

新能源接入对电力系统稳定性的影响及对策

刘 进

贵州西电电力股份有限公司鸭溪运营分公司 贵州遵义 563108

摘 要: 全球能源转型背景下, 新能源因清洁、可持续优势加速接入电力系统, 改变系统固有结构, 带来频率波动、电压失稳等稳定性挑战。文章分析新能源发电特性与接入必要性, 探讨现存技术管理难题, 从电源配置、电网建设、技术创新等方面提出优化策略, 为保障电力系统安全稳定运行提供理论与实践参考。

关键词: 新能源; 电力系统; 稳定性; 对策

引言

近年, 全球对环境保护和可持续发展重视程度提升, 太阳能、风能、水能等新能源在电力领域应用快速增长。我国截至 2023 年底, 风电、光伏发电装机容量超 12 亿千瓦, 占总装机容量比重超 40%。新能源大规模接入带来能源结构转型机遇, 但其发电间歇性、波动性等特性, 与传统电力系统稳定运行要求矛盾加剧。传统电力系统靠同步发电机惯性和一次调频能力维持稳定, 新能源发电不确定性使电力系统在频率调节、电压控制方面面临考验。研究新能源接入对电力系统稳定性的影响并提出对策, 是推动电力行业可持续发展的关键。

1. 新能源发电的特点

1.1 间歇性与波动性

太阳能光伏发电依赖光照强度, 夜间无光照发电功率几乎为零, 阴雨天发电功率仅为晴天 20% - 40%。风力发电受自然条件制约, 风速一天内波动可达数米每秒, 风速低于切入风速或高于切出风速时, 风机停止运行。我国西北某大型风电场春季大风期, 单日发电功率波动幅度达装机容量 60%。这种间歇性与波动性使新能源发电难满足电力系统稳定功率输出要求, 给负荷预测和调度带来挑战, 传统电力调度模式难以适应。

1.2 能量密度较低

与煤炭、石油等传统能源相比, 新能源能量密度普遍低。太阳能光伏板标准测试条件下, 每平方米峰值功率约 200 瓦, 同等面积煤炭燃烧能量是其数千倍。风能发电也有类似问题, 兆瓦级风力发电机叶片扫掠面积数千平方米, 但输出功率有限。海上风电要达到 100 万千瓦发电规模, 需布置数百

台大型风机, 占地超数十平方公里。这对土地、海域资源造成压力, 在人口密集、土地资源紧张地区推广受限。

1.3 出力随机性强

新能源发电出力受多种因素影响, 随机性明显。除自然条件外, 设备老化、故障及环境变化影响发电效率。光伏组件使用数年后, 转换效率因材料老化下降 5% - 10%; 风沙、灰尘覆盖光伏板表面, 发电功率降低 10% - 20%。风力发电中, 风机齿轮箱故障、变桨系统失灵等, 导致发电出力波动。这种难以预估的出力特性, 使电力系统制定发电计划和运行调度困难, 增加系统运行不确定性。

2. 新能源接入电力系统的必要性

2.1 应对能源危机

煤炭、石油、天然气等传统化石能源储量有限, 开采难度和成本逐年上升。国际能源署预测, 按当前消费速度, 全球石油、天然气等化石能源仅能维持数十年。太阳能、风能等新能源资源丰富, 地球表面每年接收太阳能相当于数万亿吨标准煤能量。大规模接入新能源可缓解能源短缺, 降低对进口化石能源依赖, 保障国家能源供应安全, 为经济社会发展提供能源支撑^[1]。

2.2 环境保护需求

传统化石能源发电是全球温室气体和污染物排放主要来源。每燃烧 1 吨标准煤, 产生约 2.6 吨二氧化碳、8 - 10 千克二氧化硫及大量氮氧化物和颗粒物。全球气候变化问题严峻, 减少碳排放、改善大气环境成国际共识。新能源发电生产过程几乎不排放污染物, 1 兆瓦风力发电机组运行一年, 可减少二氧化碳排放约 2500 吨。发展新能源可降低污染物排放, 改善空气质量, 应对气候变化, 实现可持续发展。

2.3 推动能源结构转型

我国长期以煤炭为主的能源结构导致环境污染和能源效率低下。新能源发展有助于打破单一能源结构,构建多元化能源体系。将太阳能、风能、水能等新能源大规模接入电力系统,可提高可再生能源在能源消费中的占比。欧盟实施可再生能源发展战略,将可再生能源在能源消费中的占比从2000年的6%提升至2020年的22%,为我国提供经验。

2.4 促进经济发展

新能源产业产业链长、带动效应强,涵盖资源勘探、设备制造、工程建设、运营维护等环节。光伏产业发展带动硅料、电池片、组件生产及电站设计、施工、运维等服务产业。统计显示,每投资1亿元光伏项目,可创造约200个就业岗位。新能源接入电力系统可拉动投资、促进就业,带动上下游产业发展,成为经济增长新动力。

2.5 提升能源利用效率

新能源发电技术进步使能源转换效率提高。光伏电池转换效率从早期10%左右提升至目前25%以上,部分实验室效率突破30%。合理规划配置下,新能源与传统能源可协同互补。白天光照充足时,光伏发电满足负荷需求;夜间或光照不足时,由火电、水电等补充供电。这种模式发挥各类能源优势,提高电力系统能源利用效率,降低能源损耗。

3. 新能源接入对电力系统稳定性的现存问题

3.1 频率稳定性问题

新能源发电间歇性和波动性使系统有功功率难以平衡。电力系统中,频率与有功功率相关,新能源发电功率突然下降,若不及时增加其他电源出力,系统频率迅速下降。某地区风电占比高,强对流天气导致风速骤降,风电功率短时间内下降80%,因缺乏备用电源和快速调节手段,系统频率数分钟内从50赫兹降至49.2赫兹,影响电力设备运行,可能引发频率崩溃。

3.2 电压稳定性问题

新能源分布式接入配电网改变潮流分布,大量电力电子设备使系统无功功率调节能力受限。新能源发电功率波动易造成电压波动和偏移。发电功率大时,向配电网注入过多无功功率,导致电压升高;发电功率不足时,从配电网吸收大量无功功率,造成电压降低。某城市推广分布式光伏后,部分区域出现电压越限问题,影响用电质量和设备安全。

3.3 电网可靠性降低

新能源发电设备受自然环境影响大,故障概率较高。风力发电机在高风速、盐雾等环境下运行,齿轮箱、叶片等部件易故障;光伏发电设备受高温、沙尘影响使用寿命。分散新能源发电单元接入电网增加故障点,且新能源发电不确定性使电网故障分析和恢复难度加大。新能源发电集中地区故障可能导致大面积停电,故障排查修复时间长,降低电网可靠性^[2]。

3.4 电力系统调节能力不足

传统电力系统调节依靠同步发电机调速器和励磁系统,同步发电机有较大转动惯量和一次调频能力。新能源发电缺乏惯性和一次调频能力,新能源渗透率提高,系统调频、调压能力下降。系统出现负荷波动或新能源发电功率变化时,难以快速响应调节。新能源占比较高的某区域电网,一次小负荷波动就导致频率和电压明显波动,传统调节手段无法及时恢复系统稳定。

3.5 继电保护配置困难

新能源接入改变电网短路电流特性。分布式新能源发电单元故障时短路电流大小、方向和持续时间与传统电源不同。传统继电保护装置基于传统电网短路电流特性设计,新能源接入后可能出现保护误动、拒动。某分布式光伏电站附近短路故障,因光伏电站短路电流小且衰减快,过流保护装置未及时动作,扩大故障范围;也可能因新能源反送电导致保护误动作,影响继电保护可靠性和选择性。

3.6 电网规划与运行管理挑战

新能源发电不确定性和分散性给电网规划带来困难。规划阶段难以预测新能源接入后的负荷增长和电源布局,无法合理确定电网建设规模和时序。运行管理方面,需协调众多新能源发电单元与传统电源运行,调度控制复杂性增加。制定发电计划要考虑新能源发电预测误差,实时调度要快速响应新能源发电波动,合理安排传统电源出力,对电网规划和运行管理要求提高。

3.7 储能技术发展滞后

储能是解决新能源间歇性和波动性的关键技术,但目前存在诸多瓶颈。锂电池是应用广泛的储能技术,成本较高,每千瓦时储能成本1000-1500元左右,限制大规模应用;液流电池寿命长,但能量密度低,占地面积大;压缩空气储能等新型储能技术处于示范阶段,技术成熟度待提高。储能

设备充放电效率、使用寿命等性能指标需提升，储能技术滞后限制新能源消纳和电力系统稳定性提升。

4. 提升电力系统稳定性的策略

4.1 优化电源结构与配置

合理规划新能源与传统电源比例是保障电力系统稳定运行的关键。提高传统火电、水电等电源灵活性，通过技术改造使火电具备快速调峰能力，采用先进锅炉燃烧技术和汽轮机调节技术，使火电机组最小技术出力降至额定容量30%–40%。大力发展调峰电源，如燃气轮机发电、抽水蓄能等。燃气轮机启动快、调节灵活，可快速响应新能源发电波动；抽水蓄能电站在负荷低谷抽水蓄能，高峰时发电，增强系统调峰能力，保障功率平衡^[3]。

4.2 加强电网建设与改造

加大配电网升级改造力度，提高配电网智能化水平和柔性控制能力。应用智能电表、配电自动化终端等设备，实现配电网实时监测和控制；采用柔性交流输电技术（FACTS）和高压直流输电技术（HVDC），优化电网拓扑结构，增强供电能力和抗干扰能力。建设坚强主网架，提高电网电压支撑能力和功率传输能力。我国特高压输电网络实现新能源远距离、大容量输送，缓解新能源富集地区消纳问题，提升电网稳定性。

4.3 完善继电保护与安全自动装置

针对新能源接入后的短路电流特性，需研究适用于新能源电网的继电保护技术和装置。采用自适应保护技术，根据电网运行方式和故障情况自动调整保护定值和动作特性；推广广域保护技术，利用通信网络实现保护装置信息共享和协同动作，提高保护可靠性和快速性。完善安全自动装置配置，如低频低压减载装置、自动解列装置等，系统异常时快速切除负荷或解列电网，防止事故扩大，保障电网安全。

4.4 提升电力系统调节能力

开发新能源发电的虚拟同步机技术是提升电力系统调节能力的重要手段。虚拟同步机技术通过控制电力电子设备，赋予新能源发电设备类似同步发电机的惯性和一次调频能力，使其参与系统频率调节。加强需求侧管理，通过价格引导、激励机制等调节用户用电行为。实施分时电价政策，在新能源发电低谷时段降低电价，鼓励用户增加用电；高峰时段提高电价，引导用户减少用电，实现电力供需动态平衡，提升系统调节能力。

4.5 推进储能技术发展

加大储能技术研发投入，降低储能成本，提高储能设备能量密度和使用寿命。鼓励科研机构和企业开展锂电池、液流电池、压缩空气储能等技术研发创新，突破关键技术瓶颈。根据不同场景需求合理配置储能系统，在新能源发电侧配置大容量储能系统平滑出力；在电网侧建设储能电站调峰调频；在用户侧推广分布式储能设备，提高用户用电可靠性和灵活性，发挥储能在提升电力系统稳定性中的关键作用。

4.6 加强电网运行管理与调度

建立准确的新能源发电预测模型是加强电网运行管理与调度的基础。综合利用气象数据、历史发电数据和机器学习算法，提高新能源发电功率预测精度。优化电网调度策略，采用多时间尺度协调调度、源网荷储协同调度等方法。日前调度根据新能源发电预测和负荷预测制定发电计划；实时调度快速响应新能源发电波动，合理调整传统电源和储能设备出力，实现新能源与传统电源、储能设备、负荷优化协调运行，提升电网运行管理水平^[4]。

4.7 强化技术创新与人才培养

鼓励高校、科研机构和企业开展新能源电力系统相关技术研究，加大关键技术研发投入，突破新能源发电、储能、电网控制等领域技术瓶颈。研发高效光伏电池材料和制备工艺，提高光伏发电效率；研究新型储能技术，降低储能成本。加强专业人才培养，建立完善人才培养体系，高校设置新能源相关专业课程，培养复合型人才；开展企业员工培训，提高从业人员业务水平和能力，为新能源发展和电力系统稳定运行提供技术和人才支持。

5. 结语

新能源接入电力系统是全球能源发展趋势，虽给电力系统稳定性带来挑战，但通过优化电源结构、加强电网建设、完善继电保护、发展储能技术等策略，可提升电力系统应对能力。未来，随着新能源发电技术进步、储能技术成熟和电网智能化水平提高，新能源将在电力系统发挥更大作用，实现电力系统安全、稳定、可持续发展。这需要技术创新、政策支持 and 全社会共同努力，推动能源转型，建设清洁、低碳、安全、高效的能源体系。

参考文献：

[1] 王炯, 郑旭, 陈秋寒, 等. 高比例新能源接入下电力系统负荷调峰分配方法 [J]. 中国能源, 2024, 46(12): 68–77.

[2] 李琪, 顾嘉华, 赵新娅. 基于数字孪生的高比例新能源接入系统稳定控制研究 [J]. 电气技术与经济, 2024, (10): 37–40.

[3] 甘艳, 黄菁雯, 吴军, 等. 基于概率潮流的含风电、光伏接入的电力系统静态安全稳定性研究 [J]. 武汉大学学报 (工学版), 2024, 57(06): 765–772.

[4] 谢德兴, 肖仕武. 新能源接入电网短路故障低电压穿越期间静态电压稳定研究 [J/OL]. 中国电机工程学报, 1–15[2025–04–19].

作者简介: 姓名: 刘进; 出生年月日: 1993.06.05; 性别: 男; 民族: 苗; 籍贯: 贵州省遵义市道真县; 学历: 本科; 职称: 高级工, 助理工程师; 从事的研究方向: 电力