

Study on the optimization of photovoltaic installation mode under market price electricity

Denggao Xu

China Resources Power Shaanxi Company, Xi'an, Shaanxi, 710032, China

Abstract

As the power market reform advances, the impact of electricity price fluctuation mechanisms on the economic viability of photovoltaic power generation has shifted from a single dimension of energy quantity to a dual-factor coupling of "energy quantity-electricity price." This paper constructs a photovoltaic system benefit evaluation model based on time-of-use pricing, revealing the intrinsic rules of installation azimuth angle and electricity price period matching through multi-scenario simulations. Using a project in Shaanxi Province as an empirical case, PVsyst software is employed to conduct full lifecycle simulations for nine typical installation schemes, combined with land tax collection models to perform economic analyses. The aim is to explore optimization approaches for photovoltaic installation methods under market-based electricity pricing mechanisms, providing a theoretical basis for photovoltaic system design and investment decisions.

Keywords

time-sharing electricity price; photovoltaic optimization design; economic evaluation; shadow analysis; land policy

市场化电价下光伏安装方式的优化研究

徐登高

华润电力陕西公司, 中国·陕西 西安 710032

摘要

随着电力市场化改革的纵深推进, 电价波动机制对光伏发电经济性的影响已从单一电量维度转向“电量-电价”双因素耦合。本文构建了基于分时电价的光伏系统收益评估模型, 通过多场景模拟揭示了安装方位角与电价时段匹配的内在规律。以陕西省某项目为实证对象, 采用PVsyst软件对9种典型安装方案进行全生命周期仿真, 结合土地税费征收模式开展经济性分析, 探索在市场化电价机制下光伏安装方式的优化途径, 为光伏系统设计与投资决策提供理论依据。

关键词

分时电价; 光伏优化设计; 经济性评价; 阴影分析; 土地政策

1 引言

1.1 研究背景

随着全球低碳转型加速, 光伏发电已成为能源体系核心支柱, 根据国家能源局公布数据, 截至2024年底, 中国光伏装机容量达8.9亿千瓦, 占全国总装机的26.5%。2025年2月9日, 国家发改委、能源局印发《关于深化新能源上网电价市场化改革促进新能源高质量发展的通知》(发改价格〔2025〕136号, 下文简称“136号文”), 新能源上网电价将通过市场交易形成。在此背景下, 传统光伏“最佳倾角”模式面临发电时段与电价峰谷错配、空间利用率不足等问题, 亟待结合新政优化设计。

1.2 政策变革

随着136号文的出台, 标志着新能源电价全面进入市场化交易阶段。新要求: 工商业分布式光伏全面参与电力市场、集中式电站市场化交易电量占比不低于80%、建立峰谷电价浮动系数动态调整机制。

此政策背景下, 传统基于“最大发电量”的光伏设计范式面临根本性挑战。以陕西省市场化交易电价相关政策为参考, 峰时电价约是谷时的3.5倍, 但传统最佳倾角方案在峰时段的发电量占比不足22%, 存在明显的“量价错配”现象。

2 电价波动特征

由于机制电价暂未全面实行, 在此参考2024年6月, 陕西省发改委发布的《关于调整分时电价政策有关事项的通知(征求意见稿)》, 全年市场化交易上网电价在1-6时、11-15时为谷段, 15-23时为峰段, 23-1时、6-11时为平段; 高峰时段在平段电价基础上上浮40%、低谷时段在平段电价基础上上浮60%; 输配电价高峰时段在平段电价基础上上

【作者简介】徐登高(1996-), 男, 中国陕西西安人, 本科, 助理工程师, 从事光伏前期技术研究。

浮 60%、低谷时段在平段电价基础上下浮 60%^[1]。

大发时段为 10-16 时，而此时电价以谷价为主，为提升项目收益，需提高早晚峰段电价光伏出力，在安装方式上面，可通过调整安装方位角、倾角等方式来实现。

3 电量测算

3.1 方位角优化

以陕西某项目为例，结合 Metenorm 气象数据，其方位角为 0°（正南）时最佳倾角为 26°，年均利用小时为 1048h，各时段年均利用小时如下：光伏发电时段为 6-19 时，

在此采用 PVsyst 软件模拟了平铺、垂直安装及向西偏转 20°、40°、60°、80° 时的最佳倾角及利用小时情况，如下：

表 1

		不同安装方式各发电时段利用小时 (h)									
电价时段	方位角 (°)	0	0	0	90	-90	20	40	60	80	
	倾角 (°)	26 最佳倾角	0 平铺	90 正南	90 正西	90 正东	25	22	18	5	
平	6 时	1.6	2.5	3.5	5.6	7.4	1.7	1.7	1.8	2	
	7 时	14.9	18.6	14.2	27.9	35.6	11.2	10.8	11.1	15.9	
	8 时	46.1	47.7	37.0	60.3	74.7	38.5	34	33	43	
	9 时	82.9	80.3	64.3	80.5	97.5	74.8	68.5	65.2	75.4	
	10 时	116.9	110.2	89.2	88.4	104.4	109.3	103	98.6	106.1	
	小计	262.4	259.3	208.2	262.7	319.6	235.5	218	209.7	242.4	
	相比最佳倾角	0	-1.18%	-20.65%	0.13%	21.81%	-10.25%	-16.92%	-20.08%	-7.62%	
谷	11 时	133.1	124.6	106.5	84.6	96.2	128.2	123.6	119.5	122.5	
	12 时	144.8	134.9	112.8	74.2	77.9	142.8	140	136	134.7	
	13 时	145.6	135.6	116.3	86.1	79.6	146.9	146.3	142.8	137.4	
	14 时	132.4	123.9	103.6	100.0	87.0	136.9	138.6	136.2	127.4	
	小计	555.9	519	439.2	344.8	340.7	554.8	548.5	534.5	522	
	相比最佳倾角	0	-6.64%	-21.00%	-37.97%	-38.72%	-0.20%	-1.33%	-3.85%	-6.10%	
峰	15 时	109.1	103.3	83.1	102.0	86.2	116.3	120.2	119.2	108.2	
	16 时	75.6	72.9	56.6	89.0	73.4	83.4	89.9	90.3	78.4	
	17 时	35.8	37.9	27.4	59.6	48.0	42.4	48.2	49.9	42	
	18 时	9.1	11.9	10.5	26.2	20.6	12.2	15.1	16.5	13.7	
	19 时	0.5	0.6	0.9	1.7	1.3	0.5	0.6	0.7	0.7	
	小计	230.1	226.6	178.5	278.5	229.5	254.8	274	276.6	243	
相比最佳倾角	0	-1.52%	-22.41%	21.05%	-0.25%	10.73%	19.08%	20.21%	5.61%		
合计		1048.4	1004.9	825.9	886.1	889.8	1045.2	1040.6	1020.8	1007.4	
相比最佳倾角		0	-4.15%	-21.22%	-15.48%	-15.12%	-0.31%	-0.74%	-2.63%	-3.91%	

根据模拟结果，按照传统最佳倾角安装时，平、谷、峰时段利用小时分别为 262.4、555.9、230.1 小时，分别占总利用小时的 25%、53%、22%，通过调整安装方位角，可提升峰时利用小时占比，当调整为 90°（正西）安装时，峰时利用小时占比最高，为 31%。

3.2 综合电价分析

为体现不同安装方式与分时电价的贴合性，在此需计算项目综合电价 R:

$$R = \sum_{t=1}^T \lambda(t) \cdot P(t)$$

$\lambda(t)$: t 时段的上网电价 (元 / kWh)

$P(t)$: t 时段光伏发电量 (kWh)

T: 总时段数

参考分时电价政策，假设平段电价为燃煤标杆电价 0.3545 元 / 千瓦时，则峰段电价为 0.4963 元 / 千瓦时、谷段电价为 0.1418 元 / 千瓦时。结合以上模拟结果，不同安装方式下 1 千瓦光伏项目年上网综合电价如下：

由此可知，项目在采用 26° 最佳倾角时，单位千瓦年上网电价为 286.05 元，当安装方位角偏西 20° — 60° 时，电价较最佳倾角时有所提升，其中 40° 时提升最多，为 1.75%^[2]。

4 布置影响

随着安装方式的变化，光伏支架阴影长度也将发生变化，进一步影响占地面积及项目收益。根据相关规范，光伏方阵排布要求冬至日真太阳时 9:00 ~ 15:00 时段内前、后、左、右互不遮挡，为充分接收下午峰时电价的光照，光伏排布应考虑适当延长下午不遮挡时段，以 2382 × 1134mm 组件、2 行纵向布置为例，按照冬至日下午 15: 40（北京时间

16: 30) 不发生遮挡计算前后排间距。

面积等方面均会呈现出显著差异,为综合对比不同方案之间的优劣,本研究以10万千瓦项目运营期利润作为核心评判标准,分别针对地租与税费按投影面积征收以及全面积征收这两种不同征收模式,对各方案开展经济性对比分析^[3]。

5 经济性评价

当采用不同的安装方式时,项目的电量、电价、占地

表 2

时段	方位角(°)	0	0	0	90	-90	20	40	60	80
	倾角(°) 最佳倾角	26	0	90	90	90	25	22	18	5
平		93.02	91.92	73.81	93.14	113.31	83.48	77.28	74.34	85.93
谷		78.83	73.59	62.27	48.89	48.31	78.67	77.78	75.79	74.02
峰		114.20	112.46	88.61	138.23	113.91	126.46	135.99	137.28	120.60
合计		286.05	277.98	224.69	280.27	275.53	288.61	291.04	287.41	280.55
相比最佳倾角		0	-2.82%	-21.45%	-2.02%	-3.68%	0.90%	1.75%	0.48%	-1.92%

表 3

时段	方位角(°)	0	0	0	90	-90	20	40	60	80
	倾角(°) 最佳倾角	26	0	90	90	90	25	22	18	5
前后排间距(m)		10.4	4.8	13.8	17.0	17.6	12.6	13.9	14.1	13.2
相比最佳倾角		0	-53.91%	32.51%	62.85%	69.00%	20.51%	33.00%	35.06%	26.57%

表 4

方位角(°)		0	0	0	90	-90	20	40	60	80
倾角(°)		26 最佳倾角	0 平铺	90 正南	90 正西	90 正东	25	22	18	5
年均利用小时(h)		1048.4	1004.9	825.9	886.1	889.8	1045.2	1040.6	1020.8	1007.4
电价(元/kwh)		0.2728	0.2766	0.2721	0.3163	0.3097	0.2761	0.2797	0.2816	0.2785
投影面积征收	计费面积(亩)	793	882	60	60	60	800	818	839	879
	利润(万元)	16937	14735	4133	19333	18046	18047	18634	17546	15464
	相比最佳倾角	0	-13%	-76%	14%	7%	7%	10%	4%	-9%
全面积征收	计费面积(亩)	2200	1014	2915	3583	3718	2651	2926	2971	2785
	利润(万元)	10436	14089	-9912	1930	-40	8889	8185	6972	6023
	相比最佳倾角	0	35%	-195%	-82%	-100%	-15%	-22%	-33%	-42%

6 结论

在市场化电价机制下,光伏安装需从单纯追求发电量转向“电价导向型”设计,通过方位角偏转实现电量与电价匹配优化,可提升系统全生命周期收益,并为新型电力系统提供灵活性支撑。

(1) 光伏方位角的变化将影响阵列前后排间距、可布置容量、发电量等,进一步影响收益;

(2) 在市场化电价下,光伏朝向可根据项目及电价情况适度调整,需结合具体项目位置、电价、支架形式等计算综合收益具体比选;

(3) 为减少下午长阴影的影响,选址可优先选择西南向的坡地;

(4) 降低光伏倾角(如平铺)虽会导致发电量降低,但可提高布置容量,在用地成本高的地区可实现更高收益;

(5) 地租、耕地占用税、城镇土地使用税等土地税费的缴纳方式对安装方式选择影响较大,如税费以全面积征收,可优先选择平铺安装,如以投影面积征收,可结合电价情况进一步优化方位角。

参考文献

[1] 姜润丰. 新能源光伏发电系统设计安装及节能分析[J]. 价值工程, 2025, 44 (09): 19-21.
 [2] 孙浩远. 光伏发电系统的设计与应用[J]. 现代工业经济和信息化, 2025, 15 (01): 84-85+89.
 [3] 孙浩远. 光伏发电系统的设计与应用研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2024, 14 (12): 108-109+113.