

# 光伏电站施工 与调试项目教程

主 编 方晓敏 黄志平



电子科技大学出版社



### 图书在版编目 (CIP) 数据

光伏电站施工与调试项目教程 / 方晓敏, 黄志平主  
编. —成都: 电子科技大学出版社, 2015. 4  
ISBN 978-7-5647-2943-1

I. ①光… II. ①方… ②黄… III. ①光伏电站—工  
程施工—教材②光伏电站—调试方法—教材 IV. ①TM615

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 070220 号

### 内 容 简 介

本书讲解了光伏电站施工与入网调试的操作流程和技术要点, 主要包括光伏电站设计、光伏电站施工准备、光伏电站土建施工、光伏电站安装施工、光伏电站防雷接地、光伏电站设备和系统调试等。

本书可作为高职高专院校光伏发电技术等相关专业核心课程的教材, 也可供相关企业人员、工程技术人员岗位培训参考学习。

## 光伏电站施工与调试项目教程

主 编 方晓敏 黄志平  
副主编 郑 军 张存彪

---

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)  
策划编辑: 谢晓辉  
责任编辑: 谢晓辉  
责任校对: 刘 愚  
主 页: www.uestcp.com.cn  
电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn  
发 行: 新华书店经销  
印 刷: 金华市三彩印业有限公司  
成品尺寸: 185mm×260mm 印张 10.75 字数 280 千字  
版 次: 2015 年 5 月第一版  
印 次: 2015 年 5 月第一次印刷  
书 号: ISBN 978-7-5647-2943-1  
定 价: 31.00 元

---

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83201495。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

# 前 言

太阳能资源丰富，分布广泛，开发利用前景广阔。光伏发电作为太阳能利用的重要方式近年来在国外发展十分迅速。国内光伏发电装机总量 2010 年约 500MW，2011 年约 2.8GW，2012 年达到 5GW。国家太阳能发电“十二五”发展规划提到，计划到 2015 年底，我国光伏发电装机总量达到 2100 万千瓦以上。随着每年装机总量的急剧增加，光伏电站建设人才也将非常紧缺。

本教材紧密对接光伏电站施工与入网调试岗位，以光伏电站建设与入网调试为主线，按照光伏电站施工与入网调试施工流程设立了光伏电站设计、光伏电站施工准备、光伏电站土建施工、光伏电站安装施工、光伏电站防雷接地、光伏电站设备和系统调试等六个项目。

本书可作为高职高专光伏相关专业学生的教材，同时可作为企业对员工的岗位培训教材，也可以作为相关专业工程技术人员的参考书。

本书由衢州职业技术职业学校的方晓敏、黄志平担任主编。衢州中等专业学校郑军、湖南理工职业技术学院张存彪担任副主编。具体编写分工为：项目 1、项目 4 由衢州职业技术学院方晓敏编写；项目 3、项目 6 由衢州职业技术学院黄志平编写；项目 5 由衢州中等专业学校郑军编写；项目 2 由湖南理工职业技术学院张存彪编写。全书由衢州职业技术学院方晓敏统稿，衢州职业技术学院黄云龙教授主审。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，诚恳欢迎读者批评指正，编者将在今后的工作中不断修改和完善。

编 者  
2015 年 4 月

# 目 录

## 项目 1 光伏电站设计

### 【学习目标】

#### 任务 1 认识光伏电站

##### 【任务目标】

##### 【任务描述】

##### 【任务实施】

##### 思考题

#### 任务 2 光伏组件选型

##### 【任务目标】

##### 【任务描述】

##### 【任务实施】

##### 思考题

#### 任务 3 光伏汇流箱选型

##### 【任务目标】

##### 【任务描述】

##### 【任务实施】

##### 思考题

#### 任务 4 光伏控制器选型

##### 【任务目标】

##### 【任务描述】

##### 【任务实施】

##### 思考题

#### 任务 5 光伏逆变器选型

##### 【任务目标】

##### 【任务描述】

##### 【任务实施】

##### 思考题

#### 任务 6 光伏蓄电池选型

##### 【任务目标】

##### 【任务描述】

##### 【任务实施】

##### 思考题



## 光伏电站施工与 调试项目教程

### 任务7 光伏阵列支架的设计

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

### 任务8 项目设计书制作

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

### 案例一 10KW 光伏发电场的设计

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

### 案例二 家庭用光伏发电系统的设计与施工

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

### 案例三 逐日系统的设计

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

## 项目2 光伏电站建设施工准备

【学习目标】

【施工规范】

### 任务1 场地勘测与阴影分析

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

### 任务2 光伏阵列施工图设计与绘制

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

### 任务3 电气施工图绘制

【任务目标】

- 【任务描述】
- 【任务实施】
- 任务 4 其他施工准备
  - 【任务目标】
  - 【任务描述】
  - 【任务实施】
  - 思考题
- 任务 5 施工规划
  - 【任务目标】
  - 【任务描述】
  - 【任务实施】
  - 思考题
- 项目 3 光伏电站土建施工
  - 【学习目标】
  - 【施工规范】
  - 任务 1 土建工程施工
    - 【任务目标】
    - 【任务描述】
    - 【任务实施】
    - 思考题
  - 任务 2 光伏阵列基础土建施工
    - 【任务目标】
    - 【任务描述】
    - 【任务实施】
    - 思考题
  - 任务 3 光伏电站土建施工案例
    - 【任务目标】
    - 【任务描述】
    - 【任务实施】
- 项目 4 光伏电站安装施工
  - 【学习目标】
  - 任务 1 光伏支架安装
    - 【任务目标】
    - 【任务描述】
    - 【任务实施】
    - 思考题
  - 任务 2 光伏组件安装



光伏电站施工与  
调试项目教程

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

任务3 汇流箱安装

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

任务4 逆变器安装

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

任务5 控制器安装

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

任务6 蓄电池安装

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

任务7 变压器安装

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

任务8 配电柜安装

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

任务9 电缆敷设及接线

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

任务 10 屋顶光伏电站安装实例

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

项目 5 光伏电站防雷接地

【学习目标】

任务 1 雷电的基础知识及防护措施

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

任务 2 光伏电站的安全运行

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

任务 3 接地装置的设计与施工

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

项目 6 光伏电站设备和系统调试

【学习目标】

【施工规范】

任务 1 光伏组串调试

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

任务 2 跟踪系统调试

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

任务 3 逆变器调试

【任务目标】



光伏电站施工与  
调试项目教程

【任务描述】

【任务实施】

思考题

任务4 电气系统二次调试

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

任务5 光伏电站入网调试

【任务目标】

【任务描述】

【任务实施】

思考题

附录A 测试记录

附录B 设备状态确认记录表（系统室）

参考文献

# 项目 1 光伏电站设计

## 【学习目标】

知识目标	能力目标
了解光伏电站的分类； 掌握光伏电站的基本结构； 掌握光伏组件选型的基本要求； 掌握光伏汇流箱选型的基本要求； 掌握光伏控制器选型的基本要求； 掌握光伏逆变器选型的基本要求； 掌握光伏蓄电池选型的基本要求； 掌握光伏阵列支架设计的基本要求； 掌握光伏项目设计书的基本内容	能根据要求完成光伏组件的选型； 能根据要求完成光伏汇流箱的选型； 能根据要求完成光伏控制器的选型； 能根据要求完成光伏逆变器件的选型； 能根据要求完成光伏蓄电池的选型； 能根据要求完成光伏阵列支架的设计； 能根据要求完成光伏项目设计书的书写

## 任务 1 认识光伏电站

### 【任务目标】

- ① 掌握光伏电站的工作原理
- ② 了解光伏电站的分类
- ③ 掌握光伏发电的优缺点

### 【任务描述】

据预测，太阳能光伏发电在 21 世纪会占据世界能源消费的重要席位，不但要替代部分常规能源，而且将成为世界能源供应的主体。预计到 2030 年，可再生能源在总能源结构中占到 30% 以上，而太阳能光伏发电在世界总电力供应中的占比也将达到 10% 以上；到 2040 年，可再生能源将占总能耗的 50% 以上，太阳能光伏发电将占总电力供应的 20% 以上；到 21 世纪末，可再生能源在能源结构中占到 80% 以上，太阳能发电将占到 60% 以上。这些数字足以显示出太阳能光伏产业的发展前景及其在能源领域的重要战略地位。本次任务的内容是认识光伏电站。

### 【任务实施】

光伏电站利用光伏电池将太阳能直接转化成电能。太阳能光伏发电系统运行模式，

可以分为独立光伏发电系统和并网光伏发电系统。

### 一、独立光伏发电系统

独立型太阳能光伏发电系统的工作原理示意图如图 1-1 所示。太阳能光伏发电的核心部件是太阳能电池板，它将太阳光的光能直接转换成电能，并通过控制器把太阳能电池产生的电能存储于蓄电池中。当负载用电时，蓄电池中的电能通过控制器被合理地分配到各个负载上。太阳能电池所产生的电流为直流电，可以直接以直流电的形式使用，也可以用交流逆变器将其转换为交流电，供交流负载使用。太阳能发电的电能可以即发即用，也可以用蓄电池等储能装置将电能存储起来，在需要时使用。

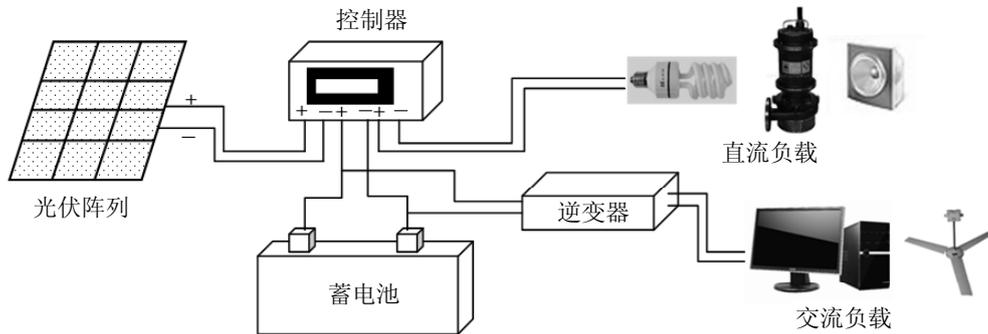


图 1-1 独立型太阳能光伏发电系统工作原理

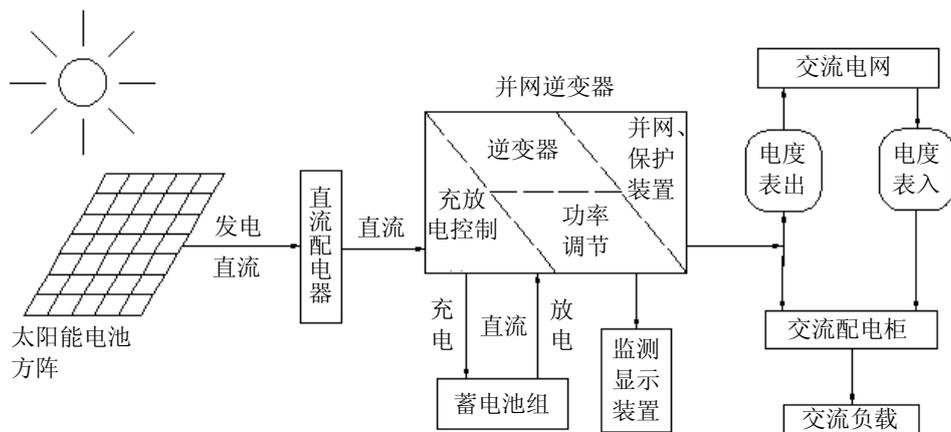
### 二、并网光伏发电系统

图 1-2 所示是并网型太阳能光伏发电系统工作原理示意图。并网光伏发电系统由太阳能电池组件方阵将光能转变成电能，并经直流配线箱进入并网逆变器，有些类型的并网光伏系统还要配置蓄电池组存储直流电能。并网逆变器由充放电控制、功率调节、交流逆变、并网保护切换等部分构成。经逆变器输出的交流电供负载使用，多余的电能通过电力变压器等设备馈入公共电网（可称为卖电）。当并网光伏系统因天气原因发电不足或自身用电量偏大时，可由公共电网向交流负载供电（称为买电）。系统还配备了监控、测试及显示系统，用于对整个系统工作状态的监控、检测及发电量等各种数据的统计，还可以利用计算机网络系统远程传输控制和显示数据。

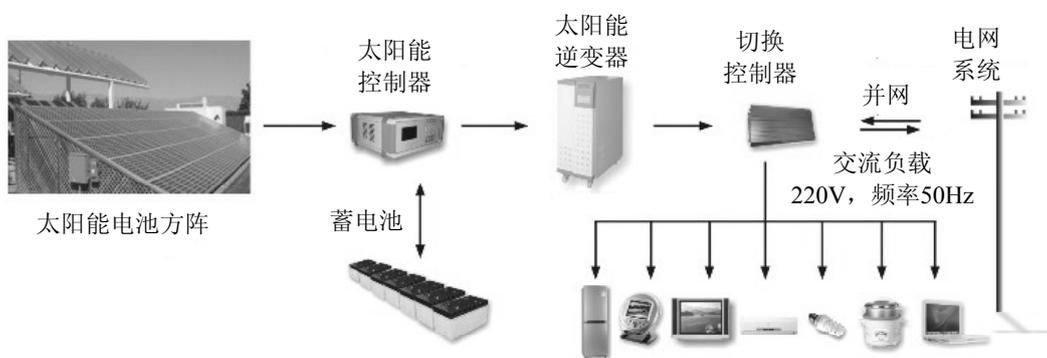
### 三、光伏发电优点分析

太阳能光伏发电过程简单，没有机械转动部件，不消耗燃料，不排放包括温室气体在内的任何物质，无噪声、无污染；太阳能资源分布广泛且取之不尽、用之不竭。因此，与风力发电和生物质能发电等新型发电技术相比，光伏发电是一种最具可持续发展理想特征（最丰富的资源和最洁净的发电过程）的可再生能源发电技术，其主要优点有以下几点。

1. 太阳能资源取之不尽，用之不竭，照射到地球上的太阳能要比人类目前消耗的能量大 6000 倍。而且太阳能在地球上分布广泛，只要有光照的地方就可以使用光伏发电系统，不受地域、海拔等因素的限制。
2. 太阳能资源随处可得，可就近供电，不必长距离输送，避免了长距离输电线路所造成的电能损失。



(a) 并网光伏发电系统工作原理框图



(b) 并网光伏发电系统工作原理案例

图 1-2 并网型太阳能光伏发电系统工作原理

3. 光伏发电的能量转换过程简单，是直接从光子到电子的转换，没有中间过程（如热能转换为机械能、机械能转换为电磁能等）和机械运动，不存在机械磨损。根据热力学分析，光伏发电具有很高的理论发电效率，可达 80% 以上，技术开发潜力巨大。

4. 光伏发电本身不使用燃料，不排放包括温室气体和其他废气在内的任何物质，不污染空气，不产生噪声，对环境友好，不会遭受能源危机或燃料市场不稳定而造成的冲击，是真正绿色环保的新型可再生能源。

5. 光伏发电过程不需要冷却水，可以安装在没有水的荒漠戈壁。光伏发电还可以很方便地与建筑物结合，构成光伏建筑一体化发电系统，不需要单独占地，可节省宝贵的土地资源。

6. 光伏发电无机械传动部件，操作、维护简单，运行稳定可靠。一套光伏发电系统只要有太阳能电池组件就能发电，加之自动控制技术的广泛采用，基本上可实现无人值守，维护成本低。

7. 光伏发电系统工作性能稳定可靠，使用寿命长（30 年以上）。晶体硅太阳能电池寿命可长达 20~35 年。在光伏发电系统中，只要设计合理、选型适当，蓄电池的寿命也可长达 10~15 年。



8. 太阳能电池组件结构简单,体积小、重量轻,便于运输和安装。光伏发电系统建设周期短,而且根据用电负荷容量可大可小,方便灵活,极易组合、扩容。

#### 四、光伏发电缺点分析

当然,太阳能光伏发电也有它的不足和缺点,归纳起来有以下几点。

1. 能量密度低。尽管太阳投向地球的能量总和极其巨大,但由于地球表面积也很大,而且地球表面大部分被海洋覆盖,真正能够到达陆地表面的太阳能只有到达地球范围辐射能量的 10%左右,致使在陆地单位面积上能够直接获得的太阳能量较少。通常以太阳辐照度来表示,地球表面最高值约为  $1.2 \text{ kWh/m}^2$ ,且绝大多数地区和大多数的日照时间内都低于  $1 \text{ kWh/m}^2$ 。太阳能的利用实际上是低密度能量的收集、利用。

2. 占地面积大。由于太阳能能量密度低,这就使得光伏发电系统的占地面积会很大,每  $10 \text{ kW}$  光伏发电功率占地约需  $100 \text{ m}^2$ ,平均每平方米发电功率为  $100 \text{ W}$ 。随着光伏建筑一体化发电技术的成熟和发展,越来越多的光伏发电系统可以利用建筑物、构筑物的屋顶和立面,将逐渐克服光伏发电占地面积大的不足。

3. 转换效率低。光伏发电的最基本单元是太阳能电池组件。光伏发电的转换效率指的是光能转换为电能的比率。目前晶体硅光伏电池转换效率为  $13\% \sim 17\%$ ,非晶硅光伏电池只有  $6\% \sim 8\%$ 。由于光电转换效率太低,从而使光伏发电功率密度低,难以形成高功率发电系统。因此,太阳能电池的转换效率低是阻碍光伏发电大面积推广的瓶颈。

4. 间歇性工作。在地球表面,光伏发电系统只能在白天发电,晚上不能发电,除非在太空中没有昼夜之分的情况下,太阳能电池才可以连续发电,这和人们的用电需求不符。

5. 受气候环境因素影响大。太阳能光伏发电的能量直接来源于太阳光的照射,而地球表面上的太阳照射受气候的影响很大,长期的雨雪天、阴天、雾天甚至云层的变化都会严重影响系统的发电状态。另外,环境因素的影响也很大,比较突出的一点是,空气中的颗粒物(如灰尘)等降落在太阳能电池组件的表面,阻挡了部分光线的照射,这样会使电池组件转换效率降低,从而造成发电量减少。

6. 地域依赖性强。地理位置不同,气候不同,使各地区日照资源相差很大。光伏发电系统只有应用在太阳能资源丰富的地区效果才会好。

7. 系统成本高。由于太阳能光伏发电的效率较低,到目前为止,光伏发电的成本仍然是其他常规发电方式(如火力和水力发电)的几倍,这是制约其广泛应用的最主要因素。但是我们也应看到,随着太阳能电池产能的不断扩大及电池片光电转换效率的不断提高,光伏发电系统的成本也下降得非常快。太阳能电池组件的价格几十年来已经从最初的每瓦 70 多美元下降至目前的每瓦 2.5 美元左右。

8. 晶体硅电池的制造过程高污染、高能耗。晶体硅电池的主要原料是纯净的硅。硅是地球上含量仅次于氧的元素,主要存在形式是沙子(二氧化硅)。从沙子一步步变成含量为  $99.9999\%$  以上纯净的晶体硅,期间要经过多道化学和物理工序的处理,不仅要消耗大量能源,还会造成一定的环境污染。

尽管太阳能光伏发电存在上述不足,但是随着能源问题越来越重要,大力开发可再生能源将是解决能源危机的主要途径。太阳能光伏发电是一种最具可持续发展理想特征

的可再生能源发电技术，近年来我国政府也相继出台了一系列鼓励和支持太阳能光伏产业的政策法规，这将极大促进太阳能光伏产业的发展，光伏发电技术和应用水平也将会不断提高，我国光伏发电产业的前景十分广阔。

### 思考题

1. 光伏电站可以分成哪几类？它们之间的区别是什么？
2. 光伏发电具有哪些优缺点？
3. 查阅相关资料，描述国内外光伏电站发展的现状和趋势。

## 任务2 光伏组件选型

### 【任务目标】

- ① 了解光伏组件的种类
- ② 熟悉国内光伏组件生产企业的情况
- ③ 掌握光伏组件的基本参数
- ④ 能根据需求完成光伏组件的选型

### 【任务描述】

在光伏电站设计时，首先要根据光伏电站的容量和技术指标要求来选择合适的光伏组件，然后才能根据光伏组件来选择其他设备。本次任务的内容就是为光伏电站选择合适的光伏组件。

### 【任务实施】

#### 一、认识光伏组件

光伏组件（也叫太阳能电池板）是太阳能发电系统中的核心部分，也是太阳能发电系统中最重要的部分。其作用是将太阳能转化为电能，或送往蓄电池中存储起来，或推动负载工作。常见的光伏组件有单晶硅光伏组件、多晶硅光伏组件和非晶硅光伏组件，如图 1-3 所示。在转换效率方面单晶硅光伏组件最高，非晶硅光伏组件最低。



图 1-3 各类光伏组件

#### 二、组件参数介绍

太阳能电池组件的性能参数也主要有：短路电流、开路电压、峰值电流、峰值电压、峰值功率、填充因子和转换效率等。

##### 1. 短路电流 $I_S$

当将太阳能电池组件的正负极短路，使  $U=0$  时，此时的电流就是电池组件的短路电

流，短路电流的单位是 A，短路电流随着光强的变化而变化。

### 2. 开路电压 $U_0$

当太阳能电池组件的正负极不接负载时，组件正负极间的电压就是开路电压，开路电压的单位是 V。太阳能电池组件的开路电压随电池片串联数量的增减而变化，36 片电池片串联的组件开路电压为 21V 左右。

### 3. 峰值电流 $I_m$

峰值电流也叫最大工作电流或最佳工作电流。峰值电流是指太阳能电池组件输出最大功率时的工作电流，峰值电流的单位是 A。

### 4. 峰值电压 $P_m$

峰值电压也叫最大工作电压或最佳工作电压。峰值电压是指太阳能电池片输出最大功率时的工作电压，峰值电压的单位是 V。组件的峰值电压随电池片串联数量的增减而变化，36 片电池片串联的组件峰值电压为 17~17.5V。

### 5. 峰值功率 $P_m$

峰值功率也叫最大输出功率或最佳输出功率。峰值功率是指太阳能电池组件在正常工作或测试条件下的最大输出功率，也就是峰值电流与峰值电压的乘积： $P_m = I_m \times U_m$ 。峰值功率的单位是 W。太阳能电池组件的峰值功率取决于太阳辐照度、太阳光谱分布和组件的工作温度，因此太阳能电池组件的测量要在标准条件下进行，测量标准为欧洲委员会的 101 号标准，其条件是：辐照度  $1\text{kW}/\text{m}^2$ 、光谱 AM1.5、测试温度  $25^\circ\text{C}$ 。

### 6. 填充因子

填充因子也叫曲线因子，是指太阳能电池组件的最大功率与开路电压和短路电流乘积的比值。填充因子是评价太阳能电池组件所用电池片输出特性好坏的一个重要参数，它的值越高，表明所用太阳能电池组件输出特性越趋于矩形，电池组件的光电转换效率越高。太阳能电池组件的填充因子系数一般在 0.5~0.8 之间，也可以用百分数表示。

$$FF = \frac{P_m}{I_{sc} U_{oc}}$$

### 7. 转换效率

转换效率是指太阳能电池组件受光照时的最大输出功率与照射到组件上的太阳能功率的比值。即：

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \times 100\% = \frac{I_m U_m}{A(\text{电池组件有效面积}) \times P_{in}(\text{单位面积的入射光功率})} \times 100\%$$

其中， $P_{in} = 1000\text{W}/\text{m}^2 = 100\text{MW}/\text{cm}^2$

## 三、组件企业介绍

表 1-1 为 2013 年国内光伏企业的有效产能及排名(数据来源于 2013 年 125 日港澳资讯 <http://www.gf.com.cn/cms/newsContent.jsp?docId=2244377>)。晶澳太阳能有限公司以 2800MW 的有效产能成为国内最大的光伏组件制造商。

表 1-1 2013 年国内光伏企业有效产能排名

排名	企业	有效产能
1	晶澳太阳能有限公司	2800MW
2	阿特斯阳光电力科技有限公司	2500MW
3	英利绿色能源控股有限公司	2450MW
4	天合光能有限公司	2400MW
5	晶科能源控股有限公司	1500MW
	韩华新能源有限公司	1500 MW
7	浙江昱辉阳光能源有限公司	1200 MW
8	海润光伏科技股份有限公司	1000 MW
	亿晶光电科技有限公司	1000 MW
10	中电电气南京光伏有限公司	809 MW
11	东方日升新能源股份有限公司	700 MW
12	无锡尚德太阳能电力有限公司	600 MW
13	浙江向日葵光能科技股份有限公司	400 MW

#### 四、光伏组件选型注意事项

组件选型时要仔细阅读组件的说明书，并对照技术指标和客户要求，同时还需要考虑成本。一般在组件选型时需要注意以下几点。

1. 组件类型：需要根据用户需求选择单晶硅组件、多晶硅组件或非晶硅组件。
2. 组件尺寸：需要根据用户需求和场地情况来选择合适大小的光伏组件。
3. 组件电气参数：需要根据用户需求和系统的情况来选择合适的组件。

#### 思考题

1. 常用的光伏组件有哪几种？它们各有什么特点？
2. 选用光伏组件时要注意哪些参数？