

山区光伏组件间距的通用简化算法

胡振兴, 彭勇, 罗晓康

(中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司, 四川 成都 610021)

摘要: 利用平面阴影投射矩阵对任意方位角、坡度上地面布置的光伏组件间距计算方法进行了分析, 无需对各种朝向的坡面分别绘制三维模型进行几何分析, 可解决 PV_{sys} 等软件计算方式与实际施工不一致问题, 可供山区光伏布置设计软件编制时参考。

关键词: 山区光伏; 投影矩阵; 组件间距

Abstract: A method of shadow projection matrix for PV module spacing on arbitrary azimuth and slope plane is analyzed. It can solve the inconsistency between PV_{sys} software and the actual construction without the need of three-dimensional geometric analysis for a variety of slope respectively, and can be a reference for the layout design software of PV module in mountainous areas.

Key words: PV module in mountainous areas; shadow projection matrix; PV module spacing

中图分类号: TM615 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)05-0084-03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.05.020

0 引言

在山区光伏组件间距计算中, 采用 PV_{sys} 等软件计算可能与实际施工情况不一致, 而当采用解析几何的方法进行计算, 需将山地区分为东西、南北、东南、西南等不同朝向的坡面, 绘制三维图形再利用进行公式的推导, 推导过程复杂冗长。实际上, 利用坐标投影矩阵的变换, 无需区分坡面的方位角就能进行计算。下面简述之, 公式均为 Mathcad14 软件推导时形式。

1 基本坐标系及转换矩阵

建立坐标系如图 1 所示, 定义 ABCD 所包括的矩形为组件, AB 长度为 L_x , AC 长度为 L_y 。为方便计算, 定义组件 A 点坐标为 $(0, 0, 0)$ 。由于平面旋转时, 平面上点坐标和其平面法矢量在同一个坐标系内相对位置一样, 故根据平面法矢量旋转矩阵, 就可以求出平面上旋转后的点坐标。为方便计算, 可将 A 点距地面高度设定为 0。由于山区光伏组件一般是随坡就势、投影正南布置, 组件相当于绕 X 轴、Y 轴旋转移动后放置于坡面, 只需要计算组件 C 对应的阴影 C''、D'' 点到 AB' 直线的最大距离即是组

件最小间距。

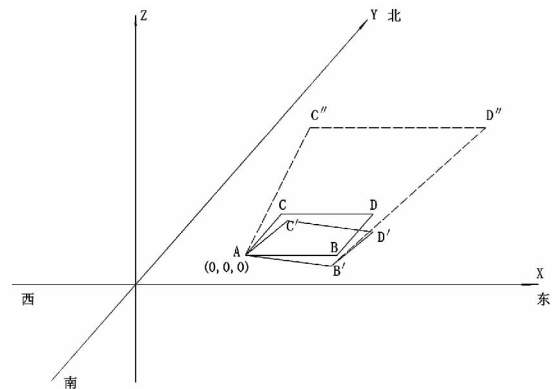


图 1 坐标系示意图

图 1 中 ABCD 为组件在水平面上布置时位置, 此时组件最佳倾角为 θ 角, AB'C'D' 为组件在坡面 (图 1 为西南坡) 上布置时位置, AB''C''D'' 为其在坡上阴影。

计算需利用几个坐标变换矩阵, 其中方位角、高度角按习惯取值, 其他基于图 1 坐标系取值。

1) 阳光方向矢量矩阵, 记作 S

$$S = \begin{pmatrix} \cos(H_s) \cos(A_s) \\ -\cos(H_s) \cdot \sin(A_s) \\ \sin(H_s) \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中: H_s 为太阳高度角; A_s 为太阳方位角, 正南为 0, 朝西为正。

2) 对于阳光矢量 $S(S_x, S_y, S_z)$ 点坐标 (x, y, z) 在平面方程为 $D_x \cdot X + D_y \cdot Y + D_z \cdot Z + D_w = 0$ 的地面上的投影坐标如下 转换矩阵记作 YY :

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_y \cdot S_y + D_z \cdot S_z & -D_y \cdot S_x & -D_z \cdot S_x & -D_w \cdot S_x \\ -D_x \cdot S_y & D_x \cdot S_x + D_z \cdot S_z & -D_z \cdot S_y & -D_w \cdot S_y \\ -D_x \cdot S_z & -D_y \cdot S_z & D_x \cdot S_x + D_y \cdot S_y & -D_w \cdot S_z \\ 0 & 0 & 0 & D_x \cdot S_x + D_y \cdot S_y + D_z \cdot S_z \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = YY \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

按前面取过 A 点且平行于地面的平面为投影平面时 D_w 取为 0, 可方便计算。

3) 任意方位角、坡度地面法向量

已知坡面的方位角和坡度, 则过原点的坡面法矢量为

$$\begin{pmatrix} \sin(\beta) \cos(\alpha) \\ -\sin(\beta) \cdot \sin(\alpha) \\ \cos(\beta) \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中: α 为坡面的方位角, 正南为 0, 朝西为正; β 为坡的倾角, 南坡为正, 阴坡为负。

则该坡面点法式平面方程为

$$\sin(\beta) \cdot \cos(\alpha) \cdot x - \sin(\beta) \cdot \sin(\alpha) \cdot y + \cos(\beta) \cdot z = 0 \quad (4)$$

2 组件间距的确定

山区组件随坡就势布置时, 组件摆放将受施工方式的限制。组件上 $AB'C'D''$ 坐标不能简单地通过坐标旋转矩阵求得。例如实际施工时图 2 所示的方式: 沿东西方向撒白灰定下 ab 处直线, 定桩矩形铁框尺寸一定, 下沿对齐 ab 线放置, 就确定了 a, b, c, d 4 个桩基点。 ga 与 hb 柱同高, 最左侧梁与 gf 直线重合, gf 对水平面倾角为组件对水平面的最佳倾角 θ 角。 gf 和 ac 直线在水平影上重合, 仅是相对水平面倾角不同。组件就放置在 gf 和 gh 两直线确定的平面上。 gf' 是平行于 ac 的直线。

将图 1 中定义为原点的 A 点与 g 点重合, B' 坐标可由式 (5) 代入式 (4) 计算求解:

$$|\overrightarrow{AB'}| = Lx; y(B') = 0 \quad (5)$$

h 点坐标可由式 (6) 代入式 (4) 计算求解:

$$|\overrightarrow{gh}| = Lab; y(h) = 0 \quad (6)$$

C' 点坐标, 可采用如下步骤:

1) 先将式 (7) 代入式 (4) 求 f' 点坐标为

$$|\overrightarrow{gf'}| = Lac; |\overrightarrow{hf'}| = \sqrt{(Lab)^2 + (Lac^2)} \quad (7)$$

2) 再将 f 点移动到 f' 点, 求 f' 点坐标, ghf' 平面平行于 $abcd$ 平面。由于 f 点与 f' 点在水平面上投影重合, 其坐标将变化为 $(x(f'), y(f'))$, $\sqrt{(x(f'))^2 + (y(f'))^2} \cdot \tan(\theta)$ 。 g, h, f 3 点确定的平面法矢量即是 $\overrightarrow{gh} \times \overrightarrow{hf}$ 。

3) 根据 ghf' 平面法矢量可列出点法式平面方程, 即为组件所在平面方程。 C' 点在 $fg'h$ 平面上时的坐标可按式 (8) 代入该平面方程求解:

$$|\overrightarrow{AC'}| = Lx; |\overrightarrow{B'C'}| = \sqrt{(Lx)^2 + (Ly)^2} \quad (8)$$

C' 点坐标确定后, 其在过 A 点平行于坡面的平面上的投影坐标, 将式 (1)、式 (3) 代入式 (2) 即可计算得出 C'' 坐标。此时 C'' 点到 AB' 线段的距离就是组件间距, 利用叉积的模为三角形两倍面积可简单计算如下:

$$d = \frac{|\overrightarrow{AB'} \times \overrightarrow{BC''}|}{Lx} \quad (9)$$

D' 点距 AB' 的距离求法与此类似。

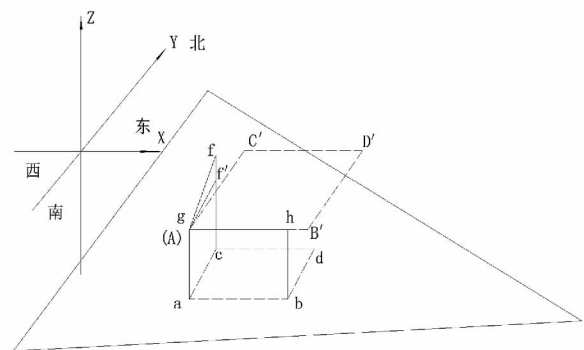


图 2 西南坡组件施工示意图

3 结语

从所计算推导过程可见, 利用平面阴影投射矩阵可对任意方位角、坡度的山区光伏组件间距进行计算, 无需对东西、南北、东南、西南等各种不同朝向的坡面绘制几何图形并进行复杂的推导计算。也同时适用于南、北半球各种山区坡面的组件间距计算。

PV_{system} 软件对山区光伏组件间距的计算方式, 与国内施工实际方式有一定的差距。山区地形复杂, 采用 PV_{system} 软件对每一种坡面进行计算模拟工

作量巨大,宜自行开发软件计算,此时所提出方法可供参考。

参考文献

- [1] 孔月萍,张璋,代冰辉,等.跟踪式光伏设备的阵列排布优化设计[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版) 2015 47(6):885-887.
- [2] 何银涛,张梅,黄华.光伏发电跟踪支架阴影数学模型

(上接第43页)

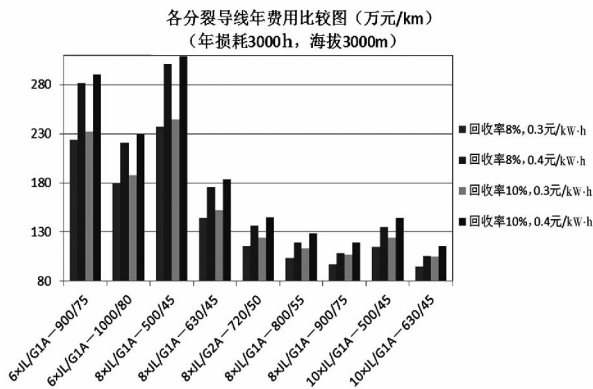


图10 年损耗3000h,海拔3000m年费用比较

可以看出,在年费用比较方面,8分裂、10分裂导线优势明显,其中:在海拔1000m以下,8分裂630mm²导线年费用最低;在海拔2000m时,8分裂720mm²导线年费用最低;海拔3000m时,10分裂630mm²导线年费用最低。6分裂导线受电晕损耗影响,其年费用在各海拔中均较高。

同时8分裂500mm²导线受电晕损耗影响,在海拔1000m以上时,其年费用均为参选导线中的最大值。

经比较计算,在不考虑电晕损耗的情况下,8分裂630mm²导线的年费用在各海拔范围内均为最低值。

4 结论

上面对1000kV特高压交流输电线路各分裂导线组合在满足电磁环境条件下的海拔限值进行分析,其结果如下:

- 1) 对于工作场强与临界场强的比值(E_m/E_0), 10分裂导线满足限值海拔均在4000m以上; 8分裂导线中仅630mm²截面限值海拔约为3500m,其余导线均在3500m海拔以上; 6分裂导线满足限值

研究[J]. 太阳能 2015(3):32-35.

作者简介:

胡振兴(1980),高级工程师,长期从事火力发电厂、新能源电站电气设计和管理工作的;

彭勇(1973),高级工程师,长期从事火力发电厂、新能源电站电气设计和管理工作的。

(收稿日期:2017-06-27)

海拔最高为3000m。

2) 鉴于环境影响评价中已不纳入无线电干扰因子,建议无线电干扰不作为特高压导线选型控制条件。

3) 可听噪声限值条件下,10分裂导线满足要求的极限海拔均在3500m以上; 8分裂导线中仅500mm²、630mm²导线的极限海拔小于3000m,但仍超过海拔2000m,其余导线均超过3000m; 6分裂导线最高极限海拔约为2200m。

4) 结合电晕损耗在不同海拔下对各分裂导线组合方案的最小年费用所产生的影响,在海拔1000~3000m范围内,1000kV特高压交流输电线路在海拔1500~2000m时,推荐采用8xJL/G2A-720/50导线;在海拔2000~3000m时,推荐采用10xJL/G1A-630/45导线。

参考文献

- [1] GB/T 1179-2008 圆线同心绞架空导线[S].
- [2] 郭雄,万保权,路遥.1000kV级交流输电线路电磁环境的研究[J].高电压技术 2006 32(12):55-58.
- [3] 黄春道,阮江军,文武,等.特高压交流输电线路电磁环境研究[J].电网技术 2007 31(1):6-11.
- [4] 国家电力公司东北电力设计院.电力工程高压送电线路设计手册(第二版)[M].北京:中国电力出版社,2010.

作者简介:

梁明(1973),教授级高级工程师,长期从事输电线路设计工作的;

朱长青(1981),高级工程师、工学硕士,从事架空输电线路设计和研究工作;

谢静(1983),高级工程师、工学硕士,从事架空输电线路设计和研究工作;

戴严航(1991),工程师、工学硕士,从事架空输电线路设计工作的。

(收稿日期:2017-08-10)