

文章编号:1005-0523(2020)05-0127-07

基于差分进化算法的电力市场策略性竞价模型求解

董亚明

(上海电气集团股份有限公司中央研究院,上海 200070)

摘要:针对电力市场中的策略性竞价问题,使用差分进化算法(differential evolution algorithm, DE)进行模型求解。将该方法应用于美国 PJM 电力市场的报价问题,结果表明,相较于边际成本法、序列最小二乘规划法、粒子群优化算法等方法,DE 算法具有稳定性好,运行时间短,报价利润高等优势,能够满足 PJM 电力市场策略性竞价问题的求解要求。

关键词:策略性竞价;PJM 电力市场;差分进化算法;报价问题

中图分类号:TP311 **文献标志码:**A

本文引用格式:董亚明. 基于差分进化算法的电力市场策略性竞价模型求解[J]. 华东交通大学学报, 2020, 37(5): 130-136.

Citation format: DONG Y M. Solution of strategic bidding model in electricity markets based on differential evolution algorithm[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2020, 37(5): 130-136.

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2020.05.019

从上世纪 90 年代末开始,我国就已经开始尝试进行电力体制改革,对建立发电侧电力市场进行了多方面探索,随着这场改革的推行,竞争机制目前已逐渐引入到了电力工业中^[1]。在新的电力市场环境下,发电厂商需要通过投标竞价来获得发电机会,以此成为真正的市场参与者。发电厂商需要根据市场信息,自主决定发电安排,竞价上网,同时通过对发电成本的控制,机组负荷的优化分配,在新的电力市场环境下获得较高的利润^[2]。同时,由于市场信息的不完全性,竞价问题变得异常复杂,如何制定有效的竞价策略现在已成为发电厂商迫切需要解决的问题^[3]。

作为成熟的电力市场,美国 PJM 电力市场是较早实现出清电价报价运营机制的市场之一^[4]。PJM 是由宾夕法尼亚州(Pennsylvania)、新泽西州(New Jersey)、马里兰州(Maryland)的 3 家电力公司组建成的世界上第一个电力联营体。PJM 电力市场主要包括 2 个市场,分别是日前市场(day-ahead market)和实时市场(real-time market)^[5]。在电力市场中,一般研究最多的是日前市场,而且与其它商品市场不同的是,日前市场不允许连续交易,这是因为电力市场需要根据竞价信息等进行调度,需要满足电力输送的限制要求。在日前市场中,双边交易安排、发电量、需求量都会在实际电力交付之前 12 h 进行提交,下一日每个小时的市场出清电价将会基于这些需求与供给进行确定。因此,对于日前市场的竞价参与者,需要在竞价停止时间之前,提交其对明天市场的报价。

设计竞价策略模型的目标是根据电力市场的规则进行合理的报价,在遵守规则的同时,考虑市场约束、机组约束等各种约束条件,尽可能地使得机组利润达到最大化的目标。策略性竞价问题本质上是一个有约束优化问题(constrained optimization problem, COP)。有约束优化问题是在自变量满足约束条件的情况下使目标函数最小化(最大化)的问题,其中约束条件既可以是等式约束也可以是不等式约束。解决约束优化问题的方法也有很多种,目前使用较多的有两类,一类是传统优化算法^[6],主要是基于梯度下降的策略来求解目标函数的极小值,另一类是智能优化算法^[7-8],主要是一种模仿人或动物等的启发式搜索算法, Yucekaya^[9]提出了使用粒子群优化算法来求解策略性竞价问题,取得了较好的效果。

收稿日期:2020-01-10

作者简介:董亚明(1987—),男,工程师,博士,研究方向为工业人工智能,大型设备故障诊断及健康管理。E-mail: dongym3@s-hanghaielectric.com。

主要以美国 PJM 日前电力市场为例,研究电厂竞价策略模型及方法,力求通过研究成熟的美国 PJM 日前电力市场的规则以及运作方法,以此为基础,将电力市场的竞价策略及方法进行详细的探索及研究。本文主要基于差分进化算法对策略性竞价模型进行求解,同时考虑电力市场规则机制,把市场约束、机组约束等各类约束条件用数学的形式进行表示,最终通过优化算法求解得到合适的电厂竞价策略,使得电厂机组的利润达到尽可能的最大化。

1 PJM 市场竞价规则

PJM 电力市场的报价曲线包含两个重要部分,分别是发电厂商的报价和在该报价下发电厂商愿意发的电量。报价曲线以价格和发电量的组合来呈现(电价和电量组合),在 PJM 市场中,对于一台机组最多允许提交 10 个电价和电量的组合来进行报价^[9],日前市场的报价曲线如图 1 所示。

图 1 就是一台发电机组在 PJM 日前市场的报价曲线,在图 1 中,横坐标表示发电机的发电量,纵坐标为报价,电价和电量组合以阶梯形式进行报价,最多允许 10 个电价和电量组合。

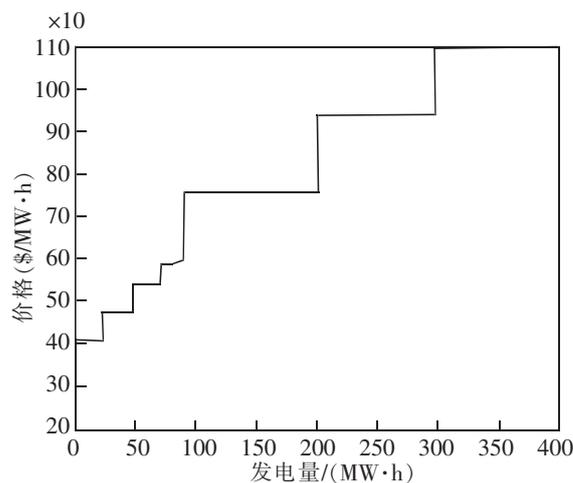


图 1 PJM 日前市场的报价曲线

Fig.1 Bidding curve of PJM day-ahead market

2 策略性竞价模型

策略性竞价问题(strategic bidding problem, SBP)^[11]的主要目的是用来确定 N 个电价和电量组合中合适的电量以及价格,以此来最大化机组的预期利润。PJM 市场的策略性竞价模型在文献[9]中已经给出,下面进行简要概述。

在将策略性竞价问题进行数学模型化之前,首先需要做一定的假设条件以使得后续模型成立,这些假设条件是:

- ① 一次报价行为,最多包含 N 个由价格和电量组成的电价和电量组合,并且每台发电机组被视为独立的个体进行分别报价;
- ② 市场出清电价被视为竞价模型的外部因素,电价不会因为个体发电机组的报价行为而受到影响;
- ③ 未来每小时的市場出清电价被视为是已知的变量,也就是说,认为电价预测模块中预测出的第二天的市場出清电价即为真实市場的出清电价;
- ④ 报价在当天的中午 12:00 之前完成,并且此报价只对第 2 天从 00:00 开始到 24:00 的 24 h 有效;

基于以上 4 点假设,我们可以对策略性竞价问题进行数学模型化。

首先给出模型中将要用到的参数如下: $C(q)$ 为发电机组发电 q MWh 所用的成本,\$/MWh; a_1, a_2, a_3 为发电机组成本函数的空载成本系数、一次成本系数、二次成本系数; p_i^k 为第 k 个电价系列下,市場出清电价在 t 时刻的电价,\$/MWh; Q^{\max} 为发电机组的最大出力,MWh; B^{\max} 为电力市場中允许的最高报价,\$/MWh。

模型中需要优化的变量如下所示: b_i 为第 i 个电价和电量组合的报价价格,\$/MWh; Δq_i 为所报电量在第 i 个电价和电量组合中的增量值,\$/MWh; q_i 为在 t 小时的时候总的发电量,\$/MWh。

对于一个发电机组来说,想要找到一个最优的报价曲线,将会有 N 对需要优化的变量, b_i 和 Δq_i ($i=1, 2, \dots, N$), N 为电力市場中允许的最高电价和电量组合对数。 N 个 b_i 和 q_i 组成向量 \mathbf{b} 和 $\Delta \mathbf{q}$ 。如果在 t 时刻下的市場出清电价大于等于报价 b_i ,那么小于等于 b_i 下的所有所报电量将都会被电力市場所接受,反之,大于 b_i 的所有所报电量将都不会被电力市場所接受。

在 t 时刻下,机组所发电量能够以 p_t 的价格卖给电力市場的总发电量为

$$q_i = \sum_{i=1}^{I(p_i)} \Delta q_i \quad (1)$$

式中: $I(p_i) = \max i$; 并且 $b_i \leq p_i, t=1, 2, \dots, T; i=1, 2, \dots, I(p_i)$ 。

发电机组所发电量造成的成本主要取决于其所消耗的燃料,成本函数可以近似成一条二次曲线 $C(q)$

$$C(q) = a_1 + a_2 q + a_3 q^2 \quad (2)$$

式中: q 为发电机组在 1 h 内所发电量。

策略性竞价问题的目标函数为机组在 24 h 的总利润(收入-成本)。机组在 t 小时的利润主要通过售卖报价小于等于出清电价 p_t 下的电量来获得。成本主要是机组发电所消耗的成本。我们假定第二天的出清电价包含 k 个可能的电价系列,因此,我们的目标是使得期望的利润在未来一段时间 T 内(通常是 24 h)达到最大化。

策略竞价问题 $P(\Delta q, b)$ 可以用以下数学公式来表示

$$P(\Delta q, b) = \max_{\Delta q, b} E(\text{profit}) = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T [p_t^k q_t^k - C(q_t^k)] \quad (3)$$

式中: $k=1, 2, \dots, K; t=1, 2, \dots, T$ 。

该策略竞价问题的约束条件如下

$$\sum_{i=1}^N \Delta q_i \leq Q^{\max} \quad (4)$$

$$0 \leq b_i \leq B^{\max}, \quad i=1, 2, \dots, N \quad (5)$$

$$0 \leq \Delta q_i \leq Q^{\max}, \quad i=1, 2, \dots, N \quad (6)$$

$$q_t^k = \sum_{i=1}^{I(q_t^k)} \Delta q_i \quad (7)$$

式中: $I(p_t^k) = \max i, b_i \leq p_t^k, t=1, 2, \dots, T; i=1, 2, \dots, I(p_t^k), k=1, 2, \dots, K$ 。

$$C(q_t^k) = a_1 + a_2 q_t^k + a_3 (q_t^k)^2 \quad (8)$$

式中: $t=1, 2, \dots, T; k=1, 2, \dots, K$ 。

3 差分进化算法

由第三节的模型可以看出,策略性竞价问题本质上属于有约束的优化问题。解决该问题的关键是求解出合适的和,使得满足各种约束的同时达到利润最大化的目标。本文主要使用差分进化算法来对该问题进行求解,差分进化算法^[12]是一种高效的全局优化算法。它也是基于群体的启发式搜索算法,群中的每个个体对应一个解向量。差分进化算法的进化流程包括变异、杂交和选择等操作,差分进化算法的算法流程如下。

1) 种群初始化。假设种群规模为 NP ,在 S_0 空间生成初始种群 $x_i^0, i=1, 2, \dots, NP$ 。

2) 变异操作。对种群进行变异操作,生成 NP 个变异个体,第 i 个变异个体为 \hat{x}_i^{G+1}

$$\hat{x}_i^{G+1} = x_{r_1}^G + F \cdot (x_{r_2}^G - x_{r_3}^G) \quad (9)$$

式中: r_1, r_2 和 r_3 是从区间 $[1, NP]$ 上随机选取的互异整数,且不同于 i ; G 为进化代数, F 是变异控制参数。

3) 边界条件的处理。确保变异个体 S_0 在中。

4) 交叉操作。对 x_i^G 进行如下的交叉操作生成试验个体 \bar{x}_i^{G+1} , 即

$$\bar{x}_i^{G+1} = \begin{cases} x_{ij}^G, & P_t > CR \\ \hat{x}_{ij}^{G+1}, & \text{otherwise} \end{cases}, j=1, 2, \dots, D \quad (10)$$

其中, P_t 为 $[0, 1]$ 之间均匀分布的随机数, CR 是交叉控制参数, D 是搜索空间维度。

5) 选择操作。将 \bar{x}_i^{G+1} 和 x_i^G 的目标函数进行比较,对于最小化问题,则选择目标函数值低的个体作为心中群的个体 x_i^{G+1} , 即

$$x_i^{G+1} = \begin{cases} \bar{x}_i^{G+1}, & f(\bar{x}_i^{G+1}) \leq f(x_i^G) \\ x_i^G, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

6) 重复第 2 至第 5 步,知道进化代数超过最大进化代数 G_m 或若干代的最优目标函数值不变。

4 算法结果与分析

4.1 样本选择

所用数据采用文献[9]中给出的 PJM 电力市场在 2007 年 5 月 17 日当天的数据,并采用文献中的 12 组电价系列数据进行算法求解,电价系列是以 2007 年 5 月 17 日当天的电价数据为均值,以标准差为 4 进行随机生成的数据。

同时,使用文献中给出的 2 台不同的发电机组 GEN-1 和 GEN-2 的机组成本函数来计算发电机组的成本。发电机组 GEN-1 的最大出力为 400 MW,成本函数为 $C(q)=56.52q+0.0139q^2$;发电机组 GEN-2 的最大出力为 600 MW,成本函数为 $C(q)=43.2q+0.018q^2$ 。

4.2 结果分析

主要采用差分进化算法对策略性竞价模型进行求解,同时,将该方法的求解结果与序列最小二乘规划法(SLSQP)^[13]、有限记忆拟牛顿法(L-BFGS-B)^[14]、截断牛顿共轭梯度法(TNC)^[15]以及文献[9]中使用到的边际成本算法(MC)以及粒子群优化算法(PSO)的结果进行对比。

对于发电机组 GEN-1,分别使用 6 种方法的对比结果如表 1 所示,其中前两种算法(MC,PSO)及其结果为文献中的方法和结果,另外对于属于传统算法的 SLSQP,L-BFGS-B 和 TNC,为了克服其优化结果受初始值影响较大的问题,本文默认对其初始值选取采用 50 次随机的方式进行,算法会进行 50 次求解,取最优结果作为算法最终结果,因此该 3 种方法的平均耗时也较长。为了消除随机性对评估这几种优化算法结果造成的影响,本节中对 SLSQP,L-BFGS-B,TNC,DE 这 4 种方法分别求解 100 次,以此来对比几种算法的优劣势。值得注意的是 MC 和 PSO 算法的结果是论文中给出的,其算法求解耗时也并没有提供,因此下表内只是用文献中提供的结果进行比较。

表 1 6 种优化方法对发电机组 GEN-1 的报价对比结果
Tab.1 Bidding comparison results of six optimization algorithms for GEN-1

方法	平均利润/\$	平均耗时/s	最优利润/\$	迭代次数/次
MC	-	-	2 766	-
PSO	-	-	2 819	4 000
SLSQP	2 599	110	2 770	-
L-BFGS-B	2 570	163	2 752	-
TNC	2 590	402	2 768	-
DE	2 799	38	2 816	4 000

从表 1 我们可以看出,使用 6 种方法求解得到最终的最优利润结果相差比较小。基于 100 次优化结果的平均利润方面,由于文献中的 2 种方法没有提供,故不做比较,在下面 4 种算法中,DE 进行 100 次求解后的平均利润最高,达到 2 799 \$;其他 3 种算法利润水平较一致,其结果不相上下;L-BFGS-B 的平均利润最低,为 2 570 \$。在平均耗时方面,DE 算法最快,平均每次仅需要 38 s;其次为 SLSQP,需要 110 s;L-BFGS-B 平均每次需要 163 s;TNC 算法较慢,每次需要 402 s。值得注意的是,因为 3 种传统优化算法的优化结果受初始值影响较大,因此本文中对这 3 种方法进行了改进,他们每次会随机产生 50 个初始值,最终选取 50 次

最优的结果作为算法最终的优化结果,因此该 3 种方法求解所用的时间实际上是运行 50 次的求解时间。从最优利润的情况来看,6 种方法最终的结果相差不太大,通过 100 次的运算,大约都可以得到比较高的一个利润值,其中 PSO 和 DE 算法求得的最终利润结果最高,达到 2 819 \$和 2 816 \$。因此从 400 MW 最终的优化结果来看,DE 算法从各个方面表现都较好,算法的稳定性也最好。

以上几种优化算法最优的报价结果见表 2 所示。

表 2 6 种报价模型对发电机组 GEN-1 的最优报价结果对比
Tab.2 The best Bidding comparison results of six optimization algorithms for GEN-1

n	MC		PSO		SLSQP		L-BFGS-B		TNC		DE	
	价格/\$	电量/MW·h	价格/\$	电量/MW·h	价格/\$	电量/MW·h	价格/\$	电量/MW·h	价格/\$	电量/MW·h	价格/\$	电量/MW·h
1	57.64	40	57.37	68.43	40.58	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	57.08	63.18
2	58.75	80	59.20	124.17	41.00	0.00	15.00	0.00	28.00	0.00	58.94	106.06
3	59.87	120	60.83	177.19	45.08	0.00	16.00	0.00	39.00	0.00	60.17	153.90
4	60.99	160	62.02	220.51	50.83	0.00	33.00	0.00	57.00	80.41	61.32	180.87
5	62.11	200	63.05	258.47	53.22	0.01	33.00	0.00	60.00	165.80	62.13	232.16
6	63.22	240	64.41	294.94	57.71	68.16	50.00	0.00	62.00	229.06	63.88	301.42
7	64.34	280	65.69	312.82	58.85	129.68	58.00	100.00	64.00	262.02	67.45	360.06
8	65.46	320	65.79	332.54	61.66	191.47	61.00	178.75	64.00	314.97	81.24	365.44
9	66.58	360	66.68	396.18	62.08	214.08	62.00	243.99	80.00	332.97	96.95	380.77
10	67.64	400	67.64	400.00	63.21	288.37	65.00	337.86	87.00	360.97	105.64	399.94

表 3 6 种优化方法对发电机组 GEN-2 的报价结果对比
Tab.3 Bidding comparison results of six optimization algorithms for GEN-2

方法	平均利润/\$	平均耗时/s	最优利润/\$	迭代次数/次
MC	-	-	5 525	-
PSO	-	-	6 619	4 000
SLSQP	6 457	24	6 660	-
L-BFGS-B	6 604	127	6 676	-
TNC	6 606	498	6 687	-
DE	6 652	42	6 688	4 000

DE 算法对发电机组 GEN-1 的报价寻优收敛曲线如图 2 所示,由图 2 要可以看出,DE 算法在起始阶段可以很快的取得一个较大的利润,算法收敛速度快,可以比较快的收敛到利润最大值。

对于发电机组 GEN-2,分别使用 6 种方法的对比结果如表 3 所示。

从表 3 我们可以看出,使用的 4 种方法 SLSQP,L-BFGS-B,TNC,DE 最终的最优利润结果都优于文献中的两种方法。基于 100 次优化结果的平均利润方面,DE 的平均利润最高,达到 6 652 \$;TNC 和 L-BFGS-B 的平均利润也较高,分别达到 6 606 \$和 6 604 \$,其结果不相上下;SLSQP 的平均利润最低,为 6 457 \$。在平均耗时方面,SLSQP 算法最快,平均每次仅需要 24 s;其次为 DE,需要 42 s;L-BFGS-B 平均每次需要 127 s;TNC 算法最慢,每次需要 498 s。从最优利润的情况来看,四种方法最终的结果相差不太大,通过 100 次的运算,大约都可以得到比较高的一个利润值,其中 DE 算法求解得到的最有利润最高,达到 6 688 \$。因此从 600 MW 最终的优化结果来看,DE 算法从各个方面表现都比较好,算法的稳定性也较好,最优利润最高。具体的报价结果见表 4。

DE 算法对发电机组 GEN-2 的报价寻优收敛曲线如图 3 所示,由图 3 可以看出,DE 算法可以较快的收敛到利润最大值。

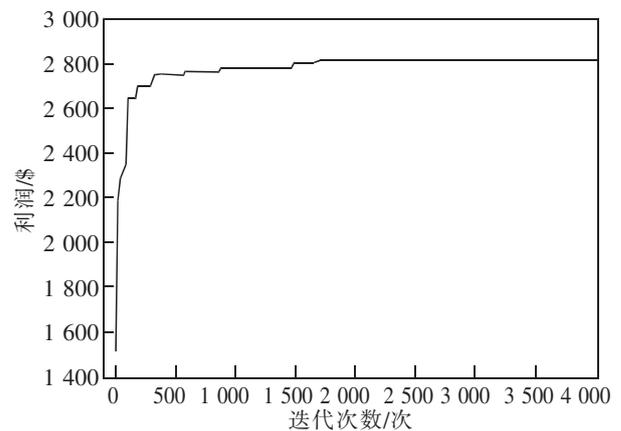


图 2 差分进化算法对发电机组 GEN-1 的报价寻优收敛曲线

Fig.2 The optimization convergence curve of DE algorithm for GEN-1

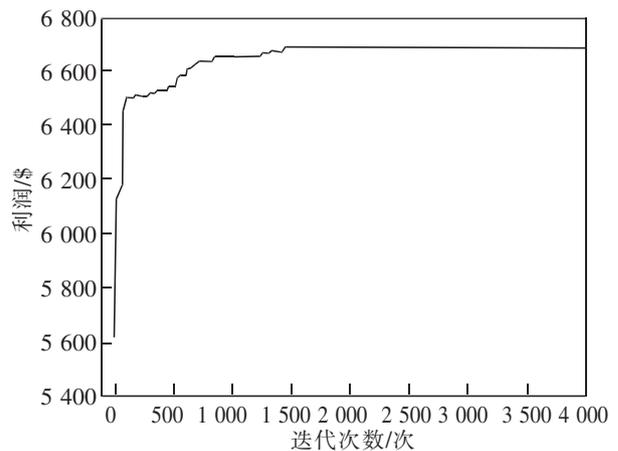


图 3 差分进化算法对发电机组 GEN-2 的报价寻优收敛曲线

Fig.3 The optimization convergence curve of DE algorithm for GEN-2

表 4 6 种报价模型对发电机组 GEN-2 的最优报价结果对比

Tab.4 The best Bidding comparison results of six optimization algorithms for GEN-2

n	MC		PSO		SLSQP		L-BFGS-B		TNC		DE	
	价格/\$	电量/MW·h	价格/\$	电量/MW·h	价格/\$	电量/MW·h	价格/\$	电量/MW·h	价格/\$	电量/MW·h	价格/\$	电量/MW·h
1	56.16	60	40.10	24.55	11.00	0.00	23.00	0.00	24.00	0.00	37.86	19.39
2	69.12	120	52.75	64.29	17.00	0.00	33.00	0.00	30.00	0.00	49.85	41.92
3	82.08	180	59.55	86.30	35.00	0.00	41.00	19.69	39.00	0.00	54.92	62.87
4	95.04	240	98.79	179.08	47.00	26.85	50.00	39.04	45.00	28.45	58.25	75.89
5	108.00	300	98.89	479.77	52.00	61.65	54.00	64.31	54.00	60.63	61.36	92.65
6	120.96	360	99.20	480.27	59.00	77.23	59.00	75.83	54.00	60.63	74.17	131.99
7	133.92	420	99.30	480.77	61.00	91.28	60.00	88.96	57.00	73.39	102.84	320.50
8	146.88	480	99.49	481.27	98.00	234.28	75.00	200.96	61.00	86.77	129.65	370.40
9	159.84	540	155.02	481.77	109.00	325.28	94.00	295.96	63.00	93.92	162.22	476.98
10	172.80	600	172.80	600.00	147.00	384.28	110.00	360.96	64.00	101.89	184.14	485.71

5 结论

主要是以美国 PJM 日前电力市场为例,研究电厂竞价策略模型及求解方法,力求通过研究成熟的美国 PJM 日前电力市场的规则以及运作方法,将电力市场的竞价策略及方法进行详细的探索及研究。

对于电厂报价问题中所涉及的策略性竞价问题,使用差分进化算法对其求解。做了大量对比研究及实验,使用选取的 SLSQP, L-BFGS-B, TNC 和 DE 算法与论文中的 MC 算法以及 PSO 算法结果进行对比,结果表明,作为全局搜索算法的 DE 算法性能优于其他几种方法,算法稳定性好,运行时间较少,基于该算法的报价结果的利润较高,可以用来求解策略性竞价问题。

参考文献:

- [1] 李鹏. 中国电力体制改革初析[D]. 成都:西南财经大学,2002.
- [2] 李娜,李郁侠,王丽霞,等. 电力市场环境下发电公司竞价策略[J]. 电网与水力发电进展,2008,24(1):50-53.
- [3] 王春莹. 电力市场中发电厂商竞价策略研究[D]. 北京:华北电力大学,2012.
- [4] 魏玢. 美国 PJM 电力市场及其对我国电力市场化改革的启示[J]. 电力系统自动化,2003(8):32-35.
- [5] 李郁侠,石晓俊,赵军科,等. 基于相似搜索和神经网络的日前市场边际电价预测[J]. 水力发电学报,2006,25(1):6-9.
- [6] 何佳佳,陈秀宏,田进. 基于牛顿梯度优化的弹性多核学习[J]. 传感器与微系统,2018,37(2):136-139.
- [7] 唐诗洁,陆强,曲艳超,等. 基于遗传算法优化 BP 神经网络的 SCR 脱硝系统催化剂体积设计[J]. 发电技术,2019,40(3):246-252.
- [8] 乔楠楠,尤佳莉. 一种面向网络边缘任务调度问题的多方向粒子群优化算法[J]. 计算机应用与软件,2017,34(4):309-315.
- [9] YUCEKAYA A D, VALENZUELA J, DOZIER G. Strategic bidding in electricity markets using particle swarm optimization[J]. Electric Power System Research, 2009, 79(2):335-345.
- [10] OTT A L. Experience with PJM market operation, system design, and implementation[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2003, 18(2):528-534.
- [11] PRABAVATHI M, GNANADASS R. Energy bidding strategies for restructured electricity market[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2015, 64:956-966.
- [12] STORN R, PRICE K. Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces[J]. Journal of Global Optimization, 1997, 11(4):341-359.
- [13] GUPTA M, GUPTA B. An ensemble model for breast cancer prediction using sequential least squares programming method (SLSQP)[C]//2018 Eleventh International Conference on Contemporary Computing(IC3). IEEE Computer Society, 2018.
- [14] Berkani M S, Giurgea S, Espanet C, et al. Study on optimal design based on direct coupling between a FEM Simulation model and L-BFGS-B algorithm[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2013, 49(5):2149-2152.
- [15] NASH S G. Newton-type minimization via the lanczos method[J]. SIAM Journal on Numerical Analysis, 1984, 21(4):770-788.

Solution of Strategic Bidding Model in Electricity Markets Based on Differential Evolution Algorithm

Dong Yaming

(Shang hai electric group cerctral academe, Shanghai 200070, China)

Abstract: For the strategic bidding problem in electricity market, differential evolution algorithm (DE) was used to solve the model. This method was applied to the bidding problem of PJM electricity market in the United States. The results show that, compared with the marginal cost method (MC), the sequence least squares programming method (SLSQP) and the particle swarm optimization algorithm (PSO), the DE algorithm has advantages of good algorithm stability, short running time and high profit. This result can meet the solution requirements of strategic bidding problem in the PJM electricity market.

Key words: strategic bidding; PJM electricity; differential evolution algorithm; bidding problem