

视场超出目标的红外测温误差修正方法研究

王超群, 崔昊杨, 许永鹏, 李 祥, 唐 忠

(上海电力学院电子与信息工程学院, 上海 200090)

摘 要:为解决红外测温系统超出有效测温距离导致的测温精度下降问题,从红外热辐射理论出发,提出了一种视场超出目标辐射表面积红外测温系统误差修正方法。通过计算全视场范围内的辐射照度,获得了对应的红外测温系统电压响应值。依据电压响应值与温度之间的关系,并充分考虑物体表面形貌特征,去除全视场范围内背景温度的影响,得到目标体的表面真实温度值。相对于以往的修正方法,该方法能很好地修正有效测温距离外的物体表面温度,结果与被测物体实际温度更为相近。因此,该方法极大地增强了红外测温系统的工业现场适用性。

关键词:红外热辐射;温度测量;误差修正;视场

中图分类号:TN219 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2015.10.013

Error correction of infrared temperature measurement as FOV larger than target

WANG Chao-qun, CUI Hao-yang, XU Yong-peng, LI Xiang, TANG Zhong

(School of electronics and information engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: As infrared temperature measurement system is beyond effective working distance, measurement accuracy will decrease. To solve this problem, starting from thermal infrared radiation theory, a novel error correction method was proposed, which can be applied to the situation that the field of view is beyond the irradiated area of the object. Radiation illumination within whole visual field was calculated to obtain corresponding voltage response of infrared temperature measurement system. According to the relationship between voltage response and temperature and morphology characteristics of object surface, the influence of background temperature within whole visual field was removed, and real temperature values of object surface were obtained. Compared with previous correction methods, this method can effectively correct the temperature of object surface when temperature measurement system exceeds effective working distance. And the corrected results are closer to the actual temperature of object. Therefore, this method can greatly enhance the industrial applicability of infrared temperature measurement system.

Key words: thermal infrared radiation; temperature measurement; error correction; field of view

1 引 言

目前,红外测温技术在工业领域的使用日趋广泛而深入,人们对红外测温系统测温精度提出了更

高的要求^[1-2]。使用环境、发射率、风速等因素对红外测温精度造成的影响,已有对应的修正方法并取得了较好的效果^[3-6]。而在红外测温的过程中,测温仪的距离系数比($D:S$, D 为测温仪至目标距离,

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 61107081)资助。

作者简介:王超群(1990-),男,硕士研究生,主要研究方向电气设备红外状态监测与诊断,在线监测等。

通讯作者:崔昊杨(1978-),男,博士,教授,主要研究方向为电力设备在线监测,半导体光电器件等。

E-mail: cuihy@shiep.edu.cn

收稿日期:2015-03-09

变换公式(4)的形式可得:

$$T_0 = \left\{ \frac{1}{\varepsilon_{0\lambda}} \left[\frac{1}{\tau_{a\lambda}} \cdot k(T_r^m - \varepsilon_{a\lambda} T_a^m) - (k-1)\varepsilon_{1\lambda} T_1^m - [1 - \alpha_{0\lambda} + (k-1) \cdot (1 - \alpha_{1\lambda})] T_u^m \right] \right\}^{\frac{1}{m}} \quad (5)$$

式中, T_r 为测温仪直接测量所得的全视场范围内的温度; T_0 为提取出的目标物体表面的实际温度。式(5)即为红外测温误差修正公式的通用形式。当被测物体表面满足灰体时,可近似认为 $\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$ 。

近距离测温时可忽略大气透过率的影响^[12],令 $\tau_{a\lambda} = 1$,假定超出目标的背景区域的温度和大气温度与环境温度相等。代入公式(5),则式(5)可简化为:

$$T_r^m = \frac{1}{k} [\varepsilon_{0\lambda} T_0^m + (k - \varepsilon_{0\lambda}) T_u^m] \quad (6)$$

由公式(6)可得:

$$T_0 = \left\{ \frac{1}{\varepsilon_{0\lambda}} [k \cdot T_r^m - (k - \varepsilon_{0\lambda}) T_u^m] \right\}^{\frac{1}{m}} \quad (7)$$

需要说明的是,在应用上述公式修正误差时,当被测目标的测温表面为不规则形状时,测温仪与目标之间的距离要保证红外测温仪的视场必须完全覆盖被测目标。不完全覆盖目标时,视场内的被测目标面积无法确定,这种情况下的修正方法还需进一步研究。若被测目标的测温表面为正多边形,当测温仪视场超出被测目标时,能够通过数学方法确定此时视场内被测目标的面积,可应用上述公式修正。当被测目标为圆形,视场溢出被测目标时,视场内被测目标的表面积即被测目标的表面积本身,可应用上述公式进行修正。

3 实验与结果分析

3.1 实验

在无风、无阳光直射实验室开展实验测量,环境相对湿度为 50%,以黑体作为标准源标定测温仪测温误差。黑体的型号为侦测器株式会社的 BBZ5,黑体开口直径为 30 mm。采用的红外测温仪为 VTIR 6816,其距离系数比为 200 : 1,工作波段为 8 ~ 14 μm 。依据距离系数比及黑体开口直径,确定本次测温的有效测量距离为 6 m。本次实验测量距离从 1 ~ 20 m,以 1 m 为间隔进行测量。将红外测温仪与黑体放置在同一水平直线上,调节红外测温仪和黑体开口的高度,使红外测温仪的同轴激光对

准黑体开口的中心。分别进行三组实验:①环境温度 17 $^{\circ}\text{C}$,黑体温度 58 $^{\circ}\text{C}$ 。②环境温度 33 $^{\circ}\text{C}$,黑体温度 58 $^{\circ}\text{C}$ 。③环境温度 33 $^{\circ}\text{C}$,黑体温度 80 $^{\circ}\text{C}$ 。每组实验分别进行三次测量,取三次实验数据的平均值。实验结果如图 2 和图 3 所示。

3.2 结果分析

图 2 为环境温度在 17 $^{\circ}\text{C}$ 和 33 $^{\circ}\text{C}$ 情况下,红外测温仪测量温度随距离变化曲线,从中可以看出,距离对红外测温仪测温精度的影响不可忽视。超出红外测温仪有效距离后,随着距离的增大,测温误差逐渐增大。两条温度曲线均呈下降趋势,偏离被测目标的真实温度值,并且环境温度与目标温度差值越大,温度下降的趋势越明显,测温的精度则越低。这是由于在使用过程中,红外测温往往受到很多因素的影响,如目标发射率,环境温度,大气透射率,测温距离等。当测温视场超出被测目标表面积后,影响红外测温精度的因素不仅仅是测温距离,而是由距离变化引起的多种影响因素的综合作用。

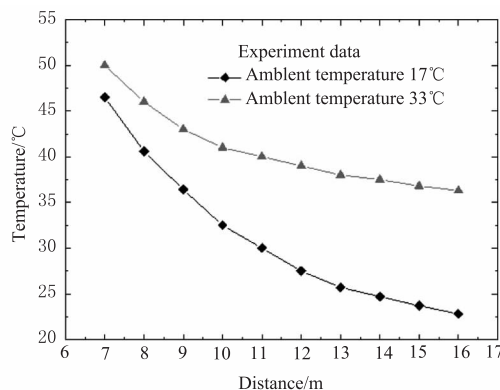


图 2 环境温度为 17 $^{\circ}\text{C}$ 和 33 $^{\circ}\text{C}$ 情况下
红外测温仪温度曲线(目标温度为 58 $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 2 The temperatures curve of infrared thermometer when
the situation of ambient temperature is 17 $^{\circ}\text{C}$ and 33 $^{\circ}\text{C}$
(target temperature is 58 $^{\circ}\text{C}$)

考虑到实验中测量距离较近,大气透射率对测温的影响可忽略不计,而环境温度,发射率和测温距离等因素对测温的影响集中反映在背景环境上。随着测温仪与被测目标体之间的距离增大,测温视场逐渐增大。视场范围中,超出目标体表面积的部分所占比例逐渐增大,导致测温过程中受到背景环境的影响逐渐增大,测温误差增大。

由于实验中目标物体的温度高于环境温度,目标物体的发射率高于背景发射率,故温度曲线呈下降趋势。因此背景温度与被测目标温度相差越大,温度下降趋势越明显。

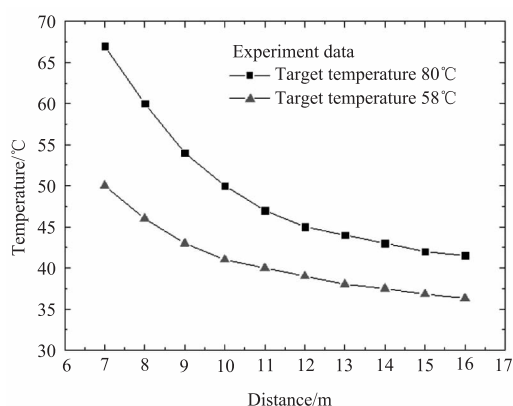


图3 被测目标表面温度为58℃和80℃

情况下红外测温仪温度曲线(环境温度为33℃)

Fig.3 The temperatures curve of infrared thermometer when the situation of target temperature is 58℃ and 80℃ (ambient temperature is 33℃)

图3中可以看出,随着测温距离的逐渐增加,所测温度值曲线下下降趋势趋于平稳并且逐渐靠近环境温度。这是由于当测温仪与目标体之间的距离增大到一定程度后,背景环境在整个测温仪视场范围内的比例已经很大,背景温度成为影响测温仪所测温度的决定性因素。虽然随着距离的增加视场范围继续扩大,但温度在接近背景温度后,下降趋势将变缓。

设实验中黑体的表面温度为80℃,测温仪与黑体之间的距离为9m(超出有效距离),此时红外测温仪测得的黑体的温度为54℃,采用酒精温度计测得环境温度为33℃。由于测量距离相对较近,可以忽略大气透射率的影响。黑体开口表面积为 $A_0 = \pi r^2$, r 为黑体开口的半径。采用上述误差修正公式(7)对测量误差进行修正,得到修正后的温度为75.83℃,与黑体表面温度真实值相近,极大降低了测温误差。当测温条件不允许近似计算时,可采用通用公式(5)进行修正。图4中可以看出,与修正前相比,修正后的温度值与被测目标体真实温度之间的误差明显降低,可以满足测温需求,提高了红外测温仪超出有效测温距离之后的测温准确度。

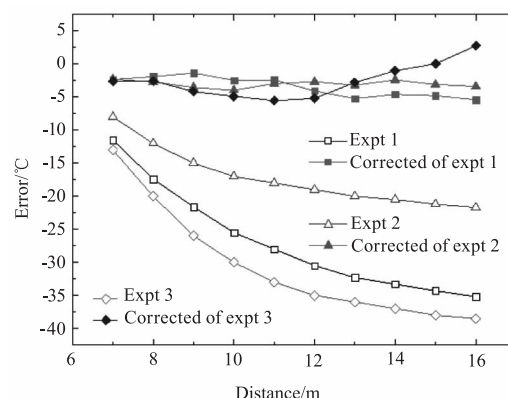


图4 三种实验的温度值修正前后的误差对比曲线图

Fig.4 the comparison curves of temperature errors of 3 experiments before and after correction

4 结论

本文在分析红外测温原理的基础上,提出了一种视场超出目标辐射表面积的红外测温系统误差修正方法。利用此方法对三组视场超出目标辐射表面积的温度数据进行修正。与修正前相比,测量温度值与目标真实温度之间的最大相对误差由0.607, 0.374和0.481下降至0.093, 0.058和0.034,修正效果明显。因此在不增加操作难度的情况下,本方法一定程度上解决了红外测温仪瞬时视场超过被测目标表面积时,误差显著增大的问题,在工程应用中具备较好的实用价值。

参考文献:

- [1] SUN Zhiyuan, LI Qingan, QIAO Yanfeng, et al. Study on raising the precision of infrared temperature measurement system [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2006, 27(6): 67-69. (in Chinese)
孙志远, 李清安, 乔彦峰, 等. 提高红外测温系统测温精度的研究[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6): 67-69.
- [2] ZHANG Ke, ZHAO Guifang, CUI Ruiqing, et al. Method of improving bad pixel detection precision of IRFPA [J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(4): 453-456. (in Chinese)
张科, 赵桂芳, 崔瑞青, 等. 一种提高红外焦平面阵列盲元检测精度的方法[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(4): 453-456.
- [3] Usamentiaga Rubén, García Danel F, Molleda Julio, et al. Temperature measurement using the wedge method: Comparison and application to emissivity estimation and com-

- pensation[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2011, 60(5): 1768 – 1778.
- [4] Da Costa Bortoni E, Dos Santos L, Bastos G S, et al. Extracting load current influence from infrared thermal inspections [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2011, 26(2): 501 – 506.
- [5] Bortoni E C, Santos L, Bastos G S. A model to extract wind influence from outdoor IR thermal inspections [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2013, 28(3): 1969 – 1970.
- [6] Muniz Pablo R, Cani Shirley P N, Magalhães Robson Da S. Influence of field of view of thermal imagers and angle of view on temperature measurements by infrared thermovision[J]. IEEE Sensors Journal, 2014, 14(3): 729 – 733.
- [7] CHEN Heng, YIN Zengqian. A method of distance correction for the temperature measurement in fault infrared diagnosis of equipments [J]. Laser & Infrared, 1998, 28(4): 220 – 223. (in Chinese)
- 陈衡, 尹增谦. 设备故障红外诊断中温度测量的距离修正方法[J]. 激光与红外, 1998, 28(4): 220 – 223.
- [8] ZHANG Yong, WANG Xinsai, HE Ming. Influence of distance on temperature measurement accuracy of infrared thermal imager and error correction[J]. Infrared, 2011, 32(2): 24 – 27. (in Chinese)
- 张勇, 王新赛, 贺明. 距离对红外热像仪测温精度的影响及误差修正[J]. 红外, 2011, 32(2): 24 – 27.
- [9] YANG Li. Measuring calculation and error analysis of infrared thermal imager [J]. Infrared Technology, 1999, 21(4): 20 – 24. (in Chinese)
- 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.
- [10] JIN Guangyong, HUAN Kewei, SHI Xiaoguang, et al. Method of partial vision temperature measurement by infrared thermometer [C]. Proc. SPIE, 2009, 7383: 738304.
- [11] LI Yunhong, SUN Xiaogang, WANG Yannian, et al. Algorithm of measuring temperature with infrared imager based on improved neural network [J]. Infrared and Laser Engineering, 2010, 39(5): 801 – 805. (in Chinese)
- 李云红, 孙晓刚, 王延年, 等. 改进神经网络的红外成像测温算法 [J]. 红外与激光工程, 2010, 39(5): 801 – 805.
- [12] LU Yuan. Simple method to calculate the atmosphere transmittance of infrared radiation on slanting route [J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(S2): 423 – 426. (in Chinese)
- 路远. 斜程红外辐射大气透射率的简易计算 [J]. 红外与激光工程, 2007, 36(S2): 423 – 426.