

基于差分进化算法的动态可用输电能力计算研究

王俊^{1,2}, 蔡兴国¹

(1. 哈尔滨工业大学电气工程及其自动化学院, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 沈阳农业大学
信息与电气工程学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘要: 基于考虑暂态稳定约束的最优潮流 (TSCOPF) 建立了动态可用输电能力问题的数学模型。提出了采用差分进化算法 (DE) 求解考虑暂态稳定约束的可用输电能力 (ATC) 问题。利用不需要任何惩罚系数的合成适应度函数法处理约束问题。该算法原理简单, 受控参数少, 实施随机、并行、直接的全局搜索, 易于理解和实现, 且收敛性好, 计算速度快, 是一种求解非线性、不可微、多极值和高维的复杂函数的一种有效和鲁棒的方法。以 WSCC9 节点系统的计算结果为例验证了该方法的有效性和合理性。

关键词: 可用输电能力; 暂态稳定; 差分进化算法

Study of calculating the dynamic available transfer capability with the differential evolution algorithm

WANG Jun^{1,2}, CAI Xing-guo¹

(1. School of Electrical Engineering and Automation, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;
2. College of Information and Electric Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: The mathematic model of dynamic available transfer capability is established based on the optimal power flow considering the transient stability constraints. The differential evolution algorithm (DE) is proposed which is used in solving available transfer capability (ATC) calculation considering the transient stability constraints. A composite fitness function method, which does not require any penalty coefficient, is employed for constraint handling. The DE has such features such as simple to use, little controlled parameters and carry out random, parallel and direct global search, which is easy to understand and put into effect, and also it has good convergence property and fast calculating speed. The DE is an effective and robustness method in solving the nonlinear, non-differentiable, multi-peaks, higher dimensional and complex functions. The availability and rationality of DE is verified by the calculation results of the WSCC9 bus system.

This work is supported by the Specialized Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education(No. 20050213006) and the Key Science Research Project of Heilongjiang Province(No. GD07A304).

Key words: available transfer capability; transient stability; differential evolution algorithm

中图分类号: TM744 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)04-0039-06

0 引言

可用输电能力(Available Transfer Capability, ATC)是评估在电力系统区域之间的特定传输界面上安全可靠地输送电能能力的尺度。很长时间以来 ATC 计算问题的研究主要集中在稳态条件下, 近年来随着 ATC 问题研究的深入, 动态领域内的 ATC 被越来越多地受到重视。其中考虑暂态稳定约束的动态 ATC 计算是目前研究的热点问题。在本文中基

于考虑暂态稳定性约束的最优潮流 (transient stability constrained OPF, TSCOPF) [1-5] 问题建立了考虑暂态稳定约束的动态 ATC 问题的数学模型。

使用 TSCOPF 方法来计算 ATC, 实际上是求解一种包含微分和代数方程的函数空间的非线性优化问题。这种非线性优化问题的难点之一在暂态稳定约束的处理上, 人们提出的方法各异, 本文采用隐式梯形积分法将描述系统暂态稳定性的转子运动方程转化为相应的等值差分方程, 从而建立起 TSCOPF 的静态优化模型。考虑暂态稳定性约束的 ATC 问题的另一个难点是优化算法的选择, 目前已有多种方法应用其中, 如原-对偶内点算法、非线性

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目 (20050213006); 黑龙江省科技攻关项目 (GD07A304)

互补法等，各种方法都有其优越性和适应性，但这些传统的优化方法要求目标函数可微，且计算时间长，容易产生“维数灾”等问题。近年来智能优化算法^[6-9]在非线性规划问题中的应用日趋增多，并取得了较好的效果。

差分进化算法与传统优化算法如遗传算法相比较，不需进行编码和解码操作，使用上大为简化，同时它对初始值无要求，收敛速度快，对各种非线性函数适应性强，尤其适应于多变量复杂问题的寻优，被认为是一种极具潜力的跨学科优化算法。本文将差分进化算法应用到了考虑暂态稳定约束的可用输电能力的计算中，经 WSCC9 节点算例表明，该算法具有良好的稳定性、收敛性和计算速度。

1 基于 TSCOPF 的动态 ATC 模型

1.1 ATC 的定义

北美电力可靠性委员会 (NERC) 给出的 ATC 的定义^[10]：ATC 是指在现有的输电合同基础上，实际物理输电网络剩余的、可用于商业使用的传输容量。确定 ATC 的关键是准确计算 TTC (最大输电能力)，它是 ATC 计算的基础。虽然 TRM (输电可靠性裕度) 和 CBM (容量效益裕度) 这两个裕度也很重要，但其与系统结构和特性有很大关系。为此，本文主要研究如何准确计算 TTC，关于 TRM 和 CBM 的计算方法可参考文献^[11]。本文后面的 ATC 仿真结果均指此处的 TTC。

1.2 TTC 的确定

TTC 计算的目的是确定从送电区域 A 到受电区域 B 通过联络线可传送的最大有功功率。限制 TTC 的系统物理和电气特性主要包括：发电机容量限制；节点电压限制；线路热容量限制；网络稳定性限制。在本文中，为简化计算，我们不考虑电压稳定限制。区域间的 TTC 可用式 (1) 表达：

$$\max P_{TTC} = \sum_{i \in A, j \in B} P_{ij} \quad (1)$$

式中： $P_{ij} = G_{ij}V_i^2 - V_iV_j(G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij})$ 。

1.3 TSCOPF 问题的数学模型

TSCOPF 问题可用下列表达式来描述：

$$\min f(x, y) \quad (2)$$

$$\text{s.t. } g(x, y) = 0 \quad (3)$$

$$H_{\min} \leq H(x, y) \leq H_{\max} \quad (4)$$

式中： x 和 y 分别为系统的状态变量和控制变量组成的向量；式 (3) 为等式约束；式 (4) 为不等式约束； H_{\min} 、 H_{\max} 分别为不等式约束的上、下限。

1.3.1 目标函数

式 (2) 为目标函数，在本文中 $f(x, y)$ 取 TTC 的负值，即 $(-\sum_{i \in A, j \in B} P_{ij})$ 。

1.3.2 等式约束

1) 潮流方程

以极坐标形式表达的系统潮流方程为：

$$\begin{aligned} P_{gi} - P_{di} - V_i \sum_{j \in A} V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) &= 0 \\ Q_{gi} - Q_{di} - V_i \sum_{j \in A} V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

2) 转子运动方程

为简单起见，本文采用多机电力系统的经典数学模型，各发电机用暂态电抗 x'_d 后的恒定电势 E' 来表示，负荷采用恒阻抗模型，并假设原动机输入的机械功率保持不变。转子运动方程为下式：

$$\dot{\delta}_i = \omega_i - \omega_0 \quad (6)$$

$$M_i \dot{\omega}_i = \omega_0 (-D_i \omega_i + P_{mi} - P_{ei}) \quad i \in S_G \quad (7)$$

$$P_{ei} = \sum_{j=1}^{ng} (E'_i E'_j B'_{ij} \sin \delta_{ij} + E'_i E'_j G'_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (8)$$

其中： S_G 为发电机节点集合； δ_i 和 ω_i 分别为发电机 i 的转子角度和转子转速； ω_0 为发电机的额定转子转速； M_i 为第 i 个发电机的转动惯量； D_i 为第 i 个发电机的阻尼系数； P_{mi} 为第 i 个发电机的机械功率输入； P_{ei} 为第 i 个发电机的电磁功率输出； $Y'_{ij} = G'_{ij} + jB'_{ij}$ 为发电机内电势节点的自导纳 ($i = j$) 和互导纳 ($i \neq j$)； ng 为系统中发电机总数。

当系统受到较大扰动后，每台发电机都有式 (6) 所示的转子运动方程，但现有优化方法无法直接处理含有微分方程约束的问题，人们提出的处理该约束的方法各异，本文采用隐式梯形积分法将描述系统暂态稳定性的转子运动方程转化为相应的等值差分方程。对于任一发电机 i ，有如下形式的差分方程：

$$\begin{aligned} \delta_i^t - \delta_i^{t-1} - \Delta t [(\omega_i^t - \omega_0) + (\omega_i^{t-1} - \omega_0)] / 2 &= 0 \\ \omega_i^t - \omega_i^{t-1} - \Delta t [\omega_0 (-D_i \omega_i^t + P_{mi} - P_{ei}^t) / M_i + \\ \omega_0 (-D_i \omega_i^{t-1} + P_{mi} - P_{ei}^{t-1}) / M_i] / 2 &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

3) 初值方程

为了获得转子运动方程中转角初值 δ_i^0 和发电机恒定电势 E'_i ，引入下列方程：

$$\begin{aligned} E'_i V_{gi} \sin(\delta_i^0 - \theta_{gi}) - x'_{di} P_{gi} &= 0 \\ V_{gi}^2 - E'_i V_{gi} \cos(\delta_i^0 - \theta_{gi}) + x'_{di} Q_{gi} &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

其中： V_{gi} 和 θ_{gi} 分别为发电机 i 的电压幅值和相位角； P_{gi} 和 Q_{gi} 分别为节点 i 的发电机有功、无功出力。

1.3.3 不等式约束

不等式约束反应了限制 TTC 的系统物理和电

气特性, 主要包括发电机容量上下限约束、节点电压上下限约束、线路热容量上下限约束和暂态稳定约束。其中暂态稳定约束为式 (11):

$$\min \delta \leq \delta'_i - \delta'_{\text{COI}} \leq \max \delta \quad (11)$$

式 (11) 中: $\delta_{\text{COI}} = \frac{\sum_{i=1}^{ng} (M_i \delta_i)}{\sum_{i=1}^{ng} M_i}$

2 差分进化算法

2.1 算法简介

差分进化算法 (Differential Evolution, DE) 是基于自然界进化法则的最优化方法。该算法是由 Rainer Storn 和 Kenneth Price 为求解切比雪夫多项式而于 1996 年共同提出的一种采用浮点矢量编码在连续空间中进行随机搜索的优化算法^[12-13]。DE 的原理简单, 受控参数少, 实施随机、并行、直接的全局搜索, 易于理解和实现。

差分进化算法 DE 由 NP (种群规模) 个 D (决策变量个数) 维参数矢量 $x_j (j=1, 2, \dots, NP; j=1, 2, \dots, D)$ 在搜索空间进行并行直接搜索。DE 的基本操作包括变异 (Mutation)、交叉 (Crossover) 和选择 (Selection) 三种操作。随机选择两个不同的个体矢量相减生成差分矢量, 将差分矢量赋予权值之后加到第三个随机选择的个体矢量上, 生成变异矢量, 该操作称为变异。变异矢量与目标矢量进行参数混合, 生成试验矢量, 这一过程称之为交叉。如果试验矢量的适应度优于目标矢量的适应度, 则用试验矢量取代目标矢量而形成下一代, 该操作称为选择。在每一代的进化过程中, 每一个体矢量作为目标矢量一次。初始种群是在搜索空间随机生成的, 一般可采用均匀分布的随机函数来产生。DE 的详尽策略可参阅文献^[12-13]。

2.2 对约束的处理

在 DE 算法应用过程中, 等式约束(3)通过潮流计算来满足, 因而只要对不等式约束进行处理。目前处理不等式约束绝大多数采用的是普通的罚函数法。应用罚函数法的关键是罚因子的适当选取, 虽然有多种选取罚因子的方法, 但无论哪一种方法, 罚因子的选取都是困难的, 往往要依赖使用者的经验或通过大量的尝试才能确定, 这为此方法的使用增加了许多难度。为此, 本文提出利用基于状态变量可行性的合成适应度函数法来处理该问题, 该适应度函数可由状态变量表示为:

$$F(x) = \begin{cases} f(x) & \text{if } x \in H(x, y) \leq 0 \\ f_{\text{max}} + \Delta(x) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

式中: f_{max} 为当代个体中最差可行个体的目标函数值; $\Delta(x)$ 为度量违反约束程度的罚函数, 对于本文的 ATC 问题, $\Delta(x)$ 可表述为:

$$\Delta(x) = \max(0, P_{g, \text{slack}} - P_{g, \text{slack}}^{\text{max}}, P_{g, \text{slack}}^{\text{min}} - P_{g, \text{slack}}) + \sum_{i=1}^{N_G} \max(0, Q_{gi} - Q_{gi}^{\text{max}}, Q_{gi}^{\text{min}} - Q_{gi}) + \sum_{i=1}^{N_{PQ}} \max(0, V_i - V_i^{\text{max}}, V_i^{\text{min}} - V_i) + \sum_{l=1}^{N_l} \max(|S_L| - S_l^{\text{max}}) \quad (13)$$

式中: $P_{g, \text{slack}}$ 为松弛节点的有功功率输出; Q_{gi} 为发电机节点的无功功率输出; V_i 为 PQ 节点的电压幅值; S_L 为线路 L 流经的视在功率。

下一代个体选择原则为:

- ① 目标个体 x 和试验个体 x' 都可行时, 计算其适应值 $F(x)$ 和 $F(x')$, 适应值小的个体保留;
- ② 当目标个体 x 和试验个体 x' 都不可行时, 计算其罚函数值 $\Delta(x)$ 和 $\Delta(x')$, 罚函数值小的个体保留。
- ③ 当目标个体和试验个体中有一个可行而另一个不可行时, 可行个体保留。

由上述可见, 采用此函数不仅可以避免罚因子的选择, 且计算量会大幅度减少, 可缩短计算时间。

2.3 算法流程

本文采用的 DE 算法计算 ATC 基本流程如图 1。

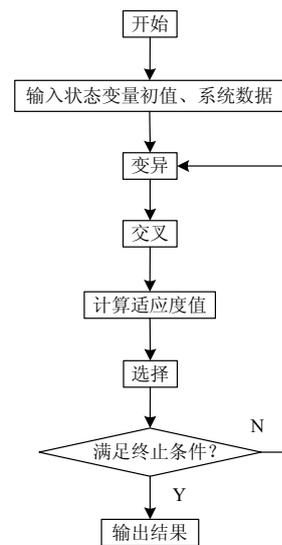


图 1 采用 DE 算法计算 ATC 流程图

Fig.1 The ATC flow chart in using DE algorithm

2.4 算法内容

2.4.1 个体中控制变量的选择

将 DE 应用于 ATC 问题中，第一步要做的工作是设置 DE 个体中的控制变量。在本文的研究中，控制变量选取为系统中除松弛节点以外的发电机节点的有功功率输出和各节点电压幅值。

群体大小 NP 的数值是由具体问题的规模来确定的。工程问题中若控制变量个数为 C ，则若 $NP < 2C$ 将很难获得最优解，因此 NP 应该取较大的值，然而过大群体将导致计算量的大幅度增加，且有可能牺牲收敛性，为此，根据经验我们在首次设置时一般选取 $NP = 3 \sim 5C$ [14]。

2.4.2 变异操作

DE 最基本的变异成分是父代的差分矢量，每个矢量对包括父代(第 t 代)群体中两个不同的个体 (x_{r1}^t, x_{r2}^t)。对每一目标矢量 x_i^t ，变异操作的方程为：

$$v_i^{t+1} = x_{r3}^t + F * (x_{r1}^t - x_{r2}^t) \quad (14)$$

式 (14) 中： $r1, r2, r3$ 为群体中不同个体的索引号； F 为缩放因子，可在 $[0,2]$ 范围内取值，本文取 0.3。

2.4.3 交叉操作

对于群体中目标矢量 x_i^t 将与变异矢量 v_i^{t+1} 进行交叉操作，产生试验个体 u_i^{t+1} 。操作的方程为：

$$u_{ij}^{t+1} = \begin{cases} v_{ij}^{t+1}, & rand(j) \leq CR \text{ or } j = randn(i) \\ x_{ij}^t, & rand(j) > CR \text{ and } j \neq randn(i) \end{cases} \quad (15)$$

式 (15) 中： $rand(j) \in [0,1]$ 为均匀分布的随机数； j 表示第 j 个变量 (基因)； CR 为交叉概率常数，可在 $[0,1]$ 范围内取值； $randn(i) \in [1,2,\dots,D]$ ，为随机选择的维数变量索引，以保证试验矢量至少有一维变量由变异矢量贡献，否则试验矢量有可能与目标矢量相同而不能生成新个体。

2.4.4 选择操作

经过变异与交叉操作后生成的试验个体 u_i^{t+1} 与 x_i^t 进行竞争，只有当 u_i^{t+1} 的适应度较 x_i^t 更优时才被选作子代，否则，直接将 x_i^t 作为子代。本文的选择操作的方程为：

$$x_i^{t+1} = \begin{cases} u_i^{t+1}, & f(u_i^{t+1}) > f(x_i^t) \\ x_i^t, & f(u_i^{t+1}) \leq f(x_i^t) \end{cases} \quad (16)$$

3 算例分析

本文通过 WSCC9 节点系统进行了仿真实验。图 2 为该系统的单线图，系统中共有 3 台发电机、9

个节点 (3 个负荷)、6 条输电线路。系统数据可参看文献[15]。现将系统分为 A、B 两个区域，区域间的传输界面由线路 7-5 和 8-6 构成，传输方向如图中箭头所示。假定系统基准容量为 100 MVA；系统中各节点电压幅值在 0.95~1.05 范围内取值；各发电机有功、无功出力范围取与文献[16]中相同；节点 1 设为平衡节点。利用差分进化算法进行仿真过程中确定的控制变量共 11 个；群体大小为 40 (取控制变量的 4 倍)；进化代数 100。假定两个偶然发生的事故，均为三相接地短路：事故 I 发生在线路 7-9 上靠近母线 7 处；事故 II 发生在线路 8-9 上靠近 9 处。两故障在故障发生后 5 个周波 (约 0.083 s) 因切除故障线路而清除。

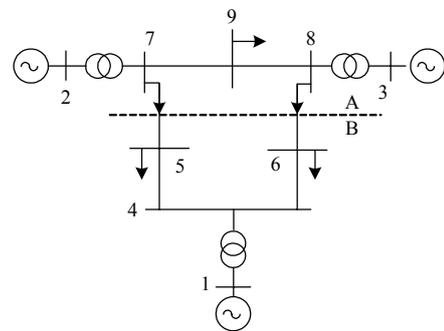


图 2 WSCC9 节点系统

Fig.2 The WSCC9 bus system

经 20 次重复试验所得三种情况下的仿真结果见表 1。其中实验“基于 OPF”指不考虑暂态稳定约束下的结果，该实验也是基于 DE 算法进行的。

表 1 三种情况下的 ATC 值

试验次数	基于 OPF	事故 I	事故 II
1	2.232 79	2.068 26	1.866 82
2	2.232 73	2.068 32	1.867 18
3	2.232 82	2.067 93	1.867 32
4	2.232 76	2.067 98	1.866 79
5	2.232 66	2.067 94	1.866 83
6	2.232 81	2.067 89	1.867 06
7	2.232 43	2.068 26	1.866 93
8	2.232 41	2.068 32	1.867 01
9	2.232 68	2.068 41	1.867 22
10	2.232 71	2.068 44	1.867 18
11	2.232 79	2.067 96	1.866 99
12	2.232 64	2.068 42	1.867 17
13	2.232 41	2.067 95	1.866 97
14	2.232 46	2.068 42	1.866 65
15	2.232 49	2.068 41	1.866 62
16	2.232 63	2.067 91	1.867 13
17	2.232 67	2.067 92	1.867 28
18	2.232 64	2.068 38	1.866 67
19	2.232 58	2.068 28	1.867 29
20	2.232 52	2.068 16	1.867 31

从表 1 可看出, 每次实验的 ATC 值在不考虑暂态稳定情况下, 均明显高于预想事故下的 ATC, 这是以牺牲系统稳定性前提下而实现的; 在预想事故下虽然 ATC 值相对变小, 但系统将保持稳定。另外, 从表中明显能看出 20 次的重复实验中, ATC 值的大小差距很小, 这说明 DE 算法是十分稳定而有效的; DE 算法具有十分优良的收敛性, 这一点可通过图 3 看出: 三种情况下, 当个体进化到第 20 代的时候, 平均 ATC 值会迅速地收敛到最优值附近。

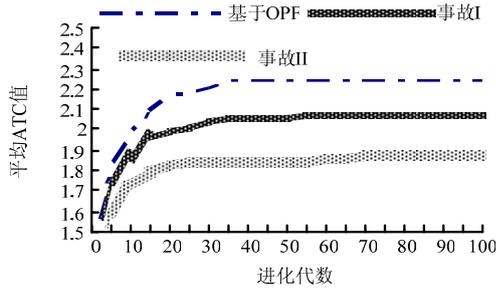


图 3 平均 ATC 与进化代数关系

Fig.3 Relation between average ATC and the number of evolutionary generations

当前考虑暂态稳定约束的可用输电能力计算问题中采用较多的算法是原-对偶内点算法, 本文基于文献[17]所提出的原-对偶内点算法对事故 I 和事故 II 下 ATC 值进行了计算, 并与 DE 算法下最小 ATC 值进行了比较, 结果如表 2 所示。从表 2 中可看出, 不论是事故 I 还是事故 II, DE 算法下的最小 ATC 值均高于原-对偶内点算法下的 ATC 值, 这是由于 DE 算法采用了并行、全局的搜索, 扩大了搜索面积, 进而可以得到稳定条件下的更加优异的结果。

表 2 两种算法下的 ATC 值

Tab.2 The ATC value in two different algorithms

条件	原-对偶内点算法	DE 下最小 ATC
事故 I	2.060 3	2.067 9
事故 II	1.862 5	1.866 6

注: 两种算法均迭代 100 次; DE 算法的群体个数选定为 40; 进行 20 次重复计算。

隶属于现代智能优化算法的粒子群优化算法 (PSO) 近年来在工程领域内得到了广泛的应用。本文基于文献[8]所述粒子群算法的思想, 对事故 I 和事故 II 下 ATC 值进行了计算。其计算结果与利用 DE 算法计算的结果相比较, 如表 3 所示。由表中数据可见 DE 算法相比 PSO 算法不仅收敛性能好, 且计算速度明显大于 PSO 算法的计算速度。

表 3 PSO 算法与 DE 算法计算结果比较

Tab.3 The comparative results between POS arithmetic and DE arithmetic

条件	PSO 算法		DE 算法	
	平均 ATC	平均耗时/s	平均 ATC	平均耗时/s
事故 I	2.060 2	9.32	2.068 2	8.76
事故 II	1.857 1	8.91	1.867 1	8.59

注: PSO 参数选取为种群数 $NP=40$; 惯性权重 $w=1.2$; 加速常数 $\varphi=2.05$; 处罚系数 $\beta=1000$; 迭代数 $k=100$ 。

4 结论

本文基于传统静态可用输电能力问题, 对考虑暂态稳定约束的动态可用输电能力问题进行了研究, 建立了相关问题的数学模型。描述系统暂态稳定约束的发电机转子运动方程用隐式梯形积分法进行处理, 从而将原问题转化为只含有代数约束方程的非线性规划问题, 然后采用差分进化算法进行求解。给出了差分进化算法的进化策略, 采用合成罚函数法处理计算可用输电能力的目标函数中的等式与不等式约束。通过对 WSCC9 节点系统仿真实验, 验证了本文中建立的数学模型的正确性和计算方法的有效性。

参考文献

- [1] Fouad A A, Vittal V. Power System Transient Stability Analysis Using the Transient Energy Function Method[M]. NJ: Prentice-Hall, 1992.
- [2] Gan D, Thomas R J, Zimmerman R D. Stability-constrained Optimal Power Flow[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(2): 535-540.
- [3] Yuan Y, Kubkawa J, Sasaki H. A Solution of Optimal Power Flow with Multicontingency Transient Stability Constraints[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(3): 1094-1102.
- [4] Layden D, Jeyasurya B. Integrating Security Constraints in Optimal Power Flow Studies[A]. in: Proc IEEE Power Eng Soc General Meeting[C]. 2004. 256-263.
- [5] 王锡凡, 方万良, 杜正春. 现代电力系统分析[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [6] 郭远帆, 杨峰, 董朝霞. 应用粒子群优化算法求解可用输电能力[J]. 电工电能新技术, 2006, 25(4): 52-56. GUO Yuan-fan, YANG Feng, DONG Zhao-xia. Available Transfer Capability Calculation using Particle Swarm Optimization Algorithm[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2006, 25(4): 52-56.
- [7] 王成山, 刘涛, 谢莹华. 基于混合遗传算法的变电

站选址定容[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(6): 30-35.

WANG Cheng-shan, LIU Tao, XIE Ying-hua. Substation Locating and Sizing Based on Hybrid Genetic Algorithm[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(6): 30-35.

[8] 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): 53-56.

LIU Zi-fa, GE Shao-yun, YU Yi-xin. Optimal Reactive Power Dispatch Using Chaotic Particle Swarm Optimization Algorithm[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(7): 53-56.

[9] Cai R H, Chung C Y. Application of Differential Evolution Algorithm for Transient Stability Constrained Optimal Power Flow IEEE[J]. Trans on Power Systems, 2008: 1-10.

[10] Available Transfer Capability Definition and Determination[Z]. North American Electric Reliability Council, 1996.

[11] Qu Y, Singh C. Assessment of Available Transfer Capability and Margins[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17(2): 463-468.

[12] Price K. Differential Evolution a Fast and Simple Numerical Optimizer[A]. in: 1996 Biennial Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society[C]. New York: 1996.

[13] Rainer S, Price K. Differential Evolution—a Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization Over Continuous Spaces[J]. J of Global Optimization, 1997, 11(4): 341-359.

[14] Corne D, Dorigo M, Glover F. New Ideas in Optimization London[M]. U K: McGraw-Hill Education, 1999.

[15] Anderson P M, Fouad A A. Power Sestem Control and Stability[M]. Ames Iowa: The Iowa State University Press, 1977.

[16] 刘明波, 夏岩, 吴捷. 记及暂态稳定约束的可用传输容量计算[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(9): 28-33.

LIU Ming-bo, XIA Yan, WU Jie. Calculation of Available Transfer Capability with Transient Stability Constraints[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(9): 28-33.

[17] Quintana V H, Torres G I, Medina-Palomo J. Interior-point Methods and Their Applications to Power Systems: a Classification of Publications and Software Codes[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000, 15(1): 170-176.

收稿日期: 2009-03-11; 修回日期: 2009-04-16

作者简介:

王 俊 (1979-), 男, 博士研究生, 主要从事电力系统分析与控制、地方电力系统及其自动化研究; E-mail: wangjun9898@126.com

蔡兴国 (1945-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统分析与控制、电力系统 IT 及故障诊断研究。

国家电网公司加快推进特高压后续工程建设

据悉, 2010 年, 国家电网公司将加快推进特高压后续工程建设。国网公司要求各设备厂商加强特高压设备研制与供货工作, 配合做好 1 000 kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程申报国家科技进步奖相关工作。国网公司副总经理、党组成员舒印彪出席会议并讲话。

目前, 我国经济正在摆脱国际金融危机影响, 逐步向好。电力工业迎来了以转变方式、调整结构、优化布局为主要特征的新的发展机遇, 加快特高压电网建设是我国能源和电力工业科学发展的必然选择。

2010 年, ±800 kV 向家坝—上海特高压直流输电示范工程将实现双极直流系统全压功率输送, 特高压交流输电技术将进入推广应用阶段, 设备研制与供货任务繁重, 工期紧、要求高, 公司将面临新的困难和挑战。为满足特高压后续工程建设需要, 公司根据特高压发展规划, 提前启动了特高压串补、63 kA 开关、大容量变压器、发电厂升压变、可控高抗、±1 000 kV 直流设备等重大装备研制工作。

在座谈会上, 舒印彪要求各设备生产厂商优化设计, 全力抓好特高压设备研制与供货各项工作, 实现向上一工程建设目标, 抓好后续特高压工程供货准备, 加大特高压重大装备研制力度, 配合做好特高压交流试验示范工程申报国家科技进步奖相关工作。与会厂商代表表示, 将一如既往地协助国家电网公司, 促进特高压输电技术的推广应用。