

Research and cost analysis on mountain photovoltaic layout

Kongwei Chen Xuehui Zhang Mingyu Dai Chu He

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, difficult construction and high investment cost. It is often difficult to give quantitative PV development indicators, such as installation capacity, power generation, investment costs, etc., in the early decision-making stage of the project. The design stage is also difficult to accurately judge the level of development of photovoltaic projects, using traditional manual component layout and investment calculation methods, shadow loss and other factors are difficult to consider, and the conclusion is biased. With the help of computer 3D modeling software, automatic component layout and cost calculation are realized. By adjusting the unshielded period between mountains, PV module inclination and azimuth Angle, the influences on PV layout capacity, first year power generation hours, first year system efficiency, 25-year average power generation, project unit investment and KWH cost are analyzed. It provides a reference for the early decision and design of mountain photovoltaic projects.

Keywords

Mountain photovoltaic; Component inclination; Azimuth Angle; Square spacing; Shadow occlusion

山地光伏布置研究及成本分析

陈孔伟 张学辉 戴明宇 褚赫

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、施工难度大、投资成本高等特点。项目前期决策阶段往往难以给出定量的光伏开发指标, 比如安装容量、发电量、投资成本等。设计阶段也难以准确判断光伏项目开发程度的高低, 采用传统人工组件布置和投资测算方式, 阴影损失等因素难以考虑, 所得结论偏差较大。借助计算机三维建模软件, 实现组件自动化布置、成本自动测算等。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、首年发电小时数、首年系统效率、25年平均发电量、工程单位投资及度电成本的影响。为山地光伏项目前期决策和设计提供有依据的参考。

关键词

山地光伏; 组件倾角; 方位角; 方阵间距; 阴影遮挡

1 引言

太阳能是一种清洁的能源, 既不通过消耗资源释放污染物、废料, 也不产生温室气体破坏大气环境, 更不会有废渣的堆放问题, 有利于保护周围环境。与其他传统发电方式相比, 太阳能发电可节省一定的发电用煤和减少环境污染治理费用, 有利于空气质量和环保标准的提高。与相同容量的燃煤电厂相比, 可节约煤炭资源和减少污染物排放。每年还可减少大量的灰渣及烟尘排放, 节约用水, 并减少相应的废水排放, 节能减排效益显著。

邓敏^[1]针对山地光伏电站建设的技术难点进行分析,

在提高山地光伏电站的效率、降低成本、保证系统运行安全的情况下, 对组件的排布方式、阵列间距、组件的支架等进行优化设计与计算。本文借助计算机三维建模软件, 软件建模后自动分析出山体坡度、坡向及太阳方位角、遮挡时间等参数, 筛选出有效利用区域。然后通过人工设置组件参数及规格、方阵形式、方阵左右间距等布置参数, 软件可以进行自动化方阵布置。模拟光伏布置容量、首年发电小时数、首年系统效率、25年平均发电量、工程单位投资及度电成本受哪些因素的影响以及与这些因素的变化关系, 为山地光伏项目的理论研究和合理开发提供有价值的参考。

2 项目概况及系统介绍

2.1 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。河北省地处我国的中东部地区, 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

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

布特征。借助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。

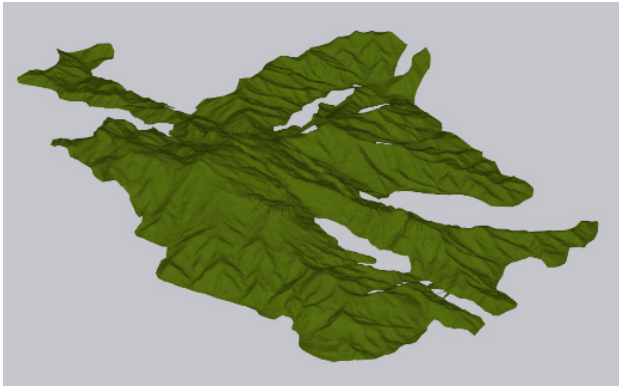


图1 山地三维模型图

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%

根据上表分析可知，此山地为我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。

2.2 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(2X12)，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。

3 山体之间阴影遮挡时间段对系统的影响

山地光伏不同于平地光伏，布置山地光伏时，需要考虑不同山体之间互相的阴影遮挡。天津大学的王斯伟^[2]提出了一种地形遮挡及阴影影响分析的方法，分析出不同时段阴影遮挡规律。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、首年发电小时数、首年系统效率、25年平均发电量、工程单位投资及度电成本的影响，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。

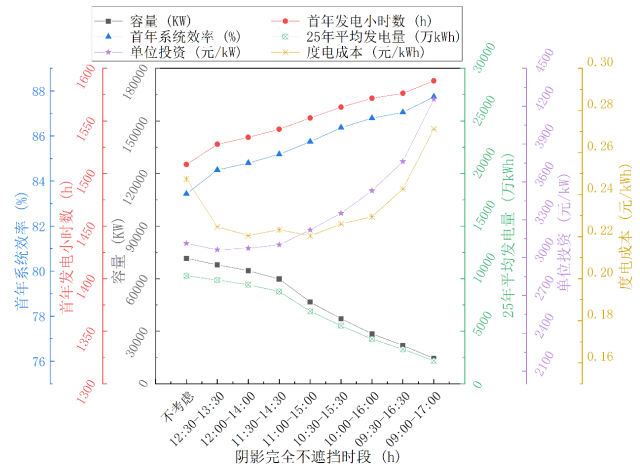


图2 不同山体之间阴影完全不遮挡时段的影响

由上图可知，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。最大容量为最小容量的4.93倍。首年发电小时数与首年系统效率随着山体阴影不遮挡时段的延长，首年发电小时数与首年系统效率同步增长变大，因为阴影遮挡情况影响了光伏组件发电效率，阴影遮挡的时间段越长，光伏组件发电效率越低。25年平均发电量，随着山体阴影不遮挡时段增长，发电量越来越少。但是与容量变化相比，变化斜率较小，因为发电量为容量与发电小时数的乘积，容量下降，发电小时数升高，首年发电量相对变化较慢。单位投资随之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。度电成本随着山体阴影不遮挡时段的影响曲线更贴近于二次抛物线，随着山体阴影不遮挡时段延长，度电成本先减少后增加，最低点在11:00-15:00附近，为0.2204元/kWh，最高点在09:00-17:00附近，为0.2711元/kWh，增长约23%。

4 组件倾角不同对系统的影响

光伏方阵的倾角是光伏系统中的重要参数之一，一般光伏的倾角是以当地纬度作为参考确定组件安装的最佳倾角。上文提到，项目所在地组件最佳倾角为36°，即可以最大程度吸收太阳辐射。但是如果从布置容量、首年发电小时数、首年系统效率、25年平均发电量、工程单位投资及度电成本等角度综合考虑，36°不一定是最佳倾角。

为了得出不同倾角对光伏布置容量、首年发电小时数、首年系统效率、25年平均发电量、工程单位投资及度电成本的影响，对安装倾角划分了10种工况进行研究。根据以上影响结果进行分析与对比，得出最佳的安装倾角。

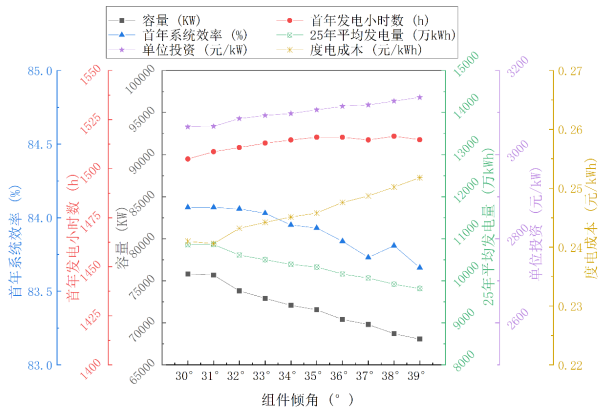


图3 不同倾角的影响

由上图可知，组件倾角越大，安装容量越小，39° 倾角相对于 30° 安装倾角时容量下降了约 10%。25 年平均发电量下降了约 10%。因为随着倾角增大，后排阴影遮挡面积增大，排间距增大，导致整体容量下降，25 年平均发电量也下降。首年发电小时数随倾角增大而先变大后逐渐变小，最高点出现在倾角 36° 左右，为 1516.52 小时。不同的安装倾角会影响支架的材质与规格，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%。

5 组件方位角不同对系统的影响

光伏方阵的方位角是光伏系统中的另一个重要参数，在北半球一般光伏的方位角都朝南布置，即方位角 0°。王建辉^[1]以陕南地区光伏项目为例，分析了最大方位角区间与容量、发电量等因素间的关系。山地光伏项目的特点是地形复杂，起伏不定、朝向不一。需要在布置时随坡就势，顺势而为。为了分析不同方位角区间对光伏布置容量、首年发电小时数、首年系统效率、25 年平均发电量、工程单位投资及度电成本的影响，研究方位角在 0~90°，按照 5° 步长逐步模拟计算。根据软件计算结果统计分析，综合考虑以上因素，确定较佳的方位角区间。

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 ±45° 区间增长较快，方位角每增加 ±1°，容量增加约 66kW；在 ±45° 至 ±90° 区间增长较慢，方位角每增加 ±1°，容量增加约 8.5kW。首年发电小时数总体呈下降趋势，在 ±15° ~ ±75° 下降最快，两头区间基本不变。首年系统效率、单位投资变化规律与首年发电小时数基本一

致。25 年平均发电量先逐渐上升，后趋于稳定，因为容量上升，效率减小，峰值出现在 ±45° 左右。度电成本先下降后上升并最终趋于稳定。最低点出现在 ±15° 左右。

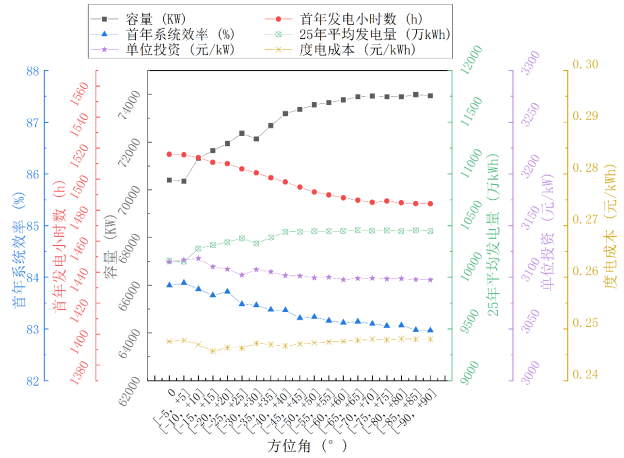


图4 不同方位角区间的影响

6 结论

以河北省保定市某山地光伏项目为例，采用计算机三维软件建模并模拟，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、首年发电小时数、首年系统效率、25 年平均发电量、工程单位投资及度电成本的影响。

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 ±90° 时达到最大。从发电量角度考虑，不考虑不遮挡时段时最大，倾角在 31° 时达到最大，方位角在 ±45° 时达到最大。从单位投资角度考虑，不遮挡时段在 12:30~13:30 时达到最低，倾角在 30° 时最小，方位角在 ±45° 时达到最小。从上述多个角度对不同因素进行分析，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] 邓敏,陈振.基于PVsyst的山地光伏系统设计与优化[J].能源与节约,2021,4:14-16.
- [2] 王斯伟,练继建,李根森,赵振源,朱向东.山地光伏电站地形及阴影对发电量影响研究[J].云南电力技术,2018,46(01):49-53.
- [3] 王建辉.山地光伏不同方位角总图布置方案优化分析[J].能源科技, 2024,22 (04) : 60-63.