

基于改进粒子群算法的风光储协同规划技术

董志超¹, 杨敏²

(1. 国网江苏省电力有限公司泰兴市供电分公司, 江苏 泰兴 225400;

2. 泰州三新供电服务有限公司泰兴分公司, 江苏 泰兴 225400)

摘要: 为提高现有新能源规划模型设计合理性, 优化模型求解算法, 补充相关约束条件, 针对风电、光伏分布式电源以及储能系统的出力特性和运行特点进行分析, 建立风、光、储的数学模型。分析可再生能源接入配电网后, 自身间歇性和波动性特点对配电网的综合影响。利用储能系统具有稳定振荡、负荷调峰、延缓设备改造等特点, 提出合理配置可再生能源和储能系统, 提高配电网安全性、稳定性和经济性的规划思路。综合考虑运行成本、碳排放量及网损指标等目标函数, 通过改进粒子群算法确定分布式电源及储能系统最优选址和容量。最后, 应用改进的粒子群算法对模型进行求解, 并在 IEEE33 节点系统进行仿真, 通过实际算例验证所提风光储协同规划方案的有效性。

关键词: 改进粒子群算法; 分布式能源; 选址定容; 多目标

中图分类号: TP18; TM91 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)17-0209-07

分布式电源(distributed generation, DG)和储能系统(energy storage system, ESS)的发展和应用是有效构建和实现“双碳”目标的重要手段。分布式电源出力具有间歇性、波动性, 并网后会增加潮流反向流动的概率, 规划的容量与位置不合理会对配电网系统造成较大影响, 对网络损耗、电压质量及供电可靠性等方面造成威胁。储能系统(ESS)克服了电能不能大规模存储的缺点, 在削峰填谷、降低功率波动、提高供电稳定等方面发挥了重要作用。分布式能源及储能系统的规划发展是一个多目标、多控制变量、多约束条件的求解过程。为了发挥分布式能源及储能系统在传统配电网中能源结构优势, 首先要解决的是 DG 及 ESS 的选址及定容问题。

陈小雪等^[1]从经济层面考虑, 以有功网损费用最小和投资成本费用最小为目标函数, 利用混沌算法对原始萤火虫算法改进对 DG 进行规划。张涛等^[2]从技术性层面考虑, 以有功网损、电压偏移指标作为优化目标, 通过利用改进多目标粒子群算法求解 DG 的优化配置方案, 并在实际配电网中进行验证。姜心怡等^[3]从环保性方面考虑, 以系统运行成本、电压质量效益作为目标函数的同时考虑碳排放减少收益, 通过权重系数改进了标准粒子群算法求

解分布式电源发展规划方案。

在求解模型设计中, 高慧等^[4]提出一种考虑“源-荷-储”灵活性资源协调优化的主动配电网双层规划设计。严干贵等^[5]设计了分布式电源和储能系统选址定容的双层优化模型, 外层计算位置、容量, 内层求解最优运行出力。在算法选择中, 张强和李盼池^[6]采用模拟退火法(simulated annealing, SA), 计算过程简单、普适性强, 但初始参数的设定较为敏感。单瑞卿等^[7]采用遗传算法(genetic algorithm, GA), 求解速度快、求解精度高、全局性能好, 但求编码、译码操作复杂。

根据以上分析, 现有研究中目标选取均具有局限性, 模型设计优化算法优缺点并存。在分布式电源及储能系统接入模型优化求解的过程中, 需要对算法相应的缺点进行改进, 采用多种优化算法相结合的方式, 对维度考虑经济、技术、环保特性, 对规划模型高效求解。因此本文综合考虑经济性、稳定性及环保性等因素, 以综合投资最低为目标, 考虑建设、维护、运行成本, 以年投资成本和碳排放量指标的适应度函数, 确定最优化容量和地址。利用改进粒子群算法设计分布式电源及储能系统配置, 并制定分布式电源和储能系统的选址、定容的优化方案, 通过天牛须算法

收稿日期: 2024-03-06

作者简介: 董志超(1995—), 男, 江苏泰州人, 硕士, 工程师, 研究方向为电力系统规划、碳排放管理、算法分析; 杨敏(1995—), 女, 江苏泰州人, 助理工程师, 研究方向为电力系统优化设计。

改善粒子群算法的局部最优问题,实现多种能源和负荷的“供-需-储”协调优化模式。目标成果更优,对降低电网运维成本、网损控制和抑制碳排放量更有效。

1 分布式电源建模及对配电网的影响

1.1 分布式电源模型构建

1.1.1 风力发电模型

风力发电(wind turbine generator, WTG)的原理是利用风能驱动发电机,发电机转动从而切割磁力线发电。风力发电机模型采用变速恒频方式。风机的输出功率即风能的大小取决于风速快慢,风速在一定时间内随机变化,为描述其变化特征,常采用 Weibull 分布、Rayleigh 分布和 Gumbel 分布来描述风速的随机性。本文选取 Weibull 分布描述,其风速概率密度的表达式为

$$f_{\text{WTG}}(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (1)$$

式中: $f_{\text{WTG}}(v)$ 为风速 v 的概率密度函数; k 为形状参数; c 为比例参数。

1.1.2 光伏发电模型

光伏发电(photovoltaic generator, PVG)是利用光生伏打效应,将太阳能转化为电能^[8]。光伏发电系统一般由电池板、控制器和逆变器3部分组成。光伏发电的光照强度服从 Beta 分布^[9],表示其概率的密度函数为

$$f_{\text{PVG}}(r) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} r^{a-1} (1-r)^{b-1} \quad (2)$$

式中: $f_{\text{PVG}}(r)$ 为太阳辐照强度 r 的概率密度函数; Γ 为伽马函数; a 、 b 为太阳辐照强度概率密度函数的形状参数,可由规定时间内光照强度控制。

1.1.3 储能系统模型

储能系统(ESS)是解决大规模可再生能源发电并网、推动新能源发展、实现“碳达峰”“碳中和”长期目标的关键支撑技术之一^[10]。储能系统荷电状态(state-of-charge, SOC)指在一定的放电倍率下,剩余电量和额定容量的比值,表达式为

$$\text{SOC}_{i,s,t} = \frac{E_{i,s,t}^{\text{ESS}}}{\text{SOC}^{\text{rated}}} \quad (3)$$

式中: $\text{SOC}_{i,s,t}$ 为 i 节点在场景 s 下 t 时刻的荷电状态; $E_{i,s,t}^{\text{ESS}}$ 为 i 节点在场景 s 下 t 时刻的电量; $\text{SOC}^{\text{rated}}$ 为储能的额定容量。

1.2 分布式电源对配电网的影响

1.2.1 对系统安全和可靠性的影响

DG 的缺陷具体表现在功率输出所具有的随机性、波动性和间歇性,故其有功输出易受到外界

因素影响^[11]。ESS 的发展为解决大规模分布式能源开发对传统电网的影响提供了新的思路和途径。然而,由于分布式电源脉和电网局部潮流的随机性和不稳定性,可能会引起系统的电压波动,影响整个电网的平衡和安全^[12]。ESS 可以起到备用电源的作用,从而持续供电,降低停电风险。

1.2.2 对继电保护的影响

DG 和 ESS 的接入在原配电网的基础上增加了电源数量,增加的部分作为新节点和原配电网连接,最终形成多源复杂网络。连接之后的复杂网络对用电安全性、稳定性等造成影响,最终会对继电保护装置正确动作产生威胁^[13]。DG 和 ESS 接入后系统运行中出现的故障往往更复杂,难以快速消缺。DG 和 ESS 在配电网中的应用,还会影响配电网自动重合闸的设置。

1.2.3 对配网规划的影响

传统配电网的规划一般依据原网络的运行念想、设备基本状况、区域负荷预测等关键信息,满足负荷增长需求和电能质量指标,最终确定最优的系统建设方案。该设计方案应包含变电站的基本信息(如位置、主变容量、占地面积)、馈线路径和导线型号、周边附属设施距离等内容,并使得投资、网损和用户停电损失之和等指标最小。在众多目标下,传统配网规划设计往往是单一的,仅着重考虑满足负荷增长和平稳供电要求。对比传统配电网规划方案,包含 DG 和 ESS 新型电网规划需平衡各类预测负荷和当前的网络特征等,又给电网规划设计迎来了新的挑战^[14]。

当前,分布式发电技术和相关储能技术的日趋完善和国家相关能源政策的深入落实,使得 DG 和 ESS 在电力系统中的规模逐年增长。大量的 DG 和 ESS 的接入支配了配电网的设计^[15]。具体表现在 DG 和 ESS 接入后,整个供电网络的传送功率大规模增加,其对配网规划的影响表现在以下方面。

(1)在配电网建设升级方面。由于系统中有越来越多的不确定性用户接入 DG 和 ESS,部分用户可能在全时段或部分时间段内实现电能的自供给。这便导致原计划用在电网投资建设上的资金减少,推迟了配电网的转型升级。

(2)在规划设计方面。DG 和 ESS 的接入是一个动态、多目标、非线性的规划问题。随着设计维数的增加,动态属性的多变性也增加了配电网规划设计方案的复杂性,在规划中往往需要同时考虑上

千个甚至数千个节点^[16]。在同一个规范区域出现的许多 DG 和 ESS 中,接入方式和能源种类又多种多样,规划方案的选择更加困难。

(3)在负荷调度方面。DG 和 ESS 的接入改变了以往配电网的结构和运行特性。单向的电源馈电潮流的特性变化后,为了维持电网的安全、稳定运行,需要让新接入的 DG 和 ESS 在现有配电网中接受统一调度,加大了调度难度^[17-19]。

(4)在投资成本回收方面。DG 和 ESS 的接入带来了新的困境,配电网络中为了发展和接入 DG 和 ESS,电力公司的投资往往数以亿计,而投资回收期却非常久。用户侧装设分布式供能设备质量和服役时间长短带来的不确定因素更会带来未来投资和收益的不确定^[20]。

2 多目标风光储规划数学模型

2.1 目标函数设置

2.1.1 以建设、运行、维护成本最低为目标

在“风-光-储”协同规划设计方案中,以综合投资最低为目标,建立优化模型。实现分布式能源与储能系统接入后配电网的最低投资,即建设、运行、维护成本最低,并以此设定第一个目标函数 F_1 。

$$F_1 = C_1 + C_2 + C_3 \quad (4)$$

式中: F_1 为综合投资目标函数; C_1 为建设成本; C_2 为维护成本; C_3 为运行成本。建设成本、维护成本、运行成本可根据能源种类进行分解。

建设成本 C_1 可用 C_1^{WTG} 、 C_1^{PVG} 、 C_1^{MTG} 、 C_1^{ESS} 分别表征风电、光伏、内燃机、储能的建设成本。

$$C_1 = C_1^{\text{WTG}} + C_1^{\text{PVG}} + C_1^{\text{MTG}} + C_1^{\text{ESS}} \quad (5)$$

$$C_1^{\text{WTG}} = \gamma^{\text{WTG}} c_1^{\text{WTG}} p_i^{\text{WTG}} \quad (6)$$

$$C_1^{\text{PVG}} = \gamma^{\text{PVG}} c_1^{\text{PVG}} p_j^{\text{PVG}} \quad (7)$$

$$C_1^{\text{MTG}} = \gamma^{\text{MTG}} c_1^{\text{MTG}} p_k^{\text{MTG}} \quad (8)$$

$$C_1^{\text{ESS}} = \gamma^{\text{ESS}} c_1^{\text{PCS}} p_l^{\text{ESS}} + \gamma^{\text{ESS}} c_1^{\text{BR}} E_l^{\text{ESS}} \quad (9)$$

式中: γ^{WTG} 为风力发电的等年值投资系数; γ^{PVG} 为光伏发电的等年值投资系数; γ^{MTG} 为内燃机的等年值投资系数; γ^{ESS} 为储能系统的等年值投资系数; c_1^{WTG} 为风力发电的单位投资成本; c_1^{PVG} 为光伏发电单位投资成本; c_1^{MTG} 为内燃机的单位投资成本; c_1^{PCS} 为变流器投资成本; c_1^{BR} 为能量存储成本。 p_i^{WTG} 为节点 i 安装的风力发电装置的额定功率; p_j^{PVG} 为节点 j 安装的光伏发电装置的额定功率; p_k^{MTG} 为节点 k 安装的光伏发电装置的额定功率; p_l^{ESS} 为节点 l 安装的储能系统的额定功率; E_l^{ESS} 为节点 l 安装的储能系统的额定容量。

维护成本 C_2 可用 C_2^{WTG} 、 C_2^{PVG} 、 C_2^{MTG} 、 C_2^{ESS} 分别表征风电、光伏、内燃机、储能的维护成本。

$$C_2 = C_2^{\text{WTG}} + C_2^{\text{PVG}} + C_2^{\text{MTG}} + C_2^{\text{ESS}} \quad (10)$$

$$C_2^{\text{WTG}} = c_2^{\text{WTG}} p_i^{\text{WTG}} \quad (11)$$

$$C_2^{\text{PVG}} = c_2^{\text{PVG}} p_j^{\text{PVG}} \quad (12)$$

$$C_2^{\text{MTG}} = c_2^{\text{MTG}} p_k^{\text{MTG}} \quad (13)$$

$$C_2^{\text{ESS}} = c_2^{\text{ESS}} p_l^{\text{ESS}} \quad (14)$$

式中: c_2^{MTG} 为风力发电的单位功率维护成本; c_2^{PVG} 光伏发电单位功率维护成本; c_2^{WTG} 内燃机的单位功率维护成本; c_2^{ESS} 储能系统的单位功率维护成本。

运行成本 C_3 可由 C_{up} 、 C_{loss} 、 C_f 分别表征购电费用、网络损耗费用化石燃料费用。

$$C_3 = C_{\text{up}} + C_{\text{loss}} + C_f \quad (15)$$

式中: C_{up} 为向上级电网的购电费用; C_{loss} 为网络损耗费用; C_f 为化石燃料费用,化石燃料费用为固定支出。

$$C_{\text{up}} = \sum_{t=1}^{24} C_{\text{up},t} p_t^{\text{sub}} \Delta t \quad (16)$$

$$C_{\text{loss}} = \sum_{t=1}^{24} C_{\text{loss},t} p_{l,t}^{\text{loss}} \Delta t \quad (17)$$

式中: $C_{\text{up},t}$ 为 t 时刻向上级电网的购电费用; $C_{\text{loss},t}$ 为 t 时刻单位网络损耗费用; p_t^{sub} 为 t 时刻上级电网对配电网的有功供电功率; $p_{l,t}^{\text{loss}}$ 为 t 时刻线路 l 的有功损耗; Δt 为单位时间。

2.1.2 以年碳排放量最小为目标

为使系统在规划后减排效果最佳,以年碳排放量最小为目标建模,设定第 2 个目标函数 F_2 。

$$F_2 = \left(\alpha_{\text{grid}} \sum_{t=1}^{24} p_t^{\text{sub}} + \alpha_{\text{MTG}} \sum_{t=1}^{24} p_{k,t}^{\text{MTG}} \right) \Delta t \quad (18)$$

式中: F_2 为碳排放目标函数; α_{grid} 为上级电网碳排放强度; α_{MTG} 为内燃气轮机的碳排放强度; $p_{k,t}^{\text{MTG}}$ 为 t 时刻节点 k 安装的内燃机的有功功率。

2.1.3 以网损成本最低为目标

以网损成本最低为目标,建立目标函数 F_3 。

$$F_3 = \sum_{t=1}^{24} \sum_{l=1}^{\text{line}} p_{l,t}^{\text{loss}} \Delta t \quad (19)$$

式中: F_3 为网络损耗目标函数; $p_{l,t}^{\text{loss}}$ 为 t 时刻线路 l 的有功损耗。

2.2 约束条件

2.2.1 等约束条件

等约束条件即有功、无功潮流方程,即

$$P_{i,t} = U_{i,t} \sum_{j=1}^N U_{j,t} (G_{i,j} \cos \alpha_{ij,t} + B_{i,j} \sin \alpha_{ij,t}) \quad (20)$$

$$Q_{i,t} = U_{i,t} \sum_{j=1}^N U_{j,t} (G_{i,j} \cos \alpha_{ij,t} + B_{i,j} \sin \alpha_{ij,t}) \quad (21)$$

式中: $P_{i,t}$ 为 t 时刻下 i 节点注入的有功功率; $Q_{i,t}$ 为 t 时刻下 i 节点注入的无功功率; $U_{i,t}$ 为 t 时刻下 i 节点的电压; $U_{j,t}$ 为 t 时刻下 j 节点的电压; $G_{i,j}$ 为节点导纳矩阵的实部; $B_{i,j}$ 为节点导纳矩阵的虚部; $\alpha_{ij,t}$ 为时刻 t 下节点 i, j 之间的相角差。

2.2.2 不等约束条件

1) 节点电压约束

系统节点电压需要稳定在允许电压范围内,即在系统节点电压的最小值和最大值之间。

$$V_i^{\min} \leq V_{i,t} \leq V_i^{\max} \quad (22)$$

式中: $V_{i,t}$ 为 t 时刻下节点 i 的电压值; $V_i^{\max}$ 为运行电压最大值; $V_i^{\min}$ 运行电压最小值。

2) 支路电流约束

$$-I_l^{\max} \leq I_{l,t} \leq I_l^{\max} \quad (23)$$

式中: $I_{l,t}$ 为 t 时刻下支路 l 的支路电流; $I_l^{\max}$ 为支路 l 流过的最大允许电流。

3) ESS 储能容量约束

ESS 在运行时应满足最大充放电约束:

$$P_i^{\text{ESS},\min} \leq P_{i,t}^{\text{ESS}} \leq P_i^{\text{ESS},\max} \quad (24)$$

式中: P_i^{ESS} 为时刻 t 下节点 i 的充放电功率; $P_i^{\text{ESS},\min}$ 为储能系统节点 i 的最小充放电功率; $P_i^{\text{ESS},\max}$ 为储能系统节点 i 的最大充放电功率。

4) DG 安装容量约束

DG 的接入受到系统供电可靠性约束:

$$0 \leq P_i^{\text{DG}} \leq P_i^{\text{DG},\max} \quad (25)$$

式中: P_i^{DG} 为节点 i 处分布式能源的额定容量; $P_i^{\text{DG},\max}$ 为节点 i 处分布式能源安装容量最大值。

3 多目标风光储规划求解算法

3.1 原始粒子群算法

粒子群算法 (particle swarm optimization, PSO) 是通过模拟鸟群觅食行为而发展起来的一种优化计算技术^[21]。引入个体最优解 P_{best} 和群体最优解 G_{best} 两个概念, 粒子通过不断更新两个“极值”来寻求最优解。

当种群中粒子总数为 M 时, 设第 i 个粒子当前位置向量为 X_{id}^k 、速度向量为 V_{id}^k , 维数为 d , k 为当前迭代次数。PSO 算法中速度更新公式和位置更新公式为

$$V_{id}^{k+1} = V_{id}^k + c_1 r_1 (P_{\text{best},id}^k - X_{id}^k) + c_2 r_2 (G_{\text{best},id}^k - X_{id}^k) \quad (26)$$

$$X_{id}^{k+1} = X_{id}^k + V_{id}^{k+1} \quad (27)$$

式中: V_{id}^{k+1} 为第 i 个粒子在迭代次数为 $k+1$ 时的速度; X_{id}^{k+1} 为第 i 个粒子在迭代次数为 $k+1$ 时的位置; $P_{\text{best},id}^k$ 为迭代次数为 k 时的个体最优解; $G_{\text{best},id}^k$ 为迭代次数为 k 时的群体最优解; c_1, c_2 为加速度系数; r_1, r_2 为 $0 \sim 1$ 随机数。

c_1 控制每个粒子的自我认知, 引导粒子向自身最优解飞行, c_2 控制种群认知, 体现种群间粒子相互交换信息。在实际问题求解中往往设立最大迭代次数, 根据设定的目标函数在每次迭代求解中更新, 最终得出群体最优解 G_{best} 。

3.2 改进标准粒子群算法

标准粒子群算法引入惯性权重 ω , 有效控制粒子的搜索范围, 提高收敛精度。

$$V_{id}^{k+1} = \omega V_{id}^k + c_1 r_1 (P_{\text{best},id}^k - X_{id}^k) + c_2 r_2 (G_{\text{best},id}^k - X_{id}^k) \quad (28)$$

惯性权重为零时, 粒子的速度只取决于当前位置的个体极值和全局极值。而其粒子将飞向其本身的个体极值和全局极值的加权中心。粒子群将会收缩至当前全局最优位置, 从而陷入局部运算无法跳出。惯性权重不为零时, 粒子得到扩展至搜索空间的趋势, 从而可以针对不同问题调整算法, 相应地调整全局搜索能力和局部搜索能力。本文采用惯性权重线性递减策略, 通过对惯性权重进行调节, 使惯性权重在微小变化后, 后续搜索产生较大影响, 防止粒子过早陷入局部最优值。

3.3 天牛须算法改进粒子群算法

粒子群优化算法收敛速度快, 侧重于种群对每个粒子的影响。但缺乏对粒子速度的动态调节, 易陷入局部最优解。本文据此问题提出天牛须搜索算法 (beetle antennae search, BAS) 改进的粒子群算法, 为粒子速度调整提供自主寻优的能力。

粒子群算法用于全局搜索, 天牛须算法用来局部寻优, 加速全局搜索和局部搜索的并行计算, 提高了搜索效率。其原理为: 天牛在觅食时, 通过左、右两触须所探测到的气味强度来判断食物在自身位置的左侧或右侧。当左须探测到的气味强时, 天牛便会向左移动。当右须探测到的气味强时, 天牛又向右移动^[22]。天牛通过不断的探测、移动, 直至找到气味最强的位置。在天牛觅食的过程中, 食物的方位相当于目标函数的最优解, 而气味就相当于函数本身, 天牛通过不断逼近食物从而获得最优解^[23]。

参照天牛觅食行为设计出 BAS 算法的计算流程。

(1)如图 1 所示,在 n 维空间中,设天牛的质心位置为 x ,左须位置为 X_{left} ,右触须位置 X_{right} , d_0 表示左右两触须间的距离。天牛走动一次的距离与两须间距离成一定比例,即大天牛走大步,小天牛走小步。

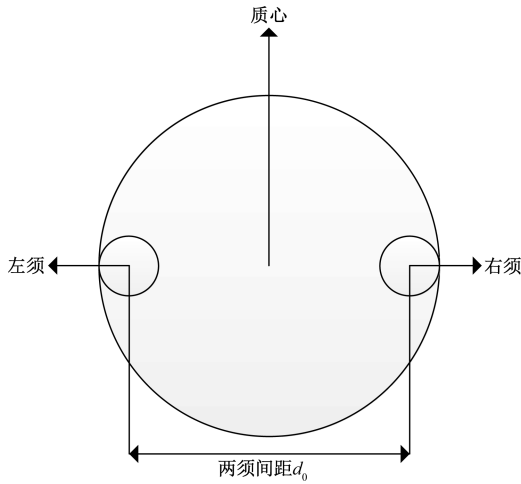


图 1 天牛须算法模型

(2)据质心位置 x ,两触须间距 d_0 以及右触须指向左触须的向量 d 表达左右触须的位置:

$$X_{\text{left}} = X + d_0 d / 2 \|d\| \quad (29)$$

$$X_{\text{right}} = X - d_0 d / 2 \|d\| \quad (30)$$

$$X_{\text{left}} - X_{\text{right}} = d_0 d / 2 \|d\| \quad (31)$$

(3)对于目标函数 F ,分别求得 X_{left} 和 X_{right} 两个位置的 F_{left} 和 F_{right} ,比较其大小,寻求最小值。当 $F_{\text{left}} < F_{\text{right}}$ 时,质心向左触须方向移动,即

$$X_{t+1} = X_t + \delta \text{dir}(X_{\text{left}} - X_{\text{right}}) \quad (32)$$

当 $F_{\text{left}} > F_{\text{right}}$ 时,质心向右触须方向移动,即

$$X_{t+1} = X_t - \delta \text{dir}(X_{\text{left}} - X_{\text{right}}) \quad (33)$$

式中: X_{t+1} 为在天牛的第 $t+1$ 次迭代中的质心坐标; δ 为步长。

步长 δ 和两须之间的距离 d 随时间递减,其递减函数如下:

$$\delta_{t+1} = \delta_t \text{eta}_\delta \quad (34)$$

$$d_{t+1} = d_t \text{eta}_d + 0.01 \quad (35)$$

式中: eta_d 和 eta_δ 为两触须间距离和步长的衰减系数,通常设为 0.95。

(4)判断迭代次数是否满足要求。其算法流程如图 2 所示。

4 算例分析

4.1 算例参数选取

以标准 IEE33 节点系统作为仿真分析对象,如图 3 所示。

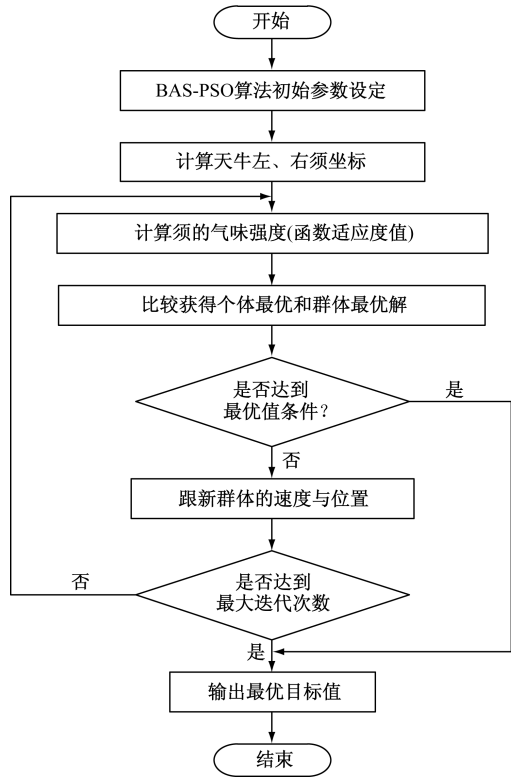


图 2 BAS-PSO 优化算法流程

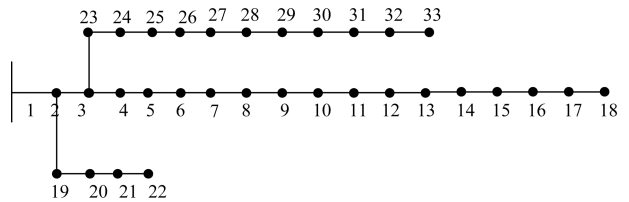


图 3 IEE33 节点配电系统

ESS 中储能电池通常采用钠硫电池,考虑变流器部分投资费、能量存储部分投资费用、运行与维护费用、充放电效率等,结合分时段电价接入电网。

4.2 算例结果分析

初始条件设置为设置迭代次数 100 次,种群规模大小为 50, $c_1 = c_2 = 1.49445$,惯性权重 ω_{max} 和 ω_{min} 分别设置为 0.9 和 0.4。天牛须长与步长之比为 5,须长衰减系数 eta_d 和设为 0.95,步长衰减系数 eta_δ 设为 0.95。

考虑建设、运行、维护成本和电网收益率为目标函数,设计分布式电源与储能系统接入前后 3 种方案对比的目标函数运行结果。

方案 1:不考虑 DG 与 ESS 接入;方案 2:只考虑 DG 接入;方案 3:同时考虑 DG 与 ESS 接入。不同规划方案的运行结果见表 1。

表1 不同规划方案运行结果

参数	方案1	方案2	方案3
风电安装容量/kW	—	300	300
光伏安装容量/kW	—	30	300
储能安装容量/kW	—	—	100
运行成本/(千元·d ⁻¹)	2 555.55	161.56	51.57
二氧化碳排放/(t·d ⁻¹)	1 865.12	127.99	69.395 3
网损/(MW·h)	39.53	37.63	22.32

对表1进行分析,方案1系统在未接入DG和ESS时,不涉及分布式电源及储能系统安装、维护费用,总成本即为运行成本,包括向上级电网购电成本和环境成本,各项成本在所有方案中均为最高;方案2增加了风电、光电的分布式电源接入,但未引入储能系统,与方案1相比,运行成本、二氧化碳排放量及网损均有所降低;方案3综合考虑DG与ESS协同配置后,运行成本、二氧化碳排放量及网损3个目标均为最低,与方案2相比运行成本降低了68.08%,二氧化碳排放降低了45.81%,网损降低了40.69%。方案3与方案2相比,由于ESS具有灵活的充放电特点,提高了风-光的渗透率,新能源得到进一步消纳,提高了系统运行的经济性。

方案3执行程序运行后输出结果如下:储能安装最佳位置为节点31,储能安装容量为100 kW;光伏安装最佳位置为节点13,光伏安装容量为300 kW;风电安装最佳位置为节点33,风电安装容量为300 kW。“风-光-储”选址定位图如图4所示。

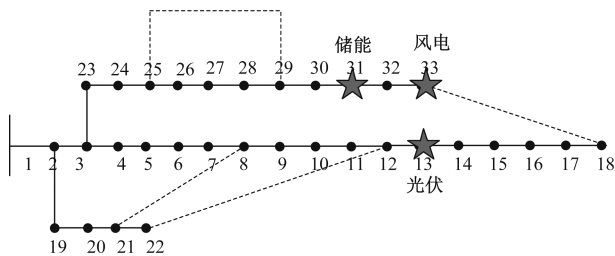


图4 “风-光-储”选址定位图

5 结论

对DG和ESS协同规划研究进行阐述,在配电网引入DG后的基础上分析潮流变化。从运行维护成本、碳排放量、网损和收益4个方面设定目标函数。在PSO算法的基础上改进求解方法,设定天牛须算法改进粒子群算法求解模型。通过以年综合费用、碳排放量考量因素作为目标函数,以分布式电源和储能的位置及容量为限制,确定分布式电源与储能安装的位置、容量。在充分考虑各场景下的功率平衡关系及运行约束以获得最优运行方案,采用多目标粒子群算法求取最优解,供决策者选择适

合方案。最后通过实例验证了本文所提风光储模型与求解方法的可行性。

参考文献

- [1] 陈小雪,尉永清,任敏,等.基于萤火虫优化的加权K-means算法[J].计算机应用研究,2018,35(2):466-470.
- [2] 张涛,张东方,王凌云,等.计及电动汽车充电模式的主动配电网多目标优化重构[J].电力系统保护与控制,2018,46(8):1-9.
- [3] 姜心怡,陈健,陈明,等.计及效率提升的弹性配电网中可移动式储能优化配置方法[J].南方电网技术,2021,15(2):40-47.
- [4] 高慧,晏寒婷,黄春艳.考虑“源-荷-储”灵活性资源协调的主动配电网双层规划[J].广东电力,2019,32(5):29-35.
- [5] 严干贵,刘华南,韩凝晖,等.计及电动汽车时空分布状态的充电站选址定容优化方法[J].中国电机工程学报,2021,41(18):6271-6284.
- [6] 张强,李盼池.一种自适应多策略行为粒子群优化算法[J].控制与决策,2020,35(1):115-122.
- [7] 单瑞卿,吕群芳,王建勋,等.基于自适应遗传算法的配电网无功优化[J].电力电容器与无功补偿,2010,16(3):22-25.
- [8] JENKINS P, ELMNIFI M, YOUNIS A, et al. Enhanced oil recovery by using solar energy: case study[J]. Journal of Power and Energy Engineering, 2019, 6: 59-64.
- [9] VOUDOUBAS J. Possibilities of using solar energy in district cooling systems in the mediterranean region[J]. Open Journal of Energy Efficiency, 2019, 2: 22-25.
- [10] 李二超,魏立森.基于指标和自适应边界选择的高维多目标优化算法[J].控制与决策,2020,45(9):1-10.
- [11] 邢海军.主动配电网扩展规划研究[D].上海:上海交通大学,2016.
- [12] 徐先骏,吉小鹏.基于分布式能源接入的配电网低电压治理[J].电器与能效管理技术,2019(23):76-81.
- [13] 葛少云,申凯月,刘洪,等.考虑网络转移性能的城市快速充电网络规划[J].电网技术,2021,45(9):3553-3564.
- [14] MONTOYAO D, GRAJALES A, GARCES A, et al. Distribution systems operation considering energy storage devices and distributed generation[J]. IEEE Latin America Transactions, 2017, 15(3): 890-900.
- [15] 程林,万宇翔,齐宁.含多种分布式资源的配用电系统运行可靠性研究评述及展望[J].电力系统自动化,2021,45(2):191-207.
- [16] 肖白,朱珈汛,姜卓,等.考虑车辆充电调度机制的电动公交车充电站规划[J].电力自动化设备,2022,42(1):148-155.
- [17] 孟源,樊小朝,史瑞静.基于机会约束及N-1安全约束的风光联合储能系统选址定容优化[J].电网技术,2021,45(5):1886-1893.
- [18] 李煜,刘景森,何小锋.智能前沿:智能优化算法及应

- 用[M]. 北京: 中国经济出版社, 2020.
- [19] 李建林, 谭宇良, 王含, 等. 配网及光储微网储能系统配置优化策略[J]. 高电压技术, 2022, 48(5): 1893-1902.
- [20] 田梦瑶, 汤波, 杨秀, 等. 综合考虑充电需求和配电网接纳能力的电动汽车充电站规划[J]. 电网技术, 2021, 45(5): 498-509.
- [21] 谢承旺. 多目标群体智能优化算法[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2020.
- [22] 沈涵, 都海波, 周俊. 自适应变异的天牛群优化算法[J]. 计算机应用, 2020, 40(S2): 1-7.
- [23] 陈婷婷, 殷贺, 江红莉, 等. 基于天牛须搜索的粒子群优化算法求解投资组合问题[J]. 计算机系统应用, 2019, 28(2): 171-176.

Wind and Landscape Storage Collaborative Planning Technology Based on Improved Particle Swarm Optimization

DONG Zhichao¹, YANG Min²

(1. Operation and Maintenance Department of State Grid Taixing Power Supply Company, Taixing 225400, Jiangsu, China;
2. Taizhou Sanxin Power Supply Service Co. Ltd. Taixing Branch, Taixing 225400, Jiangsu, China)

Abstract: In order to improve the rationality of the design of the existing new energy planning model, the model solving algorithm was optimized and the relevant constraints were supplemented. According to the output characteristics and operation characteristics of wind power, photovoltaic distributed power generation and energy storage system, the mathematical model of wind, light and storage is established. The comprehensive impact of renewable energy on the distribution network by its own intermittent and fluctuating characteristics after it is connected to the distribution network is analyzed. The energy storage system has the characteristics of stable oscillation, load peak regulation, and delayed equipment transformation, and the planning idea of rational allocation of renewable energy and energy storage system to are put forward improve the safety, stability and economy of the distribution network. The objective functions such as operating cost, carbon emissions and network loss index are comprehensively considered, and the optimal site selection and capacity of distributed power generation and energy storage system are determined by improving the particle swarm algorithm. Finally, the model is solved by the improved particle swarm algorithm and simulated in the IEEE33 node system, and the effectiveness of the proposed collaborative planning scheme of wind, solar and storage is verified by practical examples.

Keywords: improved particle swarm optimization; distributed energy; optimal allocation; multi-targeting