

太阳能 光伏发电技术

谢军 / 主编

TAIYANGNENG
GUANGFU FADIAN JISHU



太阳能光伏发电技术

主 编 谢 军
副主编 汤代斌 郭 婷
参 编 马卫民 余搏立 尹晓落



机械工业出版社

本书共分为7章,分别从太阳能光伏发电系统的各个组成部分,较为系统、全面地介绍了光伏发电系统的基础知识、应用技术与实验实训,内容包括:光伏发电系统、太阳能电池、储能单元、控制器、逆变器、太阳能光伏发电系统的设计、光伏发电技术实验及实训。

本书可以作为高职院校光伏发电技术与应用及相关专业教材,还可作为从事光伏产业的工程技术人员的培训教材或参考书。

为便于教学,本书配套有电子课件、习题答案等教学资源,选择本书作为教材的教师可来电(010-88379195)索取,或登录 www.cmpedu.com 网站注册、免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能光伏发电技术/谢军主编. —北京:机械工业出版社,2017.12
ISBN 978-7-111-58839-9

I. ①太… II. ①谢… III. ①太阳能发电 IV. ①TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第000065号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:柳瑛 责任编辑:柳瑛 责任校对:张薇

封面设计:马精明 责任印制:张博

河北鑫兆源印刷有限公司印刷

2018年2月第1版第1次印刷

184mm×260mm·8.25印张·192千字

0001—1000册

标准书号:ISBN 978-7-111-58839-9

定价:23.00元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

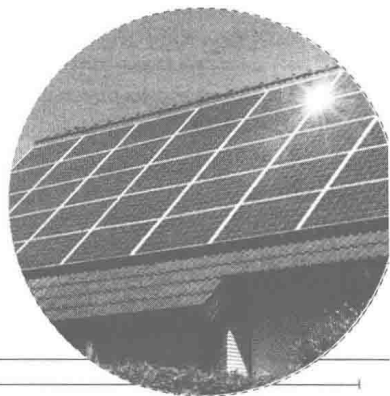
机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

前言



能源是国民经济发展的重要基础之一。随着国民经济的发展,能源的缺口增大,能源安全及能源在国民经济中的地位越显突出。我国是世界上少数几个能源结构以煤为主的国家之一,也是世界上最大的煤炭消费国,燃煤造成的环境污染日益突出。从我国目前能源生产及能源消费的实际状况出发,发展新能源及高效节能的技术及产品是保证我国可持续发展的重要举措。因此,大力发展新能源和可再生能源是我国未来的能源发展战略要求。太阳能光伏发电是新能源和可再生能源家族的重要成员之一。近年来我国出台了一系列鼓励太阳能光伏产业发展的政策,积极推动其发展。

2017年上半年,我国新增光伏发电装机容量2440万kW,同比增长9%,其中,光伏电站1729万kW,同比减少16%;分布式光伏711万kW,同比增长2.9倍。2007年6月新增光伏发电装机容量达1315万kW,同比增长16%,其中,光伏电站1007万kW,同比减少8%;分布式光伏308万kW,同比增长8倍。截至6月底,我国光伏发电装机容量已达到10182万kW,其中,光伏电站8439万kW,分布式光伏1743万kW。我国光伏产业的发展前景十分广阔。

“太阳能光伏发电技术”是光伏技术专业重要的专业核心课,也是一门跨光学、机电、化学等多领域的综合性课程,具有很强的理论性和实践性。本书以太阳能光伏发电系统结构为主线,系统、全面地介绍了光伏发电系统的基础知识、组成结构、系统设计以及应用技术,同时还配有相应的实验和实训,理论结合实际,有利于实现“做中学、学中做”。

本书在内容设计上,力求做到向下延伸,特别对于跨领域的光学及化学知识进行了深入浅出的讲解。在实验实训的环节,设计力求简单易行,既方便教师教学,又方便学生自学,让学生能快速了解和掌握太阳能光伏发电技术,同时又能在实训中巩固和强化。

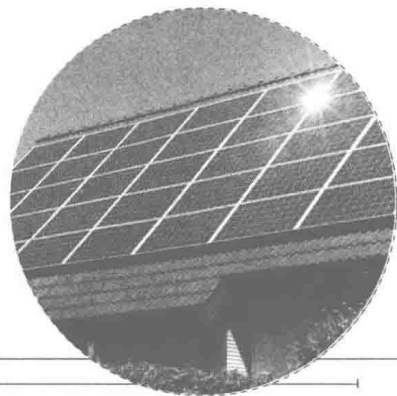
本书由安徽职业技术学院谢军担任主编,安徽机电职业技术学院汤代斌、陕西航天职工大学郭婷担任副主编,全书由谢军统稿。

本书是安徽省省级规划教材,同时也是安徽省省级新能源应用技术专业综合改革试点建设的成果体现。

编写中参考了不少书籍、文章,在此谨向相关作者致以谢意。

由于编者水平有限,书中难免有不当和疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

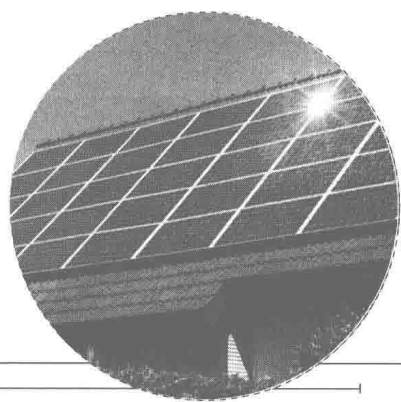
编者



目 录

| | |
|------------------------|----|
| 前言 | |
| 第 1 章 光伏发电系统 | 1 |
| 1.1 光伏发电系统的工作原理 | 1 |
| 1.2 光伏发电系统的组成 | 1 |
| 1.3 光伏发电系统的分类 | 4 |
| 1.3.1 独立光伏发电系统 | 4 |
| 1.3.2 并网光伏发电系统 | 5 |
| 1.3.3 混合发电系统 | 8 |
| 1.4 光伏发电系统应用 | 9 |
| 1.4.1 分布式光伏电站 | 9 |
| 1.4.2 集中式光伏电站 | 10 |
| 1.4.3 其他应用 | 11 |
| 习题 | 12 |
| 第 2 章 太阳能电池 | 14 |
| 2.1 太阳能电池的工作原理、特性及分类 | 14 |
| 2.1.1 太阳能电池发电的基本原理及结构 | 14 |
| 2.1.2 太阳能电池的基本特性 | 16 |
| 2.1.3 太阳能电池的分类 | 20 |
| 2.2 太阳能电池的生产工艺流程 | 23 |
| 2.3 太阳能电池组件 | 29 |
| 2.3.1 太阳能电池组件的种类和特征 | 30 |
| 2.3.2 太阳能电池组件的封装结构 | 31 |
| 2.3.3 太阳能电池组件的封装设备 | 32 |
| 2.3.4 太阳能电池组件的封装工艺 | 33 |
| 2.4 太阳能电池方阵 | 35 |
| 2.4.1 太阳能电池方阵的组成 | 35 |
| 2.4.2 太阳能电池方阵的设计 | 37 |
| 2.4.3 太阳能电池方阵的安装与维护 | 38 |
| 习题 | 39 |
| 第 3 章 储能单元 | 40 |
| 3.1 蓄电池的基本知识 | 40 |
| 3.1.1 铅酸蓄电池 | 40 |
| 3.1.2 镍镉电池 | 45 |
| 3.1.3 锂电池 | 46 |
| 3.2 蓄电池的一般设计知识 | 48 |
| 3.2.1 基本概念 | 48 |
| 3.2.2 基本公式 | 48 |
| 3.2.3 完整的蓄电池容量设计计算 | 49 |
| 3.2.4 太阳能电池方阵设计 | 49 |
| 3.3 光伏系统使用蓄电池的选型、使用和维护 | 51 |
| 3.3.1 蓄电池的选型 | 51 |
| 3.3.2 蓄电池的使用和维护 | 52 |
| 3.4 超级电容器 | 53 |
| 习题 | 54 |
| 第 4 章 控制器 | 56 |
| 4.1 控制器的工作原理 | 56 |
| 4.2 控制器的分类 | 57 |
| 4.3 控制器的主要性能参数及选型 | 64 |
| 习题 | 66 |
| 第 5 章 逆变器 | 67 |
| 5.1 逆变器的基础知识 | 67 |
| 5.2 单相逆变器 | 73 |
| 5.3 三相逆变器 | 77 |
| 5.4 逆变器的控制技术 | 80 |
| 5.4.1 SPWM 控制技术 | 80 |
| 5.4.2 孤岛效应 | 83 |
| 5.4.3 低电压穿越 | 86 |
| 习题 | 87 |
| 第 6 章 太阳能光伏发电系统的设计 | 89 |
| 6.1 独立光伏发电系统的容量设计 | 89 |
| 6.1.1 独立光伏发电系统的容量设计步骤 | 89 |
| 6.1.2 计算所需电量 | 89 |

| | | | |
|------------------------------|------------|---------------------------------|------------|
| 6.1.3 蓄电池容量设计 | 89 | 7.3.3 使用的器材操作步骤 | 111 |
| 6.1.4 太阳能电池方阵功率设计 | 90 | 7.3.4 小结 | 112 |
| 6.1.5 太阳能电池方阵倾角设计 | 91 | 7.4 光线传感器 | 112 |
| 6.1.6 有关太阳辐射能量的换算 | 92 | 7.4.1 实训的目的和要求 | 112 |
| 6.2 并网光伏发电系统容量设计 | 93 | 7.4.2 基本原理 | 112 |
| 6.3 光伏发电系统的硬件设计 | 94 | 7.4.3 实训内容 | 113 |
| 6.4 光伏发电系统的软件设计 | 95 | 7.4.4 操作步骤 | 113 |
| 6.5 太阳能发电系统的系统优化 | 102 | 7.4.5 小结 | 114 |
| 习题 | 103 | 7.5 设计太阳能电池组件光源跟踪控制 程序 | 114 |
| 第7章 光伏发电技术实验及实训 | 104 | 7.5.1 实训的目的和要求 | 114 |
| 7.1 安装太阳能电池方阵 | 104 | 7.5.2 基本原理 | 114 |
| 7.1.1 实训的目的和要求 | 104 | 7.5.3 实训内容 | 116 |
| 7.1.2 实训内容 | 104 | 7.5.4 使用的器材与操作步骤 | 116 |
| 7.1.3 使用的器材与操作步骤 | 104 | 7.5.5 小结 | 119 |
| 7.1.4 实训小结 | 106 | 7.6 模拟调试逆变与负载系统 | 120 |
| 7.2 组装光伏供电装置 | 106 | 7.6.1 实训的目的和要求 | 120 |
| 7.2.1 实训的目的和要求 | 106 | 7.6.2 基本原理 | 120 |
| 7.2.2 实训内容 | 106 | 7.6.3 实训内容 | 121 |
| 7.2.3 使用的器材与操作步骤 | 110 | 7.6.4 使用的器材与操作步骤 | 121 |
| 7.2.4 小结 | 110 | 7.6.5 小结 | 121 |
| 7.3 验证太阳能电池的输出特性 | 111 | 参考文献 | 123 |
| 7.3.1 实训的目的和要求 | 111 | | |
| 7.3.2 实训内容 | 111 | | |



光伏发电系统

随着现代工业的发展，在常规一次性能源匮乏、经济高速发展以及全球环境日益恶化的压力下，太阳能资源优势已得到全世界的高度重视，太阳能光伏行业正在迅速成长。面对全球范围内的能源危机和环境压力，人们渴望用可再生能源来代替常规能源。研究和实践证明，太阳能是资源最丰富的可再生能源，它分布广泛、可再生、不污染环境，是国际公认的理想替代能源。在长期能源战略中，太阳能光伏发电（简称光伏发电）将成为人类社会未来能源的基石、世界能源舞台的主角，它是太阳能利用的一种重要形式。利用太阳能电池方阵、充放电控制器、逆变器、测试仪表和计算机监控等电子设备，蓄电池或其他蓄能和辅助发电设备将太阳能转换为电能的发电系统称为太阳能光伏发电系统。

光伏发电系统具有以下特点：

- 1) 能量来源于太阳能，取之不尽，用之不竭。
- 2) 没有空气污染，不排放废水、废气、废渣。
- 3) 没有转动部件，不产生噪声，无需或极少需要维护。
- 4) 没有燃烧过程，不需要燃料。
- 5) 运行可靠性、稳定性好。
- 6) 作为关键部件的太阳能电池使用寿命长，晶体硅太阳能电池寿命可达 25 年以上。
- 7) 根据需要很容易扩大发电规模。

1.1 光伏发电系统的工作原理

光伏发电是根据半导体界面的光生伏特效应原理，利用太阳能电池将光能直接转变为电能。光伏发电系统主要由太阳能电池、控制器和逆变器三部分组成，白天在太阳光的照射下，太阳能电池产生一定的电动势，使得太阳能电池方阵电压达到系统输入电压的要求，然后在控制器和逆变器等部件的配合下，将所产生的直流电能转换成交流电能。

1.2 光伏发电系统的组成

光伏发电系统的规模和应用形式各异，系统规模跨度很大，但其组成结构基本相同。图 1-1 所示为直流负载的光伏发电系统，它主要由太阳能电池方阵、蓄电池、控制器、逆变器等设备组成。各部分设备作用如下：

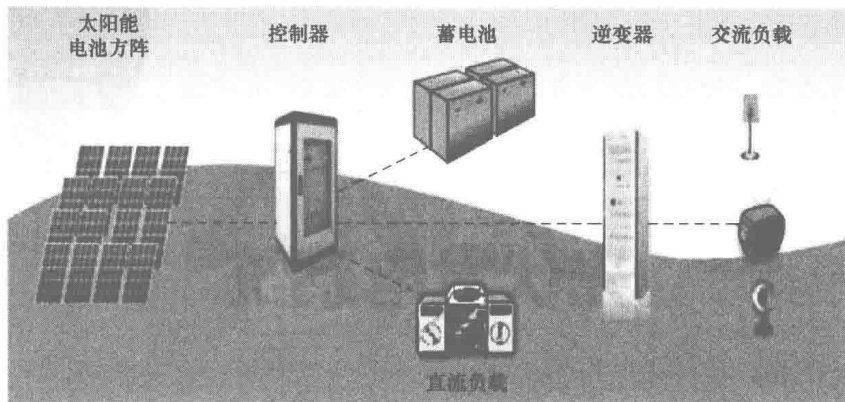


图 1-1 直流负载的光伏发电系统

1. 太阳能电池方阵

一个太阳能单体电池只能产生大约 0.5V 电压，远低于实际应用系统所需要的电压，因此需要将太阳能单体电池通过互连带（涂锡铜带）连接成组件。多晶硅组件的规格主要有 60 片多晶电池片组件和 72 片多晶硅电池片组件。当需要更高的电压和电流时，可以将多个组件按照系统逆变器输入电压的需求串、并联组成太阳能电池方阵。太阳能电池方阵是光伏发电系统的核心部分，也是光伏发电系统中价值最高的部分，其作用是将太阳的辐射能转换为电能，或送往蓄电池中储存起来，或带动负载工作。目前主流的晶硅电池组件额定功率为 255~325W，其中单晶硅电池组件的转换效率大约为 16%，多晶硅电池组件的转换效率大约为 15%。要安装太阳能电池方阵需要占用一定的面积，例如 3kW 的太阳能电池阵列大约占 20~30m² 的面积。

太阳能电池方阵的电路图如图 1-2 所示，由太阳能电池组件构成的纵列组件、逆流防止元件（防逆流二极管）VD_s、旁路元件（旁路二极管）VD_b 以及端子箱体等组成。纵列组件是根据所需输出电压将太阳能电池组件串联而成的电路。各纵列组件经逆流防止元件并联而成。

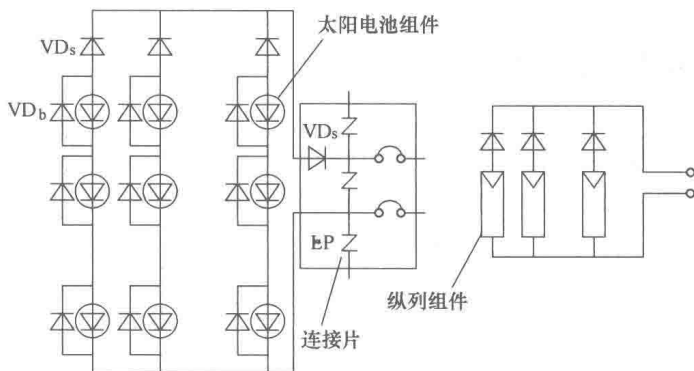


图 1-2 太阳能电池方阵电路图

当某一太阳能电池组件被树叶、日影覆盖的时候，几乎不能发电。此时，方阵中各纵列组件之间的电压会出现不相等、不平衡的情况，引起各纵列组件间、阵列间环流以及逆变器等设备的电流逆流情况。为了防止逆流现象的发生，需要在各纵列组件上串联防逆流二极

管。防逆流二极管一般装在接线盒内，也有安装在太阳能电池组件的端子箱内的。选用防逆流二极管时，一般要考虑所在回路的最大电流，并能承受该回路的最大反向电压。

另外，各太阳能电池组件都接有旁路二极管。当太阳能电池方阵部分被日影遮盖或组件的某部分出现故障时，电流将不流过未发电的组件而流经旁路二极管，并为负载提供电力。如果不接旁路二极管，各纵列组件的输出电压的合成电压将对未发电的组件形成反向电压，出现过热部分，还会导致电池方阵的输出电能下降。

一般来说，1~4块组件并联一个旁路二极管，安装在太阳能电池背面的端子盒的正负极之间。选择旁路二极管时应使其能通过纵列组件的短路电流，反向耐压为纵列组件的最大输出电压的1.5倍以上。图1-3所示为太阳能电池方阵的实际构成图，图1-3a所示为纵列组件，图1-3b所示为根据所需容量将多个纵列组件并联而成的太阳能电池方阵。

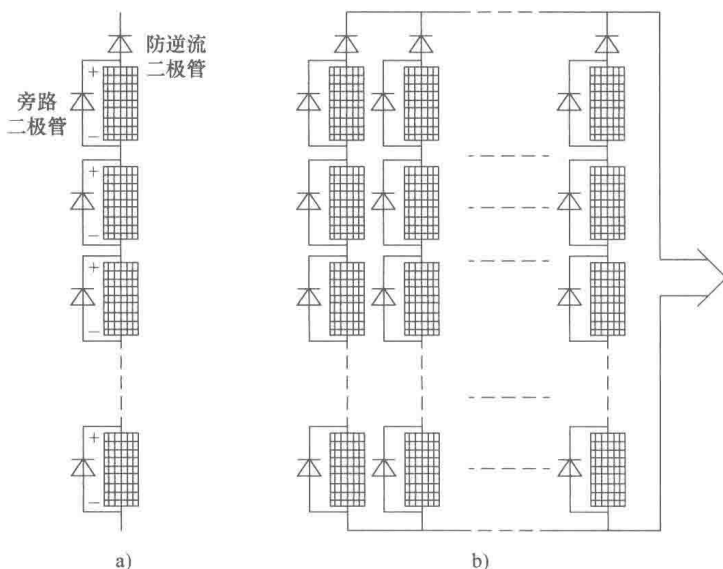


图 1-3 太阳能电池方阵实际构成图

2. 汇流箱

光伏阵列汇流箱（简称汇流箱）为室外设备，其主要作用是将多路纵列组件汇总到一块实现并联，该装置主要包括太阳能电池方阵输入回路、汇流输出回路、浪涌保护装置、防逆流保护装置、输出控制装置、光伏监控单元等，如图1-4所示。

3. 蓄电池

蓄电池的作用是将太阳能电池组件产生的电能储存起来，当光照不足或晚上，或者负载需求大于太阳能电池组件所发的电量时，将储存的电能释放，以满足负载的能量需求。它是独立光伏发电系统的储能部件。目前我国与独立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 $200\text{A}\cdot\text{h}$ 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，每个蓄电池（单体）的额定电压为 DC 2V；配套 $200\text{A}\cdot\text{h}$ 以下的铅酸蓄电池，一般选用小型密封免维护铅酸蓄电池，每个蓄电池的额定电压为 DC 12V。

4. 控制器

控制器能对蓄电池的充、放电条件加以规定和控制，并按照负载的电源需求控制太阳能

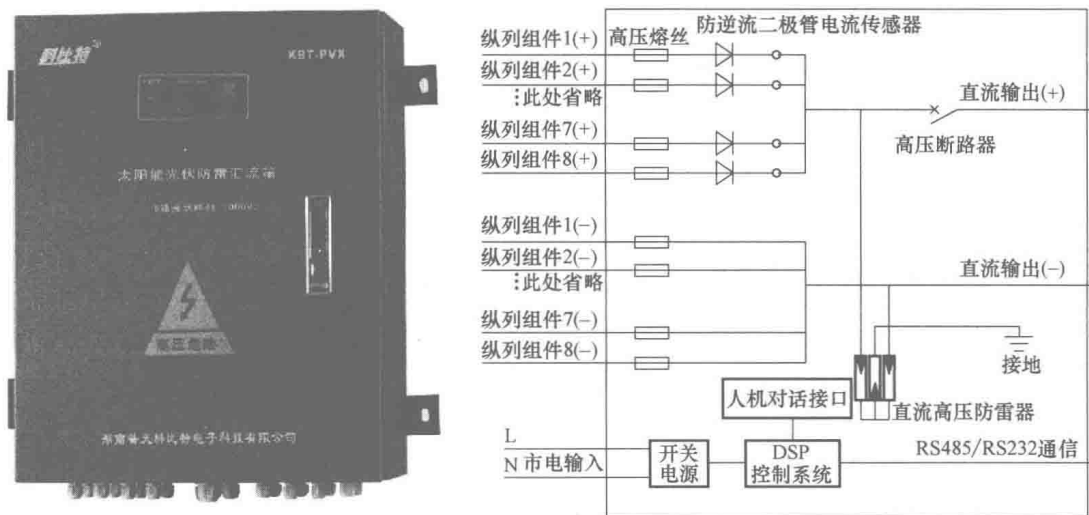


图 1-4 汇流箱电路图

电池组件和蓄电池对负载输出电能。它是整个系统的核心控制部分。随着光伏产业的发展，控制器的功能越来越强大，而且有将传统的控制、逆变部分集成在一起的趋势。

5. 逆变器

逆变器是将直流电转换成交流电的设备。在带有交流负载的太阳能光伏发电系统中，通过逆变器将太阳能电池组件产生的直流电或者蓄电池释放的直流电转化为负载需要的交流电。

1.3 光伏发电系统的分类

按供电特点划分，一般将光伏发电系统分为独立光伏发电系统（或称离网系统）、并网光伏发电系统和混合发电系统。

1.3.1 独立光伏发电系统

独立光伏发电系统是利用太阳能电池组件方阵直接将太阳辐射能转为电能，且不需与常规电力系统相连而独立运行的光伏系统。在这种系统中，要把使用的电量限制在系统的发电量以下，在太阳光照射下，太阳能电池将产生的电能通过控制器直接给负载供电，或者在满足负载需求的情况下将多余的电力充给蓄电池进行能量储存。当日照不足或者在夜间系统不能发电时，则由蓄电池直接给直流负载供电或者通过逆变器给交流负载供电。这样的系统多用在离电网较远的山区、岛屿等地区。

独立光伏发电系统按照供电类型可分为直流系统、交流系统和交直流混合系统，其主要区别是系统中是否有逆变器。一般来说，独立光伏发电系统主要是由太阳能电池方阵、控制器、蓄电池、汇流箱等组成。若输出电源为交流 220V 或 110V，则需要配置逆变器。独立光伏发电系统组成框架如图 1-5 所示。

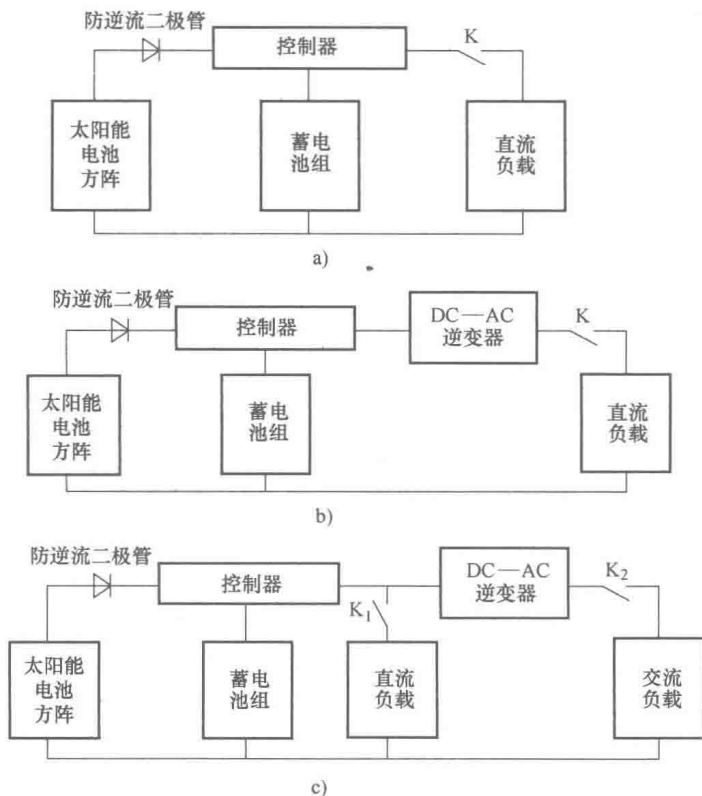


图 1-5 独立光伏发电系统组成框图
a) 直流系统 b) 交流系统 c) 交直流混合系统

1.3.2 并网光伏发电系统

除独立光伏发电系统外，并网光伏发电系统也是太阳能发电的一种重要形式。独立光伏发电系统因不需要与公共电网相连接，所以必须增加储能元件，且常规储能元件（如蓄电池等）寿命太短，在很大程度上增加了系统的成本。若并网光伏发电系统不经过蓄电池储能，直接通过并网逆变器接入电网，则建设和维护成本较低，因此，并网光伏发电系统是现在和未来太阳能发电的主流形式。

并网光伏发电系统主要由太阳能电池方阵、光伏并网逆变电源等组成。并网逆变器将太阳能电池方阵所发出的直流电逆变为正弦交流电并入电网中。除此之外，为了便于计量从电网买入和售出给电网的电能，在并网光伏发电系统中一般还会加入电能表。并网光伏发电系统结构框图如图 1-6 所示。

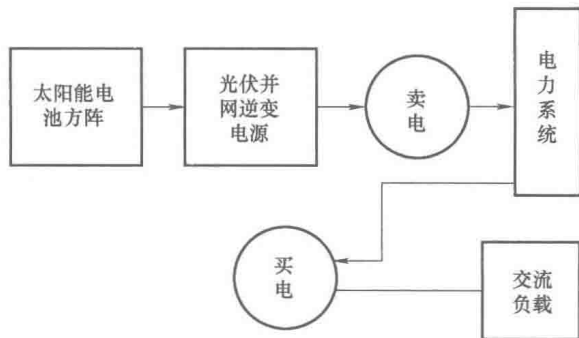


图 1-6 并网光伏发电系统结构框图

1. 以所产生的电能能否返送到电力系统分类

并网光伏发电系统根据其所产生的电能能否返送到电力系统，可以分为有

逆流型并网发电系统、无逆流型并网发电系统。

(1) 有逆流型并网发电系统 有逆流型并网系统是相对于并网发电系统与电网的电流流向而言的。图 1-7 是有逆流型并网发电系统示意图。当并网发电系统的发电量除满足本身交流用电负载使用还有电力剩余时，因为这类并网发电系统中没有储能元件，所以将部分剩余电流通过电缆输入电网，以免在发电量剩余时造成浪费，充分发挥光伏发电系统的效能，由于是同电网的供电方向相反，因此称为逆流。在太阳能电池方阵所发出的电力达不到用户负载要求时，系统又可以从电网中得到负载所需要的电能，所以系统的效能比达到最高。这种系统用于当光伏发电系统的发电能力大于负载或发电时间与负载用电时间不匹配的情况。

有逆流型并网发电系统一般省去蓄电池，这对于系统成本的减少、系统维护和检修费用的降低有重要意义。有逆流型并网发电系统在分布式光伏发电以及光伏建筑一体化等光伏发电系统中正得到越来越广泛的应用。目前国内外普遍采用的并网光伏发电系统就是有逆流型并网系统。

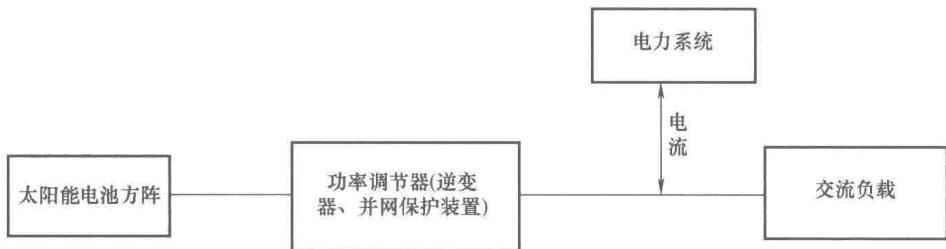


图 1-7 有逆流型并网发电系统示意图

(2) 无逆流型并网发电系统 无逆流型并网发电系统如图 1-8 所示。无逆流型并网系统与有逆流型并网系统相比，当并网光伏发电系统发电量有剩余时，不输入电网，只能通过某种手段加以处理或放弃，因此称为不可逆流。无逆流型并网系统要对交流用电负载功率进行非常准确的估算，否则当太阳能电池方阵的电能过剩时既无法储存也无法输入电网，对资源是一种极大的浪费。但与有逆流型并网系统相同的是，当太阳能电池方阵所发的电量无法满足负载用电需要时，光伏发电系统可以从电网得到电能，以满足系统需要。这种系统适用于光伏发电系统的发电能力小于或等于负载的情况。

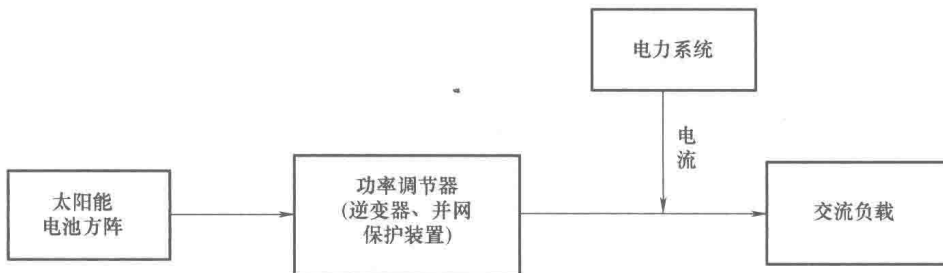


图 1-8 无逆流型并网发电系统示意图

2. 以用电类型分类

并网光伏发电系统根据用电类型，又可以分为直、交流型并网发电系统，切换性并网发

电系统和地域型并网发电系统。

(1) 直、交流型并网发电系统 该系统就是将光伏发电系统所产生的直流电直接供用电设备使用。该系统有时与电力系统并用，主要目的是提高供电的可靠性。图 1-9a 为直流型并网光伏发电系统示意图。由于负载需要直流电供应，而太阳能电池方阵发出的电力为直流电源，所以直流型并网光伏发电系统所产生的电能可以直接供直流负载设备使用。图 1-9b 为交流型并网光伏发电系统示意图，它可以为交流负载提供电能。图中实线部分表示正常情况下的电能流向，虚线部分表示特殊或发生灾难情况下的电流流向。

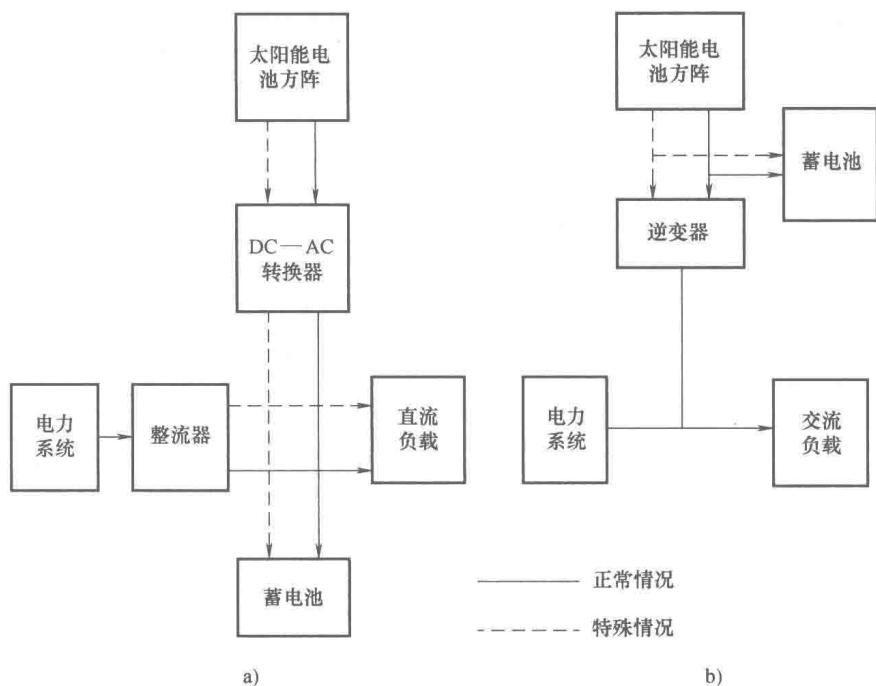


图 1-9 直、交流型并网发电系统示意图

a) 直流系统 b) 交流系统

(2) 切换型并网发电系统 切换型并网系统顾名思义就是可以进行切换的并网系统。确切来讲即在正常情况下，切换型并网系统与电网处于分离状态；当日照不充分或连续阴雨天以及其他情况时，太阳能电池方阵发出的电力无法满足负载供电要求时，切换装置自动将电路切向国家电网一边，由电网为负载供电。这种系统的特点是在系统设计蓄电池的容量时可选择容量相对较小的，这样可以大大减少系统的成本。切换型并网发电系统示意图如图 1-10 所示。

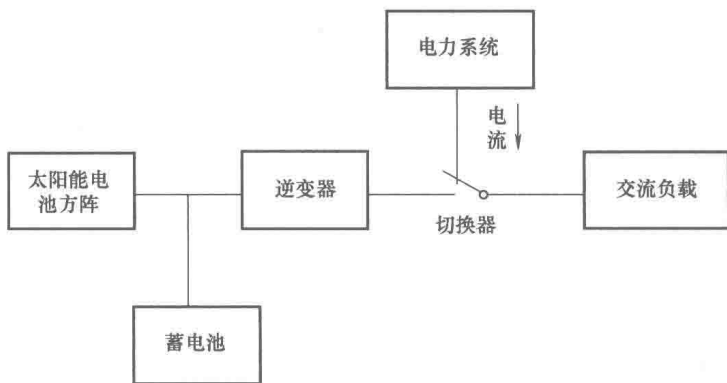


图 1-10 切换型并网发电系统示意图

(3) 地域型并网发电系统 地域型并网发电系统中发出的电能首先会向地域范围内的负载供电, 例如住宅用并网光伏发电系统, 当太阳能光伏电站发出的电力有剩余时, 会经过电能存储系统储存起来, 在储存后仍有剩余电能时可以通过连入国家电网卖给电力系统; 在太阳能光伏电站的电力不能满足负载用电的需要时, 先由区域电能存储系统供电, 仍无法满足负载用电需求时, 则从电力系统买入电能。地域型并网发电系统如图 1-11 所示。

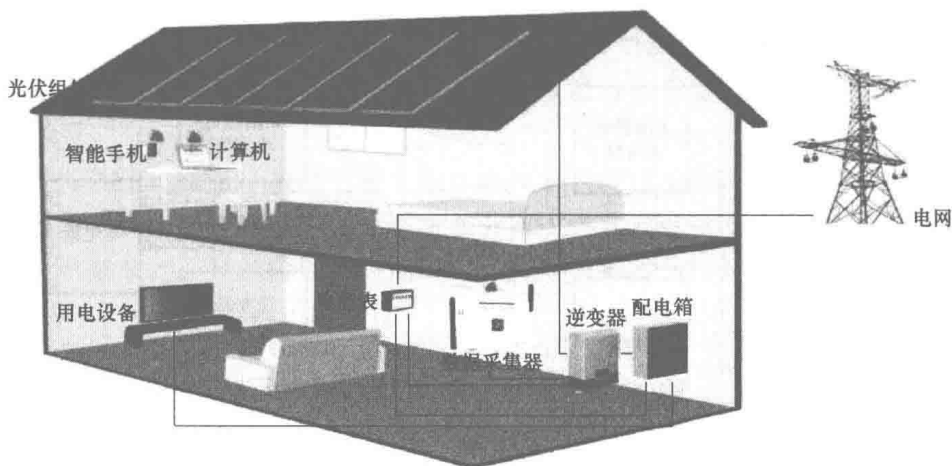


图 1-11 地域型并网发电系统示意图

1.3.3 混合发电系统

当太阳能光伏发电所提供的电力不足 (如遇到连续阴雨天气、冬季日照时间过短等), 需要使用其他能源来补充时, 可以将风力发电、燃料电池发电等其他发电系统与光伏发电系统并用, 这样的系统叫作混合发电系统。使用混合发电系统的目的就是综合利用各种发电技术的优点, 避免各自的缺点, 混合发电系统与单一能源的独立系统相比所提供的电源对天气的依赖性较小。

(1) 太阳能光伏、燃料电池混合发电系统 为综合利用能源、提高能源的利用率、节约电费、减少环境污染, 有时将燃料电池与太阳能光伏发电系统混合在一起用, 构成太阳能光伏、燃料电池混合发电系统。

(2) 光、柴混合发电系统 利用太阳能光伏和柴油机共同发电的系统称为光、柴混合发电系统。这种系统一般用于对用电要求非常高的场合。当太阳能光伏发电系统由于日照不足或阴雨天气无法满足用电负载要求时, 混合发电系统会自动起用柴油机发电来为系统供电。这种发电系统的特点

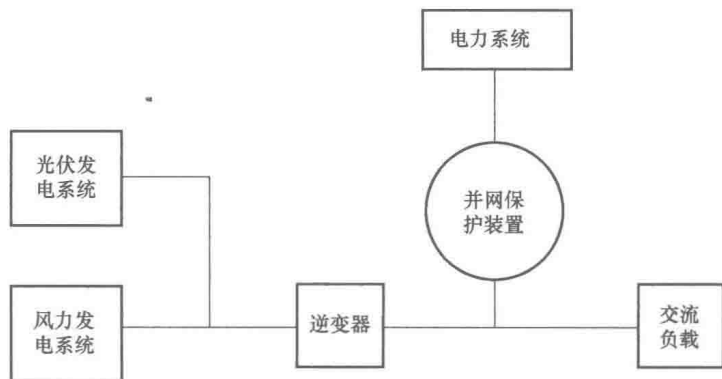


图 1-12 风、光互补型混合发电系统原理图

是供电稳定,大大提高了系统的稳定性和可靠性。此外,还大大节省了柴油机的耗油量,降低了同等系统的成本。

(3) 风、光互补型混合发电系统 当利用光伏发电提供的电力不足时,可以利用风力发电;当风力发电不足时,可以利用光伏发电,这样的系统称为风、光互补型混合发电系统,如图 1-12 所示。

风、光互补系统同时利用太阳能和风能发电,因此对气象资源的利用更加充分,可实现昼夜发电。在适宜气象条件下,风、光互补系统可提高系统供电的连续性和稳定性。由于通常夜晚无光照时恰好风力较大,所以互补性好,可以减少系统太阳能组件的配置,从而大大降低系统造价,单位容量的系统初投资和发电成本均低于独立的光伏发电系统。该系统发电有余时可向电力系统卖电;当该系统所发出的电能不足时,可以由电力系统供电。图 1-13 所示为风、光互补型混合发电系统应用实例图。



图 1-13 风、光互补型混合发电系统应用实例图

1.4 光伏发电系统应用

光伏发电系统主要用于分布式光伏电站、集中式光伏电站、空间站和卫星电源等方面。

1.4.1 分布式光伏电站

分布式光伏电站特指在用户场地附近建设,运行方式以用户侧自发自用、多余电量上网,且在配电环节平衡调节为特征的光伏发电设施。它具有以下特点:一是输出功率相对较小,一般而言,一个分布式光伏发电项目的容量在数千千瓦以内,光伏电站的大小对发电效率的影响很小,因此对其经济性的影响也很小,小型光伏系统的投资收益率并不会比集中式光伏电站低;二是污染小,环保效益突出,分布式光伏发电项目在发电过程中,没有噪声,也不会对空气和水产生污染;三是能够在一定程度上缓解局部地方的用电紧张状况。目前应用最为广泛的分布式光伏发电系统,是建在城市建筑物屋顶和农村的光伏发电项目。

分布式光伏发电系统通常在建筑物之上建设,从与建筑结合的形式上,可以分为附加式(BAPV, Building Attached Photovoltaic)光伏电站和集成式(BIPV, Building Integrated Photovoltaic)光伏电站两种类型。BAPV是指通过简单的支撑结构将光伏组件附着安装在建筑上的形式,不会增加建筑的防水、遮风等功能,通常所说的光伏屋顶即属于此范畴,如图 1-14 所示。BIPV则是应用太阳能发电的一种新概念,是将光伏组件或材料集成到建筑上,使其成为建筑物不可分割的一部分,光伏组件发挥遮风、挡雨、隔热等功能,移走光伏组件之后建筑将失去这些功能,如图 1-15 所示。早期的光伏建筑以 BAPV 为主,近期光伏建筑以 BIPV 为主。BIPV 组件可以划分为两种形式:一种是光伏屋顶结构,另一种是光伏幕墙结构。

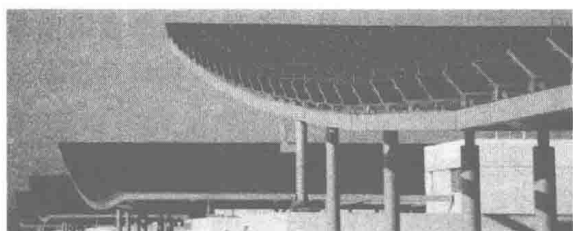


图 1-14 义乌国际商贸城三期市场 BAPV



图 1-15 上海世博会 BIPV

1.4.2 集中式光伏电站

集中式光伏电站通常是指充分利用荒漠地区丰富和相对稳定的太阳能资源构建大型光伏电站，接入高压输电系统供给远距离负载，如图 1-16 所示。它具有以下特点：一是由于选址更加灵活，光伏出力稳定性有所增加，并且充分利用太阳辐射与用电负载的正调峰特性，



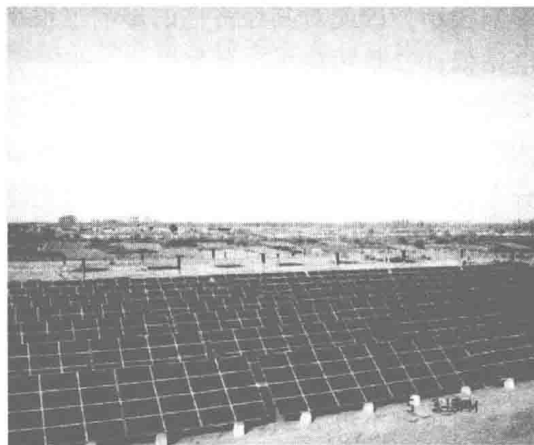
a)



b)



c)



d)

图 1-16 集中式光伏电站

a) 西班牙 Olmedilla 光伏电站 b) 西班牙 Almeria 光伏电站 c) 徐州协鑫光伏电站 d) 大唐甘肃武威光伏电站

起到削峰的作用；二是运行方式较为灵活，相对于分布式光伏可以更方便地进行无功和电压控制，参加电网频率调节也更容易实现；三是建设周期短，环境适应能力强，不需要水源、燃煤运输等原料保障，运行成本低，便于集中管理，受到空间的限制小，可以很容易地实现扩容。

1.4.3 其他应用

1. 在卫星上的太阳能应用

在有光照时，利用太阳能电池板供电并对蓄电池充电，无光照时则利用蓄电池供电运行。太空中的天气是有规律的，不像地球上一样有时阴天有时下雨，只有很少部分时间被地球挡住时没有光照。例如在天宫一号外部安置太阳翼，太阳能电池将光能转变为电能。如图 1-17 所示为空间站电源。

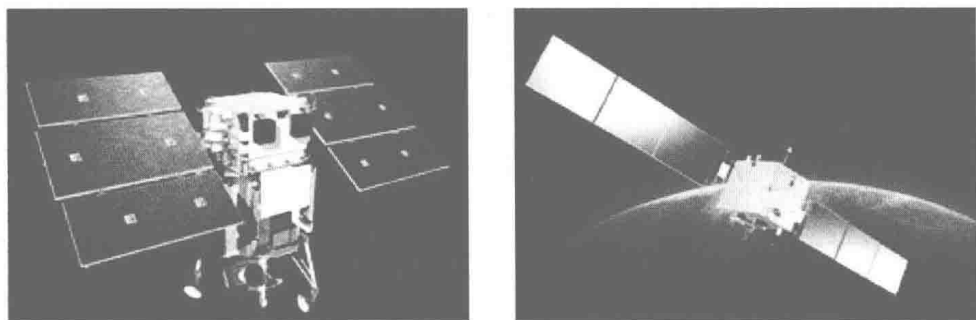


图 1-17 空间站电源

2. 太阳能发电的其他应用

太阳能路灯是一种利用太阳能作为能源的路灯，因其具有不受供电影响、不用开沟埋线、不消耗常规电能、只要阳光充足就可以就地安装等特点，受到人们的广泛关注，又因其不污染环境，而被称为绿色环保产品。太阳能路灯既可用于城镇公园、道路、草坪的照明，又可用于人口密度较低、交通不便、经济不发达、缺乏常规燃料，难以用常规能源发电，但太阳能资源丰富的地区。

太阳能路灯、公交候车亭，以及太阳能在农林牧渔等方面的应用等如图 1-18 所示。

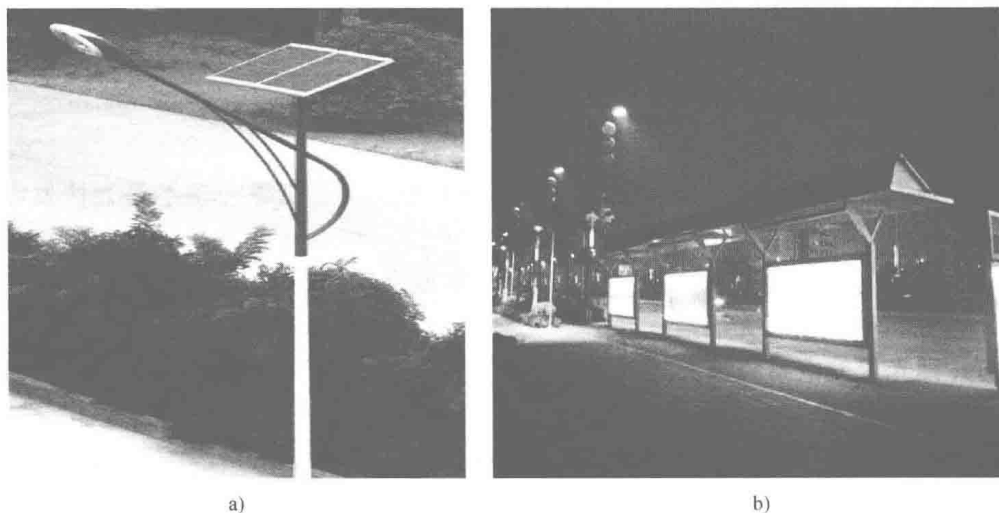


图 1-18 太阳能发电应用

a) 太阳能路灯 b) 太阳能公交候车亭