

# 悬索光伏支架结构抗风设计方法初探

韩江明

中国电建集团河北省电力勘测设计研究院有限公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**随着可再生能源的逐渐普及和应用,光伏发电作为清洁能源的代表之一,受到了越来越多的关注和青睐,悬索光伏支架作为光伏发电系统的重要组成部分,在支撑光伏组件的同时,承载着保障光伏系统安全稳定运行的重要责任。悬索光伏支架的抗风设计是保障支架在恶劣气候条件下稳定运行的关键环节之一。文中探讨悬索光伏支架结构抗风设计的方法与原理,深入分析风荷载特性、结构设计原理、材料科学原理以及工程实践经验,为提高光伏支架的抗风能力和稳定性提供有益参考。

**[关键词]**悬索光伏; 支架结构; 抗风设计

DOI: 10.33142/hst.v7i10.13885

中图分类号: TU393

文献标识码: A

## Preliminary Study on Wind resistant Design Method of Suspension Photovoltaic Support Structure

HAN Jiangming

PowerChina Hebei Electric Power Survey, design and Research Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** With the gradual popularization and application of renewable energy, photovoltaic power generation, as one of the representatives of clean energy, has received increasing attention and favor. As an important component of photovoltaic power generation systems, suspended photovoltaic brackets not only support photovoltaic modules, but also bear the important responsibility of ensuring the safe and stable operation of photovoltaic systems. The wind resistance design of suspension photovoltaic brackets is one of the key links to ensure the stable operation of the brackets under harsh weather conditions. The article explores the methods and principles of wind resistant design for suspension photovoltaic support structures, and conducts in-depth analysis of wind load characteristics, structural design principles, material science principles, and engineering practice experience, providing useful references for improving the wind resistance and stability of photovoltaic supports.

**Keywords:** suspension photovoltaic; support structure; wind resistant design

### 引言

光伏电站常常处于风能资源丰富的地区,强风环境对光伏支架的稳定性提出了严峻挑战,特别是在高海拔、沿海地区或风速较大的地方,风荷载可能对光伏支架造成严重影响,甚至导致结构破坏和光伏组件损坏,给光伏发电系统的安全运行带来不小风险。因此,针对光伏支架在强风环境下的抗风设计成为迫切需要解决的技术问题。

### 1 光伏支架结构概述

#### 1.1 光伏支架的基本组成

光伏支架是支撑光伏组件的基础设施,其基本组成主要包括支架框架、支撑杆件和固定基础。支架框架是支架的主体结构,通常由铝合金或镀锌钢材制成,具有良好的强度和耐腐蚀性能。支撑杆件负责支撑光伏组件,其设计需考虑支架的稳定性和承载能力,通常采用圆形或方形截面的钢管或铝合金材料制成。固定基础用于支撑整个支架系统,通常采用混凝土基础或地螺桩等形式,以确保支架在地面或建筑物上的稳固性。

#### 1.2 光伏支架的主要类型

光伏支架根据安装位置和结构形式的不同,主要分为地面支架、屋顶支架和架空支架三种类型。地面支架适用于平地或山区等地形,通常采用钢构支架或混凝土基础固

定,安装简便稳固。屋顶支架安装在建筑物屋顶上,可分为平面式和斜面式两种形式,通常使用轻型材料,并与建筑物结构紧密相连,节省空间且美观。架空支架安装在高架或悬挑结构上,适用于水面、荒漠等地区,可以充分利用空间并减少对地面的占用,结构简洁明快。

#### 1.3 悬索光伏支架的特点与优势

##### 1.3.1 结构简单稳定

悬索光伏支架采用悬挂式结构设计,将支撑杆件悬挂在主梁上,构成一个平衡稳固的支撑体系。相比于传统的地面支架或屋顶支架,悬索光伏支架在结构设计上更加简洁明了,无需复杂的地基或基础固定,悬索光伏支架采用少量的构件组装而成,结构简单清晰,易于安装和维护。支架整体结构紧凑,能够有效减少零部件的磨损和松动,降低了因构件老化而引起的维护成本<sup>[1]</sup>。由于其结构简洁、稳定可靠,无论是在平原、山区还是沙漠等复杂环境下,悬索光伏支架都能够稳定地支撑光伏组件,实现光伏发电系统的高效运行。

##### 1.3.2 抗风能力强

悬索光伏支架强大的抗风能力源于其独特的结构设计和优良的材料选择。悬索光伏支架采用悬挂式结构设计,支撑杆件悬挂在主梁上,形成了一个相对稳定的悬挂体系,

能够有效地减少支架在风力作用下的受力情况,降低了支架结构的应力和变形,从而提高了支架的抗风能力。悬索光伏支架的材料通常采用高强度、耐腐蚀的铝合金或镀锌钢材制造支架框架和支撑杆件,能够在恶劣的气候条件下保持稳定性和耐久性,从而保障了支架在强风环境下的安全运行。悬索光伏支架在设计过程中也充分考虑了风力荷载的影响,采取了合理的结构设计和加固措施。

### 1.3.3 环保节能

悬索光伏支架通常采用铝合金或镀锌钢等环保材料制造,这些材料具有良好的耐腐蚀性和可再生性,不会对环境造成污染,符合现代环保理念。光伏发电系统本身是一种清洁能源,不会排放污染物和温室气体,对环境无污染,具有较高的节能效益。支架的安装通常不需要破坏土地表面,减少了土地资源的消耗和生态环境的破坏;而且支架的运行过程中也不需要额外消耗能源,只需利用光能进行发电,无需消耗其他能源,降低了能源消耗和碳排放。

## 2 风荷载特性分析

### 2.1 风荷载的形成机理

风荷载的形成机理涉及大气运动和地表摩擦等多个因素。当地球某一区域受到不同程度的日照,地面气温升高,使得该区域的空气密度降低,形成低压区;而另一区域由于地表气温低,空气密度高,形成高压区。空气从高压区流向低压区,形成风。大气运动还受到地球自转、地形等因素的影响。地球自转会导致气流呈东北向偏转,形成常见的西风带等大气环流。地形因素也会影响风的流动,如山脉、河流、建筑物等都会使风产生变化,形成风的局部流场。地表摩擦是指风经过地表时受到地表阻力的影响而减弱。

### 2.2 风荷载的作用特点

风荷载在工程结构中具有多种作用特点,这些特点直接影响着结构的设计和安全性。受风速、风向、气压等因素的不断变化导致了风荷载的随机性,使得风荷载的作用难以准确预测。由于大气环流和地球自转等因素的影响,风场呈现出一定的周期性波动,使得风荷载具有周期性的变化特点。不同地区、不同高度以及不同建筑物表面的风速和风向可能存在差异,导致风荷载在结构表面产生不均匀的作用<sup>[2]</sup>。突发的强风、风暴等气象事件可能导致风荷载突然增大,对结构造成严重影响。

### 2.3 风荷载在悬索光伏支架中的影响分析

风荷载在悬索光伏支架中具有重要的影响,直接关系到支架的稳定性和安全性。风荷载会对支架结构产生压力和力矩,引起结构的应力和变形,特别是在强风环境下,风荷载的作用会加剧支架的受力情况,可能导致支架产生倾斜、变形或破坏,进而影响光伏组件的正常运行。风荷载的变化也会影响支架的动态响应,引起结构的振动和共振现象,风荷载还可能引起支架和地基之间的相互作用,

增加了支架在地基上的承载压力,可能导致地基沉降或破坏,影响支架的稳定性和安全性。

## 3 悬索光伏支架结构设计原理

### 3.1 力学原理

力学原理是悬索光伏支架设计的基础,确保支架在外部荷载作用下保持稳定。在力学原理的指导下,进行支架的静力学分析,确定支架各部件的受力情况和力学特性,包括了支架各部件的承载能力、应力分布、变形情况等方面的分析,力学原理也涉及到支架的动力学分析,考虑支架在风荷载等外部扰动下的振动特性,以评估支架的动态响应和稳定性。

### 3.2 风工程学原理

风工程学原理在悬索光伏支架设计中具有关键作用,该原理通过对风场的特性进行分析,确定风荷载的大小、方向和分布规律,从而为支架结构的设计提供了重要依据。风工程学原理包括风洞试验、数值模拟和风场观测等方法,用以获取风荷载的实际数据,通过风洞试验,可以模拟不同风速和风向下的风场情况,获取风荷载的实测数据;数值模拟则利用计算流体力学(CFD)等方法,对风场进行数值模拟,预测风荷载的大小和分布情况;而风场观测则是通过实地观测和监测,获取风场的实际情况,验证数值模拟的结果。综合利用这些方法,可以准确地分析风荷载对支架的影响,为支架结构的设计提供科学依据。

### 3.3 结构优化原理

结构优化原理旨在通过合理优化支架的结构形式、材料选择、连接方式等方面,使支架在保证稳定性和安全性的前提下尽可能降低材料消耗、减轻结构重量、提高结构效率。结构优化原理的实施可以通过以下几个方面展现:首先,通过优化支架的结构形式,如增加支撑、加强连接等方式,提高支架的整体稳定性和承载能力;其次,在材料选择方面,选择强度高、耐腐蚀性好、轻质化的材料,如铝合金、镀锌钢等,以减轻支架的自重,降低材料消耗,并提高支架的抗风能力和耐久性;再者,在连接方式上,采用先进的连接技术,如焊接、螺栓连接等,确保支架各部件之间的连接牢固可靠,提高整体结构的稳定性;此外,还可以通过优化支架的布置方式、减少结构中的应力集中点等措施,进一步提高支架的抗风能力和安全性。

### 3.4 材料科学原理

材料科学原理主要指导支架材料的选择和应用,以确保支架具有良好的抗风性能、耐候性和耐久性。在选择支架材料时,需要考虑多个方面的因素,包括材料的机械性能、耐腐蚀性、轻质化特性、成本等。支架材料应具有良好的机械性能,包括足够的强度、刚度和韧性,以承受外部风荷载和光伏组件的重量,并保持结构稳定。常用的支架材料包括铝合金、镀锌钢等,这些材料具有较高的强度和刚度,能够满足支架在不同环境条件下的使用要求。支

架材料应具有良好的耐腐蚀性,能够抵御外界环境的腐蚀和侵蚀,保证支架长期稳定运行,特别是在海洋环境或强酸碱环境下,对材料的耐腐蚀性要求更高,需要选择耐腐蚀性能更好的材料。轻质化材料可以减轻支架的自重,降低结构的负载,从而提高支架的抗风能力和稳定性。在保证材料性能的前提下,应选择成本适中的材料,以确保支架的经济性和可持续性。

### 3.5 工程实践经验

工程实践经验在悬索光伏支架结构设计中至关重要,通过对历史工程案例的总结和分析,可以获取宝贵的设计、施工和运行经验,为当前的设计提供指导和参考。总结历史工程的成功经验和失败教训,可以发现各种设计方案的优缺点,为当前的设计提供借鉴和启示,还可以提供各种实用的设计原则和规范,帮助设计人员更好地进行设计决策。总结历史工程项目的施工实践,可以发现施工中容易出现的问题和解决方法,为当前工程的施工提供指导和参考。总结历史工程项目中采用的材料性能和抗风能力验证方法,可以为当前工程的材料选择和结构设计提供依据和参考。工程实践经验还可以提供各种实用的抗风技术和方法,帮助提高支架的抗风能力和稳定性。

## 4 悬索光伏支架结构抗风设计方法

### 4.1 确定设计参数

设计参数的选择直接影响支架的稳定性、抗风能力和整体性能。考虑支架的高度,根据光伏板的布置需求和地面条件确定支架的高度,通常高度越高,支架受到的风载荷越大。支架的跨度也是重要参数之一,跨度较大可以增加光伏板的布置密度,但也会增加支架的重量和受力情况。支架的倾角也需要合理确定,倾角不仅影响光伏板的日照接收效果,还会影响支架的受力情况和稳定性。支架的布置方式也需要考虑,可以选择单排、双排或多排等不同布置方式,根据具体场地条件和光伏组件布局要求确定最合适的布置方式。

### 4.2 材料选择

合适的材料能够保证支架具备良好的抗风能力、耐久性和稳定性。常用的材料包括铝合金和镀锌钢等,这些材料具有优良的机械性能和耐腐蚀性,能够在恶劣的环境条件下保持稳定性能。铝合金具有轻质、强度高、耐腐蚀等优点,适用于支架的结构件制造;而镀锌钢则具有良好的耐腐蚀性能和强度,适用于支架的连接件和地脚螺栓等部件制造。还可以根据具体的工程要求和环境条件选择其他材料,如不锈钢、碳纤维复合材料等。在进行材料选择时,需要综合考虑材料的性能、成本、可获得性以及适用环境等因素,确保选择的材料能够满足支架设计的要求,并具备良好的经济性和可持续性。

### 4.3 风载荷计算

在悬索光伏支架结构抗风设计中,进行风载荷计算是

至关重要的一步。风载荷是指风对支架结构产生的压力和力矩,是支架稳定性设计的基础。风载荷的计算可以通过公式进行,常用的风载荷计算公式如下:

$$F = 0.5 \times C_d \times \rho \times A \times V^2$$

其中, $F$ 表示风载荷, $C_d$ 表示风载荷系数, $\rho$ 表示空气密度, $A$ 表示支架所受风的有效面积, $V^2$ 表示风速。

在实际计算中,需要根据具体的工程要求和环境条件确定风载荷系数和支架的有效面积,并结合当地的气象数据计算风速和空气密度。通过风载荷计算,可以为支架的结构设计和稳定性分析提供重要的依据,确保支架能够在各种气候条件下安全稳定地运行。

### 4.4 结构设计

合理的结构设计可以确保支架在各种外部风荷载作用下保持稳定性和安全性。合理设计支架的主体结构,包括支柱、横梁和连接件等部件,以确保支架在受到风荷载作用时能够保持结构的平衡和稳定。支架的结构设计应该充分考虑各部件之间的连接方式和受力分布,确保支架各部件之间的协调配合,使支架能够承受外部风荷载的作用<sup>[3]</sup>。优化支架的结构形式和材料选择,提高支架的抗风能力和稳定性。支架的结构设计应该考虑到风荷载作用下的结构变形和位移情况,通过合理设计支架的刚度和强度,减小支架的变形量,保证支架在外部风荷载作用下仍然能够保持稳定。合理设计支架的结构形式和连接方式,简化支架的安装和拆卸过程,还应考虑支架的维护保养情况,确保支架在使用过程中能够方便进行检修和维护,延长支架的使用寿命。

### 4.5 模拟分析

在悬索光伏支架结构抗风设计中,模拟分析是一项关键步骤,可以评估支架在不同风速和风向下的响应和稳定性,为设计提供科学依据。模拟分析可以通过有限元分析等数值方法,建立支架的数学模型,考虑各种外部载荷和边界条件,可以计算出支架各部件的应力、变形和位移等参数,评估支架的受力情况和结构稳定性。模拟支架在风荷载作用下的变形情况,可以评估支架的稳定性和变形程度,预测支架在不同风速下的响应情况,为设计提供参考。调整支架的结构参数和材料选择,提高支架的抗风能力和稳定性,优化支架的设计方案,提高支架的安全性和经济性。

### 4.6 安装施工

悬索光伏支架的安装施工是确保支架能够稳固地承载光伏组件并抵御外部风荷载的关键环节。施工前需要对支架的设计图纸进行仔细审查,施工人员应准备好所需的工具、设备和材料,并按照安全规范和操作流程进行施工。清理施工区域,确保地面平整,并根据支架的布置图进行基础的预埋和固定,支架的安装位置应符合设计要求,保证支架的稳定性和安全性。按照设计图纸和施工方案,逐步安装支架的主要部件,包括支柱、横梁和连接件等。



在安装过程中,需严格按照规范进行测量和校正,确保支架的水平 and 垂直度。根据设计要求,将支架的各个部件进行组装和连接,确保各部件之间的连接牢固可靠,支架整体结构稳定。完成支架的安装后,需进行调试和检查,检查支架的各个部件是否安装到位、连接是否牢固,还需对支架的稳定性和安全性进行检验,确保支架能够正常使用。

## 5 结语

悬索光伏支架结构抗风设计是光伏发电系统安全可靠运行的关键环节。探讨了光伏支架的基本组成、主要类型以及特点与优势,详细介绍了风荷载特性分析、结构设计原理、材料科学原理和工程实践经验等方面的内容。从确定设计参数到安装施工,每个步骤都承载着保障光伏系

统稳定运行的重要使命。在悬索光伏支架结构抗风设计中,合理选择材料、科学计算风荷载、优化结构设计和严格施工操作是至关重要的。

## 【参考文献】

- [1]郭志文.光伏跟踪系统支架梁结构多参数优化设计及避风控制策略研究[D].赣州:江西理工大学,2023.
- [2]赵天怡.索支撑柔性光伏支架风致响应及放大系数取值研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2023.
- [3]朱小军.悬索光伏支架结构计算方法及有限元分析研究[J].电力系统装备,2022(4):10.

作者简介:韩江明(1992.3—),男,汉族,毕业学校:石家庄铁道大学,现工作单位:中国电建集团河北省电力勘测设计研究院有限公司。