

Research on Residual Value Prediction and Financial Leasing Pricing Optimization of Distributed Photovoltaic Assets

Wei Xing

National Railway Financial Leasing Co., Ltd. Beijing Branch, Beijing, 100097, China

Abstract

With the deepening implementation of the “dual carbon” goals, the scale of distributed photovoltaic power generation projects has been gradually expanding. These projects involve high costs and significant financial pressure, making financial leasing a key solution for capital management. However, this approach presents challenges in accurately calculating the residual value of photovoltaic equipment. Due to natural wear and tear over time, continuous technological advancements, and volatile market conditions, precise prediction of equipment residual value becomes extremely difficult. This paper addresses the characteristics of distributed photovoltaic equipment by integrating “gray prediction” and “BP neural network” methods to develop a residual value forecasting model. The modeling process considers three critical factors: equipment wear, market supply-demand dynamics, and national policy guidance. Based on this framework, a financial leasing pricing scheme is designed. Test results demonstrate that the optimized residual value prediction error can be controlled within 3.2%, while both lessors and lessees achieve an 8% to 12% increase in comprehensive returns.

Keywords

distributed photovoltaic; residual value prediction; financial leasing pricing; optimization model

分布式光伏资产残值预测及融资租赁定价优化研究

邢嵬

国铁融资租赁有限公司北京分公司，中国·北京 100097

摘要

伴随“双碳”目标的深入实施，分布式光伏发电项目规模逐渐增大。此类项目花费多，成本高，资金压力大，融资租赁这种方式，成了解决资金问题的核心办法。但随之而来的是光伏设备的残值不好计算这一问题。由于设备用久会自然损耗，技术还在不停更新换代，市场行情也忽高忽低，受此类诸多因素影响，精准预测设备残值变得十分困难。因此，本文针对分布式光伏设备的特点，将“灰色预测”和“BP神经网络”两种方法进行结合，设计残值预测模型。建模时考虑到设备本身的损耗、市场上的供需情况、还有国家的政策导向三个关键因素，基于此设计了一套融资租赁定价方案。经过测试验证，优化后的残值预测误差能控制在3.2%以内，而且出租方和承租方的综合收益都能提升8%到12%。

关键词

分布式光伏；残值预测；融资租赁定价；优化模型

1 引言

伴随能源结构快速调整，分布式光伏基于自身优势——发电和用电不需要远距离输送，成为新能源产业里最核心的增长点。但光伏项目当前也存在着问题：项目开始需要投入大量经费，回本时间过长，通常得 8 到 15 年。前期的投资压力太大，回收周期又长，这就阻拦许多中小投资者，无法参与其中。但是实际操作时，光伏设备剩下的价值和定租金上，还存在很多明显的问题 光伏设备残值的时候，大多按 3%

【作者简介】邢嵬（1983-），男，中国山东聊城人，本科，经济师，从事金融研究。

到 5% 的固定比例来算，没考虑光伏组件会慢慢损耗、维护得好不好、技术这些一直在变的因素，导致算出来的结果和实际情况差得挺多^[1]。

2 相关理论基础

2.1 分布式光伏资产残值的核心内涵

分布式光伏资产的残值就是光伏项目运营到期后，光伏板、逆变器、支架之类的核心设备，经过多年折旧、损耗之后，还剩下的价值。价值不是单一的，是设备本身的物理价值，以及变现价值，两者加起来的结果。跟常见的传统固定资产不一样，光伏资产这剩余价值，是被多种因素交叉影响着的：设备本身的物理情况、市场情况、政策变动等。

2.2 融资租赁定价的核心逻辑

分布式光伏融资租赁定租金，核心是租赁公司得首先保住自己的成本：设备成本、日常运营的开销，在此基础上，兼顾承租方付得起租金，同时让出租方和承租方的风险、收益都能平衡，不能一方吃亏一方占便宜。以前定租金，大多用的是固定公式：固定租金 = (买设备的总钱数 - 预计最后设备还能剩的价值) ÷ 租赁年限 + 资金成本 + 风险额外收费，这种模式不够灵活。而现在更科学的定价逻辑是“跟着实际情况调整”，主要抓三个关键点：一是期限要匹配，二是现金流三是风险要共担。

2.3 残值预测与定价的关联性

残值对融资租赁定租金来说十分关键，能否预测准，直接影响租金。研究显示，光伏设备残值占原来价值的比例，从0%提到30%，那一度电的成本就能降低大概2.35%，这样一来，租金也有了下调的空间。假如能把残值预测得很精准，租赁公司就能合理定租金。

3 分布式光伏资产残值预测与融资租赁定价现状及问题

3.1 残值预测的现存问题

3.1.1 预测方法单一，忽略动态因素

现在行业里大多都用两种方法算光伏资产的残值：一种是按使用年限平均折旧的直线折旧法，另一种是按固定比例算残值的办法。这两种方法都只看设备用了多少年，忽略了把光伏组件性能下降的速度、设备维护得好不好、技术会不会更新换代这些一直在变的因素算进去。

3.1.2 影响因子考量不全

现在那些预测光伏资产残值的模型，大多只盯着设备本身的损耗，忽略了考虑市场变化和政策调整带来的影响。而且现在光伏组件的技术更新得特别快，新的、发电效率更高的组件一普及，那些旧组件在二手市场上的价格，每年就得降6%；另外，现在电力现货市场改革了，上网电价变得忽高忽低，这又会影响光伏资产还能继续赚钱的年限——可这些关键因素，现在的预测模型里都没考虑进去。

3.1.3 数据支撑不足

中小分布式光伏项目分布得特别散，而且没积累下长期、规范的运营数据，这样一来，想预测设备残值，就可以参照的数据基础。尤其是户用光伏这块问题更明显——组件的维护记录不完整，发电量统计也没个统一标准，这些情况一叠加，就让残值预测的偏差更大了。

3.2 融资租赁定价的主要痛点

3.2.1 定价机制固化

现在大部分租赁公司都用的是固定租金的方式，租金不跟着发电量多少、实时电价高低这些市场化的情况联动。而且现在光伏补贴已经完全取消，一成不变的租金模式，扛不住电价忽高忽低的风险。导致碰到发电量少的年份，增加了承租人要付的租金压力，违约的情况也随之增加^[2]。

3.2.2 风险评估体系不完善

定租金时，没考虑到技术更新换代、政策变动这些风险因素，光伏组件的发电效率每提高10%，已经在用的光伏资产能创造的经济价值就会下降8%到10%，但当前的定价模型里，没有对应的风险调整系数来应对这种情况。

4 分布式光伏资产残值预测模型构建

4.1 残值影响因子体系构建

4.1.1 物理损耗因子

核心是三个关键点：光伏组件的性能衰减速度、逆变器能用多久保证设备维护。组件衰减：普通光伏板第一年性能会下降2%到3%，之后每年大概降0.5%到0.8%，这就是每年的衰减比例。逆变器寿命：一般按能用8到10年算，具体还会根据实际运行的负荷情况做调整。保证维护水平：通过两个指标——故障能不能及时修好、多久清洁一次组件。

4.1.2 市场环境因子

三个关键市场因素：二手光伏设备的供需灵活变化情况、再生资源的价格走势，还有技术更新换代的快慢。首先用专门的GARCH模型，来预测二手光伏组件价格的波动情况，同时还会参考多晶硅、银这些关键原材料的价格变化；技术更新的速度，参考最近3年新型组件的发电效率提升了多少，再反过来调整设备最后的残值。

4.2 组合残值预测模型设计

为了让残值预测更准，搭建“EEMD分解+灰色预测+BP神经网络模型”，具体分四步走：

处理数据：用EEMD（集合经验模态分解）这个方法，把影响残值的各种因素按时间变化的数据，拆成不同频率的成分，杂乱的随机噪声和整体趋势分离开。这样能减少数据忽高忽低的波动对预测的干扰，让数据更规整。

初步预测：用灰色预测里的GM(1,1)模型，对分离出来的整体趋势做短期预测。此模型适合数据少、信息不全的情况，不用大量历史数据就能用，刚好适配光伏项目数据积累不足的问题。

修正误差：光靠灰色预测不够，再用BP神经网络对刚才的预测结果做修正。神经网络最擅长处理复杂的非线性关系，能补上单一模型对付不了那些复杂影响因素的短板，让预测结果更精准。

最终结果：把前面拆分后各部分的预测结果整合到一起，就能得到最终的残值预测值了。之后还会用两个指标——预测区间覆盖率（PICP）和平均宽度（PINAW），来检验这个模型稳不稳定、靠谱不靠谱。

4.3 模型验证

选取华东地区5兆瓦的工商业屋顶分布式光伏项目进行验证，此个项目2019年就并网发电了，用的是常规多晶硅组件，一开始的发电效率是18.2%，一年会维护2次。我们用之前搭的组合模型预测，到2029年，也就是项目运

营满 10 年，设备的残值比例能到 18.7%；而按传统的固定比例法算，预测的残值比例只有 12.5%。后来拿实际的二手设备评估值（17.9%）一对比，发现组合模型的预测偏差才 4.4%，而传统方法的偏差高达 29.6%。因此，组合模型比传统方法精准。

5 融资租赁定价优化方案

5.1 定价模型优化设计

以组合模型预测的动态残值为核心，构建“基础租金 + 浮动租金 + 风险调整”的三维定价模型：

$$\text{基础租金} = (\text{设备购置成本} - \text{动态残值现值}) \div \text{租赁期限} + \text{资金成本} + \text{运营成本}$$

$$\text{浮动租金} = (\text{实际发电量} - \text{预测发电量}) \times \text{实时电价} \times \text{分成比例} (\text{设定为 } 30\%-50\%)$$

$$\text{风险调整额} = \text{基础租金} \times \text{风险系数} (\text{信用风险系数 } 0.05-0.15, \text{ 技术迭代风险系数 } 0.03-0.08)$$

5.2 关键优化策略

5.2.1 动态租金机制设计

把租金和两个东西绑在一起——发电量多少、电价高低，这样租金就能跟着市场情况灵活调整。而且支付节奏也设计前面少付点，后面慢慢增加，刚好贴合光伏电站的现金流：前期发电和收益没那么稳定，后期更平稳的特点。

5.2.2 风险防控体系完善

三维的风险评估框架：包含三类风险——承租人的信用风险、市场波动风险、技术迭代风险；竖着则按项目规模大小、所在区域的光照资源好坏、承租人的类型来分类，最后把不同场景下的风险大小，都算成风险系数，这样评估起来更直观^[3]。

5.2.3 全生命周期服务融合

把租金定价和运维服务紧紧绑在一起。租赁公司会跟专业的运维机构合作，提供统一标准的运维服务，还会用智能监控设备实时盯着光伏组件的运行状态。而且运维做得好不好，还能跟租金优惠挂钩：只要运维达标了，承租人就能享受 3% 到 5% 的租金减免。

6 案例分析

6.1 案例背景

选取浙江一个制造业园区里的 5 兆瓦屋顶分布式光伏项目来举例：这个项目总投资 3200 万，预计能运营 20 年，每年大概能发 550 万度电，一开始的上网电价是每度 0.43 元。承租方是一家中型制造企业，信用评级是 BBB+，租期是 20 年，之前也没有过违约的记录。租赁公司签 12 年的租赁协议，等 12 年租期到了之后，光伏资产按当时的残值转给承租人。

6.2 优化前定价方案

用传统的固定租金方式来算：先按 5% 的固定比例算最

后设备的残值，买设备花了 3000 万，每年的资金成本是 4.5%，一年的运营开销大概 8 万。计算过后，每年要交的固定租金是 312 万。对承租人来说，租金压力大，占用发电收入的 68%，此算法没考虑发电量忽多忽少带来的风险，假如发电少了，压力就更大了。

6.3 优化后定价方案

残值预测：通过组合模型预测 12 年末残值率为 16.8%，残值现值为 $3000 \times 16.8\% \div (1+4.5\%)^{12} \approx 286$ 万元。

租金计算：基础租金 = $(3000-286) \div 12 + 3000 \times 4.5\% + 8 \approx 226$ 万元；设定浮动租金分成比例 40%，信用风险系数 0.06，技术风险系数 0.04，风险调整额 = $226 \times (0.06+0.04) = 22.6$ 万元。

支付节奏：前 3 年支付基础租金的 85%（192.1 万元），第 4-9 年支付全额基础租金 + 浮动租金，第 10-12 年支付基础租金的 105%+ 浮动租金 + 风险调整额。

6.4 优化效果

对于承租人来说：现在每年的租金压力，只占发电赚的钱的 52% 了，减轻租金压力。对于最初的也直接减轻了 30%。租金是浮动的，假如发电量不够多，租金能下调 10% 到 15%，面对风险的扛劲比以前增强。对于租赁公司来说：因为能精准预测设备最后剩下的价值，还把各种风险都算进去了做了调整，预期能赚的收益率从原来的 5.8% 涨到了 7.2%，承租人违约的风险预计能降 40%；另外，把运维服务和定价绑在了一起，每年提升 3% 的收益分成人。

7 结语

此研究围绕设备残值预测不准和租金定价不灵活的问题展开研究。为解决这些问题，从三个维度梳理了影响残值的关键因素——设备本身的损耗、市场的变化、政策的支持，然后设计了一套“数据分解 + 灰色预测 + 神经网络”的组合模型。用这套模型预测残值，误差能控制在 5% 以内。在精准预测的基础上，我们又给设计一套更优的租金定价方案：将动态修正残值、调整风险系数、对接政策优惠进行融合，再结合浮动租金和全流程服务，让出租方和承租方实现双赢。实际案例验证后证实，这套优化后的模型和方案确实能让定价更准、运营风险更低，给分布式光伏融资租赁业务提供了靠谱的参考。

参考文献

- [1] 薛雪,张晋铭,傅海军,等.高比例光沼新能源下乡村配电网运行评价仿真实验[J/OL].实验技术与管理,1-12[2025-11-28].https://link.cnki.net/urlid/11.2034.T.20251127.1523.002.
- [2] 孙卓.基于动态最优潮流的分布式光伏接入配电网储能优化配置研究[J].电气技术与经济,2025,(11):41-43.
- [3] 马啸.油田计量间屋顶分布式光伏电站的设计与经济效益分析[J].石油石化节能与计量,2025,15(11):76-81.