

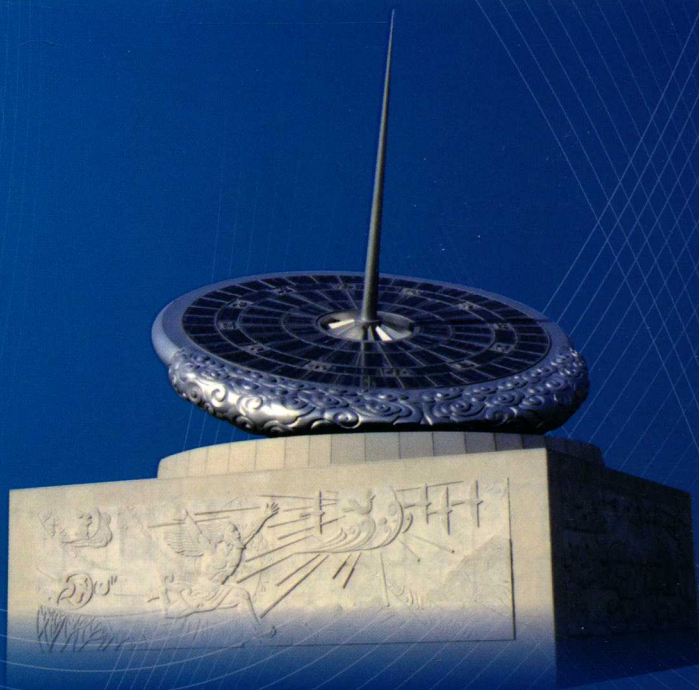


“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

21世纪全国高职高专机电系列技能型规划教材

光伏发电系统的运行与维护

付新春 静国梁 主编



教材预览、申请样书



微信公众号: pup6book



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS



“十二五”职业教育国家规划教材

经全国职业教育教材审定委员会审定

21 世纪全国高职高专机电系列技能型规划教材

光伏发电系统的运行与维护

主 编 付新春 静国梁
副主编 查超麟 廖东进 王素梅
主 审 许 可



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书全面介绍光伏发电系统,将光伏发电系统各环节分解,以系统设备的构成、运行维护保养、故障排除为主线,采用“项目引领、任务驱动”的模式,认识光伏发电系统实物组成、电站的运行操作和故障排除,通过完成项目中的各个具体任务而掌握光伏电站运行与维护的操作技能,在具体的项目中,领悟知识,理解思路,学会应用。

本书引领读者直接进入光伏发电系统运行环境,掌握光伏发电系统运行和维护所需的基本知识及技能。在内容安排上深入浅出,通俗易懂,环环相扣,读者可以通过本书系统地学到光伏发电系统实际运行与维护等方面的知识和操作技能,实现与工作现场及对应岗位的无缝隙对接。

本书可作为高职类光伏发电技术及应用、电气自动化技术、应用电子技术等专业的教学参考用书,也可作为从事太阳能光伏发电系统开发、运行与维护的工程技术人员必备参考书。

图书在版编目(CIP)数据

光伏发电系统的运行与维护/付新春,静国梁主编. —北京:北京大学出版社,2015.8

(21世纪全国高职高专机电系列技能型规划教材)

ISBN 978-7-301-24589-7

I. ①光… II. ①付…②静… III. ①太阳能发电—电力系统运行—高等职业教育—教材
②太阳能发电—电力系统—维修—高等职业教育—教材 IV. ①TM615

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 176710 号

书 名	光伏发电系统的运行与维护
著作责任者	付新春 静国梁 主编
策划编辑	刘晓东
责任编辑	李娉婷
标准书号	ISBN 978-7-301-24589-7
出版发行	北京大学出版社
地 址	北京市海淀区成府路 205 号 100871
网 址	http://www.pup.cn 新浪微博:@北京大学出版社
电子信箱	pup_6@163.com
电 话	邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667
印 刷 者	北京富生印刷厂
经 销 者	新华书店
定 价	787 毫米×1092 毫米 16 开本 15 印张 342 千字 2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷 33.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子信箱:fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题,请与出版部联系,电话:010-62756370

前 言



太阳能作为洁净、可再生能源得到世界各国高度重视,光伏发电系统得到了大规模推广与应用,光伏产业作为世界高度关注的新兴能源产业,近年来发展非常迅猛。大力发展可再生能源,走可持续发展的道路,已成为世界各国的共识。由于太阳能是一种非常理想的能源,根据其特点和实际应用需要,目前太阳能发电分为光热发电和光伏发电两种,通常所说的太阳能发电是指太阳能光伏发电。光伏发电是利用半导体的光生伏特效应将光能直接转变为电能的一种发电技术。

由于太阳能光伏发电具有独特的优点,其应用与普及越来越受到人们的重视。我国的太阳能资源十分丰富,为太阳能的利用创造了有利的自然条件。光伏产业已成为我国发展迅速的高新技术产业之一,其应用规模和领域也在不断扩大,从原来只在偏远无电地区和特殊用电场合使用,发展到城市并网系统和大型光伏电站。随着社会的发展和技术的进步,太阳能光伏发电在能源结构中所占份额逐年增加。在不远的将来,太阳能光伏发电将成为世界能源供应的主体,一个光辉灿烂的太阳能时代即将到来。

本书从太阳能光伏发电系统入手,与前序课程光伏发电技术基础、电力电子技术、单片机原理与控制技术等紧密结合,采用以工作任务(项目)为导向的教学方法,以光伏发电系统的运行与维护为主线,以培养学生的动手操作能力为宗旨,以实际工作岗位为立足点,根据高职院校学生学习特点和认知能力,本着“安全实用”“浅显易懂”的原则,学校与企业合作共同编写。本书编写过程中,在保证科学性、针对性和实用性的同时,注重通俗性。

本书由付新春、静国梁担任主编,查超麟、廖东进和王素梅担任副主编,编写分工为:付新春编写项目一,静国梁编写项目二,查超麟和卢成飞编写项目三,王素梅和李杨编写项目四,廖东进和屈道宽编写项目五。许可博士审阅了全书,并提出了宝贵的修改意见。在本书编写过程中得到了晶科能源控股有限公司、山东栋梁科技设备有限公司及山东国电电力培训中心等企业的大力支持与帮助,在此表示衷心感谢。本书编写时参考并引用了一些资料,已在文后列出,在此对相关专家学者和单位一并表示诚挚的感谢!

由于太阳能光伏发电技术所涉及的知识面广,相关技术发展迅猛,再加之编者的水平和经验有限,书中难免存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2015 年 3 月

目录

CONTENTS

项目一 太阳能光伏发电系统常用设备及安装	1
任务一 太阳能光伏发电系统	2
任务二 光伏汇流箱	9
任务三 光伏控制器	17
任务四 直流配电柜	29
任务五 光伏逆变器	38
任务六 交流配电柜	55
任务七 电力变压器	70
项目小结	81
思考练习题	81
项目二 光伏配套系统工程设备	84
任务一 柴油发电机组	85
任务二 低压架空线路及电力电缆线路	96
任务三 微机监控系统	104
任务四 接地与防雷	116
项目小结	123
思考练习题	123
项目三 太阳能光伏发电系统运行与维护	127
任务一 太阳能光伏发电系统管理制度	128
任务二 光伏电站控制室的运行管理	132
任务三 光伏发电系统运行与维护操作	136
任务四 光伏系统的测量和维护记录	142
项目小结	149
思考练习题	149
项目四 太阳能光伏系统常见故障与排除	151
任务一 太阳能光伏电源故障	152
任务二 线路及设备故障	163
项目小结	178
思考练习题	178



项目五 光伏发电系统运行维护实训案例	183
任务一 2.5MW _p 并网电站案例简介	184
任务二 “光伏日晷” 离网电站案例简介	200
项目小结	224
思考练习题	224
参考文献	227

项目一

太阳能光伏发电系统常用设备及安装

太阳能光伏发电是一种零排放的清洁能源，也是一种能够规模应用的现实能源，可用来进行独立发电和并网发电。太阳能光伏发电是指依靠太阳电池，把光能直接转换成电能输出，太阳电池输出的直流电流在控制器、逆变器、蓄能装置、输电线路及相关配套装置的作用下，向用户输出稳定可靠的电力。



任务一 太阳能光伏发电系统

太阳能发电具有独特的优势和巨大的开发利用潜力，有着广泛的用途，目前太阳能发电主要有太阳光发电与太阳热发电。太阳光发电是指无须通过热过程直接将太阳光能转变成电能的发电方式，它包括光伏发电、光化学发电、光感应发电和光生物发电等。其中，光伏发电就是利用太阳电池这种半导体电子器件有效地吸收太阳光辐射能，配合相关设备及电路使之转变成电能的直接发电方式，是当今太阳光发电的主流。我们通常所说的太阳光发电就是指太阳能光伏效应发电，简称太阳能光伏发电。

1.1.1 光伏发电原理及应用

1. 太阳能光伏发电原理

光生伏打效应在液体和固体物质中都会发生，但是只有固体，尤其是半导体 PN 结器件在太阳光照射下的光电转换效率较高。利用光生伏打效应原理制成晶体硅太阳电池，可将太阳的光能直接转换成为电能。太阳能光伏发电的能量转换器是太阳电池，又称光伏电池，是太阳能光伏发电系统的基础和核心器件。

太阳能光伏发电原理如图 1-1-1 所示。

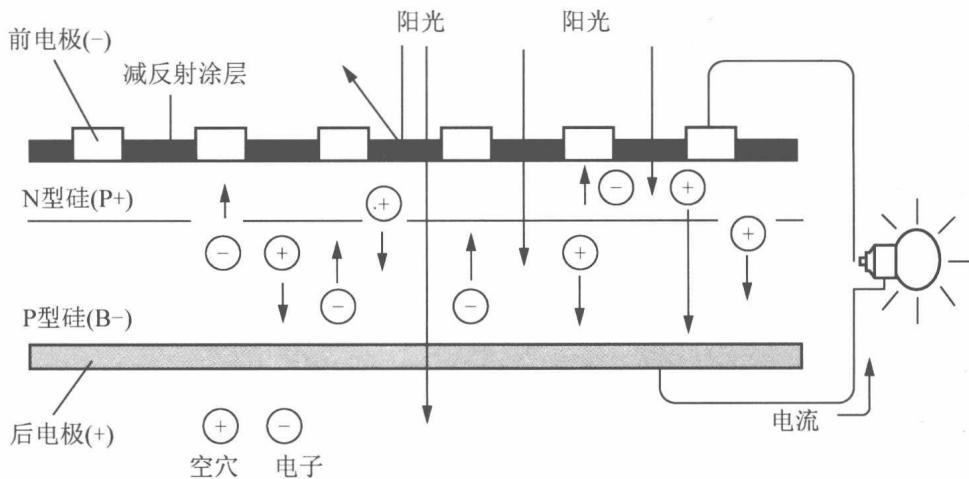


图 1-1-1 太阳能光伏发电原理

太阳能转换为电能的过程主要包括以下 3 个步骤。

- (1) 太阳电池吸收一定能量的光子后，半导体内产生电子-空穴对，称为“光生载流子”，两者的电极性相反，电子带负电，空穴带正电。
- (2) 电极性相反的光生载流子被半导体 PN 结所产生的静电场分离开。
- (3) 光生载流电子和空穴分别被太阳电池的正、负极收集，并在外电路中产生电流，从而获得电能。

当光线照射太阳电池表面时，一部分光子被硅材料吸收，光子的能量传递给硅原子，



使电子发生跃迁,成为自由电子,在PN结两侧集聚形成电位差。当外部电路接通时,在该电压的作用下,将会有电流流过外部电路产生一定的输出功率。这个过程的实质是光子能量转换成电能的过程。

在太阳能光伏发电系统中,系统的总效率由光伏电池组件的光电转换效率、控制器效率、蓄电池效率、逆变器效率及负载的效率等决定。目前,太阳电池的光电转换效率只有17%左右。因此,提高太阳电池的光电转换效率、降低太阳能光伏发电系统的单位功率造价,是太阳能光伏发电产业化的重点和难点。自太阳电池问世以来,晶体硅作为主要材料保持着统治地位。目前对硅太阳电池转换效率的提高,主要围绕着加大吸能面(如采用双面电池减小反射)、运用吸杂技术和钝化工艺提高硅太阳电池的转换效率、电池超薄型化等方面进行。

2. 太阳能光伏发电的优势

与生物质能、水能、风能和太阳能等几种常见新能源的对比分析,太阳能光伏发电具有以下独特优势。

(1) 光伏发电具有明显的经济优势。太阳能可以随地取用,屋顶、墙面都可成为太阳能光伏发电利用的场所。从太阳能光伏电站建设成本来看,随着太阳能光伏发电的大规模应用和推广,尤其是上游晶体硅产业和光伏发电技术的日趋成熟,建筑房顶、外墙等平台的复合开发利用,每千瓦太阳能光伏发电的建设成本逐渐降低,相比其他可再生能源已具有经济优势。

(2) 太阳能是取之不尽的可再生能源。相对于人类历史来说,太阳能可源源不断供给地球的时间可以说是无限的,这就决定了开发利用太阳能将是人类解决常规能源缺乏、枯竭的最有效途径。

(3) 对环境没有污染。太阳能像风能、潮汐能等洁净能源一样,其开发利用时几乎不产生任何污染,加之其储量的无限性,是人类理想的替代能源。由于传统化石燃料在使用过程中排放出大量的有毒有害物质,而太阳能作为一种比较理想的清洁能源,在发电过程中没有废渣、废料、废水、废气排出,没有噪声,不产生对人体有害的物质,不会污染环境。

(4) 能量转换环节最少。从能量转换环节来看,太阳能光伏发电是直接将太阳辐射能转换为电能,在所有可再生能源利用中,太阳能光伏发电的转换环节最少、利用最直接。目前,晶体硅太阳电池的光电转换效率实用水平为15%~20%,实验室最高水平已达35%。

(5) 可免费使用且无须运输。人类可以通过专门的技术和设备将太阳能转化为热能或电能,就地加以利用,无须运输,为人类造福。而且人类利用太阳能这一取之不尽的能源也是免费的。太阳能对地球上绝大多数地区具有存在的普遍性,可就地取用。

3. 太阳能光伏发电系统的应用

目前,太阳能光伏发电系统主要应用于以下4个方面。

(1) 为无电场合提供电源,主要为广大无电地区居民生活、生产提供电力,为微波中继站和移动电话基站提供电源等。



(2) 太阳能日用电子产品, 如各类太阳能充电器、太阳能路灯和太阳能草坪灯等。

(3) 工业及航空电子产品, 包括太阳能电动汽车、太阳能卫星、太阳能航天器、空间太阳能电站等。

(4) 并网发电, 在发达国家已经大面积推广实施, 我国并网发电正在发展阶段。

1.1.2 太阳能光伏发电系统运行方式及组成

太阳能光伏发电系统是利用太阳电池光伏组件和各种电气设备及其他辅助设备将太阳能转换成可供各类负载使用的电能系统。太阳能光伏发电系统从太阳电池接收太阳辐射到转换成电能使用, 具体有两个过程: 第一是能量转换过程——光能转换为电能, 第二是能量的储存、传输与使用。那么, 太阳电池所产生的电能如何进行储存、传输与使用就决定了太阳能光伏发电系统不同的运行方式。

1. 太阳能光伏发电系统运行方式

根据系统的构成和负载的种类, 可分为独立运行系统、并网运行系统和混合运行系统。

1) 独立运行系统

不与公共电网相连接, 仅仅为太阳电池所在的单独系统供电, 与电力公共电网系统不发生任何关系的闭合系统。典型特征是用蓄电池来存储电能, 实现离网发电运行模式, 也叫作独立型光伏发电系统。它可以分为储能式直流光伏系统、交/直流两用光伏系统。这种运行模式主要用于电网覆盖不到的边远山区或者是太阳光照不足, 不能满足与电网互通需要的地区, 主要用于满足单个用户的一天工作、生活用电等。

独立运行系统, 按其用途和设备场所环境的不同而异。

(1) 带专用负载的光伏发电系统。带专用负载的光伏发电系统可能是仅仅按照其负载的要求来构成和设计的。因此, 输出功率为直流, 或者为任意频率的交流。这种系统, 使用变频调速运行在技术上可行。如在电机负载的情况下, 变频启动可以抑制冲击电流, 同时可使变频器小型化。

(2) 带一般负载的光伏发电系统。带一般负载的光伏发电系统是以某个范围内不特定的负载作为对象的供电系统。作为负载, 以工频运行比较方便, 如是直流负载, 可以省掉逆变器。当然, 实际情况可能是交流、直流负载都有。一般要配有蓄电池储能装置, 以便把太阳电池板白天发的电储存在蓄电池里, 供夜间或阴雨天时使用。这种系统构成, 可以设置一个集中型的光电场, 以便于管理。如果建造集中型的光电场在用地上有困难, 也可以沿配电线路分散设置多个单元光电场。

2) 并网运行系统

并网型系统分为可逆流系统和不可逆流系统两种。

(1) 可逆流系统。在光伏发电系统中, 若产生剩余电力, 可逆流系统采用由电力公司购买剩余电力的制度。现在, 住宅用的光伏发电系统几乎都采用可逆流系统。

(2) 不可逆流系统。在区域内的电力需求通常比可逆流系统的输出电力大, 因此在不可能产生逆流电力的情况下被采用。



光伏阵列输出的电能若是输送到公共电网，要通过逆变器将直流电变成交流电，通过标准接口与国家统一电网相连接。如果装机容量低可以低压侧并网，如果是大型并网系统就要升压并入高压电网，供全网用户使用，这就是我们所说的并网光伏发电运行模式。光伏并网发电是太阳能发电的主流发展方向，把太阳能发电系统与电网联系起来，这样当电能多余的时候，可以把多余的电能输送到电网；当电能不足时可以从电网获得电能补偿，满足工作和生活的需要。根据分布情况，并网光伏发电系统有集中式大型并网光伏电站和分布式小型并网光伏系统。集中式大型并网光伏电站，这种光伏系统里没有蓄电池存储单元，白天过剩的多余电量可通过逆变器出售给公用电力网，当用户需要更多的电能时，使用专门设计的并网逆变器可从公共电力网购回。

3) 混合型运行系统

区别于并网和离网两种光伏发电运行模式，即混合型发电系统。混合型光伏发电系统是指在光伏发电的基础上增加一组或多组发电系统，以弥补光伏发电系统受环境变化影响较大造成的光伏阵列发电不足，或电池容量不足等因素带来的供电不连续。一般使用柴油机发电机，称光伏/柴互补发电系统，发电机可提供较大的用电量功率，同时能向蓄电池充电，使蓄电池有两个独立的充电电源，减少初始投资、增加系统供电的可靠性；也可以是光伏/风力发电互补系统；也可以是包括发电机的光伏/风电混合系统，系统中又有了第三个电源向蓄电池充电，具有更大的优越性。当光伏阵列发电不足或蓄电池储量不足时，可以起动风互补或备用发电机组，它既可以给交直流负载供电，又可以经控制器后给蓄电池充电，或经逆变器后供交流负载使用。

2. 太阳能光伏发电系统组成

独立太阳能光伏发电系统在自己的闭路系统内部形成电路，是通过太阳电池将接收来的太阳辐射能量直接转换成电能供给负载，并将多余能量经过充电控制器后以化学能的形式储存在蓄电池中。并网发电系统通过太阳电池将接收来的太阳辐射能量转换为电能，再经过高频直流转换后变成高压直流电，经过逆变器逆变后向电网输出与电网电压同频、同相的正弦交流电流。

1) 独立太阳能光伏系统的构成

太阳能光伏发电系统的规模和应用形式各异，如系统规模跨度很大，小到 0.3~2W 的太阳能庭院灯，大到 MW 级的太阳能光伏电站；其应用形式也多种多样，在家用、交通、通信、空间等诸多领域都能得到广泛的应用。尽管光伏发电系统规模大小不一，但其组成结构和工作原理基本相同。独立的太阳能光伏系统由光伏阵列、蓄电池组、控制器、DC/AC 变换器、用电负载构成，如图 1-1-2 所示。

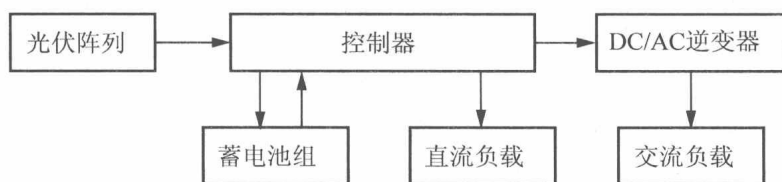


图 1-1-2 独立太阳能光伏系统构成



(1) 光伏阵列。在太阳能光伏发电系统中最基本的单元是太阳电池，它是收集太阳辐射能的核心组件。多个太阳电池组合在一起构成光伏组件。出于技术和材料的原因，单一太阳电池发电量是十分有限的，实用中的光伏阵列往往需要大量的光伏组件经串联、并联组成相应的系统。太阳电池主要分为晶体硅电池(包括单晶硅、多晶硅、带状硅)、非晶硅电池、非硅电池。

近年来，作为太阳电池主流技术的晶体硅电池的原材料价格不断上涨，从而致使晶体硅电池的成本大幅攀升，这使得非晶硅电池成本优势更加明显。另外，薄膜电池(大大节约原材料使用，从而大幅降低成本)已成为太阳电池的发展方向，但是其技术要求非常高。非晶硅薄膜电池作为目前技术最成熟的薄膜电池，是薄膜电池中最具有增长潜力的品种。

(2) 蓄电池。蓄电池组是太阳能光伏发电系统中的储能装置，由它将太阳电池方阵从太阳辐射能转换来的直流电转换为化学能储存起来，以供负载应用。由于太阳能光伏发电系统的输入能量极不稳定，所以一般需要配置蓄电池才能使负载正常工作。太阳电池产生的电能以化学能的形式储存在蓄电池中，在负载需要供电时，蓄电池将化学能转换为电能供应给负载。蓄电池的特性直接影响太阳能光伏发电系统的工作效率、可靠性和价格。蓄电池容量的选择一般要遵循以下原则：首先在能够满足负载用电的前提下，把白天光伏电池组件产生的电能尽量存储下来，同时还要能够存储预定的连续阴雨天时负载需要的电能。

蓄电池容量要受到末端负载需用电量和日照时间(发电时间)的影响。因此，蓄电池的安时容量由预定的负载需用电量和连续无日照时间决定。目前，太阳能光伏发电系统常用的是阀控密封铅酸蓄电池、深放电吸液式铅酸蓄电池等。

(3) 控制器。控制器的作用是使光伏电池组件和蓄电池高效、安全、可靠地工作，以获得最高效率并延长蓄电池的使用寿命。控制器对蓄电池的充、放电进行控制，并按照负载的电源需求控制光伏电池组件和蓄电池对负载输出电能。控制器是整个太阳能发电系统的核心部分，通过控制器对蓄电池充放电条件加以限制，防止蓄电池反充电、过充电及过放电。另外，控制器还应具有电路短路保护、反接保护、雷电保护及温度补偿等功能。由于太阳电池的输出能量极不稳定，对于太阳能发电系统的设计来说，控制器充、放电控制电路的质量至关重要。

控制器的主要功能是使太阳能发电系统始终处于发电的最大功率点附近，以获得最高效率。充电控制通常采用脉冲宽度调制技术(PWM控制方式)，使整个系统始终运行在最大功率点 P_m 附近区域。放电控制主要是指当蓄电池缺电、系统故障(如蓄电池开路或接反)时切断放电开关。目前研制出了既能跟踪调控点 P_m 又能跟踪太阳移动参数的“向日葵”式控制器，将固定光伏组件的效率提高了50%左右。随着太阳能光伏产业的发展，控制器的功能越来越强大，有将传统的控制部分、变换器及监测系统集成的趋势，如AES公司的SPP和SMD系列的控制器就集成了上述三种功能。

(4) DC/AC变换器。在太阳能光伏发电系统中，如果含有交流负载，那么就要使用DC/AC变换器，将光伏电池组件产生的直流电或蓄电池释放的直流电转化为负载需要的交流电。光伏电池组件产生的直流电或蓄电池释放的直流电经逆变主电路的调制、滤波、

升压后,得到与交流负载额定频率、额定电压相同的正弦交流电提供给系统负载使用。逆变器按激励方式,可分为自激式振荡逆变和他激式振荡逆变。逆变器应具有电路短路保护、欠压保护、过流保护、反接保护及雷电保护等功能。

(5) 用电负载。太阳能光伏发电系统按负载要求,有直流负载系统和交流负载系统。直流负载由控制器直接供给电流。

2) 并网太阳能光伏发电系统的构成

并网太阳能光伏发电系统由光伏阵列、控制器、并网逆变器组成,可以不经过蓄电池储能,通过并网逆变器直接将电能输入公共电网。因直接将电能输入公共电网,故免除配置蓄电池,省掉蓄电池储能和释放的过程,减少能量损耗,节省其占用的空间及系统投资与维护,降低了成本,发电容量可以做得很大并可保障用电设备电源的可靠性。但是,由于逆变器输出与电网并联,所以必须保持两组电源电压、相位、频率等电气特性的一致性,否则会造成两组电源相互间的充、放电,引起整个电源系统的内耗和不稳定。

并网太阳能发电系统的主要组件是逆变器。逆变器把太阳能光伏发电系统产生的直流电转换为符合电力部门要求的标准交流电,当电力部门停止供电(如公共电网出现故障)时,电源调节器会自动切断电源。当太阳能光伏发电系统输出的电能超过系统负载实际所需的电量时,将多余的电能传输给公共电网。在阴雨天或夜晚,太阳能光伏发电系统输出的电能小于系统负载实际所需的电量时,可通过公共电网补充系统负载所需要的电量。同时也要保证在公共电网故障或维修时,太阳能光伏发电系统不会将电能馈送到公共电网上,以使系统运行稳定可靠。并网太阳能发电是太阳能光伏发电的发展方向,是极具潜力的能源利用技术。

并网运行的太阳能光伏发电系统,要求逆变器具有同公共电网连接的功能。并网太阳能光伏发电系统构成如图 1-1-3 所示。

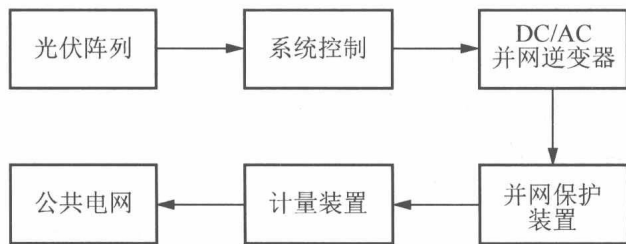


图 1-1-3 并网型太阳能光伏发电系统构成

根据光伏电池组件或光伏阵列安装的多样性,为了使太阳能的转换效率最高,要求并网逆变器具有多种组合运行方式,以实现最佳方式的太阳能转换。现在世界上比较通行的并网逆变器有:集中式并网逆变器、组串式并网逆变器、多组串式并网逆变器和微型并网(组件式)逆变器。

(1) 集中式并网逆变器。集中式并网逆变器一般用于大型太阳能光伏电站(大于 10 kW)中,很多并行的光伏组件被连到同一台集中逆变器的直流输入端。一般功率大的逆变器使用三相 IGBT 功率模块,功率较小的逆变器使用场效应晶体管,同时使用具有 DSP 的控制器来控制逆变器输出电能的质量,使它非常接近于正弦波电流。集中式并网逆变



器的最大特点是系统的功率大、成本低。但集中逆变式光伏发电系统受光伏组件的匹配和部分遮影的影响,使整个光伏发电系统的效率降低。同时,整个光伏发电系统的可靠性也受某一光伏单元组工作状态的影响。最新的研究方向是运用空间矢量调制控制技术,以及开发新的逆变器的拓扑连接,以获得集中逆变式光伏发电系统的高的效率。

集中式并网逆变器可以附加一个光伏阵列的接口箱,对每一光伏组件进行监控,如光伏阵列中有一光伏组件工作不正常,系统将会把这一信息传到远程控制器上,同时可以通过远程控制器让这一光伏组件停止工作,从而不会因为一个光伏组件故障而降低和影响整个光伏系统的功率输出。

(2) 组串式并网逆变器。组串式并网逆变器已成为现在国际市场上最流行的逆变器。该逆变器以模块化为基础,每个光伏组串(1~5 kW)通过一个逆变器,在直流端具有最大功率峰值跟踪,在交流端与公共电网并网。许多大型太阳能光伏电站使用组串式并网逆变器。其优点是不受组串间模块差异和遮影的影响,同时减少了光伏组件最佳工作点与逆变器不匹配的情况,从而增加了系统发电量。技术上的这些优势不仅降低了系统成本,也增加了系统的可靠性。同时,在组串间引入“主-从”概念,使系统在单组光伏组件不能满足单个逆变器工作的情况下,将几组光伏组件连在一起,让其中一个或几个组件工作,从而输出更多的电能。最新的为几个逆变器相互组成一个“团队”来代替“主-从”概念,进一步提高了系统的可靠性。目前,无变压器组串式并网逆变器已在太阳能光伏发电系统中占了主导地位。

(3) 多组串式并网逆变器。多组串式并网逆变器利用集中式逆变和组串式逆变的优点,避免了其缺点,可应用于几千瓦的光伏电站。在多组串式并网逆变器中,包含了不同的单独工作的功率峰值跟踪和 DC/DC 转换器,这些直流电通过一个普通的逆变器转换成交流电与公共电网并网。光伏组串的不同额定值(如不同的额定功率、每个组串不同的组件数、组件不同的生产厂家等)、不同的尺寸或不同技术的光伏组件、不同方向的组串(如东、南和西)、不同倾角或遮影,都可以被连在一个共同的逆变器上,同时每一组串都工作在它们各自的最大功率峰值上。同时,可减小直流电缆的长度,将组串间的遮影影响和由于组串间的差异而引起的损失减到最小。

(4) 微型并网(组件式)逆变器。微型并网(组件式)逆变器是将每个光伏组件与一个逆变器相连,同时每个组件有一个单独的最大功率峰值跟踪,使组件与逆变器的配合更好。通常用于 50~400W 的光伏发电站,总效率低于组串式逆变器。但由于是在交流处并联,所以增加了逆变器交流侧接线的复杂性,使维护困难。

另外,需要解决的是怎样更有效地与电网并网问题。简单的办法是直接通过普通的交流电插座进行并网,这样可以减少成本和设备的安装,但各地的电网安全标准不允许这样做,电力公司禁止将发电装置直接和普通家庭用户的普通插座相连。

并网太阳能光伏发电系统的最大特点是,光伏阵列产生的直流电经过并网逆变器转换成符合市电电网要求的交流电之后直接并入公共电网,不需配置蓄电池,可以充分利用光伏阵列所发的电能,从而减小能量的损耗,并降低系统成本。但是,系统中需要专用的并网逆变器,以保证输出的电力满足电网对电压、频率等电气性能指标的要求。因逆变器效率的问题,还是会有部分的能量损失。这种系统通常能够并行使用市电和太阳



能光伏发电系统发电作为本地交流负载的电源,降低整个系统的负载缺电率,而且并网光伏发电系统可以对公用电网起到调峰作用。但并网太阳能光伏发电系统作为一种分散式发电系统,对传统的集中供电系统的电网会产生一些不良的影响,如谐波污染、孤岛效应等。

3) 混合型光伏发电系统的构成

混合型光伏发电系统构成是以光伏发电系统(光伏阵列、功率变换器等)为用户提供电能为主,由其他发电系统(如柴油发电机、风力发电等)为备用电源,从而确保持续的电力供应的发电形式,如图 1-1-4 所示。

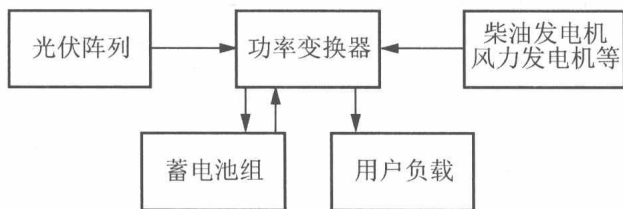


图 1-1-4 混合型光伏发电系统

1.1.3 光伏发电系统要求和本课程任务

太阳能光伏发电系统的基本工作原理就是在太阳光的照射下,将光伏电池组件产生的电能通过控制器的控制给蓄电池充电或者在满足负载需求的情况下直接给负载供电,如果日照不足或者在夜间则由蓄电池在控制器的控制下给直流负载供电,对于含有交流负载的光伏发电系统而言,还需要增加逆变器将直流电转换成交流电。光伏发电系统的应用具有多种形式,但是其基本原理大同小异。对于其他类型的光伏发电系统只是在控制机理和系统部件上根据实际的需要有所不同,本课程将从实际运用的角度对光伏发电系统主要设备及系统的运行维护做重点讲解。

任务二 光伏汇流箱

在光伏发电系统中,太阳能电池将太阳辐射能转换为一定电压(逆变器额定电压)和电流的直流电,再通过逆变器转换为交流电并入电网或者直接供给负载使用。可是,由于单个光伏组件的光电转换效率不高,所以,往往需要数量庞大的光伏组件进行串并组合达到系统所需的电压和电流输出。为了节约电缆,简化系统结构,提高系统的可靠性和可维护性等原因,并不是把每组光伏阵列的电缆直接接入逆变器,一般在光伏阵列与逆变器之间需要装设直流汇流装置——光伏汇流箱。

1.2.1 认识汇流箱

1. 作用

一般大型并网光伏电站的装机容量在几个 MW 到几百 MW,甚至更大。系统按 1~2MW 为基本单位,分成若干个光伏子阵列。



如图 1-2-1 所示，每个子阵列是由许多按照一定数量、规格相同的光伏组件串联组成的光伏组件串列，再将若干串列并联接入汇流箱，通过内部直流断路器、熔断器与避雷器后变为一路输出。这样，若干串并联后的组件通过汇流箱完成对光伏阵列输出电流的第一次汇总。之后将若干个汇流箱输入到直流配电柜，完成对光伏阵列输出电流的第二次汇总，使输出电流达到逆变器额定电流。通过逆变器将光伏阵列发出的直流电逆变成符合电网需求的交流电，经过交流配电装置后，通过输电电缆送到中央升压站统一升压和并网。由此可见，光伏汇流箱是应用于光伏电站中对光伏组件串列进行直流汇集及外围辅助元件监测的一种智能设备。

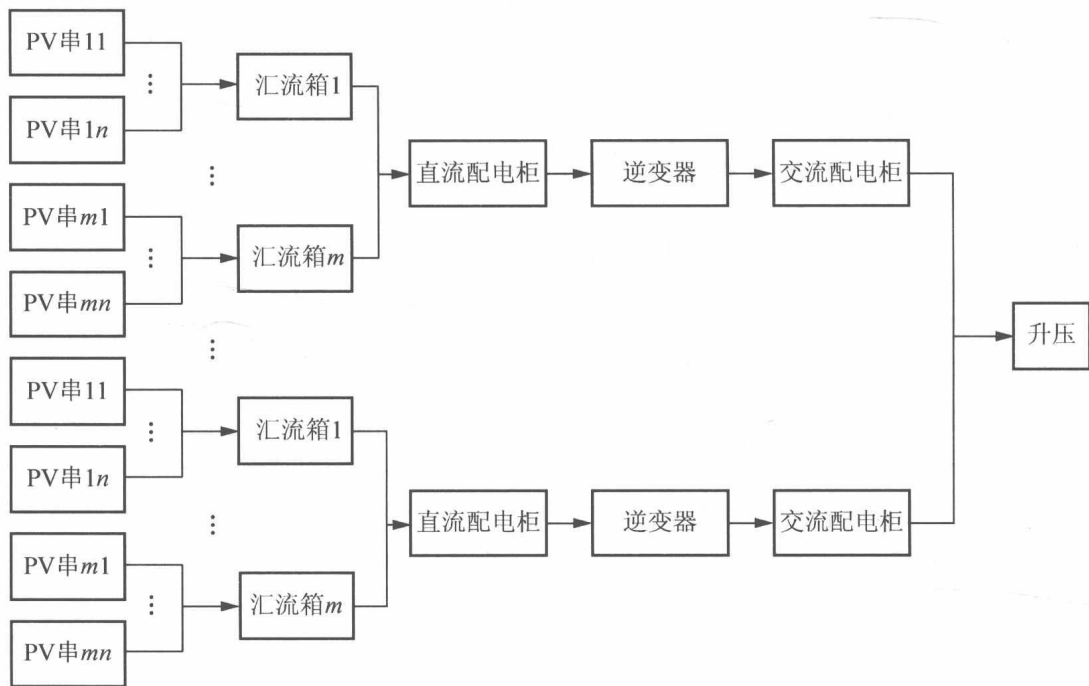


图 1-2-1 汇流箱在光伏发电系统中的应用

2. 结构与组成

汇流箱从外观结构上看，包括输入端子、输出端子和通信端子。其中，与光伏组件串列输出正极相连的输入端子位于汇流箱底部的左侧，而与光伏组件串列输出负极相连的输入端子位于汇流箱底部的右侧。输出端子包括汇流后直流正极输出、直流负极输出与接地。各类型汇流箱体积尺寸一般相同，区别为输入端子数目不同。汇流箱按照输入端子数量可分为 4 路、6 路、8 路、12 路、16 路、20 路、24 路、32 路汇流箱；按照多路光伏组件串列输入、1 路输出的接线方法可分为 4 进 1 出、5 进 1 出、6 进 1 出、7 进 1 出、8 进 1 出、9 进 1 出、16 进 1 出汇流箱等。

如图 1-2-2 所示，以 PVS-8M 汇流箱为例进行说明。汇流箱箱体设有电缆进线正极和负极端子分别为 8 个，直流输出正极和输出负极端子分别为 1 个，接地端子 1 个以及通信端子 2 个。

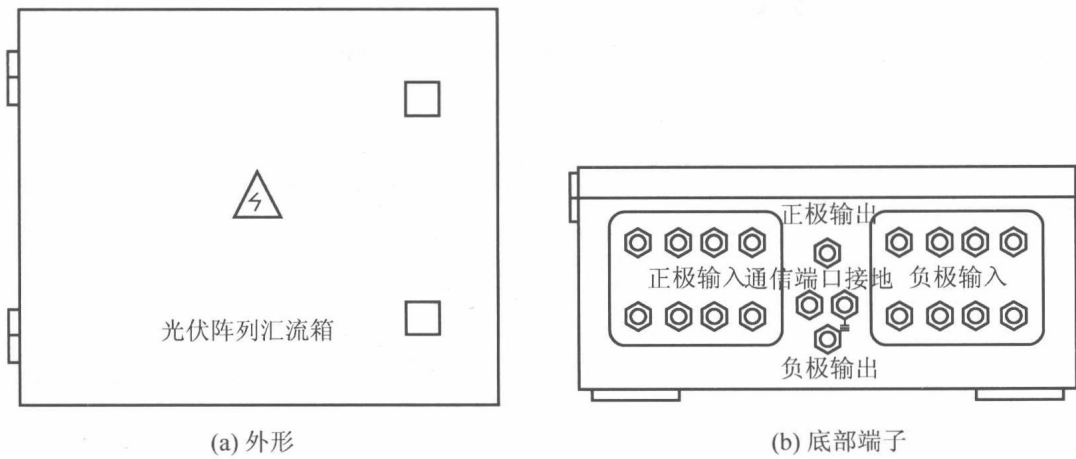


图 1-2-2 8 进 1 出汇流箱

汇流箱从内部线路连接上看，是由直流断路器、熔断器和避雷器等器件组成，如图 1-2-3 所示。光伏组件串列通过正、负输入端子接入到汇流箱。在正极输入端，每一路要串联一个熔断器，当过大电流进入串列时自动切断线路起到保护线路安全运行的作用；当串列中某些光伏组件被遮挡或发生故障时，其他并联串列将向故障串列注入与光伏发电电流方向相反的反向电流，所以需再串接一个防逆流二极管，防止其他支路给被挡支路充电；所有串列正极输入通过汇流排接入断路器输入侧的正极。在负极输入端，同样，每一路需串联一个熔断器，防止过大的电流进入串列；所有串列负极输入通过汇流排接入断路器输入侧的负极。避雷器（浪涌保护器）的正极保护片并联到正极汇总侧，其负极保护片并联到负极汇总侧，正负极保护片的另一侧合并接地。

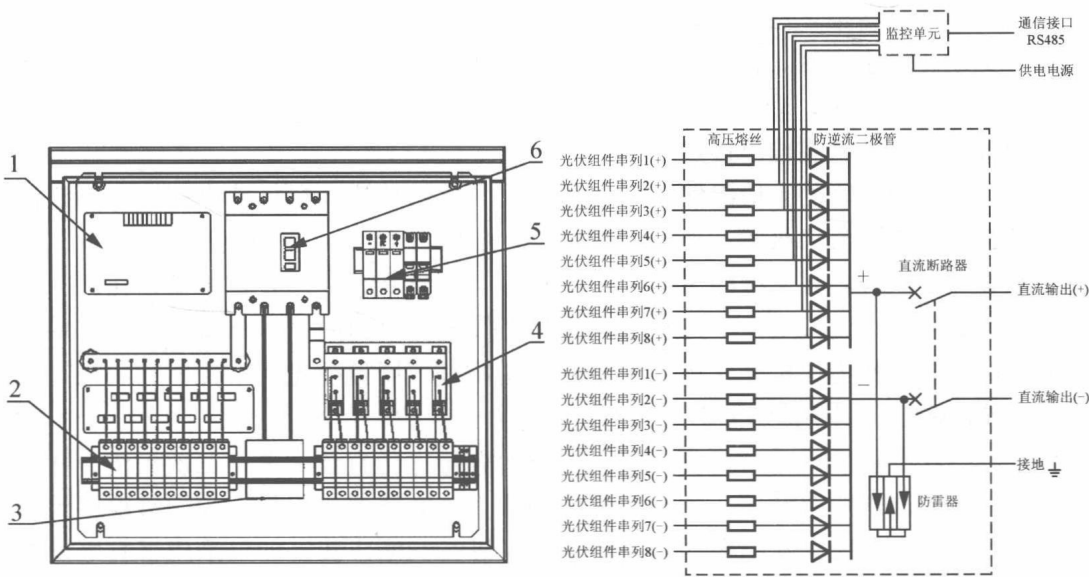


图 1-2-3 汇流箱内部器件及线路连接

对于智能型光伏汇流箱，在提供汇流防雷功能的同时，还同时具备监测光伏电池组件运行状态，汇流后电流、电压、功率，防雷器状态，直流断路器状态采集，继电器接