

风力发电控制技术研究

孔德峰

宁夏银星能源股份有限公司太阳山风力发电厂 宁夏 银川 750000

摘要：风力发电作为清洁能源的重要组成部分，面临着成本、可持续性和环境影响的挑战。风力发电机的基本运行原理是将风能转化为电能，但项目成本高，包括设备购置、建设和运维费用。风能的波动性给电网稳定性带来挑战，储能技术的应用虽能缓解这一问题，但其成本和效率仍是限制因素。控制技术是提升风力发电效率的关键，包括定桨距失速、主动失速/混合失速、变桨距和变速发电技术，这些技术的发展和应对风力发电的未来至关重要。

关键词：风力；发电控制；技术研究

引言

随着全球对可再生能源需求的日益增长，风力发电作为一种清洁、可持续的能源形式，受到了广泛关注。风力发电不仅有助于减少温室气体排放，还能促进能源结构的多样化。然而，在实际应用中，风力发电也面临着多方面的挑战，包括高成本、电网稳定性的维护、环境影响以及技术发展的需求。本文将深入探讨这些问题，并分析当前风力发电控制技术的进展，以期对未来风力发电的持续发展提供参考。

1 风力发电机基本概述

风力发电机，作为可再生能源技术的杰出代表，以其清洁、可再生的特性，在全球范围内受到了广泛的关注和应用。以下是对风力发电机的基本概述，涵盖了其构造、工作原理、应用前景及发展趋势。从构造上来看，风力发电机是一个复杂而精巧的系统。它由多个核心部件组成，包括风轮、发电机、调向器（尾翼）、塔架、限速安全机构和储能装置等。风轮是风力发电机的关键部件，由多个叶片组成，负责捕获风能并转化为机械能。发电机则将风轮旋转的机械能转化为电能^[1]。调向器确保风轮始终面对来风，以获得最佳风能利用率。塔架作为整个系统的支撑结构，确保了风力发电机的稳定性和安全性。当风吹向风轮时，风轮在风力的作用下开始旋转。这一旋转过程将风的动能转化为风轮轴的机械能。发电机随后在风轮轴的带动下开始发电，将机械能转化为电能。这一过程中，风力发电机实现了风能向电能的直接转换，无需消耗化石燃料，也不会产生污染物。随着全球能源危机的加剧和环保意识的提高，越来越多的国家和地区开始大力发展风力发电。风力发电不仅可以为家庭、农场、城市和工业区等提供电力，还可以与储能科技相结合，实现储能和分布式供电，提高能源利用效率和可靠性。此外，风力发电还可以用于供电

网络调整、城市照明、无线电通讯等多个领域。

2 风力发电面临的现状

2.1 风力发电项目的成本构成

风力发电机组的购置费用占据了风力发电项目总投资的大部分。这是因为风力发电机组的技术含量极高，设计、制造和安装都需要高度的专业知识和技术。其复杂的机械结构和电子控制系统，以及对材料、制造工艺的严格要求，都使得风力发电机组的成本居高不下。风力发电站的建设成本也不容忽视。建设风力发电站需要占用大量的土地，并进行基础设施建设，如道路、电网连接等。这些都需要大量的资金投入。此外，由于风力发电站的建设地点往往位于偏远地区，施工条件恶劣，如山地、海滩等，这也增加了建设成本。风力发电机组的运维成本也是一项重要的开支。风力发电站通常分布在广阔的地域，设备的日常巡检、维修和保养都需要专业的技术人员进行操作。由于风力发电机组的复杂性，这些工作都需要高度的专业知识和技能，因此运维成本也相对较高。

2.2 风力发电的可持续性挑战

风力发电作为一种清洁、可再生的能源，其可持续性行业发展的关键因素之一。尽管风力发电具有巨大的潜力，但风能的波动性、电网稳定性以及储能技术的限制，都对风力发电的可持续性提出了挑战。风能是一种间歇性能源，其风速、风向等参数的变化直接影响风力发电机组的运行效率。在风速过低或过高的极端情况下，风力发电机组可能无法正常运行，导致能源供应的不稳定。此外，风向的频繁变化也要求风力发电机组具备高度的灵活性和适应性，这增加了系统的复杂性和成本。随着风力发电的规模化发展，越来越多的风力发电机组被接入电网，这给电网的稳定性带来了前所未有的挑战^[2]。由于风力发电的不稳定性，电网需要不断平

平衡电力供应和需求,确保电压、频率等参数的稳定。然而,这要求电网具备高度的智能化和自动化水平,以及足够的备用容量和调节能力,这增加了电网建设和运营的难度和成本。目前储能技术的成本较高、效率较低,限制了其在风力发电中的应用。储能技术可以将风力发电产生的多余电能储存起来,在电力需求高峰时期释放使用,从而平抑电力供应的波动。然而,目前储能技术的成本仍然较高,且存在能量密度低、循环寿命短等问题,这限制了其在风力发电中的广泛应用。

2.3 风力发电的环境影响与生态保护

风力发电机的旋转叶片对飞行中的鸟类和蝙蝠构成了潜在的威胁。当这些生物在飞行过程中与叶片发生碰撞时,可能会造成伤亡。据相关研究估计,全球每年有大量的鸟类和蝙蝠因与风力发电机的碰撞而死亡。这种影响对于一些濒危物种的生存构成了直接威胁,需要引起我们的高度重视。风力发电站的建设对当地生态系统可能产生破坏。风力发电站需要占用大量的土地进行建设,这可能导致土地资源的减少和植被的破坏。特别是在湿地、草原等生态敏感区域建设风力发电站,可能会对当地的水资源、植被和动物栖息地造成严重影响。这些影响可能进一步破坏生态平衡,对当地的生态系统造成长期损害。风力发电机在运行过程中会产生噪音和光影污染。虽然这些污染相对于其他能源形式来说较小,但在一些特定条件下,如夜间或低风速时期,它们可能会对当地居民的生活造成困扰。噪音污染可能会影响居民的休息和睡眠,而光影污染则可能干扰人们的视觉体验。这些影响虽然不如传统能源形式那样严重,但也需要我们关注和解决。

3 风力发电控制技术分析

3.1 定桨距失速风力发电技术

定桨距失速风力发电技术主要利用叶片翼型的气动特性。在风速较低时,叶片保持正常的升力系数和风能利用系数,高效地将风能转化为电能。当风速超过额定值时,叶片进入失速状态,通过降低升力系数和增加阻力系数,限制风能的捕获,进而控制风力发电机的功率输出^[1]。定桨距失速风力发电技术以其独特的技术特点在风力发电领域中占有一席之地。其结构简单,造价低廉是一大优势。由于没有复杂的功率反馈系统和变桨距执行机构,整个风力发电机组的部件数量大幅减少,这不仅降低了制造成本,也简化了后期维护的流程,使得整个系统更加经济高效。该技术具有高安全系数的特点。它依赖于叶片翼型的失速特性来自动限制功率输出,无需复杂的控制系统进行干预。这种自然调节的机制使得

风力发电机组在面对风速变化时能够保持稳定运行,有效降低了因风速波动导致的机组损坏风险。定桨距失速风力发电技术尤其适用于低风速环境。在低风速条件下,它能够保持较高的风能利用系数,实现稳定的功率输出。

3.2 主动失速/混合失速发电技术

风力发电作为可再生能源的重要组成部分,其技术发展的每一步都备受关注。主动失速/混合失速发电技术作为其中的佼佼者,以其独特的控制方式和高效能表现,成为了风力发电领域的一项重要创新。这项技术结合了定桨距失速发电技术和变桨距发电技术的优点,通过智能调节桨距角,实现了对风能捕捉量和风速的主动控制。在风速较高或风速变化较大的情况下,风力发电机组能够自动调整桨距角,使叶片转为较小的角度,减少受风面积,进而降低转速,有效控制功率输出。这种动态调节的方式,不仅确保了风力发电机组在复杂风况下的稳定运行,还提高了风能利用率,使得发电效率得到显著提升。主动失速/混合失速发电技术的高适应性是其显著特点之一。无论是海上风电场还是山地风电场,该技术都能根据当地的风速条件进行自适应调节,确保风力发电机组的最佳运行状态。同时,其高安全性也得到了充分体现。通过主动控制桨距角,该技术有效避免了风力发电机组在高风速下的过载或损坏,保障了风力发电机组的安全稳定运行。主动失速/混合失速发电技术还具备高效率的特点。该技术能够精确控制风能捕捉量,使得风力发电机组在尽可能短的时间内产生更多的电能,从而降低了发电成本。同时,该技术还结合了现代控制理论和技术,实现了风力发电机组的智能化控制,提高了风力发电系统的稳定性和可靠性。

3.3 变桨距风力发电技术

风力发电作为可再生能源的重要支柱,其技术不断创新和进步,以满足全球日益增长的能源需求。其中,变桨距风力发电技术以其独特的优势,成为了现代风力发电领域的关键技术之一。变桨距风力发电技术的核心在于通过实时调整叶片与风向之间的角度——桨距角,来优化风力发电机组的运行效率。这一技术的实现依赖于先进的控制系统和精确的传感器,它们能够实时监测风速、风向以及发电机组的运行状态,从而精确计算出最佳的桨距角。在风速较低时,变桨距系统会将叶片调整至最佳角度,以最大化捕获风能。此时,风力发电机组会采用最大功率跟踪法(MPPT),通过变流器调节发电机电磁转矩,使风轮转速跟随风速变化,从而实现风能的捕获。这种模式下,风力发电机组能够充分

利用每一缕风,将风能转化为更多的电能。当风速超过风力发电机组的额定风速时,情况则会有所不同。过高的风速会导致风力发电机组过载或损坏,因此必须采取措施限制风能的捕获。此时,变桨距系统会发挥作用,根据风速和功率输出信号的变化,实时调整叶片的桨距角,减小叶片对风的捕获面积,从而降低风轮的转速和功率输出。通过这种方式,变桨距风力发电技术能够确保风力发电机组在额定功率下稳定运行,避免了过载或损坏的风险。

3.4 变速风力发电技术

变速风力发电技术,作为风力发电领域的前沿技术,通过动态调整风力发电机组的转速来优化风能转换效率。它打破了传统风力发电机组固定转速的限制,使风力发电机组能够在不同风速条件下实现更高效、更稳定的运行。该技术的核心在于其变速机制。风力发电机组的转速不再固定,而是根据风速的变化实时调整。当风速较低时,风力发电机组会降低转速,以最大化捕获风能;而当风速较高时,风力发电机组会提高转速,以避免过载和损坏。这种灵活的转速调节能力,使得风力发电机组能够更好地适应复杂多变的风速环境。它的高适应性使得风力发电机组能够在各种风速条件下稳定运行,无论是海上还是山地风电场,都能发挥出最佳性能。通过实时调节转速,该技术能够避免风力发电机组在高风速下的过载或损坏,提高了风力发电机组的安全性能。变速风力发电技术还能够优化风能捕捉量,提高风力发电的效率。当风速变化时,该技术能够确保风力发电机组始终运行在最佳转速附近,从而实现最大功率输出。在技术实现上,变速风力发电技术依赖于先进的控制系统和电力电子装置。发电机的定子直接连接在电网上,而转子绕组则通过集电环与变频器相连。变频器通过精确控制转子电流的频率、幅值、相位和相序,实现变速恒频控制。当风速变化时,转速反馈系统会实时调整发电机的电磁转矩,使发电机转子转速跟踪风速的变化,以获得最大风能。

3.5 储能技术

储能技术在风力发电中扮演着至关重要的角色。其

原理在于,当风力发电机组的发电量超过电网的实际需求时,这些多余的电能被有效地储存起来,以便在电力需求高峰时期释放使用。这种技术的核心作用在于平抑电力供应的波动,确保电网的稳定运行。储能技术的特点显著^[4]。它能够有效地解决风力发电间歇性和波动性的问题,使得风力发电的输出更加稳定可靠。在风速不稳定或风力资源不足的情况下,储能系统可以释放储存的电能,弥补电力供应的不足。储能技术还能够提高电网的稳定性。当电网中其他能源供应出现问题时,储能系统可以迅速提供电力支持,避免电网崩溃或大规模停电的情况发生。储能技术的发展也面临着一些挑战。储能技术的成本相对较高,这限制了其在风力发电中的广泛应用。高昂的成本不仅增加了风力发电项目的投资成本,还可能影响到整个电力系统的经济效益。储能技术的效率也相对较低,这意味着在储存和释放电能的过程中会存在一定的能量损失。随着技术的不断进步和成本的逐渐降低,储能技术有望在风力发电领域得到更广泛的应用。特别是在提高系统稳定性和可靠性方面,储能技术将发挥不可替代的作用。

结语

综上所述,风力发电在可再生能源领域具有重要地位,但也面临着成本、可持续性、环境影响等多重挑战。控制技术的不断创新与发展,尤其是储能技术的进步,将是克服这些挑战的关键。未来,随着科技的不断进步和政策的持续推动,我们有理由相信风力发电将在全球能源结构中占据更加重要的地位,为实现可持续能源目标做出更大贡献。

参考文献

- [1]李明,王强.风力发电控制技术研究进展[J].电力自动化设备,2020,40(07):1-8.
- [2]赵丽,何涛.变速恒频风力发电系统的智能控制策略[J].电力系统自动化,2022,46(03):145-151.
- [3]张亮,王伟.风力发电系统的预测控制技术研究[J].太阳能学报,2022,43(07):355-361.
- [4]李玉红,张丽.风力发电系统中的智能故障诊断与控制[J].自动化仪表,2023,34(02):51-55.