

可再生能源接入电网对电力系统稳定性的影响

陈祥义, 孔令康

(东营方大电力工程有限责任公司, 山东 东营 257000)

摘要 本文首先介绍了可再生能源接入电网的背景和意义; 其次分析了可再生能源接入电网对电力系统的影响因素; 再次通过对电力系统稳定性的概念和评价指标进行阐述, 探讨了可再生能源接入电网对电力系统稳定性的影响机制; 最后通过实例分析和对比研究, 总结了可再生能源接入电网对电力系统稳定性的影响, 并提出了相关的建议和对策。

关键词 可再生能源接入电网; 电力系统稳定性; 影响因素; 影响机制

中图分类号: TM73

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2024)01-0067-03

全球能源需求的不断增长和环境问题的日益突出, 使可再生能源逐渐成为各国发展能源的重要选择。可再生能源的接入电网不仅可以提供清洁能源, 减少碳排放, 还可以增加电网的灵活性和可靠性。然而, 可再生能源接入电网也带来了一系列的挑战, 其中之一就是对电力系统稳定性的影响。因此, 深入研究可再生能源接入电网对电力系统稳定性的影响具有重要的理论和实践意义。

1 可再生能源接入电网的背景和意义

1.1 可再生能源接入电网的背景

近年来, 由于气候变化和对传统能源的依赖, 世界各国都开始重视可再生能源的发展。根据国际能源署的报告, 可再生能源已成为全球能源发展的重要方向。很多国家根据实际情况制定了可再生能源的发展目标, 并采取了各种政策和措施来推动可再生能源行业的发展。可再生能源是指通过自然界可再生过程产生的能源, 如太阳能、风能、水能等。随着全球对环境保护和能源安全的需求不断增加, 可再生能源逐渐成为替代传统能源的重要选择。^[1]

可再生能源接入电网的背景主要有以下几个方面:

第一, 全球能源需求不断增加。随着人口的增加和社会经济的发展, 全球对能源的需求不断增加。传统能源资源的供应逐渐紧张, 而可再生能源具有丰富的资源和持续的供应, 成为满足能源需求的重要途径。第二, 环境问题日益突出。传统能源的开采和利用会产生大量的二氧化碳等温室气体, 加剧全球气候变化和环境污染。可再生能源具有低碳、清洁的特点, 可以有效降低温室气体的排放量, 减少对环境的影响。第三, 能源安全成为关注焦点。传统能源主要依赖于进口, 对能源供应的稳定性和安全性存在较大的风险。

而可再生能源可以在本地产生, 降低对进口能源的依赖, 提高能源供应的安全性。可再生能源是无限可再生的, 不会对环境产生负面的影响, 并且可以减少对传统能源的依赖。通过将可再生能源接入电网, 可以有效利用这些能源, 提高能源利用效率。

1.2 可再生能源接入电网的意义

可再生能源接入电网具有重要的意义, 主要体现在以下几个方面:

第一, 促进能源结构的转型升级。传统能源主要依赖于化石燃料, 对环境和健康造成了严重的影响。而可再生能源具有清洁、低碳的特点, 可以有效减少温室气体的排放, 从而降低了对环境造成的污染。可再生能源接入电网可以推动能源结构的转型升级, 实现从传统能源向可再生能源的过程转变。第二, 提高电力系统的可持续发展能力。可再生能源具有持续供应的特点, 利用可再生能源发电可以提高电力系统的可持续发展能力。可再生能源接入电网可以实现能源的有效利用和分布式发电, 提高电力系统的供电稳定性和可靠性。^[2]第三, 促进能源供应的多样化和分布化。传统能源主要依赖于中央化的大型能源供应系统, 供电方式单一。而可再生能源可以实现在不同地区和规模上的分布式发电, 促进能源供应的多样化和分布化, 提高能源供应的可靠性和灵活性。第四, 推动能源与信息技术的融合发展。可再生能源接入电网需要借助信息技术进行能源的监测、控制和管理, 促进了能源与信息技术的融合发展, 推动了智能电网、能源互联网等新兴领域的发展。第五, 对环境保护具有重要意义。相比传统能源, 可再生能源的使用, 减少了有害物质和温室气体的排放, 有助于减缓气候变化并改善环境质量。此外, 可再生能源的开发和利用也可以减少环

境生态系统的破坏和资源的浪费，为人类可持续发展创造更好的条件。

2 可再生能源接入电网对电力系统的影响因素

2.1 可再生能源类型和规模

可再生能源的类型和规模是影响可再生能源接入电网的重要因素。

第一，不同类型的可再生能源对电力系统的影响不同。太阳能和风能是目前应用较为广泛的可再生能源，它们的接入会对电力系统的运行和调度产生较大影响。此外，水能、生物质能等可再生能源也逐渐得到应用，它们的接入也会对电力系统产生一定的影响。第二，可再生能源的规模也会影响其接入电网的影响程度。随着可再生能源的规模不断扩大，其接入电网会对电力系统的电压稳定、频率控制、负荷平衡等方面产生更大的挑战。

2.2 接入电网的技术要求和限制

可再生能源接入电网需要满足一定的技术要求和限制。

第一，接入可再生能源需要满足电力系统的稳定性要求。可再生能源的不确定性和间歇性特点会给电力系统的平稳运行带来挑战。因此，需要采用有效的技术手段和控制策略，确保可再生能源的接入不会对电力系统的稳定性产生不利影响。^[3] 第二，可再生能源的接入需要满足电力系统的安全性要求。可再生能源的接入会对电力系统的电压、电流、频率等参数产生影响，可能引发电网的故障和事故。因此，需要合理规划和设计电力系统，确保可再生能源的接入不会对电力系统的安全性产生不利影响。

2.3 电力系统运行模式和调度策略

可再生能源的接入会对电力系统的运行模式和调度策略产生影响。

第一，接入可再生能源会改变电力系统的供需平衡。可再生能源的不确定性和间歇性特点会对电力系统的负荷平衡产生影响，可能导致电力系统的供需失衡。因此，需要采取合适的负荷预测和调度策略，确保电力系统的供需平衡。第二，接入可再生能源会影响电力系统的调度策略。传统的电力系统调度策略主要以基于燃煤和核能发电为主，而可再生能源的接入会使电力系统的发电结构和运行方式发生改变。因此，需要对电力系统的调度策略进行改进和优化，以适应可再生能源接入的需求。第三，可再生能源的接入也会对电力市场造成影响。可再生能源的接入会改变电力市场的供需关系和价格形成机制。因此，需要对电力市场的设计和运行方式进行调整，确保与可再生能源接入的需求相适应。

3 可再生能源接入电网对电力系统稳定性的影响机制

3.1 电力系统稳定性的概念和评价指标

电力系统稳定性是指电力系统在受到内外部扰动时，能够保持正常运行并恢复到稳定状态的能力。电力系统稳定性的评价指标主要包括动态稳定性和静态稳定性。^[4] 动态稳定性是指电力系统在受到瞬时扰动（如短路故障、电压突变等）后能够恢复到稳定状态的能力。评价动态稳定性的指标主要包括暂态稳定性和稳定裕度。暂态稳定性是指电力系统在发生大幅度扰动后，恢复到稳定状态所需的时间和过程。评价暂态稳定性的指标主要包括降频率过程和降电压过程。稳定裕度是指电力系统在发生小幅度扰动后能够保持稳定的能力。评价稳定裕度的指标主要包括振荡衰减和频率稳定裕度。静态稳定性是指电力系统在长期运行中，能够保持电压、频率等参数在合理范围内的能力。评价静态稳定性的指标主要包括电压稳定性和功率稳定性。

3.2 可再生能源接入电网的影响机制

可再生能源接入电网会对电力系统的稳定性产生影响，其影响机制主要包括以下几个方面：

第一，可再生能源的不确定性和间歇性特点会对电力系统的动态稳定性产生影响。太阳能和风能等可再生能源的发电会受到天气条件的影响，其输出功率存在较大的波动性，这会对电力系统的暂态稳定性产生影响，可能引发暂态稳定问题，如频率降低、电压下降等。第二，可再生能源的接入会改变电力系统的发电结构和运行模式，从而影响电力系统的稳定裕度。可再生能源的接入可能导致电力系统的发电容量和发电方式发生变化，这会对电力系统的振荡衰减和频率稳定裕度产生影响。例如，大规模的风电和太阳能发电可能增加电力系统的振荡模态，降低振荡衰减能力。第三，可再生能源的接入可能导致电力系统的电压和功率稳定性问题。可再生能源的接入会对电力系统的电压和功率平衡产生影响，可能引发电压不稳定和功率过载等问题。特别是在低负荷时，可再生能源的接入会导致电力系统的电压波动和电压振荡。第四，可再生能源的接入还会对电力系统的静态稳定性产生影响。可再生能源的接入可能导致电力系统的潮流分布发生变化，可能引发潮流过载和潮流失配等问题，这会使电力系统的电压稳定性和功率稳定性受到影响。

4 可再生能源接入电网对电力系统稳定性的影响分析

4.1 实例分析: 风电和光伏发电接入电网的影响

风电和光伏发电是目前应用最广泛的可再生能源之一，它们的接入对电力系统的稳定性产生了重要影响。^[5]

第一, 风电的接入会对电力系统的频率稳定性产生影响。由于风能的不确定性和间歇性特点, 风电的输出功率存在较大波动, 使电力系统的频率稳定性受到影响。当风力资源发生突变时, 其输出功率所产生的波动会导致电力系统的频率发生变化, 进而可能引发频率降低甚至是频率失稳的问题。第二, 光伏发电的接入会对电力系统的电压稳定性产生影响。光伏发电的输出功率与太阳辐射强度密切相关, 而太阳辐射具有昼夜变化和季节变化的特点。光伏发电的接入会改变电力系统的电压分布, 可能导致电压不稳定的问题。特别是在高光照条件下, 光伏发电可能导致电力系统的电压升高, 而在低光照条件下, 光伏发电可能导致电力系统的电压下降。

4.2 对比研究: 可再生能源接入电网与传统能源接入电网的稳定性差异

与传统能源接入电网相比, 可再生能源接入电网具有一些独特的特点, 这导致了它们在稳定性方面存在一些差异。

第一, 可再生能源的间歇性和不确定性特点使得其接入电网的稳定性更具挑战。与传统能源相比, 可再生能源的输出功率的波动性和不确定性会更大, 这会对电力系统的稳定性产生更大的影响。而传统能源如燃煤发电和核能发电等具有较稳定的输出功率, 相对来说更容易维持电力系统的稳定。第二, 可再生能源的接入可能导致电力系统的发电结构和运行模式发生变化, 进而影响稳定性。传统能源主要以大型火电厂为主, 其发电能力和运行方式具有较高的稳定性。而可再生能源的接入可能导致电力系统的发电容量分散化, 并且由于天气等因素的影响, 可再生能源的发电能力也具有较大的波动性, 这会对电力系统的稳定性产生诸多不利的影响。第三, 可再生能源的接入会对电力系统的电网输电能力和潮流分布产生影响。传统能源通常集中在大型发电厂, 其输电能力相对较强, 潮流分布相对较稳定。而可再生能源的接入可能导致电力系统的潮流分布发生改变, 引发潮流过载和潮流失配等问题, 从而影响电力系统的稳定性。

5 建议和对策

5.1 加强可再生能源接入电网的技术研究和创新

为了使可再生能源接入电网的稳定性得到提高, 需要加强相关技术研究和创新。

第一, 需要研发出更高效、更可靠的可再生能源发电设备, 以降低其输出功率的波动性。第二, 需要加强对可再生能源发电预测技术的相关研究, 提高对

风力和太阳辐射等因素的准确预测, 从而更好地掌握可再生能源的变化特点。此外, 还需要研发出更加智能的电力系统调度和控制技术, 以提高电力系统对可再生能源接入的适应能力。

5.2 完善电力系统调度和控制机制

为了更好地应对可再生能源接入电网的挑战, 需要完善电力系统的调度和控制机制。

第一, 需要建立灵活的电力系统调度机制, 能够根据可再生能源发电的波动性和不确定性, 及时调整发电计划和负荷平衡, 确保电力系统的稳定运行。第二, 需要加强对电力系统频率和电压的监测和控制, 及时调整发电和负荷, 维持电力系统的稳定性。此外, 还需要加强对可再生能源发电设备的监测和控制, 及时发现和处理设备故障, 确保可再生能源的可靠接入。

5.3 提高电力系统运行和管理的能力

为了应对可再生能源接入电网的挑战, 需要提高电力系统运行和管理的能力。

第一, 需要加强电力系统的规划和设计, 合理配置输电和配电设备, 使电力系统的稳定运行得到保障。第二, 需要加强电力系统的监控和管理, 建立起完善的电力系统运行管理机制, 及时发现和解决潜在问题, 提高电力系统的应急响应能力。此外, 还需要加强电力系统的培训和人员素质提升, 提高电力系统运行和管理人员的专业能力和技术水平。

6 结论

通过对可再生能源接入电网对电力系统稳定性的影响进行深入研究和分析, 可以更好地理解可再生能源接入电网的优势和挑战。同时, 我们也需要在技术研究、政策制定和管理方面加强工作, 以确保可再生能源接入电网的顺利推进, 并为可持续发展提供可靠、安全和稳定的电力供应。

参考文献:

- [1] 但扬清, 王蕾, 郑伟民, 等. 高比例可再生能源接入背景下电网承载能力鲁棒提升策略 [J]. 中国电力, 2023, 56(09): 104-111.
- [2] 陈盛燃. 碳排放约束下可再生能源接入电网储能多阶段规划模型 [J]. 能源与环保, 2022, 44(09): 240-245.
- [3] 胡福年, 徐伟成, 陈军. 含可再生能源与 CAES 电站的电热综合能源系统调度策略 [J]. 中国电力, 2022, 55(11): 129-141.
- [4] 魏妍萍, 王军, 李南帆. 可再生能源接入对电网电能质量的影响分析 [J]. 电网与清洁能源, 2022, 38(01): 108-114.
- [5] 杨国山, 宋汶秦, 曹喆, 等. 可再生能源接入电网的极限容量研究 [J]. 自动化技术与应用, 2021, 40(10): 90-94.