

山地光伏经济对比及财务分析

陈孔伟 张学辉 曾亮亮 戴明宇

山东鼎超热电设计有限公司, 中国·山东 济南 250100

摘要: 利用山地布置光伏与平地相比, 存在土地利用率低、投资成本高、收益率低等特点。项目前期决策阶段往往难以给出定量的光伏财务指标, 如安装容量、投资成本、收益率、投资回收期等。设计阶段也难以准确判断光伏项目开发程度的高低, 采用传统人工投资测算和财务评价方式, 动态折现率等因素难以考虑, 所得结论偏差较大。借助计算机三维建模软件 Sketch Up 实现组件自动化布置、利用广联达造价软件计算投资成本、利用木联能发电工程经济评价软件对经济性指标进行测算。通过调整山体间的不遮挡时段、光伏组件倾角和方位角, 分析出对光伏布置容量、工程单位投资、静态投资回收期、内部收益率及项目资本金净利润率的影响。为山地光伏项目前期可研和决策提供有依据的参考。

关键词: 山地光伏; 组件倾角; 方位角; 投资回收期; 内部收益率

Economic Comparison and Financial Analysis of Mountain PV

Kongwei Chen Xuehui Zhang Liangliang Zeng Mingyu Dai

Shandong Dingchao Thermal Power Design Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250100, China

Abstract: Compared with flat land, the use of mountain photovoltaic layout has the characteristics of low land utilization rate, high investment cost and low yield. It is often difficult to give quantitative PV financial indicators, such as installation capacity, investment cost, rate of return, investment payback period, etc., in the early decision-making stage of the project. In the design stage, it is also difficult to accurately judge the level of development of photovoltaic projects, using traditional manual investment calculation and financial evaluation methods, dynamic discount rate and other factors are difficult to consider, and the resulting conclusion has a large deviation. The automatic layout of components is realized with the help of the computer 3D modeling software Sketch Up, the investment cost is calculated with the cost software of Guanglida, and the economic indicators are calculated with the economic evaluation software of MIL power generation engineering. By adjusting the unobstructed period between mountains, inclination Angle and azimuth Angle of PV modules, the influences on PV layout capacity, project unit investment, static investment payback period, internal rate of return and net profit rate of project capital are analyzed. It provides a reference for the preliminary research and decision of mountain photovoltaic projects.

Keywords: mountain photovoltaic; component inclination; azimuth angle; pay back period; internal rate return

1 项目概况及系统介绍

1.1 项目概况

研究对象位于河北省保定市, 场地为山区, 属于太行山山系, 丘陵, 起伏较大。河北省地处中国的中东部地区, 其太阳能资源的分布存在北部高于南部、内陆高于沿海的分布特征。借助于计算机三维软件对山体地形进行分析, 得出直观可视化的地形图与地形分析表。

山地三维模型图如图 1 所示, 项目用地坡度与坡向情况表如表 1 所示。

根据表 1 分析可知, 此山地为中国中北部典型丘陵地形, 项目平均海拔约为 341 米。考虑到现场施工难度与成本, 一般不考虑在坡度 40° 以上区域布置光伏方阵, 东西坡度也限制在 25 度之内。项目用地红线面积约为 168.75 万 m²。地形坡度符合要求的约占比 83.80%。称之为有效地形山体。

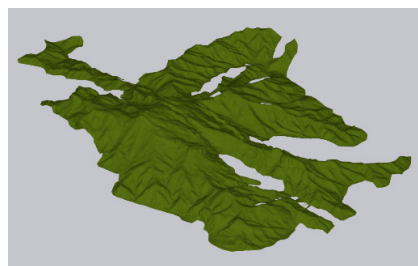


图 1 山地三维模型图

表 1 项目用地坡度与坡向情况表

按坡度划分		按坡向划分	
坡脚	占比 (%)	坡向	占比 (%)
0°~20°	14.20	东北坡	10.50%
20°~30°	25.70	东南坡	28.30%
30°~40°	43.90	西南坡	33.50%
40° 以上	16.20	西北坡	27.70%

1.2 系统介绍

经过经济与技术比选, 选用晶硅类太阳能电池, 采用市面成熟的 610Wp 单晶双玻双面光伏组件。经过计算, 组件辐射最佳倾角为 36°, 单串光伏方阵为 2 行 12 列 (2×12), 组件竖向布置。采用额定功率为 196kW、250kW 及 300kW 组串式逆变器, 逆变器容配比 1.21。同时在光伏电站附近新建一座 220kV 升压站, 通过逆变、升压、汇流后, 经集电线路接至升压站 35kV 配电装置, 经主变升压至 220kV, 以 1 回 220kV 线路接入电网。

财务指标测算按照项目实际数据选取, 光伏上网电价为 0.3644 元/kWh, 建设期利率为 4.2%, 社会折现率为 6.5%, 短期贷款利率为 4.75%, 测算年限为 25 年, 折旧年限为 15 年, 贷款比例为 70%, 贷款年限为 10 年, 等额本息还款。增值税税率为 13%, 城建及附加 12%, 所得税率 25%。

2 山体之间阴影遮挡时间段对财务分析的影响

影响光伏发电出力的因素之一是辐射强度和辐射量。辐射强度主要影响发电电流的大小, 辐射量影响着光伏发电量, 辐射量越大光伏发电量越大。沈阳工程学院的刘鹏^[1]通过对电站实际系统净现值、静态投资回收期以及动态回收期等经济效益指标进行评估, 最后确定了最优设计方案。本研究借助于计算机三维软件首先对不同山体之间不同的阴影遮挡时间段进行分析, 在有效地形山体的基础上得出冬至日完全不遮挡时段的可用区域。

为了得出完整的不同不遮挡时段区域对光伏布置容量、工程单位投资、静态投资回收期、内部收益率及资本金净利润率的影响, 对不遮挡时段划分了 9 种工况进行研究, 每种工况间隔一小时。根据以上影响结果进行分析与对比, 得出最佳的采用不遮挡时段。

由图 2 可知, 在不考虑山体阴影遮挡情况下, 可用区域最多, 布置光伏容量也最大, 为 71541.72kW, 山体阴影不遮挡时段越长, 布置容量随之下降, 越来越少。单位投资随着山体阴影不遮挡时段的延长, 先降低再呈抛物线增长。最低点在山体阴影不遮挡时段 12:30~13:30 附近, 为 3061.94 元/kW。最高点在山体阴影不遮挡时段 09:00~17:00 附近, 为 4256.08 元/kW。最高点为最低点的 1.39 倍。静态投资回收期与单位投资变化基本一致, 最低点出现在山体阴影不遮挡时段 12:00~14:00 附近, 为 7.54 年。内部收益率与资本金净利润率变化趋势基本一致, 先升高后降低, 最高点都出现在山体阴影不遮挡时段 12:00~14:00 附近, 分别为 11.26% 和 19.8%。

3 组件倾角不同对财务分析的影响

光伏阵列的安装倾角是指光伏组件与水平面的夹角。在北半球时, 组件感光面的法线朝南为正倾角。通常情况下, 光伏电站电池板的倾角都为正倾角, 且与所在地的纬度有密切关系: 纬度越高, 光伏组件的倾角也相应越高; 倾角还与

日照能量在一年中的分布密度有关, 同时也与一天中的辐照分布有关^[2]。

由图 3 可知, 组件倾角越大, 安装容量越小, 且呈线性变化趋势。39° 倾角相对于 30° 安装倾角时容量下降了约 10%。不同的安装倾角会影响支架的材质、规格及工程量, 进而会影响工程造价。随着倾角增大, 单位投资整体呈上升趋势, 39° 倾角相对于 30° 安装倾角时单位投资增高了约 2.3%。静态投资回收期整体呈上升趋势, 39° 倾角相对于 30° 安装倾角时静态投资回收期增高了约 5.3%。内部收益率与资本金净利润率变化趋势基本一致, 整体呈下降趋势, 最高点分别为 10.07% 和 17.07%。

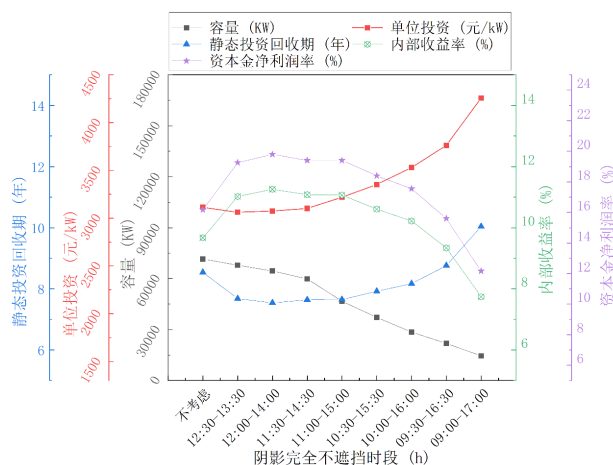


图 2 不同山体之间阴影完全不遮挡时段的影响

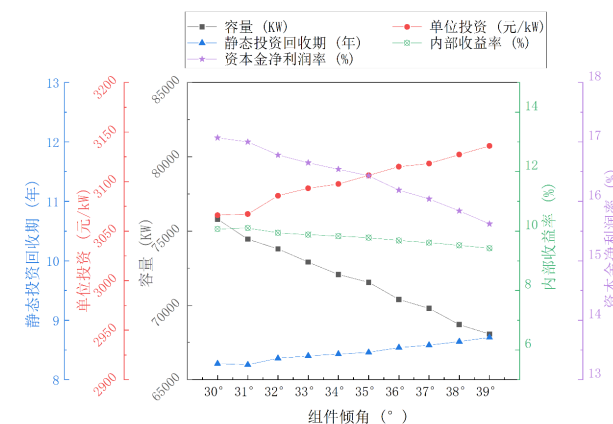


图 3 不同倾角的影响

4 组件方位角不同对财务分析的影响

阵列的布置方式体现在方位角上, 主要有两种方案。一是阵列采取正南向, 随坡就势布置; 二是阵列采取与所在山坡同一方位角, 随坡就势布置。通过 PVsyst 软件进行场景及阵列建模, 完成系统发电数据模拟仿真。运用木联能光电工程经济评价软件对布置方案的财务指标进行测算。山东大学的李冉^[3]以经济学的视角对山地光伏电站阵列优化、设备选型及发电单元规划设计三方面开展研究, 提出了各自

的优化方案及解决思路。论文分析了不同方位角对光伏布置容量、工程单位投资、静态投资回收期、内部收益率及资本金净利润率的影响，研究方位角在 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ，按照 5° 步长逐步模拟计算。

由图 4 可知，随着方位角区间增大，光伏安装容量总体呈上升趋势。在 0° 至 $\pm 45^{\circ}$ 区间增长较快，方位角每增加 $\pm 1^{\circ}$ ，容量增加约 66kW ；在 $\pm 45^{\circ}$ 至 $\pm 90^{\circ}$ 区间增长较慢，方位角每增加 $\pm 1^{\circ}$ ，容量增加约 8.5kW 。单位投资变化总体呈下降趋势，在 $\pm 15^{\circ} \sim \pm 75^{\circ}$ 下降最快，两头区间基本不变。静态投资回收期在最小值 8.47 年与最大值 8.6 年之间变化，变化幅度为 1.5% ，先下降再升高，最低点出现在 $\pm 15^{\circ}$ 附近。内部收益率、资本金净利润率变化趋势与静态投资回收期的相反，都是先上升再下降，最高点出现在 $\pm 15^{\circ}$ 附近。内部收益率最高点为 9.78% ，资本金净利润率为 16.42% 。内部收益率与资本金净利润率变化比较平缓，最大值与最小值相差为 2% 左右。

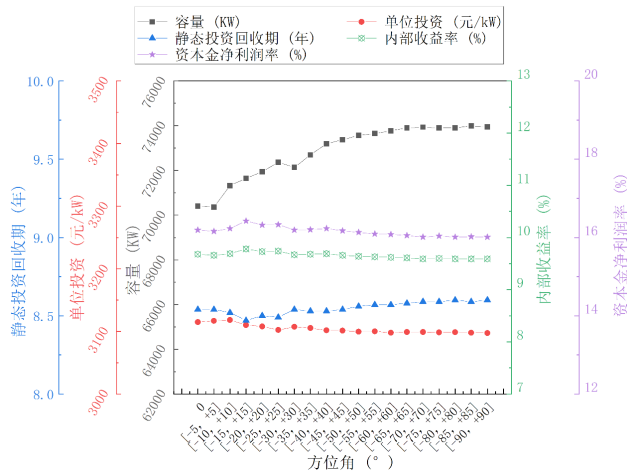


图 4 不同方位角区间的影响

5 结语

以河北省保定市某山地光伏项目为例，采用计算机三维建模软件 Sketch Up 实现组件自动化布置、利用广联达造价软件计算投资成本、利用木联能发电工程经济评价软件对经济性指标进行测算。得出不同的不遮挡时段、光伏组件倾角和方位角分别对光伏布置容量、工程单位投资、静态投资回收期、内部收益率及项目资本金净利润率的影响。

从容量角度考虑，不考虑不遮挡时段时最大，因为可利用面积较多，倾角在 30° 时最大，因为倾角越低，后排遮挡越小，前后排间距越小，方位角在 $\pm 90^{\circ}$ 时达到最大。从单位投资角度考虑，不遮挡时段在 $12:30 \sim 13:30$ 时达到最低，倾角在 30° 时最小，方位角在 $\pm 45^{\circ}$ 时达到最小。从静态投资回收期角度考虑，不遮挡时段在 $12:00 \sim 14:00$ 时达到最低，倾角 30° 时最低，方位角在 $\pm 15^{\circ}$ 时最低。内部收益率与资本金净利润率在不遮挡时段 $12:00 \sim 14:00$ 时最大，组件倾角 30° 时最大，方位角在 $\pm 15^{\circ}$ 时达到最大。从上述多个因素对系统的不同方面影响进行分析，可以为项目的投资方、运营方、建设方提供有价值的理论指导与借鉴。

参考文献:

- [1] 刘鹏.兆瓦级地面大型光伏电站多目标优化设计及技术经济评估研究[D].沈阳:沈阳工程学院,2017.
- [2] 陈佩霞.复杂山地光伏阵列布置及施工设计研究[D].昆明:昆明理工大学,2019.
- [3] 李冉.山地光伏电站关键设计技术研究[D].济南:山东大学,2020.

作者简介: 陈孔伟(1990-),男,中国山东济南人,硕士,中级工程师,从事太阳能光伏发电、风能发电、集中供热等研究。