

光伏气象指数设计方法

(一) 气象站辐射量观测方法

观测方法执行国标 GB/T 35232-2017 的相关技术要求。

自动观测站

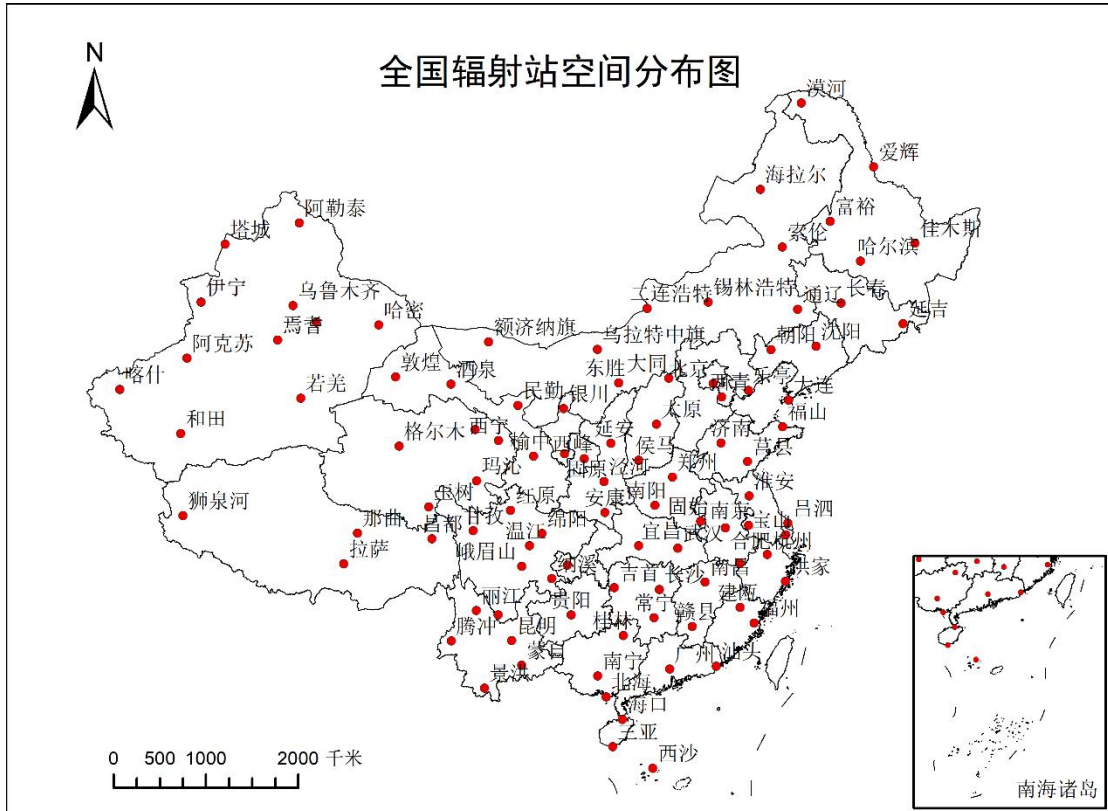


图 2.1 全国自动观测站分布图

(1) 直接辐射测量法

直接辐射表每日自动跟踪太阳输出的信号，自动测量系统把直接辐射大于或等于 120 W/m^2 的时间累加，作为每小时的日照时数与每天的日照时数，这些数据从采集器中得到。

(2) 总辐射测量法

按式 2.1 计算直接辐射：

式中：

$$S = (Eg - Ed) / \sin h \quad (2.1)$$

S 直接辐射；Eg 总辐射；Ed. 散射辐射；h 太阳高度角。

(二) 气象站点选择原则

光伏发电区选站及原则

光伏发电选址优先考虑在太阳能资源丰富地区进行光伏电站选址，选址地点应具备以下特点：有丰富的太阳能资源。该因素需要对潜在的选址地进行历史气象资料的收集、统计和计算。西藏、新疆、内蒙等地空气透明度高，日照时间长，太阳能资源丰富。其次，需要考虑的重要气候因素还有当地最大风速及常年主导风向。再次，还需考虑其他气象因素对太阳电池组件的影响，如冰雹、沙尘暴、大雪等灾害性天气，分析该灾害性天气对光伏并网电站的影响程度。还有温度，地面反射率，经纬度，地形等等。根据以上要求，我们选取山东、新疆，以及内蒙古三个主要观测区域站。山东主要考虑距离海洋比较近，且目前光伏电站发展比较快。内蒙古和新疆地处我国内陆，空气干燥，光能资源条件好，交通便利，距离用地区域较近。

(三) 曝辐量指数设计

1. 曝辐量

在月、年累计曝辐量统计时，缺测数据遵循行业标准（QX/T 65-2007 地面气象观测规范第 21 部分：缺测记录的处理和不完整记录的统计）中的规定，在 6.2 总量值项目的统计中规定（6.2.2 候、旬、月、年总量值）：

（1）一月中，观测时数缺测六天或以下时，按实有记录做月合计；缺测 7 天或以上时，该月不做月合计，按缺测处理。

（2）一年中，总量值因缺测有一个月或以上不做月合计时，该

年不做年合计，按缺测处理。

(3) 逐日曝辐量

逐日曝辐量由逐小时观测数据累加直接得到。

(4) 月累计曝辐量

$$X_{mk} = \sum_{i=1}^n x_{ki} \quad (2.2)$$

式中：

X_{mk} 第 m 年第 k 月的累计值， m 取值为 2016, 2017, \dots , 2023, k 取值为 1, 2, \dots , 12;

x_{ki} 为第 k 月的日值， i 取值为 1, 2, \dots , n , n 为第 k 月的天数。

(5) 年累计曝辐量

$$S_m = \sum_{k=1}^{12} X_{mk} \quad (2.3)$$

式中：

S_m 第 m 年的累计值， m 取值为 2016, 2017, \dots , 2023; X_k 第 m 年第 k 月累计值， k 取值为 1, 2, \dots , 12。

2. 曝辐量指数常年值 (国标 GB/T 34412-2017 地面标准气候值统计方法)

在 WMO 规定的 30 年期间，年 (月、日) 标准气候值统计的有效数据量应满足；历年连续缺失数据不超过 3 个、总的缺失数据不超过 5 个。例如：当某月值数据在 30 年期间缺失不超过 5 个且无连续 3 年缺失时，可计算该月的月标准气候值。然而，根据中国气象局国家气象中心整编的逐小时以及逐日辐照度、曝辐量观测数据分析表明，山东、内蒙古自 2016 年起才具备较为完整的观测数据，而新疆则自 2017 年起才具备较为完整的观测数据，因此本编制方案的曝辐量常年值采用 2017 年起至 2023 年为止。

(1) 逐日曝辐量常年值

$$\overline{x_j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (2.4)$$

式中:

x_{ij} 为第*i*年第*j*日的值,*n*取值按 2017 到 2023 年的顺序记录的总年份(如遇某年缺值,该年不计入总年份;不缺值*n*为 30),*j* = 1~365 日期,按照 1~365 日的顺序记录,闰年只取前 365 天。

(2) 月累计曝辐量常年值

$$\overline{X_k} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ik} \quad (2.5)$$

式中:

X_{ik} 为第*i*年第*k*月的累计值,*n*取值按 2017 至 2023 年的顺序记录的总年份(如遇某年缺值,该年不计入年份;不缺值*n*为 30),*k*取值为 1,2, ..., 12。

(3) 年累计曝辐量常年值

$$\overline{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i \quad (2.6)$$

式中:

S_i 为第*i*年的累计值,*n*取值按 2017 至 2023 年的顺序记录的总年份(如遇某年缺值,该年不计入总年份;不缺值*n*为 30)。

(四) 光伏组件温度系数设计

1. 温度系数对光伏组件的影响

光伏组件的输出功率会随着温度的升高或降低而发生衰减,主要是由于半导体材料的物理特性受温度的影响。这种现象称为温度系数效应。那么多于光伏气象指数而言,温度系数的设计重点需要考虑的是所涉及区域光伏组件的温度响应。

2. 温度系数选取原则

光伏组件的温度系数 γ 通常位于 $0.002 - 0.005 / ^\circ \text{C}$ 的范围，这个范围基于不同类型光伏组件的材料特性：

对于我国山东、内蒙古、新疆地区，光伏气象指数的温度系数应当选取为 $0.004 / ^\circ \text{C}$ 。

3.代表站点温度计算

气象学和光伏行业中通常将光照强度大于 $120\text{W}/\text{m}^2$ 的时间作为有效日照时数。这个数值也是基于实际气象观测和光伏发电的长期经验。它可以作为衡量太阳能资源丰富度的一个统一标准，使得不同地区的光伏发电潜力具有可比性。

光伏组件在光强较低的情况下，其发电效率下降幅度非常大。 $120\text{W}/\text{m}^2$ 是光伏组件在工作电压下能够开始产生足够电流的标准值，反映了其最低有效工作点。因此，日照时数选择这一标准可以更加精确地评估光伏发电潜力。因此，选择 $120\text{W}/\text{m}^2$ 作为日照时数的阈值是综合了光伏组件的工作特性、有效发电需求和行业经验的结果。

在计算站点温度时，我们也仅选取与辐照度大于 $120\text{W}/\text{m}^2$ 的时次相匹配的时刻的地面 2m 平均气温，来作为代表站点在相应时刻的温度。

(五) 光伏气象指数计算

由以上分析可知，太阳辐照度（或曝辐量，记为 R ）是直接影响光伏发电的核心因素。其作用可以通过辐照度乘以组件的光电转换效率来体现。温度修正系数（Temperature Correction Factor, γ ）：由于光伏组件会随着温度的升高而导致效率下降，需引入温度修正系数光伏发电。因此在光伏气象指数（Solar Radiance Index, SRI）的计算中，主要考虑太阳辐射以及气温对光伏组件的影响。

$$SRI = \frac{\sum R_i \times [1 - \gamma (T_i - T_{ref})]}{R_{ref}} \times 100 \quad (2.7)$$

其中， $\sum R_i$ 为相应时间段（逐日，逐月，逐年）的实际辐照度的累积值（即曝辐量）。 T_i 为当前环境温度； γ 为温度系数，表示温度每升高 1°C 时，效率降低的百分比（根据调研结果，固定 γ 为 $0.004/^\circ \text{C}$ ）； T_{ref} 为参考温度（固定为 25°C ）。

参考值 R_{ref} 为多年平均（逐月或者逐年）的曝辐量，其计算方法如下：

$$R_{ref} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{year_i} \quad (2.9)$$

$$R_{ref} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{mon_i} \quad (2.10)$$

其中， R_{year} 为第 i 年的年累计曝辐量， R_{mon_i} 为第 i 个月的曝辐量， n 为相应的总年数（本指数为从 2017 年至当下时间的前一个完整自然年，即 2024 年间计算的时间区间覆盖 2017 年-2023 年）或总月数（相应年份的 12 个自然月）

1. 山东光伏气象指数

所选取的观测站点：济南（国家站编号：54823，经度： 36.60°N ，纬度： 117.00°E ），福山（国家站编号：54764，经度： 37.48°N ，纬度： 121.23°E ），莒县（国家站编号：54936，经度： 35.57°N ，纬度： 118.83°E ）。

所使用观测量：逐小时曝辐量，逐小时 2 米气温

单站光伏气象日指数：

$$SRI_{daily} = \sum R_i \times [1 - \gamma (T_i - T_{ref})]$$

R_i 为逐小时即曝辐量。 T_i 为与 R_i 对应时刻（小时）的 2m 气温；

γ 为温度系数, 固定 γ 为 $0.004/^\circ\text{C}$); T_{ref} 为参考温度(固定为 25°C)

山东光伏气象日指数:

$$SRI_{\text{山东}} = \frac{SRI_{\text{济南}} + SRI_{\text{福山}} + SRI_{\text{莒县}}}{3}$$

山东光伏气象指数月指数为日指数的累加:

$$SRI_{\text{monthly}} = \sum SRI_{\text{daily}}$$

山东光伏气象指数年指数为月指数的累加:

$$SRI_{\text{yearly}} = \sum SRI_{\text{monthly}}$$

2. 新疆光伏气象指数

所选取的观测站点:阿勒泰(国家站编号:51076,经度: 47.73°N , 纬度: 88.08°E),塔城(国家站编号:51133,经度: 46.73°N , 纬度: 83.00°E),伊宁(国家站编号:51434,经度: 43.97°N , 纬度: 81.53°E),乌鲁木齐(国家站编号:51463,经度: 43.78°N , 纬度: 87.65°E),焉耆(国家站编号:51567,经度: 42.08°N , 纬度: 86.57°E),哈密(国家站编号:52203,经度: 42.82°N , 纬度: 93.52°E),阿克苏(国家站编号:51628,经度: 41.12°N , 纬度: 80.38°E),喀什(国家站编号:51709,经度: 39.48°N , 纬度: 75.75°E),若羌(国家站编号:51777,经度: 39.03°N , 纬度: 88.17°E),和田(国家站编号:51828,经度: 37.13°N , 纬度: 79.93°E)。

所使用观测量:逐小时曝辐量,逐小时2米气温

计算方法同山东指数,但站点替换为上述站点

3. 内蒙古光伏气象指数

所选取的观测站点：额济纳旗（国家站编号：52267，经度：41.95° N，纬度：101.07° E），乌拉特中旗（国家站编号：53336，经度：41.57° N，纬度：108.52° E），东胜（国家站编号：53543，经度：39.83° N，纬度：109.98° E），二连浩特（国家站编号：53068，经度：43.63° N，纬度：111.93° E），锡林浩特（国家站编号：54102，经度：43.95° N，纬度：116.12° E），索伦（国家站编号：50834，经度：46.60° N，纬度：121.22° E），海拉尔（国家站编号：50527，经度：49.25° N，纬度：119.70° E）。

所使用观测量：逐小时曝辐量，逐小时 2 米气温

计算方法同山东指数，但站点替换为上述站点