

光伏跟踪支架风荷载的确定及结构优化设计

张茂佳 曹鸿祥

浙江可胜技术股份有限公司 浙江 杭州 310051

摘要：在光伏跟踪支架设计中，准确确定风荷载和执行结构优化设计是确保支架安全运行的关键。通过风荷载分析和有限元模拟，工程师能够了解支架在不同风速下的受力状况，为结构优化提供依据。在结构优化设计中，加固连接点、优化材料选用等措施被采取以增强支架的风力承载性和结构稳定性。风荷载确定与结构优化设计相结合，为光伏跟踪支架的设计与建设带来更高水平的安全性和可靠性。

关键词：光伏跟踪支架；风荷载；结构优化

1 光伏跟踪支架的概述

光伏跟踪支架是一种用于光伏发电系统的装置，具有能够跟随太阳位置变化来调整光伏板角度的功能，以最大化太阳能的接收和转换效率。光伏跟踪支架是光伏发电系统中至关重要的组成部分之一，通过自动精准地调整光伏板的角度，确保光伏板始终面向太阳，并最大限度地吸收阳光，提高发电效率，从而增加电力输出。光伏跟踪支架通常由支架结构、控制系统、传动系统和传感器等组成。支架结构通常采用坚固的金属材料制成，以确保稳定性和耐久性。控制系统根据预设的算法和太阳位置数据，自动控制跟踪设备的转动，确保光伏板面向太阳。传动系统负责支架的旋转运动，传感器用于监测太阳位置及光照强度，以调整支架的角度和倾斜度。光伏跟踪支架分为单轴跟踪支架和双轴跟踪支架两种类型。单轴跟踪支架通常只能实现水平方向的跟踪，可根据季节或时间进行水平旋转调整；而双轴跟踪支架除了可以水平旋转外，还能实现垂直倾斜调整，能更精确地跟踪太阳位置，提高发电效率，但也由于结构更为复杂，造价相对较高。光伏跟踪支架的主要优势体现在提高了光伏发电系统的发电效率和产能，相较于固定安装的光伏系统，跟踪支架能够使光伏板始终保持最佳的角度与太阳保持垂直，充分吸收太阳辐射，提高电力生成量。根据实际数据测算，光伏跟踪支架的发电量较传统固定支架可以提高20%至40%左右，尤其在光照条件较差的地区或季节，优势更为显著。

2 光伏跟踪支架风荷载的确定

2.1 光伏跟踪支架受风特性分析

光伏跟踪支架在设计和使用过程中需要考虑多种外部的作用，其中风荷载是十分重要的一种。风荷载是指风对光伏跟踪支架造成的力，其强度、方向和周期性会直接影响支架的结构稳定性和安全性。确定光伏跟踪支架的

风荷载是设计和使用过程中必不可少的重要步骤^[1]。确定光伏跟踪支架的风荷载首先需要考虑当地的气象条件，包括气温、湿度、风速等气象参数。根据当地的风速数据，通常采用标准的风荷载计算方法，如按照国家现行的《建筑结构荷载规范》等规范标准计算。风荷载的计算需要考虑光伏跟踪支架的结构形式、高度、材料等多个因素，以确定支架在风力作用下的承载能力和变形情况。在进行风荷载的确定之后，需要进行支架的受力分析和结构设计。通过有限元分析等方法，可以模拟风荷载下支架的受力情况，评估支架的抗风性能和稳定性。特别是对于大型光伏发电场的光伏跟踪支架，需要考虑到不同风向和风速下的风荷载变化，进行全方位的受力分析，以确保支架在各种极端气象条件下均能安全稳定地运行。光伏跟踪支架受到风荷载的影响，除了要保证其结构稳定外，还需考虑风对发电系统的影响。在设计和使用过程中需要考虑支架的抗风能力，使其不会受到风荷载的破坏，确保光伏板正常运转并保障设备和人员的安全。

2.2 风荷载计算原理与方法

风荷载计算原理与方法在光伏跟踪支架设计中占据重要地位，它涉及到流体力学、空气动力学以及结构工程学的综合应用。风荷载主要由风速、风向和空气密度共同决定，而这些参数往往受到地域性气候特点和地形地貌的影响。因此，风荷载的计算首先需要获取当地的气象数据和风速图，以确定基本风压。基本风压 (W_0) 是风荷载计算的基础参数，它表示的是单位面积上所承受的风力大小。其计算公式为： $W_0 = 0.5 \times \rho \times V^2$ 其中， ρ 表示空气重力密度，取决于当地的海拔和气候条件； V 表示标准高度处的风速，可以通过气象数据或风速图获得。在计算得到基本风压之后，可以进一步进行静风荷载的计算。静风荷载主要考虑了风对支架的直接作用，

其计算公式如下： $F_{static} = C_p \times W_0 \times A$ 其中， C_p 表示风压系数，它反映了支架形状对风的响应特性，通常通过风洞试验或数值模拟获得； A 表示支架的迎风面积，取决于支架的几何尺寸和风向。在动风荷载计算中，除了考虑基本风压和支架的几何参数外，还需要引入风的速度和方向的时程变化数据。这些数据可以通过风场观测或数值模拟获得，然后利用相关数学模型进行支架受力分析。需要注意的是，风荷载计算还需要考虑其他因素的影响，如地形条件、邻近建筑物的影响以及支架自身的刚度和阻尼特性等。

2.3 光伏跟踪支架风荷载的确定模型

光伏跟踪支架风荷载的确定模型通常基于流体力学原理和建筑结构设计规范，通过考虑风速、风向、支架形态和周围环境等因素，来计算支架在风压作用下的受力情况。光伏跟踪支架的风荷载确定模型首先需要考虑当地气象条件和环境因素，包括当地的年平均风速、风向频率分布、地形和地貌等。一些风障物、树木等环境元素也需要被纳入考虑范围。基于这些信息，通常采用建筑结构设计规范中的风荷载计算方法进行模型建立。流体力学原理告诉我们，风速对支架的风荷载有直接关系。一般来说，较高的风速会导致更高的风荷载。所以，在确定模型中需要将风速作为重要参数进行综合考虑。也需要考虑支架本身结构形式、高度、面积等几何特征，以确定支架所受风荷载的分布情况。在建立光伏跟踪支架风荷载的确定模型时，还需要考虑支架系统的稳定性和可靠性。通过进行各种风向下的风荷载计算，得出支

架不同部位的受力情况，进而评估支架的承载能力和结构安全性^[2]。

3 光伏跟踪支架结构优化设计

3.1 结构刚度分析与参数优化

结构刚度分析旨在确定支架的受力情况，通过综合考虑支架的几何形态、承载力要求以及受力特点，来评估支架在外部风荷载等作用下的受力响应。通过有限元分析等先进工程方法，工程师可以模拟支架各个部位的受力情况，了解支架内力的传递路径和受力状态，从而发现可能存在的结构弱点。基于结构刚度分析的结果，进行结构参数的优化设计是提升支架性能和稳定性的有效途径。通过优化结构设计参数，如支架梁柱的剖面形状、加强筋的设置、连接节点的设计等，可以有效提升支架的整体刚度和耐力。结构参数的科学调整不仅能够提高支架的抗风性，还能有效减小结构变形和振动，确保支架在长期运行中维持稳定的姿态和性能，进而提高光伏组件的能量收集效率。在结构刚度分析与参数优化的过程中，工程师需要综合考虑支架的设计目标、施工条件和运行环境等因素，针对不同工况下支架的受力状态进行分析与优化。

3.2 结构材料及连接方式的选择

在光伏跟踪支架的结构优化设计中，结构材料及连接方式的选择确实是一个关键步骤。以下是一个表格，展示了不同支架材料及其特性，以及常见的连接方式及其优缺点。

表1 支架材料特性比较

材料	密度 (kg/m ³)	强度 (MPa)	弹性模量 (GPa)	抗腐蚀性	可持续性
铝合金	2700	200-600	70-80	优	优
不锈钢	7800	500-1000	190-210	优	良
碳钢	7850	350-1000	200-210	中	良

表2 连接方式优缺点

连接方式	优点	缺点
螺栓连接	拆装方便，可调节性好	螺栓易松动，需定期维护
焊接连接	结构刚度和稳定性好	焊接工艺复杂，不易拆卸
搭接连接	结构灵活性高，受力分散	可能存在结构复杂性较高

在结构材料及连接方式的选择中，应根据具体的工程要求、成本考量、环境特点和设计目标等因素综合考虑，确保选用的材料和连接方式能够最大程度地符合支架的使用需求，提高支架的整体性能和稳定性。

3.3 基于螺栓参数的考量与应用

表3 螺栓参数的考量表

螺栓直径d	20	mm
螺距P	2.5	mm
有效直径 $d-13 \times P \times \sqrt{3} / 24$	17.65	mm
有效截面积Ae	244.55	mm ²
有效截面数量n	2	
螺栓等级	A2-70	
拉伸强度Fnt	525	N/mm ²
剪切强度Fnv	315	N/mm ²
抗拉力 $F_t = \Phi \cdot F_{nt} \cdot A_e \cdot n$	192.58	kN
抗剪力 $F_t = \Phi \cdot F_{nv} \cdot A_e \cdot n$	115.55	kN

在光伏跟踪支架的设计中，应确保所选螺栓能够承

受支架在动态跟踪过程中的拉伸和剪切力。有效直径 $d-1$ 的计算结果表明,螺栓的有效连接面积足够大,可以传递较大的力,这有助于增强支架的整体结构强度。其次,有效截面积 A_e 为 244.55mm^2 ,这一参数反映了螺栓连接部分的实际承载面积。在优化设计中,可以通过增加螺栓数量或调整布局来提高连接部位的总承载面积,从而进一步提升支架的承载能力。同时,考虑到有效截面数量 n 为2,这意味着在设计中需要考虑到双重连接的稳定性,确保两个螺栓之间的受力均匀分布,防止出现受力集中或过度弯曲的情况^[3]。螺栓的拉伸强度 F_{nt} 为 525N/mm^2 和剪切强度 F_{nv} 为 315N/mm^2 ,这两个参数是评估螺栓性能的重要指标。在优化设计中,应选用符合或超过这些强度要求的螺栓,以确保支架在极端天气条件下的稳定性和安全性。此外,抗拉力 F_t 和抗剪力 F_t 的计算结果也为我们提供了支架在实际运行中的受力情况,有助于我们更精确地评估支架的性能并进行相应的优化设计。

4 光伏跟踪支架风荷载与结构优化设计的结合

4.1 风荷载下的结构响应分析

在分析风荷载对支架结构响应的影响时,工程师会使用一系列先进的工程手段,如数值模拟和有限元分析等,来详细研究风速、风向和风荷载如何影响支架的性能。这些工具不仅可以帮助我们理解支架在不同风速下的受力情况,还能揭示其在风荷载作用下的应变、变形和受力分布等关键信息。

风荷载的计算是一个关键步骤,它可以帮助我们量化风对支架的作用力。一个简单的风荷载计算公式如下:

$$[F = C \times A \times v^2]$$

其中,(F)是风荷载,即风对支架的作用力;
(C)是风力系数,它与支架的形状和表面特性有关;
(A)是支架迎风面积,即风直接吹向的支架部分的面积;
(v)是风速。

通过这个公式,可以大致估算出不同风速下支架所受的风荷载大小。

在结构响应分析中,还会关注支架的应力分布。应力是单位面积上的作用力,它反映了支架在不同位置上

的受力情况。通过对比不同风速下的应力分布,我们可以找出支架的潜在弱点,比如应力集中的区域,这些区域可能是支架在未来使用中容易出现问题的地方。

4.2 结构优化设计方案制定

在进行结构优化设计方案的制定时,首先需要综合考虑风荷载下的支架受力情况和结构响应,通过对支架的应变、变形和受力分布进行详细分析,确定存在的弱点和结构疲劳部位。在此基础上,工程师可以制定结构优化设计方案,改善支架的稳定性和抗风能力。结构优化设计方案的制定过程中,可以针对不同部位进行有针对性的设计改进,比如加固连接部位、优化支架横截面形状、增加材料强度等措施。在面对风荷载强烈时,可能需要考虑加大支架的截面尺寸或增加支撑结构,以提高其抗风承载能力^[4]。对于跟踪支架的关键节点,可以设计特殊的加固构件或连接方式,以增强其整体刚度和稳定性。通过这些设计改进,可以有效减小风荷载对支架造成的影响,提高支架的性能和稳定性。

结束语

在光伏跟踪支架设计中,风荷载的准确确定与结构优化设计的应用是确保支架稳定性和高效运行的必要要素。通过科学的方法和合理的设计,能够有效提升支架的承载能力和抗风性能,确保其在各种恶劣气候条件下的安全运行。结合风荷载和结构优化设计,为光伏系统的长期运行提供坚实基础和技术支撑。

参考文献

- [1]梁甜.吴继亮.廖锴.谭争光.采煤塌陷区光伏支架及基础设计思考[J].低碳世界.2020.(09):34-35.
- [2]杨涛.范久臣.刘荣辉.张浩.贾双林.基于有限元法的太阳能光伏支架结构与优化[J].吉林化工学院学报.2019.(03):39-44.
- [3]韦媛.“彩虹”台风灾害对太阳能光伏电站损毁性影响原因分析和应对措施[J].通讯世界.2020(22):103-105.
- [4]张晓宇.李明华.王志强.刘晓梅.光伏跟踪支架风荷载计算方法及结构优化实践[J].可再生能源.2024.(06):89-93.