

乐山市五通桥区分布式光伏
规划指引方案
(2025-2030 年)

2025 年 7 月

目录

一、规划背景与目标	1
1.1 背景分析	1
1.2 基本原则	5
1.3 区域发展需求	6
1.4 规划目标体系	8
二、现状分析	9
2.1 自然地理条件	9
2.2 资源评估	10
2.3 面临挑战	14
2.4 市场需求与潜力	16
三、开发区域选择	19
3.1 开发区域划定	19
3.2 屋顶分类与筛选标准	20
3.3 分布式光伏技术可开发量评估	21
四、建设指引	22
4.1 风貌协调专项设计	22
4.2 建成效果指引	28
4.3 结构安全	31
4.4 技术工艺选用	35
4.5 总体设计方案	38
4.6 分布式光伏多元化应用	42

五、运营管理	44
5.1 投资商业模式	44
5.2 运维方案	46
六、效益分析	47
6.1 经济效益	47
6.2 环境效益	49
6.3 社会效益	50
七、风险分析	51
7.1 技术风险	51
7.2 市场风险	52
7.3 自然风险	53
八、利益分配机制	53
8.1 收益分配模式	53
8.2 利益相关方收益分配	54
8.3 动态调整条款	54
九、保障措施	55
9.1 加强组织领导，强化部门联动	55
9.2 健全工作机制	55
9.3 加快电网升级改造	56
9.4 政策引导	56
9.5 宣传发动	56

一、规划背景与目标

1.1 背景分析

1.1.1 国家政策导向

中国作为能源消费大国，能源产业的高质量发展支撑着社会经济的高质量发展。在能源发展新时代，我国能源行业发展应充分贯彻党的“十九大”报告精神，构建“清洁低碳、安全高效”的现代能源体系，优化能源结构。根据我国的能源资源状况，除煤炭，将来可以依赖的能源资源主要是可再生能源。我国的可再生资源潜力很大，主要有水能、风能、太阳能和生物质能等，在今后 20 年~30 年内，我国具备可开发条件的可再生能源资源量预计每年可相当于 8 亿 t 标准煤，具有良好的开发前景。

2025 年 1 月 17 日国家能源局印发《分布式光伏发电开发建设管理办法》（国能发新能规〔2025〕7 号）。办法重点规范行业发展、优化管理流程，并适应分布式光伏发电规模化、市场化发展的新需求。通过分类管理、备案简化、电网公平接入等举措，强化了分布式光伏的规范化与市场化发展，同时注重保护用户权益和电网安全。其核心目标是通过差异化管理激发市场活力，推动分布式光伏在能源转型中发挥更大作用。

规定非自然人户用分布式光伏是指非自然人利用居民住宅、庭院投资建设，与公共电网连接点电压等级不超过 10 千伏（20 千伏）、总装机容量不超过 6 兆瓦的分布式光伏；

一般工商业分布式光伏是指利用党政机关、学校、医院、市政、文化、体育设施、交通场站等公共机构以及工商业厂房等建筑物及其附属场所建设，与公共电网连接点电压等级不超过 10 千伏（20 千伏）、总装机容量原则上不超过 6 兆瓦的分布式光伏；

大型工商业分布式光伏是指利用建筑物及其附属场所建设，接入用户侧电网或者与用户开展专线供电（不直接接入公共电网且用户与发电项目投资方为同一法人主体），与公共电网连接点电压等级为 35 千伏、总装机容量原则上不超过 20 兆瓦或者与公共电网连接点电压等级为 110 千伏（66 千伏）、总装机容量原则上不超过 50 兆瓦的分布式光伏。

2025 年 1 月 27 日国家发展改革委、国家能源局关于深化新能源上网电价市场化改革、促进新能源高质量发展的通知 136 号文，明确了全面市场化：所有新能源项目（包括风电、太阳能发电，即分布式光伏）上网电量原则上全部进入电力市场，电价通过市场交易形成，且分布式光伏项目可自主选择“报量报价”或“接受市场形成价格”参与交易，赋予经营主体更大自主权。

建立健全支持新能源高质量发展的制度机制，对增量项目市场化竞价机制：新增分布式光伏项目（2025 年 6 月 1 日起投产）通过自愿竞价形成机制电价，竞价上限由省级部门综合考虑成本、绿色价值、

用户承受能力等设定；初期可按技术类型（如分布式光伏）分类组织竞价，避免成本差异大的项目无序竞争。

同时明确了多条配套机制：绿证与电价分离机制，绿色电力交易中，电能量价格与绿证价格分别明确，分布式光伏可通过出售绿证获得额外收益，提升经济性；鼓励新能源发电企业与电力用户签订多年期购电协议，提前管理市场风险，形成稳定供求关系。指导电力交易机构在合理衔接、风险可控的前提下，探索组织开展多年期交易；各省需在 2025 年底前出台具体实施方案，明确分布式光伏等项目的机制电价、电量规模等细则，确保政策落地。

2025 年 5 月 21 日国家发展和改革委员会颁布了《关于有序推动绿电直连发展有关事项的通知(发改能源(2025) 650 号)》，明确了绿电直连模式：允许分布式新能源（如光伏、风电）与邻近负荷直接连接，形成局部发用电平衡系统，无需升压接入高压电网，显著降低分布式光伏的并网成本。同时提出了简化并网流程和就近消纳优先：压缩审批时限：要求电网企业简化接入流程，对 10kV 及以下电压等级项目，办理时限不超过 15 个工作日（原流程 30 个工作日以上）；鼓励分布式光伏在负荷中心周边建设，明确“就近就地消纳”原则，减少输电损耗；灵活接入电压等级：允许绿电直连项目以 380V 电压等级接入公共电网，降低分布式光伏的改造成本；明确支持民营企业参与，扩大分布式光伏投资主体范围。

1.1.2 地方政策导向

四川省经济和信息化厅等 8 部门 2025 年 1 月 26 日印发《关于支持光伏制造业持续健康发展的若干措施》（川经信材料〔2025〕13 号）。着力从降低企业用能、融资、用工等生产成本，加快拓展光伏产品在光伏电站建设、算电融合发展、光伏通信基站等方面示范应用和持续补齐产业短板、强技术创新、推动绿色制造提升光伏制造业竞争力等 3 个方面，提出了 10 条真招实招、真金白银措施。措施的出台，将助力光伏企业渡过行业周期性调整、稳定现生产、促进技术创新与产业转型升级，推动产业持续健康发展。

2025 年 6 月 12 日四川省能源局关于转发《分布式光伏发电开发建设管理办法》的通知（川能源〔2025〕22 号）。核心要点主要有三大原则：一是因地制宜，结合资源条件和电网承载力，科学规划建设；二是重点支持，加快发展工商业分布式光伏，要求应备尽备、能建快建；三是规范发展，规范户用光伏，在尊重农民意愿和权益基础上，科学有序实施“千家万户沐光行动”。同时在上网模式方面要求，大型工商业项目原则上自发自用，省电力现货市场连续运行后，大型工商业项目可申请调整为自发自用余电上网参与市场。其中，特别对“三州一市”（阿坝、甘孜、凉山、攀枝花）自用比例提出要求，“三州一市”一般工商业项目及调整后的大型项目，年自发自用电量占比原则上不低于 50%，其余地区暂不作要求。

1.2 基本原则

（1）坚持科学规划、宜建尽建。坚持整合资源、统筹推进，规模化开发政府公共机构、学校、医院、商业综合体、大型综合交通枢纽、体育场馆等公共机构建筑屋顶资源，实现应装尽装、宜建尽建，推动五通桥区屋顶光伏高品质规模化开发。

（2）坚持政府引导，市场主导。推进屋顶分布式光伏项目开发建设应坚持政府引导、市场主导的原则，积极创新运营维护模式、商业盈利模式、收益分配模式，努力实现投资方、产权人互利共赢。

（3）坚持统一标准、严格规范。围绕分布式光伏实际发展需求，完善分布式光伏规划、设计、建设、并网、运维等标准体系。合理安排建设规模及建设时序，严守安全底线，确保项目运行可靠性和安全性，把分布式光伏推进工作打造成展示五通桥区经济社会高质量发展的惠民工程与绿色能源解决方案。

（4）坚持示范引领、连片推进。以目标为导向，按区域和条线分解工作任务，鼓励各镇（街道）、园区之间比学赶超、奋力争先。选择一批学校、医院、机关事业单位、行政村、住宅小区、工业园区集中连片先行先试，成熟一片、推进一片。充分发挥企业和群众的积极性和创造性，形成有效突破、逐步扩大的良好势头。

1.3 区域发展需求

1.3.1 高载能产业绿电解决方案

1.3.1.1 分布式光伏的核心作用

高载能产业（如晶硅制造、稀土新材料）是五通桥区的用电主力，分布式光伏通过“自发自用+余电上网”模式，为其提供低碳、低成本的绿电解决方案：

电价优化：配套 2MWh 钒液流电池储能，实现“谷电存储、峰时放电”，综合电价从 0.56 元/kWh 降至 0.48 元/kWh（降幅 14%）。

减碳增效：每 1MW 光伏年均发电量约 68.9 万 kWh（年均满负荷利用小时 689.9），可替代约 214 吨标煤（采用全国平均供电煤耗 0.310 kg/kWh），减少 CO₂ 排放约 686 吨（国家发改委默认煤电排放因子值 0.997kgCO₂ /kWh）。

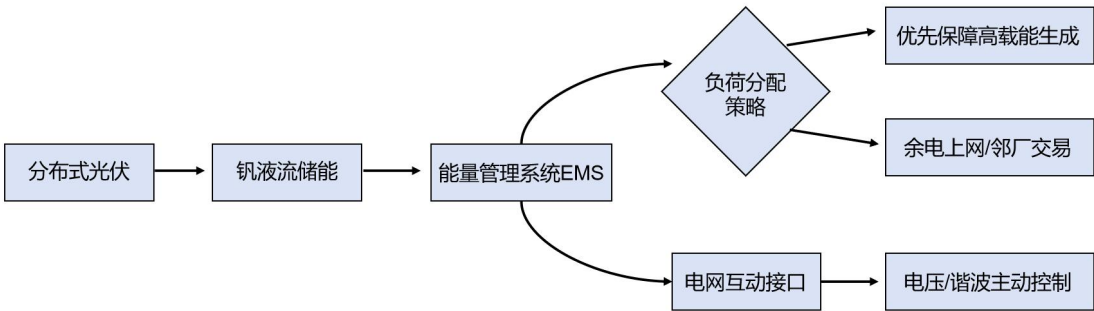
1.3.1.2 源-荷-网协同分析

维度	现状挑战	分布式光伏的优化路径
源	煤电占比 65%，清洁能源缺口大	分布式光伏就近供电： 在厂房屋顶直接部署光伏（≥30%覆盖率），结合储能平抑出力波动
荷	高载能负荷持续（24h 连续生产），峰谷电价差显著（峰：0.923 元/kWh、谷：0.278 元/kWh，省级执行 1.5 倍代理购电价格工商业用电标准）	“光伏+储能”调荷： 日间光伏直供生产负荷（占比 60-70%） 储能夜间充电、日间高峰放电 需求响应机制： 电价敏感工序（如冷却、破碎）转移至光伏出力高峰时段
网	配电网容量受限，竹根镇、冠英镇负荷中心接入压力大	台区渗透率控制（≤80%）： 通过储能抑制反向功率倒送 配置智能逆变器（THD<3%） 接入工程升级：

		结合乐山南 500kV 站扩建，配套 10kV 光伏并网专线
--	--	--------------------------------

1.3.1.3 技术集成方案

“光伏+储能+智能微电网”系统架构：



关键参数：

光伏装机容量：按单位产值能耗匹配（例：1 万吨晶硅产能→配套 10MW 光伏）；

储能配比：光伏装机的 15-20%（支撑 2-3 小时峰值生产）；

智能控制：基于 DIgSILENT 仿真的台区渗透率管理（电压偏差±7%）。

1.3.1.4 实施路径建议

试点先行：选择 1-2 家龙头高载能企业（如永祥股份），打造“零碳工厂”示范项目。

政策联动：将分布式光伏配套率纳入高载能项目准入标准，对绿电比例>30%的企业给予税收优惠。

电网协同：建立“分布式光伏承载力地图”，动态预警过载台区，引导分区有序接入。

1.3.2 区域能源优化

五通桥区 2024 年能源消费总量为 3.2 亿千瓦时，其中化石能源占比 75%。全区现有光伏装机容量仅 15MW，仅为分布式电站，屋顶资源利用率不足 5%。

化石能源替代路径：根据《乐山市碳达峰实施方案》，乐山市计划到 2025 年将煤炭消费占能源总量的比重降至 30%以下，非化石能源消费比重提升至 42%左右。

电力消纳保障：结合乐山南 500kV 变电站扩建工程，配套建设 10kV 及以下分布式光伏并网专线。

双碳目标衔接：以《四川省“十四五”能源发展规划》为纲，明确分布式光伏作为区域实现“碳达峰”的核心抓手，2025 年单位 GDP 碳排放较 2020 年下降 22%。争取 2030 年前实现碳排放降低 50%以上。

技术创新驱动：依托乐山“中国绿色硅谷”产业优势推动“光伏+储能+智能微电网”集成应用，申报省级分布式光伏技术示范基地。

1.4 规划目标体系

1.4.1 规划目标

优先推进具备条件的现有建（构）筑物、新增建（构）筑物屋顶分布式光伏建设。通过分布式光伏规模化开发，实实在在的降低企业、居民用电成本，提升可再生能源发电比重，促进光伏等新能源产业发

展，加快构建清洁低碳、安全高效能源体系，有效减少能源领域碳排放。

现有建（构）筑物：参考国家能源局相关推进文件，党政机关建筑屋顶总面积可安装光伏发电比例不低于 50%；学校、医院、村委会等公共建筑屋顶总面积可安装光伏发电比例不低于 40%；工商业厂房不低于 30%，农村居民屋顶不低于 20%。

新增建（构）筑物：为兼容国家能源局“因地制宜”原则，新建工业厂房屋顶安装比例原则上不低于 30%，并结合电网承载力评估动态调整；新建民用建筑全面推广“光伏建筑一体化（BIPV）系统”，安装比例不低于 40%，且需满足《建筑节能与可再生能源利用通用规范》（GB55015）要求；新建农村住宅屋顶安装比例不低于 20%，在充分尊重农户意愿基础上实施。

二、现状分析

2.1 自然地理条件

2.1.1 地理位置

五通桥区位于四川省西南部、乐山市南部，地处四川盆地西南部，地理坐标介于东经 103° 39′ —103° 56′ 、北纬 29° 17′ —29° 31′ 之间，距乐山城区约 20 公里。全区总面积为 465.29 平方千米。

2.1.2 地形地貌

以丘陵为主，兼有平坝和低山地形，丘陵面积约占 313 平方千米，平坝 103 平方千米，低山 58 平方千米。地势总体北高南低，东西向中部倾斜，最高点为石麟镇高锋寺（海拔 735 米），最低点为金粟镇双旋坝（海拔 331 米）。岷江自北向南纵贯全境 27.1 公里，将区境分为河东、河西两片，沿岸多为平坝；河西西北部和河东大部为浅丘，沫溪河以南属深丘低山区。

2.1.3 气候特征

属亚热带季风湿润气候，四季分明，雨热同期，阴雨天气较多，云量覆盖较高。常年平均气温约 17.3℃，年降水量 1390.6 毫米无霜期 334.5 天。

2.2 资源评估

2.2.1 光照资源分析

根据四川省气象局及乐山市历史气候资料统计：

（1）年日照时数

五通桥区属亚热带湿润季风气候区，四季分明的特点，年平均气温 17.4℃，年平均降水量 1390.6 毫米，年均降雨日 173.2 天；年均光照时数 1119.7 小时，年等效利用小时数为 748 小时（后 2.2.3 附年等效利用小时数计算过程）。

（3）太阳辐射量

年太阳总辐射量约 901.2kWh/m²，直射辐射量为 134.4Wh/m²，属于我国太阳能资源“四类地区”（较一般地区），适合分布式光伏和小规模太阳能利用。

（4）季节分布

春季（3-5 月）：日照时数逐步增加，但受春雨影响，仍多阴天。

夏季（6-8 月）：高温多雨，云层厚，实际日照天数较少。

秋季（9-11 月）：天气相对晴朗，日照条件为全年最佳。

冬季（12-2 月）：多雾寡照，辐射量最低。

2.2.2 太阳资源评价

根据《太阳能资源评估方法》（QX/T89-2018）对光伏电站太阳能资源丰富程度和稳定度进行评价。年水平太阳总辐照量划分为四个等级：最丰富（A）、很丰富（B）、丰富（C）、一般（D），划分标准见表 2.2.2-1。水平面总辐照量稳定度划分为四个等级：很稳定（A）、稳定（B）、一般（C）、欠稳定（D），划分标准见表 2.2.2-2。

太阳能资源稳定度由各月平均日水平面辐照量中的最小值比最大值，由此计算可得，项目太阳能资源稳定度为 0.35。

根据分析结果，场址区域平均水平年总太阳辐照量等级属于 D 类一般，太阳能资源稳定度等级属于 C 类一般，太阳能资源具有一定的开发前景。

表 2.2.2-1 年水平面总辐照量等级

等级名称	分级阈值 (MJ/m ²)	分级阈值 (kWh/m ²)	等级符号
最丰富	$G \geq 6300$	$G \geq 1750$	A
很丰富	$5040 \leq G < 6300$	$1400 \leq G < 1750$	B

丰富	$3780 \leq G < 5040$	$1050 \leq G < 1400$	C
一般	< 3780	< 1050	D

表 2.2.2-2 水平面总辐照量稳定度等级

等级名称	分级阈值	等级符号
很稳定	$R_w \geq 0.47$	A
稳定	$0.36 \leq R_w < 0.47$	B
一般	$0.28 \leq R_w < 0.36$	C
欠稳定	$R_w < 0.28$	D
注：RW 表示稳定度。 计算 RW 时，首先计算各月平均日水平面辐照量，然后求最小值与最大值之比。		

2.2.3 光伏发电工程利用小时数估算

屋顶分布式光伏发电项目优先利用砖混平顶屋顶建设，采用固定倾角式布置方案，当光伏组件倾斜角固定式为 16° 时，斜面上全年太阳年总辐照量最大，为 901.2 kWh/m^2 。

按照光伏电站系统效率折减计算，本区域光伏电站考虑阴影遮挡折减、灰尘折减、光伏组件不匹配折减、温度效率折减、逆变器效率折减、变压器效率折减、直流电缆与低压交流线损折减、交流集电线路线损折减、站用电效率折减、检修及其他不确定因素折减等，系统效率为 83.0%。

按 25 年运营期考虑，随着运营年限的增加，由于站内元器件设备老化导致系统效率降低，损耗加大，最终致使电站发电量减少。选用的单晶硅光伏组件功率根据实际产品特性逐年衰减。

预计首年等效满负荷利用小时数为 748h，25 年运营期内平均年等效满负荷利用小时 689.9h。

备注：（计算依据）

首年等效满负荷利用小时= $901.2\text{kWh}/\text{m}^2 \times 83\% \div 1\text{kW}/\text{m}^2=748\text{h}$ (理论值)；

25 年平均年等效满负荷利用小时：基于衰减模型计算，考虑首年 3%衰减和之后每年 0.7%累积衰减：

公式：25 年平均等效利用小时数： $H_{\text{avg}} = \frac{a * \frac{1-r^n}{1-r}}{n}$ （首项 $a=748$ ，公比 $r=0.993$ ，项数 $n=25$ ）

计算步骤：

$r^n=0.993^{25}$ ， $1-r^n=1-0.8386=0.1614$ ， $1-r=1-0.993=0.007$

$H_{\text{avg}} = \frac{748 * \frac{1-0.993^{25}}{1-0.993}}{25} = 689.8696 \approx 689.9$ 小时（保留一位小数）

25 年平均小时 $\approx 689.9\text{h}$ (理论值)，物理意义：若装机容量为 1MW，25 年平均年发电量约为 689,900kWh。

2.2.4 可利用屋顶资源

分类统计：

机关、学校、医院等公共建筑屋顶约 50 万 m^2 （参考国家能源局相关推进文件，党政机关屋顶总面积可安装光伏发电比例 $\geq 50\%$ ，学校、医院、村委会等公共建筑屋顶总面积可安装光伏发电比例 $\geq 40\%$ ，本次方案按综合测算占比 $\geq 45\%$ 计算）；

工业厂房约 200 万 m^2 （占比 $\geq 40\%$ ），荷载能力 $\geq 30\text{kg}/\text{m}^2$ ；

农村居民屋顶，坡屋顶为主，约 150 万 m^2 （占比 $\geq 20\%$ ）。

2.3 面临挑战

2.3.1 地理劣势

四川盆地地形导致水汽聚集，常年云量多，直接削弱太阳辐射强度。冬季逆温层和雾霾天气进一步减少有效日照时间。

五通桥区光照条件在四川省内属中等偏下水平，优于盆西多雨区（如雅安），但逊于攀西地区（如西昌，年日照 2000+小时）。

2.3.2 屋顶安装比例低

参考党政机关屋顶总面积可安装光伏发电比例 $\geq 50\%$ ，学校、医院、村委会等公共建筑屋顶总面积可安装光伏发电比例 $\geq 40\%$ ，本次方案中党政机关、学校、医院、村委会等公共建筑屋顶总面积可安装光伏发电比例综合测算占比为 $\geq 45\%$ ；工商业厂房屋顶总面积可安装光伏发电比例不低于 30%；农村居民屋顶总面积可安装光伏发电比例不低于 20%。目前，全区光伏利用率不高，政府、学校、医院等公共建筑屋顶光伏利用有很大潜能。

在机关、公共建筑以及工商业屋顶，临近的建筑物、空调外机、广告牌、通信基站等会在屋顶造成阴影遮挡，因屋顶上的组件串联在一起，受遮挡组件带来的电流失配会影响组串中的其他组件（串联在同一组串的组件工作电流保持一致），进而导致整个组串的发电量受到影响并降低系统发电量。为了避免上述问题带来的影响，一般在初

期设计时会尽量避开阴影区域，造成光伏装机容量受限，无法充分利用屋顶面积。

在居民屋顶存在着类似问题，房屋遮挡、热水器等在屋顶造成阴影遮挡，此外户用逆变器 MPPT 路数少，不同朝向组件无法接入同一组串，为了防止短木板效应影响系统发电量，一般设计时避开阴影，无法充分利用居民屋顶面积。

2.3.3 屋顶条件与安全隐患

(1) 屋顶适用性差

屋顶负载能力不足、朝向不佳或存在遮挡物（如树木、建筑阴影）会降低发电效率，甚至导致安全隐患。农村地区屋顶结构复杂（如坡屋顶、平屋顶）可能增加安装难度。

(2) 安全风险

热斑效应、火灾隐患等可能威胁密集区域的居民安全，影响项目社会接受度。

2.3.4 技术与成本挑战

(1) 技术瓶颈

光伏组件转换效率、热斑效应（高温导致发电效率下降）及逆变器性能直接影响发电量。若项目采用低质量设备，可能加剧效率损失。

(2) 成本压力

原材料价格上涨、人工成本增加及地方性“有偿使用费”（如屋顶资源高价打包）显著推高初始投资成本，削弱项目经济性。

2.3.5 用户接受度

认知不足与需求错位，当地居民对光伏发电的环保性和经济性认知不足，或对屋顶租赁存在抵触情绪，将影响项目推广。

2.4 市场需求与潜力

2.4.1 分布式光伏发电的市场背景

（1）全球能源转型趋势

随着全球气候变化问题日益严重，许多国家和地区加大了对可再生能源的支持力度。全球能源市场正在经历从化石能源向清洁能源的转型，光伏发电作为一种清洁、高效的能源形式，逐渐成为全球能源结构调整的重要组成部分。分布式光伏发电凭借其绿色、低碳的特性，已成为推动能源转型、实现碳中和目标的重要工具。

截至 2024 年底，全球光伏累计装机容量突破 2 太瓦，预计 2025 年将超越煤电成为全球装机规模最大的电源。

东南亚、中东非、拉美等新兴市场成为增长新引擎。例如，沙特计划 2030 年实现 130GW 可再生能源装机，中东非市场 2025 年新增装机预计达 37.5GW，年增长率超 40%。这些地区通过政府招标和市场化购电协议（PPA）加速布局分布式光伏。中国作为全球最大市场，2025

年分布式光伏新增装机占比预计达 43%，工商业屋顶项目成为主要增量。

成本下降驱动普及，中国光伏度电成本已降至 0.30 元/kWh 以下，2025 年全球 LCOE（平准化度电成本）较 2024 年再降 31%，经济性显著提升。

（2）国内政策支持

在中国，政府对分布式光伏发电的支持力度不断加大，相关政策和措施层出不穷，推动了市场的快速发展。在“双碳”目标推动下，国家能源局于 2025 年 1 月发布《分布式光伏发电开发建设管理办法》，明确分类管理（自然人户用、非自然人户用、一般工商业、大型工商业）和上网模式调整，推动行业从粗放发展转向精细化、市场化运营。新规通过“新老划断”和过渡期政策（如 2025 年 5 月 1 日前并网项目沿用旧规），稳定市场预期并提振工商业装机意愿。各省根据电网承载力和消纳能力制定细则，相应的补贴政策、财政扶持政策以及税收优惠政策，为分布式光伏发电项目提供了强有力的支持。政府政策的保障及补贴力度为分布式光伏市场的需求创造了有利条件。

（3）技术创新推动降本增效

高效电池技术：TOPCon、HJT 等 N 型电池量产效率突破 24%，双面组件增益达 7%–10%，钙钛矿叠层技术实验室效率超 31%，推动发电成本下降。

智能运维与储能配套：AI 驱动的能量管理系统（HEMS）和光储一体化方案普及，提升发电效率 15%–20%，同时增强电网稳定性。

中国要求分布式光伏实现“可观、可测、可调、可控”（四可），电网智能化改造，通过虚拟电厂（VPP）聚合负荷侧资源，2025 年交易规模或达千亿元。

随着光伏技术的不断进步，光伏组件的效率和发电能力不断提升，同时，生产成本的逐年下降，使得分布式光伏系统的投资回报期显著缩短。过去几年，光伏发电的综合成本逐年下降，特别是在光伏面板、逆变器、储能系统等关键设备价格的下降，极大推动了分布式光伏项目的市场需求。技术创新的不断涌现为分布式光伏市场的需求提供了坚实的基础。

2.4.2 分布式光伏市场的主要需求来源

（1）工业园区和商业建筑

工业园区、商业建筑及大型企业是分布式光伏发电的重要需求主体。随着用电成本的持续上升，许多企业逐渐意识到通过建设分布式光伏发电系统来实现自发自用，不仅能够大幅度降低电费支出，还能够提升绿色企业形象和社会责任感。尤其是在能源密集型产业中，分布式光伏发电系统的经济性和可靠性得到了广泛认可。此外，国家对工业园区和商业建筑的支持政策也促进了这一市场的需求增长。政府对于绿色建筑和低碳园区的建设要求，推动了企业对于分布式光伏系统的安装需求。

（2）住宅市场

随着分布式光伏技术的不断成熟，越来越多的家庭用户开始关注并选择安装分布式光伏系统。光伏发电系统的安装灵活性强，可以根据家庭的屋顶面积、位置等条件进行定制，满足不同家庭用户自发自用，余电上网的需求。

2.4.3 五通桥区市场需求潜力

五通桥区光照资源有限，但通过科学规划和技术适配仍具备一定的太阳能开发潜力，需因地制宜，基于自发自用，余电上网原则，重点布局小规模、分散式应用场景。优先发展屋顶分布式光伏系统（如公共建筑、工业园区）。

三、开发区域选择

3.1 开发区域划定

优先建设区：在机关、学校、医院等公共建筑屋顶，优先建设分布式光伏项目。

有条件建设区：现有工业企业厂房，经过结构论证后，满足安全条件可建设分布式光伏项目；农村和城镇居民住宅，结合居民意愿和建筑安全情况，建设分布式光伏项目。

开发区域划定原则及要求：

（1）新建、改建和扩建的建筑物，其建设内容含分布式光伏电站的，分布式光伏电站应与主体建筑统一规划、同步设计、同步

施工、同步验收，并满足《建筑节能与可再生能源利用通用规范》(GB55015)的有关规定。

(2) 在既有建筑上建设分布式光伏电站的，在建设之前，按《既有建筑鉴定与加固通用规范》(GB55021)和《民用建筑电气设计标准》(GB51348)对附着建筑物进行承载力鉴定，保证建筑结构、电气安全并满足光伏组件所在建筑部位的防水、防火、防雷、防静电等相关功能要求和建筑节能要求工程实施不应降低既有建筑物的使用标准。

(3) 采用光伏玻璃幕墙或 BIPV 光伏屋顶时，需满足建设部位对建筑材料防水、防火、隔热等要求。

(4) 建筑物上安装分布式光伏电站，应设置安装和运维安全防护措施，以及防止光伏组件损坏后部件坠落伤人安全措施。

(5) 分布式光伏电站所依托的建筑物具有合法、合规性，建筑物产权明晰，严禁依附违章建筑物建设。

(6) 分布式光伏电站的设计根据建筑效果、安装场地、周边环境等确定可利用面积，宜避免周边环境、设施等对其遮挡，建筑物上安装的光伏发电系统，不得降低相邻建筑物的日照标准。

3.2 屋顶分类与筛选标准

公共建筑：机关、学校、医院屋顶全覆盖，装机占比 15%，同步建设光伏车棚+充电桩（200 个直流快充桩）。

工业集聚区：采用“一企一策”模式，重点在晶硅光伏、稀土新材料与中小型企业厂房上布局分布式光伏。

新农村社区：支持有条件的乡镇在新农村社区开展分布式“光伏+”试点，探索光伏发电与农业生产、仓储物流在空间上的协同布局，通过立体开发提升土地综合利用效率和社区综合收益。

3.3 分布式光伏技术可开发量评估

全区公共设施屋顶和居民住宅屋面资源利用总面积约 112.5 万 m²，分布式光伏项目装机容量 112.5MW，预计电站 25 年平均年发电量 7761.4 万 kWh。

表 3.3.1 分布式光伏技术可开发量（年均发电量已按系统效率 83%折减）

序号	类型	可用面积约 (万 m ²)	装机占比	装机规模 (MW)	首年发电量 (万 kWh)	全周期平均发电量 (万 kWh)
1	机关、学校、 医院屋顶	50	45%	22.5	1683.0	1552.3
2	工业厂房	200	30%	60	4488.0	4139.4
3	农村居民屋顶	150	20%	30	2244.0	2069.7
总计	可利用面积约	112.5		112.5	8415.0	7761.4

（首年等效满负荷利用小时 748，25 年运营期内平均年等效满负荷利用小时 689.9）

参考国家能源局相关推进文件，机关、学校、医院屋顶资源可利用面积约 22.5 万 m²（党政机关屋顶总面积可安装光伏发电比例≥50%，学校、医院、村委会等公共建筑屋顶总面积可安装光伏发电比例≥40%，本次方案按综合测算占比≥45%计算），设置分布式光伏项目装机容量 22.5MW，预计首年发电 1683 万 kWh，全周期平均年发电量 1552.3 万 kWh；工业厂房屋顶资源可利用面积约 60 万 m²（可安装光伏发电比例不低于 30%），设置分布式光伏项目装机容量 60MW，预计首年发

电 4488 万 kWh，全周期平均年发电量 4139.4 万 kWh；农村居民屋顶资源可利用面积 30 万 m²（可安装光伏发电比例不低于 20%），设置分布式光伏项目装机容量 30MW，预计首年发电 2244 万 kWh，全周期平均年发电量 2069.7 万 kWh。

四、建设指引

4.1 风貌协调专项设计

为促进五通桥区城市风貌简洁美观，新装分布式光伏应风格统一，风貌应以建筑物协调一致。根据各建筑类型不同应统一装设分布式光伏风格及风貌。

4.1.1 光伏组件风貌设计规范

（1）光伏组件应按集中优先、整齐对称、色调和谐、美观统一的原则进行布置。

（2）重要集散广场及景观节点等区域的建筑屋顶加装光伏发电系统时，应严控安装的形式与色调，并做加装后效果视线影响分析。宜采用光伏组件满铺或瓦型光伏组件、黑灰色系光伏组件等。

（3）建筑屋顶为坡屋面的，光伏组件应与建筑屋面平行且有机结合，不得超出屋面外沿，光伏组件最高点不得高过屋脊；光伏组件安装最高高度与屋面距离不应超过 30cm；光伏组件带倾角进行安装时，光伏组件安装最高高度与屋面距离可适当调整，但需保证光伏支架及利用建筑物结构安全。

(4) 建筑屋顶为平屋面的，应利用女儿墙等建筑构件对光伏组件进行适当围挡，保证建筑主体美观；光伏组件顶端距离屋顶平面的高度建议不超过 3m。

(5) 位于建筑物顶部的分布式光伏电站支架四周不建议设置全封闭围护，临街分布式光伏电站布置不得超出建筑物外立面，不得影响建筑物外立面风貌、结构安全和使用功能。

(6) 应根据建筑屋面现状与安装光伏组件的数量进行屋面布置的深化设计：应在施工图上组件排布要体现尺寸，同时体现组件与建筑边沿，组件之间，组件与障碍物之间的尺寸，应进行电气线路图及电气原理图的设计，保证建筑主体美观。

(7) 视觉干扰度控制：采用 PVSYST 软件模拟，确保在 100 米视距内无强烈反光（反射率<15%）。

(8) 样式分类与适用场景

样式类型	适用建筑	组建排布方式	色彩要求
坡顶一体化	传统居民或工业厂房	顺坡平铺	民居为深灰仿陶瓦纹理 彩钢瓦上为深蓝哑光
平顶框架式	传统居民或工业厂房	倾角 10° 支架系统	深蓝哑光

(9) 关键技术参数

组件尺寸：统一采用 2382×1134mm 标准规格

安装间距：坡屋顶组件横向间距≥30cm，纵向间距≥50cm

视觉干扰度控制：采用 PVSYST 软件模拟，确保在 100 米视距内无强烈反光（反射率<15%）

技术参数备注：

组件尺寸统一：产业适配度高， $2382\times 1134\text{mm}$ （ $\approx 2.7\text{ m}^2$ ）是当前主流 550W+高效组件的标准尺寸（如隆基 Hi-M07、晶科 TigerNeo），便于规模化采购和备品替换；安装效率高，统一尺寸实现模块化安装，减少裁剪浪费（对比多尺寸混装提升施工效率 30%+）；建筑兼容性高，长宽比 $\approx 2.1:1$ ，完美匹配坡屋顶瓦片比例（传统陶瓦单块尺寸 $300\times 420\text{mm}$ ），视觉上形成有序韵律；成本可控性高，避免非标定制增加成本（若采用不规则尺寸（如三角形 BIPV 组件），每平方米安装成本增加 200 元，且破坏屋顶连续性。）。

安装间距强制标准：

消防安全，预留消防通道（ $\geq 30\text{cm}$ 满足 GB50797《光伏发电站设计规范》灭火通道要求）；结构安全，降低阵列风压（间距 $\geq 50\text{cm}$ 时风阻系数下降 40%，参考《建筑结构荷载规范》GB50009-2012）。

视觉干扰度控制（反射率 $<15\%$ ，PVSYST 模拟验证）：

反光抑制，反射率 $<15\%$ 需采用哑光镀膜玻璃（常规组件反射率 25%：晴天在 100 米处产生 10,000lux 以上眩光，超出人眼舒适阈值 5,000lux）；景观融合，PVSYST 模拟 100 米视点光斑分布，确保无聚焦反射至道路/住宅，避免引发居民投诉；交通安全，抑制镜面反射对驾驶员视线的干扰（反射率 $>20\%$ 时事故风险增加 37%，参考 ISO15008 标准）；生态保护，鸟类视觉安全（反射率 $>18\%$ 可能导致鸟类撞击）。

4.1.2 典型设计方案（示意性描述）

方案 A：传统民居坡顶一体化

组件替换第 3-5 排瓦片，采用单面组件

色彩匹配：RAL7016（深灰哑光）

安装效果：从地面视角可见面积 $\leq 30\%$



方案 B：居民平顶式

屋顶无彩钢棚，需利用女儿墙等建筑构件对光伏组件进行适当围挡，光伏组件顶端距离屋顶平面的高度建议不超过 3m，采用双玻组件，透光率 20%形成遮阳效果；

屋顶有彩钢棚，需顺坡平铺布置，采用单面组件。

色彩匹配：RAL7016（深灰哑光）



方案 C：工业厂房平顶框架式

支架高度 1.2 米，倾角 10° 南北向布置

采用双玻组件，透光率 20% 形成遮阳效果

色彩匹配：RAL5004（深蓝哑光）



方案 D：工业厂房彩钢瓦钢结构式

彩钢瓦顺坡平铺布置

采用单面组件

色彩匹配：RAL5004（深蓝哑光）



方案 E：车棚光伏一体化结构式

光伏板车棚顶，倾斜角 10° 南北向布置

采用双波组件，透光率 20%形成遮阳效果

色彩匹配：RAL5004（深蓝哑光）



4.2 建成效果指引

4.2.1 党政机关、学校、医院、村委会等公共建筑屋顶光伏电站

(1) 党政机关



(2) 学校



(3) 医院



(4) 工业园区



(5) 其他公共建筑



4.3 结构安全

4.3.1 荷载计算标准

根据《建筑结构荷载规范》（GB50009-2012），采用永久荷载算法： $S_d=1.35G+1.4*0.7Q+1.4*0.6W$ （永久荷载/可变荷载 > 2.8）其中：

永久荷载 G （组件+支架） $\leq 15.3\text{kg/m}^2$ （ $\approx 0.15\text{ kN/m}^2$ ）

活荷载 Q （雪载/维修荷载）按 51kg/m^2 取值（ $\approx 0.5\text{ kN/m}^2$ ）

风荷载 W 按 50 年一遇标准计算

4.3.2 典型加固方案

木结构屋顶：增设钢木桁架，跨度 $\leq 4\text{m}$ 时截面 $\geq 80\times 120\text{mm}$

混凝土屋顶：碳纤维布加固，抗拉强度 $\geq 3000\text{MPa}$

4.3.3 光伏支架设计

屋面分为彩钢屋顶、瓦房、混凝土屋顶，停车场为车棚。

（1）彩钢瓦用于固定电池组件的支架均采用轻型铝合金制作，将铝合金支架按照屋面原有倾角固定在屋顶彩钢瓦上，再将太阳能光伏组件固定在支架上(支架安装方法有夹具固定和嵌入式固定等，能做到不破坏屋面原有结构、防水层和保温层、不影响屋面排水、隔热、通风等正常使用)。





(2) 瓦房采用镀锌钢支架+挂钩固定，在屋面上施工时，不破坏原屋面防水层及保温层，以确保原结构的使用功能。



(3) 混凝土屋面采用混凝土支墩+镀锌钢支架固定，通过支架调节光伏组件的朝向和倾角安装。支墩作为支架的基础。在屋面上施工时，不破坏原屋面防水层及保温层，以确保原结构的使用功能。



(4) 停车场车棚采用基础+镀锌钢支架固定，通过支架调节光伏组件的朝向和倾角安装。



4.4 技术工艺选用

4.4.1 技术方案选用方向

(1) 对于生产技术方案的选择，遵循“自动控制、安全可靠、运行稳定、节省投资、综合利用资源”的原则，选用当前较先进的集散型控制系统，由计算机统一控制整个生产线的各项工艺参数，使产品质量稳定在高水平上，同时可降低物料的消耗。严格按行业规范要求组织生产经营活动，有效控制产品质量，为广大顾客提供优质的产品和服务。

(2) 遵循“高起点、优质量、专业化、经济规模”的建设原则。积极采用新技术、新工艺和高效率专用设备，使用高质量的原辅材料，稳定和提高产品质量，制造高附加值的产品，不断提高企业的市场竞争能力。

(3) 在工艺设备的配置上，依据节能的原则，选用新型节能型设备，根据有利于环境保护的原则，优先选用环境保护型设备，满足项目所制订的产品方案要求，优选具有国际先进水平的生产、试验及配套等设备，充分显现龙头企业专业化水平，选择高效、合理的生产和物流方式。

(4) 生产工艺设计要满足规模化生产要求，注重生产工艺的总体设计，工艺布局采用最佳物流模式，最有效的仓储模式，最短的物流过程，最便捷的物资流向。

(5) 根据该项目的产品方案，所选用的工艺流程能够满足产品制造的要求，同时，加强员工技术培训，严格质量管理，按照工艺流程技术要求进行操作，提高产品合格率，努力追求产品的“零缺陷”，以关键生产工序为质量控制点，确保该项目产品质量。

(6) 在项目建设和实施过程中，认真贯彻执行环境保护和安全生产的“三同时”原则，注重环境保护、职业安全卫生、消防及节能等法律法规和各项措施的贯彻落实。

4.4.2 工艺技术方案选用原则

(1) 在基础设施建设和工业生产过程中，应全面实施清洁生产，尽可能降低总的物耗、水耗和能源消费，通过物料替代、工艺革新、减少有毒有害物质的使用和排放，在建筑材料、能源使用、产品和服务过程中，鼓励利用可再生资源 and 可重复利用资源。

(2) 遵循“高起点、优质量、专业化、经济规模”的建设原则，积极采用新技术、新工艺和高效率专用设备，使用高质量的原辅材料，稳定和提高产品质量，制造高附加值的产品，不断提高企业的市场竞争力。

4.4.3 工艺技术方案要求

(1) 对于生产技术方案的选择，遵循“自动控制、安全可靠、运行稳定、节省投资、综合利用资源”的原则，选用当前较先进的集散型控制系统，控制整个生产线的各项工艺参数，使产品质量稳定在

高水平上，同时可降低物料的消耗;严格按照电气机械和器材制造行业规范要求组织生产经营活动，有效控制产品质量，为广大顾客提供优质的产品和服务。

(2) 建立完善柔性生产模式;本项目产品具有客户需求多样化、产品个性差异化的特点，因此，产品规格品种多样，单批生产数量较小，多品种、小批量的制造特点直接影响生产效率、生产成本及交付周期;将建设先进的柔性制造生产线，并将柔性制造技术广泛应用到产品制造各个环节，可以在照顾到客户个性化要求的同时不牺牲生产规模优势和质量控制水平，同时，降低故障率、提高性价比，使产品性能和质量达到国内领先、国际先进水平。

4.4.4 电网适配要求

台区渗透率控制采用 DIgSILENTPowerFactory 仿真，约束条件：

电压偏差：±7%

谐波畸变率：THD<5%

反向功率：≤配变容量的 80%。

4.4.5 生态风险防控措施

鸟类保护：在组件表面印制紫外反射图案（波长 300-400nm）

热岛效应：屋顶反射率控制在 0.25-0.35 之间

4.5 总体设计方案

4.5.1 分布式光伏发电总体设计方案

以党政机关、学校、医院、村委会等公共建筑屋顶可安装光伏系统 100kw 为例，具体以每个屋顶面积及消纳情况设计。以自发自用余电上网模式并网。以农村居民屋顶可安装光伏系统 30kw 为例，具体以每个屋顶面积及消纳情况设计。

分布式光伏发电设计符合下述原则：

- 根据实际地理情况科学合理选择光伏组件、逆变器；
- 系统的可靠性、安全性高，自动化程度高；
- 具备组件故障自动识别能力，提高系统维护效率。

4.5.2 党政机关、学校、医院、村委会等公共建筑屋顶方案设计

案例:100kW 光伏系统

每个发电单元的接线系统分为直流系统和交流系统。其中直流系统是指光伏组件与逆变器输入直流侧所构成的系统。交流系统是指逆变器输出交流侧与汇流箱、低压开关柜构成的系统。屋顶共排布 188 块 535Wp 单晶硅组件，合计容量 100.58kW，以 18 块/16 块组件为一个组串，接入 1 台 100kW 逆变器，接入 1 台 100kW 配电柜，接入一台变压器的低压侧。

4.5.3 普通农村居民屋顶方案设计

案例:30kW 光伏系统

每个发电单元的接线系统分为直流系统和交流系统。其中直流系统是指光伏组件与逆变器输入直流侧所构成的系统；交流系统是指逆变器输出交流侧与箱变构成的系统。30kW 系统中组件每块容量 535Wp, 共 56 块组件。以 18 块/19 块组件为一个组串，接入 30kW 逆变器:接入 1 台 30kW 配电箱，接入变压器的低压侧。

4.5.4 光伏组件选型

太阳能电池组件在今年出货量前十的品牌产品中选用，要求光伏组件转换效率不低于 17.1%、首年系统效率不低于 83%、功率衰减保证值不低于 25 年、通过 CE、TUV Rheinland、UL、鉴衡 CGC 等相关国内外认证，并符合 JEC61215、IEC61730 等国家强制性标准要求。

根据光伏组件特性和国家标准，单品硅光伏组件首年功率衰减不高于 3%，后续逐年衰减不高于 0.7%，25 年光伏组件功率衰减不高于 20%。

4.5.5 逆变器选型

逆变单元采用组串式逆变器。

逆变器的选型主要遵照以下几个原则：

（1）性能可靠，效率高

光伏发电系统目前的发电成本较高，如果在发电过程中逆变器自身消耗能量过多或逆变失效，必然导致总发电量的损失和系统经济性下降，因此要求逆变器可靠、效率高。

（2）直流输入电压有较宽的适应范围

光伏电池的端电压随负载和日照强度而变化，这就要求逆变电源必须在较大的直流输入电压范围内保证正常工作，并保证交流输出电压稳定。

（3）具有完善的保护功能

并网逆变器应具有交流过压、欠压保护，超频、欠频保护，高温保护，交流及直流的过流保护、过压保护，防孤岛效应保护等功能。

逆变器需具有孤岛效应检测功能，在检测到电网失电后，立即停止向电网送电，当电网恢复供电时，持续检测电网信号在一段时间直至完全正常后，才重新投入运行。

防孤岛效应需要同时从电站管理上配合来杜绝检修人员伤亡事故的发生，当停电对设备和线路进行检修时，必须先断开并网逆变器。

（4）波形畸变小，功率因数高

当大型光伏发电系统并网运行时，为避免对公共电网的电力污染，要求逆变电源输出正弦波，电流波形必须与外电网一致，波形畸变小于 5%，逆变器的交流输出电流总谐波分量(THD) $<3\%$ ，功率因数接近于 1.0。

（5）具有完善的监控和数据采集接口

逆变器应具有多种通讯接口进行数据采集并发送到监控系统，其控制器还应有模拟输入端口与外部传感器相连，测量日照和温度等数据，在运行过程中，需要实时采集交流电网的电压信号，通过闭环控制，使得逆变器的交流输出电流与电网电压的相位保持一致。

根据发电规模，逆变器采用 4kW-110kW 型智能逆变器，组串式逆变器详细参数以每个光伏发电系统设计容量选型为准。

4.5.6 组件运行方式

光伏发电系统设计中，光伏组件阵列的运行方式对发电系统接收到的太阳总辐射量有很大的影响，从而影响到光伏发电系统的发电能力。光伏组件的运行方式有固定式、单轴跟踪、双轴跟踪等方式。经初步计算，水平单轴跟踪方式，系统理论发电量可提高 15%-25%(与固定式比较);若采用斜单轴跟踪方式，系统理论发电量可提高 25%-30%(与固定式比较);若采用双轴跟踪方式，系统理论发电量可提高 30%-50%(与固定式比较)。然而实际工程中效率往往比理论值小，其原因有很多，例如:太阳能电池组件间的相互投射阴影，跟踪支架运行难于同步等。

根据已建工程调研数据，若采用斜单轴跟踪方式，系统实际发电量可提高约 18%，若采用双轴跟踪方式，系统实际发电量可提高约 25%。



固定式初始投资较低，且支架系统基本免维护;自动跟踪式虽然能增加一定的发电量，但目前初始投资相对较高，而且后期运行过程中需要一定的维护，运行费用相对较高。另外电池阵列的同步性对机电控制和机械传动构件要求较高，自动跟踪式缺乏在场址地区或相似

特殊气候环境下的实际应用的可靠性验证，大规模应用的工程也相对较少。所以推荐使用固定支架安装。

4.5.7 储能配置建议

在渗透率>50%的台区，有条件的情况下可按光伏装机的 15%配置储能：储能配置容量（MWh）=光伏装机容量（MW）×15%×储能时长 2h。

4.6 分布式光伏多元化应用

4.6.1 太阳能光热一体化

在区域内新建、改建、扩建的公共建筑上，采用“太阳能+光热”模式推动太阳能与热水系统同步规划、同步设计、同步应用，因地制宜协同集成太阳能光热利用技术。结合农村新型社区和新农村建设，扩大农村地区太阳能热水系统普及应用。对具备条件的既有建筑，在不影响建筑物质量与安全的前提下，推广太阳能光热系统利用。在机关、学校、医院等公共服务领域，积极利用太阳能光热系统。

4.6.2 光储充一体化

随着技术的进步和成熟，“光伏+储能+微电网”将形成一个多元互补能源发电微电网系统，可以实现光伏自发自用，余电存储，结合储能峰谷套利，最大限度利用峰谷电价，达到经济效益最大化。基于

五通桥区太阳能资源丰富的特点,可将分布式光伏与充电桩等用电户相结合,通过需求响应和储能套利应对电价波动风险。

4.6.3 智慧铁塔

随着 5G 技术的发展,5G 基站对网络规划、基站选址、设施建设、电力保障等都提出了更高要求,5G 普及速度的核心,在于终端资费的普惠性。而资费的下降,在于运营成本的控制。由于其独特的运营特征,信号需要不间断输出,因此每个铁塔必须配备“不间断电源”,这也就形成了当前 5G 发展中最大的“拦路虎”——高耗能成本。据统计,在 5G 时代,电信运营商的电费成本将是 4G 时代的 6-12 倍,预计将占 5G 基站运营成本的 40%以上。功耗与电费的大幅度增加,无疑将会大大增加运营商的运营压力。另外,考虑到我国仍以火力发电为主——占全国发电量 70%以上,在 5G 基站大规模用电需求的情况下,其产生的电力资费和环境污染不容小觑。

而分布式能源具有能效利用合理、损耗小、污染少、运行灵活、系统经济性好等特点,是缓解严重缺电局面、保证可持续发展战略实施的有效途径之一,发展潜力巨大。首先,利用分布式光伏打造节能环保的新型绿色铁塔基站,提高了通信基站后备供电保障能力,防止铁塔因意外供电不足导致基站功能受到影响。其次,通过充分利用基站闲置屋顶或土地,实现铁塔运营成本和生产电费的大幅降低。最后,分布式光伏与 5G 基站的高度分散化特征完美契合,可极大的降低国

家的电力基础设施投资，协助 5G 以最低成本、最大覆盖、最高效率服务社会 and 用户。

五、运营管理

5.1 投资商业模式

5.1.1 独立投资开发模式

既有的各类园区、工商企业厂房屋顶资源由产权人自主选择投资方，根据用电特性选择“全额自发自用”或“自发自用余电上网”。

独立投资开发模式是指分布式光伏投资商作为独立投资者进行分布式光伏系统投资建设，独立拥有分布式发电系统全部所有权、经营权的一种投资方式。在此投资开发方式下的投资主体可能的类别包括房地产商、售电公司、发电企业等独立的企业或者法人。

加大对光伏发电项目的政策引导和整体规划，鼓励市场主体采用多种方式建设运营光伏项目，支持社会力量参与我区光伏产业发展。建立光伏产业培育机制，重点发展高效硅片、电池片、组件产品和关键材料集聚区，支持光伏企业积极开展太阳能光伏的研发、制造和销售，加强关键技术攻关，提高光能转换率，不断增加市场竞争力，努力形成一批本地光伏龙头企业。

5.1.2 合作投资开发模式

合作投资开发模式是指两个或多个投资主体合作进行分布式电源开发建设，并负责后期运营管理的一种投资方式。各主体之间可以形成合作联盟共同进行分布式光伏开发，共担风险、共享利润，对分布式光伏系统享有共同所有权，共同决定项目后期运营方式。企业间的合作的方式简单分为以下两种，一是按照不同投资主体所提供资本的比例为标准进行效益分配，合作主体共同负责项目运营；二是从技术、设备、管理经验等角度其他角度加强战略合作，按照约定比例进行收益分配，进而提高合作主体的综合竞争实力。

合作投资开发模式通过建立合作联盟来达到放大融资能力、分担投资风险的作用，并且各合作主体也可以有效将技术、人才、资金、客户群体等不同特长或优势相结合，优势互补，优化合作。

5.1.3 融资众筹开发模式

分布式光伏一次性初始投资较大并且投资回收时间较长给投资主体带来了很大的资本压力。为有效降低融资成本，提高企业投资效率，投资开发商应继续通过拓展融资渠道进而转变企业投资开发模式。

融资众筹开发模式是指投资开发商为积极拓展融资渠道，建立分布式能源建设基金等相关机构对基金进行监管和审查，通过众筹的手段将民间资本吸纳到基金中来，并且承诺给民间资本提供者固定的合理收益，一般收益利率普遍大于银行定期存款利率。然后投资开发商以众筹手段获得的投资资本金，再进行分布式电源建设开发，按照约

定的利率向大众返还资金，协议期满且还清基金贷款后分布式电源所有权归投资开发商所有。

5.2 运维方案

5.2.1 分布式光伏运维现状研究

据国家能源局的统计数据显示，截至 2024 年底，全国光伏新增装机容量为 277.17GW（即 27717 万 kW），较 2023 年的 216.88GW 增长 27.8%，新增和累计装机容量均为全球第一。其中，集中式光伏新增装机 159.39GW，分布式光伏新增 118.18GW。分布式光伏占比持续提升，体现出灵活开发与就地消纳的优势。

然而与分布式光伏装机规模的迅速增长相对，分布式光伏电站的运维水平却发展缓慢。分布式光伏电站需从技术层面解决运维的瓶颈问题，结合网络及智能技术的发展，光伏电站的运维开始趋于标准化和智能化发展，光伏电站的运维开始趋于标准化和智能化，一站式监控、实时监测系统的应用使电站的运维管理更高效、便捷和精确。

5.2.2 分布式光伏运维商业模式

目前，分布式光伏电站运行维护技术复杂，相关补偿机制不完善，且尚未形成确保分布式光伏发电系统安全、稳定、高效运行、提高能源利用率的运行维护管理模式口。本区主要采用自发自用，余电上网模式建设。根据投资模式不同选择不同的商业模式。

模式一：投资主体为屋顶业主，光伏电站主要为自用，余电通过与电网公司合作采取隔墙售电方式，允许分布式光伏向 3 公里内用户直售电，获取电费收益。

模式二：投资主体为非屋顶业主，屋顶业主使用光伏发电，按照协商价格与投资主体结算电费，余电与电网公司合作采取隔墙售电方式，允许分布式光伏向 3 公里内用户直售电，获取电费收益。

六、效益分析

6.1 经济效益

6.1.1 经济效益模型

参考国家、行业及四川省现行的有关文件进行投资匡算的编制。综合考虑规划场址的地形、施工条件、交通条件、接入电网、装机规模等因素，五通桥区屋顶分布式光伏开发试点项目光伏电站的计算价格水平在前一季度价格水平的基础上，考虑未来相关设备价格进一步下降，并综合考虑智慧运维方案，“光伏+”充电桩、供热、5G 等多元化应用，本项目初步估算情况为：

测算基于以下核心参数：

年均等效满负荷小时数：689.9 小时（25 年平均，已含系统效率 83%折减）

电价结构：

工商业/公共建筑：自发自用 0.7 元/kWh（80%），余电上网 0.4 元/kWh（20%）

农村住宅：自发自用 0.5 元/kWh（50%），余电上网 0.4 元/kWh（50%）

运维成本：按初始投资的 1%/年（行业惯例）

项目寿命：25 年

IRR 计算：使用现金流折现法，满足 $NPV = \sum \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0$

折现率：6%（IRR 和动态回收期计算基准）

项目类型	单位投资 (元/W)	年收益 (元/W)	年运维成本 (元/W)	IRR (%)	回收期 (年)
工商业屋顶	3.2	0.4415	0.032	12.8	8.2
农村住宅	4	0.3105	0.04	6.5	12.8
公共建筑	3.8	0.4415	0.038	11.3	8.6

6.1.2 电费节约与收益

直接电费降低：工商业用户通过“自发自用”模式，可减少高价电网用电量。以装机容量 0.1MW 项目为例，年均发电量约 6.89 万 kWh（年均等效满负荷小时数 689.9 小时），按工商业电价 0.7 元/度计算，年节省电费约 3.86 万元（自发自用电量：6.89 万 kWh*80%≈5.51 万 kWh，电费节约：5.51 万 kWh*0.7 元/kWh≈3.86 万元）。

余电上网收益：居民或企业将富余电力以 0.4 元/度（四川燃煤基准价）售予电网，增加额外收入。

投资回收周期：在无补贴情况下，工商业项目回收期约 8.2 年，居民项目约 12.8 年（因电价差异）；若叠加地方补贴或碳交易收益，可缩短 1-2 年。

6.2 环境效益

6.2.1 碳减排与气候贡献

直接减排：每发 1 万度光伏电，可减少 CO₂ 排放约 9.97 吨，以 1MW 项目为例，年减排量约 687 吨。

区域环境改善：减少硫氧化物（SO_x）、氮氧化物（NO_x）等污染物排放，缓解雾霾问题（对四川盆地多雾地区尤为重要）。

6.2.2 能源结构优化

清洁能源占比提升：分布式光伏就近消纳，降低对传统火电的依赖，助力“双碳”目标。

电网调峰压力缓解：日间发电高峰时段可补充用电需求，减少电网负荷波动。

6.2.3 资源高效利用

土地零占用：利用现有建筑屋顶，避免集中式电站的土地开发争议。

降低输配电损耗：就近供电减少长距离输电损耗（传统电网损耗约 6-8%）。

6.3 社会效益

6.3.1 就业与产业带动

本地化就业：项目开发、安装、运维等环节创造技术岗位（如每10MW项目约需30-50名工人）。

产业链延伸：带动光伏组件、储能设备、智能监控等配套产业发展。

6.3.2 能源公平与普惠

乡村振兴支持：农户通过屋顶光伏获得稳定收益（如“光伏扶贫”模式），缩小城乡能源差距。

社区参与感提升：居民成为“产消者”（Prosumer），增强节能环保意识。

6.3.3 应急与韧性增强

灾备电源功能：搭配储能系统后，可在极端天气或停电时为关键设施（医院、学校）提供应急电力。

能源安全提升：分散式电源降低大范围停电风险，增强区域能源韧性。

七、风险分析

7.1 技术风险

7.1.1 屋顶结构安全性

风险：屋顶荷载不足、老化、防水层损坏，导致安装后结构隐患。

应对：前期需委托专业机构进行荷载检测与结构评估，优先选择混凝土屋顶或加固后的钢结构屋顶。

7.1.2 设备性能与匹配

风险：光伏组件效率衰减过快、逆变器故障率高、系统设计不合理（如阴影遮挡）。

应对：选用一线品牌设备，设计时结合屋顶布局模拟阴影分析，预留运维通道。

7.1.3 并网技术问题

风险：电网容量不足、电压波动、谐波干扰等导致并网困难。

应对：提前与电网公司沟通接入方案，配置智能逆变器和储能系统平抑波动。

7.2 市场风险

7.2.1 投资回收周期延长

风险：光照资源低于预期（如五通桥区年日照仅 900-1100 小时）、电价政策变动、设备维护成本超支。

应对：采用敏感性分析模型，设定不同光照和电价情景下的收益测算，预留 10%-15%成本缓冲。

7.2.2 电价补贴退坡

风险：国家或地方光伏补贴政策调整，影响项目收益率。

应对：优先选择“自发自用、余电上网”模式，降低对补贴的依赖。

7.2.3 用户用电稳定性

风险：屋顶业主用电量波动（如企业停产、搬迁），导致余电消纳不足。

应对：签订长期协议时明确用电保底条款，或规划储能系统调节余电。

7.3 自然风险

7.3.1 极端天气影响

风险：暴雨、冰雹、大风导致设备损坏，长期阴雨（如五通桥区多雾寡照）降低发电效率。

应对：投保光伏财产险，选用抗冰雹、防腐蚀组件，加强极端天气预警。

7.3.2 环境污染与生态争议

风险：施工或运维过程中废弃物处理不当，引发环保投诉。

应对：制定绿色施工规范，与专业环保机构合作处理废弃物。

八、利益分配机制

8.1 收益分配模式

按照国家能源局印发《分布式光伏发电开发建设管理办法》（国能发新能规〔2025〕7号）要求，选择分布式可再生能源资源和场址等发展条件好，当地电力需求量较大，电网接入条件好，能够实现分布式发电就近接入配电网和就近消纳，并且可以达到较大总量规模的区级区域以及经济开发区、工业园区、新型城镇化区域等。

分布式发电余电交易的机制是：分布式发电项目单位（含个人，以下同）与配电网内就近电力用户进行电力交易；电网企业（含社会资本投资增量配电网的企业，以下同）承担分布式发电的电力输送并

配合有关电力交易机构组织分布式发电现场化交易，按区域核定的标准收取“过网费”。可采取以下其中之一或多种模式：

（1）分布式发电项目与项目临近电力用户进行电力直接交易，向电网企业支付“过网费”。交易范围首先就近实现，原则上应限制在接入点上一级变压器供电范围内。

（2）电网企业按国家核定的各类发电的标杆上网电价收购电量，但国家对电网企业的度电补贴要扣减配电网区域最高电压等级用户对应的输配电价。

8.2 利益相关方收益分配

项目投资公司负责开发的屋顶分布式光伏发电项目，通过运营光伏电站赚取合理利润。屋顶所有权人因为提供屋顶给项目投资公司使用，所以屋顶所有权人将从项目投资公司得到相应的收益。主要包括优惠电价和屋顶租金。具体分配形式及额度，需要在后期方案实施过程中，根据不同用户的用电能效情况及电站电能供给情况进行综合分析，既保证投资企业留有部分收益，同时降低工商业业主用电成本，实现收益分配。

8.3 动态调整条款

电价浮动机制：合同中约定电价与市场电价联动，避免因电价下跌导致收益缩水。

风险共担条款：极端天气导致发电量不足时，投资方与业主按比例承担损失。

结合五通桥区多雨寡照特点，制定差异化补贴政策（如对高效组件额外补贴），并推广“政府+国企+农户”风险共担模式，提升项目可行性。

九、保障措施

9.1 加强组织领导，强化部门联动

压实协同责任链条，构建全流程联动闭环。明确各方在项目推进中的协同定位与联动责任，建立健全覆盖项目全生命周期的协同工作机制。强化事前规划对接、事中过程协同、事后评估反馈的闭环管理，确保信息流、业务流、责任流在各环节顺畅流转、有效衔接。通过责任共担、任务共推、成果共享，形成环环相扣、紧密协作的联动工作格局。

9.2 健全工作机制

各相关部门要注重联合行动，做好协调衔接，共同构建“碳达峰、碳中和”分布式光伏规模化开发的工作机制。要按照行动方案要求，压实责任，明确分工。围绕重点工作领域，加强对接沟通，积极向上争取，力求在规划、政策、项目、体制创新等方面赢得更大支持。要共同研究重大问题，协同实施重大项目，形成推进工作的强大合力，共建全面合作、互利共赢的发展格局。

9.3 加快电网升级改造

根据分布式光伏发电系统接入需求，提前规划建设电网设施，加强对配电网的升级改造。制定相应的标准规范，指导分布式光伏项目合理有序发展，切实保障分布式光伏试点项目的大规模接入需求，实现合理并网消纳。

9.4 政策引导

实行财政扶持。通过统筹相关领域专项资金给予支持，鼓励区域积极组织屋顶光伏开展分布式发电现场化交易。鼓励引导经济效益好的央国企或本地企业主动参与到分布式光伏工程推进中，实行企业与企业联合，整合项目资金，提高资金利用效率。

9.5 宣传发动

借助各种媒介渠道，发挥新闻媒体宣传引导作用，充分激发投资主体和社会组织的积极性、主动性和创造性，进一步提高公众参与度，推动全社会共同参与“碳达峰、碳中和”分布式光伏开发工作。畅通区域与投资主体、社会大众的沟通交流渠道，广泛听取社会各界意见建议，打好“碳达峰、碳中和”主动仗。