



中华人民共和国国家标准

GB/T 43971—2024

遥感器定标用积分球光源测试规范

Test specification of integrating sphere source for remote sensor calibration



2024-04-25 发布

2024-11-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般要求	2
4.1 实验室环境要求	2
4.2 主要测试设备要求	2
5 测试项目和方法	2
5.1 测试前检查	2
5.2 光谱辐[射]亮度测试	2
5.3 平面辐亮度非均匀性测试	3
5.4 角度辐亮度非均匀性测试	4
5.5 稳定性测试	5
6 测试检查	6
7 测试报告	6
附录 A (资料性) 积分球[光源]测试不确定度评定方法	7
A.1 光谱辐[射]亮度的测量不确定度评定	7
A.2 平面辐亮度非均匀性的测量不确定度评定	7
A.3 角度辐亮度非均匀性的测量不确定度评定	7
附录 B (资料性) 测试结果示例	8
B.1 光谱辐[射]亮度测试结果示例	8
B.2 平面辐亮度非均匀性测试结果示例	8
B.3 水平方向角度辐亮度非均匀性测试结果示例	9
B.4 稳定性测试结果示例	10
参考文献	11

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国科学院提出。

本文件由全国遥感技术标准化技术委员会(SAC/TC 327)归口。

本文件起草单位：中国科学院合肥物质科学研究院、中国计量科学研究院、中国科学院空天信息创新研究院、国家卫星气象中心。

本文件主要起草人：丁蕾、袁银麟、吴浩宇、郑小兵、吴志峰、刘照言、李元、徐楠。



遥感器定标用积分球光源测试规范

1 范围

本文件规定了遥感器定标用积分球光源测试的一般要求、测试项目和方法、测试检查以及测试报告。

本文件适用于通过内置或外部引入,输出波长范围在紫外至短波红外波段(350 nm~2 500 nm),出光口直径大于或等于 100 mm,用于遥感器辐射定标的、具有连续光谱的积分球[光源]测试,其他积分球[光源]测试参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 25915.1—2021 洁净室及相关受控环境 第 1 部分:按粒子浓度划分空气洁净度等级
GB/T 36299—2018 光学遥感辐射传输基本术语

3 术语和定义

GB/T 36299—2018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

积分球[光源] integrating sphere [source]

具有已知光谱辐射特性的,用于对遥感器定标的面光源。

注:积分球[光源]具有良好的平面均匀性、角度均匀性和稳定性。

3.2

光谱辐[射]亮度 spectral radiance

单位波长上的辐[射]亮度。

注:单位为瓦每平方米球面度纳米[W/(m²·sr·nm)]。

[来源:GB/T 36299—2018,2.9]

3.3

平面辐亮度非均匀性 spatial radiance non-uniformity

积分球[光源]辐射输出在出光平面内、不同位置的法线方向的辐亮度的差异程度。

3.4

角度辐亮度非均匀性 angular radiance non-uniformity

积分球[光源]辐射输出在出光平面内、相对于中心法线不同方向辐亮度的差异程度。

注:积分球[光源]出射面的光学特性近似于朗伯面,由于制作工艺等限制会有部分偏离朗伯余弦定律。

3.5

稳定性 stability

在规定工作条件下,积分球[光源]输出的能量在规定时间内保持不变的能力。

4 一般要求

4.1 实验室环境要求

遥感器定标用积分球光源测试应满足的实验室环境要求如下：

- a) 环境温度为 $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ ，环境相对湿度为 $35\%\sim 60\%$ ，测试时恒温恒湿或满足具体遥感器规定的实验室定标的温湿度要求；
- b) 实验室洁净度达到或高于 GB/T 25915.1—2021 中 4.3 规定的 ISO 8 级；
- c) 实验室测试区域具有消杂光措施，确保无杂散光进入测量光路影响测量结果；
- d) 实验室内无腐蚀性气体，无影响检测的强烈震动、强磁场和强电场的干扰；
- e) 电源：交流 $(220\pm 22)\text{V}$ ，频率 $(50\pm 2.5)\text{Hz}$ 。

4.2 主要测试设备要求

4.2.1 光谱辐射亮度计

光谱辐射亮度计输出的光谱辐[射]亮度值应经计量校准，工作波段应覆盖测试所需的波段范围，光谱分辨率应优于遥感器光谱分辨率的 3 倍~5 倍，波长准确度应满足遥感器定标需求。

4.2.2 参考探测器

选用已知光谱辐射响应特性的探测器作为参考探测器。参考探测器视场角应 $\leq 3^{\circ}$ ，非线性应 $\leq 0.5\%$ ，稳定性应 $\geq 99.5\%$ ，工作波段及测量动态范围满足测试所需，根据实际测试需要可选择全谱型、通道型、光谱型的探测器。

4.2.3 二维平移台

在水平方向和垂直方向进行精确移动，行程范围应大于积分球[光源]出光口直径，重复定位精度优于 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

4.2.4 角位移台

沿着中心及法线方向进行角度移动，行程范围不应小于 $-45^{\circ}\sim +45^{\circ}$ ，重复定位精度应优于 $\pm 0.1^{\circ}$ 。

5 测试项目和方法

5.1 测试前检查

检查内容如下：

- a) 积分球[光源]应标有名称、规格型号、制造厂名、出厂编号；
- b) 积分球[光源]内部涂层应无明显污染或脱落现象；
- c) 积分球[光源]系统可正常工作；
- d) 采用计算机控制的仪器，应通电检查通信、控制正常。

5.2 光谱辐[射]亮度测试

用经过校准的光谱辐射亮度计直接测量积分球[光源]出光平面的光谱辐[射]亮度，测试示意图见图 1。主要测试步骤应包括以下内容。

- a) 将光谱辐射亮度计的位置安装在积分球[光源]出光平面中心法线上，调整测量方向使其垂直

积分球[光源]出光平面,调整光谱辐射亮度计与积分球[光源]出光平面距离 l ,满足积分球[光源]出光平面均匀的区域可充满光谱辐射亮度计的视场角 α 的要求。

- b) 根据光谱辐射亮度计和积分球[光源]的操作要求,进行开机并完成预热。
c) 光谱辐射亮度计连续测量 n 次($n \geq 10$),将 n 次测量数据的算术平均值作为积分球[光源]输出光谱辐[射]亮度测量结果,按公式(1)计算;

$$L(\lambda) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L(\lambda)_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

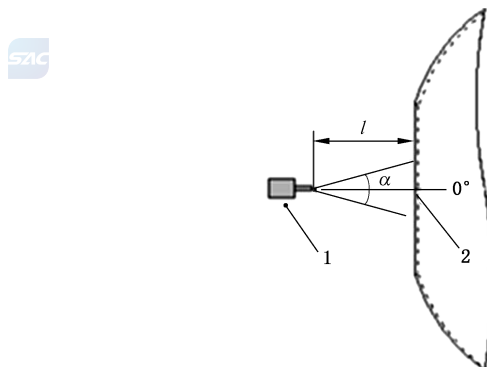
式中:

$L(\lambda)$ ——积分球[光源]输出波长 λ 处的光谱辐[射]亮度,单位为瓦每平方米球面度纳米 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{nm})$];

n ——连续测量次数;

$L(\lambda)_i$ ——光谱辐射亮度计在波长 λ 处,第 i 次测量的光谱辐[射]亮度值,单位为瓦每平方米球面度纳米 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{nm})$].

- d) 对光谱辐[射]亮度测量结果进行不确定度评定,不确定度评定方法见附录 A 中 A.1,积分球[光源]的光谱辐[射]亮度测试结果示例见附录 B 中 B.1。



标引序号说明:

1——光谱辐射亮度计;

2——积分球[光源]出光平面;

l ——光谱辐射亮度计与积分球[光源]出光平面距离;

α ——光谱辐射亮度计的视场角。

图 1 积分球[光源]光谱辐[射]亮度测试示意图

5.3 平面辐亮度非均匀性测试

用参考探测器和二维平移台进行平面辐亮度非均匀性的测试,主要测试步骤包括以下内容。

- a) 根据待定标遥传感器的视场、口径和与积分球[光源]出光平面的距离来确定积分球[光源]平面辐亮度非均匀性的测量区域,应保证测量区域中心与积分球[光源]的出光平面中心重合。
b) 将参考探测器固定在二维平移台上,调整二维平移台与出光平面的距离,保证参考探测器观测到各测点的测量区域不重叠,参考探测器的响应值不应受积分球[光源]的热辐射影响(必要时采取散热措施)。
c) 设置二维平移台,调整二维平移台的扫描平面的法线垂直于积分球[光源]出光平面,将参考探测器平移至积分球[光源]出光平面的上下和左右边缘位置,测量参考探测器到积分球[光源]边缘的距离,通过测量参考探测器与积分球[光源]上下和左右边缘位置距离的相对偏差小于 2 mm。

- d) 调整参考探测器的角度使参考探测器的测量光路垂直于积分球[光源]的出光平面。
- e) 根据参考探测器和积分球[光源]的操作要求,进行开机并完成预热。
- f) 设置二维平移台,使其分别沿水平方向(X轴)和垂直方向(Y轴)平移参考探测器,同时进行网格状测量,平面辐亮度非均匀性网格状测点分布见图2,其中测点间距应使参考探测器观测到的各测点区域不重叠且通过直径的测点数≥5。
- g) 在每个测点连续采样测量 n 次($n \geq 10$), j 位置测点的测量值 V_j 为 n 次采样测量值的算术平均值。
- h) 按公式(2)计算平面辐亮度非均匀性:

$$N_{\text{Map}} = \frac{S_{\text{Map}}}{(1/m) \sum_{j=1}^m V_j} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

N_{Map} ——平面辐亮度非均匀性;

S_{Map} —— m 个有效位置测点的测量值的标准差,按公式(3)计算:

$$S_{\text{Map}} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \left(V_j - \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m V_j \right)^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

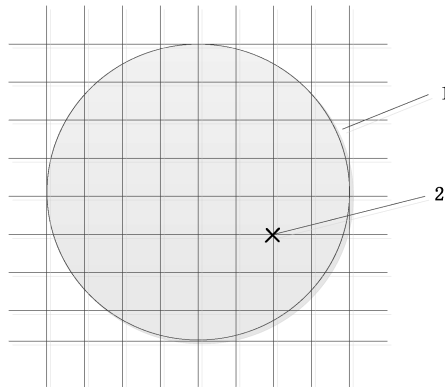
式中:

V_j —— j 位置测点的测量值,是第 j 位置测点的 n 次采样测量值的算术平均值;

m ——有效测点的数量;

j ——测点位置序号。

- i) 对平面辐亮度非均匀性测试结果进行不确定度评定,评定方法见 A.2,在给定的测试结果中应注明其所对应的测量区域,平面辐亮度非均匀性测试结果可用图、表等形式进行表达,测试结果示例见 B.2。



标引序号说明:

1——积分球[光源]出光平面;

2——有效测点。

图2 平面辐亮度非均匀性网格状测点分布图



5.4 角度辐亮度非均匀性测试

用参考探测器和角位移台进行角度辐亮度非均匀性的测试,主要测试步骤应包括以下内容。

- a) 将参考探测器固定在角位移台上,调整角位移台弧形运动的圆心与积分球[光源]出光平面的中心重合。
- b) 设置角位移台旋转参考探测器,观察并调整测量光路始终指向积分球[光源]出光平面的中心。

- c) 根据参考探测器和积分球[光源]的操作要求,进行开机并完成预热。
- d) 设定参考探测器测量光路与积分球[光源]出光平面中心法线重合为 0° 方向位置,分别在水平和竖直方位内,间隔 5° 沿弧形导轨运动并测量(当待定标传感器视场较小时可选择测试需要的角度间隔),其中运动角度范围为 $-45^\circ \sim 45^\circ$ (当待定标传感器视场较小时可选择测试需要的角度范围),水平方位角度辐亮度非均匀性测试示意图(俯视)见图 3。
- e) 在每个测点,参考探测器连续测量 n 次($n \geq 10$),角度测点 α 位置的测量值 V_α 为 n 次采样测量值的算术平均值。
- f) 通过参考探测器各测点测量值 V_α 的标准差与均值的比值计算角度辐亮度非均匀性,按公式(4)计算:

$$N_\alpha = \frac{S_{V_\alpha}}{(1/p) \sum_{\alpha=1}^p V_\alpha} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

N_α —— 角度辐亮度非均匀性;

S_{V_α} —— p 个角度测点测值的实验标准差,按公式(5)计算:

$$S_{V_\alpha} = \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{\alpha=1}^p \left(V_\alpha - \frac{1}{p} \sum_{\alpha=1}^p V_\alpha \right)^2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

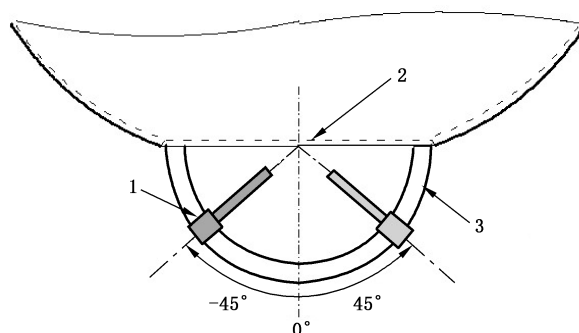
式中:

V_α —— α 位置测点的测量值,是第 α 位置测点的 n 次采样测量值的算术平均值;

p —— 测点的数目;

α —— 测点位置序号。

- g) 对角度辐亮度非均匀性测试进行不确定度评定,评定方法见 A.3,角度辐亮度非均匀性测试结果可用图、表等形式进行表达,水平方位角辐亮度非均匀性测试结果示例见 B.3。



标引序号说明:

1——参考探测器;

2——积分球[光源]出光平面;

3——参考探测器运动轨道。

图 3 水平方位角度辐亮度非均匀性测试示意图(俯视)

5.5 稳定性测试

采用参考探测器和二维平移台进行稳定性的测试,主要测试步骤应包括:

- a) 将参考探测器固定在二维平移台上,调整其测量光路垂直于积分球[光源]的出光平面,且位于出光平面中心位置,并与出光面相距 ≥ 100 mm;
- b) 根据参考探测器和积分球[光源]的操作规范,进行开机并完成预热;

- c) 预热完成后,连续测量 1 h 或根据需求设置测量时间,参考探测器每隔 10 s 测量一次;
- d) 通过参考探测器各时间测点测量值计算稳定性,按公式(6)计算。

$$S_t = \left(1 - \left| \frac{V_{\max} - V_{\min}}{2 \times \bar{V}} \right| \right) \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- S_t ——积分球[光源]在测量时间内的稳定性; t 为测量时长($t=1,2,3,\dots$),单位为小时(h);
- V_{\max} ——测量时间内,测量值的最大值;
- V_{\min} ——测量时间内,测量值的最小值;
- \bar{V} ——测量时间内,测量值的平均值。

6 测试检查

遥感器定标用积分球光源产品的测试检查包括但不限于表 1 所列内容。

表 1 遥感器定标用积分球光源测试检查内容

检查项目	测试方法
实验室环境	按 4.1 执行
测试前检查	按 5.1 执行
光谱辐[射]亮度	按 5.2 执行
平面辐亮度非均匀性	按 5.3 执行
角度辐亮度非均匀性	根据用户的使用,是否存在;如存在,按 5.4 执行
稳定性	按 5.5 执行

7 测试报告

测试结果以测试报告的形式给出,应包括但不限于以下内容:

- a) 测试方名称与地址;
- b) 委托方名称与地址;
- c) 测试的地点;
- d) 测试报告的唯一性标识,每页及总页数标识;
- e) 被测积分球[光源]的唯一性标识、规格型号和说明;
- f) 测试日期;
- g) 测试人员信息;
- h) 测试的环境参数,包括温度、湿度等;
- i) 测试方法的依据;
- j) 所用测量设备的标识;
- k) 测量导出的结果(以表格、图及其他可表达的方式加以说明);
- l) 测试结果的不确定度;
- m) 测试结果仅对被测对象有效的声明。

附录 A

(资料性)

积分球[光源]测试不确定度评定方法

A.1 光谱辐[射]亮度的测量不确定度评定

积分球[光源]的光谱辐[射]亮度测量不确定度由光谱辐[射]亮度多次测量引入的不确定度、光谱辐射亮度计校准引入的不确定度、光谱辐射亮度计长期稳定性引入的不确定度(使用前进行校准可忽略此项)、平面辐亮度非均匀性引入的不确定度、角度辐亮度非均匀性引入的不确定度和积分球[光源]稳定性引入的不确定组成,积分球[光源]的光谱辐[射]亮度测量不确定度由公式(A.1)计算:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_L^2 + u_S^2 + u_{Map}^2 + u_a^2 + u_h^2} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- u_c —— 积分球[光源]的光谱辐[射]亮度测量不确定度;
- u_A —— 多次测量引入的不确定度;
- u_L —— 光谱辐射亮度计校准引入的不确定度;
- u_S —— 光谱辐射亮度计长期稳定性引入的不确定度;
- u_{Map} —— 平面辐亮度非均匀性引入的不确定度, $u_{Map} = N_{Map}$;
- u_a —— 角度辐亮度非均匀性引入的不确定度, $u_a = N_a$;
- u_h —— 积分球[光源]稳定性引入的不确定。

A.2 平面辐亮度非均匀性的测量不确定度评定

积分球[光源]平面辐亮度非均匀性测量不确定度由平面辐亮度非均匀性多次测量引入的不确定度、测点数量和位置偏差引入的不确定度组成,积分球[光源]平面辐亮度非均匀性不确定度由公式(A.2)计算:

$$u_M = \sqrt{u_A^2 + u_d^2} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- u_M —— 积分球[光源]平面辐亮度非均匀性不确定度;
- u_A —— 多次测量引入的不确定度;
- u_d —— 测点数量和位置偏差引入的不确定度。

A.3 角度辐亮度非均匀性的测量不确定度评定

积分球[光源]角度辐亮度非均匀性测量不确定度由角度辐亮度非均匀性多次测量引入的不确定度和测点数量引入的不确定度组成,积分球[光源]角度辐亮度非均匀性不确定度由公式(A.3)计算:

$$u_{angle} = \sqrt{u_A^2 + u_d^2} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

- u_{angle} —— 积分球[光源]角度辐亮度非均匀性不确定度;
- u_A —— 角度辐亮度非均匀性多次测量引入的不确定度;
- u_d —— 测点数量引入的不确定度。

附录 B
(资料性)
测试结果示例

B.1 光谱辐[射]亮度测试结果示例

表 B.1 给出了积分球[光源]的光谱辐[射]亮度测试结果示例,以积分球[光源]工作状态为所有卤钨灯额定功率打开为例。图 B.1 给出了按波长绘制的光谱辐[射]亮度测试结果曲线图示例。

表 B.1 光谱辐[射]亮度测试结果示例(积分球[光源]工作状态:所有卤钨灯额定功率打开)

波长/nm	辐射亮度/ [W/(m ² ·sr·nm)]	扩展不确定度/% (k=2)	波长/nm	辐射亮度/ [W/(m ² ·sr·nm)]	扩展不确定度/% (k=2)
350	4.56×10 ⁻³	5.4	1 000	6.15×10 ⁻¹	5.0
360	7.87×10 ⁻³	5.3	1 100	5.54×10 ⁻¹	5.0
...
850	6.37×10 ⁻¹	5.0	2 400	2.23×10 ⁻²	5.7
900	6.31×10 ⁻¹	5.0	2 500	1.69×10 ⁻²	5.8
950	6.14×10 ⁻¹	5.0	—	—	—

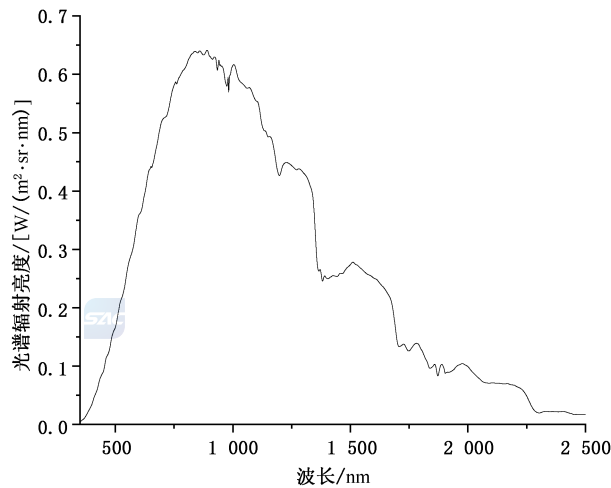


图 B.1 光谱辐[射]亮度测试结果曲线图示例

B.2 平面辐亮度非均匀性测试结果示例

图 B.2 给出了测量点位置分布示意图和积分球[光源]出光口的尺寸,以积分球[光源]工作状态为所有卤钨灯额定功率打开为例。表 B.2 给出了根据图 B.2 的测量点位置分布,绘制并填上各测点测量归一化辐亮度值的示例。取表 B.2 中灰色部分数据,按公式(2)计算平面辐亮度非均匀性,结果是在积分球[光源]出光口 500 mm 内,平面辐亮度非均匀性为 0.51%。

单位为毫米

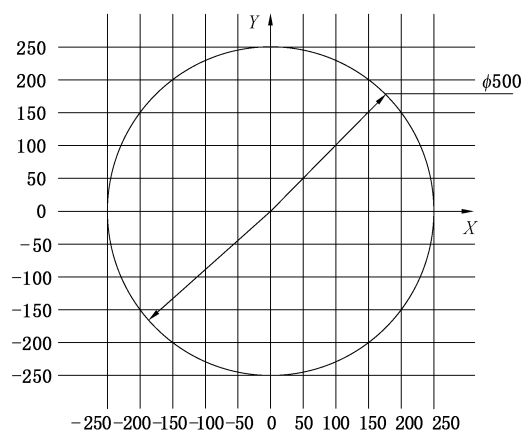


图 B.2 测量点位置分布示意图

表 B.2 各测点测量的归一化辐亮度值示例(积分球[光源]工作状态;所有卤钨灯额定功率)

测点位置	-250	-200	-150	-100	-50	0	50	100	150	200	250
250	—	—	—	—	0.985	0.987	0.987	—	—	—	—
200	—	—	0.984	0.989	0.991	0.992	0.993	0.991	0.984	—	—
150	—	0.984	0.992	0.993	0.995	0.995	0.995	0.990	0.986	0.982	—
100	—	0.988	0.994	0.995	0.996	0.997	0.997	0.994	0.991	0.986	—
50	0.983	0.988	0.991	0.995	0.997	0.998	1.000	1.000	0.999	0.997	0.993
0	0.984	0.989	0.992	0.996	0.997	0.998	1.000	1.000	0.999	0.998	0.995
-50	0.984	0.989	0.993	0.996	0.998	0.999	1.000	1.000	1.000	0.998	0.995
-100	—	0.986	0.991	0.994	0.997	0.998	0.999	0.998	0.997	0.995	—
-150	—	0.984	0.989	0.992	0.995	0.997	0.998	0.997	0.995	0.992	—
-200	—	—	0.985	0.989	0.992	0.993	0.995	0.992	0.991	—	—
-250	—	—	—	—	0.986	0.987	0.989	—	—	—	—

B.3 水平方向角度辐亮度非均匀性测试结果示例

表 B.3 给出了水平方位角度辐亮度非均匀性测试结果示例,如以积分球[光源]工作状态为所有卤钨灯额定功率打开,测量角度范围为 $\pm 30^\circ$,测量角度间隔为 3° 为例,结果是角度辐亮度非均匀性为0.28%。

表 B.3 水平方向角度辐亮度非均匀性测试结果示例
(积分球[光源]工作状态:所有卤钨灯额定功率打开)

角度/(°)	归一化辐亮度值	角度/(°)	归一化辐亮度值
-30	0.992 5	3	1.000 1
-27	0.993 4	6	1.000 8
-24	0.994 7	9	1.000 4
-21	0.995 8	12	1.001 1
-18	0.996 5	15	1.000 1
-15	0.997 4	18	0.999 1
-12	0.998 8	21	0.997 7
-9	1.000 2	24	0.996 2
-6	1.000 1	27	0.994 5
-3	0.999 8	30	0.993 8
0	1.000 0	—	—

B.4 稳定性测试结果示例

图 B.3 给出了积分球[光源]在 1 h 测量时间的稳定性测试数据曲线图示例,以积分球[光源]所有卤钨灯额定功率打开为例。表 B.4 给出了图 B.3 的积分球[光源]在 1 h 内的稳定性测试结果示例。

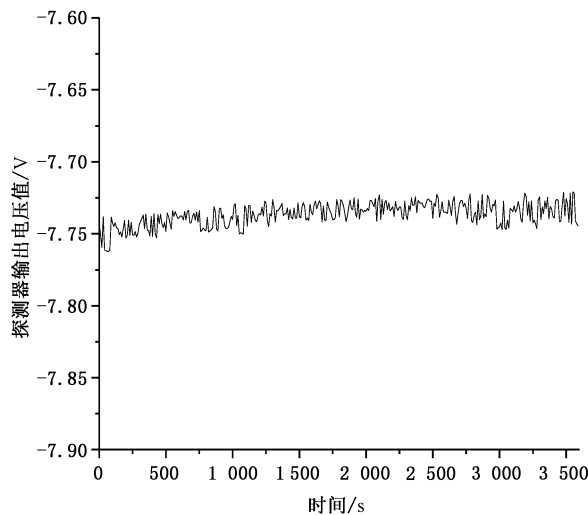


图 B.3 积分球[光源]1 h 稳定性测试数据曲线图示例

表 B.4 稳定性测试结果示例(积分球[光源]工作状态:所有卤钨灯额定功率打开)

测量最大值/V	测量最小值/V	测量均值/V	稳定性/%
-7.720 9	-7.762 3	-7.736 6	99.73

参 考 文 献

- [1] GB/T 26179—2010 光源的光谱辐射度测量
 - [2] GB/T 38236—2019 航天光学遥感器实验室辐射定标方法
-



