

含风电和径流式小水电的多目标环境经济调度

朱艳芳

(国网湖南省电力有限公司 湘西供电分公司, 湖南 湘西 4160000)

摘要 本文构建了含风电和径流式小水电机组的多目标环境经济调度模型。为应对风电和径流式小水电机组的不确定性,采用概率密度函数对风速和河流流量进行模拟,利用蒙特卡洛法模拟得到风电和径流式小水电机组的功率分布,并计算可再生资源预测功率的低估和高估带来的惩罚成本与储备成本。该模型能兼顾燃料费用目标及污染排放目标,并考虑安全约束、禁止运行区等约束条件。为获取最优调度方案集,提出一种非支配排序改进多目标教学优化算法,并将其与不可行解约束处理技术相结合,实现模型的有效求解。

关键词 可再生资源 径流式小水电 网络安全约束 多目标环境经济调度

中图分类号: TP176.5; F42

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2021)05-0038-03

近年来,可再生能源增长迅速,在减少碳排放、降低环境污染的同时,可再生能源入网带来的不确定性也给电网的安全经济运行带来诸多影响。可再生能源并网的研究集中于风电和光伏,对径流式小水电并网考虑较少。径流式小水电因为其投资少、建设周期短等优点获得了飞速的发展,目前装机容量约占中国水电的30%,是电力工业的重要组成部分。然而径流式小水电出力不确定性较大,对电力系统稳定运行有很大影响,因此将其纳入多目标环境经济调度(multiobjective economic-environmental dispatch, MOEED)问题的研究有重要意义。

1 目标函数和约束条件

1.1 发电成本

1.1.1 火电机组发电成本

火电机组的发电成本与输出功率的关系可以表示为:

$$C_{ps} = \sum_{i=1}^{N_{TG}} (a_i + b_i P_{TG_i} + c_i P_{TG_i}^2)$$

考虑阀点效应时的发电成本表示为:

$$C_p = C_{ps} + \left| C d_i \sin \left(e_i \left(P_{TG_i}^{\min} - P_{TG_i} \right) \right) \right|$$

1.1.2 可再生能源发电成本

可再生能源接入电网时要考虑其不确定性。如果输出功率低于预期功率,称为对可再生能源的高估,应该承担旋转备用储备成本;如果输出功率高于预期功率,则称为对可再生能源的低估,应该承担惩罚成本^[1]。因此,可再生能源的总成本包括直接成本、低估时产生的惩罚成本和高估时产生的储备成本。风电机组的直接成本可表示为:

$$C_{ws} = g_w P_{ws}$$

高估风电机组的输出功率时,储备成本为:

$$C_{Rs} = K_{Rw} \int_0^{P_{ws}} (P_{ws} - P_w) f_w(P_w) dP_w$$

低估风电机组的输出功率时,产生的惩罚成本为:

$$C_{pw} = K_{pw} \int_{P_{ws}}^P (P_w - P_{ws}) f_w(P_w) dP_w$$

则风电机组的总成本为:

$$C_w = C_{ws} + C_{Rs} + C_{pw}$$

径流式小水电机组的直接成本为:

$$C_{hs} = m_h P_{hs}$$

高估径流式小水电机组的输出功率时,储备成本为:

$$C_{Rh} = K_{Rh} f_{Rh}(p_{hs} - E_{Rh})$$

低估径流式小水电机组输出功率时,惩罚成本为:

$$C_{ph} = K_{ph} f_{Rh}(E_{ph} - P_{hs})$$

则径流式小水电机组的总成本为:

$$C_h = C_{hs} + C_{Rh} + C_{ph}$$

系统总发电成本是火电机组成本与可再生能源成本的总和,可表示为:

$$C = C_p + C_w + C_h$$

1.2 污染物排放量

火电机组污染物排放量表示为:

$$F = \sum_{i=1}^{N_{TG}} \left[(\varphi_i + \psi_i P_{TG_i} + \omega_i P_{TG_i}^2) + \tau_i \exp(\xi_i P_{TG_i}) \right]$$

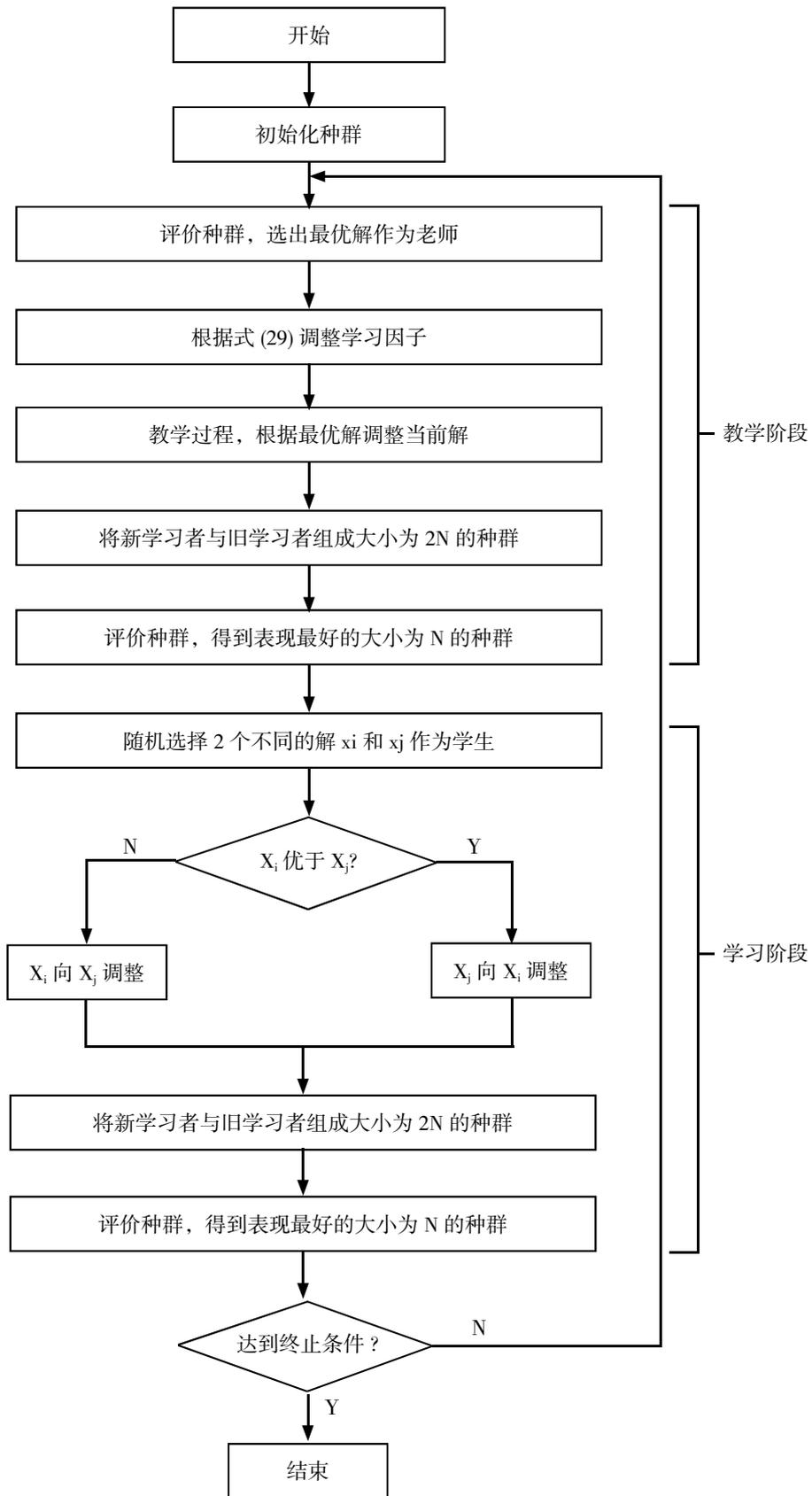


图 1 NSITLBO 算法的基本流程图

1.3 优化目标

优化的整体目标为发电成本最优和污染排放量最小, 则根据上式中的公式可得多目标优化目标为:

$$\min(C, F)$$

2 TLBO 算法

TLBO 算法主要模拟教学和学习过程, 包括教学阶段和学习阶段。在教学阶段, 教师对学习者的知识; 在学习阶段, 学习者相互学习来促进进步。算法各阶段介绍如下^[2]。

2.1 教学阶段

对于 N 个学习者组成的班级, 通常认为班级中最好的学习者是教师, 教师将知识传播给学习者, 从而提高班级的平均值。班级的平均值为:

$$M = [m_1, m_2, \dots, m_D]$$

在教学过程中, 对学习者的知识进行如下更新:

$$x_{i,new} = x_{i,old} + r(x_{teacher} - T_F M)$$

2.2 学习阶段

学生与学生之间随机交流, 随机选择 2 个学生 x_i 和 $x_h (i \neq h)$, 比较他们的学习成绩, 成绩差的学生向成绩好的学生进行交流学习, 过程如下

$$x_{i,new} = \begin{cases} x_{i,old} + r(x_i - x_h) & f(x_i) < f(x_h) \\ x_{i,old} + r(x_h - x_i) & f(x_i) \geq f(x_h) \end{cases}$$

2.3 NSITLBO 算法

在原有 TLBO 算法的教学阶段, 教学因子 TF 只是简单地设置为 1 或 2, 学生对于老师教授的知识只能选择全接受或者全不接受, 教学方式过于单一。因此, 提出一种自适应的教学因子^[3]。

$$x_{Fi} = \frac{m_i}{M_i} i = 1, 2, \dots, D$$

在 NSITLBO 算法中, 通过基于非支配概念排序和拥挤距离值比较来找到最佳解决方案, 基本流程如图 1 所示, 算法具体步骤如下。

(1) 随机生成 N 个学习者的初始种群。根据非支配概念排序和拥挤距离值比较来选择教师, 根据学生水平调整教学因子。

(2) 根据 TLBO 算法的教学阶段更新学习者。并将新学习者和旧学习者合并, 选择种群大小为 N 的最佳学习者。

(3) 根据 TLBO 算法的学习阶段更新学习者。在学习阶段结束之后, 新学习者与旧学习者合并在一起, 再次基于非支配概念和拥挤距离值选择种群大小为 N 的最佳学习者。并在下一次迭代中根据教学阶段直接更新这些学习者^[4]。

2.4 约束处理技术

根据提出的不可行解约束处理技术, 将等式约束通过容忍度参数转换为不等式约束。此外, 所有约束都需要标准化, 否则它们不同的数值范围可能会产生偏差。总约束违反量计算为:

$$\varepsilon(x) = \frac{\sum_{k=1}^{N_c} \omega_k T_k(x)}{\sum_{k=1}^{N_c} \omega_k}$$

对于解 x_i 和 x_j , 在以下情况下, 认为 x_i 优于 x_j 。

- (1) x_i 可行, x_j 不可行。
- (2) x_i 和 x_j 都可行, 但 x_i 的目标值优于 x_j 。
- (3) x_i 和 x_j 都不可行, 但 x_i 的目标值优于 x_j 。

综上所述, 这种约束处理技术根据两种解的适应度值进行比较, 优胜劣汰, 提高整体解的质量^[5]。

3 结语

本文建立了含风电和径流式小水电的电力系统 MOEED 模型, 使用概率密度函数对风速和河流流量进行模拟, 通过蒙特卡洛法得到可再生能源的功率分布。并将可再生能源的惩罚成本与储备成本也适当地添加到发电成本中, 以较好地体现可再生能源功率对系统调度的影响, 并兼顾经济效益和环境效益。为了更好地解决 MOEED 问题, 本文提出了求解更为有效的 NSITLBO-SF 算法, 通过对机组出力的实时调整及对约束违反量适当惩罚, 实现对复杂约束的有效处理; 并利用归一化操作, 避免算法向一目标过度进化, 以获得最优的调度方案。

参考文献:

- [1] 孟进. 基于改进量子粒子群算法的电力环境经济调度研究 [D]. 华北电力大学, 2020.
- [2] 李笑竹, 王维庆. 基于多目标飞蛾扑火算法的含风电电力系统动态环境经济调度 [J]. 电气工程学报, 2020, 15(03): 1-12.
- [3] 张晶杰. 新时代煤电大气污染物控制与碳减排环境经济政策研究 [D]. 华北电力大学, 2020.
- [4] 李进昌, 张玉琼, 彭思成, 廖清芬, 刘涤尘, 王波, 徐业琰. 考虑 PM2.5 二次生成和源荷互动的电-热联合系统环境经济调度研究 [J]. 智慧电力, 2020, 48(07): 81-87.
- [5] 于杰, 陈新建, 朱轶伦, 王彬任. 基于深度学习的含风电电力系统实时调度模型研究 [J]. 机电信息, 2020(18): 1-3.