

[风光储]

基于ACO与CSO算法的风电光伏并网储能容量配置优化

文/张成志
大唐观音岩水电开发有限公司

针对现有风电光伏并网储能容量配置方案应用，电网电压偏移量过大，影响电网整体运行稳定性的问题，引入ACO与CSO算法，开展风电光伏并网储能容量配置优化研究。在综合考虑经济性和高效性的前提条件下，构建风电光伏并网储能容量配置优化模型。对比实验证明，优化后的配置方法应用电网电压偏移量明显减小。

风电和光伏等可再生能源在电力系统中扮演着越来越重要的角色。风电和光伏并网作为提升可再生能源利用率的关键环节，其储能容量的合理配置对于保障电力系统的稳定运行，优化能源结构和提高能源利用效率具有重大意义。目前，关于风电光伏并网储能容量配置的研究已经取得一定的进展。文献[1]结合重力储能，对混合储能系统容量进行优化配置；文献[2]利用一次调频特性提取及目标函数计算，对风电光伏并网储能容量进行优化配置。这些方法通常基于历史数据和专家经验，能够给出初步的储能容量配置方案。然而，这些方法往往忽略风电和光伏出力的随机性和波动性，以及电力系统运行的复杂性和动态性，难以实现储能容量的精确配置^[3]。

近年来，随着人工智能技术的快速发展，智能优化算法在风电光伏并网储能容量配置领域得到广泛应用。其中，蚁群优化算法（ACO）和文化基因算法（CSO）作为两种典型的智能优化算法，具有全局搜索能力强、收敛速度快等优点，为风电光伏并网储能容量配置提供新的解决思路。然而，单一的ACO或CSO算法在求解复杂优化问题时仍存在易陷入局部最优、收敛准确度不高等问题。因此，本研究旨在结合ACO和CSO算法的优势，提出一种基

于ACO与CSO算法的风电光伏并网储能容量配置优化方法。

构建风电光伏并网储能容量配置优化模型

在考虑经济性和高效性的前提条件下，构建风电光伏并网储能容量配置优化模型。储能部分，成本主要包括两个方面，分别为储能建设投入支出和储能在运行周期中所需运行维护支出^[4]。其中建设投入支出的组成可表示为

$$C_1 = M_x C_g + M_s C_J + P_H C_P + E_H C_E \quad (1)$$

式中， C_1 为建设投入支出； M_x 为蓄电池数量； M_s 为超级电容设备数量； P_H 为风电光伏并网储能额定功率； E_H 为额定容量； C_g 、 C_J 、 C_P 、 C_E 分别为设备购置费用、设备组件费用、功率转换成本和容量配置成本。

储能在运行周期中所需运行维护支出可表示为

$$C_2 = C_w + C_G \quad (2)$$

式中， C_2 为储能在运行周期中所需运行维护支出； C_w 为设备维护费用； C_G 为设备更换费用。

在进行风电光伏并网储能容量配置优化时，必须全面考虑一系列综合因素，以确保电力系统的稳定运行和经济效益的最大化。其中，线路损耗和电压偏移是两个至关重要的因素。

首先,线路损耗是电力传输过程中不可避免的现象,它直接影响电能的利用率和经济效益^[5]。风电和光伏并网过程中,由于能源来源的不稳定性和间歇性,导致线路中的电流和电压波动,进而增加线路损耗^[6]。因此,在优化储能容量配置时,必须充分考虑线路损耗的问题,通过合理配置储能系统,减小电流的波动范围,降低线路损耗,提高电能的传输效率^[7]。在风电光伏并网前,电网的线路损耗为

$$L_A = \frac{R_l(P_i^2 + Q_i^2)}{3U_i^2} \quad (3)$$

式中, L_A 为并网前的网络线路损耗; R_l 为线路等效电阻; P_i 为线路 i 的有功功率; Q_i 为线路 i 的无功功率; U_i 为线路相电压。

在并网后,其损耗计算需要在有功功率部分减去有功输出,在无功功率部分减去无功输出。以此可以得到并网后线路损耗的最大目标函数为

$$\max L = L_A - L_B \quad (4)$$

式中, $\max L$ 表示并网后线路最大损耗; L_B 表示并网后线路损耗。

其次,电压偏移也是风电光伏并网过程中需要重点关注的因素。电压偏移是指电力系统中电压值偏离额定值的情况,它导致电力设备的正常运行受到影响,甚至引发设备故障。风电和光伏出力的不稳定性随机性导致电压波动,进而产生电压偏移^[8]。为保障电力系统的稳定运行,需要在优化储能容量配置时,充分考虑电压偏移的问题,通过合理配置储能系统,实现电压的稳定控制,减少电压偏移对电力系统的影响。将最小电压偏移目标函数描述为

$$\min Y = \left(\frac{U_i - U_i^*}{\Delta U_{mi}} \right)^2 \quad (5)$$

式中, $\min Y$ 为最小电压偏移量; U_i 为实际电压; U_i^* 为参考电压; ΔU_{mi} 为电压最大偏差。

综上所述,线路损耗和电压偏移是在进行风电光伏并网储能容量配置优化时必须考虑的综合因素。通过合理配置储能系统,可以有效降低线路损耗,减少电压偏移,实现电力系统的稳定运行和经济效益的最大化。

设置约束条件

为确保上述风电光伏并网储能容量配置优化模

型构建的合理性,在对模型训练前,设置约束条件。其中包括功率平衡约束、电压稳定约束和线路传输容量约束等。

首先,功率平衡约束是电力系统运行的基本前提。在任何时刻,电力系统的供电能力必须满足负荷需求,以确保电力系统的稳定运行。在风电光伏并网储能系统中,这一约束条件可以表示为

$$P_w + P_p + P_{s,c} - P_{s,d} = P_l \quad (6)$$

式中, P_w 为电出力; P_p 为光伏出力; $P_{s,c}$ 为储能系统充电功率; $P_{s,d}$ 为储能系统放电功率; P_l 为电力系统负荷需求。

这一公式确保在任何时刻,风电、光伏的出力与储能系统的充放电功率之和等于负荷需求,从而实现功率平衡。

其次,储能系统约束反映储能系统的技术特性和运行限制。这些约束条件包括储能系统的容量限制、功率限制以及充放电深度限制等。

容量限制

$$0 \leq E_s \leq E_{\max} \quad (7)$$

式中, E_s 为储能系统的当前电量; $E_{\max}$ 为储能系统的最大容量。

这一约束条件确保储能系统的电量不会超出其最大容量限制。

功率限制

$$P_{\min} \leq P_{s,c/d} \leq P_{\max} \quad (8)$$

式中, $P_{\min}$ 为储能系统的最小功率限制; $P_{\max}$ 为储能系统的最大功率限制; $P_{s,c/d}$ 为储能系统充放电功率。

这一约束条件确保储能系统的充放电功率不会超出其技术限制。

最后,电力系统运行约束涉及电力系统的稳定性和安全性。这些约束条件包括电压稳定约束和线路传输容量约束等。电压稳定约束可以表示为

$$V_{\min} \leq V \leq V_{\max} \quad (9)$$

式中, $V_{\min}$ 为电力系统允许的最低电压; $V_{\max}$ 为电力系统允许的最高电压; V 为电压。

这一约束条件确保电力系统的电压稳定在安全范围内。线路传输容量约束则涉及电力系统中各条线路的传输能力。由于线路传输容量有限,因此需要确保每条线路的传输功率不超过其容量限制^[9]。风电光伏并网储能容量配置优化模型的约束条件涵

盖功率平衡、储能系统技术特性和电力系统运行稳定性等多个方面。通过合理设置这些约束条件，可以确保优化模型能够得出符合实际运行要求的储能容量配置方案。

基于ACO与CSO算法的模型训练与最佳配置生成

在探索储能容量配置优化问题时，结合ACO算法与CSO算法的特点，旨在提高搜索过程的收敛效率。具体而言，在ACO的搜索迭代过程中，融入CSO算法的交叉搜索机制，通过这种融合策略来寻找最优的储能容量配置方案。

基于上述思路，采用这种复合算法对先前构建的模型进行迭代训练。整个过程的基本步骤如下。

1) 初始化算法所需的数据信息，包括问题规模、参数设置等，并确定蚁群的初始样本分布。

2) 读取每只蚂蚁的位置信息素，并根据问题的特定目标函数计算每只蚂蚁的适应度。同时，记录并更新蚂蚁在搜索路径上留下的信息素^[10]。每个搜索路径上的信息素可以描述为

$$\beta = (1 - k_z) \Delta \beta(T) \tag{10}$$

式中， β 为信息素值； k_z 为蒸发系数； $\Delta \beta(T)$ 为 T 时刻迭代过程中获取到的信息素。

3) 引入CSO算法的交叉搜索机制。通过交叉搜索，在当前蚂蚁的邻域内寻找更优的解，即对应度更高的路径。这一过程结合局部搜索和全局探索的特点，有助于加快收敛速度。

4) 根据交叉搜索的结果，更新蚁群的最佳位置。通过比较当前最优解与历史最优解，确定是否更新全局最优解。最优解的判定条件表示为

$$f_0 = \begin{cases} \max(|f_i - f_a|), |f_i - f_a| > 1 \\ 1, \text{其他} \end{cases} \tag{11}$$

式中， f_0 为判定系数； f_i 为个体适应度； f_a 为种群平均适应度。

5) 当满足终止条件（如达到最大迭代次数或解的质量达到一定标准）时，算法停止迭代，并输出最终的最优化解，即最佳的储能容量配置方案。

对比实验

利用文献[1]方法和文献[2]方法以及本文上述提出的基于ACO与CSO算法的方法对某风电光伏并网

储能进行容量配置优化。通过对比三种方法应用的配置效果，实现对其可行性的比较。该风电光伏并网储能具备IEEE30节点结构，表1中记录了该结构中各个节点的功能。

表1 风电光伏并网储能节点功能记录

功能	节点编号
发电机节点	1
负荷接入点	2, 4, 8, 12, 13, 17, 18, 21, 22, 23, 26, 27, 30
分布式光伏、储能电池可接入点	3, 5, 9, 16
输电线路节点	6, 7, 10, 11, 14, 15, 19, 20, 24, 25, 28, 29

风电光伏并网单位储能成本为2 830元/(kW·h)；规划年限为20年；光伏上网电价为900元/(MW·h)；光伏单位弃光成本为2 400元/(kW·h)；储能电池最小荷电状态为10%，最大荷电状态为90%。

得到三种配置方案后，对整个电网的电压稳定性进行验证，将电压偏移量作为评价指标，即电压偏移量越小，则说明电网电压稳定性越强，配置越合理；反之，电压偏移量越大，则说明电网电压稳定性越差，配置越不合理。根据这一理论，将三组配置下电网电压偏移量变化绘制成如图1所示。

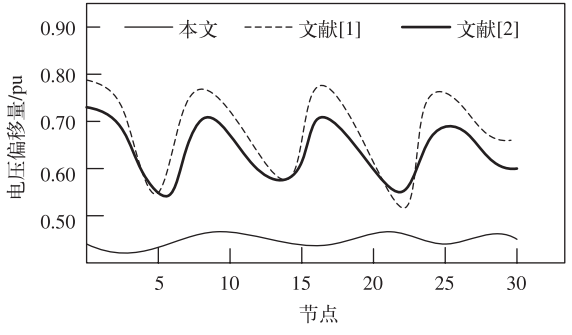


图1 三种配置下电网电压偏移量变化曲线图

通过对图1中详细展示的两条电压偏移量曲线进行深入分析，可以清晰地看到，采用本文所提出的优化方法配置后，电网电压的偏移量能够稳定地控制在0.50 pu以下，充分展现了该优化方法对于电网电压稳定性的出色控制效果。相比之下，采用文献[1]和文献[2]中的两种方法配置时，电网电压的偏移量出现显著且大幅度波动情况。这种波动不仅增加电网运行的不稳定性，还对电网中的设备造成潜在的损害，从而严重威胁到电网的安全稳定运行。

具体来看,本文优化方法通过精准计算和优化配置,实现对电网电压偏移量的有效控制。而文献[1]和文献[2]中的方法,虽然在某些条件下具有一定的适用性,但在面对复杂多变的电网运行环境时,其控制效果显得力不从心,导致电网电压出现明显的波动。这种波动不仅会影响电力质量,还引发一系列连锁反应,如设备故障、停电等,对电力系统的整体运行造成严重影响。

因此,通过这一实验结果的对比分析,可以明确得出,本文所提出的优化方法在配置电网电压方面具有更高的合理性和优越性。它不仅能够有效降低电压偏移量,提高电网的稳定性,还能为电力系统的安全、可靠运行提供有力保障。这一结论对于指导电网运行管理和优化配置具有重要的实践意义。

结束语

本研究通过引入ACO与CSO算法,实现风电光伏并网储能容量的优化配置,有效提升电力系统的稳定性和经济性。相较于传统方法,本研究提出的优化方法不仅考虑风电和光伏出力的随机性和波动性,还充分利用智能优化算法的全局搜索能力和收敛速度快的优点,为可再生能源的并网利用提供更为精准和有效的技术支撑。[EA](#)

(收稿日期:2024-05-30)

参考文献

[1] 张陵,南东亮,赵启,等.基于重力储能的混合储能系统容量优化配置[J].计算机仿真,

2024, 41 (1): 103-110.

[2] 张永明.风电光伏并网储能容量优化配置方法[J].自动化应用,2023, 64 (21): 72-74.

[3] 潘万宝,余畅文,马小龙,等.基于蜻蜓算法的分布式电源并网容量优化配置[J].青海电力,2023, 42 (3): 32-37+53.

[4] 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.

[5] 赵娜,张莲,王士彬,等.并网型风光氢储微电网容量优化配置[J].湖南电力,2023, 43 (4): 48-55.

[6] 左冲,贾彦,孟克其劳,等.基于HOMER仿真的风光储互补发电系统容量优化配置研究[J].内蒙古电力技术,2023, 41 (1): 21-25.

[7] 李中胜.大规模风电并网下的储能容量配置优化决策方法[J].长春工程学院学报(自然科学版),2022, 23 (4): 61-65.

[8] 闫群民,刘语忱,董新洲,等.基于CEEMDAN-HT的平抑光伏出力混合储能容量优化配置[J].电力系统保护与控制,2022, 50 (21): 43-53.

[9] 黄翔,刘子华,陈李丰,等.配电网光伏并网存储容量有序配置方法[J].制造业自动化,2022, 44 (7): 164-168.

[10] 范宪国.并网风光储互补发电系统容量的优化配置[J].集成电路应用,2022, 39 (7): 204-205.

