



新能源利用技术

罗先进 黄霞春 黄建华◎编著

XINNENGYUAN
LIYONG JISHU



合肥工业大学出版社
HEFEI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

新能源利用技术

罗先进 黄霞春 黄建华 编著



合肥工业大学出版社

内 容 简 介

本教程系统地阐述了新能源应用技术的项目开发,通过“太阳能及风能技术应用”项目为主线,按照项目的开发思路依次详细介绍了离网及并网光伏发电应用、太阳能景观应用、光伏建筑一体化应用、智能微电网应用、风力发电——随动液压变容增效应用技术、光伏光热及风光互补技术等环节,并且提供了足够的自选项目来促进学习者的自主性和创造性。本教程还大量融入了太阳能在日常生活中的应用,从产品设计、制作等角度进行详细阐述,真正实现了以项目来驱动教学的全新理念。

图书在版编目(CIP)数据

新能源利用技术/罗先进,黄霞春,黄建华编著. —合肥:合肥工业大学出版社,2014. 10
ISBN 978-7-5650-2009-4

I. ①新… II. ①罗…②黄…③黄… III. ①新能源—能源利用—技术—教材 IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 246398 号

新 能 源 利 用 技 术

罗先进 黄霞春 黄建华 编著

责任编辑 张择瑞 何永利

出 版	合肥工业大学出版社	版 次	2014 年 10 月第 1 版
地 址	合肥市屯溪路 193 号	印 次	2014 年 10 月第 1 次印刷
邮 编	230009	开 本	787 毫米×1092 毫米 1/16
电 话	总 编 室:0551-62903038	印 张	21.5
	市场营销部:0551-62903198	字 数	510 千字
网 址	www.hfutpress.com.cn	印 刷	合肥学苑印务有限公司
E-mail	hfutpress@163.com	发 行	全国新华书店

ISBN 978-7-5650-2009-4

定价: 49.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社市场营销部联系调换。

前 言

本书致力于新能源技术应用推广，主要包括光伏、光热、风光互补、智能微网、光伏光热建筑一体化等。力争使读者能够较系统地掌握新能源的基本知识，掌握新能源项目设计、施工、运营、维护与管理等方面的技术方法。本书还编著有自选项目的设计与制作，目的是激发读者的学习兴趣。

本书由湖南理工职业技术学院罗先进、黄霞春、黄建华担任主编，田拥军、葛庆、彭文辉、田灿、郭清华、张要锋、文立、张清小、肖慧慧、颜爱平、陈思超、刘炳良、曾小波、向钠、何瑛等参与编写。全书由黄建华统稿，由常州天合光能有限公司湖南公司总经理文建华主审。

本书在编写过程中得到了中国兴业太阳能技术控股有限公司旗下公司黄波总经理、汤立文总经理、胡新宁总经理、部门技术负责人刘超，北京大学工学院、包头工学院付加庭等专家领导的大力支持，在此表示感谢！

新能源技术应用广泛，发展迅速。由于作者水平有限，书中定有诸多疏漏或者错误，恳请专家、读者批评指正。

编 者

2014 年 7 月 29 日



目 录

第一章 离网光伏发电应用技术	(1)
1.1 教学目标	(1)
1.2 认识光伏发电系统	(1)
1.2.1 光伏发电应用	(1)
1.2.2 光伏发电特点	(4)
1.2.3 光伏发电系统的组成与分类	(6)
1.2.4 太阳能资源与利用	(10)
1.3 光伏系统配置	(14)
1.3.1 光伏组件认识	(14)
1.3.2 储能设备	(16)
1.3.3 光伏控制器	(20)
1.3.4 光伏逆变器	(23)
1.4 离网光伏发电系统设计及常用设计软件	(27)
1.4.1 离网光伏发电系统设计概述	(27)
1.4.2 离网光伏发电系统常用设计软件应用	(33)
1.5 典型离网光伏发电产品设计与制作	(45)
1.5.1 太阳能路灯设计与安装	(45)
1.5.2 蒙古包离网型光伏电站设计与制作	(50)
第二章 并网光伏发电应用技术	(56)
2.1 教学目标	(56)
2.2 并网光伏应用概述	(56)
2.2.1 并网光伏应用定义	(56)
2.2.2 光伏电站政策解读	(57)
2.2.3 光伏电站申报及建设流程	(58)
2.3 典型光伏并网发电系统设计与施工	(62)



2.3.1	用户侧分布式光伏电站设计与施工	(62)
2.3.2	地面大型并网光伏电站设计	(80)
第三章	太阳能景观应用技术	(100)
3.1	教学目标	(100)
3.2	太阳能景观应用概述	(100)
3.2.1	太阳能景观应用定义	(100)
3.2.2	太阳能景观一体化案例分析	(102)
3.2.3	光伏景观前景展望	(106)
3.3	经典光伏景观的设计与制作	(106)
3.3.1	太阳能地埋灯及光伏砖的设计与制作	(106)
3.3.2	光伏森林的设计与制作	(108)
3.3.3	太阳能荷花灯的设计与制作	(110)
第四章	光伏建筑一体化应用技术	(115)
4.1	教学目标	(115)
4.2	光伏建筑一体化应用概述	(115)
4.2.1	光伏建筑一体化应用定义	(115)
4.2.2	光伏建筑一体化案例分析	(118)
4.3	光伏建筑一体化前景展望	(120)
4.4	典型光伏建筑一体化的设计与施工	(122)
4.4.1	混凝土型平屋顶光伏电站设计与施工	(124)
4.4.2	混凝土型坡屋顶光伏电站设计与施工	(136)
4.4.3	彩钢瓦型屋顶光伏电站设计与施工	(137)
4.4.4	立面光伏幕墙的设计与施工	(138)
第五章	智能微电网应用技术	(153)
5.1	教学目标	(153)
5.2	智能微电网应用概述	(153)
5.3	智能微电网系统工程案例	(155)
第六章	风力发电应用技术	(183)
6.1	教学目标	(183)
6.2	风力发电技术概述	(183)



6.2.1 风能的利用价值	(183)
6.2.2 风力发电机的发展历程	(184)
6.2.3 风力发电机的类型	(186)
6.2.4 风力发电机的发展趋势	(187)
6.3 典型风力发电系统	(188)
6.3.1 双馈异步风力发电系统	(190)
6.3.2 直驱同步风力发电系统	(193)
6.4 随动液压变容增效风力发电系统的设计	(197)
6.4.1 产品的功能要求分析	(197)
6.4.2 随动液压变容增效风力发电系统分析	(198)
第七章 光热应用技术及光伏光热一体化	(202)
7.1 教学目标	(202)
7.2 光伏光热一体化应用技术概述	(202)
7.2.1 光热应用技术简介	(202)
7.2.2 光伏光热一体化应用技术概述	(215)
7.3 光热技术应用及案例分析	(221)
7.3.1 太阳能热水系统设计示例	(221)
7.3.2 平板太阳能热水器及热水系统案例分析	(226)
7.3.3 真空管集热器及其热水系统设计	(231)
7.3.4 太阳能采暖工程案例分析	(236)
7.4 光伏光热技术的应用与体验	(242)
7.4.1 光伏光热一体化系统的设计	(242)
7.4.2 光伏光热一体化在建筑物上的应用	(247)
第八章 风光互补及地热余热应用技术	(253)
8.1 风光互补及地热余热应用技术学习目标	(253)
8.2 风光互补及地热余热应用技术概述	(253)
8.2.1 风光互补系统概述	(253)
8.2.2 地源热利用技术概述	(257)
8.2.3 余热利用技术概述	(260)
8.3 风光互补发电系统设计与施工	(263)
8.3.1 风光互补发电系统的工作原理	(263)
8.3.2 光伏发电系统设计与安装	(270)



8.3.3 风力供电装置实训项目	(276)
8.4 地源热利用工程分析与实践	(283)
8.4.1 地源热泵原理	(283)
8.4.2 地源热泵系统工程案例分析	(285)
8.5 余热利用工程分析与实践	(291)
8.5.1 低温余热发电技术	(291)
8.5.2 低温余热发电工程案例分析	(310)
第九章 考核项目设计与制作	(318)
9.1 考核项目学习目标	(318)
9.2 光伏移动电源的设计与制作	(318)
9.3 太阳能杀虫灯的设计与制作	(320)
9.4 光伏光热建筑一体化住宅的设计	(322)
9.5 智能微电网监控系统的设计与实施	(322)
9.6 新型风力发电机设计与实施	(329)



第一章 离网光伏发电应用技术

1.1 教学目标

- (1) 了解光伏发电的特点、应用状况、应用前景以及世界太阳能资源的分布及利用状况；
- (2) 掌握离网光伏发电的工作方式、基本原理及光伏发电系统的基本构造；
- (3) 了解光伏组件、蓄电池、控制器、逆变器等部件的结构、基本工作原理以及性能指标，能根据光伏系统的设计要求进行正确配置与选型光伏组件、蓄电池、控制器、逆变器等；
- (4) 掌握 Pv system 和光伏宝两种光伏设计软件的使用方法，能使用这两种软件正确设计太阳能路灯、家庭光伏电站等光伏系统；
- (5) 掌握太阳能路灯和离网型光伏电站的设计与建设方法，能根据用户要求，结合当地气象条件正确设计与配置太阳能路灯和离网型光伏电站系统；掌握太阳能路灯和离网型光伏电站安装方法与安装工艺，能按国家与行业标准安装太阳能路灯和离网型光伏电站。

1.2 认识光伏发电系统

1.2.1 光伏发电应用

1. 光伏发电主要应用领域

随着传统能源的逐渐耗竭，太阳能应用已成为世界各个国家的战略性新兴产业。2010年，我国太阳能电池产量达到 10GW，约占全球光伏电池产量的一半。预计到 21 世纪中叶，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。光伏发电主要应用领域如下（部分如图 1-1 所示）：

(1) 通信领域的应用。主要包括无人值守微波中继站，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，部队通信系统等。

(2) 公路、铁路、航运等交通领域的应用。如铁路和公路信号系统，铁路信号灯，交

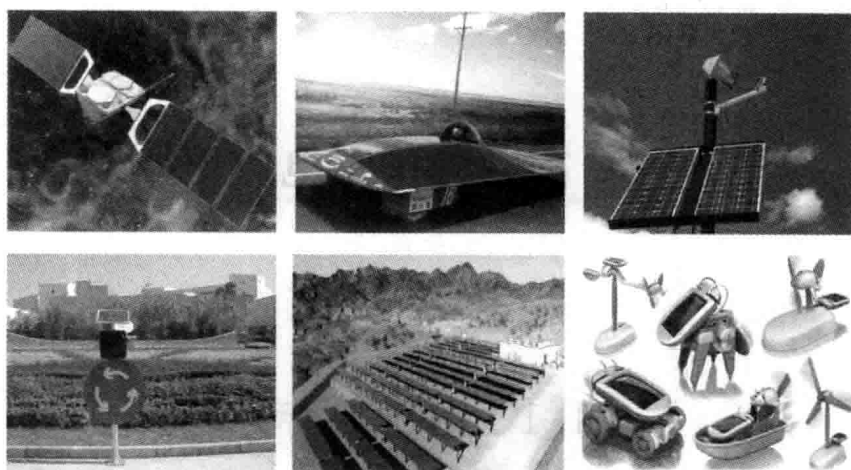


图 1-1 太阳能应用实例

通警示灯、标志灯、信号灯，公路太阳能路灯，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。

(3) 石油、海洋、气象领域的应用。如石油管道阴极保护和水库闸门阴极保护太阳能电源系统，石油钻井平台生活及应急电源，海洋检测设备，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光伏户用系统、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、卫星接收机等用电，也解决了手机、手电筒等随身小电器充电的问题，发电功率大多在及瓦到几百瓦。应用 $1\sim 5\text{kW}$ 的独立光伏发电系统或并网发电系统作为村庄、学校、医院、饭馆、旅社、商店等的供电系统。应用太阳能光伏水泵，解决了无电地区的深水井饮用、农田灌溉等用电问题。另外还有太阳能喷雾器、太阳能电围栏、太阳能黑光灭虫灯等应用。

(5) 太阳能光伏照明方面的应用。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；还有家庭照明灯具及手提灯、野营灯、登山灯、垂钓灯、割胶灯、节能灯、手电等。

(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 $10\text{kW}\sim 200\text{MW}$ 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) 光伏建筑一体化并网发电系统（BIPV）。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，这将是今后的一大发展方向。

(8) 太阳能电子商品及玩具的应用。包括太阳能收音机、太阳能钟、太阳帽、太阳能充电器、太阳能手表、太阳能计算器、太阳能玩具等。

(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、空间太阳能电站等。



2. 光伏发电应用前景

回顾 100 年间能源工业的发展历史，人类正在消耗地球 50 万年历史中积累的有限能源资源煤和石油，虽然极大地解放了生产力，但同时也向人类敲响了常规能源面临枯竭的警钟。根据有关材料显示，人类已确知的石油储备将用 40 多年，天然气 60 余年，煤大约 200 年。另外，以化石能源为主体的能源结构，对人类环境的破坏显而易见，每年排放的二氧化碳达 210 万吨，并呈上升趋势，从而造成冰雪消融，冰川退缩，全球气候变暖。能源短缺和环境保护是 21 世纪经济发展和能源领域最重要的课题。目前国际上对太阳能资源已经十分重视。

1954 年贝尔实验室第一块单晶硅太阳能电池面世，为世界能源提供了一个新的希望。在 20 世纪 70 年代以来，世界上许多国家掀起了开发利用太阳能和可再生能源的热潮。利用太阳能发电的光伏发电技术被用于许多需要电源的场合，上至航天器，下至家用电源，大到兆瓦级电站，小到玩具，光伏电源无处不在。20 世纪 80 年代，美国建成抛物面槽太阳能发电站，俄罗斯、澳大利亚、瑞士也相继建立了太阳能发电厂，1992 年日本太阳能发电系统和电力公司电网联网，2000 年有 7 万家庭安装了太阳能家庭发电设备，预计到 2050 年德国消耗的能量半数将来自太阳能，第一块电池及太阳能利用前景如图 1-2 所示。

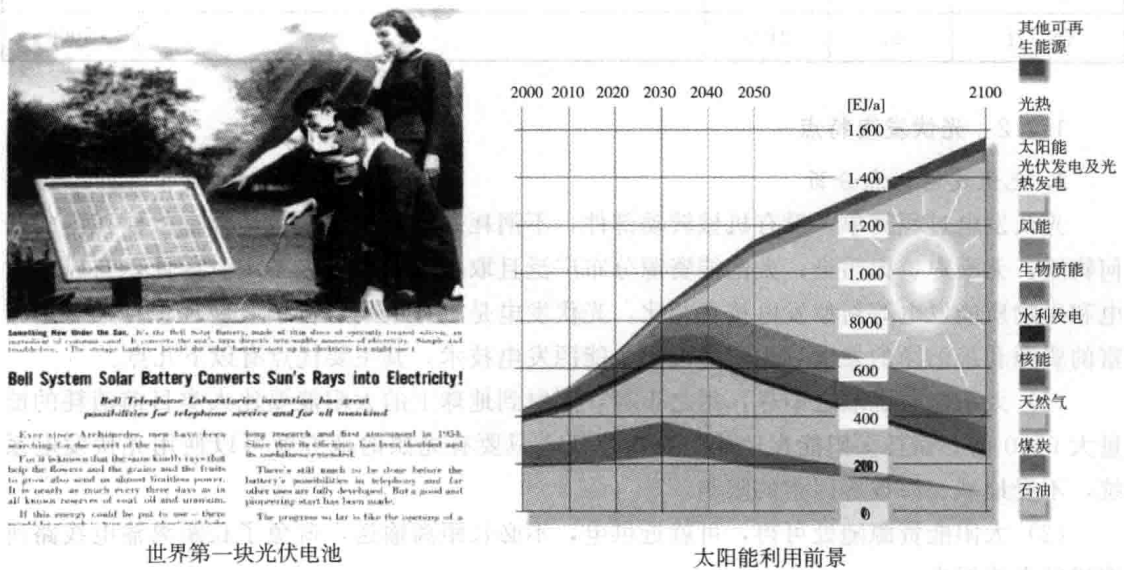


图 1-2 光伏发电应用

3. 我国光伏发电发展目标

根据“太阳能发电发展‘十二五’规划”，到 2015 年底，我国太阳能发电装机容量达到 2100 万千瓦以上，年发电量达到 250 亿千瓦时，“十二五”规划如表 1-1 所示。重点在中东部地区建设与建筑结合的分布式光伏发电系统，建成分布式光伏发电总装机容量 1000 万千瓦。在青海、新疆、甘肃、内蒙古等太阳能资源和未利用土地资源丰富地区，以增加当地电力供应为目的，建成并网光伏电站总装机容量 1000 万千瓦。以经济性与光伏发电基本相当为前提，建成光热发电总装机容量 100 万千瓦。



表 1-1 太阳能发电发展“十二五”规划

发电类别	2010 年	2015 年		2020 年
1. 太阳能电站	45	1100		2300
光伏电站	45	1000	在青海、甘肃、新疆、内蒙古、西藏、宁夏、陕西、云南，以及华北、东北的部分适宜地区建设一批并网光伏电站。结合大型水电、风电基地建设，按风光互补、水光互补方式建设一批光伏电站	2000
光热电站	0	100	在太阳能日照条件好、可利用土地面积广、具备水资源条件的地区，开展光热发电项目的示范	300
2. 分布式光伏发电系统	41	1000	在中东部地区城镇工业园区、经济开发区、大型公共设施等建筑屋顶相对集中的区域，建设并网光伏发电系统。在西藏、青海、甘肃、陕西、新疆、云南、四川等偏远地区及海岛，采用独立光伏电站或户用光伏系统，解决电网无法覆盖地区的无电人口用电问题。扩大城市照明、交通信号等领域光伏系统应用	2700
合 计	86	2100		5000

1.2.2 光伏发电特点

1. 光伏发电优点分析

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。

(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。

2. 光伏发电缺点分析

当然, 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 $1.2\text{kWh}/\text{m}^2$, 且绝大多数地区和大多数的日照时间内都低于 $1\text{kWh}/\text{m}^2$ 。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。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 10kW 光伏发电功率占地约需 100m^2 , 平均每平方米面积发电功率为 100W 。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 15%~19%, 非晶硅光伏电池只有 7%~10%。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。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其效果才会好。

(7) 系统成本高。由于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。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。

1.2.3 光伏发电系统的组成与分类

1. 光伏发电系统基本工作方式

光伏发电系统分为并网型与离网型，并网型光伏发电系统并入国家电网，其输出的交流电压的大小、频率和相位必须与电网一致，同时还需克服“孤岛效应”（其具体要求在后续章节介绍）。离网型光伏发电系统技术要求相对简单些，对输出的交流大压大小、频率与相位只要达到预定值即可，图 1-3 与图 1-4 是离网型光伏发电系统图，由图所知，离网型光伏发电系统主要是由光伏组件、控制器、蓄电池、逆变器等组成。大型离网光伏发电系统采用光伏组件和蓄电池数量多，控制器及逆变器的功率较大，能提供较多的电能，而小型离网型光伏发电系统各配件的功率较小，提供的电能功率也较小，例如太阳能路灯系统就是小型的离网型光伏发电系统。

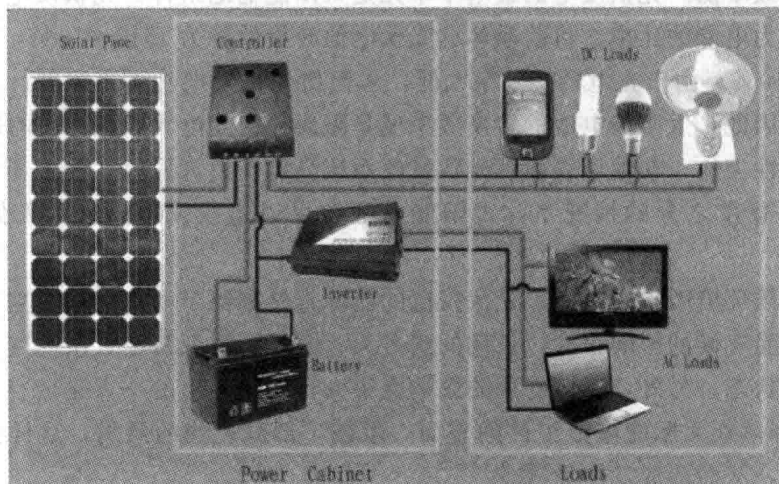


图 1-3 小型光伏离网发电系统图

2. 光伏电池发电原理

光伏发电的基本原理是利用太阳能电池（一种类似于晶体二极管的半导体器件）的光生伏打效应直接把太阳的辐射能转变为电能的一种发电方式，光伏发电的能量转换器就是太阳能电池，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

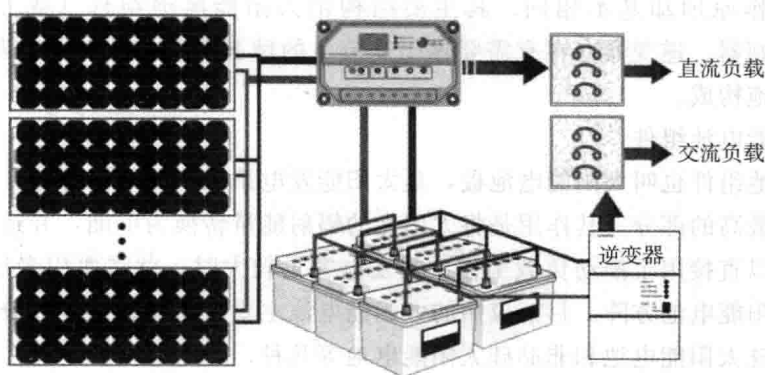


图 1-4 大型离网光伏发电系统图

材料构成的太阳能电池上时，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，产生电子—空穴对，在PN结的内建电场作用下，电子、空穴相互运动（如图1-5所示），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。

单片太阳能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0.48V。为了获得较高的输出电压和较大的功率容量，往往要把多片太阳能电池连接在一起使用。太阳能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，同一块太阳能电池的输出功率也是不同的。光伏发电原理如图1-5所示。

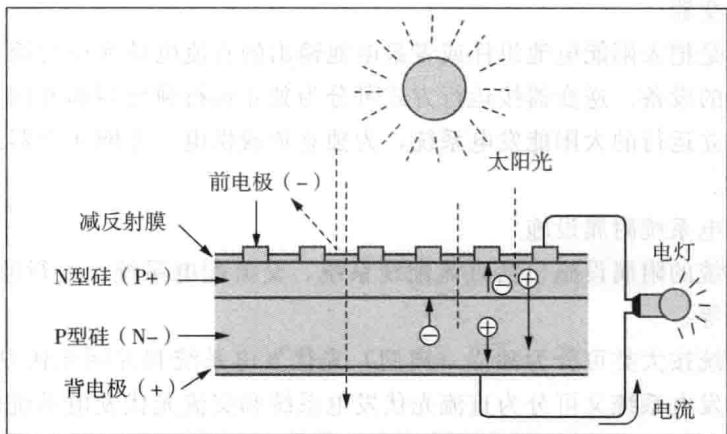


图 1-5 光伏发电原理示意图

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。

3. 光伏发电系统组成及功能

光伏发电系统是通过太阳能电池将太阳辐射能转换为电能的发电系统称，也可叫太阳能电池发电系统。尽管光伏发电系统应用形式多种多样，应用规模也跨度很大，从小到不足一瓦的太阳能草坪灯，大到几百千瓦甚至几兆瓦的大型光伏电站，但光伏发电系统的



组成结构和工作原理却基本相同。其主要结构由太阳能电池组件（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。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蓄电池，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。当需要大容量电能存储时，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。

光伏发电系统按大类可分为独立（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。而在直流光伏发电系统中又可分为有蓄电池的系统和没有蓄电池的系统。在并网光伏发电系统中，也分为有逆流光伏发电系统和无逆流光伏发电系统，并根据用途也分为有蓄电池系统和无蓄电池系统等。

4. 光伏发电系统的分类

（1）独立光伏发电系统

独立型光伏发电系统的工作原理示意图如图 1-6 所示。光伏发电的核心部件是太阳能电池板，它将太阳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光伏发



电系统设计施工与维护存储于蓄电池中。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。

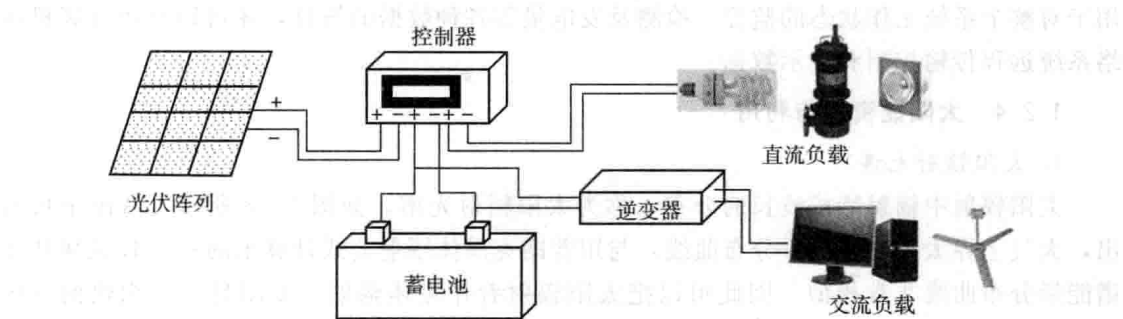
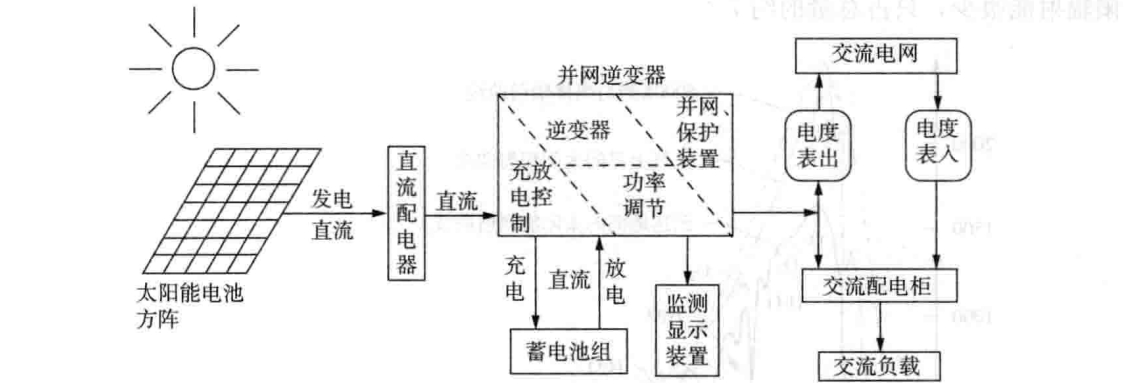


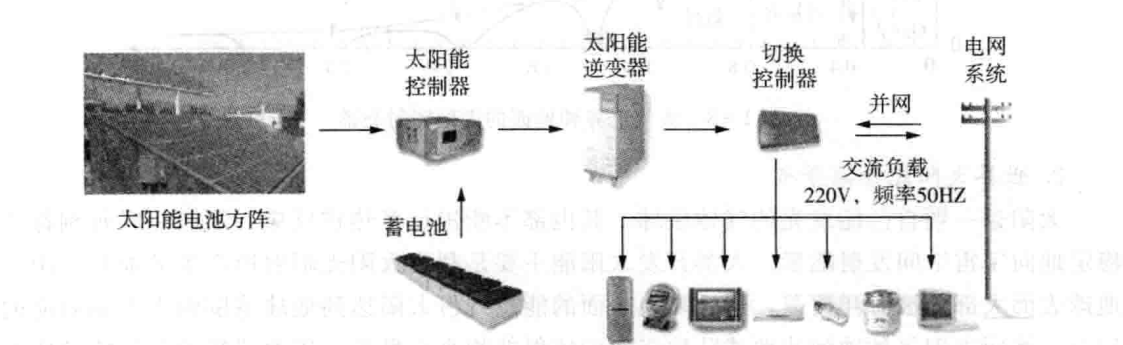
图 1-6 独立型光伏发电系统工作原理

(2) 并网光伏发电系统

图 1-7 是并网型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



(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 1-7 并网型光伏发电系统工作原理