



# 计及多维性能评估的新型配电网光伏选址定容方法

陈奇芳<sup>1</sup>, 李若凡<sup>1</sup>, 夏明超<sup>2</sup>, 吴迪<sup>3</sup>, 邵尹池<sup>4</sup>

(1. 北京交通大学电气工程学院, 北京 100044; 2. 大连交通大学自动化与电气工程学院, 辽宁大连 116028;  
3. 山东中实易通集团有限公司, 山东济南 250001; 4. 国网冀北电力科学研究院, 北京 100045)

**摘要:** 现有选址定容方法只考虑光伏接入后的电压和网损指标, 而对光伏接入后的消纳效果考虑不足, 难以满足新型配电网的发展需求。本文提出了一种计及多维性能评估的新型配电网光伏选址定容方法, 首先, 形成了涵盖电能质量、供电能力、光伏接入效果的多维度评价体系, 构建了基于主客观组合赋权-模糊评价的接入方案综合评价方法。其次, 将综合评价与优化选址定容过程有机结合, 形成了评价-选取一体化的光伏选址定容优化模型, 采用非支配排序遗传算法 (non-dominated sorting genetic algorithm-II, NSGA-II) 实现了全年光伏差异化出力条件下的最优接入位置、容量获取。最后, 算例验证表明所提方法不仅显著降低了节点电压偏差和线路传输压力, 而且在更全面技术性能评价范围内具有更优的光伏接入特性和多指标综合性能, 提升了光伏配置合理性和资源效率, 可有效支撑新型配电网的发展需求。

**关键词:** 选址定容; 分布式光伏; 综合评价方法; 新型配电网

**DOI:** 10.11930/j.issn.1004-9649.202311027

## 0 引言

近年来, 随着碳排放问题制约社会和经济发展的, 构建以光伏为基础的新型配电网系统是达成“双碳”目标的关键措施<sup>[1]</sup>。然而, 分布式光伏电源发电呈现显著的波动性、间歇性, 大规模光伏接入给新型电力系统带来电压越限、网损增加、运行风险增大等一系列危害<sup>[2-3]</sup>。因此, 合理规划光伏电源的接入位置与容量是当下促进新型配电网系统高质量发展的关键。

国内外对分布式电源选址定容问题取得了一定研究成果<sup>[4]</sup>。文献<sup>[5]</sup>以降低风光电站并网对电压稳定性的负面影响为目标, 提出了风光电站选址定容协同规划方法。文献<sup>[6]</sup>以投资成本、网损、电压质量为优化目标, 提出了改进的遗传算法, 提高了算法的寻优能力。类似的研究还包括潮流线性化方法<sup>[7]</sup>、改进人工鱼群算法<sup>[8]</sup>、启发式矩阵匹配法<sup>[9]</sup>等。已有研究在优化算法改进、求解性能提升等方面有所贡献, 但存在优化侧重点单一、缺乏优化结果多维评估的问题。并且受优

化算法求解复杂度、算法收敛能力的限制, 已有文献大多设定优化目标数量为2~3个, 难以全面反映光伏电源运行对配电系统产生的多指标影响。

部分文献考虑到光伏接入对配电网多维影响因素, 在选址定容研究中运用综合评价方法。文献<sup>[10]</sup>在蝴蝶算法基础上, 利用加权法求取综合评价实现接入点优选。文献<sup>[11]</sup>利用三角模糊数层次分析法处理光伏接入费用最小化规划模型。此外还有基于概率论<sup>[12]</sup>、优劣解距离法<sup>[13]</sup>和主成分分析法<sup>[14]</sup>等方法在分布式电源选址优化的应用。然而, 对于量纲不同、类型不同的多个光伏接入影响因素, 已有研究仅采用单一方法或简单组合方法的评价模型, 其赋权过程与评价过程的妥善性有待提升, 方案选取存在多优化目标间顾此失彼的问题。此外, 现有研究缺乏将评估体系、综合评价方法与光伏选址定容研究有机结合的探索, 最优方案选取缺少科学的评价结果支撑。

针对上述不足, 本文提出一种计及多维技术性能评估的分布式光伏选址定容方法。首先, 建立了新型配电网技术性能综合评价体系, 并提出了一种基于主客观组合赋权-模糊评价的光伏接入综合评价方法。在此基础上, 通过构建综合评

收稿日期: 2023-11-07; 修回日期: 2021-11-27。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (52007004)。



估与非支配排序遗传算法 (non-dominated sorting genetic algorithm-II, NSGA-II) 结合的评价-选取一体化光伏选址定容模型, 获取了平衡优化复杂度和评价完善性的光伏接入最佳方案。最后以河北某地的新型配电网系统为对象进行了算例分析与方法对比, 验证了方法有效性。

## 1 新型配电网技术性能评价体系

本文从电能质量、供电能力以及光伏并网特性三个角度建立新型配电网技术性能评估体系。其中, 光伏最大盈余发用比、源-荷归一化形态匹配率计算方法如下。

1) 光伏最大盈余发用比

$$\mu = \frac{1}{P_{\max}^L} \max(P_{PV,t} - P_{L,t}) \quad (1)$$

式中:  $P_{L,t}$ 、 $P_L^{\max}$  分别为在时刻  $t$  时负荷功率与测量时段内最大负荷功率;  $P_{PV,t}$  为分布式光伏电源在时刻  $t$  的输出功率。

2) 源-荷归一化形态匹配率

$$\lambda_{GL} = \frac{\int_{t=t_0}^T \min\left\{\frac{P_{PV,t}}{P_{PV}^{\max}}, \frac{P_{L,t}}{P_L^{\max}}\right\} dt}{\int_{t=t_0}^T \frac{P_{PV,t}}{P_{PV}^{\max}} dt} \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $P_{PV,t}^{\max}$  为光伏电源在时段内的最大输出功率。

## 2 基于组合赋权的综合评价方法

### 2.1 主客观结合的指标赋权方法

赋权方法包括主观与客观两种<sup>[18]</sup>。主观赋权优势在于评价结果符合直觉经验<sup>[19]</sup>。客观赋权优势则是符合系统实际运行情况<sup>[20]</sup>。本文提出一种层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP) - 灰色关联分析 (grey relation analysis, GRA) 与 CRITIC 相结合的组合赋权方法, 实现主、客观方法的优劣互补。

#### 2.1.1 基于 AHP-GRA 的主观赋权

基于 AHP-GRA 的主观赋权方法步骤如下:

1) 判断矩阵构造。基于所提评估体系, 引入 1-9 标度法<sup>[21]</sup> 构建判断矩阵  $A = (t_{ij})_{n \times n}$ , 其中  $t_{ij}$  为指标  $y_i$  和指标  $y_j$  的影响作用重要性对比;  $n$  为

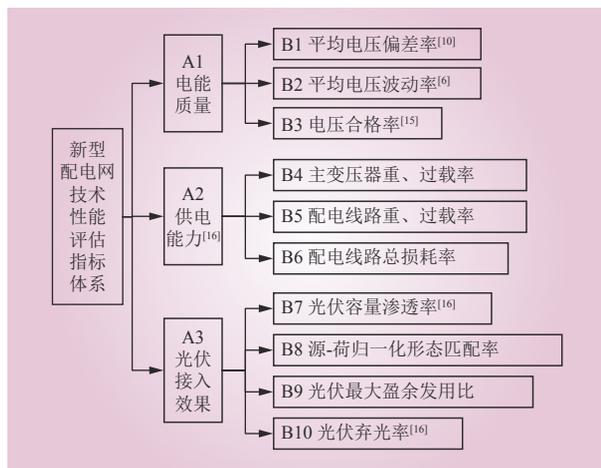


图 1 新型配电网技术性能评估指标体系

Fig. 1 Technical performance evaluation index system of new distribution network

判断矩阵阶数。

2) 采用文献 [21] 中计算方法获取指标权重并进行一致性检验。

3) 重复步骤 1) 和 2) 获取所有专家的赋权结果, 构建权重矩阵  $B$ ;

4) 选择  $A$  中最大权重作为参考值  $B_0$ , 并计算得到主观赋权权重  $\bar{w}_{\text{sub}}$ <sup>[16]</sup>。

#### 2.1.2 基于 CRITIC 的客观赋权

客观赋权部分本文采用 CRITIC 法<sup>[22]</sup>, 通过指标对比强度和冲突性综合衡量数据中蕴含的信息量, 从而确定权重分配。客观权重计算方法见文献 [18]。

#### 2.1.3 主-客观权重的组合赋权

本文采用最小鉴别信息原理<sup>[23]</sup> 获取组合权重向量  $w_c$ <sup>[24]</sup>, 以确保组合权重尽可能接近  $X$  和  $X$ 。

### 2.2 模糊综合评价模型

由于评估体系中各项指标存在优化竞争, 难以同时满足最优。为此本文采用模糊综合评价方法<sup>[25]</sup> 进行量化指标到综合评价的映射, 实现选址定容方案最优决策。步骤如下:

1) 模糊评价模型。利用隶属函数获取各指标的评判矩阵  $R = (r_{ij})_{p \times q}$ ,  $p$  是指标数量,  $q$  为评价集等级划分数。其中, 电压合格率、光伏容量渗透率、源-荷归一化形态匹配率采用成本型三角型隶属函数, 其余指标采用效益型三角形隶属函数模型。

2) 获取综合评价  $M = SV^T$ , 其中  $V^T$  为评估赋值矩阵; 模糊评价隶属度  $S = w_c R$ 。



### 3 分布式光伏的多目标选址定容方法

考虑到光伏接入对新型配电网技术性能的多方面影响，本文提出一种基于综合性能评价与接入参数优化的评价-选取一体化光伏选址定容模型，如图2所示。其中，综合性能评价部分采用所提基于组合赋权-模糊评价的综合评价方法。光伏接入参数优化部分则针对光伏出力不确定性、受季节因素影响大的特点，首先基于K-means方法<sup>[5]</sup>缩减光伏场景，聚类得到光伏典型处理模

式。而后，基于24小时配网负荷数据、光伏典型出力曲线构建配网电力潮流求解与NSGA-II优化算法相结合的选址定容模型。该模型包括优化求解和方案评估选取两个阶段。在第一阶段中，遍历计算并记录不同光伏出力模式下对应的非支配方案解集，以及各指标结果。待优化模型满足收敛判别条件时，第一阶段结束。在第二阶段，首先利用本文所提综合评估方法，获取各非支配方案的评价分数。而后，根据每种出力模式的全年天数占比加权计算综合评价值。选取具有最大评

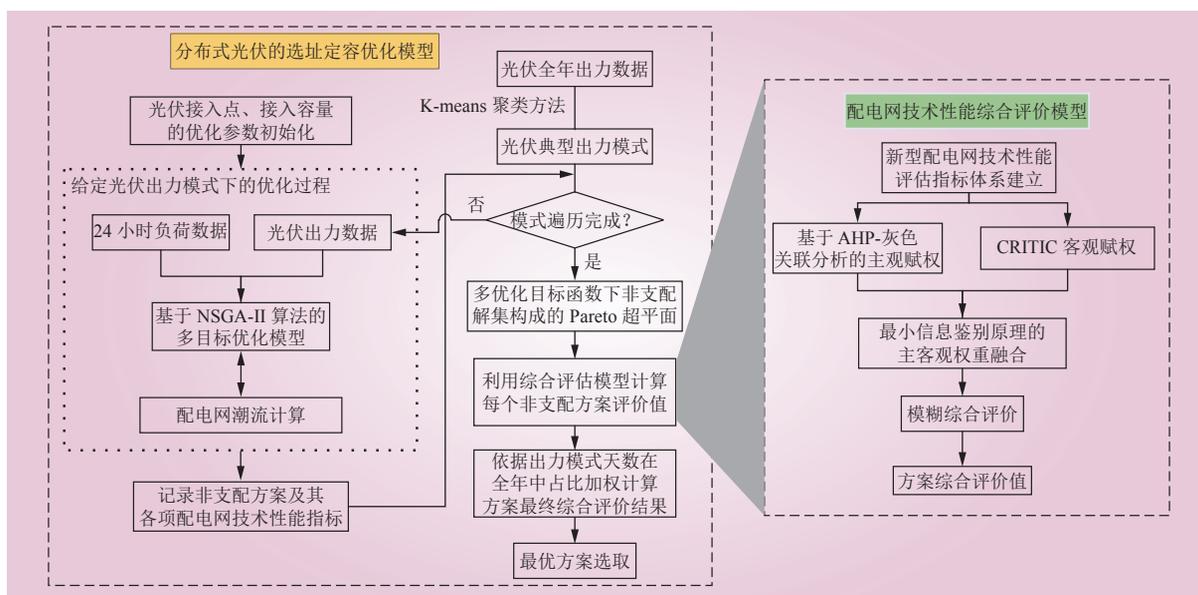


图2 基于综合性能评价的评价-选取一体化分布式光伏选址定容模型

Fig. 2 Evaluation-selected integrated distributed PV locating and sizing model based on comprehensive performance evaluation

价值的解作为最优光伏选址定容方案。

图3为基于NSGA-II算法的选址定容优化流程。本文在评价体系的三个评价维度中各选取一个指标作为算法目标函数，即平均电压偏差率、配电线路总损耗率以及光伏弃光率。

### 4 算例分析

#### 4.1 算例介绍与模型参数设定

为验证所提方法的有效性，本文选用图4所示河北省某地20节点单端辐射状配电网开展算例分析。该系统最大有功负荷为3.38 MW，无功负荷为1.64 Mvar。潮流计算时，系统功率基准值设定为 $S_B = 100 \text{ MV} \cdot \text{A}$ ，配电网额定电压等级设定

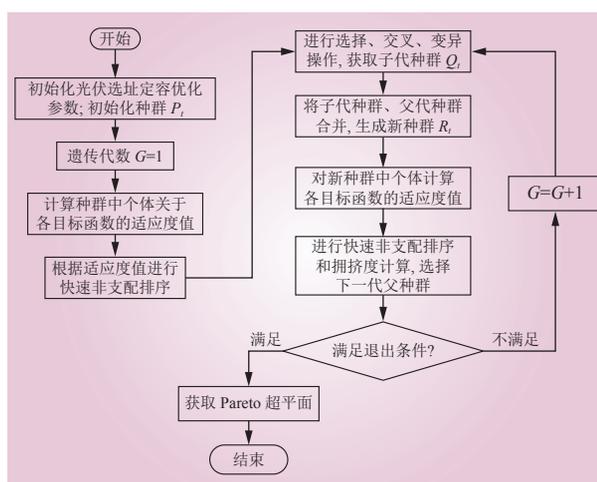


图3 基于NSGA-II算法的优化流程

Fig. 3 Optimization process based on NSGA-II algorithm



为 10 kV。本文采用两种接入方案，光伏接入数量分别设定为 3 台（单台容量不超过 1 500 kW）或 5 台（单台容量不超过 1 000 kW）。光伏功率因数均设定为 0.9。

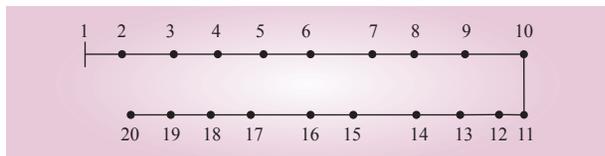


图 4 河北省某地的配电网结构

Fig. 4 Distribution network structure in Hebei Province

### 4.2 接入方案选取

图 5 展示了最终由 100 个非支配解构成的 Pareto 平面。表 1 为采用 3 点或 5 点接入的最佳方案参数。表 2 为主、客观权重赋权情况。

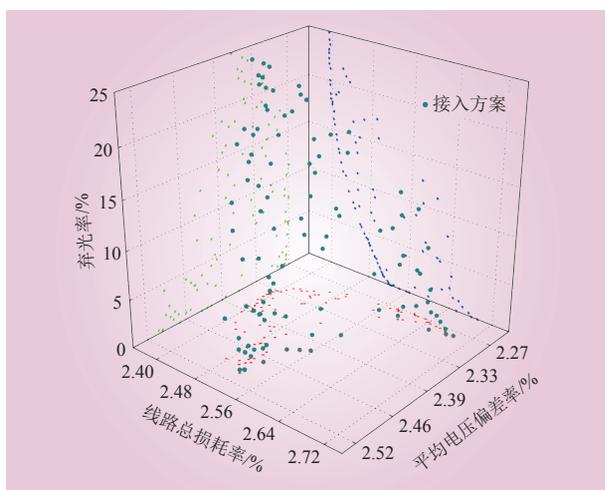


图 5 非支配解构成的 Pareto 平面

Fig. 5 Pareto front composed of non-dominated decomposition

表 1 不同接入方案的最佳参数  
Table 1 Optimal parameters for different access solutions

方案类型	接入参数	接入点情况					评价结果
		1	2	3	4	5	
3点接入	位置	9	13	17	—	—	76.02
	容量/kW	698	1477	1083	—	—	
5点接入	位置	8	13	14	17	19	75.74
	容量/kW	640	971	400	710	400	

### 4.3 规划方案分析与结果对比

#### 4.3.1 分布式光伏接入效果分析

图 6 展示了无光伏接入和采用 3 点或 5 点接入

表 2 主客观赋权权重  
Table 2 Subjective and objective weighting

指标级别	指标	评价体系指标赋权情况				
		主观赋权	客观赋权	组合赋权	归一化组合赋权	
一级指标	A1	0.252	0.413	0.325	—	
	A2	0.327	0.306	0.324	—	
	A3	0.421	0.281	0.351	—	
二级指标	A1	B1	0.409	0.465	0.438	0.143
		B2	0.281	0.243	0.258	0.084
		B3	0.310	0.292	0.304	0.099
	A2	B4	0.193	0.121	0.154	0.050
		B5	0.406	0.467	0.440	0.143
		B6	0.401	0.412	0.406	0.132
	A3	B7	0.272	0.321	0.307	0.107
		B8	0.222	0.292	0.268	0.094
		B9	0.190	0.021	0.065	0.023
		B10	0.316	0.366	0.360	0.125

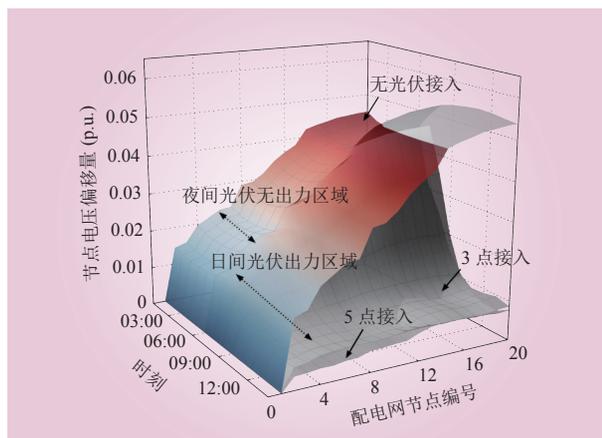


图 6 不同方案下节点电压对比

Fig. 6 Comparison of node voltages under different schemes

的配网节点电压结果。不难发现在光伏出力时段内，光伏对系统电压补偿效果明显。

图 7 为不同接入方案的配网运行指标对比。结果表明，采用 3 点或 5 点光伏接入方案可使平均电压偏差率比无光伏接入方案分别降低 27.85%、27.37%。并且较高的光伏容量渗透率使得主变重、过载率由 70.83% 降低至 25%。此外，相较于无光伏方案，可降低约 60% 的配电线路的重、过载率，线路损耗率分别降低了 1.21% 和 1.26%。图 8 显示了线路最大传输容量以及处于重、过载

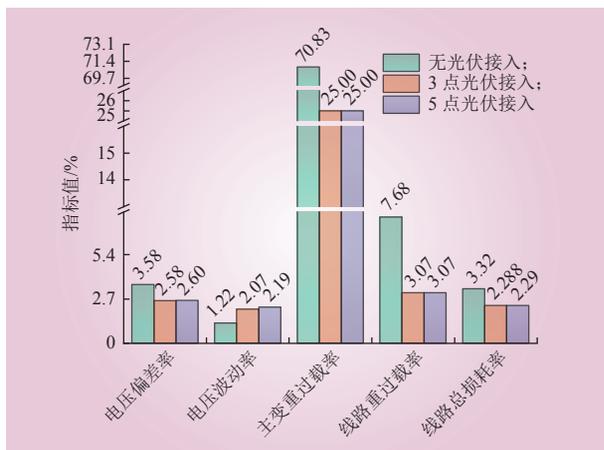


图 7 不同方案的指标对比

Fig. 7 Comparison of indicators of different solutions

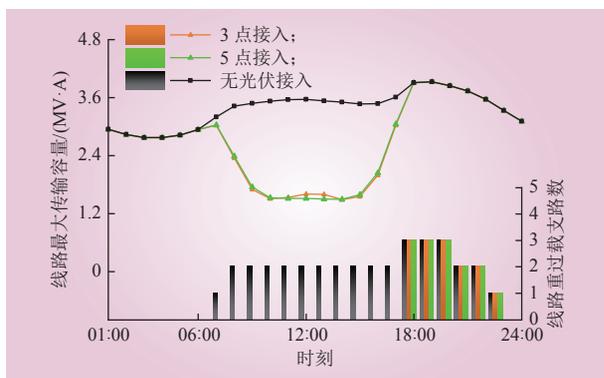


图 8 线路最大传输容量与重、过载运行条数

Fig. 8 The maximum transmission capacity of the line and the number of heavy and overload operating lines

运行线路数量。两种接入方案在 06:00—16:00 的光伏出力区域内具有显著降低线路最大传输容量的能力，且使处于重、过载运行的配电线路支路数由 2 条降为 0 条。

#### 4.3.2 光伏选址定容方法对比分析

表 3 展示了在 5 点接入下分别采用固定权重评价法 [8]、单一模糊综合评价法 [7] 和本文所提方法获取的光伏电源最优接入参数，两种对比方法的目标函数与本文方法选取一致。表 4 展示了不同方法的评价指标结果。

表 4 表明 5 点接入下本文方法的光伏弃光率指标可由对比方法的 9.13% 下降至 0.41%，显著提升了新型配电网光伏电源的实际发电效率。此外，最大盈余发用比指标也由两种对比方法的约 13% 减小至本文方法的 1.48%，有效降低了光伏峰值出力时段的新配电网线路与设备传输压

表 3 不同方法的光伏接入方案

Table 3 PV access solutions under different methods

方法	接入方案	接入点					
		1	2	3	4	5	
固定权重评价	3点	位置	6	13	17	—	—
		容量/kW	735	1264	1500	—	—
	5点	位置	5	12	13	16	19
		容量/kW	696	738	902	735	634
单一模糊综合评价	3点	位置	13	15	17	—	—
		容量/kW	1137	1071	1122	—	—
	5点	位置	10	12	14	17	19
		容量/kW	766	997	474	936	432

表 4 不同方法的评价指标

Table 4 Evaluation indicators of different methods

单位：%

评价指标	3点接入			5点接入		
	固定权重法	单一模糊综合评价	本文方法	固定权重法	单一模糊综合评价	本文方法
B1	2.53	2.48	2.58	2.49	2.46	2.60
B2	2.30	2.38	2.21	2.37	2.41	2.19
B3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
B4	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
B5	3.07	3.07	3.07	3.07	3.07	3.07
B6	2.29	2.37	2.29	2.30	2.33	2.29
B7	103.52	98.52	96.40	109.59	106.64	92.35
B8	76.90	76.90	76.90	74.88	75.67	76.90
B9	12.59	7.61	5.50	13.87	13.23	1.48
B10	5.85	3.27	2.17	9.13	7.58	0.41

力。三种方法在电压合格率、主变压器重、过载率以及配电线路重、过载率方面保持有相同的性能。上述结果综合表明本文方法在更宽的技术性能评价范围内具有比固定权重法和单一模糊综合评价方法更优的新型配电网分布式光伏接入特性。此外，尽管在 3 点或 5 点接入下，两种对比方法的光伏容量渗透率比所提方法提升了 2%~17%，但却对弃光率、光伏最大盈余发用比、源-荷归一化形态匹配率、配电线路总损耗率多个评价指标有明显的负面影响。该现象说明现有基于固定权重评价等方法存在评价范围较小，导致选取接入方案非最优的缺陷。尤其对于将光伏容量渗透率设定为优化目标之一的选址定容模型，其优化算



法倾向追求更高的光伏接入容量，而使得配电系统在电压质量、供电能力多方面的技术性能劣化，而且还会带来更高的光伏设备投资维护成本。

综上，本文所提基于综合性能评价与接入参数优化的评价-选取一体化分布式光伏选址定容模型可在方案选取阶段更为综合、全面地考虑光伏接入对配电网系统产生的多维影响因素，在提升新型配电网分布式光伏配置合理性和资源配置效率方面具有有效性。

## 5 结论

本文针对现有分布式光伏选址定容方法对系统多维性能指标考虑不全面的问题，提出了一种评价-选取一体化分布式光伏选址定容模型。首先构建了包括电能质量、供电能力以及分布式光伏接入效果的新型配电网技术性能综合评价体系，并提出了基于主客观组合赋权-模糊评价的接入方案综合评价方法。然后将其与NSGA-II优化算法结合，在生成的代表性光伏出力模式下，获取了分布式光伏电源最优接入位置和接入容量。以新型配电网实际系统为例，所提方法不仅显著降低了节点电压偏差和线路传输压力，而且在更广泛的评价范围内具有更优的光伏接入性能，验证了本文所提光伏选址定容模型的合理性和有效性。

### 参考文献：

- [1] 丁琦欣, 覃洪培, 万灿, 等. 基于机会约束规划的配电网分布式光伏承载能力评估 [J]. 东北电力大学学报, 2022, 42(6): 28–38.  
DING Qixin, TAN Hongpei, WAN Can, *et al.* Chance-constrained Optimization-based Distributed Photovoltaic Hosting Capacity Assessment of Distribution Networks[J]. Journal of Northeast Electric Power University, 2022, 42(6): 28–38.
- [2] 但扬清, 王蕾, 郑伟民, 等. 高比例可再生能源接入背景下电网承载能力鲁棒提升策略 [J]. 中国电力, 2023, 56(9): 104–111.  
DAN Yangqing, Wang Lei, ZHENG Weimin, *et al.* Robust improvement strategy for power grid hosting capacity with integration of high proportion of renewable energy[J]. Electric Power, 2023, 56(9): 104–111.
- [3] 杨亘焯, 孙荣富, 丁然, 等. 计及光伏多状态调节能力的配电网多时间尺度电压优化 [J]. 中国电力, 2022, 55(3): 105–114.  
YANG Henghua, SUN Rongfu, DING RAN, *et al.* Multi time scale reactive power and voltage optimization of distribution network considering photovoltaic multi state regulation capability[J]. Electric Power, 2022, 55(3): 105–114.
- [4] 陈璨, 白明辉, 张婉明, 等. 分布式光伏边界渗透率快速定位及消纳方案择优 [J]. 中国电力, 2022, 55(8): 40–50.  
CHEN Can, BAI Minghui, ZHANG Wanming, *et al.* Fast positioning of marginal hosting capacity and optimal selection of accommodation scheme for distributed PVs[J]. Electric Power, 2022, 55(8): 40–50.
- [5] 路亮, 魏明奎, 张怀远, 等. 计及静态电压稳定性的风光电站选址定容协同规划方法 [J/OL]. 电力自动化设备: 1–15. 2023-11-09]. <https://doi.org/10.16081/j.epae.202302025>. LU Liang, WEI Mingkui, ZHANG Huaiyuan, *et al.* Coordinated siting and sizing planning method of wind and photovoltaic power stations considering static voltage stability[J]. Electric Power Automation Equipment: 1–15 [2023-11-09].<https://doi.org/10.16081/j.epae.202302025>.
- [6] 陈德炜, 施永明, 徐威, 等. 基于改进FPA算法的含分布式光伏配电网选址定容多目标优化方法 [J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50(7): 120–125.  
CHEN Dewei, SHI Yongming, XU Wei, *et al.* Multi-objective optimization method for location and capacity of a distribution network with distributed photovoltaic energy based on an improved FPA algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2022, 50(7): 120–125.
- [7] 王涛, 刘雪飞, 郑重, 等. 基于潮流线性化的分布式发电选址定容新算法 [J]. 电力自动化设备, 2020, 40(8): 117–128.  
WANG Tao, LIU Xuefei, ZHENG Zhong, *et al.* Novel locating and sizing algorithm for distributed generation based on power flow linearization[J]. Electric Power Automation Equipment, 2020, 40(8): 117–128.
- [8] 赵丽萍, 张书伟, 张雪岩, 等. 基于随机机会约束规划的面向能源互联的主动配电网选址定容方法 [J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(14): 121–129.  
ZHAO Liping, ZHANG Shuwei, ZHANG Xueyan, *et al.* Locating and sizing method for energy interconnection oriented active distribution networks based on stochastic chance constrained programming[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(14): 121–129.
- [9] 郑建, 徐青山, 施雨松. 基于启发式矩匹配法的分布式电源选址定容方法 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2021, 33(8): 15–23.  
ZHENG Jian, XU Qingshan, SHI Yusong. Method of location and



- capacity determination for distributed generation based on heuristic moment matching method[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2021, 33(8): 15–23.
- [10] 刘柳, 赵俊勇, 马亮. 基于改进蝴蝶算法的分布式光伏选址定容[J]. 电力系统及其自动化学报, 2023, 35(8): 152–158.
- LIU Liu, ZHAO Junyong, MA Liang. Locating and sizing of distributed photovoltaic generation based on improved butterfly optimization algorithm[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2023, 35(8): 152–158.
- [11] 朱训君, 王宾, 李海雨, 等. 基于改进粒子群算法的农村配电网分布式光伏选址定容研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2020, 41(4): 206–214.
- ZHU Xunjun, WANG Bin, LI Haiyu, *et al.* Study on distributed photovoltaic location and capacity selection of rural distribution network based on improved particle swarm optimization[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2020, 41(4): 206–214.
- [12] 姚艳, 严浩军, 许家玉. 基于配电网概率电压灵敏度的光伏选址评估[J]. 电力系统及其自动化学报, 2020, 32(4): 92–97.
- YAO Yan, YAN Haojun, XU Jiayu. Evaluation on photovoltaic siting based on probabilistic voltage sensitivity of distribution network[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2020, 32(4): 92–97.
- [13] 刘忠, 张乐, 寇攀高, 等. 并网型风电-光伏-抽水蓄能-蓄电池系统容量优化配置[J]. 动力工程学报, 2023, 43(9): 1151–1159.
- LIU Zhong, ZHANG Le, KOU Pangao, *et al.* Capacity allocation optimization on grid connected system consisting of wind power, photovoltaic power, pumped storage and battery[J]. Journal of Chinese Society of Power Engineering, 2023, 43(9): 1151–1159.
- [14] 王鹤, 余中枢, 李筱婧, 等. 基于主成分分析方法的多类型电动汽车接入配电网的综合风险评估[J]. 电力自动化设备, 2021, 41(11): 57–65.
- WANG He, YU Zhongshu, LI Youjing, *et al.* Comprehensive risk assessment of multiple types of electric vehicles connected to distribution network based on principal component analysis method[J]. Electric Power Automation Equipment, 2021, 41(11): 57–65.
- [15] 黄彦璐, 林跃欢, 于力, 等. 基于大数据的配电网电压时空特性研究[J]. 电测与仪表, 2022, 59(2): 24–29.
- HUANG Yanlu, LIN Yuehuan, YU Li, *et al.* Research on spatiotemporal characteristics of voltage in distribution network based on big data[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2022, 59(2): 24–29.
- [16] 葛彦涵, 李立生, 姜仁卓, 等. 基于层次动态灰色关联分析的配电网运行状态评价指标体系的构建与应用[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(23): 9393–9399.
- GE Shihan, LI Lisheng, JIANG Renzhuo, *et al.* Construction and application of distribution network operational status evaluation index system based on hierarchical dynamic grey correlation analysis[J]. Science Technology and Engineering, 2020, 20(23): 9393–9399.
- [17] 吴鸣, 赵婷婷, 赵凤展, 等. 微电网运行效果评价指标体系及评价方法[J]. 电网技术, 2018, 42(03): 690–697.
- WU Ming, ZHAO Tingting, ZHAO Fengzhan, *et al.* Evaluation index system of microgrid operation effect and corresponding evaluation method[J]. Power System Technology, 2018, 42(03): 690–697.
- [18] 朱辉, 闫腾飞, 丁一, 等. 基于改进的AHP-CRITIC综合权重计算法的多元用户用能行为特性刻画及评价方法[J]. 东北电力大学学报, 2023, 43(5): 70–77.
- ZHU Hui, YAN Tengfei, DING Yi, *et al.* Characterization and evaluation method for Multi-user Energy Consumption Behavior Based on the Improved AHP-CRITIC Composite Weighting Approach[J]. Journal of Northeast Electric Power University, 2023, 43(5): 70–77.
- [19] 李进友, 李媛, 冯冰, 等. 基于随机组合赋权模糊评价的风电机组健康状态评估[J]. 太阳能学报, 2022, 43(8): 340–351.
- LI Jinyou, LI Yuan, MA Bing, *et al.* Wind turbine health state assessment based on stochastic combination weighting fuzzy evaluation[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2022, 43(8): 340–351.
- [20] 季宇, 牛耕, 曲雪原, 等. 计及多能互补的海岛群微电网系统规划评价方法[J]. 智慧电力, 2021, 49(6): 24–31.
- JI Yu, NIU Geng, QU Xueyuan, *et al.* Planning Evaluation Method of Islands Microgrid System Considering Multi-Energy Complementary[J]. Smart Power, 2021, 49(6): 24–31.
- [21] 李聪, 鲁一霖, 陈辰, 等. 城镇燃气管网事故应急救援特征分析及救援能力评估[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2023, 63(10): 1537–1547.
- LI Cong, LU Yifei, CHEN Chen, *et al.* Analysis of emergency rescue characteristics and evaluation of rescue capability for accidents associated with urban gas pipeline networks[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2023, 63(10): 1537–1547.
- [22] 陈晨, 闫向阳, 齐桓若, 等. 基于FAHP-改进CRITIC组合赋权的屋顶光伏接入配网评价方法[J]. 电力系统保护与控制, 2023, 51(15): 97–108.
- CHEN Chen, YAN Xiangyang, QI Hengruo, *et al.* An evaluation method of a roof photovoltaic access distribution network based on



- the weight of FAHP-improvement CRITIC combination[J]. Power System Protection and Control, 2023, 51(15): 97–108.
- [23] 谷卫星, 王婷婷, 张鹏, 等. 基于组合赋权和 TOPSIS 的配电网 CPS 系统脆弱性评估 [J]. 华北电力大学学报 (自然科学版), 2023, 50(1): 56–66+131.
- GU Weixing, WANG Tingting, ZHANG Peng, *et al.* Vulnerability assessment of distribution network CPS system based on combination weighting and TOPSIS[J]. Journal of North China Electric Power University (Natural Science Edition), 2023, 50(1): 56–66+131.
- [24] 王源, 姜懿郎, 王长江, 等. 基于改进 G1-CRITIC 的直流多馈入受端系统故障筛选与排序 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2021, 33(12): 43–52.
- WANG Yuan, JIANG Yilang, WANG Changjiang, *et al.* Fault screening and sorting of DC multi-infeed receiving end system based on improved G1-CRITIC method[J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2021, 33(12): 43–52.
- [25] 朱晓荣, 刘亚维. 基于模糊综合评判的光伏阵列状态评估 [J]. 太阳

能学报, 2020, 41(11): 103–111.

ZHU Xiaorong, LIU Yawei. State estimation of photovoltaic array based on fuzzy comprehensive evaluation[J]. Acta Energetica Sinica, 2020, 41(11): 103–111.

## 作者简介:

陈奇芳 (1986—), 男, 博士, 副教授, 从事电动汽车 V2 G 应用、综合能源系统、电力-交通融合等方面的研究, E-mail: [chenqf@bjtu.edu.cn](mailto:chenqf@bjtu.edu.cn);

李若凡 (1998—), 男, 博士研究生, 从事配电网优化运行、电力-交通融合等方面的研究, E-mail: [23111461@bjtu.edu.cn](mailto:23111461@bjtu.edu.cn);

夏明超 (1976—), 男, 通信作者, 教授, 主要研究方向: 能源互联网、交通能源融合、配电网分析与优化、需求响应及柔性负荷调度等。E-mail: [mchxia@bjtu.edu.cn](mailto:mchxia@bjtu.edu.cn)。

(责任编辑 杨彪)

## Photovoltaic Site Selection and Capacity Determination Method for New Distribution Network Considering Multidimensional Performance Evaluation

CHEN Qifang<sup>1</sup>, LI Ruofan<sup>1</sup>, XIA Mingchao<sup>2</sup>, WU Di<sup>3</sup>, SHAO Yinchu<sup>4</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. School of Automation and Electrical Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China; 3. Shandong Zhongshi Yitong Group Co., Ltd., Jinan 250001, China; 4. State Grid Hebei Electric Power Research Institute, Beijing 100045, China)

**Abstract:** The existing site selection and capacity determination methods only consider the voltage and network loss indicators after photovoltaic (PV) is connected, but insufficient consideration is given to the consumption effect after PV is connected, making it difficult to meet the development needs of new distribution networks. This paper proposes a new distribution network PV locating and sizing method that takes into account multi-dimensional performance evaluation. First, a multi-dimensional evaluation system covering power quality, power supply capacity, and photovoltaic access effects is formed, and a combined subjective and objective assessment system is constructed. Comprehensive evaluation method of access solutions based on weight-fuzzy evaluation. Secondly, the comprehensive evaluation was organically combined with the optimized locating and sizing process to form an evaluation-selection integrated PV site selection and capacity optimization model, using the non-dominated sorting genetic algorithm-ii (NSGA-II) achieves the optimal access location and capacity acquisition under the condition of differentiated PV output throughout the year. Finally, the numerical example verification shows that the proposed method not only significantly reduces the node voltage deviation and line transmission pressure, but also has better PV access characteristics and multi-index comprehensive performance within the scope of a more comprehensive technical performance evaluation, improving the rationality of PV configuration. safety and resource efficiency, which can effectively support the development needs of new distribution networks. This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No.52007004).

**Keywords:** locating and sizing; distributed photovoltaic; comprehensive evaluation method; new distribution network