光伏电站有功功率控制模式

根据电网的有功调度需求，光伏电站在并入电网后需根据电网的调度指令工作在不同的控制模式。光伏电站的功率控制模式可以分为最大允许出力控制和出力计划跟踪控制。其中最大允许出力控制又主要包含：最大功率追踪模式、限值模式、调整模式、斜率控制模式和差值模式等几种。出力计划跟踪控制主要是光伏电站跟踪调度端下发的出力计划曲线。

杨立滨 李春来 张海宁 杨军 李正曦/国网青海省电力公司电力科学研究院

杨立滨/高级工程师

关键词/Keywords
最大功率追踪模式·
有功功率控制模式·
限值模式·

1 最大功率追踪模式

光伏电站按照电网的调度机构下发的调度指令投入或者退出相应的功率控制模式，各模式可以同时选择多个模式进行投入。

在该模式下，将光伏发电站的额定容量作为控制曲线中相关时刻点的功率值，确保光伏发电站出力保持最大出力跟踪，不采取限出力措施。

2 限值模式

限值模式投入时，光伏电站有功功率控制系统应该将整个光伏电站的出力限制在预设值或者电网调度下发的限制之下，电网调度会根据电网的运行状态在不同的时段下发不同相应的功率限制值。功率限制的对象是光伏电站的全电站有功功率出力，其限制值是电网机构根据该地区电网中各发电电厂的发电能力按比例分配给各发电系统的。下发限制值的目的则是为了满足电网因保证功率平衡而需进行的发电功率的调节。从光伏电站的角度来看，在该模式投入运行时，光伏电站的有功功率输出应不高于该限制值。若光伏电站当前最大可输出有功功率不大于该限制值，则允许光伏电站按照最大功率输出，尽可能地使光伏电站输出功率接近该限制值[1]。

限值模式的控制曲线，如图1所示。其中，虚线为光伏电站的预测功率P_f的曲线，即光伏电站的最大可输出功率曲线，而实线则为投入限值模式后光伏电站的期望输出功率曲线。从图中可以看到，当光伏电站的预测功率即最大发电功率小于设定的功率限制值时，光伏电站按照最大能力进行功率输出；当光伏电站的预测功率大于功率限制值时，光伏电站则需降低发电功率，按照功率限制值进行输出。

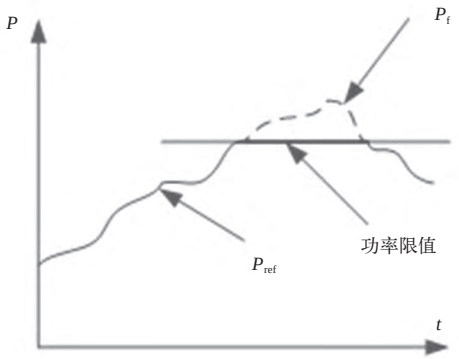

图1 储能系统削峰填谷作用示意图

基金项目：受国家科技支撑《含大型光伏电站的多种能源发电联合运行控制关键技术研究及示范》项目资助（编号：2013BAA02B01）

中国知网 https://www.cnki.net

3 调整模式

调整模式是当电网系统出现频率异常情况时，电网需减少光伏电站的有功功率输出而要求光伏电站投入的功率控制模式，电网需要光伏电站以及电网中其他发电系统降低发电功率来补偿电网频率的变化。在该模式投入运行时，光伏电站应立刻调整其发电功率至调整模式下的功率限制值，同限值模式一样，若光伏电站最大可输出功率小于该限制值，则按照最大能力进行发电；而当该模式解除运行时，光伏电站应立刻调整其发电功率至最大发电功率，而光伏电站在调整发电功率时，应控制其功率变化率满足调整模式给定的斜率要求。

调整模式的控制曲线如图2所示。其中，虚线为光伏电站的预测功率P_f的曲线，即光伏电站的最大可输出功率曲线，而实线则为投入调整模式后光伏电站的实际输出功率曲线。从图中可以看到，光伏电站若需要投入调整模式进行控制，则需要保证光伏电站的有功总出力具备一定的裕量，从而能够满足此控制模式对于输出功率调节的要求。

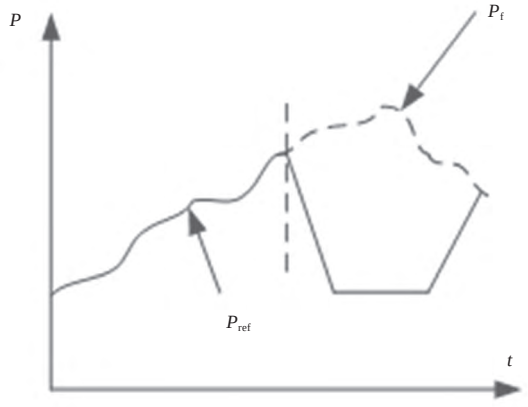

图2 调整模式示意图

4 斜率控制模式

斜率控制模式是指对光伏电站的有功出力变化率进行限制。在使用该模式进率控制的时候，光伏电站的输出功率的变化在每个控制周期之内都必须在给定斜率之内，并且在满足功率变化率限制的条件下使光伏电站尽量按照最大可发电功率进行发电。该模式是为了保证光伏电站的输出功率的变化幅度在一定范围内，尽量避免功率大幅度变化的情况，从而有利于电网的稳定运行。

斜率控制模式的控制曲线如图3所示。其中，虚线为光伏电站的预测功率P_f的曲线，即光伏电站的最大可输出功率曲线，而实线则为投入斜率控制模式后光伏电站的实际输出功率曲线。当光伏电站有功功率控制系统只运行在此模式下时，通常只限制输出功率上升时的变化斜率，即在光伏电站需要提升输出功率时，需要严格限制功率上升时的变化率。而对于输出功率下降时，由于太阳能光照资源的间歇性可能导致光伏电站发电功率的急剧下降，这种情况的输出功率变化率是不可控的，因此此种情况不在斜率控制模式的控制要求之内。

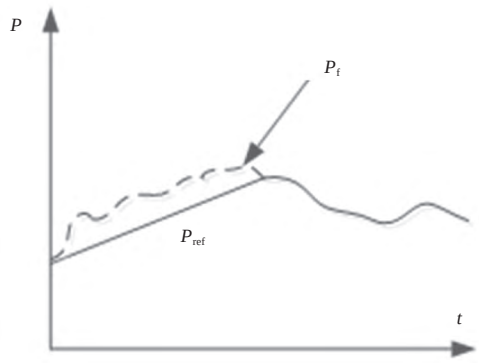

图3 斜率控制模式示意图

5 差值模式

差值模式可以看作限值模式的一种延伸，在该模式投入运行时，光伏电站的总出力与最大发电功率之间保持一个固定的差值，该差值是由电网调度机构结合电网以及光伏电站的运行状态而提供的。该模式的优点是在电网对于光伏电站发电计划的实时制定中，能对光伏电站留出一定的有功备用，使光伏电站的发电资源具备一定的上调和下调有功出力的能力。

差值模式的控制曲线如图4所示。其中，虚线为光伏电站的预测功率P_f的曲线，即光伏电站的最大可输出功率曲线，而实线则为投入差值模式后光伏电站的实际输出功率曲线。从图中可以看到，在差值模式下，光伏电站的输出功率会按照一定的斜率下降到同光伏电站最大可输出功率的

中国知网 https://www.cnki.net

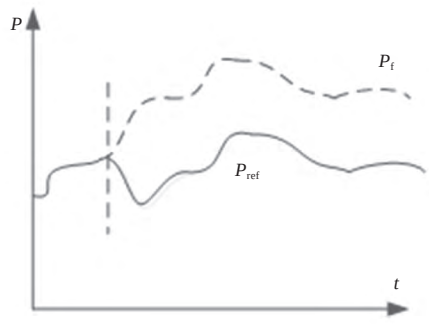

图4 差值模式示意图

恒定差值，并一直保持这个差值进行有功出力。

6 控制模式组合运行

上文叙述的四种控制模式可以单独运行，也可以由上述几种模式进行组合运行。光伏电站控制模式组合运行，是为了使光伏电站的输出功率更好的满足电网调度的各种要求。

6.1 限值模式+斜率控制模式

光伏电站最常用的控制模式即为限值模式和斜率控制模式的组合运行，因为这两种模式组合运行的目的和光伏电站的有功功率控制目标直接相关联，即限制光伏电站有功功率输出以及输出功率变化率。在电网未出现异常情况时，光伏电站通常都是同时运行在这两种模式之下，以满足电网对于输出功率值和输出功率变化率的要求[2]。

6.2 限值模式+斜率控制模式+差值模式

限制模式、斜率控制模式和差值模式的共同运行，是在控制光伏电站的输出功率值和功率变化率的基础上，同时使光伏电站保留一定的有功备用裕量ΔP，以在必要时使光伏电站具备上调和下调出力的能力。该三种模式的组合运行也是为了更好地调整电网的频率[2]。

各模式组合运行的曲线图如图5所示。该图体现了光伏电站在有功功率控制模式运行下的功率输出情况：在该示意图图中所示时段中，首先运行限值模式、随后取消该模式的控制并进行最大功率输出，之后的不同时段分别运行了调整模式、斜率控制模式以及差值模式。光伏电站的最终输出期望如图2实线的效果。

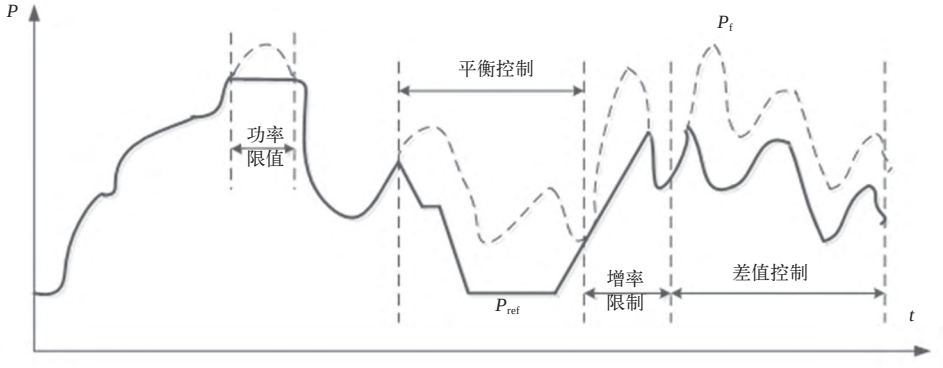

图5 各模式组合运行示意图

7 结束语

根据电网的有功调度需求，光伏电站在并入电网后需根据电网的调度指令工作在不同的控制模式。光伏电站的功率控制模式可以分为最大允许出力控制和出力计划跟踪控制。其中最大允许出力控制又主要包含最大功率追踪模式、限值模式、调整模式、斜率控制模式和差值模式等几种。出力计划跟踪控制主要是光伏电站跟踪调度端下发的出力计划曲线，研究的成果对于指导光伏电站有功功率调度策略研究具有重要意义和作用。

参考文献

[1] 青海大型光伏电站并网运行控制及试验检测关键技术研究与应用[R].2014.

[2] 青海省光伏发电站并网运行特性和控制技术研究[R].2012.

（收稿日期：2015-03-30）EA

作者简介

杨立滨，男，高级工程师，从事风电、太阳能等新能源发电及并网技术领域的研究工作。

李春来（1980-），男，高级工程师，从事风电、太阳能等新能源发电及并网技术领域的研究工作。

中国知网 https://www.cnki.net