

# PGA 在电力系统电源规划中的应用

贺峰,熊信银,吴耀武

(华中科技大学电气与电子工程学院,湖北 武汉 430074)

**摘要:** 目前,遗传算法作为一种基于人工智能技术的优化算法在电力系统电源规划中已经得到广泛应用。然而其遗传操作繁杂、计算量庞大、早熟收敛等问题使其应用受到局限。本文提出一种自然分段式编码成功地将单亲遗传算法 PGA 引入电源规划中,通过使用该方法可以大大简化电源规划的计算量、避免早熟收敛、提高计算效率。算例结果表明:该算法可以成功解决包含各种类型电源的规划问题,并且还有广阔的发展空间。  
**关键词:** PGA; 自然分段式编码; 基因换位; 电源规划

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2003)06-0026-05

## 1 引言

电力系统电源规划是电力系统战略发展规划的重要组成部分,它要解决的核心问题是确定在规划期内系统应在何时、何地、兴建何种类型、多大容量的发电厂,以最佳的方式满足电力负荷发展的需求。即寻求规划期内满足电力负荷增长需求和各种约束条件及技术经济指标的国民经济总支出最小的电源建设方案。从数学上表述,方案是一个包含许多电厂或机组的有序组合,即一个电源排序问题。

由于电源规划问题的重要性,各国学者展开了大量的研究,相继将一些经典优化算法运用于其中,这些方法可以求解电源规划模型,但同时也存在一些问题:线性规划将模型线性化难以避免误差;二次规划和非线性规划一般要求目标函数连续可导,在实际应用中受到限制;动态规划法对于高维问题将面临维数灾。而电源规划问题是一个复杂的非线性的混合整数规划问题,它具有高维数、非线性及随机性等特点。当系统规模很大时,为满足负荷不断增长的要求,待选规划方案将显著增多,会发生“组合爆炸”现象。此外,该问题还属于典型的非凸多峰问题,除了全局最优解外,一般还存在若干局部最优解,因此利用这些经典优化算法求解这类问题,一般难以获得全局最优解。近些年来,人工智能技术取得飞速发展,它可以处理离散、非凸的非线性问题,以专家系统、神经网络、模糊理论和进化算法为代表的智能技术在电源规划中已经被大量使用。而遗传算法作为人工智能算法中的一种,已经能很好地解决了上述两个问题,它因在求解各类复杂问题时表现出的鲁棒性、全局最优性和隐含并行性而深受实际工作者的喜爱。GA 的编码方式有非序号编码和

序号编码两大类。非序号编码 GA 的理论研究较成熟,实际应用相当广泛。在用 GA 求解电源规划问题时,使用序号编码比非序号编码更方便、更直接。但是传统序号编码 GA 的遗传操作是模仿非序号编码 GA 的,主要遗传算子仍为交叉算子,而序号编码 GA 的染色体不能在任意位置进行交叉,随意交叉后的染色体很可能不再代表原问题的一个解,必须使用 PMX、OX 和 CX 等特殊的交叉算子,这些交叉算子遗传操作过程复杂,计算效率不高,且缺乏理论基础,这极大地限制了序号编码 GA 的推广应用。

本文提出了一种新颖的自然分段式序号编码,将一些电力系统的基本约束条件融入至编码规则,成功地将单亲遗传算法 PGA 引入电源规划中。PGA 取消了传统序号编码 TGA 的交叉算子,代之以仅在一条染色体上操作的基因换位遗传算子,简化了遗传操作,提高了计算效率,并且不要求初始群体的多样性,也不存在“早熟收敛”问题。算例结果表明,本文提出的算法是可行的。

## 2 单亲遗传算法的原理

PGA 的基因重组算子隐含了序号编码 TGA 的交叉算子的功能,TGA 的子代个体保留了父代个体的大部分遗传特征,即 PGA 具有与 TGA 类似的进化机制,因此 PGA 仍属于遗传算法的范畴。

### 2.1 传统遗传算法 TGA

TGA 的遗传算子有选择、交叉和变异等。选择算子反映了自然界优胜劣汰的进化机制。TGA 的遗传操作以在两条染色体上操作的交叉算子为主,在一条染色体上操作的变异算子为辅。

### 2.2 PGA 单亲遗传算法

PGA 的遗传算子有选择、基因重组(包括基因换

位、基因移位和基因倒位调整序号基因在染色体中相对位置的遗传算子)。PGA 的选择算子与 TGA 的完全一样,PGA 的遗传操作全部在一条染色体上进行。在 TGA 中,交叉算子在遗传操作过程中起着重要的作用,而在 PGA 中,为了遗传操作的方便,取消了交叉算子。PGA 的基因重组算子隐含了序号编码 TGA 的交叉算子的功能。而根据文献[3]可以得知在同一条染色体上进行的基因换位、基因移位、基因倒位操作是相互等价的,即三种操作可相互实现,本文为使算法简便,采用基因换位算子来实现基因重组操作。通过上述操作可以产生更好的染色体,再重复迭代直至找到最优解。

### 3 基于单亲遗传算法的电源规划模型

#### 3.1 染色体编码

染色体编码是用遗传算法求解原问题的基础,因而它是遗传算法能否应用于电源规划模型的关键。染色体编码必须遵循下列原则:

(1)完备性 问题空间中所有点(候选解)都能用 PGA 空间中的点(染色体)表现;

(2)健全性 PGA 空间中的染色体都能对应问题空间中的所有候选解;

(3)非冗余性 染色体和候选解一一对应。

基于上述原则,本文构造了一种新式序列编码—自然分段式编码,其编码过程同时涵盖了一些基本约束条件,使其下一步的遗传操作显得更加简便。

本模型所要解决的问题是,在已知厂址、各待选机组及其参数、煤耗、运输费用、水文特征等情况下,根据电力负荷预测确定在规划期内系统应在何时、何地、投建何种类型、多大容量的机组,并以最佳的方式满足电力负荷发展的需求。该模型中包括两类待选电厂:第 1 类待选电厂中的各机组都是火电机组;第 2 类待选电厂中的机组均为水电机组,水电厂和抽水蓄能电厂属于此类,此类电厂存在一个大坝的投建时间问题,其投建时间的不同将直接影响后面的适值计算。这两类电厂的决策变量分别用  $X$  和  $Y$  表示。

在规划模型中为了简化各电厂的分期工程问题,将每台机组作为一个基因,该基因包含有很多基本特征:如投资现年值、年固定运行费用、可变运行费用、单机容量、年利用小时数、水电大坝投建费用、强迫停运率、所属电厂等。按照上述基本特征的异同,将每台机组按种类进行编码,如 A 火电厂可供选择机组:1 台 60 万 kW,最早投运年限为第 2 年;1

台 30 万 kW,最早投运年限为第 4 年;B 火电厂可供选择机组:2 台 30 万 kW,最早投运年限为第 2 年;C 水电站可供选择机组 1 台 60 万 kW,最早投运年限为第 1 年,1 台 60 万 kW,最早投运年限为第 3 年;D 抽水蓄能电厂 1 台 30 万 kW,最早投运年限为第 3 年。按照上述原则,分别编码如下:

$$X_{1,2} X_{2,4} X_{3,2} X_{3,2} Y_{1,1} Y_{1,3} Y_{2,3} \quad (1)$$

基因编码①中, $X$  或  $Y$  代表的是火电或水电基因,如 A 火电厂的  $X_{1,2}$  和 C 水电站的  $Y_{1,1}$ ;下标中的第一个数字则是按照上述基本特征的异同分别对水、火电基因进行编号,如果特征相同,则编号一致,如 B 电厂的  $X_{3,2} X_{3,2}$  和 C 水电站的  $Y_{1,1} Y_{1,3}$ ;下标中的后一个数字则代表该机组的最早投运年限,如  $Y_{2,3}$  代表该机组最早投运年限为第 3 年。这里需要特别指出的是 C 水电站的  $Y_{1,1} Y_{1,3}$  虽然最早投运年限不同,但是它们的编号一致,这是因为在后面的基因换位操作中同一编号的两台机组换位,不论它们的最早投运年限是否一样,对后面的适值计算结果无任何影响。因此,如若发生基因换位的是不同规划段中的同一编号机组(不论其投运年限是否相同),在满足电力投建约束条件的情况下,可以认为换位后的染色体与其母体相同,以避免不必要的重复比较与计算。

电源规划中最重要的一点即是电源每年的扩容一定要满足一些最基本的系统约束条件。首先,机组投运时间不应超前于其最早投运年限,例如: $X_{2,3}$  (2 号火电机组)最早投运时间不能超前于第三年;其次,电源每年扩容应满足负荷增长和备用容量的需求,该需求在此统称为电力需求  $P_{req}$ ,可以用下式进行描述:

$$P_{req} = \Delta P_1 + P_s \cdot \sigma \quad (1)$$

式中, $\Delta P_1$  代表的是负荷增量; $P_s$  则是系统容量; $\sigma$  是备用系数。

染色体在满足机组最早投运年限的前提下以电力平衡为准则,用最小冗余量的方法进行自然分段式编码。其分段是按照单位规划期(年)将染色体截成几段,没有被选择的机组将作为备选机组缀于染色体末尾,使得同序基因数  $g_c = 1$ ,根据文献[3]可知,此时的 PGA 不存在突变基因,从而进一步简化了操作。如:

$$X_{1,1} Y_{3,1} | X_{2,1} Y_{4,2} | Y_{4,2} | Y_{1,2} | X_{4,4} Y_{3,2} \quad (2)$$

第一年 | 第二年 | 第三年 | 第四年 | 备选  
在进行分段时,第一年的扩容  $X_{1,1} Y_{3,1}$  应满足第

一年的电力需求;而到第二年,第二年的扩容  $X_{2,1}$   $Y_{4,2}$  应使两年来的扩容满足两年来的电力需求,以此类推,按照最小冗余量方法将染色体自然分段。

为提高运行速度,减少不必要的计算,每次自然分段后,将各基因按照种类和编号(第一个下标)的自然数顺序在其段内重新排序,并构建记忆表,将已有的染色体记录下来,减少不必要的冗余操作。

根据上述原理,可以对待建发电厂的任一机组投入次序进行染色体编码。

染色体解码是编码的逆过程,限于篇幅,本文不再赘述。

上述自然分段式编码法,能满足染色体编码的完备性、健全性和非冗余性原则。由此法生成的染色体,在进行基因换位操作后不会产生无效的染色体。

### 3.2 模型的目标函数和约束条件

电源规划的目标是在满足电力系统负荷增长的需要和各种约束条件下,使国民经济总支出最小。由于电源规划的多个工程项目的使用寿命可能不同,投产年限也不相同,在规划年末,它们将具有不同的剩余使用年限。为便于比较,使用等年值法将投资费用折算成年费用。下面将根据模型的特点,将其目标函数表示为:

$$\min B = \sum_{t=1}^{N_t} \left\{ \left[ \sum_{i=1}^{N_t} c_{ii} \cdot X_{i,t} + \sum_{j=1}^{N_h+N_p} d_{jj} \cdot Y_{j,t} \right] + \left[ \sum_{i=1}^{N_t} a_{ii} \cdot X_{i,t} + \sum_{j=1}^{N_h+N_p} b_{jj} \cdot Y_{j,t} + (B_t + D_t) \right] \cdot C_{RF} \right\} + \sum_{t=1}^{N_t} \left( \sum_{i=1}^{N_t} e_{ii} \cdot X_{i,t} + \sum_{j=1}^{N_h+N_p} f_{jj} \cdot Y_{j,t} \right) + \sum_{k=1}^M \beta_k \cdot PF_k \quad (2)$$

式中:  $N_t$  为规划期;  $\min B$  为目标函数值;  $N_t$  为火电机组编号数;  $N_h$  为水电机组编号数;  $N_p$  为抽水蓄能机组编号数;  $a_{ii}$  为火电机组  $i$  第  $t$  年投产时的投资费用;  $b_{jj}$  为水电机组(包括抽水蓄能机组)  $j$  在第  $t$  年投产时的投资费用;  $C_{RF}$  为资金收回系数;  $c_{ii}$  为火电机组  $i$  在规划期内的固定年运行费;  $d_{jj}$  为水电机组(包括抽水蓄能机组)  $j$  在规划期内的固定年运行费用;  $e_{ii}$  为火电机组  $i$  在规划期内的可变年运行费用;  $f_{jj}$  为水电机组(包括抽水蓄能机组)  $j$  在规划期内的可变年运行费用;  $X_{i,t}$ ,  $Y_{j,t}$  表示的都是一个 0—1 变量, 1 代表在第  $t$  年内投运了第  $i, j$  号机组, 0 则代表没有投运;  $B_t$  为在规划期  $t$  年新建电源除发电外的其他效益, 如水电厂除发电外还可能具有的防洪、灌溉和航运等效益;  $D_t$  为在第  $t$  年首次投建

水电项目所建大坝的费用;  $\beta_k$  为罚系数;  $PF_k$  为染色体不满足约束条件  $k$  的计算值。

目标函数值  $\min B$  包括三部分: 第一部分为电力系统投产支出和固定年运行的费用, 由投入的机组型号、时间和各经济参数决定; 第二部分为各段内投运机组在经过优化组合后, 确定各机组的运行时间、状态, 从而求出的可变年运行费用之和; 第三部分为对应系统有关约束条件不满足的罚函数。系统有关模型的约束条件主要包括系统电量平衡、发电机组最大最小出力约束、火电燃料消耗约束、水电水量消耗限制等约束。

#### (1) 电量平衡约束

$$\sum_{k=1}^{\tau} \left[ \sum_{i=1}^{N_t} H_{i,k} \cdot x_{i,k} + \sum_{j=1}^{N_h+N_p} H_{j,k} \cdot y_{j,k} \right] \geq \sum_{k=1}^{\tau} ED_k (1 + re_k) \quad (3)$$

式(3)中:  $x_{i,k}$  为在第  $k$  规划段内投运的编号为  $i$  的 1 类机组的容量;  $y_{j,k}$  为在第  $k$  规划段内投运的编号为  $j$  的 2 类机组的容量;  $H_{i,k}$  为在第  $k$  规划段内投运的编号为  $i$  的 1 类机组的期望利用小时数;  $H_{j,k}$  为在第  $k$  规划段内投运的编号为  $j$  的 2 类机组的期望利用小时数, 若是抽水蓄能机组,  $H_{j,k} < 0$ , 这是因为抽水电量大于发电电量;  $ED_k$  为  $k$  规划年的系统电量;  $re_k$  为  $k$  规划年的电量备用系数。

#### (2) 发电最大最小出力约束

$$P_{i\min,t} \leq P_{i,t} \leq P_{i\max,t} \quad (4)$$

式(4)中:  $P_{i,t}$  为机组  $i$  在  $t$  规划段内的出力;  $P_{i\min,t}$  为机组  $i$  在  $t$  内的最小出力;  $P_{i\max,t}$  为机组  $i$  在  $t$  内的最大出力。

#### (3) 火电燃料消耗约束

$$\sum_{i \in \tau} E_{ii} \beta_i \leq A_{i,\tau} \quad (5)$$

式(5)中:  $E_{ii}$  为火电机组  $i$  在时间段  $t$  内的发电量;  $\beta_i$  为发电机组  $i$  的平均燃料单耗;  $A_{i,\tau}$  为机组  $i$  在总运行时间  $\tau$  内的燃料消耗限量。

#### (4) 水电水量消耗限制约束

$$\sum_{j=1}^{\tau} E_{jj} \leq W_j \cdot \tau \quad (6)$$

式(6)中:  $E_{jj}$  为水电机组  $j$  在时间段  $t$  内的发电量;  $W_j$  为水电机组在时间  $\tau$  内的平均出力。

除上述主要约束条件外, 还可以考虑调峰需求, 最小开机容量, 火电年利用小时数, 抽水蓄能电厂等约束条件, 在此就不一一赘述。

### 3.3 模型原理框图及求解步骤

基于单亲遗传算法的电力系统电源规划模型原理框图如图1所示。

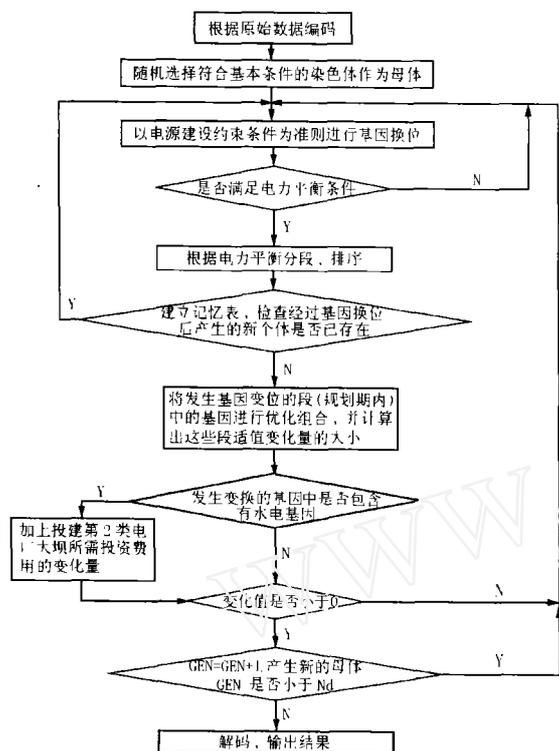


图1 单亲遗传算法原理框架图  
Fig.1 The principle framework of PGA

模型求解步骤如下:

- (1)根据提供的待选机组的基本特征对各机组进行编码;
- (2)随机产生满足最基本条件的染色体母体;
- (3)以电源建设的约束条件为准则对染色体进行基因换位;
- (4)新产生的染色体是否满足电力平衡条件,并按照最小冗余量原则,将基因按单位规划期(年)进行自然分段;
- (5)构建记忆表,将已比较过的染色体写入其中,避免重复比较和计算;
- (6)将发生基因换位的段(规划期内)中的基因进行优化组合,使其目标函数值(这里又称作适值)最小,并计算出这些发生基因换位段的适值变化量 $\Delta V$ ;
- (7)染色体发生基因换位中是否包含有水电基因(Y),如果没有包含水电基因,则求得变化量: $\Delta_{\min} B = \Delta V$ ;如果包含有水电基因,则存在水电大坝投建时间的确定问题,因此要将规划期内的水电基因统一考虑,确定大坝投建时间,计算出大坝投建

费用、大坝社会效益的变化量 $\Delta D$ ,并计及换位基因的变化,同样求得变化量 $\Delta_{\min} B = \Delta V + \Delta D$ ;

(8)变化量 $\Delta_{\min} B$ 是否小于0,如果小于0,说明产生的新染色体比母体适应性更强,并将该染色体作为下一代的母体, $GEN = GEN + 1$ ,进入下一代迭代;当迭代次数达到一定数值时,或者记忆表已经遍历所有组合,则停止迭代;

(9)解码,输出结果。

### 3.4 若干相关问题及处理

#### 3.4.1 染色体的自然分段及排序

染色体自然分段即是以电力平衡为基本条件,按照最小冗余量原则以单位规划时间为间隔对染色体进行分段。染色体基因发生换位后,为避免重复操作,诸如:

$$X_{1,1} X_{3,1} \mid Y_{1,1} X_{2,2} X_{1,2} \mid Y_{3,1} Y_{2,2} X_{2,3} \quad \textcircled{3}$$

$$X_{1,1} X_{3,1} \mid X_{1,2} X_{2,2} Y_{1,1} \mid X_{2,3} Y_{2,2} Y_{3,1} \quad \textcircled{4}$$

上述两个染色体实际上是等价的,因为各个机组的投建顺序是针对于不同的规划单位时间(年)来说的,在同一规划单位时间(年)内基因的排序是不影响其最后结果的,因此染色体都将按照模式④进行一次自然排序,避免重复计算与比较。其排序规则为:在同一单位规划时间内, X 基因排在 Y 基因前,在同类型的 X 或 Y 基因间,将各基因按照编号(下标的第一个自然数)的顺序进行排序。

#### 3.4.2 遗传操作

本文使用的 PGA 遗传方法只包含选择和基因换位两个操作:选择是将母体与经过一次迭代后生成的新个体比较后,选择适应性更强的染色体作为下一代的母体;基因换位操作是在分别属于不同规划单位时间(年)内的基因间进行的,诸如:

将染色体④的第一段的 $X_{1,1}$ 基因与第三段的 $Y_{3,1}$ 基因发生换位,得到一个新的染色体⑤:

$$X_{1,1} X_{3,1} \mid X_{1,2} X_{2,2} Y_{1,1} \mid X_{2,3} Y_{2,2} Y_{3,1} \quad \textcircled{4}$$

换位

$$X_{3,1} Y_{3,1} \mid X_{1,2} X_{2,2} Y_{1,1} \mid X_{1,1} X_{2,3} Y_{2,2} \quad \textcircled{5}$$

#### 3.4.3 适值计算

本文使用的 PGA 的适值概念与 TGA 的完全相同,其计算方法也与 TGA 的几乎没什么区别。PGA 的遗传算子对图式的破坏程度不如序号编码 TGA 的严重,子代个体保留了母体的绝大部分遗传特征,子代个体的适值表达式和相应的母体的适值表达式基本相同。因此,PGA 在计算子代个体的适值时可以不重新计算整个适值表达式,而只需计算子代个

体相对于母体的适值的变化量。这样,PGA 的适值计算量可以大为减少。由于适值计算是提高遗传算法计算效率的瓶颈问题,PGA 的这一优势可以使计算效率大为提高。

#### 4 算例

采用本文所述模型和常规动态规划模型及 TGA 模型对某电力系统 14 个待建电源进行 5 年规划的优化计算,计算中把规划期 5 年分为 5 个规划单位时间,每个规划单位时间为 1 年,充分考虑负荷情况、各规划电厂的机组容量、强迫停运率、备用系数、投资情况、运行费用、煤耗、大坝建设费用等条件,优化结果列于表 1。

表 1 电源优化投建表

Tab.1 Construction scheme of the plants optimizing

年份	万 kW				
	2001	2002	2003	2004	2005
A 厂(A)	30				
B 厂(A)	60	60			
C 厂(A)			2 × 30		
D 厂(A)				30	30
E 厂(A)				30	
F 厂(A)				60	60
G 厂(Y)		2 × 15	2 × 15		

#### 5 结论与展望

对于传统遗传算法,当种群进化到其中的各个个体都相同时,遗传迭代无法进行下去,即发生所谓的“早熟”收敛现象。而对于本文采用的单亲遗传算法,由于其采取单亲繁殖方式,遗传操作全部在一个个体上进行,算法的运行与种群的多样性无关,即使初始群体中的各个个体都相同也无妨。因此该算法不要求初始群体的多样性,也避免产生“早熟收敛”问题。这给初始群体的产生带来了很大方便。

本文所采用的基于自然分段式编码的 PGA 算法与遗传算法的基本原理相同,工作机制相似,采用动态规划法和遗传算法对上例进行验算,得到如表 2 所示的结果。

表 2 电源优化规划比较结果

Tab.2 The contrast result of generation expansion optimized planning

规划年	动态规划	TGA	PGA
1	$X_{1,1} X_{2,1}$	$X_{1,1} X_{2,1}$	$X_{1,1} X_{2,1}$
2	$X_{2,2} Y_{1,2} Y_{1,2}$	$X_{2,2} Y_{1,2} Y_{1,2}$	$X_{2,2} Y_{1,2} Y_{1,2}$
3	$X_{3,3} X_{3,3} Y_{1,3} Y_{1,3} X_{3,3} X_{3,3} Y_{1,3} Y_{1,3} X_{3,3} X_{3,3} Y_{1,3} Y_{1,3}$	$X_{3,3} X_{3,3} Y_{1,3} Y_{1,3} X_{3,3} X_{3,3} Y_{1,3} Y_{1,3}$	$X_{3,3} X_{3,3} Y_{1,3} Y_{1,3}$
4	$X_{4,4} X_{5,3} X_{6,4}$	$X_{4,4} X_{5,3} X_{6,4}$	$X_{4,4} X_{5,3} X_{6,4}$
5	$X_{4,5} X_{6,5}$	$X_{4,5} X_{6,5}$	$X_{4,5} X_{6,5}$
费用/亿元	293.3461	293.3461	293.3461

根据表 2,可知 PGA 算法得到的结果与 TGA 和动态规划法一致,可知该算法能够可靠地收敛到全局最优解。与遗传算法比较起来,大大简化了遗传操作,利于应用计算机语言来实现,并使其目标值计算量也大幅度减少。本人使用 C++ 语言对该算法进行了编程,在 pentium266 电脑上运行得到上述结果,并对三种方法的运行时间进行了测算,结果如表 3 所示。由表 3 可见:本文使用的方法在得到同样结论的情况下,要比 TGA 算法速度快的多;PGA 与 TGA 的收敛速度与待建电源数成近似线性关系,而动态规划模型则为指数关系;对于大型电力系统中长期电源规划而言,本文模型的求解速度更快。

表 3 模型计算速度

Tab.3 The computing speed

待建电源数	动态规划 法耗时/s	TGA 法耗 时/s	PGA 耗 时/s
7	0.24041	3.53338	3.05421
8	0.54944	3.84049	3.30142
12	6.66205	8.37911	7.17429
14	54.7596	94.6153	82.4575
18	2812.68	180.246	167.776

综上所述,本文介绍的该方法简化了遗传操作,提高了计算效率,并且不要求初始群体的多样性,也不存在“早熟收敛”问题。该算法应该还有更广阔的发展空间和应用范围,如将单位规划时间定为季度或者是月,将能适应今后对规划准确性与实时性的要求,不断提高其经济性与实用性。

#### 参考文献:

- [1] 熊信银,吴耀武.遗传算法及其在电力系统中的应用[M].武汉:华中科技大学出版社,2002.
- [2] 侯煦光,等.电力系统最优规划[M].武汉:华中理工大学出版社,1991.

(下转第 34 页)

(2)该方法不受互感支路数和故障重数的限制,适用于包括同杆多回线跨线故障在内的复杂故障计算。

#### 参考文献:

- [1] 王春,陈允平,谈顺涛.电力系统复杂故障通用算法的研究[J].中国电机工程学报,1995,15(6):417-422.
- [2] 陈青,江世芳.一种求解电力系统复杂故障的新算法[J].中国电机工程学报,2000,20(9):41-43.
- [3] 曹国臣.变结构电力系统任意复杂故障的快速计算[J].中国电机工程学报,1995,15(5):354-360.
- [4] 王春,柳焕章.用补偿法进行跨线故障计算[J].武汉电力大学学报,1993,26(3):324-329.

- [5] 曹国臣.快速计算电力系统双重故障的口网络法[J].继电器,1994,22(4):3-8.
- [6] 曹国臣.继电保护整定计算中互感支路电流的快速计算[J].继电器,1995,23(1):10-13.

收稿日期: 2002-9-25; 修回日期: 2002-12-25

#### 作者简介:

禹成七(1943-),男,教授,主要从事电力系统继电保护的教学和科研工作;

龚仁敏(1977-),女,在读硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护;

李冰(1975-),男,在读硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护。

### Fast calculation of mutual-inductance branch currents for complex fault in power system

YU Cheng-qi<sup>1</sup>, GONG Ren-min<sup>1</sup>, LI Bing<sup>1</sup>, ZHANG Yong-hao<sup>1</sup>, FU Xiao-mei<sup>2</sup>

(1. Department of Electric Power Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

2. Henan Pingdingshan Electric Power Company Dispatching Center, Pingdingshan 467001, China)

**Abstract:** Based on the idea of dummy node, this paper presents a new generalized method to calculate mutual-inductance branch current for complex fault in power system. The branch admittance matrix has not to be modified and its principle is very simple in the method. It is suited to be used not only in general complex fault but also in the complex fault including interline fault in power system.

**Key words:** complex fault; interline fault; fast calculation of mutual-inductance branch currents

(上接第 30 页)

- [3] 李茂军,等.单亲遗传算法与传统遗传算法的比较研究[M].系统工程,2000,19(1).
- [4] 陈皓勇,王锡凡.电源规划 JASP 的改进算法[J].电力系统自动化,2000,(6):22-25
- [5] Jong B P, Young M P, Kwang R. An Improved Genetic Algorithm for Generation Expansion Planning IEEE[J]. Transactions on Power Systems, 2000, 15(3).

#### 作者简介:

贺峰(1978-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统规划方法及其应用;

熊信银(1945-),男,教授,从事电力系统及其自动化方向科研和教学工作,研究方向为电力系统运行分析与规划及电力系统谐波分析;

吴耀武(1963-),男,副教授,从事电力系统及其自动化方向科研和教学工作,研究方向为电力系统运行分析与规划。

收稿日期: 2002-09-09; 修回日期: 2003-02-21

### Generation expansion planning of power system by partheno-genetic algorithm

HE Feng, XIONG Xin-yin, WU Yao-wu

(Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Genetic algorithm has been widely used in the Generation Expansion planning as an artificial intelligence algorithm. However, the utilization of Genetic Algorithm in practice was limited due to complicated operation, huge calculating and immature convergence. In this thesis, divided natural coding method is proposed to bring PGA to Generation Expansion planning, by this means, the calculating will be declined, immature convergence be avoided while the efficiency of calculating will be increased largely. The result of competition examples shows clearly that this algorithm can resolve the planning of power system including different kinds of generations successfully. Besides, PGA will be improved wide by wide.

**Key words:** Partheno-Genetic Algorithm; divided natural coding; gene conversion; Generation Expansion planning