

# 光伏电站并网对电网可靠性的影响

张 轶<sup>1</sup>, 鲁国起<sup>1</sup>, 张 焰<sup>1</sup>, 俞国勤<sup>2</sup>, 祝达康<sup>2</sup>

(1. 上海交通大学 电气工程系, 上海 200240; 2. 上海市电力公司, 上海 200122)

**摘要:** 太阳辐照度和光伏电池工作温度等的随机性会对光伏电站并网后发输电系统的可靠性产生一定影响。为全面评估光伏电站并网后对电网可靠性的影响, 根据光伏电站等值电路, 推导了光伏电站的输出功率关系式。针对光伏电站发出的无功功率与接入点电压的密切联系以及光伏电站的故障特性, 交替求解光伏电站的无功功率和电网潮流, 并提出光伏电池组件的故障切除条件。对含光伏电站的发输电系统进行可靠性评估的算例表明, 合理接入光伏电站能够改善系统可靠性, 太阳辐照度和故障光伏电池组件切除方案也会对可靠性产生较大影响。

**关键词:** 光伏电站并网; 电网可靠性; 蒙特卡罗仿真

**作者简介:** 张 轶 (1984-), 女, 硕士研究生, 从事新能源发电及电力系统可靠性方面的研究。

**中图分类号:** TK51   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1001-9529 (2010) 05-0700-07

## Influence of Grid Connection of Photovoltaic Power Station on Power Grid Reliability

ZHANG Yi<sup>1</sup>, LU Guo-qǐ<sup>1</sup>, ZHANG Yan<sup>1</sup>, YU Guo-qín<sup>2</sup>, ZHU Da-kang<sup>2</sup>

(1. Dept of Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong Univ, Shanghai 200240, China;

2. Shanghai Municipal Electric Power Company, Shanghai 200122, China)

**Abstract:** The randomness of the solar irradiance and the operation temperature of photovoltaic cells has certain influence on the reliability of the power generation and transmission system after the photovoltaic power station connected to the grid. In order to comprehensively evaluate the influence of the connection of the photovoltaic power station on the reliability of the power grid, the expression of the output power of the photovoltaic power station was derived based on the equivalent circuit of the photovoltaic power station. According to the close relationship between the reactive power and the access point voltage of the photovoltaic power station as well as the fault characteristic of the station, the reactive power of the station and power flow of the grid were solved alternately. The fault removal conditions of the photovoltaic cell components were also presented. The reliability of the power generation and transmission system of a photovoltaic power station was evaluated. The results indicated that the proper connection of the photovoltaic power station could improve the system reliability and that solar irradiance and the removal scheme of the fault photovoltaic cell components would also have considerable influence on the reliability.

**Key words:** grid connection of photovoltaic power station; power grid reliability; Monte-Carlo simulation

2008 年全世界新增光伏发电装机容量中约有 1 GW 来自 10 MW 及以上容量的光伏电站, 我国也计划于甘肃敦煌、昆明石林、青海柴达木盆地等地建设 MW 级并网光伏电站。随着各国 100 MW 级甚至 GW 级光伏电站的建设, 光伏电站的大型化和并网化将成为今后发展方向<sup>[1]</sup>。

光伏发电具有随机性强的特点, 为了评估光伏电站并网后对系统供电可靠性的影响, 需要建立光伏电站发电可靠性模型, 进行可靠性评估。目前, 针对光伏电站特性进行供电可靠性的研究相对较少。文献 [2] 提出的故障光伏组件切除条件仅以故障组件对光伏电站的整体出力影响为判

定依据, 并未考虑光伏电池组件的耐受电压以及故障组件位置分布的影响。

本文根据光伏电站的等值电路, 结合太阳辐照度和环境两个变量, 推导了光伏电站的输出功率关系式。针对光伏电站发出的无功功率与接入点电压关系以及光伏电站的故障特性, 对光伏电站的无功功率与电网潮流进行交替求解, 并提出光伏电池组件的故障切除条件。最后以 IEEE 14 节点系统为例, 对含光伏电站的发输电系统进行可靠性评估, 并分析了太阳辐照度和不同的故障光伏组件切除方案对该系统的影响。

## 1 光伏电站输出功率模型

### 1.1 光伏电池阵列等效模型

单元光伏电池是光伏电站的最小单元,被封装为光伏电池组件。对光伏电池组件进行串、并联,则构成光伏电池阵列,从而形成光伏电站。

单元光伏电池等效电路如图 1 所示<sup>[3-5]</sup>。

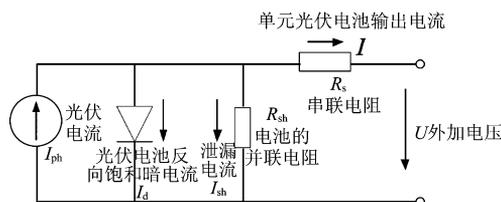


图 1 单元光伏电池等效电路

单元光伏电池串、并联后封装形成的光伏电池组件的等效电路如图 2 所示。

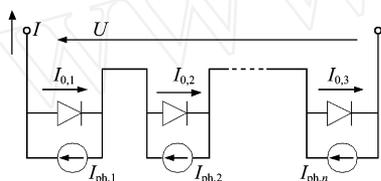


图 2 光伏电池组件等效电路

为了提高直流输入电压,满足电网电压要求,将光伏电池组件进行串、并联后形成的光伏电池阵列等效电路如图 3 所示。图中的  $N_{ss}$  为光伏组件的串联数,  $N_{pp}$  为光伏组件的并联数。阵列的电压较单个光伏组件提高了  $N_{ss}$  倍,电流扩大了  $N_{pp}$  倍。

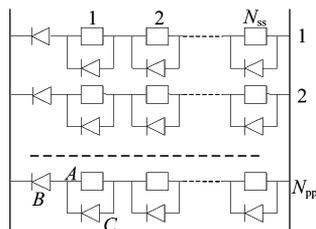


图 3  $N_{ss} \times N_{pp}$  光伏电池阵列等效模型

图 3 中, A 为光伏电池组件, B 为阻塞二极管, C 为旁路二极管。阻塞二极管能够起到单向导通作用,在非日照时间段内,避免电网向光伏电池阵列放电。旁路二极管可以防止串联电路中个别光伏电池由于被遮挡而导致损坏,也避免了由于阵列通过该被遮挡的光伏电池放电而造成功率损失。

### 1.2 光伏电池阵列输出功率

根据光伏电池阵列等效电路,可以得到光伏电站输出的有功功率为

$$P_{pv} = U_{pv} \cdot I_{pv} \quad (1)$$

式中  $U_{pv}$ 、 $I_{pv}$ 、 $P_{pv}$ ——光伏电池阵列的输出电压、电流和功率。

$$I_{pv} = N_{pp} \left\{ I_{ph} - I_d \left[ \exp \left( \frac{U_{pv} + I_{pv} R_s}{N_s N_{ss} \frac{q}{AKT_p}} \right) - 1 \right] - \frac{U_{pv} + I_{pv} R_s}{R_{sh}} \right\} \quad (2)$$

式中  $N_s$ ——光伏电池组件中单元光伏电池的串联数;  
 $N_{ss}$ ——光伏电池阵列中光伏组件的串联数;  
 $N_{pp}$ ——光伏电池阵列中的并联支路数。

光生电流  $I_{ph}$  的值正比于光伏电池的面积、材料特性、入射光的辐照度和环境温度

$$I_{ph} = \frac{G_T}{G_{T,sc}} [ I_{ph,sc} + k_{temp} (T_p - T_{sc}) ] \quad (3)$$

式中  $I_{ph}$ 、 $I_{ph,sc}$ ——工作点和标准测试条件下的光生电流;

$k_{temp}$ —— $I_{ph}$  的温度系数,与该单元电池的面积、材料特性有关;

$T_p$ 、 $T_{sc}$ ——工作点、标准测试条件下的电池温度;

$G_T$ 、 $G_{T,sc}$ ——工作点、标准测试条件下的辐照度。

光伏组件厂商通常会给出标准额定条件 (SRC) 下的运行参数, SRC 特指太阳辐照度为  $1 \text{ kW/m}^2$ , 电池表面温度为  $25^\circ\text{C}$ , 相对大气光学量为 AM1.5 的条件<sup>[6]</sup>。

流过二极管的电流  $I_d$  可由二极管特性表示

$$I_d = I_0 \left\{ \exp \left( \frac{qU_d}{AKT_p} \right) - 1 \right\} \quad (4)$$

式中  $I_0$ ——光伏电池内部等效二极管的 P-N 结反向饱和电流;

$A$ ——P-N 结的曲线系数 (一般取  $1 \sim 5$ );

$q$ ——电子电荷 ( $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ );

$K$ ——波尔兹曼常数 ( $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ );

$U_d$ ——等效二极管的端电压。

### 1.3 含光伏电站的发输电系统潮流计算

光伏发电系统由光伏电池阵列、逆变器和控制器组成,结构如图 4 所示。

光伏电池阵列输出特性具有非线性特征,在一定的光照强度和环境温度下,光伏电池阵列可以工作于不同的输出电压。提高光伏电池阵列输出功率的方法就是实时调整光伏电池阵列的工作点,使之始终工作在最大功率点 (MPP 点) 附近,这一过程称之为最大功率点跟踪 MPPT<sup>[7]</sup>。

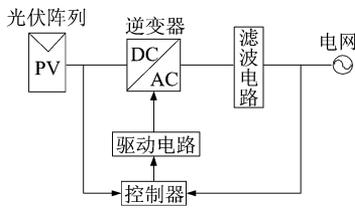


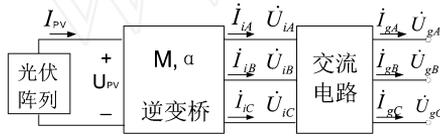
图 4 光伏发电系统结构示意图

MPP点的光伏电池阵列电压和电流应满足<sup>[8]</sup>

$$\frac{I_{pv}}{N_{pp}} + \frac{U_{pv}}{N_s N_{ss}} \cdot \frac{\frac{U_{pv}}{N_s N_{ss}} + \frac{I_{pv} R_s}{N_{pp}}}{AKT_p} - I_d R_{sh} \exp\left[\frac{N_s N_{ss}}{N_{pp}} \left(\frac{U_{pv}}{N_s N_{ss}} + \frac{I_{pv} R_s}{N_{pp}}\right)\right] - AKT_p = 0$$

$$AKT_p R_{sh} + I_d R_s \exp\left[\frac{N_s N_{ss}}{N_{pp}} \left(\frac{U_{pv}}{N_s N_{ss}} + \frac{I_{pv} R_s}{N_{pp}}\right)\right] + AKT_p R_s \quad (5)$$

逆变器包括逆变桥和交流电路两部分(结构如图 5 所示)。



$U_{pv}$ 和  $I_{pv}$ 为光伏电池阵列输出电压和电流,  $U_{i\alpha}$ 和  $I_{i\alpha}$ 为逆变桥输出交流电压和电流, 下标 A、B、C 分别表示 A、B、C 三相;  $U_g$ 和  $I_g$ 为并网电压和电流;  $M$ 和  $\alpha$ 分别为逆变桥幅值调制比和移相角。

图 5 三相光伏发电系统结构图

交流电路包括滤波器和升压变压器。对交流电路进行等值变换, 得到  $\pi$ 型等值电路, 如图 6 所示。

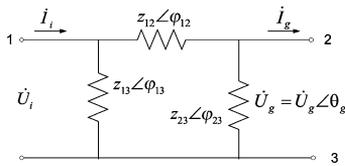


图 6 逆变器交流电路  $\pi$ 型等值电路

假定逆变桥为理想三相半桥式逆变电路, 采用正弦波宽调制 (SPWM)。稳态情况下, 光伏电站并网点的有功功率  $P_g$  与光伏电池阵列的输出功率  $P_{pv}$  相等。通过逆变桥和交流电路可以得到光伏电站并网点的无功功率<sup>[8]</sup>

$$Q_g = 3U_g \left[ \frac{U_i}{z_{12}} \sin(\theta_g - \theta_{12}) - \frac{U_g}{z_{12}} \sin(\theta_{12} - \theta_g) \right] \quad (6)$$

式中  $P_g$ 、 $Q_g$ ——光伏电站注入并网点的三相有功功率

和无功功率;

$U_i$ ——逆变桥输出交流电压;  
 $U_g$ ——光伏电站并网电压。

由式 (6) 得知, 光伏电站并网节点的无功功率与该点电压关系密切。光伏电站并网后将影响电网功率和电压分布, 而电网电压分布的变化又会改变光伏电站并网节点的无功功率。基于这一特点, 本文考虑交替求解电网潮流和光伏电站无功功率。含光伏电站的发输电系统潮流计算流程如图 7 所示。

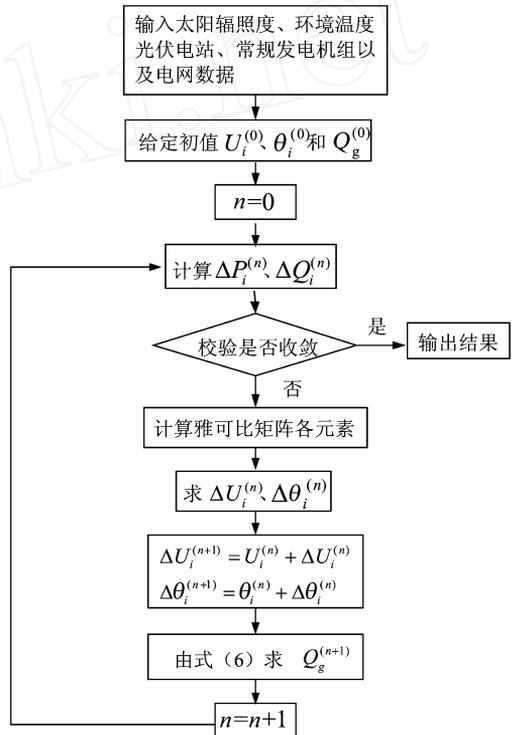


图 7 含光伏电站的发输电系统潮流计算流程图

## 2 光伏电站的故障停运分析

### 2.1 光伏电池阵列故障特性

光伏电池阵列是通过光伏组件串、并联而成, 因此其故障特性较为特殊。

当 1 个光伏电池组件发生故障时, 由于旁路二极管的作用, 该故障组件被短路。其所在并联支路中, 其余状态良好的组件仍然能够正常工作。故障组件虽然停运, 但不会进入检修状态, 必须等到该并联支路退出阵列运行后, 故障组件才开始检修。因此光伏组件故障与其他元件故障的不同之处在于, 其故障状态有可能被保持, 即元件故障之后需要等到所在并联支路满足切除判定条件后才开始检修。

对于单个光伏组件可以采用两状态模型,即正常运行状态和故障运行状态,已知故障率为  $\lambda$ ,修复率为  $\mu$ 。当第  $i$  条并联支路满足切除判定条件退出系统运行时,所需要的检修时间  $t_r$  应当保证该支路所有故障元件全部检修完毕,设  $t_{ij}$  为第  $i$  条支路第  $j$  个光伏组件的检修时间,非故障组件的检修时间为 0,则退出运行支路的检修时间

$$t_r = \max(t_{ij}) \quad (0 < i \leq N_{pp}, 0 < j \leq N_{ss}) \quad (7)$$

## 2.2 光伏电池阵列故障支路切除判定条件

当光伏电池阵列中出现 1 个光伏电池组件故障,并假定该故障组件所在并联支路立即被切除,且非故障组件所在的支路仍然采用最大功率点跟踪 MPPT 的控制方式,则光伏电池阵列输出有功功率为

$$P_1 = U_{PV} \times \frac{(N_{pp} - 1)}{N_{pp}} \quad I_{PV} = \frac{(N_{pp} - 1)}{N_{pp}} P_{PV} \quad (8)$$

切除故障光伏电池组件后的阵列输出功率  $P_1$  与正常运行时的输出功率  $P_{PV}$  之比  $C_1$  为

$$C_1 = \frac{P_1}{P_{PV}} = \frac{N_{pp} - 1}{N_{pp}} = 1 - \frac{1}{N_{pp}} \quad (9)$$

在实际运行中,由于旁路二极管的存在,故障组件不会立即退出检修,其所在并联支路继续运行,剩余的光伏电池组件可以继续发电。此时,非故障组件所在的并联支路仍然采用最大功率点跟踪 MPPT 控制。而故障组件所在并联支路不再采取 MPPT 策略,光伏电池端电压增加导致输出电流减小,因此,该支路中光伏电池组件的端电压  $U_{PV}$  和输出电流  $I_{PV}$  分别为

$$U = \frac{U_{PV}}{N_{ss} - 1} \quad (10)$$

$$I_{PV} = I_{ph} - I_0 \left[ \exp \frac{q(U_{PV} + I_{PV} R_s)}{AKT_p} - 1 \right] - \frac{U_{PV} + I_{PV} R_s}{R_{sh}} \quad (11)$$

此时,光伏阵列输出功率  $P_2$  为

$$P_2 = P_1 + (N_{ss} - 1) U_{PV} I_{PV} = P_1 + U_{PV} \cdot I_{PV} \quad (12)$$

保留故障光伏组件,整个光伏阵列的输出功率  $P_2$  与正常运行时的输出功率  $P_{PV}$  之比  $C_2$  为

$$C_2 = \frac{P_2}{P_{PV}} = \frac{N_{pp} - 1}{N_{pp}} + \frac{U_{PV} I_{PV}}{U_{PV} I_{PV}} = 1 - \frac{1}{N_{pp}} + \frac{I_{PV}}{I_{PV}} \quad (13)$$

由式 (10) ~ 式 (13) 可知,保留故障组件对系统的影响程度取决于光伏阵列的并联支路数  $N_{pp}$  以及 1 条并联支路中的光伏电池组件个数  $N_{ss}$ 。

对比  $C_1$  与  $C_2$ ,当单个光伏组件故障时,保留故障组件能够提高整个光伏阵列的输出功率。若光伏电池阵列中有多个光伏电池组件故障,考虑到光伏电池组件的耐受电压以及故障组件位置分布,不能仅以故障组件对光伏电站整体出力影响为判定依据。对此,本文提出了光伏电池组件的故障支路切除判定条件。

假设所有光伏电池组件性能在运行过程中不降低,且各组件的特性完全一致,则当满足以下 3 个条件中的任意 1 个时,考虑切除故障组件所在并联支路:

### (1) 条件 1

$$\frac{U_{PV}}{N_{ss} - i} > U_0 \quad i = 1, 2, \dots, N_{ss} \quad (14)$$

式中  $U_0$ ——单个光伏电池组件所能承受的最大耐受电压;

$i$ ——该并联支路中故障停运的光伏电池组件数量。

条件 1 保证了光伏电池组件的电压运行在安全范围内。当正常运行的故障光伏电池组件端电压大于最高耐受电压时,所在并联支路退出运行,防止光伏电池组件被击穿。

### (2) 条件 2

$$\frac{P_i}{P_{PV}} < \quad j = 1, 2, \dots, N_{pp} \quad (15)$$

式中  $P_{PV}$ ——包含故障组件的整个光伏电池阵列输出功率;

$P_j$ ——一条并联支路的输出功率。

条件 2 主要针对多个故障组件集中于一条并联支路的情况。当故障组件所在并联支路对整个光伏电池阵列输出功率达不到设定的贡献率时,应当退出运行,对故障组件进行检修。

### (3) 条件 3

$$\frac{P_{PV}}{P_{PV}} < C_0 \quad (16)$$

条件 3 主要针对多个故障组件较平均地分布于各条并联支路的情况,该情况极有可能导致满足条件 1 和 2,但是却造成整个光伏电池阵列输出功率低下。因此,当包含故障组件的光伏电池阵列输出功率与其正常工作时的输出功率的比值小于设定值  $C_0$  时,即考虑切除含较多故障组件的

并联支路。

### 2.3 光伏电站与常规机组联合运行的约束条件

对于常规发电机组,也采用两状态模型,即正常运行状态和故障停运状态。一般情况下,认为机组故障彼此独立。光伏电站与常规机组并联运行的系统如图 8 所示。

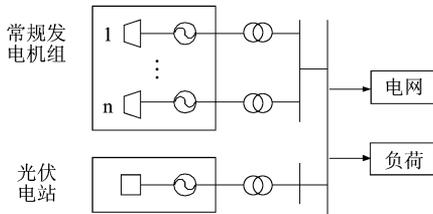


图 8 光伏电站/常规发电机组联合运行系统

光伏电站接入电网后,整个发电系统(包括光伏电站和常规机组)的总有功功率与系统总负荷相平衡,当系统供电不足时应当切除部分负荷。假设系统装有  $m$  台常规机组,则有

$$\sum_{i=1}^m P_{CGi} + P_{PV} = P_{LD} - P_{DF} \quad (17)$$

式中  $P_{CGi}$ ——第  $i$  台常规机组出力;  
 $P_{PV}$ ——光伏电站出力;  
 $P_{LD}$ ——系统负荷有功功率;  
 $P_{DF}$ ——切负荷功率。

太阳辐照度和环境温度的随机波动性会对系统供电可靠性和电能质量产生影响,并网光伏电站相当于一个具有随机性的扰动源。为此,在实际运行中,需要限制系统中的光伏发电穿透功率。

光伏发电穿透功率是指运行中的光伏电站输出功率与系统负荷的比值,光伏电站的输出功率要受到系统能接受的穿透功率极限的约束,定义光伏发电穿透功率极限为:在满足一定技术指标前提下接入系统的最大光伏电池容量与系统最大负荷的比值

$$P_{PV} \quad (P_{LD} - P_{DF}) \quad (18)$$

式中 ——光伏电池穿透功率极限值。

将式 (18) 代入式 (17) 得到光伏电站输出功率与常规发电机组输出功率的关系

$$P_{PV} = \frac{\sum_{i=1}^m P_{CGi}}{1 - \quad} \quad (19)$$

实际运行中,为保证供电的连续性和可靠性,按式 (19) 将光伏电站输出功率限制在总负荷的某个比例之内。

### 2.4 光伏电站的序贯蒙特卡罗仿真

蒙特卡罗抽样法是一种通过随机变量的数学模拟和统计分析求取工程技术问题近似解的数值方法。由于光伏发电的随机性以及太阳辐照度随时间连续变化的特点,采用序贯蒙特卡罗方法仿真能够较好地模拟光伏电站实际运行状况。

序贯蒙特卡罗仿真含光伏电站的发输电系统可靠性基本思想如下:

(1) 将 1 年分为 8 736 h 区间,假定每 h 区间内的光照条件不变。确定抽样时刻太阳辐照度和环境温度,输入原始数据;

(2) 对光伏电站中所有光伏电池组件的状态进行独立抽样,参照光伏电池阵列故障组件 3 个切除判定条件,确定需要切除的并联支路数,从而由式 (1) 得到光伏电站输出的有功功率。对每台常规机组的状态进行独立抽样,得到常规机组和光伏电站联合运行的总有功出力,进行系统潮流计算;

(3) 在考虑系统约束条件和穿透功率极限约束的前提下,判定系统运行状态。统计整个发输电系统的电力不足时间期望值  $LOLE$ 、电量不足期望值  $EENS$  等可靠性指标,对系统进行可靠性评估。

含光伏电站的发输电系统可靠性计算流程图 9 所示。

## 3 算例分析

本文以 IEEE 14 节点系统为算例,如图 10 所示,1、2、3、6 号节点上接有常规发电机组,取 1 号节点为整个测试系统的平衡节点,去掉 8 号节点的发电机,将容量为 70 MW 的光伏电站接在该节点上。系统总负荷为 321.8 MW,假设各时段负荷大小不变,采用基于序贯蒙特卡罗仿真算法,按照 2.4 节所述流程,通过 MATLAB 编程,进行常规机组与光伏电站联合运行的发电系统可靠性计算。

假设现场太阳辐照度在  $0 \sim 1.3 \text{ kW/m}^2$  之间均匀变化, SRC 条件下的光伏电池组件模型参数为:  $I_{ph} = 4.084 \text{ A}$ ,  $I_d = 70.08 \text{ }\mu\text{A}$ ,  $AKT_p = 0.0392$ ,  $R_s = 0.0053$ ,  $R_{sh} = 2.750$ , 逆变器交流电路模型参数为:  $\tau_{2} = 0.89$ ,  $\tau_{3} = 91.29$ ,  $\tau_{23} = 12.46$ ,  $\phi_{12} = 87.09^\circ$ ,  $\phi_{13} = -65.89^\circ$ ,  $\phi_{23} = -82.50^\circ$ ; 逆变器容量取光伏阵列容量的 1.5 倍。

### 3.1 不同穿透功率系数对系统可靠性分析

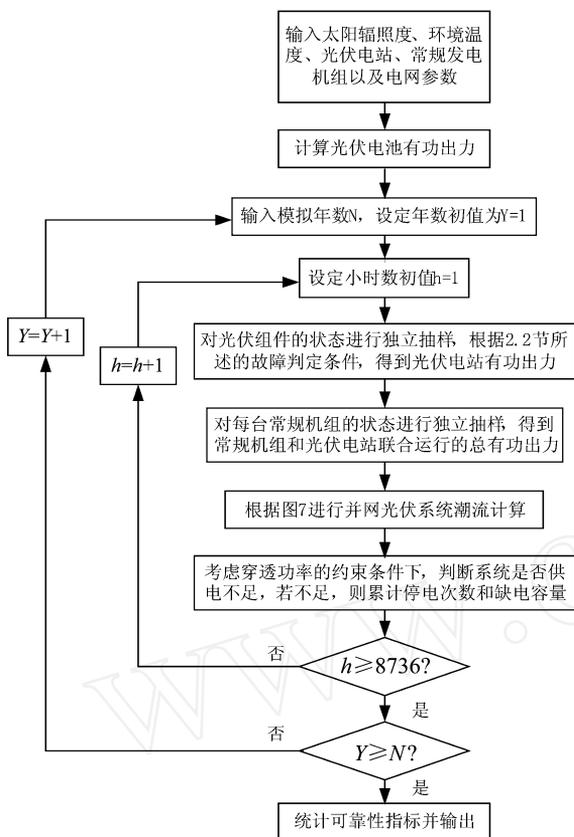


图 9 含光伏电站的发输电系统可靠性计算程序流程

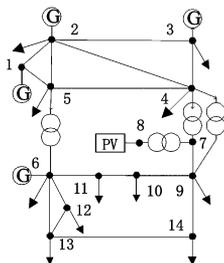


图 10 IEEE 14 转化测试系统

保持年最大负荷不变,重点分析该系统在装机容量不变且穿透功率不断增大时的可靠性指标,结果如表 1 所示。

表 1 不同穿透功率系数下系统可靠性计算结果

穿透功率系数	LOLE /h · a <sup>-1</sup>	EENS /MW · h · a <sup>-1</sup>	光伏电站发电量 /MW · h · a <sup>-1</sup>
0.05	11.82	248.79	45 131.5
0.10	9.64	198.13	73 265.46
0.15	8.45	164.94	92 805.71
0.20	7.61	153.03	100 522.85

可见,穿透功率系数的增加对系统可靠性有明显改善作用。随着穿透功率系数的增大,即光伏电站出力不断增长,整个系统的停电风险迅速下降。当穿透功率系数达到 0.18 后,穿透功率系

数的增长对系统的可靠性影响呈现“饱和”迹象,新增加的光伏电站有功出力对系统可靠性的贡献增量越来越小。结果说明,含光伏电站的发输电系统中需要有足够容量的常规机组来保证整个系统的供电可靠性,在充分利用太阳能的同时需要根据可靠性和经济性综合指标优化光伏电站的容量。

### 3.2 不同的故障光伏组件切除方案对可靠性的影响

假定穿透功率为 0.15,保持年最大负荷不变和总装机容量不变,考察故障光伏组件的不同切除方案对系统可靠性指标的影响。方案一为根据判定条件切除故障;方案二为光伏组件故障后其所在并列支路立即退出运行,对故障光伏组件进行检修。两种故障切除方案对系统可靠性指标的差别如表 2 所示。

表 2 故障阵列切除方案下系统可靠性指标

可靠性方案	LOLE /h · a <sup>-1</sup>	EENS /MW · h · a <sup>-1</sup>	光伏电站发电量 /MW · h · a <sup>-1</sup>
方案一	8.45	164.94	92 805.71
方案二	8.92	187.35	84 015.69

从上述可靠性指标计算结果看出,方案一明显优于方案二,表明采用本文所提出的判定条件分析指导故障光伏组件检修,能够改善光伏电站接入系统后的可靠性,增加光伏电站的平均年发电量,提高其运行的经济性。

### 3.3 太阳辐照度对含光伏电站的发输电系统的可靠性影响

太阳辐照度是决定光伏电站出力大小的重要因素之一。考察不同辐照度对并网光伏系统可靠性的影响,辐照度在 0.3 ~ 1.2 kW/m<sup>2</sup> 之间变化,保持年最大负荷不变和总装机容量不变,结果如表 3 所示。

表 3 不同辐照度下可靠性指标

平均辐照度 /kW · m <sup>-2</sup>	LOLE /h · a <sup>-1</sup>	EENS /MW · h · a <sup>-1</sup>	光伏电站年发电量 /MW · h · a <sup>-1</sup>
0.3	12.28	298.37	32 501.21
0.6	10.02	233.57	60 509.62
0.9	8.87	198.42	79 828.35
1.2	8.03	158.79	93 047.85

可见,太阳辐照度对含光伏电站的发输电系统的可靠性影响较大。对于相同容量的光伏电站而言,平均辐照度越大,光伏电站的年发电量就越多,并网后的对系统可靠性的提高也越显著。辐照度的大小与光伏电站的选址密切相关,因此,光

光伏电站的选址对于整个含光伏电站的发输电系统的可靠性和经济性有着重大影响。

#### 4 结语

根据光伏电池阵列等值电路,推导光伏电站的输出功率关系式。针对光伏电站发出的无功功率与接入点电压关系以及光伏电站的故障特性,交替求解光伏电站的无功功率和电网潮流,并提出故障光伏电池组件的切除条件。可靠性计算结果表明,在保持装机容量不变的情况下,含光伏电站的发输电系统的可靠性有了一定改善,而太阳辐照度、故障光伏电池组件切除方案也会对系统的可靠性产生较大影响。因此,光伏电站的选址对于整个系统的可靠性和经济性有着重大影响,而本文所提出的判定条件分析指导故障组件检修,能够改善光伏电站接入发输电系统后的可靠性,增加光伏电站的平均年发电量,提高其运行的经济性。

#### 参考文献:

[1] 赵争鸣,刘建政. 太阳能光伏发电及其应用[M]. 北京:

科学出版社, 2005.

- [2] 陈闽江. 光伏发电系统的蒙特卡罗序贯仿真和可靠性分析[D]. 安徽:合肥工业大学, 2004.
- [3] ZAHEDL A. development of an electrical model for a PV / battery system for performance prediction[J]. Renewable Energy, 1998, 15(1): 531-534.
- [4] IKEGAMI T, MACAONO T, et al Estimation of equivalent circuit parameters of PV module and its application to optimal operation of PV system[J]. Solar Energy Materials & Solar Cells 2001, 67: 389-395.
- [5] 苏建徽,余世杰,赵为,等. 硅太阳能电池工程用数学模型[J]. 太阳能学报. 2001, 22(4): 409-112
- [6] De SOTO W, KLEN S A, BECKMAN W A. Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance[J]. Solar Energy, 2006, 80: 78-88
- [7] 袁立强. 具有MPPT功能的光伏水泵系统的控制器的研究[D]. 北京:清华大学, 2001.
- [8] 王一波,伍春生,廖华,等. 大型并网光伏发电系统稳态模型与潮流分析[J]. 清华大学学报(自然科学版). 2009, 49(8): 1093-1097.

收稿日期: 2009-12-31

本文编辑:王志胜

## 电力简讯

### 华东电网有限公司认真准备 2010年迎峰度夏工作

2010年5月18日,华东电网2010年迎峰度夏准备工作汇报会在江苏昆山召开。通过这一华东电网向政府、主管机构汇报交流的机制性平台,与会各方对2010年迎峰度夏叠加世博保电的情况进行了讨论,共商对策,以确保华东电网在夏季高峰时的安全稳定运行。

华东电网有限公司董事长、党组书记帅军庆、总经理贺锡强、副总经理张怀宇,四省一市电力公司领导周永兴、冯军、费圣英、吴平、李卫东,向省市政府主管部门和华东电监局汇报了电网运行情况和各自迎峰度夏准备工作。华东电监局局长丘智健、四省一市政府经信(贸)委领导周敏浩、顾瑜芳、凌云、沈毅、马鉴康应邀参加了会议。

四省一市经信(贸)委领导均肯定了华东电网公司和四省一市电力公司对地方经济、社会发展的支持。他们介绍了各省(市)今年以来的经济运行状况,表示将强化电力平衡保障,加强煤、油、气、运等组织工作,做好需求侧管理安排,继续做好世博保电工作,同时对电网企业确保平稳度过夏季高峰提出了工作要求。

四省一市电力公司表示将在华东电监局、政府有关部门的指导下,在国网公司、华东公司的领导下,团结协作,共同努力,一起夺取世博保电和迎峰度夏攻坚战的全面胜利。

目前,华东电网已经投入了有史以来时间最长、形势最为严峻的世博保电战役。1~4月份全网统调用电量为2854.1亿kW·h,同比增长22.7%。据预测,迎峰度夏期间华东全网最高用电需求为162300MW,同比增长13%。总体而言,今夏高峰期间全网电力供应总量偏紧。

2010年华东电网迎峰度夏安全有序供电工作的总体目标是:“坚决贯彻执行国家电网公司世博供电保障1号令,确保世博会及迎峰度夏供电保障安全,坚决防止发生人身伤亡事故和恶性误操作事故,杜绝人员责任安全事故的发生”。为此,华东公司已组织开展了以下十个方面的工作:夯实电网安全生产管理;世博保电暨迎峰度夏重点工程全部优质按期完成;构建应急管理机制和预案体系;强化设备安全防护;完成世博会及迎峰度夏期间电力电量安排;圆满完成世博会开幕式和开园仪式的一级时段保电任务;跨省电力交易平台运行更加稳固,节能减排工作推进有力;完善技术支持,进一步提升电网风险防控能力;做好防台防汛防灾工作;加强网厂协调,共保电网安全有序运行。(本刊讯)