

坡地光伏电站光伏方阵间距设计

唐亚杰¹, 袁龙威², 支少锋¹

(1.羲和太阳能电力有限公司, 江苏 南京 210012; 2.江苏省电力设计院, 江苏 南京 211102)

摘要:研究了在坡地上建设光伏电站时光伏阵列的布置方法。根据场地的具体坡度、朝向等进行光伏阵列间距的优化设计。利用数学工具, 分析推导不同朝向的坡面上固定式光伏阵列间距的计算公式, 并利用三维软件, 通过案例进行模拟分析, 验证计算公式的正确性。

关键词:坡地; 光伏阵列; 朝向; 间距

中图分类号: TM615

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2015)03-0058-03

随着能源需求的日益增加, 气候环境要求的不断提高, 太阳能作为一种清洁的可再生能源, 在缓解能源紧缺、环境污染等问题上发挥越来越重要的作用, 逐渐得到世界各国的重视。利用太阳能的一种重要方式就是光伏发电, 即通过一系列电气设备将太阳能转换为稳定的电能输送到电网或用户。目前我国已制定了相关的法律和政策, 旨在促进光伏产业的发展, 鼓励支持光伏电站的开发与建设。随着技术的不断进步、光伏发电成本的逐渐下降, 利用闲置山地、丘陵等资源开发建设光伏电站同样具有广阔的前景。

在山地、丘陵等复杂地形上进行光伏电站建设时, 因其地形多变、坡面较多, 若全部进行土地平整, 平整难度及土方量均较大, 将增加工程造价并对原有地形地貌造成破坏。最佳方案是因地制宜、简单处理、依地势而建, 利用不同朝向的坡面安装光伏组件。在施工安装过程中, 若光伏阵列间距偏小, 则会导致前排组件与后排组件之间产生阴影遮挡, 根据光伏组件的特性, 组件被遮挡后性能将产生明显变化甚至损坏, 并导致各自所在组串产生电压及电流差异, 增加光伏阵列不匹配度, 降低阵列发电量, 从而影响到整个光伏系统的发电效率及运营安全^[1]; 若间距偏大, 则会造成光伏阵列占地面积增加, 降低场地使用率或使装机容量减小, 同样影响到光伏电站的经济效益。为研究如何在复杂地形上合理地布置光伏阵列, 文中通过三维建模方式, 分析推导不同朝向的坡面上固定式光伏阵列间距的理论计算公式, 并结合实际案例进行应用分析。

1 组件安装倾角设计

光伏组件安装倾角的设计是光伏阵列布置首先需要确定的问题, 不仅关系到光伏阵列的发电量, 也直接影响到光伏阵列间距的设计。在并网光伏发电系统中, 当光伏组件以最佳倾角安装时, 该区域组件表

面全年所接收的太阳辐射量将达到最大值, 光伏阵列的输出电量即达到最大值。但在光伏电站实际建设过程中, 需要综合考虑影响项目投资效益的各种因素。根据项目整体经济评价, 确定一个合理的组件安装倾角。

选定光伏电站的站址后, 应选择站址所在地附近有太阳辐射长期观测记录(10 a 以上)的气象站作为参考气象站^[2], 利用其太阳辐射观测数据进行分析处理, 得到工程代表年数据, 以此作为安装倾角设计的基础数据。若站址所在地附近没有符合上述要求的气象站, 可选择站址所在地周边较远的多个(2 个及以上)具有太阳辐射长期观测记录的气象站作为参考气象站, 同时, 借助公共气象数据库(包括卫星观测数据)或商业气象(辐射)软件进行对比分析, 目前较为通用的软件有 RETScreen、PVsyst、Meteonorm 等。

2 水平场地光伏阵列间距计算

以北半球为例, 光伏阵列倾角确定后, 光伏阵列间距(默认组件正南朝向安装)一般的确定原则是: 冬至日(一年当中物体在太阳下阴影长度最长的一天)上午 9:00 到下午 3:00(此时间为太阳时间), 后排组件不被前排组件的阴影遮挡^[2]。

利用 AutoCAD 软件绘制水平场地光伏阵列间距计算模型, 如图 1 所示。

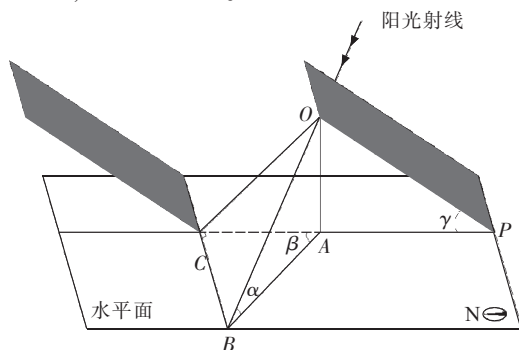


图1 水平场地上光伏阵列间距计算模型

图中: α 为太阳高度角; β 为太阳方位角; γ 为组件安装倾角(组件表面与水平面之间的夹角); 线段 AP 为光

伏组件长边 OP (默认长度为 1) 在水平面上的投影; 线段 AB 为阳光射线 OB 在水平面上的投影。太阳高度角及方位角计算公式如下^[3]:

$$\sin \alpha = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (1)$$

$$\sin \beta = \cos \delta \sin \omega / \cos \alpha \quad (2)$$

式中: 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 (上午 9 点时角为 -45°)。由图 1 所示几何关系可知:

$$OA = l \sin \gamma \quad (3)$$

$$PA = l \cos \gamma \quad (4)$$

$$AB = OA \cot \alpha \quad (5)$$

$$AC = AB \cos \beta \quad (6)$$

综上计算可得水平面上光伏阵列间距 (含组件投影) 为:

$$d_0 = PC = l (\cos \gamma + \sin \gamma \cot \alpha \cos \beta) \quad (7)$$

3 正南向坡面光伏阵列间距计算

利用 AutoCAD 软件绘制南向坡面光伏阵列间距计算模型, 如图 2 所示。

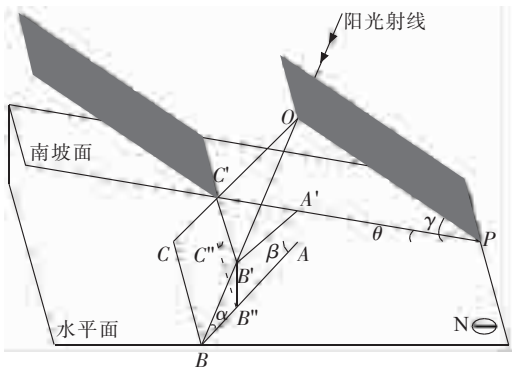


图 2 南向坡面上光伏阵列间距计算模型

图中: θ 为坡面坡度; γ 为组件安装倾角; $\triangle ABC$ 和 $\triangle A'B'C'$ 分别位于水平面和坡面上; $\triangle A'B''C''$ 为 $\triangle A'B'C'$ 在水平面上的投影。由图 2 所示几何关系可知:

$$AB = OA \cot \alpha = l \sin \gamma \cot \alpha \quad (8)$$

$$AC'' = AB'' \cos \beta \quad (9)$$

$$C'C'' = B'B'' = (AB - AB'') \tan \alpha \quad (10)$$

$$PC'' = PA + AC'' = C'C'' \cot \theta \quad (11)$$

综上计算可得南向坡面上光伏阵列水平间距为:

$$d_s = PC'' = l (\sin \gamma \cos \beta + \cos \gamma \tan \alpha) / (\tan \alpha + \cos \beta \tan \theta) \quad (12)$$

可以看出, 当组件长度、安装倾角、太阳高度角及方位角等因素不变时, 组件前后间距由坡面坡度决定, 即坡度越大, 间距越小, 反之亦然。

为合理利用场地空间, 提高利用率, 通常会利用一些建设条件较好的非正南向坡面安装光伏组件, 例如较为平缓的北坡、东坡和西坡等。式 (12) 同样适用于北向坡面, 仅需将南向坡面的坡度取值为正, 北向坡面的坡度取值为负即可。

4 东西向坡面光伏阵列间距计算

根据光伏组件及固定支架的特点, 组件在东西向坡面上通常采取顺坡安装方式, 朝向正南, 此时组件安装倾角为组件倾斜面与坡面之间的夹角。以东向坡面为例, 利用 AutoCAD 软件绘制光伏阵列间距计算模型, 如图 3 所示。

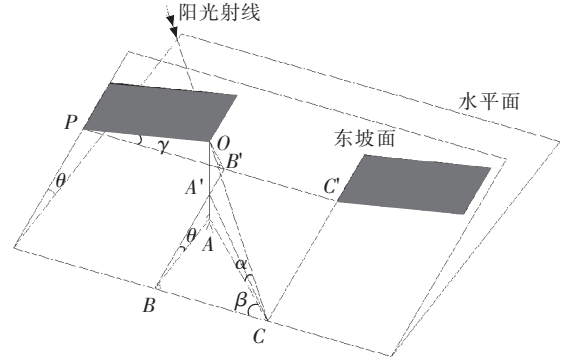


图 3 东向坡面上光伏阵列间距计算模型

图中: θ 为东向坡面坡度; γ 为组件安装倾角; $\triangle ABC$ 和 $\triangle A'B'C'$ 分别位于水平面和坡面上; $OA \perp$ 水平面, $OB' \perp$ 坡面。由图 3 所示几何关系可知:

$$OB' = l \sin \gamma \quad (13)$$

$$PB' = l \cos \gamma \quad (14)$$

$$\angle A'OB' = \angle A'BA = \theta \quad (15)$$

$$OA' = OB' / \cos \theta \quad (16)$$

$$AA' = AB \tan \theta = AC \sin \beta \tan \theta \quad (17)$$

$$OA = OA' + AA' = AC \tan \alpha \quad (18)$$

$$B'C' = BC = AC \cos \beta \quad (19)$$

综上计算可得东向坡面上光伏阵列水平间距为:

$$d_e = PC' = l [\cos \gamma + \sin \gamma \cos \beta / (\tan \alpha - \tan \theta \sin \beta) / \cos \theta] \quad (20)$$

该式同样适用于西向坡面。可以看出, 其他因素不变时, 坡度越大, 组件前后间距越大, 因此在进行光伏电站选址时, 应尽量选择坡度较缓的东西向坡面。

5 计算公式应用案例

某 10 MW 光伏电站利用该地一未利用山地进行建设, 场地地形多变, 多为斜坡面, 整体地势较缓, 局部起伏较大。图 4、图 5 所示分别为场区两处正南向及东向坡面地形图, 现按照上文所述在该坡面上进行光伏组件间距设计。

光伏组件竖向双排安装在支架上, 斜边长度为 3320 mm, 倾角为 30° , 冬至日下午 3 点时, 组件投影最长。利用式 (1—3) 计算可得, 此时太阳高度角为 21.27° , 方位角为 44.12° , 水平场地上光伏阵列间距为 5936 mm。

在正南向坡面上, 根据地形图可测算坡度约为

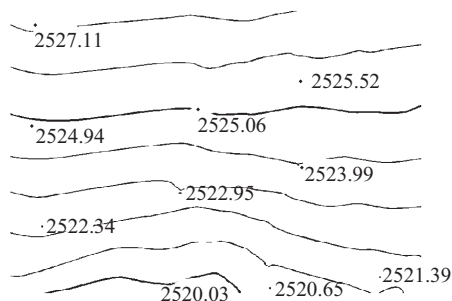


图 4 南向坡面地形

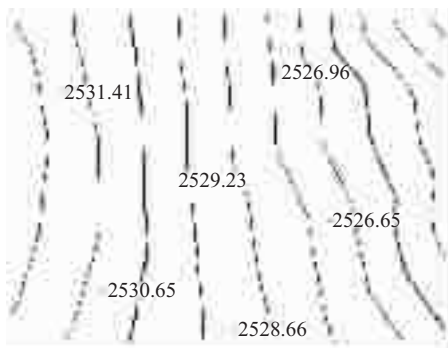


图 5 东向坡面地形

9°。将各数值代入式(12)即可算出正南向坡面光伏阵列水平间距为 4594 mm。从地形图可看出该区域坡面坡度并非完全一致,在未进行坡面平整处理的情况下,实际坡面的平整度不均匀会给施工带来误差,考虑施工误差影响,前后间距取值为 4700 mm。利用 Ecotect 软件按上述条件建模,模拟分析此时坡面上光伏组件阴影范围,如图 6 所示,此间距满足组件前后不产生遮挡。因此间距设计合理,可在一定程度上节省场地面积。



图 6 南向坡面上光伏组件阴影

同理,在东向坡面上,可测算坡度约为 10°,代入式(20)计算得出东向坡面光伏阵列水平间距为 7414

mm,可取值为 7500 mm。利用 Ecotect 软件按上述条件建模,如图 7 所示,此间距满足组件前后不产生遮挡。因此间距设计合理。



图 7 东向坡面上光伏组件阴影

由江苏省电力设计院承接工程设计的河北承德 20 MW 光伏电站已于去年正式投入运行,所有光伏方阵全部安装于该地区未利用山坡上,应用上文所推导公式,合理设计光伏方阵间距,充分利用坡度、朝向均适宜的坡面安装组件,节省了较多的土地资源,且发电效益良好,是河北地区较为典型的山地光伏电站工程。

6 结束语

光伏方阵的间距设计是坡地光伏电站设计的一项重要内容,结合坡地光伏电站的特点,推导出不同朝向坡面上光伏方阵间距的计算公式,为坡地光伏电站光伏方阵间距的合理选择提供了解决方案。

参考文献:

- [1] 郭家宝,汪毅.光伏电站设计关键技术[M].北京:中国电力出版社,2014:34.
- [2] 国家住房和城乡建设部,国家质量监督检验检疫总局. GB50797—2012 光伏发电站设计规范[S].北京:中国计划出版社,2012.
- [3] 沈辉,曾祖勤.太阳能光伏发电技术[M].北京:化学工业出版社,2005:7.

作者简介:

唐亚杰(1989),男,江苏沭阳人,助理工程师,从事光伏发电系统设计工作;

袁龙威(1988),男,江苏南通人,工程师,从事电力工程设计工作;

支少锋(1985),男,江西抚州人,工程师,从事新能源工程设计及设计管理工作。

Design of PV Array Spacing on Slope Land

TANG Yajie¹, YUAN Longwei², ZHI Shaofeng¹

(1.Share Power Company Limited., Nanjing 210012, China;

2.Jiangsu Electric Power Design Institute, Nanjing 211102, China)

Abstract: In this paper, the layout method of PV array in the PV power station constructed on slope land is studied. Based on the concrete gradient and orientation of the site, an optimized design of PV array spacing is proposed. Using mathematical tools the calculation formula of fixed tilted PV array spacing on different orientation slope is established. The simulations of an actual case in a 3D software validate the proposed calculation formula.

Key words: slope land; PV array; orientation; spacing