



国防军工计量检定规程

JJG (军工) 180—2019

-50℃~300℃辐射测温用浴式参考 黑体辐射源

Bath Reference Blackbody Radiator for Radiation

Thermometry from -50℃ to 300℃

2019-12-20 发布

2020-04-01 实施

国家国防科技工业局 发布

**-50℃~300℃辐射测温用浴
式参考黑体辐射源检定规程**

**Verification Regulation of Bath Reference
Blackbody Radiator for Radiation
Thermometry from -50℃ to 300℃**

JJG (军工) 180—2019

起草单位：国防科技工业第一计量测试研究中心

本规程起草人：

蔡 静（国防科技工业第一计量测试研究中心）

张 岚（国防科技工业第一计量测试研究中心）

张学聪（国防科技工业第一计量测试研究中心）

杨永军（国防科技工业第一计量测试研究中心）

目 录

前言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 概述.....	1
4.1 原理.....	1
4.2 构造.....	1
4.3 分类.....	2
4.4 用途.....	2
5 计量性能要求.....	3
5.1 亮度温度示值误差.....	3
5.2 温度波动度.....	3
5.3 温度均匀度.....	3
6 通用技术要求.....	3
6.1 外观.....	3
6.2 绝缘电阻.....	3
7 计量器具控制.....	3
7.1 检定条件.....	3
7.2 检定项目.....	4
7.3 检定方法.....	4
7.4 检定结果的处理.....	7
7.5 检定周期.....	7
附录 A 浴式参考黑体辐射源发射率偏离 1 引入的修正值计算方法.....	8
附录 B 浴式参考黑体辐射源原始记录内页参考格式.....	9
附录 C 浴式参考黑体辐射源检定证书内页参考格式.....	12
附录 D 浴式参考黑体辐射源亮度温度示值误差测量不确定度分析.....	13

前 言

辐射测温用浴式参考黑体辐射源主要用于辐射温度计、红外热像仪等设备的检定/校准,是亮度温度进行准确溯源必不可少的标准装置。

本规程依据 JJF (军工) 1—2012《国防军工计量检定规程编写规则》进行制订,同时参考 JJF 1030—2010《恒温槽技术性能测试规范》进行编制。

本规程以标准铂电阻温度计作为标准器,对 -50°C ~ 300°C 辐射测温用浴式参考黑体辐射源进行检定。

-50℃~300℃辐射测温用浴式参考黑体辐射源检定规程

1 范围

本规程适用于-50℃~300℃辐射测温用浴式参考黑体辐射源（以下简称浴式参考黑体辐射源）首次检定、后续检定和使用中检查。

2 引用文件

本规程引用了下列文件：

JJF 1001 通用计量术语及定义

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程；凡不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

3 术语和定义

JJF 1001 界定的及以下列术语和定义适用于本规程。

3.1 [有效]亮度温度 [effective] radiance temperature

在给定波长范围，辐射亮度与被测热辐射体的有效辐射亮度相等的黑体的温度。

3.2 黑体辐射源 blackbody radiator

用于检定或校准辐射温度计、具有稳定控制的温度和明确的发射率、且热辐射特性接近于黑体的凹形装置。

3.3 浴式参考黑体辐射源 bath reference blackbody radiator

采用液体浴方式进行加热的具有检定或校准辐射温度计所需亮度温度及其他计量性能的黑体辐射源。

3.4 浴式参考黑体辐射源工作区域 bath reference blackbody radiator working space

能够完全包含黑体腔，且温度均匀度、温度波动度满足要求的区域

4 概述

4.1 原理

浴式参考黑体辐射源主要是采用黑体腔与恒温槽相结合的方式获得理想的温度场。通常是将一端密闭的管状黑体腔整体伸入到工作区内，使工作区的工作介质加热黑体腔，如图1所示，从而可以在黑体腔的壁面和靶面获得均匀的温度分布。工作区采用铂电阻温度计测温与PID调节技术相结合的方式，实现较高的控温稳定性和控温准确度。采用二等标准铂电阻作为标准器，并对有效发射率偏离1产生的影响进行修正，即可满足亮度温度量传的需求。

4.2 构造

浴式参考黑体辐射源由黑体空腔、加热器及冷却盘管、温度控制和温度测量等系统组成。

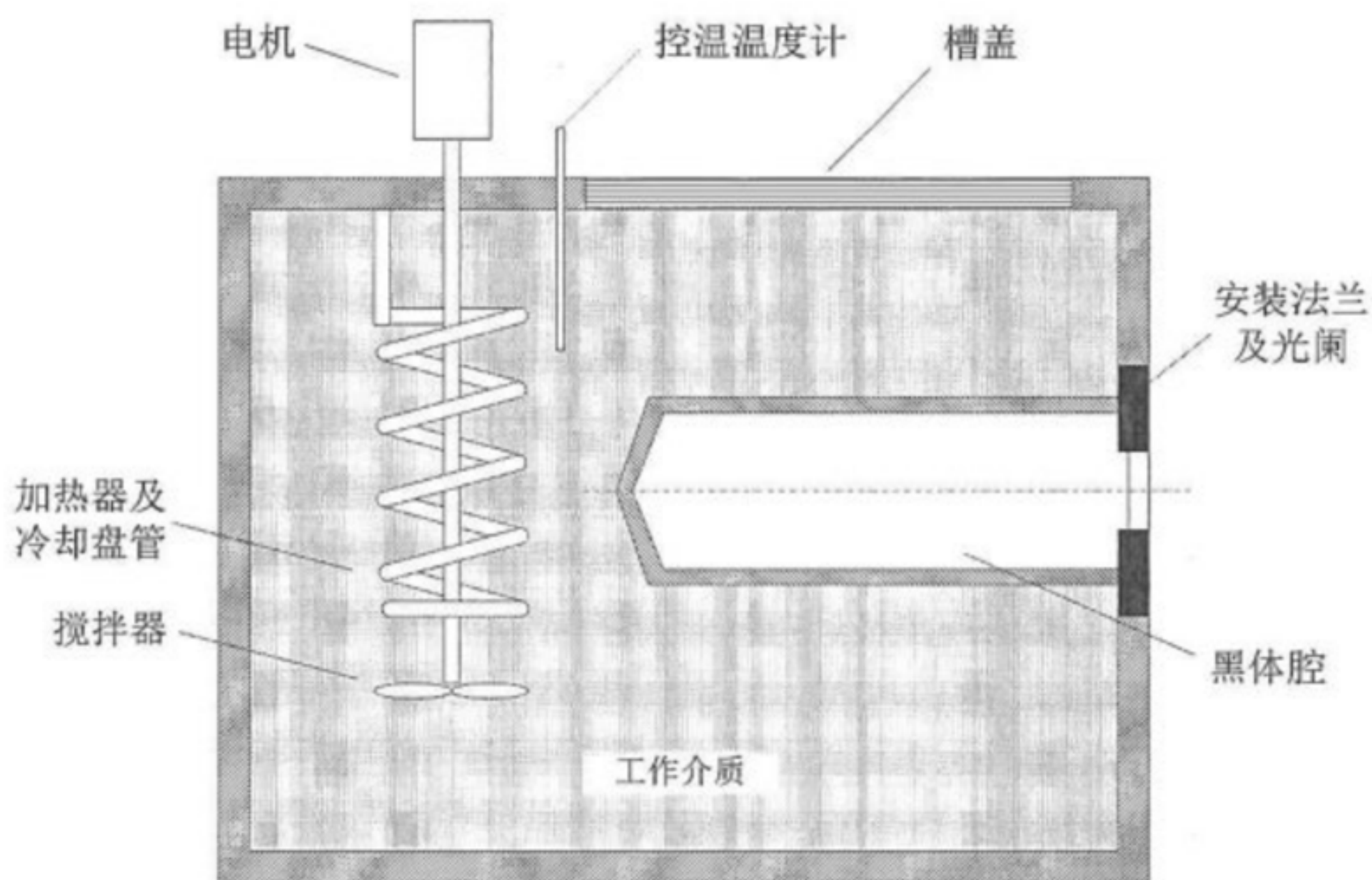


图1 浴式参考黑体辐射源原理示意图

典型的黑体空腔形状（见图2），包括：①圆筒型（带盖或不带盖）；②圆锥-圆筒型（带盖或不带盖）；③内凸圆锥-圆筒型（带盖或不带盖）；④双锥型；⑤带盖锥型；⑥球型。

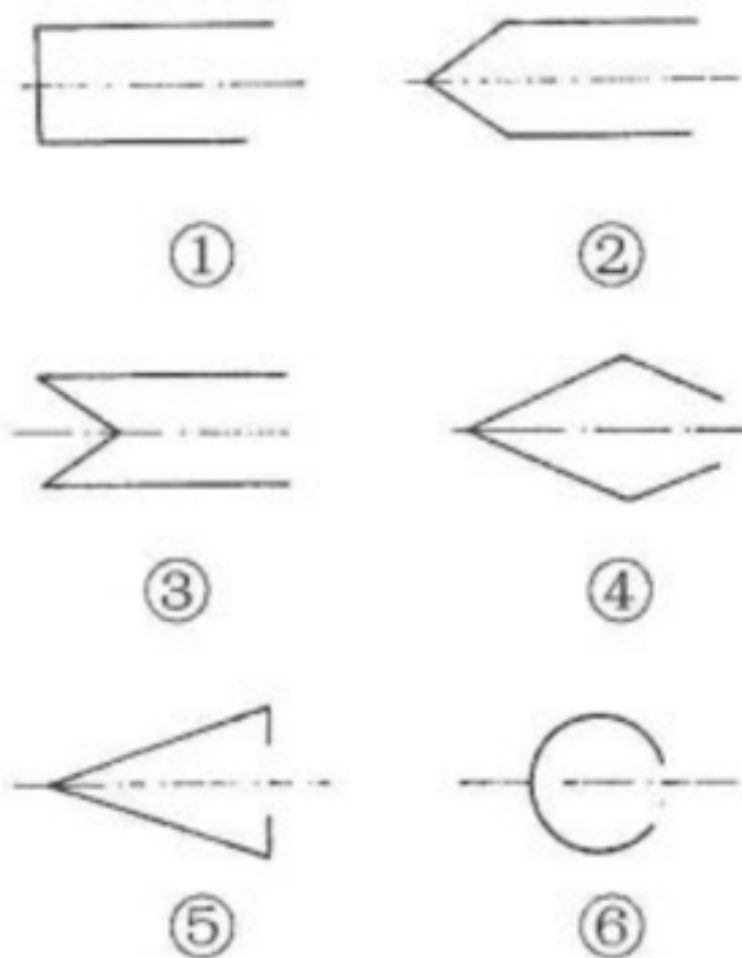


图2 各种形状黑体空腔示意图

4.3 分类

浴式参考黑体辐射源依据温度范围选用不同的工作介质，常用的有酒精、纯净水、制冷剂 and 硅油。

4.4 用途

浴式参考黑体辐射源与接触式温度计结合使用，可用于检定/校准辐射温度计、红外热像仪以及其他亮度温度测量装置。

5 计量性能要求

5.1 亮度温度示值误差

亮度温度范围： $-50^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，最大允许误差： $\pm(0.3\%|t|+1^{\circ}\text{C})$ 。

5.2 温度波动度

在 10min 内不大于 $(0.1^{\circ}\text{C}$ 与 $0.1\%|t|$ 大者)。

5.3 温度均匀度

不大于 $(0.15^{\circ}\text{C}$ 与 $0.15\%|t|$ 的大者)。

6 通用技术要求

6.1 外观和附件

浴式参考黑体辐射源应标有型号规格、制造厂（或商标）和出厂编号；黑体空腔内表面涂层均匀，无剥落，无明显灰尘；浴式参考黑体辐射源上或附件中应标明黑体空腔的形状、黑体腔表面材料发射率或者有效发射率指标。

仪表按键功能完好，指示屏显示正常，无可见缺陷。

6.2 绝缘电阻

浴式参考黑体辐射源加热元件与外壳之间的绝缘电阻不小于 $20\text{M}\Omega$ 。

7 计量器具控制

7.1 检定条件

7.1.1 检定用设备

检定用设备应经过计量技术机构检定或校准，满足检定使用要求，并在有效期内。

检定装置主要由标准铂电阻温度计和辅助设备组成。其主要参数见表 1。

表 1 标准及配套设备技术指标

仪器设备名称	技术要求	用途
标准铂电阻 温度计	温度范围：满足检定温度范围要求，一般为 $-50^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ 准确度等级：二等 数量：2 支 其他：亦可使用满足要求的其它标准温度计	用直接法检定浴式参考 黑体辐射源时的标准器
电阻测量仪	量程：满足所需铂电阻的电阻范围要求，一般为 100Ω 准确度等级：0.005 级 其他：亦可使用满足要求的其它电阻测量仪器	测量铂电阻温度计 的阻值
绝缘电阻表	量程： $500\text{M}\Omega$ 准确度等级：10 级 直流电压： 500V	测量浴式参考黑体辐射 源的绝缘电阻

7.1.2 环境条件

a) 环境温度： $18^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ ；

b) 相对湿度： $20\%\sim 85\%$ ；

c) 供电电源: (220 ± 22) V, (50 ± 1) Hz;

d) 其他: 实验环境无明显机械振动、强机械冲击和强电磁干扰; 实验过程中应避免阳光和强辐射源对实验造成干扰; 应避免空调气流、开门窗引起的对流对浴式参考黑体辐射源的影响。

7.2 检定项目

浴式参考黑体辐射源的检定项目见表 2。

表 2 检定项目

序号	检定项目名称	首次检定	后续检定	使用中检查
1	外观和附件	+	+	+
2	绝缘电阻	+	+	-
3	亮度温度示值误差	+	+	+
4	温度波动度	+	+	-
5	温度均匀度	+	+	-
注: “+” 为应检项目, “-” 为可不检项目。				

7.3 检定方法

7.3.1 外观和附件

对浴式参考黑体辐射源进行外观检查, 应符合 6.1 的要求。

7.3.2 绝缘电阻

a) 在不连接电源的情况下, 将浴式参考黑体辐射源电源开关打开。对使用接触器 (需接通外部电源后才能接通的开关) 的浴式参考黑体辐射源, 如可能, 应设法使接触器处于接通状态;

b) 使用绝缘电阻表分别测量浴式参考黑体辐射源加热元件与外壳 (L 端子与 G 端子或 N 端子与 G 端子) 之间的绝缘电阻, 测量结果应符合 6.2 的要求。

7.3.3 亮度温度示值误差

a) 电测设备进行预热, 预热时间至少 20min 或者满足电测设备使用说明书的要求;

b) 按照使用说明书的要求使浴式参考黑体辐射源处于正常工作状态, 并保证工作区域的液面处于规定位置;

c) 工作区域: 浴式参考黑体辐射源的工作区域一般是指将黑体腔包含的立体区域 (见图 3);

d) 将标准铂电阻温度计 1 (固定温度计) 插入工作区域指定位置 O (对于水平放置黑体腔, 一般为靶尖位置; 对于竖直放置黑体腔, 一般为工作区域深度 1/2 位置);

e) 将标准铂电阻温度计 2 (移动温度计) 插入工作区域指定位置 (建议在距离黑体腔 1cm~2cm 处), 如图 3 所示的 A、B、C、D、E、F、G、H 点;

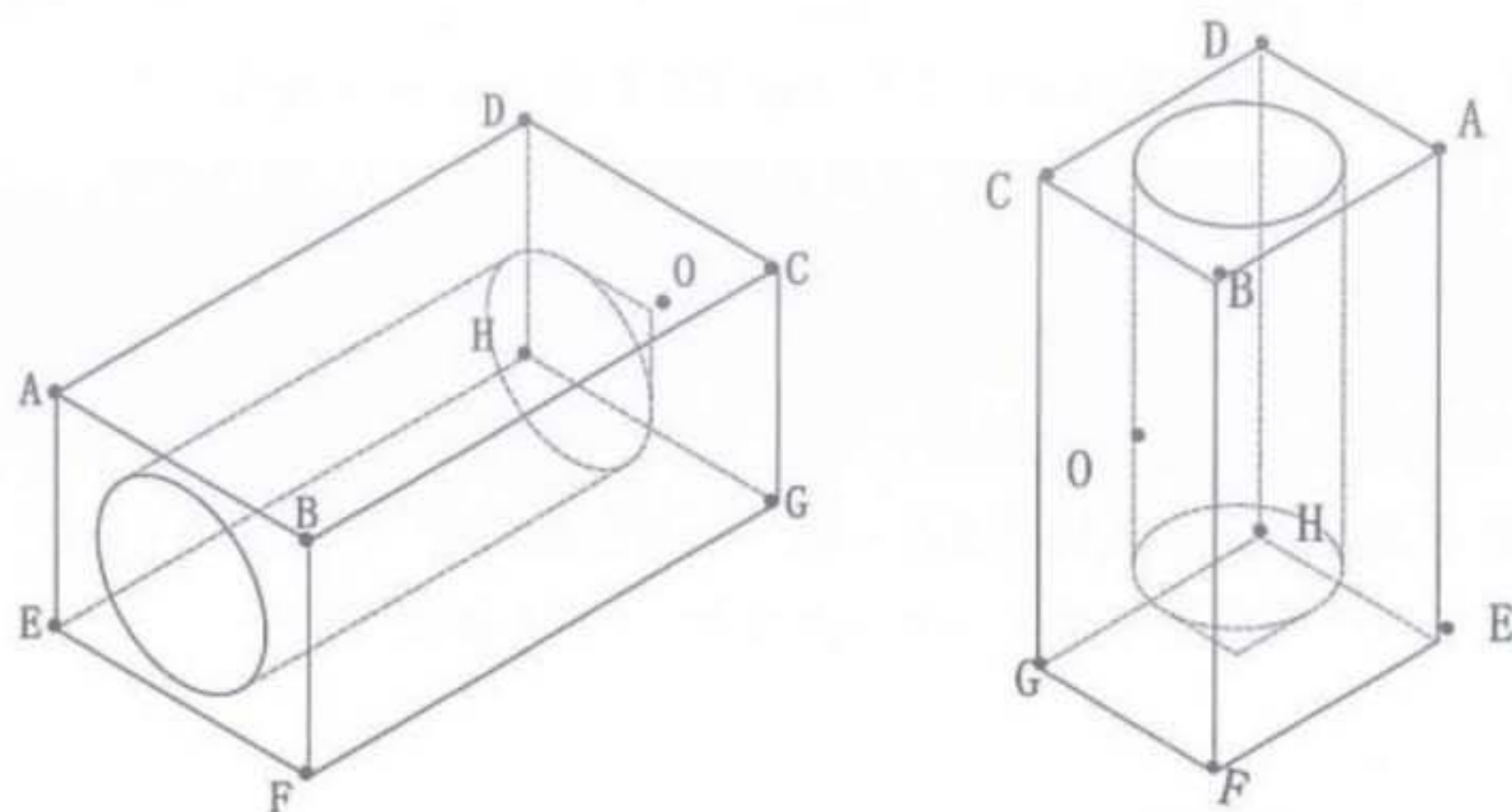


图3 浴式参考黑体辐射源工作区域示意图

f) 浴式参考黑体辐射源亮度温度检定点的选择需覆盖整个温度范围, 按照下列规则进行选取:

- 1) 包含温度范围内下限、上限和所有整百度温度点;
- 2) 如果在温度范围内, 含有 -50°C , -30°C , 0°C , 30°C , 50°C , 80°C 温度点, 应予以检定;
- 3) 必要时可增加检定点。

g) 被检浴式参考黑体辐射源温度设定在检定温度点, 10min 的温度控制波动度不大于 $(0.1^{\circ}\text{C}$ 与 $0.1\%|t|$ 的大者) (t 为检定点温度值), 即温度稳定以后开始检定;

h) 读取固定温度计电阻值和浴式参考黑体辐射源控温仪表示值, 按照以下顺序进行读数: 固定温度计→浴式参考黑体辐射源→浴式参考黑体辐射源→固定温度计;

固定温度计的电阻值通过电阻测量仪读取, 采用四线制的测量方法。固定温度计测得的温度值按照式(1)转化为温度值。其中 R_{tp} , W_s , dW_s/dt 依据该固定温度计的检定证书(标准铂电阻温度计分度表)获得。

$$t_s = t_{cn} + \left(\frac{R_s}{R_{tp}} - W_s \right) / (dW_s / dt) \quad (1)$$

式中:

R_s ——固定温度计在检定点处测得的电阻值, Ω ;

R_{tp} ——固定温度计在水三相点处的电阻值, Ω ;

W_s , dW_s/dt ——固定温度计的电阻比值和电阻比值对温度的变化率;

t_s ——固定温度计测得的浴式参考黑体辐射源的靶面温度的平均值, $^{\circ}\text{C}$;

t_{cn} ——检定点, $^{\circ}\text{C}$ 。

i) 由于浴式参考黑体辐射源的工作区域内温度均匀性好, 因此在进行亮度温度换算时, 只考虑发射率偏离 1 对浴式参考黑体辐射源亮度温度的影响。发射率偏离 1 引入的修正值的计算方法参见附录 A, 浴式参考黑体辐射源的亮度温度按照式 (2) 进行计算:

$$t_c = t_s + \Delta t_s \quad (2)$$

式中:

t_c ——浴式参考黑体辐射源的亮度温度, $^{\circ}\text{C}$;

Δt_s ——浴式参考黑体辐射源发射率偏离 1 引入的修正值, $^{\circ}\text{C}$ 。

j) 浴式参考黑体辐射源的亮度温度示值误差按照式 (3) 进行计算:

$$\Delta t_c = t_{cn} - t_c \quad (3)$$

式中:

Δt_c ——浴式参考黑体辐射源的亮度温度示值误差, $^{\circ}\text{C}$;

k) 亮度温度示值误差计算结果应符合 5.1 的要求。

7.3.4 温度波动度

a) 选取亮度温度检定点的同时, 确定亮度温度波动度的检定点; 包含下限和上限温度点, 必要时可增加检定点;

b) 浴式参考黑体辐射源温度设定在检定温度点, 10min 的温度控制波动度不大于 (0.1°C 与 $0.1\%|t|$ 的大者) (t 为检定点温度值), 即温度稳定以后开始检定;

c) 使用固定温度计进行检定, 以每分钟至少 6 次的均匀间隔读取示值, 10min 共计读取 60 个示值, 电阻值按照公式 (1) 转化为温度值, 记录检定结果;

d) 温度波动度由公式 (4) 计算:

$$\Delta t_f = t_{s,\max} - t_{s,\min} \quad (4)$$

式中:

Δt_f ——浴式参考黑体辐射源温度波动度, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{s,\max}$ ——10min 内固定温度计示值最大值, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{s,\min}$ ——10min 内固定温度计示值最小值, $^{\circ}\text{C}$ 。

通常情况下, 工作区域内温度波动度即为亮度温度波动度。

e) 温度波动度计算结果应符合 5.2 的要求。

7.3.5 温度均匀度

a) 选取亮度温度检定点的同时, 确定亮度温度均匀度的检定点; 包含下限和上限温度点, 必要时可增加检定点。

b) 浴式参考黑体辐射源温度设定在检定温度点, 10min 的温度控制波动度不大于 (0.1°C 与 $0.1\%|t|$ 的大者) (t 为检定点温度值), 即温度稳定以后开始检定。

c) 标准铂电阻温度计 2 作为移动温度计, 插入到工作区域上水平面 A 位置处, 待两

支温度计示数稳定以后进行读数,按照固定温度计→移动温度计→移动温度计→固定温度计→固定温度计→移动温度计→移动温度计→固定温度计的顺序读取温度计示值,记录数据,电阻值按照公式(1)转化为温度值,依次为 $t_{A1,0}$ 、 t_{A1} 、 t_{A2} 、 $t_{A2,0}$ 、 $t_{A3,0}$ 、 t_{A3} 、 t_{A4} 、 $t_{A4,0}$ 。

d) 保持固定温度计的位置不变,将移动温度计插入到工作区域B、C、D、E、F、G、H位置处,待两支温度计示数稳定以后进行读数,按照7.3.5.3中的方法依次读取温度计示值并记录。

e) 温度均匀度数据处理

移动温度计示值平均值与固定温度计示值平均值之差为该点相对于O点的温度示值差。从上水平面四点相对于O点的温度示值差中找出最大值和最小值,最大值减去最小值的差即为工作区域上水平面的最大温差;同理,从下水平面四点相对于O点的温度示值差中找出最大值和最小值,最大值减去最小值的差即为工作区域下水平面的最大温差;从所有八点相对于O点的温度示值差中找出最大值和最小值,最大值减去最小值的差即为工作区域内的最大温差,即温度均匀度。

计算公式如下所示:

A点位置温度为例

移动温度计示值平均值:

$$\overline{t_{A,0}} = (t_{A1,0} + t_{A2,0} + t_{A3,0} + t_{A4,0})/4 \quad (5)$$

固定温度计示值平均值:

$$\overline{t_A} = (t_{A1} + t_{A2} + t_{A3} + t_{A4})/4 \quad (6)$$

则A点相对于O点的温度差为:

$$t_{A-0} = \overline{t_A} - \overline{t_{A,0}} \quad (7)$$

其他位置类推,依次可得: t_{B-0} 、 t_{C-0} 、 t_{D-0} 、 t_{E-0} 、 t_{F-0} 、 t_{G-0} 、 t_{H-0}

在 t_{A-0} 、 t_{B-0} 、 t_{C-0} 、 t_{D-0} 、 t_{E-0} 、 t_{F-0} 、 t_{G-0} 、 t_{H-0} 中找出最大值和最小值,最大值减去最小值的差即为工作区域的最大温差(温度均匀度) Δt_u 。

通常情况下,工作区域内温度均匀度即为亮度温度均匀度。

f) 温度均匀度计算结果应符合5.3的要求。

7.4 检定结果的处理

检定合格的浴式参考黑体辐射源出具检定证书;检定不合格的浴式参考黑体辐射源出具检定结果通知书,并注明不合格项。

7.5 检定周期

浴式参考黑体辐射源检定周期一般不超过12个月。

附录 A

浴式参考黑体辐射源发射率偏离 1 引入的修正值计算方法

A.1 有效发射率的计算

依据浴式参考黑体辐射源黑体腔几何尺寸建模, 依据材料发射率和漫射率, 以及测量得到的轴向温度场数据, 计算该黑体腔的法向有效发射率。

A.2 发射率偏离 1 引入的亮度温度的修正值

由于黑体辐射源的发射率偏离 1, 需要对测量测到的靶面温度进行修正才能得到亮度温度。依据普朗克定律, 已知黑体辐射源靶面温度和有效发射率的情况下, 可推导出发射率偏离 1 引入的亮度温度的修正值计算公式, 如下所示:

$$\Delta T_s = \frac{c_2}{\lambda \cdot \ln \left(1 + \frac{1}{\frac{\varepsilon}{\frac{c_2}{\lambda \cdot T_s} - 1} + \frac{1 - \varepsilon}{\frac{c_2}{\lambda \cdot T_{bg}} - 1}} \right)} - T_s \quad (\text{A.1})$$

式中:

ΔT_s ——有效发射率偏离 1 引入的亮度温度的修正值, K;

ε ——浴式参考黑体辐射源有效发射率;

T_s ——浴式参考黑体辐射源靶面温度, K;

T_{bg} ——环境温度, K;

c_2 ——第二辐射常数, 数值为 $14387.752 \mu\text{m} \cdot \text{K}$ 。

对于波段范围($\lambda_1 \sim \lambda_2$)的有效亮度温度, 可利用其该温度下的极限有效波长带入式(A.1)进行计算, 或者利用式(A.2)积分求得:

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon \cdot \frac{1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T_s}} - 1} d\lambda + (1 - \varepsilon) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T_{bg}}} - 1} d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda \cdot T_c}} - 1} d\lambda \quad (\text{A.2})$$

附录 B

浴式参考黑体辐射源原始记录内页参考格式

亮度温度示值误差

腔长:		口径:	外观检查:		绝缘电阻:		环境温度:		环境湿度:			
最大允许误差:		发射率:	温度范围:		测量距离:							
固定温度计深度:		上水平面插入深度:		下水平面插入深度:								
检定 点 °C	标准铂电阻温度计			被检浴式参考黑体辐射源				检定结果				
	示值1 °C	示值2 °C	平均值 °C	设定值 °C	控温仪表			检定点 °C	标准铂电阻温度计 °C	亮度温度 °C	亮度温度 示值误差 °C	扩展不 确定度 °C
					示值1 °C	示值2 °C	平均值 °C					

温度波动度

检定点 °C	测量次数	测量值 °C	测量次数	测量值 °C	测量次数	测量值 °C	测量次数	测量值 °C	测量次数	测量值 °C	测量次数	测量值 °C
	1		13		25		37		49			
	2		14		26		38		50			
	3		15		27		39		51			
	4		16		28		40		52			
	5		17		29		41		53			
	6		18		30		42		54			
	7		19		31		43		55			
	8		20		32		44		56			
	9		21		33		45		57			
	10		22		34		46		58			
	11		23		35		47		59			
	12		24		36		48		60			
$t_{s,max}$				$t_{s,min}$				温度波动度 Δt_f				

温度均匀度

单位: °C

温度计插入位置	O	A	O	B	O	C	O	D
1								
2								
3								
4								
平均值								
温度差值								
温度计插入位置	O	E	O	F	O	G	O	H
1								
2								
3								
4								
平均值								
温度差值								
$t_{\max}$			$t_{\min}$			温度均匀度 Δt_u		

附录 C

浴式参考黑体辐射源检定证书/检定结果通知书内页参考格式

1、外观检查

2、绝缘电阻

绝缘电阻: _____ MΩ

3、亮度温度示值误差

检定点 $t_{cn}/^{\circ}\text{C}$	标准铂电阻温度计 示值 $t_s/^{\circ}\text{C}$	亮度温度 $t_c/^{\circ}\text{C}$	亮度温度示值误差 $\Delta t_c/^{\circ}\text{C}$	扩展不确定度 $U(k=2)/^{\circ}\text{C}$

说明:

1. 亮度温度使用标准铂电阻作为标准器, 考虑了环境辐射以及波段的影响, 环境温度范围为 $18^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$;
2. 波长范围为 $8\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 。

4、温度波动度、温度均匀度

检定点 $t_{cn}/^{\circ}\text{C}$	温度均匀度 $\Delta t_u/^{\circ}\text{C}$	温度波动度 (10min) $\Delta t_f/^{\circ}\text{C}$

说明: 上水平面距离恒温槽液面 _____ mm, 下水平面距离恒温槽液面 _____ mm。

附录 D

浴式参考黑体辐射源亮度温度示值误差测量不确定度分析

D.1 方法

将标准铂电阻作为固定温度计,测量浴式参考黑体辐射源的介质温度,加上有效发射率计算的修正值,作为浴式参考黑体辐射源的亮度温度。检定点与亮度温度的差值即亮度温度示值误差。

对 $-50^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ 范围内亮度温度示值误差进行不确定度评定,以下以 50°C 温度点为例,进行不确定度评定。

D.2 测量模型

被检参考黑体辐射源的示值误差由式(D.1)计算:

$$\Delta t_c = t_{cn} - t_c = t_{cn} - t_s - \Delta t_s \quad (\text{D.1})$$

式中:

Δt_c ——浴式参考黑体辐射源的亮度温度示值误差, $^{\circ}\text{C}$;

t_{cn} ——检定点, $^{\circ}\text{C}$;

t_c ——浴式参考黑体辐射源的亮度温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_s ——固定温度计测得的浴式参考黑体辐射源的介质温度的平均值, $^{\circ}\text{C}$;

Δt_s ——浴式参考黑体辐射源发射率偏离 1 引入的修正值, $^{\circ}\text{C}$ 。

在进行不确定度评定时,需要考虑浴式参考黑体辐射源引入的不确定度,因此,测量模型表示为式(D.2)表示:

$$\Delta t_c = t_{cn} - t_s - \Delta t_s + \Delta t_1 \quad (\text{D.2})$$

Δt_1 ——浴式参考黑体辐射源带来的影响, $^{\circ}\text{C}$ 。

D.3 主要检定设备

以标准铂电阻温度计作为标准装置,检定浴式参考黑体辐射源。检定中使用的主要设备即标准铂电阻温度计的技术指标见表 D.1。

表 D.1 标准铂电阻温度计技术指标

参数	技术指标
型号	CONST6602
温度范围	$-196^{\circ}\text{C}\sim 660^{\circ}\text{C}$
准确度等级	二等

D.4 不确定度分量来源

测量结果的不确定度来源主要包括标准铂电阻温度计引入、发射率偏离 1 引入和被检

浴式参考黑体辐射源引入的不确定度。

D.4.1 标准铂电阻温度计 t_s 引入的标准不确定度 u_1

- 标准铂电阻温度计测量介质温度重复性引入的不确定度 u_{11}
- 标准铂电阻温度计传递引入的不确定度 u_{12}
- 标准铂电阻温度计相邻两次检定周期稳定性引入的不确定度 u_{13}
- 电测设备引入的不确定度 u_{14}

D.4.2 亮度温度发射率修正值 Δt_s 引入的不确定度 u_2

D.4.3 浴式参考黑体辐射源带入的影响 Δt_1 引入的不确定度 u_3

- 浴式参考黑体辐射源温度均匀度引入的不确定度 u_{31}
- 浴式参考黑体辐射源温度波动度引入的不确定度 u_{32}
- 介质温度与靶面温度的测点温差引入的不确定度 u_{33}

D.5 不确定度分量评定

D.5.1 标准铂电阻温度计 t_s 引入的标准不确定度 u_1

D.5.1.1 标准铂电阻温度计测量介质温度重复性引入的不确定度 u_{11}

在 50℃时, 使用二等标准铂电阻温度计对介质温度进行检定, 记录 10 次数据, 使用贝塞尔公式计算得出, $s=0.002^{\circ}\text{C}$, 则:

$$u_{11} = 0.002/1.414 = 0.002^{\circ}\text{C}$$

D.5.1.2 标准铂电阻温度计传递引入的不确定度 u_{12}

二等标准铂电阻温度计扩展不确定度为 0.008°C , 包含因子 k 为 2。50℃时

$$u_{12} = 0.004^{\circ}\text{C}$$

D.5.1.3 标准铂电阻温度计相邻两次检定周期稳定性引入的不确定度 u_{13}

按标准铂电阻温度计检定规程, 其相邻周期检定结果的差值为 10 mK, 则变化区间半宽估计为 0.010°C , 服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_{13} = 0.01/1.732 = 0.006^{\circ}\text{C}$$

D.5.1.4 电测设备引入的不确定度 u_{14}

使用电阻测量仪测量标准铂电阻温度计的温度值。50℃时, 根据电测设备证书, 测量铂电阻温度时的最大允许误差为 $\pm 0.009^{\circ}\text{C}$, 服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_{14} = 0.009/1.732 = 0.005^{\circ}\text{C}$$

D.5.2 亮度温度发射率修正值 Δt_s 引入的不确定度 u_2

发射率修正值引入的不确定度主要考虑环境温度、波段、有效发射率等的不确定性。环境温度范围为 $18^{\circ}\text{C} \sim 28^{\circ}\text{C}$, 波段为 $(8 \sim 14)\mu\text{m}$, 以 50℃为例, 计算可得出发射率修正值变化区间的半宽 0.03°C , 服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_2 = 0.03/1.732 = 0.017^{\circ}\text{C}$$

D.5.3 浴式参考黑体辐射源带入的影响 Δt_1 引入的不确定度 u_3

D.5.3.1 浴式参考黑体辐射源温度均匀度引入的不确定度 u_{31}

温度点 50 °C, 按照规程的要求, 温度均匀性应不大于 0.15°C, 按照 0.15°C 计算, 服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_{31} = 0.15/1.732 = 0.087^{\circ}\text{C}$$

D.5.3.2 浴式参考黑体辐射源温度波动度引入的不确定度 u_{32}

温度点 50 °C, 按照规程的要求, 温度波动度应不大于 0.1°C, 按照 0.1°C 计算, 服从均匀分布, 区间半宽度为 0.05°C, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_{32} = 0.05/1.732 = 0.029^{\circ}\text{C}$$

D.5.3.3 介质温度与靶面温度的测点温差引入的不确定度 u_{33}

温度点 50 °C, 依据经验值, 测点温差不大于 0.1°C, 按照 0.1°C 计算, 服从均匀分布, 区间半宽度为 0.05°C, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_{33} = 0.05/1.732 = 0.029^{\circ}\text{C}$$

D.6 不确定度分量汇总

主要的不确定度分量见表 D.1。

表 D.1 主要标准不确定度汇总表 (50°C 时)

序号	不确定度来源		分量代号		类型	分布	置信/包含因子 k	$u_i/^{\circ}\text{C}$
1	二等标准铂电阻温度计 测量介质温度重复性	标准铂电阻温 度计引入的不 确定度	u_{11}	u_1	A	/	/	0.002
2	标准铂电阻温度计 传递引入		u_{12}		B	正态	2	0.004
3	二等标准铂电阻温度计 两次检定周期间稳定性		u_{13}		B	均匀	$\sqrt{3}$	0.006
4	电测设备		u_{14}		B	均匀	$\sqrt{3}$	0.005
5	亮度温度发射率修正值	亮度温度发射 率修正值引入 的不确定度	u_2	u_2	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.017
6	浴式参考黑体辐射源 温度均匀度	浴式参考黑体 辐射源引入的 不确定度	u_{31}	u_3	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.087
7	浴式参考黑体辐射源 温度波动度		u_{32}		B	均匀	$\sqrt{3}$	0.029
8	介质温度与靶面温度的 测点温差		u_{33}		B	均匀	$\sqrt{3}$	0.029

D.7 扩展不确定度 U 计算

根据以上的分析, 黑体辐射源辐射校准的合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{u_{11}^2 + u_{12}^2 + u_{13}^2 + u_{14}^2 + u_2^2 + u_{31}^2 + u_{32}^2 + u_{33}^2} = 0.10^\circ\text{C}$$

扩展不确定度 ($k=2$) 为

$$U=2\times u_c=0.2^\circ\text{C}$$
