

基于新能源发电的风力发电关键技术

汲 蕾¹ 高 宇^{2,4} 马牧野³ 冯嘉宇^{2,4} 付浩青²

1. 国网石家庄供电公司, 河北 石家庄 050000
2. 河北鲲能电力工程咨询有限公司, 河北 石家庄 050000
3. 沈阳工业大学电气工程学院, 辽宁 沈阳 110870
4. 河北省分布式能源应用技术创新中心, 河北 石家庄 050000

[摘要] 伴随着经济的持续发展, 全球对能源的需求不断增加, 传统能源的过度消耗和由此带来的环境污染问题日益严峻。在此背景下, 我国积极推动新能源的开发, 风力发电作为可再生能源中技术最为成熟且具有广阔开发潜力的发电方式之一, 逐渐成为替代传统能源的关键技术。与火力发电和水力发电相比, 风力发电具有更低的环境负担和更高的能源效率, 因此在全球能源结构转型中占据了重要位置。文中深入探讨了新能源发电与风力发电技术的关系, 重点分析了风力发电的技术现状及发展趋势, 旨在通过对风力发电技术的研究, 缓解日益增长的能源需求与有限的能源供给之间的矛盾, 推动社会的可持续发展。

[关键词] 新能源发电; 风力发电; 关键技术

DOI: 10.33142/ucp.v1i5.14440

中图分类号: TM7

文献标识码: A

Key Technology for Wind Power Generation Based on New Energy Generation

Ji Lei¹, GAO Yu^{2,4}, MA Muye³, FENG Jiayu^{2,4}, FU Haoqing²

1. State Grid Shijiazhuang Power Supply Company, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China
2. Hebei Kunneng Power Engineering Consulting Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China
3. School of Electrical Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang, Liaoning, 110870, China
4. Hebei Province Distributed Energy Application Technology Innovation Center, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the continuous development of the economy, the global demand for energy is constantly increasing, and the excessive consumption of traditional energy and the resulting environmental pollution problems are becoming increasingly severe. In this context, China actively promotes the development of new energy, and wind power generation, as one of the most mature and promising renewable energy generation methods, has gradually become a key technology to replace traditional energy. Compared with thermal and hydroelectric power generation, wind power generation has lower environmental burden and higher energy efficiency, thus occupying an important position in the global energy structure transformation. The article delves into the relationship between new energy generation and wind power generation technology, with a focus on analyzing the current status and development trends of wind power generation technology. The aim is to alleviate the contradiction between the growing energy demand and limited energy supply through research on wind power generation technology, and promote sustainable social development.

Keywords: new energy generation; wind power generation; key technology

引言

随着全球能源结构逐步转型及对可持续发展的重视, 风力发电作为一种清洁且可再生的能源形式, 已经成为全球能源产业不可或缺的一部分。温室气体排放的有效减少、气候变化问题的缓解, 以及为能源消费提供更加稳定、可靠和多样化的选择, 风力发电在这些方面发挥着重要作用。近年来, 随着风电技术的不断进步, 风力发电的规模与效率已显著提升, 尤其是在风电机组设计、发电效率、功率控制及并网技术等领域的创新, 取得了突破性进展。为了进一步推动风力发电的可持续发展、提升其经济性与市场竞争力, 许多关键技术应运而生, 例如风功率预测、偏航控制、功率调节、灵活补偿及智能管理技术等。这些技术的应用, 不仅提升了风电机组的运行效率, 降低了运营成

本, 还有效解决了风电并网过程中可能出现的波动性与不稳定性问题, 确保了风力发电系统在复杂环境下能够稳定运行。本文将对基于新能源发电的风力发电关键技术进行详细分析, 探讨其发展现状及未来发展方向, 以期对风力发电技术的创新与推广提供理论依据与实践指导。

1 风力发电的类型

风力发电可以根据不同的标准进行多种方式的划分。按照风电机组的工作原理, 主要可分为水平轴风力发电与垂直轴风力发电。最为常见的是水平轴风力机组, 其叶片围绕水平轴旋转, 通常被安装在较高的塔架上, 以便捕获更多的风能; 相比之下, 垂直轴风力机组则围绕垂直轴旋转, 具有简洁的结构, 适用于风速变化较大的地区。根据风电机组的安装位置, 风力发电可分为陆上风力发电与海

上风力发电。陆上风电一般建于风力资源丰富的内陆地区或沿海区域，其建设成本相对较低；海上风电则利用海洋区域内稳定且强劲的风力资源，尽管其建设成本较高，但其发电效率通常较优。根据电力与电网的连接方式，风力发电可进一步分为并网系统与独立系统。并网系统将风力发电接入电网，与其他能源共同供电，而独立系统则主要用于偏远地区，提供独立的电力供应。

2 风电机组基本发展现状

风电机组的基本发展现状展现了技术的不断进步与规模的日益扩展。随着全球对可再生能源需求的不断增加，风力发电技术已取得了显著的突破。风电机组的单机功率等级不断提升，从最初的几十千瓦逐步发展到如今的几兆瓦，部分海上风电项目中的机组功率已经突破 12 兆瓦。通过提高大功率与高效率的风电机组，风能的利用率得以显著提升，单位电力生产成本也随之降低。与此同时，风电机组的设计逐渐向智能化与数字化方向转型。通过应用先进的传感器、数据分析与自动化控制技术，机组能够实时监控风速、风向等气象参数，从而优化运行状态，提升发电效率，减少故障发生^[1]。风电机组的材料与制造工艺同样在不断创新，叶片的长径比、气动设计以及材料强度等方面得到了有效改善，确保机组能够在低风速条件下稳定运行。此外，机组的可靠性与耐用性有了显著提升，特别是在海上风电项目中，抗腐蚀与耐盐雾材料的使用大幅延长了机组在恶劣环境下的使用寿命。尽管如此，风电机组仍面临一些挑战，尤其是在海上风电领域，高建设成本、风电场选址问题以及电网接入的技术难题依然亟待解决。

3 基于新能源发电的风力发电关键技术

3.1 风功率预测技术

风功率预测技术作为风力发电系统的关键组成部分，旨在通过分析建模风速、风向等气象数据，精确预测风电机组在未来一段时间内的发电功率。该技术在提升风电系统运行效率、优化电网调度及减少能源浪费方面，发挥着至关重要的作用。风功率预测技术通常依赖于实时采集与分析气象数据，这些数据包括地面气象观测数据、气象卫星数据、雷达数据等，同时还需结合风电场的地理信息及风力机组的性能参数等因素进行综合处理。现代风功率预测方法主要可分为物理模型方法与数据驱动方法两类。物理模型方法通过模拟大气环流与风场分布等物理过程，推算出风电场的风速及风能分布，进而计算出发电功率；而数据驱动方法则通过历史数据及机器学习算法建模风速与发电功率之间的关系，从而实现短期与中期的功率预测。近年来，随着人工智能技术的快速发展，特别是深度学习算法的应用，基于数据驱动的风功率预测方法已得到广泛应用，能够更精确地捕捉复杂的非线性关系，从而提升预测精度。同时，集成预测方法逐渐成为研究的趋势，这种方法将物理模型与数据驱动模型相结合，利用多源数

据的融合，进一步提高预测结果的准确性与可靠性。尽管如此，风功率预测技术依然面临诸如风速预测的不确定性、气象数据质量波动及区域气候变化等挑战，提升预测精度并有效应对极端天气事件，仍是该领域亟待解决的核心问题。

3.2 偏航控制技术

偏航控制技术作为风力发电系统的核心技术之一，其主要功能是调节风电机组的叶片朝向，从而最大程度地捕获风能，确保机组高效运行。通过调整机组的主轴角度，偏航控制系统使叶片始终对准风的方向，显著提高风力机组的能量转化效率。该系统通常由偏航驱动、传感器及控制系统组成，其中，偏航驱动通常由电动机或液压系统提供动力，调整风电机组的定向装置，使其随风向变化实时调整机组的朝向；传感器则负责监测风向变化，并将实时数据反馈给控制系统；控制系统根据传感器提供的信息进行运算，从而自动调整偏航角度，确保风电机组的叶片始终保持在最优工作状态。随着风力机组容量的不断增加，偏航控制的精度与可靠性愈加重要，尤其在海上风电及高风速环境下，精准的偏航控制能够有效减少风机振动负荷，延长机组寿命，并防止风机在风向变化时因过载而发生故障。近年来，随着控制理论不断发展，偏航控制技术已从传统的单一风向感应模式逐步转向多传感器融合模式，使得偏航控制变得更加智能化与灵活。例如，通过结合气象数据、风场特性以及机组的运行状态，综合预测模型能够提前调整风机的偏航角度，从而提高其在复杂风况下的适应性。此外，智能化与自适应控制技术的应用，使得偏航控制系统能够实时响应风速与风向的变化，动态调整工作策略，优化机组的运行状态，避免因固定参数设定或环境变化引起的控制误差。

3.3 功率控制技术

功率控制技术在风力发电系统中扮演着至关重要的角色，其核心目标是确保风电机组在各种风况下稳定运行，并实现最大功率输出。风电机组的输出功率受多个因素的影响，包括风速、风向、叶片角度及电网负荷等，而功率控制技术的关键作用在于实时调节机组功率，以应对风速波动及电网需求，避免机组因风速过高或过低而发生损坏或低效发电。通常，功率控制技术包含三个主要方面：变桨控制、风速切割控制及有功功率调节^[2]。变桨控制通过调整叶片的攻角来优化功率输出。在低风速条件下，叶片角度增大，以提高风能的捕获效率；而在高风速时，叶片角度则减小，避免机组因过载而受损。风速切割控制通过在风速达到额定值时限制功率输出，保护机组免受过大风速的损害，从而确保其在极端天气下的安全运行。同时，为了实现与电网负荷的匹配，风电机组通过有功功率调节来调整发电输出，确保风力发电与电网之间的稳定连接，从而保证电力供应的持续稳定。

3.4 灵活补偿技术

灵活补偿技术在风力发电系统中的重要性日益增加，特别是在风电并网及调度过程中，其有效提升了风电并网的稳定性与可靠性。随着风电装机容量的持续增加，风力发电的波动性对电网运行带来了显著挑战。通过对电网功率流动的实时调节与优化，灵活补偿技术能够有效平衡电网负荷，减轻风电波动对电网的影响。此类技术主要包括静态同步补偿（STATCOM）、统一潮流控制（UPFC）、高压直流电（HVDC）及储能系统等手段。静态同步补偿装置（STATCOM）通过快速调节无功功率，灵活地为风电系统提供功率补偿，从而确保电网电压的稳定，尤其是在风电出力波动时，能够迅速响应电网需求。统一潮流控制（UPFC）则通过调节电网线路的潮流方向及电压，优化风电并网的电能传输效率，避免风力波动引发的电网负荷不均或过载问题。高压直流电（HVDC）技术则通过高压直流电缆，将远离负荷中心的风电场发出的直流电稳定地传输至电网，从而减少交流电网与风电系统之间的功率波动，提供更稳定的电力输出。此外，储能系统在灵活补偿技术中的应用，尤其在短期内出现大幅度风电波动时，能够存储多余电能，并在风速下降或发电不足时释放，从而平滑风电输出，进一步增强系统的稳定性。

3.5 智能管理技术

智能管理技术在风力发电领域的应用正逐步成为提升风电场运营效率、降低成本及优化资源配置的关键手段。随着风电机组容量的增加及风电场规模和复杂性的不断扩展，传统的人工监控与管理方式已无法满足日益严峻的运营需求。通过整合物联网、大数据、云计算以及人工智能等先进技术，风电场的全面数字化与自动化管理得以实现。风电机组的运行状态、气象数据及负荷需求均能被实时监控，系统能够识别潜在问题，如设备故障、性能下降或风速波动，并及时发出警报，提出优化的维修建议。借助大数据分析，历史数据的处理与挖掘使得机组性能变化趋势得以预测，故障预警与维护决策的实施有效减少了突发故障的发生，从而降低了维修成本。此外，风电场的运行调度通过智能管理技术得到优化，机组输出功率得以动态调整，更精确地匹配电网需求，这不仅提高了发电效率，还减少了风电波动对电网的影响。在电网并网方面，智能管理技术通过先进的控制算法与调度策略，能够平衡风力波动与电网负荷，进一步增强了风电并网的稳定性。

4 基于新能源发电的风力发电发展方向

4.1 机组大型化

机组的大型化是未来风力发电领域发展的关键趋势之一。随着技术不断进步与制造能力的提升，风电机组的单机功率已逐步增大，尤其是在海上风电项目中，大型机组的采用已成为提升经济效益与资源利用效率的重要途径。更长的叶片与更为强大的传动系统通常配备于大型机组，使其能够在较低风速下持续稳定运行，从而提高风能

捕捉效率，并在风力资源分布不均的地区维持较高的发电稳定性。通过减少风电场内机组的数量，不仅降低了建设与维护成本，大型机组还优化了土地资源的利用^[3]。然而，机组的大型化也带来了一些技术上的挑战，如运输、安装、调试及后期维护的复杂性，这使得相关配套设施与技术的持续提升成为必要。

4.2 管理智能化

管理智能化已成为风力发电领域未来发展的重要方向，其核心目标是通过数字化与自动化技术的应用，提升风电场的运行效率、降低运营成本，并优化资源配置。随着信息技术、物联网、大数据与人工智能等领域的持续进步，风电场的管理正逐步向智能化、自动化方向转型。实时监控风电机组的运行状态、气象条件及电网需求，智能管理系统能够依据实时数据精确调节机组的输出功率，从而优化风电场的运行调度，减少由风速波动或设备故障引起的发电波动。机组的运行效率不仅能提高，设备使用寿命也能延长，通过智能化管理，还能实现故障的预测与维护优化，从而避免因突发故障导致的停机与维修成本^[4]。此外，风电场能够更精准地预测风能资源的变化趋势，借助大数据分析，进行更精确的发电规划与电网负荷匹配。

4.3 产业融合化

产业融合已成为风力发电发展的关键趋势，其核心在于通过跨行业的技术合作与资源整合，提升整个风电产业的效益与可持续发展潜力。在全球能源转型的背景下，风力发电与其他新能源产业、传统能源行业，以及数字化和智能化技术的深度融合，逐步成为推动产业创新与发展的重要力量。例如，风电与储能技术的结合，有效缓解了风电出力波动问题，电力供应的稳定性与灵活性得到了显著提升；与此同时，风电与电动汽车、绿色氢能等行业的融合，不仅实现了能源的高效利用，也推动了新能源的多元化应用。此外，产业链上下游的整合，如设备制造、运维服务与电力销售等环节的协同优化，将有助于降低整体成本，增强市场竞争力。随着产业融合的不断深化，风力发电不再仅仅作为单一的电力供应来源，而将成为能源、交通、制造等多个领域协同发展的关键组成部分，推动能源系统向低碳化、智能化转型，绿色可持续发展的目标将得以强有力的支撑。

5 结语

风力发电，作为新能源领域的重要组成部分，凭借其环保性、可持续性 & 高效性，已成为全球能源转型的核心技术之一。随着技术的不断进步，风力发电在多个方面取得了突破，尤其是在提高发电效率、控制成本、提升并网稳定性以及智能化管理等领域。创新的风功率预测、偏航控制、功率控制、灵活补偿以及智能管理等关键技术，为风电的规模化发展与运营优化提供了强有力的技术支撑。尽管如此，风力发电仍面临诸如风能资源分布不均、机组

大型化所带来的安装与维护难题等挑战。随着技术的进一步提升及产业链的不断完善,未来风力发电有望实现更高效、更智能且更可持续的运营模式,为全球能源结构优化及应对气候变化目标的实现做出更大贡献。通过不断的技术创新与产业协同,风力发电将在推动全球绿色低碳发展与能源转型的过程中,扮演更加重要的角色。

[参考文献]

[1] 钟行. 基于新能源发电的风力发电关键技术[J]. 科学技术创新, 2024(22): 205-208.

[2] 周鸿鸣. 基于新能源发电的风力发电技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023(19): 157-159.

[3] 黄仕亮. 新能源风力发电技术分析[J]. 通讯世界, 2024, 31(6): 124-126.

[4] 郭志成. 新能源风力发电的发展思路探索[J]. 化工设计通讯, 2018, 44(11): 182.

作者简介: 汲蕾(1978.3—), 毕业于华北电力大学电力系统及其自动化专业, 现就职于国网石家庄供电公司, 高级工程师。