

# 基于红外热成像技术的农配网线路缺陷检测

毛和平\*

(国网四川省电力公司青神县供电分公司, 青神 620460)

**摘要:** 本研究针对农配网线路的缺陷检测问题, 开发了一种基于红外热成像技术的检测方法, 该方法结合先进的激光技术和红外热成像分析, 有效提高了检测的准确性和效率。使用激光设备从多个角度对农配网线路进行热激励, 然后通过红外热成像仪收集热图像数据。通过对热图像进行深度分析, 能够精确识别线路中的微小裂纹和其他潜在缺陷。研究表明, 该方法能显著提高缺陷识别的信噪比和降低漏检率, 是一种适应现代农业电网需求的高效检测技术。该技术不仅优化了检测流程, 还极大地缩短了检测时间, 提高了农配网的运行安全和可靠性。

**关键词:** 红外热成像; 农配网; 缺陷检测; 激光激励; 信噪比

## Line defect detection of rural distribution network based on infrared thermal imaging technology

MAO He-Ping\*

(State Grid Sichuan Province Electric Power Company Qingshen County Power Supply Branch, Qingshen 620460, China)

**ABSTRACT:** In this study, a detection method based on infrared thermal imaging technology is developed for the defect detection problem of agricultural distribution network lines. This method combines advanced laser technology and infrared thermal imaging analysis to effectively improve the accuracy and efficiency of detection. The laser device is used to thermal motivate the rural distribution network line from multiple angles, and then the thermal image data is collected through an infrared thermal imager. The in-depth analysis of the thermal images accurately identifies the tiny cracks and other potential defects in the line. Experimental data show that this method can significantly improve the SNR of defect identification and reduce the missed detection rate, and it is an efficient detection technology adapted to meet the needs of modern agricultural power grid. This technology not only optimizes the detection process, but also greatly shortens the detection time, and improves the operation safety and reliability of the rural distribution network.

**KEY WORDS:** infrared thermal imaging, rural distribution network, defect detection, laser excitation, signal to noise ratio

## 0 引言

随着现代农业的快速发展, 农配网的稳定与安全性变得日益重要。传统的电网检测方法, 如人工目测和基础设备检测, 因其效率低下和精度不足, 已难以满足现代农业对电力系统的高效和高精度需求。特别是当电网线路延伸到偏远和地形复杂的农田时, 环境因素如温度变化、湿度、风化作用及生物干扰对电网线路造成了不同程度的影响, 加剧了线路缺陷的发生频率及多样性, 使得传统的检测技术面临更大的挑战。为了克服这些挑战, 基于红外热成像的缺陷检测技术提供了一种新的视

角和方法。这项技术利用激光激励和红外成像的结合, 可以有效地检测农配网线路中的缺陷。通过红外辐射的分析方法对物体内部能量流动情况进行测量, 使用红外热成像仪显示检测结果, 对缺陷进行直观上的判定。这种方法以热传导理论和红外热成像理论为基础, 能够检测到材料内部的隔热性缺陷和导热性缺陷, 从而在物体有缺陷区和无缺陷区形成温差。

红外热成像无损检测技术的特点包括测量速度快、非接触性、测量结果直观形象、测温范围广、测量精度高、易于实现自动化和实时观测。这些特点使得红外热成像技术在农配网线路的维护中具有巨大的潜力和优势。通过详细的技术描述和实

\* 通信作者: 毛和平, 工程师, 研究方向为输配电及用电工程。E-mail: 24001141@qq.com

\* Corresponding author: MAO He-Ping, Engineer, State Grid Sichuan Province Electric Power Company Qingshen County Power Supply Branch, Qingshen 620460, China. E-mail: 24001141@qq.com

验数据分析，可以展示这一技术在提高农配网运行效率和安全性方面的潜力和优势，为未来的技术发展和应用提供科学依据。

### 1 基于红外热成像的农配网线路缺陷检测技术原理

#### 1.1 红外热成像技术基础

红外热成像技术是一种基于红外辐射能量检测的先进技术，它依据物体表面的热辐射能与其实际温度之间的直接关联性来工作。每个物体都会根据其温度发射出特定波长的红外辐射。红外热成像摄像机捕捉这些辐射，并将其转化为可视化的热图，从而使得观察者能够看到物体表面的温度分布图。这种技术在电网线路的检测应用中尤为有效，因为它能够精确识别出因电流不均匀、绝缘材料老化或其他电气问题导致的温度异常<sup>[1]</sup>。这些异常区域在热图上会显示为与周围环境明显不同的热点或冷点，为检测和诊断潜在的电网故障提供了一种非侵入性、快速且高效的方法。利用红外热成像技术，维护人员可以迅速定位问题区域，进行针对性的维修，从而提高电网的运行安全和可靠性。

#### 1.2 激光激励与热成像融合技术

在农配网线路的红外热成像检测中，激光激励与热成像融合技术的应用显得尤为重要。通过向目标线路定向发射激光束，激光激励技术可以使线路的局部区域迅速升温。这种升温效应尤其适合于揭示在常规温度条件下难以检测到的细小裂纹或绝缘层缺陷。因为裂纹或损伤区域的热传导性通常与周围健康材料不同，这种差异导致热图上出现高对比度的图像区域，使得缺陷更加明显<sup>[2]</sup>。通过精确控制激光的波长和输出功率，本技术能够适应不同类型和厚度的电缆材质，优化检测过程，提高了故障诊断的准确性和检测系统的通用性。此外，该技术的实施不仅提升了缺陷检测的灵敏度，还能够通过非接触的方式，保障检测过程的安全性和效率。

#### 1.3 红外热成像的数据分析与缺陷判定

红外热成像的数据输出通常为了一幅温度分布图，通过专门的图像处理软件对这些图像进行分析，可以定量地计算出温度场的梯度变化，从而精确定位和识别缺陷<sup>[3]</sup>。高级的图像处理算法，如边缘检测、模式识别和机器学习技术，被广泛应用于这一过程，以优化缺陷识别的准确性和自动化水平。通过设置温度阈值，系统可以自动标记出超过正常运行温度的异常区域，提示检查人员进行详细检查或维修。此外，利用时间序列分析，对比历史热成像数据，可以有效监测线路的健康状况，预测潜在的故障发展趋势，从而实现预防性维护，降低故障率。

### 2 红外热成像结合激光激励的检测系统设计与实现

#### 2.1 系统总体设计

根据红外热成像技术和激光激励技术的结合，本系统主要由激光发射模块、红外热像仪、数据获取模块以及图像处理模块组成(见图1)<sup>[4]</sup>。激光发射模块负责提供精确的激光激励，用于待测件的表面和内部缺陷激发，以提高待测件的温度响应。

红外热像仪用于捕捉因激光激励而引起的温度变化，实时获取待测件的热成像信息。数据获取模块主要负责收集红外热像仪的输出数据，并将其转换为可供图像处理模块分析的格式。图像处理模块利用先进的算法对热图像进行分析，提取缺陷特征，以实现缺陷的精确识别(如图2所示)<sup>[5]</sup>。

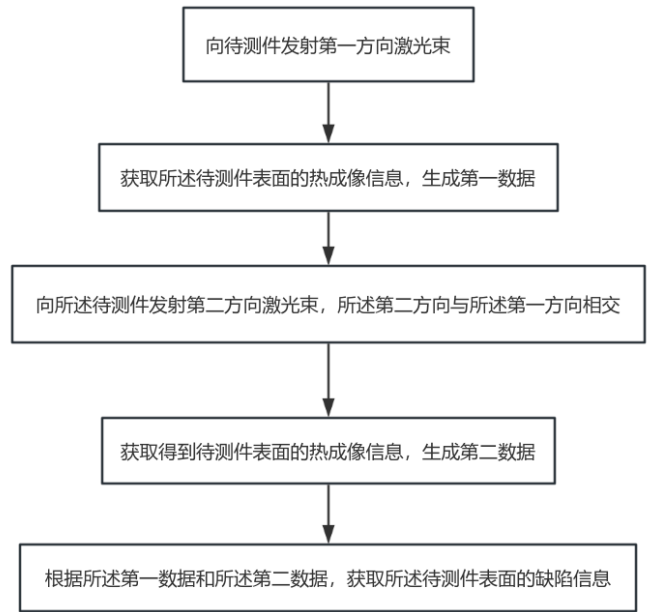


图1 红外热成像的缺陷检测方法的步骤图  
Fig.1 Step diagram of defect detection method for infrared thermal imaging

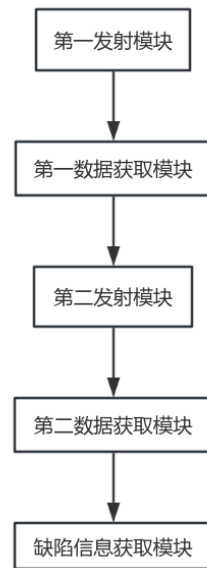


图2 红外热成像的缺陷检测装置的结构示意图  
Fig.2 Schematic diagram of the defect detection device for infrared thermal imaging

#### 2.2 关键技术实现

在红外热成像结合激光激励的检测系统中，关键技术的实施至关重要。激光整形技术通过精确控制激光的形状和强度，

使激光照射更加均匀，针对性地适应各种待测件的形态。通过调节激光的发散角和焦距，可以实现不同形状的光斑，如矩形、圆形或线形，这对于应对复杂或不规则表面的检测尤为有效。激光整形的精准度直接影响热激励的效果，从而提高整个系统的检测性能<sup>[6]</sup>。进一步地，红外热成像技术在该系统中发挥着核心作用。它利用高灵敏度的红外探测器捕捉由激光激励引起的温度变化，实时地生成待测件的热图像。这些热图像揭示了由内部结构缺陷（如空洞、裂纹或异物嵌入）引起的热传递异常，使得内部缺陷得以显现。因此，这一技术不仅能检测到表面的细微缺陷，也能深入分析材料内部的隐蔽问题，为高精度的非破坏检测提供了强有力的技术支持<sup>[7]</sup>。

### 2.3 系统的应用与优化

该系统在多个领域都有应用前景，特别是在材料科学、制造业以及航空航天等领域。系统的优化主要包括提高激光激励的精确度和红外热成像的分辨率。通过对激光器输出参数的精细调整，可以更好地适应不同材料的检测需求，提高系统的适用性和检测精度。同时，提升红外热像仪的灵敏度和图像处理算法的效率，可以大大提高缺陷检测的速度和准确性<sup>[8]</sup>。此外，系统还可以通过增加自动校准功能和用户友好的界面，进一步提高操作效率和用户体验。

## 3 基于红外热成像技术的缺陷检测技术优势与应用效果

### 3.1 技术优势与检测精确性

红外热成像技术为非接触式检测手段，它具备在不接触被检测对象的情况下进行精确检测的能力，这一特性使其在各类精密和敏感设备的检测中表现出巨大的优势。首先，该技术能够细致地识别和测量待测物体表面及内部的微小温差，这些温差通常是由内部缺陷如裂纹或异物引起的。此外，红外热成像技术能够穿透一些非金属材料的表层，检测到由于材料密度不一导致的热传导差异，这对于发现隐藏的结构问题尤为重要。由于红外热像仪可以在较远距离进行数据捕获，因此在高危环境中，如高压电网或易燃化学品检测中，使用该技术可有效避免直接接触带来的风险<sup>[9]</sup>。

### 3.2 激光激励的集成与效率提升

集成激光激励技术的红外热成像系统通过激光对待测对象进行定向热激发，显著提高了缺陷区域与周围正常区域的热对比度。这种方法尤其适用于复杂材料或结构的缺陷检测，例如金属腐蚀、微裂缝及分层等问题。激光激励可以精确控制照射区域和时间，使得热响应更为明显和局部化，这对于提高图像解析度和检测精度至关重要<sup>[10]</sup>。此外，激光激励可以是周期性的，这样的设置允许系统在连续操作中自动调节激发强度和位置，适应不同环境和材料的检测需求。这一点在自动化生产线或连续监测系统中尤为重要，可以实现高效率和高质量的在线检测。

### 3.3 应用效果与实际贡献

在农配网线路的维护和故障检测中，红外热成像技术已证明是一种极其有效的工具。通过对电线和相关设备的热图像分

析，可以迅速识别出潜在的故障点，如过热的接头或损坏的绝缘材料。这些信息对于预防故障和减少意外停电非常关键，能够大幅提升电网的运行效率和可靠性<sup>[11]</sup>。实际应用表明，该技术能够在短时间内对大范围的电网进行彻底检测，显著减少了因检测不足导致的线路故障。此外，由于该技术的高通量和自动化特性，能够与现有的电网管理系统无缝集成，提供实时监控和快速响应，这对于现代化农业电网的安全运行和故障快速处理具有重要的现实意义。

## 4 结语

基于红外热成像技术的农配网线路缺陷检测方法凭借其高效、非接触、无损伤的优势，已经展现出显著的应用价值。通过激光激励技术与多方向红外成像的结合，不仅提升了缺陷检测的精度，还极大地减少了漏检率。实验结果表明，该技术系统能够适应农配网复杂的运行环境，并有效满足工业化生产对高效率检测的需求。通过全面提升线路缺陷检测的质量和效率，该技术为农配网的安全、稳定运行提供了重要的技术支持，具有广阔的应用前景。

## 参考文献

- [1] 赵岩, 粘磊, 王钰, 等. 基于电磁感应红外热成像技术的涂层缺陷检测[J/OL]. 中国腐蚀与防护学报, 1-10. [2024-09-21]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1474.TG.20240726.1530.016.html>.
- [2] 何心坤. 基于红外热成像的光伏发电板缺陷检测技术研究[J]. 云南电力技术, 2024, 52(02): 74-76.
- [3] 谭丹, 张志杰, 王禄祥, 等. 基于LabVIEW的红外热波图像缺陷检测系统设计[J]. 红外技术, 2024, 46(04): 483-490.
- [4] 陈昊泽. 基于激光热成像的材料缺陷检测方法研究[D]. 太原: 中北大学, 2023.
- [5] 田昌平, 汤超. 农配网线路低电压治理措施[J]. 大众用电, 2023, 38(03): 69-70.
- [6] 杨艳玲. 智能断路器在 10kV 农配网线路中应用分析[J]. 科技资讯, 2019, 17(23): 28, 30.
- [7] 谭文喜, 王海明. 红外测温技术在农配网运维中的应用[J]. 大众用电, 2022, 37(08): 36-37.
- [8] 陈思媛. 浅谈强化农配网属地运维绩效管理[J]. 农村电工, 2022, 30(02): 16.
- [9] 陈晨, 王翔, 彭茁, 等. 农配网规划需求统筹与方案智能设计[J]. 电子世界, 2021, (17): 196-197.
- [10] 李强, 余茂娟, 王春梅. 农配网改造工程中的问题及解决措施[J]. 电工技术, 2020, (14): 99-100.
- [11] 马维焯. 关于 10 kV 农配网升级改造工程的标准化建设探讨[J]. 无线互联科技, 2020, 17(10): 138-139.

## 作者简介

毛和平, 工程师, 研究方向为输配电及用电工程。