



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 37525—2019

---

## 太阳直接辐射计算导则

Calculation guideline for solar direct radiation

2019-06-04 发布

2020-01-01 实施

---

国家市场监督管理总局  
中国国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言 .....	I
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 符号 .....	4
5 计算方法 .....	5
6 计算结果检验 .....	7
附录 A (资料性附录) 地外太阳辐射计算方法 .....	9
附录 B (规范性附录) 水平面直接辐射与法向直接辐射之间的转换 .....	12
附录 C (资料性附录) 太阳直接辐射检验指标计算方法 .....	14
参考文献 .....	15

订单号: 0113191024185651 防伪编号: 2019-1024-0158-2786-1923 购买单位: 客户单位: 中国气象局

客户单位: 中国气象局 专用

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国气象局提出。

本标准由全国气候与气候变化标准化技术委员会风能太阳能气候资源分技术委员会(SAC/TC 540/SC 2)归口。

本标准起草单位:中国气象局公共气象服务中心、中国气象局风能太阳能资源中心。

本标准主要起草人:申彦波、张悦、王香云、赵晓栋。

客户单位: 中国气象局 专用

订单号: 0113191024185651 防伪编号: 2019-1024-0158-2786-1923 购买单位: 客户单位: 中国气象局

客户单位: 中国气象局 专用

# 太阳直接辐射计算导则

## 1 范围

本标准给出了太阳直接辐射计算的基本原则,不同条件下的计算方法和适用范围,以及对计算结果的检验要求。

本标准适用于水平面直接辐射和法向直接辐射的计算。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅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。

GB/T 33698—2017 太阳能资源测量 直接辐射

GB/T 34325—2017 太阳能资源数据准确性评判方法

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 直接辐射 **direct radiation**

从日面及其周围一小立体角内发出的辐射。

[GB/T 31163—2014,定义 5.11]

注:一般来说,直接辐射是由视场角约为 $5^\circ$ 的仪器测定的,而日面本身的视场角仅约为 $0.5^\circ$ ,因此,它包括日面周围的部分散射辐射,即环日辐射。

### 3.2

#### 法向直接辐射 **direct normal radiation**

与太阳光线垂直的平面上接收到的直接辐射。

[GB/T 31163—2014,定义 5.12]

注:从数值上而言,直接辐射与法向直接辐射是相同的;两者的区别在于,直接辐射是从太阳出射的角度而定义,法向直接辐射则是从地表入射的角度而定义。

### 3.3

#### 水平面直接辐射 **direct horizontal radiation**

水平面上接收到的直接辐射。

[GB/T 31163—2014,定义 5.13]

### 3.4

#### 散射辐射 **diffuse radiation; scattering radiation**

太阳辐射被空气分子、云和空气中的各种微粒分散成无方向性的、但不改变其单色组成的辐射。

[GB/T 31163—2014,定义 5.14]

### 3.5

#### [水平面]总辐射 **global [horizontal] radiation**

水平面从上方 $2\pi$ 立体角(半球)范围内接收到的直接辐射和散射辐射之和。

注：改写 GB/T 31163—2014，定义 5.15。

3.6

**地外太阳辐射 extraterrestrial solar radiation**

地球大气层外的太阳辐射。

[GB/T 31163—2014，定义 5.3]

3.7

**辐照度 irradiance**

物体在单位时间、单位面积上接收到的辐射能。

注：单位为瓦每平方米( $W/m^2$ )。

[GB/T 31163—2014，定义 6.3]

3.8

**辐照量 irradiation**

**曝辐量 radiance exposure**

在给定时间段内辐照度的积分总量。

注 1：单位为兆焦每平方米( $MJ/m^2$ )或千瓦时每平方米( $kW \cdot h/m^2$ )。

注 2： $1 kW \cdot h/m^2 = 3.6 MJ/m^2$ ； $1 MJ/m^2 \approx 0.28 kW \cdot h/m^2$ 。

注 3：改写 GB/T 31163—2014，定义 6.5。

3.9

**法向直接辐照度 direct normal irradiance**

与太阳光线垂直的平面上单位时间、单位面积上接收到的直接辐射能。

注：单位为瓦每平方米( $W/m^2$ )。

3.10

**法向直接辐照量 direct normal irradiation**

在给定时间段内法向直接辐照度的积分总量。

注：单位为兆焦每平方米( $MJ/m^2$ )或千瓦时每平方米( $kW \cdot h/m^2$ )。

3.11

**水平面直接辐照度 direct horizontal irradiance**

水平面上单位时间、单位面积上接收到的直接辐射能。

注：单位为瓦每平方米( $W/m^2$ )。

3.12

**水平面直接辐照量 direct horizontal irradiation**

在给定时间段内水平面直接辐照度的积分总量。

注：单位为兆焦每平方米( $MJ/m^2$ )或千瓦时每平方米( $kW \cdot h/m^2$ )。

3.13

**[水平面] 散射辐照度 diffuse horizontal irradiance; scattered horizontal irradiance**

水平面从上方  $2\pi$  立体角(半球)范围内单位时间、单位面积上接收到的散射辐射能。

注：单位为瓦每平方米( $W/m^2$ )。

3.14

**[水平面] 散射辐照量 diffuse horizontal irradiation; scattered horizontal irradiation**

在给定时间段内水平面散射辐照度的积分总量。

注：单位为兆焦每平方米( $MJ/m^2$ )或千瓦时每平方米( $kW \cdot h/m^2$ )。

3.15

**[水平面] 总辐照度 global [horizontal] irradiance**

水平面从上方  $2\pi$  立体角(半球)范围内单位时间、单位面积上接收到的总辐射能。

注：单位为瓦每平方米( $\text{W}/\text{m}^2$ )。

## 3.16

[水平面]总辐照量 **global [horizontal] irradiation**

在给定时间段内水平面总辐照度的积分总量。

注：单位为兆焦每平方米( $\text{MJ}/\text{m}^2$ )或千瓦时每平方米( $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ )。

## 3.17

地外法向太阳辐照度 **extraterrestrial normal solar irradiance**

地球大气层外与太阳光线垂直的平面上单位时间、单位面积上接收到的太阳辐射能。

注：单位为瓦每平方米( $\text{W}/\text{m}^2$ )。

## 3.18

地外法向太阳辐照量 **extraterrestrial normal solar irradiation**

在给定时间段内地外法向太阳辐照度的积分总量。

注：单位为兆焦每平方米( $\text{MJ}/\text{m}^2$ )或千瓦时每平方米( $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ )。

## 3.19

地外水平面太阳辐照度 **extraterrestrial horizontal solar irradiance**

地球大气层外水平面从上方  $2\pi$  立体角(半球)范围内单位时间、单位面积上接收到的太阳辐射能。

注：单位为瓦每平方米( $\text{W}/\text{m}^2$ )。

## 3.20

地外水平面太阳辐照量 **extraterrestrial horizontal solar irradiation**

在给定时间段内地外水平面太阳辐照度的积分总量。

注：单位为兆焦每平方米( $\text{MJ}/\text{m}^2$ )或千瓦时每平方米( $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ )。

## 3.21

日照时数 **sunshine duration**

$H$

在一给定时间,太阳直接辐照度达到或超过  $120 \text{ W}/\text{m}^2$  的各段时间总和。

注：单位为小时(h)。

## 3.22

可照时数 **duration of possible sunshine**

$H_0$

在无任何遮蔽条件下,太阳中心从某地东方地平线到进入西方地平线,其光线照射到地面所经历的时间。

注 1: 可照时数完全决定于当地的地理纬度和日期。

注 2: 可照时数的基本计量时间段为日,月和年的可照时数以日值进行累计,单位为小时(h)。

注 3: 改写 GB/T 31163—2014,定义 6.13。

## 3.23

日照百分率 **sunshine percentage**

$s$

日照时数占可照时数的百分比。

[GB/T 31163—2014,定义 6.14]

注：以百分数(%)表示。

## 3.24

晴空指数 **clearness index**

$k_T$

总辐射与地外水平面太阳辐射的比值。

## 3.25

**直散分离 decomposed global radiation into direct horizontal radiation and diffuse radiation**

采用某种方法将总辐射分解为水平面直接辐射和散射辐射的过程。

## 3.26

**太阳常数 solar constant**

$E_0$

大气层外日地平均距离处单位时间内通过与太阳辐射束垂直的单位平面上的太阳辐射通量。

注：太阳常数并非严格的物理常数，世界气象组织 1981 年发布的太阳常数为  $1\ 367\ \text{W/m}^2 \pm 7\ \text{W/m}^2$ ，QX/T 368—2016 给出的太阳常数是  $1\ 366.1\ \text{W/m}^2$ 。

## 3.27

**透射比 transmittance**

面元透射的辐射通量与入射到面元的辐射通量之比。

[GB/T 31163—2014, 定义 4.10]

## 4 符号

下列符号适用于本文件。

$DHI$ : 某时刻的瞬时水平面直接辐照度, 单位为瓦每平方米( $\text{W/m}^2$ )。

$\overline{DHI}$ : 某一段时间的平均水平面直接辐照度, 单位为瓦每平方米( $\text{W/m}^2$ )。

$DHR$ : 某一段时间的水平面直接辐照量, 单位为兆焦每平方米( $\text{MJ/m}^2$ )。

$DIF$ : 某时刻的瞬时水平面散射辐照度, 单位为瓦每平方米( $\text{W/m}^2$ )。

$\overline{DIF}$ : 某一段时间的平均水平面散射辐照度, 单位为瓦每平方米( $\text{W/m}^2$ )。

$DIFR$ : 某一段时间的水平面散射辐照量, 单位为兆焦每平方米( $\text{MJ/m}^2$ )。

$DNI$ : 某时刻的瞬时法向直接辐照度, 单位为瓦每平方米( $\text{W/m}^2$ )。

$\overline{DNI}$ : 某一段时间的平均法向直接辐照度, 单位为瓦每平方米( $\text{W/m}^2$ )。

$DNR$ : 某一段时间的法向直接辐照量, 单位为兆焦每平方米( $\text{MJ/m}^2$ )。

$EDNI$ : 某时刻的地外法向太阳辐照度, 单位为瓦每平方米( $\text{W/m}^2$ ), 计算方法参见附录 A。

$EDNR$ : 某一段时间的地外法向太阳辐照量, 单位为兆焦每平方米( $\text{MJ/m}^2$ ), 计算方法参见附录 A。

$EHI$ : 某时刻的瞬时地外水平面太阳辐照度, 单位为瓦每平方米( $\text{W/m}^2$ ), 计算方法参见附录 A。

$EHR$ : 某一段时间的地外水平面太阳辐照量, 单位为兆焦每平方米( $\text{MJ/m}^2$ ), 计算方法参见附录 A。

$EHR_d$ : 日地外水平面太阳辐照量, 单位为兆焦每平方米( $\text{MJ/m}^2$ ), 计算方法参见附录 A。

$EHR_h$ : 小时地外水平面太阳辐照量, 单位为兆焦每平方米( $\text{MJ/m}^2$ ), 计算方法参见附录 A。

$GHI$ : 某时刻的瞬时水平面总辐照度, 单位为瓦每平方米( $\text{W/m}^2$ )。

$\overline{GHI}$ : 某一段时间的平均水平面总辐照度, 单位为瓦每平方米( $\text{W/m}^2$ )。

$GHR$ : 某一段时间的水平面总辐照量, 单位为兆焦每平方米( $\text{MJ/m}^2$ )。

$MAE$ : 绝对误差。

$MRE$ : 相对误差。

$RMSE$ : 均方根误差。

$R$ : 相关系数。



## 5 计算方法

### 5.1 基本原则

有法向直接辐射观测数据时,按照附录 B 中式(B.1)计算某一时刻的水平面直接辐照度。在缺少直接辐射实测数据时,根据应用需求和相关实测数据的情况,选择合适的计算方法,在满足需求的前提下,尽可能降低计算误差。

### 5.2 具备太阳辐射实测数据时的计算方法

#### 5.2.1 具备总辐射和散射辐射实测数据时的计算方法

##### 5.2.1.1 基本思路

根据总辐射、散射辐射和水平面直接辐射之间的物理关系,计算水平面直接辐射和法向直接辐射。

##### 5.2.1.2 使用要求

只有在总辐射和散射辐射的实测数据具备分钟或小时值时,才能用于计算 $\overline{DNI}$ 和 $DNR$ ;如果总辐射和散射辐射的实测数据仅有日值、月值或年值,只能用于计算 $DHI$ 和 $DHR$ ,不能用于计算 $\overline{DNI}$ 和 $DNR$ 。

##### 5.2.1.3 $DHI$ 计算方法

$$\begin{aligned} DHI &= GHI - DIF && \dots\dots\dots(1) \\ \overline{DHI} &= \overline{GHI} - \overline{DIF} && \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

##### 5.2.1.4 $DNI$ 计算方法

按照附录 B 计算  $DNI$  或 $\overline{DNI}$ ,其中  $DHI$  基于式(1)计算得到, $\overline{DHI}$ 基于式(2)计算得到。

##### 5.2.1.5 $DHR$ 和 $DNR$ 计算方法

按照附录 B 中式(B.2)计算  $DHR$ ,其中  $DHI$  基于式(1)计算得到, $\overline{DHI}$ 基于式(2)计算得到;按照附录 B 中式(B.3)计算  $DNR$ ,其中  $DNI$  或 $\overline{DNI}$ 基于 5.2.1.4 计算得到。

#### 5.2.2 具备总辐射实测数据时的计算方法

##### 5.2.2.1 基本思路

将总辐射进行直散分离,得到散射辐射,进而计算水平面直接辐射和法向直接辐射。

##### 5.2.2.2 使用要求

式(4)仅适用于计算小时散射辐射,在此基础上可计算小时水平面直接辐射和小时法向直接辐射;对于日、月时间尺度的散射辐射,需另外建立经验关系(参见文献[6]),并在此基础上计算相应时间尺度的水平面直接辐射。

##### 5.2.2.3 $DIF$ 计算方法

由总辐射计算散射辐射,以晴空指数法为例,见式(3)。

$$DIF = GHI \cdot f(k_T) \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

$k_T$  ——晴空指数,即总辐射与地外水平面太阳辐射的比值;

$f(k_T)$  ——散射辐射与晴空指数的经验关系,对于小时平均的散射辐照度,宜采用式(4)中的方法,且计算中  $GHI$  也应采用小时平均辐照度。

$$f(k_T) = \begin{cases} a_1 - a_2 \cdot k_T & 0 \leq k_T < 0.35 \\ a_3 - a_4 \cdot k_T & 0.35 \leq k_T \leq 0.75 \\ a_5 & k_T > 0.75 \end{cases} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

$a_1 \sim a_5$  ——经验系数,在参考文献[6]中的取值分别为 1.0、0.249、1.557、1.84、0.177。实际应用中,可根据周边有气候代表性的气象站的实测总辐射和散射辐射数据进行拟合确定。此外,式(4)中的分段临界值 0.35 和 0.75,亦属于经验取值,可根据当地的实际拟合方程进行调整。

### 5.2.2.4 DHI 和 DNI、DHR 和 DNR 计算方法

根据 5.2.1 的方法,计算  $DHI$  和  $DNI$ ,以及  $DHR$  和  $DNR$ ,其中  $GHI$  基于实测得到, $DIF$  基于式(3)计算得到。

## 5.3 不具备太阳辐射实测数据时的计算方法

### 5.3.1 气候学统计方法

#### 5.3.1.1 基本思路

根据气候学原理,建立  $DHR$  和  $DNR$  与地面观测的相关气象要素的统计关系,获得水平面直接辐射和法向直接辐射。

#### 5.3.1.2 使用要求

气候学统计方法只适用于计算月或更长时间尺度的  $DHR$  和  $DNR$ ,以及相应时段平均的  $\overline{DHI}$  和  $\overline{DNI}$ 。式(5)~式(8),若用于计算月时间尺度的水平面直接辐照量和法向直接辐照量,则  $DHR$ 、 $DNR$ 、 $EHR$  和  $EDNR$  均为月辐照量;若用于计算年时间尺度的水平面直接辐照量和法向直接辐照量,则  $DHR$ 、 $DNR$ 、 $EHR$  和  $EDNR$  均为年辐照量。

#### 5.3.1.3 DHR 和 DNR 计算方法

$$DHR = EHR \cdot f(s) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$DNR = f(DHR) \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中:

$f(s)$  ——水平面直接辐射与日照百分率的经验关系,宜采用参考文献[2]中的方法,如式(7)所示;

$f(DHR)$  ——法向直接辐射与水平面直接辐射的经验关系,宜采用参考文献[2]中的方法,如式(8)所示。

$$f(s) = a_6 s^2 + a_7 s + a_8 \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$f(DHR) = a_9 \left( \frac{DHR}{EHR} \right)^{a_{10}} \cdot EDNR^{a_{11}} \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中：

$a_6 \sim a_{11}$ ——经验系数，可根据周边有气候代表性的气象站的实测直接辐射和日照百分率数据进行拟合确定。

#### 5.3.1.4 $\overline{DHI}$ 和 $\overline{DNI}$ 计算方法

根据附录 B 中式(B.2)和式(B.3)，分别计算相应时段平均的 $\overline{DHI}$ 和 $\overline{DNI}$ ，其中  $DHR$  和  $DNR$  基于 5.3.1.3 计算得到。

### 5.3.2 物理反演方法

#### 5.3.2.1 基本思路

根据辐射传输原理，对大气层中影响直接辐射的因子分别建立参数化方程，逐步计算到达地表的法向直接辐射，进而计算水平面直接辐射。

#### 5.3.2.2 使用要求

适用于计算瞬时、分钟或小时平均的法向直接辐照度和水平面直接辐照度，以及相应时段的法向直接辐照量和水平面直接辐照量，对于日平均值(日总量)、月平均值(月总量)、年平均值(年总量)，则只需将计算结果进行相应时段的平均(累加)即可。

#### 5.3.2.3 $DNI$ 计算方法

$DNI$  的计算方法如式(9)所示。

$$DNI = EDNI \cdot \tau_r \cdot \tau_{OZ} \cdot \tau_g \cdot \tau_w \cdot \tau_a \cdot \tau_c \dots\dots\dots(9)$$

式中：

- $\tau_r$  —— 瑞利散射透射比；
- $\tau_{OZ}$  —— 臭氧吸收透射比；
- $\tau_g$  —— 混合气体和痕量气体吸收透射比；
- $\tau_w$  —— 水汽吸收透射比；
- $\tau_a$  —— 气溶胶散射和吸收透射比；
- $\tau_c$  —— 云的散射和吸收透射比。

$\tau_r, \tau_{OZ}, \tau_g, \tau_w, \tau_a, \tau_c$  的参数化方程可参考国外经典模型，如 Iqbal 模型、Bird 模型、SMARTS 模式等。各参数化方程的输入数据，当地面气象观测数据无法满足需求时，通常采用卫星遥感数据。

#### 5.3.2.4 $DHI$ 计算方法

按照附录 B 中式(B.1)计算  $DHI$ ，其中  $DNI$  基于式(9)计算得到。

#### 5.3.2.5 $DHR$ 和 $DNR$ 计算方法

按照附录 B 中式(B.2)计算  $DHR$ ，其中  $DHI$  基于 5.3.2.4 计算得到；按照式(B.3)计算  $DNR$ ，其中  $DNI$  基于式(9)计算得到。

## 6 计算结果检验

### 6.1 原则和方法

按照 GB/T 34325—2017 给出的原则和方法，对太阳直接辐射计算结果的准确性进行检验，给出误

差分析结果。

## 6.2 参照值要求

计算结果检验以实测数据为参照值,参照值应符合 GB/T 33698—2017 的要求,且宜包含不同季节、不同天气状态的有效数据。

## 6.3 检验数据要求

检验目标值与参考值之间应满足相同辐射要素、相同统计类型、相同时段和相近区域的要求。

## 6.4 检验指标

评判计算结果准确性的指标包括绝对误差(MAE)、相对误差(MRE)、均方根误差(RMSE)、相关系数( $R$ ),各指标的计算方法分别参见附录 C 中式(C.1)、式(C.2)、式(C.3)和式(C.4)。相关系数计算时,数据样本量应不小于 12,且相关系数应通过统计显著性检验。

附录 A  
(资料性附录)  
地外太阳辐射计算方法

A.1 地外法向太阳辐射

A.1.1 地外法向太阳辐照度

当地球与太阳的距离为日地平均距离时,地外法向太阳辐照度即太阳常数;其他时刻,地外法向太阳辐照度则要将太阳常数经日地距离订正后计算得到,近似计算见式(A.1)。

$$EDNI = E_0 \cdot \left( 1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$E_0$ ——太阳常数,单位为瓦每平方米( $W/m^2$ ),按照 QX/T 368—2016 取  $1\ 366.1\ W/m^2$ ;

$n$ ——积日,日期在一年的序数。

A.1.2 地外法向太阳辐照量

一段时间的地外法向太阳辐照量  $EDNR$  是将  $EDNI$  乘以时间即可得到。若时间的单位为秒(s),则  $EDNR$  的单位为焦每平方米( $J/m^2$ ),可除以  $10^6$  转换为兆焦每平方米( $MJ/m^2$ );若时间的单位为小时(h),则  $EDNR$  的单位为瓦时每平方米( $W \cdot h/m^2$ ),可除以  $10^3$  转换为千瓦时每平方米( $kW \cdot h/m^2$ )。

A.2 地外水平面太阳辐射

A.2.1 瞬时地外水平面太阳辐照度

计算见式(A.2)。

$$EHI = EDNI \cdot (\cos\phi \cos\delta \cos\omega + \sin\phi \sin\delta) \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

$\phi$ ——纬度,单位为度( $^\circ$ ),  $-90 \leq \phi \leq 90$ ;

$\delta$ ——太阳赤纬,单位为度( $^\circ$ ),  $-23.45 \leq \delta \leq 23.45$ ,计算见式(A.3);

$\omega$ ——时角,上午为正、下午为负,单位为度( $^\circ$ ),计算见式(A.4)。

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right) \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

$n$ ——同式(A.1)。

$$\omega = (T_T - 12) \cdot 15 \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

$T_T$ ——真太阳时,单位为小时(h),计算见式(A.5)。

$$T_T = C_T + L_C + E_Q \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

$C_T$ ——地方标准时,单位为小时(h),在中国区域即北京时;

中国气象局 客户单位: 购买单位: 2019-1024-0158-2786-1923 防伪编号: 0113191024185651 订单号: 0113191024185651

$L_C$  —— 经度订正值,单位为小时(h),在中国区域,计算见式(A.6);

$E_Q$  —— 时差值,在中国区域,可通过查表 A.1 求得,并将表中的分钟数值转换为小时。

$$L_C = 4 \cdot (L_g - 120) / 60 \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

$L_g$  —— 经度,单位为度(°)。

表 A.1 时差  $E_Q$  表(经度为 120°E,1992 年,12 时 0 分)

单位为分

日期		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
平年	闰年												
1		-2	-13	-13	-5	3	3	-3	-7	-1	10	16	11
2	1	-3	-13	-13	-4	3	2	-4	-7	-0	10	16	11
3	2	-3	-13	-13	-4	3	2	-4	-7	-0	11	16	10
4	3	-4	-13	-12	-4	3	2	-4	-6	0	11	16	10
5	4	-4	-14	-12	-3	3	2	-4	-6	1	11	16	10
6	5	-5	-14	-12	-3	3	2	-4	-6	1	12	16	9
7	6	-5	-14	-12	-3	4	2	-4	-6	1	12	16	9
8	7	-5	-14	-12	-3	4	1	-5	-6	2	12	16	8
9	8	-6	-14	-11	-2	4	1	-5	-6	2	13	16	8
10	9	-6	-14	-11	-2	4	1	-5	-6	2	13	16	8
11	10	-7	-14	-11	-2	4	1	-5	-6	3	13	16	7
12	11	-7	-14	-11	-1	4	1	-5	-6	3	13	16	7
13	12	-7	-14	-10	-1	4	1	-5	-6	3	14	16	6
14	13	-8	-14	-10	-1	4	0	-6	-5	4	14	16	6
15	14	-8	-14	-10	-1	4	0	-6	-5	4	14	15	5
16	15	-9	-14	-10	0	4	0	-6	-5	5	14	15	5
17	16	-9	-14	-9	0	4	0	-6	-5	5	15	15	5
18	17	-9	-14	-9	0	4	-1	-6	-5	5	15	15	4
19	18	-10	-14	-9	0	4	-1	-6	-4	6	15	15	4
20	19	-10	-14	-8	1	4	-1	-6	-4	6	15	14	3
21	20	-10	-14	-8	1	4	-1	-6	-4	6	15	14	3
22	21	-11	-14	-8	1	4	-1	-6	-4	7	15	14	2
23	22	-11	-14	-8	1	4	-2	-6	-3	7	16	14	2
24	23	-11	-14	-7	2	4	-2	-7	-3	8	16	13	1
25	24	-11	-14	-7	2	3	-2	-7	-3	8	16	13	1
26	25	-12	-13	-7	2	3	-2	-7	-3	8	16	13	0
27	26	-12	-13	-6	2	3	-2	-7	-2	9	16	12	-0
28	27	-12	-13	-6	2	3	-3	-7	-2	9	16	12	-1
29	28	-12	-13	-6	3	3	-3	-7	-2	10	16	12	-1
30	29	-13		-5	3	3	-3	-7	-1	10	16	11	-1
31	30	-13		-5	3	3	-3	-7	-1	10	16	11	-2
	31			-5		3		-7	-1		16		-2

用月份、日期查表,闰年1、2月份与平年同,从3月1日开始查闰年一行。

一般情况,即不符合1992年、12时、120°E的条件,查此表时,最大误差不大于1 min。

A.2.2 小时地外水平面太阳辐照量

计算见式(A.7)。

$$EHR_h = \frac{12 \cdot 3600}{\pi} \cdot EDNI \cdot \left[ \cos\phi \cos\delta (\sin\omega_2 - \sin\omega_1) + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin\phi \sin\delta \right] \cdot 10^{-6} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中：

$\phi$  ——同式(A.2)；

$\delta$  ——同式(A.2)；

$\omega_1, \omega_2$  ——所计算时间段的起、止时角,  $\omega_2 > \omega_1$ , 单位为度(°)。

A.2.3 日地外水平面太阳辐照量

计算见式(A.8)。

$$EHR_d = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} \cdot EDNI \cdot \left[ \cos\phi \cos\delta \sin\omega_s + \frac{\pi\omega_s}{180} \sin\phi \sin\delta \right] \cdot 10^{-6} \dots\dots\dots (A.8)$$

式中：

$\phi$  ——同式(A.2)；

$\delta$  ——同式(A.2)；

$\omega_s$  ——日落时刻的时角, 单位为度(°), 计算见式(A.9)。

$$\cos\omega_s = -\frac{\sin\phi \sin\delta}{\cos\phi \cos\delta} = -\tan\phi \tan\delta \dots\dots\dots (A.9)$$

A.2.4 月地外水平面太阳辐照量

可将当月逐日辐照量累计求和得到, 也可近似采用当月代表日的日辐照量乘以当月日数表示, 15°N 与 55°N 之间区域的各月代表日如表 A.2 所示。

表 A.2 15°N 与 55°N 之间区域的各月代表日

北纬/(°N)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
55	18	15	16	15	15	10	17	16	15	16	14	11
50	17	15	16	15	15	10	17	16	16	16	15	11
45	18	15	16	15	15	10	17	17	16	16	15	11
40	17	15	16	15	15	10	17	17	16	16	15	11
35	17	15	16	15	15	10	17	17	16	16	15	11
30	17	15	16	15	15	9	17	17	16	16	15	11
25	17	15	16	15	14	8	18	17	16	16	15	11
20	17	15	16	15	12	19	18	17	16	16	15	11
15	17	15	15	14	22	13	19	18	16	16	15	11

附录 B

(规范性附录)

水平面直接辐射与法向直接辐射之间的转换

B.1 物理关系

水平面直接辐射和法向直接辐射之间的物理关系如图 B.1 所示。

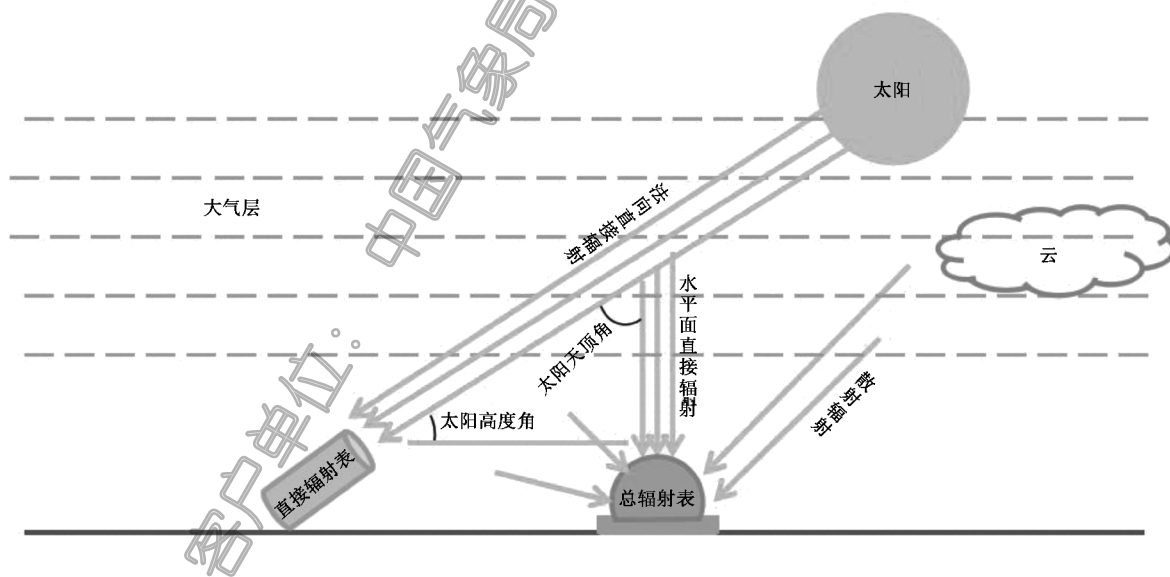


图 B.1 水平面直接辐射和法向直接辐射的物理关系示意图

B.2 转换关系

水平面直接辐射和法向直接辐射之间的转换关系如以下所示：

$$DHI = DNI \cdot \sin H_A = DNI \cdot \cos \theta_z \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

$$DHR = \int_0^t DHI \cdot dt \cdot 10^{-6} \approx \overline{DHI} \cdot t \cdot 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

$$DNR = \int_0^t DNI \cdot dt \cdot 10^{-6} \approx \overline{DNI} \cdot t \cdot 10^{-6} \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

$H_A$  —— 太阳高度角, 单位为度( $^{\circ}$ )；

$\theta_z$  —— 太阳天顶角, 单位为度( $^{\circ}$ ),  $H_A$  与  $\theta_z$  的转换关系见式(B.4)；

$t$  —— 时间, 单位为秒(s)。

$$\theta_z = 90 - H_A \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

B.3 使用要求

式(B.1)理论上适用于瞬时水平面直接辐照度与法向直接辐照度之间的转换, 相应时刻的太阳高度

订购号: 0113191024185651 防伪编号: 2019-1024-0158-2786-1923 购买单位: 客户单位: 中国气象局



角或天顶角是确定值；实际工作中，式(B.1)多被应用于分钟平均或小时平均的水平面直接辐照度与法向直接辐照度之间的转换，这种情况下，太阳高度角或天顶角通常取中间时刻的值近似计算；对于更长时间，如日平均、月平均或年平均的水平面直接辐照度与法向直接辐照度，则不能采用式(B.1)进行转换。

客户单位：中国气象局 专用

附录 C

(资料性附录)

太阳直接辐射检验指标计算方法

C.1 绝对误差

绝对误差是所计算的太阳直接辐射与参照值之差的绝对值的平均值,是反映两者之间差距的量。绝对误差越小,所计算的太阳直接辐射准确性越高。计算见式(C.1):

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |V_{1,i} - V_{2,i}| \quad \dots\dots\dots(C.1)$$

式中:

- N —— 计算时段内样本数;
- i —— 第 i 个样本;
- V<sub>1,i</sub> —— 第 i 个计算值样本;
- V<sub>2,i</sub> —— 第 i 个参照值样本。

C.2 相对误差

相对误差是反映所计算的太阳直接辐射与参照值之差相对于参照值的比率,以百分比(%)表示。平均相对误差越小,所计算的太阳直接辐射准确性越高。计算见式(C.2):

$$MRE = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|V_{1,i} - V_{2,i}|}{V_{2,i}} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(C.2)$$

C.3 均方根误差

均方根误差是反映所计算的太阳直接辐射与参照值之间离散程度的量。均方根误差越小,所计算的太阳直接辐射准确性越高。计算见式(C.3):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V_{1,i} - V_{2,i})^2}{N}} \quad \dots\dots\dots(C.3)$$

C.4 相关系数

相关系数是反映所计算的太阳直接辐射与参照值之间相关程度的量。相关系数越大,所计算的太阳直接辐射准确性越高。计算见式(C.4):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N [(V_{1,i} - \bar{V}_1)(V_{2,i} - \bar{V}_2)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (V_{1,i} - \bar{V}_1)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (V_{2,i} - \bar{V}_2)^2}} \quad \dots\dots\dots(C.4)$$

式中:

- $\bar{V}_1$  —— 计算时段内所有计算样本的平均值;
- $\bar{V}_2$  —— 计算时段内所有参照值样本的平均值。

订购号: 0113191024185651 防伪编号: 2019-1024-0158-2786-1923 购买单位: 客户单位: 中国气象局

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 31163—2014 太阳能资源术语
- [2] QX/T 368—2016 太阳常数和零大气质量下太阳光谱辐照度
- [3] 祝昌汉. 我国直接辐射的计算方法及分布特征[J]. 太阳能学报, 1985, 6(1):1-11.
- [4] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [5] Bird, R. E. A simple spectral model for direct normal and diffuse horizontal irradiance [J]. Solar Energy, 1984, 32:461-471.
- [6] Gueymard C. SMARTS2, A simple model of the atmospheric Radiative and Transfer of Sunshine: Algorithms and performance assessment [M]. Publication Number: FSEC-PF-270-95. Florida Solar Energy Center, 1995.
- [7] Orgill, J. F. and K. G. T. Hollands. Correlation Equation for Hourly Diffuse Radiation on a Horizontal Surface [J]. Solar Energy, 1977, 19:357-362.
- [8] Iqbal M. An introduction to Solar radiation [M], Toronto: Academic Press, 1983.

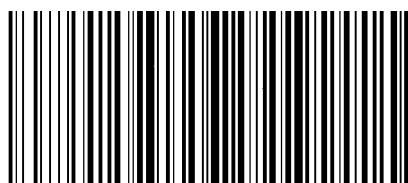
客户单位: 中国气象局 专用

 **版权声明**

中国标准在线服务网(www.spc.org.cn)是中国标准出版社委托北京标科网络技术有限公司负责运营销售正版标准资源的网络服务平台,本网站所有标准资源均已获得国内外相关版权方的合法授权。未经授权,严禁任何单位、组织及个人对标准文本进行复制、发行、销售、传播和翻译出版等违法行为。版权所有,违者必究!

中国标准在线服务网  
<http://www.spc.org.cn>

标准号: GB/T 37525-2019  
购买者: 客户单位: 中国气象局  
订单号: 0113191024185651  
防伪号: 2019-1024-0158-2786-1923  
时 间: 2019-10-24  
定 价: 28元



GB/T 37525-2019

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准

太阳直接辐射计算导则

GB/T 37525—2019

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.spc.org.cn

服务热线: 400-168-0010

2019年5月第一版

\*

书号: 155066·1-62589

版权专有 侵权必究