

高渗透率光伏接入对电网运行的影响及对策研究

文/国网扬州供电公司 薛钟兵 黄俊

考虑到高渗透率光伏接入对电网运行的影响，首先从集中式接入和分布式接入两方面总结介绍了大规模光伏发电接入电网的特点，然后从电能质量、电网安全稳定性等方面分析了高渗透率光伏发电并网后对电网运行的影响，在此基础上，提出电压、无功控制及光伏发电与电动汽车协调运行等方面的对策。

随着国家节能减排政策的大力倡导和能源改革的需要，清洁能源发电将由最初的补充能源逐渐上升至替代能源，这其中最有代表性的光伏发电便正在形成高渗透率接入电网的态势。由于光伏发电具有随机性、间歇性与波动性的特点，其大量接入系统对电网特别是配电网安全稳定运行带来诸多不确定性的挑战，主要表现在潮流分布、无功电压、故障特性和保护配合等方面。若相关问题不能得到很好的解决，一旦不满足系统的安全、经济、优质要求，系统就会被迫做出一定程度的弃光现象。

针对以上问题，本文从当前光伏发电高渗透接入的特点着手，着重分析其对电网运行的电能质量和电网安全稳定性方面的问题，并提出相应对策，以提高系统对高渗透率光伏接入的消纳能力以及挖掘其对系统的有利影响。

高渗透率光伏发电接入电网的特点

1. 集中式接入

集中式光伏接入一般规模较大，发电容量也较大，单个并网点总装机容量通常超过6 MW，一般直接在电站内升压后接入110 kV电压等级电网。由于其并网功率较大，高渗透率接入时为主网提供了很大的功率支撑，但由于光伏发电间歇性的

特点，这种功率支撑不像常规电源那样具有持续性，在光照条件不足（如夜间、阴雨天）时电源支撑能力瞬间减弱甚至为零。

如图1所示的某集中式光伏电站接入点相邻两天日负荷曲线，从中可以看出，傍晚到清晨光伏出力几乎为零，天气晴好时白天出力却最高达80 MW，而阴雨天时白天出力仅有10 MW。然而即便集中式光伏电站功率波动范围大，但其负荷曲线仍具有一定的规律性，接入点也相对集中，通过一定的管理手段或技术手段便于实现有效的控制。

5月7日：江苏平安变电站/110 kV 平振91C线有功值 5月8日：江苏平安变电站/110 kV 平振91C线有功值

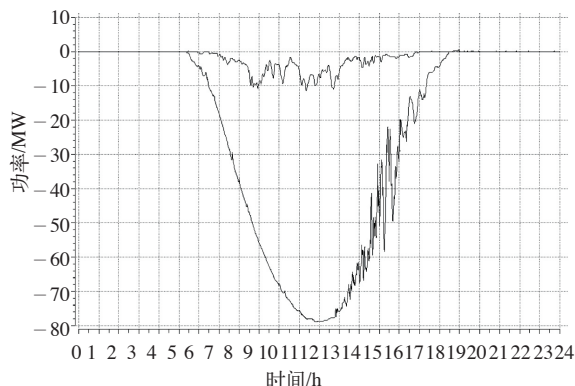


图1 某集中式光伏电站接入点日负荷曲线

2. 分布式接入

分布式接入光伏电站接入门槛相对较低,目前应用也最为广泛,有条件的居民甚至在家中安装应用。其一般位于用户附近,所发电能就地利用,以10/20 kV及以下电压等级接入电网,接入分散且接入容量小,一般单个并网点总装机容量不超过6 MW。单一分布式光伏电站接入对电网影响较小,但高渗透率接入后可能导致区域潮流和节点电压剧烈波动,而配电网网络结构本就复杂,导致配电网运行控制难度加大。特别是家庭分布式接入光伏,其发电和用电夹杂在一起,加上缺乏基本的计量和控制装置,现行的电网条件下更是难以控制。

对电网运行的影响分析

1. 电能质量方面影响

通常,光伏电站用户会基于经济性考虑,在并网点功率因数满足电网要求的前提下,一般使其尽可能多地发出有功功率。对于集中式光伏接入情形,其对电能质量方面基本不构成影响,但对于分布式光伏接入情形,高渗透率接入对电压稳定却构成极大威胁。由于配网属于电网末端,上面接有大量负荷,配网电压不仅与无功功率有关,也与有功功率有关,而分布式光伏接入正是接于配网,其发出有功功率也影响着配网电压分布。图2为分布式光伏接入系统简化模型。

图2中, U_m 和 U_n 分别为节点 m 、 n 处的电压, Z 为线路阻抗, S 为终端负荷, S_g 为分布式光伏发电功率。

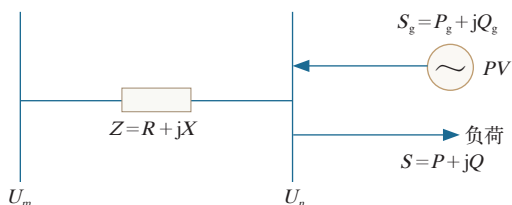


图2 分布式光伏接入系统简化模型

由图可知,配网终端节点 n 处的电压为

$$U_n = U_m - \frac{(P - P_g)R + (Q - Q_g)X}{U_n}$$

可以看出,分布式光伏电站的接入减少了节点间电压的降落,对负荷端电压起到一定的抬升作用。假如在节假日期间用户负荷很低的情况下,而高渗透率的光伏出力依旧维持较高水

平,将会导致配网低压母线或末端出现局部电压越限。

2. 电网安全性方面影响

(1) 潮流分布方面

如前所述,集中式光伏容量大,接入系统后受光照等影响波动范围也大,对系统潮流必然产生很大影响。图3是含某集中式光伏接入的220 kV变电站主变高压侧潮流。由图可以看出,主变潮流在一天之内有正有负,说明潮流流向在变化,再对照图1分析可以发现,在光伏电站出力较强时,主变潮流由下向上流向大电网方向,而在光伏电站出力较弱时,主变潮流由上向下由大电网流向主变电站。这种潮流变化与天气因素有关,具有不确定性,且每天存在往复性,高渗透率情形下给发电计划制订和主网功率平衡带来挑战。

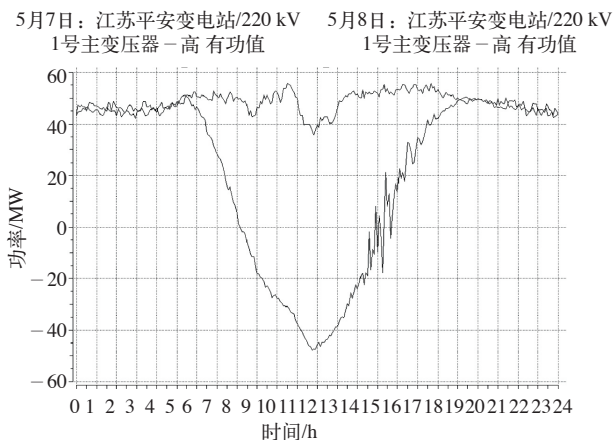


图3 受光伏影响主变潮流变化曲线

高渗透率下分布式光伏电站接入对电网潮流影响也与上述类似,另外,它还改变了传统配网无源的特性,使得配网潮流流向更加不确定,一定程度上也可能造成局部设备过载。

(2) 故障特性及保护方面

光伏系统故障瞬间最大峰值电流约为故障前稳态电流的2~5倍,故障电流衰减很快,持续时间大约为1.1~4.25 ms,随后电流便能够达到稳态值,大约是额定电流的1.2~1.5倍。而光伏电站又不具备低频低压解列能力,因此,当集中式光伏电站升压至110 kV(35 kV)接入大电网系统时,系统侧发生瞬时性故障后可能使其形成孤岛运行状态,对光伏电站本身和对用户提供优质可靠供电方面存在不利影响,目前普遍做法是在系统侧安装一套安全自动装置用以孤岛时切除光伏。

对于分布式光伏电站，由于配网运行方式变化频繁，拉手方式随时调整，光伏电站的并网线路也随时发生变化。高渗透率光伏所发电能在接入点能否完全消纳，对保护设计有着极大的影响，而目前这点比较难以把控。因为电网的负荷与光伏的出力都是动态的，而继电保护与安全自动装置的配置和整定都是静态的。从极端情况分析，变电站总有可能出现负荷极轻的情况，理论上始终会出现电能倒送的现象。因此，对于如何科学选择接入变电站该母线最大负荷、最小负荷或平均负荷，目前面临一定难度。

相应对策研究

1. 光伏电站无功主动控制

光伏电站一般由太阳能电池板、逆变器和控制单元等构成，基于光伏逆变器本身的特性，可以使其根据电网需求发出有功和无功功率，从而实现电压调节。具体来说，就是在电网负荷轻、接入点电压升高时，使光伏电站输出超前的功率因数，以吸收电网富余的无功功率，在电网负荷重、接入点电压较低时，控制光伏电站输出滞后的功率因数，即控制光伏电站无功功率向有功所致的电压升高或降低的反方向调节，以控制电压在合格范围内。

虽然光伏电站目前具有这种调节无功功率的潜在能力，但受老标准光伏不应主动参与电压调节的规定，基本没有发挥其调压优势。考虑到高渗透率光伏接入电网系统，严重影响配网系统电压电能质量的问题，必须借助一定的管理手段完善其主动参与电网调压能力。

2. 储能站配套设计

高渗透率光伏并网对电网的消纳能力提出了挑战，因为无论从对电网的波动性影响还是基于有功功率平衡对电网电能质量的影响角度考虑，电网的消纳能力直接决定了高渗透率光伏大规模接入的可行性。

储能电站作为一种负荷缓冲池，通过对其合理规划以及实时调度，理论上可以极大地消除光伏电站的波动性影响。另外，这种方案最大的优势是不受电站用户意愿的影响（如无功控制量），比较容易实现控制，因为考虑到分布式高渗透率光伏接入规模的庞大，现行电网条件下对每一光伏电站实现精准控制难度还比

较大。借助于储能电站，只要对区域内（如某工业园区）高渗透率光伏负荷特性加以研究，就可以科学利用其消纳电网有功功率差额，在电网负荷轻时储能电站吸收光伏电站发出电能，在电网负荷重、电网供电有缺额时储能电站释放储存的电能，如此，不仅可以提供电网对光伏发电的消纳能力，还可以使光伏电站对电网起到削峰填谷效果。

3. 光伏发电与电动汽车协调运行

作为清洁能源发展在交通领域的试验田，电动汽车自大规模推广应用以来也面临诸多问题，如电池问题、充电问题等。规模化应用电动汽车与高渗透率光伏发电其实有一定的类似性，如随机性波动性、规模大数量多以及负荷（发电）特性难以考究等。但两者也有一定的关联性，光伏电站是发电，电动汽车是用电，内置高能电池，电动汽车可以利用光伏电站发出的电能充电，电动汽车内置电池也可以作为光伏电站发出电能的缓冲池。

基于这一思想，可以设计在电动汽车充换电站附近建设分布式光伏电站，光伏发电通过充换电站为站内电池充电，当电动汽车需要进站补给能源时，可直接更换电池。至于站内闲置的电池，用作光伏发电并网的储能单元，其并网情况由电网调度根据实际情况安排。对于少数电动汽车需进站即时充电，也优先考虑使用光伏发电充电，只有当光伏发电不足时才考虑接入电网充电。如此一来，实现了分布式光伏电站发电的就地消纳，从而大大减小了高渗透率光伏电站对电网电能质量和电网安全稳定性方面影响。

结束语

本文从集中式和分布式两方面介绍了高渗透率光伏接入的特点，并分析了其对电网运行造成的影响，包括电能质量方面电压越限问题、电网安全稳定性方面潮流流向不确定性问题及故障特性问题，针对这些问题，提出了光伏电站利用自身特性参与无功调节、设计配套储能站消纳光伏电能、光伏发电与电动汽车协调运行等方案。理论研究表明，这些措施极大地提高了高渗透率光伏接入的消纳能力，一定程度上减小了高渗透率光伏接入对电网电能质量和电网安全稳定性方面的影响。EA