

# 基于二维枕形 PSD 太阳跟踪方法研究

史春玉, 李田泽, 仝其丰

(山东理工大学电气与电子工程学院, 山东淄博 255049)

**摘要:** 为提高太阳能的利用效率, 在对二维枕形位置敏感器件 (position sensitive detector, PSD) 特性进行分析的基础上, 研究一种基于二维枕形 PSD 太阳跟踪方法。二维枕形 PSD 输出太阳入射光点位置信息, 经放大转换, 将数据用串口发送给 MCU, MCU 接收到太阳地平坐标的数据后, 将其转变为控制信号驱动步进电机转动, 调整光伏电池板的位置, 实现太阳位置追踪。通过 Matlab 软件仿真得出, 二维枕形 PSD 太阳自动跟踪方法的发电量较固定模式提高了 1 倍以上。

**关键词:** 自动化仪器仪表与装置; 二维枕形 PSD; 太阳跟踪; 光伏发电; 位置检测; Matlab 仿真

**中图分类号:** TN247      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1674-2850(2017)10-1163-05

## Study of sun tracking method based on two-dimensional pillow PSD

SHI Chunyu, LI Tianze, TONG Qifeng

(College of Electrical and Electronic Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049, China)

**Abstract:** In order to improve the use efficiency of solar photovoltaic power generation, we study a sun tracking method based on two-dimensional pillow position sensitive detector (PSD) by the analysis of the features of two-dimensional pillow PSD. Two-dimensional pillow PSD outputs the incident light spot location information, then amplifies the transformation, and sends the data to MCU by using a serial port. MCU receives the sun altitude angle and azimuth data, then converts it in to a control signal to drive the stepper motor rotate, which can adjust the position of the photovoltaic panels to achieve sun position tracking. Through Matlab software simulation, the electricity of two-dimensional pillow PSD sun automatic tracking system improves twice than fixed system at least.

**Key words:** automatic instrumentation and devices; two-dimensional pillow PSD; solar tracking; photovoltaic power generation; position detection; Matlab simulation

## 0 引言

随着人类的发展, 温室效应及全球变暖现象出现, 种种不利因素使人们探索新能源以取代矿物燃料<sup>[1]</sup>, 太阳能作为一种清洁无污染的新能源, 发展前景十分广阔。因此, 如何提高太阳能的利用效率已成为人们研究的热点话题。半导体光电 PSD 是一种高精度光电位置检测传感器件, 它可以直接测量入射至其光敏面上的光束位置, 响应速度快、信号处理简单、可对光斑位置进行连续测量, 因而适用于对位置、位移、角度的实时测量<sup>[2-4]</sup>。采用二维 PSD 进行太阳跟踪时, 容易受到暗电流和背景光等干扰信号的影响, 而二维枕形 PSD 的有效光敏面积虽然有所减少, 但其暗电流小、反偏容易且线性度优良的特点, 使其可

**基金项目:** 山东省自然科学基金 (ZR2012FL19); 山东省教育厅项目 (J15LN31)

**作者简介:** 史春玉 (1991—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 光电检测

**通信联系人:** 李田泽, 教授, 主要研究方向: 光电检测. E-mail: ltwang@163.com

以在太阳光斑移动距离变化的情况下稳定地进行跟踪<sup>[5]</sup>。

由于二维枕形 PSD 的 4 个电极输出的电信号不是光点准确的入射位置信号，必须要经过进一步的处理，在通常情况下，PSD 各电极所输出的光电流信号只有  $\mu\text{A}$  级，为消除光源光功率波动的影响，一般将电流之和除以电流之差，不同结构的 PSD 电流-位置，其转换关系不同<sup>[6-8]</sup>。以 PSD 光敏面的中心点作为坐标原点，各电极输出的电流信号分别为  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 、 $I_4$ ，设二维枕形 PSD 有效光敏面长度为  $L$ ，如图 1 所示。二维枕形 PSD 的电流-位置计算公式如下：

$$\begin{cases} x = \frac{L(I_2 + I_3) - (I_1 + I_4)}{2(I_1 + I_2 + I_3 + I_4)}, \\ y = \frac{L(I_1 + I_2) - (I_3 + I_4)}{2(I_1 + I_2 + I_3 + I_4)}, \end{cases} \quad (1)$$

其中， $x$ 、 $y$  分别为光点在二维枕形 PSD 感光面上物理重心的二维位置坐标。

## 1 实验方法

二维枕形 PSD 太阳跟踪方法需实现的工作过程是 PSD 从早上开始跟踪太阳方位的变化，使太阳能电池板始终垂直于太阳光线，当出现多云或阴雨天气时，系统自动转换为视日运动轨迹跟踪，当太阳落下、MCU 经过延时，太阳能电池板将自动复位到朝向东方的初始位置<sup>[9]</sup>，直到再次检测到太阳光线变强达到设定阈值时，太阳能电池板将继续跟随最强的光照。PSD 太阳位置检测结构图如图 2 所示。

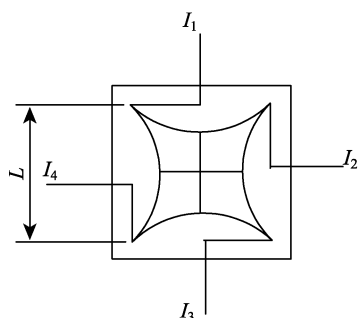


图 1 二维枕形 PSD 结构图

Fig. 1 Structure chart of two-dimensional pillow PSD

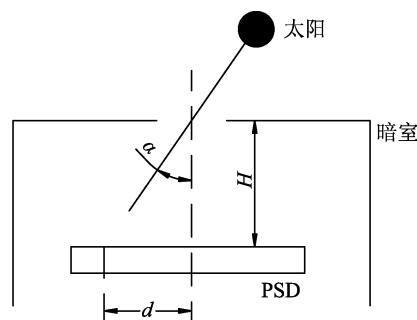


图 2 PSD 太阳位置检测结构图

Fig. 2 Detection structure chart of the PSD sun position

如图 2 所示，太阳光入射角为  $\alpha$ ，光点距离二维枕形 PSD 中心位置为  $d$ ，二维枕形 PSD 距离透光孔高度为  $H$ ， $\tan \alpha = d/H$ ， $H$  越大，光点位置越靠近二维枕形 PSD 中心位置，测量精度越小。二维枕形 PSD 的长度为  $L$ ，其单向最大测量角  $\beta$  满足  $\tan \beta = 2H/L$ ， $H$  越大，二维枕形 PSD 的测量范围就越大。因此，二维枕形 PSD 的测量精度与其测量范围呈反比关系。

由于光点物理重心在光敏面上的相对位置发生改变，二维枕形 PSD 的横向光电效应会使它输出的电流信号发生变化。自动跟踪装置的基本结构如图 3 所示，主要由二维枕形 PSD、MCU、步进电机等组成。其基本原理是当太阳光照射到二维枕形 PSD 上时，4 个电极输出 4 个电流信号，前置信号放大器将电流信号进行放大<sup>[10-11]</sup>，并根据 PSD 电流信号的计算方法，通过模拟除法转换模块转换为包含位置信息的模拟电压信号，此电压信号经过 A/D 转换模块转变为数字信号送入 MCU 进行信号处理，MCU 由输出电脉冲信号控制步进电机转动，使集热面随着太阳移动而移动，实现太阳的精确定位，从而达到跟踪的目的，信号处理框图如图 3 所示。

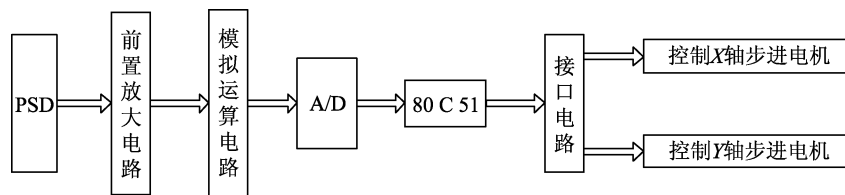


图 3 信号处理框图

Fig. 3 Block diagram of signal processing

## 2 实验验证

### 2.1 主程序流程图

基于二维枕形 PSD 太阳跟踪方法的主程序流程图如图 4 所示，首先判断太阳光的光强是否到达太阳能光伏发电跟踪方法的启动阈值，如果达到，则进入太阳位置跟踪阶段；如果不能，则判断为夜晚或阴雨天气。延时 5 min 后重新监测，直至光照强度达到阈值。进入跟踪阶段后，首先通过二维枕形 PSD 获取太阳光的精确位置信息，将信息处理之后，MCU 控制步进电机驱动，带动太阳能电池板的集热面朝向太阳入射光线。此时，太阳光的光强如果达到 PSD 太阳跟踪阈值，判断为晴好天气，进入二维枕形 PSD 太阳跟踪模式；否则，延时 5 min 后，再判断太阳光的光照强度是否大于光电追踪所需的阈值，如果达到，进入二维枕形 PSD 太阳跟踪模式；如果依然没有达到，则光照强度处于初始启动阈值和 PSD 光电跟踪所需阈值之间，系统判断为阴雨或多云天气，按视日运动轨道追踪模式运行<sup>[12]</sup>。进入 PSD 太阳跟踪模式后，由二维枕形 PSD 输出信号，再由信号调理电路精确获得太阳的位置信息，达到高精度跟踪太阳位置的目的。在光电追踪模式下，系统同样会不断监测太阳光照强度的变化，并按照变化判断是否需要转换太阳追踪模式。整个方法实现了光电跟踪在夜晚自动复位停止工作，阴雨或多云天气时，按照视日运动轨道追踪，晴朗天气进行高精度的基于二维枕形 PSD 太阳跟踪。

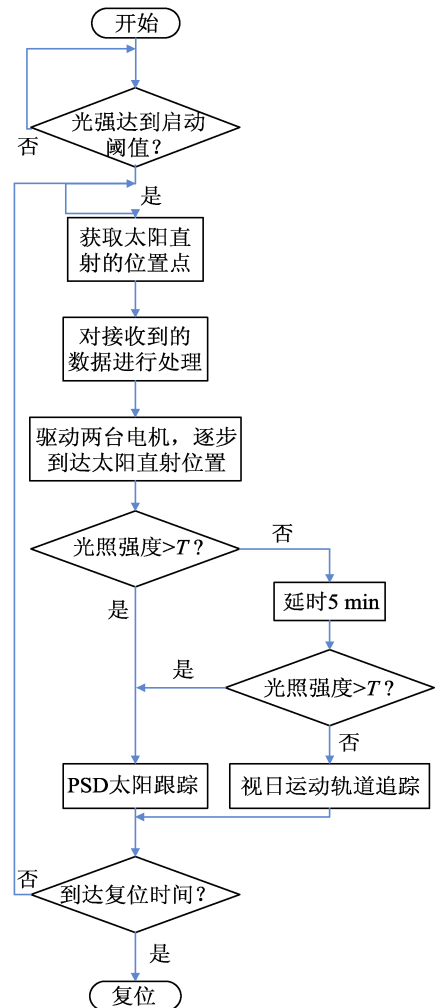


图 4 太阳跟踪方法主程序流程图

Fig. 4 Main program flow chart of the sun tracking method

### 2.2 Matlab 仿真

对太阳跟踪方法的二维枕形 PSD 跟踪部分进行仿真，根据 PSD 太阳位置检测结构图按照不同的 PSD 距离透光孔高度  $H$ ，设置装置每天从 7:00 开始跟踪，到 18:00 结束，延时 3 h 后归位。实验每隔 1 h 记录一次数据，选取比较有代表性的一天的数据计算输出电量的对比曲线图，结果如图 5 所示。图 5 显示了在二维枕形 PSD 与透光孔距离  $H$  在不同情况下的输出电量对比情况，当  $H$  在 0.35 m 时输出电量可以达到最大，跟踪模式相对固定模式的输出电量在 7:00 至 13:00 附近逐渐增大，到 14:00 左右基本保持不变，这是由于太阳能电池板的开路电压随电池板温度的升高而降低，但受光照强度的影响不大，当光照达到一定强度时，光照继续增强，开路电压基本不变，同时在负载较稳定时，开路电压与输出电

压基本成正比，因此虽然二维枕形 PSD 跟踪方法使电池板的接收光照增大，输出电压也没有很大变化。相反，太阳能电池板的短路电流随光强增大而增大，几乎呈正比关系，同时输出电流与短路电流在负载较稳定的情况下也基本呈正比关系，基于二维枕形 PSD 太阳跟踪方法使太阳能电池板接收光强增强，输出电流明显增大。因此其输出功率明显增大，输出电量增多。

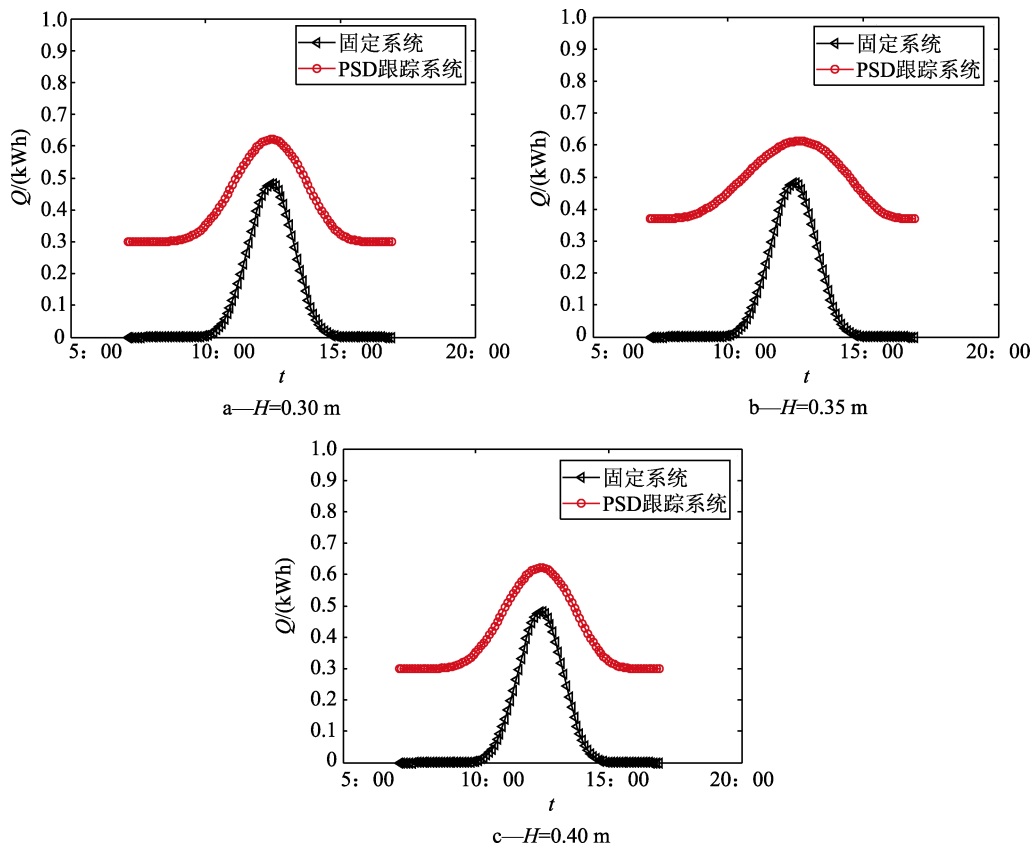


图5 不同高度  $H$  下的二维枕形 PSD 跟踪模式与固定模式输出电量对比图

Fig. 5 Comparison chart of power output between two-dimensional pillow PSD tracking mode and fixed mode under different height  $H$

经分析计算，固定模式下日总发电量约为 3.26 kWh，而跟踪模式下日总发电量约为 7.50 kWh，发电量提高了 1 倍以上。根据图 5 中两种模式输出电量的对比图可以看出，基于二维枕形 PSD 太阳跟踪方法控制的光伏系统输出的电量结果变化相对平缓，能够提高太阳能利用的效率。

### 3 结论

1) 本文采用基于二维枕形 PSD 太阳跟踪和视日运动轨道追踪相结合的方法，减小了天气急速变化造成的影响，并能自动检测光强的变化。该太阳能自动跟踪装置的跟踪精度高，可靠性较好。

2) 通过仿真数据分析可得，与固定安装相比，基于二维枕形 PSD 太阳跟踪方法的发电量增加了 1 倍以上，大大提高了太阳能的利用效率。

#### [参考文献] (References)

[1] 杨培环. 高精度太阳跟踪传感器与控制器的研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.  
YANG P H. Study on high precision solar tracking sensor and controller[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2010.

(in Chinese)

- [2] 李博, 高艺, 王红平, 等. 高精度 PSD 线性化方法与实验研究[J]. 长春理工大学学报 (自然科学版), 2013, 36 (1): 36-39.  
LI B, GAO Y, WANG H P, et al. Linearization method and experimental research of the high-precision PSD[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology (Natural Sciences Edition), 2013, 36(1): 36-39. (in Chinese)
- [3] 衣彬, 李忠科, 张金根. 二维枕形 PSD 信号采集与处理系统的设计[J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (3): 407-409.  
YI B, LI Z K, ZHANG J G. Design of a data acquisition and processing system of planar PSD[J]. Computer Measurement & Control, 2007, 15(3): 407-409. (in Chinese)
- [4] 刘莫尘. 独立光伏发电的自动跟踪系统[D]. 济南: 山东大学, 2005.  
LIU M C. Independent photovoltaic power generation of automatic tracking system[D]. Jinan: Shandong University, 2005. (in Chinese)
- [5] PARK S, HAHN C H. Development of position sensitive radiation detectors using gas electron multipliers[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2009, 67(7-8): 1476-1478.
- [6] 丛培田, 刘广军, 陆明. 位置敏感探测器 (PSD) 的非线性补偿技术[J]. 仪表技术与传感器, 2012 (7): 53-57.  
CONG P T, LIU G J, LU M. Non-linear compensation technology of position sensitive detector (PSD)[J]. Instrument Technique and Sensor, 2012(7): 53-57. (in Chinese)
- [7] WANG Z Y, WANG Y Q. Fuzzy norm method for evaluating random vibration of airborne platform from limited PSD data[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2014, 27(6): 1442-1450.
- [8] SONG J F, YONG Z, ZHOU J, et al. Daylighting system via fibers based on two-stage sun-tracking model[J]. Solar Energy, 2014, 108: 331-339.
- [9] ALORDA B, PUJOL-NADAL R, RODRIGUEZ-NAVAS G, et al. Collaborative distributed sun-tracking control system for building integration with minimal plant area and maximum energy-conversion efficiency[J]. Electrical Power and Energy Systems, 2015, 70: 52-60.
- [10] SKOURI S, ALI A B H, BOUADILA S, et al. Design and construction of sun tracking systems for solar parabolic concentrator displacement[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 60: 1419-1429.
- [11] 王雪莲. 光伏并网发电中太阳跟踪系统的设计[D]. 大连: 大连理工大学, 2011.  
WANG X L. Design of the photovoltaic grid power generation in the sun tracking system[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2011. (in Chinese)
- [12] 李树珍, 石磊, 张亮, 等. 基于视日运动轨迹的太阳跟踪装置控制系统研究[J]. 中国农机化学报, 2012 (5): 141-144.  
LI S Z, SHI L, ZHANG L, et al. Design of the control system of solar tracking system based on the sun trajectory[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2012(5): 141-144. (in Chinese)