

# Design of Home-Based Solar Refrigeration System

Fan Yang<sup>1\*</sup>, Yiming Jin<sup>2</sup>, Jingjing Liu<sup>1</sup>, Zhangli Du<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Energy and Environment Institute, Southeast University, Nanjing

<sup>2</sup>Library, Southeast University, Nanjing

Email: \*yangfan.hit@gmail.com, yang\_fan@seu.edu.cn

Received: Sep. 19th, 2011; revised: Oct. 25th, 2011; accepted: Oct. 27th, 2011.

**Abstract:** This article aims at designing a solar refrigeration system suitable for family application, by connecting solar cell module, storage battery and photovoltaic controller with a small car refrigerator. According to the climate characteristics of the local place (i.e., Nanjing), the number of module array and the capacity of storage battery are calculated. Home-based solar refrigeration system is not suitable to contain too many batteries, at the mean time; adopting large area of cell module is not economic. Based on the above consideration, the final integrated solution design of a complete set of equipment is given. The electrical energy from solar energy is just as an auxiliary energy when electricity price is in the peak. Finally the cost analysis and optimization of the system are given. The improved solution can save electricity as well as reduce the volume and cost of whole system. There are still many problems needed to be solved for solar energy technology application, especially photovoltaic power generation.

**Keywords:** Solar Energy; Battery Array; Refrigeration System; Cost Analysis

## 家用太阳能制冷系统设计

杨帆<sup>1\*</sup>, 金以明<sup>2</sup>, 刘静静<sup>1</sup>, 杜张李<sup>1</sup>

<sup>1</sup>东南大学能源与环境学院, 南京

<sup>2</sup>东南大学图书馆, 南京

Email: \*yangfan.hit@gmail.com, yang\_fan@seu.edu.cn

收稿日期: 2011年9月19日; 修回日期: 2011年10月25日; 录用日期: 2011年10月27日

**摘要:** 本文利用太阳能电池组件、蓄电池、光伏控制器连接小型车载冰箱来实现适合家庭应用的太阳能制冷系统。针对使用地点(南京)的气候特点, 对电池列阵及蓄电池的大小容量进行了计算, 结果显示家用太阳能制冷系统不适合采用大量的蓄电池, 同时采用大面积的电池组件也缺乏可操作性。进一步给出整套装置的集成方案设计, 利用太阳能产生的电能作为峰时电价时的辅助能源, 最后进行系统的成本分析及方案优化, 改进方案既达到节电目的又降低整体系统的体积和最终成本。在家庭应用领域, 太阳能利用技术尤其光伏发电技术存在诸多问题, 有待进一步改进。

**关键词:** 太阳能; 电池列阵; 制冷系统; 成本分析

### 1. 引言

近年来, 我国的电力事业蓬勃发展, 这昭示了我国在国民经济腾飞的同时伴随着巨大的能源需求。电能是典型的二次能源, 制约着国民经济各个部分的发

展。虽然目前大力提倡节能减排, 但现有的常规能源即使再节约也总有枯竭的一天, 因此开发使用新能源愈发显得重要。太阳能光伏发电技术是最有前景的新能源技术。目前太阳能光伏发电技术的发电成本还较高, 为了真正让太阳能成为可随时利用的优质能源, 还需要能源研究工作者的巨大努力。有鉴于此, 本文

\*通讯作者。

尝试设计一种基于太阳能利用技术的小型太阳能制冷系统，使之可以应用于家庭。

## 2. 小型家用太阳能制冷系统设计

### 2.1. 设计思路

最终决定选择将太阳能电池组件连接小型实体冰箱搭建系统，利用太阳能电池组件提供电能使冰箱工作，原因如下：1) 简易太阳能冰箱不易设计，需要用到半导体制冷或压缩机制冷，原理及制造复杂，导致其研发及成本高，并不利于推广；2) 实体冰箱技术成熟，比较实用，可直接用来搭建制冷系统，设计的系统还可以搭载其它的用电器，实现多用途化。最后选用了一款性价比较高的迷你型车载冰箱，具体参数如下：功率 60 W，容量 20 L，12 V 直流及 220 V 交流双工模式，外观尺寸(36 × 29.5 × 50 cm)，重约 8 kg，制冷效果开机 30 分钟内降至 0°C，满足系统设计的要求。同时，为使设计的太阳能制冷系统达到免维护的要求，需要设计一套足够在非恶劣天气下保持冰箱工作的光伏系统。这就需要根据使用地点(南京)的气候特点来计算蓄电池的容量和电池列阵的大小，系统的总体设计框架如图 1 所示。

### 2.2. 蓄电池组容量设计

在太阳能光伏发电系统中，蓄电池的容量计算公式如下

$$B_c = KQ_L N_L T_0 / C_c \text{ (Ah)} \quad (1)$$

式中  $K$  为安全系数，取 1.1~1.4； $Q_L$  为负载日平均耗电量，即等于工作电流乘以日工作小时数； $N_L$  为最

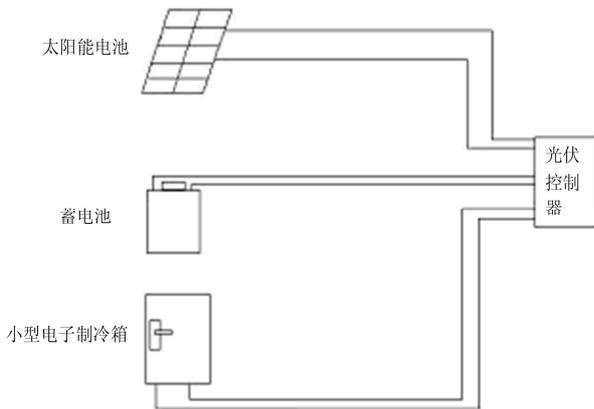


Figure 1. Schematic diagram of solar refrigeration system  
图 1. 太阳能制冷系统示意图

长连续阴雨天数； $T_0$  为温度修正系数，一般在 0°C 以上取 1，-10°C 以上取 1.1，-10°C 以下取 1.2； $C_c$  为蓄电池放电深度，一般铅酸蓄电池取 0.75，碱性镍镉蓄电池取 0.85。

由冰箱的性能参数可知：负载功率约为 60 W；工作电压 12 V；安全系数  $K$  取 1.2；南京最长连续阴雨天数  $N_L$  一般选为 5；温度修正系数  $T_0$  取 1，蓄电池放电深度  $C_c$  取 0.75。由于设计的是免维护的系统，所以工作时间为 24 小时。这样负载日平均耗电量  $Q_L = 60/12 \times 24 = 120 \text{ (Ah)}$ ，蓄电池容量  $B_c = 1.2 \times 120 \times 5 \times 1 / 0.75 = 960 \text{ (Ah)}$ 。

### 2.3. 太阳能电池阵列设计

太阳能电池阵列设计的目的是根据系统容量要求，确定太阳能电池组件的串联数及并联数。

#### 太阳能组件串联数

太阳能组件最佳串联数  $N_s$  有下式确定，

$$N_s = U_R / U_{DC} = (U_f + U_D + U_c) / U_{DC} \quad (2)$$

式中： $U_R$  为太阳能方阵输出最小电压； $U_{DC}$  为太阳能电池组件的最小工作电压； $U_f$  为蓄电池的浮充电压； $U_D$  为二极管的压降，一般取 0.7 V； $U_c$  为其它因素引起的压降。

这里，系统设计选用太阳能电池组件标准功率是 75 W，工作电压 17.1 V，工作电流 4.39 A，蓄电池采用铅酸免维护的蓄电池，浮充电压为  $14 \pm 1 \text{ V}$ ，其它因素造成的压降我们初步取为 1 V，太阳能组件最佳串联数  $N_s$  为

$$N_s = (U_f + U_D + U_c) / U_{DC} = (14 + 0.7 + 1) / 17.1 = 0.92 \quad (3)$$

因此，太阳能电池组件的最佳串联数为 1 个。

首先要将南京的太阳能日平均辐射量  $H_t$ ，转化为在标准光强下的平均日辐射时数  $H$ ，南京平均辐射参数计算可参阅文献[1]。根据资料，南京纬度为 32°，日辐射量  $H_t$  为  $13,099 \text{ W/m}^2$ ，最佳倾角  $\phi_{op}$  为 37°，斜面系数为  $K_{op}$  为 1.0249。

平均日辐射时数  $H$  为：

$$H = H_t \times 2.778 / 10000 = 13099 \times 2.778 / 10000 = 3.64 \text{ (h)} \quad (4)$$

其中 2.778/10000 为将日辐射量转化为标准光强(1000

W/m<sup>2</sup>)的转换系数。

其次, 利用  $H$  计算太阳能电池组件的日发电量  $Q_p^{[2]}$ ;

$$Q_p = I_{oc} H K_{op} C_z \quad (5)$$

式中  $I_{oc}$  为电池组件最佳工作电流,  $K_{op}$  为斜面的修正系数,  $C_z$  为考虑库伦效应和灰尘等损失而乘的修正系数, 一般取 0.8。由查得的数据可以计算得到:

$$\begin{aligned} Q_p &= I_{oc} H K_{op} C_z \\ &= 4.39 \times 3.64 \times 1.0249 \times 0.8 \\ &= 13.1(\text{Ah}) \end{aligned} \quad (6)$$

最后, 假设南京两次最长的阴雨天的时间间隔  $N_w$  是 40 天, 最大连续阴雨天数  $N_L$  取为 5 天。由于考虑系统要在此段时间里将蓄电池的电充足, 通过下两式计算需补充的蓄电池电量  $B_c$  及太阳能电池组件的并联数  $N_p$

$$B_{cb} = K Q_L N_L \quad (7)$$

$$N_p = (B_{cb} + N_L Q_L) / (Q_p N_w) \quad (8)$$

式中  $Q_L$  为负载平均日耗电量;  $K$  为安全系数, 取 1.2;  $Q_p$  为太阳能电池组件的日发电量;  $N_L$  为最大连续阴雨天数。

综合以上计算数据, 最终可确定:

$$B_{cb} = K Q_L N = 1.2 \times 120 \times 5 = 720(\text{Ah})$$

$$\begin{aligned} N_p &= (B_{cb} + N_L Q_L) / (Q_p N_w) \\ &= (720 + 40 \times 120) / (13.1 \times 40) \approx 11 \end{aligned}$$

即太阳能电池组件的最佳并联数为 11。

由以上计算可知, 要搭建完真正意义上的独立光伏太阳能制冷系统, 需采用 11 块 75 W 商业标准电池组件并联的光伏列阵, 同时至少配备容量为 960 Ah 的蓄电池组, 整个系统的成本如下:

车载小型冷箱: 330 元;

光伏控制器: 150 元;

蓄电池(120 Ah × 8): 总价为 5200 元(650 × 8)

太阳能电池组件(75 W × 11): 按 12 元/W, 合计 9900 元

导线等耗材: 50 元。

总计初步成本约为 15,630 元, 显然这对于家庭应用是无法接受的。进一步地, 考查以上成本构成中电池组件及蓄电池的费用占到了 95% 以上, 而在实际长期应用时蓄电池存在效率衰减及维护费用高的缺点,

从系统的易用性考虑不宜采用大量的蓄电池; 另一方面, 对于目前我国城市的大多数家庭而言, 可以利用放置太阳能电池组件的面积十分有限, 选用大面积的电池组件也缺乏可操作性。

### 3. 系统的最终设计方案

基于以上设计计算结果及分析, 进一步考虑家庭应用系统家庭应用的特点对系统方案整体进行了改进: 因选用车载冰箱时考虑其具有交流电工作模式, 借鉴并网光伏发电系统的思路, 减少太阳能电池组件及蓄电池的容量; 将原先按独立光伏系统设计的 24 小时工作时间调整至 3 小时, 其余时间采用市电作为主电源, 太阳能产生的电能作为峰时电价时的辅助电源, 这样既达到节电目的同时降低整体系统的体积及最终成本, 据此相应负载日平均耗电量缩减为

$$Q_L = 60/12 \times 3 = 15(\text{Ah}), \text{ 蓄电池容量相应缩减为}$$

$$B_c = 1.2 \times 15 \times 5 \times 1/0.75 = 120(\text{Ah}).$$

电池组件部分直接选用合作单位实验后闲置的 4 块小型太阳能电池组件(440 × 440 cm), 性能如表 1 所示。从表中可见其电池组件的工作电流较小, 为此将 4 块太阳能电池组件并联, 以实现接近冰箱工作时电流(5 A), 而其电压足够维持用电器的工作。但是对于在无光照情况下用电器的工作, 则使用蓄电池供电, 显然 4 块电池(共计 88 W)远不能满足蓄电池的充电需求的, 所以光照条件较差, 蓄电池无法支撑时需将车载冰箱转到交流电工作模式工作, 这样蓄电池的容量也没有必要很大, 本系统使用了 120 Ah 的蓄电池。光伏控制器来实现蓄电池的充放电的自动控制同时。这样的方案设计即实现了太阳能的利用又达到了节约成本的目的, 车载冰箱又可在无光照及电网中断条件下工作一定时间, 基本可以满足用户的正常使用需求。

Table 1. Battery component performance of the system (condition of STD, 1000 W/m<sup>2</sup>)

表 1. 搭建系统选用的电池组件性能(STD 条件, 1000 W/m<sup>2</sup>)

编号	Pm (W)	Ipm (A)	Vpm (V)
9350200068	22.164	1.227	17.920
9350200007	22.101	1.224	17.914
9350200070	22.544	1.234	17.916
9350200033	22.204	1.229	17.923

新系统最终成本如下:

车载冰箱: 330 元

蓄电池: 650 元

光伏控制器: 150 元

导线以其它: 50 元

电池组件: 1056 元

新系统成本总计为 2236 元。

根据改进后的设计方案, 搭建了一套太阳能制冷系统。经测试, 在  $800 \text{ W/m}^2$  光照条件下, 车载冷箱可以较好地工作, 最低制冷温度可以接近  $0^\circ\text{C}$ 。在光照 8 小时(9:00~17:00)后, 蓄电池独立供电可给车载冰箱持续供电 3 小时, 此时可以利用冰箱基本达到了预期效果。

#### 4. 结论与体会

目前我国大力提倡节能减排, 太阳能利用技术是一个很好的发展方向。通过太阳能制冷系统设计, 意识到太阳能利用尤其是光伏发电技术的问题还有很多: 1) 光伏发电系统对光照、空气质量等要求较高;

2) 系统维护的不确定因素多; 3) 配套设施多等, 以上诸多因素导致了系统整体成本偏高, 制约了其在家庭中的应用。另外, 设计的系统还有一些不足之处, 如为了降低成本而减少了电池组件的蓄电池容量, 不是严格意义上的太阳能制冷系统, 系统运行主要依赖电网, 只部分实现了太阳能电力利用, 而且没有实现交流/直流工作模式的自动切换等, 期望在将来的研究中得到进一步的改进及优化。

#### 5. 致谢

这项工作由教育部博士点新教师基金(20090092120008)和东南大学新进博士教师基金(9203000016)支持, 在此表示由衷感谢。

#### 参考文献 (References)

- [1] 冯焱生等. 太阳能发电技术与应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [2] 王丽娜等. 绿色离网型光伏发电系统的优化设计与成本分析[J]. 中国科技论文在线, 2009, 4(8): 608-615.