

[微电网储能]

考虑供电可靠性的微电网储能选址定容优化方法

文/钦伟勋¹ 吴继维¹ 陈超杰¹ 丁律¹ 谢小林²

1. 国网浙江省电力有限公司湖州供电公司; 2. 天地电研(北京)科技有限公司

考虑供电可靠性前提下, 进行储能站点数量计算与容量预估; 然后以减少网损为目标, 建立目标函数, 对其进行约束; 最后引进遗传算法, 进行目标函数的求解, 以此实现基于多元负荷需求的选址定容优化设计。对比实验结果表明: 设计的优化方法不仅可以控制微电网发电中的有功功率损耗, 还能提升其储能容量, 应用效果较好。

随着全球能源结构的转型和可再生能源的快速发展, 微电网作为分布式能源系统重要组成部分, 其供电可靠性日益受到关注。微电网通过整合多种分布式能源和储能系统, 实现能源的高效利用和灵活调度。

近年来, 众多学者针对配电网储能问题进行研究, 并已经取得一定研究成果。如曹金碧^[1]等人通过自适应调整惯性权重和动态密集距离排序, 有效提升求解过程的高效性和全局搜索能力。在IEEE33节点的仿真验证中, 该算法展现优异的收敛性和全局搜索能力。但在深入研究中发现, 储能系统的实际运行受到多种因素制约, 如环境温度、电池老化等, 这些因素在算法中难以全面考虑, 可能导致结果与实际存在一定偏差。此外, 算法的参数设置对结果影响较大, 需要针对不同配电网进行精细调整, 增加应用难度。再如肖夏颖^[2]等人通过构建包含储能电站选址、容量及运行策略在内的多目标优化模型, 旨在实现储能电站的高效利用和电网的稳定运行。但算法对初始参数和搜索策略的依赖性较强, 不同的参数设置可能导致截然不同的优化结果, 增加应用过程中的调试难度。同时, 储能电站的选址和容量配置涉及多个复杂因素, 如电网结构、负荷特性和经济成本等, 这些因素在模型中难以全面准确反映, 可能导致优化结果与实际情况存

在偏差。在该背景下, 本文在考虑供电可靠性的前提下, 以某微电网为例, 开展储能选址定容优化方法设计研究。

考虑供电可靠性的储能站点数量计算与容量预估

为满足微电网储能选址定容优化需求, 先构建微电网储能系统的充放电模型, 以此为依据, 考虑供电可靠性的前提下, 进行储能站点数量计算与容量预估。微电网储能系统的充放电模型表达式为

$$s(t) = (1 - \alpha\Delta t)s(t-1) + P_1\Delta t\eta / C \quad (1)$$

$$s'(t) = (1 - \alpha\Delta t)s(t-1) - \frac{P_2\Delta t}{C\eta} \quad (2)$$

式中, s 为微电网储能系统的充电模型; t 为充放电总计时长; α 为有效充放电时长; P_1 为充电功率; η 为充放电效率; C 为电容值; s' 为微电网储能系统的放电模型; P_2 为放电功率。

根据上述内容, 对储能系统与微电网两者之间的功率交换过程进行分析。

在此基础上, 需要明确微电网或电力系统的总负荷需求是一个随时间变化的函数, 此函数可以利用平均负荷或峰值负荷作为参考。假设每个储能站点的容量相同, 为满足期望供电时间, 单个储能站

点需要满足的最小容量为

$$E = \bar{P} \cdot T \cdot p(t) \quad (3)$$

式中, E 为单个储能站点需要满足的最小容量; $\bar{P}$ 为关键负荷的平均功率, 即停电时需要由储能系统供电的负荷部分; T 为期望供电时间。

在此基础上, 假设总负荷中的关键负荷部分需要由储能系统供电, 则所需储能站点数量为

$$N = \frac{A \cdot T_1}{\eta_1 \cdot \beta_{\max} \cdot T \cdot E} \quad (4)$$

式中, N 为储能站点数量; A 为储能系统能量; T_1 表示储能系统实际放电时间(可能小于 T , 因为放电过程中储能系统的能量会逐渐减少); η_1 为储能系统的初始能量状态; $\beta_{\max}$ 为放电过程中的最大放电功率。

完成上述计算后, 向上取整函数, 以确保有足够的储能站点满足需求。在实际应用中, 还需要考虑储能系统的成本、维护、寿命以及与其他能源系统的集成等因素。此外, 为提高供电可靠性, 还可以采用冗余设计, 即部署比计算所需更多的储能站点。

基于多元负荷需求的选址定容优化

在完成储能站点数量计算与容量预估设计后, 进行基于多元负荷需求的选址定容优化。选址定容优化的主要目标是确定储能站点的最佳位置和容量, 以减少网损为目标, 为满足以上需求, 建立以下目标函数

$$F = \sum \frac{D(i) + L + l(i) + SOC}{N\kappa} \quad (5)$$

式中, F 为基于多元负荷需求的选址定容优化目标函数; D 为网损成本的权重系数; i 为第 i 个储能站点; L 为储能站点相关的输电线路长度; l 为储能站点引起的网损; SOC 为电池当前剩余的容量与其总容量的比例; κ 为储能出力^[3]。

在优化过程中, 还需要考虑一系列约束条件, 包括储能出力约束、SOC约束。约束条件表达式为

$$\kappa(i)_{\max} \leq \kappa(i) \leq \kappa(i)_{\min} \quad (6)$$

$$SOC(i)_{\max} \leq SOC(i) \leq SOC(i)_{\min} \quad (7)$$

式中, $\kappa(i)_{\max}$ 、 $\kappa(i)_{\min}$ 为储能出力的上限值与下限值; $SOC(i)_{\max}$ 、 $SOC(i)_{\min}$ 为SOC的上限值与下限值。

完成约束条件的设计后, 引进遗传算法, 进行目标函数的求解。在此过程中, 将问题的解空间映射到

遗传算法的搜索空间, 即确定染色体的编码方式, 种群中的每个个体, 根据目标函数计算其适应度值。适应度值用于评价个体的优劣, 通常是将目标函数值转换为最大化问题。计算公式为

$$\varsigma = \frac{F}{Z \cdot (\xi + 1)} \quad (8)$$

式中, ς 为种群中的每个个体适应度值; Z 为个体权重; ξ 为种群数量。

根据个体的适应度值, 采用轮盘赌选择, 从当前种群中选择出用于繁殖的个体。适应度高的个体被选中的概率较大。根据预设的交叉概率, 决定哪些个体需要进行交叉操作。将经过选择、交叉等操作后生成的个体与父代种群中的部分优秀个体(可选)合并, 形成新的种群。将相关参数代入目标函数, 在满足约束条件的基础上, 进行目标函数的求解, 通过多次迭代得到最优解, 以此实现基于多元负荷需求的选址定容优化, 其模型求解流程图如图1所示。

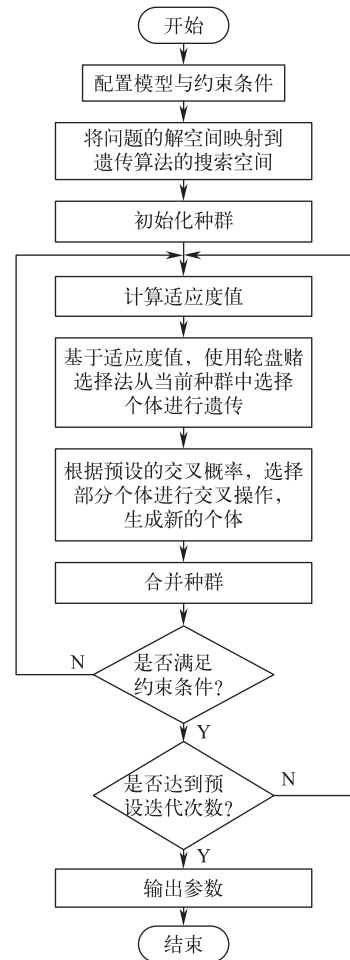


图1 模型求解流程图

对比实验

1. 实验准备

选择试点地区的某小型微电网作为本次研究的试点，该微电网作为该地区首个“光充储”一体化微电网营业厅，规模显著且运营情况良好。其光伏组件安装面积达到500 m²，年发电量约为4万kW·h，足以满足营业厅年均3万kW·h的用电需求，实现了能源的自给自足。

在市场运营方面，该微电网不仅降低了营业厅的运营成本，年节约标煤约12 t，减少CO₂排放29.9 t，还通过提供新能源充电桩服务，拓展了其市场应用范围，增强了市场竞争力。其成功运营为试点地区乃至全国的小型微电网建设提供了实践经验和示范效应。微电网运行设计参数见表1。

表1 微电网运行设计参数

序号	项目	参数
1	光伏板额定功率/kW	100
2	光伏逆变器额定功率/kW	120
3	光伏电池组电压/V	40
4	双向AC/DC变流器额定功率/kW	100
5	开关频率/kHz	5
6	直流侧电容值/ μ F	2 200
7	交流侧LC滤波器电感值/mH	2
8	变压器额定容量/MW	2
9	变压器电压等级/kV	0.4/10
10	线路电阻/(Ω /km)	0.641
11	线路电抗/(Ω /km, 50 Hz)	0.101
12	系统频率(额定)/Hz	50

在深入研究中发现，现阶段，试点单位储能系统的优化配置模型尚不完善，难以精确预测负荷变化及可再生能源发电的波动性，导致储能容量配置不合理。数据支撑方面，缺乏长期、全面的历史数据支持，使得选址定容决策缺乏科学依据。

据某实际项目数据显示，因储能容量配置不当，导致项目初期投资超出预算约20%，且后期运维成本也显著增加。

2. 实验步骤

在进行微电网储能选址定容优化前，应先明确微电网储能的技术参数，见表2。

在此基础上，确定实验的主要目标，如降低有功损耗、优化储能容量配置等。收集微电网的历史运行数据、负荷预测数据和可再生能源发电数据等。根据实验目的和收集的数据，建立储能选址

定容的数学模型，设定模型的目标函数和约束条件（如储能容量限制、电网接入条件等）。

表2 微电网储能技术参数

序号	项目	参数
1	储能类型	锂离子电池
2	能量密度/(W·h/kg)	150~200
3	功率密度/(W/kg)	500~1500
4	充放电效率/(%)	90~95
5	循环寿命/次	3 000~10 000
6	响应时间/ms	< 100
7	额定电压/V	400~1 000
8	充放电倍率	0.5-2C

实验过程中，编写或调用相应的算法程序，实现储能选址定容的优化计算，确保算法程序能够正常运行并输出优化结果，将预处理后的数据输入到算法程序中，进行储能选址定容的优化计算。

3. 实验结果与分析

完成实验设计后，将优化后的有功损耗作为检验方法的关键指标，提出的指标能够直观反映系统的整体效能与经济性。有功损耗的降低直接反映电网运行效率的提升，通过精细化的网络布局与潮流控制，可以最大限度地减少电能传输过程中的损失，提升能源利用率。合理配置的储能容量不仅能够平抑可再生能源发电的波动性，增强微电网的供电可靠性和稳定性，还能在峰谷电价时段实现电能的灵活存储与释放，优化运行成本。因此，将这两个指标作为检验方法的核心，能够全面评估微电网设计方案的优劣，为决策者提供科学、合理的依据。

以此为依据，分析优化前、后微电网发电的有功功率损耗，其结果如图2所示。

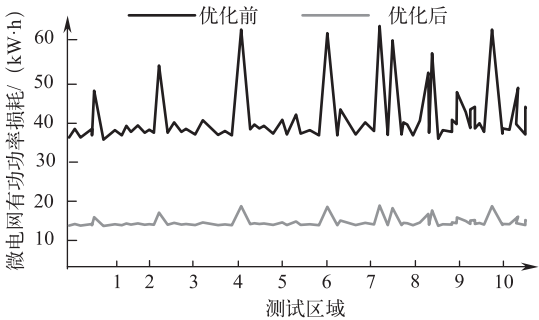


图2 微电网发电的有功功率损耗

从图2可以看出，优化前，微电网发电的有功功率损耗在35~65 kW·h之间，优化后其损耗降至

10~20 kW·h之间。综合上述实验结果可以证明，本文设计的优化方法可以控制微电网发电中的有功功率损耗，为其持续发展提供良好的技术支持。

结束语

微电网的复杂性和不确定性给其储能选址定容优化带来了挑战。深入研究中发现，微电网中的分布式电源如风电、光伏等具有显著的波动性和间歇性，其供电能力受自然条件和资源波动的影响较大。为实现对其储能的优化配置，本文在考虑供电可靠性的前提下，通过建立储能站点数量计算与容量预估、基于多元负荷需求的选址定容优化，开展了本次研究。基于全球能源转型和可再生能源快速发展的需求，针对微电网复杂性和不确定性带来的影响，通过科学合理地确定储能系统的位置和容量，以提高微电网的供电可靠性和经济性，推动电力系统的可持续发展。EA

(收稿日期：2025-05-07)

参考文献

- [1] 曹金碧，才正权，慕昕辰，等．基于多目标粒子群算法的配电网储能选址定容分析[J]．现代工业经济和信息化，2024，14 (6)： 237-238+241．
- [2] 肖夏颖，范传光，郭峰，等．基于改进多目标粒子群算法的储能电站定容选址优化配置研究[J]．储能科学与技术，2024，13 (2)： 503-514．
- [3] 孙东磊，赵龙，孙凯祺，等．新能源接入下配电系统混合储能选址定容优化策略研究[J]．太阳能学报，2024，45 (1)： 423-432．
- [4] 陈哲，李山林，林达，等．考虑拓扑切换暂态波动的微电网群分布式协同控制策略[J]．浙江电力，2023，42(11)： 1-10．
- [5] 马永翔，唐浦容，闫群民，等．基于VMD-STFT提升源-荷互动可靠性的混合储能优化配置[J]．可再生能源，2023，41(12)： 1626-1633．

