电力热能设备运行故障分析与维护管理研究

邓国良
广东粤电靖海发电有限公司，广东 揭阳 515223

[摘要]由于国内电力装机容量不断增长，热能设备在火电机组、热电联产项目和综合能源系统中起着重要的作用，它的运行可靠性关系到能源的供应能力。目前区域电力供需矛盾有波动变化的情况，用电高峰时期电网保证供电任务很艰巨，热能设备要经常应召进行深度调峰。长时间在大负荷、工况变化交替运行的情况下，会加快构件的磨损和材料的老化，设备故障的可能性增大，也增加了现场巡视和维护管理的困难。根据能源场站现场运行的实际情况，总结热能设备常见的故障类型，分析故障的原因及其发展机制。利用现场运行的统计数据，研究故障的传递规律并采取相应的改进措施，建立包括在线状态监测、风险分级预警、分层应急处理、整个生命周期性能优化在内的闭环维护模式，以提升热能转换与资源利用水平，减少停机造成的经济损失，保障区域电网安全、经济、稳定运行。

[关键词]电力热能设备；故障分析；维护管理；状态监测；预测性维护
DOI：10.33142/hst.v9i9.20641　　中图分类号：TM924　　文献标识码：A

Research on Operation Fault Analysis and Maintenance Management of Electric Power Thermal Energy Equipment

DENG Guoliang
Guangdong Yuedian Jinghai Power Generation Co., Ltd., Jieyang, Guangdong, 515223, China

Abstract: Due to the continuous growth of domestic power installed capacity, thermal energy equipment plays an important role in thermal power units, cogeneration projects, and integrated energy systems. Its operational reliability is related to the energy supply capacity. At present, the contradiction between regional electricity supply and demand is fluctuating, and it is difficult for the power grid to ensure power supply during peak periods. Thermal energy equipment needs to be frequently called upon for deep peak shaving. Long term alternating operation under high loads and changing working conditions will accelerate component wear and material aging, increase the possibility of equipment failure, and also increase the difficulty of on-site inspection and maintenance management. Based on the actual operation of the energy station site, summarize the common types of faults in thermal energy equipment, analyze the causes of faults and their development mechanisms. By utilizing statistical data from on-site operations, study the transmission patterns of faults and take corresponding improvement measures, establish a closed-loop maintenance mode including online status monitoring, risk grading warning, layered emergency response, and optimization of the entire lifecycle performance, in order to improve the level of thermal energy conversion and resource utilization, reduce economic losses caused by shutdowns, and ensure the safe, economical, and stable operation of regional power grids.

Keywords: electric power and thermal energy equipment; fault analysis; maintenance and management; status monitoring; predictive maintenance

引言

热能电力设备的稳定性和可靠性关系到电网的供电和地方能源的保障，由于能源结构调整的进行，火电主要作为调峰使用，机组的工作状态经常变化。再加上用电量会随季节而变化，用电高峰时期设备要满负荷运行，设备的损耗就会明显增加，不仅容易发生故障，巡检工作的量也会增大。如果设备出现非计划停机，造成的损失比较大，影响的范围也广。所以热能电力行业需要有一种能够迅速发现故障、进行维护的办法。对热能电力设备中常见的故障类型和产生原因进行分析，从整个运维管理流程入手进行改进，建立一种闭环管理的方法：事先检查隐患做好预防工作，故障发生时及时处理，故障解决后进行总结、改

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

进。方案注重实用性和现场的实施效果，从硬件老化、控制信号异常、变工况冲击、人员不规范操作四个方面说明故障的原因和演变过程，帮助现场准确查找故障、科学进行维护。

1 电力热能设备典型运行故障分析

1.1 故障总体分布特征

统计近年区域在运电热设备故障记录，故障可归为四类，如表 1 所示。

表 1 电力热能设备故障类型分布统计

故障类型	发生占比	平均故障处理时长	对机组运行影响等级
硬件结构类故障	42.3%	7.2 小时	重大影响
控制系统类故障	28.7%	3.5 小时	中等影响
运行工况类故障	18.2%	2.1 小时	一般影响
人员操作类故障	10.8%	1.2 小时	轻微影响

从统计数据能够看到，硬件结构方面的故障是影响设备稳定运行的主要问题，该类故障占比超四成、维修耗时长，对机组连续运行影响最突出。反观控制系统类故障，占比接近三成，另外随着设备智能化水平不断提高，这类故障的出现频率呈现缓慢上升趋势。

1.2 各类故障形成机理

机组常年满负荷连轴转，金属构件一直扛着持续的外力，时间久了就会产生疲劳损伤。再加上机组经常调峰，温度忽高忽低反复变化，不断产生交变应力冲击零件，部件表面很容易开裂、变形、磨坏。情况严重的时候，还会发生介质泄漏、零件卡住动不了这类问题。这类故障藏得很深，损坏大多从设备内部或者肉眼很难看到的地方开始，普通的现场巡检很难提前察觉。故障显现时部件通常已不可逆损坏，维修成本高、停机时间久。控制系统故障主要集中在热控保护设备、DCS 系统、测量传感器这些关键部分。软件上，控制逻辑匹配不到位、参数调试不合适、系统响应慢也比较常见，硬件方面，经常出现通讯中断、模块老化失灵、测点信号不准这类问题。控制系统相当于机组的“大脑”，一旦出问题，很容易造成保护误动作或者该动作时不动作，直接导致机组非计划启停，打乱发电、供热安排，进而影响电网和热网的稳定供应。

运行工况故障则和外部调度安排、机组运行方式密切相关，用电高峰期设备会长时间脱离额定工况工作，介质温度、压力逼近设计限值，换热劣化、局部超温、介质流动紊乱等风险上升。而且同时深度调峰过程工况切换速率快，热力系统各点位参数响应不同步，热力平衡失衡，诱发多项异常。人员操作故障主要是运维人员对系统原理理解不到位，标准化作业没有落实到位造成的。无论是日常巡检、参数调整，还是检修消缺作业，操作偏差均会扰动设备正常工况，同时部分检修工作完工后，未按规范开展回装核查与试验校验，隐患未及时消除、滞留系统，为机组后续长期稳定运行埋下重大安全隐患。

2 电力热能设备维护管理体系构建

2.1 维护管理总体框架设计

摒弃“计划检修为主、故障抢修为辅”模式，构建状态感知、风险预警、分级处置、持续优化的全周期运维体系，依托实时数据精准决策，保障设备安全、节约运维成本。维护管理体系的层级结构如表 2 所示：

表 2 电力热能设备维护管理体系层级结构

体系层级	核心功能	主要输出成果	责任主体
数据感知层	全维度采集设备运行参数	实时运行数据库	现场传感单元
分析预警层	故障风险识别与趋势研判	风险预警清单	智能分析平台
执行处置层	分级开展维护检修作业	现场运维记录	检修作业团队
评估优化层	运维效果复盘与机制迭代	管理优化方案	运维管理部门

2.2 状态监测与数据管理机制

搭建覆盖核心设备全部关键参数的状态监测系统，全天 24 小时持续采集温度、压力、流量、振动、电流等运行指标，做到设备隐患早发现、早预警。不再用统一固定频率的“一刀切”采集方式，改用差异化采集策略。低风险的辅助运行参数，就用分钟级低频采集，既可以保证故障的识别精度，又可以控制数据量，减少数据传输、存储和计算的费用，平衡监测效果和项目开支。对于重要的转动件、高温高压这些高风险监测点，采用秒级高频采集，抓住短暂的工况变化，不遗漏早期微弱故障信号。根据夏天气温高、电网负荷大的实际情况，在迎峰度夏之前进行传感器的校准和维护，改正高温环境下引起的测量误差，防止传感器发生零点漂移，保证设备在满负荷运行时能够进行正常的监测，保证设备安全度过夏季用电高峰。制定共同的数据管理标准，对原始数据进行标准化清理和校验，去掉电磁干扰、信号跳变这类无用的噪声，打破各个系统之间的数据障碍，汇集实时运行数据、检修记录、设备出厂参数、现场环境数据，建立设备整个生命周期的电子档案，便于故障的追溯、设备劣化程度的评价，支持预防性维修的决策，保证以后的智能分析模型得到可靠的资料。

2.3 分级预警与预测性维护机制

利用设备过去的故障记录和当前的运行情况来建立风险预警模型，把风险分为一般注意、异常报警、紧急报警三个等级，安排相应的处理程序。不同预警等级的处理方法见表 3。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

表 3 设备风险预警等级与处置规则

预警等级	风险特征	响应时限	处置措施
一般关注	参数小幅偏离正常区间，不会马上出故障	72 小时内	暂不用停机，跟踪参数变化
异常预警	暂不用停机，参数持续偏离阈值	24 小时内	开展专项检查，做好随时停机准备，制定针对性检修计划
紧急告警	参数逼近安全红线，极易突发失效	1 小时内	现场处置，快速上报，必要时调整机组负荷

核心关键件对电站主设备的正常工作很重要，如果没有这些备件就会引起长时间停机，应当根据抢修的需要适当准备，以便发生突发故障时能及时调用并投入使用。常用消耗件更换次数多、需求比较稳定，通过运维台账来进行动态库存管理，确定库存警戒线，库存余量接近警戒线时自动进行补充，使库存既不积压、又不缺货。一般储备件使用率低、占用资金多，实行片区电站共同储备，建立共享台账、允许跨站调用，保证抢修需要的同时减少库存、节约资金和仓储占用。另外建立跨班组、跨电站的运维资源协调调度制度，在片区内统一安排检修人员、专用工具、检测设备，防止重复购买和闲置损坏的现象。利用区域运维调度平台，当设备出现问题时就近调用资源、及时派人，加快故障处理，减小对电网的影响。

2.4 现场运维作业标准化管理

动火、有限空间这类高风险检修，严格走工作票审批流程，做好安全隔离和防护。开工前给所有人做安全技术交底，讲清风险和防控办法。检修完工后，班组、技术、管理多层验收并留存记录，保障检修质量。日常巡检持续优化，实行固定路线常规巡检加重点点位随机抽查。运维人员拿手机现场录入、实时上传巡检数据，同步拍照存档，避免漏检、晚检和虚假巡检。跟着四季天气和设备状态灵活调整巡检重点，低温天重点检查管道、阀门、仪表防冻，靠日常巡检尽早发现隐藏问题，高温天气重点检查冷却系统，还有高温承压部件的温度、变形情况。通过搭建一套覆盖所有检修、维护、消缺工作的标准流程，细化作业指引，把开工条件、操作步骤、工艺标准、分级验收要求明确清晰，确保运维全流程闭环、规范可控。另外，为了能够确保供暖期间设备稳定、热源不间断，提升群众满意度，紧紧围绕民生供热保障这个核心，每年供暖前都会组织专项检修排查，对换热站、热力管网、循环泵这类供热设备全面排查隐患，小毛病提前处理。

2.5 备品备件与运维资源优化管理

建立科学完备的备品备件分级储备机制，综合考量部件重要程度、历史故障概率、采购供货周期、检修更换频率等多项指标，把备件分成核心关键件、常用消耗件、一般储备件三类，按需制定差异化的备品储备方案与管控机制。核心关键件关系到电站主设备的正常运行，如果这些备件缺乏就会造成长时间停机，应该根据抢修的需要适当储备，保证出现突发故障时能够及时调用投入使用。常用消耗件更换次数多、需求比较稳定，通过运维台账进行动态库存管理，确定库存预警界限，库存余量接近界限时自动进行补充，使库存既不积压、又不缺货。一般储备件使用率低、占用资金多，实行片区电站共同储备，建立共享台账、允许跨站调用，保证抢修需要的同时减少库存、节省资金和仓储占用。同时建立跨班组、跨电站的运维资源协调调度制度，在片区内统一安排检修人员、专用工具、检测设备，避免重复购买和闲置损坏的情况。利用区域运维调度平台，当设备出现问题时就近调用资源、迅速派人，加快故障处理，减轻对电网的影响。

2.6 人员能力与安全管理体系建设

建立一个分层分类、有针对性弥补能力不足的运维人员培养模式。对一线运行人员，主要训练他们理解设备参数、发现异常情况、初步诊断故障并进行现场应急处理的能力，同时做好日常监控工作，把风险提前发现。管理人员的学习重点放在整体协调、资源分配和风险评估上，从而提高整体统筹管理能力。而检修人员，就要深入研究核心部件的拆装维修、装配标准、试验校验、检修质量控制，保证设备检修质量稳定可靠。根据岗位要求和现场实际情况，分别对运行、检修、管理三类岗位制定长期培训计划。另外，经常进行跨岗位、跨专业的联合应急演练，模拟设备跳闸、零件损坏这样的实际故障情况，不断地完善多班组共同抢修的程序，理顺各方的联系机制，提高处理紧急故障的速度。安全管理方面，特别是高空、带电、大件吊装等高危险作业，要事先做好风险预防，落实双重防护措施，从制度要求和现场操作两方面防止违章，坚持把安全控制贯穿于运维全过程，落实每个岗位的安全责任，层层落实安全职责。同时建立作业安全追溯台帐，妥善保存作业审批、现场监护、隐患整改等相关资料，经常分析各种险情案例，逐步改进控制方法。

3 维护管理体系应用效果分析

基于区域多台在运电力热能设备的实际运行数据，对本文构建的维护管理体系应用效果进行验证，选取实施前后的核心运维指标进行对比，结果如表 4 所示：

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

表 4 维护管理体系实施前后核心指标对比

指标名称	实施前	实施后	优化幅度
设备非计划停运率	2.1 次/年·台	0.8 次/年·台	-61.9%
平均故障处理时长	6.7 小时	2.9 小时	-56.7%
设备等效可用系数	92.4%	96.7%	+4.6%
单位热能损耗	0.39 吨标准煤/吉焦	0.35 吨标准煤/吉焦	-10.3%
年运维总成本	128 万元/台	107 万元/台	-16.4%

从对比结果能看到，这套维护管理体系投入使用后，各项关键运维指标都有明显改善，设备安全稳定，降低运维费用，热能利用率提高，整体效果较好。

4 结论

建立一个包括监测预警、风险分析、现场修理、事后的总结评价在内的整个运维管理程序，更好地满足现在电网调峰、负荷变化和地方保供的实际需要。这种办法利用设备的在线状态监测，实行预见性维修，准确预测故障问题，合理安排维修资源，从而能够提高设备的正常运行程度，减少运维费用，使设备管理得到改善和加强。以后传感器和大数据技术不断改进，管理制度考核逐步完善，进一步挖掘潜力节约能源，保证新型电力系统的安全运行，同时为实现低耗高效供电打下良好基础。

[参考文献]

[1]董瑞峰.热能动力系统中电力设备的故障诊断与维护措施探究[J].中国设备工程,2026(18):202-204.
[2]宋沁之.热能动力设备的状态监测与智能维护技术研究[J].中国高新科技,2026(14):88-90.
[3]张伟,王宏.热能动力装置安全监控技术在化工领域的应用与实践研究[J].化工管理,2026(15):76-79.
[4]卢凯.火电厂热能动力装置的检修与安全维护策略[J].湖北应急管理,2025(22):43-45.
[5]钟晓晖.热能动力系统中电力设备故障诊断与维护方法[J].家电维修,2025(11):101-103.
[6]李剑.火电厂热能动力装置的检修维护策略分析[J].科技创新与应用,2020(30):139-140.

作者简介：邓国良（1993—），男，汉族，广东梅州人，本科，汽轮机点检工程师，机械助理工程师，就职于广东粤电靖海发电有限公司，从事设备点检运维方向的工作。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.