

中国经济高质量发展系列研究

数字经济：新能源需求新解法，技术赋能孵化新业态



电新组分析师：周然

分析师助理：段尚昌、黄林

数字经济：新能源需求新解法，技术赋能孵化新业态

核心观点

- **数字经济加速能源革命，技术赋能智能泛在电力系统。**数字经济引领新质生产力，打造经济新动能。数字经济范式升级五大方向之一即为“从高能耗到绿色低碳”。数字经济将有效撬动大规模的风/光/储能装机需求以及电网等配套基础设施的发展。智能能源互联网有望催生出新技术、新业态、新领域。
- **数字经济作为新能源需求新解法，助力过剩产能出清。**高基数下，我们预计今年新能源装机以及锂电池需求增速或下滑，行业进入供过于求新常态，产能利用率下滑明显，企业盈利严重承压。数字经济有望激发海量绿电需求，开辟新能源发展新时代。我们搭建了“数据中心-电力系统需求模型”，测算出2026-2030年，仅为满足数据中心耗电需求催生的光伏、风电年均新增装机可达64GW、28GW，2031-2035年升至137GW、60GW；风光装机带动储能配套，截至2030年、2035年，预计储能累计新增装机可达350.9GWh、1,926.6GWh，有效消化光伏锂电行业过剩产能。
- **“云大物移智链边”数字技术守护智能能源星辰大海。**数字技术深度赋能，助力能源体系升级变革。智能能源互联网是数字经济重要基础设施，能源互联网升级撬动万亿基建投资，智能设备升级大有可为。智慧电网提升互联互通和全息感知能力，在状态感知、诊断、巡检方面加速输电网数字化进程。作为用电信息和能源分配末端设备，智能电表从双向计量走向多向互动，实时监测电网运行状态，双芯、多模块发展提升终端兼容性和可扩展性，助力万物互联。
- **数字革命和能源革命深度融合，构建能源互联网新业态，壮大经济增长新动能：**1) **绿证与碳交易市场**，绿证是一种可交易的、能兑现为货币的凭证，价值或加速兑现，发展前景广阔。区块链技术去中心化、分布式记账、可溯源、加密防篡改等特点，可以有效解决绿证交易过程中的各种痛点问题；2) **虚拟电厂**，算力是虚拟电厂技术的真正内涵。在欧美发达国家，虚拟电厂已发展得较为成熟，调节形式多样有效。我国目前虚拟电厂的盈利模式主要来源于响应补贴；3) **功率预测**，新能源发电功率预测是电力调控和管理的刚需，准确率考核趋严。AI技术通过模型输入、模型构建和参数优化应用于新能源功率预测领域，有效提高功率预测准确性；4) **数字孪生**，得益于物联网、大数据、云计算等技术的发展，数字孪生技术对复杂系统的仿真、分析、预测能力已远超传统解决方案。目前在特高压输电领域、变电领域、配电领域已有广泛应用。
- **能源携手 AGI 走向全面智能时代。**2022年以大语言模型为核心的 ChatGPT 发布，开启通用人工智能（AGI）元年。AGI 系统将具备理解、展示知识、学习、规划、推理、决策等多种复杂能力，在智能能源体系建设过程中展现出非凡的优势和广阔的应用前景。
- **四大受益领域市场分析及投资建议：**1) **特高压**正值投资高峰期，柔性直流潜力大；2) **智能电表**享海内外双增长红利；3) **储能**维持高景气度，看好独立储能、长时储能广阔空间；4) **智能电网**信息化数字化孕育蓝海市场：目前虚拟电厂以负荷型为主，我们更看好电源型或混合型，预计2025年我国电源型虚拟电厂市场空间200亿元；功率预测市场空间可期，集中度高，AI提高准确性；数据、模型、平台是我国电网数字孪生面临的最大挑战。

分析师

首席电新分析师：周然 S0130514020001

研究助理：

段尚昌、黄林

风险提示

- 1、市场可能存在的风险；
- 2、技术发展演变不及预期的风险；
- 3、行业政策不及预期的风险；
- 4、需求下滑或消纳能力不足的风险；
- 5、对政策理解不到位的风险；
- 6、海外政局动荡、海外贸易环境恶化带来的政策风险。

目录

一、数字经济加速能源革命，技术赋能智能泛在电力系统.....	2
二、新能源需求新解法，数字经济助力产能出清.....	5
（一）需求换挡、产能过剩、利润承压，新能源遇难题.....	5
（二）数字经济激发海量绿电需求，风光网储直接受益.....	7
1、“天时地利人和”开启数字经济绿色低碳之路.....	9
2、储能保障能源高质量供给，护航数字经济高速发展.....	12
三、数字技术赋能能源体系，全面打造智能能源互联网.....	15
（一）“云大物移智链边”数字技术守护智能能源星辰大海.....	15
（二）智慧电网提升互联互通和全息感知能力.....	21
（三）智能电表从双向计量走向多向互动，助力万物互联.....	23
（四）数字革命和能源革命深度融合，孵化新模式、新业态、新动能.....	27
1、深度赋能应用场景之一：绿证与碳交易市场.....	27
2、深度赋能应用场景之二：虚拟电厂.....	30
3、深度赋能应用场景之三：功率预测.....	34
4、深度赋能应用场景之四：数字孪生.....	37
（五）能源携手 AGI 走向全面智能时代.....	39
四、受益领域市场分析及投资建议.....	42
（一）特高压正值投资高峰期，柔直潜力大.....	42
（二）智能电表享海内外双增长红利.....	46
（三）储能高景气度维持，看好长储广阔空间.....	50
（四）智能电网信息化数字化孕育蓝海市场.....	58
五、风险提示.....	61

一、数字经济加速能源革命，技术赋能智能泛在电力系统

当前中国经济处于增长动能切换、结构调整阵痛时期，三项突出矛盾亟待解决：1) 房地产加速调整形成的增长缺口；2) 服务业比重上升与生产效率提升过慢形成的“鲍莫尔病”；3) 人口老龄化程度加深引发的一系列问题。**解决以上问题，需要寻找到重新激发经济增长的新引擎——新质生产力。**2023年9月习总书记首提新质生产力，2024年1月中共中央政治局第十一次集体学习上习总书记再次明确“发展新质生产力是推动高质量发展的内在要求和重要着力点”，必须“推动新质生产力加快发展”。

数字经济引领新质生产力，打造经济新动能。新质生产力是由技术革命性突破、生产要素创新性配置、产业深度转型升级而催生的当代先进生产力，其核心要素为科技创新，而以人工智能、大模型、大数据等为代表的数字技术是当下乃至未来数年内最前沿、发展速度最快、影响范围最广的科技变革之一。银河研究院于2024年1月26日发布《数字经济：引领新质生产力，打造经济新动能》深度研究报告，报告明确阐述了在快速发展的数字技术引领下，**数字经济将成为未来 GDP 增长的主要驱动力。**2023年中央经济工作会议提出2024年重点工作任务的首位是“以科技创新引领现代化产业体系建设”，其中数字经济又排列首位，近5年重视程度逐年上升，强调“要大力推进新型工业化，发展数字经济，加快推动人工智能发展”、“广泛应用数智技术，加快传统产业转型升级”等。

目前，我国数字经济规模增速连续11年高于名义GDP增速，一旦人工智能等数字技术实现重大突破并快速渗透，数字经济的增长速度将进一步加快。同时随着数字技术加快对传统行业赋能，整体全要素生产率也将进一步提升。《数字经济：引领新质生产力，打造经济新动能》提出，按照总量法测算，中国数字经济占GDP比重到2030年/2035年将分别达到59.73%/71.60%，新动能实现反超。**在数字技术与实体经济深度融合下，产业数字化规模将持续占主导地位。**

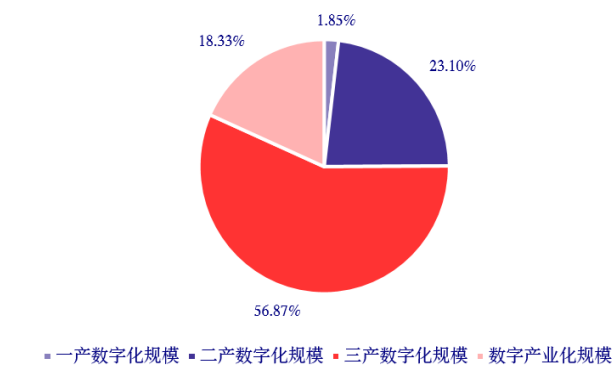
图 1：中国数字经济占 GDP 比重预计 2035 年可达 71.60%



资料来源：信通院，中国银河证券研究院

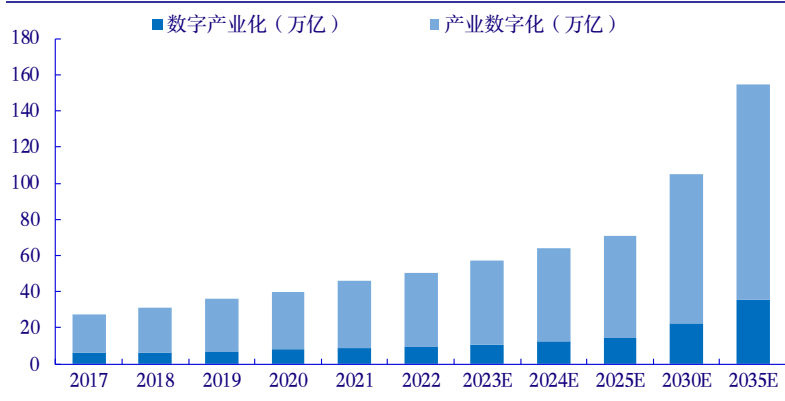
图 2：数字经济分类占比（信通院数据口径）

2022年数字经济规模占比：数字产业化vs.三二一产数字化



资料来源：信通院，中国银河证券研究院

图 3：中国数字产业化和产业数字化规模预测



资料来源：信通院，中国银河证券研究院

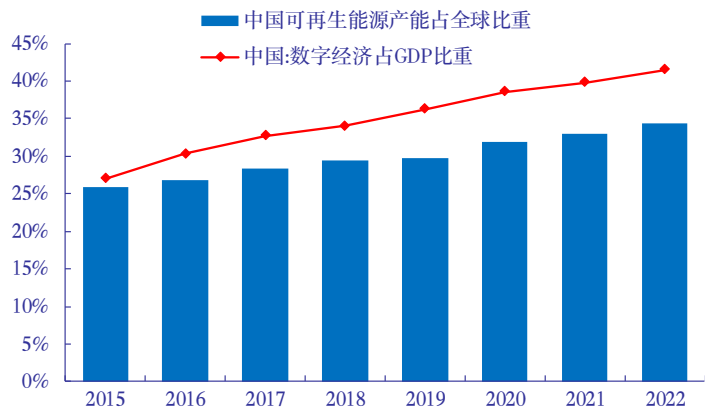
数字经济是典型的大国经济，其三大基础要素为数据、算力和算法。我国已在数据和算力两个维度取得了明显的优势。首先，中国具有庞大的人口基数，互联网渗透率也明显领先世界。第二，得益于新型举国体制下的统筹发展能力和强大生产力优势，中国已具有较强的算力综合供给能力：1) 算力设施布局方面，我国深入实施“东数西算”工程，统筹利用政府力量及市场机制建设全国一体化算力网体系，跨地域、跨部门协同发展；2) 算力关键技术研发方面，尽管近年美国技术封锁不断升级，但中国发挥新型举国体制优势，集中力量攻克核心技术“卡脖子”难题，统筹规划重点布局，推动集成电路产业高质量发展；3) 算力能源供应方面，算力具有高耗能属性，对能源供给能力有较高要求，同时考虑“双碳”目标，可再生能源将成为数字经济发展的基石。

图 4：“东数西算”全国布局图



资料来源：澎湃新闻，中国银河证券研究院

图 5：中国可再生能源和数字经济占比



资料来源：Wind，中国银河证券研究院

《数字经济：引领新质生产力，打造经济新动能》提出数字经济范式升级五大方向，其中之一“从高能耗到绿色低碳”与新能源、电力设备等行业密切相关，是研究数字技术与其他行业深度融合、战略性新兴产业数字化转型等趋势的重要抓手。数字经济对于能源产业提出了更高的要求，一方面技术飞速发展催生了海量的电力能源消耗，另一方面体现在整个电力能源系统的安全性、稳定性、可控性、信息化、智能化、互通互联等。

数字经济依赖人工智能大模型计算、5G 高速通信等技术驱动，大型数据中心、5G 基站等新基建规模将迅速爆发，均以电力作为直接能源，未来电力需求将不可限量。根据学术平台 Nature 文章一份研究报告，由生成式人工智能驱动搜索消耗的能源是传统网络搜索的四到五倍。OpenAI 创始人 Altman 于 2024 年世界经济论坛上亦表示，智能算力与能源将成为未来世界两大基础货币，而高耗能的人工智能行业有可能引起一轮能源危机。

因此我们认为数字经济将有效撬动大规模的风/光/储能装机需求以及电网等配套基础设施的发展，有助于消化过剩产能。仅以数据中心为例，银河研究院计算机组预测，2030 年中国数据中心用电量约 1.27 万亿 kWh，占据中国总用电量的比重为 9.8%，全球数据中心用电量 2.71 万亿 kWh，占据全球总用电量的比重为 8.0%；2035 年中国数据中心用电量约 2.9 万亿 kWh，占据中国总用电量的比重为 17.57%，全球数据中心用电量 6.19 万亿 kWh，占据全球总用电量的比重为 15.8%。

表 1：中国数据中心用电量占比预测（至 2035 年）

	2022	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	2031E	2032E	2033E	2034E	2035E
中国用电量（万亿 kwh）	8.64	9.2	9.7	10.1	10.7	11.2	11.7	12.3	12.9	13.6	14.3	15.0	15.7	16.5
增速		6.48%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
数据中心用电量（万亿 kwh）	0.27	0.34	0.42	0.51	0.61	0.74	0.88	1.06	1.27	1.52	1.83	2.20	2.52	2.90
增速		25%	23%	23%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	15%	15%
占总用电量比	3.13%	3.67%	4.30%	5.03%	5.75%	6.58%	7.51%	8.59%	9.81%	11.22%	12.82%	14.65%	16.05%	17.57%

资料来源：国际能源署，国网能源研究院，中国银河证券研究院

表 2：全球数据中心用电量占比预测（至 2035 年）

	2022	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	2031E	2032E	2033E	2034E	2035E
全球用电量（万亿 kwh）	26.8	27.5	28.3	29.2	30.0	30.9	31.9	32.8	33.8	34.8	35.9	37.0	38.1	39.2
增速	2%	2.60%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%	3.00%
数据中心用电量（万亿 kwh）	0.3	0.36	0.48	0.65	0.88	1.19	1.60	2.08	2.71	3.25	3.90	4.68	5.38	6.19
增速		19.15%	35%	35%	35%	35%	35%	30%	30%	20%	20%	20%	15%	15%
占总用电量比	1.12%	1.30%	1.70%	2.23%	2.93%	3.84%	5.03%	6.35%	8.01%	9.33%	10.87%	12.67%	14.14%	15.79%

资料来源：国际能源署，国网能源研究院，中国银河证券研究院

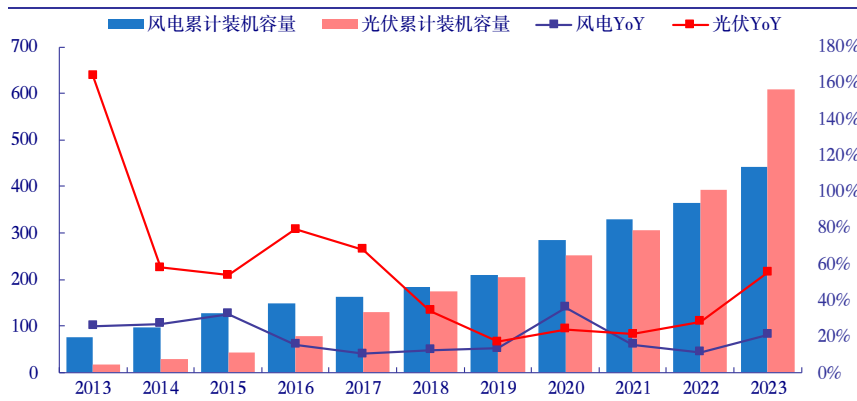
传统电力系统无法负担日益增长的电力需求，高比例的可再生能源、分布式能源接入以及用电峰谷的拉大也对能源供应的稳定性、安全性造成了巨大挑战，主要原因就是规模+系统复杂性指数级增长。而数字技术作为新质生产力，可以应用于各个能源领域，高效处理海量数据，实时监控、识别、分析、预测系统发展模式和趋势，实现强大的决策、资源调度等能力等。数字技术与现代能源体系的深度融合，横向上有助于实现电、气、热、可再生能源等多元互补，纵向上有助于实现“源网荷储”各环节高度协调的能源服务网络。我们认为在数字经济高速发展的大背景下，**智能能源互联网有望催生出一系列新技术、新业态、新领域等**，在重塑能源生产的同时创造新需求，能源领域迎来新一轮的高速增长。

二、新能源需求新解法，数字经济助力产能出清

（一）需求换挡、产能过剩、利润承压，新能源遇难题

我国新能源产业发展硕果累累。自 2005 年起，我国新能源行业在政策引导下开始进入增长快车道，近 20 年的高速发展塑造了全球领先的新能源产业。装机容量方面，根据国家能源局统计，截至 2023 年，中国风光累计装机容量分别达到 441GW、609GW，合计占全社会总装机的比重为 36%，2023 年合计发电量达到 1.1 万亿千瓦时，产能产量均处于世界第一。产业布局方面，我国拥有最完备的产业链，产业规模也是领先世界。技术和产品应用方面，国内头部企业多次创下世界纪录，无论是材料、制造技术还是装备水平方面国内均处领先地位，在全球范围拥有巨大的市场份额和影响力。但是目前我国新能源产业面临增长瓶颈、产能过剩等问题。

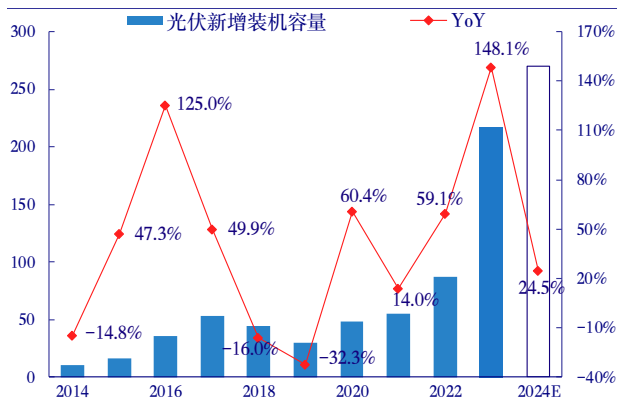
图 6：2012 年-2023 年中国风电、光伏累计装机容量（单位：GW）



资料来源：国家能源局，Wind，国际能源署，中国银河证券研究院

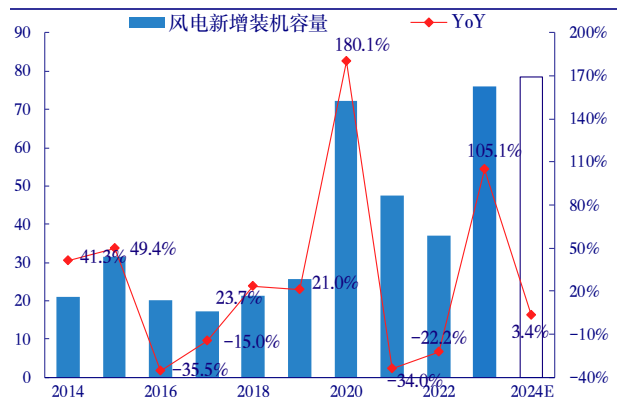
高基数下新能源装机需求增速恐下滑。受益于产业链价格下降、招标量兑现等因素，2023 年我国风光新能源装机取得亮眼成绩。据能源局统计，2023 年风电、光伏装机分别达到 75.9GW、216.88GW，同比增速高达 105.1%、148.1%。在高基数加持下，叠加部分省市出现电网容量受限等因素，市场普遍预期 2024 年风光装机增速或下台阶，如果未来没有明显新增需求刺激，预期将持续走弱。

图 7：光伏新增装机容量预测（单位：GW）



资料来源：国家能源局，中国银河证券研究院

图 8：风电新增装机容量预测（单位：GW）

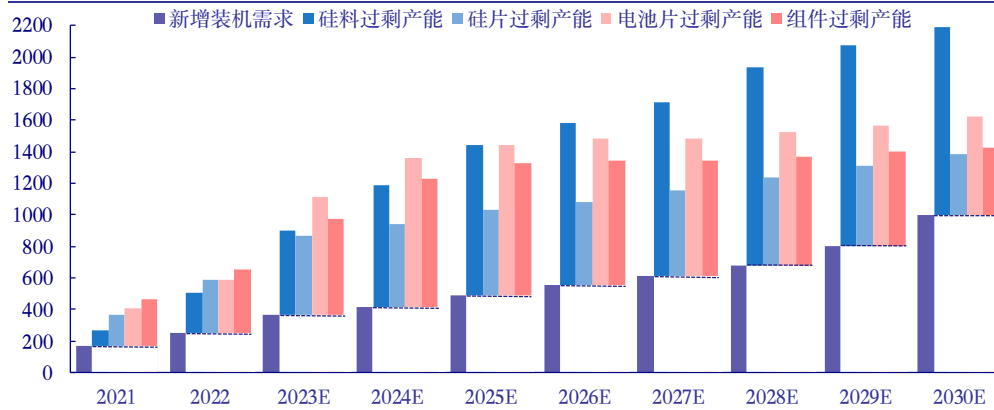


资料来源：国家能源局，中国银河证券研究院

新能源行业进入供过于求新常态。以光伏为例，近年在全球装机持续攀升的带动下，全产业链景气度高涨，光伏头部企业为匹配终端需求、抢占市场份额，产能加速扩张。较高的盈利能力以及相对较低的进入门槛也吸引了众多跨界玩家布局。据 PVinfolink 统计，2023 年底硅料、硅片、

电池片、组件产能或将分别达到 900GW、860GW、1,110GW、970GW，约等于 2023 年全球总装机需求的 2.4 倍-3.1 倍；2024 年底硅料、硅片、电池片、组件产能或将分别达到 1,180GW、940GW、1,360GW、1,220GW，约等于 2024 年的 2.3 倍-3.3 倍。至 2030 年，四个主环节需求倍数范围为 1.4-2.2 倍。

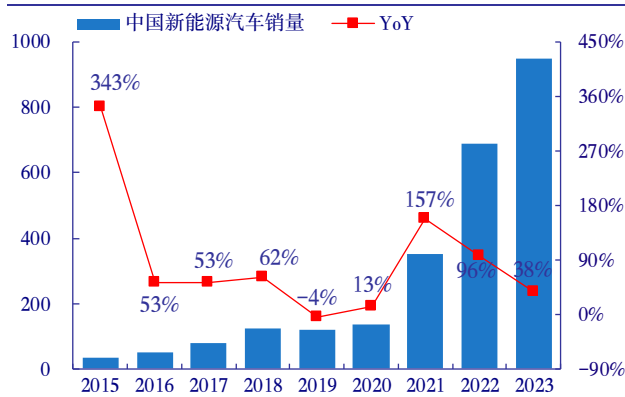
图 9：光伏行业主产业链各环节产能预测（均折算单位：GW）



资料来源：PVinfolink，中国银河证券研究院

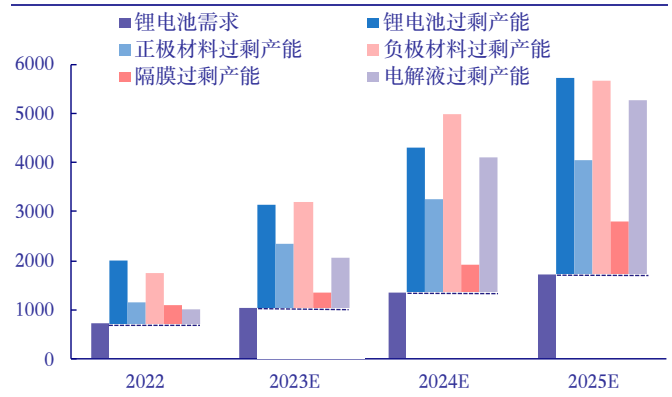
锂电方面，全球电动化支撑动力电池需求强劲，2023 年国内新能源车销量达到 949.5 万辆，同比增长 37.9%，渗透率创下 35.7% 的历史新高。叠加储能迎来大发展，带动锂电池行业快速增长，国内企业纷纷扩产。2023 年我国锂电池出货量达到 886 GWh，同比增长 35%。在国家产业保护政策支持下，海外锂电企业也在大举扩张。上海有色网 SMM 预测，2023 年、2024 年、2025 年全球锂电池产能有望达到 3100GWh、4300GWh、5700GWh，约是需求倍数的 3.1 倍、3.2 倍、3.3 倍。中国锂电产能增速降低但规模处于绝对优势，欧美产能或将在 2025 年左右集中释放。我们统计了国内四大主材 CR10 产能规划，各环节均达到需求的 1.3 倍以上。

图 10：我国新能源汽车销量（单位：万辆）



资料来源：中汽协，中国银河证券研究院

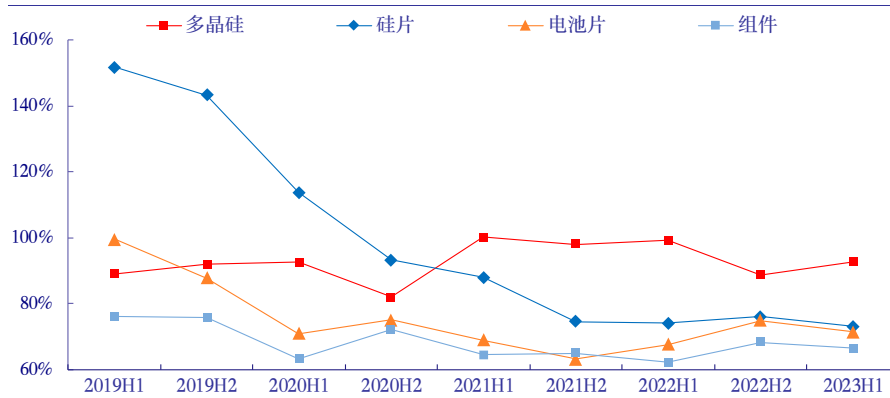
图 11：锂电产业链扩产规模（均折算单位：GWh）



资料来源：SMM，公司公告，中国银河证券研究院

产能迅速扩张导致利用率下滑。我国新能源产业经历了产能“军备竞赛”式扩张，新增产能投放后，如果需求增长不及预期，企业为了控制成本、降低库存将压低产能利用率。与此同时，由于存在产能结构差异，技术变革将加速老旧产能的出清，产能利用率进一步下滑。以光伏主产业链为例，我们统计了 2019 年-2023 年上半年以来各环节产能利用率，结果显示硅片、电池片、组件环节均出现了较明显的下滑趋势。而多晶硅环节由于产能建设期、爬坡期较长，产能利用率变化在该时段内并不明显。

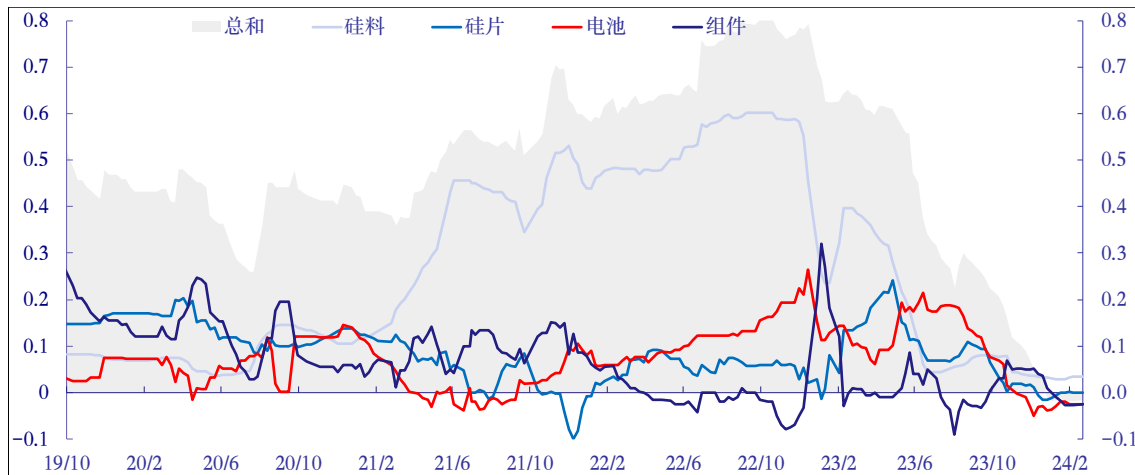
图 12: 光伏行业主产业链各环节产能利用率情况



资料来源: Solarzoom, CPIA, 中国银河证券研究院

行业盈利严重承压。供过于求一方面造成产业链价格大幅下滑, 另一方面催生激烈市场竞争, 企业盈利能力大幅受挫。以光伏产业为例, 据 Solarzoom 测算, 2024 年 2 月 22 日光伏主产业链总毛利润跌至-0.02 元/W, 同比大幅下滑 103%; 其中电池、组件环节毛利润下滑至-0.03 元/W、-0.02 元/W。虽然光伏全产业链价格“跌跌不休”, 但中游制造环节并未留存住上游释放出来的利润, 反而盈利空间在慢慢缩小。

图 13: 光伏行业主产业链各环节毛利(单位: 元/W)



资料来源: PVinfolink, 中国银河证券研究院

数字经济开辟新能源发展新时代。行业当前位于周期底部, 存在增速下台阶、产能过剩、盈利下滑等问题, 企业面临较为剧烈的出清压力。在 2023 年中央经济工作会议等大会中“新能源”出现频次明显降低, 市场对政策驱动的预期也偏弱。我们认为, 数字经济的爆发将会给新能源相关产业提供显著驱动力, 成为新能源需求新解法: 一方面数字经济新基建可撬动高强度投资, 另一方面新科技赋能可大幅提升生产效率、创造更大的市场空间。

(二) 数字经济激发海量绿电需求, 风光网储直接受益

数字经济加速电气化, 连锁释放海量电力需求。电气化进程可直观理解为能源消费中电力所占比例, 数字经济为其带来巨大驱动力: 1) 推进数字产业化会加快数据中心、5G 基站等新基建投资, 将直接提升终端用能中电力消费的占比; 2) 在产业数字化以及数字化治理中, 数字技术(智能网联、人工智能)将赋能工业制造、建筑、交通运输等诸多产业, 数字化/智能化将带来生产效率及用电量的双升; 3) 政府、居民生活用电也将随着数字化/智能化推进而进一步提高。我们认为, 数字经济与电气化高度契合, 数字经济的爆发将为电力需求带来显著增量。

以数据中心这一基础建设为例，我们测算了数字经济爆发后，仅仅由于数据中心所产生的对于中国风光装机、电网特高压配套以及储能装机的带动需求。原始输入项——数据中心基础用电量数据，是基于银河研究院于 2024 年 1 月 26 日发布《数字经济：引领新质生产力，打造经济新动能》深度研究报告中的测算模型。以 2024 年为新增装机起始年份，经过一系列关键假设的数据推演，**我们测算出每年仅靠数据中心即可贡献可观的新增装机容量以及配套电网需求，光伏、锂电等新能源制造过剩产能有望得到有效消化：**1) **风光装机方面**，截至 2025 年、2030 年、2035 年，我们预计光伏累计新增装机需求可达到 73GW、392GW、1,078GW，风电累计新增装机需求可达到 32GW、171GW、469GW。2026-2030 年，仅为满足数据中心耗电需求催生的光伏、风电年均新增装机容量可达到 64GW、28GW，2031-2035 年光伏、风电年均新增装机将升至 137GW、60GW；2) **储能方面**，风光装机带动配套储能需求，截至 2025 年、2030 年、2035 年，我们预计储能累计新增装机需求可达到 20.9GWh、350.9GWh、1926.6GWh；3) **电网基础设施建设方面**，截至 2025 年、2030 年、2035 年，我们预计数字中心带动的特高压直流投资额分别为 1,957 亿元、8,145 亿元、16,454 亿元。

表 3：数据中心-电力系统需求模型

	单位	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	2031E	2032E	2033E	2034E	2035E
数据中心用电量	万亿千瓦时	0.42	0.51	0.61	0.74	0.88	1.06	1.27	1.52	1.83	2.20	2.52	2.90
光伏贡献率		60.0%	60.0%	60.0%	60.0%	60.0%	60.0%	60.0%	60.0%	60.0%	60.0%	60.0%	60.0%
光伏发电量	万亿千瓦时	0.05	0.06	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.18	0.22	0.20	0.23
光伏平均利用小时数	小时	1453	1453	1453	1453	1453	1453	1453	1453	1453	1453	1453	1453
光伏利用率		98.3%	98.3%	98.3%	98.3%	98.3%	98.3%	98.3%	98.3%	98.3%	98.3%	98.3%	98.3%
光伏新增装机需求	GW	33	40	43	51	62	74	89	107	128	154	138	159
光伏累计新增装机需求	GW	33	73	116	167	229	303	392	499	627	781	919	1078
风电贡献率		40.0%	40.0%	40.0%	40.0%	40.0%	40.0%	40.0%	40.0%	40.0%	40.0%	40.0%	40.0%
风电发电量	万亿千瓦时	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.12	0.15	0.13	0.15
风电平均利用小时数	小时	2259	2259	2259	2259	2259	2259	2259	2259	2259	2259	2259	2259
风电利用率		96.8%	96.8%	96.8%	96.8%	96.8%	96.8%	96.8%	96.8%	96.8%	96.8%	96.8%	96.8%
风电新增装机需求	GW	14	17	19	22	27	32	39	46	56	67	60	69
风电累计新增装机需求	GW	14	32	50	73	100	132	171	217	273	340	400	469
风光外送比例		75.0%	75.0%	60.0%	60.0%	60.0%	60.0%	60.0%	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
风光外送容量	GW	35	43	37	44	53	64	77	77	92	110	99	114
单条特高压直流输送	GW	10	10	10	10	10	10	10	12	12	12	12	12
新增特高压直流	条	3.5	4.3	3.7	4.4	5.3	6.4	7.7	6.4	7.7	9.2	8.3	9.5
单条投资额	亿	250	250	225	225	225	225	225	203	203	203	203	203
新增特高压投资额	亿	878	1080	831	998	1197	1437	1724	1293	1552	1862	1676	1927
累计新增特高压投资额	亿	878	1957	2789	3787	4984	6421	8145	9438	10989	12851	14527	16454
储能配比		20.0%	20.0%	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%	30.0%	40.0%	40.0%	40.0%	40.0%	40.0%
储能时长	小时	4	4	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8
储能新增装机需求	GWh	9.4	11.5	44.3	53.2	63.9	76.6	92.0	245.2	294.2	353.1	317.8	365.5
储能累计新增装机需求	GWh	9.4	20.9	65.2	118.4	182.3	258.9	350.9	596.1	890.3	1243.4	1561.2	1926.6

资料来源：国家能源局，中国银河证券研究院

下面我们将逐一展开说明该“数据中心-电力系统需求模型”中涉及的关键假设条件以及主要推演逻辑。

1、“天时地利人和”开启数字经济绿色低碳之路

政策指明绿色低碳乃大势所趋。2023年12月25日，国家发改委、工信部、能源局等五部门联合印发了《深入实施“东数西算”工程加快构建全国一体化算力网的实施意见》，明确提出2025年底，算力电力双向协同机制初步形成，**国家枢纽节点新建数据中心绿电占比需要超过80%**，为数据中心供能用电划出清晰的准线。2024年1月，中共中央政治局第十一次集体学习中习总书记再次强调“**绿色发展是高质量发展的底色，新质生产力本身就是绿色生产力**”，数字经济作为最重要的新质生产力，绿色低碳是必经之路。全球市场以欧盟为例，《欧洲数字战略》、《塑造欧洲的数字未来》明确提出数据中心2030年前要实现气候中性。我们认为数字经济直接带来的能耗体量庞大，在双碳目标指挥棒下，全球各国顶层设计持续完善，数字经济协、绿色经济协同融合发展的方向已成为明确趋势，数字经济爆发将同步带动以风光为主的可再生能源持续发展。

表 4：国内部分发展绿色数字经济相关的政策

名称	时间	相关内容
《工业和信息化部关于进一步加强通信业节能减排工作的指导意见》	2013.2	节能减排技术应用；信息化与工业化融合；新建数据中心能效效率控制；共建共享；新能源和可再生能源应用
《信息通信行业发展规划(2016-2020年)》	2016.12	节能技术广泛应用，高耗能网络设备大规模减少，形成完善的绿色评价体系和机制，达到与生态文明建设相适应的行业绿色发展水平
《关于加强绿色数据中心建设的指导意见》	2019.2	新建数据中心绿色设计和采购、在用数据中心改造升级、绿色技术产品创新推广、绿色支撑服务能力建设等
《建立健全绿色低碳循环发展经济体系指导意见》	2021.3	加快信息服务业绿色转型，做好大中型数据中心、网络机房绿色建设和改造，建立绿色运营维护体系
《新型数据中心发展三年行动计划》	2021.7	加快先进绿色技术产品应用、持续提升高效清洁能源利用水平、优化绿色管理能打
《“十四五”信息通信行业发展规划》	2021.7	统筹布局绿色智能的数据与算力基础设施，持续提高数据中心绿色发展水平，推进行业节能减排和绿色发展
《算力基础设施高质量发展行动计划》	2023.10	全面提升算力设施能源利用效率和算力碳效水平
《深入实施“东数西算”工程加快构建全国一体化算力网的实施意见》	2023.12	2025年底，算力电力双向协同机制初步形成，国家枢纽节点新建数据中心绿电占比超过80%。支持国家枢纽节点地区利用“源网荷储”等新型电力系统模式。

资料来源：中国信通院，国家发改委，工信部，能源局，中国银河证券研究院

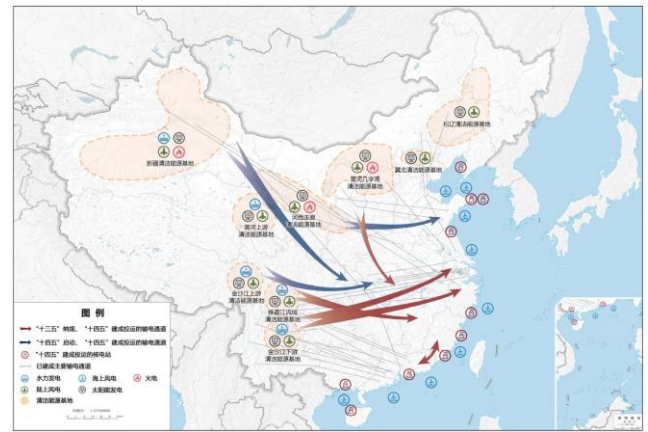
政策协同布局“算力+新能源”，西北数据中心与风光大基地相得益彰。2022年《以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地规划布局方案》提出，到2030年规划建设风光基地总装机455GW，目前第一批已全面开工，部分已建成投产，第二批项目清单已印发，第三批项目清单已形成。从地理位置分布看，“十四五”大型清洁能源基地与西北地区数据中心枢纽基本场合：黄河几字湾/冀北基地匹配内蒙古/京津冀枢纽，黄河上游/河西走廊基地匹配宁夏/甘肃枢纽，金沙江上游/雅砻江流域/金沙江下游基地匹配成渝/贵州枢纽。我们认为“东数西算”持续推进将能有效缓解大基地的消纳压力，符合新能源就近消纳原则，提高新能源使用效率，降低电能使用成本。数字经济与集中式风光发电有望形成齐头并进之势，大基地建设进入加速期。

图 14：全国 8 大算力枢纽中心及 10 大数据中心集群



资料来源：澎湃新闻，中国银河证券研究院

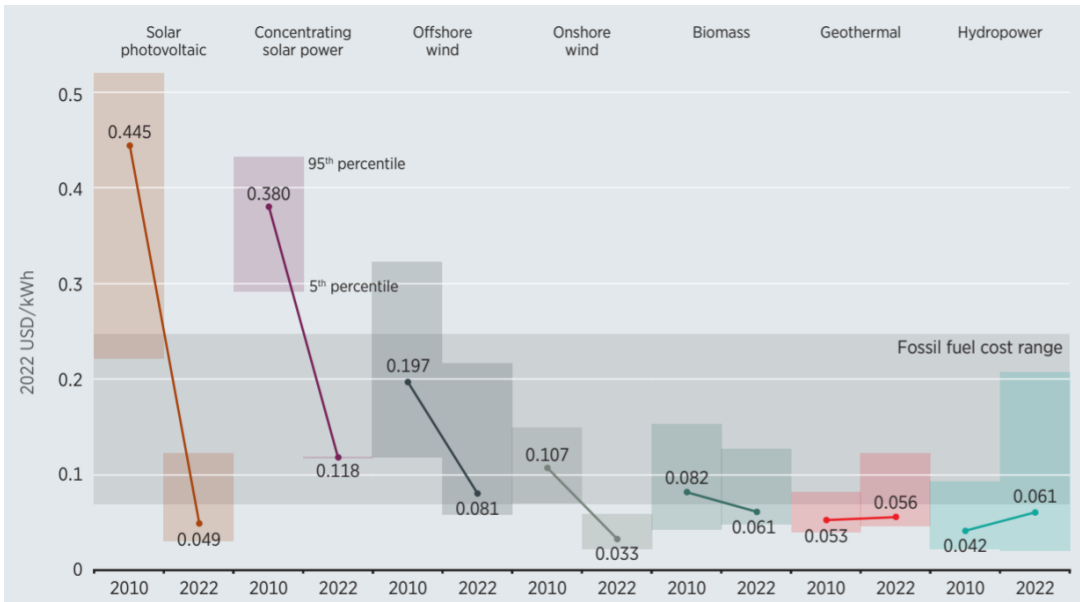
图 15：“十四五”大型清洁能源基地布局示意图



资料来源：新华社，中国银河证券研究院

全球风光 LCOE 快速下降，绿电经济性显现。平准化度电成本（LCOE）指项目生命周期内的成本和发电量按照一定折现率进行折现后，计算得到的发电成本，用来度量不同的能源项目发电成本水平。据国际可再生能源机构统计，受益于显著的产业规模效应以及技术创新，2010-2022 年之间，光伏、陆上风电、海上风电的 LCOE 分别下降了 89%、69%、59%。2022 年光伏 LCOE 已经达到 49 美元/MWh，约为海上风电 LCOE 的一半。下图中灰色条框地带为化石能源 LCOE 成本区间，可以很清晰地看到，2022 年可再生能源类型中，除了光热发电，光伏发电、海上风电、陆上风电、海上风电、生物质能、地热发电、水电均已低于化石能源 LCOE。在传统能源价格高位运行的背景下，以风光为代表的绿电成本已具备绝对优势，经济性凸显。

图 16：2010 年-2022 年可再生能源 LCOE 下降趋势



资料来源：国际可再生能源机构，中国银河证券研究院

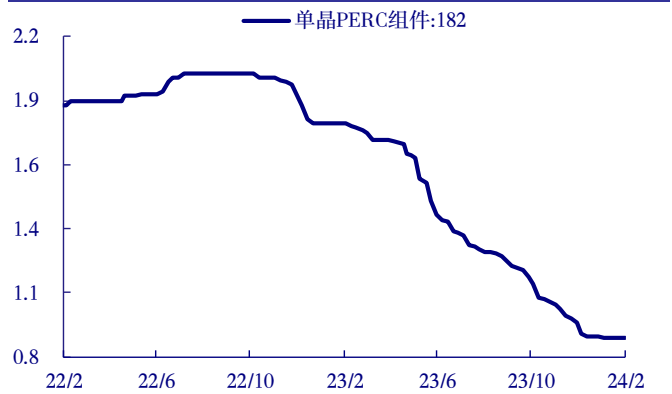
光伏产业链价格持续下跌，IRR 提升激发自建绿电项目热情。据 Solarzoom 统计，截至 2024 年 2 月 22 日，182 单面 PERC 组件价格已低至 0.9W/元，据光伏盒子测算，组件价格为 1.4 元/W 时全国平均光伏项目 IRR 为 7.76%（一般企业开发集中式光伏要求 IRR ≥ 6.5%），当前价格已完全满足开发经济性。而数据中心耗电量巨大，电能是数据中心最大成本项之一，电费支出占运营成本比例超过 50%。降本驱动下，数据中心运营商亦有动力自建光伏发电项目，将为光伏装机带来新增驱动力。

图 17: 截至 2024/2/21 硅料报价:特级致密料 (单位: 元/千克)



资料来源: Solarzoom, 中国银河证券研究院

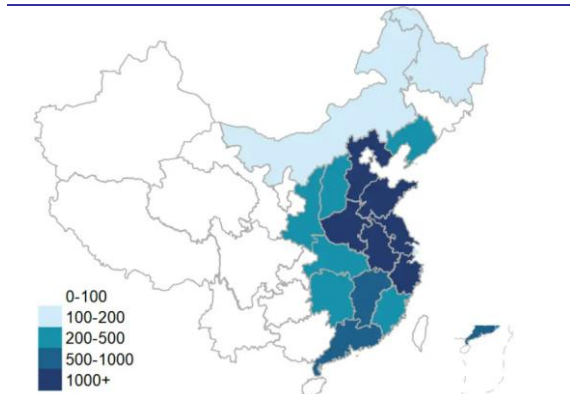
图 18: 截至 2024/2/21 一线厂商组件价 (单位: 元/W)



资料来源: Solarzoom, 中国银河证券研究院

数据中心分布式风光项目打造微电网典范。全国 8 大算力枢纽中心及 10 大数据中心集群主要集中在北部、中部、东南沿海地区。为降低网络延迟及数据传输成本,部分数据中心会优先选择在城市集群区域建设。而从绿电供应的角度看,中东部地区土地成本更高、人口/建筑密度大,更适宜发展分布式风光发电。为实现大型数据中心用电增长爬坡的高效稳定,避免对局部电网系统形成冲击,源网荷储一体化项目将成为绿色数据中心的最佳解法,微电网、虚拟电厂等新业态有望加速发展。2024 年 1 月 6 日,腾讯天津高新云数据中心分布式新能源微电网项目正式并网发电,该项目总装机容量 10.54MW。我们认为中东部地区数据中心是数字经济基建的重点之一,从而有效带动分布式风光发电装机实现新一轮高增。

图 19: 2022 年各省分布式光伏装机规模(单位: 万千瓦)



资料来源: 国家能源局, 中国银河证券研究院

图 20: 腾讯天津高新云数据中心分布式新能源微电网项目



资料来源: 新浪财经, 中国银河证券研究院

基于以上逻辑,对应我们的“数据中心-电力系统需求模型”中的假设包括:

1) 当前政策已提出“国家枢纽节点新建数据中心绿电占比超过 80%”的目标要求,我们认为在实现高质量发展的前提下,数据中心作为数字经济的最核心的设施,绿色低碳化将成为数字经济的用能标杆。综合考虑内蒙古、京津冀、宁夏、甘肃、云贵等地区建设新能源设施的自然禀赋,我们在模型中假设新建数据中心的能源供给全部来自于风力发电、光伏发电以及配套储能项目。

2) 在风光结构占比方面,尽管光伏装机已占据领先优势,但由于光伏利用小时数较低,最终发电量低于风电。2023 年风光累计装机容量分别达到 441.34GW、609.49GW,规模以上工业发电量分别为 8,090 亿千瓦时、2,940 亿千瓦时。考虑到装机条件上光伏优势远超其余发电形式,且随着储能技术的不断发展及经济性的体现,光伏贡献的发电量将显著提升并占据主体,我们假设数

据中心用电量 60%由光伏提供，40%由风电提供。另外，在模型中的光伏、风电平均利用小时数以及光伏、风电利用率，我们分别选取沿用了 2023 年全国实际生产发生数据。

3) 新增风光装机将由集中式和分布式组成，其中分布式装机满足就地消纳原则，而集中式装机主要为三北、西南等地区的风光大基地，由于规模大且远离负荷中心故有外送需求，则需要新建特高压电网线路提供远距离输电能力。目前国家对于特高压输电线路已有长远全局规划，不排除数据中心产生的远距离输电需求已囊括在现有规划中。此外，根据“十四五”规划，风光大基地外送比例达 75%，未来将呈现集中式分布式并举趋势。考虑到未来大型数据中心与风光大基地布局高度协同，待到西北、西南地区的国家算力枢纽节点大型数据中心逐步顺利投建，当地消纳比例将有所提升。因此我们假设新增风光外送比例在 2025 年前、2025-2030 年、2030-2035 年分别为 75%、60%、50%。

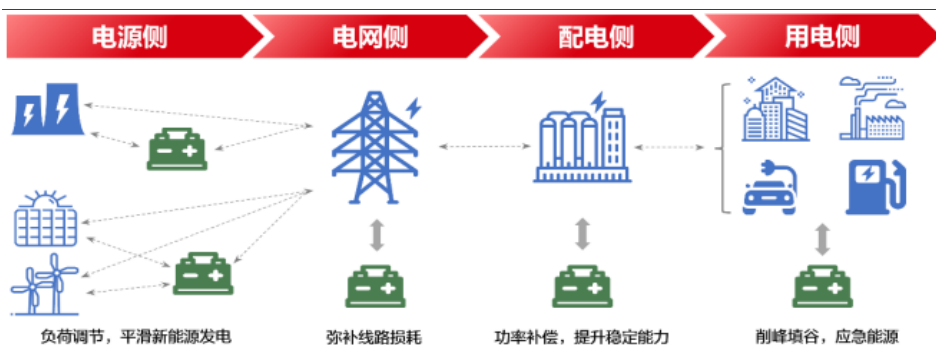
4) 常规特高压直流外送绿电的能力受限于功率调节能力，输送绿电时往往需要煤电配套，而煤电挤占了输送空间。未来柔直技术有望实现功率灵活调节，储能等大容量的调节电源比例有望逐步提升。我们预计未来特高压外送能力将持续提升，我们假设单条特高压直流输电能力在 2030 年前为 10GW，2030 年后为 12GW。同时，考虑到柔性直流新技术规模应用和核心设备 IGBT 国产化替代进程，单条特高压建设成本有望逐渐下降，我们假设单条特高压建设成本在 2025 年前、2025-2030 年、2030-2035 年分别为 250 亿、225 亿、203 亿。此外，特高压直流一般为电网输送主干道，特高压交流属于局部网络支撑配套体系，我们仅预测了数据中心拉动特高压直流建设情况，对于特高压交流未做单独预测。

2、储能保障能源高质量供给，护航数字经济高速发展

大比例新能源发电会对能源体系形成巨大冲击，主要原因是新能源受自然条件影响，具有明显的间歇性、波动性及随机性，叠加电气化率提升带来的用电需求峰谷差距扩大以及尖峰化，将在数字经济发展过程中引发两大系统性挑战：1) **电力系统冲击挑战**：电力系统极易受到冲击，电压频率等问题严峻，严重会发生崩溃；2) **供电稳定性挑战**：大型数据中心（尤其政府、金融等相关的重要枢纽节点）对电力稳定要求极高，数据安全易受到威胁。

为解决数字经济绿色化与风光发电特性的矛盾，发展储能是必要之选。储能指将即发即用的电力能量转换成机械能、化学能等其他可保存的能量形式，未来根据需求再以特定能量形式释放并利用。**储能三大维度解决风光发展瓶颈**。储能本质上是一种灵活性资源，作用可以体现在电力系统中各个环节：1) **发电环节**，风光电站储能在高输出/低输出时段充/放电，实现电站出力平滑控制，更好地拟合出力曲线，减少新能源波动对系统的冲击，大大提升消纳能力；2) **输配电环节**，储能可缓解电网阻塞、提供高质量调峰调频能力，从而缓解高额电网投资；3) **负荷环节**，光储协同可降低终端用电成本，助力分布式能源发展，还适配终端能源电气化、数字化趋势。**储能已成为全球能源转型、升级的必经之路。**

图 21：储能应用场景

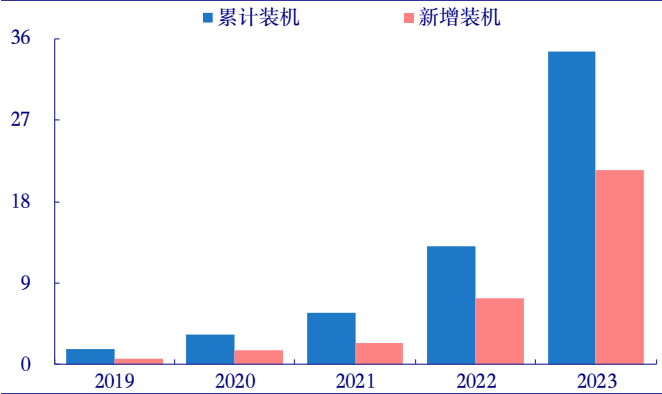


资料来源：《锂电池储能年度报告》GGII，中国银河证券研究院

请务必阅读正文最后的中国银河证券股份有限公司免责声明。

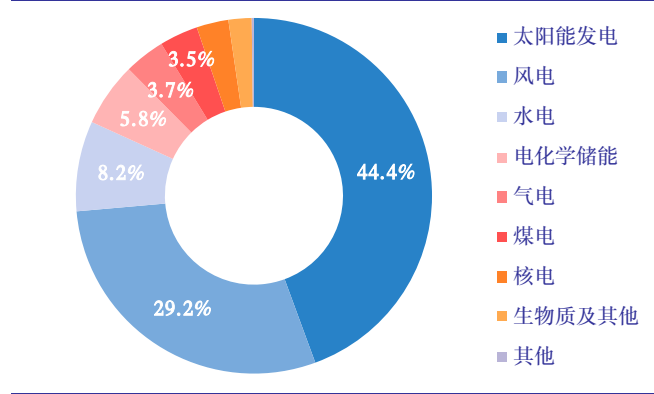
国内储能处于爆发初期。在强制配储等利好政策驱动下，我国新型储能装机规模保持爆发式增长。据 CNESA 统计，2022 年全年新型储能新增投运装机为 7.35GW，而 2023 年该数字就达到 21.5GW。CESA 预计 2023-2025 年合计增量 60GW，2025 年末累计规模有望突破 70GW。国网研究院预测，双碳目标指导下，2060 年电化学储能装机容量将达 9 亿千瓦，占比 5.8%，成为继光伏、风电、水电之后第四大电力装机类型，2022 年-2060 年电化学储能的复合增速将达到 11.8%。我们认为在数字经济爆发背景下，储能后续的装机爆发力巨大。

图 22：新型储能年度新增装机情况（单位：GW）



资料来源：CNESA，中国银河证券研究院

图 23：2060 年各类型电力装机容量占比情况



资料来源：国网研究，中国银河证券研究院

鼓励政策持续出台，配储要求不断提升。全国已近 30 个省份出台了“十四五”新型储能规划或新能源配储文件，新建新能源项目配储比例在 10%-20%，最高储能时长已达到 5 小时。同时辅助服务市场、电力现货市场等相关政策密集发布，各类储能项目的盈利机制有望逐步完善，经济性逐渐凸显。

表 5：2023 年以来国家级储能领域相关政策一览

时间	文件名	发布机构	侧重点或发挥作用
2023.9	《电力现货市场基本规则(试行)》	发改委、能源局	推进电力现货市场，利于储能电力现货市场套利
2023.9	《电力负荷管理办法(2023 年版)》	发改委等 6 部门	建立需求侧响应价格机制，利于储能电力现货市场、辅助服务市场收益
2023.9	《电力需求侧管理办法(2023 年版)》	发改委、能源局	场收益
2023.7	《贯彻落实加快建设全国统一电力市场体系若干举措(征求意见稿)》	能源局	推进电力现货市场，利于储能电力现货市场套利
2023.6	《国家能源局综合司关于开展新型储能试点示范工作的通知》	能源局	推动新型储能多元化、产业化发展，组织各类新型储能技术示范项目
2023.6	《新型电力系统发展蓝皮书》	能源局	明确储能三步走规划，制定 2030/2045/2060 年三个重要节点发展目标
2023.5	《关于抽水蓄能电站容量电价及有关事项的通知》	发改委	明确抽水蓄能容量电价的标准、执行周期等，利好抽水蓄能盈利保障
2023.4	《关于加强新型电力系统稳定工作的指导意见(征求意见稿)》	能源局	规范储能建设
2023.2	《新能源基地跨省区送电配置新型储能规划技术导则(征求意见稿)》	能源局	新型储能规划
2023.2	《新型储能标准体系建设指南》	标准化管委、能源局	新型储能标准

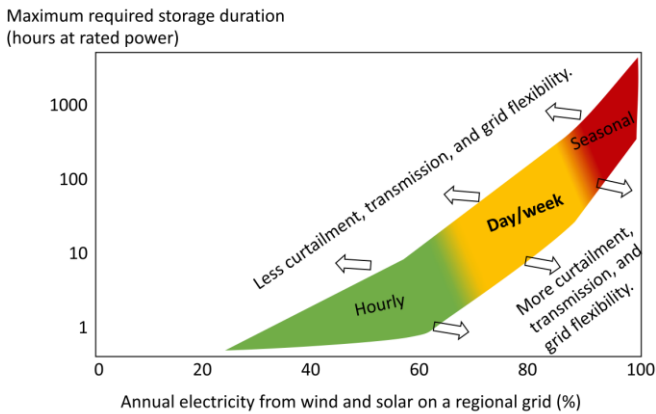
资料来源：国家能源局，发改委，中国银河证券研究院

基于以上逻辑，对应我们的“数据中心-电力系统需求模型”中的假设包括：

1) 目前强制配储政策仍是装机热潮的主因，但随着风光装机比例的不断提升以及储能技术、经济性不断突破，未来储能有望成为能源体系各环节的“标配”，应用比例节节攀升。在模型中，我们假设终端配储的比例在 2025 年前为 20%、2025 年-2030 年为 30%、2030 年-2035 年为 40%。

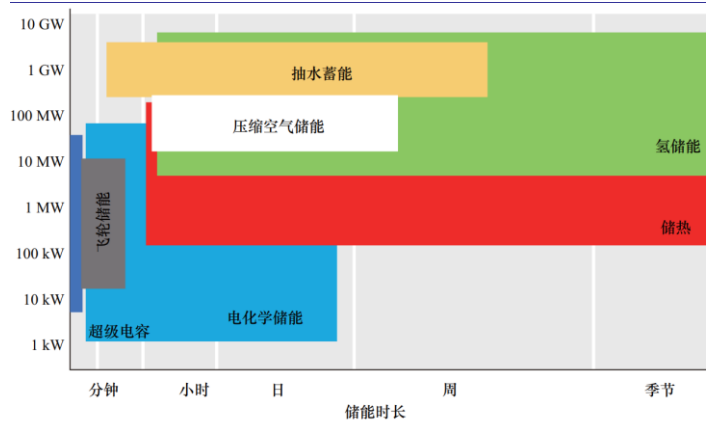
2) 在可再生能源背景下，储能最重要的作用为调峰调频，即实现能量时间、空间维度的转移。能源领域顶级期刊《Joule》的一篇研究指出，系统所需的储能时长将随着风光能源占比的提升而增长，当风光发电占比达到 80% 及以上，所需储能时长将超过 10 小时。中国能源研究会能源政策研究中心主任林卫斌预测，未来新型储能发展配置时长将由“十四五”时期的 2~4 小时逐步延长至 6~8 小时。在政策支持下，当前压缩空气储能、液流电池储能等新型长时储能技术示范项目如雨后春笋般出现，随着技术瓶颈逐渐突破、规模效应推动成本下移，长时储有望成为重要的储能方式。因此我们假设平均储能时长在 2025 年前为 4 小时、2025 年-2030 年为 6 小时、2030 年-2035 年为 8 小时。

图 24：系统中风光等可变速源占比与系统所需储能时长的关系



资料来源：《Long-Duration Electricity Storage Applications, Economics, and Technologies, Paul et. al》，中国银河证券研究院

图 25：主要储能形式的储能容量和储能市场



资料来源：国网研究，中国银河证券研究院

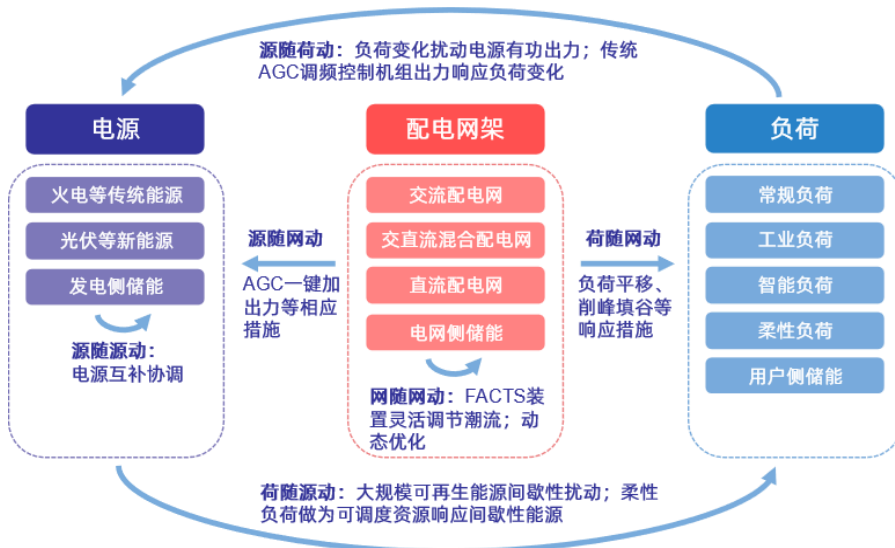
三、数字技术赋能能源体系，全面打造智能能源互联网

（一）“云大物移智链边”数字技术守护智能能源星辰大海

传统电力体系灵活性不足、非智能、效率低下：1) 供给依赖化石燃料，且发电侧往往是集中式管理，缺乏灵活性和适应性，难以快速响应需求的变化，也不利于可再生能源的整合利用；2) 受限于老旧的技术和设备，尤其是在热电联产过程中大量热能未被有效利用，发电效率低下；3) 大规模发电中心远离用能中心，提升了输配过程中的能源损耗，同时提高了系统的维护成本和复杂性，单向输电的模式也缺乏灵活性，无法有效应对供需波动；4) 需求端信息孤立，缺乏有效的信息交流、反馈等机制，大部分用户数据价值未充分挖掘，从而导致难以预测和响应消费者的实时需求、能源资源错配等问题。

电力体系走向“源网荷储一体化”。我国自 1985 年起经历了多轮电力体制改革，但作为能源消耗大国，依然面临着诸多严峻挑战，能源体系仍需持续深化改革以及优化升级。2021 年 3 月，国家发改委、能源局发布《关于推进电力源网荷储一体化和多能互补发展的指导意见》，首提“源网荷储一体化”。2023 年国家能源局发布《新型电力系统发展蓝皮书》，建设“源网荷储一体化”的新型电力系统成为国家战略目标，远期规划至 2060 年。“源网荷储一体化”已成为我国电力体系升级演化的重要方向。

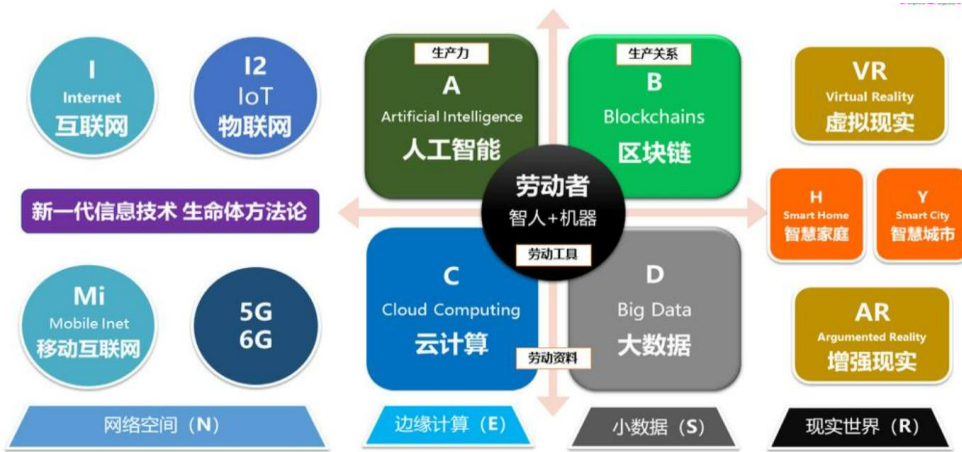
图 26：电力体系中源网荷储的互动关系



资料来源：北极星电力网，中国银河证券研究院

数字技术深度赋能，助力能源体系升级变革。2016 年电力行业首提“云大物移”技术概念，后随着人工智能、区块链、边缘计算等数字技术的应用逐渐成熟，最终形成了以“云大物移智链边”为代表的先进数字信息技术概念。《新型电力系统发展蓝皮书》明确了“新型电力系统以数字信息技术为重要驱动”，要广泛应用“云大物移智链边”等先进数字信息技术在电力系统各环节广泛应用，助力电力系统实现高度数字化、智慧化和网络化，推动以电力为核心的能源体系实现多种能源的高效转化和利用。

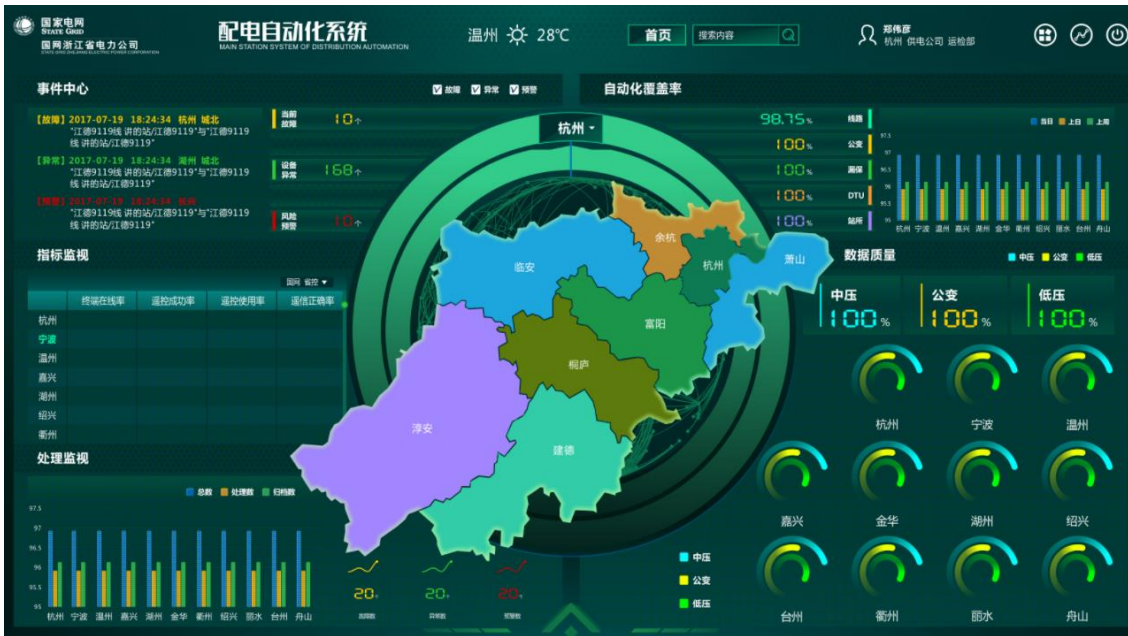
图 27：数字科技生态圈



资料来源：《数字化转型》李福东，中国银河证券研究院

“云大物移智链边”之云计算：云计算是指计算机网络形成的计算能力极强的系统，本质是通过分布式计算、集合汇总以实现复杂任务。通俗来说就是用户只需要通过电脑、笔记本、手机等方式接入数据中心，将庞大的运算任务交给服务器，便可以支配成百上千台计算机的运算能力，甚至体验到每秒 10 万亿次的运算效率。由于涉及的产业领域众多、用户性质复杂、专业性等原因，能源领域对计算能力的需求极其庞大。2017 年国家电网正式发布“国网云”，包括管理云、公共服务云、生产控制云，对各类业务实现了高效赋能，进一步提升信息存储、传输、集成、共享等服务水平，有力促进业务集成融合，缩短应用上线周期，快速响应业务变化，显著提升用户体验，增强系统运行可靠性。

图 28：国家电网云平台——浙江电力公司配电自动化系统

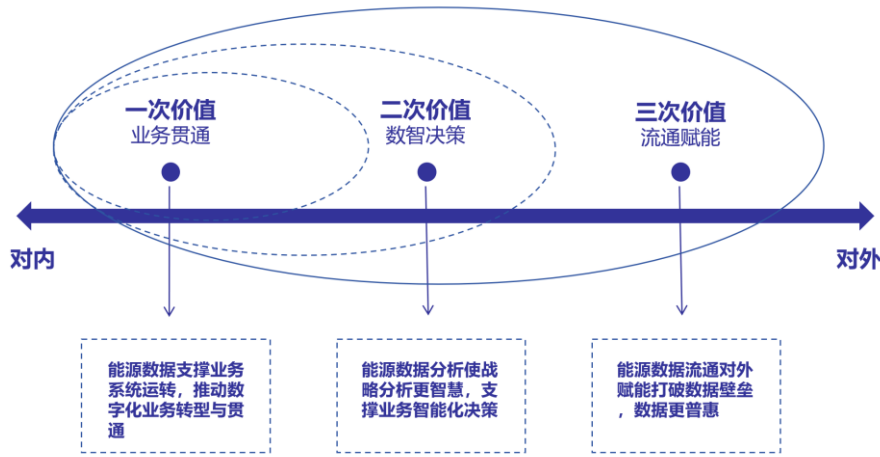


资料来源：北极星电力网，中国银河证券研究院

“云大物移智链边”之大数据：大数据是对海量数据进行采集、存储和分析，并从中发现新知识、创造新价值、提升新能力的新一代信息技术和服务业态。电网是覆盖经济社会方方面面的庞大基础设施，电力是流经生产生活各个领域的“血液”。电力大数据能够准确、实时、真实地反映经济社会发展各个环节的状态，具有难以替代的优势与价值，可广泛利用于政府科学决策、综合能源服务、电力信用服务、金融风控服务等各大业务领域。我们需要充分发挥数据要素的放

大、叠加与倍增效应。据国家电网统计，国家电网公司各类终端采集数据的日增量已超过 60TB，存在着巨大的以数据为支撑的决策与配置需求。目前国网大数据中心已研发出乡村振兴发展电力指数等产品，利用电力大数据服务乡村振兴。

图 29：电力数据要素迎三次价值释放



资料来源：信通院，中国银河证券研究院

图 30：乡村振兴发展电力指数

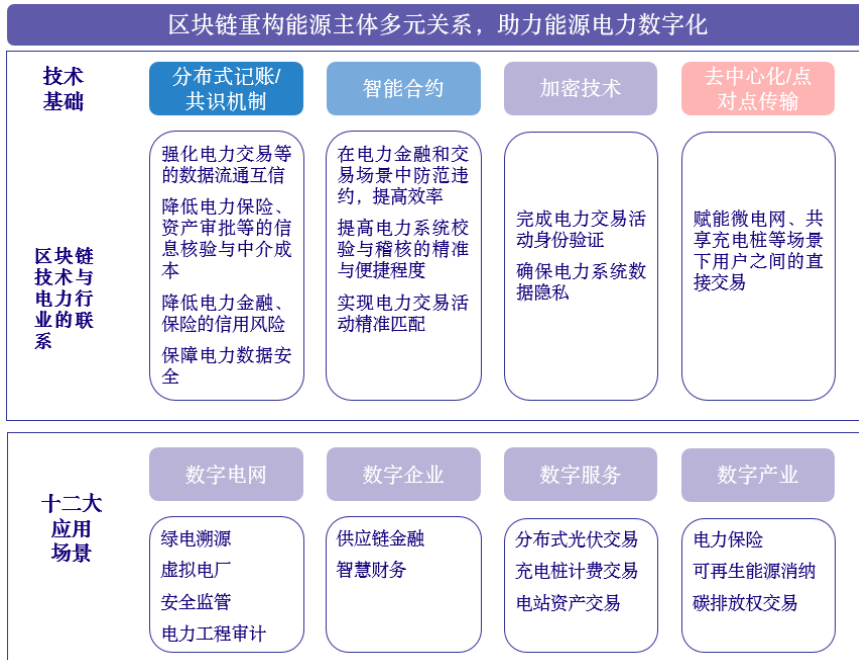


资料来源：国家电网，中国银河证券研究院

“云大物移智链边”之物联网：即“物物相连的互联网”，强调设备之间的互通和数据交换，目前的内涵已逐步拓展为物、人、系统和信息资源深度连接的智能服务系统。2019 年国家电网提出“泛在电力物联网”，并制定了 2019 年、2024 年两个目标节点，全面实现业务协同、数据贯通和统一物联管理。未来通过能源信息可以实现全息感知、泛在连接，具体应用场景包括但不限于：1) **居民生活**：各种智能设备、家居系统、新能源汽车等互联互通，实现家庭能源消耗的实时监控和管理；2) **城市建设**：交通信号灯、公共照明系统、智能楼宇等城市基础设施的智能化；3) **农业生产**：智能温室、精准灌溉等，通过监控环境条件和作物生长状况，实现农业生产的智能化。

匿名性等优势。利用区块链技术的安全可信、公开透明以及分布式多中心的特点，可构建防伪溯源、数据共享、跨境交易的配电网物联网信用生态体系。在能源交易平台、虚拟电厂、数据管理等领域，区块链有广阔的应用前景。未来电网的参与者将越来越多，它们位于源端、荷端、储能亦或身兼数职，区块链技术与分布式的特征契合，让数百万的参与者之间更安全地实时交易和支付，大大节约人力、物力投入，降低运行成本。分布式的交易记录中记录着电力消费的计量和计费、热能的计量和计费以及其他能源的计量和计费，交易信息透明且安全。

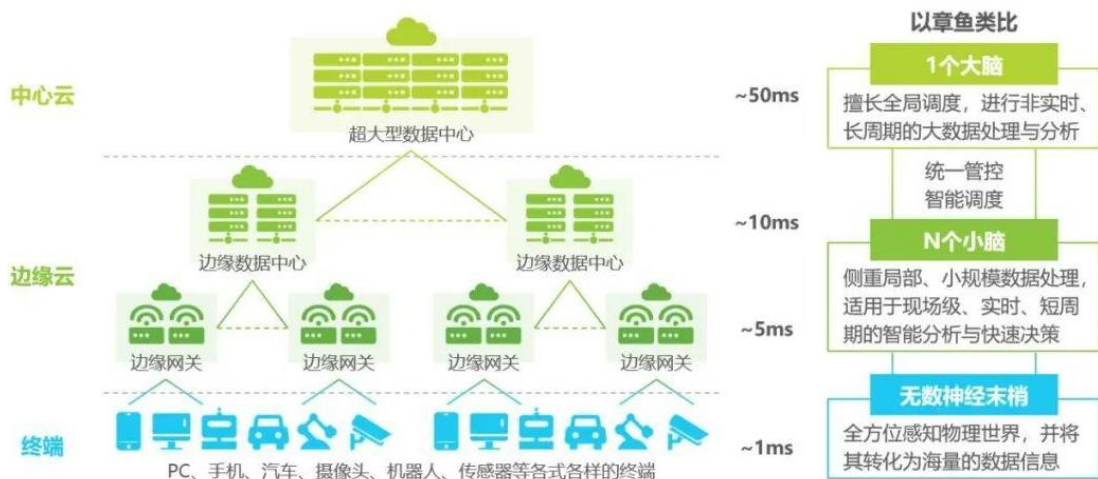
图 34：区块链能源电力行业应用实践



资料来源：国网研究院，区块链技术与数据安全工信部重点实验室，中国银河证券研究院

“云大物移智链边”之边缘计算：边缘计算将算力移动到产生数据的硬件附近（通常是物联网设备或传感器），是云计算的一种补充和优化，最大的优势是减少了大量数据在服务器、云和设备或边缘位置之间传输的需求，加快数据处理速度、增加带宽并确保数据主权，能够满足部分行业因国家政策、行业特性等因素对数据安全的要求。未来能源体系将逐步演变为一个高度集成的云边协同系统，实现更高效、更智能、更可持续、更安全的能源管理和分配。

图 35：云边协同示意图

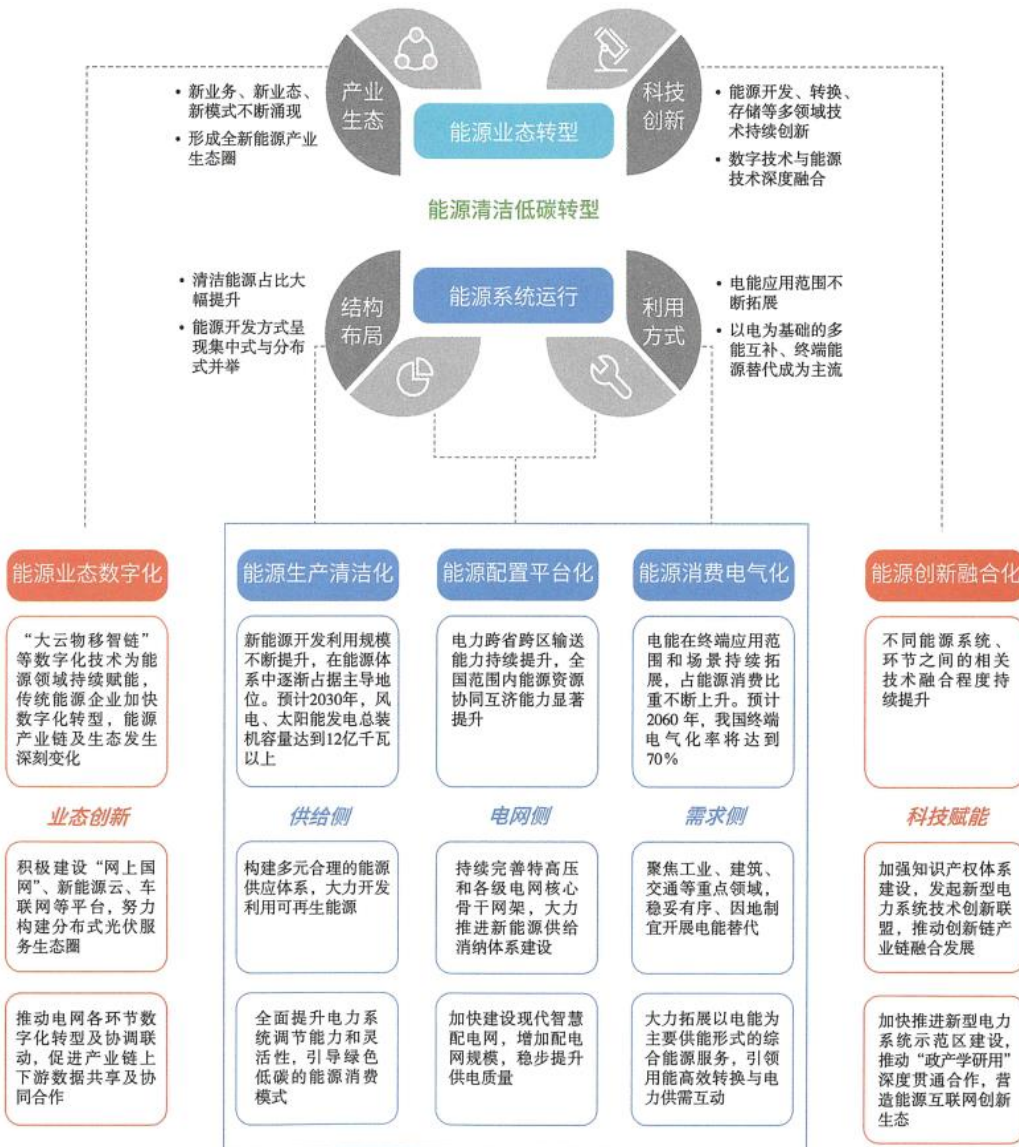


资料来源：艾瑞咨询，中国银河证券研究院

在“云大物移智链边”等先进数字技术加持下，**智能能源互联网**成为可能。智能能源互联网是更高效、更可持续、更智能化的现代新型能源体系，是能源与信息的双重网络：1) 利用物联网、大数据、云计算和人工智能等技术，实现了能源的有效管理和优化配置；2) 通过智能传感器和设备，实时监测能源流动和消费情况，预测能源需求，并自动调整能源供应，从而大幅提高能源利用效率；3) 促进可再生能源的广泛应用，推动能源产业的绿色转型；4) 从全球视角来看，能源互联网通过跨区域、跨国界的能源交流和合作，优化全球能源资源分配，提高能源安全性和可靠性，还能够应对能源供应的地缘政治风险，促进全球能源市场的稳定发展。

智能能源互联网是数字经济的重要基础设施。数字经济涵盖国民经济发展的方方面面，智能能源互联网为数字经济的发展提供了强大的能源支持和技术保障：1) 对能源流的实时监控和精准管理，确保了能源供应的稳定性和可靠性，这对于数据中心、云服务和在线业务等数字经济的核心部分至关重要；2) 可再生能源和清洁能源的广泛应用，有助于构建绿色低碳的数字经济发展环境；3) 从经济发展的角度来看，智能能源互联网的建设和应用可以驱动新技术、新业态和新模式的发展，促进传统产业的转型升级，激发经济增长的新动力。它不仅为数字经济提供了能源保障，还通过数据和网络连接创造了新的价值链和商业模式，推动了经济结构的优化和升级。

图 36：新型能源体系建设路径



资料来源：《新型电力系统与新型能源体系》辛保安，中国银河证券研究院

请务必阅读正文最后的中国银河证券股份有限公司免责声明。

智能能源互联网为各个应用场景提供智慧增值服务：1) **个性化家庭能源管理：**未来以家庭为单位，可能成为小型能源站，自产风光等可再生能源，根据价格需求实时调整，借用峰谷套利等交易策略，将多余能源出售给电网，实现家庭电能消费最优化方案；2) **柔性负荷智能城市：**城市中的建筑、交通系统、公共设施等互联互通，电动汽车充电桩、换电站能根据电网负荷自动调整充电功率，楼宇照明、空调等系统自适应，实现能效+舒适度双赢；3) **工业能源优化：**工厂能够实现能源的实时监控和管理，利用大数据和人工智能技术分析生产数据，预测能源需求，自动调整机器运行状态和生产线速度，降低不必要的能源消耗；4) **能源安全管理：**在面对自然灾害或其他紧急情况时能快速调整能源分配和优化恢复策略，确保关键基础设施和救援行动的能源供应，如在主电网断电时自动孤岛运行，为医院、救援中心等提供持续的能源支持。

图 37：智能能源互联网为各行业提供智慧服务



资料来源：国家电网，中国银河证券研究院

能源互联网升级撬动万亿基建投资，智能设备升级大有可为。数字技术打造的能源互联网更高效，同时也更复杂，对高度可靠和宽带传输能力的电网基础设施的要求更高，同时获取精确、实时的终端数据，也需要更智能的设备，这将带动新一轮的基建投资热潮以及高端制造领域的大发展。首先，**特高压及超高压骨干网建设**，特别是**柔性直流输电**，支撑解决可再生能源大规模并网、大范围配置、柔性互联问题。第二，通过**智能电表**等终端双向计量，实时监测电网运行状态，双芯、多模块发展提升终端兼容性和可扩展性。

能源互联网创造新业态、新经济、新动能。算力和电力在技术、设施和机制多方面深度融合发展，涉及电力技术与数字技术、电力设施与算力设施、电力市场与数据市场、电网运行机制与数智创新规律等多方面的深度耦合，未来将催生电力算力一体化资源供给调配服务发展，有望持续培育新产业，催生新业态，例如绿证交易、虚拟电厂、功率预测、数字孪生、智能微网、V2G 以及 V2H 车联网，拓展社会价值创造体系。这些新兴产业具备广阔的市场空间，未来将为我国经济社会发展注入新动能。

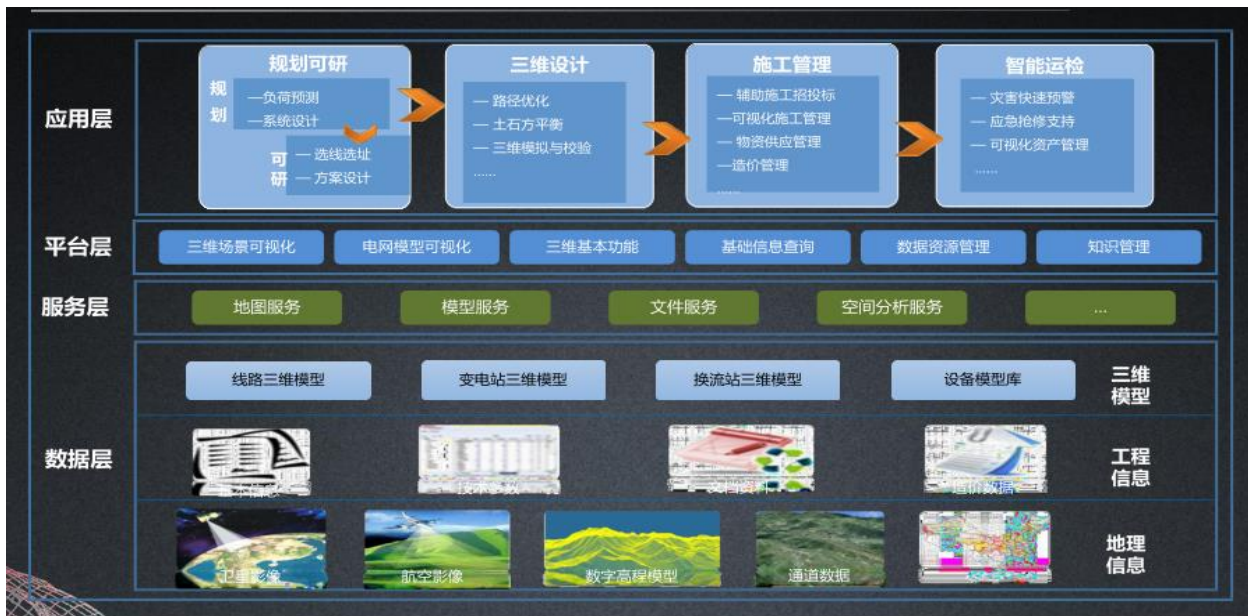
（二）智慧电网提升互联互通和全息感知能力

随着智能能源互联网逐步发展，预计 2050 年全球 80% 的能源来自清洁能源。能源生产侧分布式能源快速发展，能源消费领域将实现更广范围的能源互联以及多能互补，能源产消一体化。特高压、柔性直流网络等强大柔性的骨干网架是智能能源互联网的“骨骼肌肉”，实现电能资源跨区域优化配置，充分发挥多种类型发电资源的优势，同时提升联网效益，相互支援互联电网的

高峰用电负荷，实现检修和紧急事故时备用的互助支援。电网建设也将通过“云大物移智链边”等技术，提升电网互联互通和全息感知能力。

特高压基建全环节数字化。特高压工程在前期可研、设计优化、施工管理等环节使用大数据、物联网、云计算、遥感等先进数字技术，实现工程建设各类信息互联共享，全面感知工程建设状态，运行维护环节利用人工智能、机器学习等技术实现缺陷识别、预警、建议等功能。在可研阶段，可以通过随着 5G、北斗高精度导航、高精度地图收集全国范围内卫星影像、数字高程模型、交叉跨越等数据，辅助开展工程可研。在设计阶段，通过航飞获取高精度通道大数据，基于三维地理信息基础平台以及基础地理数据、通道数据、环境数据、经济数据集成到专业的软件，实现变电和线路工程设计全过程的数字化管控。在施工阶段，综合应用 BIM（建筑信息模型）、GIS（地理信息系统）、三维可视化、物联网、人工智能等技术构建智慧工地系统，围绕工程现场进度、安全、质量、设计、物资、环水保、队伍等多个维度实现施工全过程、全方位的实时监控、智能分析和辅助管理决策。在运维阶段，数字化系统利用人工智能、机器学习等技术，对主变和 GIS 设备生产运行过程数据进行深度挖掘，以智能化算法精准识别制造过程规范性、设备缺陷，对关键信息的快速提取、分析和研判，生成故障应急处置措施、诊断性试验建议及检修辅助决策建议，辅助工作人员进行设备故障后关键环节的处理。

图 38：特高压基建全环节数字化



资料来源：北京洛斯塔科技发展有限公司官网，中国银河证券研究院

在状态感知、诊断、巡检等方面加速输电网络数字化进程。目前，输变电设备在生产时预安装或投运后加装各类芯片化多物理量融合集成传感器等，通过“云大物移智链边”等技术，对换流站、架空输电线路等设备实时采集、存储、分析和共享数据，可实现实地巡检、线上动态查看现场情况、云端诊断分析设备数据，缺陷识别、预警等功能，提升互联互通和全息感知能力。例如变电站、换流站状态感知数字化建设由非接触式智能感知终端（集成红外热像、特高频局放、可见光图像、声音等）、接触式智能传感器（高频局放、超声局放、暂态地电压、接地电流、振动等）、光声光谱油中溶解气体监测装置和辅助系统（温湿度、烟感、水位、气体、水浸、风机/空调控制等）构成，可实现全天候、全时段、全方位巡视等。

图 39：特高压变电站、换流站状态感知数字化建设



资料来源：北京洛斯特科技发展有限公司官网，中国银河证券研究院

（三）智能电表从双向计量走向多向互动，助力万物互联

智能电表是能源互联网用电信息和能源分配的末端设备，点多面广，与用户联系最为紧密。新一代物联网智能电表支撑能源互联网实现用电负荷管理、双向计量、电网运行调度、电力市场交易和电能质量监测等环节，助力实现综合能源一体化采集、状态感知、实时监视和协调控制，达成源网荷储协同服务。未来，物联网智能电表向多芯化、模块化发展，计量功能进一步精确，非计量功能愈发智能化，服务对象更加面向全社会。智能电表有望满足各类交互式智能设备的广泛接入，发展成智能家用物联网平台，用户按需扩展应用，实现“电力公司-电能表-用户”多向互动。智能家用物联网平台可搭载多样 AI 算法，使得智能设备完成自主、判断决策，从而满足用户个性化、弹性化的使用需求。

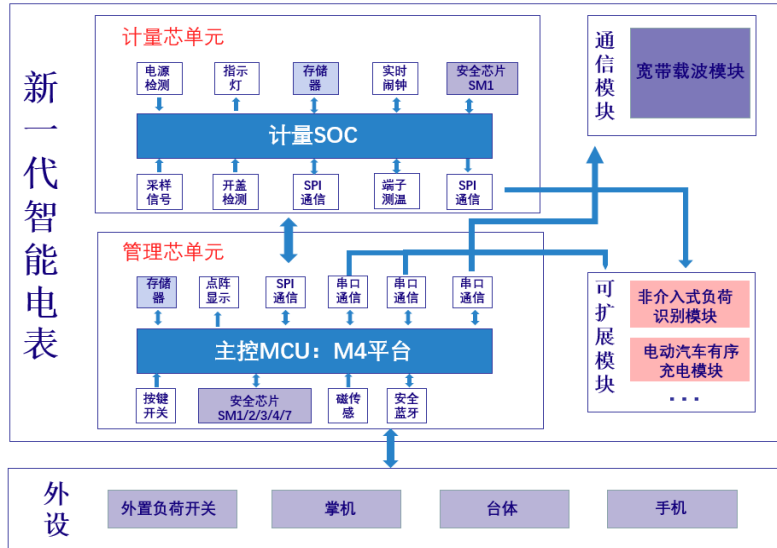
图 40：智能电表的特点



资料来源：前瞻产业研究院，中国银河证券研究院

智能电能功能与附加值提升。目前我国电能表已经历过三个阶段：1) 以感应式电能表为代表的“机械时代”，“轻量化”为其发展方向；2) 以普通电子式电能表为代表的“电子时代”，“多功能化”为其发展方向；3) 当下以智能表为代表的“智能时代”，向“高附加值产品”方向发展。目前，智能电能表包含测量单元、数据处理单元、通信单元。除了传统意义上的计量功能外，智能电能表具有数据处理、用电信息存储、双向多种费率计量（计量用电量和发电量）、实时监测、自动控制、信息交互、远传控制、电网运行状态监测、电能质量分析、反窃电、预付费用电等功能，技术含量大幅提升。

图 41：国家电网 2020 年版新一代智能电能表



资料来源：前瞻产业研究院，中国银河证券研究院

新一代国产智能物联电能表向多芯化、模块化设计发展。国家电网 2020 年发布智能物联电能表技术规范，完全符合 IR46 标准要求，产品结构设计上，完全采用模组化设计，分计量模组、管理模组、和扩展模组。扩展模块使得智能物联电能表兼容性和可扩展性也得到了大大的提升，为未来扩展所需预留了充足的空间，可用于家庭智慧用电、电动汽车及分布式能源服务、社区多能服务等。

AI 图像赋能智能电表远程抄表。基于无线网通信，智能电表可以实现对电能量的远程抄送，但是远程抄表存在布线复杂且通信模块故障的问题。利用 AI 图像处理算法进行远程抄表不需要对电表进行硬件改装或更换，可直接利用已有的电表进行抄表，提高了抄表的效率和成本效益。举个实际案例，如果电表盘受到水珠、水泡、水纹、脏污等因素干扰识别不了数据显示，可以通过人工智能深度学习算法，实现低分辨率识别、小目标问题、多尺度问题以及遮挡问题等。此外，AI 图像抄表适用性广，随着数据的不断增加和人工智能深度学习模型的发展，智能电表可以识别不同风格和排列方式的数字，读数准确度高，适用于各种类型和品牌的电表。

图 42：深度学习进行电表读数

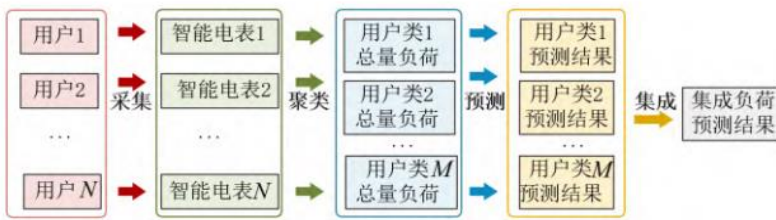


资料来源：《人工智能图像识别技术在电力系统中的应用》李冠霖，中国银河证券研究院

嵌入式 AI 赋能智能电表。嵌入式 AI 是一个内置在网络设备中的 AI 功能通用框架系统，为网络设备上基于 AI 算法的功能提供公共的模型管理、数据获取和预处理功能，并且支持将推理结果发送给基于 AI 算法的功能。随着新一代智能电能表的不断发展，智能电表未来甚至可具备实现人工智能模型训练和推理的条件，可依托嵌入式 AI 在用电侧进行**负荷预测、非侵入式负荷辨识以及电动汽车有序充电**等。

在负荷预测方面，智能电表可以采集大量的用户侧数据，以用户的负荷数据作为样本进行聚类分析，基于不同的用户群建立不同类型的聚类预测模型，将各个用户群的负荷值集成得到全局预测值。

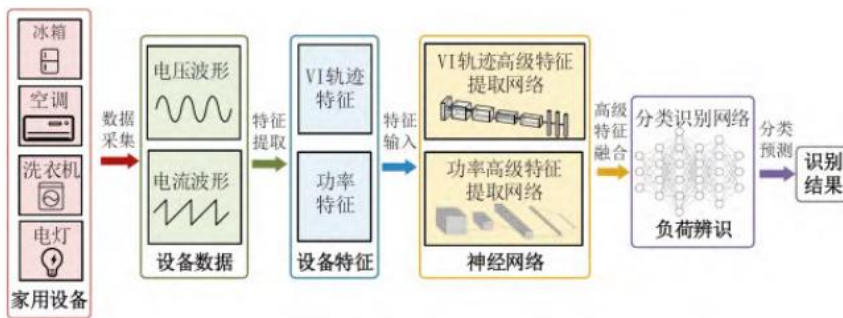
图 43：深度学习进行电表读数负荷预测流程图



资料来源：《电力物联网边缘智能—概念、架构、技术及应用》全杰，中国银河证券研究院

在非侵入式负荷辨识方面，智能电表可搭载多层感知机，利用离散小波变换来提取用户负载信号的 VI 特征和功率特征，基于特征融合与深度学习的非侵入式负荷辨识算法，融合特征后送入分类网络来实现负荷辨识。

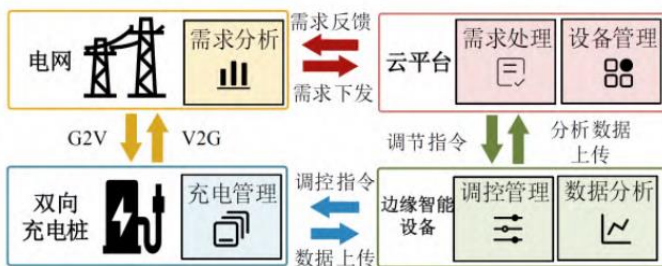
图 44：非侵入式负荷辨识流程图



资料来源：《电力物联网边缘智能—概念、架构、技术及应用》全杰，中国银河证券研究院

在电动汽车有序充电框架方面，智能电表从充电桩中收集充电数据，实现对充电功率的实时监测，通过汇总整理将数据上传到物联网云平台中，云平台利用上传数据进行人工智能模型训练并且给出最有效的充电策略，并且将充电策略下发到边缘智能节点智能电表表中。

图 45：电动汽车有序充电图



资料来源：《电力物联网边缘智能—概念、架构、技术及应用》全杰，中国银河证券研究院

智能电表从双向计量电表走向多向互动平台。目前，常规智能电表已经实现“电力公司-电能表”双向计量，未来将扩展至“电力公司-电能表-用户”多向互动。能源互联网建设过程中，分布式发电快速增长，双向计量与监测的需求旺盛，智能电表可同时计量发电量和用电量，服务于分布式可再生能源并网。物联网智能电表多芯化、模块化，未来可计量更多、更细，包括水、燃气、照明、温湿度等，电表硬件软件化，用户可按需扩展应用，互动更智能。以家居场景为例，智能电表将成为边缘智能设备，用户可根据其需要扩展智能化设备（例如照明、遮阳、安防、网络、影音娱乐、灯光、空调、窗帘、音响等），形成智能家用物联网平台，实现电表一键控制或语音控制，人机交互不断完善，实现“电力公司-电能表-用户”多向互动。依托物联网、云平台、人工智能及边缘计算等多种支撑技术，智能家用物联网平台可搭载多样 AI 算法，使得智

能设备完成自主、判断决策，从而满足用户个性化、弹性化的使用需求。

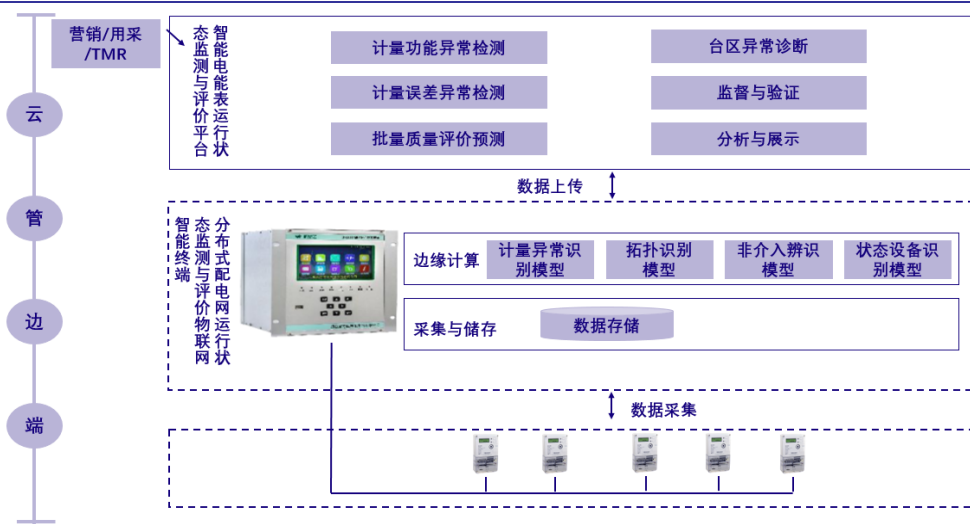
图 46：以物联网智能电表为核心的智能家用物联网平台



资料来源：艾瑞咨询，华为，中国银河证券研究院

人工智能助力电能表“状态更换”取代“到期轮换”。根据《强制检定的工作计量器具实施检定的有关规定（1991 年）》规定，电能表作首次强制检定，限期使用，到期轮换。电能表轮换周期一般为 8 年。随着电能表运行寿命普遍达到 10-15 年以上，《中华人民共和国国家计量检定规程》（2022 年）提出智能电能表检定周期可根据检定结果和稳定性进行动态调整。目前国家电网和南方电网积极在各地推动“抽样检定+在线状态监测”相结合的状态轮换策略。南方电网采用“大数据+人工智能”技术，研究建立智能电能表计量误差在线监测算法模型，精准定位异常电能表，实现电能表误差自动在线监测、异常工单自动触发、现场核查结果自动上传等。截至 2022 年 11 月底，南方电网全网已实现对 78 万余个台区、8882 万只在线运电能表的远程在线监测，监测覆盖率达 77.6%，通过状态评价定位异常电能表近 1 万只，经现场排查核实异常电表 6000 余只，评价准确率达 70%以上。

图 47：智能电能表运行状态监测与评价平台



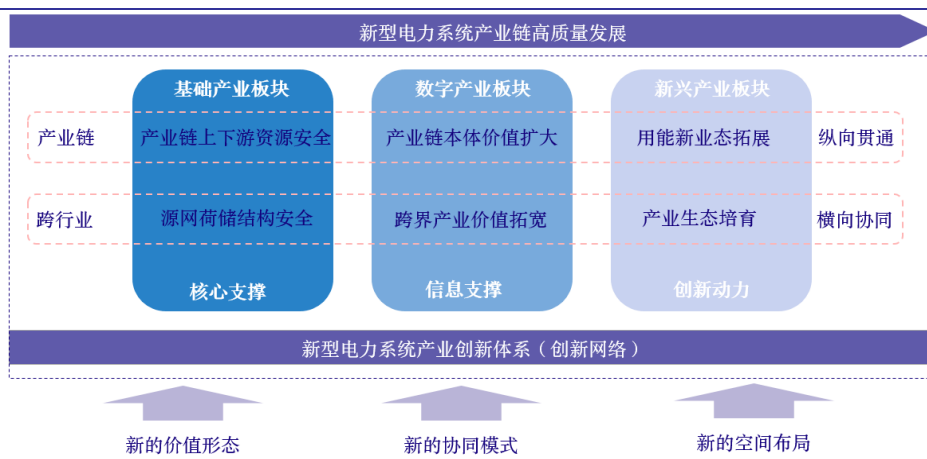
资料来源：志翔科技，中国银河证券研究院

“状态更换”策略预计约每年减少 30% 电能表轮换数量。2022 年，广东省通过对现有的用电信息采集系统进行全面升级，用电信息采集系统 24 小时实时监测、定时采集电能表的运行数据，精准定位出现故障隐患的电能表。根据人民网数据，截至 2022 年底，广东在运电能表数已超 5,000 万只，对 29 万只电能表状态评价及更换试点已顺利完成，预计全省推广后将有 160 多万只电能表可延期使用，计算可得约减少 32% 轮换数量。我们认为电能表“状态更换”取代“到期轮换”，预计每年约减少 30% 电能表轮换数量。

（四）数字革命和能源革命深度融合，孵化新模式、新业态、新动能

数字革命和能源革命深度融合，构建能源互联网新业态，壮大经济增长新动能。国家电网董事长辛保安撰写的《新型电力系统与新型能源系统》中指出，新型能源系统发展聚焦基础产业、数字产业、新兴产业三大产业领域。**基础产业**关注产业链上下游资源安全和全产业链降碳。**能源数字产业**包括随着“云大物移智链边”等技术在电网中实现深度融合应用，电网数字化智能化水平显著提升，电力大数据向能源互联网升级，能源互联网中物质流、能量流、信息流深度融合，能源产业本体价值扩大，并跨界创新拓展价值。数据在能源系统中的普遍性将推动其与金融、交通以及工业等相互融合，赋能垂直行业，并服务于政府决策及社会治理，电力征信、智能化交通、绿色工厂、智慧家居、智慧用能、智慧农业以及智慧城市等新产品、新服务将不断涌现。**新兴产业**是指新型电力系统拓展用能新业态，带动各类主体实现新旧动能转换，培育竞争新优势。能源系统高度电气化、数字化、智能化的发展模式有望持续催生新模式、新业态，例如**绿证交易、虚拟电厂、功率预测、数字孪生、电力大数据、智能微网、V2G、V2H**等，拓展社会价值创造体系。

图 48：以新型电力系统为核心的能源互联网体系



资料来源：《新型电力系统与新型能源系统》辛保安，中国银河证券研究院

1、深度赋能应用场景之一：绿证与碳交易市场

绿证是“绿电的身份证”，是一种可交易的、能兑现为货币的凭证，一个绿证单位对应着生产、消费了 1MWh 的绿电。2017 年绿证制度启动，产生的背景是当时可再生能源补贴缺口大、补贴发放不及时，主要目的在于缓解大规模风光装机带来的财政补贴压力，但由于缺乏配套制度、收益机制而交易量较小。2019 年国家发改委、国家能源局发布《关于建立健全可再生能源电力消纳保障机制的通知》提出可再生能源配额制（RPS），即对市场主体最低使用的可再生能源电量进行强制约束的制度，市场主体需要完成配额指标，否则将受到惩罚。政策鼓励通过超额消纳量交易和绿证交易的方式完成消纳指标，“配额+绿证”的基本体系形成。

绿证规模扩大，价值或加速兑现，前景广阔。2023 年 7 月，发改委、能源局发布《关于做好可再生能源绿色电力证书全覆盖工作促进可再生能源电力消费的通知》，绿证发放范围由陆上风电、集中式光伏拓展至所有已建档的可再生能源项目（分布式光伏等）。2024 年 1 月，发改委、能源局、统计局发布《国家能源局关于加强绿色电力证书与节能降碳政策衔接大力促进非化石能源消费的通知》，明确了绿证与能耗双控、碳排放管理等政策衔接方式，提出了绿证交易电量纳入节能评价考核指标核算的具体操作办法，拓展绿证在绿电消费认证、节能降碳管理、碳核算、碳市场、产品碳足迹、国际互认等方面的应用场景。

根据国网能源研究院研究论文，绿证交易与碳市场与配额制的协调发展对于“双碳”目标的实现至关重要。绿证既可作为独立的可再生能源发电的计量工具，又可作为配额制完成与否的核查、清算工具，同时也可以作为一种转让可再生能源社会边际收益所有权的交易工具，充当碳排放抵消机制的精确衡量单位。

图 49：我国碳市场与配额制、绿证的衔接关系

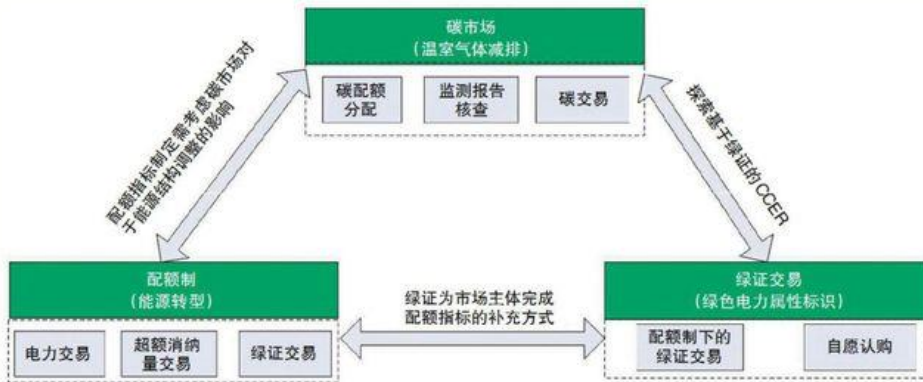


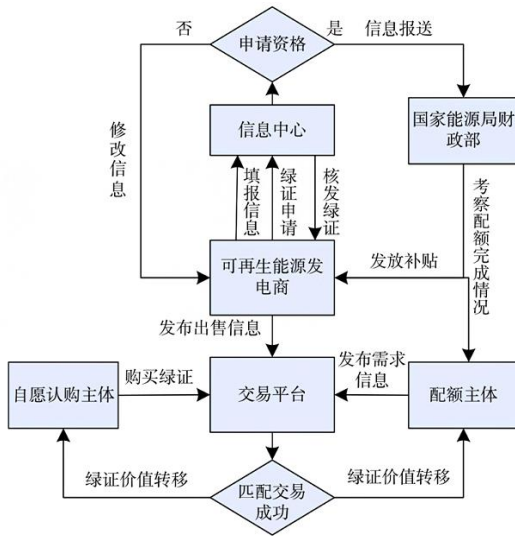
图 我国碳市场与配额制、绿证的衔接关系

资料来源：国家电力信息平台，中国银河证券研究院

目前绿证及碳交易存在一个统一瓶颈——交易过程由中心机构统一进行管理，中心机构掌握着所有交易数据。这种交易管理方式存在着运行成本高、信息安全性差、用户隐私难以保证等缺陷，买卖双方信息不对称，整体效率不高。在交易流程层面，我国绿证交易的信息披露、交易成交、绿证注销等均需经过交易系统、数据中心、信息发布系统、结算交收系统和与交易相关的一些其他系统。由于中心化操作，当交易平台因非法入侵或其他意外事故发生故障时，不可避免的会导致多方的利益损失。交易过程中涉及的参与主体较多，会出现信息披露不及时、平台运行效率低等问题。由于卖方可以随时撤销挂牌信息，交易双方易出现违规及纠纷行为。另外，主持交易的第三方可能会因为滥用职权而造成交易双方以及交易平台的不信任问题，影响绿证交易的公开透明以及效率问题。

在交易模式层面，由于可再生能源配额制提出的电力消纳责任刚刚起步，现阶段我国规定绿证认购属于自愿行为，企业缺乏认购积极性，致使绿证成交量少。对于卖方而言，绿证定价不能超过对应电量的可再生能源电价附加资金补贴，致使绿证定价逼近补贴金额，风光对应的绿证销量及成交价格差距较大。由于绿证不允许二次交易，对于买方而言，绿证就失去了其金融属性，部分绿证并不能给企业带来实际收益。另一方面，绿证采用的是单一回合的报价机制，交易双方仅有一次报价机会，不能根据交易情况调整报价，导致交易成交率低。

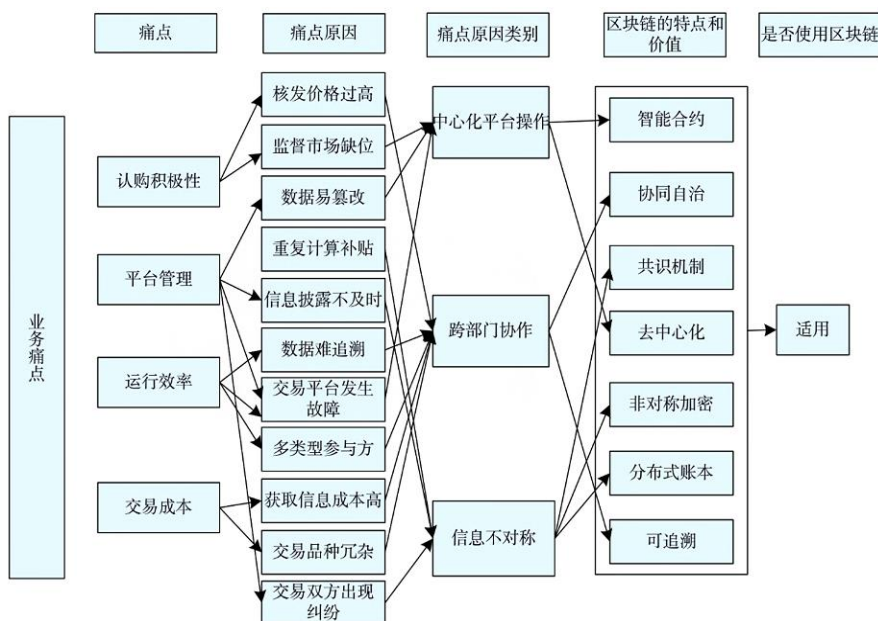
图 50：中心化操作下的绿证交易流程



资料来源：《基于区块链技术的绿色电力证书交易机制》张金良，中国银河证券研究院

而区块链技术去中心化、分布式记账、可溯源、加密防篡改、共享、共用等特点，可以有效解决绿证交易过程中的各种痛点问题：1) **绿证核发阶段**：通过将满足绿证的发电资质写成区块链智能合约，发电企业能瞬时、自发地完成资质认证及绿证申请，大大减少了信息平台的人工投入并大幅提高系统运行效率；2) **绿证交易阶段**：买卖双方分别将绿证需求、出售信息进行上链，系统自动进行最优匹配，匹配成功后自动触发智能合约，交易双方通过签名对本次交易进行验证。交易成功后会对全网进行广播，以确定所有节点都可记录本次交易基本信息，防止交易的重复发生，同时交易信息难以被篡改，最后会将本次交易写入区块，实现交易信息的可追溯性；3) **绿证核查阶段**：交易的绿证价值转移后，系统会自动计算剩余绿证数量及类型并上报国家能源局，待确认后会发放相应的补贴，通过这种方式可以避免重复计算补贴。每个环节中引入区块链技术特性，利用智能合约实现绿证交易的自动执行，提高运行效率；通过去中心化的点对点交易模式，解决信息不对称情况，实现各方的信息共享；基于区块链的单向链式结构，实现交易数据的可追溯。

图 51：通过区块链技术实现绿证交易流程的全面优化



资料来源：《基于区块链技术的绿色电力证书交易机制》张金良，中国银河证券研究院

请务必阅读正文最后的中国银河证券股份有限公司免责声明。

2、深度赋能应用场景之二：虚拟电厂

虚拟电厂（VPP）是通过先进的通信、计算、调度、市场手段，把大量分散在电网中的分布式能源（即分布式发电、可控负荷和分布式储能）进行聚合统一管理、协调优化，并释放系统灵活性，实现统一调度。虚拟电厂既可作为“正电厂”向系统供电调峰，又可作为“负电厂”加大负荷消纳、配合系统填谷。根据对外特征，虚拟电厂可以分为电源型、负荷型、储能型、混合型。

图 52：虚拟电厂分类

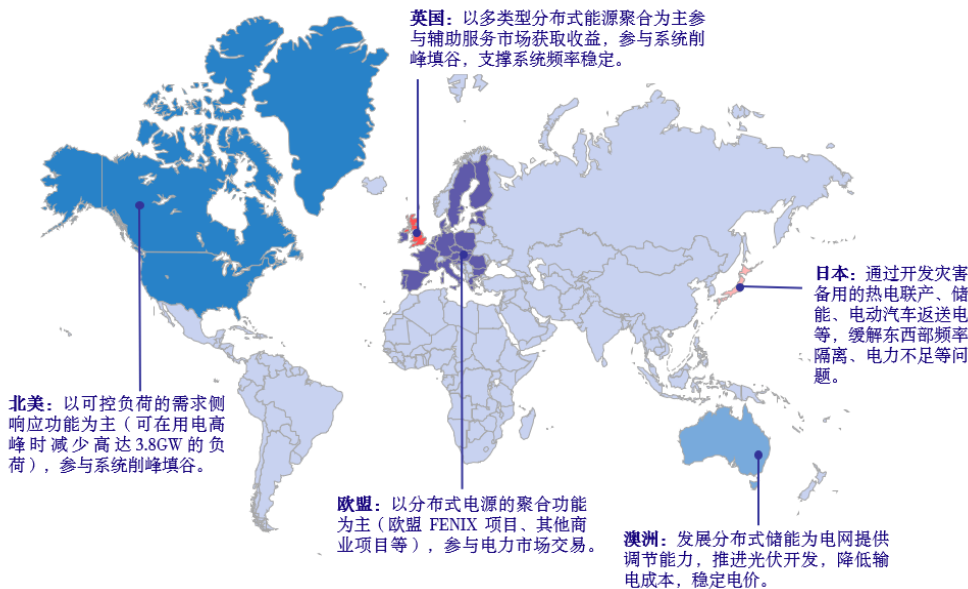
电源型	负荷型	储能型	混合型
具有能量出售的能力，可以参与能量市场，并视实际情形参与辅助服务市场	具有功率调节能力，可以参与辅助服务市场，能量出售属性不足	可参与辅助服务市场，也可以部分时段通过放电来出售电能	全能型角色

资料来源：国家电网，中国银河证券研究院

虚拟电厂运营商是算法驱动，**算力是虚拟电厂技术的真正内涵**。虚拟电厂核心技术的本质是运营商基于对自己所聚合资源充分了解的基础上，运用模型算法获得相关调控和交易决策的能力。未来，随着大数据、云计算、物联网、区块链、AI 等新技术的发展，将数字孪生、机器学习、区块链等数字技术应用到虚拟电厂，将推动虚拟电厂产业快速发展。

在欧美发达国家，**虚拟电厂已发展得较为成熟，调节形式多样有效**。在欧美发达国家，虚拟电厂起步较早，结合自身资源禀赋以及当地电力市场情况，通过定制化顶层设计，明确市场准入门槛，清晰划分各方权责利，提供配套激励政策，实现商业化运行。欧洲以聚合分布式电源为主，北美以可控负荷需求响应为主，澳洲以聚合用户侧储能为主，日本重点发展通过“光伏+储能”作为主要运行形式。

图 53：海外虚拟电厂分布及用途



资料来源：日立能源，中国银河证券研究院

收益模式多元。欧美发达地区电力现货市场相对成熟，超额定价辅助服务，大力推动可再生能源发展与碳中和，大体有用户侧响应、发电侧参与电力市场、混合模式、电网共建平台模式以及电网采购模式 5 种主要商业模式。其中以用户侧储能和需求响应为主，参与电力市场交易，容

量规模和交易规模较大。

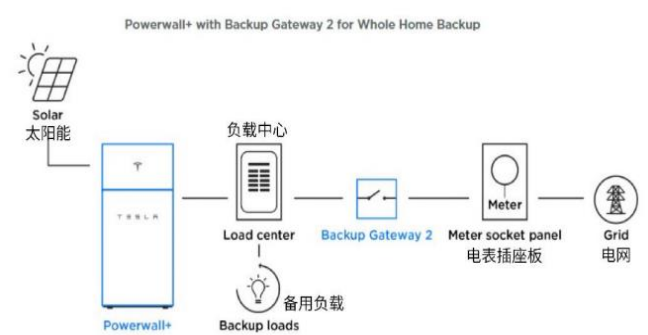
德国电力市场自由度高，允许可再生能源以及聚合源荷资源参与电力市场交易。NextKraftwerke 是德国最大的虚拟电厂运营商，分布式资源覆盖多个欧洲国家，可以通过面向发电侧进行能源聚合、面向电网侧进行灵活性储能供应、面向需求侧的需求响应获取收益。根据 NextKraftwerke 公司公告，2022 年德国参与电力交易量约 15TWh。

美国通常由能源零售商及 Utility 企业运营虚拟电厂，峰值需求广阔，政府补贴和激励推动用户参与电网调度。Tesla 是美国 VPP 龙头，与能源零售商合作开展虚拟电厂项目，提供低价 Tesla 储能电池或现金激励，换取户用储能部分电力的控制权。Tesla 与电网合作，管理户用储能、光伏及负荷情况，实现聚合需求侧资源。根据公司公告，2022 年加州地区 Tesla 通过 Powerwall 储能系统提供电量约 577MWh。

图 54：德国 NextKraftwerke 虚拟电厂系统架构图



图 55：特斯拉 Powerwall 系统构成示意图

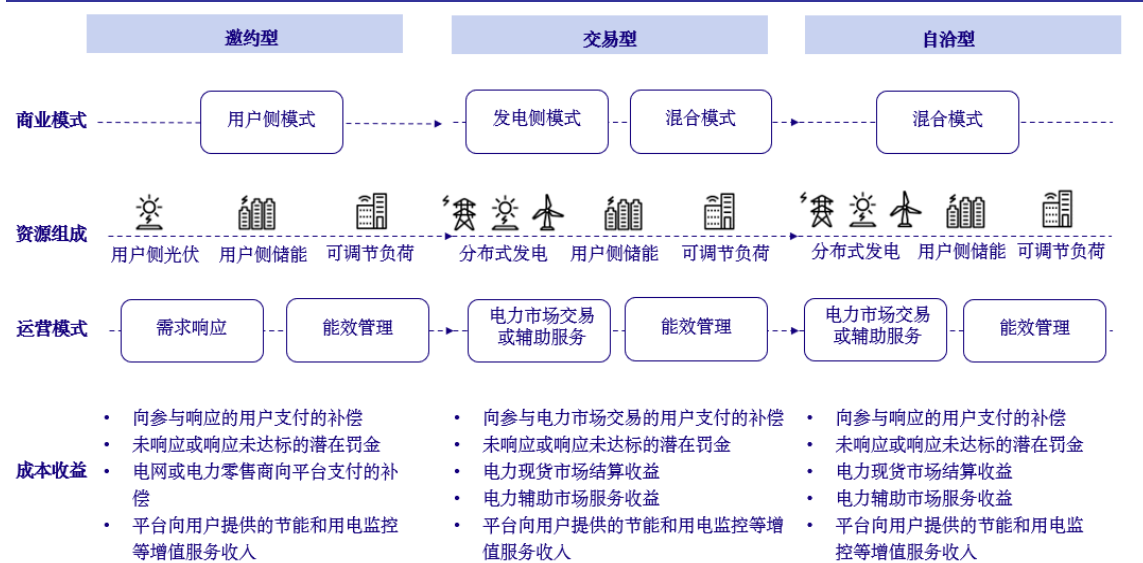


资料来源：Next-Kraftwerke 官网，中国银河证券研究院

资料来源：特斯拉官网，中国银河证券研究院

虚拟电厂运营模式的发展可分为邀约型、交易型、自治型三个阶段，我国正处于邀约型到交易型的转型升级阶段。邀约型阶段由于电力市场建设还不够完善，政府部门或调度机构进行邀约，虚拟电厂通过需求响应来削峰填谷，以及通过内部能效管理获得收益。交易型虚拟电厂可通过参与电力现货市场交易的辅助服务获得收益。自治型虚拟电厂实现能源改革，项目主体逐步从政府转变为运营商，可跨区域自由调度，市场主体活力提升。

图 56：虚拟电厂运营模式发展的三个阶段



资料来源：日立能源，中国银河证券研究院

虚拟电厂的盈利模式包括需求侧响应、辅助服务交易、电力现货交易等。我国虚拟电厂仍处

于试点阶段，目前盈利模式主要来源于响应补贴，但需求响应属于偶发交易，无法构成虚拟电厂运营商主要盈利模式。部分试点项目采用现货市场套利和辅助服务市场交易通过调峰、调频使得多方获益。

表 6：虚拟电厂商业模式

商业模式	主要内容
需求侧响应	虚拟电厂根据合同要求按时按容量响应负荷，保障电网供需平衡，并获取补贴收入
辅助服务交易	虚拟电厂通过调配可控资源提供发电容量，参与电网调峰、调频、备用，保证电网稳定运行，并获取补贴收入
电力现货交易	虚拟电厂帮助新能源发电厂、售电公司、配售电公司等电力市场主体优化发电出力或用电负荷，进行峰谷套利或避免偏差考核，并获取分成收入
激励补贴	通过政府政策补贴，降低成本，获得补贴收益

资料来源：朗新研究院，中国银河证券研究院

中央密集出台利好政策。近年来，国家发改委与国家能源局出台一系列文件支持虚拟电厂发展，从 2019 年前虚拟电厂主要实行需求侧响应，逐渐转向参与辅助服务，并随着电力现货市场建设的不断推进向现货市场套利模式转变。

表 7：中央密集出台虚拟电厂行业相关政策

时间	发布机构	政策名称	主要内容
2023.1	工业和信息化部等六部门	《关于推动能源电子产业发展的指导意见》	探索开展源网荷储一体化、多能互补的智慧能源系统、智能微电网、 虚拟电厂建设 ，开发快速实时微电网协调控制系统和多元用户友好智能供需互动技术。
2023.9	发改委、能源局	《电力现货市场基本规则》	扩大市场准入范围，将 虚拟电厂 等新型主体纳入市场交易。
2023.9	发改委等部门	关于印发《电力需求侧管理办法（2023 年版）》的通知	积极拓宽需求响应主体范围，提升需求响应能力。到 2025 年，各省需求响应能力达到最大用电负荷的 3%-5%，其中年度最大用电负荷峰谷差率超过 40%的省份达到 5%或以上。到 2030 年，形成规模化的实时需求响应能力，结合辅助服务市场、电能市场交易可实现电网区域内需求侧资源共享互济。

资料来源：国家发改委，国家能源局，政府网站等，中国银河证券研究院

需求响应方面，地方加速推进市场化进程。浙江、江苏、河北、四川等地陆续出台了虚拟电厂需求侧响应的细则，明确参与规则、收益计算模式、响应时长以及响应价格，需求侧响应的营利性有望提升。总体来看，虚拟电厂准入门槛多数为 1MW 以上，补偿基准价约 2 元/kWh，东部经济发达地区可高达 4 元/kWh，响应时段不同，价格不同；浙江、河北等地区另增设了容量补贴。

表 8：部分省份虚拟电厂需求侧响应细则

省份	时间	政策	准入条件	响应价格
浙江	2021.06	《关于开展 2021 年度电力需求响应工作的通知》	负荷聚合商聚合总响应能力≥1000kW	日前削峰响应按照单次响应的出清价格和响应电量进行补贴，4 元/千瓦时封顶。小时级、分钟级和秒级响应执行固定的容量补贴单价（0-1 元/千瓦·月）和电量补贴单价年度固定单价（4 元/千瓦时）。
江苏	2022.10	《江苏省电力需求响应实施细则(修订征求意见稿)》	电力用户、负荷集成商、拥有储能、充电桩设施、数据中心、基站等其他具备可中断负荷的用户和运营商可参与	削峰调控时间 < 2h，10 元/kW；2h<调控时间<4h，12 元/kW；调控时间>4h，15 元/kW。填谷时段 5 元/kW，平时段 8 元/kW。

地区	年份	政策名称	主要措施/目标	补偿/激励标准
河北	2023.04	《河北省发展和改革委员会关于进一步做好河北南部电网电力需求响应市场运营工作的通知》	负荷聚合商聚合响应能力≥5000kW	实时响应采用容量+电量补偿方式。实时需求响应容量补偿 8 元/KW·月。电量补偿：日前响应电量补偿按照出清价格进行补偿；日内响应电量补偿提前 4 小时响应按照出清价格 1.3 倍进行补偿，提前 2 小时级响应按照出清价格 2 倍进行补偿；实时响应电量补偿按照出清价格 3 倍进行补偿。
四川	2023.04	《关于四川电网试行需求侧市场化响应电价政策有关事项的通知》	/	需求响应 0-3 元/kWh。
云南	2023.04	《2023 年云南省电力需求响应方案》	负荷聚合商响应能力≥1000kW	实时响应补贴全年统一 2.5 元/kWh，邀约型响应削峰类 0-5 元/kWh，填谷类 0-1 元/kWh。
甘肃	2023.04	《甘肃电力需求响应市场实施方案（试行）》	负荷聚合商响应能力≥5000kW	需求响应补偿费用结算以小时为单位，由实际有效响应电量按照出清价格乘以相应收益折算系数进行结算。
广东	2023.05	《关于广东省市场化需求响应相关事项的通知》	/	灵活避峰需求响应补偿收益暂按日前邀约的保底价格 1.5 元/kWh 执行。
福建	2023.06	《福建省电力需求响应实施方案（试行）》	负荷聚合商响应能力≥2500kW	用户需求响应补贴金额=该用户实际响应负荷 X 响应市场补贴价格系数 X 补贴单价；根据用户实际响应量占申报响应量的比例 < 50%、50%-80%、> 80%时，补贴价格系数为 0、0.6、1 元/kWh。

资料来源：政府网站，中国银河证券研究院

辅助服务方面，我国部分省市已颁布虚拟电厂参与电力辅助服务市场准入条件、报价以及结算相关机制政策。冀北虚拟电厂是全国首个全市场化运营的虚拟电厂，通过华北调峰辅助服务市场获得盈利，根据系统调峰需求实时聚合调节接入资源，在新能源大发期间增加用电需求，减少火电不经济的深调状态。华北辅助调峰市场有日前、日内市场，实行报量保价，服务费用=调峰费用×出清时长×出清价格，申报价格上限为 600 元/MWh。根据《能源》杂志统计，冀北电厂于 2019 年正式投运，目前平台有 3 个运营商（冀北综合能源、恒实科技、国电投中央研究院），聚合 35 家用户、156 个可调节资源，总容量 35.8 万千瓦，调节能力 20.4 万千瓦。截至 2022 年底，冀北电厂运营商和用户总收益超 670 万元，平均度电收益 182 元/兆瓦时。**冀北虚拟电厂运行效果佳，起到了很好的示范作用。**

表 9：国内部分虚拟电厂实践案例

地区	试点项目	应用场 景	运行 时间	商业模 式	主要聚合资源	规模	建设主体
冀北	冀北泛在电力物联网虚拟电厂示范工程	综合型	2019.12	需求侧响应、调峰辅助服务市场	储能、电动汽车充电站、分布式光伏等 11 类 19 家泛在可调资源	截至 2022 年，累计增发新能源电量 3,701 万千瓦时	国家电网冀北电力有限公司
江苏	大规模源网荷友好互动系统	综合型	2019.5	激励资金、需求侧响应	工商业负荷、居民等	秒级可中断负荷 376 万千瓦，毫秒级可中断负荷 260 万千瓦	江苏电网
上海	黄浦区商业建筑虚拟电厂示范项目	侧重于需求侧响应	2021.5	政策补贴、需求侧响应	工业生产、商业楼宇、微电网等 11 种不同负荷资源	商业楼宇型虚拟电厂已建成规模约 6.54 万千瓦，能源站型虚拟电厂已建成规模约 5300 千瓦	国家电网上海电力
深圳	虚拟电厂	侧重于需求侧响应	2021.11	拟参与区域辅助服务	新型储能、充换电设施、分布式光伏、非生产性空调、风光储充微电网等各类分布式资源	累计接入负荷规模达 150 万千瓦，实时调控能力超 30 万千瓦，预计到 2025 年，具备 100 万千瓦级可调节能力	深圳供电局
浙江	丽水虚拟电厂试点项目	侧重于水电发电侧	2023.1	辅助服务	发电侧 370 多座水电站、用户侧弹性负荷	最大可具备百万千瓦级可调节能力	浙江电网

资料来源：咨询视界，中国银河证券研究院

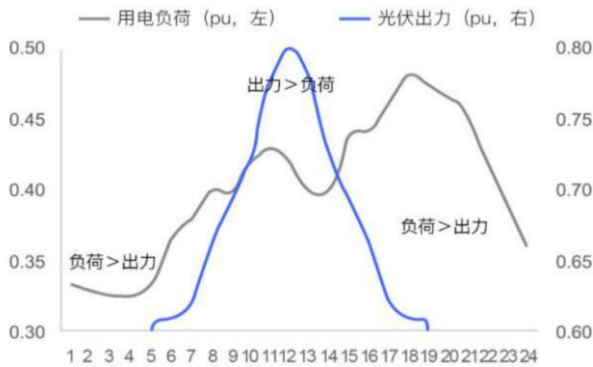
尚处于试点阶段，各省积极探索。从区域来看，虚拟电厂试点项目集中在广东、江苏、上海、河北、浙江等地。从聚合资源来看，主要包括储能、负荷、分布式电源。示范项目的规模基

本在 100MW 以上，主要是各地供电局和电网公司，已建的虚拟电厂平台水平参差不齐，没有统一的标准和接口。从商业模式来看，江苏、浙江、广东主要参与的是需求侧响应市场，上海主要以聚合商业楼宇空调资源为主开展虚拟电厂试点，冀北主要以参与华北辅助服务市场为主。

3、深度赋能应用场景之三：功率预测

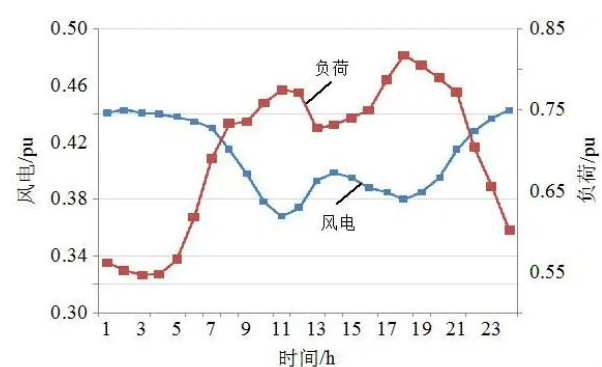
新能源发电功率预测是电力调控和管理的刚需。新能源电力不稳定性和电力系统实时平衡要求存在矛盾，电网需要根据下游用电需求提前做出发电规划，并根据实时的电力平衡情况进行实时电力调节和控制。此外，**新能源发电功率预测是新能源参与电力现货市场的基础。**目前，电力现货市场逐步推进，山东、山西、甘肃、蒙西、福建等地区已经开展建设新能源参与中长期与现货市场的试点，制定了基于新能源预测结果的市场交易规则，广东电网 2022 年首次将新能源超短期预测结果直接应用于现货交易和调度实时控制，实现与现货实时市场、调度监控系统的数据对接。

图 57：光伏发电出力与负荷不匹配



资料来源：国能日新招股说明书，中国银河证券研究院

图 58：风电发电出力与负荷不匹配

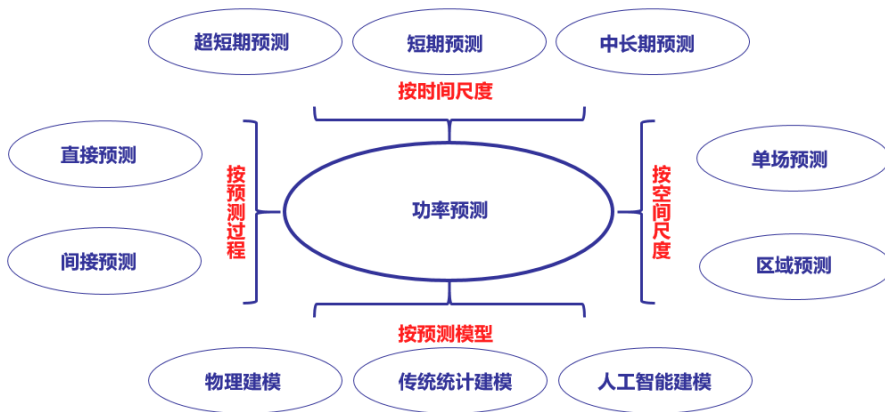


资料来源：《新能源消纳关键因素分析及解决措施研究，舒印彪等》，中国银河证券研究院

新能源功率预测准确率考核趋严。根据南方电网数据，近年来国内外新能源预测精度有明显提升，2021 年我国省级电网风电、光伏日前电力预测准确率约 88%、87%，电量预测准确率约 93%、96%，在中长期方面，国网江苏省电力公司风光资源中长期预测准确率达 78%，出力高峰期判断正确率达 83%。考虑到新能源装机规模持续快速增长，其间歇性、波动性的特性带来的电力实时平衡问题日益突出，电网调度运行困难越来越大，各地《电力并网运行管理实施细则》和《电力辅助服务管理实施细则》功率预测考核指标在逐渐趋严。以华东监管局为例，日前功率预测准确率将从 2019 年版的 80% 上升至 2021 年版的 90% 以上，超短期功率预测准确率将上升至 95% 以上。

新能源功率预测分类方式多元。新能源功率预测一般基于气象预报数据、新能源功率数据等动态数据，结合新能源场站位置和设备参数等信息构建模型。根据**时间分类**可以分为超短期预测、短期预测以及长期预测。我国电力管理规定，新能源电站必须每天上报一次短期发电预测功率、每 15 分钟滚动上报一次超短期发电预测功率。长期预测一般适用于预测以年为单位的长时间数据，多用于电网部署、制定年度运维方案等。按照**预测模型**可以分为物理建模方法、时间序列建模方法、基于机器学习和深度学习等人工智能技术的建模方法。按照**预测过程**可以分为直接预测和间接预测。按照**空间尺度**可以分为单场预测和区域预测。

图 59：新能源功率预测分类



资料来源：《基于数据驱动的光伏功率预测技术研究》席涵宇，中国银河证券研究院

表 10：功率预测影响因素

类型	预测时间范围	影响因素
短期预测	预测 10 天的数据，以数据滚动更新形式	气象预测数据的精度、模型的精度等
超短期预测	测定未来 4h 内的时间长度，每个监测点的间隔时间为 15min	气象预测数据的精度、模型的精度、实时测风、测光数据、发电机组实时开机状态数据的准确性、历史实发功率数据的丰富程度
长期预测	以年为单位的长时间数据	气象预测数据的精度、模型的精度、场站位置等

资料来源：《功率预测对电力现货交易的影响研究》沈继宝，中国银河证券研究院

AI 建模预测优势明显。相较于传统非人工智能方法，基于人工智能的预测模型在建模难度、数据输入处理能力、预测的时空尺度适用性等方面均优于物理模型。物理建模基于地理信息、气象数据与数值天气预报结果构建功率预测模型，受数值天气预报结果精度影响大，难以适应极端天气情况。传统统计方法（时间序列、马尔可夫链、灰色预测等）基于历史功率数据预测未来的风电光伏、出力，建模简单，高维数据处理能力差，预测精度普遍较低。而 AI 建模通过大量历史训练数据学习输入数据和输出新能源功率预测结果之间的映射关系，AI 模型参数基于数据训练得到，容易获取，模型的输入特征亦可灵活构建，结合智能优化算法还可进行参数自动寻优，进一步省去了人工调参的工作量，对高维非线性样本空间具有良好的拟合能力，尤其在新能源概率预测、区域预测、复杂时空特性关联性挖掘等特殊场景下更是具有传统非 AI 方法不可比拟的优势。

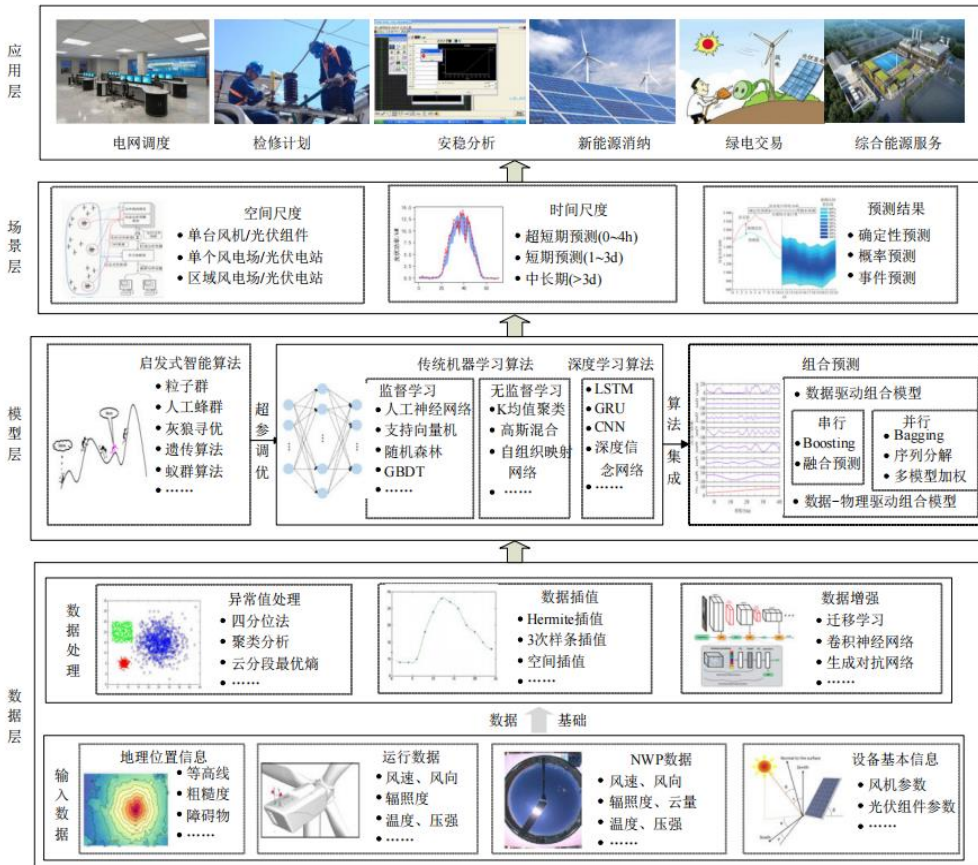
表 11：物理模型与 AI 模型对比

预测方法	物理模型	AI 模型
建模难度	综合气象、电气、电子、机械等多个学科知识，专业性要求高	具备多种通用模型，并配套成熟工具包，建模简单
模型参数获取难度	基于试验测试或产品手册，参数获取难度高	通过模型训练得到，较为容易
数据输入	NWP 数据	历史功率和历史气象观测数据、NWP 数据
预测空间尺度实用性	适用于单机建模，应用于场站以及区域预测时需进行二次建模	可直接用于单机、单场站和区域预测
预测时间尺度适用性	受限于 NWP 精度，一般用于短期预测	可用于分钟级、超短期预测，也可用于短期预测
可解释性	强	弱
建模数据要求	仅需要场站信息、设备参数等静态信息，不需要功率气象等历史数据	需要大量历史气象和功率数据，数据量少时

资料来源：《人工智能技术在新能源功率预测的应用及展望》朱琼峰，中国银河证券研究院

AI 新能源功率预测流程可以分为数据层、模型层、场景层和应用层。如下图所示，在数据层，地理位置信息、运行数据（风速、温度、压强等）、数值天气预报系统 NWP 数据、设备基本信息等数据通过网络传送到数据中心进行存储，而后在数据处理模块中对各类数据进行异常值处理、数据插值及增强。模型层将筛选出的数据与历史数据以多模型组合方式进行训练和推理，最终得到的模型在场景层可广泛用于跨空间尺度、多时间尺度、多预测结果（确定性预测、事件预测、概率预测、集群预测）。应用层可服务于电网调度、新能源消纳、绿电交易、综合能源服务等应用。

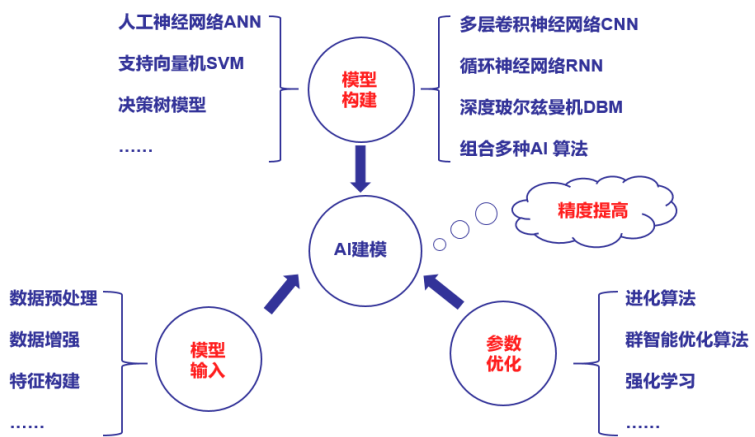
图 60：基于 AI 的新能源功率预测技术框架



资料来源：《人工智能技术在新能源功率预测的应用及展望》朱琼峰，中国银河证券研究院

AI 技术通过模型输入、模型构建和参数优化应用于新能源功率预测领域。根据电科院研究，当前 AI 技术在新能源功率预测领域的应用主要包括模型输入、模型构建和参数优化三个方面。模型输入包括数据预处理、数据增强和特征构建方面的应用。模型构建主要涉及传统机器学习算法（包括支持向量机 SVM、梯度提升决策树 GBDT 以及各种传统浅层神经网络）、基于深度学习的新一代 AI 技术（包括多层卷积神经网络 CNN 和循环神经网络 RNN）以及组合多种 AI 算法的组合预测技术。参数优化包括进化算法、群智能优化算法等静态优化算法和强化学习等动态优化算法，主要用于模型训练和组合参数优化。

图 61: AI 技术通过模型输入、模型构建和参数优化应用于新能源功率预测领域



资料来源:《人工智能技术在新能源功率预测的应用及展望》朱琼峰, 中国银河证券研究院

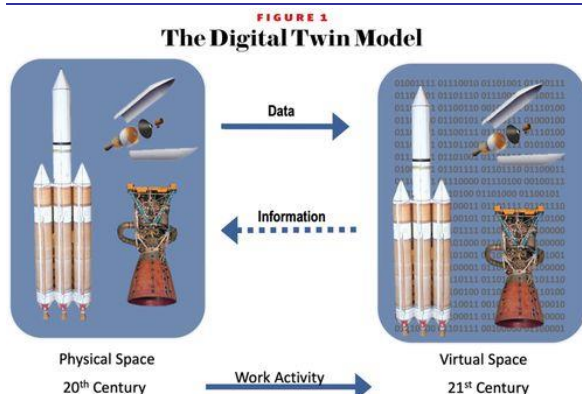
有效提高功率预测准确性。以金风慧能为例, 基于英特尔统一的大数据分析和 AI 平台—Analytics Zoo, 公司在全国多个光伏测试场站以月为周期进行实地测试, 在单小时内使用 3 万条记录对模型进行 5,000 次迭代优化, 并在 50 毫秒内获得未来 2 小时的功率预测数据。截至 2021 年, Analytics Zoo 将预测准确率从传统方案的 59% 提升到 79.41%。

根据南方电网研究, **新能源功率预测仍存在诸多挑战**, 包括超短期、短期、中长期电力电量相关的预测应用相对割裂, 网、省、地、场多时空尺度的协同应用尚未出现, 且极端转折天气下相关应用措施较少。同时, 新能源预测与电力市场和实时调度的结合应用还处于早期阶段, 预测误差与市场出清结果等市场行为关联度的细致分析尚未出现。未来, 强化学习、元学习、GNN、大模型等多种 AI 技术将与之相结合, 在具体场景自适应、小样本学习、NWP 数据时空分辨率、分布式新能源预测、预测方法标准化验证等多个方面提升 AI 模型应用深度及广度。目前 Google、英伟达等厂商均开始研发 AI 大模型在气象领域和新能源发电领域的应用。

4、深度赋能应用场景之四：数字孪生

数字孪生技术即利用计算机对物理对象进行实时仿真模拟, 辅助后续分析、决策。2010 年美国军方与 NASA 首次在航空航天器领域提出数字孪生应用场景, 利用实时传感器、历史数据及算法模型来反映真实飞行器的实际状况, 便于实时监测及判断真实飞行器工况、是否需要检修、能否承担下次任务负荷等。得益于近年物联网、大数据、云计算等技术的发展, 数字孪生技术对复杂系统的仿真、分析、预测能力已远超传统解决方案, 被广泛应用于电力、城市管理、智能制造等领域。

图 62: 数字孪生概念图



资料来源: Manufacturing Leadership Council, 中国银河证券研究院

政策明确技术地位。随着国家大力推动数字化转型，数字孪生得到国家各个层面政策支持。2020年4月，国家发改委印发的《关于推进“上云用数赋智”行动，培育新经济发展实施方案》明确数字孪生成为七大新一代数字技术。科技部、工信部、住建部等部委密集出台政策文件举旗定向。

我国未来新型电力系统结构更复杂、设备更繁多、技术更庞杂的趋势已定，尤其是特高压电网将形成高强耦合、高波动性的超复杂系统，传统机理模型和优化控制方法已经难以满足电网规划设计、监测分析和运行优化的要求，**数字孪生技术将在电力领域获得广阔的发展空间。**中电联《电力行业数字孪生技术应用白皮书》指出，未来数字孪生技术可覆盖电力规划、设备制造、运维检修等领域，赋能输、变、配、用电、调度全环节提升电网智能化水平。当前数字孪生电网的主要功能包括监测电网实时状态、诊断电网异常原因、预测电网发展趋势、优化电网运营策略等。在国家电网、南方电网及其他发电企业的头部电网公司主导下，**数字孪生已在电网中有实际应用。**

在特高压输电领域，2021年南方电网开展了我国首个800kV昆柳龙特高压多端直流输电工程数字孪生建设，聚焦地理环境、设备、台账、图形、实时运行、设备状态监测等动静态数据贯通，完成1,452公里线路、2,947杆塔、2,691处交叉跨越，3个换流站建构筑物、20,000余设备的特高压工程三维数字孪生工作，全面接入调度实时运行、生产在线监测、周边气象环境等动态数据。

在变电领域，2022年2月广州供电局投产的220kV磨碟洲变电站是广州首座数字孪生变电站，是南方电网“智能电网重大关键技术研究集成示范”灯塔项目以及智能变电领域试点项目，该变电站能够实现机器人、摄像头、智能门禁、温湿度控制器等设备的统一管理与控制，能替代人工开展巡视、操作等多种业务。

在配电领域，由于配电网台区数量众多且分布广泛、感知设备不足、基础数据质量较差等，传统运维管理方案能力不足、效率低下且缺乏主动性，而数字孪生技术可通过集群建模、配置关键设备监测等方法实现配网数字化，从而提升运维管理水平。2021年乌镇为世界互联网大会投运了全球首个全感知智能配电房，配备了124套智能感知元件以及多功能机器人，可实现实时高精度监控、故障演变趋势模拟、远程检修处理等，有效应对了会议当月高峰用电达27.5万kWh（超平时5倍）的复杂负荷情况。2022年数字孪生系统再升级，在多技术加持下乌镇核心区域供电可靠率达99.9%，综合电压合格率100%。

图 63：磨碟洲变电站数字孪生展示平台



资料来源：广州供电，中国银河证券研究院

图 64：浙江乌镇互联网之光配电房运维赋能平台

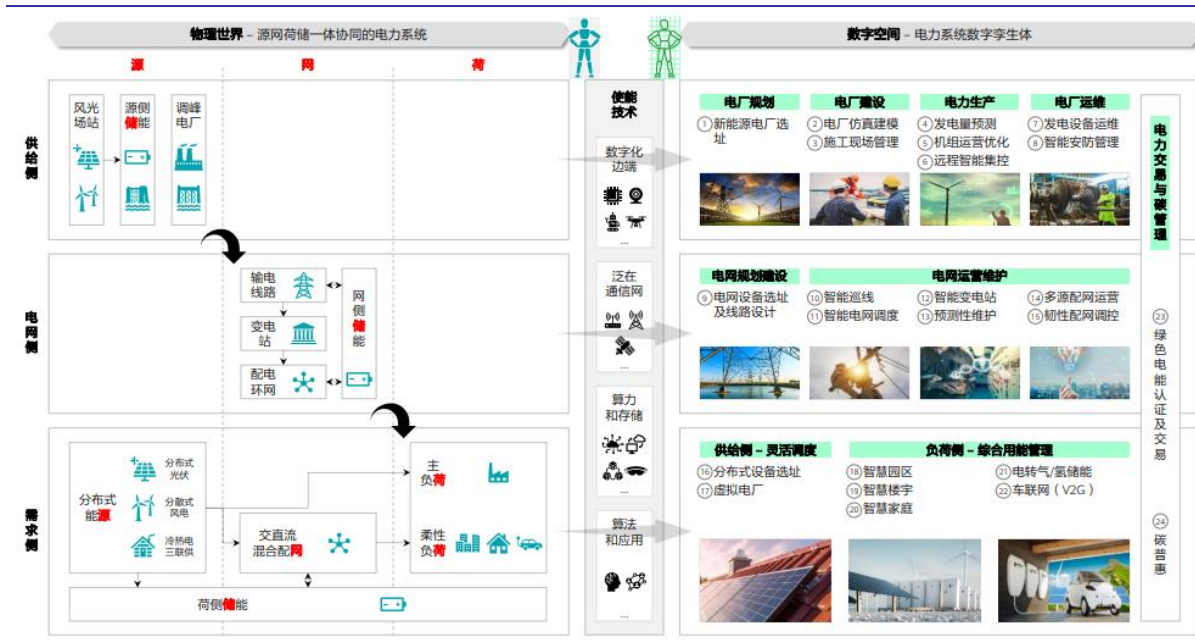


资料来源：人民网，中国银河证券研究院

参考华为电力数字化研究可知，在去中心化、终端电气化的行业背景和发展趋势推动下，电力系统源网荷储加速、加深，在数字化边缘、泛在通信网络、算力和存储、算法和应用等新一代数字化使能技术的大力发展和广泛应用下，将全面联通物理世界与数字空间，通过将电力系统中

的设备信息、生产过程等转化为数字表达，打造电力系统在虚拟空间中的“数字镜像”。同时，通过数字化监控、智能化分析、数智化自治等数字化能力的进阶式提升，完成物理世界与数字空间从虚实映射到深度交互的演进，进而实现整个电力系统的数字孪生。

图 65：2030 年电力数字孪生蓝图构想



资料来源：华为，中国银河证券研究院

（五）能源携手 AGI 走向全面智能时代

传统人工智能指专注于特定任务或领域（如语言翻译、图像识别或在特定游戏中与人类竞争）的人工智能系统，代表有 AlphaGo 等，其特点是适用范围有限，无法进行自我学习并进行知识推广，可理解为“弱 AI”。实际上，现有能源体系已不乏“弱 AI”的实践应用，但其发展速度相对缓慢。2022 年以大语言模型为核心的 ChatGPT 发布，开启通用人工智能（AGI）元年。AGI 最大优势在于适应性和泛化能力，能够理解、学习并应用跨多个领域和环境的知识，甚至解决之前未遇到的问题，展现出超越传统 AI 乃至人类的理解、逻辑推理能力。

近一年 AGI 呈现出井喷式增长速度，在 ChatGPT3.0 发布仅 4 个月后，2023 年 3 月，ChatGPT4.0 发布，参数数量增加 100 多倍。2023 年 12 月，Google 正式发布首个原生多模态模型 Gemini，展示出对视频/文字/音频等多元输入信息的处理能力。2024 年 2 月 15 日，OpenAI 发布文本生成视频大模型 Sora，展示出了对真实物理世界规律的理解和模拟能力，标志着 AGI 发展的又一里程碑。

图 66: Sora 文字生产视频案例, 展示出对真实物理世界的模拟、刻画能力



资料来源: OpenAI, 中国银河证券研究院

目前普遍认为, AGI 系统将具备理解、展示知识、学习、规划、推理、决策等多种复杂能力: 1) **理解和展示知识**: 能够学习和理解各种类型的知识, 并能够以可操作的形式表示这些知识; 2) **学习**: 能够从经验中学习和改进自己的行为 and 决策, 并能够自适应地适应新环境和新任务; 3) **创新与创造**: 深度理解数学、物理规律, 能融会贯通不同知识, 在此基础上进行创新创造; 4) **推理、策略、解决问题和在不确定环境下做出决策**: 能够处理复杂的问题和任务, 并且在面临不确定性和模糊性时能够做出正确的决策; 5) **规划**: 能够规划未来的行动和决策, 并且能够考虑多种可能性和场景; 6) **多元化输入信息处理和交互**: 能够理解和处理人类的自然语言和图像等信息, 并能够与人类进行有效的交互和沟通。

得益于数据量的快速增长、计算能力的大幅提升以及机器学习算法的持续优化, 目前的 AGI 已在大部分任务中具备与人类相似甚至超越人类的能力。以电力生产、传输、运行、控制等全过程海量数据作为数据基础, 融合外部系统相关信息, **AGI 在智能能源体系建设过程中展现出非凡的优势和广阔的应用前景**。在 AGI 技术的加持下, 智能能源体系有望开启新一轮加速变革期, 同时我们预期市场成长空间将进一步扩大。

能源负荷与供给的全面预测。AGI 能够充分利用社会心理学、环境科学等跨学科知识, 深入分析和理解个体用能信息。以一个典型的家庭为例, AGI 通过分析家庭成员的行为模式、居住环境和日常习惯, 构建出精确的用户使用电能画像, 比如, 通过分析工作日和休息日的能源使用数据, AGI 能够预测家庭在不同时间段的能源需求。同时, 它还能实时接入气象数据, 预测太阳能和风能发电的潜在供给, 从而为家庭提供量身定制的能源使用和生产建议。这不仅优化了个别家庭的能源利用, 还有助于平衡整个区域的能源供需。例如, 家庭私家车也将成为重要储能设备, 在物联网系统下依靠 AGI 分析电力价格、用车习惯等信息实现自充自放, 甚至获取一定电力交易收益; 在制造工厂中, AGI 通过分析生产流程、设备特性和历史能源数据, 精确预测工厂的能源需求, 结合市场能源价格和可再生能源供应情况, AGI 能够为工厂制定最优的能源购买和使用策略, 减少能源成本同时降低环境影响。

完全自主调节的能源管理系统。AGI 可以通过分析区域内各类建筑的能源使用数据实现自适应能源管理, 如商业楼宇、购物中心、餐馆、工业园区等, AGI 能够预测整个区域的能源需求曲线。结合客流量、经营情况等信息和实时环境数据, AGI 能够指导区域内的能源分配, 优化从可

再生能源到传统能源的使用比例。例如未来智能住宅中，AGI 能够监控和调整整个社区的能源使用，通过分析每户人家的能源使用习惯、天气信息、以及可再生能源的实时产量，自动优化能源分配和消费，在高峰能源需求时调用家庭的储能设备，按需控制部分家庭的供暖/冷情况，自动向临近的电力微网系统购买电力。在制造工厂中，AGI 能全面调度园区的热、电、冷等能源系统，结合能源价格、生产任务等输入调节高效的分配能源流向，制定日间短期生产节奏，实现节能增效。

跨区域能源优化与合作。AGI 通过整合和分析不同地区的能源数据，利用深度学习和预测模型预测各区域的能源需求和供应。它运用复杂的多目标优化技术，考虑成本、能源损耗和环境影响，制定最优的能源调配方案，实现能源从供应充足的地区高效流向需求较大的地区。此外，AGI 协调地区间的能源共享，通过智能电网互联互通，实现能源的最优配置和区域间合作，提高能源效率，降低成本和环境影响。

电力自动化调度。AGI 可以将历史调度员行为数据、事故数据等总结概括为更加通用的、可解释的调度经验知识，以改进结构化知识的弱点，寻找更直观高效的调度路径，创新出更高效的多能源种类、多设备类型和多系统融合发展的调度模型，实现经济性、安全性、低碳性、各个主体博弈关系、与其他能源系统配合等多个角度的最大效用。当系统出现突发情况，如某输电节点异常损坏，AGI 能充分分析电气参数等状态量，甚至利用物联网调取其他设备的环境视觉信息，全面分析事故情况，迅速量化各种解决方案的成本收益并通知应急单位相应，同时做好相关的维护工作，最小限度降低负面影响。

电力系统巡检及故障诊断。AGI 可以配合无人智能机器人，利用搭载的可见光或者红外传感器来对目标线路进行图像获取，在获取到相关的电力设备图像之后，依托深度学习、机器学习等相关技术直接对目标图像进行检测，对图像进行电气设备、非关键障碍物等各种对象的识别。例如在偏远的光伏大基地，可以远程识别各种遮挡物（树叶、积灰等），真实的判断电池片内部短路、线路老化、断栅故障等，提高准确性和效率。

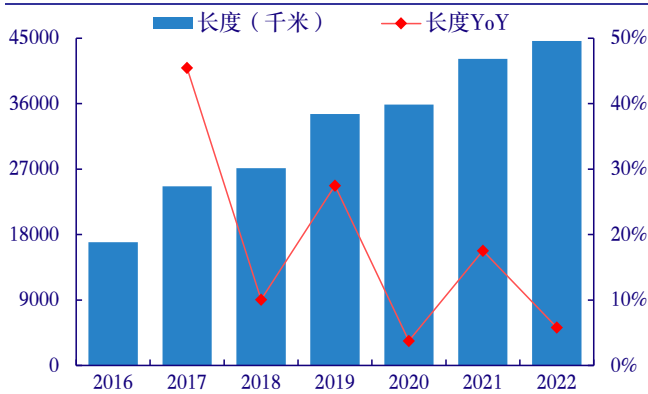
灾害响应和能源恢复。在面对自然灾害时，AGI 能够迅速评估灾害对能源系统的影响，并协调资源进行有效响应。以飓风为例，AGI 可以提前预测飓风路径和强度，评估对电网的潜在影响，并提前调整能源分配，减轻损害。灾后，AGI 能够指导快速恢复计划，优先恢复关键基础设施的能源供应，最大限度减少对社会和经济的影响。

四、受益领域市场分析及投资建议

（一）特高压正值投资高峰期，柔直潜力大

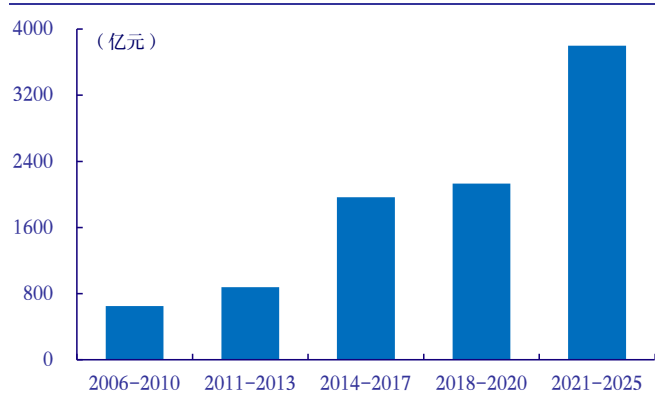
近年来我国特高压工程建设加速，特高压工程累计线路长度从 2016 年的 16,937 千米快速提升至 2022 年 44,613 千米。截至 2022 年底，我国已累计投运“20 直 16 交”特高压，其中国网 16 直 16 交、南网 4 直。

图 67：2016-2022 年我国特高压累计线路长度



资料来源：北极星输配电网，中国银河证券研究院

图 68：2006-2025E 我国特高压投资规模



资料来源：国家电网，中国银河证券研究院

特高压工程包括可研、核准、招标、开工、投运阶段。一般情况从核准到投运的建设周期约 18-24 个月，直流配套的交流因工程量较小建设时长更短。如需在“十四五”期间建成投运，相关特高压直流项目最迟要在 2024 年上半年获得核准。**2023 年-2024 年特高压直流项目迎来密集核准招标期**，预计有 9 条直流线路，目前 4 条已获得核准正在建设，预计剩余已明确规划的 4 条将于 2024 年核准开工。

表 12：“十四五”期间规划的特高压输电线路情况梳理

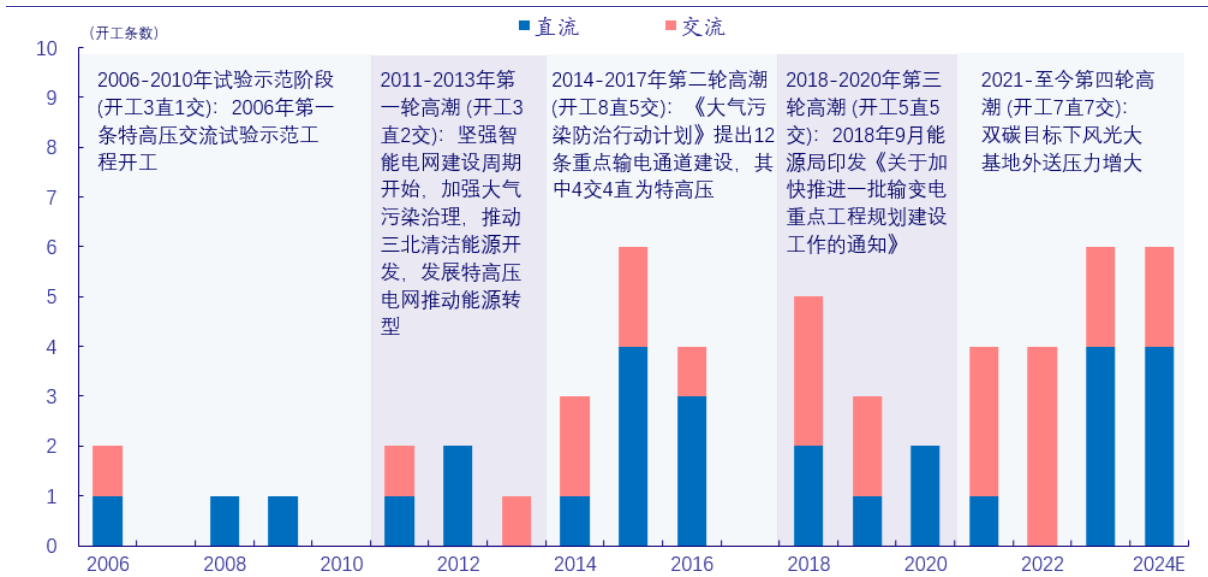
类型	项目简称	电压等级	建设情况	核准时间	开工时间	投运时间	投资额 (亿元)	线路长度 (公里)	输送能力 (GW)
直 流	青海-河南	± 800	已投运	2018 年 10 月	2018 年 11 月	2020 年 12 月	226	1563	8
	雅中-江西	± 800	已投运	2019 年 8 月	2019 年 9 月	2021 年 6 月	244	1696	8
	陕北-武汉	± 800	已投运	2019 年 1 月	2020 年 2 月	2022 年 4 月	185	1137	8
	白鹤滩-江苏	± 800	已投运	2020 年 11 月	2020 年 12 月	2022 年 7 月	307	2080	8
	白鹤滩-浙江	± 800	已投运	2021 年 7 月	2021 年 10 月	2022 年 12 月	299	2121	8
	金上-湖北	± 800	建设中	2023 年 1 月	2023 年 2 月	2024E	334	1901	8
	陇东-山东	± 800	建设中	2023 年 2 月	2023 年 3 月	2024E	202	926	8
	哈密-重庆	± 800	建设中	2023 年 7 月	2023 年 8 月	2024E	260	2283	8
	宁夏-湖南	± 800	建设中	2023 年 5 月	2023 年 6 月	2024E		1619	8
	蒙西-京津冀	± 660	22 年 11 月可研	2024E	2024E	2025E			
	藏东南-粤港澳	± 800	22 年 5 月环评	2023E	2023E	2024E			
	甘肃-浙江	± 800	22 年 4 月预可研	2024E	2024E	2025E			
	陕西-河南	± 800	23 年 3 月可研招标	2024E	2024E	2025E		900	8
	陕西-安徽	± 800	23 年 8 月可研	2024E	2024E	2025E		1000	8

项目	电压等级	状态	开工时间	投产时间	投产时间	长度(km)	投资(亿元)	数量
南昌-长沙	1000	已投运	2020年12月	2021年2月	2021年12月	102	682	4
荆门-武汉	1000	已投运	2020年12月	2021年3月	2022年12月	65	234	2
南阳-荆门-长沙	1000	已投运	2020年4月	2021年6月	2022年10月	81.7	965.4	6
驻马店-武汉	1000	建设中	2021年11月	2022年3月	2023年11月	38	287	
福州-厦门	1000	建设中	2022年1月	2022年3月	2023E	71.2	559	4
武汉-南昌	1000	建设中	2022年7月	2022年9月	2023E	82.9	913.2	
川渝交流	1000	建设中	2022年	2022年9月	2025年夏	288	1316	
张北-胜利	1000	已核准	2022年9月	2023年7月	2024E	67.92	368	
黄石特高压	1000	已核准	2022年9月	2023年4月	2024E	22.8		

资料来源：国家电网，北极星输配电网，中国银河证券研究院

特高压投资可分为 2006-2010 年试验示范阶段、2011-2013 年第一轮高峰、2014-2017 年第二轮高峰、2018-2020 年第三轮高峰以及 2021-至今第四轮高峰。根据国网最新规划，2023 年预计核准“5 直 2 交”，开工“6 直 2 交”，2023 年特高压直流开工规模为历史年度最高值，预计 2024 年/2025 年直流特高压核准开工 4 条/4 条。

图 69：我国历年来特高压输电线路建设可分为 5 个阶段

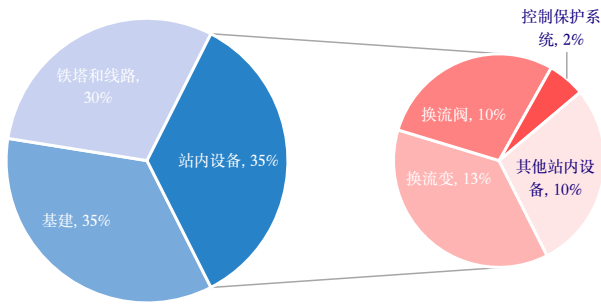


资料来源：国家电网，北极星输配电网，中国银河证券研究院

根据国家电网规划，2024 年 1 月、4 月、6 月、7 月、9 月和 11 月，国家电网特高压公司将分别完成 8 批次集中采购招标。特高压投资可分为基础建设、铁塔和线路以及站内设备，其中基建、铁塔和线路技术门槛较低，竞争格局分散，站内设备技术门槛高，呈现寡头垄断格局。

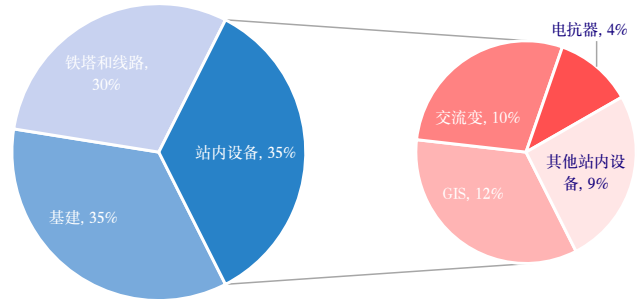
由于每年招标份额相对固定，特高压站内设备的龙头企业优势明显。特高压交流的核心设备包括 GIS 和交流变压器等，直流包括换流阀和换流变压器等，主要供应商包括国电南瑞（600406.SH）、特变电工（600089.SH）、中国西电（601179.SH）、许继电气（000400.SZ）、平高电气（600312.SH）、四方股份（601126.SH）等。

图 70：直流特高压投资构成占比



资料来源：国家电网，中国产业信息网，中国银河证券研究院

图 71：交流特高压投资构成占比



资料来源：国家电网，中国产业信息网，中国银河证券研究院

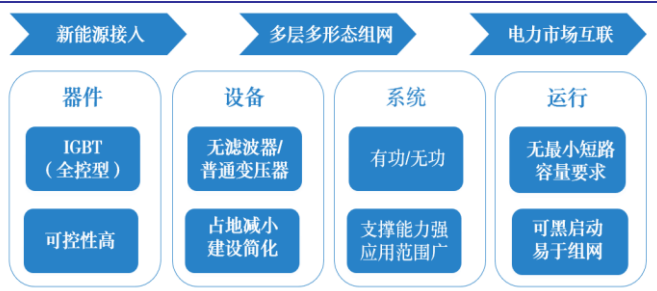
表 13：特高压单站设备投资拆分

类型	设备	换流变	换流阀	GIS	直流/平波电抗器	直流保护系统	互感器	断路器	电容器	避雷器	开关柜
直流	单站招标数量	28	4	20	12	1	100-200	11	25	25	100-150
	单价(亿)	0.6	2.3	0.2	0.8/0.1	1.5	0.004	0.05	0.01	0.002	
	单站总额(亿)	16.8	9.2	4	1.9	1.5	0.6	0.55	0.25	0.05	
类型	设备	变压器	GIS	电抗器	互感器	断路器	电容器	避雷器	开关柜	隔离开关和接地开关	
交流	单站招标数量	11	7	10	50	5	5	30	10-15	10-15	
	单价(亿)	0.7	0.4	0.2	0.007	0.05	0.05	0.001			
	单站总额(亿)	7.7	2.8	2	0.35	0.25	0.25	0.03			

资料来源：国家电网，中国银河证券研究院

特高压技术朝着柔性直流方向发展。柔性直流输电是基于电压源型换流器（VSC）的新一代直流输电技术，采用 IGBT、IEGT 等全控型功率器件，能够独立控制输出电压的幅值、频率和相位三大特征量，不依赖电网换相、谐波小、可独立调有功和无功功率等，**可有效提高电网运行的可靠性和稳定性**，在孤岛输电、弱电网供电、新能源并网、海上风电外送等方向上有着独特优势。由于所用换流元件的不同，传统直流和柔性直流对电网的需求不同。传统直流的送受两端都要有稳定、足够强度的交流系统。柔性直流能够主动构网，对电网提供强支撑。在输电能力方面，柔性直流已经达到特高压等级，但是电压等级和容量还无法达到传统直流输电的最高水平。

图 72：柔性直流性能优异，应用空间广阔



资料来源：国家电网，中国银河证券研究院

我国柔直输电电压等级、输送容量均处于世界领先水平。我国柔性直流输电技术起步较晚，自国家电网 2006 年组织召开“柔性直流输电系统关键技术研究框架”研讨会后，行业迎来了快速发展期。根据南方电网统计，目前国际上已经投运的柔性直流输电工程数量达到 51 个，总变电容量超过 60GW，其中风电送出工程 17 项，海上平台供电工程 4 项。国外仅有 ABB、西门子、阿尔斯通三家公司具备该技术的工程建设能力。近 10 年来，国家电网和南方电网已建成投运或规划的柔性直流输电工程共 12 项，电压等级、输送容量均处于世界领先水平。其中，张北电网将柔直的输电容量与可靠性提升至常规直流水平，昆柳龙特高压多端柔性直流首次将电压提升至特高压 ±

请务必阅读正文最后的中国银河证券股份有限公司免责声明。

800kV 等级，也是世界上首个送出端采用常规直流、受端采用柔性直流的特高压三端混合直流输电工程。

表 14：我国已建成投运或规划建设的柔性直流输电线路

工程名称	投运年份	容量/MW	直流电压 /kV	接线形式	器件类型	电缆/架空线	距离/km	应用场景
上海南汇	2011	20	± 30	对称单极	3300VIGBT	直流电缆	8	新能源并网
南澳多端	2013	200,100,50	± 160	对称单极	3300VIGBT 4500VIEGT	架空线+直流电 缆	20.6+20.2	新能源并网
舟山五端	2014	400,300,100 × 3	± 200	对称单极	3300VIGBT	直流电缆	140.4	新能源并网
厦门工程	2015	1000	± 320	对称双极金属回线	3300VIGBT	直流电缆	10.7	城市高密度负荷中心供电
鲁西背靠背	2016	1000	± 350	对称单极	3300VIGBT 4500VIEGT			电网柔性互联
渝鄂背靠背	2019	1250 × 4	± 420	对称单极	3300VIGBT 4500VIEGT			电网柔性互联
张北直流电网工程	2020	3000	± 500	对称双极金属回线	4500VIGBT 5200VBIGT	架空线	648.2	新能源并网、无源网络供电
昆柳龙直流工程	2020	5000	± 800	对称双极大地回线	4500VIGBT 4500VIEGT	架空线	1452	远距离架空线输电
如东海风工程	2021	1100	± 400	对称单极	4500VIGBT 4500VIEGT	海底电缆	103	新能源并网
广东背靠背工程	2022	1500 × 4	± 300	对称单极	4500VIGBT 4500VIEGT			电网柔性互联
白鹤滩工程	2022	8000	± 800	对称双极大地回线，高端换流器 LCC，低端换流器采用 VSC	4500VIGBT 4500VIEGT	架空线	2088	远距离架空线输电
青州海风送出工程	2024E	2000	± 525	对称单极	4500VIGBT	海底电缆	86	新能源并网

资料来源：《柔性直流输电技术的工程应用和发展展望》饶宏，中国银河证券研究院

柔直海缆尚处于起步阶段。在海风送出、海缆输电等场景，限于柔性直流输电拓扑结构，工程应用采用故障率低的直流电缆作为传输线路，但直流电缆限制了柔性直流电压等级提升。目前，全球技术领先的电缆公司已普遍具备 ± 525kV 直流陆地电缆系统的生产制造能力，正在致力于开展 ± 525kV 直流海底电缆系统的研发与试验。英国和丹麦之间 VikingLink 项目采用 ± 525kV/1400MW 高压直流输电连接，预计于 2023 年底投运。我国首个柔直海风项目 ± 400kV/1100MW 三峡如东项目于 2021 年建成。青洲五七项目或将应用 ± 500kV/2000-3000MW 等级的柔性直流输电送出技术方案，预计于 2024 年建成。

图 73：我国首个柔性直流海上风电项目直流海缆示意图



资料来源：中共如东县委宣传部，中国银河证券研究院

柔直市场空间可观。十四五期间，国家电网、南方电网加快柔性直流输电等技术装备研发，密集规划、建设了多个柔直输电示范项目，我们预计 **2024-2025 年远距离柔直+背靠背柔直项目条数有望达到 6 条。**根据南方电网研究成果，远距离柔直输送能力一般约 8GW/条，柔直背靠背输送能力约 5GW/条；陆上/海风柔直投资每 GW 单价为 25 亿元/40 亿元，设备占比均大致为 60%，其中换流阀占设备的投资比重约 20%/35%。按照中性假设模型推算，**2024-2025 期间柔直总投资或达 1,005 亿元，设备总投资/核心零部件换流阀投资或为 603 亿/146 亿。**

换流阀国产化制约柔直发展。我国柔性直流换流阀的装备集成技术已经处于国际领先水平，但是换流阀的子模块功率器件、直流电容器等核心元件和控制芯片仍依赖进口。目前，功率器件国内主要生产厂商为**国电南瑞（600406.SH）、许继电气（000400.SZ）、中国中车（601766.SH）（机械组覆盖）**，已具备大规模供货业绩。国产化直流电容尚未在柔性直流使用，但已具备应用条件。国产化芯片的二次板卡正处于研发阶段。

目前我国从事柔性直流输电制造的代表企业包括**国电南瑞（600406.SH）、许继电气（000400.SZ）、东方电缆（603606.SH）、中天科技（600522.SH）（通信组覆盖）**等，在换流阀、IGBT 等核心装备以及输电电缆方面，均取得不俗成就及突破性进展，跻身全球柔直制造领域领先行列。中国企业积极出海抢滩海外柔直市场，立志打造专属于各个企业的核心竞争力。

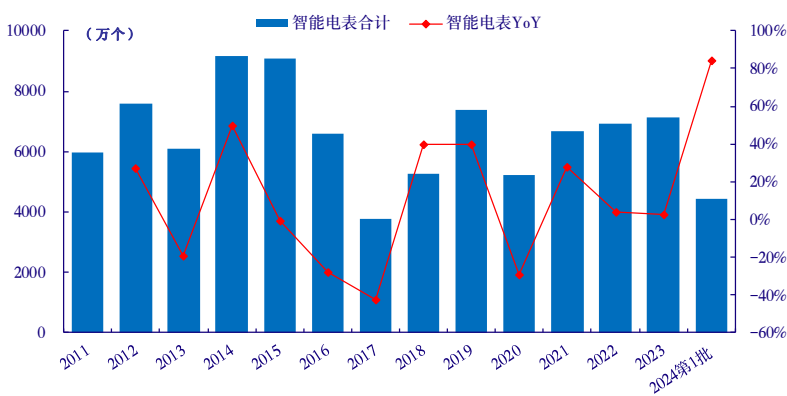
（二）智能电表享海内外双增长红利

第一代标准带来 2014-2015 年第一轮智能电表招标高峰。在 2008 年“坚强智能电网”概念提出后，国家电网首次统一智能电能表标准，发布 2009 版标准并进行统招，试行 3 年后通信模块互换性测试、通信接口带载能力等技术要求，发布 2013 版标准。但 2009 版和 2013 版为第一代智能电表，规范主要依据国际电工委员会 IEC 标准而制定的，采用单个 MCU（微控制单元）+专用电能计量芯片的设计思路。在新标准逐步推广期间，我国智能电表迎来快速发展，从 2010 年开始大规模使用智能电表，并于 2014 和 2015 年迎来第一轮智能电表招标高峰。国家电网分别于 2014、2015 年统招智能表 9159 万台、9099 万台，而后滑落至 2017 年的 2778 万台。

2024-2025 年电表将迎来新一轮更换峰值。国家电网和南方电网统招是智能电表最主要的市场。根据电力喵统计国家电网电子商务平台招标数据可知，全年国家电网共招标智能电表 7128.31 万台，较上年增加 2.9%，中标金额达 189.54 亿元，同比微降 4.16%；2023 年南方电网电表招标金额为 2739.66 万元，同比增长 5.9%。2 月 23 日，国网公告 2024 年 1 批次电能表公告，合计招标 4414.82 万只，同比增长 84.6%。考虑到 2014-2015 年为第一代智能电表招标高峰，状态更换策略

逐步推广下，轮换周期约延长为 10 年左右，我们预计 2024-2025 年电表将迎来新一轮更换峰值。

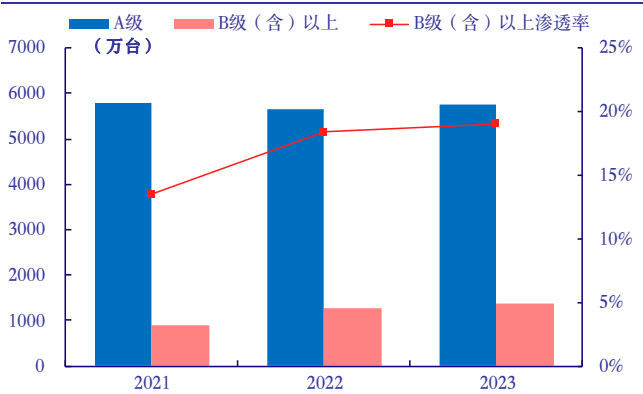
图 74：2011-2023 年国家电网电能表招标数量统计



资料来源：国家电网电子商务平台，中国银河证券研究院

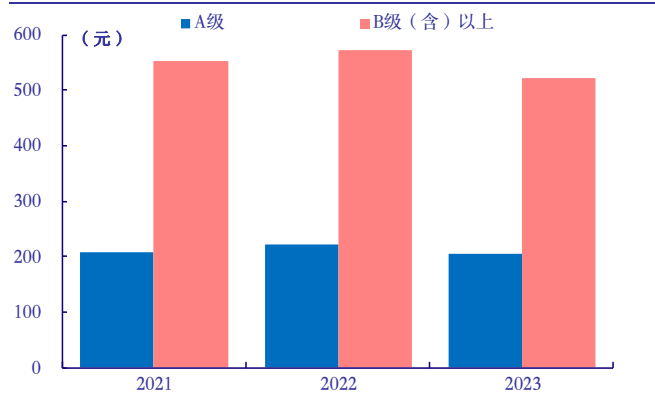
新一代智能电表示单价值有望提升。在 MID 认证执行标准中将精度等级划分了 A 级、B 级、C 级电能表，对应其他标准中的 2 级、1 级、0.5 级电能表，等级数值越小，电表的精确度越高。一般而言，在变电站、工矿企业等电力大用户会采用 0.5 级电能表，一般商业、家庭民用会采用 1 级或 2 级电能表。根据 data 电力公众号统计，2021-2023 年国网中标的智能电能表 B 级以上（含）渗透率分别为 13.5%、18.4%、19.1%，单表平均价值量分别为 552.95 元、572.71 元、521.63 元，分别较同批次 A 级电表示单价值量高 166.1%、159.3%、153.6%。此外，国网 2024 年 1 批次电能表招标类别中新增高端智能电表约 1 万台。我们认为伴随着泛在物联网的建设及 IR46 新标准的实施，未来两网公司有望加速提升对 B 级以上高精度电表的招标需求，单表价值量有望逐步提升。

图 75：2021-2023 年国家电网 B 级（含）以上电能表渗透率



资料来源：data 电力公众号，中国银河证券研究院

图 76：2021-2023 年各级别电表示单价值量对比



资料来源：data 电力公众号，中国银河证券研究院

国内智能电表市场集中度低，格局稳定。根据国网电子商务平台的数据显示，参与电表招标企业数量整体维持在 70 家以上，市场集中度较低，2021-2023 年 CR3 维持在 8%-15% 水平，CR10 维持在 25%-45% 水平。从企业格局看，国电南瑞（南瑞中天）（600406.SH）、三星医疗（601567.SH）、威胜集团、许继电气（许继仪表）（000400.SZ）、林洋能源（601222.SH）、海兴电力（603556.SH）、炬华科技（300306.SZ）、东方威思顿常年保持前 10 位置。

表 15: 国网电能表（含用电信息采集）集招中标结果

2023 年第二次招标			2023 年第一次招标		
中标企业	中标金额（万元）	金额占比	中标企业	中标金额（万元）	金额占比
安徽南瑞中天电力电子有限公司	33,359	2.76%	华立科技股份有限公司	23,382	3.41%
宁波三星医疗电气股份有限公司	33,302	2.75%	杭州炬华科技股份有限公司	22,805	3.33%
威胜集团有限公司	31,924	2.64%	烟台东方威思顿电气有限公司	21,508	3.14%
河南许继仪表有限公司	31,644	2.61%	河南许继仪表有限公司	21,203	3.10%
深圳市科陆电子科技股份有限公司	30,530	2.52%	威胜集团有限公司	20,782	3.03%
宁夏隆基宁光仪表股份有限公司	29,974	2.48%	宁波三星医疗电气股份有限公司	19,588	2.86%
武汉盛帆电子股份有限公司	29,799	2.46%	安徽南瑞中天电力电子有限公司	19,456	2.84%
烟台东方威思顿电气有限公司	29,092	2.40%	江苏华鹏智能仪表科技股份有限公司	19,177	2.80%
江苏林洋能源股份有限公司	28,881	2.39%	杭州海兴电力科技股份有限公司	19,111	2.79%
江苏华鹏智能仪表科技股份有限公司	28,853	2.38%	中电装备山东电子有限公司	18,492	2.70%
CR3	98,585	8.15%	CR3	67,694	9.88%
CR10	307,358	25.39%	CR10	205,503	30.00%
2022 年第二次招标			2022 年第一次招标		
中标企业	中标金额（万元）	金额占比	中标企业	中标金额（万元）	金额占比
宁波三星医疗电气股份有限公司	44,358	5.61%	威胜集团有限公司	43,198	4.30%
威胜集团+威胜信息	33,155	4.20%	烟台东方威思顿电气有限公司	42,914	4.27%
烟台东方威思顿电气有限公司	30,959	3.92%	宁波三星医疗电气股份有限公司	42,104	4.19%
杭州炬华科技股份有限公司	29,661	3.75%	杭州炬华科技股份有限公司	38,518	3.84%
华立科技股份有限公司	29,319	3.71%	华立科技股份有限公司	37,591	3.74%
河南许继仪表有限公司	28,560	3.61%	深圳市科陆电子科技股份有限公司	36,835	3.67%
安徽南瑞中天电力电子有限公司	25,479	3.22%	河南许继仪表有限公司	35,159	3.50%
杭州海兴电力科技股份有限公司	25,294	3.20%	杭州海兴电力科技股份有限公司	32,626	3.25%
江苏林洋能源股份有限公司	24,935	3.16%	宁波迦南智能电气股份有限公司	31,594	3.15%
武汉盛帆电子股份有限公司	24,190	3.06%	浙江万胜智能科技股份有限公司	31,380	3.13%
CR3	108,472	13.73%	CR3	128,217	12.77%
CR10	295,910	37.45%	CR10	371,920	37.04%

资料来源：电力喵公众号，中国银河证券研究院

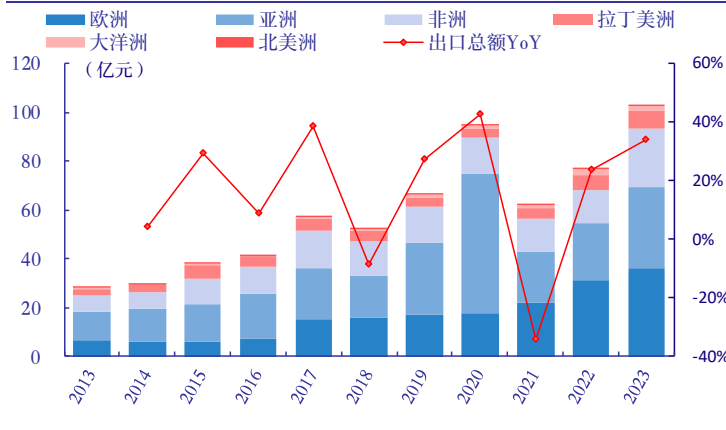
多重因素驱动全球智能电表高需求。首先是全球电力需求持续增长，根据美国能源信息署 EIA 数据，预计全球电力装机容量将从 2020 年的 7.1TW 增长至 2050 年的 14.7TW。此外，根据 GrandViewResearch 数据，根据终端市场划分，住宅市场占全球智能电表收入 88% 以上。考虑到消费电子产品、办公设备和其他负载约占 15%-20%，低功耗模式下也持续消耗电力，未来商业（酒店、购物中心和办公楼等）以及工业消费者越来越倾向于安装智能能源管理系统跟踪电力使用情况，智能电表商业及工业终端市场智能电表将出现强劲增长。政府对基础设施项目的投资不断增加，也将推动全球智能电表市场快速发展。

我国是智能电表最大需求国和制造国，智能电表已经达到或接近发达国家技术标准，生产研发能力可满足国际市场的不同需求。欧美电表厂商兰吉尔、Itron 主要聚焦欧美发达国家的高端市场，中国电表厂商凭借合格的技术、发挥价格优势以及交付及时优势，在亚洲、非洲、欧洲、拉丁美洲均实现突破，具有较强的竞争力。**海兴电力（603556.SH）、林洋能源（601222.SH）、三星医疗（601567.SH）**等厂商有望通过加大覆盖国家地区数量，提升已覆盖国家地区智能电表渗透率及市占率，提升智能电表附加值多种途径支撑海外市场收入高增。

海外电表出口市场规模已达百亿元，年复合增速高达 13.8%。根据海关总署数据，2023 年中

国企业共向 190 多个国家和地区出口了电能表相关产品。海外市场智能电表需求持续旺盛，电能表出口总金额从 2013 年的 28.2 亿元增长至 102.9 亿元，2013-2023 年出口金额 CAGR 达 13.8%，出口数量从 2372.5 万个增长至 7402.8 万个，出口数量 CAGR 达 12.1%。我们认为疫情结束后，海外需求有望加速释放，智能电表出口市场持续向好。

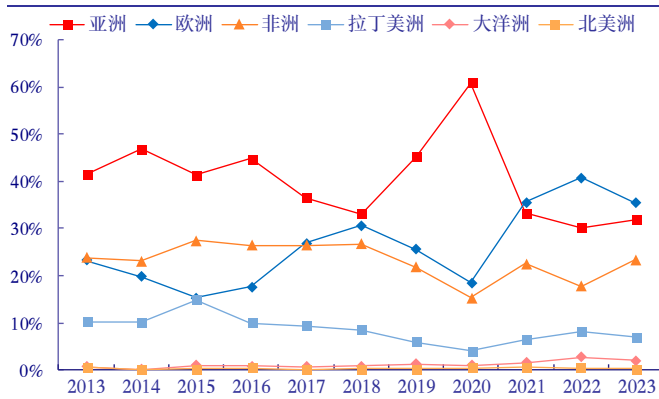
图 77：2011-2023 年中国电能表各洲出口金额保持提升



资料来源：国家电网电子商务平台，中国银河证券研究院

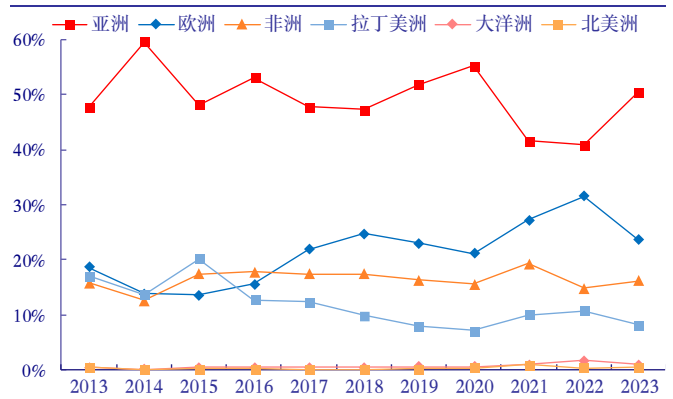
亚非欧为中国智能电表主要出口市场。从出口金额人民币口径来看，欧洲、亚洲、非洲常年位列前三，2020 年起欧洲超越亚洲位居第一，2023 年欧洲、亚洲、非洲分别占比 35.4%、32.0%、23.4%，合计约 90.8%。从出口数量来看，亚洲、欧洲、非洲常年位列前三，2023 年分别占比 50.5%、23.6%、16.3%，合计约 90.4%。

图 78：2013-2023 年中国电能表各洲出口金额分布



资料来源：海关总署，中国银河证券研究院

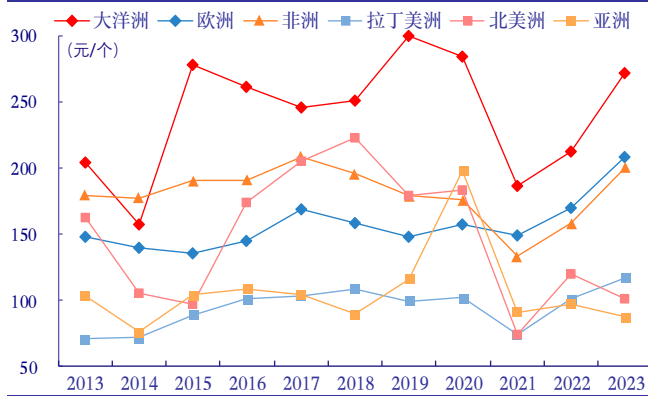
图 79：2013-2023 年中国电能表各洲出口个数分布



资料来源：海关总署，中国银河证券研究院

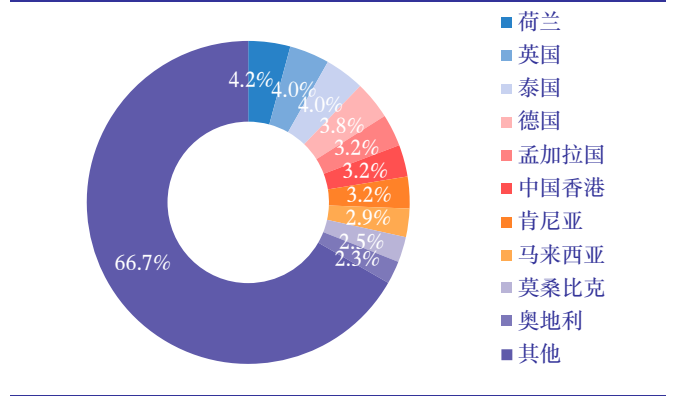
大洋洲、欧洲、非洲支付能力高，电表出口单价与国内价格持平。从出口单价来看，2023 年大洋洲、欧洲、非洲单价约为 272 元/个、209 元/个、200 元/个，位列前三，与国内价格 A 级电表单价持平。亚洲国家单价最低，为 88 元/个。我们认为非洲单价较高，可能是因为虽然电力基础设施相对落后，但是欧美电表企业在非洲已培养较高的付费意愿，因此单表价格保持相对高位。

图 80：2013-2023 年中国电能表各洲出口单价分布



资料来源：海关总署，中国银河证券研究院

图 81：2013-2023 年中国电能表各洲出口个数分布



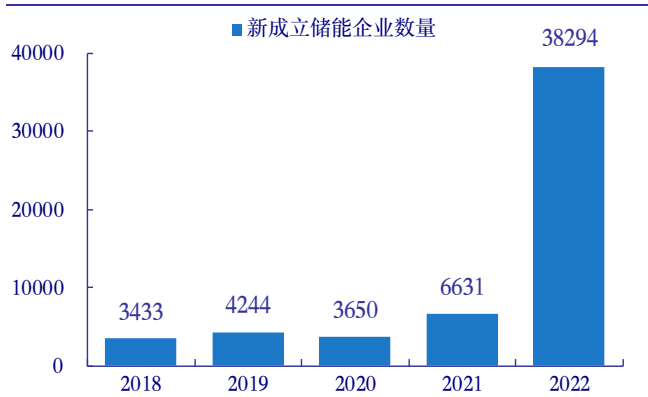
资料来源：海关总署，中国银河证券研究院

电表出口市场集中度相对较高。根据海关总署数据，从我国智能电表向各国出口金额来看，市场集中度相对较高，2023 年 CR5 达 19.24%、CR10 达 33.30%、CR20 达 53.84%，荷兰、英国、泰国位居前三，出口金额分别达 4.32 亿元、4.12 亿元和 4.09 亿元，分别占比 4.20%、4.01%和 3.98%。

（三）储能高景气度维持，看好长储广阔空间

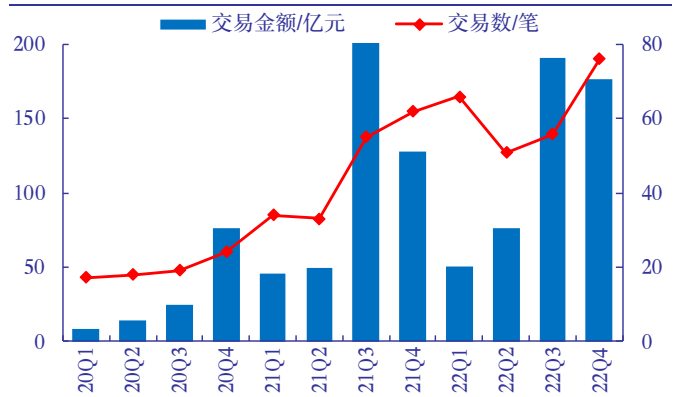
储能赛道热度高涨。高景气度吸引众多企业纷纷布局储能赛道。据中电联统计，2022 年国内新成立 3.8 万家储能相关企业，融资规模超 494 亿。据 CESA 统计，截至 2023 年 8 月国内储能电池及系统集成规划建设产能目前已超过 1.5TWh，计划投资金额超过 5,700 亿元。

图 82：储能行业新成立企业数量



资料来源：《新型储能助力能源转型》中电联，中国银河证券研究院

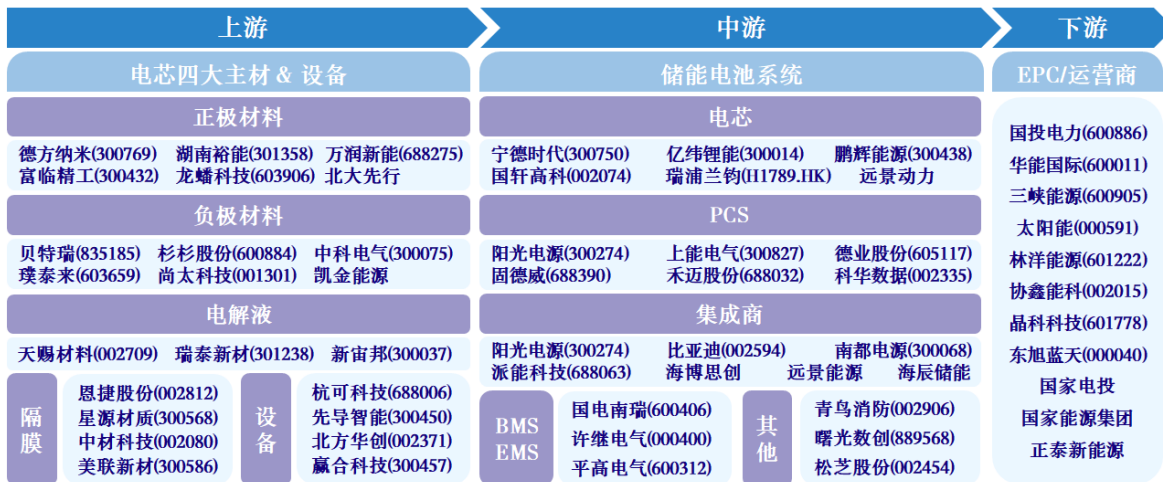
图 83：储能行业融资数量与金额



资料来源：《新型储能助力能源转型》中电联，中国银河证券研究院

锂电池储能产业链从上至下主要为上游原材料、中游制造及系统集成、下游储能电站。上游原材料包括正负极材料、电解液等，中游包括电芯制造、电池管理系统、能量管理系统、储能变流器及系统集成商等。

图 84：储能产业链



资料来源：国际能源网，储能头条，中国银河证券研究院

电芯技术路线方面，磷酸铁锂占绝对主导。当前储能技术百花齐放，各具优劣势，均有适用的应用场景。锂离子电池技术在新能源汽车领域已有成熟应用，迁移至储能领域后，先发优势明显。磷酸铁锂凭借安全、成本优势已占据绝对主导。据 CNESA 统计，2023 年锂离子电池装机占新型储能装机比重为 97.3%，较 2022 年上升 3.3pcts。

电芯市场，宁德时代一马当先。据 Infolink Consult 统计，2023 年全球储能电芯出货达 196.7GWh，宁德时代、比亚迪、亿纬锂能、瑞浦兰钧、海辰储能排前五，CR5 市占率达 76.7%，CR10 达 92%，集中度进一步提升。宁德时代（300750.SZ）凭借自身动力锂电池的长期积累，产品渗透全球市场，在各个细分市场均稳居第一。比亚迪（002594.SZ）（汽车组覆盖）深耕储能行业，先发优势明显，已构建强大的销售渠道。亿纬锂能（300014.SZ）成长性好，产能放量带动市占率自 2021 年快速提升。储能市场处于爆发期，竞争格局存在变数。

表 16：储能电芯企业排名

2022 年户用储能	2022 年电力储能	2022 年总排行	2023 年总排名（全球）
宁德时代	宁德时代	宁德时代	宁德时代
鹏辉能源	瑞浦兰钧	比亚迪	比亚迪
比亚迪	亿纬锂能、比亚迪	瑞浦兰钧	亿纬锂能
亿纬锂能、瑞浦兰钧	海辰储能	亿纬锂能	瑞浦兰钧
派能科技	鹏辉能源	鹏辉能源	海辰储能
赣锋锂电	赣锋锂电	国轩高科	三星 SDI
安驰科技	国轩高科	海辰储能	国轩高科
海辰储能	远景动力	赣锋锂电	LG
珠海冠宇	派能科技	派能科技	鹏辉能源
时代联合	力神	远景动力	中创新航

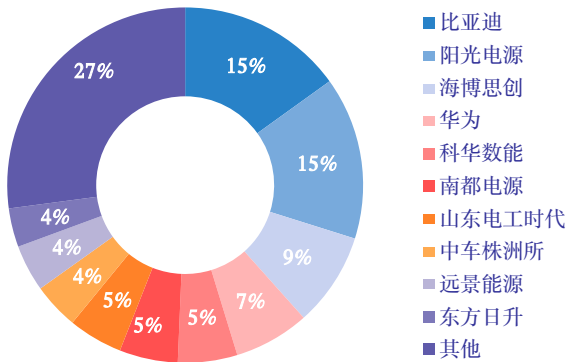
资料来源：GGII, infolink consult, 中国银河证券研究院

储能系统集成商通过自产或外采核心部件，装配成系统后出售。头部企业往往拥有 ESS（系统集成）、EMS（能量管理系统）、BMS（电池管理系统）等多项技术，整合资源能力强。国内市场，与央国企保有长期合作关系、平台积累深厚的储能系统集成商的优势更明显。独立储能项目招标要求趋严，以中广核 2 年框架集采项目为例，2022 年储能系统集成商要满足条件：近 3 年的累计项目容量不少于 50MW；2023 年升级为累计业绩不少于 1GWh。海外渠道品牌为王，本地化能力是关键。据 SMM 统计，23H1 全球储能集成商由国内主导，TOP3 分别为 Telsa、比亚迪、

阳光电源。

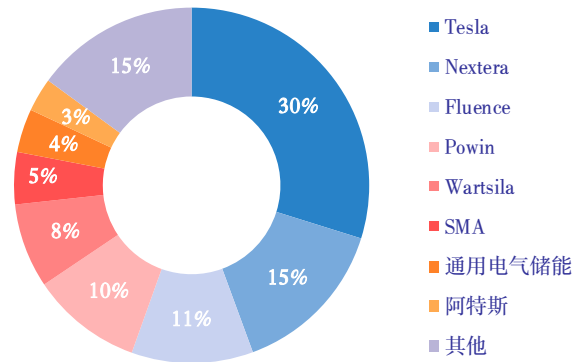
由于光伏逆变器与储能 PCS 有协同效应，传统光伏逆变器企业具备较强的先发优势。不间断电源、充电桩、输配电设备等专业化企业亦有布局。据 CNESA 统计，2022 年国内 PCS 供应商在全球市场出货量居前的有阳光电源（300274.SZ）、科华数据（002335.SZ）（通信组联合覆盖）、上能电气（300827.SZ）、古瑞瓦特、盛弘股份（300693.SZ）、科士达（002518.SZ）等，其中阳光电源龙头地位稳固。

图 85：23H1 国内企业储能系统出货量排名



资料来源：SMM，中国银河证券研究院

图 86：23H1 海外企业储能系统出货量排名

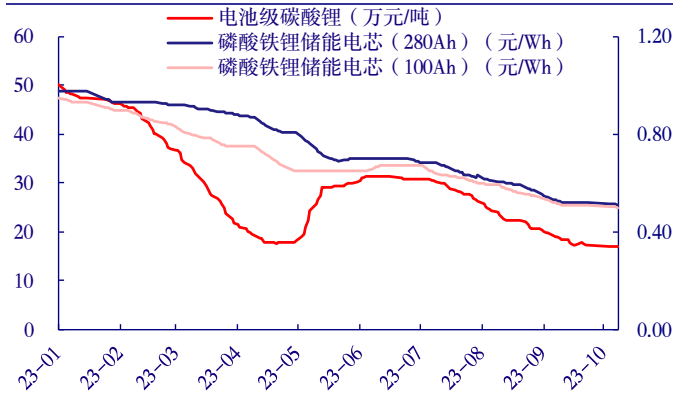


资料来源：SMM，中国银河证券研究院

储能电芯供过于求，价格战开打。尽管 2023 年储能装机量实现了大幅增长，但由于储能电芯产能增幅更大，造成储能电芯阶段性供给过剩。据 GGII 统计，截至 2023 年 9 月底国内储能电池产能已超过 200GWh。一方面，供过于求造成产能利用率下降，GGII 调研显示，23H1 户储电池行业平均产能利用率低于 30%，较 2022 年 87% 下滑明显。另一方面，一二线企业为抢占市场份额、减少出货压力，不断压低电芯价格。GGII 数据显示，2022 年储能电芯采购价格约 0.9-1.1 元/Wh。2023 年 8 月，楚能新能源公开表示电芯价格将以不超过 0.5 元/Wh 的价格销售。CESA 调研显示，目前市场已有 0.45 元/Wh 的电芯报价，降价潮愈演愈烈。

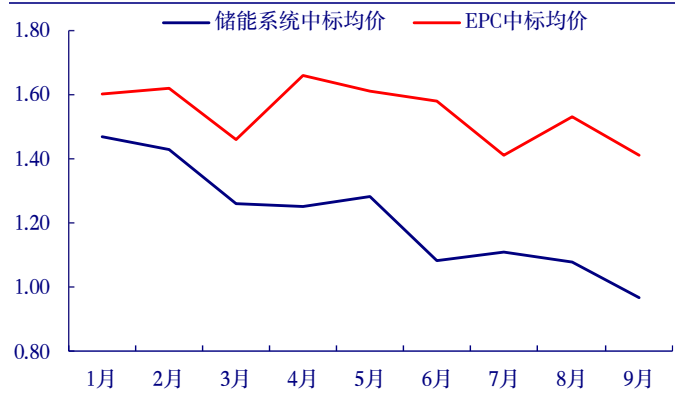
系统集成商受益，终端需求加速释放。SMM 数据显示，2023 年 10 月 13 日 280Ah 储能电芯价格为 0.51 元/Wh，较 2023 年初降幅约 48%。成本端，Wind 数据显示，2023 年 10 月 13 日电池级碳酸锂报价 17.06 万元/吨，较 2023 年初下跌 67%，传导至正极和电解液材料，导致价格同期分别下跌 61%、60%。根据核心材料的变化幅度以及成本构成，我们粗略测算出同时期储能电芯总成本降幅约 38.7%。电芯售价端跌幅大于成本端（电芯总成本）降幅，电芯环节盈利能力承压明显。目前成本控制能力较差的二三线电芯企业或将面临出清风险，头部企业有望借此机会进一步提升市占率。而储能系统同期价格跌幅约 34%，低于采购成本（降幅 48%），系统集成商受益。SMM 数据显示，10 月中旬 2 小时储能 EPC 中标均价较 2023 年初下跌 11.9%，利好终端项目收益率提升，刺激装机需求加速释放。高增长与高竞争态势共存，或一定程度减轻产能大量释放对行业造成的冲击。

图 87：我国储能电芯与电池级碳酸锂价格走势回顾



资料来源：《新型储能助力能源转型》中电联，中国银河证券研究院

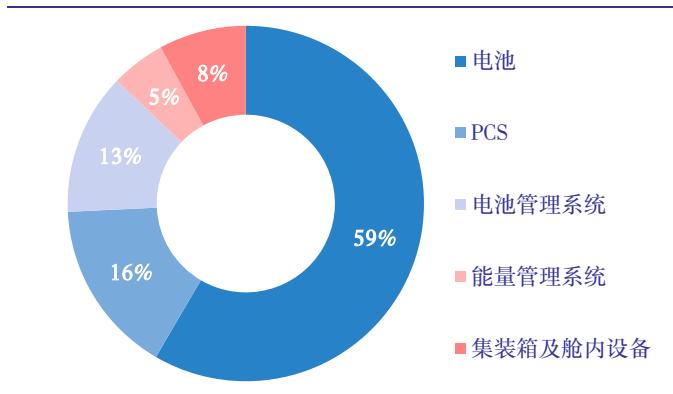
图 88：2023 年 2 小时储能系统/EPC 月度中标价（单位：元/Wh）



资料来源：《新型储能助力能源转型》中电联，中国银河证券研究院

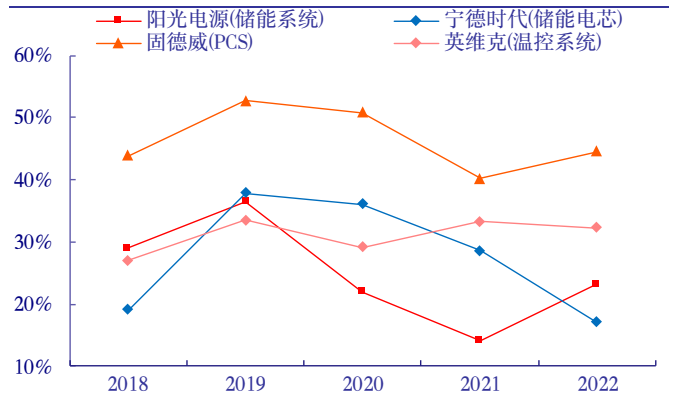
PCS 盈利能力最佳。PCS 是储能系统核心设备之一，可以将电池的直流电转变为交流电供给电网或负荷，也可以将电网交流电转变为直流电存储在电池中。星云股份年报披露，PCS 在储能系统中的成本占比约为 16%。我们选取各环节代表性企业作为样本，统计得出 PCS 毛利率基本稳定在 40-50%，各环节中储能系统最高，代表企业有阳光电源（300274.SZ）、固德威（688390.SH）、上能电气（300827.SZ）、禾迈股份（688032.SH）等。

图 89：储能系统设备成本构成



资料来源：星云股份年报，中国银河证券研究院

图 90：储能各细分领域毛利率对比



资料来源：公司公告，中国银河证券研究院

目前主流长时储能技术包括抽水蓄能、液流电池、压缩空气储能、氢储能、光热储能。结合技术成熟度、能量效率、调节能力及各方面因素，我们短期看好确定性最高的抽水蓄能电站，中长期全钒液流电池、压缩空气储能将快速落地放量，长期氢（氨）能将补齐能源转型最后一环。

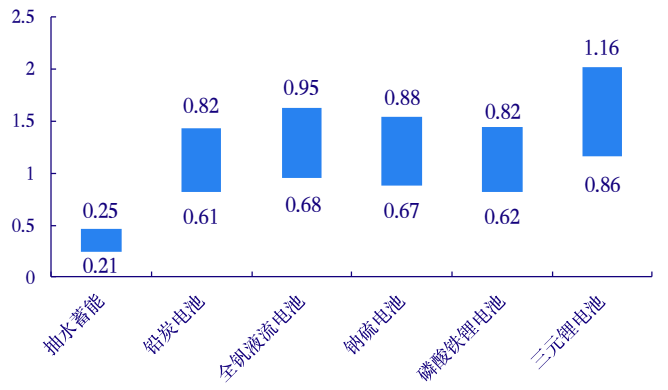
表 17：不同长时储能技术特点对比

储能类型	额定功率	相应时间	能量效率	时长	优点	缺点	应用场合	技术成熟度
抽水蓄能	百兆瓦以上	分钟级	75%	8-10h	容量大，寿命长，运行费用低	选址受限，建设周期长，存在上限	削峰填谷、调频调相、系统备用、黑启动	★★★★
压缩空气储能	兆瓦-百兆瓦	分钟级	约 65%	4-8h	技术较成熟，规模大，运行维护费用低	效率低，响应速度慢，选址受限	电网调峰、系统调用	★★★
液流电池	千瓦-百兆瓦	毫秒-分钟级	约 70%	4-24h	循环性好，可深度充放电，安全、一致性好，模块化设计	储能密度较低	电网调峰调频，备用电源	★★
氢气储能	千瓦-百兆瓦	秒-分钟级	约 50%	可跨年	环保、灵活性大，理论上效率高	效率差，储运技术难度大，成本高	电网调峰调频，区域能源系统	★
光热储能	兆瓦-百兆瓦	分钟级	约 50%	4-8h	环保、无需稀缺资源、容量大、同步发电	效率低、系统复杂、工艺环节多，成本高	电网调峰调频，基础电源	★★★

资料来源：GGII, infolink consult, 中国银河证券研究院

抽水蓄能最成熟、短期确定性最强。抽水蓄能技术成熟、成本最低，成为当前新能源保消纳、电网调峰最重要的长时储能方式，政策明确大力发展抽水蓄能建设。能源局数据显示，2023 年底我国抽水蓄能总装机 50.94GW。据国网研究院统计，“十四五”新开工抽蓄装机约 35GW，累计投资超 2000 亿元，2025 年底累计装机实现 62GW 目标；“十五五”预计新开工超 50GW，2030 年底累计装机实现 120GW 目标，8 年复合增长率达到 12.8%。

图 91：目前各种储能类型度电成本情况（单位：kWh）



资料来源：国网新疆研究院，中国银河证券研究院

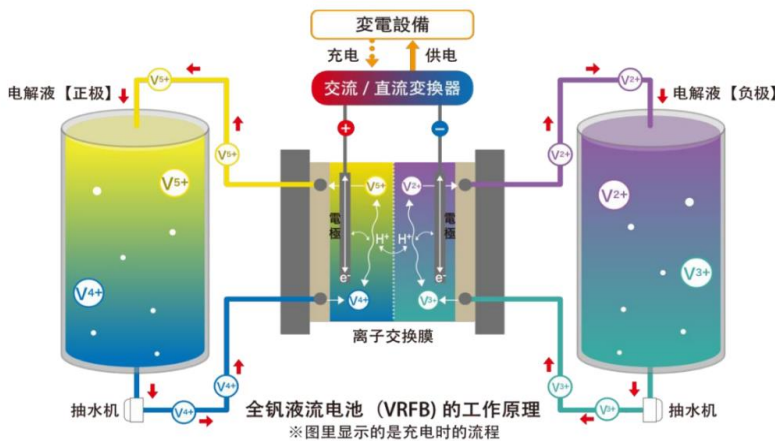
图 92：全国投运容量最大的丰宁抽水蓄能电站



资料来源：国家电网官网，中国银河证券研究院

全钒液流电池由正负极储液罐、电堆组成，通过外接泵施加机械动力使得电解液在储液罐和电堆间循环，电堆内的钒离子因发生氧化还原反应得失电子，使化学能、电能相互转换。结构、原理特性决定全钒液流电池两大优势：1) **完美模块化设计及配置灵活性**：电堆和储液罐分立，输出功率取决于电堆的大小，容量取决于电解液的体积，增加功率和容量只需要增加电堆大小和电解液体积/浓度即可；2) 整个反应仅是简单的元素价态变化，无危险变量，**本征安全性满足大储需求**。

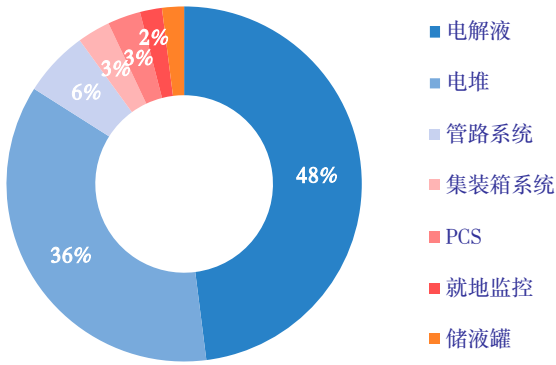
图 93：全钒液流电池工作原理及结构示意图



资料来源：《Developing an energy storage system using a Vanadium Redox Flow Battery》，中国银河证券研究院

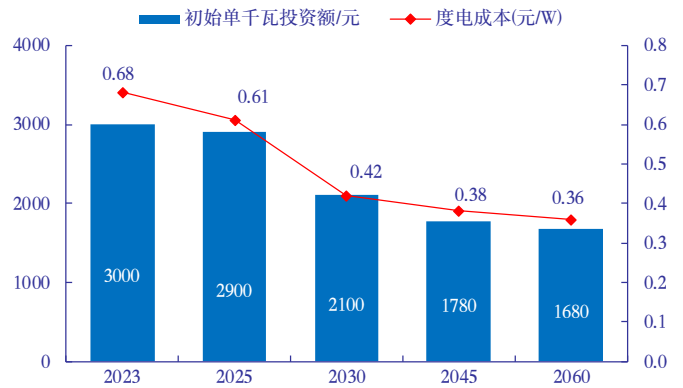
经济性初显。据国网研究院统计，全钒液流电池成本主要集中在电解液和电堆，合计占比可达 84%，尽管初始投资成本较高，但由于电解液可循环且残值高，生命周期越长 LCOE 越低。目前全钒液流电池初始单千瓦投资约 3,000 元，度电成本约 0.68 元，已接近锂离子电池储能。国网新疆研究院预计 2030/2060 年单千瓦投资降至 2,100 元/1,680 元，度电成本降至 0.42 元/0.36 元。

图 94：全钒液流电池储能成本构成



资料来源：国网研究院，中国银河证券研究院

图 95：全钒液流电池初始投资与度电成本预测



资料来源：国网研究院，中国银河证券研究院

降本围绕隔膜、集流体、电解液。首先，电堆内隔膜成本占比达 60%+，目前依赖进口，未来国产化替代及改性处理是降本的重要方向。**大连化物所**开发的多孔离子传导膜可使电堆膜材料使用面积下降 30%，总成本下降 40%。第二，集流体借助导电塑料可代替价格贵、脆性大的石墨板来实现降本。第三，电解液可通过提升利用率降本，也可以通过融资租赁方式降低投资方初始成本。**大连融科**与**海螺融华**在机阳海螺水泥 6MW/36MWh 项目中，创新应用了电解液租赁模式，业主可以节省约 50%的初始投资支出，只需在使用期间支付租金和利息。

装机元年开启。据长时储能网统计，截至 2023 年 8 月，我国液流电池装机规模已达 220MW/865MWh，其中全钒液流电池占比 90%+。据 CNESA 统计，2023 年 1-7 月全国签约备案的全钒液流电池储能项目超过 55 个，装机规模达 8.5GW，主要分布在湖北、甘肃、河南、辽宁等地。目前在建项目 9 个，其中 5 个规模达百兆瓦以上，察布查尔县和吉木萨尔县全钒液流储能项目储能容量为 GWh 级。

图 96：大连液流电池储能调峰电站全景



资料来源：中科院大连化物所，中国银河证券研究院

图 97：大连化物所研发出新一代全钒液流电池电堆



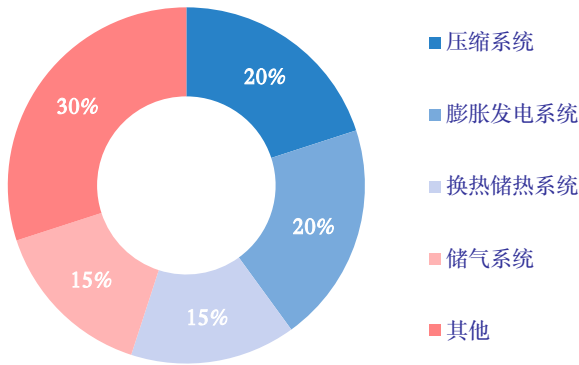
资料来源：中国日报网，中国银河证券研究院

全钒液流电池产业链上游原材料包括钒矿石、前驱体、隔膜等，中游为电解液、电堆等核心部件的制造以及全钒液流系统集成，下游为电站运营。我国钒矿石资源禀赋好，已具备成熟完整产业链，龙头企业**钒钛股份 (000629.SZ)**等先发优势明显，一体化布局有望向电解液赛道延伸。中游制造方面，**大连融科**深耕液流电池多年，背靠大连化物所研究资源，建立了包括隔膜、电解液在内的完整自主知识产权体系，是全球液流电池领域标准的主导制定者。在国产化率极低的隔膜环节，**国润储能**、**江苏科润**等专业化企业技术爆发力有望带来高成长性。

压缩空气储能原理为利用风光或低谷电能带动压缩机，将电能转化为空气内能，随后高压空气被密封存储，释能时高压空气推动膨胀机，将内能再次转化为电能。根据储气空间可分为基于

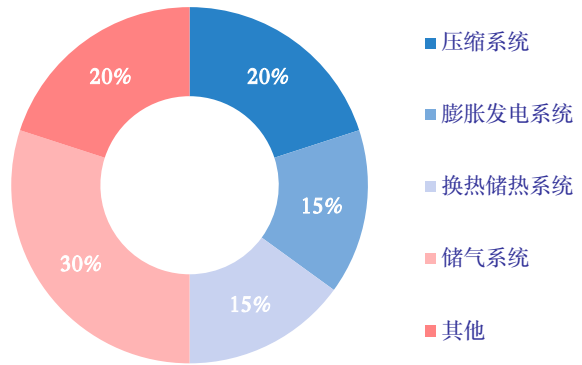
盐穴、基于人工硐室和基于管线钢三类。**盐穴最佳，规模化降本可期。**据国网研究院统计，盐穴、人工硐室、管线钢储气系统造价分别为 100 元/500 元/1500 元/kWh，盐穴优势明显。我国盐穴资源超过 1,000 个，能够支撑装机约 300GW。目前压缩空气储能单千瓦投资约 6,600 元，度电成本约 0.63 元。随着技术突破和规模化应用，国网研究院预测，2030 年/2060 年单千瓦投资有望降至 5,700 元/3,900 元，度电成本降至 0.55 元/0.38 元，若 300MW 级储能系统取得突破，单千瓦投资有望降至 3,000 元以下。

图 98：盐穴压缩储能技术成本构成



资料来源：国网研究院，中国银河证券研究院

图 99：人工硐室/管线钢压缩储能技术成本构成



资料来源：国网研究院，中国银河证券研究院

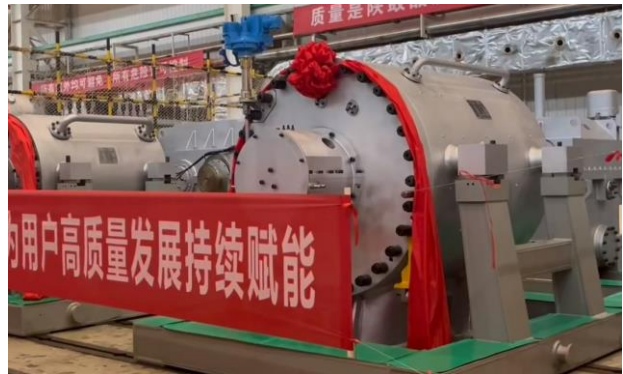
商业化进程加速。据不完全统计，截至 2023 年 9 月底，我国在建、筹建压缩空气储能项目合计已达 6.635GW。2022 年 5 月全球首个非补燃盐穴空气压缩储能于金坛正式并网投运，运行一年节约标准煤 4 万吨，碳减排超 15 万吨。2023 年 10 月青海最大 200MW/800MWh 压缩空气储能项目正式开工，9 月全球首套非补燃型 300MW 级压缩空气储能项目核心装备压缩机组全面下线。

图 100：金坛盐穴压缩空气储能电站



资料来源：中国电力报，中国银河证券研究院

图 101：中国能建数科集团全球首套非补燃型 300MW 级压缩机组



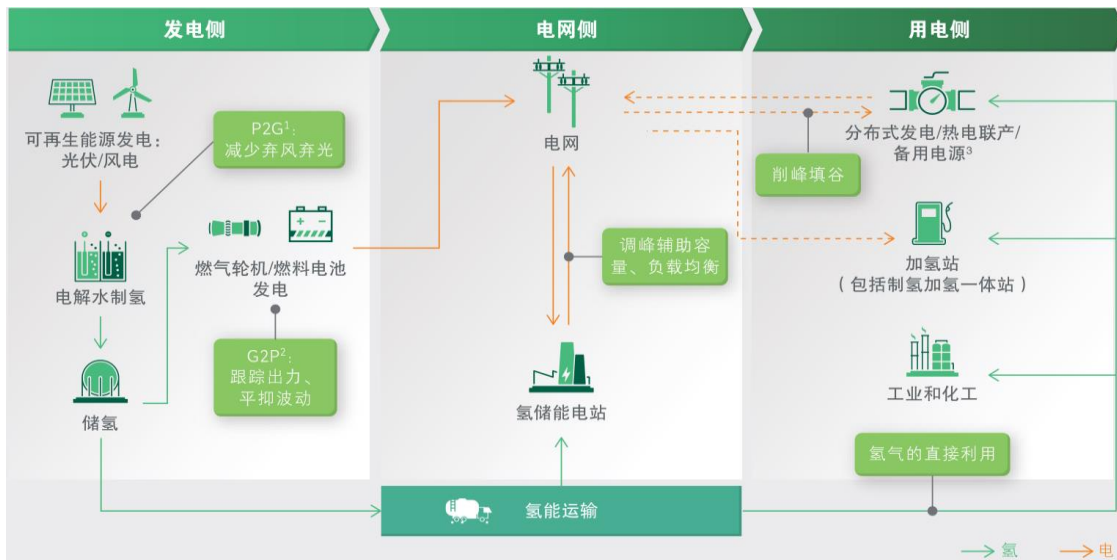
资料来源：中国能建数科集团官网，中国银河证券研究院

压缩空气的三大主设备为压缩机、膨胀机、换热器，前两者是改变储气体积、降本的关键设备，代表制造企业有螺杆压缩机制造龙头开山股份（300257.SZ）（机械组覆盖）和膨胀机龙头及金坛项目供应商东方电气（600875.SH）等。系统集成和项目建设方中，中储国能（背靠中科院工程热物理所，拥有完全自主知识产权的百兆瓦级压缩空气储能系统多级宽负荷压缩机）领先优势明显，中国能建（601868.SH）（建筑组覆盖）与陕鼓集团合作开发了全球首个 300MW 级压缩机，已建设多个示范项目。

氢储能一般指“电-氢-电”（PGP）过程，即风光富裕发电量通过电解制氢系统制备氢气，将氢气储存后，再用于燃气轮机或燃料电池发电。氢储能也可以作为“绿氢”产品，用于工业、交通等多场景，市场空间广阔。据清华大学欧阳明高院士统计，2030 年电解制氢市场或达

100GW，中国将成为全球最大的氢气生产和消费市场，氢能有望成为继光伏、锂电池、电动汽车后第四大出口产品。

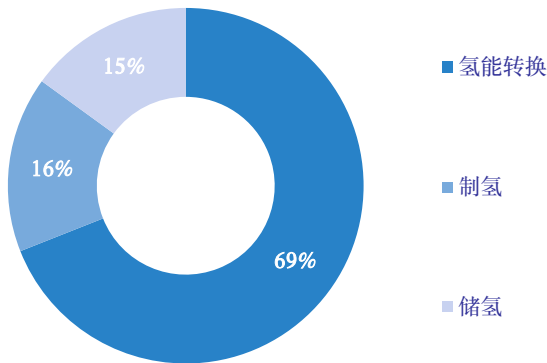
图 102：氢储能在可再生能源电网中的应用



资料来源：《中国氢能产业展望白皮书》，中国银河证券研究院

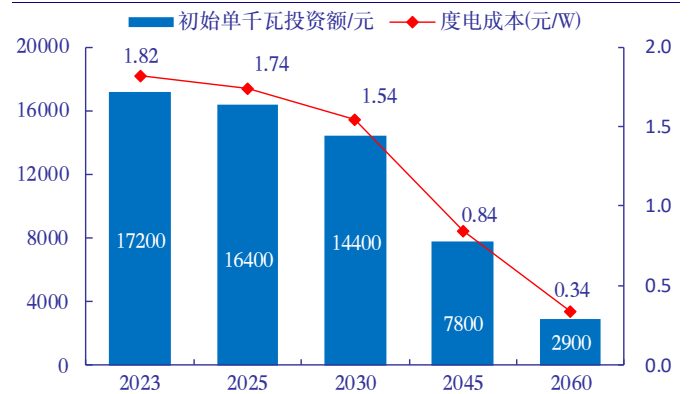
氢储根本问题是经济性。氢储能完全绿色、能量密度高、储能能力强，或将成为最具潜力的储能方式，而当前氢储能最大挑战在于缺乏经济性。国网研究院数据显示，当前氢储能平均造价为 1.72 万元/kw，度电成本约 1.82 元（储运占比 30%），远高于其他储能技术。未来随着核心装备系统技术突破以及规模化效应，国网研究院预测 2030 年/2060 年度电成本有望降至 1.54 元/0.34 元，若光伏 2025 年 LCOE 实现降至 0.1 元/kWh，绿氢成本竞争力将显著提升。

图 103：氢储能系统成本构成



资料来源：国网研究院，中国银河证券研究院

图 104：氢储能初始投资与度电成本预测（单位：元/度）



资料来源：国网研究院，中国银河证券研究院

电解制氢环节主要有固体氧化物电解、质子交换膜电解、碱性电解三种技术路线。质子交换膜电解法虽效率更高，但受限于其贵金属用量大，未来应用或限于分布式小规模场景。据欧阳明高院士《绿色氢能研发与产业化进展及技术展望》报告，**目前最具潜力、最可实现、成本最低、寿命最长的是碱性电解技术。**据《中国氢能产业展望白皮书》，2021-2022 年中国绿氢项目 158 个，其中碱性电解占比为 44%，装机量/计划产能 26.41GW，碱性电解占比 80%。

新能源龙头企业争相布局碱性电解路线。2022 年 10 月明阳智能（601615.SH）2000 Nm³/h 碱性水电解制氢装备正式下线，9 月隆基绿能（601012.SH）发布全新一代碱性电解水制氢设备 ALK G 系列产品，产氢量 1200-3000Nm³/h，占据大型电解槽技术制高点。质子交换膜路线方面，大连

化物所、山东赛克赛斯、阳光电源（300274.SZ）、国投电力（600886.SH）（公用事业组覆盖）等均已布局，阳光电源 2022 年底长江电力绿电绿氢示范项目产氢成功，纯度高达 99.999%。

图 105：隆基氢能发布 ALK G 系列电解水制氢设备



资料来源：隆基官网，中国银河证券研究院

图 106：长江电力绿电绿氢项目使用阳光电源 PEM 电解技术



资料来源：国网研究院，中国银河证券研究院

（四）智能电网信息化数字化孕育蓝海市场

虚拟电厂产业链包括上游基础资源、中游系统平台运营商、下游电力需求方。上游基础资源主要包括可控负荷、分布式能源、储能三类，比如发电企业和储能第三方独立运营商。中游系统平台运营商通过互联网、大数据等技术整合、优化、调度、决策，增强虚拟电厂统一调控能力，可直接参与交易，代表企业包括传统电网龙头国电南瑞（600406.SH）、国家电网信通（600131.SH）、许继集团等以及从事通信、互联网的高科技新锐朗新科技（300682.SZ）（计算机组覆盖）、国能日新（301162.SZ）（计算机组覆盖）、金智科技（002090.SZ）等。下游电力需求方包括电网公司、售电公司、大用户等，其中以国家电网和南方电网为代表的电网公司是主要买方。

图 107：虚拟电厂产业链



资料来源：36 氪研究院，中国银河证券研究院

我国负荷型虚拟电厂发展空间有限。中电联预测 2025 年我国最大用电负荷将达到 16.3 亿千瓦，根据政策要求，按照 2025 年最大用电负荷 5%削峰测算，约 8150 万千瓦负荷参与平衡条件，假定虚拟电厂比例占比接 1/3，虚拟电厂整体投资按照 200 元/千瓦测算，2025 年负荷型虚拟电厂

市场空间约 54 亿元。

表 18：负荷型虚拟电厂空间测算

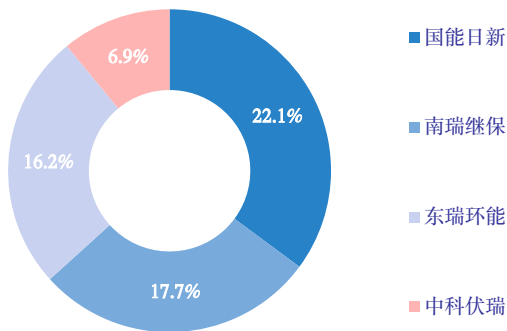
	2023E	2024E	2025E
最大负荷（亿千瓦）	13.7	14.9	16.3
虚拟电厂调节能力占比	3%	4%	5%
虚拟电厂累计调节负荷（亿千瓦）	0.14	0.20	0.27
虚拟电厂单位投资（元/千瓦）	200	200	200
虚拟电厂总投资（亿元）	27	40	54

资料来源：中电联，中国银河证券研究院

电源型或混合型虚拟电厂发展空间更大，有望逐步成为常态化刚性需求。随着低压侧分布式光伏、电动汽车、充电桩大比例接入，电网要求此类新业务要具备可观可测可控的基本条件。国家电网预测 2024-2025 年低压侧分布式光伏新增装机将超过 1 亿千瓦，虚拟电厂整体投资仍按照 200 元/千瓦测算，2025 年电源型虚拟电厂市场空间约 200 亿元。

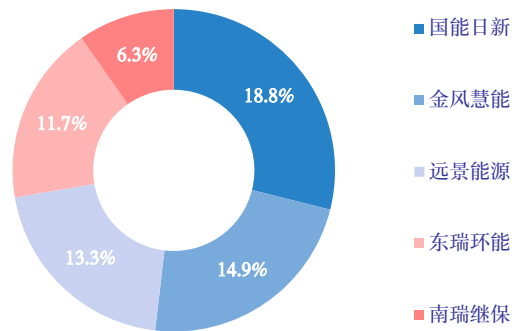
市场空间可期，集中度高。沙利文《中国新能源软件及数据服务行业研究报告》数据显示，截至 2019 年我国发电功率预测市场规模约 6.34 亿元，预计 2024 年市场规模或将增长至约 13.41 亿元（光伏、风电发电功率分别为 6.51 亿元、6.90 亿元），2019-2024 年年均复合增长率达到 16.2%。在功率预测领域，企业的核心竞争力在于功率预测的精度，对产品问题的快速反馈和对客户需求的及时响应等优质的后续服务。市场参与方主要包括新能源设备商、新能源管理专业化企业。沙利文数据显示，2019 年光伏功率预测市场 CR3 的市占率为 56%，代表企业为**国能日新（301162.SZ）（计算机组覆盖）、南瑞继保、东润环能（831083.NQ）**。2019 年风电功率预测市场 CR3 的市占率为 47%，代表企业为**国能日新（301162.SZ）（计算机组覆盖）、金风慧能、远景能源**。

图 108：我国光伏功率预测市场竞争格局



资料来源：沙利文，中国银河证券研究院

图 109：我国风电功率预测市场竞争格局



资料来源：沙利文，中国银河证券研究院

国能日新（301162.SZ）（计算机组覆盖）：新能源发电功率预测市场的领跑者。公司是一家服务于新能源行业的软件和信息技术服务提供商。公司主要向新能源电站、发电集团和电网公司等新能源电力市场主体提供以新能源发电功率预测产品（包括功率预测系统及功率预测服务）为核心，以新能源并网智能控制系统、新能源电站智能运营系统、电网新能源管理系统为拓展的新能源信息化产品及相关服务。公司凭借十余年的功率预测产品研发经验以及领先的技术研发实力，不断迭代技术优化算法，持续提高气象数据精度、算法模型精度，功率预测精度行业领先。沙利文数据显示，2019 年公司在光伏、风电发电功率预测市场的占有率为 22.1%、18.8%，居行业首位。2022 年底公司功率预测业务服务的新能源电站数量已达 2,958 家，较 2019 年接近翻倍。2023 年公司在南方电网区域的实景新能源预测精度比拼中名列前茅。

数据、模型、平台是我国电网数字孪生面临的巨大挑战。1) 目前运行监测、检修等数据在颗粒度、范围、频率上均难以支撑全景数字孪生模型的构建，大部分设备状态监测存在盲区。当前国家电网在线分析模型约 4 万节点规模，响应速度分钟级，暂无法匹配未来“双高”电力系统。2) 当前各种数字孪生建模方法都只能仿真电网设备的某个方面而非完整特征，需要开发更可靠、精确、稳定的模型；目前中国电科院已研发出毫秒级的大电网数字孪生模型，正在落地验证。3) 电网设备运行状态设计电流电压、温度、磁、热等物理场，因此电网数字孪生依赖于多物理场仿真平台，当前电网分析的多物理仿真平台被国外垄断。

我们认为电网数字孪生技术的投资机会聚焦于两个方向：1) **数据采集**，未来全局数字孪生电网依赖高质量电网数据，高可靠性、精确性要求下存量电网设备的升级、新型电网设备产品的开发都存在广阔市场空间，多物理场监测的传感器、自动化设备等硬件设施供应商将显著获益，建议关注**申昊科技（300853.SZ）、亿嘉和（603666.SH）**等；2) **模型及服务**，与其他领域相比，电网系统规模更大、复杂度更高、分析反馈实时性要求更高，因此电网数字孪生模型的门槛更高，更考验开发团队在电网领域的积累。而在产品服务熟悉度、可信度上，示范项目更倾向于与国家电网旗下的大型平台合作。头部央国企以及与电网研究所合作紧密的民企前景更加明朗，建议关注**国电南瑞（600406.SH）、国网信通（600131.SH）**等。

五、风险提示

市场可能存在的风险：技术发展演变不及预期的风险；行业政策不及预期的风险；需求下滑或消纳能力不足的风险；对政策理解不到位的风险；海外政局动荡、海外贸易环境恶化带来的政策风险。

插图目录

图 1: 中国数字经济占 GDP 比重预计 2035 年可达 71.60%	2
图 2: 数字经济分类占比 (信通院数据口径)	2
图 3: 中国数字产业化和产业数字化规模预测	3
图 4: “东数西算”全国布局图	3
图 5: 中国可再生能源和数字经济占比	3
图 6: 2012 年-2023 年中国风电、光伏累计装机容量 (单位: GW)	5
图 7: 光伏新增装机容量预测 (单位: GW)	5
图 8: 风电新增装机容量预测 (单位: GW)	5
图 9: 光伏行业主产业链各环节产能预测 (均折算单位: GW)	6
图 10: 我国新能源汽车销量 (单位: 万辆)	6
图 11: 锂电产业链扩产规模 (均折算单位: GWh)	6
图 12: 光伏行业主产业链各环节产能利用率情况	7
图 13: 光伏行业主产业链各环节毛利 (单位: 元/W)	7
图 14: 全国 8 大算力枢纽中心及 10 大数据中心集群	10
图 15: “十四五”大型清洁能源基地布局示意图	10
图 16: 2010 年-2022 年可再生能源 LCOE 下降趋势	10
图 17: 截至 2024/2/21 硅料报价:特级致密料 (单位: 元/千克)	11
图 18: 截至 2024/2/21 一线厂商组件价 (单位: 元/W)	11
图 19: 2022 年各省分布式光伏装机规模(单位: 万千瓦)	11
图 20: 腾讯天津高新云数据中心分布式新能源微电网项目	11
图 21: 储能应用场景	12
图 22: 新型储能年度新增装机情况 (单位: GW)	13
图 23: 2060 年各类型电力装机容量占比情况	13
图 24: 系统中风光等可变能源占比与系统所需储能时长的关系	14
图 25: 主要储能形式的储能容量和储能市场	14
图 26: 电力体系中源网荷储的互动关系	15
图 27: 数字科技生态圈	16
图 28: 国家电网云平台——浙江电力公司配电自动化系统	16
图 29: 电力数据要素迎三次价值释放	17
图 30: 乡村振兴发展电力指数	17
图 31: 泛在电力物联网主要应用场景	18
图 32: 移动互联网赋能传统电力服务	18
图 33: 人工智能赋能电力各环节	18
图 34: 区块链能源电力行业应用实践	19
图 35: 云边协同示意图	19
图 36: 新型能源体系建设路径	20
图 37: 智能能源互联网为各行业提供智慧服务	21
图 38: 特高压基建全环节数字化	22
图 40: 智能电表的特点	23
图 41: 国家电网 2020 年版新一代智能电能表	24
图 42: 深度学习进行电表读数	24
图 43: 深度学习进行电表读数负荷预测流程图	25
图 44: 非侵入式负荷辨识流程图	25

图 45: 电动汽车有序充电图.....	25
图 46: 以物联网智能电表为核心的智能家用物联网平台.....	26
图 47: 智能电能表运行状态监测与评价平台.....	26
图 48: 以新型电力系统为核心的能源互联网体系.....	27
图 49: 我国碳市场与配额制、绿证的衔接关系.....	28
图 50: 中心化操作下的绿证交易流程.....	29
图 51: 通过区块链技术实现绿证交易流程的全面优化.....	29
图 52: 虚拟电厂分类.....	30
图 53: 海外虚拟电厂分布及用途.....	30
图 54: 德国 NextKraftwerke 虚拟电厂系统架构图.....	31
图 55: 特斯拉 Powerwall 系统构成示意图.....	31
图 56: 虚拟电厂运营模式发展的三个阶段.....	31
图 57: 光伏发电出力和负荷不匹配.....	34
图 58: 风电发电出力和负荷不匹配.....	34
图 59: 新能源功率预测分类.....	35
图 60: 基于 AI 的新能源功率预测技术框架.....	36
图 61: AI 技术通过模型输入、模型构建和参数优化应用于新能源功率预测领域.....	37
图 62: 数字孪生概念图.....	37
图 63: 磨碟洲变电站数字孪生展示平台.....	38
图 64: 浙江乌镇互联网之光配电房运维赋能平台.....	38
图 65: 2030 年电力数字孪生蓝图构想.....	39
图 66: Sora 文字生产视频案例, 展示出对真实物理世界的模拟、刻画能力.....	40
图 67: 2016-2022 年我国特高压累计线路长度.....	42
图 68: 2006-2025E 我国特高压投资规模.....	42
图 69: 我国历年来特高压输电线路建设可分为 5 个阶段.....	43
图 70: 直流特高压投资构成占比.....	44
图 71: 交流特高压投资构成占比.....	44
图 72: 柔性直流性能优异, 应用空间广阔.....	44
图 73: 我国首个柔性直流海上风电项目直流海缆示意图.....	46
图 74: 2011-2023 年国家电网电能表招标数量统计.....	47
图 75: 2021-2023 年国家电网 B 级(含)以上电能表渗透率.....	47
图 76: 2021-2023 年各级别电表示单价值量对比.....	47
图 77: 2011-2023 年中国电能表各洲出口金额保持提升.....	49
图 78: 2013-2023 年中国电能表各洲出口金额分布.....	49
图 79: 2013-2023 年中国电能表各洲出口个数分布.....	49
图 80: 2013-2023 年中国电能表各洲出口单价分布.....	50
图 81: 2013-2023 年中国电能表各洲出口个数分布.....	50
图 82: 储能行业新成立企业数量.....	50
图 83: 储能行业融资数量与金额.....	50
图 84: 储能产业链.....	51
图 85: 23H1 国内企业储能系统出货量排名.....	52
图 86: 23H1 海外企业储能系统出货量排名.....	52
图 87: 我国储能电芯与电池级碳酸锂价格走势回顾.....	53
图 88: 2023 年 2 小时储能系统/EPC 月度中标价格(单位: 元/Wh).....	53
图 89: 储能系统设备成本构成.....	53

图 90: 储能各细分领域毛利率对比.....	53
图 91: 目前各种储能类型度电成本情况 (单位: kWh)	54
图 92: 全国投运容量最大的丰宁抽水蓄能电站.....	54
图 93: 全钒液流电池工作原理及结构示意图.....	54
图 94: 全钒液流电池储能成本构成.....	55
图 95: 全钒液流电池初始投资与度电成本预测.....	55
图 96: 大连液流电池储能调峰电站全景.....	55
图 97: 大连化物所研发出新一代全钒液流电池电堆.....	55
图 98: 盐穴压缩储能技术成本构成.....	56
图 99: 人工硐室/管线钢压缩储能技术成本构成.....	56
图 100: 金坛盐穴压缩空气储能电站.....	56
图 101: 中国能建数科集团全球首套非补燃型 300MW 级压缩机组.....	56
图 102: 氢储能在可再生能源电网中的应用.....	57
图 103: 氢储能系统成本构成.....	57
图 104: 氢储能初始投资与度电成本预测.....	57
图 105: 隆基氢能发布 ALK G 系列电解水制氢设备.....	58
图 106: 长江电力绿电绿氢项目使用阳光电源 PEM 电解技术.....	58
图 107: 虚拟电厂产业链.....	58
图 108: 我国光伏功率预测市场竞争格局.....	59
图 109: 我国风电功率预测市场竞争格局.....	59

表格目录

表 1: 中国数据中心用电量占比预测 (至 2035 年)	4
表 2: 全球数据中心用电量占比预测 (至 2035 年)	4
表 3: 数据中心-电力系统需求模型.....	8
表 4: 国内部分发展绿色数字经济相关的政策.....	9
表 5: 2023 年以来国家级储能领域相关政策一览.....	13
表 6: 虚拟电厂商业模式.....	32
表 7: 中央密集出台虚拟电厂行业相关政策.....	32
表 8: 部分省份虚拟电厂需求侧响应细则.....	32
表 9: 国内部分虚拟电厂实践案例.....	33
表 10: 功率预测影响因素.....	35
表 11: 物理模型与 AI 模型对比.....	35
表 12: “十四五”期间规划的特高压输电线路情况梳理.....	42
表 13: 特高压单站设备投资拆分.....	44
表 14: 我国已建成投运或规划建设的柔性直流输电线路.....	45
表 15: 国网电能表 (含用电信息采集) 集招中标结果.....	48
表 16: 储能电芯企业排名.....	51
表 17: 不同长时储能技术特点对比.....	53
表 18: 负荷型虚拟电厂空间测算.....	59

分析师承诺及简介

本人承诺，以勤勉的执业态度，独立、客观地出具本报告，本报告清晰准确地反映本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告的具体推荐或观点直接或间接相关。

周然，工商管理学硕士。2010年11月加盟银河证券研究部，先后从事公用事业、环保、电力设备及新能源行业分析师工作，目前担任电新团队负责人和大能源组组长。2020年、2019年获金融界量化评选最佳分析师第2名；2019年、2016年新财富最佳分析师第9名；2014年卖方分析师水晶球奖第4名；2013年团队获新财富第5名，水晶球奖第5名；2012年新财富第6名。逻辑分析能力强；对行业景气度及产业链变化理解深入，精准把握周期拐点；拥有成熟的自上而下研究框架；以独特视角甄选成长标的。曾任职于美国汇思讯（Christensen）的亚利桑纳州总部及北京分部，从事金融咨询（IR）和市场营销的客户主任工作。

免责声明

本报告由中国银河证券股份有限公司（以下简称银河证券）向其客户提供。银河证券无需因接收人收到本报告而视其为客户。若您并非银河证券客户中的专业投资者，为保证服务质量、控制投资风险、应首先联系银河证券机构销售部门或客户经理，完成投资者适当性匹配，并充分了解该项服务的性质、特点、使用的注意事项以及若不当使用可能带来的风险或损失。

本报告所载的全部内容只提供给客户做参考之用，并不构成对客户的投资咨询建议，并非作为买卖、认购证券或其它金融工具的邀请或保证。客户不应单纯依靠本报告而取代自我独立判断。银河证券认为本报告资料来源是可靠的，所载内容及观点客观公正，但不担保其准确性或完整性。本报告所载内容反映的是银河证券在最初发表本报告日期当日的判断，银河证券可发出其它与本报告所载内容不一致或有不同结论的报告，但银河证券没有义务和责任去及时更新本报告涉及的内容并通知客户。银河证券不对因客户使用本报告而导致的损失负任何责任。

本报告可能附带其它网站的地址或超级链接，对于可能涉及的银河证券网站以外的地址或超级链接，银河证券不对其内容负责。链接网站的内容不构成本报告的任何部分，客户需自行承担浏览这些网站的费用或风险。

银河证券在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或进行证券交易，或向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务在内的服务或业务支持。银河证券可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系，并无需事先或在获得业务关系后通知客户。

银河证券已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。除非另有说明，所有本报告的版权属于银河证券。未经银河证券书面授权许可，任何机构或个人不得以任何形式转发、转载、翻版或传播本报告。特提醒公众投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的本公司证券研究报告。

本报告版权归银河证券所有并保留最终解释权。

评级标准

评级标准	评级	说明
评级标准为报告发布日后的6到12个月行业指数（或公司股价）相对市场表现，其中：A股市场以沪深300指数为基准，新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准，北交所市场以北证50指数为基准，香港市场以摩根士丹利中国指数为基准。	行业评级	推荐：相对基准指数涨幅10%以上
		中性：相对基准指数涨幅在-5%~10%之间
		回避：相对基准指数跌幅5%以上
公司评级	推荐：相对基准指数涨幅20%以上	
	谨慎推荐：相对基准指数涨幅在5%~20%之间	
	中性：相对基准指数涨幅在-5%~5%之间	
	回避：相对基准指数跌幅5%以上	

联系

中国银河证券股份有限公司 研究院

深圳市福田区金田路3088号中洲大厦20层

上海浦东新区富城路99号震旦大厦31层

北京市丰台区西营街8号院1号楼青海金融大厦

公司网址：www.chinastock.com.cn

机构请致电：

深广地区：程曦 0755-83471683 chengxi_yj@chinastock.com.cn
 苏一耘 0755-83479312 suyiyun_yj@chinastock.com.cn
 上海地区：陆韵如 021-60387901 luyunru_yj@chinastock.com.cn
 李洋洋 021-20252671 liyangyang_yj@chinastock.com.cn
 北京地区：田薇 010-80927721 tianwei@chinastock.com.cn
 唐嫚玲 010-80927722 tangmanling_bj@chinastock.com.cn