

汽轮机常见故障分析及高效检修策略研究

但俊豪

国家电投集团金元股份有限公司纳雍发电总厂

DOI:10.12238/pe.v3i3.13596

[摘要] 汽轮机作为电力、石化、冶金等行业的核心设备,通过不同模块组件的联动配合,实现能量的稳定转换和快速输出,满足特定场景下的生产需求。为确保汽轮机运行的可靠性与安全性,降低故障发生概率,营造稳定有序的运行场景。文章从多个维度出发,总结概括汽轮机常见故障,分析故障诱因,遵循技术规范,细化故障检修标准,创新故障检修方法。旨在全方位提升汽轮机故障检修能力,增强设备运行效能,降低设备运行成本,延长设备使用寿命。

[关键词] 汽轮机; 常见故障; 检修策略; 应用路径

中图分类号: U664.113 **文献标识码:** A

Analysis of common faults and efficient maintenance strategies of steam turbine

Junhao Duan

State Power Investment Group Jinyuan Co., LTD. Nayong Power Plant

[Abstract] As a core component in industries such as power, petrochemicals, and metallurgy, steam turbines achieve stable energy conversion and rapid output through the coordinated operation of different modules, meeting production needs in specific scenarios. To ensure the reliability and safety of steam turbine operations, reduce the likelihood of failures, and create a stable and orderly operating environment, this article summarizes common faults in steam turbines from multiple perspectives, analyzes the causes of these faults, adheres to technical standards, refines fault repair criteria, and innovates fault repair methods. The aim is to comprehensively enhance the capability of steam turbine fault repair, improve equipment performance, reduce operating costs, and extend the service life of the equipment.

[Key words] steam turbine; common faults; maintenance strategy; application path

前言

汽轮机作为能量转换的重要设备,通过汽轮机本体、EH油、润滑油等系统有效配合,满足电力、石化、冶金等行业的使用需求。汽轮机工况环境复杂,受高温、高压等因素影响,故障诊断过于依靠人工巡检,检修策略缺乏系统性,导致故障发现滞后,维修效率低下。本文通过系统分析汽轮机常见故障,提出针对性检修策略,助力工业生产安全高效运行。

1 汽轮机常见故障与诱因分析

1.1 汽轮机本体常见故障

1.1.1 叶片故障

汽轮机叶片长期处于高温、高压且高速旋转的恶劣工况下,极易发生故障。在高温、高压以及高转速的运行条件下,蒸汽中含有的杂质会附着在叶片表面,导致叶片结垢。这一现象改变了叶片原本的气动外形,使汽轮机内蒸汽流动的阻力增加,效率下降,严重时可导致机组热耗率上升5%-10%^[1]。同时,固体颗粒的冲蚀、气流激振等因素,会使叶片表面出现磨损。当叶片磨损量

超过一定程度,如叶片厚度减薄10%以上,就会显著影响叶片的强度。在长期交变应力作用下,叶片可能产生疲劳裂纹,随着运行时间增加,裂纹不断扩展。一旦裂纹扩展至临界尺寸,在高速旋转产生的巨大离心力作用下,叶片可能断裂,造成设备严重损坏,甚至可能导致整台汽轮机报废,引发重大生产事故。

1.1.2 轴承故障

轴承作为支撑汽轮机转子的关键部件,其运行状态直接影响到汽轮机的稳定性。正常运行时,轴承依靠润滑油膜来支撑转子的重量并减少摩擦。当润滑油膜厚度不足,或者润滑油中杂质过多,会加剧轴承的磨损^[2]。随着磨损的加剧,轴承的间隙逐渐增大,当间隙超过设计值的20%-30%时,转子中心就会发生偏移。这将引起机组振动加剧,当振动幅值超过汽轮机允许的振动标准,不仅会影响汽轮机的正常运行,还可能导致连接部件松动、基础螺栓断裂等问题,严重威胁设备安全。轴承烧瓦是较为严重的故障。供油中断、油温过高、过载等情况,都可能引发轴承烧瓦。发生烧瓦,轴承的巴氏合金层会熔化,无法继续支撑转子,使设

备无法正常运行,并且修复过程复杂,维修成本高昂,停机时间长,给生产带来巨大损失。

1.2 EH油系统常见故障

1.2.1 油液污染

EH油系统中的油液起着传递动力和控制信号的重要作用,其清洁度要求极高,一般NAS清洁度等级需控制在5-6级。由于系统密封不严、呼吸器失效等原因,外界杂质容易进入油液中,导致油液污染^[3]。当油液污染程度超过NAS8级时,伺服阀、节流阀等精密部件就会出现卡涩现象。例如,杂质颗粒进入伺服阀的阀芯与阀套间隙,会阻碍阀芯的正常运动,影响系统的控制精度和响应速度。严重时,会使汽轮机的调节系统无法正常工作,导致机组负荷波动、转速失控等问题,甚至引发停机事故。

1.2.2 油温异常

EH油系统的油温对油液的性能和系统的运行稳定性有重要影响。正常运行时,EH油的油温应维持在35℃-54℃。当冷却器故障、油温调节装置失灵等原因,导致油温超过60℃时,油液会氧化变质,油液的酸值升高,产生沉淀物和酸性物质。这些物质不仅会降低油液的使用寿命,还会腐蚀系统内的金属部件,影响系统的控制性能。如果油温低于30℃,油液黏度增大,例如在低温下,油液黏度可能从正常的28.8-35.2mm²/s增加到50mm²/s以上,导致系统响应迟缓,各控制部件动作不灵敏,影响汽轮机的快速调节能力,无法及时应对负荷变化等工况调整。

1.3 润滑油系统常见故障

1.3.1 油压低

润滑油系统油压过低会导致轴承润滑不良,引发轴承磨损、烧瓦等故障。汽轮机润滑油系统正常运行时,油压一般需维持在0.15MPa-0.3MPa。造成油压低的原因主要有油泵故障、油滤网堵塞、油管泄漏等。当油泵故障时,其输出流量和压力无法满足系统需求;油滤网堵塞,会阻碍润滑油的流通;油管泄漏则直接导致系统内油量减少。润滑油泵的吸油口漏气,导致油泵吸油不足,从而使油压降低。当油压低于0.1MPa时,就难以在轴承表面形成完整的润滑油膜,轴承磨损加剧,严重时会导致轴承烧瓦,设备无法正常运行。

1.3.2 油温异常

油温过高或过低都会影响润滑油的黏度,进而影响其润滑性能。润滑油正常工作油温一般在35℃-45℃。当油温超过50℃时,润滑油黏度降低,无法在轴承等部件表面形成足够厚度的油膜,导致摩擦增大,磨损加剧。油温过高还会加速润滑油的氧化劣化,缩短其使用寿命。当油温低于30℃时,润滑油黏度增大,流动性变差,难以快速到达需要润滑的部位,同样会影响润滑效果,增加设备启动时的磨损风险。

1.4 密封油系统常见故障

1.4.1 密封瓦磨损

密封瓦是密封油系统的关键部件,其作用是防止氢气泄漏。在汽轮机运行过程中,密封瓦会受到磨损,这可能是由于密封油中杂质过多、密封瓦安装不当等原因引起的。密封油中杂质颗

粒直径若超过5μm,就可能对密封瓦表面造成划伤,加速磨损。当密封瓦磨损量超过0.5mm-1mm时,密封性能下降,会导致氢气泄漏。氢气是易燃易爆气体,泄漏的氢气不仅会造成能源浪费,还可能在周围环境中形成易燃易爆混合气,一旦遇到火源,就可能引发爆炸等严重安全事故,对人员生命和设备安全构成极大威胁。

1.4.2 油氢差压异常

油氢差压是保证密封油系统正常运行的重要参数,要求油氢差压维持在50kPa-80kPa。油氢差压超过100kPa会导致密封油进入发电机内部,污染发电机绕组,使绕组的绝缘性能下降,可能引发电气故障。油氢差压低于30kPa,会导致氢气泄漏。造成油氢差压异常的原因主要有差压调节阀故障、信号传输故障等。例如,差压调节阀的阀芯卡涩、弹簧失效等,会使其无法准确调节油氢差压;信号传输故障则可能导致控制系统接收到错误的差压信号,做出错误的调节动作。

1.5 内冷水系统常见故障

1.5.1 铜导线腐蚀

内冷水系统中的铜导线长期与水接触,容易发生腐蚀。水中的溶解氧、酸碱度等因素,会加速铜导线的腐蚀。正常情况下,内冷水中溶解氧含量应控制在30μg/L以下,pH值维持在7.0-9.0。当溶解氧含量过高或pH值超出范围时,铜导线腐蚀速度加快。铜导线腐蚀会导致导线绝缘性能下降,绝缘电阻降低,严重时会引起短路故障,使发电机无法正常发电,甚至损坏发电机绕组,造成巨大经济损失。

1.5.2 水流量不足

内冷水系统正常运行时,需要保证一定的水流量来满足发电机定子绕组的冷却需求,一般水流量需维持在设计值的±10%范围内。管道堵塞、水泵故障等原因,会导致内冷水系统水流量不足。当水流量低于设计值的90%时,发电机定子绕组冷却效果变差,绕组温度升高。发电机定子绕组正常运行温度一般在65℃-85℃,当温度超过90℃时,就会加速绕组绝缘老化,缩短发电机使用寿命,若温度持续升高,还可能引发绝缘击穿等严重故障。

2 汽轮机常见故障高效检修主要方法

2.1 汽轮机本体检修方法

2.1.1 叶片检修

叶片结垢清理,采用化学剂清洗时,通常选用弱碱性或中性专用清洗剂,浓度控制在3%-5%,温度维持在40℃-60℃,浸泡时间约4-8小时。高压水冲洗时,水压需控制在80-120MPa,避免因压力过高损伤叶片^[4]。针对叶片磨损与裂纹,当磨损量小于叶片厚度的10%、裂纹长度小于叶片长度的5%时,可采取补焊修复。补焊前需将待焊区域预热至200℃-300℃,采用与叶片材质匹配的焊条,焊接电流控制在80-120A。修复后,需通过渗透探伤或超声波探伤检测,确保修复部位无缺陷。若磨损或裂纹超出上述标准,应及时更换叶片。

2.1.2 轴承检修

更换轴承时,工作人员应当严格把控安装精度。以滑动轴承为例,顶间隙应控制在轴颈直径的1.5%~2%,侧间隙为顶间隙的一半。安装过程中,利用塞尺、百分表等工具,进行多次测量与调整,确保轴承安装位置准确。同时,对润滑油系统进行全面清洗,更换过滤器滤芯,确保润滑油清洁度达到NAS6-7级。

2.2 EH油系统检修方法

2.2.1油液净化处理

油液过滤环节,工作人员使用高精度过滤器,过滤精度达到 $3\sim 5\mu\text{m}$,去除油液中的杂质颗粒^[5]。离心分离过程中,转速控制在 $3000\sim 5000\text{r/min}$,以分离油液中的水分和杂质。当油液污染严重,清洁度低于NAS8级时,需进行更换。同时,对过滤器、呼吸器进行清洗或更换,确保系统密封性,防止外界杂质再次进入。

2.2.2油温调节装置检修

冷却器清洗过程中,工作人员采用化学清洗或高压水冲洗。化学清洗使用专用清洗剂,浓度为2%~4%,温度控制在 $40^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$,清洗时间约2~4小时。高压水冲洗水压为 $60\sim 80\text{MPa}$ 。对油温调节阀进行检修时,检查阀芯行程,正常行程范围为全行程的80%~100%,若阀芯卡涩或行程异常,需进行拆解清洗或更换。

2.3润滑油系统检修方法

2.3.1油压低故障处理

检查油泵时,工作人员要测量油泵进出口压力差,正常压力差应在 $0.2\sim 0.3\text{MPa}$ 。清洗油滤网时,可采用超声波清洗或化学清洗,确保滤网清洁度,滤网前后压差应小于 0.05MPa 。检测油管泄漏,采用压力测试法,对油管施加 $1.2\sim 1.5$ 倍工作压力,保压 $10\sim 15$ 分钟,检查是否有泄漏现象。对油泵吸油口进行密封处理,确保吸油口真空度在 $-0.02\sim -0.04\text{MPa}$ 之间。

2.3.2油质净化处理

工作人员在油质净化中,将过滤精度设定为 $10\sim 15\mu\text{m}$,去除油液中的杂质。脱水处理可采用真空脱水或离心脱水,真空脱水时,真空度控制在 $-0.08\sim -0.09\text{MPa}$,温度为 $40^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$;离心脱水转速为 $2000\sim 3000\text{r/min}$ 。脱酸处理使用专用吸附剂,吸附剂添加量为油液体积的0.5%~1%。定期对润滑油进行检测,检测项目包括酸值、水分、颗粒度等,确保油质符合要求。

2.4密封油系统检修方法

2.4.1密封瓦检修

工作人员更换密封瓦时,严格控制安装间隙,径向间隙为 $0.1\sim 0.15\text{mm}$,轴向间隙为 $0.2\sim 0.3\text{mm}$ 。安装完成后,进行密封性试验,试验压力为 $0.3\sim 0.4\text{MPa}$,保压 $30\sim 60$ 分钟,检查是否有泄漏现象。同时,对密封油系统进行全面清洗,确保油质清洁度达到

NAS7-8级。

2.4.2油氢差压调节装置检修

工作人员要检查差压调节阀,阀芯行程应在全行程的80%~100%,调节精度控制在 $\pm 5\text{kPa}$ 以内。对信号传输装置进行校验,信号传输误差应小于 $\pm 2\%$ 。定期检测油氢差压,确保其在 $50\sim 80\text{kPa}$ 范围内。

2.5内冷水系统检修方法

2.5.1铜导线防腐蚀处理

在缓蚀剂添加过程中,工作人员根据内冷水水质和铜导线材质的不同,科学确定缓蚀剂的添加量,通常情况下,按照 $20\sim 50\text{mg/L}$ 密度进行计算。控制内冷水的pH值在 $7.0\sim 9.0$ 之间,溶解氧含量低于 $30\mu\text{g/L}$ 。定期对铜导线进行检查,采用红外测温、绝缘电阻测试等方法,及时发现并处理腐蚀问题。

2.5.2水流量调节装置检修

工作人员检查管道堵塞情况,通过压力测试判断管道阻力,当管道阻力超过设计值的10%时,需进行疏通。检测水泵流量和扬程,当水泵流量低于额定流量的90%、扬程低于额定扬程的85%时,对水泵进行检修或更换。

3 结语

通过对汽轮机常见故障的深入分析,制定并实施针对性的高效检修策略,能够有效降低故障发生率,提高设备的运行可靠性和稳定性。在实际应用中,应根据汽轮机的具体运行情况,灵活运用各种检修方法,结合先进的监测技术和管理手段,实现对汽轮机故障的提前预警和精准维修,降低运维成本,延长设备使用寿命,为工业生产的持续稳定运行提供有力保障。

[参考文献]

- [1]李凤明.电厂汽轮机常见故障与对策探讨[J].中国设备工程,2025(3):96~99.
- [2]滕鲁.火电厂汽轮机常见的振动故障分析及故障诊断技术[J].电力设备管理,2024(15):69~71.
- [3]杨洋.透平压缩机常见振动故障分析与处理方法探讨[J].模具制造,2024(8):243~245.
- [4]王超.汽轮机断裂叶片检测与失效原因分析[J].内燃机与配件,2024(7):83~85.
- [5]陈坚.汽轮机低压转子末级叶片裂纹及叶根销钉断裂失效分析[J].应用能源技术,2023(10):32~37.

作者简介:

但俊豪(1996--),男,汉族,重庆市垫江县人,本科,现目前助理工程师,从事汽轮机本体检修。