

太阳能系统

阳光和光伏效应

光伏效应是利用阳光，以安静、清洁且自主的方式产生直流电的过程。产生这种电力所需的设备通常被称为“太阳能电池”，这种电池板不仅采用模块化方式，而且只需要极少的维护。在其长期耐久性的加持下，太阳能系统在偏远地区或预计会长期使用设备的情况中，越来越受欢迎。

太阳能电池板能够捕获光子，利用光子激发 P 型和 N 型半导体来移动自由电子，从而将光辐射转化为电能。现代光伏电池板通常可将约 15-20% 的光能直接转化为电能。有些电池板的效率更高，但它们非常昂贵且容易损坏，人道主义组织工作的地点通常无法获得。

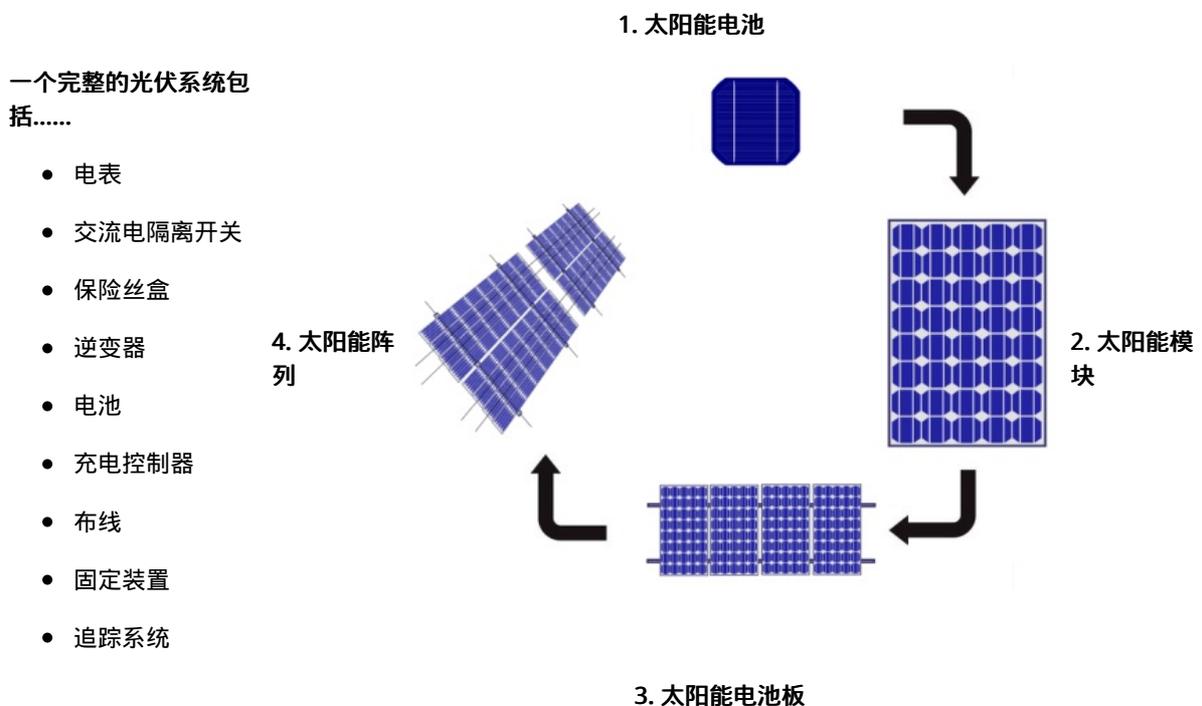
光通过防反射涂层进入设备，该图层可最大限度地减少反射带来的光能损失。然后，电池板可通过促进光传输到下方的三个能量转换层来有效捕获照射到太阳能电池上的光。

- N 型硅层；提供额外的电子（负）。
- P-N 连接层。吸收层，是将电子定向到一个方向的设备的核心。
- P 型硅层；产生电子空位（正）。

最后，由另外两层电气接触层来将电流输送到外部负荷再回到电池中，从而形成完整的电路。

大多数太阳能电池的面积只有几平方厘米，并由一层薄玻璃或透明塑料涂层保护，以防止在环境中被损坏。由于典型的 10 × 10 厘米（4 × 4 英寸）太阳能电池仅产生约两瓦特的电力，因此通常以串联方式连接电池以提高电压，或以并联方式连接以增大电流。太阳能或光伏 (PV) 模块通常由 36 个或更多相互连接的电池组成，由铝框玻璃覆盖。

一个或多个光伏模块可通过接线和框架组合成一块太阳能电池板，而多块电池板可组合成一个太阳能阵列，从而整体供电。



太阳能电池的老化

所有太阳能电池以及太阳能电池板都会随时间推移而老化。在太阳能系统从阳光中获取能量的同时，阳光也会让太阳能电池的组成部分缓慢老化。大多数市售太阳能电池板的平均老化速度为每年 2%。在规划和预算时，必须将设备的使用寿命考虑在内。例如，直射阳光下太阳能阵列每年 2% 的老化速度意味着 10 年后电池板的效率将仅为安装时的 80% 左右。效率降低意味着太阳能阵列的功率输出变低，继而使电池充电时间变长、全天的最佳充电时间变短。计划在单个地点使用太阳能电池板 10 年以上的人道主义机构，可能需要考虑为在 12-15 年后更换总产出不再能满足需求的电池板编列预算。

系统架构

根据所需的具体电力，整套光伏系统可能由一个或多个太阳能模块组成。由于电池可用作任何主电源的备用电源，所以太阳能系统需要电池系统来储存产生的能量。因此，太阳能系统始终包含某种形式的电池系统，无论是小还是大。这些电池经过专门设计，可在很长一段时间内提供有限的电流。

电力系统可以通过调节从太阳能电池板到电池的电压和/或电流来适应不同的电力负荷，以防止过度充电。在最佳条件下，大多数“12 伏特”电池板可以输出约 16-20 伏特的电压。因此，如果没有调节，电池可能且必将会因过度充电而损坏。大多数电池需要约 14-14.5 伏特才能充满。像所有其他电力系统一样，需要对太阳能系统进行适当的评估和布线。

太阳能系统通常由以下部分组成：

- 光伏模块、太阳能电池板或阵列，包括其各类固定支架。
- 电池系统。
- 太阳能稳压器。
- 布线和保护。

太阳能系统采用模块化设计，几乎可以满足任何具体需求。因此，光伏组件可直接连接到许多设备，例如潜水泵或独立冰柜，或者以整套太阳能电池阵列形式为整个办公区或基地供电。

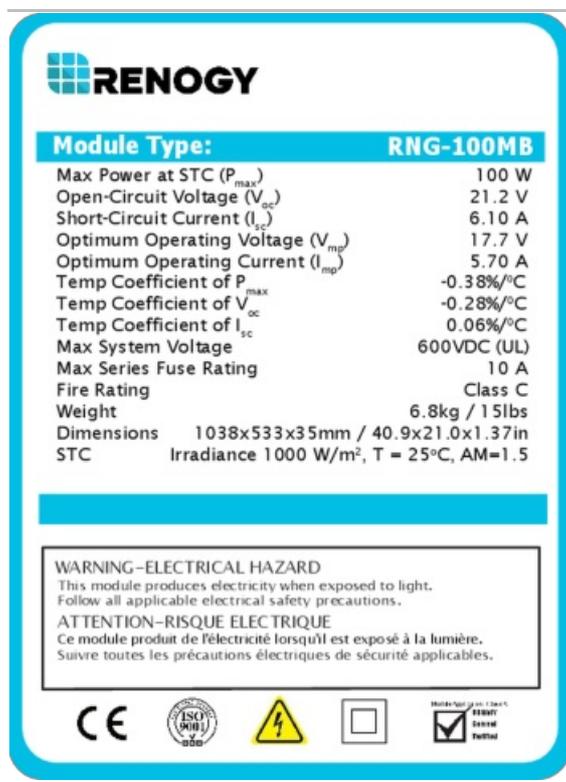
太阳能模块

太阳能模块的额定功率以峰瓦标注，即标称峰值功率 (P_{max})。其计算方法是将峰值功率电压 (V_{mp}) 乘以其峰值功率电流 (I_{mp})：

$$P_{\max} = V_{mp} \times I_{mp}$$

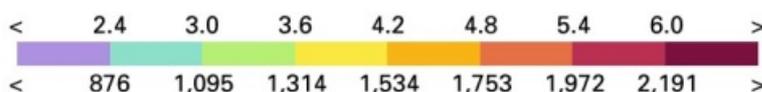
在标准测试条件 (Standard Test Conditions, STC) 下，100Wp 的太阳能电池板可产生 100W 的功率。STC 仅存在于实验室中，即对电池温度 25°C 的 1,000W/m² 电池板进行阳光照射。在实际装置中，实际发电量通常远低于峰值功率。但是由于每块电池板在相同条件下的额定值相同，这些测量值仍可作为比较尺寸和容量的定性参考。

太阳能电池板随附标签的示例



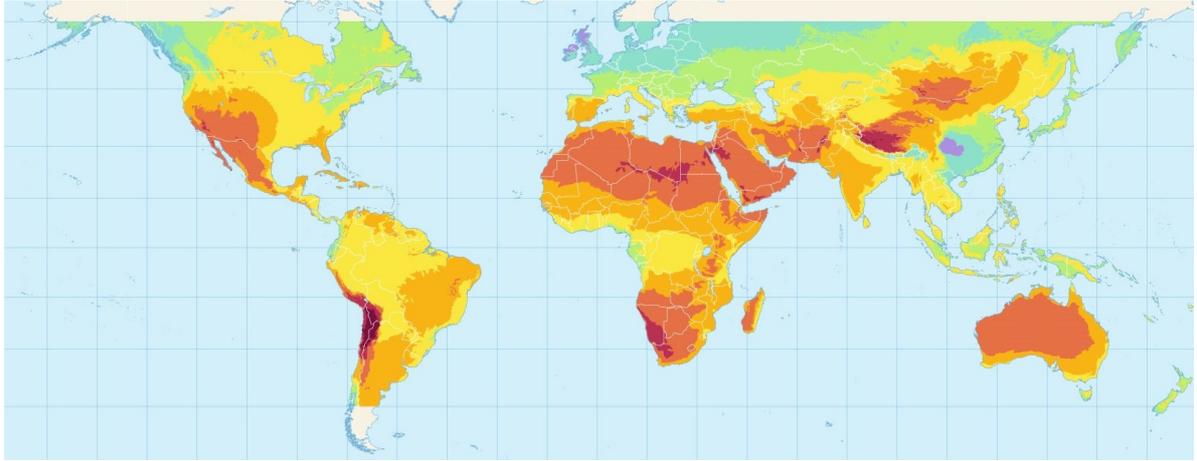
一个太阳能模块在一天当中产生的能量主要取决于：

日辐照度：太阳在一天内提供的能量是最重要的参数。靠近赤道的区域的平均辐照度最好，但是这个一般规律可能因地而异，也可因季节而异。下表中提供了以千瓦时/平方米/天表示的光伏系统的平均性能。



长期日均总辐照度

长期平均年总辐照度



遮盖、雾霾和多云天气：所有阻挡阳光的障碍物都会降低模块的能量生产。此外，如果太阳能电池板被部分遮盖，则可能会停止发电，这是因为受遮盖的电池将消耗太阳能电池板其余部分产生的能量。某些情况下，当单块电池板的被遮盖部分消耗未遮盖部分的电能时，电池板会迅速升温，从而发生一种称为“热点加热”的现象，这会迅速摧毁电池板。这一现象可通过在光伏组件中常用的旁路二极管来避免，但强烈建议检查此功能。

电池板的方向：方向较差的电池板（例如在北半球时朝北）所产生的能量将远低于电池板的额定值，甚至根本不会产生能量。

温度：高于 25°C 的温度也会减少太阳能电池板产生的能量。

日照时数：当阳光接近直射时，会在每平方厘米上提供更多的能量，从而让太阳能电池板产生更多的电力。因此，当太阳接近地平线时，太阳能电池板产生的电量将少于阳光直射时产生的电量。实际上，在赤道附近，仅当在最佳条件下，太阳能电池板每天在室外 12 小时只能产生相当于 6 小时的峰值电量。季节变化或恶劣天气将进一步降低发电量。

基于以上因素，太阳能系统的实际发电量是很难评估的。一种简单的方法是设置设备规格，使其在最差月份也能产出每日能源需求的 30%。

安装电池板和阵列

可使用防水且易于连接的标准接线盒（MC3/MC4 型）将 WPV 模块组合成太阳能电池板，然后将太阳能电池板组合成太阳能阵列。像电池一样，电池板阵列应仅使用特性、型号相同以及历史尽可能相同的太阳能模块。

固定支架

太阳能追踪器（让电池板朝向太阳的设备）复杂、昂贵，不建议在工业用途和/或太阳移动明显的高纬度地区以外的条件下使用。有些固定支架被设计为可以进行季节性调整，能够在一年中于两个位置之间手动切换，这对于大多数情况来说已经足够。

太阳能固定支架基本上有两种类型可供选择：地面和屋顶支架。地面安装的太阳能电池板比屋顶安装的系统更易于安装和维护。很难或无法对屋顶安装的系统进行调整，并且可能因重量和风压而造成结构损坏。但是，地面支架自身也存在问题：它们会占用可用空间，更容易被遮盖，并且存在被汽车和人员意外损坏的风险。固定安装的决策应基于可用的位置和基础设施。

电池系统

太阳能电池对保持太阳能系统的运行来说至关重要。如果没有电池储存能量，则只有在太阳能电池发

电时才能用电。由于电池板仅在白天产生能量，而电力需求会随时产生，因此稳定的储能区对于太阳能的储存来说非常关键。有关更多信息，请参阅[电池](#)部分。

太阳能稳压器

充电器控制器通常称为太阳能稳压器，是旨在控制电流的电子装置，适用于电池板为电池充电的电流，以及从电池到办公区/基地的供电电流。

太阳能稳压器会在电池充满电时断开与电池板的连接，在电池电量过低时切断对负荷的供电，从而控制电池的充放电。太阳能稳压器的另一个重要功能是将来自电池板的较高输出电压转换为电池所要求的较低输入电压，从而优化电池板的发电。稳压器是太阳能设施中的集线器，且最大功率输出的实现取决于其是否能够正常运行。

太阳能稳压器有两类：

最大功率点跟踪 (MPPT)：



MPPT 实时检测太阳能电池板的输出电压和电流，并持续跟踪最大功率 ($P=U*I$)，从而相应调节输出电压，以使系统始终能够在最大功率下对电池充电。使用此类功率跟踪可在云层覆盖和多变温度下提高发电量。虽然前期投入比较高，但 MPPT 充电控制器可提供更高的功率（并有可能减小光伏模块的尺寸），并延长与之相连的电池的使用寿命。某些控制器甚至支持智能设备连接，以进行远程控制和监测。

电池充电方法 多阶段 MPPT

太阳能-电能转换率 99%

安培率 30A-100A

可升级性/范围 >2KW 的大规模电力系统

平均价格 120\$

优点

- 最大功率点跟踪算法最高可将功率转换率提高到 99%。
- 四阶段充电更适合电池。
- 可升级到大型离网电力系统。
- 可用于最高 100 安培的太阳能系统。
- 可用于最高 200V 的太阳能输入。
- 在需要系统增长时提供灵活性。
- 配有多种保护装置。

最大功率点跟踪 (MPPT) :

缺点

- 成本高，通常是 PWM 的两倍。
- 尺寸比 PWM 稳压器大。

脉冲宽度调制 (PWM) :



PWM 充电控制器可被看作是太阳能电池板和电池组之间的电气开关，其编程为仅允许预定电流进入电池。当电池接近最大容量时，控制器会慢慢减少进入电池的电量。PWM 充电控制器不能调节电压，电池和电池板必须电压兼容才能正常运行。因此，此类充电控制器适用于较小规模的太阳能应用，或者采用低电压电池板和有限电池组规格的设备。PWM 是一种更实惠的选择，但会获得较低的光伏发电量。

电池充电方法

三阶段 PWM

太阳能-电能转换率

75%-80%

安培率 20A-60A

可升级性/范围

<2KW 的小型太阳能系统

平均价格

65\$

优点

- PWM 稳压器应用时间长且成熟。
- PWM 稳压器的结构更简单，更具成本效益。
- 易于部署。

缺点

- 转化率低。
- 输入电压必须与电池组电压相匹配。
- 支持系统增长的可升级性较差。
- 输出较低。
- 保护较少。

电池板的安装

在确定规格和购买任何设备之前，应确定与太阳能阵列相连接的电池的储存位置。储存空间不仅应足够大，足以安装所需的电池板，而且电池储存位置的距离和电缆长度也会影响功率需求计算。请参考[电池安装](#)部分。

安装太阳能阵列的理想位置应具有以下特征：

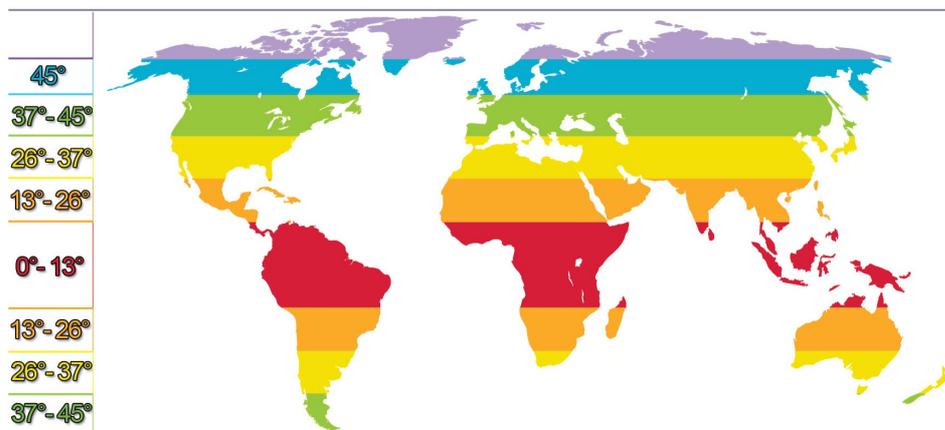
- 在基地内部，从外部看不见。理想情况下，地面安装的太阳能电池板应由围墙或围栏保护，因此足够的地面空间是很重要的。
- 尽可能靠近电池系统。
- 远离树木或建筑物等有遮盖处。

有时很难完全避开遮盖区域。应优先考虑避免在一天中阳光最好的时段（通常是上午 10 点至下午 16 点）被遮挡。请记住，阴影的位置和大小会随着季节而变化。

太阳能电池板的位置

为了优化发电，必须认真调整太阳能电池板的方向，以充分利用阳光。太阳能电池板的定位包括：

- **朝向** - 朝向是太阳能电池板相对于地球南北轴的角度。在北半球，太阳能电池板必须朝南，而在南半球则必须朝北。
- **倾角** - 倾角是太阳能电池板相对于水平投影面的角度。倾角更难优化。可将纬度用作最佳倾角的近似值，例如下面指南中固定角度电池板的示例。但即使在赤道上，电池板的最小倾角也应为 5-10°，以避免电池板上积聚水和灰尘。



连接

太阳能电池板的输出端连接到太阳能稳压器，而太阳能稳压器的输出端则连接到电池。太阳能电池板的固定框架要接地。强烈建议对稳压器和电涌保护器接地/使用接地连接。

根据所需功率或能量，可以按以下三种不同方案连接电池板，以提供不同的功率和电流结果。串联、并联或两者组合连接的模块可提供不同的功率和能量输出。

安装规格确定

光伏模块

使用以下用于确定设备规格的简易方法，可在一年中的最差月份中满足每日能源需求的 30%：

若要满足 30% 的能源需求，太阳能电池板安装数的计算如下所示：

- 规划电力需求 12,880Wh
- 年日均发电量 4.32kWh / 1kWp
- 最差月份中日均发电量 2.62kWh / 1kWp

每天所需实际总发电量为：

$$12.88 \times 0.3 = 3.87\text{kWh}$$

示 在模块 2.62kWh / 1kWp 的日均发电量下，每日总需求为：
例：

$$3.87 / 2.62 = 1.48\text{kWp}$$

所需太阳能电池板的实际数量将取决于每块板的峰值功率。可能的配置 包括：

12 块 130Wp 电池板
(1.56kWp)

或 9 块 180Wp 电池板
(1.62kWc)

或 6 块 260Wp 电池板
(1.56kWc)

因每年日均发电量为 4.32kWh / 1kWp，所以 1.48kWp 的安装规格将年均每日发电 $4.32 \times 1.48 = 6.39\text{kWh}$ ，从而进一步节省了总体能源成本。

稳压器

太阳能稳压器的规格必须符合所用太阳能模块的数量和类型。稳压器的规格包括：

- 根据系统中太阳能模块的数量，电压应尽可能高。
- 最大电流应等于太阳能阵列的短路电流 (ISC)。单块电池板的短路电流可参见电池板的识别标签或制造商手册。要计算整个阵列的短路电流，请将所有并联电池板的短路电流合并。

电池

[有关电池规格的信息，请参阅安装电池系统部分。](#)

电缆和保护

有关电缆长度和线径规的信息，请参阅[电气安装](#)一章。

安全与安保

光伏电池板像普通发电机一样发电。尽管发电方式可能有所不同，而且受限于阵列的大小，总瓦数可能低于发电机，但太阳能电池板仍可产生危险电量。

处理

在必须处理光伏发电太阳能电池板时，操作人员必须始终穿戴适当的[防护服](#)和设备。

更重要的是 - 即使光伏发电太阳能电池板没有连接到任何其他设备，也会产生电流！只要电池板部分暴

露于阳光下，它就会产生某种形式的电流，且仍可带来风险。发电中的电池板不会发出噪音或振动，摸起来甚至不热。通常，光伏发电太阳能电池板没有任何形式的指示灯指示其正在发电。因此，往往有时看起来触摸光伏发电太阳能电池板是安全的，但实际上可能并不安全。

安装、拆卸太阳能电池板或对其进行简单调整时，应将其完全遮盖。如有可能，也可在夜间进行这些作业。搬运或处理太阳能电池板时，操作人员应注意侧面的所有电气输出接头，以避免意外接触。请将所有从太阳能电池板发出的电线看作来自电网或带电发电机的火线。

安保

光伏发电太阳能电池板应始终位于安全的位置，就像发电机和电池一样。建筑物和植被的朝向可能会使这项工作异常艰巨，而规划者应考虑进出控制。

- 如有可能，可在建筑物的屋顶上和人员来往较少的区域安装电池板，但要避开屋顶露台或休息区。
- 尽可能在基地内部、在围墙内安装太阳能阵列。即使阵列位于基地围墙内，也应树立某种形式的标牌和隔离围栏，以防止访客或临时工进入该区域。
- 在露天或偏远地点安装太阳能阵列时，需要在外侧建造单独的安全围栏或隔离墙。太阳能设备很昂贵，还会伤害路过的人和动物。不熟悉太阳能电池板的人可能出于好奇而靠近，因此必须张贴以适当的本地语言标牌。