

遮挡现象对大型并网光伏电站输出性能的影响^{*}

谢丽莹, 孙韵琳, 李祥志, 洪瑞江
(中山大学太阳能系统研究所, 广东 广州 510275)

摘要: 西北地区地域开阔、太阳资源丰富, 有广泛分布的戈壁、沙漠、滩涂, 是建设光伏电站的良好场所。光伏电站在实际的长期户外使用中往往会碰到许多复杂的环境因素, 其中, 遮挡现象是影响电站发电特性的重要因素。该文首先阐述了光伏组件受到遮挡时的数学模型; 同时, 根据对某大型光伏电站的现场考察结果, 总结了大型并网光伏电站的遮挡共性, 分别是前后排阵列、配电装置、植被以及鸟粪遮挡, 并在电站现场就不同类型的遮蔽物遮挡进行实验; 结合光伏组件/串 $I-V$ 特性测试仪的测试结果, 验证了数学模型计算出来函数断点与实测的数据有一定的一致性; 最后得出各种遮挡现象导致的电站发电量损失, 并提出有效的防范措施, 日后电站建设有一定的参考意义。

关键词: 遮挡; $I-V$ 输出特性; 并网; 光伏系统;

中图分类号: TM615 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2013)06-0129-04

The Performance Analysis of Grid-connected PV System with some Typical Shading Effects

XIE Liying, SUN Yunlin, LI Xiangzhi, HONG Ruijiang

(Institute for Solar Energy Systems, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The northwest area provides ideal situation for installing PV power systems with its rich solar resource and open area, such as Gobi desert. A prototype of a shaded photovoltaic module is presented. And then, the typical shading types are concluded, which is classified as front row shading, vegetation, wire poles and distribution rooms and birds dropping after longtime surveys and observation. The shading effects caused by some particular obstacles are measured and analyzed according to the field test on a 20-MW PV system. Reduction of the $I-V$ and $P-V$ characteristic has been observed and compared with the theoretical value. In the end, some suggestions on dealing with these shading problems in the installation and operation of the PV system are proposed.

Key words: shading effects; output characteristic; grid-connected; solar farm

光伏电站一般设置在地域开阔、阳光充足的地带, 西北地区广泛分布的戈壁、沙漠、滩涂, 为其提供了理想的地点。然而由于设计的不周全或电站现场部分地区地表不平整, 在实际安装过程中会造成阵列前后排、电线杆等的阴影遮挡; 在户外长期使用过程中也难免落上鸟粪、树叶等遮挡物, 而

使光伏阵列产生局部的阴影现象, 直接影响光伏组件的输出特性。表面被局部遮挡、光强分布不均匀等因素均会导致光伏组件输出电流及功率降低, 甚至被遮挡的电池相当于负载消耗电能, 并会出现过热甚至击穿的热斑现象, 严重影响光伏组件的输出特性和使用寿命^[1]。

* 收稿日期: 2013-03-19

基金项目: 广州市科技计划资助项目(2011Y1-0006); 陕西省科技计划资助项目(2010ZKC03-10)

作者简介: 谢丽莹(1988年生), 女; 研究方向: 光伏系统及应用; 通讯作者: 洪瑞江; E-mail: hongruij@mail.sysu.edu.cn

1 遮挡现象的数学模型

为分析遮挡后光伏组件的输出特性, 将其简化成两组支路串联的模型, 如图 1。在模型中, 每组支路的参数一致, 在相同光照强度下, 有相同的光生电流^[2]、旁路二极管阻断。描述支路的输出特性的公式为

$$I = I_{ph} - I_b \left\{ \exp \left[\frac{q \cdot (V + IR_b)}{AkT} \right] - 1 \right\},$$

$$I_{ph} = (I_{ph_STC} + K_i \Delta T) \frac{G}{G_{STC}} \frac{(A_o - A_c)}{A_o}$$

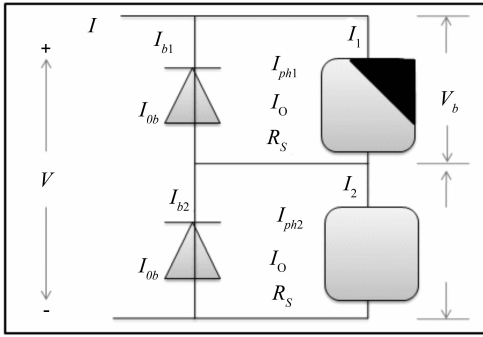


图 1 光伏组件等效电路图

Fig. 1 Equivalent circuit of a PV module

而旁路二极管的电流 I_b 为

$$I_b = I_{ob} \left\{ \exp \left[\frac{-qV}{A_b k T_b} \right] - 1 \right\}$$

式中, c_1 、 c_2 分别为光强影响系数和温度影响系数, G 为光强, A_o 、 A_c 分别为电池面积和电池被遮挡面积, $\Delta T = T - T_{ref}$ 为实验中产生的温度差, T 、 T_{ref} 分别为电池工作温度和参考温度。

组件中的电池串联后, 输出的总电流与受遮挡最多的电池片所产生的电流一致^[3]。当 M_1 中有电池被遮挡, 且 $I_{ph1} < I < I_{ph2}$ 时, M_2 中多余电流从导通的旁路二极管中通过。当 $I < I_{ph1}$ 时, 电流 I 直接从 M_1 通过, 此时旁路二极管两端为反向偏压, 处于阻断状态。因此, 由于旁路二极管的存在, 组件的输出特性有较为明显的改变^[4], 且特性曲线可以由分段函数来表达^[5], 分段函数中的断点是旁路二极管导通与阻断的转折点:

$$\begin{cases} V = \frac{AkT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph2} - I}{I_s} + 1 \right) - \frac{A_b k T_b}{q} \ln \left(\frac{I - I_{ph1}}{I_{ob}} + 1 \right) - IR_s, \\ I_{ph1} < I \leq I_{ph2} \\ V = \frac{AkT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph1} - I}{I_s} + 1 \right) + \frac{AkT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph2} - I}{I_s} + 1 \right) - 2IR_s, \\ 0 \leq I \leq I_{ph1} \end{cases}$$

根据旁路二极管导通与阻断对电路的影响, 从理论上组件支路中并联了 K 组旁路二极管, 当各支路上任何一片电池受到不同面积的阴影遮挡时, 组件的 I - V 曲线将出现 K 个膝形, P - V 曲线出现 K 个峰。

2 大型光伏电站调研结果及分析

2012 年 9 月 12 日 10:00 ~ 11:00, 太阳辐照度稳定在 850 W/m^2 , 对西北某大型光伏电站进行现场实地调研后发现, 组件被遮挡的情况不尽相同, 但也存在一定的共性, 见图 2, 分别是前后排阵列、配电装置、植被以及鸟粪。测试组件为 220 W 标准多晶组件, 仪器为 HT (I-V400), 测试结果为自然光下测得的数据, 经过仪器转换成标准测试条件 (Standard testing condition, STC) 下的输出特性曲线。

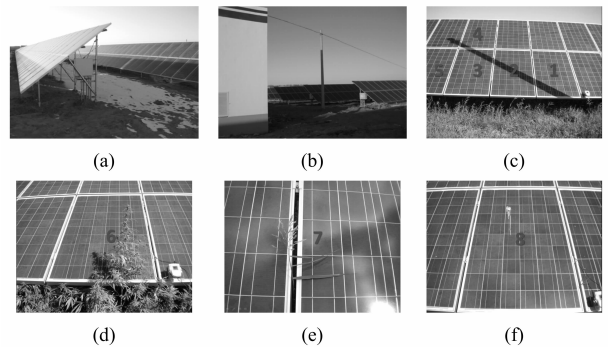


图 2 西北地区典型的遮挡现象

Fig. 2 Shading examples of northwest PV system

1) 前后排阵列的遮挡。

实地调研中发现, 冬天 8:40 至 16:10 间, 部分阵列出现了前后排间的阴影遮挡, 如图 2a。原因是施工过程中由于地表结构的差异, 难以保证与设计图纸完全匹配使其在安装后与设计出现偏差。

2) 配电装置的遮挡。

配电房的位置设计不当, 会对周边阵列造成一定的阴影遮挡; 而为输送所发电力所设置的电线杆、线缆等也会然在光伏阵列中导致不同程度的阴影遮挡, 使交流输出效率降低, 如图 2b 和 2c。

图 2c 中, 1 号区域从右到左分成 M_{1-1} 、 M_{1-2} 、 M_{1-3} 三条支路, 各支路中被遮挡的单片电池的最大面积依次为 22.5%、70%、80%, 所以 $I_{ph1} > I_{ph2} > I_{ph3}$ 。当 $I_{ph2} < I < I_{ph1}$ 时, M_{1-2} 、 M_{1-3} 的旁路二极管导通, 输出 M_{1-1} 的特性曲线; 当 $I_{ph3} < I < I_{ph2}$ 时, 只有 M_{1-3} 的旁路二极管导通, 输出 M_{1-1} 、 M_{1-2} 共同的特性曲线; 当 $I < I_{ph3}$ 时, 三组旁路二极管处于阻断状态, 输出 M_{1-1} 、 M_{1-2} 、 M_{1-3} 的特性曲线。故 $I-V$ 曲线为三段函数, 见图 3a。

的输出功率减低, 整个组串的效率随之下降^[8]。

电线杆遮挡的出现, 使单块组件功率的下降幅度约 84%, 组串整体的功率也下降, 日发电量下降 10 kWh 左右。2012 年电站所在地, 晴天约有 180 d, 保守预估一个电线杆的阴影会导致电站的年发电量少了 1 800 kWh。因此, 电站中小规模的遮挡导致的经济损失也较为严重。

3) 植被的遮挡。

人类活动是造成西北地区荒漠化的主要诱因, 大型并网光伏电站的建立, 不但可以解决当地部分就业问题, 还可以通过调整资源的供给, 改善产业结构, 促进经济的发展和进步, 有利于西北地区的自然环境改善^[6]。然而当植被生长过高时会出现一定的阴影遮挡, 影响输出。

图 2d 中, 大叶杂草 M_{6-1} 、 M_{6-2} 、 M_{6-3} 三条支路中被遮挡的单片电池的最大面积依次约为 10%、40%、70%, 其原理与电线杆遮挡相似, 故输出的 $I-V$ 曲线有三个膝形、 $P-V$ 曲线呈三峰, 见图 4a; 图 2e 中, 小叶杂草被遮挡仅为 8%、100%、100%, 因此输出 $I-V$ 、 $P-V$ 曲线与没有遮挡时的曲线几乎重合, 效率的降低不明显, 见图 4b。

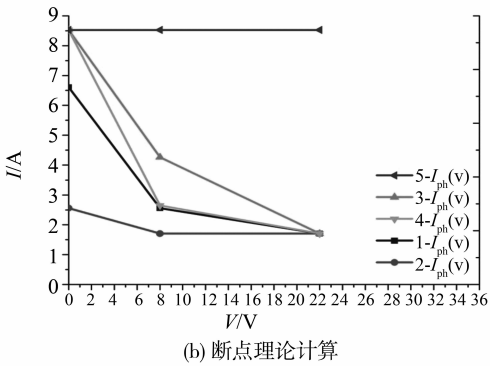
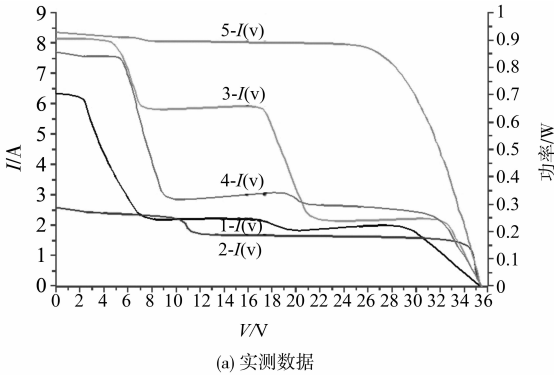


图 3 电线杆阴影下的输出特性曲线

Fig. 3 Electrical characteristic curves of pole shading

(a) measured data; (b) theoretical value

组件的输出不仅跟被遮挡面积有关, 还需考虑入射光强和温度^[6-7]。测得阴影处平均光强为 80 W/m², 环境温度为 27.5 °C。忽略环境因素带来的影响, 如温度、辐照, 根据数学模型计算出来 1 号区域的分段函数断点与实测的数据相差不大, 图 3b。同理, 2 号区域被遮挡 80%、70%、80%, 3 号区域被遮挡 80%、50%、0%, 4 号区域被遮挡 0%、60%、80%, 5 号区域未被遮挡, 可计算相应的理论断点并作比较。

在电站中, 多晶组件的电气接入方式为每个组串有 20 个组件串联, 根据电站的输出特性, 该组串日发电量约为 18.83 kWh。当组串中有一块组件

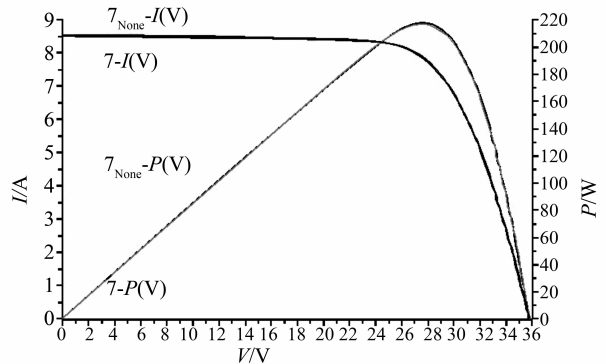
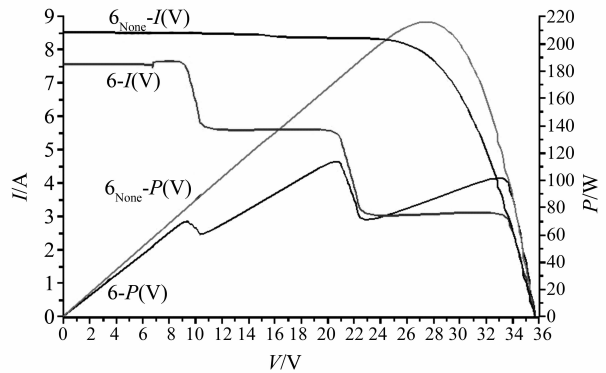


图 4 植被阴影下的输出特性曲线

Fig. 4 Electrical characteristic curves of plant

由于植被遮挡的出现, 功率下降幅度约为 50%, 组串日发电量下降 9 kWh 左右, 预估由此导

致的电站的年总发电量少了 1 620 kWh。因此,在光伏电站的后期维护中,需要雇请专人进行定期除草,降低植被对组件遮挡的可能性。另外,可以在光伏电站设计的初期对电站地表植被进行翻种,如根据当地情况种植花生、白药等有相当经济价值的低矮植物,在降低后期维护成本的同时、增加额外的经济收入。

4) 鸟粪的遮挡。

如今西北地区荒漠化治理有了较好的成果,该地区开始变得越来越适合鸟类生存和繁衍,因此,除了要考虑电线杆和杂草这类小面积的遮挡现象会影响光伏电站的输出之外,还需要考虑鸟粪的遮挡现象。鸟粪的遮挡面积其实并不算特别大,可是还是有一定的影响的,主要表现为最大输出功率 P_{max} 降低了 1 W,填充因子 FF 下降了 1%,输出特征曲线与没有遮挡时的曲线有稍微的不重合。

3 有效的防范措施

由于组件被遮挡后,其各方面性能都有很大的损耗,因此提出一下几个方面的建议:在组件中要使用旁路二极管来限制阴影对组件和电池带来的严重损耗^[9];阵列设计时计算合适的间距,避免行距不当或倾斜角选择失误导致阴影的产生^[10];电站设计时,考虑到配电房、电线杆、树木、植被等周边环境所产生的阴影对阵列的影响,必要时适当移除;经常清理组件表面的灰尘、树叶等,保持太阳能电池组件的清洁^[11]。

4 小结

本文首先从理论得知组件中并联了 K 组旁路二极管,则当受到不同的阴影遮挡或入射光强照射时,组件的 $I-V$ 曲线将出现 K 个膝形, $P-V$ 曲线出现 K 个峰。然后结合对西北某大型光伏电站的考察调研结果,对几种典型现象进行归纳和总结,得出大型光伏并网电站的遮挡共性,包括前后排阵列、配电装置、电线杆、植被、鸟粪等。对几种典型的遮挡现象进行测试,并对所得的 $I-V$ 、 $P-V$ 输出特性曲线以及各个电学参数进行分析,进一步验证了数学模型计算出来函数断点与实测的数据有一定的一致性。由于 2012 年电站所在地,晴天约有 180 d,保守预估由电线杆引起的电站年发电量减少量为 1 800 kWh/

个,植被遮挡后发电量减少量为 1 620 kWh/个。因此,在电站设计时对这些典型遮挡现象进行有效的规避。

参考文献:

- [1] 刘晓艳,祁新梅,郑寿森,等.局部阴影条件下光伏阵列的建模与分析[J].电网技术,2010.34(11):192-197.
- [2] 李国良,李明,王六玲,等.阴影遮挡下空间太阳能电池串联组件输出特性分析[J].光学学报,2011(1):236-241.
- [3] 沈辉,曾祖勤.太阳能光伏发电技术[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [4] HERRMANN W, WIESNER W, VAASSEN W. Hot spot investigations on PV modules-new concepts for a test standard and consequences for module design with respect to bypass diodes [C] // Photovoltaic Specialists Conference, 1997, Conference Record of the Twenty-Sixth IEEE, 29 Sep-3 Oct 1997: 1129-1132.
- [5] 翟载腾,程晓舫,丁金磊,等.被部分遮挡的串联光伏组件输出特性[J].中国科学技术大学学报,2009(4):398-402.
- [6] ITO M, KATO K, SUGIHARA H, et al. A preliminary study on potential for very large-scale photovoltaic power generation (VLS-PV) system in the Gobi desert from economic and environmental viewpoints [J]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2003,75(3/4):507-517.
- [7] ISHAQUE K, SALAM Z. A comprehensive MATLAB Simulink PV system simulator with partial shading capability based on two-diode model[J]. Solar Energy, 2011, 85:2217-2227.
- [8] ALONSO-GARCIA M C, RUIZ J M, HERRMANN W. Computer simulation of shading effects in photovoltaic arrays[J]. Renewable Energy, 2006,31:1986-1993.
- [9] SILVESTRE S, BORONAT A, CHOUDEUR A. Study of bypass diodes configuration on PV modules[J]. Applied Energy, 2009,86:1632-1640.
- [10] 杨刚,陈鸣,陈卓武.固定式光伏阵列最佳倾角的CAD计算方法[J].中山大学学报:自然科学版,2008,47(2):165-169.
- [11] 田智华,段凯.光伏建筑一体化光伏组件表面清洁的效益分析[J].建筑热能通风空调,2011,30(4):77-79.