



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109726459 B

(45) 授权公告日 2023. 05. 02

(21) 申请号 201811569149.6

(22) 申请日 2018.12.21

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109726459 A

(43) 申请公布日 2019.05.07

(73) 专利权人 江苏辉伦太阳能科技有限公司  
地址 210061 江苏省南京市浦口高新开发  
区星火路1号

(72) 发明人 朱雅文 杜欢 吴兢 赵兴国

(74) 专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限  
公司 32224  
专利代理师 董建林

(51) Int. Cl.  
G06F 30/20 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 104281741 A, 2015.01.14

CN 104281741 A, 2015.01.14

CN 106371466 A, 2017.02.01

CN 206004586 U, 2017.03.08

CN 106502274 A, 2017.03.15

CN 106372346 A, 2017.02.01

审查员 王文聪

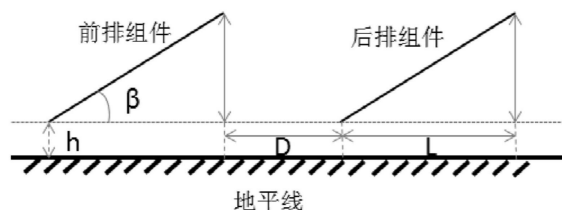
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种双面光伏组件的间距优化方法

(57) 摘要

本发明公开了一种双面光伏组件的间距优化方法,包括初算双面光伏组件最佳倾角 $\beta$ 和前后排安装间距、计算在不同前后排安装间距下双面光伏组件的反面的辐射量增益量 $\eta$ 、计算双面光伏组件在不同前后排安装间距下的正反面的辐射量总和 $H_{total}$ 和辐射量总和 $H_{total}$ 下的电站总发电量 $E_{(D)}$ 、计算双面光伏组件在不同前后排安装间距下静态单位电能成本 $R$ 和双面光伏组件的最佳前后排安装间距几个步骤;是一种充分利用了双面组件的背面发电特性,计算方法简单,能够使得电站的静态单位电能成本最低,具有良好的经济效应和推广前景的优化方法。



1. 一种双面光伏组件的间距优化方法,其特征在于,具体包括以下步骤:

步骤S1、按照双面光伏组件仅正面发电的情况,初算最佳的双面光伏组件倾角 $\beta$ 和前后排安装间距;

步骤S2、调节所述步骤S1中的双面光伏组件的初算的前后排安装间距,并计算在不同前后排安装间距下双面光伏组件的反面的辐射量增益量 $\eta$ ;

步骤S3、完成步骤S2后,再计算双面光伏组件在不同前后排安装间距下的正反面的辐射量总和 $H_{total}$ ,并计算在所述辐射量总和 $H_{total}$ 下的电站总发电量 $E_{(D)}$ ;

步骤S4、完成步骤S3后,再计算双面光伏组件在不同前后排安装间距下静态单位电能成本 $R$ ,记录所述静态单位电能成本 $R$ 的变化情况,其中,最低静态单位电能成本 $R_{min}$ 对应的双面光伏组件的前后排安装间距即为双面光伏组件的最佳前后排安装间距;

所述步骤S2中,双面光伏组件在不同间距下组件背面的辐射量增益量 $\eta$ 的简化计算公式如下:

$$\eta = \rho \left[ 1.037 \times \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{D+L}} \right) \times \left( 1 - e^{-\frac{8.691 \times h}{D+L}} \right) + 0.125 \times \left( 1 - \frac{1}{(D+L)^4} \right) \right]$$

其中,

$h$ 为双面光伏组件的最低点离地面的高度;

$L$ 为双面光伏组件的宽度在地面的投影;

$D$ 为双面光伏组件前后排安装间距;

$\rho$ 是地面的反射率;

所述步骤S3中,双面光伏组件在不同前后排安装间距下的正反面的辐射量总和的计算公式如下:

$$H_{total} = (1+\eta) H_T;$$

所述辐射量总和 $H_{total}$ 下的电站总发电量 $E_{(D)}$ 的计算公式如下:

$$E_{(D)} = \frac{H_{total}}{H_{STC}} \times P \times PR_0 \times (1 - \eta_s) \times (1 - \eta_c)$$

其中,

$H_{STC}$ 是标准测试条件下的辐照度,单位为 $1000W/m^2$ ;

$P$ 是双面光伏组件的功率;

$PR_0$ 为电站在初算的前后排安装间距下的系统效率值;

$\eta_s$ 是由于增大前后排安装间距之后的前后排阴影遮挡变化;

$\eta_c$ 是由于增大前后排安装间距后的线损变化;

$H_T$ 是太阳总辐射量最大值。

2. 根据权利要求1所述的一种双面光伏组件的间距优化方法,其特征在于,所述步骤S1中,初算最佳的双面光伏组件倾角 $\beta$ 时,以选取双面光伏组件的正面获取太阳总辐射量最大值 $H_T$ 为基准,利用太阳能仿真软件PVsyst进行校核计算,所述双面光伏组件的正面获取太阳总辐射量最大值 $H_T$ 的计算公式如下:

$$H_T = \left[ 1 - \left( \frac{H_d}{H} \right) \right] R_b H + (H_d) \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho H \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right)$$

其中，

H是当地水平太阳总辐射量；

$H_d$ 当地太阳散射辐射量；

$R_b$ 是太阳直接辐射量与水平总辐射量的比值；

$\beta$ 是双面光伏组件倾角；

$\rho$ 是地面的反射率；

其中 $R_b$ 的计算公式如下：

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega + \omega \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega + \omega \sin \varphi \sin \delta}$$

其中， $\varphi$ 是当地的纬度， $\omega$ 是太阳时角， $\delta$ 是太阳高度角。

3. 根据权利要求1所述的一种双面光伏组件的间距优化方法，其特征在于，所述步骤S1中，初算的前后排安装间距是指冬至日真太阳时上午9点至下午3点的光伏方阵前后排之间无阴影遮挡时的间距。

4. 根据权利要求1所述的一种双面光伏组件的间距优化方法，其特征在于，以所述初算前后排安装间距为基础，所述不同前后排安装间距呈等间距增大，增大的步长为0.1m。

5. 根据权利要求1所述的一种双面光伏组件的间距优化方法，其特征在于，

所述步骤S4中，静态单位电能成本R的计算公式如下：

$$R = \frac{C_0 + C_{(D)}}{E_{(D)}}$$

其中，

$C_0$ 为初算的前后排安装间距下的电站总成本；

$C_{(D)}$ 为增大前后排安装间距后由于土地租金和线缆的增加而导致的成本增加量。

## 一种双面光伏组件的间距优化方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于光伏电站测算领域,具体涉及一种双面光伏组件的间距优化方法。

### 背景技术

[0002] 常规光伏组件只能正面接收太阳光线来发电,而双面光伏组件由于特殊的电池结构和透明的背板材料,使其除了正面发电外,背面也能够接收来自环境的散射光和反射光进行发电,因此双面光伏组件的比常规光伏组件能发出更多的电能,已然成为新一代主流技术方案。

[0003] PVsyst软件是目前光伏系统设计领域比较常用的软件之一,是一款光伏系统设计辅助软件,其中集成了大量的系统计算方法和公式,比如组件间距计算(包括固定支架组件和跟踪支架组件)、阴影模拟等,可以用来对光伏系统进行设计和发电量模拟计算,能够完整地光伏发电系统进行研究、设计和数据分析。

[0004] 现有技术在计算双面组件的安装间距时,一般是利用PVsyst软件进行辅助计算,依据的计算原则是《光伏电站设计规范》中关于光伏方阵布置要求,即保证冬至日真太阳时9:00~15:00组件前后排之间无阴影遮挡。此种方法计算出的前后排间距是常规算法,并没有进行优化计算,没有考虑到增大间距后虽然增加了部分成本,但是在一定间距范围内组件背面获得的辐射量会增加,使得组件的总体发电量增加,所以需要找到一个获得最大静态单位电能成本的间距计算方法非常有必要。

### 发明内容

[0005] 为解决上述现有技术中存在的技术问题,本发明提供了一种双面光伏组件的间距优化方法。

[0006] 本发明解决其技术问题是通过以下技术方案实现的:

[0007] 一种双面光伏组件的间距优化方法,具体包括以下步骤:

[0008] 步骤S1、按照双面光伏组件仅正面发电的情况,初算双面光伏组件最佳倾角 $\beta$ 和前后排安装间距;

[0009] 步骤S2、调节所述步骤S1中的双面光伏组件的初算的前后排安装间距,并计算在不同前后排安装间距下双面光伏组件的反面的辐射量增益量 $\eta$ ;

[0010] 步骤S3、完成步骤S2后,再计算双面光伏组件在不同前后排安装间距下的正反面的辐射量总和 $H_{total}$ ,并计算在所述辐射量总和 $H_{total}$ 下的电站总发电量 $E_{(D)}$ ;

[0011] 步骤S4、完成步骤S3后,再计算双面光伏组件在不同前后排安装间距下静态单位电能成本 $R$ ,记录所述静态单位电能成本 $R$ 的变化情况,其中,最低静态单位电能成本 $R_{min}$ 对应的双面光伏组件的前后排安装间距即为双面光伏组件的最佳前后排安装间距。

[0012] 作为进一步改进的技术方案,所述步骤S1中,初算组件最佳倾角 $\beta$ 时,以选取双面光伏组件的正面获取太阳总辐射量最大值 $H_T$ 为基准,利用太阳能仿真软件PVsyst进行校核计算,所述双面光伏组件的正面获取太阳总辐射量最大值 $H_T$ 的计算公式如下:

$$[0013] \quad H_T = \left[ 1 - \left( \frac{H_d}{H} \right) \right] R_b H + (H_d) \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho H \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right)$$

[0014] 其中,

[0015] H是当地水平太阳总辐射量;

[0016]  $H_d$ 当地太阳散射辐射量;

[0017]  $R_b$ 是太阳直接辐射量与水平总辐射量的比值;

[0018]  $\beta$ 是双面光伏组件的倾角;

[0019]  $\rho$ 是地面的反射率;

[0020] 其中 $R_b$ 的计算公式如下:

$$[0021] \quad R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega + \omega \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega + \omega \sin \varphi \sin \delta}$$

[0022] 其中, $\varphi$ 是当地的纬度, $\omega$ 是太阳时角, $\delta$ 是太阳高度角。

[0023] 作为进一步改进的技术方案,所述步骤S1中,初算的前后排安装间距是指冬至日真太阳时上午9点至下午3点的光伏方阵前后排之间无阴影遮挡时的间距。

[0024] 作为进一步改进的技术方案,以所述初算前后排安装间距为基础,所述不同前后排安装间距呈等间距增大,增大的步长为0.1m。

[0025] 作为进一步改进的技术方案,所述步骤S2中,双面光伏组件在不同间距下组件背面的辐射量增益量 $\eta$ 的简化计算公式如下:

$$[0026] \quad \eta = \rho \left[ 1.037 \times \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{D+L}} \right) \times \left( 1 - e^{-\frac{8.691 \times h}{D+L}} \right) + 0.125 \times \left( 1 - \frac{1}{(D+L)^4} \right) \right]$$

[0027] 其中,

[0028] h为双面光伏组件的最低点离地面的高度;

[0029] L为双面光伏组件的宽度在地面的投影;

[0030] D为双面光伏组件前后排安装间距。

[0031] 作为进一步改进的技术方案,所述步骤S3中,双面光伏组件在不同前后排安装间距下的正反面的辐射量总和的计算公式如下:

$$[0032] \quad H_{total} = (1+\eta) H_T。$$

[0033] 作为进一步改进的技术方案,所述步骤S3中,所述辐射量总和 $H_{total}$ 下的电站总发电量 $E_{(D)}$ 的计算公式如下:

$$[0034] \quad E_{(D)} = \frac{H_{total}}{H_{STC}} \times P \times PR_0 \times (1 - \eta_s) \times (1 - \eta_c)$$

[0035] 其中,

[0036]  $H_{STC}$ 是标准测试条件下的辐照度(1000W/m<sup>2</sup>);

[0037] P是双面光伏组件的功率;

[0038]  $PR_0$ 为电站在初算的前后排安装间距下的系统效率值;

[0039]  $\eta_s$ 是由于增大前后排安装间距之后的前后排阴影遮挡变化;

[0040]  $\eta_c$ 是由于增大前后排安装间距后的线损变化;

[0041] 作为进一步改进的技术方案,所述步骤S4中,静态单位电能成本R的计算公式如

下：

$$[0042] \quad R = \frac{C_0 + C_{(D)}}{E_{(D)}}$$

[0043] 其中，

[0044]  $C_0$ 为初算的前后排安装间距下的电站总成本；

[0045]  $C_{(D)}$ 为增大前后排安装间距后由于土地租金和线缆的增加而导致的成本增加量。

[0046] 与现有技术相比，本发明的有益效果为：

[0047] 本发明公开的一种双面光伏组件的间距优化方法，在现有的计算方法上，在一定的范围内进一步增加双面光伏组件前后排安装间距，使得双面光伏组件背面的辐射量增加，且正面的阴影损失降低，总体发电量增加，电站总成本会因为间距的增加而增加，而在发电量的增加和成本的增加之间达到一个平衡，即计算得到双面光伏组件的最佳前后排安装间距，使得单位电能成本最小化。

[0048] 本发明公开的一种双面光伏组件的间距优化方法的计算方法，充分利用了双面组件的背面发电特性，计算方法简单，能够切实使得电站的静态单位电能成本最低，具有良好的经济效应和推广前景。

## 附图说明

[0049] 图1是双面组件安装截面图。

## 具体实施方式

[0050] 下面通过具体实施例对本发明作进一步详述，以下实施例只是描述性的，不是限定性的，不能以此限定本发明的保护范围。

[0051] 实施例

[0052] 本实施例为通过对江苏某10MW地面电站的具体应用，而对本发明提出优化方法进行进一步的详述。

[0053] 如图1所示，一种双面光伏组件的间距优化方法，具体包括以下步骤：

[0054] 步骤S1、按照双面光伏组件仅正面发电的情况，初算双面光伏组件最佳倾角 $\beta$ 和前后排安装间距：初算组件最佳倾角 $\beta$ 时，以选取双面光伏组件的正面获取太阳总辐射量最大值 $H_T$ 为基准，利用太阳能仿真软件PVsyst进行校核计算，所述双面光伏组件的正面获取太阳总辐射量最大值 $H_T$ 的计算公式如下：

$$[0055] \quad H_T = \left[ 1 - \left( \frac{H_d}{H} \right) \right] R_b H + (H_d) \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho H \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right)$$

[0056] 其中，

[0057]  $H$ 是当地水平太阳总辐射量；

[0058]  $H_d$ 当地太阳散射辐射量；

[0059]  $R_b$ 是太阳直接辐射量与水平总辐射量的比值；

[0060]  $\beta$ 是双面光伏组件的倾角；

[0061]  $\rho$ 是地面的反射率；

[0062] 其中 $R_b$ 的计算公式如下：

$$[0063] \quad R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega + \omega \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega + \omega \sin \varphi \sin \delta}$$

[0064] 其中,  $\varphi$  是当地的纬度,  $\omega$  是太阳时角,  $\delta$  是太阳高度角。

[0065] 本实施例中,  $\rho$  为30%, 经计算得到初算组件最佳倾角  $\beta$  为27°。

[0066] 本实施例中, 初算的前后排安装间距是指冬至日真太阳时上午9点至下午3点的光伏方阵前后排之间无阴影遮挡时的间距, 双面光伏组件尺寸为1978mm(L) \* 992mm(W), 排布方式为三排横铺, 最终得到初算的双面光伏组件前后排间距为5.5m。

[0067] 步骤S2、调节所述步骤S1中的双面光伏组件的初算的前后排安装间距, 并计算在不同前后排安装间距下双面光伏组件的反面的辐射量增益量  $\eta$ :

[0068] 以初算前后排安装间距5.5m为基础, 不同前后排安装间距呈等间距增大, 增大的步长为0.1m。

[0069] 双面光伏组件在不同间距下组件背面的辐射量增益量  $\eta$  的简化计算公式如下:

$$[0070] \quad \eta = \rho \left[ 1.037 \times \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{D+L}} \right) \times \left( 1 - e^{-\frac{8.691 \times h}{D+L}} \right) + 0.125 \times \left( 1 - \frac{1}{(D+L)^4} \right) \right]$$

[0071] 其中,

[0072]  $h$  为双面光伏组件的最低点离地面的高度;

[0073]  $L$  为双面光伏组件的宽度在地面的投影;

[0074]  $D$  为双面光伏组件前后排安装间距。

[0075] 本实施例中,  $\rho$  为30%。

[0076] 步骤S3、完成步骤S2后, 再计算双面光伏组件在不同前后排安装间距下的正反面的辐射量总和  $H_{total}$ , 并计算在所述辐射量总和  $H_{total}$  下的电站总发电量  $E_{(D)}$ :

[0077] 双面光伏组件在不同前后排安装间距下的正反面的辐射量总和的计算公式如下:

$$[0078] \quad H_{total} = (1 + \eta) H_T$$

[0079] 所述步骤S3中, 所述辐射量总和  $H_{total}$  下的电站总发电量  $E_{(D)}$  的计算公式如下:

$$[0080] \quad E_{(D)} = \frac{H_{total}}{H_{STC}} \times P \times PR_0 \times (1 - \eta_s) \times (1 - \eta_c)$$

[0081] 其中,

[0082]  $H_{STC}$  是标准测试条件下的辐照度 (1000W/m<sup>2</sup>);

[0083]  $P$  是双面光伏组件的功率;

[0084]  $PR_0$  为电站在初算的前后排安装间距下的系统效率值;

[0085]  $\eta_s$  是由于增大前后排安装间距之后的前后排阴影遮挡变化;

[0086]  $\eta_c$  是由于增大前后排安装间距后的线损变化;

[0087] 本实施例中, 此处  $PR_0$  为80%,  $\eta_s$  和  $\eta_c$  利用 PVsyst 软件模拟得出, 初始阴影损失为3.5%,  $\eta_c$  为2%。

[0088] 步骤S4、完成步骤S3后, 再计算双面光伏组件在不同前后排安装间距下静态单位电能成本  $R$ , 记录所述静态单位电能成本  $R$  的变化情况, 其中, 最低静态单位电能成本  $R_{min}$  对应的双面光伏组件的前后排安装间距即为双面光伏组件的最佳前后排安装间距:

[0089] 静态单位电能成本  $R$  的计算公式如下:

$$[0090] \quad R = \frac{C_0 + C_{(D)}}{E_{(D)}}$$

[0091] 其中,

[0092]  $C_0$ 为初算的前后排安装间距下的电站总成本,本实施例中 $C_0$ 按5.5元/W计算,电站容量为10MW;

[0093]  $C_{(D)}$ 为增大前后排安装间距后由于土地租金和线缆的增加而导致的成本增加量。

[0094] 表1为计算出的不同间距下的电站静态总成本、发电量及单位电能成本数据,从表中看出,间距逐步增加时,单位电能成本先减小后增大,当间距超过6m之后减小趋势开始变缓,到6.2m时,单位电能成本达到最大,超过6.2m之后,单位电能成本开始增加。所以本实施例最终选取6.2m为双面光伏组件的最佳前后排安装间距,可以使得电站的静态单位电能成本最低,比现有技术下降1.68%左右。

[0095] 表1

光伏组件的前后排安装间距	静态总成本 (万元)	发电量 (万 kWh)	单位电能成本 (元/kWh)
5.5	5500.000	1216.814	4.520
5.6	5516.230	1224.000	4.507
5.7	5524.680	1229.000	4.495
5.8	5538.560	1235.145	4.484
[0096] 5.9	5557.630	1241.321	4.477
6.0	5571.120	1247.527	4.466
6.1	5589.120	1253.765	4.458
6.2	5599.130	1260.034	4.444
6.3	5632.680	1266.334	4.448
6.4	5668.350	1272.666	4.454
6.5	5718.570	1282.847	4.458

[0097] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。



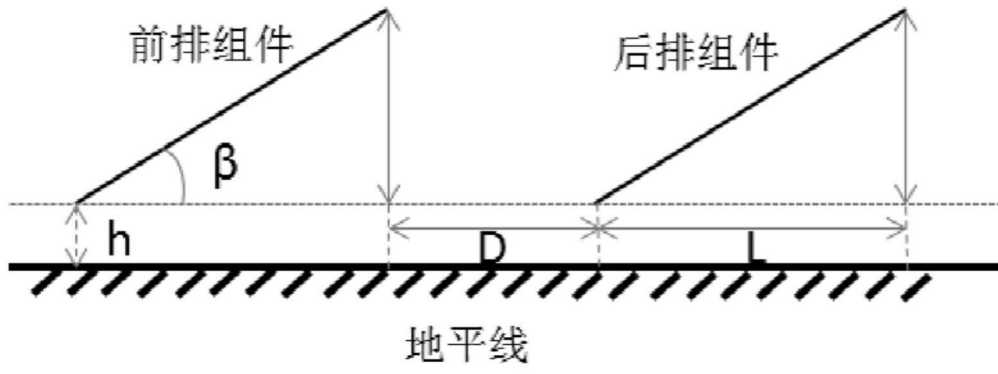


图1