

# 基于随机机会约束规划的农村风/水/光发电容量配置

张帆, 蔡壮, 杨明皓<sup>\*</sup>

(中国农业大学信息与电气工程学院电力工程系, 北京 100083)

**摘要:** 开发利用农村丰富的风、水、光资源是缓解农村能源供需矛盾的有效途径, 因地制宜多能源互补发电系统的优化配置方法是亟待解决的实际问题。该文采用逆变换法对农村风速和微水流量进行随机抽样, 建立了风力和水力发电量的随机模型, 在此基础上提出了基于随机机会约束规划的农村风/水/光发电系统优化配置数学模型。该模型以投资和年费用最小、供电可靠性和资源利用率尽可能高为目标, 满足发电功率平衡约束和机组发电功率符合资源条件约束。用蒙特卡罗模拟—遗传算法求解该模型可以得到在各种置信水平下满足目标和约束的若干优化配置方案以及各方案的评价指标, 为用户提供决策支持。

**关键词:** 可再生能源, 随机规划, 发电, 容量配置

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.03.045

中图分类号: TK614

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-03-0267-05

张帆, 蔡壮, 杨明皓. 基于随机机会约束规划的农村风/水/光发电容量配置[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 267—271.  
Zhang Fan, Cai Zhuang, Yang Minghao. Capacity allocation of rural hybrid generating system based on stochastic chance constrained programming[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(3): 267—271. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

中国中西部的农村地区, 用电负荷较小而且分散, 很难通过大电网的延伸来保证供电。针对这种状况, 供电方式通常有以下 3 种<sup>[1]</sup>: 户用小型风力发电、户用微小水力发电、太阳能发电。以上能源都存在明显的不连续性, 因此互补的发电方式要可靠得多, 3 种能源合理匹配意义重大。

在容量优化配置上, 目前均以成本最小为目标, 供电可靠性为约束, 方法有以下几种: 第 1 种是以经验值确定各发电单元容量<sup>[2-7]</sup>, 计算简单, 精确度不高; 第 2 种是切线法<sup>[8-10]</sup>, 对每组风机容量和功率供给亏欠率, 求出与之匹配最优的太阳能电池和蓄电池的容量, 计算量较大。文献[11]将问题作为多目标优化, 对全年 8 760 h 进行仿真计算负载缺电率, 并用精英非支配解排序遗传算法求解, 精确度高, 但基础数据很难获得。

风速和河流径流量的随机性, 使得风力发电机、水力发电机的发电量具有不确定性, 因此利用上述确定性的优化模型<sup>[2-11]</sup>, 很难保证得到的配置方案一定满足目标和约束条件, 此时若能求得在某种置信水平下满足目标和约束的最大可能的配置方案, 无疑更有参考价值, 这也是本文采用随机机会约束规划<sup>[12]</sup>的原因。

收稿日期: 2009-06-25 修订日期: 2009-09-13

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAJ04B03)

作者简介: 张帆(1982—), 女, 辽宁省辽中县人, 博士, 主要从事新能源发电关键技术研究。北京 中国农业大学信息与电气工程学院, 100083。

Email: zhangfan1@cau.edu.cn

\*通信作者: 杨明皓(1953—), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事农村电力网、农村可再生能源发电工程、电力系统自动化技术方面的研究。北京 中国农业大学信息与电气工程学院, 100083。Email: mhyang@cau.edu.cn

风速是服从威布尔分布的随机变量<sup>[13]</sup>, 河流径流量是服从皮尔逊III分布的随机变量<sup>[14]</sup>, 本文用逆变换法根据气象站基础数据, 得到它们的抽样数据, 据此建立了发电量的随机模型; 光伏发电单元根据余弦定理提出了辐射量的小时离散模型, 采用天空各向散射异性模型建立了光伏发电量模型; 提出了优化配置的随机机会约束规划模型, 采用蒙特卡罗模拟—遗传算法进行寻优求解, 用系统不平衡功率计算资源利用率、缺电率和功率供给亏欠率。

## 1 优化模型

### 1.1 随机机会约束规划标准模型

Minmax 机会约束规划标准模型<sup>[12]</sup>如式(1)

$$\begin{cases} \max_x \min_f \bar{f} \\ \text{s.t.} \\ P_r\{f(x, \gamma) \leq \bar{f}\} \geq \xi \\ P_r\{g_k(x, \gamma) \leq 0, k = 1, 2 \dots y\} \geq \omega \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $x$ —决策向量;  $\gamma$ —随机向量;  $P_r$ —概率;  $\max_x \min_f \bar{f}$ —求使置信水平大于  $\xi$  小于  $\bar{f}$  的最大可能的方案;  $\xi, \omega$ —决策者事先给定的目标函数和约束条件的置信水平;  $y$ —约束条件的个数。

### 1.2 风/水/光互补发电系统优化配置的决策向量

风/水/光互补发电系统优化配置的决策向量为  $P_N$

$$P_N = [P_{1N} \times N_1 \quad P_{2N} \quad P_{3N} \quad P_{4N}]^T \quad (2)$$

式中:  $P_{1N}, N_1$ —风力发电机额定容量及台数;  $P_{2N}$ —水力发电机额定容量;  $P_{3N}$ —太阳能电池的额定容量;  $P_{4N}$ —蓄电池的额定容量。

### 1.3 目标函数

目标函数公式如下

$$f = \lambda_1 \frac{f_1}{B_1} + \lambda_2 \frac{f_2}{B_2} + \lambda_3 \frac{f_3}{B_3} + \lambda_4 \frac{f_4}{B_4} + \lambda_5 \frac{f_5}{B_5} \quad (3)$$

式中：下标  $j$  从 1~5 分别表示投资、年费用、缺电率、功率供给亏欠率、资源利用率 5 个指标； $\lambda_j$ —各指标的权系数； $f_j$ —各指标计算值； $B_j$ —各指标值的基准值，各指标计算如下。

1) 年费用<sup>[15]</sup>  $f_2$  包括各单元的投资和运行费用，均为等年值。公式如下

$$\begin{aligned} f_2(P_{in}, P_i(t_m)) \\ = \sum_{i=1}^4 \left\{ \left[ \sum_{n=1}^N (a_i P_{in} + b_i) (N/F, i, n) N_i \right] (A/N, i, n) \right\} \\ + \sum_{i=1}^4 (c_i P_{in} N_i + d_i (\sum_{m=1}^{12} \sum_{t=1}^{24} P_i(t_m)) + e_i) \end{aligned} \quad (4)$$

式中： $i=1\sim 4$  表示风、水、光、蓄电池各单元； $N_i$ —各单元发电设备的台数； $a_i$ 、 $b_i$ —单元  $i$  的变动和固定投资费用系数； $c_i$ 、 $d_i$  和  $e_i$ —单元  $i$  的变动和固定运行费用系数； $n$ —第  $n$  年； $(N/F, i, n)$ —一次支付贴现系数<sup>[15]</sup>； $(A/N, i, n)$ —资金回收系数<sup>[15]</sup>； $P_i(t_m)$ —各单元  $m$  月  $t$  小时的输出功率，计算公式见 1.4.3。

2) 缺电率  $f_3$  为停电时间与评估期时间的比<sup>[10]</sup>，如公式 (5)

$$f_3 = \frac{\sum_{m=1}^{12} \left( \sum_{t=1}^{24} T_f(t_m) \times d_m \right)}{8760} \quad (5)$$

$$T_f(t_m) = \begin{cases} 0 & P_6(t_m) \geq 0 \\ 1 & P_6(t_m) < 0 \end{cases}$$

式中： $P_6(t_m)$ — $m$  月  $t$  小时的不平衡功率； $d_m$ —当月的天数； $T_f(t_m)$ —停电次数。

3) 功率供给亏欠率  $f_4$  为系统亏欠负载的功率除以评估期负载总的功率要求<sup>[10]</sup>。

$$f_4 = \frac{\left| \sum_{m=1}^{12} \left( \sum_{t=1}^{24} P_6(t_m) \times d_m \right) \right|}{\sum_{m=1}^{12} \left( \sum_{t=1}^{24} P_5(t_m) \times d_m \right)} \quad P_6(t_m) < 0 \quad (6)$$

式中  $P_5(t_m)$ — $m$  月  $t$  小时的负荷功率。

4) 资源利用率  $f_5$  为实际用电量与发电量之比。

$$f_5 = 1 - \frac{\sum_{m=1}^{12} \left( \sum_{t=1}^{24} P_6(t_m) \times d_m \right)}{\sum_{i=1}^3 \sum_{m=1}^{12} \left( \sum_{t=1}^{24} P_i(t_m) \times d_m \right)} \quad P_6(t_m) \geq 0 \quad (7)$$

## 1.4 约束条件

风/水/光互补发电系统，既要受到当地资源条件的约束，又要受到用电负荷的约束，同时，由于资源的随机性，约束均为随机机会约束。

### 1.4.1 目标函数机会约束

由于目标函数中各指标都是额定容量和实际功率的函数，是随机变量，所以保证目标值  $\bar{f}$  为最小的概率大于等于设定的置信水平  $\xi$ 。即：

$$P_r\{f(P_{in}, P_i(t_m)) \leq \bar{f} \quad i=1, 2, 3, 4\} \geq \xi \quad (8)$$

### 1.4.2 资源条件机会约束

这里主要是风力和水力资源的约束，太阳能电池的配置主要受成本的影响，资源条件对其容量选择的影响可以忽略不计。

#### 1) 风力资源条件约束

风力发电机的切入风速要小于当地的最大风速，切出风速大于当地的最小风速，即

$$\begin{cases} P_r\{v_{in}(P_{1N}) < \max(v(t_m))\} \geq \omega_1 \\ P_r\{v_{out}(P_{1N}) > \min(v(t_m))\} \geq \omega_1 \end{cases} \quad (9)$$

式中： $v_{in}(P_{1N})$ 、 $v_{out}(P_{1N})$ —风力发电组的切入和切出风速； $v(t_m)$ — $m$  月  $t$  小时的风速。

风速  $v(t_m)$  是服从威布尔分布<sup>[13]</sup>的随机变量，可以利用逆变换法<sup>[12]</sup>求得抽样公式

$$v(t_m) = c[-\ln(r(t_m))]^{1/k} \quad (10)$$

式中： $r(t_m)$ —服从(0,1)分布的随机数； $c$ 、 $k$ —威布尔分布参数，计算公式见文献[13]。

#### 2) 水力资源条件约束

水力发电机的最小水头要小于当地的最大水头，最大水头要大于当地的最小水头，即

$$\begin{cases} P_r\{H_{min}(P_{2N}) < \max(H(t_m))\} \geq \omega_2 \\ P_r\{H_{max}(P_{2N}) > \min(H(t_m))\} \geq \omega_2 \\ P_r\{Q_{min}(P_{2N}) < \max(Q(t_m))\} \geq \omega_3 \\ P_r\{Q_{max}(P_{2N}) > \min(Q(t_m))\} \geq \omega_3 \end{cases} \quad (11)$$

式中： $H_{min}(P_{2N})$ 、 $H_{max}(P_{2N})$ —水力发电机的最小和最大水头； $H(t_m)$ — $m$  月  $t$  小时的实际水头； $Q_{min}(P_{2N})$ 、 $Q_{max}(P_{2N})$ —水力发电机的最小和最大流量； $Q(t_m)$ — $m$  月  $t$  小时的实际流量。

河流径流量  $Q(t_m)$  是服从皮尔逊III分布的随机量，可利用逆变换法求得抽样公式<sup>[12,14]</sup>。

### 1.4.3 发用电功率平衡约束

户用微型发电系统的功率平衡约束为

$$\sum_{i=1}^3 P_i(t_m) + P_4(t_m) - P_5(t_m) = P_6(t_m) \quad (12)$$

1) 风力发电机输出功率  $P_1(t_m)$  由实际风速和风机的输出特性曲线决定。输出特性曲线一般通过二次函数的拟合来得到<sup>[13]</sup>，再利用公式 (10) 求得各月代表日 24 h 的风速即可得到各小时的风机输出功率。

2) 水力发电机输出功率  $P_2(t_m)$  由实际流量和水头决定，具体计算公式见文献[12]和[14]。

3) 太阳能电池的输出功率  $P_3(t_m)$  主要由电池板接收的辐射量决定<sup>[16]</sup>。

$$P_3(t_m) = \eta_3 P_{3N} \frac{z_\beta(t_m)}{3.6r} \quad (13)$$

式中： $\eta_3$ —太阳能电池板的效率；3.6—MJ 和 kW·h 的折算系数； $r$ —标准辐照强度，1 000 W/m<sup>2</sup>； $z_\beta(t_m)$ —方阵接收的总辐射量，可由天空散射各向异性模型<sup>[10]</sup>求得。

由于本文的计算单位为小时，需要将从气象部门得到的各月辐射量离散为 24 h 的值，根据太阳辐射的余弦

定理<sup>[16]</sup>, 可将从气象站获得的水平面上的日直接辐射量和日散射量按照正弦规律离散到每个小时, 即

$$r(t_m) = \frac{R_m \cdot \int_{\theta(t_m-0.5)}^{\theta(t_m+0.5)} \sin \theta d\theta}{\int_0^\pi \sin \theta d\theta} \quad (14)$$

式中:  $R_m$ —水平面接收日直接辐射量;  $\theta$ —按照正弦关系离散时各个整点小时对应的角度。

4) 蓄电池输出功率  $P_4(t_m)$ 要受到放电深度和过充系数的限制, 如蓄电池放电时

$$P_4(t_m) = \begin{cases} D(t_m) & \text{当 } D(t_m) \leq S_B(t_m-1) - D_B S_{BN} \\ S_B(t_m-1) - D_B S_{BN} & \text{当 } D(t_m) > S_B(t_m-1) - D_B S_{BN} \end{cases} \quad (15)$$

式中:  $S_{BN}$ —蓄电池额定能量容量;  $D_B$ —蓄电池的过充系数和放电深度;  $S_B(t_m)$ — $m$ 月第  $t$  小时蓄电池的剩余能量容量。

蓄电池充电时功率计算同理。

## 2 优化算法

本文用蒙特卡罗模拟方法处理随机机会约束, 用遗传算法进行寻优求解。

### 2.1 蒙特卡罗模拟

蒙特卡罗模拟<sup>[17]</sup>主要依据概率分布对随机函数进行抽样, 给出随机函数统计估计结果<sup>[12]</sup>。

1) 用逆变换法对风速  $v(t_m)$  和河流径流量  $Q'(t_m)$  抽样  $pop-times$  次,  $pop-times$  足够大。

2) 对于每次抽样, 都计算目标函数中 5 个指标的值, 除资源利用率按从大到小顺序排列以外, 另 4 个值分别按从小到大顺序排列。

3) 将分别排在  $\xi \times pop-times$  取整后位置上的值赋给  $\bar{f}_1$ 、 $\bar{f}_2$ 、 $\bar{f}_3$ 、 $\bar{f}_4$  和  $\bar{f}_5$ 。

通过足够大次数的蒙特卡罗模拟, 可以将每个个体的  $\bar{f}_1$ 、 $\bar{f}_2$ 、 $\bar{f}_3$ 、 $\bar{f}_4$  和  $\bar{f}_5$  作为满足用户设定置信水平的统计估计值。

### 2.2 遗传算法

本文采用了十进制编码, 将各决策变量的所有取值按照从小到大排列, 序号即为编码。

$$\hat{P}_{in}(j) = f(P_{in}(j)) \quad (16)$$

式中  $f(P_{in}(j))$ —机组  $P_{in}(j)$  的序号。

采用了基于序的评价函数<sup>[12]</sup>。

$$eval(V_i) = a(1-a)^{i-1} \quad (i=1, 2, \dots, pop-size) \quad (17)$$

式中:  $V_i$ —第  $i$  个染色体;  $a$ —给定参数, 在 0 与 1

之间;  $pop-size$ —染色体个数。

选择条件之一为符合用户年费用期望值、资源利用率期望值、缺电率期望值和功率供给亏欠率期望值的个体; 默认认为选择前 50%。

交叉概率采用自适应交叉概率, 变异概率采用可变变异概率<sup>[18]</sup>。

## 3 实例计算

对“农村户用风/水/光互补发电系统”示范工程进行了实际优化配置计算。

### 3.1 基础数据

#### 1) 气象数据 (取自密云镇气象站)

密云镇位于北纬  $40^{\circ}23'$ , 东经  $116^{\circ}52'$ , 海拔 71.8 m, 常年平均风速 3.35 m/s, 年平均降水量 638.8 mm, 年辐射量 5 508.5 MJ/m<sup>2</sup>。

#### 2) 负荷数据

根据实际调研估算, 当地夏季日平均负荷为 605 W, 日用电量 14.525 kW·h; 其他季节日平均负荷为 397 W, 日用电量 9.525 kW·h。典型日负荷曲线如图 1 所示。

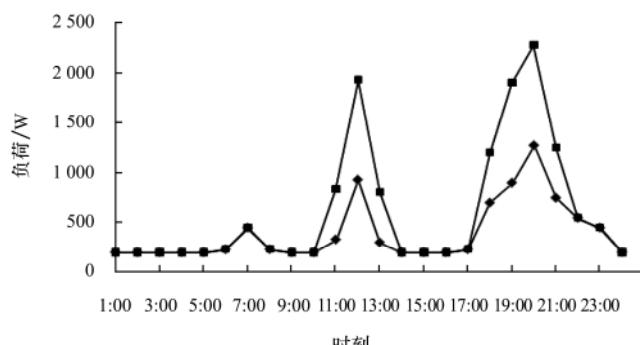


图 1 密云镇典型日负荷曲线

Fig.1 Typical daily load profile in Miyun

#### 3) 算法初始设定条件

蒙特卡罗模拟次数为 1 000, 目标函数和约束条件的置信水平均取 90%, 遗传算法种群规模为 30, 最大遗传代数为 100。

设定农户对配置的要求分别有以下 3 种, 投资 5 万元以内缺电率最低; 缺电率 10% 以内投资最少; 资源利用率 90% 以上综合指标最优。

### 3.2 优化结果及分析

优化结果如表 1 所示, 方案 1 为投资 5 万元以内缺电率最低的方案; 方案 2 为缺电率 10% 以内投资最少的方案; 方案 3 为资源利用率 90% 以上综合指标最优的方案。

表 1 优化配置结果

Table 1 Results of the optimum disposition

方案	风力发电机 (功率×台数)/W	水力发电机/W	太阳能电池/W	蓄电池/Ah	投资/元	年费用/元	缺电率/%	功率供给 亏欠率/%	资源利用率/%
方案 1	200×3	400	1 000	220	43 654	5 128	0	0.03	49.07
方案 2	100×5	200	100	130	14 677	1 724	10.00	6.05	76.82
方案 3	100×4	200	400	150	21 182	2 421	9.06	7.05	90.16

1) 本文设置的目标函数和约束条件的置信水平均为90%，所以可以认为结果中3个方案均是以90%的可能性达到用户要求的。

2) 由于中国北方地区(示范工程密云镇)的风、光资源条件有很强的互补性，冬季河流处于枯水期，风、光可以互补发电；夏季风力很小，水光可以互补发电，春、秋季节3种电源都有输出。优化结果表明利用3种能源的互补性可以大大减少为保障供电连续性所必须配置的光伏电源。

3) 以方案3为例，给出了供电可靠性最低的11月的不平衡功率曲线，由图2可知，1:00—3:00和20:00—24:00是不能满足需求的多发时段，系统实际输出与需求相差400 W左右，但每小时可以保证至少50 W的照明需求。农户可根据直观的数据，调整用电计划，提高供电可靠性。

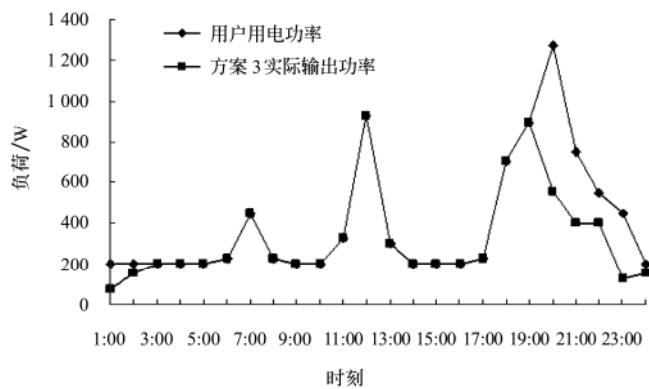


图2 方案3的11月不平衡功率图

Fig.2 Unbalanced power of November in plan 3

## 4 结论

1) 利用农村气象站实际可获得的数据和逆变换法产生符合随机变量数字特征的风速和流量时间序列，并以此作为装机容量优化配置问题的约束条件来计及风力和微水力资源的随机性。

2) 建立的优化配置模型是通用模型，可根据资源条件和负荷水平自动给出1种能源、任2种能源或3种能源互补发电的机组台数、容量和蓄电池最佳配置方案。

3) 采用随机机会约束规划建模和蒙特卡罗模拟—遗传算法求解，来综合用户对投资、年费用、缺电率、功率供给亏欠率和资源利用率等多目标的追求，求出在某种置信水平下满足目标和约束的最大可能的若干配置方案，并给出各方案的投资、年费用、资源利用率、缺电率和功率供给亏欠率，同时可以给出全年的不平衡功率，用户可据此调整用电计划，提高供电可靠性。

## [参考文献]

- [1] 李德孚. 中国户用微小水电行业现状与发展[J]. 中国农村水电及电气化, 2005, (2): 55—60.  
Li Defu. Status and development of the household micro-hydropower sector in China[J]. Rural Hydropower and Electrification in China, 2005, (2):55—60. (in Chinese with English abstract)
- [2] 李德孚. 户用“风-光”互补发电系统技术与应用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(增1): 162—166.  
Li Defu. Technology and application of household "wind-solar" complementary power system[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(Supp 1): 162—166. (in Chinese with English abstract)
- [3] 谈蓓月, 杨金焕, 李康弟. 改进风/光互补发电系统优化设计的新方法[J]. 华东电力, 2005, 33(12): 5—9.  
Tan Beiyue, Yang Jinhuan, Li Kangdi. Novel method for optimizing design of hybrid wind/photovoltaic generation system[J]. East China Electric Power, 2005, 33(12): 5—9. (in Chinese with English abstract)
- [4] 徐宝清, 李全虎, 石辛民. 用模糊理论实现风/光互补发电的最优配置[J]. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 2000, 31(1): 107—111.  
Xu Baoqing, Li Quanhui, Shi Xinmin. The optimum disposition of wind/PV hybrid system[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nei Mongol, 2000, 31(1): 107—111. (in Chinese with English abstract)
- [5] 王春明, 周强, 王金全, 等. 风-光-柴互补供电系统[J]. 解放军理工大学学报: 自然科学版, 2005, 6(5): 474—478.  
Wang Chunming, Zhou Qian, Wang Jinquan, et al. Wind-solar-diesel hybrid power supply system[J]. Journal of PLA University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2005, 6(5): 474—478. (in Chinese with English abstract)
- [6] 杨茂荣, 高金锐, 郭小坚. 新型户用风光互补供电系统[J]. 可再生能源, 2006, (3): 70—72.  
Yang Maorong, Gao Jinrui, Guo Xiaojian. New-style household wind and solar hybrid power system[J]. Renewable Energy, 2006, (3): 70—72. (in Chinese with English abstract)
- [7] 程杰顺. 基于模糊控制的风光互补电源模型研究[J]. 微计算机信息: 测控自动化, 2006, 22(4): 46—49.  
Cheng Jieshun. Wind-solar complementary power supply system modeling based on fuzzy control[J]. Microcomputer Information, 2006, 22(4): 46—49. (in Chinese with English abstract)
- [8] Borowy Bogdan S, Salameh Ziyad M. Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and PV array in a wind/PV hybrid system[J]. IEEE Transaction on Energy Conversion, 1996, 11(2): 367—375.
- [9] Willis H L, Scott W G. Distributed Power Generation: Planning and Evaluation[M]. United States of America: Marcel Dekker Inc, 2000.
- [10] 艾斌, 杨洪兴, 沈辉. 风光互补发电系统的优化设计(I)CAD设计方法[J]. 太阳能学报, 2003, 24(4): 540—547.  
Ai Bin, Yang Hongxing, Shen Hui. Optimum sizing of PV/wind hybrid system (I) cad method[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2003, 24(4): 540—547. (in Chinese with English abstract)
- [11] 徐大明, 康龙云, 曹秉刚. 基于NSGA-II的风光互补独

- 立供电系统多目标优化[J]. 太阳能学报, 2006, 27(6): 593—598.
- Xu Daming, Kang Longyun, Cao Binggang. Stand-alone hybrid wind/PV power systems using the NSGA-II [J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2006, 27(6): 593—598. (in Chinese with English abstract)
- [12] 刘宝碇, 赵瑞清, 王纲. 不确定规划及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [13] 王承熙, 张源. 风力发电[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002: 28—116.
- [14] 张超. 水电能资源开发利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 1—38.
- [15] 程浩忠. 电力系统规划[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [16] 王长贵, 王斯成. 太阳能光伏发电实用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [17] 王健. 电力市场环境下发电机组检修计划的研究[D]. 北京: 中国农业大学信息与电气工程学院, 2004.
- Wang Jian. Study on the Regulation Mechanism for Maintenance Scheduling of Generating Units in the Electricity Market Environment[D]. Beijing: China Agricultural University College of Information and Electrical Engineering, 2004. (in Chinese with English abstract)
- [18] 夏继红. 10kV 配电网电压/无功优化方法研究与应用软件开发[D]. 北京: 中国农业大学信息与电气工程学院, 2007.
- Xia Jihong. Study on Voltage and Reactive Power Optimization Algorithm on 10 kV Distribution System[D]. Beijing: China Agricultural University College of Information and Electrical Engineering, 2007. (in Chinese with English abstract)

## Capacity allocation of rural hybrid generating system based on stochastic chance constrained programming

Zhang Fan, Cai Zhuang, Yang Minghao<sup>\*</sup>

(Department of Electrical Power Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** It is proved to be an efficient way to improve energy supply in rural area by developing wind, hydro and solar energy. But how to optimize configuration properly is still an immediate problem to be solved. The generating unit models for wind and water power are statistic random models based on inverse transformation from random sampling of wind speed and water flow, and what's more, the optimum disposition model of rural hybrid generating system based on random chance constrained programming is proposed. The disposition model are to minimize investment capital and operational costs per year, and to maximize the utilization of resources and the reliability of power supply, which is also subjected to power balance and constraints of local resources. A Monte Carlo-GA approach for solving the generation disposition problem is given, and the solution is a set of optimum plans listed by an annual rate of resource utilization, the loss of load probability and the loss of power supply probability. An application case study is given to prove the feasibility of the model.

**Key words:** renewable energy resources, stochastic programming, power generation, capacity allocation