

文章编号: 1672-8785(2015)08-0028-06

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

孙 怡¹ 王 烨² 彭少博² 杨 立²

(1. 海军装备部, 北京 100841 ;

2. 海军工程大学动力工程学院, 湖北 武汉 430033)

摘 要: 电气设备是故障多发装置。利用红外测温仪或红外热像仪能够检测出设备发热异常部位并确定其表面温度, 再结合红外诊断标准便可对异常设备的故障严重程度进行判别, 从而实现对电气设备的故障诊断。针对电气设备控制箱电气元件的发热缺陷, 利用 ST80+ 红外测温仪与 FLIR E320 红外热像仪进行了温度监测, 并通过运用表面温度法和相对温差法进行故障严重程度诊断, 对两种设备监测诊断的差异进行了分析。结果表明, 利用红外热像仪能较准确地监测诊断出电气元件的过热缺陷, 利用红外测温仪能检测出多数控制箱电气元件过热缺陷, 但对部分缺陷的严重程度等级判别低于热像仪的判别结果。

关键词: 红外测温仪; 热像仪; 相对温差法; 表面温度法; 红外检测

中图分类号: TN219 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2015.08.007

Comparison of Infrared Thermal Imager with Infrared Thermometer in Diagnosis of Failure of Electrical Equipment

SUN Yi¹, WANG Ye², PENG Shao-bo², YANG Li²

(1. Department of Naval Armaments, Beijing 100841, China;

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

Abstract: Electrical equipment is the device in which failures often happen. An infrared thermometer or infrared thermal imager can be used to detect the abnormal overheated part in electrical equipment and determine its surface temperature. At this time, if the infrared diagnostic criterion is incorporated, the fault severity of the abnormal equipment can be determined. Thus, the failure diagnosis of electrical equipment can be implemented. Aiming at the overheated components in electrical control boxes, both an ST80+ infrared thermometer and a FLIR E320 infrared thermal imager are used to measure the temperature of an electrical control box. Through the determination of the fault severity of the component by both the surface temperature difference and the relative temperature difference, the diagnostic difference between the infrared thermometer and the infrared thermal imager is analyzed. The results show that the infrared thermal imager can monitor and diagnose the overheating defects of electrical elements while the infrared thermometer can detect the overheating defects of most electrical elements in electrical con-

收稿日期: 2015-07-08

作者简介: 孙怡(1971-), 男, 山东青岛人, 硕士研究生, 主要从事设备故障监测诊断方面的研究。

* 通讯作者: 杨立, 男, 教授, 博士生导师, 主要从事设备故障监测诊断方面的研究。

E-mail: lyang39@hotmail.com

trol boxes. However, the infrared thermometer is not as good as the infrared thermal imager in the diagnosis of failure severity of electrical components.

Key words: infrared thermometer; thermal imager; method of relative temperature difference; method of surface temperature difference; infrared monitoring

0 引言

电气设备是故障多发装置。设备长时间运行后,可能会出现接触不良、老化等问题,从而引起设备相关部位的温度升高,导致设备工作异常,引发火灾等安全事故。电气设备的运行状况与设备的温度场分布有着密切的关系。利用红外测温仪或红外热像仪能够确定发热异常部位并检测出设备的表面温度,再结合红外诊断标准便可对异常设备的故障严重程度进行判别,实现对电气设备的故障诊断。韩智力、杨越等人依据红外测温仪的基本原理,对直流电机的在线监测进行了研究^[1];范春利等人通过控制容积法对电线电缆破损进行了定量热像检测与诊断方法研究^[2];中国科学技术大学的陈晓军等人建立了电气线路红外热像诊断热传导模型,对电气线路的红外热像检测与诊断进行了研究^[3];张健等利用红外热像仪对接触器内部触头热故障的红外检测技术进行了研究^[4]。1998年邯郸电业局胡世征为判断电气设备缺陷提出了使用相对温差判断方法的必要性^[5],论证了设备对应点的相对温差与其接触电阻的相对偏差的相关关系,确定了相对温差判据的标准。

前人对利用红外测温仪或红外热像仪诊断电气设备故障已开展了许多研究工作。但红外测温仪与热像仪测量设备结构存在差异,对于用这两种设备监测诊断电气设备故障严重程度时有什么不同还少有对比研究。本文针对电气设备控制箱的电气元件发热缺陷,利用 ST80+ 红外测温仪与 FLIR E320 红外热像仪进行温度测量,并通过用表面温度法和相对温差法进行故障严重程度诊断,分析两种设备监测诊断电气设备的差异,为使用红外测温仪和热像仪开展电气设备监测诊断工作提供参考。

1 实验设备及仪器

实验使用的电气设备为某三相电气控制箱,控制箱中主要由总开关、保险丝、空气开关、交流接触器、热保护器和汇流排等组成,如图 1 所示。



图 1 三相电气设备控制箱

实验采用的测温仪器为 ST80+ 红外测温仪和 FLIR E320 红外热像仪,如图 2 所示。红外测温仪主要是通过测量一个区域的点温度来反映设备缺陷问题的,红外热像仪则是通过测量设备的温度场来分析电气元件是否存在过热异常。实验中还用钳形电流表测量了电气设备的负荷,FLUKE 971 温湿度仪用于测量环境温度和湿度,反射板用于测量环境反射温度。



图 2 红外热像仪 E320 与测温仪 ST80+

2 红外监测电气设备的实验方法与步骤

本实验基于红外测温仪与红外热像仪的监测诊断结果进行对比研究。以红外热像仪的测量结果为标准,探索红外测温仪在电气设备故障检测中的准确性,并分析影响红外测温仪准确性的因素如环境温度、物体的发射率、测量时仪器与设备的距离等。

2.1 红外热像仪监测诊断

(1) 电气设备通电约 1 h 后,发热稳定,打开控制箱柜门。首先将热像仪的发射率设置为 1,将制作的漫反射板放置在电气控制箱正面,利用热像仪的区域测温功能测量反射板的区域平均温度,然后将其与温湿度记录仪上显示的温度进行比对。将该温度作为反射温度输入热像仪中。

(2) 估计设备的发射率为 0.95,在热像仪上设置发射率。

(3) 将红外热像仪对准被测目标,调整热像仪焦距;扫描被测目标的各个部位,寻找热斑或冷斑;对异常部位进行拍摄,冻结、保存热像。

(4) 在计算机上打开 ThermoCAM QuickReport 软件,读入保存的热像图。

(5) 对热像图进行定性分析,初步分析设备是否正常,并确定异常的部位;采用区域测温等功能对热像进行定量分析,给出图像中的最低温度、正常部位的温度和异常部位的温度(或设备最高温度)。

(6) 参考文献 [6] 等相关标准进行定量诊断,给出故障的严重程度。

2.2 红外测温仪监测诊断

(1) 将红外测温仪在实验环境中放置约 30 min,当测温仪与环境温度平衡后再使用。

(2) 电气设备通电约 1 h 后,发热稳定;打开控制箱柜门,红外测温仪开机。

(3) 估计设备的发射率,在红外测温仪上设置发射率。控制箱电气设备表面的发射率一般为 0.95。

(4) 开启测温仪极值测量模式,打开激光光斑。检测时缓慢地移动测温仪,保证其能够扫描到控制箱中的所有元件,直至找到温度异常区域。然后,对温度异常区域(热点或冷点)进行重点扫描,调节测温仪与被测元件的距离,找到最高温度,然后冻结、保存数据。

(5) 对测量数据进行定性分析,初步分析设备是否正常,并确定异常的部位。

(6) 采用表面温度判别法和相对温差判别法进行定量分析,给出设备中正常部位的温度和异常部位的温度(取设备最高温度)。根据参考文献 [6] 等相关标准进行定量诊断,给出该部位故障的严重程度。

3 额定负荷下电气设备故障监测诊断结果

3.1 控制箱 A 相熔丝过热

测量得到环境温度为 17.9 °C,环境湿度为 65.5%,负荷电流为 10 A。利用红外热像仪测得的熔丝温度分布如图 3 所示。异常相 A 相温度为 110.5 °C、正常相 B、C 相温度分别为 65.9 °C、54.3 °C。依据相对温差法,A、C 两相间的相对温差为

$$\delta_R = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_0} \times 100\% = \frac{110.5 - 54.3}{110.5 - 17.9} \times 100\% = 60.7\% \quad (1)$$

相对温差不超过 80% 为一般缺陷,依据表面温度判断法,异常相温度超过 80 °C 为危机缺陷。

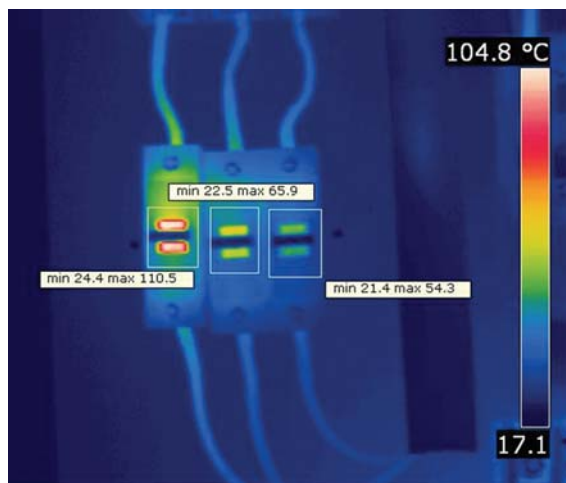


图 3 熔丝红外热图

用红外测温仪测得, 异常相 A 相温度为 78.0℃, 正常相 B、C 相温度分别为 52.7℃、44.0℃。依据相对温差法计算红外测温仪的诊断结果, A、C 两相间的相对温差为

$$\delta_R = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_0} \times 100\% = \frac{78 - 44}{78 - 17.9} \times 100\% = 56.6\% \quad (2)$$

相对温差不超过 80% 为一般缺陷, 依据表面温度判断法, 异常相温度超过 55℃ 且不超过 80℃ 为严重缺陷。

两种仪器监测诊断得到的相对温差均小于 80%, 为一般缺陷。但红外热像仪测得异常相温度超过 80℃, 诊断为危机缺陷, 红外测温仪测得的异常相温度超过 55℃ 但不超过 80℃, 诊断为严重缺陷。诊断故障的原因为熔丝容量不够。采用表面温度法时, 红外测温仪诊断的故障严重程度要比热像仪低一个等级。

3.2 控制箱 A 相空气开关右端进线过热

利用红外热像仪测得的空气开关温度分布如图 4 所示。异常相 A 相温度为 69.1℃, 正常相 B、C 相温度分别为 34.9℃、31.6℃。依据相对温差法, A、C 两相间的相对温差为 $\delta_R=73.2\%$, 依据表面温度法, 异常相温度不超过 80℃, 与正常相的温差超过 15℃, 为一般缺陷。

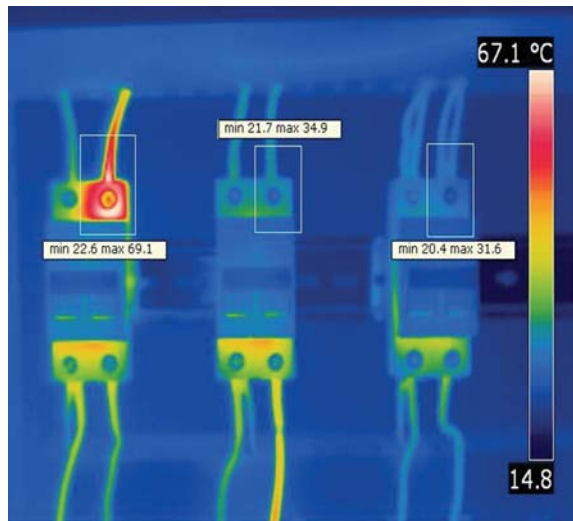


图 4 空气开关红外热图

利用红外测温仪测得的异常相 A 的相温度为 55.8℃, 正常相 B、C 相温度分别为 31.4

℃、29.3℃。根据相对温差法计算测温仪诊断结果, A、C 两相间的相对偏差为 $\delta_R=69.9\%$ 。依据表面温度法, 异常相温度不超过 80℃, 与正常相的温差超过 15℃, 为一般缺陷。

两种仪器监测诊断得到的相对温差均小于 80%, 且热点温度不超过 80℃, 与正常相的温差超过 15℃, 故均可诊断为一般缺陷。诊断故障原因为 A 相的固定螺丝松动, 接触不良。

3.3 控制箱 B 相交流接触器右端进线过热

利用红外热像仪测得的接触器温度分布如图 5 所示。异常相 B 相温度为 76.7℃, 正常相 A、C 相温度分别为 40.6℃、37.2℃。依据相对温差法, B、C 两相间的相对温差为 $\delta_R=67.1\%$, 为一般缺陷。根据表面温度法, 异常相温度不超过 80℃, 与正常相的温差超过 15℃, 为一般缺陷。

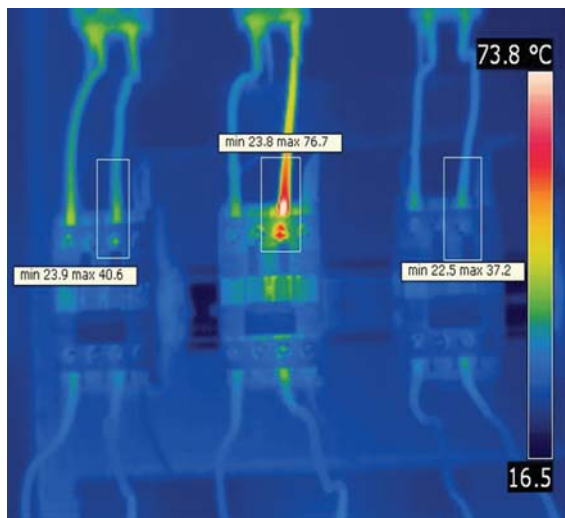


图 5 交流接触器红外热图

利用红外测温仪测得的异常相 B 的相温度为 56.6℃, 正常相 A、C 相温度分别为 36.0℃、33.7℃。依据相对温差法计算测温仪的诊断结果, B、C 两相间的相对偏差为 $\delta_R=59.2\%$ 。而根据表面温度法, 异常相温度不超过 80℃, 与正常相的温差超过 15℃, 为一般缺陷。

两种设备监测诊断得到的相对温差均小于 80%, 且热点温度不超过 80℃, 与正常相的温差超过 15℃, 故均可诊断为一般缺陷。诊断故障原因为 B 相的固定螺丝松动, 接触不良。

3.4 控制箱汇流排 B 相右端出现过热

利用红外热像仪测得的汇流排温度分布如图 6 所示。异常相 B 相温度为 126.6°C ，正常相 A、C 相温度分别为 41.3°C 、 35.0°C 。依据相对温差法，B、C 两相间的相对温差为 $\delta_R = 84.3\%$ ，为严重缺陷。依据表面温差法，异常相温度超过 90°C ，不超过 130°C ，为严重缺陷。

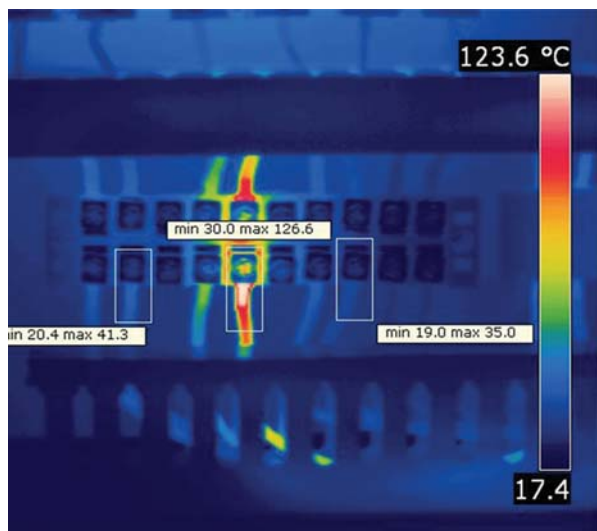


图 6 汇流排红外热图

利用红外测温仪测得的异常相 B 的相温度为 79.5°C ，正常相 A、C 相温度分别为 35.3°C 、 32.4°C 。根据相对温差法计算测温仪的诊断结果，B、C 两相间的相对偏差为 $\delta_R = 76.5\%$ ，为一般缺陷。而根据表面温度法，异常相温度不超过 90°C ，与正常相的温差不超过 15°C ，为一般缺陷。

根据相对温差判别法和表面温度判别法，红外热像仪测得的数据判别为严重缺陷，而红外测温仪的测量判断皆为一般缺陷。诊断故障原因为 B 相的固定螺丝松动，接触不良。红外测温仪测得的故障严重程度要比红外热像仪低一个等级。

综上检测案例可知，额定负荷下，对于控制箱中的电气元件故障，利用红外热像仪能较为准确地监测诊断出电气元件的过热缺陷部位和严重程度。红外测温仪基本能检测出控制箱电气元件的过热缺陷，对部分缺陷的严重程度判别低于热像仪的结果。主要原因是 ST80+ 红外

测温仪的最小测量尺寸为 18 mm ，测量小于该尺寸的目标时得到的温度会比热像仪测量的结果偏低。

为了检验 ST80+ 红外测温仪测量小目标的准确性，在不同距离对腔体直径为 10 mm 的 R 976-700 标准黑体源进行温度测量，检验测量距离对温度测量准确性的影响，如图 7 所示。由图可知，红外测温仪测量小目标时温度都偏低。测量距离太近或太远时，温度测量结果都会变差。只有在满足 D:S 的最佳距离 500 mm 附近时，测量结果才较为准确，误差约为 5% 。

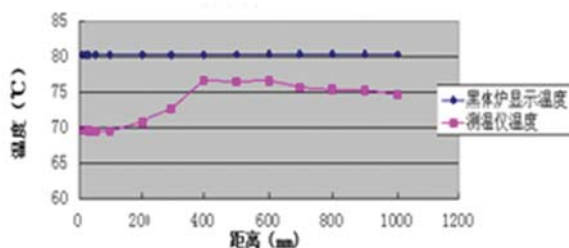


图 7 不同距离下测温仪对标准件的测量

4 结束语

(1) 红外热像仪在进行近距离测量时，只要调焦清楚，就能准确测出设备的表面温度。对于红外测温仪，由于没有调焦功能，测量一个小目标时存在一个最佳测量距离，测量距离太近或太远时测温结果都会偏低，距离太近时也会产生较大误差，只有在满足 D:S 的最佳距离附近，测量结果才最准确。

(2) 额定负荷下，除个别温度异常的较细导线外，红外热像仪能检测出来的故障，使用红外测温仪基本上都能检测出来。

(3) 采用表面温度判断法，红外测温仪对缺陷严重程度的诊断等级低于红外热像仪的诊断等级。利用相对温差判断法，红外测温仪诊断得到的缺陷严重程度与红外热像仪的诊断结果大致相同。

参考文献

- [1] 韩智力, 杨越, 侯德鹏. 红外测温技术在直线电机测温中的应用 [J]. 红外技术, 2008, 30(3): 176-180.

- [2] 范春利, 孙丰瑞, 杨立, 等. 电线电缆破损的定量热像检测与诊断方法研究 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(18): 162-166.
- [3] 陈晓军, 杨立中, 邓志华等. 电气线路红外热像检测和诊断 [J]. 红外与毫米波学报, 2000, 19(6): 463-466.
- [4] 张健, 杨立, 刘慧开. 接触器内部触头热故障的红外检测技术研究 [J]. 电子器件, 2006, 29(3): 770-773.
- [5] 胡世征. 电气设备红外诊断的相对温差判断法及判断标准 [J]. 电网技术, 1998, 22(10): 21-22.
- [6] 中华人民共和国电力行业标准. DL/T 664-2008 带电设备红外诊断应用规范 [S]. 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 2008.
- [7] 杨立, 杨桢. 红外热像仪测温原理与技术 [M]. 北京: 科学技术出版社, 2012.

(上接第 11 页)

Xilinx 公司提供 PCI-E 的软核供设计调用, 对该软核的用户接口进行适应性修改就可满足不同的需求。

计算机通过 PCI-E 与板上 DDR2 进行通信, 实现 DDR2 的读写访问。经过测试, 目前 $\times 8$ 的 PCI-E 计算机与 FPGA 的通信速度是 1.6GB/s(双工)。

4 结语

通过使用 RapidIO 和 PCI-Express 互连架构, 克服了高速数字信号处理的 IO 带宽瓶颈, 大大提高了高速数据采集和播发的能力。设计的系统具有双通道数据采集功能, 每通道的采集速率达到了 1.2 Gbps。另外, 该系统还具有双通道数据播发功能, 码速率在 0~400 M 可设, 足以满足红外导弹探测器对高帧频红外图像实时采集和显示的需要。同时, 该设计的 XMC 接口板配合不同的 XMC 底板后, 可以应用于不同的系统。硬件系统具有通用性和可扩展性, 在需要大

数据流交换的高速实时信号处理领域具有广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 兰春嘉, 汤心溢, 王世勇. 基于 PCI Express 的高速红外图像采集系统 [J]. 红外技术, 2011, 33(1): 37-40.
- [2] 朱坚, 徐光辉, 朱利利. 基于 Serial RapidIO 的高速实时数据采集处理系统 [J]. 电子质量, 2008, 15(10): 6-8.
- [3] Van D V R. Automatic Data Acquisition Systems and Database [J]. Geotechnical News, 2002, 20(3): 24-28.
- [4] San F 著. 王勇译. RapidIO 嵌入式系统 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [5] 郑耀汉, 李欣. 基于 FPGA 的红外图像数据实时采集处理系统 [J]. 电子测量技术, 2013, 36(11): 34-38.
- [6] 马冬雪. 基于 FPGA 的图像采集存储系统设计与实现 [D]. 沈阳: 东北大学, 2010.
- [7] 王金锐. 基于 FPGA 和 PCI 总线数据采集系统的研究与设计 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.
- [8] 蔡军辉. 基于 FPGA 的视频信号数字化采集与显示系统 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.
- [9] Cyclone II FPGA Family Datasheet [S]. Altera Inc.
- [10] PLX Technology PCI DataBook [Z]. 2001.