下载日志已记录，仅供内部参考

中泰证券 ZHONGTAI SECURITIES

证券研究报告



【中泰汽车】行业专题报告：AI缺电，SOFC破局，从Bloom Energy到中国产业链

汽车行业首席分析师：何俊艺
S0740523020004
hjy@zts.com.cn

汽车行业分析师：袁泽生
S0740525070006
yuanzs01@zts.com.cn

中泰证券研究所
专业 | 领先 | 深度 | 诚信

2026年10月26日

下载日志已记录，仅供内部参考

核心内容

SOFC：固体氧化物燃料电池（SOFC）作为一种高温燃料电池，以固体陶瓷电解质为核心，将燃料中的化学能经电化学反应直接转化为电能，不经燃烧、不受卡诺循环约束，在AI数据中心供电体系中承担“现场主电源”的关键作用。 其发电效率50%－60%、热电联产综合效率最高可达90%，碳排放较传统天然气机组低逾30%，兼具近零NOx/SOx排放与零水耗特性。技术路线上，平板式和中温氧离子电解质是当下主流；支撑结构正由电解质支撑（代表企业Bloom Energy）向金属支撑（代表企业潍柴动力、Ceres Power）演进，后者凭低温、低成本与快速启动优势构成远期方向。

1）SOFC用于AIDC主电已具备一定经济性： ①建设周期最快90天，电网接入需2－5年以上，燃气轮机平均交付周期长达5年；②按美国DOE百兆瓦级氢燃料SOFC测算，LCOE约125美元/MWh（无ITC），40% ITC情景下可降至约100美元/MWh，低于简单循环燃气轮机；③IRA框架下SOFC最高抵免额度可达50%，叠加降本，DOE目标2030年前系统成本降至900美元/kW以下。

2）北美AIDC缺电打开成长空间： ①需求端，北美AI算力大爆发与高密度数据中心集群建设带动用电量激增，传统本地电网负荷面临极大压力；②供给端，电网老化扩容极慢、风光储高波动无法持续稳定供电、燃机产能不足，叠加2028年美国大选碳排放政策不确定性；③商业化可落地——Oracle（最高2.8GW）、AEP（1GW框架）、Equinix（100+MW）、CoreWeave（14MW）等案例相继落地，Bloom Energy测算其800V直流供电方案可使1GW AI数据中心非算力CAPEX降低27%、五年TCO降低9%。据我们测算，中性假设下2030年SOFC出货量达8.5GW、市场规模约178亿美元。

3）格局与标的： 全球竞争呈美国龙头主导、中日韩欧加速追赶特征。Bloom Energy占全球SOFC份额约75%至85%，2026H1收入18.16亿美元、同比+149.76%，毛利率32%创新高、净利率转正，“设备销售+长期服务+轻资产合作”模式打开扩张空间。国内产业链分环节看：整机环节，与Ceres合作构建SOFC整机研发及产业化能力、国内商业化领先，建议关注：**潍柴动力**；核心材料环节，隔膜片主供Bloom Energy，建议关注：**三环集团**；部件环节，Bloom Energy温度传感器主要供应商之一、份额超70%，建议关注：**春晖智控**；关键资源环节，单GW连接件消耗金属铬约5,000吨、现有产能3万吨（2027年满产），建议关注：**振华股份**；测试环节，中标中广核SOFC发电系统测试服务项目、卡位第三方测试验证，建议关注：**雄韬股份**；全栈自研环节，实现“粉体—电池片—电堆—系统”完整链条自主供应、120kW示范工程预计2026年底建成投运，建议关注：**壹石通**。

风险提示：北美AI资本开支不及预期；SOFC降本与烧结良率提升进度低于预期；渗透率假设与市场规模测算偏差；电网扩容或燃机产能恢复超预期；美国大选后碳排放政策变化；国内SOFC产业化进度不及预期；金属铬等原材料价格波动；测算引用第三方数据存在口径差异；市场空间测算偏差的风险；研究报告中使用的公开资料可能存在信息滞后或更新不及时的风险。

下载日志已记录，仅供内部参考

目 录

1 SOFC的原理和技术

1.1 什么是SOFC：工作原理与核心结构；单电池→电堆→系统，“积木式”放大之路

1.2 SOFC的分类：平板式×中温氧离子电解质是当下主流；三大支撑结构对比

1.3 SOFC发电与其他发电方式对比：发电效率、环保性领先；当前已经具备一定经济性

2 SOFC适配北美AIDC缺电（成长逻辑）

2.1 SOFC产业链：材料—电堆—系统三层拆解

2.2 SOFC生产工艺：单电池制备→电堆组装→系统集成

2.3 SOFC扩产瓶颈：炉窑工艺、良率、关键材料与设备

2.4 SOFC交付配套EPC环节成本占比高，通常交由第三方合作

2.5 SOFC适配北美数据中心缺电的必要性、可行性

2.6 市场规模：2030年北美数据中心SOFC市场可达178亿美元

2.7 全球竞争格局与主要参与者

2.8 技术演进路径

3 Bloom Energy公司分析

3.1 全球SOFC商业化龙头：业务体系、发展历程、治理结构

3.2 财务表现：AI需求驱动收入增长，盈利能力持续改善

3.3 商业模式：应用场景扩展带动装机提升，产品+服务+轻资产合作

3.4 核心技术：高温SOFC路线，标准化模块化体系

4 国内SOFC产业链梳理

4.1 潍柴动力：国内SOFC整机龙头，商业化进展领先

4.2 三环集团：核心材料龙头，切入Bloom Energy供应链

4.3 春晖智控：子公司卡位BE核心部件，合作放量带动配套需求

4.4 振华股份：铬金属龙头卡位SOFC连接体关键材料

4.5 雄韬股份：卡位SOFC第三方测试环境，具备产业发展弹性

4.6 壹石通：SOFC全栈自研，稀缺完整链条

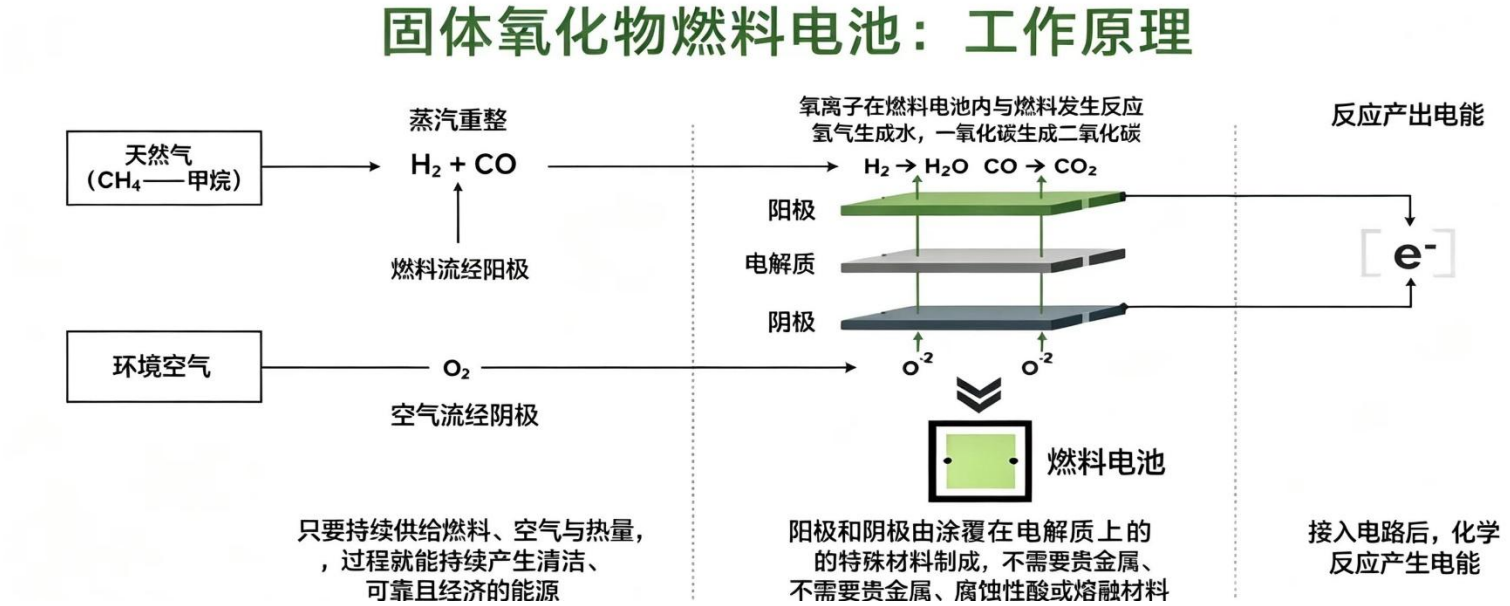
5 风险提示

下载日志已记录，仅供内部参考

1.1 什么是SOFC：工作原理与核心结构

- **SOFC定义：**SOFC（Solid Oxide Fuel Cell)即固体氧化物燃料电池，是一种高温燃料电池，以固体陶瓷电解质为核心（常见材料是氧化锆稳定氧化钇 YSZ）。它把氢气、天然气、甲醇等燃料中的化学能直接转化为电能，不经过燃烧过程，因此效率高、排放低。
- **SOFC的工作原理：**电堆阳极依靠碳氢燃料重整制得的氢气作为反应物，氢气穿过阳极的多孔孔洞，移动到阳极和电解质的接触界面；阴极不间断通入空气，氧气附着在多孔阴极表层，在阴极催化作用下得到电子，转化为氧离子并渗入固态电解质。氧离子受两侧浓度差驱动在电解质内移动至阳极界面，和氢气发生氧化反应；反应释放的电子顺着外部导线流回阴极，依托整套电荷循环完成电力输出。

图表1：SOFC工作原理



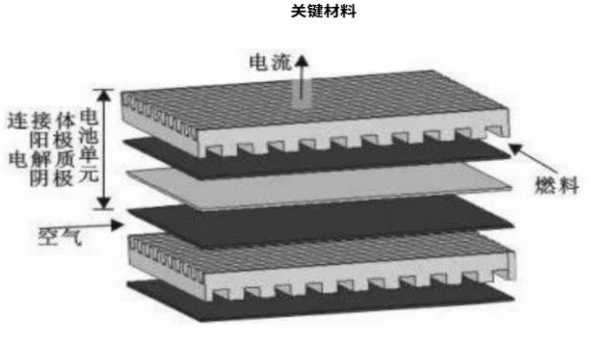
来源：Bloom Energy官网，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

1.1 什么是SOFC：单电池→电堆→系统，“积木式”放大之路

- **SOFC的层级包括电池单元-电堆-系统。**电池单元由阴极、电解质、阳极三部分组成，依靠三者发生电化学反应产出低压电能；电堆由单电池、连接体、密封件、端板组装而成，将化学能直接转化电能，是燃料电池核心；系统由电堆和外围辅助单元组成，有空气供给预热单元、燃料供给（重整）单元、尾气回收单元、电管理单元以及控制单元等，用来预处理供气、回收余热、管控电力、保障设备平稳运转。
- **BE采用模块化SOFC架构，可原生输出800V直流电适配AI数据中心。**单个Fuel Cell Stack约1kW，可进一步集成为约65kW Power Module、约325kW Energy Server，并扩展至MW级。SOFC单片开路电压约1.0V，额定带载工作电压0.7V，约1143片串联即可原生输出800V直流电。

图表2： SOFC 典型结构



图表3： SOFC发电系统示意图

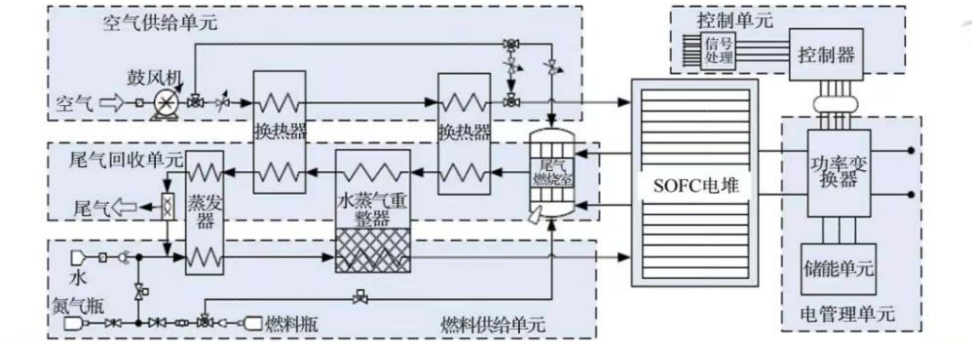


图4：SOFC工作原理图

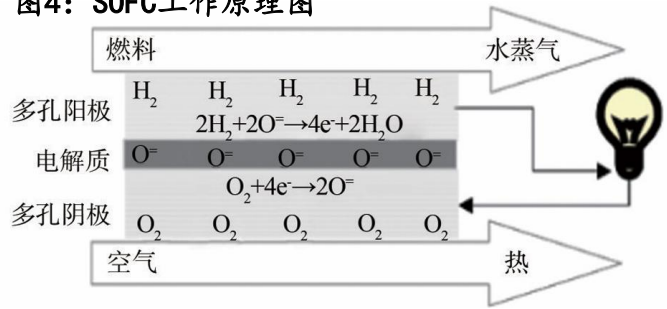


图5：SOFC层级示意图



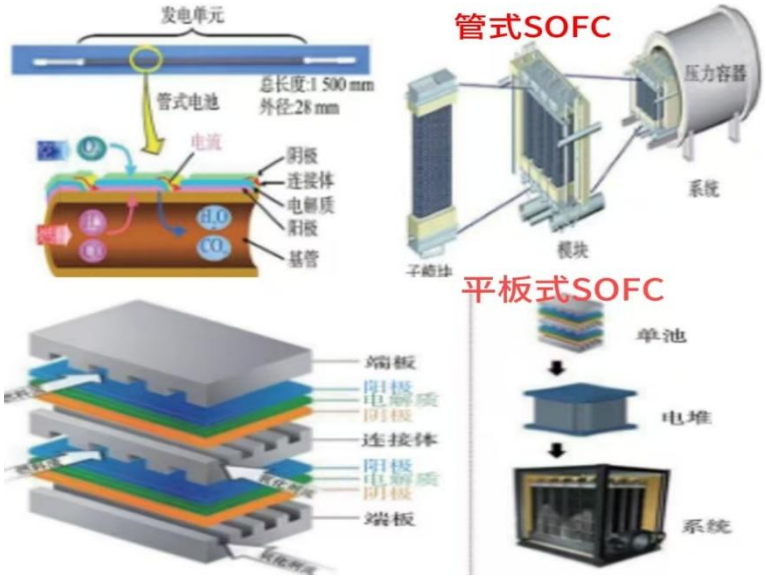
来源：中国粉体网，OFweek电力网，《基于固体氧化物燃料电池的高效清洁发电系统》.曹静等.2020，Bloom Energy Investor Presentation，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

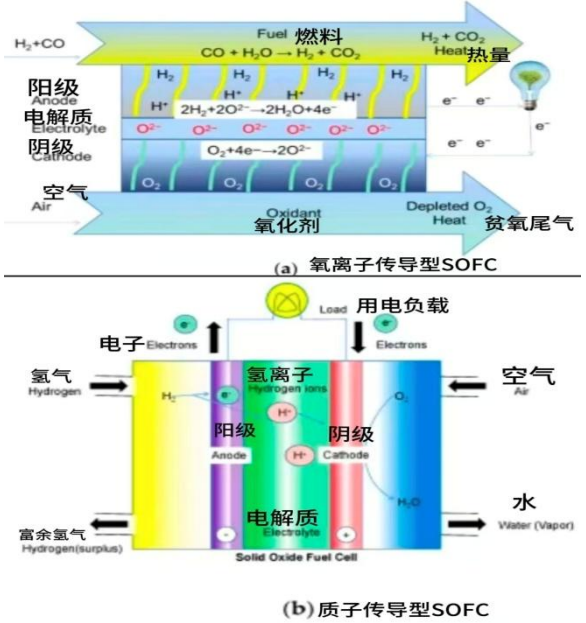
1.2 SOFC的分类：平板式和中温氧离子电解质是当下主流

- **根据单元组件设计形式的不同，SOFC主要分为管式和平板式两种结构。**管式结构SOFC是最早且较为成熟的形式，具有良好的密封性能和长期运行稳定性，电池组装也相对简单，但电极之间的间距大，内阻损失大，功率密度较低；平板式结构SOFC的几何形状简单，制造成本较低，电池组件要求边缘耐高温密封，对双极连接板材料要求较高。未来的发展趋势是以平板式为主。
- **根据电解质类型的不同，SOFC可分为质子导电解质和氧离子导电解质两种。**质子传导SOFC是指电解质传导氢离子，在低温400-600℃运行，成本优势突出；氧离子传导SOFC是指电解质传导氧离子，氧离子传导SOFC是指电解质传导氧离子，传统高温型工作温度约800－1000℃，中温型可降至550－800℃。短期行业以氧离子中温电解质为主，长期的发展方向是质子传导低温SOFC。

图表4：管式和平板式SOFC发电单元和系统集成



图表5：氧离子传导型和质子传导型SOFC



来源：科学网，清华大学韩敏芳、张永亮综述，《基于固体氧化物燃料电池的高效清洁发电系统》，PMC，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

1.2 SOFC的分类：三大支撑结构对比

- 根据支撑体类型的不同，SOFC主要分为电解质支撑型、电极（阴极/阳极）支撑型、金属支撑型三大类。
- **电解质支撑型具有结构稳定性高、输出性能稳定的优点：**用较厚的电解质层来换取支撑体的机械强度，但增加了欧姆阻抗和极化阻抗进而导致电池性能下降，代表企业有BE。**电极支撑型在电解质薄膜化的基础上保证较高的电化学活性：**阳极支撑体主要是金属基复合陶瓷材料，代表企业有Delphi、FuelCell Engergy等，阴极支撑体主要是锰酸锶镧（LSM）等，代表企业西门子-西屋。**金属支撑型具有启动快、成本低等特点：**使用廉价、坚固、易于加工的多孔金属作为支撑体如Fe基合金和Ni基合金，代表企业有潍柴动力、Ceres Power等。
- **当前商用主流为电解质支撑，可靠性成熟；国内中期多用阳极支撑平衡成本；远期金属支撑凭低温低成本优势，将成为长期主流。**

图表6：各类型支撑体SOFC的对比

项目	ES-SOFC（电解质支撑型）	AS-SOFC（阳极支撑型）	CS-SOFC（阴极支撑型）	MS-SOFC（金属支撑型）
优点	电解质致密 电化学稳定 制备工艺简单 成本低	欧姆阻抗小 输出功率高 降低运行温度 材料适配性好	燃料选择性高 电池结构稳定性好	金属材料成本低 欧姆阻抗小 电池启动快 易于加工和密封
缺点	欧姆极化明显 电导率低 运行温度高 材料寿命短	抗热循环性差 抗氧化还原性差 燃料选择性低	浓差极化大 电化学稳定性差 阴极材料制备复杂 成本高	金属材料易氧化 电解质致密难度高 制备工艺复杂
运行温度	850-1000℃	700-800℃	800 - 1000℃	400 - 650℃（低温型） 650 - 800℃（中温型） 800℃以上（高温型）

来源：《固体氧化物燃料电池支撑体研究进展》.王亚丽等.2025，Journal of Power Sources（2010）、Solid State Ionics（2020）、Journal of Solid State Electrochemistry（2026）、TAIYO YUDEN官网，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

1.3 SOFC发电与其他发电方式对比，发电效率、环保性领先

- **SOFC优势1：发电效率高** SOFC发电效率显著优于内燃机、燃气轮机等热力机组，高出10%-20%。其依托电化学直接转化化学能发电，跳过燃烧产热、热能转机械功流程，不受卡诺循环效率上限约束，发电效率50%-60%；搭配热电联产综合效率可达90%。
- **SOFC优势2：环保性好** SOFC的清洁体现在少烧、少污染，它的**碳排放低**：天然气工况下Bloom Energy的Energy Server碳排放强度约308-378gCO_2/kWh，低于美国EPA所列部分天然气简单循环燃气轮机参考机组的504-756gCO_2/kWh。**空气污染物少**：靠电化学反应发电、不靠燃烧，所以几乎不产生NOx、SOx和内燃机尾气里的颗粒物。**用水少**：运行基本零水耗，适合缺水地区或数据中心这类用电大户。

图表7：SOFC与其他电源技术核心效率指标对比

技术类型	纯发电效率（LHV）	热电联产综合效率	燃料适应性
SOFC	50%-60%	85%-90%	天然气、氢气、生物质气、合成气等多燃料
SOFC-GT 混合系统	~70%	~90%	天然气、氢气
重型燃气轮机（简单循环）	35%-42%	—	天然气为主
燃气-蒸汽联合循环	58%-64%	—	天然气为主
PEMFC	40%-55%	70%-80%	高纯氢气（对杂质敏感）
四冲程内燃机	23%-49%	—	柴油

图表8：SOFC与燃气轮机的环保性对比

环保维度	SOFC（BloomEnergy）	重型燃气轮机
正常运行耗水量	零	2.5GW供电每日耗水量相当于一个州居民淋浴用水总量
NOx排放	0.001 kg/MWh	需配置脱硝设备，仍有排放
SOx排放	近乎为零（天然气预先脱硫）	需配置脱硫设备
颗粒物排放	极低，接近零	天然气工况排放较低，液体燃料工况相对较高
噪音	＜65 dBA（3米）	约85 dBA（1米）
CO_2排放削减（天然气运行）	308-378 kg/MWh	504-756 kg/MWh

来源：《Elevating Gas Turbine System Efficiency by Integration with Super-high-temperature Solid Oxide Fuel Cells》，石奕翔等，2025，Bloom Energy官网，MDPI等，华尔街见闻，EPA，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

1.3 SOFC发电与其他发电方式对比，当前已经具备一定经济性

- **SOFC已具备一定经济性：**SOFC的建设周期最快90天，建设周期短，碳排放量较低，LCOE(平准化度电成本，是衡量能源项目经济性的核心指标)低于简单循环燃气轮机和海上风电等供电方式。按照1MW规模测算，美国 DOE 百兆瓦级氢燃料 SOFC LCOE约为125美元/MWh（无ITC），在40% ITC情景下可降至约100美元/MWh，高于燃气轮机的0.048美元/度，低于简单循环燃气轮机，补贴后与海上风电相比亦具备一定竞争力。美国能源部的目标是2030年前系统成本降到900美元/kw以下。另外，美国政府的补贴政策叠加降本，IRA框架下，SOFC的最高抵免额度可达50%，SOFC展现出一定的经济性。

图表9：符合数据中心需求的电力来源特点

电力来源	建设周期	碳排放（gCO2/kwh）	平均LCOE(美元/MWh)
公用事业级太阳能光伏	1-4年	0	60
陆上风电	2-5年	0	50
海上风电	3-7年	0	110
水电站	5-15年	0	80
常规地热	3-8年	0	80
新建核电	5-15年	0	90
核电重启	2-5年	0	60
煤电	3-6年	960	80
燃气联合循环CCGT	2-4年	390	80
简单循环燃气轮机	1-3年	620	220
电网	2-5+年	356	-
SMRs	3.6-5.9年	0	85-157（无ITC）/54-100（40% ITC）
SOFC	最快0.25年	308-378	约125（无ITC）/约100（40% ITC）

图表10：各类电源系统初始投资成本对比表

发电设备类型	常见单机规模	单位CAPEX（美元/kW）
SOFC（2018年水平）	50–200 kWe	＞12000
SOFC（2020年目标）	200 kWe–1 MWe	6,000
SOFC（2025/2030年目标）	MW级；公用事业级：10–50 MWe	900
陆上风电	171MW	1882
电池储能	66MW	1469
公用事业光伏	45MW	1865
天然气发电	71MW	1004
石油液体燃料发电	5MW	1066

来源：DOE，EIA,卡特彼勒，西门子，NLR 2025 ATB，Idaho National Laboratory，Bloom Energy，Morgan Stanley，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

目 录

1 SOFC的原理和技术

1.1 什么是SOFC：工作原理与核心结构；单电池→电堆→系统，“积木式”放大之路

1.2 SOFC的分类：平板式×中温氧离子电解质是当下主流；三大支撑结构对比

1.3 SOFC发电与其他发电方式对比：发电效率、环保性领先；当前已经具备一定经济性

2 SOFC适配北美AIDC缺电（成长逻辑）

2.1 SOFC产业链：材料—电堆—系统三层拆解

2.2 SOFC生产工艺：单电池制备→电堆组装→系统集成

2.3 SOFC扩产瓶颈：炉窑工艺、良率、关键材料与设备

2.4 SOFC交付配套EPC环节成本占比高，通常交由第三方合作

2.5 SOFC适配北美数据中心缺电的必要性、可行性

2.6 市场规模：2030年北美数据中心SOFC市场可达178亿美元

2.7 全球竞争格局与主要参与者

2.8 技术演进路径

3 Bloom Energy公司分析

3.1 全球SOFC商业化龙头：业务体系、发展历程、治理结构

3.2 财务表现：AI需求驱动收入增长，盈利能力持续改善

3.3 商业模式：应用场景扩展带动装机提升，产品+服务+轻资产合作

3.4 核心技术：高温SOFC路线，标准化模块化体系

4 国内SOFC产业链梳理

4.1 潍柴动力：国内SOFC整机龙头，商业化进展领先

4.2 三环集团：核心材料龙头，切入Bloom Energy供应链

4.3 春晖智控：子公司卡位BE核心部件，合作放量带动配套需求

4.4 振华股份：铬金属龙头卡位SOFC连接体关键材料

4.5 雄韬股份：卡位SOFC第三方测试环境，具备产业发展弹性

4.6 壹石通：SOFC全栈自研，稀缺完整链条

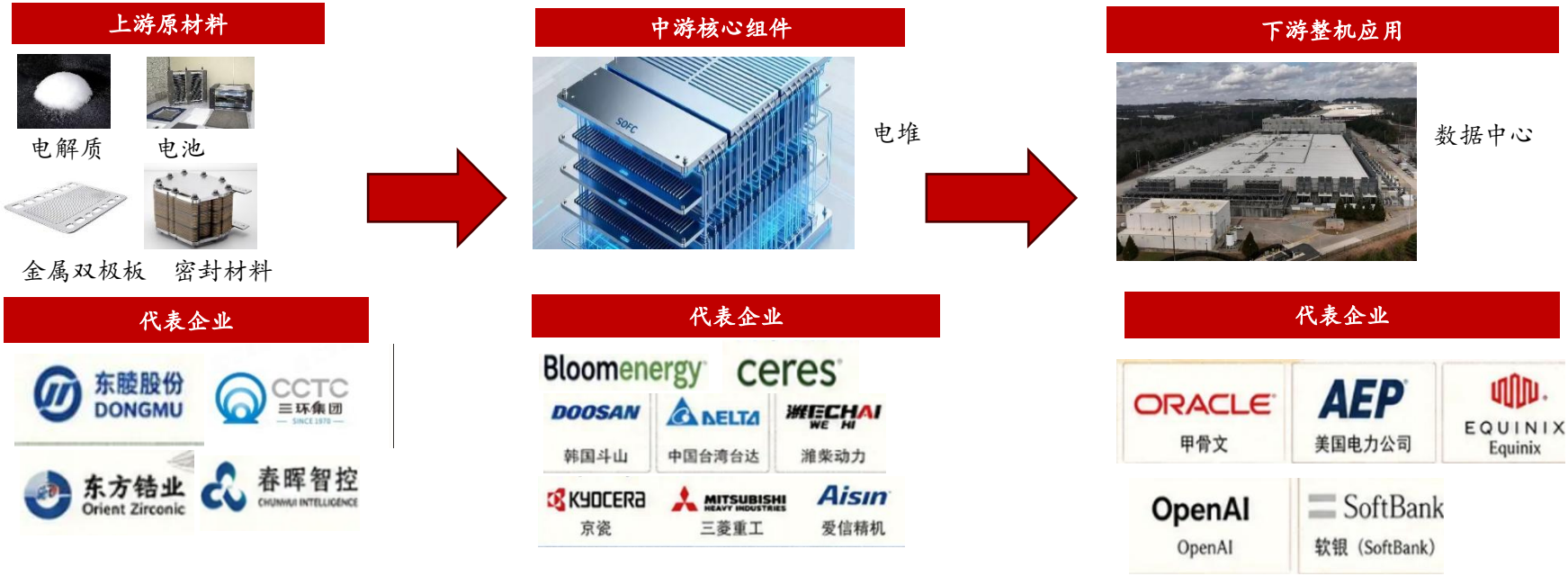
5 风险提示

下载日志已记录，仅供内部参考

2.1 SOFC产业链：材料—电堆—系统三层拆解

- **上游：核心材料国产化突破。**SOFC上游主要包括电解质（氧离子导体）材料、阳极材料、阴极材料、连接体涂层材料、密封材料等。
- **中游主要是电池、电堆。**随着市场规模化扩张进入高量产阶段，SOFC电堆的生产成本将下降，市场竞争力显著增强。
- **下游系统集成（BOP）**是指围绕电堆组装的“外围燃料、热管理及电气辅助系统”，负责实现燃料转化、余热回收与最终的热电联产输出。

图表11：SOFC产业链拆解图



来源：各公司官网，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

2.2 SOFC生产工艺：单电池制备→电堆组装→系统集成

■ **SOFC生产流程主要包括单电池制备、电堆组装和系统集成。**单电池制造经过流延成型、自动拉丝网印刷和共结烧三项工艺；随后多个单电池及连接体构成基础电堆，对基础电堆进行模块设计可以开发出不同功能的系统。

图表12：SOFC生产流程图



来源：SOFC行业专家交流会议，Bloom Energy，OFweek电力网，USGS《Mineral Commodity Summaries》，《我国固体氧化物燃料电池产业发展战略研究》，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

2.3 SOFC扩产瓶颈：炉窑工艺、良率、关键材料与设备

- **箱式炉工艺低效瓶颈和关键原材料供给约束是当前SOFC扩产两大核心制约因素。**Bloom Energy电堆生产仍使用箱式炉工艺，效率低。氧化钪是添加到氧化锆电解质中的掺杂剂，可提高功率密度、耐久性和燃料效率，但目前供给规模受限。
- **良率影响产出效率，其突破将成为中期降本关键。**电堆烧结良率行业平均水平仅70%-80%，最差月份不足40%，严重影响产出效率；工程师需兼顾生产、研发、运维，难以支撑大规模扩产。良率突破是当下关键，从70-80%提升至90%+需工艺突破，决定中期降本节奏。
- **高端设备大量依赖国外进口。**高性能单电池的一致性需要设备的可靠性及工艺的标准化，阴极回热器依赖荷兰BOSAL全焊接超薄箔片换热器、燃烧器大量依赖进口，国内供应链在耐高温精密部件领域存在明显短板，进口依赖推高系统成本并延长交付周期，制约国产化进程。

图表13：SOFC扩产瓶颈

瓶颈一：电堆组装产能限制

Bloom Energy电堆生产仍使用箱式炉工艺，单炉仅能处理20+个电堆，组装效率极低

2026年2GW产能目标可能延迟至Q4才能完成电堆扩产，供给释放节奏存在不确定性

行业亟需连续式烧结炉等新型工艺设备突破，以实现电堆生产的规模化效率提升

瓶颈二：关键原材料供给约束

SOFC电解质配方含5%－12%mol%氧化钪，根据Bloom Energy自身专利折算，单位GW用量为29吨氧化钪，5GW对应145吨

2025年全球氧化钪产量约80吨、年产能超90吨，直接供给有限；但通过现有工业尾流（钛、镍、钴、铀加工副产）回收，每年可生产几百吨氧化钪

2026年Bloom表示其氧化钪现有供应链能够支持每年最高25GW的产能，且不依赖中国

来源：Bloom Energy，OFweek电力网，USGS《Mineral Commodity Summaries》，《我国固体氧化物燃料电池产业发展战略研究》，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

2.4 SOFC交付配套EPC环节成本占比高，通常交由第三方合作

- **电力转换环节有望简化，SOFC实际交付仍需EPC配套。** Bloom Energy的SOFC可提供800V直流电源，减少传统交流架构中的部分变压、整流等设备需求。但SOFC实际交付仍需EPC配套，EPC直接成本包含土建、机械、电气及控制工程所需的设备、材料和人工；间接成本包含工程设计、施工管理、吊装、调试和承包商管理费用等。
- **Bloom Energy采用自主安装与第三方EPC合作相结合，安装业务规模快速增长，盈利能力承压，配电设备需求持续释放。**合作方包括具备EPC能力的SK ecoplant，电力设备供应商包括LS ELECTRIC。2025年Bloom安装业务收入约2.04亿美元，同比增长约66.8%、安装营业成本约2.06亿美元，安装业务毛利率约-0.92pcts。2026年4月 LS ELECTRIC与Bloom Energy签订约2.2亿美元配电设备合同，涉及新墨西哥州大型数据中心项目，设备主要包括配电柜、配电变压器等。

图表14：EPC主要环节、成本构成及占比

成本项目	成本（万美元）	EPC成本占比
土建及建筑结构	376.4	6%
机械设备及系统	2,763.4	40%
其中：燃料电池	*1,160.1*	*17%*
其中：辅助系统BOP	*1,603.3*	*23%*
电气及控制系统	2,180.9	32%
工程间接费	307.5	4%
EPC承包费	281.4	4%
EPC成本合计	**5,909.60**	86%
业主成本合计	661.3	10%
项目应急费用	**262.8**	4%
总费用	**6833.7**	100%

注：该项目为10 MW天然气SOFC电站，电池+BOP占比40%，含电池后EPC成本5,909.6万美元，占比86%

图表15：Bloom Energy EPC工程及安装业务成本

财务指标	2025年	2024年
产品收入	15.31亿美元	10.85亿美元
安装收入	2.04亿美元	1.22亿美元
产品营业成本	9.93亿美元	6.86亿美元
安装营业成本	2.06亿美元	1.29亿美元

图表16：Bloom Energy EPC 合作商

EPC工程集成　　配电设备供应商

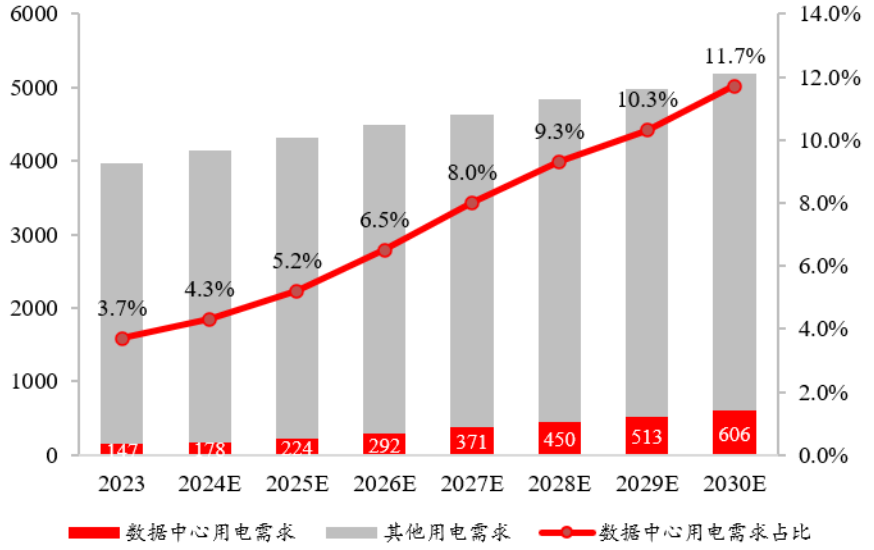
来源：SEC、LS ELECTRIC、Bloom Energy 2025 Form 10-K，美国能源部EIA，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

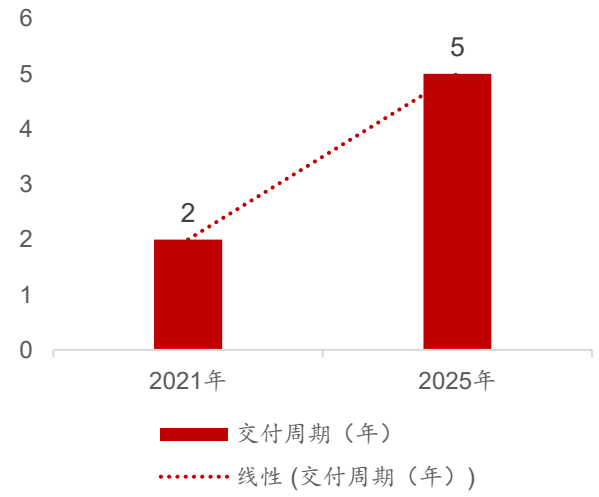
2.5 SOFC适配北美数据中心缺电的必要性

- **①需求端：数据中心用电量激增，电力需求激增。**随着北美 AI 算力大爆发与高密度数据中心集群的建设，单体机架功率密度大幅提升，直接导致数据中心用电量呈现爆发式膨胀，传统本地电网负荷面临极大压力。
- **②供给端：传统电网供电受限与政策存在不确定性**
- **本地电网老化：** 电网设备普遍老化且扩容极慢，同时风光储等新能源存在高波动性，无法满足持续稳定供电。
- **燃机产能不足，交付周期长：** 传统燃气轮机/发电机组面临供应链延迟与产能瓶颈，且燃气轮机供应紧张，交付周期长达5年。
- **大选政策扰动：** 展望 2028 年美国大选，未来是否会再度限制碳排放尚不明朗，政策不确定性迫使业主寻找低碳高能效方案。

图表17：2023-2030年美国数据中心用电需求预测（太瓦时）



图表18：燃气轮机平均交付周期变化（年）



来源： McKinsey&Company，美国能源信息署，Wood Mackenzie，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

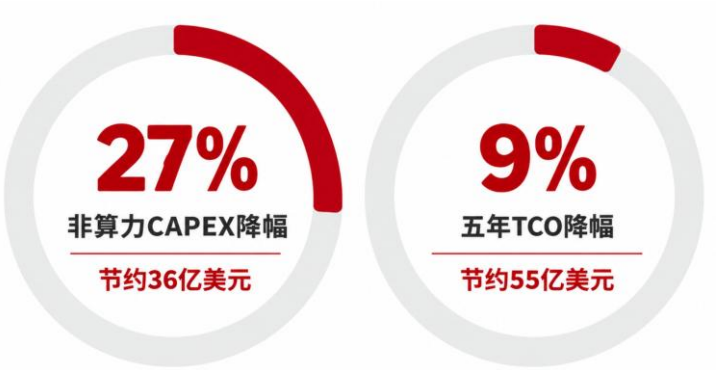
2.5 SOFC适配北美数据中心缺电的可行性

- **①商业化可落地，已有案例：** Bloom Energy为全球SOFC商业化领先企业。据MarketsandMarkets，Bloom Energy、三菱重工、AISIN及京瓷四家企业合计占全球SOFC市场约70%-80%。三环集团是全球SOFC电解质隔膜市场领先企业，电堆处于示范阶段；潍柴动力是国内SOFC系统集成领域领先企业，采用CeresPower技术进行生产，另外还有壹石通、中自科技、东方锆业、科力远、振华股份、顺络电子、春晖智控、佛燃能源等企业，对应SOFC材料、连接体、电管理、气管理或系统环节。
- **②SOFC具备一定的经济性：** SOFC电化学发电效率高，日常运维及耗材支出有望降低长期运营成本。短期初始投资较高，但规模化生产及技术迭代后成本有下降空间。SOFC通过电化学反应直接产生直流电，据Bloom Energy测算，其800V直流供电方案可使1GW AI数据中心非算力资本开支（CAPEX）及五年总拥有成本（TCO）分别降低27%和9%，体现出一定的经济性优势。

图表19：美国使用SOFC作为主力/主电源的数据中心项目

部署客户	SOFC装机规模	应用场景	签约/运营时间
Oracle（OCI）	2.8 GW（主服务协议）	AI计算主电源	2025.7初始签约；2026.4扩至2.8GW
AEP	1 GW（框架协议）	AI数据中心	2024.11签约；首批100MW交付
Equinix	100+ MW	19个IBX数据中心现场电力	2015年启动；2025.2扩至100+MW
CoreWeave	14 MW（Volo，数据中心首栋建筑供电容量）	AI云数据中心现场发电	2024.7签约；2025Q3投入使用
Intel	未披露	高性能计算中心	2024.5签约

图表20：SOFC适配800V直流电的成本节约效果



注：相较传统交流供电方案，基于1GW AI数据中心测算。

来源：各公司官网，BloomEnergy，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

2.6 市场规模：2030年北美数据中心SOFC市场预计可达178亿美元

- 市场规模测算基于“新增供电功率×渗透率×单价”三因子。根据Semianalysis预测，2026-2030年，北美数据中心新增供电功率由2026年的21GW提高到2030年的84GW，自备电源成为主流方案，SOFC凭快速交付与高发电效率成为可选技术路线之一。
- 根据Bloom Energy电话会交流，到2026年底产能将达到2GW，并且新增1GW产能需要6-9个月产线时间，BE 2025年占SOFC市场约75%市占率，在2026Q2法说会上表述公司在数据中心领域的市占率90%以上，则中性假设下，到2030年SOFC出货量将达到8.5GW，市场渗透率达到10.1%。
- 据我们测算，BE SOFC的产品出货价格约287.7万美元/MW，公司正在每年两位数速度进行降本，考虑到公司毛利率持续提升，假设每年终端售价下降7.5%，到2030年单价为210.6万美元/MW。
- 由此，北美AIDC SOFC设备市场自2026年38.3亿美元增至2030年149.3/178.0/215.1亿美元（悲观/中性/乐观），中性情形26-30年CAGR约47%。

图表21：北美数据中心SOFC电源市场规模测算

年份	US AIDC新增供电功率（GW）	SOFC渗透率			SOFC AIDC出货量（GW）			SOFC单价（万美元/MW）	SOFC市场规模(亿美元)		
		悲观	中性	乐观	悲观	中性	乐观		悲观	中性	乐观
2026	21	6.3%	6.3%	6.3%	1.3	1.3	1.3	287.7	38.3	38.3	38.3
2027	39	7.1%	8.0%	9.1%	2.8	3.1	3.6	266.1	73.7	82.8	94.5
2028	54	7.8%	9.1%	10.7%	4.2	4.9	5.8	246.2	103.6	120.4	142.0
2029	66	8.6%	10.1%	12.1%	5.7	6.7	8.0	227.7	128.7	151.9	181.9
2030	84	8.4%	10.1%	12.2%	7.1	8.5	10.2	210.6	149.3	178.0	215.1

来源：SemiAnalysis，Bloom Energy，华经产业研究院，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

2.7 全球竞争格局与主要参与者

■ **全球 SOFC 竞争格局呈现美国龙头主导、中韩欧差异化卡位的特征。**据华经产业研究院估算，Bloom Energy占全球SOFC市场份额约75%，依托自研电堆与垂直一体化系统集成，是唯一实现GW级订单与交付的集成商。欧洲Ceres Power以技术授权构建产业生态（潍柴、Doosan、台达等），韩国Doosan Fuel Cell基于Ceres技术授权于2025年7月投产50MW SOFC 产线，瞄准数据中心、微电网与船用市场；Elcogen投产 360MW电堆新厂聚焦上游制造。中国市场加速追赶：潍柴动力获Ceres制造许可，2026年落地30MW产能，2027年预计扩产至200MW，到2030年扩产至1GW；台达电子目前有5MW产能。

图表22：全球SOFC主要参与者图谱



图表23：全球SOFC主要企业当前产能

企业	年产能(MW/年)
Bloom Energy	2000（预计26年底达成）
Ceres Power	授权OEM生产
Doosan FuelCell	50
潍柴动力	30MW（2026）→200MW（2027）→1000MW（2030）
Elcogen	360（SOFC+SOEC合计）
台达电子	5MW

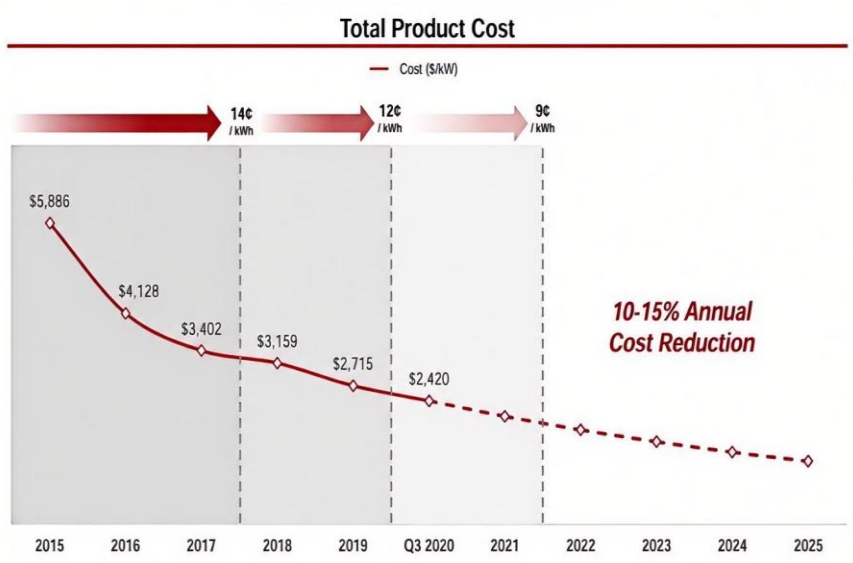
来源:Strategic Revenue Insights，各公司公告，Moneydj理财网，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

2.8 技术演进路径

- **龙头企业降本成效显著，产品迭代与规模制造共同驱动成本下降。**以Bloom Energy为例，2015年新一代Energy Server开始出货，持续提升功率密度，降低单位功率材料消耗；2018—2019年，公司通过制造自动化、供应商协同降本及生产规模扩大，降低材料、人工和制造费用，同时提升工厂产能利用率；2020年进一步优化产品平台及制造工艺，推动单位产品成本，较2015年累计下降约60%。
- **SOFC商业化时间表：**①示范验证期（2020年前后），以首套分布式发电装置（First DG Unit）为标志，重点开展研发迭代与系统可靠性验证；②商业化起步期（2025年前后），以商业化分布式发电产品（Commercial DG Product）为标志，通过产品标准化、初步规模生产及供应链优化降低成本；③规模复制期（2030年前后），以第N套同类分布式发电装置（Nth-of-a-kind DG）为标志，通过大规模制造、工艺成熟与良率提升推动单位系统成本进一步下降。

图表24：Bloom Energy单位产品成本下降趋势图



图表25：SOFC商业化阶段及降本路径

阶段	时间	标志事件	降本驱动
示范验证期	2020年前后	First DG Unit	研发迭代、示范验证
商业化起步期	2025年前后	Commercial DG Product	小批量商业化、供应链成熟
规模复制期	2030年前后	Nth of a kind DG	大规模制造、标准化、良率提升

来源:DOE，Bloom Energy ，Market Research Future，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

中泰证券 ZHONGTAI SECURITIES

目 录

1 SOFC的原理和技术

1.1 什么是SOFC：工作原理与核心结构；单电池→电堆→系统，“积木式”放大之路

1.2 SOFC的分类：平板式×中温氧离子电解质是当下主流；三大支撑结构对比

1.3 SOFC发电与其他发电方式对比：发电效率、环保性领先；当前已经具备一定经济性

2 SOFC适配北美AIDC缺电（成长逻辑）

2.1 SOFC产业链：材料—电堆—系统三层拆解

2.2 SOFC生产工艺：单电池制备→电堆组装→系统集成

2.3 SOFC扩产瓶颈：炉窑工艺、良率、关键材料与设备

2.4 SOFC交付配套EPC环节成本占比高，通常交由第三方合作

2.5 SOFC适配北美数据中心缺电的必要性、可行性

2.6 市场规模：2030年北美数据中心SOFC市场可达178亿美元

2.7 全球竞争格局与主要参与者

2.8 技术演进路径

3 Bloom Energy公司分析

3.1 全球SOFC商业化龙头：业务体系、发展历程、治理结构

3.2 财务表现：AI需求驱动收入增长，盈利能力持续改善

3.3 商业模式：应用场景扩展带动装机提升，产品+服务+轻资产合作

3.4 核心技术：高温SOFC路线，标准化模块化体系

4 国内SOFC产业链梳理

4.1 潍柴动力：国内SOFC整机龙头，商业化进展领先

4.2 三环集团：核心材料龙头，切入Bloom Energy供应链

4.3 春晖智控：子公司卡位BE核心部件，合作放量带动配套需求

4.4 振华股份：铬金属龙头卡位SOFC连接体关键材料

4.5 雄韬股份：卡位SOFC第三方测试环境，具备产业发展弹性

4.6 壹石通：SOFC全栈自研，稀缺完整链条

5 风险提示

下载日志已记录，仅供内部参考

3.1 BE：全球SOFC商业化龙头，长期聚焦分布式燃料电池主业

- **二十余年持续聚焦SOFC研发，公司率先实现SOFC规模化商业应用：**Bloom Energy成立于2001年，由NASA科学家K.R. Sridhar创立，自成立以来始终聚焦固体氧化物燃料电池（SOFC）技术研发。公司发展历程可划分为技术研发、工商业商业化及AI数据中心拓展三个阶段，通过持续优化电堆材料、系统集成及制造工艺，实现SOFC技术由实验室研发向商业化应用的转化。截至2025年底，公司Energy Server已部署于全球9个国家、约1100个项目站点，服务对象涵盖数据中心、公用事业、制造业、医疗及商业园区等多个领域，商业化应用规模位居行业前列。
- **主营业务高度聚焦SOFC系统，形成产品销售与运维服务协同发展的业务体系：**公司主营业务覆盖SOFC系统研发、制造、销售及全生命周期运维服务，同时布局Bloom Electrolyzer等氢能相关产品，但当前收入仍主要来源于SOFC发电系统。长期聚焦单一技术路线使公司能够持续积累研发能力、优化产品性能，并形成较强的产业化及规模化交付优势。截至2025年底，公司已实现20.2亿美元营业收入，在全球9个国家部署约1100个项目，是目前全球SOFC商业化程度最高的企业之一。

图表26：Bloom Energy 发展历程时间轴



来源：Bloom Energy 公司官网，中泰证券研究所

图表27：Bloom Energy 核心业务体系

业务板块	核心内容	营收占比（2026H1）	商业模式
产品销售	SOFC固体氧化物燃料电池系统（Energy Server），天然气/沼气/氢气发电，另含微电网、撬装模块等设备	87.5%	直销买断为主，客户含终端业主、第三方PPA融资方、售后回租交易方及国际渠道商；客户验收时点确认收入
安装部署	Energy Server 现场安装调试工程，随产品销售一并提供	4.2%	项目收费，外包给第三方工程承包商，BE管总包协调
服务	设备运维（O&M）：首年标准运维含出力与效率保证；客户可选购买延保年费	7.2%	15-20年长期服务合同，客户逐年续费，提供稳定年金收入
电力销售	自有设备向终端客户直接售电（PPA模式）	1.1%	设备售予融资方后经营性租回供电，电费按合同期确认，销售电力

下载日志已记录，仅供内部参考

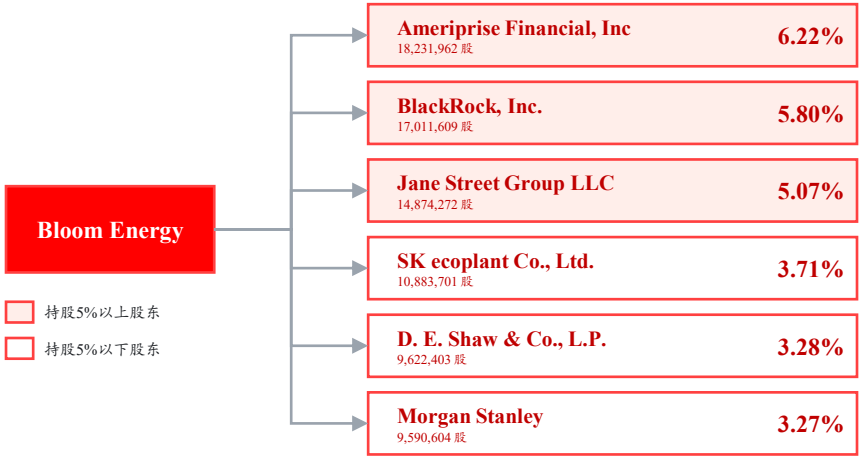
3.1 BE：治理结构稳健、研发能力领先，为公司持续商业化扩张提供支撑

- **股权结构相对稳定，长期机构投资者支持公司持续投入研发与产能建设：**Bloom Energy上市后形成了以国际机构投资者为主的股东结构，公司不存在依赖单一股东控制的发展模式，治理体系成熟。稳定的资本支持使公司能够持续推进产品研发、制造扩产及市场拓展，在行业尚处于产业化初期阶段时仍保持较高研发投入，为SOFC技术持续迭代提供资金保障。同时，公司近年来积极通过项目融资及合作开发等方式拓宽融资渠道，为未来业务扩张奠定基础。
- **核心管理团队兼具科研背景与产业化经验，持续推动技术升级和商业模式创新：**公司创始人兼董事长K.R. Sridhar长期从事高温燃料电池及能源系统研究，是Bloom Energy核心技术路线的重要奠基者。管理层在能源、电化学及先进制造领域具有丰富经验，持续推动Energy Server产品性能提升、成本优化及商业模式创新。近年来，公司进一步围绕AI数据中心供电需求推进模块化产品升级，并与AEP、Brookfield等合作伙伴建立长期合作关系，推动SOFC应用场景持续拓展。

图表28：Bloom Energy 核心管理层简介

姓名	职位	核心背景	行业深耕年限	核心贡献	最新持股数（万股）
K.R. Sridhar, PhD	创始人、董事长兼 CEO	NASA 前科学家，固态电化学专家，火星生命支持系统研发负责人	30年+	技术路线制定，战略方向引领	566.21
Ravi Prasher, PhD	首席技术官	劳伦斯伯克利国家实验室前副主任，能源系统专家	25年+	技术迭代，降本研发，氢能技术突破	--
Satish Chitoori	首席运营官	半导体与高端制造运营专家，拥有量产管理与供应链优化深厚经验	20年+	产能扩张，供应链优化，大规模生产落地	20.74
Simon Edwards	首席财务官	资深财务高管，2026 年 4 月就任现职；此前曾任 AI 芯片企业 Groq CFO、GE Digital 财务负责人	18年+	资本运作，盈利模式优化，财务结构改善	--
Aman Joshi	首席商务官	能源行业商业化专家，前 GE 能源高管	15年+	市场拓展，AI 数据中心客户开发	55.88

图表29：Bloom Energy 前六大股东股权结构图



前六大股东合计 80,214,551 股 ，占已发行普通股 27.35%
（数据截至2026-07-29）

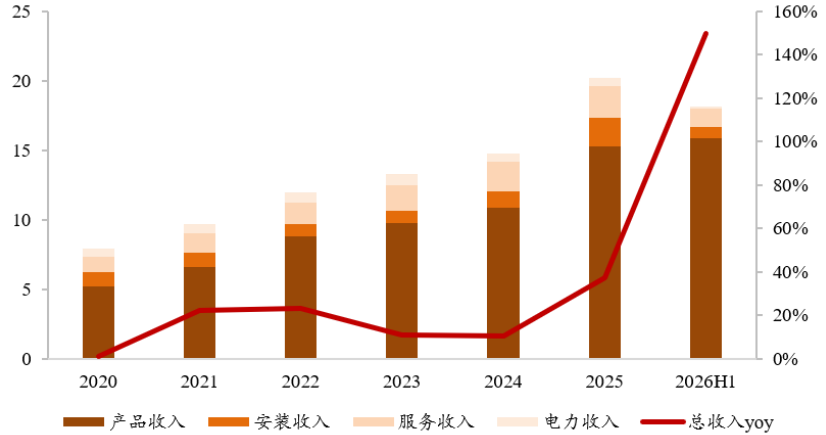
来源： WIND，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

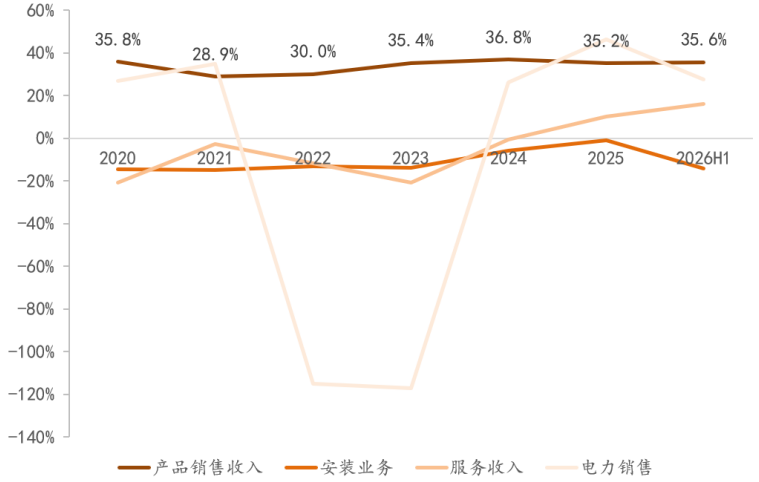
3.2 BE：AI需求驱动收入增长，产品销售为公司核心盈利来源

- **AI数据中心需求释放带动收入恢复增长，Energy Server持续贡献主要收入来源：**2026年上半年，公司实现营业收入18.16亿美元，同比增长149.76%，收入增长主要受AI数据中心供电需求快速释放及大型项目交付带动。公司有四大业务：①产品销售——燃料电池发电机组整机及核心电堆销售；②安装业务——设备现场安装调试工程；③服务业务——机组运维、备件与远程监控，经常性收入；④电力销售——自建电站直接售电给客户。其中，2026年上半年产品销售收入达15.89亿美元，占营业收入87.47%。
- 分业务看，产品销售是公司盈利的基本盘，毛利率稳定在29%~37%左右，2024年升至36.8%的高点，2025年因AI数据中心大单放量摊薄回落，2026H1回升至35.6%。安装业务由2020-2023年约-14%的持续亏损收窄至2025年的-0.9%，接近盈亏平衡，2026H1毛利率下滑到-14.3%；服务业务改善最为显著，自2023年-20.7%的低点逐年修复，2025年转正至10.0%，2026H1达16.1%，成为第二利润引擎；电力销售2022-2023年受PPA资产一次性减值拖累深度为负，2024年起出清，2026H1回升至27.5%。整体看，公司已从“单一产品盈利”转向“产品+服务”双轮驱动，盈利质量趋势性改善。

图表30：2020-2026H1公司收入分业务收入（左轴，亿美元）和增速（右轴）



图表31：2020-2026H1公司分业务毛利率



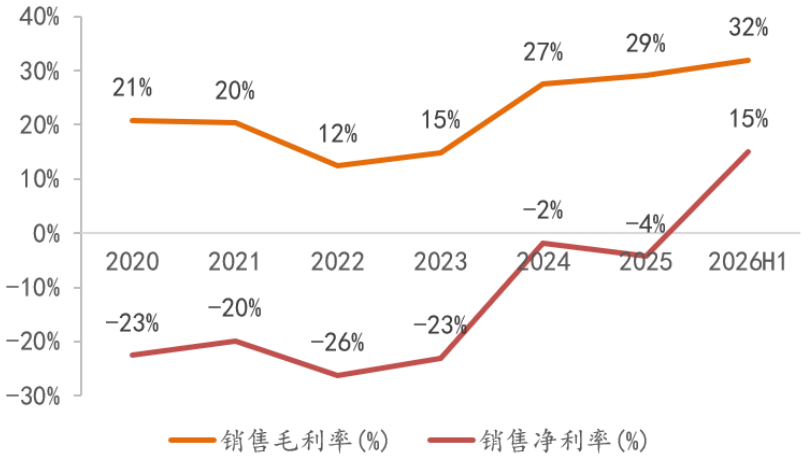
来源：WIND，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

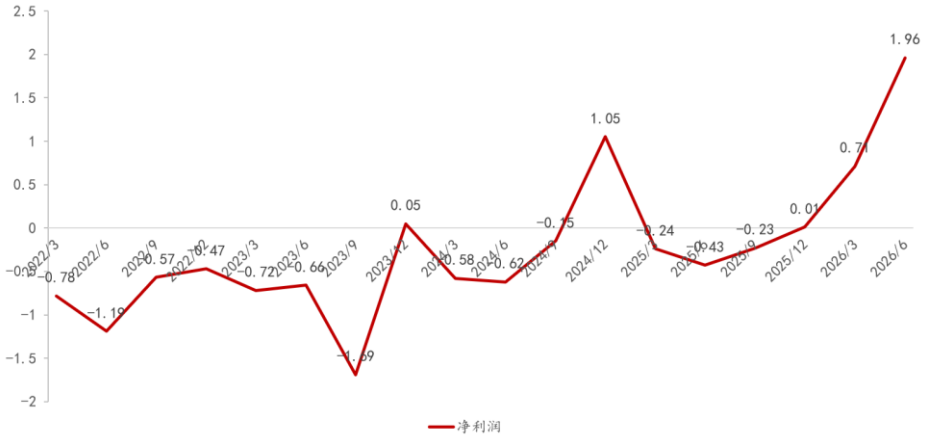
3.2 BE：盈利能力持续改善，规模效应与数据中心订单推动净利率提升

- **毛利率净利率双双走强。**2020–2023年公司处于盈利低谷期，毛利率由21%逐年走低，2022年触及12%的低位，净利率持续深亏，徘徊在-20%~-26%区间。2024年迎来拐点，毛利率大幅回升12pcts至27%，净利率收窄至-2%，亏损基本出清；2025年毛利率续升至29%，净利率-4%小幅波动。2026H1盈利弹性集中释放，毛利率升至32%创新高，净利率转正至15%，实现毛利、净利双升。整体看，2024年以来公司盈利能力趋势性修复，毛利率较2022年低点累计提升约20pcts，净利率较2022年低点回升超40pcts。
- **公司季度净利润经历“深亏—收窄—转正”三阶段：**2022–2023年单季亏损0.5–1.6亿美元，2023Q3为低点；2024年起亏损收窄且利润集中于Q4（单季+1.05亿美元），季节性明显；2025年基本盈亏平衡。2026年迎质变：Q1盈利0.71亿、Q2达1.96亿美元创单季新高，核心驱动为AI数据中心订单放量叠加规模效应释放。后续跟踪在手订单转化节奏与毛利率稳定性。

图表32：2020-2026H1公司毛利率和净利率



图表33：2022-2026Q2公司季度净利润（亿美元）



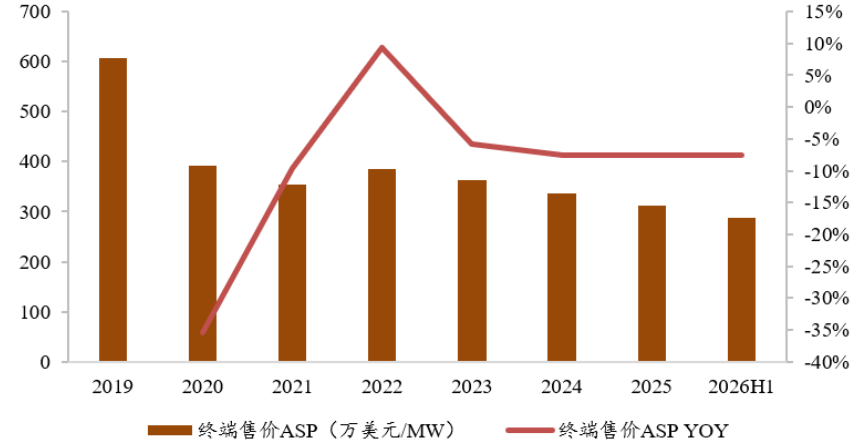
来源：WIND，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

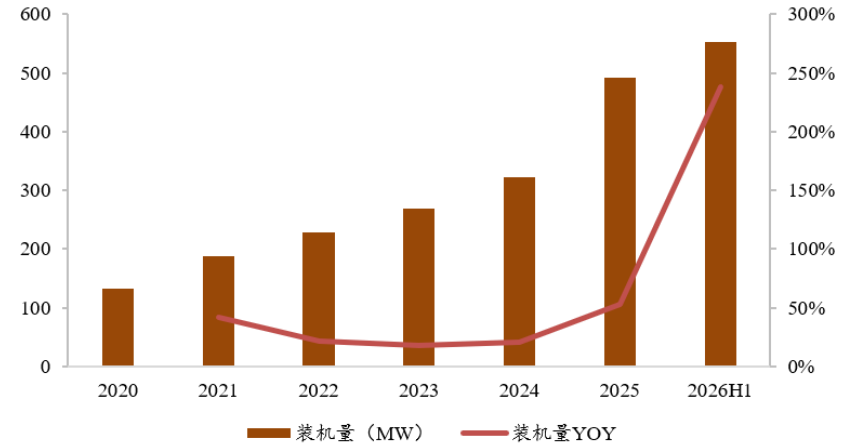
3.3 BE：应用场景扩展带动ASP下降，装机量开始快速提升

- **工商业分布式能源验证产品商业化能力，头部客户持续强化市场认可度：**Bloom Energy商业化初期主要聚焦医院、制造业、商业园区及数据机房等工商业用户，通过模块化Energy Server提供现场分布式供电，以替代传统柴油发电机及部分电网供电方案。依托SOFC发电效率高、连续运行能力强及占地面积小等优势，公司逐步完成产品商业化验证，并积累了Apple、Google、Walmart、eBay等全球头部客户，为后续规模化推广奠定基础。截至2025年，公司产品已部署于9个国家约1100个项目站点，验证了SOFC在分布式能源领域的商业可行性和客户认可度。
- 2019-2026H1，ASP自607万美元/MW 降至287.7万美元/MW，累计-52.6%。2024年起公司停止披露装机量；2025Q3电话会CEO表示每年双位数降本，且毛利率持续提升，表明售价降幅低于成本降幅——假设2024 年后ASP年降放缓至-7.5%，成本年降约-15%。
- 装机量加速放量：2020-2023 年官方口径132.6→268MW（CAGR +26.5%）；2024-2025年测算323→492MW（+52.5%）；2026H1达552MW，同比 +238.2%，对应产品收入15.9 亿美元。

图表34：Bloom Energy 终端售价（左轴）及同比增速（右轴）



图表35：Bloom Energy 燃料电池装机量（左轴）及增速（右轴）



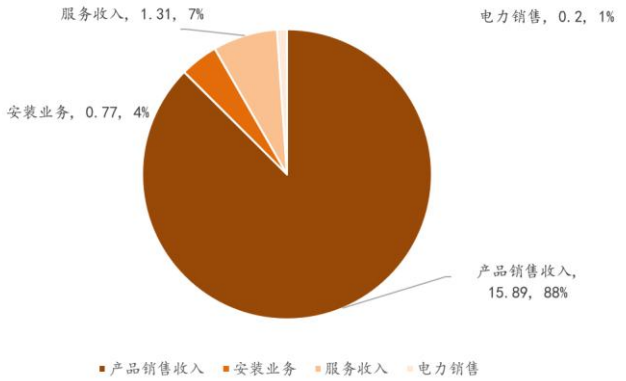
来源：Bloom Energy电话会， Bloom Energy 10K，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

3.3 BE：产品+服务构建持续收入，轻资产合作模式提升效率

- **设备销售与运维服务相结合，形成“产品+服务”的持续盈利模式：**Bloom Energy采用“设备销售+长期运维服务”的商业模式，通过销售Energy Server获取一次性产品收入，并向客户提供安装调试、远程监控、设备维护及性能优化等全生命周期服务，形成持续性的服务收入来源。2026年上半年，公司Service Revenue达到1.31亿美元，占收入比7.21%，随着累计装机规模扩大及长期服务合同持续增加，经常性收入绝对值有望进一步提升，不仅增强客户粘性，也有效平滑设备交付周期波动，提升整体盈利质量。
- **公司持续向轻资产模式转型：**与Brookfield（合作规模50亿→250亿美元融资框架）、AEP（26.5亿美元采购+20年承购）等共建项目，由合作方承担投资与资产持有，公司聚焦设备制造、系统集成与长期运维，以“技术输出+运营服务”获取回报，市场拓展效率显著提升。客户结构同步升级：从Equinix（超100MW）、Nebius（328MW）到Oracle（已签约1.2GW、上限2.8GW），订单量级由百MW级跃升至GW级，美国主要hyperscaler及十余家neocloud已完成技术验证。截至2025年末，总订单储备约200亿美元，其中产品约60亿美元、服务约140亿美元，为未来收入增长提供强保障。

图表36：Bloom Energy 2026H1年各业务营收占比



来源：Bloom Energy官网，WIND，IDCNOVA，中泰证券研究所

图表37：Bloom Energy重要在手订单

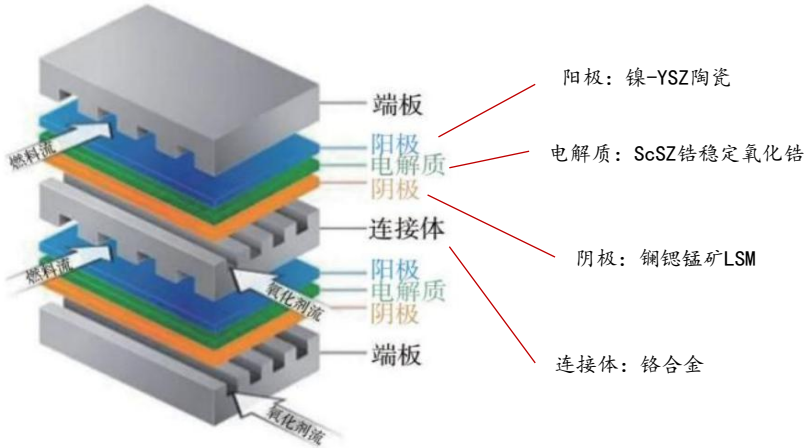
签约时间	合作方	应用场景	装机量	合作金额
2024.11	AEP（美国电力公司）	AI数据中心主电源（怀俄明州1.8GW AI数据中心园区）	1GW	约26.5亿美元
2025.2	Equinix	美国数据中心	超100MW	未披露
2025.7	Oracle（甲骨文）	AI数据中心（OCI云基础设施，AI工作负载主电源）	最高2.8GW（已签约1.2GW）	未披露
2025.10	Brookfield Asset Management	全球AI数据中心（首个项目位于欧洲）	未披露	50亿→250亿美元框架
2026.5	Nebius Group（欧洲AI云服务商）	AI数据中心供电（美国先行，未来扩展全球）	328MW装机容量（250MW保供容量），分三阶段	最高26亿美元（10年服务费）

下载日志已记录，仅供内部参考

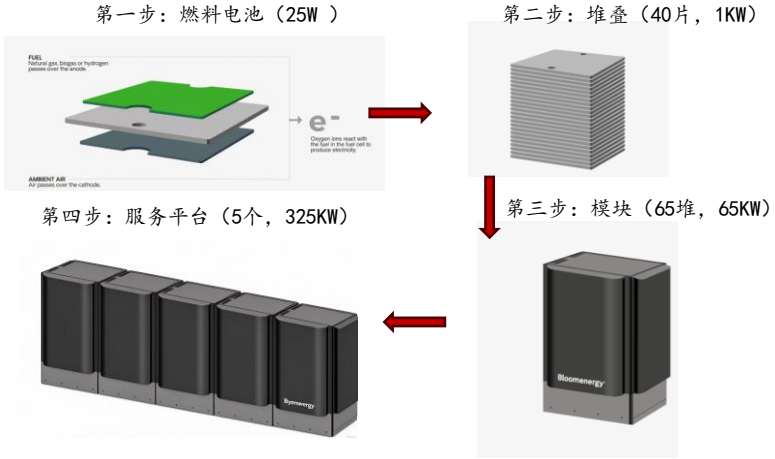
3.4 BE：高温SOFC技术路线兼具高效率与燃料灵活性

- **深耕差异化SOFC技术路线，性能与适配性优势突出：**Bloom Energy深耕电解质支撑型平板SOFC技术，采用ScSZ锆稳定氧化锆电解质、镍-YSZ陶瓷阳极、镧锶锰矿LSM阴极核心材料，燃料电池堆中相邻电池之间的金属互连通常由高品位铬合金组成。工作温度稳定在650–850℃。对比PEM、PAFC等低温燃料电池，公司技术无需贵金属催化剂，具备极强的燃料兼容性，可适配天然气、沼气、纯氢等多种燃料。依托ScSZ高离子传导特性，设备纯氢发电效率可达60%，热电联供综合效率最高90%，支持7×24小时长周期稳态运行，完美匹配数据中心不间断连续供电需求。
- **标准化模块化体系，兼顾快速交付、灵活扩容与量产降本：**公司搭建全链路积木式标准化产品体系，从25W SOFC单电池、1kW标准电堆、65kW发电模块到325kW集装箱机组全规格统一量产，无需定制硬件；通过标准单元并联拼装，灵活适配数兆瓦工商业项目至数百兆瓦AI数据中心电站。相较电网接入需4-7年、重型燃气轮机等待3年以上，公司最快90天即可交付通电，充当主供电或过渡方案；并原生输出800V直流，直供下一代AI算力机架，省去变压器与多级交直流转换。全链路标准化无需改造产线，可持续提效扩产，依托规模量产摊薄成本，形成“标准化生产—快速扩产—成本下行—订单放量”正向循环，构筑核心竞争壁垒。

图表38：Bloom Energy 技术路径



图表39：Bloom Energy 模块化产品



来源：Bloom Energy，thundersaidenergy咨询，《BLOOM ENERGY FOR PRODUCING ELECTRICITY》，《基于固体氧化物燃料电池的高效清洁发电系统》，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

中泰证券 ZHONGTAI SECURITIES

目 录

1 SOFC的原理和技术

1.1 什么是SOFC：工作原理与核心结构；单电池→电堆→系统，“积木式”放大之路

1.2 SOFC的分类：平板式×中温氧离子电解质是当下主流；三大支撑结构对比

1.3 SOFC发电与其他发电方式对比：发电效率、环保性领先；当前已经具备一定经济性

2 SOFC适配北美AIDC缺电（成长逻辑）

2.1 SOFC产业链：材料—电堆—系统三层拆解

2.2 SOFC生产工艺：单电池制备→电堆组装→系统集成

2.3 SOFC扩产瓶颈：炉窑工艺、良率、关键材料与设备

2.4 SOFC交付配套EPC环节成本占比高，通常交由第三方合作

2.5 SOFC适配北美数据中心缺电的必要性、可行性

2.6 市场规模：2030年北美数据中心SOFC市场可达178亿美元

2.7 全球竞争格局与主要参与者

2.8 技术演进路径

3 Bloom Energy公司分析

3.1 全球SOFC商业化龙头：业务体系、发展历程、治理结构

3.2 财务表现：AI需求驱动收入增长，盈利能力持续改善

3.3 商业模式：应用场景扩展带动装机提升，产品+服务+轻资产合作

3.4 核心技术：高温SOFC路线，标准化模块化体系

4 国内SOFC产业链梳理

4.1 潍柴动力：国内SOFC整机龙头，商业化进展领先

4.2 三环集团：核心材料龙头，切入Bloom Energy供应链

4.3 春晖智控：子公司卡位BE核心部件，合作放量带动配套需求

4.4 振华股份：铬金属龙头卡位SOFC连接体关键材料

4.5 雄韬股份：卡位SOFC第三方测试环境，具备产业发展弹性

4.6 壹石通：SOFC全栈自研，稀缺完整链条

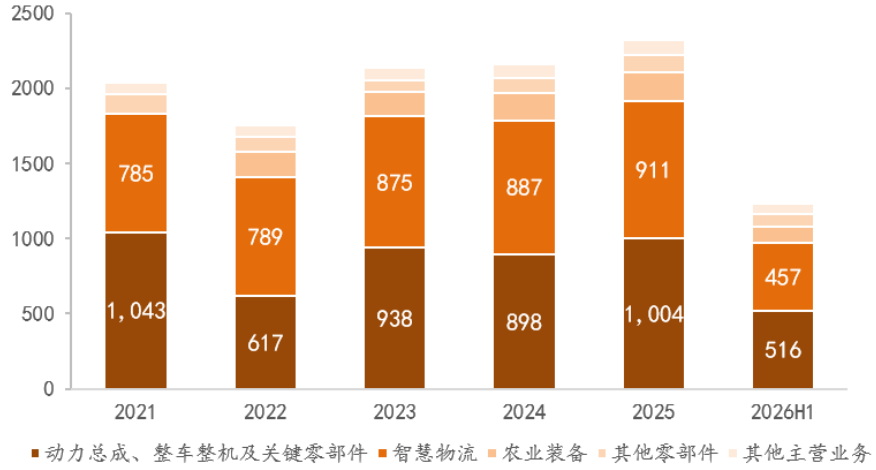
5 风险提示

下载日志已记录，仅供内部参考

4.1 潍柴动力：国内SOFC整机龙头，商业化进展领先

- **与Ceres合作构建SOFC整机研发及产业化能力。**潍柴是国内SOFC整机领先企业：2018年战略投资英国Ceres Power，目前持股19.9%为第一大股东，2025年11月获制造许可推进电堆国产化。2023年发布全球首款大功率金属支撑商业化SOFC：净发电效率超 60%，热电联产效率 92.55% 创全球纪录，获欧盟CE 认证，示范运行超3万小时；燃料兼容天然气/氢/煤制气/甲醇，较传统机组减碳 30%+，已形成电堆、系统集成到应用示范的完整布局。
- **国内商业化领先，有望率先受益行业放量。**作为国内SOFC商业化进展最快的企业之一，潍柴动力兼具技术积累与产业化优势。随着AI数据中心供电需求快速增长及国内分布式能源建设加速，SOFC有望迎来规模化应用，公司作为整机龙头有望率先受益于行业放量，并持续提升市场份额。

图表40：潍柴2021-2026H1分业务营业收入（单位：亿元）



图表41：潍柴与Ceres合作历程梳理

时间	事件
2018年	战略投资英国Ceres，4000万英镑认购股份，认购完成后持股比例达到20%，建立战略合作
2023年	发布全球首款大功率金属支撑商业化SOFC产品，热电联产效率达92.55%，净发电效率超60%
2023年	SOFC产品获得欧盟CE认证，累积运行时间突破3万小时
2024年	首批25KW、100kW SOFC示范系统交付陕西燃气、国家电投等客户，进入商业示范阶段
2025年	与Ceres签署电池、电堆制造许可协议，进一步完善SOFC自主制造能力
2026年	SOFC产业化项目进入扩产建设阶段，推动规模化量产及商业化应用

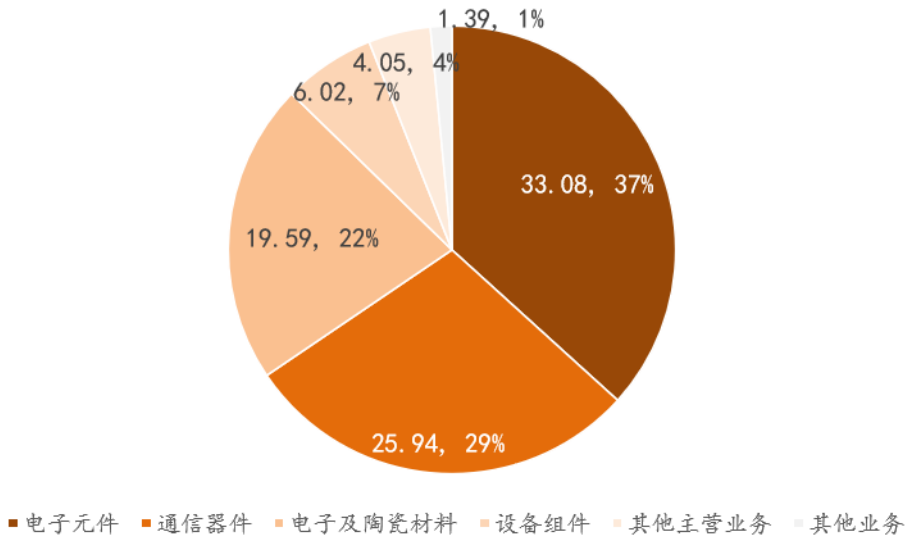
来源：WIND，潍柴动力公司官网，雷达财经，Ceres Power，中国证券报，青岛市科学技术局，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

4.2三环集团：核心材料龙头，切入Bloom Energy供应链

- **通过核心材料优势实现SOFC产业化突破。**三环集团全资子公司深圳三环自2003年开始布局SOFC领域，已形成隔膜片、阳极支撑型SOFC电堆等核心产品，是Bloom Energy重要隔膜片供应商之一。公司于2021年成功开发35kW SOFC热电联供系统，交流发电效率达64.1%，热电联供效率达91.2%，2023年交付210kW SOFC发电项目；同年推出50kW新一代系统，发电效率进一步提升至65%。
- **受益全球SOFC产业链扩张。**公司兼具先进陶瓷制造能力与系统研发经验，海外绑定Bloom Energy等头部客户，国内率先跑通医院、电厂等商业化场景，并牵头国家能源高温燃料电池研发中心。随着 SOFC 装机放量与关键材料国产替代推进，核心材料业务成长空间明确。

图表42：2025年三环集团营收结构（单位：亿元）



图表43：深圳三环SOFC部分发电项目

项目	指标	具体参数
210kW高温燃料电池发电系统研发与应用示范项目	合作方	广东省能源集团有限公司
	总装机容量	210kW
	单系统容量	35kW
	数量	6台
	交流发电净效率	61.8%
	热电联供效率	91.2%
深圳燃气光明区人民医院东院区SOFC示范项目	合作方	深圳燃气光明区人民医院东院区
	装机量	300kW
	价格	998万元

来源：三环集团，WIND，南方新闻，南方都市报，深圳阳光采购平台，中国产业发展促进会氢能分会，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

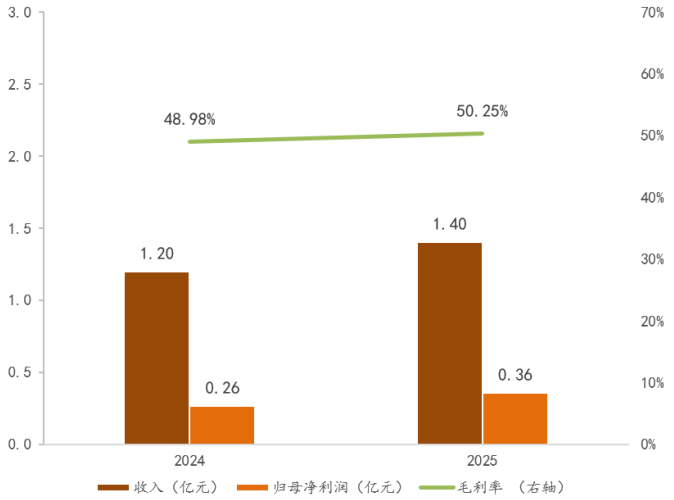
4.3春晖智控：子公司卡位BE核心部件，合作放量带动配套需求

- **拟全资收购春晖仪表，卡位SOFC高温传感核心部件。**收购参股公司春晖仪表剩余股权使其成为全资子公司（38.69%→100%）。春晖仪表为Bloom Energy温度传感器主要供应商之一，占其温度传感器市场份额超过70%，高温传感定制化验证周期长、客户粘性强，2025年最终销售给BE的产品占公司收入31.4%；此外，春晖仪表已与三环集团和潍柴动力股份有限公司达成合作，并实现小批量供货，国内外头部客户双双落位。
- **SOFC 放量带动 BOP 配套需求。**温度传感器属SOFC高温工况下安全监测核心部件，随装机规模扩大呈耗材属性持续复购；SOFC向AI数据中心、工业园区及分布式能源推广，将同步放大配套需求，公司作为头部客户核心供应商有望率先受益。

图表44：春晖仪表温度传感器产品

主要产品类别		产品特点	图示	适用场景
热电偶产品	测温装配式热电偶	品种多，适合各种温度测量；偶丝线径较大，使用寿命长；可在硫、氯腐蚀介质中使用		测量蒸汽管道及锅炉温度、烟道风道出风口温度、测量电机的定子铁芯的温度、测量液氮温度等
	超低温温度传感器	可根据不同需求设计匹配各种保护管和安装形式；结构简单等		应用于航天发动机液氢、液氮贮存箱以及燃料加注系统的温度测量
	变截面铠装热电偶	结构紧凑，形式多样，尺寸小，热响应快，稳定性好，使用方便，寿命长；具有耐高温、耐腐蚀、寿命长、机械强度高的特性等		应用于发电厂锅炉、汽机、电机、小孔和夹缝、发电厂锅炉壁管道壁、塑料和橡胶挤出机头或成型机械、航空航天等测温
	多点式热电偶	可自由弯曲，能检测曲折、狭长、复杂部位的温度；机械强度高，耐冲击、抗振动，可用于高压下的温度测量等		多应用于化肥合成塔、存储罐、核电水位探测器、半导体设备等
热电阻产品	耐磨、耐腐蚀热电阻	准确度高：在所有的温度计中，它的准确度最高，可达1mK；输出信号大、灵敏度高：与K型热电偶相比，约高一个数量级；稳定性好；输出线性好，结构简单等		发电厂转轴、化工厂强酸强碱环境等
	防震铠装热电阻	结构紧凑，形式多样，尺寸小，热响应快，稳定性好，使用方便，寿命长等		化学反应罐、蒸馏塔、分馏塔和各种油罐、发电机、航空航天等

图表45：春晖仪表2024-2025营业收入、归母净利润和毛利率



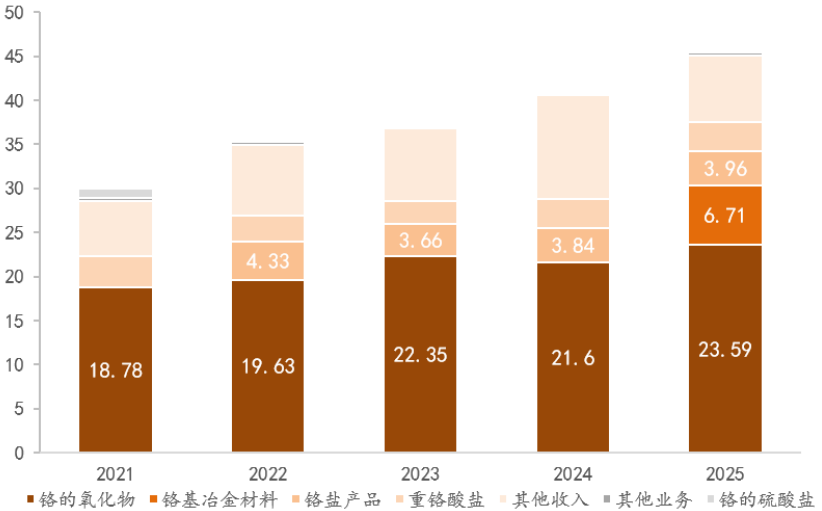
来源：春晖智控公告，WIND，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

4.4振华股份：铬金属龙头卡位SOFC连接体关键材料

- **切入SOFC关键材料领域。**公司为全球最大铬盐企业，向SOFC链核心企业Bloom Energy的连接件厂商稳定供应高纯金属铬。含铬铁素体不锈钢是SOFC连接体唯一商业化材料方案、短期无实质替代。据公司业绩说明会口径，每GW SOFC连接件消耗金属铬约5,000吨（含辅助器件6,000–7,000吨），BE产能扩张至将直接转化为铬资源刚性需求，26年上半年金属铬价格中枢约7万元/吨，每GW SOFC扩产可带动3.5亿-4.9亿元金属铬市场规模。
- **产业放量带动材料需求提升。** 公司金属铬现有产能3万吨（2027年满产），2026年全球市占率预计超 20%；客户非约束性指引显示2026年底至2027年初SOFC专用金属铬需求较当前订单提高数倍，公司铬资源卡位价值持续提升。

图表46：振华股份2021-2026H1分业务营业收入（单位：亿元）



图表47：公司金属铬产品



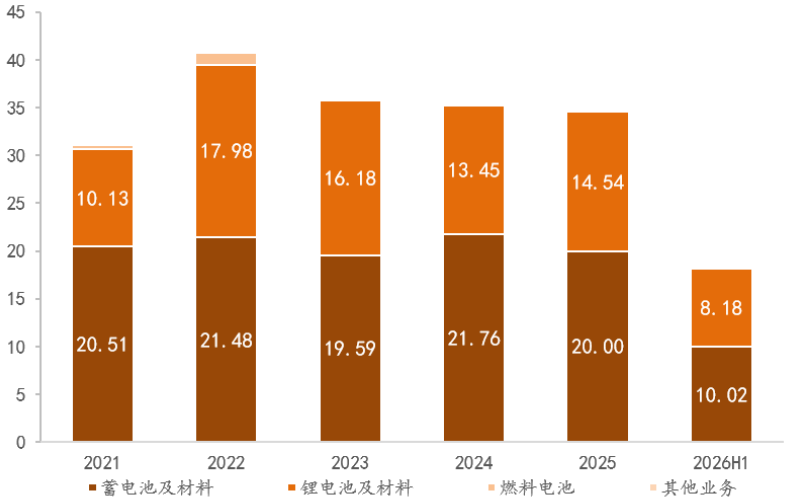
来源：WIND，振华股份公告，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

4.5雄韬股份：卡位SOFC第三方测试环境，具备产业发展弹性

- **卡位SOFC第三方测试环节。**公司以铅酸/锂电为基本盘，氢能板块聚焦PEM燃料电池电堆及系统，并建成国内领先的燃料电池测试平台（功率覆盖100–250kW）。2025年11月中标中广核研究院氢气SOFC发电系统测试服务项目，为SOFC发电效率、寿命耐久、环境适应性及安全可靠性提供第三方测试验证，测试环节卡位使其前瞻参与SOFC产业进程。
- **SOFC培育期具有远期价值。** SOFC商业化提速将同步放大系统测试认证需求，公司凭测试平台与客户资源有望承接增量；主业AIDC备用电源（UPS/储能）受益算力景气提供业绩托底，公司具有的PEM燃料电池能力与SOFC在系统电控、集成与测试验证能力同源，因此公司能够提供SOFC测试服务，构成公司远期向SOFC环节延伸的能力基础。

图表48：雄韬股份2021-2026H1分业务收入（单位：亿元）



图表49：雄韬股份中标氢气SOFC发电系统测试服务采购项目

各项指标	具体内容
客户	中广核氢气SOFC发电系统测试服务项目
环节	中下游——测试/系统集成
核心技术	燃料电池全品类布局，配合100-250kw级测试平台

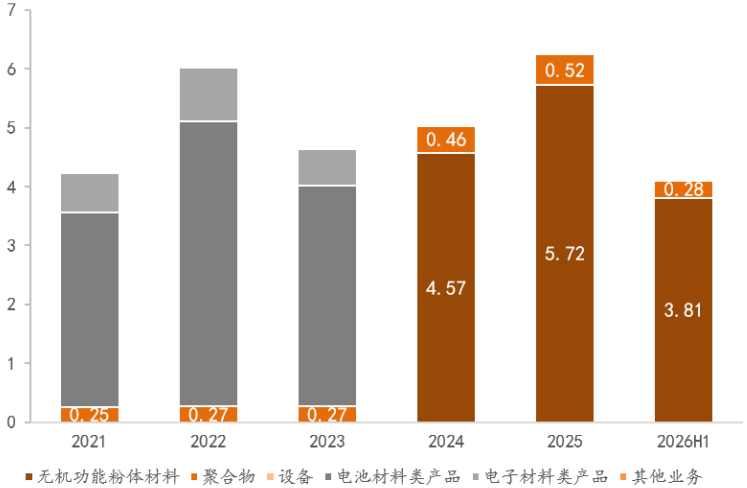
来源：雄韬股份官网，WIND，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

4.6 壹石通：SOFC全栈自研，稀缺完整链条

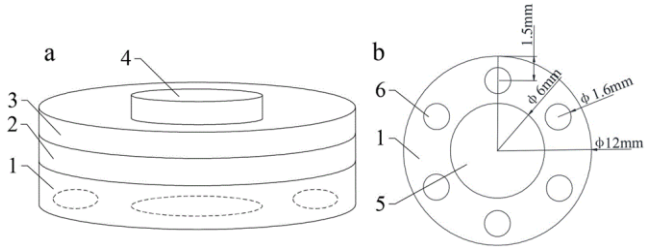
- **全栈自研 SOFC，**A股稀缺的“粉体—电池片—电堆—系统”完整链条。 壹石通依托先进无机非金属材料平台，2020年立项SOFC项目，聘请中科大夏长荣教授（深耕SOFC近30年）任首席科学家，已实现电解质、阳极、阴极粉体及单电池、电堆关键部件的自主供应。公司SOFC首个示范工程当前正新增安装十余台8kW发电系统逐步放大验证，整体120kW示范工程预计2026年底建成投运；同步开展50–100kW发电单模组研发，持续放大单模组功率。
- **降本路径清晰，培育期后弹性可期。** 凭借粉体规模化制备优势，公司规划2026年内将单kW设备成本降至3万元以下；随着SOFC在分布式能源与数据中心场景推广，全链条自主供应的成本与品控优势有望转化为先发竞争力。

图表50：壹石通2021-2026H1分业务收入（单位：亿元）



图表51：壹石通公司SOFC相关专利

一种以高温合金材料为支撑体的可逆固体氧化物电池及其制备方法



固体氧化物燃料电池阳极及其制备方法、单电池和电堆

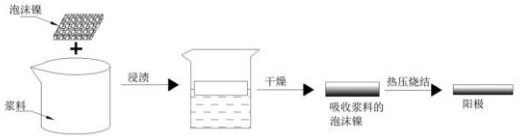


图1

来源： WIND，壹石通公告，中科院知识产权与科技成果转化网，中泰证券研究所

下载日志已记录，仅供内部参考

目 录

1 SOFC的原理和技术

1.1 什么是SOFC：工作原理与核心结构；单电池→电堆→系统，“积木式”放大之路

1.2 SOFC的分类：平板式×中温氧离子电解质是当下主流；三大支撑结构对比

1.3 SOFC发电与其他发电方式对比：发电效率、环保性领先；当前已经具备一定经济性

2 SOFC适配北美AIDC缺电（成长逻辑）

2.1 SOFC产业链：材料—电堆—系统三层拆解

2.2 SOFC生产工艺：单电池制备→电堆组装→系统集成

2.3 SOFC扩产瓶颈：炉窑工艺、良率、关键材料与设备

2.4 SOFC交付配套EPC环节成本占比高，通常交由第三方合作

2.5 SOFC适配北美数据中心缺电的必要性、可行性

2.6 市场规模：2030年北美数据中心SOFC市场可达178亿美元

2.7 全球竞争格局与主要参与者

2.8 技术演进路径

3 Bloom Energy公司分析

3.1 全球SOFC商业化龙头：业务体系、发展历程、治理结构

3.2 财务表现：AI需求驱动收入增长，盈利能力持续改善

3.3 商业模式：应用场景扩展带动装机提升，产品+服务+轻资产合作

3.4 核心技术：高温SOFC路线，标准化模块化体系

4 国内SOFC产业链梳理

4.1 潍柴动力：国内SOFC整机龙头，商业化进展领先

4.2 三环集团：核心材料龙头，切入Bloom Energy供应链

4.3 春晖智控：子公司卡位BE核心部件，合作放量带动配套需求

4.4 振华股份：铬金属龙头卡位SOFC连接体关键材料

4.5 雄韬股份：卡位SOFC第三方测试环境，具备产业发展弹性

4.6 壹石通：SOFC全栈自研，稀缺完整链条

5 风险提示

下载日志已记录，仅供内部参考

5 风险提示

- **1）北美AI资本开支不及预期。**AIDC用电需求激增为本报告核心成长逻辑，若北美算力资本开支放缓，SOFC 需求基数将低于假设。
- **2）SOFC降本与烧结良率提升进度低于预期。**行业电堆烧结良率提升不及预期，SOFC经济性优势将减弱。
- **3）渗透率假设与市场规模测算偏差。**渗透率为自设情景、无官方预测，实际渗透节奏或低于假设，市场规模存在下修风险。
- **4）电网扩容或燃机产能恢复超预期。**若电网扩容加速、燃机交付瓶颈缓解，数据中心自备电源的必要性需求将减弱。
- **5）美国大选后碳排放政策变化。**2028年大选后碳排放政策及 IRA补贴存在不确定性，或影响SOFC经济性与业主技术路线选择。
- **6）国内SOFC产业化进度不及预期。**国内企业整体仍处示范向商业化过渡阶段，产业化低于预期将推迟相关公司受益节奏。
- **7）金属铬等原材料价格波动。**铬价大幅波动将影响产业链盈利与扩产节奏。
- **8）测算引用第三方数据存在口径差异。**需求基数、市场份额等引用外部机构数据，口径差异或导致测算基准偏离。
- **9）市场空间测算偏差的风险。**市场规模为设备口径且依赖多项假设，实际结果可能显著偏离测算区间。
- **10）研究报告中使用的公开资料可能存在信息滞后或更新不及时的风险。** 若公开资料滞后或更新不及时，相关结论可能出现偏差。

下载日志已记录，仅供内部参考

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。
- 本报告版权归“中泰证券股份有限公司”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。