

# 新能源发电并网对电网电能质量的影响研究

丁一<sup>1</sup> 车瑞<sup>2</sup>

1. 国网江苏省电力有限公司太仓市供电分公司; 2. 苏州三新供电服务有限公司太仓分公司

**摘要:** 随着全球能源短缺和环境污染问题日益严重, 发展清洁可再生的新能源已成为世界各国的共识。太阳能、风能、海洋能等新能源发电正逐步并入电网, 但由于新能源自身的间歇性、波动性等特点, 大规模新能源并网会对电网电能质量产生一定影响。本文通过分析不同新能源的特点, 具体研究了新能源发电并网对电网谐波、频率、电压稳定性等电能质量指标的影响, 提出了储能技术、电网调度优化、无功电压控制等措施来保障新能源并网后的电能质量, 对推动新能源的高效利用、保障电网安全稳定运行具有重要意义。

**关键词:** 新能源发电; 并网; 电能质量; 影响; 控制措施

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2023.09.097

## 引言

能源是人类社会赖以生存和发展的物质基础。面对日益严重的化石能源枯竭和环境污染问题, 开发利用太阳能、风能、海洋能等可再生清洁能源已成为世界各国的共识。近年来, 在政策激励和技术进步的推动下, 全球新能源发电得到快速发展, 新能源装机容量和发电量占比不断提高。然而, 与传统火电、水电等常规电源不同, 新能源发电具有明显的波动性和间歇性特点。特别是随着新能源大规模开发并网, 对电网电能质量的影响日益突出, 主要表现为谐波含量增加、电网频率波动加剧、电压稳定性下降等问题, 严重时甚至会威胁电网的安全稳定运行。

## 一、新能源的种类和特点

### 1. 太阳能

太阳能是一种取之不尽、用之不竭的清洁可再生能源。它通过光伏电池或太阳能热发电系统将太阳辐射能转换为电能。光伏发电利用光电效应原理, 通过半导体材料吸收光子产生电子-空穴对实现光电转换; 太阳能热发电则通过聚光集热器将太阳辐射能转化为热能, 再驱动传统的汽轮发电机组发电。太阳能具有分布广泛、绿色环保等优点, 但也存在昼夜和季节性波动大、能量密度低等缺陷<sup>[1]</sup>。为提高太阳能发电效率和稳定性, 需要研发高效率、低成本的光伏电池材料和组件工艺, 优化太阳能热发电系统集热和储热方案, 合理配置储能单元, 开发适用于大规模光伏电站和分布式光伏系统的智能并网控制技术。

### 2. 海洋能

海洋能包括潮汐能、波浪能、海流能、温差能等多种形式, 蕴藏量巨大, 开发前景广阔。潮汐能发电是利用

海水受月球和太阳引力作用产生的周期性涨落, 通过水轮发电机组将潮汐位能转化为电能; 波浪能发电是利用海浪的动能和势能, 通过波浪能装置的机械传动系统带动发电机发电; 海流能发电利用海水的动能, 通过水下潮流能装置直接驱动发电机; 温差能发电是利用海水表层和深层的温差, 通过朗肯循环驱动涡轮发电机组。海洋能具有可预测性强、能量密度高等优点, 但受制于海洋动力条件和开发技术, 目前尚未大规模商业化应用。未来需攻克海洋能源装置设计制造、电能高效转换和输送、设备防腐蚀等关键技术, 提高装置可靠性和发电效率, 降低度电成本。

### 3. 风能

风能是一种洁净、永续的可再生能源, 通过风力发电机组将风的动能转化为电能。风力发电机组主要由叶片、齿轮箱、发电机、变流器等部件组成, 利用空气动力学和电磁学原理实现风能到电能的转换。与传统火电相比, 风电具有无污染、燃料成本低等优点, 但风速的随机性和间歇性导致风电出力呈现波动性和不确定性, 大规模风电接入会对电网调峰和电能质量控制带来挑战<sup>[2]</sup>。为促进风电的高效利用, 需要开发大容量、高可靠性的风电机组, 优化风电场选址和微观选址, 研究风功率预测和场级协调控制技术, 加强风电与其他电源、储能、负荷的协同优化调度, 提高电网对风电出力波动的调节能力和容错水平。

## 二、新能源发电并网对电网电能质量的具体影响

### 1. 影响电网谐波

新能源发电设备如风力发电机组、光伏逆变器等大量采用基于电力电子技术的变流器, 其中的非线性负载会产生谐波电流, 引起电网中电压和电流波形畸变。谐

波会对电力设备绝缘、线路过热、电能计量装置等造成不良影响,降低电能质量。此外,新能源发电出力的波动性也会导致变流器工作状态频繁改变,谐波特性随之变化,给谐波治理带来难度。特别是在微电网等新能源高渗透率场景下,谐波问题更加突出。根据相关研究,当新能源渗透率超过30%时,谐波电压畸变率可能超过5%的标准限值。谐波还会引起电网中的谐振,放大谐波电流,加剧电能质量恶化。为准确评估新能源发电并网的谐波影响,需建立全面考虑新能源出力特性、变流器拓扑和控制方式、谐波阻抗特性等因素的谐波分析模型,量化高渗透率新能源并网时的谐波水平,为谐波抑制提供依据。

### 2. 影响电网频率

电网频率是衡量有功功率平衡的重要指标,其稳定依赖于发电机组和负荷始终保持动态平衡。新能源发电出力呈现间歇性、波动性和不确定性,会导致电网频率产生随机性波动。当新能源并网比例较高时,出力波动会引起电网频率偏离额定值,甚至突破安全运行范围,影响电网稳定和电能质量。以风电为例,风速的快速变化会导致风电机组出力骤增骤减,电网频率出现超调和欠调。根据某风电场实测数据,当风速从8m/s骤降至5m/s时,风电有功出力以10%/min的速率下降,电网频率出现0.5Hz的欠调。随着新能源装机规模不断扩大,风光出力受天气因素影响的不确定性进一步增加,电网频率调节面临更大挑战<sup>[3]</sup>。为有效抑制新能源并网引起的频率波动,需进一步提高电网调峰能力,合理配置调频辅助服务。

### 3. 影响馈线电压稳定

新能源发电多采用变流器并网,其无功出力能力有限,容易引起馈线电压波动和失稳。当新能源出力波动剧烈或变流器发生故障时,馈线电压会出现骤降骤升,引发电压越限和失稳风险,影响供电可靠性和电能质量。以光伏发电为例,光照强度和温度变化会引起光伏出力和馈线电压波动。根据某光伏电站的实测数据,当光照度从800W/m<sup>2</sup>骤降至200W/m<sup>2</sup>时,光伏有功功率从满发下降80%,直流母线电压从额定值下降15%,连接点交流电压降幅超过10%。大规模新能源并网时,馈线电压问题更加突出。为缓解新能源发电引起的电压波动,需合理配置动态无功补偿装置,优化变流器控制策略,提升新能源无功支撑能力。

### 4. 波动性和间歇性影响电能质量

新能源发电的波动性和间歇性是影响电能质量的关键因素。风能、太阳能资源的波动性和间歇性导致新能源发电出力呈现显著的随机性和不连续性,进而引起电网中电压、频率、谐波等电能质量指标波动。风速和光照强度的快速变化会引起风电和光伏出力骤增骤减,电网负荷平衡被打破,电压和频率出现越限风险。另一方面,新能源间歇性导致其变流器工作状态频繁切换,谐波频谱呈现时变性,给谐波治理带来难度。与常规电源相比,新能源功率预测精度较低,给电网实时平衡和调度控制带来困难,电能质量更易恶化。随着新能源大规模开发,其波动性和间歇性对电能质量的影响更加显著。

## 三、新能源发电并网的电网电能质量控制措施

### 1. 协调储能技术与新能源

储能技术是缓解新能源发电波动性和间歇性、提高电能质量的重要手段。通过合理配置电化学储能、飞轮储能、超导储能等系统,可以在新能源出力过剩时充电储能,在出力不足时放电补偿,实现新能源发电功率平滑控制和电能质量改善。电化学储能如锂离子电池、液流电池等,具有响应速度快、充放电效率高特点,适用于抑制新能源短时功率波动;飞轮储能具有功率密度大、循环寿命长等优势,可用于平滑新能源分钟级功率波动;超导储能具有瞬时充放电能力强、转换效率高特点,可用于抑制新能源秒级功率波动和暂态扰动<sup>[4]</sup>。为充分发挥储能对新能源波动抑制和电能质量提升的作用,需统筹考虑新能源和储能的容量配比、布点位置、协调控制等问题。根据新能源装机容量、出力特性和电网调节能力,优化确定储能配置容量和类型。合理选择分布式储能布点或集中式储能布局方式,兼顾电能质量改善效果和投资成本。研究新能源—储能协同优化控制策略,协调新能源功率—电压控制和储能充放电控制,实现新能源出力平滑、电压/频率稳定和谐波抑制的综合目标。

### 2. 优化电网调度

电网优化调度是应对新能源发电波动性和间歇性、保障电能质量的重要手段。面对新能源出力的随机性和不确定性,需要优化电网日前、日内和实时调度策略,协调优化常规电源、新能源、储能和可控负荷,在确保电力平衡和电能质量的前提下最大限度消纳新能源。

日前调度阶段,需结合新能源功率预测结果,考虑电网静态安全约束和电能质量约束,制定新能源优先发电计划,合理安排常规电源组合和储能充放电计划。日内调度阶段,需进一步滚动优化新能源出力预测,结合电力市场交易结果,优化新能源、常规电源和储能的出力调整,平衡新能源出力波动,减小电网扰动。实时调度阶段,需基于广域量测数据和新能源实时出力,动态评估电能质量水平,及时调整电源和储能出力,启动无功电压控制、负荷控制等措施,快速响应电能质量突变事件,保障电网稳定运行。

### 3. 控制无功电压

无功电压控制是维护新能源并网时电能质量的关键举措。新能源发电大量采用变流器并网,其无功出力能力有限,易引起馈线电压波动和失稳。通过优化配置动态无功补偿装置如静止无功发生器(SVG)、静止同步补偿器(STATCOM)等,可以在新能源出力波动时快速注入或吸收无功电流,抑制电压波动,提高电压合格率。同时,需优化新能源变流器的无功控制策略,根据新能源出力和馈线电压水平,动态调整变流器无功出力,增强新能源对电网电压的支撑能力。在满足新能源有功出力优先的前提下,可采用电压一无功下垂控制、电压一无功最优控制等方法,协调多个新能源变流器的无功出力,实现新能源汇集点电压的解耦控制。对于弱电网新能源并网场景,可引入柔性交流输电技术,通过电力电子变流器灵活控制有功和无功,增强新能源并网点电压稳定性。此外,需统筹规划新能源接入和无功电压调节装置布局,综合考虑新能源渗透率、馈线电压波动特性和投资运行成本等因素,优选新能源并网点和动态无功补偿装置安装点,兼顾新能源消纳能力和电能质量改善效果。通过加强新能源无功电压控制,可有效抑制新能源发电引起的电压波动和闪变,提高馈线电压合格率,促进新能源高质量并网。

### 4. 合理应对发电的波动性和间歇性

新能源发电的波动性和间歇性是影响电能质量的关键因素。为合理应对新能源出力快速变化引起的电能质量问题,需从功率预测、运行控制和设备选型等多方面采取针对性措施。首先,需加强新能源功率预测技术研究,综合应用统计学习、机器学习和深度学习等人工智能方法,结合气象数值预报模型,提高风电、光伏发

电的出力预测精度,为电网实时平衡和安全稳定控制提供依据。其次,需研究适用于大规模新能源并网的电网运行控制策略,协同优化常规电源调度、新能源出力控制、储能配置运行和负荷需求侧响应,提高电网对新能源间歇性和波动性的适应调节能力,减小新能源波动对电能质量的影响。在新能源发电侧,可采用变桨距、变转速等控制方式,对风电和光伏出力进行削峰填谷,平滑短时功率波动。在电网调度运行侧,需合理控制新能源发电计划和出力上限,必要时对新能源实施功率限制,避免新能源发电剧烈波动引起电能质量超标[5]。最后,在新能源发电设备选型和并网点规划阶段,需统筹考虑新能源出力特性和当地电网承载能力,优选电压暂降、频率骤变适应能力强的风电机组和光伏逆变器,合理确定新能源接入容量和并网点,减小新能源波动性和间歇性对电能质量的冲击。

### 结束语

综上所述,太阳能、风能、海洋能等新能源由于其波动性和间歇性特点,大规模并网会对电网谐波、频率、电压稳定性等电能质量指标产生不利影响。为保障电网安全稳定运行和电能质量,需要因地制宜采取多种控制措施,如协调应用储能技术平抑新能源发电波动、优化电网调度提高系统灵活性、加强无功电压控制、合理应对新能源发电的间歇性等。未来,随着新能源开发利用规模的不断扩大,还需进一步深化对新能源并网电能质量影响机理的认识,加快推进储能、柔性输电、主动配电网等关键技术研发应用,完善新能源管理体系和运行机制,开发智能优化调度算法,协同提升新能源消纳能力和电网友好性,推动形成新能源为主体的新型电力系统,实现清洁低碳、安全高效的能源可持续发展。

### 参考文献

- [1]陈美仕. 新能源发电并网对电网电能质量的影响研究[J]. 河南科技, 2021, 40(04): 128-130.
- [2]汪其锐, 孙丰霞. 电网电能质量受新能源发电并网的影响分析[J]. 电力设备管理, 2021, (01): 132-133+170.
- [3]徐潜, 唐凌云, 李西. 新能源发电并网对电网电能质量的影响[J]. 集成电路应用, 2020, 37(09): 138-139.