

# 市场简报：双碳驱动电力革命，固态变压器的商业化拐点已至？

Briefing Report: Dual Carbon Goals Drive the Power Revolution: Has the Commercialization Inflection Point of Solid-State Transformers Arrived?

市場速報：二炭素目標が駆動する電力革命、ソリッドステート変圧器の商業化インフレーションポイントは到来したか？

报告标签：固态变压器、三级拓扑、数据中心  
2025年12月

Q1: 在新型电力系统建设加速推进、电力设备向高效化与智能化升级的背景下，传统变压器与固态变压器在属性、功能拓展性上的差异体现在哪些方面？

图表1：传统变压器与固态变压器的属性对比

属性	传统变压器	固态变压器
核心原理	电磁感应原理	电力电子变换原理
能量形式转换	交流→交流	交流→直流→交流/交流→直流→直流
核心材料	硅钢片铁芯+铜/铝绕组	半导体器件 (IGBT/SiC/GaN) + 高频磁芯
工作频率	固定工频 (50/60Hz)	高频 (kHz-MHz级)
体积/重量	体积大、重量重 (受工频磁芯限制)	体积小、重量轻 (高频缩小磁元件)
能量控制能力	被动式调压，响应慢，控制能力有限	可实现电压 / 电流 / 功率的主动式调控

图表2：传统变压器与固态变压器的功能拓展性对比

能量控制功能	传统变压器	固态变压器	固态变压器实现方式
电压调节	有限分接	√	无级调压 (PWM实时控制)
故障电流阻断	×	√	瞬时闭锁IGBT，切断短路电流
双向功率流	×	√	整流/逆变模式自由切换
谐波治理	×	√	主动谐波 (FFT分析+谐波补偿)
直流输出	×	√	直接提供直流端口
孤岛运行支持	×	√	黑启动能力+微电网调度

■ 固态变压器在效率、体积、重量、功能拓展性等方面较传统变压器优势显著

传统变压器基于电磁感应原理，结构简单、坚固耐用，但其工频工作方式导致体积大、重量重，且功能仅限于被动变换电压。相比之下，固态变压器基于电力电子变换原理，利用半导体器件进行高频电能转换，在体积与重量大幅缩小50%以上的同时，还实现了电能的主动与智能化控制，使其在新能源接入、数据中心、电动汽车等新兴场景中具备更强的适应性与拓展性，是未来配电网系统向高效化、数字化和柔性化演进的重要方向。

进一步从功能拓展性方面来看，传统变压器仅能实现基础的电压变换，而固态变压器通过其电力电子内核，除集电压无级调节、瞬时故障隔离、双向功率流控制等能力于一体，还具备主动谐波治理、直流输出、孤岛运行支持等功能，既填补了传统变压器的能力空白，也适配新型电力系统对灵活调控、多场景兼容的需求，凸显了其智能化与多功能集成的核心优势。

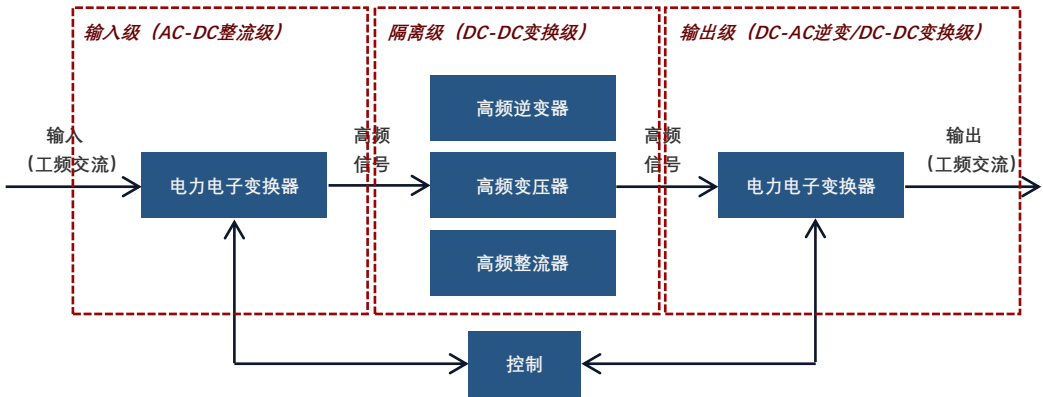
来源：达源电力，头豹研究院

Q2: 伴随电力设备向高频化、小型化发展，固态变压器凭借显著的属性与功能优势成为关注焦点。那么固态变压器的具体工作逻辑是怎样的？成本又主要由哪些零部件构成？

■ 典型的固态变压器采用三级拓扑架构实现能量转换与控制

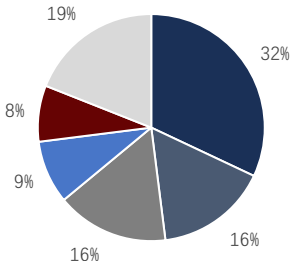
固态变压器集成电力电子变换技术和高频电能转换技术，典型采用输入级、隔离级与输出级构成的三级拓扑架构。其工作流程始于输入级，输入级的核心功能是将电网侧或储能单元输出的交流电转换为稳定的直流电，并实现功率因数校正与谐波抑制。隔离级承担着能量隔离与电压等级灵活调节的功能，是固态变压器实现高效能量传输的核心环节。该层级由高频逆变器、高频变压器与高频整流器组成，在将输入级输出的直流电逆变为高频交流电后，通过高频变压器实现原副边的电气隔离与电压比例变换，随后将高频交流电整流为直流电并输出至输出级。输出级则根据负载需求实现电能形式的最终转换。若负载为交流负载，采用DC-AC逆变器，输出频率与电压稳定的交流电；若负载为直流负载，采用DC-DC稳压器，输出恒定电压的直流电。期间还结合控制系统动态调整各环节开关器件的工作状态，以实现能量双向流动、功率因数调节等功能。

图表3：固态变压器的三级拓扑架构及原理



图表4：固态变压器的零部件成本构成

■ 电力电子器件 ■ 直流电容器 ■ 高频变压器 ■ 散热系统 ■ 控制系统 ■ 其他 ■ 电力电子器件是固态变压器关键零部件

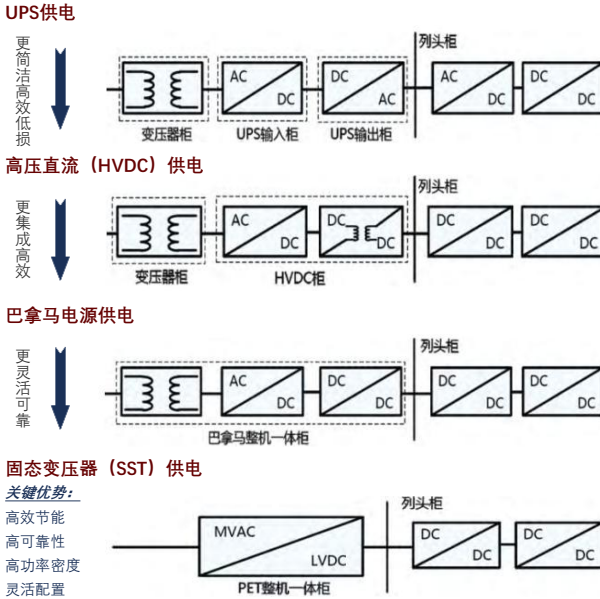


来源：白云电气集团，中国电力设备管理协会，Sustainability，头豹研究院

从固态变压器的零部件成本构成来看，电力电子器件成本占比最高，约32%，主要包括IGBT、SiC MOSFET等高功率开关元件，其性能与可靠性直接影响系统效率和寿命。其次为高频变压器与直流电容器，成本占比各16%，分别承担能量隔离/变换和平滑直流母线电压的功能。散热系统与控制系统成本占比分别为9%和8%，主要负责热管理与智能控制，是保障系统可靠高效稳定运行的关键支撑。其他部分包括结构件、连接器等，合计成本占比19%。

Q3: 在AI算力驱动数据中心单机架功率向兆瓦级跃升、供电架构迫切需要降损提效的背景下，固态变压器凭借高效集成特性而成为前沿候选方案。相较于其他数据中心供电方案，固态变压器的核心优势体现在哪里？

图表5：数据中心供电架构的基本演进路线



■ 固态变压器是推动数据中心向更高效智能迈进的关键技术

数据中心供电架构正沿着“高效率、低损耗、集成化、灵活可靠”的路径持续演进。早期UPS架构依赖多级直流转换，虽保障可靠性但受限于设备种类数量多、占地面积大、转换效率低等问题，逐步被市场所淘汰。随后兴起的HVDC架构通过将市电整流为高压直流电，省去了UPS的逆变环节，全链路效率较UPS提高3%-5%，可降低数据中心0.1-0.2的PUE。巴拿马架构进一步整合配电结构，通过将高压配电、移相变压器、整流模块等设备集于一体可大幅缩短供电链路，减少中间环节损耗，全链路效率较HVDC提高1%-3%，占地面积缩小40%-50%。固态变压器则是数据中心绿色供电的前沿方案，基于SiC/GaN宽禁带器件实现高频变换，全链路效率较巴拿马架构提高，体积更小型化。且固态变压器多采用工厂预制式安装和调试，可大幅节省现场工作。此外，固态变压器还支持多种能源与负载灵活高效接入，从而促进不同能源形态之间的互联互通及生产和消费环节的有机整合。综合来看，固态变压器较其他供电架构具备更高效节能、可靠、小型、灵活的突出优势。然而，目前囿于核心电力电子器件成本偏高、高频拓扑的长期可靠性验证不足等因素，固态变压器仍处于应用示范期与规模化推广前夜。

图表6：数据中心不同供电架构对比

维度	UPS	HVDC	巴拿马	SST
全链路效率	85.8%	88.9%	90.3%	90.8%
占地面积 (以UPS为基准)	1.0	0.9	0.5	0.4
现场安装	受制于工频变压器	受制于工频变压器	受制于多绕组变压器	柜式布置，安装灵活
灵活性	受制于工频变压器	受制于工频变压器	受制于多绕组变压器	模块化适配定制化场景
集成度	集成度差	集成度差	需额外配置APF/SVG	高度集成，且兼容APF/SVG功能
绿电接入	不具备接口	不具备接口	不具备接口	具备高效接口
电网适应性	不具备	不具备	不具备	兼容高低穿、主动无功补偿等场景

来源：白云电气集团，头豹研究院

**Q4: 伴随电网智能化与能源转型加速，固态变压器作为下一代关键设备将成为全球技术竞争的新焦点。目前国内外企业在固态变压器整机研发、核心器件、场景适配等环节的布局情况如何？**

■ 当前全球固态变压器市场呈现“多极并进”的发展格局

从当前国内外主要企业的布局进展来看，固态变压器正加速从实验室走向规模化应用，整体呈现出“多极并进”的发展格局，不同区域、类型的企业依托自身优势在技术研发、场景布局上形成差异化竞争力。北美阵营以美国Vertiv为代表，聚焦AI数据中心高算力场景，规划2026年推出适配英伟达平台的800V DC方案，凭借算力生态绑定抢占高端市场；欧洲阵营中，爱尔兰Eaton推出的中压SST产品已在超算中心完成试点验证，德国Infineon联合Solar Edge开发模块化平台，侧重电力电子器件与系统集成的技术协同。中国阵营分大陆与台湾双支线，台达电子基于SST的智能直流供电系统已落地产业园区，大陆企业如金盘科技、中国西电加速样机设计与量产筹备，四方股份通过自主设计掌握SST核心部件技术且获多项专利，新特电气、泰永长征、科华数据等则处于技术开发或方案论证阶段，整体来看国产SST正依托本土新型电力系统与数据中心需求快速迭代。

未来全球固态变压器市场的技术融合与应用驱动趋势将不断深化。随着SiC等宽禁带半导体成本持续下降及高频磁性材料、先进热管理技术逐步成熟，SST的功率密度与可靠性将进一步提升，推动其从示范项目走向大规模商用。同时，数据中心、新能源并网、电动汽车超充及智能微电网将成为核心增长引擎。因此，具备器件-整机-系统全栈能力的企业将构筑起较高的竞争壁垒，推动全球市场从“多极并进”逐步迈向“生态竞合”。

图表7：部分国内外主要企业在固态变压器领域的布局进展，2025年12月

企业	所属国家/地区	布局进展
Vertiv	美国	规划在2026年推出800V DC解决方案，支撑英伟达整机柜计算平台
Eaton	爱尔兰	2024年推出的中压能源路由器MV SST已在世纪互联北京某超算中心稳定运行；2025年7月宣布收购Resilient Power，进一步深化SST技术储备
Infineon	德国	2025年11月，宣布将与Solar Edge联合开发模块化固态变压器平台，主要面向2-5MW等级的AI与超大规模数据中心供电架构
台达电子	中国台湾	2025年11月，基于SST的智能直流供电系统商业化方案已率先落地秦淮数据中心产业园
新特电气	中国大陆	截至2025年11月，公司布局SST配套用变压器的研发与创新，目前处于技术开发阶段
泰永长征	中国大陆	截至2025年11月，公司SST目前尚处于应用方案论证与市场调研阶段
金盘科技	中国大陆	截至2025年12月，已完成适用于HVDC 800V供电架构的10kV/2.4MW SST样机的设计和生产
四方股份	中国大陆	截至2025年11月，具备自主设计高性能的碳化硅驱动电路并可靠地生产SST核心部件的能力，在SST技术方向已有多个软件、硬件发明专利获得授权
中国西电	中国大陆	截至2025年10月，子公司具备800V DC架构SST的研制能力，即将开始量产
科华数据	中国大陆	截至2025年11月，公司具备SST相关的技术储备





来源：各企业官网，头豹研究院

Q5: 在全球能源转型与算力升级的双重驱动下，固态变压器的技术验证持续推进，但规模化应用始终未全面铺开，那么哪些关键因素在制约着它的商业化进程，又该如何针对性突破呢？

■ 现阶段固态变压器仍面临成本高、可靠性不足、行业标准与认证体系缺失、中高压侧运维与兼容性难题等挑战

目前，制约固态变压器商业化应用的核心矛盾是其带来的系统级附加价值尚未能显著抵消其自身高昂的制造成本和尚未完全验证的长期可靠性风险。其商业化不是一个简单的技术替代过程，而是一个需要技术突破、产业链协同、标准建立、市场教育和商业模式创新共同作用的系统工程。面对成本高、可靠性不足、行业标准与认证体系缺失、中高压侧运维与兼容性难题等挑战，行业内企业正逐步通过提升晶圆制造良率及整体产业链规模经济效应、引入液冷与相变材料等先进散热技术、减少拓扑器件数量、积极推进试点先行与标准预研、优化架构设计以提升系统协同与维护便利等针对性措施来寻求突破口。预计在未来5-10年，固态变压器将首先在特定高端领域成为主流选择，并随着成本下降和电网转型需求，逐渐向更广泛的配电领域渗透。

图表8：目前制约固态变压器商业化应用的主要因素梳理

	<p>● 高成本</p>	<p>SiC/GaN宽禁带半导体和高频磁性材料成本较高，且高频磁性材料因工艺复杂批量一致性不高，未能形成规模化量产，导致10kV SST单价约为传统变压器的4倍，投资回收期相对较长，抑制客户采购意愿。</p>
	<p>● 可靠性瓶颈</p>	<p>由于SiC/GaN在高频、高电压、高温循环下的长期稳定性数据匮乏，试点项目故障率偏高；同时，高频电场导致局部放电起始电压下降，加速绝缘老化。此外，主流MMC-SST和DAB-SST拓扑需大量开关器件，导致硬件故障率上升；且高频开关易注入谐波，配电网阻抗突变时可能引发谐振，易对电网电能质量造成冲击。</p>
	<p>● 行业标准与认证体系缺失</p>	<p>固态变压器兼具电网设备与电力电子双重属性，中国尚无SST专用国标/行标，且现有IEC、IEEE标准均未对其过载能力、故障穿越、谐波发射、保护配合给出量化条款，各国电压等级、并网规则的不同易导致选型混乱、互联互通困难，项目延期风险高。同时，行业内缺乏针对SST高频特性、故障穿越、电磁兼容的专项测试标准，第三方认证能力不足，用户难以评估产品性能与安全性。</p>
	<p>● 中高压侧运维与兼容性难题</p>	<p>SST与传统保护、计量、调度系统适配性差，故障协同保护机制缺失，电网侧需升级保护装置、通信系统以适配SST的快速响应与双向功率流动，用户侧需重新设计配电架构，初期投入大；传统变压器支持“热插拔”维护，而SST为全封闭电力电子系统，故障需整机更换；运维人员缺乏电力电子与高频技术复合能力，培训成本高。</p>

来源：电子工程世界，电力变压器视界，头豹研究院

## 方法论

- ◆ 头豹研究院布局中国市场，深入研究19大行业，持续跟踪532个垂直行业的市场变化，已沉淀超过100万行业研究价值数据元素，完成超过1万个独立的研究咨询项目。
- ◆ 研究院依托中国活跃的经济环境，研究内容覆盖整个行业的发展周期，伴随着行业中企业的创立，发展，扩张，到企业走向上市及上市后的成熟期，研究院的各行业研究员探索和评估行业中多变的产业模式，企业的商业模式和运营模式，以专业的视野解读行业的沿革。
- ◆ 研究院融合传统与新型的研究方法，采用自主研发的算法，结合行业交叉的大数据，以多元化的调研方法，挖掘定量数据背后的逻辑，分析定性内容背后的观点，客观和真实地阐述行业的现状，前瞻性地预测行业未来的发展趋势，在研究院的每一份研究报告中，完整地呈现行业的过去，现在和未来。
- ◆ 研究院密切关注行业发展最新动向，报告内容及数据会随着行业发展、技术革新、竞争格局变化、政策法规颁布、市场调研深入，保持不断更新与优化。
- ◆ 研究院秉承匠心研究，砥砺前行的宗旨，从战略的角度分析行业，从执行的层面阅读行业，为每一个行业的报告阅读者提供值得品鉴的研究报告。

## 法律声明

- ◆ 本报告著作权归头豹所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复制、发表或引用。若征得头豹同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“头豹研究院”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节或修改。
- ◆ 本报告分析师具有专业研究能力，保证报告数据均来自合法合规渠道，观点产出及数据分析基于分析师对行业的客观理解，本报告不受任何第三方授意或影响。
- ◆ 本报告所涉及的观点或信息仅供参考，不构成任何投资建议。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告。在法律许可的情况下，头豹可能会为报告中提及的企业提供或争取提供投融资或咨询等相关服务。本报告所指的公司或投资标的的价值、价格及投资收入可升可跌。
- ◆ 本报告的部分信息来源于公开资料，头豹对该等信息的准确性、完整性或可靠性不做任何保证。本文所载的资料、意见及推测仅反映头豹于发布本报告当日的判断，过往报告中的描述不应作为日后的表现依据。在不同时期，头豹可发出与本文所载资料、意见及推测不一致的报告和文章。头豹不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，头豹对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，读者应当自行关注相应的更新或修改。任何机构或个人应对其利用本报告的数据、分析、研究、部分或者全部内容所进行的一切活动负责并承担该等活动所导致的任何损失或伤害。

# 头豹业务合作

## 数据库/会员账号

可阅读全部原创报告和  
百万数据，提供数据库  
API接口服务

## 定制报告

行企研究多模态搜索引  
擎及数据库，募投可研、  
尽调、IRPR等研究咨询

## 定制白皮书

对产业及细分行业进行  
现状梳理和趋势洞察，  
输出全局观深度研究报  
告

## 招股书引用

研究覆盖国民经济19+  
核心产业，内容可授权  
引用至上市文件、年报

## 市场地位确认

对客户竞争优势进行评  
估和调研确认，助力企  
业品牌影响力传播

## 行研训练营

依托完善行业研究体系，  
帮助学生掌握行业研究  
能力，丰富简历履历

## 报告作者



陈夏琳  
首席分析师  
sharlin.chen@leadleo.com



许哲玮  
行业分析师  
jarvis.xu@leadleo.com

## 业务咨询

- 客服电话：400-072-5588
- 官方网站：[www.leadleo.com](http://www.leadleo.com)



商务咨询与深度合作

### 深圳办公室

广东省深圳市南山区粤海街  
道华润置地大厦E座4105室

邮编：518057

### 上海办公室

上海市静安区南京西1717号  
会德丰国际广场 2701室

邮编：200040

### 南京办公室

江苏省南京市栖霞区经济  
开发区兴智科技园B栋401

邮编：210046

主办方：高顿教育 GOLDEN EDUCATION 沙利文 FRANK SULLIVAN 阿里云 | 协办单位：头豹 LEAPLEO

# 第四届全国大学生 预见未来行业研究大赛

现已正式开启报名通道

报名时间：2026年4月1日 - 4月20日



## • 比赛收获 •

丰富简历

名企实习offer

100% 官方参赛证书

搭建专属工作流+行研skills

大咖导师带教

行研技能提升

万元现金奖金