

红外热成像技术在空冷岛全智能清洗中的应用研究

杨新建¹ 胡圣德¹ 赵俊²

1. 国能宁夏大坝发电责任有限公司 宁夏 吴忠 751607

2. 国能宁夏大坝三期发电责任有限公司 宁夏 吴忠 751601

摘要: 空冷岛作为电力系统关键散热设备,其积污会导致散热效率下降,影响机组运行经济性。本文聚焦红外热成像技术在空冷岛全智能清洗中的应用,阐述该技术对空冷岛热态分布的监测原理,分析智能清洗系统的构成与协同机制,探讨其在污染识别、清洗决策、效果评估等环节的应用价值,揭示红外热成像技术对提升空冷岛清洗智能化水平、保障设备稳定运行的重要意义,为电力设备运维优化提供技术参考。

关键词: 红外热成像技术;空冷岛;全智能清洗;污染监测;散热效率

引言

空冷岛凭借节水优势,在电力行业尤其是缺水地区广泛应用,但其长期暴露于室外环境,易积累灰尘、盐分等污染物,导致散热管束换热效率降低,进而影响机组发电效率与安全运行。传统清洗方式依赖人工巡检判断污染程度,存在主观性强、响应滞后等问题。红外热成像技术可非接触式获取空冷岛表面热态分布,为全智能清洗提供精准数据支撑。基于此,本文深入研究该技术在空冷岛全智能清洗中的应用,旨在构建高效、精准的智能清洗体系。

1 红外热成像技术与空冷岛污染的基础关联

红外热成像技术通过捕捉物体红外辐射,将不可见的热信号转化为可见的热图像,可直观反映物体表面温度分布差异。空冷岛正常运行时,散热管束表面温度呈均匀分布,当管束表面附着污染物时,污染物的导热系数低于金属管束,会形成热阻,导致局部温度升高,在热图像中呈现明显的“高温异常区域”。

这种温度差异为污染识别提供了关键依据:一方面,通过对比空冷岛不同区域的热态分布,可快速定位污染严重部位,避免人工巡检的遗漏与误判;另一方面,基于热图像中温度异常的程度与范围,能量化评估污染等级,为后续清洗作业提供精准的目标指向。此外,红外热成像技术的非接触式监测特性,可在空冷岛不停机状态下开展工作,避免传统停机检测对机组运行的影响,保障电力生产连续性。同时,该技术具备全天候工作能力,不受光照、天气等环境因素限制,可实现对空冷岛污染状态的实时动态监测,为全智能清洗系统的持续运行提供稳定数据输入^[1]。

2 空冷岛全智能清洗系统的构成及红外热成像技术的集成方式

2.1 全智能清洗系统的核心构成

空冷岛全智能清洗系统以“监测-决策-执行-评估”为核心逻辑,主要由数据采集模块、智能决策模块、清洗执行模块及效果评估模块组成。数据采集模块负责获取空冷岛运行参数与污染状态信息,除红外热成像设备外,还包括温度传感器、压力传感器等,实现多维度数据融合;智能决策模块基于采集的数据,结合预设算法,判断污染等级并生成清洗方案;清洗执行模块由自动化清洗装置(如旋转喷淋臂、移动清洗小车)构成,按方案完成精准清洗;效果评估模块则对清洗后的空冷岛状态进行检测,验证清洗效果并反馈至决策模块,形成闭环管理。

2.2 红外热成像设备的选型与部署

为确保监测精度,需根据空冷岛的结构尺寸、管束排列方式及安装环境,合理选型与部署红外热成像设备。设备选型需重点关注分辨率、测温范围与帧率:分辨率需满足识别单根散热管束温度差异的需求,通常选用不低于 640×512 像素的探测器;测温范围应覆盖空冷岛正常运行温度(一般为 $30 \sim 80^\circ\text{C}$),确保在不同工况下均能准确测温;帧率需达到 25fps 以上,避免因设备运行振动导致图像模糊。部署方面,采用多设备分区覆盖策略,在空冷岛两侧及顶部设置固定监测点位,同时配备可移动监测单元,针对边角、遮挡区域进行补充监测,确保无监测盲区。设备安装高度与角度需经过模拟计算,避免阳光直射、设备自身散热等因素对监测结果的干扰^[2]。

2.3 红外热成像数据与清洗系统的协同机制

红外热成像数据通过工业以太网实时传输至智能决策模块,与其他传感器数据(如管束进出口温差、风机转速)进行融合分析。系统预设多套污染评估模型,基于热图像中高温区域占比、最高温差值等参数,将污染

等级划分为轻度、中度、重度三类：轻度污染时，仅对局部高温区域进行定点清洗；中度污染时，启动区域式批量清洗；重度污染时，触发全岛全面清洗。同时，红外热成像数据可实时反馈清洗过程中温度变化，当某区域温度降至正常范围时，决策模块可提前终止该区域清洗作业，避免水资源浪费。这种动态协同机制，实现了“按需清洗”，大幅提升清洗效率与经济性。

2.4 数据传输与安全保障

红外热成像数据具有数据量大、实时性要求高的特点，需构建稳定的传输网络与安全保障体系。传输网络采用光纤通信为主、无线通信为辅的方式，光纤通信确保数据高速传输，无线通信作为备用，应对突发故障；数据存储采用边缘计算与云端存储结合的模式，边缘端实现实时数据处理与临时存储，云端则进行历史数据归档与大数据分析，为后续优化清洗策略提供依据。安全保障方面，通过数据加密、访问权限控制、设备状态监测等措施，防止数据泄露、篡改及设备异常运行，确保全智能清洗系统稳定可靠。

3 红外热成像技术在空冷岛全智能清洗各环节的具体应用

3.1 污染状态的精准识别与定位

在空冷岛日常运维中，红外热成像技术凭借非接触式监测优势，成为污染识别与定位的核心工具。系统会根据空冷岛运行工况动态调整扫描频率：正常负荷时每2小时进行一次全域热成像扫描，高负荷或沙尘、雾霾等恶劣天气时，扫描间隔缩短至1小时，确保及时捕捉污染迹象。扫描生成的热分布图谱，会自动与历史基准图谱（空冷岛清洁状态下的热数据）比对，基准图谱会随季节、环境温度更新，避免环境因素干扰判断。当局部区域温度高于基准值5℃以上，系统判定为潜在污染区域，随即启动局部高清扫描——通过调整红外设备焦距与分辨率，将目标区域图像放大至像素级，清晰识别污染物附着的管束编号、具体位置及覆盖范围。例如，空冷岛边缘管束因受建筑物遮挡、风速较低，易积累灰尘，热图像中会呈现连续条状高温区域，系统可精准标记该区域起止坐标（如X轴110-170cm、Y轴75-145cm），同步传输至清洗执行模块。此外，不同污染物导热系数差异会形成独特热图像特征：盐分附着呈点状高温分布，油污表现为片状高温区域，红外热成像技术可通过温度梯度疏密程度初步判断污染物类型，为后续选择清洗介质（盐分用高压水、油污用专用除油剂）提供参考，提升污染处理针对性^[1]。

3.2 清洗时机与方案的智能决策

红外热成像技术打破传统“定期清洗”的盲目性，为清洗时机与方案决策提供动态数据支撑。系统构建的清洗时机判断模型，以红外热成像数据为核心，融合机组负荷、环境温度、风速等参数：当热图像中高温区域占比超15%，或通过热态数据计算出空冷岛整体散热效率下降8%以上时，自动触发清洗决策流程，避免过早清洗浪费资源或过晚清洗影响机组运行。决策阶段，智能模块对红外数据分层分析，按污染区域对散热效率的影响排序——中部核心散热区直接关联机组主冷却回路，污染后易导致整体效率骤降，列为高优先级；边缘辅助散热区影响较小，列为低优先级可延后清洗。同时，系统根据污染区域位置、面积及分布形态规划清洗路径：分散点状污染（单根管束局部污染）采用“点对点”精准喷淋，调整喷淋头角度实现定向冲洗；连片面状污染（某区域多根管束污染）采用“矩阵式”覆盖清洗，控制清洗小车按网格路径移动，避免重复作业。此外，决策模型还会结合清洗装置状态（剩余水量、喷淋压力）优化方案，如清洗介质余量不足时，优先保障高优先级区域清洗，低优先级区域待补介质后处理，兼顾效率与资源利用率。

3.3 清洗过程的实时监控与动态调整

清洗执行阶段，红外热成像技术通过实时追踪温度变化，实现清洗过程动态调整与异常管控，规避“一刀切”式清洗弊端。清洗装置按预设方案启动后，红外热成像设备聚焦目标区域，以每秒1帧频率捕捉温度数据，生成实时温度曲线——正常清洗时，温度随污染物剥离稳步下降；若曲线出现下降缓慢（5分钟内降幅不足2℃）或停滞，系统自动排查原因：对比历史数据，若为清洗介质压力不足，决策模块指令执行模块将喷淋压力从0.8MPa提升至1.2MPa；若为污染物附着力强（如油污凝固），则增加清洗介质中除油剂浓度，延长该区域清洗时间10分钟。对于清洗中的突发异常，红外热成像技术也能及时响应：清洗小车因轨道杂物卡顿导致局部未清洗时，热图像会出现“温度断层”——已清洗区域温度正常，卡顿区域保持高温，系统立即报警并重新规划路径，指令小车返回补洗。此外，为避免水分残留影响温度监测，红外设备同步捕捉环境湿度，当湿度超60%时自动调整温度判断阈值，确保监测准确，为动态调整提供可靠依据，保障清洗过程高效可控^[4]。

3.4 清洗效果的量化评估

清洗完成后，红外热成像技术通过标准化流程实现清洗效果量化评估，为后续运维提供数据支撑。评估分即时与长效两步：即时评估在清洗结束1小时内开展，此

时管束表面水分基本干燥,可排除水分干扰——系统对空冷岛进行全域热成像扫描,生成清洗后热分布图谱,与清洗前图谱像素级比对,自动统计两项核心指标:高温区域消除率(恢复正常温度的高温区域面积与原面积比值)、平均温度降幅(清洗前后全域平均温度差值)。长效评估持续监测24小时,重点观察温度是否反弹:若某区域清洗后温度短暂下降又回升,说明存在残留污染物或新污染,系统标记该区域并分析原因——残留污染物可能是清洗介质未充分接触管束,新污染需结合环境数据判断是否为周边扬尘导致。当两项评估均达标(高温区域消除率 $\geq 95\%$ 、平均温度降幅 $> 10^{\circ}\text{C}$,且24小时无温度反弹),判定清洗合格;未达标则生成二次清洗方案,优化喷淋角度、清洗时间等参数。这种量化评估不仅验证单次效果,还能将数据归档至历史数据库,为优化清洗周期、介质类型提供依据。

3.5 基于红外热成像数据的清洗策略优化

长期积累的红外热成像数据,通过大数据分析可实现空冷岛全智能清洗策略持续优化,推动系统从“被动响应”向“主动预防”转变。系统对历史热图像数据、清洗方案及效果评估结果关联分析,挖掘污染规律与清洗效果的内在联系:时间维度上,春季风沙天气后,空冷岛迎风面温度异常区域增长速度是其他季节的2倍,据此将该季节清洗间隔从7天缩短至5天;空间维度上,某型号散热管束折弯处易积污,热图像中该位置高温出现频率是其他位置的3倍,故调整清洗装置喷淋角度,增加折弯处冲洗覆盖率,将喷淋压力提高10%增强清洗力度。同时,系统基于红外数据与天气预报构建预测模型:预测未来3天有大雨时,判断自然降雨可辅助清除浮尘,适当延后清洗减少水资源消耗;预测将出现连续高温(日均温度 $> 35^{\circ}\text{C}$),则提前24小时完成清洗,确保空冷岛

以最佳状态应对高负荷运行。此外,通过分析不同清洗方案的热态变化数据,筛选最优参数组合——如中等污染程度下,“0.9MPa喷淋压力+15分钟清洗时间”方案比传统方案节能20%且效果相当,据此更新系统默认参数,进一步提升运维经济性与智能化水平^[5]。

结语

红外热成像技术凭借非接触式、高精度、全天候的监测优势,为空冷岛全智能清洗提供了关键技术支撑,在污染识别、决策制定、过程监控、效果评估及策略优化等环节发挥着不可替代的作用。通过该技术与智能清洗系统的深度融合,有效解决了传统清洗方式主观性强、效率低的问题,实现了空冷岛清洗的精准化、自动化与智能化,对保障电力机组稳定运行、提升能源利用效率具有重要意义。未来,随着红外热成像技术分辨率的提升与AI算法的融合,空冷岛全智能清洗系统将进一步向“预测性维护”升级,为电力行业绿色高效运维提供更有力的技术保障。

参考文献

- [1]王润全,吴锡鹏,韩孝军.基于红外热成像立体测温技术的空冷岛高效节能全智能清洗系统的应用[J].中国高新技术,2021(14):47-48.
- [2]朱国伟,黄川,陈志明.红外成像技术在电厂设备中的应用[J].仪器仪表用户,2020,27(08):86-90.
- [3]王润全.空冷岛系统低背压防冻方法[J].电力系统装备,2020,000(004):70-71.
- [4]刘艳龙,刘诚诚,李强.关于电厂空冷岛自动冲洗改造的研究[J].山东化工,2021,50(22):154-156.
- [5]白继亮,王润全,韩平.浅谈直接空冷岛全自动清洗装置的优化与应用[J].中国设备工程,2021(01):86-87.