

doi: 10. 11823/j. issn. 1674 – 5795. 2016. 01. 16

提高辐射温度计检定结果准确度的方法

孔琛琛, 安琳

(洛阳市质量技术监督检验检测中心, 河南 洛阳 471003)

摘 要: 现行的辐射温度计检定规程, 概念不够清晰, 具体操作步骤描述过于简单, 造成检定的实际测量条件有明显的差异, 由此导致检定结果的差异。本文从技术角度出发, 提出了一种可行的操作方法, 力图提高辐射温度计检定结果的准确度。

关键词: 辐射温度计; 检定; 准确度

中图分类号: TB942 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674 – 5795(2016)01 – 0061 – 03

Method on Improving the Accuracy of Radiation Thermometer Calibration Results

KONG Chencheng, AN Lin

(The Luoyang Center for Quality Supervision and Testing, Luoyang 471003, China)

Abstract: According to the existing verification regulations of the radiation thermometers, the actual measuring conditions will be significantly different and the test results will be different due to the unclear concepts and the unclear description of specific operation steps in the regulations. This paper puts forward a feasible operation method to improve the accuracy of radiation thermometer calibration results.

Key words: radiation thermometer; verification; accuracy

0 引言

近年来, 随着光电子技术的发展, 尤其是半导体材料的迅猛发展, 辐射温度计的价格逐步降低, 辐射温度计得到广泛的应用。红外辐射测温是一种非接触式测温技术, 操作简单, 检测迅速, 不干扰被测温场, 测温范围广, 一般情况下可测量零下几十度到上千度的温度范围。但由于其测量受多种因素的影响。如发射率、背景辐射、测量距离、环境温度, 自热温漂等。在辐射温度计的检定过程中, 如果不能充分考虑以上因素, 在操作方法上减少这些因素的影响, 就有可能对检定结果产生较大的影响。

现行的三个辐射温度计的检定规程^[1-3], 有些概念不够清晰, 具体操作步骤描述过于简单, 与当前实际检定脱节。新规程由于种种原因迟迟没有出版施行, 造成检定的实际测量条件有明显的差异, 由此导致检定结果的差异。这些差异在许多情况下是不能忽略的, 有时可能超过辐射温度计的最大允许误差。在检定方法理论方面, 国家计量院的原遵东、邢波都做了大量理论和实验

研究^[4-5]。本文仅从技术角度出发, 提出一种可行的操作方法, 力图提高辐射温度计检定结果的准确度, 为辐射温度计检定工作提供一些有价值的参考。

1 黑体辐射源的亮度温度溯源

由于黑体辐射源的发射率不可能为 1, 所以其亮度温度不同于其实际温度, 两者间的关系为

$$L_b(\lambda, T_{in}) = \varepsilon L_b(\lambda, T_{bb}) + (1 - \varepsilon) L_b(\lambda, T_{am})$$

式中: $L_b(\lambda, T)$ 为温度为 T 的黑体的光谱辐射亮度; λ 为在真空中的波长; ε 为黑体辐射源的发射率; T_{am} 为环境温度; T_{bb} 为黑体温度; T_{in} 为被测辐射源的亮度温度。

现行规程对黑体辐射源有效发射率的要求如表 1 所示^[1-3]。

表 1 现行规程对辐射源发射率的要求

规程号	发射率要求
JJG 67 – 2003	$0.99 \leq \varepsilon \leq 1.01$
JJG 856 – 1994	$0.995 \leq \varepsilon \leq 1.005$
JJG 415 – 2001	300 ~ 1400℃, $\varepsilon = 1 \pm 0.010$
	900 ~ 2200℃, $\varepsilon = 1 \pm 0.015$

从表 1 可以看出现行规程对黑体辐射源有效发射率的最高要求为 1 ± 0.005 , 且检定结果不需要修正发射率偏离 1 的影响。但发射率偏离 1 对检定结果的影

收稿日期: 2015 – 12 – 16

作者简介: 孔琛琛(1983 –), 男, 工程师, 硕士, 从事温度仪器仪表检定校准工作。

响是客观存在的。目前市场上黑体辐射源标称的发射率多为 0.995 或者发射率大于 0.995，但未指明是全辐射发射率还是光谱发射率，更没有给出发射率的估计值及其不确定度。黑体辐射源产品的技术指标缺乏足够的信息和可信度。

如果采用反射率修正的方法，目前发射率测量水平难以给出满意结果。因此对于量值传递机构来说，对发射率偏离 1 的影响进行修正，不太现实。最简单最直接的方法就是黑体辐射源的亮度温度溯源。知道了黑体辐射源的亮度温度，量值传递就简单多了。表 2 是我检测中心黑体辐射源送国家计量院溯源的结果。

表 2 亮度温度溯源结果

设置及显示/℃		8 ~ 14 μm	扩展不确定度
控温设置	测温显示	亮度温度/℃	(k = 2)/℃
100.0	100.0	99.7	0.4
200.0	200.0	199.2	0.5
300.0	300.0	298.1	1.7
400.0	400.2	397.6	1.9

亮度温度溯源方式可有效减小或者基本消除发射率偏离 1 及其不确定度的影响。但是也对黑体辐射源的应用附加了条件，仅用于对与辐射温度计相同工作波段的单波段辐射温度计的检定。工作波段在 8 ~ 14 μm 的辐射温度计主要应用于测量中低温。但在高温段，对黑体辐射源的发射率的要求较低。

2 确定检定距离和光阑直径

我们知道，辐射温度计必须经过标定才能显示温度值。标定时，辐射温度计与黑体辐射源的距离是辐射温度计的最佳测量距离，也是我们检定辐射温度计的最佳检定距离。同时，由于辐射温度计测量不同大小的辐射源时的辐射源尺寸效应 (SSE) 影响显著，也会影响检定结果的一致性。为此国际电工委员会 (IEC) 要求制造商宣称辐射温度计不确定度时应指出校准的测量条件，包括测量距离和辐射源直径。

文献 [5] 提出了一种等效平面辐射源模型，即在辐射源前置所需直径的光阑，辐射温度计与光阑间距为规定的测量距离^[4]。如图 1 所示。

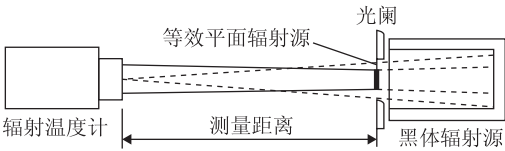


图 1 等效平面辐射源模型

但现实情况极为复杂。目前市场上的辐射温度计有可变焦的和不可变焦的，甚至价格低廉的辐射温度计没有光学装置。这给我们确定检定距离和光阑直径带来了困难。如果检定距离选择不当，会给测量结果带来很大的影响。那么如何确定检定距离和光阑直径呢？首先，针对不同种类的辐射温度计采取不同的选定方法。

对于可变焦的辐射温度计，检定距离为在检定中可调焦被检温度计使空腔底成像清晰的距离。视场直径即为光阑直径。或者说明书中明确给出的最佳测量距离和辐射源直径。

对于不可变焦的辐射温度计，根据说明书中 D/S 图确定检定距离和光阑直径： D/S 为距离系数，即目标聚焦状态下的测量距离与视场直径之比。或者说明书中明确给出的最佳测量距离和辐射源直径。具体可参考文献 [5]。

对于没有光学装置的辐射温度计，或者说明书参数不全的情况下，可以人为给定检定距离，并在检定证书中表明检定的距离和黑体辐射源的有效面源直径。为下次检定时提供依据。

3 瞄准方法

按照检定距离的要求，将被检辐射温度计安装在辐射源空腔前方轴线延长线上，并瞄准辐射源腔底中心。由于黑体空腔的不等温性，如果我们瞄准的不是腔底而是腔壁，则有可能极大的影响检定结果。尤其是辐射源空腔较长且检定距离也较长的情况下，腔底中心就很难瞄准。这里就需要必要的机械设备，满足辐射温度计瞄准所需要的平移、旋转等调节功能。

可调焦被检辐射温度计应使空腔底成像清晰或聚焦于检定距离处。对于不可调焦被检温度计可利用辐射温度计的辅助瞄准 (激光或发光二极管) 光束确定瞄准位置。需要特别指出的是，辐射温度计的辅助瞄准光束点不是测量光路的中心点。为使测量光路中心、辐射源腔底中心在同一条直线上，以保证被检辐射温度计准确瞄准辐射源腔底中心。这里给出了一个现行有效的瞄准和验证方法。

我们认为辐射源腔体是一个直筒腔体，且水平放置。在辐射源腔口放置一个挡板，辅助瞄准光束瞄准挡板会在挡板上留下光点。通过几何方法找到辐射源的几何中心点，一般为面源的中心点。通过中心点，找到辅助瞄准光束发光点在挡板上的投影点，该投影点与中心点的位置与被检辐射温度计上光束发光点与

测量光路中心点的位置一致，如图 2 所示。

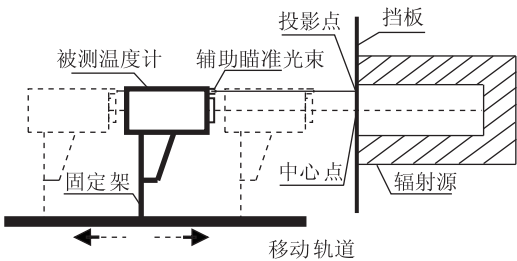


图 2 瞄准方法示意图

找到投影点以后，在检定距离位置处，用辅助瞄准光束对准该投影点，固定好被检温度计。然后，在检定距离前后位置移动，如果移动后辅助瞄准光束仍然对准该投影点，则瞄准成功。如果辅助瞄准光束偏离该投影点，则需继续调整瞄准位置。重复以上操作，直至移动后辅助瞄准光束始终对准该投影点。

4 减小自热对检定结果的影响

辐射温度计的核心部分是红外探测器，它是一种把热信号转换成电信号的装置，因此它本身自热也会对检定结果产生影响。在检定过程中经常会遇到这种情况，在辐射源腔口停留的时间越长，辐射温度计的显示值变化越明显。这是辐射温度计自热造成的。尤其是检定距离比较靠近腔口或进行高温检定时。因此，

(上接第 40 页)

对两个设备的测试结果进行对比分析，其中一次的测试数据如表 1 所示。结果表明，两个设备的测试结果相差很小，该系统工作稳定可靠，测试数据能真实反映被测舵机的工作性能。

表 1 两个设备测试数据对比表

序号	测试项目	新平台	专用设备
1	空载速度/ $((^{\circ}) \cdot s^{-1})$	515.2	516.8
2	零位偏差/ $(^{\circ})$	0.22	0.25
3	20 Hz 相移/ $(^{\circ})$	11.7	11.3
4	5°阶跃上升时间/ms	11.3	11.5
5	35°稳态误差/ $(^{\circ})$	1.2	1.1

5 结论

基于 PXI 总线的舵机性能测试平台充分考虑了不同类型舵机的性能测试、研究和评估需求，是一个通用化的舵机性能测试平台。系统工作稳定可靠、操作简便，既利用了 PXI 仪器精度高、通用性强、扩展性

在检定过程中，应用隔热板遮住辐射温度计前端。待采集数据时，再去掉隔热板。注意采集时间不宜过长。一般到数据不再波动为止。采集完后，再用隔热板遮住辐射温度计前端，等辐射温度计热平衡后，再去掉隔热板继续采集。这样才能有效减小自热对检定结果的影响，采集的数据一致性较好。

5 其他注意事项

检定过程中应无明显机械振动，无强电磁干扰，应避免阳光和强辐射源，尤其是高温热辐射源对检定用辐射源和辐射温度计的干扰；应避免空调气流、开门窗引起的对流对面辐射源的影响，环境温度波动不应应对辐射温度计测温产生不可忽略的影响。

参 考 文 献

[1] 国家质量技术监督局. JJG 415 - 2001 工作用辐射温度计检定规程[S]. 北京：中国计量出版社，2001.

[2] 国家技术监督局. JJG 856 - 1994 500℃以下工作用辐射温度计检定规程[S]. 北京：中国计量出版社，1994.

[3] 国家质量监督检验检疫总局. JJG 67 - 2003 工作用全辐射温度计检定规程[S]. 北京：中国计量出版社，2003.

[4] 原遵东. 黑体辐射源发射率对辐射测温准确度的影响及修正方法[J]. 计量学报，2007，28(3A)：20 - 22.

[5] 原遵东，邢波. 辐射温度计检定的源瞄准测量条件确定方法[J]. 计量学报，2012，33(6A)：39 - 41.

好的优点，又考虑了舵机性能测试的实际特点，在舵机测试设备领域达到了国内先进水平。

参 考 文 献

[1] 梁晓庚，王伯荣，余志峰，等. 空空导弹制导控制系统设计[M]. 北京：国防工业出版社，2006.

[2] 牛振，何卫国，朱剑波. 基于 LabVIEW 的数字舵机性能测试系统[J]. 航空兵器，2010(4)：43 - 45.

[3] 苏德伦，王仕成，王照峰，等. 基于 PXI 总线的正弦信号失真度测量[J]. 计测技术，2006，26(1)：39 - 41.

[4] PXI Specification[Z]. PXI Systems Alliance，2000.

[5] 韩大伟，周军，于晓洲. 基于 PXI 总线的导弹自动测试系统设计[J]. 计算机测量与控制，2008，16(11)：1650 - 1652.

[6] 郭占山，史永彬，周书信，等. AX5488 接口板在 LabWindows/CVI 下的通讯[J]. 计测技术，2003，23(1)：45 - 46.

[7] 李敏智. 基于 LabWindows/CVI 的数据采集与监控系统的设计与实现[D]. 武汉：武汉理工大学，2009.

[8] 胡浩，李保刚. 空空导弹发控综合测试系统设计与实现[J]. 电子测量技术，2014，37(11)：75 - 79.