

# 中华人民共和国国家标准

GB/TXXXXX—XXXX  
替代 GB/T17683.1-1999

## 太阳能 在地面不同接收条件下的太阳光谱辐照度标准 第1部分：大气质量 1.5 的法向直接太阳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

(ISO 9845-1:2022, IDT)

(征求意见稿)

(完成时间 2026. 4. 10)

-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 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 .....	1
引言 .....	3
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 应用光谱数据推导有效太阳辐照度和太阳光谱加权值 .....	2
5 验证 .....	3
6 标准光谱辐照度 .....	3
7 附属光谱辐照度 .....	4
附录 A（资料性）生成标准光谱辐射的 SMARTS 配置 .....	5
附录 B（资料性）标准光谱辐照度曲线 .....	7
附录 C（资料性）生成附属光谱辐射的 SMARTS 配置 .....	8
参考文献 .....	10

## 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编写规则》的规定起草。

本文件等同采用 ISO 9845-1:2022 (E)《太阳能 在地面不同接收条件下的太阳光谱辐照度标准 第 1 部分：大气质量 1.5 的法向直接太阳辐照度和半球向辐照度》。

本文件替代 GB/T 17683.1-1999《太阳能 在地面不同接收条件下的太阳光谱辐照度标准 第 1 部分：大气质量 1.5 的法向直接太阳日射辐照度和半球向日射辐照度》。相比 GB/T 17683.1-1999，本文件的主要变化如下：

—删除了 ISO 前言；

—修改了前言和引言；

—光谱范围扩展为 280 nm 至 4000 nm；

—光谱分辨率提高至 2002 个波长，280 nm~400 nm 间隔 0.5 nm，400 nm~1700 nm 间隔 1 nm，1700 nm~1702 nm 间隔 2 nm，1702 nm~1705 nm 间隔 3 nm，1705 nm~4000 nm 间隔 5 nm；

—以 SMARTS（大气辐射传输简单模型）代替 BRITE 蒙特卡罗辐射传输模型，SMARTS2.9.2 用于计算标准光谱，SMARTS2.9.5 用于计算附属光谱；

—增加了附属光谱，按不同海拔高度、不同大气污染程度、不同大气湿度分为 9 种气溶胶大气模式，每种模式倾斜面从 0°~90°以 5°为间隔，共 19 个倾斜面角度的半球向太阳光谱辐照度。

本文件的某些内容可能涉及专利权。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(TC402)提出并归口。

本文件起草单位：中国气象局气象探测中心、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、国网甘肃省电力公司、云南省气象服务中心、合肥中科光博量子科技有限公司、华云升达（北京）气象科技有限责任公司、中环天仪（天津）气象仪器有限公司、邯郸市耘农智慧农业科技有限公司、佐格微系统（杭州）有限公司、杭州浅海科技有限责任公司、西安乐驰科技有限公司、湖南省气象技术装备中心、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、航天新气象科技有限公司、中国气象局公共气象服务中心、中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所。

本文件主要起草人：吕文华、杜波、周宇昊、方佳言、赵军、赵娟、吴国栋、田永丽、张帅、张弛、马剑哲、吴法太、诸葛杰、童海明、王辰、曹善桥、田启明、边泽强、刘达新、杨洁、刘猛、王黎明、崇伟、孙立新、乌日柴胡、王豫、周璐、孔德同、罗昆、李旭光、叶丛雷、牛浩明、彭启洋、王军飞、张晓军、温会英、张志鼎。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

本文件1999年为首次发布，本次为第一次修订。

# 引 言

ISO 9845-1:1992 作为太阳标准光谱辐照度数据标准,于 1992 年 10 月发布,迄今已经实施 30 多年,一直是地面上太阳能量吸收、反射和透射参数研究的参考标准。1999 年,该标准被等效采用为国家标准 GB/T-17683.1-1999,《太阳能 在地面不同接收条件下的太阳光谱辐照度标准 第 1 部分:大气质量 1.5 的法向直接太阳日射辐照度和半球向日射辐照度》,至今未进行修订。

2015 年 4 月,中国国家标准化管理委员会(SAC)正式向国际标准化组织(ISO)太阳能标准化技术委员会(TC180)秘书处提交承担 ISO 9845-1:1992 国际标准修订工作。同年 7 月,在 ISO/TC180/SC1 会议上讨论了修订 ISO 9845-1 的相关问题。之后经过多次讨论,并于 2019 年一致同意在半球倾斜入射的角度、海拔高度、不同气溶胶,SMART 模型算法等方面进行修订。2022 年 8 月 ISO 9845-1:1992 的修订版本 ISO 9845-1:2022 正式发布。

本文件光谱参照 IEC 60904-3:2016 和 ASTM G173-03:2020 标准中的条件,标准光谱为定义在大气质量 1.5,  $5.8^\circ$  视场角和  $37^\circ$  倾斜面与轻质沙质土壤相对应的地面反照率下的法向直接太阳直接射光谱辐照度和半球向太阳光谱辐照度。

附属光谱参照 IEC 60904-3:2016 规定气溶胶大气条件,海平面半清洁中等湿度、海平面半清洁高湿、海平面污染中等湿度、海平面重度污染中等湿度、海平面污染高湿、高海拔清洁干燥、高海拔半清洁干燥、高海拔污染干燥大气 9 种气溶胶大气模式,每种模式倾斜面从  $0^\circ\sim 90^\circ$  以  $5^\circ$  为间隔,共 19 个倾斜面角度的半球向太阳光谱辐照度。

。

# 太阳能 在地面不同接收条件下的太阳光谱辐照度标准 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

## 1 范围

本文件提供了大气质量1.5，理想晴朗天空条件下，视场角为5.8°的法向直接太阳辐照度和面向赤道37°倾斜平面上的半球向辐照度标准光谱和171个不同气溶胶大气条件下、不同倾斜面半球向辐照度附属光谱。

本文件适用于确定法向直接或半球向辐照度分量的光热、光伏和其他系统、组件和材料的相对性能及标准光谱辐照度的太阳能应用。

标准光谱和代表不同气溶胶大气条件的附属光谱辐照度在<https://standards.iso.org/iso/9845/-1/ed-2/en/>中以.xls格式文件提供。

注：附属光谱9种不同气溶胶大气模式中，其中1个按IEC 60904-3:2016规定条件。

## 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

**大气质量** air mass (AM)

实际海平面观测点的太阳光线大气路径长度与海平面上太阳位于正上方时的太阳光线大气路径长度的比值。

### 3.2

**法向直接太阳辐照度** direct solar irradiance

接收平面垂直于以太阳圆盘为中心的立体角轴时，接收器表面上从以太阳圆盘为中心的小立体角接收的辐射通量与该表面面积的比值（单位： $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ）。

[来源：ISO 9488:2022，3.2.28，有修改]。

### 3.3

**半球向太阳辐照度** hemispherical solar irradiance

给定平面接收器表面从上方 $2\pi$ 球面度接收的太阳辐射通量与该表面面积的比值（单位： $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ）。

注1：应指定表面的倾斜角度和方位角，例如水平方向。

注2：半球向辐照度的例子是全球辐照度和在太阳能收集器平面内接收的辐照度[阵列平面（POA）辐照度]，也称为“倾斜面全太阳辐照度”。

[来源：ISO 9488:2022, 3.2.29]

### 3.4

#### 太阳光谱辐照度 $E_\lambda$ spectral solar irradiance

指定波长下每单位波长间隔的太阳辐照度（单位： $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$ ）。

[来源：ISO 9488:2022, 3.2.32, 有修改。]

## 4 应用光谱数据推导有效太阳辐照度和太阳光谱加权值

### 4.1 光谱修正全太阳辐照度

如果 $R_\lambda$ 是一个器件与波长相关的特性（如响应度、透射率、反射比、吸收比等）， $E_\lambda$ 表示太阳光谱辐照度，则可在280 nm~4000 nm波长范围内，用 $E_\lambda$ 和 $R_\lambda$ 乘积的积分计算出该器件经光谱特性加权的有效太阳辐照度 $G_s$ 。

$$G_s = \int_{280\text{nm}}^{4000\text{nm}} R_\lambda E_\lambda d\lambda \quad (1)$$

### 4.2 太阳光谱加权特性

如果能有效地应用全太阳光谱，则在一般情况下，可用下式计算光谱特性 $R_\lambda$ <sup>[1]</sup>的平均值 $R_s$ 。

$$R_s = \frac{\int_{280\text{nm}}^{4000\text{nm}} R_\lambda E_\lambda d\lambda}{\int_{280\text{nm}}^{4000\text{nm}} E_\lambda d\lambda} \quad (2)$$

由于光谱特性和光谱辐照度通常为离散值，因此积分应作为求和进行，式(1)和式(2)分别变为：

$$G_s = \sum_{i=1}^N R_{\lambda_i} E_{\lambda_i} \Delta\lambda_i \quad (3)$$

和

$$R_s = \frac{G_s}{\sum_{i=1}^N E_{\lambda_i} \Delta\lambda_i} \quad (4)$$

式中， $\lambda_i$ 为N个已知光谱数据点的第*i*个波长。该值表示求和的实际极限。

### 4.3 辐照度积分

使用下式改进的梯形积分计算辐照度积分值 $G(0 \rightarrow \lambda_i)$ ：

$$G(0 \rightarrow \lambda_i) = G(0 \rightarrow \lambda_j) + \sum_{j=1}^{i-1} \frac{E(\lambda_j) + E(\lambda_{j+1})}{2} \Delta\lambda_j \quad (5)$$

其中,  $\Delta\lambda_j = \lambda_{j+1} - \lambda_j$ ;

$G(0 \rightarrow \lambda_1)$  是光谱表中波长小于第一个波长的贡献, 该值估计为第一梯形面积间隔的一半:

$$G(0 \rightarrow \lambda_1) = \frac{1}{2} \left( \frac{E(\lambda_2) + E(\lambda_1)}{2} \right) (\lambda_2 - \lambda_1) \quad (6)$$

同理, 波长大于光谱表中最后一个波长  $\lambda_N$  的辐照度  $G(\lambda_N \rightarrow \infty)$  根据式 (7) 估算。

$$G(\lambda_N \rightarrow \infty) = \frac{1}{2} \left( \frac{E(\lambda_N) + E(\lambda_{N-1})}{2} \right) (\lambda_N - \lambda_{N-1}) \quad (7)$$

得出由式 (8) 给出的太阳辐照度的表达式。

$$G(0 \rightarrow \infty) = G(0 \rightarrow \lambda_N) + G(\lambda_N \rightarrow \infty) \quad (8)$$

## 5 验证

在此给出的是  $5.8^\circ$  视场角的法向直接太阳辐照度, 大致相当于直接辐射表的敞开角, 在该视场范围内直接辐射表除接收太阳发出辐射外还包括了来自太阳周围一小部分天空的散射辐射。对于本文件中使用的大气模型, 这种太阳周围的散射辐射将使测量的太阳直接辐照度增加千分之几。SMARTS 模式计算表明: 在以小气溶胶颗粒为主要组分的各种乡村气溶胶晴朗天空和相对较低的太阳天顶角条件下,  $2.5^\circ$  至  $2.9^\circ$  的半敞开角中散射辐射所占比例小于太阳直接辐射的 1% (世界气象组织目前对半敞开角的建议为  $2.5^\circ$ )。

在 280 nm~4000 nm 波长范围内, SMARTS 模式给出的数据已通过实验得到充分验证。在各种太阳几何形状和大气条件下, SMARTS 模式生成的标准太阳光谱辐射数据与实测数据均一致。SMARTS 2.9.2 和 MODTRAN4 在紫外线区域最大差异为 5%。大气传输模式计算结果的几乎所有差异均可追溯到分子吸收系数的差异。

本文件中不考虑单个异常光谱值 (例如由不适当的遮挡引起的)。

## 6 标准光谱辐照度

### 6.1 SMART 模式代码

标准太阳光谱辐照度数据由 SMARTS (2.9.2 版) 参照附录 A 中的表 A.1 中给出的参数条件计算得到。

大气辐射简单传输模型 SMARTS (Simple Model of the Atmospheric Radiative Transfer of Sunshine) 是以 Fortran 代码编写, 可用于预测入射到地球表面任何几何体表面的太阳直接、散射和半球辐照度。除了预测常规应用所需的辐照度外, 还可用于模拟辐射计 (如光谱辐射计、日射强度计或日射强度仪) 测量的光谱或宽带辐照度。SMARTS 用户可以根据任何标准大气或指定条件进行模拟, 用户还可以指定一个或多个时间点或太阳几何图形的输出。

### 6.2 光谱数据表

#### 6.2.1 标准光谱

标准太阳光谱分布见 <https://standards.iso.org/iso/9845/-1/ed-2/en/>, 分别为:

- 以太阳为中心的5.8°视场角的法向直接光谱辐照度；
  - 在倾斜角37°的平面上的半球向太阳光谱辐照度。
- 法向直接光谱辐照度和半球向光谱辐照度的曲线图见附录B中的图B.1。

## 6.2.2 法向辐照度

文件给出的法向直接辐照度的波长范围为280 nm~4000 nm。

## 6.2.3 半球向辐照度

半球向太阳光谱辐照度入射在与水平面倾斜37°的向日平面上，波长范围为280 nm~4000 nm。

## 6.2.4 光谱数据表

数据表中给出的光谱数据为大气质量1.5条件，法向直接辐照度为以太阳为中心的5.8°视场角条件。

## 6.3 光谱数据表列

6.3.1 第1列：波长 $\lambda_i$ ，单位 nm

6.3.2 第2列：垂直于太阳入射光线平面的，视场角 5.8°的法向直接辐照度(单位： $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$ )。

6.3.3 第3列：垂直于太阳入射光线表面的，视场角 5.8°的法向直接辐照度从 280 nm 到此行波长的积分(单位： $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ )，见公式(5)。

6.3.4 第4列：入射在面向赤道 37°倾斜平面上的半球向光谱辐照度(单位： $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$ )。

6.3.5 第5列：入射在面向赤道的 37°倾斜平面上的半球向太阳辐照度，从 280 nm 到此行波长的积分(单位： $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ )，见公式(5)。

标准光谱数据以一个.xls格式文件提供，该文件位于 <https://standards.iso.org/iso/9845/-1/ed-2/en/>

## 7 附属光谱辐照度

附属光谱辐照度数据是参照附录C中的表C.1中规定的条件，以SMARTS(2.9.5)计算生成不同气溶胶大气条件下的半球向光谱辐射数据表。

在每种气溶胶大气条件下，均生成倾斜角度从0°~90°以5°为步长变化的半球向光谱辐射数据，附属光谱提供有9种不同气溶胶大气模式，每个模式下有19个倾斜角，总共有171个半球向辐照度光谱。

附属光谱以一个.xls格式提供，该文件位于 <https://standards.iso.org/iso/9845/-1/ed-2/en/>

## 附录 A

(资料性)

## 生成标准光谱辐射的 SMARTS 配置

SMARTS 2.9.2模式需要以下表A.1中的输入数据来生成本文件中包含的标准太阳光谱辐照度分布。Card ID 12c的值是模式最终结果输出选择为以直接光谱辐照度分布和半球向光谱辐照度分布。

以下条件用于计算文件中的标准光谱：

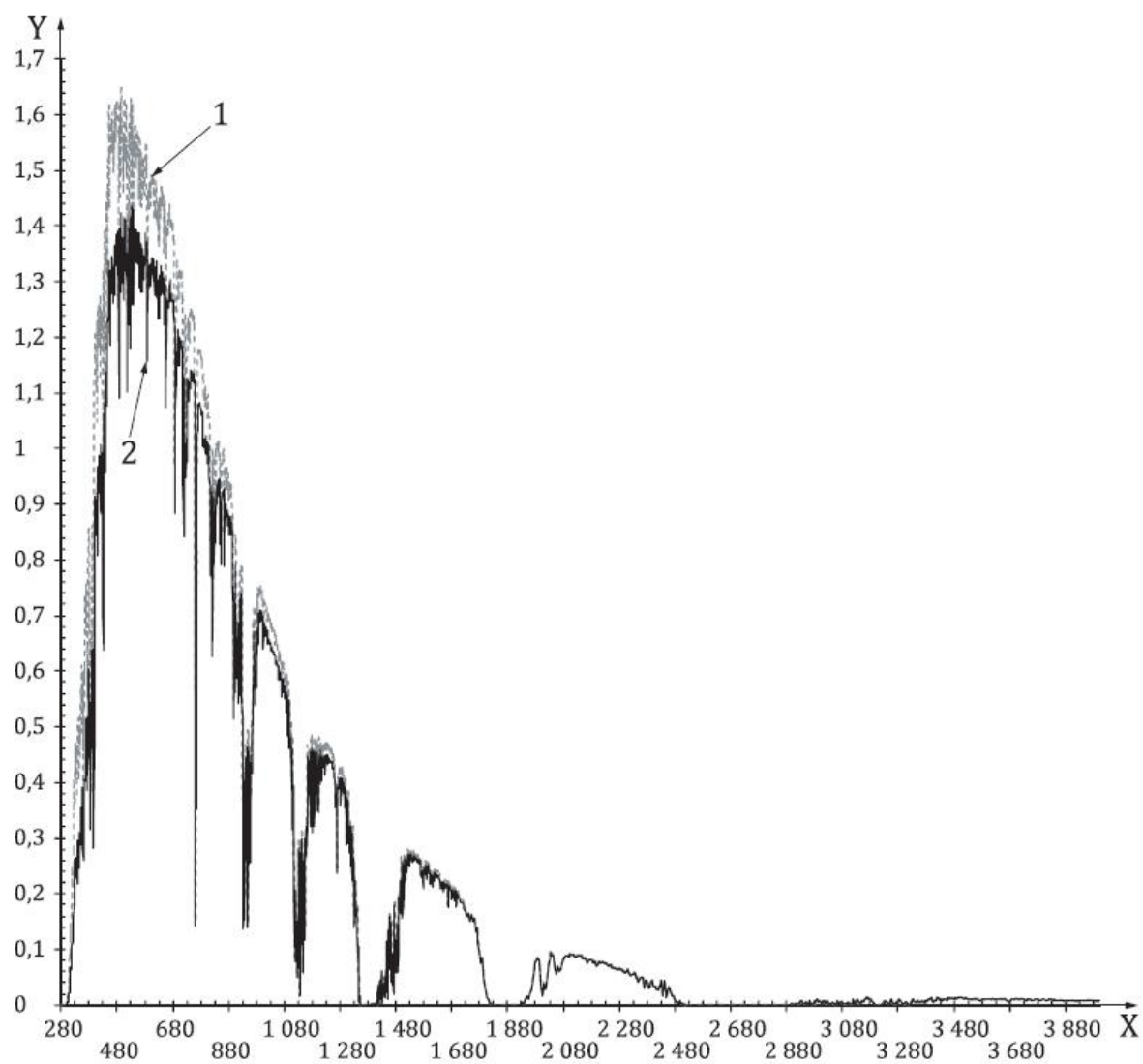
- 轻质沙质土壤波长相关反照率。
- 1976年美国乡村气溶胶标准大气模型生成的数据，该标准大气是大气温度、压力和密度的假设垂直分布，大致代表全年中纬度条件。
- 气压：1013.25 hPa（海平面）。
- 降水量是根据标准大气和海拔高度计算得出，臭氧含量来自标准大气。
- 浑浊度（气溶胶光学深度）：500 nm时为0.084。
- 光谱范围从280 nm到4000 nm，距离校正系数为1。
- 太阳常数取历史值1367 W/m<sup>2</sup>。
- 标准大气的CO<sub>2</sub>浓度取370 ppmv，为没有污染的乡村气溶胶模型。
- 接收器几何角度，视场角，限制半角取(0 2.9 0)。

表 A.1 - 生成标准太阳光谱辐照度 SMARTS 2.9.2 模式输入文件

Card ID	所用值	参数/说明/变量名称
1	ISO 9845-1-202(x)	Header
2	1	Pressure input mode (1 = pressure and altitude): ISPR
2a	1013.25 0.	Station Pressure (mb) and altitude (km): SPR, ALT
3	1	Standard Atmosphere Profile Selection (1 = use default atmosphere): IATM1
3a	'USSA'	Default Standard Atmosphere Profile: ATM
4	1	Water Vapor Input (0 = Specify Precipitable Water ): IH2O
5	1	Ozone Calculation (1 = default from Atmospheric Profile): IO3
6	1	Pollution level mode (1 = standard conditions/no pollution): IGAS
7	370	Carbon Dioxide volume mixing ratio (ppm): qCO2
7a	1	Extraterrestrial Spectrum ((1 = SMARTS/Gueymard):ISPCTR
8	'S&F_RURAL'	Aerosol Profile to Use: AEROS
9	0	Specification for aerosol optical depth (AOD)/turbidity input (0 = AOD at 500 nm): ITURB
9a	0.084	Aerosol Optical Depth at 500 nm: TAU5
10	38	Far field Spectral Albedo file to use (38= Light Sandy Soil): IALBDX
10b	1	Specify tilt calculation (1 = yes): ITILT
10c	38 37 180	Albedo and Tilt variables-Albedo file to use for near field, Tilt, and Azimuth: IALBDG, TILT, WAZIM
11	280 4000 1,0 1367,0	Wavelength Range-start, stop, mean radius vector correction, integrated solar spectrum irradiance: WLMN, WLMX, SUNCOR, SOLARC
12	2	Separate spectral output file print mode (2 = yes): IPRT
12a	280 4000 ,5	Output file wavelength-Print limits, start, stop, minimum step size: WPMN, WPMX, INTVL
12b	2	Number of output variables to print: IOTOT

Card ID	所用值	参数/说明/变量名称
12c	8 9	Code relating output variables to print (8 = Global tilted tilt, 9 = Experimental direct normal irradiance (with circumsolar): OUT(8), OUT(9))
13	1	Circumsolar calculation mode (1 = yes): ICIRC
13a	0 2.9 0	Receiver geometry-Slope, View, Limit half angles: SLOPE, APERT, LIMIT
14	0	Smooth function mode (0 = none): ISCAN
15	0	Illuminance calculation mode (0 = none): ILLUM
16	0	UV calculation mode (0 = none): IUUV
17	2	Solar Geometry mode (2 = Air Mass): IMASS
17a	1.5	Air mass value: AMASS

附录 B  
(资料性)  
标准光谱辐射辐照度曲线



X 波长 (nm)

Y 太阳光谱辐照度 ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$ )

标准光谱:

1 半球向光谱辐照度

2 法向直接光谱辐照度

图B.1 使用SMARTS 2.9.2模式计算的法向直接光谱辐照度(实线)曲线和 $37^\circ$ 倾斜面上的半球向光谱辐照度(虚线)曲线,输入文件参数见表A.1

## 附录 C

(资料性)

## 生成附属光谱辐射的 SMARTS 配置

本文件中包含的附属太阳光谱辐照度以SMARTS 2.9.5模式表C.1的参数为输入数据，附属光谱以一个.xls格式文件提供，该文件位于<https://standards.iso.org/iso/9845/-1/ed-2/en/>

表C.1 生成附属太阳光谱辐照度的SMARTS 2.9.5模式输入文件

说明: XXXXXXX 附属半球向光谱辐照度									
光谱条件	参照 IEC 60904-3	半清洁中等 湿度海平面	半清洁潮湿 海平面	污染中等湿 度海平面	灰尘中等湿 度海平面	污染潮湿海 平面	清洁干燥高 海拔	半清洁干燥 高海拔	污染干燥高 海拔
Name	RefIEC	SemClmedH um	SemCl Hum	HazMed Hum	Dusty MedHum	HazHum	ClDryHi	SemCl DryHi	Haz DryHi
Card ID	参数项及取值								
1	ISO 9845-1-sub-2021								
2	1								
2a	1013.25 0.	1013.25 0.	1013.25 0.	1013.25 0.	1013.25 0.	1013.25 0.	843.5 1,5	843.5 1,5	854.95 1,5
3	1								
3a	'USSA'	'USSA'	'TRL'	'USSA'	'STS'	'TRL'	'MLW'	'MLW'	'STW'
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4a		1.416	4.115	1.416	1.416	4.115	0.708	0.708	0.708
5	1								
6	1								
7	370								
7a	1								
8	'S&F_ RURAL'	'S&F_ RURAL'	'S&F_ RURAL'	'S&F_ RURAL'	DESERT_ MAX'	'S&F_ RURAL'	'S&F_ RURAL'	'S&F_ RURAL'	'S&F_ RURAL'
9	0								
9a	0.084	0.27	0.27	0.54	0.54	0.54	0.084	0.27	0.54
10	38	38	38	38	27	38	38	38	38
10b	1								
10c	(0,5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80,85,90) 38 180				27 (0,5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80,85,90) 180		(0,5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80,85,90) 38 180		
11	280 4000 1,0 1361,2								
12	2								
12a	280 4000 ,5								
12b	1								
12c	8								
13	1								
13a	1 2.5 4								

14	0
15	0
16	0
17	2
17a	1.5

## 参 考 文 献

- [1] ISO 9488, Solar energy — Vocabulary
- [2] IEC 60904-3:2019, *Photovoltaic devices— Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data*
- [3] CIE S 017/E: 2020 ILV: International Lighting Vocabulary (2nd Edition)
- [4] ASTM G173–03(2020), Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface
- [5] Jessen Wilko, Wilbert Stefan, Gueymard Christian A., Polo Jesús, Bian Zeqiang, Driesse Anton, Habte Aron, Marzo Aitor, Armstrong Peter R., Vignola Frank, Ramírez Lourdes 2018. Proposal and evaluation of subordinate standard solar irradiance spectra for applications in solar energy systems', *Solar Energy*, 168: 30-43.
- [6] World Meteorological Organization Guide to Meteorological instruments and Methods of Observation, No 8, 2018 edition, WMO, Geneva, 2018.
- [7] CIE 241-2020, Recommended Reference Solar Spectra for Industrial Applications, (2020).
- [8] SMARTS code, version 2.9.5 For Windows USER'S MANUAL, (2006).
- [9] SMARTS code, version 2.9.2 For Windows USER'S MANUAL, (2003).
- [10] 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*, 110: 561-77.
- [11] Myers D.R., Emery, K. Gueymard, C. Revising and Validating Spectral Irradiance Reference Standards for Photovoltaic Performance Evaluation. Asme Solar: International Solar Energy Conference American Society of Mechanical Engineers, 2002.
- [12] Gueymard C., Parameterized Transmittance Model for Direct Beam and Circumsolar Spectral Irradiance", *Solar Energy* 71, pp. 325-346, 2001.
- [13] Gueymard C., The SMARTS spectral irradiance model after 25 years: New developments and validation of reference spectra." *Solar Energy* 187, pp. 233–253, 2019.
- [14] Gueymard C., Parameterized Transmittance Model for Direct Beam and Circumsolar Spectral Irradiance", *Solar Energy*, Vol. 71, No. 5, pp. 325-346, 2001.
- [15] Gueymard C. "SMARTS, A Simple Model of the Atmospheric Radiative Transfer of Sunshine: Algorithms and Performance Assessment". Professional Paper FSEC-PF-270-95. Florida Solar Energy Center, 1679 Clearlake Road, Cocoa, FL 32922, 1995.