

汽轮发电机事故处理与预防要点

石磊

鄂尔多斯市西金余热发电有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 016100

摘要：汽轮发电机作为电力系统核心设备，其运行状态直接影响供电可靠性与生产安全。本文围绕汽轮发电机事故处理与预防展开研究，分类分析了电气、机械、热工控制系统的常见事故类型及成因；随后明确事故处理要遵循的原则，梳理应急流程；详细阐述了三大关键系统的故障处理要点，涵盖短路、振动超标等问题的实操步骤；最后从全维度监测、部件防护、系统优化三方面提出核心预防技术措施。研究成果为汽轮发电机运维提供了系统的技术指导，可有效提升设备运行安全性与稳定性，降低事故发生率及经济损失。

关键词：汽轮发电机；事故处理要点；预防技术措施

引言：近年来汽轮发电机受设备老化、工况复杂、操作不当等因素影响，电气短路、机械振动超标、热工控制失效等事故频发，不仅造成停机损失，还可能引发安全隐患。当前部分运维工作存在事故成因判断不精准、处理流程不规范、预防措施不系统等问题。因此，深入分析汽轮发电机事故类型与成因，梳理科学的处理原则及流程，提出针对性的预防技术措施，对保障电力系统稳定运行、提升设备运维水平具有重要现实意义。

1 汽轮发电机常见事故类型及成因

1.1 电气系统事故

电气系统事故主要集中于发电机定子、转子及相关配电回路，常见类型包括以下方面：短路故障的成因多为导体绝缘层老化破损、异物侵入导致回路短路，或过电压冲击破坏绝缘结构；绝缘损坏则与长期高温运行、湿度超标、化学腐蚀等因素相关，导致绝缘性能下降，进而引发漏电或击穿事故；励磁系统异常通常源于励磁绕组匝间短路、励磁电源故障或调节器参数漂移，造成励磁电流不稳定，影响发电机输出电压与功率。

1.2 机械系统事故

机械系统事故涉及汽轮机与发电机的联动部件，主要类型包括：振动超标多因转子对中偏差、轴承间隙过大、动静部件摩擦，或基础沉降导致设备重心偏移；轴承损坏的核心成因包括润滑系统故障（如润滑油量不足、油质劣化）、轴承装配间隙不当，以及长期过载运行导致的局部过热；转子失衡则与转子材质不均匀、运行中部件磨损脱落，或转子热变形不对称有关，破坏转子动平衡状态。

1.3 热工控制系统事故

热工控制系统事故主要表现为参数控制失效、保护系统误动或拒动，常见类型包括：温度/压力失控多因传

感器故障、执行机构卡涩，或控制算法参数偏差，导致蒸汽参数超出安全范围；调速系统异常源于调速器反馈信号失真、油动机故障，或负荷调节响应滞后，造成机组转速波动；保护系统误动或拒动则与保护定值设置不合理、信号传输干扰，或设备老化导致的逻辑判断失误相关，无法及时触发保护措施或引发不必要的停机^[1]。

2 汽轮发电机事故处理的原则与应急响应流程

2.1 汽轮发电机事故处理的原则

汽轮发电机事故处理要遵循以下原则：（1）安全优先原则，事故发生后需第一时间判断是否存在人身安全风险，优先采取措施切断危险源，避免事故扩大引发人员伤亡；（2）快速响应原则，在最短时间内启动应急机制，减少事故对设备的持续损害，降低停机时间与经济损失；（3）科学处置原则，基于事故类型与成因分析，结合设备运行参数，采用技术规范认可的处置方法，避免盲目操作导致二次故障；（4）系统协同原则，协调发电、配电、调度等多环节，确保事故处理过程中电网负荷稳定过渡，减少对整体供电系统的影响。

2.2 汽轮发电机事故应急响应流程

应急响应流程分为以下四个关键阶段，形成闭环管理。（1）事故监测与识别，通过设备状态监测系统、现场巡检等方式，实时采集电压、电流、振动、温度等参数，快速识别事故类型与影响范围；（2）应急启动与指令传达，根据事故等级启动对应应急预案，明确各岗位职责，及时向运维人员、调度中心传达处置指令；（3）现场处置与故障隔离，按照预设方案采取停机、切断故障回路、调整系统参数等措施，隔离故障部件，防止事故蔓延；（4）恢复与评估，故障排除后逐步恢复设备运行，监测运行参数稳定性，同时记录事故处理过程，分析处置效果，优化应急预案与预防措施^[2]。

3 汽轮发电机关键系统事故处理要点

3.1 电气系统故障的处理技术要点

电气系统故障处理要遵循“断电检测-精准定位-规范修复-验证投运”流程，核心要点如下：（1）短路故障处理：①依据继电保护动作记录与互感器数据，初步判断短路回路；②断开故障回路电源并挂“禁止合闸”标识，用验电器确认无残留电压；③红外热像仪检测过热痕迹，万用表确定短路点；④清除异物，更换破损导体并修复连接，打磨接头；⑤2500V兆欧表测绝缘电阻（定子 $\geq 1\text{M}\Omega$ 、励磁 $\geq 0.5\text{M}\Omega$ ），工频耐压试验合格后，逐步送电并监测电流电压。（2）绝缘损坏处理：①停机断电，拆接线端子，干燥压缩空气清理绝缘表面；②兆欧表分区域测绝缘电阻，对比历史数据，介损测试仪查油质（介损 $\leq 0.5\%$ 、击穿电压 $\geq 35\text{kV}$ ）；③局部破损用环氧树脂胶或绝缘胶带分层包裹，厚度与原绝缘一致；④大范围老化需换绕组，后真空干燥（80-90℃、 $\leq 10\text{Pa}$ 、 $\geq 24\text{h}$ ）；⑤复测绝缘电阻，空载试运行 $\geq 2\text{h}$ ，每30分钟记录绝缘温度。（3）励磁系统异常处理：①励磁参数波动时，先查励磁变压器，测绕组直流电阻（不平衡度 $\leq 2\%$ ）及绝缘；②校准励磁调节器PID参数，阶跃响应测试；③匝间短路需拆转子，匝间耐压测试后换漆包线重绕；④碳刷磨损超1/3或有火花时更换，调压力0.2-0.3MPa，打磨滑环；⑤恢复接线后空载励磁试验，升流至额定值，监测转子温度 $\leq 120^\circ\text{C}$ 及电压稳定性。

3.2 机械系统故障的处理方案

机械系统故障处理以“精准检测-规范修复-严格验证”为核心，方案如下：（1）振动超标处理：①停机电用振动分析仪采集数据，频谱分析振动类型；②转子不对中时，激光对中仪（ $\pm 0.001\text{mm}$ ）测偏差，调地脚螺栓至径向 $\leq 0.05\text{mm}$ 、角向 $\leq 0.02\text{mm/m}$ ；③轴承间隙超标（滑动轴承为轴径0.15-0.25%）时更换轴承；④动静摩擦查气隙，塞尺（0.02mm）测偏差 $\leq 10\%$ ，调定子或修转子；⑤空载升速至额定，每500r/min记录振动，额定转速下轴承座振动 $\leq 0.05\text{mm}$ （3000r/min时），带载50%/80%/100%测试。（2）轴承损坏处理：①停机关润滑油阀，拆端盖用拉马取轴承；②清理轴承座，测内孔磨损超0.03mm需镗孔或更换；③查轴颈（粗糙度 $\leq \text{Ra}0.8\mu\text{m}$ 、圆度 $\leq 0.005\text{mm}$ ），打磨后无水乙醇清洁；④新轴承热套（80-100℃、15-20min）或冷装，敲装到位，查轴向窜动量 $\leq 0.1\text{mm}$ ；⑤装端盖注油（油标1/2-2/3、GB/T7596），启动后监测温度（滑动 $\leq 70^\circ\text{C}$ 、滚动 $\leq 80^\circ\text{C}$ ）及噪音 $\leq 75\text{dB}$ ，每15分钟记录，连续2h无异常投运。（3）转子失衡处理：①转子吊至G2.5级动平

衡机，装夹具确保同轴度 $\leq 0.01\text{mm}$ ；②低（500-1000r/min）、高速平衡，测不平衡量 $\leq 5\text{g}\cdot\text{mm/kg}$ ；③焊接配重块）或钻孔去重，避免钻透本体；④重测平衡，渗透/磁粉检测转子裂纹；⑤装转子对中合格后，额定转速运行1h，实时监测振动。

3.3 热工控制系统异常的应急处置与恢复策略

热工控制系统异常处理遵循“快速控险-定位故障-修复验证”原则，策略如下：（1）温度/压力失控处置：①超限时开减温阀、泄压阀，降锅炉负荷；②查传感器接线，紧固并涂导电膏，校准信号（误差 $\leq 0.5\%$ ）；③拆执行机构端盖，阀芯磨损超0.1mm需更换或研磨，查电机/液压缸；④测控制电缆绝缘 $\geq 10\text{M}\Omega$ ，故障则换线，与动力电缆距 $\geq 200\text{mm}$ ；⑤恢复后调试验证（温度响应 $\leq 10\text{s}$ 、压力波动 $\pm 0.2\text{MPa}$ ），模拟50%-100%负荷。（2）调速系统异常处置：①转速波动超 $\pm 0.5\%$ 时，切手动调油动机稳转速，通知调度；②查转速传感器信号，调间隙0.5-1.5mm或更换；③查调速油箱（油位 $\geq 2/3$ 、GB/T11118.1），换油清洗，修油动机密封，测行程误差 $\leq \pm 1\%$ ；④校准PID参数，闭环调试（稳定时间 $\leq 3\text{s}$ 、超调量 $\leq 5\%$ ）；⑤切自动，负荷30%-70%-30%测试，监测油压1.5-2.0MPa及无异常。（3）保护系统误动/拒动恢复：①暂停保护，调动作记录分析原因；②查保护定值，错误则重设锁定；③测信号回路绝缘 $\geq 5\text{M}\Omega$ ，修模块或重组态；④模拟故障测保护动作（ $\leq 0.1\text{s}$ ），改逻辑后复测；⑤带负荷联动试验，记录数据形成报告^[3]。

4 汽轮发电机事故预防的核心技术措施

4.1 全维度状态监测与智能预警技术

通过实时监测与动态预警，提前识别设备异常，为预防事故提供数据支撑，核心技术措施如下：（1）电气系统监测：在定子绕组布置光纤测温传感器，实时采集各点温度，温度超额定值80%时触发预警；转子励磁回路加装电流、电压在线监测模块，记录参数波动曲线，偏差超 $\pm 5\%$ 时自动报警；绝缘系统配置在线绝缘电阻监测仪，每小时采集1次数据，电阻值低于标准值50%时发出提示。（2）机械系统监测：轴承座安装振动加速度传感器，监测振动幅值与频率，幅值超0.04mm或频率出现异常峰值时预警；润滑油系统加装油液在线监测传感器，实时检测油质粘度、水分含量及颗粒度，超标时触发油质处理提示；转子轴端安装转速与轴向位移传感器，位移超0.1mm或转速波动超 $\pm 0.2\%$ 额定值时报警。（3）热工系统监测：蒸汽管路布置高精度温度、压力传感器，实时传输参数至控制系统，超安全范围10%时自动切断相关阀门；调速系统加装油压监测点，油压波

动超±0.1MPa或出现持续下降时预警；保护系统设置信号冗余采集模块，关键信号（如过流、超温）双路采集比对，偏差超5%时提示信号异常。（4）智能预警优化：搭建设备状态分析平台，整合各监测数据，采用机器学习算法识别异常趋势，提前72小时发布潜在故障预警；建立预警分级机制，按风险程度分为提示、告警、紧急三级，对应启动不同响应流程（如提示级仅记录，紧急级触发停机准备）。

4.2 关键部件针对性防护技术

针对易引发事故的核心部件，通过专项技术强化防护，延长使用寿命并降低故障概率，具体措施如下：

（1）绝缘部件防护：定子、转子绕组采用真空压力浸渍工艺，提升绝缘层致密性与耐高温性；绝缘油中添加抗氧化剂与金属钝化剂，抑制油质氧化与金属腐蚀；出电缆外护套采用交联聚乙烯材料，外层包裹防紫外线、防腐蚀保护套，敷设时与高温部件保持 $\geq 200\text{mm}$ 距离。

（2）转动部件防护：转子制造时采用整体锻造工艺，表面进行氮化处理，提升抗疲劳与耐磨性能；轴承选用高精度滚动轴承（精度等级P5），装配前进行清洗（使用专用轴承清洗剂）与无损检测（磁粉检测），装配时控制预紧力；联轴器采用弹性连接结构，配备轴向与径向补偿装置，补偿量分别不低于0.2mm与0.1mm，降低对中偏差影响。（3）摩擦部件防护：汽轮机与发电机动静间隙处加装迷宫密封结构，密封间隙控制在0.2-0.5mm，减少蒸汽泄漏与杂质进入；滑环表面进行镀铬处理，碳刷选用高石墨含量材质，装配时控制接触压力（0.2-0.3MPa），确保接触稳定无火花。

4.3 系统适配与运行优化技术

通过系统层面的技术调整，提升设备整体稳定性，减少运行过程中的故障诱因，主要措施如下：（1）润滑系统优化：润滑油箱配备自动加热与冷却装置，油温控制在40-55℃，避免低温粘度增大或高温氧化；油路中加

装三级过滤装置（粗滤精度100 μm ，精滤精度5 μm ，旁路过滤精度1 μm ），定期自动反冲洗，确保油质清洁度；设置润滑油备用泵，主泵故障时0.5秒内自动切换，保障润滑不间断。（2）热工控制优化：温度、压力调节回路采用PID参数自整定算法，结合负荷变化动态调整参数，调节响应时间 $\leq 10\text{s}$ ，超调量 $\leq 5\%$ ；调速系统引入负荷前馈控制，根据电网负荷变化提前调整油动机开度，减少转速波动；保护系统逻辑中增加“延时判断”功能，避免瞬时干扰信号触发误动作。（3）环境适配优化：发电机房安装恒温恒湿控制系统，温度维持15-30℃，湿度 $\leq 70\%$ ，配备粉尘监测与净化装置；户外布置的电气柜采用IP54防护等级设计，柜内加装除湿器与加热装置；设备基础采用防震设计，加装减震垫，减少外部振动对设备的影响^[4]。

结束语：本文系统构建了汽轮发电机事故处理与预防的技术体系，从事故成因分析到处理流程规范，再到预防措施落地，形成了完整的解决方案。通过明确三大关键系统的故障处理要点，为现场运维提供了可操作的技术指南；全维度监测、部件防护等预防措施，可从源头降低事故风险。后续可进一步结合智能化技术，优化预警算法与远程运维功能，提升事故预防的精准性与时效性。

参考文献

- [1]王秉文.大型发电机组汽轮机超速原因分析及预防对策[J].内蒙古科技与经济,2024(12):126-129.
- [2]韩祥裕.汽轮发电机组振动故障分析与治理[J].今日自动化,2024(8):44-46.
- [3]贺天阳.大型发电机组中汽轮机超速原因分析及预防策略[J].消费电子,2024(12):163-165.
- [4]蔡栋.汽轮发电机跳闸事故分析及处理[J].水泥,2024(11):61-63.