

[电能质量]

风电场并网对电网电能质量的影响分析

文/曹晨光
中海油融风能源有限公司

风电场并网运行过程中会对整个电网电能质量产生一定干扰，分析了风电场并网对电网电能质量产生的具体影响，并对降低这种影响的有效措施进行尝试性探索，旨在提升电网电能质量，为人们提供更加优质的电力服务，并为相关研究提供一些参考。

随着风力发电的不断开发，风电场容量在电力系统中的比例越来越大，风力发电对电力系统的影响也愈发显著。电力系统对风力发电并网有着严格的要求。

1) 控制有功功率。要求风电场实际输出电力要小于相关标准限制。在极限风速的条件下，同一风电场的风电机组不可同时停止运行，为其他设备机组留有充足的分担负荷的反应时间。此外，不同容量风电场的标准互不相同。

2) 调节频率。由于风速存在不可控的成分，这就要求风电场的实际输出电力与当下的风速条件相比减少了一定的比例，以确保风电场在低频率时拥有一定的有功功率参与频率调制，在高频率时通过切机参与二次频率调制。

3) 控制电压。为了保证电能质量符合相关标准以及风电场母线电压在一定范围内保持稳定，需要对风电场进行无功补偿、电压波动、闪变、谐波及变压器分接头等调节。

风电场运行相关概述

1. 风力发电工作原理

大型风力发电机组在运行过程中，轮叶会在风力的持续作用下带动轮毂不断地旋转，将风能不间断地转化为机械动能；接着，轮毂装置通过设置在

风力发电机装置中的传动装置将转子装置的机械动能连续传递给发电机转子，驱动发电机转子连续转动，将机械动能转化为电能，再由转换器连接到电网，为终端电气设备正常运行提供支撑。

2. 风电场运行主要特征

1) 并网型风电场的规模较大。与离网型风电场的自主运行相比，并网型风电场的发电量一般都比较大（由几百个以上的风电机组组合而成），为大型电力系统提供了强有力的补偿和支撑，大幅增加了风力资源的实用价值。

2) 高度的机械化。与其他发电方式相比，并网型风电场在运行期间基本实现了无人看管、无人值守的工作状态，外界各项影响因素，如风速、风力等难以对其产生影响。

3) 电力的高波动性。并网型风电场在运行过程中，各发电机组的电能输出功率、实际运行效率等受到风速、风力大小等外界因素的影响，输出的电力具有间断性、高波动性等特征。

风力发电主要是以风速、风力等风能为运行动力，虽然此方式能够充分利用自然资源，有零污染排放的绿色节能优势，无论是占地面积还是施工进度都能获得预期的效果，但此方式也存在一定的缺陷，即风速、风向等无法通过人力进行控制，导致风电场的输出电力往往出现较大的波动，并入电网

后导致电网处于不稳定的运行状态。

风电场并网对电网电能质量产生的具体影响

1. 短路电流影响

异步发电机是风电机组的关键设备，在实际运行期间，异步发电机总是会受到自身电动作用因素的干扰而向短路点输送短路电流，大大提高了电网运行系统电路的电流值。与此同时，风力发电机组接入电网对电网潮流可能产生的影响也不容小觑，如设备的实际运行情况、外部风速干扰等因素使风力发电机组脱网运行的概率大幅增加，严重时还会发生移位等现象。如果风力发电系统没有低电压穿透性能，则其处于运行异常状态时，也会增加脱网的概率，从而影响电网的整体电能质量。

2. 电网频率

与离网型风电场相比，并网型风电场具备大规模发电的运行特点，当风电场接入电网后，向电网输送大量的电能，从而提高了输出功率波动较大的并网电力系统的影响系数(电网频率的影响系数随着风电场输出功率的波动幅度增加而增加)。除此之外，当电网受到风电场输出功率因素的影响时，电网的频率会发生一定程度的变化，还会引起电压降低、机组低电压穿透性差，导致停机等一系列连锁反应，最终降低了电网整体运行的稳定性与电网频率。风速、风力等风能越小，电网的频率和稳定性受到的影响越大。

3. 电网冲击

根据目前风电场的实际运行情况，异步发电机是使用最为频繁的设备，必须确保速度同步才能实现并网。目前异步发电机的使用仍存在一些不足之处，比如其自身在接入电网前电压全部归零，且缺少相对独立的励磁结构，在接入电网后，如果想维持稳定的电压状态，必须历经一个过程，在此过程期间会逐步形成大小为额定电流6~8倍的冲击电流，在数百毫秒到数秒之后达到一个稳定的水平。如果风电场接入的系统容量较大，冲击电流对电网运行产生的干扰几乎可以忽略不计；如果风电场接入的系统容量较小，冲击电流引起电网电压突变、停机，同时还给其他装置的工作造成不良的影响。

4. 谐波

风电机组并网对电力系统的电能质量产生特殊的冲击，其中包括闪变、电压波动及电网频率还对谐

波造成影响。在大部分情况下，电网的谐波基本由电子开关、电弧及铁磁饱和等不同设备仪器形成。如单纯从风力发电而言，并网型风电场对发电系统自身造成的谐波效应可以直接被忽视，因为风力发电系统中的电子器件才是谐波真实的来源。如定速风力发电机的应用流程中，如果没有电力电子器件装置，在风力发电系统整体运行时不产生谐波。要改善电网运行的可靠性与稳定性，首先要考虑在电力系统中安装并网装置，以便在后续工作过程中促进谐波电流的产生，保证电力系统的稳定运行，确保质量与安全性能均符合我国电力企业的有关规定。

5. 电压波动与闪变

由于风电场在运行期间输出功率极不稳定，当风力发电机的输出功率发生剧烈变化时，引起一系列连锁效应(电网的电压是稳定的，当风力发电机的输出功率发生变化时，造成机端电压与并网点电压波动，在波动幅度较大时会发生闪变现象)。随着电力输出功率的变化，闪变现象会愈发明显，这也是电网出现闪变的主要原因。另外，由于风力发电机组在运行中受风剪切、塔影效应等多种因素的干扰，叶轮转矩稳定性下降，输出功率剧烈变化，且变化幅度随着湍流强度增加而增加。大多数风电场的短路容量较小且分布在电网末端，因此，当风速、控制系统出现故障等外部环境变化时，风力发电机的输出功率出现不同的变化，使得电网电压出现波动，导致电网电能质量与稳定性下降。

降低风电场并网对电网电能质量影响的有效措施

1. 轻型直流输电连接电网

轻型直流输电技术是一种基于脉冲宽度调制(PWM)的电压源换流器技术，具有很强的直流传输特性，应用于并网型风电场中可以成功解决电力系统由于电源分散而产生的输电通道问题，从而具有良好的自调节与自控能力。与此同时，采用轻型直流输电技术连接电网可有效解决短路容量对风电场实际容量的制约问题，保证风电机组安全、可靠运行，提高电网的电能质量。风电机组运行效能的高低取决于风速，在各类新技术和方法不断创新和改进下，对风速的预测能力需要进一步改进。为了方便工作人员获得风力

发电性能的精确数据，方便电网灵活容纳风电场，加强风电场的运行管理，提高风电机组的运行效率，优化调度工作，促进电网电能质量大幅提升，为电网系统的安全、平稳运行奠定基础。

2. 有效改善无功补偿技术

目前我国大多数风电场的异步发电机采用的是感性元件，但感性元件存在一定的局限性，不能提供无功功率供电。要想维持电网稳定的运行状态以及电能质量，必须根据实际情况确定各个地区的接入点及电压值等，恰当、合理地选择无功功率补偿量。为改善风电场整体的使用质量，保证发电设备运行的稳定，应在风力发电基地建设一套超导磁储能系统，建成后安装相应的动态无功补偿装置，通过该装置可以随时掌握不同区域的电网运行情况，随时调节、优化无功补偿装置，并制定科学、合理的无功补偿量，实现对电网整体电压的有效把控以及风电场出口处装置净产量的利用，保障风电场出口处电压的稳定性，显示出调节功率、降低传输功率，实现动态的波形控制。

3. 做好风电场发电预测工作

风力发电的运行状况受到风能的大小、风速及

风力等外部因素的影响，进而影响风电场自身的输电能力、输出功率及电网的电能质量等。因此，在整个风电场的运行管理过程中，必须综合运用多种管理手段和预测技术。要求风电场按周期运行，是为了确保能够精准预测未来一段时间内风速、风力等风能的大小。预测能力的提高，能够为风电场后续的优化调度工作提供更好的保障，能够根据出现的问题在第一时间采取最有效的预防、解决措施，减少对电网的冲击或者避免因二次波动对电力系统造成影响，使风电场发电预测工作质量逐渐降低。

结束语

随着风电场电网负荷能力的提高，其输出功率与电网电能质量直接挂钩，电网电能质量随风电输出功率波动幅度的变化而变化，因此，必须在实际工作中对风电场相关设备进行持续的管理，进一步优化调度，有效提高风电机组的容量。为并网过程中可能出现的各类干扰因素，制定相应的控制措施，有效改善电能质量。EA

(收稿日期：2023-03-16)



机工传媒
China Machine Media

电气时代杂志社
Electric Magazine Agency

广告|AD

持续关注 能源电力及数智化

视频投稿：video@eage.com.cn



精彩视频，扫码关注！

电气时代
ELECTRIC AGE

以电气&自动化领域的精英人物、创新企业、新技术和新产品为视点，全面反映电气&自动化产业链的新技术、新产品、主流应用和产业动向。

关注

私信

添加微信

行业资讯

时代访谈

靖观电气

电气讲堂

线上直播