JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—202×

气象用太阳模拟器校准规范

Calibration Specification for Meteorological Solar Simulators

20××-××-××发布 20××-××-××实施

**国家市场监督管理总局** 发 布

气象用太阳模拟器校准规范

Calibration Specification for Meteorological Solar Simulators

JJF××××—202×

归 口 单 位：全国气象专用计量器具计量技术委员会

主要起草单位：国家气象计量站

长春理工大学

参加起草单位：福建省计量科学研究院

德雷射科（廊坊）科技有限公司

本规范委托全国气象专用计量器具计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

崇 伟（国家气象计量站）

丁 蕾（国家气象计量站）

刘 石（长春理工大学）

参加起草人：

张国玉（长春理工大学）

何 翔（福建省计量科学研究院）

林慧君（德雷射科（廊坊）科技有限公司）

闫加俊（航天新气象科技有限公司）

目 录

[引 言 IV](#_Toc139235327)

[1 范围 1](#_Toc139235328)

[2 引用文件 1](#_Toc139235329)

[3 术语和计量单位 1](#_Toc139235330)

[3.1 辐[射]照度 1](#_Toc139235331)

[3.2 光谱辐照度 1](#_Toc139235332)

[3.3 有效辐照面 1](#_Toc139235333)

[3.4 光谱匹配度 1](#_Toc139235334)

[3.5 辐照度不均匀度 1](#_Toc139235335)

[3.6 辐照度不均匀度 1](#_Toc139235336)

[3.7 大气质量 1](#_Toc139235337)

[4 概述 2](#_Toc139235338)

[5 计量特性 2](#_Toc139235339)

[6 校准条件 2](#_Toc139235344)

[6.1 环境条件 2](#_Toc139235345)

[6.2 测量标准及其他设备 2](#_Toc139235350)

[7 校准项目和校准方法 3](#_Toc139235351)

[7.1 校准前的准备 3](#_Toc139235352)

[7.2 校准项目 3](#_Toc139235353)

[7.3 校准方法 3](#_Toc139235354)

[8 校准结果的表达 5](#_Toc139235358)

[9 复校时间间隔 6](#_Toc139235359)

[附录A](#_Toc139235360)[校准不确定度评定示例 7](#_Toc139235361)

[附录B](#_Toc139235384)[太阳模拟器校准记录（参考格式） 12](#_Toc139235385)

[附录C校准证书（参考格式） 15](#_Toc139235386)

# 引 言

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

气象用太阳模拟器校准规范

# 范围

本文件适用于气象行业使用的太阳模拟器的性能校准。

# 引用文件

本文件引用下列文件：

JJF 1615―2017 太阳模拟器校准规范

GB/T 31163―2017 太阳能资源术语

GB/T 33707―2017 气象太阳模拟器

ISO 9845―1: 2022 太阳能—地面不同接收条件下的标准太阳光谱辐照度—第1部分：大气质量1.5的法向直接日射辐照度和半球向日射辐照度（Solar energy — Reference solar spectral irradiance at the ground at different receiving conditions — Part 1: Direct normal and hemispherical solar irradiance for air mass 1,5）

IEC 60904―9: 2020 光伏器件 第9部分：太阳模拟器性能要求 （Photovoltaic devices—Part 9: Solar simulator performance requirements）

凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件；凡是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。

# 术语和计量单位

## 辐[射]照度 irradiance

物体在单位时间、单位面积上接收到的辐射能，单位为瓦[特]每平方米（W/m2）。

## 光谱辐照度 spectral irradiance

在给定波长附近的无穷小范围内，辐照度与该波长间隔之比，单位为瓦[特]每平方米纳米[W/（m²·nm）]。

## 有效辐照面 effective irradiation surface

满足给定辐照度均匀分布要求的辐照面直径范围，单位为毫米（mm）。

## 光谱匹配度 spectral match

太阳模拟器光源的光谱相对于标准太阳光谱辐照度的匹配程度。

## 辐照度不均匀度 irradiance non-uniformity

在有效辐照面范围内，太阳模拟器的辐照度随位置变化的最大偏差。

## 辐照度不均匀度 irradiance instability

有效辐照面内任意给定位置上，在规定的时间间隔内，太阳模拟器的辐照度随时间变化的最大偏差。

## 大气质量1.5 air mass 1.5; AM 1.5

太阳辐射通过大气的实际路径与在天顶时通过大气到达观测点的路径之比为1.5时的状态。

注：AM 1.5是校准和测试地基太阳辐射测量仪器所规定的太阳辐照度和光谱辐照度分布条件。

# 概述

气象用太阳模拟器（以下简称太阳模拟器）是一种模拟自然太阳光谱和辐照度的光源设备，能够提供具有一定光斑有效口径、稳定、均匀、辐照度可控、光谱匹配自然太阳光的光源输出，主要用于气象辐射仪器性能参数的室内测试和相关科学试验。太阳模拟器主要由氙灯、聚光镜、转向反射镜、光学积分器、滤光及准直光学系统、氙灯电源、多维工作台、准直联接横梁、壳体和计算机控制系统等部件组成，典型结构示意图如图1所示。

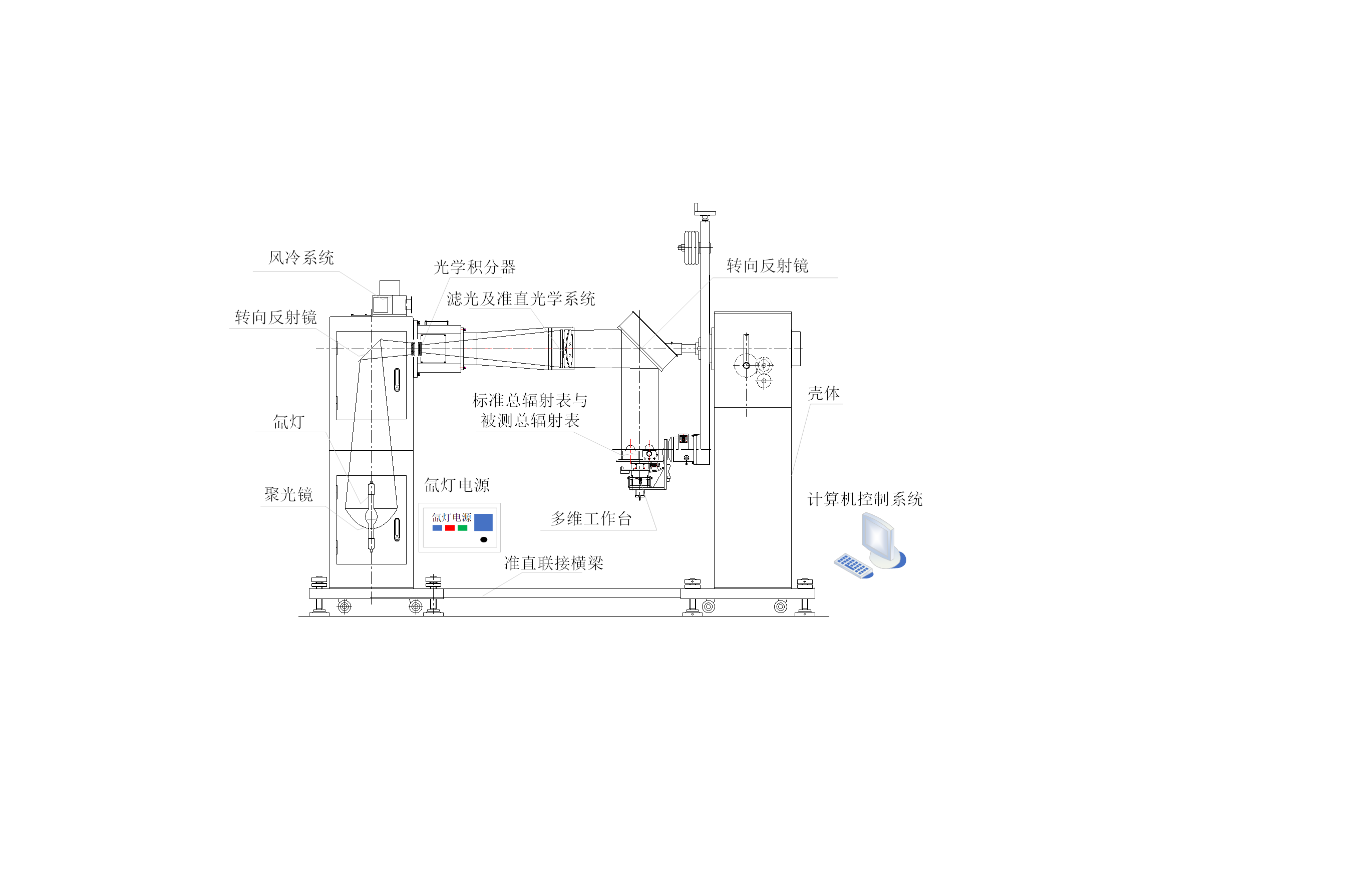


图1 典型气象用太阳模拟器结构示意图

# 计量特性

## 辐照度范围：200 W/m2～1100 W/m2。

## 光谱匹配度：波长300nm～2500nm范围内不同波段的光谱辐照度分布与AM1.5标准光谱辐照度分布对比，误差范围在[0.8，1.2]。

## 辐照度不均匀度：≤1%（≤φ60 mm）；≤2%（φ60 mm（不含）～φ160 mm（含））。

## 辐照度不稳定度：≤1%/h。

注：以上指标不是用于合格性判别，仅供参考。

# 校准条件

## 环境条件

### 温度：校准过程中温度变化范围为20 ℃±10 ℃；

### 相对湿度：30% RH～70% RH；

### 电源电压：交流电源（1±%1）×380 V或（1±%1）×220 V。

### 其他条件：无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动，光学暗室条件。

## 测量标准及其他设备

校准用测量标准及其他计量器具应在计量技术机构检定合格或校准，并在有效期内。

测量标准及其他设备主要技术指标见表1。

表1 测量标准及其他设备

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分类 | 名 称 | 测量范围 | 主要技术指标 |
| 测量  标准 | 光谱辐射计 | 波长：300nm～2500nm | 波长分辨率≤1nm；  波长最大允许误差±2nm。 |
| 总辐射表 | 辐照度测量范围：  0～1600 W/m2。 | 灵敏度稳定性优于0.2%/h（测量区间800 W/m2～1000 W/m2）。 |
| 数字多用表或数据采集器 | 电压：  (-100～100) mV | 分辨力不低于六位半；  准确度等级不低于0.01级。 |

# 校准项目和校准方法

## 校准前的准备

7.1.1 对太阳模拟器的外观和结构进行检查。太阳模拟器外观应完好，光学镜头无明显变形和机械损伤，仪器名称、规格型号、生产厂商、出厂编号等铭牌标识应完整、清晰、醒目。

7.1.2 确认被校太阳模拟器工作状态、有效辐照面和周围工作环境状况等正常。

## 校准项目

校准项目及对应的校准方法条款见表2。

表2 校准项目表

|  |  |
| --- | --- |
| 校准项目 | 校准方法对应条款 |
| 光谱匹配度 | 校准方法见7.3.1。 |
| 辐照度不均匀度 | 校准方法见7.3.2。 |
| 辐照度不稳定度 | 校准方法见7.3.3。 |
| 注：可根据实际应用需要，选择要校准的计量特性项目。 | |

## 校准方法

### 光谱匹配度校准

#### 校准程序

校准期间，应避免人员靠近或遮挡，以减少对校准结果造成影响。校准程序如下：

1. 打开太阳模拟器电源，调节太阳模拟器使其输出辐照度介于（1000±50）W/m2的任意一个值，稳定0.5 h以上。
2. 打开光谱辐射计电源，预热0.5 h以上，用光谱辐射计测试太阳模拟器输出的光谱辐照度分布，记录数据。
3. 记录校准期间的环境温度和湿度等参数。

#### 数据处理

1. 按照公式（1）计算300 nm～2500 nm波长范围内不同波段的光谱辐照度。

 （1）

式中：

——～波段范围内光谱辐照度积分值，W/m²；

——在波长处的光谱辐照度，W/（m²·nm）；

1. 按照公式（2）计算不同波段范围内光谱辐照度占300 nm～2500 nm整个波段内总光谱辐照度的百分比。

 （2）

式中：

——波长300 nm～2500 nm范围内的光谱辐照度总积分值，W/m²；

——～波段范围内光谱辐照度积分值占300 nm～2500 nm范围内光谱辐照度总积分值的百分比；

1. 按照公式（3）计算不同波段光谱辐照度的光谱匹配度：

 （3）

式中：

——AM1.5标准光谱辐照度分布，如表3所示；

——～波段范围内的光谱匹配度。

表3 AM1.5标准光谱辐照度分布

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 波长间隔/nm | 300～400 | 400～700 | 700～1100 | 1100～2500 |
| 不同波段范围内光谱辐照度占300nm～2500nm范围内光谱辐照度的百分比/% | 4.8 | 43.3 | 33.0 | 18.9 |
| 注：AM1.5标准光谱辐照度分布根据ISO 9845-1: 2022计算得到。 | | | | |

### 辐照度不均匀度

#### 校准点的选择

将太阳模拟器多维工作台按照直径60 mm、100 mm、160 mm作同心圆，以45°为间隔，将同心圆周长8等分，各同心圆8等分点皆为测试点，如图2所示。φ60 mm（含）范围内均匀性测试点包括：φ60 mm圆周8等分点和圆中心点。φ60 mm（不含）～φ160 mm范围内均匀性测试点包括：φ100 mm圆周8等分点和φ160 mm圆周8等分点。

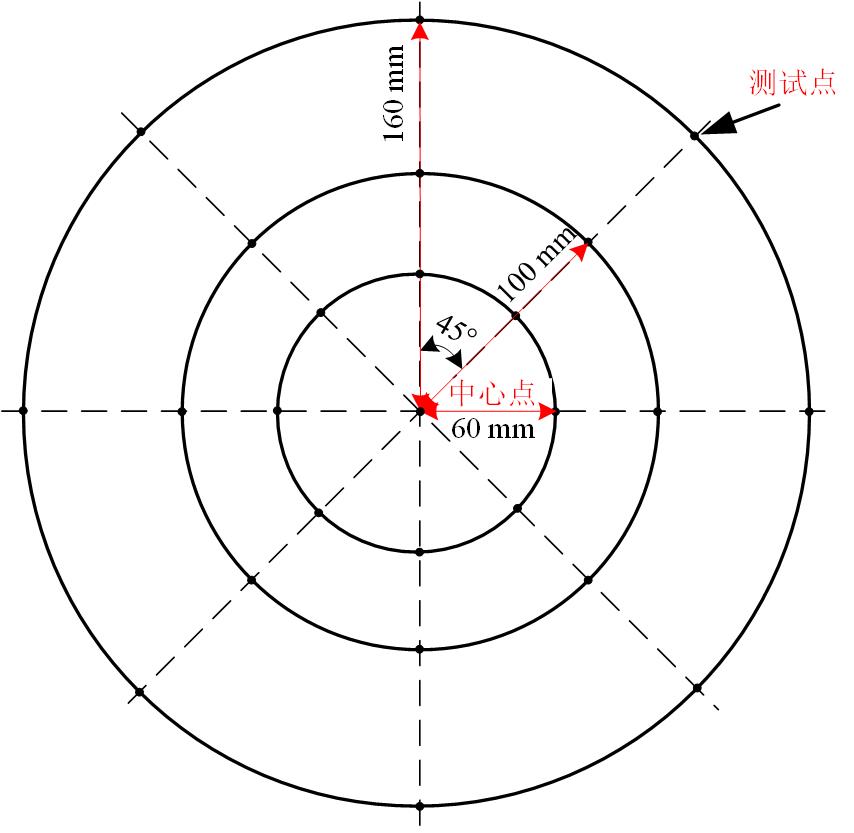


图2 均匀性测试点示意图

#### 校准程序

校准期间，应避免人员靠近或遮挡，以减少对校准结果造成影响。校准程序如下：

1. 将总辐射表置于测试点上，若总辐射表为模拟输出，则将总辐射表与数字多用表连接，数字多用表与计算机连接；若总辐射表为数字输出，则将总辐射表直接与计算机连接。
2. 打开太阳模拟器，调节辐射输出值为200 W/m2，使光线无遮挡入射到总辐射表上。开启数字多用表和计算机。
3. 稳定0.5 h，依次测量各测试点辐照度值，每个测试点采样10次，采样间隔3 s。
4. 调节太阳模拟器使其辐射输出值依次为500 W/m2，800 W/m2，1100 W/m2，重复步骤（3）。

#### 数据处理

1. 计算各测试点10次采样值的算术平均值；
2. 按公式（4）计算同一辐射输出值下辐照度不均匀度：

 （4）

式中：

——同一辐射输出值下辐照度不均匀度；

——各测试点10次采样值算术平均值的最大值，W/m²；

——各测试点10次采样值算术平均值的最小值，W/m²。

### 辐照度不稳定度

#### 校准程序

校准期间，应避免人员靠近或遮挡，以减少对校准结果造成影响。校准程序如下：

1. 将总辐射表置于有效辐照面中心点，若总辐射表为模拟输出，则将总辐射表与数字多用表连接，数字多用表与计算机连接；若总辐射表为数字输出，则将总辐射表直接与计算机连接。
2. 打开太阳模拟器，调节辐射输出值介于（1000±50）W/m2的任意一个值。开启数字多用表和计算机。
3. 稳定0.5 h，以10 s为采样间隔，采样时长不低于1 h。

#### 数据处理

按公式（5）计算辐照度不稳定度：

 （5）

式中：

——辐照度不稳定度；

——1 h内测得的辐照度最大值，W/m²；

——1 h内测得的辐照度最小值，W/m²。

# 校准结果的表达

校准结果应在校准证书上反映（校准证书内页格式参考附录B、C）。校准证书至少应包括以下信息：

a) 标题“校准证书”；

b) 实验室名称和地址；

c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；

d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；

e) 客户的名称和地址；

f) 被校对象的描述和明确标识；

g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；

h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；

i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；

j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

k) 校准环境的描述；

l) 校准结果及其测量不确定度的说明；

m) 对校准规范的偏离的说明；

n)校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；

o)校准结果仅对被校对象有效性的声明；

p)未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

# 复校时间间隔

建议太阳模拟器的复校时间间隔为1年，当发现太阳模拟器输出值出现异常时，建议提前校准。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，使用单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

# 附录A

# 校准不确定度评定示例

1. 太阳模拟器光谱匹配度校准不确定度评定
   1. 数学模型

太阳模拟器不同波段光谱辐照度的光谱匹配度：

 （A.1）

式中：

——太阳模拟器～波段范围内光谱辐照度积分值占300 nm～2500 nm范围内光谱辐照度总积分值的百分比；

——AM1.5标准光谱辐照度分布；

——～波段范围内的光谱匹配度。

* 1. 不确定度来源

由公式（A.1）可知，被校太阳模拟器光谱匹配度的不确定度主要来源于以下4个方面：

（a）光谱辐射计校准引入的不确定度；

（b）光谱辐射计余弦响应引入的标准不确定度；

（c）光谱匹配度重复性引入的标准不确定度。

* 1. 不确定度评定
     1. 由光谱辐射计校准引入的不确定度

光谱辐射计由上级计量技术机构校准取得的扩展不确定度，，300 nm~1700 nm, ，1700 nm~2500 nm，其引入的标准不确定度为，300 nm~1700 nm, ，1700 nm~2500 nm

* + 1. 光谱辐射计余弦响应引入的标准不确定度

光谱辐射计探头角度的不同，相对于太阳模拟器入射光线，将引入不同的误差。通过改变光谱辐射计探头角度，测得角度变化15°范围内测量偏差为0.8%，按均匀分布计，其引入的标准不确定度为；

* + 1. 光谱匹配度重复性引入的标准不确定度

在重复性条件下，重复测得被校太阳模拟器光谱匹配度，数据见表A.1，重复性引入的不确定度为。

A.1 太阳模拟器光谱匹配度测量重复性

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 波长间隔/nm | 300～400 | 400～700 | 700～1100 | 1100～2500 |
| 1 | 比值 | 0.93 | 1.12 | 1.04 | 0.93 |
| 2 | 比值 | 0.92 | 1.13 | 1.03 | 0.95 |
| 3 | 比值 | 0.91 | 1.13 | 1.04 | 0.91 |
| 4 | 比值 | 0.90 | 1.12 | 1.04 | 0.92 |
| 5 | 比值 | 0.90 | 1.13 | 1.03 | 0.92 |
| 6 | 比值 | 0.90 | 1.14 | 1.04 | 0.93 |
| 7 | 比值 | 0.92 | 1.12 | 1.05 | 0.91 |
| 8 | 比值 | 0.91 | 1.12 | 1.04 | 0.92 |
| 9 | 比值 | 0.93 | 1.13 | 1.04 | 0.91 |
| 10 | 比值 | 0.91 | 1.12 | 1.03 | 0.92 |
| 实验标准差 | | 1.2% | 0.7% | 0.6% | 1.2% |

* + 1. 合成标准不确定度评定

长波辐射表灵敏度测量结果的标准不确定度分量见表A.2。

表A.2 长波辐射表灵敏度测量结果的标准不确定度分量

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 评定方法 | 分布 | 符号 | 标准不确定度分量 |
| 1 | 光谱辐射计校准 | B | 正态分布 |  | 3%（300 nm~1700 nm）  4%（1700 nm~2500 nm） |
| 2 | 光谱辐射计余弦响应 | B | 均匀分布 |  | 0.46% |
| 3 | 光谱匹配度重复性 | A | 正态分布 |  | 1.2% |

按下式计算合成标准不确定度：

 （300 nm~1700 nm） （A.2）

 （1700 nm~2500 nm） （A.3）

式中：

——被校太阳模拟器光谱匹配度校准结果的合成标准不确定度；

* + 1. 扩展不确定度

扩展不确定度为：

 （300 nm~1700 nm） （A.4）

 （1700 nm~2500 nm） （A.5）

1. 太阳模拟器辐照度不均匀度校准不确定度评定

A.2.1数学模型

太阳模拟器在设定的同一辐射输出值下辐照度不均匀度按公式（A.6）计算：

 （A.6）

式中：

——设定的同一辐射输出值下辐照度不均匀度；

——各测试点10次采样值算术平均值的最大值，W/m²；

——各测试点10次采样值算术平均值的最小值，W/m²。

A.2.2不确定度来源

由公式（A.6）可知，太阳模拟器辐照度不均匀度校准不确定度主要来源于以下2个方面：

（1）总辐射表测量引入的不确定度，其包括总辐射表灵敏度稳定性引入的不确定度、非线性引入的不确定度、温度响应引入的不确定度及配套设备数字多用表测量引入的不确定度。

（2）辐照度测量重复性引入的不确定度，其包括辐照度最大值重复性引入的不确定度和辐照度最小值重复性引入的不确定度。

A.2.3不确定度评定

A.2.3.1 评定示例说明

以太阳模拟器1100 W/m²@160mm时辐照度不均匀度进行测试为例，CMP22二等标准总辐射表作为测试标准器，其灵敏度为μV/（W/m2）。具体测试数据如下：

表A.3 1100 W/m²@160mm条件下太阳模拟器辐照度不均匀度各测试点数据及统计值



A.2.3.2 总辐射表测量引入的不确定度

总辐射表测量引入的不确定度应包括总辐射表灵敏度稳定性引入的不确定度、总辐射表非线性引入的不确定度、总辐射表温度响应引入的不确定度及配套设备数字多用表测量引入的不确定度。总辐射表测量辐照度的原理公式如（A.7）所示：

 （A.7）

式中：

——总辐射表测得的辐照度，W/m²

——数字多用表采集的总辐射表输出的电压，V；

——总辐射表灵敏度，μV/（W/m2）。

总辐射表测量引入的辐照度不均匀度校准不确定度分量如表A.4所示

表A.4 总辐射表测量引入的辐照度不均匀度校准不确定度分量

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源 | 评定方法 | 先验知识 | 概率分布 | 符号 | 标准不确定度 |
| 灵敏度稳定性 | B | 0.2% | 正太分布 |  | 0.1% |
| 非线性（100 W/m2~1000 W/m2） | B | 0.2% | 均匀分布 |  | 0.12% |
| 温度响应（-20℃~50℃） | B | 0.3% | 均匀分布 |  | 0.17% |
| 数字多用表（-100mV~100mV） | B | 1.1μV | 正太分布 |  | 0.55μV |

总辐射表测量引入的不确定度按公式（A.8）~（A.10）计算：

 （A.8）

 （A.9）

 （A.10）

式中：

——总辐射表灵敏度，μV/（m²/W）；

——灵敏系数，为式（A.7）对输入量的偏导数，（m²/W）2/μV；

——灵敏系数，为式（A.7）对输入量的偏导数，（m²/W）/μV。

基于表A.3数据，不均匀度测试中辐照度最大值为1041.39 W/m²，最小值为1022.26 W/m²，按式（A.8）~（A.10），总辐射表对辐照度最大值测量引入的不确定度，对辐照度最小值测量引入的不确定度。

A.2.3.3 辐照度测量重复性引入的不确定度

按公式（A.6）,不均匀度计算公式中涉及辐照度最大值和辐照度最小值两个变量，从表A.3可知，辐照度最大值为1041.39 W/m²，实验标准差为2.49 W/m²，最大值引入的不确定度。辐照度最小值为1022.26 W/m²，实验标准差为1.36 W/m²，最小值引入的不确定度。

A.2.3.4 合成标准不确定度评定

按公式（A.11）~（A.13）计算合成标准不确定度：

 （A.11）

 （A.12）

 （A.13）

式中：

——灵敏系数，为式（A.6）对输入量的偏导数，m²/W；

——灵敏系数，为式（A.6）对输入量的偏导数，m²/W。

代入表A.3数据计算，。

A.2.3.5 辐照度不均匀度校准结果

辐照度不均匀度校准结果如下：

，；k=2

1. 太阳模拟器辐照度不稳定度校准不确定度评定

A.3.1数学模型

太阳模拟器辐照度不稳定度按公式（A.14）计算：

 （A.14）

式中：

——辐照度不稳定度；

——1 h内测得的辐照度最大值，W/m²；

——1 h内测得的辐照度最小值，W/m²。

A.3.2不确定度来源

由公式（A.14）可知，太阳模拟器辐照度不稳定度主要是由总辐射表测量辐照度引入的，根据总辐射表测量辐照度的原理公式（A.7），辐照度不稳定度的校准不确定度主要来源于以下4个方面：

（1）总辐射表灵敏度稳定性引入的不确定度；

（2）总辐射表非线性引入的不确定度；

（3）总辐射表温度响应引入的不确定度；

（4）配套设备数字多用表测量引入的不确定度。

A.3.3不确定度评定

A.3.3.1 评定示例说明

以CMP22二等标准总辐射表作为测试标准器，其灵敏度为μV/（W/m2），将二等标准总辐射表放置在有效辐照面中心点，调节太阳模拟器使其输出辐照度点为1000 W/m2。稳定0.5 h后，二等标准总辐射表以10 s为采样间隔，采集时长不低于1小时，经统计分析，1 h内测得的辐照度最大值 W/m2，1 h内测得的辐照度最大值 W/m2，按公式（A.14）计算得到辐照度不稳定度。

A.3.3.2 总辐射表灵敏度稳定性引入的不确定度

参考二等标准总辐射表校准证书，灵敏度为μV/（W/m2），短时稳定性为0.2%/h。因此，总辐射表灵敏度稳定性引入的不确定度。

A.3.3.3 总辐射表非线性引入的不确定度

查阅CMP22说明书，其非线性（100 W/m2~1000 W/m2）为0.2%，按均匀分布计，总辐射表非线性引入的不确定度。

A.3.3.4 总辐射表温度响应引入的不确定度

查阅CMP22说明书，其温度响应（-20~50）℃为0.3%，按均匀分布计，总辐射表温度响应引入的不确定度。

A.3.3.5 数字多用表测量引入的不确定度

总辐射表输出电压约8.7mV，参考数字多用表校准证书，在量程为100 mV范围内，标准值为50 mV时，其数字多用表测量不确定度为0.0011mV（k =2），因此，数字多用表测量引入的不确定度。

总辐射表测量引入的辐照度不稳定度校准不确定度分量如表A.5所示。

表A.5 总辐射表测量引入的辐照度不稳定度校准不确定度分量

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源 | 评定方法 | 先验知识 | 概率分布 | 符号 | 标准不确定度 |
| 灵敏度稳定性 | B | 0.2% | 正太分布 |  | 0.1% |
| 非线性（100 W/m2~1000 W/m2） | B | 0.2% | 均匀分布 |  | 0.12% |
| 温度响应（-20℃~50℃） | B | 0.3% | 均匀分布 |  | 0.17% |
| 数字多用表（-100mV~100mV） | B | 1.1μV | 正太分布 |  | 0.55μV |

总辐射表测量辐照度引入的不确定度按公式（A.15）~（A.17）计算：

 （A.15）

 （A.16）

 （A.17）

式中：

——总辐射表灵敏度，μV/（m²/W）；

——灵敏系数，为式（A.7）对输入量的偏导数，（m²/W）2/μV；

——灵敏系数，为式（A.7）对输入量的偏导数，（m²/W）/μV。

考虑到不稳定度测试中辐照度最大值 W/m²，最小值 W/m²，按式（A.15）~（A.17），总辐射表对辐照度最大值测量引入的不确定度，对辐照度最小值测量引入的不确定度。

A.3.3.6 合成标准不确定度评定

按公式（A.18）~（A.20）计算辐照度不稳定度的合成标准不确定度：

 （A.18）

 （A.19）

 （A.20）

式中：

——灵敏系数，为式（A.14）对输入量的偏导数，m²/W；

——灵敏系数，为式（A.14）对输入量的偏导数，m²/W。

代入数据计算，。

A.3.3.7 辐照度不稳定度校准结果

辐照度不稳定度校准结果如下：

，；k=2

# 附录B

# 太阳模拟器校准记录（参考格式）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 委托单位 | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | 记录编号 | | | |  | | | | | | | 校准证书编号 | | | | | |  | | | | | | | | | |
| 委托单位地址 | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 校准依据 | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |
| 仪器名称 | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | 型号/规格 | | | |  | | | | | | | 仪器编号 | | | | | |  | | | | | | | | | |
| 生产厂商 | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 校准地点 | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | |
| 环境参数 | | | | | | | | | 温度：（ ～ ） ℃， 湿度：（ ～ ） %RH | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **校准用主要计量标准器具** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | 名称 | | | | | | | | | | 型号规格 | | | | | | | | 出厂编号 | | | | | | | | | | | 不确定度/准确度等级/最大允许误差 | | | | | | | 证书编号 | | | | | | | | | 有效期 | | | | |
|  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | |
|  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | |
|  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | |
|  |  | | | | | | | | | |  | | | | | | | |  | | | | | | | | | | |  | | | | | | |  | | | | | | | | |  | | | | |
| **一、外观检查** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 外观 | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **二、光谱匹配度** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 序号 | | | 波长间隔/nm | | | | | | | | | | | | AM1.5条件下不同波段范围内光谱辐照度占300nm～2500nm范围内光谱辐照度的百分比/% | | | | | | | | | | | | | | 太阳模拟器不同波段范围内光谱辐照度占300nm～2500nm范围内光谱辐照度的百分比/% | | | | | | | | | | | | | | 光谱匹配度 | | | | | | | |
| 1 | | | 300～400 | | | | | | | | | | | | 4.8 | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | |
| 2 | | | 400～700 | | | | | | | | | | | | 43.3 | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | |
| 3 | | | 700～1100 | | | | | | | | | | | | 33.0 | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | |
| 4 | | | 1100～2500 | | | | | | | | | | | | 18.9 | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | |
| **三、辐照度不均匀度** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 总辐射表：□ 模拟输出，单位为mV；□ 数字输出，单位为W/m-2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 太阳模拟器输出辐射：□ 200 W/m-2；□ 500 W/m-2；□ 800 W/m-2；□ 1100 W/m-2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 辐照度不均匀度范围：□ ≤φ60 mm（含）；□ φ60 mm（不含）～φ160 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **序号** | **时间** | | | **中心点** | | | **时间** | | | **测试点1** | | | **时间** | | | **测试点2** | | **时间** | | | | **测试点3** | | | **时间** | | **测试点4** | | | | **时间** | | **测试点5** | | | **时间** | | | **测试点6** | | | **时间** | | | **测试点7** | | | **时间** | | **测试点8** |
|  |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  | | | |  | | |  | |  | | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  |
|  |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  | | | |  | | |  | |  | | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  |
|  |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  | | | |  | | |  | |  | | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  |
|  |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  | | | |  | | |  | |  | | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  |
|  |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  | | | |  | | |  | |  | | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  |
|  |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  | | | |  | | |  | |  | | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  |
|  |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  | | | |  | | |  | |  | | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  |
|  |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  | | | |  | | |  | |  | | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  |
|  |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  | | | |  | | |  | |  | | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  |
|  |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  | | | |  | | |  | |  | | | |  | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | | |  | |  |
| **均值** |  | | | | | |  | | | | | |  | | | | |  | | | | | | |  | | | | | |  | | | | |  | | | | | |  | | | | | |  | | |
| **最大值** | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **最小值** | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **辐照度不均匀度** | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **不确定度** | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **四、辐照度不稳定度** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 总辐射表：□ 模拟输出，单位为mV；□ 数字输出，单位为W/m-2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **序号** | **时间** | | **输出值** | | | | | **序号** | | | | **时间** | | **输出值** | | | **序号** | | | **时间** | | | **输出值** | | | **序号** | | | **时间** | | | **输出值** | | **序号** | | | | **时间** | | **输出值** | | | | **序号** | | | **时间** | | **输出值** | |
|  |  | |  | | | | | 11 | | | |  | |  | | | 21 | | |  | | |  | | | 31 | | |  | | |  | | 41 | | | |  | |  | | | | 51 | | |  | |  | |
|  |  | |  | | | | | 12 | | | |  | |  | | | 22 | | |  | | |  | | | 32 | | |  | | |  | | 42 | | | |  | |  | | | | 52 | | |  | |  | |
|  |  | |  | | | | | 13 | | | |  | |  | | | 23 | | |  | | |  | | | 33 | | |  | | |  | | 43 | | | |  | |  | | | | 53 | | |  | |  | |
|  |  | |  | | | | | 14 | | | |  | |  | | | 24 | | |  | | |  | | | 34 | | |  | | |  | | 44 | | | |  | |  | | | | 54 | | |  | |  | |
|  |  | |  | | | | | 15 | | | |  | |  | | | 25 | | |  | | |  | | | 35 | | |  | | |  | | 45 | | | |  | |  | | | | 55 | | |  | |  | |
|  |  | |  | | | | | 16 | | | |  | |  | | | 26 | | |  | | |  | | | 36 | | |  | | |  | | 46 | | | |  | |  | | | | 56 | | |  | |  | |
|  |  | |  | | | | | 17 | | | |  | |  | | | 27 | | |  | | |  | | | 37 | | |  | | |  | | 47 | | | |  | |  | | | | 57 | | |  | |  | |
|  |  | |  | | | | | 18 | | | |  | |  | | | 28 | | |  | | |  | | | 38 | | |  | | |  | | 48 | | | |  | |  | | | | 58 | | |  | |  | |
|  |  | |  | | | | | 19 | | | |  | |  | | | 29 | | |  | | |  | | | 39 | | |  | | |  | | 49 | | | |  | |  | | | | 59 | | |  | |  | |
|  |  | |  | | | | | 20 | | | |  | |  | | | 30 | | |  | | |  | | | 40 | | |  | | |  | | 50 | | | |  | |  | | | | 60 | | |  | |  | |
| 注：可另附加页 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **最大值** | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **最小值** | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **辐照度不稳定度** | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **不确定度** | | | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 校准员： | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 核验员： | | | | | | | | | | | | | | 校准日期： | | | | | | | | | | | | | | | |

# 附录C校准证书（参考格式）

校准证书封面格式式样

（校准机构名称）

校 准 证 书

证书编号：

|  |
| --- |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |

客 户 名 称

联 络 信 息

计 量 器 具 名 称

型 号 / 规 格

出 厂 编 号

制 造 单 位

校 准 依 据

批准人

（校准专用章） 核验员

校准员

接收日期 年 月 日

校准日期 年 月 日

发布日期 年 月 日

地址： 邮编： 电话： 传真：

（内页第2页参考格式）

证书编号：

校准说明

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 校准机构授权说明 | | | | | | | |
| 校准环境条件及地点 | | | | | | | |
| 温度 | | ℃ | | 湿度 | | %RH | |
| 地点 | |  | | | | | |
| 校准使用的计量（基）标准 | | | | | | | |
| 名称 | 测量范围 | | 不确定度/准确度等级/最大允许误差 | | 计量（基）标准证书编号 | | 有效期至 |
|  |  | |  | |  | |  |
| 校准使用的标准器 | | | | | | | |
| 名称 | 测量范围 | | 不确定度/准确度等级/最大允许误差 | | 计量（基）标准证书编号 | | 有效期至 |
|  |  | |  | |  | |  |
| 备注 | | | | | | | |
|  | | | | | | | |

（内页第3页参考格式）

证书编号：

校准结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1、太阳模拟器光源与AM1.5标准光谱辐照度分布光谱匹配度  太阳模拟器光源与AM1.5标准光谱辐照度分布图  图1太阳模拟器光源与AM1.5标准光谱辐照度分布图  表1 太阳模拟器光源与AM1.5标准光谱辐照度分布光谱匹配度   |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | 序号 | 波长间隔/nm | AM1.5条件下不同波段范围内光谱辐照度占300nm～2500nm范围内光谱辐照度的百分比/% | 太阳模拟器不同波段范围内光谱辐照度占300nm～2500nm范围内光谱辐照度的百分比/% | 光谱匹配度 | | 1 | 300～400 | 4.8 |  |  | | 2 | 400～700 | 43.3 |  |  | | 3 | 700～1100 | 33.0 |  |  | | 4 | 1100～2500 | 18.9 |  |  |   2、辐照度不均匀度   |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | | 辐照度值/(W/m-2) | ≤φ60 mm（含） | | φ60 mm（不含）～φ160 mm | | | 辐照度不均匀度/% | 不确定度 | 辐照度不均匀度/% | 不确定度 | | 200 |  |  |  |  | | 500 |  |  |  |  | | 800 |  |  |  |  | | 1100 |  |  |  |  |   3、辐照度不稳定度  辐照度不稳定度：  不确定度：  ——————————————————————以下空白 |
| 备注：   1. 下次校准请带此证书复印件； 2. 根据客户要求和校准规范XXX-XX的规定，通常情况下XX个月校准一次。 |

声明：本证书的校准结果仅对收到器具的本次实验负责，本单位仅对完整的证书原件负责。