

# 太阳能光伏技术与建筑应用

李蔚 (中信集团武汉市建筑设计院, 武汉市 430014)

## Discussion about Principles of the Solar Energy Photovoltaic Technology and the Application in Buildings

Li Wei (Wuhan Architectural Design Institute, China International Trust and Investment Corporation Group, Wuhan 430014, China)

**Abstract** In this paper, the basic principles, system configuration (consisting of solar panel, storage battery, controller and inverter), operating mode (there are several modes including stand alone system, group control system, synchronous system, hybrid system and synchronous hybrid system) and the installation requirement of the solar panel, etc. are introduced. The application of photovoltaic technology in the fields of architectural lighting, solar water pump and photovoltaic building integration is analyzed.

**Key words** Photovoltaic technology Solar panel Storage battery Controller Inverter

**摘要** 介绍了太阳能光伏技术的基本原理、系统组成 (由太阳能电池板、蓄电池、控制器、逆变器组成)、运行方式 (有独立系统、群控系统、并网系

统、混合系统、并网混合系统几种运行方式)、太阳能电池板的安装要求等, 分析了光伏技术在建筑照明、太阳能水泵、光伏建筑一体化等领域的应用。

**关键词** 光伏技术 太阳能电池板 蓄电池 控制器 逆变器

### 1 光伏技术的原理

太阳能光伏技术, 即太阳能发电技术, 其基本工作原理是: 以太阳能电池板接收太阳光并产生电能 (即发电), 将产生的电能储存在蓄电池里, 到需要用电时再从蓄电池中取电。太阳能电池板 (也叫光伏板或光伏组件) 本身只能发电不能储存电能, 它发出的是直流电, 蓄电池进出的也是直流电。对用电器而言, 这时可以直接给直流电器供电, 也可经过逆变器将直流电变换为交流电给交流电器供电或直接进入电网。

取以下措施:

a. 首要的是提高光源的光效  $\eta_s$ , 包括降低镇流器功耗, 故在进行照明设计时, 气体放电灯应选用电子镇流器或节能电感镇流器。

b. 另一个重要的措施是提高利用系数  $U$ , 就是要选用效率高的灯具, 以及和房间室形相适应的灯具配光, 并注意合理提高房间顶棚、墙壁的反射比。

c. 合理确定照度标准值, 设计中, 计算照度尽量控制在标准值, 不要超过 110%。

### 5 结束语

照明工程必须实施把节约放在首位的可持续发展

战略, 提高资源利用效率。因此, 应加强专业照明设计队伍的业务建设, 设计人员必须很好领会绿色照明的要求和掌握国家有关照明设计标准规范, 提高照明设计质量意识。

以上是笔者的一些浅见, 敬请同行批评指正。

### 参考文献

- 1 任元会. 提高认识, 实施标准, 推进建筑照明节能. 建筑电气, 2005, 24 (2): 15-18.
- 2 徐群英. 电气节能设计. 中国住宅设施, 2007 (2): 58, 59.
- 3 徐群英. 建筑照明节能设计. 低压电器, 2007 (12): 45-48.

现在比较成熟的光伏元件是硅元件，分为晶体硅和非晶体硅。晶体硅目前能规模生产的产品发电效率在13%~17%，非晶体硅效率在7%~10%左右。即1m<sup>2</sup>电池板在1kW太阳能量的照射下，分别产生130~170W<sub>p</sub>和70~100W<sub>p</sub>的电能（电池板发电能力以W<sub>p</sub>来表示，读作“峰瓦”，表示电池板在标准条件下所产生的电力）。由于晶体硅比非晶体硅的发电效率高，所以目前市场上晶体硅太阳电池（包括单晶硅、多晶硅电池）占主导地位。

那么，晶体硅太阳电池是如何发电的呢？

单一太阳电池是一只硅晶体二极管，根据半导体材料的电子学特性，当太阳光照射到由P型和N型两种不同导电类型的、同质半导体材料构成的P-N结上时，在一定的条件下（太阳光谱中波长小于1.1μm的光线进入P-N结区附近），太阳能辐射被半导体材料吸收，在导带和价带中产生非平衡载流子，即电子和空穴。由于P-N结势垒区存在着较强的内建静电场，在电场的作用下，N区的空穴向着P区移动，而P区的电子则向着N区移动，最后在太阳电池的受光面上积累大量的负电荷（电子），而在它的背光面上积累大量的正电荷（空穴）。即在光照作用下太阳电池内部形成电流密度*J*、短路电流*I<sub>sc</sub>*、开路电压*U<sub>oc</sub>*。此时如果在太阳电池的两个表面引出金属电极，并用导线接上负荷，即形成由P-N结，连接电路和负荷组成的回路，在负荷上就有“光生电流”流过，实现对负荷的功率输出。晶体硅太阳电池的发电原理如图1所示。

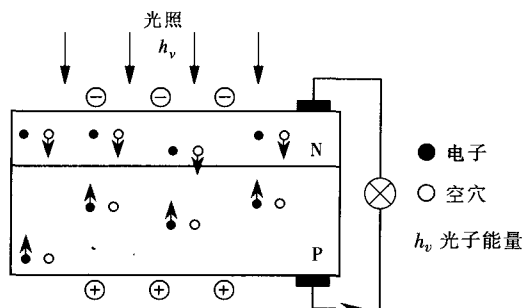


图1 晶体硅太阳电池发电原理示意  
Fig. 1 Schematic diagram of crystalline silicon solar cell

## 2 光伏系统的组成及功能

太阳能光伏系统主要由太阳能电池板、蓄电池、

控制器、DC-AC 逆变器和用电负荷等组成。其中，太阳能电池板、蓄电池为电源系统，控制器、逆变器为控制保护系统。光伏系统组成框图如图2所示。各部件的功能分述如下。

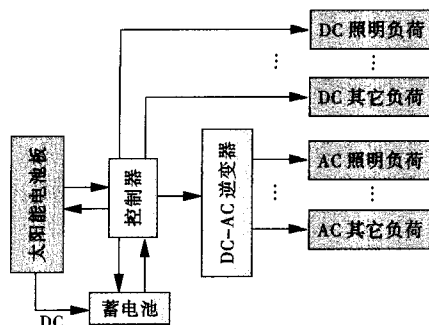


图2 光伏系统组成框图  
Fig. 2 Block diagram of photovoltaic system

### 2.1 太阳能电池板

单一太阳电池的发电量十分有限，实用中的太阳能电池是根据系统需求，将多个电池经串、并联组成的电池系统，称为太阳能电池板。它是太阳能光伏系统的核心部件，直接将太阳能转换成电能。电池板板面为钢化玻璃封装，可承受冰雹冲击和12级强风的力量，使用温度为-40~60℃，基本可满足一般需求。目前太阳能电池板使用寿命为20~25年。

### 2.2 蓄电池

蓄电池将太阳能电池板产生的电能储存起来，当光照不足或晚上，负荷需求大于太阳能电池板所发的电量时，将存储的电能释放以满足负荷的能量需求，它是太阳能光伏系统的储能部件。目前光伏系统常用的是铅酸蓄电池，对于较高要求的系统，通常采用深放电阀控式密封铅酸蓄电池、深放电吸液式铅酸蓄电池等。

### 2.3 控制器

控制器对蓄电池的充、放电条件加以规定和控制，并按照负荷的电源需求控制太阳能电池板和蓄电池对负荷的电能输出，它是整个系统的核心控制部分，保证系统能正常、可靠地工作，延长系统部件（特别是蓄电池）的使用寿命。它必须包含蓄电池过充、过放、负荷过流和防反充等保护电路。随着光伏产业的发展，控制器的功能越来越强大，有将传统的控制部分、逆变器以及监测系统集成的趋势。

## 2.4 逆变器

在光伏供电系统中,如用户终端为交流负荷,则须使用逆变器设备,将太阳能电池板产生的直流电,或蓄电池释放的直流电转化为负荷需要的交流电。如为直流负荷,则不需逆变器转换。

## 3 光伏系统的运行方式

通常太阳能光伏系统的运行方式分为独立系统、群控系统、并网系统、混合系统、并网混合系统等几种。

### 3.1 独立系统

单一个体本身带有电池板、蓄电池、控制器、用电器等全套配置的系统,例如太阳能路灯、庭院灯、草坪灯、移动通讯基站、直放站、高速公路电话,及住宅楼、办公楼等的楼道灯等等。

该系统的特点是:单一个体是一个独立的系统,即使某一个体出现故障,不会影响其他个体,且不必架设配电电源线路。但要求应用场所周围没有遮挡物,确保每一单体必须接收阳光良好。

### 3.2 群控系统

有些场所太阳光受到树荫、高层建筑等的遮挡,不适合设置独立太阳能用电系统,就需要采用集群控制系统。集群控制系统就是在接收阳光比较好的地点安放一组或多组太阳能电池板,并设置相应的控制系统,对其它阳光遮蔽处的多个用电器供电和控制,比如对有高大树木的公园、有较高山峦的景区、住宅楼之间的路灯、庭园灯、草坪灯等供电和控制。

群控系统供电范围的大小,将决定采用何种供电模式。当用电设备距离控制系统较近时可以采用直流供电;当用电设备距控制系统较远时,低压直流供电的线路损耗将会使用电设备无法正常工作,这时应采用交流系统,即经过逆变器将直流电转变为交流电给用电设备供电。

### 3.3 并网系统

并网系统的特点是:太阳能电池板产生的直流电经过并网逆变器转换成符合市电电网要求的交流电之后直接接入公共电网。由于直接将电能输入到电网,免除了蓄电池的配置,降低了系统的成本;且省掉了蓄电池储能和释放的过程,充分利用太阳能电池板所发的电力,减少了能量的损耗。但另一方面,系统中

需要配置专用的并网逆变器,以保证输出的电能满足电网电力对电压、频率等用电性能指标的要求。因为逆变器效率的问题,会有部分的能量损失。

这种系统能够并行使用市电和太阳能电池板作为本地交流负荷的电源,降低了整个系统的负荷缺电率。但并网光伏系统作为一种分散式发电系统,对传统的集中供电系统的电网会产生一些不良的影响,如谐波污染、孤岛效应等。

### 3.4 混合系统

混合系统中除了使用太阳能电池板发电之外,还使用了柴油发电机作为备用电源,其目的就是为了综合利用各种发电技术的优点,避免各自的缺点。如光伏系统的优点是维护少,缺点是电能输出依赖于天气、不稳定。使用这种光/柴混合供电系统,可减少对天气的依赖性,降低负荷缺电率,并实现较好的负荷匹配和较高的性价比。

### 3.5 并网混合系统

随着太阳能光伏产业的发展,出现了可以综合利用太阳能电池板、市电和备用柴油发电机的并网混合供电系统。这种系统将控制器和逆变器集成一体化,使用电脑芯片可全面控制整个系统的运行。针对不同的使用情况,合理调剂利用太阳能、市电、备用柴油发电机等各种能源,达到最佳的工作状态。还可以配备使用蓄电池,使其长期处于浮充状态,进一步提高系统的负荷供电保障率。

## 4 电池板安装原则

### 4.1 安装方向

安装太阳能电池板时,在北半球电池板面原则上应朝南略偏西,南半球应朝北略偏西,这是因为午后阳光较强,即使上午有雾,午后即可消散,下午也可以较好地接收太阳光。当然,实际安装时,还需针对不同地区的具体情况而定。

### 4.2 安装角度

地理纬度不同,则太阳能电池板面与地面夹角亦有所不同,通常高纬度地区夹角大一些,低纬度地区夹角小一些(如武汉地区夹角一般为 $35^\circ$ ),这样才能最大限度地利用太阳光。

### 4.3 占地面积

使用太阳能电池板必须预留安装面积,现阶段电



池板因技术原因还不可能做得很小，因而占地面积较大。以武汉为例，目前每100W<sub>p</sub>（峰值功率）电池板占地面积约为1.2m<sup>2</sup>，如果排成阵列，后排必须留有足够位置避开前排的阴影，则占地面积约为2.2m<sup>2</sup>。

#### 4.4 基本要求

无论上述何种太阳能光伏应用系统，电池板安装都必须避开所有阴影，使阳光不被遮挡，其支架强度必须能够抵抗当地最大风力及最大雨、雪、冰雹等荷载。

### 5 光伏系统的建筑应用

#### 5.1 太阳能照明系统

太阳能照明系统由太阳能电池板、蓄电池、充放电控制器、逆变器和节能灯具、灯杆等组成。建筑领域的太阳能灯主要有路灯、草坪灯、庭园灯、楼道灯等。

太阳能灯的控制除了要具备一般光伏系统的防反充、防过充和过放、防短路和反接等功能以外，还要具有自动开关照明灯的功能。通常使用定时和光控两种方式对太阳能灯的工作时间进行控制。

定时控制可采用模拟线路或单片机控制两种方法，根据实际需要，事先设定路灯每天晚上的工作时间，调整电子或者机械计时器的接通或断开时间，使路灯可以定时自动开或关。另一种控制方式是光控，可以单独安装光敏器件，也可以利用太阳能电池本身作为光敏器件，即在周围环境暗到一定程度（照度低于某一设定值）时自动开灯，一直到天亮（照度高于某一设定值）时再自动关灯。

#### 5.2 太阳能发电与LED光源的结合

应用太阳能给传统的灯具光源供电并不十分经济。随着固体物理和半导体技术的发展，人类开发出了第四代光源——固体光源LED（发光二极管），第一代为白炽灯，第二代为荧光灯，第三代为气体放电灯。太阳能发电与LED照明的结合立即成为一大亮点，迅速吸引了人们的眼光。

固体光源——LED具有功耗低、寿命长、光效高（目前为50~80lm/W，今后可达100~120lm/W）、反应速度快（可在高频下使用，可任意控制其功耗和亮度，而不影响其寿命）、直流低压工作安全可靠（24V、12V、4.8V，免逆变器）、环保（耐震、耐冲

击、不易破、废弃物可回收、没有污染）、可平面封装、易开发成轻薄短小产品等优点；没有白炽灯泡高耗电、易碎以及荧光灯废弃物含汞污染等缺点；兼备照明、装饰功效，是被业界看好在未来10年内，成为替代传统照明器具的一大潜力产品。几种市面上常见的LED灯的技术指标见下表。

常见LED灯的技术指标  
Tab. Technical index of common-use LED lamps

名称	型号	工作电压 (V)	功率 (W)	颜色	LED数量	灯头型
4.8V 红色 LED 灯泡	L-ZE06R	4.8	0.6	红	6	E27
4.8V 绿色 LED 灯泡	L-ZE06G	4.8	0.6	绿	3	E27
12V 1W 黄色 LED 灯泡	L-ZF10Y	12	1.2	黄	10	E27
12V 2W 白色 LED 灯泡	L-ZF24W	12	2.4	白	12	E27
12V 2W 蓝色 LED 灯泡	L-ZF24B	12	2.4	蓝	12	E27
三彩灯	D3F	12	0.6	红、黄、绿	9	E27
七彩灯	D7F	12	2.4	橙、黄、蓝、绿、青、靛、紫	12	E27
烛光灯	ZGE	12	1.25	黄	6	E27

#### 5.3 太阳能水泵

太阳能水泵一般不需要蓄电池，而由太阳能电池板直接带动水泵工作。大型光伏水泵站通常备有逆变器，首先将太阳能电池板的直流电变为交流电，然后用交流电机带动水泵工作，这样可以与常规供电互补。虽然太阳能光伏水泵系统一次性投资较高，但它的运行费用低、维修少，使用寿命比较长，通常来说比小型柴油机抽水更合算。特别是对于太阳辐射强的干旱地区，发展光伏水泵具有良好的前景。

#### 5.4 光伏建筑一体化

“光伏发电与建筑物集成化”（Building integrated / attached photovoltaic）的概念早在1991年被正式提出，并很快成为热门课题。此后，一些国家纷纷实施、推广“太阳能屋顶计划”，比较著名的有德国十万屋顶计划、美国百万屋顶计划以及日本的新阳光计划等。

所谓太阳能屋顶，是将太阳能电池板安装在建筑物的屋顶，引出端经过控制器、逆变器与公共电网相连接，由太阳能电池板、电网并联向用户供电，即组成了户用并网光伏系统。

# 世茂国际广场电气设计工程总结

钱观荣 沈冬冬 曹金兰 (上海现代建筑设计(集团)有限公司华东建筑设计研究院有限公司, 上海市 200002)

## Summary of Electrical Design in Shimao International Plaza Project

Qian Guanrong Shen Dongdong Cao Jinlan (East China Architectural Design & Research Institute Co., Ltd. of Shanghai Xian Dai Architectural Design (Group) Co., Ltd., Shanghai 200002, China)

**Abstract** In this paper, the general situation of Shimao International Plaza is introduced and the power supply, electric power distribution, lighting, fire fighting alarm and joint control, building automation, lightning protection and grounding, and selection of energy-saving facilities etc. are systematically expounded. 35kV power supply is imported and 35kV substation is installed for this project; 35 / 6kV and 6 / 0.4kV secondary step down are adopted for power supply; In the main building of 249.5 meters in height, ringed network open-loop distribution system is adopted for 6kV power distribution and 6kV high-voltage refrigerating machine and high-voltage local compensation are adopted.

**Key words** Shimao International Plaza 35/6kV power transformation and distribution 6kV ringed network distribution Energy-saving equipment

**摘要** 介绍了世茂国际广场的工程概况, 对电源供电、电力配电、照明、消防报警及联动控制、楼宇自动化、防雷及接地、选用节能设备部分作了较系统的阐述。该工程引进 35kV 电源, 设置 35kV 变电站; 供电采用 35/6kV、6/0.4kV 二次降压; 在 249.5m 高度的主体建筑内, 6kV 配电采用环网开环配电方式; 采用 6kV 高压冷冻机及高压就地补偿。

**关键词** 世茂国际广场 35/6kV 变配电 6kV 环

这种并网系统因有太阳能、公共电网同时给负荷供电, 系统随时可向电网中存电或取电, 所以供电可靠性得到增强; 而且, 系统一般不用蓄电池, 这既降低了造价, 又免去了蓄电池的电能损耗、维护更换; 同时, 多余的发电可反馈给电网, 既充分利用了光伏系统所发的电能, 又对电网具有调峰作用。

太阳能屋顶还可采用一些创新技术, 如设置能量管理优化智能系统, 以减少能量消耗; 设置屋顶冷却系统, 对没有安装光伏组件的屋顶, 使用特殊功能的反射涂层, 可反射 65% 的太阳能, 这样可以有效地降低夏季屋顶的温度, 提高太阳能电池的转换效率; 设置绝缘底层保护屋顶, 并降低建筑物内部的温度。

光伏建筑一体化 (BIPV) 的进一步目标是将光伏器件与建筑材料集成化。比如, 将建筑屋顶、向阳的外墙甚至窗户材料都用光伏器件来代替, 则既能作为建材又能发电, 可谓一举两得。当然, 对光伏器件

来说, 同时还应具备建材所要求的隔热保温、防水防潮、机械强度、电气绝缘等性能, 并要考虑安全可靠、便于施工、立面美观等因素。显然, 光伏器件代替部分建材, 可进一步降低光伏发电的成本, 有利于光伏技术的推广应用。

总之, 光伏建筑一体化 (BIPV) 体现了创新的建筑设计理念和高科技含量, 它不仅开辟了光伏技术应用于建筑领域的新天地, 而且拉动了光伏技术的产业化发展及在城市的大规模应用, 因而具有非常广阔的市场前景。

### 参考文献

- 1 曾树荣. 半导体器件物理基础. 北京: 北京大学出版社, 2002: 27-36.
- 2 沈辉, 曾祖勤. 太阳能光伏发电技术. 北京: 化学工业出版社, 2005: 144-146, 160-163.