

文章编号:1001-5078(2007)04-0341-03

电气设备红外诊断相对温差判别法影响因素分析

杨宝东, 杨立

(海军工程大学船舶与动力学院动力工程系热工教研室, 湖北 武汉 430033)

摘要:根据红外辐射理论和红外热像仪的测温原理,推导了相对温差影响因素的计算公式;分析了环境温度、物体表面发射率和红外热像仪工作波段对相对温差的影响,得出了环境温度对相对温差影响较小,设备表面发射率对相对温差有一定影响,在相同条件下,使用长波热像仪测温对相对温差影响较小的结论。

关键词:红外诊断;相对温差;环境温度;表面辐射率

中图分类号:TP274⁺.52 **文献标识码:**A

Influence Factors of Relative Temperature Difference Determination Method of Infrared Diagnosis for Electric Equipment

YANG Bao-dong, YANG Li

(Ship and Power College, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: Based on the theory of infrared radiation and the principles of temperature measurement of infrared thermography, the calculating formulas of the influencing factors of the relative temperature difference was deduced. The influence of the environment temperature, the emissivity of target surface and the working wave band of thermography on the relative temperature difference was analyzed. It is shown that the environment temperature has a little effects on the relative temperature difference, the emissivity has an effect on it to a degree, and the long wave band thermography has less effects on the relative temperature difference than the short wave band.

Key words: infrared diagnosis; relative temperature difference; environment temperature; surface emissivity

1 引言

红外检测技术是现代科学领域中的前沿学科,国外应用红外仪器测定与诊断电力设备的热缺陷,开始于20世纪60年代。我国电力部门从20世纪80年代末开始引进红外热像仪,并相继开展了理论方面的探讨与研究。其中,确立与研究具有相对科学红外诊断的技术原则或物理参量是现代热学和电工学理论的课题之一。根据参考文献[3],目前诊断电气设备故障有以下几种比较判别方法:(1)绝对温度判别法;(2)相对温差法;(3)同类比较法;(4)档案分析法;(5)热像特征(热谱图)分析法。1998年,内蒙古超高压供电局赵墨林等^[1]提出了温差比诊断法,胡世征提出了电气设备红外诊断的相对温差判别法及判断标准^[2],并作为标准写入了

DL/T664-1999《带电设备红外诊断技术应用导则》。他们认为相对温差法可排除负荷电流、风速、环境温度、测量距离、发射率选择等因素的影响。

但由于影响红外测温的因素较多,有些因素对相对温差的影响不能忽略。而目前对影响相对温差的因素还没有深入的研究。本文将根据红外测温原理,建立相对温差影响因素的计算公式,讨论环境温度,设备表面发射率和红外测量波段对相对温差的影响。

2 相对温差判别法

在应用红外仪器测定温度参量时,测定结果与

作者简介:杨宝东(1981-),男,硕士研究生。主要从事热物理量测技术方面的研究工作。E-mail:bdyang307@126.com

收稿日期:2006-07-26

诸多因素有关,如物体表面的发射率、环境温度、大气温度、测量距离和大气衰减等;同时,大量设备接头在通过小负荷时其温升并没有达到或超过运行电器设备的有关标准,然而当负荷电流增大或发生外部短路事故时,就会出现过热,甚至引发设备事故。相对温差判别法正是为了排除上述因素的影响而提出的。

根据参考文献[3],相对温差是指两台设备状况相同或基本相同(指设备型号、安装地点、环境温度、表面状况和负荷大小)的两个对应测点之间的温差,与其中较热点温升比值的百分数。其数学表达式为:

$$\delta_t = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_1} \times 100\% = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中, τ_1 和 T_1 为发热点的温升和温度; τ_2 和 T_2 为正常对应点的温升和温度; T_0 为环境参照体的温度。(也就是在环境条件一样的情况下未通电时设备的温度)

3 相对温差与发射率和环境温度之间的关系

3.1 相对温差与发射率和环境温度之间的关系式

根据文献[4],热成像仪测温的计算公式为:

$$T_0 = \left\{ \frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{1}{\tau_a} T_0'^n - (1 - \alpha) T_u^n - \frac{\varepsilon_a}{\tau_a} T_a^n \right] \right\}^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

式中, ε 为被测物体表面发射率; α 为表面吸收率; ε_a 为大气发射率; τ_a 为大气透过率; T_0' 为热像仪指示的辐射温度; T_0 为物体的真实温度; T_u 为环境温度; T_a 为大气温度; n 的值随热像仪的工作波段不同而变化,工作波段在 $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 时,取9.2554,工作波段在 $8 \sim 13 \mu\text{m}$ 时,取3.9889。

当被测表面满足灰体近似时, $\varepsilon = \alpha$,且若认为大气 $\varepsilon_a = \alpha_a = 1 - \tau_a$,则:

$$T_0 = \left\{ \frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{1}{\tau_a} T_0'^n - (1 - \varepsilon) T_u^n - \frac{1 - \tau_a}{\tau_a} T_a^n \right] \right\}^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

当近距离测温时, $\tau_a = 1$,则(3)式变为:

$$T_0 = \left\{ \frac{1}{\varepsilon} [T_0'^n - (1 - \varepsilon) T_u^n] \right\}^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

当被测表面温度较高时, $\frac{T_u}{T_0}$ 很小,则(4)式变为:

$$T_0 = \frac{1}{\varepsilon^{\frac{1}{n}}} T_0' \quad (5)$$

可见高温设备、近距离测量时的相对温差为:

$$\delta_t = \frac{\frac{1}{\varepsilon^{\frac{1}{n}}} T_1' - \frac{1}{\varepsilon^{\frac{1}{n}}} T_2'}{\frac{1}{\varepsilon^{\frac{1}{n}}} T_1' - \frac{1}{\varepsilon^{\frac{1}{n}}} T_0'} = \frac{T_1' - T_2'}{T_1' - T_0'} \quad (6)$$

与辐射率无关,与环境温度和测量距离也无关,这就是文献[1]所给出的公式。

当物体表面发射率和环境温度的影响不能忽略时,则:

$$\begin{aligned} \delta_t &= \frac{\left\{ \frac{1}{\varepsilon} [T_1'^n - (1 - \varepsilon) T_u^n] \right\}^{\frac{1}{n}} - \left\{ \frac{1}{\varepsilon} [T_2'^n - (1 - \varepsilon) T_u^n] \right\}^{\frac{1}{n}}}{\left\{ \frac{1}{\varepsilon} [T_1'^n - (1 - \varepsilon) T_u^n] \right\}^{\frac{1}{n}} - \left\{ \frac{1}{\varepsilon} [T_0'^n - (1 - \varepsilon) T_u^n] \right\}^{\frac{1}{n}}} \\ &= \frac{[T_1'^n - (1 - \varepsilon) T_u^n]^{\frac{1}{n}} - [T_2'^n - (1 - \varepsilon) T_u^n]^{\frac{1}{n}}}{[T_1'^n - (1 - \varepsilon) T_u^n]^{\frac{1}{n}} - [T_0'^n - (1 - \varepsilon) T_u^n]^{\frac{1}{n}}} \quad (7) \end{aligned}$$

由上式可见环境温度、设备表面发射率和红外测温波段对相对温差都有影响。

3.2 环境温度变化对相对温差的影响

本文选取的数据为某型舰艇上一三相接触器的实测结果,其红外诊断图像如图1所示,其中 T_1' 取为图像中的最高温度 70.1°C ; T_0' 取为图像中的最低温度 30.0°C , $T_2' = 51.6^\circ\text{C}$,以上温度都是物体表面发射率 $\varepsilon = 0.95$,物体近似为黑体的条件下测得的。

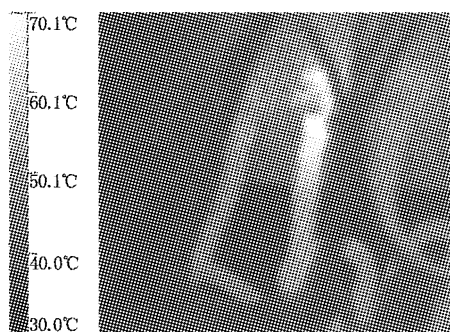


图1 接触器红外热像图

机舱内环境温度变化为 $0 \sim 50^\circ\text{C}$,通过图2可以看出,环境温度对相对温差的影响很小,其变化仅为 10^{-3} 量级,尤其是对工作在 $8 \sim 13 \mu\text{m}$ 波段的长波热像仪的影响更小,计算相对温差可忽略环境温度的影响。

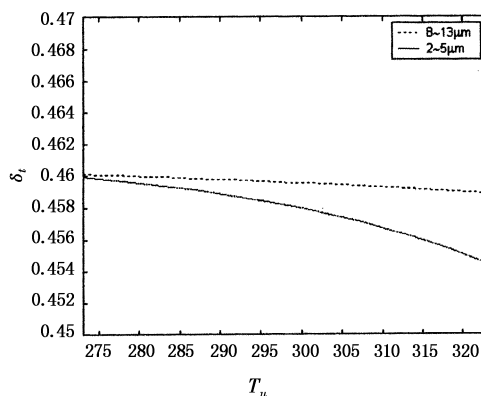


图2 环境温度对相对温差的影响

3.3 发射率变化对相对温差的影响

由于舰艇上的一些电气设备其发射率变化范围很大,有的金属接触表面很光滑,发射率只有0.1左右,有的表面其发射率又很高,接近于黑体,所以本文中发射率 ε 的变化范围为0.1~0.95。从图3可以看出发射率对相对温差有一定的影响,对工作在8~13 μm 波段的热像仪最大误差为12%左右,对中波热像仪,最大误差可达15%左右,发射率不同,判断出设备故障的严重程度也不同。由图3的中波热像仪的曲线可知当发射率 $\varepsilon > 0.24$ 时,相对温差 $\delta_t > 35\%$,为一般缺陷,而当设定的设备发射率 $\varepsilon < 0.24$ 时,相对温差 $\delta_t < 35\%$,为正常。所以,在用热像仪测温计算相对温差时,发射率的设定要尽量准确。

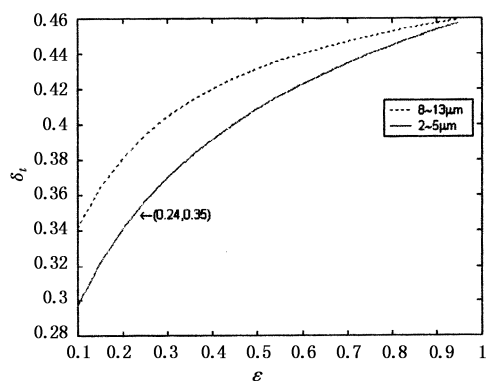


图3 表面发射率对相对温差的影响

4 结论

(1) 相对温差判别法可有效排除环境温度对诊断结果的影响,但表面发射率对诊断结果有一定的影响,工作在2~5 μm 的热像仪,表面发射率对相对温差的影响可达15%左右,工作在8~13 μm 的长波热像仪,表面发射率对相对温差的影响可达12%左右,这时有可能造成误判,所以应用相对温差判别法时,物体表面的发射率设定要尽量准确,以有利于正确地判断故障和对故障的严重程度分等定级;

(2) 在相同条件下,使用长波热像仪测温对相对温差的影响较小;

(3) 当偶尔出现设备三相同时存在故障时,也会导致温差值不准确,造成误判。

参考文献:

- [1] 赵墨林,张景生. 温差比理论的确立及其在红外检测中的应用[J]. 中国电力,1998,31(5):47-51.
- [2] 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):47-50.
- [3] 程玉兰. 红外诊断现场实用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2002,4.
- [4] 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.
- [5] 崔承禹,邓明德,耿乃光. 在不同压力下岩石光谱辐射特性研究[J]. 科学通报,1993,38(6):538-541.
- [6] Terumi Inagaki, Yoshizo Okamoto. Surface temperature measurement near ambient condition using infrared radiometer with different detection wavelength bands by applying a gray body approximation: estimation of radiative properties for non-metal surface[J]. NDTE International, 1996, 29(6): 363-369.
- [7] Wu L X, Wang J Z. Features of infrared thermal image and radiation temperature of coal rocks loaded[J]. Science in China (D), 1998,41(2):158-164.
- [8] 陈炎光,陆士良. 中国煤矿巷道围岩控制[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1994.
- [9] K. hurt. New development in rock bolting[J]. Colliery Guardian, 1994,7: 133-143.
- [10] 侯朝炯,勾攀峰. 巷道锚杆支护围岩强度强化机理研究[J]. 岩石力学与工程学报,2000,19(3):342-345.
- [11] 籍远明,安里千. 锚杆与围岩作用的红外辐射实验研究[J]. 矿冶工程,2005,25(3):14-17.
- [12] Luong M P. Infrared thermography of fracture of concrete and rock[J]. Fracture of Concrete and Rock: SEM-RILEM International Conference,1987.
- [13] Brady B T, Rowell G A. Laboratory investigation of the electro-dynamics of rock fracture[J]. Nature, 1986,321(29): 488-492.
- [14] 耿乃光,崔承禹,邓明德. 岩石破裂实验中的遥感观测与遥感岩石力学的开端[J]. 地震学报,1992,14(增刊):645-652.

(上接第340页)

中出现的低温条带,对应试块的破裂位置;(2)试块布置锚杆后其承载能力明显增加,反映在红外热像上其红外温升也越高;(3)布置锚杆的试块在应力峰值前,随着荷载的增加呈现整体均匀性升温变化,应力峰值后,在锚杆周围形成一个以锚杆为中心温度逐渐降低的近似圆形等温线组成的区域,锚杆周围红外温度场与应力场在形状和空间分布上有很好的相似性,红外热像高温区和低温区分别对应高应力区和低应力区。

参考文献: