

# 太阳能光伏支架系统的应用

上海驭领机电科技有限公司技术部 李天下\*

**摘要** 太阳能是目前各种可再生能源中应用最为广泛的新能源之一,最大限度地接收太阳辐射、节约成本、系统运行安全高效,都是光伏系统设计的重点。光伏支架是安装过程中不可忽略的环节。本文重点介绍光伏支架在实际中的应用,包括电站屋顶支架 BIPV 和 BAPV、电站矩阵支架、电站跟踪支架,通过建立模型并根据当地太阳辐射、地理环境等因素来决定支架系统的选择。屋顶支架要考虑屋顶的承重、防水、支架的抗风、屋顶的结构,地面矩阵和跟踪支架要考虑土质、固定基础、支架抗风等因素。

**关键词** 光伏支架 太阳能 光伏系统高效运行

## The application of the solar mounting system

By Li Lori\*

**Abstract** Abstract As one of the most common reusable energy used by human being, we should not ignore any one of the following three key facts: firstly is to make the system most efficient, second is to make sure the system run safely and smoothly, also we should cut down the cost of the whole system. Now we will introduce application of the solar racks in practice, including the BIPV AND BAPV used on rooftop, the Array solar mounting system, the solar tracker, and how to choose the solar mounting systems according to different solar resources, landscape and weather of local area. Because when we design the system, we should consider the effect of a lot of facts, such as the load of the rooftop, the wind resistance of the solar racks, water proof, the structure of the rooftop, the structure and the chemical and physical of the soil of the install land, and foundation of racks.

**Key words** Solar racks, Solar energy, High efficiency of the running solar system

\*The Technology Department of Shanghai Fronteirack Technology Group Ltd. By Li Lori

## 0 引言

近年来,随着太阳能光伏系统的推广与应用,由于环境不同对光伏系统设计要求越来越高,在有限面积上建设光伏系统,合理利用已有的建筑面积,节约建设面积,缩小建设成本,这些都在光伏系统的安装使用中显得越来越重要,光伏系统的安装包括支架部分安装和电器部分安装,本文着重介绍光伏支架在光伏系统中的应用,通过对支架系统计算机实体建模,根据当地的地理位置和用户的实际安装要求,推导出最合理的支架结构,以便于指导实际工程设计与应用。

## 1 BIPV 和 BAPV

光伏建筑一体化即 BIPV(Building Integrated PV,PV 即 Photovoltaic)。光伏建筑一体化(BIPV)技术是将太阳能发电(光伏)产品集成到建筑上的技术。光伏建筑一体化(BIPV)不同于光伏系统附着在建筑上(BAPV, Building Attached PV)的形式。

现代化社会中,人们对舒适的建筑热环境的追求越来越高,导致建筑采暖和空调的能耗日益增长。在发达国家,建筑用能已占全国总能耗的 30%~40%,对经济发展形成了一定的制约作用。光伏建筑一体化是应用太阳能发电的一种新概念,简单地讲就是将太阳能光伏发电方阵安装

在建筑的围护结构外表面提供电力。根据光伏方阵与建筑结合的方式不同,光伏建筑一体化可分为两大类:一类是光伏方阵与建筑结合。这种方式是将光伏方阵依附于建筑物上,建筑物作为光伏方阵载体,起支撑作用。另一类是光伏方阵与建筑的集成。这种方式是光伏组件以一种建筑材料的形式出现,光伏方阵成为建筑不可分割



\*李天下,1987年12月生人,大学本科,工程师  
地址:上海市浦东新区金桥路939号

的一部分。如光电瓦屋顶、光电幕墙和光电采光顶等。在这 2 种方式中,光伏方阵与建筑的结合是一种常用的形式,特别是与建筑屋面的结合。由于光伏方阵与建筑的结合不占用额外的地面空间,是光伏发电系统在城市中广泛应用的佳安装方式,因而倍受关注。光伏方阵与建筑集成是 BIPV 的一种高级形式,它对光伏组件的要求较高。光伏组件不仅要满足光伏发电的功能要求,同时还要兼顾建筑的基本功能要求。

无论是 BIPV 和 BAPV 对屋顶的防水都有要求,尤其是 BIPV 的屋顶防水要求的更为严格,既要保证屋顶的外观,又要保证整个光伏系统的发电量,

而且还要保证屋顶的承重,BAPV 的安装包括砖瓦形式和彩钢瓦形式(目前比较适用),安装的时候支架高度离屋面 10cm 左右,以利于太阳能电池组件的通风散热。我们一般采用铝合金支架来解决此问题,因为铝合金材质国内普遍使用,具有耐腐蚀、质量轻、美观耐用的特点,力学性能等许多方面也都比较成熟,在使用年限上也有一定的保证,支架安装采用螺栓紧固,现场安装只需扳手和手枪钻即可,施工速度快,不需要焊接,从而保证了防腐层的完整性。见图 1—4。



图 1 大厦屋顶实例

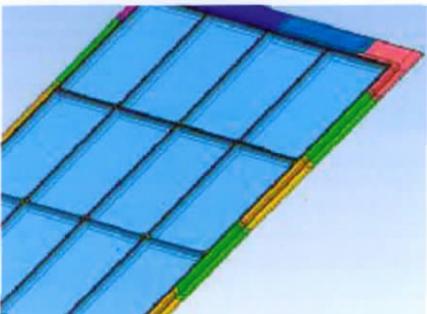


图 2 法国屋顶效果图



图 3 澳大利亚家用屋顶



图 4 法国 130kW 商业屋顶

## 2 地面矩阵

光伏支架的底座安装目前比较常用的主要有 2 种方式,一种是混凝土基础,一种是采用地桩基础。目前国内大型光伏电站采用的多是混凝土基础;这样做的原因是:一方面考虑了当地的地理环境;另一方面也是出于成本考虑。国外采用比较多的是地桩基础,比如意大利、德国、澳大利亚等国家,他们出于对土地再利用考虑,经济成本适当放宽。

地面矩阵,技术方面需要注意 2 点:一是支架的抗风要求;二是支架矩阵之间的距离。在保证抗风的情况下,支架采用钢结构和铝合金混合使用,这样做既能保证支架的抗风,又能保证支架的整体外观。

### 2.1 支架的抗风计算

考虑固定荷重和风压荷重。

固定荷重包括组件质量、支架质量、防水接线箱、驱鸟棒等。

风压荷重其中包括顺风和逆风。

$$W=1/2(C_w \rho V^2 S) \alpha \quad (1)$$

式中  $C_w$ —风力系数;

$\rho$ —空气密度 ( $N \cdot s^2/m^4$ )

$V$ —风速,  $m/s$ ;

$S$ —面积,  $m^2$ ;

$\alpha$ —高度修正系数;

$I$ —用途系数;

$J$ —环境系数。

### 2.2 方阵之间的距离

根据建筑天文学知识,在地平面上建立一个太阳能方阵模型。假设太阳能方阵角度正南放置,方阵的垂直高度为  $H$ ,此处的  $H$  是指方阵支架的高度,不包括基础高度,如图 5 所示:

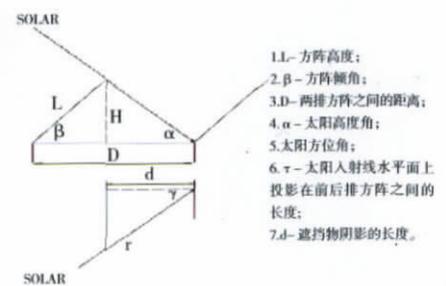


图 5 方阵角度平面图

由图可见,若遮挡物高度为  $H$ ,其阴影的长度为  $d$ ,由几何关系可知:

$$\tan \alpha = H/r \quad (2)$$

$$\text{由顶视图可见 } \rho \cos \gamma = d/r \quad (3)$$

$$\text{所以 } d = H \cos \gamma / \tan \alpha \quad (4)$$

把太阳高度角的正弦公式  $\sin \alpha = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega$  (5)

代入太阳方位角的余弦公式,得:

$$\cos \gamma = (\sin \alpha \sin \varphi - \sin \delta) \cos \alpha \cos \varphi = [\sin \varphi (\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega) - \sin \delta] / \cos \alpha \cos \varphi$$

$$= [(\sin^2 \varphi - 1) \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \sin \varphi] / \cos \alpha \cos \varphi$$

$$= (\cos \delta \cos \omega \sin \varphi - \sin \delta \cos \varphi) / \cos \alpha \quad (6)$$

所以有:

$$d = H \cos \gamma / \tan \alpha = H (\cos \delta \cos \omega \sin \varphi - \cos \varphi \sin \delta) / \cos \alpha \tan \alpha$$

$$= H (\cos \delta \cos \omega \sin \varphi - \cos \varphi \sin \delta) / \sin \alpha$$

$$= H (\cos \delta \cos \omega \sin \varphi - \cos \varphi \sin \delta) \times 1 / \cos \varphi \cos \delta / (\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega) \times 1 / \cos \varphi \cos \delta$$

表 1 计算实例(1)

$\pi=$	3.141593	$\tan\delta=$	0.43378
当地纬度角 $\varphi=$	$31.12^\circ$	$\omega=$	$45^\circ$
方阵倾角 $\beta=$	$22^\circ$	$\delta=$	$-23.45^\circ$
阴影系数 $S=$	1.93352	$\cos\beta=$	0.927184
$\tan\varphi=$	0.603715	$\sin\beta=$	0.374607
$\cos\omega=$	0.707107	$L=$	1.5m

两排方阵之间的最小距离由图 5 可知  $D=L\cos\beta+d, H=L\sin\beta$ ,

表 2 计算实例(2)

由此可得 $D=$	$L\cos\beta+L\sin\beta(\cos\omega\tan\varphi-\tan\delta)/(\tan\delta\tan\varphi+\cos\omega)$
所以 $D=$	$L\cos\beta+L\sin\beta$
所以 $D=$	2.47724

$=H(\cos\omega\tan\varphi-\tan\delta)/(\tan\delta\tan\varphi+\cos\omega)$

$\varphi$  - 当地纬度  $\delta$  - 赤纬角  $\omega$  - 时角。

对于遮挡物阴影的长度,一般确定的原则是:冬至日 9:00~15:00 之间,后排的太阳电池方阵不应被遮挡,因此用冬至日的赤纬角  $\delta = -23.45^\circ$ , 9:00 和 15:00 的时角  $\omega = 45^\circ$ 。

代入公式(7)可得  $d=H(0.707\tan\varphi+0.4338)/0.707-0.4338\tan\varphi$  (8)

令  $d=Hs$ , 其中  $s=(0.707\tan\varphi+0.4338)/(0.707-0.4338\tan\varphi)$

$s$  称为阴影系数,仅仅与当地纬度  $\varphi$  有关,当纬度  $\varphi$  从  $0^\circ$  逐渐增加时,开始  $s$  增加比较慢,当纬度  $\varphi$  增加到  $50^\circ$  时,  $s$  迅速增加,达到  $58.46^\circ$  时  $s$  成为无限大,以后成为负值。我国领土都处在北纬  $58^\circ$  以内,所以确定  $s$  的值并不困难,计算实例见表 1、表 2。

### 3 支架跟踪系统

目前广泛使用的有 3 种太阳光伏自动跟踪系统,包括水平单轴跟踪、倾斜纬度角单轴跟踪和双轴跟踪,其中水平单轴跟踪和倾斜单轴跟踪只有 1 个旋转自由度,双轴跟踪具有 2 个旋转自由度。3 种跟踪系统采用的跟踪控制策略为主

动式跟踪控制策略,通过计算得出太阳在天空中的方位,并控制光伏阵列朝向。这种主动式光伏自动跟踪系统能够较好的适用于多霜雪、多沙尘的环境,在无人值守的光伏电站中也能够可靠工作。从跟踪是否连续的角度看,所研制的光伏自动跟踪系统采用了步进跟踪方式,与连续跟踪方式相比,步进跟踪方式能够大大地降低跟踪系统自身能耗。见图 6~图 10。 (责编:罗增英)

### 参考文献

- 1 杨金焕,于化丛,葛亮.太阳能光伏发电应用技术.北京:电子工业出版社,2009
- 2 太阳能发电协会.太阳能光伏发电系统的设计与施工.刘树民,宏伟译.第1版.北京:科学出版社,2006
- 3 沈辉,曾祖勤.太阳能光伏发电技术.北京:化学工业出版社,2008
- 4 刘鉴民.太阳能利用原理·技术·工程.北京:电子工业出版社,2010
- 5 李忠实.太阳能光伏发电系统设计施工与维护.北京:人民邮电出版社,第1版,2010

如对本文有任何观点和看法,请发电子邮件:bianjibu86@126.com



图 6 江苏 3kW 地面支架系统



图 7 地面矩阵阵列模型图



图 8 波兰斜单轴支架跟踪



图 9 河北双轴支架跟踪系统



图 10 澳大利亚平单轴跟踪