



行业评级 推荐（维持）

报告日期 2026 年 01 月 12 日

相关研究

【兴证公用】公用周报：2025M1-11 电力、热力生产和供应业利润+11.8%，江苏省 2026 年年度交易均价为 344.19 元/兆瓦时-2026.01.04

【兴证公用】公用周报：11 月全社会用电量同比+6.2%，风光装机增量分别为 12.49GW、22.02GW-2025.12.28

【兴证公用】电气化大时代之印度尼西亚篇：印尼国家电力公司主导下的分散式电网体系-2025.12.24

分析师：蔡屹

S0190518030002

caiyi@xyzq.com.cn

分析师：石康

S1220517040001

shikang@xyzq.com.cn

分析师：丁志刚

S0190524030003

dingzhigang@xyzq.com.cn

分析师：王帅

S0190521110001

wangshuai21@xyzq.com.cn

分析师：姚康

S0190520080007

yaokang@xyzq.com.cn

分析师：李怡然

S0190525040001

liyiran@xyzq.com.cn

分析师：李静云

S0190522120001

lijingyun@xyzq.com.cn

研究助理：满明昊

manminghao@xyzq.com.cn

电气化大时代之美国篇系列一：AI 带来的需求侧新变化，美国电力市场框架梳理

投资要点：

- **美国电力需求拐点初现，负荷规模提升&波动性增大&地区间差异明显成新趋势。**过去十余年间美国电力需求增长停滞，2005-2021 年用电量 CAGR 仅为 0.2%，在制造业回流+AI 数据中心蓬勃发展的背景下 2021-2024 年用电量 CAGR 达到 1.5%。AI 数据中心的发展带来了预期负荷规模的显著提升，根据美国能源部/电力系统/英伟达出货芯片量预期，我们假设 2025-2030 年数据中心总负荷增量分别为 50/90/130GW，制造业等其他需求增量 70GW，期内总夏季峰值负荷 CAGR 达到 2.3%/3.0%/3.7%，且 AI 数据中心训练推理过程具有负荷波动大的特性，NERC 报告区域内一数据中心负荷在 36 秒内由 450MW 降低至 7MW，为电网安全带来更严峻的挑战。此外，美国电力需求增长地区差异明显，ERCOT、SPP、PJM 地区 2025-2030 年预期 CAGR 分别为 10.1%、7.2%、3.6%，是负荷增长的主要驱动力。
- **供给端电源增量以风光为主使得顶峰出力能力不足，电网投资滞后限制新机组接入及电力跨区输送。**美国电源结构中，火、水、核电三类出力较为稳定电源由 2011 年的 989GW 下降至 2024 年的 912GW，其中煤电装机容量由 318GW 下降至 174GW（环保限制+天然气价格下行影响煤电经济性），与之相对应的是出力波动性大的风、光装机由 49GW 增长至 329GW，负荷高峰期电源顶峰出力能力不足。在电网端，美国 70% 输电线路以及电力变压器运行年限在 35 年以上，因此尽管 2024 年美国电网投资额突破 300 亿美元创历史新高，但大部分用于更新改造，2024 年仅新增 888 英里高压输电线路，远低于 DOE 规划 5000 英里每年的新建需求，直接导致机组并网排队周期增长，2022-2023 年新增机组并网许可审批时间接近 5 年。此外，美国风光资源分布不均，新能源的跨区消纳亦依赖于电网端的输电线路建设。
- **美国目前电力市场体制呈现传统垂直一体化管制+市场化并存格局。**美国自 1970 年代起开始电力市场化转型但各州进程不一，到目前建立起 7 大 RTO/ISO 覆盖约三分之二的电力消费者，各区域市场自行制定区域内电力交易与调度规则，电力批发市场未覆盖的其余区域仍采用传统的垂直一体化公用事业监管模式。传统监管州通常采用成本+合理回报的定价方式，电力公司定期提交综合资源规划，经州公用事业委员会审批通过后公司可据此执行资本开支并纳入费率基础中；电力批发市场核心包括电能交易、容量保障和辅助服务，电能市场定价方式为基于边际成本的节点边际定价，容量市场交易通常为拍卖形式，资源运营商提供出售报价形成供给曲线，电力系统运营商则基于区域内需求情况提供需求曲线。
- **电力缺口的解决依赖多电源协同发力，环保限制或部分解除，储能、SOFC 等新技术补位。**根据 2025-2030 年负荷增长以及 EIA 装机预期，低/中/高三种情景下 2030 年电力系统储备裕度将下降至 5%/1%/-3%。由于核电建设周期长、气电设备产能已达到上限，美国政府正在推动解除对于发电机组温室气体排放限制，我们测算若 2025-2030 年煤电退役装机容量由目前 EIA 预期的 103GW 下降至 50GW，2025-2029 年低情景下各年峰值负荷缺口在 12GW 及以内，中/高情景下各年峰值负荷缺口在 12-25GW 区间内，仍然需要储能、SOFC 等新型电源技术补充峰值负荷缺口，至 2030 年随气电装机释放供需紧缺逐步缓解。
- **投资建议：（1）短期缺口补充：**储能环节推荐阳光电源，建议关注阿特斯、天合光能；Bloom Energy 作为 SOFC 核心供应商，在手订单充足，建议关注 SOFC 产业链，三环集团作为燃料电池隔膜板核心供应商，有望充分受益 SOFC 装机的爆发；

(2) 用电负荷增长+电网更新持续驱动电网投资：看好供给持续紧缺北美变压器市场，推荐**金盘科技**，建议关注**思源电气**、**三星医疗**；看好缺电背景下 AIDC 的电气架构革新，固态变压器产业链加速发展，推荐**金盘科技**、**阳光电源**、**正泰电器**、**盛弘股份**、**中恒电气**，建议关注**禾望电气**；

(3) 中期维度燃气轮机是主力新增电源：中国企业有望在海外供应链短缺的背景下提升份额，建议关注**联德股份**、**豪迈科技**、**应流股份**、**杰瑞股份**、**航宇科技**；

(4) 长期视角下核电是稳定的高密度清洁能源：核电可不受气候影响稳定供电，是电气化大时代背景下的可靠基荷能源，建议关注**核电产业链**；

(5) 工业金属原材料需求提升：考虑到美国电力需求提升、电网改造、AI 拉动储能需求增长等因素，看好全球铜、铝价格在 2026 年能够保持高位运行，建议关注**洛阳钼业**、**金诚信**、**天山铝业**、**云铝股份**、**南山铝业**。

- 风险提示：美国政策变动风险，产业链供应风险，电力需求增长不及预期

目录

一、 美国新一轮电力需求上行，AI 用电特性加大负荷波动	5
（一） 十余年增长停滞，需求拐点初见端倪	5
（二） 电力需求端的新变化：负荷规模提升&波动性增大&地区间差异明显	7
二、 供给端现状：风光为主的新增电源顶峰出力能力不足，电网投资滞后限制新机组接入	16
三、 美国电力体系概况：市场化+传统管制并存，区域性差异显著	23
四、 供需缺口的解决方案：环保要求或短期放松，储能、SOFC 补位	31
五、 投资建议	36
六、 风险提示	38

图目录

图 1、 1990-2024 年美国终端用电量情况	5
图 2、 1950 年至今美国电力负荷增长情况	5
图 3、 1990-2024 年美国分类型用电量（亿千瓦时）	6
图 4、 1990-2024 年美国分类型用电结构	6
图 5、 2021-2026E 分用户类型电力消费量变化情况（以 2021 年为基准）（亿千瓦时）	7
图 6、 美国制造业在建厂房金额	7
图 7、 不同场景训练推理的算力需求	8
图 8、 Meta AI 模型训练所需处理器数量及能耗不断提升	8
图 9、 2026-2027 年预计将投运的 GW 级别数据中心示意图	9
图 10、 美国能源部统计部分机构至 2030 年美国数据中心增量预期（GW）	9
图 11、 美国电力公用公司对于 2025-2030 年负荷增长预期（GW）	10
图 12、 英伟达 H100 芯片训练功耗情况	12
图 13、 数据中心负荷波动情况	12
图 14、 英伟达在其新一代架构中将储能系统列为必选方案	13
图 15、 美国各地区 5 年负荷复合增长率预期	14
图 16、 美国各地区数据中心数量	15
图 17、 Grid Strategies 统计各地区公用事业公司负荷增长预期	15
图 18、 美国电力装机容量情况（GW）	16
图 19、 美国新增电力装机容量情况（GW）	16
图 20、 美国火、水、核电装机容量情况（GW）	17
图 21、 美国各电源利用小时数变化（小时）	17
图 22、 美国发电量结构（TWh）	17
图 23、 2024 年美国发电量结构	17
图 24、 美国核电装机容量情况（GW）	18
图 25、 美国水电装机容量情况（GW）	18
图 26、 1991-2024 年美国气电与煤电装机容量情况（GW）	18
图 27、 美国天然气产量以及煤炭、天然气价格对比	19
图 28、 1996-2024 年美国电网投资额震荡上行	20
图 29、 2023 年美国电网投资主要方向	21
图 30、 2010-2024 年美国新增输电线路里程（英里）	21
图 31、 美国新增机组从申请到商运所需时间	

图 32、	FERC2023 号命令改革后新增机组并网流程	22
图 33、	美国三大独立互联电网示意图	23
图 34、	美国自然资源分布不均	23
图 35、	美国电力市场发展历程	24
图 36、	美国 RTO/ISO 分布示意图	25
图 37、	美国电力零售端市场化区域示意图	26
图 38、	美国电力体系示意图	26
图 39、	准许收益率定价模式	27
图 40、	FPL 住宅用户 1000KWh 用电量费用构成	28
图 41、	电力批发市场主要交易方式	28
图 42、	边际成本出清示意图	29
图 43、	NYISO 实时节点边际价格图	30
图 44、	PJM 容量需求曲线示意图	31
图 45、	核电税收抵免示意图（按 2024 年通胀水平）	32
图 46、	美国各电源 LCOE 测算（美元/兆瓦时）	33
图 47、	美国各电源建设时间（月）	33
图 48、	根据当前装机与负荷预期测算美国电力系统储备裕度	34
图 49、	大型与小型核电反应堆示意图	36

表目录

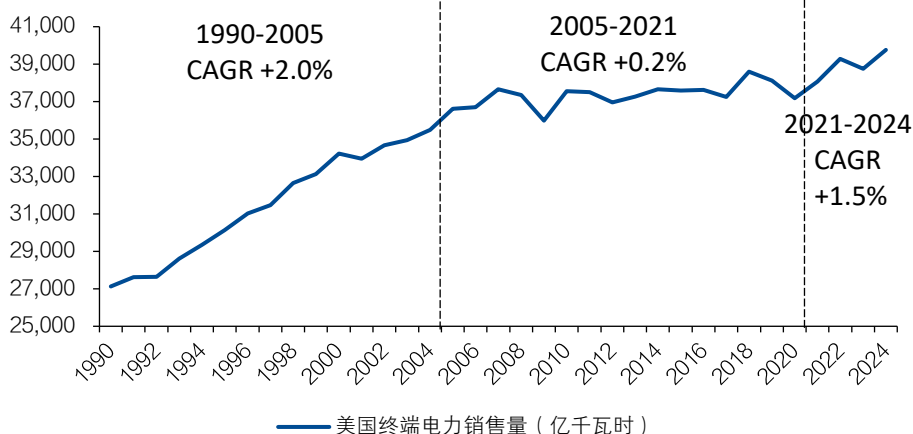
表 1、	根据英伟达芯片出货量测算美国数据中心负荷增量	10
表 2、	2024-2030E 美国夏季峰值负荷测算（GW）	11
表 3、	ERCOT 与 PJM 对于大型负载接入要求	13
表 4、	UPS 与储能对比	13
表 5、	各地区 2025-2030 预期负荷增量以及驱动力	15
表 6、	新建煤电与气电机组资本开支、运维成本等基本情况对比	19
表 7、	650MW 煤电项目资本开支拆解	19
表 8、	美国电力政策与监管相关机构	24
表 9、	美国 RTO/ISO 批发市场交易方式概况	29
表 10、	LMP 价格构成	29
表 11、	PJM 容量市场需求曲线形成机制	31
表 12、	美国清洁能源 ITC 与 PTC 概况（适用于大于 1MW 的交流电项目）	32
表 13、	2024-2030E 美国电力负荷与装机平衡表（GW）	34
表 14、	美国核电站重启进程梳理	35
表 15、	考虑煤电退役容量减少后电力缺口测算（GW）	36
表 16、	重点公司估值表（截至 2026 年 1 月 9 日）	38

一、美国新一轮电力需求上行，AI 用电特性加大负荷波动

（一）十余年增长停滞，需求拐点初见端倪

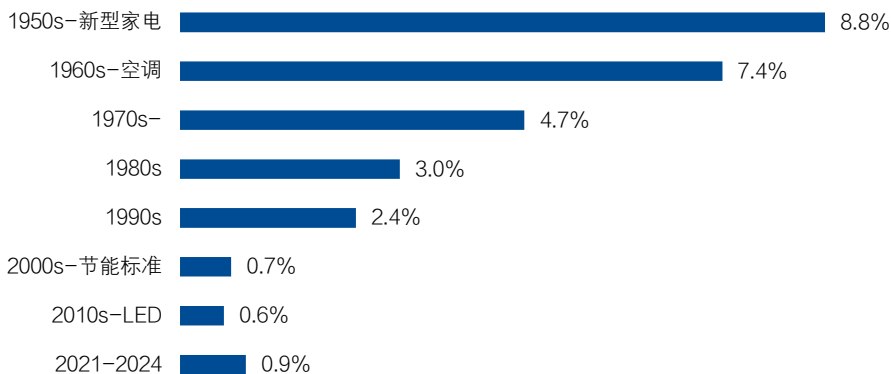
美国终端用电量在经历了十余年增长停滞，2021 年以来已初见拐点。1950 年代以来，美国电力需求经历了高速增长→放缓→结构性反转的变迁，经历了 1950s-1990s 经济高速发展以及电气化带来的负荷快速增长，2000s-2010s 互联网泡沫破灭以及金融危机后美国经济进入缓慢复苏期，此外新节能要求与技术、制造业向服务业“低耗能”转向，导致了十余年间美国电力需求增长停滞，2005-2021 年美国用电量由 36610 亿千瓦时增长至 38059 亿千瓦时，CAGR 仅为 0.2%，在 2022 年以来制造业回流+AI 数据中心蓬勃发展的背景下电力需求已见明显拐点，2021-2024 年用电量 CAGR 达到 1.5%。

图1、1990-2024 年美国终端用电量情况



数据来源：iFinD，EIA，兴业证券经济与金融研究院整理

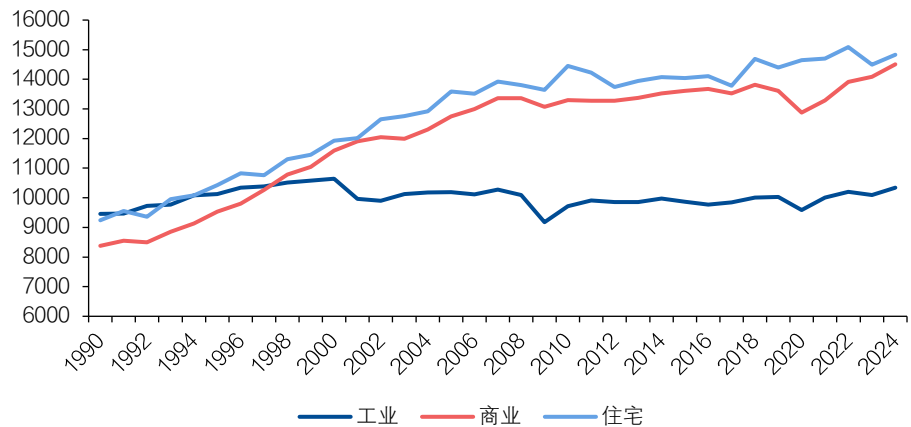
图2、1950 年至今美国电力负荷增长情况



数据来源：Grid Strategies，兴业证券经济与金融研究院整理

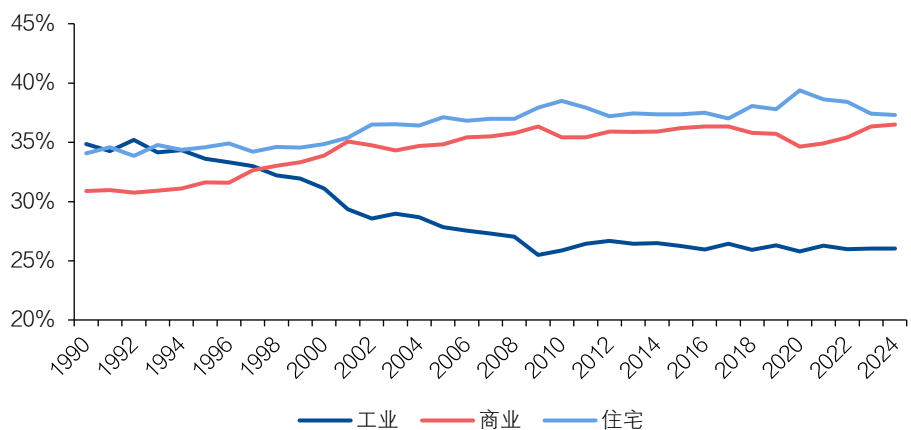
美国产业结构与用电习惯导致 21 世纪以来住宅/商业用电占比高于工业。从结构上来看, 由于美国产业结构变化, 部分传统高耗能工业向海外转移, 1990-2024 年间工业用电量由 9455 亿千瓦时增长 9%至 10346 亿千瓦时, 年均复合增速仅 0.3%, 占用电量比重由 35%下降至 26%, 同期商业/居民用电量由 8383/9240 亿千瓦时增长至 14509/14829 亿千瓦时, 年均复合增速分别达到 1.6%/1.4%, 占用电量比重由 31%/34%增长至 36%/37%。

图3、1990-2024 年美国分类型用电量 (亿千瓦时)



数据来源: iFinD, EIA, 兴业证券经济与金融研究院整理

图4、1990-2024 年美国分类型用电结构



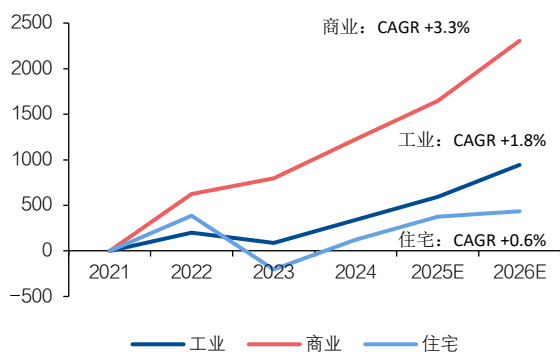
数据来源: iFinD, EIA, 兴业证券经济与金融研究院整理

近年来美国电力需求的主要增长动力来源于工商业。2021-2024 年美国终端用电量由 38059 亿千瓦时增长至 39754 亿千瓦时(增量 1695 亿千瓦时), CAGR1.5%, 其中工业/商业/住宅增量分别为 340/1225/124 亿千瓦时, 贡献期内增量的 20%/72%/7%。

2022 年拜登政府出台《通胀削减方案（IRA）》与《芯片和科学法案》，对本土半导体、电动汽车、电池、清洁能源等领域投入大额补贴，旨在促进美国制造业“回流”，2022-2024 年美国制造业在建厂房金额分别同比+52%、+62%、+17%，创二十年来新高，2021-2024 年工业终端用电量由 10006 亿千瓦时增长至 10346 亿千瓦时，CAGR 为+1.1%。

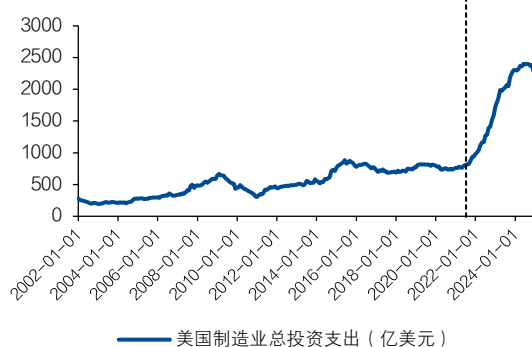
商业领域电量上行来源于数据中心容量增长，据彭博新能源财经数据，截至 2024 年底美国数据中心电力负荷约 35GW，较 2020 年翻倍，按照超大规模数据中心平均利用率约 50%测算，期内数据中心用电量增量约 745 亿千瓦时，占商业用电增量的 61%。

图5、2021-2026E 分用户类型电力消费量变化情况（以 2021 年为基准）（亿千瓦时）



数据来源：iFinD，EIA，兴业证券经济与金融研究院整理

图6、美国制造业在建厂房金额



数据来源：美联储，兴业证券经济与金融研究院整理

（二）电力需求端的新变化：负荷规模提升&波动性增大&地区区间差异明显

AI 数据中心的发展为美国电力需求侧带来了巨大变化，从大型互联网科技公司的模型训练到中小企业的模型局部调整、应用端推理部署，算力需求的持续扩张驱动美国电力负荷预期增长，且 AI 数据中心在训练作业启动和关闭、检查点及恢复等操作过程中的负荷波动性增大为电网实时供需平衡提出了新的挑战。此外，我们观察到美国数据中心以及制造业、油气产业在区域上分布不均，各区域间未来用电负荷预期差异明显。

1. 数据中心+制造业等其他需求驱动负荷规模提升

AI 数据中心大模型训练与推理依赖多处理器并行运算，大型科技公司模型预训练对算力需求达到万卡级别。相较于传统数据中心，AI 数据中心需要针对高性能计

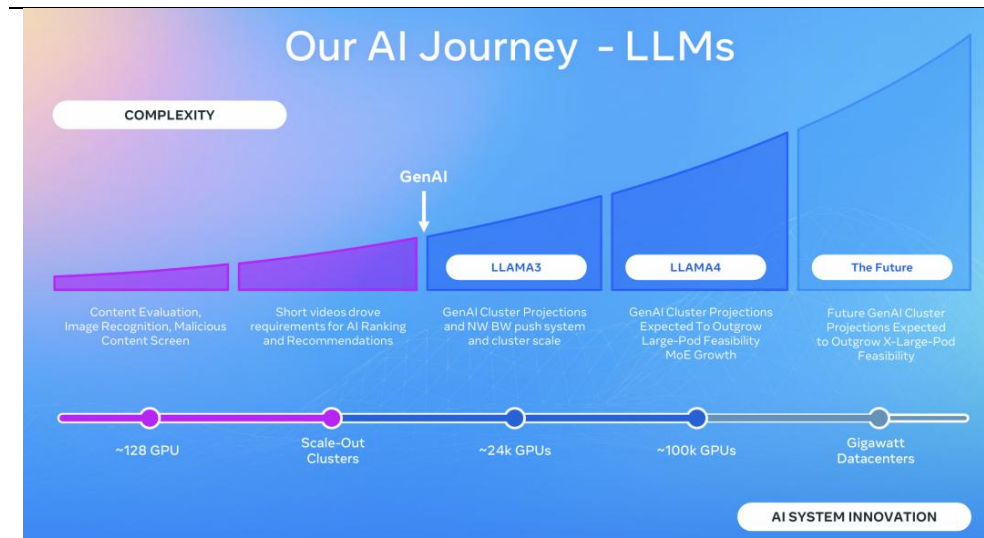
算任务进行优化以实现快速的数据处理和分析，通常配备额外的处理单元用以补充设备中央处理器（CPU）的功能，使服务器能够更快地并行处理大量计算，最常见的加速器类型是图形处理单元（GPU），AI 模型的训练与推理依赖多处理器并行运算，如 Meta 2025 年发布的 Llama4 模型训练采用超 10 万 GPU，其使用的英伟达 H100 最大功耗 700W，10 万 GPU 集群总功耗为 70MW。除 IT 设备直接用能外，数据中心还需要冷却、存储、网络等设施，通常采用电源使用效率（PUE，计算方式为数据中心总用电量/IT 设备用电量）这一指标衡量数据中心基础设施资源密集度，据劳伦斯伯克利实验室统计 2023 年平均 PUE 为 1.4，以此计算 Meta10 万 H100 集群总功耗约 100MW。

图7、不同场景训练推理的算力需求



数据来源：华为 AIDC 白皮书，兴业证券经济与金融研究院整理

图8、Meta AI 模型训练所需处理器数量及能耗不断提升

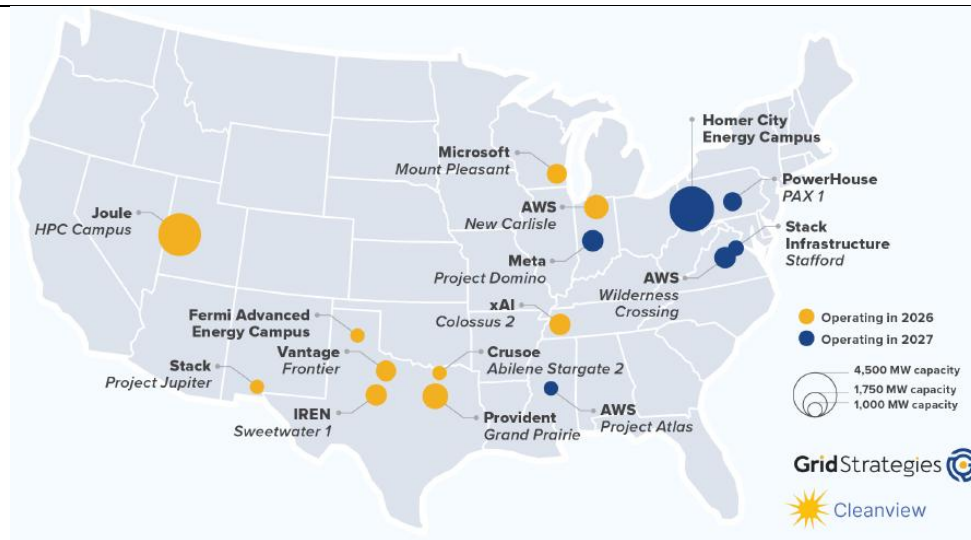


数据来源：Meta，兴业证券经济与金融研究院整理

单颗芯片功耗提升+显卡数量提升驱动数据中心规模迈向 GW 级别。2024 年英伟达发布的 Blackwell 架构 GB200 芯片由 2 个 B200 芯片+1 个基于 Arm 的 Grace

CPU 组成，功耗由 700W 提升至 2700W，单处理器功耗显著提升。除此之外，数据中心处理器数量逐步提升，OpenAI 与 Oracle 预计将于 2026 年下半年建成的德州 Stargate 数据中心将部署超过 45 万个 GB200，总用电负荷将超过 1.2GW。据 Grid Strategies 统计，预计 2026 年将有 10 个 GW 级数据中心投入运营，在 2030 年及之前建成的数据中心中约 50% 为 GW 级。

图9、2026-2027 年预计将投运的 GW 级别数据中心示意图

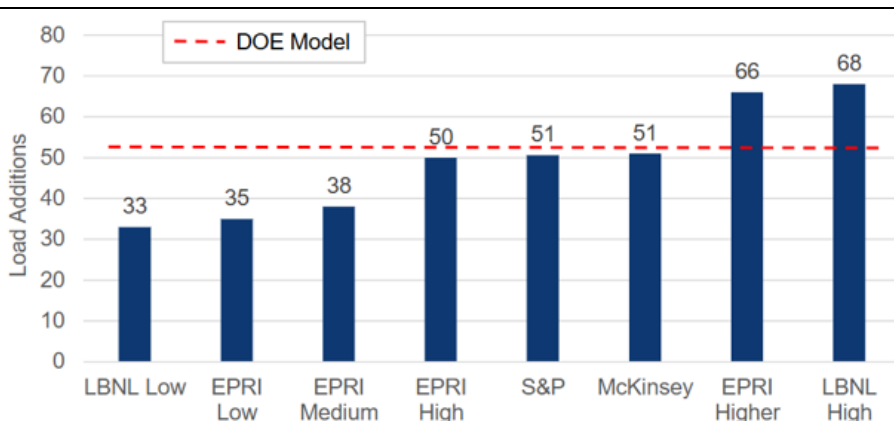


数据来源：Grid Strategies，兴业证券经济与金融研究院整理

未来美国数据中心电力负荷增长要如何预期，我们按照美国能源部/各地区电力公司预期值/英伟达出货预期三类不同视角下测算：

- (1) 根据美国能源部统计部分机构的预期值，到 2030 年数据中心用电负荷增量预期中值约 50GW。根据美国能源部 2025 年 7 月统计，S&P、McKinley、EPRI、LBNL 等机构对于 2025-2030 年数据中心负荷增长预期值在 33-68GW 之间，中值约 50GW。

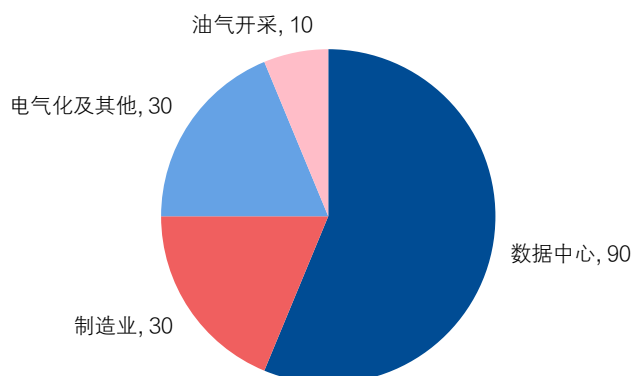
图10、美国能源部统计部分机构至 2030 年美国数据中心增量预期 (GW)



数据来源：DOE，兴业证券经济与金融研究院整理

- (2) 根据 FERC 统计各区域美国电力公用公司预期值总和为 90GW：美国联邦能源监管委员会（FERC）要求区域内电力公用公司每年提交 FERC No.714 表格以监控区域内电力系统的发电、负荷、电力交换等情况，FERC No.714 要求上报实际发电能力、小时负荷数据、计划和实际电力交换、未来系统负荷预测等。根据该运营数据统计，美国电力公用公司预期 2025-2030 年间数据中心负荷增量为 90GW；

图11、美国电力公用公司对于 2025-2030 年负荷增长预期（GW）



数据来源：Grid Strategies，兴业证券经济与金融研究院整理

- (3) 根据英伟达出货量预期测算至 2030 年美国数据中心增量为 130GW，结合兴业证券电子组对于英伟达芯片出货量预期，我们假设 2025-2027 年英伟达各类型芯片出货总量分别为 440/810/980 万颗；由于基于其最新架构 feynman 的芯片具体参数尚未明确，我们假设 2028-2030 年出货芯片总功率年均增速为 15%；2025-2030 年英伟达市占率由 75%下降至 60%，其中美国数据中心占比为 50%，数据中心 PUE 由 1.4 下降至 1.15（见表 1），则 2025-2030 年美国数据中心用电负荷总增量达到 130GW。

表1、根据英伟达芯片出货量测算美国数据中心负荷增量

英伟达全球芯片出货量(万颗)	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	单片功率 (kW)
H 系列	80						0.7
B200	260	130					1.2
B300	100	500	130				1.4
Rubin		180	620				2.3
Rubin Ultra			230				4.0
Feynman							暂无
数据中心功率	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	合计
英伟达 IT 功率(GW)	5.1	12.7	25.3	29.1	33.4	38.4	144.0
英伟达市占率	75%	73%	70%	67%	65%	60%	/
全球总 IT 功率	6.8	17.4	36.1	43.4	51.4	64.1	219.2
PUE	1.4	1.3	1.25	1.2	1.15	1.15	/

全球总功率(GW)	9.5	22.6	45.1	50.8	59.2	73.7	260.9
美国占比	50%	50%	50%	50%	50%	50%	/
美国数据中心功率增量(GW)	4.7	11.3	22.6	25.4	29.6	36.8	130.4

数据来源：NVIDIA，WCCFTECH，TechPowerUp，兴业证券经济与金融研究院整理

数据中心+制造业、采矿业、电气化等其他需求，三种情形下 **2025-2030 年美国夏季用电峰值负荷 CAGR 为 2.3%/3.0%/3.7%**。2025-2030 年间，根据 FERC 统计的各地区电力公用公司预期值，制造业、采矿业及电气化等其他需求合计增长 70GW，年均增量 11.67GW，叠加数据中心低/中/高三种情形下 50/90/130GW 的预期增量，总夏季峰值负荷 CAGR 为 2.3%/3.0%/3.7%。

表2、2024-2030E 美国夏季峰值负荷测算（GW）

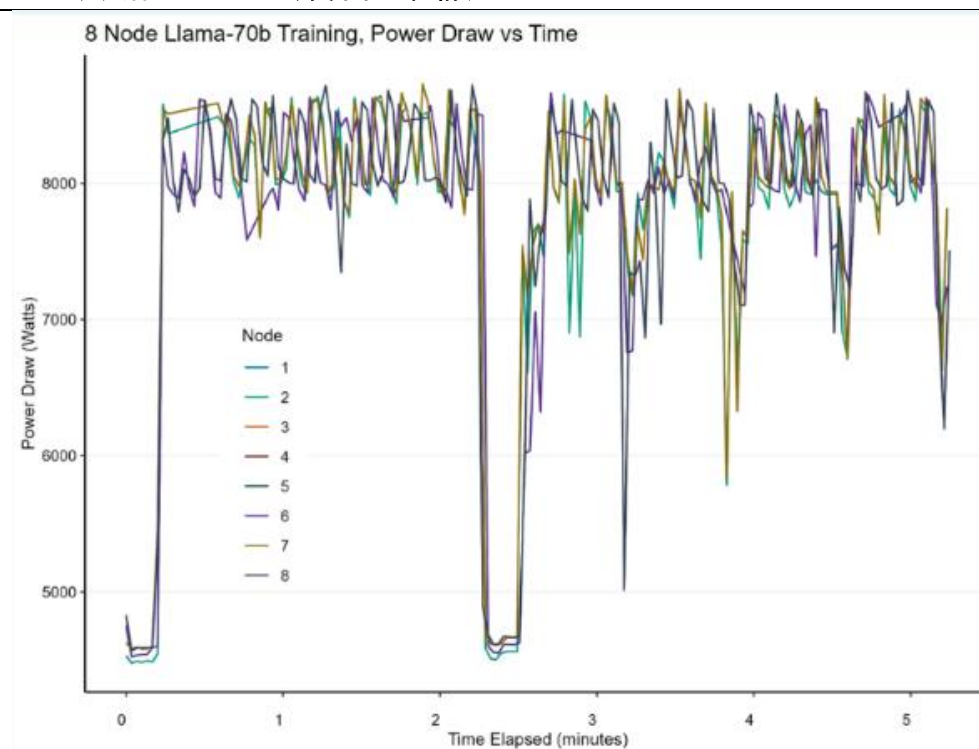
峰值负荷									
数据中心负荷	低情景	37	42	49	58	67	77	87	15%
	中情景	37	43	55	72	89	107	127	23%
	高情景	37	42	53	76	101	131	167	29%
基础负荷		776	788	799	811	823	835	846	1.5%
总峰值负荷	低情景	813	830	848	869	890	912	933	2.3%
	中情景	813	830	850	879	909	941	973	3.0%
	高情景	813	829	852	887	924	965	1014	3.7%
峰值负荷增量									
数据中心负荷	低情景		5	7	9	9	10	10	
	中情景		5	9	17	18	20	21	
	高情景		5	11	23	25	30	37	
基础负荷			11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	
总峰值负荷	低情景		17	19	21	21	22	22	
	中情景		17	21	29	30	32	33	
	高情景		16	23	34	37	41	49	

数据来源：Grid Strategies，NERC，兴业证券经济与金融研究院整理

2. AI 数据中心训练推理过程用电负荷波动大

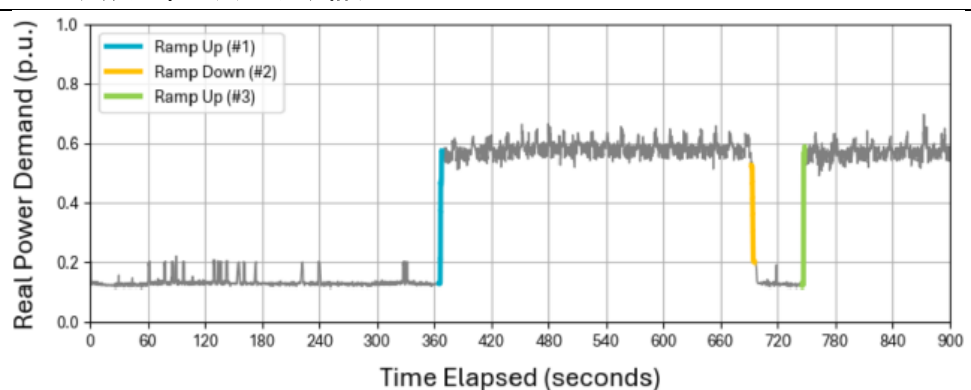
数据中心运行期间负荷波动性大，为电网稳定运行带来更大挑战。根据劳伦斯伯克利实验室与布鲁克海文国家实验室对于英伟达 H100 上 8 个节点 AI 训练负载的实施功耗数据监测，其运行最大功率相较平均功率振幅可达 48%，且 AI 数据中心通常采取并行计算的方式运行，数万个 GPU 可能同时增加或减少功耗，例如训练作业的启动和关闭、检查点及恢复操作等，NERC 报告区域内某一数据中心负荷在 36 秒内由 450MW 降低至 7MW，若电力供应和需求不平衡将导致电压和频率将偏离设定值，致使电机烧毁、跳闸、甚至电子设备损坏，需求端的波动性增大为电网的安全稳定运行带来了更大挑战。

图12、英伟达 H100 芯片训练功耗情况



数据来源：LBNL，兴业证券经济与金融研究院整理

图13、数据中心负荷波动情况



数据来源：Grid Strategies，兴业证券经济与金融研究院整理

电网调度机构要求大型负载具备负荷调节能力。数据中心聚集的主要区域 PJM 和 ERCOT 均出台相关针对大型负载的新政，明确表示大型负载需要成为电网需求侧响应的一部分，ERCOT 要求新增 $\geq 75\text{MW}$ 的负载必须具备负荷灵活性并参与需求响应，在电网紧急时需要按通知削减负载或使用自有机组发电；PJM 将新增大于 50MW 的负载归类为非容量支持负载 (NCBL)，在电网可靠性事件中需要首先削减 NCBL 用电负载，若 NCBL 有自带发电能力或能参与需求响应，则可以减少其负载调节义务；美国能源部提议对同意接受“负荷削减”的大型负载加快并网研究。

表3、ERCOT 与 PJM 对于大型负载接入要求

机构	法案	适用对象	主要内容
ERCOT	德州第 6 号参议院法案 (S.B.6)	2025 年 1 月 1 日后接入的 $\geq 75\text{MW}$ 负荷	1.强制机制：必须安装受控断电设备，允许电网公司直接切断其供电 2.自愿机制：电网公司通过市场竞标，采购特定时段内的可靠性服务，但需提前至少 24 小时通知用户
PJM	非容量支持负荷方案	$\geq 50\text{MW}$ 新增负荷	1.NCBL 用户无需购买额外容量或参与年度容量拍卖 2.在电网可靠性事件中，NCBL 会是第一个被削减的 3.自带发电或参与需求响应的客户将获得信用额度，从而减少或消除其 NCBL 义务

数据来源：Energy Central，时代储能网，兴业证券经济与金融研究院整理

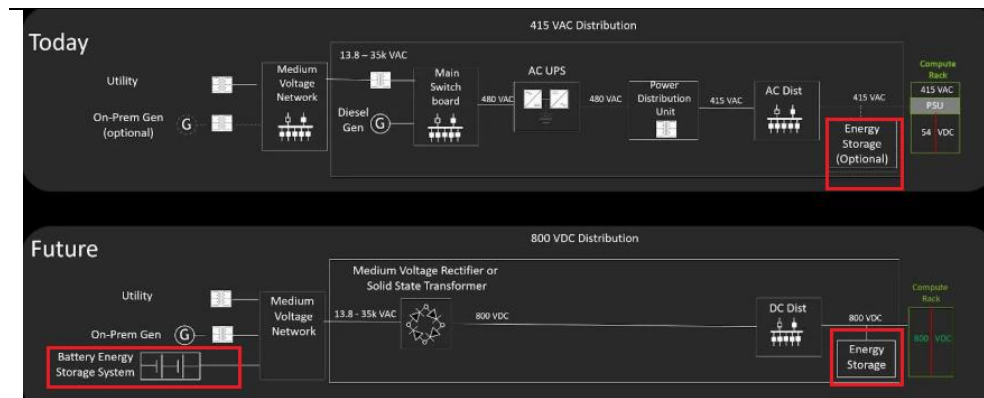
储能或替代 UPS 应对数据中心负荷大幅波动，英伟达在其下一代 800VDC 架构中将储能列为标配。传统数据中心通常采用不间断电源系统 (UPS) + 柴油发电应对电网供电波动或中断，更多是被动应对供电短时故障保护数据中心运转，容量较小放电时间多为半小时或以下。AI 训练推理等工作的用电负荷特征使得功率大幅波动或成为常态，传统 UPS 不具备快速、频繁的充放电循环能力，2025 年 10 月英伟达发布《下一代 AI 基础设施 800VDC 白皮书》，提出了基于 800V 直流架构的 AI 数据中心供电解决方案，将储能系统列为标配直接集成在供电架构中，其中超级电容部署在 GPU 附近用以吸收毫秒级别功耗尖峰，大型储能部署在机房外平滑 AI 负载对电网冲击。

表4、UPS 与储能对比

	应用场景	响应速度	放电时长
UPS	保障连续供电，实现零中断切换，主要应对电网断电、电压暂降等短时故障	毫秒级	通常几分钟到半小时
储能	能源管理和调度，实现电能在时间上的转移，用于削峰填谷、备用电源、频率调节等	毫秒到秒级	数小时，取决于电池配置

数据来源：《飞轮和化学储能、UPS 在数据中心的应用对比分析》(《建筑电气杂志》，李国会等)，兴业证券经济与金融研究院整理

图14、英伟达在其新一代架构中将储能系统列为必选方案

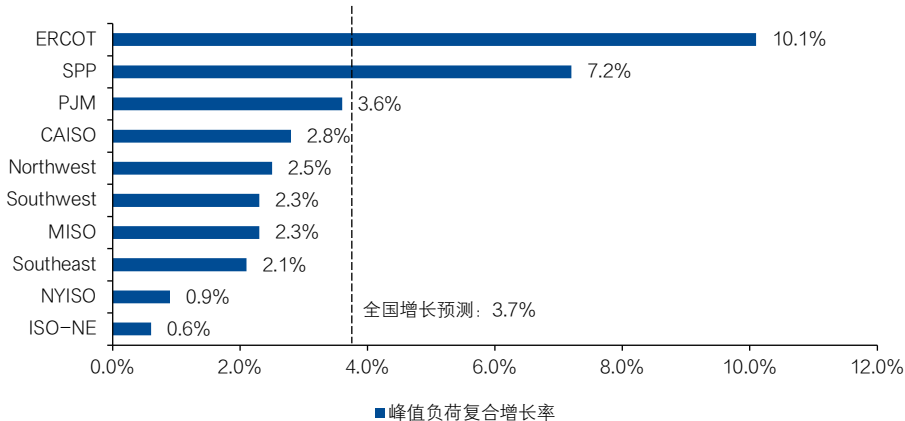


数据来源：NVIDIA，兴业证券经济与金融研究院整理

3. 区域间负荷增长预期差异明显

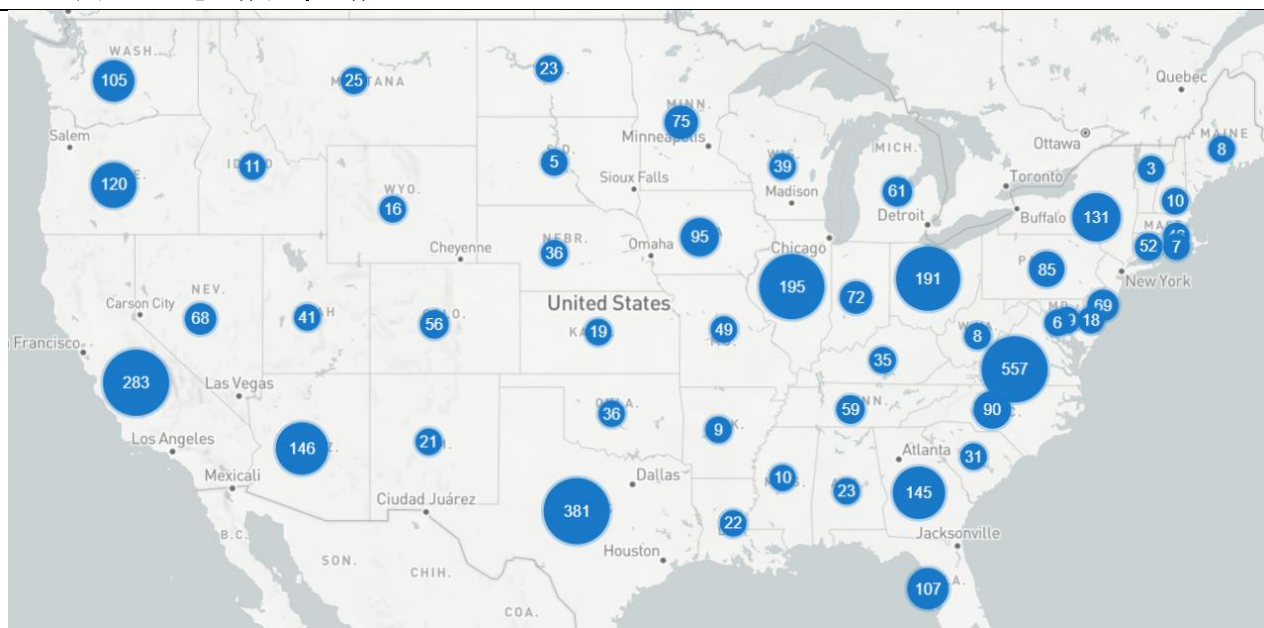
从区域结构上来看，数据中心主要分布在东西海岸及德州，预期负荷增长地区差异明显。从区域上来看，根据 DataCenterMap 统计，截至 2025 年 12 月底美国本土数据中心共 3753 个，主要分布在东西海岸以及南部地区，其中弗吉尼亚州、德克萨斯州、加利福尼亚州、伊利诺伊州、俄亥俄州数据中心数量占比分别为 15%/10%/8%/5%/5%，因此各地区预测负荷增长差异明显，根据 Grid Strategies 统计各地区公用事业公司向 FERC 提交的统计数据，2025-2030 年美国峰值负荷 CAGR 为 3.7%，其中 ERCOT、SPP、PJM 地区 CAGR 为 10.1%、7.2%、3.6%，是负荷增长的主要驱动力，其中 ERCOT 地区增量来源于数据中心、制造业以及油气开采增长，PJM 地区增量仅为数据中心，SPP 地区增量更多来源于油气开采以及周边部分数据中心需求。

图15、美国各地区 5 年负荷复合增长率预期



数据来源：Grid Strategies，兴业证券经济与金融研究院整理

图16、美国各地区数据中心数量



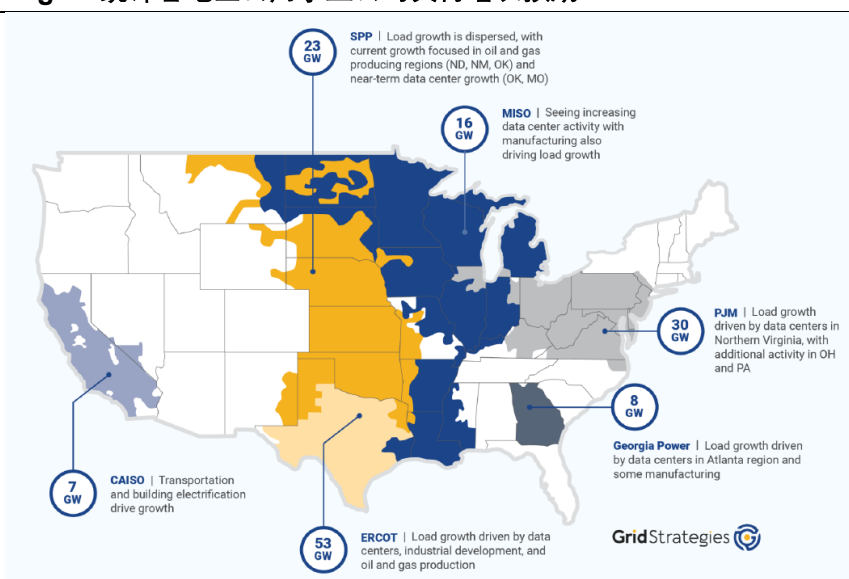
数据来源：DataCenterMap，兴业证券经济与金融研究院整理

表5、各地区 2025-2030 预期负荷增量以及驱动力

地区	2025-2030 预期增量	驱动力
ERCOT	53GW	数据中心，制造业，油气开采
PJM	30GW	数据中心
SPP	23GW	油气开采、数据中心
MISO	16GW	数据中心，制造业
Georgia Power	8GW	数据中心，制造业
CAISO	7GW	交通和建筑电气化

数据来源：Grid Strategies，兴业证券经济与金融研究院整理

图17、Grid Strategies 统计各地区公用事业公司负荷增长预期

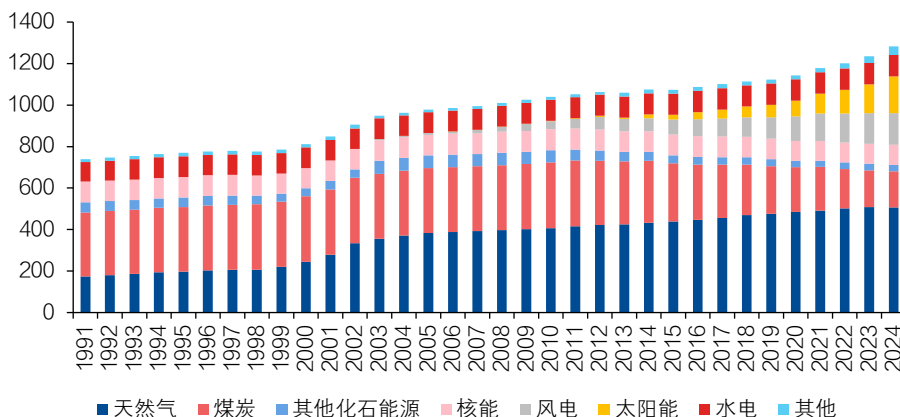


数据来源：Grid Strategies，兴业证券经济与金融研究院整理

二、供给端现状：风光为主的新增电源顶峰出力能力不足，电网投资滞后限制新机组接入

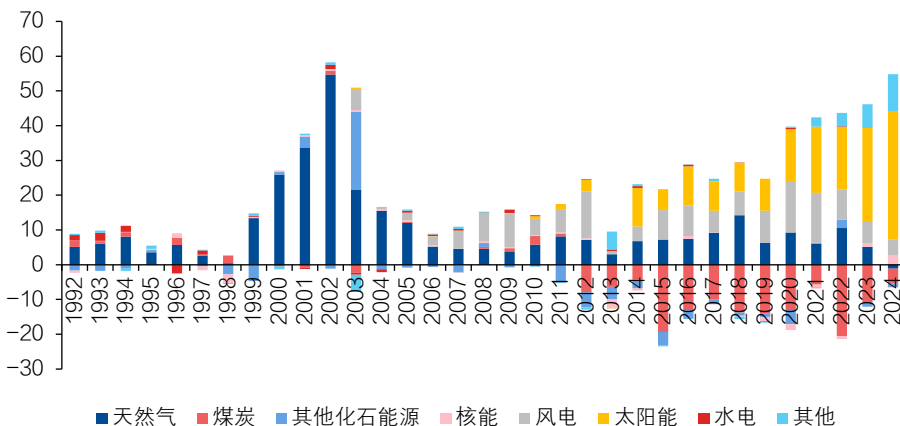
电源有效容量的不足主要是由于稳定、灵活电源容量减少，风光等间歇波动性电源增长。尽管美国电力总装机容量由 1991 年的 740GW 增长至 2024 年的 1284GW，年均复合增速达到 1.7%，但其结构发生了变化，火、水、核电三类出力较为稳定的基荷电源自 1991 年的 725GW 增长至 2011 年高峰的 989GW 后下降到 2024 年的 912GW，占装机容量比重由 98%下降至 71%；与之相对应的是 2011-2024 年风电、光伏装机容量由 46、2GW 增长至 152、177GW，占装机容量比重提升至 2024 年的 12%、14%，贡献期内装机增量的 121%。从发电量占比角度来看，2011-2024 年煤电利用小时数由 5457 小时下降至 3748 小时，气电/风电利用小时数由 2442/2631 小时增长至 3683/2981 小时，光伏利用小时数稳定在 1200 小时左右，导致煤电发电量占比由 42%下降至 15%，相对应的是气电/风电/光伏占比由 25%/3%/0%上升至 43%/11%/5%，核电与水电保持相对稳定。

图18、美国电力装机容量情况（GW）



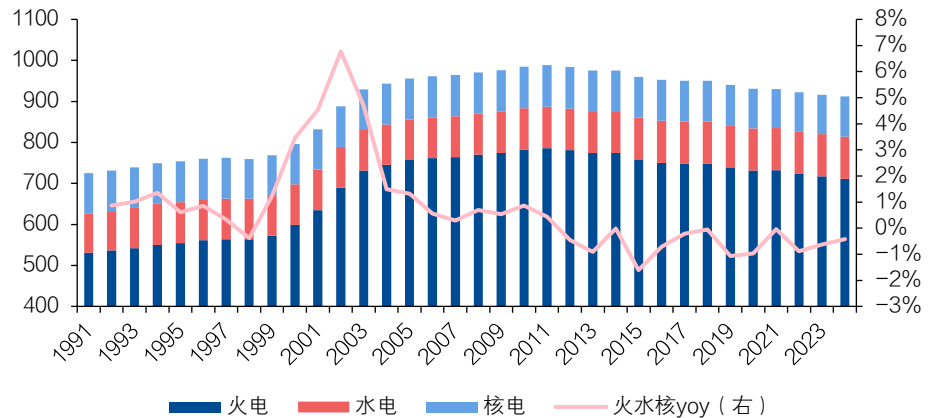
数据来源：Wind，EIA，兴业证券经济与金融研究院整理

图19、美国新增电力装机容量情况（GW）



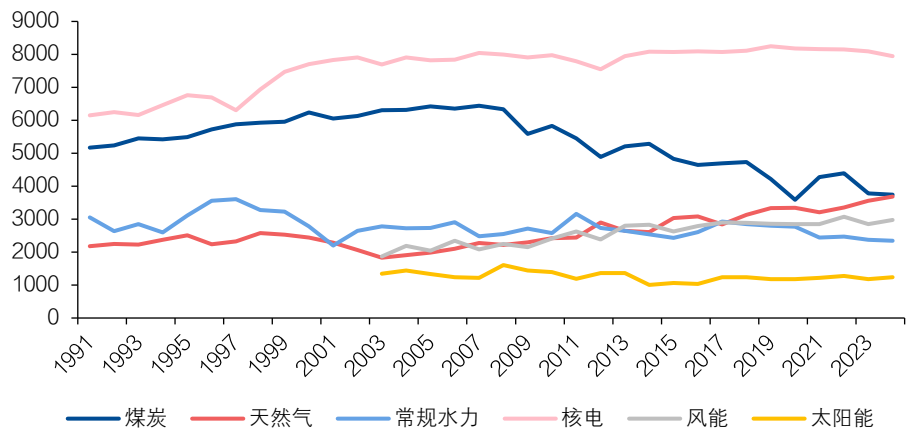
数据来源：Wind，EIA，兴业证券经济与金融研究院整理

图20、美国火、水、核电装机容量情况（GW）



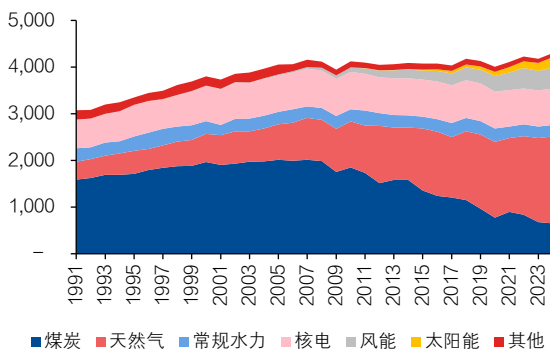
数据来源：Wind，EIA，兴业证券经济与金融研究院整理

图21、美国各电源利用小时数变化（小时）



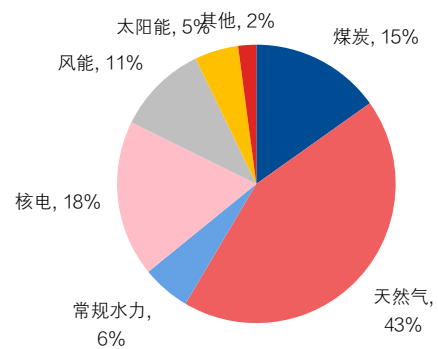
数据来源：EIA，兴业证券经济与金融研究院整理

图22、美国发电量结构（TWh）



数据来源：EIA，兴业证券经济与金融研究院整理

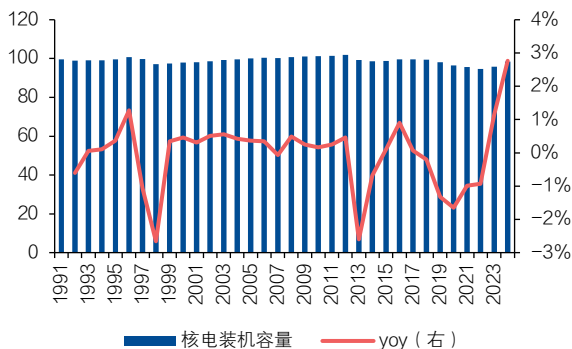
图23、2024年美国发电量结构



数据来源：EIA，兴业证券经济与金融研究院整理

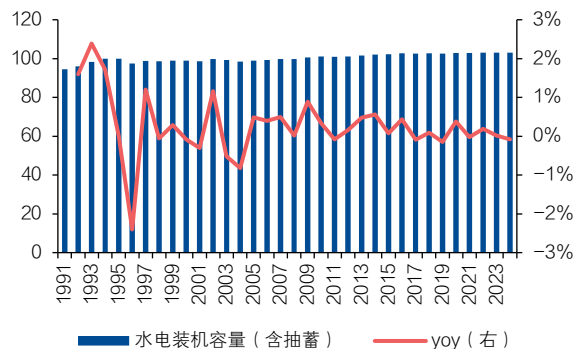
细分结构来看，水电与核电规模稳定，火电中气进煤退。1991-2024 年间，基荷电源中，核电与水电装机容量较为稳定，分别由 100/94GW 变动至 98/103GW，煤电由 307GW 下降至 174GW，气电则由 175GW 增长至 506GW。煤电机组由 2011 年开始进入加速“退役”阶段，煤电性价比相较气电减弱，2011-2024 年美国煤电装机容量由 318GW 下降至 174GW，降幅达 45%，占装机结构的比重由 30%下降至 14%。

图24、美国核电装机容量情况（GW）



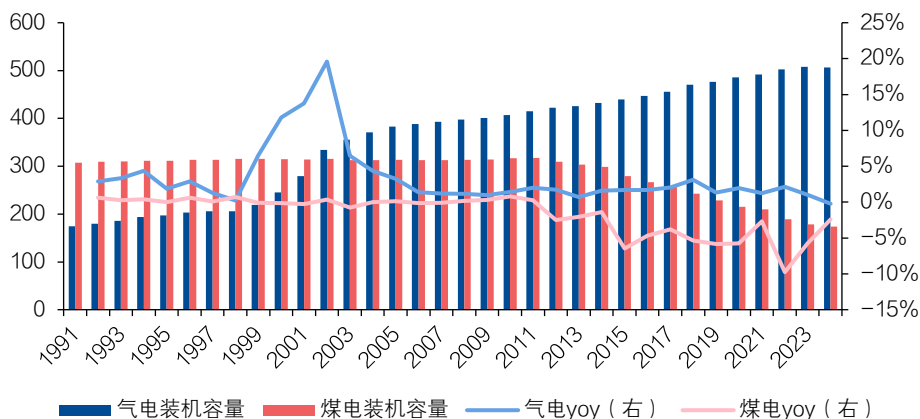
数据来源：Wind，EIA，兴业证券经济与金融研究院整理

图25、美国水电装机容量情况（GW）



数据来源：Wind，EIA，兴业证券经济与金融研究院整理

图26、1991-2024 年美国气电与煤电装机容量情况（GW）

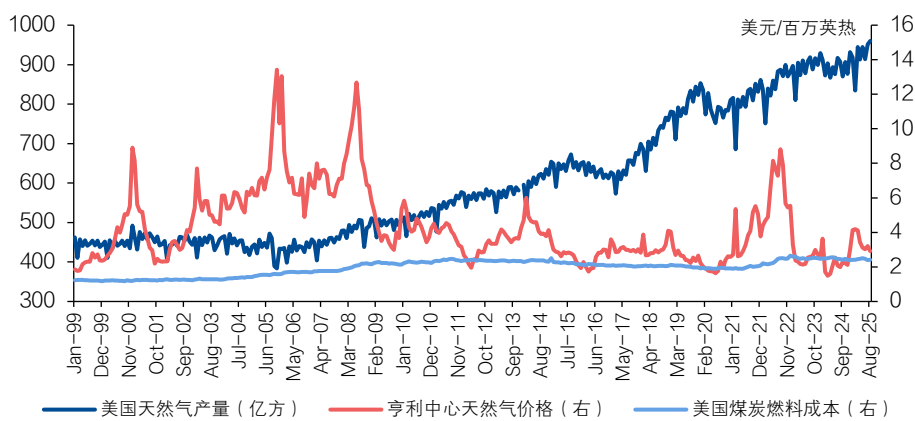


数据来源：Wind，EIA，兴业证券经济与金融研究院整理

煤电机组退役主要是由于环保成本上升+天然气价格下降使得气电经济性优于煤电。美国环境保护署于 2005 年、2012 年分别发布《清洁空气州际计划》、《汞和空气有毒物质标准》，对污染物排放提出更为严格的标准，直接增加煤电改造成本，根据 EIA2024 年对新建发电机组成本评估，煤电机组单位资本开支为 4103 美元/千瓦，固定运维成本为 62 美元/千瓦-年；而气电单位资本开支为 921 美元/千瓦，固定运维成本为 16 美元/千瓦-年。

且随着美国页岩气产量的快速提升，亨利中心天然气价格由 2005-2008 年的 6-9 美元/百万英热下降至 2012-2020 年的 2-4 美元/百万英热左右，若按煤炭/天然气成本分别为 2.4/4 美元/百万英热测算，考虑气电与煤电机组热效率差异（煤电 8638Btu/KWh，气电 6226Btu/KWh），煤电/气电单位燃料成本分别为 21/25 美元/MWh，叠加煤灰处理、烟气脱硫、排水等可变运维成本，煤电与气电单位成本分别为 27.1/28.2 美元/兆瓦时，考虑到前期资本开支以及固定运维费用上气电相较于煤电的优势，气电综合经济性优于煤电。

图27、美国天然气产量以及煤炭、天然气价格对比



数据来源：wind，兴业证券经济与金融研究院整理

表6、新建煤电与气电机组资本开支、运维成本等基本情况对比

	超超临界煤电	超超临界煤电 -95%碳捕捉	H 级联合循环燃气 轮机	H 级联合循环燃气 轮机-95%碳捕捉
热效率（Btu/kWh）	8638	12293	6226	7239
开发、许可、工程设计（月）	24	30	18	24
工程建设（月）	36	44	22	30
使用寿命（年）	40	40	40	40
单位资本开支（美元/千瓦）	4103 美元/千瓦	7346 美元/千瓦	921 美元/千瓦	2365 美元/千瓦
固定运维成本（美元/千瓦-年）	62	87	16	25
可变运维成本（美元/兆瓦时）	6.4	13.7	3.3	5.1
单位燃料成本（美元/兆瓦时）	20.7	29.5	24.9	29.0

数据来源：EIA，兴业证券经济与金融研究院整理

注：单位燃料成本按天然气成本 4 美元/百万英热，煤炭成本 2.4 美元/百万英热计算

表7、650MW 煤电项目资本开支拆解

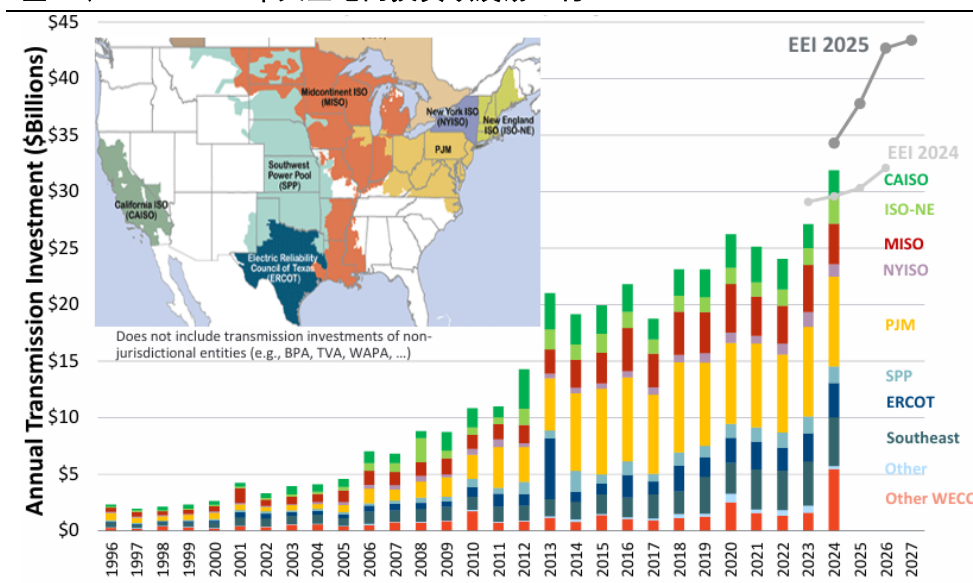
650MW 煤电（无碳捕捉）资本开支拆解	
项目	金额（亿美元）
土木 / 结构 / 建筑 - 设备和材料	1.4
锅炉厂 - 设备和材料	4.0
涡轮机厂 - 设备和材料	1.2

主辅电力系统 - 设备和材料	0.4
电厂平衡及仪控 - 设备和材料	2.7
变电站和开关站成本	0.2
施工人工成本	7.8
间接成本	2.5
EPC 费用	2.0
EPC 应急费用	2.2
EPC 小计	25
业主服务	1.7
土地	0.1
电气互联	0.03
燃气互联	0.03
业主应急费用	0.23
业主成本小计	2.1
总资本成本	27
单位成本	4103 美元/千瓦

数据来源：EIA，兴业证券经济与金融研究院整理

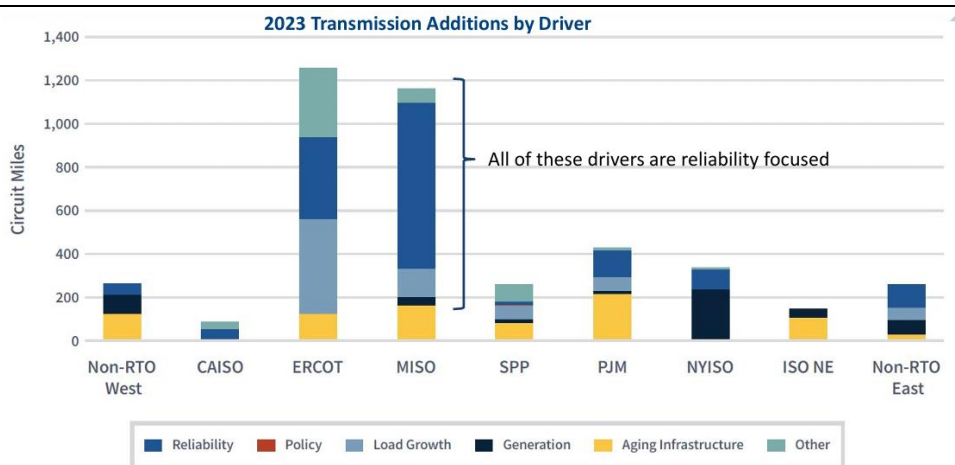
老旧电网设备更换需求大，新增输电网投资滞后。美国电网建设时间较早，电网结构在 20 世纪中期已经基本成型，据美国能源部（DOE）统计，美国 70% 输电线路以及电力变压器运行年限在 35 年以上，建于上世纪 60-70 年代的电力设备已经接近其生命周期终点，因此尽管美国整体电网投资额呈震荡上行态势，2024 年投资额突破 300 亿美金创历史新高，但主要投资方向为更换老旧设备、加强电网可靠性，新增输电线路投资不足，2024 年仅新增 888 英里 345KV 及以上的高压输电线路。据 DOE2024 年国家输电规划研究，为满足需求增长以及可靠性要求，至 2050 年美国本土需要年均新增 5000 英里输电系统。

图28、1996-2024 年美国电网投资额震荡上行



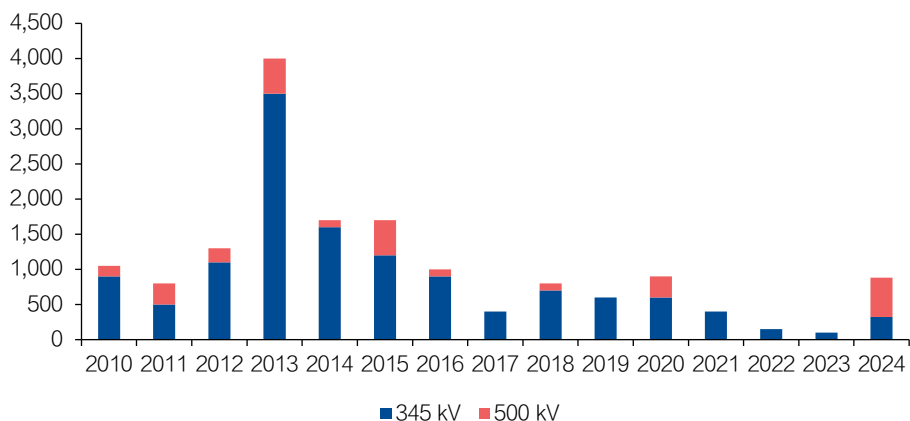
数据来源：Brattle，兴业证券经济与金融研究院整理

图29、2023 年美国电网投资主要方向



数据来源：Brattle，兴业证券经济与金融研究院整理

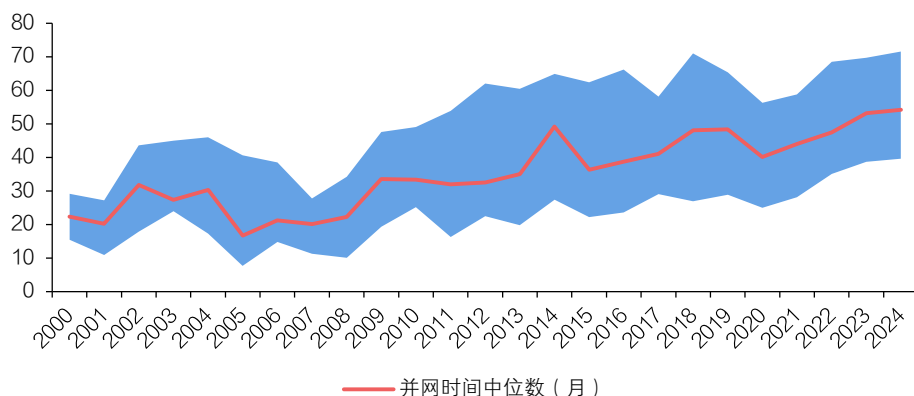
图30、2010-2024 年美国新增输电线路里程（英里）



数据来源：Grid Strategies，兴业证券经济与金融研究院整理

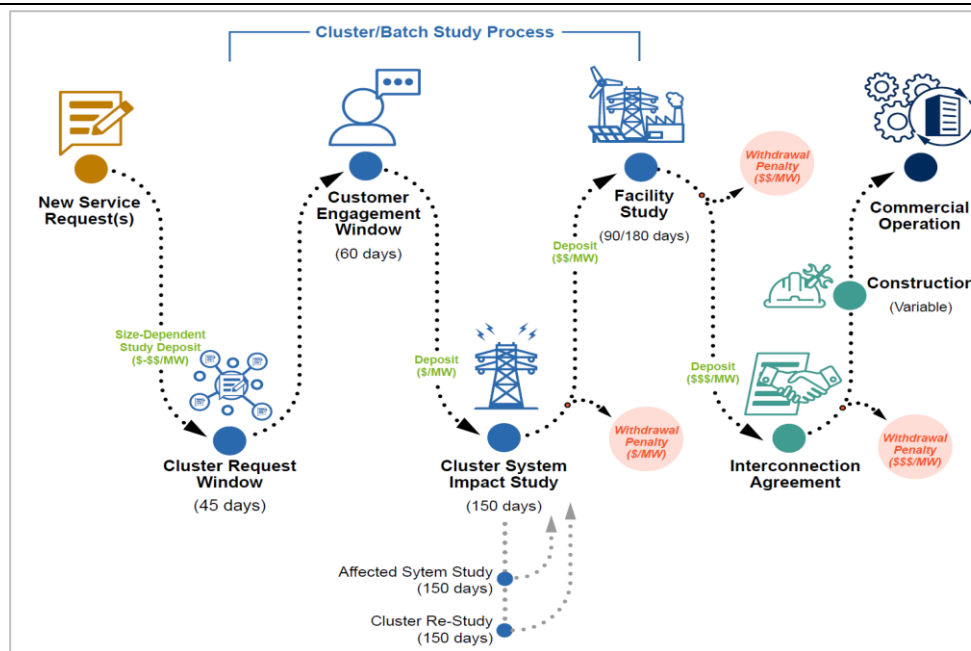
输电网建设滞后导致发电机组并网排队周期冗长，FERC 优化申请流程但仍受限于电网。输电网投资滞后的直接影响为新增装机并网所需时间由 2000-2007 年的小于 2 年提升至 2022-2023 年的接近 5 年。2023 年美国联邦能源监管委员会（FERC）发布第 2023 号命令改革并网流程，引入集群研究，对多项目的并网申请进行整体研究，尽管如此改革后并网审批流程仍需 1-2 年，电网结构的限制仍然制约着新增发电装机量增长。

图31、美国新增机组从申请到商运所需时间



数据来源：LBNL，兴业证券经济与金融研究院整理

图32、FERC2023 号命令改革后新增机组并网流程



数据来源：LBNL，兴业证券经济与金融研究院整理

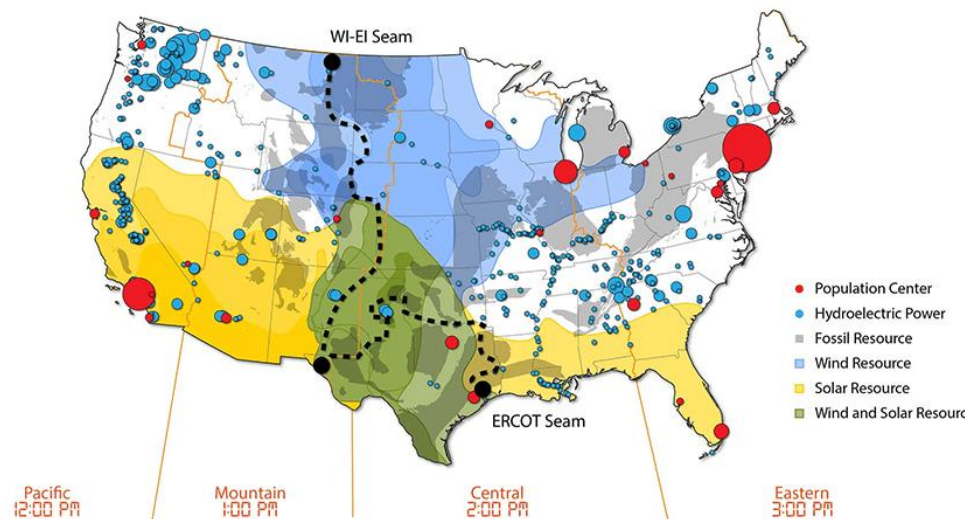
新能源资源分布不均，亦依赖于电网的跨区域调配。目前美国电网结构在物理上分为三个独立互联系统，分别为东部、西部、德州互联电网，三大区域彼此运行较为独立，彼此之间电力交换有限。从美国的资源禀赋来看，风光资源与天然气资源地域分配并不均匀，化石资源较为离散分布在中部、东部及南部地区，风资源富集区为中部地区，光资源富集区为南部地区且由于东西跨度大午间高发时段有所差异，风光装机的快速提升对电力的跨区调配消纳提出了更高要求。

图33、美国三大独立互联电网示意图



数据来源：EPA，兴业证券经济与金融研究院整理

图34、美国自然资源分布不均



数据来源：NREL，兴业证券经济与金融研究院整理

三、美国电力体系概况：市场化+传统管制并存，区域性差异显著

美国电力市场改革可追溯至 20 世纪 70 年代，由传统垂直一体化公用事业监管向竞争性电力市场转型：

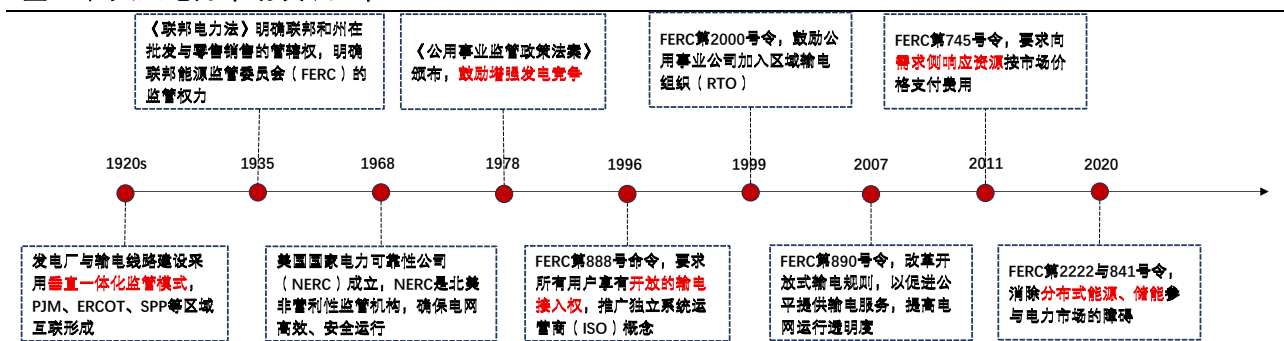
自 20 世纪 20 年代至 70 年代，美国电力供应通常采用垂直一体化模式，电力公司拥有从发电到输配电的全部业务，为共享备用容量以降低成本，形成了早期的电力联营体例如 PJM、ERCOT、SPP 等。

20 世纪 70 年代起，伴随着美国运输、能源、通信、金融等行业在内的放松管制大潮，1978 年《公用事业监管政策法案》标志着美国电力行业向竞争机制转型，鼓励国内能源和可再生能源利用，分离发电、输电和配电业务，强制公用事业公司从效率更高的发电厂购买电力，促进独立发电商之间的竞争，符合相关条件的非公用事业公司可以投资电力设备并进入批发市场。

1996 年 FERC 发布了第 888 号法令，明确要求开放电力批发市场、分拆发电服务与输电、允许发电商和用户公平接入输电网，并实行统一的输电费率，鼓励成立区域输电系统的独立第三方运营商（ISO）。1999 年，FERC 颁布了 2000 号法令，提出建立区域输电组织（RTO），旨在跨州范围内建立独立、完整的输电运营网络，并要求拥有或运行管理跨州输电设施的电力公司必须组建或加入 RTO。

21 世纪以来，FERC 适应电力市场发展以及新能源新技术的出现，在公平开放输电权、提高电网透明度、需求侧响应、分布式能源及储能参与市场等方面持续深入改革。

图35、美国电力市场发展历程



数据来源：National Governor Association，兴业证券经济与金融研究院整理

联邦与州两级监管，多部门参与的全美电力监管体系。美国目前电力体系分联邦与州两级监管，联邦层面侧重跨州以及批发市场业务，由 FERC 负责批准输电费率、监管 RTO/ISO 等职责；州层面侧重于本地零售市场与配电，通常由各州公用事业委员会（PUC）监管配电与零售电价，审批本地发电与输配电项目选址，同时可以制定州级相关能源政策。此外，美国能源部（DOE）制定国家能源政策但不直接参与监管，环境保护署（EPA）制定排放和环境保护政策，NERC 制定全国电网可靠性标准并监测电网安全。

表8、美国电力政策与监管相关机构

机构	范围	主要职责
联邦能源监管委员会（FERC）	州际输电与电力批发	1. 监管州际输电与电力批发市场 2. 监管区域输电组织（RTO/ISO） 3. 批准输电费率与市场规则

北美电力可靠性公司（NERC）	电网可靠性	1.制定并执行电网可靠性标准 2.监测全国大电网运行安全
能源部（DOE）	全国能源政策	制定国家能源政策 （不直接参与电力系统监管）
环境保护署（EPA）	环保法规	监管发电厂空气污染物与温室气体排放
州公用事业委员会（PUC）	零售电价与配电	1.公用事业电力公司回报率水平与投资计划 2.零售电价与配电环节收益率 3.发输配电设施选址与许可
州长办公室	州内能源政策	制定州内能源政策，如碳中和目标、电动汽车发展目标、可再生能源比例、可再生能源经济激励措施等

数据来源：National Governor Association，兴业证券经济与金融研究院整理

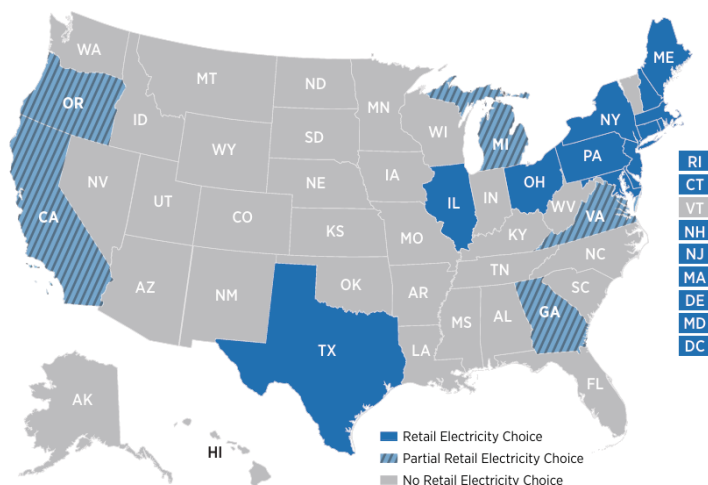
建立起传统垂直一体化监管与竞争性市场并存的电力体系，各州批发与零售市场管制放开进程不一。批发市场涉及发电企业与电力零售商之间的电力交易，零售市场将电力销售给终端消费者，各州批发与零售端的市场化改革进度不一。在批发端实现市场化改革的区域，电网的供需平衡调度以及批发市场交易由 RTO 与 ISO 负责，目前全美已建立起 7 大 RTO/ISO，覆盖约三分之二的电力消费者，各区域市场自行制定区域内电力交易与调度规则，电力批发市场未覆盖的其余区域仍采用传统的垂直一体化公用事业监管模式。零售端的市场化是指电力消费者可以自由选择其电力供应商，目前美国有 13 个州实现了零售端的全面市场化，部分州实现了特定消费者的零售市场化。

图36、美国 RTO/ISO 分布示意图



数据来源：National Governor Association，兴业证券经济与金融研究院整理

图37、美国电力零售端市场化区域示意图



数据来源：NREL，兴业证券经济与金融研究院整理

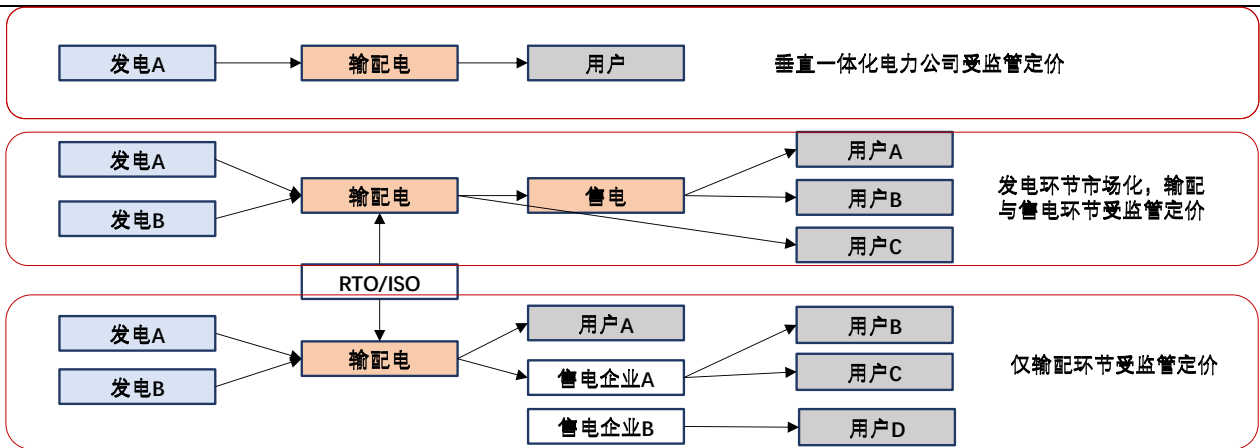
因此，美国各州电力体系可大致分为三种模式：

一是垂直一体化监管的电力公司，公用事业公司负责发、输、配电全流程，由州委员会批准其能源投资并监管其准许回报率；

二是放开电力批发市场的地区，由 RTO/ISO 管理批发电力市场并监督电网运行，当地配电企业由批发市场购电后出售给零售电力用户，大型工商业用户可直接参与电力批发侧交易；

三是批发、零售市场均放开的地区，配电与售电分离，电力用户可以自主选择售电商，售电商从批发市场购电后制定销售电价套餐吸引电力用户购电，大型电力用户也可直接向发电企业购电，并按规定支付输、配电价和缴纳政府性基金。

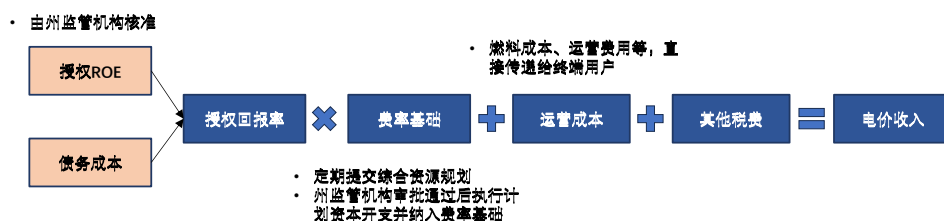
图38、美国电力体系示意图



数据来源：National Governor Association，兴业证券经济与金融研究院整理

传统监管模式下通常采用准许收益定价。处于传统垂直一体化监管区域内的电力公司，仍然实行发输配售一体，州级监管机构严格监管的模式，主要位于美国中西部、东南部地区，通常采用成本+合理回报的定价方式，最终电价收入=授权回报率*费率基础+运营成本+其他税费，电力公司定期提交综合资源规划，经州公用事业委员会审批通过后公司可据此执行资本开支并纳入费率基础中，授权回报率包括债务成本及股权回报率，并将燃料、运维、税费等其他成本传递至终端用户。

图39、准许收益率定价模式



数据来源：《国际输配电价管制和定价方式》（陈熙，陈竹等），《美国电价形成机制和输配电价监管制度及启示》（施子海，侯守礼等），兴业证券经济与金融研究院整理

以传统监管区域佛罗里达州电力公用公司 FPL 为例，其终端用户电费支出包括基础费用+燃料费用+非燃料费用+税费和其他费用四大项：

（1）**基础费用**：旨在收回建设、运营和维护公用事业系统的成本，主要包括运营和维护费用、折旧和税收；也包含电力公司提供电力服务所应获得的资产回报

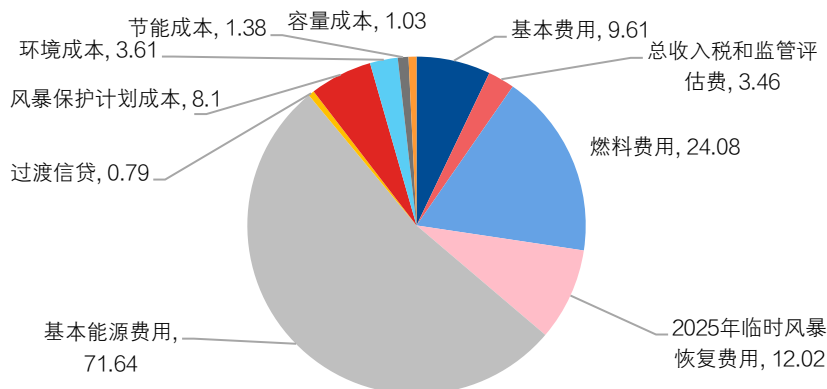
（2）**燃料费用**：提供电力所需的燃料成本；

（3）**非燃料费用**：基本能源费用（除燃料外生产和输送电力的成本）、节能成本、购买非 FPL 电力带来的成本、环境成本、风暴保护计划成本、过渡信贷等；

（4）**税费和其他费用**：总收入税、特许经营费用、公用事业/市政税等

若当月用电 1000kwh，则当月费用为 134.14 美元，其中基本费用/燃料费用/非燃料费用/税费和其他分别占比 7%/18%/65%/3%。

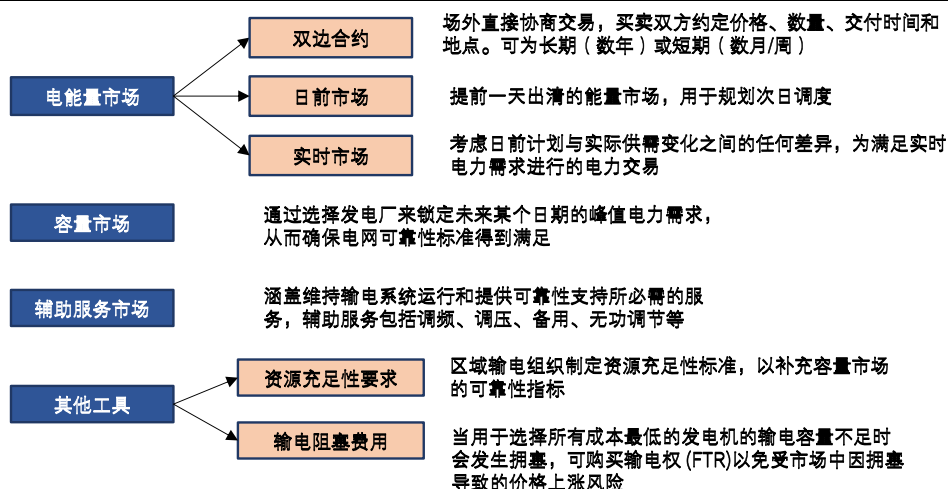
图40、FPL 住宅用户 1000KWh 用电量费用构成



数据来源：FPL，兴业证券经济与金融研究院整理

电力批发市场交易核心包括电能量交易、容量保障和辅助服务，各 RTO/ISO 交易制度设计各有其特点。在电力批发市场交易中，主要交易模式为电能量交易（双边合同、日前市场、实时市场）、容量市场与辅助服务市场三大类，其中电能量市场为实际电力的交易，市场参与者通常通过双边合同锁定长期价格，利用日前与实时市场平衡短期的供需波动，2020 年 PJM 地区交易量中双边合同+自供电占比 75%，日前+实时市场占比 25%；容量市场旨在保障未来电力容量可用性，通过拍卖形式支付资源承诺在高峰期可用；辅助服务市场提供电网稳定所需的“支持服务”，补偿能量和容量市场未覆盖的属性，如频率调节和储备。各 RTO/ISO 均运营电能量市场与辅助服务市场，但在容量市场设计上存在差异，ERCOT、CAISO、SPP 并无典型容量市场。

图41、电力批发市场主要交易方式



数据来源：National Governor Association，兴业证券经济与金融研究院整理

表9、美国 RTO/ISO 批发市场交易方式概况

	能量市场	容量市场	辅助服务	覆盖区域
PJM	日前+实时，节点 边际定价（LMP）	有（可靠性定价模型拍卖，提前 3 年）	有，通常包含 调频、调压、 无功功率、备 用等	中大西洋
ERCOT		无，完全依赖能量市场稀缺性定价		德州大部分
CAISO		无，但有资源充足性要求		加州+西部 EIM
MISO		有		中西部
SPP		无		中部平原
NYISO		有，涵盖 3 种不同期限，6 个月、月度和现货		纽约州
ISO-NE		有，每年组织运营期在 3 年后的容量拍卖		新英格兰

数据来源：National Governor Association，兴业证券经济与金融研究院整理

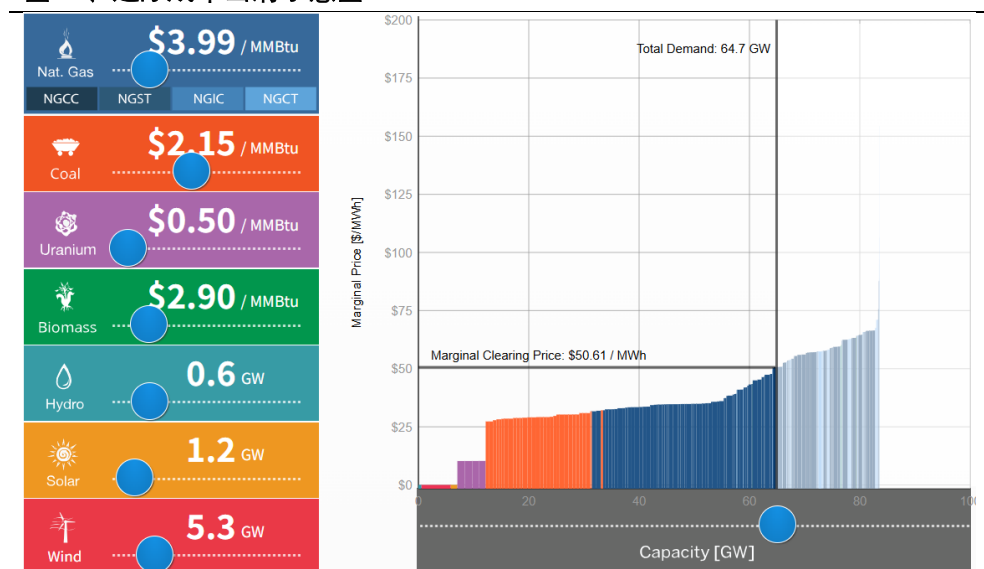
电能量市场定价方式为基于边际成本的节点边际定价（LMP），是考虑电网传输损耗与堵塞的发电边际成本。在传统的边际成本定价中，电力价格等于满足下一个需求增量的发电成本，煤电与气电的边际成本为燃料成本+短期运营维护费用，风电、光伏与核电的边际成本低而固定成本高，通常以低价甚至 0 元出价，为电力市场中的“价格接受者”。节点边际定价进一步考虑电网的物理限制，即传输线容量及损耗，在拥堵严重的节点价格更高，核心是使得某一节点的出清价格等于满足该节点需求的最后一个被调度机组的边际成本。

表10、LMP 价格构成

构成	解释	影响因素
能量成本	基本发电边际成本，通常基于系统最低成本发电机的燃料和运营费用。	天然气价格、可再生能源渗透率等
拥堵成本	当传输线拥堵时，为绕过拥堵所需额外成本（可能需调用更贵发电机）。	线路容量限制、需求高峰期
损耗成本	电力在传输中的损耗成本	距离远近、线路电阻

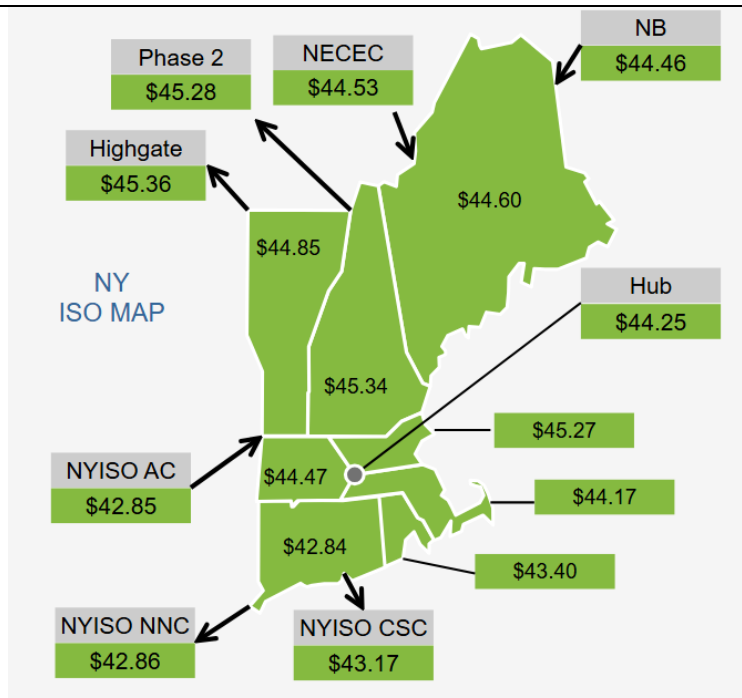
数据来源：PennState College，兴业证券经济与金融研究院整理

图42、边际成本出清示意图



数据来源：Webber Energy Group，兴业证券经济与金融研究院整理

图43、NYISO 实时节点边际价格图



数据来源：NYISO，兴业证券经济与金融研究院整理

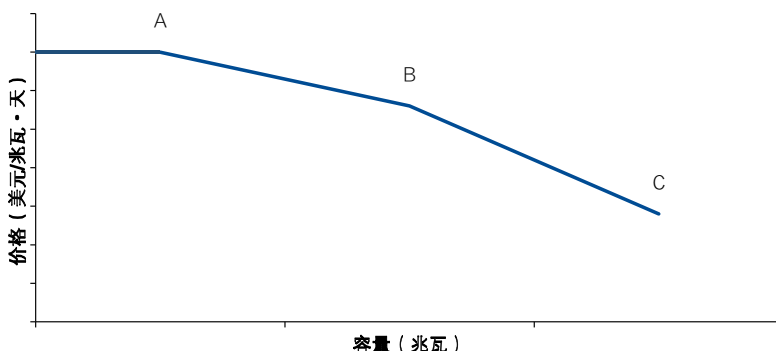
美国容量市场价格通常采用拍卖的方式形成，根据负荷、机组成本等因素计算需求曲线以激励新机组建设。容量市场旨在确保未来电力系统有足够的容量资源（发电、需求响应、储能等）来满足峰值需求和可靠性标准，美国容量电价的形成成为竞争性的拍卖机制，资源运营商提供出售报价形成供给曲线，电力系统运营商则基于区域内需求情况提供需求曲线，清算价格由供需曲线的交点决定。PJM 地区自 1999 年开始运营容量市场，目前容量拍卖机制基于可靠性定价模型（RPM）形成，其拍卖流程为：

- （1）**PJM 给出容量需求曲线：**需求曲线的核心思想为满足可靠性容量需求并兼顾新建机组成本（如图 44），与 A、B、C 三点形成密切相关的指标为 R （区域可靠性需求） $=LP*IRM*(1-E)-FRR$ ，其中 LP 为 PJM 预测的区域峰值负荷，IRM 为装机容量充裕度（目前取值为 1.19），E 为机组的等效停机率，FRR 为部分负荷的容量自供应；**Gross CoNE**（新建机组总成本），PJM 参考的是联合循环燃气轮机；**net CoNE**（新建机组净成本），对应的是机组在电量和辅助服务市场无法回收的成本；**Lr**，PJM 预测的可中断负荷容量，具体 A、B、C 三点对应坐标值的形成方式如表 11 所示；
- （2）**市场成员参与竞拍，**区域内可用自然容量的现有机组必须参加竞拍，区域外的机组、规划建设的机组、现有或规划的负荷资源、获得审批的输电升

级计划可自愿选择参加，通常提前 3 年组织竞拍，并在交付年提前 20 个月、10 个月、2 个月组织 3 次追加拍卖

- (3) 中标机组在承诺期内履行容量义务，中标资源必须在承诺期内，保证提供约定的发电容量，在系统运行需要时被调用。在系统短缺时，接受 PJM 的调度，以市场价格发电或削减负荷，实现发电充裕，保证系统可靠性。此外，PJM 规定容量资源必须在日前电量市场报价，参与批发市场。在未能履行义务的第一年，容量报酬减半，第二年降至 25%，第三年容量报酬取消。

图44、PJM 容量需求曲线示意图



数据来源：国网能源院，兴业证券经济与金融研究院整理

表11、PJM 容量市场需求曲线形成机制

坐标值	容量价格	容量
A	$\text{Max} (\text{Gross CoNE}, 1.5 \cdot \text{net CoNE}) / (1 - E)$	$R^* (\text{IRM} - 3\%) / \text{IRM} - \text{Lr}$
B	$1.0 \cdot \text{net CoNE} / (1 - E)$	$R^* (\text{IRM} + 1\%) / \text{IRM} - \text{Lr}$
C	$0.2 \cdot \text{net CoNE} / (1 - E)$	$R^* (\text{IRM} + 5\%) / \text{IRM} - \text{Lr}$

数据来源：国网能源院，兴业证券经济与金融研究院整理

四、供需缺口的解决方案：环保要求或短期放松，储能、SOFC 补位

目前美国对于电力系统的清洁性要求主要包括两大类：含碳能源的限制以及清洁能源补贴：

对于煤电、气电出台环保限制，EPA 发布对于发电机组的污染和排放物限制法规，煤电机组需满足汞及空气有毒物质标准、废水排放指南以及煤灰管理要求，并于 2024 年加强温室气体排放规则，要求新增大型基荷气电机组碳捕获率达到 90%，存量机组不受限制；计划在 2039 年后仍持续运营的煤电机组碳捕获率达到 90%，2032-2039 年间退役机组需在 2030 年前安装和使用天然气共燃设备，2032 年前

退役煤电无需减排改造。此外，部分州通过碳限额及交易制度增加煤电与气电碳排放成本。

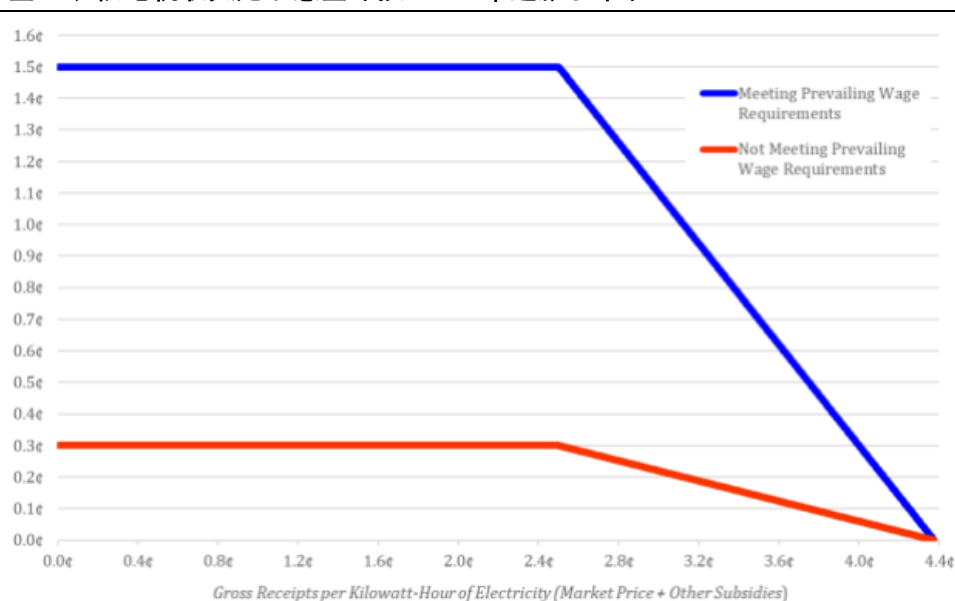
对于清洁能源的补贴主要为生产税收抵免 (PTC) 和投资税收抵免 (ITC)，风电、光伏、地热等无碳能源可获得 PTC 或 ITC 抵税补贴，PTC 补贴标准为 2.25 美分/千瓦时，若满足社区和本地制造要求补贴标准将上涨 0.6 美分/千瓦时达到约 2.85 美分/千瓦时，2027 年 12 月 31 日前投产的风电与光伏可获得此补贴，补贴期限 10 年；核电 PTC 补贴为阶梯制并逐年根据通胀调整，2024 年基准补贴为 0.3 美分/千瓦时，若核电电价收入高于 2.5 美分/千瓦时，PTC 补贴将减少实际电价收入与 2.5 美分/千瓦时差额的 16%，若满足雇员工资等要求则基准补贴金额乘以 5 倍至 1.5 美分/千瓦时，当电价收入达到 4.375 美分/千瓦时补贴金额为 0，OBBBA 法案将核电补贴期限延长至 2036 年。

表12、美国清洁能源 ITC 与 PTC 概况（适用于大于 1MW 的交流电项目）

	补贴标准 (满足工资与雇员标准)	额外奖励			适用范围
		本地制造	特定能源区	低收入或印第安地区	
投资税收抵免	30%	增加 10%	增加 10%	增加 10%	风光、固体废物、地热、潮汐、储能、燃料电池、热电联产等
生产税收抵免	\$22.5/兆瓦时	+\$3/兆瓦时	+\$3/兆瓦时	无	风光、固体废物、地热、潮汐、生物质、水电等

数据来源：EPA，兴业证券经济与金融研究院整理

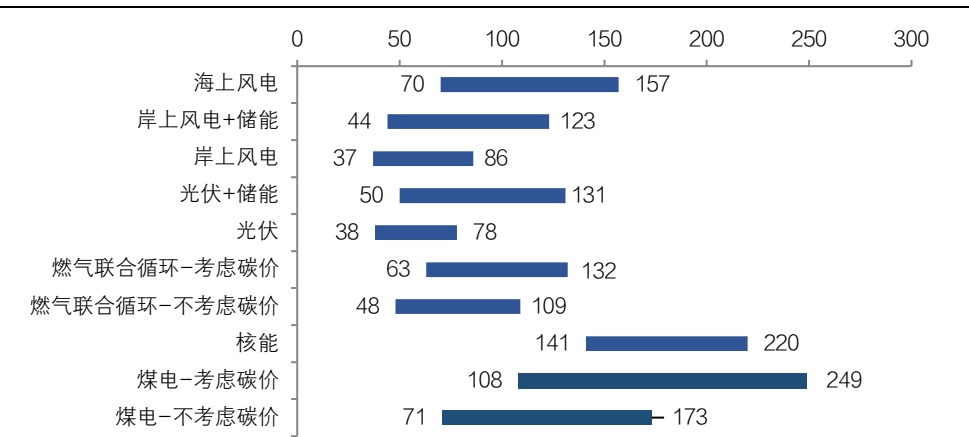
图45、核电税收抵免示意图（按 2024 年通胀水平）



数据来源：Congress.gov，兴业证券经济与金融研究院整理

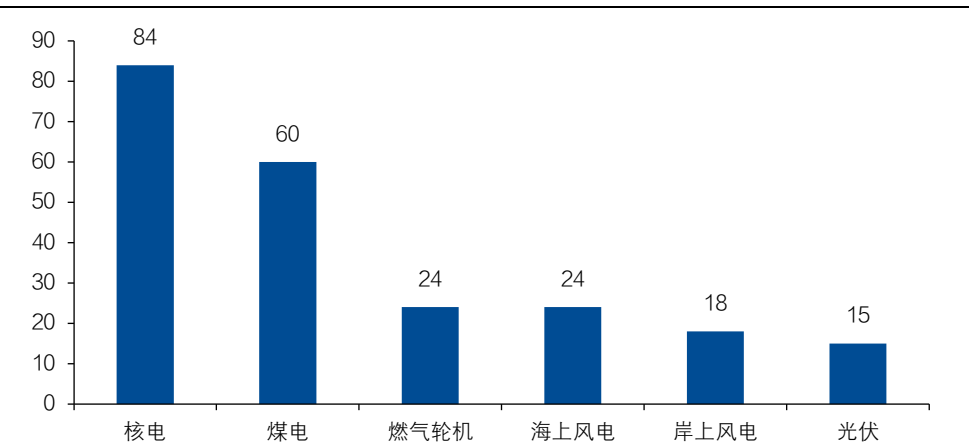
从经济性角度考虑，新建各类电源平准化度电成本（LCOE）的排序大致为风光<燃气<风光+储能<煤电<核能。根据 Lazard 测算各类电源 LCOE，考虑债务比例 60%，借贷成本 8%，股权回报率 12% 的情景下，成本由低到高为光伏<岸上风电<燃气轮机<岸上风电+储能<光伏+储能<海上风电<煤电<核电，但美国目前核电机组多数已完成一次 20 年延寿，部分机组正寻求二次延寿，40 年折旧到期后核电 LCOE 下降至 34 美元/兆瓦时，是成本最低的电源类型。从建设速度来看，核电建设时长达到 7 年，光伏/风电/气电建设时长为 1-2 年。

图46、美国各电源 LCOE 测算（美元/兆瓦时）



数据来源：Lazard，兴业证券经济与金融研究院整理

图47、美国各电源建设时间（月）

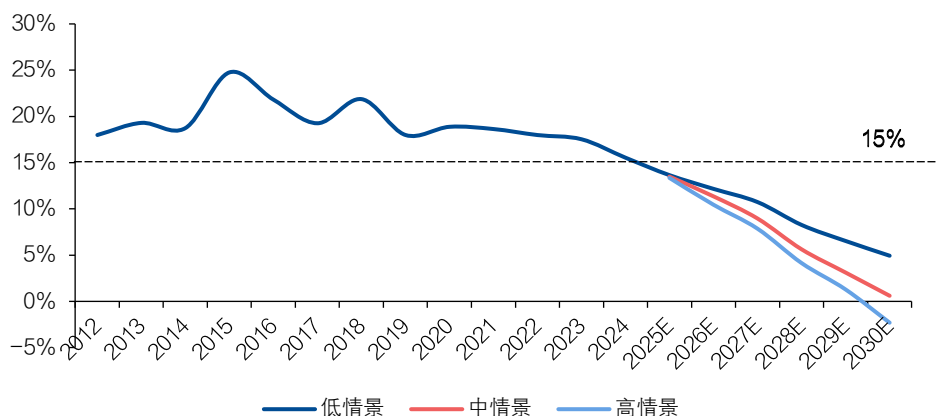


数据来源：Lazard，兴业证券经济与金融研究院整理

按照 EIA 统计当前电源预期，储备裕度下降威胁电网安全性。由于过去十余年间美国电力需求增长停滞，2012-2023 年夏季尖峰负荷维持在 730-790GW 区间内，期内装机以绿色+经济属性的风光装机为主但并未显著影响电网安全性，我们假设火电/水电/核电/风电/光伏有效容量系数分别为 90%/90%/100%/40%/10%，测

算得到期内有效容量由 932GW 增加 0.8%至 939GW，储备裕度由 18%下降至 16%。但根据 EIA 目前统计的电源装机预期计算，2025-2030 年间火水核电装机容量维持稳定，光伏与风电增量分别为 171/50GW，有效容量不足以支撑峰值负荷需求，低/中/高情景下 2030 年储备裕度将下降至 5%/1%/-3%。

图48、根据当前装机与负荷预期测算美国电力系统储备裕度



数据来源：EIA，NERC，兴业证券经济与金融研究院整理

表13、2024-2030E 美国电力负荷与装机平衡表 (GW)

	2024	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
煤电	174	165	158	151	128	108	71
新增装机		-9	-7	-7	-23	-21	-36
yoy		-5%	-4%	-4%	-15%	-16%	-34%
气电及其他化石能源	537	543	551	561	577	598	636
新增装机		6	8	10	15	21	38
yoy		1.1%	1.5%	1.9%	2.7%	3.7%	6.4%
核电	98	98	98	98	98	97	95
抽水蓄能	23	23	23	23	23	23	23
水电	103	105	107	109	111	113	115
新增装机		2	2	2	2	2	2
yoy		1.9%	1.9%	1.9%	1.8%	1.8%	1.7%
风电	152	159	167	176	184	193	202
新增装机		7	8	9	8	9	9
yoy		4.5%	5.0%	5.4%	4.5%	4.9%	4.7%
光伏	177	209	236	264	292	322	347
新增装机		32	27	28	28	30	25
yoy		18%	13%	12%	11%	10%	8%
其他	19	19	19	19	19	19	19
有效容量	943	948	957	968	969	977	986
新增有效容量		5	9	11	1	8	9
总峰值负荷	813	830	848	869	890	912	933
中情景	813	830	850	879	909	941	973
高情景	813	829	852	887	924	965	1014

电力缺口	低情景	-12	-10	-10	-19	-14	-13
	中情景	-12	-12	-18	-28	-24	-24
	高情景	-12	-14	-23	-36	-33	-40

数据来源：EIA，NERC，兴业证券经济与金融研究院整理

注：电力缺口按照维持 2024 年储备裕度测算，总峰值负荷测算见表 2

气电是主力增量电源，但受限于设备商产能上限。在环保要求放宽的大背景下，气电作为综合经济性、建设速度、供电稳定性考虑的最优选择，是美国中短期内的发电增量主力，但 2024 年全球燃气轮机市场中市占率达 85%的 GEV、三菱动力、西门子能源三家公司目前均已达产能上限，三菱动力表示 2025 年新订单交付时间需要到 2028-2030 年，GEV2028-2029 年产能亦基本排满。EIA 预期 2024-2030 年美国气电及其他化石能源装机容量由 537GW 增长至 636GW，我们认为实际装机规模在此预期上较难有大幅提升。

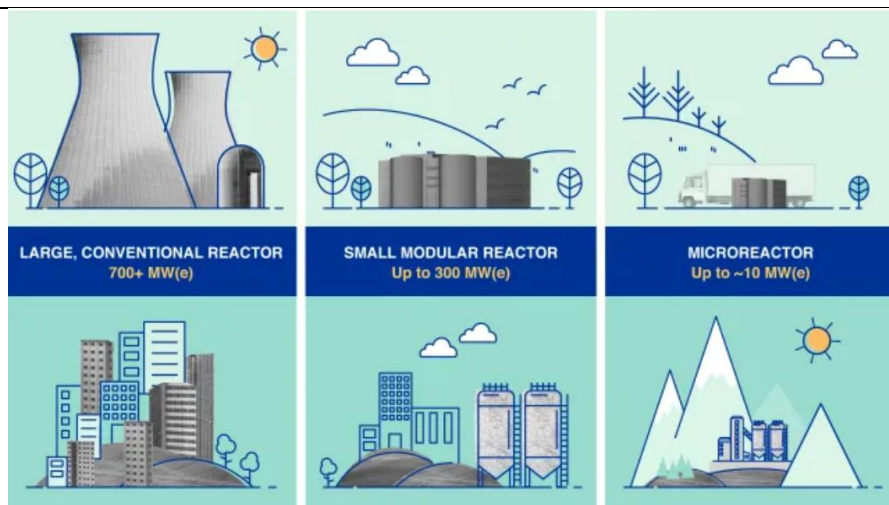
核电建设周期较长，2030 年或有首批小型堆上线。传统大型核反应堆建设周期较长，设计立项+审批+建设总时长预计接近 10 年，2030 年前增量仅为部分已关停核电站重启，美国 2025 年“核能复兴令”中要求 2030 年前有 10 座核反应堆在建，对于中短期内电力缺口的解决暂无帮助。相较之下，小型堆（SMR）单机组投资小、占地少、部署灵活且支持模块化拓展，模块单元可以制造后运输至现场安装，预期建设周期为 3-5 年，2025 年 5 月，田纳西河谷管理局成为第一个向美国核管理委员会提交 SMR 建设申请许可的公用事业公司，意味着 SMR 正在由实验室概念逐步转向应用落地，IEA 预测到 2030 年或有首批 SMR 上线。

表14、美国核电站重启进程梳理

公告时间	计划重启时间	名称	运营商	规模	详情
2023 年 10 月	2025 年底	Palisades	Holtec International	777MW	美国首个重启核电站，受不利市场环境影响，Entergy 公司于 2022 年将其关停并出售给 Holtec International 公司，后者原计划将该电厂退役。
2024 年 9 月	2027 年	Three Mile Island	CEG	835MW	核电运营商 Constellation 公告与 Microsoft 签订 20 年核电固定电价长协，以重启于 2019 年退役的 835MW 三里岛核电 1 号机组
2025 年 1 月		Duane Arnold	NextEra	615MW	2020 年 8 月因强风暴摧毁冷却塔后停运，2025 年 1 月向美国核管会提交电厂许可证变更申请

数据来源：中国能源研究会核能专委会，US News，兴业证券经济与金融研究院整理

图49、大型与小型核电反应堆示意图



数据来源：IAEA，兴业证券经济与金融研究院整理

部分清洁性要求或放宽，煤电退役有望延缓，剩余电力缺口的弥补或依靠储能、SOFC 等新型技术。在电力负荷增长与安全的刚性约束下，清洁性要求或有所放松，2025 年 4 月特朗普签署行政令放松对于煤炭产业的环保监管和开采限制；2025 年 6 月 EPA 提议废除《清洁空气法》中所有电力部门温室气体排放限制，目前相关规则仍在审议当中；2025 年 7 月白宫发布《美国人工智能行动》，明确通过“移除繁文缛节”加速基础设施建设，确保美国在人工智能竞赛的主导地位。考虑到核电短期内落地可能性较低，气电受上游设备商产能限制，若煤电环保限制放开，在电网可靠性要求下煤电退役进程大概率放缓。若 2025-2030 年间煤电退役量由 EIA 此前预期的 103GW 下降至 50GW，则 2025-2029 低情景下年峰值负荷缺口在 12GW 及以内，中/高情景下年峰值负荷缺口在 12-25GW 区间内，仍然需要储能、SOFC 等电源补位。

表15、考虑煤电退役容量减少后电力缺口测算（GW）

	2024	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
EIA 预期煤电退役容量		-9	-7	-7	-23	-21	-36
调整后煤电退役容量		-9	-7	-7	-10	-10	-10
低情景		-12	-10	-10	-8	-4	11
中情景		-12	-12	-18	-17	-14	0
高情景		-12	-14	-23	-24	-24	-16

数据来源：EIA，兴业证券经济与金融研究院整理

五、投资建议

（1）储能+SOFC：AI 数据中心+制造业、电气化等因素驱动美国新一轮电力需求上行，由于核电建设周期长，燃机产能有限，短期内电力供给缺口的弥补或依赖于煤电退役的减缓以及储能、SOFC 补位，储能环节推荐阳光电源，建议关注阿

特斯、天合光能；SOFC 凭借交付时间短、补贴政策下具备经济性得到 CSP 厂青睐，**Bloom Energy** 作为核心供应商，在手订单充足，随着规模扩大，未来成本有望持续降低，从而成为供电的主要方式之一，建议关注 **SOFC 产业链**，其中**三环集团**作为燃料电池隔膜板核心供应商，有望充分受益 SOFC 装机的爆发。

(2) 电网设备：美国电网老化问题严重，近二十年美国电网投资额震荡上行并于 2024 年创历史新高，但大部分用于更新改造，未来用电负荷增长+电网更新需求仍将持续驱动电网投资，看好供给持续紧缺北美变压器市场，推荐**金盘科技**，建议关注**思源电气、三星医疗**；看好缺电背景下 AIDC 的电气架构革新，固态变压器产业链加速发展，推荐**金盘科技、阳光电源、正泰电器、盛弘股份、中恒电气**，建议关注**禾望电气**；

(3) 燃气轮机：中期维度内燃气轮机仍然是美国电力供给的主力，2024 年全球三大燃气轮机主机厂 GEV、西门子能源、三菱重工订单均显著增长，验证行业高景气度。然而受制于产能，燃机交货周期明显拉长，核心零部件叶片、锻件、铸件等也面临供应链短缺，中国企业有望在海外供应链短缺的背景下提升份额，建议关注**联德股份、豪迈科技、应流股份、杰瑞股份、航宇科技**；

(4) 核电：长期视角下，核电作为高密度清洁电源，可不受气候影响稳定供电，是电气化大时代背景下的可靠基荷能源，建议关注**核电产业链**；

(5) 工业金属原材料：美国电力需求上行以及电网设备更新预计将显著拉动铜、铝等工业金属原材料需求的提升。当前，受美国铜关税的政策的前置性影响，美国对全球阴极铜库存的虹吸效应愈加明显；此外美国铝中西部溢价率持续抬升，亦显现出美国对铝需求的持续增长。从储能角度看，英伟达下一代 800VDC 架构中将储能列为标配。预计锂电铜箔需求也将呈现延续性的高速增长，储能电池需求高增对锂电铜箔及阴极铜需求的边际拉动将愈加明显。此外，美国电价上涨过程中亦对本国铜、铝冶炼及加工产能的资本开支形成牵制，因此新增需求将通过贸易流的形式向国际市场上进行传导。铜、铝等基本金属作为全球定价的大宗商品，考虑到美国电力需求提升、电网改造、AI 拉动储能需求增长等因素，我们看好全球铜、铝价格在 2026 年能够保持高位运行，并有望进一步抬升，建议关注**洛阳钼业、金诚信、天山铝业、云铝股份、南山铝业**等。

表16、重点公司估值表（截至 2026 年 1 月 9 日）

公司名称	总市值（亿元）	归母净利润（亿元）					PE			PB
储能										
阳光电源	3,505	110	141	159	178	32	25	22	20	7.8
阿特斯*	566	22	16	30	41	25	35	19	14	2.4
天合光能*	429	-34	-42	17	34	-	-	26	13	2.0
SOFC										
三环集团	914	22	28	36	45	42	32	25	20	4.4
电网设备										
金盘科技	406	6	7	10	12	71	55	42	33	8.6
思源电气*	1,246	20	28	37	46	61	44	34	27	8.6
三星医疗*	344	23	23	29	35	15	15	12	10	2.8
正泰电器	635	39	49	57	65	16	13	11	10	1.5
盛弘股份	129	4	5	6	8	30	29	21	17	6.6
中恒电气	178	1	2	3	4	163	94	69	50	7.4
禾望电气*	155	4	6	7	9	35	25	21	18	3.1
燃气轮机										
联德股份*	88	2	2	3	4	47	38	28	22	3.6
豪迈科技	673	20	25	29	33	33	27	23	20	5.9
应流股份	304	3	4	5	7	106	84	59	44	6.2
杰瑞股份*	782	26	31	37	43	30	25	21	18	3.5
航宇科技	135	2	2	3	4	71	58	45	35	6.8
金属										
洛阳钼业	4,874	135	171	207	238	36	28	24	20	6.3
金诚信	481	16	24	27	30	30	20	18	16	4.6
天山铝业	839	45	48	59	68	19	18	14	12	2.9
云铝股份	1,163	44	65	75	86	26	18	15	14	3.6
南山铝业	672	48	50	56	60	14	13	12	11	1.3

数据来源：wind，兴业证券经济与金融研究院整理

*：采用 wind 一致预期

六、风险提示

- 1、美国政策变动风险：**美国关于能源政策一直存在多变的风险，如果政策取向朝着不利于某类能源技术的发展方向发展，则可能影响该技术的需求前景
- 2、产业链供应风险：**部分技术路线在美国存在产业链不健全的现象，需要较多依赖进口，如果需求需要大幅提升，可能产业链供应能力会抑制相关需求的发展。
- 3、电力需求增长不及预期：**美国用电需求最终受到宏观经济及多方面的影响，如果用电需求尤其是数据中心用电需求不及预期，则可以大幅缓解美国缺电压力，从而对相关方向产生不利影响

分析师声明

本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并登记为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告清晰准确地反映了本人的研究观点。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

投资评级说明

投资建议的评级标准	类别	评级	说明
报告中投资建议所涉及的评级分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后的 12 个月内公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅。其中：沪深两市以沪深 300 指数为基准；北交所市场以北证 50 指数为基准；新三板市场以三板成指为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以标普 500 或纳斯达克综合指数为基准。	股票评级	买入	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅大于 15%
		增持	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在 5% ~ 15% 之间
		中性	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在 -5% ~ 5% 之间
		减持	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅小于 -5%
		无评级	由于我们无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使我们无法给出明确的投资评级
	行业评级	推荐	相对表现优于同期相关证券市场代表性指数
		中性	相对表现与同期相关证券市场代表性指数持平
		回避	相对表现弱于同期相关证券市场代表性指数

信息披露

本公司在知晓的范围内履行信息披露义务。客户可登录 www.xyzq.com.cn 内幕交易防控栏内查询静默期安排和关联公司持股情况。

本公司为天合光能(688599)做市商。但上述持仓不曾、不会、不将对研究业务的独立性、客观性产生影响。

使用本研究报告的风险提示以及法律声明

兴业证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

熙本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。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，投资者自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效，任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以本公司向客户发布的本报告完整版本为准。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，本公司及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载资料的来源被认为是可靠的，但本公司不保证其准确性或完整性，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。本公司并不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此相关的其他任何损失承担任何责任。

本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可升可跌，过往表现不应作为日后的表现依据；在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告；本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

除非另行说明，本报告中所引用的关于业绩的数据代表过往表现。过往的业绩表现亦不应作为日后回报的预示。我们不承诺也不保证，任何所预示的回报会得以实现。分析中所做的回报预测可能是基于相应的假设。任何假设的变化可能会显著地影响所预测的回报。

本公司的销售人员、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。本公司没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。本公司的资产管理部门、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。

本报告并非针对或意图发送予或为任何就发送、发布、可得到或使用此报告而使兴业证券股份有限公司及其关联子公司等违反当地的法律或法规或可致使兴业证券股份有限公司受制于相关法律或法规的任何地区、国家或其他管辖区域的公民或居民，包括但不限于美国及美国公民（1934 年美国《证券交易所》第 15a-6 条例定义为本「主要美国机构投资者」除外）。

本报告的版权归本公司所有。本公司对本报告保留一切权利。除非另有书面显示，否则本报告中的所有材料的版权均属本公司。未经本公司事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。未经授权的转载，本公司不承担任何转载责任。

特别声明

在法律许可的情况下，兴业证券股份有限公司可能会持有本报告中提及公司所发行的证券头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行业务服务。因此，投资者应当考虑到兴业证券股份有限公司及/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信赖依据。

兴业证券研究

上海	北京	深圳
地址：上海浦东新区长柳路 36 号兴业证券大厦 15 层	地址：北京市朝阳区建国门外大街甲 6 号世界财富大厦 32 层 01-08 单元	地址：深圳市福田区皇岗路 5001 号深业上城 T2 座 52 楼
邮编：200135	邮编：100020	邮编：518035
邮箱：research@xyzq.com.cn	邮箱：research@xyzq.com.cn	邮箱：research@xyzq.com.cn