仅供内部参考，请勿外传！

华泰证券 HUATAI SECURITIES

电力瓶颈下 SOFC 迈入 GW 级时代

华泰研究

2026 年 9 月 22 日 | 中国内地　　专题研究

Time to power 定义北美找电新范式，电力新政强化自备电源逻辑

AI 算力高增重塑数据中心电源选择范式，由传统最低 LCOE 转向快速交付优先。对比各类 AI 电源，新建电源成本呈现核电<重燃<轻燃<煤电<SOFC<光储柴，但低成本电源往往对应更长的建设周期，即核电>重燃~煤电>轻燃>SOFC~光储柴。我们测算当前 AI 算力闲置的隐含机会成本约 500 美元/MWh，显著高于 SOFC 等快速部署电源相对网电或传统燃气轮机方案数十美元/MWh 的度电成本溢价。政策端，自 6 月 FERC 统一大负荷接入规则以来，纽约州、德州于 7-8 月相继提出数据中心接网约束及可靠性要求，均指向未来或通过数据中心自己“找电”以降低大负荷对电力系统的冲击。经济性与监管要求共振正持续强化以 SOFC 为代表的短交期自备电源需求。

SOFC：短交期+模块化+环境友好多重优势，适配下一代 800V 架构

固体氧化物燃料电池（SOFC）是一种在高温下通过电化学反应将天然气、氢气等燃料的化学能直接转化为电能的高效率燃料电池。我们认为 SOFC 相比传统 AIDC 电源方案具备四大优势：1）短交期：SOFC 交付周期通常仅需数月（参考 Oracle 项目仅 55 天），短于重燃 3-5 年、轻燃 2-3 年；2）模块化：SOFC 采用工厂预制、现场模块化安装，可随数据中心负荷爬坡分期扩容，既降低前期一次性资本投入压力，也减少对现场施工及运维人力资源的依赖。3）环境友好：基于电化学技术原理，SOFC 的 NOx、SOx、颗粒物及 CO 等常规污染物排放较低，噪音水平亦低于传统旋转机械，有利于降低空气许可和社区沟通难度。4）适配下一代 800V 架构：SOFC 作为少数可直接输出直流电的发电方案，相较传统燃机、内燃机通过旋转发电机输出交流电，有望减少交直流转换环节，伴随供电架构向 800VDC 演进，应用空间或持续打开。截至 2026 上半年，全球燃料电池累计新增订单与框架协议约 8.8GW，其中 2026 上半年新增约 7.3GW，贡献累计新增订单 80%+。

短期电解质支撑率先放量，中长期阳极/金属支撑更具应用降本潜力

市场关于不同 SOFC 技术的对比和产业化潜力研究较少，我们详细分析了电解质支撑、阳极支撑和金属支撑三类路线（核心差异在于承担机械支撑功能的主体不同）的降本潜力和不同材料体系下的应用前景。1）短期看，产业化成熟度和规模交付能力决定电解质支撑仍是订单放量主流。以 Bloom Energy 为代表的电解质支撑路线已实现 GW 级订单，贡献 2026H1 全球新增 SOFC 订单 70%以上。2）中长期看，材料成本与资源约束或成为技术路线切换的核心驱动力。由于电解质支撑需在 850-1000℃高温运行，对氧化钪（电解质组分）及高铬合金（连接体组分）等耐高温材料依赖度较高，其产能扩张或受材料成本和供应链瓶颈约束；我们测算，1GW 电解质支撑 SOFC 电堆约需氧化钪 37 吨，接近 2025 年全球产量一半、美国本土可供给量 10 倍。阳极支撑和金属支撑由阳极或金属基体承担机械支撑，可显著减薄电解质层并降低对高温耐热材料的要求，未来更具产业化应用潜力。

关注具备订单兑现逻辑的 BE 供应链和新技术路线布局企业

我们认为两条主线值得关注：1）BE 供应链具备订单兑现逻辑的公司。从价值量看，SOFC 系统中电堆、热区 BOP、冷区/电力电子 BOP 成本占比约 45%/25%/30%，其中隔膜片&阴阳极、连接体分别占电堆成本约 35%/25%。相关公司包括：三环（隔膜片高份额并向阳极支撑延伸）、德昌电机（连接体主供）、振华股份（上游铬材）、春晖智控、壹连科技、京泉华等 BOP 供应商；2）布局中低温技术路线、具备商业化潜力的公司。相关公司包括：阳极支撑：三环、壹石通；金属支撑：Ceres、斗山。

风险提示：数据中心落地不及预期、技术不确定性、政策风险。本研报中涉及到未上市公司或未覆盖个股内容，均系对其客观公开信息的整理，并不代表本研究团队对该公司、该股票的推荐或覆盖。

电力设备与新能源　　增持（维持）

刘俊　研究员
SAC No. S0570523110003　karlliu@htsc.com
SFC No. AVM464　+(852) 3658 6000

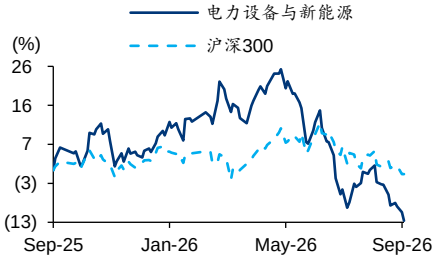
边文姣　研究员
SAC No. S0570518110004　bianwenjiao@htsc.com
SFC No. BSJ399　+(86) 755 8277 6411

苗雨菲　研究员
SAC No. S0570523120005　miaoyufei@htsc.com
SFC No. BTM578　+(86) 21 2897 2228

王嵩　研究员
SAC No. S0570525110001　alanwang@htsc.com
SFC No. BLE051　+(852) 3658 6000

徐嘉欣*　联系人
SAC No. S0570125070136　xujiaxin@htsc.com
+(86) 21 2897 2228

行业走势图



资料来源：Wind，华泰研究

仅供内部参考，请勿外传！

正文目录

概要 **4**

问题一：如何看待缺电演绎下燃料电池需求迎来加速时刻？ **6**

AI 需求推高供电紧迫边界，重塑电源选择范式 6

SOFC 卡位短交期+排放优势，精确适配数据中心 time to power 诉求 9

问题二：技术、成本、资源多重约束，SOFC 进展几何？ **12**

技术：三大路线演进，模块化架构实现从电堆到电站拓展 12

成本：产业规模化+材料体系+制造模式驱动降本 14

资源：钪金属稀缺作为核心瓶颈，材料与技术优化打开扩产空间 16

问题三：SOFC 哪些环节值得关注？ **18**

风险提示 **21**

图表目录

图表 1： 全球数据中心建设需求预测 6

图表 2： AI 缺电打开美国电力供需缺口 6

图表 3： 美国分级电网投资建设情况与审批流程 7

图表 4： 美国数据中心并网排队时长 7

图表 5： FERC、ISO/RTO 政策 8

图表 6： PJM 7/1-7/5 逐时电价 8

图表 7： PJM 现货电价 8

图表 8： AIDC 电源度电成本拆分对比 8

图表 9： 数据中心各类电源成本测算 9

图表 10： 数据中心各类电源建设时间测算（考虑最新设备交期） 9

图表 11： 全球燃气轮机市场新接订单分布趋势 9

图表 12： 燃气轮机主机厂商交期持续拉长 9

图表 13： 燃料电池模块化可线性扩容结构 10

图表 14： 未来电力系统 800V 供电架构 10

图表 15： 燃料电池项目补贴基本不受 OBBB 法案影响 11

图表 16： 燃料电池订单复盘 11

图表 17： 燃料电池从单电堆到系统 12

图表 18： SOFC 三大路线技术路线图 13

图表 19： SOFC 三大路线技术性能对比表 14

图表 20： Bloom 单位产品成本与安装成本（美元/kW） 14

图表 21： 公司服务成本构成（2021） 14

图表 22： 公司产品寿命 15

图表 23： 公司产品功率迭代 15

图表 24： 三类 SOFC 路线系统成本和温度 16

仅供内部参考，请勿外传！

图表 25： 三类 SOFC 路线系统成本拆分 16
图表 26： 电解质支撑路线金属资源需求（2025） 16
图表 27： 美国各金属净进口依赖度（2025） 16
图表 28： 中国关键矿产出口管制时间线 17
图表 29： SOFC 产业链各环节公司梳理 18
图表 30： SOFC 产业链竞争格局 19
图表 31： SOFC 产业链公司进展梳理 19
图表 32： SOFC 产业链公司估值表（截至 2026 年 9 月 21 日） 21



仅供内部参考，请勿外传！

概要

AI 数据中心电力需求高增正在重塑电源采购逻辑，SOFC 成为高算力闲置成本下的优选。我们测算，算力闲置隐含机会成本约 500 美元/MWh，意味着 SOFC 度电成本相比网电和传统重型燃气轮机方案 10~30 美元/MWh 的电价差已退居次要矛盾。我们测算，全球数据中心新增电力需求预计由 2025 年约 22GW/年增至 2030 年的约 105GW/年，美国同期由 9GW 增至约 55GW，2026-30 年美国电力供需缺口仍可达到 5-16GW/年。而自 25 年下半年以来，美国联邦能源管理委员会（FERC）围绕数据中心高增引发三大矛盾进行持续纠偏，即需求侧负荷接入过慢、供给侧电网容量不足、社会侧电网成本分摊不合理，数据中心自备电源、分布式可快速接入的电源方案斜率向上持续演绎。

模块化交付+低排放+低噪音，SOFC 精准卡位 AIDC 落地三大瓶颈。AIDC 建设除电力供给本身外，项目落地还受到建设周期、环境审批及社区接受度等多重约束，SOFC 在三方面具备差异化优势：1）模块化部署缩短 time-to-power。 SOFC 采用模块化、工厂预制+现场安装模式，可伴随算力投产节奏分期扩容，典型现场部署周期约 2-3 个月，参考 Bloom 与 Oracle 合作项目实现约 55 天电力交付，明显快于轻型燃机的 1-1.5 年、重型燃机的 2-3 年及核电的 6-8 年。2）非燃烧发电降低环境审批约束。在所有可快速交付的电源方案中，相较轻型燃机、天然气内燃机等燃烧式电源，SOFC 通过电化学反应直接发电，NOx、SOx、颗粒物及 CO 等常规空气污染物排放显著更低，可降低空气排放许可及环境审查压力，在短交付自备电源方案中具备更优的审批属性。3）低噪音提升社区接受度。 SOFC 运行过程中不存在燃机、内燃机高速旋转及燃烧爆震过程，噪音及振动水平相对较低，更适合靠近城市、居民区的数据中心分布式部署，可一定程度降低大型发电设施面临的社区反对及选址约束。叠加天然气 SOFC 项目仍保留最高 30%的 ITC，进一步提升项目融资经济性。

SOFC 行至何方——短期电解质支撑路线商业化成熟度领先，中长期阳极支撑和金属支撑有望打开降本与规模化量产空间。

- 从技术路线看：短期电解质支撑最成熟，阳极支撑兼顾性能与成本，金属支撑仍待工艺突破。电解质支撑以 Bloom Energy（BE）为代表，商业装机和供应链配套均领先，该路线在 850-1000℃高温运行，是当前承接 AIDC 订单外溢需求的主流路线，2026H1 BE 新签订单/框架 6.4GW，占燃料电池总新增量~90%。阳极支撑以三环等为代表，通过将电解质减薄至微米级，工作温度降至 650-800℃，在性能、成本和制造成熟度之间相对均衡；当前主要约束在长期稳定性及抗铬挥发涂层。金属支撑以 Ceres 体系为代表，通过金属骨架承载薄膜电极及电解质，温度进一步降至 500-650℃，但目前金属/陶瓷共烧、铬挥发及精密加工难度较高，良率仅约 50%-60%，仍处商业化早期。
- 从降本潜力看：短期成本金属支撑>电解质支撑≈阳极支撑，中长期金属支撑<阳极支撑<电解质支撑。电解质支撑率先进入规模制造阶段，BE 设备成本由 2019 年约 2.9 美元/W 降至 23 年的 2.1 美元/W（~14 元/w，和阳极支撑成本基本平齐、低于金属支撑~20 元/W）。中长期经济性将逐步向材料成本收敛，阳极支撑、金属支撑通过降低反应温度，减少电解质支撑对氧化钇（电解质）、耐高温高铬合金（连接体）等高成本材料用量，纯材料成本相比电解质支撑低~10%，未来规模化生产后降本潜力更大。
- 从资源瓶颈看：电解质扩产约束核心在钇，电解质薄层化、新路线低钇化势在必行。我们测算单 GW BE 电堆约需氧化钇 37 吨、铬 5000 吨。其中单 GW 所需氧化钇已接近全球 2025 年产量的一半、约为美国本土供给量的 10 倍，同时美国钇、铬净进口依赖度约 80%-100%，关键矿产贸易限制亦可能放大海外厂商的供应及价格风险。电解质薄层化与阳极、金属支撑路线下新材料体系或成为关键解决方案。

仅供内部参考，请勿外传！

订单确定性×供应份额×单 GW 价值量兼具的环节有望随 SOFC 产能放量打开成长空间。Bloom Energy 提出 2026、2027 年末实现 2、5GW 产能目标，远期产能或扩大至 25GW；三环、Ceres（技术授权斗山等公司）则分别基于阳极、金属支撑新路线，在中低温反应环境下有望实现材料降本并绕开潜在钪、铬金属资源限制。我们建议关注以下两条主线：1）BE 隔膜片/阴阳极、连接体、BOP 器件等核心环节供应商：电解质支撑电堆、热区 BOP、冷区/电力电子 BOP 分别占 SOFC 系统成本的 45%、25%、30%，其中隔膜片/阴阳极、连接体合计占电堆材料成本~60%。相关公司包括：三环集团（Bloom 隔膜片主供，向阳极支撑路线电堆延伸）、德昌电机（BE 连接体主供）、振华股份（上游铬材）、高力（热交换器主供）、春晖智控（BE 温度传感器主供）、壹连科技（BE 线束主供）、京泉华（BE 磁性器件主供）；2）阳极支撑、金属支撑新路线整机 SOFC 供应商：相关公司包括：三环、壹石通、Ceres power、斗山。

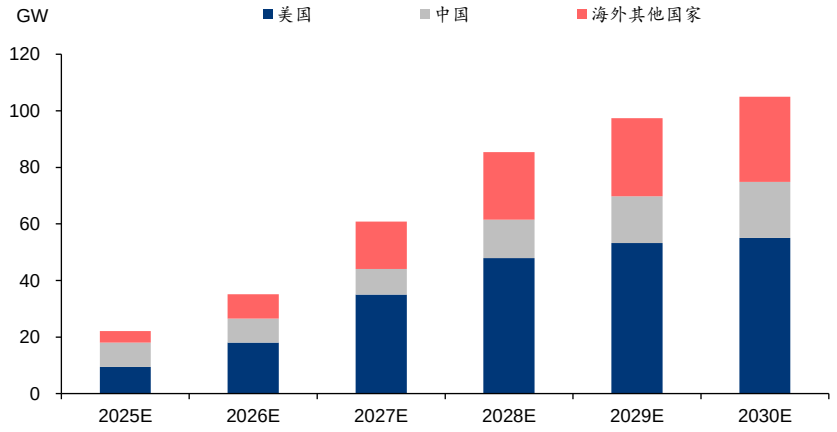
仅供内部参考，请勿外传！

问题一：如何看待缺电演绎下燃料电池需求迎来加速时刻？

AI 需求推高供电紧迫边界，重塑电源选择范式

Token 算力需求进入非线性增长阶段，推动数据中心用电需求超预期上修。未来算力需求中存在两个倍数关系：1）推理和 Token 调用量之间不是线性关系，因为多 Agent 协作和多工具调用会带来 Token 消耗量加速增长；2）算力需求与 Token 的增长之间不是线性关系，这是因为随着推理过程更加复杂，同样算力条件下计算时间也将增长，实时性和交互性带来对计算速度的要求。由此带来 Token 调用量十倍级别增长、对应算力需求百倍增长。我们基于 CoWoS 先进封装产能约束及分地区 AI 资本开支规划测算，全球数据中心电力装机规模有望从 2025 年约 22GW/年提升至 2030 年约 105GW/年，其中美国作为核心算力部署区域，到 30 年数据中心用电规模有望达到约 55GW，较 25 年 9GW 实现 4x 增长。

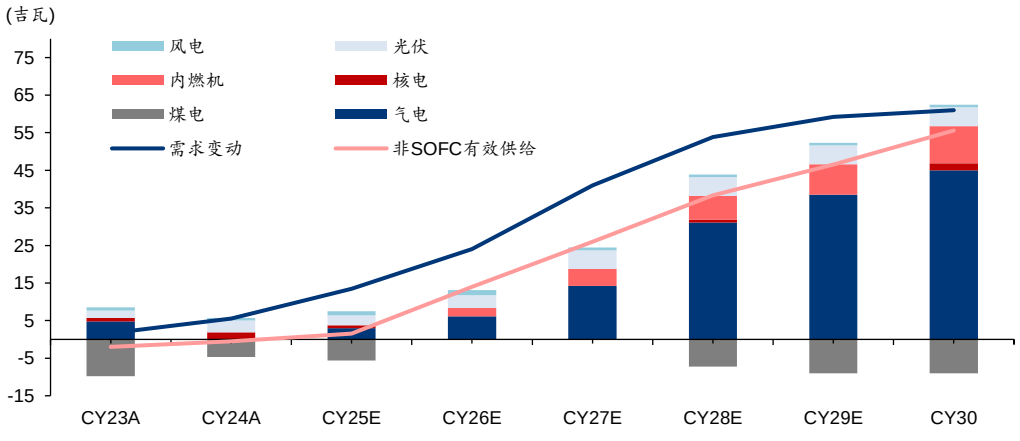
图表1：全球数据中心建设需求预测



资料来源：华泰研究预测

数据中心高增带动 AI 缺电逻辑，紧供需格局下 SOFC 外溢需求或加速兑现。需求侧看，我们测算 2026-2030 年美国数据中心扩张与再电气化等有望带动 26-61GW 新增负荷。供给侧看，增量可控电源主要依赖重型燃气轮机、轻型燃气轮机及内燃机，风光贡献部分有效装机，此外考虑 2028 年起煤电陆续开始退役（假设 2026-27 年煤电退役因电力供给紧缺而暂缓），预计同期合计新增供给能力约 14-56GW。考虑 2027-2030 年燃气轮机、内燃机项目陆续投产，电源建设仍难完全匹配负荷增长，预计电力供需缺口仍将达到 5-16GW。与此同时，AI 数据中心负荷刚性（7x24 小时不间断）+算力闲置高机会成本正逐步改变传统电源采购范式，电源配置逻辑从度电成本最优转向快速交付+并网确定性。

图表2：AI 缺电打开美国电力供需缺口

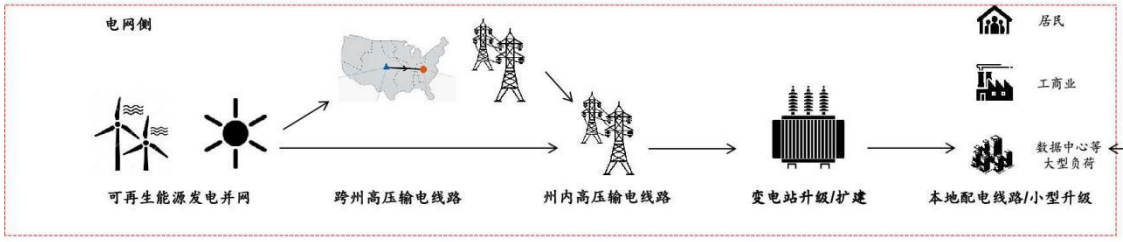


注：2025-30 年数据为预测值
资料来源：EIA，华泰研究预测

仅供内部参考，请勿外传！

电网侧扩容缓慢表现为节点容量不足与并网周期拉长，进一步推升表后电源需求释放。以美国为例，过去十年，在电力负荷增长低预期背景下，电网扩容升级采取高度审慎逻辑，叠加联邦能源监管委员会（FERC）、能源部（DOE）、区域独立系统运营商（ISO）、公共事业公司及州政府等多方博弈，形成冗长而复杂的审批体系。在传统框架下，电网建设需同时满足三重约束：1）行政层面对“是否构成过度建设”及资本占用合理性的严格论证；2）经济层面对电价上涨压力及跨区域成本分摊机制的协调（谁来承担成本）；3）环境与社会层面对环保审查、土地征用、社区接受度的多方面评估。项目电压等级越高、跨区范围越广，协调难度和建设周期越长，从本地低压配电（1-3 年）到跨州高压输电（7-15 年），建设周期逐级抬升，对应电网扩容速度难以匹配数据中心容量增长。根据 JILL，数据中心当前平均并网周期已拉长至 3-7 年，数据中心自己找电，即自备电源逻辑持续加强。

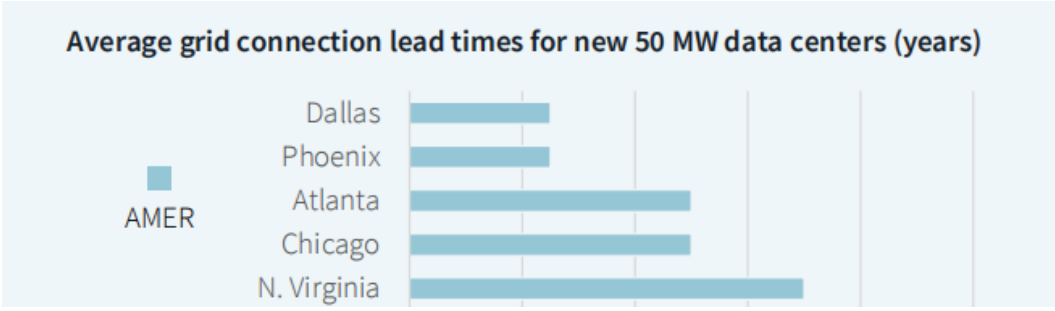
图表3：美国分级电网投资建设情况与审批流程



	可再生能源发电并网	跨州高压输电线路	州内高压输电线路	变电站升级/扩建	本地配电线路/小型升级
电网投资方向	风/太阳能场并网	跨洲高压输电线（≥345kV）	州内高压输电线（100-345kV）	现有变电站改造容量提升	低压线（<69kV）+小区配电
审批环节：					
联邦审批 FERC/DOE等	• FERC监管并网队列 • 若涉及联邦土地需环评等	• DOE协调跨洲审批 • 若州延误/否决，FERC可干预	• 若涉及联邦土地需环评等	• 若涉及联邦土地需环评等	• 通常无（除非联邦资金/土地） • 可能需EPA清洁水法许可
州层级审批 州公共事业委员会PUC等	• 并网协议审查	• 每个州独立PUC批准；一州否决可阻挡	• 州PUC主导：证书 + 路线许可	• 州PUC评估公共需要+环境审查	• 多数采用通知备案/小型许可 • 部分州豁免小型项目PUC审批
地方层级审批（县/市）	• 地方建筑/环境许可	• 县/市地方许可	• 地方划区Zoning+路权许可	• 土地使用、噪声/视觉影响许可	• 地方划区Zoning+建筑许可+土地使用许可
典型总时长（年）	4-8	7-15+	3-7	2-5	1-3

资料来源：EIA，FERC，NREL，华泰研究

图表4：美国数据中心并网排队时长

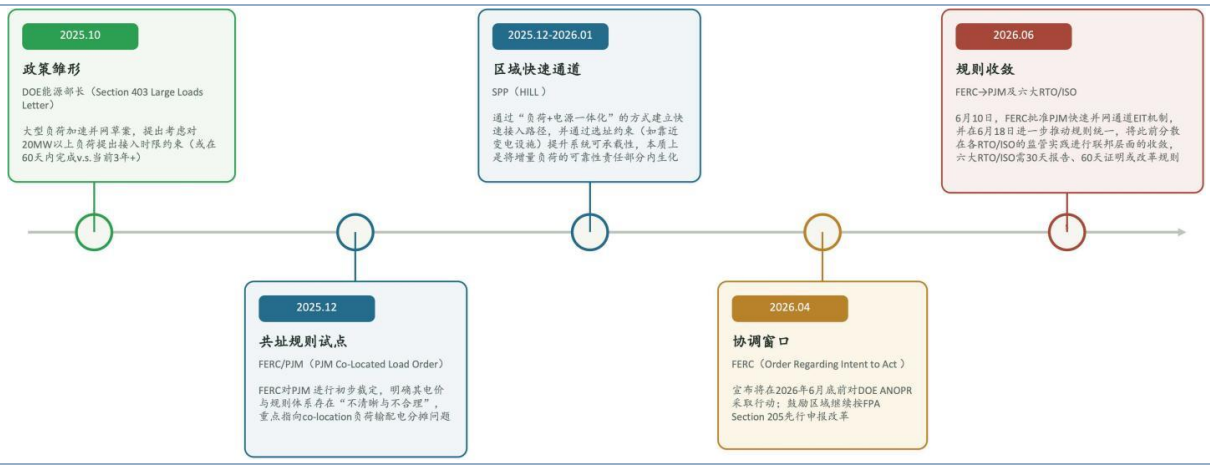


资料来源：EIA，FERC，NREL，华泰研究

数据中心高负荷增长推高美国电价与峰值波动，自备电源联邦和地方政策均有支持。以 PJM 为例，26 年 7 月 2 日 PJM 瞬时峰值负荷达到 162.7GW，接近 2006 年创下的 165.56GW 历史高位；同期 PJM 现货批发电价一度突破 2,500 美元/MWh，而正常运行状态下约为 40 美元/MWh，峰值电价超过常态水平 60 倍。2025 年 10 月以来，FERC 及各区域独立系统运营商（ISO/RTO）持续完善大负荷接入与电力可靠性政策，由负荷侧自行承担部分供电责任，自备电源、电源与数据中心共址等模式成为缓解电网容量压力的重要路径。

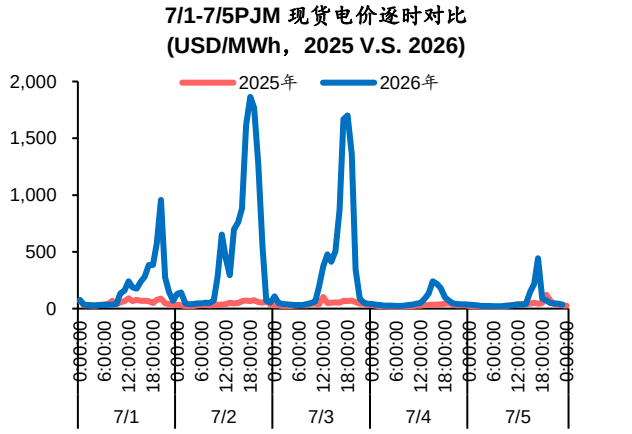
仅供内部参考，请勿外传！

图表5：FERC、ISO/RTO 政策



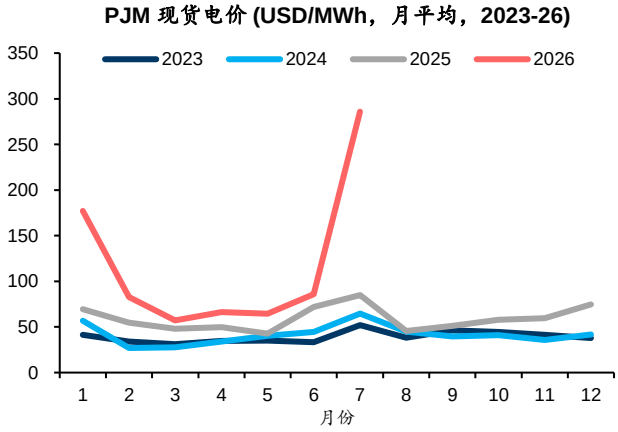
资料来源：EIA，FERC，NREL，华泰研究

图表6：PJM 7/1-7/5 逐时电价



资料来源：PJM，华泰研究

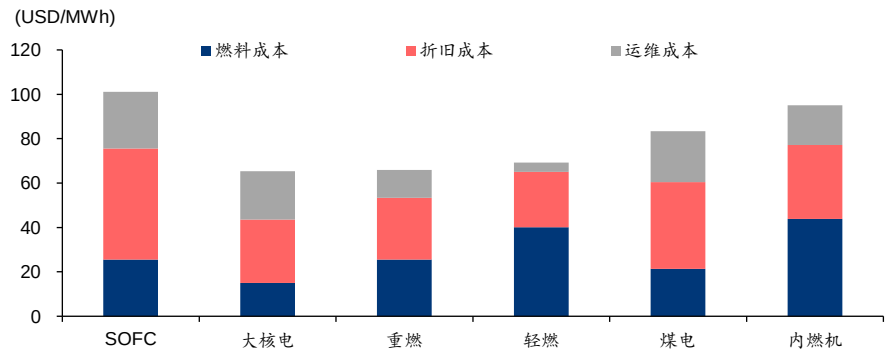
图表7：PJM 现货电价



资料来源：PJM，华泰研究预测

算力闲置高机会成本改变传统电源采购范式，电源配置逻辑从度电成本最优转向短交期+并网确定性。燃料电池此前未能实现大规模主供电源场景渗透，核心原因在于 SOFC 设备成本仍然偏高、对应单位度电成本高于以重型燃机为主的传统发电方案。以 Bloom Energy 电解质技术路线为例，我们测算燃料电池度电成本约为$100/MWh，其中燃料成本、设备折旧及运维成本分别占比约 25%、50%和 25%（按照 bloom energySOFC 售价约$3000/KW，考虑 30%ITC 补贴）；相比重型燃气轮机、轻型燃气轮机及煤电的综合度电成本整体高约 20-50%。算力高闲置成本改变电源选择逻辑，根据美国数据中心建设成本，我们估算芯片折旧成本约 3 美元/W·年，按数据中心年运行 6000 小时测算，隐含闲置机会成本约 500 美元/MWh，显著高于不同电源成本差异（数十美元/MWh）。电力短缺带来的机会成本已高于度电成本差异本身，需求侧对供电时序确定性权重提升，倒逼找电逻辑转向交付最优。

图表8：AIDC 电源度电成本拆分对比



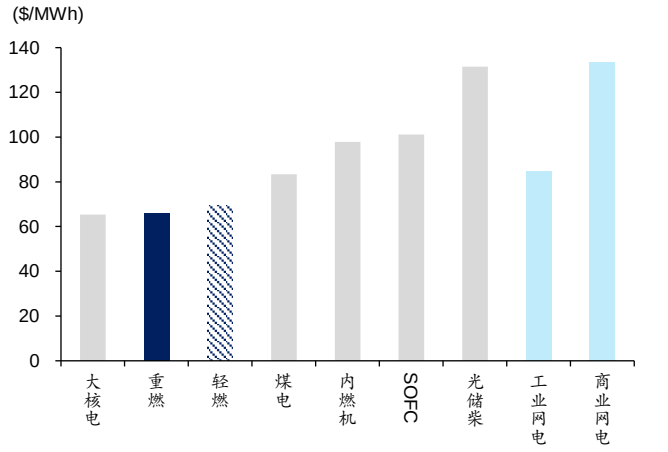
资料来源：GEV, CAT, Bloom Energy，EIA，华泰研究测算

仅供内部参考，请勿外传！

SOFC 卡位短交期+排放优势，精确适配数据中心 time to power 诉求

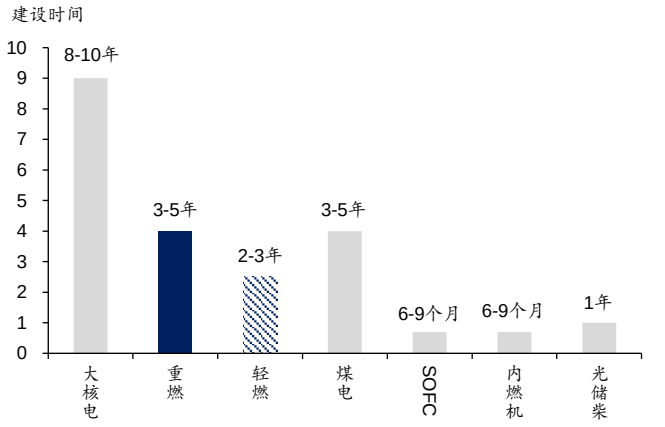
数据中心找电面临交付速度与经济性的双重博弈，传统电源方案远水难解近渴。传统 AIDC 找电顺序遵循电力成本由低到高逻辑，从新建电源成本来看，核电<重燃<轻燃<煤电<SOFC<光储柴；而成本越低的电源通常建设周期越长，从电源建设周期来看：核电>重燃~煤电>轻燃>SOFC~光储柴。传统电源供给端正面临产能紧张与建设交付周期拉长的瓶颈：原本在交期和效率上兼具优势的大型燃气轮机，目前排产已延至 2029-30 年，轻型燃机经过多轮数据中心用户抢购也已趋紧；煤电受限于美国环保政策难以新建；核电作为 AIDC 主供电源的长期解法，但考虑其 6-8 年建设周期，2030 年对新增电源供给拉动有限。

图表9：数据中心各类电源成本测算



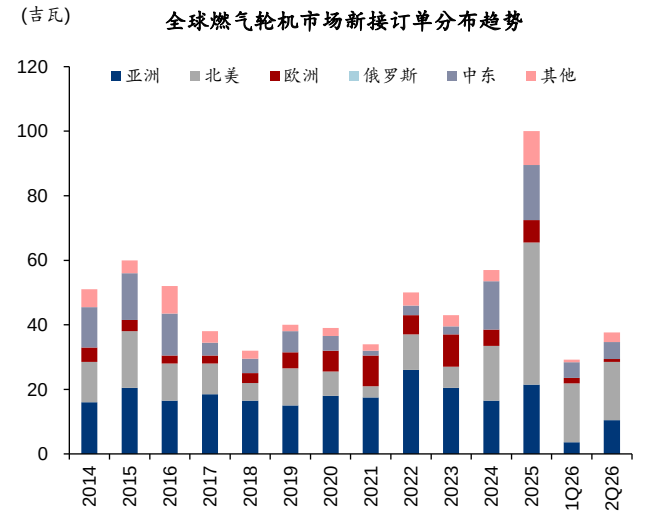
资料来源：GEV, CAT, Bloom Energy 公司财报，EIA，华泰研究

图表10：数据中心各类电源建设时间测算（考虑最新设备交期）



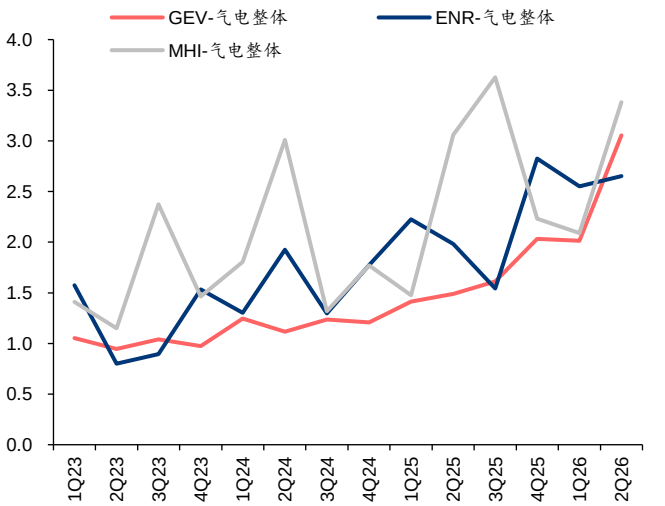
资料来源：GEV, CAT, Bloom Energy，EIA 公司财报，华泰研究

图表11：全球燃气轮机市场新接订单分布趋势



注：统计>10MW 机组，按吉瓦计
资料来源：McCoy，华泰研究

图表12：燃气轮机主机厂商交期持续拉长



资料来源：GEV、ENR、MHI 季报、年报，华泰研究

燃料电池模块化、快交付、轻运维特性优势强化短交期属性，此外直流电输出适配下一代 AI 电源架构，精准卡位当前数据中心 time to power 用电需求，成为电力需求外溢关键受益方案。

1. **模块化可线性扩容，实现与算力节奏高度耦合：**SOFC 采用标准化独立发电模块架构（典型案例如 Bloom Energy Server），单模块具备数百 kW 级容量，可通过模块并联实现从 MW 级到 GW 级的线性扩展，电源建设节奏能够与数据中心算力扩张和分期投产高度匹配，避免传统大型电站一次性投资和产能过度建设风险。

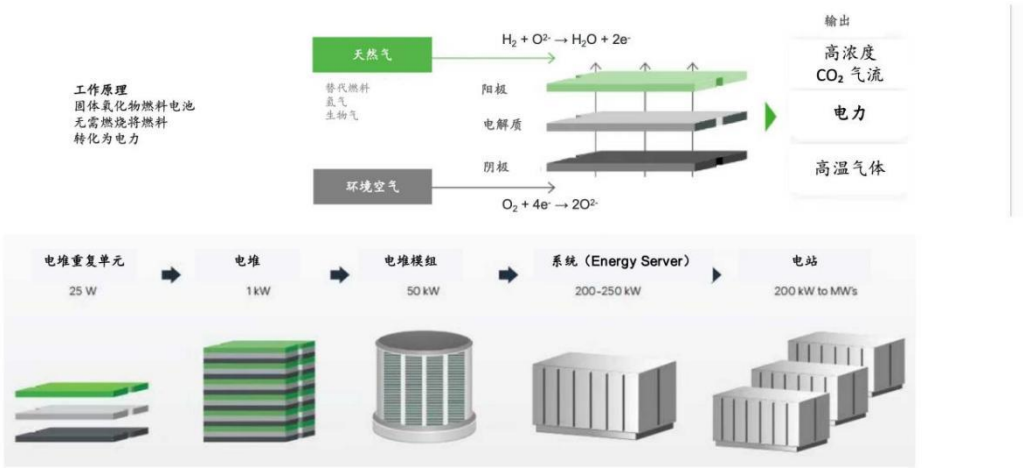
仅供内部参考，请勿外传！

2. **快速交付能力，不依赖电网的灵活电源部署模式：**SOFC 具备工厂预制+现场部署的工程模式，无需等待大型变电站建设、长距离输电线路扩容及复杂土建工程，可直接部署于数据中心侧形成表后供电。典型案例如 Oracle Corporation 与 Bloom Energy 合作项目实现 55 天级别现场电力交付，相较燃气轮机普遍 3-4 年甚至更长的建设与并网周期，在快速交付方面具备显著优势。

3. **寿命保障+轻运维模式，面向客户使用体验友好：**SOFC 通过模块化设计提升全生命周期运维效率。以 Bloom Energy 为例，其电堆模块设计寿命约 5 年，系统通过定期换堆可持续运行 20–25 年，相比重型燃气轮机每 10 年一次大修周期、中间穿插多次中小修，对专业运维人工和零部件供应链资源依赖度降低。

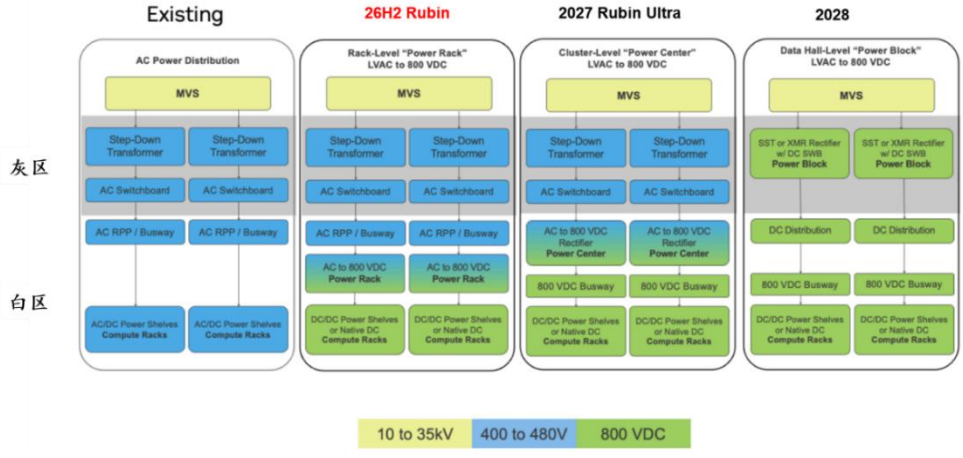
4. **原生直流发电与未来 800VDC 架构天然协同，减少 AIDC 供配电转换环节：**不同于传统燃机、内燃机通过旋转发电机输出交流电，SOFC 电堆本质上直接产生直流电。随着 AI 机柜功率密度快速提升，NVIDIA 正推动下一代 AI 数据中心由传统 480VAC 配电向 800VDC 架构演进。SOFC 有望利用其直流发电属性与直流母线耦合，减少传统“发电端 AC 输出-配电-AC/DC 整流-服务器 DC 输入”链条中的部分功率转换级数，相应降低升降压和变电环节投资，强化 SOFC 在数据中心新一代供电架构中的定位。

图表13：燃料电池模块化可线性扩容结构



资料来源：Bloom Energy 公司官网，华泰研究

图表14：未来电力系统 800V 供电架构



资料来源：《800 VDC Architecture: Industry Alignment & Execution》（8/12/2026），NVDIA，华泰研究

仅供内部参考，请勿外传！

在所有短交期电源品种中，SOFC 作为少数具备 ITC 补贴与低排放、低噪声优势的方案，受审批流程限制相对较小，并网确定性更强。数据中心离网趋势与 time to power 并网诉求下，SOFC 相比轻型燃机、天然气内燃机等短平快方案可额外享受 30%投资补贴。2022 年美国发布的《通胀削减法案》（IRA）将燃料电池纳入清洁能源投资税收抵免 ITC 体系（基准补贴 6%，最高可提升至 30%）；2025 年 7 月大而美法案出台后，清洁能源风光等补贴均有不同程度退坡，燃料电池成为少数获得政策强化的技术之一。新政策规定，2025 年后开工建设的 SOFC 项目仍可获得 30%的 ITC 税收抵免，同时不再受温室气体排放门槛限制，意味着天然气 SOFC 无需切换至绿氢等高成本燃料即可获得全额补贴。此外，轻型燃机、内燃机等电源方案需完成环评、空气排放许可、水资源许可等审批流程，期间审批不确定性可能导致项目落地延后，而 SOFC 由于通过电化学反应而非燃烧发电，NOx、颗粒物、CO 等常规空气污染物排放显著低于燃机，低噪声特性也更适合靠近城市、居民区的数据中心分布式部署，因此在通过环评、排放许可、满足居民社区环境诉求等方面相对更容易。典型案例如 Oracle Project Jupiter，项目原计划采用天然气机供电，但因大型燃烧电源涉及空气许可、环境审查等原因导致推迟，后业主方调整为采用 Bloom Energy 燃料电池方案。

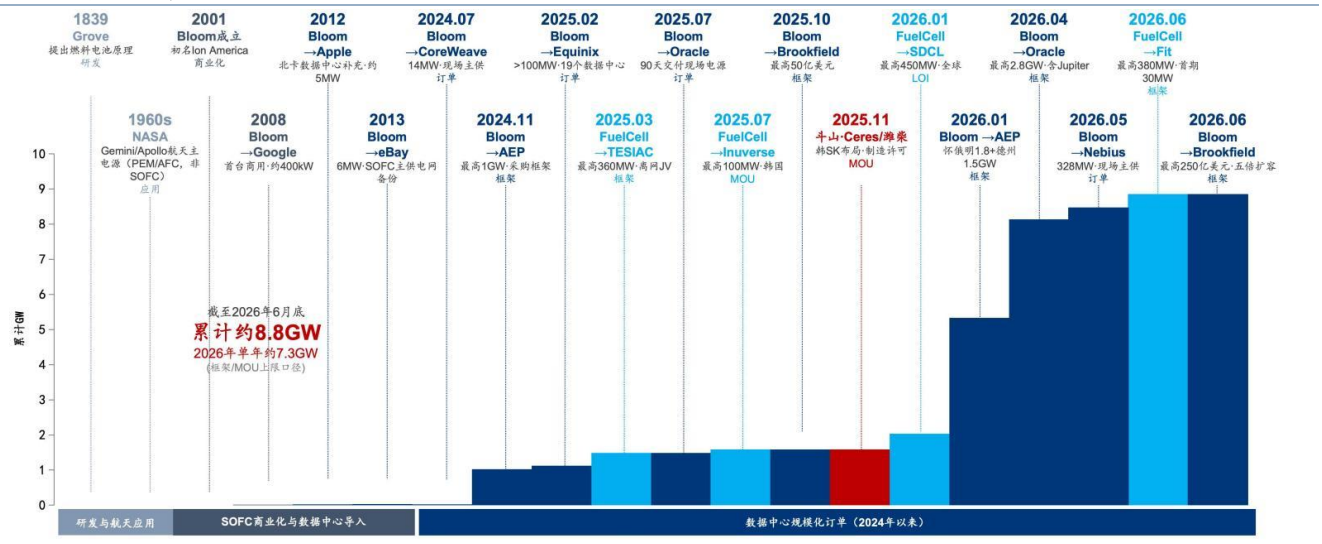
图表15： 燃料电池项目补贴基本不受 OBBB 法案影响

	涉及IRA条款	涉及能源转型领域	IRA规定的存续期	大而美法案修正后存续期
税收抵免基本保留	Clean Electricity PTC (45 Y) and Clean Electricity ITC (48E)	风电光伏项目	以下二者中较晚的时间为准开始退坡：（1）2032 年；（2）美国电力生产对应的温室气体排放量为2022年排放量的25%或更低	2027/12/31后取消对风电光伏项目的补贴（且要求26年7月前项目开工）
		燃料电池		2025年后开工建设的SOFC项目（无论燃料体系）可获得30%的ITC税收抵免，2033/34/35/36+税收抵免分别退坡至此前100%/75%/50%/0%
税收抵免基本取消	Clean Hydrogen PTC (45V)	氢能	2032/12/31后取消	2027/12/31后取消
	Energy Efficient Home Improvement Credit (25C)	绿色建筑/节能	2032/12/31后取消	2025/12/31后取消
	Residential Clean Energy Credit (25D)	户用（光伏储能）	2032年前设备成本的 30%享受消费税抵免；2033/34年分别退坡至 26%/22%	
	New Energy Efficient Home Credit (45L)	绿色建筑/节能/户用（光伏储能）	2032/12/31后取消	2026/6/30后取消
	Energy Efficient Commercial Buildings Deduction (179D)	绿色建筑/节能	永久	
	Previously-Owned Clean Vehicles Credit (25E)	电动车/新能源车	2032/12/31后取消	2025/9/30后取消
	Clean Vehicle Credit (30D)	电动车/新能源车		
	Qualified Commercial Clean Vehicles Credit (45W)	电动车/新能源车		
	Alternative Fuel Vehicle Refueling Property Credit (30C)	电动车/新能源车		2026/6/30后取消

资料来源：EIA，华泰研究

复盘 SOFC 发展历程，此前 SOFC 多作为航空航天应用或数据中心补充电源，2025 年数据中心需求带动 SOFC 需求进入加速时刻。1839 年威廉·格罗夫首次验证燃料电池原理；20 世纪 60 年代 NASA 双子星与阿波罗任务将燃料电池用作航天器主电源、实现工程化，但当时上天的是质子交换膜与碱性燃料电池，SOFC 因高温、启动慢与热循环限制未用于载人航天；SOFC 的商业化始于 20 世纪末西屋电气率先量产的管式结构，此后 Bloom Energy 以平板电解质支撑路线突破效率与成本，成为 SOFC 商业化装机的引领者。应用侧，2008 年 Bloom 首台商用能源服务器交付谷歌，2012 年苹果北卡数据中心部署 SOFC 作补充电源，2013 年 eBay 犹他数据中心以 SOFC 为主供电源、电网仅作备用，是 SOFC 主供数据中心的早期标杆。截至 2026 上半年，据公开公告加总测算，全球燃料电池累计新增订单与框架协议约 8.8GW，其中 2026 年上半年新增约 7.3GW。

图表16： 燃料电池订单复盘



资料来源：Bloom Energy、FuelCell、Ceres 财报，华泰研究

仅供内部参考，请勿外传！

问题二：技术、成本、资源多重约束，SOFC 进展几何？

技术：三大路线演进，模块化架构实现从电堆到电站拓展

固体氧化物燃料电池（SOFC）是一种基于氧离子传导机制的高温电化学发电技术。燃料电池通过固态陶瓷电解质（如钇稳定氧化锆 YSZ、钪稳定氧化锆 ScSZ、掺杂氧化铈 CGO 等）传导氧原子（空气中氧气在阴极催化下发生 $O_2 + 4e^- \rightarrow 2O^{2-}$），进而与阳极氢气发生反应（$2H_2 + 2O^{2-} \rightarrow 2H_2O + 4e^-$）形成电流，其燃料来源（产生氢气）通常包括天然气、沼气、或纯氢气等，对应工作温度在 500-1000 摄氏度不等，目前运行寿命已经可以达到 4-5 年。

区别于传统集中式电站，SOFC 采用电堆重复单元——电堆—电堆模组—系统—电站逐级模块化架构。以标准电堆单元为基础实现功率扩展，使系统能够按照数据中心负荷增长节奏分期部署，降低大型电站一次性建设与并网压力。具体来看，SOFC 可拆分为四个层级：

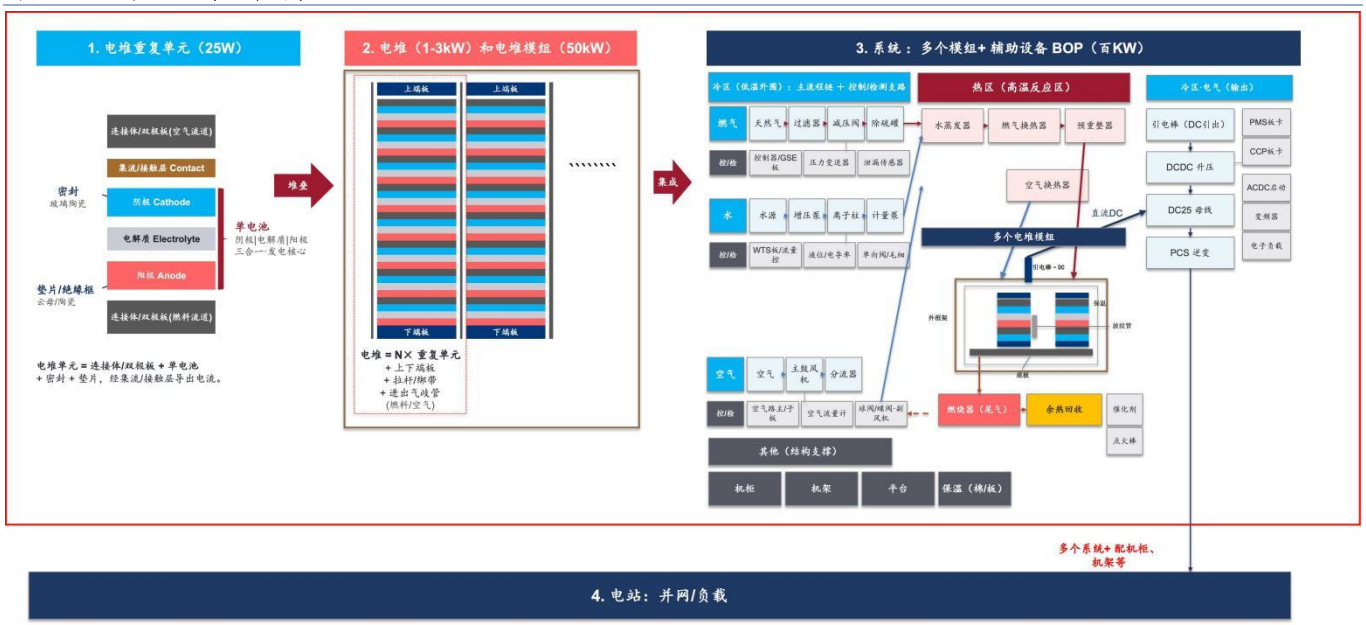
1. **电堆重复单元（25-30W）：**包括单电池、连接体、以及相关辅材。单电池由阴极、电解质、阳极三层功能材料组成，是完成氧离子传导与电化学反应的最小发电单元。单片电池功率通常以瓦级计，制造过程中，阴极、电解质、阳极材料经过浆料制备、流延成型、丝网印刷、多层烧结等工艺形成完整隔膜片与功能层。单电池结合上下两侧连接体/双极板、集流接触层、密封组件及绝缘框架等组成电堆重复单元，其中连接体集成燃料与空气流道，实现气体分配、电流传导以及相邻电池间隔等。

2. **电堆（1-3kW)和电堆模组（50kW）：**N 个电堆重复单元堆叠，并通过上下端板、拉杆/绑带进行机械固定，同时配置进出气歧管完成燃料与空气供应。经过封接、还原活化及老化测试后，形成可独立运行的发电单元。多个电堆进一步并联集成为电堆模组。

3. **系统（百 kw）：**电堆模组与高温、中低温辅机以及电力电子设备集成形成系统。热区 BOP 包括水蒸发器、燃气/空气换热器、预重整器、点火棒、燃烧器（尾气处理器）、催化剂、保温材料等，热区 BOP 和电堆模组通常统称为 Hot Box。冷区按功能可分为四路，包括水路（含水流量控制器、增压/计量泵、离子柱等）、空气路（主/副鼓风机、分流器、空气流量计等）、燃气路（含燃气控制器、过滤器、减压阀、除硫罐/除硫剂等）、电气路（PCS、变频器、电子负载等）。

4. **电站（MW 到 GW 级）：**多台系统并联，配机柜、机架等，构成兆瓦至吉瓦级电站，SOFC GW 级部署可按时段分批逐步并网。

图表17：燃料电池从单电堆到系统

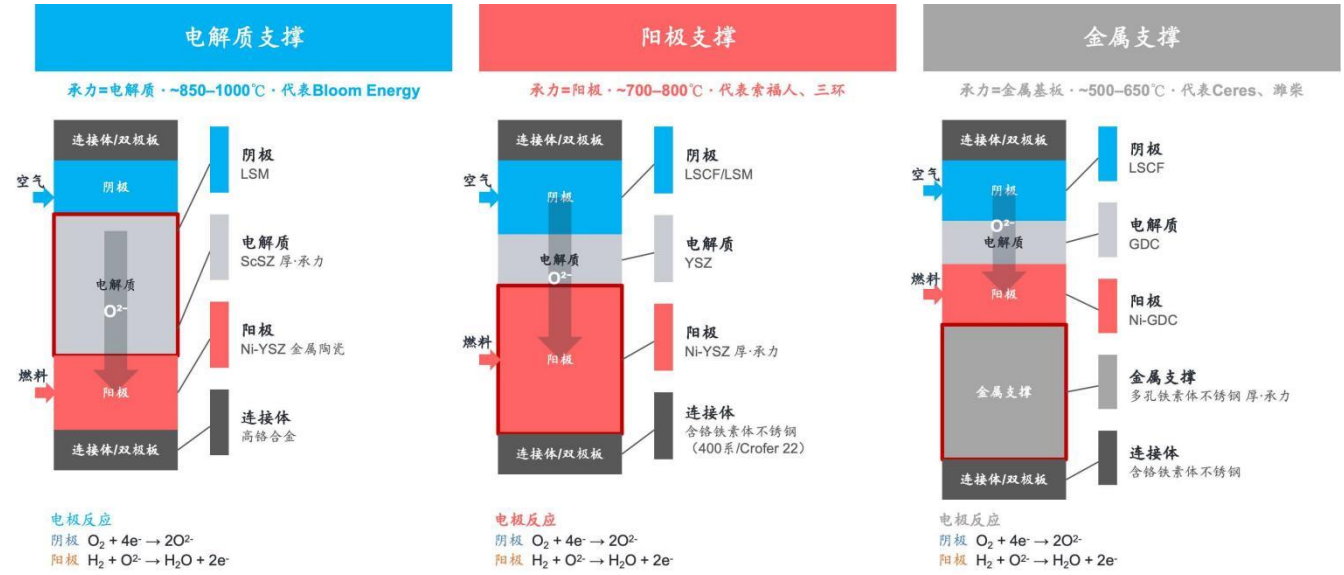


资料来源：EIA，FERC，NREL，华泰研究

仅供内部参考，请勿外传！

SOFC 不同技术路线反应原理一致，核心差异在于单电池的机械支撑结构。从技术路线来看，SOFC 可分为电解质支撑、阳极支撑、金属支撑三类，不同路线 SOFC 的基本电化学反应原理并无本质区别：单电池均由多孔阴极、致密固体电解质和多孔阳极构成，其中空气中的氧气在阴极侧获得电子形成氧离子，氧离子穿过只传导离子的致密电解质到达阳极，并与氢气等燃料发生反应，释放电子经外部电路形成电流，核心差异体现在电解质厚度与电极支撑结构，由此影响工作温度、内阻水平与工程适配性。

图表18：SOFC 三大路线技术路线图



资料来源：各公司官网，华泰研究

1. **电解质支撑（代表企业：Bloom Energy）：**电解质支撑作为最早实现商业化的 SOFC 路线，其核心特征是在厚陶瓷电解质（常用 ScSZ）承担机械支撑的同时，通过牺牲功率密度换取系统稳定性与寿命优势，单位面积功率约 0.25W/cm²（约 100×100mm，单片 25W）。由于电解质层较厚且低温下氧离子电导率有限，该类系统需在约 850-1000°C 高温下运行，以保证反应效率与离子传导能力。高温运行带来较强的抗氧化/还原稳定性与成熟的工程可靠性，但也显著抬升系统成本：一方面电堆连接体及 BOP 需大量采用耐高温特种合金（典型材料如高铬合金），另一方面较高欧姆内阻使其功率密度在三条路线中最低、电效率约 55%，对应平均系统级设备成本约 14 元/w（2.1 美元/W，Bloom Energy 2023）。

2. **阳极支撑（代表企业：三环）：**阳极支撑以多孔 Ni-YSZ 阳极作为厚支撑体，将致密电解质层减薄至微米级薄膜，缩短氧离子传输路径，使运行温度降至约 700-800°C 的中温区间，电堆连接体可更多采用含铬铁素体不锈钢替代高成本高铬合金，单位面积功率密度提升至约 0.58-1.27W/cm²、整体发电效率可达 60%以上，降本潜力较强。国内阳极支撑企业目前可降本至 10-13 元/W。该路线的主要约束在结构稳定性：阳极中的镍在燃料中断或空气倒灌时易氧化膨胀，可能引发电堆开裂与不可逆失效；连接体的核心难点则在于形成致密、长期稳定的抗铬挥发涂层。目前以三环为代表的企业正在拓展阳极支撑路线，目前仍处于示范性商业化阶段。

仅供内部参考，请勿外传！

3. **金属支撑（代表企业：Ceres、斗山）：**金属支撑以多孔铁素体不锈钢作为整体支撑结构（主要成分为铁基体，叠加铬、镍等合金元素提升抗氧化性与高温机械强度），在此基础上将电解质与电极功能层以薄膜形式沉积于金属骨架之上，显著缩短离子传导路径并降低工作温度至约 500-650°C 的中低温区间，电解质可采用成本更低的钆掺杂氧化铈（GDC）体系。该结构突破传统陶瓷支撑体系的脆性限制，使系统具备更强的抗热冲击能力与分钟级快速启停及热循环响应能力，550℃下系统发电效率可达到约 65%，目前采用技术授权模式（Ceres 授权斗山等公司进行制造，公司收取专利和提成费用），由于金属支撑技术路线目前仍面临金属/陶瓷高温共烧结工艺复杂以及长期运行中铬挥发导致阴极中毒等工程化挑战，且多孔金属支撑体的精密加工工艺尚不成熟（高密度微孔加工容易造成热变形并影响基体平整度，当前良率仅 50%–60%），因此金属支撑路线尚未实现大批量商业化，当前国内生产成本约 20 元/W，主要系生产制造尚未实现规模降本，目前仍处于技术爬坡和商业化早期。

图表19：SOFC 三大路线技术性能对比表

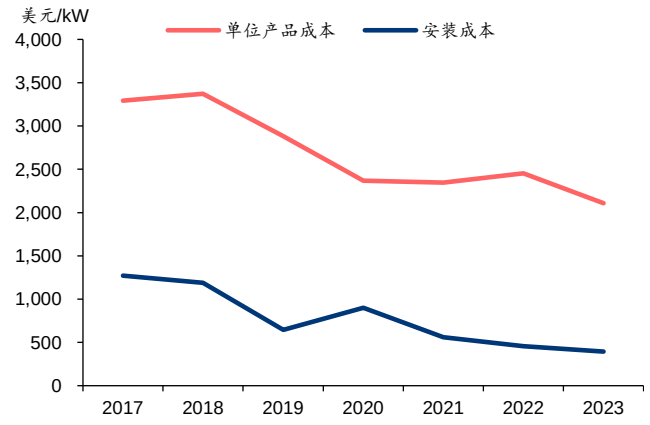
技术路线	代表企业	工作温度	单位面积功率	系统电效率	平均设备成本	商业化进展
电解质支撑	Bloom Energy	850-1000°C	<0.4W/cm²	约 53%（HHV）	14-15 元/W	最早商用、装机规模最大 寿命可达 5 年+
阳极支撑	索福人、三环	650-800°C	0.5-1.0W/cm²	60%以上	约 10-15 元/W	商用化进展加速 寿命可达 5 年
金属支撑	Ceres Power（授权斗山等公司）	500-650°C	0.3-0.5W/cm²	目标>50%	20 元/W	商业化早期，仍处技术爬坡

资料来源：各公司官网，华泰研究

成本：产业规模化+材料体系+制造模式驱动降本

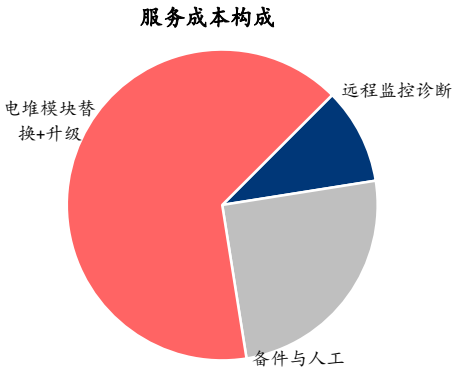
复盘燃料电池降本路径，技术迭代、材料降本与制造工厂模块化共同构成成本下行的核心驱动。以 Bloom Energy（电解质支撑技术路线）为例，分阶段看，2019-21 年单位设备成本由 2.9 美元/W 降至 2.3 美元/W；2022 年受运费上行及供应链涨价影响阶段性回升至 2.5 美元/W；2023 年回落至 2.1 美元/W、同比下降 16%，制造端降本趋势清晰；安装成本同期由 2017 年的 1.3 美元/W 降至 2023 年的 0.4 美元/W。设备与安装成本下降主要系材料降本、制造自动化与产量摊薄，安装成本下降还受益于工厂预制比例提升、现场仅作轻度安装。根据公司 2025 年报披露，Bloom Fremont 工厂每新增 1GW 年产能资本开支仅约 1.0 至 1.5 亿美元、周期 6 至 9 个月，折合约 0.10-0.15 美元/W 的增量资本开支；其意义在于扩产边际成本极低，产能可快速翻番而单位制造固定成本几乎不增，规模放量直接摊薄单位成本，是制造端持续降本的重要支撑。

图表20：Bloom 单位产品成本与安装成本（美元/kW）



资料来源：公司公告，华泰研究

图表21：公司服务成本构成（2021）

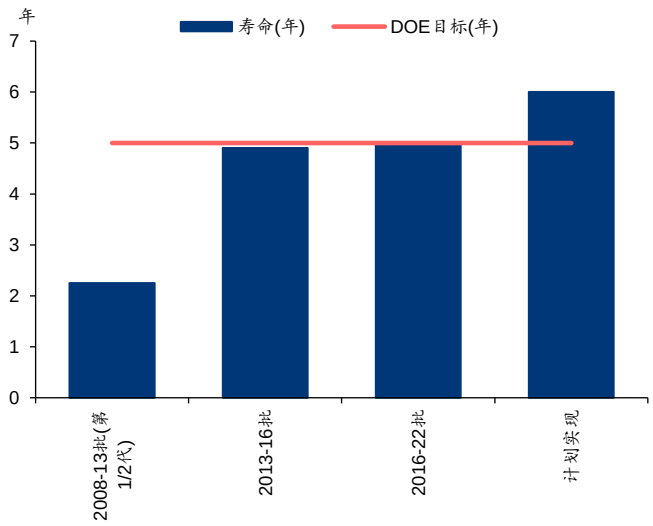


资料来源：Bloom Energy Service Business，华泰研究

仅供内部参考，请勿外传！

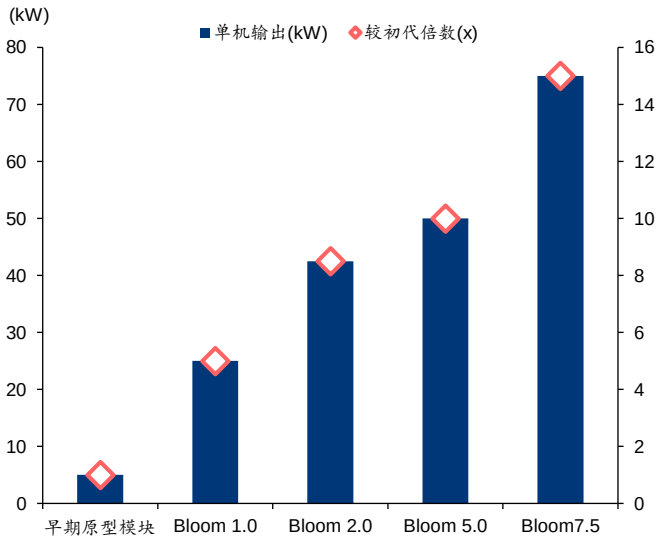
寿命提升与模块迭代共同摊薄全生命周期成本。Bloom Energy 公司电堆模块早期产品寿命约 1.8-3 年，2013-16 年批次平均寿命提升至~4.9 年，基本达到美国能源部（DOE）40,000 小时/约 5 年的寿命目标，2016 年后批次寿命进一步提升至 5 年及以上。与此同时，公司持续推进功率模块迭代，早期原型模块功率仅约 5kW，随后经 1.0、2.0、5.0 等代际升级，单模块功率逐步由 25kW 提升至 42.5kW、50kW，并进一步迈向 Bloom 7.5 平台（75kw）。单机功率提升有助于摊薄机柜、BOP、安装和运维等固定成本，叠加寿命延长，共同推动系统全生命周期度电成本下降。

图表22：公司产品寿命



资料来源：Bloom Energy 公司财报，DOE，华泰研究

图表23：公司产品功率迭代



资料来源：Bloom Energy 公司财报，华泰研究

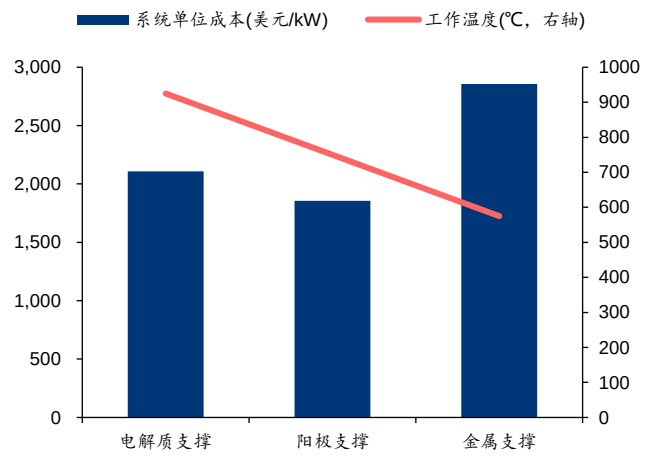
当前 SOFC 成本更多取决于产业化阶段，远期竞争将回归材料体系与制造效率。现阶段国内外 SOFC 系统成本普遍约为 1.5–3 美元/W，折合约 10-20 元/W，其中电堆通常占系统成本近 50%，其余主要由热区 BOP、冷区 BOP 及电力电子设备构成。从产业化进展看，电解质支撑路线已实现 MW 到 GW 级较大规模商业交付，规模化驱动生产制造降本，阳极支撑路线具备较成熟的批量制造基础，金属支撑路线整体仍处于技术爬坡阶段。

1. **当前成本：金属支撑>电解质支撑～阳极支撑。**电解质支撑路线商业化程度最高，规模效应和供应链配套相对成熟；阳极支撑路线在性能、制造难度与材料成本之间更为均衡；金属支撑理论材料成本最低，但金属基底制备、功能层沉积及共烧或连接工艺仍处于早期阶段，叠加产线利用率和良率偏低，小批量制造成本反而更高。参考现有口径，Bloom Energy 电解质支撑 2023 年系统成本约为 2.1 美元/W，国内阳极支撑系统成本约为 1.8 美元/W（13 元/W），金属支撑系统成本约为 2.9 美元/W（20 元/W）。

2. **远期降本：随着规模化生产、良率提升和工艺标准化推进，各路线成本将逐步向材料成本收敛，长期成本排序金属支撑<阳极支撑<电解质支撑。**电解质支撑路线通常采用较厚的 ScSZ 电解质及耐高温高铬连接体以满足 850-1000 摄氏度电堆反应温度要求，对应电解质材料 ScSZ 及高铬合金材料成本较高；阳极支撑通过减薄电解质并采用 YSZ 体系，可降低电解质用量和材料成本；金属支撑则有望进一步采用 GDC 等中低温电解质，以及低成本铁素体不锈钢作为支撑体和连接体，理论材料成本最低、降本弹性最大。Bloom Energy 提出 2030 年系统成本有望降至约 1 美元/W（电解质支撑路线），长期成本或进一步下探至 0.6–0.8 美元/W，主要系通过电解质材料减薄（早期 ScSZ 电解质厚度超过 200μm，未来厚度有望由约 150μm 逐步向 100μm 以下演进；相关专利显示，公司通过薄膜电极沉积、阳极—电解质共层压及共烧结等工艺，降低薄电解质在烧结过程中的翘曲和开裂风险，使电解质支撑电解质厚度可降至 100μm 以下）；金属支撑路线实现规模化量产，成本有望向低于 0.5 美元/W 下探，长期降本潜力最大。

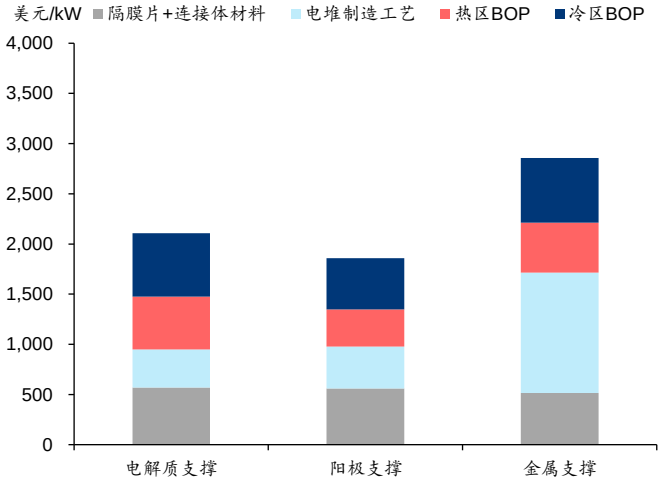
仅供内部参考，请勿外传！

图表24：三类 SOFC 路线系统成本和温度



资料来源：Bloom Energy，Ceres 公司财报，华泰研究测算

图表25：三类 SOFC 路线系统成本拆分

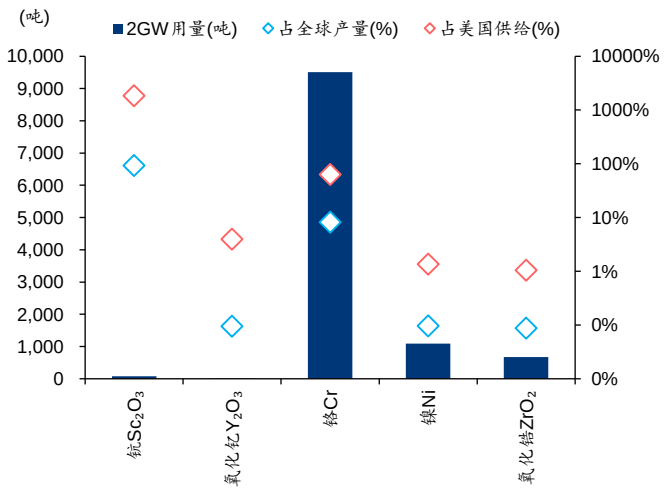


资料来源：Bloom Energy，Ceres 公司财报，DOE，NETL，华泰研究测算

资源：钪金属稀缺作为核心瓶颈，材料与技术优化打开扩产空间

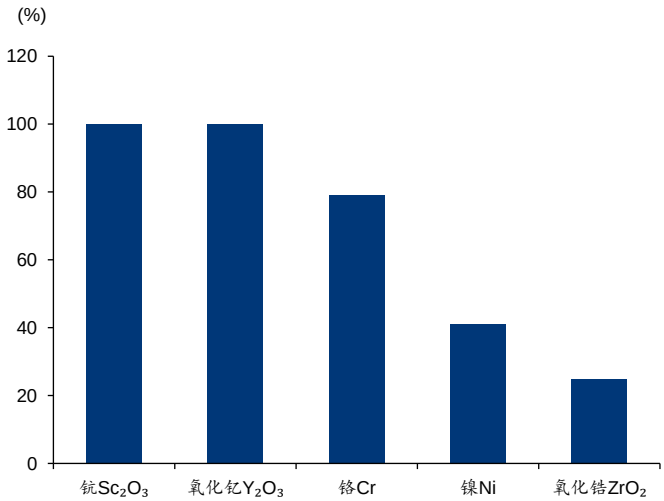
电解质支撑路线供应链约束集中于钪材料，电解质减薄与低钪化是核心降本和扩产方向。按现有材料体系测算，单 GW 电解质支撑 SOFC 电堆约需氧化钪 37 吨、氧化钇 6 吨、铬 5000 吨、镍 544 吨、氧化锆 339 吨。钪兼具资源稀缺和供应高度集中的特征，1GW 产能所需氧化钪已接近全球 2025 年产量的一半，约为美国本土供给量的 10 倍，构成电解质支撑路线最突出的资源瓶颈。氧化钇、铬对应的 SOFC 需求占全球供给比例相对较低，但美国本土生产能力较弱，钇和铬的净进口依赖度约 80%-100%，地缘政治与贸易管制仍可能放大其供应及价格波动风险。随着中国将钪、钇相关物项纳入出口管制，海外 SOFC 厂商的原料保障与成本波动风险进一步上升。目前技术优化主要沿两条路径展开：一是推动电解质薄层化减少 ScSZ 及 YSZ 的单位用量；二是优化电解质配方，通过钪、铈等元素共掺杂，在维持离子电导率和长期稳定性的基础上降低氧化钪添加比例，从而缓解资源约束。

图表26：电解质支撑路线金属资源需求（2025）



资料来源：USGS，华泰研究

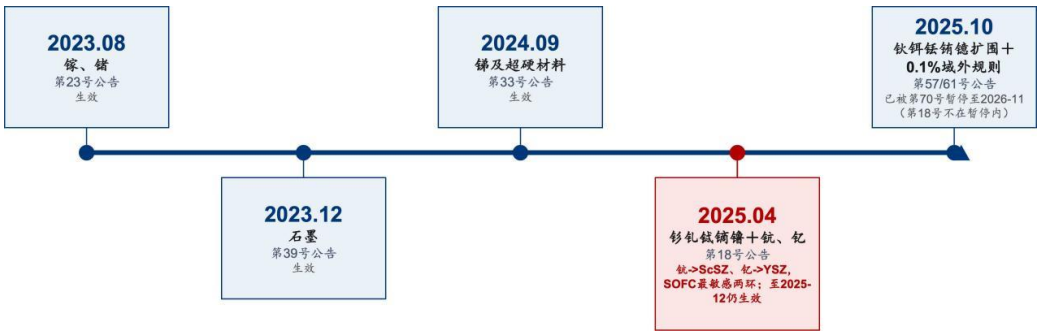
图表27：美国各金属净进口依赖度（2025）



资料来源：USGS，LBNL，华泰研究

仅供内部参考，请勿外传！

图表28：中国关键矿产出口管制时间线



资料来源：中国商务部、海关总署公告，USGS，华泰研究

仅供内部参考，请勿外传！

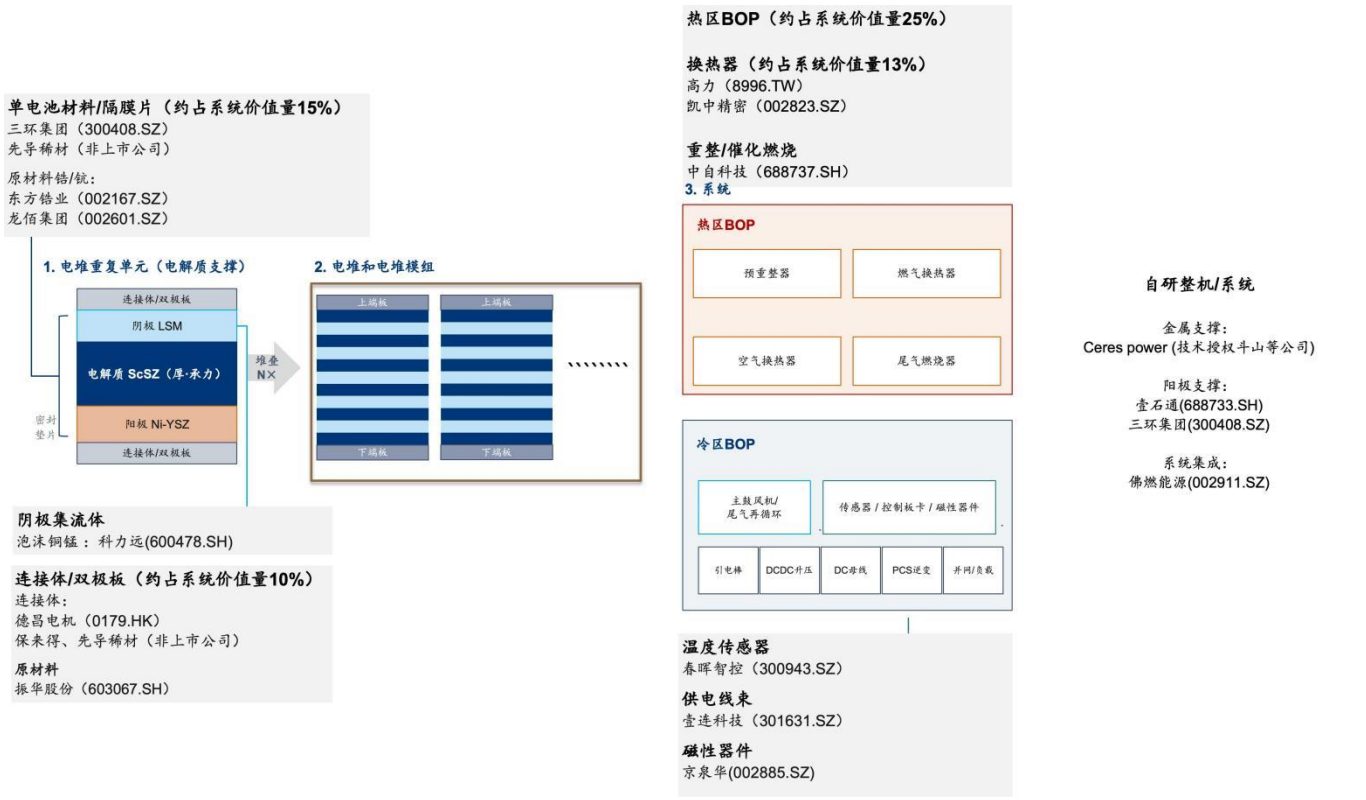
问题三：SOFC 哪些环节值得关注？

SOFC 产业链关注主线可围绕电堆核心材料、热区/冷区 BOP 配套及系统集成与新技术路线研发展开。电堆仍是 SOFC 系统价值量核心，以 Bloom Energy 电解质支撑路线为例，电堆成本约占系统成本 45%；在电堆内部，隔膜片&阴阳极、连接体/双极板为高价值材料环节，价值量占电堆成本比例约为 35%、25%，对应单瓦价值量分别约为 2.2 元/W 和 1.6 元/W（Bloom Energy 系统级电堆+BOP 成本约$2/W，对应约 14 元/W）。1）电解质隔膜片及其上游材料环节，相关公司包括：三环集团（另一主要供应商先导稀材为非上市公司），以及锆/钇等关键原材料相关公司东方锆业、龙佰集团；2）连接体/双极板环节，相关公司包括：德昌电机，以及上游高铬材料环节：振华股份。3）阴极集流体及泡沫金属材料环节，包括：科力远。

除电堆外，热区和冷区 BOP 构成系统运行与可靠性提升的重要配套环节。热区 BOP 通常包括换热器、重整器、催化燃烧器、燃料/空气分配等部件，受高温、耐腐蚀和长寿命要求影响，技术壁垒和价值量相对较高。以成本结构看，1）热区 BOP 约占系统成本 25%左右，其中换热器作为核心高价值量产品，成本占比可达系统成本 13%，对应单瓦价值量约 1.75 元/W，相关公司包括：高力、凯中精密；重整器及催化燃烧器环节：中自科技。2）冷区 BOP 及电力电子配套约占系统成本 30%左右，主要承担温控、气体供应、电气连接、功率变换和系统控制等功能，包括温度传感器环节：春晖智控，供电线束环节：壹连科技，以及磁性器件环节：京泉华。

国内 SOFC 产业仍处于技术路线验证和示范应用放量阶段，除电解质支撑路线外，阳极支撑、金属支撑等路线也在推进研发和产业化尝试。产业链相关公司包括：1）金属支撑：Ceres power（技术授权斗山等公司）；2）阳极支撑路线：壹石通、三环集团；3）系统集成及应用示范环节：佛燃能源。

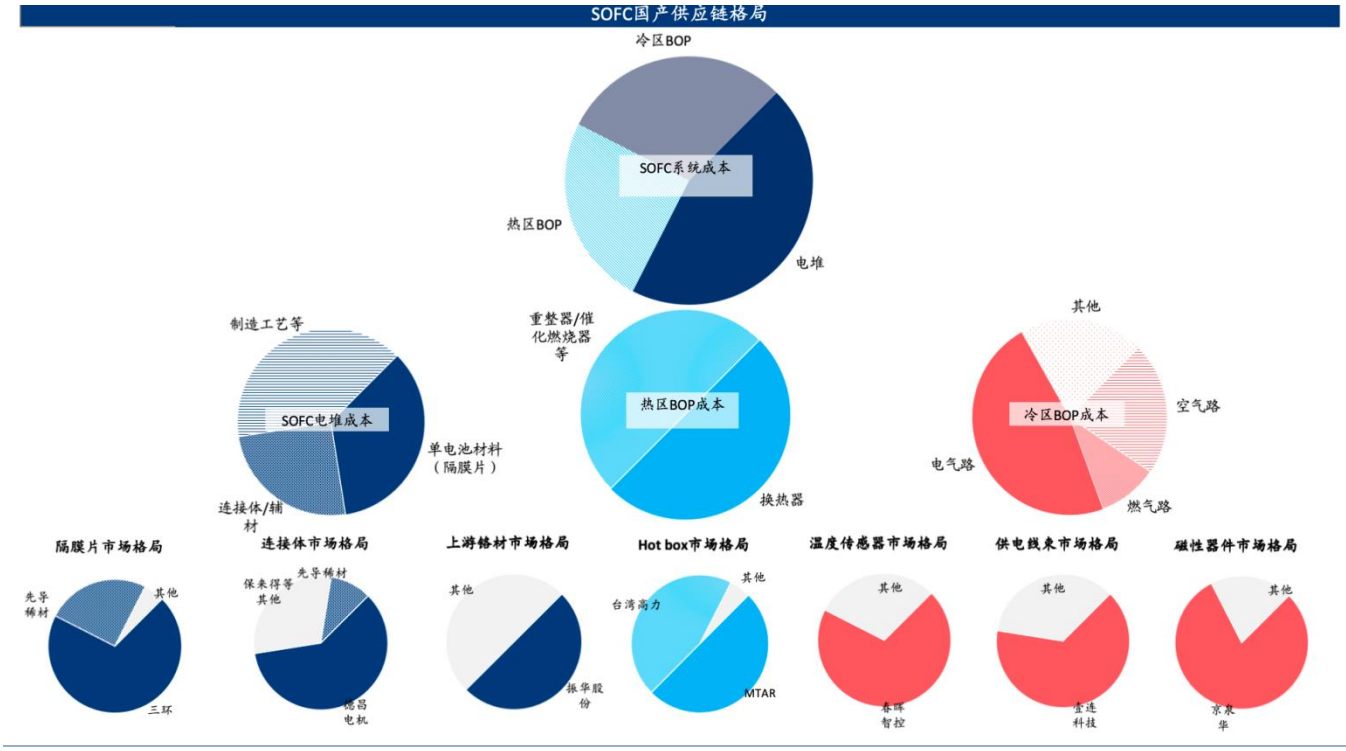
图表29：SOFC 产业链各环节公司梳理



资料来源：Bloom Energy，Ceres 公司官网，华泰研究

仅供内部参考，请勿外传！

图表30：SOFC 产业链竞争格局



资料来源：Wind，Bloom Energy，华泰研究测算

图表31：SOFC 产业链公司进展梳理

部位	公司	股票代码	价值量元/W	BE 单GW扩产收入弹性	BE 单GW扩产利润弹性	进展
电堆模组材料						
电解质隔膜片	三环集团	300408 CH	1.26	9.79%	6.97%	Bloom Energy隔膜片主要供应商、2025年供应比例约占70%
连接体	德昌电机	0179 HK	1.58	3.70%	4.82%	通过其子公司Stackpole为Bloom Energy供应连接体
连接体（上游铬材）	振华股份	603067 CH	0.38	4.19%	4.67%	全球铬盐及金属铬龙头，德昌电机等加工商的上游材料核心供应商
系统辅助设备（BOP）						
热区BOP：						
换热器	高力	8996 TW	1.75	59.49%	65.66%	Bloom Energy热区换热器主供
冷区与电力电子BOP：						
温度传感器	春晖智控	300943 CH	0.14	17.61%	21.15%	拟收购的春晖仪表为Bloom Energy 温度传感器主供、占其采购70%
供电线束	壹连科技	301631 CH	0.11	1.43%	2.75%	AIDC电连接组件已获Bloom Energy明确订单、份额较大
磁性器件	京泉华	002885 CH	0.25	5.98%	13.89%	Bloom Energy 磁性元器件主供，占其采购80-90%
整机与系统						
系统集成	佛燃能源	002911 CH				公司50kW SOFC系统样机现已完成样机组装工作并已实现连续稳定运行，南庄天然气高压场站300kW SOFC系统项目已投入示范应用
整机（阳极支撑）	三环集团	300408 CH				开发阳极支撑路线，将5万小时作为基本起点，相关测试工作已完成
整机（阳极支撑）	壹石通	688733 CH				第一个8kW级SOFC系统已完成安装及试运行，并进入调试优化阶段，首个示范工程项目将在今年下半年逐步放大运行

资料来源：Wind，Bloom Energy，华泰研究测算

1.电堆环节

电堆是 SOFC 系统的核心成本环节（占系统成本约 45%），国产化基础相对较好，以 BloomEnergy 电解质支撑路线为例，核心环节包括电解质隔膜片、连接体及关键上游材料。

1）电解质隔膜片

- 三环集团（300408 CH）：Bloom Energy 电解质隔膜片主供。公司早期通过陶瓷材料和电堆技术积累切入 SOFC 产业链，并于 2015 年收购澳大利亚 CFCL，获取 SOFC 电堆相关技术和海外生产基地。
- 先导稀材（非上市公司）：Bloom Energy 隔膜片新供应商，市场份额快速提升。公司在材料装备及自动化制造领域积累较深，同时上游原材料可一定程度实现自主保供。此外若 SOFC 电堆进入规模化扩产阶段，公司在设备端和材料端均可能具备协同空间。
- 东方锆业（002167 CH）：公司纳米/高纯复合氧化锆样品已获部分固态电池材料厂家研发试用初步认可，并点名 SOFC 等为需求扩容领域，拟通过定增募投新增年产 1 万吨新能源电池级高纯复合氧化锆。

仅供内部参考，请勿外传！

- 龙佰集团（002601 CH）：通过子公司东方钪业布局钪等稀散金属，其中氧化钪对应 ScSZ 等高性能 SOFC 电解质材料体系。公司依托钛白粉副产废酸、废渣回收提取钪、钒等资源，并推进总投资约 10.8 亿元的焦作“钪钒新材料产业园”建设，形成从稀散金属回收向氧化钪、铝钪合金等材料延伸的布局。

2）连接体

- 德昌电机（0179 HK）：与保来得并列为 Bloom Energy 连接体主供。连接体作为电堆内仅次于隔膜片的高价值部件，对高温抗氧化、导电性、热膨胀匹配及粉末冶金成型能力要求较高，公司通过子公司 Stackpole 在粉末冶金零部件领域具备长期工艺积累，产能达 GW 级。
- 先导稀材（非上市公司）：Bloom Energy 连接体新进入供应商之一，市场份额提升较快。公司在连接体材料、金属铬导入及回收环节有所延伸，具备稀散金属、靶材及材料装备能力，并参与 Bloom 废电堆铬回收业务。
- 振华股份（603067 CH）：国内金属铬龙头之一，对应 SOFC 连接体上游铬材环节。公司作为全球铬盐及金属铬主要供应商之一，上游铬材国内市占率约 50%（参见《2026 年度向不特定对象发行可转换公司债券信用评级报告》）。

3）阴极集流体

- 科力远（600478 CH）：子公司常德力元布局 SOFC 阴极集流体材料，成功研发三维多孔泡沫铜锰合金目前公司已完成国内 11 家客户泡沫铜锰材料送样，其中 4 家客户进入小批量供货阶段。

2.辅助装备 BOP 环节

系统热区、冷区、电力电子 BOP 设备合计约占系统价值量超过一半，核心环节包括热区换热器、重整/催化燃烧器，冷区温度传感器、电连接体、磁性器件等。

1）热区 BOP

- 高力（8996 TW）：Bloom Energy 热区换热器全球主供，受益于 Bloom Energy Server 交付增长，公司 2025 年燃料电池热交换器产品营收同比增长 30%以上，目前公司持续推进产能扩张。
- 凯中精密（002823 CH）：通过德国子公司 SMK 切入 SOFC 热区换热器组件环节，已向客户实现小批量供货。
- 中自科技（688737 CH）：布局 SOFC 重整器、催化燃烧器等，公司已建成年产约 2 万片单电池片中试线，重整与催化燃烧反应器完成样件验证，SOFC 客户以国内高校合作为主、处研发中试阶段。

2）冷区/电力电子 BOP

- 春晖智控（300943 CH）：产品对应温度传感器环节。公司拟收购春晖仪表（目前持有 38.7%股权，拟通过发行股份+现金方式收购剩余 61.3%，收购完成后春晖仪表将成为春晖智控的 100%全资子公司，目前交易已完成公司内部审议并进入深交所审核问询阶段），为 Bloom Energy 温度传感器主供。
- 壹连科技（301631 CH）：产品对应燃料电池供电线束，已获 Bloom Energy 大批量定点，2026 年开始为 Bloom Energy 单独配置专门产线。
- 京泉华（002885 CH）：产品对应电力电子 BOP 中的磁性器件环节，可用于电源转换、滤波、隔离及能量传输等模块，为 Bloom Energy 磁性器件主供。

3. SOFC 整机/系统

SOFC 整机沿金属支撑与阳极支撑两条路线加速切入，多以技术授权或自研起步，当前处于示范与小批量阶段。

- Ceres power：金属支撑 SOFC 技术平台，以技术授权模式推动全球产业化。公司源自英国帝国理工学院，金属支撑 SOFC 实现中低温运行。公司采取轻资产技术授权模式，由合作伙伴负责规模化制造，公司通过授权费、工程服务、量产后的版税实现收入。目前 Ceres power 已与韩国斗山等建立合作，推动金属支撑 SOFC 技术落地。

仅供内部参考，请勿外传！

- 壹石通（688733 CH）：阳极支撑路线，自主布局关键粉体、单电池、电堆和整机系统。公司首席科学家夏长荣教授来自中国科学技术大学，长期从事 SOFC 相关研究，为公司技术体系提供支撑。产品进展方面，公司首套 8kW 级 SOFC 系统已于 2026 年 4 月进入试运行；产能规划方面，年产 1GW 固体氧化物能源系统项目总投资约 12 亿元，目前处于建设推进阶段。
- 三环集团（300408 CH）：从隔膜片供应向阳极支撑电堆和系统研发延伸。 公司在 SOFC 产业链中的基础主要来自陶瓷材料和隔膜片制造能力，是 Bloom Energy 隔膜片重要供应商之一，除外供隔膜片外，公司持续推进自研阳极支撑 SOFC 发电系统。
- 佛燃能源（002911 CH）：下游城市燃气运营商，以系统集成加示范切入。公司 50kW 样机已实现连续运行，佛山南庄 300kW 示范项目已投运，联合清华大学等单位申报的国家级项目正在验收，当前仍处示范验证阶段。

图表32： SOFC 产业链公司估值表（截至 2026 年 9 月 21 日）

证券代码	公司简称	财报货币	交易货币	收盘价	EPS			PE		
					2025	2026E	2027E	2025	2026E	2027E
电堆模组材料										
002167 CH	东方锆业	RMB	RMB	16.76	0.07	0.12	0.16	239.43	139.67	104.75
002601 CH	龙佰集团	RMB	RMB	15.41	0.52	0.72	1.07	29.63	21.51	14.45
300408 CH	三环集团	RMB	RMB	129.84	1.37	1.99	2.79	94.77	65.28	46.54
0179 HK	德昌电机	USD	HKD	18.42	0.24	0.25	0.28	76.75	73.68	65.79
603067 CH	振华股份	RMB	RMB	36.95	0.93	1.04	1.31	39.73	35.47	28.25
热区 BOP										
8996 TW	高力	TWD	TWD	1,505.00	8.89	20.91	38.93	169.29	71.98	38.66
冷区与电力电子 BOP										
300943 CH	春晖智控	RMB	RMB	35.49	0.29	0.36	0.40	122.38	99.00	88.59
301631 CH	壹连科技	RMB	RMB	64.10	3.21	2.85	3.81	19.97	22.49	16.83
002885 CH	京泉华	RMB	RMB	29.12	0.31	0.51	0.91	93.94	57.61	32.08
整机与系统										
002911 CH	佛燃能源	RMB	RMB	11.22	0.72	0.88	0.95	15.58	12.82	11.87
300408 CH	三环集团	RMB	RMB	129.84	1.37	1.99	2.79	94.77	65.28	46.54
688733 CH	壹石通	RMB	RMB	29.22	-0.11	0.41	0.67		71.58	43.60

注：高力、德昌电机数据来自 Visible Alpha。
资料来源：Wind，Visible Alpha，华泰研究

风险提示

数据中心落地不及预期。若 AI 算力需求增长、数据中心资本开支或建设进度不及预期，可能削弱数据中心对 SOFC 等分布式自备电源的需求，导致行业需求释放不及预期。

技术不确定性。SOFC 不同技术路线仍处于持续迭代阶段，阳极支撑、金属支撑等新路线在长期稳定性、制造工艺及良率等方面仍存在挑战，若技术进步或规模化降本不及预期，可能影响行业商业化进程。

政策风险。SOFC 在数据中心场景的经济性及落地节奏受到税收抵免、电力市场、并网及环保审批等政策影响，若相关补贴政策退坡、监管要求趋严或自备电源政策发生变化，可能影响项目收益率及需求释放。

本研报中涉及到未上市公司或未覆盖个股内容，均系对其客观公开信息的整理，并不代表本研究团队对该公司、该股票的推荐或覆盖。

仅供内部参考，请勿外传！

免责声明

分析师声明

本人，刘俊、边文姣、苗雨菲、王嵩，兹证明本报告所表达的观点准确地反映了分析师对标的证券或发行人的个人意见；彼以往、现在或未来并无就其研究报告所提供的具体建议或所表达的意见直接或间接收取任何报酬。请注意，标*的人员并非香港证券及期货事务监察委员会的注册持牌人，不可在香港从事受监管活动。

一般声明及披露

本报告由华泰证券股份有限公司或其关联机构制作，华泰证券股份有限公司和其关联机构统称为“华泰证券”(华泰证券股份有限公司已具备中国证监会批准的证券投资咨询业务资格) 。本报告所载资料是仅供接收人的严格保密资料。本报告仅供华泰证券及其客户和其关联机构使用。华泰证券不因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告基于华泰证券认为可靠的、已公开的信息编制，但华泰证券对该等信息的准确性及完整性不作任何保证。

本报告所载的意见、评估及预测仅反映报告发布当日的观点和判断。在不同时期，华泰证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。同时，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。以往表现并不能指引未来，未来回报并不能得到保证，并存在损失本金的可能。华泰证券不保证本报告所含信息保持在最新状态。华泰证券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。

华泰证券（华泰证券（美国）有限公司除外）不是 FINRA 的注册会员，其研究分析师亦没有注册为 FINRA 的研究分析师/不具有 FINRA 分析师的注册资格。

华泰证券力求报告内容客观、公正，但本报告所载的观点、结论和建议仅供参考，不构成购买或出售所述证券的要约或招揽。该等观点、建议并未考虑到个别投资者的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对客户私人投资建议。投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，华泰证券及作者均不承担任何法律责任。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。

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，过往的业绩表现不应作为日后回报的预示。华泰证券不承诺也不保证任何预示的回报会得以实现，分析中所做的预测可能是基于相应的假设，任何假设的变化可能会显著影响所预测的回报。

华泰证券及作者在自身所知情的范围内，与本报告所指的证券或投资标的不存在法律禁止的利害关系。在法律许可的情况下，华泰证券可能会持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，为该公司提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务或向该公司招揽业务。

华泰证券的销售人员、交易人员或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。华泰证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。华泰证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。投资者应当考虑到华泰证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突。投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一信赖依据。有关该方面的具体披露请参照本报告尾部。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布的机构或人员，也并非意图发送、发布给因可得到、使用本报告的行为而使华泰证券违反或受制于当地法律或监管规则的机构或人员。

本报告版权仅为华泰证券所有。未经华泰证券书面许可，任何机构或个人不得以翻版、复制、发表、引用或再次分发他人(无论整份或部分)等任何形式侵犯华泰证券版权。如征得华泰证券同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并需在使用前获取独立的法律意见，以确定该引用、刊发符合当地适用法规的要求，同时注明出处为“华泰证券研究所”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。华泰证券保留追究相关责任的权利。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为华泰证券的商标、服务标记及标记。

中国香港

本报告由华泰证券股份有限公司或其关联机构制作,在香港由华泰金融控股（香港）有限公司向符合《证券及期货条例》及其附属法律规定的机构投资者和专业投资者的客户进行分发。华泰金融控股（香港）有限公司受香港证券及期货事务监察委员会监管，是华泰国际金融控股有限公司的全资子公司，后者为华泰证券股份有限公司的全资子公司。在香港获得本报告的人员若有任何有关本报告的问题,请与华泰金融控股（香港）有限公司联系。

仅供内部参考，请勿外传！

香港-重要监管披露

- 华泰金融控股（香港）有限公司的雇员或其关联人士没有担任本报告中提及的公司或发行人的高级人员。
- 龙佰集团（002601 CH）、三环集团（300408 CH）：华泰金融控股（香港）有限公司、其子公司和/或其关联公司实益持有标的公司的市场资本值的 1%或以上。
- 德昌电机控股（179 HK）：华泰金融控股（香港）有限公司、其子公司和/或其关联公司在本报告发布日担任标的公司证券做市商或者证券流动性提供者。
- 有关重要的披露信息，请参华泰金融控股（香港）有限公司的网页 https://www.htsc.com.hk/stock_disclosure

其他信息请参见下方 **“美国-重要监管披露”**。

美国

在美国本报告由华泰证券（美国）有限公司向符合美国监管规定的机构投资者进行发表与分发。华泰证券（美国）有限公司是美国注册经纪商和美国金融业监管局（FINRA）的注册会员。对于其在美国分发的研究报告，华泰证券（美国）有限公司根据《1934 年证券交易法》（修订版）第 15a-6 条规定以及美国证券交易委员会人员解释，对本研究报告内容负责。华泰证券（美国）有限公司联营公司的分析师不具有美国金融监管（FINRA）分析师的注册资格，可能不属于华泰证券（美国）有限公司的关联人员，因此可能不受 FINRA 关于分析师与标的公司沟通、公开露面和所持交易证券的限制。华泰证券（美国）有限公司是华泰国际金融控股有限公司的全资子公司，后者为华泰证券股份有限公司的全资子公司。任何直接从华泰证券（美国）有限公司收到此报告并希望就本报告所述任何证券进行交易的人士，应通过华泰证券（美国）有限公司进行交易。

美国-重要监管披露

- 分析师刘俊、边文姣、苗雨菲、王嵩本人及相关人士并不担任本报告所提及的标的证券或发行人的高级人员、董事或顾问。分析师及相关人士与本报告所提及的标的证券或发行人并无任何相关财务利益。本披露中所提及的“相关人士”包括 FINRA 定义下分析师的家庭成员。分析师根据华泰证券的整体收入和盈利能力获得薪酬，包括源自公司投资银行业务的收入。
- 三环集团（300408 CH）、振华股份（603067 CH）：华泰证券股份有限公司、其子公司和/或其联营公司在本报告发布日之前的 12 个月内担任了标的证券公开发行或 144A 条款发行的经办人或联席经办人。
- 三环集团（300408 CH）、振华股份（603067 CH）：华泰证券股份有限公司、其子公司和/或其联营公司在本报告发布日之前 12 个月内曾向标的公司提供投资银行服务并收取报酬。
- 三环集团（300408 CH）、振华股份（603067 CH）：华泰证券股份有限公司、其子公司和/或其联营公司预计在本报告发布日之后 3 个月内将向标的公司收取或寻求投资银行服务报酬。
- 龙佰集团（002601 CH）、三环集团（300408 CH）：华泰证券股份有限公司、其子公司和/或其联营公司实益持有标的公司某一类普通股证券的比例达 1%或以上。
- 德昌电机控股（179 HK）：华泰证券股份有限公司、其子公司和/或其联营公司在本报告发布日担任标的公司证券做市商或者证券流动性提供者。
- 华泰证券股份有限公司、其子公司和/或其联营公司，及/或不时会以自身或代理形式向客户出售及购买华泰证券研究所覆盖公司的证券/衍生工具，包括股票及债券（包括衍生品）华泰证券研究所覆盖公司的证券/衍生工具，包括股票及债券（包括衍生品）。
- 华泰证券股份有限公司、其子公司和/或其联营公司，及/或其高级管理层、董事和雇员可能会持有本报告中所提到的任何证券（或任何相关投资）头寸，并可能不时进行增持或减持该证券（或投资）。因此，投资者应该意识到可能存在利益冲突。

新加坡

华泰证券（新加坡）有限公司持有新加坡金融管理局颁发的资本市场服务许可证，可从事资本市场产品交易，包括证券、集体投资计划中的单位、交易所交易的衍生品合约和场外衍生品合约，并且是《财务顾问法》规定的豁免财务顾问，就投资产品向他人提供建议，包括发布或公布研究分析或研究报告。华泰证券（新加坡）有限公司可能会根据《财务顾问条例》第 32C 条的规定分发其在华泰证券内的外国附属公司各自制作的信息/研究。本报告仅供认可投资者、专家投资者或机构投资者使用，华泰证券（新加坡）有限公司不对本报告内容承担法律责任。如果您是非预期接收者，请您立即通知并直接将本报告返回给华泰证券（新加坡）有限公司。本报告的新加坡接收者应联系您的华泰证券（新加坡）有限公司关系经理或客户主管，了解来自或与所分发的信息相关的事宜。

仅供内部参考，请勿外传！

评级说明

投资评级基于分析师对报告发布日后 6 至 12 个月内行业或公司回报潜力（含此期间的股息回报）相对基准表现的预期（A 股市场基准为沪深 300 指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普 500 指数，台湾市场基准为台湾加权指数，日本市场基准为日经 225 指数，新加坡市场基准为海峡时报指数，韩国市场基准为韩国有价证券指数，英国市场基准为富时 100 指数，德国市场基准为 DAX 指数），具体如下：

行业评级

增持：预计行业股票指数超越基准
中性：预计行业股票指数基本与基准持平
减持：预计行业股票指数明显弱于基准

公司评级

买入：预计股价超越基准 15%以上
增持：预计股价超越基准 5%~15%
持有：预计股价相对基准波动在-15%~5%之间
卖出：预计股价弱于基准 15%以上
暂停评级：已暂停评级、目标价及预测，以遵守适用法规及/或公司政策
无评级：股票不在常规研究覆盖范围内。投资者不应期待华泰提供该等证券及/或公司相关的持续或补充信息

法律实体披露

中国：华泰证券股份有限公司具有中国证监会核准的“证券投资咨询”业务资格，经营许可证编号为：91320000704041011J
香港：华泰金融控股（香港）有限公司具有香港证监会核准的“就证券提供意见”业务资格，经营许可证编号为：AOK809
美国：华泰证券（美国）有限公司为美国金融业监管局（FINRA）成员，具有在美国开展经纪交易商业务的资格，经营业务许可编号为：CRD#:298809/SEC#:8-70231
新加坡：华泰证券（新加坡）有限公司具有新加坡金融管理局颁发的资本市场服务许可证，并且是豁免财务顾问，经营许可证编号为：202233398E

华泰证券股份有限公司

南京
南京市建邺区江东中路 228 号华泰证券广场 1 号楼/邮政编码：210019

电话：86 25 83389999/传真：86 25 83387521
电子邮件：ht-rd@htsc.com

北京
北京市西城区太平桥大街丰盛胡同 28 号太平洋保险大厦 A 座 18 层/邮政编码：100032
电话：86 10 63211166/传真：86 10 63211275
电子邮件：ht-rd@htsc.com

深圳
深圳市福田区益田路 5999 号基金大厦 10 楼/邮政编码：518017
电话：86 755 82493932/传真：86 755 82492062
电子邮件：ht-rd@htsc.com

上海
上海市浦东新区东方路 18 号保利广场 E 栋 23 楼/邮政编码：200120
电话：86 21 28972098/传真：86 21 28972068
电子邮件：ht-rd@htsc.com

华泰金融控股（香港）有限公司
香港中环皇后大道中 99 号中环中心 53 楼
电话：+852-3658-6000/传真：+852-2567-6123
电子邮件：research@htsc.com
http://www.htsc.com.hk

华泰证券（美国）有限公司
美国纽约公园大道 280 号 21 楼东（纽约 10017）
电话：+212-763-8160/传真：+917-725-9702
电子邮件: Huatai@htsc-us.com
http://www.htsc-us.com

华泰证券（新加坡）有限公司
滨海湾金融中心 1 号大厦, #08-02, 新加坡 018981
电话：+65 68603600
传真：+65 65091183
https://www.htsc.com.sg

©版权所有2026年华泰证券股份有限公司