

分布式光伏发电量与运维综合分析

文/中能建江苏能源科技有限公司 周振华 曹俊峰

针对投资建设的屋顶分布式光伏电站的发电量可行性分析预测、建成投产后发电量及后期运维影响下的发电量三个不同阶段，对分布式光伏电站发电量和运维进行综合分析，并用实际数据验证。本研究内容对光伏电站的投资成本估算和电站运维有借鉴意义。

2021年国务院政府工作报告指出，扎实做好碳达峰、碳中和各项工作，制定2030年前碳排放达峰行动方案，优化产业结构和能源结构。随着“双碳”的提出，光伏电站的建设将会引来新的契机。

光伏电站的建设比其他能源电站的建设相对要简单，而建成后的发电量是最重要的考核指标，发电量是否达到预期目标，以及如何实现有效高效的发电是本文研究的重点。

光伏电站发电量主要与电站的选址、敷设方式、电站主体设备性能以及后期运维等因素有关。

电站可研数据

电站地址位于江苏省南京市北部，地处北纬 $32^{\circ}11' \sim 32^{\circ}27'$ ，东经 $118^{\circ}34' \sim 119^{\circ}03'$ 。该地区为太阳能资源丰富区，等级为C，年总辐射量为 $1\ 050 \sim 1\ 400\ \text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ ，属亚热带季风气候，气候温和，四季分明，雨水适量，年平均气温为 $16\ ^{\circ}\text{C}$ 。太阳辐射数据是光伏电站发电的重要输入参数，准确性越高，对发电量的预测越精确。本次采用气象软件Meteonorm提供的多年平均太阳辐射数据进行发电量可行性分析预测。

根据Meteonorm提供的数据可知，项目地点水平面光照年均为 $1\ 281.0\ \text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ ，属于光照丰富地区（C级， $1\ 050 \sim 1\ 400\ \text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ ），具备建设光伏电站的条件。

电站设计装机容量为3 MW，敷设于厂房屋顶。设备主要包含太阳能电池组件、并网逆变器、交流汇流箱、箱式变压器、二次系统、电力电缆、组件支架及电缆桥架等。光伏并网发电系统采用串并联的方式组成多个太阳能电池阵列，各太阳能电池阵列组串经若干个逆变器逆变后通过交流汇流箱最终由箱式变电站接入用户10 kV母线。

影响光伏电站发电量的另一个关键因素是系统效率，主要考虑的因素有建筑物阴影引起的效率降低、灰尘及雨雪遮挡引起的效率降低、温度引起的效率降低、逆变器的功率损耗、交直流部分线缆功率损耗和其他杂项损失等。本工程系统效率估算修正系数见表1。

表1 系统效率估算修正系数

序号	效率损失项目	修正系数 (%)	系统效率 (%)
1	建筑阴影损失	97	79.92
2	灰尘及雨水遮挡损失	96	
3	温度损失	96	
4	并网逆变器效率损失	98	
5	交直流电缆线损	97	
6	其他损失	95	

本电站设计系统效率取值79.92%，并以此估算光伏电站的年发电量。工程所在地水平面全年日照辐射总量约 $1\ 281\ \text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ （折合标准日照条件 $1\ \text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ 下日照峰值小时数为1 281 h）。采用的组件首年衰减率为3%，其后组件逐年衰减率为

0.7%。经测算：首年等效利用小时数为993.06 h，发电量约289.32万kW·h。25年年均利用小时数约907.06 h，年均发电量约272.12万kW·h。由于电站于2017年年底建成投产，故本文仅对2018—2020年三年的发电量进行分析研究，发电量可行性分析预测，见表2。

表2 2018—2020年发电量测算

发电年份	首年发电量 /万kW·h	满负荷效率 (%)	年衰减率 (%)	当年组件效率 (%)	当年发电量 /万kW·h	年发电小时 /h
2018年	307.132 56	100	3	97	297.92	993.06
2019年	307.132 56	100	3.7	96.3	295.77	985.90
2020年	307.132 56	100	4.4	95.6	293.62	978.73

电站运营情况

电站2018—2020年三年的实际发电量及可研发电量统计见表3。

通过表3，电站建成投产第一年的实际发电量比可研发电量多6.86%，第二年的实际发电量比可研发电量多5.79%，第三年的实际发电量比可研发电量少3.29%，出现拐点。第一年、第二年的实际发电量与可研发预测发电量相比有一些偏差，但整体趋势是一致的，可从第三年开始发电量下降很多，值得研究，需要找出问题并解决。电站投产以来系

统运行一直比较稳定，可以排除发电系统的影响，再排除天气客观因素的影响，剩下最为重要的就是运维的影响。考虑到电站投运以来，每年平均清洗4次，组件表面的清洁度不能得到有效保证，为了研究组件表面清洁程度对发电量的影响，进行了实际验证。

表3 2018—2020年发电量统计

年份	可研发电量 /万kW·h	可研年发电小时 /h	实际发电量 /万kW·h	实际年发电小时 /h
2018年	297.92	993.06	319.86	1 059
2019年	295.77	985.90	313.94	1 040
2020年	293.62	978.73	284.26	941

组件表面清洁度对发电量的影响

由于屋顶结构的限制，目前组件清洗主要依靠人工，因成本比较高，所以清洗次数有限。为研究光伏组件表面清洁程度与发电量的关系，选定两个组件数量相同、排列方式和朝向相同的组串进行试验研究，如图1中的粉色区域和红色区域。一个组串方阵采用光伏板自动清洗设备进行清洗，另一个组串方阵不清洗，然后进行为期一个月的发电量统计。

两个组串方阵的发电量数据通过监控系统采集，见表4。

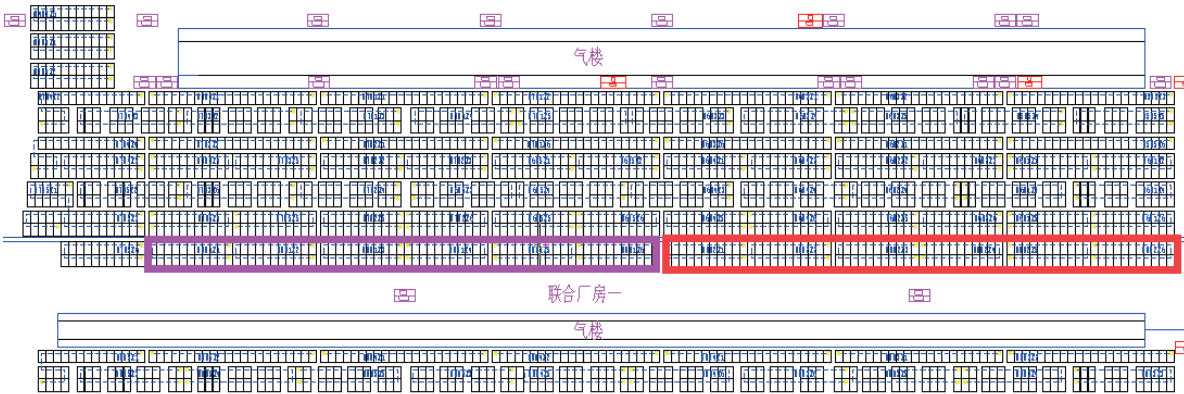


图1 组件布置方式

表4 光伏数采系统端口

序号	数采端口	汇流箱逆变器	端口号	组串数量	组件数量	屋顶位置	组件朝向	是否清洗
1	30	H8N1	COM3-81	6	132	西侧	北	未清洗
2	30	H8N2	COM3-82	6	132	东侧	北	自动清洗

统计2021年3月的发电量，见表5和图2。
根据表5和图2，采用自动清洗设备清洗的组

件，其每日发电量的提升效率在2.22%~14.04%之间，组件表面保持清洁方阵的每天发电量随着时间

推移呈逐日提高趋势，平均提升7.13%，因此可以推断，如果能够保证光伏板表面的清洁度，那么2020年发电量能够提升3.84%（7.13%－3.29%），从而使得实际发电量与预测发电量基本一致。

根据表3可知，前3年平均发电量为306.02万kW·h，按照平均提升效率7.13%计算，一年可提升发电量

21.82万kW·h，按照每度电收益1元核算，会增加收入21.82万元，对电站的收益影响也很大。因此长期保证组件表面的清洁，是能够有效提高发电量，从而提高电站收益的。但是清洗是需要投入成本的，需要合理确定清洗方式和次数。

表5 2021年3月的发电量

串口	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日
COM3-81/kW·h	34.43	74.81	161.03	202.29	185.11	180.96	180.37	180.58	41.16	183.35
COM3-82/kW·h	35.41	76.47	164.75	207.05	189.39	185.46	186.99	186.02	43.24	194.49
提升率（%）	2.85	2.22	2.31	2.35	2.31	2.49	3.67	3.01	5.05	6.08
串口	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日
COM3-81/kW·h	152.95	129.63	50.26	28.43	39.16	37.72	214.21	157.54	186.78	80.56
COM3-82/kW·h	166.19	140.95	57.08	29.43	40.90	38.88	225.07	166.88	195.82	85.40
提升率（%）	8.66	8.73	13.57	3.52	4.44	3.08	5.07	5.93	4.84	6.01
串口	21日	22日	23日	24日	25日	26日	27日	28日	29日	30日
COM3-81/kW·h	173.07	197.81	187.82	49.48	59.23	106.66	66.38	156.71	119.68	182.96
COM3-82/kW·h	188.77	217.57	207.04	53.98	65.47	120.74	75.70	178.67	136.46	207.62
提升率（%）	9.07	9.99	10.23	9.09	10.54	13.20	14.04	14.01	14.02	13.48

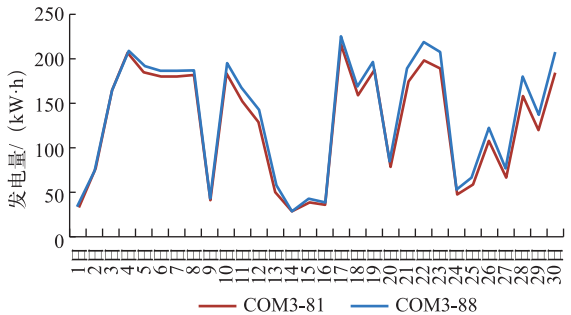


图2 2021年3月的发电量

清洗成本分析

光伏组件定期清洗是运维的重要组成部分，也是投入成本较大的部分。据相关研究资料，灰尘效应在光伏玻璃表面形成灰尘覆盖层，显著降低了太阳能电池片受光量和光伏组件的电能输出总量，是影响光伏发电系统工作效率的重要原因。

目前屋顶光伏清洗的方式主要有手工清洗、自动清洗设备清洗。光伏电站的具体建设情况见表6。

表6 光伏电站建设情况

装机容量/ MW	组件数量/ 块	组件规格/ mm	单个组件面积/ m ²	总面积/ m ²
3	10 000	1 968 × 992	1.95	19 500

人工清洗成本约为1元/m²，清洗一次约1.95万元。目前，电站一年清洗4次，一年人工清洗费用合计约7.8万元。但是一年清洗4次不能有效保证组件的清洁程度，通常需要根据实际工况合理增加清洗次数，人工成本将会大大增加。同时需要考虑屋顶清洗属于高空作业，存在很大的安全风险。

光伏板自动清洗设备投入成本约为0.1元/W，3 MW电站自动清洗设备投入约为30万元，前期投入比较大，但是自动清洗设备的寿命约为10年，折算到每年成本平均为3万元。通过测算，安装设备后年收益能增加约21.82万元，投入的性价比还是很高的。同时，光伏板自动清洗设备能有效地保证光伏板的清洁度，从而大幅度提升发电量。上述采用光伏板自动清洗设备清洗的光伏电站发电量的研究数据是很好的证明。综合考虑，采用光伏板自动清洗设备清洗是值得推荐的清洗方式。

结束语

通过文中对不同阶段发电量的数据分析可知，利用气象软件Meteonorm进行光伏电站发电量的预测比较可靠。组件表面的清洁程度对发电量的影响比较大，运维需要重点关注。EA