

公用事业

海外新能源消纳经验的复盘与启示

他山之石：市场化调节为导向，“输纳”为主“储能”为辅

从国外政策演变趋势看，由国家主持大型项目，到“补贴”、“配额”提高新能源市场份额，最后形成成熟的新能源电力交易市场，通过市场化调节省域间供需矛盾是一条必由之路。德国美国都具有成熟的电力市场，在电力市场上进行的金融产品创新也十分广泛。通过各类市场化工具能够有效调节供需矛盾。从技术路线看，美国致力于建设“智慧电网”，通过收集用电数据预测峰值，优化现有供电网络的调度，提高电网的灵活性。德国倾向于建设新的输电项目将冗余的电能输送到本国人口密集地区或欧洲其他国家进行消纳。同时，大力发展电热转换类的低成本储能，将多余电能转化为热能。

国内现状：电力现货市场起步，“特高压”网络逐渐成型

我国新能源装机量已超越美国，成为世界第一，近年我国发电“求质”，逐步降低弃风弃光率，提高新能源利用效率是改革的大方向。我国电力市场改革起步较晚，现阶段全国电力现货市场交易量仅占社会用电量的30%，与欧美差距较大。成熟的电力市场是进行市场化调节的基础，预计未来我国电力现货市场将迎来加速发展，省域间电力交易将变得更为频繁。从技术路线上分析，我国对于新能源消纳主要采用以“特高压”为主的输纳策略。由于我国风电、光伏电场主要位于新疆、甘肃、内蒙等人口稀少省份，产生的电力无法完全在本地消纳，造成局部弃风弃光率高。建设“特高压”输电网络能够打开输纳通道，有助于解决各省间供需不平衡的矛盾。

经验启示：发挥市场能动性，构建能源互联网，助力消纳

从政策层面分析，我国应借鉴德国、美国电力市场改革的经验，多样性的市场化调节工具，使新能源行业内的企业形成良性的竞争关系，积极创新金融工具为电力市场的交易提供“润滑剂”。从技术路线的选择看，我国着力建设远距离输电项目，但对于电网调度、峰值预测等“智慧”改造才刚刚起步，未来“智慧电网”方向大有可为。借鉴国外的新能源的消纳经验，加大特高压建设、积极推动能源互联网、加快储能发展等，将是国内未来提升新能源消纳水平的重要方向和手段。

投资建议：新能源运营和能源互联网价值有望重估

碳中和背景下，新能源主体地位凸显，且在电力改革逐步深入，以及能源互联网加速建设、储能经济性逐步凸显等因素作用下，新能源消纳问题有望得到妥善解决。此外，随着相关支持政策落地，存量补贴有望加速出清，企业现金流和盈利能力有望逐步改善，建议关注【龙源电力】【华润电力】【吉电股份】【晶科科技】等。能源结构转型加速背景下，电力物联网与配电网节能相关企业资产价值面临重估。建议关注电力物联网企业【国网信通】、配电网节能企业【涪陵电力】等。

风险提示：政策推进不及预期；补贴兑付节奏大幅放缓；行业技术进步放缓；行业竞争加剧等。

证券研究报告

2021年04月02日

投资评级

行业评级 强于大市(维持评级)

上次评级 强于大市

作者

郭丽丽 分析师
SAC 执业证书编号：S1110520030001
guolili@tfzq.com

杨阳 分析师
SAC 执业证书编号：S1110520050001
yangyang@tfzq.com

王茜 分析师
SAC 执业证书编号：S1110516090005
wangqian@tfzq.com

吴鹏 联系人
wupeng@tfzq.com

行业走势图



资料来源：贝格数据

相关报告

- 1 《公用事业-行业研究周报:碳中和背景下，云南水电价值有望重估》 2021-03-28
- 2 《公用事业-行业研究周报:碳中和背景下，能源互联与配电网节能价值有望重估》 2021-03-21
- 3 《公用事业-行业深度研究:解码中国碳排数据》 2021-03-19

内容目录

1. 他山之石：市场化调节为导向，“输纳”为主“储能”为辅.....	5
1.1. 政策层面：市场化调节为政策演变趋势	7
1.2. 技术层面：电网建设打开消纳通道，储能技术增强稳定性	9
2. 国内现状：电力现货市场起步，“特高压”网络逐渐成型.....	11
2.1. 政策层面：针对性消纳政策卓有成效，电力市场将起步	12
2.2. 技术层面：“特高压”为主的输电网升级改造	13
3. 经验启示：发挥市场能动性，构建能源互联网，助力消纳.....	14
3.1. 政策启示：发挥电力市场能动性	15
3.2. 技术经验：构建能源互联网，助力新能源消纳	16
3.2.1. 推动能源互联网建设，提升电网智能调度能力	17
3.2.2. 加大特高压建设力度，提高远距离输送能力	19
3.2.3. 加快储能发展，提高电网调峰能力.....	21
4. 投资建议：新能源运营和能源互联网价值有望重估	22
4.1. 新能源运营：高景气优质赛道，估值有望修复	22
4.1.1. 碳中和承诺下，新能源主体地位凸显	22
4.1.2. 存量补贴加速出清，新能源运营价值有望重估	24
4.2. 能源互联网：碳中和背景下，价值有望重估	25
4.2.1. 电力物联网投资持续增长，信息化与智能化潮流中市场空间广阔	25
4.2.1. 配电网节能是电网节能降耗的重要手段，市场空间有望超 400 亿/年.....	26
5. 风险提示.....	29

图表目录

图 1：非水可再生能源总装机量（千兆瓦特）	5
图 2：非水可再生能源总消纳量（艾焦耳）	5
图 3：2020 年中国装机结构图.....	5
图 4：2019 年美国装机结构图.....	5
图 5：2020 年德国装机结构图.....	5
图 6：中美弃风率及风电容量因子对比.....	6
图 7：德国近五年新能源装机量按来源分（千兆瓦特）	6
图 8：德国近五年新能源装机结构图.....	6
图 9：美国近五年新能源装机量按来源分（千兆瓦特）	7
图 10：美国近五年新能源装机结构图	7
图 11：弃风弃光主要原因	7
图 12：德国电力市场机制概览.....	8
图 13：德国美国 2009-2019 年可再生能源研发投入（百万美元）	9
图 14：德国美国可再生能源在总能源研发投入中的占比	9
图 15：德国电力需求情况地域分布	9
图 16：德国电网建设计划（2019-2030）规划路线.....	10

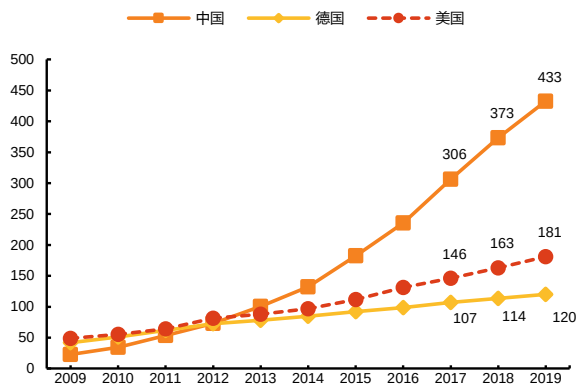
图 17: 美国输电配电网络发展历程	10
图 18: 电热转换概念图	11
图 19: 至 2035 年德国计划建设的热电转换设施	11
图 20: 优化可再生能源消纳的技术路线成本分析	11
图 21: 我国非水可再生能源装机量 (亿千瓦)	12
图 22: 我国全国平均弃风弃光率	12
图 23: 2019 年全国各省市可再生能源消纳量 (含水电亿 kWh)	12
图 24: 2019 年全国各省市弃风率	12
图 25: 我国市场化交易电量	13
图 26: 我国电力市场发展路线	13
图 27: 《中国“十四五”电力发展规划研究》中, 2025 年特高压骨干网架示意图	14
图 28: 政策与技术层面的中美德对标	15
图 29: 全球能源互联网构成	17
图 30: 我国能源互联网技术重点攻关技术	17
图 31: 能源互联网的预期成效表现之一: 辅助提升电网平稳调控能力, 做到超前响应和即时处理	18
图 32: 国家电网在建在运特高压工程示意图	19
图 33: 储能系统在电网中起到削峰填谷的作用	21
图 34: BNEF 对储能系统成本的预测 (美元/kWh)	22
图 35: 补贴拖欠导致 NPV 下滑明显	25
图 36: 补贴拖欠导致资本 IRR 下滑明显	25
图 37: 泛在电力物联网主要内容	26
图 38: 泛在电力物联网应用构架	26
图 39: 配电网节能主要内容	27
图 40: 线损率自 2014 年开始降幅较大	27
图 41: 各国线损率水平	28
表 1: 德国可再生能源政策梳理	7
表 2: 美国可再生能源政策梳理	8
表 3: 国外风电市场调节工具	8
表 4: 我国可再生能源政策发展历程	12
表 5: 三北地区部分陆风平价大基地项目及配套特高压建设情况	14
表 6: 我国电力现货市场相关政策梳理	15
表 7: 不同地域的消纳责任权重差异比较明显 (单位: %)	16
表 8: 能源互联网模式下, 各类元素互动所带来的好处	17
表 9: 不同国家和地区能源互联网项目	18
表 10: 丽水绿色能源虚拟电厂试点成果	19
表 11: 国网 2020 年五交五直特高压项目前期工作计划	19
表 12: 2019 年, 特高压共输送 2352 亿千瓦时可再生能源	20
表 13: 我国特高压输变电技术取得多个重要突破	20
表 14: 17 个省份新能源配储能方案	21
表 15: 国家电网结合碳达峰、碳中和的目标与愿景, 从多个角度分析我国未来能源局势	

.....	23
表 16: 能源消费及碳排放约束下, 2030 及 2050 年光伏、风电装机情况.....	23
表 17: 2017 年以来推动可再生能源补贴拖欠问题的重要政策或者文件安排	24
表 18: 配电网节能相关政策.....	27
表 19: 配电网节能市场空间测算过程	28

1. 他山之石：市场化调节为导向，“输纳”为主“储能”为辅

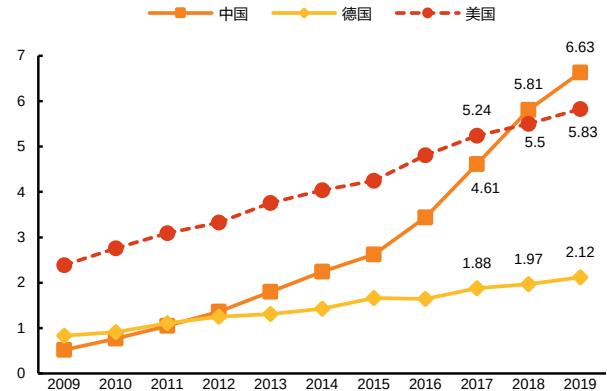
我国已成为新能源总装机量第一大国，新能源消纳成主要瓶颈问题。进入二十世纪以来，全球变暖的大背景奠定了新能源产业的良好发展基础，可再生能源技术的发展引领了各国的能源结构转变。我国非水可再生能源总装机量已在 2013 年超过美国成为世界第一，2009-2019 十年 CAGR 为 34.3%，但消纳量增速为 29.0%，不及装机量增速，新能源的利用效率较低，弃风、弃光等问题仍然十分严重。德国与美国是发展新能源的典型发达经济体，起步较早，以德国为例，其非水可再生能源在整体能源结构中所占比重已从 2000 年的 0.84% 增长到了 2015 年的 12.48%，新能源已作为主流能源使用，弃风弃光率不足 1%。在新能源的消纳问题上，国外的历史经验仍值得复盘。

图 1：非水可再生能源总装机量（千兆瓦特）



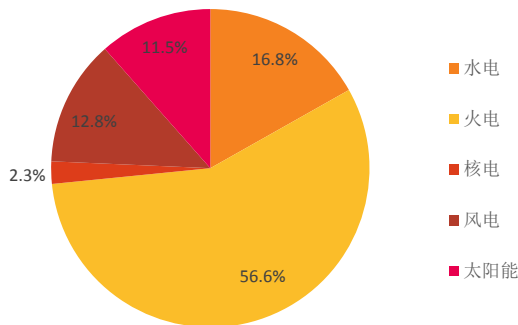
资料来源：IRENA、天风证券研究所

图 2：非水可再生能源总消纳量（艾焦耳）



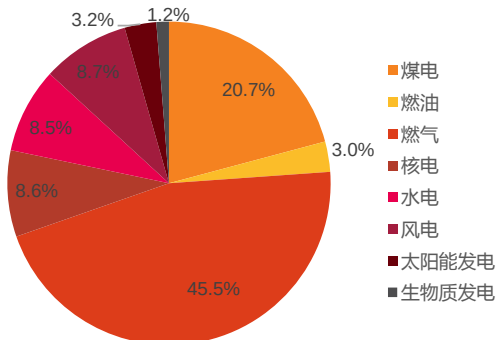
资料来源：bp Statistical Review of World Energy 2020、天风证券研究所

图 3：2020 年中国装机结构图



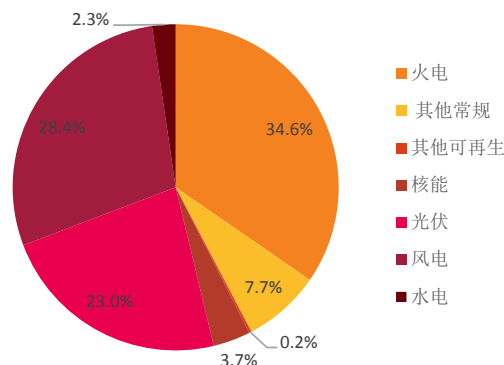
资料来源：国家能源局、天风证券研究所

图 4：2019 年美国装机结构图



资料来源：EIA、天风证券研究所

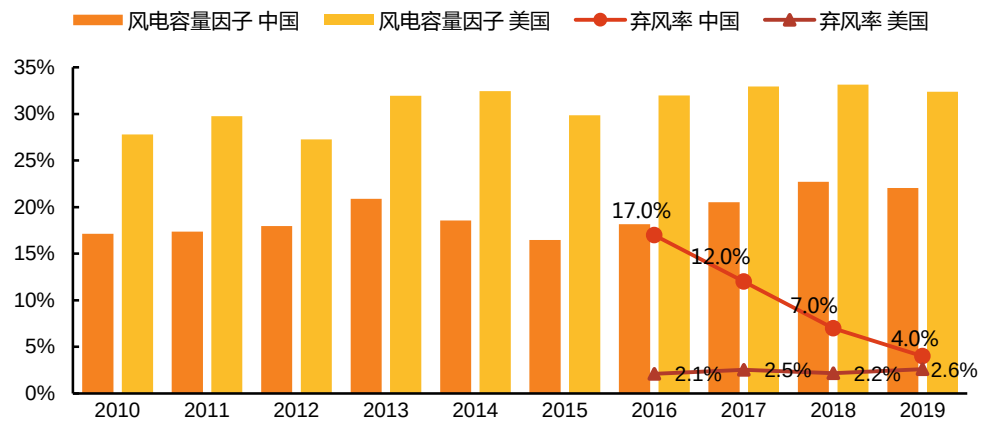
图 5：2020 年德国装机结构图



资料来源：SMARD、天风证券研究所

我国风电容量因子、弃风率仍有进一步优化空间。容量因子代表实际发出电量与理论值的比例，侧面反映了风力发电的技术水平。尽管我国的风电装机量已经超越美国，但风电机组的发电水平仍与美国有一定差距，2019 年我国风电容量因子为 22%，而同年美国风电容量因子达到了 32%。从弃风率来看，近年来我国的弃风率有所下降，逐渐从 2016 年的 17% 下降到 2019 年的 4%，但对比美国的弃风率仍有下降空间。

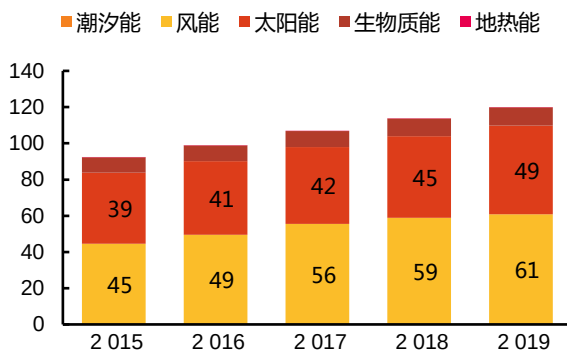
图 6：中美弃风率及风电容量因子对比



资料来源：美国能源部、国家能源局、EIA、天风证券研究所

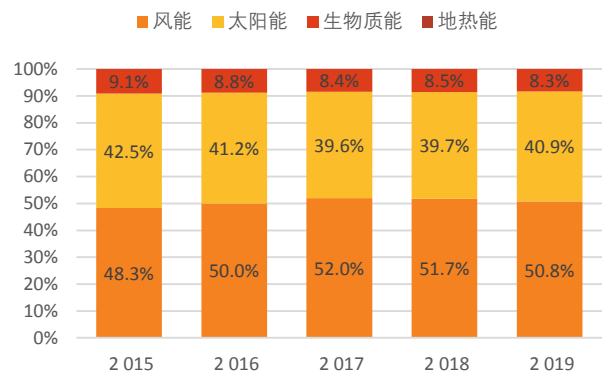
德国新能源组成较为稳定，美国光伏装机量占比逐年攀升。光伏和风电仍是现阶段新能源的主要组成部分，德国的新能源结构比较稳定，近五年风电约占 50%，光伏约占 40%。美国新能源结构也正向该比例靠拢，风电占比从 2015 年的 65% 逐渐下降到 2019 年的 57%，光伏占比从 2015 年的 21% 逐渐攀升至 2019 年的 34%。从增速来看，德国的新能源装机量增速较为稳定，美国近五年装机量增速趋于放缓，但光伏仍保持着高增速，五年 CAGR 为 27.7%。

图 7：德国近五年新能源装机量按来源分（千兆瓦特）



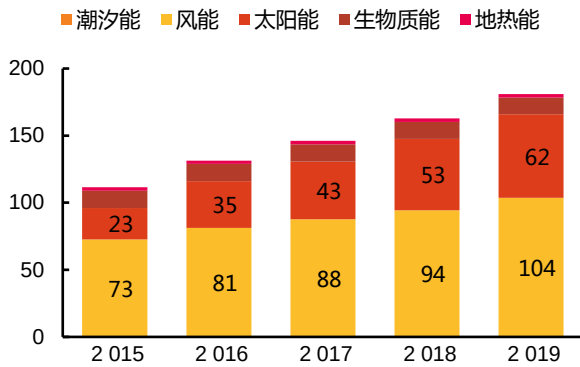
资料来源：IRENA、天风证券研究所

图 8：德国近五年新能源装机结构图



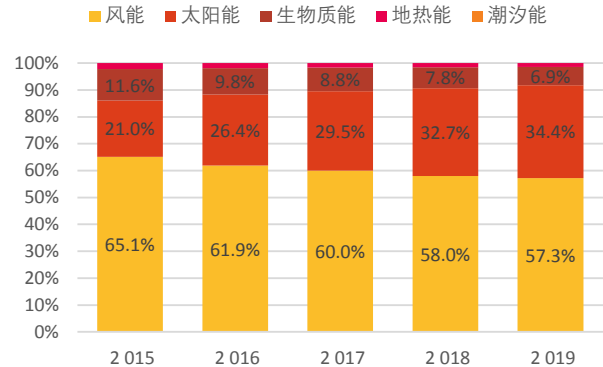
资料来源：IRENA、天风证券研究所

图 9：美国近五年新能源装机量按来源分（千兆瓦特）



资料来源：IRENA、天风证券研究所

图 10：美国近五年新能源装机结构图



资料来源：IRENA、天风证券研究所

由于风电、光伏发电等具有间歇性、随机性和波动性，因而弃风弃光问题普遍存在。以弃风率为例，美国也曾经历过较高弃风率的历史阶段，2009 年，得克萨斯州风电全网弃风率高达 17%。通过对电网的投资建设以及电力市场调度运行的优化，近年来弃风率已逐渐降至 2% 左右。可见，针对可再生能源消纳量的提升，主要体现在政策与技术两个层面。

图 11：弃风弃光主要原因



资料来源：北极星太阳能光伏网、天风证券研究所

1.1. 政策层面：市场化调节为政策演变趋势

“补贴” + “配额” 软硬兼施，提高可再生能源电力市场份额。从政策层面来看，德国在发展初期通过税收和补贴扶持新能源企业，近年来随着可再生能源成为主流能源，新能源行业内的竞争愈发激烈，招标制度也不断激励企业提高自身竞争力。美国对于新能源的扶持政策属于软性的市场调节搭配硬性的配额指标，强制要求供电和用电企业对于可再生能源电力的输出和输入达到一定比例。两国政策早期都以太阳能屋顶等大型项目为主体，推广新能源在国内的使用，当新能源企业达到一定规模后，市场化调节是必由之路。由于德国与美国都具有比较成熟的电力市场，政策能有效地将电力价格传导到用户端，可再生能源消纳量对于电力价格的变化也比较敏感。

表 1：德国可再生能源政策梳理

年份	政策	主要内容
1991	千户太阳能电池屋顶计划	为每户安装太阳能屋顶住户提供补助。
1999	生态税改革法	对矿物能源、天然气等化石能源设定了较高的税率，而对使用风能、太阳能、地热能等生产出的电能则给予税收减免的优惠。
2000	可再生能源法	完整地引入了再生能源上网电价补贴制度，以法律的形式将固定电价加以确定。
2004	可再生能源法修订	动态调整补贴，增加可再生能源电力的竞争力。
2009		
2012		
2014	上网溢价政策	鼓励转向可再生能源发电参与电力市场竞价上网，由当时市场供需情况确定销售电价，政府再根据各类可再生能源规定的电价水平与市场月度价格的平均值给予发电商溢价补贴。
2016	光伏招标制度	引入招标制度，采用市场化手段激励可再生能源发电企业提高自身竞争力。

资料来源：张兴平 刘文峰. 典型国家可再生能源政策演变研究、天风证券研究所

表 2：美国可再生能源政策梳理

年份	政策	主要内容
1978	能源税法案	参与可再生能源发电的企业可以投资或生产抵税。
1980	石油暴利税计划	通过向石油公司征收 50% 的暴利税资助可再生能源的研发。
1983	可再生能源配额制	政府或监管部门可以通过法规强制要求供电企业在某个特定时间之前所销售的电力中有一定最低的配额或固定比例必须来自于可再生能源。
1997	百万太阳能屋顶计划	到 2010 年将在 100 万个屋顶或建筑物其他可能的部位安装太阳能系统。
2009	清洁能源与安全法案	新能源研究项目最初的可行性研究阶段，美国政府给予 100% 的资金补助，在基础研发和工业性试验阶段，资金补助的比例维持在 50%~80% 的水平。
2013	政府绿色购买制度	可再生能源电力消耗在政府机构总电力消耗中的比重从 2013 年的 7% 逐步增加到 2015 年的 10%，2020 年要达到 20% 以上。

资料来源：张兴平 刘文峰. 典型国家可再生能源政策演变研究、天风证券研究所

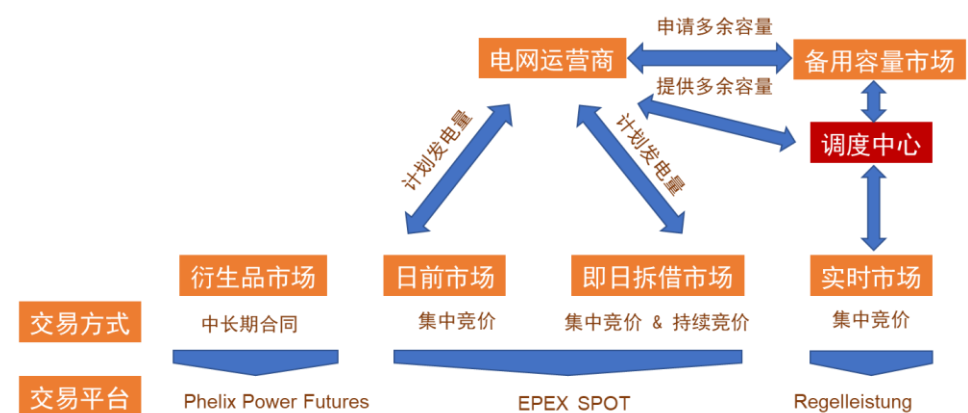
成熟的电力市场是进行市场化调节的前提。欧洲新能源发展初期也存在补贴激励，但伴随着补贴机制逐渐演变，电力市场更加成熟化，欧洲各国的可再生能源参与电力市场的程度越来越高。目前，欧洲中长期市场、现货市场和平衡市场相互协调配合，可以共同应对风电光伏波动性等对电力系统的冲击。同时欧洲高效互联电网链接统一电力市场，跨国输电便捷，可以在更大范围之内配置可再生能源，灵活地调节供需关系。

表 3：国外风电市场调节工具

工具	主要内容
负电价制度	在发电侧电力市场中新能源发电占比高，但用电侧电力需求小于电力供给，发电方与购电方以负的上网电价进行结算，以鼓励多余电量消纳。
电力双边交易	远期购电合约、差价合约等。通过金融对冲，风电和购电方有效规避了市场价格波动的风险。
金融输电权	为持有者提供规避阻塞引起的现货市场在发电、用电节点上的电价差的波动风险。
日前市场	在实时运行前为市场成员提供电力交易的途径，市场需求由申报的购电需求组成，而非负荷预测。
可靠性机组组合市场	保证系统有足够的在线发电容量来满足负荷预测的需求，减少市场可靠性开启机的总成本。
实时市场	通过对发电机组的实时调度，保证系统实时发电平衡和在规定的极限中运行，同时最小化电力生产成本。

资料来源：王宣元 马莉 曲昊源. 美国得克萨斯州风电消纳的市场运行机制及启示、莫志宏 史海霞. 破解中国弃风现象的路径选择——兼析引入德国发电侧负电价机制的可能性研究、天风证券研究所

图 12：德国电力市场机制概览

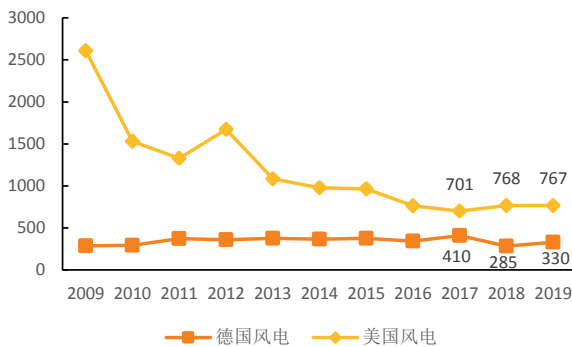


资料来源：Yan, L., Yongning, C., Xinshou, T., Zhankui, Z., & Haoyong, C. The Experiences and Practices on Market with Large-Scale Renewable Energy Grid Integration、天风证券研究所

1.2. 技术层面：电网建设打开消纳通道，储能技术增强稳定性

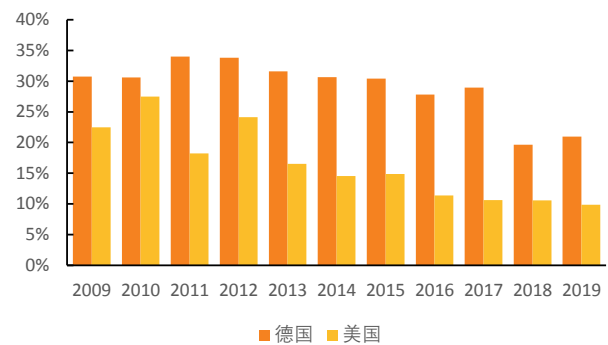
可再生能源研发投入有所放缓，但输送电网和储能设备的投入仍将保持增长态势。美国可再生能源研发投入由 2009 年的 26.1 亿美元降至 2019 年的 7.7 亿美元；德国可再生能源在总能源研发投入中的占比一直维持在 30% 左右，但近年来也有明显下降。新能源相关投入中，除了发电技术，配套电网或储能设施也至关重要。配套电网决定了风电场或光伏电场的调峰能力和输电容量；储能设施则能在并网过程中，平稳电力输出的功率，减小对电力系统的冲击，提高整体系统稳定性。据彭博新能源财经测算，未来三十年，美国年度电网投资逐年翻一番不止，到 2043 年超过 1000 亿美元。美国参议员也提出法案，旨在促进独立储能投资税收减免。据 Wood Mackenzie 预测，全球储能投资总额预计将从 2019 年的 180 亿美元增加到 2025 年的 1000 亿美元。从整体来看，配套电网或储能设施的技术投入往往滞后于发电技术的投入，各国对于输送电网和储能设备的投入仍然处于高速增长阶段。

图 13：德国美国 2009-2019 年可再生能源研发投入（百万美元）



资料来源：IEA、天风证券研究所

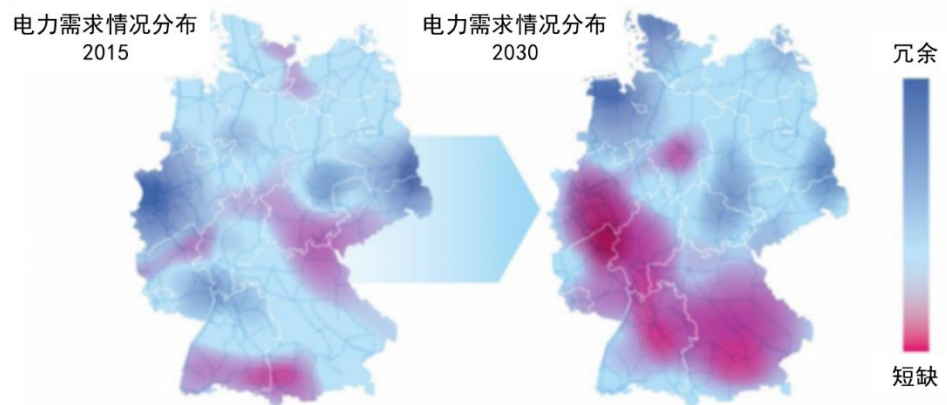
图 14：德国美国可再生能源在总能源研发投入中的占比



资料来源：IEA、天风证券研究所

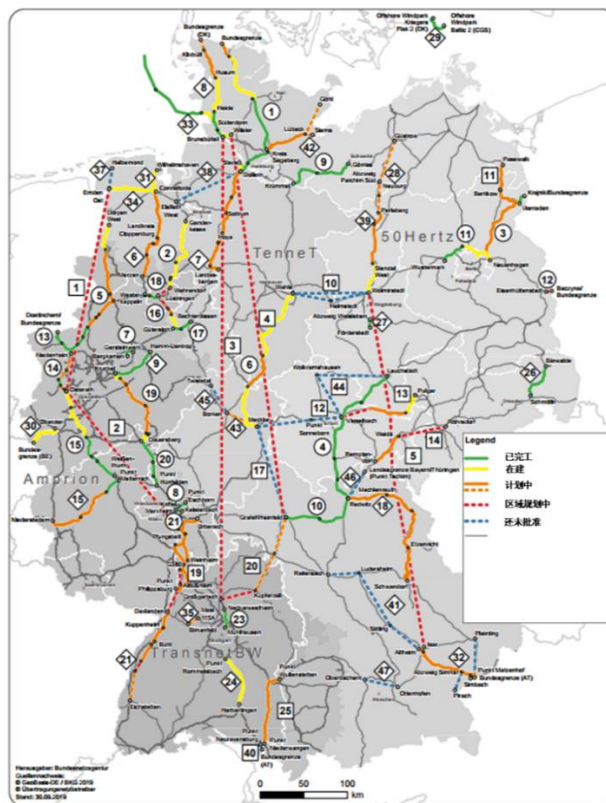
可再生能源消纳问题的根源是供需关系不平衡。我国风电场、光伏电场主要位于新疆、甘肃、内蒙古等人口较少的省份，当地用电量较少，大量的可再生能源需要依靠省外消纳。相比而言，德国有大量风电、光伏电场位于人口密集地区方便本地消纳。尽管如此，据 Amprion 输电公司预计，到 2030 年德国也将面临用电量南北不均的情况。德国《2019—2030 年电网发展计划》确认了 74 项新措施，包括新建近 3600 公里的输电线路。同时，德国是欧洲电力出口大国，可再生能源电力频繁向波兰、奥地利、瑞士等国家出口，计划打造电力“欧洲共同体”。可见，建设输电网络促进不同区域的电力供需平衡仍然是解决可再生能源消纳问题的基础。

图 15：德国电力需求情况地域分布



资料来源：CWEA、Amprion、天风证券研究所

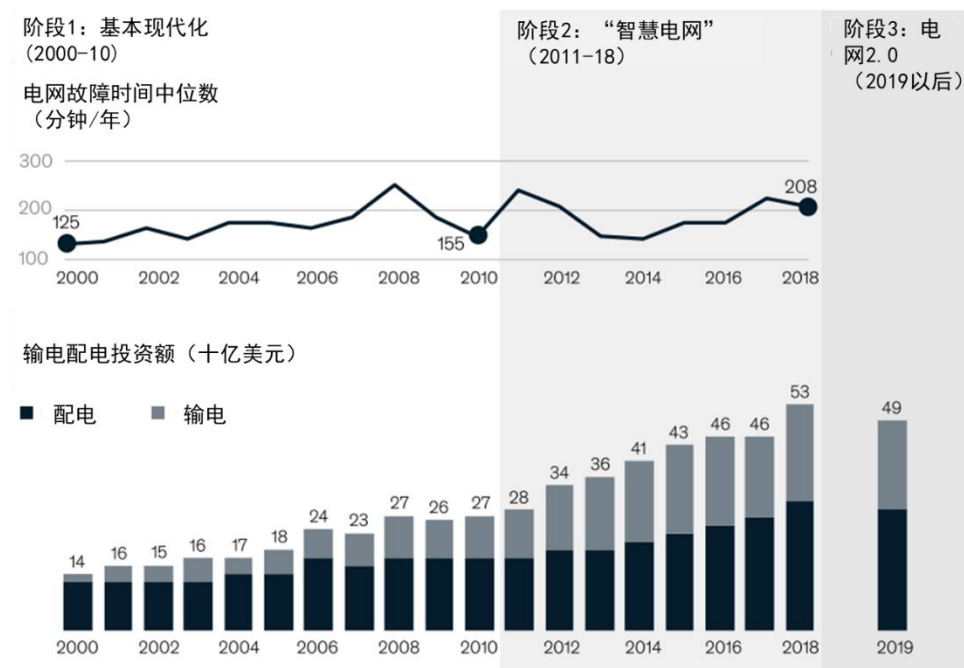
图 16：德国电网建设计划（2019-2030）规划路线



资料来源：Bundesnetzagentur、天风证券研究所

美国电网的升级改造主要经历三个阶段：基本现代化、“智慧电网”与电网 2.0。2000-2010 年美国着重于改造国内老化的电网系统，使其基本实现现代化，满足当代社会发展需要。从 2011 年开始，美国推出“智慧电网”计划，在全美超过 70% 的住户家中安装了智能电表，在线监测用电数据。“智慧电网”具有自动修复、互动、安全、有保障、灵活性高、可交易、高效率几大特点。该阶段内对于输电配电的投资额大幅增长，2018 年已达 530 亿美元，增量来源主要是输电网络的建设。

图 17：美国输电配电网络发展历程

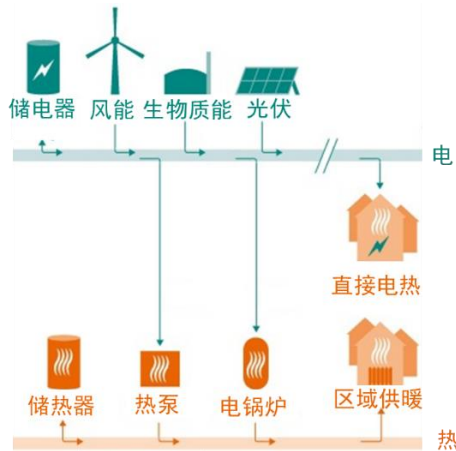


资料来源：麦肯锡咨询官网、天风证券研究所

德国对电热转换设施的装配进行了规划，增加了灵活供电的可能性。由于德国新能源在能

源结构中的占比较高，在风电场和光伏电场经常出现电力冗余的情况。通过将多余的电能转化为热能进行储能，也能够有效地提高可再生能源的利用效率。相比于将多余电能储存为水能或化学能，热电转换的成本较低，普及也相对容易。

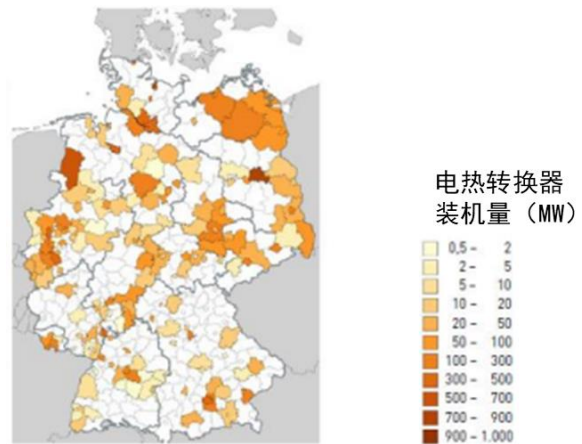
图 18：电热转换概念图



资料来源：Andreas Bloess, Wolf-Peter Schill, Alexander Zerrahn.

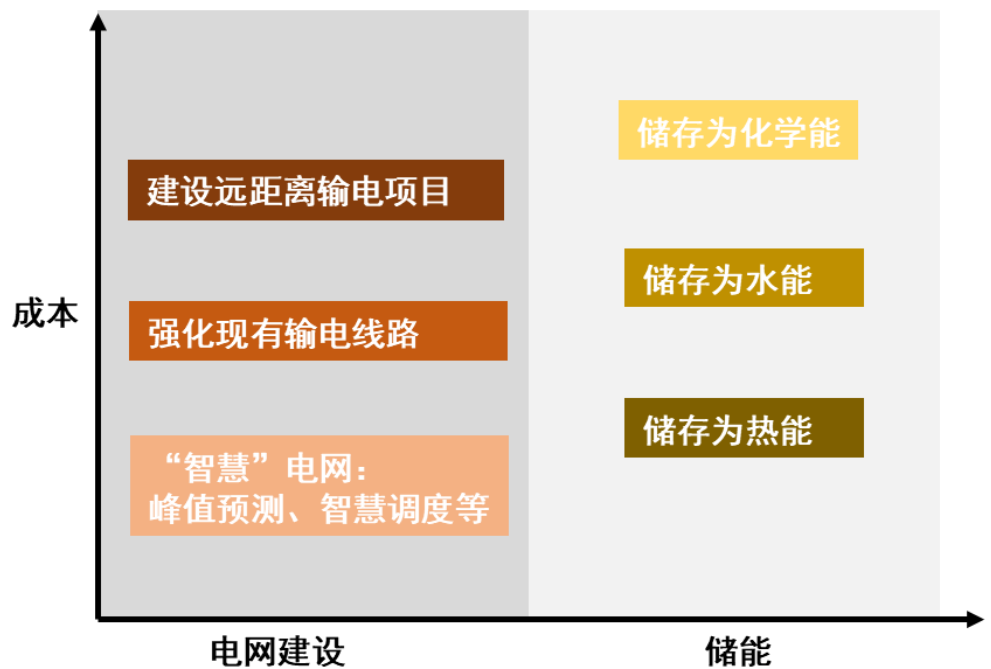
Power-to-heat for renewable energy integration: A review of technologies, modeling approaches, and flexibility potentials、天风证券研究所

图 19：至 2035 年德国计划建设的热电转换设施



资料来源：德国电网建设计划 2030、天风证券研究所

图 20：优化可再生能源消纳的技术路线成本分析

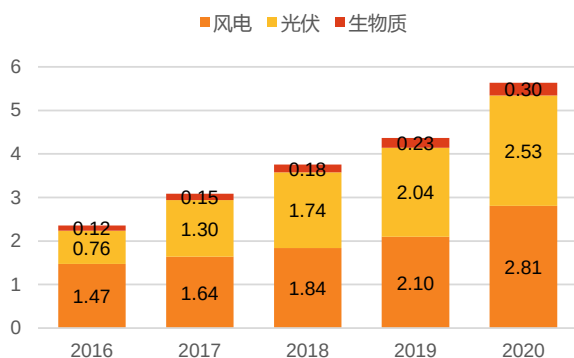


资料来源：亚洲发展银行、天风证券研究所

2. 国内现状：电力现货市场起步，“特高压”网络逐渐成型

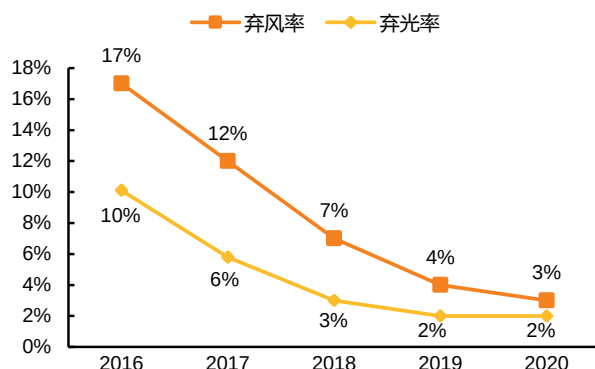
我国风电、光伏在能源结构中的比重不断提升，但与德国相比仍有较大差距。2019 年我国风电发电量占比已达 5%，光伏发电量占比已达 3%，对比德国风电 21%与光伏 8%的占比，仍有较大的上升空间。从增速来看，我国光伏装机量的增速高于风电，2016-2020 年 CAGR 达 34.94%。近五年来，弃风弃光现象得到了一定缓解，全国平均弃风率从 2016 年的 17%下降至 2020 年的 3%，平均弃光率由 2016 年的 10%下降至 2020 年的 2%，可再生能源的利用效率得到了大幅提升。

图 21：我国非水可再生能源装机量（亿千瓦）



资料来源：国家能源局、中电联、WIND、天风证券研究所

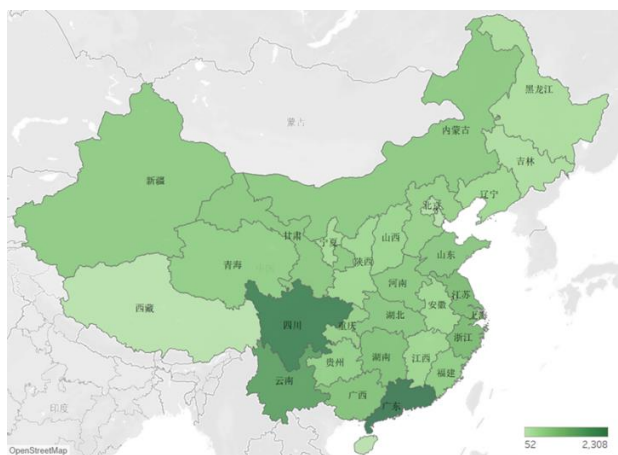
图 22：我国全国平均弃风弃光率



资料来源：WIND、中电新闻网、中电联、国家能源局、北极星电力网、天风证券研究所

可再生能源消纳呈现地域不均的特点，弃风弃光现象主要集中在新疆、甘肃、内蒙古等重点省份。我国可再生能源的消纳主要集中在四川、云南、广东三个省份，占到了全国可再生能源消纳量的约 30%。相比而言，长三角、京津冀地区的可再生能源消纳有较大的上升空间。尽管全国平均弃风率在近五年得到了显著改善，但重点省份仍然维持在高位，新疆 2019 年弃风率达 14%，内蒙古、甘肃也分别达到了 7.1% 和 7.6%。我国的风电场主要集中在新疆、内蒙、甘肃等省份，其较高的弃风率也反映出向外省输送的通道仍然有限，大量的风电无法在本地消纳。

图 23：2019 年全国各省市可再生能源消纳量（含水电亿 kWh）



资料来源：国家能源局、天风证券研究所

图 24：2019 年全国各省市弃风率

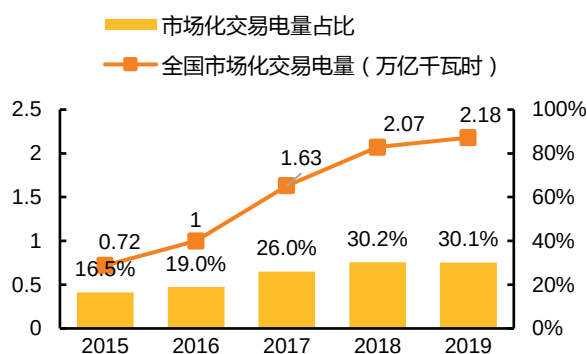


年份	政策	主要内容
1996	乘风计划	明确提出了到 2000 年实现大型风力发电机国产化率 60% 的目标。
2003	风电特许权招标制度	风电特许权通过市场招标获得；其次执行强制上网制度，固定和浮动上网电价相结合。
2006	可再生能源法	首次对上网电价作出明确的规定。（2009 年修订后，风电和太阳能电价完成了从招标制电价到固定电价的转变。）
2007	可再生能源中长期规划	到 2010 年和 2020 年，权益发电装机总容量超过 500 万 kW 的投资者，所拥有的非水电可再生能源发电权益装机总容量应分别达到其权益发电装机总容量的 3% 和 8% 以上，非水电可再生能源发电在电网总发电量中的比例分别达到 1% 和 3% 以上。
2008	财政税收优惠政策	对新能源发电新建项目的所得税实施“三免三减半”，对销售利用风力生产的电力实现的增值税，实行即征即退 50%。
2016	可再生能源发电全额保障性收购管理办法	指电网企业（含电力调度机构）根据国家确定的上网标杆电价和保障性收购利用小时数，结合市场竞争机制，通过落实优先发电制度，在确保供电安全的前提下，全额购买规划范围内的可再生能源发电项目的上网电量。
2017	绿色证书交易机制	要求燃煤发电企业或售电企业通过购买绿色证书作为完成可再生能源配额义务的证明，通过绿色证书市场化交易补偿新能源发电的环境效益和社会效益。
2017	解决弃水弃风弃光问题实施方案	着力完善市场体系和市场机制，发挥市场配置资源的决定性作用；进一步加强可再生能源电力生产地区与消费地区协调联动；推进可再生能源电力开发基地与电力输送通道同步规划、同步建设；加快电力市场建设步伐，完善促进可再生能源电力消纳的交易机制、辅助服务机制和价格机制。
2018	清洁能源消纳行动计划（2018-2020 年）	计划到 2020 年，基本解决清洁能源消纳问题。
2019	关于建立健全可再生能源电力消纳保障机制的通知	对各省规定了最低的可再生能源电力消纳责任权重及非水电可再生能源电力消纳责任权重。

资料来源：张兴平 刘文峰. 典型国家可再生能源政策演变研究、国家能源局、天风证券研究所

我国市场化交易电量逐年上升，但离成熟电力市场仍有较大距离。2019 年我国市场化交易电量为 2.18 万亿千瓦时，占当年全社会用电量的 30.1%，相比于美国、德国超过 60% 的电力市场化程度有较大的差距。我们预计，2021-2025 我国电力市场化程度将继续加深，为电力市场化调节的政策工具提供基础。从交易种类看，2019 年的交易电量超 90% 属于省内电力直接交易量，省间交易占比较小，加强各省之间的电力交易往来也是未来的方向。

图 25：我国市场化交易电量



资料来源：中电联、天风证券研究所

图 26：我国电力市场发展路线



资料来源：北极星输电网、天风证券研究所

2.2. 技术层面：“特高压”为主的输电网升级改造

建设“特高压”输电网络有助于在省间消纳冗余的可再生能源。“特高压”指交流 1000 千伏、直流 ± 800 千伏及以上电压等级的输电技术，具有远距离、大容量、低损耗、少占地的综合优势。国家电网《2020 年重点工作任务》计划核准了南阳-荆门-长沙、南昌-长沙、

荆门-武汉、驻马店-武汉、武汉-南昌特高压交流等 7 项重点工程，大量特高压工程进入交付阶段。据《中国“十四五”电力发展规划研究》预计，到 2025 年，我国特高压直流工程将达 23 回，总输送容量达 1.8 亿千瓦。由于我国的风电场、光伏电场主要集中在新疆、内蒙古、甘肃等几个重点省份，建设特高压输电网进行省域间的消纳仍是主流策略。

图 27:《中国“十四五”电力发展规划研究》中，2025 年特高压骨干网架示意图



资料来源:《中国“十四五”电力发展规划研究》、天风证券研究所

注:虚线为“十四五”期间投运线路

表 5: 三北地区部分陆风平价大基地项目及配套特高压建设情况

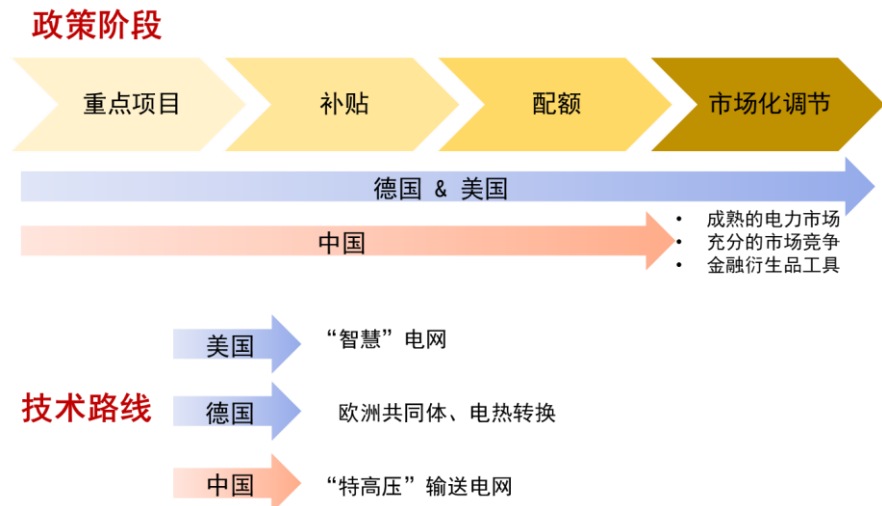
项目简称	容量	配套外送输电通道	项目进展
中广核兴安盟扶贫平价基地	3GW	扎鲁特-青州特高压输电通道	2020 年 9 月, 完成首台机组吊装
阿拉善盟上海庙至山东	1.6GW	上海庙至山东特高压输电通道	2020 年 10 月, 项目启动竞争优选
兴安盟配套扎鲁特-青州	1GW	扎鲁特-青州特高压输电通道	2020 年初开工
青海海南州	2GW	青海至河南直流特高压输电通道	2020 年 9 月并网发电

资料来源: 锐观网、每日风电、国际能源网、北极星风力发电网、天风证券研究所

3. 经验启示: 发挥市场能动性, 构建能源互联网, 助力消纳

从政策层面看, 我国与海外电力市场发展水平存在较大差距, 电价调控还无法发挥调解电力供应的作用。从技术层面看, 消纳技术上侧重点不同, 但都采用“输纳”为主流的策略, 配合“智慧电网”或“储能”。美国的“智慧”电网改造已基本完成, 尽管社会各界褒贬不一, 但其对电网灵活性的提升不可否认, 此外相比于建设远距离输电项目, 引入人工智能预测风电波动性、收集用电数据调峰等“智慧”改造成本比较低。德国的可再生能源消纳比较依赖于向欧洲其他国家进行交易输送, 或加装热电转换设施将多余的电能转化为热能, 电热转换具有成本低、易普及等特点, 可在华北、东北等需要供暖的地区引入。

图 28：政策与技术层面的中美德对标



资料来源：天风证券研究所

3.1. 政策启示：发挥电力市场能动性

从国外政策演变趋势看，由国家主持大型项目，到“补贴”、“配额”提高新能源市场份额，最后形成成熟的新能源电力交易市场，通过市场化调节省域间的供需矛盾是一条必由之路。德国美国都具有成熟的电力市场，在电力市场上进行的金融产品创新也十分广泛。通过各类市场化工具能够有效调节发电方与用电方的供需矛盾。

国外多样性的市场化调节工具值得我国借鉴。由于我国电力市场改革起步较晚，至今还未形成成熟的电力市场，供需关系还无法有效地通过电力价格进行调控。德国、美国电力市场改革的经验值得借鉴，我国应鼓励新能源行业内的良性竞争，积极创新金融工具为电力市场的交易提供润滑剂。

表 6：我国电力现货市场相关政策梳理

时间	单位	政策	主要内容
2020 年 7 月	国家能源局	关于做好电力现货市场试点连续试结算相关工作的通知	做好电力中长期交易合同衔接工作。加强电力现货市场结算管理。充分发挥价格信号对电力生产、消费的引导作用，形成合理的季节和峰谷分时电价。规范确定市场限价。加强市场运营机构及技术支持系统开发方中立性管理。加强市场力风险防范。严格市场注册管理。
2019 年 7 月	国家发改委办公厅、国家能源局综合司	印发《关于深化电力现货市场建设试点工作的意见》的通知	合理设计电力现货市场建设方案；统筹协调电力现货市场衔接机制；建立健全电力现货市场运营机制；强化提升电力现货市场运营能力；规范建设电力现货市场运营平台；建立完善电力现货市场配套机制；做好电力现货市场建设组织实施
2018 年 11 月	国家发改委办公厅、国家能源局综合司	关于印发电力市场运营系统现货交易和现货结算功能指南（试行）的通知	现货试点第一责任单位应加强对现货交易和现货结算系统建设的指导，及时组织第三方机构对系统进行评估验收，评估验收通过后投入运行。
2018 年 11 月	国家能源局综合司	关于健全完善电力现货市场建设试点工作机制的通知	建立协调联系机制、信息报送机制等措施，以推动我国电力现货市场建设试点尽快取得实质性突破，并将第一批试点地区开展现货试点模拟试运行的时限调整为 2019 年 6 月底。
2017 年 8 月	国家发改委办公厅、国家能源局综合司	关于开展电力现货市场建设试点工作的通知	2018 年底前启动电力现货市场试运行，积极推动与电力现货市场相适应的电力中长期交易。结合各地电力供需形势、网源结构和市场化程度等条件，选择南方（以广东起步）、蒙西、浙江、山西、山东、福建、四川、甘肃等 8 个地区作为第一批试点，加快组织推动电力现货市场建设工作。

资料来源：国家能源局、国家发改委、北极星售电网、天风证券研究所

从可再生能源消纳责任权重看，不同地域消纳责任权重差异比较明显。水电充裕的地区例如四川、云南，最低总可再生能源消纳责任权重高达 80%。从风、光来看，最低消纳责任权重较高的有黑龙江、吉林、内蒙古等省份。

表 7：不同地域的消纳责任权重差异比较明显（单位：%）

省（区、市）	总量消纳责任权重		非水电消纳责任权重	
	最低消纳责任权重	激励性消纳责任权重	最低消纳责任权重	激励性消纳责任权重
北京	15.5	16.9	15	16.5
天津	14.5	15.9	14	15.4
河北	13	14.4	12.5	13.8
山西	17	18.8	16	17.6
内蒙古	18	19.7	16.5	18.2
辽宁	15	16.6	12.5	13.8
吉林	24	26.6	18.5	20.4
黑龙江	22	24.4	20	22
上海	32.5	36.6	4	4.4
江苏	14	15.4	7.5	8.3
浙江	17.5	19.6	7.5	8.3
安徽	15	16.7	12.5	13.8
福建	19.5	21.8	6	6.6
江西	22	24.4	9	9.9
山东	11.5	12.6	11	12.1
河南	17.5	19.4	12.5	13.8
湖北	32.5	35.6	8	8.8
湖南	40	44.3	9	9.9
广东	28.5	32	4.5	5
广西	39.5	43.9	7	7.7
海南	13.5	14.9	6.5	7.2
重庆	40	44.5	3.5	3.9
四川	80	89.3	6	6.6
贵州	30	33.3	6	6.6
云南	80	89	15	16.5
西藏	不考核	不考核	不考核	不考核
陕西	17	18.8	12	13.2
甘肃	44.5	48.8	16.5	18.2
青海	63.5	70.7	25	27.5
宁夏	22	24.1	20	22
新疆	20	22.1	10.5	11.6

资料来源：国家发改委、国家能源局、天风证券研究所

3.2. 技术经验：构建能源互联网，助力新能源消纳

从技术路线看，美国致力于建设“智慧电网”，通过收集用电数据预测峰值，优化现有供电网络的调度，提高电网的灵活性。德国倾向于建设新的输电项目将冗余的电能输送到本国人口密集地区或欧洲其他国家进行消纳。同时，大力发展电热转换类的低成本储能设施，将多余电能转化为热能进行储存。借鉴国外的新能源的消纳经验，我们认为，**加大特高压建设、积极推动能源互联网、加快储能发展等，将是国内未来提升新能源消纳水平的重要方向和手段。**

3.2.1. 推动能源互联网建设，提升电网智能调度能力

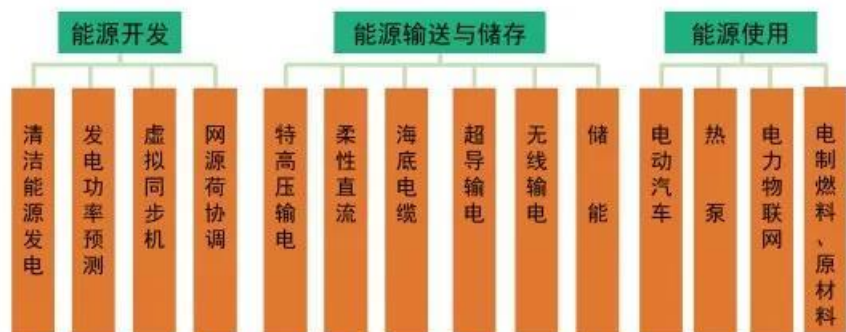
能源互联网是实现碳中和的基础平台，目标是推进“两个替代”进程。中国电力企业联合会理事长刘振亚表示，我国能源互联网的实质是“智能电网+特高压电网+清洁能源”，清洁能源在全国范围大规模的开发后，需要通过配置与使用平台使清洁能源在全国范围内流动。能源互联网是清洁主导、电为中心、互联互通的现代能源体系。智能电网的效果发挥在用电、配电、变电和通信环节，较现有电网具有电力流、信息流和业务流高度融合的优点，能起到强化电网自动化、信息化，提高电网互动化水平、资源配置能力的作用；特高压电网具有降低电力传输过程中的能源损耗的效果，见效快、成本低、综合价值大，能够推动能源资源的远距离输送和全国范围配置，是我国原创、世界领先的技术。能源互联网在我国具备良好的发展基础，特高压技术的逐步成熟、智能电网的广泛应用与清洁能源的快速发展将推动能源互联网建设。

图 29：全球能源互联网构成



资料来源：中国能源报、天风证券研究所

图 30：我国能源互联网技术重点攻关技术



资料来源：中国能源报、天风证券研究所

能源互联网可运用技术手段增强“源、网、荷、储”要素间的相互联动，提高电网智能调度能力，进而带动新能源消纳能力提升。据中国电力科学研究院有限公司总经理王继业介绍，能源互联网是源、网、荷、储、人、各社会要素及环境要素互联的平台性网络，实现多种能源的相互转化和用能的优化配置，通过互联互动、数字赋能，形成各要素之间的高效协同与资源的优化匹配。能源互联网能够以数字化手段补足当前能源系统电气物理特性带来的挑战，尤其是可以辅助提升电网平稳调控能力，应对安稳保护等方面的各类故障和事件，并做到超前响应和即时处理，进而驱动新能源的顺畅消纳。

表 8：能源互联网模式下，各类元素互动所带来的好处

要素互动方式	好处
源源互补	强调不同电源之间的有效协调互补，通过灵活发电资源与清洁能源之间的协调互补，克服清洁能源发电出力受环境和气象因素影响而产生的随机性、波动性问题， 将可有效提高可再生能源的利用效率，减少电网旋转备用，增强系统的自主调节能力
源网协调	在现有电源、电网协同运行的基础上，通过新的电网调节技术有效解决新能源大规模并网及分布式接入电网时的“不友好”问题，让新能源和常规电源一起参与电网调节， 使得新能源朝着具有友好调节能力和特性（即柔性电厂）的方向发展
网荷互动	在与用户签订协议、采取激励措施的基础上，将负荷转化为电网的可调节资源（即柔性负荷），在电网

出现或者即将出现问题时通过负荷主动调节和响应来改变潮流分布，**确保电网安全经济可靠运行**

网储互动

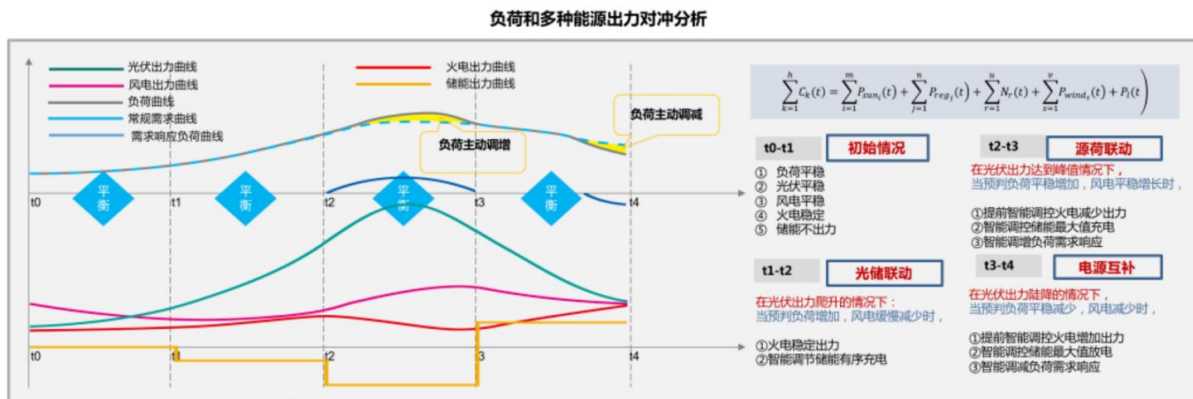
充分发挥储能装置的双向调节作用。储能就像大容量的“充电宝”，在用电低谷时作为负荷充电，在用电高峰时作为电源释放电能，其快速、稳定、精准的充放电调节特性，能够为电网提供调峰、调频、备用、需求响应等多种服务

源荷互动

智能电网是由时空分布广泛的多元电源和负荷组成，电源侧和负荷侧均可作为可调度的资源参与电力供需平衡控制，负荷的柔性变化成为平衡电源波动的重要手段之一。**通过引导用户改变用电习惯和用电行为，汇聚各类柔性、可调节资源参与电力系统调峰和新能源消纳**

资料来源：国网能源互联网技术研究院、天风证券研究所

图 31：能源互联网的预期成效表现之一：辅助提升电网平稳调控能力，做到超前响应和即时处理



资料来源：中国电力科学研究院、天风证券研究所

我国已开始着手致力于能源互联网的建设。近十年来，欧美发达国家的能源互联网研究项目纷纷落地，德国于 2008 年在智能电网的基础上选择了 6 个试点地区进行为期 4 年的 E-Energy 技术创新促进计划，成为实践能源互联网最早的国家，国内部分公司及组织也已开始着手致力于能源互联网的建设，例如在 2018、2019 年，南方电网和国家电网分别成立了大数据中心，此外它们也纷纷出台了能源互联网投资计划；2021 年 1 月，浙江电网首次实施虚拟电厂辅助电网调峰试点，标志着国网浙江电力，能源互联网形态下多元融合高弹性电网建设在虚拟电厂调控技术方面实现了“首面首域”突破，该试点项目实现零成本调峰，增加新能源消纳 108 万千瓦时。**未来随着更多能源互联网项目落地，有望进一步推动新能源的高效利用。**

表 9：不同国家和地区能源互联网项目

地区	项目	简介
欧盟	未来智能能源互联网 ICT 项目	项目的核心在于构建未来能源互联网的 ICT 平台，支撑配电系统的智能化，并开拓新的创新服务
德国	E-Energy 项目-基于 ICT 的未来能源系统	E-Energy 计划选取了 6 个示范项目，围绕低碳环保、经济节能的目标，开展大规模清洁能源消纳、节能、双向互动等方面的示范工作。
瑞士	Vision of Future Energy Networks	瑞士联邦政府能源办公室和产业部门共同发起，重点是研究多能源传输系统的利用和分布式能源的转换和存储，开发相应的系统仿真分析模型和软件工具。
欧盟	Future Internet for Smart Energy	识别智能能源系统的需求；通过分析智能能源场景，识别 ICT 需求，开发参考架构并准备欧洲范围内的试验，最终形成欧洲智能能源基础设施的未来能源互联网 ICT 平台。
美国	未来可再生电能传输与管理系統	研究一种构建适应高渗透率分布式可再生能源发电和分布式储能并网的高效配电系统，称之为能源互联网

资料来源：北极星售电网、天风证券研究所

表 10：丽水绿色能源虚拟电厂试点成果

项目简介	主要成果
丽水智慧水电调度平台利用光纤、无线专网以及北斗通信新技术将全域水电发电信息聚合，与浙江高弹性电网智慧调度平台进行信息交互， 实现丽水绿色能源虚拟电厂辅助电网调峰	实现零成本调峰 增加新能源消纳 108 万千瓦时 节约需求侧响应资金 130 万元 减少燃煤机组深度调峰 43 万千瓦 提高在网机组负荷率 1.27 个百分点 减少发电耗煤 94 吨

资料来源：国网浙江电力、北极星电力网、天风证券研究所

3.2.2. 加大特高压建设力度，提高远距离输送能力

特高压输电是远距离、大容量、低损耗、少占地的“电力高速路”，助力实现新能源在更大范围内的消纳。我国源电力网注重的一般都是低电压的穿越，再加上风电调峰性能较差，会造成能源的很大损耗。而特高压输电是远距离、大容量、低损耗、少占地的“电力高速路”，能大大提升我国电网的输送能力。2019 年，特高压线路累计送电 449TWh，可再生能源电量达 235TWh，其中，水电 178TWh、风电和光伏共 57TWh。截至目前，我国在运特高压达“13 交 16 直”，其中，国网经营区有“13 交 12 直”，南网经营区有“4 直”。2020 年 2 月，国家电网编制了《2020 年特高压和跨省 500 千伏及以上交直流项目前期工作计划》，加快 5 交 5 直特高压工程年内核准以及前期预可研工作。

图 32：国家电网在建在运特高压工程示意图



资料来源：国家电网、天风证券研究所

表 11：国网 2020 年五交五直特高压项目前期工作计划

类型	项目	计划核准时间
特高压交流工程	南阳-荆门-长沙工程	国网 3 月获得核准批复
	南昌-长沙工程	国网 6 月获得核准批复
	武汉-荆门工程	国网 9 月获得核准批复
	驻马店-武汉工程	国网 10 月获得核准批复
	武汉-南昌工程	国网 12 月获得核准批复
	白鹤滩-江苏工程	国网 6 月获得核准批复
特高压直流工程	白鹤滩-浙江工程	国网 12 月获得核准批复
	金上水电外送工程	国网 6 月完成工程预可研
	陇东-山东工程	国网 6 月完成工程预可研
	哈密-重庆工程	国网 6 月完成工程预可研

资料来源：国家电网、北极星电力网、天风证券研究所

表 12：2019 年，特高压共输送 2352 亿千瓦时可再生能源

序号	线路名称	年输送量 (亿千瓦时)	可再生能源 (亿千瓦时)	可再生能源 占比	占比同比
1	长南荆特高压	49	13	26.2%	-19.4
2	榆横至潍坊特高压	191	0	0.0%	0.0
3	锡盟送山东	54	0	0.0%	0.0
4	皖电东送	295	0	0.0%	0.0
5	浙福特高压	92	0	0.0%	0.0
6	蒙西-天津南	95	0	0.0%	0.0
7	复奉直流	302	302	100.0%	3.0
8	锦苏直流	366	366	100.0%	4.7
9	天中直流	415	208	50.2%	1.5
10	宾金直流	341	340	99.9%	0.6
11	灵绍直流	415	109	26.3%	3.9
12	祁韶直流	179	56	30.9%	-16.0
13	雁淮直流	253	2	0.8%	-4.2
14	锡泰直流	119	0	0.2%	-0.5
15	昭沂直流	166	60	36.1%	22.3
16	鲁固直流	236	93	39.3%	77
17	吉泉直流	147	33	22.3%	20.0
18	楚穗直流	283	283	100.0%	0.0
19	普侨直流	217	217	100.0%	0.0
20	新东直流	271	271	100.0%	0.0
全国		4485	2352	52.4%	0.1

资料来源：北极星售电网，天风证券研究所

我国特高压输变电技术已取得多个重要突破，为特高压建设工作的进一步开展提供了坚实**技术支撑**。随着我国特高压交直流输电工程建设的稳步推进，特高压输变电领域技术成果丰硕。以近期我国两个重点特高压项目为例，2020 年 12 月 27 日，乌东德电站送电广东广西特高压多端柔性直流示范工程（简称昆柳龙直流工程）全面投产。该工程不仅是世界首个特高压柔性直流工程，同时也是目前世界上电压等级最高、输送容量最大的多端混合直流工程，为应用于远距离大容量输电的特高压柔性直流输电技术开辟了一条道路，**世界特高压输电技术从此迈进柔性直流时代**。

2020 年 12 月 30 日，世界首个新能源远距离输送大通道青海—河南±800 千伏特高压直流工程全面建成投运。该工程是我国发展先进输电技术破解特大型新能源基地集约开发世界级难题的重要实践，首次进行新能源多机群与直流系统协同设计与控制，大幅提高了输电系统的灵活性、适应性、可靠性和过负荷能力，使得大规模新能源安全接入、通过特高压直流通道远距离外送、依托全国大电网/大市场消纳成为可能，对支撑碳达峰、碳中和战略目标实现具有重要示范意义。展望未来，在科技创新的带动下，我国特高压建设能力有望进一步加强，为新能源跨区输送创造更有利的硬件环境。

表 13：我国特高压输变电技术取得多个重要突破

项目名称	项目技术突破亮点
乌东德电站送电广东广西特高压多端柔性直流示范工程	1. 采用 安全性、灵活性、稳定性更高的柔性直流技术 ，在此之前，世界上柔性直流的最高电压等级为±500 千伏，工程则提升到前所未有的±800 千伏
	2. 首创 多端混合直流输电技术 ，送电端采用常规直流，广东和广西 2 个受电端采用柔性直流，打造柔性直流输电的“港珠澳大桥”
	3. 将南方电网与国内相关厂家共同研发的 柔性直流关键芯片(IGBT) 成功应用到工程中，打破了国外少数厂家的垄断

青海—河南±800 千伏特高压直流工程

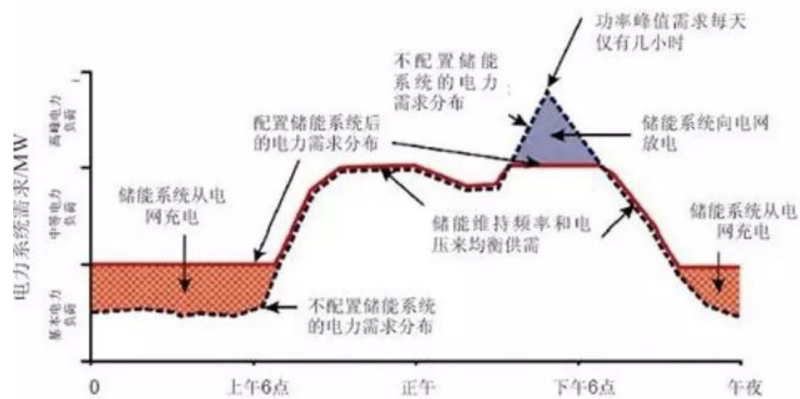
4. 首创架空线路直流故障自清除技术，当遭遇外界环境冲击突然短路时，工程能在 0.5 秒内恢复正常运行，保障这条能源“大动脉”的稳定输送
1. 首次进行新能源多机群与直流系统协同设计与控制，大幅提高了输电系统的灵活性、适应性、可靠性和过负荷能力，使得大规模新能源安全接入、通过特高压直流通道远距离外送、依托全国大电网/大市场消纳成为可能
2. 攻关“卡脖子”技术，成功研制了国产化特高压直流穿墙套管及换流变阀侧套管
3. 首次采用了特高压换流站现场组装技术，全面攻克特高压换流站现场大规模组装技术和高海拔环境下的制造工艺控制难题

资料来源：国家电网报、人民网、北极星电力网、天风证券研究所

3.2.3. 加快储能发展，提高电网调峰能力

储能可提高送端电网调峰能力，来提升新能源消纳。储能是指将电能转化为其他形式的能量存储起来，并在需要时转化为动能、势能等，在可再生能源并网、电网辅助服务、电网输配、分布式及微网、用户侧多个场景均可适用。从电网侧来看，在可再生能源发电系统中加入储能装置，一定程度上可以稳定输出电力，在电网中起到削峰填谷的作用，提高送端电网调峰能力，进而提升新能源消纳。

图 33：储能系统在电网中起到削峰填谷的作用



资料来源：国网信通产业集团、OE 能源、天风证券研究所

政策层面看，多省发文鼓励或强制要求新能源配套储能。截至目前已有 17 省份发布文件明确提出新能源配储能，而配置的比例各不相同。根据 CNESA 的统计，2020 年 1-9 月中国新增的电化学储能投运 533.3MW，其中新能源发电侧储能比重最大已达到 2/3。

表 14：17 个省份新能源配储能方案

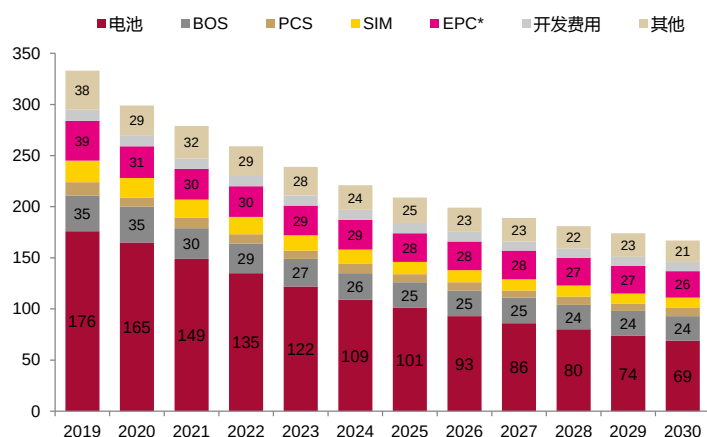
省份	政策	储能方案
辽宁	《辽宁省风电项目建设方案》	优先考虑附带储能设施、有利于调峰的风电项目
吉林	《吉林省 2020 年风电和光伏发电项目申报指导方案》	大力支持储能、氢能等有带动作用的项目
河南	《关于组织开展 2020 年风电、光伏发电项目建设的通知》	新增风电光伏应配置足够储能
湖南	《关于做好储能项目站址初选工作的通知》	新建平价光伏项目鼓励配套储能
湖北	《关于开展 2020 年平价风电和平价光伏发电项目竞争配置工作的通知》	优先支持风储一体化 风电不低于 10%配储能
内蒙古	《2020 年光伏发电项目竞争配置方案》	优先支持光伏+储能项目建设 配置 5%储能
新疆	《新疆电网发电侧储能管理办法》	补偿标准 0.55 元/kWh 鼓励发电侧储能设施建设
西藏	《首批光伏储能示范项目征集通知》	启动首批光伏储能示范项目
江西	江西省新能源产业高质量跨越式发展行动方案 (2020—2023 年)	培育与分布式能源应用的储能市场

安徽	《关于进一步促进光伏产业持续健康发展的意见》	开展风光储一体化等新能源微电网技术研发
山东	《关于 2020 年拟申报竞价光伏项目意见的函》	2020 年申报竞价光伏项目要求配 20% 储能
山西	《关于 2020 年拟新建光伏发电项目的消纳意见》	建议新增光伏发电项目配备 15~20% 储能
江苏	《关于进一步促进新能源并网消纳有关意见的通知》	鼓励发电企业配置电源侧储能设施
河北	《关于推进风电、光伏发电科学有序发展的实施方案（征求意见稿）》	支持风电光伏按 10% 配置储能
贵州	《贵州省可再生能源电力消纳实施方案》	2021 年消纳受限区域光伏需配备 10% 储能
福建	《“电动福建”建设三年行动计划（2020-2022 年）》	鼓励风力、光伏电站等配备储能设备 提升电能质量
广东	《广东省培育新能源战略性新兴产业集群行动计划（2021—2025 年）》	推进“可再生能源+储能”发电系统建设

资料来源：中国储能网、天风证券研究所

经济性看，储能成本下降，有望驱动储能装机规模增长。2007 年，我国大规模锂电池储能系统的成本大约是 8000~10000 元/kWh，2019 年锂电池储能系统的成本已下降至 1500 元/kWh 左右。据 BNEF 预测，完成安装的 4 小时电站级储能系统成本在 2030 年有望降至 167 美元/kWh。伴随着储能成本下降，国内有望逐步迈向“光储平价”，驱动储能装机规模增长。

图 34：BNEF 对储能系统成本的预测（美元/kWh）



资料来源：BNEF，天风证券研究所

注：预测针对于完成安装的 4 小时电站级储能系统，基于可用容量

4. 投资建议：新能源运营和能源互联网价值有望重估

碳中和背景下，我国要构建清洁低碳安全高效的能源体系，控制化石能源总量，着力提高利用效能，实施可再生能源替代行动，深化电力体制改革，**构建以新能源为主体的新型电力系统**。在以新能源为主体的电力系统中，风电、光伏未来有望保持较快增长，新能源运营商有望充分受益。

在新能源高速发展的背景下，能源互联网建设有望加速，以新能源为主体的电力系统将面临电网调度方式的大变革，未来需要打通源网荷储各个环节，通过更智慧化的方式进行电网调度，需要发挥配电网和微电网的消纳作用。此外，国网在实现碳中和过程中任务艰巨，降损减排是重要手段，而电网节能可降低电网线损，未来需求有望受益于碳中和相关政策。

4.1. 新能源运营：高景气优质赛道，估值有望修复

4.1.1. 碳中和承诺下，新能源主体地位凸显

碳中和目标下，一次能源消费量有望得到控制，非化石能源消耗占比有望提升。碳中和意味着碳排放量与碳汇相等。碳排放来源于煤、原油、天然气等化石能源在消耗过程中产生的温室气体，碳汇来源于森林、海洋等碳汇吸收，以及 CCUS、CCS 等碳移除技术。碳中和

和目标下，可以通过降低能耗、提高能效、开发非化石能源等途径，来减少化石能源消费量，同时加大开发碳移除技术，共同实现碳的净零排放。据国网能源研究院预测，碳中和约束下，能源消费产生二氧化碳排放量增长趋缓，有望在“十五五”前期达到峰值；终端能源需求有望于 2025 年前后达峰，一次能源需求将于“十五五”期间达峰；非化石能源占一次能源消费比重呈上升趋势，风能、太阳能有望在 2030 年后成为主要的非化石能源品种。

表 15：国家电网结合碳达峰、碳中和的目标与愿景，从多个角度分析我国未来能源局势

类别	预判未来发展形势
二氧化碳排放情况	能源消费产生二氧化碳排放量增长趋缓，有望在“十五五”前期达到峰值，此后呈现稳中有降态势
能源需求总量	终端能源需求有望于 2025 年前后达峰，一次能源需求将于“十五五”期间达峰
一次能源结构	一次能源低碳化转型明显，2035 年前后非化石能源总规模超过煤炭；风能、太阳能发展快速，在 2030 年以后成为主要的非化石能源品种
电源发展	各类电源发展呈现出“风光领跑、多源协调”态势。陆上风电、光伏发电将是我国发展最快的电源类型；煤电装机容量将在“十五五”期间达峰，未来宜通过延寿，确保其长期在电力系统中发挥电力平衡、调节支撑和电量调剂功能，对我国保障电力供应安全起到托底保障作用；气电、核电、水电等常规电源仍将保持增长态势，发展空间受限于经济性、站址、资源条件等因素

资料来源：中国电力新闻网、国家电网、天风证券研究所

预计 2020-2030 年，风电、光伏累计装机容量 CAGR 分别为 9%、15%；2020-2050 年，风电、光伏累计装机容量 CAGR 分别为 6%、9%。结合国网能源研究院、清华大学、国家发改委能源研究所等机构对碳中和背景下能源转型的预测，我们假定到 2030/2050 年，一次能源消费总量分别控制在 58/50 亿吨标煤；能源产生的碳排放量于十五五前期达峰，2030 年下降至与 2019 年相同（通过设定的排放系数计算得出），并借鉴国家发改委能源研究所的预测，预计 2050 年碳排放量相较 2019 年下降 76%。

在一次能源消费及碳排放的双重约束下，我们预计风电累计装机规模将由 2020 年 2.8 亿千瓦提升至 2030 年 6 亿千瓦、2050 年 16 亿千瓦，2020-2050 年 CAGR 达 6%；光伏累计装机规模将由 2020 年 2.5 亿千瓦提升至 2030 年 10 亿千瓦、2050 年 36 亿千瓦，2020-2050 年 CAGR 达 9%。

表 16：能源消费及碳排放约束下，2030 及 2050 年光伏、风电装机情况

项目	2019	2030E	2050E
能源消费总量（万吨标煤）	487,000	580,000	500,000
其中：原煤	280,999	267,551	32,072
原油	92,043	97,234	36,000
天然气	39,447	54,604	49,000
非化石能源	74,511	160,611	382,928
因能源产生的碳排放（万吨）	997,585	997,585	239,420
非化石能源发电总量（亿千瓦时）	22,806	55,383	136,760
其中：水电	13,019	20,176	27,759
核电	3,487	7,283	13,087
风电	4,057	13,962	38,366
光伏	2,243	13,962	57,548
各电源利用小时数			
水电	3726	3726	3726
核电	7394	7394	7394
风电	2082	2182	2382
光伏	1285	1385	1585
各电源装机规模（亿千瓦）			
水电	3.6	5.4	7.5
核电	0.5	1.0	1.8
风电	2.1	6.4	16.1
光伏	2.0	10.1	36.3

资料来源：WIND、国家统计局、国网能源研究院、中国电力企业联合会、智汇光伏、吴剑、许嘉钰、碳约束下的京津冀 2035 年能源消费路径分析、《中国“十四五”电力发展规划研究》、天风证券研究所

注：能源消费总量中的非化石能源为国家统计局披露的水电、核电、风电消费量；原煤、原油、天然气的二氧化碳排放系数分别为 2.46、2.08、1.63tCO₂/tce；假定 2019-2030 年，原油消费年复合增速 0.5%、天然气消费年复合增速 3%，2050 年天然气、石油占总能源消费的比例与国家发改委能源研究所预测一致；结合《中国“十四五”电力发展规划研究》报告中对水电、核电 2025、2035、2050 年的装机预测，假定到 2030 年，水电、核电装机分别为 5.4 亿千瓦、1 亿千瓦，到 2050 年，水电、核电装机分别为 7.5 亿千瓦、1.8 亿千瓦；假定 2030 年风电、光伏发电量一致，2050 年风电发电量占光伏发电量的三分之二

4.1.2. 存量补贴加速出清，新能源运营价值有望重估

政策持续加码，补贴确权贷款已具备实施基础。2017 年之前我国主要通过提高附加标准，从源头解决补贴资金不充足问题，我国现行征收标准已先后经历 6 次调整达到 1.9 分/千瓦时的水平。2017 年以来政策聚焦补贴资金发放落实及补贴总需求控制问题。2020 年以来政策步伐加紧，先后将国家审核可再生能源项目电价补贴资格的目录制改为由电网企业发布合规项目清单制，对风光生物质分项目类别、分资源区规定合理利用小时数、补贴年限、全容量并网认定方式。**系列政策的推出保证了符合政策规定的项目获得补贴资格，并明确了各个项目的收益边界条件，为补贴确权贷款提供实施基础。**

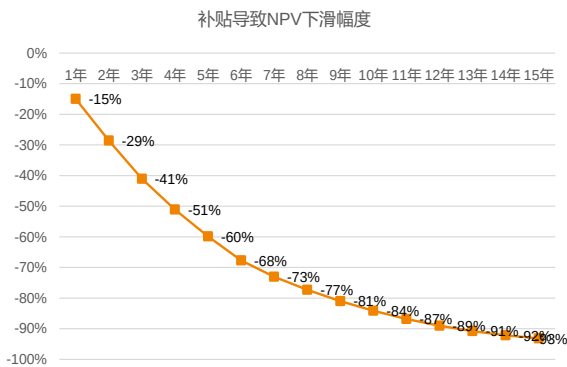
表 17：2017 年以来推动可再生能源补贴拖欠问题的重要政策或者文件安排

颁布时间	政策或文件名称	与补贴政策相关的重要内容
2017.04	《关于开展可再生能源电价附加补助资金清算工作的通知》	✓ 对于纳入可再生能源电价附加补助资金补助目录的前六批项目进行资金清算，按可再生能源电价附加补助资金清算工作指南进行清算工作
2019.05	《关于完善风电上网电价政策的通知》	✓ 2018 年底之前核准的陆上风电项目，2020 年底前仍未完成并网的，国家不再补贴；2019 年 1 月 1 日至 2020 年底前核准的陆上风电项目，2021 年底前仍未完成并网的，国家不再补贴 ✓ 自 2021 年 1 月 1 日开始，新核准的陆上风电项目全面实现平价上网，国家不再补贴
2020.01	《关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见》	✓ 以收定支，新增补贴项目规模由新增补贴收入决定，做到新增项目不新欠 ✓ 开源节流，通过多种方式增加补贴收入、减少不合规补贴需求，缓解存量项目补贴压力 ✓ 凡符合条件的存量项目均纳入补贴清单
2020.01	《可再生能源电价附加资金管理办法》	✓ 合理确定新增项目，确保新增项目不新欠，对于存量项目审核后纳入清单，并按序拨付补助并向社会公开
2020.03	《关于开展可再生能源发电补贴项目清单审核有关工作的通知》	✓ 国家不再发布可再生能源电价附加补助目录，而由电网企业确定并定期公布符合条件的可再生能源发电补贴项目清单 ✓ 补贴清单由电网企业公布以及具体流程。各单位按照要求，按照“成熟一批，公布一批”的原则，分阶段完成补贴清单的公布
2020.09	《关于<关于促进非水可再生能源发电健康发展的若干意见>有关事项的补充通知》	✓ 对各类项目全生命周期合理利用小时数进行明确规定，并确定补贴电量确定公式 ✓ 规定风电、光伏发电项目自并网之日起满 20 年后，生物质发电项目自并网之日起满 15 年后，无论项目是否达到全生命周期补贴电量，不再享受中央财政补贴资金，核发绿证准许参与绿证交易
2021.02	《关于引导加大金融支持力度促进风电和光伏发电等行业健康有序发展的通知》	✓ 金融机构按照商业化原则与可再生能源企业协商展期或续贷 ✓ 金融机构按照市场化、法治化原则自主发放补贴确权贷款 ✓ 对补贴确权贷款给予合理支持 ✓ 补贴资金在贷款行定点开户管理 ✓ 通过核发绿色电力证书方式适当弥补企业分担的利息成本 ✓ 足额征收可再生能源电价附加 ✓ 优先发放补贴和进一步加大信贷支持力度 ✓ 试点先行

资料来源：发改委、财政部、天风证券研究所

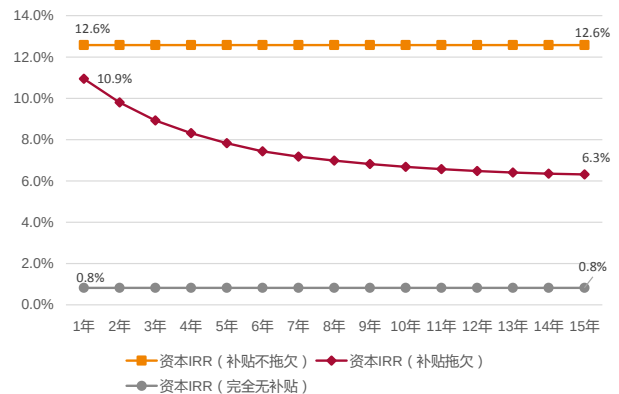
存量补贴问题加速出清，新能源运营商有望充分受益。系列政策的推出，有望通过补贴确权贷款、核发绿证弥补利息成本、足额征收可再生能源电价附加的配套政策措施等方式，共同解决补贴拖欠问题。通过对一个典型风电项目模型进行详细测算后发现，补贴拖欠对项目的现金流影响十分明显，在项目补贴完全没有受到拖欠情况下，项目的资本 IRR 达 13%，但是随着补贴的逐年拖欠，项目的 NPV 呈现明显下降，当补贴连续拖欠 5 年之后，项目 NPV 较补贴正常发放时下滑 60%，资本 IRR 也从 13% 下滑至 8%，降幅达 5pct。因此，我们分析认为，在存量补贴得到逐步解决后，项目的现金流和盈利能力有望得到明显改善，ROE 也将逐步提高。

图 35：补贴拖欠导致 NPV 下滑明显



资料来源：财政部、中国产业信息网、天风证券研究所

图 36：补贴拖欠导致资本 IRR 下滑明显



资料来源：财政部、中国产业信息网、天风证券研究所

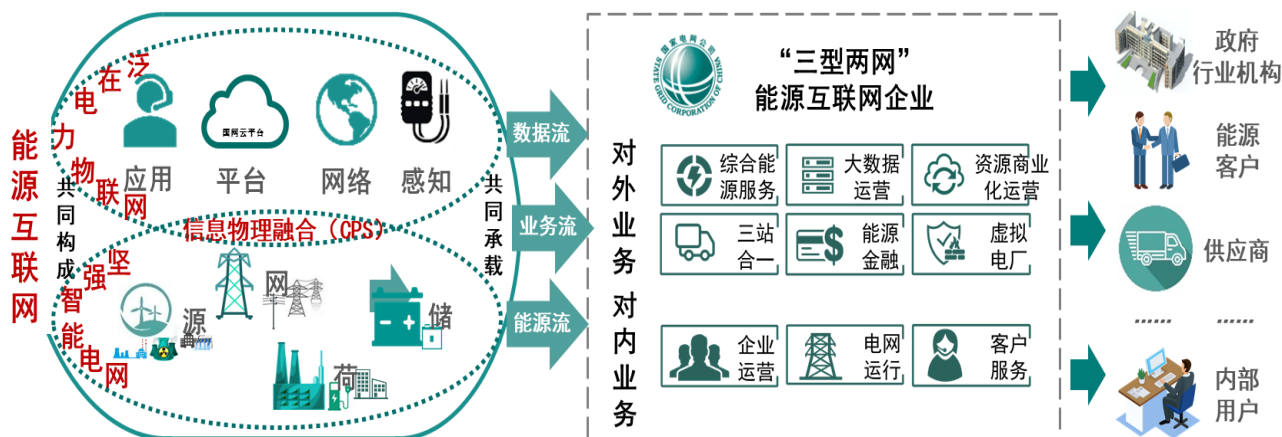
碳中和背景下，我们认为，新能源运营行业是高景气的优质赛道，估值有望提升，有望孕育大市值龙头。一方面，碳中和等政策驱动，叠加行业自身成本不断下降，光伏、风电未来装机增长将保持高景气，我们预计 2020-2030 年，风电、光伏累计装机容量 CAGR 分别为 9%、15%；2020-2050 年，风电、光伏累计装机容量 CAGR 分别为 6%、9%，新能源运营行业成为当之无愧的优质成长赛道；另一方面，存量补贴逐步解决，行业迎来平价大时代背景下，行业自身的降本增效成为驱动行业长期成长的核心因素，现金流、盈利能力和成长性都将得到明显改善，估值有望提升。具体标的方面，风电运营商，建议关注【龙源电力】【三峡新能源】【节能风电】【金风科技】（电新覆盖）【福能股份】【华润电力】等；光伏运营商，建议关注【太阳能】【吉电股份】【信义能源】【晶科科技】等。

4.2. 能源互联网：碳中和背景下，价值有望重估

4.2.1. 电力物联网投资持续增长，信息化与智能化潮流中市场空间广阔

电力物联网作为国家电网推进“三型两网”的重点，投资有望持续增长。国家电网 2019 年做出全面推进“三型两网”建设，2020 年《重点工作任务》表示将全力推进电力物联网高质量发展，提出迭代完善顶层设计、持续夯实基础支撑、赋能电网建设运营、推动“平台+生态”任务作为重点，表明国家电网对电力物联网的投资力度在“新基建”背景下有望持续增长。泛在电力物联网作为泛在物联网在电力行业的具体表现形式和应用落地，是将电力用户及其设备，电网企业及其设备，发电企业及其设备，供应商及其设备，以及人和物连接起来，产生共享数据，为用户、电网、发电、供应商和政府社会服务。以电网为枢纽，发挥平台和共享作用，为全行业 and 更多市场主体发展创造更大机遇，提供价值服务。

图 37：泛在电力物联网主要内容



资料来源：国家电网《泛在电力物联网建设大纲》、天风证券研究所

信息化与智能化趋势下，电力物联网市场空间广阔。国网提出的泛在电力物联网包括感知层、网络层、平台层、应用层四个层面，据赛迪顾问物联网产业中心测算，2018 年各层面市场规模分别达到 625.9、4.48、4.52、7200 亿元，在 2024 年分别有望达到 1215.4、29.54、9.25、31620 亿元。感知层的电动汽车充电桩市场、智能联网家电、智能电表技术，网络层的 5G 通信技术，平台层的“国网云”统一数据平台技术与应用层的电力市场化交易服务技术等领域的发展有望带动电力物联网持续增长。

图 38：泛在电力物联网应用构架

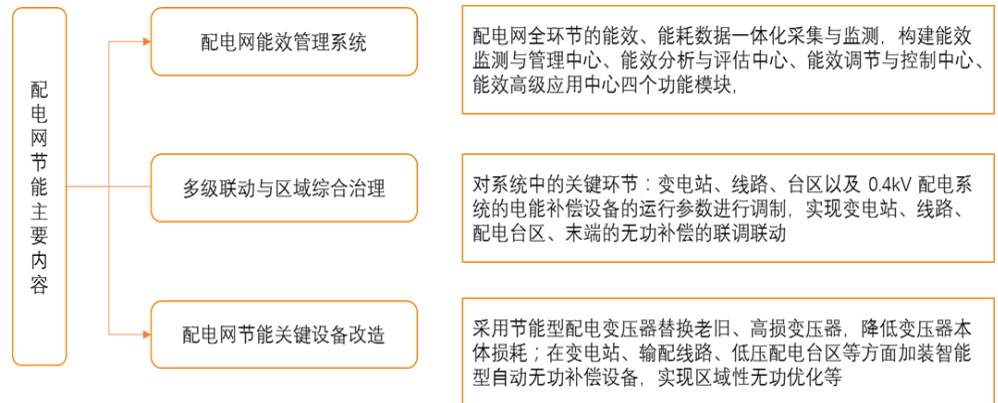


资料来源：国家电网《泛在电力物联网建设大纲》、天风证券研究所

4.2.1. 配电网节能是电网节能降损的重要手段，市场空间有望超 400 亿/年

配电网节能是针对配电网节能降损提供节能改造和能效综合治理解决方案，可有效解决无功损耗大、末端电压低、线损率高等突出问题，能够降低线损约 30%。在节能减排的背景下，配电网节能产业发展获政策支持，2011-2017 年以来相关出台的政策鼓励电网装备、智能电网建设、降低线损和配电变压器损耗等方面的建设。

图 39：配电网节能主要内容



资料来源：公司公告、天风证券研究所

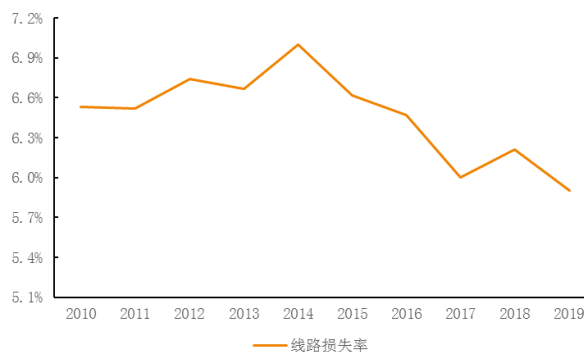
表 18：配电网节能相关政策

时间	政策	政策内容
2011.11	《电网企业实施电力需求侧管理目标责任考核方案（试行）》	电力电量节约年度指标原则上不低于经营区域内上年售电量的 0.3%、最大用电负荷的 0.3%
2012.08	《节能减排“十二五”规划》	电网综合线损率由 2010 年 6.53%降至 2015 年 6.3%
2015.07	《配电网建设改造行动计划（2015-2022 年）》	2015-2020 年，配电网建设改造投资不低于 2 万亿元，110 千伏及以下线损率由 2014 年的 6.2%降至 2020 年 6.0%
2015.08	《配电变压器能效提升计划（2015-2017 年）》	到 2017 年底，高效配电变压器在网运行比例提高 14%，当年新增量中高效配电变压器占比达到 70%；预计到 2017 年，累计推广高效配电变压器 6 亿千伏安，实现年节电 94 亿千瓦时，相当于节约标准煤 310 万吨，减排二氧化碳 810 万吨。
2015.08	《关于加快配电网建设改造的指导意见》	以智能化为方向，全面提升配电网装备水平；提高配电网能效水平，逐步淘汰高损耗变压器，推广先进适用的节能型设备
2017.06	《电力发展“十三五”规划》	到 2020 年，电网综合线损率控制在 6.5%以内

资料来源：国家发改委、国家能源局、变压器产业网、北极星智能电网在线、天风证券研究所

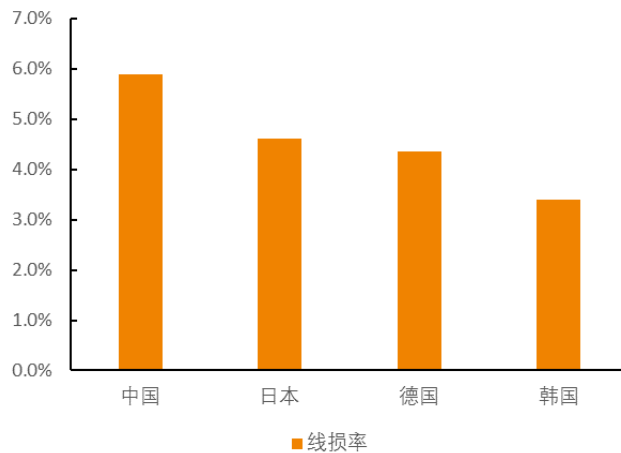
近年我国电网线路损失率整已有明显下降，2019 年我国线损率为 5.9%，较 2010 年下降了 0.63 个百分点，整体呈现下降趋势。2014 年以后，配电网节能政策出台较为密集，在此背景下，线损率有较大幅度下降，2014-2019 年线损率下降了 1.1 个百分点。与日本、德国、韩国等国相比，我国电网线路损失率仍处于较高水平。2019 年我国全社会用电量为 72255 亿千瓦时，线损电量超过 3100 亿千瓦时，占全社会用量的比重达到 4.3%。而日本、韩国、德国平均线损率于 2012 年已达到 4.12%，相比日、韩、德三国，我国电网的输配电效率还有较大提升空间。

图 40：线损率自 2014 年开始降幅较大



资料来源：Wind、天风证券研究所

图 41：各国线损率水平



资料来源：中电联、天风证券研究所

注：中国线损率为 2019 年数据，日本、韩国、德国线损率为 2012 年数据

配网节能业务行业空间超 400 亿/年。2012 年日韩德三国平均线损率为 4.12%，2019 年我国线损率为 5.9%，线损率仍具备下降空间，但由于线路损失率除受到电网技术水平和管理水平影响外，还与电网距离、资源与负荷分布均衡度等有关，考虑到我国国土面积大、远距离输电线路较多的情况，预计我国线损率未来可以达到 4.12% 的水平。

由于配电网节能业务主要根据节能电量以及合同约定效益分享比例获取收入来源，假设国网售电量、售电价格等不变，预计未来我国配电网节能市场空间可以到达 459.0 亿/年。

表 19：配电网节能市场空间测算过程

配电网节能行业整体市场空间测算

2019 年国家电网售电量（万亿千瓦时）	4.45
2019 年线损率（%）	5.90%
2018 年平均销售电价（元/度）	0.61
2012 年日本、韩国、德国平均线损率（%）	4.12%
目标线损率（%）	4.12%
线损率预计提升空间（%）	1.78%
节省电量（万千瓦时）	792.10
节省收益（亿/年）	483.18
节能收益分享比例（%）	95.00%
配电网节能市场空间（亿/年）	459.0

资料来源：Wind、公司官网、中电联、天风证券研究所

碳中和愿景下，能源结构转型加速，电力部门节能减排任务加重，客观条件决定了全国性的清洁能源资源优化配置平台建设的必然性与降低配电网损失率的必要性。我们认为，未来电网有望通过能源互联网实现自动化、信息化，提高资源配置效果，优化清洁能源配置，“新基建”相关政策与国家电网投资规模的增长将推进电力物联网与配电网节能行业市场空间增长，叠加行业技术逐步成熟、配电网线损率下降等因素，电力物联网与配电网节能相关企业资产价值面临重估。建议关注电力物联网企业【国网信通】、配电网节能企业【涪陵电力】等。

5. 风险提示

政策推进不及预期：碳中和背景下国家大力发展新能源产业，相关利好政策为行业提供了发展动力，若政策推进较慢，企业项目拓展将受到一定影响。

补贴兑付节奏大幅放缓：近年来，国内新能源项目发展迅速，政府补贴资金压力大，结算周期较长，从而导致补贴电价部分收入回收较慢，对企业现金流产生一定影响。

行业技术进步放缓：技术提升可进一步驱动风电、光伏发电成本下降，若技术进步放缓，企业盈利能力将受到一定影响。

行业竞争加剧：碳中和背景下行业景气有望保持，预计会有越来越多的企业进入光伏、风电发电领域，行业竞争可能加剧。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。天风证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到天风证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的 6 个月内，相对同期沪深 300 指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益 20%以上
		增持	预期股价相对收益 10%-20%
		持有	预期股价相对收益 -10%-10%
		卖出	预期股价相对收益 -10%以下
行业投资评级	自报告日后的 6 个月内，相对同期沪深 300 指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅 5%以上
		中性	预期行业指数涨幅 -5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅 -5%以下

天风证券研究

北京	武汉	上海	深圳
北京市西城区佟麟阁路 36 号	湖北武汉市武昌区中南路 99	上海市浦东新区兰花路 333	深圳市福田区益田路 5033 号
邮编：100031	号保利广场 A 座 37 楼	号 333 世纪大厦 20 楼	平安金融中心 71 楼
邮箱：research@tfzq.com	邮编：430071	邮编：201204	邮编：518000
	电话：(8627)-87618889	电话：(8621)-68815388	电话：(86755)-23915663
	传真：(8627)-87618863	传真：(8621)-68812910	传真：(86755)-82571995
	邮箱：research@tfzq.com	邮箱：research@tfzq.com	邮箱：research@tfzq.com