

大型风力发电机组关键技术及应用

严三冬¹ 马雪红²

1. 三峡新能源大柴旦风电有限公司; 2. 甘肃新能电力科技工程有限公司

DOI: 10.12238/ems.v7i2.11646

[摘要] 随着全球能源需求的不断增长和环境保护意识的日益增强, 风力发电作为一种清洁、可再生的能源形式, 受到了广泛的关注和发展。大型风力发电机组作为风力发电技术的核心设备, 其关键技术的研究与应用对于提高风能利用效率、降低发电成本、推动风力发电产业的持续发展具有重要意义。本文阐述了大型风力发电机组概念及类型, 重点探讨了大型风力发电机组的关键技术及应用。

[关键词] 大型风力发电机组; 关键技术; 风力发电; 应用

1 引言

风力发电作为可再生能源的重要组成部分, 近年来在全球范围内得到了广泛的关注和发展。随着全球能源需求的不断增长和环境保护意识的日益增强, 寻找清洁、可再生的能源替代传统化石燃料已成为迫切的需求。风力发电正是凭借其资源丰富、清洁无污染、可再生性强等优势, 成为了各国政府和企业重点发展的新能源类型之一^[1]。在风力发电领域, 大型风力发电机组扮演着至关重要的角色。相较于小型风力发电机组, 大型机组具有更高的发电效率和更广泛的适用范围, 能够更好地满足大规模电力需求^[2]。同时, 随着技术的不断进步和成本的逐步降低, 大型风力发电机组在可再生能源领域的重要性日益凸显, 对于推动全球能源结构转型和实

现可持续发展目标具有重要意义。

2 大型风力发电机组概念及类型

2.1 大型风力发电机组概念

大型风力发电机组是指功率在较大范围(通常指功率大于100kW, 也有说法认为应大于600kW)的风力发电机组。这类机组利用风力带动风车叶片旋转, 通过增速机将旋转的速度提升, 从而驱动发电机发电。它是将风能转换为机械功, 再进一步转换为电能的动力机械, 是风力发电系统的核心组成部分^[3]。大型风力发电机组一般由风轮、机舱、塔架和基础四个主要部分组成。

2.2 大型风力发电机组类型

大型风力发电机组类型, 如表1所示:

表1 大型风力发电机组类型

分类标准	类型	特点
按照方向	水平轴风力发电机	旋转轴与叶片垂直, 一般与地面平行。叶片旋转空间大, 转速高, 适合大型风力发电厂。结构简单, 效率高, 是目前应用最广泛的风力发电机类型
	垂直轴风力发电机	旋转轴与叶片平行, 一般与地面垂直。发电效率高, 对风的转向没有要求, 叶片转动空间小, 抗风能力强, 启动风速小, 维修保养简单
按照桨叶数量	单叶片	结构简单、维护方便、效率较低、稳定性较差
	双叶片	设计简化、响应灵敏、效率适中、逐渐被替代
	三叶片	结构稳定、高效利用风能、经济实用、市场主流
	多叶片型风机	捕获风能能力强、复杂度高、成本较高、应用场景有限
按照风机接受风的方向	上风向型	叶轮正面迎着风向, 需要有调向装置来保持叶轮迎风
	下风向型	叶轮背顺着风向, 能够自动对准风向, 免除了调向装置, 但塔影效应会降低性能
按照功率传递的机械连接方式	有齿轮箱型风机	桨叶通过齿轮箱等装置将转矩传递到发电机的传动轴。
	直驱型风机	桨叶的转矩可以不通过齿轮箱增速而直接传递到发电机的传动轴, 简化了装置结构, 减少了故障几率, 多用于大型机组

3 大型风力发电机组的关键技术

3.1 风况预测技术

3.1.1 风况预测的基本原理与方法

风况预测的基本原理是通过分析历史气象数据、地形地貌信息以及大气运动规律, 利用数学模型和计算技术来预测未来一段时间内的风速、风向等风况信息。其方法主要包括物理模型、统计模型和机器学习模型等^[4]。

3.1.2 基于观测数据与气象模拟的风况预测技术

这种技术结合了地面观测站、气象卫星、雷达等多种数据源, 以及先进的数值天气预报模型, 能够提供更为准确和精细的风况预测。观测数据为模型提供了初始条件和边界条件, 而气象模拟则通过解大气运动方程来预测未来的风况变化。

3.1.3 风况预测在风力发电中的应用与效果评估

风况预测在风力发电中扮演着至关重要的角色。准确的风况预测可以帮助风电场合理安排发电计划, 提高发电效率; 降低因风速波动导致的电力系统运行风险; 提高风电场的经济效益, 优化风电投资决策。此外, 风况预测还有助于电网调度部门进行电力系统优化调度, 提高风电并网消纳能力。效果评估方面, 可以通过对比预测值与实测值的误差来评估预测模型的准确性。

3.2 风力发电储能技术

3.2.1 新型电池储能技术的种类与特点

风力发电储能技术中, 电池储能是一种重要且发展迅速的技术。新型电池储能技术主要包括锂离子电池、钠硫电池、

液流电池等。这些电池具有高能量密度、长循环寿命、响应速度快等特点。锂离子电池是目前应用最广泛的电池储能技术之一, 但其成本相对较高。钠硫电池和液流电池则在能量密度和循环寿命方面具有优势, 但技术成熟度和市场应用程度相对较低^[5]。

3.2.2 水利蓄能、压缩空气蓄能、飞轮蓄能等技术的原理与应用

第一, 水利蓄能。利用电力将水抽到高处储存, 需要时放水发电。这是一种大规模、成熟的储能技术, 但受地理条件限制。水利蓄能电站具有储能容量大、可实现长期储能的特点, 是电力系统调峰填谷的重要手段。

第二, 压缩空气蓄能。利用风力发电机产生的电能压缩空气, 并在需要时利用压缩空气的膨胀能发电。压缩空气蓄能技术具有规模大、成本低、寿命长、不受地理条件限制等特点。在风电不足或电网负荷高峰时段, 可以释放压缩空气的膨胀能来发电, 从而实现电力的调峰和调相。

第三, 飞轮蓄能。利用风力发电机产生的电能驱动飞轮旋转, 并在需要时利用飞轮的动能发电。飞轮蓄能技术具有充放电速度快、效率高的特点, 适合短时间、高功率的储能需求。

3.2.3 风能储存技术的经济性与可行性分析

风能储存技术的经济性与可行性取决于多种因素, 包括储能技术的成本、效率、寿命以及应用场景等。从成本角度来看, 电池储能技术的成本相对较高, 但随着技术进步和规模效应的发挥, 其成本正在逐步降低。水利蓄能电站的建设

成本也较高,但考虑到其长期储能和调峰填谷的优势,其经济性仍然较好。压缩空气蓄能和飞轮蓄能技术则具有较低的成本和较高的效率,但在技术成熟度和市场应用方面还需要进一步发展。从可行性角度来看,各种风能储存技术都有其适用的场景和限制条件。因此,在选择风能储存技术时,需要综合考虑技术特点、经济性和应用场景等因素,以实现最佳的储能效果和经济效益。

3.3 大型风力发电机组的结构设计与优化

3.3.1 材料选择与制造工艺

在大型风力发电机组的结构设计与优化中,材料的选择至关重要。风力发电机组的叶片、轮毂、主轴等关键部件需承受巨大的风力和机械应力,因此必须选用高强度、耐腐蚀、耐磨损的材料。叶片是风力发电机组的核心部件之一,其材料经历了从木质到金属再到复合材料的演变过程。目前,玻璃纤维和碳纤维已成为叶片的主要增强材料。玻璃纤维因其优异的性能和经济性,成为大型风力发电机叶片材料的首选。而碳纤维则因其更高的比强度和比模量,在轻量化、高强度方面更具优势,尽管成本较高,但随着生产技术的不断进步和产量的增加,其成本有望逐渐降低。制造工艺方面,拉挤成型、真空导入成型等工艺因其生产效率高、质量稳定等优势,在风力发电机组部件的制造中得到了广泛应用。

3.3.2 智能化与自动化技术在风力发电机组制造中的应用

随着科技的不断发展,智能化与自动化技术已成为大型风力发电机组制造中的重要趋势。智能化技术包括传感器技术、物联网技术、大数据技术等,这些技术的应用使得风力发电机组能够实时监测运行状态、预测故障并自动调整运行参数,从而提高了发电效率和运维效率。自动化技术则包括自动化生产线、机器人焊接、自动化检测等,这些技术的应

用使得风力发电机组的制造过程更加高效、精准。例如,自动化生产线可以实现部件的快速组装和测试,机器人焊接则可以提高焊接质量和效率,自动化检测则可以确保每个部件都符合设计要求。

3.4 风力发电并网技术

3.4.1 并网的基本原理与要求

风力发电并网是指将风力发电机组产生的电能接入电网,实现与电网的互联互通。并网的基本原理是通过变压器、开关设备等电力设施,将风力发电机组产生的电能转换为符合电网要求的电能,并接入电网进行传输和分配。并网的要求主要包括电能质量、电网稳定性、安全性等方面。电能质量要求风力发电机组产生的电能波形、频率、电压等参数符合电网标准;电网稳定性要求风力发电机组在并网过程中不会对电网造成过大的冲击和扰动;安全性则要求并网过程必须保证人员和设备的安全。

3.4.2 并网技术的改进与创新

随着风力发电技术的不断发展,并网技术也在不断改进和创新。一方面,通过优化风力发电机组的控制策略和算法,可以提高其并网性能和电能质量;另一方面,通过引入新的电力电子技术和储能技术,可以进一步改善风力发电并网过程中的电压波动、频率偏差等问题。此外,随着智能电网的发展,风力发电并网技术也在向智能化、自动化方向发展。例如,通过构建风力发电并网智能监控系统,可以实时监测风力发电机组的运行状态和并网性能,及时发现并处理潜在问题,确保风力发电的安全、稳定、高效并网。

4 大型风力发电机组的应用案例

4.1 国内外典型的大型风力发电项目介绍

国内外典型代行风力发电项目,如表2所示:

表2 国内外典型代行风力发电项目

国内外	项目	简介
国内	内蒙古乌兰察布风电场	该风电场位于内蒙古草原,地势平坦开阔,常年有强劲的风力。风电场的风机布局合理,根据当地的风力资源分布情况和地形地貌进行优化设计。这些风机每年能够产生数十亿度的电量,为华北地区的电力供应做出了巨大贡献。
	明阳智能梅河口风光氢醇一体化项目	该项目规划总用地面积广大,项目总体规划年产60万吨绿色甲醇,主要工艺路线包括以新能源制氢和玉米发酵副产二氧化碳合成甲醇、以新能源制氢和生物气化合成甲醇。
国外	英国霍恩西海上风电场	位于北海海域,这里风力资源丰富且稳定。该风电场由多个大型风力发电机组组成,单机容量可达数兆瓦到十多兆瓦。通过海底电缆将电力输送到陆地的电网,为英国沿海地区提供了大量的清洁电力。
	明阳海南东方CZ9一期海上风电场工程	该项目位于海南,拟设计安装多台单机容量为10MW的风力发电机组,总装机容量较大。风电场发出电能通过海底电缆接入海上升压站,升压后通过海底电缆接入陆上集控中心。

4.2 大型风力发电机组在实际运行中的性能表现

大型风力发电机组在实际运行中的性能表现主要体现在以下几个方面:

第一,功率特性。功率特性是风力发电机组的重要运行性能,它决定了机组的发电能力。在实际运行中,风力发电机组的功率特性会受到多种因素的影响,如风速、风向、气温、气压等。因此,需要对机组的功率特性进行实时监测和调整,以确保其始终处于最佳工作状态。

第二,载荷状况。大型风力发电机组在运行过程中会承受各种载荷,包括叶片根部载荷、风轮载荷、塔架载荷等。这些载荷的大小和分布会直接影响机组的稳定性和安全性。因此,需要对机组的载荷状况进行定期测试和评估,以发现潜在的故障和安全隐患。

第三,电能质量。风力发电机组的电能质量也是其性能表现的重要指标之一。电能质量的优劣会直接影响电网的稳定性和安全性。因此,需要对机组的电能质量进行实时监测和评估,以确保其符合电网的要求。

4.3 应用效果分析与经验总结

大型风力发电机组的应用为电网提供了大量的清洁电力,有助于减少对传统能源的依赖和环境污染。通过优化风机布局和设计,提高了风能的利用率和发电效率。风电场的建设和运营也带动了当地经济的发展和就业的增加。在风电场选址时,应充分考虑当地的风力资源、地形地貌、气候条件等因素,以确保风电机组的稳定运行和高效发电。在风机设计和制造过程中,应注重提高机组的功率特性、载荷状况

和电能质量等指标,以提高其整体性能和可靠性。在风电场的运营和维护过程中,应建立完善的监测和评估体系,及时发现和处理潜在的故障和安全隐患,确保风电场的长期稳定运行。

5 结束语

大型风力发电机组的关键技术涵盖了风况预测、风力发电储能以及风机设计与制造等多个方面。国内外已经建设了多个大型风力发电项目,如内蒙古乌兰察布风电场、英国霍恩西海上风电场等。这些项目不仅为当地电网提供了大量的清洁电力,还有效降低了碳排放,推动了能源结构的优化升级。同时,大型风力发电机组在技术创新和产业升级方面也取得了显著成果,为风电行业的可持续发展奠定了坚实基础。

【参考文献】

- [1] 张建,王玉龙,吴志宏,等. 风力发电机吊装关键技术研究及其应用[J]. 水电与新能源, 2023, 37(03): 60-63.
- [2] 白锦,时志华,肖俊,等. 大型水轮发电机组高精度安装关键技术研究与应用[J]. 安装, 2022, (S1): 180-181.
- [3] 隆萍,刘兴莉,冯煜. 基于大型海上风力发电机组及关键部件可靠性验证技术[J]. 自动化与仪器仪表, 2021, (12): 164-166.
- [4] 陈修凯. 海上风力发电及其关键技术分析[J]. 通信电源技术, 2018, 35(12): 48-49.
- [5] 郑春芳. 风力发电机组的电气控制关键技术研究与应用[J]. 机械管理开发, 2017, 32(11): 101-103.