

火电厂汽轮机常见故障诊断与检修策略研究

岳伟 李云龙 白杰

锡林郭勒热电有限责任公司 内蒙古锡林浩特 026000

摘要: 文章首先介绍了火电厂汽轮机的工作原理及结构,为后续故障分析奠定基础。详细阐述了基于振动监测、温度监测、转速监测等常用故障诊断方法,分析其原理与应用场景。针对异常振动、超速转动、油系统、凝汽器系统、水冲击等常见故障,深入探讨相应的检修策略。通过对这些内容的研究,旨在提高火电厂汽轮机的运行可靠性和安全性,降低故障发生率,为火电厂的稳定生产提供有力保障。

关键词: 火电厂;汽轮机;故障诊断;检修策略

引言

锡林郭勒热电有限责任公司2×660MW机组作为区域电网的核心支撑电源,其汽轮机运行的稳定性直接关系到电网安全与民生供热质量。该机组采用东方电气集团CJK660/651-28型超超临界间接空冷抽汽凝汽式汽轮机,配套哈尔滨锅炉HG-2114/29.3-HM14型褐煤塔式锅炉及QFSN-660-2-22B型水氢氢冷却发电机,技术参数达国际先进水平。然而,火电厂汽轮机长期面临高温高压、变负荷运行的严苛工况,据统计,因汽轮机故障导致的非计划停运占火电厂总停运时间的三分之一以上,其中振动异常、油系统泄漏、凝汽器真空下降等问题占比超六成,不仅造成巨大经济损失,更威胁电网安全。当前,传统定期检修模式存在过度维修或维修不足的弊端,难以适应智能电网对设备可靠性的要求。因此,深入研究汽轮机故障机理,构建基于状态监测的精准检修体系,成为提升火电厂运行经济性与安全性的关键课题。

一、火电厂汽轮机工作原理及结构

火电厂汽轮机是将蒸汽的热能转化为机械能的关键设备,其工作原理基于蒸汽的能量转换。在锅炉中,水被加热成高温高压的蒸汽,蒸汽通过管道进入汽轮机的喷嘴部分。在喷嘴中,蒸汽加速形成高速气流,冲击动叶片,动叶片受到冲击后开始旋转,带动转子转动,从而将蒸汽的动能转化为机械能,带动发电机发电。

汽轮机的结构主要由蒸汽入口、喷嘴、动叶片、静

叶片、转子、汽缸和排气口等组成。蒸汽入口将高温高压蒸汽引入汽轮机;喷嘴把蒸汽的热能转化为动能,使其高速喷出;动叶片安装在转子上,直接承受蒸汽的冲击力,将蒸汽的动能转化为转子的旋转机械能;静叶片则改变蒸汽流动方向,提高效率;转子是汽轮机的核心旋转部件,上面安装着多级动叶片,旋转时输出机械功;汽缸包裹整个汽轮机结构,保持密封性;排气口将做功后的蒸汽排出,进入冷凝器。

为提高热效率,现代大型汽轮机组常采用给水回热循环,从汽轮机的某些中间级后抽出作过功的部分蒸汽,用以加热给水。调节系统控制蒸汽流量和压力,调节汽轮机的输出功率;轴承和润滑系统则保证转子平稳运转,减少摩擦损失。

二、火电厂汽轮机常用故障诊断方法

(一) 基于振动监测的诊断方法

基于振动监测的诊断方法是火电厂汽轮机故障诊断的重要手段。汽轮机在运行中会产生振动,不同故障对应不同振动特征,通过在关键部位安装振动传感器,实时监测振动频率、振幅和相位等参数并分析处理,就能判断故障类型和位置。

不对中故障时,最大振动常出现在不对中联轴器两侧轴承,振动值随负荷增加而增大。平行不对中主要引发径向振动,频率为2倍工频,联轴器两端径向振动相位差接近180°;角度不对中时轴向振动明显,频率为工频,两端轴向振动相位差也接近180°。

转子不平衡时,径向振动为主,悬臂式转子可能有轴向振动,波形呈典型正弦波,振动频率与工频一致,水平与垂直方向振动相位差接近90度。轴承故障也有特定振动特征,内圈故障产生低频、大幅值振动,外圈故障导致高频、小幅值振动。

作者简介: 岳伟(1987.05—),男,汉族,内蒙古锡林浩特人,毕业于华北电力大学,大学本科,热能与动力工程专业,工程师,现就职于锡林郭勒热电有限责任公司,研究方向为热动力专业。

通过对振动监测数据采用频谱分析、时域分析、小波分析等方法，能清晰显示不同频率成分的振动幅值，观察振动信号波形和幅值变化，提取不同频率段特征信息，从而精准诊断汽轮机故障，为设备的稳定运行提供保障。

（二）基于温度监测的诊断方法

基于温度监测的诊断方法在火电厂汽轮机故障诊断中至关重要。温度的变化能直观反映设备的运行状态，不同的故障往往会引发特定的温度异常。

温度测量有接触式和非接触式之分。接触式测温基于热平衡原理，例如液体膨胀式温度计，以水银或酒精为测温物质，精度较高但易损坏；热电阻温度计利用电阻与温度的函数关系，通过测量回路转换在显示器显示温度；热电偶温度计则利用两种导体接触部位的温度差产生的热电势测量温度，热电势大小与温度成正比。非接触式测温则利用红外线辐射，任何高于绝对零度的物体都会有热能变为辐射能，物体温度不同，辐射的波长组成和能量大小也不同，通过检测红外辐射可确定物体温度，常用于监测设备表面温度，如轴承座外壁温度等。

在故障诊断中，可利用红外热成像技术获取设备表面温度分布，识别过热区域，判断设备是否存在异常。例如当汽轮机某个部位出现温度过高，可能意味着该部位存在摩擦增大、润滑不良或冷却不足等问题。通过对不同关键部位的温度实时监测和分析，就能及时发现潜在故障，提前采取检修措施，保障汽轮机的安全稳定运行。

（三）基于转速监测的诊断方法

汽轮机转速是反映其运行状态的关键参数，转速的异常变化往往预示着故障的发生。在风电机组领域，基于转速监测的运行状态分析方法利用优选特征进行数据建模，通过多维高斯模型捕捉各特征间的相关性，计算每个部件的故障概率，提升了故障诊断精度，克服了仅依赖单一数据源的局限性。该方法采集风电机组数据及历史数据，经预处理后，基于故障树分析进行转速监测验证，结合历史数据训练机器学习模型，利用验证结果进行故障诊断，并自动生成修复方案。

对于旋转机械，有仅针对转速信号进行研究的故障诊断方法。该方法提取转速信号中蕴藏的非正常波动成分，借鉴传统阶次跟踪方法对时域非平稳信号的处理方式，对波动成分进行角域重采样和傅里叶变换，凸显故障特征，实现对轮毂电机的故障诊断，如阶次自分离方法可有效识别轮毂电机漏电故障特征。在柴油机方面，基于瞬时转速的监测诊断技术可诊断燃烧不良、缸压不平衡、进气系统问题等。通过分析瞬时转速信号，能发现燃烧不良导致的动力性能下降和油耗增加，以及缸压

不平衡加快的磨损和故障率。还可结合机器学习算法，实现自动化分析和诊断，提高监测的准确性和效率。

三、火电厂汽轮机检修策略

（一）异常振动故障检修策略

汽轮机异常振动可能由多种因素引起，包括动静部分摩擦、转子弯曲、轴承磨损或脱胎、轴承座紧固螺钉松动等，这些振动不仅可能影响机组的稳定运行，还可能加速设备磨损，甚至引发更严重的设备损坏或事故。在诊断振动故障时，可通过分析振动特征、进行频谱分析等手段，识别振动根源及其所在位置。评估机组的振动情况，需依据振幅和振动速度的大小及频率进行评估，设定相应标准及警戒值，如0.05mm为报警界限。

消除异常振动隐患的措施包括精细安装与检修，确保设备质量，如精细安装、调整轴承参数等。若因不对中导致部件损坏，需进行紧急停机处理，经过解体检查和重新找中心，解决振动问题。对于因安装问题导致的振动，可通过调整轴承间隙和紧力，确保垫块接触良好，并必要时进行高速动平衡校正。此外，还要定期对汽轮机进行检修和维护，及时处理存在的问题，更换老化和磨损的部件，对叶片和叶栅等关键部位进行平衡和校正，从源头上减少振动故障的发生。

（二）超速转动故障检修策略

超速转动是火电厂汽轮机极为危险的故障，一旦发生，可能导致叶片脱落、轴承损坏甚至整个机器损毁，酿成重大安全事故，因此需采取有效的检修策略。当发现汽轮机出现超速转动迹象时，应果断停机，将转速维持在3000r/min，紧接着深入调查原因，不放过任何可能导致超速的因素，直至问题根源被彻底查明。

对调节系统进行全面检查至关重要。调速器、油动机、调节阀等调节系统部件需逐一排查，确保其动作灵敏、调节准确，能够根据负荷变化及时调整进汽量，从而稳定汽轮机转速。转速保护装置是防止汽轮机超速的最后一道防线，要定期对其进行校验，保证在转速超过设定值时能迅速动作，切断进汽，避免超速事故进一步恶化。

检修调速汽门也不可忽视。当汽轮机严重超速故障发生时，必须立刻手动解除危急保安器真空状态，同时关闭机器并仔细检修调速汽门，关闭进汽的汽源。

只有确保所有故障源都被彻底查处，且通过校验无异常后，才可重新启动汽轮机。在重新启动及后续运行过程中，要加强对机组的监控，密切关注各项参数，一旦参数达到掉闸值，应立即停机，保障设备和人员安全。

（三）油系统故障检修策略

对于油系统，检测油压是关键，包括工作油压、最

高油压和残余压力。检测工作油压前要卸压，有油压检测孔可直接接表，没有则用三通管接进油管再接表。预置油压时，接好燃油管道接头，短接诊断座的FP端子和+B端子或拔下燃油泵继电器让燃油泵运转建立油压。怀疑燃油箱泄漏，先释放燃油系统压力，拆下燃油箱，装短油管并堵住其他出口，充入7到10kPa压缩空气，用肥皂水或浸入法检查，有泄漏就换燃油箱。

轴瓦与回油温度过高可能是轴瓦顶隙及侧隙设置不当、润滑油中杂质过多、过滤器堵塞、过压阀开启过大或油冷却器冷却水量不足等原因造成。可调整轴瓦间隙，确保油循环彻底，合理控制过压阀开度，增加冷却水流量。油循环冲洗时，要分段循环冲洗、加装临时滤网或磁棒清除杂质，采取升降油温等措施提高冲洗效果，保证油质纯净，且要确保足够油流量带走杂质。密封油系统进水会削弱氢气密封效果，维护要点是强化油质监控，实施40-45℃的温控调节与滤油净化等防护措施。而拆卸油管前要释放燃油系统压力，准备消防设施，检查油管有无渗漏、裂纹等问题，有问题及时更换，还要检查和清洗喷油器，确保准确喷油。

（四）凝汽器系统故障检修策略

凝汽器系统故障会影响汽轮机的热效率和运行稳定性，需采取有效检修策略。对于轴封系统问题，可通过调整轴封供汽阀来提高供汽压力，使其处于正常范围；若管道堵塞导致供汽不足，疏通后即可恢复供汽；检查轴封加热器工作状态，若疏水不畅可开启旁路阀进行疏通，同时确保风机正常运行，保持轴封回汽通畅^[1]。

抽气系统故障时，迅速启动备用凝结水泵，停运故障泵，清理入口滤网或进行叶轮检修；若水位调节系统失效，手动调节，关小补水阀减少进水量，必要时开启放水阀降低水位至正常水平；检查轴封供汽压力，压力过高则调小供汽阀减少漏汽量，关闭低压加热器至凝汽器的疏水阀，切换至备用疏水路径。

处理泄漏问题，对于法兰可热紧增强密封，更换老化垫片；管道裂纹较小，临时用密封胶封堵，停机后补焊或更换管道；泄漏阀门若可隔离，关闭后检修阀芯，无法隔离则降低机组负荷至安全范围，停机后更换阀门。

检修前要做好准备工作，确认安全预防措施，如办理工作票，确保所列安全、隔离措施全面准确完善；准备好材料和备品备件、工器具；作业区要照明充足、通风良好，设置好围栏和警示信息牌等。检修后进行试运行，采用智能监控系统实时监测运行状态，根据数据优化检修方案。

（五）水冲击故障检修策略

水冲击是火电厂汽轮机运行中危害极大的故障，会锈蚀叶片、内部零件、轴承，挤压汽缸内壁变形，影响汽轮机正常工作，需采取有效检修策略。在预防方面，要设置可靠的水位监视和报警装置，除氧器、加热器和凝汽器应安装高水位报警装置，当加热器水位高时，应有自动事故放水保护，抽汽逆止门应能自动关闭，以此防止水进入汽轮机。

运行维护操作也至关重要，在机组启、停过程中，要严格按规程规定控制升（降）速、升（降）温、升（降）压、加（减）负荷的速率，保证蒸汽过热度不少于80℃，避免低温蒸汽或水进入汽轮机。一旦发生水冲击故障，应立即紧急停机，迅速切断进汽源，开启汽轮机本体和主蒸汽管道上的疏水阀，排净积水。对汽轮机进行全面检查，包括叶片、轴系、汽缸等部件，查看是否有损坏。若发现叶片损坏，需及时更换；若轴系出现弯曲等问题，要进行修复或校正。同时，对相关的管道、阀门等设备也需进行检查和维护，确保其正常运行。检修完成后，需进行全面的调试和试验，确认汽轮机恢复正常后，方可重新投入运行。

结论

综上，通过对其工作原理、结构的了解，以及对常见故障诊断方法和检修策略的研究，能有效保障汽轮机的可靠运行。基于振动、温度、转速监测的诊断方法，可及时准确地发现故障。针对异常振动、超速转动、油系统、凝汽器系统、水冲击等故障的检修策略，为故障处理提供了有效途径。不过，随着技术发展，仍需不断探索更先进的故障诊断和检修技术，以进一步提高火电厂汽轮机的运行效率和安全性，满足日益增长的电力需求。

参考文献

- [1] 王志锋. 火电厂汽轮机辅机常见故障及检修方法研究[J]. 中国设备工程, 2023(9): 185-187.
- [2] 王杰. 火电厂汽轮机振动故障和诊断技术研究[J]. 现代制造技术与装备, 2024, 60(1): 17-19.
- [3] 赵辉. 火力发电厂汽轮机故障检修探析[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2024(002): 000.
- [4] 薛凯强. 火电厂空冷汽轮机组在高温环境下的可靠性及故障诊断技术研究[J]. 辽宁青年, 2023(20): 0160-0161.
- [5] 孙慧海. 火电厂汽轮机辅机检修现状及对策分析[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023.