

太阳能资源计算与评估方法

1 范围

本文件规定了太阳能资源数据收集、数据处理、代表年数据订正、太阳能资源参数计算方法以及太阳能资源评估方法。

本文件适用于内蒙古自治区太阳能资源计算与评估工作。可供能源、建筑、气象、电力、农业等领域以及科研院所、高校、企业等相关部门使用。

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 31163-2014 太阳能资源术语
- GB/T 31156-2014 太阳能资源测量 总辐射
- GB/T 33698-2017 太阳能资源测量 直接辐射
- GB/T 33699-2017 太阳能资源测量 散射辐射
- GB/T 37526-2019 太阳能资源评估方法
- GB/T 37525-2019 太阳直接辐射计算导则
- GB/T 34325-2017 太阳能资源数据准确性评判方法
- GB/T 31155-2014 太阳能资源等级 总辐射
- GB/T 33677-2017 太阳能资源等级 直接辐射
- GB/T 35231-2017 地面气象观测规范 辐射
- QX/T 117-2010 地面气象辐射观测资料质量控制
- QX/T 535-2020 气候资料统计方法 地面气象辐射

3 术语和定义

GB/T 31163-2014界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地外太阳辐射 extraterrestrial solar radiation

地球大气层外的太阳辐射。

[来源：GB/T 31163-2014，定义5.3]

注：过去常用天文辐射表征地球大气层外的太阳辐射，GB/T 31163-2014不推荐使用。

3.2

[水平面]总辐射 global [horizontal] radiation

水平面从上方 2π 立体角（半球）范围内接收到的直接辐射和散射辐射之和。

[来源：GB/T 37526-2019，定义3.5]

3.3

直接辐射 direct radiation

从日面及其周围一小立体角内发出的辐射。

[来源: GB/T 31163-2014, 定义5.11]

3.4

散射辐射 diffuse 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。

[来源: GB/T 31163-2014, 定义5.14]

3.5

辐照量 irradiation

在给定时间段内辐照度的积分总量。

[来源: GB/T 37526-2019, 定义3.8]

注: 过去常用曝辐[射]量表示, 目前太阳能资源领域不推荐使用。

3.6

日照 sunshine

大于或等于 $120\text{W}/\text{m}^2$ 的直射辐照度。

[来源: GB/T 31163-2014, 定义6.11]

3.7

日照时数 sunshine duration

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

[来源: GB/T 37526-2019, 定义3.21]

3.8

可照时数 duration of possible sunshine

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。

[来源: GB/T 37526-2019, 定义3.22]

3.9

日照百分率 percentage of sunshine

日照时数占可照时数的百分比。

[来源: GB/T 31163-2014, 定义6.14]

3.10

峰值日照时数 peak sunshine hours

折算成标准辐照度下的日照时间。

[来源: 来源: GB/T 31163-2014, 定义6.15]

4 数据收集

4.1 数据要求

4.1.1 辐射要素

应包应包括水平面总辐射, 宜包括法向直接辐射、水平面直接辐射、散射辐射、日照时数、日照百分率。

4.1.2 太阳能资源观测

太阳能资源实测数据的观测站在站址选择、测量仪器、运行维护等方面应执行GB/T 31156-2014、GB/T 33698-2017、GB/T 33699-2017、GB/T 35231-2017的规定。

4.1.3 数据代表性

4.1.3.1 太阳能资源数据地理位置与评估目标位置应属于同一气候区，地形应无明显差异，距离不宜超过 100km。

4.1.3.2 太阳能资源数据应能够反映最近 10 年以上的太阳能资源变化特征，至少应包括太阳能资源各要素的逐月数据，宜包括逐日、逐时或逐分钟数据。

4.2 短期实测数据

4.2.1 应收集评估目标位置附近观测时间在 1 年以上、10 年以下的太阳能资源实测数据，太阳能资源各要素观测时长应连续且不少于 1 个完整年。

4.2.2 数据质量应符合 QX/T 117-2010 的要求，数据记录应至少包括小时值，且有效数据完整率应不低于 95%，连续缺测时间不得超过 3 天。

4.3 长序列数据

4.3.1 应收集或计算可代表评估目标位置水平面总辐射、水平面直接辐射和散射辐射的长序列数据，至少包括近 10 年以上逐年数据和逐月数据。

4.3.2 长序列数据质量应符合 GB/T 34325-2017 中 4.2 的要求，月值数据有效完整率应达到 100%。

4.3.3 长序列数据时间序列应在 30 年以上为宜，特殊情况下达不到要求时，应至少收集近 10 年数据。

4.3.4 具体应用中，应参照 GB/T 37526-2019 中 6.3.2 的规定，按照国家级辐射站长序列实测数据、参证气象站长序列计算数据、格点化长序列计算数据的优先级顺序选择使用。

5 数据处理

5.1 短期实测数据验证

5.1.1 完整性检验

5.1.1.1 数量

数据数量应等于预期的数据数量。

5.1.1.2 时间顺序

数据的时间顺序应符合预期开始、结束时间，中间应连续。

5.1.2 合理性检验

5.1.2.1 太阳能资源数据合理性检查方法应参照 GB/T 37526-2019 中附录 A 的规定，从气候学界限值、内部一致性、变化范围 3 个方面对数据合理性进行检验。

5.1.2.2 数据合理性检验参考指标如下：

- a) 总辐射最大辐照度 $< 2000\text{W}/\text{m}^2$ 。
- b) 日总辐射辐照量 $<$ 可能的日总辐射辐照量，见附录 A。
- c) 依据月地外水平面太阳辐照量对实测月总辐照量的合理性进行判断，实测月总辐照量不应大于月地外水平面太阳辐照量。

- d) 月日照时数应小于月可照时数，见附录 A。
- e) 每年日照时数的年变化应基本符合历史平均的年变化，如有差异较大的月份，应查找其逐日日照时数，以确定是否存在缺测或不合理数据。

5.1.3 不合理和缺测数据处理

不合理和缺测数据的处理过程应在计算之前进行说明，处理方法如下：

- a) 检验后列出所有不合理的数据和缺测的数据及其发生的时间。
- b) 对不合理数据再次进行判别，挑选出符合实际情况的有效数据，回归原始数据组。
- c) 将备用或可供参考的同期记录数据，经过分析处理，替换已确认为无效的数据或填补缺测的数据。
- d) 若没有备用或可供参考的同期记录数据，则从实测数据序列中选择与缺测时刻最近、天气现象相同、有实测数据的时刻进行数据插补。
- e) 缺测数据插补方法参照 GB/T 37526-2019 中 6.2.3.2 的规定执行。

5.1.4 有效数据的完整率

现场测光年有效数据完整率应达到95%，按如下公式计算：

$$\text{有效数据完整率} = \frac{\text{应测数目} - \text{缺测数目} - \text{无效数据数目}}{\text{应测数目}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

应测数目——测量期间小时数；

缺测数目——没有记录到的小时平均值数目；

无效数据数目——确认为不合理的小时平均值数目。

5.1.5 验证结果

经过各种检验，剔除无效数据，替换为有效数据，整理出至少连续一年的现场辐射观测站逐小时总辐射数据，并注明这套数据的有效数据完整率。

编写数据验证报告，对确认为无效数据的原因应注明，替换的数值应注明来源。

5.2 长序列数据验证

5.2.1 国家级辐射站长序列实测数据

5.2.1.1 地面气象辐射观测资料应满足 QX/T 117-2010 规定的的数据质量控制要求。

5.2.1.2 地面气象辐射气候资料统计应按照 QX/T 535-2020 规定的方法执行。

5.2.2 参证气象站长序列计算数据

5.2.2.1 若评估目标附近无符合要求的国家级辐射观测站，则可将附近达到空间代表性要求的、具备日照时数的气象观测站作为参证站，根据其记录的长序列日照百分率数据计算逐月水平面总辐射。

5.2.2.2 应满足 GB/T 34325-2017 中 4.2 的要求，并说明其计算误差，误差计算方法参见 GB/T 34325-2017 中的 4.3。

5.2.3 格点化长序列计算数据

5.2.3.1 基于卫星遥感、数值模拟或其他方法，计算得到一定区域内的格点化长序列太阳辐射数据。推荐采用起伏地形下太阳辐射计算方法。

5.2.3.2 应满足 GB/T 34325-2017 中 4.2 的要求，并说明其计算误差，误差计算方法参见 GB/T 34325-2017 中的 4.3。

6 代表年数据订正

6.1 短期实测数据代表年订正

当评估目标附近具备现场短期实测数据时，将验证后的现场短期实测数据与同期的国家级辐射站观测资料作相关性分析，确定经验系数，将现场短期实测辐射资料订正为反映当地长期平均水平的太阳辐射数据。数据订正具体方法见附录B。

6.2 长序列数据代表年确定方法

采用GB/T 37526-2019中7.1的规定，确定长序列数据代表年。

6.3 数据订正结果

将订正后的太阳能资源数据处理成太阳能资源评估所需的各种参数，提出所在区域年平均和月平均太阳辐照量、工程要求面上的年总辐照量和月总辐照量等评估结果，分析太阳能资源各要素的年内月变化和各月典型日变化规律等，并绘制各种图表。

7 太阳能资源参数计算方法

7.1 地外太阳辐射

7.1.1 日地外水平面太阳辐照量

$$Q_n = \frac{TI_0}{\pi\rho^2} (\omega_0 \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \sin\omega_0) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Q_n ——日地外水平面太阳辐照量，单位为兆焦耳每平方米天(MJ/(m²·d))；

T ——时间周期为24×60×60s；

I_0 ——太阳常数为13.67×10⁻⁴，单位为兆焦耳每平方米秒(MJ/(m²·s))；

ρ ——日地距离系数，无量纲，其计算见附录C；

ϕ ——地理纬度，单位为弧度(rad)；

δ ——太阳赤纬，单位为弧度(rad)，其计算见附录C；

ω_0 ——日出、日落时角，单位为弧度(rad)，其计算见附录C。

7.1.2 月地外水平面太阳辐照量

$$Q_0 = \sum_{n=1}^M Q_n \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Q_n ——日地外水平面太阳辐照量，单位为兆焦耳每平方米天(MJ/(m²·d))，由(2)式计算；

M ——计算月的天数，如1月为31天。

7.2 月水平面太阳总辐照量

7.2.1 月水平面太阳总辐照量可用（4）式计算：

$$Q_M = \sum_{d=1}^M Q_d \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Q_M ——月水平面太阳总辐照量，单位为兆焦耳每平方米（MJ/m²）；

Q_d ——日太阳总辐照量观测值，单位为兆焦耳每平方米天（MJ/（m²·d））；

M ——计算月的天数，如1月为31天。

7.2.2 若评估目标附近无符合要求的国家级辐射观测站，可采用气候学方法进行推算，计算公式如下：

$$Q_M = Q_0(a + bS) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

Q_0 ——月地外水平面太阳辐照量，单位为兆焦耳每平方米（MJ/m²），由（3）式计算；

S ——月日照百分率，无量纲数，其计算见附录A；

a, b ——经验系数，无量纲数。根据计算点附近日射站观测资料，利用最小二乘法计算求出，计算方法见附录D。

7.3 水平面年太阳总辐射量

$$Q_Y = \sum_{M=1}^{12} Q_M \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Q_Y ——年太阳总辐照量，单位为兆焦耳每平方米年（MJ/（m²·a））；

Q_M ——月太阳总辐照量，单位为兆焦耳每平方米（MJ/m²）。

7.4 水平面直接辐照量和法向直接辐照量

水平面直接辐照量和法向直接辐照量计算方法应按照GB/T 37525-2019中第5章的规定执行。

7.5 倾斜面太阳总辐照量

倾斜面上的太阳总辐照量用（7）式计算：

$$Q_S = S_S + D_S + R_S \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Q_S ——倾斜面上的总辐射月辐照量，单位为兆焦耳每平方米（MJ/m²）；

S_S ——倾斜面上的直接辐射月辐照量，单位为兆焦耳每平方米（MJ/m²），见附录C；

D_S ——倾斜面上的散射辐射月辐照量，单位为兆焦耳每平方米（MJ/m²），见附录C；

R_S ——倾斜面上的反射辐射月辐照量，单位为兆焦耳每平方米（MJ/m²），见附录C。

7.6 峰值日照时数

峰值日照时数用（8）式计算：

$$T_p = Q/(1000 W/m^2) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

T_p ——一段时间的峰值日照时数；

Q ——一段时间的总辐照量，计算中需将单位转换为 kWh/m^2 。

7.7 起伏地形下太阳总辐照量计算方法

宜用于受复杂地形影响较大的山地或丘陵地貌区域，在气候学方法的计算结果上进行分布式模拟计算，按公式（9）进行计算：

$$Q_{\alpha\beta} = Q_{b\alpha\beta} + Q_{d\alpha\beta} + Q_{r\alpha\beta} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$Q_{\alpha\beta}$ ——起伏地形下太阳总辐照量，单位为兆焦耳每平方米 (MJ/m^2)；

$Q_{b\alpha\beta}$ ——起伏地形下太阳直接辐照量，单位为兆焦耳每平方米 (MJ/m^2)，见附录 E；

$Q_{d\alpha\beta}$ ——起伏地形下散射辐照量，单位为兆焦耳每平方米 (MJ/m^2)，见附录 E；

$Q_{r\alpha\beta}$ ——地形反射辐照量，单位为兆焦耳每平方米 (MJ/m^2)，见附录 E。

8 太阳能资源评估

8.1 太阳能资源（总辐射）等级

8.1.1 划分指标

采用太阳总辐射年辐照量、稳定度、直射比和日峰值日照时数作为太阳能资源（总辐射）等级划分指标。

8.1.2 太阳能资源丰富程度等级

采用代表年数据，计算评估目标的年水平面总辐照量，参照GB/T 31155-2014中4.2的划分标准，分为最丰富（A）、很丰富（B）、丰富（C）和一般（D）四个等级，划分标准见表1。

表 1 太阳能资源丰富程度等级

等级名称	分级阈值 $\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$	分级阈值 $\text{MJ}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$	等级符号
最丰富	$G \geq 1750$	$G \geq 6300$	A
很丰富	$1400 \leq G < 1750$	$5040 \leq G < 6300$	B
丰富	$1050 \leq G < 1400$	$3780 \leq G < 5040$	C
一般	$G < 1050$	$G < 3780$	D

注：G表示总辐射年辐照量，采用多年平均值（一般取30年平均）。

8.1.3 稳定度等级

采用代表年数据，参照GB/T 31155-2014中4.3的划分标准，分为很稳定（A）、稳定（B）、一般（C）和欠稳定（D）四个等级，划分标准见表2。

表 2 稳定度等级

等级名称	分级阈值	等级符号
------	------	------

等级名称	分级阈值	等级符号
很稳定	$R_w \geq 0.47$	A
稳定	$0.36 \leq R_w < 0.47$	B
一般	$0.28 \leq R_w < 0.36$	C
欠稳定	$R_w < 0.28$	D

注： R_w 表示稳定度，计算 R_w 时，首先计算总辐射各月平均日辐照量的多年平均值（一般取30年平均），然后求最小值与最大值之比。

8.1.4 直射比等级

采用代表年数据，参照GB/T 31155-2014中4.4的划分标准，分为很高（A）、高（B）、中（C）和低（D）四个等级，划分标准见表3。

表3 直射比等级

等级名称	分级阈值	等级符号	等级说明
很高	$R_D \geq 0.6$	A	直接辐射主导
高	$0.5 \leq R_D < 0.6$	B	直接辐射较多
中	$0.35 \leq R_D < 0.5$	C	散射辐射较多
低	$R_D < 0.35$	D	散射辐射主导

注： R_D 表示年直接辐射比，计算 R_D 时，首先计算水平面直接辐射和总辐射年辐照量的多年平均值（一般取30年平均），然后求二者之比。

8.1.5 日峰值日照时数等级

采用代表年数据，计算评估目标的日峰值日照时数，进行并网发电适宜程度评估，划分标准见表4。

表4 日峰值日照时数等级

并网发电适宜等级名称	分级阈值（单位：小时）	等级符号
很适宜	$T_p > 5.1$	A
适宜	$4.8 < T_p \leq 5.1$	B
较适宜	$3.8 < T_p \leq 4.8$	C
较差	$T_p \leq 3.8$	D

注： T_p 表示日峰值日照时数，采用多年平均值（一般取30年平均）。 T_p 值越大，说明一日可利用太阳能资源越多。

8.2 太阳能直接辐射资源等级

8.2.1 划分指标

采用年法向直接辐射辐照量、法向直接辐射稳定性和直射比作为太阳能直接辐射资源等级划分指标。

8.2.2 年法向直接辐射辐照量等级

采用代表年数据，参照GB/T 33677-2017中4.2的划分标准，分为一类资源区（A）、二类资源区（B）、三类资源区（C）和四类资源区（D）四个等级，划分标准见表5。

表5 年法向直接辐射辐照量等级

等级名称	分级阈值 $\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$	分级阈值 $\text{MJ}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$	等级符号
一类资源区	$H_{\text{DN}}\geq 1700$	$H_{\text{DN}}\geq 6120$	A
二类资源区	$1400\leq H_{\text{DN}}< 1700$	$5040\leq H_{\text{DN}}< 6120$	B
三类资源区	$1000\leq H_{\text{DN}}< 1400$	$3600\leq H_{\text{DN}}< 5040$	C
四类资源区	$H_{\text{DN}}< 1000$	$H_{\text{DN}}< 3600$	D

注： H_{DN} 表示年法向直接辐射辐照量，采用多年平均值（一般取30年平均）。

8.2.3 法向直接辐射稳定度等级

采用代表年数据，参照GB/T 33677-2017中4.3的划分标准，分为很稳定（A）、稳定（B）、一般（C）和欠稳定（D）四个等级，划分标准见表6。

表6 法向直接辐射稳定度等级

等级名称	分级阈值	等级符号
很稳定	$R_{\text{wd}}\geq 0.7$	A
稳定	$0.5\leq R_{\text{wd}}< 0.7$	B
一般	$0.3\leq R_{\text{wd}}< 0.5$	C
欠稳定	$R_{\text{wd}}< 0.3$	D

注： R_{wd} 表示太阳直接辐射稳定度，计算 R_{wd} 时，首先计算多年平均（一般取30年平均）的各月平均日法向直接辐射辐照量，然后求最小值与最大值之比。

8.2.4 直射比等级

应参照表3的划分标准进行直射比等级划分。

8.3 评估内容要求

8.3.1 区域太阳能资源分布特征

分析评估目标所在区域太阳能资源总体分布特征及主要成因。

8.3.2 日照时数和日照百分率变化特征

分析评估目标区域参证气象站的日照时数和日照百分率年际变化和年变化特征。

8.3.3 太阳能资源年际变化特征

利用近30年以上的长序列年值数据，分析太阳能资源各要素的年际变化特征，说明其总体变化趋势及其对当地太阳能资源开发利用的可能影响。

8.3.4 太阳能资源年变化特征

8.3.4.1 利用代表年逐月数据，分析太阳能资源各要素的年变化特征。

8.3.4.2 评估目标区域如有现场实测数据，则应分析实测年太阳能资源各要素的年变化特征和逐日最大辐照度的变化特征等。

8.3.5 太阳能资源日变化特征

评估目标区域如有现场实测数据，则应利用短期实测数据中的分钟值或小时值，分析太阳能资源各要素日变化特征，说明不同天气条件（晴天、多云、雾霾、沙尘、阴天、雨天等）下的辐照度随天气变化的特征和强度。

8.3.6 太阳能资源评价结论

8.3.6.1 太阳能资源（总辐射）评价结论包括但不限于：

- a) 太阳能资源丰富程度；
- b) 水平面总辐射稳定度等级；
- c) 直射比等级；
- d) 日峰值日照时数等级。

8.3.6.2 太阳能直接辐射资源评价结论包括但不限于：

- a) 年法向直接辐射辐照量等级；
- b) 法向直接辐射稳定度等级；
- c) 直射比等级。

8.3.6.3 应针对太阳能资源的不同利用方式（如光伏发电、光热发电），给出开发利用建议。

附 录 A
(资料性)
重要参数列表

A.1 可能的总辐射日辐照量

表 A.1 可能的总辐射日辐照量

单位为MJ·m⁻²·d⁻¹

北纬(°)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
90	0.0	0.0	0.2	14.0	30.7	36.6	33.3	18.1	3.3	0.0	0.0	0.0
85	0.0	0.0	1.0	14.3	30.6	36.1	32.9	18.4	4.3	0.0	0.0	0.0
80	0.0	0.0	2.9	15.1	30.1	35.4	32.2	18.7	6.0	0.6	0.0	0.0
75	0.0	0.8	5.6	16.4	29.5	34.4	31.0	19.4	8.2	1.9	0.0	0.0
70	0.0	2.2	8.5	18.4	28.8	33.0	29.9	20.5	10.6	3.8	0.7	0.0
65	1.0	3.9	11.3	20.4	28.7	32.1	29.5	26.2	13.3	6.1	1.9	0.3
60	2.5	6.1	13.9	22.5	29.2	32.2	30.0	23.5	15.8	8.5	3.6	1.6
55	4.4	8.7	16.4	24.3	30.2	32.8	30.8	25.2	18.1	11.0	5.7	3.0
50	6.8	11.5	18.7	26.0	31.1	33.3	31.7	26.8	20.2	13.6	8.1	5.6
45	9.4	14.5	21.6	27.4	31.9	33.6	32.1	28.3	22.2	14.4	10.9	8.2
40	12.4	17.2	23.0	28.5	32.4	33.7	33.0	29.0	23.9	18.5	13.6	11.1
35	15.0	19.6	24.8	29.4	32.6	33.6	33.1	30.1	25.4	20.6	16.0	13.7
30	17.5	21.7	26.2	30.0	32.6	33.3	32.9	30.6	26.8	22.6	18.4	16.1
25	19.8	23.6	27.3	30.3	32.2	32.8	32.5	30.7	27.9	24.4	20.6	18.4
20	21.8	25.2	28.3	30.3	31.6	32.0	31.7	30.6	28.7	26.0	22.6	20.7
15	23.7	26.6	29.1	30.1	30.8	30.9	30.8	30.3	29.4	27.2	24.4	22.6
10	25.4	27.8	29.7	29.8	29.7	29.5	29.6	29.8	29.8	28.2	26.0	24.6
5	27.7	28.7	30.1	29.4	28.5	28.0	28.3	29.0	29.9	29.1	27.5	26.4
0	28.4	29.4	30.2	28.7	27.1	26.4	26.8	28.2	29.8	29.7	28.7	28.0

A.2 内蒙古地区逐月的可照时数

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/386013201210010140>