

# 风力发电电气控制系统研究

李瑞雪

河北新天科创新能源技术有限公司 河北 张家口 053000

**摘要:** 风力发电电气控制系统作为风力发电技术的核心,其关键技术、设计与优化以及运行维护与故障诊断等方面均备受关注。深入剖析了电气控制系统在风力发电中的关键作用,并详细探讨风力发电机组控制技术、并网技术与孤岛效应防治等关键技术的原理和应用。同时,还介绍电气控制系统的设计流程、PID控制应用及电网连接控制策略,并强调运行维护与故障诊断的重要性。

**关键词:** 风力发电; 电气控制; 关键技术

## 1 风力发电系统概述

风力发电系统是一种利用风力转化为电能的装置,它通过将风能捕获并转化为机械能,再由机械能驱动发电机发电,从而实现清洁能源的利用。风力发电系统通常由多个关键组件组成,包括风轮、发电机、塔筒、齿轮箱(或有)、偏航装置、控制系统以及辅助系统等。风轮作为风力发电系统的核心部件,其设计至关重要。它由叶片、轮毂和轴组成,能够捕捉风的动能并将其转化为机械能。叶片的形状和角度经过精心设计,以最大程度地捕获风能。塔筒则起到支撑风轮和发电机的作用,通常由坚固的钢材制成,以承受各种天气条件下的风力作用。发电机是将机械能转化为电能的装置,它与风轮通过齿轮箱相连。齿轮箱能够将风轮的转速转换为发电机所需的速度,以确保发电机能够稳定运行。偏航装置则用于调整风轮的方向,使其始终对准风向,从而最大限度地捕获风能<sup>[1]</sup>。控制系统是风力发电系统的“大脑”,它负责监控整个系统的运行状态,并根据风速和风向的变化调整风轮的角度和转速,以及控制发电机的输出电压和频率。辅助系统则包括冷却系统、润滑系统等,用于维护系统的正常运行。

## 2 电气控制系统在风力发电中的关键作用

电气控制系统在风力发电中扮演着至关重要的角色,其关键作用主要体现在确保风力发电机组的安全、稳定、高效运行上。第一,电气控制系统对风力发电过程中的各种参数进行实时监测和控制,包括风速、风向、发电机转速、输出电压和电流等。通过对这些参数的精确控制,系统能够确保风力发电机组在最佳状态下运行,从而提高发电效率。第二,电气控制系统具有强大的保护功能。在风力发电机组运行过程中,可能会出现各种异常情况,如过载、短路、超速等。电气控制系统能够迅速检测到这些异常情况,并采取相应的保护措施,

如切断电源、调整发电机转速等,以避免设备损坏和事故发生。第三,电气控制系统还具备智能化管理功能。它可以根据实时数据和历史数据进行分析和预测,为风力发电机组的维护和管理提供科学依据。通过优化运行策略和调整控制参数,系统能够进一步提高风力发电机组的运行效率和可靠性。

## 3 风力发电电气控制系统的关键技术分析

### 3.1 风力发电机组控制技术

风力发电机组控制是电气控制系统的关键组成部分,它涉及到风轮转速控制、发电机功率控制、最大风能捕获策略等多个方面。风轮转速控制是确保风力发电机组稳定运行的基础,通过调节风轮的转速,可以使其适应不同风速条件下的运行需求。发电机功率控制则是根据电力系统的需求,调节发电机的输出功率,以维持电力系统的稳定。最大风能捕获策略是风力发电机组控制技术的核心,其目标是在不同的风速条件下,通过调整风轮的角度和转速,使风力发电机组捕获到最多的风能。这需要综合考虑风速、风向、风轮转速、发电机功率等多个因素,制定出最优的控制策略。目前,常用的最大风能捕获策略包括最大功率点跟踪(MPPT)控制、滑差控制等,这些策略在实际应用中取得良好的效果。除了基本的控制策略外,风力发电机组控制技术还在不断发展中。例如,基于人工智能技术的智能控制策略逐渐应用于风力发电领域,通过机器学习和深度学习等技术,实现对风力发电机组的自适应控制和优化运行。

### 3.2 并网技术与孤岛效应防治

并网过程需要确保风力发电系统与电力系统之间的电压、频率、相位等参数一致,以实现平稳、可靠的并网运行。在并网过程中,电气控制系统需要实时监测电力系统的运行状态,根据需求调整风力发电机组的输出功率,以维持电力系统的稳定运行。在风力发电系统并

网运行过程中,可能出现孤岛效应。孤岛效应是指当电力系统中的某一部分因故障或检修等原因与主电网失去联系时,风力发电系统仍继续向该部分供电的现象。孤岛效应可能导致电压和频率异常、设备损坏等问题,因此需要采取有效的防治措施。为了防治孤岛效应,电气控制系统通常采用被动式和主动式两种检测策略<sup>[2]</sup>。被动式检测策略基于电压、频率等电气参数的监测,当参数超出正常范围时触发孤岛效应检测;而主动式检测策略则通过向电力系统注入扰动信号或改变发电机的输出特性来主动触发孤岛效应检测。同时,还可以结合通信技术和远程监控技术,实现对孤岛效应的实时监测和快速响应。

### 3.3 故障诊断与保护技术

电气控制系统通过实时监测风力发电机组的运行状态和参数变化,及时发现并诊断潜在的故障隐患。当发生故障时,控制系统能够迅速采取保护措施,切断电源或调整运行状态,以避免故障扩大和造成严重后果。为了实现准确的故障诊断和保护,电气控制系统需要利用先进的传感器技术和数据处理技术。传感器技术可以实时监测风力发电机组的各项参数,如温度、振动、电流等,为故障诊断提供数据支持。数据处理技术则可以对这些参数进行处理和分析,提取出有用的信息用于故障诊断和预测。随着人工智能技术的不断发展,基于机器学习和深度学习的故障诊断方法也开始应用于风力发电领域。这些方法可以通过对历史数据的学习和分析,建立准确的故障诊断模型,实现对风力发电机组故障的精准预测和定位<sup>[3]</sup>。

## 4 风力发电电气控制系统设计与优化

### 4.1 风力发电电气控制系统设计流程

风力发电电气控制系统的设计是一个多步骤的过程,涉及硬件选择、软件编程、参数配置等多个方面。(1)需要确定控制系统的硬件架构。这包括选择合适的控制器、传感器、执行机构等硬件设备,以满足风力发电系统的基本控制需求。在选择硬件时,需要综合考虑设备的性能、可靠性、成本等因素,确保系统的整体性能达到最优。(2)进行软件设计。这包括编写控制算法、实现控制逻辑、进行界面开发等。控制算法的选择对于系统性能至关重要,常用的算法包括PID控制、模糊控制、神经网络控制等。在编写软件时,需要确保代码的简洁性、可读性和可维护性,以便于后续的调试和优化。(3)进行参数配置与调试。在控制系统搭建完成后,需要对各项参数进行配置,以确保系统的正常运行。同时,还需要进行调试工作,发现并解决系统中的

潜在问题,确保系统的稳定性和可靠性。(4)进行系统测试与验证。这包括对控制系统进行功能性测试、性能测试、安全测试等,以确保其能够满足实际运行需求。在测试过程中,还需要对系统的优化潜力进行分析,为后续的优化工作提供依据。

### 4.2 控制系统中的PID控制及其应用

PID控制是一种广泛应用的控制策略,其基本原理是通过比例、积分和微分三个环节的组合,实现对系统输出量的精确控制。在风力发电电气控制系统中,PID控制被广泛应用于风轮转速控制、发电机功率控制等方面。通过合理调整PID控制器的参数,可以实现对风力发电机组转速和功率的精确控制。例如,在风轮转速控制中,PID控制器可以根据实际风速和设定的转速目标值,计算出合适的控制量,通过调整执行机构的动作来实现对风轮转速的精确控制。同时,PID控制还可以结合其他控制策略和技术,如模糊控制、自适应控制等,以提高系统的控制精度和稳定性。例如,可以通过引入模糊控制策略来处理系统中的不确定性问题,提高PID控制器的鲁棒性;或者通过自适应控制策略来实时调整PID控制器的参数,以适应系统参数的变化。

### 4.3 电网连接控制策略的设计与实施

在设计电网连接控制策略时,需要综合考虑风力发电系统的特点、电网的要求以及系统运行的安全性和可靠性。要确保风力发电系统的输出电压、频率等参数与电网的要求相匹配。这可以通过选择合适的逆变器、滤波器等设备来实现。同时,还需要对输出电压进行实时监测和调整,以确保其稳定在电网允许的范围内。在风力发电系统并入电网的过程中,由于风力发电的间歇性和不稳定性,可能会对电网造成一定的冲击。为了减小这种冲击,可以采用软并网技术,即在并网过程中逐步增加风力发电系统的输出功率,使其与电网的功率逐渐匹配。同时,还可以通过控制策略的优化来降低并网时的电压波动和电流谐波。还需要考虑风力发电系统与电网之间的功率平衡问题<sup>[4]</sup>。当风力发电系统的输出功率大于电网的需求时,需要采取合适的功率控制策略,将多余的功率进行存储或消耗,以避免对电网造成过大的负担。反之,当风力发电系统的输出功率不足时,则需要从电网中补充功率,以确保系统的稳定运行。

## 5 风力发电电气控制系统的运行维护与故障诊断

### 5.1 运行维护的基本流程与方法

风力发电电气控制系统的运行维护是一个系统性的工作,涉及定期检查、预防性维护、应急处理等多个环节。第一,定期检查是运行维护的基础工作。定期检查

包括对电气控制系统的硬件设备进行外观检查、接线检查、紧固螺丝等,以确保设备处于良好的工作状态。同时,还需要对系统的软件部分进行检查,包括控制程序的版本、参数设置等,确保软件运行正常。第二,预防性维护是减少系统故障发生的重要手段。预防性维护包括定期对电气控制系统的关键部件进行更换或维修,如更换磨损的传感器、清洗散热器等。此外,还需要对系统进行定期的性能测试,以评估系统的运行状态,及时发现潜在问题并进行处理。第三,应急处理是应对突发故障的必要措施。当电气控制系统发生故障时,运行维护人员需要迅速响应,根据故障现象和故障代码进行初步判断,并采取相应的应急措施,如切断故障电源、启动备用设备等,以减小故障对系统的影响。

在运行维护过程中,还需要注意以下几点:一是要建立完善的运行维护档案,记录每次维护的时间、内容、结果等信息,以便于后续的分析和总结;二是要加强运行维护人员的培训和管理,提高其专业技能和责任心;三是要与设备供应商建立良好的合作关系,及时获取技术支持和备件供应。

### 5.2 故障诊断技术与实际应用

故障诊断技术是识别和解决风力发电电气控制系统故障的关键。随着技术的发展,越来越多的故障诊断技术被应用于风力发电领域。基于数据的故障诊断技术是一种常见且有效的方法。通过对电气控制系统的运行数据进行采集、分析和处理,可以提取出与故障相关的信息,进而实现故障的定位和诊断。例如,通过对电机电流的波形进行分析,可以判断电机是否存在故障;通过对温度数据的监测,可以预测散热器的性能是否下降。专家系统可以根据大量的历史数据和专家经验,对电气控制系统的故障进行推理和判断;而智能算法如神经网络、支持向量机等,则可以通过学习和训练,实现对复杂故障的自动识别和诊断。在实际应用中,故障诊断技术需要结合具体的系统和故障情况进行选择和应用。例如,对于常见的电气故障,如接线松动、传感器故障等,可以采用简单的故障排查方法进行处理;而对于复

杂的控制故障或机械故障,则需要借助专业的故障诊断设备和技术进行深入分析和处理。

### 5.3 提高系统运行稳定性的措施

提高风力发电电气控制系统的运行稳定性是运行维护与故障诊断工作的最终目标。通过对控制算法和参数进行优化调整,可以提高系统的响应速度和精度,减少误动作和过调现象的发生。在设备选型时,应充分考虑设备的性能、可靠性、寿命等因素,选择符合系统要求的高质量设备;在设备采购和验收时,应严格把关,确保设备的质量和性能符合标准要求。通过实时监控电气控制系统的运行状态和参数变化,可以及时发现异常情况并进行处理;同时,设置合理的报警阈值和报警方式,可以确保在故障发生时能够迅速响应并采取相应的措施。通过定期的培训和学习,可以提高运行维护人员的专业技能和应对故障的能力;同时,加强对运行维护工作的管理和考核,可以确保其按照规定的流程和方法进行工作,减少人为因素导致的故障发生。

### 结束语

风力发电作为清洁能源的重要组成部分,其电气控制系统的设计与优化以及运行维护与故障诊断对于保障系统的稳定运行和高效发电至关重要。随着科技的不断进步,新的控制策略和诊断技术将不断涌现,为风力发电系统的性能提升和可靠性增强提供更多可能性。同时,加强跨学科合作,整合先进的技术和理念,将是推动风力发电电气控制系统持续创新和发展的关键所在。

### 参考文献

- [1]丁江流.风力发电电气控制技术及应用实践探析[J].科技创业月刊,2021,29(22):142-143.
- [2]李光宇.风力发电电气控制技术发展探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2020(15):1622.
- [3]赵詠敏.郑蕙雨.风力发电厂电气设备安全运行的诊断及措施[J].电子技术与软件工程,2021,147(01):246.
- [4]袁雅琳.风力发电技术与功率控制策略[J].电子技术与软件工程,2020(21):208.