

电厂热控系统可靠性提升技术研究

訾 才

(内蒙古国华准格尔发电有限责任公司, 内蒙古 鄂尔多斯 010300)

摘要 电厂热控系统是确保机组安全、稳定运行的关键技术支撑, 其可靠性与电厂的发电效率、设备的使用寿命及电网的供电质量直接相关。当前形势下, 热控系统的规模不断扩大、结构日趋复杂, 其所面临的可靠性挑战也随之增加。本文从热控系统的硬件选型、软件优化、智能监测、运维管理四个维度切入, 探讨提高电厂热控系统可靠性的技术路径, 以期通过行之有效的技术措施为电厂热控系统提升抗干扰能力与故障自愈能力提供参考, 进而为系统的长期稳定运行保驾护航。

关键词 电厂; 热控系统; 冗余容错; 智能监测

中图分类号: TM62

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.02.002

0 引言

热控系统作为火电机组的神经中枢, 承担着参数采集、逻辑运算、指令执行、安全保护等关键功能。其运行稳定性是机组实现 AGC(自动发电控制)协调控制、RB(快速减负荷)工况响应及危急工况保护的先决条件。随着电力市场化改革进程的持续深入, 电网对火电机组的调峰调频能力提出了更严格的要求。与此同时, 机组频繁启停、变负荷运行工况也随之增加, 这给热控系统的动态适应性带来了新考验。传统热控系统的可靠性提升主要依靠事后维修与定期校验, 此种固化模式已难以适应复杂工况下的实时性需求。基于此, 就新形势下提高电厂热控系统可靠性的技术手段展开探究, 是保障火电机组安全经济运行、推动火电行业转型的关键。

1 基于硬件优化的热控系统可靠性提升技术

1.1 提高选型质量

硬件被视为热控系统运行的物理基础, 其选型质量在很大程度上决定了系统的可靠性下限, 依托高精度、抗干扰的硬件配置, 能从源头上降低系统故障的发生率。传感器是热控系统的感知器官, 为解决传统传感器在恶劣工况下可靠性不足的问题, 需要配置高精度、抗干扰、智能化的新型传感设备。在温度测量方面, 传统热电偶传感器本身存在冷端补偿误差大、抗振动能力弱等诸多难以忽视的缺陷, 建议以光纤光栅温度传感器替代。此类传感器基于光的波长调制原理, 不受电磁干扰影响, 测量精度可达到 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$,

适用于炉膛烟温、主蒸汽温度等关键参数的测量^[1]。在压力测量方面, 针对高压、高振动工况下的压力测量需求, 建议选用电容式差压变送器。该变送器采用微熔技术, 兼具抗过载能力强、长期稳定性好等优势, 其量程比可达到 100:1, 能很好地适应机组变负荷运行时出现的参数大范围变化情况。在执行机构选型方面, 需优先选用具有自诊断、自润滑功能的智能执行机构, 如电液伺服执行机构内置位置反馈传感器与故障诊断模块, 可实现对阀门开度、伺服阀电流等参数的实时监测。一旦出现卡涩、泄漏等故障时, 其能自动发出报警信号, 并标记故障的具体位置, 以便于运维人员快速定位处理。除此之外, 智能执行机构还支持远程校准与参数整定, 省去了繁琐的现场拆卸环节, 大大缩短了所需要的维护时间。

1.2 优化冗余配置

冗余配置是提高硬件系统容错能力的重要技术手段, 依托关键设备的多重备份与无扰切换, 可有效避免单点故障导致的系统瘫痪问题。针对火电机组的关键控制回路与保护回路, 需合理制定冗余配置策略, 着力构建“故障—安全”型硬件架构。控制器作为热控系统的核心设备, 普遍采用双机热备冗余模式, 即配置主控制器与备用控制器两个控制器, 主控制器在正常运行状态下执行控制逻辑, 备用控制器实时追踪主控制器的运行状态与数据。当主控制器出现故障时, 系统可在 10 ms 内完成主备切换, 切换过程中不会产生扰动, 亦不会影响机组的正常运行^[2]。电源配置可采用双路冗余供电模式, 即配置 UPS 电源与厂用电两

作者简介: 訾才 (1979-), 男, 本科, 助理工程师, 研究方向: 热控 DCS 控制系统及热控仪表。

路供电，并在两路电源之间设置自动切换装置。一旦厂用电中断，UPS 电源可迅速进行无缝切换，确保热控系统供电连续性，避免出现因电源中断导致的控制系统失电情况。在信号采集回路中，对于炉膛压力、汽轮机转速等涉及机组安全的关键参数，可采用三取二冗余配置，即同时安装三个同型号的传感器，控制系统通过逻辑判断，从三个测量值中选取中间值作为控制依据。当其中某个传感器失效时，系统将自动剔除故障信号，维持正常测量功能，此种配置方式能大幅度提升关键参数测量的可靠性。

2 基于软件优化的热控系统可靠性提升技术

2.1 控制逻辑设计

软件是热控系统的中枢神经，控制逻辑设计是软件优化的重中之重，在具体执行中需秉持“安全优先、协调控制、容错设计”的基本原则，构建完善的控制逻辑架构。在协调控制系统（CCS）逻辑设计中，需优化负荷指令的滤波与限幅策略，避免因电网负荷波动而频繁调整机组负荷；还需增设工况判断逻辑，面向机组启停、变负荷等不同工况，设置与之相应的控制参数，制定合理可行的调节策略，以确保控制系统的自适应调节。在保护系统逻辑设计中，需秉持“故障—安全”的设计原则，即在系统显露故障时，保护逻辑需发挥引导作用，将机组引导至安全状态。例如：当炉膛压力测量信号失效时，炉膛压力保护逻辑应自动触发“压力高/低”保护功能，以防炉膛爆炸或坍塌，保护逻辑还需设置延时判断环节，避免出现因信号瞬时波动导致的保护误动作^[3]。保护系统的连锁逻辑优化同样不能忽视，需明确各保护回路的优先级，尽量规避不同保护回路之间的冲突。例如：汽轮机超速保护的优先级高于 AGC 调节指令，当汽轮机转速超过额定值的 110% 时，系统可立即切断 AGC 指令，触发超速保护。

2.2 控制参数整定

控制参数整定是软件优化的另一个重要环节，合理的参数整定能提升控制系统的响应速度，避免出现因参数设置不当导致的系统振荡或调节滞后情况。PID（比例—积分—微分）控制是热控系统中应用最广泛的控制算法，其参数整定的合理与否同控制系统的调节质量直接相关。传统的 PID 参数整定主要采用经验法，整定效率低且参数适应性差，已难以满足复杂工况下的控制需求，亟需引入最新的智能整定算法，提升参数整定的精确性。例如：基于遗传算法的 PID 参数整定方法，可模拟生物进化过程中的选择、交叉、变异操作，在全局范围内搜索最优的 PID 参数组合，大幅

提升了控制系统的动态性能；基于模型预测控制（MPC）的 PID 参数整定方法，可建立被控对象的数学模型，就系统未来的输出情况做出准确预测，以此优化 PID 参数。例如：某电厂在 660 MW 机组的主蒸汽温度控制系统中引入了基于模型预测控制的 PID 参数整定方法，使主蒸汽温度的动态偏差从 ±5 ℃ 降至 ±2 ℃，调节时间缩短了 40%。除此之外，还需采用分段 PID 整定策略，基于机组负荷区间的差异设置不同的 PID 参数，如在低负荷区间，机组的热惯性较小，可适当减小比例系数，以避免系统超调；而在高负荷区间，机组的热惯性较大，可适当增大比例系数，以提升系统的响应速度。

3 基于智能监测技术的热控系统可靠性提升技术

3.1 工业互联网技术

以工业互联网、人工智能等为代表的新一代信息技术的迅速普及，为电厂热控系统的稳定运行注入了新的技术动能，极大地增强了系统的故障预警与自愈处理能力。依托工业互联网可以构建热控系统状态监测平台，将传感器、执行机构、控制器等设备的运行数据采集至云端集中存储并进行深入分析^[4]。平台采用分布式架构，支持海量数据的实时传输与处理，数据传输速率可达 100 Mbps 以上，能很好地满足热控系统的实时监测需求。除此之外，平台还具备数据可视化、故障预警、故障诊断等功能，运维人员可以实时查看系统各设备的运行状态与参数变化趋势。根据预设的阈值，平台可以实时预警设备的异常状态，如当传感器的测量值波动幅度超过阈值时，将自动发出报警信号。平台还可以参照设备的运行数据及历史故障信息，分析导致故障的缘由、定位故障的具体位置，为运维人员提供针对性的故障处理建议。

3.2 人工智能算法

人工智能算法是提升智能监测技术应用成效的关键所在，通过引入基于机器学习、深度学习的故障诊断算法，可实现故障的精准识别与早期预警。在热控系统故障诊断领域，机器学习算法有着广泛的应用前景，如基于支持向量机（SVM）的故障诊断算法，能精准识别传感器漂移、执行机构卡涩等故障；基于 BP 神经网络的故障诊断算法则拥有强大的非线性拟合能力，能妥善处理复杂的非线性故障数据，尤为适用于多因素耦合导致的故障诊断。深度学习算法的应用则进一步提升了故障诊断的精度，如基于卷积神经网络（CNN）的故障诊断算法，能自动提取设备运行数据中的深层特征，大大提升了故障诊断的自动化水平；基于长短时记忆网络（LSTM）的故障诊断算法，不仅能处理时

序数据，还能预测设备的未来运行状态，实现故障的早期预警。

3.3 故障自愈技术

所谓故障自愈，即当热控系统在出现故障时，不需要人工干预便能自动完成故障诊断、故障隔离、故障恢复的过程。故障自愈技术作为智能监测技术的高级应用，通过构建闭环的故障处理系统，可实现对各种故障的自动隔离与及时恢复，提升系统的容错能力。当系统监测到故障信号时，故障诊断模块可快速定位故障位置，准确识别故障类型；故障隔离模块可通过逻辑控制将故障设备与系统隔离开来，避免故障范围的继续扩大；故障恢复模块可利用冗余切换、参数重构等手段，助力系统尽快恢复正常功能。例如：当某一温度传感器出现漂移故障时，系统可自动定位故障传感器，将其从测量回路中隔离，同时切换至冗余传感器的测量信号，确保系统的正常运行；而当控制器出现故障时，系统可自动触发主备切换，确保控制功能的正常发挥。

4 基于全生命周期运维的热控系统可靠性提升技术

4.1 明确各环节的管理要点

要想确保热控系统的长期稳定运行，必须强化运维管理，以往固化的定期维修模式已难以适应当前形势下的运维需求，亟需构建覆盖热控系统各环节的全生命周期运维管理体系。在具体执行中，电厂需秉持“预防为主，状态检修”原则，明确各环节的管理要点：在设备采购环节，需设置完善缜密的供应商评价与设备验收机制，优先挑选那些具有成熟应用案例、通过国家相关认证的热控设备，设备到货后还需进行全方位的性能测试，确保其参数符合设计要求。在安装调试环节，需一丝不苟地执行安装验收规程，仔细核查传感器的安装位置、电缆敷设工艺、控制器的冗余配置，调试完成后还需进行 72 小时连续试运行，以验证系统的稳定性。在运行维护环节，建议采用状态检修模式，基于对设备运行状态的实时监测，准确判断其健康状况，继而拟定可行性更高的维修方案。例如：通过监测传感器的测量值波动幅度、执行机构的伺服电流变化，可判断设备是否存在老化、卡涩等故障隐患，及时采取预防性维修，避免故障的继续扩大。在退役报废环节，需综合评估设备的真实状态，及时更换达到使用寿命的设备，尽量避免因设备老化导致的故障^[5]。

4.2 建立标准化的运维流程

标准化的运维流程可以为运维工作的有序推进保驾护航，通过制定完善的运维规程，能很好地规范运

维人员的操作行为，防止人为失误导致的系统故障。电厂应继续完善热控系统的运维规程，进一步细化设备巡检、定期校验、故障处理、软件升级等工作的流程与标准。针对设备巡检，需制定内容详尽的巡检清单，明确巡检内容、巡检周期、巡检方法等细节内容，巡检人员需严格参照清单开展巡检工作，及时查找出潜在的风险因素。在日常校验工作中，需依循《火力发电厂热工自动化系统检修运行维护规程》的相关要求，对传感器、控制器等设备进行定期校验，并将校验数据及时记录存档。针对故障处理，需制定明晰的故障处理流程图，详细标明故障诊断、故障隔离、故障修复、系统恢复的具体步骤，避免故障处理过程中的盲目操作^[6]。在软件升级方面，需制定软件升级操作规程，明确升级前的准备工作、升级过程中的操作步骤、升级后的测试内容，确保软件升级工作的循序推进。标准化运维流程的实施，能大大降低人为失误导致的故障发生率，提升运维工作的质量与效率。

5 结束语

电力工业是国民经济的基础性产业之一，火电作为我国电力供应体系中举足轻重的一环，在能源保供中起到不可或缺的支撑作用。随着智慧电厂建设进程的持续深入，电厂热控系统可靠性提升技术的智能化程度将不断提升、可靠性评价体系也将进一步完善。在未来的研究实践中，需继续加强跨学科技术融合，推动硬件、软件、运维、智能监测技术的协同发展，为电厂热控系统可靠性的提高提供更高效的技术方案。

参考文献：

- [1] 赵创. 提高电厂热控系统可靠性技术研究[J]. 应用能源技术, 2022(10):36-39.
- [2] 孙震. 提高电厂热控系统可靠性技术研究[J]. 电子技术与软件工程, 2021(12):233-234.
- [3] 官同宇, 张晓东. 提高电厂热控系统可靠性技术研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2021(11):7-8.
- [4] 李娜. 电厂热控系统可靠性的技术提高策略研究[J]. 电器工业, 2022(05):53-55.
- [5] 胡程斌. 提高电厂热控系统可靠性技术研究[J]. 智能城市, 2020,06(23):66-67.
- [6] 冯新江. 电厂基建热控系统可靠性控制措施[C]//中国电力技术市场协会. 2023 年电力行业技术监督工作交流会暨专业技术论坛论文集(上册). 辽宁大唐国际葫芦岛热电有限责任公司, 2023.