汽轮机运行中的振动问题防治处理

李杜海　李 昭
湖南华电平江发电有限公司，湖南 岳阳 414500

[摘要]近年来，我国的工业化进程有了很大进展，对汽轮机的应用也越来越广泛。汽轮机在运行过程中的振动问题是引发汽轮机故障、降低工作效率的重要因素。为避免汽轮机振动带来的危害提高汽轮机工作效率，文中首先分析汽轮机振动原因，其次探讨汽轮机振动问题防治处理，最后就汽轮机振动防治案例分析，以供参考。

[关键词]汽轮机；振动幅度；气流震荡；轴振
DOI：10.33142/ec.v6i6.8474　　中图分类号：TM621　　文献标识码：A

Prevention and Treatment of Vibration Problems in Steam Turbine Operation

LI Duhai, LI Zhao
Hu’nan Huadian Pingjiang Power Generation Co., Ltd., Yueyang, Hu’nan, 414500, China

Abstract: In recent years, Chinese industrialization process has made great progress, and the application of steam turbines has become more and more extensive. The vibration problem of steam turbine during operation is an important factor that causes turbine failure and reduces work efficiency. In order to avoid the harm caused by steam turbine vibration and improve the working efficiency of steam turbine, this paper first analyzes the causes of steam turbine vibration, then discusses the prevention and treatment of steam turbine vibration problems, and finally analyzes the case of steam turbine vibration prevention and control for reference.

Keywords: steam turbine; vibration amplitude; airflow oscillation; axial vibration

引言

近些年，考虑火电机组灵活性提升以及节能环保的高要求，我国北方部分城市建立了一批燃气—蒸汽联合循环电站。大多数联合循环机组考虑到热电联产和电热负荷调整的灵活性，都选择采用“凝汽—抽汽—背压”式汽轮机（以下简称 NCB 汽轮机）。异常振动是汽轮机缺陷、隐患的综合反映，会对机组本体的稳定运行带来冲击，若振动发现不及时或处理不当，可能会对机组的安全产生巨大影响。通过深入分析汽轮机振动问题并进行防治处理，可有效提高汽轮机运行效率，保障电力稳定高效生产。

1 汽轮机振动原因分析

振动即指物体偏离原有位置，通过能量转换使其产生了一定的位移，一般情况下的振动并不会损害到汽轮机设备，不会影响到汽轮机的正常工作，当振动幅度超过某一范围时，就会影响到汽轮机设备的作业效率甚至造成停机磨损。产生振动的原因是多样的，在进行检修维护工作时要对汽轮机的振动幅度进行监测，控制在 0.05mm 之内则可满足要求，否则会出现轴中心位置变化、发电机转子内冷水路出现堵塞或轴承磨损等汽轮机的异常振动情况，很容易产生汽轮机设备零件松动，造成内部摩擦磨损，从而缩短汽轮机设备的使用寿命。

1.1 振动类型的确定

汽轮机组的振动一般有三大类型：质量不平衡、动静碰磨和轴系油膜失稳。因为振动是在工作转速情况下出现的，与转速无关，故该振动不是由质量不平衡引起的。诊断数据全面，并利用频谱分析、启停机分析、趋势分析等手段，可进行在线监测和故障诊断。在振动波动过程中，振动爬升→下降→恢复耗时 2h 左右，这说明该振动波动存在一个能量聚集过程，并且振动波动可以自行恢复到原始振动水平。因此可以排除该振动为轴系油膜失稳或者轴承座轴向振动造成，振动应属于其他动静碰磨。但鉴于轴承振动增加值随着逐渐远离高压缸而依次降低，且各轴承相位变化幅度极小，可判断应该是摩擦振动引起的轴振发散传递至其他轴瓦处，导致其他轴承处轴振增加。

1.2 动静碰磨部位的确定

汽轮机可能发生动静碰磨的部位主要有三个：轴瓦与转轴摩擦、端部汽封或隔板汽封与转轴摩擦、油挡与转轴摩擦。汽封动静碰磨绝大部分发生在新机试运、大修或长时间停备后启动、带负荷或投运后不久，极少发生在机组长时间正常稳定运行的工况下。在机组长期运行后，若运行操作导致异常出现，如上下缸温差或胀差大等，使得局部间隙变小，在气流参数轻微波动时，转轴便会与端部汽封或隔板汽封发生间歇性的摩擦。根据运行经验，工作转速下发生动静碰磨引起的振动不会很明显，且此时动静部件的充分“磨合”也会快速磨损掉接触部分，使动静接触点脱离，从而消除振动，因此这时的动静碰磨振动不可能无规律频繁发生。同时在出现不稳定振动时，运行人员对运行参数、疏水系统、汽封供气温度、上下缸温差等进行

Copyright © 2023 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

了彻底检查，都没有发现明显波动和异常，这与汽封动静碰磨的特性不符，因此可以排除汽封与转轴发生摩擦。转轴与油挡摩擦是由于轴承箱内为微负压状态，油挡密封齿与转轴之间可能会吸入灰尘杂质，形成油垢。在高温作用下油垢会碳化固结，越积越多后与转轴发生摩擦、挤压，油垢脱落后即引发间歇性摩擦振动。也就是油挡积碳导致的碰磨。根据运行现象，振动有明显的随机偶发性，与运行参数变化无明显关联规律，因此认为油挡积碳碰磨的可能性较大。

1.3 气流震荡

为提高汽轮机设备的运行效率，通常会通过增大跨距来降低临界转速，而汽轮机运行转速与临界转速的差距增大时，汽轮机轴系统便会变得不稳定。在通流部分径向间隙出现转子弯曲，两侧间隙不同，轴径受到的切向力变大，从而使轴出现正向涡动现象。叶轮流通部的相互作用也会使得叶轮围带与汽轮机壳之间的间隙变大，导致轮带失稳磨损，进一步增大间隙以及切向力，也就产生了更大的振动。

1.4 油挡积碳振动机理

油挡积碳具有四个条件：润滑油、杂质、高温、时间。油挡内存有少量润滑油不可避免，汽轮机润滑油系统投运后，轴承箱呈微负压状态，环境中的灰尘、油烟、保温颗粒等很容易被吸入油挡处积存下来，然后与残留在油挡内的润滑油混合，形成软质油垢混合物。单轴承支撑设计使得轴承箱与汽缸间距小，热辐射和传热的影响造成轴承油挡温度较高；同时油挡距离轴封较近，运行中也发现#1轴承处轴封有漏气的现象，也造成轴承油挡温度异常升高，这就为油挡内油垢混合物提供了高温的烘烤环境，碳化固结作用明显，在机组连续运行一段时间后形成了质地坚硬的碳化物。积碳在油挡密封齿上造成油挡与转轴间隙减小，而积碳过程是持续性的，当积碳到一定程度，油挡将与转轴发生碰磨。碰磨发生时轴承振动表现为不断升高，机组磨合一段时间后，积碳被磨掉或挤向油挡两侧后油挡间隙重新变大，当油挡与转轴碰磨脱离时轴承振动表现为逐渐恢复正常。但是在不处理故障的情况下，随着运行时间增加，油挡积碳继续增加，由此形成了间歇性摩擦振动。

2 汽轮机振动问题防治处理

2.1 汽轮机振动监测系统

为了对汽轮机的振动状态进行实时监测检修，必须建立完善的汽轮机振动监测系统。利用神经网络建立的汽轮机振动监测系统是一种计算机处理技术，通过数学模型对人脑神经系统进行模拟，来模仿人对信息的处理过程。工作人员在汽轮机机头部分以及易发生振动部分布设传感器等采集装置以及机械箱对振动信号进行采集，采集到的信号将存储于特定文件中，并将采集到的信号进行处理后依据故障特征进行振动原因诊断处理，从而对汽轮机出现振动的原因进行分析，进行后续检修工作。

2 2SSS 离合器各部件重组影响分析

SSS 离合器是由主动件、从动件、中间件等多个部件组合而成。设备安装完成以后，在运行过程中，主动件与低压转子连接为一体，从动件与高中压转子连接为一体。如果 SSS 离合器主动件、从动件两部分都有残余不平衡质量，那么 SSS 离合器脱开并随机啮合以后，就有很多种情况。如果重组以后不平衡质量方向刚好相反，那么引起的振动就会相互抵消一部分，振动值就相对较小。如果重组以后不平衡质量方向相同，则引起的振动会叠加，振动值相对较大。其他情况介于这两者之间。为了避免这种情况出现，SSS 离合器出厂前一定要对各个部分做好精细动平衡。如果有条件，建议做离合器在不同啮合角度下的整机动平衡。如果各部件平衡控制得比较好，那么无论是哪种啮合情况，不平衡质量引起的振动均不会太大。

2.3 技术改造

针对机组油挡积碳的问题，技术人员提供了三种技术改造方案：（1）在油挡外部加装隔热板，降低油挡温度。这种技改方案减少了轴封对油挡的辐射传热，也减少了油挡处于高温状态的时间，降低了积碳产生的可能；2（2）加大油挡回油孔的尺寸或者增加回油孔数量，保证回油的通畅，减少在油挡处积存的可能；3（3）优化油挡结构，改为气密式油挡。一方面通过油挡保持正压将散落在油档处的保温棉颗粒、灰尘及时吹走，保证了油档处的清洁度，从而改善了油档的运行环境；另一方面通过压缩空气的对流换热对油挡进行冷却。由于杂质和高温两大关键因素被抑制，也就避免了碳化物的产生。

2.4 汽轮机转子返动平衡厂家进行数据复查

汽轮机转子返动平衡厂家后，首先进行转子高速动平衡复查，复查数据与厂家动平衡报告数据基本相同，高速动平衡符合要求。随后，查阅厂家动平衡记录显示，但未再进行低速动平衡检验，因汽轮机转子在本次检修前运行良好。经过了高速动平衡去重，怀疑会不会破坏转子低速动平衡，遂要求汽轮机转子动平衡复查分两步，先进行低速动平衡，然后再进行高速动平衡。汽轮机转子在低速平衡机上复查数据为不平衡量，严重超标，经过去重校验。随后，进行高速动平衡，在未进行任何去重和加重的情况下，符合标准要求，汽轮机转子返厂回装。

2.5 其他问题的防治

对汽轮机设备的受热膨胀不均匀问题造成的振动进行处理，由于加热不均匀的原因主要是因为受热与加热期间的阻碍引起的，因此在使用汽轮机设备时就要做好预先检验工作，对汽轮机管道进行疏水清洗工作。当遇到金属气缸与再热压力间出现受力不稳问题时，应对故障原因进行检测，通过调整参数或间歇使用汽轮机设备来排除运行故障，同时应对汽轮机各零件的变形情况进行检测，以便做到故障零件的及时更换以及对运行参数进行对应调整。

Copyright © 2023 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

对汽轮机动静摩擦引起的振动效果进行处理，主要是对汽轮机设备运行参数进行检测，一般汽轮机设备动静摩擦的产生都是在参数设置不合理情况下产生的。通过降低汽轮机的运行效率或对零部件的及时更换调整，来避免出现动静摩擦现象，还可以通过涂油脂等手段来增加零件间的润滑效果。

3 汽轮机振动防治案例分析

在冲转时操作人员控制四个开度高调阀喷嘴同步进汽，在中压缸的下半左右侧接入了两个中压联合气阀，联合气阀的流量调节至30%以下时，再热器基本可以保持压力不变，而当流量调节至 30%以上时，需下达全开指令，利用高压阀调节负荷。此时汽轮机在运行过程中出现了异常轴振现象，然后发生了跳机现象，通过初步检测发现轴系各处的轴振现象明显变多，而且中高压缸处的最大振幅超过了 290μm。同时，轴振的不断增加也导致瓦振频率同步增大，而且振动频率与轴振基本相同。（1）依据故障数据分析。汽轮机设备发生轴振的原因很多，而且大都相互影响，因此必须对轴振发生的各原因进行分析并进行针对性处理。在汽轮机初始启动冲转时，高压缸轴承基本未发生改变，此时的轴系基本处于平衡状态，轴承保持良好的支承刚度。故障发生前，机组轴系与配汽均运行良好。因此，维修人员应找出非轴系引发故障的控制因素，通过检测发现，3 号瓦振运行期间未出现异常，因此故障位置出现在 1 号以及 2 号之间。（2）轴振故障原因分析。由于在高频运行下的故障与碰撞故障类似，在轴系出现故障时，转速基本处于临界状态，轴系极易受到外界干扰，此时出现的轴振也较为剧烈，这种现象在各大电厂中出现的频率也较高，严重影响到了汽轮机设备的平稳运行。（3）轴振处理方案。上述分析可以看出，动静叶片以及轴瓦碰撞是轴系发生异常的主要影响因素，在没有进行并网发电前，机组冲转起机造成了气缸膨胀堵塞，而且汽轮机在临界转速区域内的相互耦合使得振动频率增幅明显，极易出现跳机现象，从而造成机组的剧烈磨损。可以看出，1 号和 2 号发生轴振而且运行过程也很不稳定，汽轮机机组在快速增加负荷阶段对第三阀进行了负荷调节，负荷频率的突变也增大了转子径向位移，也就导致了磨损现象的发生。因此汽轮机在实际运行过程中出现的磨损现象也就较为严重，此时通过电涡流传感器对动静部位的碰撞效果进行检测并进行定位。同时通过机械测振表对故障信号进行定位检测，发现了转子受热不均匀造成了转子的热弯曲现象，转轴也出现了较为严重的磨损。通过更换零件并涂抹油脂润滑，同时减缓汽轮机运行效率，动静摩擦现象得到有效缓解，汽轮机运行也更为平稳。

4 结语

综上所述，汽轮机结构精细、复杂，检修一次耗费大量的人力、物力，像这种双圆盘，工作转速仅受第一阶临界转速影响的汽轮机转子，在设备之前运行良好的情况下，计划检修过程中不可盲目地只进行高速动平衡去重，应结合低速动平衡检测转子的不平衡量，往往低速动平衡对这种结构形式的转子特别有利。通过对振动问题进行分析并提出具体防治举措，才能保证汽轮机设备的平稳运行，保证电量的稳定供应，从而产生经济效益。

[参考文献]

[1]李毅，张军.汽轮机振动原因分析及处理[J].广东化工，2012，39(11)：174-175.
[2]刘湘萍.汽轮机运行中的振动及防止技术研究[J].当代化工研究，2020(1)：56-57.
[3]廖申丁.火力发电厂汽轮机轴承振动大的原因分析及处理措施[J].机电信息，2019(35)：83-84.
[4]刘恩天，赵志发，徐国烽，等.某公司 1000MW 机组低压缸轴向振动大原因分析及解决措施[J].机电信息，2019(30)：64-65.
[5]柳磊，马国伟，王新.基于轴瓦稳定性分析的合缸汽轮机 1 号轴瓦振动故障研究[J].东北电力技术，2020，41(10)：55-58.
[6]方伋.基于因果分析法解决汽轮机振动问题的分析[J].中国设备工程，2022(7)：164-166.
[7]王升龙，吴鸿辉，宋同辉.转速对核电汽轮机运行参数影响的数值模拟[J].汽轮机技术，2013，55(1)：59-61.
[8]贾洪钢，李威，张建宇.计算分析排汽压力变化对汽轮机运行性能的影响[J].赤峰学院学报（自然科学版），2009，25(11)：138-139.
[9]倪秋华，朱晓东.汽轮发电机组状态监测和故障诊断的发展与趋势[J].汽轮机技术，2011，53(3)：220-222.
[10]张瑞青，王雷，王汝武.采用喷射泵疏水方式的回热系统热经济性分析[J].汽轮机技术，2011，53(3)：179-182.

作者简介：李杜海（1988-），男，汉族，湖南岳阳人，研究生，工程师，研究方向：热能与动力工程。

Copyright © 2023 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.