仅供内部参考，请勿外传

投资评级：看好（维持）

证券研究报告|行业专题报告

汽车

2026年08月27日

华源证券 HUAYUAN SECURITIES

为什么SOFC可能是中长期最具潜力的离网主电形式

证券分析师
姓名：李泽
资格编号：S1350525030001
邮箱：lize@huayuanstock.com

证券分析师
姓名：陈嵩
资格编号：S1350525070005
邮箱：chensong@huayuanstock.com

请务必仔细阅读正文之后的评级说明和重要声明

仅供内部参考，请勿外传

核心观点：

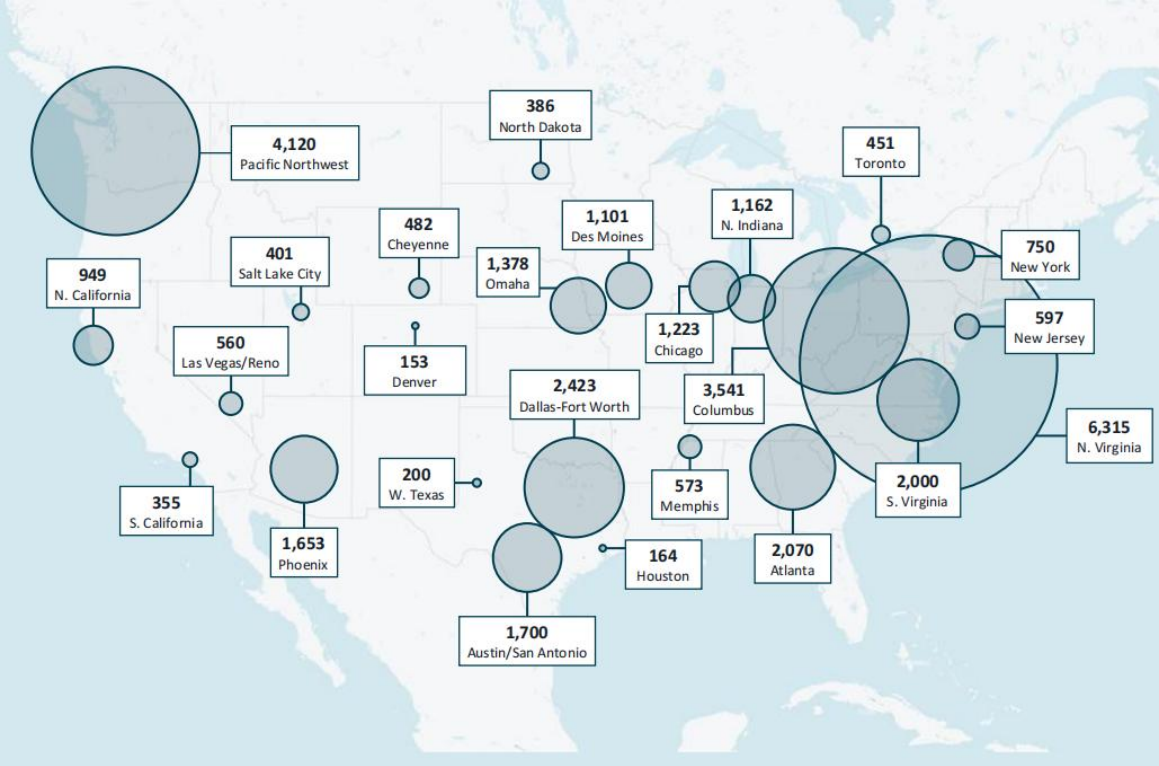
- **北美缺电大背景：**我们测算，北美数据中心的装机容量有望从2025年的40GW左右提升至2030年130-170GW（按中值150GW测算，较之25年的增量达到110GW），这其中靠电网并网满足的增量需求预计不超过53%，50GW以上的需求可能需要依托自建电源满足，自建电源中天然气占比短期或接近75%，显著高于传统电网的40%左右。天然气模式下，可选发电方式主要包括燃气轮机、往复式内燃机、固态氧化物燃料电池等，这些细分方向的整机/零部件供应商有望充分受益于北美AI“缺电”带来的需求高景气。
- **非燃机AIDC用电需求可观：**我们认为燃机供给不足是带来其他能源形式需求外溢的核心原因。经过测算，我们认为2026-2030年燃机用于满足AIDC用电需求的有效供给累计在100GW左右，接近匹配北美AIDC 2030年较之2025年110GW左右的用电增幅。假设2030年较之2025年北美AIDC用电需求增量占全球的50%，则非北美地区AIDC驱动的新增用电需求预计也有100GW以上，加之26-30年燃机交付量加速扩张带来的年均折旧需求增加，非燃机AIDC用电需求的缺口预计也在100GW以上（或同样以离网为主）。故以往复式内燃机/SOFC为代表的其他主电形式中长期发展空间可观。
- **为什么SOFC可能是中长期最具潜力的离网主电形式：**我们认为SOFC的核心优势包括交付周期短+可灵活扩容、发电稳定&发电效率高、天然契合“高压+直流”（HVDC）供电框架等。行业领军公司Bloom Energy的收入&利润率&订单增速均充分反映需求景气度，且其订单需求区域结构的变化&与甲骨文的合作则反映了需求逻辑的变化（中短期AIDC开发商对缩短配电周期的诉求或重于对成本的考量）。SOFC当前主要缺点是系统部署成本&LCOE均高于燃机，但从趋势上看燃机部署成本在提升，SOFC部署成本则有望持续下降。我们测算当SOFC的每kw部署成本降至1500美元左右，LCOE就可能优于CCGT-重燃。引申出的结论是——展望2030年，若SOFC的单位部署成本大幅优化，其可能全方位领先其他离网主电形式，不仅将受益于AIDC非燃机需求的溢出，也有望实现对其他能源形式的替代。
- **SOFC如若放量可能带来的产业链机会：**SOFC放量前景可参考Ceres Power/Oil Price的数据，2030年SOFC终端出货量规模有望达到22GW/燃料电池市场规模则有望达到300亿美元，预计未来5年SOFC市场规模将有10-20x的增长潜力，如若降本顺利，预计将逐步替代其他离网主电形式，增长斜率有望更加陡峭。从供应链角度出发，电堆占SOFC模块成本的60%+，而在电解质支撑路线中，电解质支撑体与连接体相关成本合计占电堆成本的近60%，是最值得关注的环节。电解质支撑体——当前主要材料为YSZ陶瓷材料，1GW SOFC出货有望拉动4000万片的陶瓷基板需求，重点关注三环集团。连接体——我们测算Bloom Energy单电池25W对应的连接体金属铬需求为128g，对应1GW的SOFC金属铬用量可能达到5120吨，重点关注振华股份。其他供应链环节相关公司包括：壹连科技、春晖智控、京泉华等。
- **建议关注：**振华股份、壹连科技、春晖智控、三环集团、京泉华、潍柴动力等；
- **风险提示：行业景气度不及预期；竞争格局恶化风险；数据测算偏误风险；技术成熟度不及预期风险。**

仅供内部参考，请勿外传

北美缺电的大背景：AIDC用电需求快速增长

- **在讨论北美数据中心的用电需求前，需要厘清几个概念：**①存量在运营的数据中心装机容量；②数据中心规划装机容量；③数据中心在建容量；④建设尚未启动但已合约锁定用途（自用/出租）的容量；⑤未披露/无任何约束的潜在数据中心建设装机容量。考虑到数据中心2-3年的建设周期，②或可理解为中期维度的需求上限；③或是26-28年集中兑现的确定性需求；④或是28年以后逐步兑现的确定性需求；⑤或是更长期也更不确定的需求。
- **参考JLL数据：**截至2025年底，北美存量运营的数据中心容量39GW（出租19GW+自用20GW）；2025年完成9GW交付，而在建数据中心容量达到35GW；其中92%已被预租或自用承诺锁定；多数租户签订的合约交付时点都在27/28年。

图表：北美数据中心运营/在建情况概况（截至2025年底）



Market sizing (existing MW)

2,000 MW

1,000 MW

500 MW

Includes leased + hyper-owned

North America data center statistics Year-end 2025	
Total inventory	39 GW
Leased inv.	19 GW
Hyper-owned inv.	20 GW
Vacancy	1%
FY 2025 completions	9 GW
Under construction	35 GW
U/C % precommitted	92%
Average rents	($/kW/mo)
<250 kW	$334 (all-in)
250 kW-1 MW	$201 + E
1-5 MW	$167 + E
5-20 MW	$156 + E
>20 MW	$141 + E

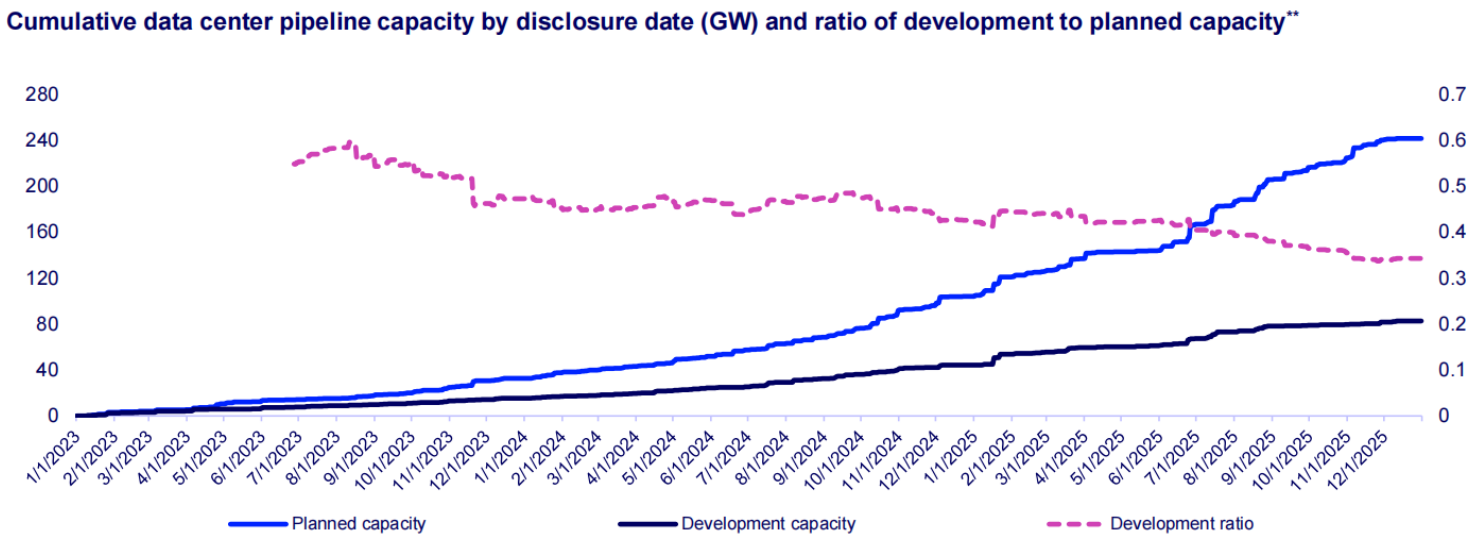
资料来源：JLL、华源证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

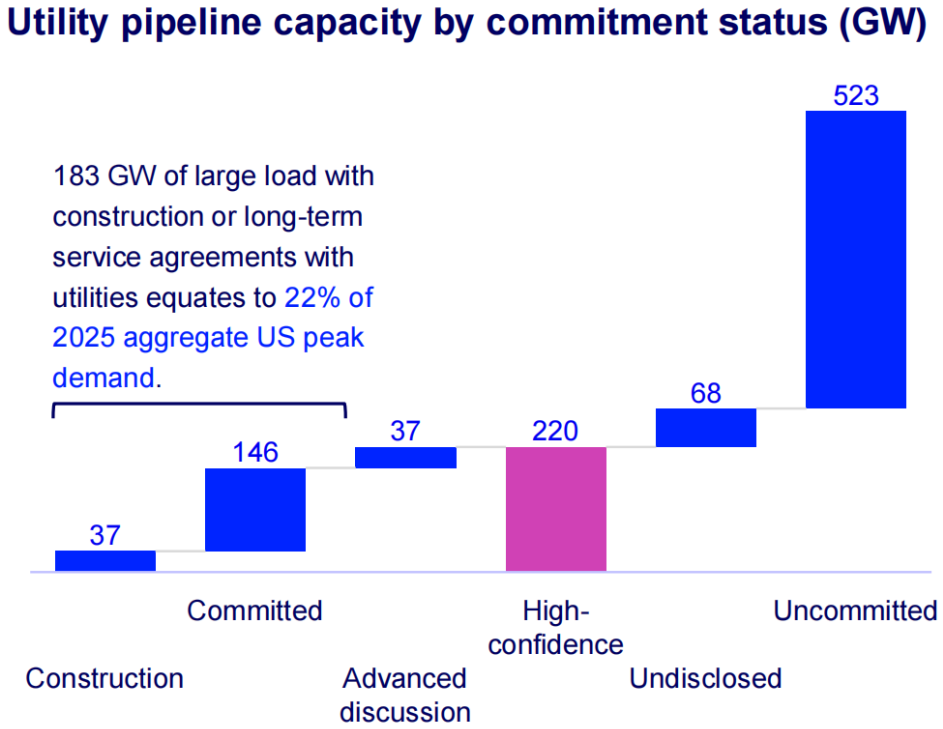
北美缺电的大背景：AIDC用电需求快速增长

- **参考Wood Mackenzie数据：**截至2025年底，美国已披露数据中心规划装机容量达到241GW（2023年1月以来已披露正在审批、施工或调试的项目；不含23年1月之前已完工或取消的项目），其中33%处于推进中。大负载数据中心中，已在建容量/尚未启动但已合约锁定的数据中心容量分别为37/146GW；二者合计183GW，达到美国2025年峰值用电量的22%；此外，未披露的建设容量预计有68GW；其他无任何约束的潜在数据中心建设容量高达523GW。

图表：美国已披露数据中心规划装机容量（截至2025年底）



图表：美国已签署建设/达成供电协议的大型数据中心负载容量达到183GW（截至2025年底）



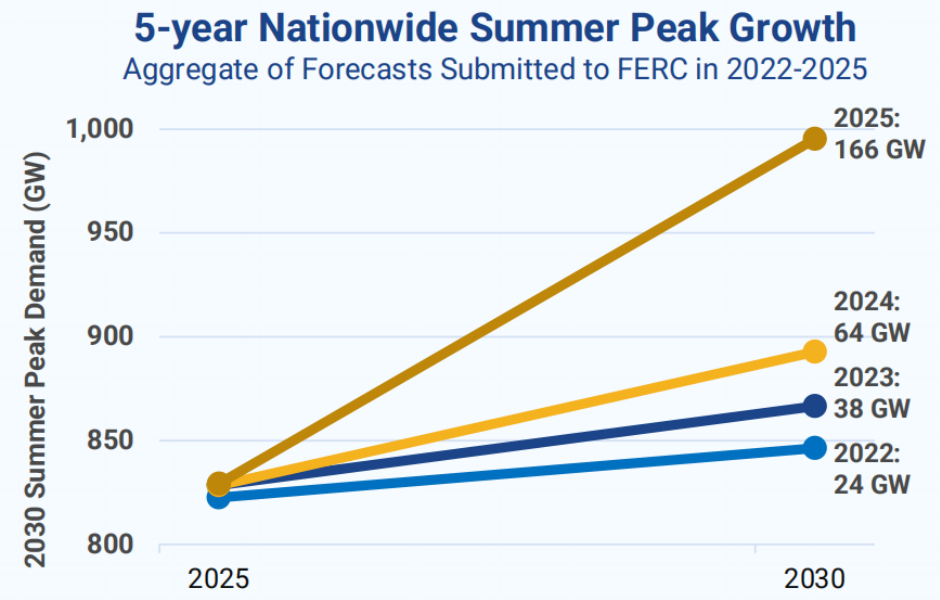
资料来源：Wood Mackenzie、华源证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

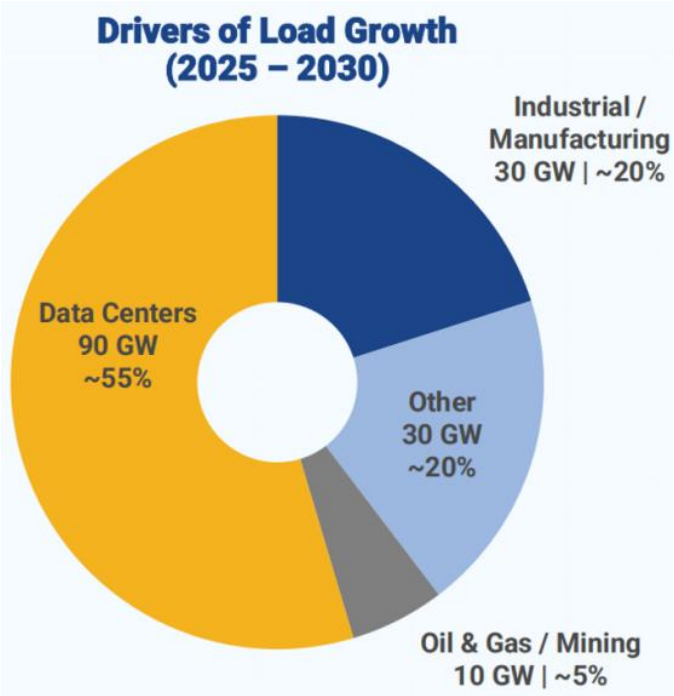
北美缺电的大背景：AIDC用电需求快速增长

- **参考Cushman&Wakefield数据：**截至25H2，美洲已运营数据中心容量达到 43.4GW，其中93.6%位于美国（也就是美国已运营数据中心容量约40.6GW）；在建容量：美洲25.3GW；其中近89%已在交付前被预租或自用承诺锁定。
- **参考Grid Strategies数据：**联邦能源监管委员会数据显示，提交给联邦能源监管委员会的预测汇总中（Aggregate of forecasts submitted to FERC in 2022-2025），2025年对2030年峰值电力负荷的预期已提升至166GW（2024年预期为64GW）；2030年较之2025年，数据中心贡献90GW的新增电力负荷。

图表：过去5年对2030年峰值电力负荷的预期



图表： 2030年预计数据中心贡献90GW新增负荷



资料来源：Grid Strategies、华源证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

北美缺电的大背景：AIDC用电峰值负荷预计从25年的40GW提升到2030年的150GW左右

- 综合前文多个第三方报告数据，可推断北美当前存量运营数据中心装机容量40GW左右（基本集中在美国）；在建容量35GW左右（考虑数据中心2-3年的建设周期；2026-2028年需求年化有望达到12-17GW）；若仅考虑美国，尚未启动但合约锁定的装机容量180GW以上（由于截至25年底还没开始建设，考虑2-3年的数据中心建设周期，或于28年后逐步兑现，考虑5-6年交付，我们测算平均年化新增需求有望超30GW）；对应2030年北美数据中心电力峰值负荷有望从25年的40GW左右提升至130-170GW；对应2025-2030年北美数据中心电力负荷CAGR为27%-34%（40GW的25年存量+35GW在建+假设尚未启动但合约锁定的装机容量28-30年化30GW，对应28-30年合计新增90GW = 合计165GW；若参考Grid Strategies数据则为40GW+90GW = 130GW）。由此可见，北美数据中心对电力的需求或是长期性的。

图表：几大机构对于北美数据中心装机容量需求的展望

预测机构	2025年交付容量	存量在运营的数据中心装机容量	数据中心规划装机容量（中期维度需求上限）	数据中心在建容量（26-28年有望兑现）	尚未启动但合约锁定的装机容量（反映28年后的需求）	未披露&无任何约束的潜在建设容量
JLL	北美9GW	北美超39GW	-	北美35GW	-	-
Wood Mackenzie		-	美国241GW	美国37GW	美国146GW	591GW（68+523）
Cushman&Wakefield		美国40.6GW	-	美洲25.3GW	-	-
Grid Strategies	-	-	较之25年，2030年美国数据中心新增约90GW电力负荷			
均值	北美9GW	北美40GW左右	美国241GW	北美35GW左右	北美180GW以上	北美590GW以上

资料来源：JLL、Wood Mackenzie、Cushman&Wakefield、Grid Strategies、华源证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

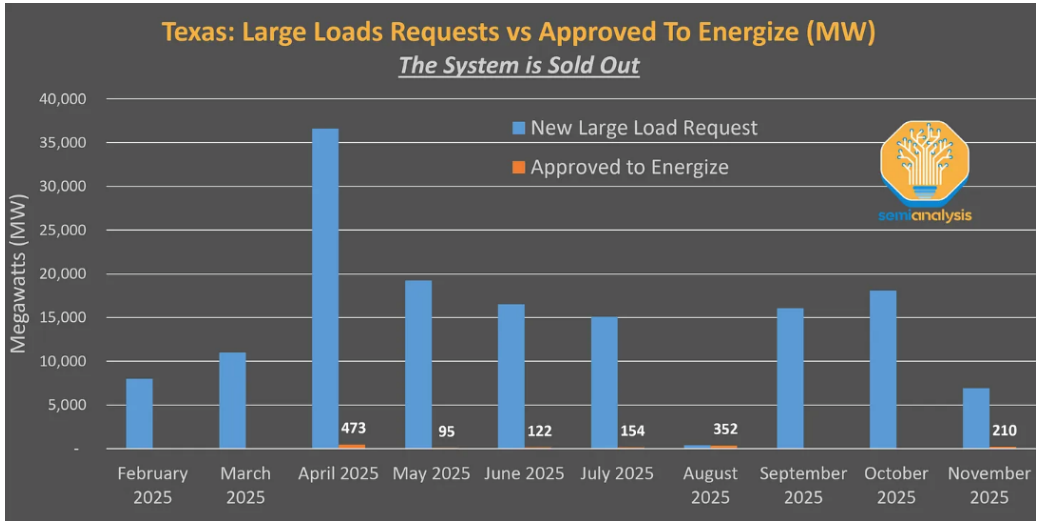
北美AIDC用电缺口预计主要靠离网发电方式满足

- **供给涵盖并入全美电力网络的并网发电与自建电源的离网发电（无需等待电网并网许可，靠本地设备发电；获得电网准入后可将这些设备转换为备用电源）两种形式，理想情况下并网发电应是电力获取的最优形式，但当前面临的核心瓶颈是并网供电网络建设&准入周期慢，可能无法满足北美数据中心快速上涨的电力需求：**
  - **较为乐观的假设下，2030年并网供电网络对北美数据中心电力需求的满足率或在50%左右：**首先，参考EIA数据，25年全美电网电力供给4275TWh，考虑40GW的全美数据中心峰值负载，按照70%的平均利用率测算，对应数据中心年度用电量为245TWh，占全美电网电力供应的5.7%；2030年假设全美电网电力供给提升至4877TWh，10%用于满足数据中心电力需求，对应488TWh，而考虑150GW的数据中心峰值负载容量/105GW的平均连续负载对应的电力需求高达920TWh，并网电力的满足率为53%。我们预计近半的缺口需要靠离网发电来满足。实际上，参考semianalysis的数据，25年在德克萨斯州每个月都有数十GW的数据中心入网需求上报，获批的申请仅略高于1GW，可见电网容量已趋于饱和，我们认为短期内数据中心新增需求通过电网满足的比重可能远低于50%。

图表：全美电力供应与数据中心用电量测算

类别	2025	2026E	2027E	2030E
全美电力供给（Twh）	4275	4325	4463	4877
yoy	2.9%	1.2%	3.2%	假设3%CAGR
数据中心峰值容量（GW）	40	-	-	150
数据中心平均连续负载（GW；假设70%利用率）	28	-	-	105
数据中心年度用电量（TWh）	245	-	-	920
占全美电力供应比重	5.7%	-	-	10.0%
数据中心获得的并网电量（TWh）				488
满足率				53.0%

图表： Texas 25年分月数据中心入网容量需求申请与实际获批的情况



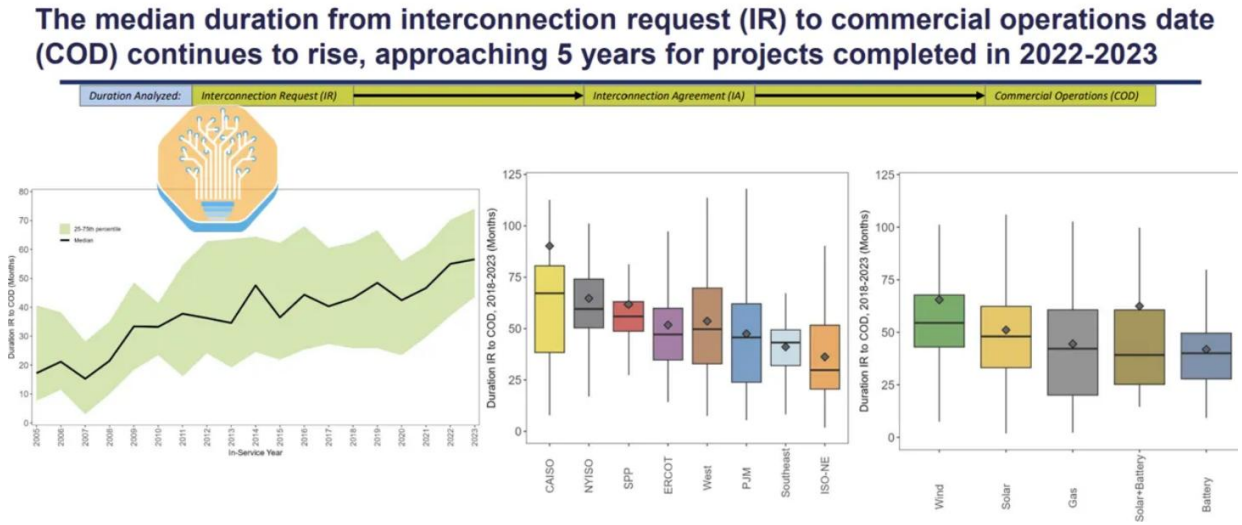
资料来源：EIA、盘古智库、Semianalysis、华源证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

北美AIDC用电缺口预计主要靠离网发电方式满足

- **供给涵盖并入全美电力网络的并网发电与自建电源的离网发电（无需等待电网并网许可，靠本地设备发电；获得电网准入后可将这些设备转换为备用电源）两种形式，理想情况下并网发电应是电力获取的最优形式，但当前面临的核心瓶颈是并网供电网络建设&准入周期慢，可能无法满足北美数据中心快速上涨的电力需求：**
  - **并网供电审批流程长，与当前需求期限错配：**超大规模数据中心的选址、建设和调试只需要18-36个月；但并网供电所需要的输电基础设施却需要5年左右的时间进行规划、审批和通电。
  - **政策要求AI科技巨头自行承担电力设备成本：**2025年3月5日，谷歌、微软、Meta、亚马逊、OpenAI、Oracle、xAI 7家AI科技公司在白宫签署《Ratepayer Protection Pledge》承诺书，各公司同意保护美国消费者免受数据中心能源和基础设施需求导致的价格上涨影响，并从长远来看降低消费者的电力成本。

图表：从提交并网申请到商业运营中位数是5年



图表：《Ratepayer Protection Pledge》主要内容

具体措施	内容	原因
建设、引进或购买新的电源	各公司将建设、引进或购买满足其新增能源需求的发电资源和电力，并承担这些资源的全部成本，无论是通过建设新的发电厂，还是从现有发电厂购买电力。在条件允许的情况下，这些公司还将增加发电容量，以服务更广泛的公众。	有助于提高自给自足能力，并保护美国民众免受物价上涨的影响
为新的电力输送基础设施升级付费	公司将支付为其数据中心提供服务所需的所有新的电力输送基础设施升级费用，包括足够的网络升级费用，以确保这些费用不会转嫁给普通家庭	数据中心就能使所有电力用户和电网受益
无论是否使用电力，都要付费	企业将在建设数据中心的任何地方，自愿与当地公用事业公司和相关州政府协商新的、独立的电价结构。重要的是，无论企业是否实际使用电力，都必须为数据中心所需的电力及相关基础设施付费。	保护美国人民免受因数据中心发展而导致的公用事业费用上涨
投资于本地就业创造和劳动力发展	企业将投资于其建设数据中心的当地社区。这包括从当地社区招聘员工，并建立相关技能培养项目。	所有美国工人都能从即将到来的技术繁荣中受益，从建设到运营的每个环节都能受益
为电力和社区韧性做出贡献	各公司将与电网运营商协调，为更可靠的电网做出贡献，并在电力短缺时尽可能提供备用发电资源，以防止社区停电和电力短缺。	在紧急情况下，数据中心电力资源将增强电网的弹性，从而使消费者受益

资料来源：《Ratepayer Protection Pledge》（白宫官网）、Semianalysis、华源证券研究所

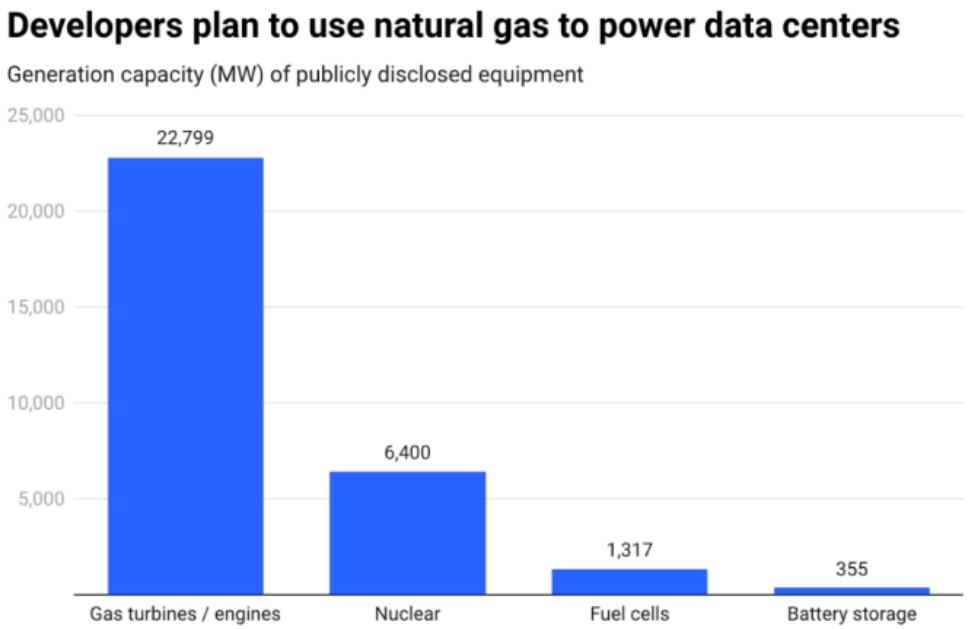
仅供内部参考，请勿外传

离网发电中天然气是主要供电方式

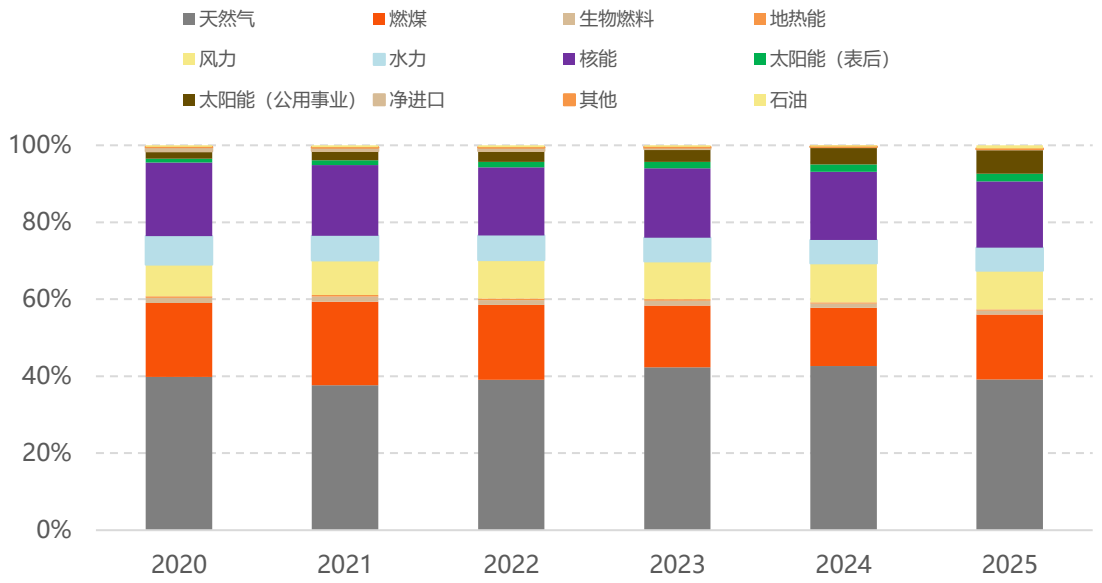
- **自建电源中天然气是主要供电方式：**根据CleanView的统计数据，在其抽样的所有已披露项目中，自建电源有近75%是天然气发电；其中，25/26年在建的数据中心自建电源供电方式几乎均为天然气。而在并网发电的电力结构中，25年美国天然气的占比为39%，显然自建电源中天然气的比重会更高。

- 综合以上，我们预计北美数据中心的装机容量有望从2025年的40GW左右提升至2030年130-170GW（按中值150GW测算，较之2025年增量为110GW）；这其中靠电网并网满足的需求占比预计不高于53%；有50GW以上的需求可能需要自建电源来满足，这其中天然气占比或接近75%，显著高于传统电网的40%左右。假设2030年电网/离网分别满足40%/60%的数据中心电力需求，电网/离网发电中天然气占比分别为40%/75%；北美110GW数据中心新增电力需求对应天然气发电需求为：110 x 40% x 40%+110 x 60% x 75% = 67GW。天然气模式下，可选发电方式主要包括燃气轮机、往复式内燃机、固态氧化物燃料电池（SOFC）等。

图表：数据中心自建电源中天然气发电的比例较高



图表：美国电网发电形式占比情况（2020-2025年）



资料来源：CleanView、低碳力、华源证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

燃机/往复式内燃机/固体氧化物燃料电池（SOFC）是北美AIDC离网发电的主要形式

- 参考Semianalysis数据，北美数据中心厂商可选择的离网供电主电源方案主要为燃气轮机（Gas-Turbines，燃机）、往复式内燃机（Reciprocating Internal Combustion Engine-RICE）、SOFC（固体氧化物燃料电池），其他供电方案包括与现有核电站共址、构建现场小型模块化反应堆（SMR）、地热能等，未来3年预计不会带来显著的增量电量。
- 这其中燃气轮机（特别是重燃）凭借经济性、供电稳定性，是AIDC数据中心发电的优质选择，但受限于燃机交付周期长+主要厂商产能扩张受限，需求开始向以往复式内燃机/SOFC为代表的非燃机能源外溢。

图表：北美数据中心离网发电的主要形式

大类	小类	单机功率（MW）	交付周期（月）	满负荷启动时间（Min）	占地面积（MW/英亩）	发电效率（%）	LCOE
燃气轮机（Gas-Turbines）	航改燃气轮机（Aero-derivative-GT）	30-60	18-36	10	30-50	35-40%	中高
	轻型燃气轮机（轻燃）	5-50	12-36	20-30	20-40	35-40%	中高
	小型联合循环燃气轮机（轻燃CCGT）	40-100	18-36	30-60	20-30	40-55%	中高
	H级联合循环（重燃CCGT）	600-1000	36-60	30-60	20-30	50-60%	低
往复式内燃机（Reciprocating Internal Combustion Engine-RICE）	中速机	7-20	15-24	5-10	8-15	40-50%	中高
	高速机	3-5	15-24	5-10	5-10	40-50%	高
SOFC	SOFC	0.325	3-4	持续稳态供电	30-100	50-60%	高
	SOFC热电联供	0.325	3-4	-	-	90%	中

图表：燃机发电稳定性优于SOFC与往复式内燃机

技术类型	发电稳定性排序	核心稳定/不稳定原因
重燃CCGT	1（最稳）	物理惯量极大，抗击电网频率波动；结构厚重，可连续数年不间断满负荷运行。
轻型 / 航改燃气轮机	2	物理惯量较小（为了追求更快的启动速度，转子轻薄），抗冲击略逊；航空级发动机结构精密，对燃料和维护要求比重型燃机苛刻，适合频繁启停，但长时间连续运转的无故障容错率不如重型燃机。
SOFC (固体氧化物燃料电池)	3	化学反应发电，无机械磨损；但缺乏物理惯性，且陶瓷电堆极其脆弱（易在热胀冷缩下开裂衰减），严禁频繁调峰启停。
燃气发动机	4（最差）	往复式运动震动剧烈（和汽车发动机原理一样），机械磨损大，易损件极多（火花塞 / 气门等），平均无故障时间（MTBF）最短。

资料来源： Semianalysis、虎嗅（海豚研究）、华源证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

燃机供给不足是带来需求外溢的核心原因：燃机供给不足带来的需求缺口测算

- **为计算燃机供给不足带来的需求缺口有多大，重点讨论GE Vernova（简称“GEV”）、西门子能源、三菱动力（三菱重工全资子公司，下文以三菱重工为代表）等三大主要参与者的产能扩张情况（参考Gas Turbine World数据，三者合计占全球产能的比重在80%以上）。**

- **GEV**：FY24/FY25燃机交付量分别为11.9GW/15.3GW；2026年年中产能预计提升至20GW；2028年年产能预计提升至24GW。

图表： GEV FY24/25燃机订单与销售情况

Unit metrics: orders and sales

GE VERNOVA

Orders	4Q'24	4Q'25	FY'24	FY'25
Gas Turbines	34	59	112	173
• Heavy-Duty Gas Turbines[a]	24	41	68	110
◦ HA-Turbines[b]	4	15	25	43
• Aeroderivatives[a]	10	18	44	63
Gas Turbines (GW)[d]	6.1	10.2	20.2	29.8
Wind Turbines[c]	342	294	1,212	854
Repower units	278	264	656	608
Wind Turbines and Repower (GW)[c],[d]	1.6	2.2	5.3	4.9

Sales	4Q'24	4Q'25	FY'24	FY'25
Gas Turbines	25	21	75	81
• Heavy-Duty Gas Turbines[a]	17	10	48	54
◦ HA-Turbines[b]	8	5	15	24
• Aeroderivatives[a]	8	11	27	27
Gas Turbines (GW)[d]	4.8	3.1	11.9	15.3
Wind Turbines[c]	670	415	1,778	1,518
Repower units	52	145	298	589
Wind Turbines and Repower (GW)[c],[d]	2.7	1.9	7.8	6.9

图表： GEV产能规划目标

Stronger financial trajectory ahead

GE VERNOVA

By 2028 Financial Outlook

(excluding acquisition of the remaining 50% stake of Prolec GE)

GE Vernova	Prior	Current	Change
Revenue	$45B	$52B	+$7B
Adj. EBITDA margin*	14%	20%	+6 pts
Power	16%	22%	+6 pts
Electrification	16%	22%	+6 pts
Wind	10%	6%	(4) pts
Cumulative '25-'28 FCF*	$14B+	$22B+	+$8B

Assumptions

- Expect LDD revenue CAGR from '25 to '28 for GEV
- Revenue up high teens at Power & Electrification, down LDD at Wind
- Pricing reflecting recent orders
- Gas turbine deliveries reach 20 GW annualized output in mid '26, increasing to ~24 GW in '28; continued services growth
- Substantial growth in Electrification equipment revenue and backlog
- Onshore Wind revenue declines below '26 levels; both Offshore Wind projects in backlog complete

- **西门子能源**：FY24燃机年产能17GW；FY25-27预计年产能提升至22GW；FY28-30预计年产能提升至30GW以上，产能直至FY28都已售罄。

图表：西门子能源产能规划



资料来源：GE Vernova投资者交流演示材料、西门子能源投资者交流演示材料、华源证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

燃机供给不足是带来需求外溢的核心原因：燃机供给不足带来的需求缺口测算

- **为计算燃机供给不足带来的需求缺口有多大，重点讨论GE Vernova（简称“GEV”）、西门子能源、三菱动力（三菱重工全资子公司，下文以三菱重工为代表）等三大主要参与者的产能扩张情况（参考Gas Turbine World数据，三者合计占全球产能的比重在80%以上）。**

- **三菱重工：**三菱没有直接披露FY24/25以容量计的交付量/产能；且官方只披露了以“台”计的重型燃机（Large Frame；单机100MW以上；平均略超0.4GW）当年新增订单量以及本年度累计积压的订单量。不过根据积压订单与新签情况可匡算出重燃交付情况：FY25年新签16GW；积压订单33GW；FY24年积压订单21GW，推算FY25交付量为16+21-33=4GW左右；FY24可推算出交付量为25+36-48=13台（0.4GW单机，对应5.2GW左右）。公司除了重燃外，轻燃/航改燃产品也均有布局。从行业历史燃机需求情况来看，100MW以下燃机需求占比在15%左右；可推断FY24/25三菱重工总体交付GW数或为6/5GW左右（5.2/85%；4/85%）。产能扩张规划参考2025年9月三菱重工CEO的表述，26/27年预计将燃机产能提高一倍，对应10-12GW。

图表：三菱重工FY23/24重燃订单

Large Frame Gas Turbine Order Intake and Contract Backlog (units)	FY2023	FY2024
Americas	7	11
Asia	9	5
EMEA	-	9
Other Regions	1	-
Order Intake Total	17	25
Contract Backlog	36	48

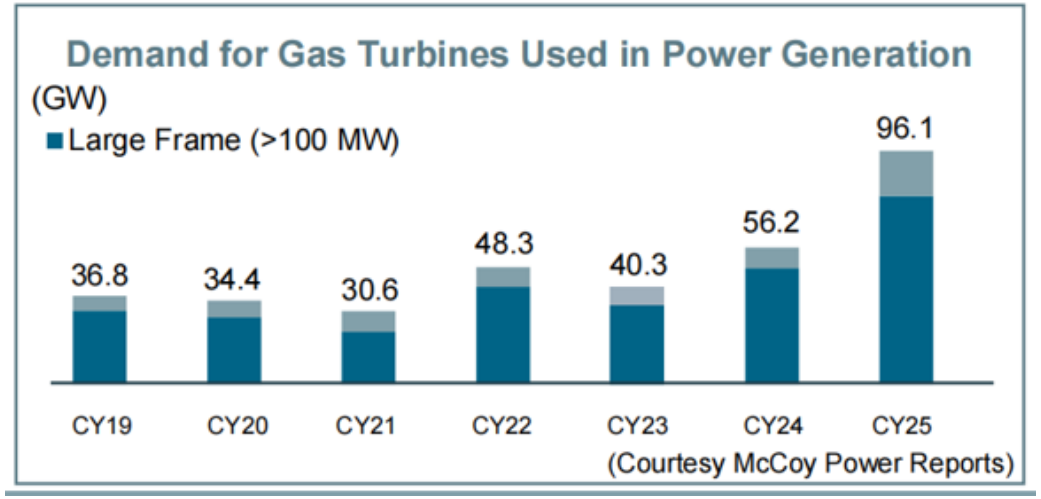
(Reference) China Licensee Order Intake

	FY2023	FY2024
Order Intake	21	7

图表：三菱重工FY24/25重燃订单

Large Frame Gas Turbine Order Intake and Contract Backlog (units)	FY24	FY25
Americas	11	19
Asia	5	12
EMEA	9	4
Other Regions	-	-
Order Intake Total	25 (11 GW)	35 (16 GW)
Contract Backlog	48 (21 GW)	74 (33 GW)
China Licensee Order Intake	7	13

图表：全球燃机能源需求情况



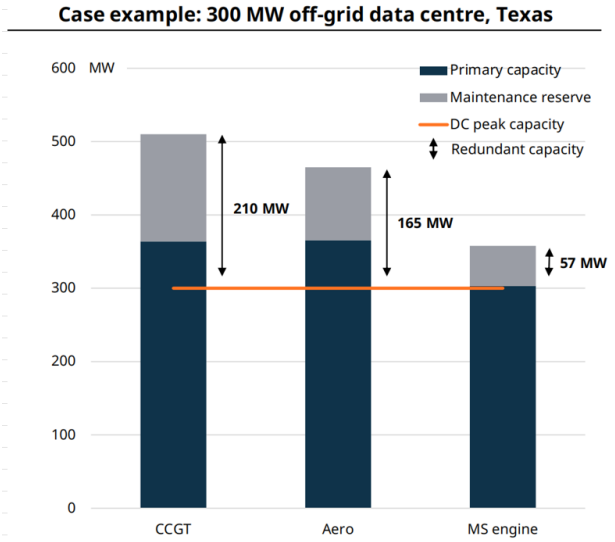
资料来源：三菱重工投资者演示材料、Courtesy McCoy Power Report、华源证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

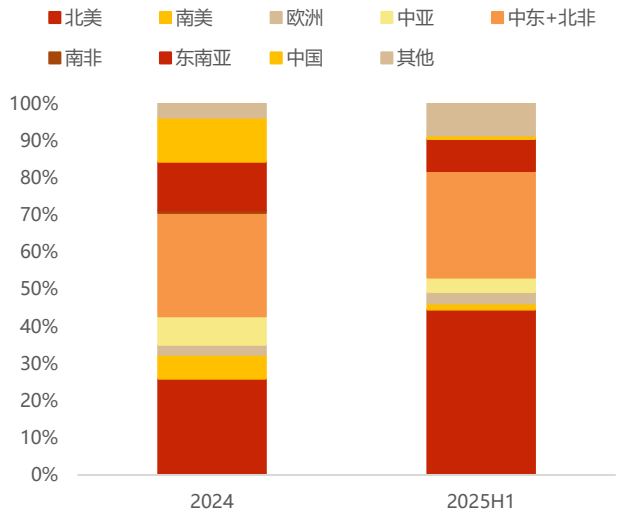
燃机供给不足是带来需求外溢的核心原因：燃机供给不足带来的需求缺口测算

- 从产能到实际有效供给，还需要考虑冗余系数。参考瓦锡兰数据，以其在德克萨斯州的300MW离网数据中心为例，分别以CCGT/航改燃/MS engine（中速燃气发动机）作为主电所需要的装机容量分别为510/465/358MW；对应冗余系数分别约为1.70/1.55/1.19。以CCGT/航改燃冗余系数均值作为数据中心燃机主电的冗余系数参考，约1.63。
- 另外，燃机除了要满足AIDC发电带来的增量需求外，还需要满足存量/折旧需求。简单取上文“全球燃机能源需求情况”的CY19-CY25的需求均值作为未来需要占用燃机产能的存量需求，对应49GW左右。基于以上，我们得到下文的测算表（“GEV+西门子能源+三菱重工”三者的累计市占率假设为80%）：2026-2030年燃机可用于满足AIDC的有效供给累计为100GW左右，接近匹配北美AIDC 2030年较之2025年110GW左右的用电增幅。实际上，参考三菱重工数据，从区域来看，北美燃机市场规模25H1占全球的44%（24年为26%），非北美市场AIDC的需求扩张同样有望带来可观增量，假设2030年较之2025年北美AIDC用电需求增量占全球的50%（高于北美25H1 44%的燃机需求占比），则非北美地区AIDC驱动的新增用电需求预计也有100GW以上，加之26-30年燃机交付量加速扩张带来的年均折旧需求增加，非燃机AIDC用电需求缺口预计也在100GW以上（参考北美，或同样以离网为主）。故以往复式内燃机/SOFC为代表的其他主电形式中长期发展空间可观。

图表：不同能源形式作为数据中心主电的冗余要求



图表：燃机需求的区域结构



图表：可用于AIDC的燃机有效供给测算（单位：GW）

厂商	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
交付/产能-西门子能源	22	22	22	30	33	36
交付/产能-GEV	15	20	22	24	26	29
交付/产能-三菱重工	5	8	12	14	15	17
以上3家总交付量预计	42	50	56	68	75	82
3者占全球产能的比重（假设）	80%	80%	80%	80%	80%	80%
全球燃机总供给	53	63	70	85	93	103
需要满足的存量/折旧需求假设	49	49	49	49	49	49
可用于AIDC的供给	4	14	21	36	44	54
燃机冗余系数	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
可用于AIDC的有效供给	2	9	13	22	27	33

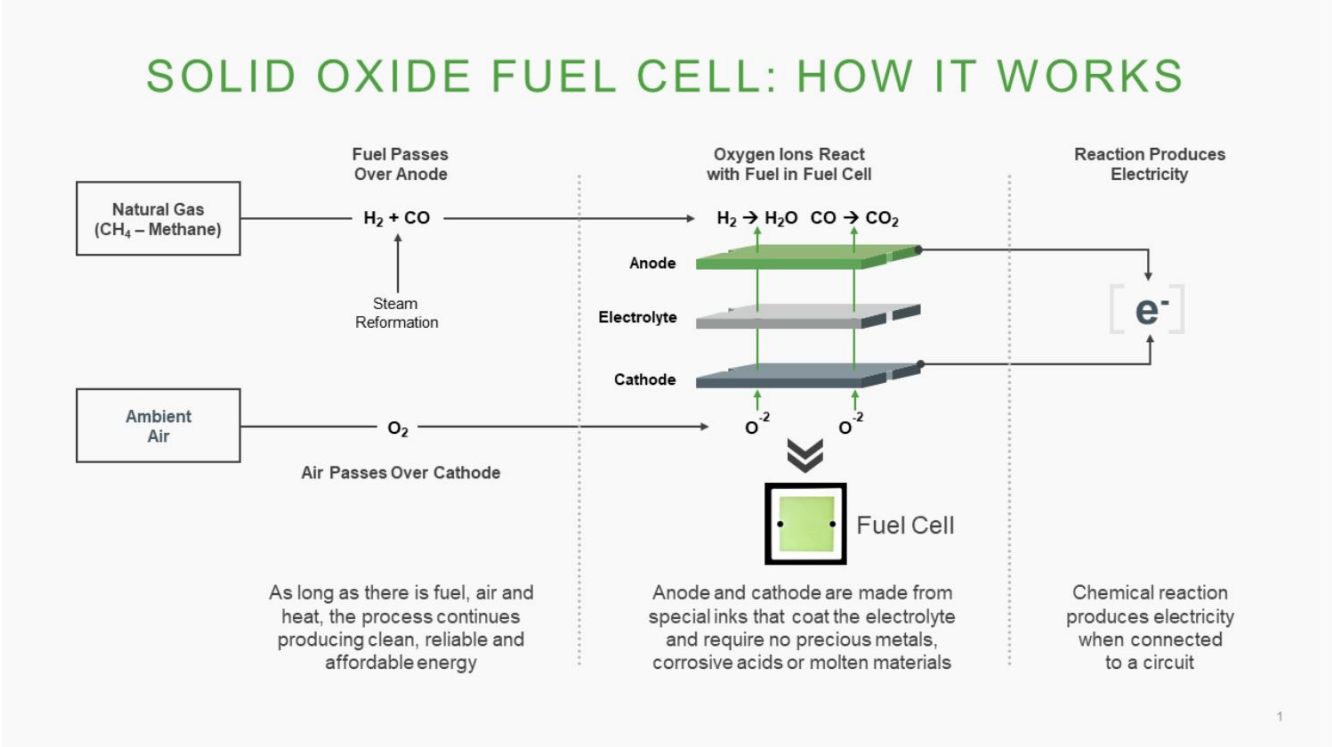
资料来源：Gas Turbine World、GE Vernova投资者交流演示材料、西门子能源投资者交流演示材料等、华源证券研究所测算

仅供内部参考，请勿外传

为什么SOFC可能是中长期最具潜力的离网主电形式

- **SOFC是燃料电池的一种：**燃料电池是一种把燃料化学能直接转化成电能的装置,依据电解质的差别可划分为碱性燃料电池（Alkaline Fuel Cell， AFC）、质子交换膜燃料电池（Proton Exchange Membrane Fuel Cell，PEMFC）、熔融碳酸盐燃料电池（Molten Carbonate Fuel Cell，MCFC）以及固体氧化物燃料电池（Solid Oxide Fuel Cell，SOFC）等多种类型。按照工作温度则可划分为低温燃料电池，如PEMFC和AFC，通常在室温到200℃以下工作；中温燃料电池，如磷酸型燃料电池（PAFC），工作温度可达200°以上；高温燃料电池，如MCFC和SOFC，工作温度在500℃以上。按照燃料类型又可以分为氢燃料电池、甲醇燃料电池、氨燃料电池、甲烷燃料电池等。其中，固体氧化物燃料电池（SOFC）是以致密陶瓷（如氧化钇稳定氧化锆，YSZ）为电解质，采用镍基金属陶瓷或钙钛矿氧化物为电极，以氢气、碳氢化合物或合成气为燃料，空气为氧化剂的高温燃料电池。

图表：固体氧化物燃料电池是如何工作的



资料来源：Bloom Energy官网、华源证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

为什么SOFC可能是中长期最具潜力的离网主电形式

- **SOFC主要应用于以AIDC为代表的分布式供电场景：**固体氧化物燃料电池（SOFC）和熔融碳酸盐燃料电池（MCFC）作为高温燃料电池代表，前者在800～1000℃工况下可直接利用天然气发电，已应用于医院、数据中心等场景的分布式供电系统；后者依托在650℃运行环境中捕获二氧化碳的能力，有望被钢铁、化工等重工业领域用于余热发电与碳减排改造。磷酸燃料电池（PAFC）作为商业化较早的技术，目前主要服务于千瓦级区域供能项目，如酒店、商业区等综合能源系统，但随着SOFC技术成熟，其市场占有率正逐步降低。整体来看，交通移动端以PEMFC为主导，固定发电领域SOFC与MCFC加速替代传统能源，而AFC与PAFC则聚焦特定细分场景。

图表：各种燃料电池技术对比小结

类型	电解质	工作温度 /℃	燃料	发电效率 /%	优点	缺点
AFC	液态氢氧化钾（KOH）	60～90	纯H_2	50～60	高反应速率、电转化效率高	CO_2敏感需纯氧、电解液易炭化、寿命短（<5000 h）
PEMFC	质子交换膜	60～80	纯H_2或低CO重整气	40～50	快速启动、高功率密度（1W/cm²）、模块化设计	依赖铂催化剂、燃料纯度要求高（CO<10 ppm）、需复杂水热管理
PAFC	浓磷酸	150～220	H_2/重整气（CO<2%）	35～40	CO 耐受性强、中温余热利用、商业化成熟	效率低、铂用量高（0.5～1 mg/cm²）、电解质易凝固
MCFC	熔融碳酸盐（Li/K_2CO_3）	600～700	天然气/煤气/沼气	45～55	燃料适应性广、内部重整、热电联供效率>85%	腐蚀性强、启动慢（4～8h）、需 CO_2循环系统材料成本高
SOFC	固体氧化物（如YSZ）	600～1000	H_2/天然气/合成气	45～60	燃料灵活、全固态结构、可逆运行余热品位高	高温热应力大、抗热循环性差、启动时间长（>10h）

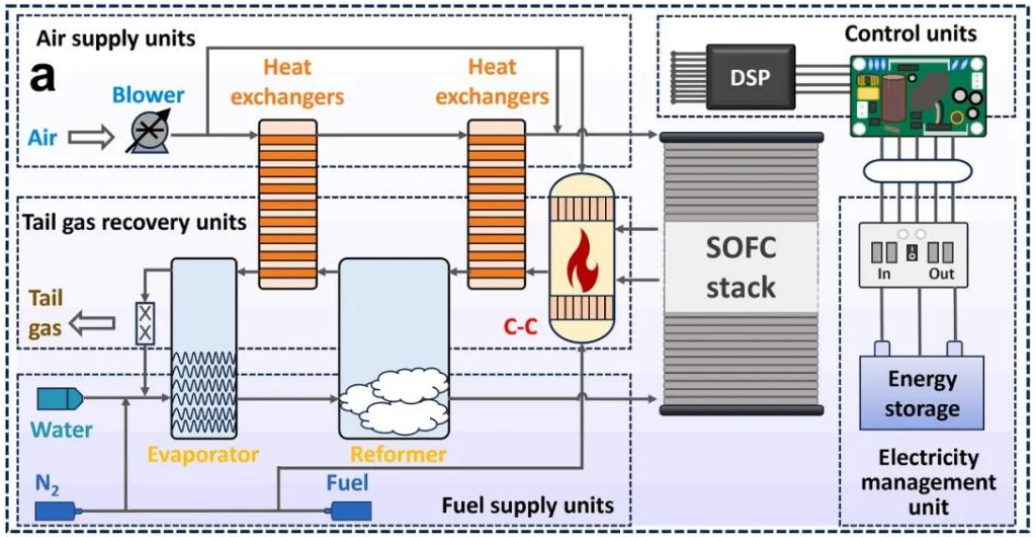
资料来源：《燃料电池技术及其在新型能源体系中的应用》高啸天等、华源证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

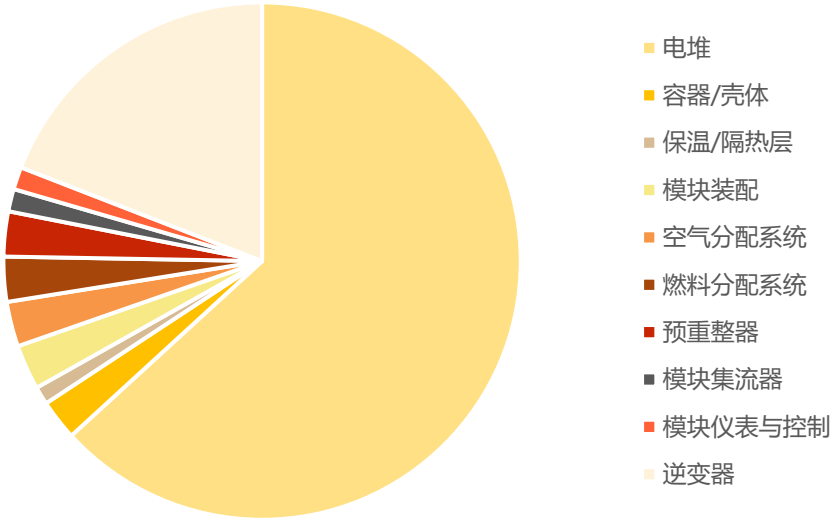
为什么SOFC可能是中长期最具潜力的离网主电形式

- **SOFC的结构：**SOFC大体可以划分为电堆（Stack）与BOP辅助系统（Balance of Plant）两部分：电堆是整个系统的核心发电部件，燃料和氧化剂在这里发生电化学反应，直接把化学能转化为电能；BOP是除了电堆之外，所有支撑它运行的周边设备，主要包括空气供应单元（Air supply units）、燃料供应与处理单元（Fuel supply units）、尾气回收单元（Tail gas recovery units）、控制与电力管理单元（Control units、Electricity management unit）等。参考NETL数据，电堆成本占SOFC模块成本的63%左右。

图表： SOFC的结构



图表： SOFC模块成本结构



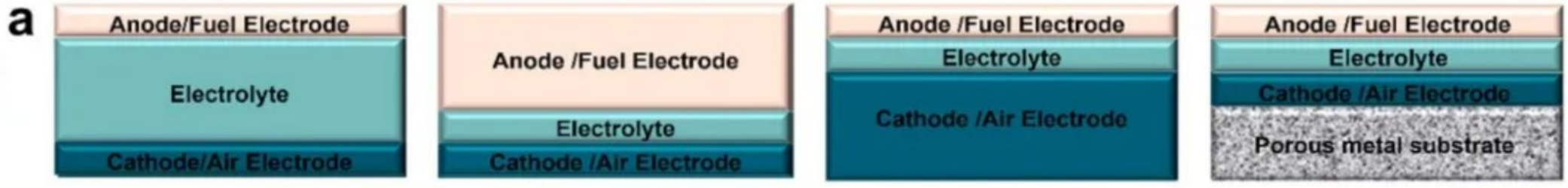
资料来源：《A review of advanced SOFCs and SOECs: Materials, innovative synthesis, functional mechanisms, and system integration》Peng Feng et al.、NETL、华源证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

为什么SOFC可能是中长期最具潜力的离网主电形式

- **SOFC的分类：**SOFC按支撑体类型可分为四类：阳极（燃料电极）支撑型通过减薄电解质层降低欧姆阻抗，实现高功率密度与低温运行；电解质支撑型依托电解质的化学与热稳定性确保长期耐久性，但需较高工作温度；阴极（空气电极）支撑型可缩短燃料扩散路径，却面临热降解风险；金属支撑型则以不锈钢为基底，兼具机械强度与抗热震性，支持秒级快速启动。按几何结构则分为平板型与管状型两大体系：平板型电流路径短、制备成本低，但面临高温密封与热应力挑战；管状型（包括分段串联、锥形、扁平、蜂窝及微管等变体）无需高温密封，抗热冲击能力强，可通过串并联灵活扩展功率，其中微管型特别适用于便携式低功率场景。各构型在功率密度、热管理、机械强度及制造成本间呈现不同权衡，需根据具体工况择优选用。

图表：不同支撑体类型的SOFC结构



资料来源：《A review of advanced SOFCs and SOECs: Materials, innovative synthesis, functional mechanisms, and system integration》 Peng Feng et al.、华源证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

为什么SOFC可能是中长期最具潜力的离网主电形式

➢ SOFC的几大核心优势：交付周期短+发电稳定&发电效率高+天然契合HVDC架构

- **交付周期短：**高度模块化的结构使燃料电池安装便捷+可灵活扩容，交付周期较之其他离网发电形式优势明显，例如Bloom Energy可以在90/120天内完成50/100MW的SOFC项目交付；500MW的大型项目也可在六个月或更短时间内完成，而燃机交付周期通常在18个月以上。由于数据中心资产的资本成本远高于电力基础设施成本，将投运时间提前1-2年，可大幅减少折旧支出，显著提升AIDC的投资回报率（ROI）。此外，燃料电池的低排放特性（直接通过电化学过程发电，无需燃烧；使用天然气作为燃料，但几乎不产生氮氧化物、硫氧化物和颗粒物等空气污染物；运行安静，几英尺外几乎听不到任何声音，更容易安装在制造工厂附近，而不会引起社区摩擦）也决定了其可享受更快速、更简化的审批流程。
- **发电稳定&发电效率高：**SOFC发电效率可达到50-60%，热电联产模式下可能达到90%（例如Bloom Energy能源服务器与吸收式制冷器（Absorption Chiller）配合实现热捕获，热电联产效率可超90%）；此外，燃料电池达到额定功率所需的冗余容量通常更少（模块多，单一模块故障对系统整体效率的影响较小）；例如，要以99.9%的可用性提供100兆瓦的电力，燃气轮机装置可能需要130兆瓦至150兆瓦的总容量，而往复式发动机装置则需要120 兆瓦至130兆瓦。燃料电池系统仅需109兆瓦即可达到相同的可靠性。

图表： Bloom Energy的SOFC高度模块化



图表： Bloom Energy的能源服务器配合吸收制冷器热电联产可实现较高的发电效率

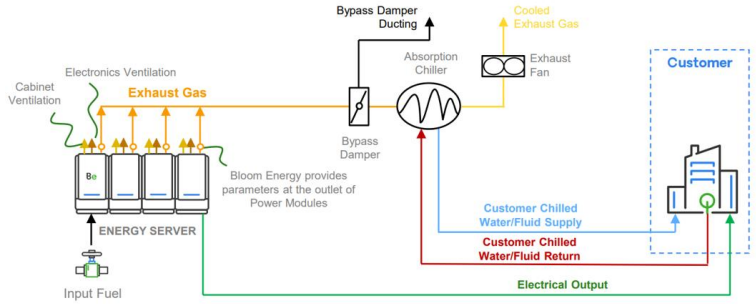


Table 2: Expected Operating Parameters and Performance Highlights - 1 MW Energy Server Installation

	Lifetime Average			
Electrical Efficiency	54%			
Heat Recovery Efficiency	>36%			
Total CHP Efficiency	>90%			
Minimum Allowed Static Pressure at Power Module Outlet	-5.0 mbar			
Maximum Allowed Static Pressure at Power Module Outlet	7.5 mbar			
Maximum Allowed Pressure Drop across Heat Recovery Unit(s)	60 mbar			
	Units	**Min**	**Avg**	**Max**
Exhaust Air (Thermal Recovery Condition) – Mass	kg/h	4,595	5,968	6,850
Exhaust Air (Thermal Recovery Condition) – Flow rate	SLPM - 0 °C	60,445	78,255	89,782
Exhaust Air (Thermal Recovery Condition) – Volume	m^3/h	8,303	12,924	10,969
Exhaust Air (Thermal Recovery Condition) – Temperature	°C	356	367	384

资料来源：Bloom Energy投资者演示材料、华源证券研究所

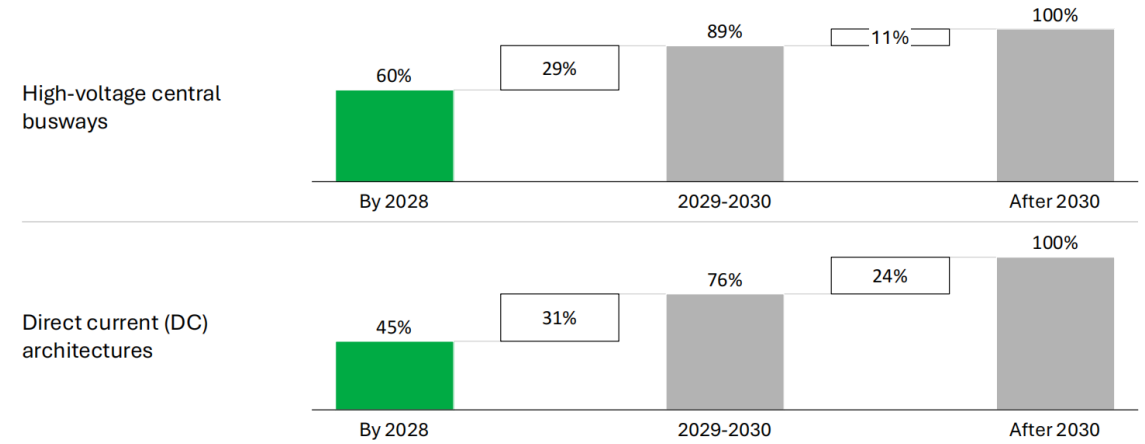
仅供内部参考，请勿外传

为什么SOFC可能是中长期最具潜力的离网主电形式

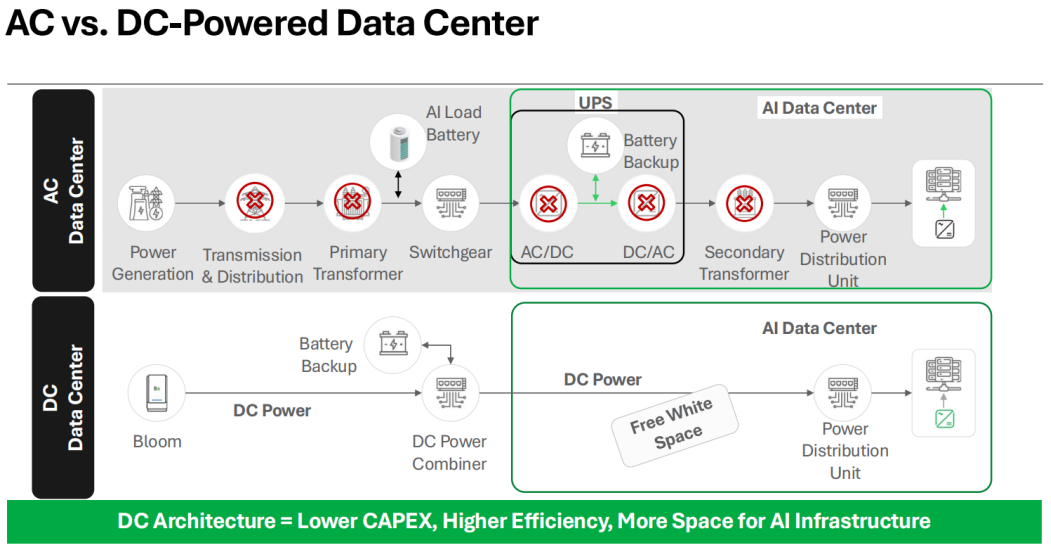
- **SOFC的几大核心优势：交付周期短+发电稳定&发电效率高+天然契合HVDC架构**

- **契合“高压+直流”供电框架：**2025年5月，在台北电脑展期间，英伟达宣布成立一个供应商联盟，为数据中心提供800V高压直流供电（HVDC；High-voltage central busways+Direct current architectures），HVDC架构有望逐步成为AIDC主流供电架构。较之传统的AC（交流电）供电数据中心，DC（直流）供电数据中心直接省去了输配电变压器、主变压器、交流配电柜、双转换式UPS系统（AC/DC整流、DC/AC逆变）、次级变压器等，建设成本更低+供电效率更高+可为AI基础设施建设留出更多空间。SOFC天然输出直流电，契合HVDC供电框架。

图表：越来越多的数据中心开发者偏好高压+直流供电框架



图表：交流电架构数据中心 VS 直流电架构数据中心



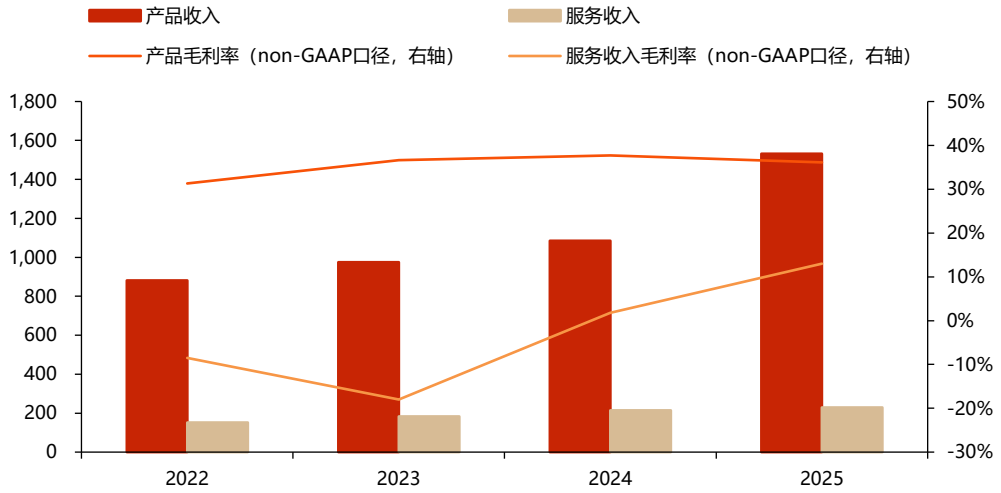
资料来源：Bloom Energy投资者演示材料、华源证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

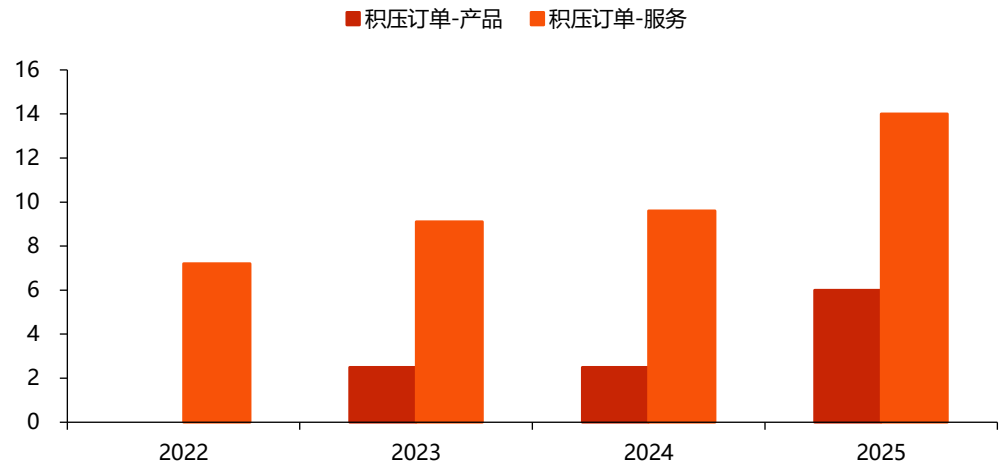
为什么SOFC可能是中长期最具潜力的离网主电形式

- **Bloom Energy的收入&利润率&订单增速均充分反映需求景气度：**参考Fortune Business Insights的数据，Bloom Energy占据全球SOFC市场份额的55-65%，该公司的收入/利润率/订单增速均反映出行业需求的高景气（截至2025年底，产品/服务积压订单分别约60/140亿美元，分别是2025年收入的4x/61x；服务业务Non-GAAP毛利率从2024年的1.8%提升至2025年的13%）。此外，2026年4月，Bloom Energy将年产能目标从2GW提升至5GW（截至2025年末，产能约1GW），同样反映需求景气。
- **订单需求区域结构的变化&与甲骨文的合作则反映了需求逻辑的变化，缩短交期的迫切性重于对成本的考量：**2024年Bloom Energy超过80%的订单来自于美国“高电价州”，需求逻辑偏向电价套利；而2026年公司超80%的积压订单转向“低电价州”，需求逻辑或已转向“解决算力用电荒”。另一个证据是公司与甲骨文公司的合作，该合作旨在加速Oracle的人工智能基础设施建设，使其摆脱传统电网部署时间表的限制，部署规模高达2.8GW，同样体现了超大型云厂商对缩短配电周期的较强诉求。

图表： Bloom Energy产品/服务收入&毛利率（单位：百万美元）



图表： Bloom Energy积压订单情况（单位：十亿美元）



图表： Oracle与Bloom Energy合作旨在摆脱传统电网的时间表限制

Table: Major Fuel Cell Capital Deployments for Data Centers (2026)

Company / Partner	Time Frame	Details and Strategic Purpose	Source
Bloom Energy / Oracle	April 2026	Strategic partnership to deploy up to **2.8 GW** of SOFC systems. The agreement is designed to accelerate **Oracle's** AI infrastructure build-out independent of traditional grid deployment timelines.	Bloom Energy
Fuel Cell Energy / SDCL	January 2026	Collaboration to develop and finance up to **450 MW** of on-site fuel cell projects. The partnership targets the growing demand from data centers for behind-the-meter power solutions aligned with 800 V DC architecture.	Fuel Cell Energy

资料来源：Bloom Energy投资者演示材料、enkiAI、华源证券研究所

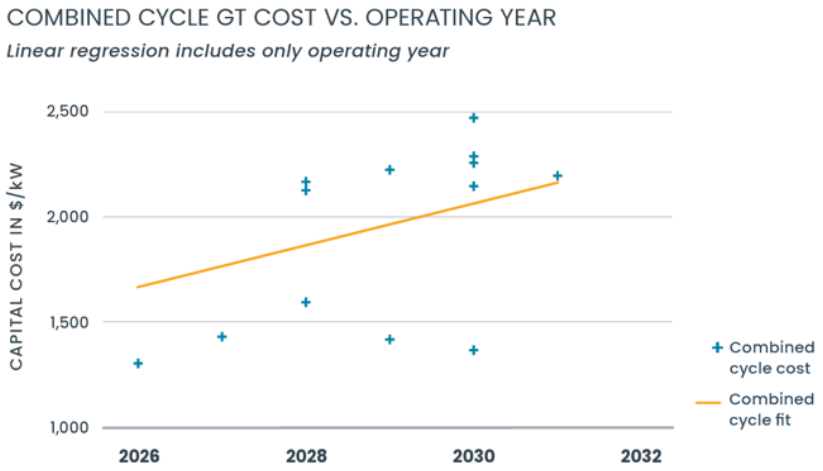
仅供内部参考，请勿外传

为什么SOFC可能是中长期最具潜力的离网主电形式

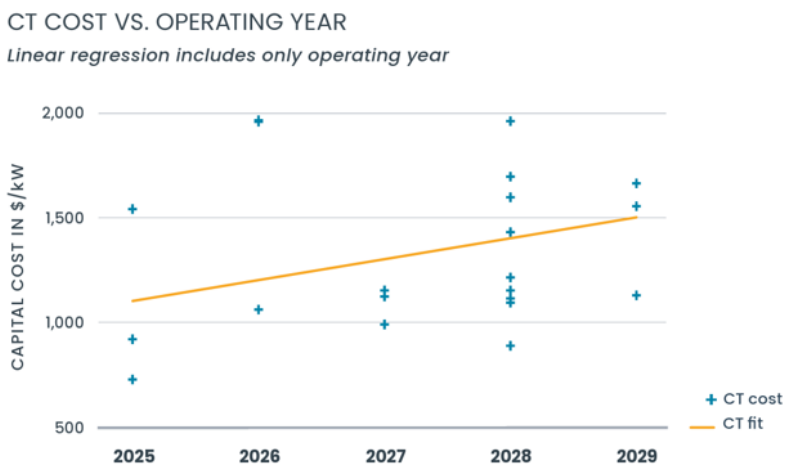
- **SOFC当前主要缺点是系统部署成本&LCOE均明显高于燃机，但从趋势上看燃机部署成本在提升，SOFC部署成本则有望持续下降。**

- **趋势上看，燃机的平均部署成本未来可能持续提升；而参考Bloom Energy的销售价格走势，SOFC系统的单位成本则有望持续下降。**参考Gridlab数据，26、27年将完工的联合循环燃机（CCGT）项目每kw成本在1116美元到1427美元，2030年成本预计将超过2000美元。简单循环燃机的每kw成本则可能从2025年的不到1000美元/kw提升至2029年的1500美元/kw左右。而从Bloom Energy的销售均价来看，SOFC的每kw销售均价已降至3000美元左右（仍高于燃机），后续随着成本优化性价比有望持续提升（美国《氢能计划发展规划》的目标是2030年将SOFC的成本降至900美元/kw）。

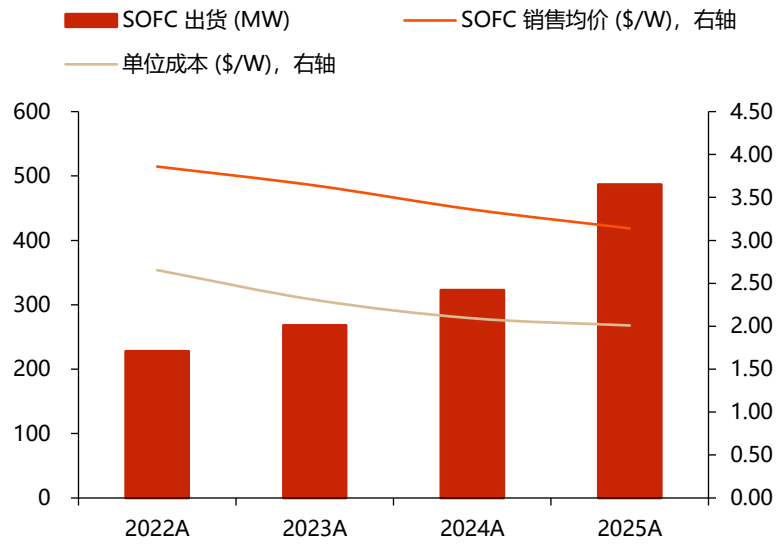
图表：联合循环燃机单位资本成本变化趋势



图表：简单循环燃机单位资本成本变化趋势



图表： Bloom Energy SOFC出货量/单位均价/单位成本



资料来源：Gridlab、虎嗅（海豚研究）、华源证券研究所

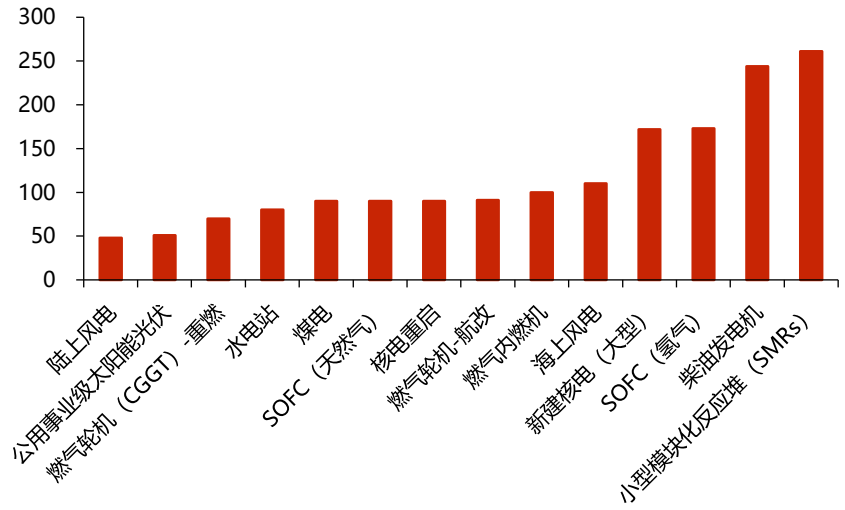
仅供内部参考，请勿外传

为什么SOFC可能是中长期最具潜力的离网主电形式

➢ **SOFC当前主要缺点是系统部署成本&LCOE均明显高于燃机，但从趋势上看燃机部署成本在提升，SOFC部署成本则有望持续下降。**

- **SOFC的每kw成本降至1500美元左右，LCOE有望超越CCGT-重燃。**LCOE（Levelized Cost of Energy，平准化度电成本）是衡量能源全生命周期使用成本的核心指标。参考海豚研究的数据，CCGT-重燃的LCOE约为70美元/Mwh；SOFC（天然气）在90美元/Mwh左右。为了更好反映SOFC单位部署成本优化对LCOE的影响，我们详细测算了典型SOFC系统的LCOE，典型SOFC系统的LCOE约为0.101$/kwh即101$/Mwh，略高于海豚研究的数据。如假设SOFC的每kw部署成本降至1500美元，LCOE有望优化至0.057$/kwh（57$/Mwh），LCOE将优于CCGT-重燃。

图表：不同发电形式的LCOE（单位：$/Mwh）



图表：典型SOFC系统的LCOE测算

序号	成本类型	数值	单位	说明
①	资本开支	3500	$/kw	参考BE SOFC每kw销售均价
②	补贴	30%	-	燃料电池符合ITC清洁能源补贴范畴
③	补贴后资本开支	2450	$/kw	① x 70%
④	年利用小时数	8000	h（小时）	假设90%左右的全年有效运营时间
⑤	天然气价格	4.0	$/mmBtu	假设4$/mmBtu
⑥	热耗率	6469	Btu/kwh	系统每kwh的发电需要消耗多少Btu的天然气；BE的325kw能源服务器热耗率5811-7127Btu/Kwh；取均值
⑦	热效率	53%	-	1kwh=3412Btu；热效率 = 3412Btu/热耗率
⑧	单位发电量燃料成本	0.026	$/kwh	⑤ x ⑥ / 1000000
⑨	固定运维费用	32.23	$/kw/年	参考EIA数据
	占资本开支比重	0.9%		
⑩	可变运维费用	4.96	$/kw/年	参考EIA数据；0.62$/Mwh；转化为$/kw/年；约占资本开支的0.14%；
	占资本开支比重	0.14%		
⑪	SOFC电堆成本	2100	$/kw	参考NETL数据，电堆占系统成本60%的左右；
⑫	SOFC电堆更换周期	6	年	参考H2E Power数据；电堆寿命5-7年（大于4万小时）；取6年；假设全生命周期电堆替换一次；
⑬	SOFC电堆更换成本年化摊销	350	$/kw/年	
⑭	设备寿命	15	年	参考H2E Power数据，系统整体设计寿命15年；
⑮	所得税税率	21%		美国联邦企业所得税率
⑯	折现率	10%		
⑰	初始投资残值率	10%		
	LCOE计算	0.101	$/kwh	
	——资本开支折现（考虑残值）	0.033	$/kwh	按年金公式计算，并考虑折旧抵税；
	——燃料成本	0.020	$/kwh	考虑所得税影响
	——固定运维费用折现	0.003	$/kwh	考虑所得税影响
	——可变运维费用折现	0.000	$/kwh	考虑所得税影响
	——SOFC电堆成本折现	0.044	$/kwh	折旧抵税部分体现在资本开支中；简化计算；

资料来源：虎嗅（海豚研究）、EIA、H2E Power、NETL等、华源证券研究所测算； 注：关于成本的测算基于一定的主观假设，可能与实际情况存在偏差

仅供内部参考，请勿外传

为什么SOFC可能是中长期最具潜力的离网主电形式

- **由此得出的结论——展望2030年，若SOFC的单位部署成本大幅优化，其可能全方位领先其他离网主电形式（交期+灵活扩容+发电稳定性&发电效率+平准化度电成本+环保）；不仅将受益于AIDC非燃机需求的溢出，也可能实现对其他能源形式的替代。**

图表：典型SOFC系统的LCOE测算（考虑降本）

序号	成本类型	数值	单位	说明
①	资本开支	1500	$/kw	考虑降本
②	补贴	30%	-	燃料电池符合ITC清洁能源补贴范畴
③	补贴后资本开支	1050	$/kw	① x 70%
④	年利用小时数	8000	h（小时）	假设90%左右的全年有效运营时间
⑤	天然气价格	4.0	$/mmBtu	假设4$/mmBtu
⑥	热耗率	6469	Btu/kwh	系统每kwh的发电需要消耗多少Btu的天然气；BE的325kw能源服务器热耗率5811-7127Btu/Kwh；取均值
⑦	热效率	53%	-	1kwh=3412Btu；热效率 = 3412Btu/热耗率
⑧	单位发电量燃料成本	0.026	$/kwh	⑤ x ⑥ / 1000000
⑨	固定运维费用	32.23	$/kw/年	绝对体量维持不变
	占资本开支比重	2.1%		
⑩	可变运维费用	4.96	$/kw/年	绝对体量维持不变
	占资本开支比重	0.33%		
⑪	SOFC电堆成本	900	$/kw	参考NETL数据，电堆占系统成本60%的左右；
⑫	SOFC电堆更换周期	6	年	参考H2E Power数据；电堆寿命5-7年（大于4万小时）；取6年；假设全生命周期电堆替换一次；
⑬	SOFC电堆更换成本年化摊销	150	$/kw/年	
⑭	设备寿命	15	年	参考H2E Power数据，系统整体设计寿命15年；
⑮	所得税税率	21%		美国联邦企业所得税率
⑯	折现率	10%		
⑰	初始投资残值率	10%		
	LCOE计算	0.057	$/kwh	
	——资本开支折现（考虑残值）	0.014	$/kwh	按年金公式计算，并考虑折旧抵税；
	——燃料成本	0.020	$/kwh	考虑所得税影响
	——固定运维费用折现	0.003	$/kwh	考虑所得税影响
	——可变运维费用折现	0.000	$/kwh	考虑所得税影响
	——SOFC电堆成本折现	0.019	$/kwh	折旧抵税部分体现在资本开支中；简化计算；

资料来源：EIA、H2E Power、NETL等、华源证券研究所；注：关于成本的测算基于一定的主观假设，可能与实际情况存在偏差

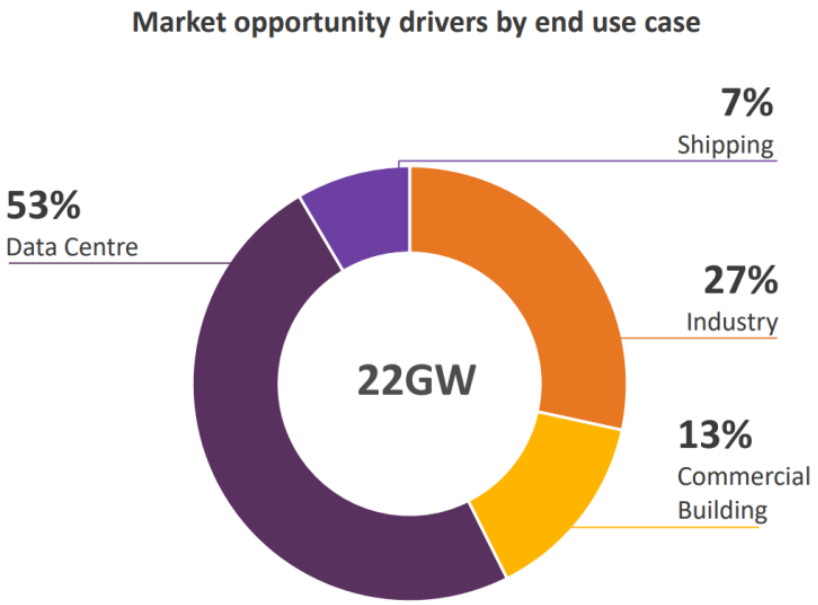
仅供内部参考，请勿外传

SOFC如若放量可能带来的产业链机会

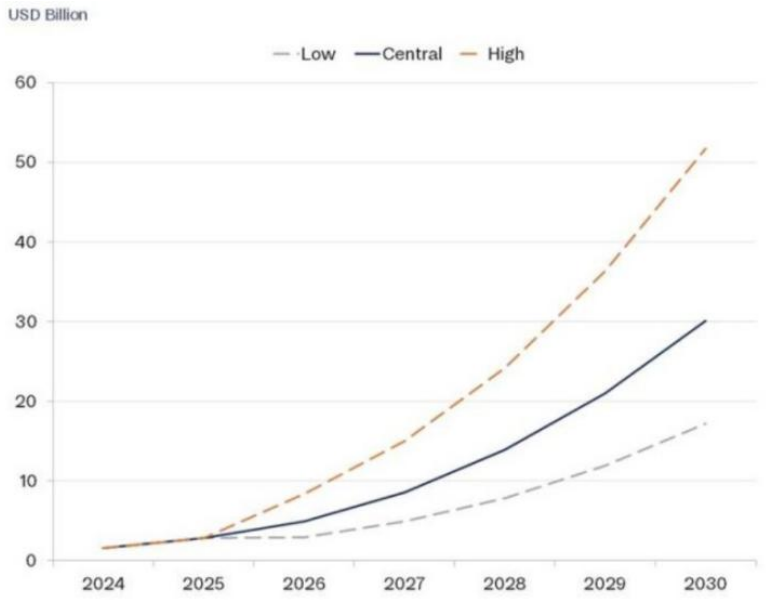
➢ **SOFC的放量规模几何？不妨参考以下两个数据：**

- **Ceres Power：**SOFC 2030年终端出货量有望达到22GW；而根据海豚研究数据，2025年Bloom Energy出货量约为487MW，参考Fortune Business Insights的数据，Bloom Energy占据全球SOFC市场份额的55-65%；可估算2025年全球SOFC出货量可能不到1GW。预计未来5年SOFC出货量增速较为可观。
- **Oil Price：**仅考虑数据中心带来的需求，基准场景下，燃料电池市场规模有望从2025年的28亿美元增长至2030年的300亿美元。乐观场景下，2030年市场规模有望突破500亿美元。
- **预计未来5年SOFC市场规模将有10-20x的增长潜力，如若降本顺利，有望逐步替代其他离网主电形式，增长斜率或更加陡峭。**

图表： 2030年终端对SOFC的需求有望达到22GW



图表：面向数据中心的燃料电池需求市场规模预期



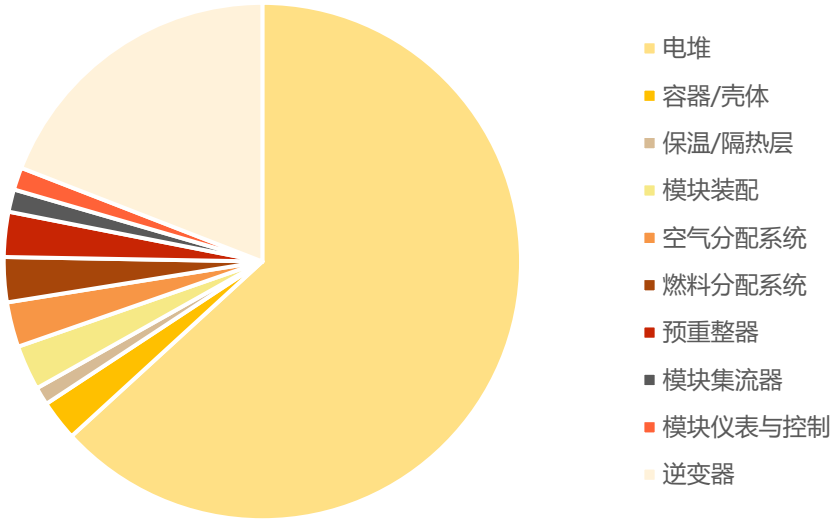
资料来源：Ceres Power投资者演示材料、Oil Price（Rystad Energy）、华源证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

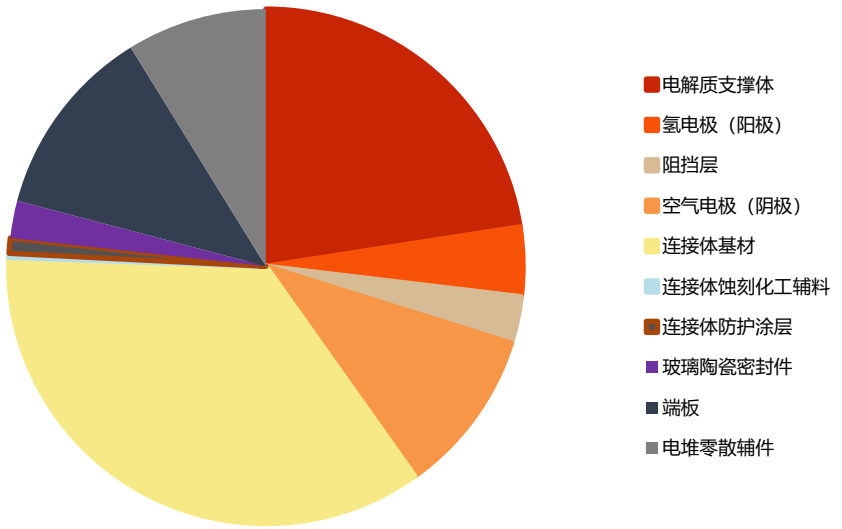
SOFC如若放量可能带来的产业链机会

- **SOFC的成本构成——电堆：**参考NETL数据，电堆成本占SOFC模块成本的63%左右；进一步拆分电堆成本结构（参考Strategic Analysis对于SOEC电堆成本的分析；SOEC与SOFC电堆架构类似，二者是可逆的两种设备）。电解质支撑体路线（Bloom Energy的路线）来看，电解质支撑体电堆成本占比约23%，连接体相关成本占比（基材+蚀刻化工辅料+防护涂层）约为37%，二者占电堆成本的大部分，值得重点关注。

图表： SOFC模块成本结构



图表： SOEC电堆材料成本结构（电解质支撑型）



资料来源：NETL、Strategic Analysis、华源证券研究所

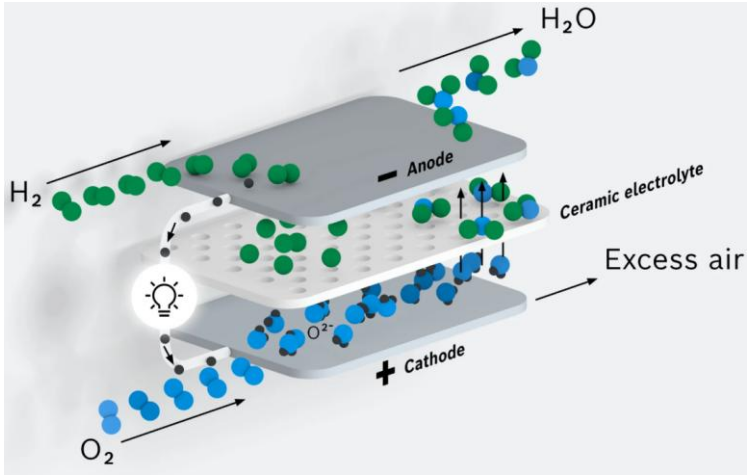
仅供内部参考，请勿外传

SOFC如若放量可能带来的产业链机会

➢ SOFC的成本构成——电堆：

- **电解质支撑体：**电解质的作用是将电池分隔为燃料极（阳极）和空气极（阴极）。从发电原理看，电解质隔膜一方面隔绝氧化剂和燃料；一方面利用氧离子浓度差以及高温所提供的能量传导氧离子。电解质直接决定了SOFC的工作温度区间和输出特性。从材料来看，SOFC阳极主要采用Ni-YSZ多孔金属陶瓷；电解质多为氧离子传导性良好、不透气的固态氧化物电解质，主要用陶瓷材料，通常采用氧化钇稳定的氧化锆（YSZ），也可以是掺杂的氧化铈、氧化钪稳定的氧化锆、掺杂的镓酸镧等；阴极催化剂一般采用钙钛矿氧化物与电解质材料构成复合阴极，如广泛使用的LSM-YSZ复合阴极，也可以是钴酸镧、钴酸锶钐等钙钛矿。参考Original Life的数据，Bloom Energy单电池由三层陶瓷层构成（对应阳极/电解质层/阴极），单电池对应25W，仅考虑电解质层隔膜板对陶瓷基板的需求——单电池对应一片陶瓷基板对应25W，则1GW对应4000万片的陶瓷基板需求，考虑行业2030年20GW以上的需求，对应8亿片陶瓷基板需求。
- **重点关注公司：**三环集团——参考公司港股招股说明书，按2025年收入计，公司SOFC隔膜片市场份额全球第一。自2004年起，三环集团专注SOFC/SOEC的创新与产研一体化发展，历经20余年持续投入与技术攻关，如今已成为全球 SOFC/SOEC产业链核心环节主力供应商之一，掌握从单电池、电堆到系统的全技术链条研发及量产能力，拥有50余项核心发明专利。

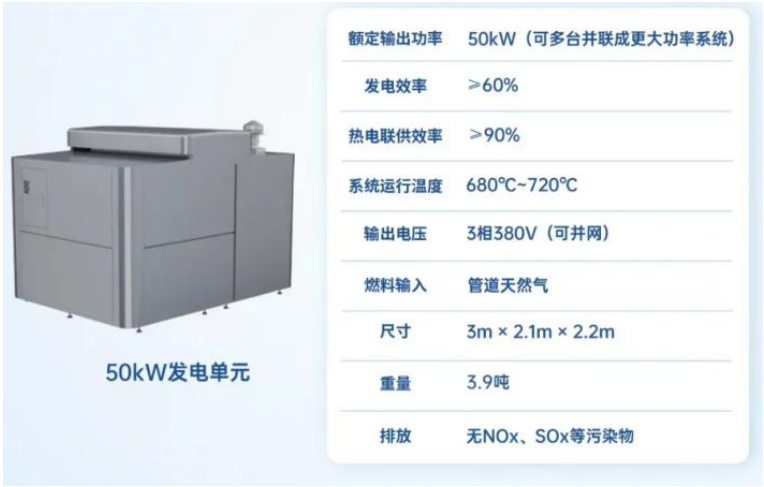
图表： SOFC工作原理



图表：三环集团SOFC隔膜片



图表：三环SOFC整机产品



资料来源：艾邦制造、Bosch、三环集团港股招股说明书、三环集团微信公众号、华源证券研究所

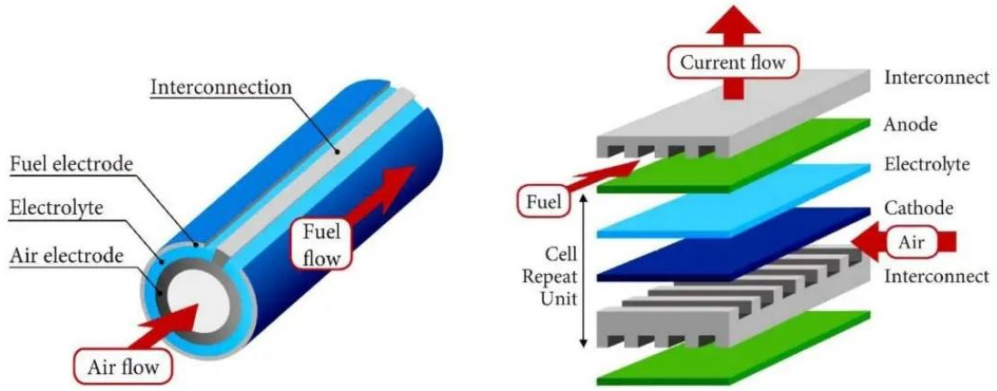
仅供内部参考，请勿外传

SOFC如若放量可能带来的产业链机会

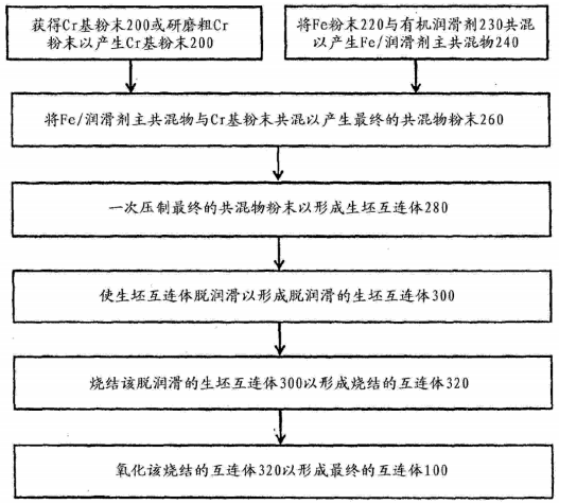
- **SOFC的成本构成——连接体：Bloom Energy商业化进展全球领先，连接体部分我们以Bloom Energy的平板式SOFC+重铬路线作为分析基础。**

- **连接体放量或为金属铬带来较为可观的需求弹性：**典型的固体氧化物燃料电池堆包含多个燃料电池，这些燃料电池之间由金属互连体（IC）隔开。金属互连体不仅提供堆内相邻燃料电池之间的电连接，还作为燃料和氧化剂输送和排出的通道。根据Bloom Energy披露的专利信息，金属连接体通常由铬基合金构成，例如成分为95wt% Cr+5wt% Fe的CrFe合金，或成分为94wt% Cr + 5wt% Fe + 1wt% Y的Cr-Fe-Y合金。我们基于95%金属铬+5%的Fe测算单GW的金属铬需求——参考Original Life的数据，Bloom Energy单电池的面积为100mm x 100mm；参考Bloom Energy的专利信息，金属连接体的总厚度为1.5mm-3.5mm（取中值为2.5mm）；考虑到连接体存在部分镂空不需要铬填充（参考连接体的横截面，镂空部分假设占25%左右）；可得到需要金属铬填充的体积约为：100mm x 100mm x 2.5mm x 75% = 18.75立方厘米；金属铬与铁的密度分别为7.2g/cm^3、7.874g/cm^3；简单取铬的密度匡算连接体质量为：18.75 x 7.2 = 135g；金属铬占质量的95%，对应单个连接体金属铬用量约为128g左右。理论上N个电池片需要N-1个连接体，大功率容量下，不妨简化为1:1对应，也就是25W的单电池对应128g的金属铬用量，对应1GW的SOFC金属铬用量可能达到5120吨，考虑2030年20GW以上的SOFC需求，可对应10万吨以上的金属铬需求。

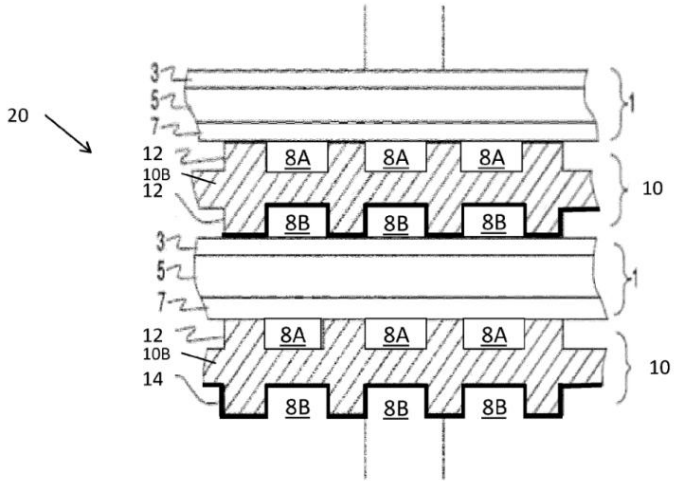
图表：管式SOFC与平板式SOFC



图表： Bloom Energy金属连接体的形成过程



图表：金属连接体的部分镂空结构



资料来源：中国粉体网、国家知识产权局、epo.org、华源证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

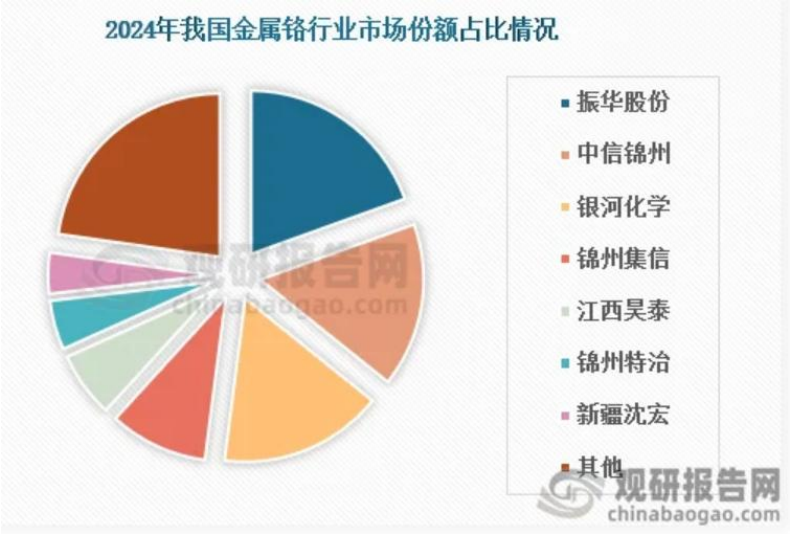
SOFC如若放量可能带来的产业链机会

- **SOFC的成本构成——连接体：Bloom Energy商业化进展全球领先，连接体部分我们以Bloom Energy的平板式SOFC+重铬路线作为分析基础。**
  - **重点关注公司：**振华股份——是目前全球范围内最具规模的铬盐上市企业，主要产品有重铬酸钠、重铬酸钾、铬酸酐、氧化铬绿、碱式硫酸铬、精制元明粉、铬黄、金属铬、超细氢氧化铝及维生素K3等。根据公司2025年年度暨2026年第一季度业绩说明会纪要披露，公司已与Bloom Energy供应链上多家金属连接件厂商进行了接洽或直接合作。
- **SOFC的成本构成——BOP：**BOP是除了电堆之外，所有支撑它运行的周边设备，主要包括空气供应单元（Air supply units）、燃料供应与处理单元（Fuel supply units）、尾气回收单元（Tail gas recovery units）、控制与电力管理单元（Control units、Electricity management unit）等，参考NETL数据，BOP占SOFC成本的37%左右。相关公司包括：壹连科技（Bloom Energy AIDC电连接组件供应商）、春晖智控（当前持有春晖仪表38.69%的股权，公司正推进收购该公司剩余股权；春晖仪表与Bloom Energy长期合作，在SOFC电池测温领域积累了大量经验与技术）、京泉华（为Bloom Energy的发电设备提供磁性元器件类产品）等。

图表： 2024年中国金属铬产能占全球的65%以上



图表：振华是国内金属铬行业市场份额第一（2024年）



资料来源：观研天下、华源证券研究所

仅供内部参考，请勿外传

风险提示

行业景气度不及预期：若云厂商缩减AI相关资本支出等因素影响，全球AI产业链存在不及预期的风险。

竞争格局恶化风险：如多家SOFC公司同时开始规模化上量，且价格策略较为激进，可能导致行业市场规模与盈利水平不及预期。

数据测算偏误风险：本文中的部分数据测算带有一定主观因素，可能导致对行业规模与盈利水平的判断出现一定误差。

技术成熟度不及预期风险：如SOFC后续降本曲线/商业化扩张的速度受技术成熟度影响不及预期，可能导致行业市场规模与盈利水平不及预期。

仅供内部参考，请勿外传

评级说明和重要声明

证券分析师声明

本报告署名分析师在此声明，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注册为证券分析师，本报告表述的所有观点均准确反映了本人对标的证券和发行人的个人看法。本人以勤勉的职业态度，专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观的出具此报告，本人所得报酬的任何部分不曾与、不与，也不将会与本报告中的具体投资意见或观点有直接或间接联系。

一般声明

华源证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。

本报告是机密文件，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本公司客户。本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息撰写，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、工具、意见及推测等只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人作出邀请。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、财务状况和特殊需求，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。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。

本报告所载的意见、评估及推测仅反映本公司于发布本报告当日的观点和判断，在不同时期，本公司可发出与本报告所载意见、评估及推测不一致的报告。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。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。本公司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。本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。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。

本报告的版权归本公司所有，属于非公开资料。本公司对本报告保留一切权利。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修改、复制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。如征得本公司许可进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“华源证券研究所”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。本公司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本公司的商标、服务标记及标记。

本公司销售人员、交易人员以及其他专业人员可能会依据不同的假设和标准，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或交易观点，本公司没有就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。

仅供内部参考，请勿外传

评级说明和重要声明

信息披露声明

在法律许可的情况下，本公司可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。本公司将会在知晓范围内依法合规的履行信息披露义务。因此，投资者应当考虑到本公司及/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一参考依据。

投资评级说明

证券的投资评级：以报告日后的6个月内，证券相对于同期市场基准指数的涨跌幅为标准，定义如下：

买入：相对同期市场基准指数涨跌幅在20%以上；

增持：相对同期市场基准指数涨跌幅在5%～20%之间；

中性：相对同期市场基准指数涨跌幅在-5%～+5%之间；

减持：相对同期市场基准指数涨跌幅低于-5%及以下。

无：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。

行业的投资评级：以报告日后的6个月内，行业股票指数相对于同期市场基准指数的涨跌幅为标准，定义如下：

看好：行业股票指数超越同期市场基准指数；

中性：行业股票指数与同期市场基准指数基本持平；

看淡：行业股票指数弱于同期市场基准指数。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议；

投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者应阅读整篇报告，以获取比较完整的观点与信息，不应仅仅依靠投资评级来推断结论。

本报告采用的基准指数：A 股市场基准为沪深 300 指数，香港市场基准为恒生中国企业指数（HSCEI），美国市场基准为标普 500 指数或者纳斯达克指数。

仅供内部参考，请勿外传

華源証券

HUAYUAN SECURITIES