文献标识码：B 文章编号：1003-0492（2021）08-066-03 中图分类号：TM311

一起油膜涡动引起的汽轮发电机组轴系振动分析

Analysis of the Vibration of the Steam Turbine Electric Generator Caused by Oil Film Whirl

★杨冬丽，朱启勇，李欣（浙江巨化热电有限公司，浙江 衢州 324000）

摘要：本文就某热电厂某型号汽轮发电机因发电机侧支持轴承油膜涡动引起的汽轮机发电组连续跳停进行分析总结。该型汽轮机为高温、高压、单缸、单抽、背压式机组。本文对引起油膜涡动的机理进行阐述，采用了频谱分析技术对震动原因进行分析，确定了引起机组振动的诱因。

关键词：汽轮发电机组；振动；轴承；油膜涡动；频谱分析

Abstract: This paper analyzes and summarizes the continuous trip of a steam turbine generator unit caused by the oil film whirl of the support bearing on the generator side in a thermal power plant. The type of the steam turbine is the high temperature and high pressure, single cylinder, single extraction and back pressure. In this paper, the mechanism of oil whirl is discussed. The frequency spectrum analysis technology is used to analyze the cause of vibration. The cause of vibration is determined.

Key words: Steam turbine generator set；Vibration；Bearing；Oil whirl；Spectrum analysis

1 前言

某热电厂#10机组汽轮机型号为东方汽轮机厂生产的CB30-8.83/3.53/1.37型高温、高压、单缸、单抽、背压式汽轮机，发电机为上海电机厂生产的QF-30-2型，发电机的励磁型式为自并励静止励磁。#10汽轮发电机组的轴系由汽轮机转子、发电机转子，以及4个落地轴承组成，#10汽轮发电机组的本体监测系统（以下简称：TSI系统）使用的是美国本特利（BENTLY）公司生产的3500系列产品。

该机组在一次机炉小修复役后（本次检修汽轮发电机无检修工作），出现了汽轮发电机组轴系振动波动大的问题，尤其是发电机侧轴承振动瞬时值已超出保护动作定值。针对此问题某厂先后组织实施了轴系支持轴承检查，油档检查，轴承紧力、顶部间隙、侧隙、联轴器的螺栓、转子的中心复核等工作，还对发电机转子做了返厂检修、重新做动平衡等工作。一系列相应的检修和检查工作仍未改善机组出现震动大跳机的情况。虽然经过某厂的数次专业分析，已经初步判断出引起机组振动的原因，但因无此类故障的相关处理经验，最后通过邀请西安热工院的专家进行系统性的判断和分析，并做了最终处理，才解决了该型机组因轴系振动而无法正常运行的难题。

2 机组简介

#10汽轮机型号为东方汽轮机厂生产的CB30-8.83/3.53/1.37型高温、高压、单缸、单抽、背压式汽轮机，发电机为上海电机厂生产的QF-30-2型发电机，发电机的励磁型式为自并励静止励磁。#10汽轮发电机组的轴系由汽轮机转子、发电机转子以及4个落地轴承组成，轴系简图如图1所示。

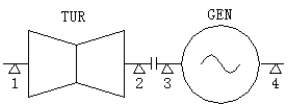

图1 轴系示意图

3 振动故障特征

3.1 历次振动数据统计分析

第一次，#10机组启动并顺利并网，待运行25.5h后，因发电机侧前轴承振动监测值突然爬升，振动监测值到达保护动作值从而引起跳机。

第二次，由于第一次振动跳停后未做任何处理，亦无法查出原因，于是#10汽轮发电机继续服役。#10机组启动并顺利运行将近2个月的时间，再次因发电机侧前轴承振动监测值突然爬升，振动监测值到达保护动作值从而引起跳机。

第三次、第四次、第五次，均在#10机组启动后三次顺利定速、并网运行，但又分别运行了33h、15h、28.5h后，再次出现了发电机侧前轴承振动监测值突然爬升，振动监测值到达保护动作值从而引起跳机。

第六次，#10机组检修后启动，并在定速运行后27h左右，发电机侧前轴承的振动监测值再次爬升，振动监测值到达保护动作值从而再次引起跳机。

第七次，10号机组检修后再次启动，并网运行11.5h后，发电机侧发生了与以往类似的振动爬升，振动值到达保护动作值随后跳机。

由上述统计分析可见，先后历时近四个月的时间里，#10机组振动的产生均在机组运行一段时间后发生的，汽轮机组启动后均能平稳运行一段时间。从上述运行小时数看，连续运行时间有不规则但基本上发生在连续运行25h左右的居多。机组在第一次跳机后，汽机本体监测系统进行检查，确认TSI系统正常，采集数据正确。在出现第二次跳机后，TSI系统的振动保护也进行了相应的优化，各种迹象表明，上述几次的汽轮发电机振动大跳机确实是实际振动达到了保护动作跳机值，需对设备以及设备的辅助系统进行详细分析。

3.2 历史振动曲线分析

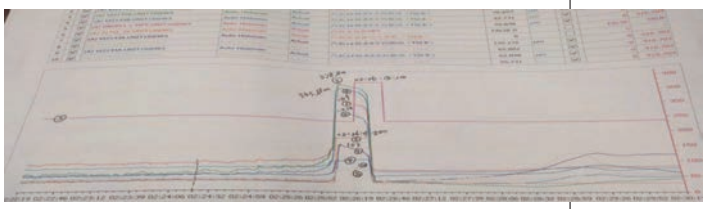

图2 第一次跳机时振动曲线

#10汽轮发电机组发电机侧轴承振动在机组运行约25.5h后，振动先是缓慢上升，随后迅速攀升至300多微米，超过保护动作值，轴承振动保护动作，汽轮发电机组停运，如图2所示。后续出现的跳机情况到第五次前的跳机曲线情况与图2基本类似，唯一不同的是运行小时数不同，针对上述曲线以及多次讨论一致认为这种情况是某种因素累积导致的。

为了排查引起机组振动的原因，该机组在第五次停运后安排了一次检查及处理。在本次检查中发现汽轮机油质较脏，油的颜色发黑，发电机前端盖有磨损。本次检查后对发电机的端盖进行处理，同时对汽轮发电机组的轴承逐道进行解体检查。解体发现#1轴承即汽轮机前轴承处浮动油档积碳，但未见有明显的摩擦痕迹。本次的检查处理还调整了发电机侧轴承的紧力，在发电机端盖回装后机组具备开机条件。在本次检修过程中，汽轮机的润滑油同步更换，汽机开车后连续出现了两次跳停，振动曲线如图3所示。

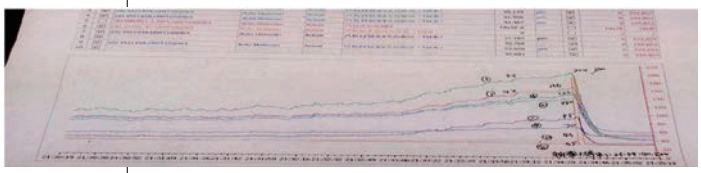

图3 第六次跳机后振动曲线

鉴于#10汽轮发电机组频繁出现轴承振动大跳机事件，结合前几次振动情况，考虑发电机端盖有磨损，某厂安排了#10汽轮发电机组检修。检修过程中，发现#10发电机转子的槽楔有松动的情况，为安全起见，#10发电机转子返回制造厂进行检修处理。发电机转子返回制造厂后拔护环，对松动的槽楔进行处理，做了发电机转子的电气试验、发电机转子的高速动平衡试验等。此次#10机组检修期间同时对汽轮机的滑销系统进行了检查和清理。

从图2和图3的曲线反映出的信息看，机组的振动现象虽然不一致，但实际振动情况是相同的。经过分析，图2的振动监测值超过动作值后，振动曲线显示有一段平滑的过渡，然后振动数值再急剧下降，其实，这段平滑的振动曲线是转子与发电机端盖摩擦引起。图3反映的是在发电机端盖处理后出现的汽轮发电机组振动大跳机的情况。

#10机组频繁跳机，经过多次讨论，初步判断汽轮发电机组发电机侧轴承振动的原因与油膜有关，可能是油膜震荡引起，但本厂无此类故障的处理经验，后聘请西安热工院振动方面的专家来厂分析判断引起振动的原因并给予解决。

3.3 现场振动测试结果

西安热工院专家携带了专用的频谱分析仪，结合某厂现有的TSI装置组建了数据链路，对该机组振动的情况做了专业的分析。西安热工院的专家进厂后建立数据分析链路，频谱分析仪与本厂的本特利装置的前置接口连接进行数据共享，在发电机前轴承处增设了#3瓦振测量装置，瓦振测量信号进入频谱分析仪。数据采集链路建立好后，开始进行测试工作。

准备工作就绪后，#10机组开始启动，45min后定速，启动期间的操作有加励磁电流以及并网运行。图4、图5分别为发电机启动过程中的振动BODE图、定速并网的振动趋势图。由这两幅趋势图可以看出：#10发电机启动及带负荷运行的26h内，振动处于合格水平[1]。

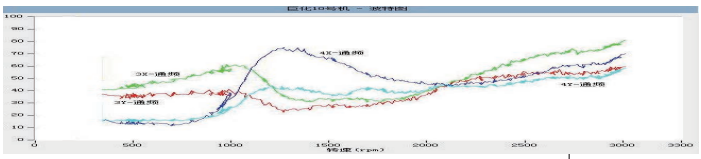

图4 发电机在启动过程中的振动BODE图

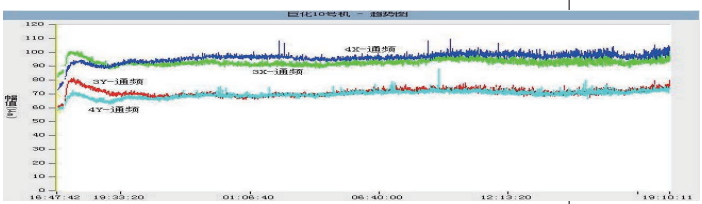

图5 发电机在运行中的振动趋势

机组正常启动的次日，机组正常运行26h后，#10汽轮发电机组发电机侧的振动监测值开始波动，5min后因振动监测值超过200μm而保护动作停机。然而，汽轮发电机转子惰走的过程中，在临界转速区域的振动值并不大，其中最大的3X振动峰值在105μm左右[1]。

通过频谱分析发现，引起#10汽轮发电机轴承振动爬升的主要频率成分为18.68Hz的低频振动，该频率接近#10发电机一阶临界转速[1]。

4 振动原因分析

基于以上振动特征，#10机组振动频发是由于汽轮发电机组的轴承稳定性裕度不足，转子运行一段时间后形成油膜振荡（也称为油膜涡动），轴承处汽轮发电机组转子轴颈的力学机理如下。

转子轴颈在轴承中以角速度ω转动时，如图6所示，轴颈中心O_1为转子的平衡位置，此时的转子载荷W与轴承油膜力P相平衡，如式（1）所示：

$$W=P \qquad (1)$$

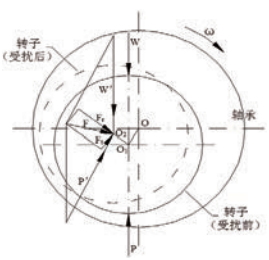

图6 转子轴颈受力示意图

如果转子受到外界扰动力作用时，轴颈中心由O_1涡动至O_2时，此处的轴承油膜力P'，与转子载荷W不再平衡，两者产生的合力为F。把F分解为一个切向分量Ft和一个径向分量Fr，其中Fr与轴颈涡动轨迹相反，是一种弹性恢复力；Ft垂直于轴颈涡动轨迹，有推动轴颈中心涡动的趋势，称为涡动力。当涡动力Ft大于油膜阻尼力时，轴颈涡动轨迹将不断扩大，此时振动波动幅度不可控，会迅速增大。当这种涡动频率与转子临界转速相近时，就发生了油膜振荡[1]。

5 结论

通过频谱分析发现，某厂#10发电机振动爬升的主要频率成分为18.68Hz的低频振动，该频率接近发电机一阶临界转速。因此就出现了#10机组运行一段时间后，发电机侧轴承出现振动监测值攀升，振动监测值到保护动作值触发振动大保护动作跳机条件，从而引起汽轮发电机组跳闸。

由此可见，#10汽轮发电机组稳定运行一段时间后，造成机组跳闸的主要原因是油膜涡动。在西安热工院的专家的指导下，#10机组经过检修处理，最终消除了引起振动的要素，机组得以稳定运行。AP

作者简介：

杨冬丽（1980-），女，内蒙古赤峰人，工程师，学士，现就职于浙江巨化热电有限公司，从事电厂热工仪表及装置技术管理工作。

朱启勇（1976-），男，安徽巢湖人，工程师，学士，现就职于浙江巨化热电有限公司，从事热工仪表及控制装置工作。

李　欣（1987-），女，吉林公主岭人，助理工程师，学士，现就职于浙江巨化热电有限公司，从事汽轮机检修工作。

参考文献：

[1] 何国安. 浙江巨化热电有限公司10号汽轮发电机组轴系振动测试及故障诊断工作报告[R]. ZC-RB-222-2019.

[2] QF-30-2型发电机使用说明书[Z].

[3] CB30-8.83/3.53/1.37型汽轮机使用说明书[Z].