



联合推荐

无师自通

分布式光伏发电系统设计、安装与维护

刘继茂 丁永强 编著



无师自通

分布式光伏发电系统设计、安装与维护

刘继茂 丁永强 编著



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

分布式光伏在我国发展很快。为了提高专业技术人员的水平,从而提高分布式光伏发电系统的安全、稳定性,保障光伏系统的投资收益,作者结合十年的一线工作经验,编写了此书。

本书主要介绍分布式光伏相关技术,解决光伏系统在设计、选型、安装、运维中出现的問題。

本书从光伏系统的分类开始,逐一介绍组件、逆变器、支架、电缆、电气开关、变压器、储能蓄电池等光伏系统部件相关知识,设计和选型的理论计算方法,光伏安装者必备电工知识,分布式光伏系统典型设计方案,光伏电站调试检查及维护等。书中所列举的案例,都是来自实际应用的。此外,还收录了分布式光伏发电项目常用的一些资料作为附录,非常实用。

本书可供光伏安装、设计、运维等工程技术人员和投资商等阅读。

图书在版编目(CIP)数据

无师自通:分布式光伏发电系统设计、安装与维护/刘继茂,丁永强编著.—北京:中国电力出版社,2019.3

ISBN 978-7-5198-2980-3

I. ①无… II. ①刘…②丁… III. ①太阳能光伏发电—电力系统—系统设计②太阳能光伏发电—电力系统—设备安装③太阳能光伏发电—电力系统—维修 IV. ①TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第052551号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:韩世韬(010-63412373)

责任校对:黄蓓 闫秀英

装帧设计:张俊霞

责任印制:吴迪

印 刷:三河市万龙印装有限公司

版 次:2019年8月第一版

印 次:2019年8月北京第一次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:16.75

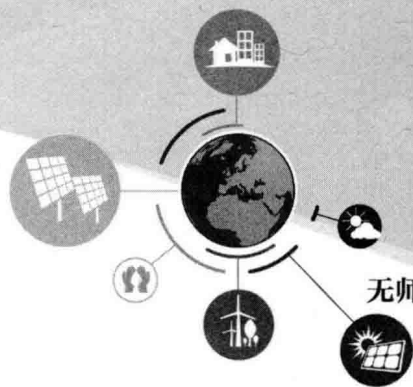
字 数:334千字

印 数:0001—2000册

定 价:59.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换



无师自通：分布式光伏发电系统设计、安装与维护

序

欣闻本书即将付梓之际，收到邀请为本书作序，不胜荣幸。

中国光伏产业的制造早已领先全球，但在应用层面上，很遗憾仍然落后，如大型电站中的1500V电压等级、72片大组件等设计都没有得到广泛应用，甚至不如印度、越南等国家。造成这种巨大反差的原因很多，如光伏系统没有数据化，限电，电站开发者与最终持有者往往不是同一个主体等，但最核心的原因仍然是我们缺乏完整而坚实的光伏应用技术基础和数量庞大到足以支撑快速发展的光伏市场。这种情况在分布式光伏市场也很普遍，用户最终能够获得一座质量如何的电站，相当程度上还要依赖运气。

随着大型光伏电站的智能化与数据化的逐渐发展，上述情况也得以好转，但在一些中小规模的分布式光伏项目中，行业标准难以完全规范实行，因此从业人员的技能水平仍然是最为关键的决定性因素。

近年来光伏产业技术呈现百花齐放的趋势，产业技术进步令人欣喜的同时，也给从业人员带来选择的困扰。同时光伏行业进步飞速，产业不断升级，推出更优秀的解决方案，也要求从业者具备很强的学习能力。

本书第一作者刘继茂先生专注光伏逆变器领域十余年，一直以秉笔直言著称，多年前就一直为我们提供技术稿件，深受业内好评与广泛关注。

此次刘先生发下宏愿：希望能够让从业者通过本书，从零基础起，也能够做出合格的光伏电站。同时他也几易其稿，为的就是读者能够紧跟最新的光伏产业和技术潮流。

这是一本求真之书，求真务实，与时俱进。我希望，通过本书的问世，进一步夯实光伏产业最根本的技术基础。

如此，作者功莫大焉。

Solarbe 索比光伏网总编、智新研究院院长
曹宇

2019年8月11日于北京

光伏行业这几年发展很快，从2007年开始，笔者从研发转到售前、售后和市场，一直都在光伏行业一线工作，逐渐积累了一些经验。工作之余，笔者将点滴经验通过互联网分享给了广大读者。2012年，国内逆变器的价格开始直线式下降，笔者于7月在网上发表《光伏逆变器降成本之殇》，第一次系统讲述了如何降低集中式逆变器的成本，得到了意想不到的关注。当时国内主要的光伏专业网站都转载了，浏览量超过50万，从此笔者开始写一些技术类文章。2014年，有些公司开始推组串式逆变器和集中式逆变器，当时业内对这两种技术方案缺乏基本的认识，笔者写了《组串式逆变器和集中式逆变器选型之比较》，解答了大多数人的困惑，成为经典之作。2015年，国内分布式光伏市场大爆发，由于很多新进来的厂家技术条件有限，出了问题不知道如何解决，笔者总结了多年的售后经验，写成《分布式光伏电站常见故障原因及解决方案》。这篇文章转载最多，直到现在，每几个月就会有网站和微信公众号重新编辑发布一次。在广大读者的关心和支持下，笔者陆续编写了很多文章，自己深深感到有必要把多年来发表的文章、收集的资料编辑、整理成册，为光伏行业发展略尽绵薄之力。于是，便有了本书。

本书具有以下几个特点：

(1) 定位准确，详略得当。本书的定位针对家庭光伏和中小型工商业光伏，目的是让一个没有装过光伏但有电工技术背景的人，通过本书的阅读可以掌握分布式光伏发电系统基础知识，能顺利地安装、维护常见分布式光伏系统。出于这样的考虑，本书从光伏系统的分类开始，逐一介绍组件、逆变器基本知识、支架方案、电缆设计与施工等必备知识技能，对分布式光伏每一个部件、设计施工运维过程等，都有详细陈述。

(2) 贴近实际，解决实际问题。本书没有复杂的公式，也没有深奥的理论，力

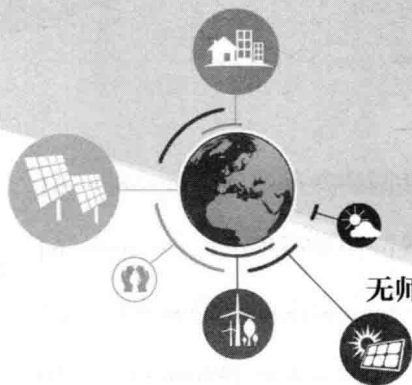
求以通俗易懂的语言,解决在系统设计、安装、运维中遇到的问题。书中所列举的案例,都是来自实际应用的。

(3) 与时俱进,紧跟技术发展步伐。本书于2017年4月完成初稿,不少内容在微信公众号、网站上发表过,很多热心的读者提出中肯的建议。根据组件、支架、逆变器发生的变化,结合技术发展趋势,笔者对以前写的文章做了相应修改。例如,修改了光伏组件的部分内容,在光伏并网和离网的基础上,加入了并离网系统、并网储能系统、微网系统,书中对这些系统都做了详细介绍并给出具体的方案。此外,还收录了分布式光伏发电项目常用的一些资料作为附录,非常实用。

本书付梓之际,要特别感谢阳光工匠学社(光伏电站建设岗位培训中心),以及光伏行业技术专家王志民先生、张正学先生,在百忙之中抽出时间,对内容进行了精心审阅和修改。由于作者水平有限,时间仓促,不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2019年7月



无师自通：分布式光伏发电系统设计、安装与维护

目 录

前言

第 1 章 光伏发电概述	1
1.1 分布式光伏发电系统	1
1.2 光伏发电的优缺点	4
1.3 光伏发电系统概述	8
第 2 章 光伏组件	13
2.1 晶硅组件的构成	13
2.2 薄膜太阳能电池的界定及分类	17
2.3 晶硅组件和薄膜组件对比	20
2.4 光伏组件技术参数	22
2.5 晶硅组件发展情况	26
2.6 晶硅组件常见问题及检测方法	34
第 3 章 光伏安装必备电工知识	37
3.1 电学基本物理量	37
3.2 基本电路知识	41
3.3 光伏系统测量仪器	44
3.4 光伏系统中的安全器件	48
3.5 光伏系统防雷与接地系统的设计	50
第 4 章 光伏逆变器	57
4.1 光伏逆变器的种类与主要功能	57

4.2	集中式逆变器和组串式逆变器选型	61
4.3	高频隔离光伏逆变器的妙用	64
4.4	光伏逆变器拓扑结构与功率器件的发展	67
4.5	光伏逆变器 MPPT 技术和对系统发电量影响	70
4.6	逆变器对电网的保护功能	72
4.7	世界各国电网结构与逆变器的选型	74
4.8	光伏认证	77
4.9	逆变器设计	81
4.10	逆变器在光伏系统中的作用	84
4.11	太阳能组件和逆变器配比	87
4.12	并网逆变器如何开创智能电网时代	89
4.13	光伏逆变器中的黑科技	93
4.14	光伏逆变器营销方式和技术发展探讨	107
第 5 章	分布式光伏常用部件	111
5.1	光伏支架	111
5.2	光伏系统储能电池原理及应用	116
5.3	光伏系统电缆设计选型与施工	128
5.4	变压器的基本结构和工作原理	131
5.5	电气开关	136
5.6	光伏逆变器中的电感器件	141
5.7	光伏连接器	144
5.8	户用光伏配电箱原理及典型设计	148
第 6 章	分布式光伏系统典型设计方案	151
6.1	分布式家用光伏方案典型设计	151
6.2	分布式工商业光伏项目典型设计	155

6.3	光伏大棚扶贫电站方案	160
6.4	村级光伏扶贫电站典型设计方案	166
6.5	光伏离网系统	170
6.6	太阳能离网系统方案	174
6.7	太阳能并网储能系统方案	181
6.8	太阳能微电网储能系统方案	185
6.9	太阳能扬水系统典型设计方案	189
第 7 章	光伏电站调试、检查及维护	192
7.1	分布式光伏电站常见故障原因及解决方案	192
7.2	逆变器如何做好光伏电站的安全管家	195
7.3	逆变器输出交流电缆怎么选取最经济	202
7.4	光伏系统中原电力降压变压器能否做升压用	204
7.5	提高光伏系统发电量的小窍门	206
7.6	区分逆变器漏电流故障和绝缘阻抗故障	207
7.7	光伏系统发电量低原因分析	208
附 录	222
附录 A	分布式光伏发电项目手续办理流程	222
附录 B	分布式光伏发电屋顶租赁及使用协议样本	226
附录 C	分布式光伏发电项目并网服务知识问答	234
附录 D	分布式光伏发电项目并网验收和调试申请表	244
附录 E	各省(区、市)光伏电站最佳安装倾角及发电量速查表	245
参考文献	257

第1章 光伏发电概述

分布式光伏发电是一种新型的具有广阔发展前景的发电和能源综合利用方式，它倡导就近发电、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。

分布式光伏发电对如何最大限度利用太阳能、如何保证电网安全也提出了严格要求，这一过程中光伏逆变器的功能性和稳定性显得异常关键。分布式发电遵循因地制宜、清洁高效、分散布局、就近利用的原则，充分利用当地的太阳能资源，替代和减少化石能源消费。

1.1 分布式光伏发电系统

1.1.1 光伏电池发电原理

光伏电池是一种具有光、电转换特性的半导体器件，它直接将太阳辐射能转换成直流电，是光伏发电系统的最基本单元。光伏电池是借助于在晶体硅中掺入某些元素（如磷或硼等），从而在材料的分子电荷里造成永久的不平衡，形成具有特殊电性能的半导体材料。

在阳光照射下，具有特殊电性能的半导体内可以产生自由电荷，这些自由电荷定向移动并积累，从而在其两端闭合时便产生电能，这种现象被称为光生伏打效应，简称光伏效应。

1.1.2 光伏发电系统的构成

光伏发电系统由光伏方阵（光伏方阵由光伏组件串并联而成）、逆变器等部分组成。光伏发电系统的核心部件是光伏组件，而光伏组件又是由光伏电池串、并联并封装而成的，它将太阳的光能直接转化为电能。光伏组件产生的电为直流电，可以直接利用，也可以用逆变器将其转换为交流电加以利用。从另一个角度来看，对于光伏系统产生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放起来，根据需要随时释放出来



使用。

1.1.3 光伏发电的先进性

光伏发电具有显著的能源、环保和经济效益，是最优质的绿色能源之一。在我国平均日照条件下安装1kW光伏发电系统，1年可发出1200kWh电，可减少煤炭（标准煤）使用量约400kg，减少二氧化碳排放约1t。

根据世界自然基金会（WWF）研究结果：从减少二氧化碳效果而言，安装1m²光伏发电系统相当于植树造林100m²。目前发展光伏发电等可再生能源是根本上解决雾霾、酸雨等环境问题的有效手段之一。

1.1.4 光伏发电的潜力

地球表面接受的太阳能辐射能够满足全球能源需求的1万倍，地表面每平方米平均每年接收到的辐射随地域不同在1000~2000kWh，国际能源署数据显示，在全球4%的沙漠上安装太阳能光伏系统就足以满足全球能源需求。太阳能光伏享有广阔的发展空间，其潜力十分巨大。

1.1.5 分布式光伏发电的应用形式

分布式光伏发电包括并网型、离网型及微网等应用形式，并网型分布式发电多应用于用户附近，一般与中、低压配电网并网运行，自发自用，不能发电或电力不足时从电网上购电，电力多余时向网上售电。

离网型分布式光伏发电多应用于边远地区和海岛地区，它不与大电网连接，利用自身的发电系统和储能系统直接向负载供电。分布式光伏系统还可以与其他发电方式（如水电、风电）组成多能互补微电网系统，既可以作为微电网独立运行，也可以并入电网联网运行。

1.1.6 分布式光伏发电应用场合

分布式光伏发电系统的适用场合可分为两大类：

（1）可在全国各类建筑物和公共设施上推广，形成分布式建筑光伏发电系统，满足电力用户的部分用电需求，为高耗能企业提供生产用电。

（2）可在偏远地区海岛等少电无电地区推广，形成离网发电系统或微电网。

以往的农网工程大多依靠大电网的延伸，小水电、小火电等供电，电网延伸困难极大且供电半径过长，导致电能质量较差。发展离网型分布式发电不仅可以解决处于无电少电地区居民基本用电问题，还可以高效地利用当地的清洁可再生能源，有效解决能源和环境之间的矛盾。

1.1.7 分布式光伏发电系统适用地点

(1) 工业园区：特别是在用电量比较大、电费比较贵的工厂，通常厂房屋顶面积很大，屋顶开阔平整，适合安装光伏阵列。而且由于用电负荷较大，分布式光伏并网系统可以就地消纳，抵消一部分电量，从而节省用户的电费。

(2) 商业建筑：与工业园区的作用效果类似，不同之处在于商业建筑多为水泥屋顶，更有利于安装光伏阵列，但是往往对建筑美观性有要求。根据商厦、写字楼、酒店、会议中心、度假村等服务业的特点，用户负荷特性一般表现为白天较高，夜间较低，能够较好地匹配光伏发电特性。

(3) 农业设施：农村有大量的可用屋顶，包括自有住宅、蔬菜大棚、鱼塘等，农村往往处在公共电网的末端，电能质量较差。在农村建设分布式光伏系统可提高用电保障和电能质量。

(4) 市政等公共建筑物：由于管理规范统一，用户负荷和商业行为相对可靠，安装积极性高，市政等公共建筑物也适合分布式光伏的集中连片建设。

(5) 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、四川等省区的边远农牧区及沿海岛屿还有数百万无电人口，离网型光伏系统或与其他能源互补微网发电系统非常适合在这些地区应用。

1.1.8 与建筑结合的分布式光伏发电系统

与建筑物结合的光伏并网发电是当前分布式光伏发电重要的应用形式，技术发展很快，主要表现在与建筑结合的安装方式和建筑光伏的电气设计方面。按照与建筑结合的安装方式的不同，可以分为光伏建筑集成和光伏建筑附加。

1.1.9 光伏阵列在建筑物立面安装和屋顶安装的差异

光伏阵列与建筑物相结合的方式可分为屋顶安装和侧立面安装两种方式，这两种安装方式适合大多数建筑物。

屋顶安装形式主要有水平屋顶、倾斜屋顶和光伏采光顶。其中，水平屋顶上光伏阵列可以按最佳角度安装，从而获得最大发电量，并且可采用常规晶体硅光伏组件，减少组件投资成本，经济性相对较好。但是这种安装方式的美观性一般。

在北半球向正南、东南、西南、正东或正西的倾斜屋顶均可以用于安装光伏阵列，在正南向的倾斜屋顶上可以按照最佳朝向或接近最佳朝向安装。

光伏采光顶是指以透明光伏电池作为采光顶的建筑构件，美观性很好，并且满足透光的需要。但是光伏采光顶需要透明组件，组件效率较低。除发电组件透明外，采光顶构件



要满足一定的力学、美学、结构连接等建筑方面的要求，组件成本和发电成本高。

侧立面安装主要是指在建筑物南墙、西墙、东墙上安装光伏组件的方式，对于高层建筑来说墙体是与太阳光接触面积最大的外表面，光伏幕墙是使用得较为普遍的一种应用方式。

1.1.10 农业大棚、鱼塘中分布式光伏并网系统的适用性

大棚的升温、保温一直都是个困扰农户的重点问题，光伏农业大棚有望解决这一难题。由于夏季的高温，6~9月众多品类的蔬菜无法正常成长，而光伏农业大棚如同在农业大棚外添加了一个分光计，可隔绝红外线，阻止过多的热量进入大棚。在冬季和黑夜的时候光伏农业大棚又能阻止大棚内的红外波段的光向外辐射，起到保温效果。光伏农业大棚能供给大棚内照明等所需电力，剩余电力还能并网。

离网形式的光伏大棚可与LED系统相互调配，白天阳光保障植物生长，同时发电，黑夜LED系统可应用白天电力提供照明。

在鱼塘中也可以架设光伏阵列，池塘可以继续养鱼，光伏阵列还可以为养鱼提供良好的遮挡作用，较好地解决了发展新能源和大量占地的矛盾。

1.2 光伏发电的优缺点

1.2.1 光伏发电的优点

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、生物质能发电和核电等相比，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，具有以下主要优点：

（1）太阳能资源取之不尽，用之不竭，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，避免了长距离输电中线路所造成的电能损失。

（3）光伏发电的能量转换过程简单，是直接从光能到电能的转换，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上。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(25年以上)。晶体硅太阳能电池寿命可长达20~35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。

太阳能光伏发电是一种大有前途的新型电源, 具有永久性、清洁性和灵活性三大优点。太阳能光伏发电与火力发电、核能发电相比, 不会引起环境污染; 太阳能电池可以大、中、小并举, 大到百万千瓦的中型电站, 小到只供一户用电的独立太阳能发电系统。这些特点是其他电源无法比拟的。

1.2.2 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, 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太阳辐射能量的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, 地球表面辐照度最高值约为 $1.2\text{kW}/\text{m}^2$, 且绝大多数地区和大多数日照时间内都低于 $1\text{kW}/\text{m}^2$ 。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 10kW 光伏发电功率占地约需 100m^2 , 平均每平方米面积发电功率为 100W 。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光能转换为电能的比率。目前晶体硅光伏电池转换效率为 $17\% \sim 21\%$, 非晶硅光伏电池只有 $8\% \sim 15\%$ 。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。

(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）等沉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甚至电池板的损坏。

（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。

1.2.3 光伏电站的辐射性

随着国家政策不断向分布式光伏倾斜，光伏技术水平提高，度电成本下降，投资分布式光伏电站非常划算。但是很多人还是有些担忧：屋顶装那么多光伏组件，逆变器输出那么大电流，有没有电磁辐射，对人体和家用电器有没有影响？

1. 电磁辐射

辐射究竟是什么？它是指物体以波或粒子的形式向周围空间发射能量的过程。自然界中的一切物体只要其温度在绝对零度以上，都会以电磁波或粒子的形式不停向外界传送能量。换句话说，世间万物都有辐射，包括人体自身，都在时时刻刻向外辐射。但是，并非所有的辐射都是有害的，有些甚至是人体必需的，比如太阳的辐射——阳光，晒太阳，其实就是接受太阳的辐射。

电磁辐射虽然不会改变生物体的分子性质，造成直接伤害，但如果能量较大，也会对生物体造成一定的影响，体现在两个方面：热效应和感应电流。电磁辐射对家用设备也会造成干扰，如干扰手机、收音机和电视机的信号。

2. 电磁辐射的原理

根据电磁学基本理论，带电粒子周围会有相应的电场分布，随时间变化的带电粒子会产生变化的电场；由于带电粒子周围电位不同的两点之间存在电位差，因此在两点间形成了电压；当大量的带电粒子定向移动时便形成了电流，电流周围产生磁场，随时间变化的电流则会产生变化的磁场。同样，随时间变化的磁场也能产生电场，这样变化的电场和磁场交替的产生，互相垂直并不断向空间传播，就产生了电磁辐射。电磁辐射所携带的能量大小取决于其频率的高低，频率越高，能量就越大。

3. 光伏系统的电磁辐射

光伏系统由光伏组件、支架、直流电缆、逆变器、交流电缆、配电柜、变压器等组成，其中支架不带电，自然不会产生电磁干扰。光伏组件和直流电缆，里面是直流电流，方向没有变化，只能产生电场，不能产生磁场。输出变压器虽然是交流电，但频率很低，只有50Hz，产生的磁场很低。逆变器是把直流电转为交流电的设备，里面有电力电子变换，频率一般为5~20kHz，因此会产生交变电场，所以也会产生电磁辐射。国家对光伏逆变

器电磁兼容性有严格的标准。

辐射发射：家用或直接连接到住宅的低压供电网设施中使用的逆变器应满足GB 4824—2013《工业、科学和医疗（ISM）射频设备 骚扰特性 限值和测量方法》中1组B类限值，见表1-1。

表1-1 逆变器EMC电磁辐射值

频率 (MHz)	骚扰限值 [dB (μV/m)]		
	试验场		现场
	1组A类设备, 测量距离10m	1组B类设备, 测量距离10m	1组A类设备, 测量距离30m (指距设备所在建筑物外墙的距离)*
30~230	40	30	30
230~1000	47	37	37

* 考虑到现场测试环境的本底噪声状况，允许距离10m处测量，相应限值增加10dB。

4. 光伏逆变器EMC电磁干扰解决方法

光伏逆变器作为一个电力电子设备，开关频率较高，组串式逆变器通常达20kHz左右，电流也比较大，如果不采取措施，就会有很大的电磁干扰。通常的方法有屏蔽、滤波和接地3种方法。屏蔽能够有效地抑制通过空间传播的电磁干扰。采用屏蔽的目的有两个，一个是限制内部的辐射电磁能量外泄出控制区域，另一个就是防止外来的辐射电磁能量进入内部控制区，逆变器采用铝或者铁等导体全金属封装。滤波是控制EMI传导干扰，通常采用三种器件来实现：去耦电容、EMI滤波器和磁性元件。逆变器输入端和输出端有X电容和Y电容、共模电感和磁珠、磁环等磁性元件。不论采用何种方法抑制EMI干扰，最终都要通过接地把静电泄放，因此逆变器的接地非常重要。除了抑制EMI干扰，接地还有提供零电位参考点和安全保护等作用。

5. 光伏逆变器传导发射要求

家用或直接连接到住宅的低压供电网设施中使用的逆变器应满足GB 4824—2013中1组B类限值，见表1-2。

表1-2 逆变器EMC电磁传导值

频率 (MHz)	1组B类设备限值 [dB (μV/m)]	
	准峰值	平均值
0.15~0.50	66~56 随频率的对数线性减少	59~46 随频率的对数线性减少
0.5~5	56	46
5~30	60	50



光伏系统有电磁辐射，但比较少。采用合格的设备，不会对人体造成伤害和对家用电器造成干扰。光伏组件是直流电，不会产生辐射，逆变器的辐射严格控制在安全范围内，安装时要注意以下几点：逆变器不要安装在卧室和客厅内，尽量安装在室外；地线（PE）必须接，相应的接地系统装置必须完整且符合规范。

1.3 光伏发电系统概述

根据不同的应用场合，太阳能光伏发电系统一般分为并网发电系统、离网发电系统、并离网储能系统、并网储能系统和多种能源混合微网系统等五种。

1.3.1 并网发电系统

光伏并网系统由太阳能电池组件组成的光伏方阵、并网逆变器、光伏电能表、负载、双向电能表、并网柜和电网组成（见图1-1）。组件发出的直流电，经逆变器转换成交流电送入电网。目前主要有大型地面电站、中型工商业电站、小型家用电站三种形式。

由于并网光伏发电系统不需要使用蓄电池，节省了成本。国家发布的并网新政策已经明确表示，家庭光伏电站免费并网，分布式发电光伏发电，国家补贴0.42元/kWh（到2018年1月降为0.37元/kWh，2018年6月降为0.32元/kWh，以后不定期下降）。自己用电不花钱，多余的电还可以卖给电力公司。从投资的长远角度，按家庭光伏电站25年的使用寿命计算，6~10年可以回收成本，剩下的十几年就是纯收益。

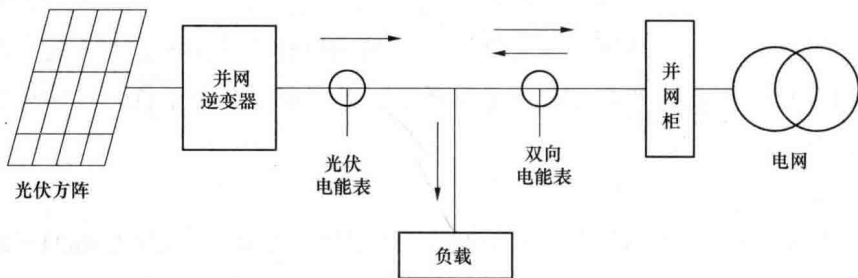


图1-1 并网发电系统示意图

分布式光伏并网系统，负载优先使用太阳能，当负载用不完后，多余的电送入电网。当光伏电量不足时，电网和光伏可以同时给负载供电。并网逆变器依赖于电网，当电网断电时，逆变器就会启动孤岛保护功能，逆变器停止运行，太阳能不能发电，负载也不能工作。

1.3.2 离网发电系统

离网型光伏发电系统，不依赖电网而独立运行，广泛应用于偏僻山区、无电区、海岛、通信基站和路灯等应用场所。系统一般由太阳能电池组件组成的光伏方阵、太阳能控