

# 基于分布式电源的孤立系统规划初探

吴涛涛<sup>1</sup>, 赵宏伟<sup>1</sup>, 李伟<sup>2</sup>

(1. 后勤工程学院营房与环境工程系, 重庆 400016; 2. 空军场务技术研究中心, 北京 100097)

**摘要:** 现代自动化信息化技术的广泛应用对重要场所供电保障系统可靠性提出了很高要求, 分布式发电技术和孤立电力系统的发展为提供新型可靠性供电提供了新的选择。提出分布式电源应用于孤立系统提高系统供电安全可靠性的思想, 介绍了分布式发电技术, 阐述了分布式电源提高孤立系统可靠性的基本思路, 在充分考虑分布式电源不同形式、冷热电联产系统等因素基础上, 建立了分布式电源的经济模型, 研究了孤立电网规划模型。算例计算证明了规划模型的正确性和有效性, 并表明了分布式电源对孤立系统可靠性提高的显著作用。

**关键词:** 分布式发电; 孤立电力系统; 可靠性; 电网规划

## Isolated power system planning based on distributed generation

WU Tao-tao<sup>1</sup>, ZHAO Hong-wei<sup>1</sup>, LI Wei<sup>2</sup>

(1. Chongqing Logistical Engineering University, Chongqing 400016, China

2. Airforce Airport Logistical Technology Institute, Beijing 100097, China)

**Abstract:** Modern equipments are extensively used and they need high reliability power supply urgently. In many cases, distribution systems will turn into isolated power system and their reliability drop sharply. This paper introduces distributed generation into isolated power system planning, a mathematic model is built to describe the influence of distributed generation on reliability, and several economic and reliability factors are considered. An example is used to demonstrate the effect of distributed generation which shows satisfactory results.

**Key words:** distributed generation; isolated power system; reliability; power system planning

中图分类号: TM715

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)08-0031-06

## 0 引言

孤立系统是指与大电网隔离的、利用自备电源供电、独立运行的小型电力系统, 主要以小型、相对独立的区域为供电对象, 一般存在于偏远海岛、边防地区。对于一些重要场所, 如军用机场、港口、军事基地以及对供电可靠性要求高的大型厂矿等, 短时电力中断可能造成极大损失。目前, 这些场所通常采用双回10 kV或35 kV配网线路与地方大电网联络, 联系比较薄弱。一旦发生电网崩溃和意外灾害(例如战争、人为破坏、地震), 地方电网难以保障这些重要场所可靠地供电。在一段时间内, 这些区域的供电保障系统必然成为孤立系统。如何提高这一系统的安全可靠性成为一个亟待研究解决的问题。

传统意义上的孤立系统, 主要指偏远地区、采用自备小型柴油发电站及可再生能源供电的系统。其研究主要集中在可再生能源代替传统能源发电组

成孤立系统, 如许多文献对独立运行的风力发电<sup>[1,2]</sup>、光伏发电<sup>[3]</sup>、风光互补发电<sup>[4,5]</sup>的小型孤立系统做了研究。文献[6~9]重点探讨了小型孤立系统的可靠性计算和能源优化配置问题。文献[10]研究了孤立系统内多种可再生能源的电源规划问题。而本文主要研究通过孤立系统规划, 保证重要负荷供电的连续性和可靠性。

分布式发电技术的出现, 为建立可靠和灵活的孤立系统提供了新的选择。本文初步探讨了分布式电源对孤立系统可靠性的影响, 基于分布式电源, 研究了孤立系统的规划模型, 并进行了仿真分析。

## 1 分布式发电技术

分布式发电是指功率为数千瓦至几十兆瓦的小型模块化、与环境兼容的, 坐落在用户附近, 使负荷的供电可靠性及电能质量得到增强, 可以就地应用热电联产的发电形式<sup>[11,12]</sup>。分布式电源 DG (Distributed Generation) 包括功率较小的内燃机、微

型燃气轮机、燃料电池、太阳能发电的光伏电池和风力发电机等。此外,现在分布式电源的概念还包括了相应的储能系统<sup>[13]</sup>,如飞轮储能系统、超级电容器蓄能系统等。

微型燃气轮机是目前最成熟、最具有商业竞争力的分布式发电电源,其特点是体积小、重量轻、发电效率高、污染小、运行维护简单,在军事基地、机场等对供电稳定安全有特殊要求的重要场所有很好的发展前景。美军 2002 年已经开始了分布式电源在军事应用方面的专题研究,并决定 2007 年开始在其军事基地全面应用 DG<sup>[14]</sup>。小型 DG 电源可以在输电成本最小的情况下直接对负荷供电,减少系统输送的功率,降低线路损耗,延缓扩容带来的经济压力。把 DG 安放在适当的位置,采取有效的电压调节,可缓解电压骤降,提高系统对电压的调节能力。DG 最大的特色是可以通过孤立运行的能力提供较高的局部可靠性,将多个 DG 联网对重要场所负荷供电,形成小型孤立供电系统或微型互连网络,在不依赖地方大电网的情况下可以大大提高重要负荷供电的可靠性。如果同制冷供暖系统结合,形成小型冷热电联产系统 CCHP (Combined Cold Heat and Power),还可以为办公生活提供便利。因此,研究多个 DG 形成孤立电网对重要场所进行可靠性供电具有重要意义。

## 2 基本思想

与城市配电网相比,孤立系统供电区域小,负荷点少且配电方式简单,多采用树干式或放射式。可以用图 1 中 10 kV 系统来表示简化的传统配电系统,为典型的放射式接线,系统负荷仅由变电所引出的 10 kV 干线供给。系统完全依赖于上一级电源,一旦失去电源将导致长时间的停电。另外系统中每段干线的故障都会引起断路器跳闸,从而造成与电源点相连的所有负荷断电,只有通过操作隔离开关以后才能恢复部分供电。例如,干线线路 4 发生故障会引起断路器跳闸,导致负荷全部断电,打开隔离开关 QS 后,负荷 A、B、C 恢复供电,而负荷 D、E 必须在修复故障以后才能恢复供电。

对于供电可靠性要求较高的场所供电系统,这种配电形式显然难以满足要求。当失去城市电网条件下,用 DG 代替传统电网作为电源,组成多个 DG 联网的小型孤立系统,以改善供电可靠性。如图 2 所示, DG1、DG2、DG3 为微型燃气轮机机组,联网为重要场所负荷供电,系统完全孤立于地方电网,这种孤立系统尤其在战争条件下可以体现出积极作用:对大电网的故障、停电完全免疫;由

DG 电源的分散布局,增强了战时供电的隐蔽性与战场生存能力;在敌方重点打击电源的情况下,失去任一机组都不会导致系统的全部失电。

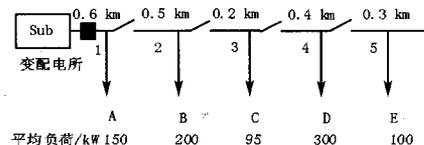


图 1 传统辐射状配电系统

Fig.1 Traditional radial distribution system

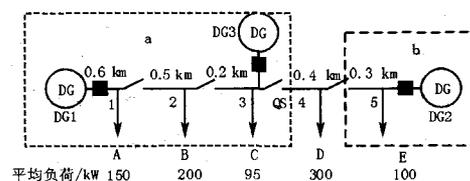


图 2 DG 供电的孤立系统

Fig.2 Isolated power system with DGs

当干线发生故障时, DG 可以通过孤立运行的能力进行独立供电。例如,当干线 4 发生故障,系统被划分为两个独立供电区域(人为孤岛) a 和 b, a 中 DG1 和 DG3 联合向负荷 A、B、C 供电, b 中 DG2 单独为负荷 E 供电,负荷 D 只能在线路 4 故障修复后恢复供电。这样,多个 DG 供电还可以减少负荷停电范围,如果在系统中合理配置 DG 数量、容量及分布,可以大大减小系统停电损失,提高供电可靠性。另外, DG 机组由于集成度很高,在系统中可以实现“即插即用”, DG 故障可用备用机组直接替换,迅速恢复供电。

现忽略断路器、熔断器、分支线路、隔离开关故障, DG 可靠性参数取自文献<sup>[15]</sup>,平均修复时间考虑为替换备用机组时间。系统中 DG 故障时,由断路器迅速切除,系统负荷由其余 DG 分担,不会引起供电中断。采用故障模式后果分析法,考虑单一故障,对以上两种供电模式进行可靠性指标计算,并讨论 DG 数量、容量的不同配置对可靠性的影响,计算结果如表 2 所示。

采用的可靠性指标有系统电量不足期望值 EENS (Expected Energy not Served)、系统平均停电频率指标 SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)、系统平均停电持续时间指标 SAIDI (System Average Interruption Duration Index)、用户平均停电持续时间指标 CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)、平均供电可用率指标 ASAI (Average Service Availability Index) 等<sup>[16]</sup>。

由计算结果可知,经过合理规划 DG 的数量、

容量及位置, 可以大幅减少系统停电损失, 提高系统供电可靠性。当 DG 位于线路末端是对系统可靠性提高影响较大; 在容量一定情况下, 负荷停电时间

主要受 DG 布局影响; 当采用 DG1 和 DG2 时, 与采用三台 DG 可靠性指标相同, 但后者经济性更好, 因此, 孤立系统中宜于配置多个小型 DG 提高供电可靠性。

表 1 系统可靠性参数

Tab.1 Reliability parameters of system

	变电所	DG	干线 1	干线 2	干线 3	干线 4	干线 5
故障率 $\lambda$ /次·年 <sup>-1</sup>	0.2	0.5	0.6	0.5	0.2	0.4	0.3
平均修复时间 $r$ /h	10	0.5	4	4	4	4	4
隔离开关操作时间/h	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

表 2 不同电源配置下系统可靠性指标

Tab.2 Reliability indexes of system with different power supply

可靠性指标	现有变配电所供电	DG 孤立系统供电			
		DG1 900 kW DG2 900 kW	DG1 900 kW DG3 900 kW	DG2 900 kW DG3 900 kW	DG1 450 kW、DG2 450 kW、DG3 450 kW
EENS/kWh·年 <sup>-1</sup>	6 537.25	2 101.5	2 521.5	2 609.0	2 101.5
SAIFI/次·(年·户) <sup>-1</sup>	2.20	2.00	2.00	2.00	2.00
SAIDI/h·(年·户) <sup>-1</sup>	7.69	2.40	2.96	3.03	2.40
CAIDI/h·(次·户) <sup>-1</sup>	3.495	1.20	1.45	1.515	1.20
ASAI	0.999 1	0.999 7	0.999 6	0.999 3	0.999 7

### 3 孤立电网规划模型

#### 3.1 DG 经济模型

要进行基于 DG 的孤立电网规划, 必须有完善的 DG 模型, 此前的 DG 规划模型缺乏对分布式电源独特型的考虑, 基本上是在沿用普通大型发电机组模型。本文提出较全面的 DG 经济模型, 此模型充分考虑分时电价、不同 DG 类型等影响, 在不同环境下有很强的适应性, 具体特点如下:

1) 由于 DG 有不同的技术形式, 如太阳能发电、风力发电、微型/小型燃气轮机发电等, 它们的经济特性也各不相同, 另外, 同种形式不同的容量型号经济特性也各不相同。因此, 在此模型中加入 DG 类型编号  $i$ , 对不同技术形式、不同容量 DG 加以区分。

2) 在实行分时电价的电力市场环境下, 电价可能在电力供应需求关系变化时发生改变, 因此, 本模型考虑一年中不同月份  $m$ 、一天中不同小时  $h$ 、工作日与非工作日  $t$  的电价影响, 对不同电价加以细致区分, 增加本模型不同环境下的适应性与精确性。

3) 由于不同时期燃料价格不同, 发电成本也随之不同, 在模型中充分考虑此种情况。

4) 模型中考虑 DG 应用 CCHP 的形式提供热能和制冷的经济特性。

目标函数取 DG 总投资的最小值, 包括 DG 发电费用、DG 运行维护费用和 DG 固定投资费用:

$$\min f_{DG} = \sum_l \sum_i \sum_m \sum_t \sum_h GL_{l,i,n,t,h} \cdot DGprize_i + \sum_l \sum_i \sum_m \sum_t \sum_h GL_{l,i,m,t,h} \cdot DG var_i + \sum_i N_i \cdot (DGcap_i + DGfix_i) \cdot \left( \frac{IntRate}{1 - \frac{1}{(1+IntRate)^{DGlife_i}}} \right) \quad (1)$$

其中:  $l$  为用户负荷编号,  $N_i$  为类型  $i$  的 DG 机组数量,  $IntRate$  为投资年利率 (%),  $DGlife_i$  为类型  $i$  的 DG 工作寿命 ( $a$ ),  $GL_{l,i,m,t,h}$  为类型  $i$  的 DG 在  $m$  月、日类型  $t$ 、 $h$  小时所供应用户负荷  $l$  的发电量 (kW),  $DGprize_i$  为类型  $i$  的 DG 发电费用 (¥/kWh),  $DG var_i$  为类型  $i$  的 DG 维护费用 (¥/kWh),  $DGcap_i$  为类型  $i$  的 DG 一次投资费用 (¥),  $DGfix_i$  为类型  $i$  的 DG 年度运行维护固定投资 (¥)。

约束条件:

#### 1) 能量守恒约束

分别考虑热能、冷能和电能能量守恒。热能和冷能为用户就近 CCHP 的 DG 机组提供, 不考虑热/冷能不同用户间的输送, 避免建设昂贵的输送管道, 减少传送能量损失。

$$CHeat_{l,m,t,h} = \sum_i GenH_{l,i,m,t,h} \quad l \in \text{热负荷} \quad \forall m,t,h \quad (2a)$$

$$CCool_{l,m,t,h} = \sum_i GenC_{l,i,m,t,h} \quad l \in \text{冷负荷} \quad \forall m,t,h \quad (2b)$$

$$\sum_l CLoad_{l,m,t,h} = \sum_l \sum_i GL_{l,i,m,t,h} \quad \forall l,m,t,h \quad l \in \text{电负荷} \quad (2c)$$

$GenC_{l,i,m,t,h} / GenH_{l,i,m,t,h}$  为类型为  $i$  的 DG 在  $m$  月, 日类型  $t$ ,  $h$  小时产生的冷能/热能(kW)。

$CHeat_{l,m,t,h} / CCool_{l,m,t,h} / CLoad_{l,m,t,h}$  为用户  $l$  在  $m$  月, 日类型  $t$ ,  $h$  小时的热负荷/冷负荷/电负荷(kW)。

## 2) DG 容量约束

每个 DG 总发电量不得超过 DG 额定最大容量。

$DG \max p_i$  为类型  $i$  的 DG 额定发电容量(kW)。

$$GL_{l,i,m,t,h} \leq DG \max p_i \quad \forall l,m,t,h \quad (3)$$

## 3) CCHP 供热/冷约束

运行于 CCHP 的 DG 机组所产生的余热与 DG 机组的运行等级有关, 这些余热都是机组发电产生的, 不会为单纯的产生余热而发电, 换句话说, CCHP 机组产生的余热受到 DG 发电量的限制, 从而供热/冷负荷受到限制。  $ratio_i$  为发电余热利用转换比率。

$$\sum_i (GenH_{l,i,m,t,h} + GenC_{l,i,m,t,h}) \leq \sum_i GL_{l,i,m,t,h} \cdot ratio_i$$

$$\forall m,t,h \quad l \in CCHP \quad (4)$$

## 4) DG 年最大运行时间约束

每个 DG 全年最大发电量取决于它的年最大工作时间参数  $DGhours_i$ , 这个约束主要为了避免柴油机发电机组运行超过最大合理运行时间。  $DGhours_i$  为类型  $i$  的 DG 年最大工作小时数 (h)

$$\sum_l \sum_m \sum_t \sum_h GL_{l,i,m,t,h} \leq N_i \cdot DG \max p_i \cdot DGhours_i \quad \forall i \quad (5)$$

## 5) 太阳能电池实际输出功率约束

如果系统中有 PV 发电机, 就要考虑一年不同季节日照和 DG 实际输出功率。  $PV_{m,h}$  为  $m$  月一天中  $h$  小时的平均日光绝缘率 (%)

$$\sum_l GL_{l,i,m,t,h} \leq N_i \cdot DG \max p_i \cdot PV_{m,h} \quad \forall m,t,h \quad i \in PV \quad (6)$$

## 3.2 孤立电网规划模型

传统配网规划是在满足一定可靠性指标约束下, 找到一种使电网建设和运行费用最小的规划方案, 追求经济上的最优。应用于重要场所的孤立系

统在规划中, 则更加重视可靠性的提高。本文在上述 DG 经济模型和孤立电网可靠性计算的基础上, 重点提高供电可靠性, 提出孤立电网规划模型。在 DG 经济模型基础上, 考虑孤立电网故障引起的停电损失, 以相应的经济价值计入模型。具体数学模型如下:

目标函数取孤立电网建设总投资的最小值, 包括 DG 电源建设费用, 线路建设及维护费用和故障停电损失。其中  $f_{DG}$  为前文提出的 DG 经济模型目标函数, DG 模型中约束条件 1)~5) 也同样移植于此模型中。

目标函数:

$$\min f_{military} = (f_{DG} + \sum_j (Z_j + Var_j) L_j x_j) + \alpha EENS \quad \forall j \quad (7)$$

其中:  $EENS$  为故障停电损失,  $\alpha$  为停电损失价值因数,  $Z_j$  为第  $j$  条待建线路单位长度固定费用 (¥/km),  $Var_j$  为第  $j$  条待建线路单位长度运行维护费用 (¥/kWh),  $L_j$  为第  $j$  条待建线路长 (¥/kWh),  $x_j$  为第  $j$  条待建线路对应的 (0~1) 控制变量。

其它约束条件:

## 6) EENS 约束

$$EENS = \sum_k \left( \lambda_k \sum_l (CLoad_{k,l} \cdot t_{k,l} \cdot Costfault_l) \right) \quad \forall l,k \quad (8)$$

其中:  $\lambda_k$  为元件  $k$  故障率(次/年),  $CLoad_{k,l}$  为由元件  $k$  故障引起的负荷  $l$  失电量(kW),  $t_{k,l}$  为由元件  $k$  故障引起的负荷  $l$  停电时间 (h),  $Costfault_l$  为负荷  $l$  停电损失 (¥/kWh)。

## 7) 重要负荷点可靠性约束

孤立系统中重要负荷点, 如机场塔台、雷达站等, 对供电可靠性要求较高, 它们的停电会造成巨大影响, 因此, 引入重要负荷点惩罚系数  $\alpha_i$ , 取值远大于一般停电损失, 避免规划向可靠性低的方案偏移。

$$l \in \text{重要负荷点时}, \quad Costfault_l = \alpha_i \quad (9)$$

## 8) 节点电压约束

$$V_{lmin} \leq V_{l,m,t,h} \leq V_{lmax} \quad \forall l,m,t,h$$

负荷点  $l$  电压  $V_l$  不得超出电压限值。

## 9) 线路载流量约束

每一条线路上通过的电流不应超过该线路的最大允许载流量, 即:

$$I_{j,m,t,h} \leq \bar{I}_j \quad \forall m,t,h \quad j \in G \quad (10)$$

$\bar{I}_j$  为第  $j$  条线路的最大允许载流量。 $G$  为形

成辐射网的线路集合。

### 3.3 仿真分析

本文采用改进蚁群算法<sup>[17~19]</sup>来求解所选可靠性模型,用标准 C 语言编制了可靠性计算和规划程序,对南方某军事场所配网改造规划进行了仿真计算,取得了较好模拟效果。系统总负荷 2 045 kW,负荷电压波动不超过 5%,重要负荷点为塔台、外场及雷达站,详细系统参数及拓扑图见文献[20]。系统设置 3 台 1MW 的 DG,分别布置在负荷中心和主馈线末端。表 3 为该系系统改造前后可靠性指标比较。

表 3 改造前后系统可靠性指标比较

Tab.3 Reliability indexes comparison after/before system rebuilt

	未改造电网	DG 孤立电网
EENS/kWh·年 <sup>-1</sup>	16 342.5	5 847.8
ASAI	0.998 8	0.999 7
CAIDI/h·(次·户) <sup>-1</sup>	4.734	1.156
SAIFI/次·(年·户) <sup>-1</sup>	1.983	1.771
SAIDI/h·(次·户) <sup>-1</sup>	5.562	1.960

从表 3 可看出,引入分布电源后,系统可靠性指标有显著提高,大大减小了系统平均停电时间,重要负荷点供电有效度有了明显提高。其中,对 EENS 和 SAIDI 影响最大,多台 DG 电源避免了单一电源故障的危险性。DG 开关的配置对 SAIFI 影响较大:在 DG 配置断路器时,系统平均停电频率指标 SAIFI 有一定改善;如果采用隔离开关,SAIFI 则会有一定增加。

## 4 结论

DG 的应用对提高能源利用率,减少污染物的排放,降低配电网网损,提高供电可靠性都有很大作用。本文提出重要场所应用 DG 形成孤立系统提高供电可靠性,从规划角度提出了 DG 经济模型和孤立系统规划模型,模型中充分考虑了 DG 不同技术形式、冷热电联产等因素的影响,可以在不同环境下使用。经过仿真分析,证明了模型的正确性和有效性,表明了分布式电源对于孤立系统可靠性提高的重要作用。

### 参考文献

[1] 陈习坤,汤双清. 新型飞轮储能电池在独立运行式风力发电系统中的应用研究[J]. 节能,2005,(1): 22-25.

CHEN Xi-kun, TANG Shuang-qing. Research on the Application of the Stand-alone Wind Power System with a Newtype of Flywheel Energy Storage Battery[J]. Energy Conservation,2005,(1): 22-25.

[2] 高平,王辉. 独立运行风力发电系统的电能质量优化[J]. 电气时代,2006,(7): 76-77.

GAO Ping, WANG Hui. Research on Electrical Energy Quality Optimization of the Standalone Movement Wind Generating System Based on Stored Energy[J]. Battery Electric Age,2006(7): 76-77.

[3] 唐西胜,齐智平. 独立光伏系统中超级电容器蓄电池有源混合储能方案的研究[J]. 电工电能新技术,2006,(3): 37-41.

TANG Xi-sheng, QI Zhi-ping. Study on an Actively Controlled Battery/ultracapacitor Hybrid in Stand-alone PV System[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy,2006(3): 37-41.

[4] 程苗苗,康龙云,徐大明,等. 风光复合发电系统中储能单元的容量优化设计[J]. 电气应用,2006,(6): 87-90.

CHENG Miao-miao, KANG Long-yun, XU Da-ming, et al. Optimal Capacity of Energy-Storing Section in PV/Wind Hybrid System[J]. Electrotechnical Application, 2006,(6): 87-90.

[5] 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,(6): 593-598.

XU Da-ming, KANG Long-yun, CAO Bing-gang. Stand-alone Hybrid Wind/PV Power Systems Using the NSGA-II[J]. Acta Energetica Solaris Sinica,2006, (6): 593-598.

[6] Billinton R, Karki R. Capacity Expansion of Small Isolated Power Systems Using PV and Wind Energy[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2001,16(4): 892 - 897.

[7] Billinton R, Karki R. Reliability/cost Implications of PV and Wind Energy Utilization in Small Isolated Power Systems[J]. IEEE Trans on Energy Conversion,2001, 16(4): 368 - 373.

[8] Billinton R, Bagen, Cui Y. Reliability Evaluation of Small Stand-alone wind Energy Conversion Systems Using a Time Series Simulation Method[J]. IEE Proceedings—Generation Transm, and Distrib, 2003, 150(1): 96 - 100.

[9] Bagen B R. A Sequential Simulation Method for the Generating Capacity Adequacy Evaluation of Small Stand-alone Wind Energy Conversion Systems[A]. In:IEEE Electrical and Computer Engineering Proceedings[C]. Winnipeg: (Canada) 2002.72 - 77.

[10] Kellogg W D, Nehrir M H, Venkataramanan G, et al. Generation Unit Sizing and Cost Analysis for

- Stand-alone Wind Photovoltaic and Hybrid Wind/PV Systems[J]. IEEE Trans on Energy Conversion,1998, 13(1): 70-75.
- [11] The Federal Energy Technology Center. Distributed Generation: Securing Am Erica'S Future With Reliable and Flexible Power[EB/OL].  
http://www.distributedgeneration.com/Library/FETC.pdf.
- [12] El-Khattam W, Bhattacharya K, Hegazy Y, et al. Optimal Investment Planning for Distributed Generation in a Competitive Electricity Market[J]. IEEE Trans on Power Systems,2004, 19(2): 1674-1684.
- [13] 程华, 徐政. 分布式发电中的储能技术[J]. 高压电器,2003, 39(3): 53-56.  
CHENG Hua, XU Zheng. Energy Storage for Use with Distribution Power Generation[J]. High Voltage Apparatus, 2003, 39(3): 53-56.
- [14] Menicucci D. New Concepts for Improving Energy Surety in Military Facilities[EB/OL]. Sandia National Labs, <http://www.irecusa.org/articles/static/1/binaries/MCBHI5.pdf>
- [15] Chowdhury A A, Agarwal S K, Koval D O. Reliability Modeling of Distributed Generation in Conventional Distribution Systems Planning and Analysis[J]. IEEE Trans on Industry Applications,2003,(39): 1493-1498.
- [16] 张新勇, 黄群谷, 任震. 一项对配电网络进行可靠性评估的新指标[J].继电器 2004, 32(2): 19-21.  
ZHANG Xin-yong, HUANG Qun-gu, REN Zhen. A New Index of Reliability Evaluation of Power Systems[J]. Relay, 2004, 32(2): 19-21.
- [17] Cheng F, Chun W. A New Approach For Solving Large Traveling Salesman Problem Using Evolutionary Ant Rules[A]. In:Proceedings of the 2002 International Joint Conference on Neural Networks[C].2002.1540-1545.
- [18] 陈敬宁, 何桂贤. 带杂交、变异因子的自适应蚁群算法在电力系统无功优化中的应用[J]. 继电器,2003, 31(17): 36-39.  
CHEN Jing-ning, HE Gui-xian. Application of Adaptive Ant Colony Algorithm with Hybrid and Variation Factors in Power System Reactive Optimization[J]. Relay, 2003, 31(17): 36-39.
- [19] Whigham P A. Grammatically Based Genetic Programming[A]. In: Proceedings of the Workshop on Genetic Programming: from Theory to Real-world Applications[C]. 1995.33-41.
- [20] 高笑. 军事场所电能保障系统优化规划研究[D]. 重庆: 后勤工程学院, 2005.  
GAO Xiao. Study on the Optimal Planning of Electrical Energy Support System of Military Compound[D]. Chongqing: Logistical Engineering University, 2005.

收稿日期: 2006-11-14; 修回日期: 2007-01-09

作者简介:

吴涛涛(1982-), 男, 硕士研究生, 主要从事多能源发电和系统可靠性的研究; E-mail: wutao5935@163.com

赵宏伟(1968-), 男, 博士, 教授, 主要从事军事多能源发电供电与电力系统规划可靠性的研究;

李伟(1973-), 男, 工程师, 主要从事机场供电与灯光的研究。

## 特高压运行检修技术取得重大进展

3月22日, 1000千伏交流输变电设备预防性试验规程的编制、1000千伏线路检修规范的编制、1000千伏线路检修标准化作业指导书和事故抢修预案的编制等6个课题在武汉验收。这标志着1000千伏交流输电设备运行检修技术研究取得重大进展。

据介绍, 2005年2月, 国家电网公司正式启动了特高压输电前期关键技术的研究。湖北省电力试验研究院、湖北省输变电工程公司、湖北超高压输变电公司分别承担了1000千伏交流输变电设备预防性试验规程的编制、1000千伏变电站检修规程的编制等6个子课题的研究。在各相关部门协调和指导下, 在课题组的专业技术人员努力下, 经过近一年半的辛勤工作, 子课题的研究工作全面完成。

据专家介绍, 随着近年中国经济的发展对能源供给的要求, 建设特高压电网的战略构想被日益强化。国家电网通过多次对方案的讨论、完善和细化, 提出了国家电网特高压骨干网架规划的初步设想: 2010年前后, 交流特高压网架初具规模, 建成北京—石家庄—豫北—南阳—荆州—长沙的南北双回路通道和乐山—重庆—恩施—荆州—武汉—皖南—浙北—上海的东西双回路通道。晋东南、陕北、蒙西煤电基地和四川水电注入上述通道。华北、华中、华东通过交流特高压形成环网结构。在百万伏级交流特高压网架建设的同时, 也将同步建设主要用于超远距离大容量输电的±800千伏特高压直流输电系统, 与特高压交流电网相辅相成, 互为补充。