《辐射测温用-15℃~500℃面辐射源校准规范》试验报告

《辐射测温用-15℃~500℃面辐射源校准规范》编写组

2026 年 10 月

试验报告

1.试验目的

选取典型的面辐射源作为样品，按照《辐射测温用-15℃~500℃面辐射源校准规范》（征求意见稿）中的校准项目和校准方法进行校准，通过校准结果的数据分析，验证校准项目和校准方法的合理性和可行性。本报告侧重试验过程、原始数据与数据分析；对规范方法的逐项验证判据及验证结论，另见《验证报告》。

2.样品选型

目前市场上流通在用的面辐射源型号种类较多，在本规范编制过程中主要选用了泰安德美机电设备有限公司、广州东部科技有限公司、FLUKE、武汉凯尔文光电技术有限公司及中国计量科学研究院等研制的 13 台面辐射源进行实验，样品信息见表 1。

表 1 被校面辐射源信息表

序号	制造单位	型号	编号	靶面直径	温度范围/℃
1 号	德美	DY-HT1M	DYHT1M634	150mm	（-15-100）℃
2 号	德美	DY-HT1M-150	DYHT1M635	100mm	（-15-100）℃
3 号	东部	EM20CY100A1	MY10026A03-A115	150mm	（-15-100）℃
4 号	东部	EM20CY150A2	MY15026A76-A215	100mm	（-15-100）℃
5 号	FLUKE	4180	C14681	150mm	（-15-100）℃
6 号	凯尔文	JQ-100MYZ1B	K20200608-B6838-C	100mm	（30-100）℃
7 号	德美	DY-HT2M	DYHT2M1443	100mm	（30-500）℃
8 号	德美	DY-HT2M-150	DYHT2M1444	150mm	（30-500）℃
9 号	中计新科	H500-D150	2024010.0	150mm	（30-500）℃
10 号	东部	EM500HY100A1	MY10026A03-A1500	100mm	（30-500）℃
11 号	东部	EM500HY150A2	MY15026A76-A2500	150mm	（30-500）℃
12 号	东部	EM500HY200A2	MY20026A34-A2500	200mm	（30-500）℃
13 号	FLUKE	4181	C48983	150mm	（30-500）℃

3.实验条件

3.1 环境条件

实验地点：本院光谷院区 C107 辐射测温实验室。

环境温度：（23±5）℃，相对湿度：20%~85%。

试验日期：2026.7.26~2026.8.28。

3.2 测量标准

按照规范要求，采用标准面辐射源作为标准器，传递辐射温度计作为比较器，标准辐射温度计用于直接测量法对照，另配恒温光阑、磁吸有机玻璃防结露罩等辅助设备。

表 2　标准器及辅助设备信息汇总表

名称	型号	测量范围/℃	不确定度或最大允许误差	制造厂及出厂编号
标准面辐射源	4180	（-15~120）	U=0.4℃，k=2	FLUKE C14681
标准面辐射源	H500-D150	（30~500）	见溯源证书	中国计量科学研究院 2024010
传递辐射温度计（比较器）	TRT 4.82	（-30~1000）	±（1%×读数）℃或±1.4℃	HEITRONICS 3924
标准辐射温度计	TRT 4.82	（-30~1000）	见溯源证书	HEITRONICS 3924
恒温光阑（mm）	φ30/φ40/φ50/φ80	—	光阑温度不确定度不大于 1℃	自制，恒温水控温
磁吸有机玻璃防结露罩	—	—	—	自制，通氮气保护

4.试验方法及数据

4.1 采用比较法（标准面辐射源+传递辐射温度计）校准亮度温度

4.1.1 试验方法

以标准面辐射源（低温段 4180、高温段 H500-D150）为标准，传递辐射温度计为比较器，校准被测面辐射源亮度温度。将标准和被校面辐射源设定在相同温度点，用传递辐射温度计分别测量标准面辐射源和被校面辐射源，按式（1）计算被校面辐射源的亮度温度，校准装置见图 1。

$$T_{\mathrm{c}} = T_{\mathrm{s}} + T_{\mathrm{cr}} - T_{\mathrm{sr}} \qquad (1)$$

式中：

T_c——被校准面辐射源的亮度温度，℃；

T_s——标准面辐射源的亮度温度，℃；

T_{sr}——比较用辐射温度计测量标准面辐射源的测量值，℃；

T_{cr}——比较用辐射温度计测量被校准面辐射源的测量值，℃

当被校面辐射源与标准面辐射源靶面直径不同时，在两者前方分别加装同直径恒温光阑，将辐射源限制在同等孔径下比较；瞄准采用激光同轴瞄准，使传递辐射温度计、光阑与辐射源同轴。露点温度以下的校准点，被校面辐射源面板前加装磁吸有机玻璃罩并通氮气保护。

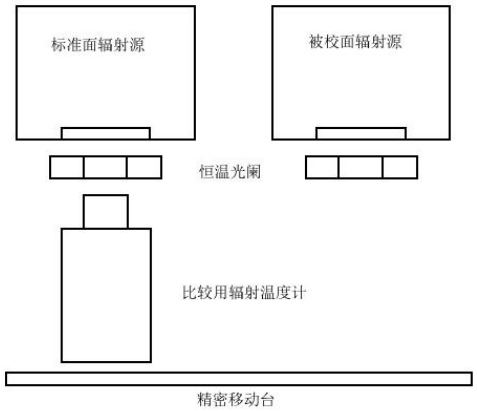


图 1 比较法校准装置示意图

4.1.2 试验数据

试验数据见表 3，校准装置见图 1。

表 3 比较法亮度温度校准结果 ℃

测温点/℃	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	7 号	8 号	9 号	10 号	11 号	12 号	13 号
-15	/	-13.9	-13.7	-15.1	/	/	/	/	/	/	/	/	/
0	-1.8	-1.9	-1.7	-2.2	/	/	/	/	/	/	/	/	/
20	18.9	18.7	19.9	19.7	/	/	/	/	/	/	/	/	/
50	48.8	48.7	49.3	50.0	/	48.7	48.9	49.1	/	49.5	49.9	50.2	50.0

100	97.4	97.4	98.5	97.4	/	97.6	97.7	97.7	/	98.7	100.0	100.3	100.2
200	/	/	/	/	/	/	194.1	193.3	/	196.0	199.8	199.9	199.7
300	/	/	/	/	/	/	290.9	290.8	/	294.9	299.7	299.7	300.0
400	/	/	/	/	/	/	387.1	387.6	/	392.9	399.8	399.5	399.3
480	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	481.0	480.4	479.9
500	/	/	/	/	/	/	483.7	483.6	/	490.2	/	/	/

4.2 采用直接测量法（标准辐射温度计）校准亮度温度

4.2.1 试验方法

以标准辐射温度计为标准器，直接测量被校面辐射源亮度温度，按式（2）计算：

$$T_{\mathrm{c}} = T_{\mathrm{cr}} + \Delta t \qquad (2)$$

式中：

T_{c}——被校准面辐射源的亮度温度,℃；

T_{cr}——标准辐射温度计测量被校面辐射源的测量值，℃；

Δt——标准辐射温度计在相应测量温度点的示值修正值，℃。

4.2.2 试验数据

表 4 直接测量法亮度温度校准结果 ℃

测温点/℃	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	7 号	8 号	9 号	10 号	11 号	12 号	13 号
0	-0.2	-0.3	-0.1	-0.6	/	/	/	/	/	/	/	/	/
20	19.5	19.3	20.5	20.3	/	/	/	/	/	/	/	/	/
50	49.2	49.1	49.7	50.4	/	49.1	49.2	49.4	/	49.8	50.2	50.5	50.3

100	97.7	97.7	98.8	97.7	/	97.9	97.9	97.9	/	98.9	100.2	100.5	100.4
200	/	/	/	/	/	/	194.8	194.0	/	196.7	200.5	200.6	200.4
300	/	/	/	/	/	/	291.3	291.2	/	295.3	300.1	300.1	300.4
400	/	/	/	/	/	/	387.9	388.4	/	393.7	400.6	400.3	400.1
480	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	480.8	480.2	479.7
500	/	/	/	/	/	/	483.8	483.7	/	490.3	/	/	/

4.3 比较法与直接测量法结果比对

将表 3 与表 4 结果作差，得到两种校准方法的差值，见表 5、图 2 及图 3。

表 5 比较法与直接测量法亮度温度差值（比较法-直接测量法） ℃

测温点/℃	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	7 号	8 号	9 号	10 号	11 号	12 号	13 号
0	1.6	1.6	1.6	1.6	/	/	/	/	/	/	/	/	/
20	0.6	0.6	0.6	0.6	/	/	/	/	/	/	/	/	/
50	0.4	0.4	0.4	0.4	/	0.4	0.3	0.3	/	0.3	0.3	0.3	0.3
100	0.3	0.3	0.3	0.3	/	0.3	0.2	0.2	/	0.2	0.2	0.2	0.2
200	/	/	/	/	/	/	0.7	0.7	/	0.7	0.7	0.7	0.7
300	/	/	/	/	/	/	0.4	0.4	/	0.4	0.4	0.4	0.4
400	/	/	/	/	/	/	0.8	0.8	/	0.8	0.8	0.8	0.8

480	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-0.2	-0.2	-0.2
500	/	/	/	/	/	/	0.1	0.1	/	0.1	/	/	/

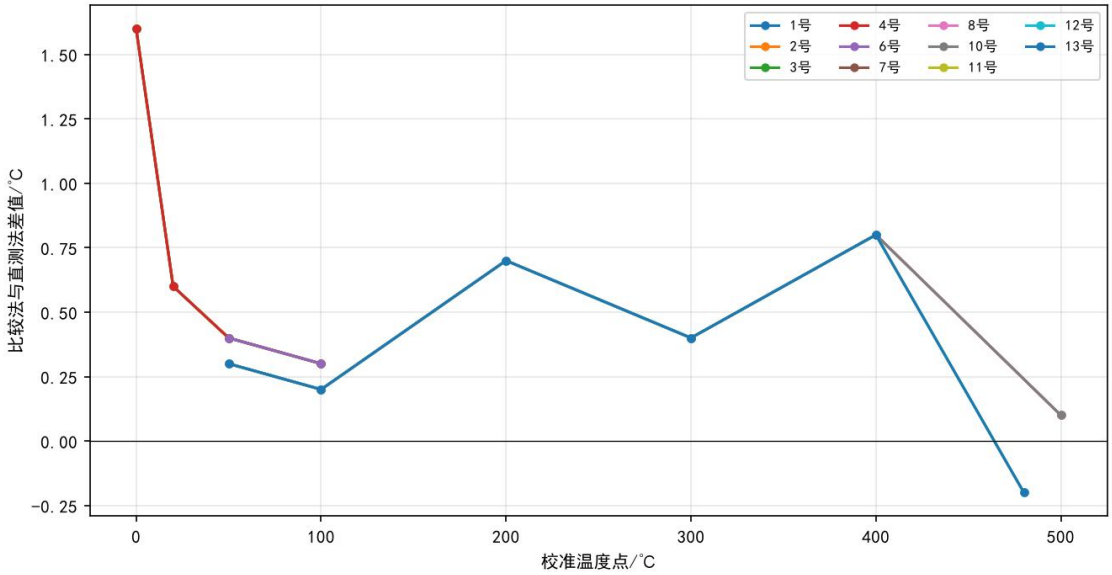


图 2 各面辐射源比较法与直接测量法亮度温度结果差值

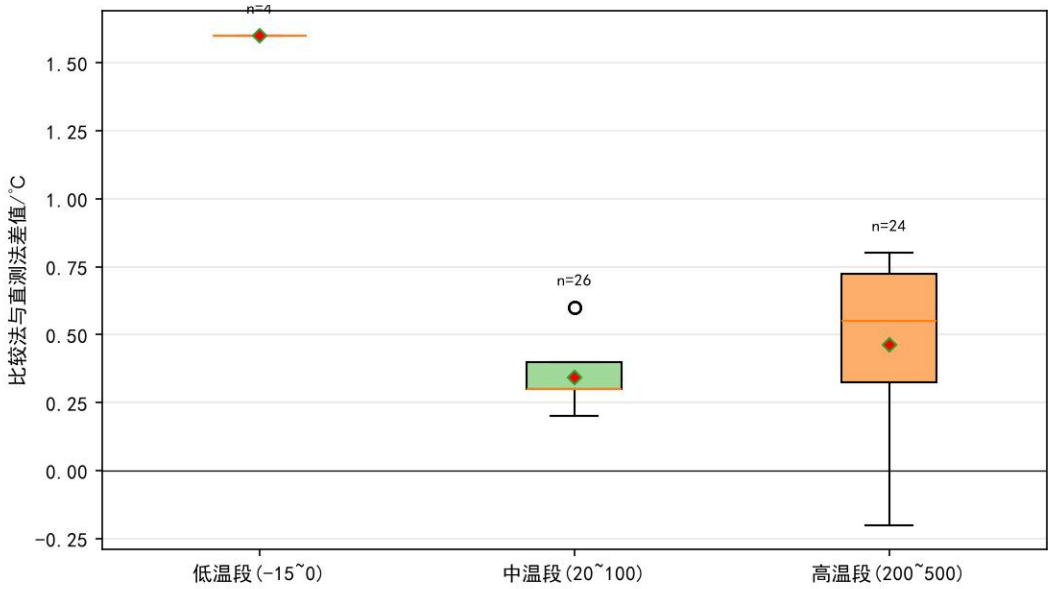


图 3 比较法与直接测量法差值的分温区分布

由表 5、图 2 及图 3 可见，两种方法的差值范围为（-0.2~1.6）℃。分温区统计：低温段（-15~0）℃差值平均 1.6℃（n=4），中温段（20~100）℃平均 0.342℃、最大 0.6℃（n=26），高温段（200~500）℃平均 0.463℃、最大 0.8℃（n=24）。低温段差值相对较大，主要由于低温段标准辐射温度计受环境辐射和面板结霜倾向影响示值偏

高；中高温段两种方法一致性良好。两种方法结果的一致性验证了比较法校准面辐射源亮度温度的可行性，量值以标准面辐射源亮度温度为准（两种方法的验证判据及逐点验证结论见《验证报告》第 3 章）。

4.4 恒温光阑对校准结果的影响试验

为验证不同靶面直径面辐射源在同等孔径下比较测量的可行性，编制组在直测条件下分别加装φ80、φ50、φ40、φ30mm 恒温光阑（光阑通恒温水，温度稳定在环境温度附近），各面辐射源各温度点加光阑与直测的最大差值见表 6 及图 4，不同直径光阑的统计影响见图 5。

表 6 加装恒温光阑与直测的最大差值 ℃

面辐射源	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	7 号	8 号	9 号	10 号	11 号	12 号	13 号
最大差值	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2

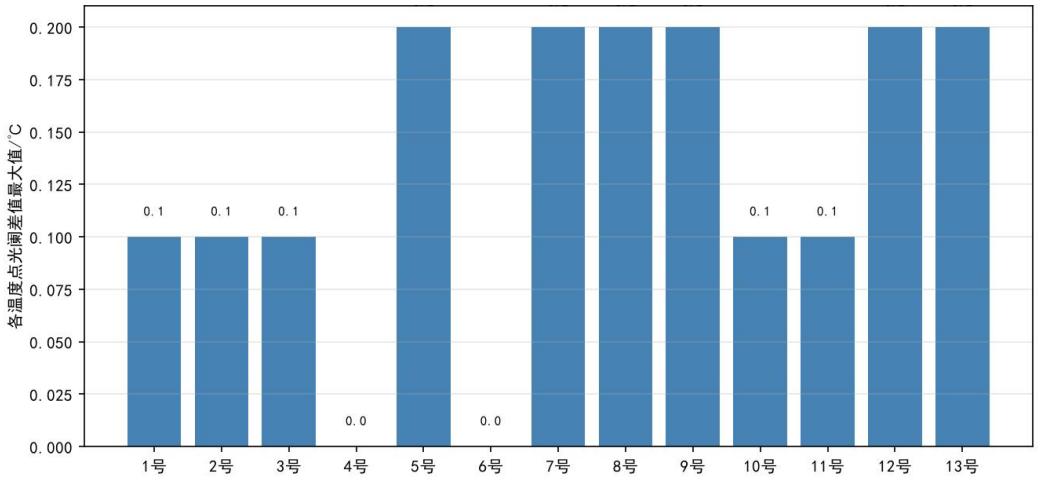


图 4 加装不同直径恒温光阑对亮度温度测量结果的最大影响

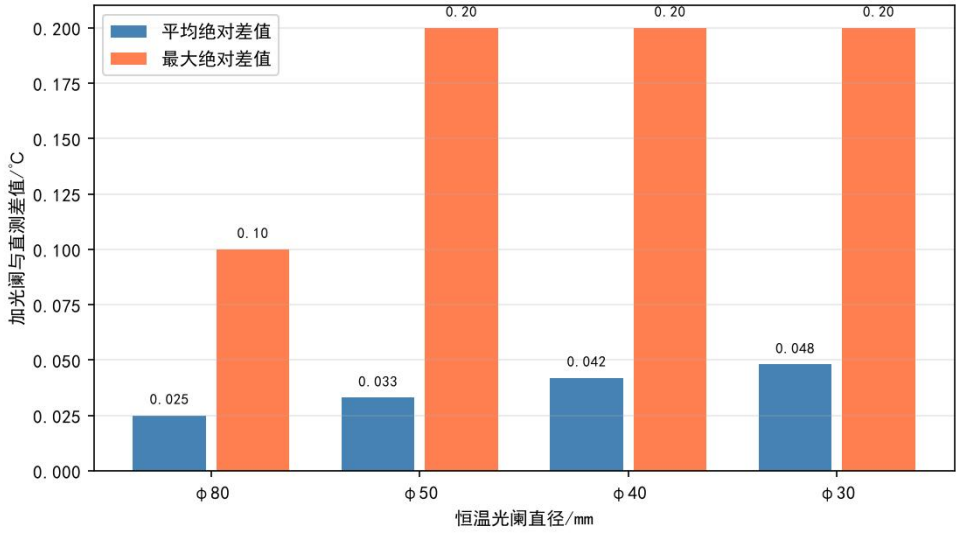


图 5 不同直径恒温光阑对测量结果影响的统计

由表 6、图 4 及图 5 可见，加装φ30~φ80 恒温光阑对亮度温度测量结果的最大影响不超过 0.2℃，各直径的平均绝对差值在 0.025℃~0.048℃之间，光阑直径越小影响略有增大但仍可忽略，说明采用恒温光阑统一等效辐射面直径的比较方法引入的附加误差可忽略，满足校准要求。

4.5 温度均匀性试验

按规范方法，在有效辐射区域内按 1/3、1/2、2/3 测量半径的中、上、下、左、右五个位置测量，各面辐射源各温度点均匀性最大差值见表 7 及图 6、图 7，分半径统计见图 8。

表 7 面辐射源温度均匀性最大差值 ℃

测温点/℃	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	7 号	8 号	9 号	10 号	11 号	12 号	13 号
0	0.2	0.1	0.0	0.2	0.0	/	/	/	/	/	/	/	/
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	/	/	/	/	/	/	/	/
50	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.4
100	0.1	0.4	0.5	0.3	0.4	0.4	0.1	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1	0.7
200	/	/	/	/	/	/	0.1	0.4	0.5	0.3	0.5	0.4	1.2

300	/	/	/	/	/	/	0.3	0.6	1.0	0.3	0.6	0.4	1.8
400	/	/	/	/	/	/	0.5	0.5	1.4	0.4	0.9	1.1	1.1
480	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1.5	1.4	1.7
500	/	/	/	/	/	/	1.0	0.7	1.6	1.1	/	/	/

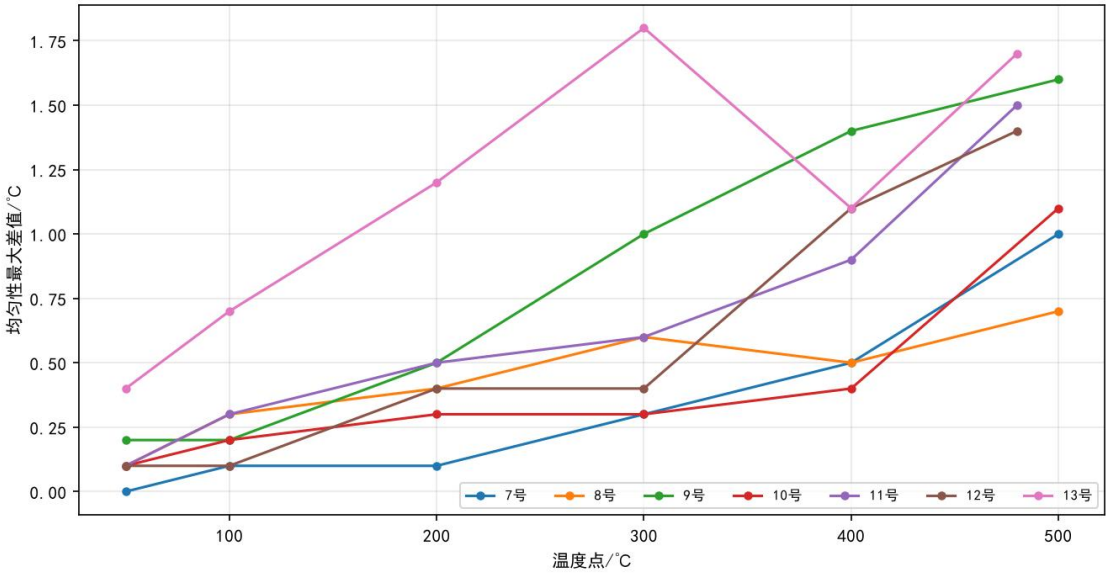


图 6 高温面辐射源（7~13 号）温度均匀性最大差值随温度点变化

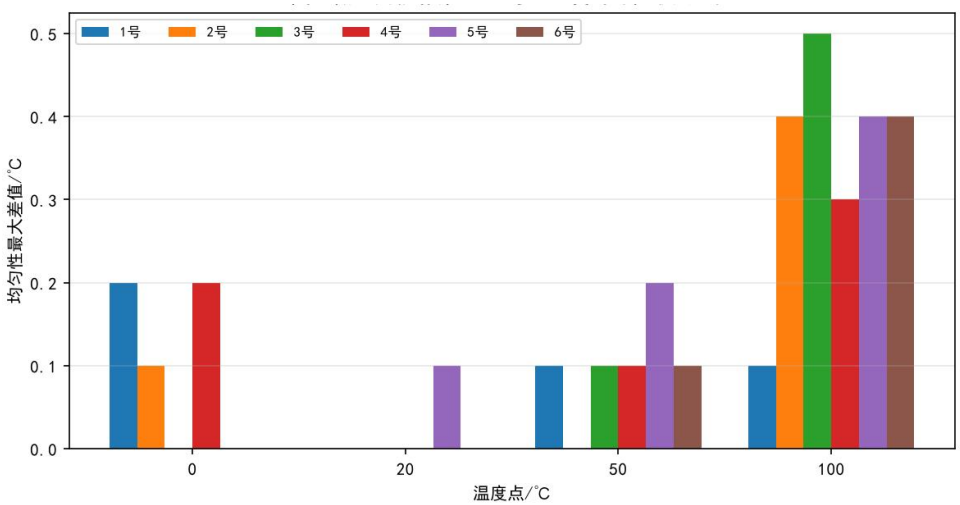


图 7 低温面辐射源（1~6 号）温度均匀性最大差值

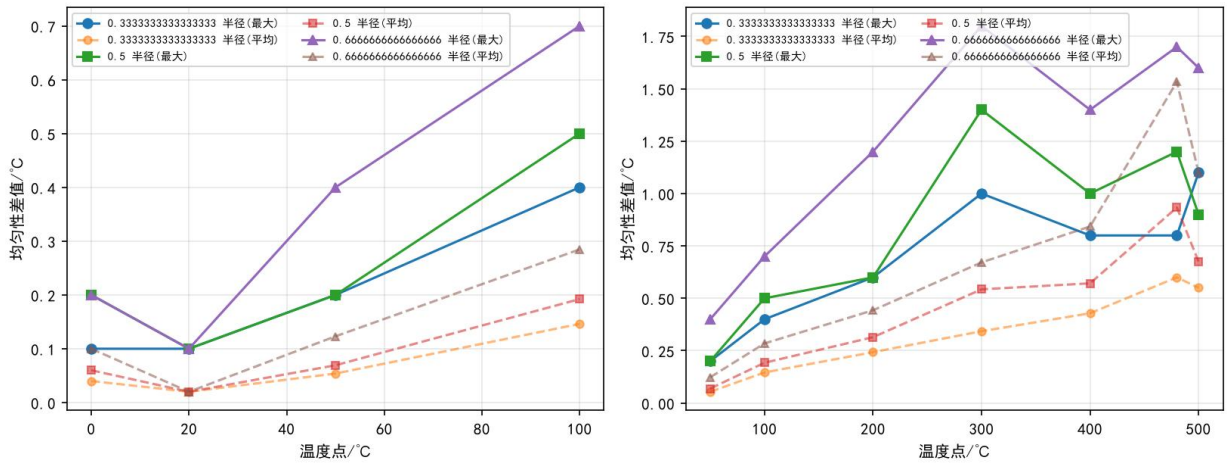


图 8 面辐射源分半径温度均匀性统计

低温面辐射源（1~6 号）均匀性最大差值不超过 0.5℃；高温面辐射源中，7、8、10 号不超过 1.1℃，9、11、12、13 号在 300℃以上 2/3 半径处最大达 1.8℃，略超（0.2℃与 0.2%t 的大者）参考指标；由图 8 可见，均匀性差值随测量半径增大而增大，符合面源边缘散热规律。除个别高温点在 2/3 半径处略超参考指标外，其余均满足规范计量特性参考值要求，表明规范给出的均匀性指标合理可行。

4.6 亮度温度与设定温度偏差分析

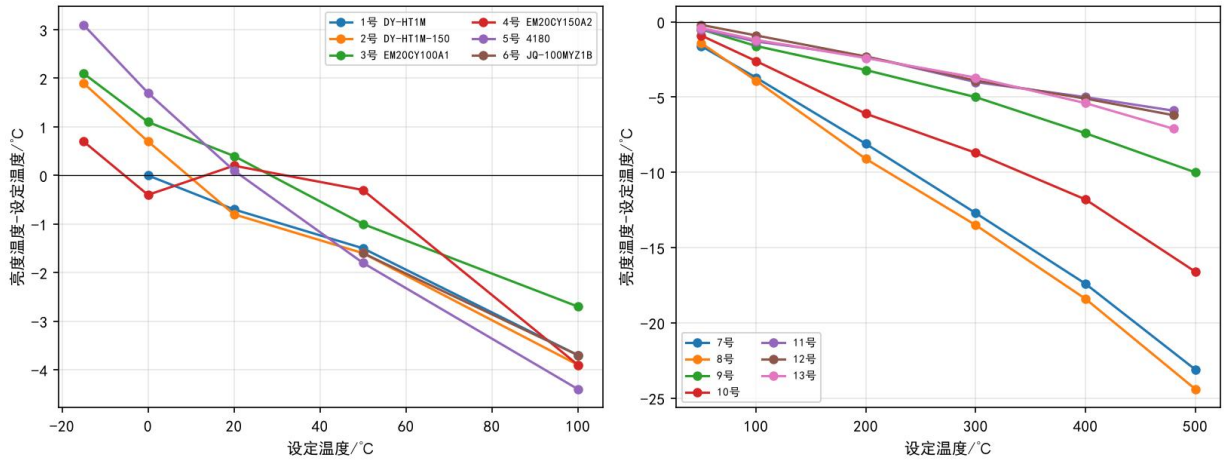


图 9 面辐射源亮度温度与设定温度的偏差（传递辐射温度计直测）

由图 9 可见，各面辐射源亮度温度与设定温度的偏差在 50℃以下一般不超过 2℃，高温段随温度升高而增大，500℃点最大偏差约 23℃（7 号、8 号）。该偏差反映了面板温度与控温传感器示值的差异及发射率影响，正是本规范以亮度温度（而非设定温度）作为校准量值的原因；校准结果以比较法或直测法测得的亮度温度为准。

4.7 低温防结霜结露措施试验

面辐射源在低于露点温度（约 20℃以下）使用时，面板易结霜结露，导致发射率变化和示值异常。试验中 1 号面辐射源 0℃点未加防护时面板出现结露（均匀性测量中记录“结露”）。编制组采用磁吸有机玻璃罩罩住面源板面并通入氮气保护，实物见图 10、图 11。

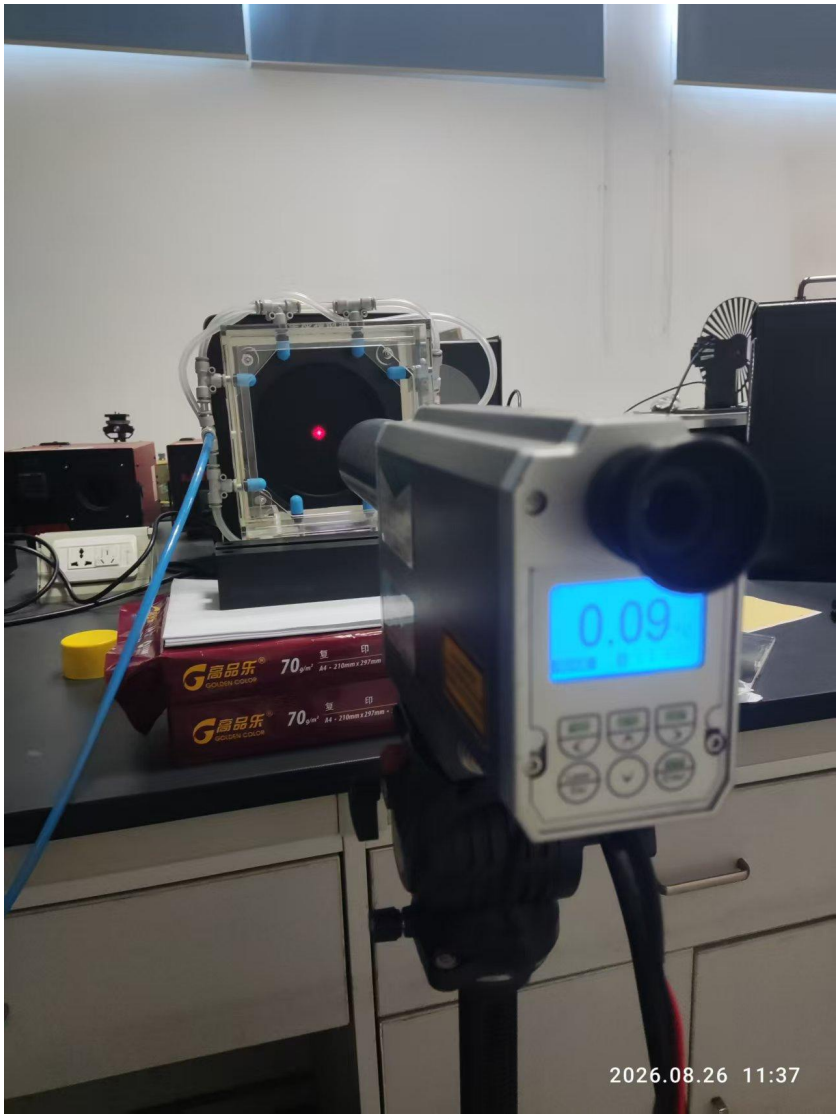


图 10 磁吸有机玻璃罩通氮气保护装置与激光瞄准现场

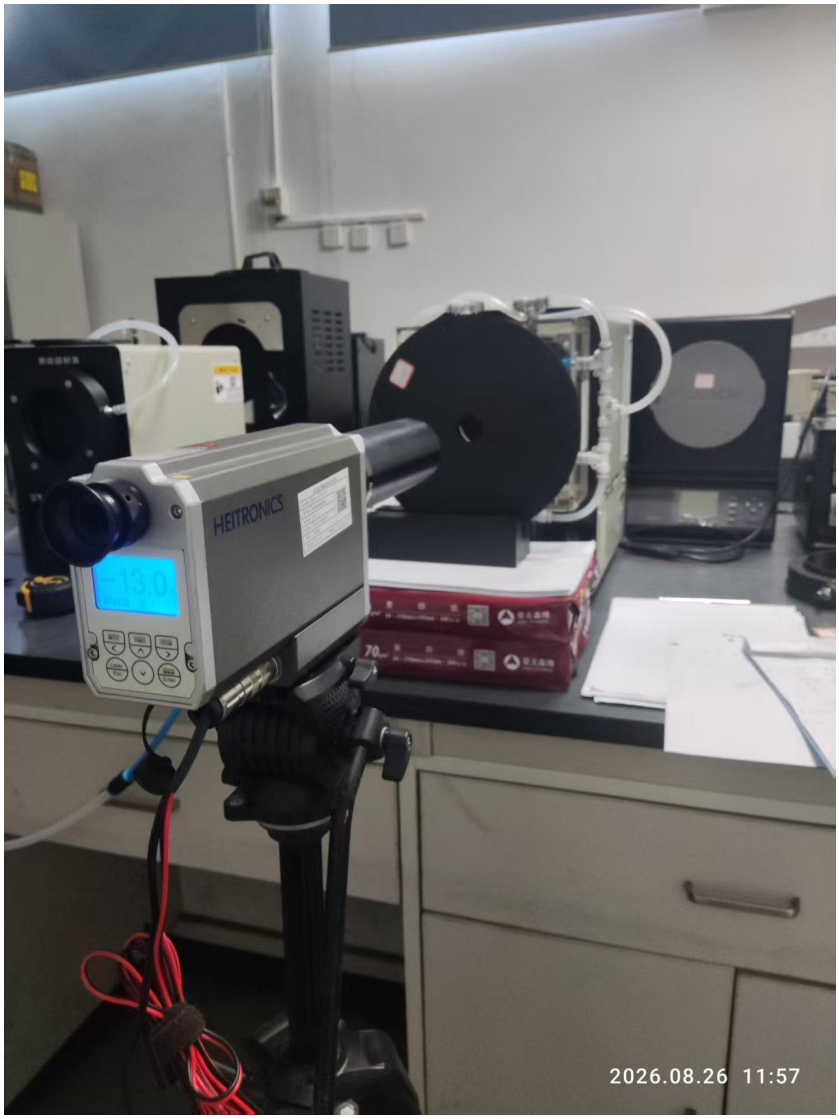


图 11 比较法校准现场（传递辐射温度计瞄准加罩通氮气的面辐射源）

加罩通氮气后，-15℃、0℃校准点面板无结霜结露，传递辐射温度计示值稳定，比较法测量正常进行，验证了该防护措施的有效性。

4.8 温度稳定性试验

试验期间，各面辐射源设定温度稳定后，用传递辐射温度计在 10min 内连续监测示值（采样间隔 1min）。各面辐射源温度稳定性均不大于（0.1℃与 0.1%|t|的大者），满足规范计量特性参考值要求；原始监测数据存于试验原始记录（Excel），此处不再列表。

4.9 法向发射率核查方法试验

编制组在常温下采用反射法发射率测量装置，对面辐射源面板法向发射率进行核查试验，验证规范新增“法向发射率核查”项目的可操作性。试验按装置操作规程进

行，各面辐射源常温法向发射率核查结果的判读以≥0.95 为参考，核查数据见原始记录。结果表明该方法操作简便、重复性好，可作为面辐射源发射率的核查手段。

5. 试验结论

（1）比较法以标准面辐射源亮度温度为量值、传递辐射温度计为比较器，校准结果与直接测量法差值在（-0.2~1.6）℃以内，方法合理、可行，推荐作为面辐射源亮度温度的主要校准方法。

（2）恒温光阑可统一不同靶面直径面辐射源的等效辐射面直径，附加影响不超过0.2℃，可忽略。

（3）面辐射源温度均匀性、稳定性满足规范参考指标；亮度温度与设定温度的偏差说明以亮度温度作为校准量值的必要性。

（4）低温（<20℃）采用磁吸有机玻璃罩通氮气保护可有效防止结霜结露，保证校准正常进行。

（5）常温法向发射率核查方法简便可行，可作为面辐射源发射率的核查项目。

（6）规范征求意见稿的校准项目和校准方法合理、可行，可进入征求意见阶段。