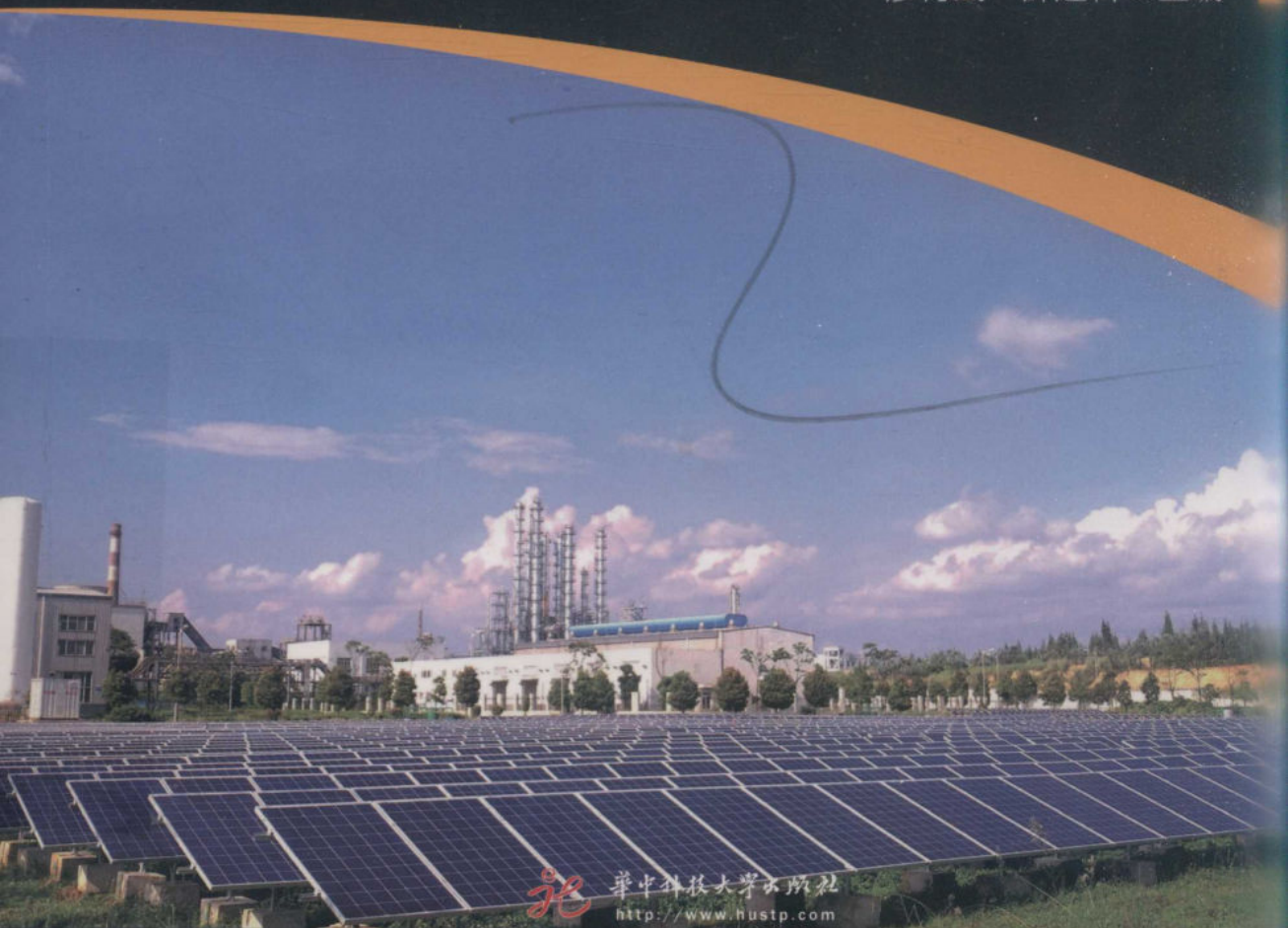




# 光伏发电技术 原理及工程应用

廖育武 薛建科◎主编



华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>


本教材承湖北文理学院协同育人专项经费资助

# 光伏发电技术 原理及工程应用

主编 廖育武 薛建科  
副主编 汤全国 王培元 袁泽强

RFID



 华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>  
中国·武汉

## 内 容 简 介

本书介绍了太阳能光伏发电系统的原理、特点与硬件结构;从太阳能电池、太阳能光伏控制器、太阳能逆变器到太阳能光伏发电系统的配置和计算,详细介绍了光伏发电系统的设计过程和基本方法,并给出了光伏发电系统的工程应用实例;最后还介绍了光伏发电新技术的应用情况,着重介绍了跟踪系统、聚光光伏发电系统、分布式光伏发电与微电网技术、光伏建筑一体化发电系统的应用。这些基本原理和设计方法很容易被初学者掌握,读者用这些基本原理和设计方法可以很方便地设计出适合不同场合要求的光伏发电系统。

本书既可作为本科院校电气工程及其自动化、工业自动化及其他相关专业的教材,也可作为高职高专院校相关专业的教材,以及工程技术人员自学教材和培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

光伏发电技术原理及工程应用 / 廖育武, 薛建科主编. —武汉: 华中科技大学出版社, 2018. 12  
ISBN 978-7-5680-4832-3

I. ①光… II. ①廖… ②薛… III. ①太阳能光伏发电-高等学校-教材 IV. ①TM615

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 283572 号

### 光伏发电技术原理及工程应用

Guangfu Fadian Jishu Yuanli ji Gongcheng Yingyong

廖育武 薛建科 主编

策划编辑: 张毅

责任编辑: 狄宝珠

封面设计: 杨玉凡

责任监印: 朱玢

出版发行: 华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编: 430223

录 排: 武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷: 武汉市籍缘印刷厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 12.5

字 数: 318 千字

版 次: 2018 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 38.00 元



本书若有印装质量问题, 请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线: 400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

# ▶ 前言

能源是社会和经济发展的重要保障,大力开发可再生能源是解决能源危机的主要途径。太阳能是未来能源中一种非常理想的清洁能源,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,随着社会对能源和环保问题的日益关注,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发展的政策法规,使得太阳能光伏产业迅猛发展,光伏发电技术和应用水平不断提高,应用范围逐步扩大,并将在能源结构中占有越来越大的比例。我国光伏发电产业的前景十分广阔。

本书对太阳能光伏发电系统的设计、施工、维护及应用等内容进行了详细介绍。首先简要介绍了太阳能光伏发电系统的原理、分类和构成,随后结合设计工作的实际需要,对各部件的工作原理和性能参数进行了详细介绍,接着重点从容量设计和配置选型两个方面介绍了光伏发电系统的设计方法,还对安装施工与维护工作进行了介绍,并给出了一些实用的计算公式和设计安装方法与实例。

本书由廖育武、薛建科担任主编,由汤全国、王培元、袁泽强担任副主编。本书是专门针对“湖北省普通高等学校战略性新兴(支柱)产业人才培养计划项目”和“教育部普通高等学校转型发展计划试点项目”编写的,作者结合了自己多年从事相关工作的实践经验以及积累的数据资料,从实用的角度出发,通过大量的案例分析,力求做到内容翔实、图文并茂、通俗易懂,有较强的针对性,既可作为高校教材,又可作为企业员工培训教材。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请广大读者予以指正。

编者

2018年12月

# 目录

<b>第 1 章 太阳能光伏发电系统概述</b> .....	1
1.1 太阳能光伏发电概述 .....	1
1.2 太阳能光伏发电系统的构成、工作原理与分类 .....	6
1.3 独立光伏发电系统 .....	9
1.4 并网光伏发电系统 .....	11
<b>第 2 章 电池组件与光伏方阵</b> .....	15
2.1 电池组件的基本要求与分类 .....	15
2.2 晶硅电池组件的构成与工作原理 .....	16
2.3 电池组件的制造 .....	21
2.4 光伏方阵 .....	38
<b>第 3 章 太阳能光伏控制器和逆变器</b> .....	43
3.1 太阳能光伏控制器 .....	43
3.2 太阳能光伏逆变器 .....	61
3.3 光伏逆变器的性能特点与技术参数 .....	76
<b>第 4 章 太阳能光伏发电储能电池及器件</b> .....	81
4.1 铅酸蓄电池 .....	81
4.2 其他储能电池及器件 .....	91
<b>第 5 章 太阳能光伏发电系统的容量设计</b> .....	99
5.1 系统的设计原则、步骤和内容 .....	99
5.2 与设计相关的因素和技术条件 .....	99
5.3 太阳能光伏发电系统容量的设计与计算 .....	103
5.4 其他几种计算公式和设计方法 .....	109
<b>第 6 章 太阳能光伏发电系统的整体配置与相关设计</b> .....	119
6.1 太阳能光伏发电系统的整体配置 .....	119
6.2 太阳能光伏发电系统的相关设计 .....	129

<b>第 7 章 太阳能光伏发电系统的安装施工与检查测试</b> .....	145
7.1 太阳能光伏发电系统的安装施工 .....	145
7.2 太阳能光伏发电系统的检查测试 .....	155
<b>第 8 章 太阳能光伏发电系统的运行维护与故障排除</b> .....	159
8.1 太阳能光伏发电系统的运行维护 .....	159
8.2 太阳能光伏发电系统的故障排除 .....	162
<b>第 9 章 太阳能光伏发电系统设计应用实例</b> .....	165
9.1 家用太阳能发电系统的设计与应用 .....	165
9.2 太阳能并网发电系统的设计与应用 .....	169
<b>第 10 章 太阳能光伏发电新技术的应用</b> .....	177
10.1 太阳能自动跟踪系统的应用 .....	177
10.2 聚光光伏发电系统的应用 .....	181
10.3 分布式光伏发电与微电网技术的应用 .....	184
10.4 光伏建筑一体化发电系统的应用 .....	189
<b>参考文献</b> .....	194

# 第 1 章 太阳能光伏发电系统概述

本章主要介绍太阳能光伏发电系统的特点、构成、工作原理及分类,使大家对太阳能光伏发电系统有一个大致的了解。

## 1.1 太阳能光伏发电概述

### 1.1.1 太阳能光伏发电简介

太阳能光伏发电的基本原理是利用太阳电池(一种类似于晶体二极管的半导体器件)的光生伏特效应直接把太阳的辐射能转变为电能的一种发电方式,太阳能光伏发电的能量转换器就是太阳电池,也叫光伏电池。当太阳光照射到由 P、N 型两种不同导电类型的同质半导体材料构成的太阳电池上时,其中一部分光线被反射,一部分光线被吸收,还有一部分光线透过电池片。被吸收的光能激发被束缚的高能级状态下的电子,产生电-穴对,在 PN 结的内建电场作用下,电子、空穴相互运动(如图 1-1 所示)。

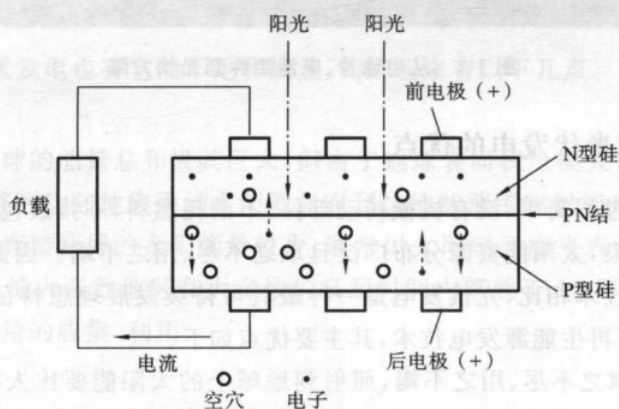


图 1-1 太阳能光伏电池发电原理

N 区的空穴向 P 区运动, P 区的电子向 N 区运动,使太阳电池的受光面有大量负电荷(电子)积累,而在电池的背光面有大量正电荷(空穴)积累。若在电池两端接上负载,负载上就有电流通过,当光线一直照射时,负载上将源源不断地有电流流过。单片太阳电池就是一个薄片状的半导体 PN 结,标准光照条件下,额定输出电压为 0.48~0.55 V。为了获得较高的输出电压和较大的功率容量,在实际应用中往往要把多片太阳电池连接在一起构成电池组件,或者用更多的电池组件构成光伏方阵,如图 1-2 所示。太阳电池的输出功率是随机的,不同时间、不同地点、不同安装方式下,同一块太阳电池的输出功率也是不同的。

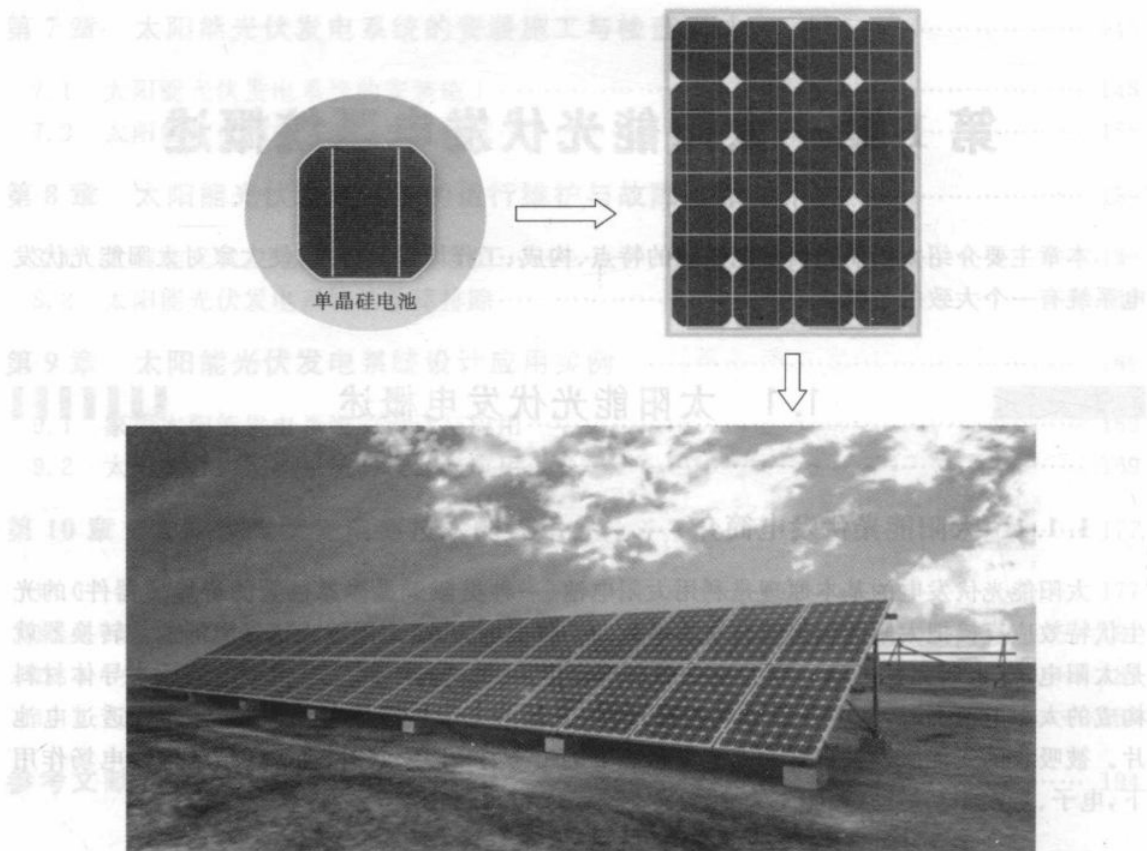


图 1-2 从电池片、电池组件到光伏方阵

### 1.1.2 太阳能光伏发电的优点

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,其主要优点如下。

(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 6 000 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,可就近发电、供电,不必长距离输送,避免了长距离输电线路的电能损失。

(3) 光伏发电是直接由光子到电子的转换,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,技术开发潜力大。

(4) 光伏发电本身不用燃料,不排放包括温室气体和其他废气的任何物质,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的冲击,太阳能是真正绿色环保的

可再生新能源。

(5) 光伏发电过程不需要冷却水,发电装置可以安装在没有水的荒漠、戈壁上。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),晶体硅太阳电池寿命可长达25~35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) 太阳电池组件结构简单,体积小,质量轻,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。

此外,无论是德国、日本的光伏“屋顶计划”发电系统,还是作为今后我国太阳能光伏发电应用主流的光伏建筑一体化(BIPV)发电系统等,除同样具有上述优点外,还具有以下优越性。

- (1) 不占用城市昂贵的土地资源。
- (2) 可直接代替传统的墙面和屋顶材料。
- (3) 当地发电就地使用,不用配备储能蓄电池。
- (4) 如果和电网相连,可将剩余电力输给电网。
- (5) 在电网供电处于高峰期发电,削减城市昂贵的高峰供电负荷。
- (6) 无须输电线路,降低输电成本。

### 1.1.3 太阳能光伏发电的缺点

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 $1.2 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ ,且绝大多数地区和大多数的日照时间内都低于 $1 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ 。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

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 $100 \text{ m}^2$ ,平均每平方米面积发电功率为 $100 \text{ W}$ 。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,以逐步改善光伏发电系统占地面积大的不足。

#### 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的转换效率最高为17%左右,非晶硅光伏电池最高不超过10%。由于光电转换效率太低,光伏发电功率密度低,难以形成高功率发电系统。因此,太阳电池的转换效率低是阻碍光伏发电大面积推广的瓶颈之一。

#### 4. 间歇性工作

在地球表面,光伏发电系统只能在白天发电,晚上则不能发电,这和人们的用电方式和习惯不符。除非在太空中没有昼夜之分的情况下,太阳电池才可以连续发电。

#### 5. 受自然条件和气候环境因素影响大

太阳能光伏发电的能源直接来源于太阳光的照射,而地球表面上的太阳光照射受自然条件和气候的影响很大,一年四季、昼夜交替、地理纬度和海拔高度等自然条件以及阴晴、雨雪、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,特别是空气中的颗粒物(如灰尘等)降落在太阳电池组件表面,也会阻挡部分光线的照射,使电池组件转换效率降低,发电量减少。

#### 6. 地域依赖性强

不同的地理位置和气候,使各地区的日照资源相差很大。光伏发电系统只有在太阳能资源丰富的地区应用效果才好。

#### 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,光伏发电系统成本下降得也非常快,太阳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不到 1 美元。

#### 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有上述不足和缺点,但是随着全球化石能源的逐渐枯竭以及因化石能源过度消耗而引发的全球变暖和生态环境恶化,已经给人类带来了很大的生存威胁,因此大力开发可再生能源是解决这个问题的主要措施之一。由于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新能源及太阳能光伏产业的政策法规,使得太阳能光伏产业迅猛发展,光伏发电技术和水平不断提高,应用范围逐步扩大,并将在全球能源结构中占有越来越大的比例。

### 1.1.4 太阳能光伏发电的应用

太阳电池及光伏发电系统已经逐步应用到工业、农业、科技、国防及人们生活的方方面面,预计到 21 世纪中叶,太阳能光伏发电将成为重要的发电方式,在可再生能源结构中占有一定比例。太阳能光伏发电的具体应用主要有以下几个方面。

(1) 通信领域的应用:包括太阳能无人值守微波中继站(如图 1-3 所示),光缆通信系统及维护站,移动通信基站,广播、通信、无线寻呼电源系统,卫星通信和卫星电视接收系统,农村程控电话、载波电话光伏系统,小型通信机,部队通信系统,士兵 GPS 供电等。

(2) 公路、铁路、航运交通领域的应用:如铁路和公路信号系统,铁路信号灯,交通警示灯、标志灯、信号灯,公路太阳能路灯(如图 1-4 所示),太阳能道钉灯、高空障碍灯,高速公路监控系统,高速公路、铁路无线电话亭,无人值守道班供电,航标灯灯塔和航标灯电源等。



图 1-3 太阳能微波中继站

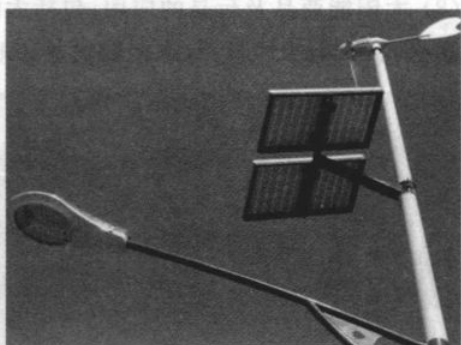


图 1-4 太阳能灯具的应用

(3) 石油、海洋、气象领域的应用:石油管道阴极保护和水库闸门阴极保护的太阳能电源系统,石油钻井平台生活及应急电源,海洋检测设备电源系统,气象和水文观测设备、观测站电源系统等。

(4) 农村和边远无电地区的应用:在高原、海岛、牧区、边防哨所等农村和边远无电地区应用太阳能光伏户用系统(如图 1-5 所示)、小型风光互补发电系统等解决日常生活用电问题,如照明、电视、收录机、DVD、卫星接收机等的使用,也解决了为手机、MP3 等随身小电器充电的问题,发电功率大多在十几瓦到几百瓦。

用几千瓦到十几千瓦的独立光伏发电系统或并网发电系统作为村庄、学校、医院、饭店、旅店、商店等的供电系统。应用太阳能光伏水泵,解决无电地区的深水井饮用、农田灌溉等用电问题。

(5) 太阳能光伏照明方面的应用:太阳能光伏照明包括太阳能路灯、庭院灯、草坪灯,太阳能景观照明,太阳能路标标牌、信号指示、广告灯箱照明等,还有家庭照明灯具(如图 1-6 所示)及手提灯、野营灯、登山灯、垂钓灯、割胶灯、节能灯、手电等。



图 1-5 农村太阳能光伏电站



图 1-6 太阳能小台灯

(6) 大型光伏发电系统(电站)的应用:大型光伏发电系统(电站)是指 100 kW~50 MW 的地面独立或并网光伏电站、风光(柴)互补电站、各种大型停车场充电站等。

(7) 太阳能光伏建筑一体化并网发电系统(BIPV):将太阳能发电与建筑材料相结合,充分利用建筑的屋顶和外立面,使得大型建筑能实现电力自给、并网发电(如图 1-7 所示),这将是今后的一大发展方向。

(8) 太阳能商品及玩具的应用:包括太阳能收音机、太阳能钟、太阳帽、太阳能手机充电器、太阳能手表、太阳能计算器、太阳能玩具(如图 1-8 所示)等。



图 1-7 太阳能光伏建筑一体化

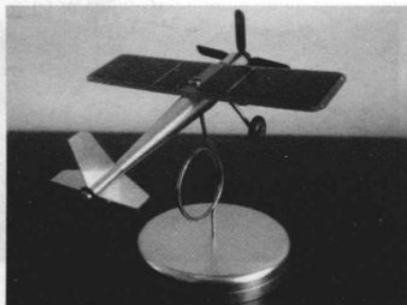


图 1-8 太阳能玩具

(9) 其他领域的应用:包括太阳能电动汽车、电动自行车,太阳能游艇,电池充电设备,太阳能汽车空调、换气扇、冷饮箱等,还有太阳能制氢加燃料电池的再生发电系统,海水淡化设备供电,卫星、航天器、空间太阳能电站(如图 1-9 所示)等。

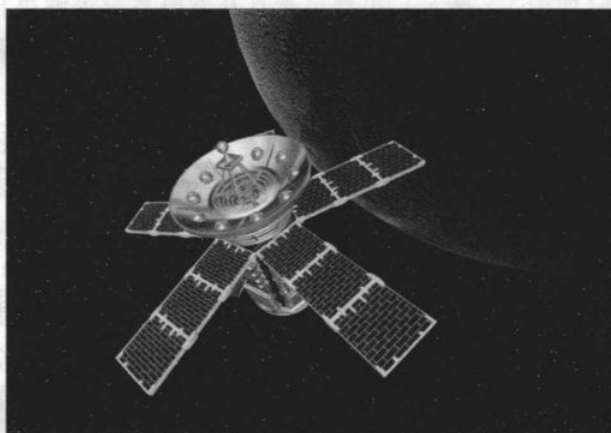


图 1-9 太阳能电池的空间应用

## 1.2 太阳能光伏发电系统的构成、工作原理与分类

### 1.2.1 太阳能光伏发电系统的构成

通过太阳电池将太阳辐射能转换为电能的发电系统称为太阳能光伏发电系统,也可叫太阳电池发电系统。尽管太阳能光伏发电系统应用形式多种多样,应用规模跨度也很大,从小到不足 1 W 的太阳能草坪灯,到几百千瓦甚至几兆瓦的大型光伏电站,但太阳能光伏发电系统的组成结构和工作原理却基本相同。其主要由太阳电池组件(或方阵)、蓄电池(组)、光伏控制器、逆变器(在有需要输出交流电的情况下使用)以及一些测试、监控、防护等附属设施构成。

### 1. 太阳能电池组件

太阳能电池组件也叫太阳能电池板,是太阳能光伏发电系统中的核心部分,也是太阳能发电系统中价值最高的部分。其作用是将太阳光的辐射能量转换为电能,并送往蓄电池中存储起来,也可以直接用于推动负载工作。当发电容量较大时,就需要用多块电池组件串、并联后构成太阳能电池方阵。目前应用的太阳能电池主要是晶体硅电池,分为单晶硅太阳能电池、多晶硅太阳能电池和非晶硅太阳能电池等几种。

### 2. 蓄电池

蓄电池的作用主要是存储太阳能电池发出的电能,并可随时向负载供电。太阳能光伏发电系统对蓄电池的基本要求是:自放电率低、使用寿命长、充电效率高、深放电能力强、工作温度范围宽、少维护或免维护以及价格低廉。目前为光伏系统配套使用的主要是免维护铅酸电池,在小型、微型系统中,也可用镍氢电池、镍镉电池、锂电池或超级电容器等。当有大容量电能存储时,就需要将多只蓄电池串、并联起来构成蓄电池组。

### 3. 光伏控制器

太阳能光伏控制器的作用是控制整个系统的工作状态,其功能主要有防止蓄电池过充电保护、防止蓄电池过放电保护、系统短路电子保护、系统极性反接保护、夜间防反充保护等。在温差较大的地方,控制器还具有温度补偿的功能。另外,控制器还有光控开关、时控开关等工作模式,以及充电状态、蓄电池电量等各种工作状态的显示功能。光伏控制器一般分为小功率、中功率、大功率和风光互补控制器等。

### 4. 交流逆变器

交流逆变器是把太阳能电池组件或者蓄电池输出的直流电转换成交流电供应给电网或者交流负载使用的设备。逆变器按运行方式不同,可分为独立运行逆变器和并网逆变器。独立运行逆变器用于独立运行的太阳能发电系统,为独立负载供电。并网逆变器用于并网运行的太阳能发电系统。

### 5. 光伏发电系统附属设施

光伏发电系统的附属设施包括直流汇流(配线)系统、交流配电系统、运行监控和检测系统、防雷和接地系统等。

## 1.2.2 太阳能光伏发电系统的工作原理

太阳能光伏发电系统从大类上可分为独立(离网)光伏发电系统和并网光伏发电系统两大类。

图 1-10 所示是独立型太阳能光伏发电系统的工作原理示意图。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应用,也可以用交流逆变器将其转换成为交流电,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。

独立型太阳能光伏发电系统适用于下列情况及场合:①需要移动携带的设备电源;②夜间、阴雨天等不需要供电的场合;③远离电网的边远地区、农林牧区;④不需要并网的场合;⑤不需

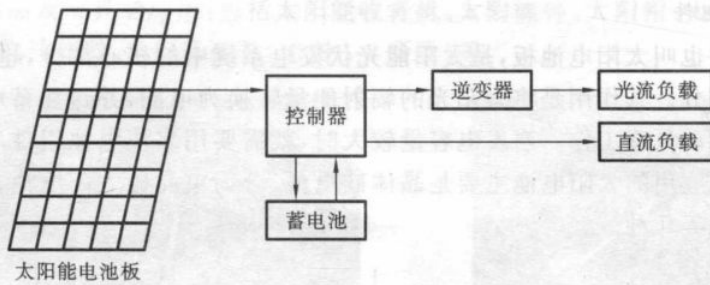


图 1-10 独立型太阳能光伏发电系统的工作原理

要备用电源的场合等。

一般来说,远离电网而又一定需要电力供应的地方以及如柴油发电等需要运输燃料、发电成本较高的场合,使用独立光伏发电系统将比较经济、环保,可优先考虑。

图 1-11 所示是并网型太阳能光伏发电系统的工作原理示意图。并网型光伏发电系统由太阳能电池方阵将光能转变成电能,并经直流配线箱进入并网逆变器,有些类型的并网型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,多余的电能可通过电力变压器等设备逆流馈入公共电网(可称为卖电)。当并网光伏系统因气候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补充供电(称为买电)。系统还配备有监控、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控制传输和显示数据。

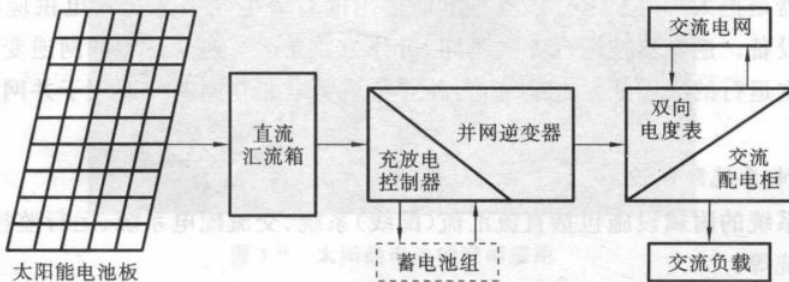


图 1-11 并网型太阳能光伏发电系统的工作原理

并网型太阳能光伏发电系统可以向公共电网逆流供电,其“昼发夜用”的发电特性正好可对公共电网实行峰谷调节,对加强供电的稳定性和可靠性十分有利,另一大优点是可以取消储能蓄电设备(特殊场合除外),使发电系统成本大大降低。

### 1.2.3 太阳能光伏发电系统的分类

太阳能光伏发电系统可分为独立(离网)光伏发电系统和并网光伏发电系统两大类。其中,独立光伏发电系统又可分为直流光伏发电系统和交流光伏发电系统以及交、直流混合光伏发电系统,而直流光伏发电系统又可分为有蓄电池的系统和无蓄电池的系统。

并网光伏发电系统可分为有逆流光伏发电系统和无逆流光伏发电系统,并根据用途也可分为有蓄电池系统和无蓄电池系统等。光伏发电系统的分类及具体应用可参看表 1-1。

表 1-1 太阳能光伏发电系统的分类及具体应用

类型	分 类	具体应用实例
独立 光伏 发电 系统	无蓄电池的直流光伏发电系统	直流光伏水泵、充电器、太阳能风扇帽
	有蓄电池的直流光伏发电系统	太阳能手电, 太阳电池手机充电器, 太阳能草坪灯、庭院灯、路灯、交通标志灯、杀虫灯、航标灯, 直流户用系统, 高速公路监控, 无电地区微波中继站、移动通信基站, 农村小型发电站, 石油管道阴极保护等
	交流及交、直流混合光伏发电系统	交流太阳能户用系统, 无电地区小型发电站, 有交流设备的微波中继站、移动通信基站, 气象、水文、环境检测站等
	市电互补型光伏发电系统	城市太阳能路灯改造、电网覆盖地区一般住宅光伏电站等
	风光互补、风光柴互补发电系统	太阳能路灯、交流太阳能户用系统、无电地区中小型发电站等
并网 光伏 发电 系统	有逆流并网光伏发电系统	一般住宅、建筑物、光伏建筑一体化、大型电站
	无逆流并网光伏发电系统	太阳能空调器、一般住宅、建筑物、光伏建筑一体化、中小型电站
	切换型并网光伏发电系统	一般住宅、重要及急负载、建筑物、光伏建筑一体化
	有储能装置的并网光伏发电系统	一般住宅、重要及应急负载; 光伏建筑一体化、自然灾害避难所、高层建筑应急照明

下面就对各种光伏发电系统的构成与工作原理分别予以介绍。

## 1.3 独立光伏发电系统

独立光伏发电系统也叫离网光伏发电系统, 主要由太阳电池组件、控制器、蓄电池组成, 若为交流负载供电, 还需要配置交流逆变器。因此, 独立光伏发电系统根据用电负载的特点, 可分为下列几种形式。

### 1.3.1 无蓄电池的直流光伏发电系统

无蓄电池的直流光伏发电系统如图 1-12 所示。该系统的特点是用电负载是直流负载, 对负载使用时间没有要求, 负载主要在白天使用。太阳电池与用电负载直接连接, 有阳光时就发电供负载工作, 无阳光时就停止工作。系统不需要使用控制器, 也没有蓄电储能装置。该系统的优点是减少了电能通过控制器及在蓄电池的存储和释放过程中造成的损失, 提高了太阳能的利用效率。这种系统最典型的应用是太阳能光伏水泵。应用太阳能光伏水泵除了可以在阳光充足的时候直接抽水灌溉外, 还可以利用光伏水泵把水抽到蓄水池内储存起来, 将太阳能转换为势能, 以供夜晚和阴天使用。

### 1.3.2 有蓄电池的直流光伏发电系统

有蓄电池的直流光伏发电系统如图 1-13 所示。该系统由太阳电池、充放电控制器、蓄电池以及直流负载等组成。有阳光时, 太阳电池将光能转换为电能供负载使用, 并同时向蓄电池存

储电能。夜间或阴雨天时,则由蓄电池向负载供电。这种系统应用广泛,小到太阳能草坪灯、庭院灯,大到远离电网的移动通信基站、微波中转站,边远地区农村供电等。当系统容量和负载功率较大时,就需要配备太阳能电池方阵和蓄电池组了。

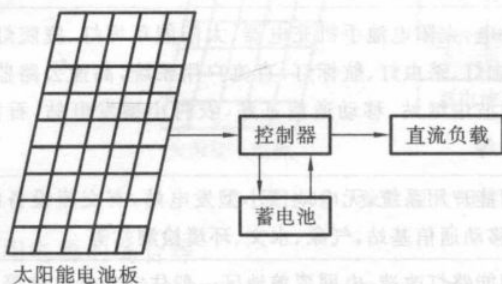


图 1-12 无蓄电池的直流光伏发电系统

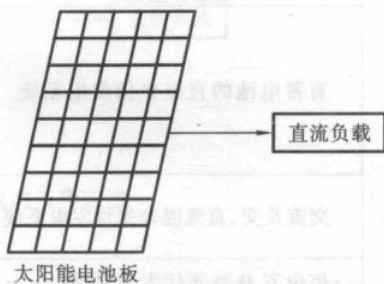


图 1-13 有蓄电池的直流光伏发电系统

### 1.3.3 交流及交、直流混合光伏发电系统

交流及交、直流混合光伏发电系统如图 1-14 所示。与直流光伏发电系统相比,交流光伏发电系统多了一个交流逆变器,用以把直流电转换成交流电,为交流负载提供电能。交、直流混合系统则既能为直流负载供电,也能为交流负载供电。

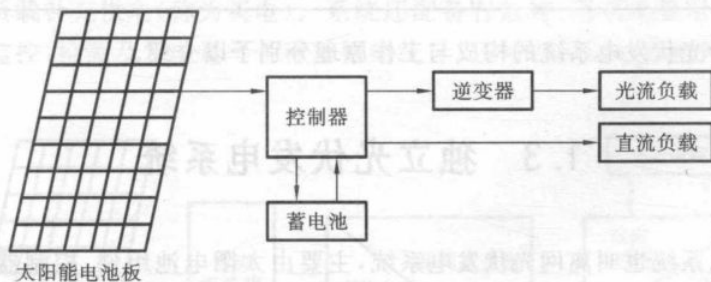


图 1-14 交流和交、直流混合光伏发电系统

### 1.3.4 市电互补型光伏发电系统

市电互补型光伏发电系统如图 1-15 所示。所谓市电互补光伏发电系统,就是在独立光伏发电系统中以太阳能光伏发电为主,以普通 220 V 交流电补充电能为辅。这样光伏发电系统中太阳能电池和蓄电池的容量都可以设计得小一些,基本上是当天有阳光,当天就用太阳能发的电,

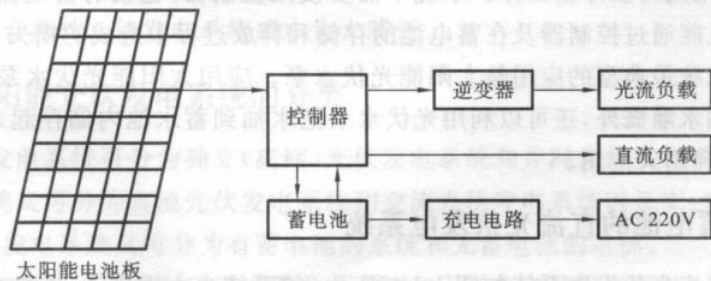


图 1-15 市电互补型光伏发电系统

遇到阴雨天时就用电网能量作补充。在我国大部分地区全年基本上都有 2/3 以上的晴好天气,这样系统全年就有 2/3 以上时间用太阳能发电,剩余时间用电网补充能量。这种形式既减少了太阳能光伏发电系统的一次性投资。又有显著的节能减排效果,是太阳能光伏发电在现阶段推广和普及过程中的一个过渡性的好办法。这种形式原理上与下面将要介绍的无逆流并网型光伏发电系统有相似之处,但还不能等同于并网应用。

### 1.3.5 风光互补及风光柴互补型发电系统

风光互补及风光柴互补型发电系统如图 1-16 所示。所谓风光互补是指在光伏发电系统中并入风力发电系统,使太阳能和风能根据各自的气象特征形成互补。一般来说,白天只要天气晴好,光伏发电系统就能正常运行,而夜晚无阳光时往往风力又比较大,风力发电系统恰好弥补光伏发电系统的不足。风光互补发电系统同时利用太阳能和风能发电,对气象资源的利用更加充分,可实现昼夜发电,提高了系统供电的连续性和稳定性,但在风力资源欠佳的地区不宜使用。

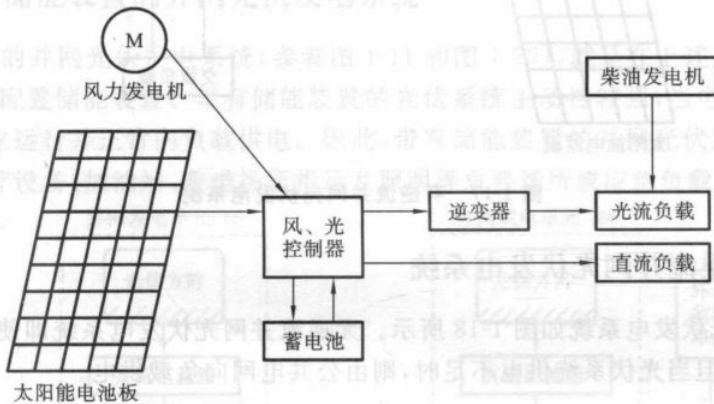


图 1-16 风光互补及风光柴互补型发电系统

另外在比较重要的或供电稳定性要求较高的场合,还需要采用柴油发电机与太阳能光伏、风力发电机构成风光柴互补的发电系统。其中柴油发电机一般处于备用状态或小功率运行待机状态,当风光发电不足和蓄电池储能不足时,由柴油发电机补充供电。

## 1.4 并网光伏发电系统

所谓并网光伏发电系统就是将太阳能光伏组件产生的直流电经过并网逆变器转换成符合市电网要求的交流电之后直接接入公共电网。并网光伏发电系统有集中式大型并网光伏系统,也有分散式小型并网光伏系统。集中式大型并网光伏电站一般都是国家级电站,主要特点是将所发电能直接输送到电网,由电网统一调配向用户供电。这种电站投资大,建设周期长,占地面积大,需要复杂的控制和配电设备,其发电成本要比传统能源发电贵几倍,目前还处在示范和逐步推广应用阶段。而分散式小型并网光伏系统,特别是与建筑物相结合的屋顶光伏发电系统、光伏建筑一体化发电系统等,由于投资小,建设快,占地面积小,政策支持力度大等优点,是