

# 关于风电不确定性对电力系统影响的评述

朱军 曾宇晴

中国电力工程顾问集团华北电力设计院有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i2.7570

**[摘要]** 随着风电在能源结构中的地位不断增加,风电不确定性对电力系统的影响日益突显。本文对风电不确定性的来源与类型进行了详细分析,包括风资源变化和风机运行不确定性。进一步探讨了这种不确定性对电力系统稳定性和市场运行的影响,并介绍了相应的量化建模方法和应对策略。通过对能源存储技术、多能源互补系统和智能电网技术等策略的研究,为电力系统管理提供了新思路。且风电不确定性是未来电力系统发展中需要重点关注和解决的问题。

**[关键词]** 风电不确定性; 电力系统; 稳定性; 量化建模; 应对策略

中图分类号: TM712 文献标识码: A

## Comment on the impact of wind power uncertainty on the power system

Jun Zhu Yuqing Zeng

China Electric Power Engineering Consulting Group North China Electric Power Design Institute Co., LTD

**[Abstract]** With the increasing status of wind power in the energy structure, the impact of wind power uncertainty on the power system has become increasingly prominent. This paper analyzes the sources and types of wind power uncertainty in detail, including the change of wind resources and the uncertainty of fan operation. The influence of this uncertainty on the stability of the power system and the market operation is further explored, and the corresponding quantitative modeling methods and coping strategies are introduced. Through the research of energy storage technology, multi-energy complementary system and smart grid technology, it provides new ideas for power system management. The uncertainty of Ji'an wind power is a problem that needs to be emphasized and solved in the future development of power system.

**[Key words]** wind power uncertainty; power system; stability; quantitative modeling; coping strategy

## 引言

随着全球能源需求的不断增长和环境保护意识的提高,可再生能源在能源结构中的比重日益增加。作为重要的可再生能源之一,风电在全球范围内得到了广泛应用。然而,由于风资源的不稳定性和风机运行的波动性,风电发电量存在较大的不确定性,给电力系统运行和管理带来了一定挑战。因此,对风电不确定性的研究具有重要意义。本文旨在分析风电不确定性的来源和类型,探讨其对电力系统的影响,介绍应对风电不确定性的策略,为电力系统的稳定运行提供理论和实践支持。

### 1 风电不确定性的来源与类型

风电作为一种重要的可再生能源,在电力系统中扮演着越来越重要的角色。然而,其发电量的波动性主要源自两个方面的不确定性:风资源的变化和风机运行的不确定性。

#### 1.1 风资源变化

##### 1.1.1 季节性变化

风资源随着季节变化而发生变化,通常在不同季节会呈现

出不同的风速和风向分布特征。例如,夏季风速可能较小,而冬季风速则较大,这种季节性变化会导致风电发电量的波动性<sup>[1]</sup>。

##### 1.1.2 日变化与小时变化

除了季节性变化外,风资源还存在着日变化和小时变化。白天和夜晚的风速可能有所不同,而同一天内,风速也可能出现周期性的波动。尤其是在夜间,由于大气层温度变化和地形等因素的影响,风速波动可能更加明显。

#### 1.2 风机运行不确定性

##### 1.2.1 风机故障与维护

风机运行过程中,可能会发生各种故障,如叶片损坏、发电机故障等,导致风机停机维修。此外,为了保证风机的正常运行,定期的维护和保养也是必不可少的。这些故障和维护工作都会导致风机的停运时间增加,从而影响风电的发电量。

##### 1.2.2 风机输出波动

即使在没有故障和维护的情况下,风机的输出也会存在一定程度的波动。这种波动可能是由于风速的变化、风机性能的

影响、风机间的相互作用等原因引起的。风机输出的波动性会直接影响到风电的发电量,增加了电力系统对风电的不确定性管理难度。

风电不确定性的来源主要包括风资源的变化和风机运行的不确定性。这些不确定性因素导致了风电发电量的波动性,给电力系统的运行和调度带来了一定挑战。因此,了解风电不确定性的来源和类型,有助于制定相应的应对策略,提高电力系统的稳定性和可靠性。

## 2 风电不确定性对电力系统的影响

风电作为一种不稳定的能源,其不确定性对电力系统的运行产生了重要影响。这种影响主要体现在两个方面:功率波动对系统稳定性的影响和风电功率预测误差对电力市场的影响。

### 2.1 功率波动对系统稳定性的影响

#### 2.1.1 短期功率波动引发的频率扰动

风电的瞬时功率波动会对电力系统的频率稳定性产生影响。当风电突然减少时,系统可能面临频率下降的风险,进而引发频率扰动甚至系统失稳。而风电快速增加时,系统频率也可能上升,导致频率不稳定。

#### 2.1.2 长期功率波动引发的电压不稳定

长期功率波动会影响电力系统的电压稳定性。当风电发电量长时间波动时,可能导致系统电压不稳定,甚至引发电压异常,影响电力设备的正常运行,甚至损坏设备<sup>[2]</sup>。

### 2.2 风电功率预测误差对电力市场的影响

#### 2.2.1 市场调度与交易的挑战

风电的不确定性使得其功率预测存在一定的误差。当风电预测与实际发电量存在较大差异时,会给市场调度和交易带来挑战。电力系统需要根据实际情况进行调整,可能需要调整其他发电方式的输出,增加备用容量等,增加了系统运行的复杂性和成本。

#### 2.2.2 电价波动与能源市场不确定性

风电功率预测误差还会导致市场电价的波动,增加了能源市场的不确定性。当风电供给偏离预期时,可能导致市场供需失衡,进而引发电价的波动。这种波动会影响市场参与者的利益,增加市场风险,降低市场的稳定性和可预测性。风电不确定性对电力系统的影响主要表现在功率波动对系统稳定性的影响和风电功率预测误差对电力市场的影响两个方面。了解并应对这些影响,对于提高电力系统的稳定性、降低市场风险具有重要意义。

## 3 风电不确定性的量化与建模方法

风电不确定性的量化与建模是有效应对风电波动性的重要手段,主要包括风电功率预测模型和不确定性量化与风险分析两个方面。

### 3.1 风电功率预测模型

#### 3.1.1 基于统计方法的预测模型

基于统计方法的风电功率预测模型是一种常用的预测手段,它通常利用历史风速和功率数据进行分析。这些模型通过对历史数据的统计分析,拟合出风电输出的概率分布函数,从而预

测未来的风电发电量。在这种方法中,常用的统计技术包括时间序列分析、回归分析等。该方法简单易行,适用于短期和中期的风电功率预测。

#### 3.1.2 人工智能技术在风电预测中的应用

近年来,人工智能技术在风电预测中得到了广泛的应用。其中,神经网络、支持向量机等机器学习方法被广泛应用于风电功率预测中。这些方法通过学习历史数据的规律性和趋势性,可以更准确地预测未来的风电发电量。与传统的统计方法相比,人工智能技术能够更好地捕捉复杂的非线性关系,提高了预测精度和可靠性<sup>[3]</sup>。

### 3.2 不确定性量化与风险分析

#### 3.2.1 蒙特卡罗模拟方法

蒙特卡罗模拟方法是一种基于随机抽样的数值模拟技术,可用于对风电不确定性进行量化和分析。该方法通过随机生成风速和功率的抽样数据,进行大量模拟计算,从而得出不同情况下的风电发电量分布。通过对大量的模拟结果进行统计分析,可以评估风电波动性对电力系统的影响,并确定相应的应对策略。

#### 3.2.2 灰色系统理论在风电不确定性研究中的应用

灰色系统理论是一种基于不完全信息的数学方法,可以较好地处理不确定性和模糊性问题。在风电不确定性研究中,灰色系统理论可以用于建立风电发电量的灰色模型,对不确定性进行量化分析。通过对风电发电量的灰色建模,可以更准确地预测未来的风电发电量,并评估其波动性对电力系统的影响。

风电不确定性的量化与建模方法包括基于统计方法和人工智能技术的风电功率预测模型,以及蒙特卡罗模拟方法和灰色系统理论在不确定性量化与风险分析中的应用。这些方法有助于提高对风电不确定性的认识,为电力系统的运行管理提供科学依据。

## 4 应对风电不确定性的电力系统策略

### 4.1 能源存储技术的应用

#### 4.1.1 储能系统对抗瞬时功率波动

采用储能技术可以缓解风电瞬时功率波动对电力系统的影响。储能系统能够在风电波动较大时存储多余的电能,然后在风电波动较小时释放电能,平衡系统功率波动,提高系统的稳定性和可靠性。

储能系统的应用可以有效应对风电瞬时功率波动。当风速突然增大或减小导致风电输出功率波动时,储能系统可以迅速储存或释放电能,以平衡系统负荷和供电能力之间的差异。这种调节能力可以有效降低系统频率的波动性,减少频率扰动对电力系统的影响,提高系统的稳定性和可靠性。

#### 4.1.2 大规模储能系统对抗长期功率波动

大规模储能系统可以通过存储电能来对抗长期功率波动。当风电发电量突然下降时,储能系统可以提供稳定的电能输出,保证系统供电的连续性和稳定性,降低系统应对风电不确定性的难度。

大规模储能系统的应用可以有效应对风电长期功率波动。这些系统可以在风电波动较大时段存储过剩的电能,然后在风电波动较小时段释放储存的电能,以保持系统供电的稳定性。通过储能系统的调节,可以有效缓解风电波动对系统的影响,提高系统的运行效率和可靠性。

#### 4.2 多能源互补系统的建设

##### 4.2.1 风电与太阳能的协同发展

结合风电和太阳能等多种可再生能源,建设多能源互补系统,可以有效利用不同能源的特点,互补发挥各自优势。风能和太阳能具有互补性,可以在不同时间段提供稳定的发电,降低系统的波动性。

多能源互补系统的建设可以有效减轻风电不确定性对系统的影响。通过结合不同的可再生能源,可以平衡不同能源之间的波动性,提高系统的供电稳定性和可靠性。尤其是在风电波动性较大的情况下,多能源互补系统可以通过整合太阳能等其他能源来弥补供电缺口,保证系统的平稳运行。

##### 4.2.2 多能源系统对抗资源波动的优势

多能源系统可以通过整合多种能源,利用其互补性和稳定性来对抗资源波动。当一种能源出现波动时,其他能源可以补充供电,保证系统稳定运行,降低对单一能源的依赖性。

多能源系统的建设可以提高系统对风电不确定性的适应能力。通过整合多种能源,可以有效平衡系统的供电能力,降低系统对单一能源的依赖性,从而减轻风电不确定性对系统的影响。此外,多能源系统还可以提高系统的灵活性和韧性,使其更具适应性和抗干扰能力,进一步提高系统的稳定性和可靠性。

#### 4.3 智能电网技术的引入

##### 4.3.1 智能调度与响应

引入智能电网技术,通过实时监测和数据分析,对系统负荷和能源供给进行智能调度和响应。这样可以更加灵活地调节系统运行,及时应对风电不确定性带来的挑战,提高系统的适应能力和稳定性。

智能电网技术的引入可以有效提高系统对风电不确定性的适应能力。通过实时监测风电发电量、系统负荷和天气等信息,智能电网可以精确预测系统的运行状态,及时调整发电和供电策略,保证系统稳定运行。此外,智能电网还可以通过优化系统运行参数,提高能源利用效率,降低系统运行成本,进一步增强系统的韧性和稳定性。

##### 4.3.2 智能电网对抗市场不确定性

智能电网技术可以帮助电力系统应对市场不确定性。通过智能化的电网管理和运行,可以更好地预测市场需求和供给,优化电力调度和交易,减少风电不确定性对市场的影响,提高市场的稳定性和效率。

智能电网的引入对于提高系统对风电不确定性的适应能力至关重要。通过实时监测和数据分析,智能电网可以及时发现风电波动和市场变化,采取相应措施调整系统运行,降低不确定性带来的影响。同时,智能电网还可以通过优化系统运行模式和调度策略,提高系统的资源利用效率和运行灵活性,进一步提高系统的韧性和可靠性。应对风电不确定性的电力系统策略包括利用能源存储技术、建设多能源互补系统和引入智能电网技术等多种手段。这些策略有助于提高电力系统对风电不确定性的适应能力和稳定性,促进电力系统的可持续发展。随着科技的不断发展和创新,相信未来还会涌现出更多应对风电不确定性的新策略和技术,为电力系统的稳定运行和可持续发展提供更强有力的支撑。

## 5 结论

风电不确定性是影响电力系统运行和管理的重要因素,其来源主要包括风资源变化和风机运行不确定性。这种不确定性对电力系统的稳定性和市场运行产生了影响,使得电力系统面临着频率扰动、电压不稳定、市场调度等方面的挑战。针对风电不确定性,本文提出了一系列应对策略,包括利用能源存储技术、建设多能源互补系统和引入智能电网技术等措施。这些策略可以有效减轻风电不确定性对电力系统的影响,提高系统的稳定性和可靠性,促进电力系统的可持续发展。然而,要实现这些策略的有效应用,仍需要进一步深入研究和技术支持。希望本文的研究成果能够为未来电力系统的管理和发展提供参考,推动清洁能源的广泛应用和可持续发展。

### [参考文献]

- [1]王健,张雪雯.风电不确定性对电力系统的影响[J].电工技术,2016,(10):101+104.
- [2]刘建华.关于风电不确定性对电力系统影响的研究[J].科技风,2017,(06):215.
- [3]纪代颖.基于风电的不确定性对电力系统的影响分析[J].电子测试,2022,36(10):99-101.

### 作者简介:

朱军(1990—),男,汉族,安徽人,硕士研究生,中国电力工程顾问集团华北电力设计院有限公司,工程师,研究方向:新能源。