

智能红外测温系统与空冷岛清洗机器人的应用技术研究

胡圣德¹ 杨新建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: 在工业生产领域,空冷岛的高效维护至关重要。本文聚焦智能红外测温系统与空冷岛清洗机器人的应用技术。先阐述智能红外测温系统的核心硬件、软件算法及多场景适配技术,接着介绍清洗机器人的机械结构、智能控制系统和清洗工艺。重点探讨二者协同应用技术,包括温度场引导清洗策略、全流程监控管理及系统扩展与升级,为空冷岛的智能维护提供有效方案。

关键词: 智能;红外测温系统;空冷岛清洗;机器人应用技术

引言

在电力生产领域,空冷岛设备的稳定运行至关重要。然而,空冷岛在长期运行过程中,易因污垢堆积等问题导致散热效率下降,影响设备性能与安全。智能红外测温系统可精准监测温度,空冷岛清洗机器人能高效清洗污垢。将二者协同应用,能实现对空冷岛设备的实时监测与精准清洗,有效提升设备运行效率与可靠性,为电力生产的稳定运行提供有力保障,具有显著的研究与应用价值。

1 智能红外测温系统技术构成

1.1 核心硬件组成

智能红外测温系统的硬件架构围绕核心功能需求进行设计,主要由红外探测器、光学镜头、信号处理电路构成。红外探测器作为系统的核心感知元件,采用非制冷焦平面阵列技术。这种探测器无需复杂的制冷装置,降低了系统体积与功耗,同时具备较高的可靠性和稳定性。其工作原理基于热效应,通过感知目标物体发出的红外辐射能量,将其转化为电信号输出。在性能参数方面,该探测器具备特定的像元排列规格,能够满足不同场景下对目标物体的温度分布探测需求^[1]。其响应波段设定在特定范围,可有效捕捉目标物体在该波段内的红外辐射特征,为后续的温度计算提供准确的数据基础。图像采集能力方面,可实现稳定的帧率输出,确保系统能够实时获取目标物体的温度变化情况。光学镜头是系统获取清晰红外图像的关键部件,采用特殊材料制成。其焦距参数经过精心设计,能够根据不同的应用场景和测量距离进行合理匹配。F数作为光学镜头的重要参数之一,影响着镜头的进光量和成像质量。该光学镜头通过合理的焦距和F数组组合,在特定距离内可实现清晰的空间分辨率,使得系统能够准确区分目标物体表面的不同温

度区域,为精确测温提供保障。信号处理电路承担着对红外探测器输出信号的转换与处理任务。其核心部件为高精度的ADC转换器,能够将探测器输出的模拟电信号转换为数字信号,以便后续的数字化处理。采样频率的设置保证了信号处理的实时性和准确性,能够及时捕捉到目标物体温度的微小变化。同时,该电路支持多通道温度数据同步处理,可同时对多个探测器或多个测量点的数据进行采集和处理,提高了系统的测量效率和数据处理能力。

1.2 软件算法架构

系统软件采用分层架构设计理念,将不同功能模块进行分层处理,提高了软件的可维护性和可扩展性。底层驱动层主要负责与硬件设备的交互控制,通过编写特定的驱动程序,实现对红外探测器、光学镜头、信号处理电路等硬件设备的初始化和参数设置,确保硬件设备能够正常工作并按照系统的要求进行数据采集和传输。中间数据处理层是软件的核心处理部分,主要实现温度数据的解析与校正功能。温度校正算法是该层的关键技术,包含多个校正环节。环境温度补偿算法通过内置的温度传感器获取当前环境温度数据,结合预先建立的温度-辐射关系模型,对探测器采集到的原始数据进行修正,消除环境温度对测量结果的影响。发射率修正功能允许用户根据目标物体的材质特性,在特定范围内手动输入发射率值,使系统能够更准确地计算目标物体的实际温度。非均匀性校正采用特定的校正方法,针对探测器像元之间响应差异的问题,通过采集特定条件下的参考数据,对每个像元的输出进行校正,提高温度测量的均匀性和准确性。上层应用层为用户提供了直观、便捷的交互界面,用户可以通过该界面进行系统参数设置、测量模式选择、数据查看和分析等操作。界面设计简洁

明了，操作流程清晰，方便用户快速上手和使用。

1.3 多场景适配技术

智能红外测温系统具备多种工作模式，可根据不同的应用场景和测量需求进行灵活切换。点测温模式适用于对特定小目标物体进行精确温度测量，能够快速准确地获取目标物体的温度值。区域测温模式允许用户定义特定大小的分析区域，系统可对该区域内的温度数据进行统计分析，提供最高温、最低温及平均温等信息，帮助用户了解目标物体表面的温度分布情况。全屏测温模式则可实现整个画面范围内的温度分布显示，为用户提供全面的温度信息^[2]。系统还具备多目标跟踪功能，可同时对多个独立目标进行温度监测。在复杂场景中，系统能够自动识别并跟踪多个目标物体的温度变化，当目标丢失时，可自动重新进行识别和跟踪，确保对目标物体温度的持续监测。这种多目标跟踪功能在工业生产、安防监控等领域具有重要的应用价值。

2 空冷岛清洗机器人技术体系

2.1 机械结构设计

空冷岛清洗机器人采用先进的模块化设计理念，这种设计方式极大地提升了机器人的灵活性、可维护性和可扩展性。其主体结构由移动底盘、升降机构、清洗臂以及供水系统这几个关键部分构成，各部分协同工作，共同完成空冷岛的清洗任务。移动底盘作为机器人的移动基础，采用四轮独立驱动结构。这种结构使得每个轮子都能独立控制转速和转向，为机器人提供了出色的机动性。在空冷岛复杂的地形环境中，无论是平坦区域还是存在一定坡度的地段，机器人都能灵活应对。其具备的爬坡能力，可轻松跨越一定角度的斜坡，确保在空冷岛不同高度和坡度的位置都能稳定移动。同时，较小的最小转弯半径使得机器人在狭窄空间内也能自如转向，提高了清洗作业的覆盖范围。升降机构是机器人实现垂直方向清洗的关键部件，采用滚珠丝杠传动方式。滚珠丝杠传动具有传动效率高、精度高、传动平稳等优点。通过这种传动方式，升降机构能够实现大行程的升降运动，行程范围足以覆盖空冷岛不同高度的清洗部位。而且，其定位精度高，能够将清洗臂准确提升至指定高度，保证清洗作业的精准性。清洗臂是直接执行清洗操作的部分，配置了三自由度关节。这三个自由度分别赋予清洗臂水平旋转和俯仰调节的能力。水平360°旋转功能使得清洗臂能够在水平方向上自由转动，对周围各个方向的目标进行清洗。 $\pm 90^\circ$ 俯仰调节则让清洗臂可以向上或向下调整角度，适应不同倾斜角度的清洗面，确保清洗无死角^[3]。供水系统为清洗作业提供必要的水源支持，

包含高压水泵、流量调节阀以及喷嘴组件。高压水泵能够产生足够的水压，将水输送到清洗部位，以强大的冲击力去除污垢。流量调节阀可以根据不同的清洗需求，灵活调节水的流量大小，实现清洗力度的精准控制。喷嘴组件则负责将水以合适的形式喷射出去，其独特的设计保证了清洗效果。

2.2 智能控制系统

清洗机器人的智能控制系统采用分布式架构，这种架构将不同的功能分配到不同的单元中，提高了系统的可靠性和处理能力。系统主要由主控单元、运动控制单元以及传感器单元组成。主控单元基于高性能的ARMCortex-M7处理器，运行实时操作系统。实时操作系统能够确保系统在规定的时间内对各种任务做出响应，保证清洗作业的及时性和准确性。主控单元负责整个系统的任务调度，根据清洗需求合理分配各个单元的工作，同时进行数据融合处理，将来自不同传感器和子系统的数据进行整合分析，为决策提供依据。运动控制单元采用FPGA实现电机驱动控制。FPGA具有高度的灵活性和并行处理能力，能够精确控制电机的转速、转向和位置。支持PWM频率调节，可以根据不同的运动需求调整脉冲宽度调制频率，实现对电机运行的精细控制，从而保证机器人移动和清洗臂动作的平稳性和准确性。传感器单元是机器人的“感知器官”，集成了多种传感器。激光测距仪能够快速准确地测量机器人与目标物体之间的距离，为机器人的定位和避障提供关键信息。倾角传感器可以实时监测机器人的倾斜角度，确保机器人在复杂地形中保持稳定的姿态。压力传感器则用于监测供水系统的压力，保证清洗水压的稳定，同时也可以根据压力变化判断清洗效果和设备运行状态。

2.3 清洗工艺实现

系统具备多种实用的清洗模式，以适应不同的清洗场景和需求。定点清洗模式下，操作人员只需通过人机界面轻松设定目标位置，机器人就会自动规划路径并移动至指定点，然后精确执行清洗操作。这种模式适用于对特定部位进行重点清洗的情况。路径规划清洗模式更加智能化，支持导入CAD图纸或现场扫描数据。机器人可以根据这些数据自动生成最优的清洗路径，避免重复清洗和遗漏区域，提高清洗效率和质量。自适应清洗模式则体现了机器人的高度智能化。在清洗过程中，机器人通过实时监测清洗效果，根据污垢的去除情况和清洗面的变化，动态调整喷嘴压力与移动速度^[4]。这种自适应调整能力使得机器人能够针对不同的污垢程度和清洗面特性，采用最合适的清洗参数，实现高效、彻底的清

洗。清洗喷嘴采用扇形雾化设计,这种设计能够产生均匀的水雾,扩大清洗覆盖范围,同时水雾粒径可调,可以根据不同的清洗需求选择合适的水雾粒径,进一步提高清洗效果。

3 智能红外测温系统与空冷岛清洗机器人协同应用技术

3.1 温度场引导清洗策略

智能红外测温系统与清洗机器人通过以太网实现数据互通,构建温度-位置映射关系,使各位置温度变化可查。当测温系统检测到某区域温度超过设定阈值,自动生成清洗任务指令。指令包含目标位置坐标,明确清洗机器人作业地点;清洗强度等级,依温度和污垢堆积程度设定清洗力度;优先级参数,确保多高温区域出现时优先处理对设备安全威胁大的区域。清洗机器人接收指令后,智能算法启动,自动规划最优移动路径,快速抵达高温区域清洗。系统具备多机器人协同作业能力,采用主从控制模式。主机器人根据任务紧急程度和机器人状态分配清洗任务,机器人间实时交换位置信息,避免碰撞,实现高效协同。经实践,单系统最多可同时管理8台清洗机器人。

3.2 全流程监控管理

系统集成监控管理平台,具备设备状态实时监测、任务进度跟踪和历史数据查询功能。平台采用B/S架构,支持多用户并发访问,提供三维可视化界面。设备状态监测模块显示各机器人实时位置、运行状态和故障代码,便于及时掌握机器人工作情况。任务管理模块支持任务创建、修改和删除操作,可设置定时任务与周期任务,实现任务自动化管理^[5]。数据分析模块提供温度变化趋势图、清洗效果对比图和设备利用率统计报表,为设备维护和优化提供数据支持。数据存储采用分布式数据库,支持1年以上历史数据存储和快速检索,方便后续数据分析和追溯。

3.3 系统扩展与升级

系统设计预留标准化接口,支持功能模块扩展和第三方系统集成。硬件扩展可增加气体检测模块实现多参数监测,或加装机械臂实现辅助检修功能,提升系统监测和检修能力。软件扩展可集成AI算法实现故障预测与健康诊断,提前发现设备潜在问题;开发移动端APP实现远程操控,方便管理人员随时随地掌握系统运行情况并进行操作。系统升级采用在线更新方式,主控单元通过以太网自动下载升级包,完成版本验证后实施热更新,确保系统持续运行不受影响。

结语

智能红外测温系统与空冷岛清洗机器人的协同应用技术,融合了先进的测温与清洗手段。通过温度场引导清洗、全流程监控管理等策略,实现了对空冷岛设备的高效监测与精准维护。其预留的扩展接口与在线升级方式,为系统功能拓展与持续优化提供了可能。该技术有望在电力等行业广泛应用,提升设备运行稳定性与经济性,推动行业智能化发展。

参考文献

- [1]张雷,薛家阳,薄强冲,徐野,张廷杰.基于轨道式巡检机器人和红外热成像技术的空冷岛测温系统的应用[J].电工技术,2025(14):121-123.
- [2]李龙,郭洪然,徐双双,韩孝军,隋洪波.一种智能红外测温系统与空冷岛清洗机器人的应用技术[J].电力设备管理,2024(8):168-170.
- [3]吴明飞,訾雄峰,任超军.基于红外测温的空冷岛全自动清洗增效机器人智能控制方法[J].今日制造与升级,2025(6):6-8.
- [4]王润全,吴锡鹏,呼浩,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].中国高新科技,2021(14):47-48.
- [5]鱼沁,白延位.智能巡检机器人在积石峡水电站GIS开关站的应用探讨[J].水电站机电技术,2025,48(9):65-68.