

“双碳”目标下中国分布式光伏发电的发展现状和展望

李明东^{1*}, 李婧雯²

(1. 中国机械设备工程股份有限公司, 北京 100073; 2. 中国能源传媒集团有限公司, 北京 100054)

摘要: 在当前实现碳达峰、碳中和目标的新形势下,中国的太阳能利用技术和应用场景迎来了新的发展时期,尤其是分布式光伏发电技术和应用场景,国家能源局也印发了相关政策鼓励其发展。梳理了中国光伏产业的发展现状,以及分布式光伏发电在发展过程中面临的主要挑战,对分布式光伏发电未来的发展前景进行了展望,并以某公司分布式光伏发电项目为具体案例进行了分析。

关键词: 太阳能; 分布式光伏发电; 碳达峰; 碳中和; 发展现状; 前景展望

中图分类号: TK519

文献标志码: A

0 引言

面对逐年上升的全球温室气体排放量及全球倡导节能减排的大环境,作为当今世界第二大经济体、清洁能源行业的引领者,中国在发展可再生能源技术、实现节能减排,以及控制气候变化等方面均体现出应有的担当与责任^[1]。2020年9月,国家主席习近平在第75届联合国大会上发表重要讲话,郑重承诺中国的二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值(即碳达峰),努力争取2060年前实现碳中和^[2](下文简称为“‘双碳’目标”)。“十四五”时期是实现“双碳”目标的关键期和窗口期,要构建绿色、低碳、安全、高效的能源体系,实施可再生能源替代行动,并实现能源体系的节能、减排、环保^[3]。当前,光伏发电和风力发电是所有可再生能源发电形式中应用最广泛的两种发电形式,且二者具备互补关系。

在实现“双碳”目标的新形势下,中国太阳能利用技术和应用场景迎来了新的发展时期。

太阳能作为一种可再生能源,主要利用形式除了光伏发电、太阳能热发电、太阳能中低温热利用外,还有光化学、光感应和光生物转化等其他多种利用形式。目前,光伏发电的装机容量已占全部太阳能发电装机容量的99%以上,已成为太阳能发电技术的主流技术路线之一^[4]。分布式光伏发电的开发建设主要是利用农村、牧区、工业园区,以及城市商业区和公共建筑的闲置屋顶,对于人口密集、工商业发达且用电需求高的地区而言,分布式光伏发电是一种不错的绿色能源利用方式,与传统能源相比,能实现节能减排的效果。为了进一步促进光伏发电,尤其是分布式光伏发电的发展,国家能源局于2021年6月印发了《关于报送整县(市、区)屋顶分布式光伏开发试点方案的通知》(“整县屋顶分布式光伏开发”下文简称为“整县推进”模式),并于同年9月公布了首批试点县(市、区)名单。

基于此,本文针对实现“双碳”目标的新形势,对中国光伏产业的发展现状和分布式光伏发

收稿日期: 2022-03-14

通信作者: 李明东(1991—),男,硕士、工程师,主要从事光伏电站的开发和应用方面的工作。limd@cmeec.com

电发展过程中面临的挑战进行梳理，对分布式光伏发电未来的发展前景进行展望，并以某公司分布式光伏发电项目为具体案例进行分析，以期为分布式光伏发电相关项目的开发提供参考。

1 中国光伏产业的发展现状

在过去 10 多年的迅猛发展中，中国光伏产业的全产业链已完全实现自主知识产权，是中国在未来实现能源革命的重要源动力之一^[5]。在“双碳”目标的引领和指导下，中国的光伏产业在技术研发、生产制造、产业规模，以及降低绿色溢价（就电力而言，绿色溢价是指从非排放源中获得所有电力的额外成本，非排放源包括风能、太阳能、核能，以及装备有碳捕获设施的燃煤电厂和燃气电厂等）等方面均取得了举世瞩目的成绩。

光伏发电主要包括集中式光伏发电和分布式光伏发电两类。集中式光伏发电一般为大型地面光伏电站，其特点是将所发电能直接传输至主干电网，并由主干电网统一调配；分布式光伏发电主要指小型分散式光伏电站，其应用形式主要为屋顶分布式光伏发电。集中式光伏电站的投资大、建设周期长、占地面积大；而分布式光伏电站的投资小、建设周期短、政策支持力度大且选址自由等，这些因素都使分布式光伏发电在近些年得到了大力发展。由于集中式光伏发电对场址条件的要求高，在中国通常都建设在人烟稀少且光照资源丰富的西北地区，与用电需求大的长三角、珠三角地区距离遥远，输电过程中造成巨大的电能运输损耗，而分布式光伏发电则有效解决了电能长途运输的损耗问题；此外，分布式光伏发电还可将光伏发电组件作为建筑施工材料与建筑物表面相结合，从而可以节约光伏发电系统的占地面积。

考虑到中国的光伏发电资源和负荷中心的地理分布存在矛盾，为进一步解决光伏消纳并减少

“弃光”等问题，中国各级行政单位及地方政府在 2014 年后陆续出台了鼓励和支持分布式光伏发电发展的法规政策及配套补贴管理办法。2014 年

成为分水岭，从这一年开始，分布式光伏发电的发展趋势开始超越集中式光伏发电的发展趋势^[6]。

1.1 光伏组件

通过实际项目的成本核算可以发现，光伏组件费用占光伏电站建设成本的 50% 左右。PERC 晶体硅太阳电池是目前市场占有率最高的太阳电池类型，国内主要光伏组件生产商也以单晶硅 PERC、多晶硅 PERC 光伏组件产品为主。

近几年，中国太阳电池的量产技术不断提升，量产太阳电池的光电转换效率也在逐年提升。其中，商业化单晶硅太阳电池的光电转换效率通常约为 20%~23%，商业化多晶硅太阳电池的光电转换效率通常约为 17%~21%，而且可以预计晶体硅作为太阳电池材料的统治地位在未来 5~10 年中不会发生根本转变。单晶硅太阳电池与多晶硅太阳电池的使用寿命基本一致，其中单晶硅太阳电池的光电转换效率较高，但生产成本也较高；多晶硅太阳电池的光电转换效率略低，但生产成本也较低，因此实际应用中还需要综合考虑后再选择。

n 型晶体硅太阳电池技术也是未来重要的发展方向，n 型 TOPCon 单晶硅太阳电池和 HJT 单晶硅太阳电池有望在未来 2~3 年内实现量产。薄膜太阳电池有特殊的应用场景，但不足以撼动晶体硅太阳电池在光伏市场的主导地位^[7]。为了降低光伏组件的成本，并进一步降低光伏电站的成本，中国的研究学者一直在尝试提高太阳电池的光电转换效率和降低硅材料的生产成本，从而可进一步推动光伏产业整体制造成本的降低。2021 年 5 月 31 日，晶科能源研究院所研发的大面积 n 型 TOPCon 单结单晶硅太阳电池的实验室光电转换效率达到了 25.25%，创造了新的大面积 n 型 TOPCon 单晶硅太阳电池光电转换效率的世界纪录^[8]。

国内主流光伏组件生产商的光伏组件峰值功率也在逐年提升。2020 年新建光伏发电项目采用的光伏组件峰值功率大部分在 440~460 W 之

间，2021 年各生产商出货的光伏组件峰值功率基本都在 530 W 以上，已于 2022 年实现峰值功率为 600 W 的光伏组件的量产。

1.2 光伏产业制造商

近些年，得益于国家相关政策的鼓励与支持，中国光伏产业链从上游的晶体硅材料、硅片的生产制造，到中游的以单晶硅、多晶硅太阳电池为主的太阳电池和光伏组件，以及各类型逆变器的生产制造；再到下游的光伏发电系统应用，均得到了快速发展并实现了全球领先。目前，在全球光伏产业链各产业出货量排名前 10 名的企业中，中国企业几乎占据整个排行榜。隆基绿能科技股份有限公司在 2020 年占据全球光伏组件出货量第 1 名的位置后，2021 年仍持续稳坐第 1 名，且其出货量远超第 2 名 10 GW 以上。从这一结果可以看到，头部企业的产业集中化趋势明显，这也会进一步巩固并扩大中国光伏产业的优势和完善程度。

1.3 市场规模持续扩大

2022 年 3 月 9 日，国家能源局公布了 2021 年光伏发电建设运行情况。数据显示：2021 年中国光伏发电新增并网装机容量约为 54.8800 GW，其中集中式光伏电站新增并网装机容量为 25.6007 GW，分布式光伏电站新增并网装机容量为 29.2790 GW。可以看出，分布式光伏电站新增并网装机容量已超过集中式光伏电站新增并网装机容量。截至 2021 年底，中国光伏发电累计并网装机容量约为 305.9870 GW，其中集中式光伏电站累计并网装机容量为 198.4794 GW，分布式光伏电站累计并网装机容量为 107.5080 GW，分布式光伏电站累计并网装机容量占光伏发电全部累计并网装机容量的 35.13%，未来这一比例还将持续上升。

2 分布式光伏发电发展中的影响和挑战^[9]

2.1 分布式光伏发电的优点

相较于传统能源发电和集中式光伏发电，分

布式光伏发电产生的积极影响主要包括以下几个方面。

1) 太阳能是一种可再生能源，与传统能源发电相比，分布式光伏发电产生的首要积极影响就是对环境的保护和一定程度上阻止气候变暖加剧。在发电过程中，无噪音且不会产生污染，是真正意义上的零排放。由于其应用场景的广泛，分布式光伏发电也将是中国实现“双碳”目标的重要手段之一。

2) 局部缓解用电紧张状况并提高用电可靠性。分布式光伏发电在白天达到发电峰值水平，该时段用电端的需求也达到最大，可以局部缓解用电紧张状况，但分布式光伏发电的能量密度较低，并不能从根本上解决用电紧张的问题。此外，在主网停电时，采用“自发自用、余电上网”的分布式光伏发电用户不会受影响。

3) 减少电能输送的损耗。分布式光伏发电的应用场景一般为公共建筑、商业区屋顶、农区、牧区，可就近向负荷侧供电，可大幅减少因长距离输送带来的电能损耗。

4) 减少对电网的冲击。集中式光伏电站由于其自身规模大，以及无法实现一天中连续 24 h 发电出力的特点，其所发电力会对电网造成较大的冲击。近些年，为减弱集中式光伏电站对电网的冲击，部分省市的能源监管部门已明确要求集中式光伏电站需配备相应比例的储能装置。分布式光伏电源由于靠近负荷侧，且均接入公共配电网系统，是作为辅助电源的一部分，不会对电网造成冲击，其也是现今大力发展的智能电网、微电网的重要组成部分之一。

5) 有利于削峰填谷。近几年随着电池储能技术的大力发展，许多企业或产业园在建设分布式光伏发电系统时建有配套的储能系统，并通过电池能源管理系统及自身用电状况合理进行能源管理，以达到削峰填谷的目的，实现最经济的用电方案。

6) 降低占用土地和投资成本。分布式光伏发

电由于其自身分散性的特点，一般是在闲置屋顶或厂房屋顶进行开发，可有效节约日益紧张的土地资源。基于各地对分布式光伏发电的补贴鼓励政策，分布式光伏发电的平准化度电成本显著低于现有工业及民用电价格，这将会刺激工商业厂房所有者开发的积极性。

2.2 用电终端用户或企业的利益点分析

对安装分布式光伏发电系统的用电终端用户或企业而言，利益点在于：

1) 发电电费收益具备一定投资性。首先，安装分布式光伏发电系统后，用户优先使用光伏发电量，可节约电费，产生非常可观的经济效益。其次，分布式光伏电站的单位投资成本比较固定，使其具备一定的投资收益率。分布式光伏电站的装机容量通常在几千瓦至几兆瓦不等，与集中式光伏电站不同，分布式光伏电站由于其自身具有建设分散性的特点，不会产生规模效应并可以降低投资成本，其规模大小对光伏电站发电效率的影响很小，小型分布式光伏电站的单位投资成本并不会比大型分布式光伏电站的高，因此其单位投资成本比较稳定。

2) 降低能耗，改善工作环境。在屋顶铺设光伏组件后，夏日室内温度平均可降低 2~3 ℃，可在一定程度上减少用电终端的电费支出，还可以使室内作业人员在高温、高湿环境下的工作舒适度或仓储物在高温、高湿环境下的储存条件得到明显改善。

3) 提升企业形象，实现节能减排。使用光伏电力，有助于企业树立绿色低碳、节能减排的良好形象。通常装机容量为 1 MW 的光伏发电项目的年发电量约为 100 万 kWh，与传统火力发电相比，每年可节约燃烧标准煤 332 t，减少二氧化碳排放 920 t、二氧化硫排放 28 t、粉尘排放 251 t，节约用水 3692 t。

4) 延长屋面使用寿命。建筑屋面铺设光伏组件后，烈日、酸雨、热胀冷缩等外界影响因素对屋面造成的影响将显著减弱，屋面的使用状况得

到改善，使用寿命得以延长。

2.3 分布式光伏发电面临的挑战

1) 在技术层面上，近些年分布式光伏电站的大量并网对传统输配电网的技术特点和管理模式造成了一定程度的冲击，也带来了一些新的挑战，主要体现在以下 3 个方面。

① 对配电网电压管理的要求更高。虽然分布式光伏电站不会像集中式光伏电站那样对电网造成巨大的冲击，但分布式光伏电站的逆变器也会对配电网造成电压波形的畸变。在分布式光伏“整县推进”模式的鼓励下，其装机规模也逐渐变大，大量并网导致配电网的功率分布发生显著变化，电压调整变得困难。

② 对继电保护的要求更高。由于分布式光伏电站大量的并网接入导致配电网的功率分布出现较大的变化，在分布式光伏电站出现短路故障时，配电网的电流水平也会发生明显变化，因此对继电保护的配置及设备的要求都进一步提高。

③ 对配电网的规划要求更高。分布式光伏发电具有分布广、随机性高的特点，且具有受天气因素影响大的光伏发电统一特点，这些特点均会对配电网的荷载产生波动，从而影响配电网的规划与建设。

电网企业可通过技术和管理的革新，为分布式光伏发电的发展提供保障。

2) 在商业层面上，分布式光伏电站涉及屋顶所有者、用电户、电网公司及投资方，基于项目自身分散性和参与方多样性的特点，衍生出的开发模式也不尽相同，其不确定因素显著多于其他形式的光伏电站。此外，分布式光伏电站若采用投资方与用电终端用户直接签署购电协议结算的模式，会出现缺乏催收和履约担保等问题，其电费回收会受制于用电终端用户或企业的经营状况。

3 分布式光伏发电的前景展望及案例分享

3.1 前景展望

1) 加强基础研究，提高电网对分布式光伏发

电接入的技术管控能力。基础研究是原始性创新能力、积累智力资本的重要途径，也是解决关键科学问题的重要途径。应继续加大分布式光伏发电相关技术的基础研发投入，在接入规模控制、电网运行安全、线损管理等问题上尽早取得突破，并对基层电网工作人员进行指导，提高电网对分布式光伏电站接入的技术管控能力。

2) 创新人才培养，提高对新能源接入重要性的认识。光伏产业的技术进步和发展都离不开人才，硬实力和软实力归根结底都需要依靠人才。因此，分布式光伏发电技术的长远发展需要全面汇聚人才，并夯实县级供电公司基层人员对分布式光伏电站接入重要性的认识。

3) 以用户为中心，提出适合基层实际情况的分布式光伏电站接入策略和运行策略。分布式光伏电站具备靠近负荷侧的先天优势，以用户为中心，通过提出适合的分布式光伏电站接入策略和运行策略来提高绿色电力的消费率与利用率，真正实现能源消费革命。

4) 紧跟行业政策，提高分布式光伏发电的并网效率。目前，国家、省、市、县各级发展和改革委员会均出台了分布式光伏发电相关激励政策及上网电价补贴管理办法。在实现“双碳”目标的大背景及分布式光伏“整县推进”模式的激励下，全国分布式光伏市场在 2021 年迎来了大爆发。项目投资方或用电方应对市场及相关行业政策做好调研，并针对分布式光伏电站进行完备的发电量测算、成本核算和经济性评估等，重点选择经济发达地区、并网电价高、电力负荷峰谷差大、用电量大的工业园区或商业区，按照“自发自用、余电上网”的模式开展应用，提高分布式光伏发电的并网效率。

3.2 案例分享

为积极践行“双碳”目标和“乡村振兴”国家战略，某集团工程公司（下文简称为“A 公司”）与集团下属资本、租赁公司（下文分别简称为“B 公司”“C 公司”）签订了该集团工程公司首个“投

融建营”一体化项目——北京市某区分布式户用光伏发电项目的 EPC 总承包合同。

该项目由 B 公司发起的基金与项目所在地企业进行股权投资并成立项目公司，由 C 公司提供融资租赁服务，A 公司提供工程总承包和运维服务。合作各方通过商业模式创新，优势互补，充分协同，实现项目的全生命周期管理、收益的全链条分享，以及风险的全流程管控。作为该合作模式的第 1 期项目，签约当年年底前要完成分布式光伏发电装机规模约 30 MW，涉及项目所在北京市某区内多个乡镇约 3000 户农户的民居屋顶改造，每户的装机规模为 8~30 kW。

该项目采用“自发自用、余电上网”模式，自并网发电起前 15 年的收益归项目公司，15 年后赠送农户，项目产权进行转移。通过赠送免费电量的形式，实现农户增收，与项目公司共享收益，可实现政府、企业、农户的多方共赢。在“双碳”目标和“乡村振兴”战略大背景下，该项目模式的后续业务前景广阔。

该项目在并网前 5 年，可获得国家、市、区这 3 级发展和改革委员会给予的上网电价补贴，实际上网电价可达 0.9898 元/kWh。该项目中 A 公司在前期进行了充分的可行性论证，包括补贴和电价政策、发电量测算、成本核算和经济性评估等，凭借项目收益率高、回收期短，满足了 B 公司和 C 公司作为投资方和融资方的收益预期。各方充分发挥自身优势，适应市场需求进行创新，实现了项目快速落地。

4 结论

本文分析了中国光伏产业的发展现状及分布式光伏发电在发展中面临的主要挑战，并给出了针对性的建议。分布式光伏发电的开发利用，有利于闲置屋顶资源的开发，可减少开发成本，在一定程度上削减用电高峰负荷，其发电和用电并存的模式可引导居民绿色能源消费的理念，在一定程度上缓解中国发电资源与负荷中心的分布矛

盾，有助于“双碳”目标的实现。通过案例分享可以看出，投资方或用电方在开发分布式光伏发电项目时，除做好发电量测算、成本核算外，还需要时刻关注相关补贴和电价政策的变化，以便获得更为准确的项目经济性评估。需要注意的是，一直以来，分布式光伏发电的政策是以年为单位制定，抢占政策红利的窗口期必须确保项目在当年并网发电。

[参考文献]

- [1] 程松涛.中国加速推进能源绿色转型[J].生态经济, 2021, 37(10): 9-12.
- [2] 新华社.习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话[EB/OL].(2020-09-22). http://www.gov.cn/xinwen/2020-09/22/content_5546168.htm.
- [3] 新华社.习近平主持召开中央财经委员会第九次会 议 [EB/OL].(2021-03-15). http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/15/content_5593154.htm.
- [4] 李美成, 高中亮, 王龙泽, 等.“双碳”目标下我国太阳能利用技术的发展现状与展望[J].太阳能, 2021(11): 13-18.
- [5] 李佳琪.追光科技杨曦:在有机半导体光伏赛道抢占先机[J].科技与金融, 2021(3): 51-54.
- [6] 张素芳, 邓琦.基于扎根理论的我国分布式光伏发电制约因素研究[J].华北电力大学学报(社会科学版), 2022, 3(2): 29-39.
- [7] 江华.未来光伏发电技术的发展趋势预测[J].太阳能, 2022(1): 5-13.
- [8] 能源说.25.25%!晶科能源再次刷新N型单晶硅单结电池效率纪录[EB/OL].(2021-06-02). <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1701425591100251079&wfr=spider&for=pc>.
- [9] 王长善.分布式光伏电源带来的影响和对策[J].农村电工, 2022(1): 30.

DEVELOPMENT STATUS AND PROSPECTS OF DISTRIBUTED PV POWER GENERATION IN CHINA UNDER THE GOAL OF EMISSION PEAK AND CARBON NEUTRALITY

Li Mingdong¹, Li Jingwen²

(1. China Machinery Engineering Corporation, Beijing 100073, China; 2. China Energy Media Group Co., Ltd., Beijing 100054, China)

Abstract: Under the new situation of achieving the goal of emission peak and carbon neutrality, China's solar energy utilization technology and application scenarios ushered in a new development period, especially the distributed PV power generation technology and application scenarios, the National Energy Administration also issued relevant policies to encourage its development. This paper summarizes the current development status of China's PV industry, as well as the main challenges faced by distributed PV power generation in the development process. It looks forward to the future development prospects of distributed PV power generation, and analyzes the distributed PV power generation project of a certain company as a specific case.

Keywords: solar energy; distributed PV power generation; emission peak; carbon neutrality; development status; prospect