

文章编号:1001-5078(2007)02-0140-03

电气设备红外故障诊断中的影响因素分析

张树军¹, 魏汝祥¹, 范春利²

(1. 海军工程大学装备经济管理系, 湖北 武汉 430033;

2. 海军工程大学船舶与动力学院热工教研室, 湖北 武汉 430033)

摘 要:文章结合红外辐射理论以及电气设备实际检测,对电气设备红外检测与故障诊断中的各种可能影响因素进行分析,为电力设备的实际诊断工作、红外标准的制定以及使用提供理论基础。分析发现,检测方法、环境以及仪器本身等都可能对检测的精度产生较大的影响。为了提高检测的精度与可靠性,必须对这些影响因素有所熟悉,并在检测的过程中加以克服。

关键词:红外故障诊断;影响因素;红外热像仪

中图分类号:TM930.12⁺5 **文献标识码:**A

Analysis on Affecting Factors of Thermographic Inspection of Electric Apparatus

ZHANG Shu-jun¹, WEI Ru-xiang¹, FAN Chun-li²

(1. Department of Arming Economy Management, Naval University of Engineering, Wuhan, 430033;

2. College of Naval Architecture and Power, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract:Based on the theory of heat radiation and the practical inspection work of electric apparatus, an analysis is presented on affecting factors of thermographic inspection of electric apparatus in order to guide the work such as the thermographic inspection, standard constitution and application. From the analysis, it shows that the inspection way, surroundings and the inspection instrument all have effects on the inspection precision and should be overcome in the practical work.

Key words:thermographic fault diagnosis; affecting factors; infrared thermal imager

1 引言

近年来,红外热成像技术作为一种无损检测手段由于其非接触、无损伤、适合于大面积检测等独特优势在电气设备故障诊断领域取得了非常广泛的应用,如红外诊断变压器故障的专家系统的研制^[1],电缆线芯温度的检测^[2]、管道及保温层的检测^[3]等。然而,目前的红外检测工作还主要处于定性的阶段,定量的研究才刚刚起步,如文献[4-6]分别研究了零件设备内部的二维、三维试件以及管道内部缺陷的定量识别算法等。为推动我国红外检测的定量化研究,我们必须对红外检测中的各种影响因素有所了解,尽可能地消除检测的不利因素,提高检测的精度与可靠性。

此外,红外诊断技术在我国电力行业的发展虽然取得了可喜的进步,但是,从设备诊断工程学的高度来评价现电力设备故障红外诊断水平,应该说还是处在初级阶段^[7],还存在诊断标准缺乏、以定性检测为主、检测人员知识层次较低等因素,因此必须在以下三个方向上开展更多、更扎实的工作^[7]:1) 诊断标准化的研究;2) 诊断数学的研究;3) 诊断智能化的研究。而要做好这三方面的工作,也必须对红外检测与故障诊断的机理、检测中的各种影响因素及其影响程度有全面的了解和掌握。

本文的目的是从红外测温原理以及电气设备实

作者简介:张树军(1980-),男,硕士,海军工程大学助教。
收稿日期:2006-07-04

际检测出发,对电气设备红外检测与故障诊断中的各种可能影响因素进行分析,为电力设备的实际诊断工作、红外标准的制定以及使用提供理论基础。

2 检测与后处理过程中的主要影响因素

人是红外检测活动的主体,因此人为因素不可避免地对外检测结果产生重要的影响。文献[8]总结了对全美的红外热像检测工作者的一个调查结果,发现大部分人均认为故障的严重程度只通过热像仪测量温度就可以确定。实际上,目前的红外热像仪还没有想象的那样智能化,还不能自动对各种影响因素进行修正,必须对可能引起误差的因素进行分析来提高检测的精度。

2.1 检测角度与检测距离

在检测的过程中,必须按规定的距离使热像仪镜头的轴线与检测平面垂直进行检测。否则,由于材料的发射率随角度的变化,可能会给检测结果带来较大的偏差。图1所示为几种金属材料的定向总发射率随角度的变化关系,从图中可以看出,从垂直方向偏离30°以内,发射率基本不变。但如果角度偏差大于30°以上,就会给测量结果带来较大的误差。图2以70°的铁零件表面为例子,分析了检测角度对检测结果的影响。图中可见,最大测量误差可以达到50℃以上。在日常应用中,即使做到尽量垂直测量,但由于所检测的零件或设备的表面并非平面,必须根据发射率随角度的变化关系,对与镜头不垂直的检测表面的温度值进行修正,或重新针对所关心的部位进行测量。

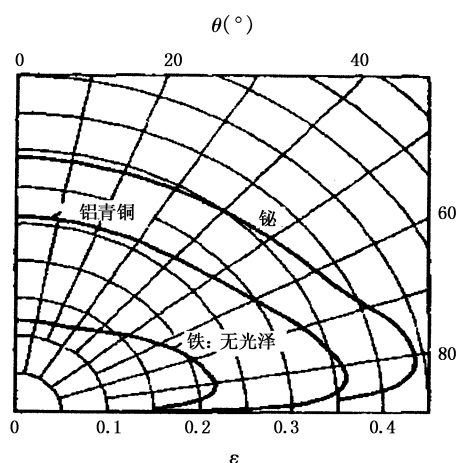


图1 几种金属材料的定向发射率的分布

检测的距离也是一个主要的影响因素,热像仪必须工作在一个指定的测量距离附近,如果检测距离过大或过小都会引起温度测量的误差。实际工作中,如果检测距离无法调整时,必须返回生产厂家,

对热像仪的焦距进行调整。

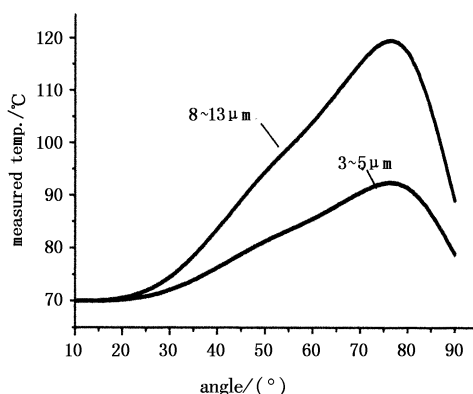


图2 70℃铁表面不同角度时的温度测量结果

2.2 辐射计算式

在红外检测以及故障诊断工作中经常会用到灰体辐射能量的计算公式:

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

但要注意的是,此式是通过普朗克定律在全波段上的积分来得到的^[9],见式(2):

$$E = \varepsilon \int_0^\infty \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/(\lambda T)} - 1} d\lambda = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2)$$

而日常所用的热像仪大多工作在2~5μm和8~13μm波段范围,在进行辐射换热计算时,不能再以温度的四次方关系进行计算。应根据热像仪所工作的波段进行重新计算:2~5μm的温度指数为8.68,8~13μm为4.09^[10],在使用中应特别引起注意。

2.3 检测时机

在日常的检测尤其是在线检测工作中,检测时机选择不当,可能的后果有两种,一是贻误了明显暴露缺陷的检测时机,可能过后不容易发现内部缺陷或故障。如脉冲加热后对零件内部缺陷的检测(见图3),在开始的几分钟内表面最大温差可以达到几十摄氏度,而达到稳态以后只有零点几摄氏度的温差^[7]。另一种是错过了故障的发生过程。例如有些开关接头部位,由于接触不良导致局部温度升高,当温度升高到金属的熔点以上时,会引起金属的融解而减小了触头之间的电阻,导致温度下降,如果此时进行红外检测,不但不会看到故障的出现,而且对设备故障发生后的隐患也丝毫觉察不到。因此,检测人员必须对所检测对象的工况、容易产生故障的薄弱环节有所熟悉。对容易发生故障的地方增加检测次数或进行连续监测,不能简单通过几次热像仪的温度值来草率地做出结论。

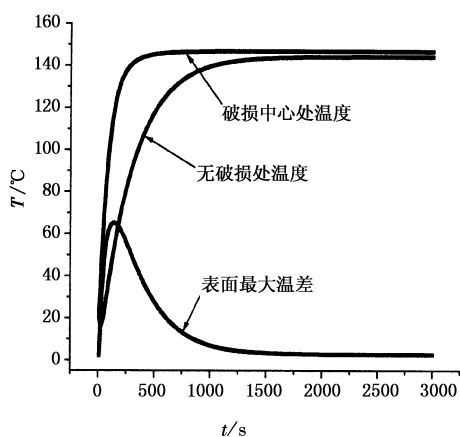


图3 带有缺陷的试件的在脉冲加热后表面温度随时间的变化关系

3 热像仪本身的影响因素

3.1 仪器的选型

红外检测仪器是进行故障检测的基本技术手段,如果选型不当(性能指标不合适),不仅可能提高检测成本或影响检测效率,而且也可能带来不能容许的测量误差。

在进行红外检测之前,应先根据不同的检测对象和检测条件,选择不同类型的红外热像仪。如果在线检测,应选用便携式热像仪;如果对某一部位进行连续监测,应选用可固定安装的热像仪;如果检测10m以外的小目标时,应选择距离系数大于200并带激光扫描的红外测温仪或焦距大于75mm的红外热电视镜头与视场角小于10°的热像仪镜头;当检测近距离较大目标时,可选用距离系数小于150的红外测温仪,或焦距小于50mm的红外热电视镜头或视场角大于20°的热像仪镜头。如对舰船电气设备的红外检测,受到空间的限制,还需根据具体需要,与热像仪的生产厂家协调,来改变仪器的焦距,从而提高检测结果的可靠性。

3.2 仪器的校验

检测人员必须对所使用的仪器有所熟悉。使用前需对仪器进行校验或标定,保证仪器和附件在检测期间的完好工作状态。通常红外检测仪器要每两年校验一次。使用过程中由于长时间的使用,会产生较大的热漂移,必须根据说明书的要求,定时地进行温度校正,来降低测量的误差。

此外,很多热像仪都是内置式的环境温度测量,热像仪长期工作而自身发热会给测量结果带来误差,从而影响检测的结果,最好通过其他温度传感器对所测得的环境温度进行校正。

4 检测环境的影响因素

4.1 检测表面空气流动(对流换热系数)的影响

红外检测就是通过检测设备或零件的温度来反映其工况或故障,所以能够影响表面温度的因素自然就是影响红外检测的因素。在户外检测中,所检测表面和空气的对流换热会引起表面温度的变化。图4为不同的表面对流换热系数时,高压输电线破损处的温度分布曲线^[3]($x=0$ 处为电缆破损中心)。如果简单地以表面的最大温差和温度分布来衡量破损的程度自然会得出不同的结论。必须根据当时的风速确定表面对流换热系数,通过对破损处的传热规律建立物理和数学模型来计算电线的破损程度。图5是另一个风力影响检测结果的例子。有风和无风的连续两天,相同的设备状态检测结果却截然不同。

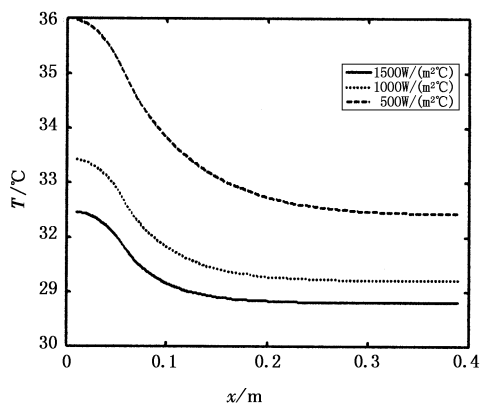
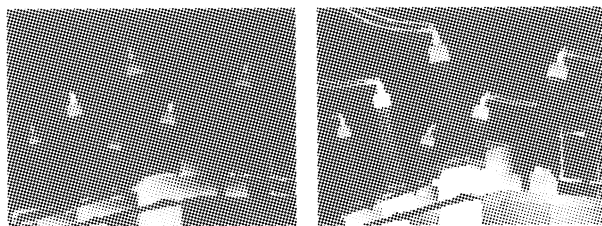


图4 不同换热系数时电缆破损处附近外表面的温度分布



(a) 大风天气

(b) 无风天气

图5 连续两天的检测结果

4.2 其他影响因素

除了表面对流换热的影响外,环境中还有很多因素都对红外热像仪的检测结果有明显的影响,如太阳辐射、环境中的高温物体、环境温度等,本课题组对这些影响因素做了大量的分析,可参见文献[10-12]。

5 结束语

本文分别从检测与后处理、仪器和环境三个方面可能对红外热像检测造成误差的影响因素进行了

(下转第146页)

度逐渐趋于室温,相对红外辐射灰度值趋于0。

4 结 论

利用自行研制的红外实时监测系统,对 YBCO 高温超导薄膜上酸性液膜微小区域温度的微小变化进行实时观测并对其进行红外表征,拟合出液膜的红外热像与三维相对灰度分布图及其红外辐射灰度平均值随时间变化的曲线。在一次喷涂形成液膜的情况下,根据 YBCO 上液膜平均温度的变化特点,定义了 YBCO 表面液膜腐蚀进程中的四个变化阶段和三个特征点,并分析了不同阶段的腐蚀特点以及相应的腐蚀机理。

参考文献:

- [1] Raafat R M. Microwave superconductivity [J]. IEEE Trans. Microw Theory Tech, 2002, 50(3): 750 - 759.
- [2] Genichi T, Shen Y, Stuart B. Ultra selective HTS band-pass filter for 3G wireless application[J]. IEEE Trans Appl. Supercond, 2003, 13(2): 261 - 264.
- [3] Niu D C, Huang T W, Lee H J, et al. An X-band front-end module using HTS technique for a commercial dual mode radar[J]. IEEE Trans. Appl. Supercond, 2005, 15(2): 1008 - 1011.
- [4] Huhtinen H, Raittila J, Paturi P, et al. Influence of se-

quential etching on YBCO films deposited by PLD from a nanostructured target[J]. IEEE Trans. Appl. Supercond, 2003, 13(2III): 2777 - 2780.

- [5] Ortion J M, Cordier Y, Garcia J C, et al. Temperature dependence of GaAs chemical etching using AsCl_3 [J]. Journal of Crystal Growth, 1996, 164(1 - 4): 97 - 103.
- [6] Hammonds J J S, Shannon M A. The effect of laser light propagation through a self-induced inhomogeneous process gas on temperature dependent laser-assisted chemical etching[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2003, 46(3): 523 - 534.
- [7] Ghosh P, Juvekar V A. Effect of temperature on permeation of air through thin liquid films[J]. Journal of Chemical Engineering of Japan, 2003, 36(6): 711 - 715.
- [8] Ohara T, Torii D. Molecular dynamics study of thermal phenomena in an ultrathin liquid film sheared between solid surfaces: The influence of the crystal plane on energy and momentum transfer at solid-liquid interfaces[J]. Journal of Chemical Physics, 2005, 122(21): 214 - 217.
- [9] Edmonstone B D, Matar O K. Simultaneous thermal and surfactant - induced Marangoni effects in thin liquid films [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2004, 274(1): 183 - 199.

(上接第 142 页)

分析,以期对实际的检测工作有所帮助。红外检测工作,并不是一台仪器对一台设备的简单测试,它需要检测人员对设备运行状况、仪器的工作原理和使用范围、各种影响因素等都有较深层次的把握。只有这样,才能真正发挥热像仪的优势,才能真正推动红外无损检测的规范化和定量化进程。

参考文献:

- [1] 张启清,吕厚余,黄选发,等. 电力变压器故障红外诊断专家系统[J]. 电网技术, 2002, 26(9): 18 - 21.
- [2] 范春利,孙丰瑞,杨立,等. 电线电缆破损的定量红外热像检测方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(18): 162 - 166.
- [3] Chunli Fan, Fengrui Sun, Li Yang. Investigation on Non-destructive Evaluation of Pipelines Using Infrared Thermography[C]. // in the Proceedings of The Joint 30th International Conference on Infrared and Millimeter Waves and 13th International Conference on Terahertz Electronics. (IRMMW-THz 2005), Virginia, USA, 19 - 23 Sept. 2005, 2: 339 - 340.

- [4] 范春利,孙丰瑞,杨立. 红外系统的定量缺陷识别算法研究[J]. 电子器件, 2006, 29(3): 111 - 115.
- [5] 范春利,孙丰瑞,杨立,等. 电气设备零件内部三维缺陷的定量红外识别算法研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(2): 159 - 164.
- [6] 范春利,孙丰瑞,杨立,等. 基于红外测温的圆管内壁边界识别算法研究[C]. // 中国高等教育学会工程热物理学会专业委员会第十届全国学术会议论文集. 重庆: 2006, 388 - 397.
- [7] 陈衡,侯善敬. 电力设备故障红外诊断[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [8] John Snell. A new approach to prioritizing anomalies found during thermographic electrical inspections[A]. Proceedings of SPIE, 5073: 222 - 230.
- [9] 杨世铭,陶文铨. 传热学[M]. 第三版,北京: 高等教育出版社, 1998.
- [10] 杨立. 红外热像仪测温计算与误差分析[J]. 红外技术, 1999, 21(4): 20 - 24.
- [11] 刘慧开,杨立. 太阳辐射对红外热像仪测温误差的影响[J]. 红外技术, 2002, 24(1): 34 - 37.
- [12] 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, 27(5): 419 - 422.