

标准黑体辐射源选型参考

蔡万敬

(济南铁路局计量所, 山东 济南 250001)

摘要: 介绍标准黑体辐射源的用途和类型, 针对铁路行业特点, 依据 JJG (铁道) 149—2005 《铁路专用轻便型红外测温仪检定规程》以及标准黑体均匀性和稳定度技术数据, 分析其不确定度, 提出标准黑体辐射源选型的注意事项。

关键词: 黑体辐射源; 稳定度; 均匀性; 选型

中图分类号: TB9 文献标识码: B 文章编号: 1006-9178 (2014) 09-0014-03

0 引言

标准黑体辐射源是检定红外测温仪 (辐射温度计) 的标准器, 采用直接测量法进行量值传递。按结构类型分为面源黑体和腔源黑体。面源黑体的发射率一般为 0.95 ± 0.02 ($8 \mu\text{m} \sim 14 \mu\text{m}$), 目标尺寸较大; 腔源黑体发射率为 $0.995 \sim 0.998$, 目标尺寸较小。依据 JJG (铁道) 149—2005 《铁路专用轻便型红外测温仪检定规程》的要求, 红外测温仪的检定既可以选择所需温度范围的面源黑体, 也可以选择腔源黑体。铁路专用轻便型测温仪分布在各车辆段和机务段, 主要用于测量轴温, 使用范围为 $30 \text{ }^\circ\text{C} \sim 150 \text{ }^\circ\text{C}$, 属红外测温仪低温测量段。现有标准黑体辐射源生产厂家众多, 质量参差不齐, 为满足检定工作需求, 标准器准确选型至关重要。参考《工作用辐射温度计》国家检定规程征求意见稿及技术报告, 对检定工作中标准黑体辐射源的选型提出建议。

1 标准黑体辐射源相关技术指标

部分标准黑体辐射源技术指标见表 1。

2 标准黑体辐射源稳定度和均匀性

使用 TRT II、KT19.82 II 或 TRT3.82 精密辐射温度计测量 $-50 \text{ }^\circ\text{C} \sim 1\ 000 \text{ }^\circ\text{C}$ 标准黑体辐射源, 通过软件自动采样和计算得出稳定度和均匀性数据。

(1) 稳定度试验。在标准黑体辐射源从室温升

表 1 部分标准黑体辐射源技术指标

| 制造商 | 型号 | 工作范围 / $^\circ\text{C}$ | 结构 | 发射率 | 分辨力 / $^\circ\text{C}$ |
|---------|---------|-------------------------|----|-------|------------------------|
| FLUEK | 4180 | -15~120 | 面源 | 0.95 | 0.1 |
| | 4181 | 30~500 | | | |
| | 9132 | 30~500 | | | |
| | 9133 | -30~150 | | | |
| ISOTECH | 976 | 30~550 | 腔源 | 0.995 | 0.01 |
| 长安机电 | BDB15 | 30~150 | 面源 | 0.95 | 0.1 |
| | BDB15A | | | | 0.01 |
| | BDB20A | | | | 0.01 |
| | BDB30A | | | | 0.01 |
| 上海福源 | HFY205A | 30~500 | 腔源 | 0.995 | 0.1 |
| Raytek | 雷泰 1000 | -20~150 | 腔源 | 0.995 | 0.1 |
| | 雷泰 4000 | 30~350 | 面源 | 0.98 | 0.1 |
| 西安沃尔 | — | 30~300 | 面源 | 0.95 | 0.1 |

至设定点温度 1 h (下限点稳定时间要长一些, 面源的稳定时间短一些) 后开始测量, 间隔 1 min 测量 1 次, 共测量 10 min, 以测得最大与最小值之差作为辐射源的稳定度。一般取上、中、下 3 个温度点作为测量点。

(2) 均匀性试验。在标准黑体辐射源有效面积内选取上、中、下、左、右 5 个测量点, 以测得最大与最小值之差作为辐射源的均匀性。

收稿日期: 2013-12-23
作者简介: 蔡万敬, 工程师

部分标准黑体辐射源稳定性和均匀性见表2。

表2 部分标准黑体辐射源稳定性和均匀性

| 制造商 | 型号 | 温度点/℃ | 稳定度/℃ | 均匀性/℃ |
|---------|--------|-------|-------|-------|
| ISOTECH | 976 | 30 | 0.05 | 0.04 |
| | | 300 | 0.00 | 0.6 |
| | | 500 | 0.10 | 0.7 |
| FLUEK | 4180 | 30 | 0.06 | 0.06 |
| | | 80 | 0.07 | 0.06 |
| | | 120 | 0.10 | 0.10 |
| FLUEK | 4181 | 35 | 0.05 | 0.1 |
| | | 200 | 0.2 | 0.4 |
| | | 500 | 0.3 | 0.7 |
| 长安机电 | HFY-15 | 30 | 0.06 | 0.06 |
| | | 70 | 0.10 | 0.07 |
| | | 90 | 0.10 | 0.10 |

注：数据来源于《工作用辐射温度计》征求意见稿，厂家生产的黑体辐射源以溯源机构出具的数据为准。

从表2看出，各种型号标准黑体辐射源的稳定度在10 min内不大于0.1℃或0.1% t ℃， t 为标准黑体辐射源的辐射温度。ISOTECH976和FLUEK4181均匀性指标在300℃，500℃超过了0.1% t ℃(0.3℃，0.5℃)，而FLUEK4180和长安机电HFY-15均匀性满足不大于0.1℃或0.1% t ℃的要求。

3 标准黑体辐射源不确定度分析

标准黑体辐射源不确定度 U_s 是指 $k=2$ 的扩展不确定度，经溯源机构校准给出，主要来源于参考精密辐射温度计的修正值、分辨力，被校准标准黑体辐射源的稳定度、均匀性、分辨力和重复性引入的标准不确定度。其中，被校准标准黑体辐射源的稳定度和均匀性是合成不确定度的主要来源。

3.1 面源黑体辐射源

面源黑体辐射源经中国计量院校准后，一般给出2个基本参数：一个是理想的8 μm ~14 μm 辐射温度计设置发射率为0.95时，各校准点的标准值及扩展不确定度；另一个是理想的8 μm ~14 μm 辐射温度计设置发射率为1时，测量该标准黑体辐射源各校准点的示值及扩展不确定度，可作为校准标准

值。现阶段铁路用基本是发射率为固定0.95的测温仪。建立标准和开展检定工作引用的就是经溯源的0.95发射率的标准值。红外测温仪在30℃~95℃范围内最大允许误差(MPE)为 ± 2 ℃，依据红外测温仪检定装置扩展不确定度 U_{95} 不得大于被检仪表MPE的1/3的要求，举例分析扩展不确定度 U_s 的大小。

3.1.1 测量模型

测量模型为

$$\Delta t = t_d - (t_s + x) \quad (1)$$

式(1)中， Δt 为测量示值误差； t_d 为测温仪的示值； t_s 为标准黑体的示值； x 为标准黑体的修正值。

3.1.2 不确定度分量的确定

(1)假设标准黑体经校准给出某温度点的扩展不确定度 $U_s=0.6$ ℃($k=2$)，则由标准黑体修正值引入的标准不确定度 $u_s=0.3$ ℃。

(2)被检测温仪分辨力选1℃时，由分辨力引入的标准不确定度 $u_{d1}=0.29$ ℃。

(3)考虑重复性引入的标准不确定度 u_{d2} ，有

$$u_{d2} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

式(2)中， s_x 为10次重复测量值的实验标准差或合并样本偏差； n 取测量的次数3(实际工作中一般取3次测量的算术平均值作为测量结果)。

3.1.3 不确定度评定

3.1.3.1 合成标准不确定度

由于 u_s ， u_{d1} ， u_{d2} 主要不确定度分量各不相关，故合成标准不确定度 u_c 为

$$u_c = \sqrt{u_s^2 + u_{d1}^2 + u_{d2}^2} = 0.43 \text{℃}。$$

3.1.3.2 扩展不确定度及评定公式

取 $k=2$ ，扩展不确定度 $U_{95}=0.86$ ℃。理论上， $3 \times U_{95} > MPEV$ (最大允许误差的绝对值)，不满足 $U_{95} \leq 1/3 MPEV$ 的要求，故只能采用以下符合性评定公式

$$|\Delta| \leq MPEV - U_{95} \quad (3)$$

式(3)中， Δ 为示值误差； U_{95} 为测量结果的扩展不确定度。只有满足式(3)，方可判断示值误差合格。

3.1.3.3 不确定度评定

如果选择分辨力为0.1℃，0.2℃的被检测温仪，由分辨力引入的标准不确定度分别为0.029℃，0.058℃，考虑重复性引入的标准不确定度(一般不大于0.1℃)，评定过程同上，得出的测量结果扩展不确定度 $U_{95}=0.64$ ℃ $< 1/3 \times 2$ ，满足 $U_{95} \leq 1/3 MPEV$ 。

同理,标准黑体辐射源扩展不确定度 U_s 不同时,分别选择不同分辨力的被检测温仪,并且考虑重复性引入的标准不确定度,忽略环境温度差异引入不确定度的影响,评定 30 °C ~90 °C 测量结果扩展不确定度 U_{95} ,见表 3。

表 3 30 °C ~90 °C 测量结果扩展不确定度 °C

| U_s | 分辨力 | u_{dl} | u_c | $U_{95}(k=2)$ | 结果 |
|-------|-----|----------|-------|---------------|-----|
| | 0.1 | 0.029 | 0.32 | 0.64 | 符合 |
| 0.6 | 0.2 | 0.058 | 0.32 | 0.64 | 符合 |
| | 1 | 0.29 | 0.43 | 0.86 | 不符合 |
| | 0.1 | 0.029 | 0.27 | 0.54 | 符合 |
| 0.5 | 0.2 | 0.058 | 0.28 | 0.56 | 符合 |
| | 1 | 0.29 | 0.38 | 0.76 | 符合 |
| | 0.1 | 0.029 | 0.22 | 0.44 | 符合 |
| 0.4 | 0.2 | 0.058 | 0.23 | 0.46 | 符合 |
| | 1 | 0.29 | 0.37 | 0.74 | 符合 |
| | 0.1 | 0.029 | 0.18 | 0.36 | 符合 |
| 0.3 | 0.2 | 0.058 | 0.19 | 0.38 | 符合 |
| | 1 | 0.29 | 0.34 | 0.68 | 符合 |

从表 3 可以看出,分辨力越大,引入的不确定度分量就越大,测量结果的扩展不确定度也越大,在检定工作中应区别对待。

对于分辨力为 0.1 °C, 0.2 °C 测温仪的检定,标准黑体的扩展不确定度 $U_s \leq 0.6$ °C,满足基本要求。

30 °C ~90 °C 范围内,对于分辨力为 1 °C 的测温仪的检定,当 $U_s=0.5$ °C 时,得出的测量结果扩展不确定度 $U_{95}=0.76$ °C。考虑数字仪表分辨力的特点,只有当温度大于 0.5 °C 才可能进位 1 °C, $3 \times 0.76 = 0.28 < 0.5$,数字仪表不进位,证明标准黑体辐射源扩展不确定度 $U_s \leq 0.5$ °C 满足量值传递要求。

3.2 腔源黑体辐射源

对于腔源黑体辐射源的校准,中国计量院只给出发射率设置为 1 的校准数据。若需发射率 0.95 的技术数据,溯源机构会给出发射率 0.95 的实际值和扩展不确定度,再根据一个计算公式求出,其不确定度要求分析过程与面源黑体辐射源相同。

4 标准黑体辐射源选型建议

(1)《工作用辐射温度计》征求意见稿中明确要

求,标准黑体辐射源均匀性应小于 0.1 °C 或 0.1% t °C,稳定性在 10 min 内应小于 0.1 °C 或 0.1% t °C。衡量黑体的优劣,主要看稳定性和均匀性指标是否符合要求。

(2)分辨力为标准黑体辐射源不确定度来源的分量,配置标准黑体辐射源时,分辨力越高越好。0.1 °C 和 0.01 °C 分辨力的标准黑体引入的标准不确定度分别为 0.029 °C 和 0.0029 °C,相差 10 倍。

(3)合理选择溯源机构是配置标准黑体的必要前提,不同溯源机构给出的扩展不确定度会相差很大。济南西车辆段使用的长安机电 HFY-15,2012 年送上海计量测试中心校准,30 °C ~90 °C 测温范围内,给出的扩展不确定度为 0.6 °C ($k=2$);2013 年送中国计量科学院溯源,给出的扩展不确定度为 0.3 °C ($k=2$)。

(4)充分调研,合理配置。目前铁路计量部门在用黑体辐射源以 FLUEK4180, ISOTECH976 和长安机电 HYF-15, BDB15A 为主。30 °C ~150 °C 测温范围内,ISOTECH976 和 FLUEK4180 经校准给出的扩展不确定度一般为 0.3 °C ~0.4 °C,长安机电 HFY-15 和 BDB15A 在 30 °C ~90 °C 测温范围内,给出的扩展不确定度一般为 0.3 °C ~0.4 °C,150 °C 温度点一般为 0.5 °C。总体来看,这几种型号作为标准器使用,可以满足技术要求。

5 结语

在实际工作中,无论选用哪种型号的黑体辐射源,都必须经法定溯源机构校准后,在 30 °C ~90 °C 范围内,理想的 8 μ m~14 μ m 辐射温度计设置 0.95 发射率各校准点的扩展不确定度应不大于 0.5 °C。否则,检定 1 °C 分辨力的测温仪,只能采用公式(3)判断示值误差是否合格,造成很多麻烦。理论上,只有减小标准黑体辐射源稳定性、均匀性和分辨力引入的标准不确定度,才能有效减小标准黑体的扩展不确定度。为此,开展检定工作应尽量选择稳定性高、均匀性好和分辨力高的标准黑体辐射源。

参考文献

[1] 原遵东,傅承玉,邢波,等.工作用辐射温度计检定规程征求意见稿[S].
 [2] JJF 1059—2012 测量不确定度评定与表示[S].
 [3] 中国计量测试协会.一级注册计量师基础知识及专业实务[M].北京,中国质检出版社,2011.

(编辑 李树坤)