
9.14	22.55	70.45	93	59.97	61.13	73.04
最大变化量	2.8	39.4	41.77	16.27	14.3	27.19
变化量	-16.25	39.4	23	16.27	6.03	11.74

(1) 2012-04-03, 1 号机组大修启动后, 各瓦轴振动值比修前增加近 1 倍, 但因为均在合格范围内, 当时没有引起足够的重视。2012-06-07 20:46, 机组有功负荷 313MW, 无功负荷 69Mvar, 励磁方式为机端供电的自并励无刷励磁, 7 号瓦轴振动值突增至 104  $\mu\text{m}$ , 相邻的 6 号瓦及 8 号瓦振动也随之增大。异常情况发生初期, 通过手动调低无功功率, 各瓦轴振动值曾相应降低; 随后保持机组有功功率不变 (210 MW), 试图通过运行调整来确定无功功率与机组振动间的关系, 但试验效果不明显: 无功功率变化了 76Mvar, 振动值只增大了 1  $\mu\text{m}$ 。2012-06-02——06-09, 1 号机组 7 号瓦 x 向轴振动值记录曲线如图 1 所示。

(2) 2012-08-14 21:37, 7 号瓦 x 向轴振动突然从 104  $\mu\text{m}$  陡降到 92  $\mu\text{m}$ , 直到检修前的 2 个月内, 7 号瓦轴振动值基本保持在该值附近稳定运行。机组 S8000 振动在线诊断系统中记录的 7 号瓦 x 向轴振动相位一直保持稳定, 且振动最高点的波形频谱图显示出振动的 1 倍频分量, 波形为标准正弦波, 见图 2。

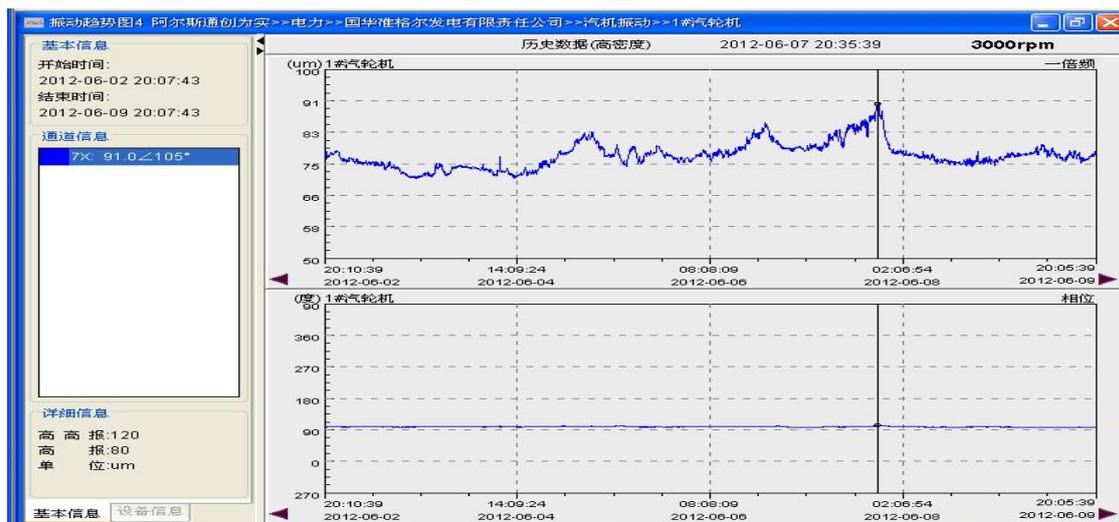


图 1 7 号瓦 x 向轴振动值变化趋势

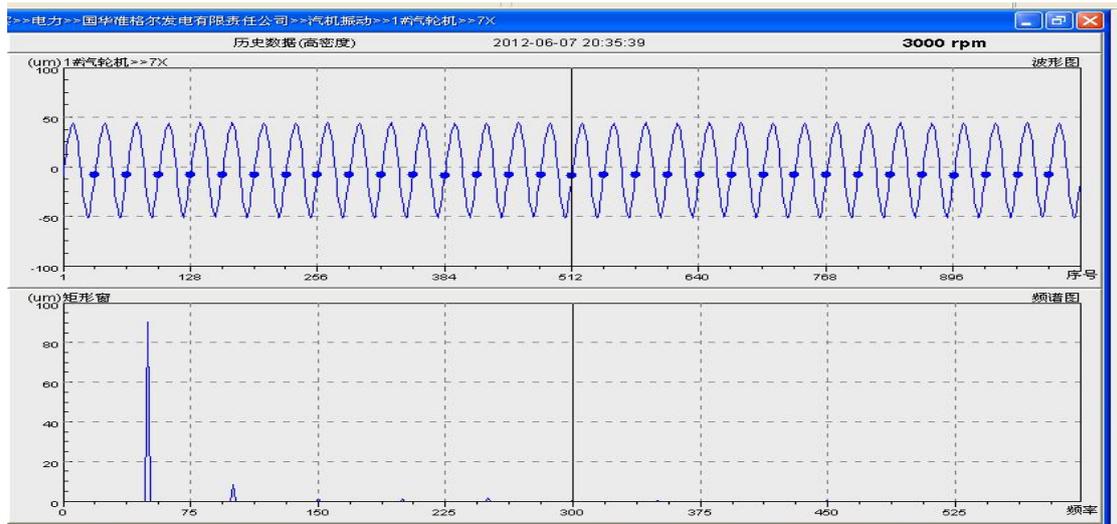


图 2 7 号 x 向瓦轴振动波形图及频谱图

## 2.2 振动原因分析

### 2.2.1 伯德图对比

通过对比机组每次大修前、后的 BODE（伯德）图，发现本次大修后启动初期，机组振动的幅值变化不大，但是相位角发生了很大的变化；转速达 2500r/min 以上时，振动值会持续直线上升。表 2 为机组历次检修启、停机过程中 7 号瓦 x 向伯德曲线中 1 倍频振动数据记录。

表 2 历次启停机伯德图列表

时间		7X 一倍频振动	
		500r/min	3000r/min
2009.10.15-11.2 小修停运	修前停运	48.29 ∠ 323.54	27.19 ∠ 357.51
	修后启动	40.37 ∠ 316.75	40.91 ∠ 20.73
2010.12.13-12.31 小修停运	修前停运	51.82 ∠ -33.64	38.50 ∠ 23.16
	修后启动	46.14 ∠ 328.44	37.28 ∠ 37.07
2011.10.19-12.3 大修停运	修前停运	46.43 ∠ 318.19	24.47 ∠ 354.34
	修后启动	35.75 ∠ 128.37	58.22 ∠ 117.65

### 2.2.2 激振力及动刚度

从转动机械振动 2 要素（即激振力及基础支撑动刚度）方面，对可能引发机组振动故障的原因进行了逐一排查。

#### 2.2.2.1 振动监测信号

(1) 6 号瓦 y 向振动幅值在 20~80 μm 大幅、快速摆动，频谱图上存在 0~75Hz 频段的振动，尤其是 0~17Hz 存在大量较高幅值的不稳定低频振动。分析认为该振动信号严重失真，原因很可能为测点松动、测量系统屏蔽或接地不良，因此不利用该测点的数据与 7 号瓦进行对比分析。

(2) 从机头看机组为逆时针方向旋转，根据 S8000 系统相位定义及 x、y 轴振测点安装角度，x 向振动应超前 y 向 90° ± 30°，根据现场测试数据分析认为现场 7x 与 7y 测点接反。

#### 2.2.2.2 质量平衡

从 7 号、8 号瓦轴振动值来看，振动信号属于以基频为主、2 倍频较少的强迫振动。由于该振动值的基值较大，说明发电机转子可能存在以下问题：

(1) 发电机转子平衡状态恶化, 引起了不平衡振动。对轮螺栓主要起到传递扭矩的作用, 当出现局部松动或者过力矩时, 振动强度与机组负荷存在很大关系, 由于 7 号、8 号瓦轴振动表现为同相位振动, 表明发电机转子或励磁机转子上存在着一阶不平衡质量。

(2) 发电机转子存在局部热弯曲, 热弯曲原因还需通过试验进一步观察。从不均匀热源方面看, 由于振动与无功负荷关系不大, 基本可以排除因发电机局部匝间短路、冷却通道局部堵塞、端部线圈配置受阻和材质缺陷引起的发电机转子热弯曲<sup>[2]</sup>; 从不均匀冷却方面看, 需利用适当时机进行氢温调整试验, 以观察振动与氢温变化的相关性, 从而考察发电机冷却条件的均衡性。

### 2.2.2.3 基础支撑动刚度

分析发现机组的振动与有功负荷的关联性较大, 2 次波动都出现在高负荷段。造成发电机轴振动突变的可能原因有轴瓦标高变化、发电机转子脱空、轴瓦支撑刚度降低、轴瓦载荷减小等, 因此在检修时重点对发电机的地脚螺栓进行了检查。

## 3 检修处理

### 3.1 设备解体检查

#### 3.1.1 励磁机晃度复查

励磁机晃度检查结果见表 3。检查时高点出现在编号为 3、4、5 的 3 个测点上, 最大晃度达 270  $\mu\text{m}$ , 超出了制造厂标准的要求 (210  $\mu\text{m}$ )。

表 3 两次复查励磁机晃度一览表

$\mu\text{m}$

序号	圆周 8 点	1	2	3	4	5	6	7	8
第二次	A (汽)	340	360	450	480	470	390	340	350
	B (励)	210	250	410	470	470	310	205	220
第一次	A (汽)	365	375	450	450	430	355	340	365
	B (励)	250	280	420	430	420	220	210	240

#### 3.1.2 振动监测信号确认

经解体检查 7 号瓦的 2 个振动测点, 确认该瓦轴振 x 向、y 向信号接反。

#### 3.1.3 轴瓦紧力测量

复查 7 号、8 号轴瓦紧力时, 发现 7 号瓦有 50  $\mu\text{m}$  的间隙, 8 号瓦有 90  $\mu\text{m}$  的间隙, 超出了轴瓦安装标准规定的紧力为 20~30  $\mu\text{m}$  的要求。

#### 3.1.4 轴颈部位碰磨检查

(1) 8 号瓦密封瓦的空侧有拉伤痕迹, 且轴颈有 0.06 mm 深度的轻微磨损。

(2) 8 号瓦励磁机和外油档间存在碰磨现象。碰磨部位位于水平中分面右侧 15°~20° 位置上, 励磁机转子存在约 200mm 长度的磨损痕迹。

#### 3.1.5 对轮中心复核

复核对轮中心时, 发现低一发对轮中心存在以下问题:

(1) 两对轮间无张口现象。发电机中心低 0.12mm, 中心偏左 0.13mm, 与上一次机组 A 级检修后回装时发电机中心高 0.02mm 的情况存在偏差。

(2) 对轮连接螺栓的力矩不均匀。力矩最大者达 9000Nm, 最小者为 7700Nm, 其他为 8000Nm 左右, 具体位置如图 3 所示。

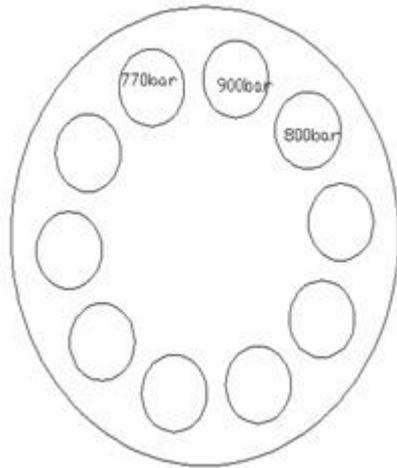
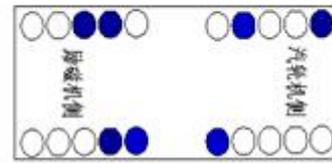


图3 低发对轮螺栓紧力检查情况



图中：●—松动螺栓

图4 发电机7号瓦地脚螺栓紧力检查情况

### 3.1.6 地脚螺栓紧力检查

检查时发现发电机7号瓦有8个地脚螺栓紧力不足（位置见图4所示），8号瓦左侧螺栓则基本没有紧力。全部抽出发电机基础的垫片后，发现某些点的垫片厚度并不表现出等比例变化关系，充分说明发电机定子地脚受力不均匀。表4为发电机基础台板的垫片厚度测量记录数据（从励端至汽端进行编号）。

表4 发电机基础台板的垫片厚度测量结果

mm

编号	垫片编号											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
左侧	6.1	6.15	5.95	5.7	5.1	5.35	4.05	3.75	3.45	3.55	2.7	2.55
右侧	5.95	4.95	4.7	4.5	4.55	4.9	3.67	3.25	3.15	2.55	2.75	2.55

### 3.2 处理方案

针对本次设备解体后发现的问题，结合以往检修记录，制定以下处理方案：

- （1）此次轴瓦紧力测量结果与以前检修后的测试数据偏差不大，暂时不做处理。
- （2）解体发电机基础台板上的地脚后，发现编号为5、6、10的地脚螺栓处垫片厚度不符合等比例关系，且该位置与地脚螺栓松动位置一致，因此认为7号瓦轴振动超标主要是发电机底部载荷分配不均，直接导致发电机定子支撑刚度明显降低造成的<sup>[3]</sup>，需重新对发电机定子基础垫片进行调整。图5为相同负荷下1号、2号发电机地脚螺栓的振幅对比图。

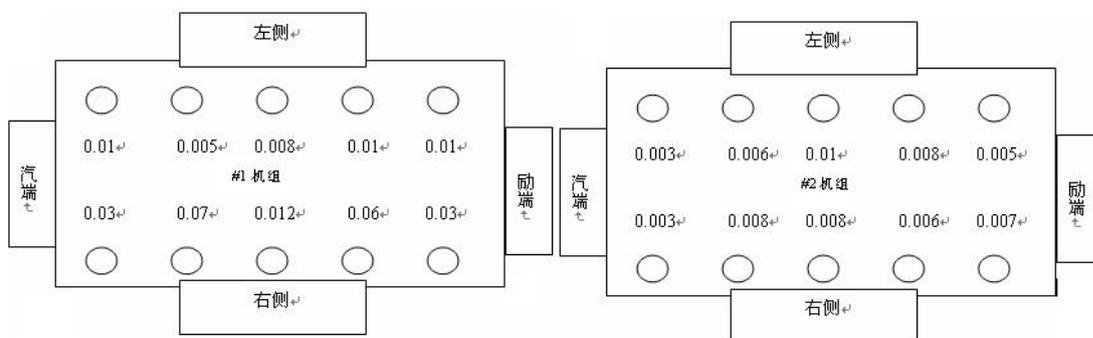


图5 相同负荷下1号、2号机组发电机地脚螺栓的振幅数值对比

- （3）端盖轴承结构决定了发电机转子和定子间的几何连接形式，转子的振动会直接耦合到定子。由于大修后定子支撑刚度的降低，造成了机组整体振动幅值的增加，尤其是当机组负荷发生大幅变化时，较小的不平衡量（如励磁端晃度超标或转子中心不正）就可引起较大的振动<sup>[4]</sup>。从图4可以看出，相同负荷

下1号机组振幅整体上较2号机组的振幅大。鉴于历次检修后励磁机晃度都有不同程度的超标情况，根据2号机组以往的动平衡经验（悬臂梁式的励磁机转子支撑方式对振动响应的灵敏性很高），建议先将励磁机晃度调整到合格范围内后，再进行动平衡工作。

（4）机组大修时，如果低一发对轮中心不符合标准要求时，不应单纯采取通过调整垫片数量来改变发电机定子标高和转子扬度，以牺牲发电机载荷分配均匀性的办法来实现调整轴系中心的目的<sup>[5]</sup>。

#### 4 结语

利用检修机会，通过重新对发电机定子基础垫片进行调整，保证了基础载荷分配的均匀性，彻底消除国华准电1号机组7号瓦的轴振动大问题。处理后，1号机组一直运行稳定，7号瓦的轴振动值基本保持在 $30\ \mu\text{m}$ 左右，而且8号瓦的振动幅值也明显减小，与7号瓦相差 $<2\ \mu\text{m}$ 。

#### 参考文献：

- [1] 北京汽轮机有限责任公司. N330-17.75/540/540型330 MW汽轮机产品使用说明书 [M]. 北京：北京汽轮机有限责任公司，2006：1-2.
- [2] 张学延. 汽轮发电机组振动诊断[M]. 中国电力出版社，2008. 10:35.
- [3] 程健, 张斌. 发电机轴瓦振动的处理[J]. 东北电力技术, 2011. 10:89.
- [4] 李录平, 卢绪祥. 汽轮发电机组振动与处理[M]. 北京：中国电力出版社，2007：5-15.
- [5] 张天锁. N3-24型汽轮发电机组自激振动的诊断与处理青海电力，1998（4）：32-37.