

火电厂集控运行中蒸汽轮机 振动异常与抑制策略研究

张晋豪

(国家能源集团重庆电力有限公司重庆发电厂, 重庆 400800)

摘要 蒸汽轮机是火电厂集控运行系统的核心设备, 蒸汽轮机的振动稳定性直接影响电厂的安全性和经济性。蒸汽轮机振动异常轻则会造成设备磨损加重, 重则会导致机组停机、设备损坏, 造成重大的经济损失。本文根据集控运行架构和蒸汽轮机振动理论, 从设备本身、运行操作、外部环境三个方面分析振动异常的原因, 提出设备优化、应急处置等各方面的抑制措施, 以期为火电厂解决蒸汽轮机振动问题、提高集控运行可靠性提供参考, 进而保证机组长期平稳高效运行。

关键词 火电厂集控运行; 蒸汽轮机; 振动异常

中图分类号: TM62; TK26

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.07.005

0 引言

随着火电厂集控运行技术的持续发展, 机组正朝着高参数、大容量方向升级迭代。作为能量转换的核心枢纽, 蒸汽轮机的运行状态对机组整体性能的影响愈发关键。振动异常是蒸汽轮机运行中经常出现的故障之一, 轻微的振动会加快设备的磨损, 严重的会造成机组停机、设备损坏, 造成巨大的经济损失。因此, 对蒸汽轮机振动异常的原因进行深层次的探究, 寻找出一套行之有效的抑制方法, 对火电厂集控系统安全稳定运行、减少故障的发生率具有重大的现实意义和应用价值。

1 火电厂集控运行中蒸汽轮机振动异常理论

1.1 火电厂集控运行系统概述

火电厂集控运行系统是把锅炉、蒸汽轮机、发电机等主要发电设备集成在一起, 实现集中监测、操作、控制的一体化管控系统。核心架构由中央控制室、现场检测单元、执行机构、高速通信网络组成, 通过统一控制平台来协调各个设备之间的联动关系, 有效地提高发电效率、降低运行损耗、保证机组安全稳定运行, 实现设备运行状态的实时可视化与远程操控, 减少人工巡检频次, 提升机组运行的智能化水平。蒸汽轮机是集控系统的主要动力设备, 主要功能是把蒸汽的热能转化为机械能, 驱动发电机产生电能, 它的运行稳定性直接影响整个集控系统的供电可靠性及运行经济性, 是锅炉蒸汽系统和发电机电力输出之间联系的关键节

点, 在火电厂集控运行体系中占据着不可替代的核心地位, 对机组的连续高效运行起着决定性的支撑作用。

1.2 蒸汽轮机振动相关理论

蒸汽轮机振动是蒸汽轮机运行过程中不可避免的物理现象, 可分为强迫振动和自激振动两种。强迫振动主要是由于转子不平衡、部件不对称等原因引起的, 自激振动多与润滑不良、气流扰动有关。振动异常判断的核心指标为振动幅值、频率、相位, 必须严格按照火电厂设备运行行业标准来确定合格范围, 结合设备本身参数来判断, 通过频谱分析、趋势分析等专业手段精准识别振动类型, 为后续故障诊断与消缺处理提供可靠数据支撑。集控运行环境下的振动监测采用高精度传感器技术, 蒸汽轮机转子、轴承、气缸等关键部位安装振动传感器并实时采集振动信号, 通过调节电路、传输模块传送到集控中心, 然后对振动参数进行分析处理, 判断是否超出了正常值, 发现异常源马上停止振动扩散。

2 火电厂集控运行中蒸汽轮机振动异常的成因分析

2.1 设备本身因素

设备自身的质量缺陷、安装偏差、长期运行损耗等都是造成蒸汽轮机振动异常的主要内在原因, 隐具有隐蔽性强、影响持久的特点。转子是蒸汽轮机的主要转动部件, 在制造过程中由于材料不一致、加工精度达不到要求、长期使用磨损腐蚀疲劳产生裂纹或者结垢, 都会造成转子不平衡、产生离心力引起持续振动^[1]。轴承是支撑转子的重要部件, 安装时同轴度、

作者简介: 张晋豪 (1996-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 火电集控运行。

间隙调整不当或者运行中润滑失效、磨损、剥落等，都会造成转子支撑不稳定，产生振动。另外，蒸汽轮机气缸、隔板等部件变形、密封件损坏造成的蒸汽泄漏、转子和静止部件碰磨等都会影响设备的正常运转，进而加重振动异常，这些问题的产生大多和设备全生命周期管理不到位有关。

2.2 集控运行操作因素

集控运行操作规范性直接影响蒸汽轮机的运行状态，不规范的操作是引起振动异常的主要人为因素，大部分可以通过科学控制来避免。机组启停时，若操作人员未按操作规程执行，升温、降温速度过快，升速、降速节奏不合理，就会使蒸汽轮机各个部件受热、冷却不均，产生较大的热应力和热变形，破坏各个部件的配合精度，引起振动。当机组负荷波动较大，变化频繁时，会使得蒸汽压力、温度、流量等主要参数发生突然变化，蒸汽对转子的作用力不均，造成转子振动异常。集控系统操作参数设置不合理、操作人员误操作、设备运行状态监测不到位，不能及时发现轻微振动隐患并进行处理，会造成振动隐患逐渐扩大，引起严重的振动异常，影响机组正常运行，与操作人员专业素质及管控机制有关。

2.3 外部环境及辅助系统因素

外部环境干扰、辅助系统运行异常，都是造成蒸汽轮机振动异常的主要外在因素，各个因素之间互相影响，很容易形成连锁反应^[2]。在外部环境方面，火电厂厂房内温度、湿度超标或者存在大量粉尘、腐蚀性气体，会加快设备部件的老化、腐蚀，间接降低设备运行稳定性，引起振动异常；厂房基础沉降、周边设备运行产生的振动干扰，会传递到蒸汽轮机上，破坏其运行平衡，严重时还会引起共振。在辅助系统方面，蒸汽系统参数不稳定、蒸汽带水造成蒸汽冲击转子力不均；润滑油系统油质变差、供油不足或油路堵塞使轴承磨损加大，影响转子支撑稳定性；冷却系统运行异常使设备降温不及时而引起部件热变形；励磁系统故障会影响发电机运行状态从而干扰蒸汽轮机的稳定运行，各类辅助系统异常都会通过不同途径诱发或者加剧蒸汽轮机振动异常。

2.4 多因素耦合作用分析

火电厂集控运行时，蒸汽轮机振动异常一般不是单一因素单独造成的，而是设备自身、运行操作、外部环境、辅助系统等多因素耦合的结果，且耦合后的振动异常更复杂、危害更大，排查和处理难度大大增加，容易造成严重的设备故障，造成重大的经济损失。例如：设备本身存在转子质量不平衡隐患，集控运行时

操作人员调节负荷过于频繁，会使转子振动增大，此时若润滑油系统出现供油不足、油质变差的情况，会使轴承润滑变差，振动幅值急剧增大，产生“设备隐患+操作不当+辅助系统异常”的恶性耦合效应，短时间内就可能造成轴承损坏。另外，厂房基础沉降造成设备安装精度不准确，加上蒸汽系统蒸汽参数波动，会造成蒸汽轮机各部件受力不均，如果操作人员不能及时发现振动异常、不能调节运行参数，就会使振动异常扩大，进而造成转子碰磨、轴承损坏、气缸变形等严重的设备故障。多因素耦合时，各因素的影响叠加、放大部分，会增大振动异常的排查难度，缩短设备使用寿命，严重影响机组连续稳定运行，给火电厂造成安全隐患和经济上的损失。

3 火电厂集控运行中蒸汽轮机振动异常的抑制策略

3.1 设备层面的抑制措施

对于设备自身原因造成的振动异常要构建设备制造、安装、维护全流程控制体系，从源头上消除振动隐患。在设备制造阶段严格控制材质质量、加工精度，加强转子、轴承、气缸等主要部件的质量检测，采用先进的加工工艺，杜绝不合格的部件投入使用；在设备安装阶段严格按照安装规范进行安装，控制好安装偏差，保证各部件的配合精度和同轴度，做好设备的密封处理，减少蒸汽泄漏隐患。建立设备日常维护检修制度，定时对蒸汽轮机核心部件巡检、无损检测，及时发现并处理磨损、腐蚀、裂纹等隐患，定时对转子做平衡校正，加强润滑系统、密封系统的维护；定时更换润滑油、密封件，保证设备润滑、密封良好；定时做设备全面检修，及时调整部件间隙、修复变形部件，提高设备运行稳定性，从源头上抑制振动异常发生^[3]。

3.2 集控运行操作层面的优化策略

优化集控运行操作流程：其一，加强操作人员管控是控制振动异常的有效措施，可以降低人为因素造成的隐患。制定完善的标准化操作规程，明确机组启停、负荷调整的具体要求，严格控制升温、降温、升速、降速速度，避免参数急剧变化，减少热应力和部件变形，保证机组平稳启停、负荷平稳调整。其二，加强操作人员专业培训，按期开展设备运行特性、操作规程、应急处置等内容的培训和考核，提高操作人员的职业素养与操作技能，培养其责任意识，避免误操作。其三，根据蒸汽轮机运行状况动态调整相关参数，使设备协同高效运行，建立操作全过程管控机制，对操作流程实施实时监测、追溯，及时发现并纠正不规范操作，防止操作因素引起的振动异常。其四，创建集控运行操作经验分享平台，整理出振动异常典型状况、规范操作案

例并进行剖析,提高风险预判能力。完善应急操作预案,根据不同原因引起的振动问题制定专门的处置流程,保证突发情况下可以快速反应、精准处理,从操作全过程筑牢振动防控防线,保证机组长期稳定安全运行。

3.3 监测与预警系统的完善

健全振动监测预警系统,达到振动异常的早发现、精预警和及时处置的目的,可以有效防止振动隐患扩大。首先,改善振动监测点位的布置,增加到蒸汽轮机转子、轴承、气缸等重要部位的高精度振动传感器,扩大监测范围,全面、实时地采集振动信号,使用先进的信号处理技术提高振动数据分析的精度,正确识别振动类型,判定振动等级,防止出现误判、漏判^[4]。其次,搭建智能化预警平台,根据行业标准和设备运行参数阈值来设置分级预警指标,当振动参数接近或者超过预警阈值的时候,会发出声光预警信号,并推送预警信息给相关操作人员,提醒他们及时排查处理。再者,建立振动数据台账,对振动数据实施长久存储并加以剖析,总结振动变化的规律,预先判定振动异常的隐患,从而实现从被动处置到主动防控的转变。最后,完善预警联动处置机制,把预警信号同设备启停、旁路切换等应急操作联动,缩短故障响应时间。对预警系统定期进行校验、维护,更新传感器、算法模型等,保证预警系统长期稳定运行,不断提高设备振动风险防控的智能化、可靠性水平。

3.4 辅助系统的优化改进

辅助系统稳定运行是蒸汽轮机正常运转的保证,优化改进辅助系统可以有效减少振动异常的原因,提高设备运行稳定性。对蒸汽系统加强锅炉运行调控,保证蒸汽压力、温度、流量稳定,改善蒸汽净化工艺,削减蒸汽带水状况,防止蒸汽对转子产生不平衡冲击;定时对蒸汽管道、阀门等部件展开检查,及时修补出现的泄漏隐患,保证蒸汽系统密封良好、运行稳定。定期对润滑油系统油质进行检测,及时更换已劣化的润滑油,改善供油系统设计,保证供油充足、稳定,加强油路清洗,防止油路堵塞,从而提高轴承润滑的效果,减少轴承磨损的概率。对冷却系统、励磁系统等其他辅助系统进行定期的巡检和维护,发现运行中的异常现象及时加以处理,改善控制逻辑以使系统更加稳定、可靠地运行,保证各个辅助系统与蒸汽轮机、集控系统一起协同高效运行,降低外界因素的影响。

3.5 应急处置策略

建立科学完善的应急处置体系,提高振动异常应急处置能力,可以在蒸汽轮机出现振动异常的时候迅速做出反应并妥善处理,最大限度地减少损失,防止

振动异常扩大导致设备故障或者机组停机,保障电厂安全生产。首先,根据振动幅值大小、影响范围、危害程度将振动异常分为一般、较大、重大三级,制定出相应的应急处置预案。确定不同的分级对应的处理流程、责任分配、应急手段、时间限制。在应急处理时依据不同的等级采取相应的措施来解决振动异常问题,及时地修改与调整应急方案,结合实际工作中遇到的经验来完善应急处理方案,使应急处理方案更具有实用性、可行性。其次,配置足够的应急处理设备和材料,如振动检测设备、维修用具、备件等,加强应急队伍的建设,选择有经验的、有能力的人员组成应急小组,定期进行应急演练,模拟各种等级的振动异常情景,提高操作人员的应急处理能力和团队协作能力^[5]。当发生轻微振动异常的时候,及时调整运行参数,消除隐患,防止隐患的扩大;当出现严重振动异常的时候,立即执行应急停机程序,停止设备运转,组织专业人员对隐患进行全方位的排查,制定出有针对性的处置方案,在隐患彻底消除并通过验收之后,再启动机组;应急处置结束以后,认真总结经验教训,不断改进应急处置预案和防控手段,持续提高振动异常的应急处置能力。

4 结束语

火电厂集控运行中蒸汽轮机振动异常是由设备、操作、环境等诸多因素引起的,且多因素耦合作用会加大故障风险,直接危及机组的安全和电厂的效益。本文提出多种抑制策略,可以对由各种原因引起的振动现象采取相应的措施,在设备改进、规范操作之后,可以减少振动异常的发生概率。而后可以结合实际机组运行数据来优化策略参数,提高适用性。做好蒸汽轮机振动控制,对促进火电厂集控运行高质量发展、实现节能降耗具有重大意义。

参考文献:

- [1] 江宗浩.火电厂集控运行中蒸汽轮机振动异常智能诊断与抑制策略研究[J].智能建筑与智慧城市,2025(S2):569-571.
- [2] 张晓东,唐经天,杜玉生,等.300MW 汽轮机振动治理分析[J].中国设备工程,2025(24):81-83.
- [3] 王新,李凌坤,朱亚鹏,等.某汽轮机振动突增故障的诊断和处理[J].热力透平,2025,54(04):313-317.
- [4] 陈建军.裂解气机组汽轮机振动大的原因分析及对策[J].石化技术,2025,32(12):266-268.
- [5] 张冲.汽轮机振动故障诊断技术分析[J].今日制造与升级,2025(07):201-203.