

DOI: 10.7667/PSPC151942

基于峰值计数与参数辨识的光伏组件阴影判定方法

陈凌¹, 韩伟², 张经纬¹

(1. 河海大学能源与电气学院, 江苏 南京 211100; 2. 国网淮安供电公司, 江苏 淮安 223001)

摘要: 针对光伏组件中阴影难以判定的情况, 提出了一种基于峰值计数与参数辨识的光伏组件阴影判别方法。首先, 通过可编程直流电子负载对光伏组件 I-V 输出特性曲线进行全局快速扫描, 以记录曲线中明显的多峰值个数; 然后采用改进人工鱼群算法(IAFSA)对 I-V 特性曲线中采样值进行内部等效参数辨识, 结合均方根误差(RMSE)进而判断组件中轻微阴影遮挡情况。通过上述两步法可对光伏组件中阴影情况进行有效判定, 仿真和实验结果进一步说明了上述方法的有效性和准确性。

关键词: 光伏组件; 阴影; 可编程直流电子负载; 峰值计数; 改进人工鱼群算法; 参数辨识

Shadow judgment method for photovoltaic module based on peak counting and parameter identification

CHEN Ling¹, HAN Wei², ZHANG Jingwei¹

(1. College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China;
2. State Grid Huaian Power Supply Company, Huaian 223001, China)

Abstract: In allusion to the fact that it is hard to judge the shadow of photovoltaic (PV) module, a shadow judgment method based on peak counting and parameter identification is proposed. Firstly, the I-V output characteristic curve of PV module is scanned globally and quickly through programmable DC electronic load, which is used to record the number of noticeable peaks. Then, an improved artificial fish swarm (IAFSA) is adopted to identify the internal equivalent parameters of PV module by sample values of I-V curve, and combining with the root mean square error (RMSE) to determine the slight shadow of PV module. The shadow condition of PV module can be effectively judged through the two-step method, the experimental results further demonstrate the effectiveness and accuracy of this method.

This work is supported by Innovation Project of Postgraduate Education of Jiangsu Province (No. CXZZ12_0228).

Key words: photovoltaic module; shadow; programmable DC electronic load; peak counting; improved artificial fish swarm algorithm; parameter identification

0 引言

随着化石类能源的逐渐枯竭和环境污染的日益加剧, 许多国家将目光转向新能源发电领域。光伏发电具有设计安装容易、地域限制小、扩容性强、噪声低以及寿命长等特点, 日益成为新能源发电的主要形式之一^[1]。

实际应用中, 由于外界环境复杂多变, 因受到周围建筑物、树木以及乌云等产生局部阴影的影响, 作为最小发电单元的光伏组件输出呈现多峰值特性, 此时传统单峰值 MPPT 法易失效, 导致输出功

率降低^[2]。此外, 当存在局部阴影时, 由于组件内各电池片的输出特性不一致, 被阴影遮挡的光伏电池片将作为负载消耗其他有光照的光伏电池片所产生的能量, 使其发热从而形成“热斑效应”^[3]。发热严重时, 将会导致光伏电池片或玻璃开裂、焊点融化等破坏性结果, 进而有可能使整个光伏组件失效^[4]。因此, 对光伏组件进行阴影状态监测, 及时对轻微阴影故障进行排查, 可有效预防阴影故障程度加重; 同时, 采取相应措施以避免造成严重后果, 提高光伏发电系统的安全性。

现阶段, 针对阴影方面的研究, 主要集中在阴影情况下的输出特性以及最大功率点跟踪, 均属于“事后被动型”措施; 而对于早期阴影的状态监测,

涉及相对较少^[5-6]。

基于此，本文提出一种基于峰值计数与参数辨识的光伏组件阴影判定方法，该方法先通过可编程直流电子负载对光伏组件 I-V 特性曲线进行快速扫描，以记录明显的峰值数；而后通过改进人工鱼群算法对 I-V 特性曲线采样值进行参数辨识，结合误差阈值对轻微阴影进行判定。仿真和实验结果表明该方法能够有效解决光伏组件阴影状态的早期判定情况。

1 基于可编程直流电子负载的光伏组件 I-V 特性曲线全局扫描

图 1 所示为基于可编程直流电子负载的光伏组件特性曲线扫描电路框图^[7]。如图 1 所示，将可编程直流电子负载作为光伏组件的负载，可编程电子负载的等效阻值受控制电路输出信号的控制，该等效阻值变化范围由零逐步变化到无穷大，光伏组件工作点也由短路点逐步变化到开路点。在此过程中，对光伏组件的连续工作点上输出电压、电流进行采样，便得到光伏组件在当前工况下 I-V 特性曲线。

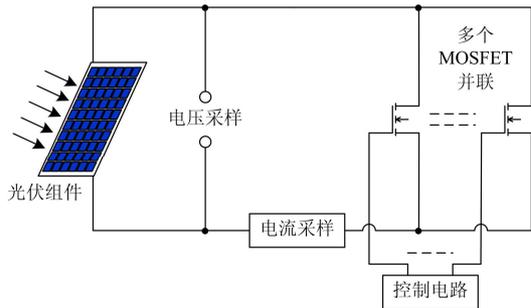


图 1 基于可编程直流电子负载的光伏组件 I-V 特性曲线扫描电路框图

Fig. 1 Circuit diagram of I-V curve scanning for photovoltaic module based on programmable DC electronic load

本文中可编程直流电子负载选用 MOSFET，为使光伏组件 I-V 输出特性曲线中恒流源区扫描更加准确，常采取多个 MOSFET 并联，以减小其完全导通时的等效电阻。通过对 MOSFET 驱动电压的控制即可实现对直流电子负载的控制，基于可编程直流电子负载对 I-V 特性曲线进行扫描可实现扫描过程可控化^[8]。较常规电容动态充电 I-V 特性曲线扫描方法，该方法具有体积小、成本低、精度高、扫描过程可控等优点。

因此，本文为硬件电路实现简单，对于整条光伏组件 I-V 特性曲线由短路电流点开始，设定电子负载处于恒压工作模式，以固定步长控制光伏组件输出电压，并同步采样组件输出电流和电压，直至光伏组件

处于开路状态，完成整条 I-V 特性曲线扫描。

通常情况，局部阴影条件下光伏组件输出特性呈现多峰值。采用可编程直流电子负载从光伏组件的短路工作点开始扫描，初始化 P_m 峰值计数 $Flag=0$ ，若检测到光伏组件的输出功率满足： $P_k > P_{k-1}$ 且 $P_k > P_{k+1}$ 时，则记 $Flag = Flag + 1$ ，阴影条件下光伏组件多峰值计数示意图如图 2 所示。

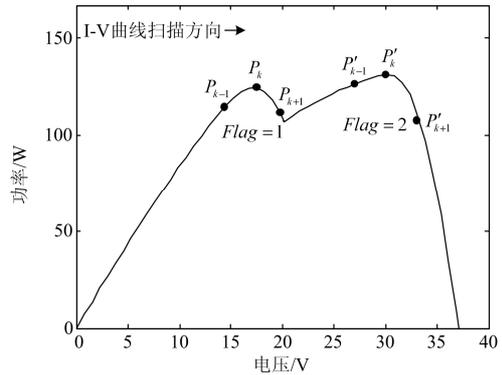


图 2 阴影条件下光伏组件多峰值点计数示意图
Fig. 2 Multi-peaks counting diagram for photovoltaic module under shadow condition

由图 2 可知，阴影条件下光伏组件多峰值点计数法的准确性易受两方面原因影响：一方面为可编程直流电子负载的扫描间隔，扫描间隔越短、采样点越多、精度越高，但会导致扫描电路耗时越长；另一方面为阴影遮挡程度，阴影程度越低、曲线变化越不明显。

基于上述两方面原因，选取合适的 I-V 特性曲线扫描间隔，当出现明显的多峰值情况时，峰值计数法能够有效甄别，但仍难免会出现误判现象。

2 光伏组件参数辨识

2.1 光伏组件数学模型的提出

通常，光伏电池单体的等效电路模型如图 3 所示^[9]。由图 3 可知，模型参数主要包括：光生电流 (I_{ph})、二极管反向饱和电流 (I_{SD})、二极管理想品质因素 (n) 以及等效串并联电阻 (R_s 、 R_{sh})。

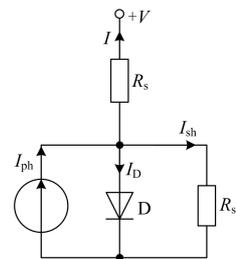


图 3 单二极管等效电路模型

Fig. 3 Equivalent circuit of a single diode model

在实际应用中, 一块光伏组件由 N_s 个光伏电池串联而成, 则光伏组件的基尔霍夫电流定律 (Kirchhoff's current law, KCL) 等效电路方程为

$$I = I_{ph} - I_{SD} \left(\exp \left(\frac{q(V + IR_s N_s)}{nkT N_s} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s N_s}{R_{sh} N_s} \quad (1)$$

式中: q 为电子电荷量 ($1.602 \times 10^{-19} \text{C}$); k 为玻尔兹曼常数 ($1.381 \times 10^{-23} \text{J/K}$); T 为热力学温度 (常温近似为 300 K)。

由式(1)可知, 该方程中含有 5 个未知参数, 分别为: I_{ph} 、 I_{SD} 、 n 、 R_s 和 R_{sh} , 而生产厂家的数据手册一般不会提供上述具体参数值。

2.2 目标函数的建立

光伏组件数学模型是一个隐式且非线性的超越方程, 直接函数求解较困难^[10-11]。因此, 本文先通过 Lambert W 函数将其进行显式化处理, 用于降低原数学模型中参数求解的难度; 进而提出通过改进人工鱼群算法 (Improved artificial fish swarm algorithm, IAFSA) 来辨识模型参数。

由此可得光伏组件的电流显式表达式为

$$I = \frac{R_{sh} (I_{ph} + I_{SD}) - V/N_s}{R_s + R_{sh}} - \frac{nkT}{qR_s} W(X^*) \quad (2)$$

式中

$$X^* = \frac{qR_s R_{sh} I_{SD}}{nkT (R_s + R_{sh})} \times \exp \left(\frac{qR_{sh} (R_s I_{ph} + R_s I_{SD} + V/N_s)}{nkT (R_s + R_{sh})} \right)$$

在进行 IAFSA 辨识该模型参数之前, 需建立准确的目标函数, 对式(2)作如下变形:

$$f(V, I, I_{ph}, I_{SD}, R_s, R_{sh}, n) = I - \frac{R_{sh} (I_{ph} + I_{SD}) - V/N_s}{R_s + R_{sh}} - \frac{nkT}{qR_s} W(X^*) \quad (3)$$

式中, V 、 I 是 I-V 特性曲线中电压、电流采样值。

光伏组件参数辨识可归纳为一个优化问题, 其基本思想是通过最小化目标函数以求取参数最优值^[12]。本文选取的目标函数为均方根误差 (Root-mean-square error, RMSE) 指标 $RMSE$ 。

$$\min RMSE = \min \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i(V, I, \theta))^2} \quad (4)$$

式中: $\theta = (R_s, R_{sh}, I_{ph}, I_{SD}, n)$ 为待辨识参数; $f_i(V, I, \theta)$ 是第 i 组实测值和仿真模型输出的差值。

光伏组件参数辨识的目标即为求解 $\min RMSE$,

图 4 为光伏组件参数辨识策略, 其中 S 为光照强度。

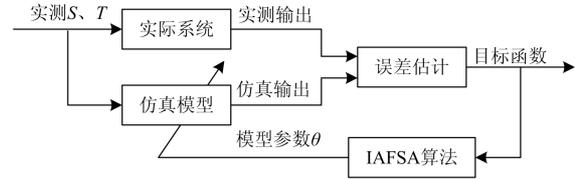


图 4 光伏组件参数辨识策略

Fig. 4 Strategy of parameters identification for photovoltaic module

3 改进人工鱼群算法

3.1 人工鱼群算法基本概念

人工鱼群算法 (Artificial fish swarm algorithm, AFSA) 模拟自然界中鱼的集群觅食行为, 采用了自下而上的寻优模式, 通过鱼群中个体之间的协作使群体达到最优选择的目的^[13-14]。每条人工鱼探索自身当前所处的环境, 选择执行其中的一种行为算子, 通过不断调整个体的位置, 最终集结在食物密度较大的区域周围, 取得全局最优值。

觅食行为奠定算法收敛的基础, 聚群行为增强算法收敛的稳定性和全局性, 追尾行为增强算法收敛的快速性和全局性^[15]。人工鱼通过对环境的感知来自主协调搜索机制, 该算法最终能寻优到全局最优值附近, 从而使优化问题求解。

3.2 Nelder-Mead 方法描述

Nelder-Mead 方法 (NM 法) 也称下山单纯形法, 不同于线性规划的单纯形法, 它适用于求 n 元函数 $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 的无约束最小值^[16-17]。其算法思想是在 n 维空间中, 由 $n+1$ 个顶点可以组成“最简单”的图形, 叫单纯形。NM 法就是先构建一个初始的、包罗给定点的单纯形, 然后搜索的每一步中, 使用可能的 4 种方式 (反射、扩大、压缩和收缩) 产生距离当前单纯形比较近的点, 在新的点上函数值会和单纯形各个顶点上的值比较, 一般会有一个顶点被替代, 产生一个新的单纯形, 重复如上步骤, 直至单纯形的函数值小于预设阈值。

3.3 改进人工鱼群算法

与其他智能优化算法相类似, 当 AFSA 中存在人工鱼处于随机移动状态或在局部极值点出现人工鱼群聚集严重时, 导致算法收敛速度减慢, 进而影响到最终收敛精度。

因此, 针对 AFSA 运行后期收敛速度放缓、精度降低等问题, 在算法运行过程中动态调整相关参数, 同时引入繁殖行为^[18]、迁徙行为^[19]和 NM 法来提高算法的整体寻优性能, 较好地平衡改进算法的

全局和局部搜索能力，进一步加快运算速度。

算法迭代运行前期，较大的 $Visual$ 和 $Step$ 可增强算法的全局搜索能力和收敛速度；迭代运行后期，算法逐步演化为精细化搜索过程，在最优解邻域范围内进行精细搜索。基于此，可按式(5)对人工鱼感知范围 $Visual$ 和移动步长 $Step$ 进行动态调整：

$$\begin{cases} Visual = Visual_{start} + (Visual_{start} - Visual_{end}) \times \\ \quad (2t/Maxgen - (t/Maxgen)^2) \\ Step = Step_{start} - (Step_{start} - Step_{end}) \times (t/Maxgen)^2 \end{cases} \quad (5)$$

式中： $Visual_{start}$ 、 $Visual_{end}$ 分别表示 $Visual$ 的初值和终值； $Step_{start}$ 、 $Step_{end}$ 分别表示 $Step$ 的初值和终值； t 为当前迭代次数， $Maxgen$ 为最大迭代次数。

在 IAFSA 的迭代过程中，在固定迭代间隔步数时引入 K-均值聚类方法对人工鱼群进行分类，并对聚类中心个体执行 NM 法精确搜索^[20]。此外，为加快该算法整体的收敛速度和解的质量，对每次迭代过程公告牌中全局极值点均执行一次 NM 法搜索。基于此，IAFSA 较好地利用 AFSA 所得的优化结果，同时适度降低 NM 法计算量。IAFSA 的具体流程图如图 5 所示。

综上，所提 IAFSA 的具体实施步骤如下所述。

Step1 对参数进行初始化操作，种群数目 N 、随机初始位置、最大迭代次数 $Maxgen$ 、感知范围 $[Visual_{start}, Visual_{end}]$ 、步长范围 $[Step_{start}, Step_{end}]$ 、拥挤度因子 δ 、最大试探次数 Try_number 和 NM 法间隔数 K 等参数。

Step2 求取各人工鱼的适应度值，并记录全局最优人工鱼状态。

Step3 对 AFSA 算法参数进行自适应调整。

Step4 对各人工鱼的行为进行评价，选择人工鱼最合适的行为进行动作。

Step5 执行相应的行为后，对人工鱼的位置信息和全局最优人工鱼状态进行更新，给公告牌赋最优值。同时，采用繁殖行为，淘汰适应度值较差的个体。

Step6 迁徙行为判断，若满足迁徙概率 P_e ，则执行迁徙行为，并更新公告牌状态；否则，直接转到 Step7 执行。

Step7 如果满足 $t \bmod K=0$ ，执行 NM 法。借助 K-均值聚类法，确定聚类中心人工鱼；对每个类中心个体执行 NM 搜索，计算其适应度值并更新公告牌。

Step8 对全局极值人工鱼个体执行 NM 法搜索，将最优值赋给公告牌。

Step9 判断终止条件，若满足终止条件，则输出最优值，算法结束；否则，继续迭代执行 Step2~Step8，直至算法终止条件被满足。

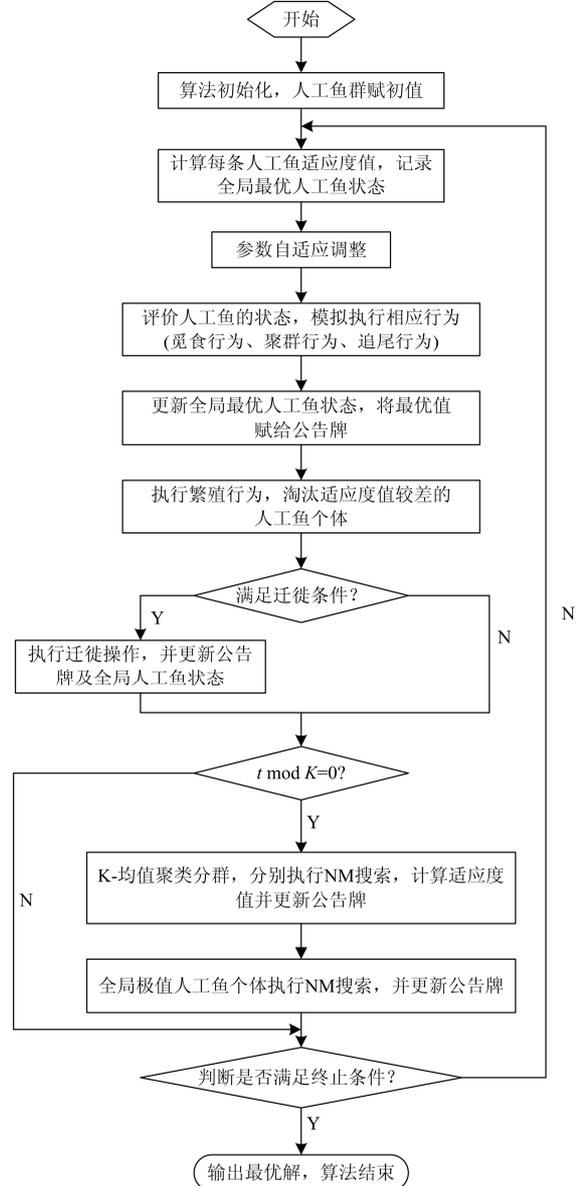


图 5 改进人工鱼群算法流程图

Fig. 5 Flowchart of IAFSA

4 基于峰值计数与参数辨识的光伏组件阴影判定

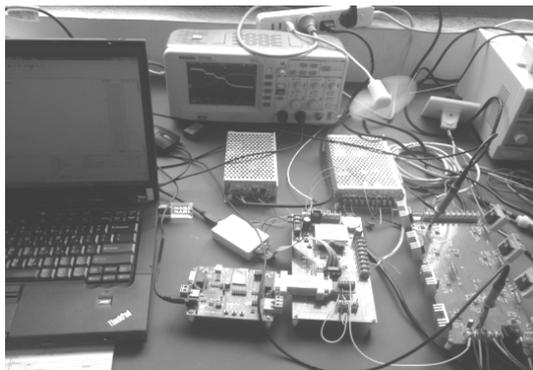
4.1 光伏组件实测数据参数辨识结果分析

以 TSM-250PC05A 型光伏组件为研究对象，采用图 6 所示的实验平台对该组件在不同工况下 I-V 输出特性曲线进行扫描。为简化数据量，仅对光伏组件的每条 I-V 特性曲线进行 32 点采样，并将其代入到 IAFSA 中进行参数辨识。

为验证 IAFSA 辨识参数的精确性和快速性, 对光伏组件在光照强度 950 W/m^2 、环境温度 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 下一组测量数据分别采用 Newton 法、GA、ABSO 和 IAFSA 进行参数辨识并作对比实验, 其中上述算法中各参数依据文献[21]设定, 同样以迭代次数 100 次作为终止条件, IAFSA 参数设置如表 1 所示。表 2 给出各算法分别运行 20 次后的最优辨识参数值, 由表可知, 利用 IAFSA 得到的目标函数 RMSE 值最小, 表明 IAFSA 具有较强的全局搜索能力和局部挖掘能力, 能够获取最接近实际的模型参数值。



(a) 户外装置



(b) 数据采集装置

图 6 实验平台

Fig. 6 Experimental platform

表 1 IAFSA 参数设置

Table 1 Parameters setting of IAFSA

参数	取值	参数	取值	参数	取值
$Sizepop$	20	δ	0.618	γ	2.0
$Maxgen$	100	$Step_{start}$	0.2	λ	0.5
Try_number	20	$Step_{end}$	0.1	T_{knm}	20
$Visual_{start}$	1.0	$Random$	[0, 0.2]	T_{gmm}	50
$Visual_{end}$	0.2	P_e	0.5	K	5
T_{max}	50	α	1.0	T_k	20
ϵ_{stop}	0.0001	β	0.5	—	—

其中, 反射系数 α ($\alpha > 0$)、压缩系数 β ($0 < \beta < 1$)、延伸系数 γ ($\gamma > 1$)、收缩系数 λ ($0 < \lambda < 1$); T_{knm} 是聚类

中心点进行 NM 搜索的迭代次数; T_{gmm} 是全局极值点进行 NM 搜索的迭代次数; K 为分类数目, T_k 为 K-均值聚类法的迭代次数。

表 2 不同辨识算法下光伏组件参数辨识目标函数 RMSE 值

Table 2 Values of objective function RMSE with different methods for parameters identification of photovoltaic module

参数	辨识算法			
	Newton	GA	ABSO	IAFSA
RMSE	0.1517	9.98e-04	9.04e-04	8.41e-04

此外, 为进一步说明 IAFSA 的有效性, 在实验室环境中对光伏组件不同工况下 I-V 特性曲线进行采样, 并将其代入 IAFSA 中进行模型参数辨识, 选取其中 4 种工况下目标函数 RMSE 值, 如表 3 所示。

表 3 不同工况下光伏组件参数辨识目标函数 RMSE 值

Table 3 Values of objective function RMSE with various working conditions for parameters identification of photovoltaic module

参数	不同工况			
	$S=400 \text{ W/m}^2$	$S=400 \text{ W/m}^2$	$S=1000 \text{ W/m}^2$	$S=1000 \text{ W/m}^2$
	$T=25 \text{ }^\circ\text{C}$	$T=45 \text{ }^\circ\text{C}$	$T=25 \text{ }^\circ\text{C}$	$T=45 \text{ }^\circ\text{C}$
RMSE	8.5178e-04	8.4992e-04	8.5933e-04	8.8601e-04

由表 3 可知, 基于 IAFSA 优化所得到的目标函数 RMSE 值均很小, 说明上述参数辨识结果与组件的真实参数值非常接近。

4.2 光伏组件阴影判定流程

通常, 传统的光伏组件内部等效参数公式是基于单峰值输出特性下的描述, 不能对组件阴影遮挡下输出特性进行准确描述, 因此结合 RMSE 值即可判断出光伏组件被阴影遮挡。由 4.1 节可知, 基于 IAFSA 的光伏组件参数辨识的有效性已得到验证, RMSE 值均较小。基于此, 本文经过多次轻微阴影遮挡试验, 即保持最大功率值变化在 1 W 以内, RMSE 值均在 0.01 较小邻域内波动, 故提出采用 $RMSE > 0.01$ 作为判定轻微阴影遮挡的依据。

因此, 将参数辨识与基于可编程直流电子负载对 I-V 输出特性曲线峰值计数 Flag 值相结合, 可得判定光伏组件是否被阴影遮挡的具体流程如图 7。

由图 7 可知, 通过可编程直流电子负载对 I-V 输出特性曲线进行扫描并记录峰值数, 若 $Flag > 1$, 则表明 V-P 曲线存在多峰值, 光伏组件被阴影遮挡; 否则, 进一步通过 IAFSA 算法对 I-V 特性曲线采样值进行参数辨识, 以目标函数的 RMSE 值判定光伏组件是否被阴影遮挡。通过上述方法可对光伏组件是否被阴影遮挡做出准确判断。

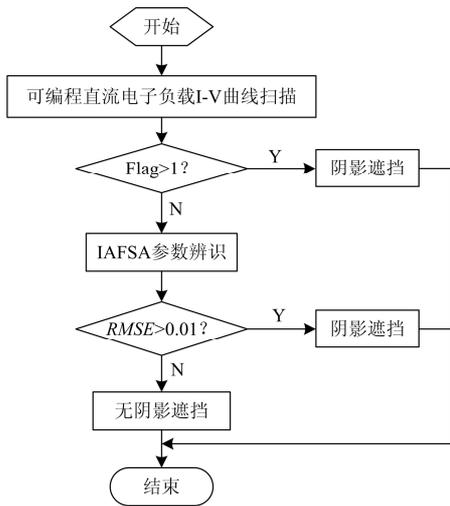


图 7 光伏组件阴影遮挡判定流程图

Fig. 7 Flow chart of shadow judgment for photovoltaic module

4.3 光伏组件阴影判定实验研究

当光伏组件处于阴影遮挡下时，其 I-V 特性曲线呈现多峰值。同理，在光照强度为 950 W/m^2 、环境温度 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 时，假设 TSM-250PC05A 型中同一旁路二极管所辖支路中 20 片光伏电池全部被阴影遮挡，对光伏组件运行数据进行采集，采用可编程直流电子负载对上述 I-V 特性曲线进行扫描，可得峰值计数 $Flag=2$ 。此时，仍以式(4)作为优化算法的目标函数，分别采用 Newton 法、GA、ABSO 和 IAFSA 进行参数辨识并作对比实验，其中上述算法中各参数设置、迭代次数与前文一致。表 4 给出各算法对光伏组件处于阴影遮挡下 RMSE 值。

表 4 阴影遮挡时，不同辨识算法下光伏组件参数辨识目标函数 RMSE 值

Table 4 Values of objective function RMSE with different methods for parameters identification of photovoltaic module under shadow conditions

参数	辨识算法			
	Newton	GA	ABSO	IAFSA
RMSE	—	2.010 5	1.290 7	1.278 4

由表 4 可知，利用上述 4 种不同方法对光伏组件阴影遮挡时 I-V 特性曲线进行参数辨识，所得目标函数的 RMSE 值均较大，相比于光伏组件无阴影时参数优化过程，即便算法的迭代次数和试验次数进一步增加，仍难以获取此时光伏组件的最优内部等效参数值，表明式(4)已不能表征光伏组件阴影下输出特性。基于上述 4 种方法的参数辨识结果建立光伏组件仿真模型，从而得到不同的结果输出，如图 8 所示。

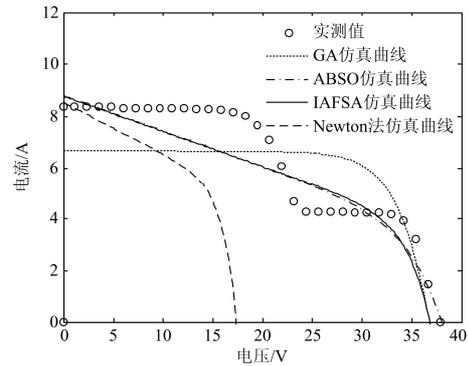


图 8 光伏组件阴影遮挡时光伏组件仿真与实测值的对比
Fig. 8 Comparison of simulation and experimental data for photovoltaic module under shadow conditions

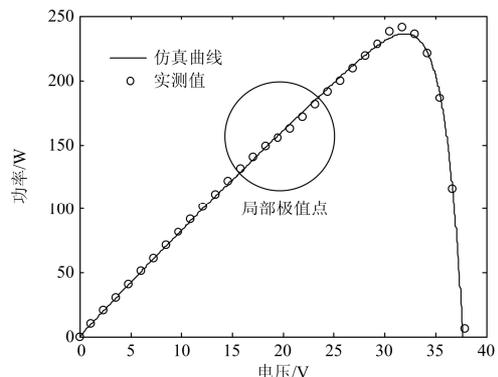
由图 8 可知，基于上述 4 种参数辨识结果所得模型输出均为单峰曲线，与光伏组件阴影下多峰输出特性曲线明显不同。同时，相比于其他几种方法，基于 IAFSA 所得模型的仿真输出曲线与实测值拟合程度相对最高。

为进一步研究 IAFSA 对光伏组件阴影下参数辨识结果的准确性，保持光照强度和环境温度不变，选取 3 种光伏组件阴影下实测值进行参数辨识，分别为：(1)光伏组件中仅有 1 片光伏电池被阴影遮挡；(2)光伏组件中有 2 片光伏电池被不同程度的阴影遮挡，且分布在 2 个旁路二极管支路中；(3)光伏组件中有 3 片光伏电池被相同程度的阴影遮挡，且分布在 3 个旁路二极管支路中。采用 IAFSA 对光伏组件在不同阴影下 RMSE 值如表 5 所示。

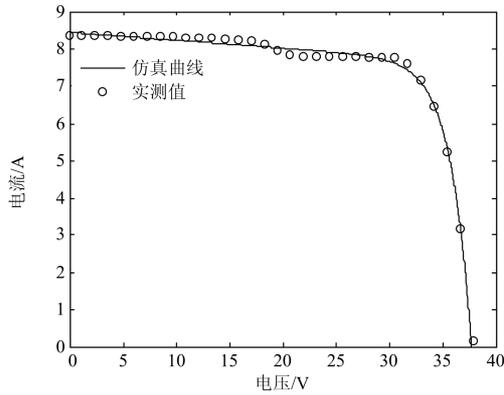
表 5 不同阴影遮挡时光伏组件参数辨识目标函数 RMSE 值
Table 5 Values of objective function RMSE with different methods for parameters identification of photovoltaic module under different shadow conditions

参数	辨识值		
	工况一	工况二	工况三
RMSE	0.011 2	0.010 9	0.026 4

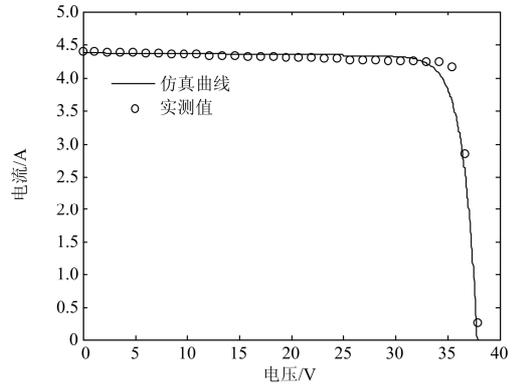
基于上述参数辨识结果建立仿真模型输出与实测值进行对比，如图 9 所示。



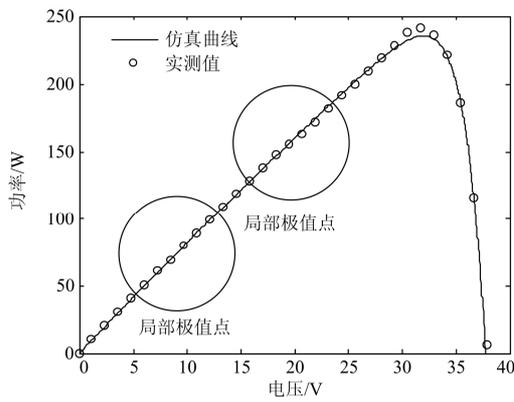
(a) 阴影工况一时 V-P 曲线



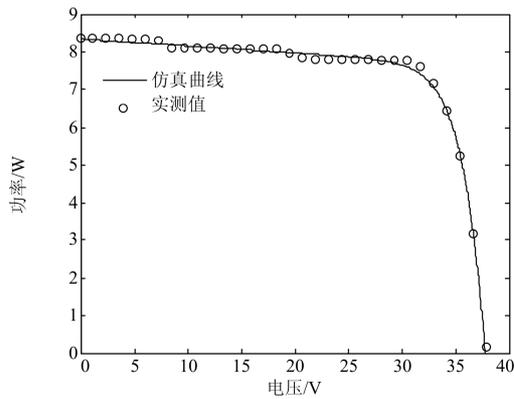
(b) 阴影工况一时实测值与仿真曲线



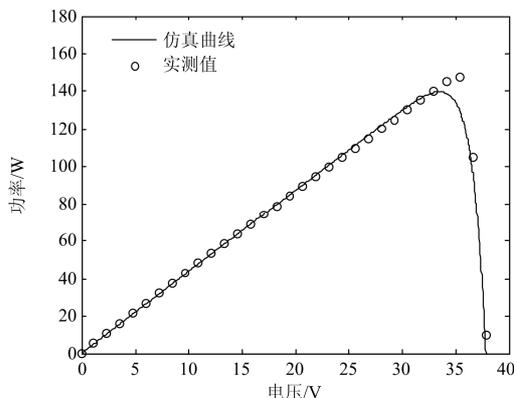
(f) 阴影工况三时实测值与仿真曲线



(c) 阴影工况二时V-P曲线



(d) 阴影工况二时实测值与仿真曲线



(e) 阴影工况三时V-P曲线

图9 光伏组件在不同阴影遮挡时实测值与仿真曲线对比

Fig. 9 Comparison of simulation and experimental data for photovoltaic module under different shadow conditions

由表5和图9可知,当光伏组件中被阴影遮挡部分的遮挡率较小或每条支路上阴影遮挡程度相同时,其V-P输出特性曲线的多峰性不明显或为单峰,如图9(a)、(c)和(e)所示,此时若仅依据可编程直流电子负载对I-V输出特性曲线进行峰值计数难以确定其被阴影遮挡情况,造成误判。采用IAFSA对图9(b)、(d)和(f)中光伏组件I-V输出特性曲线进行参数辨识,能够对阴影情况进行判定;但所得部分参数辨识结果已失去实际意义,仅是曲线拟合下最优参数值。

5 结论

本文利用可编程直流电子负载和改进人工鱼群算法,针对光伏组件中阴影难以判定的情况,提出一种基于峰值计数与参数辨识的光伏组件阴影判定方法。先通过可编程直流电子负载对光伏组件I-V输出特性曲线进行扫描,对峰值点进行计数;后采用IAFSA对I-V曲线采样点进行参数辨识,选取合适的RMSE作为阴影故障的判定依据。基于上述两步法,可对光伏组件中阴影遮挡进行有效判定,实验结果证实上述方法的有效性。

与此同时,通过上述方法对光伏组件是否为阴影遮挡做出诊断,后续将会对光伏组件非阴影故障和阴影故障作进一步细致划分。

参考文献

- [1] 闫凯, 张保会, 瞿继平, 等. 光伏发电系统暂态建模与等效[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(1): 1-8.
YAN Kai, ZHANG Baohui, QU Jiping, et al. Photovoltaic power system transient modeling and equivalents[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(1): 1-8.
- [2] 王久和, 慕小斌, 张百乐, 等. 光伏并网逆变器最大功率传输控制研究[J]. 电工技术学报, 2014, 29(6): 49-56.
WANG Jiuhe, MU Xiaobin, ZHANG Baile, et al.

- Research on maximum power transfer control of photovoltaic grid connected inverters[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(6): 49-56.
- [3] KAUSHIKA N D, GAUTAM N K. Energy yield simulations of interconnected solar PV arrays[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2003, 18(1): 127-134.
- [4] 王元章, 吴春华, 周笛青, 等. 基于 BP 神经网络的光伏阵列故障诊断研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(16): 108-114.
WANG Yuanzhang, WU Chunhua, ZHOU Diqing, et al. A survey of fault diagnosis for PV array based on BP neural network[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(16): 108-114.
- [5] 杭凤海, 杨伟, 朱文艳. 光伏系统 MPPT 的扰动观测法分析与改进[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(9): 110-114.
HANG Fenghai, YANG Wei, ZHU Wenyan. Analysis and improvement of MPPT disturbance observer method for PV system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(9): 110-114.
- [6] 孙航, 杜海江, 季迎旭, 等. 光伏分布式 MPPT 机理分析与仿真研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(2): 48-54.
ZHANG Hang, DU Haijiang, JI Yingxu, et al. Photovoltaic distributed MPPT mechanism analysis and simulation study[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(2): 48-54.
- [7] 冯宝成, 苏建徽, 刘文涛, 等. 基于可变电子负载的光伏阵列特性测试技术[J]. 电力电子技术, 2011, 45(9): 38-39.
FENG Baocheng, SU Jianhui, LIU Wentao, et al. Technology of photovoltaic array characteristic test based on variable electronic load[J]. Power Electronics, 2011, 45(9): 38-39.
- [8] 张经炜, 丁坤, 卞新高, 等. 一种户外光伏组件测试平台研制[J]. 电子测量技术, 2013, 36(7): 93-96.
ZHANG Jingwei, DING Kun, BIAN Xingao, et al. Development of PV module outdoor test platform[J]. Electronic Measurement Technology, 2013, 36(7): 93-96.
- [9] 傅望, 周林, 郭珂, 等. 光伏电池工程用数学模型研究[J]. 电工技术学报, 2011, 26(10): 211-216.
FU Wang, ZHOU Lin, GUO Ke, et al. Research on engineering analytical model of solar cells[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(10): 211-216.
- [10] KIM W, CHOI W. A novel parameter extraction method for the one-diode solar cell model[J]. Solar Energy, 2010, 84(6): 1008-1019.
- [11] 刘兴杰, 郭栋, 王凯龙. 基于电气外特性的光伏发电系统模型等效方法[J]. 电工技术学报, 2014, 29(10): 231-238.
LIU Xingjie, GUO Dong, WANG Kailong. Equivalent modeling method for PV system based on its electric external characteristics[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(10): 231-238.
- [12] 刘昌玉, 何雪松, 李崇威, 等. 用于水轮机-引水管道参数辨识的改进型人工鱼群算法[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(11): 54-58.
LIU Changyu, HE Xuesong, LI Chongwei, et al. Improved artificial swarm algorithm for parameter identification of hydroelectric turbine-conduit system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(11): 54-58.
- [13] 李晓磊, 邵之江, 钱积新. 一种基于动物自治体的寻优模式: 鱼群算法[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(11): 32-38.
LI Xiaolei, SHAO Zhijiang, QIAN Jixin. An optimizing method based on autonomous animates: fish-swarm algorithm[J]. System Engineering Theory and Practice, 2002, 22(11): 32-38.
- [14] 王联国, 洪毅, 施秋红. 全局版人工鱼群算法[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(23): 7483-7497.
WANG Lianguo, HONG Yi, SHI Qiuhong. Global edition artificial fish swarm algorithm[J]. Journal of System Simulation, 2009, 21(23): 7483-7497.
- [15] 陈德为, 张培铭. 基于人工鱼群算法的智能交流接触器虚拟样机优化设计[J]. 电工技术学报, 2011, 26(2): 101-107.
CHEN Dewei, ZHANG Peiming. Virtual prototype optimal design of intelligent AC contactors based on artificial fish-swarm algorithm[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(2): 101-107.
- [16] NELDER J A, MEAD R. A simplex method for function minimization[J]. Computer Journal, 1965, 7(4): 308-313.
- [17] BARTON R R, IVEY J S. Nelder-Mead simplex modifications for simulation optimization[J]. Management Science, 1996, 42(7): 954-973.
- [18] YILDIZ A R. A novel hybrid immune algorithm for global optimization in design and manufacturing[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2009, 25(2): 261-270.
- [19] HU Y F, BLAKE R J, EMERSON D R. An optimal migration algorithm for dynamic load balancing[J]. Concurrency-Practice and Experience, 1998, 10(6): 467-483.
- [20] WANG Panpan, SHI Liping, ZHANG Yong, et al. A hybrid simplex search and modified bare-bones particle swarm optimization[J]. Chinese Journal of Electronics, 2013, 22(1): 104-108.
- [21] MA J, TING T O, MAN K L, et al. Parameter estimation of photovoltaic models via cuckoo search[J]. Journal of Applied Mathematics, 2013: 1-8.

收稿日期: 2015-11-14; 修回日期: 2015-12-25

作者简介:

陈凌(1987-), 女, 博士研究生, 研究方向为现代电力电子技术、太阳能发电技术; E-mail: carol1987@126.com

韩伟(1986-), 男, 通信作者, 博士, 工程师, 研究方向为光伏组件故障诊断; E-mail: hanwei860610@126.com

张经炜(1989-), 男, 博士研究生, 研究方向为可再生能源发电技术. E-mail: jenwelzhang@163.com

(编辑 姜新丽)