完善的电网基础设施是德国发展可再生能源的硬件保障，引入市场化机制可以有利调动各相关利益方的积极性，形成良性循环的闭环产业链。

德国：高消纳的秘密

文·周滢垭 严骆锴 廖宇

德国的弃风弃光率仅1%左右，在高装机容量的前提下，可以达到如此高的消纳率，首先与德国完善的基础设施分不开，新能源的发展必是与电网建设相匹配，此外市场机制在德国新能源的消纳上也发挥了不可替代的作用。

众所周知，在欧洲能源交易所中的“优先排序原则”下，可再生能源可以凭借其极低的边际成本更加容易地被交易出去。此外调频市场机制与可再生能源直接上市交易机制也极大地促进了新能源的消纳。

精准预测

可再生能源特别是风电，光伏等发电受气候与天气影响较大，在一天内可能波动幅度巨大，其不稳定性与不可靠性是造成其无法大规模消纳的重要因素。如果能提前相对精确预测出可再生能源特别是风电光伏的当日发电功率曲线与用电负荷曲线，那么就可以根据预测曲线提前安排火电等传统化石能源发电厂的发电计划，以达到最大幅度消纳新能源的目的。

目前国内可再生能源发电特别是对风力发电的预测尚处于起步阶段，对风力发电的错误估计，往往导致大规模弃风。反观德国，截至2014年年底，风电装机容量38115兆瓦，而弃风率却不到1%，如此高的消纳利用率，得益于各个输网公司对其控制区域内风电相对精确的预测。

右图为德国四大输网公司之一Amprion GmbH，对其所负责区域1月17日子夜至凌晨3时风力发电功率的预测值与实测值对比。从图中可以看出，这一时

段的偏差一直在15%左右波动，基于这种精度的预测，再依托调频市场，就可以达到对风能几乎完全的消纳。

在德国四个大输电区域中，由相应的输网公司负责维持电网稳定。厂网分离之后输电公司必须向调频市场购买平衡电力，以平衡计划与实际之差。目前一次，二次，三次调频能量可以按需拍卖，其中除一次调频由于无法计量而按功率收取费用外，其余两种调频皆按功率与电量进行二元计费。由输网公司向相应的调节商支付。同时由于德国存在四大输电网区，各个输电区域之间也会在进行一些平衡。

同时，每个大输电区又由许多平衡基团组成，每个区域100个到200个不等。平衡基团是德国电网调节中虚拟的基本单元，在此单元中，所有的终端用户消耗电量、产电商发电量以及输入输出电量必须达到平衡。单元内发电量，耗电量，流入流出电量都由平衡基团责任方负责预测与经营，并且受到区域输电网公司的管理。平衡基团可大可小，在德国任何一个参与电力交易的能源公司，必须拥有至少一个平衡基团，所以平衡基团责任方可以是单纯一家发电厂，也可以是负责给一片小区供电的能源公司。平衡基团责任方必须每天预测自身区域内流入与流出的电量，并制成计划上交给输网公司，而输网公司会根据这些表格在内部平衡之后做出全区域的计划。

每当实际流入流出平衡基团的电量与计划表发生偏差，平衡基团责任方就必须向其所在输电区域的输电公司购买平衡电力，而价格由输电公司在二次调频与三次调频中的投入计算得出。在德国无论是正向平衡电力，还是逆向平衡电力的费用是一样的，都按照平衡电力的电量价格的加权平均值计算得出。而这个值，往往远大于在欧洲电力交易市场中的交易电价。

由此可见，一个平衡基团责任方的预测准确与否，会直接影响到其在电力交易中的盈利。同时输网公司的盈利也一定程度上与之相关，当大输电区的整体偏差较大时，会使输网公司在一次调频上的投入增大，对于这一部分支出，输网公司不能从与下面的平衡基团责任方的交易中得到补偿，这就驱使输网公司对其管理的平衡基团责任方加强管理。由此，精准预测负荷与发电量，尤其是不稳定的新能源的发电功率，成为输网公司与平衡基团责任方的利益诉求，大大提高了二者预测的积极性。提高了预测精度后便可以大大减少拥堵的可能性，增加新能源的消纳。

时间	预测值 [MW]	实测值 [MW]	偏差
00:00 – 00:15	1855	2061	–10,00%
00:15 – 00:30	1843	2046	–9,92%
00:30 – 00:45	1812	2085	–13,09%
00:45 – 01:00	1769	2116	–16,40%
01:00 – 01:15	1745	2099	–16,87%
01:15 – 01:30	1729	2089	–17,23%
01:30 – 01:45	1725	2066	–16,51%
01:45 – 02:00	1741	2044	–14,82%
02:00 – 02:15	1724	1988	–13,28%
02:15 – 02:30	1727	1976	–12,60%
02:30 – 02:45	1719	1931	–10,98%
02:45 – 03:00	1721	1951	–11,79%

>> 数据来源：公开资料整理

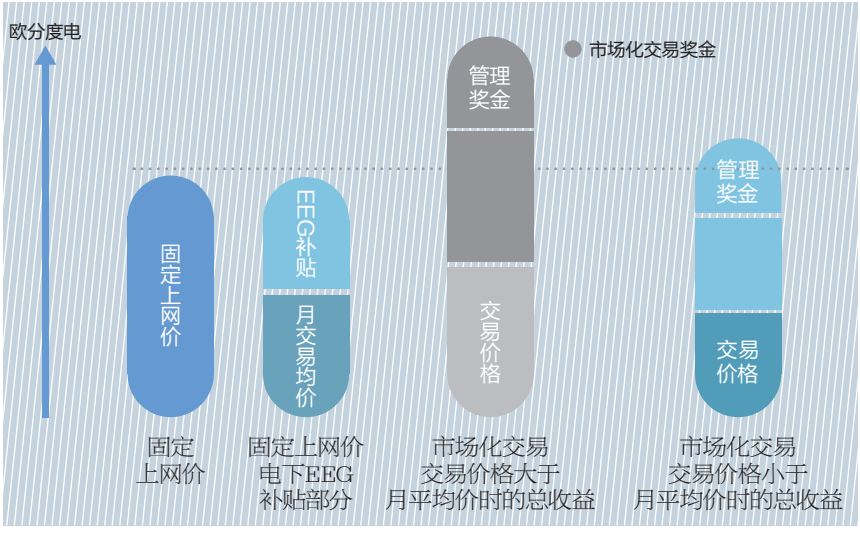
上市交易

从2000年起的EEG（可再生能源法）对可再生能源承诺了20年补贴上网电价

不变，这在当初可再生能源发电，特别是光伏发电，成本较高的时候极大地刺激了市场投资建设的积极性，同时带动了整个新能源行业的发展，包括咨询、设计、安装、维护等，推动了光伏等组件的量产。高额并且20年稳定的补贴一方面是对社会资本的无风险收益承诺，但另一方面也使得可再生能源分摊费节节上升，造成终端电价的上升，并且每年的分摊费都将之后20年的长度叠加，形成巨大的补贴惯性。不得不承认，这是一种过于激进的补贴机制，但在十几年前光伏成本是煤电10倍，核电激进地被逐年关停的情况下，如果不使用这种激进的补贴机制很难刺激可再生能源行业的兴起。这当然是后话，没有人能做这种假设。

至2012年，可再生能源发电已经达到德国发电总量的23%，同时光伏风电的波动性与需求的偏离也在电力交易市场上越来越频繁出现的负电价显现出来。2011年EPEX现货市场上负电价出现了3次，而到了2012年负电价出现了45次。解决这些时间上的局部供大于求，引导可再生能源发电合理匹配用电，只能用市场化的手段，这样的背景促使了德国自2012年起对EEG的一项大改革——逐步强制可再生能源发电市场化交易。

可再生能源市场化交易(Direktvermaktung)，是指可再生能源发电在交易市场上卖出，除获得交易价格的收益之外，还能获得额度市场化交易奖金。市场化交易奖金分为两部分，一部分为该类可再生能源固定上网电价与该类可再生能源当月市场交易平均价格的差值；一部分为管理奖金，用于补充该类可再生能源发电商进入市场化交易所付出的管理成本，金额由政府制定，逐年降低。市场化交易奖金发放和结算机制与原来固定上网电价相同，由电网企业计量、发放，全国总计后以可再生能源分摊费的形式分摊到终端电价中。



这种可再生能源市场化的机制从多方面促进了可再生能源发电的消纳。

首先，鼓励可再生能源发电适应供求关系。当发电商在市场上卖电的交易价格高于当月市场交易平均时，所获总收益高于固定上网电价，反之，当发电商在市场上卖电的交易价格低于当月市场交易平均价时，所获总收益低于固定上网电价。这就激励了发电商在供小于求、电价较高的时候多发电，甚至发电商会为光伏安装储能设备，从而主动使清洁能源的发电以需求为导向。

其次，鼓励可再生能源发电商进行精准预测。管理奖金是用来弥补发电商进入交易市场，培养相应人才，预测、交易、结算等的管理成本。其中大部分增加的管理成本来自于可再生能源的预测。为了在交易市场上卖出最好的价格，发电商会主动对可再生能源发电进行更精准的预测。由于光伏、风电的预测工作比水电、生物质等难度和成本要大，因此光伏、太阳能发电市场化交易的管理奖金要高于其他可再生能源，最高比例在刚推出可再生能源市场化交易的2012年，风电、光伏管理奖金为1.2欧分/度电，而水电、生物质等的管理奖金为0.3欧分/度电。

再次，鼓励可再生能源发电远程监测调控装置的安装。在固定上网电价时期，可再生能源发电设备几乎没有加装远程测控装置，其发电量无法进行调节。进入市场化交易后，发电商有了动力为发电设备加装调控装置。而这些调控装置不仅使得发电更加以需求为导向，更为可再生

从德国十五年的能源转型以及可再生能源发电成功消纳的经验来看，完善的电网基础设施是发展可再生能源的硬件保障。

能源发电参加调峰调频奠定了基础。

接下来，降低可再生能源分摊费。由于开展了市场化交易后可再生能源的发电以需求为导向，从总量上来说可再生能源发电在交易市场上获得了更高的售电价格，从而减少了最终会施加到可再生能源分摊费中的补贴。如2012年新建的光伏发电设备的平均固定上网电价为21.7欧分/度电，平均市场化交易奖金仅为15.1欧分/度电。

最后，促进了集成商的形成。并非所有的可再生能源发电商在规模上或者人力上都能够进入电力市场交易，因此小型的发电商会将其发电委托给集成商代理在市场上的售电。这些集成商也会以专业的预测和交易服务一方面能将分散的可再生能源发电打包起来在交易市场上交易降低风险，另一方面与需求侧资源联合起来形成虚拟电厂自我平衡。根据弗朗霍夫研究所的调研，一些集成商在2013年对于风电、光伏的预测质量已经能与输电网运营商媲美。

此外，德国可再生能源市场化交易的推出是逐步有序的。2012年起鼓励可再生能源发电商自愿在固定上网电价和市场化交易中二选一；2014年1月起，装机大于750kW的新装生物气发电设备必须市场化交易；8月起，所有装机在500 kW以上的新装可再生能源发电设备市场化交易；2016年1月起，所有装机在100 kW以上的新装可再生能源发电设备市场化交易。为了鼓励已有装机自愿转换到市场化交易模式，降低发电商对于新模式的顾虑，EEG规定发电商可以在每个月向输电网申请在市场化交易和固定上网电价间转换。而市场化交易带来的较高交易电价、市场化奖金以及参与调频调峰市场获得的红利也让发电商确实尝到了甜头，自愿转入市场化交易的发电商的比例不断升高。2012年初市场化交易机制引入后，至2012年底已经有约80%的风电，39%的生物质发电以及7%的光伏发电自愿从固定上网电价模式转换到市场化交易模式。

从德国十五年的能源转型以及可再生能源发电成功消纳的经验来看，完善的电网基础设施是发展可再生能源的硬件保障，目前德国依托欧洲大电网，已经建立了相对完善的网状电网，如果在一个国家的电网尚未发展到充裕的网孔布局阶段，在某一区域又没有互相分摊与消纳，一旦拥堵便是大规模弃风弃电。

引入市场化机制可以有利调动各业务单元的积极性，同时带动一个新的行业。调频市场的开放，平衡基团的设立，虽然只是一个复杂庞大市场机制中的一部分，但却可以促进可再生能源风光的预测业务，同时带动了相关的技术与金融服务，正如欧洲能源交易市场上还有基于天气的金融衍生品，可以对冲预测风险。此外可再生能源的市场化可以进一步繁荣售电市场，还能带动可再生能源发电设备的技术进步，甚至进一步促进调频市场。而这一切，都是通过合理的市场机制，将可再生能源的发展同时转化为了各个相关方的利益诉求，形成良性循环的闭环产业链。E

（作者分别系德国亚琛ener.wi公司COO、德国华人新能源协会理事、主席）