

火电厂热控系统可靠性评估与提升措施

王 润

中国电建集团山东电力建设第一工程有限公司 山东 济南 250100

摘要：火电厂热控系统是保障机组安全稳定运行的核心，其可靠性直接关联电厂安全生产与经济效益。本文阐述热控系统核心组成、可靠性相关理论及影响机制，构建涵盖硬件、软件、系统整体的多维度评估体系，结合实例应用验证评估方法的有效性，明确系统薄弱环节，从硬件选型、软件优化、运维管理及智能化应用四个层面，提出针对性提升措施，为火电厂热控系统可靠性优化提供理论支撑与实践参考。

关键词：火电厂；热控系统；可靠性评估；提升措施

引言：随着火电厂机组向大容量、高参数方向发展，热控系统的作用愈发凸显，其可靠性不足易引发设备故障、非计划停运等问题，造成重大经济损失。当前，部分火电厂热控系统存在硬件老化、软件漏洞、运维不规范等问题，制约系统稳定运行。因此，开展热控系统可靠性评估，精准识别薄弱环节，制定科学有效的提升措施，对保障火电厂安全高效运行、降低故障风险具有重要现实意义。

1 火电厂热控系统组成及可靠性相关理论

1.1 火电厂热控系统核心组成

(1) 检测元件：作为热控系统的“感知器官”，核心包括传感器、变送器等设备。传感器负责采集火电厂锅炉、汽轮机核心设备的温度、压力、流量等关键参数，将物理量转化为电信号；变送器对原始电信号进行放大、滤波、转换，输出标准信号传输至控制装置，为系统调控提供精准数据支撑，是保障热控系统正常运行的基础。(2) 控制装置：是热控系统的“大脑”，主要包括DCS系统、PLC控制器等。DCS系统采用分布式控制架构，实现对全厂热工参数的集中监控、分散控制，具备稳定性强、抗干扰能力突出的特点；PLC控制器主要用于局部设备的逻辑控制，响应速度快，适配高频次、简单逻辑的控制需求，二者协同保障系统调控的及时性与准确性^[1]。(3) 执行机构：是热控系统的“手脚”，涵盖执行器、调节阀等设备。其核心功能是接收控制装置的指令，调节阀门开度、设备运行状态，将控制指令转化为实际操作，确保锅炉燃烧、汽轮机运行等环节符合工艺要求；同时需满足高可靠性要求，避免因设备卡涩、失灵导致系统调控失效。

1.2 热控系统可靠性核心概念与评价标准

(1) 核心概念：可靠性指热控系统在规定条件、规定时间内完成规定功能的能力；故障率是单位时间内系统或

设备发生故障的次数；平均无故障时间（MTBF）反映系统无故障运行的平均时长，数值越高可靠性越强；平均修复时间（MTTR）指故障发生后至系统恢复正常的平均时间，体现系统故障修复效率。(2) 评价标准：遵循电力行业相关标准，明确热控系统各设备的可靠性阈值；量化指标要求包括MTBF不低于规定阈值、故障率控制在允许范围，同时要求系统容错能力、冗余设计符合火电厂安全生产需求，确保极端情况下系统仍能稳定运行。

1.3 热控系统可靠性的影响机制

(1) 硬件层面：设备长期在高温、高压环境下运行易出现老化，导致参数漂移、性能下降；设备出厂时的质量缺陷的，会增加故障发生概率，直接影响系统可靠性。(2) 软件层面：控制逻辑设计不合理、程序存在漏洞，会导致调控指令错误；软件版本更新不规范，可能引发系统兼容性问题，影响系统稳定运行。(3) 环境与人为层面：火电厂高温、粉尘、电磁干扰等环境因素，会干扰设备信号传输与运行；操作人员操作不当、维护不及时，会加速设备损耗，诱发系统故障。

2 火电厂热控系统可靠性评估体系构建与应用

2.1 可靠性评估指标体系设计

(1) 硬件可靠性指标：核心围绕设备运行稳定性设计，设备故障率反映单位时间内检测元件、控制装置、执行机构等硬件的故障发生频率，是衡量硬件可靠性的基础指标；使用寿命结合设备出厂标准与实际运行损耗，评估硬件正常运行的有效时长；冗余设计合理性主要考察关键硬件（如核心变送器、控制器）的冗余配置情况，冗余设计越科学，硬件故障对系统的影响越小，可有效提升硬件整体可靠性。(2) 软件可靠性指标：重点关注软件运行稳定性与准确性，程序无故障运行时间直观反映软件在规定工况下持续正常工作的能力；逻辑出错率衡量控制逻辑设计与程序编写的合理性，出错率

越低，软件调控的准确性越高；数据通讯稳定性主要评估软件与硬件、各子系统间的数据传输效率与稳定性，避免因数据丢失、延迟导致系统调控失效^[2]。（3）系统整体可靠性指标：整合硬件与软件性能，平均无故障时间（MTBF）体现系统整体无故障运行的平均时长，数值越高说明系统整体可靠性越强；平均修复时间（MTTR）反映系统故障后的恢复效率，直接影响火电厂生产连续性；非计划停运次数及时长是评估系统可靠性的关键量化指标，直接关联火电厂安全生产与经济效益，需严格控制行业标准范围内。

2.2 可靠性评估方法选择与建模

（1）常用评估方法对比：故障模式与影响分析（FMEA）侧重识别系统各环节可能出现的故障模式，分析其对系统功能的影响程度，操作简便、针对性强，适合前期故障预判；故障树分析（FTA）以系统故障为顶事件，反向追溯故障原因，逻辑清晰，可精准定位核心故障点；统计分析法通过收集系统长期运行数据，运用统计工具分析故障规律，为评估提供数据支撑，三种方法各有侧重，可结合使用提升评估准确性。（2）评估模型构建：结合火电厂热控系统高温、高干扰、连续运行的实际工况，构建多维度综合评估模型。模型以硬件、软件、系统整体三类指标为核心，赋予各指标合理权重，结合FMEA、FTA及统计分析法的评估结果，通过量化计算得出系统可靠性综合评分，同时兼顾火电厂生产优先级，重点突出关键设备与核心子系统的评估权重，确保模型贴合实际应用需求^[3]。

2.3 评估实例应用与结果分析

（1）实例概况：选取某300MW火电厂热控系统作为研究对象，该系统采用DCS分布式控制架构，配备完善的检测、控制与执行设备，主要负责锅炉、汽轮机等核心设备的参数监控与精准调控，系统已运行5年，近期频繁出现参数波动、局部设备故障等问题，影响机组运行稳定性，具备典型的评估价值与改进空间。（2）评估过程：首先开展数据采集工作，全面收集该系统近1年的设备故障记录、运行参数、软件日志、维护记录等相关数据，确保数据的完整性与准确性；其次进行指标计算，结合采集的数据，逐一计算硬件、软件及系统整体各类指标的具体数值，完成指标量化；最后应用构建的多维度综合评估模型，代入指标数据与权重，完成系统可靠性综合评分，明确系统可靠性等级。（3）结果分析：评估结果显示，该火电厂热控系统整体可靠性处于中等水平，核心薄弱环节主要为部分老旧检测元件故障率偏高、控制软件逻辑存在轻微漏洞、数据通讯偶尔出现延

迟；深入分析可知，故障产生的核心原因包括硬件长期运行老化未及时更换、软件版本更新不规范、日常运维流程不严谨、维护不到位，为后续针对性制定可靠性提升措施提供了明确方向。

3 火电厂热控系统可靠性提升措施

3.1 硬件层面提升措施

（1）设备选型优化：结合火电厂锅炉、汽轮机等核心设备的高温、高湿、高腐蚀运行环境，优先选用耐高温、抗腐蚀、高精度的传感器与执行机构。传感器选用精度等级不低于0.5级、抗电磁干扰能力强的产品，确保参数采集的准确性；执行机构选用密封性能优良、动作灵活的型号，适配复杂工况下的长期稳定运行，从源头降低硬件故障发生率，为热控系统可靠运行奠定硬件基础。（2）冗余设计完善：针对DCS系统、电源系统等核心硬件，优化冗余配置方案，提升系统抗故障能力。DCS系统采用双机热备、冗余控制器设计，确保单台设备故障时，备用设备可快速切换，不影响系统正常调控；电源系统配置双回路冗余电源，搭配UPS备用电源，防止突发停电导致系统停运；同时对关键检测元件、变送器进行冗余配置，避免单一设备故障引发系统连锁问题^[4]。（3）设备全生命周期管理：建立完善的设备全生命周期管理机制，对硬件设备实行定期校准、维护与更换。定期对传感器、变送器等设备进行参数校准，及时修正参数漂移问题；制定常态化维护计划，定期清理设备灰尘、检查线路连接，排查潜在故障隐患；根据设备运行年限、损耗情况，明确更换周期，避免老旧设备“超期服役”；同时优化备件管理体系，储备核心设备备件，确保故障发生时可快速更换，缩短修复时间。

3.2 软件层面提升措施

（1）控制逻辑优化：结合先进控制算法，优化热控系统控制策略，提升系统自适应能力。引入PID改进算法、模糊控制算法等，针对锅炉燃烧、汽轮机转速等关键调控环节，优化控制逻辑，减少因工况波动导致的调控偏差；同时增加逻辑容错设计，避免单一逻辑错误引发系统故障，确保系统在复杂工况下仍能稳定、精准运行。（2）软件维护升级：建立规范的软件维护升级机制，定期更新软件版本，及时修复程序缺陷与安全漏洞。安排专业技术人员对软件运行日志进行定期分析，排查程序运行中的异常问题，针对性优化数据处理逻辑，提升软件运行效率；升级过程中做好数据备份与测试工作，避免升级不当导致系统瘫痪，确保软件与硬件、各子系统的兼容性。（3）通信系统优化：建立冗余通信通道，采用双光纤通信方式，避免单一通信通道

故障导致数据传输中断；优化通信点表，梳理冗余、无效的通信点位，减少数据传输负荷，提升通信效率；同时加强通信协议管理，规范数据传输格式，降低数据丢失、延迟、误码等异常风险，确保热控系统各环节数据传输稳定、准确。

3.3 运行维护与管理层面提升措施

(1) 标准化运维：制定规范的巡检、操作与维护流程，明确各岗位运维职责，落实火电厂热控系统25项反措要求。建立常态化巡检机制，重点检查核心设备运行状态、线路连接、参数变化等情况，做好巡检记录；规范操作流程，避免操作人员误操作引发系统故障；定期开展运维专项检查，排查运维过程中的薄弱环节，及时整改优化，提升运维标准化水平。(2) 人员能力提升：加强运维人员专业培训，制定分层分类培训计划，涵盖硬件设备操作、软件调试、故障判断与处理等内容，邀请行业专家开展专项授课，提升运维人员的专业技能；定期组织技能考核与应急演练，模拟各类常见故障场景，提高运维人员的故障响应速度与处理能力，确保故障发生时可快速排查、及时解决。(3) 环境优化：针对火电厂高温、粉尘、电磁干扰等环境问题，采取针对性优化措施，改善设备运行环境。在设备机房安装防尘装置、通风散热设备，控制机房温湿度在合理范围（温度18-25℃，湿度40%-60%）；对核心设备加装电磁屏蔽罩，远离强电磁干扰源；定期清理设备表面与机房粉尘，减少粉尘对设备运行的影响，延长设备使用寿命^[5]。

3.4 智能化技术应用提升措施

(1) 智能监测与诊断：引入物联网、人工智能(AI)技术，搭建热控系统故障预测与远程诊断系统。在核心硬件设备上安装物联网传感器，实时采集设备运行参数，通过AI算法分析参数变化趋势，提前预判设备故障隐患，实现“早发现、早处理”；搭建远程诊断平台，技术人员可远程监控系统运行状态，快速排查故障，减少现场运维工作量，提升故障处理效率。(2)

大数据与边缘计算应用：充分挖掘热控系统长期运行数据，结合边缘计算技术，实现数据实时处理与分析。通过大数据分析梳理设备故障规律、工况变化特点，优化控制策略，提升系统对工况波动的自适应能力；利用边缘计算技术，将数据处理任务下沉至现场设备，降低数据传输压力，提升系统实时响应速度，确保调控指令及时执行。(3) 数字孪生技术应用：构建火电厂热控系统数字孪生模型，实现系统仿真与预测性维护。通过数字孪生模型模拟热控系统的运行状态，仿真不同工况下系统的运行效果，优化控制方案与运维计划；结合实时运行数据，对设备损耗、故障风险进行精准预测，提前制定维护策略，减少非计划停运次数，全面提升热控系统可靠性与运行效率。

结束语

火电厂热控系统可靠性提升是一项系统性、长期性工作，需兼顾硬件、软件、运维及智能化技术多方面协同优化。本文构建的评估体系可精准定位系统薄弱环节，提出的提升措施贴合电厂实际工况，能有效降低故障发生率、缩短修复时间。未来需结合智能化技术发展，持续优化评估模型与提升策略，推动热控系统向更可靠、高效、智能方向发展，为火电厂高质量运行提供坚实保障。

参考文献

- [1]王正通,刘子良.热控系统可靠性技术提升及优化研究[J].科技创新导报,2020,17(06):146-151.
- [2]梁雪.火电厂热工自动化DCS控制系统的应用浅析[J].中国设备工程,2023,5(14):53-55.
- [3]钟才茂.浅析火电厂的热工保护控制系统可靠性技术提升策略[J].新潮电子,2023,21(6):73-75.
- [4]韩新建,韩新春.火电厂热工保护控制系统可靠性技术提升探讨[J].能源科技,2022,20(5):54-58.
- [5]李高强.热工自动控制在火电厂中的可靠性分析[J].电力设备管理,2021,10(13):214-215.