

Analysis of the Causes of Steam Turbine Vibration in Thermal Power Units and Engineering Countermeasures

Chunlong Tian

Datang Qitaihe Power Generation Co., Ltd., Qitaihe, Heilongjiang, 154600, China

Abstract

As the core of production operation in the power system, steam turbines and their units directly affect the generating capacity and overall operation level of the units. However, during actual production, abnormal vibration of steam turbines is a common and significant issue that impacts operation. Once vibrations exceed permissible limits, it not only reduces the operational stability and generation efficiency of thermal power units but also can cause serious equipment damage, leading to load reduction or even shutdown of the units, thereby directly affecting the normal power supply of the system. At the same time, reduced power supply reliability also has a considerable impact on social production and residents' daily lives, resulting in increasing operating costs and a significant decline in economic efficiency. Therefore, analyzing the issue of abnormal steam turbine vibrations is of great importance. By thoroughly examining the vibration mechanisms, accurately identifying key causes, and implementing effective engineering control measures, it is possible to enhance the operational safety of steam turbines and ensure the long-term, stable operation of thermal power units.

Keywords

Thermal Power Unit; Causes of Steam Turbine Vibration; Engineering Countermeasures

火电机组汽轮机振动问题的成因分析与工程对策

田春龙

大唐七台河发电有限责任公司，中国·黑龙江 七台河 154600

摘 要

汽轮机及其机组作为电力系统中生产运行的核心，其运行情况将直接影响机组发电能力与整体运行水平，但在实际生产期间，汽轮机异常振动是比较常见且影响运行的重要问题，一旦振动超出允许范围，不仅会削弱火电机组的运行稳定性和发电效率，且还会引起设备严重受损，致使火电机组降负荷甚至停运，从而直接影响发电系统的正常供电。同时，供电可靠性下降也将对社会生产和居民生活产生较大影响，导致运行成本不断上升和经济效益显著下降。因此，通过对汽轮机异常振动问题展开分析有着重要作用，通过详细分析振动产生机理，准确识别关键诱因，并采取有效工程控制措施，有利于提升汽轮机运行的安全性，确保火电机组长期、稳定的运行。

关键词

火电机组；汽轮机振动问题成因；工程对策

1 引言

火电机组作为电力系统中的重要设备，其安全运行对电网可靠性有着直接关系，汽轮机是火电机组核心设备之一，有着转速高、结构复杂及运行工况多变等特征，且对振动问题极其敏感。在实际运行期间，汽轮机振动异常为火电机组非计划停运和设备故障重要原因之一，不仅影响火电机组出力和运行寿命，且还可对人身安全造成较大威胁，因此，仔细探讨火电机组汽轮机振动问题具有显示意义^[1]。近几年以来，随着机组容量和参数的不断提高，汽轮机转子长度增

加、轴系柔性增强，振动肌力变得极其复杂，传统处理方法已无法满足汽轮机安全运行要求，而振动问题往往由机械、热力及流体等多方面因素形成，且在不同运行阶段呈不同特征。基于实际运行数据，本文就汽轮机振动成因进行深入探究，并提出具有针对性的工程对策，现内容综述如下：

2 火电机组汽轮机振动的概述

2.1 汽轮机振动概念

汽轮机振动具体指汽轮机在运行期间，转子、轴系及支撑部件在内外力作用下产生的周期性或非周期性机械运动现象，在实际运行过程中，汽轮机为高速旋转设备，其转子在蒸汽做功、轴承支撑及联轴器传递扭矩等条件下产生一定幅值的振动，只要振动水平在设计允许范围内，且具有稳

【作者简介】田春龙（1994-），男，中国黑龙江绥化人，本科，工程师，从事火电厂汽轮机方向研究。

定性,可被视为正常振动,不会对设备安全和运行造成不利影响。从工程角度来讲,汽轮机振动主要通过位移、速度或加速度等参数进行表征,其大小和变化趋势能充分反映轴系运行状态及设备健康状况^[2]。目前,振动产生原因较多,不仅与转子质量分布、轴系对中状态、轴承结构和润滑条件有关,且也可能受蒸汽参数波动、负荷变化及热态变形的影响。在不同运行工况下,振动特征存在较大差异,如启停过程中的过渡振动、稳态运行下的工频振动等,因此,汽轮机振动并非单一故障现象,而是一种重要的运行状态指标,通过对振动参数持续监测,可熟练掌握汽轮机运行状况,为设备运行调整、检修决策及故障预防提供重要依据。

2.2 汽轮机振动异常的危害

当汽轮机振动超过运行规定允许值时,可判定为振动异常,振动异常会对汽轮机及其相关设备造成较大影响:首先,长期超额振动会加剧转子、轴承及密封部件的机械磨损,减短重要零部件的使用寿命,提升设备故障发生率。其次,振动过大可导致轴承温度升高、油膜稳定性下降,进一步恶化轴系运行状态,形成恶性循环。从运行角度看,汽轮机振动异常往往限制机组负荷调节能力,迫使机组降负荷运行,直接影响发电效率和经济性。在严重情况下,振动可触发保护系统动作,引发机组非计划停机,不仅造成发电量损失,还会增加启动和检修成本。此外,频繁振动还会影响设备运行可靠性,增加运维管理难度。从安全层面分析,若振动问题未能及时发现和处理,可引发轴系失稳、部件松动甚至结构性损伤,对设备和人员安全构成较大威胁。因此,准确识别汽轮机振动异常及其危害,并早期采取有效控制措施,是确保火电机组安全、稳定运行的关键。

3 火电机组汽轮机振动问题的成因分析

3.1 油膜振荡引起的振动

油膜振荡是火电机组汽轮机中较为典型的一类振动问题,主要发生在滑动轴承支撑的转子系统中,当转子高速旋转时,轴承内形成承载油膜以支撑转子正常运行。在一定工况下,若润滑油黏度选择不当、供油压力不足、轴承间隙过大或转子负荷偏低,会导致油膜稳定性下降。此时,油膜产生自激振动,使转子绕平衡位置作周期性摆动,形成油膜振荡现象。此类振动常表现为振动频率低于转子转速,且随转速变化不明显,如果油膜振荡未能及时抑制,可进一步发展为油膜涡动甚至油膜失稳,对轴承和转子安全运行构成威胁。

3.2 摩擦引起的汽轮机异常振动

摩擦引起的汽轮机异常振动多发生于转子与静止部件之间间隙不足或发生接触的情况下,如轴封、隔板或汽封部位。当机组在启停过程、负荷波动或热态条件变化时,转子可能因轴系对中不良、基础沉降或热膨胀不均而发生偏移,导致局部摩擦现象。摩擦会使转子受力状态发生突变,引起

振动幅值和频谱特征异常,通常表现为振动不稳定、幅值波动明显,甚至伴随温度升高和异响,长期摩擦不仅会加剧设备磨损,还导致转子表面损伤,进一步恶化振动状态。因此,保证合理安装间隙、良好轴系对中及稳定热态条件,是减少摩擦振动的重要工程基础^[3]。

3.3 转子热变形引起的汽轮机异常振动

转子热变形是汽轮机运行中不可忽视的振动诱因之一,在机组启停、负荷调整或蒸汽参数波动过程中,转子各部位受热不均,容易产生温度梯度,导致转子发生不均匀膨胀。当热变形超过一定程度时,转子几何中心发生偏移,破坏原有的动平衡状态,从而引发振动异常。此类振动通常具有明显的工况相关性,在升温或降温阶段较为突出,如果热变形长期存在,还可诱发摩擦或加重轴承负荷。

3.4 气流激振引起的汽轮机异常振动

气流激振由蒸汽在汽轮机通流部件中流动不稳定而引起的一种振动形式,在部分负荷运行、汽流偏斜或通流部件结构不合理时,蒸汽流动可产生周期性脉动压力作用于转子和叶片,形成气流激振。该类振动往往与负荷变化密切相关,在特定工况下突然出现,且振动频率与汽流特性有关,气流激振不仅影响转子整体振动,还可对叶片造成附加动载荷,加大疲劳损伤风险。

4 火电机组汽轮机振动问题的工程对策

4.1 油膜振荡引起的振动工程对策

针对油膜振荡引起的汽轮机振动问题,应从润滑系统设计、运行控制及设备状态管理等方面采取综合工程对策:首先,应合理优化轴承结构形式,根据机组容量和转速特点,优先选用稳定性较好的可倾瓦轴承或改进型椭圆轴承,以提高油膜的阻尼能力和抗振性能。对于已投运机组,可通过技术改造方式改善轴承几何参数,增强系统稳定裕度。其次,应加强润滑油系统运行参数的精细化控制,严格控制供油压力、油温和油质,避免油温过高导致油膜承载能力下降。运行中应保持油温处于设计范围内,防止因黏度变化引发油膜不稳定,同时应强化润滑油净化管理,定期进行油质化验,防止杂质、水分和气体进入油膜,破坏其稳定状态。此外,应充分利用在线振动监测和轴心轨迹分析手段,对油膜振荡特征进行实时监控。当振动幅值或频谱特征出现异常趋势时,应及时调整运行工况,如适当改变转速或负荷,避开油膜不稳定区间,通过设备改造与运行优化相结合,可有效降低油膜振荡引起的汽轮机振动风险。

4.2 摩擦引起的汽轮机异常振动工程对策

针对摩擦引起的汽轮机异常振动,应重点从结构间隙管理、运行控制及检修质量保障等方面入手:首先,在设计 and 检修阶段,应严格控制转子与静止部件之间的径向和轴向间隙,特别是汽封、隔板和通流部件的装配精度,确保在各种工况下均具备足够的安全裕量,检修过程中应重点检查密

封部件磨损情况,防止因装配偏差造成运行中擦碰^[4]。其次,应加强机组启停及变工况过程的运行管理,运行人员应严格控制升速、升温和负荷变化速率,避免汽缸与转子热膨胀不同步而引发局部摩擦。在发现振动或轴位移异常时,应及时采取降负荷、稳参数等措施,防止轻微摩擦发展为严重机械损伤。此外,应强化状态监测与故障预警能力,通过轴振、瓦振、轴向位移及温度监测系统,综合判断是否存在摩擦征兆。一旦确认异常,应及时安排停机检查,消除隐患,通过规范运行操作与提高检修质量,可有效减少摩擦引起的汽轮机异常振动。

4.3 转子热变形引起的汽轮机异常振动工程对策

针对转子热变形引起的汽轮机异常振动,应重点采取热工管理与设备状态控制相结合的工程措施:首先,在运行管理方面,应严格执行机组启停曲线和操作规程,合理控制升温、升速速率,避免转子产生过大的热应力,特别在冷态启动和热态再启动过程中,应充分保证转子受热均匀,防止局部温差过大引发热变形。其次,应加强汽缸和转子热态监测,通过转子膨胀、汽缸膨胀及温度分布监测系统,实时掌握设备热态变化情况。当发现热膨胀异常或趋势不一致时,应及时调整运行参数,必要时降低负荷或中止升速过程,防止振动进一步扩大。在检修和维护方面,应重视转子本体状态管理,定期检查转子是否存在弯曲、应力集中或材料性能退化问题,对存在隐患的转子应进行热校直或修复处理。同时,应确保汽缸保温结构完整,减少外界环境对热分布的影响,通过规范运行与强化热态管理,可有效抑制转子热变形引起的异常振动。

4.4 气流激振引起的汽轮机异常振动工程对策

针对气流激振引起的汽轮机异常振动,应从运行工况优化和通流部件管理两个方面实施工程对策:首先,在运行控制方面,应合理安排机组负荷区间,尽量避免长时间运行于气流激振敏感工况,通过优化负荷分配和参数调整,使机组避开易发生激振的临界区域,从运行层面降低振动风险。其次,应加强通流部件的检查与维护,定期检查叶片、隔板和喷嘴等部件的磨损、变形及积垢情况,防止通流面积变化导致气流分布不均^[5]。检修中应保证叶片安装角度和间隙符

合设计要求,避免因局部气动不平衡引发激振现象。此外,可结合技术改造手段,提高机组抗气动激振能力,如通过优化叶片结构、改善通流通道形状或调整密封结构,降低气流脉动强度。同时,利用振动监测系统分析振动频率特征,识别气流激振特征信号,及时采取调整措施,通过运行优化与设备改进相结合,可有效控制气流激振引起的汽轮机异常振动。

5 结语

汽轮机振动问题贯穿火电机组运行的整个过程,是影响机组安全性、经济性的关键因素之一,通过对汽轮机振动问题深入分析得出,其产生并非单一原因所致,而是由转子系统、轴承支撑、热力状态及气动因素等多方原因共同作用的结果,因此,振动治理必须坚持系统性和针对性相结合的原则。工程实践表明,单纯依靠事后处理难以从根本上消除振动隐患,只有将工程对策前移到设计、安装、运行和检修各环节,才能有效降低振动发生概率。通过加强设备结构优化、严格运行参数控制、提升状态监测和故障预警能力,可早期发现和处置振动问题。同时,规范操作行为、提高检修质量,对保障汽轮机长期稳定运行具有重要意义。由此可见,汽轮机振动处置是一项长期且繁重的工程任务,随着国内工程监测技术和运行管理水平的不断提升,火电机组汽轮机振动问题能得以控制,同时也为火电机组的安全、稳定及长期运行提供重要保障。

参考文献

- [1] 张兴凯.600MW火电机组汽轮机回热加热器泄漏原因分析及解决措施[J].河南科技,2025,52(13):29-32.
- [2] 周士博,庞凯元,张宝琴.火电机组汽轮机冷端系统优化改造技术分析[J].仪器仪表用户,2024,31(05):77-79.
- [3] 臧利永,张涛.超超临界火电机组给水泵汽轮机20Cr13钢动叶片断裂原因[J].理化检验-物理分册,2024,60(05):74-78.
- [4] 文立斌,胡弘,李俊,等.汽轮机组功率振荡的关键影响因素仿真研究[J].武汉大学学报(工学版),2024,57(02):231-240.
- [5] 俞凯耀,金波,周锦.火电机组给水泵汽轮机振动跳闸的原因与防范措施[J].湖州师范学院学报,2024,46(02):33-38.