



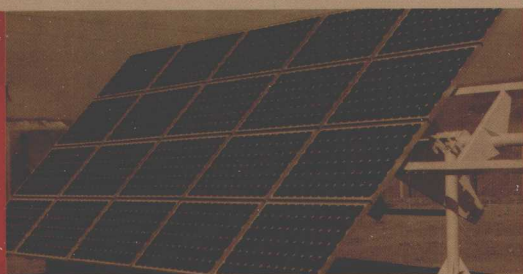
新 能 源 及 高 效 节 能 应 用 技 术 丛 书



太阳能 光伏发电系统

设计施工与维护

李钟实 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



新 能 源 及 高 效 节 能 应 用 技 术 丛 书

太阳能 光伏发电系统 设计施工与维护

李钟实 编著

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

太阳能光伏发电系统设计施工与维护 / 李钟实编著

— 北京 : 人民邮电出版社, 2010.1
(新能源及高效节能应用技术丛书)

ISBN 978-7-115-21813-1

I. ①太… II. ①李… III. ①太阳能发电 IV.
①TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第207802号

内 容 提 要

本书以中小型太阳能光伏发电系统为主,系统地介绍了光伏发电系统各主要组成部分的工作原理、性能参数以及选用方法,重点介绍了太阳能光伏发电系统的容量设计、配置选型、安装施工、检查测试、运行维护与故障排除,并给出了具体设计实例和部分实用资料。

本书内容翔实、图文并茂,具有较高的实用性,适合从事太阳能光伏发电系统设计、施工及维护工作的工程技术人员阅读,也可供大专院校相关专业的师生参考。

新能源及高效节能应用技术丛书

太阳能光伏发电系统设计施工与维护

◆ 编 著 李钟实

责任编辑 刘 朋

执行编辑 赵礼菁

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 11.5

字数: 275千字

印数: 1—4 000册

2010年1月第1版

2010年1月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-21813-1

定价: 28.00元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

丛 书 前 言

近几年，我国政府在新能源开发、环境保护和资源节约方面相继出台了一系列方针政策和法律法规，实施了“金太阳”、绿色照明等一批重点工程，收到了较大成效。从我国目前的实际情况来看，解决能源短缺问题主要应从两方面入手：一是开发和利用新的能源，尤其是可再生清洁能源；二是提高能源的利用效率，即能效。

新能源是国家“十一五”规划重点要求发展的产业，政策对其扶持力度很大。2009年3月，由科技部、国家发展和改革委员会等部门联合举办的2009年中国国际节能和新能源科技博览会上集中展示了节能减排和新能源科技的重大成果，引起了国内外的广泛关注。2009年5月全国财政新能源与节能减排工作会议指出，国家财政要全力支持新能源发展和节能减排工作，重点抓好支持风电规模化发展、加快启动国内光伏发电市场、开展节能与新能源汽车示范推广试点等十项工作。从技术的角度看，太阳能、风能等新能源的一些关键技术已经成熟并具有较高的推广价值，以发光二极管、IGBT等为代表的高效半导体器件的制造工艺已取得重大突破，变频器、软启动器、伺服驱动器等节能设备的节能效果日益得到了社会各界的认可并获得广泛应用。

为了在我国进一步推广和普及绿色能源及高效节能技术的应用，我们结合当前技术热点和应用热点，组织有关专家、学者和技术人员专门编写了“新能源及高效节能应用技术丛书”。本丛书以介绍目前国内外绿色能源及高效节能领域内的新产品、新工艺、新技术和新方法为主，在编写时力求突出实用性和先进性，力争做到题材新颖，技术先进，内容丰富，具有较高的实用价值。我们希望本丛书的出版能够在解决我国绿色能源及高效节能技术应用中的一些实际问题，促进我国“十一五”规划确定的资源节约目标得以实现，推动全社会采用高效节能新技术和绿色能源，提高能源利用效率，保护和改善环境，促进经济社会全面协调可持续发展方面起到积极的推动作用。

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，我国光伏发电产业的前景十分广阔。

本书对中小型太阳能光伏发电系统的设计、施工与维护进行了详细介绍。首先简要介绍了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与性能参数进行了详细的介绍；后半部分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，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；附录部分还提供了一些实用的资料。

本书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，力求做到内容翔实、图文并茂、通俗易懂，方便读者在实际工作中使用。本书是一本关于太阳能光伏发电系统实际应用方面的技术图书，主要供从事太阳能光伏发电系统设计、施工及维护方面的工程技术人员阅读，也适合相关专业本、专科生及教师学习参考。

本书由李钟实负责编写。大连宏源照明节能工程有限公司董事长兼总经理苏葵先生、山西耀宇太阳能科技有限公司总经理王跃文先生对本书的编写给予了大力的支持、指导和帮助；李皓、白继娟、王志建、郝成龙、何小明、张改霞、张婷婷、范丽娟、张秀敏、王君、武军等对本书的编写做了许多工作，提供了相关资料，在此一并表示感谢。

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。

作 者

目 录

第 1 章 太阳能光伏发电系统概述	1
1.1 太阳能光伏发电的特点及应用	1
1.1.1 太阳能光伏发电简介	1
1.1.2 太阳能光伏发电的优点	2
1.1.3 太阳能光伏发电的缺点	2
1.1.4 太阳能光伏发电的应用	3
1.2 太阳能光伏发电系统的构成、工作原理与分类	4
1.2.1 太阳能光伏发电系统的构成	4
1.2.2 太阳能光伏发电系统的工作原理	5
1.2.3 太阳能光伏发电系统的分类	6
1.3 独立光伏发电系统	7
1.3.1 无蓄电池的直流光伏发电系统	7
1.3.2 有蓄电池的直流光伏发电系统	8
1.3.3 交流及交、直流混合光伏发电系统	8
1.3.4 市电互补型光伏发电系统	8
1.4 并网光伏发电系统	9
1.4.1 有逆流并网光伏发电系统	9
1.4.2 无逆流并网光伏发电系统	10
1.4.3 切换型并网光伏发电系统	10
1.4.4 有储能装置的并网光伏发电系统	11
第 2 章 太阳能光伏电池组件与方阵	12
2.1 太阳能电池组件的基本要求与分类	12
2.1.1 太阳能电池组件的基本要求	12
2.1.2 太阳能电池组件的分类	13
2.2 晶体硅太阳能电池组件的构成与工作原理	13
2.2.1 普通型太阳能电池组件	13

2.2.2	建材型太阳能电池组件	15
2.3	太阳能电池组件的制造	19
2.3.1	电池组件的主要原材料及部件	19
2.3.2	电池组件的板型设计	26
2.3.3	电池组件生产流程和工序	27
2.3.4	太阳能电池组件的性能参数	30
2.3.5	太阳能电池组件的技术要求和检验测试	31
2.4	太阳能电池方阵	32
2.4.1	太阳能电池方阵的组成	32
2.4.2	太阳能电池方阵组合的计算	35
第3章	太阳能光伏系统的控制器和逆变器	36
3.1	太阳能光伏控制器	36
3.1.1	光伏控制器的分类及电路原理	36
3.1.2	光伏控制器的主要性能特点	44
3.1.3	光伏控制器的主要技术参数	46
3.1.4	光伏控制器的配置选型	47
3.2	太阳能光伏逆变器	48
3.2.1	逆变器的分类	48
3.2.2	逆变器的电路结构及主要元器件	49
3.2.3	离网独立型逆变器的电路原理	51
3.2.4	并网型逆变器的电路原理	56
3.3	光伏逆变器的技术参数与配置选型	60
3.3.1	光伏逆变器的主要性能特点	60
3.3.2	光伏逆变器的主要技术参数	61
3.3.3	光伏逆变器的配置选型	63
第4章	太阳能光伏发电储能电池及器件	65
4.1	铅酸蓄电池	65
4.1.1	铅酸蓄电池的分类、结构与原理	65
4.1.2	铅酸蓄电池的基本概念与技术术语	67
4.1.3	铅酸蓄电池的型号识别	69
4.1.4	胶体型铅酸蓄电池	70
4.1.5	铅酸蓄电池的使用要点	71
4.2	其他储能电池及器件	74
4.2.1	碱性蓄电池	74
4.2.2	锂离子蓄电池	74
4.2.3	镍氢电池	76
4.2.4	超级电容器	76

第 5 章 太阳能光伏发电系统的容量设计	82
5.1 系统的设计原则、步骤和内容	82
5.1.1 系统设计原则	82
5.1.2 设计步骤和内容	82
5.2 与设计相关的因素和技术条件	83
5.2.1 系统用电负载的特性	83
5.2.2 当地的太阳能辐射资源及气象地理条件	83
5.2.3 发电系统的类型、安装场所和方式	87
5.3 太阳能光伏发电系统容量的设计与计算	88
5.3.1 设计的基本思路	88
5.3.2 太阳能电池组件及方阵的设计方法	89
5.3.3 蓄电池和蓄电池组的设计方法	91
5.4 其他几种计算公式和设计方法	95
5.4.1 以峰值日照时数为依据的简易计算方法	95
5.4.2 以年辐射总量为依据的计算方法	96
5.4.3 以年辐射总量和斜面修正系数为依据的计算方法	97
5.4.4 以峰值日照时数为依据的多路负载计算方法	98
5.4.5 以峰值日照时数和两段阴雨天间隔天数为依据的计算方法	100
5.4.6 并网光伏(光伏建筑一体化)发电系统容量的设计与计算	102
5.4.7 有关太阳能辐射能量的换算	103
5.4.8 太阳能发电系统功率与带负载配置速查表	104
第 6 章 太阳能光伏发电系统的整体配置与相关设计	106
6.1 太阳能光伏发电系统的整体配置	106
6.1.1 太阳能光伏发电系统的配置构成	106
6.1.2 设备、部件的配置和选型	107
6.2 太阳能光伏发电系统的相关设计	124
6.2.1 太阳能光伏组件(方阵)支架和基础的设计	124
6.2.2 直流接线箱的设计	130
6.2.3 交流配电柜的设计	132
6.2.4 防雷与接地系统的设计	133
6.3 太阳能光伏发电系统配置设计实例	140
6.3.1 某大厦采光廊架离网光伏发电系统设计方案	140
6.3.2 100kW 并网光伏发电系统设计方案	143
第 7 章 太阳能光伏发电系统的安装施工与检查测试	147
7.1 太阳能光伏发电系统的安装施工	147
7.1.1 太阳能电池组件及方阵的安装施工	147

太阳能光伏发电系统设计施工与维护

7.1.2	光伏控制器和逆变器等电气设备的安装	149
7.1.3	防雷与接地系统的安装施工	149
7.1.4	蓄电池组的安装	151
7.1.5	线缆的铺设与连接	152
7.2	太阳能光伏发电系统的检查测试	152
7.2.1	光伏发电系统的检查	152
7.2.2	光伏发电系统的测试	153
第 8 章	太阳能光伏发电系统的运行维护与故障排除	157
8.1	太阳能光伏发电系统的运行维护	157
8.1.1	太阳能光伏发电系统的日常检查和定期维护	157
8.1.2	太阳能光伏组件方阵的检查维护	158
8.1.3	蓄电池（组）的检查维护	158
8.1.4	光伏控制器和逆变器的检查维护	159
8.1.5	配电柜及输电线路的检查维护	159
8.1.6	防雷接地系统的检查维护	159
8.2	太阳能光伏发电系统的故障排除	159
8.2.1	太阳能电池组件与方阵的常见故障	159
8.2.2	蓄电池的常见故障及解决方法	159
8.2.3	光伏控制器的常见故障	161
8.2.4	逆变器的常见故障	161
附录 1	太阳能光伏发电词语解释	162
附录 2	光伏发电常用晶体硅太阳能电池组件规格尺寸与技术参数	165
附录 3	光伏发电系统常用蓄能电池及器件的规格尺寸与技术参数	167
参考文献		175

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，使读者对太阳能光伏发电系统有一个大致的了解。

1.1 太阳能光伏发电的特点及应用

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，太阳能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 1-1 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

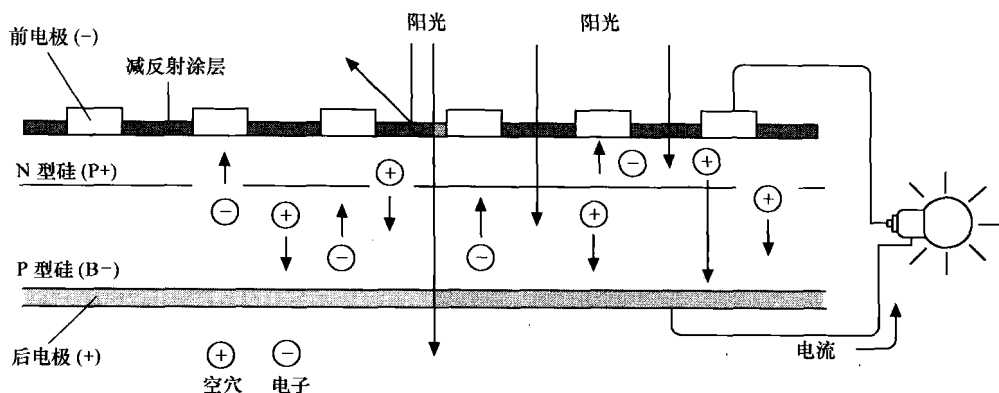


图 1-1 太阳能光伏电池发电原理

太阳能光伏发电系统设计施工与维护

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。

1.1.2 太阳能光伏发电的优点

太阳能光伏发电发电过程简单, 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。

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。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 kW 光伏发电功率占地约需 100 m^2 ,平均每平方米面积发电功率为 100 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。

1.1.4 太阳能光伏发电的应用

太阳能电池及光伏发电系统现在已经广泛应用于工业、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。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,士兵 GPS 供电等。

(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,交通警示灯、标志灯、信号灯,公路太阳能路灯,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。

(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太阳能光伏户用系统、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。应用 1~5kW 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。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 10kW~50MW 的地面独立或并网光伏电站、风光(柴)互补电站、各种大型停车厂充电站等。

(7) 太阳能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。

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

通过太阳能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,也可叫太阳能电池发电系统。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。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。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。

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 1-2 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

太阳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。

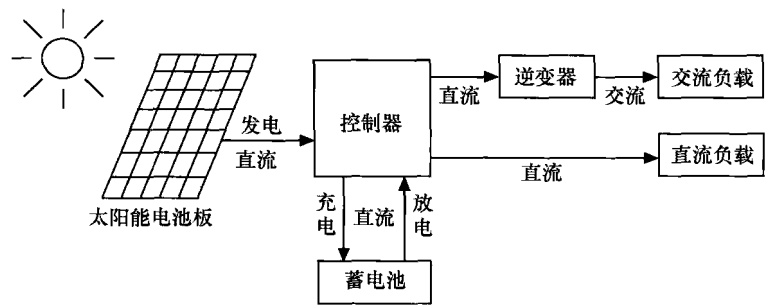


图 1-2 独立型太阳能光伏发电系统工作原理

图 1-3 是并网型太阳能光伏发电系统工作原理示意图。并网型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传输控制和显示数据。

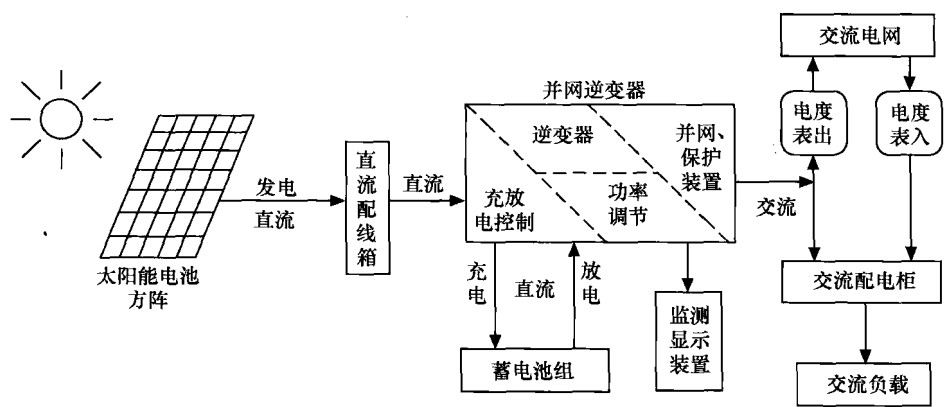


图 1-3 并网型太阳能光伏发电系统工作原理

1.2.3 太阳能光伏发电系统的分类

太阳能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 and 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。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分类及用途

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，太阳能电池手机充电器，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，高速公路监控系统，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
独立光伏发电系统	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
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
	无逆流并网光伏发电系统	一般住宅；建筑物；光伏建筑一体化
	切换型并网光伏发电系统	一般住宅；重要及应急负载；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。主要由太阳能电池组件、控制器、蓄电池组成，若要为交流负载供电，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 1-4 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。太阳能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，也没有蓄电池储能装置。该系统的优点是省去了能量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。

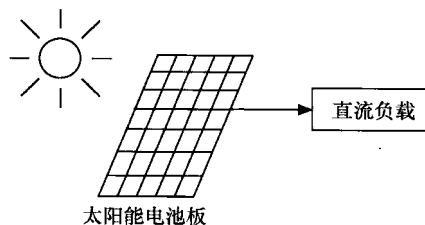


图 1-4 无蓄电池直流光伏系统

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 1-5 所示。该系统由太阳能电池、充放电控制器、蓄电池以及直流负载等组成。有阳光时，太阳能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。

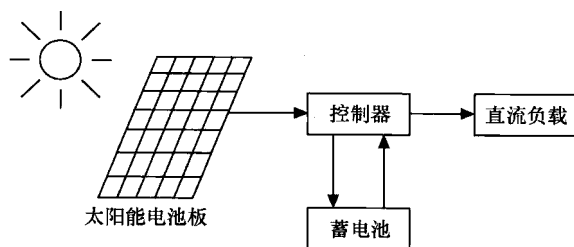


图 1-5 有蓄电池的直流光伏发电系统

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 1-6 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。

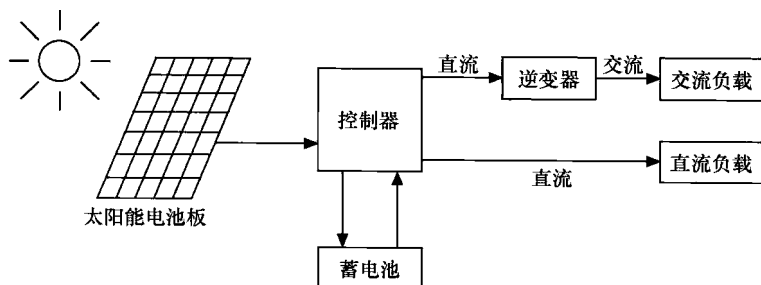


图 1-6 交流和交、直流混合光伏发电系统

1.3.4 市电互补型光伏发电系统

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