

作为供电电源的太阳能电池系统及其光伏模块

邓隐北，黄仁珠，杨清云 编译

江西森阳科技股份有限公司

摘要：由于传统能源的日益枯竭，太阳能成为一种十分具有潜力的新能源，光伏发电是当前利用太阳能的主要方式之一。太阳能电池系统可确保从太阳获得电能，运用这一系统，导致了真正的资金节约，并在此基础上，通过资源的有效利用和劳务上的合理分配与最佳消费，促进了大型和小型企业的经济发展。

关键词：太阳能电池，光伏（PV）发电系统，转换效率，光伏模块，逆变器

1 影响太阳电池工作有效性的因素

太阳的活力——太阳辐照量，通常是以 W/M^2 (瓦 / 米²) 为测量单位的。应提供一种明确的相对值来表示太阳的活力；比如说，在赤道，该值可达到 $1020 \text{ W}/\text{M}^2$ ，在昼夜的不同时间和不同的气候条件下，这些数值是明显不同的。在这一领域的解决方法之一就是：建立一稳定、强制性的可自动操作转动的太阳受光盘，按 2 个坐标监视（跟踪）太阳的自动操控受光盘，可收集到的太阳能只不过 40% 多点。在此装置中一天期间（日出—日落）能实现对太阳运动的跟踪，并按一年四季跟踪太阳的高度和角度（按南北坐标）。但面临的问题是太阳光伏（PV）板的遮挡及降低 PV 发电效果的其它因素。

太阳 PV 板的可能被遮挡或以下原因，导致发出的功率减小。

- 1). 太阳 PV 板的配置不当。例如，在离大山、高的森林不远的地方配置 PV 板；
- 2). 云层、雾、强降雨、雪、灰尘、落叶，甚至鸟粪等的出现。

所有这些因素都影响到太阳电池所接受的 PV 发电功率。

2 太阳能的转换效率及 PV 模块的不同规格

太阳电池中采用了不同方案的光伏组件（模块），最通用的 PV 模块有单晶硅的和多晶硅的两款。

基于单晶硅结构的 PV 模块，给出的太阳能转换为电能

电流的最高效率为 14 ~ 20%。

单晶硅模块的外形示于图 1。这一模块具有的最大功率为 36W（输出直流电压 12V），但它可确保小型电子设备的供电电源。



图 1

应特别注意的是这些模块的服务期限（使用寿命）和可靠性。对于输出功率（DC- 额定功率） $\text{PN}=240\text{W}$ 、输出电压（DC- 开路电压） $\text{VOC}=37.7\text{V}$ 、DC- 最大功率电流 $\text{IMP}=7.9\text{A}$ 的 REC Solar REC 240 PE 模块，其平均的使用期限为 25 年（损耗达 80%）。模块的外形尺寸为 $1665 \times 99.1 \times 38\text{mm}$ 时，按 2015 年 3 月的行情，其零售价格约 3000 美元（折合 RMB 约 87.5 元/W）。

基于多晶硅的 PV 模块如图 2 所示，它比单晶硅的加工工艺花费较少，因而能使模块的造价较低。材料的质量要差一些，表现在边界效应和颗粒性的不均，故这种 PV

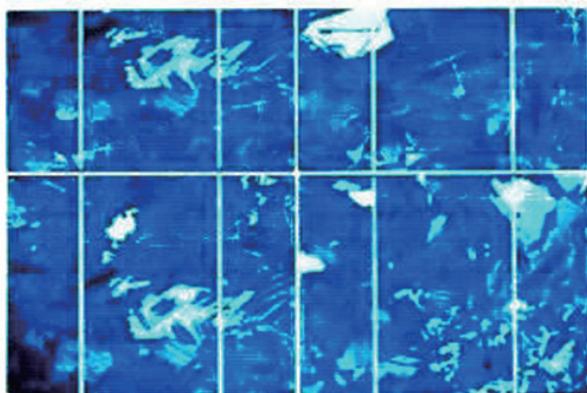


图 2

模块的效率为 13 ~ 15%。

除单晶硅和多晶硅以外，第三种形态为基于薄膜微形硅的 PV 模块，其配置形式较少见到，如图 3 所示。当外形尺寸为 $1300 \times 1100 \times 6.8\text{mm}$ 时，它具有最大输出功率 130W，重量 26kg，其工作表面积为 1.4m^2 。

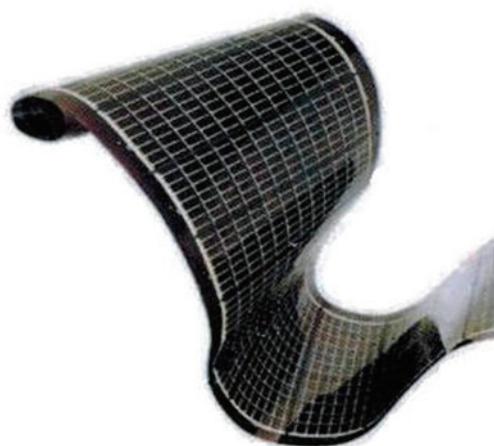


图 3

模块的结构包括以下成分，如薄膜微形硅，则为 CdTe(硒化镉)、Cu(In,Ga)Se²[铜 (镍, 镔) 硒²] 等组成成分。它的特点是相当低的价格，材料可自由保持形状，重量轻。与单晶硅 / 多晶硅的比较，这一 PV 模块在发出相同功率下要求的面积大。

基于薄膜硅的 PV 模块在上述 3 种形式中，具有最低的转换效率，效率仅 6 ~ 10%，但同时它却具有吸收太阳辐射更宽的光谱。模块的特点是其柔性，可安装在不均匀平整的表面上。

3 光伏 (PV) 模块与电路连接的实例

为了增加 PV 模块的输出电压和输出功率，我们采用了串联和并联的电路，由于这一连接可使输出电压 (串电压 U_{MPP}) 达到 $180 \sim 354\text{V}$ 的范围，其负荷电流达 5A。

图 4 为 PV 模块在串联电路中的连接结构图 (串 = PV 模块的串联)

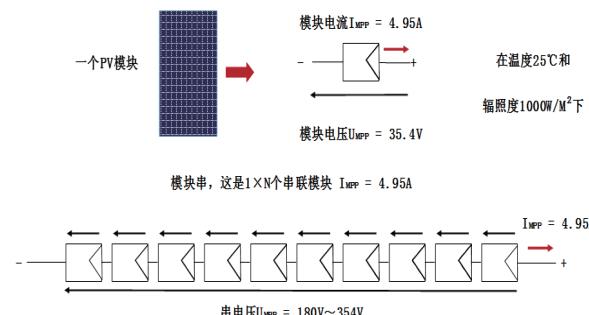


图 4

对于 1 个 PV 模块，当周围介质温度为 25°C ，太阳的辐照量 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 的情况下，这些参数得以确保。

图 5 给出了光伏的《栅栏》(通称光伏阵列)，该阵列由并联的 PV 串组成。

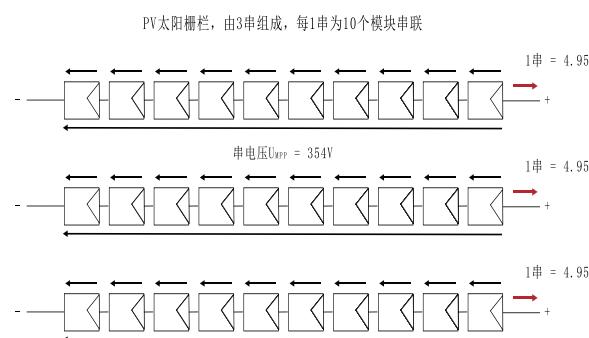


图 5

4 组建混联供电系统的光伏模块 (标准单元)

PV 模块本身，甚至由它们组成的太阳电池组，要保证终端用户的供电仍然是不足的。这关系到太阳辐照的不稳定性、不均匀性以及很多其它因素。正因为如此，PV 模块必须安装在确保自动供电的连接系统中。该系统 (除 PV 模块以外)，是由设计大量充电 / 放电周期的 AK B (自动控制蓄电池)、DC/DC 变换器 (最大功率点跟踪，MPPT)、

电源控制系统（充电 / 放电 AKB）、逆变器（DC/AC）、稳压器、保护装置以及其它设备组成的。这一供电系统的每一元件，必须按终端用户的具体任务来选择。

4.1 直流电压变换器（Converter）

直流电压变换器的具体例子—变换器 DC/DC FPZ 48V 1500W HE Solar MPPT, 其中，研讨了 PV 模块与变换器的相互关系。变换器输入和输出的直流电绝缘，允许适用任何一种 PV 板：多晶硅 / 单晶硅的和薄膜型的（后者要求接地），对于 DC/DC FPZ 48V 1500W HE Solar 型变换器（及其类似型），必须接通 6 块以上的、输出额定直流电压 $30V \pm 30\%$ 的 PV 板。重要的是最大功率点跟踪（MPPT）的操作算法，应使 PV 板输出功率的优化函数，在不同的光辐照状态下，能从 PV 板获得其输出功率的 100%。这样，当 PV 电池直接输出电压范围在 48 ~ 58V 时，仅 1 组 PV 电池的输出功率则达到 1500W 左右，模块效率为 96% 以上。

为了确保混联供电系统的控制，采用了专门的装置—控制器。当蓄电池串接在太阳 PV 板（模块，由若干模块组成的 PV 阵列）进行充电时，电路中必须接入控制器，旨在防止 AKB 的过充电，以确保其使用寿命。

在电流 / 电压的关系曲线上，无论在什么位置，除获得最大功率点以外，PV 电池的工作均会导致工作效益的下降。因此，最大功率点的控制是必须的功能，因为可提高 PV 电池的效率 30% 以上。

直流接头（接合处）、安全器、自动装置和压敏变阻器等的安装和启动简单，不更换已接通太阳板的 PV 阵列而更换逆变器的可能性，所有这些，可记上该系统的加号 “+”，如果是减号 “-”，例如薄膜工艺（TFT）的显示器，在寒冷情况下（气温低于 -15°C ）不能显示信息，故应将控制器安装在可使模块升温或有人居住的场所。

为建造大型太阳能发电站或工业化实体，我们采用了大型逆变器，以便将直流电转换成交流电。逆变器有三相输出，并将其接入 380V 的工业电网。

作为例子，对于独立客体的线路逆变器，其输出功率达到 22Kw(效率 97.3%)。借助逆变器，可确保各个住户(房间) 或小型乡村农庄的照明网络供电。

图 6 表示将逆变器接入自主供电系统的方框图。这一套装备的价格估计为 1500 ~ 2000 美元以上。很感兴趣的是，在芬兰，基于太阳能和风能转换的自主能量保障系统

普遍受到欢迎，农场主和农民对此并不考虑省钱，因为这些设备若干年以后（计及芬兰当地电能的价格），完全能回收补偿。在俄罗斯和乌克兰，尚未见到 PV 装置的大量应用，特别在农村地区。

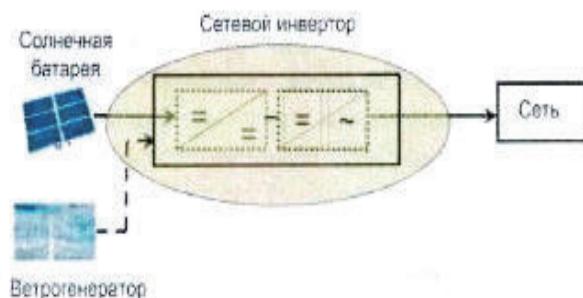


图 6

4.2 自主光伏（PV）系统的成本

下面，引入一个日常生活必需的 3Kw 功率自主 PV 系统价格的实例。这些数据，对于大量潜在用户在这套设备上的花费，有助于提供能获得多少纯利，价格是按 2015 年 7 月的行情给出的。

No	主要元件	参考行情 (美元)
①	PV 模块 Solar module REC 225 PE48	\$700
②	变换器 FP ₂ 48V	
	8Kw + 12Kw Solar Power Syst	\$2,000
	FP ₂ 48V 1500 HE Solar Converter	\$720
③	FP ₂ 48V 2Kw HE Rectifier	\$500
	控制器 EXIDE 太阳蓄电池 70PZV600-24	\$725
	④ 具有大量充电 / 放电周期的特种 AKB (蓄电瓶立式)	\$800
⑤	成套电源电缆 (连接电缆)	\$250
⑥	PV 模块的安装框架	\$500

从上述所列的价格可见，建立这样一个系统是很昂贵的，相当于中国同类产品的价格几乎是 7 ~ 8 倍。当然，中国与欧盟国家相比，劳动力的价格较低，换句话说，如果将我们的 PV 系列产品推向欧洲，其利润空间是相当可观的（编译者附注）。

在这一太阳能电站中，用于太阳能蓄电池的逆变器（带内置式变压器），基本的技术特性参数如下：

输入功率 4.4Kw(DC)；

输入电压 230 ~ 480V(DC)；

MPPT 600V(max)；
输出电压 185 ~ 276V(AC)；
在电网频率 50 ~ 60HZ 下；非并列接入的效率达 97.3%；
防护等级 IP65 室外；
确保的温度范围 -25 ~ +55°C；
在夜间状况的耗能 <1W；当 PV 模块输入功率时，逆变器接通 7W。

线路逆变器用于单个有价值的、拟接入交流电网的负载（居住建筑物、商务与工业用负载）。用户的功率范围 2.2 ~ 22Kw，按单相或三相接线图连接。作为例子，线路逆变器为无变压器的，计划输入的直流电压范围为 350 ~ 710V，峰值高达 880V，也即，考虑到有所储备。当频率在 47.5 ~ 50.2Hz 时，输出电压范围为 230V 左右（交流）。这对大多数有液化石油气地方的日常生活用户来说，是完全可以接受的，它们的特点是效率很高（96.7%），具有 IP66 的防护等级——适用于街道上应用。在周围气温 -20°C ~ +60°C 的变动条件下，可供其全年有效的工作。图 7 所示为接入若干自主能源—PV 发电、风力发电机和备用的柴油发电机，并具有供电可能性的逆变器系统的方框图。

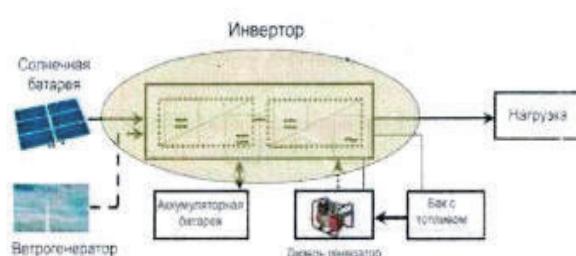


图 7

4.3 配备三相系统的街道配电柜

在以下例子中，我们对功率 39.6 (3 × 13.2) Kw 的联合电源系统的街道配电柜（室外 3 型）进行了研究。图 8 表明室外三相供电系统的开敞式配电柜外型，用于从 PV 板对 AK Б（蓄电池）的充电。型号为 T₃FF-1.8m，带功率 6Kw 的 FP₂ Solar HE 变换器。

从太阳 PV 板的输入功率通过电缆接入配电盘，配电盘设置在配电柜的内部。利用铅酸蓄电池的 AK Б 可取代镍镉（NiCd）蓄电池的 AK Б。T₃FF-1.8m 的户外型街道

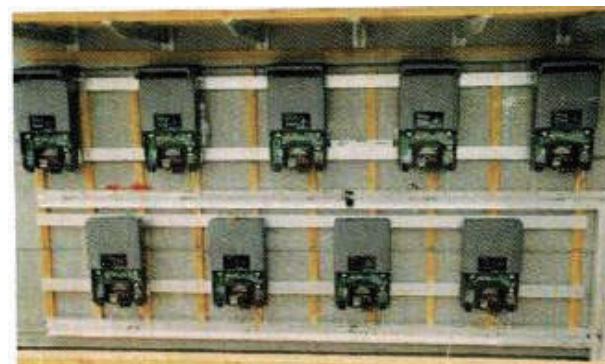


图 8

配电柜，与强制通风机 + 空气过滤器的冷却系统，相互之间是隔热的（由冷凝系统和自由冷却系统结合的方案也是可能的）。

接入了变换器、整流器、控制器以及加大燃料箱的后备发电机，这一能源系统可对足够大的城郊住房面积确保不间断的供电。前后交替建立的 PV 供电系统方案，估计都要组合像逆变器和整流器这类装置的。

4.4 蓄电池的利用

整个系统的可靠性问题—能量的储存尤为重要，更准确的说是，延长蓄电池的使用寿命是关键。

对光伏电站来说，有三种 AK Б 的制备工艺：

- 1) OP₂V (带条形管状薄片的胶凝化 AK Б)；
- 2) OP₂S (带液态电解液和条形薄片的传统 AK Б)；
- 3) NiCd (要求周期的灌满酸和经常的维护)。

为了从太阳电池板或风力发电装置（В Г У）的发电进行储能，不要利用标准远程通讯的备用 AK Б，因该 AK Б 按 PV 模块工况的充放电周期数经常是不够的。

AK Б 可靠性方面最重要的是：在其装置具体条件下能保持舒适的温度。

5 为延长使用寿命而保持 AK Б 舒适温度的技术解决方法

保持 AK Б 舒适温度的系统，关系到电能用户的具体任务而可能有所不用。但最常见到的是：

- 1) 在设备的容器中保证空气的温湿调节；
- 2) 保证强制的空气冷却系统；
- 3) 对于带内置系统的街道（室外）配电柜，要确保人造气候（微气候）的支持；

4) 确保 AKB 的容器置于地下。优点是：地下的温度稳定，延长了 AKB 的使用寿命，以及节约了地面空间。

随着 AKB 运行温度的升高，存在着充、放电周期减少的关系。铅酸 AKB 和镍镉 (NiCd) AKB 的使用期限缩短的百分比 (%) 如图 9 所示。

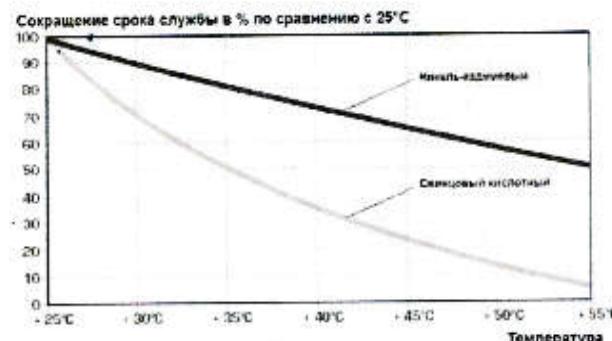


图 9

NiCd AKB 充 / 放电周期数的最大值，与装置地点的放电深度和运行温度的关系曲线如图 10。

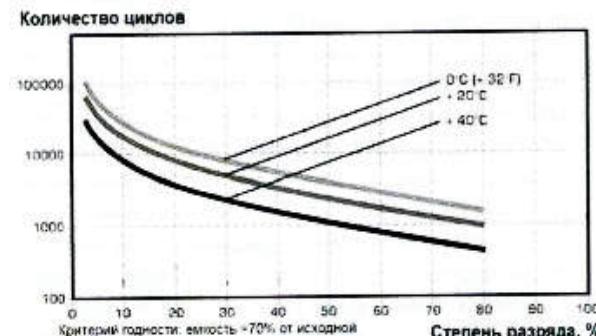


图 10

6 基于 PV 模块的自主能量保障系统的应用前景

从本质上说，太阳能的发电是将能量储存于蓄电池组，然后再将能量输送到负荷。通常，这些过程都是独立发生的。

太阳电池具备工作能力的条件如下：

温度范围 -50 ~ +75°C；

大气压力 84 ~ 106.7KPa；

相对湿度 ≤ 100%；

降雨强度 5mm/ 分钟。

为确保利用太阳能的供电，最简单的配置由以下部分组成：

1) 太阳电池（光伏板，连接到蓄电池的太阳能元件）；

2) 储能装置；

3) 电流变换器（逆变器，由直流变换交流的器件）。

这样一来，在市郊住宅中，现在完全可能拥有输出电压 220V/50Hz 的交流发电输出的供电电源。

值得用户高兴的是，太阳能元件将逐年的降低成本，而其有效功率则逐年的提高。今天的太阳电池将大量应用于小功率—手机电源及其它众多日用电器的充电装置。

晴朗天气下，1M² 地表面平均将得到 1000W 的太阳光能。太阳每一年有 320 ~ 350 天照耀发光，而同一地方又因乌云密布却很少见到太阳，故太阳降落的能量是不均匀的，关系到地区、地段的地形。据此，必须考虑到在每种具体情况下，保证供电系统应用的有效性。

按照 2015 年美国全国航空和宇航局 (NASA) 的指导数据，表 1 列出了进入俄罗斯若干城市的太阳辐照量信息。在莫斯科的纬线地区，晴朗的太阳日每 1M² 进入的太阳能约 3Kwh。

表 2 列出了应用于纬线地区有关总的太阳辐照量信息。

表 1

月平均总的太阳辐照量的参考数据														
莫斯科	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年	+K
沃龙涅什														
克拉斯诺达尔														
马哈奇加拉														
梁赞														

+K 与莫斯科比较，总的太阳辐照量的系数

表 2

参数	纬度地区, 度数									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Kwh/M ²	5.9	5.8	5.4	4.9	3.9	3.3	2.6	1.9	1.4	1.3

7 对太阳电池的元件和模块（标准单元）运行的建议

购买元件时，要对完整性进行检验（目测元件上的裂缝，通常从远处是看不出来的）。在明朗的晴天，完善无缺的元件应确保说明书资料标示的短路电流。为检查元件的完整性，应避免元件的瞬间短路。还好，这些元件尚未出现意外情况。

假如由若干太阳能元件组成的电池系统中，只要其中有一个显示有毛病，则整个电池系统的性能特性将变坏。由很多串联接通的元件组成的电池系统能允许的最大电流，将与其电路中最坏元件的电流相等。

对蓄电池系统供电的输出端，利用鸟巢形状的接头是最佳的。

光伏（PV）蓄电池的密封不仅防护其受潮，而且也保护元件免受灰尘充塞其内。元件的严重堵塞可能明显降低整个电池系统的效率。

太阳能元件很脆（非常易碎）！在电池板单独生产和安装时，应格外小心。要利用低压焊接将元件安装在支架上，焊头要求尖细，功率不超过 25W。

应跟踪考察，在阳光照射期间 PV 模块的正面不要被树木林荫或一些直立物体所遮挡。模块本身的工作表面整个面积应照射均匀。在光照期间，尽管一个或几个模块元件被遮挡，都会明显降低其输出能量的效益。

遮挡虽不影响到 PV 模块的正常工作能力，也不会导致其损坏，但必须考虑到，在平均纬度地区太阳辐照时，蓄电池系统的完全充电时间，是与全年的时间和蓄电系统的容量相关的。

必须保持 PV 模块板的正面清洁，建议每周用浸湿的抹布擦拭一次板的正面，虽模块是在密封场合下使用，必

须要防止其机械的损伤，以及潮气进入连接的盒子内。过热不允许高于 85℃，模块不能与有害的化学物蒸气（酸、碱、限制的溶剂）接触。

为了确保发电量最大和充分发挥 PV 模块的工作能力，利用固定好的专门模块，计及对地平线的计算角度（该角度与纬度地区地形有关），力求其模块正面朝向南方。在这种情况下，昼夜期间，PV 模块将输出最大数量的电能。

8 结束语

有意思的是，太阳电池运行的头一年期间，由于硅的老化，电池的损耗达到了本身最初功率的 1.5%。如果在太阳电池生产制造时允许有次品，则它可能甚至在最初检验以后，历经若干年也会突然显露。正因为如此，建议不必去购买便宜的太阳电池。同样，购买其贮存的备品也没有意义。因最终结果可能显示价格更贵。

今天，利用太阳电池系统输出的电能仍然很贵，但设想经过 15 ~ 20 年，从太阳得到的电能，一定会比用煤炭、天然气、甚至核燃料得到的电能价格便宜 50%。

太阳电池的反对者和拥护者，见解和看法各种各样，但唯一的结论是：像交流发电机一样，由各种装置组合的太阳电池系统，愈益被证实其正确性。相应的太阳电池（PV 板）的生产、服务、安装、维护和运行市场，必然具有宽阔的发展前景。

原文出处：Андрей Кашкаров, г. Санкт Петербург ,
Солнечные батареи и модули как источники питания
《ЭЛЕКТРИК》2016.No4 P48 ~ 53