

# 太阳能路灯的优化设计及实例分析

苗洪利 李国强 孙海港

中国海洋大学信息科学与工程学院, 山东 青岛 266100

**摘要** 太阳能路灯工程设计的关键是太阳能电池组件、蓄电池、照明光源的配置组合达到最优。照明光源功率确定后较易匹配蓄电池容量。由于光照受气候环境、地理位置的影响较大,因此选择合适功率的太阳能电池组件非常关键。依据理论计算或气象资料设计方法确定的太阳能电池组件容量偏差较大。在常规设计方法基础之上,将计算出的145 W太阳能电池组件容量调整为80 W,通过连续实时跟踪监测,结果表明:该设计降低了系统成本,节省了使用空间。

**关键词** 光学器件;路灯;太阳能电池;优化设计;实时监测

**中图分类号** TM615 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/LOP51.071602

## Optimal Design of Solar Street Lights and Case Analysis

Miao Hongli Li Guoqiang Sun Haigang

*Institution of Information Science and Engineering, Ocean University of China, QingDao, Shandong 266100, China*

**Abstract** The key to solar street lighting project design is the best combination of solar module, storage battery and lighting configuration. After the determination of lighting power, the battery capacity can be easily matched. Since light is impacted greatly by climate and geography, choosing a suitable power solar module is very important. Based on theoretical calculation or meteorological data design method, the calculated capacity of the solar module has large deviation. Based on conventional design methods, the solar module capacity is adjusted to 80 W from calculated 145 W. After continuous real-time tracking and monitoring, the results show that the design meets the design requirements, reduces system cost and saves the use of space.

**Key words** optical devices; street light; solar battery; optimal design; real-time monitoring

**OCIS codes** 160.2100; 350.6050; 230.3670

## 1 引言

大功率白光发光二极管(LED)的普及使得太阳能路灯进入实质应用阶段。太阳能电池和LED形成完美组合,因为二者都是半导体材料,有着共同的PN结结构,无需电压变换,效率高,结构简单,具有独特的优势和良好的应用前景<sup>[1-3]</sup>。太阳能路灯主要由太阳能电池组件、蓄电池、照明光源、控制器等几部分组成,工程设计的关键就是使要太阳能电池组件、蓄电池、照明光源的配置组合达到最优。一般蓄电池容量与光源负载容易匹配,针对已确定的蓄电池,选择合适功率的太阳能电池组件非常关键。目前,大多采用理论计算或由当地气象资料确定太阳能组件功率<sup>[4-6]</sup>,由于环境的差异及气象的千变万化,由此得到的参数往往出现较大偏差。太阳能电池组件的功率与面积和价格均成正比,组件功率过大能满足要求,但成本加大给用户带来负担;面积加大带来安装和固定风险。组件功率过小会造成充电不足,达不到夜晚光照时间及连续阴天夜晚的照明需求<sup>[7]</sup>。

本文在常规设计基础之上,通过实时监测的方法对设计参数进行必要调整,以确定经济合理的太阳能电池组件、蓄电池、照明光源的配置方案。

## 2 设计原则

### 2.1 实例设计要求

设计一盏3.5 m高庭院太阳能LED路灯,白光LED灯头的工作电压为直流12 V,电流为2400 mA,功率

收稿日期: 2013-10-01; 收到修改稿日期: 2013-12-01; 网络出版日期: 2014-06-17

基金项目: 青岛市科技科技局攻关项目(12-4-1-2-GX)

作者简介: 苗洪利(1964—),男,教授,主要从事半导体照明方面的研究。E-mail: oumhl@ouc.edu.cn

约为 30 W。每晚自天黑自动开灯,工作时间 6 h 后自动灭灯。连续光照不足的 3 天其夜晚要正常供电照明。

## 2.2 常规设计配置

所谓常规设计,就是针对已确定的照明灯头负载,对蓄电池和太阳能电池组件容量进行匹配。控制器可以选用市场主流全自动控制器,可具备光控开关、时控开关、过充过放保护等功能。以下是对蓄电池和太阳能电池组件的容量设计。

### 2.2.1 蓄电池的选配

确定蓄电池的容量,首先要了解接入系统的负载每天需要的电量;其次根据气候条件确定蓄电池需要存储多少天的电量。测算时要注意电池容量会受到诸多因素影响,包括:放电深度、放电率、温度、控制器效率、老化和反复充电特性等。并不是容量愈大愈好,过大的电池容量不仅增大系统成本,同时,如果太阳能电池输出功率不足,蓄电池经常处于欠充满状态,将会导致电池硫酸化程度增加,容量降低,寿命缩短。

选用免维护铅酸蓄电池,容量的确定方法为<sup>[8]</sup>

$$C=H \cdot L/D, \quad (1)$$

式中  $C$  为蓄电池容量,  $H$  为自给天数,  $L$  为日平均负载,  $D$  为最大放电深度。

设计路灯每日工作 6 h,工作电流为 2400 mA。由此可得出每日耗电 14.4 A·h。设计自给天数为 3 天,即能保证连续 3 个阴天维持系统工作。取蓄电池的放电深度为 50%。由(1)式算出的容量为:  $(14.4 \text{ A} \cdot \text{h} \times 3)/0.5=86.4 \text{ A} \cdot \text{h}$ 。可选取接近的 12 V/80 A·h 蓄电池。

### 2.2.2 太阳能电池组件的选配

根据青岛地区近 20 年气象资料得到平面太阳辐射月均值<sup>[9]</sup>,采用实测法确定其斜面太阳辐射月均值。采用通用的峰值小时法<sup>[8]</sup>,折算成日均辐射值后可得各月峰值日照时数,见表 1。再根据负载每晚耗电量 14.4 A·h,可算出太阳能电池组件的最低输出电流值,取太阳能电池板的输出工作电压为 17.5 V,则可确定各月最低太阳能电池组件的峰值输出功率  $W_p$ 。

具体计算方法(以 1 月份为例)为电池板所需输出的最低电流为

$$I = \frac{1.05 \times 14.4 \text{ A} \cdot \text{h}}{2.42 \text{ h} \times 0.85} = 7.35 \text{ A}, \quad (2)$$

式中 1.05 为太阳能电池板综合损失系数;14.4 A·h 为最少充电量;2.42 h 为峰值日照时数;0.85 为蓄电池的充电效率。电池板输出的工作电压  $V=17.5 \text{ V}$ 。则电池板的最低输出功率为

$$W_p = I \times V = 7.35 \times 17.5 = 129 \text{ W}. \quad (3)$$

按同样的计算方法,全年各月所需最低输出功率见表 1。

表 1 青岛地区各月峰值日照时数及所需太阳能电池输出功率  $W_p$ (针对每日充电 14.4 A·h)

Table 1 Peak value of sunshine hours each month and requirement of solar output power

$W_p$  in Qingdao (for daily charge of 14.4 A·h)

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Peak value of sunshine hour/h	2.42	2.91	3.48	4.68	5.34	5.51	5.04	4.50	4.96	3.30	2.72	2.15
Minimum output power of cell/W	129	107	90	67	58	57	62	69	63	94	114	145

由表 1 可以得到,如果以太阳最低辐射的 12 月为设计月,则太阳能电池的输出功率需要 145 W。如此选择太阳能电池组件,其他月份均能保证。

## 2.3 优化设计原则

这里规定,以负载日耗电量为界,大于日耗电量的充电其天气为晴天,低于日耗电量的充电其天气为阴天。此例中以太阳能电池组件日充电 14.4 A·h 为标准,来界定是晴天还是阴天。

在负载功率和夜晚工作时间确定的前提下,蓄电池容量按常规设计方法,取 80 A·h。在保证连续 3 个阴天夜晚均能正常工作的条件下,这里选取电池组件功率为 80 W,而不是常规设计的 145 W。经过在全年光照较弱的 10~12 月份的实时跟踪监测,达到了设计指标。在其他月份也会得到保证。

### 3 实时监测方法

采用NI公司生产的USB接口数据采集卡,利用调理信号电路对蓄电池的充电电流、放电电流及蓄电池电压进行一定时间间隔的数据采样,由USB数据采集模块将采集数据送入计算机。在自行编制的LabVIEW软件平台上进行实时显示和统计分析<sup>[10-12]</sup>。其软件界面见图1所示。



图1 蓄电池充放电实时监测软件界面

Fig.1 Battery charge and discharge time monitoring software interface

利用该软件实时监测蓄电池24 h的充放电过程,能够准确直观地获得不同天气状况的充电量,即关注的安时数,同时可以得到夜晚工作的准确时间。

### 4 测试结果分析

实际路灯的配置参数为:30 W白光LED灯头;每晚自天黑后工作6 h,耗电14.4 A·h;铅酸免维护蓄电池12 V/80 A·h;单晶硅太阳能电池组件80 W;自动充放电控制器。对该例太阳能路灯跟踪监测47 d (2012.10.25~2012.12.10)。充放电测试曲线如图2所示。

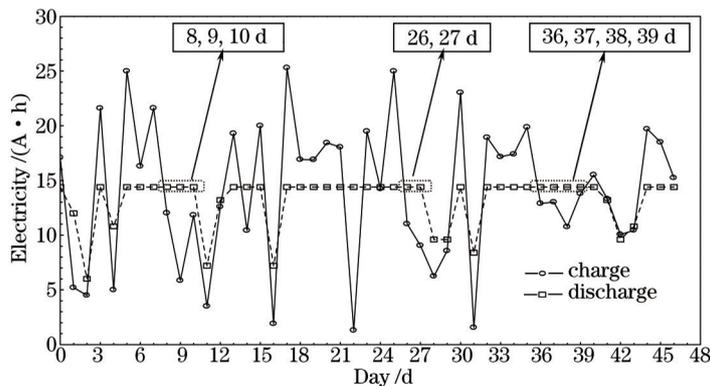


图2 太阳能路灯充放电监测结果

Fig.2 Solar street light charge and discharge monitoring results

从图2的充放电曲线可以看到:夜间整体放电基本是平稳的,均在14.4 A·h。停止放电受两个因素影响,1) 存储电量充足时,只放电6 h,其余电量储备后用;2) 存储电量不足时,放电到11 V停止,这样有利于蓄电池的寿命。规定充电大于14.4 A·h为晴天,否则为阴天。在每个晴天的夜晚均正常照明。出现个别夜间照明不足,是因为当天为阴天而在此之前又没有保证连续的晴天,即便如此,也没有出现整夜黑灯,只是工作不足6 h。在第8、9、10连续3天阴天、第36、37、38、39连续4天阴天的情况下,夜间LED灯始终处于正常工作状态,达到了设计要求。而第26、27、28、29连续4个阴天,只有前2天保证了照明,是因为在此之前没有足够的连续晴天的支持。说明晴天和阴天有程度上的不同,仅1个晴天不足以积累更多的能量用于以后连续的3个阴天。

### 5 结论

1) 经过监测,在10~12月份太阳光照相对不足时,用80 W太阳能电池组件基本能够完成常规设计145 W电池组件的任务,在全年其他月份会有足够的保证,节约了资源和空间。

2) 太阳能路灯工程设计没有一成不变的模式,不能机械地以理论计算或地区气象资料作为唯一依据。

天气环境、地理位置千差万别,要在常规工程设计的基础上,通过实测进行参数调整,否则会造成不必要的浪费。

3) 虽然本研究只是个例,但优化设计原则和实时监测方法可做一般性推广。

### 参 考 文 献

- 1 Zhang Yaoming. Current situation and prospect of the photovoltaic power in China[J]. Energy Research & Utilization, 2007, (1): 1-6.  
张耀明. 中国太阳能光伏发电产业的现状与前景[J]. 能源研究与利用, 2007, (1): 1-6.
- 2 Fang Zujie, Chen Gaoting, Ye Qing, *et al.*. Progress of photovoltaic electric power generation[J]. Chinese J Lasers, 2009, 36(1): 5-14.  
方祖捷, 陈高庭, 叶青, 等. 太阳能发电技术的研究进展[J]. 中国激光, 2009, 36(1): 5-14.
- 3 Yu Rongjin. Optics and solar energy[J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(7): 1751-1755.  
于荣金. 光学与太阳能[J]. 光学学报, 2009, 29(7): 1751-1755.
- 4 Chen Wei, Shen Hui, Ding Kongxian, *et al.*. The optimal design of solar LED street lamp lighting system[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2005, 44(2): 95-98.  
陈维, 沈辉, 丁孔贤, 等. 太阳能LED路灯照明系统优化设计[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2005, 44(2): 95-98.
- 5 Li Yongjie. Optimization of solar street lighting system[J]. China Light & Lighting, 2010, (2): 29-32.  
李永杰. 太阳能路灯系统的优化配置[J]. 中国照明电器, 2010, (2): 29-32.
- 6 Fu Chuangye, Yang Zhiwei. The design and application of integrated road lantern in solar lighting[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2013, 24(1): 116-119.  
傅创业, 杨志伟. 太阳能照明一体化路灯设计与应用[J]. 照明工程学报, 2013, 24(1): 116-119.
- 7 Meng Li, Meng Shaoyuan. Analysis of solar cell module's utilization efficiency of solar street lamp[J]. Light Sources & Illuminants, 2011, (2): 18-20.  
孟利, 孟绍渊. 太阳能路灯中太阳能电池组件利用效率分析[J]. 光源与照明, 2011, (2): 18-20.
- 8 Shen Hui, Zeng Zuqin. Solar Photovoltaic Power Generation Technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.  
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.
- 9 Wang Jianyuan, Feng Jianshe, Yuan Aimin. Calculation and distributive characteristics of solar radiation in shandong province[J]. Meteorological Science and Technology, 2006, 34(1): 98-101.  
王建源, 冯建设, 袁爱民. 山东省太阳辐射的计算及其分布[J]. 气象科技, 2006, 34(1): 98-101.
- 10 Miao Hongli. A monitoring system of charge and discharge of solar street lamp based on LabVIEW[J]. Control & Automation, 2007, 23(5): 88-90.  
苗洪利. 基于LabVIEW太阳能路灯充放电监测系统[J]. 微计算机信息, 2007, 23(5): 88-90.
- 11 Zhang Hualin, Xu Shijie, Zhao Yan, *et al.*. An approach to performance evaluation of solar array based on LabVIEW[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2007, 28(9): 996-999.  
张华林, 余世杰, 赵彦, 等. 一种研究光伏系统运行特性的Labview方法[J]. 太阳能学报, 2007, 28(9): 996-999.
- 12 Miao Hongli, Li Xin. The optimized of solar LED street lamp by inspection momentarily[J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2011, 32(3): 423-425.  
苗洪利, 李欣. 用实时监测法优化LED太阳能路灯[J]. 太阳能学报, 2011, 32(3): 423-425.