

垃圾焚烧发电项目运营中的热控技术管理： 提升能效与稳定性关键

周文斌

广东 东莞 523100

DOI:10.61369/ME.2025090001

摘要：热控技术管理对垃圾焚烧发电项目提升能效与稳定性意义重大。当前分散控制系统存在技术瓶颈，炉排运动、余热锅炉、烟气处理等影响能效。可通过集成先进控制策略、设备全生命周期管理等手段提升热控技术管理水平，未来还需持续探索创新管理，推动行业发展。

关键词：垃圾焚烧发电；热控技术管理；能效提升

Thermal Control Technology Management in the Operation of Waste-to-Energy Incineration Projects: The Key to Improving Energy Efficiency and Stability

Zhou Wenbin

Dongguan, Guangdong 523100

Abstract : Thermal control technology management is of great significance for improving energy efficiency and stability in waste-to-energy incineration projects. At present, there are technical bottlenecks in the distributed control system, and factors such as grate movement, waste heat boilers, and flue gas treatment affect energy efficiency. The level of thermal control technology management can be improved through the integration of advanced control strategies and full life cycle management of equipment. In the future, continuous exploration and innovation in management are still needed to promote the development of the industry.

Keywords : waste-to-energy incineration; thermal control technology management; energy efficiency improvement

引言

《“十四五”节能减排综合工作方案》(2021年发布)旨在全面推进节能减排工作，垃圾焚烧发电作为资源循环利用的重要方式，其热控技术管理对提升能效与稳定性意义重大。垃圾焚烧热控系统需精确控制多个关键参数，但现有分散控制系统存在技术瓶颈。炉排运动控制偏差、余热锅炉腐蚀结焦、烟气处理单元能耗失衡等因素也影响项目能效。通过先进控制策略集成应用、设备全生命周期管理、开发数字孪生模型等方式，可提升热控系统能效与稳定性，推动垃圾焚烧发电行业绿色可持续发展，契合政策中节能减排、资源高效利用的要求。

一、垃圾焚烧发电项目热控技术管理现状分析

(一) 垃圾焚烧热控系统运行机理剖析

垃圾焚烧热控系统旨在通过精确控制多个关键参数，实现高效稳定的发电过程。炉温、压力与燃烧效率参数间存在紧密耦合关系。炉温过高或过低，会影响燃烧效率，进而影响发电效能，同时对压力产生波动影响；压力的变化又反过来作用于炉温与燃烧效率。现有分散控制系统(DCS)对这些参数进行监控，它构建起一个分层架构，实现对各环节的集中管控。然而，该系统存

在技术瓶颈^[1]。例如，在复杂工况下，对参数间耦合关系的处理能力有限，难以快速准确地做出协调控制决策，导致热控系统的动态响应速度慢，影响垃圾焚烧发电过程的稳定性与能效提升。

(二) 能效波动关键因素诊断

通过SCADA数据分析可知，炉排运动控制偏差对能效影响显著。若炉排运动速度不合理，会导致垃圾燃烧不充分或燃烧过快，进而影响热能转化效率。余热锅炉腐蚀结焦也是关键因素，腐蚀会降低锅炉受热面的传热性能，结焦则使热阻增加，阻碍热量传递，导致蒸汽产量与品质下降，发电效率随之降低^[2]。此

外，烟气处理单元能耗失衡同样不容忽视，若处理过程中各环节能耗分配不当，会造成能源浪费，增加整体能耗，最终影响项目能效，使得能效出现较大波动，不利于垃圾焚烧发电项目的稳定高效运行。

二、热控技术管理核心要素研究

(一) 先进控制策略集成应用

热控技术管理核心要素研究中，先进控制策略集成应用至关重要。研究模糊 PID 控制、预测控制等智能算法在焚烧温度场优化中的应用意义重大。模糊 PID 控制能依据焚烧过程中复杂多变的工况，灵活调整控制参数，相比传统 PID 控制，可更精准地稳定焚烧温度，减少温度波动对设备和发电效率的影响^[3]。预测控制则凭借对系统未来状态的预测，提前调整控制变量，有效应对焚烧过程的滞后性。同时，构建专家知识库驱动的自动调节系统，将专家经验知识融入其中，实现对焚烧过程更智能、高效的调控，综合提升垃圾焚烧发电项目的能效与稳定性。

(二) 设备全生命周期管理

在垃圾焚烧发电项目运营中，设备全生命周期管理对热控技术管理至关重要。从设备规划选型阶段，就要依据项目需求和热控技术标准，挑选适配的高温测点、调节阀等设备，确保其性能能满足运行要求。安装调试环节，严格按照高温测点冗余配置标准实施，保证测量的准确性与可靠性；对调节阀进行精细调试，为智能诊断奠定基础。运行阶段，通过调节阀智能诊断方案实时监测设备状态，及时发现潜在故障；依据预防性维护策略，定期对热控设备开展维护保养，延长设备使用寿命。设备退役时，做好评估与处置工作。全流程的科学管理，能有效提升热控系统的稳定性与能效，实现垃圾焚烧发电项目的高效运行^[4]。

三、热控技术管理效能提升路径

(一) 数据驱动型能效优化

1. 多源信息融合建模

开发基于 DCS 与 MIS 系统的数字孪生模型对垃圾焚烧发电项目运营意义重大。DCS 系统能够实时采集设备运行数据，涵盖温度、压力、流量等关键参数，反映设备即时状态。MIS 系统则可整合运营管理方面的信息，如垃圾进料量、发电量等。通过将这两类多源信息进行融合建模，能构建出精准反映燃烧工况的数字孪生模型。此模型可实现燃烧工况的实时模拟，清晰呈现燃烧过程中的复杂物理化学反应，让操作人员直观了解运行状况。同时，借助数据挖掘与分析技术，依据模拟结果对运行参数进行迭代优化。例如，基于实时监测与模拟反馈，动态调整垃圾进料速度、风量配比等，从而不断提升垃圾焚烧发电过程的能效，减少能源浪费，增强系统运行稳定性^[5]。

2. 动态自学习控制策略

在垃圾焚烧发电项目运营中，动态自学习控制策略是数据驱动型能效优化的关键。通过构建工况特征参数自适应匹配算法，

可实现热力系统调控机制的闭环优化。该策略利用先进的数据挖掘与分析技术，实时监测垃圾成分、燃烧工况等多源数据^[6]。依据这些数据，动态调整热控系统的控制参数，使系统能自动适应不同工况。比如，当垃圾成分发生变化，导致发热量波动时，系统可快速学习并匹配新的最佳风煤比、燃烧温度等参数，确保燃烧效率始终维持在较高水平。这种自学习控制策略持续收集和分析运行数据，不断优化控制模型，从而有效提升热控系统的能效，保障垃圾焚烧发电项目稳定高效运行。

(二) 可靠性保障体系构建

1. 故障模式影响分析 (FMEA)

在垃圾焚烧发电项目运营的热控技术管理中，故障模式影响分析 (FMEA) 是可靠性保障体系构建的重要环节。通过 FMEA 对热控系统各组件潜在故障模式进行细致剖析，评估每种故障模式对系统功能的影响程度及发生概率^[7]。例如，针对温度传感器故障，分析其可能导致的温度监测偏差，进而影响焚烧炉燃烧效率与稳定性，评估其对发电效能的连锁反应。依据分析结果，确定风险优先级，对高风险故障模式优先制定应对策略，从设计优化、日常维护、备件储备等多方面着手，降低故障发生概率与影响后果，提高热控系统可靠性，最终提升垃圾焚烧发电项目运营的稳定性与能效。

2. 完整性管理方案设计

完整性管理方案设计，需从多方面入手。一方面，对热控系统的设备、组件等进行全面梳理，明确关键部件与薄弱环节，利用 RBI 技术评估各部分风险，为后续检验检测提供依据^[8]。另一方面，结合垃圾焚烧发电项目的特点，设计合理的运行维护流程，确保各环节紧密衔接，如制定详细的设备巡检标准、故障处理预案等，保障系统连续稳定运行。同时，要构建动态的管理机制，随着项目运行及设备状态变化，及时调整完整性管理方案。还要注重数据管理，收集热控系统运行数据，通过分析数据发现潜在问题，提前采取措施，提高系统完整性，进而提升热控技术管理效能，为垃圾焚烧发电项目的高效稳定运营奠定基础。

四、工程实践与技术管理成效验证

(一) 机械炉排炉控制优化案例

1. 蒸汽参数稳定性提升

在垃圾焚烧发电项目中，机械炉排炉控制优化对蒸汽参数稳定性提升意义重大。通过给料量 - 风量多变量解耦控制改造这一关键举措，成效显著。改造前，主蒸汽压力波动较大，影响发电效率与设备稳定性。改造后，实现主蒸汽压力波动范围减少 45%^[9]。这意味着蒸汽参数稳定性大幅提升，使得发电机组能在更稳定的蒸汽参数下运行，减少了因蒸汽压力波动引发的设备故障风险，保障了发电设备运行的稳定性与可靠性。同时，稳定的蒸汽参数有助于提升能源利用效率，减少能源损耗，让垃圾焚烧发电过程更加高效、稳定，为垃圾焚烧发电项目运营中热控技术管理提供了有力的实践依据。

2. 厂用电率降低实践

在垃圾焚烧发电项目中，通过对机械炉排炉进行控制优化，

引风机变频协同控制改造展现出显著成效。改造前，综合厂用电率处于 12.8% 的水平，这在一定程度上影响了发电效率与经济效益。而在实施引风机变频协同控制改造后，综合厂用电率成功下降至 10.2%。该实践表明，这一技术管理手段能够有效降低厂用电消耗，对提升垃圾焚烧发电项目的能效具有重要意义^[10]。这种优化不仅直接降低了运营成本，更为整个项目的稳定高效运行奠定了坚实基础，从侧面反映出热控技术管理在垃圾焚烧发电项目运营中对于提升能效与稳定性关键作用。

（二）流化床锅炉热控改造

1. 床温控制精度强化

在垃圾焚烧发电项目运营中，流化床锅炉热控改造里床温控制精度强化成效显著。通过采用神经网络预测控制技术，实现了床温控制精度的大幅提升。改造前，床温偏差较大，达到 $\pm 25^{\circ}\text{C}$ ，这对锅炉的稳定运行及能源利用效率均产生不利影响。而应用该先进技后，床温偏差成功缩小至 $\pm 8^{\circ}\text{C}$ 。这一改变不仅有效提高了流化床锅炉燃烧的稳定性，减少了因床温波动过大而引发的各类故障，还显著提升了能源利用效率，确保垃圾焚烧过程更加充分、合理，有力地保障了垃圾焚烧发电项目的高效、稳定运营，验证了热控技术管理在提升项目能效与稳定性方面的关键作用。

2. 冷态启动时间优化

在垃圾焚烧发电项目中，流化床锅炉热控改造对冷态启动时间优化成效显著。通过对顺序控制逻辑的重构，有效缩短了冷态启动时间 2.5 小时。在改造前，复杂且不合理的控制逻辑导致各设备启动环节衔接不顺畅，造成启动时间冗长，能源在无效等待中浪费。改造时，技术人员深入分析各设备启动条件及相互关联，重新规划控制流程，让设备间能更高效有序地依次启动。例如，优化点火系统与鼓风系统的启动配合，使点火过程更迅速且稳定，避免了以往因鼓风时机不当导致的点火失败或延迟。这一优化不仅减少了启动阶段的能源消耗，还提升了设备整体的稳定性，为垃圾焚烧发电项目高效稳定运营奠定坚实基础，验证了热控技术管理在提升能效与稳定性方面的关键作用。

（三）回转窑式焚烧炉管理创新

1. 窑体温度场均衡控制

在垃圾焚烧发电项目运营中，回转窑式焚烧炉窑体温度场均

衡控制至关重要。通过应用热成像反馈系统，能有效实现对窑体温度的精准监测与调控，进而达成窑体轴向温差降低 65°C 的显著成效。该系统实时捕捉窑体温度分布，将数据快速反馈，技术人员依据此及时调整燃烧参数等，确保窑内温度均匀。这不仅提升了垃圾燃烧效率，减少因局部过热或过冷导致的设备损耗，而且增强了整个焚烧发电系统的稳定性，为提高发电能效奠定坚实基础，充分验证了在回转窑式焚烧炉管理创新中，窑体温度场均衡控制这一技术管理手段的有效性与重要性。

2. 二燃室温度精准调控

在垃圾焚烧发电项目运营中，回转窑式焚烧炉二燃室温度精准调控意义重大。开发的多燃料联供控制系统通过对多种燃料的合理调配，极大提升了二燃室温度的稳定性与精准度。在工程实践中，该系统有效克服了垃圾成分复杂、热值波动等难题。通过持续监测与智能调整，实现对二燃室温度的实时精准控制。最终，成功将二燃室温度合格率提升至 99.3%，不仅保障了垃圾的充分燃烧，减少有害气体排放，同时提高了发电效率，提升了整个垃圾焚烧发电项目的能效与稳定性，有力验证了此项回转窑式焚烧炉管理创新中，二燃室温度精准调控技术的显著成效。

五、总结

热控技术管理对于垃圾焚烧发电项目运营提升能效与稳定性意义重大。智能化控制系统改造，能实现精准调控，有效提升能源利用效率，确保设备稳定运行，比如通过智能算法对焚烧温度、风量等关键参数实时调整。全流程管理优化，则从设备选型、安装调试到日常运维，各环节都进行科学规划与严格把控，为热控技术良好应用筑牢基础。这些经验为行业发展提供了宝贵借鉴。而数字孪生技术的深度应用，将以更直观、精准的模拟，助力优化热控管理策略，为垃圾焚烧发电项目迈向更高水平的能效与稳定性开辟新路径。未来，需持续探索热控技术创新管理，进一步挖掘垃圾焚烧发电项目的潜力，推动行业绿色可持续发展。

参考文献

- [1] 王磊. G 县垃圾焚烧发电 PPP 项目运营风险评价研究 [D]. 河北经贸大学, 2022.
- [2] 刘慧芳. 垃圾焚烧发电 PPP 项目补贴机制设计研究 [D]. 大连理工大学, 2021.
- [3] 何莹露. 城市垃圾焚烧发电 BOT 项目风险管理研究——以南昌市麦园垃圾焚烧发电项目为例 [D]. 南昌大学, 2021.
- [4] 薛泳泳. J 市垃圾焚烧发电 PPP 项目绩效评价研究 [D]. 中国矿业大学(江苏), 2022.
- [5] 谢铭洲. 生活垃圾焚烧发电项目投资价值综合分析——以 Z 垃圾发电厂为例 [D]. 东北电力大学, 2021.
- [6] 刘轶. 垃圾焚烧发电中的问题与应对措施 [J]. 集成电路应用, 2023, 40(3):188-189.
- [7] 黄一茹, 吴超. 垃圾焚烧发电行业能效提升技术分析 [J]. 清洗世界, 2024, 40(7):94-96.
- [8] 朱建彩. 垃圾焚烧发电烟气排放标准及提升策略探讨 [J]. 当代化工研究, 2022(24):146-148.
- [9] 赖学科. 垃圾焚烧发电中的排放气体关键控制技术探讨 [J]. 清洗世界, 2022, 38(12):144-146.
- [10] 赵洁, 韩冲, 崔晓珊, 等. 生活垃圾焚烧发电现状 [J]. 云南化工, 2021, 48(8):31-32, 42.