

火电机组协调控制系统异常工况智能诊断与自适应调整策略

谷训良

华电国际电力股份有限公司莱城发电厂 山东济南 271100

摘要: 火电机组协调控制系统作为保障机组安全、高效运行的关键,在面对复杂多变的异常工况时,传统控制策略往往难以满足要求。本文针对火电机组协调控制系统在异常工况下存在的问题,深入研究智能诊断与自适应调整策略。通过分析火电机组协调控制系统的工作原理及常见异常工况,结合人工智能、大数据等先进技术,构建异常工况智能诊断模型,实现对异常工况的快速、准确识别;同时,设计自适应调整策略,根据诊断结果对控制系统参数进行实时优化,提升火电机组在异常工况下的运行性能与稳定性。研究成果对于提高火电机组的智能化水平、降低运行成本、增强电网稳定性具有重要意义。

关键词: 火电机组;协调控制系统;异常工况;智能诊断;自适应调整

前言

随着电力市场改革的不断推进以及新能源大规模接入电网,火电机组的运行环境愈发复杂。火电机组协调控制系统需要在保证机组安全稳定运行的前提下,快速响应电网负荷指令,实现高效发电^[1]。然而,在实际运行过程中,火电机组会面临诸如燃料品质变化、设备故障、外部电网波动等多种异常工况。传统的基于固定参数和经验规则的协调控制策略,在异常工况下难以实现精准控制,容易导致机组运行参数波动大、能源利用效率降低,甚至引发安全事故。

为解决上述问题,研究火电机组协调控制系统异常工况智能诊断与自适应调整策略成为当前火电机组智能化升级的关键方向。智能诊断技术能够利用先进算法对机组运行数据进行深度挖掘和分析,快速识别异常工况;自适应调整策略则可根据诊断结果实时优化控制参数,使机组在异常工况下依然保持良好的运行性能。本文围绕这两个方面展开深入研究,旨在为火电机组协调控制系统的优化提供理论与技术支持。

一、火电机组协调控制系统概述及常见异常工况

(一) 协调控制系统基本原理

火电机组协调控制系统的基本原理是将锅炉和汽轮机视为一个有机整体,通过对两者的协同控制,实现机组的负荷调节和主要运行参数的稳定^[2]。以机炉协调控制方式为例,机组负荷指令同时发送给锅炉和汽轮机控制系统。汽轮机通过调节进汽调节阀的开度来快速响应

负荷变化,改变机组的输出功率;锅炉则根据负荷指令以及主蒸汽压力偏差等信号,调整燃料量、送风量、给水量等,以维持机组的能量平衡和主蒸汽压力稳定。在这个过程中,控制系统需要不断地对各种运行参数进行监测和调整,以确保机组在不同工况下都能安全、稳定地运行。

(二) 协调控制系统结构组成

协调控制系统通常采用递阶控制结构,主要由负荷指令处理回路、机炉主控制器和各个子控制系统组成^[3]。负荷指令处理回路负责接收来自电网的负荷需求信号以及机组自身的运行状态信号,经过一系列的运算和处理,生成机组的实际负荷指令。机炉主控制器是协调控制系统的核心,根据负荷指令和机组的运行参数,分别向锅炉和汽轮机控制系统发出控制指令,协调两者的运行。各个子控制系统包括燃料控制系统、给水控制系统、风量控制系统、炉膛压力控制系统等,它们在机炉主控制器的指令下,具体执行对各个设备的控制操作,实现对机组运行参数的精确控制。

(三) 协调控制系统控制方式

火电机组协调控制系统具有多种控制方式,以适应不同的运行工况和操作要求。常见的控制方式包括锅炉跟随方式(BF)、汽轮机跟随方式(TF)、机炉协调方式(CCS)和手动方式等。在锅炉跟随方式下,汽轮机根据负荷指令调节进汽量,锅炉则根据主蒸汽压力偏差调整燃料量等,这种方式适用于电网负荷变化较小时,能够较好地维持主蒸汽压力稳定,但负荷响应速度相对较慢。

汽轮机跟随方式则相反，锅炉根据负荷指令调整燃料量等，汽轮机根据主蒸汽压力调节进汽量，该方式负荷响应速度快，但主蒸汽压力波动较大，一般适用于锅炉运行不稳定时。机炉协调方式是将锅炉和汽轮机作为一个整体进行协调控制，既能快速响应负荷变化，又能维持主蒸汽压力在较小的偏差范围内，是目前火电机组常用的控制方式。手动方式则在机组启动、停机或设备检修等特殊情况下使用，由运行人员手动操作各个控制系统。

（四）常见异常工况分析

火电机组协调控制系统的稳定运行受多种因素交织影响：作为核心燃料的煤炭，其热值、挥发分及水分等指标的波动，会直接改变锅炉燃烧特性，致使产汽量与主蒸汽压力变化，削弱机组负荷响应能力；锅炉燃烧器堵塞、汽轮机调速系统故障、传感器失灵等设备异常，不仅会打破炉膛燃烧平衡、引发压力波动，还可能因错误参数传递导致调控失准；外部电网频率波动、电压异常时，机组为维持电网稳定而快速调整出力，常超出自身调节能力，造成控制系统调节过度或滞后；此外，环境温度湿度变化会影响机组散热与工质物性，高温下冷却效率降低致使汽轮机排汽压力攀升，威胁机组运行的经济性与稳定性。

二、火电机组协调控制系统异常工况智能诊断模型构建

（一）数据采集与预处理

在火电机组运行期间，会持续产生海量实时数据，涵盖机组负荷、主蒸汽压力、温度、流量、炉膛压力及氧量等关键参数。这些数据由分布式控制系统（DCS）实时采集，并有序传输至数据处理中心。然而，原始数据通常存在数据噪声、缺失值与异常值等问题，因此必须进行预处理。具体而言，借助滤波算法可有效剔除数据噪声，利用插值法能够精准填补缺失数据，通过统计学方法可准确识别并修正异常值，以此确保数据的精确性与完整性，从而为后续的故障诊断、性能分析等工作筑牢可靠的数据根基。

（二）特征提取与选择

在完成火电机组数据预处理后，需进一步挖掘能精准刻画机组运行状态与异常工况的关键参数。通过对原始数据进行深度加工，计算主蒸汽压力变化率、负荷波动幅度及频率等衍生指标，这些参数能够动态反映机组运行过程中的变化趋势与波动特性，为诊断分析提供更具价值的信息维度。同时，引入主成分分析（PCA）、遗

传算法等先进特征选择技术，对初步提取的大量特征进行系统性筛选。PCA通过线性变换将原始特征转换为相互独立的主成分，有效降低数据维度；遗传算法则模拟生物进化过程，通过选择、交叉和变异操作，从特征集合中筛选出最具区分度的特征子集。两种方法均能高效剔除冗余特征，在保留关键信息的前提下大幅简化模型结构，从而显著提升故障诊断的效率与准确率，助力火电机组实现更智能、精准的运行状态监测与异常识别。

（三）智能诊断算法选择与模型构建

1. 基于深度学习的诊断模型：深度学习在数据特征提取和模式识别方面具有强大优势。采用卷积神经网络（CNN）或长短期记忆网络（LSTM）构建诊断模型。CNN擅长处理具有空间结构的数据，可用于分析运行参数随时间变化的特征图谱；LSTM能够有效处理时间序列数据，捕捉数据中的长期依赖关系，适用于火电机组运行数据的分析。将经过特征提取和选择的数据输入到深度学习模型中，通过大量的历史数据对模型进行训练，学习正常工况和各种异常工况下的运行数据特征，实现对异常工况的准确识别。

2. 融合多源信息的诊断模型：火电机组的异常工况往往不是由单一因素引起的，融合设备状态监测数据、运行维护记录等多源信息能够提高诊断的准确性。利用证据理论、贝叶斯网络等方法，将不同来源的信息进行融合，构建融合多源信息的诊断模型。该模型可以综合考虑多种因素对机组运行状态的影响，更全面地判断异常工况的类型和原因。

三、火电机组协调控制系统自适应调整策略设计

（一）控制参数优化目标确定

火电机组运行工况复杂多变，需依据不同异常场景科学设定控制参数优化目标。当燃料品质下降致使主蒸汽压力不足时，核心优化目标在于双维度平衡调控：既要将主蒸汽压力稳定维持在既定阈值区间，保障锅炉热力系统稳定运行；又需最大限度缩小机组实际负荷与电网调度指令的偏差，确保电力供应可靠性与稳定性。面对设备故障突发状况，安全准则优先，系统将立即启动应急保护机制，通过调整燃烧强度、降低机组出力等措施，防止故障蔓延升级，待设备隐患得到有效控制后，再分阶段、精细化调整控制参数，逐步恢复机组热效率与发电性能。这种差异化目标设定机制，为构建动态自适应控制策略提供清晰导向，确保火电机组在异常工况下实现安全与效率的最优平衡。

(二) 自适应调整算法设计

基于模型预测控制 (MPC) 的调整算法, 作为智能控制领域的前沿技术, 通过构建精准的系统预测模型, 实现对复杂工业过程的前瞻性调控。在火电机组协调控制系统中, MPC 技术深度融合锅炉与汽轮机的动态运行特性, 搭建涵盖燃料燃烧、蒸汽循环、能量转换等多环节的高保真预测模型。该模型以机组实时运行数据为基础, 结合智能诊断模型输出的异常工况预警信息, 能够有效推演主蒸汽压力、机组负荷等关键参数在未来时段的演变趋势。

依托滚动优化机制, MPC 算法将控制时域划分为多个离散时段, 通过不断求解包含控制目标、运行约束的优化问题, 动态生成未来一段时间内燃料供给量、汽轮机调节阀开度、风量配比等核心控制参数的最优序列。在实际应用中, 系统仅执行首个时段的控制指令, 并根据机组实际运行反馈, 实时更新预测模型的状态变量, 重新启动优化计算, 形成“预测-控制-反馈-修正”的闭环迭代过程。这种动态调整策略不仅能够快速抑制异常工况对机组运行的干扰, 还能在保障设备安全的前提下, 推动运行参数高效回归正常区间, 显著提升火电机组面对燃料波动、电网扰动等复杂工况时的自适应调节能力与运行稳定性。

强化学习算法作为智能控制领域的创新技术, 通过构建“智能体-环境”交互机制实现控制策略的自主优化。在火电机组协调控制系统中, 将整个机组的运行体系抽象为动态变化的环境, 而控制参数 (如燃料供给量、汽轮机阀门开度、风量配比等) 的调节方案则作为智能体的可执行动作空间。为引导智能体学习最优控制策略, 需精心设计奖励函数: 一方面, 依据主蒸汽压力、机组负荷等关键运行参数与目标值的偏差程度设置惩罚项, 偏差越大, 奖励值越低; 另一方面, 将能源消耗率、污染物排放指标等纳入考量, 对高效节能、环保达标的运行状态给予正向奖励。

在实际运行过程中, 智能体通过不断尝试不同的控制参数调整策略, 并根据环境反馈的奖励信号评估动作优劣。每一次参数调整后, 系统会根据机组实时运行数据计算奖励值, 若运行参数更接近目标区间且能耗降低, 则给予正向激励; 反之则施加负反馈。通过大量的“动

作-反馈-学习”迭代循环, 智能体逐步探索出适用于燃料品质波动、设备故障、电网扰动等各类异常工况的最优控制策略, 实现控制参数的动态自适应调整, 最终达成火电机组安全、高效、稳定运行的综合目标。

(三) 调整策略的实时实施与反馈

基于自适应调整算法输出的最优控制参数, 系统将实时传输指令至协调控制系统的执行机构, 精准调节锅炉燃烧强度、汽轮机进汽量等关键运行参数。在此过程中, 机组运行状态监测系统保持高频次数据采集, 持续追踪主蒸汽压力、负荷波动等核心指标, 将参数调整后的实际运行效果即时反馈至自适应调整策略模块。一旦发现运行参数未达预设目标, 或监测到新的异常数据特征 (如炉膛压力异常波动、设备振动值超限等), 系统将立即触发自适应调整算法的二次迭代, 结合最新运行数据与工况变化趋势, 对控制参数进行动态优化与修正。通过“参数计算-指令执行-效果反馈-算法迭代”的闭环控制机制, 火电机组得以在燃料波动、设备异常等复杂工况下, 持续维持安全稳定运行与高效发电性能。

结语

本文针对火电机组协调控制系统在异常工况下的控制问题, 研究并提出了异常工况智能诊断与自适应调整策略。通过构建智能诊断模型, 实现了对火电机组常见异常工况的快速、准确识别; 设计自适应调整策略, 能够根据诊断结果实时优化控制参数, 有效提升了机组在异常工况下的运行性能和稳定性。

参考文献

- [1] 张伟, 王超. 基于 IPSO 优化模糊 PID 在火电机组协调控制系统的研究 [J]. 电子制作, 2025, 33 (2): 105-108. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5059.2025.02.027.
- [2] 刘明阳. 火电机组协调控制系统前馈控制逻辑设计 [J]. 今日自动化, 2024 (7): 7-9. DOI: 10.3969/j.issn.2095-6487.2024.7.jrzdh202407003.
- [3] 袁振森, 邓拓宇, 申世龙. 基于事件驱动的火电机组协调控制系统研究 [J]. 电力科学与工程, 2025, 41 (5): 1-10. DOI: 10.3969/j.issn.1672-0792.2025.05.001.