

电网：通道建设与技术创新多管齐下

文 / 本刊记者 董谷媛

在联合国气候变化峰会上，我国郑重承诺，争取到 2020 年，非化石能源占一次能源消费比重达到 15% 左右，至此我国能源发展走上了变革之路。

近年来，我国风电、太阳能发电装机均以高于全球平均增速快速增长。2016 年底，风电、太阳能发电分别以 1.5 亿千瓦和 0.8 亿千瓦的装机，稳居世界第一位。非化石能源占一次能源消费的比重已经达到 13.3%。然而随之而来的问题是弃风率的逐年上升：2014 年 8%，2015 年 15%，2016 年 17%。“消纳难”已经成为制约新能源发展的最大障碍。

今年 4 月，国家发改委对外发布《能源生产和消费革命战略（2016 ~ 2030）》，明确了我国能源发展战略目标：到 2020 年，非化石能源占一次能源消费比重达到 15%；到 2030 年，非化石能源占一次能源消费比重达到 20% 左右；2050 年，非化石能源占一次能源消费比重超过 50%。这意味着，新能源必将以更快的发展速度逐步取代传统能源的地位。

新能源发展的蓝图已经绘就，那么新能源占比越来越高的未来电网是什么样？是否还会像今时之所见，依然面临清洁能源消纳之难题？

面对清洁能源消纳这一世界性难题，国家电网公司始终在寻求对策。

通道建设

资源与需求之间的“逆向分布”是我国清

洁能源开发与利用所面临的最大问题。

我国风能、太阳能可开发规模分别超过 24 亿千瓦和 45 亿千瓦，其中 70% 以上分布在西部、北部地区。目前，我国 65% 的风电、54% 的太阳能装机集中在西部和北部地区，已建成装机规模千万千瓦以上的风电基地 4 个，超过 500 万千瓦的光伏基地 6 个。这些地区一次能源富集，火电装机容量可观，再加上快速增长的新能源装机，电量远远超过当地最大负荷。而在资源匮乏的东中部地区，集中了 70% 以上的用电需求。

能源分布与能源需求之间的矛盾，决定了我国能源发展的走向与对策。加快建设跨区跨省输电通道，打造清洁能源大范围优化配置的坚强平台，满足新能源集中大规模开发和大范围消纳需求，才是治本之策。

从能源基地到负荷中心，几千公里的输送距离，也唯有通过大容量、远距离、低损耗的特高压才能完成。

截至 2016 年底，“三北”地区新能源装机合计 1.68 亿千瓦，但电力外送能力只有 3696 万千瓦，仅占新能源装机的 22%。为了应对通道不足的问题，国家电网公司加快跨区通道建设，累计建成“六交五直”特高压工程，输送能力 7500 万千瓦，成为我国“西电东送”“北电南供”的能源大通道，截至 2016 年底，累计送电 6150 亿千瓦时，相当于减少东中部燃煤 3 亿吨，减排二氧化碳 5.6 亿吨。今年底，列入大



气污染防治行动计划的“四交四直”特高压工程、酒泉—湖南、扎鲁特—青州特高压工程将全部完工，届时，内蒙古、甘肃等地的清洁能源将借跨区通道输送至华北、华东负荷中心。

按照规划，到2020年西部、北部地区风电将超过1.8亿千瓦、光伏发电9700万千瓦，需要外送1.5亿千瓦；四川水电新增4300万千瓦，需要外送2300万千瓦。为了进一步促进新能源发展，按照国家能源电力“十三五”规划，国家电网公司将加快跨区特高压工程建设，加强华东、华北和华中受端特高压骨干网架建设，跨区输电能力达到2.5亿千瓦，满足3.2亿千瓦新能源装机并网需求。

智能调节

毫不夸张地说，大规模新能源消纳是世界性难题——风电和光伏发电所具有的随机性、波动性、间歇性等特点，在给电力系统调节能力带来挑战的同时，也影响了新能源本身的高

效利用。在新能源大规模高比例接入的情况下，常规电源不仅要跟随负荷变化，还需要平衡新能源的出力波动，对电力系统调节能力提出了更高要求。数据显示，2016年，国家电网经营区63%的弃风电量发生在供暖期，低谷弃风电量又占总弃风量的80%。究其原因，主要是由于“三北”地区大风期与供暖期重叠，且电源结构失衡、调峰能力不足而引起的。

作为目前最经济的大规模储能设施，抽水蓄能电站就像清洁能源的“蓄水池”，在电网负荷急剧增长或下降的状况下，发挥稳定器、调节器和平衡器的作用，不仅可以增强系统运行的灵活性，保障电网安全，同时还为提高电网消纳能力提供了重要支撑。2016年，抽水蓄能电站平均综合利用小时数3185小时，同比增长78%，为有史以来最高。国家电网公司充分利用抽水蓄能电站调峰作用，增加消纳新能源电量103亿千瓦时。

为了消纳更多新能源，国家电网公司不断

加快抽水蓄能电站建设，目前在运、在建抽水蓄能装机达 3091 万千瓦，2017 年开工建设抽水蓄能电站 6 座，装机 840 万千瓦。到 2020 年全国抽水蓄能装机达到 4000 万千瓦，其中“三北”地区 1140 万千瓦。

为了进一步提升电网资源配置、平衡调节和安全稳定控制能力，国家电网公司在发展抽水蓄能电站的同时，积极研发先进电池、压缩空气储能、蓄冷蓄热、电磁储能等各种储能方式，并加强在电力系统应用。此外，还开展源—网—荷联合实时调度，加强跨地区跨流域的风光水火联合运行，多措并举提高电网运行灵活性，提升新能源消纳能力。

技术进步是促进新能源消纳的关键。国家电网公司在新能源发电设备涉网性能、新能源并网仿真及规划新能源调度运行等多项关键技术领域取得突破。如研发采用先进控制技术，解决风电机组高/低电压穿越、新能源集群控制等重大技术问题；实施跨省跨区域优化调度，优化配置调峰资源，提高新能源消纳能力；研究高压大容量柔直输电新能源关键技术，缓解风电基地高比例可再生能源高效外送和消纳问题；发展储能技术，推进虚拟同步机研究，促进新能源并网消纳。

科学调度

清洁能源预测难、控制难、调度难，要消纳大规模的清洁能源，电网调度必须更科学、更智能。按照清洁能源优先上网、保障性收购，最大限度促进清洁能源消纳的原则，如何在保障电网安全运行的同时保证清洁能源高效消纳，调度运行面临巨大挑战。

新能源发电具有随机性、波动性和低抗扰性，随着装机规模的急剧增大，原有的新能源调度运行技术面临着越来越多的新问题：新能

源功率预测精度低，电网有功平衡难度高；缺乏考虑风险的优化调度方法，电网备用容量过大；新能源集群控制精度差，加大了电网运行风险；故障穿越技术不完善，易发生连锁脱网事故；安全稳定控制技术不适应新能源特性，输电通道利用率低……如此多的问题导致电网运行需要为清洁能源增加额外的安全裕度，挤占了清洁能源的消纳空间。

只有突破清洁能源调度运行关键技术，才能提升电网安全运行水平和清洁能源消纳能力。

依托国家 973、科技支撑等计划，中国电科院等单位在高精度功率预测、随机优化调度、有功功率控制、故障穿越控制、安全稳定控制等方面取得了重大突破。首创了新能源功率波动特性聚类与辨识、多模型交互校验与融合的波动过程预测方法，不断提升风电和光伏功率的预测精度。提出了考虑风险约束的新能源随机优化调度方法，在风险可控的前提下释放了备用容量。突破了新能源集群功率控制技术，提升了新能源集群控制精度，降低了电网运行风险。发明了低电压穿越技术，提出两级无功电压协调控制方法，解决了连锁脱网制约新能源消纳的难题。提出了适应新能源功率波动与故障穿越的安全稳定控制方法，保障了电网安全，提高了新能源输电通道利用率。在此基础上建成了新能源调度技术支持平台，已应用于 23 个省级及以上电力调度控制中心，覆盖新能源总装机容量超过 1 亿千瓦。

国家电力调度控制中心统计表明，该平台推广应用后，“三北”地区近 3 年累计多消纳新能源电量 300 多亿千瓦时，未发生大规模新能源脱网事故。创新性成果提升了清洁能源调度运行技术水平，技术进步必将成为能源转型最强有力的支撑。

（黄越辉对本文亦有贡献）