[储能]

分布式光伏发电与储能对电网的影响分析

文/孙瑞波　许权
中车南京浦镇车辆有限公司

为保障含分布式光伏发电与储能电网的稳定性，以分布式电源接入配电网的相关理论为基础，建立含有分布式电源的潮流计算模型，并通过测试的方式，从电压质量、电能损耗和短路电流三个方面详细地分析分布式光伏发电接入后对电网造成的影响。其中，在电压质量方面，分布式光伏发电的接入对电网电压质量有着显著的影响，导致电网电压波动。在电能损耗方面，分布式光伏发电的接入对电网电能损耗存在一定的加剧作用。在短路电流方面，当光伏组件与电网并网时，引发短路故障时产生的短路电流更加明显。

随着能源危机和环境污染问题日益严重，政府出台多项政策鼓励发展新能源产业[1]，其中包括大力推广分布式光伏发电技术、加快推进智能电网建设等措施。目前，我国可再生能源进入大规模高质量发展阶段，据不完全统计，全国风电、光伏发电新增装机突破1.2亿kW，创历史新高，占全国新增发电装机的76%，成为我国新增电力装机的主体。截至2022年底，我国可再生能源装机达到了12.13 亿kW，超过全国煤电装机，占全国发电总装机的 47.3%，年发电量，占全社会用电量的31.6%，其中，风电、光伏发电量占全社会用电量的比重达到15.3%。

由于分布式电源具有随机性强、间歇性大以及可控性差等特点[2]，其并入配电网后会给电力系统带来一定的冲击。因此本文主要研究分布式光伏发电接入后对电网产生的影响，为今后制定合理有效的应对策略提供参考依据[3]。首先介绍课题背景及意义，阐述国内外关于分布式电源接入配电网的相关理论；然后建立含有分布式电源的潮流计算模型，通过仿真验证所建模型的正确性；接着从电压质量、电能损耗和短路电流三个方面详细地分析分布式光伏发电接入后对电网造成的影响；最后针对不同类型的分布式电源提出相应的解决方案。

分布式电源接入配电网模式分析

对于分布式电源接入配电网的理论基础，涉及到电力系统的多个方面，包括电力电子技术、电力系统的稳定性分析、保护和控制等[4]。为了能够更好地分析分布式光伏发电与储能对电网的影响，本文从以下几个方面开展了分析。

1）电力电子技术。分布式电源的接入需要使用电力电子设备（如逆变器、整流器等），这些设备能够实现电能从交流到直流或从直流到交流的转换[5]。这些技术使得分布式电源能够与配电网进行有效的连接，实现电能的传输和分配。

2）电力系统的稳定性分析。分布式电源的接入对配电网的稳定性产生影响。在分析配电网的稳定性时，需要考虑分布式电源的接入位置、容量以及系统负荷等因素。通过稳定性分析，可以评估分布式电源对配电网稳定性的贡献，并采取相应的措施确保系统的稳定性。

3）保护和控制。分布式电源的接入需要相应的保护和控制策略来确保配电网的安全运行。保护措施包括继电保护、故障隔离等，防止故障的发生和扩大。控制策略包括电力系统的调度、控制和优化等，确保系统的稳定运行和电能质量的提高。

4）能效管理。分布式电源的接入还可以促进能效管理。通过合理地规划和运营，分布式电源可以提高电力系统的能效，减少能源浪费。

含有分布式电源的潮流计算模型构建

本文构建含有分布式电源的潮流计算模型。其中，当分布式电源接入配电网时，对应的有功功率输出和电流幅值输出均为已知参数。本文利用PI 节点等效与电网存在连接关系的分布式光伏发电与储能节点。为确保全纯嵌入潮流计算模型构建阶段相关参数的一致性，对PI 节点具体表达形式进行变换处理，可以表示为

$$Q_{\mathrm{Gt}}=\sqrt{I^2V^2-P^2} \tag{1}$$

式中，$Q_{\mathrm{G}t}$为在含有分布式电源的电网中，节点t的无功功率输出；I为分布式电源输出电流的总和；V为分布式电源输出电压的总和；P为节点t的有功功率输出。

整个含有分布式电源的电网潮流计算模型可以表示为所有PI 节点潮流之和，对应的计算模型即为

$$Q=\sum Q_{\mathrm{Gt}}=sI-sYV(s) \tag{2}$$

式中，Q为含有分布式电源的电网潮流计算模型；s为含有分布式电源电网潮流的全纯函数，Y为全纯函数的泰勒展开系数；$V(s)$为注入含有分布式电源电网电压的相量形式参量。

按照上述方式，实现对含有分布式电源的潮流计算模型构建。

分布式光伏发电接入后对电网影响分析

1. 测试方案

在测试过程中，以一个具体的测试环境为基础进行，环境包含分布式光伏发电、储能系统以及传统电网，具体的配置信息见表1。

配置的电能损耗测量设备为基于能量的损耗测量仪——GDHB-12型电能损耗测量仪，短路电流测量设备为基于时间的短路电流测量仪——GDYM-600A三相多功能电参量综合分析仪。

表1　测试环境配置

分布式光伏发电系统	
光伏组件数量/个	100
每个组件的功率/W	250
总功率/kW	25
接入电网电压/kV	110
储能系统	
电池类型	锂离子电池
电池容量/（kW·h）	50
充电效率（%）	90
放电效率（%）	95
传统电网	
电网电压/kV	110
电能质量标准	IEEE 1547标准

1）在分布式光伏发电接入电网前，对电网的电压质量、电能损耗和短路电流进行监测。

2）在分布式光伏发电接入电网后，对电网的电压质量进行监测。

3）对比分析分布式光伏发电接入前后电网的电压质量、电能损耗和短路电流变化情况。

4）根据电压质量、电能损耗和短路电流变化情况，评估分布式光伏发电对电网电压质量、电能损耗和短路电流的影响。

2. 测试结果与分析

分别统计不同测试方案下的数据信息，得到的结果如图1所示。

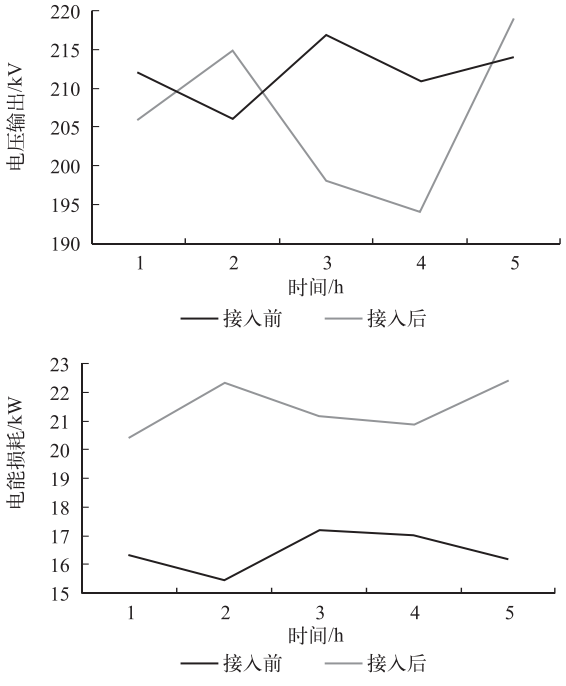

图1　测试结果对比图

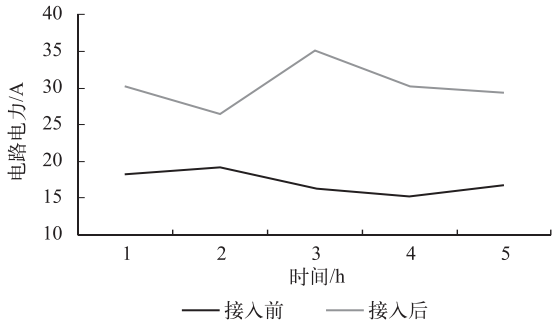

图1　测试结果对比图

从电压质量、电能损耗和短路电流三个方面分析分布式光伏发电接入后对电网造成的影响。

①在电压质量方面，分布式光伏发电的接入对电网电压质量有着显著的影响，导致电网电压波动；②在电能损耗方面，分布式光伏发电的接入对电网电能损耗也存在一定的加剧作用；③在短路电流方面。当光伏组件与电网并网时，引发短路故障时的短路电流更加明显。

结束语

本文提出分布式光伏发电与储能对电网的影响分析研究，切实明确其在电压质量、电能损耗和短路电流三个方面的作用形式。针对分布式光伏发电接入后对电网造成的影响，可以优化光伏组件布局和结构，提高光伏组件的转换效率和稳定性，降低对电网电压质量的影响。其次，可以选择低阻抗的输电线路和高效的变压器等，降低电能传输过程中的损失。除此之外，还可以选择合适的保护装置和制定合理的保护策略，如过电流保护、过电压保护和欠压电保护等，确保电网的安全运行。EA

（收稿日期：2024-04-25）

参考文献

[1] 孟中强，李飞，张豪，等．基于随机潮流与双层经济性指标的微电网储能优化配置[J]．电气应用，2023，42(8)：92-99．

[2] 宋智强，黄耀辉，赵化时，等．含多类型直流的交直流混联电网潮流计算方法适用性分析[J/OL]．电力自动化设备，2023，7(4)：1-10．

[3] 唐文静，唐俊杰，林星宇，等．基于外网静态等值与无迹变换法的互联电网概率潮流计算[J]．电力系统自动化，2023，47(10)：117-127．

[4] 管恩齐，何晋，骆通． 含直流潮流控制器的真双极多端柔性直流电网潮流计算研究[J]． 电力电容器与无功补偿，2023，44(2)：68-76．

[5] 巨云涛，李嘉伟，陈浩，等．基于局部几何参数化和JFNG算法的微电网群分布式连续潮流计算[J]． 电力自动化设备，2023，43(6)：71-77+136．

（上接第 124 页）

（4）搭建大数据及专家智能分析功能软件

针对采集到的大量现场蓄电池参数及数据等进行分析，为以后生成专家系统做数据支撑。

系统研究解决的主要问题。

1）实现变电站中直流系统中蓄电池内阻快速检测，减轻现场工作人员的劳动强度。

2）解决便携式蓄电池内阻测试设备中只能测试单体电池内阻问题，解决便携式蓄电池测试仪在现场测试中噪声干扰影响测量准确度问题。

3）解决传统直流放电法测试中设备笨重，不易携带，并且能够避免蓄电池过度放电等对蓄电池寿命产生的影响。

结束语

通过对蓄电池内阻快速测试系统的研究，成功构建一套基于计算机技术、超低功耗技术及新型蓄电池内阻算法并具有智能分析功能的蓄电池内阻快速测试装置，实现直流系统运维人员快速测试蓄电池内阻的目的，为电力系统安全稳定运行提供支持。EA

（收稿日期：2024-06-13）