

光伏支架结构优化设计研究

李佳璠

中国华电科工集团有限公司 北京 100160

摘要：本文深入探讨光伏支架结构的优化设计研究。分析当前光伏支架设计中存在的问题与挑战，如稳定性不足、抗风能力差和光照角度固定等。提出针对性的优化设计方案，包括材料选择、结构稳定性增强、风载荷适应性改进以及光照角度自动调整等方面。通过案例分析和对比研究，验证优化设计后的光伏支架结构在稳定性、抗风能力和发电效率方面的显著提升。研究不仅为光伏支架的设计提供理论依据和实践指导，也为光伏发电技术的进一步发展奠定基础。

关键词：光伏；支架结构；设计方法

1 光伏支架结构的特点

光伏支架结构在太阳能光伏发电系统中扮演着至关重要的角色，其设计旨在稳定、高效地支撑和固定太阳能面板。第一，材质多样性：光伏支架结构的材质多样，主要包括混凝土、钢结构和铝合金等。混凝土支架主要应用于大型光伏电站，因其自重大，稳定性高，能支撑尺寸巨大的电池板。而钢结构和铝合金支架则因其轻便、耐腐蚀、安装简便等优点，广泛应用于民用和工业太阳能光伏项目中。第二，设计灵活性：光伏支架结构的设计灵活多变，可根据不同的安装环境和需求进行定制。例如，坡屋面光伏系统支架设计灵活，可以适应不同厚度的瓦屋面，实现高度可调，且配件灵活，连接板等多开孔设计方便实现支架位置的调整。支架结构也具备快速安装的特点，能够配合大型地面光伏系统电站的施工进度。第三，稳固牢靠：光伏支架结构在设计中充分考虑了稳固性和牢靠性，通过采用多种稳固牢靠的基础连接方式，如混凝土条形（块状）基础、螺旋桩、水泥预埋桩等，确保支架结构在恶劣的自然环境下依然能够稳定支撑太阳能面板。第四，兼容性：光伏支架结构具有较强的兼容性，可适应不同规格和类型的太阳能面板。例如，地面双柱支架和单柱支架均可用于不同排列方式的组件，实现任意更换和组合。这种兼容性使得光伏支架结构能够灵活应对不同的项目需求^[1]。第五，环保性：光伏支架结构在设计和制造过程中充分考虑了环保因素。例如，采用热镀锌处理的钢材和铝合金材料，具有较强的耐腐蚀性和环保性，可循环利用，无材料浪费。光伏支架结构的应用也有助于减少化石能源的使用，降低温室气体排放，促进可持续发展。

2 光伏支架设计对光伏发电效率的影响因素

光伏支架设计对光伏发电效率具有显著的影响，其

设计质量直接关系到太阳能面板的接收光线效率、稳定性和运行寿命，进而影响整个光伏发电系统的发电效率。光伏支架的设计需要确保太阳能面板能够最大限度地接收到阳光直射。合理设计的支架角度和布局能够使面板面向太阳，减少阴影遮挡，提高光线的接收效率，支架的高度和间距也需要经过精确计算，以确保太阳能面板之间的间距不会互相遮挡，从而最大化光照利用率。光伏支架必须足够稳定，以抵御各种自然因素（如风、雪、冰雹等）的影响。不稳定的支架可能导致面板倾斜、损坏甚至脱落，严重影响光伏发电系统的正常运行和发电效率。在设计过程中需要充分考虑支架的结构强度、抗风能力、抗腐蚀性等因素，确保支架的稳固性。光伏面板在运行过程中会产生一定的热量，过高的温度会影响面板的发电效率和使用寿命。光伏支架的设计需要具备良好的散热性能，通过合理的结构和材料选择，将面板产生的热量及时散发出去，保持面板在最佳工作温度范围内运行。光伏支架的设计还需要考虑维护的便利性。易于维护的支架结构能够降低维护成本，提高系统的运行效率。例如，设计可拆卸、可调整的支架部件，方便进行清洁、维修和更换工作；通过合理布局和预留通道，方便维修人员进入现场进行作业。不同地区的气候和环境条件存在差异，光伏支架的设计需要充分考虑当地的环境特点。例如，在风沙较大的地区需要采用防沙设计；在沿海地区需要考虑防腐蚀设计；在寒冷地区需要采取防冻措施等。通过适应不同环境的支架设计，可以确保光伏发电系统在不同地区都能够稳定运行并发挥最佳效率。

3 光伏支架结构优化设计原则

光伏支架结构的优化设计原则旨在确保光伏系统的高效性、稳定性、经济性和可持续性。优化设计应首先

确保光伏支架能够最大限度地提高太阳能面板的接收光线效率,这包括考虑当地的气候条件、太阳辐射角度以及地理特征,合理确定支架的倾斜角度和朝向,确保太阳能面板能够全天候、无遮挡地接收阳光。光伏支架必须能够承受各种自然因素(如风、雪、地震等)的考验,确保系统的长期稳定运行。在设计中,应充分考虑支架的结构强度、材料选择和连接方式,通过科学计算和分析,确保支架的稳固性和抗风、抗雪压等能力。优化设计应在保证系统性能的前提下,尽可能降低支架的成本。这包括选择经济适用的材料、简化支架结构、提高生产效率等方面。同时也要考虑支架的维护成本和使用寿命,确保整个光伏系统的经济性。光伏支架的设计应考虑其环境影响和资源利用效率,推动绿色可持续发展^[2]。例如,可以选择可再生或可回收的材料,减少资源消耗和环境污染;也要考虑支架的拆卸和再利用,降低废弃物的产生。通过模块化设计,可以将光伏支架分解为若干个标准模块,便于生产、运输和安装。标准化设计可以降低生产成本和维护成本,提高生产效率和质量。此外,模块化与标准化设计还有助于提高系统的可扩展性和可维护性。随着技术的发展,光伏支架设计也应融入智能化和自动化的元素。例如,通过智能监测系统实时监测支架的状态和性能,及时发现并解决问题;通过自动化安装设备提高安装效率和质量等。

4 光伏支架结构优化设计方法

4.1 结构材料选择及强度分析

在光伏支架结构的优化设计中,结构材料的选择及强度分析是至关重要的一环。选择合适的材料能够确保支架结构的坚固耐用,同时满足成本效益的要求。常见的光伏支架材料包括钢材、铝合金、不锈钢等,每种材料都有其独特的性能和适用场景。钢材以其高强度、低成本和易加工性成为首选,但在潮湿或腐蚀性环境中需要采取防腐措施。铝合金则以其轻质、耐腐蚀和易加工性受到青睐,但成本相对较高。不锈钢则具有优异的耐腐蚀性和强度,但价格较高。在选择材料后,需要进行强度分析以确保支架结构能够承受预期的载荷。强度分析包括静力分析和动力分析两个方面。静力分析主要关注支架结构在静载荷作用下的应力、应变和变形情况,以验证其承载能力和稳定性。动力分析则考虑风、地震等动态载荷对支架结构的影响,以评估其动态响应和安全性。通过强度分析,可以优化材料的截面尺寸、壁厚和连接方式等,进一步提高支架结构的承载能力和稳定性。

4.2 结构稳定性优化设计

结构稳定性是光伏支架设计中不可忽视的要素。一

个稳定的支架结构能够确保太阳能面板在恶劣天气条件下依然能够正常工作,避免倒塌或损坏。在稳定性优化设计中,需要考虑多个方面。首先,通过合理的结构设计来增强支架的整体稳定性。例如,采用三角形或梯形等稳定结构形状,利用三角形的稳定性原理来提高支架的承载能力和抗风能力。在支架的节点处采用加强板或加强筋等加强措施,以提高节点的刚度和稳定性。其次,通过优化支架的支撑方式和基础设计来增强稳定性,例如,在地面光伏电站中,可以采用混凝土基础或螺旋桩基础等方式来固定支架,以确保其稳定性。在屋顶光伏系统中,则需要根据屋顶结构和承重能力来选择合适的支架类型和安装方式。还需要考虑支架的变形和振动对稳定性的影响。通过合理设计支架的刚度和阻尼特性,可以减少变形和振动对系统的影响,提高系统的稳定性和可靠性。

4.3 风载荷与地形适应性优化设计

风载荷是光伏支架设计中需要考虑的重要因素之一。不同地区的风速、风向和风力分布差异较大,对支架结构的要求也不同。在设计中需要充分考虑风载荷的影响,并进行适应性优化设计。通过风洞试验或数值模拟等方法对支架结构进行风载荷分析,了解其受力情况和变形特点。根据分析结果,可以优化支架的结构形状、截面尺寸和连接方式等,以减小风载荷对系统的影响。考虑地形对风载荷的影响,在山区、高原等复杂地形条件下,风载荷的分布和大小会受到地形的影响。在设计中需要充分考虑地形因素,选择合适的支架类型和安装方式,以确保系统的稳定性和安全性。还可以采用一些被动或主动的风控措施来减小风载荷对系统的影响。例如,在支架上安装挡风板或采用风向自适应调节技术等措施,以减少风对系统的影响^[3]。

4.4 光照角度考虑与调整

光照角度是影响光伏发电效率的关键因素之一。在光伏支架结构的设计中,需要充分考虑光照角度的影响,并进行相应的调整和优化。根据当地的纬度、季节和天气条件等因素,确定太阳能面板的最佳倾斜角度。通过调整支架的倾斜角度,可以使太阳能面板始终面向太阳,最大限度地接收阳光辐射。这不仅可以提高光伏发电效率,还可以减少阴影遮挡和反射损失等问题。考虑地球自转和公转对光照角度的影响,由于地球的自转和公转会导致太阳位置的变化,因此支架结构需要具有一定的调节能力,以适应不同时间段的光照条件。例如,采用自动跟踪系统或手动调节装置等方式,可以根据太阳位置的变化自动或手动调整支架的角度和朝向。

还需要考虑周围环境对光照角度的影响,例如,在建筑物或树木等遮挡物较多的环境中,需要特别注意支架的高度和角度设计,以避免遮挡和阴影对光伏发电效率的影响。

5 光伏支架结构优化设计案例分析

5.1 具有设计优化的光伏支架结构案例分析

在光伏发电领域,支架结构的优化设计对于提高系统的整体效率和可靠性至关重要。以下是一个具有设计优化的光伏支架结构案例分析,展示了如何通过精心的设计改进来提高系统的性能。案例背景:该案例位于一个光照资源丰富但风力较大的地区。原始的光伏支架结构在面临大风天气时出现了明显的晃动和变形,影响了太阳能面板的接收效率和系统的稳定性。为了解决这些问题,设计团队对该支架结构进行了优化设计。优化设计内容:设计团队选择了高强度、耐腐蚀的铝合金材料作为支架的主要构成部分。这种材料不仅具有优异的机械性能,还能够在恶劣环境下保持长期的稳定性。为提高支架结构的稳定性,设计团队采用三角形稳定结构,并在关键节点处增加加强筋。他们还优化支架的基础设计,采用了更加稳固的混凝土基础,以抵御风力的冲击。考虑到当地风力较大的特点,设计团队在支架上安装挡风板,并采用风向自适应调节技术。这些措施有效地减小风载荷对系统的影响,提高支架的抗风能力。设计团队根据当地的纬度和季节变化,优化支架的倾斜角度。通过自动跟踪系统,支架可以自动调整角度和朝向,确保太阳能面板始终面向太阳,最大限度地接收阳光辐射。实施效果:经过优化设计后的光伏支架结构在实际运行中表现出色^[4]。在风力较大的情况下,支架依然能够保持稳定,没有出现明显的晃动和变形,由于光照角度的优化调整,太阳能面板的接收效率也得到了显著提高。据统计,与原始支架结构相比,新支架结构的发电量提高了约10%,系统的整体效率和可靠性得到了显著提升。

5.2 改进设计前的支架结构实际情况对比分析

在介绍具有设计优化的光伏支架结构案例之前,首先需要了解改进设计前的支架结构实际情况。原始支架

结构描述:该原始支架结构主要由普通钢材制成,采用传统的直线型设计,缺乏必要的稳定性增强措施。支架的基础设计也相对简单,采用了浅埋式基础,无法有效抵抗风力的冲击。支架的倾斜角度固定,无法根据太阳位置的变化进行自适应调整。问题与挑战:在风力较大的情况下,原始支架结构出现明显的晃动和变形,影响太阳能面板的接收效率和系统的稳定性。由于基础设计简单,支架无法有效抵抗风力的冲击,导致在极端天气条件下容易受损或倒塌。由于支架的倾斜角度固定,无法根据太阳位置的变化进行自适应调整,导致在一天中的不同时间段内,太阳能面板的接收效率存在差异。改进设计后的对比:与原始支架结构相比,经过优化设计后的光伏支架结构在多个方面都有显著的提升。新材料的应用、稳定性增强措施的实施、风载荷适应性的改进以及光照角度的自动调整等功能,使得新支架结构在面临恶劣天气条件时依然能够保持稳定,提高系统的整体效率和可靠性。这些改进措施也为光伏发电系统的长期稳定运行提供有力保障。

结束语

光伏支架结构的优化设计研究是光伏发电技术发展的重要一环。随着可再生能源的日益普及和需求的不断增长,对光伏支架的性能要求也越来越高。本文的研究成果为光伏支架的优化设计提供了有益的参考和借鉴,希望能够在未来的实践中得到广泛应用。同时,也期待更多的研究者能够继续深入探索光伏支架的优化设计技术,为推动光伏发电技术的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]杨海.李俊.汪伟.光伏支架结构优化设计研究及应用[J].太阳能.2019.39(7):45-50.
- [2]张明.王伟.基于有限元分析的光伏支架结构优化设计研究[J].可再生能源.2020.38(11):1423-1428.
- [3]王佳.刘宇.光伏支架结构材料选择与优化设计研究[J].电力与能源.2021.42(6):787-791.
- [4]李萍.赵刚.基于成本优化的光伏支架结构设计与分析[J].电力科学与技术学报.2022.37(2):123-128.