

# 光伏发电容量可信度分析

周 专<sup>1</sup>, 姚秀萍<sup>2</sup>, 常喜强<sup>2</sup>

(1. 新疆大学电气工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830047; 2. 新疆电力公司, 新疆 乌鲁木齐 830002)

**摘要:** 随着光伏电站大量接入电网, 光伏发电容量在系统中的比例不断增大, 光伏发电对系统的影响也随之增大。光伏电站接入电网改变了电力系统的规划和备用容量, 同时也为调度带来了困难。光伏发电对电力系统发电可靠性具有一定的贡献, 如何衡量光伏发电的容量可信度是电力系统规划和评估光伏发电必须解决的关键问题之一。根据光伏发电容量可信度的定义, 给出了几种光伏发电容量可信度评估方法, 通过对不同比重和不同负荷特性下的光伏发电容量可信度分析, 得出了光伏发电容量可信度的决定因素。对光伏电站接入电网的运行调度有一定的指导意义, 同时为政府部门以及电力运行规划部门制定相关政策提供科学依据, 具有重要的理论和工程实践价值。

**关键词:** 光伏发电; 容量可信度; 可靠性; 备用容量

**Abstract:** With a lot of photovoltaic (PV) power stations connecting to the grid and the increasing proportion of PV power generation capacity in the system, the influence of PV power generation on the system is also increasing. Although PV power stations connected to the grid have changed the planning and spare capacity of power system, they also have aroused some difficulties for dispatching. PV power generation has made a certain contribution to the reliability of power system, and how to measure the capacity credit of PV power generation is one of the key issues which must be resolved by power system planning and the evaluation of PV power generation. According to the definition of the capacity credit of PV power generation, several kinds of assessment methods for the capacity credit of PV power generation are given. By analyzing the capacity credit of PV power generation with different gravity and different load characteristics, the determinants of the capacity credit of PV power generation are obtained, which has a certain guiding significance for the dispatching of PV power stations connecting to the grid. What's more, it can provide the government departments and the power operational planning departments with the scientific basis to formulate the relevant policies, which will be of great value to the theory and engineering practice.

**Key words:** photovoltaic power generation; capacity credit; reliability; reserve capacity

中图分类号: TM715 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)01-0048-05

## 0 引言

随着能源危机以及人类环境保护意识的加强, 可再生能源的利用得到了越来越广泛的发展, 越来越多的并网型光伏发电出现在电力系统中<sup>[1]</sup>。但是光伏发电是间歇性的, 随着光照的变化而变化, 光伏发电不容易控制, 它不能像常规电站一样能随着负荷的变化而改变其出力, 因此这为光伏电站并网的运行调度带来一定的困难。同时随着光伏电站大量的接入系统, 系统的不确定性将增大, 为保证系统正常运行需要配备一定的备用容量, 维持电力系统的功率平衡与稳定运行<sup>[2]</sup>。因此光伏电站的接入电网将改变电力系统的规划和备用容量。

虽然光伏发电具有较强的随机性、间歇性和波动性, 但从可靠性角度分析, 光伏电站接入电网仍具有一定的负荷携带能力, 可提高系统的可靠性水平。从经济性角度分析, 光伏发电如果替代一定的常规机组发电, 能够减少常规机组的燃料费用和运行费用, 具有可观的环保效益。下面将根据光伏发电容量可信度的定义, 给出了几种光伏发电容量可信度计算方法, 通过对不同比重和不同负荷特性下的光伏发电容量可信度分析, 得出了光伏发电容量可信度的决定因素。为光伏电站接入电网的运行调度提供一定的指导意义, 同时能够为政府部门以及电力运行规划部门制定相关政策提供科学依据, 具有重要的理论和工程实践价值。

## 1 光伏发电出力模型

光伏出力和电网负荷均具有不确定性。从长时间尺度来看,光伏出力的波动特性主要由太阳位置、电站经纬度、海拔高度、气象因素决定,负荷波动特性主要由生产、生活、气象因素决定<sup>[3]</sup>。

光伏电站的输出功率与光照强度、光伏阵列面积和光电转换效率等因素密切相关。对于一个光伏阵列,其输出功率为

$$P = EA\eta \quad (1)$$

式中  $E$  为光照强度;  $A$  和  $\eta$  分别为电池方阵的面积和光电转换效率。

光照强度具有随机性,因此光伏阵列的输出功率也是随机波动的。据统计,在一定时段内(1 h 或几小时),光照强度近似呈 Beta 分布<sup>[4]</sup>,其概率密度函数为

$$f(E) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \left(\frac{E}{E_{\max}}\right)^{\alpha-1} \left(1 - \frac{E}{E_{\max}}\right)^{\beta-1} \quad (2)$$

式中  $E$  和  $E_{\max}$  分别为这一时间段内的实际光照强度和最大光照强度;  $\alpha$  和  $\beta$  为 Beta 分布的形状参数;  $\Gamma$  为 Gamma 函数。

由式(1)可知,光伏阵列输出功率也呈 Beta 分布,其概率密度函数为

$$f(P) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \left(\frac{P}{P_{\max}}\right)^{\alpha-1} \left(1 - \frac{P}{P_{\max}}\right)^{\beta-1} \quad (3)$$

式中  $P_{\max} = E_{\max}A\eta$ , 为电池方阵的最大输出功率。

## 2 光伏发电容量可信度

光伏发电容量可信度是指在保持系统可靠性水平不变的前提下,并网光伏电站能够替代的常规机组发电容量占光伏电站装机容量的百分比,其数学表达式为

$$CC = \frac{\Delta C}{C_{SN}} \times 100\% \quad (4)$$

其中  $CC$  为光伏发电容量可信度;  $C_{SN}$  为光伏电站总装机容量;  $\Delta C$  为光伏电站能够替代的常规发电机组容量。

由于大量光伏电站接入电网,光伏电站对系统的影响也越来越大。光伏发电到底能替代多少常规发电即光伏发电容量可信度如何,对分析光伏电站接入系统影响有重要意义。光伏发电容量可信度的

确定有利于对光伏发电并网运行进行调度。同时也可以确定系统中的备用容量,有利于系统规划。无视光伏发电容量可信度,盲目地配置较大容量的旋转备用会直接影响电力系统运行的经济性;对光伏发电容量可信度的期望过高又会给电力系统运行的可靠性带来风险<sup>[5]</sup>,因此要对光伏发电容量进行有效的评估。

光伏发电容量可信度的高低取决于光照强度、负荷特性、光伏发电在电网中的比重。

光伏电站接入电网可以提供一定的功率,为系统安全、可靠运行作出一定的贡献。光伏发电容量可信度的确定,可以更加精确地对系统的可靠性进行评估。同时光伏发电是间歇性的、不可控的,在保证系统安全稳定运行时需要配备一定的备用容量。光伏发电容量可信度的确定可以精确地规划系统中的备用容量。

## 3 评估方法

在进行光伏发电容量可信度评估时要满足两个原则<sup>[6]</sup>: ①最大常规发电装机容量需求随着光伏发电装机容量的增加,常规发电装机总容量需求只能保持原来水平或降低。②实际常规发电装机容量需求,如果光伏发电能对电网运行安全性作出贡献,则实际需要的常规发电装机容量可以降低。

光伏发电容量可信度评估方法有概率性方法和确定性方法。

### 3.1 概率性方法<sup>[7]</sup>

电力系统是一个具有随机特性的大系统,负荷水平变化、元件故障等都具有不确定性,同时光伏电站的输出功率也具有很强的随机性,采用概率性方法更符合电力系统实际运行情况。光伏发电容量可信度评估的概率性方法是借助电力系统可靠性评估实现的。

基于电力不足概率(LOLP)在保证电力系统可靠性水平不变的情况下,新增光伏电站的同时减少系统中的常规发电。则光伏发电可信容量( $\Delta C$ )为减少的常规发电量,表达式为

$$\Delta C = C_o - C_s \quad (5)$$

$C_o$  和  $C_s$  分别为光伏电站并网前后系统投入常规发电机组的总容量。

概率性方法基于电力系统可靠性理论,对常规

发电机组和光伏发电的随机特性具有良好的处理机制,能很好地区分不同性质的电源对系统可靠性的影响,方法严谨,计算结果准确。不足之处是,概率性方法需要复杂的建模,计算量较大,且计算所需数据集较难获取。

### 3.2 确定性方法

确定性方法以系统高峰负荷时段的光伏发电容量因子(光伏电站平均出力与最大出力的比值)近似替代容量可信度,只需统计研究周期内光伏电站的输出功率,无需进行可靠性建模,计算简单、快速。

然而,确定性方法与研究周期有关,即系统高峰负荷时段选取的合适与否直接影响光伏发电容量因子的计算结果。与概率性方法相比,确定性方法虽然简单,但是由于没有考虑系统中的随机因素,从而不能反映系统潜在的风险,很难准确地反映光伏发电对系统可靠性的贡献,仅适用于近似计算。

如图1所示,分析光伏发电与负荷的关系<sup>[8]</sup>,光伏发电出力是在白天,而系统中的用电负荷高峰也是出现在白天这一时段。即光伏发电在负荷用电最高峰时有一定的贡献。这里所用的光伏容量可信度评估方法是根据光伏发电对负荷的作用提出来的,统计每天负荷最大时所对应的光伏发电量,求出统计的光伏发电量的平均值,该平均值就是光伏发电所能替代的常规机组发电容量( $\Delta C$ )。

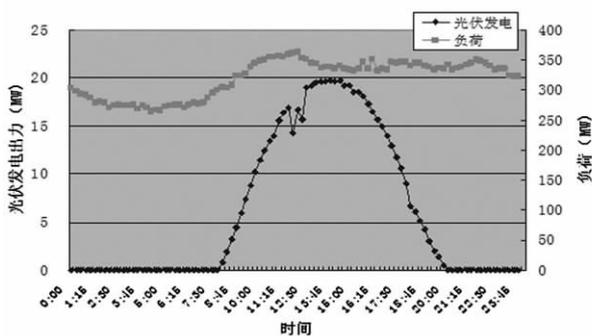


图1 光伏发电与负荷关系曲线

## 4 不同角度下的光伏发电容量可信度

容量可信度的主要决定因素<sup>[1]</sup>: ①负荷峰值与间歇式电厂出力之间的相关程度; ②间歇式电厂出力的平均水平; ③间歇式电厂在系统中的比重; ④间歇式电厂所处的自然条件(风速、光照强度)。由光伏发电特性可以知道,光伏发电容量可信度的大小

受很多方面的影响。

### 4.1 光伏发电在系统中的不同比重

随着国家大力推广可再生资源,光伏发电作为清洁能源在电网中的比重不断增大。光伏电站大量并入电网对电网的运行调度、电网规划和备用容量产生较大的影响。光伏发电容量可信度也会随着光伏电站在电网中的比重不同而发生改变。

A地区总装机容量为560 MW,其中光伏发电容量为40 MW,占总装机容量的7.2%。B地区总装机容量为1123 MW,其中光伏发电容量为20 MW,占总装机容量的1.8%。对这两个地区光伏发电容量可信度进行评估,结果如表1。

表1 光伏发电容量可信度

地区	光伏发电容量 /MW	所占比重 /%	容量可信度 /%
A地区	40	7.2	38.2
B地区	20	1.8	52

由表1计算结果可以得出,光伏发电装机容量在系统中的比重增大时,光伏发电容量可信度反而减小。

### 4.2 不同负荷特性

光伏发电是间歇、可变和不可控的,它的出力随着光照强度和温度的变化而变化。系统中的负荷需求也是变化的,具有不确定性。若光伏发电出力能随负荷需求变化而变化,则光伏发电对系统的贡献越大,即光伏发电容量可信度越大。因此光伏发电与负荷相关性不同,光伏发电容量可信度也不同。

如图2所示,A地区的最大负荷是在22:30,最小负荷是在6:15,地区的负荷变化比较大。而该地区光伏发电出力的最大值是在12:30。由图可以知道该地区的光伏发电出力与负荷的相关性不强。

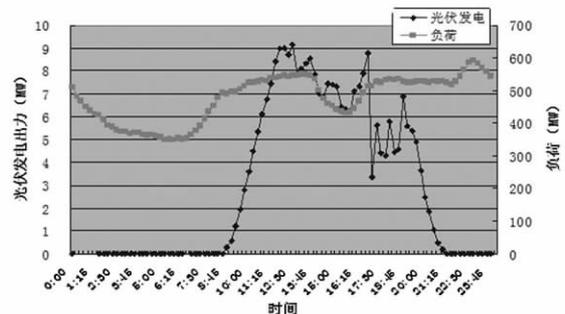


图2 A地区光伏发电出力与负荷曲线

如图3所示,B地区的最大负荷是在12:30,最小负荷是在3:45,地区的负荷变化不大。而该地区

光伏发电出力的最大值是在 13:30。由图可以知道该地区的光伏发电出力与负荷的相关性强。

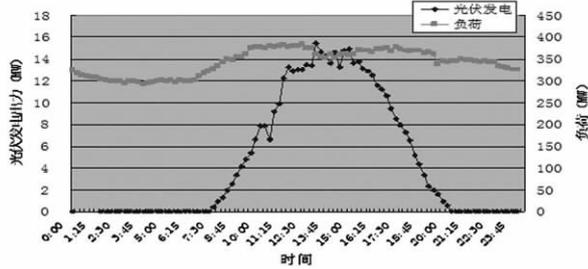


图3 B地区光伏发电出力与负荷曲线

对这两地区光伏发电容量可信度进行评估,评估结果如表2。

表2 光伏发电容量可信度

地区	光伏发电容量 /MW	光伏发电容量可信度 /%
A地区	20	10.5
B地区	20	36.2

由表2计算结果可以得出,光伏发电容量可信度与负荷特性有关,当光伏发电出力与负荷相关性强时光伏发电容量可信度大;反之光伏发电容量可信度小。

## 5 系统中额外备用容量

由于系统中的需求与发电的不确定性变化,为了保证电力系统安全稳定运行,系统需要配备一定的备用容量。大量光伏电站接入系统,系统的不确定性将增大<sup>[9]</sup>,这对系统中的备用容量要求更高。系统中的备用容量过高,有利于系统的安全稳定运行,但投资过高。系统中的备用容量过低,系统不能安全稳定运行。

光伏电站接入电网对系统的可靠性有一定的贡献,它的接入将改变系统的备用容量大小。光伏发电容量可信度的确定对系统中备用容量的配备有重要的意义。通过对光伏发电容量可信度进行评估,可以合理地配备系统中的备用容量。在不考虑光伏发电容量可信度时,系统要求备用容量要有100%的备用。这样在电力系统规划中有很大的浪费,投资费用大。当考虑光伏发电容量可信度时,在电力系统规划中可以适当地减少备用容量,减少投资。

不同备用方式与只含常规发电装机方式的对比如图4所示。由图可以看出若考虑系统中的光伏发

电容量可信度时,系统中的总备用容量会比其他两种备用方式低,同时光伏电站接入系统可以降低系统所需的常规机组容量。

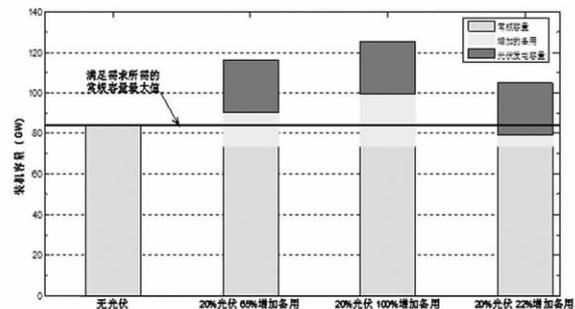


图4 不同备用方式

## 6 结语

通过对光伏发电容量可信度分析,提出了一种简便的光伏发电容量可信度评估方法,通过对实际光伏发电分析得出如下结论:①光伏电站接入系统可以提高系统的可靠性,在一定的条件下可以替代一部分常规发电机组发电容量。②光伏发电容量可信度的大小与负荷特性及光伏发电容量在系统中的比重有关。光伏电站出力与负荷峰值相关性越强,则光伏发电容量可信度越大;光伏发电容量占系统的比重低时光伏发电容量可信度就大。③光伏发电容量可信度的确定有利于系统中备用容量的规划,适当地减少投资。

### 参考文献

- [1] 梁双,胡学浩,张东霞,等. 光伏发电置信容量的研究现状与发展趋势[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(19): 101-107.
- [2] Godfrey Boyle 著,中国电力科学研究院新能源研究所译. 可再生能源与电网[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [3] 梁双,胡学浩,张东霞,等. 基于随机模型的光伏发电置信容量评估方法[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(13): 32-37.
- [4] Karaki S. H., Chedid R. B., Ramadan. Probabilistic Performance Assessment of Autonomous Solar-wind Energy Conversion Systems[J]. IEEE Trans. on Energy Conversion, 1999, 14(3): 766-772.
- [5] Milborrow D. J. Capacity Credits - Clarifying the Issue[J]. Meteorological Magazine, 2002, 80.

- [6] L. L. Garver. Effective Load Carrying Capability of Generating Units [J]. IEEE Trans on Power Application and Systems, 1996, 85(8): 910-919.
- [7] 江婷婷. 风电场运行容量可信度评估与应用研究[D]. 济南: 山东大学, 2011.
- [8] Wang Yibo, Wu Chunsheng, Liao Hua. Study on Impacts of Large-scale Photovoltaic Power Station on Power Grid Voltage Profile [C]. 3rd International Conference on DRPT 2008. China: Nanjing, 2008.
- [9] 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. 2009, 49(8): 1093-1097.
- 作者简介:  
周专(1987), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统稳定与控制;  
姚秀萍(1961), 女, 硕士生导师, 高级工程师, 研究方向为电力系统稳定与控制、调度自动化;  
常喜强(1976), 男, 硕士生, 研究方向为电力系统分析与控制。
- (收稿日期: 2012-07-25)

## 《四川电力技术》投稿须知

《四川电力技术》是四川省电力公司主管、四川省电机工程学会和四川电力科学研究院联合主办的国内外公开发行的综合性学术的电力科技期刊, 主要刊登电力系统的科研、规划、生产运行、设备和系统维护等方面的研究报告、专题论述、应用研究、经验交流、技术讨论等文稿, 尤其是科研创新方面的论文。本刊热诚欢迎投稿。根据科技论文规范化的要求, 本刊对来稿提出以下要求。

1) 文稿内容应具有科学性、创新性和实用性; 论点明确、数据可靠、说明严谨、数学推导简明; 语言流畅、文字简练、层次分明、重点突出。学术论文请按 GB 7713-1987《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》书写, 篇幅以版面不超过 6 000 字(包括图表所占篇幅)为宜。

2) 文稿须写有中文摘要、关键词。摘要内容包括研究目的、方法、结果和结论四要素。摘要在 150~300 字之内。关键词是反映论文的词组, 选 3~8 个。摘要及关键词、文章题目均附英文译文。

3) 文稿表格尽量采用“三线表”。表格上写表序和表名。表注放在表底。插图应清晰, 少而精, 插图下方应有图序和图名。能用文字或表格描述的尽可能不用插图。

4) 来稿计量单位一律采用《中华人民共和国法定计量单位和符号》。

5) 文中或公式中外文字母符号要注明文种、大小写、上下标、正体、斜体。

6) 参考文献尽量选用公开发表的资料, 按在正文中出现的先后次序列于文后, 以 [1]、[2]……标识序号, 且与正文中的指示序号一致。按 GB/T 7714-2005《文后参考文献著录规则》和 CAJ-CDB/T1-2006《中国学术期刊(光盘版)检索与评价数据规范修订版试行稿》的要求著录文后参考文献。

文献类型及其标识为: 普通图书[M]; 会议论文[C]; 报纸文章[N]; 期刊文章[J]; 学位论文[D]; 报告[R]; 标准[S]; 专利[P]; 汇编[G]; 档案[B]; 古籍[O]; 参考工具[K]; 其他未说明的文献类型, 例如可公开的政府行政部门编号文件、行业或大公司的技术规范或工作手册[Z]; 网上期刊[J/OL]; 网上电子公告[EB/OL]。电子文献尚需在载体标记后加上发表或更新日期(加圆括号)、引用日期(加文括号)和电子文献网址。

7) 投稿可通过 E-mail 提供电子文件, 信箱为“cdscdljs@163.com”。稿件上注明详细地址、邮政编码、联系电话, 并请自留底稿, 本刊一律不退稿。作者在投稿 3 个月后可致电(028) 87082036、87082037 或 E-mail 到编辑部了解审稿情况。

8) 本刊投稿自愿, 文责自负。对录用稿件编辑部有权进行必要的删改, 如不愿被删改, 请在原稿上注明。

9) 本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、中国期刊网、北极星网站、万方数据库、《中国期刊全文数据库》等网站, 稿件一经录用刊登, 作者著作权使用费及稿酬已一次付清, 如作者不同意收录, 请在来稿时提出声明, 本刊将作适当处理。

来稿请寄: 四川省成都市青华路 24 号《四川电力技术》编辑部收

邮政编码: 610072

电话: (028) 87082036 87082037

E-mail: cdscdljs@163.com