

风力发电机及风力发电控制技术研究

林 伟

京能电力乌兰察布分公司内蒙古京能岱海新能源有限公司 内蒙古 乌兰察布 013700

摘要：风力发电机及风力发电控制技术作为清洁能源领域的重要研究方向，近年来得到了广泛关注。本文综述风力发电机的技术现状，包括大型化、智能化等发展趋势，并深入探讨风力发电控制技术的创新点，如电网并联控制、故障保护控制等。这些技术的不断进步，不仅提高风力发电的效率和可靠性，也为全球能源结构转型和环境保护做出重要贡献。随着技术的持续创新和应用，风力发电将在未来能源领域发挥更加关键的作用。

关键词：风力发电机；风力发电控制；技术措施

1 风力发电机控制系统组成

风力发电机控制系统是风力发电技术的核心，它确保了风力发电机组能够高效、稳定、安全地运行。该系统由多个关键组成部分协同工作，以实现风能到电能的高效转换。风力发电机控制系统的核心是主控制器，它相当于整个系统的“大脑”。主控制器负责接收来自风速、风向、温度、湿度等多种传感器的实时数据，并根据这些数据智能调节风机叶片的角度和转速，以适应不同的风力条件，最大化发电效率。主控制器还负责监控机组的运行状态，确保其在安全范围内运行。风力发电机控制系统还包括了变桨距系统，该系统通过调节叶片的俯仰角，来控制风机的转速，以适应不同风速下的发电需求。当风速过高时，变桨距系统会自动调整叶片至失速角度，减少转速，保护风机免受损害。风力发电机控制系统还配备了并网控制单元，该单元负责将风力发电机组产生的电能稳定地送入电网，确保输出电压和频率与电网匹配^[1]。在并网过程中，控制系统还会监测电网状态，防止因风力波动造成的电能输出不稳定。风力发电机控制系统还包括了安全保护单元，该单元能够在检测到系统异常时，如过热、短路或超载等情况，立即执行关机保护程序，防止损害发电机和其他关键组件。这种自我保护功能确保了风力发电机组的长期稳定运行。

2 风力发电机组工作原理

风力发电机组的工作原理主要基于风能的转换和利用。当风吹过风机的叶片时，会产生一个旋转力矩，使得风机叶片开始旋转。这个旋转力矩通过风机的传动系统，如齿轮箱和主轴，传递给发电机。发电机是风力发电机组中的核心部件，它负责将机械能转化为电能。当风机叶片旋转时，发电机内部的转子也开始旋转，从而在发电机内部的磁场中产生感应电动势。这个感应电动势经过一系列的电气设备，如变压器、整流器和逆变

器等，被转化为符合电网要求的交流电或直流电。在风力发电机组工作过程中，控制系统发挥着至关重要的作用。控制系统能够实时监测风速、风向、温度等环境因素，并根据这些数据调整风机的运行状态。例如，当风速过大时，控制系统会调节叶片的角度，减少风机的转速，以保护风机免受损害。控制系统还能确保发电机输出的电能稳定、可靠，并符合电网的要求。风力发电机组的工作原理简单而高效，它利用自然界中广泛存在的风能，将其转化为清洁、可再生的电能。

3 我国风力发电现状分析

近年来，随着全球对可再生能源的关注度日益提升，风力发电作为其中最为成熟和广泛应用的清洁能源之一，在我国得到了迅速发展。我国拥有广阔的地域和丰富的风能资源，为风力发电的发展提供了得天独厚的条件。首先，从装机容量来看，我国风力发电规模持续扩大。近年来，我国风电装机容量快速增长，已成为全球最大的风电市场之一。大量风电项目的建设和投产，不仅为我国提供了大量的清洁能源，也带动了相关产业的发展，为经济增长注入了新的动力。其次，从技术水平来看，我国风力发电技术不断进步。随着科技的不断进步和创新，我国风力发电技术已经达到了国际先进水平^[2]。大型风电机组的研发和应用，提高了风电的发电效率和可靠性。智能化、数字化的风电场管理系统，使得风电场的运行更加高效、安全。尽管我国风力发电取得了显著的成绩，但仍面临一些挑战和问题。风电场的建设和运营受到土地、环境等因素的制约。在一些地区，风电场的建设可能引发土地纠纷、生态破坏等问题，需要加强管理和监管。风电的并网和消纳问题仍待解决。由于风电的不稳定性和波动性，其并网和消纳需要与其他能源进行协调，以确保电网的稳定运行。

4 风力发电控制技术措施

风力发电作为清洁、可再生的能源形式，在全球范围内得到了广泛的关注和应用。在风力发电系统中，控制技术是确保风力发电机组高效、稳定、安全运行的关键。

4.1 定桨距失速风力发电技术

定桨距失速风力发电技术是一种较为传统的风力发电控制技术。在这种技术中，风力发电机的叶片角度是固定的，不会随着风速的变化而调整。当风速较低时，风力发电机能够正常发电，但当风速超过设计风速时，风力发电机的转速会迅速增加，导致叶片的转速也迅速提升。为了避免风力发电机过载或损坏，定桨距失速风力发电技术采用了失速控制策略。在失速控制策略中，当风速超过设计风速时，风力发电机的叶片会开始失速，即叶片的旋转速度不再与风速成正比，而是逐渐降低。通过失速控制，风力发电机的转速得到了有效控制，避免了过载和损坏的风险。同时，失速控制还能够使得风力发电机在风速变化时保持较为稳定的输出功率，提高发电效率。定桨距失速风力发电技术也存在一些局限性，由于叶片角度是固定的，风力发电机无法根据风速的变化调整其最佳运行状态。在风速较大时，叶片的失速控制可能会导致风力发电机的发电效率降低，甚至可能出现停机的情况^[3]。

4.2 变桨距风力发电技术

变桨距风力发电技术是一种更为先进的风力发电控制技术。在这种技术中，风力发电机的叶片角度可以根据风速的变化进行实时调整。通过调整叶片角度，风力发电机可以在不同的风速条件下保持最佳的运行状态，从而提高发电效率。在变桨距风力发电技术中，控制系统会实时监测风速、风向等环境参数，并根据这些参数调整叶片角度。当风速较低时，控制系统会调整叶片角度以增大风力发电机的捕获面积，提高发电效率；当风速较高时，控制系统会减小叶片角度以减小风力发电机的转速和功率输出，避免过载和损坏的风险。变桨距风力发电技术的优点在于能够实时调整叶片角度以适应不同的风速条件，从而保持风力发电机的最佳运行状态。这种技术不仅能够提高发电效率，还能够延长风力发电机的使用寿命。变桨距风力发电技术的控制系统较为复杂，需要较高的技术水平和维护成本。

4.3 变速风力发电技术

变速风力发电技术是一种结合了变桨距技术和变速技术的风力发电控制技术。在这种技术中，风力发电机的转速可以根据风速的变化进行实时调整，同时叶片角度也可以进行相应调整以保持最佳运行状态。在变速风力发电技术中，控制系统会实时监测风速、风向等环境

参数以及风力发电机的转速、功率等运行状态参数。根据这些参数，控制系统会实时调整风力发电机的转速和叶片角度以保持最佳运行状态。当风速较低时，控制系统会增大转速以提高发电效率；当风速较高时，控制系统会减小转速以避免过载和损坏的风险。变速风力发电技术的优点在于能够实时调整风力发电机的转速和叶片角度以适应不同的风速条件，从而保持最佳的运行状态并提高发电效率。变速风力发电技术还能够提高风力发电机的稳定性和可靠性，降低故障率和维护成本。变速风力发电技术的控制系统较为复杂，需要较高的技术水平和维护成本。由于变速风力发电技术需要对发电机进行变速控制，因此需要采用特殊的发电机设计和制造技术。

4.4 电网并联控制

电网并联控制是风力发电系统中的重要技术措施之一，它确保了风力发电机组能够稳定、安全地并入电网并运行。在风力发电系统中，电网并联控制主要涉及发电机组的并网、功率调节、电压和无功控制等方面。并网控制是电网并联控制的核心，当风力发电机组准备并网时，控制系统需要确保发电机组的输出电压、频率和相位与电网的电压、频率和相位相匹配。通过精确的控制算法和快速的响应能力，控制系统可以实现发电机组的平稳并网，避免对电网产生冲击或干扰。功率调节是电网并联控制的重要任务之一，风力发电机组的功率输出受到风速、风向、温度等多种因素的影响，而电网对功率的需求也是实时变化的^[4]。控制系统需要根据电网的需求和风力发电机组的实际运行情况，实时调整发电机组的功率输出，确保电网的稳定运行。电压和无功控制也是电网并联控制的重要方面，风力发电机组在并网运行过程中，需要保持稳定的电压和无功功率输出。控制系统通过实时监测电网的电压和无功功率，并根据需要调整发电机组的无功补偿和电压调节装置，确保电网的电压稳定和无功平衡。

4.5 故障保护控制

故障保护控制是风力发电系统中不可或缺的技术措施之一，它确保了在风力发电机组发生故障时能够及时发现并采取有效措施进行保护，防止故障扩大或造成更严重的后果。故障保护控制主要包括对风力发电机组的各种传感器、执行机构、电气元件等进行实时监测和诊断。当控制系统检测到任何异常或故障信号时，会立即启动相应的保护程序，如切断电源、停机、调整运行状态等，以避免故障对风力发电机组造成损害。故障保护控制还具备故障记录和报警功能，当故障发生时，控制系统会记录故障的相关信息，并通过报警系统及时通知

操作人员或维修人员进行处理。这样可以帮助操作人员或维修人员快速定位故障原因，并进行有效的修复。为了提高故障保护的可靠性和准确性，控制系统还可以采用冗余设计和自诊断技术，冗余设计可以确保在某一部件或系统出现故障时，其他部件或系统能够接管其工作，保持风力发电机组的正常运行。自诊断技术可以实时监测控制系统自身的运行状态，发现潜在的故障隐患并及时进行修复。故障保护控制技术的有效应用，可以大大降低风力发电机组发生故障的概率和后果，提高风力发电系统的可靠性和安全性。

5 风力发电技术未来发展趋势

5.1 技术发展现状及未来发展方向

随着全球对可再生能源的日益重视和对减少碳排放的迫切需求，风力发电技术正经历着快速的发展。目前，风力发电技术已经相当成熟，成为了最主流的可再生能源之一。未来的风力发电技术将继续朝着更高效、更可靠、更智能的方向发展。风力发电机组的大型化是一个重要的发展趋势，随着技术的进步，风力发电机组的尺寸和容量不断增大，以提高单机容量和发电效率。例如，目前已有18兆瓦的海上直驱风力发电机组问世，这一趋势将继续推动风力发电技术的升级。智能化和数字化是风力发电技术的另一个重要发展方向，物联网和人工智能等技术的应用使得风电设备和系统的智能化和数字化程度不断提高，提高了风机的维护和运营效率^[5]。未来，风力发电系统将通过智能化控制和管理系统实现实时监测、预测和优化，进一步提高发电效率和可靠性。海上风电技术也将是风力发电技术的重要发展方向，海上有着丰富的风力资源，且不受地形的限制。随着技术的进步和成本的降低，海上风电场将迎来快速增长时期。未来，海上风电技术将向深水远岸区域布局，以获取更丰富的风能资源。风力发电技术的绿色化也是一个重要的发展方向，在风电场建设和运营过程中，将更加注重环保和可持续发展。

5.2 风力发电行业的前景展望

风力发电行业具有广阔的市场前景和巨大的发展潜力。随着全球对可再生能源的日益重视和对减少碳排放的迫切需求，风力发电市场将持续扩大。预计到2035年，全球累计风电装机容量将超过3000GW，风电将成为全球能源结构中的重要组成部分。在中国，风力发电行业已经取得了显著成就。中国在风电技术方面取得显著进步，包括风电机组的大型化和国产化率的提高。同时，中国政府出台了一系列政策鼓励风电技术的进步和装机应用，为风电场建设提供了有力支持。未来，中国风电装机容量将继续保持增长，到2027年有望达到约7739万千瓦。风力发电行业也面临着一些挑战。随着风电市场的不断扩大和竞争的加剧，风电企业需要加强技术创新和成本控制能力，提高市场竞争力。

结束语

风力发电作为可再生能源的重要代表，其技术研究和应用对于推动全球能源结构转型、实现绿色可持续发展具有重要意义。展望未来，随着技术的不断创新和政策的持续支持，风力发电将在全球范围内迎来更加广阔的发展空间。我们有理由相信，风力发电将在能源领域扮演更加重要的角色，为人类社会的可持续发展贡献更多力量。

参考文献

- [1]姚佳.变速恒频双馈风力发电机励磁控制技术研究[J].中国电机工程学报,2022,23(11):122-125.
- [2]申辉.变速恒频风力发电机空载并网控制[J].中国电机工程学报,2021,24(3):6-11.
- [3]张铭体.适合风电接入的直流输电自抗扰控制策略研究[J].云南电力技术,2019,47(06):99-106.
- [4]何淼,薛文耀.风力发电机及风力发电控制技术研究[J].电力设备管理,2023(8):77-79,126.
- [5]蔡梅园,陈薛梅,聂思宇,等.双馈风力发电系统安全运行极限研究[J].船舶工程.2020,(S2).206-210.
DOI:10.13788/j.cnki.cbge.2020.S2.040.