

山地光伏项目的组件阴影遮挡研究

中民新能投资集团有限公司 ■ 董伯先*
维斯塔斯风力技术(中国)有限公司 ■ 韩雅娟

摘要: 提出了一种可用于准确计算山地光伏项目阴影遮挡的计算方法,该方法可有效提高山地光伏项目在开发阶段选址的准确性,提高土地的可利用率,以及提高设计阶段阴影遮挡计算的准确性和总布置图的合理性;同时还提出了可用于评估占地的估算方法,可有效提高开发阶段项目占地大小的估算精度。

关键词: 山地光伏项目;阴影遮挡;项目选址;优化

0 引言

近几年来,国内已全面开发和建设了大量山地光伏项目,与戈壁滩地区的光伏项目不同,山地项目具有地形和地貌复杂多变等特点,对施工和项目管理提出了较大的挑战。

在山地光伏项目的开发过程中,多次出现在可行性研究阶段圈定的项目占地范围却在施工图设计阶段发现不能有效利用或划定面积不够的情况。出现这种情况的原因,一方面是因为可行性研究阶段对土地属性了解深度不够;而另一方面更为重要的原因则是因为项目选址不合理,如多数圈定的土地属于东北向、东南向和西南向或北坡等位置或山坡倾角过大;此外,开发阶段对项目占地面积估计不足也是造成这种情况很重要的原因。

本文针对目前山地光伏项目在开发、设计阶段出现的问题,提出相应的解决方案。

1 山地光伏项目组件阴影遮挡的推导

根据 GB 50797-2012《光伏电站设计规范》^[1]的要求,跟踪式或固定式的光伏方阵各排、列应保证全年 9:00~15:00(当地真太阳时),即冬至日当天 9:00~15:00 时段内前、后、左、右互不遮挡。

根据《地面气象观测规范》^[2],赤纬角和高度角、方位角等的计算公式为:

$$D_E = 0.3723 + 23.2567 \sin Q + 0.1149 \sin 2Q - 0.7580 \cos Q + 0.3656 \cos 2Q + 0.0201 \cos 3Q \quad (1)$$

$$\sin H_A = \sin \Phi \sin D_E + \cos D_E \cos T_0 \quad (2)$$

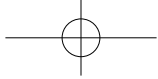
$$\sin T = \frac{\cos D_E \sin T_0}{\sin H_A} \quad (3)$$

式中, D_E 为太阳赤纬角; Q 为时间参数,与平、闰年有关; H_A 为太阳高度角; Φ 为当地纬度; T_0 为太阳时角; T 为太阳方位角。

依据式(1)~式(3),可推得任一时刻平地光伏支架影长 a 和前后方向上的影长 b 分别为:

收稿日期: 2017-03-09

通信作者: 董伯先(1983—),男,硕士研究生、工程师,主要从事光伏系统设计方面的研究。dongbx01@163.com



$$a = \frac{h}{\tan H_A} \quad (4)$$

$$b = a \cos T \quad (5)$$

式中, a 为某一时刻太阳方位角方向上的组件的影长; b 为某一时刻太阳在前后(南北)方向上的组件的影长; h 为组件的竖直高度; θ 为组件倾角。

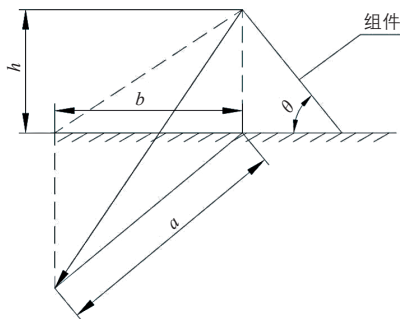


图 1 组件的平地阴影遮挡示意图

在山地时, 组件产生的阴影存在前后的高度差, 此时的阴影遮挡推导如图 2 所示。

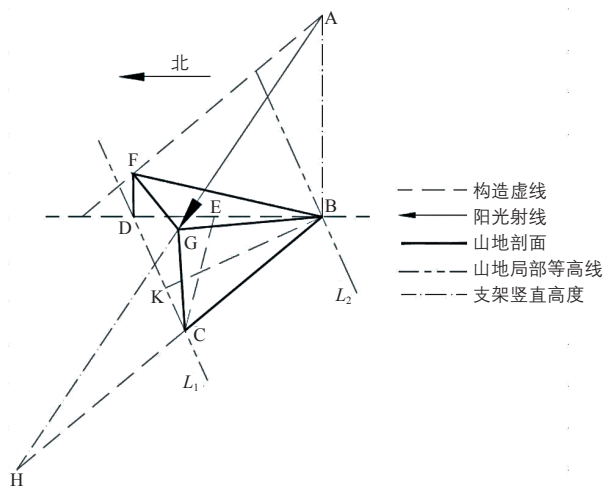


图 2 组件的山地阴影遮挡示意图

在图 2 中, DEBCH 面为水平面, $CE \perp DB$, $BK \perp DC$, $GC \perp CB$, 可得:

- 1) CE 即为某一时刻太阳在前后(南北)方向上的组件的影长;
- 2) BK 即为 L_1 与 L_2 之间的等高线间距;
- 3) GC 垂直于水平面, 即为 L_1 与 L_2 之间的等高线高程差。

由图 2 可知:

$$\angle DBC = 360^\circ - \text{太阳方位角 } T \quad (6)$$

$$\angle AHB = H_A \quad (7)$$

图 2 中, $\angle CDB$ 为山坡等高线与南北向夹角。设 $\angle CDB = \gamma$, $\angle DBC = \delta$, $BC = p$, $BH = q$, $CH = r$, $DC = s$, $BK = t$, $CE = u$, $DB = w$, $BE = g$, $GC = m$, $BK = k$, 山坡倾角为 β , 则:

$$\tan \beta = \frac{m}{k} \quad (8)$$

由图 2 及式 (4)、式 (8) 可得:

$$p = q - r = \frac{h - m}{\tan \beta} \quad (9)$$

由正弦定理可知:

$$\frac{s}{\sin \delta} = \frac{p}{\sin \gamma} \quad (10)$$

由三角形面积相等可得:

$$t \cdot s = u \cdot w \quad (11)$$

$$g = p \cdot \cos \delta \quad (12)$$

由此可得:

$$t = \frac{h \cot \beta}{\cot \beta + \cot H_A \sin(180^\circ - \gamma - \delta)} \cot H_A \cos \delta \quad (13)$$

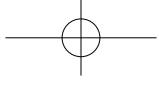
可见, 阵列前后间距与阵列的长度和左右阵列之间的间距无关。

2 山地光伏布置的优化

2.1 不同纬度、山坡方位、山坡倾角下的阴影分析

根据公式 (13), 通过分析当地冬至日 9:00 ~ 15:00 时段不同纬度、不同山坡方位、不同山坡倾角下组件的阴影遮挡最大值, 得出图 3、图 4 的曲线, 并做如下定义:

- 1) 组件长度为 1650 mm, 纵二排布;
- 2) 为便于比较, 组件倾角统一定义为 22° ;
- 3) 山坡倾角小于 0° , 即为北向山坡(含正东~东北~正北~西北~正西向的山坡);
- 4) 对于北向山坡方位 0° 为正东, 90° 为正北, 180° 为正西;
- 5) 山坡倾角大于 0° , 即为南向山坡(含正东~东南~正南~西南~正西向的山坡);
- 6) 对于南向山坡方位 0° 为正东, 90° 为正南, 180° 为正西;
- 7) 考虑到项目现场的实际情况, 计算曲线时



取北向山坡的倾角 $\geq -20^\circ$, 南面坡的倾角 $\leq 30^\circ$;

8) 曲线中, 纵坐标为阵列的前后影长, 横坐标为山坡的方位;

9) 曲线中, 对影长 $>20\text{ m}$ 的不予显示。

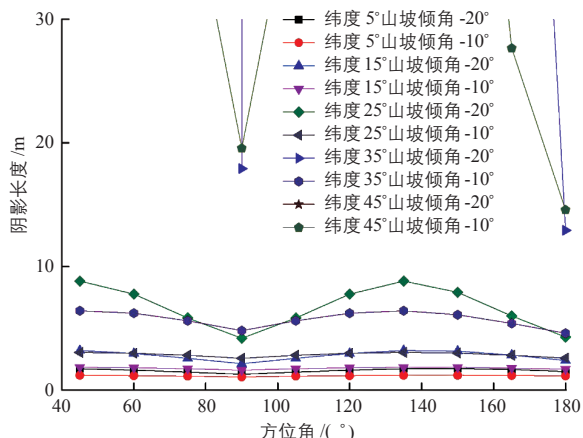


图3 不同纬度、不同倾角下偏北向山坡的阴影遮挡

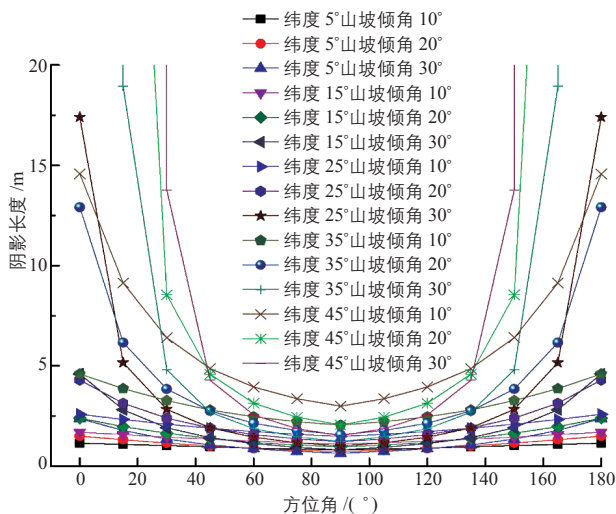


图4 不同纬度、不同倾角下偏南向山坡的阴影遮挡

从图3可以看出, 在不同山坡方位下, 不同纬度的阴影长度均呈现出“M”状, 最高点均位于方位 45° 和 135° (二者是对称关系), 即西北向和东北向两个方向; 阴影长度的最小值出现在方位 90° 时, 即正北方。此外, 纬度越高, 对山坡的方位越敏感, 当纬度 $\leq 15^\circ$ 时, 不同方位的山坡影长差别较小; 纬度 $\geq 35^\circ$ 时, 山坡的全部或局部方位出现9:00或15:00阳光照射不到的情况。

从图4可以看出, 在不同山坡方位下, 不同纬度的阴影长度均呈现出“U”状, 最低点均位于方位 90° , 即正南向; 偏离 90° 的值越大, 阴影

长度越大。与偏北向山坡的阴影曲线相似, 纬度越高, 对山坡的方位越敏感, 当纬度 $\leq 15^\circ$ 时, 不同方位的山坡影长差别较小, 但差值要高于偏北向山坡; 当纬度 $\geq 35^\circ$ 时, 山坡的局部方位出现9:00或15:00阳光照射不到的情况。

2.2 项目开发选址阶段的注意事项

为充分合理利用土地、减少项目占地、节省投资成本, 在开发选址阶段应注意以下几点:

1) 在纬度 $\leq 15^\circ$ 时, 南向山坡和北向山坡的阴影遮挡偏差不大, 在土地性质不受限制的情况下, 可根据现场的情况自由选址。

2) 在纬度 $\leq 25^\circ$ 时, 优先选择偏南向山坡, 并尽量避免坡度大的正东向山坡; 选用北向山坡时优先选择坡度较小的山坡, 并尽量避免东北向和西北向山坡。

3) 在纬度 $\geq 25^\circ$ 时:

①对于偏南向山坡: 当山坡的倾角 $\leq 10^\circ$ 时, 各方位的山坡阴影遮挡相差不大(纬度接近 45° 时正东和正西向除外), 可自由选址; 当山坡的倾角 $>10^\circ$, 尤其是倾角较大时, 应尽量避免正东到东偏南 15° 及正西到西偏南 15° 以内的区域;

②对于偏北向山坡: 应尽量选择山坡倾角 $\leq 10^\circ$ 的区域; 对于纬度较高($\geq 35^\circ$)的地区应尽量避免选择北向坡; 当不得不选择北向坡时, 应避开东北向和西北向的山坡。

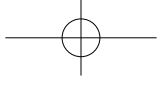
4) 在开发阶段估算项目占地大小时, 可首先对整个场区区域进行划分, 然后利用式(13)计算占地; 或将场区内的山坡坡度加权平均, 并通过式(13)估算占地大小, 然后将计算结果除以0.5(场地利用系数)。经多个项目对比, 该计算结果的准确率与施工图的占地大小偏差在5%左右。

2.3 项目深化设计阶段的注意事项

在项目深化设计阶段, 应对项目的占地区域进行详细的细分, 避免不必要的土地浪费。

3 结论

针对山地光伏项目, 本文提出了一种可用于
(转第9页)



掌握在国外多晶硅生产企业手中,技术封锁极其严重,国际先进大型多晶硅企业多数具备规模、能源、技术、资源综合利用等多方面优势,平均生产成本控制在 30 美元/kg 左右;而彼时我国多晶硅行业刚进入起步阶段,生产成本高达 70 美元/kg。多晶硅生产成本因各公司情况不同,导致差异巨大,在光伏需求快速增加的大背景下,国内多晶硅企业加紧复产、扩产,多晶硅价格呈现总体下滑走势。多晶硅生产成本不仅关乎企业的市场份额,更直接决定其生死存亡。国内企业经历漫长的蛰伏,通过技术改造、降本增效,到 2017 年,其平均生产成本已降至 11.5 美元/kg,先进企业生产成本甚至达到 10 美元/kg 以下,在全球同类企业中保持绝对领先地位。

虽然目前多晶硅生产中采用更为先进的冷氢化工艺和大还原炉,在能耗、物耗方面的技术指标已经趋近极限,这两方面继续减少成本的潜力已经很小,但由于各企业的电价及投资水平不同,各企业的电耗成本和折旧成本仍相差较大。例如新疆地区,电价仅为 0.2 元/t,加之投资较晚,大部分采用国产设备,因此折旧成本也较低,并且随着技术的不断创新完善,成本还有继续降低的潜力。

4 多晶硅行业功勋卓著

4.1 保障产业链原料供应

从整个全球产业链原料供应保障角度来看,

(接第 32 页)

准确计算山地光伏项目阴影遮挡的计算方法,以及可用于评估占地的估算方法。在项目开发阶段应注意:

- 1) 开发阶段应根据不同纬度、不同山坡倾角,以及不同山坡方位进行有针对性的选址;
- 2) 开发阶段可根据式 (13) 精确计算项目的占地;

2007 年是我国多晶硅行业元年,当年产量为 1130 t,仅可提供国内总需求量的 10.9%;经过 10 余年的发展,国内多晶硅产量快速增加至 24 万 t,年均增幅为 70.9%,可保障国内 60.2% 的需求量。

目前,我国多晶硅产量和质量可以保障国内 50 GW 的光伏安装量的原料供应,已占到目前全球实际安装量的 52.6%;待国内硅片金刚线切割技术全部改造完成之后,多晶硅扩张后的产能可以满足国内 70~80 GW 的需求量,原料保障力度日渐增强。

4.2 推动下游光伏应用

从全产业链角度来看,10 年来下游光伏产业的快速发展,与多晶硅环节成本和价格的大幅下滑密不可分。2007~2017 年,多晶硅价格从最高点的 475 美元/kg 降至最低的 11 美元/kg,最大降幅高达 97.7%,多晶硅占光伏组件的成本由 30% 快速下滑至 5% 左右。硅料成本的大幅下降,无疑刺激了国内消费,推动了下游光伏应用的发展。

以上这些数据都证明了:国内多晶硅企业通过技术改造降低成本,优化产品质量,产业的竞争力不断提升,为国内光伏应用奠定了扎实的基础;国内多晶硅行业这 10 余载的飞速发展对该行业甚至整个多晶硅光伏产业链的卓著功勋无可替代、不可磨灭。国内多晶硅行业在历尽千帆过后,仍无所畏惧、砥砺前行! **太阳能**

- 3) 深化设计阶段,应对项目的占地区域进行详细细分。

参考文献

- [1] GB 50797-2012, 光伏发电站设计规范 [S].
- [2] 中国气象局. 地面气象观测规范 [M]. 北京: 气象出版社, 2004. **太阳能**