

100 W 光伏系统的数据采集与技术评估^{*}

邓 涛¹, 沈 辉^{1,2}, 舒 杰², 邓幼俊¹

(1. 中山大学物理科学与工程技术学院, 广东 广州 510275;

2. 中国科学院广州能源研究所, 广东 广州 510070)

摘 要: 太阳能是各种可再生能源中最重要的基本能源, 而太阳能发电又是太阳能最重要的应用。如何更好地进行太阳能光伏发电并降低其成本很大程度上依赖于光伏发电系统的设计和优化。设计了 100 W 的光伏发电系统, 并通过对太阳辐射量、系统发电量等数据的采集, 对此系统的功能、特性、运作情况、成本等进行分析与论述, 提出优化系统设计的方案。随着系统的运行和采集数据的增多, 该系统可以为建大规模光伏电站提供有力的参考。

关键词: 太阳能; 光伏发电; 系统设计; 太阳电池

中图分类号: O436 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) S1-0022-04

在能源短缺, 环境污染日益严重的今天, 充分开发并合理利用太阳能是世界各国政府可持续发展的能源战略决策, 其中太阳能光伏发电最受瞩目。太阳能光伏发电安全可靠, 无噪声, 无污染, 无需消耗燃料, 故障率低, 维护简便, 建设周期短, 无需架设输电线路, 可以方便地与建筑物相结合。这些优点都是常规发电和其他发电方式所不及的。但许多光伏发电系统在设计的时候没有充分考虑当地的太阳资源, 在投入使用之后也没有一个评价的标准, 其设计的好坏以及合理性不得而知。

太阳能光伏发电所产生的光电转换效果, 与光伏发电系统的设计方案和所处环境相关, 而且设计方案很大程度上依赖于当地的气象环境。当今光伏系统的成本仍然偏高, 要更充分地利用太阳能发电, 就需要对光伏系统进行优化设计。最好的设计效果应该是既能保证满足负载用电的需要, 又能最大限度减少一次投资。优化光伏系统设计, 既要掌握准确齐全的气象资料 (当地经纬度、海拔、太阳辐射强度、环境温度、相对湿度等), 又要了解系统即时的运行状态和在一段时间内的运行状态 (工作电压、工作电流、工作功率、时发电量、日发电量和累计发电量等), 以便对其进行技术评估, 及时做出相应的调整, 并可借鉴到其他系统的设计中。

1 实验方案

本实验主要分三部分。第一部分是 100 W 光伏

发电系统的设计, 主要有支架的设计、系统各组件的合理选择和电路的连接等。第二部分是数据的采集。通过太阳总辐射表、温湿度传感器分别采集太阳辐射强度、温度湿度等气象数据, 电流传感器、取样电阻分别采集太阳电池组件的工作电流、工作电压等技术数据。通过程序上的编制和处理, 采集系统的时发电量、日发电量和累计发电量。采集到的这些模拟量通过 A/D 转换器转换成数字量以显示在太阳能综合测量仪中。通过通讯协议还可以导入上位机, 在由 Delphi 开发的可视化程序中显示和保存, 还可以观察系统的实时运行状况, 按条件对数据进行查询, 方便日后的需要。第三部分是对采集的数据进行分析和对系统进行技术评估, 主要的工作有: 分析影响系统工作的因素、系统的工作状况、系统的发电量、成本等。综合这些分析, 最后提出优化系统设计的方案。

2 100 W 光伏发电系统的设计

组件采用西门子的 SR100 单晶硅太阳电池组件。其标定功率、性能、质量等各方面均符合要求。短路电流 6.5 A, 开路电压 21.6 V, 最佳工作电流 5.9 A, 最佳工作电压 17 V, 峰值功率 100 W。

支架设计成组件倾角和方位角均可自由变换的形式, 方便调节。

选用 12 V 100 W 的密封免维护铅酸蓄电池。太阳电池组件的最佳工作电压是 17 V, 再考虑到

* 收稿日期: 2003-10-27

基金项目: 国家 863 基金资助项目 (2001AA513062); 广东省科技厅攻关资助项目 (2001A110050101)

作者简介: 邓涛 (1980 年生), 男, 研究生; 通讯联系人: 沈辉, E-mail: shenhui1956@163.net

温度对工作电压的影响以及二极管的正向压降, 正好可以为 12 V 的蓄电池充电。选用较大容量 100 W, 这样负载大小的选择范围可以相对放宽。

选用旁路二极管和防阻塞二极管, 分别防止热斑效应 (Hot Spot Effect) 以及蓄电池对太阳能电池组件放电。

选用的冲放电控制器可以自动防止蓄电池过充电和过放电, 保护蓄电池。

负载可以灵活选择。

3 数据采集

太阳能电池组件通过充放电控制器的控制对蓄电池进行充电, 而蓄电池也通过充放电控制器的控制, 对负载 (太阳能综合测量仪) 放电。取样电阻、霍尔传感器、温度传感器、太阳总辐射表等采集到的模拟量通过模数转换器转换成数字量显示并存储在太阳能综合测量仪中 (图 1)。由通讯协议

将采集到的数据传入上位机中, 通过 Delphi 开发的可视化软件, 可以方便地对数据进行管理。软件的操作简单、功能齐全, 主要有以下功能:

(1) 监测系统的实时工作状态。除了显示实时数据外, 更可以在三维图中直观地看到即时工作曲线。

(2) 强大的查询功能。不仅能够按照日期方便地查询数据, 还能按照条件查询。比如可以查询太阳辐射强度大于 800 W/m^2 的数据、系统工作电压大于 13 V 的数据等等。采集的每一种数据都可以按条件查询。此功能为数据的筛选和分析提供了极大的方便。

(3) 数据显示表格化, 使人一目了然。

(4) 方便的数据存储功能。可以将软件中的数据保存, 格式灵活, 可以是记事本、word 文档、Excel 表格等格式 (图 2)。

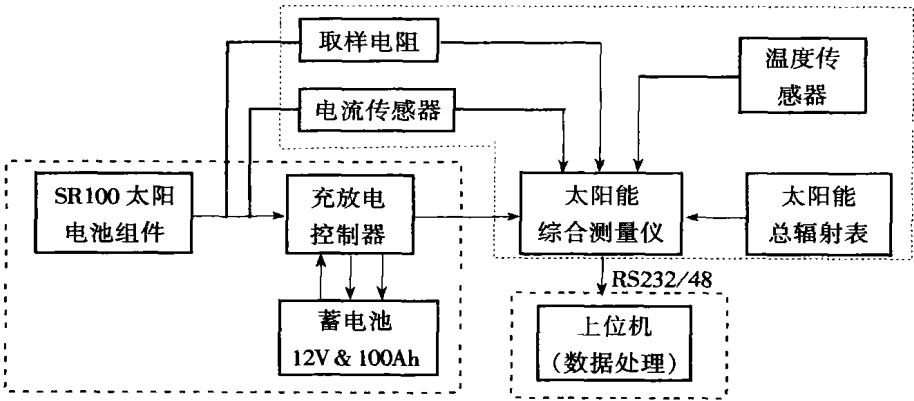


图 1 系统工作原理图
Fig 1 The principle of system



图 2 上位机数据处理软件 (界面之一)
Fig 2 The computer data managing software (one interface)

数据记录的工作由 5 月 29 日起。由于单片机开发的综合测量仪每天在 8:00 到 18:00 的 10 h 内 (其它时间太阳辐射较小, 可以忽略) 每隔 5 min 就记录一次数据, 所以每天可以记录 120 次数

据。为数据的筛选、分析与作图提供了有力的保证。

4 系统评估

图 3 为实验期间某日太阳辐射强度与时间的关系曲线。可以看出, 曲线总体呈正弦趋势, 但局部仍然有比较大的变化。辐射强度的峰值出现在中午 12 点多。从图 4 可以看出, 太阳辐射强度的变化趋势和组件工作电流的变化趋势基本上一致, 可认为近似成正比关系。而工作电压的变化就比较平缓。但由于其基数大 (大于 10 V), 所以电压的变化仍能较大程度地影响太阳电池组件发电功率的变化。

太阳电池的瞬时转换效率随辐射强度的增加有略微减少的趋势。这是因为辐射强度较高的时候, 也正是温度较高的时候, 这时太阳电池的工作温度

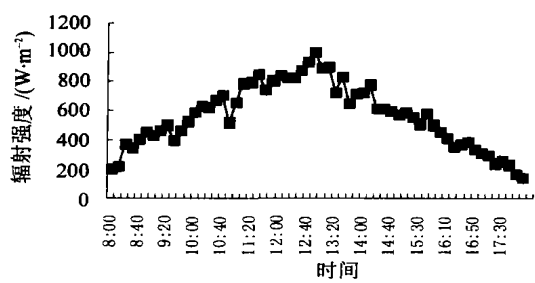


图 3 太阳辐射与时间关系

Fig 3 The relation of sun irradiation and time

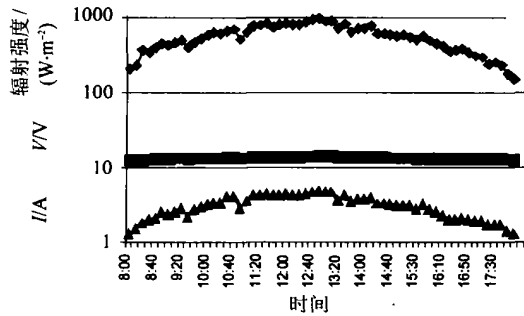


图 4 辐射强度和工作电压电流关系

Fig 4 The relation of irradiation and voltage and current

也高，而温度对转换效率是负影响的，所以转换效率此时有所下降（图 5）。

从以上的分析可以看出，太阳辐射强度是影响光伏系统工作的主要因素。而太阳辐射强度是变化，这也就增加了系统设计的不确定性。

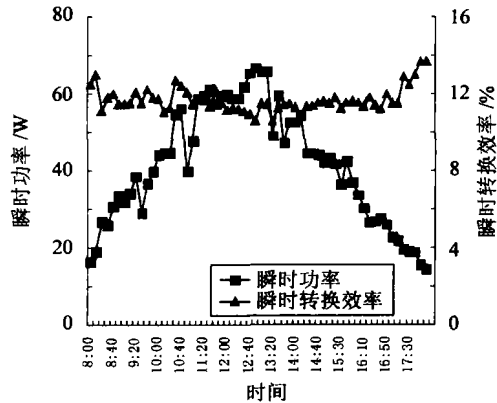


图 5 电池转换效率和输出功率

Fig 5 The cell efficiency and output power

根据气象资料，测量数据的 100 多天的平均日发电量看约是全年平均日发电量的 1.2 倍，粗略估算此系统一年发电量为：

$$33460/112 \times 365 \text{ h} \cdot 2 \approx 91 (\text{kW} \cdot \text{h})$$

记录数据的 100 多天中，晴天的时候日发电

量多于 $300 \text{ W} \cdot \text{h}$ ，阴天的时候少于 $220 \text{ W} \cdot \text{h}$ 。但若按广州地区的峰值日照时数（太阳电池组件每日可以接受到 $1000 \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2}$ 辐照度的等效时间）4 h 来算，理论上 100 W 太阳电池组件平均一天发电约 $400 \text{ W} \cdot \text{h}$ ，比实际情况高出不少。其原因可能有如下几条：

(1) 太阳电池组件的实际工作电压（12 ~ 14 V）与最佳工作电压（17.1 V）相差较远。这就导致输出功率有较大的损失。

(2) 太阳电池组件工作温度的升高，也导致输出功率的相对下降^[2]。正常来说，在 25°C 的基础上，温度每升高 1°C ，功率损失约 0.4%。

(3) 太阳电池组件不能最大限度的吸收太阳光。虽然电池板倾角和方位均可以手动调节，但由于不是实时跟踪太阳，不能保证充分的接受太阳光，可采用自动双轴跟踪系统解决。

表 1 系统发电情况¹⁾

Tab 1 The condition of system electricity generating

日期	天气	日发电量 ($\text{W} \cdot \text{h}$)	日期	天气	日发电量 ($\text{W} \cdot \text{h}$)
8月5日	晴	368	8月15日	晴	372
8月6日	晴转多云	320	8月16日	阴雨	199
8月7日	多云	267	8月17日	多云	260
8月8日	晴	379	8月18日	阴雨	221
8月9日	阴	198	8月19日	晴	355
8月10日	多云	249	8月20日	晴转多云	283
8月11日	晴	335	8月21日	晴	404
8月12日	阴	205	8月22日	阴雨	280
8月13日	阴	228	8月23日	阴	267
8月14日	阴	237	8月24日	晴	340

1) 20 d 累计发电量 $5767 \text{ W} \cdot \text{h}$

5 系统优化设计方案

从实测数据和实际情况来看，光伏系统的实际的发电量与理论值有比较大的差别。由于影响光伏系统工作的因素很多，如何克服这些因素的影响以优化系统成为一个重要的问题。可以从以下几方面进行着手：

5.1 系统设计的修正

主要是指倾角的修正。确定一个最佳的倾角，使系统全年最大限度地吸收太阳辐射能。比如说在广州，冬季的太阳辐射比较少，为增加冬季的发电量，可以选择比纬度大 $5^\circ \sim 10^\circ$ 的倾角。如果是负载是用电全年平衡的负载，则可以选择当地纬度为倾角。本系统的支架设计成倾角可变的结构，就是为了可以选择合适的倾角，增大光伏系统的发电量。

5.2 太阳的轴跟踪

本系统虽然倾角可以调节，但也不能使电池组

件实时跟踪太阳。有可能的话可以尝试设计自动双轴跟踪装置。通过感光元件的感应和电机的驱动,使得组件实时跟踪太阳,最大限度地获得能量。当然这样做系统一次投资也会增加。

5.3 最大功率跟踪

所有的光伏系统都希望太阳能电池阵列在同样的日照、温度条件下输出更多的电能,这也就在理论和实践上提出了太阳能电池阵列的最大功率跟踪^[3,4](MPPT, maximum power point tracking)问题。

MPPT 的实现实质上是一个自动寻优的过程,即通过控制阵列端电压 V_p , 使阵列能在各种不同的日照和温度环境下智能化地输出最大功率。MPPT 一般处于太阳能电池阵列与蓄电池组之间。从前面的分析可以看到,本系统实际工作电压 12 ~ 14 V 与其最佳工作电压 17 V 有比较大的差距,通过电学上的处理(主要是稳压控制)将其电压钳定在 17V 附近,就可以实现实时输出最大功率的设想。

6 系统的成本和光伏发电的环境效益

Simens SR100 太阳能电池组件的期望寿命是 25 年,蓄电池寿命约 8 年。这样,25 年内蓄电池需要更换 3 次,其费用约 $450 \times 3 = 1\,350$ 元。再加上系统维护费用,则 25 年内系统总费用约 6 500 元。按每年发电 100 kW·h 计算,25 年共发电 2 500 kW·h,平均每度电的费用: $6\,500 \div 2\,500 = 2.6$ (元)。比正常用电高出不少。若系统采取改进措施,每度电

的费用可以下降到 1.8 元。价格的相对高昂是制约光伏产业发展和应用的最重要的因素,但随着生产的规模化,技术的成熟以及太阳电池转换效率的提高,光伏系统价格的降低是必然的。而且还有非常重要的一点,一些隐蔽的成本并没有计入常规能源的成本。比如说开采常规能源的成本、治理常规能源^[4]所造成的环境污染的费用等(表 2)。

表 2 系统造价¹⁾
Fig. 2 The cost of the system

组件	价格/元	组件	价格/元
太阳能电池组件	4500	蓄电池	450
控制器	100	支架	350
电线	50	其他	50

1) 总造价为 5 500 元

参考文献:

[1] 李安定. 太阳能应用 [M]. 北京: 人民教育出版社, 1995.

[2] McGUIRE G E. Semiconductor materials and process technology handbook [M]. NJ: Noyes Press, Park Ridge, 1988.

[3] KASA N, LIDA T, MAJUMDAR G. Robust control for maximum power tracking in photovoltaic power system [J]. Power Conversion Conference, 2002 (2): 832—877.

[4] 何慧若, 余世杰. 光伏系统用 CVT 型最大功率跟踪器电压整定值的仿真研究 [J]. 新能源, 1998, 20 (6): 15.

The Data Acquisition and Technical Analysis of 100 W Photovoltaic System

DENG Tao¹, SHEN Hu^{1,2}, SHU Jie², DENG You jun¹

(1. School of Physics Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510070, China)

Abstract: Solar energy is the most important basic energy of all sorts of renewable ones, and the photovoltaic is the most important application of solar energy. How to fully use solar energy to generate electricity and reduce its cost largely depend on the design and the refinement of photovoltaic system. The author design a 100 W photovoltaic system. In addition, based on the data collection of irradiation, system electricity production and so on, the author analyze the function, character, work condition, cost of the system and come up with a method to optimize the system. With the work of the system and the increasing of the data collection, the system can provide useful reference to build large scale photovoltaic power plant.

Key words: solar energy; photovoltaic; system design; solar cell