



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX
ISO 9060:2018

太阳能 半球向太阳辐射和直接太阳辐射测量仪器的规格和分类

Solar energy — Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation

(ISO 9060:2018 IDT)

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 测量半球向太阳辐射的仪器—总辐射表	3
4.1 原理与结构	3
4.2 类型	3
4.3 分级	3
4.3.1 概述	3
4.3.2 总辐射表规格	4
4.3.3 分级准则	6
4.3.4 分级的识别	7
5 测量直接太阳辐射的仪器——直接辐射表	7
5.1 原理与结构	7
5.2 类型	8
5.2.1 绝对直接辐射表	8
5.2.2 补偿式直接辐射表	8
5.2.3 无自校准的直接辐射表	8
5.3 分级	8
5.3.1 概述	8
5.3.2 直接辐射表的规格	9
5.3.3 分级准则	9
5.3.4 分级的识别	9
6 补充说明	11
附录 A (资料性) 表 1 和表 2 中规格参数的注释	13
A.1 响应时间	13
A.2 零点偏移	13
A.3 不稳定性	13
A.4 非线性	13
A.5 方向性响应(对于光束辐射)	13
A.6 倾斜响应	14
A.7 光谱误差	14
参考文献	16

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。

本文件等同采用ISO 9060:2018《太阳能 半球向太阳辐射和直接太阳辐射测量仪器的规格和分类》

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。

本文件由全国太阳能标准化技术委员会（SAC/TC 402）提出并归口。

本文件起草单位：北京象元气象观测技术研究院、华电电力科学研究院有限公司、上海长望气象科技股份有限公司、国网山西省电力有限公司电力科学研究院、清华大学山西清洁能源研究院、邯郸市耘农智慧农业科技有限公司、中环天仪（天津）气象仪器有限公司、佐格微系统（杭州）有限公司、杭州浅海科技有限责任公司、北京中科技达科技有限公司、华云升达（北京）气象科技有限责任公司、国网甘肃省电力有限公司、西安乐驰科技有限公司、中国大唐集团科学技术研究总院有限公司、中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司、中国标准化研究院、中国气象局气象探测中心、中国气象局公共气象服务中心、湖南省气象技术装备中心、合肥中科光博量子科技有限公司、中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所。

本文件主要起草人：刘达新、吕文华、马东、罗昆、杨超颖、李旭光、王军飞、马剑哲、诸葛杰、童海明、贾盛洁、张弛、吴国栋、董岗强、马雪韵、田启明、杨洁、刘猛、崇伟、乌日柴胡、王黎明、张帅、买买提艾力·买买提依明、张哲、赵娟、吴法太、牛浩明、张飞虎、王雅凝、甄黎。

太阳能 半球向太阳辐射和直接太阳辐射测量仪器的规格和分类

1 范围

本文件给出了主要用于测量在 $0.3\ \mu\text{m}$ 至 $3\ \mu\text{m}$ 光谱范围内的半球向太阳辐射和直射太阳辐射测量仪器的规格和分类。

本文件适用于总辐射表和直接辐射表的分级。

注：根据室内或室外性能测试的结果进行分级，本文件未给出性能测试方法。

2 规范性引用文件

本文件无规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

半球向太阳辐射 **hemispherical solar radiation**

给定平面从上方 $2\ \pi\ \text{sr}$ 立体角内所接收的太阳辐射。

注：入射到地球表面的半球形太阳辐射约97%至99%包含在 $0.3\ \mu\text{m}$ 至 $3\ \mu\text{m}$ 的波长范围内[1]。通常，半球形太阳辐射是由直接太阳辐射和散射太阳辐射（在大气中散射的太阳辐射）以及由地面反射的太阳辐射组成。

3.2

水平总辐照度 **global horizontal irradiance**

水平面接收的半球向太阳辐射。

注：应指定接收器表面的倾斜角度和方位角，例如水平。

3.3

直接太阳辐射 **direct solar radiation**

在给定的平面上，从以太阳圆盘为中心的小立体角接收的辐射。

注1：一般情况下，直接太阳辐射由视场角高达 6° 的仪器测量。因此，太阳圆盘周围的一部分散射辐射（环太阳辐射或光环）也被包括在内（见5.1）。Angström型直接辐射表（补偿式直接日射仪）的视场更大，可达 15° 。参考文献[2]中提供了更详细的环日辐射和相关参数定义。

注2：地面接收到的太阳直接辐射约97%至99%包含在 $0.3\ \mu\text{m}$ 至 $3\ \mu\text{m}$ 的波长范围内[1]。

注3：应指定接收器表面的倾斜角度，例如水平或垂直于直射太阳辐射。

3.4

散射太阳辐射 **diffuse solar radiation /diffuse radiation**

半球太阳总辐射减去直接太阳辐射。

注1：散射辐射包括大气中散射的太阳辐射以及地面反射的太阳辐射，具体取决于接收器表面的倾角。

注2：应指定接收器表面的倾斜角度和方位角，例如水平。

3.5

总辐射表 **pyranometer**

设计用于测量平面接收器表面上的辐照度的辐射表，该辐照度由从上方半球入射的辐射通量在约0.3 μm 至约3 μm 的波长范围内产生。

注：给出的光谱范围（50%透射点）仅为标称值。取决于辐射表的设计，其响应度的光谱范围可能与上述范围不同。

3.6

直接辐射表 **pyrheliometer**

设计用于测量太阳辐射通量产生的辐照度的辐射表，该辐射表的轴线垂直于平面接收器表面。

注1：根据该定义，直接辐射表用于测量垂直入射时的直接太阳辐射。普通和历史上的直接辐射表的典型开口半角范围为2.5°至7.5°。参考文献[3]建议所有新设计的直接太阳辐射仪器的开口半角为2.5°（ 6×10^{-3} sr），倾角为1°。开口半角是从（圆形）接收器孔径的中心到视野限制孔径的边缘测量的。斜角是由两个孔定义的锥体开口半角。有关角度的数学定义，请参见5.1 b）。参考文献[2]中对太阳辐射对辐射表的影响进行了更详细的描述。

注2：根据辐射表的特性，观测用直接辐射表的光谱响应度通常限制在约0.3 μm 至3 μm 的范围内。给出的光谱范围（50%点）仅为标称值。根据直接辐射表的设计，其响应度的光谱范围可能不同于上面提到的范围。

3.7

散射辐射表 **diffusometer**

设计用于测量散射太阳辐射的辐射表，由总辐射表和遮光装置组成，遮光部件可以是遮光球、遮光盘、遮光环、旋转遮光带或遮光罩。

注1：遮光球和遮光盘应追踪到太阳，以便把总辐射表遮挡。ISO 9846[4]中定义了遮光盘和跟踪。遮光球的中心与遮光盘的中心相同。球的直径与圆盘的直径相对应。对于太阳天顶，遮光球和遮光盘遮挡的开口角和倾斜角应为2.5°和1°。

注2：遮光环的位置应确保总辐射表在大约两天内的所有太阳位置都有遮光。遮光环应大约每两天调整一次。因此，遮光环不仅阻止直接辐射，而且阻止了部分散射辐射到达总辐射表，这样只能测量散射辐射的近似值。

注3：旋转遮光带围绕总辐射表旋转，以便在旋转过程中，总辐射表被遮蔽一段时间。当遮光带遮蔽住传感器时，总辐射表测量散射辐射的近似值。当遮光带在总辐射表的视野之下时，总辐射表测量半球向辐射。当遮光带的阴影接近传感器，但未到传感器时，则测量得除了被阻挡的散射辐射之外的半球向辐射。通过这三种测量，所谓的旋转遮光带辐射表测定了散射辐射。

注4：根据太阳位置，遮光罩在一个或多个总辐射表上遮挡阴影。

3.8

偏移修正 **offset correction**

用代数方法对未修正的测量结果进行相加值，以补偿系统误差。

注1：偏移修正等于估计系统误差的负值。

注2：由于无法完全知道系统误差，因此无法完成补偿。

3.9

校正系数 **correction factor**

将测量结果的未修正结果乘以以补偿系统误差的数值因子。

注：由于无法完全知道系统误差，因此无法完成补偿。

[来源：ISO/IEC Guide 98—3:2008, B.2.24]

3.10

接受区间 **acceptance interval**

允许测得量值的区间。

[来源：BIPM, 2012[7], 3.3.9]

3.11

容差区间 **tolerance interval**

一个被测量属性的容许值区间。

[来源: BIPM, 2012[7], 3.3.5]

3.12

保护带 **guard band**

容差极限与相应的接受极限之间的区间。

[来源: BIPM, 2012[7], 3.3.11]

3.13

准确度等级 **accuracy class**

符合规定计量要求的测量仪器或测量系统的等级, 在规定的操作条件下, 将测量误差或仪器不确定度保持在规定的范围内。

[来源: ISO/IEC Guide 99:2007, 4.25, 有修改]

4 测量半球向太阳辐射的仪器-总辐射表

4.1 原理与结构

总辐射表是一种用来测量半球太阳辐射的辐射表(见 3.1, 3.2, 3.4, 3.5和3.7)。

热传感器将辐射能转化为热能, 从而使接收表面的温度升高。温度升高部分通过向热沉(如总辐射表外壳和周围空气等)散发热量而达到平衡。

总辐射表的热传感器可通过一个或两个透光罩和/或漫射器(其光谱透射率将响应度的光谱范围限制在约 $0.3\mu\text{m}$ 至 $3\mu\text{m}$ 之间(50%透射点))来防止风、雨和灰尘以及热辐射的交换。

光电总辐射表使用光电二极管作为传感器, 将入射辐射转换为电能。光电二极管通常放置在漫射器下方。

由于测量的光谱限制, 与光电二极管传感器相比, 热传感器具有优势, 因为它们可以实现小的光谱误差所需的几乎均匀的光谱响应度。光谱辐照度误差是由入射太阳辐射的光谱分布的变化以及辐射表相对于在所关注的波长范围内具有完全均匀光谱响应度的辐射表的光谱响应度之间的差异引起的误差。

本文件中可能存在未提及的其他技术。

常用总辐射表的主要部件有:

- a) 传感器;
- b) 透光罩或漫射器, 其同心地覆盖接收表面;
- c) 壳体, 通常被遮光盘遮挡, 用作热参考点。

4.2 类型

一种类型的总辐射表是“热电”总辐射表, 它配备有热电堆(有时称为热电池), 测量接收表面热点和壳体冷点之间的温度差。热点和冷点的位置和数量取决于不同的总辐射表型号。通常, 这些传感器由一个或两个同心玻璃罩或漫射器覆盖。

另一种类型的总辐射表是“光电”总辐射表, 它配备了光电接收器(使用例如硅光电二极管或光伏电池)来测量光伏功率。这种类型的总辐射表通常被称为“硅光总辐射表”。这些传感器通常放置在扩散器下方。扩散器可以具有圆柱体或其他形状。

4.3 分级

4.3.1 概述

总辐射表的分级完全基于仪器的测量性能。该分级不是基于制造技术，而是从总辐射表的各种应用中得出的标准。遵循这一原则，任何技术设备，当照射时产生信号（例如，光伏电池）时，可根据本文件对总辐射表分级。

大多数分级标准（见表1）具有普遍相关性，而其他分级标准可能仅适用于特定应用。

因此，关于总体测量不确定度的陈述只能在考虑所有相关因素的情况下单独进行。

本分级方案基于4.3.2中给出的各种规格和4.3.3中给出的多种分级标准。

该分级可以理解为准确度排名。字母表示在相同的测量条件下进行比较时，良好维护的测量通常达到的准确度。准确度按字母顺序降低（A的准确度比B或C更好）。然而，准确度等级并不意味着在所有条件下，准确度等级较高的辐射表比准确度等级较低的辐射表更准确。首先，由于不同的辐射表可能有不同的维护要求，例如易受污染，因此在之前的陈述中，“维护良好”很重要。此外，根据应用和测量条件，在某些情况下，较低等级的传感器可能更合适。例如，辐射表有不同的响应时间。为了能够识别足以测量变化大的数据（例如重大辐射事件）的辐射表，通过在类别名称前添加“快速响应”来定义其他类别（例如 A级快速响应总辐射表；另见4.3.3）。此外，将快速响应传感器与慢速传感器进行比较更为复杂。如果响应时间是传感器之间的唯一差异，并且如果数据记录器的采样率足以满足响应时间，则同一级别的快速响应传感器对于高时间分辨率具有比同一级别较慢的传感器更高的精度。对于辐照度的高可变性，给定等级的快速响应辐射表可能比更高等级的较慢响应的传感器更合适。

如果辐射表具有显著的光谱选择性，则光谱误差可能是一个问题，具体取决于场地的气象条件。光谱选择性是光谱响应度与0,35 μm 和1,5 μm 范围内相应平均值的百分比偏差[13]。低光谱选择性对于反射辐照度和反照率的测量也是理想的。因此，通过在级别名称前添加“光谱平坦辐射计”来定义其他级别。

注1：测量太阳辐射数据的准确性不仅取决于用于仪器分级的仪器特性，还取决于：

- a) 校准程序；
- b) 测量条件和维护，包括清洁；
- c) 环境条件；
- d) 如果仪器提供模拟信号，数据记录器的不确定性和设置（例如采样率）。

注2：稳定条件下总辐照度的最准确测定值被认为是由最高等级直接辐射表测量的直接辐照度和由最高等级的总辐射表测量的散射太阳辐照度得出的，该总辐射表用圆盘或球遮挡太阳。

4.3.2 总辐射表规格

总辐射表规格作为某些参数的接受间隔和保护带给出。规格可分为以下几组。

- a) 响应时间（在实际辐照度变化下准确读数的稳定时间测量）。
- b) 零点偏移包括电子设备的零点偏移（针对热辐射效应、温度瞬变和其他影响规定的零点稳定性的测量）。
- c) 响应度依赖于：
 - 1) 老化效应（长期稳定性的测量，假设定期和适当的维护，总辐射表的清洁）；
 - 2) 辐照度水平（非线性测量）；
 - 3) 辐照度的方向（与理想“余弦特性”及其方位角变化的偏差测量）；
 - 4) 最相关辐照度分量的晴空光谱误差（辐射表光谱响应度与完全平坦光谱响应度的偏差测量）；
 - 5) 辐射表壳体的温度；
 - 6) 接收表面的倾斜角度；
 - 7) 附加信号处理误差（附加信号处理错误包含可能在仪器中执行的数据采集和模数转换以及在仪器内执行的标准 a、b 和 c1 至 c6 未涵盖的所有其他处理步骤）。

注1：ISO 9060:1990中使用的光谱选择性不是光谱误差。光谱选择性定义为光谱响应度在0,35 μm 和1,5 μm 范围内与

平均光谱响应度在 $0,35\mu\text{m}$ 和 $1,5\mu\text{m}$ 之间。对于一些传感器，例如光电二极管传感器，对于限定波长范围内的某些波长，光谱响应度可以为0。因此，光谱选择性可以达到100%或更高。此外，一些具有特定漫射器的传感器可能具有更高的光谱选择性或误差。仅知道光谱范围不足以确定光谱选择性或光谱误差。光谱范围的规定还要求规定给出波长极限的最大光谱响应度的百分比（例如50%）。

注2：本文件中还包括散射辐射表。表1对散射辐射表进行了部分分级，因为使用的总辐射表可根据表1进行分级。本文按其类型（遮光盘、遮光球、遮光环、旋转遮光带或遮光罩）仅描述了散射辐射表的其余部分。

表 1 总辐射表分级表

规格参数 No (见 4.3.2)	参数	分级名称, 接受区间和保护带宽度 (括号内)		
	分级名称	A	B	C
	大致对应于 ISO 9060:1990 ¹⁾ 等级	二等标准	一级	二级
a	响应时间 (见 4.4.3 快速响应总辐射表): 95% 的响应时间	<10s (1s)	<20s (1s)	<30s (1s)
b	零点偏移: a) 对 -200 Wm^{-2} 净热辐射的响应 b) 对环境温度 5 Kh^{-1} 变化的响应 c) 总零点偏差, 包括影响 a)、b) 和其他来源	$\pm 7\text{ Wm}^{-2}$ (2 Wm^{-2}) $\pm 2\text{ Wm}^{-2}$ (0.5 Wm^{-2}) $\pm 10\text{ Wm}^{-2}$ (2 Wm^{-2})	$\pm 15\text{ Wm}^{-2}$ (2 Wm^{-2}) $\pm 4\text{ Wm}^{-2}$ (0.5 Wm^{-2}) $\pm 21\text{ Wm}^{-2}$ (2 Wm^{-2})	$\pm 30\text{ Wm}^{-2}$ (2 Wm^{-2}) $\pm 8\text{ Wm}^{-2}$ (1 Wm^{-2}) $\pm 41\text{ Wm}^{-2}$ (3 Wm^{-2})
C1	不稳定性: 每年响应率变化百分比	$\pm 0.8\%$ (0.25%)	$\pm 1.5\%$ (0.25%)	$\pm 3\%$ (0.5%)
C2	非线性: 由于辐照度在 100 Wm^{-2} 至 1000 Wm^{-2} 之间的变化, 相对于在 500 Wm^{-2} 时, 导致的响应度偏差百分比	$\pm 0.5\%$ (0.2%)	$\pm 1\%$ (0.2%)	$\pm 3\%$ (0.5%)
C3	方向响应 (光束辐射): 假设法向入射响应度对所有方向都有效, 当从任何方向 (入射角高达	$\pm 10\text{ Wm}^{-2}$ (4 Wm^{-2})	$\pm 20\text{ Wm}^{-2}$ (5 Wm^{-2})	$\pm 30\text{ Wm}^{-2}$ (7 Wm^{-2})

	参数	分级名称, 接受区间和保护带宽度 (括号内)		
	90°, 甚至从传感器下方) 测量法向入射辐照度为 1000 Wm ⁻² 的光束辐射时, 由此产生的误差。			
C4	晴空水平总辐照度光谱误差: 一组水平总辐照度观测到的本文件中定义的晴空光谱最大光谱误差 (见 A.7, 与光谱误差计算相关; 见 4.3.3, 光谱平坦日射强度表)	±0.5% (0.1%)	±1% (0.5%)	±5% (1%)
C5	温度响应: 在 -10° C 至 40° C 的范围内, 环境温度相对于 20° C 时的信号变化导致的偏差百分比	±1% (0.2%)	±2% (0.2%)	±4% (0.4%)
C6	倾斜响应: 在 1000 Wm ⁻² 辐照度下, 倾角从 0° 变为 180°, 在 0° 倾斜 (水平) 时响应度的百分比偏差	±0.5% (0.2%)	±2% (0.5%)	±5% (0.5%)
C7	附加信号处理误差	±2 Wm ⁻² (2Wm ⁻²)	±5 Wm ⁻² (2 Wm ⁻²)	±10 Wm ⁻² (2 Wm ⁻²)
接受区间不能用于不同于每个标准规定条件的不确定性估计。特别地, 光谱误差在不同条件下可以是不同的。漫反射水平辐照度测量的光谱误差也与水平总辐照度的光谱误差不同				

4.3.3 分级判据

对于分级, 应通过试验验证表1中给出的规格。附录A中给出了规格项目的其他信息。表1大致包括参考文献[3]中的三个等级: 中等、良好和高质量。

如果满足以下条件, 则视为符合规格:

- a) 各测试结果的值在表 1 中给出的特定级别仪器的相应接受区间内;

- b) 试验扩展不确定度和试验结果的绝对值之和小于或等于允许区间极限的绝对值（审慎接受）—允许区间由表1中的接受区间和保护带确定。

验收区间在表1中以“<X”表示，单侧验收区间为单个正值X，如果区间为双侧且对称于零，则为“±X”。

如果明确满足相应等级的所有规格（见表1），并且分级符合4.3.3和4.3.4中给出的标准，则总辐射表属于特定等级。

该分类并未提供准确度计算所需的所有信息：总辐射表可能满足A级的所有标准，但在典型测量条件下（例如，水平总辐射测量情况下的倾斜响应）不相关的一个标准除外，仅达到C类。在这种情况下，如果C类总辐射表用于水平总辐照度测量，通常会比许多B级总辐射表更好。仪器的应用不会影响分级（即使仪器仅用于水平总辐照度测量——其分级仍然取决于表1中的所有规格，包括倾斜响应）。

本文件还区分了给定的Y级总辐射表（例如A级总辐射表）和另一级总辐射表，即所谓的“Y级快速响应总辐射表”（例如A级快速响应总辐射表）。如果总辐射表满足表1中Y级总辐射表的所有要求，并且总辐射表的响应时间小于0.5 s，且保护带为0.05 s，则总辐射表为“Y级快速响应总辐射表”。快速响应的可能好处还需要足够的高采样率。

通过在级别名称前添加术语“光谱平坦总辐射表”来定义其他级别。如果总辐射表在0.35μm至1.5μm光谱范围内的光谱选择性小于3%（保护带2%），则允许这样做。

总辐射表的分类级可适用于单个仪器或仪器组（特定类型），具体取决于级别。如果适当的质量控制表明该类型的总辐射表符合相应的规格，则即使没有根据级别进行单独测试，也可以声称该类型总辐射表（设计相同的总辐射表）属于特定级别。

对于最高等级总辐射表的分级，需要进行温度响应和方向响应的单独测试。

任何等级的总辐射表，其设计应便于使用者将仪器的倾斜角调整到所需的准确度。为实现这一点，可采取例如安装精确校准的气泡水准仪，或提供仪器主体的精密基准平面等方法。

注：分级基于总辐射表的最终信号。这可能是指应用偏移修正或系统误差修正系数后的结果。如果在仪器内或作为提供的测量系统的一部分（例如，编程到仪器或控制单元内的处理器）应用修正，则应用校正或校正因子后的信号只能用于分级。这种校正的示例可以是基于空气质量或其他参数的光谱误差的修正。分级还考虑了增加硬件。如果始终使用仪器，例如加热和通风，则分级基于加热和通风信号（另见A.2）。如果使用相同的仪器而不使用额外的硬件，则分级可能不同。

4.3.4 分级识别

特定总辐射表的分类应由发布实验室提供的书面声明规定。发布测试实验室应根据要求披露测试程序和结果。如果在没有额外硬件（如通风）的情况下无法达到等级要求，则应在指定等级旁注明。此外，如果用户需要采取特定操作激活校正功能，且仅校正信号满足该等级要求，则应在指定等级旁注明。

5 测量直接太阳辐射的仪器——直接辐射表

5.1 原理与结构

常见的直接辐射表的主要部件如下：

- 传感器，将辐射转换为信号的平面接收表面（例如，热电堆上的黑色表面、光电二极管传感器或吸收入射辐射的空腔）。
- 视野限制装置（光筒、准直器或光栏管，也称为天空遮挡管），用于定义视野几何形状。光筒的长度 l 、孔径的半径 r_a 和接收表面的半径 r_r 决定了开口半角 $\arctan(r_a/l)$ 和倾斜角 $\arctan[(r_a-r_r)/l]$ 。

这样的直接辐射表需要一个可调节的安装架,该安装架将直接辐射表对准太阳或允许对其进行调节。可调节安装架是仪器的一个组成部分,也可以是一个单独的装置,以允许与适当的太阳跟踪系统单独组合。

因为从地球上,太阳圆盘的半径约为 $0,267^\circ$,所以根据大气气溶胶的含量,太阳直接辐射的测量中包含了较多的环日辐射(见 3.3)。

用于连续现场测量的直接辐射表的接收表面通过窗口和/或其他保护装置受到保护,以防灰尘、昆虫、风和其他天气现象。

5.2 类型

5.2.1 绝对直接辐射表

绝对直接辐射表主要是实现辐照度的标尺。

有必要通过实验室测量和模型计算对此类仪器进行仔细检查,以确定其与理想性能的偏差。该过程称为仪器的“表征”,并得出使用的换算系数以将输出信号转换为辐照度。该系数的不确定性决定了仪器的绝对准确度。

现代设计的绝对直接辐射表使用黑体接收器和电校准差分热流计作为传感器。它们以“主动”或“被动”模式运行。在主动模式中,热通量在遮挡阶段和照射阶段都保持恒定;两个期间的电功率差与辐射功率成正比。在被动模式下,仅在遮挡阶段保持电加热。实际上,当直接辐射表处于主动模式时,辐射测量将在测量系列的遮挡阶段周期性中断,而在被动模式中,遮挡阶段发生在测量系列之前。

5.2.2 补偿式直接辐射表

入射辐射功率由电功率替代的直接辐射表,但不具有 5.2.1 中所述的特征,需要校准。

例如,Angström 补偿式直接辐射表在一个光筒管中配备了两个相邻的接收器,它们交替工作:一个接收器被太阳照射,而另一个接收器同时被遮蔽和电加热。这意味着在一个接收器的遮挡阶段,可以获得另一个接收器测量的辐射值。

5.2.3 无自校准的直接辐射表

这些直接辐射表需要校准,以给出 Wm^{-2} 的辐照度。它们允许连续记录辐射,并用作现场仪器。它们通常配有全天候的外壳。

5.3 分级

5.3.1 概述

直接辐射表是根据仪器的测量规格进行分级。然而,该分级不是基于制造技术,而是基于从直接辐射表的各种应用中推断出的标准。

该分级可以理解为与总辐射表相同的准确度等级的排列。字母表示在相同的测量条件下进行比较时,良好维护的测量通常达到的准确度。准确度随字母顺序而降低(A 比 B 或 C 的准确度更好)。用多个字母“A”(例如 AA)表示比 A 级更高的准确度。然而,准确度排名并不意味着在所有条件下,较高等级的辐射表比较低等级的另一个辐射表更准确,如 4.3.1 所述。与总辐射表的情况一样,使用相同的接受区间和保护带(另见 4.3.3)来定义快速响应直接辐射表。还定义了光谱平坦的直接辐射表。

4.3.2 的注 1 提供了一些关于先前使用的光谱选择性与光谱误差之间关系的信息,也适用于直接辐射表。

注:直接辐射表测量的太阳辐射数据的准确度不仅取决于仪器的等级,还取决于维护和环境条件,详见第 4.3.1 节注 1。因此,关于整体测量不确定度的陈述只能在单独的基础上进行,考虑到所有相关因素,而不仅仅是仪器

的级别。

5.3.2 直接辐射表的规格

表 2 中给出了直接辐射表的规格。规格参数与总辐射表所用参数几乎相同（见 4.3.2）。不包括“方向响应”。与总辐射表规格的其他区别可在零点偏移和倾斜响应的角度间隔的定义中找到。使用直接法向辐照度光谱计算晴空光谱误差。用于规格参数的分级定义在表 2 中是相同的。

5.3.3 分级判据

应通过试验验证表 2 中给出的规格。附录 A 中给出了规格项目的其他信息。表 2 大致包括参考文献 [3] 中的两类优质和高质量。

如果明确地满足相应等级的所有规格（见表 2），则直接辐射表属于特定等级。

符合以下条件的规格：

- a) 同一型号的一组仪器的相应测试结果的值位于表 2 中针对特定类别仪器给出的相应验收间隔内；并且如果
- b) 试验扩展不确定度和试验结果的绝对值之和小于或等于公差间隔极限的绝对值（防护验收）—公差间隔由表 2 中的验收间隔和防护带确定。

直接辐射表的分类可适用于单个仪器或仪器组（特定类型），具体取决于类别。如果适当的质量控制表明该类型的直接辐射表符合相应的规格，则即使没有根据等级进行单独测试，也可以声称该类型直接辐射表属于特定等级。然而，最高级别的仪器只能在个人基础上指定为此类仪器。对于第二高等级的直接辐射表，需要进行单独的温度响应测试。

注：可追溯性不用于分类。

本文件区分了给定类型 Y 的直接辐射表（例如 A 类直接辐射表）和另一类直接辐射表，即同一类型的所谓“快速响应直接辐射表”（例如 a 类快速响应直接辐射表）。直接辐射表是一种“快速响应直接辐射表，如果满足表 2 中列的所有要求，则为“Y 类”。对于 Y 级，如果直接辐射表的响应时间小于 0.5 s，且防护带为 0.05 s。

与总辐射表相同，通过在类别名称前添加术语“光谱平坦辐射表”来定义直接辐射表的其他类别。如果直接辐射表在 0,35 μm 至 1,5 μm 光谱范围内的光谱选择性小于 3%（保护带 2%），则允许这样做。

4.3.3 中的注释，关于使用校正或校正系数以及可选增加硬件，因为加热和通风也适用于直接辐射表。

5.3.4 分级识别

应通过发布实验室提供的书面声明规定特定直接辐射表的分类。发布测试实验室应根据要求披露测试程序和结果。如果在没有额外硬件（例如加热）的情况下无法达到分类，则应在指定等级旁边说明。此外，如果用户需要采取特定措施来激活校正，并且如果只有校正信号满足等级要求，则应在指定等级旁边说明。

表 2 直接辐射表分级表

规格参数	参数	分级名称，接受区间和保护带宽度（括号内）			
	分级名称	AA	A	B	C
No	大致对应于				

(见 5.3.2)	ISO 9060:1990 ¹⁾ 等级	见注 1	二等标准	一级	二级
a	响应时间 (见 5.3.3 快速响应总辐射表): 95% 的响应时间	见注 2	<10s (1s)	<15s (1s)	<20s (1s)
b	零点偏移: a) 对环境温度 5 Kh ⁻¹ 变化的响应 b) 总零点偏差, 包括效应 a) 和其他来源	$\pm 0.1 \text{ Wm}^{-2}$ (0.05Wm ⁻²) $\pm 0.2 \text{ Wm}^{-2}$ (0.05Wm ⁻²)	$\pm 1 \text{ Wm}^{-2}$ (0.5Wm ⁻²) $\pm 2 \text{ Wm}^{-2}$ (0.5Wm ⁻²)	$\pm 3 \text{ Wm}^{-2}$ (0.5Wm ⁻²) $\pm 4 \text{ Wm}^{-2}$ (0.5Wm ⁻²)	$\pm 6 \text{ Wm}^{-2}$ (1Wm ⁻²) $\pm 7 \text{ Wm}^{-2}$ (1Wm ⁻²)
C1	不稳定性: 每年响应率变化百分比	$\pm 0.01\%$ (0.01%)	$\pm 0.5\%$ (0.25%)	$\pm 1\%$ (0.25%)	$\pm 2\%$ (0.25%)
C2	非线性: 由于辐照度在 100 Wm ⁻² 至 1000 Wm ⁻² 之间的变化, 相对于在 500 Wm ⁻² 时, 导致的响应度偏差百分比	$\pm 0.01\%$ (0.01%)	$\pm 0.02\%$ (0.1%)	$\pm 0.5\%$ (0.2%)	$\pm 2\%$ (0.2%)
C4	晴空直接法向辐照度光谱误差: 一组直接法向辐照度观测到的本文件中定义的晴空光谱最大光谱误差 (见 A.7, 与光谱误差计算相关; 见 5.3.3, 光	$\pm 0.01\%$ (0.005%)	$\pm 0.2\%$ (0.05%)	$\pm 1\%$ (0.5%)	$\pm 2\%$ (1%)

	谱平坦辐射表相 关)				
C5	温度响应： 在 -10°C 至 40°C 的范围内， 环境温度相对于 20°C 时的信号 变化导致的偏差 百分比	$\pm 0.01\%$ (0.01%)	$\pm 0.5\%$ (0.25%)	$\pm 1\%$ (0.5%)	$\pm 5\%$ (0.5%)
C6	倾斜响应： 在 1000 Wm^{-2} 辐照 度下，倾角从 0° 变为 90° ，在 0° 倾斜（水平）时 响应度的百分比 偏差	$\pm 0.01\%$ (0.1%)	$\pm 0.2\%$ (0.2%)	$\pm 0.5\%$ (0.2%)	$\pm 2\%$ (0.5%)
C7	附加信号处理误 差	$\pm 0.1\text{ Wm}^{-2}$ (0.1 Wm^{-2})	$\pm 1\text{ Wm}^{-2}$ (0.5 Wm^{-2})	$\pm 5\text{ Wm}^{-2}$ (2 Wm^{-2})	$\pm 10\text{ Wm}^{-2}$ (2 Wm^{-2})
<p>注1：ISO 9060:1990¹⁾ 中没有定义类似的级别。</p> <p>注2：此类辐射表主要用作校准其他辐射表的参考仪器。它们通常是绝对辐射表，因此无法明确定义响应时间。例如，它取决于操作模式（例如“主动”或“被动”）。为了避免混淆，并且由于响应时间对于稳定天空条件下的校准具有边际意义，因此省略了此类响应时间标准。</p> <p>注3：接受区间不应用于不同于每个标准规定的条件的不确定性估计。特别是，在不同条件下，光谱误差可能不同</p>					

6 补充说明

除了文件中规定的分级标准外，为了确保仪器在太阳辐射测量中达到足够的准确度，还应注意以下几点：

- a) 对仪器实施规范的校准；
- b) 仪器准确地对准；
- c) 执行包含清洁作业在内的周期性维护；
- d) 经常地和及时地进行质量控制；
- e) 使用灵敏度、采样率及稳定性均满足测量需求的记录装置

调整和维护中的缺陷所引入的误差,远高于不同类别仪器中正常使用的辐射表之间的典型误差差值。

附录 A

(资料性)

表 1 和表 2 中规格参数的注释

注：这些注释旨在强调选择测试参数的理由，而不是描述测试方法的细节。

A.1 响应时间

由于热电总辐射表的热平衡过程通常只能用几个时间常数来描述，因此稳态特性应以仪器达到参考值95%的时间来表征。响应时间必须从输入光强度改变的测量点开始测量，以捕捉处理和通信引入的任何延迟。然而，需要强调的是，为了准确测量快速变化的辐射源的辐照度，甚至需要考虑99.5%的时间。当在应用软件校正之后确定响应时间时，应小心，因为这种校正可能仅适用于信号变化的特定形状。

A.2 零点偏移

表1和表2中规格参数“b”的影响a)和b)仅是产生零偏移的两种常见影响。因此，本文件中也使用了总零偏差（“b”）。排除了可能受冷雨影响的体温快速变化的情况。

风速 $<1\text{ m/s}$ 时，应说明零偏移规格。可使用通风机改进规格。标准配置的仪器可能不符合某一级别的要求。然后，应将其指定为不合规。通风时，同一仪器可能符合要求。然后，只有组合才能声明合规性。如果使用加热，这可能再次导致不符合等级要求。如果是这种情况，也应清楚规定的。最后，应为仪器明确定义仪器是否符合某一等级的要求，并单独作为通风和加热的函数，包括用于实现符合性的附件类型/型号的规范。

示例：当体温为 30°C ，天空温度为 -10°C 时，则净热辐射通量密度为 -200 W m^{-2} 。这种特定的每小时体温变化可能发生在晴天的早晨。

A.3 不稳定性

通常，辐射表响应度的测试复现性已在 $\pm 0.5\%$ 以内。若辐射表响应度稳定性较低，可根据容许的不确定度水平，通过提高校准频率予以补偿。

A.4 非线性

应针对有效辐照度的整个范围（约 100 W 每平方米至 1000 W 每平方米）来定义非线性特性。

A.5 方向性响应(对于光束辐射)

A.5.1 为确保满足规格要求，应至少在以下方向测量相对于正入射的响应度：四个方位角（例如 0° 、 90° 、 180° 、 270° ）的 40° 、 60° 、 70° 、 80° 和 95° 入射角。（方位角 $=0^\circ$ 表示总辐射表电缆出口的方向。）

A.5.2 总辐射表的方向性由光束辐射的响应度表征，该响应度是相对于总辐射表的辐射方向的函数。对于理想的总辐射表，响应度（信号与入射辐照度的比值）与方向无关。实际总辐射表的响应度随方向的变化会导致测量误差。当入射辐射的响应度变化或角度分布或两者都未知或被忽略时，就会发生这种情况。

在表1和表2中，规格参数编号c3中，方向性被指定为绝对误差（单位为瓦特/平方米），当测量法向入射辐照度为 1000 W m^{-2} 的光束辐射时，忽略响应度变化并使用适用于法向入射的值会导致该绝对误差。

“ $1\ 000\text{ W m}^{-2}$ 方向误差”的数学表达式为：

$$\Delta_{1000}(\theta, \psi) = 1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \left[\frac{s(\theta, \psi)}{s(\theta=0)} - \cos\theta \right]$$

和

$$\delta_{\cos}(\theta, \psi) = 100\% \left[\frac{s(\theta, \psi)}{s(\theta=0) \cdot \cos(\theta)} - 1 \right]$$

其中 $S(\theta, \psi)$ 是信号值，单位是伏特。

选择 $\Delta 1000$ 来规范表 1 和表 2 中的总辐射表等级，因为它比 δ_{\cos} 具有许多优点，包括：

- 它是一个缓慢变化的方向函数；
- 它可以在所有入射方向以近似相同的精度 ($\sim 3 \text{ W m}^{-2}$) 进行测量；
- 每个总辐射表等级只需要一个值来指定所有方向的性能 (即 10 W m^{-2} 、 20 W m^{-2} 或 30 W m^{-2})。

此外，因为太阳直接辐射从来不可能超过 1000 W m^{-2} ， $\Delta 1000$ 可以大体上限定由于总射表方向性响应产生的误差最大值，该误差可能会出现在日常户外观测时。

A.6 倾斜响应

倾斜响应的测定应在最苛刻的条件下进行，即总辐射表处于最不利的方位位置，并使用 1000 W m^{-2} 的辐照度水平。

A.7 光谱误差

每个辐射表的光谱误差和测试光谱 δ_{RS} 定义如下。

首先，通过根据公式将光谱响应度 R_{λ} 与光谱辐照度 E_{λ} 加权，获得辐射表对给定光谱下太阳辐照度综合宽带值的响应度 R_{S} 。

$$R_{\text{S}} = \frac{\sum_{j=1}^M R_{\lambda}(\lambda_j) \cdot E_{\lambda}(\lambda_j) \cdot \Delta\lambda_j}{\sum_{j=1}^M E_{\lambda}(\lambda_j) \cdot \Delta\lambda_j}$$

λ_j 是已知光谱数据的 M 中的第 j 个波长。对于本文件中描述的分类， λ_1 为 280 nm， λ_M 为 4000 nm，步长在 0.5 nm 至 5 nm 之间。根据 IEC 60904-3[9] 条件，确定测试光谱 E_{λ} 的光谱失配。失配系数 F_{MM} 按照

$$F_{MM} = \frac{\sum_{j=1}^M R_{\lambda_j}(\lambda_j) \cdot E_{\lambda, \text{Test}}(\lambda_j) \cdot \Delta\lambda_j}{\sum_{j=1}^M R_{\lambda_j}(\lambda_j) \cdot E_{\lambda, \text{Ref}}(\lambda_j) \cdot \Delta\lambda_j} \cdot \frac{\sum_{j=1}^M E_{\lambda, \text{Ref}}(\lambda_j) \cdot \Delta\lambda_j}{\sum_{j=1}^M E_{\lambda, \text{Test}}(\lambda_j) \cdot \Delta\lambda_j} = \frac{R_S(R_{\lambda}, E_{\lambda, \text{Test}})}{(R_{\lambda}, E_{\lambda, \text{Ref}})}$$

式中， $E_{\lambda, \text{Test}}$ 是指与参考光谱 $E_{\lambda, \text{Ref}}$ 。光谱误差计算如下：

$$\delta_{rs} = -F_{MM} - 1$$

测试光谱是使用以下链接提供的名为“ext_*.txt”的文件中的晴空水平总辐射和直接法向辐照度光谱：<http://standards.iso.org>。波长（nm）为在“Wvlngth”列中，以 $\text{W}/\text{m}^2/\text{nm}$ 为单位的水平总光谱辐照度为“global_horizn_irradiance”，以 $\text{W}/\text{m}^2/\text{nm}$ 为单位的直接法向光谱辐照度为“Beam_normal_+环日辐射”。光谱由 SMARTS 2.9.5[10]，[11]导出。还提供了输入文件（“inp_*.txt”）和通用输出文件（“out_*.txt”）。

参考文献[11]描述了相关的大气条件。在相同大气条件下计算的光谱，但空气质量为 1.5 和 5（未校正压力）。根据现场情况，在空气质量低于 5，接收到 90%至 99%的直接法向和水平总辐照度。

如果仪器相对于 IEC 60904-3 条件下的光谱的所有规定测试光谱的光谱误差在规定的百分比范围内（例如±5%），则满足表 1 和 2 中规定的分类中给出的光谱误差限值。对于总辐射表，仅测试了水平总辐照度光谱。对于直接辐射表，只测试直接法向辐照度光谱。

可以使用唯一的 R_s 来计算每个测试光谱的失配。然而，不能使用测试光谱的先验知识来确定该 R_s ，并且应证明每个唯一的 R_s 将用于正常现场操作，在此期间仪器（或系统）可能适用使用基于附加测量参数的计算或基于仪器已知的信息（例如当前时间、地理坐标和海拔高度）进行校正。这种允许修正的一个例子是 R_s 乘以基于空气质量的系数。

光谱误差也可通过实验方法确定，具体操作方式为：在自然或人工光照条件下，使被测仪器与光谱辐射计并行操作；或在晴朗天空的自然光照条件下，与太阳光度计并行操作。实验须证明仪器所接触的不同光照条件能够充分代表规定的测试光谱，且测量不确定度须达到足够水平，以确保能够进行等级评定。

参 考 文 献

- [1] Reda I, Konings J, Xie Y. 2015. “ A method to measure the broadband longwave irradiance in the terrestrial direct solar beam.” *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* no. 129:23–29. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2015.04.003>
- [2] Blanc P, Espinar B, Geuder N, Gueymard C, Meyer R, Pitz-Paal R, Reinhardt B, Renné D, Sengupta M, Wald L, Wilbert S. 2014. “ Direct normal irradiance related definitions and applications: The circumsolar issue”. *Solar Energy* No. **110** (0):561577. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2014.10.001>
- [3] World Meteorological Organization. *Guide to Meteorological instruments and Methods of Observation*, No 8, 2014 edition updated in 2017, WMO, Geneva, 2017
- [4] ISO 9846:1993, *Solar energy — Calibration of a pyranometer using a pyrheliometer*
- [5] BIPM, IEC, ILAC IFCC, IUPAC ISO, and OIML IUPAP. 2008. “Evaluation of measurement data—Guide to the expression of uncertainty in measurement, JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections”. Joint Committee for Guides in Metrology
- [6] BIPM. 2012. “Evaluation of measurement data — The role of measurement uncertainty in conformity assessment, *JCGM 106:2012*”. Joint Committee for Guides in Metrology
- [7] ISO/IEC Guide 99:2007, *International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)*
- [8] IEC 609043:2016, Photovoltaic devices — Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data
- [9] Gueymard C. 2001. Parameterized transmittance model for direct beam and circumsolar spectral irradiance. *Solar Energy* **71** (5):325346
- [10] Gueymard C.A. 2005. *SMARTS Code version 2.9.5 User's Manual*. Solar Consulting Services
- [11] Jessen W, Wilbert S, Gueymard C, Polo J, Bian Z, Driesse A, Habte A, Marzo A, Armstrong P, Vignola F, Ramírez L. 2018. “ Proposal and Evaluation of Subordinate Standard Solar Irradiance Spectra for Applications in Solar Energy Systems.” *Solar Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.03.043>
- [12] ISO 9060:1990,²⁾ *Solar energy — Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation*
- [13] ISO/IEC Guide 983:2008, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*.