

## 分布式并网光伏发电介绍及发展现状分析

吴晗立 张少博 王嘉玮

华能陕西发电有限公司新能源公司, 陕西 西安 710075

**[摘要]** 太阳能作为一种新型能源近年来在我国得到大范围的推广, 太阳能发电又称光伏发电。并网光伏发电系统, 首先由光伏组件产生的直流电, 其次经过并网逆变器逆变产生符合电网电能质量要求, 经过升压后接入国家电网。并网型光伏发电系统分为集中式和分布式两种。集中式光伏电站是将所发电能直接接入电网, 由电网统一分配给用户供电。但这种电站投资大、建设周期较长, 并且土地占用面积较大。分布式光伏电站是利用已建成建筑物屋顶, 用户侧自发自用、余电上网, 有投资小、建设周期短、政策支持力度大等优点。

**[关键词]** 光伏并网发电利用模式; 分布式光伏发电技术; 电网输送; 电力负荷

DOI: 10.33142/hst.v6i11.10786

中图分类号: TM615

文献标识码: A

### Introduction and Development Status Analysis of Distributed Grid Connected Photovoltaic Power Generation

WU Hanli, ZHANG Shaobo, WANG Jiawei

New Energy Company of Huaneng Shaanxi Power Generation Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710075, China

**Abstract:** Solar energy, as a new type of energy, has been widely promoted in China in recent years, and solar power generation, also known as photovoltaic power generation. The grid connected photovoltaic power generation system first generates DC electricity from photovoltaic modules, and then generates electricity that meets the quality requirements of the power grid through grid connected inverters. After boosting, it is connected to the national power grid. Grid connected photovoltaic power generation systems are divided into two types: centralized and distributed. A centralized photovoltaic power station is a system that directly connects the generated energy to the power grid and distributes it uniformly to users for power supply. But this type of power station requires a large investment, a long construction period, and a large land occupation area. Distributed photovoltaic power stations utilize the roofs of existing buildings, allowing users to self use and connect surplus electricity to the grid. They have the advantages of low investment, short construction period, and strong policy support.

**Keywords:** photovoltaic grid connected power generation utilization mode; distributed photovoltaic power generation technology; power grid transmission; power load

#### 引言

中国是世界上最大的煤炭生产国和消费国, 大约 70% 以上的电力、民用商品能源以及化工原料全都依靠煤炭。而煤炭的直接燃烧则又是中国最重要的人为空气污染源。过度消耗化石燃料必然会产生较大的环境、经济和社会负面影响。促进太阳能、风能、生物质能、地热能和海洋能等可再生新能源大力发展将成为减少环境污染以及优化能源产业结构的关键因素。

我国能源领域的主要工作任务是推进节约能源, 提高能源效率, 优化能源结构, 发展清洁能源, 能源多元发展, 保证能源安全, 深化能源体制改革, 完善能源法制建设。以光伏发电、风力发电、电化学储能、生物质能工程为重点, 加快可再生能源的开发以及能源结构绿色低碳转型, 要使光伏发电成为逐步替代传统能源的主要电力技术, 必须大力推动光伏产品以及技术发展, 实践证明这个技术是切实可行的。

基于我国的经济水平和发展水平和能源供应及需求现状, 在

2020 年 9 月 22 日召开的第 75 届联合国大会上, 中国宣布将争取在 2030 年前实现碳达峰, 在 2060 年前实现碳中和。此外, 2020 年 12 月 12 日, 在全球气候雄心峰会上, 我国提出到 2030 年风电、太阳能发电总装机容量将达到 1, 200GW 以上。是我国进入新发展阶段后面临的一个新的重大理论和实践问题。陕西省供电电网以火力发电为主, 而火电的发展必然会受到煤炭、交通、环保等因素的制约。

根据《中国应对气候变化国家方案》和《“十四五”现代能源体系规划》, 我国将通过大力发展可再生能源, 提高可再生能源在能源结构中的比重, 促进可再生能源技术和产业发展, 提高可再生能源技术研发能力和产业化水平。到 2025 年比重达到 20% 以上, 2030 年比重达到 25%。

可再生能源中, 利用太阳能发电是最有前景的技术之一。根据《“十四五”电力规划研究》太阳能发电“十四五”装机量规划明确装机容量上调至 560 GW, 期间新增太阳能发电 322GW。以此带动相关光伏产业配套生产体系的发展, 为实现太阳能发电技术的模块化应用奠定技术基

础。随着《中华人民共和国可再生能源法》的正式实施以及《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》《可再生能源电价附加收入调配暂行办法》《可再生能源发电有关管理规定》等一系列配套政策出台,国内太阳能电池市场将有望迅速打开。现阶段,光伏发电可以作为传统能源的补充,从长远看,光伏发电电源将逐步进入电力市场,并逐步取代常规能源。

### 1 发展可再生能源对我国经济和国家发展战略的必要性

从我国未来社会经济发展战略路径看,发展太阳能光伏产业是我国保障能源供应、建设低碳社会、推动经济结构调整、培育战略性新兴产业的重要方向。“十四五”期间,我国光伏产业将继续处于快速发展阶段,同时面临着大好机遇和严峻挑战。

#### 1.1 我国光伏产业面临广阔发展空间

世界常规能源供应短缺危机日益严重,化石能源的大量开发利用已成为造成自然环境污染和人类生存环境恶化的主要原因之一,寻找新兴能源已成为世界热点问题。在各种新能源中,太阳能光伏发电具有无污染、可持续、总量大、分布广、应用形式多样等优点,受到世界各国的高度重视。我国光伏产业在制造水平、产业体系、技术研发等方面具有良好的发展基础,国内外市场前景总体看好,只要抓住发展机遇,加快转型升级,后期必将迎来更加广阔的发展空间。

#### 1.2 光伏发电成本须进一步下降

当光伏从补充能源走向替代能源,再到主力能源之时,“光伏平价”这一概念也是在不断变化的。当光伏成为主力能源之后,“光储平价”才是真平价。

这就意味着光伏发电的成本还要进一步降低,产业仍然有较长一段的降本增效之路要走。光伏发电降本无外乎主要三个途径:规模增大、效率提升和政策减负。而规模效应已越来越不明显,想要进一步降本,需要各环节的技术与政策突破。

#### 1.3 面临国际经济动荡和贸易保护的严峻挑战

近年来全球经济发展存在动荡形势,一些国家的新能源政策出现调整,相关补贴纷纷下调,对我国光伏产业发展有较大影响。同时,欧美等国已发生多起针对我国光伏产业的贸易纠纷,类似纠纷今后仍将出现,主要原因有:一是我国太阳能电池成本优势明显,对国外产品造成压力;二是国内光伏市场尚未大规模启动,产品主要外销,可能引发倾销疑虑;三是我国相关标准体系尚不完善,存在产品质量水平参差不齐等问题。

#### 1.4 新工艺、新技术快速演进,国际竞争不断加剧

全球光伏产业技术发展日新月异:晶硅电池转换效率年均增长一个百分点;薄膜电池技术水平不断提高;纳米材料电池等新兴技术发展迅速;太阳能电池生产和测试

设备不断升级。而国内光伏产业在很多方面与国外存在较大差距,部分关键设备及技术还需依赖国外进口。

#### 1.5 市场应用不断拓展,降低成本仍是产业主题

太阳能光伏市场应用将呈现宽领域、多样化的趋势,适应各种需求的光伏产品将不断问世,除了大型并网光伏电站外,与建筑相结合的光伏发电系统、小型光伏系统、离网光伏系统等也将快速兴起。太阳能电池及光伏系统的成本持续下降并逼近常规发电成本,仍将是光伏产业发展的主题,从硅料到组件以及配套部件等都将面临快速降价的市场压力,太阳能电池将不断向高效率、低成本方向发展。

因此,大力发展国内的光伏发电应用市场,对于国内光伏相关产业市场十分必要,不仅能够帮助国内光伏产业渡过发展的“寒冬”,同时,可以有效带动国内光伏产品成本的降低和技术的发展,所以本项目的实施对于国内光伏产业的发展将具有极大的促进作用。

因此,利用太阳能发电从国家能源战略需要上具有重大的意义。

### 2 光伏并网主要形式及安装方式

分布式光伏发电项目主要利用已建成的建筑物屋顶等闲置空间,运行方式主要有自发自用、自发自用,余电上网以及全额上网三种模式。分布式光伏发电系统的特点就是具有灵活性。分布式光伏发电系统可以根据实际需求进行灵活布局和扩容。它不受地域限制,可以在城市、乡村、工业区等各种场所进行布设,适应不同地区和不同规模的能源需求。同时,分布式光伏发电系统可以根据用电负荷的变化进行灵活调整和优化,实现电能的最大化利用。

光伏发电系统主要分为集中接入和分散式接入两种接入电网形式;集中式光伏发电系统一般规模较大(30MW以上),由光伏组件、组串逆变器、升压箱变、集电线路、升压变电站(汇集站)以及送出线路组成,通常采用35kV及上电压等级并网。分散式光伏发电系统一般容量较小,并网电压通常为10kV及以下,并可以根据并网容量选择多点接入。集中接入和分散式接入各有特点,集中式建设规模大便于运维和管理,但占地面积大,投资成本较高,对电网电能质量也有一定的影响;分散式具有建设灵活、投资少、周期短、电网冲击小、可靠性高等特点,但是并网数量多,计量复杂,监控分散,运维工作量大。综上所述,分布式光伏和集中式光伏有很多异同点。目前国家政策扶持分布式光伏发电,因为集中式大面积光伏并网较为困难,要求较高。与同等规模的电站相比,分布式光伏的前景比较好。

屋顶分布式光伏项目有两种安装模式:①BAPV(Building attached photovoltaics),即光伏系统直接覆盖于建筑物表面,系统与建筑物功能不发生冲突,不破坏或削弱原有建筑物的功能,也称为“安装型”太阳能光伏建筑;②BIPV(Building integrated photovoltaics),

即建筑材料与光伏器件相结成,用光伏器件直接代替建筑材料,系统作为建筑物外部结构的一部分,既具有发电功能,又具有建筑构件和建筑材料的功能,也称为“构件型”和“建材型”太阳能光伏建筑。BAPV 根据屋面结构形式通常分为混凝土屋面、彩钢瓦屋面以及传统瓦屋面。混凝土屋面光伏支架采用热镀锌钢支架,通过钢支架及混凝土支墩在原有屋面进行铺设光伏组件;彩钢瓦屋面光伏组件阵列沿原有坡度安装铺设,支架采用专用夹具连接横梁与屋面,横梁与光伏组件之间均采用压块连接;传统瓦屋面支架采用可调式平弯钩通过膨胀螺栓固定至屋面,平弯钩上放置铝合金导轨,横梁与光伏组件之间均采用压块连接,组件沿屋面坡度铺设。BIPV 融合建筑、技术和美学,光伏组件单元板以及检修走道板可直接作为屋面板,既可防太阳直射和雨水侵蚀,也不影响整个建筑的外观,实现整洁、统一。BIPV 与传统的光伏设备相比,它集光伏发电和建筑设计于一体,不仅可以节约材料和空间,还可以提高建筑的美观水平,但目前价格较高。

### 3 光伏发电消纳

随着能源需求的不断增长和环境保护意识的增强,光伏发电作为一种清洁、可再生的能源形式,逐渐受到人们的关注和重视。然而,光伏消纳问题仍然是当前光伏发展过程中面临的一个难题。

光伏发电在我国的发展速度很快,光伏装机容量不断增加。然而,由于光伏发电的波动性和间歇性,光伏消纳问题逐渐凸显。光伏发电由于受到天气等自然因素的影响,其发电量存在波动性较大的情况,尤其是在云雾天气下,光伏发电的效率大大降低。此外,光伏发电与传统电网的接入方式也存在问题,因为传统电网并未充分考虑光伏发电的接入问题,导致光伏发电的消纳能力有限。

光伏消纳问题是当前光伏发展过程中亟待解决的一个难题。通过完善电网建设和运营、推动技术创新、发展储能技术、鼓励分布式光伏发电和提高市场化程度等措施,我们可以有效解决光伏消纳问题,实现光伏发电的可持续发展。光伏发电作为一种清洁、可再生的能源形式,将为我国的能源结构调整和可持续发展做出重要贡献。

## 4 分布式光伏发电对电能采集及线损的影响分析

### 4.1 无功电压影响

对于大规模的光伏发电系统来说,通常设置在我国西部地区,其距离电量的大规模应用区域较为遥远,导致系统中设置的无功电压调整系统运行水平下降。此外在发电系统的运行过程中,无功电压的支撑能力较弱,所以当实际的电压稳定质量超过限定标准值时,则整个系统的电压稳定性无法得到保障,这一形式会导致在电压出现大范围的波动现象,或者电压值大幅度上升时,会在原有的电力运输系统中形成过高的线损。导致的后果是,整个电力系统的发热功率上升,由于光伏发电系统受到太阳光照的

影响较大,可以说在夜间基本不出力,所以对于无功电压调整系统来说,其在不同的运行状态下,实际的运行参数会发生变化,导致实际的电压调整质量会出现一天内不同时间段的高数值波动情况。

### 4.2 配电保护系统影响

在分布式光伏发电系统接入到原有的电网之后,这一系统中的自动装置与继电保护装置也会发生一定情况下的参数变化情况。

首先是网络架构层面上的变化,从原有的单电源结构转变成双电源以及多电源的拓扑结构。其次是变压器的连接方式变化,接入之后不会形成额外的接地回路,从而导致实际运行过程中出现了保护操作特性变化情况。再次是整个系统的扰动敏感度提高,尤其是在一天之内的不同时间段内,由于光伏发电系统的具体处理情况发生了转变,所以会对原有的电网供配电能力造成影响。最后是配电系统中的线路保护装置出现转变,其需要能够自主启动已经建成的自投装置。对于所有这些转变情况来说,发电能力方面的变化表现为,一些情况下会导致继电保护装置出现误动作问题,降低了实际的电能采集质量,而对于系统线损,日间导致整个接入区域内的线损在一定程度上上升。

### 4.3 气候条件线损影响

对于光伏发电系统来说,承受到的环境影响因素主要包括两个方面,第一个是光照强度因素,第二个是环境的温度因素。对于第一个因素来说,白昼和夜间光伏发电系统的出力程度自然会出现极大的差距,其中在白天这一时间段内,光伏发电系统的发热效率大幅度上升,其能够为整个电网带来更多的电能,提高了电网的电能采集能力。但是当整个电力参数未能进行合理调整时,电网的负载会逐渐上升,而该过程中会导致整个线路的线损也相应提高,实际的发电效率和预期目标之间存在一定的差距。对于环境中的温度因素,发电系统中的铅酸蓄电池会受到温度的大幅度影响,当发现环境温度过高时,则电池中的化学反应速率加快,从而让这一系统的腐蚀效率获得大幅度的提高。在后续的工作过程中,可以确定工作状态下的实际发电效率要在一定程度上低于原有的预期目标。

### 4.4 功角稳定性影响

对于分布式光伏电源来说,其作为一种静止元件,并不参与到功角震荡,以及功角稳定性的调整过程,但是这一系统本身受到电网系统中的随机波动影响。在接入之后,整个光伏发电系统能够影响电网中的原有资源分布情况,并且对系统的传输功率造成了一定影响。就实际的发电功率来看,光伏发电系统接入到供配电网过程中,需要消除电网中产生的随机波动。而对于线损来说,由于光伏发电系统的记录过程会影响电网的运行稳定度,所以会提高这一参数。

## 5 分布式光伏并网发电工程案例

陕西省供电电网基本以火力发电为主,而火电的发展必然会受到煤炭、交通、环保等因素的制约。陕西省十分重视可再生能源的开发和利用,为促进陕西省可再生能源资源优势转化为经济优势,提高可再生能源开发利用水平,加快能源结构调整,减少煤炭等化石能源消耗对环境产生的污染,陕西将利用各种途径来发展可再生能源。除水电外,可再生能源中太阳能发电技术相对于其他能源已日趋成熟。陕北地区属于太阳能资源一、二类区域,项目建设地点延川县年平均日照时数超过 2500 小时,年平均太阳总辐射量在 5000MJ/m<sup>2</sup> 以上。在延川地区开发分布式光伏发电项目,将改变当地能源结构,有利于增加可再生能源的比例。同时太阳能发电不受地域限制,所发电力稳定,可与其他清洁能源互补,优化系统电源结构,没有污染减轻环保压力。项目建设是积极响应国家新能源政策,推动我国新能源发展的有力举措,也是当地能源资源合理利用的需要。

### 5.1 项目建设场址区域具备良好的建设条件

#### 5.1.1 太阳能资源

延安市各地水平面总辐射相差不大,水平面总辐射年总量最高值与最低值差异较小。年太阳总辐射量在 4500 兆焦/平米~5100 兆焦/平米之间,根据《太阳能资源等级总辐射》(GB/T 31155-2014),延安市总体属于我国太阳能资源 B 类很丰富区。延川县年太阳总辐射量约 5000 兆焦/平米,适宜建设光伏电站,太阳能资源开发利用价值较高。

#### 5.1.2 屋面资源

经初步摸底,延川县屋顶总面积约 282.8 万平方米,其中可安装光伏屋顶面积约 100.3 万平方米,党政机关建筑屋顶总面积 1.9 万平方米,屋顶可安装光伏发电比例超过 50%,学校、医院、村委会等公共建筑屋顶总面积 18.8 万平方米,屋顶可安装光伏发电比例超过 40%;工商业厂房屋顶总面积 25.8 万平方米,屋顶可安装光伏发电比例超过 30%;农村居民房屋屋顶总面积 236.3 万平方米,屋顶可安装光伏发电比例超过 20%。屋顶资源丰富,有利于规模化、一体化开发。

本项目为延川县光伏“整县推进”的试点项目,先期建设 30MWp 屋顶分布式电站,建设所需要的屋面资源有保障。

#### 5.1.3 接网消纳

截止 2021 年 6 月底,延川县供电公司下辖 6 个供电所,47 条 10KV 线路,主要用电负荷分布在延川县城区、永坪镇区、文安驿镇区。通过 10kV 并网电源的有 35 座,装机容量 26.045MW,年发电量 0.3717 亿千瓦时。为切实做好分布式大规模开发和并网消纳工作,延川供电公司同步配套进行电网升级和改造工作,主要工作如下:

a. 逐步消除分段不合理的 10 千伏线路。

b. 推进架空线路绝缘化改造建设,提升配电网装备水平,至 2023 年,10kV 电网架空绝缘化水平由现状年的 55.61%达到 80%;10kV 线路平均供电半径控制在 6.5km 以内,中压线路供电半径达标率达到 95%;低压线路应有明确的供电范围,低压供电半径应满足末端电压质量要求,延川县县城网格低压平均供电半径不超过 400m,农村地区低压平均供电半径不超过 500m。

c. 开展重载线路、配变的负荷分流改造,全面提高设备容量开放水平,实现业扩无障碍接入,至 2023 年无重过载线路和配变。

d. 以标准化、实用化为原则,以提高供电可靠性、供电质量,支撑配电网精益化管理为目标,推进配电自动化建设,推进一二次融合成套开关设备的应用,做到“建设一条、完善一条、投入一条”,以缩短故障停电时间,加快故障恢复速度为目标,到 2023 年,实现延川县供区内自动化覆盖率 100%。

### 5.2 工程建设的作用及意义

“整县推进”工作的开展,对乡村振兴同样有着重要作用。通过屋顶分布式光伏的开发,既能促进乡村的环境改善,推动乡村电气化水平提升和用能方式清洁化转型,又可以使农民获得额外的收益,还能推动农村电网的智能化改造。

我国农村新能源资源丰富,分布式光伏可开发潜力超 15 亿千瓦,其中分布式户用光伏可达 10 亿千瓦。农村能源转型发展,是构建现代能源体系的重要组成部分,对巩固拓展脱贫攻坚成果、促进乡村振兴,实现双碳目标和农业农村现代化具有重要意义。农民对清洁电力消费需求的增强,将进一步促进农村经济发展,而光伏新能源则是农村经济的重要补充和农民增收的重要渠道。

### 5.3 本工程对电力系统的影响和要求

在工程设计中,认真贯彻开发与节约并重,在使用太阳能资源的同时,合理利用土地、水、原材料和建筑材料等资源,做到优化配置使用相关资源。由于光伏电站本身特性,伴随系统出力在 0%~100%间变化,对系统内谐波、闪变、电压/电流畸变率等电能质量有一定影响,因此本期工程接入时,光伏电站注入系统的谐波、闪变、电压/电流畸变率等均应满足相应国标要求。本工程对系统的主要要求为保证电网稳定运行,确保本工程光伏电站正常运行,所发电量能够全部上网。

本项目将建设装机容量为 30MWp 的分布式光伏,采用分散发电、就地逆变,光伏组件所发直流电经逆变为交流后,经箱变升压至 10kV 在并网柜高压侧并网。光伏电站生产期的能量消耗主要是光伏电站的场内集电线路、组串式逆变器和配电室内开关柜等电气设备损耗。在光伏电站运行期间,根据项目公司制订的有关节能规章制度,落实以光伏电站厂长为制度执行人,严格落实光伏电站内日

常的各项节能、节水措施,避免不必要的浪费。与同等电量火电厂相比,按照火电煤耗(标准煤)每度电耗煤302.5g,项目建成投运后按平均每年发电3828.64万千瓦时计算,每年可节约标准煤约11581.64 t/a。该项目的建设,将在节省燃煤,减少CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、烟尘、灰渣等污染物排放效果上,起到积极的作用。

## 6 结束语

世界范围内的能源危机、环保意识为分布式光伏发电带来了机遇,另外随着分布式光伏发电新政策的实施,分布式光伏发电必将迎来光明的明天!为国家经济社会发展和实现绿水青山的美好愿景的实现奠定坚实的基础。

## [参考文献]

- [1]张宏伟.分布式光伏发电投资建设运营模式研究[J].智能建筑与城市信息,2014(1):98-103.
  - [2]王才丽.新能源发电与分布式发电及其对电力系统的影响[J].低碳世界,2015(20):2.
  - [3]李晶,肖志斌,刘义友.浅谈微电网技术的发展及应用[J].科技创新与应用,2015(35):1.
- 作者简介:吴哈立(1994.8—),男,陕西大荔人,汉族,本科学历,助理工程师,就职于华能陕西发电有限公司新能源分公司,现任延川项目部经理,从事新能源基建项目管理工作。