

# 便携式手机红外热成像局部放电巡检设备研究

范兴管, 刘红旗, 杜单单, 黄付顺, 范秋英

(国网山东省电力公司菏泽供电公司, 山东 菏泽 274000)

**摘要** 在现代工业和电力系统中, 设备的可靠性和稳定性对整体运营效率和安全性至关重要。局部放电是电力设备中常见的绝缘缺陷, 尤其是在高压电力设备中, 局部放电不仅会导致设备绝缘性能下降, 还会引发设备故障、停机和经济损失, 因此, 及时、准确地检测和诊断局部放电对保障设备运行的安全性和可靠性至关重要。本文致力于设计和开发一款便携式手机红外热成像局部放电巡检设备。通过对红外热成像技术、光学系统、数据处理与传输系统及电源管理系统的综合设计, 旨在提供一种高效、经济且便捷的局部放电检测解决方案。

**关键词** 红外热成像; 局部放电; 巡检设备

中图分类号: TN21

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)11-0010-03

传统的局部放电检测方法通常需要使用专门的仪器, 如高压局放检测仪, 各类传统的仪器通常体积大、重量重, 并且需要专业的操作人员进行复杂的设置和操作, 检测传统方法不仅限制了设备的灵活性, 还增加了设备巡检的时间和成本, 并且实际应用阶段只能在设备停运时进行, 无法满足设备在线实时监测的需求。随着技术的发展, 便携式红外热成像技术作为一种新兴的故障检测手段, 逐渐被应用于局部放电检测中。红外热成像技术能够通过检测设备表面的温度分布, 发现异常热源, 从而识别潜在的局部放电问题。相比传统方法, 红外热成像技术具有无接触、实时监测的优势, 能够在设备运行过程中进行在线检测, 提高了故障检测的时效性和精确度<sup>[1]</sup>。

## 1 便携式手机红外热成像局部放电巡检设备的工作原理

### 1.1 红外热成像技术基础

红外热成像技术是一种利用物体发射的红外辐射来生成图像的技术。它能够将物体表面的热量转换为可视化的图像, 使得人眼无法直接看到的热信息变得直观可见, 所有物体(只要其温度高于绝对零度)都会以红外辐射的形式发出能量。红外辐射的波长范围通常在0.75微米到1000微米之间, 比可见光的波长更长, 且物体发出的红外辐射量与其温度直接相关, 温度越高, 辐射量越大, 实际的红外热成像技术利用这一原理, 通过捕捉物体发出的红外辐射来检测其表面温度分布。

红外探测器负责捕捉物体发出的红外辐射, 并将其转换为电信号, 常见的探测器类型包括焦平面阵列

探测器(FPA)和热电堆探测器。焦平面阵列探测器具有较高的分辨率和灵敏度, 能够提供精细的热图像。光学系统负责将物体发出的红外辐射聚焦到探测器上。它通常包括透镜、光圈和滤光片等组件, 以确保探测器接收到清晰的红外图像。光学系统的质量直接影响到图像的分辨率和清晰度。图像处理单元将探测器捕获的电信号转换为热图像, 并进行图像增强和分析。现代设备通常配备高级的图像处理算法, 可以进行温度校正、噪声过滤和特征提取等操作<sup>[2]</sup>。

红外热成像原理基于物体的热辐射特性, 设备通过红外探测器接收物体表面发射的红外辐射, 并根据辐射强度生成对应的热图像。在热图像中, 不同的颜色或灰度级别表示不同的温度范围。通常, 高温区域会显示为红色或白色, 而低温区域则显示为蓝色或黑色。这种色彩编码使得温度差异能够直观地展现出来。在电力设备检测中, 它可以实时监测设备表面的温度变化, 及时发现局部放电、过热等问题, 从而提高设备的运行安全性。

### 1.2 工作流程

便携式手机红外热成像局部放电巡检设备的功能需求在于实时监测和分析电力设备的局部放电现象。本设备的核心部件是红外热成像模块。该模块通过红外探测器捕捉目标设备表面发出的红外辐射。所有物体在其表面会发出红外辐射, 辐射强度与物体的温度成正比。局部放电现象通常会导致设备某些区域的温度异常升高, 因此红外热成像模块能够识别这些温度变化, 探测器将红外辐射信号转换为电信号, 并生成相应的热图像。热图像中, 不同的颜色或灰度级别代

表不同的温度区域，能够清晰地显示出设备表面的温度分布。

红外热成像模块通过接口（通常是 USB、蓝牙或 Wi-Fi）将捕捉到的热图像数据传输至手机平台。手机平台作为数据处理和显示的核心，利用其强大的计算和显示能力对接收到的数据进行实时处理。手机上的应用程序接收热图像数据，并将其转换为可视化的热图。用户可以通过手机屏幕直观地查看设备表面的温度分布情况。

手机上的应用程序包括数据处理和分析模块。这些模块使用图像处理算法对热图像进行分析，识别出温度异常的区域，即局部放电热点。常见的算法包括图像分割、特征提取和模式识别。图像分割技术用于从整体热图中提取出异常温度区域；特征提取技术用于提取这些区域的具体热特征；模式识别技术则用于确定这些特征是否符合局部放电的模式。分析结果会实时显示在手机屏幕上，并生成详细的检测报告，包括热点位置、温度值以及故障信息。

## 2 便携式手机红外热成像局部放电巡检设备的设计方法

### 2.1 硬件设计

#### 2.1.1 红外热成像模块

红外热成像模块是便携式手机红外热成像局部放电巡检设备的核心部件，负责捕捉目标设备的红外辐射并生成热图像，该模块主要包括红外探测器和信号处理单元。选择红外探测器时，应考虑其分辨率、灵敏度和波长范围。常用的红外探测器有焦平面阵列（FPA）探测器和热电堆探测器。FPA 探测器具有高分辨率和灵敏度，适合于需要精细热图像的应用，但成本较高；热电堆探测器成本较低，适用于预算有限但对分辨率要求不高的场景。

信号处理单元将探测器捕捉到的红外辐射信号转换为电信号，并进行初步处理。该单元应具备高精度的温度测量能力和低噪声特性，以确保热图像的准确性和清晰度。此外，模块需要具备良好的散热设计，以防止长时间使用过程中出现过热现象，影响探测器的性能和寿命。红外热成像模块的设计应确保其在各种环境条件下的稳定性，能够实时、准确地监测设备的温度变化<sup>[3]</sup>。

#### 2.1.2 光学系统设计

光学系统在红外热成像设备中负责将目标物体发出的红外辐射有效地聚焦到探测器上，对应的设计包括透镜、光圈和滤光片等组件。透镜的选型对光学系统的性能至关重要，且透镜需要具备良好的光学质量

和合适的焦距，以确保捕捉到的红外辐射能够准确聚焦到探测器上，避免图像模糊或失真。

光圈用于控制进入光学系统的光量，确保图像的亮度适中。过多或过少的光量都会影响图像质量，因此光圈设计需根据探测器的特性进行调整。滤光片则用于过滤掉不必要的红外波段，仅允许目标波段的红外辐射通过，以提高图像的对比度和清晰度。除此之外，光学系统还需考虑到设备的便携性和稳定性。选择轻量化、高强度的光学材料，设计紧凑且坚固的光学结构，以适应便携式设备的使用要求。同时，光学系统的设计应确保与红外探测器的匹配，最大程度地提升图像的分辨率和质量。

#### 2.1.3 连接接口选择与适配

便携式手机红外热成像局部放电巡检设备需要将红外热成像模块与手机平台连接，选择合适的连接接口至关重要。常见的连接方式包括 USB、蓝牙和 Wi-Fi。USB 接口提供高带宽的数据传输，适用于需要高速数据传输的场景，但需配备相应的适配器。蓝牙和 Wi-Fi 提供无线连接，适合灵活操作，但受到距离和干扰的限制。在接口适配方面，需要设计一个兼容各种手机型号的转接头或适配器。该适配器应具备良好的耐用性和稳定性，以保证数据传输的可靠性。无线连接方案需要确保无线模块的稳定性和数据传输的安全性，避免数据丢失或连接中断。此外，接口设计应考虑到用户的操作便捷性。设计时应确保接口布局合理，易于操作和连接。为提高设备的兼容性和用户体验，还应提供详细的说明和支持，帮助用户正确连接和使用设备。通过合理选择和设计连接接口，可以实现设备的高效通信和数据传输，提升设备的整体性能<sup>[4]</sup>。

#### 2.1.4 数据处理与传输系统

数据处理系统通常集成在手机平台上，包括图像处理和分析软件，负责接收来自红外探测器的数据，将其转换为可视化的热图像，并执行进一步的分析。在数据传输方面，设备采用有线传输方式，使用蓝牙或 Wi-Fi 模块，将红外图像数据传输至手机。无线传输模块需要具备高传输速率和稳定性，以确保实时数据流畅传输，无数据丢失或延迟。蓝牙适合短距离、低功耗的应用，而 Wi-Fi 则适用于需要较大带宽的应用场景。

数据处理系统应具备强大的图像处理能力，包括图像增强、噪声过滤、热特征提取等功能，以确保红外图像的清晰度和准确性。分析软件还需能够实时识别和标记局部放电热点，并生成详细的检测报告，帮助用户快速进行故障诊断和维护。

### 2.1.5 电源管理系统

电源管理系统负责为便携式手机红外热成像局部放电巡检设备提供稳定的电力供应，并管理设备的能源使用，具体的结构包括电池、电源管理电路和充电模块等组件。电池通常使用锂离子电池或锂聚合物电池，所选择的电池具有高能量密度、长续航时间和较轻的重量。电池的容量应根据设备的功耗和预期使用时间进行选择，以确保设备能够在实际使用中保持长时间的工作状态。电池的设计还应考虑到设备的便携性和舒适性。

电源管理电路负责调节电池输出的电压和电流，确保设备各个部件获得稳定的电力。电源管理电路包括过载保护、过压保护和短路保护等功能，以防止电源故障对设备造成损坏。设计时需要选择高效、可靠的电源管理芯片，并确保电路的稳定性和安全性。除此之外，充电模块通常集成在设备内部，并且充电模块需要支持快速充电功能，以减少充电时间，同时保证充电过程的安全性，其本身具备智能充电管理功能，能够根据电池的状态调整充电参数，避免过充或过放，从而延长电池的使用寿命。

### 2.2 软件设计

便携式手机红外热成像局部放电巡检设备的软件设计是确保设备功能高效、用户体验良好的关键部分。该软件设计主要包括数据采集与处理、用户界面设计、数据存储与管理以及警报与报告功能等模块。

数据采集与处理模块负责从红外热成像模块接收图像数据，并进行实时处理。该模块需要实现以下功能：

(1) 数据接口管理：与硬件接口对接，处理来自红外热成像模块的原始数据，包括通过 USB、蓝牙或 Wi-Fi 接收图像数据，并确保数据传输的稳定性。(2) 图像处理：使用图像处理算法对红外图像进行增强、去噪和校正，以提高图像质量和清晰度。常用算法包括图像锐化、对比度调整和热特征提取。(3) 热图分析：分析处理后的图像数据，识别温度异常区域。这通常涉及热图像分割、热点检测和温度值计算。软件需要能够实时显示这些分析结果，并标记出局部放电热点<sup>[5]</sup>。

用户界面 (UI) 设计旨在提供直观、易用的操作体验，具体的 UI 需要展示红外热图像和处理结果，允许用户通过手机屏幕直观查看设备表面的温度分布。界面应包括清晰的图像显示区域、温度标记和图例说明，并提供简单易用的操作界面，允许用户调整设置、启动和停止检测以及切换不同的视图模式。操作按钮和菜单应布局合理，确保用户能够快速上手和操作，在此基础上需要实现图像缩放、平移和历史数据查看

功能，帮助用户详细检查热图像中的各个区域。界面还应支持手势操作和触控反馈，提高用户交互体验。

数据存储模块将采集到的红外图像和分析结果保存至手机存储或云端。数据存储需要考虑容量管理和数据备份，确保检测记录不会丢失，在此基础上提供数据分类、标签和搜索功能，帮助用户快速查找和管理历史检测记录。用户可以根据时间、地点或故障类型对数据进行排序和筛选。为了实现巡检日志的数据分析，用户可以将检测数据导出为常用格式（如 PDF、CSV），方便用户生成报告或与其他系统共享数据，具体的导出功能应包括自定义报告模板和导出选项。

### 3 结束语

本文探讨了便携式手机红外热成像局部放电巡检设备的设计与实现，旨在通过结合先进的硬件和软件技术提升设备的性能和用户体验。硬件设计方面，红外热成像模块的选择与优化保证了设备对局部放电的精确检测，光学系统的设计则确保了图像的清晰度和准确性。连接接口的选择与适配考虑了数据传输的稳定性和兼容性，确保了与手机平台的高效连接。数据处理与传输系统通过实时图像处理和稳定的数据传输，实现了对局部放电热点的快速识别和报告生成。电源管理系统则保证了设备的长时间稳定运行。软件设计部分则涵盖了数据采集与处理、用户界面、数据存储与管理，以及警报与报告功能，这些功能的综合应用提高了设备的操作便捷性和检测准确性。综上所述，便携式手机红外热成像局部放电巡检设备通过先进的硬件和软件设计，为设备的高效、便捷的故障检测提供了可靠的解决方案，有效提升了现场巡检的效率和准确性。

### 参考文献：

- [1] 张源. 集多功能于一体的电力设备智能检测仪的研发与应用 [J]. 自动化应用, 2023, 64(21): 159-161.
- [2] 张立业. 基于红外热成像的电力配电网自动巡检方法 [J]. 电气开关, 2022, 60(06): 33-35, 40.
- [3] 屈翠, 张海洋, 王冬冬, 等. 基于深度学习的电气设备巡检红外热成像自动识别方法研究 [J]. 电力设备管理, 2021(07): 61-62, 87.
- [4] 王彦博, 陈培峰, 徐亮, 等. 基于嵌入式深度学习的电力设备红外热成像故障识别 [J]. 计算机系统应用, 2020, 29(06): 97-103.
- [5] 张辉, 庄树博. 一种基于传感器 MLX90640 的红外热成像仪设计方案 [J]. 工业控制计算机, 2024, 37(05): 147-149.