

提高电力系统接纳分布式光伏能力的综合措施分析

访国网能源研究院新能源与统计研究所研究员黄碧斌

■ 崔 岩/本刊记者



黄碧斌 高级工程师
国网能源研究院新能源与统计研究所研究员

加强电网网架建设、采用有载调压变压器和光伏逆变器调节对改善分布式光伏接入中、低压配电网所产生的影响效果显著。

“十三五”期间，我国分布式光伏发电将快速发展，局部地区渗透率较高，将给电力系统带来多方面影响，需要从整个电力系统角度采取经济有效的技术措施。目前可采取的措施包括电网改造、配置储能、逆变器有功和无功控制等多种源-网-荷侧的策略，各种措施实施效果和成本投入相差较大，且在城市和农村电网、中压和低压电网也具有较大差别，需要开展综合评估。国网能源研究院新能源与统计研究所的黄碧斌博士近期在梳理分析国外知名机构研究的基础上，对我国电网侧、源荷侧及多方互动的技术措施开展了适应性评估，请他就相关内容予以介绍。

分布式光伏接入的挑战

电气应用：当前，分布式光伏发电接入电网面临的主要问题是什么？

黄碧斌：大量的分布式光伏接入中低压配电网，改变了原先配电网内没有电源的情况，给配电网带来了一系列的挑战，尤其需要关注电压控制和线路过载问题。当分布式光伏出力大于负荷需求时，就产生电力过剩，潮流从分布式光伏接入的低电压等级向较高电网层面流动。分布式光伏接入配电网将引起电压分布变化，但分布式光伏的投入、退出时间以及有功、无功功率输出的准确预测、实时监测技术复杂，成本高，使得配电网线路电压调整控制十分困难。此外，当分布式光伏出力较大、负荷需求较小时，电网的负载情况可能比峰值负荷时的负载情况要大，易产生线路过载。

相关研究及进展

电气应用：就分布式光伏接入问题，国内外近期开展了哪些研究工作，进展如何，取得了哪些成果？

黄碧斌：目前欧洲光伏协会、德国能源署等机构均已就分布式光伏接入的电力系统适应性问题开展了深入研究。

(1) 欧洲光伏协会研究

欧洲光伏协会 (EPIA) 开展了 “Connecting The Sun” 研究, 主要内容包括光伏对欧洲能源转型的意义、对电力系统的影响、光伏与未来配电网、电网接入对光伏竞争力的影响以及大规模光伏接入电网之路等方面。主要研究结论包括以下五个方面。

第一, 分布式光伏接入带来双向潮流, 将带来电压等电能质量问题。现有配电网设计用于从高电压向与其连接的负荷供电。光伏等分布式电源在配电网侧的快速发展意味着潮流将双向流动, 从变压器到用户, 或者相反方向, 将带来电压超标等问题。

第二, 大规模光伏发电接入不存在难以解决的技术问题, 而是技术解决方案的经济性以及协调问题。当前欧洲多个配电网运营商正在管理密度相当高的分布式光伏, 因此目前大规模接入光伏发电不存在难以解决的技术问题。但是, 为避免过高的全社会成本, 需要协调输电、配电网、传统发电和可再生能源发电, 找到成本最优化的解决方案。

第三, 提高电力系统接纳能力的技术解决措施包括电网改造、智能化及电源主动参与等方面, 如图1所示。

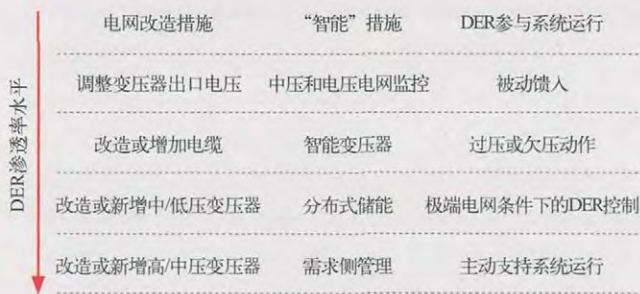


图1 提高电网接纳能力的措施

第四, 技术解决方案的技术经济评估应以电网运行状态分析为基础。通过对典型实际低压配电网进行分析, 可以通过电网改造、限定出力、自动功率调节和智能配电变压器等策略, 确保电网稳定运行。采用限电策略时, 总成本可能最高, 取决于自用用电量的多少, 最高可达到3 600欧元/年; 采用自动功率控制时总成本最低, 接近1 500欧元/年; 其他策略居中。其中, 采用电网改造策略时, 成本约为3 000欧元/年, 按照年等效利用小时1 000计算, 以及当时汇率进行折算, 度电改造成本达到0.13元。

第五, 实施光伏主动控制, 有利于提高电网接纳能力。光伏能够提供一些非常有效的系统支撑能力, 包括有功调节, 低电压穿越和电压支撑, 但是目前这些能力

都被过低地评价。光伏主动控制对于避免电压越限, 实现经济高效接入十分重要。

(2) 德国能源署研究

德国能源署根据德国2012电网发展情况, 对2030年之前德国配电网发展需求和技术措施进行预测。

第一, 大比例可再生能源发电接入电网条件下配电网扩建需求测算。2030年之前, 德国须对161,000千米长的线路进行改扩建, 新建69 000 MV·A容量的变压器。其中, 扩建线路中93%的线路长度分布在农村地区, 且农村地区有82%的变压器容量必须进行扩建。

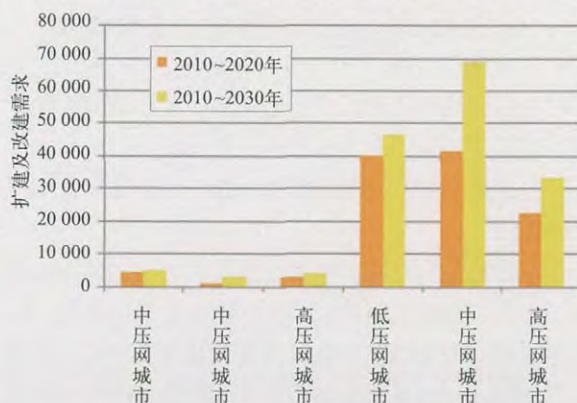


图2 各电压等级的电网扩建及改建需求 (累计)

对比高、中、低不同电压等级的扩建需求, 数量主要在中低压电网, 但投资在主要高压电网。由于可再生能源主要接入中低压电网且中低压电网线路公里数长, 中压电网和低压电网需要扩建的绝对公里数最大而高压电网需要改扩建的相对公里数和投资需求最大。

对比农村电网和城市电网的扩建需求, 农村电网的扩建和投资明显高于城市地区。在城市电网中, 由于光伏离负荷近, 且负荷需求大, 可以通过本地消纳, 减少可再生能源发电上送至更高电压等级的压力, 降低电网扩建和投资需求。

第二, 其他技术措施对配电网扩建需求的影响。德国能源署还进一步研究了未来采用其他技术策略情况下, 2030年德国配电网扩建需求的变化。由于数据有限, 研究只是进行了粗略估算。

适应高渗透率分布式光伏接入的措施分析

电气应用: 如何提高配电网消纳分布式光伏的能力, 各项技术措施的应用效果和技术经济性如何, 请予以介绍?

黄碧斌: 借鉴国外经验, 结合我国国情, 提高电力系统接纳能力的技术措施主要有:

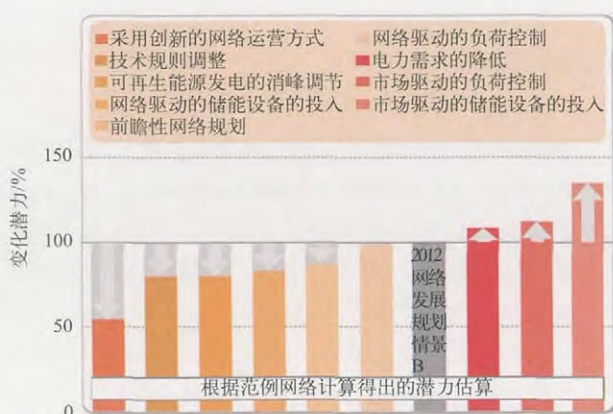


图3 2030年配电网各种技术选择引起的投资需求变化

(1) 电网侧措施

配电网侧技术措施是指在电网侧安装和管理的技术设施，不需要与用户或光伏发电厂进行交互，包括电网加强、有载调压、高级电压控制、静态无功控制及电网侧储能等。

一是实施电网改造。电网改造是光伏电站接入后保证电网电压和热稳定保持在要求范围内的传统措施，包括新建线路、变压器等，是目前采用最多的方案。但是在一些情况下，其成本是非常高的。此外，由于中低压配电网阻抗接近甚至大于感抗，有功对电压升高的贡献较大，采用无功相关手段对于电压越限问题的效果并不明显。

二是有载调压（中/低压变压器）。中/低压变压器有载调压可以有效解决低压电网的电压控制问题，但是现有低压配变基本不具备有载调压能力，如果需要大规模更换，成本将会很高。另外，分接头控制是有寿命的，频繁调整会严重影响变压器寿命，对于分布式光伏发电来说，峰值负荷出现的概率较大，很有可能导致有载调压的频繁动作。

三是高级电压控制（高/中压变压器）。通常情况下，高/中压变压器的输出电压可以通过有载调压调节，但是接到中压馈线上的分布式光伏使得这种调节愈发不可靠。因此，有载调压需要辅以中压甚至低压电网中的大量量测数据，与更高级的电网控制系统结合，以对实际电网的状态有更好的监测。目前来说，除了部分试点示范地区，尚难以实现基于大量数据监测的高级电压控制。

四是静态无功补偿。由于低压电网的电阻较大，无功功率对于低压电网电压控制的作用有限。

五是电网侧储能。虽然成本较高且占空间，但是作为电力系统的灵活性资源，可以用来解决配电网中的诸

多问题。典型的作用有削峰、移峰、辅助服务以及在电网故障时作为后备电源。目前来看，使用电网侧储能的**最大问题是成本制约。对于电动汽车电池的二次利用，近期可能存在一定的应用前景。

六是电网重构。中压电网的网络拓扑一般都是网格状的，以辐射的方式运行。这意味着边界节点的一些开关处于打开状态，在停电状态下可以闭合，以重新供电。接入分布式光伏后，可以通过重新确定这些开关的状态以使电压保持在合理的范围内。但是，这种方式的效果往往十分有限，在分布式光伏接入比例较低时可以作为初步解决方案。

(2) 源荷侧技术措施

源荷侧技术措施指安装在量测仪表之前，基于公共并网点的电网特性做出响应，无需与配电网运行人员进行通信。包括优化接入方式和电压等级、用户侧储能、政策激励的自发自用、光伏有功出力控制以及光伏无功功率控制。

一是优化接入方式和电压等级。分布式光伏发电接入可采用两种方式：分散就地接入和集中专线接入。此外，还涉及到接入电压等级的高低。不同接入方式和电压等级的成本不同，对电网的技术影响也不同。

二是用户侧储能。在分布式光伏容量与当地负荷差别不大的地方，用户侧储能颇有吸引力。通常来看，国家层面更倾向于出台用户侧储能激励政策，而非电网侧储能激励政策。因此，未来用户侧储能将比电网侧储能更有竞争力。但是需要注意的是，由于用户侧储能所有权属于用户，其优化目标是用户经济性最优，可能难以实现整个系统的最优。

三是鼓励自发自用。降低上网电量的一个有效措施就是通过直接或者间接的激励政策鼓励分布式光伏自发自用。但是该种政策的缺点在于，在全天或者年度来看，并没有减少用户的最大峰值负荷，对延缓电网改造并没有较大作用。

四是有功出力限制。这项措施需要控制装置能够降低光伏有功出力，使其不超过约定的最大出力或者某一固定值（如德国可再生能源法规定不超过光伏装机容量的70%）。由于光伏实际出力几乎很少，接近其装机容量，因此以上规定是合适的。该技术措施面临的**最大挑战是政策法规，但是从经济性上来看，实行合理少量限电是有利于全社会成本投入最优的，德国等国家也正在实行。

五是光伏无功功率控制。根据并网点电压值，并根

据与有功功率的一定函数关系,控制无功功率可以限制由分布式光伏导致的电压上升。这种措施的有效性与线路的阻抗有直接关系。当线路 R/X 比例较高时,其效果略差。在中压电网中这种措施更有效,在低压电网中的作用不明显。

(3) 多方互动措施

电网与电源、用户的互动措施需要依托电网中不同位置的硬件通信设施。包括基于本地价格信号的需方响应、基于市场信号的需方响应、SCADA和负荷控制、SCADA和光伏逆变器控制以及广域电压控制。

一是基于本地价格信号的需方响应。需求侧响应由本地价格信号来启动,这个价格信号与市场信号不同,只有接在该线路上的用户可以参与响应。这些价格信号可以基于对电网的发电和需求预测,由配电网运行人员直接设置或通过供应商间接设置。

二是广域电压控制。这个措施包含了配电网中所有可用的电压和无功控制技术。通过对配电网中的有载调压变压器、分散的电容器、电压调节设备以及光伏逆变器等设备的协调控制,优化整个配电区域的电压和功率

因数。通过实施智能电网技术达到量测不同节点的电压和功率因数、控制设备、协调和优化发电与负荷的目的。

根据前述技术措施在低压配电网和中压配电网中的技术效果和经济性分析,初步筛选出中/低配电网中最有效的技术措施。

低压配电网中最有效的措施包括:一是配电网侧措施,主要有加强电网网架建设,采用中/低压有载调压变压器;二是用户侧措施,主要有储能、光伏逆变器有功和无功调节方式优化。

中压配电网中最有效的措施包括:一是配电网侧措施,主要有加强电网网架建设、采用中/低压有载调压变压器及网络重构;二是用户侧措施,主要有光伏逆变器有功和无功调节联合优化、光伏有功和无功控制。

其中,加强电网网架建设、采用有载调压变压器和光伏逆变器调节对改善中压配电网和低压配电网的效果较显著,其中电网建设效果最好但成本很高,有载调压更为经济,光伏逆变器控制则需要鼓励用户参与电网调度运行。EA

广告 | AD

全新改版

色彩丰富 凸显主题

2016《电气应用》以鲜明色彩和新颖版式呈现精彩内容,力求赏心悦目。

栏目设置 独具风格

坚持继承与开拓并举,以丰富内涵充实经典栏目,持续深化面对面、专家访谈、EA经理人等栏目,密切关注电气技术的发展和运用。

专家点评 精辟深刻

每期都将围绕一个热点话题,隆重推出一场专题讨论的盛宴,共邀知名专家、产品用户和生产厂家汇聚一堂,针对焦点问题作出评析。

行业案例 生动丰富

关注电力、建筑、石化和冶金等电气行业应用,以典型深刻的案例分析、方案设计构建技术互动的空间,促进应用经验交流。

国内邮发代号: 82-341 国外发行代号: M1409

每期定价: 15.00元 全年定价: 360.00元



· 电气应用 盛情呈现 ·

2016