



中华人民共和国气象行业标准

QX/T 764—2025

太阳紫外光谱辐射表

Solar ultraviolet spectroradiometer

2025-05-19 发布

2025-10-01 实施

中 国 气 象 局 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 分类和组成	5
4.1 分类	5
4.2 组成	5
5 技术要求	5
5.1 一般要求	5
5.2 测量性能	5
5.3 电源	6
5.4 功耗	6
5.5 外壳防护等级	6
5.6 环境适应性	7
5.7 电磁兼容性	7
5.8 可靠性	7
6 测试方法	7
6.1 测试环境条件	7
6.2 试验仪器仪表	7
6.3 一般要求	8
6.4 性能测试	8
6.5 电源	14
6.6 功耗	14
6.7 外壳防护等级	14
6.8 环境适应性	14
6.9 电磁兼容性	14
6.10 可靠性	14
7 检验规则	14
7.1 检验分类	14
7.2 检验项目	14
7.3 缺陷的判定	15
7.4 定型检验	15
7.5 出厂检验	16
8 标志和随行文件	17
8.1 标志	17
8.2 随行文件	17
9 包装、运输和贮存	17
9.1 包装	17

9.2 运输 18

9.3 贮存 18

附录 A(规范性) 光谱辐射表环境适应性要求和试验方法 19

 A.1 环境适应性要求 19

 A.2 环境适应性试验 20

附录 B(规范性) 光谱辐射表电磁兼容性要求和试验方法 23

 B.1 电磁兼容性要求 23

 B.2 电磁兼容性试验 23

附录 C(资料性) 光谱辐射测量原理及校准方法 24

 C.1 仪器测量方程 24

 C.2 波长校准及不确定度评估 24

 C.3 光谱辐射校准及不确定度评估 25

参考文献 28

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。

本文件由全国气象仪器与观测方法标准化技术委员会(SAC/TC 507)提出并归口。

本文件起草单位：航天新气象科技有限公司、中国气象局气象探测中心、中国科学院大气物理研究所、中国气象科学研究院、中国计量科学研究院、杭州远方光电信息股份有限公司、中国科学院安徽光学精密机械研究所。

本文件主要起草人：孙立新、郑峰、刘丽莹、花卫东、边泽强、崇伟、李倩、徐晋、郑向东、夏祥鳌、代彩红、吴志峰、李玲、王彦飞、杨礼艳、李晖、顾平月、徐毅刚、朱静、王忆如、王爽。

太阳紫外光谱辐射表

1 范围

本文件确立了太阳紫外光谱辐射表的分类与组成,规定了太阳紫外光谱辐射表的技术要求,描述了相应的试验方法,规定了检验规则,标志和随行文件,包装、运输和贮存等。

本文件适用于太阳紫外光谱辐射表的设计、生产和验收。

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 191 包装储运图示标志

GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 A:低温

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 B:高温

GB/T 2423.4 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 Db:交变湿热(12 h+12 h 循环)

GB/T 2423.10 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 Fc:振动(正弦)

GB/T 2423.17—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 Ka:盐雾

GB/T 2423.21 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 M:低气压

GB/T 2423.37 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 L:沙尘试验

GB/T 2828.11—2008 计数抽样检验程序 第11部分:小总体声称质量水平的评定程序

GB/T 2900.65—2023 电工术语 照明

GB/T 4208—2017 外壳防护等级(IP 代码)

GB/T 11463—1989 电子测量仪器可靠性试验

GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验

GB/T 18268.1—2010 测量、控制和实验室用的电设备 电磁兼容性要求 第1部分:通用要求

GB/T 2900.65—2023 电工术语 照明

GB/T 31163—2014 太阳能资源术语

GB/T 33706—2017 标准直接辐射表

GB/T 39388—2020 照度计和亮度计的性能表征方法

JJG 879—2015 紫外辐射照度计

JJF 1001—2011 通用计量术语及定义

JJF 1032—2005 光学辐射计量名词术语及定义

JJF 1975—2022 光谱辐射计校准规范

3 术语和定义

JJF 1032—2005、JJF 1001—2011、GB/T 31163—2014、GB/T 2900.65—2023 界定的以及下列术语

和定义适用于本文件。

3.1

光谱仪 spectrometer

由仪器的带通函数确定的窄波长范围内进行独立测量,用来描述在连续波长范围内测量光谱量的仪器。

注:不同种类的光谱仪用于具体的测量用途,例如光谱辐射计(表)、分光光度计、分光反射计等,通常使用光谱仪一词来指代任何此类仪器。

3.2

光谱辐射表 spectroradiometer

光谱辐射计

在给定光谱范围,用于测量窄波长间隔内辐射量的仪器。

[来源:GB/T 2900.65—2023,845-25-007]

3.3

阵列探测器 array detector

一种探测器元件的物理排列组合,能够接收和探测多色仪的输出。在某些情况下,其他光学元件可以是阵列的一部分,例如将光辐射耦合到阵列探测器的光纤面板。

[来源:GB/T 28208—2011,3.2]

3.4

像素 pixel

阵列探测器或显示元件中的最小单元,是一个独立的传感器或显示元件。

[来源:GB/T 28208—2011,3.3]

注:在本文件中,像素是阵列探测器的最小单元。

3.5

太阳紫外光谱辐射表 solar ultraviolet (UV) spectroradiometer

太阳紫外光谱辐射计

测量地面太阳紫外辐射(UV)的阵列光谱辐射计。

注:阵列光谱辐射计是采用阵列探测器接收分光单元多色输出的光谱辐射计。

3.6

线扩散函数 line spread function;LSF

成像系统线性化输出的归一化空间信号分布,是对理论无穷细的线成像产生。

[来源:GB/T 20733—2022,3.2.16]

3.7

半高全宽 full width half maximum; FWHM

半幅度全宽

所给特性大于其最大值之半的变量范围。

注:FWHM 适用于辐射图、光谱线宽等特性,其变量是波长、空间、角度等参数。

3.8

带通[函数] bandpass [function]

描述在单色输入和输出条件下相对于波长的响应度曲线关于中心波长 λ_0 为原点波长反转的线扩散函数。

注:单色输入是指入射光的光谱线宽显著小于仪器的光谱带宽。

3.9

[光谱]带宽 [spectral] band width; BW

由公式(1)定义的带通函数(3.8)的宽度。

$$\Delta \lambda_{\text{BW}} = \frac{\int b(\lambda - \lambda_0) d\lambda}{b(\lambda_0)} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$\Delta \lambda_{\text{BW}}$ —— 带宽;

$b(\lambda - \lambda_0)$ —— 关于中心波长 λ_0 的带通函数;

$b(\lambda_0)$ —— 带通函数在中心波长 λ_0 处的值;

λ —— 波长;

λ_0 —— 中心波长。

注:对称三角形或梯形带通形状,带宽通常等于指定的半高全宽(3.7)。对于对称性影响不大时,通常也采用半高全宽(3.7)作为带宽的近似表征。

3.10

峰值波长 peak wavelength

光谱分布中最大辐值处的波长。

3.11

中心波长 centre wavelength

由公式(2)定义的波长。

$$\lambda_0 = \frac{(\lambda'_{0.5} + \lambda''_{0.5})}{2} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

λ_0 —— 中心波长;

$\lambda'_{0.5}$ —— 是位于在峰值波长前且辐射功率为峰值波长辐射功率一半(50%)所对应的波长;

$\lambda''_{0.5}$ —— 是位于在峰值波长后且辐射功率为峰值波长辐射功率一半(50%)所对应的波长。

3.12

质心波长 centroid wavelength

重心波长

由公式(3)定义的波长。

$$\lambda_c = \frac{\int_{\lambda_0 - \Delta \lambda_{\text{BW}}}^{\lambda_0 + \Delta \lambda_{\text{BW}}} \lambda \cdot b(\lambda - \lambda_0) d\lambda}{\int_{\lambda_0 - \Delta \lambda_{\text{BW}}}^{\lambda_0 + \Delta \lambda_{\text{BW}}} b(\lambda - \lambda_0) d\lambda} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

λ_c —— 质心波长;

λ_0 —— 中心波长;

$\Delta \lambda_{\text{BW}}$ —— 带宽;

λ —— 波长;

$b(\lambda - \lambda_0)$ —— 关于中心波长 λ_0 的带通函数。

3.13

(测量的)标称波长 nominal wavelength (of measurement)

光谱仪被设计成从阵列探测器的特定像素位置处(在光栅扫描式仪器中对应为光栅旋转到特定位置时)读取信号时所对应测量辐射量的特定波长。

注:波长标度的校准会改变分配给该像素对应波长的标称值。

3.14

狭缝函数 slit function

[仪器]光谱响应函数

以入射狭缝作为输入,经过分光系统后由阵列探测器采样得到的线扩散函数(3.6)。

3.15

带外抑制 out of band rejection; OOB rejection

边带抑制

所需通带以外的辐射被阻挡或抑制的程度。

[来源:GB/T 11501—2008,3.2]

3.16

[采样]波长间隔 [sampling] wavelength interval

相邻两个采样像素的标称波长之差。

3.17

视场 field of view; FOV

视场角

探测器(例如辐射度计/光谱辐射计)所能“看到”的立体角(接收角),探测器在这个区域内接收辐射。

注1:有时候使用平面角来描述旋转对称的视场立体角。

注2:单位为球面度(sr)。

[来源:GB/T 20145—2006,3.10]

3.18

余弦(方向性响应)特性 cosine (directional response) characteristic

描述紫外辐照度计在入射光线的角度偏离垂直入射(余弦法则)时的响应特性。

[来源:JJF 1765—2019,3.2]

3.19

光谱响应度 spectral responsivity

光谱灵敏度(探测器的)(拒用)

$S(\lambda)$

作为波长 λ 的函数,输出 $dY(\lambda)$ 与波长间隔 $d\lambda$ 内的单色输入 $dX_e(\lambda) = X_{e,\lambda}(\lambda) \cdot d\lambda$ 之比。

$$S(\lambda) = \frac{dY(\lambda)}{dX_e(\lambda)} \dots\dots\dots(4)$$

[来源:GB/T 2900.65—2023,845-25-063]

3.20

杂散光 stray light

杂散辐射

检测器在给定标称波长处所接收的辐射线中,夹杂的不属于入射辐射(光)束的或通带之外的辐射[光]线。

注:杂散辐射按照其来源分为内杂散辐射与外杂散辐射,按照其光谱的分布分为同色杂散辐射与异色杂散辐射。

[来源:GB/T 8322—2008,7.2.5,有修改]

3.21

噪声等效输入 noise equivalent input

在指定测量仪器的频率和带宽时,探测器产生一个刚好等于均方根噪声的输出时所需要的输入。

[来源:JJF 1032—2005,8.37,有修改]

3.22

噪声等效(光谱)辐照度 **noise equivalent(spectral) irradiance**

探测器测量均匀辐照度时的噪声等效输入。

[来源:JJF 1032—2005,8.39,有修改]

3.23

测量仪器的稳定性 **stability of a measurement instrument**

稳定性

测量仪器保持其计量特性随时间恒定的能力。

[来源:JJF 1001—2011,7.19]

注:稳定性有多种方式量化。

示例 1:用计量特性变化到某个规定的量所经过的时间间隔表示。

示例 2:用计量特性在规定时间间隔内发生的变化表示。

4 分类和组成

4.1 分类

依据 GB/T 17683.1—1999 中的两项基本光谱辐射量(法向直接日射光谱辐照度和半球向日射光谱辐照度),按照测量视场范围的不同分为下列两类:

- a) 测量半球向太阳辐射紫外光谱的太阳紫外光谱辐射表,总太阳紫外光谱辐射表;
- b) 测量法向直接太阳辐射紫外光谱的太阳紫外光谱辐射表,直接太阳紫外光谱辐射表。

4.2 组成

总太阳紫外光谱辐射表由半球向接收单元(余弦校正器)、导光单元、光谱仪单元、电路单元、结构组件、温控单元、嵌入式固件以及采集软件组成。

直接太阳紫外光谱辐射表由窄视场定向接收单元(Gershun 管)、导光单元、光谱仪单元、电路单元、结构组件、温控单元、嵌入式固件及采集软件组成。

5 技术要求

5.1 一般要求

应符合下列要求:

- a) 机壳表面漆层均匀、无脱落现象、机壳无裂痕或其他机械损伤;
- b) 面板上、接插件上各种文字符号清晰、正确;
- c) 各零部件安装正确,牢固可靠,操作部分无迟滞、卡死、松脱等现象;
- d) 各零部件进行防盐雾、防潮湿、防霉菌处理;
- e) 各子线路板、接插件、电线电缆焊接可靠,无虚焊、漏焊现象。

5.2 测量性能

太阳紫外光谱辐射表的测量性能指标应符合表 1 要求。

表 1 太阳紫外光谱辐射表的测量性能指标

序号	性能指标	指标要求	
		半球型太阳紫外光谱辐射表	直射型太阳紫外光谱辐射表
波长特性类指标 ^a			
1	波长示值误差	±0.1 nm	
2	波长重复性	±0.05 nm	
3	波长范围	280 nm～400 nm	
4	采样波长间隔	小于 0.2 倍光谱带宽	
5	(狭缝函数的)带外抑制	<10 ⁻³ (离中心波长 2.5 倍光谱带宽处)	
6	光谱带宽	<1 nm	
接收特性类指标			
7	视场角(平面角)	—	≤5° (世界气象组织推荐太阳直接辐射观测为 5°)
8	余弦(方向性响应)特性误差	±5% @ 60°入射角	—
光谱辐射特性类指标			
9	光谱辐照度示值误差	±2%	
10	最大光谱辐照度	>2 W·m ⁻² ·nm ⁻¹ (@400 nm)	
11	探测阈值	<10 ⁻³ W·m ⁻² ·nm ⁻¹	
12	杂散光系数	<0.1%	
13	非线性误差	±2%	
14	温度依赖性	±2%	
15	(年)稳定性	±2%	
采样帧频类指标			
16	最大采样帧频	≥0.1 Hz	
^a 仪器应注明给出的是峰值波长或中心波长或质心波长。			

5.3 电源

太阳紫外光谱辐射表采用直流电源,电源适应性应符合下列要求:

- 工作电压:12 V $\pm$ 3 V;
- 温控电压:12 V~15 V。

5.4 功耗

工作功耗应不大于 6 W,温控功耗应不大于 50 W。

5.5 外壳防护等级

应不低于 GB/T 4208—2017 的 IP65 等级。

5.6 环境适应性

环境适应性指标应从附录 A 的环境适应性要求中选取,且应含有但不限于下列两项指标要求:

- 气候条件中的温度、湿度;
- 机械条件中的正弦稳态振动。

5.7 电磁兼容性

电磁兼容性指标应从附录 B 的电磁兼容性要求中选取,且应含有但不限于静电放电抗扰度的指标要求。

5.8 可靠性

平均失效间隔工作时间(MTBF)应不小于 3000 h。

6 测试方法

6.1 测试环境条件

试验环境应符合下列要求:

- 环境温度: $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 环境相对湿度: 小于 70%;
- 校准环境采取遮光措施,屏蔽杂散光干扰;
- 周围环境无影响光谱辐射计正常工作的机械振动。

注:如不能满足标准器使用的环境要求,在不确定度评定时要予以考虑。

6.2 试验仪器仪表

试验所用计量器具和设备见表 2,所有计量器具应在有效期内。

表 2 计量器具和设备

序号	设备名称	参数要求
测量性能指标的测试仪器设备		
1	光学平台及轨道结构适配系统	轨道调节距离误差不大于 0.5 mm
2	标准数字多用表	0.01 级(电压)
3	标准电阻	0.01 级
4	标准灯电源	电流精度 0.05%
5	光谱辐照度标准灯	校准不确定度不大于 5%
6	激光瞄准器	激光线的宽度不大于 0.5 mm 激光功率不大于 5 mW
7	监测光谱辐射计	年稳定性不大于 1%
8	波长标准灯(汞灯)	线谱的半宽不大于 0.05 nm

表 2 计量器具和设备(续)

序号	设备名称	参数要求
9	双单色仪	扫描范围覆盖 280 nm~400 nm 最小可调线宽 0.05 nm 杂光不大于 0.005%
10	标准氙灯光源	校准不确定度小于 5%
11	氙灯电源	电流精度 0.05%
12	旋转台	角度分辨率不大于 0.1°
13	长波通截止滤光片	透过率 50%截止处位于 400 nm~420 nm 截止深度(OD)大于或等于 4
环境适应性指标的测试仪器设备		
14	环境适应性检测仪器	附录 A 中各项相关标准中规定的测试设备
电磁兼容性的测试仪器设备		
15	电磁兼容性检测仪器	附录 B 中各项相关标准中规定的测试设备

6.3 一般要求

目测和手工检查。

6.4 性能测试

6.4.1 波长示值误差

按照下列步骤进行性能测试。

- 选择波长校准光源(或等效的其他波长标准器),确定特征发射谱线或特征峰值波长 λ_i ($i=1, 2, \dots, n$);宜采用汞灯的线谱中的紫外谱段的 4 个典型标准波长:296.728 nm,302.150 nm, 313.155 nm,365.015 nm。
- 点燃波长校准光源,按照光谱辐射计操作说明,预热光谱辐射计后重复测量 5 次,根据被测仪器给出的波长类型将光谱信号的质心波长(或峰值波长,或峰值半高的中心波长)记为发射谱线测量的特征波长。根据公式(3)计算得到质心波长(峰值波长通过寻峰得到,中心波长根据公式(2)计算得到)。
- 根据公式(5)和公式(6)计算测量波长的示值误差。

$$\Delta \lambda_i = \bar{\lambda}'_i - \lambda_i \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\bar{\lambda}'_i = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^{j=5} \lambda'_{i,j} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$\Delta \lambda_i$ —— λ_i 测量的波长示值误差,单位为纳米(nm);

$\bar{\lambda}'_i$ —— λ_i 的测量平均值,单位为纳米(nm);

λ_i ——第 i 个特征发射谱线的特征波长($i=1, 2, \dots, n$),单位为纳米(nm);

$\lambda'_{i,j}$ —— λ_i 的第 j 次测量波长($j=1, 2, \dots, 5$),单位为纳米(nm)。

计算得到的 $\Delta \lambda_i$ 均满足表 1 中对波长示值误差的要求,否则该项指标为不合格。

6.4.2 波长重复性

参照 6.4.1 中 a) 和 b) 执行, 采用公式(7)计算波长重复性:

$$\delta\lambda_i = \max \left| \lambda'_{i,j} - \frac{1}{5} \sum_{j=1}^{j=5} \lambda'_{i,j} \right| \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

$\delta\lambda_i$ ——特征发射谱线的特征峰值波长 λ_i 的波长重复性 ($i=1, 2, \dots, n$), 单位为纳米 (nm);

$\lambda'_{i,j}$ —— λ_i 的第 j 次测量波长 ($j=1, 2, \dots, 5$), 单位为纳米 (nm)。

计算得到的 $\delta\lambda_i$ 均满足表 1 中对波长示值误差的要求, 否则该项指标为不合格。

6.4.3 波长范围

按照 6.4.11 中光谱辐照度示值误差的方法测量, 并按照公式(8)计算波长范围下限 $\lambda_{\min}$, 按照公式(9)计算波长范围上限 $\lambda_{\max}$ 。

$$\lambda_{\min} = \min[\lambda_e] \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$\lambda_{\max} = \max[\lambda_e] \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中:

$[\lambda_e]$ ——相对示值误差测试中得到的所有符合示值误差要求的波长的集合。

计算得到的 $\lambda_{\min}$ 和 $\lambda_{\max}$ 均满足表 1 中对波长示值误差的要求, 否则该项指标为不合格。

6.4.4 采样波长间隔

按照 6.4.11 中光谱辐照度示值误差的方法测量, 根据数据波长 $\{\lambda\}$ 与对应像素序号 $\{n\}$ 构成的二元数组, n 与 λ 的数据处理方法如下:

$$\delta\lambda_i = \text{Round}(10 \times (\lambda_i - \lambda_{i-1}))/10 \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中:

λ_i ——第 i 个像素对应的标称波长;

λ_{i-1} ——第 $i-1$ 个像素对应的标称波长。

注: Round 为四舍五入取整运算。

计算得到的 $\delta\lambda_i$ 均满足表 1 中对波长示值误差的要求, 否则该项指标为不合格。

6.4.5 狭缝函数的带外抑制

按照下列步骤进行测试。

- 启动窄带单色光源预热, 达到光源稳定。
- 光源出口与光谱辐射计入射接收端面光路中心对准。
- 在每个测试点上进行测试(测试点宜采用 10 nm 波长间隔), 光谱辐照度测试数据 S_{λ, λ_j} 满足 5 个数量级的动态范围(通常可采用多曝光数据处理); 测试数据按照归一化公式(11)计算即可得到狭缝函数 F_{λ, λ_j} 。

$$F_{\lambda, \lambda_j} = S_{\lambda, \lambda_j} / \max(S_{\lambda, \lambda_j} \mid 280 \text{ nm} \leq \lambda \leq 400 \text{ nm}) \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:

F_{λ, λ_j} ——入射单色光的特征波长为 λ_j 的狭缝函数;

S_{λ, λ_j} ——入射单色光的特征波长为 λ_j 时测试得到的光谱辐照度数据;

λ ——波长;

λ_j ——入射单色光的特征波长(例如取值为 $\{290 \text{ nm}, \dots, 390 \text{ nm}\}$)。

计算得到的狭缝函数 $F_{\lambda, \lambda_j} \mid_{\lambda=\lambda_j \pm 2.5 \Delta\lambda_{\text{BW}}}$ 要满足表 1 要求, 否则该项指标为不合格。

6.4.6 光谱带宽

按照 6.4.5 进行测试,获得狭缝函数 $F_{\lambda,\lambda_j}(\lambda)$,再根据公式(12)计算得到光谱带宽:

$$\Delta\lambda_{\text{BW}} = \frac{\sum_{\lambda_i=\lambda_0-\Delta\lambda_{\text{IB}}}^{\lambda_i=\lambda_0+\Delta\lambda_{\text{IB}}} b(\lambda_i - \lambda_0) \delta\lambda_i}{b(\lambda_0)} \dots\dots\dots (12)$$

式中:

- $\Delta\lambda_{\text{BW}}$ —— 光谱带宽,单位为纳米(nm);
- λ_i —— 第 i 个像素对应的标称波长,单位为纳米(nm);
- λ_0 —— 带通函数的中心波长,单位为纳米(nm);
- $\Delta\lambda_{\text{IB}}$ —— 带内宽度,本文件中采用 2 倍 FWHM 计算,单位为纳米(nm);
- $b(\lambda - \lambda_0)$ —— 带通函数, $b(\lambda - \lambda_0) = F_{\lambda,\lambda_j}(\lambda_0 - \lambda)$;
- $b(\lambda_0)$ —— 带通函数在波长 λ_0 处的值;
- $\delta\lambda$ —— 波长间隔。

计算得到的光谱带宽 $\Delta\lambda_{\text{BW}}$ 要满足表 1 中对波长示值误差的要求,否则该项指标为不合格。

6.4.7 视场角(平面角)

按照 GB/T 33706—2017 中 6.4 的方法进行测试。

根据法向直接辐射光筒的设计资料,分别按照公式(13)和公式(14)计算半开敞角 α 和斜角 β :

$$\alpha = \tan^{-1}(R/d) \dots\dots\dots (13)$$

$$\beta = \tan^{-1}[(R-r)/d] \dots\dots\dots (14)$$

式中:

- R —— 入射光阑孔半径;
- d —— 入射光阑孔到感应面的距离;
- r —— 接收面半径。

视场角采用视场全角为 $V_{\text{FOV}} = 2 \cdot \alpha$ 表示,要满足表 1 中的要求,否则该项指标为不合格。

6.4.8 余弦(方向性响应)特性误差

按照 JJG 879—2015 中 5.3.3 方法进行测试,其中入射角最大值采用 60° ,并按照公式(15)、公式(16)、公式(17)依次进行数据处理。

$$f_{\text{dir}}(\epsilon, \varphi, \lambda) = \frac{Y(\epsilon, \varphi, \lambda)}{Y(0, \varphi, \lambda) \cos(\epsilon)} - 1 \dots\dots\dots (15)$$

$$f_{\text{dir}}(\varphi, \lambda) = \int_0^{\epsilon_{\text{max}} \cdot \frac{\pi}{180}} |f_{\text{dir}}(\epsilon, \varphi, \lambda)| \cdot \sin 2\epsilon d\epsilon \dots\dots\dots (16)$$

$$f_{\text{dir}}(\lambda) = \frac{1}{4} \sum_{j=0}^3 f_{\text{dir}}(\varphi_j, \lambda) \dots\dots\dots (17)$$

式中:

- $f_{\text{dir}}(\epsilon, \varphi, \lambda)$ —— 在特定入射角、方位角时的余弦特性误差;
- $f_{\text{dir}}(\varphi, \lambda)$ —— 在确定方位角时的余弦特性误差;
- $f_{\text{dir}}(\lambda)$ —— 余弦特性误差;
- $Y(\epsilon, \varphi, \lambda)$ —— 入射角 ϵ , 方位角 φ , 以及波长 λ 时的光谱辐照度测试数据,单位为瓦特每平方米每纳米($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$);

- ϵ ——入射角,相对于测量平面或光轴的法线的角度;
 φ ——方位角;
 λ ——波长;
 $\epsilon_{\max}$ ——最大入射角;
 φ_j ——第 j 个方位角, $\varphi_j = j \frac{\pi}{2}$;
 j ——方位角的序标, $j = 0, 1, 2, 3$ 。

计算得到的余弦特性误差 $f_{\text{dir}}(\lambda)$ 要满足表 1 要求,否则该项指标为不合格。

6.4.9 最大光谱辐照度

按照 6.4.11 中的方法测量,调整标准光源在 400 nm 处的输出量值大于 $2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$,读取光谱辐射计在 400 nm 处的光谱辐照度输出。

测量输出的光谱辐照度示值误差要满足表 1 要求,否则该项指标为不合格。

6.4.10 探测阈值

按照下列步骤进行测试。

- a) 按照 6.4.11 中的方法测量,调整标准光源在 280 nm 处的输出量值小于 $0.001 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$,读取光谱辐射计的光谱辐照度输出。
 b) 按照公式(18)计算噪声等效光谱辐照度。

$$Y_{\text{nei}}(\lambda) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (Y_{\text{ns}}(\lambda, i) - \overline{Y_{\text{ns}}(\lambda)})^2} \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中:

- $Y_{\text{nei}}(\lambda)$ ——噪声等效光谱辐照度;
 N ——在波长 λ 处测量暗信号的总次数, N 宜不小于 30;
 i ——在波长 λ 处测量暗信号的次序;
 $Y_{\text{ns}}(\lambda, i)$ ——在波长 λ 处第 i 次测量暗信号的输出值;
 $\overline{Y_{\text{ns}}(\lambda)}$ ——在波长 λ 处 N 次测量暗信号的平均值。

- c) 按照公式(19)计算信噪比,计算结果要满足信噪比 $r_{\text{SN}}(\lambda)$ 大于 2,否则该项指标为不合格。

$$r_{\text{SN}}(\lambda) = Y_{\text{mea}}(\lambda) / Y_{\text{nei}}(\lambda) \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中:

- $Y_{\text{mea}}(\lambda)$ ——测量的光谱辐照度示值计算方法见公式(22)。

6.4.11 光谱辐照度示值误差

按照 JJF 1975—2022 的 7.2.4.2 的方法进行测试。

- a) 保证标准灯灯丝中心与光谱辐射计的光学接收系统中心的光路对准。
 b) 点燃标准灯,将标准灯电流缓慢升至工作电流,预热至少 20 min。
 c) 按照光谱辐射计操作说明,预热光谱辐射计。
 d) 使光谱辐射计的光路处于遮挡状态,采集 N 次(宜不少于 10 次)记录暗信号数据,按照公式(20)计算 N 次平均值作为暗背景的扣除量 $Y_{\text{ns}}(\lambda)$ 。

$$Y_{\text{ns}}(\lambda) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_{\text{ns}}(\lambda, i) \quad \dots\dots\dots (20)$$

- e) 使光谱辐射计的光路处于打开状态,采集 N 次记录标准灯的辐射信号数据,作为信号量 $Y_{\text{s}}(\lambda)$ 。

$$Y_s(\lambda) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_s(\lambda, i) \quad \dots\dots\dots (21)$$

测量的光谱辐照度示值为：

$$Y_{\text{mea}}(\lambda) = Y_s(\lambda) - Y_{\text{ns}}(\lambda) \quad \dots\dots\dots (22)$$

根据公式(23)计算光谱辐射照度的示值误差：

$$\Delta Y_\lambda = \left[\frac{Y_{\text{mea}}(\lambda)}{Y_{\text{std}}(\lambda)} - 1 \right] \times 100\% \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中：

ΔY_λ ——光谱辐照度示值误差；

$Y_{\text{mea}}(\lambda)$ ——光谱辐射计在波长 λ 处测量的光谱辐照度，瓦每平方米纳米($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$)；

$Y_{\text{std}}(\lambda)$ ——光谱辐射计在波长 λ 处的标准光谱辐照度，瓦每平方米纳米($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$)。

f) 按照公式(19)计算信噪比，测量结果需要满足信噪比 $r_{\text{SN}}(\lambda)$ 大于10，否则该项指标视为无效。计算得到的光谱辐照度示值误差 ΔY_λ 要满足表1要求，否则该项指标为不合格。

6.4.12 杂散光系数

测量方法参考6.4.11，分别测试在测试光路中放置长波通滤光片和未放置时的量值。长波通滤光片的性能要求符合表2中长波通截止滤光片规定。

根据JJG 1975—2022中7.2.7.1，按照公式(24)计算杂散光系数。

$$\Delta Y_{\text{str}}(\lambda) = \frac{\Delta Y_{\text{s1}}(\lambda)}{\Delta Y_{\text{s0}}(\lambda)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中：

$\Delta Y_{\text{str}}(\lambda)$ ——杂散光系数；

$\Delta Y_{\text{s1}}(\lambda)$ ——采用滤光片时在截止波段内波长 λ 处的输出信号；

$\Delta Y_{\text{s0}}(\lambda)$ ——未采用滤光片时在截止波段内波长 λ 处的输出信号。

计算得到的杂散光系数 $\Delta Y_{\text{str}}(\lambda)$ 要满足表1要求，否则该项指标为不合格。

6.4.13 非线性误差

按照下列步骤进行测试。

- 参考6.4.11中的测量方法，调整标准灯量值大小，进行不同量值输入条件下的测量，记录标准值和光谱辐射计的测量值。
- 每次测量时标准灯的量值的调整通常按照公式(25)所表述的指数按比例减小，直到 $k(i)$ 不大于 k_{th} 为止， k_{th} 根据对仪器线性信号范围的需求而定，一般可以取 $k_{\text{th}} = 0.01$ 。

$$\frac{Y_{\text{std}}(\lambda, i-1)}{Y_{\text{std}}(\lambda, 0)} \approx k(i), k(i) = n^{-(i-1)} \quad \dots\dots\dots (25)$$

式中：

$Y_{\text{std}}(\lambda, i-1)$ ——第 i 次测量光谱辐照度的标准值；

$Y_{\text{std}}(\lambda, 0)$ ——第1次测量光谱辐照度的标准值；

$k(i)$ ——第 i 次测量的衰减比例因子；

i ——测量的序数；

n ——指数衰减因子的底数，通常在定型检验时选择 $n = 2$ ，出厂检验中可以减少测量次数，宜取 $n = 10$ 。

- 根据公式(26)计算非线性误差：

$$\Delta Y_{\text{Non}}(\lambda) = \max \left(\frac{Y_{\text{mea}}(\lambda, i) \cdot c_a(\lambda) - Y_{\text{std}}(\lambda, i)}{Y_{\text{std}}(\lambda, i)} \right) \Bigg|_{1 \leq i \leq N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中：

$\Delta Y_{\text{Non}}(\lambda)$ ——光谱辐射计在波长 λ 处的非线性误差；

$Y_{\text{mea}}(\lambda, i)$ ——光谱辐射计在波长 λ 处第 i 次测量值；

$c_a(\lambda)$ ——首次测量调整因子, $c_a(\lambda) = Y_{\text{std}}(\lambda, 1) / Y_{\text{mea}}(\lambda, 1)$, 且满足 $Y_{\text{std}}(\lambda, 1) \geq 0.9 \cdot c_a(\lambda) \cdot Y_{\text{FS}}(\lambda)$, $Y_{\text{FS}}(\lambda)$ 是光谱辐射计在满量程时的测量值, 一般取 $2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-2}$;

$Y_{\text{std}}(\lambda, i)$ ——标准灯在波长 λ 处第 i 次标准值；

N ——测量次数。

计算得到的非线性误差 $\Delta Y_{\text{Non}}(\lambda)$ 要满足表 1 要求, 否则该项指标为不合格。

6.4.14 温度依赖性

按照 GB/T 39388—2020 中 5.10.3 中的方法, 用温度依赖指数来表征温度依赖性。典型波长 λ_{ts} 处的温度依赖指数 $\Delta Y_T(\lambda_{\text{ts}})$ 由公式(27)给出。

$$\Delta Y_T(\lambda_{\text{ts}}) = \left| \frac{Y(\lambda_{\text{ts}}, T_2) - Y(\lambda_{\text{ts}}, T_1)}{Y(\lambda_{\text{ts}}, T_0)} \cdot \frac{\Delta T}{T_2 - T_1} \right| \quad \dots\dots\dots (27)$$

式中：

$Y(\lambda_{\text{ts}}, T_2)$ ——在指定温度 T_2 和波长 λ_{ts} 下的信号或响应度；

$Y(\lambda_{\text{ts}}, T_1)$ ——在指定温度 T_1 和波长 λ_{ts} 下的信号或响应度；

$Y(\lambda_{\text{ts}}, T_0)$ ——在指定温度 T_0 和波长 λ_{ts} 下的信号或响应度；

ΔT ——10 °C；

T_2 ——40 °C；

T_1 ——5 °C；

T_0 ——25 °C。

根据实际需求可对公式中的温度参数进行调整。

计算得到的温度依赖指数 $\Delta Y_T(\lambda_{\text{ts}})$ 要满足表 1 要求, 否则该项指标为不合格。

6.4.15 (年)稳定性

按照 6.4.11 中光谱辐照度示值误差的方法进行测试, 并按照公式(28)进行数据处理。

$$\Delta Y(\lambda, t) = \left[\frac{Y(\lambda, t)}{Y(\lambda, t_0)} - 1 \right] \times 100\% \quad \dots\dots\dots (28)$$

式中：

$Y(\lambda, t)$ ——本年度(时间 t)波长 λ 处的光谱辐照度值；

$Y(\lambda, t_0)$ ——上年度(时间 t_0)波长 λ 处的光谱辐照度值。

计算得到的(年)稳定性 $\Delta Y(\lambda, t)$ 要满足表 1 要求, 否则该项指标为不合格。

6.4.16 最大采样帧频

启动光谱辐射表, 设置固定采样帧频为最大值, 启动采集持续时间不小于 10 min。

按照公式(29)计算采样帧频。

$$F_s = \frac{N}{t_N - t_1} \quad \dots\dots\dots (29)$$

式中：

F_s ——采集帧率, 单位帧每秒(fps)；

N ——被测仪器在持续采集时间内记录的采样帧数；

t_N ——第 N 帧数据的时间戳, 单位秒(s)；

t_1 ——第 1 帧数据的时间戳,单位秒(s)。

最大采样帧频 F_s 要满足表 1 要求,否则该项指标为不合格。

6.5 电源

将工作电压在电压要求范围内调节,各项性能正常。

6.6 功耗

按实际配置后通电运行,用功率计测量 1 h 内的仪器运行功率及温控加热功率。

注:功率按照 1 h 内的平均功率表示,温控通过通信配置设置为最大功率模式。

6.7 外壳防护等级

按照 GB/T 4208—2017 规定的试验方法进行试验。

6.8 环境适应性

按照附录 A 的试验方法对产品选取的环境适应性指标进行试验。

6.9 电磁兼容性

按照附录 B 的试验方法对产品选取的电磁兼容性指标进行试验。

6.10 可靠性

按照 GB/T 11463—1989 中 5.3 要求从检验合格的样本中随机抽取 2 台进行定时定数截尾试验。

7 检验规则

7.1 检验分类

检验分为下列两类:

- a) 定型检验;
- b) 出厂检验。

7.2 检验项目

检验项目见表 3。

表 3 检验项目

序号	检验项目	定型检验	出厂检验	技术要求章条号	试验方法章条号
1	一般要求	●	●	5.1	6.3
2	波长示值误差	●	●	5.2.1	6.4.1
3	波长重复性	●	○	5.2.2	6.4.2
4	波长范围	●	○	5.2.3	6.4.3
5	采样波长间隔	●	○	5.2.4	6.4.4
6	光谱带宽	●	●	5.2.5	6.4.6

表 3 检验项目(续)

序号	检验项目	定型检验	出厂检验	技术要求章条号	试验方法章条号
7	(狭缝函数的)带外抑制	●	○	5.2.6	6.4.5
8	视场角(平面角)	●	○	5.2.7	6.4.7
9	余弦(方向性响应)特性误差	●	○	5.2.8	6.4.8
10	光谱辐照度示值误差	●	●	5.2.9	6.4.11
11	最大光谱辐照度	●	○	5.2.10	6.4.10
12	探测阈值	●	○	5.2.11	6.4.9
13	杂散光系数	●	●	5.2.12	6.4.12
14	非线性误差	●	○	5.2.13	6.4.13
15	温度依赖性	●	○	5.2.14	6.4.14
16	稳定性	●	○	5.2.15	6.4.15
17	最大采样帧频	●	○	5.2.16	6.4.16
18	电源	●	●	5.3	6.5
19	功耗	●	○	5.4	6.6
20	外壳防护等级	●	—	5.5	6.7
21	环境适应性	●	—	5.6	6.8
22	电磁兼容性	●	—	5.7	6.9
23	可靠性	●	—	5.8	6.10
注 1:“●”表示必检的项目,“○”表示需要时进行检验的项目,“—”表示不进行检验的项目。 注 2:仪器进行性能测试之前需进行波长校准和辐射校准,校准方法见附录 C 内容。					

7.3 缺陷的判定

7.3.1 致命缺陷

对人身安全构成危险或产品严重损坏致基本功能性能丧失的,应判为致命缺陷。

7.3.2 重缺陷

下列性质的缺陷应判为重缺陷:

- 测量性能误差超过规定的范围;
- 电气或结构突然失效引起的产品单一功能丧失,但可以通过更换部件恢复。

7.3.3 轻缺陷

发生故障时,无须更换零部件,仅做简单处理即能恢复产品正常工作,应判为轻缺陷。

7.4 定型检验

7.4.1 检验条件

在下列情况下进行:

- a) 新产品定型；
- b) 主要设计、工艺、材料及元器件有重大变更，存在使产品性能下降的风险；
- c) 停产 2 年以上再生产。

7.4.2 检验项目

表 3 中规定的定型检验项目，包括项目 1—项目 23。

7.4.3 抽样方案

应按照下列方法抽样：

- a) 项目 1—项目 18，在完成生产的产品中随机抽取 5 台样本进行，小于 10 台的产品全部抽样，大于 10 台的产品完成 10 台后抽样；
- b) 项目 19—项目 22，从 a) 中检验合格的样本中随机抽取 3 台进行；
- c) 项目 23 按照 GB/T 11463—1989 中 5.3 要求从检验合格的样本中随机抽取 2 台进行定时定数截尾试验。

7.4.4 合格判定

同时满足下列要求则可判定定型检验合格：

- a) 项目 1—项目 5 的检验过程中，合格样本数能满足 7.4.3 b)、c) 所需要的样本数总和；
- b) 项目 1—项目 22 的检验过程中，允许出现重缺陷和轻缺陷的次数之和不超过 2 次，且不得出现致命缺陷；
- c) 项目 23 的检验结果达到 5.8 的要求。

7.5 出厂检验

7.5.1 检验项目

表 3 中规定的出厂检验项目，包括项目 1—项目 19。

7.5.2 抽样方案

应按照下列方法抽样：

- a) 项目 1、项目 2、项目 3、项目 4、项目 5、项目 6、项目 10、项目 11、项目 13、项目 17、项目 18，逐台检验；
- b) 项目 7、项目 8、项目 9、项目 12、项目 14、项目 15、项目 16，按照 GB/T 2828.11—2008 中表 B.1 第 O 检验水平的抽样方案表的 $L=0$ ，确定检验的样本数；
- c) 项目 19 按照 GB/T 2828.11—2008 中表 B.1 第 O 检验水平的抽样方案表的 $L=1$ ，确定检验的样本数。

7.5.3 合格判定

同时满足下列要求则可判定出厂检验合格：

- a) 项目 1、项目 2、项目 4、项目 5、项目 6、项目 10、项目 13、项目 18，均未出现缺陷；
- b) 项目 12、项目 14、项目 15、项目 16 的检验过程中，样本中发现的不合格产品数小于或等于 $L=0$ 时的声称质量水平(DQL)；
- c) 项目 19 的检验过程中，样本中发现的不合格产品数小于或等于 $L=1$ 时的 DQL。

7.5.4 不合格处理

7.5.4.1 若导致不合格的为轻缺陷,可纠正后继续进行检验。

7.5.4.2 若导致不合格的为重缺陷,终止本次检验。批量产品整改后,按照 GB/T 2828.11—2008 中表检验一次抽样方案重新进行检验。

7.5.4.3 若导致不合格的为致命缺陷,终止本次检验。批量产品整改后,按照定型检验抽样方案进行定型检验。

8 标志和随行文件

8.1 标志

8.1.1 产品标志

应包括以下内容并形成条形码:

- a) 制造厂名;
- b) 产品名称和型号;
- c) 出厂编号;
- d) 出厂日期。

8.1.2 包装标志

应包括以下内容:

- a) 产品名称、型号和数量;
- b) 制造厂名;
- c) 包装箱编号;
- d) 外形尺寸;
- e) 毛重;
- f) “易碎物品”“向上”“怕雨”“堆码层数极限”等符合 GB/T 191 规定的图示标志。

8.2 随行文件

应包括以下内容:

- a) 使用说明书或用户手册;
- b) 检验报告;
- c) 合格证;
- d) 传感器测试证书;
- e) 保修单;
- f) 装箱单。

9 包装、运输和贮存

9.1 包装

9.1.1 产品包装前,对于产品的易锈部位,应涂防锈油脂等,并用防锈纸包敷,防锈期应不少于 1 年。

9.1.2 包装箱应牢固,内有防震动等措施。

9.1.3 包装箱内应有随行文件。

9.1.4 每个包装箱内都应有装箱单。

9.2 运输

9.2.1 运输过程中应防止剧烈震动、挤压、雨淋及化学物品侵蚀。

9.2.2 搬运应轻拿轻放,码放整齐,不应滚动和抛掷。

9.3 贮存

包装好的产品应贮存在环境温度 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,空气相对湿度小于80%的室内,且周围无腐蚀性挥发物,无强电磁作用。

附录 A

(规范性)

光谱辐射表环境适应性要求和试验方法

A.1 环境适应性要求

A.1.1 气候条件

适用气候条件及其试验参数应满足表 A.1 的要求。

表 A.1 适用气候条件及试验参数

序号	环境参数	单位	试验参数
1	最低温度	℃	—40
2	最高温度		60
3	最低相对湿度	以 % 表示	5
4	最高相对湿度		100
5	大气压力	hPa	700~1060 (海拔小于 3050 m) 450~700 (海拔大于或等于 3050 m)

A.1.2 机械条件

应符合下列正弦稳态振动的要求：

- a) 位移: 1.5 mm;
- b) 加速度: 5 m/s²;
- c) 频率范围: 2 Hz~9 Hz, 9 Hz~200 Hz。

A.1.3 化学活性物质

预定用于正常大气条件下的产品,应在材料、表面涂覆和工艺上采取必要的措施,使其具有一定的抗化学活性物质危害的能力。

预定工作在含盐大气条件下(如沿海)的产品,应在材料、表面涂覆和工艺上采取相应的措施,使其具有足够的抗化学活性物质危害的能力,在产品寿命期内不致因腐蚀而引起产品的失效。

A.1.4 机械活性物质

应满足下列机械活性物质条件：

- a) 沙: 4000 mg/m³;
- b) 尘(飘浮): 20 mg/m³;
- c) 尘(沉积): 2000 mg/(m²·d)。

A.2 环境适应性试验

A.2.1 温度试验

A.2.1.1 试验条件

根据本文件规定的温度范围进行试验,试验时产品处于非包装状态。

A.2.1.2 试验方法

A.2.1.2.1 总则

试验按照 GB/T 2423.1 和 GB/T 2423.2 的有关规定进行。

A.2.1.2.2 常温试验

在常温条件下进行功能性测试。

A.2.1.2.3 低温/高温试验

升降温速率:(0.7~1.0) °C/min,最大不超过 1.0 °C/min。

恒温区允许温差:±2 °C。

A.2.2 交变湿热试验

A.2.2.1 试验条件

根据本文件规定的温湿度范围进行试验,试验时产品处于非包装状态。

试验时,高温温度取环境温度上限加 10 °C,试验周期为 2 d。降温阶段,相对湿度的下限为 85%。

A.2.2.2 试验方法

试验按照 GB/T 2423.4 的有关规定进行。

A.2.2.3 试验过程中的控制

A.2.2.3.1 初始检测

试验前按照本文件的规定进行外观、性能和电气性能检查。

A.2.2.3.2 中间测量

按照本文件规定进行电气性能检测,检测次数不应少于 3 次,检测分布在试验过程的前、中、后阶段。

A.2.2.3.3 恢复

试验结束后,先停止加湿,然后取出受试样品在正常大气条件下恢复 24 h。

A.2.2.3.4 最后检测

试验结束并恢复后应对受试样品进行以下检测:

- a) 目测检查外观无锈蚀、裂纹、涂覆层剥落等损伤,文字标志清晰,电气接点无锈蚀;
- b) 性能测试结果符合本文件的规定;

c) 绝缘电阻、输出电信号等电气性能符合本文件的规定。

A.2.3 低气压试验

A.2.3.1 试验条件

低气压试验条件符合 GB/T 2423.21 的有关规定。

A.2.3.2 试验方法

按照 GB/T 2423.21 进行,试验等级为 450 hPa,试验持续时间 4 h。

A.2.3.3 试验过程中的控制

A.2.3.3.1 初始测量

在正常大气条件下,按照本文件规定进行外观检查及电气性能、机械性能的检测,受试样品处于正常工作状态。

A.2.3.3.2 最后检测

受试样品在试验过程中和结束后一直保持正常工作状态,各种性能参数在正常范围内。

A.2.4 喷水试验

A.2.4.1 试验条件

喷水试验条件符合 GB/T 4208—2017 第 13 章的有关规定。

A.2.4.2 试验方法

按照 GB/T 4208—2017 第 13 章的有关规定进行。

A.2.4.3 试验过程中的控制

A.2.4.3.1 初始测量

在正常大气条件下,按照本文件的规定进行外观检查及电气性能、机械性能的检测。

A.2.4.3.2 最后检测

受试样品在试验过程中一直保持正常工作状态。

试验结束后,外观检查中文字标志清晰,表面无损伤;打开机壳后,内部无渗水;电气性能及机械性能检测结果符合本文件的规定。

A.2.5 正弦稳态振动试验

A.2.5.1 试验条件

根据 GB/T 2423.10 规定的振动试验参数进行试验,试验在包装状态下进行。

A.2.5.2 试验方法

试验按照 GB/T 2423.10 的有关条件进行。

受试样品经受三个轴向上的振动试验。若因振动设备限制,不能实现三个轴向的振动试验时,对于

允许改变正常放置位置的产品,可借助于改变放置位置予以实现;对于不允许改变正常放置位置的产品,则延长一倍振动时间。

检查固定支架自身无共振,然后固定受试样品,模拟产品正常工作时的位置并紧固在振动台上,受试样品的重心位于振动台面的中心区域。

宜避免紧固受试样品的装置(螺栓、压板、压条等)在振动试验中产生自身共振。

A.2.6 盐雾试验

A.2.6.1 试验条件

试验条件符合 GB/T 2423.17—2008 第 3 章、第 6 章的有关规定。

A.2.6.2 试验方法

试验样品数量一般为 3 件~5 件,特殊情况按照 GB/T 2423.17—2008 的规定进行。

试验采用连续喷雾法,持续时间不少于 48 h。具体按照 GB/T 2423.17—2008 的有关规定进行。

A.2.6.3 试验过程中的控制

A.2.6.3.1 初始检测

除去样品表面灰尘和油污,进行外观检查及其他项目的性能测定。

A.2.6.3.2 恢复

试验结束后,用流动水轻轻洗掉试验样品表面盐沉积物,再用蒸馏水漂洗,并放入 (40 ± 2) ℃的烘箱中干燥 2 h,然后在正常大气条件下恢复 1 h~2 h。

A.2.6.3.3 最后检测

对恢复后的试验样品进行外观检查及电性能检测,结果符合本文件的规定。

A.2.7 沙尘试验

A.2.7.1 试验条件

沙尘试验条件符合 GB/T 2423.37 中试验 L 的有关规定。试验过程中受试样品处于非工作状态。

A.2.7.2 试验方法

按照 GB/T 2423.37 中试验 L 的有关规定进行。

A.2.7.3 试验过程中的控制

A.2.7.3.1 初始测量

在正常大气条件下,按照本文件的规定进行外观检查及电气性能、机械性能的检测。

A.2.7.3.2 最后检测

试验结束后进行最后检测,机箱内无肉眼可见的明显积尘,电气性能及机械性能检测结果符合本文件的规定。

附录 B

(规范性)

光谱辐射表电磁兼容性要求和试验方法

B.1 电磁兼容性要求

B.1.1 静电放电抗扰度

信号端口、外壳端口的静电放电抗扰度应符合但不限于下列要求：

- 接触放电：GB/T 17626.2,1 级,2 kV；
- 空气放电：GB/T 17626.2,2 级,4 kV；
- 性能判据：GB/T 18268.1—2010,性能判据 B。

B.1.2 电快速瞬变脉冲群抗扰度

电快速瞬变脉冲群抗扰度应符合但不限于下列要求：

- 信号端口：GB/T 17626.4,I/O 端口 2 级,0.5 kV(5/50 ns,5 kHz)；
- 性能判据：GB/T 18268.1—2010,性能判据 B。

B.1.3 浪涌(冲击)抗扰度

浪涌(冲击)抗扰度应符合下列要求：

- GB/T 17626.5,1 级,0.5 kV(线对地,1.2/50 μ s,8/20 μ s 组合波)；
- 性能判据：GB/T 18268.1—2010,性能判据 B。

B.2 电磁兼容性试验

B.2.1 静电放电抗扰度试验

按照 GB/T 17626.2 的试验方法,对信号端口实施接触放电 2 kV、空气放电 4 kV 的静电放电。

B.2.2 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

按照 GB/T 17626.4 的试验方法,对信号端口实施 0.5 kV(5/50 ns,5 kHz)电快速瞬变脉冲群。

B.2.3 浪涌(冲击)抗扰度试验

按照 GB/T 17626.5 的试验方法,对信号端口施加 0.5 kV 浪涌冲击,试验位置为线对地,试验波形为 1.2/50 μ s、8/20 μ s 组合波。

附录 C

(资料性)

光谱辐射测量原理及校准方法

C.1 仪器测量方程

C.1.1 在波长和信号幅度上以给定的分辨率,将入射光谱仪的接收光学元件所分配的辐射量 X 的光谱分布 $X_\lambda(\lambda)$ 记录下来。所测得的信号是辐射源光谱、光学传递系统(包括光学扩展量、传输和反射损失)、光谱选择单元的效率以及探测器的光谱响应度的乘积。在给定的波长设置(或阵列光谱辐射计中的位置)下,具有有限分辨率的光谱辐射计通过的波长范围由线扩展函数(LSF)确定,也被称为狭缝函数,它是光学辐射在入射和出射孔径上的光谱辐射分布的卷积。因此,探测器的信号 $Y(\lambda)$ 是输入光谱分布 $X_\lambda(\lambda)$ 与仪器响应函数 $S(\lambda)$ 的卷积:

$$Y(\lambda) = X_\lambda(\lambda) \cdot S(\lambda) \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

C.1.2 对于覆盖扩展波长范围的宽带源,在给定波长 λ_0 下的卷积结果可以用公式(C.2)表示。

$$Y(\lambda_0) = S(\lambda_0) \int_{\lambda_{\text{start}}}^{\lambda_{\text{end}}} X_\lambda(\lambda) b(\lambda - \lambda_0) d\lambda \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

$S(\lambda_0)$ ——仪器在波长 λ_0 处以 $b(\lambda - \lambda_0)$ 为光谱带通函数的光谱响应度;

$b(\lambda - \lambda_0)$ ——仪器在波长 λ_0 处的光谱带通函数;

λ_0 ——采样波长;

λ ——波长;

λ_{start} ——光谱有效范围的起始波长;

λ_{end} ——光谱有效范围的结束波长。

注: λ 用于表示被积函数的自变量,自变量的变化范围是 $[\lambda_{\text{start}}, \lambda_{\text{end}}]$,而 $\lambda - \lambda_0$ 表示在位置 λ_0 处进行 λ 的遍历平移,以便与 $X_\lambda(\lambda)$ 进行逐点对齐。积分是对 λ 进行的,而最终得到 λ_0 处的卷积结果。

C.2 波长校准及不确定度评估

C.2.1 使用下列一种或多种标准器进行波长定标:

- 汞(Hg)、氖(Ne)、氩(Ar)、氪(Kr)等原子发射源及其组合;
- 激光;
- 标准量具;
- 吸收过滤器;
- 极化梯度的过滤器;
- 可调谐光源,如高分辨率单色仪,可调谐激光器。

C.2.2 波长标度宜使用不少于5个的已知波长来确定,基本均匀地覆盖分光辐射计的整个范围。确保波长分配正确,并在计算中排除被附近峰“污染”的峰,除非能够进行多峰重叠的质心验证。

C.2.3 波长测试按照下列步骤进行:

- 启动标准波长光源预热,达到光源稳定;
- 启动光谱辐射计,对波长标准器进行测试,调整测试参数,保证数据具有良好的信噪比;
- 记录数据并按照下面公式和算法进行处理。

C.2.4 对测试数据进行峰位提取,获取谱线的峰位并与标准器的参考波长对应构成 $\{(p, \lambda_p)\}$ 数组。

C.2.5 波长刻度宜采用标准峰的质心波长,因为测量系统的误差因素可能会相对容易地改变最大峰

值。质心波长的定义由公式(C.4)给出：

$$\lambda_c = \frac{\int \lambda \cdot b(\lambda - \lambda_0) d\lambda}{\int b(\lambda - \lambda_0) d\lambda} \text{ 或 } \lambda_c = \frac{\sum_{\lambda_i = \lambda_0 - WB}^{\lambda_0 + WB} \lambda_i b(\lambda_i - \lambda_0)}{\sum_{\lambda_i = \lambda_0 - WB}^{\lambda_0 + WB} b(\lambda_i - \lambda_0)} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：

$b(\lambda - \lambda_0)$ ——通带函数；

WB ——光谱带宽。

C.2.6 波长校准方程宜采用多项式(也可以采用基于光栅方程的光学元件位置几何参数模型)。

$$\lambda_p = \sum_i^n \alpha_i p^i \dots\dots\dots (C.4)$$

式中：

λ_p ——像素 p 位置所对应的波长值；

i ——多项式的幂级序号；

N ——最高幂级；

α_i ——对应第 i 级的多项式拟合系数；

p ——阵列探测器的像素序号。

C.2.7 波长校准方程的质量通常用拟合残差表征。波长定标的标准不确定度以波长校准方程的拟合残差的统计标准差来表示。

C.3 光谱辐射校准及不确定度评估

C.3.1 光谱辐射定标用于确定高光谱辐射计的光谱响应度及不确定度。光谱辐射校准主要包括 2 类方法,分别是基于探测器的定标和基于辐射光源的定标,或者可以同时或冗余使用这 2 类方法。这 2 类方法有各自的特点,本文件推荐使用基于辐射光源的校准方法,具有更高的普适性。基于辐射光源的方法要求光源的光谱量 $X(\lambda)$ 已知,并且不确定度较低即可。

C.3.2 光谱辐射定标测试按照下列步骤进行：

- 启动标准光谱辐射光源预热,达到光源稳定；
- 启动光谱辐射计,对光谱辐射标准器进行测试,调整测试参数,保证光路对准精度且数据具有良好的信噪比；
- 记录数据并按照公式(C.5)和算法进行处理。

C.3.3 校准辐射光源 S 作为工作标准,已知辐射量的 $X_{\lambda,S}(\lambda)$ ；该标准可用于根据式计算阵列光谱辐射计的光谱响应度：

$$S_i = \frac{Y_{S,i}}{X_{\lambda,S}(\lambda_i) \prod_{j=1}^n a_{S,j}(\lambda_i)} \dots\dots\dots (C.5)$$

式中：

S_i ——要校准的像素点数 i (以 A, V 或每单位辐射量的计数表示)的光谱辐射计的响应度；

$Y_{S,i}$ ——分光辐射计的信号,用于像素数 i 和针对源标准 S 的测量；

$X_{\lambda,S}(\lambda_i)$ ——工作标准品 S 的已知光谱辐射量的光谱密度；

$a_{S,j}(\lambda_i)$ ——使用工作标准品 S 进行测量时与光谱有关的调整因子。

C.3.4 调整因子中的第 j 项对应于确定的影响量,需要考虑所有可能的影响。调整因子是乘性修正因子,各个项因子连乘累积作用,例如杂散光修正、非线性修正、温度修正等,杂散光一般是作为固定修正系数,当前像素接收到其他波长的远场或近场杂光,非线性可能会涉及曝光时间及输入光辐射量等参数相关,温度修正则与温度相关。

C.3.5 校准时,宜考虑所有相关的调整因子 $a_{S,j}(\lambda_i)$, 以及它们的测量不确定度和光谱功率分布的测量不确定度 $X_{\lambda,S}(\lambda_i)$ 。当各项调整因子影响较小或对仪器误差要求不高时,时项累乘就简化为 1,相当于将各项影响因素综合计入不确定度中。

然后根据公式(C.6)确定测试对象 T 的未知辐射量 $X_{\lambda,T}(\lambda)$:

$$X_{\lambda,T}(\lambda_i) = \frac{Y_{T,i}}{S_i \prod_{j=1}^n a_{T,j}(\lambda_i)} \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

式中:

$X_{\lambda,T}(\lambda_i)$ ——被测物体 T 的辐射量的光谱密度;

$Y_{T,i}$ ——分光辐射计的信号,用于针对测试对象 T 进行测量的像素数 i ;

S_i ——光谱辐射计对像素数 i 的响应度(以 A,V 或每单位辐射量的数值量 counts 表示);

$a_{T,j}(\lambda_i)$ ——与光谱有关的调整因子,用于与测试对象 T 进行测量。

综上可以得出:

$$X_{\lambda,T}(\lambda_i) = X_{\lambda,S}(\lambda_i) \frac{Y_{T,i}}{Y_{S,i}} \cdot \frac{\prod_{j=1}^n a_{S,j}(\lambda_i, t_S)}{\prod_{j=1}^n a_{T,j}(\lambda_i, t_T)} \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

式中:

$X_{\lambda,T}(\lambda_i)$ ——未知辐射量 X_T 的光谱辐射量;

$X_{\lambda,S}(\lambda_i)$ ——已知辐射量 X_S 的光谱辐射量;

$Y_{T,i}$ ——像素号为 i 的测试对象的信号;

$Y_{S,i}$ ——光谱辐射仪标准的像素数 i 的信号;

$a_{S,j}(\lambda_i, t_S)$ ——在时间 t_S 处测量源标准品的光谱相关调整因子;

$a_{T,j}(\lambda_i, t_T)$ ——在时间 t_T 处测量被测物的频谱相关调整因子;

t_T ——测试对象 T 的测量时间;

t_S ——采用源标准品 S 的测量时间。

该方法所描述的基于源的替换过程表示无需附加中间步骤的直接校准。它遵循的原则是,如果你想确定测试对象 T 的未知辐射量 $X_{\lambda,T}(\lambda_i)$ 的光谱辐射量,你将通过与源标准的已知辐射量 $X_{\lambda,S}(\lambda_i)$ 的光谱辐射量直接比较来实现这一点。

C.3.6 辐射校准测量的不确定度方法如下。

在线性模型中,估计 y 是输入量 x_n 的函数,其一般表示形式如下:

$$y = q \prod_{n=1}^N x_n^{p_n}, p_n = \pm 1 \quad \dots\dots\dots (C.8)$$

式中:

y ——输出量的估计(测量结果);

q ——输出量维数的转换因子,实现测量系统中其他参数维度向输出量的量纲维度的映射转换;

x_n ——输入数量的估计;

p_n ——测量模型中输入量的指数,其中 $p_n = 1$ 表示分子中的数量, $p_n = -1$ 表示分母中的数量。

为了估算输出量 y ,得出下列相对标准的测量不确定度:

$$u(y) = \sqrt{u^2(q) + \sum_{n=1}^N u^2(x_n)} \quad \dots\dots\dots (C.9)$$

式中:

$u(y)$ ——输出量的相对测量不确定度;

$u(q)$ ——转换因子 q 的相对测量不确定度;

$u(x_n)$ ——输入量 x_n 的相对测量不确定度。

注：虽然影响此处讨论的测量光谱值不确定度的因素在给定波长下是独立的，但它们会在成对波长之间是系统的（相关的）。

C.3.7 宜使用标准辐射光源的校准方法进行精细的测量，则所有调整系数可设为 1。然而，这些调整系数总是具有相关的相对测量不确定度。一些不确定度分量很小，与其他影响量相比，它们可以忽略不计。如果标准灯调整正确，则旋转和倾斜的影响可以忽略不计。相反，如果不知道准确的基准面，则距离的测量不确定度不可忽略。阵列光谱辐射计测量的重复性通常表现为很低的标准偏差，而重复性的测量不确定度对总测量不确定度有很大的贡献。在大多数情况下，测量不确定度考虑的主要因素是所用标准灯的相对标准测量不确定度。另外，在光谱辐射计的情况下，内部杂散光往往是不可忽略的，或者在某些部分可以成为主要的不确定成分。

总之，对于此处使用的基于辐射光源的校准方法，将产生以下测量总不确定度：

$$u(S_{E,i}) = \sqrt{u^2(E_{\lambda,S}(\lambda_i)) + u^2(Y_{S,i}) + \sum_{n=1}^N u^2(a_{S,j}(\lambda_i))} \dots\dots\dots (C.10)$$

式中：

$u(E_{\lambda,S}(\lambda_i))$ ——标准灯 S 的光谱辐照度的标准测量不确定度，这些值通常具有较强的波长依赖性；

$u(Y_{S,i})$ ——信号的测量不确定度，由重复性和再现性组成；

$u(a_{S,j}(\lambda_i))$ ——各影响因素的调整因子或影响量的相对标准测量不确定度。

总不确定度的合成可适当在距离、对准、光源灯的电流、波长、外部杂散光、内部杂光、暗信号、环境温度、非线性度、测量精密性、重复性、标准灯的溯源等因素中选取主要影响因素计算。

总不确定度的合成可以参考 JJF 1975—2022 的附录 A 中给出的不确定度评定示例。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2423.5—2019 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验 Ea 和导则:冲击
- [2] GB/T 4857.17—2017 包装 运输包装件基本试验 第17部分:编制性能试验大纲的通用规则
- [3] GB/T 6495.1—1996 光伏器件 第1部分:光伏电流-电压特性的测量
- [4] GB/T 8322—2008 分子吸收光谱语
- [5] GB/T 11501—2008 摄影 密度测量 第3部分:光谱条件
- [6] GB/T 17683.1—1999 太阳能 地面不同接收条件下的日射光谱辐照度 第1部分:大气质量 1.5 的法向直接日射和半球向日射辐照度
- [7] GB/T 19565—2017 总辐射表
- [8] GB/T 20145—2006 灯和灯系统的光生物安全性
- [9] GB/T 20733—2022 数码照相机 术语
- [10] GB/T 21005—2007 紫外红斑效应参照谱、标准红斑剂量和紫外指数
- [11] GB/T 26179—2010 光源的光谱辐射度测量
- [12] GB/Z 26209—2010 光辐射探测器光谱响应的确定方法
- [13] GB/T 27418—2017 测量不确定度评定和表示
- [14] GB/T 28208—2011 脉冲光辐射源光谱辐射测量方法
- [15] GB/T 33692—2017 直接辐射测量用全自动太阳跟踪器
- [16] GB/T 33866—2017 太阳紫外辐射测量 宽带紫外辐射表法
- [17] GB/T 34048—2017 紫外辐射表
- [18] GB/T 37468—2019 直接辐射表
- [19] GB/T 37835—2019 太阳辐照度确定过程一般要求
- [20] JJG 384—2002 光谱辐射照度标准灯检定规程
- [21] JJG 1034—2008 光谱光度计标准滤光器检定规程
- [22] JJF 1139—2005 计量器具检定周期确定原则和方法
- [23] JJF 1150—2006 光电探测器相对光谱响应度校准规范
- [24] JJF 1765—2019 紫外辐射照度计型式评价大纲
- [25] QX/T 520—2019 自动气象站
- [26] ASTM E387-04(2014) Standard Test Method for Estimating Stray Radiant Power Ratio of Dispersive Spectrophotometers by the Opaque Filter Method
- [27] ASTM E925-09(2014) Standard Practice for Monitoring the Calibration of Ultraviolet—Visible Spectrophotometers whose Spectral Bandwidth does not Exceed 2 nm
- [28] ASTM E958 Standard Practice for Estimation of the Spectral Bandwidth of Ultraviolet—Visible Spectrophotometers
- [29] ASTM E958 G177—03(2020a) Standard tables for Preference Solar Ultraviolet Spectral Distributions: Hemispherical on 37° Tilted Surface
- [30] ASTM E958-13(2021) Standard Practice for Estimation of the Spectral Bandwidth of Ultraviolet—Visible Spectrophotometers
- [31] CIE 151:2003 Spectral weighting of solar ultraviolet radiation
- [32] CIE 198 Determination of Measurement Uncertainties in Photometry
- [33] CIE 214 Effect of Instrumental Bandpass Function and Measurement Interval on Spectral
- [34] CIE 220:2016 Characterization and Calibration Methods of UV radiometers

- [35] CIE 233:2019 Calibration, Characterization and Use of Array Spectroradiometers
- [36] CIE 237:2020 Non—Linearity of Optical Detector Systems
- [37] CIE 250:2022 Spectroradiometric measurement of optical radiation sources
- [38] ISO 9060:2018 Solar energy—Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation
- [39] ISO 9488:2020 Solar energy—Vocabulary
- [40] ISO 9845-1:2022 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
- [41] ISO/IEC CD GUIDE 99 International vocabulary of metrology—Basic and general concepts and associated terms (VIM)
- [42] NIST Special Publication 250-41:1998 NIST Measurement Services: Spectroradiometric Detector Measurements: Part I—Ultraviolet Detectors and Part II—Visible to Near-Infrared Detectors
- [43] NIST SP 250-89:2011 Spectral Irradiance Calibrations
- [44] WMO-No. 8:2008 Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation
- [45] WMO/GAW-No. 212:2014 Standard Operating Procedures (SOPs) for Spectral Instruments Measuring Spectral Solar Ultraviolet Irradiance
- [46] WMO/TD-No. 1066:1999 (GAW report No. 125) Instruments to measure solar ultraviolet radiation Part 1: Spectral instruments
- [47] WMO/TD-No. 1538:2010 Instruments to Measure Solar Ultraviolet Radiation Part 4: Array Spectroradiometers
- [48] ANDERSON D E, CAHALAN R F. The Solar Radiation and Climate Experiment (SORCE): Mission for the NASA Earth Observing System (EOS) [J]. Solar Physics, 2005, 230(1-2)
- [49] GROBNER J, KROGER I, EGLI L, et al. The high-resolution extraterrestrial solar spectrum (QASUMEFTS) determined from ground-based solar irradiance measurements [J]. Atmospheric Measurement Techniques, 2017, 10(9):1-14
- [50] HENRY J. Kostkowski. Reliable Spectroradiometry[M]. La Plata, Maryland: Spectroradiometry Consulting, 1997
- [51] HOOKER S B, BERNHARD G, MORROW J H, et al. Optical Sensors for Planetary Radiant Energy (OSPRey): Calibration and Validation of Current and Next-Generation NASA Missions [C]. International Conference on Renewable Energies and Power Quality, 2012:588-593
- [52] LIU Liying, ZHENG Feng, ZHANG Guoyu, et al. Development of Solar Spectroradiometer for Meteorological Observation[J]. Instrumentation, 2017, 4(1):1-8
- [53] JULIAN Gröbner, NATALIA Kouremeti. The Precision Solar Spectroradiometer (PSR) for direct solar irradiance measurements [J]. Solar Energy, 2019, 185:199-210
- [54] PACHECO—LABRADOR J, PILAR MARTÍN M. Characterization of a Field Spectroradiometer for Unattended Vegetation Monitoring. Key Sensor Models and Impacts, on Reflectance [J]. Sensors, 2015, 15(2):4154-4175
- [55] RALF Zuber, MARIO Ribnitzky, MARIO Tobar, et al. Global spectral irradiance array spectroradiometer validation according to WMO[J]. Measurement Science and Technology, 2018, 29: 105801
- [56] ZHENG F, LIU L, ZHANG G, et al. Compact spectrometer based on concave grating [C]. SPIE Photoelectronic Technology Committee Conferences, 2015, 9795: 315-318

中 华 人 民 共 和 国
气 象 行 业 标 准
太阳紫外光谱辐射表
QX/T 764—2025

*

气象出版社出版发行
北京市海淀区中关村南大街46号
邮政编码:100081
网址:<http://www.qxcbs.com>
发行部:010-68408042
北京建宏印刷有限公司印刷

*

开本:880 mm×1230 mm 1/16 印张:2.25 字数:67.5千字
2025年6月第1版 2025年6月第1次印刷

*

书号:135029-6446 定价:45.00元

如有印装差错 由本社发行部调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68406301