

[火电机组]

基于多目标遗传算法的火电机组负荷优化分配方法

文/李 煜
淮沪电力公司田集电厂

为了优化火电机组负荷分配效果,减少能耗,实现节能降耗目标,开展了基于多目标遗传算法的火电机组负荷优化分配方法研究。首先,利用多目标遗传算法,以火电机组能耗成本、环境成本与负荷分配响应时间为目标,建立火电机组负荷优化分配模型。然后,计算火电机组煤耗,作为负荷优化分配的指标,获取火电机组自身的发电性能,反映火电机组运行的经济性。在此基础上,采用等效微增法,对负荷进行等效微增优化分配处理,得出煤耗量最小的火电机组负荷优化分配方案。实验分析结果表明,提出的优化分配方法应用后,火电机组的平均煤耗由最高328.41 g/(kW·h)减少至306.17 g/(kW·h),负荷优化分配效果优势显著。

火电机组是以煤炭、油类、碳氢化合物以及其他可燃气体等作为燃料,通过不断加热锅炉内的水形成蒸汽,进而推动汽轮机发电的机组。火电机组是现代化社会电力发展的重要组成部分,具有发电稳定、基建投资少及设备利用率高等优势,但是也存在燃料消耗量大、电力成本较高等问题,且受机组运行环境条件的影响,存在安全风险隐患。需要采用合理的负荷分配方法,根据火电机组生产工况及进度,对负荷进行不间断分配,实现电网协调平衡、满足电网调峰的需求和保证电力安全的目标。现阶段,传统的火电机组负荷分配多数采用胡尊民等提出的方法。该方法根据分支限界法原理设计而成,具有一定的可行性,但是在火电机组数量较多的情况下负荷分配过程中仍存在不足,主要体现在负荷分配中容易产生较大的波动,部分机组需要额外的起停来规避负荷波动,提高了火电厂运行的成本,增加了能耗,不适用于实际操作。多目标遗传算法能够改善上述问题,通过决策向量将多目标加权转化为单目标,获取最优解集,解决多个不同目

标之间的冲突。本文在传统火电机组负荷分配方法的基础上,引入多目标遗传算法,开展了基于多目标遗传算法的火电机组负荷优化分配方法研究。

火电机组负荷优化分配方法研究

1. 基于多目标遗传算法建立负荷优化分配模型

首先,利用多目标遗传算法建立火电机组负荷优化分配模型,为后续负荷优化分配奠定良好的基础。以火电机组能耗成本、环境成本和负荷分配响应时间为目标,建立多目标负荷优化分配模型。模型表达式为

$$\left. \begin{matrix} f_{ec} \\ C_e \\ T \end{matrix} \right\} \Rightarrow \min \quad (1)$$

式中, f_{ec} 为火电机组能耗成本; C_e 为火电机组环境成本; T 为火电机组负荷分配响应时间。

通过该模型获取火电机组负荷优化分配的目标,并利用多目标遗传算法设置负荷优化分配模型的约束条件。

(1) 火电机组负荷优化分配功率平衡约束

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_R \quad (2)$$

式中, P_i 为第*i*台火电机组的有功功率; P_R 为根据机组运行工况设定的电网调度负荷指令。

保证火电机组负荷优化分配时, 火电机组的有功功率之和等于调度负荷指令。

(2) 火电机组负荷优化分配输出功率上下限约束

$$P_{i,\min} \leq P_i \leq P_{i,\max} \quad (3)$$

式中, $P_{i,\min}$ 为火电机组任意时刻自适应负荷的阈值下限; $P_{i,\max}$ 为火电机组任意时刻自适应负荷的阈值上限。

保证任意时刻, 火电机组输出功率上下限在其自身可调节功率约束范围内变化。

(3) 火电机组负荷禁止分配区域约束

当火电机组变负荷时, 相邻机组出力会产生一段交替区间, 主要是为了稳定机组各项工况的主要参数。若火电机组负荷优化分配过程中落入该区域, 则会引发冗余机组运行, 降低机组运行的经济性与安全性。因此, 负荷优化分配过程中应当控制负荷分配结果, 避免落入机组出力交替区域。

按照上述负荷优化分配模型约束条件构建负荷优化分配模型, 将多个单独目标整合为一个多目标, 在多目标的基础上开展负荷优化分配, 为后续研究奠定基础。

2. 计算火电机组煤耗

建立基于多目标遗传算法的负荷优化分配模型后, 可获取负荷优化分配的约束条件与核心目标。从优化分配目标出发, 对火电机组的煤耗进行全方位计算, 获取火电机组自身的发电性能, 反映机组运行的经济性, 作为负荷优化分配的基础指标。

在火电机组负荷量相同时, 供电煤耗应始终大于发电煤耗。在这一前提条件下, 基于正平衡法原理, 火电机组供电煤耗率为

$$b_{gd} = \frac{R_{gd}}{W_{gd}} \quad (4)$$

式中, R_{gd} 为火电机组供电过程中使用的标准煤量; W_{gd} 为统计时间内火电机组的供电量。

通过计算, 得出火电机组的供电煤耗率, 获取火电机组的煤耗特性, 将煤耗特性作为负荷优化分

配的指标, 为负荷优化分配提供有力的火电机组特性数据支持。

3. 负荷等效微增优化分配

综合考虑火电机组运行工况及运行特征后, 采用等效微增法对负荷进行等效微增优化分配处理, 得出煤耗量最小的火电机组负荷优化分配方案。

对火电机组的煤耗, 采用二次曲线, 拟合火电机组的煤耗特性曲线, 表达式为

$$B_j = a_{0j} + a_{1j}P_j + a_{2j}P_j^2 \quad (5)$$

式中, B_j 为第*j*台火电机组的煤耗; a_{0j} 、 a_{1j} 、 a_{2j} 为负荷优化分配修正因子; P_j 为第*j*台火电机组的发电负荷。

设定等效微增率用 δ 表示, 火电机组的煤耗等效微增率曲线函数表达式为

$$\delta = a_{1j} + 2a_{2j}P_j \quad (6)$$

通过计算, 得出火电机组负荷优化分配过程中的等效微增率, 火电机组负荷优化分配应当满足

$$P_R = \sum_{j=1}^n P_j = \sum_{j=1}^n \frac{\delta - a_{1j}}{2a_{2j}} \quad (7)$$

式中, P_R 为火电机组总发电负荷。

按照上述公式, 进行火电机组负荷优化分配, 控制火电机组出力不能超过最大出力, 且不能小于最小出力。负荷等效微增优化分配能够在煤耗量最小的情况下完成发电机组负荷分配, 实现火电机组运行经济效益最佳的目标。

实验分析

在该优化分配方法实际投入火电机组使用前, 需要对其运行的可行性及负荷优化分配效果做全方位、多维度的测试, 确认运行过程中无异常问题且负荷优化分配效果符合预期要求后, 方可投入使用。因此, 开展了实验测试分析。

1. 实验准备

选取某地区S火电厂作为此次实验分析的研究目标。该火电厂预计参与负荷优化分配的火电机组为8台, 均具有独立的生产经营指标。8台火电机组的入厂状态与初始性能相同, 均属于同等类型, 采用喷嘴调节式汽轮机, 负荷调节范围介于200~600 MW之间, 变负荷率为15 MW/min。对火电机组进行稳态检测, 获取机组的各项工况参数, 见表1。

表1 火电机组稳态检测后工况参数

编号	负荷/MW	主蒸汽压力 /MPa	主蒸汽温度 /℃	供电煤耗 /[g/ (kW·h)]
01	393.14	18.24	560.13	327.42
02	395.28	18.35	561.47	326.58
03	402.17	18.16	562.06	327.69
04	405.64	18.84	563.35	328.41
05	395.43	18.52	560.27	327.66
06	398.26	18.97	561.04	328.02
07	398.46	18.53	563.44	327.59
08	398.02	18.67	562.47	327.31

根据火电机组的运行工况及特征，设定电网调度负荷指令与最优解集规模。利用本文提出的负荷优化分配方法，综合考虑整体火电厂的级别，下达负荷指令，在保证火电机组运行安全与运行成本的前提下，进行各台机组的负荷优化分配实验。根据优化分配结果判断负荷优化分配方法是否可行。

2. 结果分析

将基于多目标遗传算法的火电机组负荷优化分配方法设置为实验组，将基于分支限界法的负荷分配方法、基于NSGWO的负荷分配方法分别设置为对照组1与对照组2，利用MATLAB模拟分析软件模拟三种方法的优化分配全过程，获取分配结果并进行对比。通过对比分析，减少单一实验存在的偶然性，增强实验说服力。

选取负荷优化分配后各火电机组的平均煤耗作为此次实验测试的性能评价指标。设定负荷指令为950 MW，测定三种负荷优化分配方法应用后8台火电机组的平均煤耗。结果见表2。

表2 火电机组负荷优化分配后平均煤耗对比结果

[单位: g/ (kW·h)]

编号	负荷优化分配后火电机组平均煤耗		
	实验组	对照组1	对照组2
01	304.52	325.06	320.05
02	306.17	324.79	321.49
03	301.25	326.41	325.68
04	302.38	325.06	323.66
05	303.42	326.11	324.89
06	302.15	325.89	325.07
07	304.57	325.16	326.78
08	303.42	326.01	326.54

通过表2看出，基于多目标遗传算法的火电机组

负荷优化分配方法应用后，火电机组的平均煤耗显著减少，最高不超过306.17 g/ (kW·h) ，而对照组1的平均煤耗最低为324.79 g/ (kW·h) ，对照组2的平均煤耗最低为320.05 g/ (kW·h) 。由此对比结果可见，本文提出的负荷优化分配方法应用后显著提高了机组运行效率，起到了节能降耗的作用，使火电厂的经济效果与环保效果达到最佳，对火电机组的实际运行具有重要意义。

结束语

本文开展了基于多目标遗传算法的火电机组负荷优化分配方法研究。通过实验测试对比可知，优化分配方法使机组的平均煤耗显著减少，由最高的328.41 g/ (kW·h) 减少至306.17 g/ (kW·h) ，节能降耗效果显著，提高了机组运行效率，经济效益与环保效果得到了显著提升，在未来火电厂的发展中具有良好的应用前景。**EA**

(收稿日期: 2023-09-20)

参考文献

[1] 任鑫,王渡,金亚飞,等. 基于能耗、经济性及碳排放的热电联产机组运行优化[J]. 中国电力, 2023, 56(4): 201-210.

[2] 闫鹏,曾四鸣,李铁成,等. 基于改进量子遗传算法的虚拟电厂在多时间尺度下参与AGC优化调度[J]. 电网与清洁能源, 2023, 39(3): 23-32.

[3] 胡尊民,刘克天,于国强,等. 基于分支限界法的火电机组负荷分配研究[J]. 太阳能学报, 2022, 43(12): 282-288.

[4] 朱博文,龚懿,陈再扬,等. 基于Pareto最优解的跨流域调水泵站多目标优化运行研究[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(2): 131-139.

[5] 李涛,曹越,司凤琪. 基于NSGWO的火电厂负荷优化分配研究[J]. 热能动力工程, 2022, 37(1): 21-27.

[6] 韩锐,吴军,廖清芬,等. 基于NSGA-III算法的光-水-火电机组AGC协调优化策略[J]. 智慧电力, 2022, 50(1): 45-52.