

# Analysis of the Influence of Inclination Angle and Array Spacing of Fixed Photovoltaic Power Generation System on Radiation of Inclined Surface

Yun Cui

Department of New Energy, Shanghai Electric Power Engineering Co., Ltd., Shanghai, 200025, China

## Abstract

This paper models and calculates systems using different photovoltaic inclination angle array spacing, and analyzes the influence of factors such as photovoltaic inclination angle, array spacing on the amount of radiation on the tilted surface of the photovoltaic array and the effective radiation amount of the system. Guidance to better promote the development of domestic photovoltaic power generation projects. It is hoped to provide some reference and guidance for the follow-up practical engineering construction, and better promote the development of domestic photovoltaic projects.

## Keywords

fixed photovoltaic power generation system; inclination angle; array spacing

## 固定式光伏发电系统倾角与阵列间距对倾斜面辐射量影响浅析

崔云

上海电力设计院有限公司新能源部, 中国·上海 200025

## 摘要

本文对采用不同的光伏倾角和阵列间距的系统进行了建模计算, 分析光伏倾角、阵列间距等因素对光伏阵列倾斜面辐射量和系统有效辐射量的影响, 为后续实际工程建设提供一些借鉴和指导, 更好地促进中国光伏发电项目的发展。

## 关键词

固定式光伏发电系统; 倾角; 阵列间距

## 1 引言

近年来, 中国光伏行业快速增长。截至2019年9月底, 中国可再生能源发电装机达到7.64亿千瓦, 同比增长8.2%, 其中光伏发电装机1.9亿千瓦。目前, 可再生能源已从原来的高速度高增长, 转为高质量发展并推进建设高比例可再生能源的电力和能源系统。2019年1月至9月, 光伏仍是中国新增装机最大的可再生能源系统<sup>[1]</sup>。

对于光伏发电系统来说, 固定式支架系统仍然是目前光伏电站使用比例最高的一种支架系统。其具有投资成本低、能够有效利用太阳能资源、运维成本低、综合性价比较高的特点。对于固定式支架系统来说, 最关键的在于光伏支架倾角和阵列间距的选择。合理选用光伏发电系统的倾角和阵列

间距, 可以有效利用太阳能资源, 降低光伏支架系统用钢量, 节约电缆, 节省土地, 进而提高整个光伏发电系统的经济性。

本文以中国江苏省连云港市某地为例, 对采用不同的光伏倾角和阵列间距的系统进行了建模计算, 分析光伏倾角、阵列间距等因素对光伏阵列倾斜面辐射量和系统有效辐射量的影响, 可以为后续实际工程建设提供一些借鉴和指导, 更好地促进中国光伏发电项目的发展。

## 2 光伏发电系统系统概况

本文以中国中东部区域的江苏省连云港市某地为例, 进行固定式光伏发电系统倾角、间距对光伏发电系统倾斜面辐射量的影响进行分析。

采用国际通用的 Metenorm 7.2 软件进行分析, 可以得到该地区的多年月平均水平面总辐射量的分布如下图所示。

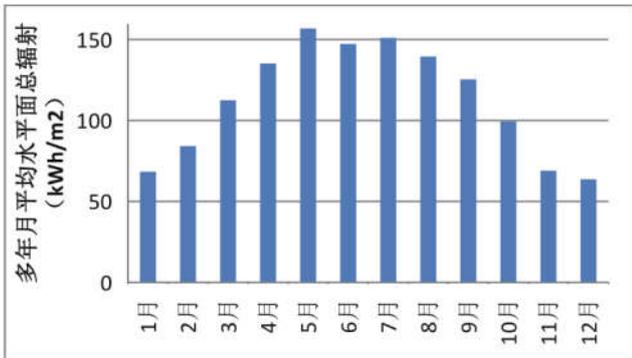


图1 连云港地区多年平均月水平面总辐射量 (kWh/m²)

由图1可以看出, 该地区多年月平均水平面总辐射量呈现春夏季高, 秋冬季低的分布。月平均辐射量最高出现在5月, 最低出现在12月。该地区多年平均年总辐射量为 1352.3 kWh/m², 折合为 4868.3MJ/m²。属于太阳能资源丰富地区, 具备太阳能开发的条件。

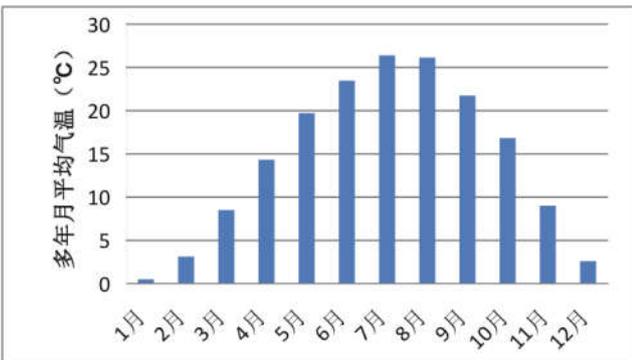


图2 连云港地区多年月平均温度 (°C)

上图为采用 Metenorm7.2 进行分析, 得到的该地区的多年月平均气温分布。由该图可以看出, 当地月平均最高气温出现在7月, 月平均最低气温出现在1月。根据光伏组件的电压、电流、功率与温度的特性关系, 温度会影响光伏发电系统的综合性能输出。

本文光伏系统采用 400Wp 单晶硅光伏组件, 26 块 / 组串, 175kW 组串式逆变器, 发电系统采用固定式支架系统。固定式光伏发电系统阵列间距按照《光伏电站设计规范》(50597-2012) 规定 (满足当地冬至日真太阳时早上 9 点至下午 15 点不遮挡) 计算<sup>[1]</sup>。经计算得到, 不同光伏支架倾角对应的两排阵列之间的计算间距 (非单列净距, 含单列投影长度) 如下表所示:

表1 不同支架倾角对应的阵列之间计算间距

阵列倾角 (°)	12	14	16	18	20
两排阵列之间间距 (m)	5.67	5.94	6.20	6.45	6.70
阵列倾角 (°)	22	24	26	28	30
两排阵列之间间距 (m)	6.94	7.17	7.39	7.60	7.81

由表1可以看出, 随着光伏发电系统支架倾角的增加, 阵列对应的计算间距也随之增加。

### 3 支架倾角和方位角对倾斜面辐射量影响

采用国际通用的 PVsyst6.7.7 软件进行模拟计算。在未对系统建模、设定单列尺寸和间距时, 对不同倾角的系统的辐射量进行分析。

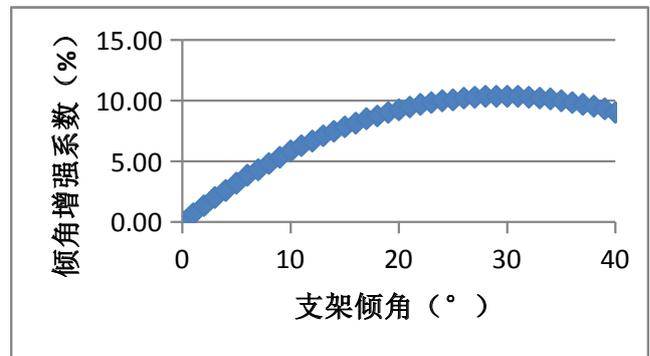


图3 不同倾角的倾斜面辐射量 (方位角 0°)

由上图可以看出, 对于固定式光伏发电系统, 存在一个最佳倾角, 在此倾角下, 光伏阵列倾斜面上全年辐射量的最大。此时, 最佳倾角对应的倾角增强系数也最大。

对于连云港地区, 该支架倾角为 28°, 对应的倾斜面辐射量为 1492 kWh/m²。当支架倾角大于或者小于 28° 时, 对应的倾斜面辐射量也相应减少。

此外, 阵列方位角对倾斜面辐射量也存在影响, 如图4所示。

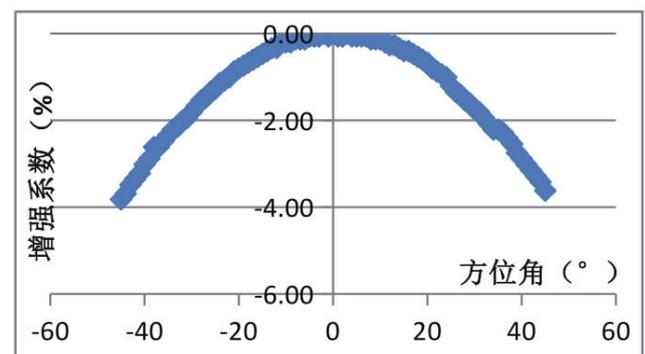


图4 不同方位角的倾斜面辐射量 (倾角 28°)

由图4可以看出,在阵列的倾角为 $28^\circ$ 、方位角为 $0^\circ$ 时,倾斜面的辐射量最大,随着方位角的增加,倾斜面的辐射量降低。

同时,对于连云港地区,相同角度的方位角,因方位角引起的衰减并非完全对称, $0^\circ \sim 45^\circ$ (顺时针旋转为正)时的影响略低于 $-45^\circ \sim 0^\circ$ (逆时针旋转为负)的影响。因此,若单列布置时确实要采用方位角布置,应优先考虑 $0^\circ \sim 45^\circ$ 。且光伏单列布置的方位角,一般应尽量布置在小于 $\pm 20^\circ$ 时,这样对系统发电量的影响相对较小。

### 3 支架倾角和阵列间距对倾斜面辐射量影响

光伏支架倾角和阵列间距对倾斜面辐射量的影响如图5所示(方位角为 $0^\circ$ ,下同)。

在图5中,阵列倾角分别为 $12^\circ \sim 30^\circ$ 以及与此相对应的计算阵列间距时(满足当地冬至日真太阳时早上9点至下午15点不遮挡),倾斜面的辐射量和系统有效辐射量(考虑遮挡损失、灰尘损失, IAM 损失)曲线。

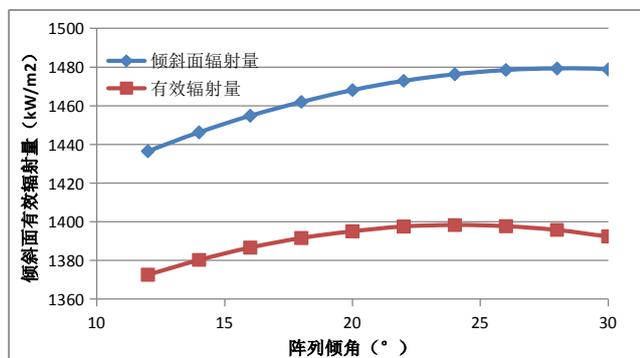


图5 不同倾角和阵列间距对应的倾斜面辐射量

从图5可以看出,对于采用不同角度和该角度对应的计算阵列间距,随着倾角的增加,倾斜面辐射量和有效辐射量也随之增加。在最佳倾角附近,倾斜面的辐射量最大,但对应的倾斜面有效辐射量却并非最大。倾斜面有效辐射量最大对应的角度为 $24^\circ$ 时,略低于最佳倾角。因此,在实际工程设计中,建议在倾角选择时,在最佳倾角附近选用多个角度建模对比后,再进行最终倾角选择。下图为针对倾角为 $20^\circ$ 、 $24^\circ$ 、 $28^\circ$ 、 $30^\circ$ 采用相同影子倍率时的计算间距时,逐月倾斜面有效辐射量相对于倾斜面辐射量的折减率。

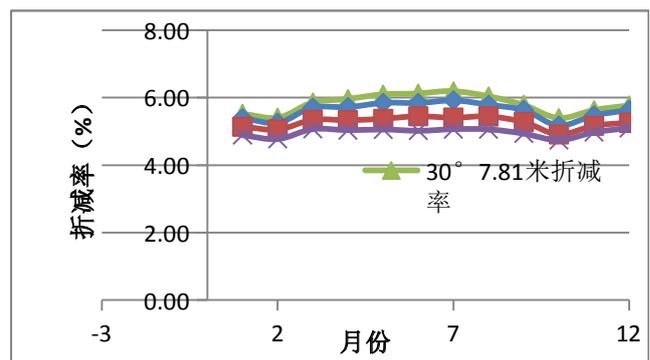


图6 不同倾角和阵列间距对应的逐月倾斜面有效辐射量折减率

对应公式为:

$$\text{折减率} = (\text{倾斜面辐射量} - \text{倾斜面有效辐射量}) / \text{倾斜面辐射量}$$

由图6可以看出,随着倾角和阵列间距的增加,倾斜面有效折减率增加。即倾角为 $24^\circ$ 时对应的有效折减率要低于倾角为 $28^\circ$ 时,因此,虽然 $28^\circ$ 时的倾斜面辐射量最大,但对应的倾斜面有效辐射量却低于 $24^\circ$ 时的倾斜面辐射量。

此外,由图6还可以看出,对于相同倾角和间距,冬季的倾斜面有效辐射量折减率要低于夏季时,这主要是由于阴影遮挡、IAM 的影响。

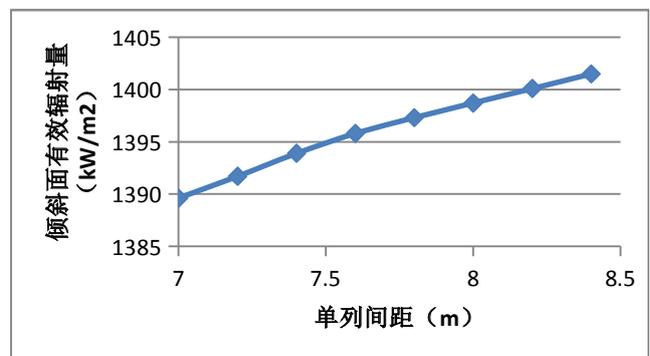


图7 不同阵列间距时倾斜面有效辐射量( $28^\circ$ )

图7为倾角为 $28^\circ$ 时,不同支架间距对应的倾斜面的辐射量。从该图可以看出,随着光伏支架间距的增加,光伏发电系统单列倾斜面的辐射量增加。且在最佳倾角对应的计算间距(即满足冬至日真太阳时9点至15点不遮挡)时,当小于该间距时,倾斜面辐射量减小的速率高于相应大于该间距时的值。因此,光伏发电系统的单列间距,一般不应小于在最佳倾角对应的计算间距。

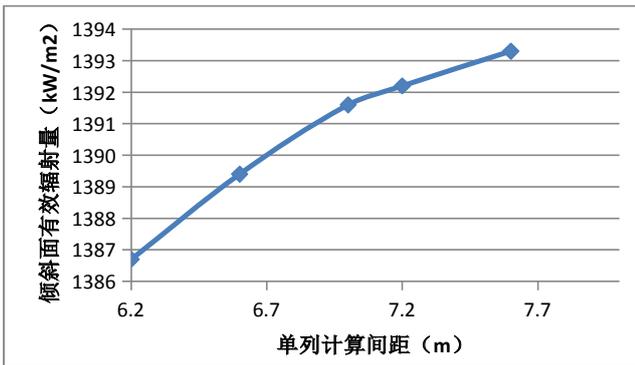


图 8 不同阵列间距时倾斜面有效辐射量 (16°)

图 8 为倾角为 16° 时, 不同支架间距对应的倾斜面的辐射量。由上图可以看出, 随着光伏支架间距的增加, 光伏发电系统单列倾斜面的辐射量增加。且存在一个拐点, 该曲线的曲率的拐点并非位于该倾角对应的计算间距时。因此, 对于采用降低阵列倾角进行布置时, 也应将间距选择在不小于图中的拐点处。

同时, 对比图 7 和图 8 可以看出, 对于采用相同间距 7 米时, 倾角为 16 时的倾斜面有效辐射量要高于 28° 时, 因此, 在后续工程设计中, 对于有限土地内的光伏阵列布置, 建议在降低倾角角度, 增加阵列计算间距值, 并经过多个对比分析后, 确定最经济值。

## 4 结语

(1) 对于固定式光伏发电系统, 存在一个最佳倾角, 在此倾角下, 该倾斜面上全年辐射量的最大。在方位角为 0° 时, 倾斜面的辐射量最大, 随着方位角的增加, 倾斜面的辐射量降低。

(2) 对于同一支架倾角, 对于采用不同角度和该角度对应的计算阵列间距, 随着倾角的增加, 倾斜面辐射量和有效辐射量也随之增加。在最佳倾角附近, 倾斜面的辐射量最大, 但对应的倾斜面有效辐射量却并非最大。在实际工程设计中, 建议在倾角选择时, 在最佳倾角附近选用多个角度建模对比后, 再进行最终倾角选择。

(3) 对于倾角低于最佳倾角的系统, 随着光伏支架间距的增加, 光伏发电系统单列倾斜面的辐射量增加。且存在一个拐点, 该曲线的曲率的拐点并非位于该倾角对应的计算间距时。因此, 对于采用降低阵列倾角进行布置时, 也应将间距选择在不小于拐点处。

## 参考文献

- [1] 中国电力企业联合会. 光伏电站设计规范 (GB 50597-2012), 中国计划出版社, 2012.
- [2] 赵勇强, 时璟丽, 高虎. 中国可再生能源发展状况, 展望及政策措施建议 [J]. 中国能源 (4):8-12.