



分布式光伏电站 设计施工与应用

李钟实◎等编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

张外借

分布式光伏电站 设计施工与应用

李钟实 等编著



机械工业出版社

本书在简要介绍光伏产业及分布式光伏发电的发展应用、系统原理与构成、投资收益分析和新技术展望的基础上,重点介绍了分布式光伏电站的系统容量设计、并网接入设计、系统整体配置、设备部件选型及设计、安装施工、检测调试、运行维护及故障排除等,还详细介绍了分布式光伏电站的项目申报和站址勘察等方面的内容,并提供了具体的设计、施工实例和部分实用资料。

本书内容翔实、图文并茂、通俗易懂,具有较高的实用性,适合从事分布式光伏电站设计、施工、维护及应用方面的工程技术人员以及光伏发电设备、部件生产方面的相关人员阅读,也可供大专院校相关专业的师生学习参考,还可供对分布式光伏发电感兴趣或有安装意向及需求的各界人士阅读。

图书在版编目(CIP)数据

分布式光伏电站设计施工与应用/李钟实等编著. —北京:

机械工业出版社, 2017. 12

ISBN 978-7-111-58246-5

I. ①分… II. ①李… III. ①光伏电站—施工设计
IV. ①TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第247775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:吕潇 责任编辑:吕潇

责任校对:刘志文 封面设计:马精明

责任印制:张博

三河市国英印务有限公司印刷

2018年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·19.75印张·474千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-58246-5

定价:69.00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

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

分布式光伏电站是指在用户场地附近建设，以用户侧自发自用、多余电量上网，并能适应电网特性的光伏发电设施。

为了进一步推动国内分布式光伏发电的应用和发展，自 2013 年以来，国家密集出台了一系列推动分布式光伏发电的政策。随着国家和政府扶持力度的不断加大，以及成千上万光伏企业的宣传普及，使广大用户从逐步了解，到接触认知，再到拥有自己的光伏电站，既是电力的消费者，又成了电力的生产者，分布式光伏发电已经逐步走向千家万户。广大分布式光伏电站用户不仅逐步感受到了分布式光伏发电带来的较高的投资回报率，获得了更稳定、更实在的收益，更重要的是以实际行动参与到了绿色环保的社会生活中，为保护环境、治理雾霾做出了贡献，还享受到了现如今最时尚的生活方式。

针对目前分布式光伏发电行业与技术突飞猛进的发展，为使广大读者能及时了解和参与到分布式光伏发电的实际工作中，了解行业发展，尽快成为行家里手，本书在简要介绍光伏产业及分布式光伏发电的发展应用、系统原理与构成、投资收益分析和新技术展望的基础上，结合实际，用 4 章的篇幅对分布式光伏发电的项目申报及站址勘察、系统容量设计、并网接入设计、系统整体配置、设备部件选型及设计等内容进行了详细介绍，给出了一些实用的计算公式和设计方法；接下来的两章，对分布式光伏电站的安装施工、检测调试与运行维护、故障检修等内容进行了详细介绍；最后一章以几个不同形式、不同容量规模的分布式光伏电站实际工程案例为例，对分布式光伏电站的整体设计思路、系统配置和构成等内容进行了梳理，使读者能更系统的理解和借鉴；附录部分提供了一些实用的技术资料。

本书作者结合了自己多年从事相关工作的实践经验以及长期积累的数据资料，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应用。本书是一本关于分布式光伏发电实际应用方面的知识性和技术性图书，主要供从事分布式光伏电站设计、施工、维护及应用方面的工程技术人员以及光伏发电设备、部件生产方面的相关人员阅读，也适合大专院校相关专业学生及教师学习参考，还可供对分布式光伏发电感兴趣或有安装意向及需求的各界人士阅读。

本书在编写过程中，参阅了光伏同仁们的部分相关著作及各光伏网站与微信公众号中的相关资料，汲取了营养，借鉴了精华，在此向各位同仁致以敬意和由衷的感谢。

本书主要由李钟实负责编写，原晋平、王志建、王君、王冬杰、李皓、张亦弛、张慧荣、霍苏杰、刘志强、李质彬、霍冬晟、白昇智、刘梦晓等为本书的编写提供了

许多宝贵资料和有力帮助，并参与了部分章节的编写和整理工作。山西广播电视大学副教授李玉红为本书提供了国外光伏行业发展动态的资料。山西昊阳新能源科技有限公司董事长刘海燕先生、山西国旺昊阳电力科技有限公司总经理刘旺国先生、山西三晋阳光太阳能科技有限公司董事长张慧斌先生对本书的编写给予了大力的支持和帮助，在此一并表示感谢。借此机会，还要特别感谢 11 年前将我领入光伏行业的原山西耀宇太阳能科技有限公司总经理王跃文先生。

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



前言

第1章 分布式光伏发电——全民光伏时代的到来 1

1.1 分布式发电与分布式光伏发电	1
1.1.1 什么是分布式光伏发电系统	2
1.1.2 分布式光伏发电的特点及应用场合	2
1.1.3 分布式光伏发电的投资与收益	4
1.2 机遇与风险——光伏发电产业的发展与形势	10
1.2.1 光伏产业的兴起与波折	10
1.2.2 光伏产业的新机遇——分布式光伏发电	15
1.2.3 分布式光伏发电面临的现状与挑战	16
1.2.4 国家和政府关于分布式光伏发电的政策文件	18
1.3 分布式光伏发电系统的分类、构成与工作原理	19
1.3.1 分布式光伏发电系统的分类	19
1.3.2 分布式光伏发电系统的构成	20
1.3.3 分布式光伏发电系统的工作原理	21
1.4 分布式离网光伏发电系统	23
1.4.1 独立供电离网光伏发电系统	23
1.4.2 带切换装置的离网光伏发电系统	23
1.4.3 风光互补及风光柴互补离网光伏发电系统	24
1.5 分布式并网光伏发电系统	25
1.5.1 有逆流并网光伏发电系统	25
1.5.2 无逆流并网光伏发电系统	25
1.5.3 有储能装置的并网光伏发电系统	25
1.5.4 分布式智能电网光伏发电系统	26
1.6 分布式光伏发电新技术应用	27
1.6.1 储能技术在分布式光伏发电系统中的应用	27
1.6.2 分布式光伏发电与微电网技术应用	33
1.6.3 分布式光伏发电与光伏建筑一体化应用	38
1.6.4 光伏电站的智能化应用	42
1.6.5 光伏发电 1100V 系统电压技术应用	45

第2章 分布式光伏电站的前期选址与项目申报 48

2.1 光伏电站项目的整体要求和相关条件.....	48
2.1.1 土地资源性质.....	48
2.1.2 地形地貌及水文地质条件.....	49
2.1.3 气候条件.....	49
2.1.4 电网接入条件.....	50
2.1.5 交通运输条件.....	51
2.2 光伏电站的站址踏勘与选择.....	51
2.2.1 站址踏勘的总体要求.....	51
2.2.2 站址踏勘的步骤与内容.....	51
2.2.3 屋顶电站的站址考察.....	54
2.2.4 光伏电站的安全规划.....	55
2.3 分布式光伏电站的项目申报.....	56
2.3.1 分布式光伏发电项目申报流程及资料.....	56
2.3.2 分布式光伏发电项目开展步骤与内容.....	58
2.4 光伏电站建设用地的申请办理.....	62
2.4.1 光伏电站建设用地报批程序.....	62
2.4.2 单位申请土地的登记程序.....	63

第3章 分布式光伏发电系统容量设计 65

3.1 系统的设计原则、步骤和内容.....	66
3.1.1 系统设计原则.....	66
3.1.2 系统设计的步骤和内容.....	66
3.2 与设计相关的因素和技术条件.....	67
3.2.1 系统用电负载的特性.....	67
3.2.2 当地的太阳能辐射资源及气象地理条件.....	67
3.2.3 有关太阳能辐射能量的换算.....	70
3.2.4 光伏方阵的组合与计算.....	71
3.2.5 发电系统的安装场所和方式.....	75
3.3 离网系统的容量设计与计算.....	76
3.3.1 设计的基本思路.....	76
3.3.2 光伏组件及方阵的容量设计.....	77
3.3.3 蓄电池和蓄电池组的容量设计.....	79
3.4 并网系统的容量设计与发电量计算.....	82
3.4.1 光伏组件的串并联匹配.....	82
3.4.2 光伏系统发电量的计算.....	84
3.4.3 光伏系统的组件容量超配设计.....	86
3.5 并网系统的电网接入设计.....	88

3.5.1 并网要求及接入方式	88
3.5.2 典型接入方案	89
3.5.3 并网计量电表的接入	93
第4章 光伏系统设备、部件的选型与设计	98
4.1 光伏组件——把阳光变成电流的“魔术板”	98
4.1.1 光伏组件的基本要求与分类	98
4.1.2 光伏组件的构成与工作原理	99
4.1.3 光伏组件的性能参数与技术要求	103
4.1.4 光伏组件的选型	106
4.2 光伏控制器——蓄电池的“保护神”	107
4.2.1 光伏控制器的分类及电路原理	107
4.2.2 光伏控制器的性能特点与主要技术参数	112
4.2.3 光伏控制器的配置选型	114
4.3 光伏逆变器——从涓涓细流到波涛汹涌	115
4.3.1 光伏逆变器的分类及电路结构	116
4.3.2 光伏逆变器的性能特点与技术参数	117
4.3.3 离网光伏逆变器的选型	120
4.3.4 并网光伏逆变器的选型与应用	122
4.3.5 并网光伏逆变器选型案例	127
4.3.6 并网光伏逆变器发展趋势	130
4.4 光伏储能电池及器件——能量的“蓄水池”	131
4.4.1 铅酸蓄电池	131
4.4.2 锂离子和磷酸铁锂蓄电池	134
4.4.3 液流电池与钠硫电池	137
4.4.4 超级电容器	138
4.4.5 蓄电池的选型	140
4.5 汇流箱与配电柜——能量汇集与分配的枢纽	140
4.5.1 直流汇流箱与配电柜的原理结构	140
4.5.2 直流汇流箱和配电柜的选型	142
4.5.3 直流汇流箱的设计	143
4.5.4 交流汇流箱与配电柜的原理结构	146
4.5.5 交流配电柜的设计	148
4.6 升压变压器与箱式变电站——能量变换的利器	150
4.6.1 升压变压器与箱式变电站的原理结构	150
4.6.2 配电室的结构设计	152
4.6.3 并网变压器的容量确定	153
4.7 光伏支架——获取能量的有力支撑	153
4.7.1 光伏支架的分类	153

4.7.2	光伏支架的选型与设计	158
4.8	光伏线缆——输送能量的血脉	164
4.8.1	光伏线缆的使用分类及电气连接要点	164
4.8.2	光伏线缆和连接器的选型	164
4.9	系统监测装置——光伏电站的守护神	169
第5章	光伏方阵基础与防雷接地设计	172
5.1	光伏方阵基础	172
5.1.1	方阵基础类型	172
5.1.2	方阵基础相关设计	174
5.2	光伏发电的防雷接地系统	177
5.2.1	雷电对光伏发电系统的危害	177
5.2.2	防雷接地系统的设计	178
第6章	分布式光伏电站的安装、检测与验收	187
6.1	分布式光伏电站的安装施工	187
6.1.1	光伏组件及方阵的安装施工	187
6.1.2	光伏控制器和逆变器等电气设备的安装	191
6.1.3	防雷与接地系统的安装施工	192
6.1.4	蓄电池组的安装	194
6.1.5	线缆的敷设与连接	196
6.2	分布式光伏电站的检查测试	197
6.2.1	光伏发电系统的检查	198
6.2.2	光伏发电系统的测试	198
6.3	分布式光伏电站的调试运行	201
6.3.1	光伏发电系统并网调试	201
6.3.2	并网试运行中各系统的检查	203
6.4	分布式光伏电站施工案例	203
6.4.1	屋顶基础制作工程	203
6.4.2	支架结构制作工程	207
6.4.3	光伏组件安装工程	209
6.4.4	直流侧电气工程	210
6.4.5	配电室电气工程	213
6.5	分布式光伏电站的安全作业	216
6.5.1	施工现场常见安全危害及防护	216
6.5.2	施工现场安全作业指导	218
6.6	分布式光伏电站的工程验收	219
6.6.1	分布式光伏电站的工程验收	219
6.6.2	分布式光伏电站的用户自助验收	226

第7章 分布式光伏电站的运行维护与故障排除	229
7.1 分布式光伏电站的运行维护	229
7.1.1 光伏电站运行维护的基本要求	229
7.1.2 光伏电站的日常检查和定期维护	230
7.1.3 光伏组件及光伏方阵的检查维护	232
7.1.4 蓄电池(组)的检查维护	233
7.1.5 光伏控制器和逆变器的检查维护	235
7.1.6 直流汇流箱、配电柜及输电线路的检查维护	236
7.1.7 防雷接地系统的检查维护	236
7.1.8 监控检测与数据通信系统的检查	237
7.2 光伏发电系统的故障排除	237
7.2.1 光伏组件与方阵常见故障	237
7.2.2 蓄电池常见故障及解决方法	238
7.2.3 光伏控制器常见故障	239
7.2.4 逆变器常见故障	240
7.2.5 直流汇流箱常见故障	242
第8章 分布式光伏电站设计应用实例	243
8.1 家庭屋顶光伏电站的设计与应用	243
8.1.1 3kW 和 5kW 家庭屋顶光伏电站典型设计	243
8.1.2 10kW 农村住宅屋顶光伏电站设计与应用	246
8.1.3 40kW 光伏扶贫屋顶电站设计与应用	252
8.2 工商业屋顶光伏电站的设计与应用	257
8.2.1 10kW 办公区采光棚光伏电站的设计与应用	257
8.2.2 84kW 光伏车棚发电系统设计与应用	259
8.2.3 100kW 商业屋顶光伏发电系统设计与应用	262
8.2.4 万科中心光伏并网发电系统的设计与应用	266
8.3 地面光伏电站的设计与应用	271
附录	277
附录1 太阳能及光伏发电词语解释	277
附录2 分布式光伏电站常用晶体硅电池组件技术参数	283
附录3 分布式光伏发电常用蓄电池的技术参数	285
附录4 气象风力等级表	291
附录5 光伏领跑者先进技术产品指标	291
附录6 全国各城市并网光伏电站最佳安装倾角和发电量速查表(不含港澳台地区)	293
参考文献	304

分布式光伏发电 ——全民光伏时代的到来



1.1 分布式发电与分布式光伏发电

当前,新能源和可再生能源的开发利用已经成为保证国民经济可持续发展,解决能源短缺,降低煤炭发电比例和减少环境污染的重要途径,新能源和可再生能源既是我国近期重要的补充能源,又是未来能源结构的基础和重要组成部分。由于可再生能源的分散性、多样性和随机性,分布式发电系统,特别是单机容量较低的光伏发电系统,将成为可再生能源发电的必然网络结构和组成部分。因此,以可再生能源为主的分布式发电技术凭借其投资节省、发电方式灵活、与环境兼容等优点而得到了快速发展。

分布式发电系统是指发电功率为数千瓦到几十兆瓦的小型模块化、分散式、布置在用户现场或用户附近的高效、可靠的,与环境兼容的发电系统。分布式发电的特点是电力就地产生、就地消纳,可与大电网并网运行,还可以和大电网互为备用,即节省输变电投资,也使供电可靠性得以改善。分布式发电系统电源位置灵活、分散、多样的特点极好地适应了分散的电力需求和资源分布。目前分布式发电大多采用天然气、沼气、太阳能、生物质能、风能(小风电)、水能(小水电)等。分布式发电技术主要包括光伏发电技术、风力发电技术、燃料电池发电技术、燃气轮机/内燃机发电技术、生物质能发电技术以及分布式发电的储能技术等。

分布式光伏发电是指通过采用光伏电池组件,将太阳能直接转化为电能并在用户端直接并网发电的方式。分布式光伏发电是分布式发电系统的重要组成部分,也是适合我国国情的解决能源危机和环境污染、优化能源结构、保障能源安全、改善生态环境、转变城乡用能方式的重要途径。我国是太阳能资源比较丰富的国家,分布式光伏发电遵循因地制宜、清洁高效、分散布局、就近利用的原则,可充分利用当地太阳能资源,替代和减少化石能源消费,是一种新型的、适合国情的、具有广阔发展前景的发电和能源综合利用方式。分布式光伏发电应用范围广,在城乡建筑、工业、农业、交通、公共设施等领域都有广阔的应用前景,既是推动能源生产和消费变革的重要力量,也是促进“稳增长、促改革、调结构、惠民生”的重要举措。

近一两年来,国家和政府相继出台了多个支持和鼓励分布式光伏发电发展和建设的政策

性和指导性文件，对分布式光伏发电系统的开发和应用起到了积极的推动和促进作用，分布式光伏电站在各地的安装和应用遍地开花、如火如荼，政府和城乡居民都在利用分布式光伏发电积极开展光伏农业、家庭发电、光伏扶贫、光伏养老等多种形式的推广应用，金融业也纷纷推出各种光伏贷产品来支持和服务用户，可以说分布式光伏发电的大面积推广应用，标志着全民光伏时代的到来，也是光伏产业发展过程的又一个里程碑。

1.1.1 什么是分布式光伏发电系统

分布式光伏发电系统主要是指在用户的场地或场地附近建设和并网运行的，不以大规模远距离输送为目的，所生产的电力以用户自用及就近利用为主，多余电量上网，支持现有电网运行，且在配电网系统平衡调节为特征的光伏发电设施。

分布式光伏发电系统一般接入 10kV 以下电网，单个并网点总装机容量不超过 6MW。以 220V 电压等级接入的系统，单个并网点总装机容量不超过 8kW。

国家能源局在《关于进一步落实分布式光伏发电有关政策的通知》（国能综新能〔2014〕406 号）文件中，又对分布式光伏发电的定义扩展为：利用建筑屋顶及附属场地建设的分布式光伏发电项目，在项目备案时可选择“自发自用、余电上网”或“全额上网”中的一种模式。在地面或利用农业大棚等无电力消费设施建设、以 35kV 及以下电压等级接入电网（东北地区 66kV 及以下）、单个项目容量不超过 2 万 kW（20MW）且所发电量主要在并网点变电台区消纳的光伏电站项目，可纳入分布式光伏发电规模指标管理。

文件指出，国家鼓励开展多种形式的分布式光伏发电应用。充分利用具备条件的建筑屋顶（含附属空闲场地）资源，鼓励屋顶面积大、用电负荷大、电网供电价格高的开发区和大型工商企业率先开展光伏发电应用。鼓励各级地方政府在国家补贴基础上制定配套财政补贴政策，并且对公共机构、保障性住房和农村适当加大支持力度。鼓励在火车站（含高铁站）、高速公路服务区、飞机场航站楼、大型综合交通枢纽建筑、大型体育场馆和停车场等公共设施系统推广光伏发电，在相关建筑等设施的规划和设计中将光伏发电应用作为重要元素，鼓励大型企业集团对下属企业统一组织建设分布式光伏发电工程。因地制宜利用废弃土地、荒山荒坡、农业大棚、滩涂、鱼塘、湖泊等建设就地消纳的分布式光伏电站。鼓励分布式光伏发电与农户扶贫、新农村建设、农业设施相结合，促进农村居民生活改善和农村农业发展。

分布式光伏发电倡导就近发电、就近并网、就近转换、就近使用的原则，不仅能够有效提高同等规模光伏电站的发电量，同时还有效解决了电力在升压及长途运输中的损耗问题。其能源利用率高，建设方式灵活，将成为我国光伏应用的主要方向。目前应用最为广泛的分布式光伏发电系统，是建设在各种建筑物屋顶和农业设施屋顶及家庭住宅屋顶的光伏发电项目。对这些项目应用的要求是必须接入公共电网，或与公共电网一起为附近的用户供电，所发电力一般直接馈入低压配电网或 35kV 及以下中高压电网中。

1.1.2 分布式光伏发电的特点及应用场合

1. 分布式光伏发电的特点

1) 输出功率相对较小，投资收益率不低。一般单个分布式光伏发电系统项目的容量在几千瓦到几百千瓦，与大型集中式光伏电站不同。光伏发电系统容量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,也就是说,小型光伏发电系统的投资收益率并不比大型光伏电站低。

2) 分布式光伏发电基本不占用土地资源,可就近发电、供电,不用或少用输电线路,降低了输电成本。光伏组件还可以直接代替传统的墙面和屋顶材料。

3) 污染小,环境友好,环保效益突出。分布式光伏发电系统在发电过程中,不消耗燃料,不排放包括温室气体在内的任何物质,没有噪声,也不会对空气和水产生污染。

4) 分布式光伏发电系统在接入配电网中是发电用电并存,且在电网供电处于高峰期发电,可以有效得起到平峰的作用,削减城市昂贵的高峰供电负荷,能够在一定程度上缓解局部地区的用电紧张状况。

2. 分布式光伏发电的应用场合

(1) 工业园区厂房屋顶,车站、机场等交通枢纽屋顶

这些场合屋顶集中,用电量比较大、用电价格高,但屋顶面积都很大,屋顶开阔平整,可建设规模大。这些场合一般用电负荷较大、稳定,而且用电负荷曲线与光伏发电出力的特点相匹配,可实现自发自用为主,基本就地消纳。充分利用工业厂房屋顶和交通枢纽屋顶建设分布式光伏发电项目,既可以减少企业的能源消耗,又充分利用了闲置的屋顶资源,起到了节能减排的作用,给企业带来巨大的经济效益和环境效益,可谓是一举多得。

(2) 商业建筑屋顶

商业建筑多为水泥屋顶,有利于安装光伏方阵,但是由于对建筑的美观性有要求,而且这类屋顶上的构筑物一般比较多,周围高大建筑物也比较多,对阳光有遮挡,使屋顶可利用面积变少。按照商厦、写字楼、酒店、会议中心、度假村等服务业的特点,用电负荷特性一般表现为白天较高,夜间较低,能够较好地与光伏发电特性匹配,实现自发自用为主。对于一些高楼大厦的商业建筑,除了利用屋顶外,还可以利用外墙立面构成光伏幕墙,既增加光伏发电的容量,又可以使建筑物成为“超凡脱俗”的“高大上”建筑。

(3) 市政公共建筑屋顶

政府办公楼、学校、医院等市政公共建筑屋顶,管理统一规范,屋顶利用相对容易协调。用户用电负荷稳定,且用电负荷特性与光伏发电特性相匹配。不足之处是可利用单体面积小,装机容量有限,节假日用电负荷低,余电上网量大,当自用电价较低时,适合全额上网。市政公共建筑屋顶也适合分布式光伏发电系统的集中连片建设。

(4) 家庭住宅屋顶

别墅、农村和乡镇居民的家庭住宅屋顶量大、面广,只要是可以长时间接受阳光照射的地方,如屋顶、阳台、院落地面、车棚顶等位置都是可以加以利用的。能够满足载荷要求的混凝土、彩钢瓦、传统瓦片、沥青瓦等屋顶都可以安装光伏屋顶电站。家庭住宅屋顶的利用比较容易协调,部分农村住宅屋顶还能享受“光伏扶贫”、“美丽乡村”等政策的补助。在实际应用中,城市居民住宅屋顶的利用往往存在产权不明晰,异形结构屋顶多的不足;而农村屋顶又存在单体可利用面积小,屋顶承载力不强或不明确的现象。

家庭屋顶光伏电站是我国目前补贴最高的分布式光伏应用形式,也是分布式光伏的核心市场。

(5) 农业设施

农村有大量的荒山荒坡等非耕地,农业大棚、鱼塘、养殖基地等,可实施农光互补、

渔光互补等各种光伏农业项目。农村往往处在公共电网的末梢,电能质量较差,在农村建设分布式光伏发电系统可提高当地用户的用电保障和电能质量。

当然,利用农业设施建设分布式光伏项目,不仅仅是将光伏发电与农业设施的简单叠加,更是近年来兴起的“光伏农业”新型产业模式。通过在农业设施棚顶安装光伏发电设施,在棚下开展农业生产的形式,最大化的吸收和引进最新的光伏与农业技术,促进两个产业的高度融合、健康发展与技术进步,达到“1+1>2”的产业融合效果,最大限度地利用土地资源,增加生态效益和社会效益,提高农民收入,带动地方经济的发展。

(6) 边远农牧区及海岛

由于距离电网遥远,我国西藏、青海、新疆、内蒙古、甘肃、四川等省份的边远农牧区以及我国沿海岛屿还有数百万无电人口,分布式离网光伏发电系统或与其他能源互补的微电网系统非常适合在这些地区应用。另外,离网光伏发电系统还可以应用于野外施工、野外养殖、野外种植等场合。

(7) 光伏充电站

随着各种电动交通工具的越来越多,各种充电站也应运而生,遍地开花,与普通充电站相比,光伏充电站具有设施简单、设置灵活,占地面积小,建设周期短的优势,可以克服目前中心城区土地资源紧张、电网审批手续冗繁、接电成本高等限制,同时其光伏储能、放能技术的应用,可以有效缓解高峰时段的电力负荷,达到削峰填谷、经济实惠的效果。

光伏充电站依靠太阳能发电,存入充电桩后为电动车提供充电电力,通过能量存储和转换,将间歇的、不稳定的太阳能资源在用电低谷时储存起来,然后在用电高峰将电输送出去,可达到充电站的最经济运行。

(8) 自来水厂和污水处理厂

自来水厂和污水处理厂有着大面积的水处理水池,污水处理厂在处理污水过程中耗电量也比较大,是耗能大户,一般都是24h连续运转,负荷稳定,光伏发电量基本可以自发自用,全部消纳。利用污水处理厂的屋顶、沉淀池、生化池和接触池等处安装光伏发电系统,可以充分利用空间,等于对占用土地进行了二次开发利用,起到集约化原地,对土地进行综合利用的效果。

1.1.3 分布式光伏发电的投资与收益

随着分布式光伏发电的政策支持和推广应用,许多居民和企事业单位也越来越看好这一项目,但分布式光伏发电项目前期投资大,回收周期长,又会让大家驻足观望,那么分布式光伏发电投资收益到底如何呢?在这里先听两句某村干部说的话,然后再给大家分析分析。第一句话是村支书说:“让全村用上光伏发电,是我不可推卸的责任!”另一句是村主任说:“装上光伏等于每年白挣4亩地的收益,大家抓紧吧!最后大伙说:光伏发电装上房,人人家里有银行。”

分布式光伏发电的收益既与系统并网模式有关,也与不同地区的太阳能资源状况及各地政府的补贴政策有关。首先我们先看看国家和政府对分布式光伏发电的补贴政策和收益。

1. 分布式光伏发电的补贴和减免政策

(1) 国家政策电价补贴

目前国家对自发自用、余电上网模式的政策电价补贴是光伏系统每发 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ (即1度电)电补贴0.42元,补贴期限原则上为20年,有的省市还有地方补贴,比如山东、浙江、

广东、河北等，有 0.1~0.3 元/kW·h 不同程度的补贴，那么根据省市地区不同，最终的光伏上网电价 = 国家补贴 + 省补贴 + 市补贴 + 县补贴等。

(2) 增值税减免和费用减免政策

财税〔2013〕66 号文件规定：自 2013 年 10 月 1 日至 2015 年 12 月 31 日，对纳税人销售自产的利用太阳能生产的电力产品，实行增值税即征即退 50% 的政策。

国家电网〔2014〕1515 号文件规定：自 2014 年 10 月 1 日至 2015 年 12 月 31 日，月销售额 3 万元以内的项目（200~250kW）免收增值税。

另外，相关政策还制定了对分布式光伏自发自用电量免收可再生能源电价附加、国家重大水利工程建设基金、大中型水库移民后期扶持基金、农网还贷资金等针对电量征收的政府性基金。

这些政策到 2017 年还没有修改、变更或废止，也没有出台更新的文件，说明还在延续执行。

2. 分布式光伏发电的并网模式

(1) 全部自发自用模式

这种模式简单的理解就是用户的光伏系统所发电量全部自己使用消耗了，也就是用户自己的用电量大于光伏发电量的情况以及一些离网系统的模式。

(2) 自发自用，余电上网模式

用户的光伏系统所发电量首先自己使用，多余的电量，卖到电网。这种模式是当下应用最多并广为用户所接受的模式，也是各地积极推广的模式。

(3) 全部上网模式

用户的光伏系统所发电量全部卖给电网。

3. 分布式光伏发电的收益

根据上面介绍的三种不同的并网模式，分布式光伏发电的主要收益有下列几项。

1) 国家和各级政府的政策电价补贴；

2) 电费收入：采用自发自用、余电上网模式的用户，自然可以节省一部分电费开支，这部分节省的支出，换个角度来说就是收入；

3) 并网卖电收入。光伏发电用户的多余电量通过并网卖给电网公司，电网公司按照当地燃煤发电脱硫标杆电价进行收购。不同的省市，标杆电价也是不一样的。为方便计算，表 1-1 列出了 2017 年 7 月 1 日后全国各地区燃煤发电脱硫标杆电价价格。

表 1-1 各地区燃煤发电脱硫标杆电价价格表

各地区省级电网燃煤发电脱硫标杆电价				单位：元/kW·h（含税）			
北京	0.3598	天津	0.3655	冀北	0.3720	冀南	0.3644
山西	0.3320	山东	0.3949	蒙西	0.2829	蒙东	0.3035
辽宁	0.3749	吉林	0.3731	黑龙江	0.3740	上海	0.4155
江苏	0.391	浙江	0.4153	安徽	0.3844	福建	0.3932
湖北	0.4164	湖南	0.4500	河南	0.3779	四川	0.4012
重庆	0.3964	江西	0.4143	陕西	0.3545	甘肃	0.2978
青海	0.3247	宁夏	0.2595	广东	0.4530	广西	0.4207
云南	0.3358	贵州	0.3515	海南	0.4298	新疆	0.2500

对于全额上网用户，将执行Ⅰ类太阳能资源地区 0.65 元/kW·h，Ⅱ类太阳能资源地区 0.75 元/kW·h，Ⅲ类太阳能资源地区 0.85 元/kW·h 的新能源标杆上网电价的收购和补贴政策。其具体收购和补贴来源是光伏发电在当地燃煤发电标杆上网电价以内的部分，由当地省级电网结算收购；高出部分通过国家可再生能源发展基金予以补贴。例如，山西太原市属于Ⅲ类太阳能资源地区，该地区的全额上网用户执行 0.85 元/kW·h 的收购电价补贴，其中，山西省电网公司要按照 0.3320 元/kW·h 的当地燃煤发电标杆脱硫电价向用户支付电价，高出 0.3320 元/kW·h 的部分，由国家可再生能源发展基金予以补贴。

4) 不同并网模式下各自的收益计算方法如下。

全部自发自用模式总收益 = (当地标杆电价 + 政策补贴) × 全部发电量

自发自用余电上网模式总收益 = 自发自用的电量 × 当地用电电价 + 上网电量 ×
当地标杆电价 + 全部发电量 × 政策补贴

全部上网模式总收益 = 全部发电量 × 当地新能源标杆上网电价

4. 初始投资与回收周期分析

(1) 投资回收期一般在 5 ~ 7 年

以家庭分布式光伏发电系统为例，目前系统的基本价格为 7.5 元/W 左右，费用包括光伏组件、逆变器、光伏支架、配电箱、线缆等设备和部件及安装调试费用在内。一般家庭根据屋顶面积及资金状况安装容量在 3 ~ 10kW，初始投资在 2.25 万 ~ 7.5 万元左右。同样容量的发电系统，其发电量的多少与当地的太阳能资源（一般以该地区年平均有效日照时间）有很大关系，以山西某地区水平面年平均有效日照时间为 1400h 计算，如果安装容量为 5kW，年发电量就是 5kW × 1400 小时 = 7000kW·h（度）左右，如果当地全额上网的电价是 0.85 元/kW·h，那么每年收益就是 7000kW·h × 0.85 元/kW·h = 5950 元，回收周期就是 3.75 万元 ÷ 0.595 万元/年 = 6.3 年。以光伏发电系统 25 年的寿命计算，后 18 年基本上都是净收益了。

在这里需要考虑光伏组件平均每年 1% 左右的衰减，每年的发电量会有所降低。另一个要考虑到国家补贴的持续性以及地方政府补贴的时间性。

(2) 投资收益远远大于银行储蓄利息

与银行储蓄相比，假设用 3.75 万元投资光伏发电系统，25 年除去本金的总收益是 5950 元 × 18 年 = 10.7 万元。而将 3.75 万元存入银行，5 年期定期利率为 2.75%，平均每年收益约 1030 元，25 年下来的总收益也就在 2.6 万元左右，远远没有光伏发电系统投资的收益率高。

5. 投资切莫贪便宜

前文说过，投资家庭光伏发电系统，目前的价格基本在 7.5 千元/kW 左右。为什么同样安装一个 5kW 屋顶光伏电站，有的人花近 4 万元，有的人只花 2.5 万元呢？看完下面这个案例，你就明白了。

小王和邻居老李在一年前通过不同的公司各自安装了一套 5kW 的屋顶光伏发电系统，近日他们陆续收到了电力公司提供的 2016 年光伏发电数据报告，令他俩吃惊的是，两家几乎同时安装的 5kW 屋顶光伏系统，年发电量竟然相差 1000 多 kW·h，要按照自发自用、余电上网的模式计算，老李家的年收入少了 1/4 还多，这是为什么呢？

原来导致差异这么大的原因就是老李被低价格诱惑选择安装了便宜的低劣光伏系统产品，

其发电量和收益差异在一年内就显现了出来。家庭光伏发电系统主要由光伏组件、光伏逆变器、并网配电箱、光伏支架、光伏线缆及售后服务6个部分组成,大家往往认为在整个系统中,光伏组件最重要,是的!但其实在整个系统中,哪个部分品质不好,都会影响系统收益。

(1) 光伏组件

光伏组件的质量等级分为A、B、C三类,不同质量等级的光伏组件,价格自然不同。A类组件有 ≥ 16.8 以上的转换效率,20年内组件功率衰减 $\leq 20\%$,使用寿命要保证25年以上。B类组件是有瑕疵的组件,也就是所谓的“降级组件”,这个瑕疵包括电性能质量和外观质量等,例如发电效率比A类组件低,后续功率衰减过快,无法保证25年的使用寿命等。C类组件可以说就是等外品,基本上应该销毁处理,当然也可以用在一些非常非常不重要的场合。

做光伏电站,当然必须选择A类组件,才能保证光伏系统的正常收益,而且正规厂家的光伏组件都是经过严格检测,并且都有质保证书。同时还要尽量选择发电效率(功率)更高一些的组件,例如选择270W甚至更高功率的组件,这样在同样的屋顶面积占用,在逆变器、线缆、配电箱、支架投资都不变的情况下,只是光伏组件的初始投资略有几百元的增加,25年下来又可以多收益六七千元。

(2) 光伏逆变器

光伏逆变器的质量好坏也会直接影响光伏系统的发电量。质量好坏最简单的要求就是有高的直流电变交流电的转换效率,有更长的平均无故障运行时间和完善的各种保护功能。这些要求的保证,自然会加大逆变器制造成本,所以不同厂家的逆变器由于质量要求不同,价格自然不同。低质量的逆变器往往使用了性能较差的廉价元器件,容易发热,故障也比较多。对用户来讲,高的效率就等于逆变器自身损耗小,发电量自然相对就高。逆变器经常发生故障,系统就会经常停止运行,发电量自然会受到影响。

(3) 并网配电箱

电力公司对配电箱的配置和质量是有要求的,不符合要求的配电箱为了降低成本,用的电气开关可能质量差,造成频繁断电或其他故障,还可能不配置过/欠电压自动脱扣保护器等装置。在电网停电的情况下,假如逆变器的防孤岛保护功能缺失,配电箱内又没有欠电压/失电压自动脱扣装置,就有可能将光伏系统发的电反送到电网,影响电网检修甚至发生检修人员触电事故。

(4) 光伏支架

光伏支架的作用是保证光伏组件能承受25年以上的腐蚀、大风、大雪的破坏。光伏支架的材质有铝合金、镀锌钢材等,标准的光伏支架都具有良好的抗压性、抗风性和抗腐蚀性。如果为了降低成本,使用非标材料、普通角钢等制作支架,时间一久,就会腐蚀变形,甚至撕裂和散架。

目前屋顶安装最常用的是水泥配重、钢结构及化学锚固螺栓等方法,如果水泥配重不达标、钢结构及化学锚固偷工减料,一遇大风不是刮坏光伏组件就是掀翻支架,会造成很大的经济损失,这类事件已经屡屡发生。

(5) 光伏线缆

光伏线缆在光伏系统中虽然不起眼,却很重要。光伏直流线缆要经受长年累月的风吹雨淋日晒,是具有防紫外线、防老化的专用线缆,如果使用劣质线缆甚至普通线缆,用几年就会老化脱皮,发生漏电甚至火灾事故,何谈收益!