

储能电站优化选址定容研究综述

文/储能技术工程研究中心（北方工业大学）李建林 康靖悦 崔宜琳

首先针对储能电站选址定容的数学模型进行归纳总结，并总结了储能电站选址定容的优化目标及约束条件（即网络有功损耗和平均电压偏移量）；其次对储能电站的优化选址定容方法及算法特点进行了归纳与总结，并阐明了研究的一般方法；最后对储能电站的选址定容问题提出了探究与展望。

随着“双碳”计划的提出，人们的环保意识得到增强，新能源利用率大幅度提高。储能系统可以起到削峰填谷、系统调频等作用，既能保证供电的可靠性，也可保证具有良好的电压质量。自此储能系统投入应用所占的比重大幅度增加。

事实上，将容量不同的储能电站接入到配电网中，随着简单的单电源辐射网变成复杂的多电源网络，会产生敏感度降低、误动作及拒动作等一系列问题，从而影响对配电网的控制与运行。储能电站有充电、放电和备用的运行状态，因此，配电网需要根据保护特性进行优化与协调，当储能电站接入时，为了使配电网原有保护不失效，应当对储能电站的选址定容进行适当的研究与规划。因此，储能电站是研究热点，储能电站的选址定容具有重大意义。

首先，本文对储能电站选址定容的研究方法进行梳理分析。许多学者在传统算法上加以改进，通过对比总结各算法，发现改进后的算法可以提升收敛性与计算速度，搜索精度也有所提升。最后，对储能电站优化选址定容的未来工作进行了探究与展望。

储能电站选址定容的模型与建立

文献[1]模型中考虑各节点及相邻馈线的影响，采用NoC节点编码的方法进行节点编码，之后考虑负荷特性及相关政策，将运行经济费用最小作为目标函数，将节点电压作为约束条件进行储能电站选址数学建模。文献[2]模型中将经济效益最大化作为优化目标，考虑储能电站的光伏消纳能力，折算发电收益、全年网损费用及年投资费用，将节点电压、光伏电压约束及机组出力情况作为约束条件进行储能电站数学建模。文献[3]模型中将储能投资成本和运行成本最小化作为目标函数，将功率平衡和储能充电、放电功率上下限安全约束作为约束条件进行储能电站数学建模；文献[4]模型中将节点电压波动、负荷波动及储能的系统容量作为目标函数，将系统运行时的约束及系统的充放电能量平衡作为约束条件进行储能电站选址数学建模。文献[5]模型中构建DPV和ESS双层规划模型，将配电网的年综合费用作为优化目标进行储能电站的选址数学建模。文献[6]模型中将网络损耗、经济性及电网稳定性作为评价指标，将潮流约束、节点电压约束、储能系统安装容量及运行约束作为约束条件进行储能电站选址数学建模。储能电站模型总结见表1。

基金项目：大学生创新创业课题（MW级储能三电平变流器仿真建模及控制策略研究）。

表1 储能电站模型总结

序号	文献编码	优化目标	约束条件
1	文献[1]	经济性	节点电压
2	文献[2]	经济性	节点电压、光伏电值、机组出力
3	文献[3]	经济性	功率平衡, 储能充、放电上下限
4	文献[4]	节点电压波动、负荷波动、储能系统容量	功率平衡, 储能充、放电能量平衡
5	文献[5]	经济性	功率平衡、装机容量
6	文献[6]	经济性、网损、稳定性	节点电压、潮流约束、储能安装容量及运行

储能电站选址定容求解方法

目前对于储能电站的合理选址已有大量学者给出研究结论。文献[1-2]通过改进遗传算法对配电网中的储能电站选址定容进行优化。文献[4-5]通过运用改进的多目标算法中的粒子群算法和蝙蝠算法进行储能电站选址定容求解。而文献[3]则通过改进的多目标粒子群算法, 引入遗传算法中的交叉变异进行储能电站的选址定容求解, 在一定程度上使计算结果的收敛性更好, 收敛速度更快。事实上, 对储能电站选址过程大体可分为四步: 确定目标函数及优化目标并建立储能选址优化的数学模型, 利用适当算法进行选址求解, 选取结果中最优解即为储能电站的优化选址结果, 输出最优结果。储能电站选址定容一般流程如图1所示。

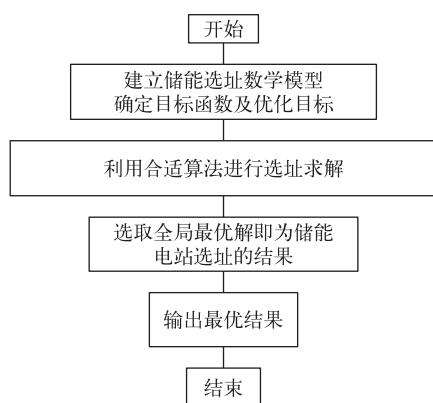


图1 储能电站选址定容一般流程

2. 遗传算法

(1) 优化的混沌免疫混合算法

文献[1]在遗传算法上加以改进, 提出了优化的混沌免疫混合算法。在进行储能电站的优化选址定

容研究中, 先对离散变量进行免疫禁忌混合求解, 全局搜索后进行迭代, 使抗体可以稳定地分散在大部分解空间区域, 而不只聚集在小区域中。进行数次迭代后, 再引入禁忌搜索算法, 结合免疫算法的变异操作继续迭代。在历次迭代中统计求出接入点可行解, 再利用混沌算法寻优, 找到接入点进行储能电站容量寻优, 比较寻优结果和终止条件, 满足条件即为最优解, 不满足则继续进行下一轮迭代交替求解。该方法通过两种优化交替进行, 提高效率与准确度, 有效避免产生局部的最优解, 保证整体效率。优化的混合算法流程图如图2所示。

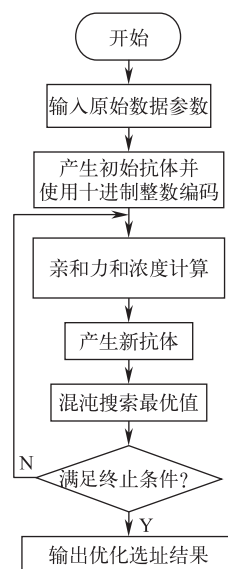


图2 优化的混合算法流程图

文章所采用的实例证明, 采用改进的混合算法所求取的节点平均电压偏移与其网损结果均低于另一方法求取的结果。针对储能电站的特性及其对配电网的影响进行了分析, 由此可知文献[1]设计的混合算法能更精确、更快地寻找到最优解, 更适合用于配电网的储能电站的优化选址定容。

(2) 优化的遗传算子选址算法

文献[2]在遗传算法上加以改进, 合理运用比例选择这一策略进行算子设计, 对算子进行初筛, 满足初筛条件的算子可以进入下一种群。之后利用单点交叉法给出交叉算子, 选择操作后进行随机的两两分配, 并随机产生一个交叉点, 根据一定的概率, 交换配对个体染色体交叉点后的基因串, 进而产生两个新的个体。文献[2]设计一种改进的变异算子, 根据赋值于正态分布下的自适应变异的评估策

略，当赋值的标准差小于限定值约束时，代表种群有过早收敛的现象，那么可以选择增大变异概率；而当标准差大于限定值约束时，那么种群就会进入发散循环或停止，导致选择降低变异概率，此时个体收敛也将加速。基于GA的优化算法流程图如图3所示。

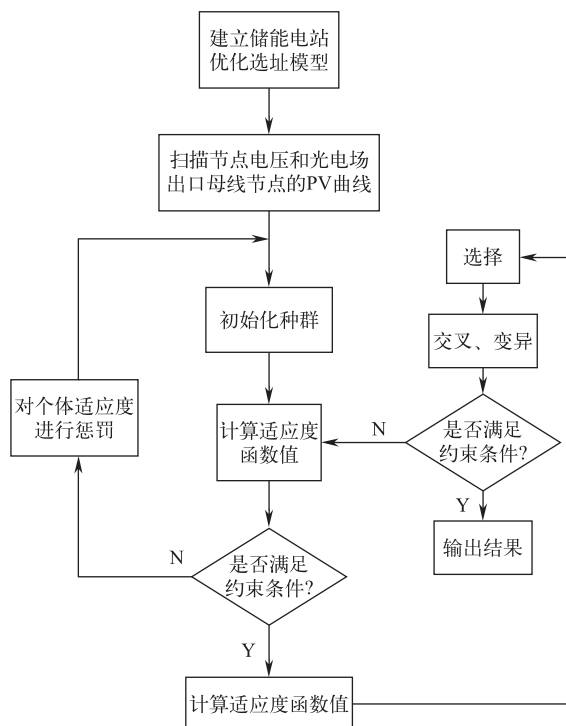


图3 基于GA的优化算法流程图

本文针对集群储能的相关问题，利用仿真建模进行研究计算，将储能的广域布局模型搭建出来。并在此基础上改进原始算法，利用改进后的优化算法设计了求解流程。经试验验证后，加装储能系统，有效地抑制了光电波动，且储能的控制效果非常明显。该方法为储能电站选址定容提供了参考。

（3）优化的分支定界遗传算法

文献[3]在遗传算法上加以改进，选用内外双层算法进行储能电站最优选址定容问题的研究。双层算法的外层采用分支定界法来确定储能的选址问题，而储能容量的确定以及储能的充放电问题则利用遗传算法按内层进行处理。在结合分支定界法和遗传算法中，外层优化使用二进制变量，即涉及选址问题。对于储能电站选址，由于常规算法的计算复杂且速度及收敛性无法达到预期效果，则采用了遗传算法求解以提高求解效率，并采用MATLAB中

的MATPOWER进行小系统电网的潮流分析。

文献[3]结果显示，既可以以经济性为目标，在配电网的储能系统中寻得最优解位置，也可以求出在每一位置的储能的容量与产生的功率，既能节约储能的投资成本，也极为有效地解决了储能的最优选址问题。

2. 多目标算法

（1）改进的多目标粒子群算法

文献[4]选用多目标算法下的粒子群算法并加以改进，在对比强度帕累托进化算法、多目标微分进化算法和多目标遗传算法等储能系统选址定容常用算法后，采用计算效率高、收敛速度快的粒子群算法，利用高效群集并行地对非劣解进行搜索，对每次迭代中产生的非劣解进行统计，利用粒子群自身的记忆功能来寻求全局最优解。粒子群算法以大量随机粒子作为初始化，依据粒子本身和群体信息共同决定其运动方向与速度，通过迭代来得到最优解。此方法在进行多目标求解问题时，一般将Pareto排序机制和基本粒子算法进行结合，依据粒子之间的相互关系筛选出非劣解集。粒子与最优粒子之间的差距程度可以根据粒子位置向量与种群全局的最优解差值表现出来，二者呈正相关。为避免陷入局部解中，同时避免迭代寻优时产生早熟收敛问题，将粒子群算法与遗传算法中的交叉变异法结合，准确确定最优解。多目标粒子群算法储能选址定容流程如图4所示。

文献[4]通过采用自适应惯性权重并融合多目标粒子群算法，同时结合交叉变异操作，利用动态距离进行种群最优粒子的选择。结果证明储能系统对分布式电源接入配电网所引起的电压及负荷波动起到一定的抑制作用。且该方法具有很好的收敛性与鲁棒性，搜索精度比一般算法有所提升。

（2）改进的蝙蝠算法

文献[6]选用多目标算法下的蝙蝠算法，在NSGA2的基础上通过权衡改进，提出一种改进型蝙蝠算法。此算法基于非支配排序，通过随机惯性权重策略提升收敛稳定性和优化精度，并通过策略所得到的均匀Pareto解集进行储能系统选址定容求解。蝙蝠算法是通过模拟自然界中的蝙蝠，利用回声定位获取食物与躲避障碍。文献[6]表明了与传统的遗传算法和粒子群算法比较而言，蝙蝠算法具有

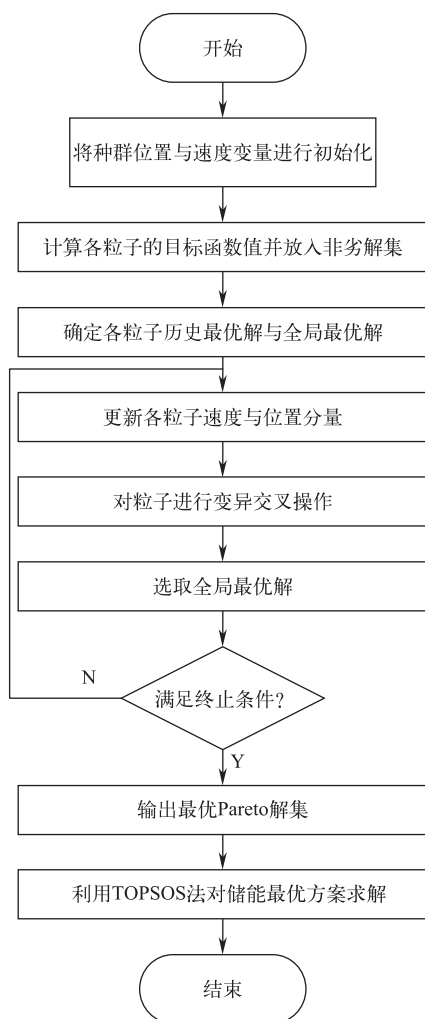


图4 多目标粒子群算法储能选址定容求解流程

更好的收敛性，但同样具有陷入局部最优解这一问题。为了使数据结果更准确优异，文献[6]提出了改进的蝙蝠算法。

文献[6]以储能系统经济性为基本，以系统损耗及节点的电压偏差为优化目标建立了优化模型，通过NSIBA算法来求解出Pareto解集，有效克服了收敛性低以及陷入局部解等缺点。同时，保证了决策结果的有效性，利用Vague集模糊熵权法对解集进行排序，从而得到更优方案。

3. 算法总结

本篇综述总结概述了储能电站优化选址的几种方法，包括优化后的改进遗传算法、改进粒子群算法和改进混沌免疫算法等。较传统算法而言，改进优化后的算法可以大大提升计算速度与收敛速度，算法比较见表2。

表2 算法比较

序号	算法分类	算法	优点
1	改进的遗传算法	改进的混沌免疫混合算法	迭代次数少，总耗时短
2		改进的遗传算子优化算法	收敛性好，有效抑制光电波动
3		改进的分支定界遗传算法	可求出储能的容量与功率，提高收敛效率
4	改进的多目标算法	改进的蝙蝠算法	较传统多目标算法易收敛，避免陷入局部解，空间分布更均匀
5		改进的多目标粒子群算法结合遗传算法中的交叉变异	有很好的收敛性和鲁棒性，搜索精度多样性与分布性更好

探究与展望

储能行业正在逐步走向成熟，储能市场机遇逐步扩大，随着国民经济发展，储能系统的应用场所越来越多，人们对能源的需求也将逐步提升。从电能质量及供电稳定性角度考虑，储能系统的发展至关重要，对储能系统的合理选址问题也不容忽视。EA

参考文献

- [1] 杨炼，范春菊，邵能灵，等．基于继电保护与改进算法的储能电站选址定容[J]．电工技术学报，2015，30(3)：53-60．
- [2] 徐吉智，张新燕，常喜强，等．基于PV曲线和改进遗传算法储能选址定容研究[J]．太阳能学报，2022，43(1)：263-268．
- [3] 丁倩．考虑可再生能源不确定性的储能选址定容规划方法研究[D]．杭州：杭州电子科技大学，2020．
- [4] 吴小刚，刘宗歧，田立亭，等．基于改进多目标粒子群算法的配电网储能选址定容[J]．电网技术，2014，38(12)：3405-3411．
- [5] 丁明，方慧，毕锐，等．基于集群划分的配电网分布式光伏与储能选址定容规划[J]．中国电机工程学报，2019，39(8)：2187-2201，2203．
- [6] 郑传良，伍仰金，陈一强，等．基于非支配排序改进型蝙蝠算法的储能系统选址定容[J]．供用电，2021，38(10)：107-115．
- [7] 黎冲，王成辉，王高，等．电化学储能商业化及应用现状分析[J]．电气应用，2020，40(7)：15-22．