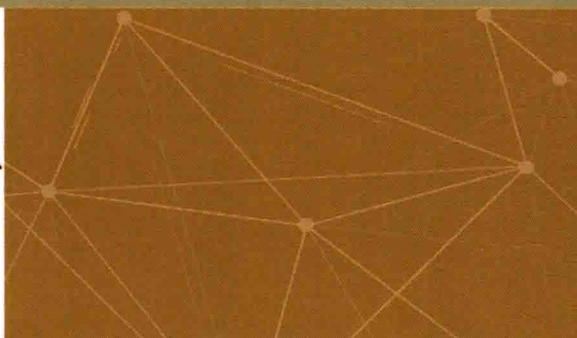


江苏高校品牌专业建设工程资助项目



普通高等教育“十三五”规划教材
新能源科学与工程系列教材



光伏发电与控制 实践教程

潘启勇 顾 涵 李天福 编著
钱 斌 胡雷振 薛春荣



科学出版社

内容简介

普通高等教育“十三五”规划教材
新能源科学与工程专业系列教材

光伏发电与控制实践教程

潘启勇 顾 涵 李天福 编著
钱 斌 胡雷振 薛春荣



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是根据应用型本科院校的教育思想结合课程实践教学编写完成的,具有通俗性、严谨性、新颖性等特点。本书共5章,第1章介绍光伏发电与控制的基本理论;第2章介绍常用的太阳能电池材料;第3章设计光伏发电与控制的基础实验;第4章基于HSNE-S01-B型平台,介绍软硬件的基本操作方法;第5章设计课程的综合实训项目。

本书可供高等院校新能源科学与工程专业学生使用,也可作为光伏行业工程技术人员的参考书或培训教材,同时还可供对光伏行业有兴趣的读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

光伏发电与控制实践教程/潘启勇等编著. —北京:科学出版社,2018.3
普通高等教育“十三五”规划教材·新能源科学与工程专业系列教材
ISBN 978-7-03-056816-8

I. ①光… II. ①潘… III. ①太阳能发电-高等学校-教材
IV. ①TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第048349号

责任编辑:余江 张丽花/责任校对:郭瑞芝

责任印制:吴兆东/封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京九州迅驰传媒文化有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年3月第 一 版 开本:720×1000 B5

2018年3月第一次印刷 印张:8 3/4

字数:176 000

定价:35.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

太阳是地球能量的源泉，地球上绝大部分的能量都是直接或间接地来自太阳。植物通过光合作用把太阳能转变成化学能在植物体内储存下来。煤炭、石油、天然气等化石燃料实质上是古代生物储存下来的太阳能。此外，水能、风能、波浪能、海流能等也都是由太阳能转换来的。太阳能的利用逐渐开始普及，利用太阳能发电解决了人造卫星能源供应的难题，也为人们的日常生活带来了便利，太阳能热水器、太阳灶、太阳能光伏发电等都是人们生活中对太阳能的有效利用。其中，利用太阳能光伏发电已经成为人们越来越关注的课题，如何降低成本、提高光伏转换效率成为各大型能源公司争相研究的问题。

光伏发电与控制技术是利用太阳能电池，通过光电转换将光能转换为电能的过程，故太阳能电池的特性曲线与工作条件成为光伏转换效率的关键。降低太阳能电池制造成本，提高光伏转换效率已成为各国科研工作者争相研究的课题之一。

本书是光伏发电与控制理论的实践环节部分，共5章。第1章介绍光伏发电与控制的基础知识；第2章介绍常用的太阳能电池材料；第3章介绍光伏发电与控制基础实验项目；第4章介绍 HSNE-S01-B 型实训平台的基本操作方法；第5章介绍光伏发电与控制实训项目。

本书由常熟理工学院“光伏发电与控制实践”课程的老师和企业工程师共同编写。其中潘启勇编写第1章，顾涵编写第2章~第4章，李天福、钱斌、胡雷振、薛春荣共同编写第5章。全书由顾涵负责组织和统稿工作。

本书所列实验、实训项目的功能实现并不局限于某一种型号平台，平台上只要有相应的接口都可以实现。本书在编写过程中参考了大量的资料，部分资料来源于互联网，无法一一列出，在此向所有作者深表谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏及不足之处，欢迎各位读者提出宝贵的建议。

编 者

2018年1月

目 录

第1章 光伏发电与控制基础	1
1.1 光伏发电行业发展	2
1.2 光伏发电与控制系统	5
思考题	12
第2章 太阳能电池材料	13
2.1 社会发展需要新能源	13
2.2 太阳辐射相关的物理量	21
2.3 太阳能电池材料与分类	23
2.4 晶硅太阳能电池及前沿技术	27
2.5 硅基薄膜太阳能电池	31
2.6 化合物薄膜太阳能电池	35
2.7 有机太阳能电池	40
2.8 高效太阳能电池探索	43
思考题	48
第3章 光伏发电与控制基础实验	49
实验1 太阳能电池特性测量实验	54
实验2 太阳能电池供电电源实验	59
实验3 太阳能电池温度特性测试实验	64
实验4 太阳能电池光谱特性测试实验	70
实验5 太阳能电池-风扇实验	76
实验6 太阳能音乐声响器设计实验	78
实验7 太阳能节电照明灯设计实验	79
实验8 太阳能路灯设计实验	82
实验9 太阳能电池充电器设计实验	84
实验10 太阳能蓄电池控制设计实验	86
附件 温控仪使用说明	89
第4章 HSNE-S01-B型平台操作方法	92
4.1 实训平台概述	92

4.2 实训平台基本操作	94
4.3 上位机软件的使用	100
4.4 常见问题	108
附件 平台技术规格	109
第5章 光伏发电与控制实训	112
实验1 太阳能光伏板能量转换原理	112
实验2 环境对光伏转换的影响实验	114
实验3 太阳能电池光伏系统直接负载实验	117
实验4 太阳能系统电器负载实验	118
实验5 光伏型控制器工作原理实验	120
实验6 光伏型控制器充放电保护实验	121
实验7 户用型控制器工作原理实验	123
实验8 户用型控制器充放电保护实验	124
实验9 户用型控制器上位机软件实验	126
实验10 光伏型控制器上位机软件实验	127
实验11 直接负载上位机软件实验	129
实验12 综合实训	130
参考文献	132

第 1 章 光伏发电与控制基础

光伏发电是最有前途的可再生能源，与石油、天然气、煤炭、核电等能源形式相比，光伏发电除清洁之外就是资源取之不尽，用之不竭。与风电、水电、生物质能等可再生能源相比，光伏发电最大的优点是可开采资源无限，而水电、风电等的可开发数量都是有限的，据测算，全球太阳能可开采资源高达 6000 亿 kW，中国与世界主要能源可使用年限及 2015 年各类能源在全球主要能源供给总量中的占比如图 1-0-1 和图 1-0-2 所示。

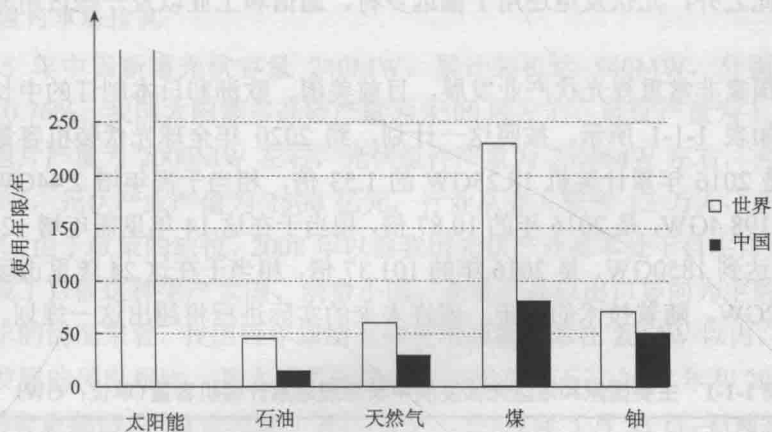


图 1-0-1 中国与世界主要能源可使用年限情况

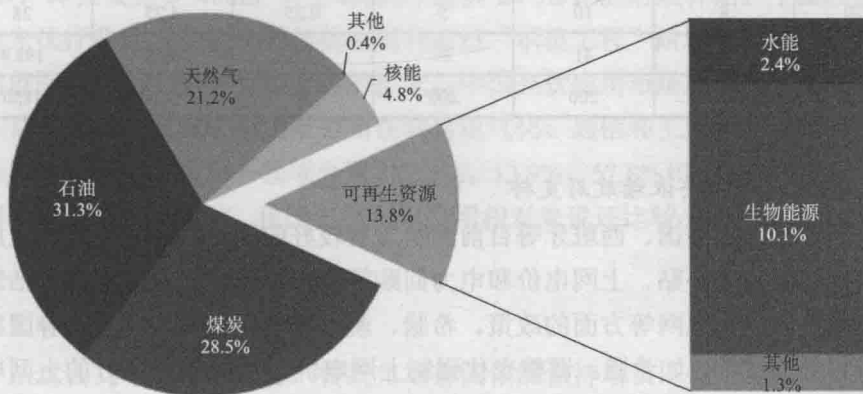


图 1-0-2 2015 年各类能源在全球主要能源供给总量中的占比

1.1 光伏发电行业发展

1.1.1 光伏发电行业国内外现状

1. 国际需求量持续增长

2005~2015 年, 全球光伏发电新增容量持续快速增长, 年均增速达 46.2%, 2015 年全球新增光伏发电容量为 9.95GW, 同比增长 60%左右。

2005~2015 年, 全球光伏电池产量持续增长, 年均增速达 43.6%, 2015 年全球光伏电池产量为 12.85GW, 同比增长 71%左右。期间, 全球光伏发电累计装机容量也在持续增长, 年均增速达 31.25%。到 2015 年底, 全世界光伏总安装量大约为 23.3GW, 其中并网光伏为 17.84GW, 占 77%左右, 是光伏发电的主流应用领域。除此之外, 光伏发电还用于偏远乡村、通信和工业以及一些日用光伏产品等。

发达国家非常重视光伏产业发展, 目前美国、欧洲和日本制订的中长期光伏发展目标如表 1-1-1 所示。按照这一计划, 到 2020 年全球光伏装机容量将达到 28GW, 是 2016 年累计装机 18.25GW 的 1.53 倍, 相当于需年增 2.44GW; 2030 年将达到 198.4GW, 是 2016 年的 10.87 倍, 相当于在这 14 年里需年增 12.87GW; 2040 年将达到 1850GW, 是 2016 年的 101.37 倍, 相当于在这 24 年里市场状况需年增 76.32GW。随着技术的进步, 或许未来的实际进程将超出这一规划。

表 1-1-1 主要国家和地区光伏发展中长期规划累计装机容量(单位: GW)

年份	日本	欧洲	美国	中国	其他	世界
2016	1.97	—	—	0.14	—	18.25
2020	8	10	5	0.25	4.75	28
2030	30	41	36	1.6	89.8	198.4
2040	205	200	200	50	1195	1850

2. 近期发展主要依赖政府支持

德国、日本、美国、西班牙等目前光伏发展较好的国家, 对光伏产业发展主要采取了初始安装补贴、上网电价和电力回购等三方面的政策, 此外还包括一些税收、融资、优先上网等方面的政策。希腊、澳大利亚、法国、意大利等国家也推出了相关的政策。如希腊: 调整光伏强制上网电价, 2012 年新执行的上网电价维持两年不变, 对于 2015 年 8 月之前签订协议接入电网的业主, 可延迟 18 个月

完成安装；对于投资高于 10 万欧元的光伏项目仍享受 40% 的补助；2015 年还推出专门针对屋顶的光伏支持计划，目标是再增加 750MW 需求；出台 10MW 以上的光伏系统招标程序等。又如澳大利亚：2012 年 3 月 1 日启动第一阶段的针对住宅和商业楼宇的可再生能源电力强制购电法案，该计划规定全部可再生能源电力均享受高额电价，而不是扣除发电者消费量后的部分，当电价为 50.05 澳分/(千瓦·时)，相当于正常供电成本的 3.88 倍。2015 年 7 月 1 日启动第二阶段的强制购电法案，主要针对太阳能和风力发电项目。

在 2008 年的金融危机中，尽管各国光伏市场需求受到不利影响，但各国政府支持光伏产业发展的决心并没有改变，在此期间仍有多个国家推出了扶持光伏产业发展的相关政策。中国目前也推出了一系列初始投资补贴政策，后述其他政策尤其是《上网电价法》的政策值得期待。

3. 国内市场情况

2015 年中国新增光伏容量 240MW，累计装机达 540MW，分别占世界的 0.67%、0.76%。我国太阳能多晶硅产量为 4500 吨左右，硅锭产量为 1.33 万吨左右，电池片产量为 2000MW 左右，光伏组件产量为 2500MW 左右，占全球产量的 29.45%，光伏产业产值为 1500 亿元，行业从业人数为 12 万人，从业企业达 500 多家。由于政策的缺位，2008 年以前我国光伏产业基本处于自生自灭的状态，从而形成了目前这种生产大国、消费小国、企业产品以出口导向为主的格局。从过去几年的情况来看，我国每年新增光伏发电容量基本在 20MW 以内，与同一期间蓬勃发展的风电相比，基本处于停滞不前的状态。不过 2007 年和 2008 年连续 2 年新增容量翻倍，可以说出现了可喜的变化。2009 年 3 月 23 日，财政部推行《太阳能光电建筑应用财政补助资金管理暂行办法》，为光电建筑示范工程(必须大于 50kW，即需要至少 400m² 的安装面积)提供 20 元/瓦的财政补贴。中国政府坚定支持光伏行业的态度使我们相信在顺利走过“示范工程”阶段之后，中国政府的补贴范围和补贴金额会有实质性的扩大，中国光伏应用市场的大门必将开启。

目前，我国光伏应用主要分布在农村电气化、通信和工业、并网发电和光伏产品等几个领域，这几个领域分别占 2.5%、13.9%、57.8%和 25.7%。与发达国家并网发电占近 80%相比，我国光伏发电应用相对来说还比较分散，处于初级阶段。

1.1.2 光伏发电行业前景

1. 全球光伏趋向多元化

从过去几年的情况来看，传统市场德国依然保持增长，但增速放缓；日本近几年基本停滞；后起之秀西班牙和美国发展迅速，尤其是西班牙市场 2014 年一举

超越德国,成为全球最大的市场,全球光伏市场需求趋于多元化。

电池生产呈现出由美国、日本等发达国家向中国等发展中国家转移的趋势,美国和日本电池产量占比呈下降趋势,欧洲基本稳定,中国占比大幅上升。到 2015 年,中国电池产量占全球产量的 39%,成为全球第一大生产基地。

2. 光伏行业的长期发展稳定

光伏发电行业短期虽难以避免金融危机的影响,但长期来看仍保持快速发展的趋势。一方面欧美传统市场将随着数量型放松政策和剥离银行不良资产政策而逐步走出低谷。我们注意到 2012 年 2 月美国新屋销售量环比上涨 4.7%,超过市场预期,房地产市场的走好加强了市场对信贷恢复以及光伏复苏的信心;另一方面政府长期扶持光伏的态度不会动摇。2013 年 10 月,德国、法国、英国、意大利、芬兰等国家都已经纷纷表态,金融危机后要大力发展新能源,要进一步加大对新能源的投资与扶持力度,把新能源作为启动实体经济的重要引擎。2013 年 2 月,美国更是提出以新能源发展为主的能源新政策——“新阿波罗计划”,计划在十年内投入 5000 亿美元,把新能源在美国电力中的比重从不足 10%提升到 25%。

政府支持光伏的动力不仅在于部分替代传统能源,还在于防止全球变暖、促进就业以及维系能源独立和能源安全。油价的涨跌也不会对政策走向产生短期的影响。

3. 中国光伏行业的前景

2009 年中国首个光伏发电示范项目动工,标志着中国长期发展滞缓的光伏发电市场开始启动,同时中国正式跻身世界十大光伏市场之列。

由于国内光伏发电应用匮乏,90%以上的光伏组件都出口国外。从 2009 年开始,国家相继出台了“金太阳示范工程”“屋顶工程”等一系列支持光伏产业发展的政策,希望借此带动我国光伏发电的大规模应用。欧洲光伏产业协会(EPIA)也非常看好中国光伏发电的应用市场,它在 2015 年发布的《2016 年全球光伏市场展望》中指出,12GW 的超大输电线路工程为中国的光伏发电并网提供了极大便利,中国具备快速成长为亚洲乃至世界主要市场的实力,而实际到 2016 年中国的装机规模已经突破 600MW。到 2018 年,这个数字有望达到 2.5GW。在今后的十年中,中国光伏发电的市场还将由独立发电系统转向并网发电系统,包括沙漠电站和城市屋顶发电系统等。

4. 中国光伏系统的前景

目前,中国光伏设备企业从硅材料生产、硅片加工到太阳能电池芯片的生产以及相应的纯水制备、环保处理、净化工程的建设,已经初步具备成套供应能力,部分产品如扩散炉、等离子刻蚀机、单晶炉、多晶铸锭炉等开始少量出口,可提

供 10 种太阳能电池大生产线设备中的 8 种,其中有 5 种(扩散炉、等离子刻蚀机、清洗/制绒机、石英管清洗机、低温烘干炉)已在国内生产线上占据主导地位,2 种(管式 PECVD、快速烧结炉)与进口设备并存但份额正逐步增大。此外,全自动丝网印刷机、自动分拣机、平板式 PECVD 则完全依赖进口。组件生产用的层压机、太阳能模拟器等在行业内获得广泛应用。硅材料加工设备中单晶炉以优良性价比占据了国内市场的绝对统治地位并批量出口亚洲,多线切割机已取得突破,多晶硅铸锭炉已经开始大量在国内企业中使用。

根据业内前十名的发展规划,至 2020 年,中国将再增加 3000MW 以上的生产能力。即使采用目前成熟的国产设备和进口设备混合搭配的国内主流配置方案,也至少为设备厂家提供了 36 亿元的市场。若以全进口设备计算,则需设备投资 84 亿元。这一切为光伏设备企业的发展提供了极好的发展机遇。提升国产设备的技术水平,强化已有产品的性价比优势,提供更快捷更优质的技术服务,加快研发国产空白产品,尽早提供国产装备的整套解决方案是国内太阳能装备厂家的努力方向。近来,在国内一些具有自主创新能力和较强科研实力的公司(如河北某光伏发电设备有限公司就拥有“太阳能跟踪系统”“聚焦发电”等多项国家发明专利的光伏发电技术)的有力推动下,光伏发电技术有了较快革新和发展;进入光伏 3.0 时代,国家财政部、科技部、国家能源局联合印发了《关于实施金太阳示范工程的通知》,决定综合采取财政补助、科技支持和市场拉动方式,加快国内光伏发电的产业化和规模化发展,并计划在 2~3 年内,采取财政补助方式支持不低于 500MW 的光伏发电示范项目,各种利好都给中国光伏发电产业注入了强劲的生命活力。希望在不远的将来,中国的光伏发电整体竞争能力能够达到国际领先水平,光伏发电电力供应量在国内总电力供应中的占比能够达到更高水平,从而更加有力地推动中国经济结构转型和能源结构优化。

目前中国的光伏企业主要有:中利腾晖光伏科技有限公司、尚德电力控股有限公司、常州天合光能有限公司、晶澳太阳能控股有限公司、保利协鑫能源控股有限公司、阿特斯阳光电力集团、韩华新能源有限公司、英利绿色能源控股有限公司、江西赛维 LDK 太阳能高科技有限公司、杜邦太阳能有限公司、南德意志集团等。

1.2 光伏发电与控制系统

1.2.1 系统概述

太阳能可谓取之不尽,用之不竭,太阳能光伏发电与控制系统白天将太阳

能通过光伏电池板转换成电能后存储在蓄电池中,在夜间需要时取用。系统主要由太阳能光伏板、充放电控制器、蓄电池、用电设备 4 个部分组成,如图 1-2-1 所示。

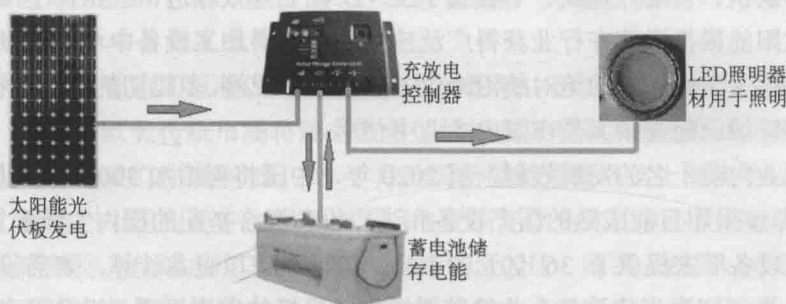


图 1-2-1 太阳能光伏系统组成结构

1.2.2 系统的工作原理

白天在光照条件下,太阳能电池组件产生一定的电动势,通过组件的串并联形成太阳能电池组件。当方阵电压达到系统输入电压的要求时,通过充放电控制器对蓄电池进行充电,将由光能转换而来的电能储存起来。夜间蓄电池组为光伏逆变器提供输入电压,通过光伏逆变器的作用,将直流电转换成交流电,输送到配电柜,由配电柜切换控制进行供电。蓄电池组的放电情况由控制器实现控制,保证蓄电池的正常使用。光伏电站系统还应有限荷保护和防雷装置,以保护系统设备的过负载运行及免遭雷击,维护系统设备的安全使用。太阳能→电能→化学能→电能的系统能量转换是由太阳能光伏组件、蓄电池组、充放电控制器、光伏逆变器、交流配电柜等设备配合控制完成的,如图 1-2-2 所示。



图 1-2-2 太阳能光伏系统工作原理

1.2.3 系统的组成结构

1. 太阳能光伏组件

太阳能电池在有光照(无论是太阳光, 还是其他发光体产生的光照)的情况下吸收光能, 电池两端出现异号电荷的积累, 即产生“光生电压”, 这就是“光生伏特效应”。在光生伏特效应的作用下, 太阳能电池的两端产生电动势, 将光能转换成电能, 是能量转换的器件。太阳能电池一般为硅电池, 分为单晶硅太阳能电池、多晶硅太阳能电池、非晶硅太阳能电池三种。

2. 蓄电池组

蓄电池组的作用是储存太阳能电池组件受光照时发出的电能并可随时向负载供电。太阳能电池发电对所用蓄电池组的基本要求是: 自放电率低; 使用寿命长; 深放电能力强; 充电效率高; 少维护或免维护; 工作温度范围宽; 价格低廉。

目前我国与太阳能发电系统配套使用的蓄电池主要是铅酸蓄电池和镉镍蓄电池。配套 200A·h 以上的铅酸蓄电池, 一般选用固定式或工业密封式免维护铅酸蓄电池, 每只蓄电池的额定电压为 2VDC; 配套 200A·h 以下的铅酸蓄电池, 一般选用小型密封免维护铅酸蓄电池, 每只蓄电池的额定电压为 12VDC。

3. 充放电控制器

充放电控制器是能自动防止蓄电池组过充电和过放电的设备。由于蓄电池的循环充放电次数及放电深度是决定蓄电池使用寿命的重要因素, 因此能控制蓄电池组过充电或过放电的充放电控制器是必不可少的设备。

4. 光伏逆变器

光伏逆变器是将直流电转换成交流电的设备, 由于太阳能电池和蓄电池是直流电源, 所以当负载是交流负载时, 光伏逆变器是必不可少的, 1.2.4 节将对逆变器作详细介绍。

5. 交流配电柜

交流配电柜在发电系统中的主要作用是对备用逆变器的功能切换, 保证系统的正常供电, 同时还具有对线路电能进行计量的功能。

1.2.4 光伏逆变器

通常把将交流电能转换成直流电能的过程称为整流, 把完成整流功能的电路称为整流电路, 把实现整流过程的装置称为整流设备或整流器。与之相对应, 把将直流电能转换成交流电能的过程称为逆变, 把完成逆变功能的电路称为逆变电路, 把实现逆变过程的装置称为逆变设备或逆变器。

1. 光伏逆变器简介

逆变器有多种类型, 因此在选择机种和容量时需特别注意。尤其在太阳能发电系统中, 逆变器效率的高低是决定太阳能电池容量和蓄电池容量大小的重要因素。逆变器在系统中具有过载保护、短路保护、接反保护、欠压保护、过压保护、过热保护等功能。

2. 光伏逆变器的分类

1) 按光伏逆变器功能可分为:

- (1) 普通逆变器;
- (2) 逆变/控制一体机;
- (3) 邮电通信专用逆变器;
- (4) 航天、军队专用逆变器。

2) 按光伏逆变器输出交流电能的频率可分为:

- (1) 工频逆变器, 工频逆变器的频率一般为 50~60Hz;
- (2) 中频逆变器, 中频逆变器的频率一般为 400Hz 至十几 kHz;
- (3) 高频逆变器, 高频逆变器的频率一般为十几 kHz 至几 MHz。

3) 按光伏逆变器输出的相数可分为:

- (1) 单相逆变器;
- (2) 三相逆变器;
- (3) 多相逆变器。

4) 按光伏逆变器输出电能的去向可分为:

- (1) 有源逆变器;
- (2) 无源逆变器。

5) 按光伏逆变器主电路的形式可分为:

- (1) 单端式逆变器;
- (2) 推挽式逆变器;
- (3) 半桥式逆变器;
- (4) 全桥式逆变器。

6) 按光伏逆变器主开关器件的类型可分为:

- (1) 晶闸管逆变器;
- (2) 晶体管逆变器;
- (3) 场效应管逆变器;
- (4) 绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 逆变器。

7) 按光伏逆变器的电源类型可分为:

- (1) 电压源型逆变器(VSI);
- (2) 电流源型逆变器(CSI)。

8) 按光伏逆变器的控制方式可分为:

- (1) 调频式(PFM)逆变器;
- (2) 调脉宽式(PWM)逆变器。

9) 按光伏逆变器开关电路的工作方式可分为:

- (1) 谐振式逆变器;
- (2) 定频硬开关式逆变器;
- (3) 定频软开关式逆变器。

10) 按光伏逆变器的隔离方式可分为独立光伏系统用逆变器和并网光伏系统用逆变器两种。

(1) 独立光伏系统。独立光伏系统包括边远地区的村庄供电系统、太阳能户用电源系统、通信信号电源、阴极保护、太阳能路灯等带有蓄电池的独立发电系统, 系统基本组成如图 1-2-3 所示。

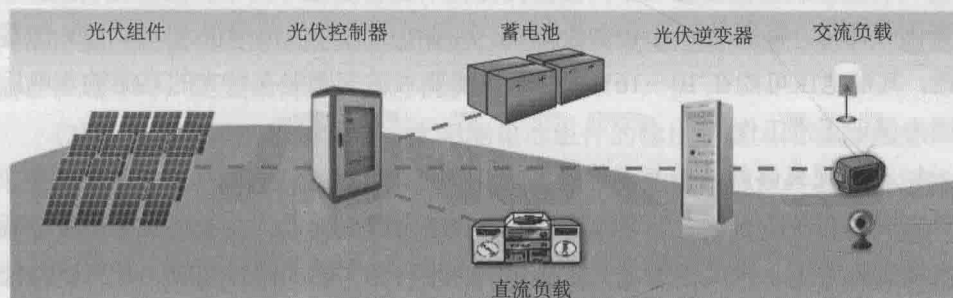


图 1-2-3 独立光伏系统

(2) 并网光伏系统。并网光伏系统是与电网相连并向电网输送电力的光伏发电系统。通过光伏组件将接收来的太阳辐射能量经过高频直流转换后变成高压直流电, 经逆变器逆变转换后向电网输出与电网电压同频、同相的正弦交流电流。系统基本组成如图 1-2-4 所示。

3. 光伏逆变器的主要特点

(1) 具有较高的效率。由于目前太阳能电池的价格较高, 为了最大限度地利用太阳能电池, 提高系统效率, 必须设法提高逆变器的效率。

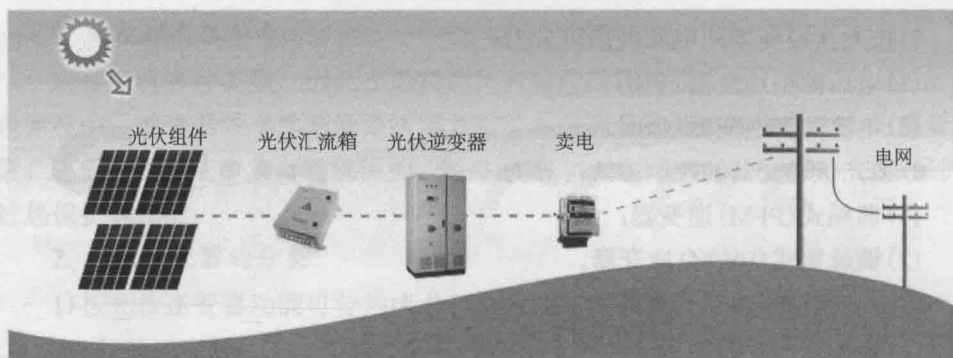


图 1-2-4 并网光伏系统

(2) 具有较高的可靠性。目前光伏电站系统主要用于边远地区，许多电站无人值守和维护，这就要求光伏逆变器有合理的电路结构，应经过严格的元器件筛选，并要求光伏逆变器具备各种保护功能，如输入直流极性接反保护、交流输出短路保护、过热过载保护等。

(3) 输入电压有较宽的适应范围。由于太阳能电池的端电压随负载和日照强度变化而变化，特别是当蓄电池老化时，其端电压的变化范围很大，如 12V 的蓄电池，其端电压可能在 10~16V 变化，这就要求逆变器能在较大的直流输入电压范围内保证正常工作。

4. 光伏逆变器的结构与工作原理

光伏逆变器是一种由半导体器件组成的电力调整装置，主要用于把直流电压转换成交流电压。光伏逆变器一般由升压回路和逆变桥式回路构成，升压回路把太阳能电池的直流电压升到逆变器输出控制所需的直流电压；逆变桥式回路则把升压后的直流电压等价地转换成常用频率的交流电压。逆变器主要由晶体管等开关元件构成，有规则地让开关元件重复开-关(ON-OFF)，可以使直流输入变成交流输出。实际应用中这样单纯地由开和关回路产生的逆变器输出波形并不稳定，一般需要采用高频脉宽调制(SPWM)，使靠近正弦波两端的电压宽度变窄，正弦波中央的电压宽度变宽，并在半周期内始终让开关元件按一定频率朝一个方向动作，这样形成一个脉冲波列(拟正弦波)，然后让脉冲波通过简单的滤波器形成正弦波，光伏逆变器工作原理如图 1-2-5 所示。

5. 光伏逆变器的功能

光伏逆变器不仅具有直流变换功能，还具有最大限度地发挥太阳能电池性

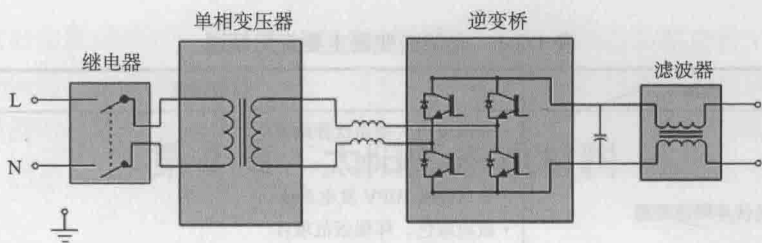


图 1-2-5 光伏逆变器工作原理

能和系统故障保护的功能。总体说来，光伏逆变器有自动运行和停机功能、最大功率跟踪控制功能、防单独运行功能（并网系统用）、自动电压调整功能（并网系统用）、直流检测功能（并网系统用）、直流接地检测功能（并网系统用），这里主要介绍自动运行和停机功能及最大功率跟踪控制功能。

(1) 自动运行和停机功能。早晨日出后，太阳辐射强度逐渐增强，太阳能电池的输出也随之增大，当达到逆变器工作所需的输出功率后，逆变器即自动开始运行。进入运行状态后，逆变器便开始监视太阳能电池组件的输出，只要太阳能电池组件的输出功率大于逆变器工作所需的输出功率，逆变器就持续运行，直到日落停机，即使在阴雨天逆变器也能运行。当太阳能电池组件输出变小，逆变器输出接近0时，逆变器便转换到待机状态。

(2) 最大功率跟踪控制功能。太阳能电池组件的输出是随太阳辐射强度和太阳能电池组件自身温度（芯片温度）而变化的。由于太阳能电池组件具有电压随电流增大而下降的特性，因此存在能获取最大功率的最佳工作点。太阳辐射强度是变化的，显然最佳工作点也是在变化的。相对于这些变化，始终让太阳能电池组件的工作点处于最大功率点，系统始终从太阳能电池组件获取最大功率输出，这种控制就是最大功率跟踪控制。太阳能光伏发电系统所用逆变器的最大特点就是包括了最大功率点跟踪（Maximum Power Point Tracking, MPPT）这一功能。

6. 光伏逆变器的应用

目前光伏逆变器领域的国际领军者是德国艾斯玛(SMA)公司，该公司技术处在行业的顶点。国内比较有实力的并网逆变器企业有合肥阳光电源、晶新能源、中达电通、山亿新能源、北京科诺伟业、艾索新能源等；离网逆变器的技术发展相对较成熟，国内已拥有一批技术较领先的企业。

目前光伏并网逆变器和光伏离网逆变器的主要应用领域如表 1-2-1 所示。