

光能发电是当今世界的尖端科技，将为全人类彻底解决“能源危机”“环境污染”和“可持续发展”等三大世界难题，将做出历史性、跨时代的伟大贡献，将为人类利用新能源、新技术方面进入一个崭新的时代，在现实的发展中存在这若干的核心问题。

## 1 太阳能资源数据及评估

### 1.1 太阳能资源数据

太阳能辐射数据可以从县级气象台取得，也可以从国家气象局取得。从气象局取得的数据为水平面的辐射数据，包括：水平面总辐射、水平面直接辐射和水平面散射辐射。

太阳能资源数据主要包括：各月的太阳能总辐射量（辐照度）或太阳能总辐射量和辐射强度的每月日平均值。与其相关的气候状况的数据主要包括：年平均气温，年平均最高气温，年平均最低气温，一年内最长连续阴天数（含降水或降雪天），年平均风速，年最大风速，年冰雹次数，年沙暴日数。其中，太阳能总辐射量的各月数值是必不可少的。此外，还应提供上述各项数据最近 5~10 年的累计数据，以评估太阳能资源数和气候状况数据的有效性。

### 1.2 太阳能资源数据有效性的评估

将气象台或相关部门提供的太阳能资源数据用于光伏系统设计，在某些情况下仍需对其有效性进行评估。

首先，当一个具体场地的太阳能资源数据不够完整或缺少多年的累积数据，就必须对太阳辐射的有效性和量值进行评估。

其次，虽然当地的太阳能资源数据比较完整，而且太阳辐射情况也较好，但由于候选场地处于多山地区或附近存在明显影响太阳辐射的地形地貌。在这种情况下要通过研究候选场地周围邻近地区的平均数据变化，来评估当地太阳能资源数据的有效性。

再次，从气象部门得到的数据是水平面的数据，包括：水平面直接辐射和水平面散射辐射，从而得到水平面上总辐射量数据。但是，在太阳能光伏发电的实际应用中，为了得到更多的发电量和电池组件自清洁的需要，固定安装的方阵通常是倾斜的，这就需要计算得出倾斜面上的太阳能辐射量（通常要大于水平面上的辐射量）。但是，这一计算过程非常复杂，所以人们常常直接采用水平面上的数据，或者采用经验系数的方法进行简单换算，这对计算的精度产生了影响。近些年来，已经开发了一些软件，不但可以方便地解决这些计算问题，其数据库中还往往储存大量不同地区的太阳能辐射数据，有些还具有光伏系统分析设计功能。

## **2 光伏系统的选址和场地评估**

### **2.1 在光伏系统选址时需消除阴影影响**

太阳能电池依赖于日光照射而发电，当投射到电池板上的日光被遮挡时，方阵功率输出特性将受到严重影响，在电池板上的一个小小阴影也能够使其

性能大大降低，因此，在光伏系统设计和安装过程中仔细地确定阳光通路和避开阴影，对保证方阵的额定功率和降低光伏系统发电成本极为重要。

场地出现的阴影经常来自树木、草木、附近的建筑，还有太阳收集器的撑杆和金属线等。作为一般原则，确定从上午 9 点~下午 3 点没有阴影为好。在冬季的月份当太阳的仰角低，电池板被遮挡经常是一个比较大的问题，应引起光伏系统设计者和光伏电站运行人员的重视。中国位于地球的北半球，对太阳能电池方阵发电最不利的阴影出现在 12 月 21 日（即冬至）前后一段时间。

为消除阴影影响，选择场地后必须确认以下条件是否满足：（1）在一年的任何月份，投向太阳能电池方阵的阳光都不会被遮挡；（2）每天上午 9 点~下午 3 点太阳能电池板上无阴影；（3）识别上午 9 点~下午 3 点遮挡太阳能电池方阵的障碍物，消除阴影来源；（4）如无法消除产生阴影的因素，也可考虑移动太阳能电池方阵或增加容量，以弥补由于阴影造成的损失。

## 2.2 光伏系统场地的评估

在对光伏系统场地评估时，应该进行以下评估。

### （1）一般日照条件评估

当依据要求收集到候选场地的太阳能资源数据后，还应到现场仔细观察场地附近地障碍物，评估太阳阴影对太阳能电池方阵发电的影响，并提出避

开障碍物或移开障碍物的建议。通过在屋顶、墙上或院子里或直接观测，为满足方阵的全年日照条件寻找一个最佳方位。

在北半球正南是太阳能电池方阵最基本的方位。如果确保方阵面向正南或 $0^{\circ}$ 方位角，则每天的日照性能将是最好的。然而，应考虑当地气候特征的影响并仔细评价，例如：如果场地附近早晨有雾笼罩，则需要调整方阵略微偏向西南，以获取滞后中午一段时间的更为有效的太阳辐射。

### (2) 测算方阵运行时间

太阳能电池方阵接受阳光照射时间越长，系统每日可发出的电能就越多。因此当方阵在场地的方位和高度初步确定后，需要评估和测定太阳能电池板在不同季节里每日的可运行时间。

### (3) 太阳窗

在评价场地时，必须选择一个日照好、全天无阴影的时间作为太阳能电池方阵的运行时间。这个最适宜的时间区间称为“太阳窗”。

“太阳窗”概念可以反映场地的日照时间和路径状况。依据场地日照条件的不同，太阳窗可以选在上午9点~下午3点，也可以选在上午8:20~下午3:20等。在夏季里，太阳升起早日落却很晚，日照时间比冬季要长得多，因此夏季的太阳窗比冬季的太阳窗开得天也就是方阵的可运行时间长。太阳窗大小除受季节影响外，还与场地周围的环境条件有关：例如：场地东西两侧的高山、树林和高大建筑物等都会减少太阳能电池方阵的运行时间。一年

四季的太阳窗时间是不同的。欲准确地测定太阳窗，首先需要向气象部门询问当地不同季节日出、日落时的太阳方位角和正午的太阳高度角，然后再根据场地的具体条件加以修正。如果仅需要近似的场地“太阳窗”时间，则通过目测即可。

如果仅从日照的时间长短评价场地，则“太阳窗”时间段达到上午 9 点~下午 3 点已经满足光伏系统发电条件。当“太阳窗”时间段达到上午 10 点~下午 2 点时，说明该场之的日照时间太短，应检查或清除周围的障碍物或者考虑另外选择场地。

#### (4) 运输条件

安装现场应考虑交通和运输条件，附近应有公路，便于光伏组件、控制柜、蓄电池等设备的运输。如果卡车不能到达现场，至少农用车可以到达现场。

#### (5) 供电条件

安装现场应离供电村庄较近，供电半径不应超过 1 千米，要考虑运行人员来往方便、低压电缆的输电损耗，另外要对供电负荷及增容潜力等作详细调研。对于离网独立村落电站，电网在短期内不会延伸至此，以免不必要的重复建设和将来的电站搬迁等问题。

### 3 选定蓄电池容量和蓄电池组安装

#### 3.1 选定蓄电池容量

设计人员要评估系统负载对蓄电池容量的需求。确定蓄电池容量时，首先要测定接入系统的负载每天需要多少电量；其次根据气候条件确定蓄电池需要存储多少天的电量。测量时注意蓄电池容量会受到诸多因素影响，如：放电率、放电深度、温度、蓄电池老化和控制器效能等。当然，所需要的蓄电池容量也受负载规模的影响，减少负载就会减少需要的蓄电池容量。同时在确定蓄电池容量时，并不是容量愈大愈好，过大的蓄电池容量规模也会产生问题。因此，恰当合理地确定光伏系统蓄电池容量是一项重要而细致的工作，必须认真对待。

### 3.2 安装蓄电池的注意事项

(1) 加完电解液的蓄电池应该将加液孔的盖子拧紧，以防止杂质掉进蓄电池内部。胶塞上的通气孔必须保持畅通。

(2) 各接线夹头和蓄电池极柱必须保持紧密接触。连接导线接好后，需在各连接点上抹上一层薄的凡士林油膜，以防连接点锈蚀。

(3) 蓄电池应放在室内通风良好、不受阳光直射的地方。距离热源不应少于 2 米，室内温度应保持在 10~25C 之间。

(4) 蓄电池与地面之间应采取绝缘措施，例如，可以垫置木板或者其他绝缘物体，以免因为蓄电池与地面短路而放电。

(5) 放置蓄电池的位置应该选择在离太阳能电池方阵较近的地方。连接导线应该尽量缩短，选择的导线直径不可太细，以尽量减少不必要的线路损耗。

(6) 不能将酸性蓄电池和碱性蓄电池同时安置在同一房间内。

(7) 对安置蓄电池较多的蓄电池室，冬天不允许采用明火取暖，而宜采用火墙、太阳能房等方式提高室内温度，并保持良好的通风条件。

#### **4 充电控制器性能和防止遭受雷击的措施**

##### **4.1 充电控制器性能的好坏对系统有着很大影响**

对光伏充电控制器性能的评价主要可以从可靠性、易维护性和充电效能三方面考虑。一个质量优良、安全可靠、不易出故障的光伏充电控制器显然是对光伏系统整体性能的有效保证，尤其是蓄电池充放电电压控制‘点等关键设定的稳定性直接关系着蓄电池的使用安全和寿命。一个构造清晰，出故障后容易修理的易维护的光伏充电控制器也可以从另一个方面提高光伏系统的性能。而光伏充电控制器的自身能耗和充电控制策略的优良，则直接影响到光伏系统本身可提供的电能的多少，低功耗高效率的光伏充电控制器可以提高光伏组件的利用率，进而提高光伏系统的整体性能。

##### **4.2 防止充电控制器遭受雷击的措施**

要防止雷击首先要了解雷电入侵电力系统的途经，雷电入侵一般有直击雷、感应雷和雷电波侵入三种方式。

直击雷是指直接落到太阳能电池方阵、低压配电线路、电气设备及其配线等处，以及在其近旁的雷击。直击雷的电流峰值在 15~20kA 以下的大约占 50%，也可观测到 200~300kA 范围的雷击。由于这样雷击的能量非常大，作为防直击雷的措施有安装避雷针等。

感应雷分为由静电感应形成的雷和由电磁感应形成的雷。由静电感应形成的雷是因雷云形成，例如电缆感应产生的正电荷和雷击产生的地表的电荷中和后剩下来形成雷电浪涌。由电磁感应形成的雷，是由于落到电缆附近的雷击产生的雷电电流使电缆感应形成雷电浪涌。

光伏充电控制器一端连接蓄电池，一端连接太阳能电池方阵。蓄电池由于安装在建筑物室内，只要建筑物按建筑规范设置了建筑物防雷措施，蓄电池基本没有遭受雷击的可能，所以充电控制器连接蓄电池的一侧不用特别的防雷措施。

而太阳能电池方阵安装在室外露天，光伏组件边框一般为铝制，光伏安装支架一般为钢结构构件，这就大大增加了遭受雷击的可能性。为防止直击雷击中太阳能电池方阵，光伏安装场地应该设置避雷针，避雷针应该可靠接地，使雷电电流可以安全快速地入地；为了保证电气设备的安全，避雷针的接地应该和电气设备的保护地分开，并保持足够的安全距离。为防止感应雷造成的危害，光伏电缆应该设置金属桥架，并可靠接地；光伏场地控制器应该具有封闭的金属外壳，并可靠接地，同时保证接地点等电位连接。为防止雷电波侵入造成的危害，光伏控制器在光伏进线的人口处应该安装防雷器件，如压敏电阻或防雷模块，并可靠接地。



## 5 逆变器叠加使用和控制逆变一体机的优缺点

### 5.1 逆变器叠加使用

在光伏电站中使用的逆变器也可以称为独立式逆变器，这种逆变器在输出电能的同时自己建立一个 220V/50Hz 的电网。

一般情况下，这种逆变器不能直接将多台逆变器的交流输出并联叠加使用。因为每台逆变器都有自己独立的电压、频率和相位特性，即便是同时开机投入工作，也无法保证各台逆变器输出的电压、频率和相位完全相同，导致电网波形失真，电压电流漂移，会造成电网无法工作，严重的会导致逆变器输出电流反向而引起逆变器损毁。

如果确实有必要将多台逆变器并联使用，以扩大逆变器输出的容量，就必须选用可以并机工作的逆变器型号。在这种情况下，一台逆变器称为主机，其他逆变器称为从机，由主机建立电网确定电网的电压、频率和相位等基本参数。同时向从机发出同频同相指令，从机根据该指令向电网中输入完全相同的交流电能，如果从机和主机的频率相位产生偏差，从机就应该随时纠正该偏差，使其发出的电能参数保持与主机一致。主机在发出同频同相指令的同时，还会向从机发出功率调节指令，保证输出功率在各台逆变器之间的平衡，防止个别主机负载过大，而另外一些主机负载过小的现象。

### 5.2 控制逆变一体机的优缺点

控制逆变一体机的优点有：光伏充电和逆变器组合在一起，体积小，接线少，使用简单，维护方便、性价比高，整机效率高，特别适合户用系统。控制逆变一体机内部保护电路齐全，具有输入过压、输入欠压、输出过载、输出短路、输入直流接反、过热保护等保护措施，可以有效地保证使用过程中的使用安全。控制逆变一体机的缺点也同样明显，由于充电器容量和逆变器容量都固定，不能调整，所以不适合发电和用电负荷不匹配的系统。

## 6 离网光伏发电系统的寿命

离网光伏发电系统主要设备寿命如下：蓄电池的使用寿命通常为 5 年左右，逆变器寿命为 10 年左右，光伏组件的寿命为 20~25 年，一般情况下认为离网光伏发电系统寿命为 20 年，因此在寿命周期内需要进行蓄电池、控制器和逆变器的更换。

## 7 局部电网的设计

局部电网设计需要考虑电源点建设、电网架构的构成、负载的匹配和管理等内容。规划局部电网中的电源点应该首先考虑建设当地的自然资源情况，由于这类电网一般地处边远地区，电站类型的选择应以水电、光电、风电等可再生能源为主要考量。电站容量的选择应以当地的社会经济发展水平为依据，做出合理的负荷预测，以满足 5~10 年内用电需求为准。如有可能应该尽量规划多个不同种类电站联网运行的工作模式，达到充分利用各种自然资源，发挥资源互补的优势。

局部电网的架构建设一般以 220v/380 V 的低压配电系统为主，以便减少变电所带来的电能损耗，如果出现电源点距离负荷中心过远等必须进行输变电的情况，按照距离的远近选择合理的输变电电压等级。低压电网的配电形式一般以树状结构为主，便于电网的检修和故障的排除。如果有两个以上的电源点联络线可以环网或者双回等方式连接，以提高供电和输配电的可靠性。局部电网中应该分级设置继电保护装置，根据输配电线路的电缆型号和长度分级计算各保护点短路电流等参数，选用适合的继电保护产品设置合理的保护参数，保证电网的安全运行。

局部电网由于范围小、能量来源有限、网络脆弱，对于接入电网的负载必须严格管理，严禁私拉乱接等现象的发生，限制大功率负载（如电炉、电暖气、中央空调等）和大冲击负载（大容量电动机、电焊机等）的使用。对于电网负荷应按用户的不同分级管理，对于党政机关、军事单位、学校、银行等关键部门应列为随时保障供电的一级负载范围；对于居民、商店等列为非紧急情况下正常供电的二级负载；对于一般工厂、饭店、娱乐场所应列为不保障持续供电的二级负载，实现有限电力能源的合理有序分配。

## 8 光伏电站的跟踪监控和运行数据分析与评估

光伏发电系统还属于新生事物，还没有达到推广应用的规模化。目前存在距离遥远、当地技术水平低、独立电网容量有限等不利条件，增加了管理好光伏电站的难度。因此，实施对电站的运行监控，通过对系统运行的数据进行科学分析，找出内在规律，为系统优化设计提供可靠依据，为更大规模的推广独立光伏发电系统作出贡献。

## 8.1 电站监控内容

(1) 当地的光照和风力资源：每天各时段阳光辐射强度和光照时间，每天各时段风速和风向。

(2) 天气情况（温度、雷击、沙尘、冰雹、雨雪、云雾等）。

(3) 系统各发电子系统在各时段的发电功率和发电量。

(4) 充电控制器在各时段的工作状态。

(5) 蓄电池组在各时段的工作状态。

(6) 系统负载在各时段的工作状态。

(7) 系统故障统计。

## 8.2 监控手段和方法

(1) 对于没有安装自动数据采集装置的电站，采用人工读数的方法记录数据。为了保证数据的真实（可靠、准确，电站工作人员在参加培训时必须学会、浓懂如何正确读表、测量和填写工作日记的表格。业主公司的专业技术人员定期校对、核实各电站的工作日记。电站的工作日记必须存档备案，不得遗失和损坏。人工记录工作日记是自始至终每天必做的工作。

(2) 对于安装了自动数据采集装置的电站，由专业技术人员定期读取记录，或由当地电站工作人员经专门培训定期更换数据记录磁盘，邮寄给专业数据收集人。

(3) 在具备各通信条件的电站，可以建立远程监控系统，由专业技术人员进行实时监控，远程自动采集数据。

### 8.3 电站运行数据分析与评价

在获取完整数据的基础上，应分析并完成下述评估内容。

(1) 每月、每年光伏电站提供的电量。

(2) 每月、每日全村的用电需求量和各负载的耗电量。

(3) 每月 24 小时能量流图。

(4) 系统各主要设备的工作性能和潜力。

(5) 供电余量分析。

(6) 负载发展预测。

(7) 故障分析及预防措施建议。做好光伏电站的跟踪监控和评估工作，有助于改进管理制度，进一步完善光伏电站，充分发挥系统的潜能，使系统在最佳状态下运行，获得最好的经济效益和社会效益。

## 9 离网光伏发电系统的成本分析

投资成本和运营成本构成了离网光伏发电系统的主要成本。但是需要注意的是，一个离网光伏发电工程，尤其是偏远地区的农村的离网光伏发电工程，给整个社会创造了额外的价值，这并非是将各个局部价值相加就

能获得的。其外部因素包括：有利于环境、提高卫生、安全和教育水平、减少城市移民、促进民族团结、社会稳定和技术进步。这些好处的价值，相比经济性分析而言，更多的是出于社会效益和环境效益方面的考虑。

离网光伏发电系统项目建设者要提交和工程有关的各种成本说明是很重要的，成本可以分为以下五个部分：

- (1) 初期投资（设备、基础设施和安装的成本）；
- (2) 设备更换成本（设备和安装）；
- (3) 运行维护费用（工资和消耗材料成本）；
- (4) 能源服务费（业主或能源服务公司的巡检、维修服务费）；
- (5) 回收和拆装费用。

提交给电站运营的系统成本说明至少应该包括以下四种：

- (1) 年资金流动；
- (2) 电站生命周期的全部成本；
- (3) 核算后的发电成本；
- (4) 每年的运行维护和更换费用。

经过统计，自 1998~2008 年我国已经建成的 20 多个离网光伏项目，MMW，大约%以上都为国内政府无偿投资或国际政府无偿援助项目。

## 10 光伏发电系统的验收内容

光伏发电系统验收主要包括以下 7 部内容：

### (1) 方阵基座部分

- 混凝土基座和地脚螺栓规格
- 基座方位
- 架空式方阵平台设备平台的尺寸和承载构件的规格

### (2) 方阵机架部分

- 安装的牢固程度
- 机架的倾角
- 可调式机架的倾角调整范围

### (3) 太阳能电池方阵部分

- 各子方阵的布线
- 各子方阵的最大输出功率
- 组件连接线及方阵输出电缆绑扎固定状况

### (4) 电源馈线部分

- 馈线走向路线
- 线间或线对地绝缘电阻
- 穿线管口密封情况
- 电缆端头处理
- 电源馈线与控制柜连接情况

#### (5) 控制柜部分

- 安装位置和安装的牢固程度
- 外部接线
- 通电试验

#### (6) 蓄电池部分

- 开口型蓄电池按厂家说明书或通信电源设备安装工程施工及验收技术

#### 规范要求

- 密封式蓄电池的箱体加工情况
- 蓄电池的定容量

#### (7) 系统防护部分

- 接地系统的位置和接地电阻



- 防雷接地装置各部件连接方法
- 避雷针的位置和高度
- 设备蓄电池的抗震设防

## 11 太阳能光伏建筑-体化原则

(1) 生态驱动设计理念向常规建筑设计的渗透：建筑本身应该具有美学形式，而 PV 系统与建筑的整合使建筑外观更加具有魅力。建筑中的 pv 板使用不仅很好的利用了太阳能，极大的节省了建筑对能源的使用，而且还丰富了建筑立面设计和立面美学。BIPV 设计应以不损害和影响建筑的效果、结构安全、功能和使用寿命为基本原则，任何对建筑本身产生损害和不良影响的 BIPV 设计都是不合格的设计。

(2) 传统建筑构造与现代光伏工程技术和理念的融合；引入建筑整合设计方法，发展太阳能与建筑集成技术。建筑整合设计是指将太阳能应用技术纳入建筑设计全过程，以达到建筑设计美观、实用、经济的要求。BIPV 首先是一个建筑，它是建筑师的艺术品，其成功与否关键一点就是建筑物的外观效果。建筑应该从设计一开始，就要将太阳能系统包含的所有内容作为建筑不可或缺的设计元素加以设计，巧妙地将太阳能系统的各个部件融入建筑之中一体设计，使太阳能系统成为建筑组成不可分割的一部分，达到与建筑物的完美结合。

(3) 关注不同的建筑特征和人们的生活习惯;合适的比例和尺度: PV 板的比例和尺度必须与建筑整体的比例和尺度相吻合, 与建筑的功能相吻合, 这将决定 PV 板的分格尺寸和形式。PV 板的颜色和肌理必须与建筑的其他部分相和谐, 与建筑的整体风格相统一例如, 在一个历史建筑上, PV 板集成瓦可能比大尺度的 PV 板更适合, 在一个高技派的建筑中, 工业化的 PV 板更能体现建筑的性格。

(4) 保温隔热的围护结构技术与自然通风采光遮阳技术的有机结合;精美的细部设计: 不只是指 PV 屋顶的防水构造, 而要更多关注的是具体的细部设计, pv 板要从一个单纯的建筑技术产品很好的融合到建筑设计和建筑艺术之中。

(5) 光伏系统和建筑是两个独立的系统, 将这两个系统相结合, 所涉及的方面很多, 要发展光伏与建筑集成化系统, 并不是光伏制作者能独立胜任的, 必须与建筑材料、建筑设计、建筑施工等相关方面紧密配合, 共同努力, 才能成功。

(6) 建筑的初始投资与生命周期内光伏工程投资的平衡;综合考虑建筑运营成本及其外部成本。建筑运营体现在建筑物的策划、建设、使用及其改造、拆除等全寿命周期的各种活动中, 建筑节能技术、太阳能技术以及生态建筑技术对与建筑运营具有重要影响。不仅要关注建筑初期的一次投资, 更应关注建筑的后期运营和费用支出, 不但要满足民众的居住需求, 也要关注住房使用的耗能支出。另外, 还应考虑二氧化碳排放等外部环境成本的增加等。

## 12 规划先行是太阳能光伏建筑-一体化的关键

解决太阳能与建筑一体化，解决建筑设计与太阳能施工的协调统一，其实在技术上并不是难题，真正的难点在于开发商的利益和公众的节能意识。而这迫切需要政府部门在规划预见性和规范性上先行一步。建议政府建设行政部门应提出或规定“房屋建设与太阳能施工”同步设计、同步施工、同步完成的硬性要求。因此，面对日益严峻的能源形势，节能建筑的相关规范或强制性标准的出台恐怕应当先行一步。在各级政府的政策导向和激励机制的基础上，提高职业培训和公众教育程度，加强产品（系统）检测认证和建筑准人制度，完善规范标准及相关技术规程，发挥从企业到业主等各个层面的积极性，共同推进太阳能光伏建筑的有序健康发展。