

川渝低辐照地区分布式光伏系统设计要点

王芮琪, 刘 军, 袁豪杰, 赵 江, 何 森

(四川科宏石油天然气工程有限公司, 四川 成都 610213)

摘要: 从油气田工程项目设计阶段入手, 结合川渝低辐照地区多个建设点的实际情况, 简化装机规模计算, 利用投入 / 产出比值推荐最优容配比, 以快速推进项目初期评估工作; 结合设计经验总结适用于川渝低辐照地区的光伏方阵布置通用原则及混凝土屋面、钢结构屋面、BIPV 系统的方阵布置要点。

关键词: 分布式光伏; 系统设计; 油气田; 容配比

Design key points of distributed photovoltaic system in low irradiation area of Sichuan and Chongqing

WANG Ruiqi, LIU Jun, YUAN Haojie, ZHAO Jiang, HE Sen

(Sichuan Kehong Petroleum and Natural Gas Engineering Co., Ltd., Chengdu 610213, China)

Abstract: Starting from the design stage of engineering project, combined with the actual situation of several construction sites in Sichuan and Chongqing low radiation areas, the calculation of installed capacity is simplified, and the optimal capacity ratio is recommended by using the input/output ratio; Combined with the design experience, the general principles of square array layout in Sichuan and Chongqing low radiation areas and the main points of square array layout of concrete roof, steel structure roof and BIPV system are summarized.

Keywords: distributed photovoltaic; system design; oil and gas fields; volumetric ratio

0 引言

随着“双碳”目标的临近, 新能源光伏产业快速发展, 川渝低辐照地区作为四类地区, 在进行光伏系统的投资开发时, 更多是为响应绿色发展政策, 实现绿电替代。但相较于太阳能资源充裕的地区, 该地区受多云雾、低辐照值的影响, 在相同系统配置下的电能产出更低、更不稳定。为拓宽川渝低辐照地区太阳能资源的利用前景, 促进太阳能产业的稳步发展, 需在设计阶段对发电系统进行优化, 以有效提升系统发电效率, 延长系统寿命, 减少项目投资。

针对川渝地区有限的太阳能资源条件, 在项目设计阶段应重点把控装机容量设计、方阵布置等关键环节。因此, 本文结合川渝地区的油气田

案例项目情况及设计经验, 对低辐照地区分布式光伏发电系统设计要点进行分析, 旨在提升发电系统效率, 为川渝地区光伏发电项目提供参考。

1 装机规模相关计算

1.1 最优容配比推荐

本文所指的川渝低辐照地区主要包括四川省东部和重庆市大部分地区。该地区年太阳辐射量为 $370 \sim 420 \text{ kW/cm}^2$, 年日照仅 $900 \sim 1\,300 \text{ h}$, 均为我国最低值^[1]。

以油气领域为例, 川渝地区分布式光伏的建设, 通常为在油气井场及办公楼等已建建筑屋顶设置光伏发电装置, 用于满足或部分满足油气田清洁用能, 改善能源结构^[2], 光伏所发电接入自

有电网或就近接入市电电网。容配比作为光伏发电系统的关键参数，直接影响项目投资及经济效益，因而在平衡项目投资及发电量的条件下寻求最佳容配比至关重要。

利用PVsyst软件对都江堰某光伏发电项目进行不同容配比下的发电量仿真，以投入/产出比的最小化寻求最优容配比。

该项目选用610 Wp单晶硅光伏组件，共计3 290块，装机容量为2.007 MWp。组件采用固定倾角方式安装于建设点的7处混凝土平屋顶，PVsyst软件内详细的系统配置方案如图1所示。

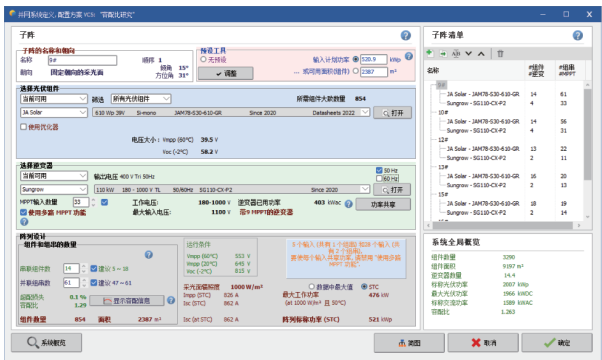


图 1 最佳容配比仿真系统配置方案

Fig. 1 System configuration scheme for optimal capacity ratio

以项目投资4 300元/kW、每年运维财务成本230元/kW和电价0.7元/（kW·h）为边界条件，得到该项目25年运营期内不同容配比下的投入/产出比，如图2所示。

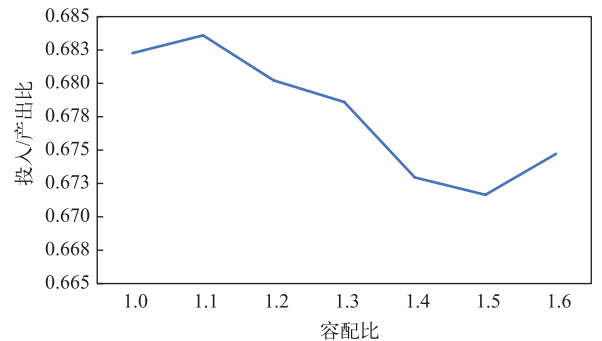


图 2 案例项目投入 / 产出比折线图

Fig. 2 Line graph of input/output ratio for the case

由图2可知，在容配比为1.5时的投入/产出比值最小，表明其经济效益最优。

在进行容配比选择时，也应同步考虑建设点

的消纳能力及有无弃光率等相关要求，在要求严格弃光率的条件下，应适当减小容配比。

1.2 每平方米装机容量估算系数

在项目初期阶段，因为可利用面积值影响装机规模及并网方式，所以应重点关注。

川渝地区建筑主要结构形式为混凝土及钢结构，常见的屋顶主要包括平屋顶及坡屋顶。平屋顶一般为混凝土屋面，基于地区低辐照的特性，组件多结合水泥基础和支架，采用固定倾角方式安装；而钢结构屋顶多采用夹具安装或采用建筑一体化光伏（Building Integrated Photovoltaics, BIPV）。

为探究可利用面积对装机容量的影响，在川渝低辐照地区选取了多个具有代表性的油气田建设点案例，结合其可利用面积对光伏方阵进行间距计算及初步排列。案例1~10的建筑物屋面形式为混凝土平屋面，案例11、12的建筑物屋面形式为混凝土坡屋面，案例13的建筑物屋面形式为钢结构屋面。以550 W组件为例，得出装机规模初步可按每平方米装机0.118 kW估算，各建设点案例的屋面形式及每平方米装机系数见表1。

表 1 建设点案例每平方米装机容量系数

Tab. 1 Solar installed capacity coefficient per square meter for construction site cases

序号	屋面形式	可利用面积 / m ²	装机规模 / kW	每平方米装机系数
1	混凝土平屋面	1 221	143	0.117
2	混凝土平屋面	500	62.64	0.125
3	混凝土平屋面	785	105.84	0.135
4	混凝土平屋面	500	61.02	0.122
5	混凝土平屋面	1 065	128.52	0.121
6	混凝土平屋面	200	20.52	0.103
7	混凝土平屋面	850	88.02	0.104
8	混凝土平屋面	2 400	330	0.138
9	混凝土平屋面	1 200	165	0.138
10	混凝土平屋面	596	70.4	0.118
11	混凝土坡屋面	605	65.34	0.108
12	混凝土坡屋面	260	27.54	0.106
13	钢结构屋面	1 205	118.26	0.098
平均每平方米装机系数				0.118

该数值可为装机容量的初步估算提供便利。

同时从表1中的数据可以看出，混凝土坡屋面或因其朝向因素，造成每平方米装机系数略小于混凝土平屋顶。

2 方阵布置相关优化

2.1 方阵布置通用原则

1) 分布式光伏方阵布置应遵循节约光伏占地面积、优化光伏组件安装角度、尽可能提高光伏发电量及预留后期维护空间等原则。

2) 在组件竖向布置方式下，原则上采用同一组串在一条水平直线上的汇线方式，以节省线缆用量，同时方便故障排查及日常维护。

3) 为使同一逆变器下的直流汇线损失保持一致，提高实际发电量，应尽量保证同一光伏方阵中实际直流电缆有效长度距离相近的光伏组串连接在同一逆变器下。

4) 为避免逆变器受长期日晒影响，需考虑逆变器的遮阳和通风措施。屋顶布置的逆变器应尽量布置于女儿墙、建筑造型阴影区等遮光区域，有条件的可布置于室内。地面布置的光伏电站逆变器尽量布置于光伏组件的阴影区域。当不满足上述条件时，逆变器上方应设置遮阳措施。

5) 当采用一定倾角布置光伏组件时，光伏组件平面图中的尺寸原则上应采用光伏组件投影尺寸，以匹配实际施工。

2.2 不同屋面形式下的组件布置要点

(1) 混凝土屋面组件布置要点

1) 若混凝土屋面无特殊要求，则光伏组件布置方位角应尽量与建筑物方位角保持一致。采用 PVsyst 优化选取发电量最优角度^[4]，以重庆铜梁、成都都江堰及广元剑阁三地为例，比选10 000 m²方阵面积下各方阵倾角的装机规模及斜面辐照量，比选结果见表2。推荐川渝低辐照地区混凝土屋面光伏组件安装角度采用10°~15°范围，以减小光伏支架钢材耗量、风荷载及光伏前后排安装间距。

2) 光伏组件布置应考虑屋面设备间、女儿墙、风机、冷却塔等对光伏遮挡的影响^[5]。满足

9:00—15:00间没有任何的阴影遮挡。

表2 三地不同安装倾角下的装机规模和斜面辐射量

Tab. 2 Installation scale and slope radiation at different installation angles at three locations

倾角	重庆铜梁区		成都市都江堰市		广元市剑阁县	
	装机规模 / kW	斜面辐射量 / (kW·h/m ²)	装机规模 / kW	斜面辐射量 / (kW·h/m ²)	装机规模 / kW	斜面辐射量 / (kW·h/m ²)
8°	1 189.9	1 013.6	1 163.7	915.5	1 173.3	1 081.8
10°	1 137.2	1 015.6	1 107.5	918.2	1 118.4	1 086.6
12°	1 090.2	1 016.8	1 057.7	920.1	1 069.6	1 090.5
14°	1 048.2	1 017.2	1 013.3	921.2	1 026.2	1 093.5
16°	1 010.5	1 016.7	973.6	921.6	987.2	1 095.6
18°	976.6	1 015.4	938.1	921.3	952.2	1 096.7
20°	946.0	1 014.5	906.1	920.2	920.7	1 096.9
22°	918.4	1 010.3	877.3	918.4	892.2	1 096.2
24°	893.4	1 006.5	851.3	915.8	866.5	1 094.6

3) 组串式逆变器布置位置应有利于减少直流电缆长度，同时不对光伏方阵造成阴影遮挡，有条件的地方可布置在电气用房或者屋顶设备用房阴影区域，以减少阳光直接照射，否则采取加装遮阳棚等措施。

4) 不上人屋面设置光伏组件时，应在建筑物高处临边设置不低于1.1 m的防护栏。

(2) 钢结构屋面组件布置要点

1) 若钢结构屋面无特殊要求，则光伏组件布置方位角应尽量与建筑物方位角保持一致。

2) 钢结构屋面应根据屋面彩钢的类型（角驰型、T型、直立锁边型等）来确定夹具的具体结构和尺寸，夹具的布置间距按照钢结构屋面波峰间距确定，原则上不大于800 mm。

3) 组件布置应避开通风竖井、排烟窗、排风机、采光带及其阴影区域。

4) 钢结构屋面安装的光伏组件施工完后应进行抗拔试验。

5) 光伏方阵之间应设置检修通道，通道宽度按不小于500 mm确定。

6) 钢结构屋面组串式逆变器应尽量布置在女儿墙阴影区域内，同时应考虑逆变器安装高度对光伏布置的影响。

(3) BIPV布置要点

1) BIPV作为光伏方阵与建筑的集成，是一种高级形式^[6]，光伏组件不仅要满足光伏发电的功能要求，还要兼顾建筑结构的基本功能要求，同时应满足建筑防火、防水要求。安装BIPV组件后不应影响原有建筑的采光和通风。

2) 应根据防水等级要求设计组件安装方式，一级防水屋从上至下依次为：盖板-BIPV组件-防水卷材-彩钢瓦-保温隔热层-钢丝网-屋面檩条，二级防水屋面可不配备防水卷材。

3 结束语

本文对设计阶段的装机规模计算、仿真布置进行了优化，适用于川渝低辐照地区分布式光伏发电系统的设计。首先基于投入/产出比参数得出最优容配比，同时结合多个具体案例得出每平方米装机容量估算系数，最后对方阵布置通用原则及混凝土屋面、钢结构屋面、BIPV系统的方阵布置要点进行了阐述。

本文给出的设计要点可用于光伏发电项目设计工作中，具有高度普适性。对设计阶段进行优化是主动融入到绿色低碳转型实践、力争推动清洁能源替代实施的实际举措，同时可为川渝地区绿色低碳转型提供可行、有效和快速的帮助。

参考文献

[1] 李森圣, 何润民, 王富平, 等. “双碳”目标下川渝地区天然气与新能源融合发展对策研究[J]. 天然气技术与经济, 2022, 16(1): 60-66, 72.

[2] 李英媚, 陈俊文, 郝洪涛, 等. “双碳”目标下中国石油企业绿色减碳路径[J]. 天然气工业, 2024, 44(4): 180-189.

[3] 牟娟, 范忠瑶, 易金印. 基于辐射条件的光伏系统容配比优化设计方法研究[J]. 太阳能, 2018(5): 19-24.

[4] 邹海青, 何昌炎, 郑涛平. 光伏项目最佳倾角与间距的选择[J]. 电源技术, 2023, 47(9): 1207-1209.

[5] 张曼曼, 李海莉, 张亚梅, 等. 光伏发电系统在石油化工企业的应用与探讨[J]. 炼油技术与工程, 2023, 53(12): 55-58.

[6] 黄心雨, 陈稳. 光伏建筑一体化(BIPV)应用现状与发展前景[J]. 土木工程与管理学报, 2022, 39(3): 160-166.

作者简介

王芮琪 (1995—), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为油气田新能源系统优化。

(收稿日期: 2024-10-23)