

混合粒子群优化算法在电网规划中的应用

符 杨¹, 徐自力¹, 曹家麟²

(1. 上海大学 机电工程与自动化学院, 上海市 闸北区 200072;

2. 上海电力学院 电力工程系, 上海市 杨浦区 200090)

Application of Heuristic Particle Swarm Optimization Method in Power Network Planning

FU Yang¹, XU Zi-li¹, CAO Jia-lin²

(1. School of Mechanical & Electronic Engineering and Automation, Shanghai University, Zhabei District, Shanghai 200072, China; 2. Department of Electrical Engineering, Shanghai University of Electric Power, Yangpu District, Shanghai 200090, China)

ABSTRACT: A heuristic particle swarm optimization (HPSO) is constructed based on particle swarm optimization with passive congregation (PSOPC) and harmony search (HS) scheme. According to the features of power network planning, the “fly-back mechanism” method is used to handle variable constraints; the constraints of planning problem is dealt with by harmony search to make the particle swarm kept in feasible domain during the whole iteration procedure. Meanwhile, the passive congregation is led into the proposed algorithm, thus the evolutionary mechanism of particle is effectively improved and the free search ability of particle is enhanced. The correctness and effectiveness of applying the constructed algorithm in power network planning are validated by the results of calculation example of an 18-bus system, and the result shows that the HPSO algorithm relatively has good convergence in contrast to basic PSO and PSOPC. The comparison results of the same example calculated by HPSO, basic particle swarm optimization (PSO) and PSOPC respectively show that the constructed algorithm possesses better convergence.

KEY WORDS: power network planning; particle swarm optimization (PSO); passive congregation; harmony search (HS); fly-back mechanism; constraint

摘要: 在含被动聚集因子的粒子群优化(particle swarm optimization with passive congregation, PSOPC)算法和和谐搜索(harmony search, HS)的基础上, 构建了一种新的混合粒子群优化(heuristic particle swarm optimization, HPSO)算法。该算法根据电网规划的特点, 采用“飞回机制”处理变量的约束条件, 利用和谐搜索处理规划问题的约束条件, 使粒子群

在迭代过程中始终保持在可行域内, 同时该算法中引入了被动聚集因子, 有效改善了粒子的进化机制, 提高了粒子的自由搜索能力。18节点算例验证了该算法应用于电网规划的正确性和有效性, HPSO算法、粒子群优化算法和PSOPC算法的比较结果表明该HPSO算法具有较好的收敛性能。

关键词: 电网规划; 粒子群优化(PSO); 被动聚集因子; 和谐搜索(HS); 飞回机制; 约束条件

0 引言

新型的人工智能算法, 如遗传算法(genetic algorithm, GA)^[1-4]、进化算法(evolution algorithm, EA)^[5]和蚂蚁算法(ant colony, AC)^[6-8], 开始被广泛应用到大规模、带有大量约束条件和离散变量的非线性整数的电网优化规划问题中, 它们不要求传统的数学假设条件, 并比传统算法更能收敛到全局解^[9]。同时, 一种被称为粒子群优化(particle swarm optimization, PSO)算法的新型进化算法也开始被应用到与电力系统有关的优化问题中^[10-16]。

在解决大规模数学优化问题中, PSO算法具有比其它智能算法更好的全局寻优能力, 且操作依赖参数较少, 易于实现。在一些优化问题中, PSO算法比其它智能算法有更快的收敛性能^[17]。

传统的数学算法处理这些约束条件时非常困难, 因而常用的智能算法(如GA)广泛采用惩罚函数形式。然而, 利用惩罚函数的主要缺点是必须在算法中添加一些调整参数, 利用惩罚系数来平衡惩罚函数和目标函数。如果惩罚系数设置得不够合理, 在优化此类问题中会碰到欺骗问题。为避免这样的问题, 文献[18]提出一种“飞回机制”的技术方法。

基金项目: 上海市重点攻关项目(052312003); 上海市重点学科建设项目(P1301)。

相比其它处理约束条件的方法，该方法更加简单和容易操作。

导致基本 PSO 算法收敛困难的主要原因有粒子缺乏变异机制和最小值粒子缺乏自主进化机制。针对这个缺点，文献[19]提出了含被动聚集因子的 PSO 算法，即在粒子的位置更新中添加一个被动聚集部分，它代表了群体中一个个体对其它成员的影响。实验结果表明，当最小值粒子由于认知学习和社会学习部分为 0 而导致搜索停滞时，该方法能够有效地改善粒子的进化机制，提高粒子的自由搜索能力，相比 PSO 算法具有更好的收敛性能^[19]。

在复杂的电网规划优化问题中，寻找一个能快速收敛到最优解并能处理多种约束条件的方法是值得考虑的。本文将介绍一种混合粒子群优化(heuristic particle swarm optimization, HPSO)算法^[20]，它是在含被动聚集因子的粒子群优化(particle swarm optimization with passive congregation, PSOPC)算法和和谐搜索(harmony search, HS)基础上构建的，并采用“飞回机制”来处理多种约束条件。实验结果表明，与基本 PSO 算法和 PSOPC 算法相比，这种 HPSO 算法能有效加速收敛效率，并较好地处理好多种约束条件。

1 PSO 的基本原理

设在一个 D 维搜索空间中，由 m 个粒子组成一个群落，其中第 i 个粒子在 D 维搜索空间中的位置为 $\mathbf{X}_i=[x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}]$ ，其中 $i=1\sim m$ 。每个粒子的位置就是一个潜在的解，将 \mathbf{X}_i 带入某个满足问题而构造的目标函数中可以计算其适应度值，然后根据适应度值的大小衡量 \mathbf{X}_i 的优势。第 i 个粒子的速度也是一个 D 维向量，记为 $\mathbf{V}_i=[v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD}]$ 。第 i 个粒子迄今为止搜索到的最优位置为 $\mathbf{P}_i=[p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD}]$ ，也称为 \mathbf{P}_{best} 。整个粒子群迄今为止搜索到的最优位置为 $\mathbf{P}_g=[p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gD}]$ ，也称为 \mathbf{g}_{best} 。PSO 算法的计算公式如下：

$$\mathbf{V}_i(k+1) = w\mathbf{V}_i(k) + c_1r_1[\mathbf{P}_i - \mathbf{X}_i(k)]/\Delta t + c_2r_2[\mathbf{P}_g - \mathbf{X}_i(k)]/\Delta t \quad (1)$$

$$\mathbf{X}_i(k+1) = \mathbf{X}_i(k) + \mathbf{V}_i(k+1)\Delta t \quad (2)$$

式中： $i=1\sim m$ ；学习因子 c_1 和 c_2 为非负常数； r_1 和 r_2 为介于 $[0, 1]$ 之间的随机数；惯性权重 w 为一个位于区间 $[0, 1]$ 中的常数； k 为迭代次数； \mathbf{X}_i 为第 i 个粒子的位置向量； \mathbf{V}_i 为速度向量； Δt 为时间间隔，常取为单位时间。

2 PSOPC 的基本原理

粒子群算法来源于对鸟群捕食行为的模拟。在鸟类觅食过程中，这种群体因为食物的吸引而产生的社会行为(聚集行为)。这种聚集行为又分主动聚集(active congregation)和被动聚集(passive congregation) 2 种。主动聚集反映了群体对个体的影响，被动聚集则反映了群体中一个个体对其它成员的影响^[20]。将粒子的被动聚集行为引入到基本 PSO 中得到新的算法—PSOPC 算法，其表达式^[19]如下：

$$\mathbf{V}_i(k+1) = w\mathbf{V}_i(k) + c_1r_1[\mathbf{P}_i - \mathbf{X}_i(k)]/\Delta t + c_2r_2 \cdot$$

$$[\mathbf{P}_g - \mathbf{X}_i(k)]/\Delta t + c_3r_3[\mathbf{R}_i(k) - \mathbf{X}_i(k)]/\Delta t \quad (3)$$

$$\mathbf{X}_i(k+1) = \mathbf{X}_i(k) + \mathbf{V}_i(k+1)\Delta t \quad (4)$$

式中： \mathbf{R}_i 为从上一代随机选取的粒子； c_3 为被动聚集因子； r_3 为介于 $[0, 1]$ 之间的随机数，其余变量与基本 PSO 算法中的变量一致。

在基本的 PSO 算法中，最小值粒子会由于认知学习和社会学习部分为 0 而导致搜索停滞，HPSO 算法添加的被动聚集因子改善了粒子的自主进化体制，提高了粒子的自由搜索能力，文献[19]用一些标准的测试函数验证了 PSOPC 算法比 PSO 算法更好的收敛性能。

3 采用飞回机制处理约束条件的方法

PSO 算法已被应用到一些带约束条件的优化问题中，其中采用惩罚函数形式处理约束条件是最普遍的方法。然而，由于这种处理方式会使不满足约束的粒子重新返回到先前最好的位置，易导致其搜索达到一个局部最优，这降低了 PSO 算法的收敛性能。对于大部分带约束条件的优化问题，全局最小解的粒子位置位于或接近于可行域的边界。文献[18]提出一种“飞回机制”，它首先在可行域内初始化粒子群，然后当程序进行时，粒子在可行域中飞行寻找最优解。如果任意一个粒子飞到不可行域，则强迫它飞回原来的位置，这样就保证粒子始终在可行域的范围中。这个返回的粒子在下一代的更新中可能离边界更接近，即粒子在下次飞向全局最优解的概率增加。因此，这样的“飞回机制”较适合应用到带约束的优化问题中。

4 HPSO 的基本原理

在 PSOPC 算法和 HS^[21]技术的基础上，本文采用“飞回机制”来处理约束限制，构建了一种新型的 HPSO 算法。当一个粒子在搜索区域飞行时，粒

子群的飞行空间如图 1 所示。需要说明的是，有 2 种违反约束条件的情况，即违反变量的约束条件和违反特定问题的约束条件。在电网规划优化问题中，第一种情况表现为架线回数的约束，第二种情况表现为潮流约束和线路传输能力限制约束等。

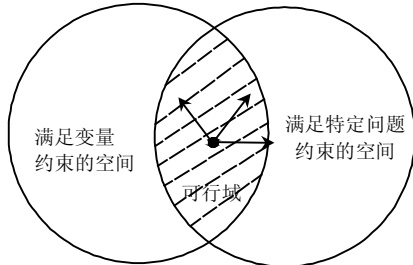


图 1 粒子群的飞行空间
Fig. 1 The space of particles

如果对 2 种违反约束条件的情况都使用“飞回机制”，则粒子无论是违反了变量约束条件还是特定问题的约束条件，粒子都将被迫返回到原来的位置。经过实验发现，在电网规划优化问题中，粒子违犯变量约束十分频繁，且随着网架节点数的增加，违反的次数继续增加，这将导致大量的粒子飞行行为由于飞出边界而被浪费。虽然限定粒子飞行最大速度的最小值能够使越界的粒子减少，但同时也可能使粒子飞出特定问题的约束边界。因此，应当先让粒子在变量约束范围内飞行，然后再检查它们是否违反特定问题的约束。在 HPSO 中算法，首先对违反变量约束的粒子采用 HS^[21]技术产生粒子的新位置，然后对违反特定问题约束的粒子采用标准的“飞回机制”，即如果粒子违反了特定问题的约束则返回到原来的位置。

HS 模拟音乐演奏机制，包含了和谐记忆 (harmony memory, HM) 等优化操作、和谐记忆大小 (harmony memory considering rate, HMCR) 和音符调整率 (pitch adjusting rate, PAR) 等。本文将其中的和谐记忆引入到 PSO 算法中。

在 HPSO 算法中，利用 HM 来存储满足约束条件的变量。当粒子飞出变量约束边界时，新的向量通过从 HM 随机选取来重新生成。HM 不断接受更好的向量并更新，同时删除最差的向量。在 PSO 算法中，如果定义 HM 的大小和粒子群数一致，则可利用 P_{best} 作为 HM。要注意的是，本文 HM 中存储的向量全部在变量约束范围内，但不能保证在特定问题的约束范围内。

由上述分析得到的 HPSO 算法流程见图 2。

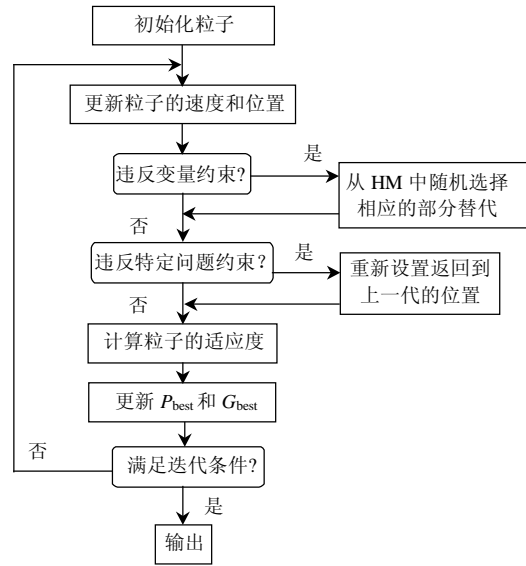


图 2 HPSO 算法的流程
Fig. 2 Flow chart of HPSO algorithm

5 基于 HPSO 的电网规划

电网规划优化函数^[22]为

$$\min F = k_1 \sum_{j \in W_1} c_j x_j + k_2 \sum_{j \in W} r_j P_j^2 \quad (5)$$

式中：第一部分为网络投资；第二部分为整个网络的网损；资金回收系数 $k_1 = r(1+r)^n / [r(1+r)^n - 1]$ ； c_j 为支路 j 中扩展一回新建线路的投资费用； x_j 为支路 j 中新建线路回数； W_1 为待选新建线路集合；年网损费用系数 $k_2 = C_{ost} t / u^2$ ，其中 C_{ost} 为网损电价， t 为最大负荷损耗时间， u 为系统额定电压； r_j 为支路 j 的电阻； P_j 为正常情况下支路 j 输送的有功功率； W_1 和 W 分别为网络中已有线路和新建线路的集合。潮流约束条件为

$$\begin{cases} P_i = U_i \sum_{j \in W} U_j (G_{ij} \cos q_{ij} + B_{ij} \sin q_{ij}) \\ Q_i = U_i \sum_{j \in W} U_j (G_{ij} \sin q_{ij} - B_{ij} \cos q_{ij}) \end{cases} \quad (6)$$

式中： P_i 和 Q_i 分别为节点 $i(i=1 \sim N)$ 的注入有功功率和无功功率；节点 i 与 j 的相角差 $q_{ij} = q_i - q_j$ ； N 为节点总数。所有节点电压 U_i 须满足

$$U_{i \min} \leq U_i \leq U_{i \max} \quad (i \in N) \quad (7)$$

所有电源节点的有功功率和无功功率须满足

$$\begin{cases} P_{Gi \min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi \max} \\ Q_{Gi \min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi \max} \end{cases} \quad (8)$$

式中： P_{Gi} 和 Q_{Gi} 分别为电源节点 $i(i \in G)$ 的有功功率和无功功率； G 为电源节点集合。所有线路的传输功率须满足

$$\begin{cases} -P_{i\max} \leq p_i \leq P_{i\max} \\ -q_{i\max} \leq q_i \leq q_{i\max} \end{cases} \quad (9)$$

式中: p_i 和 q_i 分别为线路 $i(i \in W)$ 的有功功率和无功功率; $P_{i\max}$ 和 $Q_{i\max}$ 分别为线路最大有功功率和无功功率。架线回数须满足

$$0 \leq x_i \leq x_{i\max} \text{ 且 } x_i \in \mathbf{N} \text{ 且 } i \in \Omega_i \quad (10)$$

式中: $x_{i\max}$ 为架线回数最大值; \mathbf{N} 为非负整数集。电网规划的决策变量为整数, 则粒子位置的向量为

$$\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m]$$

式中: x_i 为第 i 条线路从 0 到线路走廊所能架设线路回数上限之间的整数; m 为系统中可增加线路的走廊数。

在 HPSO 算法中, 式(11)为变量的约束条件, 当变量越界时, 采用 HM 随机选取相应部分进行更新。同时将网络的连通性约束、线路过载约束、潮流约束及节点约束作为特定问题的约束。在迭代过程中只要有约束不能得到满足, 则利用“飞回机制”使粒子重新返回到上一代的位置。

6 18 节点系统算例结果与分析

根据 18 节点系统数据^[22], 运用 Matlab 编程进行仿真实验。设该网络新增 8 个节点和 18 条可增线路走廊, 线路投资为 17 万元/km, 网损电价按 0.35 元/kWh 计算, 最大负荷损耗时间取 3 500 h。粒子数取 400。学习因子 c_1 和 c_2 均取 2, 被动聚集因子 c_3 取 0.6。仿真所得的结果与文献^[22]一致, 增加 $N-1$ 安全约束后得到的网络如图 3 所示。

为增强对比性, 分别用 PSO 算法和 PSOPC 算法进行 10 次运算, 得到的平均适应度曲线如图 4 所示。由图 4 可见: 基本 PSO 算法迭代到 500 次后已经收敛, PSOPC 算法迭代到 1700 次以后才能收敛, 而 HPSO 算法迭代到 1000 次后开始收敛; HPSO 算法收敛到的是全局最优解, 而 PSO 算法和 PSOPC 算法不能保证每次都收敛到最优解。对粒子进行跟踪发现, 在 PSO 算法中, 当迭代到 100 代左右的时候, 由于认知和学习部分为 0, 搜索停滞的最小值粒子就达到 80% 以上, 严重降低了整个粒子群的收敛性能。虽然 PSO 算法收敛速度最快, 但极易收敛到局部解, 而 HPSO 算法中采用的聚集收敛因子保证了粒子每次更新都有可能向新的方向探索, 有效避免其陷入局部最优。由于在 HPSO 算法中采用了“飞回机制”, 粒子在每次迭代中都能保持变量处于可行域, 充分利用了算法中每个粒子的飞行行为, 提高了算法的运行效率。

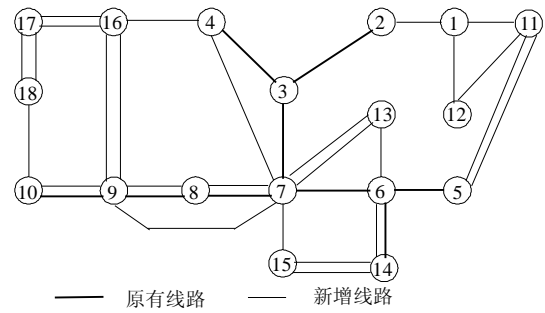


图 3 $N-1$ 安全性网络
Fig. 3 $N-1$ security network

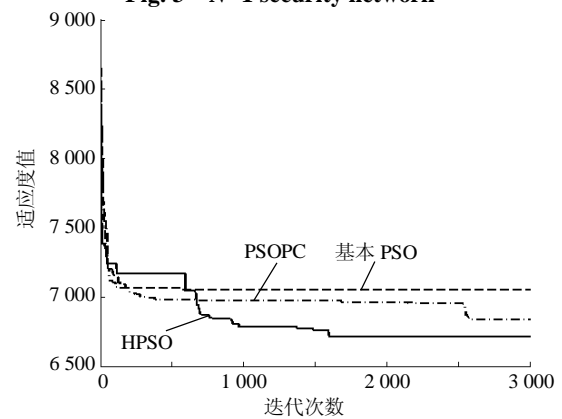


图 4 适应度曲线
Fig. 4 Fitness value curves

7 结论

(1) 本文将 HS 搜索和“飞回机制”引入到 PSO 算法中, 较好地处理了电网规划优化问题中所包含的多种约束条件, 提高了粒子群算法的运行效率。

(2) 在 HPSO 算法中引入被动聚集因子, 增强了粒子群算法中最小值粒子在迭代过程中的自由搜索能力, 提高了优化算法应用于电网规划优化问题的有效性。

(3) 具体算例结果表明, 该混合算法具有较高的运行效率和全局收敛能力, 对于求解大规模电网规划优化问题有着重要的启发意义。

参考文献

- [1] 夏克青, 赵明奇, 李扬. 用于多目标无功优化的自适应遗传算法[J]. 电网技术, 2006, 30(16): 55-60.
Xia Keqing, Zhao Mingqi, Liyang. A self-adaptive genetic algorithm for multi-objective reactive power optimization[J]. Power System Technology, 2006, 30(16): 55-60(in Chinese).
- [2] 吴杰, 卢志刚, 杨斌, 等. 基于改进并行遗传算法的电网状态估计[J]. 电网技术, 2006, 30(18): 65-70.
Wu Jie, Lu Zhigang, Yang Bin, et al. Power network status estimation based on improved parallel genetic algorithm[J]. Power System Technology, 2006, 30(18): 65-70(in Chinese).
- [3] 王秀丽, 李淑慧, 陈皓勇, 等. 基于非支配遗传算法及协同进化算法的多目标多区域电网规划[J]. 中国电机工程学报, 2006,

- 26(12): 11-15.
Wang Xiuli, Li Shuhui, Chen Haoyong, et al. Multi-objective and multi-district transmission planning based on NSGA-II and cooperative co-evolutionary algorithm[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(12): 11-15(in Chinese).
- [4] 刘方, 颜伟, Yu D C. 基于遗传算法和内点法的无功优化混合策略[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(15): 67-72.
Liu Fang, Yan Wei, Yu D C. A hybrid strategy based on GA and IPM for optimal reactive power flow[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(15): 67-72(in Chinese).
- [5] 张丰田, 宋家骅, 李鉴, 等. 基于混合差异进化优化算法的电力系统无功优化[J]. 电网技术, 2007, 31(9): 33-37.
Zhang Fengtian, Song Jiahua, Li Jian, et al. A hybrid differential evolution method for optimal reactive power optimization[J]. Power System Technology, 2007, 31(9): 33-37(in Chinese).
- [6] 郝晋, 石立宝, 周家启, 等. 基于蚁群优化算法的机组最优投入[J]. 电网技术, 2002, 26(11): 27-32.
Hao Jin, Shi Libao, Zhou Jiaqi, et al. Optimal unit commitment based on ant colony optimization algorithm[J]. Power System Technology, 2002, 26(11): 27-32(in Chinese).
- [7] 孙薇, 商伟, 牛东晓. 改进蚁群优化算法在配电网架规划中的应用[J]. 电网技术, 2006, 30(15): 85-90.
Sun Wei, Shang Wei, Niu Dongxiao. Application of improved ant colony optimization algorithm in distribution network planning[J]. Power System Technology, 2006, 30(15): 85-90(in Chinese).
- [8] 侯云鹤, 熊信良, 吴耀武, 等. 基于广义蚁群算法的电力系统经济负荷分配[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(3): 59-64.
Hou Yunhe, Xiong Xinyin, Wu Yaowu, et al. Economic dispatch of power systems based on generalized ant colony optimization method[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(3): 59-64(in Chinese).
- [9] Collopy C A. Theoretical and numerical constraint-handling techniques used with evolutionary algorithms: a survey of the state of the art [J]. Compute Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2002, 191(11-12): 1245-1287.
- [10] 胡家声, 郭创新, 叶彬, 等. 离散粒子群优化算法在输电网络扩展规划中的应用[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(20): 31-36.
Hu Jiasheng, Guo Chuangxin, Ye Bin, et al. Application of discrete particle swarm optimization to transmission network expansion planning[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(20): 31-36(in Chinese).
- [11] 刘自发, 葛少云, 余贻鑫. 基于混沌粒子群优化方法的电力系统无功最优潮流[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(7): 53-57.
Liu Zifa, Ge Shaoyun, Yu Yixin. Optimal reactive power dispatch using chaotic particle swarm optimization algorithm[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(7): 53-57(in Chinese).
- [12] 许立雄, 吕林, 刘俊勇. 基于改进粒子群优化算法的配电网重构[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(7): 27-30.
Xu Lixiong, Lü Lin, Liu Junyong. Modified particle swarm optimization for reconfiguration of distribution network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(7): 27-30(in Chinese).
- [13] 王天华, 王平洋, 范明天. 用演化算法求解多阶段配电网规划问题[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(3): 34-38.
Wang Tianhua, Wang Pingyang, Fan Mingtian. Optimal multi-stage distribution planning using evolutionary algorithm[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(3): 34-38(in Chinese).
- [14] 杨秀霞, 张晓锋, 张毅. 免疫遗传算法在舰船电力系统供电恢复中的应用研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(9): 80-85.
Yang Xiuxia, Zhang Xiaofeng, Zhang Yi. Study on immune genetic algorithm for shipboard power system service restoration [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(9): 80-85(in Chinese).
- [15] 袁晓辉, 王乘, 张勇传, 等. 粒子群优化算法在电力系统中的应用[J]. 电网技术, 2004, 28(19): 14-19.
Yuan Xiaohui, Wang Cheng, Zhang Yongchuan, et al. A survey on application of particle swarm optimization to electric power systems [J]. Power System Technology, 2004, 28(19): 14-19(in Chinese).
- [16] 杨俊杰, 周建中, 吴玮, 等. 改进粒子群优化算法在负荷经济分配中的应用[J]. 电网技术, 2005, 29(2): 2-6.
Yang Junjie, Zhou Jianzhong, Wu Wei, et al. Application of improved particle swarm optimization in economic dispatching[J]. Power System Technology, 2005, 29(2): 2-6(in Chinese).
- [17] Kennedy J, Eberhart R C. Swarm intelligence[M]. California: Morgan Kaufman Publishers, 2001.
- [18] He S, Prempain E, Wu Q H. An improved particle swarm optimizer for mechanical design optimization problems[J]. Engineer Optimization, 2004, 36(5): 585-605.
- [19] He S, Wu Q H, Wen J Y, et al. A particle swarm optimizer with passive congregation[J]. Biosystem, 2004, 78: 135-147.
- [20] Li L J, Huang Z B, Liu F, et al. A heuristic particle swarm optimizer for optimization of pin connected structures[J]. Computers and Structures, 2007, 85(7): 340-349.
- [21] Geem Z W, Kim J H, Loganathan G V. A new heuristic optimization algorithm: harmony search[J]. Simulation, 2001, 76: 60-68.
- [22] 王锡凡. 电力系统优化规划[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990.



符杨

收稿日期: 2008-01-06.

作者简介:

符杨(1968—), 男, 副教授, 从事城市电网规划、电力变压器故障诊断等方面的研究和教学工作,

E-mail: paper517@126.com;徐自力(1986—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电网规划, E-mail: xzlishanghai@163.com;

曹家麟(1948—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为信息处理及控制、纠错编码技术、视频联合分析应用及电网规划。

(编辑 杜宁)

国家电网公司在 2008 年度全球财富 500 强排行榜中位居第 24 位

美国《财富》杂志公布了 2008 年度“世界 500 强”名单。国家电网公司以 2007 年 1328.85 亿美元的营业收入, 位居排行榜第 24 位, 居全球公用事业公司第 1 位。中国两岸三地共有 35 家企业入围世界 500 强, 国家电网公司在入围的中国企业中居第 2 位, 位列中国石油化工集团公司之后。