



# 分布式光伏发电项目收益测算浅析

陆晓静<sup>\*</sup>, 林德顺, 范朋欢, 吴星亮, 陈圣金

(浙江正泰安能电力工程有限公司, 杭州 310000)

**摘 要:** 针对如何更精确地进行分布式光伏发电项目投资测算, 选取具体实例进行分析对比, 并提出了一些笔者的个人见解。

**关键词:** 分布式光伏发电; 发电收益; 投资; 平均电价; 光伏消纳率

**中图分类号:** TK519

**文献标志码:** A

## 0 引言

受“531”光伏新政的影响, 目前许多地区的光伏发电项目处于“全额上网”模式时, 其项目的内部收益率(IRR)无法满足企业自身的投资需求, 于是这些企业将投资方向转向了市电价格较高、厂区用电量较大的“自发自用”项目。

对于采用“自发自用、余量上网”模式的分布式光伏发电项目, 在投资评估测算中, 平均电价和光伏消纳率是确定项目投资收益至关重要的2个指标。本文对于如何更精确地计算这2个指

标进行了分析。

## 1 分布式光伏发电项目平均电价的计算方法

电力系统的负荷是变动的, 为了碾平电力系统的高峰, 填平低谷, 促进用户有计划的用电和节约用电, 充分发挥价格的经济杠杆作用, 我国多地采用了峰谷电价制。2018年4月20日, 江苏省物价局发布的《关于降低一般工商业电价有关事项的通知》中, 就有工业用电峰谷分时销售电价的信息, 具体如表1所示。

表1 江苏省工业用电峰谷分时销售电价表<sup>[1]</sup>

Table 1 Peak and valley time-of-use electricity sales price for industrial electricity in Jiangsu Province

类别	价格	时段	峰时	平时	谷时
			08:00~12:00; 17:00~21:00	12:00~17:00; 21:00~24:00	00:00~08:00
大工业用电价格 / 元·kWh <sup>-1</sup>		1~10 kV	1.0697	0.6418	0.3139
		20~35 kV 以下	1.0597	0.6358	0.3119
		35~110 kV 以下	1.0447	0.6268	0.3089
		110 kV	1.0197	0.6118	0.3039
		220 kV 及以上	0.9947	0.5968	0.2989
100 kVA(kW) 及以上普通 工业用电价格 / 元·kWh <sup>-1</sup>		不满 1 kV	1.3257	0.7954	0.3651
		1~10 kV	1.3007	0.7804	0.3601
		20~35 kV 以下	1.2907	0.7744	0.3581
		35~110 kV 以下	1.2757	0.7654	0.3551

备注: 自2018年4月1日起执行; 7~8月季节性尖峰电价按照江苏省季节性尖峰电价相关实施文件执行

收稿日期: 2019-03-25

通信作者: 陆晓静(1992—), 女, 本科、助理工程师, 主要从事光伏发电系统设计方面的研究。xiaojing.lu@astronergy.com



采用“自发自用、余量上网”模式的分布式光伏发电项目的平均电价是基于销售电价计算的。但不同时段工业用电的销售电价不同，因此在实际项目评估时，采用加权平均值进行平均电价的计算比较合理。

下文以江苏省“1~10 kV”大工业用电项目为例，分别采用“峰、平、谷”时段的加权平均值和不同时段的光伏输出功率加权平均值2种方式来确定平均销售电价。

1) 采用“峰、平、谷”时段的加权平均值<sup>[2]</sup>。由于光伏发电时段主要集中在08:00~16:00，因此仅选取该时段内的销售电价进行加权平均值计算，即：

$$\text{平均电价} = \frac{(\text{峰时电价} + \text{平时电价}) \times 1}{2} \quad (1)$$

将表1中的数据代入式(1)可知，该项目的平均电价为0.8558元/kWh。

但由于不同地区的光伏发电时段不同，而且不同时段的太阳辐照度不同，因此每个时段的光伏发电时间占比均取“1”会存在较大误差。

2) 采用不同时段的光伏输出功率加权平均值。由于每天不同时段的太阳辐射量不同，为更精确地得到一天中不同时段的光伏输出功率占比，利用光伏软件PVsyst 6.63导出江苏省淮安市全年365天24个时间点的太阳辐射量，然后取每个时间点的平均值，图1为江苏省淮安市一天中各时刻的平均太阳辐射量分布曲线图。利用图1计算出各时段的面积及其占全天发电时段面积的比例，如表2所示。

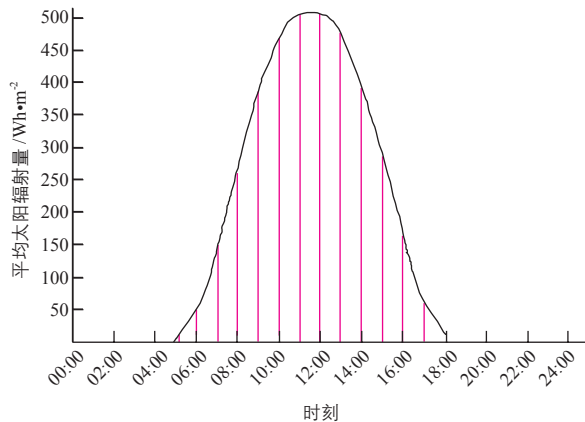
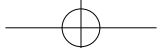


图1 江苏省淮安市一天中各时刻平均太阳辐射量曲线  
Fig. 1 Curve of average solar radiation in Huai'an City, Jiangsu Province

表2 江苏省淮安市一天中各时段的面积及其占比情况

Table 2 The each period area and its proportion of power generation period area of a day in Huai'an City, Jiangsu Province

时段	该时段的面积	占全天发电时段面积的比例/%	简化微调后的占比/%	电价时段
05:00~06:00	569.51	0.77	并入下个时段	—
06:00~07:00	2001.84	2.69	3.46	谷时
07:00~08:00	4213.68	5.66	5.66	谷时
08:00~09:00	6640.54	8.92	8.92	峰时
09:00~10:00	8626.81	11.59	11.59	峰时
10:00~11:00	9766.94	13.12	13.12	峰时
11:00~12:00	10102.70	13.57	13.57	峰时
12:00~13:00	9764.28	13.12	13.12	平时
13:00~14:00	8597.70	11.55	11.55	平时
14:00~15:00	6732.32	9.05	9.05	平时
15:00~16:00	4451.38	5.98	5.98	平时
16:00~17:00	2227.63	2.99	3.97	平时
17:00~18:00	732.62	0.98	并入上个时段	—



由于太阳辐射量直接影响光伏输出功率，因此光伏输出功率的情况由太阳辐射量来表征。对以上不同时段的光伏输出功率进行加权平均值计算，得到平均电价，即：

$$\text{平均电价} = \sum \text{各时段的占比} \times \text{该时段对应的电价} \quad (2)$$

根据表 1 和表 2 中的数值，代入式 (2)，得出平均电价为 0.8064 元 /kWh。

但根据式 (2) 进行计算仍会存在一定误差，主要原因为：① PVsyst 软件所提供数据的准确性需进一步论证。② 由于上述电价计算过程中均使用的是峰谷分时销售电价，未考虑“余量上网”部分的电价为脱硫煤标杆上网电价，这相当于默认了光伏电站所发电量均被完全消耗。但电站实际运行过程中，厂区逐时电力负荷与光伏输出功率曲线并不是完全重合的，即不同时段的光伏消纳率不相等，所以会导致以上计算仍存在一定误差。

## 2 分布式光伏发电项目的消纳率测算

### 2.1 光伏消纳率的不同计算方法

当分布式光伏发电项目所发电量不能被完全消耗，即存在“余量上网”部分时，该部分电力

的电价为脱硫煤标杆上网电价。因此下文就“自发自用”所占比例，即光伏消纳率情况进行分析。

目前工商业项目中，仅部分项目能提供其实时负荷曲线，一般只能提供从供电公司调取的项目 12 个月的电费清单。

以江苏省某个厂区的装机容量为 10004.25 kW 的分布式光伏发电项目为例，对其光伏消纳率情况进行分析。

1) 利用电量清单计算光伏消纳率。工业用电的峰时为 08:00 ~ 12:00，共 4 h；平时为 12:00 ~ 17:00，共 5 h；而光伏发电时段主要是在 08:00 ~ 16:00，故光伏发电时段用电量可表示为：

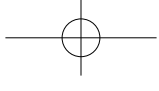
$$\text{光伏发电时段用电量} = \frac{(\text{峰时用电量} + \text{平时用电量}) \times 4}{8} \quad (3)$$

利用从供电公司调取的上述厂区 12 个月的电费清单，根据式 (3)，通过 PVsyst 软件模拟出光伏发电时段该厂区的用电量，如表 3 所示。从表 3 中的相关数据可知，该厂区的光伏消纳率为 100%，但在财务预测过程中，考虑到厂区放假和设备维护等因素，光伏消纳率按照 85% 进行保守计算。

表 3 某厂区 1 年的用电量清单及光伏消纳率情况

Table 3 A year's electricity inventory and PV consumption rate of a plant

日期	峰时用电量 /kWh	平时用电量 /kWh	光伏发电时段用电量 /kWh	光伏发电量 /kWh	光伏消 纳率 /%	光伏消纳率 折算值 /%
2017-09	98726	102503	100614.50	96084.94	105	100
2017-10	91334	92991	92162.50	75555.95	122	100
2017-11	105280	106433	105856.50	55412.84	191	100
2017-12	118932	118900	118916.00	52402.95	227	100
2018-01	129738	127742	128740.00	55714.68	231	100
2018-02	72433	72008	72220.50	67823.23	106	100
2018-03	113618	115344	114481.00	85219.70	134	100
2018-04	104136	106934	105535.00	105221.81	100	100
2018-05	114434	118280	116357.00	120779.00	96	100
2018-06	117627	121711	119669.00	109666.72	109	100
2018-07	109359	136936	123147.50	113191.99	109	100
2018-08	110890	134647	122768.50	104225.54	118	100
总计	1286507	1354429	1320468.00	1041299.35	—	100



2) 利用厂区负载有功功率和电站的理论光伏输出功率计算光伏消纳率。

$$\text{光伏输出功率} = \text{项目装机容量} \times \text{光伏发电效率} \quad (4)$$

由于本案例中的项目尚未建成运行, 光伏发电效率仅能参考该项目所在地附近的电站数据, 即监控平台调取的该项目附近区域已正常运行的电站的真实数据。

$$\text{光伏消纳率} = \frac{\text{负载有功功率}}{\text{光伏输出功率}} \times 100\% \quad (5)$$

根据式(4)可计算得到该厂区分布式光伏发电项目的理论光伏输出功率。理论光伏输出功率和厂区负载有功功率曲线如图2所示。从图中可以看出, 该厂区的负载有功功率在光伏发电时段(08:00~16:00)内基本为稳定状态。因此, 光伏消纳率随光伏输出功率的变化而变化。

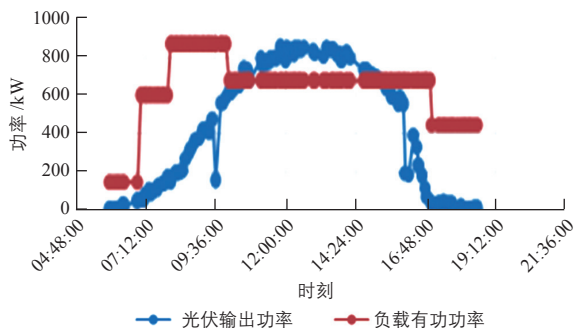


图2 光伏输出功率和负载有功功率曲线

Fig.2 PV output power and load active power curve

根据图2中光伏发电时段的相关数据, 利用式(5)可以得到该厂区的光伏消纳率约为92%。

## 2.2 不同计算方法的结果分析

通过上述光伏消纳率的计算过程和结果可知, 利用厂区负载有功功率和项目理论光伏输出功率进行计算是最为保守的方法, 但也最为合理。因此在做项目财务测算时, 最好是收集到厂区的负载有功功率和电站的光伏发电效率数据。但是由于厂区实时负荷曲线的获取存在一定难度, 因此在采用月电费清单进行计算时, 最好预留10%~15%的上网余量, 即若采用电费清单计算的光伏消纳率为100%时, 建议财务测算时取85%~90%。

## 3 光伏发电时段的选取<sup>[3]</sup>

在以上分析过程中, 大部分情况选取的光伏发电时段是08:00~16:00。但由于不同地区的光伏输出功率的时段不同, 例如, 我国西北地区在18:00时的光伏输出功率依然很高, 因此针对不同地区, 应通过PVsyst软件或监控平台查询出其一天中每个时段的光伏输出功率占比后, 综合选取合适的光伏发电时段。

## 4 计算结果分析

利用前文计算分析后得到的平均电价和光伏消纳率进行投资测算, 结果如表5所示。

表5 投资测算结果

Table 5 Investment calculation results

平均电价 /元·kWh <sup>-1</sup>	光伏消纳率 /%	20年 IRR /%	回收期 /年
0.8558	100	11.60	7.13
0.8064	92	9.94	7.98
0.8064	85	9.32	8.43

备注: 各企业的财务测算模型存在微小差异, 表5是根据浙江正泰安能电力系统工程公司的模型计算的结果

由表5可看出, 不同情况下计算的回收期各有不同, 最大差异约为1.3年。

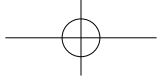
## 5 总结

本文通过对平均电价和光伏消纳率的合理选取进行分析, 得出以下结论:

1) 光伏发电时段的确定, 可通过Pvsyst软件或监控平台查询出各时段的光伏输出功率占比后, 综合选取合适的光伏发电时段。

2) 平均销售电价的计算, 建议采用不同时段的光伏输出功率加权平均值进行计算。其中各时段的太阳辐射量数据可通过PVsyst软件查询获得, 建议查询1年的数据取平均值进行计算。

3) 光伏消纳率的计算, 建议利用厂区负载有功功率和项目理论光伏输出功率进行计算。但不同项目的用电情况差异较大, 且大部分项目负荷曲线获取难度较大, 因此当无法获取项目所在厂区的负载有功功率时, 可利用电费清单进行计算,



但建议预留 10%~15% 的上网余量。

[参考文献]

- [1] 搜狐财经. 如何预估自发自用光伏项目——自用比例 [EB/OL]. (2017-07-18). [http://www.sohu.com/a/158209384\\_752928](http://www.sohu.com/a/158209384_752928).
- [2] 国家电网. 江苏省工业用电峰谷分时销售电价 [EB/OL]. (2018-06-19). [http://www.js.sgcc.com.cn/html/main/col2747/2018-06/19/20180619081112337497603\\_1.html](http://www.js.sgcc.com.cn/html/main/col2747/2018-06/19/20180619081112337497603_1.html).
- [3] 蒋华庆, 贺广零, 兰云鹏. 光伏电站设计技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2014.

## REVENUE BUDGET OF DISTRIBUTED PV POWER PROJECT

Lu Xiaojing, Lin Deshun, Fan Penghuan, Wu Xingliang, Chen Shengjin

(Zhejiang CHINT Anneng Electric Power System Engineering, Hangzhou 310000, China)

**Abstract:** One specific example was selected for analysis and comparison, aiming to accurately calculate the investment of distributed PV power project. Suggestions were also proposed from the author's perspective.

**Keywords:** distributed PV power; revenue budget; investment; average price; PV consumption rate