

ICS 07.060  
CCS A 47



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 42766—2023

## 光伏发电太阳能资源评估规范

Specifications for solar energy resource assessment of photovoltaic power generation

2023-05-23 发布

2023-05-23 实施



扫描二维码  
获取标准信息详情

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 .....	I
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 评估内容 .....	1
5 水平面太阳能资源评估要求 .....	2
6 光伏阵列表面太阳能资源评估要求 .....	3
7 光伏发电高影响气象因素评估要求 .....	5
8 评估报告编制要求 .....	5
9 证实方法 .....	6
附录 A (规范性) 北半球不同纬度的水平面总辐照量各月典型日 .....	8
附录 B (资料性) 年辐照量概率保证值计算方法 .....	9
附录 C (资料性) 不同安装方式的光伏阵列表面总辐照量计算方法 .....	11
附录 D (资料性) 双面光伏组件背面接收的太阳辐射增加率计算方法 .....	14
参考文献 .....	15

## 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。

本文件由中国气象局提出。

本文件由全国气候与气候变化标准化技术委员会（SAC/TC 540）归口。

本文件起草单位：中国气象局公共气象服务中心、国华能源投资有限公司、通威太阳能（合肥）有限公司、中国大唐集团新能源科学技术研究院有限公司、特变电工新疆新能源股份有限公司、中国电建集团贵州电力设计研究院有限公司、成都信息工程大学、中国质量认证中心。

本文件主要起草人：申彦波、乌日柴胡、刘小奇、李伟、唐宏芬、张盛忠、李昌刚、苏志国、李春、马雪韵、汪婷婷、刘甜、季锐、张瑞、张宇、文小航、郑向阳。

# 光伏发电太阳能资源评估规范

## 1 范围

本文件规定了光伏发电太阳能资源评估的内容,水平面太阳能资源、光伏阵列表面太阳能资源、光伏发电高影响气象因素的评估要求和评估报告编制的要求,并描述了对应的证实方法。

本文件适用于各类光伏发电项目在规划、设计、后评估等阶段的太阳能资源计算、分析和评估。

## 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 31155—2014 太阳能资源等级 总辐射
- GB/T 31156—2014 太阳能资源测量 总辐射
- GB/T 37525—2019 太阳直接辐射计算导则
- GB/T 37526—2019 太阳能资源评估方法
- GB 50797—2012 光伏电站设计规范
- QX/T 436—2018 气候可行性论证规范 抗风参数计算
- QX/T 548—2020 太阳电池发电效率温度影响等级

## 3 术语和定义

GB/T 37526—2019 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**光伏阵列表面总辐射** total solar radiation on photovoltaic plane-of-array

光伏阵列表面接收到的直接辐射、散射辐射及下垫面反射辐射之和。

### 3.2

**代表年** representative meteorological year

**典型年** typical meteorological year

实际大气条件下,可代表光伏发电项目太阳能资源平均状况的一年。

### 3.3

**典型日** typical meteorological day

**代表日** representative meteorological day

理想大气条件下,水平面总辐照量与其所在月的平均日辐照量最接近的一日。

## 4 评估内容

光伏发电太阳能资源评估应包括三个方面,具体内容为:

- a) 水平面太阳能资源分析与评估,主要是对到达水平放置设备上的太阳辐射能量的测算、分析和

- 评价；
- b) 光伏阵列表面太阳能资源分析与评估,主要是对到达不同安装方式光伏阵列表面上的太阳辐射能量的测算、分析和评价；
  - c) 光伏发电高影响气象因素分析与评估,主要是对光伏发电项目建设和运行影响较大的气象因素的定量或定性分析和评价。

## 5 水平面太阳能资源评估要求

### 5.1 数据要求

#### 5.1.1 辐射要素

光伏发电项目所在地水平面太阳能资源分析的要素应包括水平面总辐射、水平面直接辐射、散射辐射。

#### 5.1.2 数据时间长度

5.1.2.1 应收集或计算可代表光伏发电项目所在地水平面太阳能资源长期变化状况的水平面总辐射、水平面直接辐射、散射辐射长序列数据,至少包括近 10 年以上逐年数据和逐月数据。

5.1.2.2 具体应用中,按照下列优先级顺序使用 GB/T 37526—2019 中 6.3 给出的 3 种长序列数据:

- a) 国家级辐射站长序列实测数据；
- b) 参证气象站长序列计算数据；
- c) 格点化长序列计算数据。

5.1.2.3 光伏发电项目应按照 GB/T 31156—2014 的要求建设气象观测站,获得一个完整年以上实测数据。

#### 5.2 数据计算和处理

在没有水平面直接辐射、散射辐射数据情况下,应按照 GB/T 37525—2019 中第 5 章计算得到。

按照 GB/T 37526—2019 中第 6 章和第 7 章对长序列和实测太阳能资源数据进行处理,获得光伏发电项目所在地水平面太阳能资源各要素代表年的逐月数据。

### 5.3 数据分析

#### 5.3.1 年际变化

利用近 10 年以上逐年数据,分析光伏发电项目所在地水平面太阳能资源各要素的年际变化特征,说明其年际变化情况。

#### 5.3.2 年变化

5.3.2.1 利用代表年逐月数据,分析光伏发电项目所在地水平面太阳能资源各要素的年变化特征,说明其全年 12 个月的变化情况。

5.3.2.2 如具备现场实测数据,应分析实测年光伏发电项目所在地水平面太阳能资源各要素的年变化特征,逐日最大辐照度的年变化特征等。

#### 5.3.3 日变化

如具备一个完整年以上现场实测数据,应分析实测年光伏发电项目所在纬度对应的各月典型日以及不同天气条件(晴天、多云、霾、沙尘、阴天、雨天等)下水平面太阳能资源各要素的日变化特征,说明辐

照度随天气变化的特征和程度。不同纬度的各月典型日按附录 A 选取。

#### 5.4 等级评价

利用代表年逐月数据,按照 GB/T 31155—2014 中第 4 章的指标和阈值,对光伏发电项目所在地水平面太阳能资源进行等级评价,内容应包括以下三方面:

- a) 太阳总辐射年辐照量等级;
- b) 稳定度等级;
- c) 直射比等级。

#### 5.5 变化范围

将年水平面总辐照量的近 10 年以上逐年数据与代表年的年数据进行对比,获得正负相对偏差的最大值,以此说明光伏发电项目建成运行后每年实际的水平面总辐照量可能的变化范围。

#### 5.6 概率保证值

以代表年的年水平面总辐照量作为 50% 概率保证下的基准值,利用近 10 年以上逐年数据,计算 90%、95%、99% 等不同概率保证下的年水平面总辐照量,作为不同情形下水平面太阳能资源评价参考。计算方法见附录 B。

### 6 光伏阵列表面太阳能资源评估要求

#### 6.1 数据要求

##### 6.1.1 辐射要素

光伏阵列表面太阳能资源分析的要素应包括光伏阵列表面总辐射、直接辐射、散射辐射和反射辐射。

##### 6.1.2 数据时间长度

6.1.2.1 应包括近 10 年以上光伏发电项目所在地的光伏阵列表面总辐射逐月数据和逐年数据,代表年光伏阵列表面总辐射逐月数据。

6.1.2.2 通过光伏发电项目所建的气象观测站,获得一个完整年以上光伏阵列表面总辐射实测数据。

#### 6.2 数据计算和处理

##### 6.2.1 光伏阵列表面总辐射计算

6.2.1.1 如光伏阵列安装方式尚未确定,可采用理论公式或相关光伏发电项目设计软件计算多种安装方式的光伏阵列表面总辐射。附录 C 给出了供参考的固定安装、双轴跟踪、平单轴跟踪、斜单轴跟踪四种安装方式所对应的简化光伏阵列表面总辐射理论计算公式,实际应用中,亦可根据需要采用复杂公式。

6.2.1.2 如光伏阵列安装方式已确定,可参考附录 C 中所列方法或相关光伏发电项目设计软件计算光伏阵列表面总辐射。

6.2.1.3 如采用双面光伏组件,可采用附录 D 中所列方法或相关光伏发电项目设计软件计算光伏阵列背面可增加接收的辐射能量比例。

6.2.1.4 利用 5.1.2 得到的光伏发电项目所在地近 10 年以上水平面太阳能资源逐月典型日或逐时数据,计算获得近 10 年以上光伏阵列表面总辐射数据,进而计算出逐年光伏阵列表面总辐射年总量。

6.2.1.5 利用 5.1.2 得到的光伏发电项目所在地近 10 年以上代表年水平面太阳能资源数据,计算获得代表年光伏阵列表面总辐射数据,进而计算出代表年光伏阵列表面总辐射年总量。

#### 6.2.2 光伏阵列表面总辐射的检验与订正

如具备一个完整年以上现场实测的光伏阵列表面总辐射,采用以下步骤对 6.2.1.5 计算的代表年光伏阵列表面总辐射逐月数据进行订正。

- a) 审核与插补。采用 GB/T 37526—2019 中第 6 章的方法对现场实测的光伏阵列表面总辐射进行审核与插补,获得有效完整率为 100% 的连续完整数据。
- b) 同期数据计算。利用 6.2.1.4 的计算结果,获得与现场实测同期的光伏阵列表面总辐射逐月数据。
- c) 检验。利用现场实测的光伏阵列表面总辐射逐月数据对同期计算结果进行检验,分析其误差特征。
- d) 代表年订正。将现场实测和同期计算结果做相关,获得相关方程。利用该相关方程,对 6.2.1.5 计算的代表年光伏阵列表面总辐射逐月数据进行订正,进而计算出订正后的代表年光伏阵列表面总辐射年总量。

### 6.3 数据分析

#### 6.3.1 年际变化

利用 6.2.1.4 计算得到的近 10 年以上光伏阵列表面总辐射逐年数据,分析光伏阵列表面总辐射的年际变化特征,说明光伏发电项目太阳能资源的长期变化情况。

#### 6.3.2 年变化

6.3.2.1 利用 6.2.1.5 计算得到的代表年光伏阵列表面总辐射逐月数据,分析光伏阵列表面总辐射的年变化特征,说明光伏发电项目太阳能资源在全年 12 个月的变化趋势。

.2.2 如具备现场实测数据,可分析实测年光伏阵列表面总辐射的年变化特征,逐日最大辐照度的年变化特征等。

#### 6.3.3 日变化

如具备一个完整年以上现场实测数据,应分析实测年各月典型日以及不同天气条件(晴天、多云、霾、沙尘、阴天、雨天等)下光伏阵列表面总辐射的日变化特征,说明辐照度随天气变化的特征和程度。

### 6.4 发电量和年利用小时数

利用代表年光伏阵列表面总辐射逐月数据,按照 GB 50797—2012 中 6.6 的方法,估算光伏发电项目的发电量和年利用小时数。

### 6.5 变化范围

将光伏阵列表面总辐射近 10 年以上逐年数据与代表年的年数据进行对比,获得正负相对偏差的最大值,以此说明光伏发电项目建成运行后每年实际的光伏阵列表面总辐照量可能的变化范围。

### 5 概率保证值

以代表年的年光伏阵列表面总辐照量作为 50% 概率保证下的基准值,利用 10 年以上逐年数据,计算 90%、95%、99% 等不同概率保证下的年光伏阵列表面总辐照量,作为不同情形下光伏发电量的计算

参考。计算方法见附录 B。

## 7 光伏发电高影响气象因素评估要求

### 7.1 数据要求及处理方法

收集光伏发电项目周边参证气象站近 10 年以上实测数据,统计气温、降水、风速风向、能见度等常规气象要素的基本特征,以及统计雷暴、雷电、冰雹、沙尘(沙尘暴、扬沙、浮尘)、积雪、大雾、霾、大风等对光伏发电有高影响的天气发生日数。

### 7.2 高温

7.2.1 收集光伏发电项目周边参证气象站近 10 年以上的气温实测数据,分析气温变化特征,获得年平均气温、年平均最高气温、极端最高气温、极端最低气温、逐月平均气温等,按照 QX/T 548—2020 中附录 A 的方法,计算光伏组件温度和光伏发电组件年平均温度折减系数。

7.2.2 如具备实测一个完整年以上现场实测的光伏组件背板温度,则根据实测值计算光伏发电年平均温度折减系数。

### 7.3 沙尘

收集光伏发电项目周边参证气象站近 10 年以上的沙尘暴、扬沙和浮尘日数记录数据,分析沙尘日数的年际变化趋势和年变化特征,说明多年平均的沙尘日数、出现沙尘日数最多的年份和月份等,定性分析沙尘天气对光伏发电效率的影响。

### 7.4 大风

7.4.1 收集光伏发电项目周边参证气象站近 30 年以上最大风速数据,按照 QX/T 436—2018 中第 8 章的方法计算 50 年一遇最大风速和风压,分析对光伏发电项目安全运行的影响。

7.4.2 对于受热带气旋影响的区域,应收集近 30 年以上登陆的热带气旋次数、强度、到达光伏发电项目所在地时的最大风速等,分析对光伏发电项目安全运行的影响。

### 7.5 暴雨

收集光伏发电项目所在地周边参证气象站近 10 年以上的逐分钟自记雨量记录,结合光伏发电项目的排水措施,分析暴雨对光伏发电项目安全运行的影响。

### 7.6 其他天气

收集光伏发电项目周边参证气象站近 10 年以上的霾日数、积雪日数等的记录数据,分析年际变化趋势和年变化特征,说明多年平均的霾日数、积雪日数,出现霾日数、积雪日数、雷暴日数、冰雹日数最多的年份和月份等,定性分析其对光伏发电电站的影响。

## 8 评估报告编制要求

### 8.1 基本要求

光伏发电项目在建设之前开展专项太阳能资源评估,编制光伏发电太阳能资源评估报告,包括但不限于 8.2~8.8 中的内容。



## 8.2 光伏发电项目所在区域概况

应包括评估区域的自然地理、地形地貌、气候状况、太阳能资源空间分布等基本特征,以及行政区划、交通条件等社会属性。

## 8.3 评估依据

应包括编制评估报告所依据的法律法规、标准规范、立项文件等。

## 8.4 资料与方法

应包括编制评估报告所收集、采用的数据资料,主要计算、评估方法等。如项目开展现场实测,应说明观测站周边环境、测量仪器型号、安装和运维情况等。

## 8.5 水平面太阳能资源

应包括水平面太阳能资源各要素的计算和分析,年际变化、年变化、日变化等时间分布特征,总量等级、直射比等级和稳定度等级等太阳能资源评价,以及评价结论的不确定性分析等。

## 8.6 光伏发电太阳能资源

应包括各类安装方式光伏发电太阳能资源的计算和分析,年际变化、年变化、日变化等时间分布特征,以及代表年光伏阵列表面总辐照量评价结论和不确定性分析等。

## 8.7 高影响气象因素

应包括参证气象站近10年以上实测数据的统计和分析,影响光伏发电效率和影响光伏发电项目安全运行的气象因素的计算、分析和评估。

## 8.8 评估结论与建议

应包括水平面太阳能资源总量和等级评价结论,光伏阵列表面总辐照量评价结论,从资源利用角度推荐的光伏组件安装方式,以及建设和运行光伏发电项目应注意的气象影响因素等。

## 9 证实方法

### 9.1 数据处理记录

对第5章、第6章、第7章内容,在数据处理过程中,记录以下信息:

- a) 数据要素;
- b) 时间长度;
- c) 数据处理过程;
- d) 数据计算方法;
- e) 数据检验结果。

### 9.2 周边同类项目对比

搜集光伏发电项目所在地周边同类项目的实测和运行数据,按照 GB/T 34325—2017 中 4.2 的要求,选取同类要素,与水平面太阳能资源、光伏阵列表面太阳能资源进行对比,确定评估结果的合理性。

### 9.3 评估报告评价

按照第 8 章要求编制光伏发电太阳能资源评估报告,组织同行专家进行评审,包括但不限于以下几个方面:

- a) 数据的可靠性、数据处理过程的合理性;
- b) 数据分析的完整性;
- c) 评价结论的合理性和适用性;
- d) 评估报告的完整性。

## 附录 A

(规范性)

## 北半球不同纬度的水平面总辐照量各月典型日

北半球不同纬度(15°N~55°N)应按照表 A.1 选择各月的典型日。

表 A.1 北半球不同纬度的各月典型日

月份	纬度								
	55°N	50°N	45°N	40°N	35°N	30°N	25°N	20°N	15°N
1	18日	17日	18日	17日	17日	17日	17日	17日	17日
2	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日
3	16日	16日	16日	16日	16日	16日	16日	16日	15日
4	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日	14日
5	15日	15日	15日	15日	15日	15日	14日	12日	22日
6	10日	10日	10日	10日	10日	9日	8日	19日	13日
7	17日	17日	17日	17日	17日	17日	18日	18日	19日
8	16日	16日	17日	17日	17日	17日	17日	17日	18日
9	15日	16日	16日	16日	16日	16日	16日	16日	16日
10	16日	16日	16日	16日	16日	16日	16日	16日	16日
11	14日	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日	15日
12	11日	11日	11日	11日	11日	11日	11日	11日	11日

## 附录 B

(资料性)

## 年辐照量概率保证值计算方法

不同概率保证下的年辐照量计算方法见公式(B.1)。

$$P_n = P_{50} - N_n \cdot P \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

 $P_n$  ——  $n$ % 概率下的年辐照量,单位为千瓦时每平方米(kWh/m<sup>2</sup>); $P_{50}$  —— 代表年的年辐照量,单位为千瓦时每平方米(kWh/m<sup>2</sup>); $N_n$  —— 单边超越的概率系数,可通过标准正态分布函数表查询,见表 B.1; $P$  —— 不确定性引起的年辐照量标准偏差,即长序列年辐照量的方差。

表 B.1 标准正态分布函数表

X	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.500 0	0.504 0	0.508 0	0.512 0	0.516 0	0.519 9	0.523 9	0.527 9	0.531 9	0.535 9
0.1	0.539 8	0.543 8	0.547 8	0.551 7	0.555 7	0.559 6	0.563 6	0.567 5	0.571 4	0.575 3
0.2	0.579 3	0.583 2	0.587 1	0.591 0	0.594 8	0.598 7	0.602 6	0.606 4	0.610 3	0.614 1
0.3	0.617 9	0.621 7	0.625 5	0.629 3	0.633 1	0.636 8	0.640 6	0.644 3	0.648 0	0.651 7
0.4	0.655 4	0.659 1	0.662 8	0.666 4	0.670 0	0.673 6	0.677 2	0.680 8	0.684 4	0.687 9
0.5	0.691 5	0.695 0	0.698 5	0.701 9	0.705 4	0.708 8	0.712 3	0.715 7	0.719 0	0.722 4
0.6	0.725 7	0.729 1	0.732 4	0.735 7	0.738 9	0.742 2	0.745 4	0.748 6	0.751 7	0.754 9
0.7	0.758 0	0.761 1	0.764 2	0.767 3	0.770 4	0.773 4	0.776 4	0.779 4	0.782 3	0.785 2
0.8	0.788 1	0.791 0	0.793 9	0.796 7	0.799 5	0.802 3	0.805 1	0.807 8	0.810 6	0.813 3
0.9	0.815 9	0.818 6	0.821 2	0.823 8	0.826 4	0.828 9	0.831 5	0.834 0	0.836 5	0.838 9
1.0	0.841 3	0.843 8	0.846 1	0.848 5	0.850 8	0.853 1	0.855 4	0.857 7	0.859 9	0.862 1
1.1	0.864 3	0.866 5	0.868 6	0.870 8	0.872 9	0.874 9	0.877 0	0.879 0	0.881 0	0.883 0
1.2	0.884 9	0.886 9	0.888 8	0.890 7	0.892 5	0.894 4	0.896 2	0.898 0	0.899 7	0.901 5
1.3	0.903 2	0.904 9	0.906 6	0.908 2	0.909 9	0.911 5	0.913 1	0.917	0.916 2	0.917 7
1.4	0.919 2	0.920 7	0.922 2	0.923 6	0.925 1	0.926 5	0.927 9	0.929 2	0.930 6	0.931 9
1.5	0.933 2	0.934 5	0.935 7	0.937 0	0.938 2	0.939 4	0.940 6	0.941 8	0.942 9	0.944 1
1.6	0.945 2	0.946 3	0.947 4	0.948 4	0.949 5	0.950 5	0.951 5	0.952 5	0.953 5	0.954 5
1.7	0.955 4	0.956 4	0.957 3	0.958 2	0.959 1	0.959 9	0.960 8	0.961 6	0.962 5	0.963 3
1.8	0.964 1	0.964 9	0.965 6	0.966 4	0.967 1	0.967 8	0.968 6	0.969 3	0.969 9	0.970 6
1.9	0.917 3	0.971 9	0.972 6	0.973 2	0.973 8	0.974 4	0.975 0	0.975 6	0.976 1	0.976 7
2.0	0.977 2	0.977 8	0.978 3	0.978 8	0.979 3	0.979 8	0.980 3	0.980 8	0.981 2	0.981 7
2.1	0.982 1	0.982 6	0.983 0	0.983 4	0.983 8	0.984 2	0.984 6	0.985 0	0.985 4	0.985 7
2.2	0.986 1	0.986 4	0.986 8	0.987 1	0.987 5	0.987 8	0.988 1	0.988 4	0.988 7	0.989 0

表 B.1 标准正态分布函数表 (续)

X	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
2.3	0.989 3	0.989 6	0.989 8	0.990 1	0.990 4	0.996	0.990 9	0.991 1	0.991	0.991 6
2.4	0.991 8	0.992 0	0.992 2	0.992 5	0.992 7	0.992 9	0.993 1	0.993 2	0.993 4	0.993 6
2.5	0.993 8	0.994 0	0.994 1	0.994 3	0.994 5	0.994 6	0.994 8	0.994 9	0.995 1	0.995 2
2.6	0.995 3	0.995 5	0.995 6	0.995 7	0.995 9	0.996 0	0.996 1	0.996 2	0.996 3	0.996 4
2.7	0.996 5	0.996 6	0.996 7	0.996 8	0.996 9	0.997 0	0.997 1	0.997 2	0.997 3	0.997 4
2.8	0.997 4	0.997 5	0.997 6	0.997 7	0.997 7	0.997 8	0.997 9	0.997 9	0.998 0	0.998 1
2.9	0.998 1	0.998 2	0.998 2	0.998 3	0.998 4	0.998 4	0.998 5	0.998 5	0.998 6	0.998 6
3.0	0.998 7	0.998 7	0.998 7	0.998 8	0.998 8	0.998 9	0.998 9	0.998 9	0.999 0	0.999 0

附录 C

(资料性)

不同安装方式的光伏阵列表面总辐照量计算方法

C.1 固定安装式光伏阵列表面总辐照量

C.1.1 任意斜面总辐照量

斜面总辐照量等于斜面直接辐照量、斜面反射辐照量与斜面散射辐照量的和。

假设斜面散射辐射强度在天空中均匀分布,利用天空各向同性模型计算斜面小时总辐照量,以 Liu 和 Jordan 模型为代表,见公式(C.1);假设斜面散射辐射强度不均匀分布,利用天空各向异性模型计算斜面小时总辐照量,如 Hay 模型将散射辐射分为各向同性部分以及环日辐射部分,计算见公式(C.2)。

Liu 和 Jordan 模型:

$$I_{\beta} = I_b R_b + I_H \rho \left( \frac{1 - \cos\beta}{2} \right) + I_d \left( \frac{1 + \cos\beta}{2} \right) \dots\dots\dots (C.1)$$

Hay 模型:

$$I_{\beta} = I_b R_b + I_H \rho \left( \frac{1 - \cos\beta}{2} \right) + I_d \left[ f_{Hay} R_b + \left( \frac{1 + \cos\beta}{2} \right) (1 - f_{Hay}) \right] \dots\dots\dots (C.2)$$

公式(C.1)和公式(C.2)中:

- $I_{\beta}$  ——斜面小时总辐照量,单位为千瓦时每平方米(kWh/m<sup>2</sup>);
- $I_b$  ——水平面小时直接辐照量,单位为千瓦时每平方米(kWh/m<sup>2</sup>);
- $R_b$  ——倾斜面与水平面上的小时直接辐射比,计算方法见公式(C.3);
- $I_H$  ——水平面小时总辐照量,单位为千瓦时每平方米(kWh/m<sup>2</sup>);
- $\rho$  ——地面平均反射率;
- $\beta$  ——斜面倾角,单位为度(°);
- $I_d$  ——水平面小时散射辐照量,单位为千瓦时每平方米(kWh/m<sup>2</sup>);
- $f_{Hay}$  ——天空晴朗因子,计算方法见公式(C.4)。

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \dots\dots\dots (C.3)$$

$$f_{Hay} = \frac{I_b}{I_0} = \frac{I_H - I_d}{I_0} \dots\dots\dots (C.4)$$

公式(C.3)~公式(C.4)中:

- $\theta$  ——斜面上的太阳光入射角,单位为度(°),余弦计算方法见公式(C.5);
- $\theta_z$  ——太阳天顶角,单位为度(°),余弦计算方法见公式(C.6);
- $I_b, I_H, I_d, \beta$  ——同公式(C.1);
- $I_0$  ——大气层上界小时太阳总辐照量,单位为千瓦时每平方米(kWh/m<sup>2</sup>)。

$$\cos\theta = \sin\varphi (\sin\delta \cos\beta + \cos\delta \cos\gamma \cos\omega \sin\beta) + \cos\varphi (\cos\delta \cos\omega \cos\beta - \sin\delta \cos\gamma \sin\beta) + \cos\delta \sin\gamma \sin\beta \sin\omega \dots\dots\dots (C.5)$$

$$\cos\theta_z = \cos\delta \cos\varphi \cos\omega + \sin\delta \sin\varphi \dots\dots\dots (C.6)$$

$$\delta = 23.34 \sin\left(360 \times \frac{284 + n}{365}\right) \dots\dots\dots (C.7)$$

公式(C.5)~公式(C.7)中:

- $\varphi$  ——当地纬度,单位为度(°);

- $\delta$  —— 太阳赤纬角,单位为度( $^{\circ}$ );
- $\beta$  —— 斜面倾角,单位为度( $^{\circ}$ );
- $\gamma$  —— 斜面方位角,单位为度( $^{\circ}$ );
- $\omega$  —— 计算小时时角,单位为度( $^{\circ}$ );
- $n$  —— 积日。

**C.1.2 最佳倾角及最佳斜面总辐照量**

利用逐月水平面辐照量月总量数据,计算正南方向  $1^{\circ}$  间隔的逐月倾斜面辐照月总量,年斜面辐照量的最大值对应的倾角确定为最佳倾角,对应该角度下的斜面辐照量为年最佳斜面总辐照量。

**C.1.3 固定可调安装方式的最佳倾角及最佳斜面总辐照量**

固定可调式安装方式将全年按不同标准(如月份、季节等)分为若干段做光伏阵列倾角的调整。分段计算不同时段内  $1^{\circ}$  间隔的逐倾角斜面总辐照量,斜面辐照量最大值对应的倾角即为对应时段的最佳倾角,最大斜面辐照量即为对应时段的最佳斜面辐照量。

**C.2 双轴跟踪式光伏阵列表面总辐照量**

双轴跟踪式安装方法是通过光伏组件方位角和倾角的调节,使光伏组件始终垂直于人射直射光。

此时太阳光入射角满足  $\cos\theta=1$ ,光伏组件的倾角由公式(C.8)表达,与公式(C.6)中的  $\cos\theta_z$  的表达式相同,那么  $R_b$  可转换为公式(C.9)。

$$\cos\beta = \cos\delta\cos\varphi\cos\omega + \sin\delta\sin\varphi \quad \dots\dots\dots(C.8)$$

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} = \frac{1}{\cos\beta} \quad \dots\dots\dots(C.9)$$

由 Liu 和 Jordan 算法计算的双轴跟踪式光伏阵列表面的小时总辐照量见公式(C.10):

$$I_{\beta} = I_b (\cos\delta\cos\varphi\cos\omega + \sin\delta\sin\varphi)^{-1} + I_{H\rho} \left[ \frac{1 - (\cos\delta\cos\varphi\cos\omega + \sin\delta\sin\varphi)}{2} \right] + I_d \left[ \frac{1 + (\cos\delta\cos\varphi\cos\omega + \sin\delta\sin\varphi)}{2} \right] \quad \dots\dots\dots(C.10)$$

由 Hay 算法计算的双轴跟踪式光伏阵列表面的小时总辐照量见公式(C.11):

$$I_{\beta} = I_b (\cos\delta\cos\varphi\cos\omega + \sin\delta\sin\varphi)^{-1} + I_{H\rho} \left[ \frac{1 - (\cos\delta\cos\varphi\cos\omega + \sin\delta\sin\varphi)}{2} \right] + I_d \left[ \frac{I_b}{I_0} (\cos\delta\cos\varphi\cos\omega + \sin\delta\sin\varphi)^{-1} + \left( \frac{1 + (\cos\delta\cos\varphi\cos\omega + \sin\delta\sin\varphi)}{2} \right) \left( 1 - \frac{I_b}{I_0} \right) \right] \quad \dots\dots\dots(C.11)$$

公式(C.8)中  $\beta, \delta, \varphi, \omega$  同公式(C.5)。

公式(C.9)~公式(C.11)中  $R_b, I_{\beta}, I_b, I_{H\rho}, I_d$  同公式(C.1)和公式(C.2)。

**C.3 平单轴跟踪式光伏阵列表面总辐照量**

平单轴跟踪安装,光伏阵列轴线南北向水平布置,光伏阵列东西旋转跟踪太阳,光伏阵列法线与天顶轴平行。

太阳光入射角( $\theta$ )满足  $\theta = \varphi - \delta$ ,光伏阵列倾角满足  $\cos\beta = \cos\omega$ 。

由 Liu 和 Jordan 模型计算的平单轴式光伏阵列表面的小时总辐照量见公式(C.12):

$$I_{\beta} = I_b \left[ \frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos\delta\cos\varphi\cos\omega + \sin\delta\sin\varphi} \right] + I_{H\rho} \left( \frac{1 - \cos\omega}{2} \right) + I_d \left( \frac{1 + \cos\omega}{2} \right) \quad \dots\dots\dots(C.12)$$

由 Hay 模型计算的平单轴跟踪光伏阵列表面的小时总辐照量见公式(C.13):

$$I_{\beta} = I_b \left[ \frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos\delta \cos\varphi \cos\omega + \sin\delta \sin\varphi} \right] + I_H \rho \left( \frac{1 - \cos\omega}{2} \right) + I_d \left\{ \frac{I_b}{I_0} \left[ \frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos\delta \cos\varphi \cos\omega + \sin\delta \sin\varphi} \right] + \left( \frac{1 + \cos\omega}{2} \right) \left( 1 - \frac{I_b}{I_0} \right) \right\} \dots\dots\dots (C.13)$$

公式(C.12)~公式(C.13)中  $I_{\beta}$ 、 $I_b$ 、 $I_H$ 、 $I_d$  同公式(C.1)和公式(C.2),  $\varphi$ 、 $\delta$ 、 $\omega$  同公式(C.5),  $\rho$  同公式(C.1), 公式(C.12)中  $I_0$  同公式(C.4)。

#### C.4 斜单轴跟踪式光伏阵列表面总辐照量

斜单轴跟踪安装, 光伏阵列轴线为南北向固定倾角布置, 光伏阵列东西旋转跟踪太阳。

太阳光入射角( $\theta$ )满足  $\theta = \varphi - z - \delta$ ,  $z$  为赤道坐标系中光伏阵列与主轴的夹角, 与主轴平行时为零, 南倾为正, 北倾为负。光伏阵列倾角满足  $\cos\beta = \cos z \cos\omega$ 。

由 Liu 和 Jordan 算法计算的平单轴式光伏阵列表面的小时总辐照量见公式(C.14):

$$I_{\beta} = I_b \left[ \frac{\cos(\varphi - z - \delta)}{\cos\delta \cos\varphi \cos\omega + \sin\delta \sin\varphi} \right] + I_H \rho \left( \frac{1 - \cos z \cos\omega}{2} \right) + I_d \left( \frac{1 + \cos z \cos\omega}{2} \right) \dots\dots\dots (C.14)$$

由 Hay 算法计算的平单轴跟踪光伏阵列表面的小时总辐照量见公式(C.15):

$$I_{\beta} = I_b \left[ \frac{\cos(\varphi - z - \delta)}{\cos\delta \cos\varphi \cos\omega + \sin\delta \sin\varphi} \right] + I_H \rho \left( \frac{1 - \cos z \cos\omega}{2} \right) + I_d \left\{ \frac{I_b}{I_0} \left[ \frac{\cos(\varphi - z - \delta)}{\cos\delta \cos\varphi \cos\omega + \sin\delta \sin\varphi} \right] + \left( \frac{1 + \cos z \cos\omega}{2} \right) \left( 1 - \frac{I_b}{I_0} \right) \right\} \dots\dots\dots (C.15)$$

式中:

$z$ ——赤道坐标系中光伏阵列与主轴的夹角, 单位为度( $^{\circ}$ )。

公式(C.14)~公式(C.15)中  $I_{\beta}$ 、 $I_b$ 、 $I_H$ 、 $I_d$  同公式(C.1)和公式(C.2),  $\varphi$ 、 $\delta$ 、 $\omega$  同公式(C.5),  $\rho$  同公式(C.1), 公式(C.15)中  $I_0$  同公式(C.4)。



## 附录 D

(资料性)

## 双面光伏组件背面接收的太阳辐射增加率计算方法

双面光伏组件背面接收的太阳辐射增加率计算方法见公式(D.1)：

$$A_y = Al \cdot bif \cdot \left[ H \cdot \left( a - \frac{1}{\sqrt{A}} \right) \cdot (1 - e^{-\frac{b \cdot H}{A}}) + c \cdot \left( 1 - \frac{1}{A^2} \right) \right] \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

- $A_y$  —— 太阳辐射增加率,以百分数(%)表示；
- $Al$  —— 地表反射率,以百分数(%)表示；
- $bif$  —— 双面因子；
- $H$  —— 组件最低点与地面之间的距离,单位为米(m)；
- $A$  —— 组件前后间距,单位为米(m)；
- $a, b, c, e$  —— 为经验系数。

参 考 文 献

- [1] 王炳忠,申彦波.实用太阳能光谱应用模式——SMARTS模式[M].北京:气象出版社,2011.
- [2] LIU B Y H and JORDAN R C. Daily insolation on surface tilted toward the equator[J]. ASHRAE Journal,1962,3/10:53-56.
- [3] Hay J E. Calculating solar radiation for inclined surfaces:practical approaches[J]. Renewable Energy,1993,3(4-5):373-380.
-