

# 光谱辐射照度量值复现中计算大口径固定点 黑体拐点温度的新方法

谢一航, 代彩虹\*, 王彦飞, 吴志峰, 李玲, 贺书芳

中国计量科学研究院光学与激光计量科学研究所, 北京 100029

**摘要** 我国光谱辐射照度量值复现的理论基础是普朗克定律, 它揭示了波长、温度和光谱辐射照度之间存在着精确的定量关系。采用比较法、通过卤钨灯来进行光谱辐射照度量值的保存与传递。其中, 黑体的温度测量在量值复现中是最主要的不确定来源。以往都是采用变温黑体作为量值复现的辐射源, 其温度通过高温计溯源至温标固定点黑体。为满足我国对地观测、气象遥感、应对气候变化、海洋水色等领域对光谱辐射照度高精度的测量需求, 中国计量科学研究院 NIM 建立了一套 14 mm 大口径钨碳-碳 WC-C 高温固定点黑体系统, 作为基准辐射源直接复现光谱辐射照度量值, 进一步缩短了量值溯源链, 减少了温度测量误差。实验中高温计用来测量黑体的相对温度, 采用固定点熔化温坪曲线的拐点 POI 值校准后得到温度绝对值。因此拐点 POI 的合理评估计算就十分重要。与小口径 WC-C 固定点黑体不同, 大口径固定点的熔化温坪曲线的持续时间更长, 但温度起伏也更大, 因此广泛用于小口径固定点的传统拐点 POI 算法不再适用。提出了一种可筛选多次拟合法, 用于计算大口径固定点黑体的拐点温度。采用 3 mm 小口径 WC-C 和 Re-C 固定点对新方法的有效性进行验证, 结果表明新方法与三种传统方法的平均值的最大偏差为  $-0.007$  和  $-0.001$  K, 在 500 nm 引入的光谱辐射照度量值误差分别为 0.002 2% 和 0.000 3%。进一步采用 14 mm 大口径 WC-C 大口径固定点对新方法的稳健性进行验证。分析比较了筛选条件、数据平滑处理、拟合范围对拐点 POI 计算结果的影响, 新方法和三种传统 POI 计算方法的最大影响量分别为 0.001 和 0.633 K, 在 500 nm 引入的光谱辐射照度不确定度分别为 0.000 3% 和 0.20%。所提出的新方法能够有效减小外界因素引入的温度误差, 进一步提升光谱辐射照度量值的复现准确度, 更适用于大口径高温固定点黑体拐点温度的计算。

**关键词** 光谱辐射照度; 量值复现; 大口径高温固定点黑体; 拐点温度

**中图分类号:** O433.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2021)12-3942-07

## 引言

光谱辐射照度是国际计量局 CIPM 确定的六项光度和辐射度国际关键比对参数之一, 广泛应用于大气监测、对地遥感、航天工程、光生物安全等领域。中国计量科学研究院 (National Institute of Metrology, NIM) 建立的光谱辐射照度国家基准装置为光谱辐射照度的测量提供了最高量值溯源标准。NIM 代表中国已经参加了两次 250~2 500 nm 光谱辐射照度国际关键比对 CCPR-K1.a, 并取得了量值的国际等效互认, 目前已完成第三次国际比对实验<sup>[1]</sup>。随着我国科技的快速发展, 对地观测、气象遥感、应对气候变化、海洋水色

等领域对光谱辐射照度量值提出了更高的准确度需求。

普朗克定律是最常见的, 也是我国光谱辐射照度量值复现的理论基础, 为温度、光谱辐射照度和波长提供了一种精确的定量关系, 见式(1)

$$E_{BB}(\lambda, T) = \frac{c_1}{\pi n^2 \lambda^5} \frac{k\epsilon}{\exp(c_2/n\lambda T) - 1} \quad (1)$$

式(1)中, 波长  $\lambda$ 、空气折射率  $n$ 、黑体的辐射温度  $T$ 、黑体发射率  $\epsilon$ 、第一辐射常数  $c_1$ 、第二辐射常数  $c_2$  和几何因子  $k$ 。NIM 使用光谱比较装置将黑体的光谱辐射照度的量值通过卤钨灯进行保存和传递, 见式(2)

$$E_{Lamp}(\lambda) = E_{BB}(\lambda, T) \frac{S_{Lamp}(\lambda)}{S_{BB}(\lambda, T)} \quad (2)$$

式(2)中, 卤钨灯的光谱辐射照度  $E_{Lamp}$  和光辐射信号  $S_{Lamp}$ 、

收稿日期: 2020-11-03, 修订日期: 2021-02-21

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFF0200304), 国家质检总局能力提升专项(AJG1503)资助

作者简介: 谢一航, 1996年生, 中国计量科学研究院硕士研究生 e-mail: xieyihang918@163.com

\* 通讯作者 e-mail: daicaihong@nim.ac.cn

黑体的光谱辐射照度  $E_{BB}$  和光辐射信号  $S_{BB}$ 。由此可知，黑体的温度测量误差是光谱辐射照度量值复现中最主要的不确定来源。长期以来，变温黑体是光谱辐射照度量值复现的主要基准辐射源，其温度通过光电高温计溯源至温标固定点黑体。

ITS-90 国际温标体系中温度最高 1 357.77 K 的温标固定点为铜 Cu 纯金属固定点，更高的温度领域只能通过从 Cu 点的外推法来确定，这样做会引入很大的不确定度。1999 年，日本计量院 (National Metrology Institute of Japan, NMIJ) 的 Yamada 成功研制出了金属(碳)-碳(M-C 和 MC-C) 高温共晶体固定点<sup>[2-3]</sup>。M-C 和 MC-C 共晶体材料具有和纯金属相似相变特性和更高的熔点温度，有潜力成为未来的高温温标固定点。随后，各国的国家计量院和大学都开展了

相关研究，研制出一系列质量优良的小口径 M-C 和 MC-C 高温共晶体固定点。这些固定点作为温标定义固定点逐渐形成了辐射测温计量体系。其中，钨碳-碳 WC-C 的熔点可达到 3 020.6 K，与光谱辐射照度传递标准灯卤钨灯の色温 3 200 K 接近，从而受到了光辐射计量领域的关注<sup>[4]</sup>。不同于辐射测温领域使用的 3 mm 小口径固定点，应用于光辐射计量的大口径固定点需要更长的熔化温坪持续时间、更强的辐射信号和更多的辐射通量。其中，全俄光学与物理测量研究院 (All-Russian Research Institute for Optical and Physical Measurements, VNIIOFI) 在经历 3 和 5 mm 内径的 WC-C 高温固定点<sup>[5-6]</sup>之后，成功研制出了 14 mm 内径的大口径 WC-C 高温固定点<sup>[7]</sup>(图 1)，使高温固定点在光谱辐射照度量领域中的应用成为了可能。

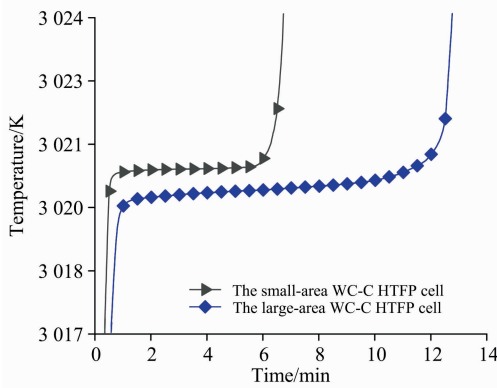


图 1 大口径与小口径 WC-C 固定点的比较

Fig. 1 The comparison between large and small-area WC-C HTFPs

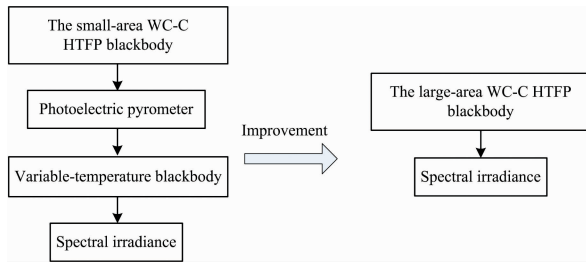


图 2 光谱辐射照度量值传递链的改良

Fig. 2 Improvement of spectral irradiance traceability chain

为了减少温度测量误差、缩短量值传递链，进一步提高光谱辐射照度基准量值复现的准确度，2019 年 NIM 建立了一套大口径 WC-C 高温固定点黑体辐射源，基于这套新的基准辐射源直接复现光谱辐射照度基准量值<sup>[8]</sup>。新的量值传递链如图 2 所示。大口径高温固定点黑体辐射源由 14 mm 大口径 WC-C 高温固定点单元(图 3)和 59 mm 大口径变温黑体辐射源 BB3500MP(图 4)组成，系统的整体发射率为 0.999 7。大口径固定点单元的腔长为 44 mm，底部锥角 120°，辐射口内径 14 mm，铸锭质量 147 g，熔化温坪的持续时间为 12 min，能够满足可见波段内光谱辐射照度测量时间 8 min 的需要。

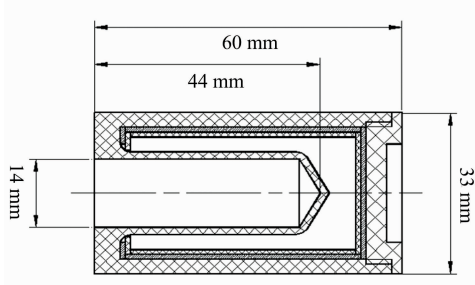


图 3 大口径 WC-C 高温固定点单元

Fig. 3 A large-area WC-C HTFP cell

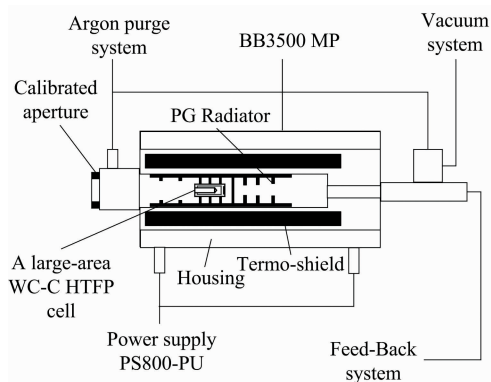
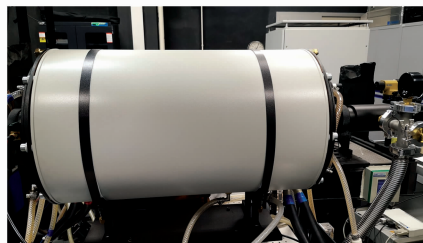


图 4 大口径黑体辐射源

Fig. 4 A large-area blackbody radiation source



## 1 可筛选多次拟合法

在早期共晶体高温固定点的研究中,由于熔化温坪曲线的拐点(point of inflection, POI)具有良好的重复性、复现性和稳定性,一直被专家们当做温度参考点,甚至在一段时间内被当做熔点。后来,液相点温度被定义为熔点温度,因为它是理想状态下纯共晶体材料的固-液界面温度。拐点有时被称为“工作熔点”,广泛应用于辐射测温、温度溯源和固定点性能比对等。目前液相点温度也没有准确的定义,专家们假设其在下限温度和上限温度之间的某个位置。其中下限温度由拐点温度定义,上限温度由拐点处切线的外推法确定。由此可知拐点的合理评估不仅仅具有实用性,更对液相点温度的确定起到了重要作用<sup>[9-13]</sup>。

由图 1 可知,与 3 mm 内径的 WC-C 小口径固定点的熔化温坪曲线相比,同种类的 14 mm 内径大口径固定点具有更长的熔化持续时间和更大的温度变化范围。采用的大口径和小口径固定点的铸锭质量分别为 147 和 53 g,明显的质量差异导致大口径固定点的熔化持续时间更长。虽然采用的材料纯度和灌注工艺相同,但是很难为大口径固定点提供更好的温度均匀性,因此大口径固定点的熔化温坪会出现较大的温度起伏变化。

实验中固定点黑体的稳定性优于光电高温计,高温计仅用来测量黑体的相对温度,用已知的拐点温度对测量值进行校准后得到绝对温度。可以说拐点温度的合理评估与计算直接影响着光谱辐射照度量值复现过程中的黑体温度。大口径固定点的熔化温坪曲线持续时间更久、温度范围更大,传统的拐点计算方法不再适用。因此我们提出了一种新的可筛选多次拟合法,来评估计算大口径固定点熔化温坪曲线的拐点温度。

现有的研究报告指出固定点熔化温坪曲线的形状接近三次函数(图 1),可用三次函数进行拟合处理。研究发现:采用不同的拟合范围会得到不同的拟合结果,因此确定合理的拟合范围十分重要。可筛选多次拟合法的拟合范围由两部分组成,分别由熔化温坪曲线的一阶和二阶微分确定,如图 5 所示。该方法中,拟合范围的起点和终点分别位于点  $t_s$  到  $t_{ms}$  和

$t_{me}$  到  $t_c$  之间。其中,  $t_s$  到  $t_c$  为拟合范围的外限,由一阶微分的极值点确定;  $t_{ms}$  到  $t_{me}$  为拟合范围的内限,由二阶微分的极值点确定。多次拟合将会产生大量的拟合结果,然而并不是每一次结果的拟合效果都理想。因此该方法使用调整后的可决系数( $R_{adj}^2$ )来客观地评估拟合效果。 $R_{adj}^2$  越接近于 1,则拟合效果越好,反之则差。

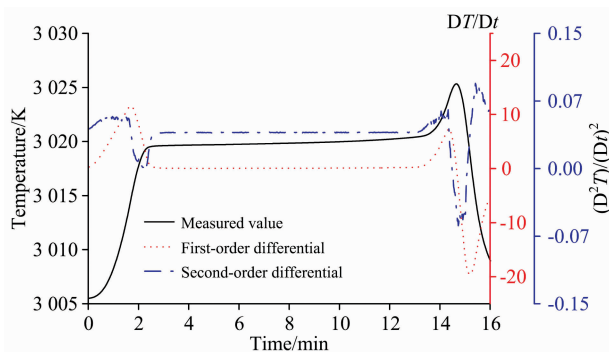


图 5 拟合范围的选择

Fig. 5 Selection of fitting range

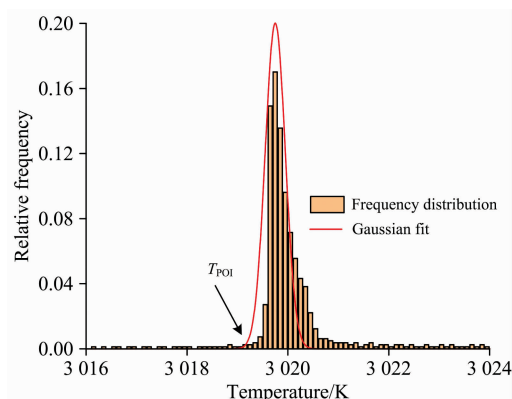


图 6 频率分布高斯拟合法的原理图

Fig. 6 Schematic diagram of gaussian fitting of frequency distribution

可决系数( $R_{adj}^2$ )的计算

$$R_{\text{adjusted}}^2 = 1 - \frac{SS_{\text{resid}}}{SS_{\text{total}}} \frac{(n-1)}{(n-D-1)} \quad (3)$$

$$SS_{\text{resid}} = \sum_{i=1}^n (T_i - \hat{T}_i)^2 \quad (4)$$

$$SS_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2 \quad (5)$$

其中,  $SS_{\text{resid}}$  为残差平方和,  $SS_{\text{total}}$  为总平方和,  $T_i$  为测量数据,  $\hat{T}_i$  为拟合数据,  $\bar{T}$  为测量数据的均值,  $n$  为测量数据的总数,  $D=3$  为拟合多项式的阶数。

拟合曲线的选择标准为  $R_{\text{adj}}^2 \geq R_{\text{adj, select}}^2$ 。进行多次三次多项式拟合, 得到一系列拟合结果, 筛选出符合要求的结果, 再对所有符合条件的拟合曲线进行平均。通过计算得到许多符合选择条件 ( $R_{\text{adj}}^2 \geq R_{\text{adj, select}}^2$ ) 的拟合曲线。采用公式  $T=at^3+bt^2+ct+d$  和  $t_{\text{POI}}=-\frac{b}{3a}$ , 获得符合条件的每一条拟合曲线的拐点温度值  $T_{\text{POI}}(i)$ 。  $N$  为所有合格拟合曲线的数量, 每一条单独的曲线可以描述为

$$T_i = a_i t^3 + b_i t^2 + c_i t + d_i \quad (6)$$

式(6)中,  $i \in [1, N]$  的区间。最终的 POI 由所有结果的平均得到, 可以描述为式(7)和式(8)

$$t_{\text{POI, final}} = -\frac{\sum b_i}{3 \sum a_i} \quad (7)$$

$$T_{\text{final}} = \frac{\sum a_i}{N} t^3 + \frac{\sum b_i}{N} t^2 + \frac{\sum c_i}{N} t + \frac{\sum d_i}{N} \quad (8)$$

## 2 现有的拐点计算方法

目前国际上没有规定统一的拐点计算方法, 各个实验室算法不同。2012 年, 英国国家物理实验室 (National Physical Laboratory, NPL) 的 Lowe 总结了一种早期常用的频率分布高斯拟合法<sup>[14]</sup>, 2015 年 NMIJ 的 Yamada 在“CCT-WG5-WP2 协议”中提出了一种计算方法<sup>[13]</sup>, 2016 年 NPL 的 Emma 提出了半波宽三次拟合法<sup>[9]</sup>。这三种传统的 POI 算法被广泛地应用于小口径高温固定点的熔化温坪曲线的拐点计算。

频率分布高斯拟合法是将熔化持续阶段内的所有温度数据进行汇总并绘制频率分布直方图, 随后采用高斯分布对其进行拟合计算, 最后的中心位置就是  $T_{\text{POI}}$ , 如图 6 所示。

“CCT-WG5-WP2 协议”算法首先采用初始长度的移动平均数将温度数据进行平滑处理以减少环境或仪器的影响, 随后得到其一阶及二阶微分。熔化温坪的持续时间可以通过二阶微分的极值点确定, 而拐点可以通过一阶微分的极值点确定, 如图 7 所示。然后将移动平均数的长度加倍或减半后得到相应的拐点温度值。计算这三个拐点温度的标准差, 随后改变几个移动平均数的初始长度, 从而选择标准差最小的初始长度, 其对应的拐点温度值就是最终结果。

半波宽三次拟合法使用三次函数对熔化温坪曲线的中间二分之一的部分进行拟合, 得到  $T=at^3+bt^2+ct+d$ , 随后将  $t_{\text{POI}}=-\frac{b}{3a}$  代入得到  $T_{\text{POI}}$ , 如图 8 所示。该方法之前被

“Implementing the new kelvin, InK”国际项目采纳并用来评估和计算小口径高温固定点黑体的拐点。

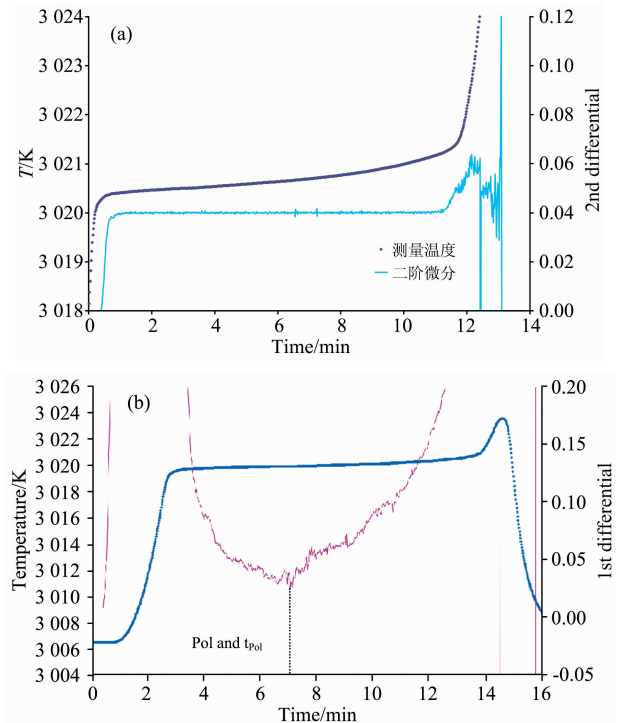


图 7 “CCT-WG5-WP2 协议”算法

Fig. 7 The method of “CCT-WG5-WP2 protocol”

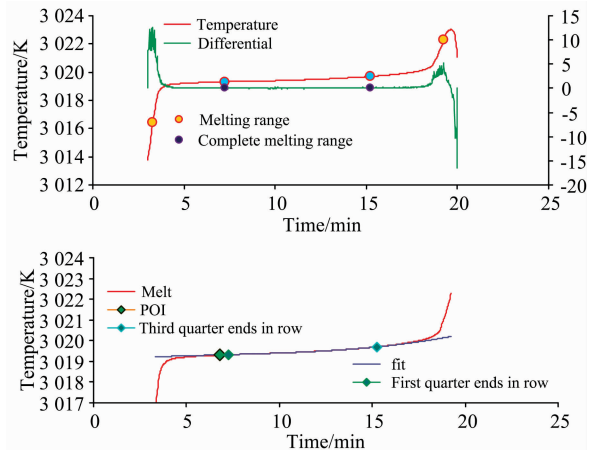


图 8 半波宽三次拟合法的原理图

Fig. 8 Method of “half-width third-order polynomial fitting”

## 3 实验与讨论

### 3.1 有效性检验

现有的拐点算法都是应用于小口径高温固定点。为了检验新方法的有效性, 实验选取了 3 mm 小口径 WC-C 和 Re-C 高温固定点分别进行“熔化-凝固”循环, 并采用这些方法分别计算其对应的拐点温度值。实验结果如表 1 所示, 新方法与三种传统方法的平均值的最大偏差为  $-0.007$  和  $-0.001$  K,

表 1 小口径 Re-C 高温固定点熔化温坪曲线拐点温度的比较

Table 1 Calculating results of POIs temperature value in Kelvin for a small-area Re-C HTPF

小口径 固定点	$T_{POI}/K$					新方法与传统 算法平均值的 最大偏差/K
	可筛选多次 拟合法	“CCT-WG5-WP2 协议” 算法	半波段三次 拟合法	频率分布的高斯 拟合法	传统算法结果 的平均值	
Re-C	2 747.623	2 747.645	2 747.643	2 747.603	2 747.630	-0.007
WC-C	3 020.545	3 020.550	3 020.546	3 020.543	3 020.546	-0.001

分别在 500 nm 处可以引入 0.002 2% 和 0.000 3% 的光谱辐射照度测量误差。

### 3.2 稳健性检验

由第 2 节原理可知, 筛选标准、数据平滑处理、拟合范围能够影响新方法计算结果。为了探究新方法的稳健性, 实验采用 14 mm 大口径 WC-C 高温固定点进行“熔化-凝固”循环。分析可知, 拟合外限范围持续时间为 12 min, 内限范围持续时间为 8 min, 程序中设置的  $R_{adj, select}^2$  为 0.995。实验结

果如表 2 所示, 其中由内限拟合范围改变对计算结果造成的影响量最大, 为 0.004 K, 可以引入 0.0013% 的光谱辐射照度测量误差。在实验中总会有各种意想不到事情发生, 筛选标准的适量放宽可以更好地评估那些质量不佳熔化温坪曲线的拐点温度; 对数据的平滑处理可以有效地减小环境或仪器带来的噪声影响; 不同的实验人员在拟合范围的选择上也会略有差异, 筛选标准的设置和结果的平均处理可以有效地应对这种情况。

表 2 探究新方法的稳健性

Table 2 The investigation of robustness for the new method

影响因素	不同条件下对应的 $T_{POI}/K$			偏差/K	
筛选标准	$R_{adj}^2 \geq 0.995$		$R_{adj}^2 \geq 0.95$	0.003	
	3 019.971		3 019.974		
平滑处理	平滑处理		原始数据组	0	
	3 019.971		3 019.971		
外限拟合范围	680 s	720 s	760 s	不同组与 720 s 组的偏差	
				680 s	760 s
	3 019.971	3 019.971	3 019.973	0	0.002
拟合范围	440 s	480 s	520 s	不同组与 480 s 组的偏差	
				440 s	520 s
	3 019.968	3 019.971	3 019.975	-0.003	0.004

这些影响因素中的平滑处理和外限拟合范围(即熔化持续范围)是对四种方法都通用的, 为了更好地探究新方法与传统方法的稳健性, 采用大口径 WC-C 高温固定点黑体熔化曲线来分析不同方法的影响。结果如表 3 所示, 新方法和三

种传统 POI 计算方法受影响因素改变的最大影响量分别为 0.001 和 0.633 K, 对应 500 nm 引入的光谱辐射照度不确定度分别为 0.000 3% 和 0.20%。

表 3 不同因素对新方法与传统方法的影响

Table 3 The influence of different factors on new and traditional methods

方法名称	平滑处理			外限拟合范围(熔化持续范围)				
	不同条件下对应的 $T_{POI}/K$		偏差/K	不同间隔组的 $T_{POI}/K$			不同组与 720 s 组的偏差/K	
	平滑处理	原始数据组		680 s	720 s	760 s	680 s	760 s
可筛选多次拟合法	3 019.974	3 019.974	0.000	3 019.973	3 019.974	3 019.975	-0.001	0.001
“CCT-WG5-WP2 协议”算法	3 019.977	3 019.996	0.019	/	3 019.977	/	/	/
半波段三次拟合法	3 019.449	3 019.453	0.004	3 018.955	3 019.453	3 020.086	-0.498	0.633
频率分布的高斯拟合法	3 020.090	3 020.009	-0.081	3 020.001	3 020.009	3 020.020	-0.008	0.011

## 4 结 论

基于 14 mm 大口径 WC-C 高温固定点黑体进行光谱辐射照度量值的直接复现时, 需要准确测量熔化温坪的辐射温度。采用 WC-C 熔化温坪曲线拐点温度的国际参考值对光电

高温计实际测量的相对温度分布进行校准, 得到绝对的熔化温坪曲线。大口径固定点的熔化温坪曲线的持续时间更长、温度变化更大, 用于小口径固定点的传统算法不再适用, 本文提出一种可筛选多次拟合法, 应用于大口径固定点黑体的 POI 计算。采用 3 mm 小口径 WC-C 和 Re-C 固定点对其有效性进行验证, 结果表明新方法与传统方法的平均值的最佳

大偏差为  $-0.007$  和  $-0.001$  K, 在  $500\text{ nm}$  处引入的光谱辐射照度测量不确定度分别为  $0.002\%$  和  $0.0003\%$ 。分析了筛选条件、数据平滑处理、拟合范围对拐点 POI 计算结果的影响, 新方法和三种传统 POI 计算方法的最大影响量分别为

$0.001$  和  $0.633$  K, 在  $500\text{ nm}$  引入的光谱辐射照度不确定度分别为  $0.0003\%$  和  $0.20\%$ 。可见新方法能够有效减小外界因素引入的温度误差, 进一步提升光谱辐射照度量值的复现准确度, 更适用于大口径高温固定点黑体拐点温度的计算。

## References

- [1] DAI Cai-hong, WU Zhi-feng, WANG Yan-fei, et al(代彩红, 吴志峰, 王彦飞, 等. Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2019, 39(8): 2640.
- [2] Yamada Y, Sakate H, Sakuma F, et al. Metrologia, 1999, 36(3): 207.
- [3] Yamada Y, Sakate H, Sakuma F, et al. Metrologia, 2001, 38(3): 213.
- [4] Sasajima N, Lu X, Khlevnoy B, et al. Metrologia, 2019, 56(5): 055010.
- [5] Khlevnoy B B, Grigoryeva I A, Otryaskin D A. Metrologia, 2012, 49(2): S59.
- [6] Khlevnoy B B, Grigoryeva I A. International Journal of Thermophysics, 2015, 36(2-3): 367.
- [7] Khlevnoy B B, Grigoryeva I, Anhalt K, et al. Metrologia, 2018, 55: S43.
- [8] Wang Yanfei, Dai Caihong, Khlevnoy B B, et al. Optics Express, 2020, 28(19): 28430.
- [9] Woolliams E R, Anhalt K, Ballico M, et al. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2016, 374(2064): 20150044.
- [10] Lowe D, Heufelder S. Metrologia, 2013, 50(3): 227.
- [11] Machin G. Twelve Years of High Temperature Fixed Point Research: a Review AIP Conf. Proc. 2013, 1552: 305. <https://doi.org/10.1063/1.4821383>.
- [12] Woolliams E R, Machin G, Lowe D H, et al. Metrologia, 2006, 43(6): R11.
- [13] Yamada Y, Anhalt K, Battuello M, et al. International Journal of Thermophysics, 2015, 36(8): 1834.
- [14] Lowe D, Machin G. Metrologia, 2012, 49(3): 189.

# A New Method for Inflection Point Temperature Calculation of Large-Area High-Temperature Fixed-Point Blackbody Used in Spectral Irradiance Scale Realization

XIE Yi-hang, DAI Cai-hong\*, WANG Yan-fei, WU Zhi-feng, LI Ling, HE Shu-fang

Division of Optical Metrology, National Institute of Metrology, China, Beijing 100029, China

**Abstract** The theoretical basis of the national primary standard apparatus of spectral irradiance in China is Planck's law revealing a real quantitative relationship between wavelength, temperature and spectral irradiance. The spectral irradiance comparison method is used to preserve and transfer the spectral irradiance standard by halogen tungsten lamp. Moreover the temperature measurement of a blackbody is the main source of uncertainty in the realization of spectral irradiance. For a long time in the past, a variable high-temperature blackbody was used as the primary radiation source for realization of spectral irradiance scale, and the temperature measurement of the blackbody was realized by a pyrometer traceable to the fixed-point temperature scale blackbodies of NIM. In order to meet the needs of high accuracy measurement of spectral irradiance in the fields of earth observation, meteorological remote sensing, climate change monitoring and ocean color detection in China, National Institute of Metrology (NIM) established a 14 mm diameter WC-C high-temperature fixed-point blackbody (HTFP) system, which was used as the primary radiation source to realize spectral irradiance scale directly. This method can shorten the traceability chain and reduce the temperature measurement error. In the experiment, the data obtained by a pyrometer are only the relative distribution of the blackbody temperature rather than the absolute value. In order to obtain the absolute temperature of a WC-C HTFP blackbody which can be used for the realization of spectral irradiance, it is necessary to use the point of inflection (POI) temperature of the melting temperature plateau curve for comparison calibration. So it is important to calculate and evaluate the POI temperature reasonably. Unlike a small-area WC-C HTFP, the melting temperature plateau curve of a large-area WC-C HTFP has a longer duration and has greater temperature variation, so traditional POI calculation methods, which are widely used in small-area HTFPs, are no longer applicable. So this paper proposed a selective multiple fit methods

calculating the POI of a large-area WC-C HTFP with a 14 mm inner diameter. The influences of selective criterion, data smoothing and fitting range on the calculation results of POI were investigated. The maximum discrepancy between the new and traditional methods was 0.001 and 0.633 K, introducing 0.000 3% and 0.20% spectral irradiance measurement errors at 500 nm respectively. Using small-area WC-C and Re-C fixed-points with 3 mm inner diameters to investigate the validity of the new method. The results showed that the maximum discrepancy between the new method and the average value of the three traditional methods was  $-0.007$  and  $-0.001$  K, introducing 0.002 2% and 0.000 3% spectral irradiance measurement errors at 500 nm respectively. Compared with the three traditional methods, the new method can effectively reduce the temperature error and improve the realization accuracy of spectral irradiance. It is more suitable to calculate the POI temperature of a large-area WC-C HTFP blackbody.

**Keywords** Spectral irradiance; Primary scale realization; Large-area WC-C HTFP; Point of inflection

(Received Nov. 3, 2020; accepted Feb. 21, 2021)

\* Corresponding author