

火力发电厂热工控制系统优化研究

赵 洋

华电内蒙古能源有限公司包头发电分公司 内蒙古自治区 包头 014000

摘 要：火力发电厂热工控制系统对于电厂的安全稳定运行和高效发电起着关键作用。本研究深入分析了当前火力发电厂热工控制系统存在的问题，如控制策略的局限性、设备老化与兼容性问题、信号干扰与测量误差等。通过采用先进的控制算法、优化硬件设备选型与布局、强化信号处理与抗干扰措施等手段，对热工控制系统进行全面优化。优化后的系统在某火力发电厂的的实际应用中，显著提高了机组的运行稳定性，降低了能源消耗，增强了系统的可靠性和灵活性，为火力发电厂的可持续发展提供了有力支持。

关键词：火力发电厂；热工控制系统；优化策略；运行稳定性；能源效率

引言：随着电力需求的不断增长和能源结构的调整，火力发电厂作为重要的电力供应来源，面临着提高发电效率、降低环境污染以及确保运行安全可靠性等多重挑战。热工控制系统作为火力发电厂的核心部分之一，直接关系到机组的启停、负荷调节、参数监测与保护等关键运行环节。

在长期的运行过程中，传统的热工控制系统逐渐暴露出一些不足之处。一方面，原有的控制策略在应对复杂多变的工况和日益提高的发电要求时显得力不从心，例如在大范围负荷变化时难以实现精确的控制，导致机组运行效率降低，设备磨损加剧。另一方面，随着信息技术的飞速发展，部分早期建设的热工控制系统中的硬件设备老化，其性能和兼容性已无法满足现代自动化控制与智能化管理的需求。

1 火力发电厂热工控制系统概述

1.1 热工控制系统的组成与架构

热工控制系统主要由传感器、执行器、控制器和数据采集系统等部分构成。传感器负责采集各类热工参数，如温度传感器感知蒸汽温度、压力传感器监测管道压力等，将物理量转换为电信号或其他可传输的信号，为系统提供实时数据来源。执行器则依据控制器指令对生产过程进行操作，像调节阀可调节蒸汽流量，挡板控制通风量等。控制器是系统核心，接收传感器数据，运用内置算法进行运算分析并生成控制指令，常见的如DCS（集散控制系统）。数据采集系统负责汇总、整理传感器传来的信息，确保数据准确完整传输至控制器。它们相互连接，形成一个有机整体架构，传感器与数据采集系统相连，数据采集系统将处理后的数据传输给控制器，控制器再驱动执行器动作，以实现火力发电过程的精准控制与调节，保障机组稳定运行。

1.2 主要控制任务与功能实现

热工控制系统承担着多项关键控制任务。机组启动与停止控制时，通过传感器监测各设备状态参数，控制器依据预设程序协调各执行器动作，如按顺序开启或关闭油泵、风机等，确保启动停止过程平稳安全。负荷调节控制中，控制器根据电网需求及机组运行状况，指挥执行器调整燃料量、风量等，利用先进算法如PID控制，快速精准改变机组发电功率。蒸汽温度与压力控制方面，传感器实时监测蒸汽参数，控制器根据反馈调节减温水流量、燃烧强度等，难点在于多变量耦合影响下仍要维持稳定。炉膛负压控制则依靠压力传感器数据，控制器调节引风机挡板开度，以维持炉膛内压力稳定，关键在于应对工况变化时的快速响应与精确调节，各组件协同合作，实现各项控制功能，维持机组高效稳定运行。

2 现有热工控制系统的问题分析

2.1 控制策略缺陷

传统的PID控制策略在复杂工况下暴露出明显局限性。在大滞后系统中，PID控制难以根据当前偏差及时调整输出，导致控制作用滞后，系统超调量增大且调节时间延长。面对强非线性系统时，其固定的参数无法适应系统特性的动态变化，控制精度大打折扣。多变量耦合问题上，由于缺乏有效的解耦手段，一个变量的调整往往会引起其他关联变量的波动，相互干扰使得系统稳定性变差。从理论根源分析，PID控制基于线性定常系统模型设计，难以精准应对复杂系统的时变、非线性和多变量交互特性，无法充分挖掘系统潜在的控制性能，从而限制了热工控制系统在复杂工况下的高效稳定运行。

2.2 硬件设备问题

热工控制系统中的硬件设备随着运行时间增长，老化现象严重。传感器的精度漂移问题致使测量数据偏差

增大, 响应速度变慢导致无法及时反馈真实工况。执行器动作迟缓, 在接收控制指令后不能迅速动作, 严重影响控制的及时性与准确性, 且其可靠性降低, 故障频发。硬件设备之间兼容性不佳, 不同厂家、不同时期的设备在集成时可能出现通信协议不匹配、电气接口连接困难等问题, 导致系统整体运行效率低下。一旦硬件发生故障, 如传感器故障可能使控制系统接收错误数据而发出错误指令, 执行器故障则直接影响生产流程的正常推进, 极易引发安全隐患并造成运行中断, 给火力发电生产带来巨大损失。

2.3 软件系统不足

现有热工控制软件存在诸多不足。其功能相对局限, 难以满足日益复杂的控制需求和新的工艺要求。在灵活性方面, 软件算法更新困难, 当需要优化控制策略或适应新的工况时, 无法快速便捷地调整算法。人机交互界面不够友好, 操作人员难以直观、高效地进行参数设置、监控和系统调整, 增加了操作难度与误操作风险。在可扩展性上, 对新的数据处理与分析需求支持不力, 无法有效整合大数据分析、智能诊断等新兴技术, 阻碍了控制策略的创新实施与系统的深度优化调整, 限制了热工控制系统整体性能的提升与发展。

2.4 信号处理与通信障碍

热工控制系统信号传输易受多种干扰因素影响。电磁干扰源广泛存在于电厂环境中, 如大型电机、变压器等设备运行产生的磁场, 会叠加在信号线上, 使测量信号失真。信号衰减在长距离传输时尤为明显, 导致信号强度减弱, 准确性降低。不完善的信号处理算法无法有效识别和滤除干扰信号, 甚至可能放大误差, 造成控制系统误判。同时, 通信网络带宽不足、延迟过高制约了系统实时性控制。在需要快速响应的控制任务中, 如负荷突变时的调节, 数据传输延迟会使控制器无法及时获取准确信息并发出指令, 导致控制滞后, 影响机组的稳定运行和动态性能, 降低了热工控制系统的可靠性与有效性。

3 热工控制系统优化目标与原则

3.1 优化目标设定

(1) 提高机组运行的稳定性与可靠性

机组运行的稳定性与可靠性是火力发电的关键。减少故障停机次数与时长, 可避免因突发故障导致的电力供应中断以及设备损坏维修成本。通过优化热工控制系统的硬件设施, 如采用高可靠性的传感器与执行器, 能实时精准监测与调控机组运行参数, 降低因设备故障引发停机的风险。同时, 改进控制策略, 增强系统对异常

工况的预警与处理能力, 使机组在面临扰动时仍能保持稳定运行状态, 保障电力生产的连续性, 提高整个火力发电系统的可靠性, 为电网稳定供电奠定坚实基础。

(2) 提升负荷跟踪能力与响应速度

随着电网规模扩大与新能源接入, 对火力发电机组负荷跟踪能力要求提升。为适应电网调度要求, 热工控制系统需快速响应负荷指令变化。优化后系统能依据电网需求信号迅速调整燃料量、风量、水量等, 精准控制机组发电功率。采用先进的预测控制算法, 提前预估负荷变化趋势, 提前布局控制动作, 有效缩短从指令下达至功率调整到位的时间。这不仅保障了电网频率稳定, 还提高了火力发电在电力市场中的竞争力, 使其能更好地与其他电源协同运行, 满足不同用电场景下的电力供应需求。

(3) 增强系统的节能降耗效果

在能源日益紧张与环保要求趋严的背景下, 热工控制系统节能降耗意义重大。降低煤耗可减少煤炭资源消耗与污染物排放。优化系统通过精确控制燃烧过程, 确保燃料充分燃烧, 提高锅炉热效率。例如, 根据实时监测的蒸汽参数与负荷情况, 精准调节风煤配比, 避免燃料浪费与不完全燃烧。同时, 对厂用电率的控制可从优化辅机设备运行入手, 如采用变频调速技术控制泵与风机, 使其根据实际工况调整转速, 降低不必要的电力消耗, 实现火力发电的绿色高效可持续发展, 提升电厂经济效益与环境效益。

3.2 优化原则遵循

(1) 安全性原则

安全性在热工控制系统优化中居首位。任何优化举措都不能危及机组安全运行。在优化控制策略时, 需充分考虑各种极端工况与故障模式, 确保新策略不会引发误操作或失控。例如在对保护逻辑进行修改时, 要进行严谨的风险评估与多重验证, 防止保护功能失效。在硬件升级过程中, 要保证新设备与原有系统无缝对接且可靠性更高, 如新增传感器不能因自身故障导致错误信号引发联锁误动作。同时, 优化过程应设置完善的安全监测与应急处理机制, 一旦出现异常能迅速切换至安全状态或采取补救措施, 保障人员、设备及电网安全。

(2) 经济性原则

优化热工控制系统需综合考量成本与效益。一方面要控制优化投入成本, 在选择技术与设备时进行性价比评估。例如在采用新控制算法时, 优先选择开发成本低且效果显著的算法, 避免过度追求高端复杂但成本高昂的技术。在硬件升级时, 权衡设备购置成本与预期使用

寿命、维护成本,选取合适的设备型号与品牌。另一方面要注重优化后的效益产出,如通过提高机组运行效率降低煤耗与厂用电率,计算长期运行可节省的成本;通过提升负荷跟踪能力与可靠性,减少因故障停机或负荷调节不佳导致的经济损失,确保优化方案在经济上可行且能为企业带来可观的经济效益回报,实现投入产出的良性循环。

(3) 可操作性原则

优化方案的可操作性关乎其能否有效落地实施与长期维护。在设计控制策略时,应基于现有操作人员的技术水平与操作习惯,确保新策略易于理解与执行。例如,优化后的人机交互界面应简洁直观,参数设置与调整方便快捷,避免操作流程过于复杂导致人为失误增加。在硬件设备改造方面,要考虑电厂的现场安装条件与维护能力,选择易于安装调试且维护便捷的设备。同时,提供完善的技术文档与培训资料,使操作人员与维护人员能快速熟悉新系统,便于日常操作、故障排查与定期维护,保障优化后的热工控制系统长期稳定高效运行。

4 热工控制系统优化策略

4.1 先进控制算法应用

模型预测控制(MPC)基于系统动态模型预测未来输出,通过滚动优化求解控制序列,能有效处理约束条件并适应多变量系统,其特点是具有前瞻性与全局优化性。模糊控制依据专家经验构建模糊规则,将精确输入模糊化处理,推理得出控制输出,对复杂非线性系统适应性强。神经网络控制模拟人脑神经元结构,通过学习大量数据逼近系统未知函数关系,具备自学习与非线性映射能力。在热工控制系统中,MPC可处理多变量耦合与大滞后,如协调汽温与汽压控制;模糊控制可应对燃烧系统复杂工况;神经网络可优化负荷预测。理论推导与仿真对比表明,先进算法在处理复杂动态特性与多变量耦合时,相比传统PID控制,超调量更小、调节时间更短,显著提升控制效果。

4.2 硬件设备升级与优化

选用高精度传感器,如采用激光原理的液位传感器,能精确测量水位变化,新型执行器如智能电动调节阀响应迅速且动作精准。优化布局安装时,将传感器远离强电磁干扰源并合理布线,减少信号传输损耗。冗余设计为关键设备配备备份,如传感器冗余可对比数据确保准确性,执行器冗余在主设备故障时无缝切换,提高容错能力。硬件升级可提升系统测量精度与控制及时性,增强稳定性。从成本效益看,虽初期投资增加,但

减少故障停机时间、提高发电效率,长期可降低运维成本并增加发电收益,对电厂可持续发展意义重大。

4.3 软件系统改进与创新

开发智能控制软件平台,利用大数据分析挖掘机组运行数据规律,如通过分析历史负荷数据优化负荷分配。结合人工智能实现自学习自适应,自动调整控制策略以适应工况变化。优化软件架构,采用模块化设计提高可扩展性,便于新功能集成,统一通信接口增强兼容性。改善人机交互界面,以图形化直观展示机组状态与控制参数,操作人员可便捷调整参数与监控异常。软件创新使热工控制系统能智能应对复杂工况,提升管理效能,降低人为操作失误风险,提高电厂自动化与智能化运营水平,促进火力发电向高效智能方向发展。

4.4 信号处理与通信优化

采用卡尔曼滤波算法去除信号中的随机噪声,数据融合技术整合多传感器信息提高测量准确性,如融合多个温度传感器数据获取更可靠的蒸汽温度值。在通信网络方面,高速工业以太网提供高带宽与低延迟,满足大量热工数据快速传输需求,无线通信技术可用于不便布线区域的数据传输,减少布线成本与维护难度。信号处理与通信优化能保障控制系统实时获取精准信号,减少因信号误差与延迟导致的控制偏差,确保机组在各种工况下稳定运行,如在快速负荷调节时,及时准确的信号传输使控制器能迅速做出正确反应,维持蒸汽参数稳定,提高火力发电系统的可靠性与控制精度。

结语

在火力发电厂热工控制系统的优化研究历程中,我们深入剖析了现有系统的诸多问题,并提出了一系列具有针对性的优化策略。通过先进控制算法的应用、硬件设备的升级与优化、软件系统的改进创新以及信号处理与通信的优化,火力发电厂热工控制系统的性能将得到全方位提升。这不仅有助于提高机组运行的稳定性、可靠性和能源利用效率,降低运行成本与安全风险,还将推动火力发电行业朝着智能化、自动化的方向加速迈进。

参考文献

- [1]孙明,刘辉.火力发电厂热工控制系统故障诊断与处理方法[J].仪器仪表用户,2020(06):70-73.
- [2]张光宇.火力发电厂热工自动化控制技术应用研究[J].自动化应用,2023(10):151-153.
- [3]李华,王强.热工控制系统在火力发电厂中的优化策略探讨[J].能源与节能,2022(12):165-167.