 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i3.5188

A photovoltaic design case based on SketchUp

Guibo Zheng

National Energy Group Power Marketing Center Co., Ltd., Beijing, 100080, China

Abstract

This paper takes the centralized photovoltaic power generation project in a county of Jiuquan City as an example, based on the Meteonorm light energy resource radiation data of the station site, the 3D modeling of the centralized photovoltaic power generation station is carried out by using the software, PVsyst and SketchUP, to simulate and analyze the shadowing condition between each photovoltaic array of the station during the time period of light energy resource abundance. At the same time, PVsyst is used to optimize the tilt angle and spacing of the PV arrays by altitude and tilt of sun, and establish a simulation to estimate working efficiency of solar plant.

Keywords

Solar plant; SketchUp; PVsystem; Modelling

一种基于 SketchUp 的光伏设计案例

郑桂博

国家能源集团电力营销中心有限公司，中国 · 北京 100080

摘　要

在国家提出“碳达峰、碳中和”的战略下，为实现“十四五”可再生能源规划发展，光伏作为其中重要的一环，将得到大力支持。本文以某县集中式光伏发电工程为例，依据站址的Meteonorm光能资源辐射数据为基础，应用PVsyst及SketchUP软件对集中式光伏发电站进行3D建模，模拟分析在光能资源丰富时间段内电站的各个光伏阵列间的阴影遮挡状况。同时通过PVsyst完成对光伏阵列布置倾角、间距的优化，对整体光伏发电系统进行建模仿真，并模拟其整体工作效率。

关键词

光伏电站；SketchUp；PVsystem；建模

1 引言

本文以某地光伏发电站为例，展示了通过使用 PVsyst 和 Sketchup 软件来进行阴影、地形环境模拟，进而相对精准、便捷地完善项目建模，从而在较低误差的情况下，快速完成光伏发电站的整体布置 [1]。

光伏设计需要考虑到各种外部参数，相比传统的、容易因无法建立直观的地形模型从而产生后期调整误差的光伏设计方式，通过 SketchUp 与 PVsyst 软件完成整体项目建模的新型设计无疑能为设计人员对项目设计方案提供直观的设计思路，并减少因地形等问题而在光伏场建设中产生的设计调整问题。

本文以某地光伏发电站为例，展示了如何使用 PVsyst 和 Sketchup 软件来进行基础、必要的阴影、地形环境模拟，进而相对精准、便捷地完善项目建模，从而在较低误差的情况下，快速完成光伏发电站的整体布置。

【作者简介】郑桂博（1988–），男，中国天津人，硕士，工程师，从事电力工程、工程管理、电力营销研究。

2 光伏发电系统构成

光伏系统通常由光伏组件、组件支架、光伏逆变器、箱式变压器、并网变压器等组成 [2]，并随着集中式光伏对山地等场地及最大功率追踪点（MPPT）的需求而逐渐将逆变器由集中式变换为组串式，如图 1 所示。

3 山地太阳能光伏发电系统设计

3.1 地理气象数据设置

进行系统设计前，首先根据地理经纬度进行地点确认，并导入相应参数数据。本案例所述光伏发电站位于甘肃省河西走廊以西，其经纬度坐标为东经 96° 26′ 16.76″，北纬 40° 47′ 32.06″，海拔 1528m，其气象参数来源于 Meteonorm。其气象数据如图 1 所示。

3.2 光伏阵列设计

光伏组件作为光伏发电系统中最基础的发电单元，其功率及其连接设置方式直接决定了光伏电站的整体布局。本案例工程选用 545 Wp 光伏组件。光伏组件参数如表 1 所示。

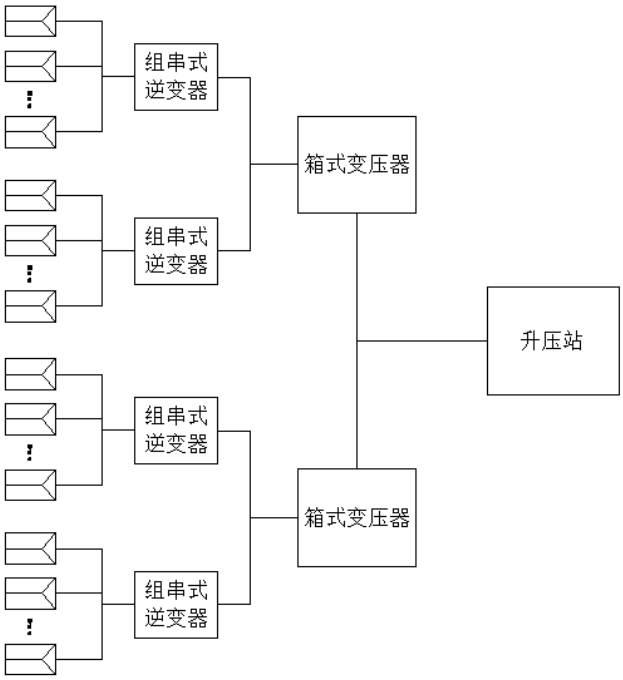


图 1 组串式光伏发电系统

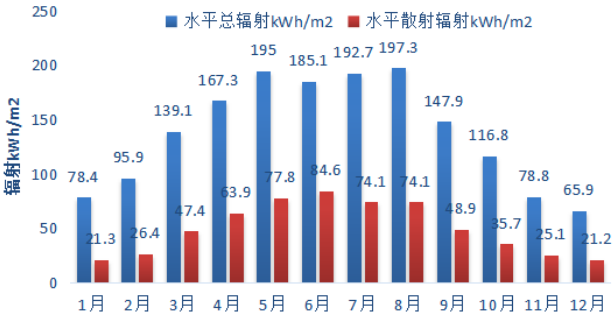


图 1 项目所在地气象辐射参数

表 1 光伏组件参数

项目	数值
峰值功率 /Wp	545
最大功率点工作电流 Impp/A	17.24
最大功率点工作工作电压 Vmpp/V	31.6
短路电流 /	18.35
开路电压 /	37.9
短路电流温度系数 /%/℃	0.04
开路电压温度系数 /%/℃	-0.25
工作温度	-40℃ ~+85℃

本案例工程出于经济投资、系统损耗及维护工作量上的综合考量，最终选择采用组串式逆变器。组串式逆变器具有电能损耗低、体积较小、可依靠自然空气交互完成内部散热及安装环境要求较低等特点 [3]。在光伏发电站整体控制上，组串式逆变器的使用让光伏发电站摒弃了直流汇流箱和直流配电柜，通过增加冗余装机量、细化由光伏阵列、组串式逆变器和箱式变压器的连接方式，降低了故障停机概率、优化了光伏发电站运行期间的检修流程 [4]。在本工程案例中采用了某型号 196 kW 组串式逆变器。其部分参数如下表 2 所示。

表 2 逆变器参数

参数	数值
输出功率 /kW	196
中国效率 /%	98.4%
最大直流电压 /V	1500
MPPT 回路数量	9
回路总数	18
每最大电流 /A	13
额定输出电压 /V	800

根据文献 [5] 规定，光伏组件逆变器组串数量 N 计算公式为：

$$N \le \frac{V_{dcmax}}{V_{oc}[1+(t-25℃)]K_v} \tag{1}$$

$$\frac{V_{mpptmin}}{V_{pm}[1+(t'-25℃)]K_v} \le N \le \frac{V_{mpptmax}}{V_{pm}[1+(t-25℃)]K_v'} \tag{2}$$

式中：V_{dcmax}为逆变器允许输入电压值；$V_{mpptman}$为逆变器 MPPT 工作电压最大值；$V_{mpptmin}$为逆变器 MPPT 电压最小值；K_v、K_v'分为代表光伏组件的开路电压、工作电压温度系数；V_{oc}为光伏组件开路电压；V_{pm}为光伏组件工作电压；t、t'分别为光伏组件可承受的工作极限低温、高温。由此可得$12 \le N \le 26$。出于追求发电量最大化的考虑，选取 N=26。

3.3 光伏组件倾角

光伏发电系统中，光伏倾角指光伏组件能获得全年最大光辐射的固定角度。在北半球，方位角通常选择正南方向，通常选取冬至日的 9:00 至 15:00[6][7]。通过 PVsyst 进行太阳倾角与阵列最佳倾角模拟，其如图 2 所示。

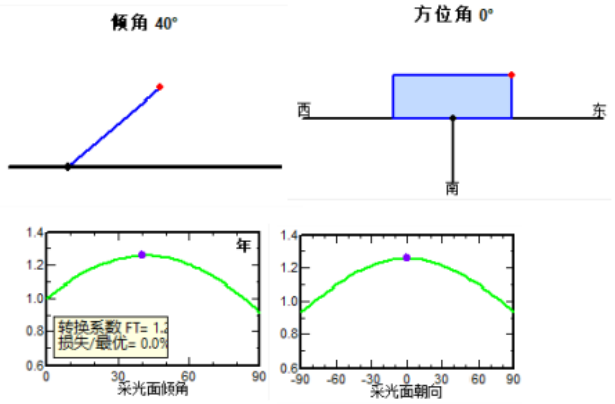


图 2 光伏组件倾斜角示意图

由图 2 可知，当光伏阵列倾斜角度为时，其相对最优损失为，采光面总辐射量为 1137 kWh/m2。

3.4 光伏阵列间距计算

以北半球为例，光伏阵列倾角确定后，光伏阵列间距一般确定的原则为：冬至日的 09:00 至 15:00 间，后排组件不被前排组件的阴影遮挡 [5].

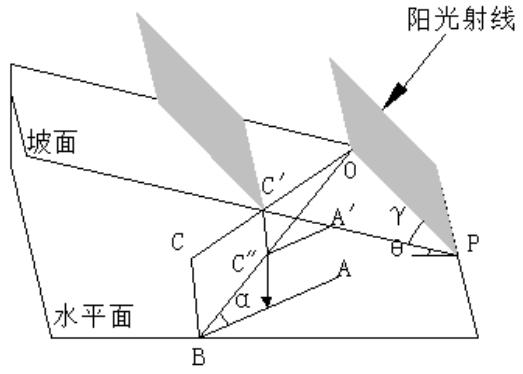


图 3 坡面光伏阵列间距模型

图中，α 为太阳高度；β 为太阳方位角；γ 为组件倾角；φ 为项目所在地纬度；δ 为赤纬角（北半球冬至日赤纬角为 -23.45° ）；ω 为时角；θ 为坡面角度；ΔABC 和 $\Delta A'B'C'$ 分别处于水平面和坡面上，$\Delta A''B''C'$ 为 $\Delta A'B'C'$ 在水平面上的投影 [8][9]。且由图 3 可得：

$$AB = OA\cos\alpha = l\sin\gamma\cos\alpha \tag{3}$$

$$AC'' = AB''\cos\beta \tag{4}$$

$$C'C'' = B'B''(AB - AB'')\tan\alpha \tag{5}$$

$$PC'' = PA + AC'' = C'C''\cot\theta \tag{6}$$

$$sin\,\alpha = sin\,\varphi\,sin\,\delta + cos\,\varphi\,cos\,\delta\,cos\,\omega \tag{7}$$

$$\sin\beta = \cos\delta\sin\omega/\cos\alpha \tag{8}$$

综上式可得：

$$d'' = PC'' = l(\sin\gamma\cos\beta + \cos\gamma\tan\alpha/(\tan\alpha + \cos\beta\tan\theta) \tag{9}$$

由上述公式可得，在光伏组件与安装倾角已经确定的情况下，前后光伏阵列间的间距取决于坡面坡度，且坡度越大，间距越小。

由此可通过 PVsyst 来对光伏阵列间距进行模拟，可得前后光伏阵列最佳距离为 10.7 m。如图 4 所示

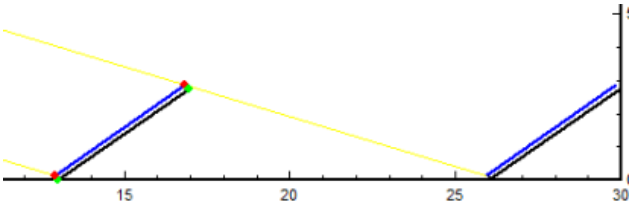


图 4 光伏阵列间距示意图

4 应用案例

某 50 MW 光伏电站位于丘陵地区，场地具有起伏特性，整体地势较缓，部分地区具有冲沟、河道等阻碍地形。

该区域地形具有起伏特性，整体建设地块建设较为复杂，部分光伏建设区域坡度为 8° 。考虑到地形因素与邻近风力发电站风机的阴影影响因素，同时为了达到系统度电成本最低目标，因此在进行动态成本法模拟后选用 1.299 的推荐容配比的前提下，将各数值代入式（9）中确定前后光伏阵列水平间距为 4 m。

考虑到 PVsyst 软件在 50 MW 级光伏发电系统上的仿真操作过于繁琐。因此该案例项目将使用 SketchUp 完成对光伏发电系统的整体分析。

在 SketchUp 建模中，导入高程点文件完成相应地形建模。

该案例作为风光储多能互补示范项目的一环，于去年完成工程建设并正式进入运营阶段，下一阶段将以风光储多能互补为目标，逐步完成新能源的多方面耦合设计。

5 结语

在光伏发电系统的设计与建设中，通过相应软件对项目进行建模可以快速、直观地让设计者直观地看到一个项目的情况，从而对项目的整体状况有直观的了解，进而决定如何对光伏阵列的整体优化。该套设计流程简洁、效率，在通过 PVsyst 完成设计条件的模拟后，利用 sketchUp 快速完成相应地形与光伏阵列间距的设置，进而有效提高了光伏发电系统的设计流程，将光伏设计流程缩短至数小时以内。通过模型的直观性，可清晰地对光伏电站整体布局产生了解，进而增强项目设计的可靠性与应对项目实际建设中的调整。

参考文献

[1] 王莉娟,甄妮.“十四五”可再生能源发展趋势分析：深化市场改革，力促存储消纳[J].能源,2022(07):21-24.

[2] 《太阳能光伏发电系统设计与应用实例》[J].电源技术,2019,43(03):468.

[3] 高立刚.大型并网光伏电站集中式与组串式逆变器整体解决方案分析[J].太阳能,2016(02):14-21.

[4] 林皓,孙晓寅,陈昊旻.局部阴影遮挡下大尺寸光伏组件的输出特性研究[J].太阳能,2023(03):38-45.

[5] 国家住房和城乡建设部，国家质量监督局：GB50797—2012 光伏发电站设计规范[S].北京：中国计划出版社，2012.

[6] 王宗林,樊亚东,王建国等.倾角与方位角对张北地区光伏发电特性的影响[J].太阳能学报,2022,43(10):73-79.

[7] 杨金焕.固定式光伏方阵最佳倾角的分析[J].太阳能学报,1992(01):86-92.

[8] 唐亚杰,袁龙威,支少锋.坡地光伏电站光伏方阵间距设计[J].江苏电机工程,2015,34(03):58-60.

[9] 李宁峰,于国才.屋顶太阳能光伏发电系统的设计[J].江苏电机工程,2012,31(03):43-45.DOI:10.19464/j.cnki.cn32-1541/tm.2012.03.014.