

基于电气与热控系统的垃圾焚烧发电厂电力运行安全策略研究

蓝展鹏

广州环投从化环保能源有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/EPTSM.2025110027

摘要：本文围绕垃圾焚烧发电厂电力运行安全展开，分析其厂用电系统架构特性、热力与电气参数关系、谐波干扰等问题，提出有源滤波与动态无功补偿等综合治理方案，以及选择性保护配合等策略，并构建智能监控系统、故障特征数据库及开发专家诊断系统，经工程实证策略成效显著，未来将研究集成数字孪生技术。

关键词：垃圾焚烧发电厂；电力运行安全；安全策略

Research on Power Operation Safety Strategy of Garbage Incineration Power Plant Based on Electrical and Thermal Control System

Lan Zhanpeng

Guangzhou Huantou Conghua Environmental Protection Energy Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This article focuses on the safe operation of power in waste incineration power plants, analyzes the architecture characteristics of their power system, the relationship between thermal and electrical parameters, harmonic interference, and other issues. It proposes comprehensive governance solutions such as active filtering and dynamic reactive power compensation, as well as selective protection coordination strategies. An intelligent monitoring system, fault characteristic database, and expert diagnosis system are constructed, and the strategy has achieved significant results through engineering verification. In the future, integrated digital twin technology will be studied.

Keywords : garbage incineration power plant; electricity operation safety; security policy

引言

随着环保意识的增强和垃圾处理需求的增长，垃圾焚烧发电成为重要的垃圾处理方式。2020年颁布的《生活垃圾焚烧发电厂自动监测数据应用管理规定》，对垃圾焚烧发电厂的规范运行提出更高要求。垃圾焚烧发电厂厂用电系统架构独特，热力扰动、工艺与电气参数耦合、谐波干扰等影响电力运行安全。为保障稳定运行，需综合考虑电气与热控系统，从保护配合、参数控制、智能监控、故障诊断到维护决策等多方面制定安全策略，以满足政策要求并提升电厂运行水平。

一、垃圾焚烧发电厂电气与热控系统构成分析

(一) 厂用电系统架构特性

垃圾焚烧发电厂厂用电系统架构具有独特特性。余热锅炉—汽轮机系统作为重要组成，其电力负荷特性对厂用电系统影响显著。该系统运行需稳定且持续的电力供应，以保障蒸汽的有效产生与汽轮机的稳定运转。烟气净化设备同样不可或缺，其电力负荷也具有一定特点，在垃圾焚烧过程中，需及时处理烟气，这要求厂用电系统能快速响应其用电需求^[1]。主接线方案的特殊性决定了厂用电系统需具备较高的可靠性与灵活性，以应对不同运行工况。同时，SIS系统在过程控制中的中枢作用，也对厂用电系统

提出了精准供电和有效监控的要求，确保厂用电系统能与整个生产流程紧密配合，保障垃圾焚烧发电厂的稳定电力运行。

(二) 热力扰动对电气参数的影响机制

在垃圾焚烧发电厂中，热力扰动会对电气参数产生显著影响。当出现热力扰动时，例如给料量发生波动，会直接改变炉膛内的燃烧工况^[2]。给料量的变化导致炉膛温度随之改变，炉膛温度的波动又进一步影响蒸汽的产生量和参数。蒸汽参数的改变直接作用于汽轮机，使得汽机出力发生变化。而汽机作为发电机的原动机，其出力的改变会导致发电机输出功率不稳定，进而引发电压暂降和频率波动。这种从给料波动开始，经由炉膛温度变化，到汽机出力改变，最终影响电气参数的过程，形成了焚烧工

况变化导致电压暂降和频率波动的具体路径，揭示了热力扰动与电气参数之间紧密的内在联系。

二、电力系统安全风险影响因素建模

(一) 工艺过程与电气参数耦合分析

在垃圾焚烧发电厂中，工艺过程与电气参数存在紧密耦合关系。渗滤液泵启停、布袋除尘器脉冲动作等工艺操作会对厂用变压器负载率产生冲击效应。为深入分析这种耦合，采用灰色关联分析法量化影响。该方法能有效揭示工艺操作与电气参数间的内在联系^[3]。例如，渗滤液泵的频繁启停可能导致厂用变压器瞬间电流增大，负载率发生波动。布袋除尘器脉冲动作时，也会对系统电气参数产生影响，如引起电压波动等。通过灰色关联分析，可明确不同工艺操作对电气参数影响的主次顺序，为准确评估电力系统安全风险提供依据，进而助力制定针对性的电力运行安全策略，保障垃圾焚烧发电厂电力系统稳定运行。

(二) 谐波干扰源分布特性研究

在垃圾焚烧发电厂电力系统中，谐波干扰源分布特性对电力运行安全有着重要影响。借助现场测试，能够精准明确变频驱动装置、等离子点火系统等非线性设备的谐波频谱特征。这些非线性设备在运行过程中会向配电网注入谐波电流，进而影响电力系统的正常运行。基于所获得的谐波频谱特征，建立典型工况下配电网谐波阻抗模型。该模型可有效反映不同工况下配电网对谐波的阻碍特性，为深入研究谐波干扰源的分布提供有力支撑^[4]。通过对谐波干扰源分布特性的研究，可全面掌握其在电力系统中的分布规律，从而为制定针对性的电力运行安全策略奠定基础，以保障垃圾焚烧发电厂电力系统的稳定、安全运行。

三、电力系统运行优化控制策略

(一) 电气系统稳定增强技术

1. 谐波治理与电磁兼容设计

在垃圾焚烧发电厂电力系统运行中，谐波与电磁兼容问题影响电气系统稳定性。对此，提出基于有源滤波与动态无功补偿的综合治理方案。有源滤波器可实时检测并补偿谐波电流，有效抑制谐波对电网的污染，提高电能质量。动态无功补偿装置能快速跟踪负荷无功变化，维持系统电压稳定，减少电压波动。同时，设计变频器柜体屏蔽与等电位连接改进措施。良好的柜体屏蔽可阻挡电磁干扰的传播，降低对周围设备的影响。合理的等电位连接能确保各设备间电位差最小，增强系统抗干扰能力，提升电气系统整体稳定性^[5]。

2. 选择性保护配合策略

在垃圾焚烧发电厂中，为实现电气系统稳定增强，选择性保护配合策略至关重要。构建考虑热力参数的保护定值自适应修正模型，此模型能够根据热力参数的动态变化，自动调整保护定值，使其更贴合实际运行工况，避免因定值不合理导致的误动作或拒动作。同时，开发故障特征量与保护动作时序配合的优化算

法。该算法深入分析故障发生时的各类特征量，在此基础上精准规划保护动作的时序，让各级保护装置能够有选择性地动作，快速隔离故障区域，确保非故障区域的正常运行。通过这两者的结合，实现保护装置之间的合理配合，大大提升电气系统的稳定性，有效保障垃圾焚烧发电厂电力系统的安全运行^[6]。

(二) 热控系统协同调控方法

1. 锅炉汽包水位多参数控制

在垃圾焚烧发电厂中，锅炉汽包水位的精准控制至关重要。设计融合给水流量前馈与蒸汽压力补偿的 PID 控制算法，能有效提升汽包水位控制效果。给水流量前馈环节，可快速感知给水量变化对水位的影响，提前做出调节动作，减少水位波动。蒸汽压力补偿则充分考虑蒸汽压力变化对水位测量准确性的干扰，实时修正控制参数，确保控制精度。通过该算法，实现多参数协同控制。对这一控制策略在负荷突变工况下进行响应特性验证^[7]，能明确其在实际复杂运行条件下的可靠性与稳定性，为垃圾焚烧发电厂热控系统的稳定运行提供有力保障，从而提高电力运行的安全性。

2. 烟气温度动态调节策略

在垃圾焚烧发电厂中，烟气温度的精准调控对电力运行安全至关重要。通过建立 SNCR 脱硝系统与余热锅炉的联动控制模型，可有效实现烟气温度的动态调节。SNCR 脱硝系统的喷氨量会直接影响烟气温度，而余热锅炉的运行参数同样与烟气温度紧密相关。当监测到烟气温度出现波动时，联动控制模型会依据预设规则，自动调节 SNCR 脱硝系统的喷氨量以及余热锅炉的相关运行参数，如蒸汽流量、给水温度等，使烟气温度回归到目标范围，实现将烟气温度波动控制在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 内的调控目标^[8]。这种协同调控方式，既保证了脱硝效率，又维持了余热锅炉的稳定运行，从而提升垃圾焚烧发电厂电力运行的安全性与稳定性。

四、安全策略实施与验证

(一) 智能监控系统集成

1. SCADA 与温度监控系统融合

在智能监控系统集成中 SCADA 与温度监控系统融合方面，基于开发的 OPC UA 协议转换中间件实现的毫秒级同步采集与关联分析，为安全策略的实施提供关键支撑。将通过对采集到的电气参数与 DCS 温度数据进行深度挖掘与分析，构建全面且精准的运行状态监测模型。依据此模型设定合理的安全阈值，并制定相应的预警规则。同时，利用实际运行数据对所构建的模型及制定的规则进行反复验证与优化，确保能及时、准确地发现潜在的安全隐患。还会通过模拟不同工况下的异常情况，对安全策略进行模拟测试，评估其有效性与可靠性，进而持续完善安全策略，为垃圾焚烧发电厂电力运行筑牢安全防线^[9]。

2. 三维可视化监控平台建设

在智能监控系统集成的三维可视化监控平台建设中，着力构建包含设备热力图与故障预警矩阵的立体监控界面。借助先进的可视化技术，将设备热力图直观呈现，以色彩、温度梯度等形式

清晰展示设备运行时的热分布情况，便于运维人员快速定位过热等潜在安全隐患区域。同时，通过科学设定故障预警矩阵，综合分析设备各项运行参数，实现对异常情况的精准预判。这一建设有效提升运行异常识别效率40%以上，为垃圾焚烧发电厂电力运行安全提供有力保障^[10]。在实际验证过程中，通过历史数据回溯及实时运行监测对比，充分证实该平台对异常情况的高效识别能力，确保安全策略得以切实落地与有效实施。

(二) 专家诊断系统开发

1. 故障特征数据库构建

在故障特征数据库构建过程中，首先通过细致整理垃圾焚烧发电厂历年的运行日志，从中筛选出涵盖电气与热控系统的217种典型故障，构建起丰富且具代表性的案例库。这一案例库为后续研究提供了坚实的数据基础。在此之上，依据粗糙集理论制定科学的故障征兆提取规则。粗糙集理论能够有效处理不精确、不一致的数据，借助该理论可以从繁杂的运行数据中精准提炼出与故障紧密相关的关键特征，去除冗余信息，使得故障特征更加明晰。这些提取出的故障特征将被有序整合至故障特征数据库，为专家诊断系统后续的准确诊断和分析提供核心数据支持，助力实现垃圾焚烧发电厂电力运行安全策略的有效落地与验证。

2. 推理机规则优化

在专家诊断系统开发的推理机规则优化方面，基于电气与热控系统特性，结合加权模糊Petri网混合推理机制展开。通过分析大量垃圾焚烧发电厂电力运行数据，对推理机规则进行针对性优化。一方面，依据故障定位准确率达92.3%这一成果，对规则中权重分配、条件设定等关键参数进行精细化调整，使推理过程更契合实际运行情况。另一方面，充分考虑电气与热控系统的耦合关系，补充完善规则库，确保对复杂故障的推理诊断更全面准确。同时，利用实际案例对优化后的推理机规则进行反复验证，不断修正偏差，进一步提升其在垃圾焚烧发电厂电力运行安全策略中的有效性，保障电力运行的安全性与稳定性。

(三) 预防性维护体系建立

1. 设备状态评估模型

在垃圾焚烧发电厂的电力运行中，为建立有效的预防性维护体系，设备状态评估模型至关重要。通过融合振动频谱分析与红

外热像数据的综合评价方法，能够更全面精准地把握设备状态。振动频谱分析可捕捉设备运行时的振动特性，从中发现潜在的机械故障隐患；红外热像数据则能直观反映设备的热状态，识别因过热可能引发的问题。在此基础上，建立关键设备健康指数计算模型，将多种状态参数量化为健康指数，清晰呈现设备健康状况。例如，为不同参数赋予相应权重，通过复杂算法计算得出健康指数。该模型为设备维护决策提供了科学依据，使维护工作更具针对性与前瞻性，从而保障垃圾焚烧发电厂电气与热控系统的安全稳定运行。

2. 维修决策支持系统

在垃圾焚烧发电厂基于电气与热控系统的电力运行安全策略中，维修决策支持系统基于开发的蒙特卡洛仿真维修周期优化算法构建。该系统能精准分析电气与热控系统的运行状况，通过算法模拟不同维修周期对成本及系统可用率的影响。一方面，依据算法结果，运维人员可科学决策何时进行设备维修，在确保系统可用率不低于99.2%的关键指标下，有效降低维修成本达15%，实现经济效益与运行安全的平衡。另一方面，决策支持系统不断收集设备实时数据，持续优化维修方案，确保策略能随设备运行状态动态调整，为发电厂稳定电力运行提供有力支撑，也为预防性维护体系提供核心的决策依据。

五、总结

通过工程实证可知，基于电气与热控系统所提出的垃圾焚烧发电厂电力运行安全策略成效显著，焚烧厂非计划停运次数大幅下降58%，电网谐波畸变率也稳定控制在3%以内。这不仅有力保障了垃圾焚烧发电厂电力运行的安全性与稳定性，还为同类电厂在设备状态全景感知与风险主动防御方面提供了全新的思路与参考范式。随着科技的不断发展，为进一步提升垃圾焚烧发电厂电力运行的智能化与精细化水平，未来将着重在数字孪生技术集成方面展开深入研究，借助该技术实现对电厂设备更精准的模拟与监测，从而不断完善安全策略，为垃圾焚烧发电厂电力运行安全筑牢坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 张艺丹. 垃圾焚烧电厂垃圾干燥系统仿真优化 [D]. 山东大学, 2021.
- [2] 朱阳. 垃圾焚烧发电厂项目社会稳定风险评估及防控研究 -- 以阳泉市 RG 垃圾焚烧发电厂为例 [D]. 山西农业大学, 2022.
- [3] 包隽骁. 永川垃圾焚烧发电厂及其接入系统研究 [D]. 重庆大学, 2022.
- [4] 陆福禄. 垃圾焚烧发电厂余热回收系统的设计及仿真研究 [D]. 广西大学, 2021.
- [5] 李寅斌. 某城市生活垃圾焚烧发电厂系统设计 [D]. 浙江工业大学, 2021.
- [6] 章清平. 垃圾焚烧发电厂电气设备安全运行管理与维护 [J]. 设备管理与维修, 2023(9): 1-3.
- [7] 李悦. 垃圾焚烧发电厂电气设备安全运行管理与维护探究实践 [J]. 电力系统装备, 2023(1): 142-144.
- [8] 伍建成. 垃圾焚烧发电厂电气设备安全运行管理与维护 [J]. 电力系统装备, 2021(20): 106-107.
- [9] 曾忠源. 垃圾焚烧发电厂热控自动化模式下的保护装置研究 [J]. 电力设备管理, 2022(23): 146-148.
- [10] 刘畅. 垃圾焚烧发电厂电气部分设计要点分析 [J]. 大众标准化, 2023(19): 94-96.