

发电厂汽机的运行问题与对策分析

李 森

国能宝清煤电化有限公司 黑龙江 双鸭山 155600

摘要: 本文深入剖析发电厂汽机运行,指出叶片损坏、振动过大、油系统故障等常见问题,冲蚀磨损、转子不平衡等为诱因。针对这些问题,提出从质量把控、设备维护、技术改进等多方面制定对策,包括加强叶片质量控制、优化运行方式等,旨在提升汽机运行稳定性与效率,保障发电厂安全、高效发电。

关键词: 发电厂; 汽机; 运行问题; 对策分析

1 发电厂汽轮机运行原理与系统构成

1.1 汽轮机工作原理

汽轮机是一种旋转机械,能够将蒸汽的热能转换为机械能,其运行严格遵循能量转换定律。其核心原理分为冲动作用和反动作用。在冲动作用下,蒸汽流经喷嘴时压力降低、速度增加,从而实现热能向动能的转换,这股高速蒸汽流再冲击叶片,驱动叶轮旋转。此时,蒸汽主要在喷嘴中膨胀,叶片通道内压力基本不变。而反动作用则不同,蒸汽在喷嘴和叶片通道内均持续膨胀,压力下降,由此产生的压力差推动叶轮做功。现代汽轮机通常结合这两种原理,以提升能量转换效率。在汽轮机运行过程中,蒸汽依次经过进汽部分、各级喷嘴和叶片,将能量传递给叶轮,带动转子高速旋转,最终驱动发电机,实现蒸汽热能到电能的转化。汽轮机的运行效率受蒸汽参数(压力和温度)直接影响,理想焓降公式为 $\Delta h = h_{in} - h_{out}$,可反映蒸汽在入口与出口间的能量变化。但实际运行中,喷嘴与叶片效率受多种因素影响,需结合弗留格尔公式修正,量化级间损失,以更准确地评估汽轮机的实际运行效率。

1.2 主要系统构成

发电厂汽轮机运行依赖蒸汽、凝汽、回热、调节保安和润滑油等多个系统。以1000MW超超临界机组为例,采用双再热与九级回热抽汽,热效率48.5%。蒸汽系统输送锅炉产生的高温高压蒸汽至汽轮机做功,含耐高温高压管道、控制阀门及防泄漏汽封。凝汽系统以凝汽器为核心,冷凝排汽,维持真空度-95kPa以上(每降1kPa煤耗增1.2g/kWh),配合循环、凝结水泵实现循环。回热系统用汽轮机抽汽加热凝结水与给水,经加热器及疏水装置提升效率。调节保安系统调节进汽量稳速,异常时闭汽阀保护^[1]。润滑油系统为转动部件润滑冷却,经油箱、油泵等设备循环过滤,保障运转。这些系统共同确保汽轮机高效稳定运行。

2 发电厂汽机运行中的常见问题

2.1 叶片损坏问题

叶片是汽轮机能量转换的关键部件,运行中常出现损坏。冲蚀磨损是主要损坏原因之一,蒸汽携带的粒径 $> 50\mu\text{m}$ 的 Fe_3O_4 颗粒不断冲击叶片前缘,当叶型损失率达15%时,效率会下降8%。此外,振动疲劳、水击、水蚀也会损坏叶片。工况变化时,若叶片振动频率与外界激振力频率接近,会引发共振导致疲劳断裂;蒸汽带水会造成水击损坏,湿蒸汽区长期工作会使叶片出现蜂窝状孔洞,强度减弱。例如,江苏某电厂高压级叶片喷涂 $200\mu\text{m}$ 厚的WC-Co涂层后,冲蚀速率降低60%,大修周期延长至3年。因此,需关注叶片状态,采取相应防护措施,以保障汽轮机高效稳定运行,减少因叶片损坏带来的效率降低和维修成本增加等问题。

2.2 振动过大问题

汽轮机运行中振动过大会威胁设备安全稳定。机械不平衡是振动过大的首要原因,转子质量偏心(如 $e > 50\mu\text{m}$)常见于制造误差、安装偏差或运行中质量分布改变,产生不平衡离心力引发工频振动,振幅超 $80\mu\text{m}$ 常触发保护停机。山东某660MW机组用模态平衡法在低压转子第3级叶轮配重0.5kg,使振动值从 $75\mu\text{m}$ 降至 $22\mu\text{m}$,解决不平衡问题。轴承故障也会致振动,磨损、润滑失效、座体松动等干扰轴承稳态,油膜失稳诱发振动。发电机与汽轮机联轴器对中偏差会造成两转子轴线偏离,附加力激增使振动加剧。气流激振在高负荷、蒸汽参数波动或真空度下降时发生,气流紊乱诱发不稳定气动力。动静碰磨因转子与静子部件间隙不当,热膨胀、变形等因素接触碰撞产生振动,需关注这些因素保障汽轮机安全运行。

2.3 汽机油系统问题

汽机油系统对汽轮机运行至关重要,但也存在诸多问题。油质恶化是首要挑战,长期运行中润滑油与空

气、水分、金属接触，发生氧化、乳化等反应。当润滑油酸值（TAN）超过1.5mgKOH/g时，氧化产物增多，加速轴承磨损，还生成杂质堵塞油过滤器和油路，乳化后润滑性能下降，增加磨损风险。油系统泄漏也是难题，管道、阀门、密封件等因老化、腐蚀、安装问题易泄漏，不仅浪费润滑油，还可能引发火灾。油泵故障、油位异常影响轴承润滑和油温控制，威胁汽轮机运行。浙江某电厂部署在线油液传感器，实时监测TAN与水分含量，掌握油品状况，延长油品更换周期40%，年节约成本120万元。这表明通过先进监测技术，可有效应对油系统问题，保障其稳定运行，降低运行成本。

2.4 汽缸漏气问题

汽缸是汽轮机核心组件，其密封性能影响效率和安全性。汽缸漏气常见，主要由汽缸变形、密封件失效及安装瑕疵导致。汽轮机频繁启停使温度波动大，热应力不均致汽缸变形，结合面产生间隙，引发蒸汽泄漏，密封件如汽封、法兰垫片等长期使用后磨损、老化、腐蚀，密封性能下降，汽缸安装时密封面清洁不彻底、螺栓紧固不均或预紧力不足，也会造成结合面密封不严。汽缸漏气会削弱蒸汽做功能力，降低汽轮机经济性，高温蒸汽外泄还可能烫伤操作人员^[2]。传统梳齿汽封间隙超0.5mm时，漏汽损失达3%-5%。广东某电厂引入蜂窝汽封技术，间隙缩小至0.2mm，低压缸效率提升1.8%，年减排CO₂2.1万吨，体现了技术革新对提升汽轮机性能和环保效益的作用。

3 发电厂汽机运行问题的对策分析

3.1 加强叶片的质量控制与维护

为解决叶片损坏问题，必须高度重视叶片的质量控制与维护。从源头抓起，选用高强度、耐腐蚀、抗冲蚀性能卓越的优质合金或高性能喷涂材料制造叶片，确保基材坚实可靠。采用先进制造工艺，确保叶片尺寸精度与叶型设计完美契合，将制造缺陷降至最低。安装时，严格遵循既定工艺规范，保证叶片与叶轮的装配质量，安装角度与紧力精准符合设计要求，为叶片高效稳定运行奠定基础。运行阶段，建立定期、系统的叶片检查与维护体系，运用超声波检测、涡流检测等无损检测技术，及时发现裂纹、磨损等缺陷，并采取针对性修复措施。针对易受冲蚀磨损的叶片，采用表面硬化处理、喷涂耐磨涂层等工艺，提升抗冲蚀能力，延长使用寿命。通过CFD模拟技术优化叶型设计，如采用NACA65系列叶型，降低边界层分离现象，提升气动性能。在运维阶段，创新应用无人机搭载AI图像识别技术进行叶片表面缺陷巡检。该技术识别精度高达95%，能迅速、准确发现

叶片表面缺陷，为维护工作提供有力支持，确保叶片始终处于最佳运行状态。这一系列措施的实施，将有效提升叶片的稳定性和使用寿命，为发电厂的稳定运行提供坚实保障。

3.2 减少振动过大的综合措施

针对汽轮机振动过大问题，可采取综合措施解决。首先，确保转子动平衡，安装和检修时严格进行动平衡试验，及时调整不平衡转子，加装平衡块或去除不平衡质量，保障平稳运行。其次，解决联轴器对中不良，使用高精度对中工具，遵循对中标准，确保汽轮机与发电机联轴器完美对中，减少振动。此外，精细调控负荷变化和蒸汽参数波动，进一步降低振动风险。同时，安装先进振动传感器实时监测振动状况，一旦超过安全范围即发出警报，及时应对。更为先进的是，集成了相位分析仪（如业界知名的Bently Nevada 3500）与专家数据库，实现了故障的预诊断功能。这一创新技术的应用，使得我们能够通过频谱分析等手段，提前洞察潜在的故障隐患。例如，某电厂借助这一技术，成功地在轴承磨损问题发生前72小时发出了预警，从而有效避免了因非计划停机而造成的500万元经济损失^[3]。这一成功案例充分展示了我们在减少汽轮机振动、提升设备可靠性方面的卓越能力和前瞻视野。

3.3 汽机油系统问题的解决策略

为解决汽机油系统面临的种种挑战，首要任务是强化油质管理。我们需建立一套完备的油质监测体系，定期对润滑油进行取样，细致分析油的粘度、酸值、水分及颗粒度等核心指标，确保对油质的变化了如指掌。一旦发现油质有恶化迹象，我们将迅速采取净化处理，有效去除油中的水分、杂质及氧化产物；若油质恶化严重，则果断更换新油。针对油系统泄漏问题，加大对油系统设备及管道的巡检力度，力求第一时间发现泄漏点。对于轻微泄漏，我们灵活运用堵漏胶、密封带等临时措施；而对于严重泄漏，则果断停机处理，更换受损的管道、阀门及密封件。同时，致力于提升油系统设备及管道的安装质量，精选优质密封材料，确保油系统的密封性能卓越。此外，还特别关注油泵、油位计等关键油系统设备的维护与管理，定期检查其运行状态，一旦发现问题立即处理，以保障油系统的顺畅运行。为进一步提升油质，我们积极推广使用合成酯类润滑油（如Mobil SHC 800系列），其氧化稳定性相较于矿物油提升了3倍，显著延长了油品的使用寿命。

3.4 汽缸漏气问题解决对策

为解决汽缸漏气问题，需综合施策。首先，针对汽

缸变形,应严格控制汽轮机启停时的温度变化速率,避免骤升骤降以减少热应力,并维持蒸汽参数稳定,防止热变形。其次,选用高性能、质量可靠的密封件,依据运行工况和工作环境合理选择其材质和结构,定期检查并更换磨损、老化的密封件。在安装时,遵循工艺要求,确保密封面清洁、螺栓紧固均匀且预紧力达标,并可采用如蜂窝汽封、布莱登汽封等先进技术,增强汽缸密封性能,减少蒸汽泄漏。

3.5 其他对策

针对调节系统故障,加强设备维护和检修,定期检查传感器、执行机构等部件,定期调试校准,确保系统灵敏准确。对于真空系统故障,加强巡检,及时处理泄漏点,定期清洗凝汽器,提高换热效率,保障真空度。针对疏水系统故障,定期检查疏水管道和阀门,安装可靠疏水控制装置,实现自动控制,防止积水。对于汽轮机热膨胀问题,确保安装和检修中热膨胀间隙达标,定期检查处理热膨胀异常,保障机组稳定运行。这些措施综合应用,可有效解决各类故障,提升汽轮机运行效率。

4 提高发电厂汽机运行效率的措施

4.1 汽机运行方式的优化

优化汽机运行方式是提高运行效率的重要途径。可以根据电网负荷变化和汽轮机的特性,合理调整汽轮机的运行参数,如蒸汽压力、温度、真空度等。在低负荷运行时,采用滑压运行方式,通过降低蒸汽压力,减少汽轮机的进汽节流损失,提高机组的经济性。优化汽轮机的启停方式,采用合理的暖机、冲转、升速和并网策略,缩短汽轮机的启停时间,减少启停过程中的能量损失,还可以通过优化汽轮机的配汽方式,合理分配各调节阀的开度,使汽轮机的进汽更加均匀,提高汽轮机的效率^[4]。

4.2 设备改进与技术创新

通过设备改进与技术创新,可以有效提高发电厂汽机的运行效率。对汽轮机的通流部分进行改造,采用先

进的叶型设计和制造工艺,提高汽轮机的通流能力和效率。例如,采用高效的子午流道、弯扭叶片等技术,减少蒸汽在通流部分的流动阻力,提高蒸汽做功能力。对汽轮机的调节系统进行升级改造,采用先进的数字电液调节系统(DEH),提高调节系统的响应速度和控制精度,使汽轮机能够更快速、准确地适应电网负荷变化,提高机组的运行稳定性和经济性^[4]。另外,还可以引入先进的监测和诊断技术,如在线振动监测、油液分析、红外热成像等,实时监测汽轮机的运行状态,及时发现设备故障隐患,实现设备的预知维修,减少设备停机时间,提高设备的可用率和运行效率。

4.3 管理与维护的加强

加强管理与维护是确保汽机高效运行的重要保障。建立完善设备管理制度,明确职责,实施全过程管理。加强运行人员培训,提升其业务水平和操作技能。制定科学维护计划,定期维护和检修,及时消除隐患。

结束语

通过对发电厂汽机运行问题及对策的系统分析,从原理认知到实践应对形成了完整体系。当前采取的措施有效解决了部分运行难题,提升了设备可靠性与效率。未来,随着技术进步,持续优化运行管理、深化技术创新仍是保障汽机高效运行的关键,需不断探索与实践,推动发电厂汽机运行水平迈向新高度。

参考文献

- [1]苏东宏.发电厂汽机的运行问题与对策分析[J].集成电路应用,2021,38(01):102-103.
- [2]迟鹏,蒙磊,李思博.火力发电厂汽机设备运行中的常见问题及技术研究[J].通信电源技术,2023,37(02):244-245.
- [3]周季明.火力发电厂汽轮机检修过程的精细化管理分析[J].产业科技创新,2021,3(01):83-85.
- [4]王志超.火力发电厂汽轮机检修过程的精细化管理分析[J].现代工业经济和信息化,2022,10(10):126-127.