

火电厂锅炉排烟温度高的智能诊断与应对策略

栗 凯

(国能蚌埠发电有限公司, 安徽 蚌埠 233000)

摘要 在火电厂锅炉运行中, 排烟热损失占总热损失的 60%~70%, 而排烟温度是决定排烟热损失的核心指标。随着智能化技术在电力行业中的应用, 构建智能诊断系统并配套精准应对策略, 成为降低排烟温度、提升锅炉效率的关键。本文分析了智能诊断系统的构建要点, 包括数据采集与预处理、诊断模型构建; 并梳理了排烟温度高的典型原因, 如受热面积灰、系统漏风等; 针对排烟温度高提出精准应对策略, 以期为火电厂节能降耗提供实践方案参考。

关键词 火电厂; 锅炉; 排烟温度; 排烟热损失; 智能诊断

中图分类号: TK22

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.36.008

0 引言

火电厂锅炉在能量转换过程中, 燃料在炉膛内燃烧产生的高温烟气, 经空气预热器、省煤器等受热面回收部分热量后, 从烟道排出。通常排烟温度在 120~160 °C 之间, 部分工况下可达 180 °C 以上, 这些高温烟气携带的热量未被有效利用, 形成排烟热损失。相关研究表明, 排烟温度每升高 10 °C, 排烟热损失约增加 1%, 对应锅炉热效率降低 0.5%~0.8%, 年多耗标煤可达数千吨。长期排烟温度偏高, 不仅造成能源浪费, 还会加速烟道腐蚀、降低脱硝催化剂活性, 威胁锅炉系统安全。传统依赖人工经验判断排烟温度高原因的方式, 存在响应慢、精度低的问题。随着“双碳”目标推进, 火电厂对节能要求愈发严格, 引入智能化技术构建诊断系统, 结合精准策略降低排烟温度, 成为必然选择。

1 火电厂锅炉排烟温度高智能诊断系统构建

1.1 数据采集与预处理

智能诊断的基础是高质量数据, 需构建覆盖锅炉全系统的数据采集网络, 并通过预处理消除干扰。首先, 在数据采集环节, 需按“全维度、高频次”原则布置设备。烟气路径上, 空气预热器进出口、脱硫塔入口安装高频热电偶与激光气体分析仪, 采集排烟温度、O₂、CO 浓度; 锅炉本体上, 炉膛水冷壁、省煤器部署红外热成像仪与振动传感器, 监测受热面温度分布与设备振动; 燃料系统中, 煤仓入口设微波水分仪, 磨煤机出口装煤粉粒度仪, 获取煤质与煤粉参数; 环境监测则通过厂区温湿度传感器、风速仪, 记录外部影响因素。其次, 采集设备需适应火电厂高温、高粉尘环境, 传

感器外壳用 316L 不锈钢, 图像设备配自动防尘镜片^[1]。数据传输采用“边缘+云端”架构: 边缘端通过工业以太网汇总数据, 过滤无效信号后, 经 5G 传输至云端数据中心, 确保实时性与稳定性。最后, 数据预处理分三步: 一是清洗, 对缺失值用相邻设备数据融合填补, 异常值通过 3σ 原则剔除, 再结合负荷变化修正; 二是归一化, 用 Min-Max 法将数据压缩至 [0, 1] 区间, 消除量级差异; 三是特征提取, 从温度序列中提取均值、变化率, 从热成像图中提取积灰面积, 形成结构化数据集, 为建模奠定基础。

1.2 诊断模型构建

诊断模型是智能诊断系统的核心, 需结合数据特点选用合适算法, 通过训练优化提升精度, 如图 1 所示。首先, 算法选型采用“多模型协同”模式。随机森林算法适用于多特征分析, 能筛选出影响排烟温度的关键因素, 抗干扰能力强; 支持向量机在小样本场景下表现优异, 可识别轻微结渣等小众故障; 深度学习网络中, 长短期记忆网络 (LSTM) 用于预测排烟温度, 卷积神经网络 (CNN) 结合 LSTM 构建故障诊断模型, 挖掘数据深层规律。其次, 模型训练需科学流程。收集 3~5 年历史数据, 按 7:3 划分为训练集与测试集; 再用交叉验证优化参数, 如随机森林的决策树数量、LSTM 的学习率; 通过准确率、F1 分数评估, 确保故障识别准确率不低于 90%^[2]。最后, 训练完成的模型具备两大功能。一是预测, 基于实时数据输出未来 1~2 小时排烟温度, 超阈值则预警; 二是诊断, 温度异常时, 匹配故障特征库, 输出原因与置信度, 如“空气预热器积灰”, 为后续应对提供方向。

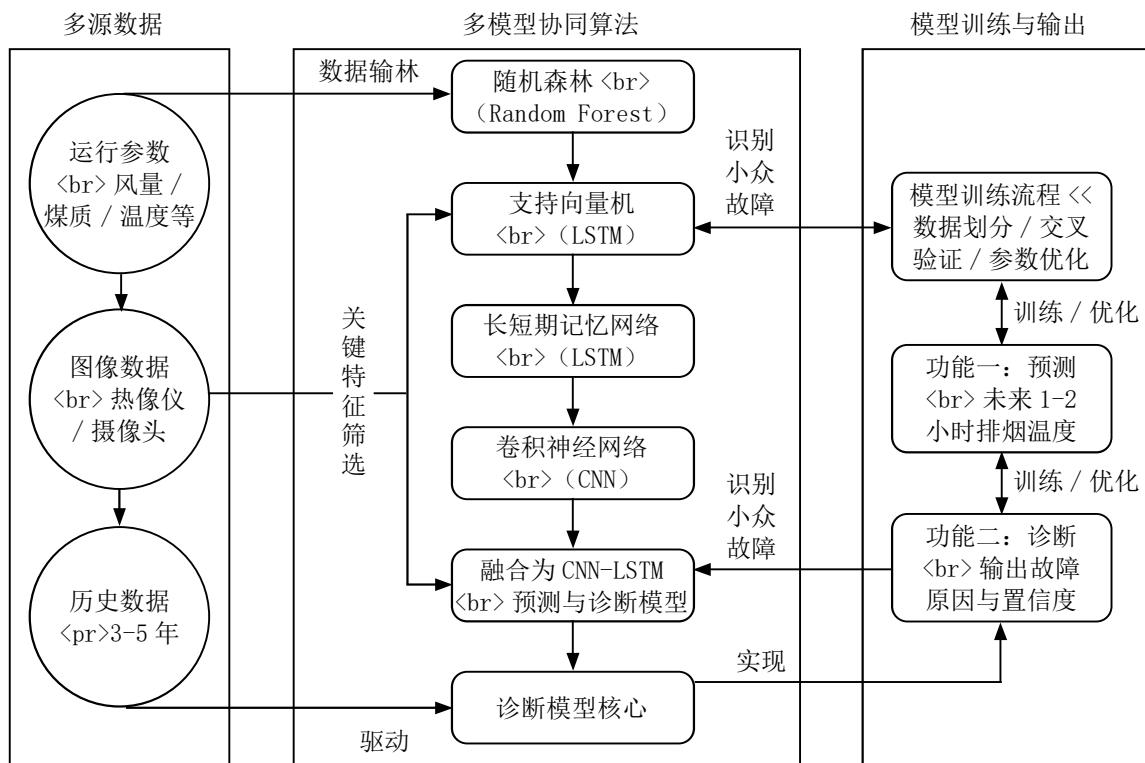


图 1 锅炉智能诊断技术模型架构图

2 火电厂锅炉排烟温度高的原因分析

2.1 受热面积灰与结渣

受热面是热量回收关键，积灰或结渣会增大传热热阻。燃料燃烧产生的飞灰附着在省煤器、空气预热器表面，形成积灰层，其导热系数仅为金属的 $1/50 \sim 1/100$ ，阻碍热量传递。数据显示，积灰厚度每增加 1 mm，排烟温度升高 $5 \sim 8$ °C。此外，水冷壁结渣同样影响显著。炉膛温度过高或煤种灰分熔点低时，粘性灰渣附着水冷壁，形成结渣层，降低吸热能力，导致炉膛出口烟温升高，进而推高排烟温度。结渣脱落还可能堵塞烟道，加剧温度异常^[3]。

2.2 锅炉系统漏风

系统漏风是排烟温度高的常见原因，冷空气未经燃烧进入炉膛或烟道，产生三重影响：一是降低炉膛温度，削弱燃烧强度，减少热量生成；二是增加烟气容积，加快烟气流速，缩短换热时间；三是根据漏风系数关系式 $\alpha = \Delta \alpha + \Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_2 + \Delta \alpha_3$ (α 为总漏风系数， $\Delta \alpha$ 为空气预热器漏风系数， $\Delta \alpha_1$ 为炉膛漏风系数、 $\Delta \alpha_2$ 为制粉系统漏风系数、 $\Delta \alpha_3$ 为烟道漏风系数)， $\Delta \alpha_1 \sim \Delta \alpha_3$ 增大时，总漏风系数 (α) 增加，导致空气预热器换热效率下降，排烟温度升高。

2.3 燃烧配风不合理

一、二次风配比不当会直接导致排烟温度升高。一次风需满足煤粉初始燃烧需求，风量过大则着火点推迟，燃烧延长，火焰中心上移，炉膛出口烟温升高；风量过小则燃烧缺氧，未燃尽碳颗粒随烟气排出，释放热量推高排烟温度。此外，二次风混入时机与风量同样关键。提前混入降低炉膛温度，推迟混入导致后期缺氧；风量过大增加烟气量，过小则燃烧不充分，均会造成排烟温度异常。

2.4 燃料煤质波动

煤质参数波动对排烟温度影响显著：水分过高时，燃烧需消耗热量蒸发水分，降低炉膛温度，同时增加烟气容积，排烟温度升高；灰分过高则燃料热值降低，需增加耗煤量，烟气量增大，温度上升；挥发分过低导致煤粉着火困难，燃烧延长，火焰中心上移，炉膛出口与排烟温度同步升高。

3 火电厂锅炉排烟温度高精准应对策略

3.1 强化受热面清洁维护

针对积灰与结渣，需建立“动态清洁+定期维护”机制。首先，优化吹灰策略：根据智能诊断模型输出的积灰程度，调整吹灰频率，空气预热器、省煤器积灰中等时，吹灰间隔从 4 小时缩至 2 小时；负荷低于

50%或燃烧不稳定时暂停吹灰，避免影响工况。吹灰次序严格遵循“炉膛→烟道尾部→对侧”，确保效果均匀^[4]。其次，加强设备维护：定期检查吹灰器喷嘴磨损、蒸汽管路泄漏，及时更换部件；锅炉停运期间，用高压水射流清洗水冷壁结渣。此外，受热面涂敷远红外节能涂料，可提高辐射吸收率，增强传热效率，实践显示涂敷后排烟温度降低5~8℃。

3.2 治理系统漏风

漏风治理需严格遵循“精准定位+密封修复”的两步原则，确保从根源解决漏风问题。在漏风定位阶段，依托智能诊断系统的压力监测模块与数据分析能力，通过对烟道各段实际压力与设计压力的偏差，结合烟气流量变化规律，精准锁定漏风点位置与漏风率。在密封修复阶段，针对不同漏风部位采用差异化技术方案：炉膛炉门处加装充气式密封胶条，通过接入压缩空气使胶条膨胀，紧密贴合炉门与炉体间隙，避免冷空气渗入；空气预热器动静间隙处更换柔性石墨密封片，利用石墨的耐高温与弹性特性，将间隙从原来的5mm缩小至1mm以内，减少烟气与空气串流；烟道法兰连接部位拆除老化密封垫，更换为耐300℃以上高温的陶瓷纤维密封垫，同时对法兰螺栓进行均匀紧固，确保密封面贴合紧密；炉底干式排渣系统出渣口则布置环形热风风帘，通过热二次风管道引入温度约300℃的热风，在出渣口形成气幕，隔绝外界冷空气进入炉膛。修复完成后，需通过智能诊断系统持续监测漏风率变化，确保各部位漏风率均控制在设计值（通常≤3%）以下，形成“定位—修复—验证”的闭环治理流程^[5]。

3.3 优化燃烧配风

燃烧配风优化需以智能诊断系统为核心支撑，结合实时运行数据实现精准调控，避免因配风不当导致排烟温度升高。首先，在数据监测层面。智能诊断系统通过高频采集炉膛出口O₂浓度、CO浓度及炉膛温度场分布数据，每10秒生成一次配风优化建议，为调整提供依据。动态调整一、二次风时，需分场景精准控制：针对一次风，根据模型输出的煤粉输送阻力与初始燃烧状态，将风量控制在“既能保证煤粉均匀输送，又能满足挥发分快速燃烧”的区间，通常一次风率维持在20%~25%；二次风则按“按需补充”原则，通过调节各层二次风挡板开度，将炉膛出口O₂浓度稳定在4.5%~5.5%，既避免过量空气带走热量，又防止缺氧导致不完全燃烧。其次，在优化配风时机方面。依托炉膛红外测温仪监测的温度场数据，若发现火焰中心上移，则延迟二次风混入时间；若火焰中心下移，则提前混入二次风。同时，对传统燃烧器进行改造，更

换为低氮旋流燃烧器，通过优化旋流强度，强化空气与煤粉的混合效果，使火焰中心稳定在炉膛中部区域，减少炉膛出口烟温波动。

3.4 加强燃料管理

燃料管理需围绕“煤质控制+配煤掺烧”构建全流程管控体系，从源头减少煤质波动对排烟温度的影响。在煤质控制环节，重点落实煤场精细化管理：煤炭入场时先经采样机检测水分、灰分、热值等关键指标，按煤质参数分区储存，避免不同煤种混堆导致煤质不均；针对高水分煤，采用机械晾晒或热风烘干设备处理，将水分从20%以上降至12%~15%，减少燃烧时的热量消耗。同时建立“小时级”煤质检测机制，每小时从煤仓入口采样，通过工业分析仪快速测定灰分、挥发分，若指标超出设计范围，立即调整上煤方案。在配煤掺烧环节，依托智能诊断模型输出的煤质—排烟温度关联曲线，动态优化掺烧比例：当入炉煤水分偏高时，按“7:3”比例掺混低水分煤，平衡整体水分；当灰分超标时，掺混30%低灰分煤，降低受热面积灰风险。某电厂通过该方案，入炉煤质波动幅度从±8%缩至±3%，排烟温度稳定在128~132℃，较单一煤种燃烧时降低8~10℃，年节约标煤约8000吨，同时减少了因煤质波动导致的燃烧工况异常。

4 结束语

排烟温度高是影响火电厂锅炉效率与安全的关键问题，构建智能诊断系统可精准识别原因，配套针对性应对策略能有效降低温度。本文从数据采集、模型构建阐述智能诊断，从积灰、漏风等分析原因，提出清洁维护、配风优化等策略。实践表明，这些措施可使排烟温度降低10~30℃，锅炉热效率提升1%~3%，为火电厂节能降耗、实现“双碳”目标提供有力支撑。未来，随着智能化技术发展，数字孪生与智能诊断结合，将进一步提升排烟温度控制精度，推动火电厂绿色高效发展。

参考文献：

- [1] 陈福康.火电厂锅炉排烟温度高的原因及应对措施[J].现代工业经济和信息化,2024(06):278-280.
- [2] 谭凯芬.火电厂锅炉运行中的节能策略研究[J].造纸装备及材料,2024(06):106-108.
- [3] 王路路.火电厂锅炉节能优化措施及潜力研究[J].节能,2021(10):56-58.
- [4] 吕梦菲,曹栋.复合相变换热器在锅炉排烟余热深度利用中的应用研究[J].机械管理开发,2023(10):223-226.
- [5] 司志鹏.1100MW超超临界机组锅炉燃烧及优化调整[J].化学工程与装备,2023(07):201-203.