

电力设备系列报告 (49)

固态变压器是 AIDC 重要供电方案之一, 空间广阔

在 AIDC 功率密度提升的趋势下, 英伟达提出 800V 直流架构, 并明确固态变压器 SST 可能是终极供电方案。SST 是高度集成化的电力电子解决方案, 占地少、效率高, 未来渗透率有望持续提升, 且在绿电直连等领域有广阔应用场景。北美缺电可能加速 AIDC SST 产业化, 中国领先企业有望在新的供电架构下实现弯道超车。

- **AIDC 供电架构直流化是趋势, SST 或是终极解决方案。**AIDC 服务器机柜正向 MW 级发展, 传统供电方式的多级交直流转换链路存在损耗高、空间占用大、及铜耗大等问题。SST 通过电力电子变换与高频变压器实现中压交流电直接转换至 800V 直流电, 在转换效率、占地面积等方面优势突出, 且能实现多端口绿电接入及模块化快速部署, 可能成为 AIDC 终极供电方案。
- **SST 市场空间广阔。**海外缺电背景下, 可能倒逼 SST 产业化加速。除了大型 AIDC 对于 SST 的需求较为迫切, 绿电直连、柔性配网、电动汽车充电、轨道交通等领域, SST 的应用前景也十分广阔, 国内已经有很多示范项目。根据我们测算, AIDC SST 市场空间可能是千亿级别, 叠加其他应用场景, 空间更大。
- **电力电子企业正在加速布局 SST。**随着台达、伊顿推出针对数据中心的 SST 产品之后, 国内电力电子企业也纷纷推出样机或宣布加大研发投入。中国企业在电力电子及中压并网领域有较深的积累, 有望通过前瞻布局 SST 在 AIDC 供电方案迭代中实现弯道超车。目前, 外资正在推动 SST 向高压、高功率方向发展, 中国领先企业也在加速升级。
- **功率器件和高频变压器是 SST 的核心零部件。**SST 拓扑由中压整流 AC/DC、中压隔离变换 DC/DC 两个环节构成, 其中功率器件和高频变压器的成本分别约占 40-50% 和 15-20%, 其成本和成熟度是影响 SST 产业化的关键因素。考虑功率器件的耐压性限制, 中压整流环节一般采用级联方式, 而大量电力电子器件级联给系统可靠性带来挑战, 需要时间验证; 高频变压器随着电压等级升高在绝缘、局放、电晕等方面难度加大, 且下游要求 SST 结构尽可能紧凑, 频率越高可能损耗越大, 因此高频变压器的设计和工艺较为关键。
- **固态断路器是关键保护设备。**固态断路器是电力电子开关设备, 具备开断速度快、寿命长、可靠性高、体积小等优势, 适配 AIDC SST 配电架构发展趋势。其技术壁垒在于功率半导体、控制算法、热管理及系统集成等方面, 海外电力设备龙头技术领先, 国内企业则利用产业链优势加速切入。
- **建议关注:**阳光电源、四方股份、中国西电、金盘科技、伊戈尔、禾望电气、新风光、白云电器、京泉华、新特电气、良信股份等。
- **风险提示:**SST 渗透不及预期、供应链面临瓶颈、AIDC 需求不及预期等。

重点公司主要财务指标

公司简称	公司代码	股价	25EPS	26EPS	26PE	PB	投资评级
阳光电源	300274.SZ	157.38	6.49	7.62	20.7	6.7	强烈推荐
四方股份	601126.SH	81.58	1.00	1.15	71.2	13.1	增持
中国西电	601179.SH	17.60	0.25	0.33	52.7	3.9	增持
金盘科技	688676.SH	101.02	1.43	2.28	44.3	9.0	强烈推荐
伊戈尔	002922.SZ	44.15	0.47	1.18	37.3	4.9	强烈推荐
禾望电气	603063.SH	58.79	1.16	1.67	35.7	5.2	强烈推荐
新风光	688663.SH	99.84	0.67	-	-	10.2	未予评级
白云电器	603861.SH	16.27	0.38	-	-	2.2	未予评级
京泉华	002885.SZ	46.20	0.31	-	-	8.1	未予评级
新特电气	301120.SZ	24.90	0.12	0.13	194.7	5.9	未予评级
良信股份	002706.SZ	13.48	0.24	0.32	41.7	3.5	未予评级

资料来源: 公司数据、招商证券 (未评级公司预测数据采用 Wind 一致预期)

推荐 (维持)

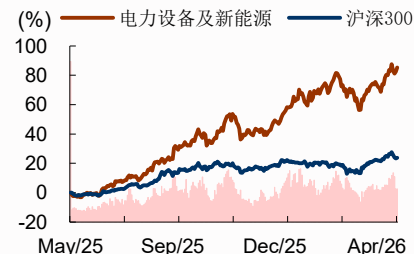
中游制造/电力设备及新能源

行业规模

		占比%
股票家数 (只)	309	6.0
总市值 (十亿元)	8608.4	7.2
流通市值 (十亿元)	7557.4	7.1

行业指数

%	1m	6m	12m
绝对表现	7.7	25.5	86.0
相对表现	5.1	19.8	60.9



相关报告

- 1、《中压 UPS 有望在数据中心迎来规模应用—电力设备系列报告 (48)》2026-05-15
- 2、《全极耳小圆柱有望在 BBU 领域规模化应用—动力电池及电气系统系列报告 (125)》2026-05-10
- 3、《欧洲天然气库存水平低, 户储需求可能迎来爆发—储能系列报告 (20)》2026-05-05

蒋国峰 S1090524100005

✉ jiangguofeng@cmschina.com.cn

胡佳怡 S1090525080002

✉ hujiayi1@cmschina.com.cn

正文目录

一、 固态变压器可能是 AIDC 终极供电方案	5
1、 数据中心供电方案面临高压直流化变革	5
2、 SST 优势突出	6
二、 SST 应用场景广阔，市场空间大	7
1、 北美 AIDC 对于 SST 比较迫切	7
2、 SST 在国内很多场景都有应用前景	8
3、 SST 市场空间广阔	10
三、 电力电子企业正在加速布局 SST	11
1、 台达、伊顿进度领先，海外企业推动 SST 向高压、高功率发展	11
2、 国内企业加速迭代，数据中心 SST 已有样机交付、运行	12
四、 功率器件及高频变压器是核心零部件	14
1、 SST 的拓扑结构	14
2、 功率器件及高频变压器是核心零部件	15
(1) SiC MOSFET 是数据中心 SST 主流功率器件	15
(2) 高频变压器是 SST 实现高功率密度的核心零部件	16
3、 固态断路器是 SST 配电环节的关键保护设备	17
五、 相关标的梳理	20
1、 阳光电源	20
2、 四方股份	20
3、 金盘科技	20
4、 伊戈尔	20
5、 禾望电气	20
6、 中国西电	20
7、 新风光	20
8、 白云电器	21
9、 京泉华	21
10、 新特电气	21
11、 良信股份	21
六、 风险提示	22

图表目录

图 1: 数据中心供电架构原理图	5
图 2: GPU 机架功率正在以近乎指数级的速度增加.....	6
图 3: 铜排损耗及 PSU 功率密度问题的解决方向	6
图 4: 谷歌 $\pm 400\text{VDC}$ 供电架构方案.....	7
图 5: 谷歌数据中心 SST 供电方案	7
图 6: 英伟达数据中心架构演进	8
图 7: 基于 SST 的绿电直供系统架构	9
图 8: 基于 SST 的柔性配网架构.....	9
图 9: 电动汽车充电 SST 直挂解决方案架构	10
图 10: 轨道交通 SST 智慧柔直供配电架构.....	10
图 11: 台达 SST 源网荷储一体直流化解决方案.....	11
图 12: 伊顿 SST 数据中心解决方案	11
图 13: 中国西电固态变压器样机	12
图 14: 金盘科技发布元神 ONE 系列 SST	12
图 15: 四方股份发布数智 SST 1.0 新品	12
图 16: 伊戈尔发布固态变压器 JUNO 系列新品.....	12
图 17: 数据中心 SST 电力变换结构及关键技术.....	14
图 18: 高频 LLC 和 DAB 拓扑对比	14
图 19: 固态变压器成本结构.....	15
图 20: Si、SiC、GaN 材料特性对比.....	16
图 21: 功率器件功率频率图	16
图 22: 高频变压器	16
图 23: SST 高频变压器绝缘设计.....	16
图 24: 高频变压器铁芯.....	17
图 25: 磁芯材料应用的功率和频率范围	17
图 26: ABB 固态断路器产品.....	18
图 27: 固态断路器解决方案框架	18
图 28: 固态断路器在高压直流系统中的应用	18

表 1: 数据中心不同供电方式对比.....6

表 2: 四方股份已投运、中标的 SST 项目8

表 3: 为光能源已投运、中标的 SST 项目9

表 4: AIDC SST 空间测算10

表 5: 海外固态变压器行业企业进度11

表 6: 国内固态变压器行业企业进度13

表 7: 不同类型断路器性能对比18

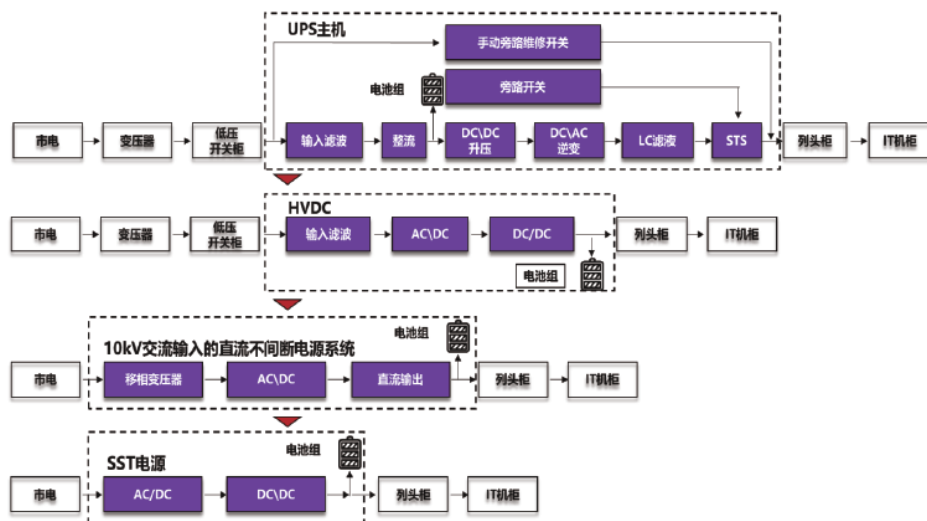
一、固态变压器可能是 AIDC 终极供电方案

1、数据中心供电方案面临高压直流化变革

数据中心供电方案主要包括不间断电源 UPS、高压直流 HVDC、巴拿马电源和固态变压器（Solid State Transformer, SST）四种类型。

- **UPS:** 技术成熟、兼容性强，是当前数据中心供电的主流方案，但冗余多、系统复杂、效率仅 95% 左右、占地面积大。
- **HVDC:** 相比 UPS 省去了 AC-DC-AC 的多次转换过程。具有高功率密度优势，在海外 AIDC 中的应用正在扩大。
- **巴拿马电源:** 采用移相变压器将降压与整流功能合二为一，效率可提高至 97.5% 左右，且集成度提升。
- **固态变压器:** 进一步升级巴拿马电源，通过电力电子变换和高频变压器，直接完成中压交流到 800V 直流的转换，效率提升至 98% 以上，占地面积更小。

图 1：数据中心供电架构原理图

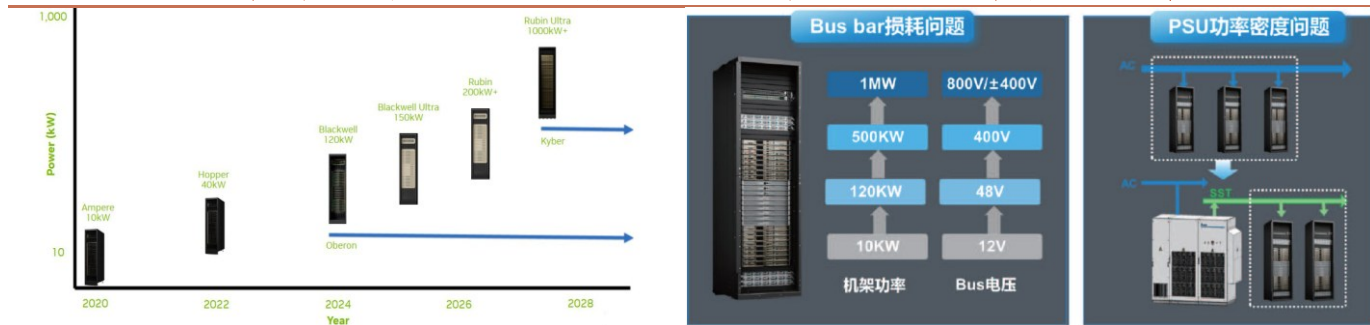


资料来源：《数据中心 800V 直流供电技术白皮书》、招商证券

AIDC 高压直流供电是趋势。现有配电链路常包含多级 AC/DC 及 DC/DC 转换，供电链路效率低，而且还增加了潜在故障点与维护成本。随着芯片功率不断提升，AI 服务器机架正向 MW 级发展，若沿用 54V 直流供电，电源机架将对计算空间造成过度挤占。另外，数百公斤低压传输铜材的空间分配和损耗问题也不容忽视。因此，随着 AIDC 机柜功率密度持续提升，为降低传输损耗、提高供电效率、节省白区空间，智算中心供电架构正向高压直流体系演进。

数据中心节能要求逐渐提高，直流供电方案高效优势凸显。欧盟《能源效率指令》要求数据中心自 2024 年起披露 PUE 指标，《欧盟指南 2025》明确 2025 年新建数据中心 PUE 需 ≤ 1.3 ，存量数据中心 2027 年前完成 PUE ≤ 1.4 的改造。美国虽没有明确要求，但谷歌等先进数据中心 PUE 已达到 1.1。国内政策明确提出，到 2025 年底，新建及改扩建大型、超大型数据中心平均 PUE 需降至 1.25 以下，国家枢纽节点项目 PUE 不得高于 1.2。在此背景下，直流供电方案由于供电链路更短，且在高压场景下具有拓扑结构、调压调流及系统效率等方面的优势，可实现更高转换效率、更低电力损耗及更优用电成本，有助于降低数据中心运营开支。

图 2: GPU 机架功率正在以近乎指数级的速度增加 图 3: 铜排损耗及 PSU 功率密度问题的解决方向



资料来源：英伟达《800VDC Architecture for AI Infrastructure Whitepaper》、招商证券
资料来源：《数据中心 800V 直流供电技术白皮书》、招商证券

2、SST 优势突出

SST 提出时间较早。苏格兰研究团队于 2001 年在《IEE Proceedings – Electric Power Applications》中系统阐述了固态变压器概念，核心是以高频开关变换 + 高频隔离变压器替代传统变压器。相比其他供电方案，SST 适合对占地面积、人工、能耗、绿电接入有较高要求的场景，能够有效降低运营费用。

SST 优势突出，可能成为 AIDC 终极供电方案。具体体现为：

- **转换效率高，省电：**SST 系统的传输电压高、链路短、设备节点少，较传统 UPS 全链路效率可提升 3% 以上，较巴拿马电源提升 0.5% 以上。根据《数据中心 800V 直流供电技术白皮书》测算，负载率 90% 的 2.5MW SST 系统，每年可节省 59.13 万度电。
- **体积小，节省占地面积：**从中压变压器到列头柜，SST 系统的占地面积不到传统 UPS 供电链路占地面积的 50%，从而可以大幅降低数据中心的灰白区比值，提升机房的得柜率。
- **减少用铜量，降低成本：**SST 系统具有硅进铜退特征，采用半导体器件进行调压和整流，替代传统的工频变压器。根据《数据中心 800V 直流供电技术白皮书》测算，一台 2500kVA 容量的 10/0.4kV 三相交流变压器大概用铜 1400kg，而相同容量 SST 设备含铜量较低。另外，DC800V 与 AC220V 相比，传输同等功率的电力所需要的线缆或铜排截面积也大幅降低，传输 2.5MW 功率两者所需用铜量为 1:3。
- **适配新能源并网，兼容性高：**SST 具备多端口、多电压等级转换能力，可以作为能源路由器；以 DC800V 输出适配绿电直连，可与分布式光伏、储能等源网荷储设备进行直流侧并网；与交流并网相比，无需额外的无功补偿装置和滤波设备等，更加简单可靠，并降低成本。
- **模块化部署，工期短：**从中压交流输入到 800V 直流输出，甚至低压配电，都能实现集成化，现场部署工期可缩短至几天。

表 1: 数据中心不同供电方式对比

	UPS	HVDC	巴拿马电源	SST 系统
系统效率	95%左右	95%左右	97.5%左右	98%以上
占地面积	100%	80%	40%	25%
配置速度	一般	一般	预制化，较快	预制化，快

资料来源：台达、招商证券

二、SST 应用场景广阔，市场空间大

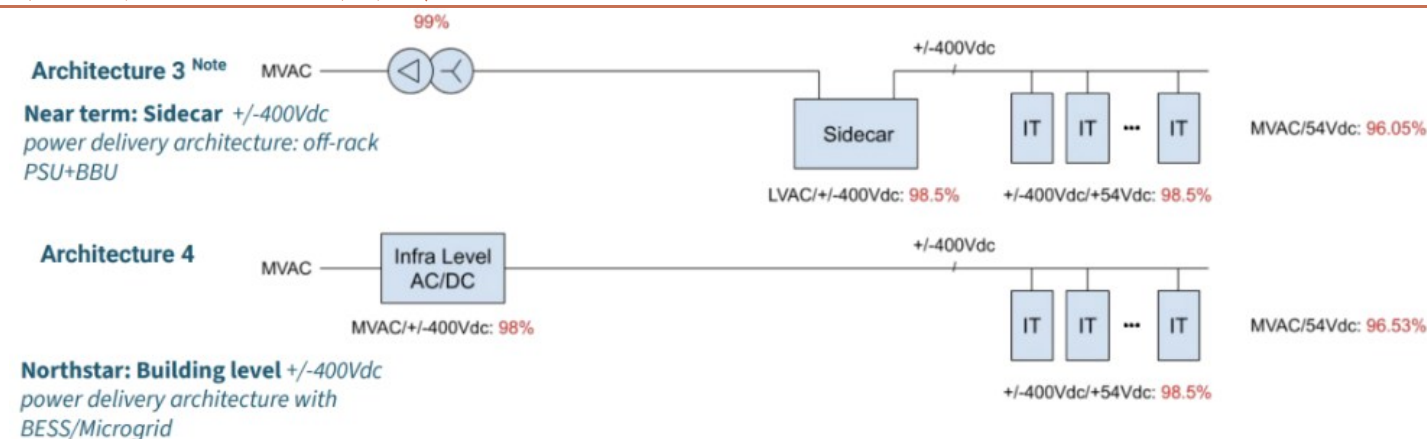
1、北美 AIDC 对于 SST 比较迫切

北美 CSP 大厂高压直流供电架构推进迅速。北美大型互联网公司的自建数据中心正在推动 $\pm 400\text{V}$ 或者 800VDC 的供电模式发展，Meta、微软、谷歌和亚马逊等公司已经联合供应商开发对应方案，并计划于 2026 年下半年实现应用。

缺电、工期等因素推动北美 AIDC 供电架构加速升级 SST。北美地区当前正面临电力容量紧张、人工成本高企及 AIDC 项目交付周期压缩等多重约束，而美国本土电网扩容周期普遍较长，平均并网周期超 4 年，因此大型 CSP 企业迫切推动更高转换效率、更高功率密度、更快配置速度的 SST 供电架构。

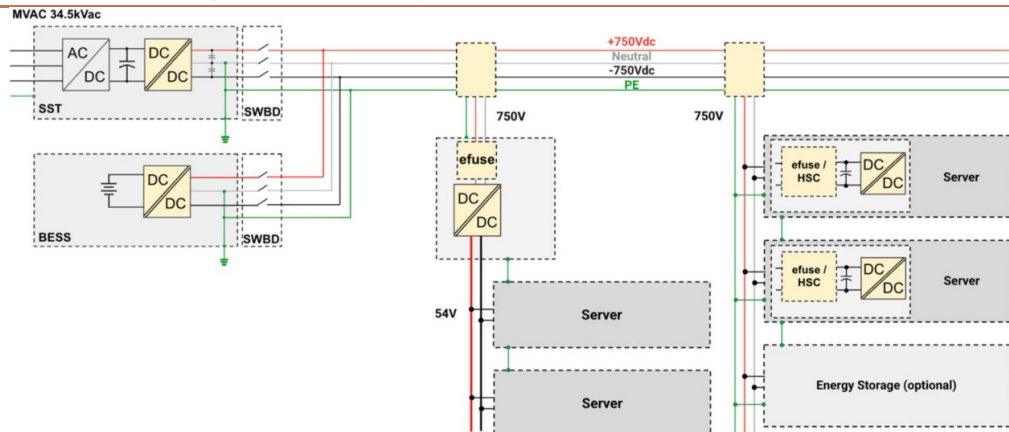
英伟达、谷歌已明确未来 SST 解决方案。英伟达 2025 年 10 月 14 日发布《800VDC Architecture for AI Infrastructure Whitepaper》，明确提出将固态变压器技术作为面向未来的解决方案，旨在实现从中压（例如 35kVAC ）到 800VDC 的直接转换，无需传统低压（ 480VAC ）层并简化设施电源，效率达 98.5% 以上。谷歌也在 OCP 2025 提出交流 34.5kV 输入，直流 $\pm 750\text{V}$ 输出的 SST 供电方案。

图 4：谷歌 $\pm 400\text{VDC}$ 供电架构方案



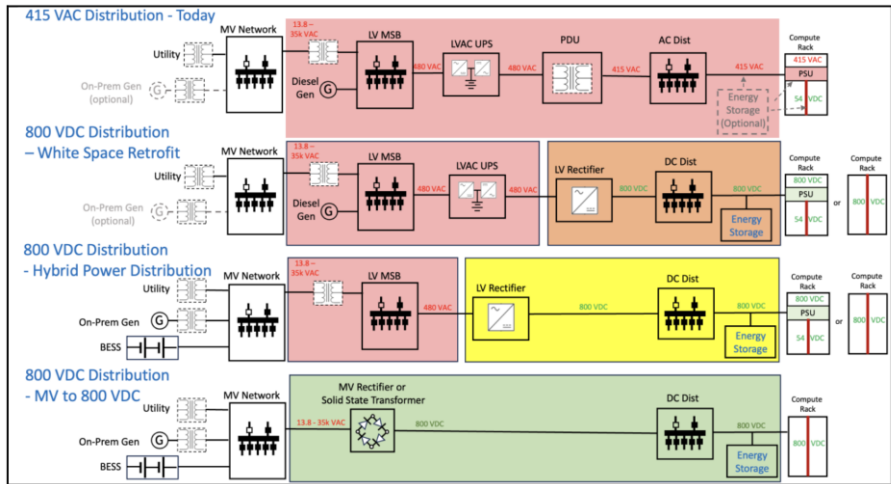
资料来源：谷歌、OCP、招商证券

图 5：谷歌数据中心 SST 供电方案



资料来源：谷歌、OCP、招商证券

图 6：英伟达数据中心架构演进



资料来源：《800VDC Architecture for AI Infrastructure Whitepaper》、招商证券

2、SST 在国内很多场景都有应用前景

SST 在国内绿电直供、柔性配网、电动汽车充电、轨道交通等场景已经有较多应用案例。

- **绿电直供：**以 SST 为核心构建中压直流电网骨干网架，光伏与储能通过 SST 实现全直流升压接入，融合光伏与储能系统，依托综合能量管理平台，实现直流直供制氢或电解等大型直流负荷，可摆脱对交流电网的依赖；
- **柔性配网：**固态变压器凭借其多端口灵活接入、潮流精准可控及电能质量综合治理等显著优势，为构建柔性化、智能化的新型配电网架构提供了关键技术路径；
- **电动汽车充电：**基于电能路由器的直挂超充矩阵，电能路由器采用固态变压器技术替代传统变压器和变流设备，实现了全链条电力电子化，为用户提供极全、极简、极速、极致的“四极”充电体验。
- **轨道交通：**换流器将来自变电站的高压交流电转换成 DC $\pm 35\text{kV}$ ，构建中压直流环网。在各个站点采用多端口 SST 将 $\pm 35\text{kV}$ 直流电转换成 1500V 直流电作为车辆牵引供电，以及 $\pm 375\text{V}$ 直流电为车站提供动力与照明电源。

国内进度领先企业已有多项 SST 项目中标和投运：

- **四方股份：**SST 解决方案已在多个直流配网项目中应用（1-5MW，10-35kV 交流/20-60kV 直流输入，240-800V 直流输出）；
- **为光能源：**万国数据重庆水土数据中心 SST 直挂储能（2024 投运）。

表 2：四方股份已投运、中标的 SST 项目

项目名称	投运/中标时间、关键意义
东莞莞尾多站合一微电网示范工程	边缘数据中心等，公司供货多端 SST 产品和系统集成
宁波慈溪氢电耦合直流微网示范工程	2023 年首次用 SiC 投运
城市配电网柔性互联关键设备技术示范工程	2018 年南网首个商业运行的 SST
南网松山湖中压柔性直流互联示范工程	世界首个基于电力电子变压器的中压柔直背靠背系统
三峡能源云南光伏电站直流升压示范项目	2020 年，发电侧应用，电压等级较高 30KV
西安高新区 SST 全功率研发测试平台	2023 年建成
三峡水利重庆两江新区工商业 SST 储能	2025 年投运

资料来源：四方股份、招商证券

表 3：为光能源已投运、中标的 SST 项目

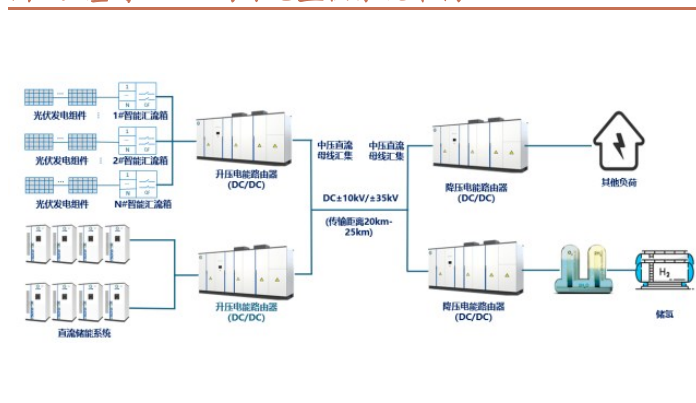
项目名称	投运/中标时间	电压等级	SST 容量	关键亮点&示范价值
万国数据重庆水土数据中心 SST 储能项目	2024 年投运	10kV 输入 → 800VDC 输出	1.2MW	全球首个 10kVSST 商业化直挂储能；替代传统变压+PCS；系统效率 98%+，适配 AI 高功率机柜供电架构
新疆塔城新能源基地 SST 储能示范	2025 年 11 月	10kV/35kV	兆瓦级集群	适配弱电网、高比例新能源并网
广东江门高速服务区光储直柔超充站	2025 年投运	10kV → 750VDC	1.25MW	直流共母线架构；省去多级变流；解决服务区电网扩容难、压降大问题
北京国电瑞风零碳园区 SST 微网	2026 年 5 月	10kV → 750VDC	1.25MW	光伏/储能/负荷直连直流母线；绿电自用率提升 30%+，园区损耗显著下降
广州地铁 8 号线东延段 SST 牵引柔直系统	2026 年中标	± 35kV 输入	轨道交通专用大容量	全球首套地铁全直流 SST 重构；替代工频变压+整流；体积减 60%、损耗降 20%+，支持列车能量回收
西安高新区 SST 全功率研发测试平台	2023 年建成	10kV/35kV 全等级	测试基准平台	企业自研权威试验基地，支撑全系列 SiC-SST 迭代与行业标准验证
三峡水利重庆两江新区工商业 SST 储能	2025 年投运	10kV 直挂	兆瓦级	对比传统变流方案效率高 3~5 个百分点，占地大幅缩减

资料来源：为光能源、招商证券

SST 适配国内“算电协同”，获政策推广。基于 SST 的直流柔性供电技术具备快速功率调节与电压稳定能力，可有效平抑新能源波动；通过减少交直流转换层级并结合液冷技术，可进一步降低数据中心 PUE；提高供电电压等级后，还能够降低输电损耗、扩大能源与算力负荷部署半径，缓解“源-算”空间约束。此外，AI 算力集群高功耗趋势下，直流架构能够更好适配高密度供电需求，并提升新能源利用效率。工信部 2026 年 2 月发布的《节能装备高质量发展实施方案（2026—2028 年）》文件中，大容量 SST 被明确列入重点推广装备清单。

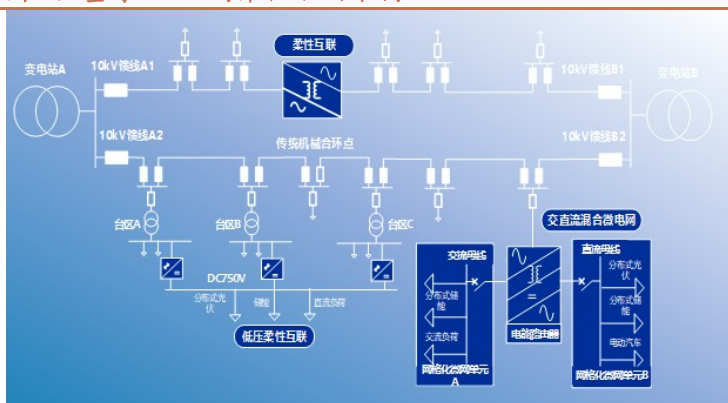
国内 AIDC 同样具备 SST 推广前景。与海外 AIDC 主动升级供电架构不同，国内更偏向于政策牵引、电力约束、工程降本三重驱动，其产业化节奏预计略慢于海外，但随着 SST 产业化降本，预计也会拉动国内的渗透率。

图 7：基于 SST 的绿电直供系统架构



资料来源：为光能源、招商证券

图 8：基于 SST 的柔性配网架构



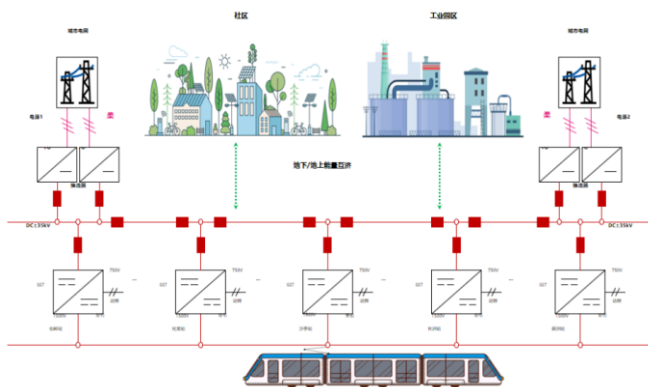
资料来源：为光能源、招商证券

图 9：电动汽车充电 SST 直挂解决方案架构



资料来源：为光能源、招商证券

图 10：轨道交通 SST 智慧柔直供电架构



资料来源：为光能源、招商证券

3、SST 市场空间广阔

我们初步估计 AIDC SST 中期市场空间可达将近 1000 亿元。AIDC SST 当前正处于 0-1 阶段，产业化正在加速，随着可靠性得以验证以及供应链成熟、系统成本下降，渗透率的提升可能是非线性的。基于 2030 年 80GW AIDC 供电需求的假设，SST 单价降至 4 元/W，渗透率达到 30%（若 SST 后续成本下降进展超预期，渗透率有望提升至约 50%），对应市场空间约 960 亿元。考虑绿电直供、柔性配网、充电桩等其他应用场景需求，SST 市场空间更大。

表 4：AIDC SST 空间测算

SST 渗透率	30%	50%
AIDC 新增装机（GW）	80	80
SST 系统价格（元/W）	4	3
SST 市场空间（亿元）	960	1200

资料来源：招商证券

三、电力电子企业正在加速布局 SST

1、台达、伊顿进度领先，海外企业推动 SST 向高压、高功率发展

台达、伊顿 SST 落地进度领先。台达在 26Q1 交流会上提及，SST 送样四大云厂商持续推进，且工业市场已有实质营收贡献；35kV 级 SST 将于 26 年底推出，锁定重工业与电网级应用。伊顿在 26Q1 业绩交流会上提及，公司正在试点近 10 个固态变压器项目，包括与超大规模企业的合作项目，预计 800 伏直流项目的发货将于 2027 年底或 2028 年初开始；中压固态变压器试点项目正在推进，报价已出；10kV SST 为当前主力，35kV 版本将在 2027 年推出；产能优先满足中国与北美 AI 数据中心。

图 11：台达 SST 源网荷储一体直流化解决方案



资料来源：台达、招商证券

图 12：伊顿 SST 数据中心解决方案



资料来源：伊顿、招商证券

海外企业推动 SST 向高压、高功率方向发展。ABB、GEV、日立能源等海外电力设备企业通过独立或合作研究、对外投资等方式加速 SST 解决方案研发，尤其在 35kV、大 MW 级别的液冷样机方面进度领先。

表 5：海外固态变压器行业企业进度

区域	企业	进度
中国台湾	台达	数据中心 SST 已有稳定运行场景。公司 2026 年 3 月与龙芯中科、汉腾科技联合发布集装箱式 SST（固态变压器）直流移动智算中心。以台达 SST 固态变压器为核心能源支撑，深度集成龙芯 3C6000 自主 CPU、国产 AI 加速卡与汉腾 HT100 服务器，打造出从电网到芯片的全栈国产算力基础设施解决方案。运用 800 伏直流供电架构，实现超过 98.5% 的全链路能源转换效率。
美国	伊顿	2024 年底为世纪互联某数据中心提供 2MW SST 样机，支持多能源接入和黑启动。2025 年 7 月宣布收购 Resilient Power Systems Inc.，该公司 SST 方案在充电站领域有深厚积累。
瑞士	ABB	2025 年 3 月投资 DG Matrix 公司，合作开发固态变压器解决方案，其 Power Router 平台可替代 10-20 个传统电气设备，体积缩小 5 倍，效率达 98%。
新加坡	Amperesand	专注中压转直流高效变换，第三代 1-3MW SiC 基 SST 效率超 98.5%，模块化便于扩容。2024 年 2 月完成 1245 万美元种子轮融资，计划 2026 年交付首批商业设备，面向兆瓦级超充、边缘算力。
美国	Heron Power	公司宣布完成 1.4 亿美元的融资，将建造一座年产能 40GW 的碳化硅固态变压器的工厂，用于数据中心和电网领域，公司计划于 2027 年初开始试生产。公司已推出中压 SST 产品 Heron Link，旨在用高密度模块化 SST 取代传统系统。
美国	SolarEdge	与英飞凌达成战略合作，联合开发模块化 2-5MW SST 构建模块，采用碳化硅开关技术，实现中压到 800-1500V 直流的直接转换，效率突破 99%。
美国	GEV	公司聚焦两种 100kW-1MW、10MW 以上两种主流 SST 架构落地，分别适用于中小功率分布式能源、数据中心低压配电等场景和中压配电网、大型新能源电站与工业高功率负荷。公司 2009 年已采用 10kV 碳化硅器件，首次完成 13.8kV/265V 固态变压器示范验证。

区域	企业	进度
日本/瑞士	日立能源	2025 年 4 月推出创新数字固态变压器解决方案，强调实时监测、AI 故障检测和可再生能源平衡功能，提升电网稳定性和性能。2021 年曾与新加坡南洋理工大学合作推进 SST 技术研发。

资料来源：公司公告、智研咨询、招商证券

2、国内企业加速迭代，数据中心 SST 已有样机交付、运行

国内 SST 企业加速迭代，在国内外数据中心已有样机交付、运行案例。随着台达、伊顿推出针对数据中心的 SST 产品之后，国内电力电子企业也纷纷推出样机或宣布加大研发投入。

- 中国西电：2023 年为东数西算贵安数据中心交付 2MVA SST 样机，以实现绿电接入；
- 金盘科技：2026 年 1 月在香港 IEEE PES 国际会议发布元神 ONE 系列 SST；
- 四方股份：2026 年 4 月发布数智 SST 1.0 新品；
- 伊戈尔：2026 年 4 月发布固态变压器 JUNO 系列新品。

图 13：中国西电固态变压器样机



资料来源：中国西电、招商证券

图 14：金盘科技发布元神 ONE 系列 SST



资料来源：金盘科技、招商证券

图 15：四方股份发布数智 SST 1.0 新品



资料来源：四方股份、招商证券

图 16：伊戈尔发布固态变压器 JUNO 系列新品



资料来源：伊戈尔、招商证券

表 6：国内固态变压器行业企业进度

企业	进度
四方股份	非数据中心领域商业化应用；数据中心样机 1.0 26 年 4 月初发布。
为光能源	依托西交的科研实力和白云电气的产业资源，推出“羲和”系列 SST 产品。2025 年 5 月，在昆山建成了全球首座 SST 专业生产基地，年产能可达 5GW，同时启动了 2030 年全球总产能 30GW 的战略规划。
金盘科技	2026 年 1 月在香港 IEEE PES 国际会议发布元神 ONE 系列 SST。
中国西电	25 年 10 月发布 4MW 光伏直挂型固态变压器，效率达 97.5%。2.4MW SST 产品已经在“东数西算”核心节点贵安数据中心实现规模化应用。
禾望电气	26 年世纪互联首台套。
伊戈尔	26 年 4 月初发布产品，巴拿马电源/SST 高频变。
新风光	3 月 25 样机下线，10kV 输入、800V 直流输出、功率达 2500kW，转换效率超 98%。
阳光电源	预计 26H2 实现产品落地、客户接触；计划直接推出面向北美数据中心版本。
研发中	正泰电器、科士达、科华、盛弘、特锐德、安靠智电等。

资料来源：各公司公告、招商证券

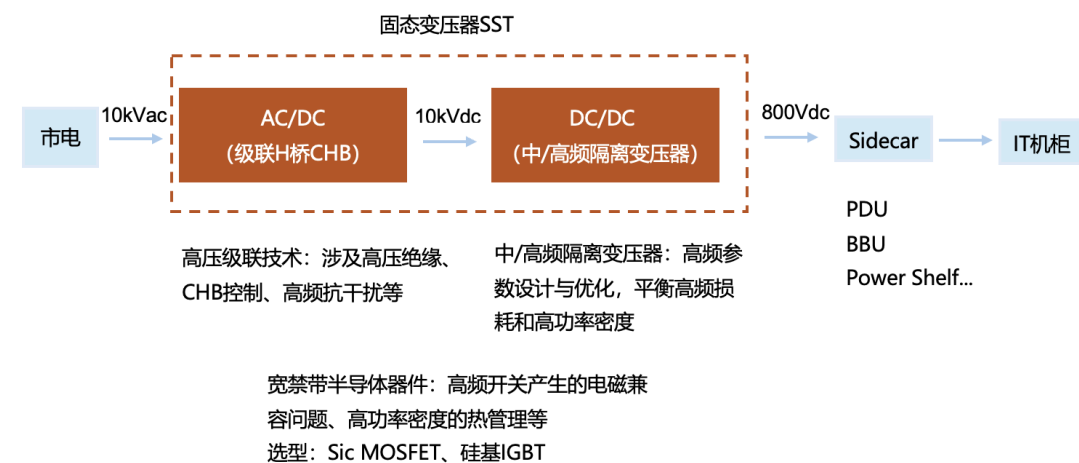
四、功率器件及高频变压器是核心零部件

1、SST 的拓扑结构

SST 基于电力电子技术高度集成化，核心拓扑为高压整流级（AC/DC）和隔离变换级（DC/DC）两级结构：

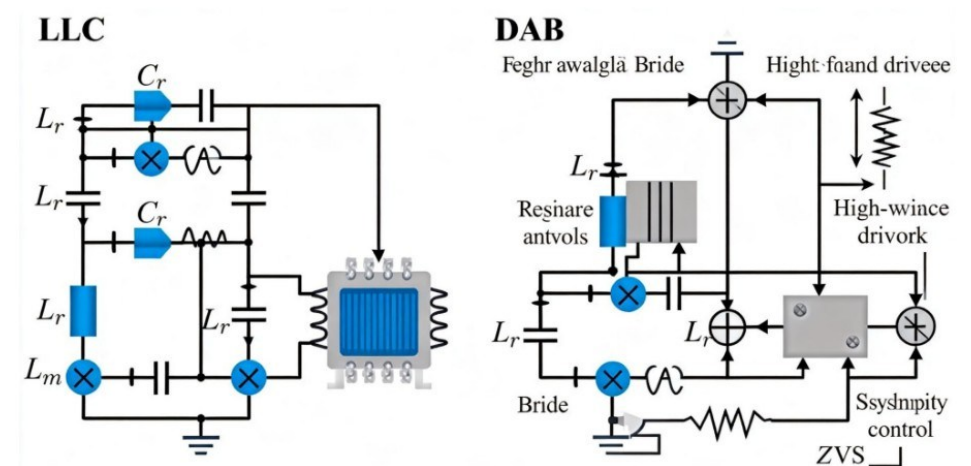
- 高压整流级（AC/DC）：将 10/35kV 交流市电直接转换为直流电。主流拓扑包括高压级联和模块化多电平。高压级联拓扑在储能领域有较为成熟的应用，其转换效率与级联模块数有较大关系，提高功率模块的电压，可以减少模块数量，因此，碳化硅器件的选型和拓扑结构对于效率有较大影响。
- 隔离变换级（DC/DC）：实现电气隔离、电压等级变换等功能，中/高频变压器是其核心器件，工作频率范围一般在几十 kHz。为了缩小变压器体积，提高 SST 功率密度，需要尽可能提高频率，但是频率越高损耗越大，需要结合实际场景平衡体积和损耗的关系。DC/DC 变换器主流拓扑包括 DAB 和 LLC。

图 17：数据中心 SST 电力变换结构及关键技术



资料来源：台达、金盘科技、招商证券

图 18：高频 LLC 和 DAB 拓扑对比



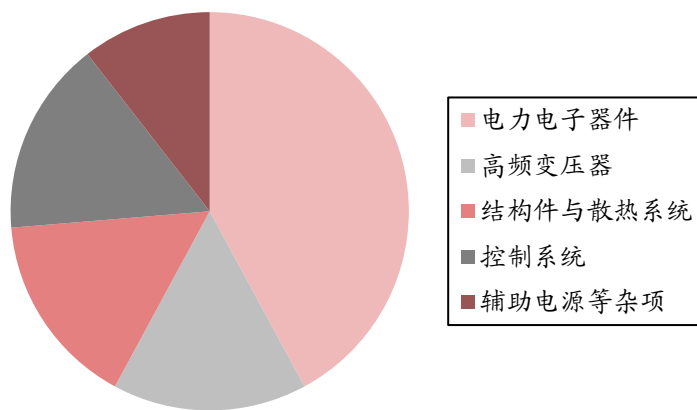
资料来源：博多电子、招商证券

2、功率器件及高频变压器是核心零部件

SST 电力电子含量高。SST 的成本结构中，电力电子器件占比最高(约 40-50%)，主要由于碳化硅、氮化镓等宽禁带半导体材料价格昂贵，且高耐压要求进一步推升成本；高频变压器约占 15-20%，其铁氧体、非晶合金等高性能铁芯材料及精密制造工艺增加了支出；结构件与散热系统（15%）及控制系统（15%）分别涉及散热器、机柜、液冷装置和控制电路等关键部件；其余 10% 为辅助电源等杂项。

SST 中长期有望规模化降本。SST 的核心组件依赖宽禁带半导体的高频电力电子器件，其生产成本较高导致 SST 系统整体定价较高。SST 的高成本会对数据中心投资成本造成压力，短期内仍面临性能优化与成本控制矛盾，但对于降低大规模部署数据中心运营成本意义重大。中长期来看电力电子器件价格会逐步下降，而铜价是上升趋势，随着行业规模化应用，并通过优化高频变压器等核心部件推动降本，一旦突破成本瓶颈，SST 凭借性能优势有望加速落地。

图 19：固态变压器成本结构

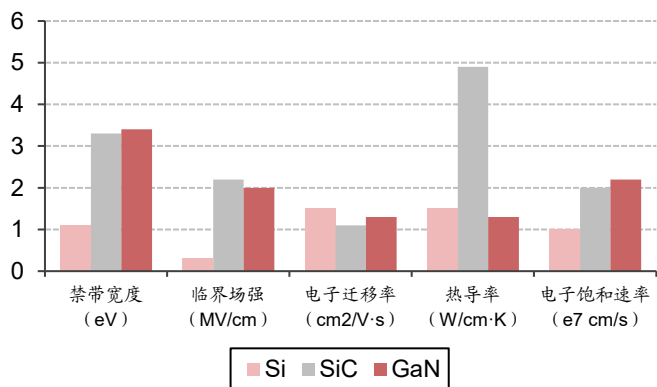


资料来源：智研咨询、招商证券

（1）SiC MOSFET 是数据中心 SST 主流功率器件

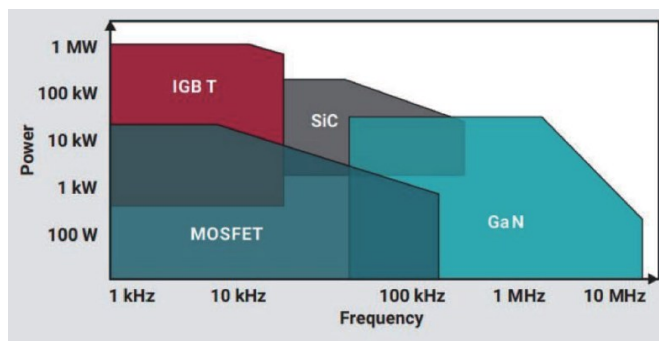
SiC MOSFET 功率器件特性更适配 AIDC SST 需求，逐渐成为主流。SiC 是第三代半导体材料，作为功率半导体具有高耐压、低导通电阻、寄生参数小等特点。应用于电源领域中，具有损耗小，工作频率高，可靠性高等优势，可显著提升电源效率、功率密度和可靠性等性能。SiC 器件常用 1200V 的电压等级，具备高载流能力，GaN 器件通常为 650V。因此，在 DC800V 电压等级范围更适合选取 SiC 作为设备的核心功率器件。目前国内电力行业应用的固态变压器设备大多采用 IGBT 模块作为核心功率器件，但是在追求更高能效和更高功率密度的通信行业，SiC 正在逐步取代传统的硅基功率器件。

图 20: Si、SiC、GaN 材料特性对比



资料来源:《数据中心 800V 直流供电技术白皮书》、招商证券

图 21: 功率器件功率频率图



资料来源:《数据中心 800V 直流供电技术白皮书》、招商证券

(2) 高频变压器是 SST 实现高功率密度的核心零部件

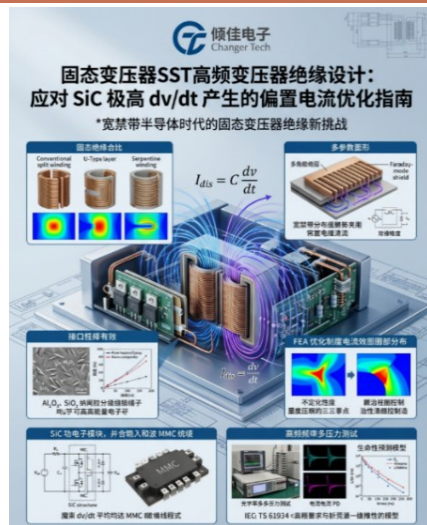
高频变压器是 SST 的核心零部件。高频变压器是指工作频率极高(通常在 10kHz 到 1MHz 级别)的变压器,利用高频化大幅减小了磁性元件的体积和重量。SST 的隔离变换级通过高频变压器实现高低压侧的电气隔离和电压等级变换,是 SST 实现高功率密度的核心环节,其性能直接决定了系统高频化、模块化设计的实现。

图 22: 高频变压器



资料来源:京泉华、招商证券

图 23: SST 高频变压器绝缘设计



资料来源:倾佳电子、招商证券

高频变压器要求具有高绝缘、低局放特性,技术壁垒高。高频变压器随着电压等级升高在绝缘、局放、电晕等方面难度加大,绕组通常采用利兹线或铜箔结构,绝缘材料需具备优异的耐高频电压应力性能:

- 高绝缘特性:提升中压高频变压器的电场耐受强度,有效抵御 SST 中压工况下的极不均匀电场应力,保障电压变换与电气隔离核心功能的可靠实现,支撑 SST 千伏级电压等级的适配性;
- 低局放特性:抑制高频交变电场下的局部放电现象,避免放电对绝缘材料的侵蚀,延长中压高频变压器及 SST 整体的绝缘寿命,降低全生命周期运维成本;同时消除局部放电引发的电磁干扰(EMI),保障宽禁带半导体(SiC/GaN)器件与数字控制系统的精准协同,提升 SST 的运行稳定性。

- **耐电晕特性：**高频变压器由于分布参数的非理想特性，会导致绕组间产生极度不均的电场分布，瞬态高频位移电流极易诱发具有高度破坏性的电晕放电。需要动态缓解瞬态高电场，避免固态变压器设备的实际挂网寿命缩水。

磁芯材料是高频变压器频率提升的底层瓶颈。由于下游要求 SST 结构尽可能紧凑，因此高频变压器频率设计很关键，影响 SST 损耗和体积。区别于工作频率在 50/60Hz 的工频变压器采用硅钢片（高频下涡流损耗加剧），高频变压器磁芯材料主要采用高电阻率、低高频损耗和良好磁性能的锰锌铁氧体（MnZn Ferrite）、非晶态合金（Amorphous Alloys）与纳米晶合金（Nanocrystalline Alloys），以保证 SST 在高功率工况下的高效率。

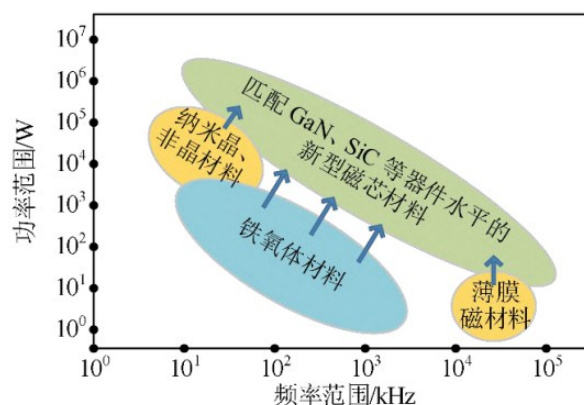
- **非晶和纳米晶合金材料：**在中频(<100kHz)、大功率(>10kW)应用场合，非晶和纳米晶合金材料的综合磁性能较为优异。与铁氧体材料相比，纳米晶合金材料具有更高的饱和磁通密度，并且热稳定性好，制成大尺寸磁芯也能保持性能的稳定性。但纳米晶合金材料的高频损耗较高，并且工艺仍不够成熟，切割后损耗显著增大、浇注后应力损耗增大、价格较高等问题有待解决。
- **铁氧体材料：**通常由铁、锰等氧化物混合烧结之后成型的非金属磁性材料，具有高频损耗小(几乎无涡流损耗)和磁导率高等优点，适用频率范围宽，在 50kHz-1MHz 的小功率场合，目前主要采用铁氧体作为磁芯材料。但由于铁氧体材料的饱和磁通密度较低，导致磁能存储能力较低，并且大尺寸的铁氧体磁芯具有易碎性，在大功率领域应用可能受限。

图 24：高频变压器铁芯



资料来源：高创科技、招商证券

图 25：磁芯材料应用的功率和频率范围



资料来源：《面向电力电子变压器应用的大容量高频变压器技术综述》、招商证券

3、固态断路器是 SST 配电环节的关键保护设备

固态断路器是电力电子开关设备。固态断路器（Solid State Circuit Breaker, SSCB）是一种基于功率半导体器件（IGBT、IGCT、SiC MOSFET 等）实现电流快速切断与故障保护的新一代电力电子开关设备。固态断路器采用全电子化开断方式，其工作原理是电流检测→控制算法计算→半导体开断→限流。

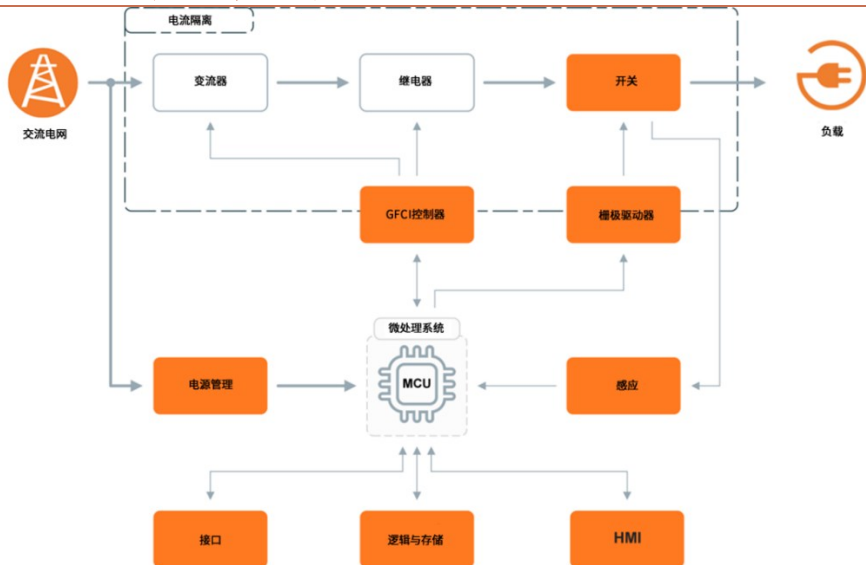
固态断路器是保护 SST 系统安全性与稳定性的关键设备。固态断路器无机械触点、无电弧磨损，具备开断速度快、寿命长、可靠性高、体积小等优势，可实现微秒级故障切除，在高频、高压、高动态负载场景中优势明显。因此，固态断路器更适配 SST 电力电子化发展趋势，有望成为未来 SST 配电架构中的核心保护器件，具体体现在：

- SST 是高压直流系统，不存在交流过零点，故障电流上升速度更快，传统机械断路器难以在毫秒级内完成有效开断，容易造成故障扩散及核心设备损坏；而固态断路器可实现微秒级快速切断，大幅提升系统故障隔离能力；
- SST 内部包含大量高频电力电子器件，对短路、电弧及浪涌冲击更加敏感，固态断路器能够通过数字化控制实现精准保护，与 SST 形成协同控制体系，提高整体供电可靠性与动态响应能力。

图 26: ABB 固态断路器产品



图 27: 固态断路器解决方案框架



资料来源：ABB、招商证券

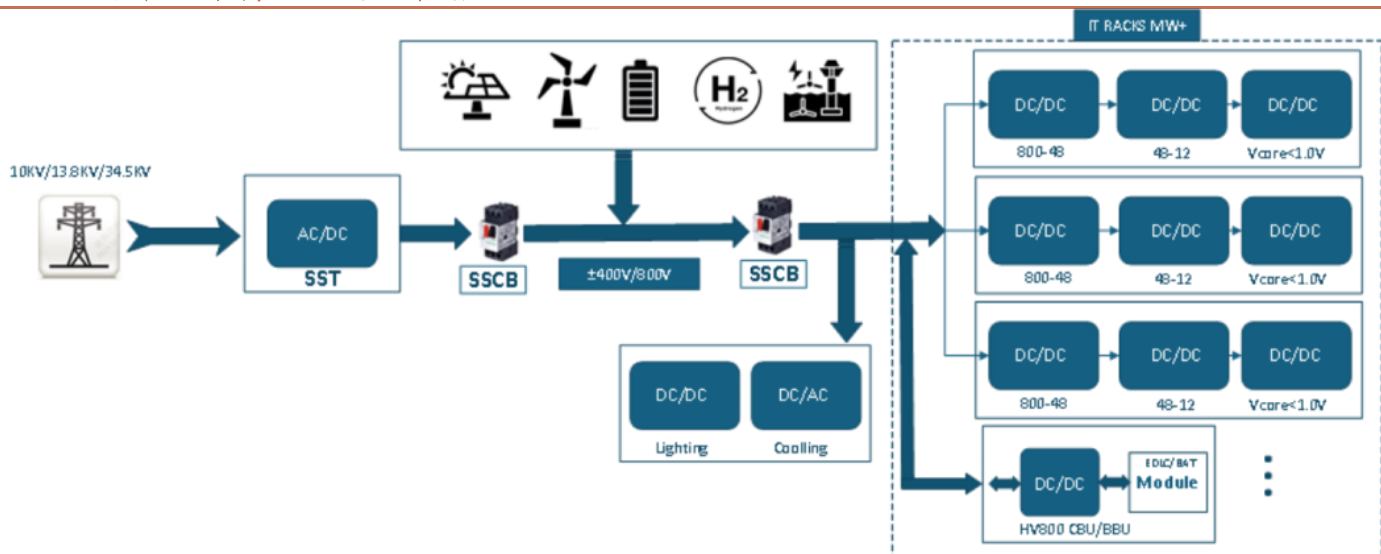
资料来源：安森美、招商证券

表 7: 不同类型断路器性能对比

对比项目	传统机械断路器	超快熔断器	固态断路器
典型分断时间	10–20 ms	0.1–1 ms	5–20 μ s
5 kA/ms 短路峰值电流	50–100 kA	0.5–5 kA	0.025–0.10 kA
电气寿命	1000–10000 次	1 次	≥ 100 万次
维护便捷性	可复用	需要更换	可复用，智能化程度高

资料来源：泰永长征、招商证券

图 28: 固态断路器在高压直流系统中的应用



资料来源：面包板、招商证券

固态断路器具备较高技术壁垒，核心集中于功率半导体、控制算法、热管理及系统集成四大环节：

- 半导体开断：依赖功率器件实现百纳秒级快速响应，并在高电流密度条件下完成稳定开断，从而显著降低冲击能量 I^2t ，对器件性能及驱动设计要求较高
- 控制算法：决定系统可靠性的核心，需要实现 $\geq 100\text{kHz}$ 高速采样、故障电流预测及限流策略，并通过双通道冗余保护降低误动作风险；
- 散热与热管理：连续运行时存在较高热负荷，对模块化散热、液冷/强制风冷及热反馈闭环控制能力要求较高，以保障长期稳定运行；
- 系统集成：需具备较强系统集成能力，包括支路级选择性保护、Modbus 及 IEC61850 等通信协议支持，以及实时 I^2t 、温度与负载监测等智能化功能，软硬件协同门槛较高。

海外企业技术领先，国内企业加速切入。目前海外企业在高端固态断路器领域仍具备领先优势，主要参与者包括 ABB、伊顿、西门子等海外电力设备龙头。国内企业则依托新能源、电力电子及数据中心产业链优势加速切入，部分企业已在低压直流保护、储能 PCS 保护及充电桩领域实现产品落地。长期来看，固态断路器有望随着 AIDC 高压直流和 SST 配电架构推广迎来规模化应用阶段。

五、相关标的梳理

1、阳光电源

公司电力电子技术积累深厚，布局 AIDC 电源起点较高，已成立专门 AIDC 事业群，全面布局 AIDC 供电生态。公司副总裁顾总具有台达、伊顿工作经历，AIDC 事业部负责人张总具有维谛工作经历，在 AIDC 电源领域具有深厚的积累。我们预计公司有望在 2026 年下半年推出相关产品，并重点聚焦海外高价值市场。

2、四方股份

公司 SST 解决方案已在多个直流配网项目中应用，是现阶段 SST 技术积累最深厚、实际运行经验最丰富的企业之一。26 年 2 月，公司成立子公司北京四方数智，作为 AIDC 业务主体。4 月 2 日，针对数据中心负荷的四方股份数智 SST1.0 发布。4 月 29 日公司公告，核心成员拟通过设立合伙企业对四方数智进行增资，加强员工激励。

3、金盘科技

公司在美国接触数据中心业务较早，且美国工厂已经落成，具有北美客户优势。公司布局 AIDC 全栈式供电解决方案，25Q3 推出数据中心 10kV/2.4MW 固态变压器样机，目前正在推动挂网测试。

4、伊戈尔

公司持续加大在数据中心电力设备领域的投入，变压器实现品类扩张，从移相变拓展至油变、干变，并打开日本、美国市场。2026 年 4 月发布君诺 JUNO 系列固态变压器，并在 4-5 月陆续在北美、欧洲展会展出。

5、禾望电气

公司参与的“20MW 级大变比固态变压器及±35kV 高压直流输配电成套系统”落地甘肃，申报国家能源领域首台（套）重大技术装备项目。

6、中国西电

公司电力电子技术积累深厚，研发生产的 10kV/2.4MW-240VDC SST 已于 2023 年应用于“东数西算”数据中心贵安项目一期。

7、新风光

公司在电力电子领域也具有较深厚的积累，2026 年 3 月，公司自主研发的新一代 SST 样机已成功下线。

8、白云电器

为光能源是国内实现 SST 全场景商业化量产落地的领先企业，其控股股东为白云电气集团。

公司与白云电气集团系同一实控人胡氏家族下的关联方。公司是国内领先的电力能源综合解决方案服务商，拥有完整的电力设备产品链条，未来出海有潜力。

9、京泉华

公司是一家集磁性器件、电源类产品的研发、生产、销售、服务于一体的国家高新技术企业。目前主要涉及新能源发电及储能、新能源汽车、充电桩、算力中心、工业自动化、通信应用及消费电子等多个领域。目前，磁性器件覆盖隔离变压器、高频变压器、箱式变压器、干式变压器、三相变压器、电抗器、电感器、滤波器等核心品类。

公司高频变整机及线圈产品已有国内客户对接，已进行打样与送样验证工作，且同时与海外 SST 领先客户合作开发相关产品。

10、新特电气

公司变压器系列产品主要包括变频用变压器、电力变压器、小型变压器、船用变压器等，其中变频用变压器具备电压变换、隔离及移相的功能。

公司在数据中心领域可提供的主要产品为多绕组干式变频变压器(移相变压器)，并布局固态变压器配套用变压器的研发与创新，以提升公司在特种变压器领域的技术创新能力，增强核心竞争力。

11、良信股份

公司在固态断路器等关键技术领域实现重要突破，智算 800V 直流系统固态断路器产品获 2025 年度中国 IDC 产业创新技术产品奖。

六、风险提示

1、SST 渗透不及预期

AI 服务器机柜密度提升及 SST 技术发展不及预期，可能导致 AIDC 供电方案升级进度延迟，SST 商业化落地节奏放缓；

2、供应链面临瓶颈

SiC 功率器件及高频变压器等 SST 关键零部件出现产能紧张、成本上涨或交付不稳定，可能制约 SST 行业规模化推广；

3、AIDC 需求不及预期

全球 AI 资本开支规模波动、AIDC 建设进度放缓，可能导致 AIDC 对 SST 供电方案的需求不及预期。

参考报告：

- 《美国启动 765kV 输电网建设—电力设备系列报告（46）》20260304
- 《Bloom Eenergy 业绩拐点已现，AI 数据中心与工商业需求快速增长—电力设备系列报告（46）》20260208
- 《Bloom Energy 斩获 GW 级订单，SOFC 应用再加速—电力设备系列报告（44）》20260111
- 《英伟达 800Vdc 白皮书解读—电力设备系列报告（43）》20251019
- 《HVDC 是大规模数据中心供电升级的趋势，中国公司有机会—电力设备系列报告（42）》20251012
- 《美国启动“电力加速计划”，电气装备产业景气升级—电力设备系列报告（41）》20250924
- 《阿里云收入&资本开支大超预期，AIDC 国内需求将显著上移—电力设备系列报告（40）》20250831
- 《发电装备供应紧张，SOFC 成北美数据中心电源新选择—电力设备系列报告（39）》20250826
- 《海外电力装备企业中报复盘：新增订单有所放缓，但数据中心及燃机需求仍强劲增长—电力设备系列报告（38）》20250814
- 《海外 AIDC 需求强劲，HVDC 逐步成为共识—电力设备系列报告（37）》20250803
- 《海外 CSP 云业务表现强劲，资本开支力度大、后续指引高—电力设备系列报告（36）》20250504
- 《国内互联网企业加大资本开支，AIDC 产业确定性受益—电力设备系列报告（35）》20250220
- 《AI 高效化推动终端需求繁荣，AIDC 建设确定性强—电力设备系列报告（34）》20240212
- 《智算带来数据中心投资需求，配套电气设备值得关注—电力设备系列报告（33）》20241227

分析师承诺

负责本研究报告的每一位证券分析师，在此申明，本报告清晰、准确地反映了分析师本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告中的具体推荐或观点直接或间接相关。

评级说明

报告中所涉及的投资评级采用相对评级体系，基于报告发布日后 6-12 个月内公司股价（或行业指数）相对同期当地市场基准指数的市场表现预期。其中，A 股市场以沪深 300 指数为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以标普 500 指数为基准。具体标准如下：

股票评级

强烈推荐：预期公司股价涨幅超越基准指数 20%以上

增持：预期公司股价涨幅超越基准指数 5-20%之间

中性：预期公司股价变动幅度相对基准指数介于±5%之间

减持：预期公司股价表现弱于基准指数 5%以上

行业评级

推荐：行业基本面向好，预期行业指数超越基准指数

中性：行业基本面稳定，预期行业指数跟随基准指数

回避：行业基本面转弱，预期行业指数弱于基准指数

重要声明

本报告由招商证券股份有限公司（以下简称“本公司”）编制。本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告基于合法取得的信息，但本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告所包含的分析基于各种假设，不同假设可能导致分析结果出现重大不同。报告中的内容和意见仅供参考，并不构成对所述证券买卖的出价，在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。除法律或规则规定必须承担的责任外，本公司及其雇员不对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失负任何责任。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行业务服务。客户应当考虑到本公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突。

本报告版权归本公司所有。本公司保留所有权利。未经本公司事先书面许可，任何机构和个人均不得以任何形式翻版、复制、引用或转载，否则，本公司将保留随时追究其法律责任的权利。