

汽轮发电机组不稳定振动分析处理

卢修连，何利鹏

(江苏方天电力技术有限公司，江苏 南京 211102)

摘 要：某厂#5 机组发电机几乎每天下午都会出现振动爬升波动现象，振动有时接近跳机值，而另外几台运行机组也几乎同时发生类似现象。通过查阅历史数据及进行相关试验调整，找到了振动故障原因并解决了这个振动问题。

关键词：汽轮发电机；振动；热变形

1 设备概况

某发电有限公司#5 机组是北京重型机械厂生产的单轴、三缸双排汽、亚临界、一次中间再热、凝汽式汽轮发电机组。汽轮机型号为 N330-17.75/540/540，发电机型号为 QFSN-330-2，

发电机为水氢氢冷却。机组轴系支撑简图见图 1 所示。

机组安装了#1~#8 瓦相对轴振监测装置，并安装有 TDM 振动数据采集分析系统。

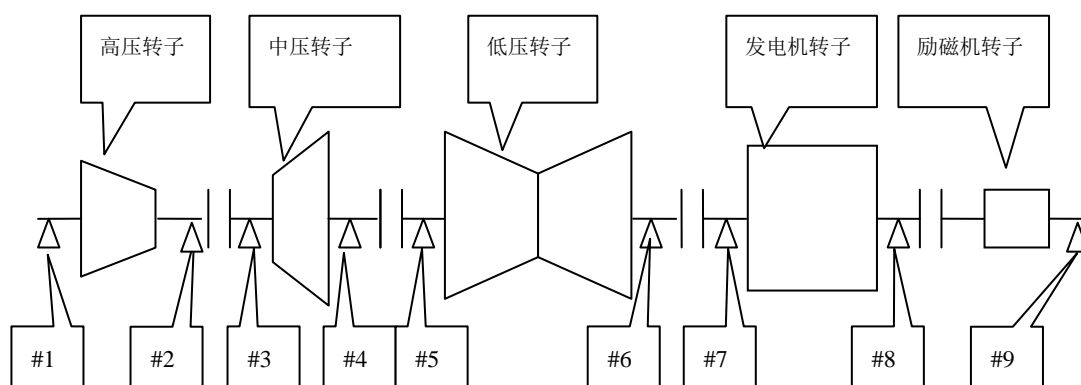


图 1 机组轴系支撑简图



图 2 2015 年 1 月 1 日—2015 年 1 月 9 日 7X、7Y 趋势图

2 振动概况

2014 年 11 月份以后, #5 机组#7、#8 瓦相对轴振基本上每天都会发生一次爬升波动过程, 振动异常绝大部分都是发生在每天 13 点-16 点时间段, 偶尔有两三天发生在上午时段。振动发生异常时, 一开始振动爬升, 一个小时到一个半小时后, #7、#8 瓦相对轴振爬升到最大值, 然后振动慢慢回落。每天振动爬升最大值也不相同, 有时会接近厂家给定的机组振动打闸值。机组振动爬升前, 机组负荷、无功等参数稳定, 振动爬升过程中, 运行人员一般采取降负荷手段来进行干预。2015 年 1 月 1 日~2015 年 1 月 9 日 TDM 记录的#5 机组 7X、7Y 相对轴振趋势图如图 2 所示。

同时运行的其他几台机组, 每天几乎同时也会发生与#5 机组类似的振动爬升波动现象; 正常运行时其他机组#7、#8 瓦相对轴振比#5 机组小得多, 它们振动爬升波动值也较#5 机组小。这种每天几乎定期发生的振动严重影响了机组安全运行, 给运行人员造成极大干扰。

3 测试处理情况

查阅 2014 年 12 月 2 日机组调停后启机期间, 机组负荷、转速、励磁电流和 7Y、8X 相对轴振等历史数据, 发现: 机组定速 3000r/min 期间, 7Y、8X 相对轴振为 38、23 μ m, 说明机组发电机转子原始平衡较好; 机组做电气试验加载励磁电流后, 7Y 相对轴振逐步爬升, 电气试验结束机组升负荷, 7Y、8X 相对轴振继续逐步增大, 满负荷运行时 7Y、8X 相对轴振分别稳定在 116、108 μ m, 说明机组带负荷后发电机转子产生不均匀热变形或者热弯曲, 即机组带负荷运行时发电机转子存在较大热态质量不平衡, 从而使发电机带负荷运行时振动基准值较大。

查阅 2014 年 12 月以来机组负荷、无功、励磁电流、#7、#8 瓦相对轴振历史曲线, 发现: 在#7、#8 瓦相对轴振较稳定(未产生大幅爬升)情况下, 在机组负荷较高、励磁电流较大时, #7、#8 瓦相对轴振比低负荷时#7、#8 瓦相对轴振略大(即热态不平衡)。但是在#7、#8 瓦相对轴振发生较大幅度波动时, 和机组负荷、无功、励磁电流没有直接对应关系, 即较低负荷及负荷不变时, 也可能发生发电机轴振持续较大幅度增大。

因振动爬升波动都发生在下午, 且几台机组都几乎同时发生, 因此怀疑是否和环境温度有关。调取查阅 2015 年 1 月以来发电机氢温、定子冷却水进水温度、凝汽器循环水进水温度、发电机冷氢温度、汽机润滑油温度、真空和#7、#8 瓦相对轴振等历史数据发现: 在#7、#8 瓦轴振大幅度波动前后, 凝汽器循环水进水温度、定冷水温度、真空、冷氢温度、汽机润滑油温度均比较稳定。因此#7、#8 瓦相对轴振大幅波动和循环水温度、定冷水温度、真空、冷氢温度、汽机润滑油温度也没有直接对应关系。

调取查阅发电机密封油空侧和氢侧油温及#7、#8 瓦相对轴振历史数据发现: 发电机空、氢侧密封油温度偏差略大。2015 年 1 月 8 日 14:00 时, DCS 显示发电机氢侧密封油温度为 48.9 $^{\circ}$ C, 发电机空侧密封油温度为 43.6 $^{\circ}$ C。

调取查阅发电机汽端油氢差压、发电机励端油氢差压和#7、#8 瓦相对轴振等历史数据发现: 在#7、#8 瓦相对轴振稳定期间和振动爬升期间发电机汽端和励端油氢差压均存在大幅度波动, 发电机汽端油氢差压波动范围为 57~65kPa, 发电机励端油氢差压波动范围为 51~60kPa。发电机汽端和励端油氢压差波动幅度较大。

根据电气专业记录数据, 在机组振动每次发生大幅波动爬升前半小时, 励磁电流基本稳定; 电网周波稳定; 负序电流过大一般会在发电机转子端部护环、槽楔等处产生局部过热、烧损或使护环失去紧力, 在转子及定子上产生 2 倍频扭矩, 但据历史记录, 在振动发生波动前、后, 负序电流基本稳定, 没有大幅波动现象。从电厂 TDM 记录振动变化及振动特征看, 机组振动特征也与负序电流大对机组产生的影响不符, 因此可以排除电网原因引起目前振动异常的可能。

2015 年 1 月 8 日接入 408DSPI 本特利振动分析仪进行测试。机组负荷 248MW 时, #7、#8 瓦 X、Y 方向相对轴振分别为 67、130、110、79 μ m。在机组负荷等参数保持稳定情况下, 16:15 机组#7、#8 瓦 X、Y 方向相对轴振分别从 66、128、106、75 μ m 开始慢慢爬升, 17:44 机组#7、#8 瓦 X、Y 方向相对轴振分别爬升到最大值 86、154、119、87 μ m, #7、#8 瓦相对轴振主要为工频振动, 振动爬升期间, #7、#8 瓦一倍频相位变化 5 $^{\circ}$ 左右。之后#7、#8 瓦相对轴振慢慢回落, 12 个小时后, #7、#8 瓦 X、Y 方向

相对轴振分别基本稳定在 62、121、106、76 μm 。
#7、#8 瓦相对轴振波动期间趋势图如图 3~6 所示。

由于振动大幅波动时成分主要是工频，且振动爬升前有功、励磁电流、冷氢温度、氢压基本稳定，因此可以排除靠背轮故障、发电机转子冷却不均、振动大幅波动前后发电机转子本体由于温度升高产生新的热不平衡等可能，大幅波动原因应是动静碰摩引起的热弯曲。产生动静碰摩的可能原因为密封瓦碰摩、油档碰摩、碳刷不正常碰摩。因此决定 1 月 9 日早上，对碳刷紧力、密封油温度、油氢差压等进行调整。

由于发电机空、氢侧密封油温度偏差较大，2015 年 1 月 8 日晚调整发电机密封油空、氢侧油温，使发电机密封油空、氢侧油温分别稳定在 45.9℃、45.47℃。2015 年 1 月 9 日 9 点钟后再次提高密封油温度，使发电机空、氢侧密封油温度分别稳定在 47.1℃、48℃。2015 年 1 月 9 日 9:00~10:30 清洗发电机密封油差压阀，清洗密封油差压阀后，发电机汽端油氢差压基本稳定在 58kPa，发电机励端油氢差压基本稳定在 54kPa。在清洗密封油差压阀期间，#7 瓦相对轴振波动不到 10 μm ，8 瓦相对轴振变化略大，#8 瓦 X、Y 方向相对轴振分别从 105、76 μm 减小到 79、37 μm 后又增大并稳定在 92、78 μm 。

2015 年 1 月 9 日 10:30 左右调整发电机碳刷。电厂为了防止大轴接地不好，对原来接地碳刷结构进行了专门技改，通过一个螺栓的松紧来调整碳刷与轴颈间紧力。为此将调整螺栓拧松半圈，将汽端接地碳刷紧力调小，并对励侧滑环碳刷检查及进行部分更换。10:30 开始，#7 瓦相对轴振从 61、118 μm 较快降低到 48、107 μm ，#5、#6 瓦 X、Y 向相对轴振也分别从 39、29、44、48 μm 降低到 24、24、40、40 μm 。滑环小室更换碳刷期间，#8 瓦 X、Y 轴振分别从 93、68 μm 增大到 112、78 μm 后逐步减小。在清洗差压阀，调整碳刷期间#7、#8 瓦相对轴振趋势图如图 7~10 所示。

在对密封油温度、碳刷紧力等进行调整后，要求保持其状态稳定。2015 年 1 月 9 日 12 点之后，机组在升、降负荷期间，#7 瓦相对轴振基本比较稳定，#8 瓦相对轴振随负荷略有波动。机组在带不同负荷时，DCS 显示#7 瓦 X、Y 方向相对轴振分别在 41~44 μm 、99~104 μm 范围内，#8 瓦 X、Y 方向轴振分别在 96~102 μm 、63~67 μm 范围内。在当

天下午没有出现振动爬升波动现象，此后振动一直稳定，再没出现发电机振动大幅波动现象。差压阀清洗、调整碳刷、密封油温度调整后#7、#8 瓦相对轴振趋势图如图 11~14 所示。

发电机振动大幅波动爬升原因为碰磨，通过调整减小接地碳刷紧力和调整密封油参数，异常振动消失。在振动异常出现时，电厂原来采取过提高密封油温度的方法，但一直没有效果；油氢差压大且不稳定，可能会导致密封瓦活动性能降低，从而密封瓦可能产生碰磨，但#5 机组油氢差压不稳定在异常振动出现之前已经存在，而且其他机组油氢差压正常，但也每天几乎同时出现类似振动，此外在振动异常那个时段几台机组在密封油系统上也没有相同的操作，因此密封瓦碰磨导致几台机组几乎同时出现异常振动的可能性很小。从降低发电机汽侧接地碳刷紧力振动有所降低这个情况看，过大的紧力会导致碳刷与轴颈摩擦加重，从而使振动爬升，当碳刷逐步磨损，碳刷与轴颈间压力变小，振动将逐步回落。但为何每天会出现一次且几台机组几乎同时发生呢？合理的推断是每天都对接地碳刷紧力进行调整（增加），而且几台机组依次进行。查阅电厂工作票记录，只发现有每个月一次对滑环碳刷进行检查或更换的记录，但没有对汽侧接地碳刷进行调整的工作记录。为了证实振动异常原因，又专门进行了试验，将接地碳刷紧力调整螺栓拧紧，增加碳刷与轴颈间紧力，发电机振动开始逐步增加，将调整螺栓拧松后，振动开始下降并最后稳定在正常值。后经了解，原来为了防止接地碳刷和轴颈接触不好，有关班组规定工作人员每天对运行机组依次进行接地碳刷紧力调整（增加），而且调整工作大都在下午进行，偶尔在上午进行，因此也就出现了上述振动现象。

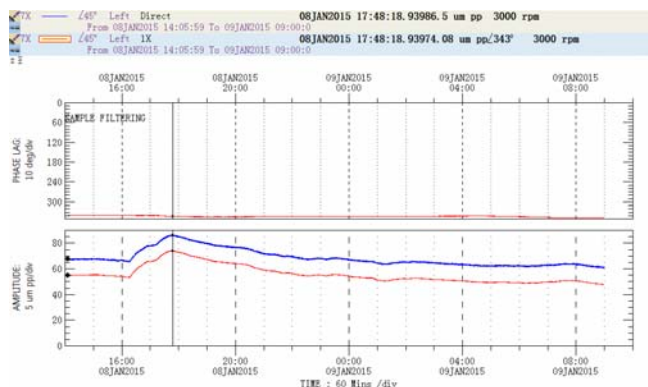


图 3 7X 相对轴振趋势图（振动爬升期间）

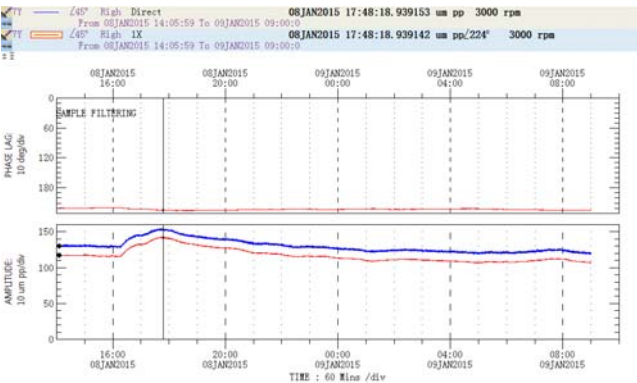


图 4 7Y 相对轴振趋势图 (振动爬升期间)

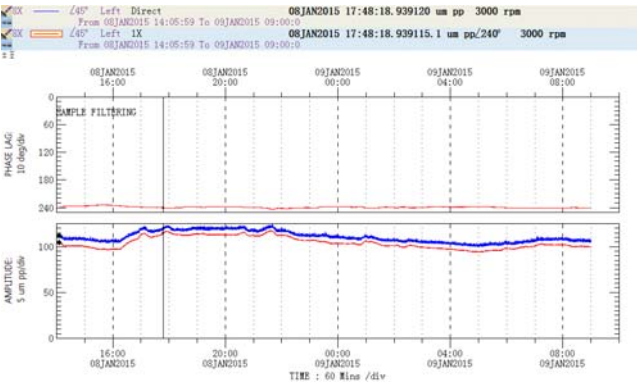


图 5 8X 相对轴振趋势图 (振动爬升期间)

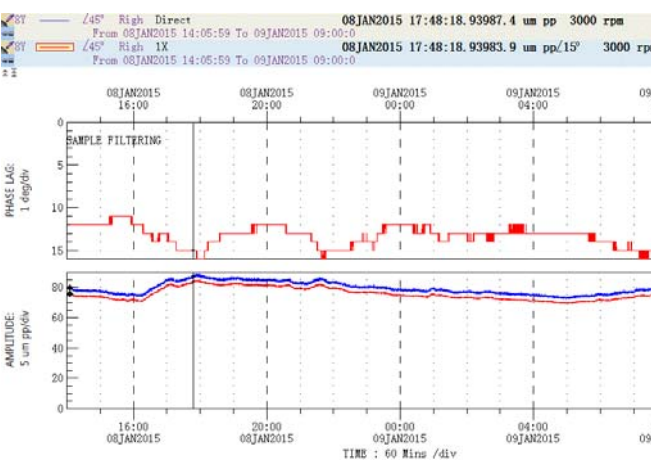


图 6 8Y 相对轴振趋势图 (振动爬升期间)

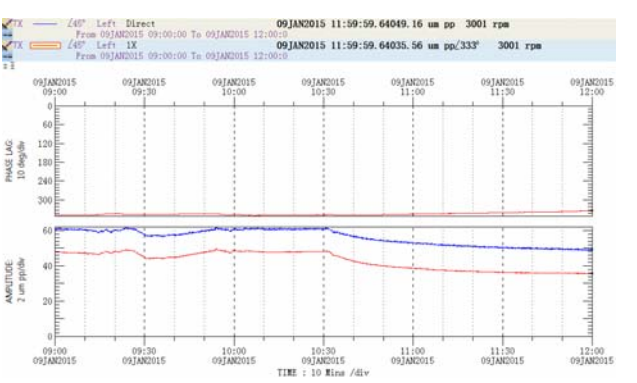


图 7 7X 相对轴振趋势图 (清洗差压阀, 调整碳刷期间)

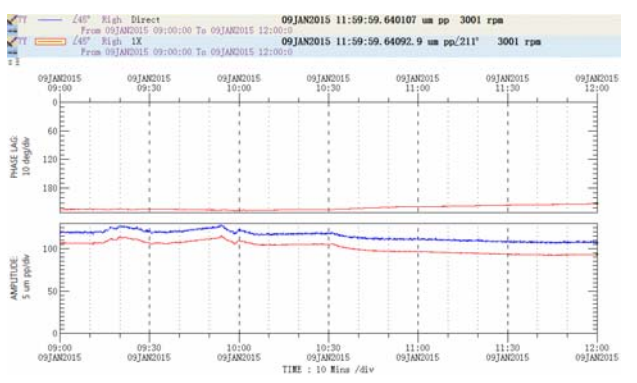


图 8 7Y 相对轴振趋势图 (清洗差压阀, 调整碳刷期间)

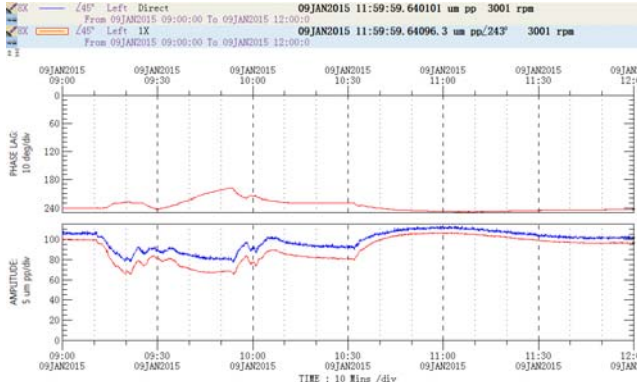


图 9 8X 相对轴振趋势图 (清洗差压阀, 调整碳刷期间)

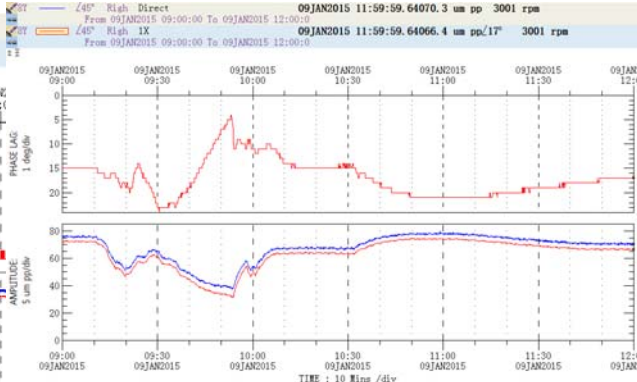


图 10 8Y 相对轴振趋势图 (清洗差压阀, 调整碳刷期间)

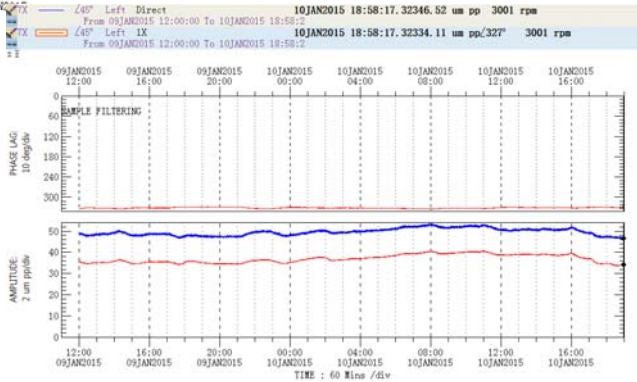


图 11 7X 相对轴振趋势图 (密封油差压阀清洗、调整碳刷、调整密封油温度之后)

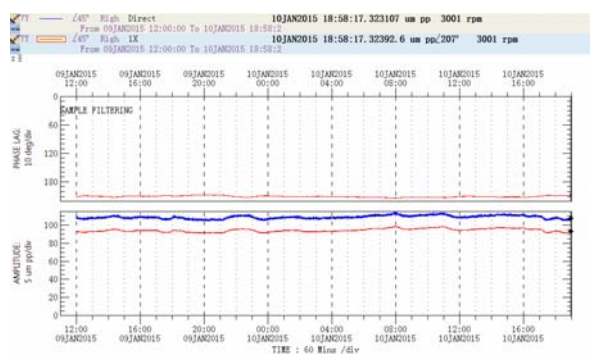


图 12 7Y 相对轴振趋势图（密封油差压阀清洗、调整碳刷、调整密封油温度之后）

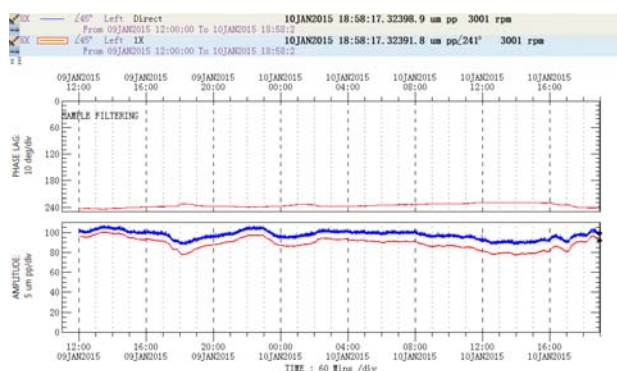


图 13 8X 相对轴振趋势图（密封油差压阀清洗、调整碳刷、调整密封油温度之后）

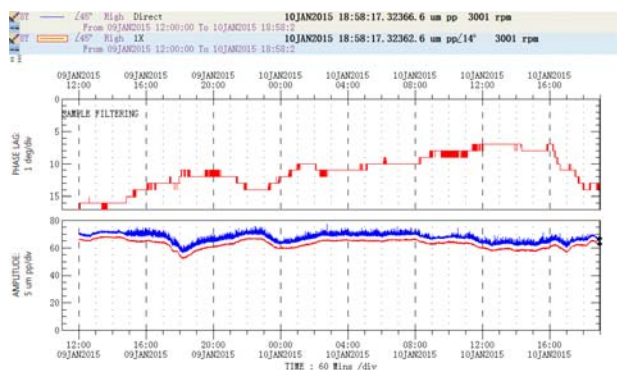


图 14 8Y 相对轴振趋势图（密封油差压阀清洗、调整碳刷、调整密封油温度之后）

4 结论及建议

(1) #5 机组带负荷运行时，发电机振动基准值偏大，其原因是发电机转子在机组带负荷后发产生不均匀热变形或者热弯曲所致，发电机转子存在较大热态不平衡，合适的时候可以通过热态平衡来降低振动。

(2) #5 机组和其他运行机组每天下午#7、#8 瓦相对轴振几乎同时发生波动爬升，其原因为有关工作人员每天几乎定时对运行机组进行接地碳刷紧力调整（增加），造成碳刷与轴颈间压力增加，碳刷与轴颈间摩擦力增大，转子出现热弯曲，振动增加，在碳刷逐步磨损后，摩擦力逐步减小，振动随之减小，最后恢复到原始值。以后在对碳刷进行调整检查时，紧力应适当，不可紧力过大，在更换碳刷时应注意碳刷硬度及表面光洁度。

作者简介：

卢修连（1963-），男，江苏睢宁人，工学硕士，高级工程师，从事旋转机械振动分析处理工作。