

# 风机发电技术与功率控制策略

孔德峰

宁夏银星能源股份有限公司 宁夏 银川 750000

**摘要:** 本文概述了风机发电技术的基本原理、优势及功率控制策略,并分析了风机发电技术的发展趋势。风机发电基于风能转化为机械能再转化为电能的基本原理,具有清洁、可再生的优势。MPPT、变速恒频和桨距角控制策略是常用的功率控制方法。随着技术进步,大容量风电系统、风机发电并网技术和智能化风电产品正成为发展重点,推动风电产业向更高效、更智能的方向发展。

**关键词:** 风机发电技术;功率控制;策略

## 引言

风力发电作为一种清洁、可再生的能源技术,在全球能源结构中占据重要地位。本文先介绍了风力发电的基本原理和优势,再详细阐述了最大功率点跟踪、变速恒频和桨距角控制等常用的功率控制策略。这些策略不仅提高了风电系统的效率,也确保了风电场的安全稳定运行。

## 1 风机发电技术的基本原理及优势

### 1.1 基本原理

风机发电技术,作为一种可再生能源的转换技术,其核心在于有效地将自然界中广泛存在的风能转化为电能。首先,当风通过风机发电机组的叶片时,叶片作为空气的受体,会受到风的作用力而产生旋转。这种旋转力矩的大小与风速、叶片的形状、叶片的角度等多个因素有关。为了最大化地捕获风能,叶片的设计通常采用翼型截面,并根据空气动力学原理进行优化,以确保在特定的风速条件下,叶片能够产生足够的旋转力矩。其次,叶片产生的旋转力矩通过传动系统(如齿轮箱)传递到发电机上。传动系统的作用是将叶片的低速旋转转化为发电机所需的高速旋转。在这一过程中,齿轮箱起到了关键作用,它通过多级齿轮的啮合,实现了转速的变换和力矩的传递。再次,发电机是风机发电系统的核心部件,它负责将机械能转化为电能。当发电机的转子受到传动系统传递的旋转力矩时,转子开始旋转。在转子内部,存在着强磁场,当转子旋转时,磁场与转子上的导体相互作用,产生感应电动势。这个感应电动势经过发电机内部的电路处理后,最终在发电机的输出端产生电能。最后,在风机发电过程中,控制系统也很重要,它可以根据风速、风向等实时信息,调整叶片的角度和风机发电机组的运行状态。例如,在风速过大时,控制系统可以通过调整叶片角度,减小叶片的受力面积,从而降低风机的输出功率,防止设备过载。在风速

过小时,控制系统则可以通过优化传动系统的传动比,提高发电机的转速和输出功率<sup>[1]</sup>。

### 1.2 优势

(1) 清洁环保: 风机发电技术的首要优势在于其环保特性,与传统的化石燃料发电相比,风机发电过程中不产生任何有害气体、废水和固体废弃物,所以对环境污染没有污染。风机发电也不消耗水资源,也不会产生热污染,对生态平衡和环境保护具有重要意义。在全球气候变暖、环境污染日益严重的背景下,风机发电作为一种清洁、绿色的能源形式,对于推动绿色能源发展、实现可持续发展目标具有不可替代的作用。(2) 可再生性: 风能作为一种可再生能源,具有巨大的潜力和长期利用价值,地球上的风能资源非常丰富,且分布广泛,不受地域限制。与传统的化石能源相比,风能不会枯竭,可以持续利用数百年甚至数千年。这种可再生性使得风机发电成为了一种可靠的能源供应方式,有助于保障国家能源安全和促进经济发展。(3) 经济性: 随着风电技术的不断发展和成熟,风机发电成本逐渐降低,使得风机发电在经济上具有了较强的竞争力。风机发电机组的制造成本不断下降,提高了设备的性价比;风机发电的运营和维护成本也相对较低,因为风机发电设备结构简单、运行稳定、维护方便。(4) 地域适应性: 风机发电技术具有较强的地域适应性,可以在各种地形和气候条件下运行。无论是高山、平原、沙漠还是海洋,只要有足够的风能资源,就可以建设风机发电场。这种地域适应性使得风机发电具有广泛的适用性和灵活性,可以根据不同地区的实际情况进行定制化的设计和建设。风机发电也可以与其他能源形式进行互补,提高能源供应的稳定性和可靠性。

## 2 风机发电技术常用的功率控制策略

### 2.1 最大功率点跟踪(MPPT)控制策略

最大功率点跟踪 (MPPT) 控制策略是确保风机发电机组在各种风速条件下都能高效地输出最大功率。MPPT控制策略的核心思想在于实时调整风机发电机组的运行参数,使其始终工作在最大功率点附近。由于风速的波动性和不确定性,风机发电机组的输出功率也会随之变化。MPPT控制策略需要能够快速响应风速变化,并准确地找到当前风速下的最大功率点。在MPPT控制策略中,最常用的两种方法是最优叶尖速比法和爬山法。(1)最优叶尖速比法是一种基于风机机设计参数的控制方法。它根据风机机的空气动力学特性和叶片设计参数,计算出风机机在不同风速下的最优叶尖速比。在实际应用中,控制系统通过测量风速和风机机的转速,计算出当前的叶尖速比,并将其与最优叶尖速比进行比较。如果当前叶尖速比偏离最优值,控制系统将调整风机机的转速,使其回到最优叶尖速比附近,从而实现最大功率输出。这种方法适用于风速相对稳定的情况,能够较为准确地找到最大功率点。但在风速变化较大的情况下,最优叶尖速比法可能无法快速响应风速变化,导致功率输出波动较大。(2)为了解决这个问题,人们提出了爬山法。爬山法是一种基于功率反馈的控制方法,它不需要知道风速和风机机的功率曲线。在实际应用中,控制系统通过不断改变风机机的转速,并测量对应的输出功率,找到输出功率最大的转速点。控制系统将风机机的转速固定在这个点上,实现最大功率输出。当风速发生变化时,控制系统会重新进行搜索,找到新的最大功率点。这种方法适用于风速变化较大的情况,能够快速响应风速变化,并找到最大功率点。在实际应用中,MPPT控制策略需要根据具体的风机发电机组类型、风速特性和系统要求等因素进行定制。控制系统需要能够实时测量风速、转速和输出功率等参数,并根据这些参数调整风机发电机组的运行参数<sup>[2]</sup>。

## 2.2 变速恒频控制策略

变速恒频控制策略通过动态调整风机发电机组的转速,确保发电机输出的电能频率保持恒定。变速恒频控制策略的核心思想在于,风机发电机组的转速不再固定,而是根据风速的变化进行动态调整。在风速较低时,通过降低发电机组的转速,使风机机叶片能够捕获更多的风能,从而增加发电机的输出功率。相反,在风速较高时,通过提高发电机组的转速,使风机机叶片减少风能捕获量,以避免发电机组过载。这种变速调节方式使得风机发电机组能够更好地适应风速的变化,提高风能利用率。在实现变速恒频控制的过程中,有两种常见的控制方法:(1)双馈异步发电机控制策略和直驱永

磁同步发电机控制策略。双馈异步发电机控制策略通过在发电机转子侧和电网侧分别接入变频器,实现对发电机转速和功率的灵活控制。当风速变化时,变频器会根据实时测量的风速和发电机运行状态,调整转子侧的电流和电压,从而改变发电机组的转速和输出功率。这种控制方法具有较高的灵活性和可靠性,能够实现对风能的高效利用。(2)直驱永磁同步发电机控制策略则采用无刷直流电机技术,将风机机叶片直接连接到发电机转子上,省去了传统的齿轮箱等传动部件。这种结构使得发电机组的转动惯量减小,响应速度更快。在变速恒频控制中,直驱永磁同步发电机通过调整发电机的磁通量和电流,实现对转速和功率的控制。由于省去了传动部件,直驱永磁同步发电机具有更高的能量转换效率和更低的维护成本。

## 2.3 桨距角控制策略

桨距角控制策略是通过调整风机发电机组叶片的桨距角(即叶片与风向之间的夹角)来改变叶片对风能的捕获能力,进而实现对发电机输出功率的调控。桨距角控制策略的基本原理是,通过改变叶片的桨距角,调整叶片对风能的捕获面积和捕获效率。当风速较高时,如果叶片的桨距角保持不变,风机发电机组可能会因为捕获过多的风能而出现过载现象,导致发电机和传动系统受到损害。为了避免这种情况,控制系统会适当增大叶片的桨距角,使叶片的攻角减小,从而减少叶片对风能的捕获量。这样做不仅可以防止风机发电机组过载,还可以降低机组的机械应力和疲劳损伤,延长机组的使用寿命。相反,当风速较低时,如果叶片的桨距角过大,会导致叶片对风能的捕获量不足,影响发电机组的发电效率。为了提高发电效率,控制系统会适当减小叶片的桨距角,使叶片的攻角增大,从而增加叶片对风能的捕获量。这样做可以使风机发电机组在较低风速下也能保持较高的发电效率,提高整个风电场的经济效益。在实际应用中,桨距角控制策略的实现需要考虑多个因素。首先,控制系统需要能够实时准确地测量风速和风向等气象参数,以便根据风速变化调整叶片的桨距角。其次,控制系统需要能够精确地控制叶片的桨距角,确保叶片在调整过程中能够平稳、快速地响应风速变化。最后,控制系统还需要考虑风机发电机组的机械特性和电气特性,确保在调整桨距角的过程中不会对机组造成过大的机械应力和电气损伤。除了基本的桨距角控制策略外,还可以根据实际需求引入一些优化算法和控制技术来提高桨距角控制的性能和精度。例如,可以采用模糊控制、神经网络控制等智能控制算法来优化桨距角的调

整过程,提高风机发电机组的适应性和鲁棒性。此外,还可以结合预测控制、多变量协调控制等技术来实现对风机发电机组输出功率的精确控制,进一步提高风电场的发电效率和经济效益<sup>[3]</sup>。

### 3 风机发电技术的发展分析

#### 3.1 大容量风电系统

大容量风电系统,即指那些具备更高单机容量和更大装机规模的风电场,它们对于提高风能利用率、降低发电成本以及推动风电产业的规模化发展具有重要意义。大容量风电系统的发展首先体现在风机发电机组单机容量的增加上。随着技术的不断进步,风机发电机组的单机容量已经从最初的几百千瓦发展到现在的数兆瓦,甚至更大。这种大型化的趋势使得风机发电机组能够更有效地捕获风能,从而提高发电效率。除了单机容量的增加,大容量风电系统还体现在风电场装机规模的扩大上。随着风电技术的不断成熟和成本的降低,越来越多的国家和地区开始建设大规模的风电场。这些风电场不仅装机容量大,而且采用了先进的控制技术和运维管理模式,确保了风电场的高效、稳定运行。大容量风电系统的发展还推动了风电产业链的升级和整合。随着风电场规模的扩大和技术的提升,风电设备制造、安装、运维等各个环节都面临着更高的要求和挑战。这促使风电产业链各环节的企业加强合作,共同推动风电技术的进步和产业的发展。

#### 3.2 风机发电并网技术

首先,风机发电并网技术正朝着智能化和自动化的方向发展。传统的并网技术依赖于人工操作和经验判断,而现代并网技术则借助先进的控制系统和算法,能够实时监测风电场的运行状态,并自动调整风电机组的运行参数,以确保风电场与电网的协同运行。其次,风机发电并网技术也在不断提高对电网的适应能力。由于风能的不确定性和波动性,风电场对电网的影响是复杂多变的。现代并网技术通过引入先进的预测控制技术和多变量协调控制策略,能够更准确地预测风电场的输出功率,并优化其并网方式,以减小对电网的冲击和干扰。最后,风机发电并网技术还在不断推动风电场与电力系统的深度融合。随着智能电网和分布式能源的发

展,风电场不再是孤立的能源供应点,而是成为电力系统中的重要组成部分。现代并网技术通过引入先进的通信技术和信息化手段,实现了风电场与电力系统的信息共享和协同优化,从而提高了整个电力系统的运行效率和可靠性。

#### 3.3 智能化风电产品

第一,智能化风电产品配备了先进的传感器和监测系统。这些系统能够实时监测风电设备的运行状态,包括风速、风向、温度、振动等关键参数。通过数据收集和分析,智能化风电产品能够预测设备的潜在故障,提前进行维护和保养,从而降低了设备停机时间和维修成本。第二,智能化风电产品还引入了先进的人工智能和机器学习技术。这些技术能够处理和分析大量的运行数据,优化风电设备的运行策略。例如,通过学习历史风速数据和设备响应模式,智能化风电产品能够预测未来的风速变化,并据此调整风电机组的运行参数,以实现更高的发电效率和更低的能源损耗。第三,智能化风电产品还具备远程监控和管理的功能。通过云计算和物联网技术,用户可以随时随地访问风电设备的运行数据,进行远程监控和管理。这不仅提高了风电设备的可维护性,也方便了风电场的运营管理<sup>[4]</sup>。

#### 结语

随着全球对可再生能源需求的不断增长,风力发电技术将持续发展。大容量风电系统、风力发电并网技术和智能化风电产品的应用将进一步推动风电产业的创新与发展。以后,风力发电将在全球能源体系中发挥更加重要的作用,为实现可持续发展目标贡献力量。

#### 参考文献

- [1]王刚.变频技术在风力发电机组及风机电气系统中的运用实践[J].电力设备管理,2024(5):173-175.
- [2]顾明月.风力发电技术及新型风机电控系统研究[J].光源与照明,2024(2):186-188.
- [3]古世昌.风机发电机中电力电子技术的应用研究[J].光源与照明,2023(7):237-239.
- [4]李超.风机发电技术与功率控制策略[J].百科论坛电子杂志,2019(2):520-521.