

# 居住建筑分布式光伏发电系统经济性分析

罗 西<sup>1</sup>, 刘加平<sup>2</sup>

(1. 西安建筑科技大学管理学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:** 着眼于分布式光伏发电系统在我国居住建筑中采用的良好发展前景, 以我国北方城市宝鸡特定的自然条件及陕西省光伏发电补贴政策为背景, 选择内部收益率为主要分析指标, 居民用电量、光伏系统单位造价以及贷款模式作为投资收益影响因素, 采用SAM软件为研究工具, 综合运用对比分析、敏感性分析和财务杠杆分析等方法, 对我国居住建筑分布式光伏系统的经济性进行分析。结果表明, 在政府补贴的前提下, 分布式光伏具有投资价值, 但其盈利水平受到居民用电需求、系统构建成本、贷款利率、贷款比例等因素的共同影响。

**关键词:** 分布式光伏; 内部收益率; 阶梯电价; 财政补贴

**中图分类号:** TM 615

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2015)03-0437-05

## Economic analysis of residential distributed PV project

LUO Xi<sup>1</sup>, LIU Jiaping<sup>2</sup>

(1.School of Management, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. School of Architecture, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

**Abstract:** Under the huge challenge of global energy conservation, emission reduction and energy security, distributed PV industry has become the key means to achieve economic restructuring and low carbon economy. Based on SAM software, Baoji is chosen as the sample plot, household load, unit investment, loan interest rate and loan fraction are used as influence factors to analyze the economical benefits of distributed PV in China. The result shows that government subsidies help increase the investment but its profitability is to a large extent by such factors as household load, unit investment cost, loan interest rate and loan fraction.

**Key words:** distributed PV; IRR; tiered pricing; government subsidies

分布式光伏发电是指建在用户需求侧, 通过光伏组件将太阳能转化为电能的发电方式。目前, 我国光伏制造产能过剩, 欧美等国又相继采取贸易保护措施限制我国光伏产品出口, 将太阳能光伏与建筑结合在一起, 推广利用屋顶分布式太阳能, 既能减少采暖、制冷对煤炭、石油等一次能源消耗, 又能有效解决光伏发电的并网问题以及长距离输电的损耗问题, 还能加快分布式光伏发电推广应用, 这对于优化我国能源结构、促进节能减排、防治大气污染具有一举三得的重大意义。为此, 我国政府已出台多项优惠政策以推动分布式光伏产业快速发展, 尤其是国家发改委于2013年8月发布的《关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》<sup>[1]</sup>, 明确了0.42元/kW·h的分布式光伏全电量补贴政策; 陕西省政府也于2014年12月出台《陕西省人民政府关于示范推进分布式光伏发电的实施意见》<sup>[2]</sup>, 提出“在落实好国家现有电价补助政策的基础上, 省级财政资金按照1元/W标准, 给予一次性投资补助”的产业补贴政策。

由于分布式光伏属于新兴能源产业, 民众对其

运营及收益模式尚缺乏了解, 这直接导致居民投资分布式光伏的动力不足, 分布式光伏发展速度远低于政府预期。虽然国内外已有众多关于分布式光伏项目投资收益的研究, 但基本是在技术经济条件确定的情况下进行结果分析, 未将行业发展初期的自然、技术、市场、政策等不确定因素联系起来进行均衡分析。为此, 本文着眼于居住建筑分布式光伏发电系统在我国的发展, 以我国北方城市宝鸡市特定的自然条件及陕西省光伏发电补贴政策为背景, 选择内部收益率为主要分析指标, 利用SAM软件建立仿真模型, 综合运用对比分析、敏感性分析、财务杠杆分析等方法, 对我国居住建筑分布式光伏系统经济效益进行分析, 旨在展示居住建筑采用分布式光伏系统的发展前景, 为行业发展、该领域的科学研究及工程应用提供参考。

## 1 仿真模型参数选取

分布式光伏发电系统的经济性分析与其设计方案、组件性能以及气候条件等因素关系紧密。为便于分析比较, 本文使用SAM<sup>[3]</sup>软件来对陕西宝鸡

收稿日期: 2015-01-05

修改稿日期: 2015-05-25

基金项目: 国家创新研究群体科学基金项目 (51221865); 国家软科学研究计划项目(2011GXQ4D080)

作者简介: 罗西 (1988-), 女, 博士研究生, 主要从事建筑环境节能系统技术经济效果演变机理研究。E-mail: luoxi@shccig.com

地区居民分布式光伏发电系统进行经济性分析. 仿真模型中电池组件选用Canadian Solar CS6P-230P, 逆变器选用SMA公司Sunny Boy系列, 气象数据来源于Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA) 570160号气象站, 系统倾斜角设为宝鸡当地纬度 $34.35^{\circ}\text{N}$ , 系统性能衰减速度每年 $0.5\%$ , 项目投资成本 $10\,000\text{元/kW}$ , 运营维护费用每年 $124.34\text{元/kW}$ , 国家及陕西省内补贴分别为 $0.42\text{元/kW}\cdot\text{h}$ 及 $1\text{元/W}$ , 项目运营期25年, 补贴期限20年, 其中第12年需更换逆变器, 不考虑通货膨胀. 税收方面, 由于居民分布式光伏系统月售电销售额低于2万元, 根据国税总局规定可免征增值税, 同时由于系统规模较小, 忽略所得税的计算.

由于本文着眼于居民分布式光伏系统, 所分析的用电量范围限于 $1\,000\sim 5\,000\text{ kW}\cdot\text{h/a}$ 之间, 光伏系统装机规模限于 $1\sim 6\text{ kW}$ 之间.

2 经济效益影响因素分析

2.1 居民用电量

居民分布式光伏系统收益来源于三部分: “自发

自用”节省的电费、“余量上网”的售电收入和政府补贴. 其中售电电价根据《关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》规定采用当地燃煤机组标杆上网电价, 陕西地区为 $0.397\,4\text{元/W}^{[4]}$ ; 政府补贴按照国家规定 $0.42\text{元/kW}\cdot\text{h}$ 的标准; 节省电费的计算由于涉及到阶梯电价而较为复杂, 需分情况讨论.

表1 陕西省居民阶梯电价  
Tab.1 Tiered pricing for Shaanxi household electricity

编号	年累计用电量/ $\text{kW}\cdot\text{h}$	电价/ $\text{元}\cdot(\text{kW}\cdot\text{h})^{-1}$
第一档	用电量 $<2\,160$	$0.498\,3$
第二档	$2\,160<\text{用电量}<4\,200$	$0.548\,3$
第三档	用电量 $>4\,200$	$0.798\,3$

陕西省居民阶梯电价分为三级: 年累计用电量在 $2\,160\text{ kW}\cdot\text{h}$ 及以下的部分, 按第一档电价标准执行; 年累计用电量在 $2\,161\sim 4\,200\text{ kW}\cdot\text{h}$ 的部分, 按第二档电价标准执行; 年累计用电量在 $4\,201\text{ kW}\cdot\text{h}$ 及以上的部分, 按第三档电价标准执行. 因此, 居民消费电价在安装光伏系统前后可能不同, 这也加大了陕西地区光伏系统收益计算的复杂程度.

表2 陕西地区分布式光伏系统收益随居民年用电量变化关系表  
Tab.2 Relationship between Shaanxi distributed PV income and household load

发电量/ $\text{kW}\cdot\text{h}$	居民年用电量/ $\text{kW}\cdot\text{h}$	系统收益/元
0~2 160	用电量 $<$ 发电量	用电量 $\times 0.498\,3 + (\text{发电量} - \text{用电量}) \times 0.397\,4$
	发电量 $<$ 用电量 $<2\,160$	发电量 $\times 0.498\,3$
	$2\,160 < \text{用电量} < 2\,160 + \text{发电量}$	$1\,076.328 + (\text{用电量} - 2\,160) \times 0.548\,3 - (\text{用电量} - \text{发电量}) \times 0.498\,3$
	$2\,160 + \text{发电量} < \text{用电量} < 4\,200$	发电量 $\times 0.548\,3$
	$4\,200 < \text{用电量} < 4\,200 + \text{发电量}$	$1\,118.532 + (\text{用电量} - 4\,200) \times 0.798\,3 - (\text{用电量} - \text{发电量} - 2\,160) \times 0.548\,3$
	用电量 $>4\,200 + \text{发电量}$	发电量 $\times 0.798\,3$
2 040~2 160	用电量 $<$ 发电量	用电量 $\times 0.498\,3 + (\text{发电量} - \text{用电量}) \times 0.397\,4$
	发电量 $<$ 用电量 $<2\,160$	发电量 $\times 0.498\,3$
	$2\,160 < \text{用电量} < 4\,200$	$1\,076.328 + (\text{用电量} - 2\,160) \times 0.548\,3 - (\text{用电量} - \text{发电量}) \times 0.498\,3$
	$4\,200 < \text{用电量} < 2\,160 + \text{发电量}$	$2\,194.86 + (\text{用电量} - 4\,200) \times 0.798\,3 - (\text{用电量} - \text{发电量}) \times 0.498\,3$
	$2\,160 + \text{发电量} < \text{用电量} < 4\,200 + \text{发电量}$	$1\,118.532 + (\text{用电量} - 4\,200) \times 0.798\,3 - (\text{用电量} - \text{发电量} - 2\,160) \times 0.548\,3$
	用电量 $>4\,200 + \text{发电量}$	发电量 $\times 0.798\,3$
2 160~4 200	用电量 $<2\,160$	用电量 $\times 0.498\,3 + (\text{发电量} - \text{用电量}) \times 0.397\,4$
	$2\,160 < \text{用电量} < \text{发电量}$	$1\,076.328 + (\text{用电量} - 2\,160) \times 0.548\,3 + (\text{发电量} - \text{用电量}) \times 0.397\,4$
	发电量 $<$ 用电量 $<4\,200$	$1\,076.328 + (\text{用电量} - 2\,160) \times 0.548\,3 - (\text{用电量} - \text{发电量}) \times 0.498\,3$
	$4\,200 < \text{用电量} < 2\,160 + \text{发电量}$	$2\,194.86 + (\text{用电量} - 4\,200) \times 0.798\,3 - (\text{用电量} - \text{发电量}) \times 0.498\,3$
	$2\,160 + \text{发电量} < \text{用电量} < 4\,200 + \text{发电量}$	$1\,118.532 + (\text{用电量} - 4\,200) \times 0.798\,3 - (\text{用电量} - \text{发电量} - 2\,160) \times 0.548\,3$
	用电量 $>4\,200 + \text{发电量}$	发电量 $\times 0.798\,3$
4 200以上	用电量 $<2\,160$	用电量 $\times 0.498\,3 + (\text{发电量} - \text{用电量}) \times 0.397\,4$
	$2\,160 < \text{用电量} < 4\,200$	$1\,076.328 + (\text{用电量} - 2\,160) \times 0.548\,3 + (\text{发电量} - \text{用电量}) \times 0.397\,4$
	$4\,200 < \text{用电量} < \text{发电量}$	$2\,194.86 + (\text{用电量} - 4\,200) \times 0.798\,3 + (\text{发电量} - \text{用电量}) \times 0.397\,4$
	发电量 $<$ 用电量 $<2\,160 + \text{发电量}$	$2\,194.86 + (\text{用电量} - 4\,200) \times 0.798\,3 - (\text{用电量} - \text{发电量}) \times 0.498\,3$
	$2\,160 + \text{发电量} < \text{用电量} < 4\,200 + \text{发电量}$	$1\,118.532 + (\text{用电量} - 4\,200) \times 0.798\,3 - (\text{用电量} - \text{发电量} - 2\,160) \times 0.548\,3$
	用电量 $>4\,200 + \text{发电量}$	发电量 $\times 0.798\,3$

项目收益对于内部收益率的计算有着直接影响。现以0.92、1.83、3.22、4.14、5.06、5.97 kW共6种大小的分布式光伏系统为例,分析不同年用电量的情况下项目内部收益率的变化情况。实验结果图1所示:

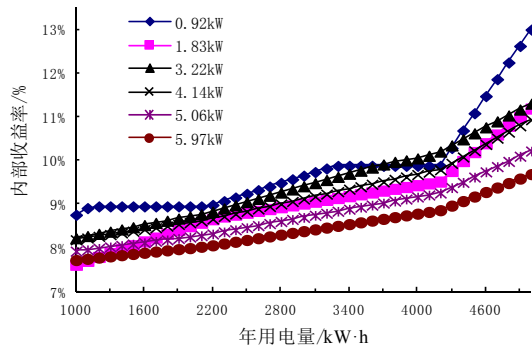


图1 分布式光伏系统内部收益率随负载变化情况

Fig.1 The variation between IRR of distributed PV and household load

从图1可以看出,随着居民耗电量的增加,分布式光伏系统的内部收益率呈分段线性增长趋势。不同装机规模的系统由于设计、价格、性能等方面的差异,内部收益率与用电量之间的关系曲线不尽相同。当系统年发电量 $>4\,200\text{ kW}\cdot\text{h}$ ,对应于陕西宝鸡地区装机规模 $>3\text{ kW}$ 左右时,内部收益率增长趋势基本相同,对于同一负载,随着系统产能的增大,系统内部收益率呈递减趋

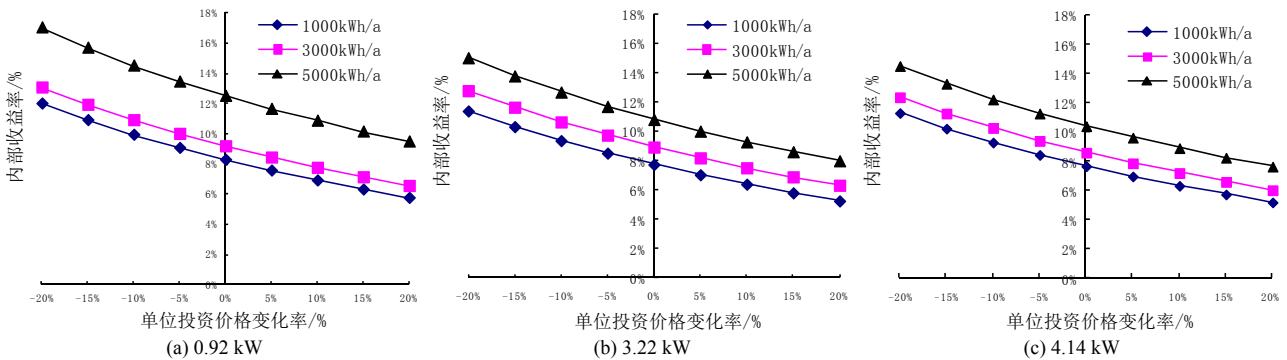


图2 分布式光伏系统单位投资价格敏感性分析图

Fig.2 Sensibility analysis of unit investment cost of distributed PV system

表3 单位造价变化对内部收益率的影响

Tab.3 The influence of IRR caused by unit investment cost

系统大小	用电量/ $\text{kW}\cdot\text{h}$	系统单位造价变动率					单位造价平均敏感度
		-20%	-10%	基本方案	10%	20%	
0.92 kW	1 000	11.986 5	9.921 6	8.265 0	6.896 2	5.738 5	0.018 899
	3 000	13.049 8	10.888 5	9.159 1	7.733 4	6.530 3	0.017 795
	5 000	17.031 7	14.502 8	12.495 3	10.852 8	9.476 2	0.015 117
3.22 kW	1 000	11.381 3	9.356 8	7.730 1	6.384 0	5.244 3	0.019 848
	3 000	12.767 9	10.629 8	8.917 4	7.504 5	6.311 3	0.018 101
	5 000	15.012 3	12.670 1	10.803 4	9.270 3	7.980 9	0.016 271
4.14 kW	1 000	11.343 5	9.321 1	7.698 5	6.350 8	5.212 0	0.019 911
	3 000	12.428 4	10.317 8	8.626 1	7.229 4	6.049 1	0.018 488
	5 000	14.567 1	12.270 8	10.438 8	8.932 6	7.664 7	0.016 531

### 2.3 居民贷款方式

前面的分析中未考虑贷款行为,而贷款利率和贷款比例也会对分布式光伏系统的经济效益产生影响.现以0.92 kW系统为例,分析居民年用电量分别为500和1 000 kW·h,系统单位投资分别为10 000和1 1000元/W共4种情况下,贷款利率与贷款比例对系统的内部收益率影响:

从图3可以看出,在相同贷款利率条件下,按照财务杠杆效应,贷款比例的提高可能导致项目自

有资金内部收益率提高,也有可能导致其下降,这取决于贷款利率与项目全投资内部收益率之间的大小关系.若贷款利率高于全投资内部收益率,说明项目收益不足以支付贷款利息,因此贷款比例越大,项目自有资金收益率越小;相反,若贷款利率低于项目全投资内部收益率,说明贷款的资金成本低于项目收益,因此贷款比例越大,项目自有资金内部收益率越大.

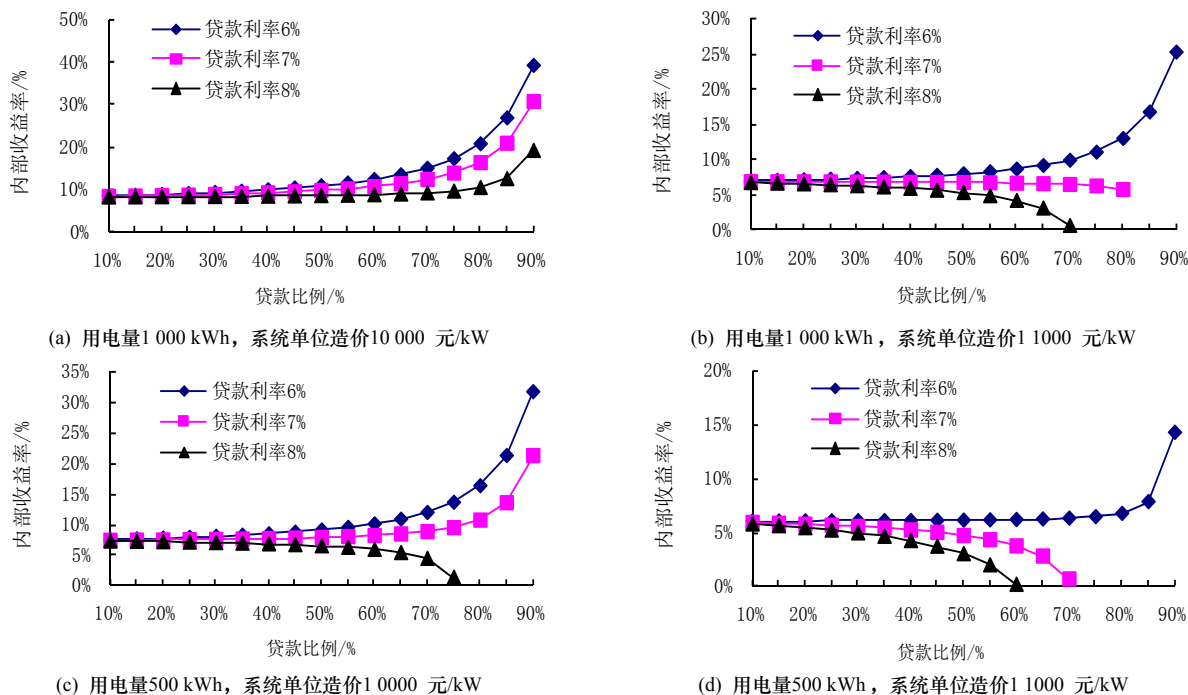


图3 贷款利率及比例对项目内部收益率的影响

Fig.3 The influence of IRR caused by loan rate and loan fraction

### 3 政府财政补贴

目前我国分布式光伏产业得以快速发展,很大程度上得益于政府的财政补贴.但是,《关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》中也指出“国家根据光伏发电发展规模、发电成本变化情况等因素,逐步调减光伏电站标杆上网电价和分布式光伏发电电价补贴标准”,这给分布式光伏发电的补贴政策带来

了较大的不确定性,一定程度上影响了投资者的信心.为研究政府补贴的有无对于分布式光伏系统内部收益率的影响大小,我们仍然以0.92、3.22和4.14 kW这3种大小的系统为例进行分析,结果如图4所示.

对于每一个系统,选取4种负载为观察点来定量分析政府补贴对分布式光伏项目内部收益率的影响.

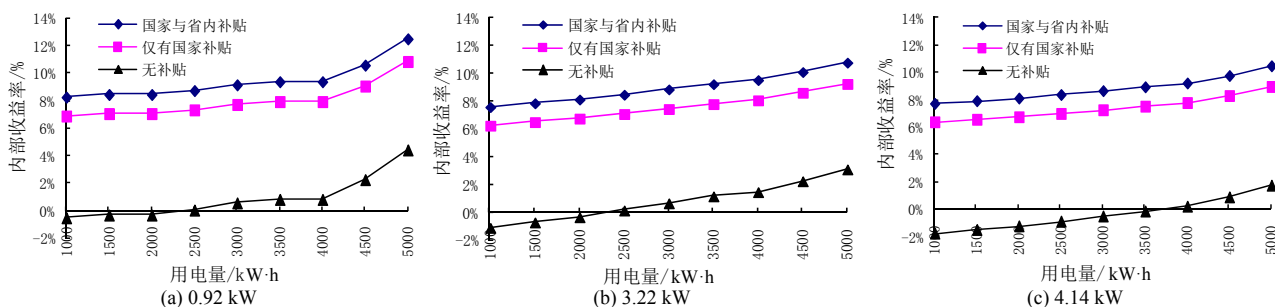


图4 政府补贴对IRR的影响

Fig.4 The influence of IRR caused by government subsidies

表4 政府补贴对分布式光伏的经济效益影响  
Tab.4 The influence of IRR caused by government subsidies

装机规模 /kW	居民年用电量 /kW·h	平均内部收益率/%		
		无补贴	仅有 国家补贴	国家与省内 补贴
0.92	1 000	-0.489 2	6.896 2	8.265 0
	2 000	-0.291 4	7.073 0	8.457 9
	3 000	0.590 2	7.733 4	9.159 1
	4 000	0.845 9	7.942 9	9.384 5
3.22	1 000	-1.675 2	6.384 0	7.730 1
	2 000	-1.000 6	6.855 1	8.228 7
	3 000	-0.102 5	7.504 5	8.917 4
	4 000	0.607 1	8.093 7	9.553 3
4.14	1 000	-1.776 8	6.350 8	7.698 5
	2 000	-1.244 5	6.719 1	8.084 5
	3 000	-0.527 6	7.229 4	8.626 1
	4 000	0.189 3	7.755 4	9.184 6

从图4及表4可以看出,当分布式光伏系统不享受任何补贴时,项目内部收益率徘徊在0%附近,甚至是负数;国家0.42元/kW时的补贴能够显著提高项目内部收益率,使项目基本达到可行;省内补贴1元/W在国家补贴的基础上能够再提高项目内部收益率1.38%左右。随着系统装机规模的增大,国家补贴对系统内部收益率的影响逐渐增大,而省内补贴对其的影响则相应减少,这主要是因为国家补贴是电价补贴,以发电量为计算单位,而省内补贴是建设补贴,以装机规模为计算单位。当装机规模增大时,系统发电量增加速度更快,因此其对内部收益率的影响也会更大。

参考文献      References

[1] 发改价格[2013]638 关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知[R]. 北京: 国家发展改革委员会, 2013.  
[2013]638 The notice on leveraging the healthy development of PV industry by tariff policy[R]. Beijing, National Development and Reform Commission, 2013.

[2] 陕政发[2014]37 关于示范推进分布式光伏发电的实施意见[R]. 西安: 陕西省人民政府, 2014.  
[2014]37 Policy on promoting demonstration program of distributed PV[R]. Xi'an: The people's government of Shaanxi Province, 2014.

[3] National Renewable Energy Laboratory. System Advisor Model v2014. 11. 24[CP]. U. S., Alliance for Renewable Energy, LLC, 2014.

[4] 陕价价发[2011]73 关于调整陕西电网电力价格的通知

4 结论

本文基于SAM软件对陕西宝鸡地区居民分布式发电系统的年发电量进行仿真计算,并在仿真结果的基础上对居民用电量、光伏系统单位造价、居民贷款方式与项目内部收益率的关系逐一进行分析,得到以下结论:

(1) 对于装机规模一定的居民分布式光伏系统,内部收益率与用电量为正相关关系。由于陕西居民电价实行阶梯政策,该关系曲线呈分段线性上升趋势;对于年用电量基本确定的居建筑分布式光伏系统,内部收益率与装机规模的关系受系统设计因素影响较大,总体上内部收益率伴随系统装机规模的增大而减小。未来光伏组件价格的下降将继续提升居民分布式光伏系统的利润空间。

(2) 居民分布式光伏项目内部收益率与银行贷款利率的比较是选择贷款资金来源的关键,当项目内部收益率>银行贷款利率时,自有资金内部收益率随贷款比例的增加而增加;当项目内部收益率<银行贷款利率时,自有资金内部收益随贷款比例的增加而减少。

(3) 目前我国居民分布式光伏产业的发展仍然依赖于国家补贴政策,在投资环境不确定,没有政府财政补贴的情况下,分布式光伏的竞争能力与其他能源相比仍有差距。

[R]. 西安: 陕西省物价局, 2011.  
[2011]73 The notice on adjusting Shaanxi grid price[R]. Xi'an: Shaanxi Provincial Price Bureau, 2011.

[5] 邵汉桥, 张籍, 张维. 分布式光伏发电经济性 & 政策分析[J]. 电力建设, 2014, 35(7): 51-57.  
SHAOHanqiao, ZHANGJi, ZHANG Wei. Economy and Policy Analysis of Distributed Photovoltaic Generation[J]. Electric Power Construction, 2014, 35(7): 51-57.

[6] OUYANG Xiaoling, LIN Boqiang. Levelized cost of electricity(LCOE)of renewable energies and required subsidies in China[J]. Energy Policy, 2014,(70): 64-73.

[7] YUAN Jiahai, SUN Shenghui, ZHANG Wenhua, et al. The Economy of distributed PV in China[J]. Energy, 2014, 78: 939-949.

(编辑 桂智刚)