[光伏项目]

# 整县屋顶分布式光伏应用场景经济性分析

文/李　杰
云南能源投资股份有限公司

*分布式光伏蕴藏着巨大的市场潜力，已让“整县推进”成为焦点话题。梳理了整县屋顶分布式光伏项目推进中的各主要应用场景、特点及主要合作模式，分析了在不同投资收益率要求下各应用场景的经济性，研究成果可为投资开发企业开发整县分布式光伏项目提供参考。*

2021年6月，国家能源局综合司正式下发《关于报送整县（市、区）屋顶分布式光伏开发试点方案的通知》，拟在全国组织开展整县（市、区）推进屋顶分布式光伏开发试点工作。同年9月，国家能源局发布了全国光伏整县推进试点名单，共计676个试点。在国家能源主管部门高度重视下，地方政府快速响应，各地纷纷出台配套政策，未进入试点名单的县区也在大力推进。分布式发电是指在用户所在场地或附近建设运行，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发电设施，具有就近利用、产业互补、灵活高效的优点，是推动能源供给革命、非化石能源跨越式发展的重要能源利用方式。分布式光伏蕴藏着巨大的市场潜力，已让“整县推进”成为焦点话题。开展整县推进屋顶分布式光伏建设，有利于整合新能源资源，实现集约开发，有利于节约优化配电网投资和引导居民绿色能源消费，是实现碳达峰、碳中和与乡村振兴两大国家重大战略的重要措施。本文从开发企业的角度出发，对云南省某县整县屋顶分布式项目涉及的应用场景进行研究，并对其经济性作了详细分析，以期对光伏开发企业起到参考作用。

## 整县推进的应用场景

### 1. 主要应用场景

根据国家能源局综合司下发的《关于报送整县（市、区）屋顶分布式光伏开发试点方案的通知》，整县分布式光伏项目主要应用场景包括：

1）党政机关建筑屋顶，总面积可安装光伏发电比例不低于50%。

2）学校、医院等公共建筑屋顶，总面积可安装光伏发电比例不低于40%。

3）工商业厂房屋顶，总面积可安装光伏发电比例不低于30%。

4）农村居民屋顶，总面积可安装光伏发电比例不低于20%。

除以上四种主要应用场景外，还有加油站顶棚、污水处理厂、光伏车棚、通信基站、养殖农业大棚等场景。

### 2. 应用场景的特点

1）党政机关建筑。屋顶可利用面积相对较小，日间用电负荷较大，节假日用电较小，均为混凝土屋面，位于城市，周边可能存在高楼遮挡。电费结算比较及时。

2）学校。用电负荷小，节假日几乎无负荷（除

大学或寄宿制学校外），屋顶设备少，可利用面积大；电费结算及时。

3）医院。用电负荷较大，全年无休；电价高，为当地一般工商业电价；屋顶设备多，可利用面较小；医院精密医疗设备多，对电能要求较高。

4）村委会。屋顶面积小，用电量小，考虑全额上网。

5）工商业厂房。整体用电负荷大，电价高；屋顶可利用面积大，厂房主要分为钢结构屋顶（彩钢瓦屋顶）和砖混结构屋顶（混凝土屋顶）。钢结构屋顶在项目评估阶段需要完成荷载复核工作。载荷不通过的，可以通过减少布置容量或加固的方案实现屋顶安装光伏组件。

6）农村居民屋顶。农村居民屋顶主要为瓦屋面及混凝土屋顶，居民用电负荷小，可考虑全额上网，屋面主要障碍物为太阳能热水器及烟囱，后期设计时需考虑避让及移位。

## 应用场景的合作模式及经济性分析

### 1. 合作模式

项目开发前期，开发企业需要对项目的屋顶情况、当地辐照资源情况、建筑间距、配电并网设施、业主用电消纳情况及实际用电价格等内容进行现场踏勘及收资，完成项目方案，最后再与屋顶业主进行商谈确定最终合作模式。目前，主流的合作模式主要有屋顶租金模式、电价优惠模式以及屋顶租金和电价优惠组合模式。

（1）屋顶租金模式

开发企业租用业主建筑屋顶建设光伏电站，每年向业主支付一次屋顶租金，租金可按照光伏组件所占用屋顶面积计费或者按照每块组件计费。一般租金范围为2～4元/$m^2$，具体租金价格需根据项目方案测算和业主商谈结果确定。业主所用光伏电站发电量的电价按照电网同期价格进行结算，不进行电价优惠。

（2）电价优惠模式

开发企业免费使用业主屋顶建设光伏电站，业主所用光伏电站发电量的电价按照电网同期价格给予电价优惠，一般为8～9.5折。具体电价优惠比例需根据项目方案测算和业主商谈结果确定。

（3）租金和电价优惠组合模式

该模式在建筑所有者与用能方不是同一主体时较为常见。该模式下开发企业分别与建筑所有者签订屋顶租赁协议，与用能方签订合同能源管理协议及屋顶使用同意书，开发企业既要支付屋顶租金，也要给出电价优惠。具体租金价格和电价优惠比例需根据项目方案测算和建筑所有者及用能方商谈后确定。

### 2. 应用场景经济性分析

目前光伏行业的资本金基准收益率要求通常为8%，但对于不同开发企业来说，又有所差异，部分能源央国企的基准收益率要求降低到6.5%。本文运用经济评价反算分析的方法，以云南省某县整县屋顶分布式项目为例，在已确定的项目资源和财务基本参数条件下，分析在开发企业不同基准收益率（6.5%～8%）背景下，各分布式光伏应用场景能给予屋顶业主的最高租金水平、最大电价优惠程度。因各地光照资源、电价水平、屋顶建设条件和并网条件有所差异，且各开发企业投资成本、营运成本也有所不同，得出的财务评价结果有差异性。

（1）资源条件及经济测算基本条件

资源条件及经济测算基本条件见表1。

表1　资源条件及经济测算基本条件表

| 项目 | 数值 | 项目 | 数值 |
|---|---|---|---|
| 太阳能总辐射（$MJ/m^2$） | 5 969 | 首年可利用小时/h | 1 330 |
| 屋顶类型 | 水泥顶/彩钢瓦 | 年均可利用小时/h | 1 220 |
| 静态投资单价/（元/Wp） | 4.5 | 项目营运期/年 | 25 |
| 项目建设工期/月 | 3～6 | 静态投资单价/（元/Wp） | 4.5 |
| 资本金比例（%） | 20 | 长期贷款利率（%） | 4.9 |
| 流动资金/（元/kW） | 30 | 还款期限/年 | 15 |
| 折旧年限/年 | 20 | 运营年限/年 | 25 |
| 残值率（%） | 5 | 人员数量 | 0 |
| 修理费/（元/kW） | 8 | 保险费（%） | 0.25 |
| 材料费/（元/kW） | 8 | 其他费用/（元/kW） | 10 |
| 销项税率（%） | 13 | 企业所得税率（%） | 15 |
| 城市维建税（%） | 5 | 教育费附加税（%） | 5 |
| 法定公积金（%） | 10 | 组件年衰减率（%） | 2、0.55 |

（2）党政机关建筑分析

县级各党政机关屋顶面积大多在400～3 000 $m^2$之间，根据实际开发整县党政机关屋顶分布式项目经验，取该县党政机关屋顶总面积3万$m^2$，

可开发装机3 MWp，建设周期3个月，自用电比例取值30%，自用电价为0.51元/（kW·h），上网电价0.3358 元/（kW·h）。在开发企业不同资本金内部收益率下，分别采用租金模式（元/$m^2$）和采用电价优惠模式（%）的分析见表2，表2内数据为最高租金和最大折扣。

表2　党政机关应用场景经济分析表

| 效益分享模式 | 收益率6.5% | 收益率7% | 收益率7.5% | 收益率8% |
|---|---|---|---|---|
| 租金模式/（元·$m^2$） | 6.18 | 5.45 | 4.72 | 4 |
| 电价优惠模式（%） | 63.72 | 67.94 | 72.31 | 76.56 |

（3）学校、医院等公共建筑分析

一般各县（市、区）拥有的公立学校大约60余所，公立医院3～4所，各学校建筑屋顶面积在500～6 000 $m^2$之间，医院建筑屋顶面积在2 000～6 000 $m^2$之间，根据实际开发整县学校、医院分布式项目经验，取县属学校的建筑屋顶总面积8万$m^2$，医院建筑屋顶总面积2万$m^2$，总体可开发装机10 MWp，建设周期6个月，自用电比例取值25%（考虑学校寒暑假），自用电价为0.51元/（kW·h），上网电价0.335 8元/（kW·h）。在开发企业不同资本金内部收益率下，分别采用租金模式（元/$m^2$）和采用电价优惠模式（%）的分析见表3，表3内数据为最高租金和最大折扣。

表3　学校、医院应用场景经济分析表

| 效益分享模式 | 收益率6.5% | 收益率7% | 收益率7.5% | 收益率8% |
|---|---|---|---|---|
| 租金模式/（元/$m^2$） | 4.60 | 3.94 | 3.27 | 2.60 |
| 电价优惠模式（%） | 64.43 | 69.22 | 74.50 | 79.61 |

（4）工商业厂房分析

一般县（市、区）的工商业厂房屋顶资源相对党政机关、学校、医院等公共建筑的屋顶资源较为丰富，但建筑屋顶的产权大多属于私营企业或个人，具体开发时需与各业主单独商谈。由于各县经济发展不一致，工商业的发展也有差异，根据实际开发整县工商业分布式项目经验，取工商业的建筑屋顶总面积20万$m^2$，可开发装机20 MWp，建设周期6个月，自用电比例取值40%，自用电价为0.6元/（kW·h），上网电价0.3358元/（kW·h）。在开发企业不同资本金内部收益率下，分别采用租金模式（元/$m^2$）和采用电价优惠模式（%）的分析见表4，表4内数据为最高租金和最大折扣。

表4　工商业厂房应用场景经济分析表

| 效益分享模式 | 收益率6.5% | 收益率7% | 收益率7.5% | 收益率8% |
|---|---|---|---|---|
| 租金模式/（元/$m^2$） | 10.82 | 10.15 | 9.49 | 8.80 |
| 电价优惠模式（%） | 55.03 | 57.80 | 60.53 | 63.30 |

（5）村委会、农村居民屋顶建筑分析

农村居民屋顶资源较为丰富，可开发装机容量比其他应用场景大，但其屋顶条件千差万别，电价较低，业主协调相对较为困难，开发难度最大。根据实际开发整县农村居民屋顶分布式项目经验，取整县愿意建设分布式光伏项目的居民屋顶面积20万$m^2$，可开发装机20 MWp，建设周期6个月，发电量全额上网，上网电价0.335 8元/（kW·h）。若按上述条件进行测算，在无租金、无电价优惠的前提下，企业资本金内部投资收益率仅为6.63%，经济性较差。为能够有效开发农村屋顶资源，部分企业采取最优惠银行贷款利率、压缩投资成本和运营成本的方式进行开发，通常能给予居民2～3元的租金作为回报。也有部分企业将整县统一规划设计建设，将公共建筑和工商业经济性较好的项目捆绑，与居民屋顶项目进行统一开发，视整县各应用场景不同比例进行组合开发，最终给予屋顶业主租金范围2～4元或者电价8～9.5折的优惠。

## 结束语

本文通过对整县屋顶分布式光伏各应用场景的合作模式及经济性进行研究分析，可以看出，在整县分布式光伏开发过程中，效益最好、弹性空间最大的是工商业场景，其次是党政公共机关和学校、医院场景，农村居民屋顶因其自用电比例低、上网电价低等因素，导致其经济性最差。在整县分布式开发大潮中，建议各开发企业合理进行统一规划建设，合理布局各种应用场景的开发比例，不断探索合适的合作模式，确保既能为自身投资增加效益，也能减少政企运营成本，提高农民收入，实现多方互利共赢。本文在立足于不同开发企业的资本金内部投资收益率要求下，分析了当前整县分布式光伏

项目开发中的各场景的经济性。研究成果可为相关开发企业进行分布式光伏项目开发提供参考。EA

（收稿日期：2023-02-20）

**参考文献**

[1] 边萌萌，张昕宇，李博佳，等．整县屋顶分布式光伏发电系统应用的技术要点分析[J]．太阳能，2021，42(11)：41-47．

[2] 国家能源局综合司关于公布整县（市、区）屋顶分布式光伏开发试点名单的通知．[EB/OL]．(2021-9-8)[2022-11-08]. http：//zfxxgk.nea.gov.cn/2021-09/08/c_1310186582.htm

[3] 国家发展改革委．国家发展改革委关于印发《分布式发电管理暂行办法》的通知[EB/OL]．(2013-7-18)[2022-11-08]．http：//www.gov.cn/zwgk/2013-08/14/content_2466462.htm

[4] 国旭涛，蔡洁聪，韩高岩，等．分布式能源技术与发展现状[J]．分布式能源，2019，4(1)：52-59．

[5] 贾洋洋，仲海涛，张智晟．含储氢装置的分布式能源系统的优化经济调度[J]．广东电力，2019，32(11)：38-44．

[6] 闫湖，黄碧斌，洪博文，等．分布式能源商业模式重构与创新展望[J]．分布式能源，2019，4(2)：16-22．

[7] 牛天钰，于金辉．燃气冷热电联供分布式能源系统及其在四川医院建筑中的应用[J]．发电技术，2020，41(3)：288-294．

[8] 熊威，杨彬佑，张睿，等．基于联盟链的分布式能源交易模型研究[J]．智慧电力，2020，48(10)：24-29．

[9] 中国电机工程学会农村电气化专业委员会．整县屋顶分布式光伏开发建设相关问题研究报告[J]．农电管理，2021，30(10)：22-26．

[10] 董霞威，马长啸，黄海，等．分布式光伏项目国企开发模式及风险研究[J]．分布式能源，2021，7(6)：24-30．

[11] 张开海．分布式光伏发电系统在某污水处理厂中的应用[J]．中国给水排水，2017，33(22)：81-84．

[12] 李义，刘志胜．高速公路沿线发展分布式光伏发电项目可行性研究[J]．科技与创新，2022，9(4)：173-176，181．

[13] 张玺．谈“双碳”目标下广西农村屋顶分布式光伏发电的技术与发展[J]．红水河，2022，41(2)：80-83．

[14] 李孝斌，温立忠．分布式光伏为“三农”带来光明[J]．农家书屋，2015，7(12)：24-25．

[15] 李继红，张磊．整县屋顶分布式光伏发电背景下的合作模式与经济分析[J]．大众用电，2022，38(4)：56-58．

[16] 武天雨，王宁．基于多变量灰色模型的光伏短期预测[J]．电气应用，2021，40(6)：17-23．