

DOI: 10.3969/j.issn.1674-1951.2021.12.009

# 国内分布式光伏发展形势分析及思考

Development status analysis and consideration on domestic distributed PV energy

詹天津<sup>1</sup>, 谢玉荣<sup>2</sup>

ZHAN Tianjin<sup>1</sup>, XIE Yurong<sup>2</sup>

(1. 华电(厦门)能源有限公司, 福建 厦门 361021; 2. 华电电力科学研究院有限公司, 杭州 310030)

(1. Huadian(Xiamen) Energy Company Limited, Xiamen 361021, China; 2. Huadian Electric Power Research Institute Company Limited, Hangzhou 310030, China)

**摘要:** 分布式光伏因可开发资源丰富、开发建设难度小、节能环保效益显著等优势, 成为光伏开发利用的重要方式之一, 并在发达国家和部分发展中国家得以快速发展且已具有一定规模。为了促进国内分布式光伏产业发展, 我国制定了一系列鼓励政策, 但是现阶段受到补贴政策逐步取消、一般工商业电价下调和建设成本下降趋于平稳等不利因素的影响, 导致分布式光伏项目市场竞争力和盈利能力下降, 项目开发受到一定程度的影响。通过对项目资本金内部收益率主要影响因素的分析, 得出收益率对发电量、电价和投资成本较为敏感, 对利率和人工费等敏感性一般, 并分别提出针对性控制措施。同时, 基于传统的发展模式, 提出分布式光伏新发展模式, 拟助推分布式光伏产业在新形势下快速、健康发展。

**关键词:** 分布式光伏; 补贴政策; 电价; 新能源; 屋顶光伏; 新型电力系统; 碳中和; 储能; 微电网

**中图分类号:** TK 01      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1674-1951(2021)12-0060-06

**Abstract:** Distributed photovoltaic energy has become one of the important ways of photovoltaic energy development and utilization because of its abundant reserves, convenience in development, energy saving and environmental protection. It is developing rapidly in developed countries and some developing countries and has achieved certain large-scale applications. In order to promote the distributed photovoltaic industry in China, a series of supporting policies have been made. However, the market competitiveness and profitability of distributed photovoltaic projects are reducing. And the development of the projects is affected by the abolishment of subsidy policies, reduction of the general industrial and commercial electricity prices and the stabilization of construction costs. By analyzing the main influencing factors of the internal rate of return (IRR) of the projects, it is concluded that the IRR is sensitive to power generation, electricity price and investment cost, and less sensitive to interest rate and labor cost. The control measures targeted at different cost is proposed respectively. At the same time, based on the traditional development mode, a new development mode of distributed photovoltaic is proposed to boost the healthy development of distributed photovoltaic industry under the new situation.

**Keywords:** distributed photovoltaic energy; subsidy policy; electricity price; new energy; rooftop PV system; new power system; carbon neutrality; energy storage; microgrid

## 0 引言

在第七十五届联合国大会上, 我国提出了 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和的发展目标。在“双碳”目标的驱动下, 必将加速优化我国现阶段能源结构, 推进我国新能源产业发展。目前, 我国正积极构建清洁低碳安全高效的能源体系, 控制化石能源总量, 着力提高利用效能, 实施可再生能源替代行动, 深化电力体制改革, 构建以新能源

为主体的新型电力系统。“十四五”期间, 分布式光伏必将成为以新能源为主体的新型电力系统的重要组成部分。

在分布式光伏发展方面, 以美国为代表的发达国家积极推进国内分布式光伏发展, 美国在 1997 年提出一项由政府倡导的“百万屋顶”计划, 到 2010 年在 100 万个屋顶安装光伏发电系统; 在 2010 年通过“千万太阳能屋顶计划”, 规划到 2021 年发展 40 GW<sub>p</sub> 屋顶光伏发电系统<sup>[1]</sup>。此外, 分布式光伏在以越南为代表的发展中国家同样取得了较好发展, 截至 2020 年年底, 越南屋顶光伏太阳能装机总容量达

收稿日期: 2021-09-30; 修回日期: 2021-11-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFB0905101)

2 GW<sub>p</sub>,到 2030 年总容量将超过 4 GW<sub>p</sub>,其中工业及商业领域项目将占 95%<sup>[2]</sup>。

自 2009 年实施“金太阳示范工程”以来,我国出台了一系列的分布式光伏鼓励政策。2012 年,国家能源局下发《关于申报分布式光伏发电规模化应用示范区的通知》,通知要求:在每个省建立 500 MW 分布式光伏示范区<sup>[3]</sup>。2013 年,国家能源局下发《分布式光伏发电项目管理暂行办法》,通知要求:项目备案免除发电业务许可、规划选址、土地预审、水土保持、环境影响评价、节能评估及社会风险评估等支持性文件<sup>[4]</sup>。国家发展改革委下发《关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》,通知指出:对分布式光伏发电实行按照全电量每千瓦时 0.42 元补贴,补贴期限原则上为 20 年<sup>[5]</sup>。2014 年,国家能源局下发《关于下达 2014 年光伏发电年度新增建设规模的通知》,通知指出:全年光伏新增备案总规模 14 GW,其中分布式 8 GW<sup>[6]</sup>。2015 年,国家能源局下发《关于下达 2015 年光伏发电建设实施方案的通知》和《关于下达 2016 年光伏发电建设实施方案的通知》,通知指出:对屋顶分布式光伏发电项目及全部自发自用的地面分布式光伏发电项目不限制建设规模<sup>[7-8]</sup>。2018 年,国家发展改革委、财政部和国家能源局联合下发《关于 2018 年光伏发电有关事项的通知》,通知指出:2018 年分布式光伏建设规模约 10 GW;新投运的、采用“自发自用、余电上网”模式的分布式光伏发电项目,全电量度电补贴标准调整为每千瓦时 0.32 元(含税);采用“全额上网”模式的分布式光伏发电项目按所在资源区光伏电站价格执行<sup>[9]</sup>。2019—2021 年,国家层面未限制分布式光伏项目建设模式,对“自发自用、余电上网”分布式光伏项目执行电价补贴退坡机制,2018 年为 0.1 元/(kW·h)、2019 年年末 0.05 元/(kW·h)和 2020 年不再补贴<sup>[10-12]</sup>。截至 2021 年 6 月底,光伏发电累计装机 268 GW,其中分布式光伏 85.96 GW,占光伏总装机比重 32.07%;2021 年 1—6 月,全国光伏新增装机 13.01 GW。其中,光伏电站 5.36 GW、分布式光伏 7.65 GW。从新增装机布局看,装机占比较高的区域为华北、华东和华中地区,分别占全国新增装机的 44%,22% 和 14%<sup>[13]</sup>。

现阶段,虽然分布式光伏具有较好的发展趋势,但是分布式光伏发展正面临着补贴政策、上网电价调整等不利形势,一定程度上影响分布式光伏产业发展。针对上述问题,本文着重从分布式光伏系统定义与特点、主要发展形势、主要经济影响因素和主要发展模式等方面开展研究,以期为解决分布式光伏发展所面临的问题提供一些参考。

## 1 系统定义及特点

### 1.1 系统定义

随着分布式光伏在我国不断发展,其系统定义内涵也在不断完善。

初始定义:分布式光伏发电是指在用户所在地或附近建设运行,以用户侧自发自用为主、多余电量上网且在配电网系统平衡调节为特征的光伏发电设施<sup>[4]</sup>。

定义补充:在地面或利用农业大棚等无电力消费设施建设、以 35 kV 及以下电压等级接入电网(东北地区 66 kV 及以下)、单个项目容量不超过 20 MW 且所发电量主要在并网点变台区消纳的光伏电站项目,纳入分布式光伏发电规模指标管理<sup>[14]</sup>。

### 1.2 系统分类

现阶段,分布式光伏系统主要按照上网消纳模式进行分类,分为“自发自用,余电上网”和“全额上网”。“自发自用,余电上网”是指分布式光伏系统所发电量优先进行就地用户消纳,剩余电量进行上网消纳;“全额上网”是指分布式光伏系统所发电量缺乏就地用户消纳条件,全部所发电量需要通过上网进行消纳。

### 1.3 系统特点

#### 1.3.1 开发类型多样,易于建设维护

相比集中式光伏电站而言,分布式光伏电站既具有集中电站开发类型,如废弃土地、荒山荒坡、农业大棚、滩涂、鱼塘等开发类型,同时具有多种屋顶开发类型,如工厂、学校、商场、体育馆、机场、火车站、粮库等。可见,分布式光伏开发呈现类型多样化。

分布式光伏(尤其屋顶光伏)建设规模一般在 10 MW<sub>p</sub> 以下,系统相对较简单,电气设备集成度较高,施工难度相对较小,建设工期较短。分布式光伏系统投产后,系统运行相对稳定,一般采用“就地无人(或少数人)维护,区域远程集控”的管理模式,显著降低运行维护成本。

#### 1.3.2 单体规模较小,总体规模较大

相比集中式光伏电站而言,分布式光伏电站单个项目规模较小,且建设场地比较分散,一般从几十 kW<sub>p</sub> 到几 MW<sub>p</sub> 不等。

虽然单体规模较小,但是我国易于开发分布式光伏的资源较多,总体可开发规模较大。现阶段,我国分布式光伏开发已具有一定规模,已投产运行 85.96 GW,占光伏总装机比重 32.07%;同时,我国分布式光伏后续开发仍具有较大的潜力。目前,就分布式光伏整县试点预计最终规模或将超过 100

GWp;“十四五”期间,考虑充分利用城镇和农村住宅屋顶、工矿用地屋顶、铁路高速公路、滩涂水库坑塘和农业大棚等资源开发不同类型分布式光伏项目,预计可开发规模超过数百 GWp。

### 1.3.3 系统线损较小,节能环保效益好

“自发自用,余电上网”类型的分布式光伏系统所发电量优先就地消纳,剩余电量基本在并网点变电台区消纳,不存在远距离输送;“全额上网”类型的分布式光伏系统所发电量同样在并网点变电台区消纳<sup>[15]</sup>。可见,分布式光伏系统不存在远距离输送线路损失,同时所发电量基本在就地或附近区域全额消纳,不存在弃光问题。

建有分布式光伏项目的屋顶,在光伏组件遮挡下,可避免阳光直接照射,显著降低室内温度,间接降低室内空调设备能耗。此外,分布式光伏项目单体规模较小,但全国可开发总体规模较大,对降低我国化石燃料使用量具有显著促进作用,有助于降低能源转化利用过程的污染物、粉尘和温室气体排放。

## 2 面临的主要发展形势

现阶段,我国分布式光伏面临着补贴逐步取消、用户侧电价逐步下调和系统造价趋于平稳等形势,一定程度上影响着分布式光伏产业发展。

### 2.1 政策形势

为推进分布式光伏产业发展,国家有关部委出台系列配套补贴政策,以促进科技进步,逐步降低分布式光伏建设和运行成本,提高分布式光伏发电市场竞争力,同时根据发展规模、建设成本、生产成本变化情况等因素,逐步调减电价补贴标准。

2013年8月,国家发展改革委下发《关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》,文件指出:将全国分为3类太阳能资源区,相应制定光伏电站标杆上网电价(见表1);对分布式光伏发电实行按照全电量每千瓦时0.42元补贴。其中,余电上网电量按照当地燃煤机组标杆上网电价收购;补贴期限原则上为20年<sup>[5]</sup>。2014年9月,国家能源局下发《关于进一步落实分布式光伏发电有关政策的通知》,文件指出:“全额上网”项目的全部发电量由电网企业按照当地光伏电站标杆上网电价收购<sup>[14]</sup>。2015年12月,国家发展改革委下发《关于完善陆上风电光伏发电上网标杆电价政策的通知》,通知明确了光伏标杆电价退坡机制<sup>[16]</sup>。2019年4月,国家发展改革委下发《关于完善光伏发电上网电价机制有关问题的通知》,通知指出:纳入2019年财政补贴规模项目,采用“自发自用、余量上网”模式的工商

业分布式项目,全发电量补贴为每千瓦时0.10元;采用“全额上网”模式的项目,按所在资源区集中式光伏电站指导价执行<sup>[17]</sup>。2020年4月,国家发展改革委下发《关于2020年光伏发电上网电价政策有关事项的通知》,通知指出:纳入2020年财政补贴规模项目,采用“自发自用、余量上网”模式的工商业分布式项目,全发电量补贴为每千瓦时0.05元;采用“全额上网”模式的项目,按所在资源区集中式光伏电站指导价执行<sup>[18]</sup>。2021年6月,国家发展改革委下发《关于2021年新能源上网电价政策有关事项的通知》,通知指出:2021年起,对新备案集中式光伏电站、工商业分布式光伏项目和新核准陆上风电项目,中央财政不再补贴,实行平价上网,按当地燃煤发电基准价执行<sup>[19]</sup>。

表1 分布式光伏全额上网电价及余电上网补贴<sup>[16-20]</sup>

Tab. 1 Electricity price of distributed PV power and subsidy for surplus photovoltaic power selling to grid<sup>[16-20]</sup>元/(kW·h)

年份	全额上网			自发自用余电上网补贴
	I类	II类	III类	
2014	0.90	0.95	1.00	0.42
2015	0.90	0.95	1.00	0.42
2016	0.80	0.88	0.98	0.42
2017	0.65	0.75	0.85	0.42
2018	0.55	0.65	0.75	0.37
2019	0.40	0.45	0.55	0.10
2020	≤0.35	≤0.40	≤0.49	≤0.05
2021	按当地燃煤发电基准价执行			—

### 2.2 电价形势

2018年,国家发展改革委为落实中央经济工作会议关于降低企业用能成本和2018年《政府工作报告》中关于一般工商业电价平均下降10%的目标要求,于2018年分别下发了《关于降低一般工商业电价有关事项的通知》《关于电力行业增值税税率调整相应降低一般工商业电价的通知》《关于降低一般工商业电价有关事项的通知》等,使我国2018年一般工商业电价平均下降了10%。

2019年,国家发展改革委为进一步贯彻《2019年政府工作报告》中关于一般工商业平均电价再降低10%的要求,于2019年下发了《关于降低一般工商业电价的通知》,使我国一般工商业平均电价再次降低了10%。

2020年,国家发展改革委下发《关于阶段性降低企业用电成本支持企业复工复产的通知》,通知要求:电网企业在计收除高耗能行业外用户电费时,按原到户电价水平95%结算<sup>[20]</sup>。

2021年,国家发展改革委下发《关于进一步完

善分时电价机制的通知》(发改价格[2021]1093号),通知要求:合理确定峰谷电价价差,上年或当年预计最大系统峰谷差率超过40%的地方,峰谷电价价差原则上不低于4:1;其他地方原则上不低于3:1;在峰谷电价的基础上推行尖峰电价机制<sup>[21]</sup>。

### 2.3 行业形势

光伏组件价格方面,行业通过对硅料生产、硅片制备和组件生产等环节持续技术革新,并通过持续扩大产能规模,促进了光伏组件价格持续降低。2010—2020年,光伏组件价格下降约90%,其中2010—2016年下降约85%,2016—2020年价格下降幅度趋于平缓,仅下降约5%<sup>[22-25]</sup>。

分布式光伏系统造价方面,2010—2020年期间,系统造价下降约85%。其中2010—2016年期间,造价下降约75%,2016—2020年期间下降幅度趋于平缓<sup>[22-25]</sup>。现阶段,分布式光伏造价在3.50~4.50元/W,典型造价组成见表2,其中组件成本和建安费占比较高。依据产业市场行情推测,建设成本中光伏组件还存在一定的降价空间;逆变器、汇流箱、升压站、开关柜、电缆和支架等降价空间较小,受原材料价格影响,甚至存在涨价风险;建安费和其他费用,因受人工成本增加,存在一定的涨价风险。

表2 分布式光伏系统典型建设成本组成  
Tab. 2 Typical construction cost composition of a distributed PV system

项目	价格	元/W <sub>p</sub>
光伏组件	1.50~2.00	
逆变器	0.10~0.15	
光伏支架	0.30~0.45	
光伏汇流箱	0.05~0.10	
升压站、开关柜、二次设备及仪表	0.30~0.35	
交直流电缆	0.20~0.25	
建筑与安装工程	0.60~0.70	
其他(含技术咨询和管理等费用)	0.45~0.50	
合计	3.50~4.50	

通过光伏组件价格和系统造价趋势分析,分布式光伏系统建设成本存在降价可能,但是短期内整体降价幅度有限。

## 3 主要经济因素

以国内某地1 MW<sub>p</sub>项目为例,分析分布式光伏项目内部收益率对投资、发电量、电价、利率和人工费等敏感程度。通过数学建模对项目内部收益率情况进行研究,在项目技术经济分析关键参数(见表3)一定的条件下,其中单位造价按4 000元/W<sub>p</sub>、

电价按0.495 5元/(kW·h)、年等效利用小时按1 048.6 h计列,研究投资、发电量、电价、贷款利率和人工费等变量分别对项目资本金内部收益率影响,每个变量分别按照±5%和±10%变化幅度进行取值计算,各变量随取值变化对项目资本金内部收益率影响结果见表4。通过计算结果分析可知,项目资本金内部收益率对投资、发电量和电价较为敏感,对利率和人工费敏感性一般。因此,为改善项目收益,需要对投资、发电量、电价等关键因素做好风险防控。

表3 国内某地1 MW<sub>p</sub>项目技术经济分析关键参数  
Tab. 3 Key parameters in the economic analysis on a 1 MW<sub>p</sub> distributed photovoltaic project in China

关键指标	具体数值
初投资/万元	400
长期贷款利率/%	4.59
经营期/年	25
资本金比例/%	20
年等效利用时间/h	1 048.6
上网电价/(元·(kW·h) <sup>-1</sup> )	0.495 5
材料费/(元·kW <sup>-1</sup> )	5
固定资产折旧年限/年	20
固定资产残值/%	5

表4 项目资本金内部收益率敏感性分析

变化幅度	项目资本金内部收益率					%
	投资	发电量	电价	利率	人工费	
-10	11.68	3.93	3.93	9.07	9.05	
-5	9.81	6.04	6.04	8.64	8.64	
0	8.23	8.23	8.23	8.23	8.23	
5	6.88	10.59	10.59	7.83	7.82	
10	5.72	13.13	13.13	7.45	7.42	

### 3.1 投资成本

为减少投资成本风险,项目实施过程中应做好精细化设计工作,减少电气设备过度冗余配置,优化实施过程中的工程量(对房屋加固情况需做专题分析)和实施难度,减少因设计变更和施工质量导致工程量增加的情况。此外,招标应采用打捆招标方式降低设备、施工等招标价格。

### 3.2 发电量

分布式光伏系统发电量与项目选址、设备选型和运行维护等方面有关。其中在选址方面,应选择站址(屋顶)无遮挡或少遮挡区域,同时选择周边无明显粉尘污染的区域;在设备选型方面,通过项目全生命周期进行测算,选择高效率、高稳定性设备(如逆变器建议选择组串和集散式逆变器),全面提

升系统发电量;运行维护方面,采用智能化平台,并借助携带红外成像仪的无人机等先进技术及设备加大巡检,及时排除发电系统故障。此外,做好光伏组件积灰清扫,确保光伏组件良好的运行环境。

### 3.3 电价

按照分布式光伏系统类型,项目综合电价有2种形式,即“自发自用,余电上网”电价和“全额上网”电价。对“自发自用,余电上网”项目,电价由煤电上网标杆电价、用户自用电价和补贴3部分按照自发自用比例加权平均,其中煤电上网标杆电价、用户自用电价和补贴相对固定,综合电价受自发自用比例影响较大,故项目开发过程中应选择消纳能力强的用户合作,提升项目综合电价,保障项目投资收益。对“全额上网”项目,综合电价基本按照项目所在区域集中式光伏电站指导价执行,综合电价相对稳定但电价偏低。

### 3.4 其他

分布式光伏项目投资收益还与贷款利率、人工成本等有关,但资本金内部收益率对利率和人工费等因素敏感性一般。为保障项目投资收益,在项目实施过程中,投资方应积极争取利率优惠政策,降低项目运行期间的财务成本。此外,项目应采用远程集控、无人值守和少人维护的管理模式,提升项目智能化和信息化水平,减少用工量,即减少用工成本,提升项目收益。

## 4 主要发展模式

现阶段,分布式光伏发展面临着无补贴、上网电价逐步下调和造价趋于平稳等不利形势,传统的发展模式难以保障项目合理收益,需要优化传统开发模式并采用新的开发模式,推进分布式光伏产业快速发展,助力我国碳达峰和碳中和发展战略。

### 4.1 传统模式优化

传统模式包括“自发自用,余电上网”和“全额上网”2种。在当前发展形势下,相比“全额上网”模式,“自发自用,余电上网”模式因具有显著的电价优势,将具有更好的市场竞争力。为适合下阶段分布式光伏发展需要,在传统“自发自用,余电上网”模式的基础上,坚持“光伏+优质用户”和“因需而建”等理念,其中“光伏+优质用户”要求筛选企业信用等级高、电力消纳能力强、购电价格高的用户合作,如污水处理厂、高铁站、机场、数据中心和高端商务中心等;“因需而建”理念要求改变传统粗放型的开发方式,应结合用户电力消纳实际需要,合理确定项目开发规模。通过对“自发自用,余电上网”模式优化,引入“光伏+优质用户”和“因需而建”等

理念,保障项目所发电量高比例消纳和良好收益。

### 4.2 新模式开发

在新的发展形势下,分布式光伏需要新的开发模式提升其市场竞争力,推动其快速发展。目前,分布式光伏的新开发模式有如下几种。

#### 4.2.1 “光伏+储能”模式

“光伏+储能”模式即分布式光伏系统配套一定容量储能设备。分布式光伏典型日发电量呈现早晚低和中午高的分布特点,而企业一般因中午和节假日休息,导致相应时段光伏发电量消纳较少,剩余电量通过上网消纳,严重影响项目收益。“光伏+储能”模式将剩余未消纳电量进行存储,在企业用户正常生产时段进行放电并被消纳,从而减少分布式光伏上网电量,提升自发自用比例,改善项目盈利能力。此外,考虑电网分时电价机制,利用储能实施实现分时套利,进一步提升项目盈利能力。

#### 4.2.2 “光伏+储能+交通”模式

“光伏+储能+交通”模式即分布式光伏系统配套一定容量储能设备和一定数量充电桩。因典型日发电量分布特点、用户电量消纳特点和用户电量消纳能力,“光伏+储能”模式在一定程度上保障了光伏所发电量的消纳,此外因用户消纳能力有限,仍可能存在剩余电量上网消纳现象,借助“光伏+储能+交通”模式可充分利用用户的屋顶资源建设光伏发电系统,同时通过充电桩保障光伏所发电量完全消纳,实现项目投资收益最大化。

#### 4.2.3 “光伏+微网”模式

“光伏+微网”模式即通过建立微电网消纳分布式光伏所发电量。现阶段,“光伏+微网”模式主要应用在孤岛和偏远乡村等特殊场景,但现阶段因政策层面的原因该模式还未应用到工业园区、商业中心等常规场景。目前,为推动“光伏+微网”发展模式推广应用,山东、浙江和江苏等均积极开展配套政策研究。“十四五”期间,“光伏+微网”发展模式有望成为主要模式,得以全面推广应用。

#### 4.2.4 台变区电力交易模式

2021年6月,国家发展改革委下发《国家发展改革委关于2021年新能源上网电价政策有关事项的通知》,通知指出:新备案工商业分布式光伏项目可自愿通过参与市场化交易形成上网电价<sup>[8]</sup>。考虑到分布式光伏装机容量小、电压等级低,不适宜远距离传输消纳,建议工商业分布式光伏项目可探索在上级台变区开展市场化交易,利用电网公司成熟的输配电网,完成项目所发电量在上级台变区完全消纳。通过台变区电力交易模式,确保项目电力消纳,降低用户电价,同时利用过网费保障电网收益,

实现多方共赢。

## 5 结束语

分布式光伏是一种贴近终端用户,以配电网系统平衡调节为特征,并充分利用闲置资源(屋顶、废弃土地、荒山荒坡、农业大棚等)开发建设的光伏发电设施。在现阶段电价下调、补贴取消等不利形势下,通过优化投资成本、提升发电量和电价、降低贷款利率和运维成本等措施,并积极优化现有开发模式和采用开发新模式,可以全面提升项目市场竞争力和盈利能力,加快分布式光伏在“十四五”期间开发建设,助力以新能源为主体的新型电力系统建设。

### 参考文献:

- [1] 苏赞加. 浅谈国内外分布式光伏发电的发展现状[J]. 科技致富向导, 2014, 20(1): 150, 218.
- [2] 中华人民共和国驻胡志明市总领事馆经济商务处. 2020年越南屋顶光伏太阳能装机总容量将达2 GW[EB/OL]. (2020-12-07) [2021-11-01]. <http://www.mofcom.gov.cn/article/i/jyj/lj/202012/20201203020706.shtml>.
- [3] 国家能源局. 关于申报分布式光伏发电规模化应用示范区的通知[R]. 北京: 国家能源局, 2012.
- [4] 国家能源局. 分布式光伏发电项目管理暂行办法[R]. 北京: 国家能源局, 2013.
- [5] 国家发展改革委. 关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知[R]. 北京: 国家发展改革委, 2013.
- [6] 国家能源局. 关于下达2014年光伏发电年度新增建设规模的通知[R]. 北京: 国家能源局, 2014.
- [7] 国家能源局. 关于下达2015年光伏发电建设实施方案的通知[R]. 北京: 国家能源局, 2015.
- [8] 国家能源局. 关于下达2016年光伏发电建设实施方案的通知[R]. 北京: 国家能源局, 2016.
- [9] 国家发展改革委, 财政部, 国家能源局. 关于2018年光伏发电有关事项的通知[R]. 北京: 国家发展改革委, 财政部, 国家能源局, 2018.
- [10] 国家能源局. 关于2019年风电、光伏发电开发建设有关事项的通知[R]. 北京: 国家能源局, 2019.
- [11] 国家能源局. 关于2020年风电、光伏发电开发建设有关事项的通知[R]. 北京: 国家能源局, 2020.
- [12] 国家能源局. 关于2021年风电、光伏发电开发建设有关事项的通知[R]. 北京: 国家能源局, 2021.
- [13] 国家能源局. 我国可再生能源发电装机达到9.71亿千瓦[EB/OL]. (2021-07-28) [2021-11-01]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=17066>.
- [14] 国家能源局. 关于进一步落实分布式光伏发电有关政策的通知[R]. 北京: 国家能源局, 2014.
- [15] 韩琪, 王朝, 张晓琪. 屋顶光伏项目特点与工程建设的探讨[J]. 华电技术, 2018, 40(3): 70-76.  
HAN Qi, WANG Chao, ZHANG Xiaoqi. Research on development situation and prospect of distributed photovoltaic[J]. Huadian Technology, 2018, 40(3): 70-76.
- [16] 国家发展改革委. 关于完善陆上风电光伏发电上网标杆电价政策的通知[R]. 北京: 国家发展改革委, 2015.
- [17] 国家发展改革委. 关于完善光伏发电上网电价机制有关问题的通知[R]. 北京: 国家发展改革委, 2020.
- [18] 国家发展改革委. 关于2020年光伏发电上网电价政策有关事项的通知[R]. 北京: 国家发展改革委, 2020.
- [19] 国家发展改革委. 关于2021年新能源上网电价政策有关事项的通知[R]. 北京: 国家发展改革委, 2021.
- [20] 国家发展改革委. 关于阶段性降低企业用电成本支持企业复工复产的通知[R]. 北京: 国家发展改革委, 2020.
- [21] 国家发展改革委. 关于进一步完善分时电价机制的通知[R]. 北京: 国家发展改革委, 2021.
- [22] 王秋惠, 孙立国, 李佳雯. 基于相变储能的建筑光伏系统储能优化配置研究[J]. 华电技术, 2021, 43(9): 54-61.  
WANG Qiuwei, SUN Liguang, LI Jiawen. Optimized configuration of energy storage devices of building photovoltaic system with phase-change energy storage[J]. Huadian Technology, 2021, 43(9): 54-61.
- [23] International Renewable Energy Agency. Renewable power generation costs in 2020 [R]. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2020.
- [24] 孙振宇, 沈明忠. 基于工业厂区的多能互补系统在微能源网的应用[J]. 华电技术, 2019, 41(11): 46-48.  
SUN Zhenyu, SHEN Mingzhong. Application of multi-energy complementary system in micro-energy network of an industrial plant [J]. Huadian Technology, 2019, 41(11): 46-48.
- [25] 王晗雯, 鲁胜, 周照宇. 光伏-混合储能微电网协调控制及经济性分析[J]. 华电技术, 2020, 42(4): 31-36.  
WANG Hanwen, LU Sheng, ZHOU Zhaoyu. Coordinated control and economic analysis on a PV-hybrid energy storage micro-grid system [J]. Huadian Technology, 2020, 42(4): 31-36.

(本文责编:张帆)

### 作者简介:

詹天津(1965—),男,福建龙岩人,高级工程师,从事清洁能源发电和新能源开发工作(E-mail:kytg123@126.com)。

谢玉荣(1982—),男,浙江杭州人,高级工程师,从事新能源与综合能源开发工作(E-mail:yurong-xie@chder.com)。