电厂热控自动化系统稳定分析

王悦威

建投邢台热电有限责任公司　河北　邢台　054400

摘　要：热控自动化系统是火电机组安全高效运行的核心支撑，系统运行稳定性直接决定机组整体工况与设备服役状态。本文围绕该系统运行特性展开深度分析，梳理影响系统稳定运行的各类内在与外在因素，探究工况波动、硬件工况、信号传输及逻辑架构等层面的问题根源，并针对性提出优化方向，为提升热控自动化系统运行可靠性提供理论参考。

关键词：电厂；热控自动化；系统稳定性；运行优化

引言：现代电力生产体系中，热控自动化承担着机组参数监测、设备联动控制与工况调节的核心职能。随着机组容量不断提升、运行模式日趋复杂，热控系统的运行负荷持续增加，各类稳定性隐患逐步凸显。立足系统整体架构与运行逻辑开展分析，厘清不稳定诱因，挖掘提质路径，已然成为电力运维领域重点研究内容。

1 电厂热控自动化系统整体架构与运行特征

电厂热控自动化系统依托分层分布式架构搭建而成，各功能单元相互配合、协同运转，形成完整的监测与控制体系。系统自上而下可划分为监控管理层、过程控制层与现场设备层，不同层级承担的功能各有侧重，层级间依靠专用传输链路完成数据交互与指令传递。监控管理层主要实现参数集中显示、远程操作与状态汇总，是运维人员掌握机组工况的主要窗口；过程控制层为系统核心，负责运算判断、逻辑执行与指令下发，直接决定控制动作的精准度；现场设备层由各类传感元件、执行机构组成，完成现场物理信号采集与动作响应。整套系统具备实时性、联动性与连续性三大特征，全程不间断采集温度、压力、流量等运行参数，依据预设逻辑自动完成调节操作，任一环节出现异常，都会顺着层级链路扩散，进而影响整套系统的运行状态，这也是系统稳定性管控需要全面统筹的核心原因[1]。

2 影响热控自动化系统稳定性的基础因素

2.1 硬件设备运行状态影响

硬件是热控系统运转的物理载体，设备老化、选型匹配度不足以及部件损耗，都会直接破坏系统运行稳定性。长期连续运行状态下，传感元件、控制器、通讯模块等核心部件会出现性能衰减，信号采集精度逐步下降，控制单元响应速度变慢。部分配套辅件长期处于高负荷、高振动环境中，内部线路、触点易出现接触不良问题，造成数据中断、指令延迟。同时，若设备选型未结合机组实际运行工况，硬件性能无法匹配系统运行需求，会导致设备长期处于满负荷甚至超负荷状态，故障发生概率大幅提升，从物理层面埋下系统失稳隐患。

2.2 信号传输链路干扰

数据与控制信号的稳定传输，是系统正常工作的前提。电厂生产现场电磁环境复杂，大功率动力设备运转会产生强电磁辐射，这类干扰会侵入信号传输线路，造成模拟信号失真、数字信号丢包。传统线缆敷设布局不合理、强弱电线路近距离并行，也会加剧信号串扰问题。信号一旦出现畸变、延迟或缺失，上层控制单元无法获取真实现场数据，逻辑判断出现偏差，进而发出错误控制指令，引发局部设备动作异常，逐步扩散为系统性运行波动[2]。

2.3 现场运行环境制约

电厂设备区域普遍存在高温、粉尘、震动、湿度偏高等环境特点，这类客观条件会持续侵蚀热控现场设备。高温环境会加速电子元件老化，降低元器件运算与传输性能；粉尘堆积在传感元件、接线端子表面，会阻碍信号采集，造成线路接触失效；持续性机械震动会松动设备固定结构与内部接线，引发间歇性故障。恶劣环境不会直接造成系统停机，但会持续削弱设备性能，让系统运行容错空间不断缩小，小幅工况变化便会触发运行异常。

2.4 控制逻辑与程序配置问题

控制逻辑与内置程序是系统的运行准则，逻辑设计不合理、程序冗余或参数匹配失衡，都会影响系统稳定

性。部分控制逻辑设计偏向理想化，未兼顾机组变工况运行状态，在负荷调整、参数波动时，逻辑切换出现卡顿、误触发等问题。程序编写过程中出现冗余代码、逻辑冲突，会增加控制器运算负荷，拉长响应周期。此外，系统运行参数整定不当，调节区间、响应阈值设置与设备实际特性不匹配，会造成调节动作频繁震荡，无法维持工况平稳，破坏系统整体运行秩序。

3 热控自动化系统稳定性深度分析与优化路径

3.1 变工况下系统运行稳定性分析与适配优化

火电机组运行工况并非恒定不变，负荷升降、启停切换、辅机联动等工况变化，是考验热控自动化系统稳定性的重要场景。机组处于稳定负荷区间时，系统参数波动幅度小，控制逻辑动作频次低，整体运行状态相对平稳；一旦进入变工况阶段，机组各类运行参数会快速偏移，系统需要在短时间内完成海量数据采集、运算分析与动态调节，整体运行负荷急剧上升。在这一过程中，系统响应速度、调节灵敏度以及各子系统之间的协同能力，都会暴露短板。部分子系统独立运行时状态正常，但多系统联动调节过程中，动作时序衔接不畅、调节幅度配合失衡，容易出现参数反复震荡，无法快速回归稳定区间。

针对变工况带来的稳定性问题，核心优化方向为强化系统工况适配能力。首先梳理机组全运行周期内的典型工况类型，结合不同工况下参数变化规律，细化系统调节模式，区分稳态运行、升负荷、降负荷、机组启停等不同场景，让系统依据工况类型自动切换运行模式，避免单一调节逻辑应对多类工况造成的适配不足。其次优化各子系统联动时序，梳理不同设备、不同控制单元之间的动作先后顺序，缩小联动动作的时间差，保证多设备协同调节步调统一。同时适度拓宽系统数据运算缓存区间，提升瞬时海量数据处理能力，避免变工况阶段因运算拥堵造成指令延迟，让系统在参数快速变化过程中始终保持平稳运行状态[3]。

3.2 硬件全生命周期管控与性能提升

硬件故障是引发热控系统突发失稳的主要诱因，硬件问题具备渐进式发展特征，从性能小幅衰减到彻底故障存在明显过程，依托全生命周期管控模式，能够提前预判隐患，维持硬件长期稳定运转。热控系统硬件包含前端传感设备、就地执行机构、中央控制单元、人机交互设备以及各类转接配件，不同类型硬件的损耗规律、故障表现存在明显差异。传感元件长期直面现场介质与恶劣环境，易出现精度漂移、灵敏度下降；控制单元以电子运算为主，损耗主要集中在内部芯片、存储模块，故障多表现为运算卡顿、程序异常；线路、端子等辅件则易受震动、腐蚀影响，出现接触类问题。

开展硬件管控工作，需要摒弃故障后维修的被动模式，建立常态化状态监测机制。按照硬件类型、安装区域、重要等级进行分类管理，针对核心控制硬件、关键测点传感元件，加大状态巡检频次，重点监测设备温度、运行噪音、输出信号波动等直观状态，通过长期数据对比判断硬件性能衰减趋势。结合硬件出厂参数与现场运行数据，划定性能预警区间，当设备指标偏离正常范围时，及时开展检修、校准或更换工作。对于使用年限较长、性能逐步下滑的老旧硬件，制定分批次更新计划，优先替换机组核心控制链路中的老旧部件，避免硬件集中老化引发大范围系统故障。同时在硬件更换、扩容改造环节，严格遵循设备性能匹配原则，保证新设备接口、运行参数、通讯协议与原有系统完全兼容，防止硬件混搭造成的运行冲突。

3.3 信号传输系统防护改造与抗干扰优化

信号是热控系统实现监测与控制的载体，信号传输全程的稳定性，直接决定系统判断与动作的准确性。电厂现场复杂的电磁环境是信号干扰的主要来源，大功率电机、变频设备、高压配电装置运行时产生的电磁能量，会通过空间辐射、线路耦合两种方式侵入信号回路。辐射干扰会影响无线传输模块、远程测点信号，造成数据跳变；耦合干扰多出现于有线传输线路，强弱电线路共沟、近距离铺设，会让动力线路的电流波动传导至信号线路，导致模拟量信号偏移、开关量信号误动作。除此之外，线路老化、绝缘层破损、接线工艺不规范，也会加剧信号传输异常问题，这类问题具备间歇性特征，排查难度较大，会让系统出现无规律的运行波动。

信号系统优化以 ** 抗干扰、保传输、强防护 ** 为核心思路。首先优化线缆整体布局，重新规划强弱电线路敷设路径，做到物理分区、单独布线，拉大信号线路与动力线路之间的距离，从源头减少线路耦合干扰。对现有老旧线缆进行全面排查，更换绝缘层老化、外皮破损的线路，规范接线工艺，压实接线端子，消除线路虚接问题。其次强化信号屏蔽措施，在关键信号线路外层加装专用屏蔽层，屏蔽层按照标准方式单点接地，阻断外部电磁辐射侵入。针对变频设备、大功率转动设备周边的测点，选用抗干扰性能更强的专用传输线缆与传感设备。同时简化信号传输中间转接环节，减少转接端子、中继模块的使用数量，每一处转接节点都会增加信

号损耗与故障概率，精简链路能够有效提升信号传输的完整性与稳定性，保障数据从现场到控制单元全程精准传递[4]。

3.4 控制逻辑与应用程序的迭代完善

控制逻辑与内嵌程序是热控系统的“运行大脑”，逻辑设计缺陷、程序漏洞、参数整定不合理，属于系统性根源问题，会长期影响系统运行品质。早期设计的控制逻辑多基于基础运行需求搭建，随着机组运行方式不断调整、新增辅机不断接入，原有逻辑框架逐渐无法适配新的运行要求，出现逻辑盲区、动作冲突、保护误触发等问题。部分调节逻辑动态适配性不足，PID 等调节单元参数固化，面对负荷突变、介质参数变化时，调节动作要么响应迟缓，要么调节过度，造成参数持续震荡。程序层面的冗余代码、后台进程冲突、版本不统一等问题，会持续占用控制器运算资源，拉高系统负荷，降低整体响应效率。

对逻辑与程序开展优化，需要分阶段完成梳理、整改、测试与固化工作。第一阶段全面梳理整套系统控制逻辑，按照系统分区、功能模块逐一核查，删除无效逻辑、合并重复逻辑，修正逻辑分支衔接错误、动作时序错乱等问题，补齐机组特殊运行工况下的逻辑盲区。第二阶段优化调节单元参数，结合机组长期运行数据，反复比对不同负荷、不同介质状态下的调节效果，动态整定调节参数，让调节动作兼顾响应速度与平稳性，杜绝参数震荡现象。第三阶段完成程序精简与版本统一，清理后台冗余代码、无效进程，降低控制器运算压力；保证同类型控制单元、同区域子系统使用统一程序版本，避免版本差异引发的通讯故障与逻辑异常。所有逻辑修改、程序更新完成后，必须开展离线模拟测试与在线空载测试，验证修改效果，确认无异常后方可投入正式运行，杜绝优化改造带来新的稳定性问题。

3.5 全流程运维体系构建与常态化管控

完善的运维体系是热控自动化系统稳定运行的关键，系统长效稳定离不开标准化运维管理。该系统设备分布广、模块繁杂、专业性强，若运维标准缺失、责任不清、交接不畅，加之巡检敷衍、排查无序、资料不全、操作不规范，易使小隐患演变为重大故障；而机组检修、改造期间的误碰线路、篡改参数与逻辑等人为操作，也是影响系统稳定的常见因素。

为此需搭建标准化运维体系并落实常态化管控。一是细化岗位权责，按设备区域、系统模块定岗定人，把巡检、校验、故障处理、改造监护等工作落实到位，区分常规巡检与深度巡检，明确检查内容、标准及记录规范，实时把控设备状态。二是健全技术档案，妥善留存逻辑图纸、程序、参数、设备台账等资料，为运维工作提供技术依据。三是严格作业流程，涉及线路、参数、逻辑及程序改动时，执行审批、双人监护、事后复核制度，防范人为失误。四是建立故障复盘机制，记录每起异常的现象、处置过程，总结原因与防控措施，打造“巡检-预判-处置-复盘-优化”闭环管理，从管理上保障系统安全稳定运行[5]。

结束语：电厂热控自动化系统的稳定性，关乎整套发电机组的运行质量与运行效率。本文分析了各类影响系统稳定的核心因素，并从硬件、信号、逻辑、工况、运维多个维度提出优化思路。只有统筹物理设备、传输链路、控制架构与管理模式，持续开展优化完善工作，才能不断强化系统抗干扰能力与工况适配能力，保障系统长期平稳运行。

参考文献

[1] 王卓. 电厂热控自动化系统稳定性分析 [J]. 中文科技期刊数据库（文摘版）工程技术,2025(6):095-098.

[2] 张林, 张航. 发电厂热控自动化系统设计与优化分析 [J]. 现代工业工程,2025(3):31-33.

[3] 李琴. 关于火电厂热控自动化系统运行稳定性的探讨 [J]. 仪器仪表用户,2025,32(8):146-148.

[4] 傅承. 电厂热控自动化系统稳定性分析 [J]. 中国科技期刊数据库工业 A,2024(8):014-017.

[5] 吴安纬. 浅析电厂热控自动化系统运行的稳定性 [J]. 中国设备工程,2024(3):122-124.