

文章编号: 1672-8785(2020)05-0030-05

用于补偿高温影响的红外热成像仪 测量方法研究

雷渡民

(92557 部队, 广东广州 510000)

摘 要: 针对常用的红外热成像仪受周围高温物体热辐射影响而导致测温不准的问题, 根据测温原理和红外热辐射理论, 设计出了一种基于该类型红外热成像仪的高温补偿测量方法。结果表明, 选用发射率为 0.5 的遮挡材料时, 可以完全补偿高温辐射的影响; 当发射率等于 1 时, 相当于忽略了高温物体的热辐射, 没有起到补偿作用; 发射率越大于 0.5, 测量温度就越高于真实温度; 发射率越小于 0.5, 测量温度就越低于真实温度。

关键词: 红外; 热成像仪; 补偿

中图分类号: TN219 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2020.05.005

Research on Measurement Method of Infrared Thermal Imager for Compensating High Temperature Effect

LEI Du-min

(PLA 92557, Guangzhou 510000, China)

Abstract: Aiming at the problem of inaccurate temperature measurement of the common infrared thermal imager caused by the thermal radiation of the surrounding high temperature objects, according to the principle of the temperature measurement and the infrared thermal radiation theory, a high temperature compensation measurement method based on this type of infrared thermal imager is designed. Shielding materials with emissivity of 0.5 can fully compensate the effect of the high temperature radiation. When the emissivity is equal to 1, it is equivalent to ignoring the thermal radiation of the high temperature object, which does not play a compensating role. The higher the emissivity is above 0.5, the higher the measured temperature is than the real temperature; and the more 0.5 exceeds the emissivity, the higher the real temperature is than the measured temperature.

Key words: infrared; thermal imager; compensation

收稿日期: 2020-04-28

作者简介: 雷渡民(1982-), 男, 陕西渭南人, 工程师, 硕士, 主要从事红外监测与诊断研究。

E-mail: 2934493662@qq.com

0 引言

对于温度在绝对零度以上的物体, 其表面都在不断向周围空间辐射红外能量^[1]。红外热成像仪利用红外探测器接收物体辐射的红外能量, 并基于电路转换和图像可视化等硬件技术以及红外辐射能量传输原理, 推算出物体表面的红外测量温度^[2]。出于成本、功能、精度等方面的考虑, 常用的红外热像仪在温度测量上都进行了一定的简化设计^[3], 以满足一般环境的使用要求。但在异常环境(比如周围有明显的高温物体)下, 其测量结果会明显偏离实际情况。例如, 在阳光下或者炉膛附近, 测量正常人体温度时就明显偏高。针对常用红外热成像仪受周围高温物体热辐射影响而导致测温不准的问题, 有必要研究相应补偿方法来减小测量误差。

1 常用红外热成像仪的测温原理

红外热辐射能量的传输路径如图 1 所示。常用红外热像仪在测量物体表面温度时所接收的热辐射通常分为以下几类: 被测物体表面自身的热辐射、周围边界经被测物体表面反射的热辐射以及大气介质的热辐射。

常用红外热成像仪的测温计算公式为^[4]

$$T_r^n = \tau_a [\epsilon T_0^n + (1-\alpha) T_u^n] + \epsilon_a T_a^n \quad (1)$$

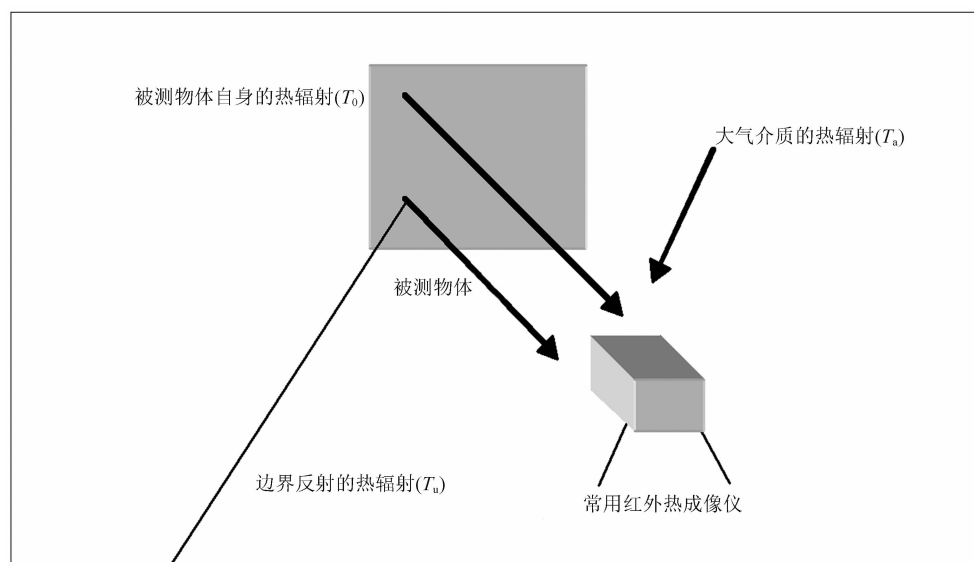


图 1 红外热辐射能量的传输路径

式中, T_r 为热成像仪的表观温度, T_0 为被测物体表面的真实温度, T_u 为环境温度, T_a 为大气温度, τ_a 为大气透射率, ϵ 为被测物体的表面发射率, α 为被测物体表面的吸收率, ϵ_a 为大气发射率。

假设被测物体表面为灰体, 即认为 $\epsilon = \alpha$; 通常 τ_a 和 ϵ_a 满足 $\epsilon_a = 1 - \tau_a$ 。则式(1)变为

$$T_r^n = \tau_a [\epsilon T_0^n + (1-\epsilon) T_u^n] + (1-\tau_a) T_a^n \quad (2)$$

故

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

式(3)即为通常情况下的红外热成像测温计算公式。设定环境温度 T_u 、大气透射率 τ_a 和被测物体表面的发射率 ϵ , 通过测量红外探测器接收的红外能量并将其转换为热成像仪的表观温度 T_r , 最终可以计算出被测物体的真实温度 T_0 。

2 周围存在高温物体时的红外热辐射能量传输方程

根据斯特藩-玻尔兹曼定律^[5], 黑体表面向周围辐射的总能量与其温度的四次方成正比。由此可见, 高温物体发射的总辐射能比低温物体大得多。同理, 温度相对偏低物体的热

辐射根据简化需要可以忽略。当被测物体周围存在高温物体(温度高于被测物体的表面温度)时,后者的辐射能也同时进入红外热成像仪的测量视场。此时高温辐射能不可忽略。若只考虑环境辐射,则会带来较大的测量误差。周围存在高温物体时的红外热辐射能量传输路径如图 2 所示。

当周围存在高温物体时,其热辐射也会通过被测物体表面反射而进入红外热成像仪的测量视场内。此时,红外热成像仪接收到的热辐射能量为

$$T_r^n = \tau_a [\epsilon T_0^n + (1-\alpha)T_u^n + F_{h-0}(1-\alpha)T_h^n] + \epsilon_a T_a^n \quad (4)$$

式中, T_h 为高温物体的温度, F_{h-0} 为高温物体到被测物体的角系数。

假设被测物体表面为灰体,即认为 $\epsilon = \alpha$; 通常 τ_a 和 ϵ_a 满足 $\epsilon_a = 1 - \tau_a$ 。则式(4)变为

$$T_r^n = \tau_a [\epsilon T_0^n + (1-\epsilon)T_u^n + F_{h-0}(1-\epsilon)T_h^n] + (1-\tau_a)T_a^n \quad (5)$$

式(5)进一步变为

$$T_r^n = \tau_a [\epsilon T_0^n + F_{h-0}(1-\epsilon)T_h^n + (1-\epsilon)T_u^n] + (1-\tau_a)T_a^n \quad (6)$$

通过将式(2)和式(6)进行比较可以看出,式(6)的右侧多出了高温物体反射的热辐射这一项。

3 用于补偿高温影响的红外热成像仪测量方法设计

主要设计思路如下:首先,在被测物体的正面遮挡一块已知发射率的遮挡材料,并测量遮挡材料的表面温度。然后移开遮挡材料,对红外热成像仪的环境温度参数进行修正(即用遮挡材料的表面温度替代被测物体的环境温度),并设置被测物体的发射率。最后,完成被测物体表面温度的测量。设计流程如图 3 所示。

第一步,在被测物体前部快速遮挡一块已知发射率为 ϵ_1 的遮挡材料(要求其温度与环境温度 T_u 相同)。遮挡时间越短越好,以免受到被测物体热辐射的过多影响。具体设计如图 4 所示。

由式(6)可知,当周围存在高温物体时,红外热成像仪测得遮挡材料所接收的真实热辐射能量为

$$T_{r1}^n = \tau_a [\epsilon_1 T_u^n + F_{h-0}(1-\epsilon_1)T_h^n + (1-\epsilon_1)T_u^n] + (1-\tau_a)T_a^n \quad (7)$$

式中, T_{r1} 为遮挡材料的表观温度。

第二步,用红外热成像仪测量遮挡材料。测温计算依然参照式(2),得出针对遮挡材料的测量公式为

$$T_{r1}^n = \tau_a [\epsilon_1 T_{01}^n + (1-\epsilon_1)T_u^n] + (1-\tau_a)T_a^n \quad (8)$$

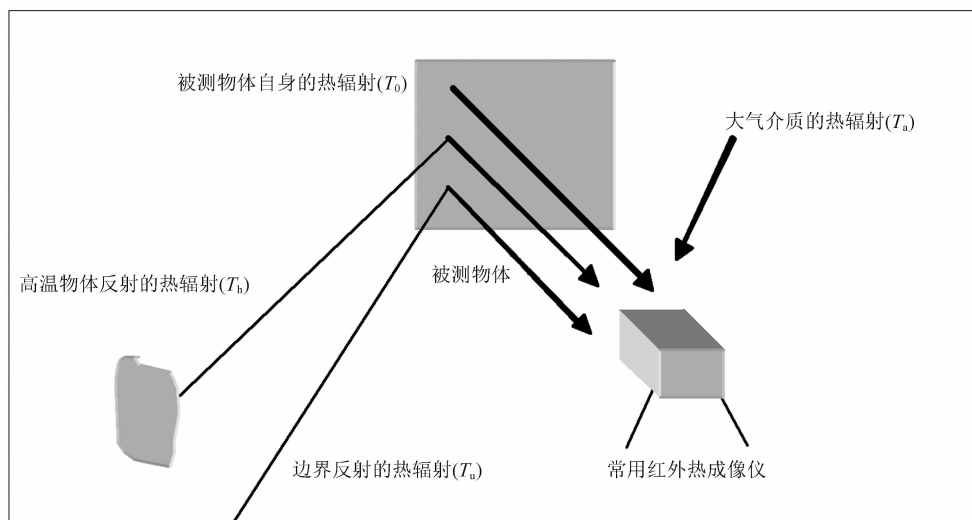


图 2 周围存在高温物体时的红外热辐射能量传输路径

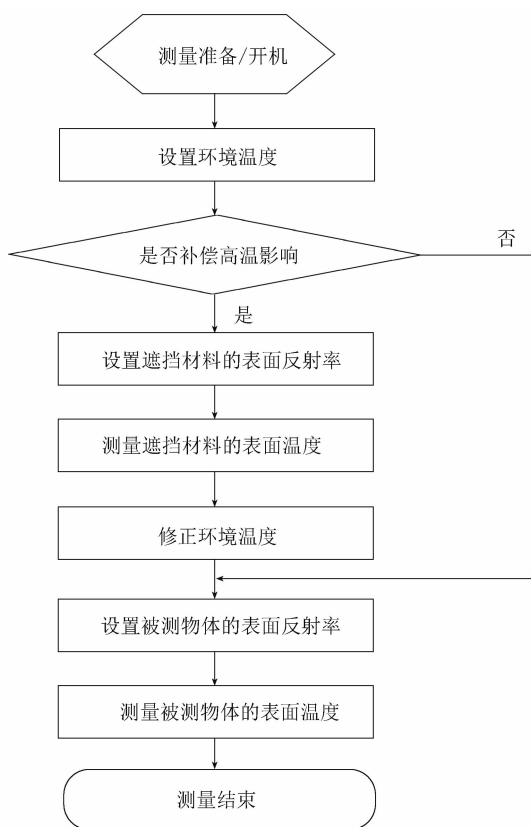


图 3 用于补偿高温影响的红外热成像仪测量方法的流程图

式中, T_{01} 为周围存在高温物体时遮挡材料的红外热成像仪测量温度。

将式(7)与式(8)相减, 得:

$$\epsilon_1 T_{01}^n = \epsilon_1 T_u^n + F_{h-0}(1-\epsilon_1) T_h^n \quad (9)$$

将式(9)进行变形, 得:

$$T_{01}^n = T_u^n + \frac{1}{\epsilon_1} F_{h-0}(1-\epsilon_1) T_h^n \quad (10)$$

第三步, 移开遮挡材料, 用红外热成像仪测量被测物体。测温计算依然参照式(2)。发射率为 ϵ 。设定环境温度为第二步中计算的遮挡材料的测量温度 T_{01} , 得:

$$T_r^n = \tau_a [\epsilon T_0^n + (1-\epsilon) T_{01}^n] + (1-\tau_a) T_a^n \quad (11)$$

$$T_r^n = \tau_a \left\{ \epsilon T_0^n + (1-\epsilon) \left[T_u^n + \frac{1}{\epsilon_1} F_{h-0}(1-\epsilon_1) T_h^n \right] \right\} + (1-\tau_a) T_a^n \quad (12)$$

整理式(12), 得:

$$T_r^n = \tau_a \left[\epsilon T_0^n + (1-\epsilon) T_u^n + \frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1} F_{h-0}(1-\epsilon) T_h^n \right] + (1-\tau_a) T_a^n \quad (13)$$

将红外热成像仪的计算公式(式(13))与接收的真实热辐射能量公式(式(5))比较, 可得出以下结论: 当 $(1-\epsilon_1)/\epsilon_1 = 1$ 时, 式(13)和式(5)完全一样, 说明选取具有特定发射率 ϵ_1 的遮挡材料时, 周围高温物体的红外热辐射影响可以完全得到补偿。根据 $(1-\epsilon_1)/\epsilon_1 = 1$ 可以算出 $\epsilon_1 = 0.5$ 。

由红外热成像仪的测温计算原理以及用于补偿高温影响的测量方法可知, 测量温度 T_0 与高温补偿方法中将环境温度设定成的遮挡材料测量温度 T_{01} 之间存在一定的关系。由式(11)和式(12)可得: ϵ_1 上升, T_{01} 下降, 则 T_0 上升; 反之同理, ϵ_1 下降, T_{01} 上升, 则 T_0 下降。

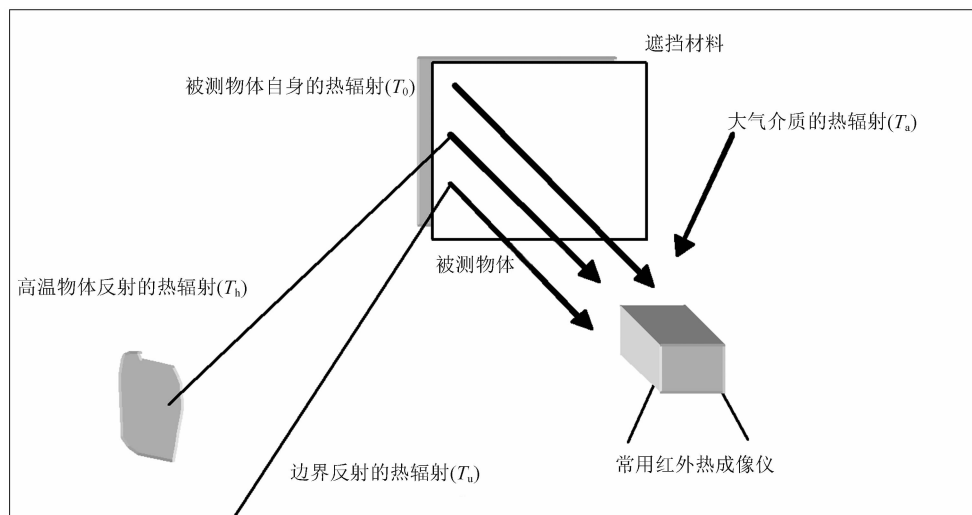


图 4 周围存在高温物体时用于补偿高温影响的红外热成像仪测量方法设计

当 $\epsilon_1 = 1$ 时, 相当于忽略了高温物体的热辐射, 没有起到补偿作用。此时测量温度 T_0 最大, 它与真实温度的偏差最大。

当 $0.5 < \epsilon_1 < 1$ 时, 随着 ϵ_1 的增大, 测量温度 T_0 不断增大, 它与真实温度的偏差也越来越大。

当 $\epsilon_1 = 0.5$ 时, 周围高温物体的红外热辐射影响完全得到补偿, 测量温度 T_0 为被测物体的真实温度。

当 $0 < \epsilon_1 < 0.5$ 时, 随着 ϵ_1 的减小, 测量温度 T_0 不断减小, 它与真实温度的偏差越来越大, 甚至会出现假温度。

4 结束语

本文针对常用的红外热成像仪受周围高温物体热辐射影响而导致测温不准的问题, 根据其测温原理, 通过红外热辐射理论推导, 设计出了一种基于该类型红外热成像仪的高温补偿测量方法。通过选择发射率为 0.5 的遮挡材料, 可以完全补偿高温辐射的影响; 当发射率

等于 1 时, 相当于忽略了高温物体的热辐射, 没有起到补偿作用; 发射率越大于 0.5, 测量温度就越高高于真实温度; 发射率越小于 0.5, 测量温度就越低于真实温度。该研究对红外热成像仪的应用优化具有一定的参考意义, 但对遮挡材料的真实温度也有严格要求。下一步将开展遮挡材料的温度变化对测量结果的影响研究。

参考文献

- [1] 罗军川. 电气设备红外诊断实用教程 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [2] 陈钱, 隋修宝. 红外图像处理理论与技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2018.
- [3] 周立伟. 目标探测与识别 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002.
- [4] 杨立. 红外热成像测温原理与技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [5] 俞福堂. 红外技术原理手册 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1986.