仅供内部参考，请勿外传

SOFC固态氧化物燃料电池深度报告

算力投产的时间约束：SOFC产业化加速启航

2026年10月7日

曾 彪 SAC 编号：S0740522020001
赵宇鹏 SAC 编号：S0740522100005

报告摘要

报告摘要

- **全球AI军备竞赛驱动算力资本开支高增，电力可得性成为AIDC建设的首要瓶颈。**全球人工智能高速发展，科技巨头围绕算力展开军备竞赛，数据中心资本开支大幅攀升，电力需求随之激增；但美国电网老化、并网排队与输电扩容缓慢，叠加大型发电设备交付周期持续拉长，AIDC等待并网与电气设备到货的时间动辄以年计。传统燃气轮机虽单位成本更低，但主机交付与场站建设周期无法匹配AI投产的时间窗口，电力成为AIDC投产的第一约束，自备电源从可选变为必选，谁能更快供电，谁就能先锁定算力产能，进而有望卡位AI时代。
- **数据中心上线窗口收窄，具备即时交付产能的SOFC方案率先受益。**燃气轮机凭借成熟技术与规模产能成为AIDC现场自备电源的首选路线，但产品交付周期达36个月以上，2028年前订单都被锁定，其余现场能源形式如往复式内燃机、航改燃、退役航发改装等方案产能有限，需求缺口难以补齐；而SOFC凭借标准化模块化叠加，可在数百MW规模快速复制，绕开并网与输电瓶颈，技术层面也可匹配未来800VDC的AIDC电源架构，SOFC正从备选技术升级为AI电力供给的主流选项。
- **关注BE公司产业链，卡位环节较好的供应商有望显著受益。**全球SOFC玩家格局相对集中，美国Bloom Energy公司已累计部署约1.8GW、积压订单约200亿美元，是SOFC产业链最核心的集成商，基于Bloom Energy接连获得AEP最高1GW、Oracle最高2.8GW等GW级的北美AIDC供电大单，未来有望成为SOFC产业链的核心催化。目前已有多家公司明确已为BE的SOFC系统形成直接或间接的产品供应，未来随着BE公司2027年的采购规模逐步明确，具备卡位优势的更多公司有望导入BE供应链体系，进而显著受益于SOFC需求的快速提升。

投资建议：重点关注Bloom Energy、三环集团、先导基电、春晖仪表、振华股份、京泉华、壹连科技、德昌电机控股、潍柴动力、壹石通、台达电、Ceres Power、Fuelcell Energy、斗山集团、云意电气、凯中精密、科力远、中原内配、冰轮环境等。

风险提示：AI算力需求与资本开支不及预期风险；技术路线竞争风险；BE订单执行与收入转化风险；美国政策与税收抵免风险；地缘关系与关税不确定性风险，研报使用信息更新不及时风险等。

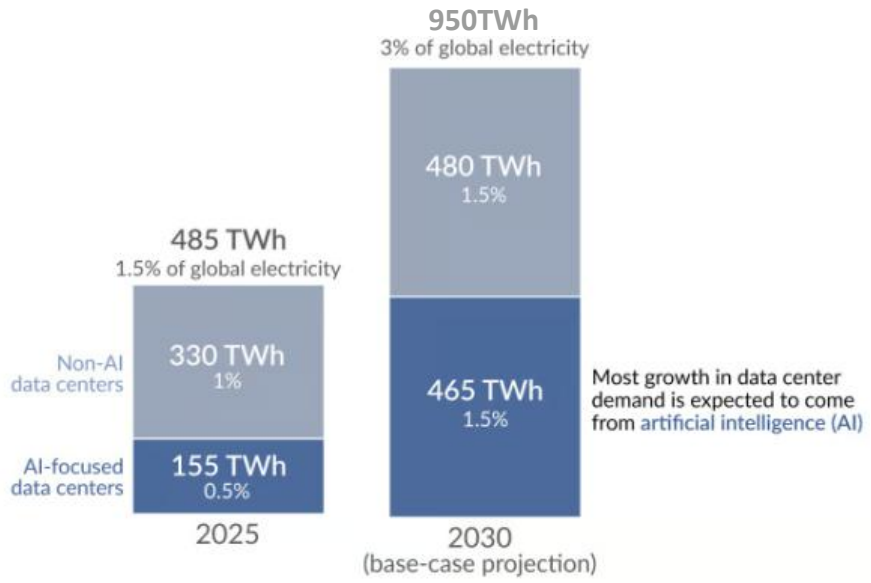
仅供内部参考，请勿外传

1.人工智能时代来临，AIDC用电需求旺盛

全球数据中心用电加速增长。据IEA报告，2025年全球数据中心用电量约485TWh、同比增长17%，占全球用电量1.5%；其中AI专用数据中心用电同比增长50%，贡献主要增量；IEA预计2030年全球数据中心用电量将达950TWh，占全球用电量比重将提升至3%。

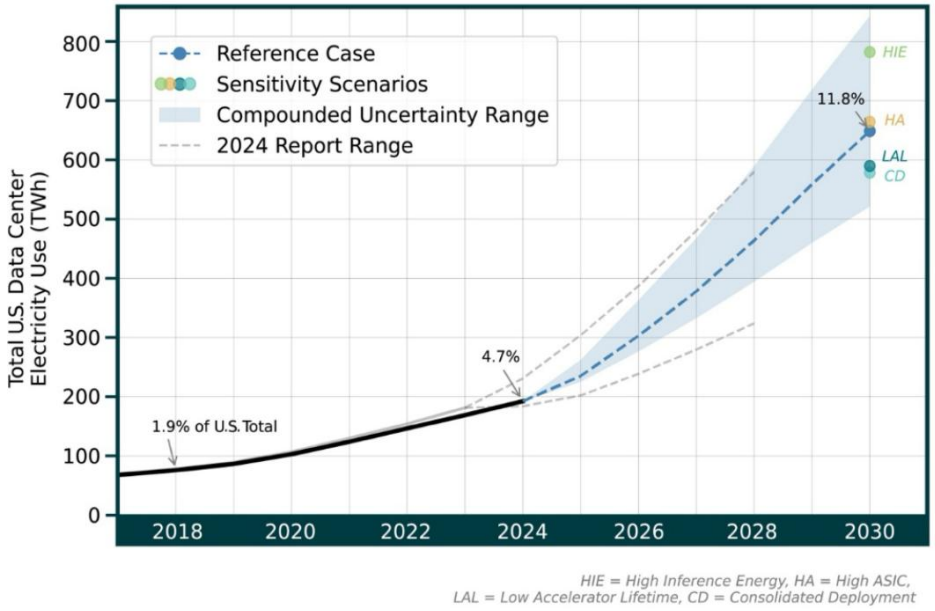
2030年美国AIDC电力需求占全球比例近70%。据McKinsey和BNEF预测，2030年美国数据中心IT负载有望达120GW左右；据LBNL测算，到2030年美国数据中心用电预计占全国比重9.5%-15.3%，Reference Case情境下数据中心用电需求649TWh，美国数据中心用电量占全球数据中心用电量的比例近70%，电力需求显著提升。

图：全球用电量需求及AIDC用电量占比预测



数据来源：IEA，OurData，中泰证券研究所

图：美国数据中心用电占比演变图



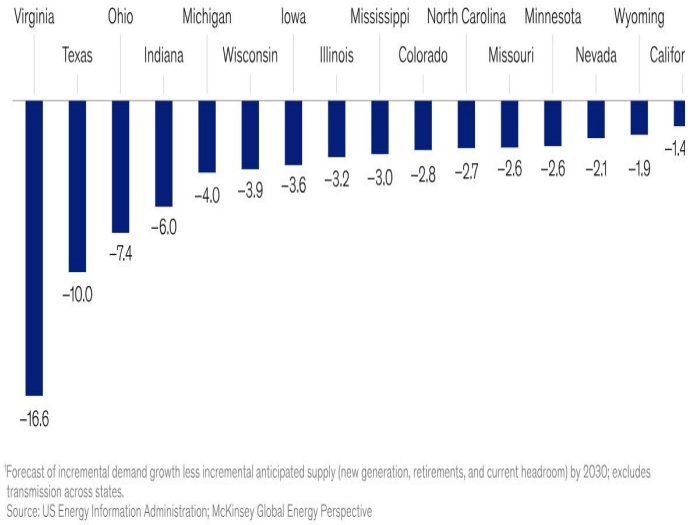
数据来源：LBNL，中泰证券研究所

中泰证券 ZHONGTAI SECURITIES

1.人工智能时代来临，AIDC用电需求旺盛

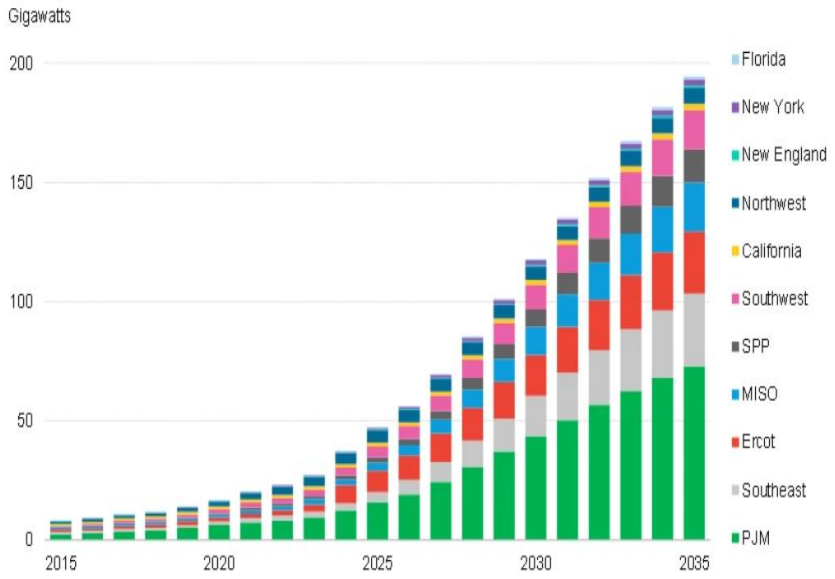
2030年美国数据中心侧可调度电力缺口中枢约45GW，电网扩容节奏难以完全匹配算力部署速度。据麦肯锡统计，到2030年美国数据中心增量约84GW,对增量电源的需求为120GW，当前全美电网可调度电力余量约40GW，已纳入建设计划的新增可调度电源约100GW，2025-2029年火电等传统发电机组退役规模区间为50-75GW。经供需平衡测算：扣除机组退役后电网净可供给能力为65-90GW，对应数据中心侧电力缺口区间30-55GW，取退役规模中值时缺口中枢为45GW。这意味着仅靠存量电网与已规划集中式电源，难以完全覆盖AI算力的负荷接入需求。

图：2030年美国各州电力缺口数据预测



数据来源：麦肯锡，中泰证券研究所

图：美国各州数据中心安装量预测（总负载）



数据来源：BNEF，中泰证券研究所

表：2030年前美国AIDC用电缺口测算

项目	GW	GW	GW	GW	GW	GW
需求：2030年新增电力需求	120	120	120	120	120	120
供给：现有可调度余裕	40	40	40	40	40	40
+ 承诺建设	100	100	100	100	100	100
- 退役	50	55	60	65	70	75
净增量	90	85	80	75	70	65
电力缺口	30	35	40	45	50	55

数据来源：EIA，麦肯锡，中泰证券研究所

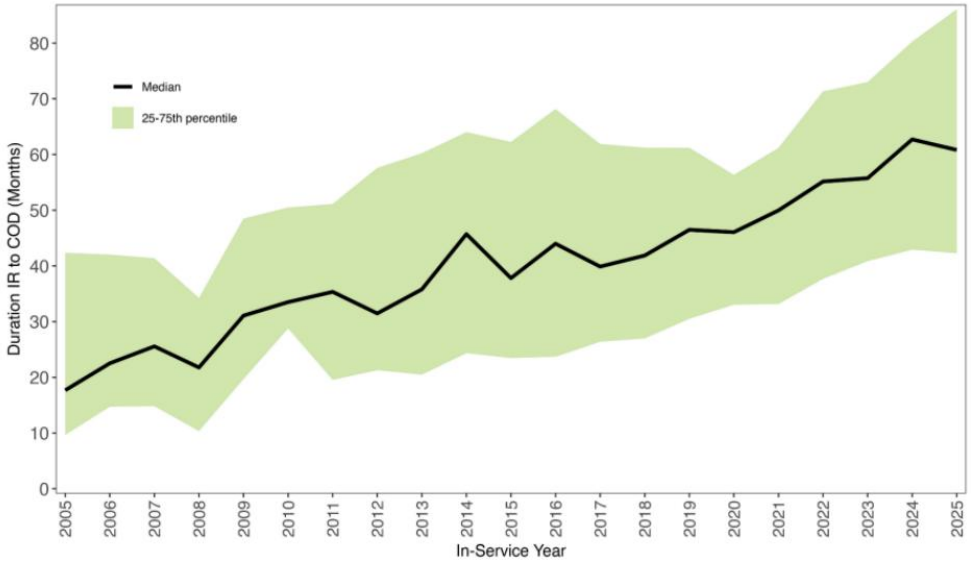
仅供内部参考，请勿外传

1.人工智能时代来临，AIDC用电需求旺盛

受限电网承载能力，发电端和负荷端均需入网排队。1）发电侧方面，截至2025年末，美国电源+储能并网排队容量达2,061GW、约8,200个项目，其中风电+光伏+储能合计容量占比超84%。项目须依次完成可行性研究、系统影响研究、设施研究并签署并网协议，2025年建成项目从申请到商业运营的中位时间已超5年，2025实际投运仅约53GW，大量电力项目排队积压、难以落地。

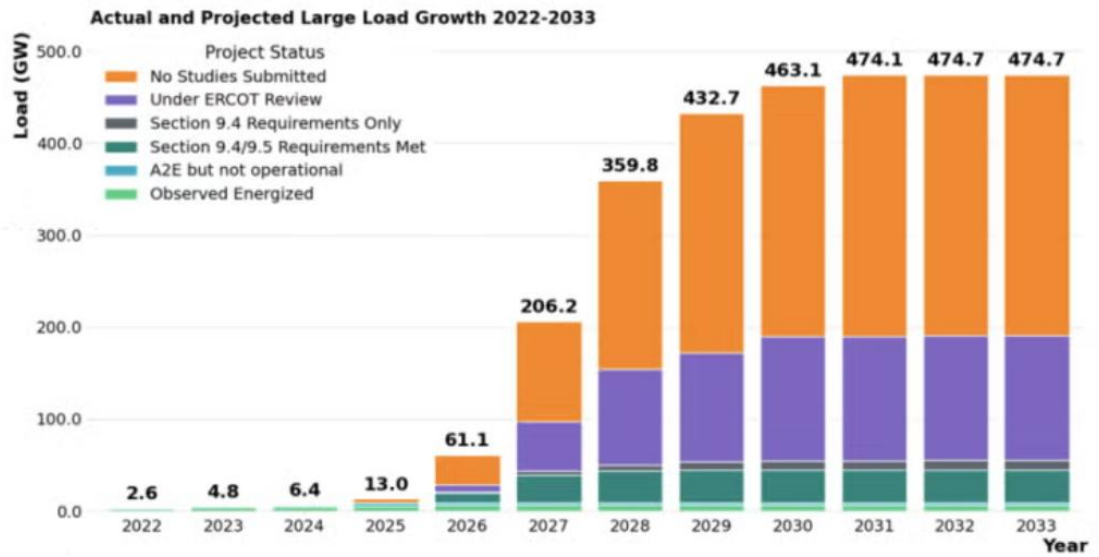
2）负荷侧方面，数据中心并网排队时间同样漫长。据IEA，美国数据中心并网等待期平均1-3年，在AIDC最集中的北弗吉尼亚最长可达7年；截止2026年6月，德州ERCOT大型负荷并网请求已超474GW、其中约九成来自数据中心，超过于该州历史峰值负荷的5倍。Gartner预计，到2027年约40%的既有AIDC将因电力供应受限而影响运营。

图：美国有数据中心地区的电源+储能项目并网时间周期



数据来源：LBNL，中泰证券研究所

图：德州ERCOT 2022- 2033 年大型负荷实际及预测规模增长



数据来源：ERCOT，中泰证券研究所

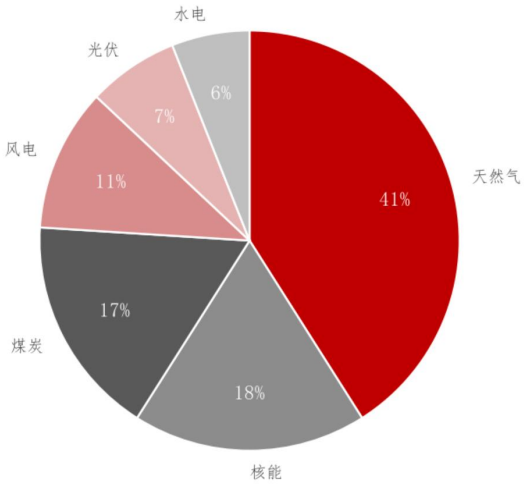
中泰证券 ZHONGTAI SECURITIES

1.人工智能时代来临，AIDC用电需求旺盛

电力故障是数据中心故障第一大来源。2026年9月3日晚，OpenAI旗下ChatGPT&Codex、Anthropic旗下Claude、xAI旗下Grok相机出现大规模服务中断，Anthropic称基础设施问题，微软Azure、Cloudflare等多家AI大模型公司共享的云算力基础设施可能是故障背后的原因；据Uptime统计，2025年数据中心故障中有45%因电力问题引起，说明仅靠集中式电网供电无法保障AI服务的持续可用，将显著加剧数据中心运营商对电力可靠性的焦虑，推动现场电源从电网过渡方案升级为标准配置。

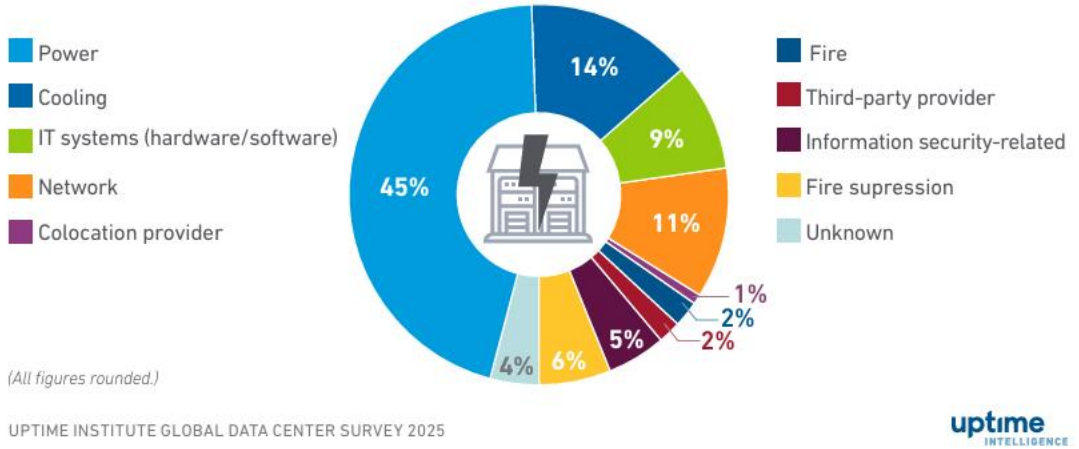
电力故障正倒逼数据中心加速配置现场电源。BE调查显示，73%的AIDC运营商已把现场电源纳入长期战略，其中27%的AIDC有望实现100%现场发电，电力供应成为AI时代数据中心选址与投产的第一变量。2025年，美国燃气发电占美国发电量约41%，是美国占比最大的发电方式，考虑到燃气轮机在美国应用的成熟性，数据中心方案优先选择燃气轮机作为主力备电方式。

图：美国2025年各发电方式占比（按发电量计）



数据来源：EIA，中泰证券研究所

图：2025年数据中心故障分析



数据来源：uptime，中泰证券研究所

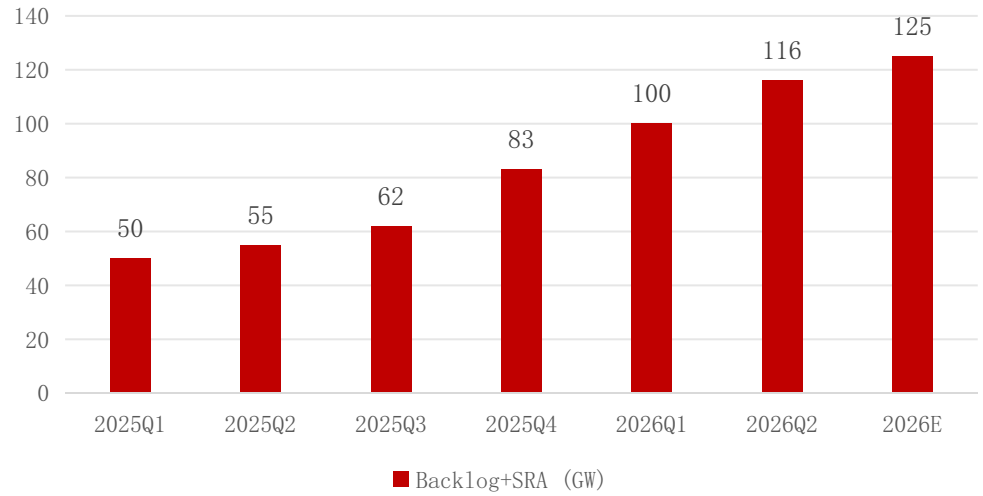
仅供内部参考，请勿外传

1.人工智能时代来临，AIDC用电需求旺盛

燃气轮机凭借成熟技术与规模产能成为AIDC现场自备电源的首选路线。燃气轮机因产能规模最大、技术成熟、成本相对较低，成为数据中心业主优先选择的备电方案。据行业龙头GEV，截至2026Q2其燃气发电设备积压订单加产能预留协议（SRA）已达116GW，公司指引2026年末该指标将至少达到125GW；从客户结构看全部签约容量当中约20%来自数据中心；管理层披露产能预留协议档期已经签到2031年。价格端，Wood Mackenzie测算燃机均价自2019年以来已累计上涨195%，已明显体现其旺盛的市场需求。

燃机未能补齐需求缺口。全球燃机年产能60-70GW，扩产周期相对较慢，整体分配给AIDC的产能相对有限，产品交付周期从18个月翻倍至36个月以上，2028年前燃气轮机可交付的整体规模仅15-20GW，且订单都被锁定，如果在2027-2028年想要投产的AIDC且未锁定燃机的项目需要转向至其他能源形式。

图：GEV燃机订单变化



数据来源：GEV，中泰证券研究所

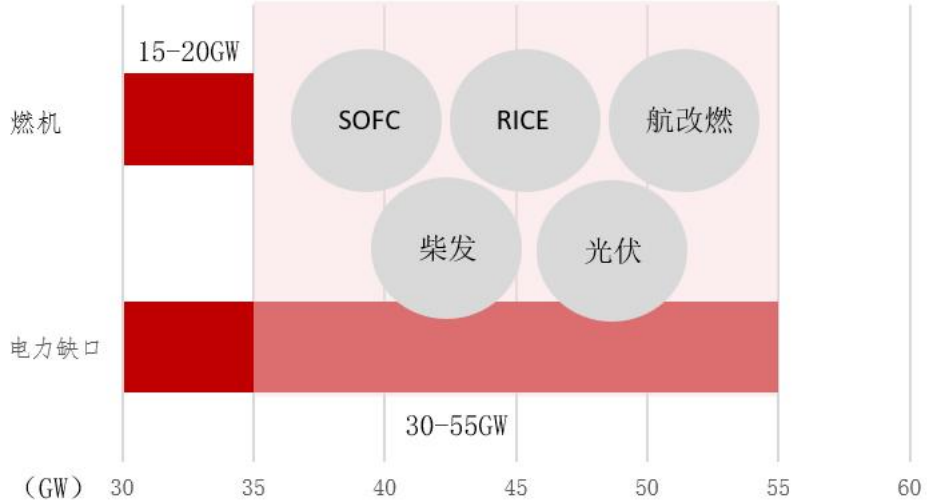
仅供内部参考，请勿外传

1.人工智能时代来临，AIDC用电需求旺盛

若燃机订单按时交付也难以填补缺口，实际情况供不应求。BNEF在2026年7月将美国2030年AIDC装机预测上调了52%至118GW、2035年上调83%至194GW；已宣布Pipeline自2025年12月以来又增101GW，宣布容量远超预测装机；纽约州2026年7月率先实施≥50MW数据中心建设禁令，暂停措施为期一年，2026年美国计划投运12GW中约7GW项目推迟或取消，表明电网容量已成算力扩张的硬约束。

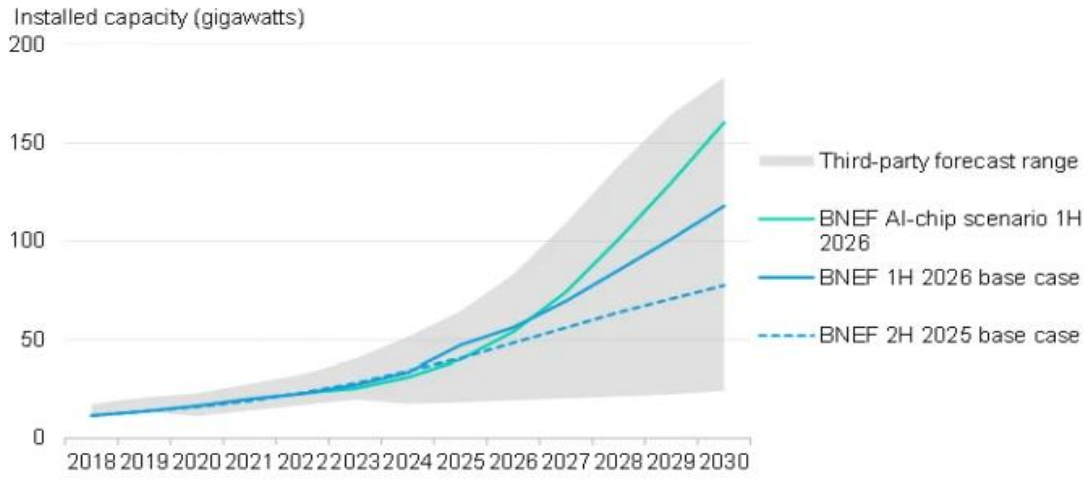
数据中心上线窗口收窄，具备即时交付产能的电源方案率先受益。美国AIDC建设已进入以月计的投产竞赛，但电网新项目并网排队以年计。在上线窗口极短的背景下，竞争逻辑从度电成本最优转向谁有产能谁能上。现实来看，相对重资产的内燃机、航改燃等主要产能已被先行订单锁定，扩产周期较长。如RICE企业瓦锡兰扩产65%的规划要2029Q1全部达产；卡特彼勒计划将RICE产能提升到2024年的3倍，但资本开支主要集中2027-2029年落地，难以对增量部分形成有效供给。

图：2028年现场电源供给和电源缺口对比



数据来源：麦肯锡、中泰证券研究所

图：美国数据中心电源装机容量预测



数据来源：BNEF，中泰证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

1.人工智能时代来临，AIDC用电需求旺盛

时间紧迫、ESG 要求高，SOFC排序显著提升。从可靠性、部署时间、环保与运维成本四个维度对比来看，柴油机组仅适备用；光伏间歇性决定只能作补充能源；内燃机交付可得但需33%超配、排放偏高；而SOFC具备以下优点：其一，SOFC部署仅需数月内可交付50MW级系统，远快于燃机3-5年，是抢通电窗口的最快方案；其二，近零排放、低噪音、少用水，可规避日益收紧的环评风险；其三，不占燃机产线、不受排产约束。据我们测算，叠加SOFC适合7×24基荷、与数据中心负载天然匹配，潜在空间明确。

图：不同供电方式对比

维度	电网供电	光伏（PV）	柴油发电机组	往复式内燃机	SOFC
燃料来源	混合燃料	阳光	柴油	天然气	天然气、沼气、生物甲烷、掺氢或100%氢气
可靠性	每年约2小时停电，相当于约99.97%可用率	间歇性电源，需搭配稳定的基荷系统	波动较大，取决于定期维护水平	100MW规模实现3个9可用率（99.9%），需**超配33%**	100MW规模实现3个9可用率（99.9%），仅需**超配9%**
通电时间	若需新建输电线路，长达数年	数年	数年	数年	**50MW仅需数月**
可持续性	取决于公用事业	清洁、安静，但需大面开阔场地	噪音大，排放颗粒物及其他有害污染物	噪音大，排放有害污染物	清洁、安静、紧凑、用水极少
成本可预测性	日益上涨，部分地区极不可预测	运维成本低	因效率较低，运维成本更高	因效率较低，运维成本更高	因效率较高，运维成本更低

数据来源：BE，中泰证券研究所

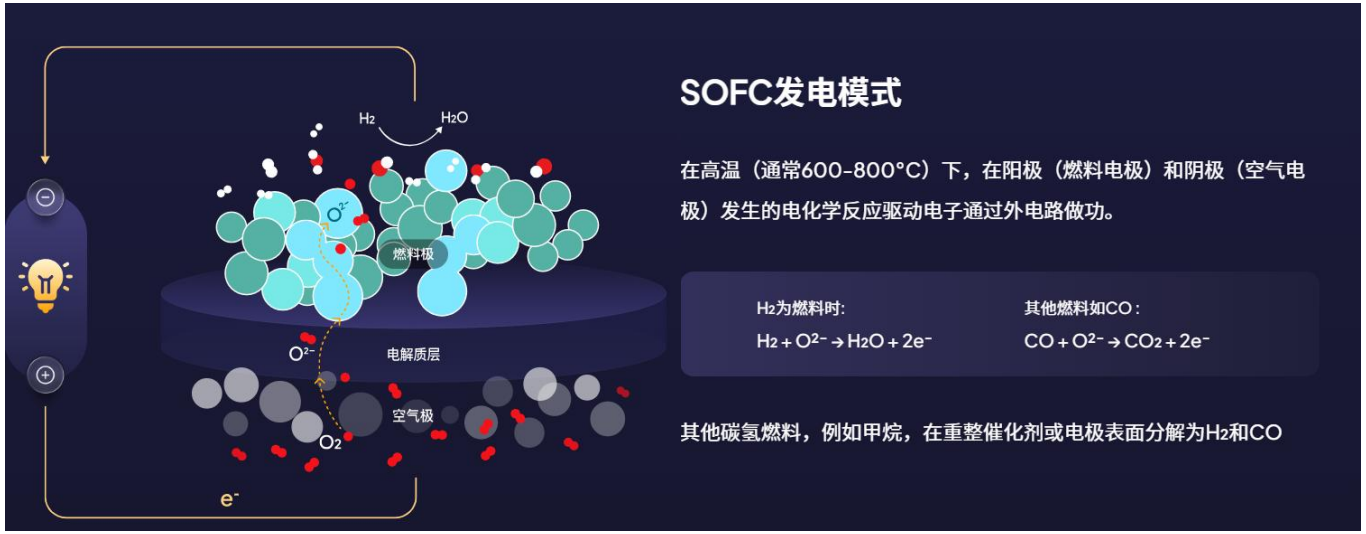
仅供内部参考，请勿外传

2.SOFC优势显著，符合AIDC电源需求

SOFC是一种非燃烧的高效发电形式。SOFC（Solid Oxide Fuel Cell）全称固态氧化物燃料电池，能够利用电化学反应高效地将燃料中的化学能直接转化为电能，不需经过燃烧过程，不受卡诺循环限制，效率具备天然优势。

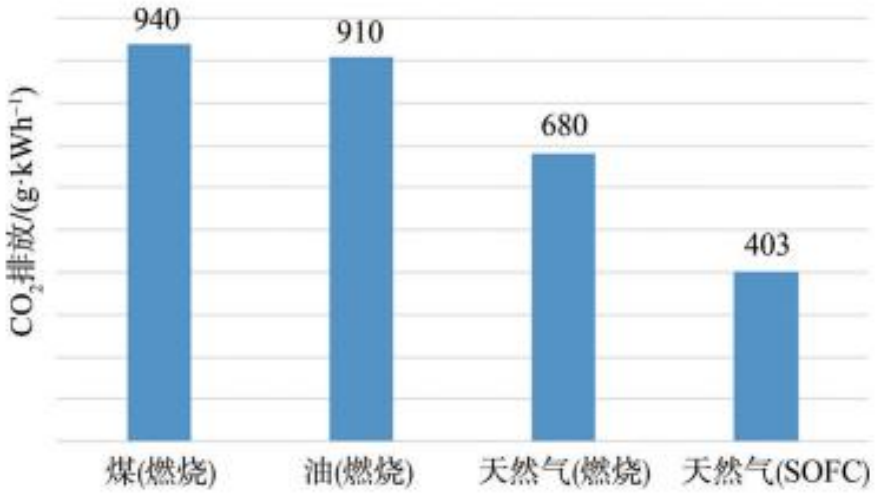
SOFC燃料选择多，天然适配基荷定位。SOFC可以氢气、天然气、生物质气等为燃料，具备低排放等特点；此外，SOFC启动需数小时升温至工作温度，高温陶瓷结构能承受的热循环次数有限，决定了SOFC可作为7×24连续运行的主电源/基荷（Baseload）电源，因此，SOFC是未来分布式发电和可持续能源系统的重要技术选择之一。

图：SOFC工作原理



数据来源：稀陶能源，中泰证券研究所

图：单位kWh发电量CO2排放量对比



数据来源：南方能源建设，中泰证券研究所

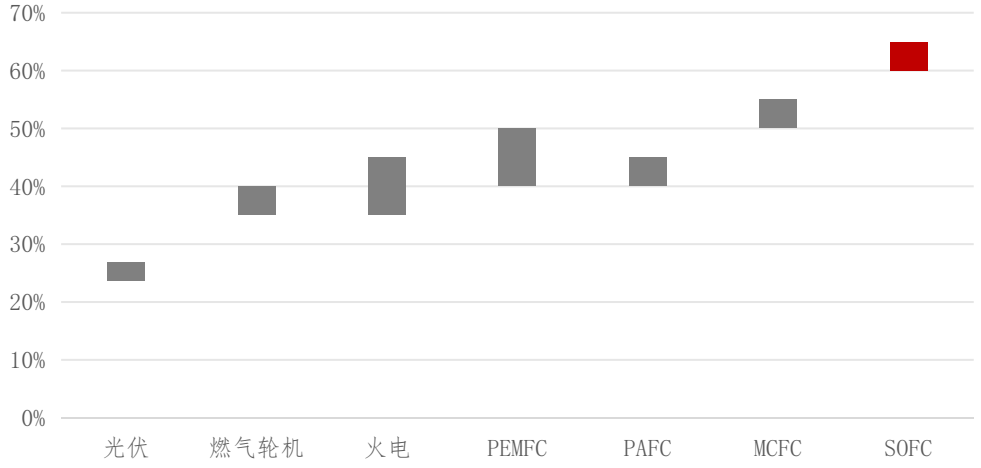
仅供内部参考，请勿外传

2.SOFC优势显著，符合AIDC电源需求

SOFC发电效率较高。SOFC具备显著的发电与综合能效优势，SOFC纯发电效率可达60%以上，显著优于传统火电、重型燃气轮机等由化学能到电能发电形式。同时SOFC运行温度高、余热品质优异，适配热电联产（CHP）场景，系统综合电热效率可突破90%，大幅领先燃气内燃机（约75%-85%）的综合能效水平，在数据中心自备供能场景具备突出节能与降本优势。

SOFC部署迅速。据现有项目案例，SOFC兆瓦级系统的部署周期仅55-90天；分布式光伏和大型风电的建设期高达1-2年，叠加规划审批和并网排队后通常达2-4年甚至更久；燃气轮机实际交付已排至2030年，在AI数据中心对电力即插即用需求日益迫切，SOFC以最快可用的供电能力成为算力投产时间窗口下最具竞争力的电源方案。

图：主流发电方式效率



数据来源：现代电力、CPIA、稀陶能源，中泰证券研究所

图：美国及全球区域不同发电方式部署周期

发电方式	部署周期
美国SOFC	55-90天
美国陆上风电项目	约18个月（纯建设期）
美国海上风电项目	约24个月（纯建设期）
美国公用事业规模太阳能项目	约15个月（纯建设期）
美国燃气轮机	3-4年
美国煤电	5年以上
核电（全球平均，2000年以来）	7年
核电（中国）	5-7年
美国电网扩容/高压输电线路	10年以上

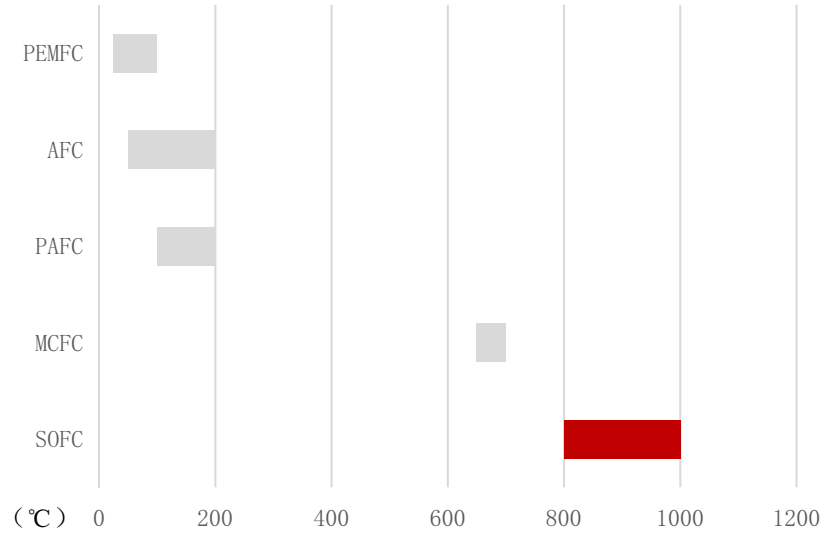
数据来源：BE、Larzard、21财经、IEA、中泰证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

2.SOFC优势显著，符合AIDC电源需求

燃料电池横向对比，SOFC优势显著。燃料电池技术的主要差异在电解质的不同，进而引起反应温度和燃料的不同要求。PEMFC和PAFC运行温度均低于200℃、MCFC运行温度约650-700℃,而SOFC运行温度800-1000℃，高温运行使SOFC无需贵金属催化剂，成本优势相对显著；此外SOFC可对燃料进行内部重整，天然气、掺氢、纯氢、氨均可直接使用，燃料灵活性高，因此从适用度和经济性的角度来看，SOFC在未来的燃料电池技术发展和产业化中最为适用。

图：四类燃料电池工作温度范围对比



数据来源：《现代电力》，中泰证券研究所

图：四类燃料电池多维度综合对比

类型	应用场景	优势	劣势
PEMFC	备用电源、移动电源及交通运输	低温运行，快速启动	催化剂昂贵，对燃料杂质敏感
AFC	国防防空	转化率高，价格低	对燃料杂质敏感(尤其是CO_2)，电解质维护难度高
PAFC	分布式发电	燃料品质要求相对低	使用铂金催化剂，启动时间长，单体燃料电池功率低
MCFC	分布式发电	高效，燃料品质要求相对低，可使用不同催化剂	高温易腐蚀，启动时间长，能量密度低
SOFC	发电	高效，燃料品质要求相对低，可使用不同催化剂，固态电解液	高温易腐蚀，启动时间长

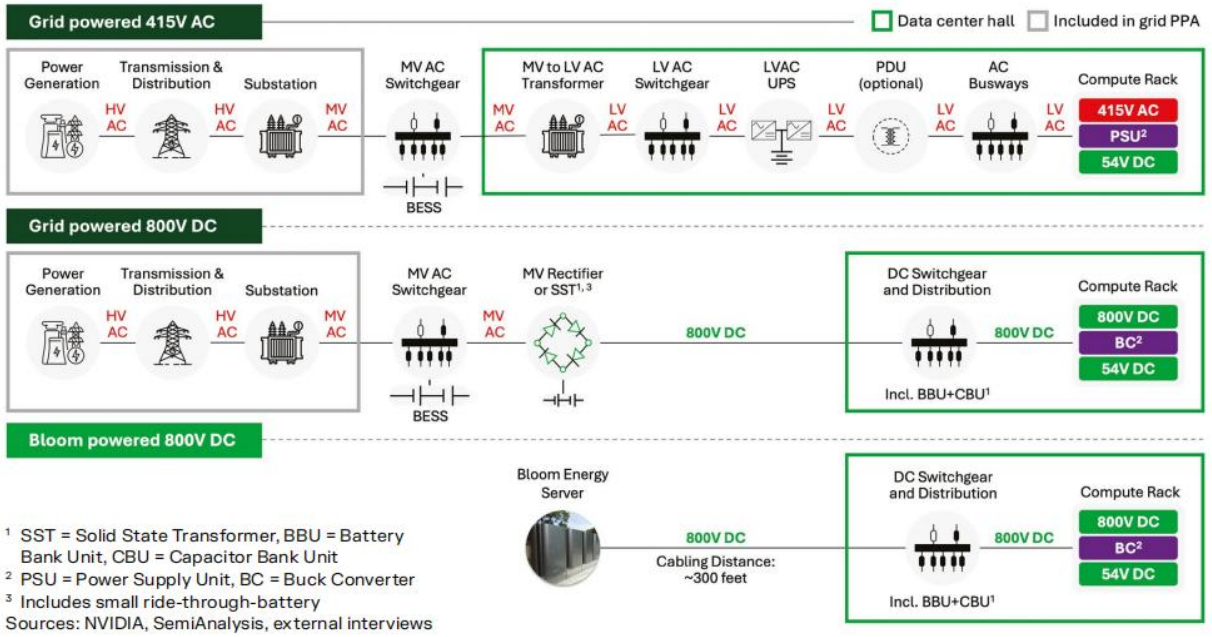
数据来源：《发电技术》、中泰证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

2.SOFC优势显著，符合AIDC电源需求

SOFC匹配未来800VDC的数据中心电源架构。英伟达发布的《800VDC架构白皮书》显示，为适配GB300、Rubin等高功耗AI集群，新一代供电架构将向800VDC演进，同时，谷歌、微软也将和英伟达共同推动800VDC高压直流标准。SOFC作为原生直流发电侧可与800VDC母线直接耦合，省去多级AC-DC变换损耗，天然匹配新一代供电系统。此外，SOFC可与超级电容、BBU、BESS共同实现供电与备电：超容承担毫秒级GPU功率尖峰抑制，BBU实现秒级故障桥接，BESS负责园区级小时级功率平移与容量备用，SOFC则提供不间断基荷电力，形成从毫秒到小时的完整时间尺度供电体系。台达电在2026年英伟达GTC上展示的800VDC AI工厂方案集成了SOFC。

图：AIDC供电架构对比及SOFC的部署方式



数据来源：BE、英伟达，中泰证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

2.SOFC优势显著，符合AIDC电源需求

美国政策为现场电源提供补贴，显著改善SOFC经济性。2025年通过的OBBBA法案扩大了《国内收入法典》48E条投资税收抵免（ITC）对燃料电池的适用范围：2025年12月31日后开工的燃料电池项目，无论燃料来源与碳排放，均可享受30%投资税收抵免，且豁免现行工资与学徒要求。对初始投资偏高的SOFC而言，30%的税收抵免提升了SOFC与燃机的相对经济性。

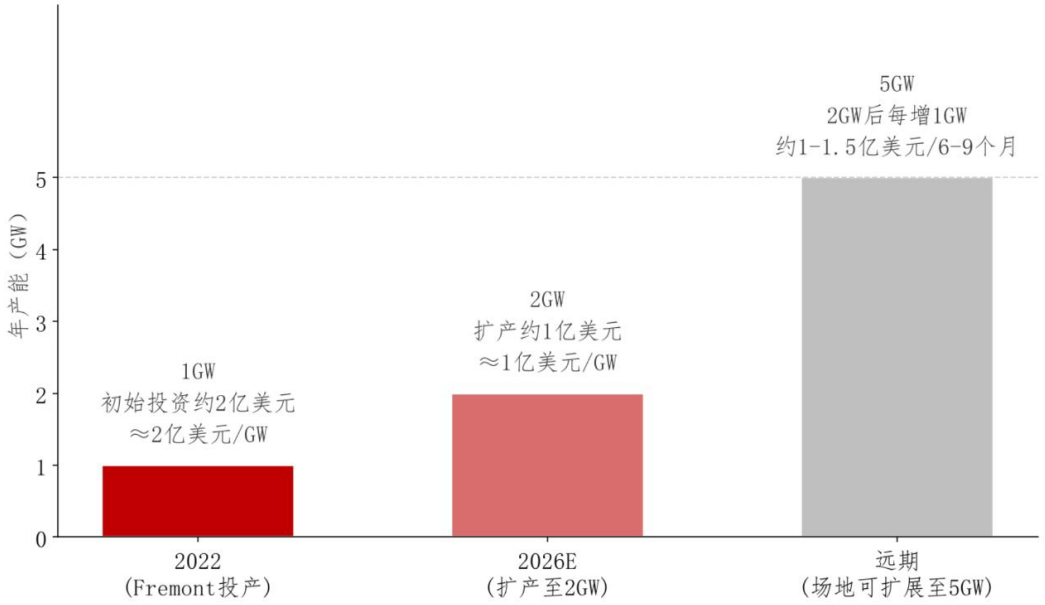
需求旺盛推动资本开支，规模化降本有望兑现。BE正将Fremont工厂年产能从1GW扩至2GW，未来场地可扩至5GW，随着产能的扩张，电堆侧降本依赖流延自动化、烧结良率提升与单电池面积放大，未来有望每年实现两位数同比降本；此外，每新增1GW产能资本开支仅约1-1.5亿美元，扩产的边际成本递减有望传导至产品成本下降。

图：关于SOFC的ITC政策

开工时间	ITC抵免比例
2025年12月31日前	按原IRA规则（Section48或48E），需满足零排放及PWA要求
2026年1月1日-2033年12月31日	100%（即30%全额抵免）
2034年	75%（即22.5%）
2035年	50%（即15%）
2036年及以后	0%（抵免终止）

数据来源：美国国会网站，中泰证券研究所

图：Bloom产能扩张及投资路径图



数据来源：Bloom Energy财报电话会及投资者材料，中泰证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

2.SOFC优势显著，符合AIDC电源需求

等电机会成本可量化，一年损失即接近SOFC设备溢价。SOFC将通电时间从年压缩到月，对AI厂商而言，算力晚一年上线的机会成本远超电源设备的溢价。仅考虑最简单的机柜出租商业模式测算，北美批发型机柜租金约196美元/kW/月，100MW的AIDC集群满租年租金收入约2.4亿美元，等电延期1/2/3年即损失约2.4/4.7/7.1亿美元；而同等规模SOFC相对燃机的设备溢价仅不到1亿美元，考虑30%的ITC补贴后，这一差距显著缩小；若考虑云厂商自建数据中心取得的AI服务溢价，更加确认在AIDC上部署SOFC具备显著经济性。

图：燃机 or SOFC机会成本量化测算

集群规模	燃机设备成本（美元/kw）	燃机部署总成本（美元/kw）	SOFC设备成本（美元/kw）	等电1年损失（亿美元）	等电2年损失（亿美元）	等电3年损失（亿美元）	SOFC未扣ITC相对燃机部署溢价（亿美元）
100MW	920	2,500-3,000	3,400-3,700	2.4	4.7	7.1	0.7-0.9
500MW	920	2,500-3,000	3,000-3,400	11.8	23.5	35.3	2.0-2.5
1GW	920	2,500-3,000	2,700-3,000	23.5	47.0	70.6	0-2.0

数据来源：洞见SOFC、BE、CBRE、GE、中泰证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

2.SOFC优势显著，符合AIDC电源需求

SOFC正从补充供电向离网电站升级。随着技术成熟度提升与部署规模扩大，SOFC正从边缘补充电源走向AIDC主力供电，完成从并网补充、基荷主供到离网自备的逐步升级。随着SOFC技术效率与寿命提升，单项目经济性改善，订单从MW级放大到GW级，规模效应摊薄成本，为SOFC电源进一步打开更大规模场景。

- **Equinix100MW项目：**单站MW级SOFC与电网并联为19个AIDC补充电力，为SOFC上万小时不间断运行积累了可靠性数据；
- **甲骨文2.8GW项目：**随着效率升至60%以上、价格降至约3,000美元/kW左右，SOFC得到头部客户认可，直接承担基荷主供电；
- **AEP怀俄明1GW独立电站项目：**客户计划采购1GW SOFC系统，供电项目拟建于怀俄明州Cheyenne附近，配套20年期100%产出承购协议，SOFC正式升级为可融资，可复制的独立电源资产。

图：SOFC三种落地模式

模式	代表项目	供电角色	合同形式	项目时间和规模
补充电源	Equinix×Bloom	补充电源	长期合作协议	2015年1MW试点 2025年2月扩展至19站/超100MW
基荷主电源	甲骨文×Bloom	主供电源	主服务协议（MSA）	2025年7月首次签订 2026年4月扩大至2.8GW
离网自备电站	AEP俄怀明项目	离网电站	购电协议（PPA）	2024年11月首次签订100MW 2026年1月追加900MW

数据来源：Equinix、Bloom Energy、AEP、SEC、nasdaq等公告及官方新闻稿，中泰证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

3.SOFC产业化拐点已至

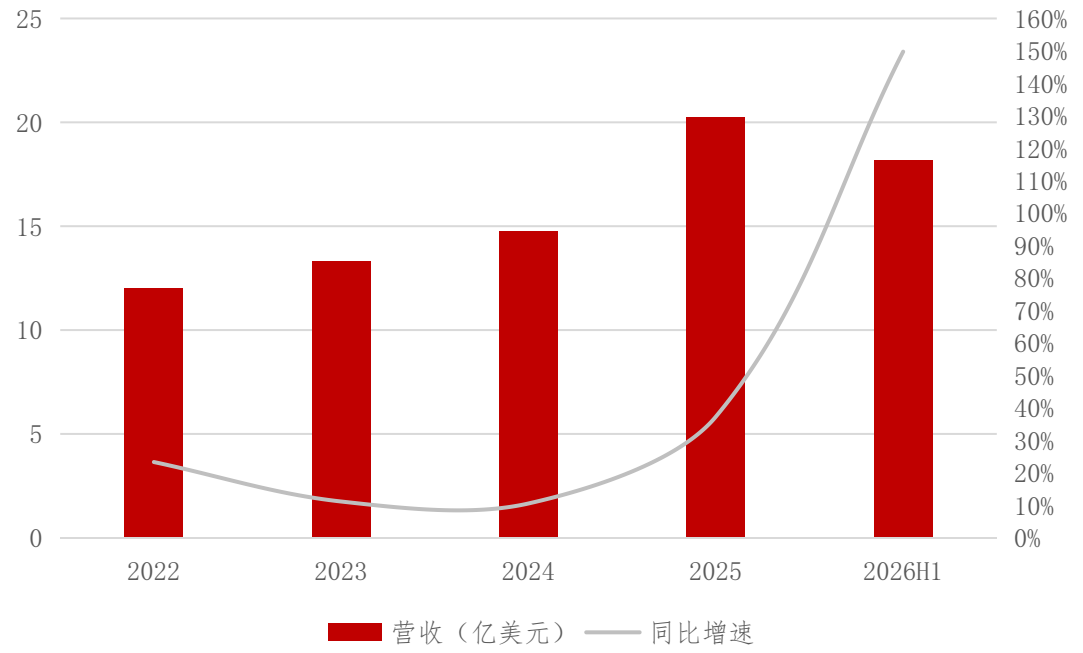
BE的SOFC系统累计装机已超1.8GW，行业已迈向GW级。据Fortune Business Insights统计，2025年全球SOFC市场规模达37.8亿美元，2026年预计50.5亿美元，同比增速有望达33.6%，2034年预计346.5亿美元，2026-2034年CAGR达32.4%。从行业龙头Bloom Energy经营数据来看，2025年实现营收20.2亿美元，同比增长37.3%，2026年上半年实现营收18.2亿美元，同比大增149.7%，其中AIDC行业贡献显著增长，截至2025年末，BE累计部署SOFC系统约1.8GW、遍布全球1,100多个项目点。BE的高速成长表明SOFC进入快速发展期。

图：全球SOFC市场规模及预测



数据来源：fortune business insights，中泰证券研究所

图：BE历年营收及同比增速



数据来源：Wind，中泰证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

3.SOFC产业化拐点已至

全球主要装机区域仅中美欧日，日本家用产业化进展最快。考虑到较高的发电成本，全球仅少数区域实现SOFC的产业化：1）日本家用热电联供（微型 CHP）产品已实现规模化；2）欧盟2021年累计资助约2.18亿欧元推动备用电源以及交通运输领域的辅助动力单元等应用场景的研发；3）中国处于百千瓦级项目示范阶段，全国首个300kW商业化示范项目2025年1月在深圳投产。

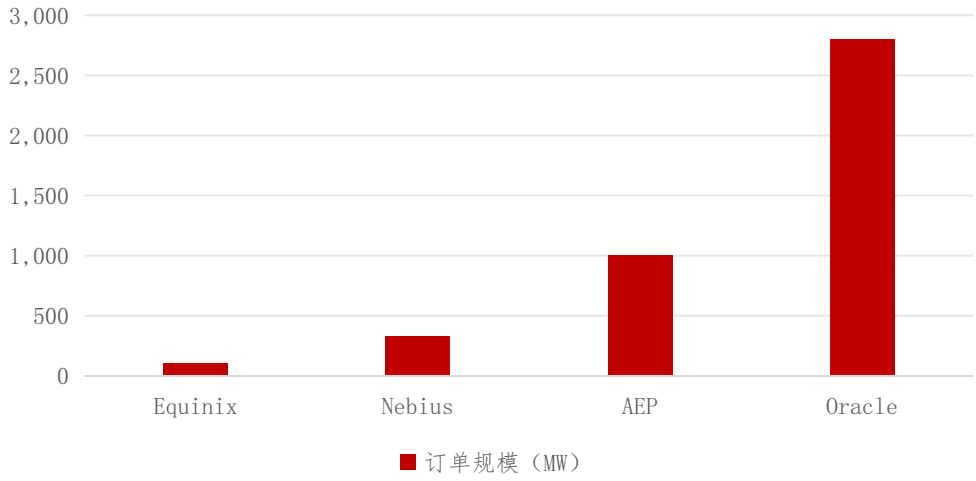
数据中心未来将成为SOFC订单主力。2025年2月Equinix与Bloom合作突破100MW、覆盖6州19个数据中心；2026年1月AEP行权采购约900MW；2026年4月甲骨文签署最高2.8GW主服务协议。截至2026年9月，Bloom在数据中心领域已宣布的采购意向合计超4.2GW，且单笔订单规模逐步扩大至GW级，数据中心供电将成为SOFC发展的主要催化因素。

图：全球SOFC装机区域说明

维度	发展阶段	主力应用场景	代表企业
日本	家用SOFC商业化成熟	家用热电联供（ENE-FARM，700W级微型CHP）	爱信+松下+京瓷等
欧洲	技术规模化，研发资助密集	船舶动力、可逆rSOC储能等	Ceres Power、Sunfire、Topsoe等
中国	百千瓦示范项目	工商业分布式发电、副产氢利用、电网调峰示范	潍柴动力、三环、中广核、壹石通、佛燃能源等

数据来源：日本瓦斯协会，欧盟CHP/Cordis,各公司公告/媒体报道，中泰证券研究所

图：2026年数据中心燃料电池已宣布采购及意向构成



数据来源：Bloom Energy、中泰证券研究所

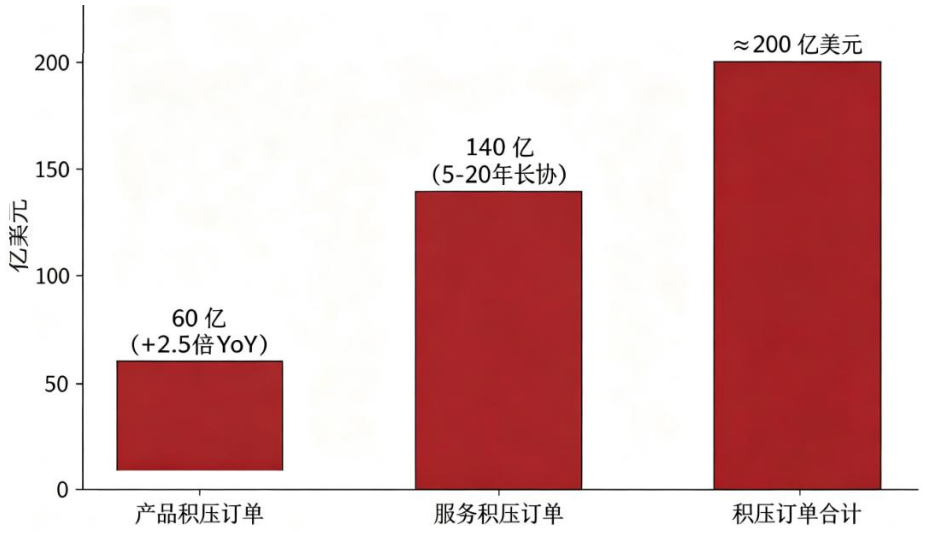
仅供内部参考，请勿外传

3.SOFC产业化拐点已至

龙头BE的积压订单一年增长2.5倍，验证行业加速。截至2025年末，BE整体积压订单200亿美元，其中产品订单约60亿美元，同比增长2.5倍，服务订单约140亿美元，同比增长1.5倍，主要为5-20年期长期运维服务合约，形成长期稳定的持续性收入池；反映出AIDC基荷供电需求快速爆发，北美算力客户正大规模接纳燃料电池作为主供电方案，行业正式从试点示范迈入规模化落地阶段。

FuelCell+Ceres欧洲发力，燃料电池赛道共同繁荣。除了SOFC外，采用MCFC路线的FuelCell与欧洲SDCL签署最高450MW合作意向书，面向全球AIDC提供现场发电解决方案；Ceres与英国大型综合能源集团Centrica达成GW级SOFC战略合作，主攻英国及欧洲AI算力枢纽与高耗能工业场景。北美、欧洲相继出现大级别产业合作，标志着以SOFC为主的燃料电池系统在AI商业模式正在全球扩散。

图：BE积压订单结构图（截至2025年末）



数据来源：BE，中泰证券研究所

图：Fuel和Ceres的合作细节

公司	路线	关键合作	全球布局	订单性质
FuelCell	MCFC	SDCL 450MW LOI；韩国Inuverse 100MW意向	借SDCL触达欧美	意向级，待转订单
Ceres	SOFC	Centrica multi-GW战略合作	英国和欧洲是主场，制造伙伴全球化	框架级，战略合作，无确定容量

数据来源：FuelCell、Ceres官网，中泰证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

4.技术路线已收敛，壁垒在于材料和生产工艺

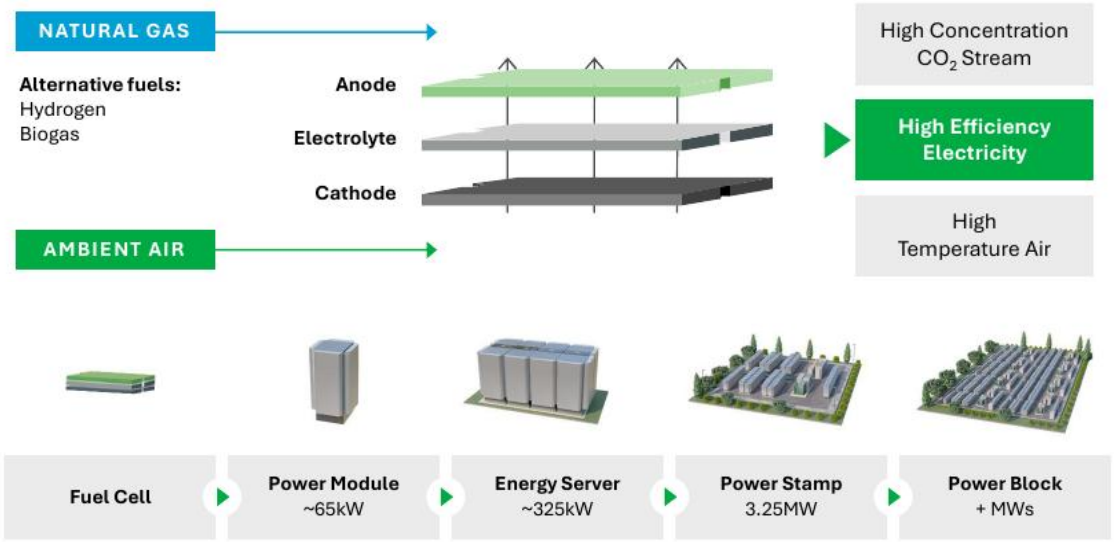
SOFC结构简单，可采用模块化堆叠按需扩容。SOFC的结构简单，主要由电池（FuelCell）→电堆（Stack）→模块（Module）→系统组成。将电解质、阴极、阳极等封装成电池，多片单电池通过连接体串联堆叠为电堆，通过模块化集成根据需求可拓展kw级的电力模组至mw级的电力模块，这种模块化架构使SOFC电站在功率上几乎无上限，安装灵活，占地面积小，建设周期短，按需增加模块数量就可以满足下游需求。

表：SOFC电池材料

材料类别	代表材料	核心作用
电解质	YSZ（氧化钇稳定氧化锆） GDC（氧化钆掺杂氧化铈） ScSZ(氧化钪稳定氧化锆)	传导氧离子；隔绝电极两侧气体与电子导通
阳极材料	Ni-YSZ（氧化钇稳定氧化锆）	燃料氧化反应、电子导电
阴极材料	LSC（氧化镧锶钴）和LSCF（镧锶钴铁）	氧还原反应生成氧离子
连接体	铁-铬合金	串联相邻单电池、传导电子电流；分隔燃料气与空气

数据来源：稀陶能源，无机材料学报、物理化学学报、中泰证券研究所

图：SOFC的结构及模块化扩展层级图



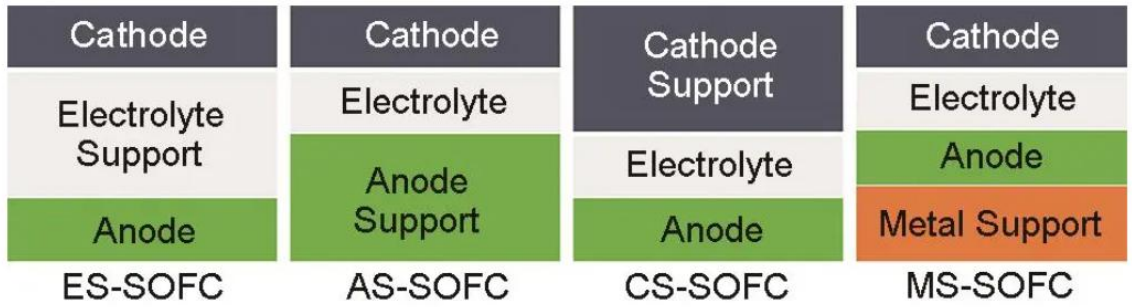
数据来源：Bloom Energy投资者演示材料，中泰证券研究所

中泰证券 ZHONGTAI SECURITIES

4.技术路线已收敛，壁垒在于材料和生产工艺

电堆结构根据支撑体的不同分化为三条路线，电解质支撑路线是当前产业化收敛方向。SOFC支撑体作为核心组成部件，直接决定电池的机械强度、组装工艺与电化学性能，按主体结构可分为电解质支撑、电极支撑（阳极支撑与阴极支撑）和金属支撑三类。其中，电解质支撑体以YSZ电解质基片承力，电化学稳定、制备工艺简单且成本低，但运行温度高、材料寿命短，代表厂商为 Bloom Energy；阳极支撑以Ni-YSZ阳极承力，输出功率高、可降低运行温度，但抗热循环性差、抗氧化还原性差、燃料选择性低，阳极支撑代表厂商三环、壹石通等；金属支撑体以多孔金属基板承力，金属材料成本低、电池启动快、易于加工和密封，但金属材料易氧化、制备工艺复杂；金属支撑路线以Ceres、潍柴为代表。北美的BE公司已有GW级大单，是当前产业化收敛方向，国内阳极支撑、金属支撑路线更多在成本结构与供应链的优势，也具备一定的发展空间。

图：不同电解质支撑类型结构示意图



数据来源：固体氧化物燃料电池支撑体研究进展，中泰证券研究所

图：不同支撑体路线对比

类型	承力基体	核心材料	工作温度	核心优势	主要短板	代表厂商
电解质支撑	YSZ电解质片	YSZ	800-1000℃	电解质致密、电化学稳定、制备工艺简单、成本低	欧姆极化明显、电导率低、运行温度高、材料寿命短	BE
阳极支撑	Ni-YSZ阳极	Ni-YSZ	800℃	欧姆阻抗小、输出功率高、降低运行温度、材料适配性好	抗热循环性差、抗氧化还原性差、燃料选择性低	三环、壹石通
金属支撑	多孔金属	Fe基合金和Ni基合金	450－630°C	金属材料成本低、欧姆阻抗小、电池启动快、易于加工和密封	金属材料易氧化、电解质致密难度高、制备工艺复杂	Ceres、潍柴

数据来源：Ceres、证券时报、潍柴、高工氢电、固体氧化物燃料电池支撑体研究进展、中泰证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

4.技术路线已收敛，壁垒在于材料和生产工艺

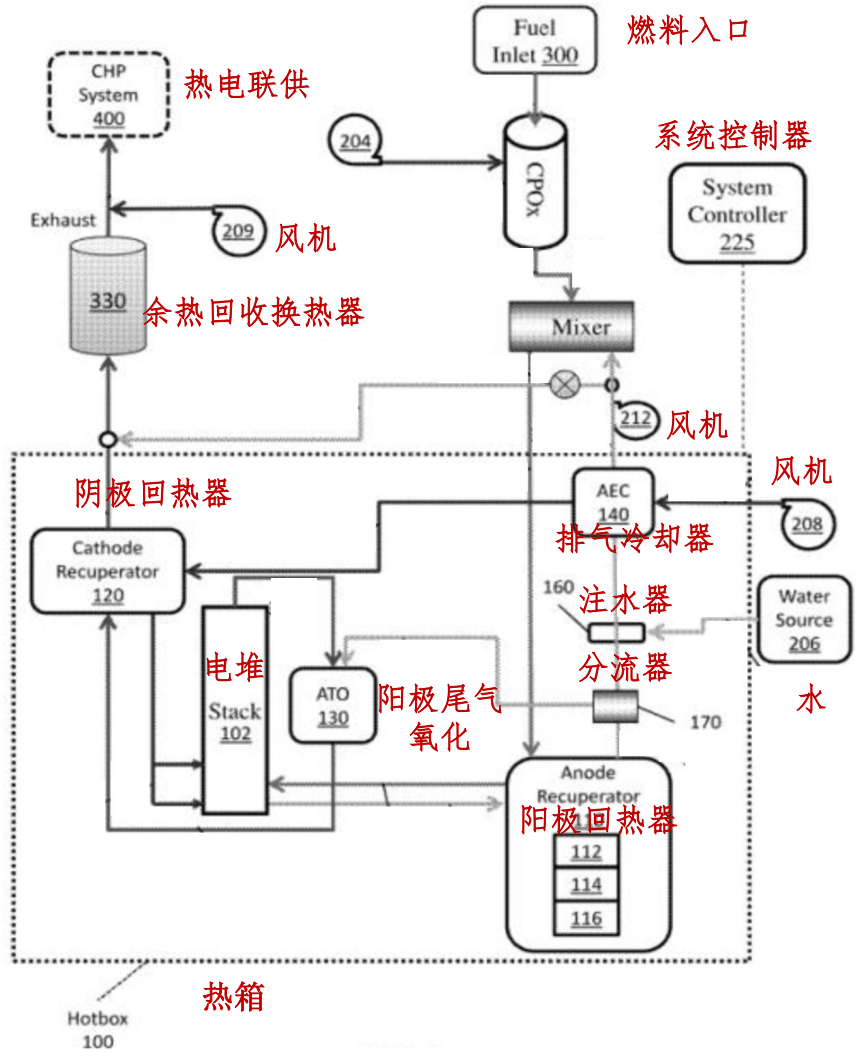
SOFC发电系统以热箱为核心发电单元。SOFC系统主要由电堆和BOP（Balance of plant）构成：1）BOP系统：负责燃料/空气管理、废气回收、温度控制和电能转换，以提高效率和稳定性。2）电堆系统：核心区域，由多个电堆串联并联组成，燃料与氧气在此发生反应，将燃料中的化学能转化为直流电输出。由BE的系统结构看出，电堆和BOP部分结构（如换热器Recuperator、ATO等）共同封装于热箱内。BOP 外围辅助系统包含燃料处理与重整（燃料侧）、鼓风机与换热器（空气侧）、水处理（水侧）、系统控制及电能转换（电侧）等。

图：SOFC电池系统结构分类及主要作用

中文名称	功能说明
热箱	高温腔体，容纳电堆、ATO、回热器等高温部件
燃料电池电堆	SOFC 固体氧化物电堆，发电核心
ATO	氧化处理阳极残余可燃尾气
阴极回热器	利用高温尾气预热阴极进气空气
阳极回热器	预热燃料进料（天然气）
催化氧化反应器	系统启动阶段，燃料预重整处理
阳极尾气冷却器	水冷换热器；水源供水，冷却阳极尾气，冷凝水蒸气
水源	向阳极尾气冷却器供给冷却水，实现尾气降温冷凝
鼓风机	气体供应和循环
系统控制器	整机控制单元，控制风机、阀门、温度、流量参数
余热回收换热器	CHP系统部件；回收ATO与热箱的高温余热，对外输出热能
热电联供系统	整套系统总集合，包含SOFC硬件和余热回收换热器，同时输出电能、热能

数据来源：BE专利，中泰证券研究所

图：BE的SOFC系统架构示例



数据来源：BE专利，中泰证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

4.技术路线已收敛，壁垒在于材料和生产工艺

SOFC厂商的核心壁垒在材料与工艺，标准化环节可外采。SOFC厂商需掌握关键环节自制能力，行业核心壁垒在于：1）材料体系，电解质配方（如钪掺杂氧化锆）、阳极/阴极材料及电极浆料决定功率密度、耐久性与衰减率，是专利与Know-how最密集之处；二是生产工艺，电堆印刷、烧结、密封及热循环可靠性依赖长期工艺积累，构成复制难、爬坡慢的产能约束。相对地，金属连接体、BOP部件（鼓风机、电力电子、换热器、传感器）等已标准化、规格化的环节，行业普遍外采。因此，SOFC放量的瓶颈在于电堆产能与工艺良率，材料与工艺自制能力决定扩产上限；外采环节降低资本开支强度，通过供应链体系的搭建使非核心环节具备一定降本能力。

图：BE产品供应链来源

分类	环节	供应来源
配方	阴极配方	**自制**
	阳极配方	**自制**
	电解质配方	**自制**
材料	阴极/阳极/电解质材料	外采
	电解质隔膜片	外采
	电解质原料	外采
	金属连接体	外采
制造与控制	电池cell printing	**自制**
	电堆制造，系统集成与总装	**自制**
	控制软件/远程监控/R&O翻新	**自制**
其他部件	BOP部件（鼓风机/电力电子/换热器/传感器等）	外采
	热箱外协组装及壳体钣金件	外采
	冲压金属件等	外采

数据来源：BE、格隆汇、证券时报、每日经济新闻、中泰证券研究所

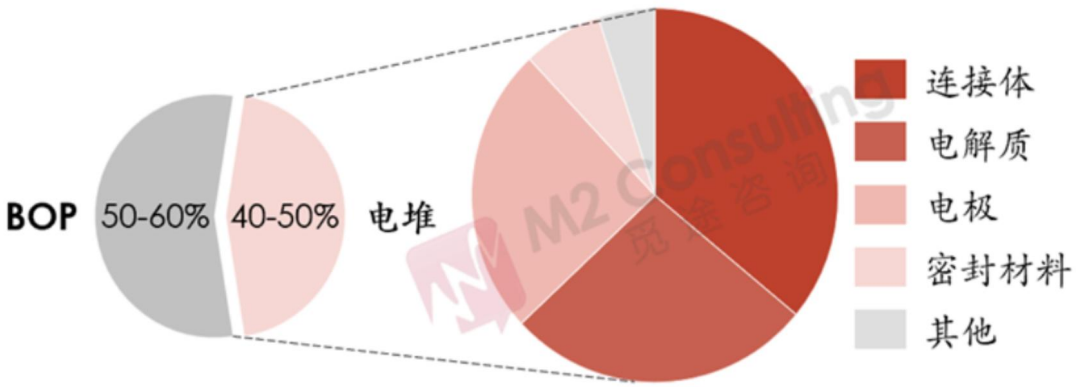
仅供内部参考，请勿外传

4.技术路线已收敛，壁垒在于材料和生产工艺

电堆是SOFC产业的核心环节。据觅途咨询，SOFC系统成本中电堆占40%-50%，为第一大价值量环节；外围BOP（含电力电子、燃料处理、热管理等）合计占系统成本50%-60%。电堆中，连接体占比最高，电解质和电极次之，三者合计约占电堆成本的九成，构成电堆核心价值。

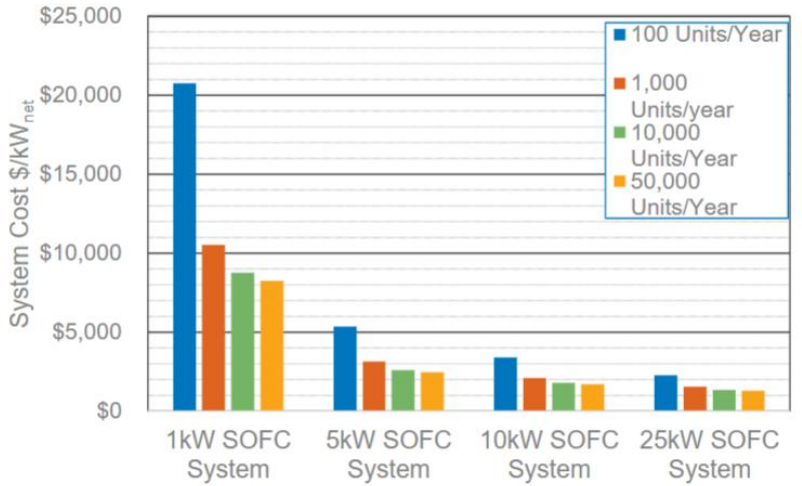
SOFC系统制造成本随产量规模化与单机功率提升显著下降，量产与大型化是两大核心降本路径。据DOE/Battelle制造成本模型，25kW的CHP SOFC系统随年产量从100台提升至50,000台，制造成本由约$2,268/kW降至$1,289/kW，降幅约43%；同口径下250kW系统制造成本由$1,164/kW降至$772/kW，降幅约34%。单机功率放大带来的规模效应更为显著，250kW系统单位制造成本仅为25kW系统的约一半（51%-62%），反映电力电子、热回收等BOP共享成本被大功率摊薄。

图：SOFC系统成本构成



数据来源：觅途咨询，中泰证券研究所

图：SOFC系统成本下降趋势



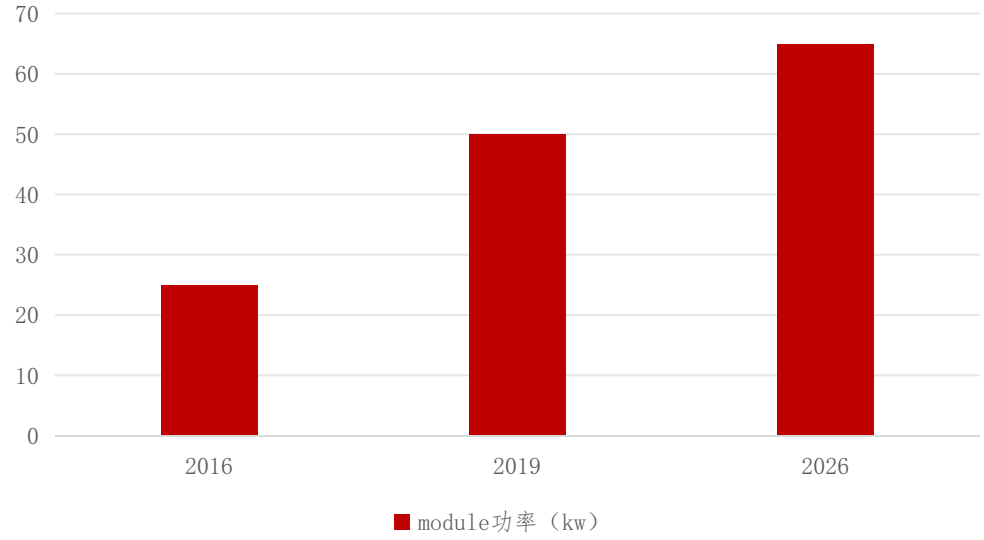
数据来源：DOE/Battelle，中泰证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

4.技术路线已收敛，壁垒在于材料和生产工艺

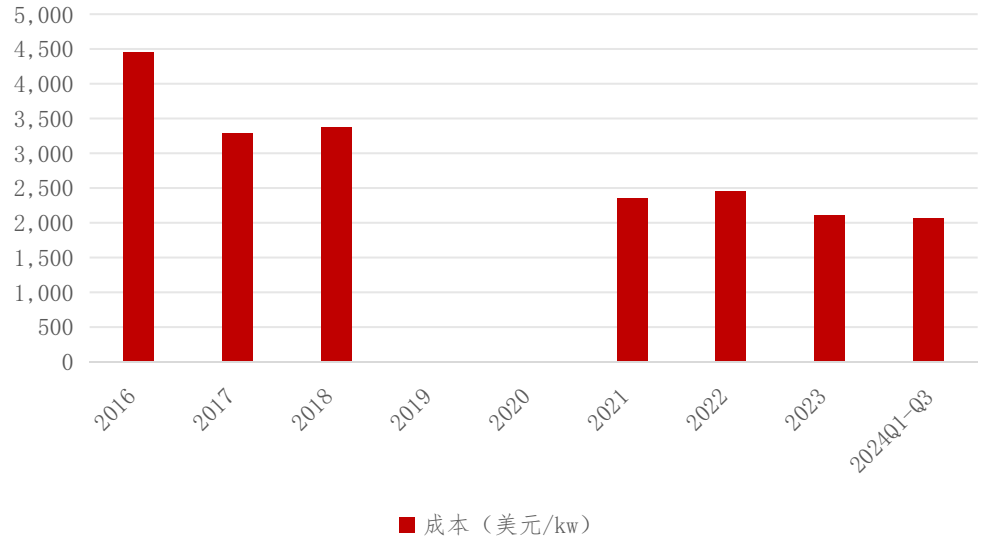
产品迭代与交付规模提升是SOFC降本的重要路径。单机功率放大是结构性驱动，BE发电模块功率由第一代Bloom 1.0的25kW提升至当前约65kW，放大2.6倍，单台Energy Server净输出达325kW，以标准化单元模块化叠加，摊薄单位材料、制造成本与厂房固定成本。交付规模提升形成规模效应，BE年验收出货量由2021年188MW增至2023年268MW，产能计划2026年底由1GW翻倍至2GW，未来向5GW的规模迈进，交付规模大幅提升可摊薄材料采购、产线利用率与良率成本。两条路径共同作用下，BE官方披露的产品单位成本由2016年$4,457/kW 降至2024年前三季$2,071/kW，累计下降约54%，其中2024年Q3单季已降至$1,982/kW；按DOE/NETL目标，系统成本有望向2030年$900/kW系统目标趋近。

图：BE单模块发电功率变化



数据来源：BE，中泰证券研究所

图：BE的SOFC制造成本下降趋势



数据来源：BE，中泰证券研究所

5.产业链：BE链为核心，关注高价值量卡位环节

SOFC全球格局一超多强，BE是核心集成商。全球SOFC有一定规模的玩家有限，格局相对集中。美国主要以BE为主，已累计部署约1.8GW、积压订单约200亿美元，是SOFC产业链最核心的集成商；英国企业Ceres以技术授权为主，如授权斗山、台达、潍柴等企业做规模化制造；国内方面，三环集团掌握全链条并牵头“十四五”国家重点研发计划SOFC项目，壹石通全球极少数具备SOC全产业链核心能力的企业之一，均已实现示范项目的建设和投运，具备一定技术竞争力。

图：全球主要SOFC系统制造商

公司	国别/地区	卡位及路线	说明(关键动态)
Bloom Energy	美国	整机系统（电解质支撑）	全球SOFC龙头，在手订单超200亿美元；2026Q2营收10.65亿美元，同比+166%；2026年底产能2GW、设施可扩展至5GW；Oracle签约2.8GW的SOFC系统合作协议。
Ceres Power	英国	技术授权模式(金属支撑)	只做轻资产高利润的技术授权模式。授权进展：韩国斗山(2025.7首家量产)、台达(2024.1首个SOFC+SOEC双授权)、潍柴(2025.11制造许可)、DENSO(SOEC)、Thermax(SOEC)、Shell(非授权方，SOEC示范)等。
Doosan Fuel Cell	韩国	系统制造(Ceres授权量产)	Ceres首家进入量产的授权方：全罗北道工厂年产能50MW，2025年7月量产、2025年底前首批销售，主攻数据中心/电网稳定/建筑/船舶辅助电源；传统强项为韩国PAFC发电市场。
台达电	中国台湾	系统制造(Ceres授权量产)	2024年1月以4300万英镑获Ceres技转+授权；台南启用全台首座MW级氢能测试平台，2026年底试量产；桃园观音计划投资69.5亿元新台币建厂规划SOFC电堆GW级制造基地；2025年完工的台电树林所POC单座110kW验证实际已落地。
潍柴动力	中国	系统制造(Ceres中国授权量产)	2018年起战略合作,并持股Ceres约20%；2025年11月获Ceres金属支撑SOFC完整制造许可；2025年，潍柴首个100kW SOFC发电产品在潍坊市能源集团商业化应用，实现了阶段性突破；100kW SOFC发电产品成功交付国家电投集团，落地为全国首个公共卫生服务类场景SOFC分布式供能项目。
三环集团	中国	系统制造（阳极支撑）	公司为BE的电解质隔膜板的主要供应商；国家重点研发计划SOFC电堆工程化开发牵头单位；子公司深圳三环携手深圳燃气集团建成光明区人民医院东院区300kWSOFC示范项目并网发电，发电效率64.4%。
壹石通	中国	系统制造（阳极支撑）	全球极少数具备SOC全产业链核心能力的企业之一；子公司稀陶能源具备2MW中试产线；拟在合肥市投资建设年产1GW固体氧化物能源系统项目目前正在建设中；安徽怀远县碳中和产业园120kW示范项目在建，预计2026年底投运。
三菱重工	日本	系统制造（陶瓷管基体支撑）	MEGAMIE品牌250kW级SOFC+MGT加压混合发电系统，2017年上市销售；管式电堆路线；同步开发400kW级SOEC模块，开展SOEC共电解制备航空合成燃料示范；聚焦日本工商业分布式场景。

数据来源：各公司官网和公告、C114Pro、稀陶能源、深交所互动易、高工氢电、证券时报、中泰证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

5.产业链：BE链为核心，关注高价值量卡位环节

Bloom Energy是全球SOFC行业龙头与AI数据中心自备电源核心供应商。公司2001年创立于美国加州Sunnyvale（前身Ion America，2006年更名），创始人KR Sridhar的技术源自NASA火星大气制氧项目；2008年，公司产品首批部署于Google、沃尔玛等企业，实现商业化运行；2012年公司开始扩建产能，2013年携手软银启动全球化扩张；2018年7月在纽交所上市；2024年，公司与美国电力公司签署高达1GW燃料电池协议，为迄今全球规模最大；2025年，基于AIDC对于电力的需求，公司与Oracle云基础设施合作，在选定AI数据中心现场部署燃料电池系统。截止2025年底，公司累计部署SOFC系统约1.8GW、覆盖9个国家逾1,100个站点；在手总订单约200亿美元，其中产品订单约60亿美元、同比增长约2.5倍；产能规划2026年底达2GW、未来目标5GW，开启了规模化扩张时代。

图：BE发展历程



数据来源：BE官网，中泰证券研究所

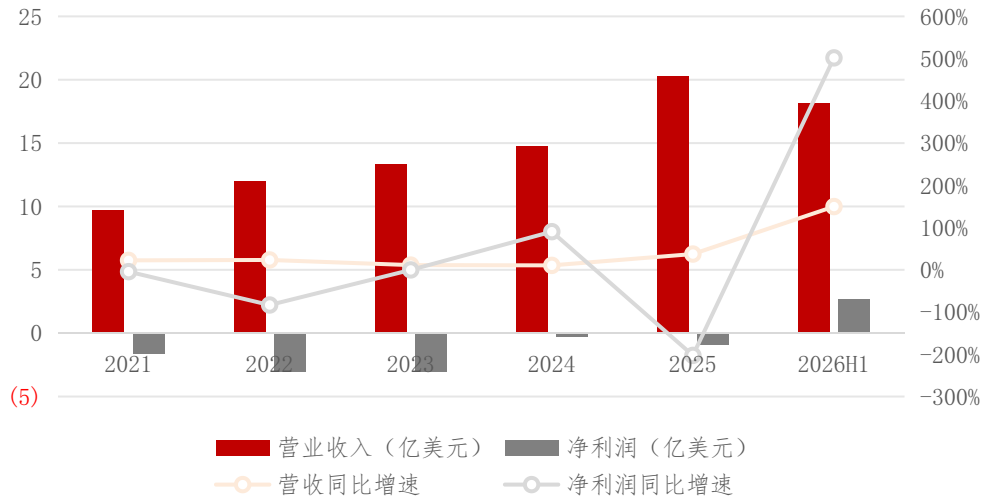
仅供内部参考，请勿外传

5.产业链：BE链为核心，关注高价值量卡位环节

AI算力需求推动高增，BE业绩扭亏进入高速成长期。公司2025实现营收20.2亿美元，同比+37.3%，连续第二年经营现金流为正；2026Q2营收10.65亿美元，同比增长165.5%，GAAP净利润1.96亿美元（去年同期亏损4,262万美元）实现季度扭亏；当前公司在手订单超过200亿美元，未来随着交付规模逐步提升，公司的毛利率与净利率持续提升，未来盈利能力有望强化。

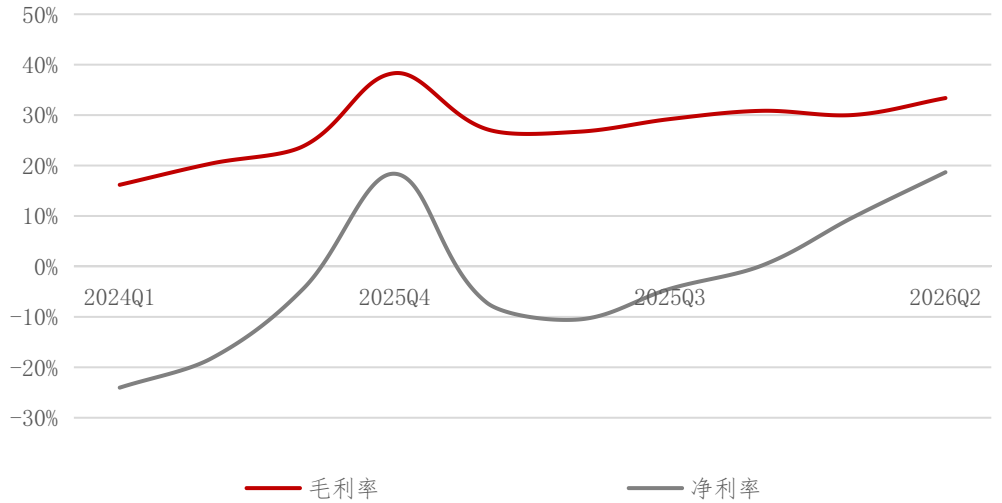
AIDC推动公司订单大规模扩张，奠定未来业绩基础。公司通过多种合作推进销售：1）和AEP美国电力、甲骨文分别签订1.0/2.8GW的SOFC系统合作框架协议；2）和Equinix（托管数据中心运营商）合作，推动SOFC系统落地；3）和Brookfield签订50亿美元的融资性框架，给AIDC项目池提供建设融资，后续融资规模扩至250亿美元。多种合作方式为公司未来产品交付和成长性奠定基础。

图：BE历年营收和净利润及同比增速



数据来源：wind，中泰证券研究所

图：BE季度毛利率与净利率



数据来源：wind，中泰证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

5.产业链：BE链为核心，关注高价值量卡位环节

SOFC产业链以BE公司为核心，卡位环节较好的供应商有望显著受益。基于Bloom Energy接连获得GW级的北美AIDC供电大单，未来有望成为SOFC产业链的核心催化。目前已有三环集团、春晖仪表、振华股份、壹连科技等公司明确已为BE的SOFC系统形成直接或间接的产品供应，尤其是电解质、连接体等高价值量的核心部件环节随BE扩产交付弹性最大。未来随着BE公司2027年的采购规模逐步明确，具备卡位优势的更多公司有望导入BE供应链体系，进而显著受益于SOFC需求的快速提升。

图：国内主要的SOFC相关供应链公司及卡位

公司	产业链卡位	说明
三环集团	电解质隔膜片	公司为Bloom Energy公司其燃料电池核心部件隔膜板的主要供应商；同时做国内SOFC示范系统。
壹连科技	系统电连接部件	目前公司在固态氧化物燃料电池方案上已有相关客户定点项目，且已实现有序交付，已正式供货Bloom Energy公司，提供SOFC特种线束。
春晖仪表	BOP-温度传感器	公司为Bloom Energy公司温度传感器的主要供应商之一，占其温度传感器市场份额超过70%；目前春晖智控拟发行股份及支付现金购买浙江春晖仪表约61.3%的股权，此收购事项正在进行中。
振华股份	连接体铬盐	3loom Energy公司不直接采购金属铬，由其上游厂商加工为连接件（支撑体）后供货；根据BE公开披露的信息以及公司与下游客户交流得知，每GW SOFC连接件消耗金属铬约5000吨；叠加装置辅助器件对高温金属的需求，合计单GW电站整机消耗金属铬约6000-7000吨。
德昌电机	关键任务烧结金属部件	公司的子公司Stackpole粉末冶金业务是北美领先的燃料电池能源平台供应商的关键合作伙伴和供应商，为其提供关键任务烧结金属部件。
先导基电	电解质片、金属连接体、中高压开关柜、变压器、超级电容等	公司与关联方广东先导固能共同投资设立控股子公司元朔基电，元朔基电重点布局包括电解质片、金属连接体、中高压开关柜、变压器、超级电容等核心产品。
京泉华	磁性元器件	目前为客户发电设备提供磁性元器件类产品
凯中精密	SOFC热管理组件（热交换器/重整器/控制阻尼器）	已开发SOFC系统组件，但市场开发初期、未形成规模化销售、占主营比重小。
科力远	SOFC 阴极集流体（三维多孔泡沫铜锰合金）	子公司常德力元突破SOFC阴极集流体材料技术瓶颈，已完成7家送样、1家P3装堆81.5㎡出货，2026年量产供货

数据来源：各公司公告、深交所互动易、上海证券报、中泰证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

6.投资建议

重点关注以下两条主线：

- **BE链高价值量核心部件——重点关注确定性最强，供应链核心卡位的相关公司：**Bloom Energy、三环集团、先导基电、春晖仪表、振华股份、京泉华、壹连科技、德昌电机控股等；
- **系统集成与规模化量产——市场需求同步扩大，关注已具备商业化出货能力的标的：**潍柴动力、壹石通、台达电、Ceres Power、斗山集团、云意电气、凯中精密、科力远、中原内配、冰轮环境等。

仅供内部参考，请勿外传

7.风险提示

AI算力需求与资本开支不及预期风险。SOFC需求逻辑高度依赖AI电力需求的快速抬升，若算力投资放缓或AI商业化进度不及预期，公司订单兑现可能承压。

技术路线竞争风险。SOFC单位成本高于燃气轮机，当前竞争力主要来自交付时间优势；一旦燃气轮机、核电（SMR）、RICE等替代路线的交付瓶颈缓解，SOFC竞争将加剧。

BE订单执行与收入转化风险。在手订单以长周期服务为主，产品订单占比有限；大客户交付延迟或改期将直接导致季度收入与毛利率波动。

美国政策与税收抵免风险。SOFC项目依赖ITC等联邦税收激励，政策变动将直接改变项目经济性；天然气管道审批与并网许可的不确定性亦影响项目落地节奏。

地缘关系与关税不确定性风险。多数相关公司非美国本土供应链企业，具有地缘与关税不确定性风险，一旦出口受限或美国方面大幅增加关税，预计将影响相关订单兑现。

研报使用信息更新不及时风险等。

中泰证券 ZHONGTAI SECURITIES

重要声明

中泰证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证券监督管理委员会许可的证券投资咨询业务资格。本报告仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告基于本公司及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响。本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，可能会随时调整。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。本报告所载的资料、工具、意见、信息及推测只提供给客户作参考之用，不构成任何投资、法律、会计或税务的最终操作建议，本公司不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。

市场有风险，投资需谨慎。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

投资者应注意，在法律允许的情况下，本公司及其本公司的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。本公司及其本公司的关联机构或个人可能在本报告公开发布之前已经使用或了解其中的信息。

所有。事先未经本公司书面授权，任何机构和个人，不得对本报告进行任何形式的翻版、发布、复制、转载、刊登、篡改，且不得对本报告进行有悖原意的删节或修改。