



全国高等职业教育规划教材

# 光伏电站的施工与维护

主 编 袁 芬  
副主编 吴红清

- 江苏省示范院校重点专业教改课程配套教材
- 校企合作编写，对接光伏电站，精选案例，实用性强
- 采用“项目-任务”的编写模式，突出“任务引领”的职业教育教学特色
- 理论联系实际，对光伏电站的施工、测试和维护具有可操作性



电子课件下载网址 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

 **机械工业出版社**  
CHINA MACHINE PRESS

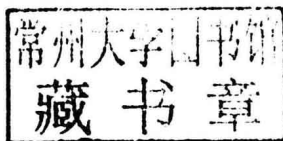
全国高等职业教育规划教材

# 光伏电站的施工与维护

主 编 袁 芬

副主编 吴红清

参 编 李松宁 王华东 冯圣生



机械工业出版社

本书是基于光伏类专业的工作任务、职业能力要求、发展趋势及其对人才要求的变化进行探索及改进的实用型新编教材。目的是要让学生掌握光伏电站现场施工测试和运营维护方面的基本知识和技能。书中主要介绍了光伏电站的分类、构成及系统设计,重点介绍了光伏电站的安装施工、检查测试、运行维护及故障排除,还介绍了光伏电站在设计、施工、测试与维护、运行中的新技术、新工艺和新方法。

本书采用项目化方式编写,内容系统翔实,图文并茂,具有较高的实用性,可供高职高专院校光伏类相关专业的学生使用,也适合从事太阳能光伏电站设计、施工、维护及应用方面的工程技术人员阅读。

本书配有授课电子课件,需要的教师可登录 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 免费注册,审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 1239258369, 电话: 010-88379739)。

## 图书在版编目(CIP)数据

光伏电站的施工与维护/袁芬主编. —北京:机械工业出版社, 2015.12  
全国高等职业教育规划教材  
ISBN 978-7-111-52516-5

I. ①光… II. ①袁… III. ①光伏电站—工程施工—高等职业教育—教材②光伏电站—维修—高等职业教育—教材 IV. ①TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第308083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:王颖 责任编辑:王颖

责任校对:张艳霞 责任印制:李洋

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2016年1月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·10.75印张·261千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-52516-5

定价:29.90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

网络服务

服务咨询热线:(010)88379833 机工官网:[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线:(010)88379649 机工官博:[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网:[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面无防伪标均为盗版

金书网:[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

# 全国高等职业教育规划教材 电子类专业编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 董维佳 俞 宁 杨元挺 任德齐  
华永平 吴元凯 蒋蒙安 祖 炬 梁永生

委 员 (按姓氏笔画排序)

于宝明 尹立贤 王用伦 王树忠 王新新 任艳君  
刘 松 刘 勇 华天京 吉雪峰 孙学耕 孙津平  
孙 萍 朱咏梅 朱晓红 齐 虹 张静之 李菊芳  
杨打生 杨国华 汪赵强 陈子聪 陈必群 陈晓文  
季顺宁 罗厚军 姚建永 胡克满 钮文良 夏西泉  
聂开俊 袁启昌 郭 兵 郭 勇 郭雄艺 高 健  
曹 毅 章大钧 黄永定 曾晓宏 程远东 谭克清  
戴红霞

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 蔡建军

# 出版说明

《国务院关于加快发展现代职业教育的决定》指出：到 2020 年，形成适应发展需求、产教深度融合、中职高职衔接、职业教育与普通教育相互沟通，体现终身教育理念，具有中国特色、世界水平的现代职业教育体系，推进人才培养模式创新，坚持校企合作、工学结合，强化教学、学习、实训相融合的教育教学活动，推行项目教学、案例教学、工作过程导向教学等教学模式，引导社会力量参与教学过程，共同开发课程和教材等教育资源。机械工业出版社组织全国 60 余所职业院校（其中大部分是示范性院校和骨干院校）的骨干教师共同策划、编写并出版的“全国高等职业教育规划教材”系列丛书，已历经十余年的积淀和发展，今后将更加结合国家职业教育文件精神，致力于建设符合现代职业教育教学需求的教材体系，打造充分适应现代职业教育教学模式的、体现工学结合特点的新型精品化教材。

“全国高等职业教育规划教材”涵盖计算机、电子和机电三个专业，目前在销教材 300 余种，其中“十五”“十一五”“十二五”累计获奖教材 60 余种，更有 4 种获得国家级精品教材。该系列教材依托于高职高专计算机、电子、机电 3 个专业编委会，充分体现职业院校教学改革和课程改革的需要，其内容和质量颇受授课教师的认可。

在系列教材策划和编写的过程中，主编院校通过编委会平台充分调研相关院校的专业课程体系，认真讨论课程教学大纲，积极听取相关专家意见，并融合教学中的实践经验，吸收职业教育改革成果，寻求企业合作，针对不同的课程性质采取差异化的编写策略。其中，核心基础课程的教材在保持扎实的理论基础的同时，增加实训和习题以及相关的多媒体配套资源；实践性较强的课程则强调理论与实训紧密结合，采用理实一体的编写模式；涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法，同时重视企业参与，吸纳来自企业的真实案例。此外，根据实际教学的需要对部分课程进行了整合和优化。

归纳起来，本系列教材具有以下特点。

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度，强调专业技术应用能力的训练，适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述容易理解、清晰简洁，多用图表来表达信息；增加相关技术在生产中的应用实例，引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新，及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念，并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合，提高教学服务水平，为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快，加之我们的水平和经验有限，因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和疏漏。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息，以利于我们今后不断提高教材的出版质量，为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

# 前 言

目前,我国已建立了较好的太阳能电池制造产业基础,太阳能电池产能、产量已居全球领先地位,这使得我国具备了大规模建设光伏电站的条件。分布式光伏发电充分利用了太阳能广泛存在的特点,并且避免了集中建设场地的限制因素,具有建设灵活的特点,光伏发电可以说是天生的分布式能源,分布式光伏发电是未来的重要发展方向。

“光伏电站的施工与维护”这门课是无锡科技职业学院国家级课改项目“光伏应用技术专业”中的专业核心课之一。该课程直接面向分布式光伏电站的生产实践和运行维护,在光伏技术专业中处于很重要的地位。本书是与该课程配套的教材。

本书是基于光伏类专业的工作任务、职业能力要求、发展趋势及其对人才要求的变化进行探索及改进的实用型新编教材,采用项目化方式编写,内容系统翔实,图文并茂,具有较高的实用性,可供高职高专院校光伏类相关专业的学生使用,也适合从事太阳能光伏电站设计、施工、维护及应用方面的工程技术人员阅读。

本书充分体现项目课程设计思想,以项目为载体实施教学,让学生在完成项目中的任务过程中逐步提高职业能力,同时也考虑了可操作性。达到了以下要求:

- 1) 根据该课程标准编写,教学内容必需、够用、实用。
- 2) 通过对光伏电站的学习,引入必需的理论知识,结合生产实践内容,强调理论在实践过程中的应用。
- 3) 本书图文并茂,表达精炼、准确、科学,能提高学生的学习兴趣,通过光伏电站的应用,加深学生对光伏电站施工与维护的认识。
- 4) 本书内容体现先进性、通用性、实用性,将本专业新技术、新工艺、新设备及时地纳入,更贴近本专业的发展和实际需要。
- 5) 书中的相关表格和图样的设计,可实际应用于光伏电站的施工与测试,具有可操作性。

本书由无锡科技职业学院袁芬任主编,江苏振发新能源科技发展有限公司运维中心总裁吴清红任副主编,无锡科技职业学院王华东和李松宁、江苏振发新能源科技发展有限公司运维中心工程项目经理冯圣生参编。感谢所有在本书写作过程中给予指导、帮助和鼓励的朋友,也感谢读者选择了本书。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏之处,敬请批评指正。

编 者

# 目 录

出版说明	
前言	
绪论	1
0.1 光伏电站的分类与构成	1
0.1.1 光伏电站的分类	1
0.1.2 光伏电站的构成	3
0.2 光伏电站的应用及特点	5
0.2.1 光伏电站的应用	5
0.2.2 光伏电站的特点	8
0.3 课程性质和内容	10
0.3.1 教学目标与定位	10
0.3.2 教学内容与方法	10
项目 1 光伏电站的整体设计	12
任务 1.1 独立光伏电站的设计	12
1.1.1 光伏电站设计原则、步骤和内容	12
1.1.2 独立光伏电站的设计原则	15
1.1.3 独立光伏电站设计结论	21
任务 1.2 并网光伏电站的设计	21
1.2.1 分布式光伏发电系统的概述	21
1.2.2 分布式并网发电系统设计的技术要点	23
1.2.3 佳讯工程——10.17MW 金太阳工程介绍	26
任务 1.3 光伏电站的设计与运行	34
1.3.1 站址选择	34
1.3.2 太阳能资源分析	34
1.3.3 光伏系统设计	35
1.3.4 电气系统设计	44
1.3.5 接入系统	45
项目 2 光伏电站的现场施工	52
任务 2.1 并网光伏电站的建设	52
2.1.1 政策解读	52
2.1.2 项目前期	53



2.1.3	项目立项	54
2.1.4	可研报告	56
2.1.5	项目建设	59
任务 2.2	光伏电站的安装施工	64
2.2.1	电池组件的生产制造工艺及其方阵组成部件	65
2.2.2	光伏电站的施工安装	68
任务 2.3	光伏电站的建设与运行	81
2.3.1	光伏电站建设	82
2.3.2	光伏电站验收	83
2.3.3	光伏电站的运行	86
项目 3	光伏电站的现场测试	90
任务 3.1	绝缘电阻和耐压的测试	90
3.1.1	光伏电站现场测试流程	90
3.1.2	并网光伏电站的检查和测试	92
3.1.3	绝缘电阻的测试	93
3.1.4	绝缘耐压及其他项目测试	96
任务 3.2	光伏阵列输出特性的测试	99
3.2.1	光伏阵列的组成与能量损失	99
3.2.2	光伏方阵组合的计算	101
3.2.3	光伏阵列输出功率的检查	102
3.2.4	光伏阵列输出特性的测试	102
任务 3.3	光伏电站的并网检测	105
3.3.1	光伏发电对电网的影响	105
3.3.2	配电网的规划设计	107
3.3.3	对电网经济性的影响	108
3.3.4	国内外光伏并网标准介绍	108
项目 4	光伏电站的运营与维护	119
任务 4.1	光伏方阵和蓄电池(组)的检查维护	119
4.1.1	光伏电站运行维护管理体系	119
4.1.2	光伏方阵的检查维护及故障排除	123
4.1.3	蓄电池(组)的检查维护及故障排除	126
任务 4.2	光伏控制器与逆变器的检查维护	128
4.2.1	太阳能光伏控制器	128
4.2.2	太阳能光伏逆变器	131
4.2.3	光伏控制器和逆变器检查维护与故障处理	140
任务 4.3	电站配电室及监控系统的运行维护	141
4.3.1	电站配电室的检查维护及故障排除	141
4.3.2	监控系统的运行维护与故障排除	147



4.3.3	变电站综合自动化系统	148
4.3.4	结论	151
任务 4.4	光伏电站典型故障及维修	152
4.4.1	智能故障诊断技术及诊断方法	152
4.4.2	光伏发电智能故障诊断系统的运用	154
4.4.3	光伏电站的典型故障及处理	155
参考文献		161

# 绪 论

利用太阳能电池这种半导体器件，把照射到太阳能电池上的光能转换成电能，是目前太阳光发电的主流。近年来，人类对生存环境的关注越来越重视，太阳能光伏发电技术的应用也展现了更为美好的前景。

本书的绪论分别从光伏电站的定义、分类与构成，光伏电站的应用及特点、课程性质和内容 3 方面加以介绍。

## 0.1 光伏电站的分类与构成

利用太阳能电池的光生伏特原理，直接将太阳的辐射能转变为电能的发电方式，所形成的太阳能发电系统，叫作光伏电站。如图 0-1 和图 0-2 所示为西藏双湖 25kWp 光伏电站和西藏安多 100kWp 光伏电站。

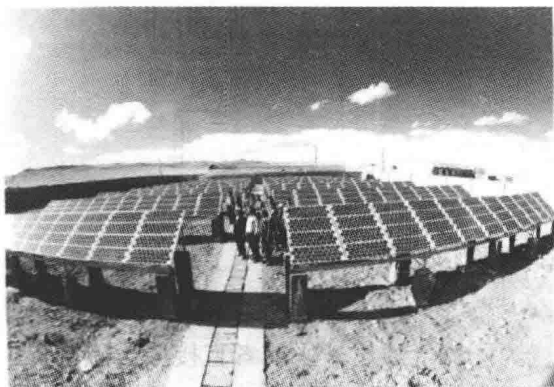


图 0-1 西藏双湖 25kWp 光伏电站

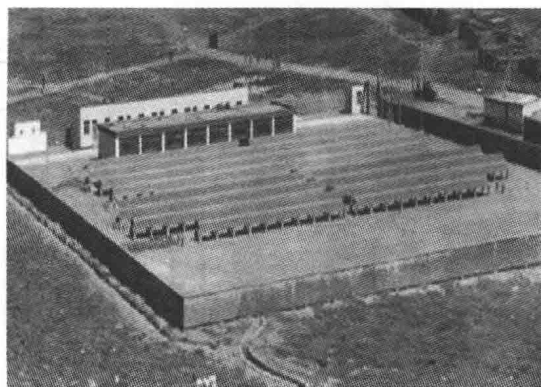


图 0-2 西藏安多 100kWp 光伏电站

### 0.1.1 光伏电站的分类

光伏电站总体上分为两大类：独立光伏发电系统和并网光伏发电系统。太阳能光伏发电系统的分类如图 0-3 所示。

#### 1. 独立光伏发电系统

独立光伏发电系统又称为离网光伏发电系统，指光伏发电系统发出来的电存储到蓄电池，通过逆变器变为交流电供用电设备直接使用，或者不经过逆变直接供直流用电设备用电，并不与电网相连。独立光伏发电系统如图 0-4 所示。

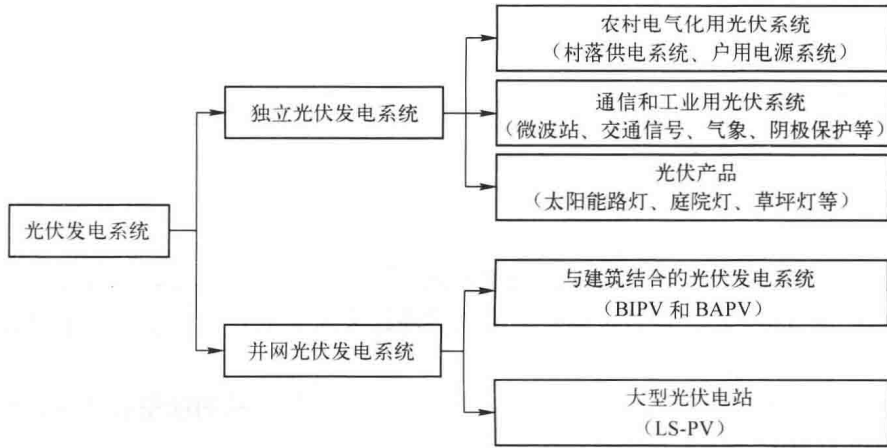


图 0-3 太阳能光伏发电系统的分类

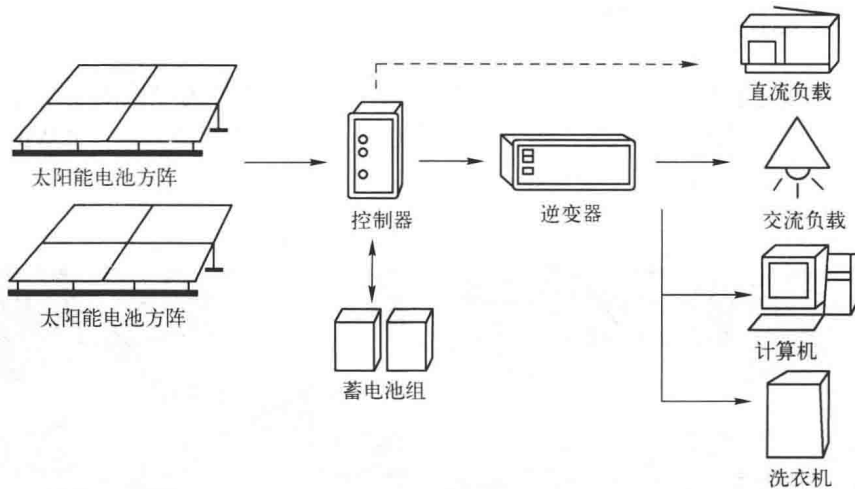


图 0-4 独立光伏发电系统

## 2. 并网光伏发电系统

并网光伏发电系统指光伏发电经过逆变器变为交流，通过升压或者直接低压侧接入电网，由电网对电能进行调度使用，发展方向为分布式光伏发电系统。并网光伏发电系统如图 0-5 所示。

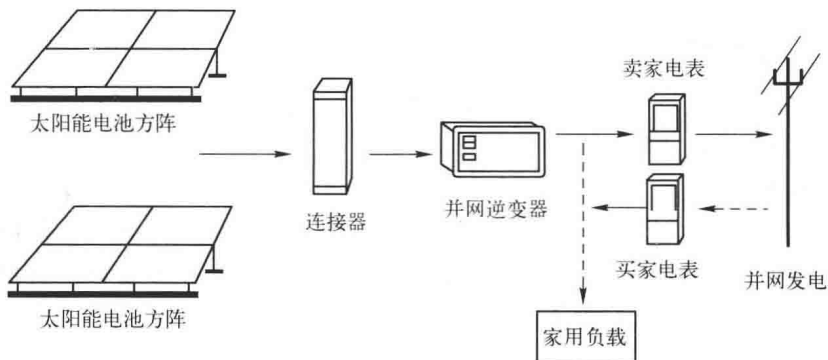


图 0-5 并网光伏发电系统

### 3. 光伏建筑一体化的两种形式——BIPV 和 BAPV

1) BIPV 即 Building Integrated PV, 是光伏建筑一体化的简称。PV 即 Photovoltaic。BIPV 技术是将太阳能发电(光伏)产品集成到建筑上的技术。主要指安装的光伏构件不仅起发电功能的建筑,也是建筑的外围护结构。荷兰 1MWp BIPV 项目、柏林火车站 200kWp BIPV 项目分别如图 0-6 和图 0-7 所示。

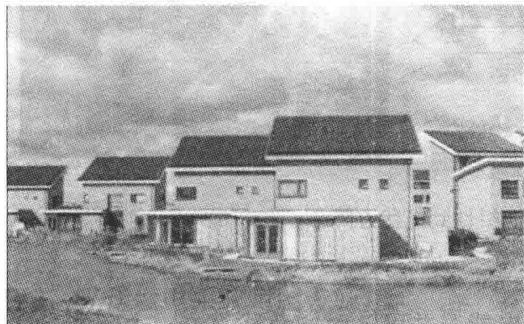


图 0-6 荷兰 1MWp BIPV 项目

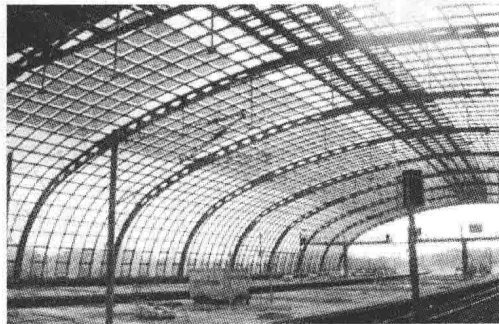


图 0-7 柏林火车站 200kWp BIPV 项目

2) BAPV 即 Building Attached photovoltaics, 指光伏系统附着在建筑上,主要是指建筑上安装的光伏构件不作为建筑的外围护结构,只起发电功能的建筑部件,在既有建筑上应用较多。常州出口加工区 2MW 光电建筑示范项目、美国 UNI-Solar 的柔性太阳能电池分别如图 0-8 和图 0-9 所示。

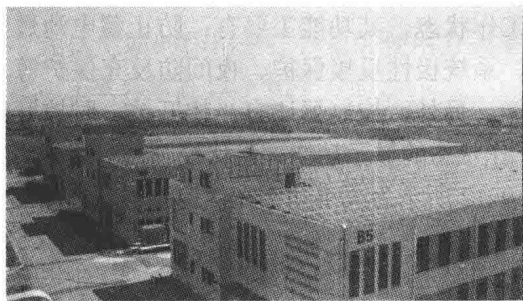


图 0-8 常州出口加工区 2MW 光电建筑示范项目

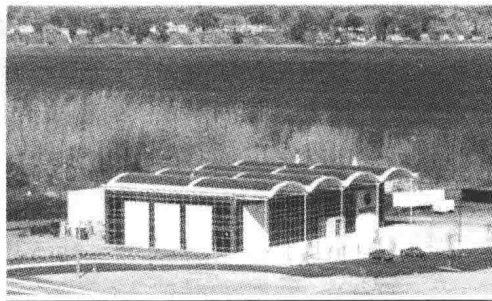


图 0-9 美国 UNI-Solar 的柔性太阳能电池

## 0.1.2 光伏电站的构成

光伏电站主要由 5 大部分构成:太阳能电池方阵、蓄电池、光伏控制器、交流逆变器和光伏发电系统附属设施。

### 1. 太阳能电池方阵

太阳能电池方阵简称为光伏方阵或光伏阵列,是为满足高电压、大功率的发电要求,由若干个太阳能电池组件通过串、并联连接,并通过一定的机械方式固定组合在一起的阵列。太阳能电池组件也叫太阳能光伏组件,简称为电池板或光伏组件。是把多个单体的太阳能电池片根据需要串、并联起来,并通过专用材料和专门生产工艺进行封装后的产品。它是太阳能发电系统的核心部分,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。从电池片、电池组件到光伏方阵如图 0-10 所示。

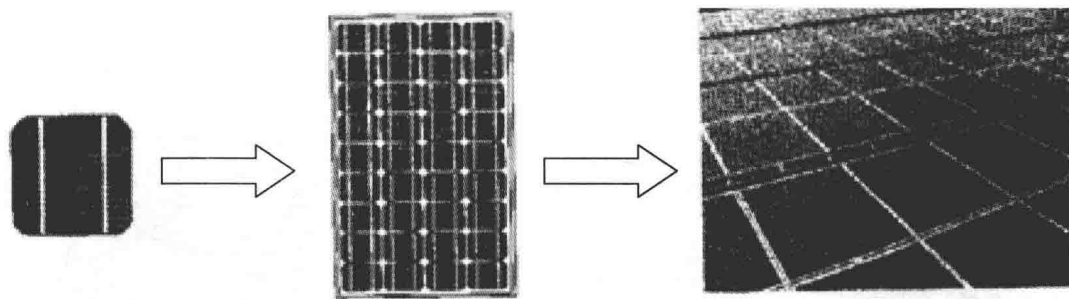


图 0-10 从电池片、电池组件到光伏方阵

## 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。蓄电池的外形如图 0-11 所示。

## 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，如图 0-12 所示为大小功率光伏控制器外形图。

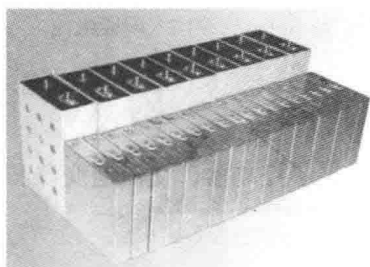


图 0-11 蓄电池外形图



图 0-12 大小功率光伏控制器外形图

## 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。如图 0-13 所示为光伏并网逆变器外形图。

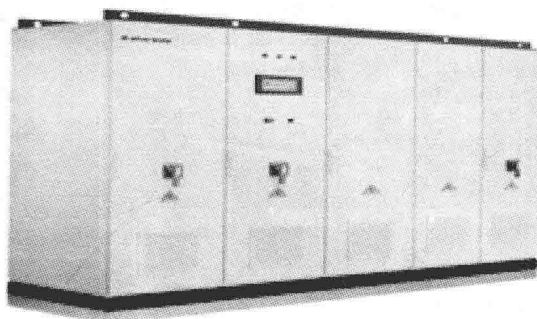


图 0-13 光伏并网逆变器外形图

## 5. 光伏发电系统附属设施

光伏发电系统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。

## 0.2 光伏电站的应用及特点

### 0.2.1 光伏电站的应用

光伏电站的作用是在合适的使用方式下，为用电设备提供持续电力。它的应用领域非常广泛，主要体现在以下几个方面。

#### 1. 通信领域的应用

在通信领域的应用主要包括无人值守微波中继站（如图 0-14 所示），光缆通信系统及维护站，移动通信基站，广播、通信及无线寻呼电源系统，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。

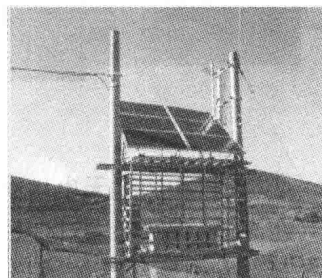
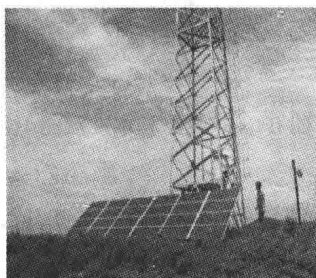
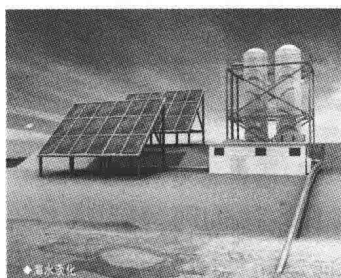


图 0-14 各种微波中继站

#### 2. 公路、铁路、航运交通领域的应用

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，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，如图 0-15 所示。

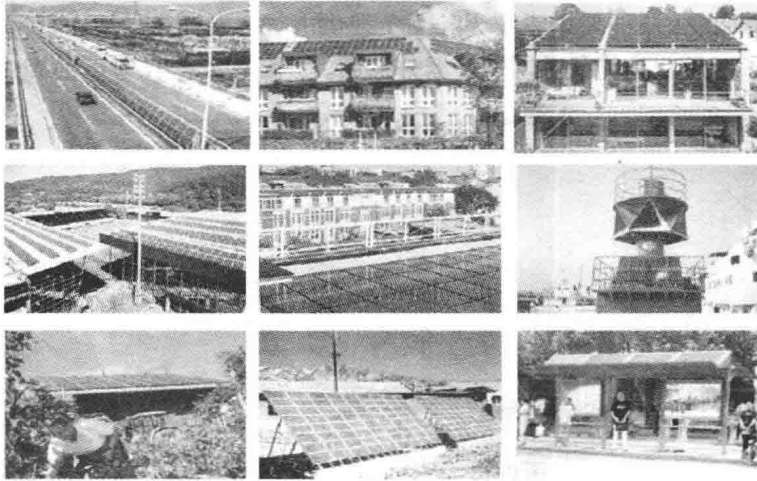


图 0-15 公路、铁路、航运交通领域应用

### 3. 石油、海洋、气象领域的应用

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，如图 0-16 所示。



图 0-16 气象和水文观测卫星

### 4. 农村和边远无电地区应用

在高原、海岛、牧区及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 以及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可以作为村庄、学校、医院、饭馆、旅社以及商店等的供电系统。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，



如图 0-17 所示。

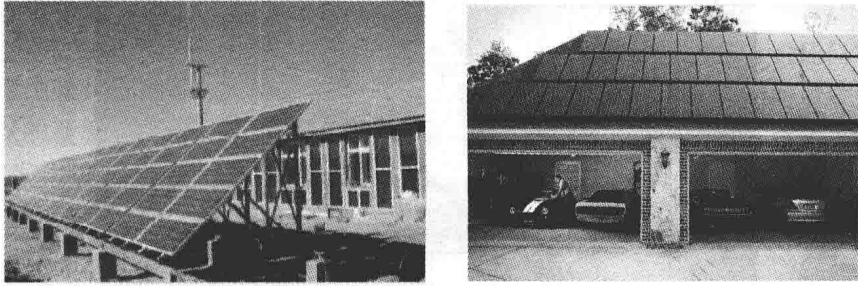


图 0-17 高原及汽车维修供电系统

### 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、信号指示及广告灯箱照明等，还有家庭照明灯具及手提灯、野营灯、登山灯、垂钓灯、割胶灯、节能灯和手电等，如图 0-18 所示。

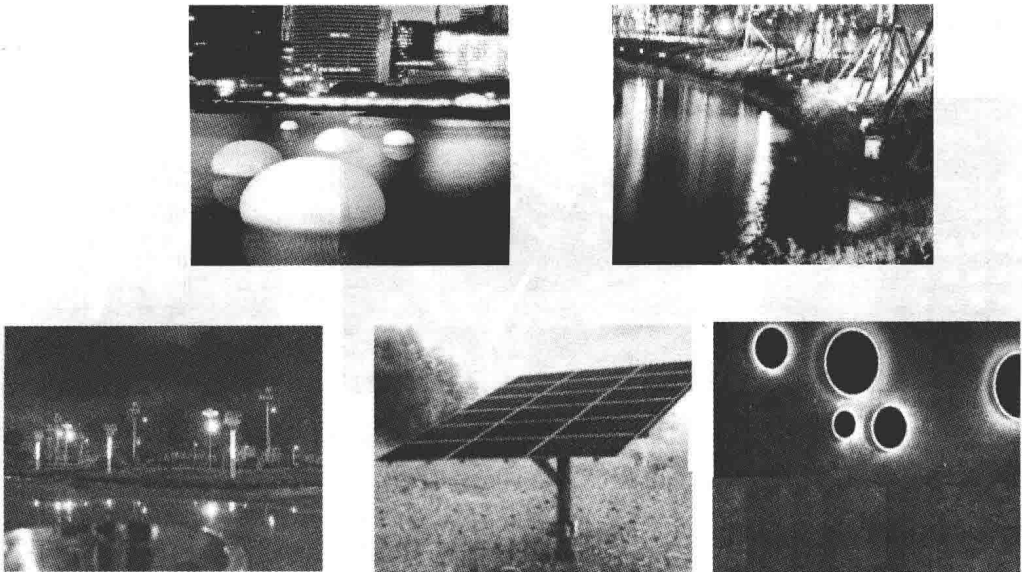


图 0-18 各种光伏照明灯

### 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 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，如图 0-19 所示。

### 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，这将是今后的一个大的发展方向。

### 8. 太阳能电子商品及玩具的应用

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、太阳能计算器和太阳能玩具等，如图 0-20 所示。

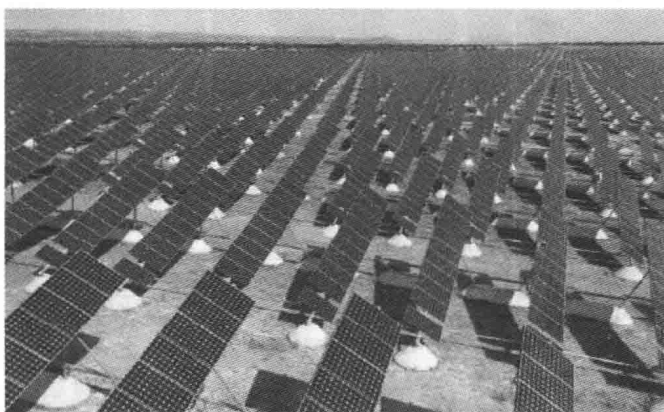


图 0-19 大型光伏电站

### 9. 其他领域的应用

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、电冰箱等；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，如图 0-21 所示。



图 0-20 太阳能计算器

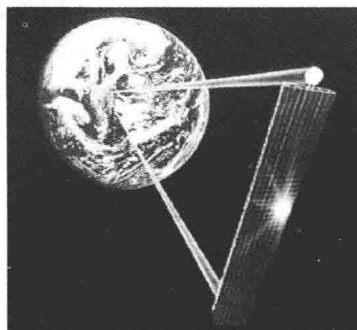


图 0-21 航天器、空间太阳能电站

## 0.2.2 光伏电站的特点

### 1. 光伏电站的优点

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