



# 降低光伏组件最佳安装倾角对光伏发电系统发电量影响的研究

马庆虎\*, 王 珣, 白卫刚, 张 勃, 李 宪, 李晓峰, 马 丽

(国家电投集团青海光伏产业创新中心有限公司, 西宁 810000)

**摘 要:** 光伏发电系统采用固定支架运行方式时, 一般依据系统所在地的经、纬度, 太阳辐射量, 气象资料, 冬至日的阴影遮挡时间等边界条件计算出光伏组件的最佳安装倾角。研究了在保持总占地面积不变、交流并网功率无要求、满足项目投资内部收益率的情况下, 可通过降低光伏组件的最佳安装倾角来增加光伏阵列的直流装机容量, 从而提高光伏发电系统的发电量。

**关键词:** 光伏发电系统; 光伏组件; 最佳; 安装倾角; 发电量

**中图分类号:** TK513.1/TM615

**文献标志码:** A

## 0 引言

光伏发电系统是将太阳能转化为电能的系统, 对光伏发电系统进行设计时, 需要进行以下工作内容: 首先根据市场主流技术分别进行光伏组件比选、逆变器比选、支架运行方式比选、光伏子方阵规模容量比选, 从而得出主要设备的性能参数; 再计算出组件的最佳安装倾角, 方位角, 串、并联数量, 以及光伏阵列南北向相邻前、后排组件之间的间距; 最后给出光伏阵列的布置方式等。当光伏发电系统的支架运行方式选择固定支架时, 光伏组件的最佳安装倾角一般是根据光伏发电系统所在地的经、纬度, 太阳辐射量, 气象资料, 冬至日的阴影遮挡时间等边界条件计算得出。但由于一些地区光伏发电项目的用地面积有限, 按照正常的设计间距无法布置更多的光伏组件容量, 因此, 为了增加光伏发电项目的组件容量, 提高光伏发电系统的发电量, 本文研究了当光伏组件采用固定支架时, 在保持项目总占地面积不变、交流并网功率无要求、满足项目投资内部收益率的情况下, 通过降低光伏组件的最佳

安装倾角来增加光伏阵列的直流容量的方式来提高光伏发电系统的发电量。

## 1 计算光伏组件的最佳安装倾角

本文以某光伏发电系统为计算实例进行分析。该光伏发电系统所在地的地理坐标为 37° 08'N、140° 09'E, 海拔高程为 540 m, 该地的太阳辐射资料如表 1 所示。

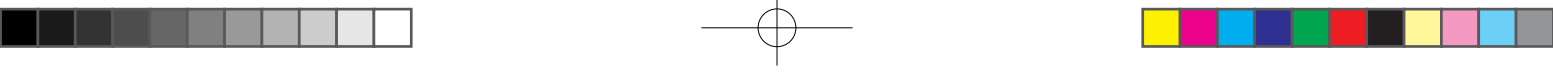
表 1 太阳辐射数据表

Table 1 Solar radiation data

月份	标准月太阳辐射量 /MJ·m <sup>-2</sup>
1	249
2	298
3	414
4	478
5	521
6	447
7	439
8	446
9	336
10	309
11	247
12	225

收稿日期: 2019-12-27

通信作者: 马庆虎 (1987—), 男, 工程师, 主要从事太阳能发电项目的太阳能资源分析、发电量计算、总图布置设计和研究。757939132@qq.com



根据表 1 的数据，通过 Retscreen 软件可计算出光伏组件接收的年太阳辐射量最大时所对应的安装倾角，计算时，安装倾角建议从 5° 开始取值，直到出现最大辐射量值的安装倾角，然后在此值的基础上再选更大的几个角度进行复核，最终得出倾斜面辐射量最大时对应的安装倾角即为此光伏发电系统中光伏组件的最佳安装倾角。采用固定支架时，组件的不同安装倾角与倾斜面接收的日均太阳辐射量的关系如图 1 所示。

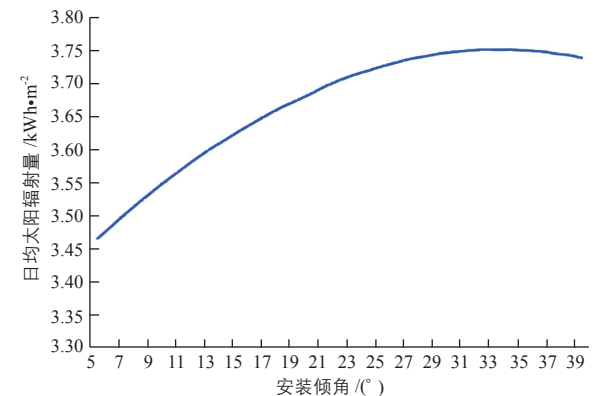


图 1 采用固定支架时，组件的不同安装倾角与倾斜面接收的日均太阳辐射量之间的关系

Fig. 1 Relationship between different installation angles and daily solar radiation received by inclined plane of PV module with fixed bracket

由图 1 可知，当采用固定支架时，光伏组件的安装倾角为 32° 时其倾斜面接收的日均太阳辐射量最大<sup>[1]</sup>，则该角度下光伏组件倾斜面接收的年太阳辐射量也最大。因此，该光伏发电系统中组件的最佳安装倾角为 32°。

## 2 降低光伏组件最佳安装倾角的实验

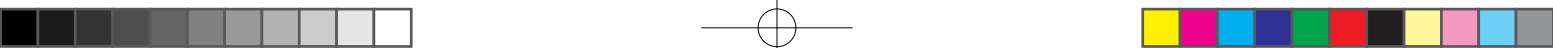
实验计算以 1 MW 光伏阵列的占地面积、组件最佳安装倾角为 32° 作为基准。实验中组件的安装倾角范围为 10°~32°，以 1° 为间隔，依次减小组件的安装倾角进行测试，当前、后排组件的阴影遮挡时间一致时，前排固定支架组件前沿到相邻后排固定支架组件前沿的距离（下文简称“前到前间距”）也相应减小，此时 1 MW 光伏阵列的占地面积也会不同。表 2 为组件安装倾角、前到前间距、光伏阵列占地面积与光伏发电系统首年发电量之间的关系情况。

对表 2 中的数据进行分析可知，当保持总占地面积不变时，降低组件的最佳安装倾角，虽然组件倾斜面接收的年太阳辐射量逐渐减少，但同样占地面积下实际可布置的光伏组件容量增大

表 2 组件安装倾角、前到前间距、光伏阵列占地面积与光伏发电系统的首年发电量之间的关系

Table 2 Relationship between installation angle, front to front spacing, PV array land area and first year power generation of PV power generation system

组件安装 倾角/(°)	前到前间距 /m	1 MW 光伏阵列 的占地面积/m <sup>2</sup>	单位面积光伏组件倾斜面 接收的年太阳辐射量 /MJ·m <sup>-2</sup>	100 MW 光伏阵列的基准 占地面积实际可布置的 光伏组件容量/MW <sub>p</sub>	光伏发电系统的 首年发电量 /万 kWh
32	9.0	13530	4930	100.0	13694
31	8.9	13384	4929	101.1	13840
30	8.8	13237	4926	102.2	13986
29	8.7	13090	4922	103.4	14133
28	8.5	12797	4918	105.7	14443
27	8.4	12650	4912	107.0	14594
26	8.3	12503	4906	108.2	14746
25	8.2	12356	4898	109.5	14898
24	8.0	12101	4890	111.8	15186
23	7.9	11916	4880	113.5	15392
22	7.7	11623	4870	116.4	15746
21	7.6	11476	4858	117.9	15910



(续表)

组件安装 倾角 / (°)	前到前间距 /m	1 MW 光伏阵列 的占地面积 /m <sup>2</sup>	单位面积光伏组件倾斜面 接收的年太阳辐射量 /MJ·m <sup>-2</sup>	100 MW 光伏阵列的基准 占地面积实际可布置的 光伏组件容量 /MW <sub>p</sub>	光伏发电系统的 首年发电量 /万 kWh
20	7.5	11329	4843	119.4	16065
19	7.3	11036	4830	122.6	16448
18	7.2	10889	4816	124.3	16623
17	7.0	10596	4802	127.7	17031
16	6.9	10449	4786	129.5	17215
15	6.7	10155	4770	133.2	17653
14	6.5	9862	4752	137.2	18111
13	6.4	9715	4734	139.3	18314
12	6.2	9422	4715	143.6	18807
11	6.1	9275	4694	145.9	19022
10	5.9	8981	4673	150.7	19556

了，即光伏阵列的直流装机容量增加了，增加比例为 1%~50%，光伏发电系统的首年发电量提高了约 10%~40%。

由于年可利用小时数可以比发电量更直观、更清晰地反映光伏发电系统的发电量情况，所以一般采用年可利用小时数来描述光伏发电系统的年发电水平；而在经济测算时，则以逐年发电量来计算项目投资收益和内部收益率等动态经济指标。

年可利用小时数 =  $\frac{\text{光伏发电系统的年发电量}}{\text{光伏阵列直流装机容量}}$

(1)

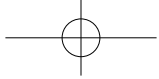
利用公式 (1) 可将光伏发电系统的首年发电量换算成年可利用小时数，换算后的具体数据如表 3 所示。

从表 3 中可以看出，当组件的安装倾角为 10° 时，光伏发电系统的首年发电量最高，为

表 3 光伏发电系统的首年发电量与年可利用小时数的关系

Table 3 Relationship between first year power generation and annual utilization hours of PV power generation system

组件安装倾角 /(°)	光伏发电系统的首年 发电量 / 万 kWh	年可利用 小时数 /h	组件安装倾角 /(°)	光伏发电系统的首年 发电量 / 万 kWh	年可利用 小时数 /h
32	13694	1369	20	16065	1345
31	13840	1369	19	16448	1342
30	13986	1368	18	16623	1337
29	14133	1367	17	17031	1334
28	14443	1366	16	17215	1329
27	14594	1364	15	17653	1325
26	14746	1363	14	18111	1320
25	14898	1361	13	18314	1315
24	15186	1358	12	18807	1310
23	15392	1356	11	19022	1304
22	15746	1353	10	19556	1298
21	15910	1349	—	—	—



19556 万 kWh；而当组件的安装倾角为  $32^\circ$  这一最佳安装倾角时，光伏发电系统的年可利用小时数最高，为 1369 h。

因此，在交流并网功率无要求、经济测算满足项目投资内部收益率的前提下，为提高光伏发电系统的年发电量，可适当降低组件的最佳安装倾角。

需要注意的是，组件安装倾角降低的程度需要根据项目的装机容量要求和发电量增加量进行技术经济性比对后确定；还需要综合考虑项目所在地的灰尘污染情况，以及光伏发电系统中光伏组件的清扫频率等因素。

### 3 结论

本文研究了在保持总占地面积不变、交流并网功率无要求、满足项目投资内部收益率的情况下，可以适当降低组件的最佳安装倾角，从而提高光伏发电系统的年发电量。研究结论表明，虽然组件的最佳安装倾角降低后，组件倾斜面接收的年太阳辐射量也随之减少，但在同样占地面积下，光伏阵列的直流装机容量会随之增加，从而使光伏发电系统的年发电量得到提高。

#### 【参考文献】

- [1] 郑勇. 基于案例的光伏电站总图设计与分析 [J]. 电工技术, 2017(11): 131 — 132.

## RESEARCH ON INFLUENCE OF REDUCING OPTIMAL INSTALLATION ANGLE OF PV MODULE ON POWER GENERATION OF PV POWER GENERATION SYSTEM

Ma Qinghu, Wang Xun, Bai Weigang, Zhang Bo, Li Xian, Li Xiaofeng, Ma Li

(Qinghai Photovoltaic Industry Innovation Center Co., Ltd., State Power Investment Group, Xining 810000, China)

**Abstract:** When PV power generation system adopts the fixed bracket orientation method, optimal installation angle of PV module is generally calculated based on the boundary conditions such as latitude, longitude, solar radiation, meteorological data and shadow shelter time of winter solstice. In this paper, under the unchanged conditions of total land area, AC grid connected power unlimited, and the project internal rate of return on investment reducing the optimal installation angle of PV modules can increase the DC installed capacity of PV array, so as to increase power generation of PV power generation system.

**Keywords:** PV power generation system; PV module; optimal; installation angle; power generation