

〈红外应用〉

一种智能型电网设备红外诊断系统的设计

刘 嵘, 刘 辉, 贾 然, 张 洋, 周 超, 刘传彬, 沈庆河

(国网山东省电力公司电力科学研究院, 山东 济南 250002)

摘要: 目前广泛开展的电网红外诊断工作, 受检测环境及人员专业水平的影响较大, 广泛使用的红外热像仪自动化、智能化水平还不够高。本文提出了一种智能型电网设备红外诊断系统, 系统包括环境参数模块、测距模块、设备类型识别模块、设备材料判断模块、发射率设置模块、测温模块、报告生成模块。系统自动检测环境温度、湿度、风速、与设备的检测距离, 自动识别设备材料类型确定发射率, 将以上参数自动在热像仪中进行设置。热像仪通过图像识别判断设备类型, 按照该类设备红外诊断标准的判断方法和准则, 自动读取设备相应位置的温度数据, 计算得出检测结论。系统不仅减少了红外检测人员携带装备数量, 而且实现了仪器检测参数自动设置、设备类型智能识别、检测结论自动生成, 降低了对检测人员专业水平的要求。

关键词: 电网设备; 红外诊断; 参数自动设置; 智能识别; 自动测温

中图分类号: TN21 文献标识码: A 文章编号: 1001-8891(2020)12-1198-05

Design of Intelligent Infrared Diagnosis System for Power Grid Equipment

LIU Rong, LIU Hui, JIA Ran, ZHANG Yang, ZHOU Chao, LIU Chuanbin, SHEN Qinghe

(State Grid Shandong Electric Power Research Institute, Jinan 250002, China)

Abstract: The widely used infrared diagnosis of power grids is significantly influenced by the detection environment and professional level of personnels. The automation and intelligence level of conventional infrared thermal imagers are not sufficiently high. Therefore, this paper presents an intelligent infrared diagnosis system for power grid equipment, which includes an environment parameter module, ranging module, equipment type identification module, equipment material judgment module, radiation rate setting module, temperature measurement module, and report generation module. The system automatically detects the ambient temperature, humidity, wind speed, and detection distance with the equipment, as well as automatically identifies the equipment material type, determines the radiation rate, and automatically sets the aforementioned parameters in the thermal imager. The thermal imager judges the equipment type through image recognition, automatically reads the temperature data of the corresponding position of the equipment according to the judgment method and criterion of the infrared diagnosis standard of the equipment, and obtains the detection conclusion by calculation. It not only reduces the number of instruments required to be carried by the infrared detection personnel, but also realizes the automatic setting of instrument detection parameters, with intelligent identification of equipment types and automatic generation of detection conclusions, thereby reducing the level of professional requirements for detection personnel.

Key words: power grid equipment, infrared diagnosis, automatic parameter setting, intelligent identification, automatic temperature measurement

0 引言

红外测温作为一种比较成熟的带电检测技术, 已广泛用于电网运行设备的红外诊断^[1-5]。红外测温仪器

收稿日期: 2020-04-03; 修订日期: 2020-12-01.

作者简介: 刘嵘 (1984-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事输电线路及防污闪方面的研究。E-mail:liurongniep@126.com。

有红外热像仪和红外点温仪,红外热像仪可以通过扫描进行快速检测,获取整个温度面的温度分布及数据,应用效果更佳,应用也更广泛。随着技术和产品研发的不断进步,红外热像仪图像的清晰度和智能化水平不断提高,有的红外热像仪具备智能互联功能,可通过数据线或无线网络将温度数据传输到平板电脑中显示。

电网设备所处的环境满足相关标准要求,才能进行红外测温,例如温度、湿度、风速等,因此检测人员需随热像仪一并携带温湿度计、风速仪等仪器。热像仪与设备的距离会影响到测温结果,因此检测人员还需携带测距仪。电网设备材料多样,例如金属类、硅橡胶类、陶瓷类等,检测设备的发射率需要检测人员根据设备材料类型确定。温度、检测距离、发射率等参数需要人工手动输入到热像仪参数设置中,才能保证设备温度测量的准确性。不同类型设备红外诊断的判断方法和依据各有不同,检测人员现场读取设备相应部位的温度值或将测温图像导出到电脑分析判断,需要专业的人员才能进行判断,特别是红外精确测温,对检测人员的专业水平有较高要求,且操作繁琐。目前大部分红外热像检测工作还只停留在定性水平上,很容易造成设备缺陷或故障的漏判和误判,从而引发事故发生^[6]。

目前广泛使用的红外热像仪尚不具备参数自动设置、检测结论自动生成的功能,自动化、智能化水平还不够高。针对以上不足,本文提出了一种智能型电网设备红外诊断系统,具有环境参数自动设置、检测距离自动设置、设备类型智能识别、发射率自动设置、自动测温并生成结论的功能,降低了对检测人员专业水平的要求。

1 系统总体设计

本文设计的智能型电网设备红外诊断系统,主要实现环境影响因素参数自动设置、设备参数自动设置和红外诊断的智能化。系统设计主要包括以下几个模块:①环境参数模块,用于采集环境温度、湿度和风速数据;②测距模块,用于测量与电网设备的直线距离;③设备类型识别模块,用于获取电网设备图像并识别其类型;④设备材料判断模块,用于根据设备类型及设备外观特点判断电网设备的材料类型;⑤发射率设置模块,用于设置发射率;⑥测温模块,用于对电网设备需要进行测温的位置获取电网设备的温度;⑦报告生成模块,用于根据被测电网设备类型选择相应的诊断模型,在显示屏显示测温位置及温度值,并

按照相应的判断准则得出结论,同时生成报告。系统设计框架结构如图1所示。

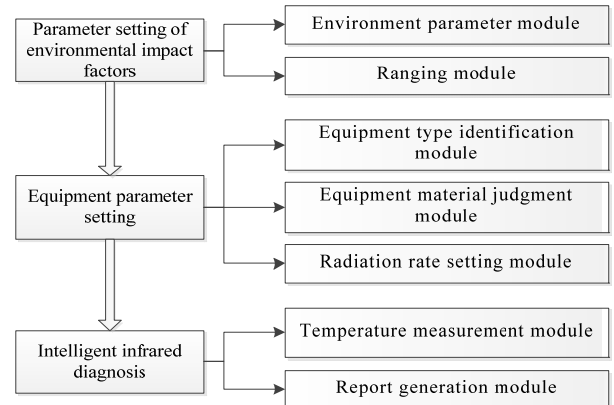


图1 系统设计框架结构

Fig.1 System design framework

2 环境影响因素参数设置

红外热像仪的测温精度会受温度、湿度、风速和测量距离等环境因素的影响,以上因素发生改变,热像仪测温结果会产生较大影响^[7]。

2.1 温度

被测物体周围环境中高温物体的辐射,会对测温的准确性产生影响,被测物体相对于邻近物体的温度越低,来自邻近周围物体的辐射影响就越大^[8]。

电网设备大多裸露在外部环境中,设备金属部分在太阳照射和电流作用下,会出现较大温升。当需要对绝缘部分进行红外测温时,金属部分的较大温升会影响绝缘部分的测温结果。因此对于红外精确测温,一般要求在日出前或日落后进行检测。

2.2 湿度

环境湿度对红外检测数据具有一定影响,随着湿度的增加,红外检测数据的温差增加,使得红外检测结果出现异常。在高湿度条件下,电网设备出现温升异常现象,未必反映电网设备出现缺陷或故障。在低湿度条件下使用红外测温检测技术,有利于提高电网设备的检测准确性^[9]。

2.3 风速

设备表面温度会受到风速对流冷却效果的影响,风力越大,设备表面的热量被风力散发越快,从而导致热像仪测得的温度值比设备实际的温度值偏低^[9]。因此在对电网设备进行红外检测前,需要检测设备周围环境的的风速,如风速过大,则应停止检测。

2.4 检测距离

红外热像仪与被测设备间的距离过大,会造成测温结果误差增大。一方面是因为距离增大导致大气透

过率减小;另一方面是因为热像仪的瞬时视场角的视场面积增大,被测设备周围环境中其他物体的辐射大量进入热像仪的视场^[10]。文献[10]对黑体在 ε 为0.97的条件下测量了距离对测温误差的影响,结果表明热像仪的测温精度随着测量距离的增加产生了不可避免的影响。因此在测温精度要求较高时,应尽量减小检测距离,但应保证被测目标完全充满视场。

文献[11]采用131 mm镜头对3个不同距离检测得到的测温图像进行了比较,如图2(a)、(b)、(c),距离40 m时伞裙重叠严重,80 m时图像清晰度良好,125 m时图像模糊勉强能分清大伞裙。对于某些电网设备,如果检测距离过近,不利于设备的精确检测,文中提出了设备红外检测的识别距离。

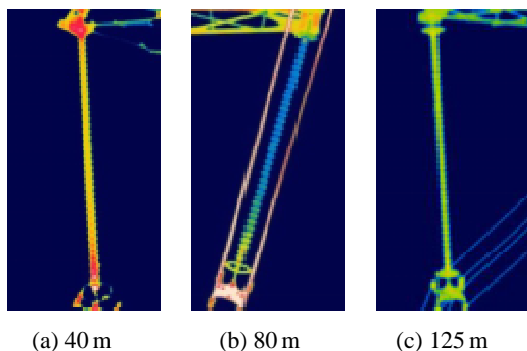


图2 不同距离的测温图像

Fig.2 Temperature measurement images with different detected distances

在环境湿度和环境温度一定的情况下,如果对设备的检测距离发生改变,需要重新对热像仪参数进行设置,从而提高红外检测的准确性。

2.5 设计方案

本文设计的红外热像仪系统通过内嵌或外置传感器的方式,采集了环境温度、湿度、风速,并将采集到的数据传输到热像仪主机,在热像仪显示屏显示,并完成自动设置。如果环境条件不满足相关标准的测试环境要求,例如标准要求现场检测环境相对湿度不能大于85%,而现场已达到90%,显示屏给出提示。

对于架空线路类设备,因设备所处地形复杂,某些设备处于人员难以到达的区域,例如某铁塔处于大江大河或湖泊的中央,如果检测距离过大,会造成被测设备难以识别,因此在本系统中增加一个测距功能模块,判断检测距离是否满足检测要求。热像仪可以对准被检测设备,自动测量与设备的直线距离 d ,在热像仪显示屏显示,并完成自动设置。对于被测设备有高精度要求时,在热像仪中手动输入被测设备的最小识别长度,热像仪根据仪器空间分辨率和物体识别需要的像素数,计算能够识别被测设备的最小检测距

离 d_{\min} ,与测量到的检测距离 d 进行比较,如 $d > d_{\min}$,显示屏提示检测距离不满足检测要求,需要检测人员根据现场情况调整检测位置。

所述最小检测距离 d_{\min} 的计算公式为:

$$d_{\min} = \frac{\text{目标长度或高度}}{\text{(热像仪空间分辨率} \times \text{像素数)}} \quad (1)$$

3 设备参数设置

3.1 设备类型智能识别

能够采用红外测温技术进行带电检测的电网设备种类较多,包括电流互感器、电压互感器、变压器、电抗器、线路导线接头和线夹、绝缘子、电缆终端等。本文设计的红外成像系统具有图像识别功能,能根据被检测设备的图像特征,智能识别电网设备类型,在显示屏显示,如识别结果不准确,检测人员可手动调整,系统可根据手动调整结果进行自主学习。

首先对检测获得的可见光图像,利用图像预处理技术,进行去雾、去噪、去抖动、增强及复原等操作,从而获得高质量的图像资源。采用基于区域和基于边缘的分割方法进行图像分割,继而对物体特征进行提取和表达,根据获得图像的颜色特征、纹理特征、形状特征和空间关系特征等,从分割出的区域中识别出设备的类型。

3.2 发射率自动设置

有研究表明:发射率为0.7,真实温度为 50°C 时,发射率偏离0.1,对于 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 热像仪来说,测温结果偏离真实温度 $0.76^{\circ}\text{C}\sim 0.89^{\circ}\text{C}$;对于 $8\sim 14\ \mu\text{m}$ 热像仪来说,测温结果偏离真实温度 $1.56^{\circ}\text{C}\sim 1.87^{\circ}\text{C}$ ^[12]。电网检测一般使用 $7.5\sim 14\ \mu\text{m}$ 热像仪,确保检测设备表面发射率的准确性,对于减小不必要的测量误差具有实际意义。

本文使用的热像仪按照不同的发射率设置,对一串绝缘子进行了红外测温,得到绝缘子串中不同位置的温度曲线如图3所示,相邻位置的温差曲线如图4所示。发射率设置为0.9和0.2,绝缘子串中最高温度分别为 27°C 和 42°C ,相邻位置的温差由1 K上升到5 K,由此可见,发射率的准确性对红外测温结果有较大的影响。

特殊情况下,电网设备由不同材料组成,例如瓷绝缘子铁帽表面为镀锌材料,瓷盘为瓷质材料,已涂防污闪涂料的瓷绝缘子瓷盘表面为硅橡胶材料。原则上对于不同的材料,表面发射率不同,需要在热图中运用不同发射率值进行分析。

对于已确定设备类型的被检测物体,其材料类型的种类是可以确定的,不同种类材料的颜色、纹理、

形状等特征存在差异。本文设计的红外热像仪系统,对每一类电网设备类型,预先设定可供选择的几种材料类型,根据识别出的设备类型及图像的颜色特征、纹理特征、形状特征等,智能判断设备材料类型,在显示屏显示,如识别结果不准确,检测人员可手动调整,系统可根据手动调整结果进行自主学习。热像仪根据设备材料类型自动设置发射率。本文建议的常用材料发射率参考值见表1。

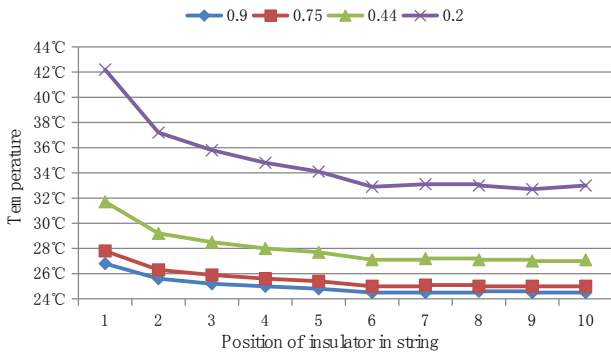


图3 不同发射率设置时的绝缘子串温度曲线

Fig.3 Temperature curves of insulator string with different emissivities

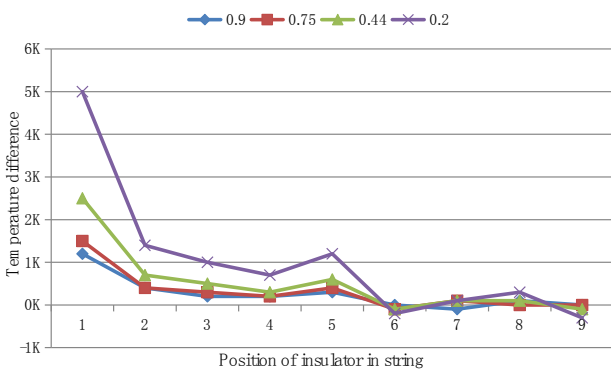


图4 不同发射率设置时的绝缘子串相邻位置温差曲线

Fig.4 Temperature difference curves of adjacent position of insulator string with different emissivities

4 智能红外诊断

在标准 DL/T 664 中,按引起设备发热的原因,分为电压致热型、电流致热型和综合致热型。设备类型不同,红外诊断的判断方法不同^[13]。电流致热型设备一般采用相对温差判断法,电压致热型一般采用同类比较法,综合致热型可采用综合分析判断法,即综合相对温差、同类比较等方法进行分析判断。本文对现场应用较为广泛的几种判断方法进行了总结,作为本文设计的红外热像仪系统的红外诊断模型。

表1 不同设备材料类型发射率参考表

Table 1 Reference table of emissivities of different equipment and material types

Material types	Emissivities
Silicone rubber	0.95
Electric porcelain	0.92
Oxidized metal wire or connector	0.9
Galvanized iron	0.44
Galvanized bright metal surface	0.23
New aluminum conductor	0.1

4.1 相对温差

相对温差是指设备两个不同位置(发热点和正常相对应点)的温升之差与发热点温升之比。用热像仪对电网设备进行红外检测,根据设备的相对温差是否超出相关标准规定值,来判断设备是否存在缺陷或故障。相对温差计算公式如下:

$$\delta = (T_1 - T_2) / (T_1 - T_0) \times 100\% \quad (2)$$

式中: δ 为相对温差; T_1 为发热点的温度; T_2 为正常相对应点的温度; T_0 为被测设备区域环境温度。

4.2 相(极)间温度比较

在电网回路中,大部分交流电压设备以三相形式输送电能,直流电压设备以正极、负极形式,不同相(极)设备材料相同。正常情况下,三相或两极设备对应位置上升的温度是均衡的。如果某一相(极)设备温度比其他相(极)设备对应温度点明显偏高,温差超过该类设备相关标准规定值,则可以初步判断温度偏高的位置存在缺陷或故障。

4.3 同一设备不同位置的温度比较

同一设备部件的材料、流过的电流相同,正常情况下整个部件表面温度的上升应该是均衡或者连续变化的。如果产品材质上存在缺陷,例如材料内部存在杂质、气泡等,部件材料特性发生变化,造成电流通过时部件不同位置产生不同的热量,或者造成电场分布的不均匀,部件就会出现局部发热,如图5绝缘子所示。这种情况下,可以比较该设备不同运行位置的温差,如温差超过该类设备相关标准规定值,则可以初步判断温度异常的位置存在缺陷或故障。

4.4 系统设计

本文设计的红外热成像系统按照每类设备红外检测标准要求,预先写入相对温差法、同类比较法等判断方法的计算程序,集成不同类型设备的红外诊断模型。现场检测时,根据被测设备类型,选择相应的诊断模型,提取检测区域,自动对焦需要进行测温的位置,提取温度特征,进行温度特征分析^[14],按照相

应的判断准则, 计算得出结论, 生成报告。

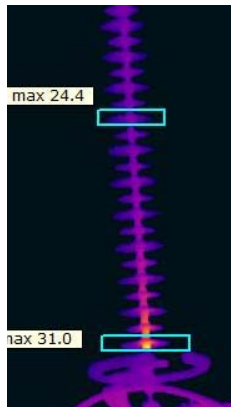


图5 绝缘子发热图片

Fig.5 Insulator heating image

5 结论与建议

本文设计了一种智能型电网设备红外诊断系统, 考虑环境温度、湿度、风速、与设备的检测距离、设备材料等影响因素, 对设备进行智能识别和红外诊断。采用该系统开展红外检测, 可减少红外检测人员携带装备数量, 实现仪器检测参数自动设置、设备类型智能识别、检测结论自动生成, 降低对检测人员专业水平的要求, 具有较好的应用价值。

参考文献:

- [1] 邵进, 胡武炎, 贾风鸣, 等. 红外热成像技术在电力设备状态检修中的应用[J]. 高压电器, 2013, 49(1): 126-133.
SHAO Jin, HU Wuyan, JIA Fengming, et al. Application of infrared thermal imaging technology to condition-based maintenance of power equipment[J]. *High Voltage Apparatus*, 2013, 49(1): 126-133.
- [2] 陈勇, 郭俊峰, 鄂小均, 等. 基于红外测温的零值和污秽绝缘子快速检测试验研究[J]. 高压电器, 2015, 51(6): 191-194.
CHEN Yong, GUO Junfeng, WU Xiaojun, et al. Fast Detection of Zero Insulator and Polluted Insulator Based on Infrared Temperature Measurement[J]. *High Voltage Apparatus*, 2015, 51(6): 191-194.
- [3] 李向东, 赵化轩, 李华东, 等. 基于变电站巡检机器人的远程红外检测系统[J]. 山东电力技术, 2004(5): 3-6.
LI Xiangdong, ZHAO Huaxuan, LI Huadong, et al. Remote infrared detecting system based on intelligent mobile robot[J]. *Shandong Electric Power*, 2004(5): 3-6.
- [4] 孙怡, 王焱, 彭少博, 等. 用红外热像仪与红外测温仪诊断电气设备故障的对比研究[J]. 红外, 2015, 36(8): 28-33.
SUN Yi, WANG Ye, PENG Shaobo, et al. Comparison of infrared thermal imager with infrared thermometer in diagnosis of failure of electrical equipment[J]. *Infrared*, 2015, 36(8): 28-33.
- [5] 滕超, 王盛璋, 孙维杰, 等. 远红外检测技术在变电站巡检中的应用[J]. 山东电力技术, 2016, 43(1): 71-73.

- TENG Chao, WANG Shengzhang, SUN Weijie, et al. Far infrared detection technology application in substation inspection[J]. *Shandong Electric Power*, 2016, 43(1): 71-73.
- [6] 吕事桂, 刘学业. 红外热像检测技术的发展和研究现状[J]. 红外技术, 2018, 40(3): 214-219.
LYU Shigui, LIU Xueye. Development and research status of infrared thermal image detection technology[J]. *Infrared Technology*, 2018, 40(3): 214-219.
 - [7] 苏佳伟, 石俊生, 汪炜楠. 距离对红外热像仪测温精度影响及提高精度的实验研究[J]. 红外技术, 2013, 35(9): 587-590.
SU Jiawei, SHI Junsheng, WANG Weise. Experimental study of infrared thermal imagers about influence of distance for temperature measurement accuracy and method of improving accuracy[J]. *Infrared Technology*, 2013, 35(9): 587-590.
 - [8] 张健, 杨立, 刘慧开. 环境高温物体对红外热像仪测温误差的影响[J]. 红外技术, 2005, 27(5): 419-422.
ZHANG Jian, YANG Li, LIU Huikai. Effect of environmental object on infrared temperature measurement[J]. *Infrared Technology*, 2005, 27(5): 419-422.
 - [9] 王黎明, 付铠玮, 梅红伟, 等. 环境湿度对复合绝缘子红外测温的影响[J]. 高电压技术, 2019, 45(6): 1955-1961.
WANG Liming, FU Kaiwei, MEI Hongwei, et al. Influence of environmental humidity on infrared measurement temperature of composite insulators[J]. *High Voltage Engineering*, 2019, 45(6): 1955-1961.
 - [10] 李操. 测温红外热像仪测温精度与外界环境影响的关系研究[D]. 长春: 长春理工大学, 2008.
LI Cao. Relation research of thermometric accuracy of thermal imager and external environment[D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2008.
 - [11] LIU Rong, SHEN Qinghe, LIU Hui, et al. Discussion on infrared accurate temperature-measuring technology of composite insulators for overhead lines[J]. *The Journal of Engineering*, 2019(16): 1759-1762.
 - [12] 李云红, 孙晓刚, 原桂彬. 红外热像仪精确测温技术[J]. 光学精密工程, 2007, 15(9): 1336-1341.
LI Yunhong, SUN Xiaogang, YUAN Guibin. Accurate measuring temperature with infrared thermal imager[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2007, 15(9): 1336-1341.
 - [13] 国家能源局. 带电设备红外诊断应用规范: DL/T 664-2016[S]. 北京: 中国电力出版社, 2017: 9-10.
National Energy Administration. Application rules infrared diagnosis live electrical equipment: DL/T664-2016[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2017: 9-10.
 - [14] 胡淋波, 李唐兵, 姚建刚, 等. 一起劣化悬式瓷质高压绝缘子红外检测案例分析[J]. 红外技术, 2016, 38(7): 622-626.
HU Linbo, LI Tangbing, YAO Jiangan, et al. Analysis of an infrared detection case of degraded ceramic voltage insulator[J]. *Infrared Technology*, 2016, 38(7): 622-626.