

含风光储的多目标粒子群优化调度

史上 杜浩然 袁赛博

华北水利水电大学 河南郑州 450045

摘要: 在“双碳”背景下,风电光伏等新能源接入电网能够提升电网调度的经济性,但大规模风电光伏能源的接入受限于电网容量的限制,造成了大量的弃风弃光现象。为了提高新能源的消纳率及微电网运行的经济性,首先,构建了含有风电、光伏、发电机、储能、负荷的微网系统。在考虑出力约束和运行约束的前提下,建立了考虑运行成本以及环境污染造成的处理成本最低、新能源消纳最大的多目标微电网优化调度模型。最后利用多目标粒子群算法求解微电网优化调度模型。结果显示,本文所构建的优化调度模型能够对提升新能源消纳,优化微电网经济调度具有指导意义。

关键词: 多目标; 调度; 微电网; 风光消纳

引言

据国际可再生能源署 (IRENA) 发布的《2023年年度可再生能源统计》(Renewable Capacity Statistics 2023) 报告显示^[1], 太阳能和风能装机容量仍创纪录地增长了266GW。大规模新能源接入电网, 加速了由传统火力发电为主的电力系统向新型电力系统的转型, 同时也大大减小了电网的发电成本。但电力系统并不能对大规模的新能源接入完全消纳, 造成了大量的弃风弃光现象^[2-4]。因此, 研究构建考虑风光消纳的经济调度具有重要意义。

郭方洪等人^[5]提出了一种基于分布式深度强化学习的微电网实时优化调度方法, 通过分布式架构, 使每个电源和主电网独立作为智能体交互, 以优化能量调度, 仿真结果证明了该方法能有效提高训练速度和降低成本。张自东等人^[6]介绍了一种基于深度强化学习 (DRL) 的微电网复合储能协调控制方法, 该策略根据电网运行环境信息进行数据分析以制定控制策略。Vincent 等人^[7]研究了在微电网环境中, 尤其是光伏系统, 如何利用深度强化学习优化存储设备的操作, 从而优化存储设备的使用, 提高微电网的运行效率。吴利刚等人^[8]探讨了微电网的需求侧电价响应和能量调度优化, 采用基于 Q-Learning 的强化学习策略进行优化, 以降低成本并保证电网可靠性, 实验结果验证了该策略的有效性。

作者简介: 史上 (2001-), 男, 汉族, 河南南阳人, 研究生, 作者单位: 华北水利水电大学, 研究方向: 新能源。

本文建立了一种考虑风光消纳的含有风电、光伏、负荷、储能、柴油发电机的经济调度模型。首先构建了含有风电、光伏、发电机、储能、负荷的微网系统。在考虑出力约束和运行约束的前提下, 建立了考虑运行成本以及环境污染造成的处理成本最低、新能源消纳最大的多目标微电网优化调度模型。最后利用多目标粒子群算法求解微电网优化调度模型。

一、电网系统模型

本文采用如图1的配电网系统。本系统考虑了风电、光伏、储能、负荷 (普通负荷与柔性负荷)、发电机还有电网交互功率。

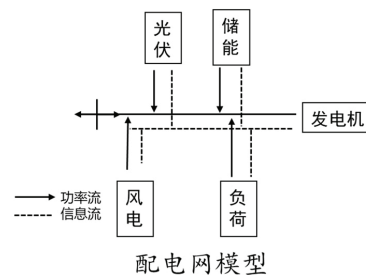


图1 电网模型的构建图

Fig. 1 Construction of power distribution network model

1. 发电机

发电机的发电成本与自身效率有关^[9]。发电机的成本函数如式 (1) 所示。

$$C_{MT} = C \frac{1}{LHV} \frac{P_{MT}}{\eta_{MT}} \quad (1)$$

式中： C_{MT} 表示发电机的成本。 C 为天然气单价；LHV为天然气低热值； P_{MT} 表示发电机的输出功率； η_{MT} 表示发电机的工作效率。

2. 储能

储能装置的数学模型如式(2)所示。

$$E_s(t) = E_s(t-1) + U_s(t) \left(P_{total}(t) - \frac{P_{load}(t)}{\eta_{inv}} \right) \eta_s \Delta t \quad (2)$$

式(2)中， $E_s(t)$ 、 $E_s(t-1)$ 分别表示t时刻、t-1时刻储能装置的容量； $P_{total}(t)$ 表示t时刻的电源出力之和； $P_{load}(t)$ 表示t时刻系统的负荷；当 $U_s(t)$ 为-1时，储能装置放电；当 $U_s(t)$ 为1时，储能装置充电。 η_{inv} 、 η_s 分别表示储能装置逆变器的充放电效率和储能装置的充放电效率。

3. 光伏

光伏电池一般工作在最大功率点跟踪(MPPT)模式下。输出功率可以表示为

$$P_{pv} = \zeta \eta_m A_p \eta_p \cos \theta \quad (3)$$

其中， P_{pv} 为PV实际出力； ζ 为太阳总辐射强度； η_m 为最大功率点跟踪模式下的效率； A_p 为电池板的面积； η_p 为光伏电池的效率； θ 为光照的入射角度。

4. 风电

(1) 风能转化模型

根据风速与输出功率的转化关系，得到一种常见的风电机组输出功率关系，如式(4)所示。

$$P_w(V) = \begin{cases} 0 & (V < v_{ci}) \cup (V > v_{co}) \\ \frac{P_{WR}}{v_r^3 - v_{ci}^3} (V^3 - v_{ci}^3) & (v_{ci} \leq V \leq v_r) \\ P_{WR} & (v_r < V \leq v_{co}) \end{cases} \quad (4)$$

式中： v_{ci} 为切入风速，m/s； v_{co} 为切出风速，m/s； v_r 为额定风速，m/s； P_{WR} 为在额定风速的情况下风电机组输出的功率，MW； V 为所在风场的风速，m/s。

二、微电网多目标优化模型构建

1. 环境成本

环境成本中主要考虑机组 CO_2 、 SO_2 以及氮化物的排放处理成本，如式(5)所示。

$$C_{green} = \min \sum_{t=1}^{N_T} \sum_{j=1}^K \alpha_j \sum_{i=1}^N \beta_{ij} P_{i,t} \quad (5)$$

其中， C_{green} 是环境成本， K 是污染物的排放类型， α_j 为处理第j种污染物的单位费用， β_{ij} 为不同为不同生产方式下输出 p_i 电能时所排放第j种污染物的排放系数。

2. 总成本

本文所构建系统的目标函数为运行成本最小，如式(6)所示。

$$\min \sum_{t=1}^{N_T} [C_w(t) + C_{pv}(t) + C_{ES}(t) + C_{MT}(t) + C_{green}] \quad (6)$$

其中， $C_w(t)$ 、 $C_{pv}(t)$ 、 $C_{ES}(t)$ 、 $C_{MT}(t)$ 分别是风电、光伏、储能装置、发电机的成本。

三、多目标粒子群算法求解

多目标粒子群算法(MOPSO)是由粒子群算法(PSO)改进得到。最初是由Kennedy和Eberhart在1995提出粒子群算法，通过确定粒子的局部最优值和全局最优值。并通过自身经验和群体最好经验来更新决定下一动作^[10]。粒子群算法更新过程如式(7)

$$V_{i+1} = \omega \times V + c_1 \times rand() \times (Pbest_i - X) + c_2 \times rand() \times (gbest_i - X) \quad (7)$$

$$X_{i+1} = X_i + V_{i+1} \quad (8)$$

$$\omega = \omega_{max} - \omega_{min} \times \frac{inter}{inter_{max}} \quad (9)$$

其中， V_i 是粒子的速度， X_i 是粒子位置， $Pbest$ 是每个粒子到目前发现最好的位置， $gbest$ 是整个粒子群体到目前发现最好的位置， $rand()$ 是0到1之间的随机数， C_1 和 C_2 是粒子的学习因子。 ω 是粒子群的动态权重值。 ω_{max} 和 ω_{min} 分别是初始惯性权重和迭代到最大代数的惯性权重， $inter$ 是当前迭代次数， $inter_{max}$ 是最大迭代次数。

多目标优化模型可以描述为式(10)

$$\begin{aligned} & \min f_i(X), i=1,2,\dots,m \\ & s.t. \begin{cases} g_j(X) = 0, j=1,2,\dots,p \\ h_k(X) \leq 0, k=1,2,\dots,q \end{cases} \end{aligned} \quad (10)$$

其中， $f_i(X)$ 为第i个目标函数； g_j 为第j个等式约束； h_k 为第k个不等式约束； X 为n维的优化变量， $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ 。

1. 多目标粒子群优化微电网

MOPSO算法求解微电网多目标模型流程图如图(2)所示：

多目标粒子群具体求解步骤如下

- (1) 首先初始化粒子位置、速度、局部最优解、整体最优解、迭代次数 $inter=0$ ；
- (2) 计算初始化N个种群的适应度，这里是指成本；
- (3) 更新粒子的速度、位置、设置动态惯性权重；
- (4) 更新种群局部最优解；

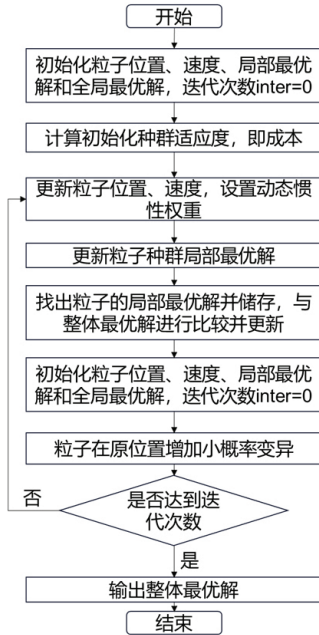


图2 多目标粒子群优化调度流程图

Fig. 2 Multi-objective particle swarm optimization scheduling flow chart

- (5) 找出粒子局部最优解并储存, 与整体最优解进行比较并更新;
- (6) 粒子在原位置增加小概率变异
- (7) 判断是否达到迭代次数, 如果达到则输出整体最优解; 若没有达到则返回(3), 继续迭代;

四、算例分析

为验证上述模型的优越性, 本文选取某地区夏季一天为例进行验证, 以24小时为周期, 以一小时为单位对系统进行分析。

由于系统运行成本和环境伤害最小这两个目标是相互矛盾、相互制约的目标。在追求系统运行成本最大时必然会导致环境破坏最大, 在追求环境效益最好时也会使运行成本大大减小, 只有在两者当中进行折中选择。

1. 风光消纳

本文所利用的模型也考虑了风光消纳, 减少弃风弃光现象。优化前后风电光伏消纳率如表(1)所示。

表1 优化前后风电光伏消纳率

	优化前	优化后
风电消纳率	0.7480	0.7784
光伏消纳率	0.7553	0.8326

2. 微电网优化调度

多目标粒子群算法求解微电网模型结果如图(3)所示。

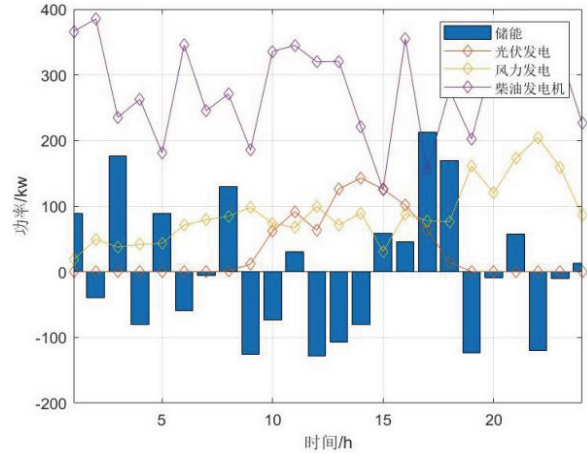


图3 微电网优化调度结果图

Fig. 3 Microgrid optimal scheduling results

由图(6)可以看出, 在15时柴油发电机出力突然下降, 此时风电光伏出力较大, 较大的利用清洁能源来降低运行成本提升环境效益。储能装置大多在早晨或者晚上进行能量储存, 在中午时刻光伏出力较大, 同时负荷也较大, 此时储能装置消耗早上还有晚上储存的能量, 也在一定程度上减小了微电网的波动性。

结论

本文构建了含风光储的微电网系统, 利用粒子群算法在风电光伏消纳最大的前提下, 以运行成本和环境伤害最小为目标, 对所构建的微电网系统进行多目标优化调度。构建了含有风电、光伏、发电机、储能、负荷的微网系统。在考虑出力约束和运行约束的前提下, 建立了考虑运行成本以及环境污染造成的处理成本最低、新能源消纳最大的多目标微电网优化调度模型。利用多目标粒子群算法求解微电网优化调度模型。结果显示, 本文所构建的优化调度模型能够对提升新能源消纳, 优化微电网经济调度具有指导意义。

参考文献

[1]IRENA. Renewable energy statistics; 2023. <https://www.irena.org/publications/2023/Jul/Renewable-Capacity-Statistics-2023>.

[2]魏震波, 张海涛, 魏平桢, 等.考虑动态激励型需求响应的微电网两阶段优化调度[J].电力系统保护与控制, 2021, 49(19): 1-10.DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.201605.

[3]季颖, 王建辉.基于深度强化学习的微电网在线

优化调度[J].控制与决策, 2022, 37(07): 1675-1684.
DOI: 10.13195/j.kzyjc.2021.0835.

[4] 齐志远, 李晓文, 张如意, 等.基于动态回馈修正的独立微电网协调优化调度[J].高电压技术, 2022, 48(03): 938-947.DOI: 10.13336/j.1003-6520.hve.20210263.

[5] 郭方洪, 何通, 吴祥, 等.基于分布式深度强化学习的微电网实时优化调度[J].控制理论与应用, 2022, 39(10): 1881-1889.

[6] 张自东, 邱才明, 张东霞, 等.基于深度强化学习的微电网复合储能协调控制方法[J].电网技术, 2019, 43(06): 1914-1921.DOI: 10.13335/j.1000-3673.pst.2018.2369

[7] Vincent FL, David T, Damine E, et al. Deep reinforcement learning solutions for energy microgrids management[C]. proceedings of the European Workshop on Reinforcement Learning (EWRL 2016), 2016.

[8] 吴利刚, 张梁, 周倩, 等.基于强化学习的微电网能量调度优化策略研究[J].控制工程, 2022, 29(07): 1162-1172.DOI: 10.14107/j.cnki.kzgc.20210749.

[9] 孔淑琴, 牛铭, 付学谦, 等.微电网孤网经济运行研究[J].电网与清洁能源, 2012, 28(4): 57-62

[10] 张利彪, 周春光, 马铭, 等.基于粒子群算法求解多目标优化问题[J].计算机研究与发展, 2004, (07): 1286-1291