火电厂汽轮机辅机常见故障及检修方法研究

王东宁，林　婧

（山东能源集团新能源集团有限公司，山东 泰安 271000）

摘　要　汽轮机辅机是火电厂动力系统稳定运行的关键支撑，但在实际运行中受工况复杂、设备老化、维护不当等因素影响会出现各类故障，这些故障易导致机组非计划停机与效率下降。本文针对汽轮机辅机系统常见故障的类型及形成机理展开系统性分析，结合火电厂设备运维的实际需求，提出涵盖状态监测、故障诊断、修复处置及预防性维护等环节的全流程检修对策与技术方法，旨在为保障设备可靠运行、提升火电厂整体运行效率与安全生产水平提供技术参考。

关键词　火电厂；汽轮机辅机；轴承故障；齿轮故障；密封故障

中图分类号：TK263；TM621.4　　**文献标志码**：A　　**DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.30.037

0　引言

汽轮机辅机涵盖给水泵、凝汽器、增速箱、调节阀门等 20 余类设备，承担介质输送、能量传递、参数调控等核心功能，其运行状态直接影响机组发电效率与安全[1]。据国家能源局与中国电力企业联合会联合发布的《2024 年全国电力可靠性年度报告》，全国纳入统计的 1 952 台燃煤机组全年共发生非计划停运 767 次，其中三大主设备（锅炉、汽轮机、发电机）引发的非计划停运占 88.47%，锅炉是主要原因，占全部燃煤机组非计划停运总时间的 68.97%①。随着机组向高参数升级，辅机运行环境更严苛，传统“事后维修”模式已无法满足连续运行需求，亟需针对核心故障类型建立系统化的“诊断—检修”体系。

1　火电厂汽轮机辅机常见故障类型

汽轮机辅机五类核心故障的关键信息汇总如表 1 所示。

2　火电厂汽轮机辅机核心故障标准化检修工艺

2.1　轴承故障检修

以给水泵滑动轴承更换为典型场景，检修需先完成基础准备工作，包括对给水泵系统断电断水确保安全，拆除轴承端盖并清理轴承座内残留油污与杂质，同时准备好符合规格的新轴承（巴氏合金材质，径向游隙控制在 0.12 mm～0.18 mm）及适配润滑油（L-TSA46 型号）；旧轴承拆除环节采用液压拨轮器，设定压力 5 MPa～8 MPa 平稳拔出旧件，避免传统敲击方式对轴颈造成划痕或变形损伤；新轴承安装时切换至 8 MPa～10 MPa 压力的液压安装工具，将轴承精准压装至轴颈，确保过盈量维持在 0.02 mm～0.03 mm 的设计范围内；随后用千分尺实时测量径向间隙，通过增减调整垫片将间隙校准至 0.15 mm 的最优值；最后开展测试验收，先空载运转 2 小时，确保振动值＜0.08 mm/s、温度＜70 ℃，再进行 4 小时带负荷测试，确认各项参数稳定无波动。相较于传统工艺，液压安装可避免轴承局部应力集中，使使用寿命延长 50%，更换润滑油时采用真空抽排技术（残留量＜5%），有效防止旧油中杂质污染新油，保障润滑效果。

2.2　齿轮故障检修

针对增速箱齿面点蚀修复，需先拆除齿轮箱端盖，用中性清洗剂清洗齿轮表面油污与灰尘，通过专用量具测量点蚀面积与深度以确定修复方案：若点蚀面积＜15%，采用 1 000 W 功率的激光熔覆设备在齿面形成 0.2 mm 厚的熔覆层，待冷却后进行 IT6 精度的齿面磨削，恢复齿面光滑度与啮合精度；若点蚀面积＞15%，则直接更换同型号新齿轮以避免故障扩大；齿轮安装后用塞尺测量齿侧间隙，确保间隙处于 0.1 mm～0.15 mm 区间，同时通过调整垫片将啮合偏差控制在＜0.02 mm；最后加注 N320 型号齿轮油至油标 1/2～2/3 处，空载运转 1 小时监听有无异响，验证传动稳定性。传统补焊修复易因高温导致齿面变形，而激光熔覆修复可精准控制热输入，修复后齿面精度达 IT6 级，承载能力恢复至新件的 90% 以上，大幅降低更换成本[2]。

2.3　密封故障检修

凝汽器管板密封修复需先借助超声波检测仪（频率 500 kHz）沿管板表面扫描，定位泄漏管束位置并

作者简介：王东宁（1992-），男，本科，工程师，研究方向：发供电技术。

表1 汽轮机辅机五类核心故障类型汇总表

故障类别	典型涉及设备	故障特征	核心成因	故障表现及危害
轴承故障	给水泵轴承、风机轴承、油泵轴承	振动超标（＞0.12 mm/s）、温度升高（＞80 ℃）、异响（“沙沙”/“咯噔”声）	润滑失效（油膜破裂、油液污染）、安装偏差（对中误差＞0.05 mm）、材质疲劳（应力集中）	油膜失效致黏着磨损，附加载荷过大滋生疲劳裂纹，短期内轴承彻底失效；三体磨损引发振动升高，最终出现轴承裂纹、滚动体剥落[3]
齿轮故障	增速箱齿轮、减速器齿轮、给水泵增速齿轮	啮合异响（“刺耳摩擦声”）、齿面磨损/点蚀、振动频率异常（边频带出现）	润滑不良（油膜厚度＜5 μm）、啮合偏差（齿侧间隙＜0.1 mm）、过载运行（载荷超额定值1.2倍）	齿面磨损失准、大面积点蚀，交变载荷下裂纹扩展直接造成断齿，振动冲击异常
密封故障	凝汽器管板密封、给水泵轴端密封、阀门填料密封	介质泄漏（凝结水/油液渗漏）、压力下降（凝汽器真空度降3 kPa～5 kPa）、密封面腐蚀	密封件老化（橡胶件硬度＞85ShoreA）、间隙超标（密封间隙＞0.1 mm）、腐蚀侵蚀（Cl^-/酸性介质）	密封面间隙扩大，凝结水发生泄漏；液膜破裂产生干摩擦，密封面快速高温磨损；填料磨损压缩量下降，密封间隙变大，介质外漏
传动系统故障	联轴器（刚性/弹性）、皮带传动、链条传动	传动异响、振动周期性波动、转速偏差（＞1%）	联轴器对中偏差（径向＞0.03 mm）、皮带松弛（张紧力＜500 N）、链条磨损（节距伸长＞2%）	产生附加弯矩，轴系振动超标，运行出现异响皮带打滑转速失准，单边磨损严重，使用寿命大幅缩减[4]
控制系统故障	调节阀、压力传感器、温度变送器	阀门卡涩（开度调整滞涩）、信号失真（误差＞5%）、拒动（指令无响应）	积灰卡阻（阀芯积灰厚度＞0.2 mm）、传感器漂移（零点偏移＞2%）、控制逻辑错误（程序漏洞）	监测信号漂移失真，温度、压力数值显示偏差过大；阀门动作卡顿响应变慢，甚至出现拒动，调控精度失效

做好标记；拆除泄漏管束后，用专用工具清理管板孔内残留的胀接层，再用细砂纸打磨管板密封面至粗糙度Ra＜1.6 μm；新管束安装采用数控胀管器，设定2.5%～3%的胀管率对管束进行胀接，使管束与管板紧密贴合，确保密封间隙＜0.05 mm；密封效果验证分两步进行，先对凝汽器注水至0.5 MPa压力，保压30分钟观察压力无下降，再采用氦质谱检漏仪检测，确保泄漏率＜1×10^{-9} Pa·m^3/s。传统人工胀管受操作经验影响，胀管率波动范围达1%～4%，易出现密封不严问题，而数控胀管可将胀管率偏差控制在±0.1%，使密封可靠性提升90%，有效减少凝结水泄漏风险。

2.4 传动系统故障检修

联轴器对中调整需先采用激光对中仪（精度±0.001 mm）测量当前偏差，若检测出径向偏差0.08 mm、端面偏差0.06 mm，需松开电机地脚螺栓，通过增减厚度精度±0.01 mm的调整垫片微调电机位置，逐步将径向偏差修正至＜0.03 mm、端面偏差＜0.02 mm；调整完成后按设计扭矩紧固地脚螺栓（M24螺栓设定300 N·m扭矩），避免螺栓松动导致后续偏差；最后进行1小时空载运转测试，监测联轴器部位振动值＜0.05 mm/s，确认传动平稳。传统百分表对中精度仅±0.05 mm，难以满足高转速设备需求，激光对中仪精度提升后可减少传动附加弯矩，降低轴系振动噪声，延长联轴器与轴承的使用寿命。

2.5 控制系统故障检修

调节阀卡涩检修需先拆除调节阀端盖，取出阀芯后放入功率500 W的超声波清洗机，使用中性清洗剂清洗阀芯表面0.3 mm厚的积灰与油污，彻底清除卡阻异物；更换石墨填料时控制15%的压缩量，调整填料压盖使密封间隙＜0.05 mm，防止介质外漏；随后用标准信号发生器输入4 mA～20 mA模拟信号，逐一校准调节阀各开度档位，确保实际开度与指令误差＜1%；最后开展空载动作测试，验证调节阀从0%～100%开度调整无滞涩，响应时间＜0.5 s。传统人工擦拭清洗积灰清除率仅60%，易导致卡涩复发，超声波清洗清除率达98%，配合石墨填料的优异密封性，可将卡涩复发周期从2个月延长至12个月，减少频繁检修带来的停机损失[5]。

3 火电厂汽轮机辅机典型故障诊断案例

故障表现：某300 MW亚临界机组#1给水泵（型号DG400-180，2018年投运，负责锅炉给水输送，设计出口

压力 18 MPa、流量 400 t/h），在连续高负荷运行（负荷率 90%）15 天后，运行人员首次发现轴承座区域出现轻微“沙沙”异响，初期未引起重视，3 天后异响逐渐加剧且伴随振动感，巡检时用便携式红外测温仪测得轴承温度从正常运行的 65 ℃升至 85 ℃，同时通过机组 DCS 系统监测到轴承座振动值从稳定的 0.08 mm/s 攀升至 0.18 mm/s，远超《机械振动 在旋转轴上测量评价机器的振动 第 2 部分：功率大于 50 MW，额定工作转速 1500 r/min、1800 r/min、3000 r/min、3600 r/min 陆地安装的汽轮机和发电机》（GB/T 11348.2-2012）标准规定的滑动轴承振动限值，随即启动专项诊断流程。

故障诊断及检修：诊断团队首先开展振动分析，将压电式振动传感器灵敏度 100 mV/(m/s^2)）固定在轴承座垂直与水平方向关键测点（距轴承中心 100 mm 处），以 20 kHz 采样频率连续采集 30 分钟振动信号，通过小波去噪算法消除电机电磁噪声（50 Hz 工频干扰）后，进行傅里叶变换得到频谱图，结果显示 15 Hz 频率处出现明显峰值，幅值达 0.9 mm/s，该频率经计算确认是滚动轴承外圈故障特征频率（给水泵转速 3 000 r/min，外圈故障频率 f_0=0.3×n/60=0.3×3 000/60=15 Hz），且该幅值是正常运行时的 4.5 倍，初步判定轴承外圈存在磨损；为进一步明确故障诱因，团队从给水泵润滑油箱底部取样口抽取 L-TSA46 润滑油样，送至实验室采用原子吸收光谱仪检测金属元素含量，发现 Fe 元素含量达 130 ppm，远超正常运行时的 30 ppm 上限，同时用运动黏度测定仪测得 40 ℃时油液黏度从设计值 46 mm^2/s 降至 37 mm^2/s，水分含量 0.16%（标准≤0.05%），综合判断润滑失效（油液劣化、水分超标导致油膜承载能力下降）是轴承磨损的核心诱因。最终诊断结论为给水泵轴承外圈严重磨损，需立即停机更换同型号轴承（型号 31320，径向游隙 0.12 mm ～ 0.18 mm），同时彻底更换润滑油并清洗油管路，避免残留污染物加剧新轴承磨损。

4 火电厂汽轮机辅机常见故障日常预防维护措施

4.1 加强日常监测，实时把控运行状态

火电厂需要加强日常监测，以“高频次、易操作、全覆盖”为原则，由运行人员按标准化流程执行，重点关注故障先兆性参数：每 2 小时用精度 ±0.01 mm/s 的便携式振动仪测量轴承座振动值，用 ±0.5 ℃精度的红外测温仪记录温度，超阈值立即记录上报；每日巡查齿轮箱与联轴器听辨运行声音，用张紧力测试仪检查 V 型带张紧力，用 ±0.1% 精度的转速表核对主动轮与从动轮转速偏差，记录凝汽器真空度；每 4 小时用 ±0.1% 精度的标准信号发生器校准压力、温度传感器，确保调节阀开度指令与反馈偏差＜ 1%，所有监测数据实时录入运维系统，便于分析故障演化规律。

4.2 定期开展维护，深度排查潜在隐患

火电厂要定期维护，由检修技术人员结合专业工具开展深度检测，针对性消除累积性隐患：季度维护聚焦润滑系统，取轴承、齿轮箱油样进行离线分析，更换 10 μm 过滤精度的油过滤器滤芯，清洗滤网并记录颗粒类型以判断磨损来源；半年维护针对齿轮与密封系统，用频率范围 20 Hz ～ 20 000 Hz 的声学分析仪检测齿轮箱噪声，用 ±0.01 mm 精度的超声波测厚仪检测凝汽器管束壁厚，对联轴器进行激光对中检测；年度维护开展全面隐患排查，更换硬度＞ 85ShoreA 的老化密封件，对调节阀阀芯、阀座进行超声波清洗，检查控制系统程序逻辑，对齿轮齿面进行磁粉探伤，维护后出具检测报告，明确“合格项—整改项—复查时间”，形成闭环管理。

5 结束语

火电厂汽轮机辅机是火电厂运行的核心设备之一，其正常运行对于火电厂的生产效率和安全性具有重要意义。本文针对汽轮机辅机轴承、齿轮、密封、传动系统、控制系统五类核心故障，系统剖析其机理特征，提出针对性诊断技术与标准化检修工艺。通过案例验证表明：该技术体系可使辅机故障处理效率提升，降低年维护成本。未来，需推动辅机运维从“事后维修”向“预知维护”转型，为火电厂高效低碳运行提供支撑。

注释：

① 中国水力发电工程学会 .http://www.hydropower.org.cn/cn/index/734_1105043_127543。

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(09):185-187.
[2] 孙佳喜 . 汽轮机辅机常见故障及检修方法研究 [J]. 科技创新与应用 ,2020(25):113-114.
[3] 韩威 . 火电厂汽轮机辅机检修管理现状及对策探讨 [J]. 中国设备工程 ,2022(23):59-61.
[4] 周志峰 . 分析火电厂汽轮机辅机检修管理的现状及对策 [J]. 甘肃冶金 ,2020,42(06):70-72.
[5] 李展 , 成振松 , 尤默 , 等 . 某火电机组汽电双驱引风机系统辅机故障控制仿真及试验分析 [J]. 热能动力工程 ,2023,38(09):174-182.