中国电子元件行业协会电容器分会
电子元件与材料杂志社
摘辑出版

# 电容器行业信息 3

## CAPACITOR INDUSTRY INFORMATION 2026



AiSHi
THINK AHEAD.

湖南艾华集团股份有限公司成立于1985年，总部位于湖南益阳，是一家以铝电解电容器和薄膜电容器为核心的制造型高科技上市企业（股票代码603989）。公司长期致力于铝电解电容器及薄膜电容器的研发、生产和销售，上游延伸至材料与设备制造。旗下10个制造基地分布于湖南、四川、江苏等地，在职员工4000余名。

### 艾华集团

- 1985 年成立
- 10 亚洲范围内个制造基地
- 603989 上交所股票代码
- 25 全球范围内个办事处
- 4,000+ 名员工
- 190+ 亿支 电容器年产量

扫码关注

www.aishi.com

## 供应链

**2-4**
周/产品交付期

### AI 铝箔制造技术

120条铝箔生产线，具有技术先进的生产制程和高精度检测仪器。具备1100V铝箔化成技术，支撑800V铝电解电容器产品。同时推动产品向小型化、高容量、长寿命等方面持续演进。

### 电解液技术

艾华拥有电解液的多项自主专利技术，其中，研制开发出无水型、高闪火电压、阻燃型、高温特性、低温特性电解液，助力艾华的800V产品、高纹波系列、150℃高温及-55℃低温特性的电容器产品开发。

## 产品推介

铝电解电容器


引线式


贴片式



牛角



螺栓

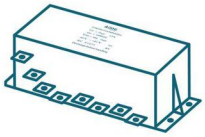
高分子固态/固液


引线式

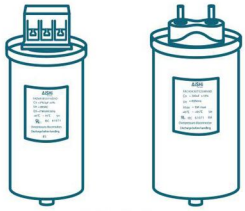

贴片式


叠层MLPC

薄膜电容器

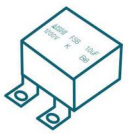

大功率DC-Link


DC-Link


AC 滤波



EMI安规


吸收

# 广东风华高新科技股份有限公司
GUANGDONG FENGHUA ADVANCED TECHNOLOGY HOLDING CO., LTD.

广东风华高新科技股份有限公司（证券简称风华高科，证券代码000636）成立于1984年，是一家专业从事高端新型元器件、电子材料等电子信息基础产品的高新技术企业，1996年在深圳证券交易所挂牌上市。风华高科自进入电子元器件行业以来，实现了跨越式的发展，现已成为国内大型新型元器件及电子信息基础产品科研、生产和出口基地，是一家拥有自主知识产权及核心产品关键技术的国际知名新型电子元器件行业大公司。

风华高科具有完整与成熟的产品链，具备为通讯类、消费类、汽车电子类、AI算力类、低空经济类、工业控制类等电子整机整合配套供货的大规模生产能力。

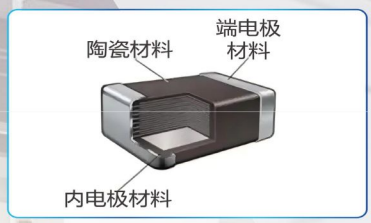
风华高科致力于成为高端电子元器件领跑者，为客户提供一次购齐的信息基础产品超级市场服务和协同设计增值服务。

风华高科愿与客户、供应商、业界同仁及广大股东共同缔造电子信息产业的广阔未来！

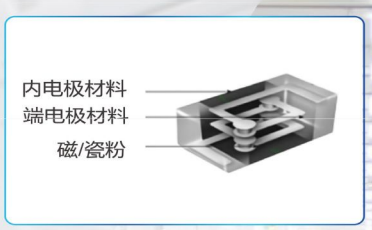




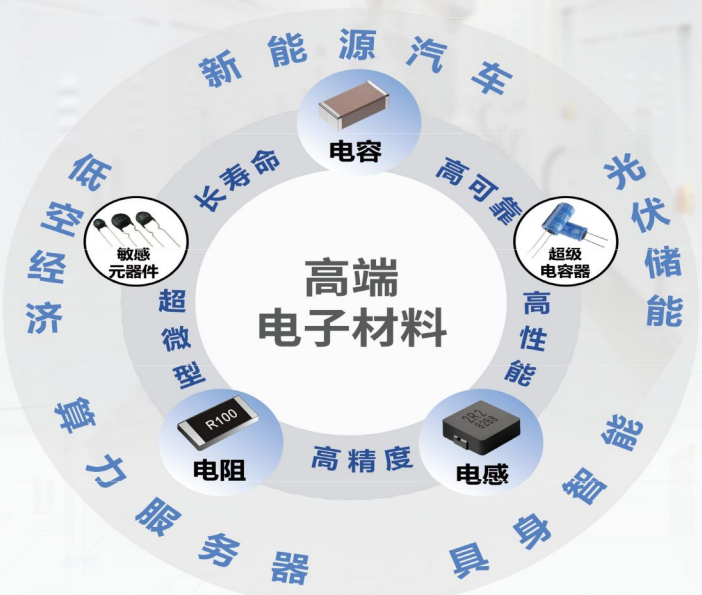


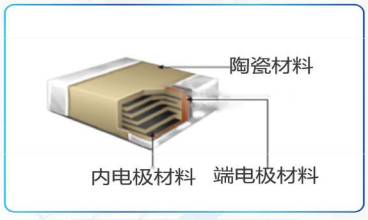




片式多层陶瓷电容器

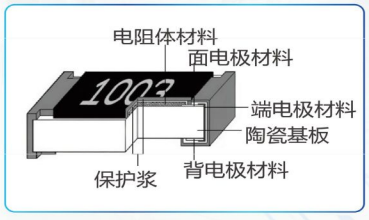



叠层片式电感器




叠层片式NTC




片式电阻器

# 目录


## ■ 行业资讯

◇ 打破日韩垄断！斯迪克高端 MLCC 离型膜突围
◇ 微容科技：创业板 IPO 已受理，拟募资 16.75 亿元专注于 MLCC 扩产等项目
◇ 村田首发 0805 规格 2.2 μF/100 V 车用软端 MLCC
◇ 太阳诱电示警：“电子工业大米”濒临断链极限
◇ 清研电子收购 Maxwell 中国超容代工线，筑牢干法超级电容产业优势
◇ 新型储能主力军：超级电容行业现状、发展机遇与标的汇总
◇ 重磅开工！高端电子薄膜材料填补国内产业空白
◇ 三星电机拿下 68 亿硅电容长单，10 家 A 股核心关联公司全景梳理
◇ Empower 被 15 亿美金收购，硅电容并购登顶全球
◇ 两大被动元件厂涨价！传最高涨价 65%
◇ 新疆花园贝乐电子材料有限公司：深耕电子材料领域 全链条生产蓄势发力
◇ 佛山达孚 BOPP 电容膜 2 线顺利开机
◇ 利昌新材高端 8.7 米 BOPP 薄膜产线正式投产
◇ 硬核突破！4.5 μm 超薄电容膜通过国家级鉴定
◇ 华容领衔薄膜电容“耐压战争”：“黑豹”突袭，电压飙升如何引爆 300 亿市场？
◇ AI 浪潮下，MLCC 迎来新一轮上行周期
◇ 日系 MLCC 集体涨价：AI 与车规驱动高端产能紧平衡
◇ 村田追加投资约 800 亿日元增产 MLCC
◇ 国产硅电容企业再获融资！主营高速硅电容
◇ 六和电子(江西)有限公司测试中心正式通过 VDE-TDAP Stage2 认可实验室

## ■ 前沿技术

◇ 类反铁电高熵超顺电实现 MLCC 超高储能
◇ 超级电容储能在新型电力系统短时高频功率补充场景中的应用
◇ 二氟卡宾接枝多孔碳用于高功率超级电容器
◇ 低温稳定高倍率聚吡咯/氧化钒碳纤维结构超级电容器及其优异力-电协同性能

## ■ 热点剖析

◇ 高端 MLCC 紧平衡下的材料突围与全产业链
◇ MLCC 在新能源汽车高压动力总成中的发展现状
◇ 超级电容真正的机会，藏在这五个短时大功率场景里
◇ 电容“芯”革命：AI 逼出国产技术大爆发 超级电容直接成标配
◇ 被日本垄断的 AI“隐形心脏”：中国硅电容，差了整整 10 倍
◇ 国产被动元器件技术突破加速，高端市场替代空间广阔

## ■ 研会信息

◇ 风华高科承办中国电子元件行业协会电阻电位器分会 2026 年片式电阻器专业技术交流会
◇ 2026 年中国陶瓷电容器及材料大会暨中国 MLCC 行业年会在广州召开
◇ 2026 年世界 AI 服务器电源大会，AI 电源头部电容厂商扎堆亮相！


编辑出版：中国电子元件行业协会电容器分会
电子元件与材料杂志社
地　　址：广东省肇庆市风华路 18 号风华电子工业城
电　　话：0758-6923565
E-mail：china-drq@ic-ceca.org.cn
网　　址：http://capacitor.ic-ceca.org.cn

声明：仅供内部交流讨论（资料摘辑自网站、公众号、会员单位投稿等）

# 行业资讯

## 打破日韩垄断！斯迪克高端 MLCC 离型膜突围

2026 年 6 月 1 日，斯迪克官宣其 MLCC 专用 PET 离型膜完成技术攻坚，产品可适配＜1 μm 超薄瓷膜流延工艺，顺利通过国内头部客户验证，成为国内首批掌握该级别量产技术的企业。

高端 MLCC 薄层化迭代下，瓷膜厚度由传统 3-5 μm 降至 0.5-1 μm，对离型膜的粗糙度、异物控制、热收缩率等指标提出极致要求，国内原有产品仅能适配中低端场景。公司依托自研原料、精细化制程、无尘生产及严苛异物管控体系，全面攻克高端工艺难题，实现从行业跟跑到局部领跑的跨越式突破。



MLCC 是电子产业刚需核心元器件，被誉为电子工业“大米”，广泛搭载于各类终端设备：单台智能手机用量达数百颗，新能源汽车单车用量近万颗，同时全面覆盖智能家居、5G 通信、工控设备、车载电子等主流场景。行业正向微型化、高容量、超轻薄方向快速迭代，＜1 μm 超薄瓷膜流延工艺成为高端 MLCC 量产核心门槛，其配套 PET 离型膜的平整度、洁净度、稳定性直接决定元器件良品率。长期以来，高端 MLCC 专用离型膜被日本琳得科、东丽等企业垄断，是国内高端电子元器件国产化的核心瓶颈。斯迪克近期实现关键技术突破，成功撕开高端材料国产替代缺口。

## 一、破解卡脖子困境，激活 MLCC 产业替代势能

我国是全球最大 MLCC 消费市场，但高端材料进口依赖度极高。2025 年国内 MLCC 进口额超 600 亿元，高端配套离型膜进口依存度超 70%，日韩企业凭借专利壁垒长期垄断市场，制约国内产业链安全与成本优化。

斯迪克的技术突破具备重要产业价值：一是保障供应链安全，实现本土就近配套，规避地缘断供风险、缩短交付周期；二是大幅降本，国产产品价格较进口低 20%-30%，助力本土 MLCC 企业提质增效；三是加速技术协同，可联动头部客户研发下一代超薄材料，加快国内 MLCC 高端化转型进程。

## 二、全产业链布局，构筑硬核竞争壁垒

本次技术突破，核心依托斯迪克独有的“基膜+涂布+分切”全产业链布局。公司自建 BOPET 基膜产线，自主掌控核心配方与工艺，从源头杜绝膜面缺陷、厚度波动等问题，可快速响应客户定制化需求，规避外购基膜的批次差异风险。

涂布环节配备精密微凹、狭缝挤出等高端产线，搭配全流程在线缺陷检测系统，实现生产全闭环管控，精准匹配高端 MLCC 离型膜的超高洁净度与稳定性要求，为高端量产提供坚实支撑。

## 三、多线技术突破，高端材料矩阵持续完善

MLCC 离型膜突破是公司高端研发实力的集中体现。2025 年公司多项核心电子材料实现国产替代：折叠 OLED 专用光学离型膜、VR 四合一复合膜性能达行业先进水平；车载有机硅 OCA 光学胶突破海外垄断，实现透光率＞99%、雾度＜1%的顶尖参数。多款产品已通过国内外知名终端认证，多项新品处于联合研发阶段。

产能与资本端，公司布局高端功能性薄膜扩产项目、引进 PVD 高端设备，精准匹配消费电子、车载显示高端需求；通过子公司市场化债转股增资，充实产能扩张资金，为产品放量蓄力。

## 四、业绩持续高增，全球化布局成效凸显

技术落地带动业绩稳步释放。2025 年公司高分子薄膜业务营收 2.21 亿元，同比增长 56.65%，销量同比增长 58.40%，毛利率大幅改善超 25 个百分点并成功转正。全球化布局成果突出，境外收入 2.57 亿元，同比增长 33.50%，增速远超国内市场，海外市场渗透率持续提升。

2026 年一季度业绩再创新高，营收 7.57 亿元，同比增长 12.88%；归母净利润同比增长 57.96%，扣非净利润暴涨 470%，毛利率显著回升，标志着高毛利光学膜、OCA 胶等核心产线进入成熟放量期。同时公司推出分红转增预案，充分彰显长期发展信心。

## 结语

国内 MLCC 产业正加速向高端化转型，斯迪克高端离型膜的技术突围，补齐了上游核心材料短板，完善了高端电子材料产品矩阵，印证了公司全产业链核心优势。随着后续高端产能持续释放、新品加速落地，公司将持续受益于电子材料国产替代红利，稳步提升全球高端功能性薄膜市场份额。

# 微容科技：创业板 IPO 已受理，

# 拟募资 16.75 亿元专注于 MLCC 扩产等项目

2026 年 4 月 28 日，广东微容电子科技股份有限公司（以下简称：微容科技）创业板 IPO 获受理，微容科技本次拟募资 16.75 亿元，用于高端片式多层陶瓷电容器扩产项目、微容科技研发中心升级项目以及补充流动资金。



单位：万元

| 序号 | 项目名称 | 投资总额 | 拟使用募集资金投入金额 |
|---|---|---|---|
| 1 | 高端片式多层陶瓷电容器扩产项目 | 150,000.00 | 137,000.00 |
| 2 | 微容科技研发中心升级项目 | 10,500.00 | 10,500.00 |
| 3 | 补充流动资金 | 20,000.00 | 20,000.00 |
| 合计 | | **180,500.00** | **167,500.00** |

微容科技是一家专注于微型化、高容量、高可靠等高端片式多层陶瓷电容器(MLCC)的研发、生产与销售的国家高新技术企业，产品广泛应用于消费电子、以 AI 服务器为主体的工业装备以及汽车电子等下游领域，其中在招股书中提到：

在陶瓷材料配方与产品结构设计方面，成功攻克 90 nm 精细粉末分散、0.6 μm 超薄陶瓷薄膜成型、008004 尺寸精密图形印刷、超 1200 层高精密堆叠与压合以及 3000 ℃/min 快速升温共烧等关键工艺。

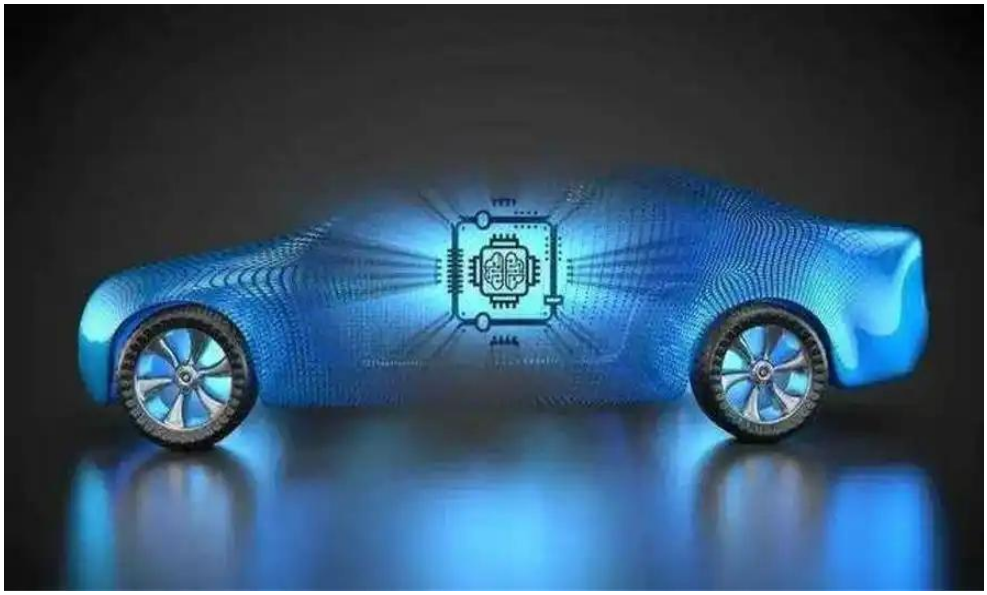
在消费电子领域，微容科技超微型 MLCC 产品具备 008004、01005、0201 等尺寸超微型 MLCC 规模化量产与大批量供货能力，根据弗若斯特沙利文数据，按 2024 年产品销售量计，微容科技超微型 MLCC 在中国市场排名第 1，全球市场排名第 2，仅次于村田。

在以 AI 服务器为主体的工业装备领域，微容科技 MLCC 产品具有高容量优势，已实现堆叠超 1200 层的工艺，微容科技工业类 MLCC 在 0805 与 1206 尺寸下可分别实现 100 μF 与 220 μF 的超高容量，上述型号已批量供应头部服务器厂商。

在汽车电子领域，微容科技 MLCC 产品已完成 0201-1210 全尺寸系列车载 MLCC 产品开发，是目前国内少数通过 IATF16949 体系认证且全尺寸系列车载 MLCC 产品满足 AEC-Q200 标准的 MLCC 制造企业，已与多家知名车企及其 Tier1/Tier2 供应商建立合作，实现车载类 MLCC 规模化供货。

# 村田首发 0805 规格 2.2 μF/100 V 车用软端 MLCC

2026 年 6 月 4 日消息，村田制作所近日推出了 GCJ21BD72A225KE02，这是一款专为汽车动力总成（Powertrain）及安全设备设计的软端子片式多层陶瓷电容器（MLCC）。作为全球首款软端子片式 MLCC 产品，该产品在最小的 0805 英寸（2.0×1.25 mm）尺寸下，实现了 100 Vdc 电压下高达 2.2 μF 的业界最高容量。



随着汽车电动化进程加速，以及自动驾驶（AD）和高级驾驶辅助系统（ADAS）日益复杂，工程师面临着在更紧凑的电路板空间内集成更多功能的巨大压力。同时，48V 电源系统的广泛普及，要求元器件必须具备高容值、高耐压和小尺寸的特性。此外，车辆行驶过程中产生的振动和热循环会导致电路板弯曲（Board Flexure），由此产生的机械应力一直是可靠性的隐患。GCJ21BD72A225KE02 成功解决了上述所有挑战。

依托村田专有的陶瓷材料设计技术（包括细颗粒粒径控制及均匀性管理），这款软端子 MLCC 在 0805 英寸尺寸下实现了 100 Vdc/2.2 μF 的规格。此前，该规格仅能在较大的 1206 英寸（3.2×1.6 mm）

尺寸上实现。相比村田此前的 2.2 μF/100 Vdc 产品，新产品的电路板安装面积减少了约 51%；而在同尺寸（0805 英寸/100 Vdc）产品中，容量提升了约 2.2 倍。此外，软端子结构能够吸收电路板弯曲应力，有效抑制安装后开裂，显著提升了现场应用的可靠性。GCJ21BD72A225KE02 的工作温度范围为-55℃至+125℃，符合 EIA 标准的 X7T 温度特性。村田将继续扩充其车规级 MLCC 产品线，为下一代汽车提供所需的微型化、大容量、高耐压及高可靠性解决方案。

## 太阳诱电示警：“电子工业大米”濒临断链极限

2026 年 5 月，日本被动元件巨头太阳诱电（Taiyo Yuden）发出行业示警——面向高端 AI 服务器的 MLCC（多层陶瓷电容器）需求已达“恐怖级别”，其产能逼近物理极限，全球高端 MLCC 供应链正濒临断链临界点。这一警示揭开了 AI 算力繁荣背后的隐性痛点：被称为“电子工业大米”的 MLCC，正从不起眼的基础元件，沦为制约全球 AI 服务器产能扩张的核心短板。



MLCC 全称片式多层陶瓷电容器，由印好电极的陶瓷介质膜片多层叠合、高温烧结而成，具备体积小、容量大、高频特性好等优势，是电子电路中不可或缺的被动元器件，广泛承担耦合、去耦、滤波、储能等关键功能，小到手机、PC，大到服务器、工业设备，几乎所有电子终端都离不开它。

在 AI 服务器场景中，MLCC 的作用更是无可替代。AI 服务器搭载大量高功耗 GPU 与 AI 加速卡，单卡功耗可达数百瓦甚至上千瓦，电源负载波动剧烈，对供电稳定性与信号完整性要求极致严苛。而 MLCC 能在纳秒级时间内响应，通过电源去耦稳定 GPU 供电电压，抑制瞬间负载波动引发的压降，同时滤除高频噪声，保障 PCIe Gen5、CXL 等高速接口信号稳定，是高算力硬件稳定运行的“隐形守护者”。

AI 算力的爆发式增长，直接引爆了高端 MLCC 的需求。普通服务器单机 MLCC 用量约 2200 颗，而 AI 服务器单机平均用量飙升至 2.8 万颗，差距达十余倍。随着英伟达 GB300、Rubin（VR200）等新一代 AI 平台迭代，MLCC 需求进一步激增：GB300 平台单板搭载量约 6500 颗，Rubin 平台直接翻倍至 1.2 万颗。需求暴涨背后，是 AI 服务器功率升级、垂直供电架构等技术的多重驱动，高容、小型化、高耐压、耐高温的高端 MLCC 成为市场刚需。

从产业规模来看，根据 TrendForce、QY research 数据，2025 年全球 MLCC 出货量及市场规模分别约为 5 万亿—6 万亿颗及超 200 亿美元。中信证券测算 2026 全球服务器 MLCC 出货量约为千亿颗规模(约占当前 MLCC 市场整体出货量的 2%)，而至 2030 年有望持续扩容至 4000+亿颗，年均复合增长速率约为 40%。

目前，MLCC 市场供需失衡的背后，是高端 MLCC 行业难以突破的核心痛点，也是太阳诱电等巨头产能濒临极限的根源。高端 MLCC 生产存在三重硬约束，短期内难以破解。其一为材料瓶颈，高端 MLCC 核心介质材料钛酸钡基陶瓷粉 90%依赖日本供应商，国瓷材料是国内唯一掌握水热法量产 4N5 级（99.995%纯度）纳米钛酸钡的企业，但 5N 级（99.999%）及超细（≤80nm）粉仍处验证/中试阶段，尚未全面替代高端进口。

纳米镍粉市场也多被日美企业占据，但中国企业目前已突破垄断。此前，日本住友金属矿山（现 Sumitomo Metal Mining）、昭荣化学及淡水河谷旗下 Inco 合计占全球高端（≤80nm）镍粉超 80%份额，但 2016 年，江苏博迁新材实现 PVD 法 80nm 镍粉量产，现为全球第二大供应商（市占约 18%），国内企业如新川电子等也突破 200 nm 以下技术。

其二是设备与良率困境，高端 MLCC 制造依赖高精度层压机、高温烧结炉等核心设备，国产化率不足 20%，进口设备交付周期以年计；同时高端产品工艺复杂，堆叠层数多，良率显著低于普通产品，部分高容型号良率长期低于 80%，大量产能被报废品吞噬。

其三是扩产周期漫长，高端产线从规划、建厂到产能释放至少需要 18 个月，村田、三星电机等巨头虽已启动扩产，但新产能最快要到 2026 年底至 2027 年才能落地，远水难解近渴。此外，行业还存在明显的“产能虹吸效应”，日韩巨头将有限高端产能优先供给 AI 服务器、车规等高附加值领域，挤压消费电子等中低端市场产能，进一步加剧结构性供需紧张。

面对供需失衡与断链风险，全球 MLCC 厂商纷纷调整策略，行业格局加速重构。作为全球高端 MLCC 核心供应商，太阳诱电直言当前订单规模“骇人”，任何一家供应商出现闪失，都可能导致供应链崩溃。其已启动激进扩产计划，截至 2031 年 3 月的未来五年投入 2700 亿日元（约 17 亿美元）扩充高端 MLCC 产能，重点投向 AI 服务器、车规级等高需求领域，当前已启动中国常州 100 亿片/月新产线（2027 年完工）并维持每年约 10%扩产节奏。同时优先保障云服务商等长期合约客户，缩减消费电子订单供应。

行业另一巨头村田制作所产能利用率已达 95%的极限水平，村田总裁中岛规巨此前表示，AI 服务器用高端 MLCC 的客户咨询订单量已达公司当前产能的两倍。2026 年 4 月起，村田对 AI 服务器和高端车规级 MLCC 提价 15%-35%，并加速在日本出云市新建高端产线。三星电机同样面临高端 MLCC 交期长达 24 周的压力，计划推动 5%-10%涨价，同时在菲律宾布局新产能。

与此同时，国产 MLCC 厂商迎来替代窗口期。随着风华高科等国内企业高压、高可靠性 MLCC 技术突破，其产品订单已排至 2026 年三季度，截至 2026 年 5 月 27 日，其已对 0402、0603 等规格的 MLCC 和芯片电阻全线暂停接单，其产品均价较 2024 年上涨 40%，产能利用率维持在 95%以上。在全球供应链不确定性加剧的背景下，国产厂商正加速填补高端产能缺口，推动 MLCC 产业从“成本替代”向“安全替代”转型。

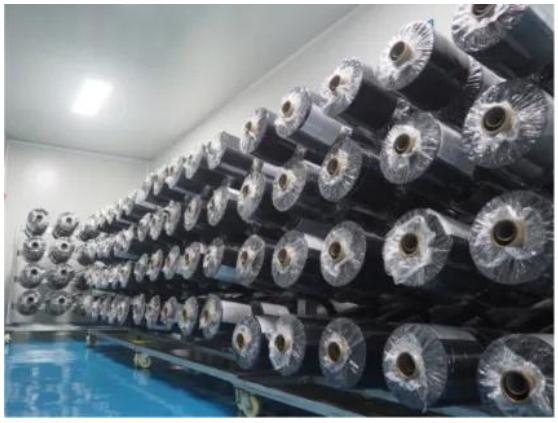
当前，AI 算力竞赛仍在持续，Rubin 平台下半年量产将进一步放大高端 MLCC 需求缺口。太阳诱电的预警并非危言耸听，而是全球高端 MLCC 产能极限与 AI 需求爆发的直接矛盾。短期内，材料、设备、良率等瓶颈难以突破，高端 MLCC 供需紧张态势或将持续至 2027 年，价格上行趋势明确。长期来看，国产替代与技术自主将成为破局关键，唯有突破材料与设备瓶颈，构建自主可控的产业链，才能彻底化解 AI 算力的“元件卡脖子”风险，让“电子工业大米”不再成为算力瓶颈。

# 清研电子收购 Maxwell 中国超容代工线，筑牢干法超级电容产业优势

近日，清研电子正式完成对 Maxwell 在中国超级电容器代工线的收购，强势补齐产业核心资源，全力助推国产干法超容跻身全球一流阵营。短短数年间，干法超级电容产业实现从“受制于人”到“自主可控”，再到“全球布局”的跨越式发展。

## 技术突围：从破局到量产

2019 年，特斯拉完成对 Maxwell 的全资收购，其手握的干法电极技术成为 4680 电池研发量产的核心技术依托，彼时国内新能源产业一度深陷该领域核心技术“卡脖子”困境。值此形势，清研电子依托深圳清华大学研究院先进储能材料及器件实验室 20 余年技术积淀，于 2020 年成功突破技术壁垒，推出无溶剂、低能耗、高能量密度的车规级干法电极，建成国内规模最大的超级电容器用干法电极生产线，年产能达 100 万平方米，为下游客户提供稳定可靠的国产替代方案。2021 年起，清研电子在深圳、东莞、常州布局总面积 3.8 万平方米生产基地，构建起干法超容极片-单体-模组-系统垂直产业链闭环。






## 产能升级：打通全链条闭环

2025 年再落重子，清研电子收购 Maxwell 在中国超级电容器代工线，完成产线迭代升级。Maxwell 电容产线成熟先进，产品一致性出众、运行稳定可靠，综合品质稳居行业前列。收购该产线后，注入

自研 PIFs 核心工艺与车规级品控体系，开放成熟产线、高端供应链与优质客户资源，大幅缩短量产爬坡周期，实现技术与制造双向赋能。

升级后的产线实现多项重大突破，质量一致性显著提升；产品内阻率大幅降低；导入激光焊产品导入；Maxwell 品质基因注入，可快速适配市场多样化需求。



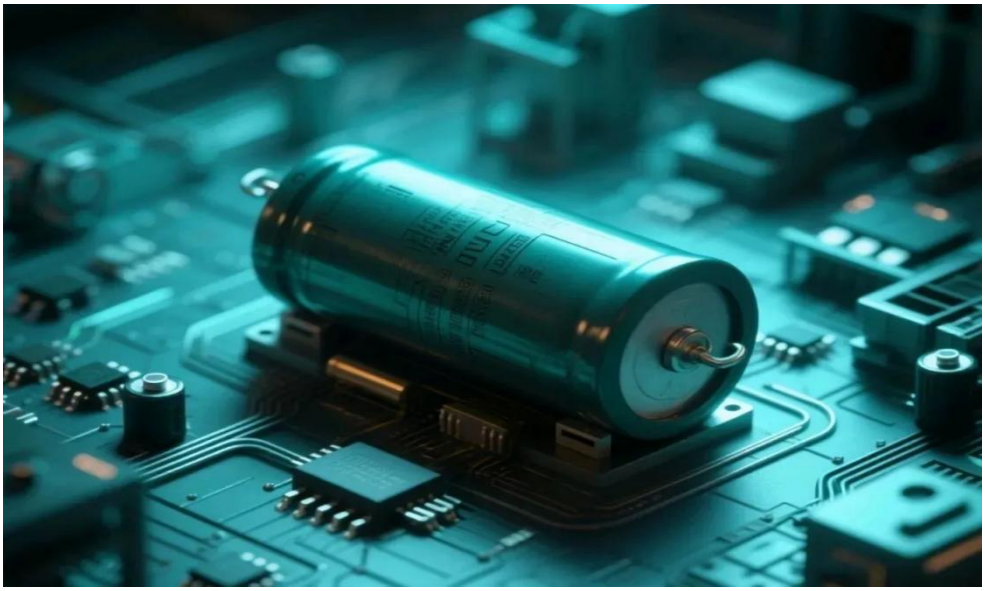
**价值跃升：全产业链自主可控**

此次收购，清研电子超容产业实现在技术、产能、成本、市场四大维度全面跃升。技术层面深度对标并融合 Maxwell 中国超级电容器代工线；产能层面建成 25 ppm 全自动化、年产 300 万只的超容产线；成本层面降低试错与认证投入；市场层面顺利切入全球高端核心供应链，助力国内干法电容产业在全球新能源赛道牢牢掌握发展主动权。

# 新型储能主力军：超级电容行业现状、发展机遇与标的汇总

在新能源、轨道交通、工业储能、新能源汽车飞速发展的当下，锂电池凭借成熟技术占据主流储能市场，但有一种功率密度更高、充放电更快、循环寿命更长、高低温适应性更强的储能器件，正在多个细分领域快速渗透，它就是超级电容。

作为新型电化学储能器件，超级电容弥补了传统电池的短板，在瞬时大功率充放电、启停储能、应急供电等场景具备不可替代的优势。如今行业需求持续放量，产业链上下游企业迎来发展机遇。本文将从基本概念、技术优势、主流应用、产业链结构、核心上市公司五大维度，全面解读超级电容赛道。



## 一、什么是超级电容？

超级电容，也叫双电层电容器、电化学电容器，是介于传统电容器和化学电池之间的新型储能装置。它依靠电极与电解液界面形成的双电层储存电荷，充放电过程属于物理变化，区别于锂电池的化学反应。简单理解：既有电容 “秒充秒放” 的特性，又具备电池的储能能力。

**核心技术优势：**

**1. 充电速度极快：**支持秒级、分钟级满充，适配瞬时大功率补能场景；

**2. 循环寿命超长：**循环次数可达数十万次，远高于锂电池，长期使用成本更低；

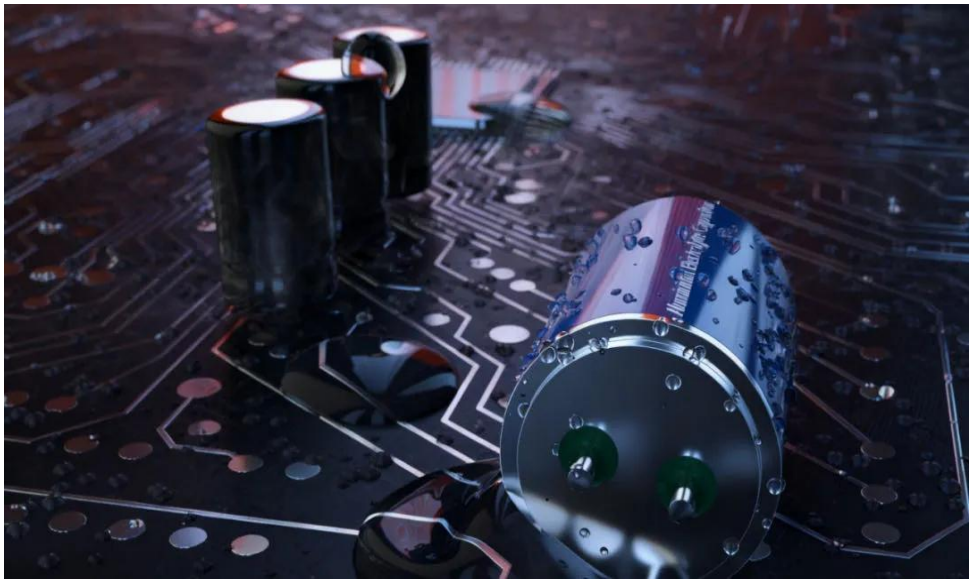
**3. 温域范围广：**可在 - 40℃~70℃环境稳定工作，高寒、高温场景均可落地；

**4. 安全性突出：**无燃烧、爆炸风险，不产生有害物质，环境友好；

**5. 功率密度高：**瞬时放电能力强，适合峰值功率补偿、瞬间供电。

短板：能量密度偏低，长时间持续储能能力弱于锂电池。因此行业主流模式为超级电容 + 锂电池混合储能，二者优势互补。

## 二、主流应用场景



凭借差异化特性，超级电容已广泛落地多个高景气赛道，也是行业需求增长的核心驱动力：

**轨道交通**

高铁、地铁、轻轨、有轨电车的制动能量回收、车辆启停供电，是目前最大应用场景之一。车辆刹车时回收电能，起步时释放，大幅降低能耗。

**新能源汽车**

混动 / 纯电车型启停系统、能量回收、低温启动辅助；商用车、工程机械瞬时功率补偿。

**工业领域**

工业设备瞬时稳压、大功率设备启停、港口机械、起重机、电梯能量回收。

**储能与应急电源**

电网调频、微网储能、基站备用电源、UPS 应急供电、光伏风电短时储能。

**消费电子与特种领域**

智能仪表、可穿戴设备、军工装备、航空航天、医疗设备等小众高端场景。

## 三、超级电容全产业链梳理

整个产业链分为上游原材料、中游器件制造、下游应用三大环节，各环节技术壁垒、盈利逻辑差异明显：

**1. 上游：核心原材料（技术壁垒最高）**

原材料直接决定超级电容性能与成本，核心品类包括：电极材料（活性炭、石墨烯、碳纳米管）、电解液、隔膜、集流体、封装材料。其中高端活性炭、石墨烯是决定电容容量、寿命的关键材料，也是国内企业突破的重点方向。

**2. 中游：超级电容及模组制造（产业核心环节）**

分为单体电容、模组、系统集成。中游是行业主体，分为民用、工业、车用、军工等不同规格，头部企业具备规模化生产与定制化方案能力，市场集中度逐步提升。

**3. 下游：终端应用市场**

覆盖轨道交通、新能源车、工业自动化、储能、军工等，下游景气度直接传导至上游制造端。

## 四、超级电容核心上市公司全盘点（分赛道标注，清晰易懂）

结合业务布局、营收占比、技术实力、市场份额，按上游原材料、中游电容制造、下游配套及跨界布局分类整理，所有标的均为 A 股正常交易标的，内容合规无侵权。

### （一）上游核心原材料企业

**1. 活性炭 / 碳材料（超级电容主流电极材料）**

元力股份国内木质活性炭龙头，布局超级电容专用高端活性炭，产品供货多家电容厂商，深耕碳材料领域多年，产能与技术储备充足。

方大炭素炭素行业龙头，业务涵盖高端炭素制品、特种碳材料，布局超级电容用碳电极材料，具备规模化生产能力。

**2. 石墨烯 / 新型碳材料（高端电容升级方向）**

宝泰隆布局石墨烯、多孔碳材料，产品可应用于超级电容电极，发力新型储能材料赛道。

德尔未来旗下子公司开展石墨烯研发与产业化，石墨烯材料适配超级电容、锂电池等储能器件。

**3. 电解液、隔膜、配套材料**

新宙邦锂电电解液龙头，同步布局超级电容专用电解液，产品进入主流供应链，技术协同优势显著。

恩捷股份全球隔膜龙头，除锂电隔膜外，拓展超级电容专用隔膜产品，切入储能细分赛道。

**（二）中游：超级电容单体 / 模组 / 系统（产业链核心标的）**

这一板块是超级电容最纯正标的，企业以电容研发、生产、集成为主营业务：

江海股份国内超级电容龙头，布局时间早、产品线最全，覆盖民用、工业、车用全系列超级电容，模组及系统集成能力突出，客户覆盖工业、轨道交通、新能源领域，行业标杆企业。

铜峰电子老牌电子元器件企业，专注超级电容、薄膜电容等产品，持续扩充电容产能，聚焦工业储能、轨道交通配套市场。

法拉电子国内高端电容龙头，布局车用、工业级超级电容，产品主打高可靠性场景，客户资源优质。

凯美特气除特种气体业务外，布局超级电容相关器件及配套产品，切入储能细分领域。

宏达电子军工电子龙头，主打军工、航天级超级电容，产品技术壁垒高，应用于特种装备领域，稀缺军工电容标的。

**（三）下游应用 + 系统集成企业（场景落地 + 方案商）**

这类企业不直接生产电容，主打储能系统集成、终端应用配套，打通“电容 + 场景”落地环节：

中科三环涉足轨道交通能量回收系统，采用超级电容方案配套轨交设备，深度绑定下游轨交市场。

汇金通电力设备企业，布局电网储能、微网储能系统，采用超级电容 + 锂电混合储能方案。

科华数据 IDC、UPS 电源龙头，旗下应急电源、备用储能产品搭载超级电容，保障供电稳定性。

**（四）跨界布局 / 潜力标的（业务延伸，新增产能）**

智慧能源综合能源服务商，布局储能全品类，试点超级电容储能项目，发力电网调频、工商业储能。

国机重装工程机械、港口设备配套商，在起重机械、港口机械能量回收系统中应用超级电容，落地场景明确。

## 五、行业发展趋势总结

**混合储能成为主流：**超级电容与锂电池、氢储能结合，补齐各自短板，是未来储能系统的主流搭配模式；

**高端材料国产替代加速：**目前高端电极材料、电解液仍有部分依赖进口，国内企业持续技术攻关，进口替代空间广阔；

**下游需求持续扩容：**轨道交通改造、新能源汽车渗透、电网调频、工业节能改造四大方向，持续拉动电容需求；

**应用向高端领域延伸：**军工、航空航天、精密仪器等高端场景，对高性能超级电容需求稳步提升。

# 重磅开工！高端电子薄膜材料填补国内产业空白

2026 年 5 月 12 日，南通森通电子元件专用薄膜材料项目在三厂工业园区正式开工。该项目聚焦高端电子专用材料研发生产，精准对接国内半导体产业快速增长需求，填补了高端晶圆制程胶膜国产化空白，降低了进口依赖。




据悉，项目建筑面积 10500 平方米，计划总投资 5 亿元，其中一期投资 1 亿元。项目建成后，可形成年产 3 万吨电子元件专用薄膜材料的产能，预计年销售收入 1.2 亿元。

该项目由苏州勤联塑胶制品有限公司和苏州森通新材料科技有限公司投资建设。苏州勤联为“省级专精特新中小企业”“高新技术企业”；苏州森通新材料专注电子专用材料研发，其自主研发的高温绝缘材料聚酰亚胺薄膜，可长期在 260℃以上环境稳定工作，具备高机械强度、低热膨胀系数和优良电绝缘性能。两家企业强强联合，苏州勤联提供技术转化与资源支撑，苏州森通牵头技术研发，重点攻克晶圆封装专用材料、柔性 OLED 屏配套材料等关键技术瓶颈。

项目采用全智能化产线设计，结合精密涂布与高分子材料改性工艺，有效提升产品均匀性、耐高温性及静电防护性能，精准对接国内半导体产业快速增长需求，填补高端晶圆制程胶膜国产化空白，

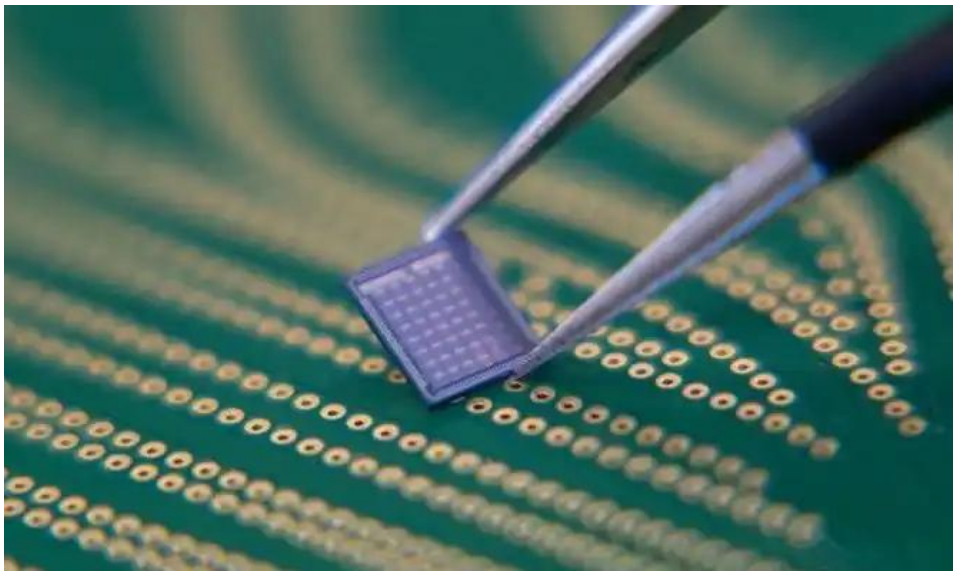
降低进口依赖，并联动上下游企业协同创新，构建从研发到量产的全链条服务能力。

南通森通新材料有限公司董事长耿洪斌表示，项目开工后，设计、建设、设备采购将同步推进，预计今年 11 月底初步建成，明年春节后即可投产。企业将紧紧抓住海门多重战略机遇叠加期、国家产业发展风口期，充分发挥行业和技术优势，将更多前沿技术、优质产能布局三厂、深耕海门。

今年以来，三厂工业园区坚持“项目为王、产业为基、服务为本”，把优化营商环境作为“生命线工程”，全力当好企业发展的“店小二”、项目建设的“勤务员”。该项目从首次洽谈到正式签约，再到破土动工，仅用不到一个月时间，以高效服务彰显“三厂效率”与“海门速度”。

## 三星电机拿下 68 亿硅电容长单，10 家 A 股核心关联公司全景梳理

2026 年 5 月 20 日，三星电机宣布签订价值 1.5 万亿韩元（约人民币 68 亿元）的硅电容供应合同，硅电容业务首次大规模供货。硅电容：一种采用半导体工艺制造、以硅材料作为电介质，电极材料为掺杂硅的新型被动电子元器件。具有超薄、小型化、温度稳定性好、高频特性优异以及无压电效应等特点。



### 鸿远电子

主营业务是以瓷介电容器、滤波器、集成电路、微波模块、微纳系统集成陶瓷管壳等为主的电子元器件的技术研发、产品生产和销售。公司的主要产品是瓷介电容器、滤波器、集成电路、微波模块、微纳系统集成陶瓷管壳。

**1.** MLCC 等产品通过宇航标准认证。

**2.** 推出硅电容系列、超小尺寸多层芯片电容器等新产品。

**3.** 拓展硅基电容器品类，为光通信、数据中心提供芯片电容解决方案。

### 风华高科

主营业务是研制、生产、销售电子元器件及电子材料。主要产品是 MLCC、瓷介电容、铝电解电容、厚膜电阻、薄膜电阻、功率电感、绕线电感、超级电容器、陶瓷滤波器、陶瓷基板。公司入选中国电子元件行业骨干企业。

**1.** 掌握硅基无源元件核心技术、研究高深宽比刻蚀、纳米级薄膜沉积等工艺。

**2.** 聚焦 AI 算力赛道，已导入国内 AI 服务器头部客户供应链并持续加深合作。

**3.** 推出 IM、AE、AM、AS 全系列 MLCC，适用于 AI 服务器多相供电模块。

### 火炬电子

主营业务是电子元器件、新材料及相关产品的研发、生产、销售、检测及服务业务。公司的主要产品是陶瓷电容器、钽电容器、超级电容器、微波芯片电容器、薄膜电路、薄膜无源集成器件、微波介质频率器件、电阻器、MOSFET、IGBT、模拟 IC 和第三代功率器件、EMI 电源滤波器、SIP 模块、定制化特种元器件、EMI 滤波电容器、电力电子电容器、金属化聚丙烯/聚酯薄膜电容器。

**1.** 子公司广州天极科技拥有微波硅基芯片电容器产线，采用二氧化硅/氮化硅等薄膜材料作为电介质。

**2.** 产品用于隔离直流、射频旁路，具备高 $Q$ 值、低温度系数、高击穿电压等特点。

**3.** 控股天极科技，拥有硅电容专利与产线。

### 颀中科技

主营业务是集成电路的先进封装与测试业务。公司的主要产品是显示驱动芯片封测、多元化驱动芯片封测。公司先后被授予“江苏省覆晶封装工程技术研究中心”、“江苏省智能制造示范车间”、“江苏省省级企业技术中心”等荣誉称号。

**1.** 2025 年新导入 BGBM/FSM、Cu Clip 和 FC 倒装芯片封测工艺，FC 已于 2025 年 7 月量产。

**2.** 2026 年规划加大先进封装领域研发投入，硅电容封装测试纳入核心业务。

### 洁美科技

主营业务是电子封装材料和电子级薄膜材料的研发、生产和销售。公司的主要产品是纸质载带、电子胶带、塑料载带、离型膜、流延膜、芯片承载盘。截至 2025 年 12 月 31 日，公司及全资子公司拥有有效国内专利 160 项，有效国外发明专利 11 项，软件著作权登记注册 12 项。

**1.** 电子元器件封装载带龙头，村田和三星为公司战略客户并已签署合作协议。

**2.** 三星、村田等韩日系大客户实现离型膜产品批量供货。

**3.** 天津基地投产后将实现对华北地区三星就近供货，有望大幅提升韩系客户份额。

### 深圳华强

主营业务是面向电子信息产业链的现代高端服务业，为产业链各环节提供销售、采购、产品、技术、信息、仓储、物流和数智赋能等综合服务。公司的主要产品是电子元器件授权分销业务、电子元器件长尾采购业务、电子元器件及电子终端产品实体交易市场、电子元器件 B2B 信息服务平台、AI 孵化器运营、CVC 投资业务、其他物业经营。

**1.** 分销的被动元器件覆盖 MLCC、硅电容、钽电容等全品类。

**2.** 向光模块客户供应 MLCC、硅电容等元器件，全球头部分销商，硅电容授权分销。

**3.** 2024-2025 年本土产品线出货金额占比均超 60%，系村田主要代理商。

### 兴福电子

主营业务是通用湿电子化学品及功能湿电子化学品的研发、生产及销售。公司的主要产品是电子级磷酸、电子级双氧水、电子级硫酸。公司 2025 年荣获长江存储最佳协同奖、战略供应商奖以及长鑫科技集团供应商质量奖、华润微电子最佳协同供应商奖等客户荣誉共计 7 项。

**1.** 2025 年营收 14.75 亿元同比增长 29.73%，集成电路领域销售占比近九成。

**2.** 硅基前驱体项目已建成投产，电子化学品总产能达 40.42 万吨/年。

**3.** 硅基前驱体及湿电子化学品供应商。

### 博敏电子

主营业务是高精密印制电路板的研发、生产和销售。公司的主要产品是高密度互联 HDI 板、高频高速板、多层板、其他特殊规格板。成立于 1994 年，深耕 PCB 行业 31 年，在梅州、江苏、深圳

布局产能。在 2024 年中国电子电路行业内资 PCB 企业排名 17 位，综合 PCB 企业排名 31 位，全球 PCB 百强企业排名显示，公司位列第 49 名。

**1.** 公司 AMB（活性金属钎焊）陶瓷基板应用于功率半导体封装。

**2.** 硅电容通常搭载于 GPU/HBM 封装内部，陶瓷基板与硅电容在先进封装场景中形成配套。

**3.** AMB 陶瓷基板供应商，硅电容应用配套。

### 华特气体

主营业务是以特种气体的研发、生产及销售为核心，辅以普通工业气体、气体设备与工程业务，打造一站式服务能力，能够面向全球市场提供气体应用综合解决方案。公司的主要产品是高纯电子特气、稀混光刻气、混配气。2025 年公司拥有多项核心发明专利，其中“一种氨气的纯化系统”荣获 2025 年广东省专利奖金奖，硬核技术实力获得行业广泛认可。

**1.** 台积电、三星、中芯国际等全球头部半导体企业都是客户。

**2.** 深度布局 HBM 产业链，为 TSV（硅通孔）工艺提供先进刻蚀气体。

**3.** HBM 产业链关键供应商，突破 14 nm 及以下制程半导体用气体关键技术。电子特气龙头。

### 新宙邦

主营业务是新型电子化学品及功能材料的研发、生产、销售和服务。主要产品是电池化学品、有机氟化学品、电子信息化学品。公司的电池化学品业务包括锂离子电池电解液、添加剂等。含氟精细化学品产品：六氟环氧丙烷、六氟异丙醇、六氟异丙基甲醚、含氟表面活性剂等。

**1.** 布局电容器封装材料领域，扩展至半导体先进封装相关材料。

**2.** 产品结构持续优化，封装材料与硅电容封装环节形成产业协同。

**3.** 在电解液及电子化学品领域积累的配方及纯化能力可迁移至封装材料。

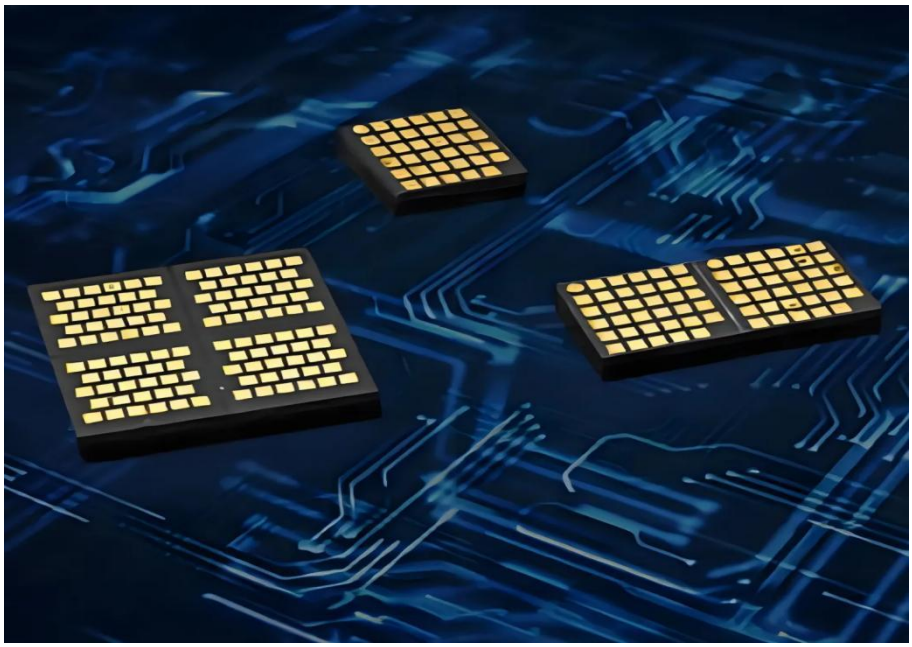
# Empower 被 15 亿美金收购，硅电容并购登顶全球

2026 年 5 月 19 日，全球模拟芯片与电源管理巨头亚德诺（Analog Devices, Inc.，简称 ADI）正式官宣，将以 15 亿美元全现金方式收购位于硅谷的电源管理初创公司 Empower Semiconductor。这笔交易预计将在 2026 年下半年完成。

## IVR+硅电容的双核驱动

Empower Semiconductor 深耕 AI 与超大规模数据中心电源技术多年，其核心竞争力在于两项紧密耦合的技术——集成电压调节器（IVR）和硅电容。Empower 的颠覆性方案并非单纯的器件升级，而是从系统级视角进行的重构：IVR 通过 FinFET 工艺实现百 MHz 级高频开关，将数十个分立元件集成至单颗 IC，而硅电容则以 pH 级等效电感和零偏置衰减特性，在百 MHz 频段提供纯净滤波保障。

在传统的板级电源架构中，多层陶瓷电容（MLCC）是不可或缺的“标配”。但随着 AI 芯片功耗冲破千瓦大关，传统的供电架构在电力传输距离、损耗与热管理上面临严峻瓶颈。Empower 的硅电容（ECAP）技术针对这一痛点给出了全新答案。



更关键的是，由于采用了半导体制造工艺，这款硅电容在电压和温度变化下具有极高的稳定性，不会像传统 MLCC 那样因电压偏置或老化而出现容值衰减。一颗 ECAP 即可替代多颗传统 MLCC，在大幅提升系统效能的同时有效简化了工程设计的复杂性。

Empower 这种高密度、高效率的点对点供电方式，直接将电力转换环节推近至处理器核心，这正契合了当前 AI 算力爆炸式增长对于电力密度和能效的严苛需求。ADI 首席执行官 Vincent Roche 指出，人工智能基础设施正在从根本上改变能源供应的方式。目前，能源问题已成为制约下一代系统发展的最关键因素。

**总结**

此次收购不仅补全了 ADI 在近处理器供电及垂直供电领域的技术拼图，更标志着其在“从电网到芯片内核”的全链路电源解决方案上迈出了坚实一步。对于电源管理这个传统赛道而言，以先进硅电容为代表的创新被动元件技术，正成为驱动 AI 基础设施升级的关键变量。

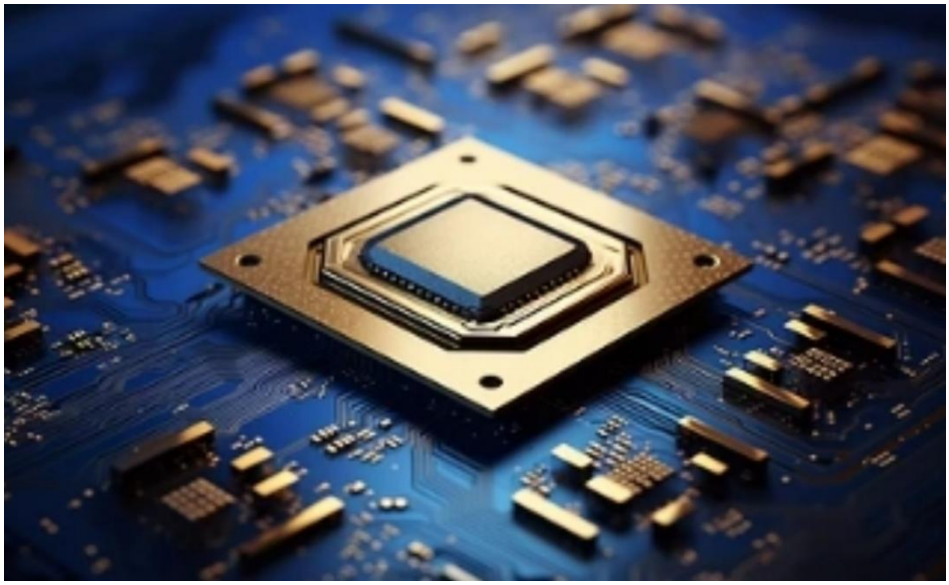
## 两大被动元件厂涨价！传最高涨价 65%

AI 服务器和数据中心需求高涨，导致 AI 用高阶被动元件大缺货，带动被动组件市场再掀一波涨价潮。近日传松下、基美均宣布调涨部分电容价格，涨幅介于 5%至 65%。

据业内消息称，松下近日通知客户，因银、铜等原物料价格持续攀升，加上制造费用和资本设备成本增加，将调涨 SP-Cap(铝质芯片型高分子固态电容)产品价格，7 月 1 日起交付产品将适用新价格。松下为全球第四大钽质电容厂，市占率约 10%，今年以来已先调涨钽质电容价格，涨幅达 15%～30%，本次调涨则针对 SP-Cap，涨幅据传达 20%～30%。

基美作为全球最大钽质电容厂，全球市占率超过 40%，也同步发出涨价通知，称由于 ASIC 服务器大量采用钽质电容，且 TPU 服务器用量大增，预计将自 6 月 1 日启用新价格，部分品项涨幅甚至高达 65%。

聚合物钽电容器在 AI 服务器中主要用作大容量、低 ESR 的中高频储能与去耦组件，与 MLCC 搭配形成宽频段电源稳定网络。由于 AI 应用带动钽质电容需求大增，产能扩张相对不易，市场预计钽电容涨价情况将会持续。



AI 服务器对电力传输、电磁干扰控制与讯号完整性的极限要求，让被动元件逐渐从配角跃升为稳定系统的主角。

业界认为，虽然原厂对外普遍以原材料成本上涨作为调价理由，但实际上，AI 服务器才是真正核心驱动力。随着 AI 机柜内部纳入更多 GPU、ASIC 与散热模组，电源设计空间被进一步压缩，高性能、高稳定性的 SP-CAP 与钽质电容重要性明显提升。

尤其新一代 Vera Rubin 平台导入全新供电架构后，被动元件已成为稳定高功率输出的关键环节。

值得注意的是，日本松下过去在被动元件市场向来采取相对保守的价格策略，多数时间属于“跟涨”角色，但这次却罕见主动领涨，也反映 AI 基础设施需求已进入供不应求阶段。

# 新疆花园贝乐电子材料有限公司：

# 深耕电子材料领域 全链条生产蓄势发力

在胡杨河经济技术开发区，新疆花园贝乐电子材料有限公司的生产车间内，腐蚀箔与化成箔生产线正满负荷运转。目前，公司已投产 13 条生产线，工人们在各自岗位上认真巡检、实时记录，确保每一道工序平稳运行。今年一季度，企业完成化成箔产量 48 万平方米，实现产值 1275.4 万元，取得良好开局。





新疆花园贝乐电子材料有限公司成立于 2017 年 10 月，是较早入驻胡杨河经开区的电子材料企业之一，注册资本 1000 万元，专注于电子专用材料研发制造及电子元器件电容器生产。自 2019 年 5 月起，公司陆续投产腐蚀箔生产线 11 条、化成箔生产线 11 条，规划年产能 324 万平方米，产值约 5101 万元，主要聚焦低压化成箔领域。项目全面达产后，将成为区域内低压化成箔的重要生产基地。

近年来，花园贝乐电子形成了“腐蚀箔+化成箔”的完整生产链条，从源头材料到成品实现自主配套。随着设备改造和工艺优化的持续推进，企业年产能提升 10%，能耗降低 10%至 15%，2025 年改造项目效益在原有基础上增加约 10%。

从 2017 年扎根经开区至今，花园贝乐电子稳步发展，以全链条生产为特色，在电子材料细分领域持续深耕，为师市工业经济高质量发展注入新动能。

## 佛山达孚 BOPP 电容膜 2 线顺利开机

近日，佛山市达孚新材料有限公司的 BOPP 电容膜 2 线已顺利开机。据悉，2 号线引进了德国布鲁克纳（Brückner）全新的宽幅高速电容膜生产线，专为新能源与电力电子领域打造高端薄膜解决方案。

该产线集超宽幅、高速度、超薄化、高精度及高稳定性于一体，核心指标领先：可实现 2.48 μm 的超薄规格与 6400 mm 的母卷幅宽，生产速度高达 240 m/min，年产能达 3675 吨。

佛山市达孚新材料有限公司坐落于佛山市南海区狮山镇，成立于 2009 年，是一家专业研发制造 5G 特种工程塑料薄膜的广东省专精特新高新技术企业，建立了广东省高性能工程塑料薄膜工程技术研究中心，拥有多条德国世界一流聚碳酸酯 PC、PC/PMMA 薄膜、PEEK、PEI 薄膜和超薄电容膜生产线。




2025 年达孚相继引进了全球首条机械式同步拉伸电容膜生产线，德国布鲁克纳最新异步双向拉伸生产线，聚焦于超薄耐温电容膜的研发、生产。产品主要应用于新能源汽车，风电、光伏，柔性直流输变电、高频工控电路、复合集流体等高端应用领域。

## 利昌新材高端 8.7 米 BOPP 薄膜产线正式投产

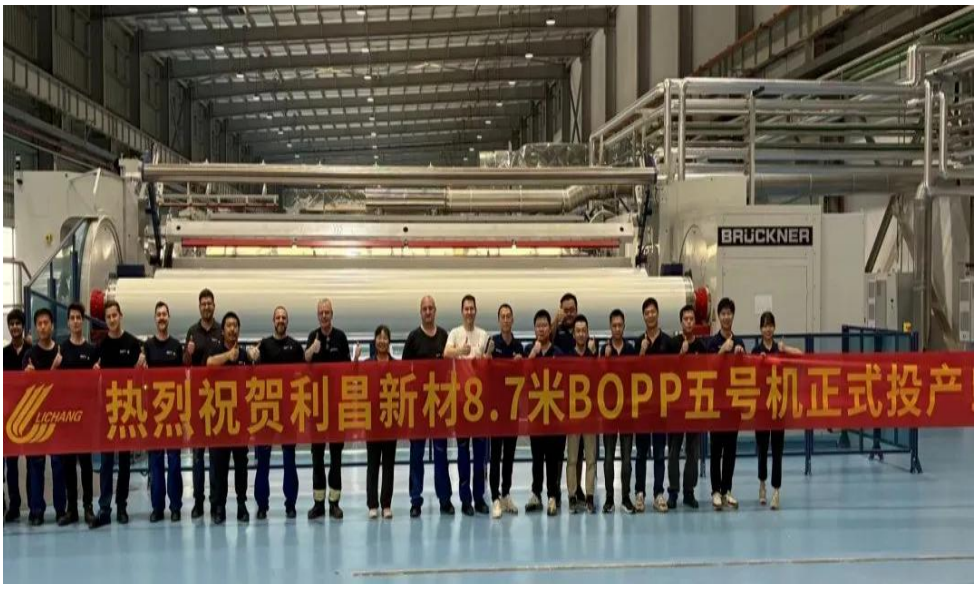
2026 年 5 月 12 日，随着启动键的按下，利昌新材 8.7 米德国布鲁克纳（BRUCKNER）BOPP 五号机正式宣告开机投产。红色横幅上“热烈祝贺”的字样，与布鲁克纳的全球领先标识交相辉映，标志着利昌新材在高端薄膜制造领域又迈出了坚实一步。

**宽幅+高速，定义薄膜智造新高度**

此次投产的五号线，采用德国布鲁克纳全球领先的双向拉伸工艺，宽幅达 8.7 米，生产速度高达 600 米/分钟，代表了当前 BOPP 薄膜制造的先进水平。设备还搭载了高精度厚度控制系统与细微瑕疵识别技术，确保产品品质达到国际一流水准。从食品包装到日化包装，再到新能源配套等高端领域，这条生产线将为客户提供更优质、更多元的解决方案。

**规模+集约，夯实核心供给能力**

五号机的落地，是利昌新材顺应行业趋势、加码高端制造业布局的战略之举。它将大幅提升公司产能规模，优化产品结构，与现有其他布鲁克纳生产线形成规模化、集约化生产格局。由此，利昌新材将进一步增强功能性 BOPP 薄膜的核心供给能力，夯实高端制造竞争优势。




**创新为舵，助力中国制造升级**

站在新的起点上，利昌新材将继续以科技创新为舵，以人类发展所需为帆，在国家新材料产业发展的壮阔海洋中破浪前行。未来，公司将持续为行业高质量发展注入新动能，为中国制造的升级贡献坚实力量。

# 硬核突破！4.5 μm 超薄电容膜通过国家级鉴定

2026 年 5 月 23 日，扬州博恒新能源材料科技有限公司自主研发的 MH45DR1SBS 电容薄膜正式通过中国机械工业联合会组织的新产品技术鉴定。

该薄膜厚度仅约 4.5 微米，属于典型的超薄高性能薄膜产品。专家委员会成员来自国家电网、清华大学等权威机构和高校，经过全面、严格的审查与评议，一致认定其综合性能达到国际先进水平，生产工艺更是居于国际领先地位。

**核心指标与产业意义**

| 维度 | 具体内容 |
| --- | --- |
| 产品厚度 | 约 4.5 微米 (约头发丝直径的 1/60) |
| 技术水平 | 综合性能国际先进、生产工艺国际领先 |
| 应用领域 | 电力电容、新能源电池复合集流体、新能源汽车 |
| 战略价值 | 打破高端电容膜进口依赖，保障供应链安全 |

**复合集流体安全价值：**

该超薄基膜是复合集流体的核心“心脏”材料。复合集流体采用“金属-高分子材料-金属”的三明治结构设计，中间绝缘层正是该超薄薄膜，能有效防止电池内部短路，从源头解决热失控安全隐患。

**产能与企业发展里程碑：**

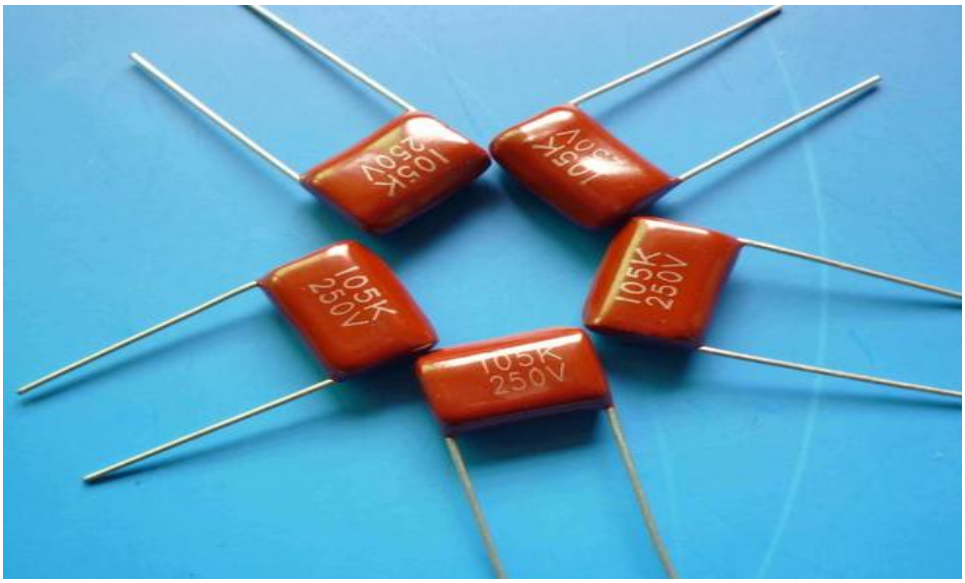
- 总体规划投资 106 亿元，建设 36 条高性能薄膜生产线
- 2025 年 6 月首条生产线投产，是全球首条新能源材料专用超薄增强薄膜生产线
- 相继投产全球首条 BOPP 新能源复合集流体基膜同步拉伸生产线及光学级 PET 薄膜生产线
- 产品厚度已从最初的 8 微米不断优化至目前的 1.9 微米
- 预计到 2030 年一期项目年产能将达到 30 亿平方米

从公司注册成立到首条生产线投产，扬州博恒仅用了 33 个月。这一“加速度”得益于扬州市良好的产业生态与优质营商环境，其母公司申达集团在薄膜行业深耕多年，积累了深厚的技术资源与产业经验。

## 华容领衔薄膜电容“耐压战争”：

## “黑豹”突袭，电压飙升如何引爆 300 亿市场？

一句话价值：当电动汽车迈入 800 V 高压快充时代，薄膜电容的“耐压心脏”成为决胜关键——国产方案以成本降低 40%、体积缩小 50%的碾压优势，正改写全球 Tier 1 供应商名单。



## 一、技术突防：800 V 平台上的“介电极限”挑战

当整车电压从 400 V 跃升至 800 V，峰值脉冲电压可逼近 1200 V，这对电容的“绝缘城墙”构成了终极考验。传统 PP 膜材料在高压下漏电流激增，局部放电导致寿命锐减。而国产领军者“华容科技”的 “介电晶须”复合薄膜，正实现三项颠覆：

材料基因重组：在聚丙烯基体内植入 氮化硼纳米晶须（BN Nanowhiskers），击穿场强提升至 780 V/μm（传统材料约 600 V/μm），125℃高温下容量衰减率 <2%（行业平均 >8%）。自愈合绝缘层 在微放电发生时能瞬间重熔修复，使用寿命突破 5 万小时 大关。

结构拓扑革命：采用 “仿生叶脉”分形电极 取代传统平面蒸镀，过电流能力提升 300%，同时热阻降低 45%。三维堆叠封装 在同等容量下，模块体积暴减 50%——这为电动车前舱布局腾出了宝贵的 8 升空间，足以容纳一套额外的激光雷达计算单元。

智能预判系统：内嵌 薄膜电压光纤传感器（FOS），可实时监测每层介质的电场分布与热膨胀应力，实现“失效前 100 小时预警”。车企后台运维从被动检修转向主动调度，高压系统故障率下降 70%。

震撼对比：

| 维度 | 传统解决方案（日系） | 华容“晶须”方案 |
|---|---|---|
| 额定电压（VDC） | 450V | 900V |
| 体积功率密度 | 1X（基准） | 2.5X |
| 125°C寿命（h） | 3,000 | >20,000 |
| 单kW成本（元） | 150 | 85 |

## 二、商业卡位：绑定头部车企，切下高压化最大蛋糕

全球电动车平台高压化竞赛已白热化，2025 年已成为 800 V 车型放量元年。这不仅是技术赛，更是供应链的“抢滩登陆战”。

订单“黑洞效应”：华容已独家锁定 “蔚来天行” 全域 800 V 平台的全系电容订单，合同总额预估 18 亿元；其 “金刚”系列 成为比亚迪第二代碳化硅模块的标配，2026 年意向采购覆盖 120 万辆 新车。产能方面，其重庆“黑灯工厂”专线已为 2027 年华为“乾崑” 平台预留产能。

替代“闪电战”：此前 800 V 薄膜电容被 松下、TDK-EPCOS 垄断，单价高达 1200 元/车。国产方案以 40%的成本优势 和 6 个月的超短交期 撕开缺口，迫使国际巨头首次启动“中国定价”策略。某新势力供应链总监透露：“一次模组召回危机中，只有华容能在 72 小时 内空运替换件到位，供应链韧性已成核心战斗力。”

生态“合围”：华容联合 中车时代电气，推出“电容-碳化硅”一体化功率模块，将 OBC 和 DC/DC 系统中的电容用量减少 30%，却提升整体效率 0.5%。这标志着国产替代从单一部件，升级为“系统级解决方案” 的输出。

用户价值直击：“800 V 意味着充电 10 分钟续航 400 公里，但这建立在电容能承受每分钟上万次高压冲击的前提下。我们的测试表明，一颗电容的失效，足以让整车的超充海报变成虚假宣传。”——某顶级车企三电首席工程师

## 三、地面“高压潮”：从高端车到千行百业的降维普及

800 V 技术红利正快速溢出，重塑更广阔的能源应用格局。

储能电站“高压化”：将车规级电容阵列应用于 光伏/储能直流侧，电压等级从 1500 V 提升至 2000 V，电站线损降低 2%，变流器体积缩小 25%。华容已为宁夏某吉瓦级储能项目提供全套方案。

充电桩“小型化”：利用高功率密度电容，将 300 kW 直流桩核心模块体积缩小 40%，使社区紧凑场地布局超充成为可能。上海已试点“路灯充电桩”项目。

工业“换心”：在高端制造领域，如半导体蚀刻电源、磁悬浮轴承变频器中，替换老旧电解电容，设备能耗直降 15%，维护周期从 1 年延长至 5 年。

## 四、前瞻与暗战：固态电池门前的“窗口期”对决

盛宴之下，危机并存。

终极挑战：全固态电池 的产业化，可能重新定义电源架构，对薄膜电容的需求产生颠覆性影响。业内预判，薄膜电容的“黄金窗口期”约为 5-8 年，必须在此期间完成从“关键部件”到“不可替代平台部件”的跃迁。

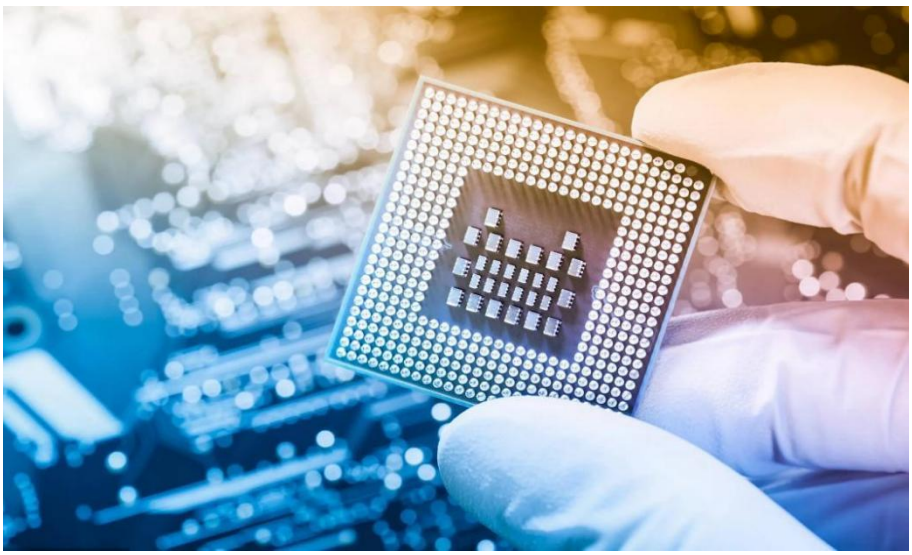
技术攻坚战：当前， -40℃低温容量保持率 仍是短板。华容正与哈工大联合攻关 “质子锚定”低温电解质涂层，目标在极寒下保持 95%容量。欧盟最新法规将对电容的 “全生命周期碳足迹” 提出要求，材料回收技术成为下一道壁垒。

国际反扑：欧洲头部供应商正加速推进 “高压电容+智能保险丝” 的集成化专利布局，试图构筑新的知识产权壁垒。一场围绕 “高压能源核心” 的专利交锋与标准制定战，已然打响。

行业警报：产能过剩隐现，低端重复建设已拉响警报。未来属于能提供 “车-储-充”高压能源矩阵综合解决方案 的玩家，单一制造商的窗口正在关闭。

# AI 浪潮下，MLCC 迎来新一轮上行周期

MLCC 在服务器、光模块有广泛应用，受益服务器功率提升、垂直供电、800 V 等升级有望迎量价齐升机遇。当前受益 AI 需求景气，MLCC 行业正进入新一轮涨价、景气上行周期，我们看好本土厂商乘风发展并顺势加速服务器、车规等高规格产品突破。



## MLCC 在服务器、光模块有广泛应用，800 V 架构升级带动中高压需求

MLCC 在电路系统中发挥的核心功能是耦合、去耦、平滑、滤波，在 AI 服务器领域覆盖一到三级电源全链路。根据 TrendForce，英伟达 VR200 NVL72 服务器将使用约 60 万个 MLCC，比现有 GB300 平台高出 30%以上，囊括从 2.5 V 到上千 V 的电压规格。MLCC 是 AI 浪潮发展中不可缺失的核心被动元件。发展趋势上看，服务器领域垂直供电方案、800 V 服务器架构以及光模块速率升级，都进一步对于 MLCC 提出了小型化、高功率密度、耐高温、高耐压等更高规格要求，进一步带动 MLCC 规格升级及整体价值量提升：以主板上应用为例，根据 TrendForce 数据，GB200 服务器主板上 1 μ以上 MLCC 用量占 60%，X6S/X7S/X7R 等耐高温产品用量高达 85%。

## 我们测算 2030 年服务器领域 MLCC 出货量/市场规模占全球市场 5%~10%/20%~30%

根据 TrendForce、QY research 数据，2025 年全球 MLCC 出货量及市场规模分别约为 5~6 万亿颗

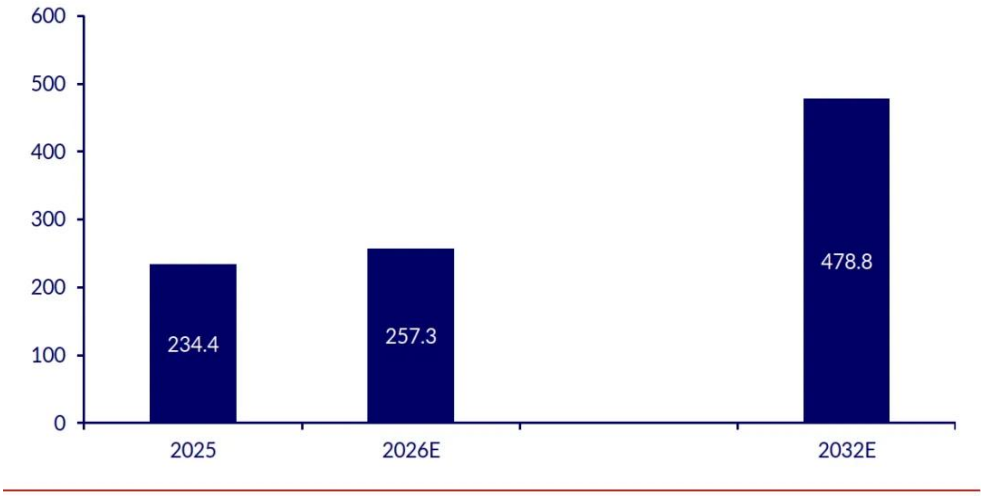
及 200+亿美元。聚焦服务器领域，

1)服务器出货量：根据 TrendForce 数据及预测，2026 年全球服务器/AI 服务器出货量分别为 1600+万台/270+万台；

2）单位 MLCC 用量：结合三星电机数据，我们假设 2026 年普通服务器 MLCC 用量和 AI 服务器平均用量分别为 2200 颗/28000 颗，且考虑到服务器整体功率升级，我们预计后续 AI 服务器 MLCC 单位用量有显著提升空间；

3）MLCC 整体出货量及市场规模：我们测算 2026 全球服务器 MLCC 出货量约为千亿颗规模（约占当前 MLCC 市场整体出货量的 2%），而至 2030 年有望持续扩容至 4000+亿颗，年均复合增长速率约为 40%。考虑到服务器上 MLCC 小尺寸、高容值、高耐温等性能要求相较普通 MLCC 产品有较显著提升，我们假设服务器用 MLCC 平均单价是普通领域 MLCC 单价整体的 3~5 倍（或更高），故我们测算 2026/2030 年，服务器用 MLCC 市场规模占全球市场的规模分别约为 10%、20~30%。

全球 MLCC 市场规模（单位：亿美元）




全球服务器 MLCC 需求量测算

| | 2024 | 2025E | 2026E | 2030E |
|---|---|---|---|---|
| 服务器出货量（万台） | | | | |
| 合计 | 1367 | 1449 | 1634 | 2500 |
| ——AI 服务器 | 175 | 217 | 278 | 750 |
| ——普通服务器 | 1192 | 1232 | 1356 | 1750 |
| MLCC 单服务器用量（颗/台） | | | | |
| ——AI 服务器 | 28000 | 28000 | 28000 | 50000 |
| ——普通服务器 | 2200 | 2200 | 2200 | 2500 |
| 服务器 MLCC 总量（亿颗） | | | | |
| 合计 | 753 | 880 | 1077 | 4188 |
| ——AI 服务器 | 490 | 609 | 779 | 3750 |
| ——普通服务器 | 262 | 271 | 298 | 438 |

资料来源：Trendforce（服务器出货量，含 2025E/2026E 预测），三星电机（MLCC 单服务器用量数据），中信证券研究部预测（2030 年单台服务器 MLCC 用量及服务出货量预测）

## 全球 MLCC 有望进入新一轮涨价上行周期

当前全球主要 MLCC 龙头对产业景气度尤其是 AI 相关表述积极，具体来看根据各家业绩说明会及公告：

1）村田：因 AI 相关需求强（订单是产能的两倍）、高稼动率（整体 MLCC 产能利用率在 2025 年底已达到 90%–95%），2026 年村田预计其电容（包括 MLCC）整体 ASP 同比+5%至+10%，电容部门服务器相关销售预计同比+85%至+90%。

2）三星电机：其 26Q1 公告 Component Solution 业务收入同比 +16%、环比 +7%，增长来自 AI 相关服务器、电源、网络销售高增长及车载 MLCC 扩供；公司预计 AI 服务器/数据中心高端产品需求继续增长，且 AI 服务器相关强需求导致整体供应紧张，混合 ASP 随高端产品组合改善而提升，并将“战略性应对定价”，有望推动 5%~10%的涨价。

3）太阳诱电：将从 5 月起上调包括 MLCC 在内的部分元器件价格。

## 坚定看好国内厂商受益本轮上行周期及 AI 浪潮

当前日韩厂商主导全球 MLCC 市场，根据村田公司公告，村田当前全球 MLCC 市场份额约 40%，汽车 MLCC 份额约 50%。近年来中国大陆厂商积极推动产品客户导入及产能扩产，我们亦看好本土厂商受益本轮 MLCC 产业周期上行，有望享受海外龙头因聚焦 AI 领域而导致的产能挤出外溢，初期受益份额提升，若行业涨价持续性超预期也有望跟进涨价，并顺势加速推进 AI 服务器、车规等高规格产品的国产突破与起量。

## 风险因素

AI 行业发展不及预期；MLCC 厂商向下游传导涨价不及预期；国内厂商新业务拓展不及预期；竞争格局恶化；下游库存累积；需求不及预期。

## 投资策略

MLCC 在服务器、光模块有广泛应用，受益服务器功率提升、垂直供电、800 V 等升级有望迎量价齐升机遇。当前受益 AI 需求景气，MLCC 行业正进入新一轮涨价、景气上行周期，亦看好本土厂商乘风发展并顺势加速服务器、车规等高规格产品突破。

# 日系 MLCC 集体涨价：AI 与车规驱动高端产能紧平衡

太阳诱电 2026 年 4 月 14 日发函，5 月 1 日起对 MLCC（以软端子型为主）等全线产品调价。这一轮从 3 月起村田官宣涨价并非短期脉冲，而是 AI 算力爆发、新能源汽车需求刚性增长，叠加高端产能扩产周期长、原材料成本飙升共同驱动的结构性升级。

## 产能

### 日系厂商布局

**村田：全球产能重构，AI 高端产能优先释放**

作为全球 MLCC 龙头（市占率约 34%），村田正推进史上最大规模产能调整，核心聚焦 AI 与车规赛道。日本本土：2026 年 4 月 3 日，岛根县出云市新建生产大楼竣工，总投资 470 亿日元，建筑面积 69829 平方米，2026 年 Q4 投产，专供车载和 AI 服务器高端 MLCC，月产能规划 50 亿颗。东南亚：泰国、菲律宾产线持续满负荷运转，重点保障车规级供应；印度：投资 4.8 亿元建设 M64C 产线，2026 年底运营，匹配欧美供应链本土化。产能结构：计划将日本本土产能占比从 60%降至 50%，通过全球基地均衡布局提升供应链灵活性，同时收缩中低端消费级产能，资源向高端倾斜。核心瓶颈：高端 MLCC 扩产周期长达 18-24 个月，2026 年新增产能主要集中于中低端，高端供给缺口无法快速填补。

**太阳诱电：产能满载，聚焦高毛利产品线**

2026 年 4 月 14 日官宣涨价的同时，太诱透露工厂稼动率已创四年半新高，订单规模持续攀升。产能布局：日本本土产线维持 95%以上利用率，重点扩产软端子型 MLCC（适配新能源汽车高压系统），东南亚产线侧重消费级产品，未披露新建产能计划。战略调整：受银、金等贵金属成本上涨影响，太诱主动收缩低毛利消费级产能，将资源集中于 AI 服务器、车规级等高附加值品类，进一步加剧高端供给紧张。

**TDK：材料端锁壁垒，产能向高端倾斜**

2026 年 4 月 1 日，TDK 与日本化学工业成立合资公司，聚焦 MLCC 用陶瓷材料（钛酸钡等）研发，持股 51%掌握主导权，缩短高端材料开发与量产周期，巩固技术壁垒。产能规划：日本、中国产线优先保障车规级（AEC-Q200 认证）和工业级 MLCC 产能，2026 年高端产能占比提升至 45%，中低端产线稼动率控制在 60%以下。另外 TDK 苏州工厂有在评估 MLCC 全制程事宜，未来有可能承接更多车规 MLCC 订单。

**价格走势全景：高端领涨，中低端承压**

**高端市场（AI/车规）：**全年维持 10%-25%涨幅，合约价 4 月起全面落地，现货价持续上行。AI 服务器高容（10 μF+）、小尺寸（0402 及以下）、X6S/X7R 材质涨幅居前（如村田 GRM158C80E476ME01 涨幅达 20%）；车规级高压（1000 V+）、高可靠系列涨 10%-20%，800 V 高压平台车型需求占比从 25%提升至 40%。交期拉长至 18-22 周，部分紧缺型号超 20 周，缺货风险贯穿全年。

**中低端市场（消费电子）：**价格维稳或小幅下滑，厂商产能向高端转移，稼动率控制在 60%-70%，行业进入去库存周期，0402/0603 常规尺寸、1 μF 以下容量产品议价权极低。

**传导效应：**日系涨价引发台系（国巨、华新科）跟涨，国内厂商（三环、风华）借机提升性价比优势，加速抢占中高端份额，行业格局进一步分化。

**产品与市场**

**产品核心趋势：高容、高压、小型化、高可靠**

**AI 服务器赛道：**0402 及以下超微型封装（01005 规格需求增长）、10 μF+高容，追求低 ESR、高稳定性，单台 GB300 服务器需 3 万颗 MLCC，单机柜超 44 万颗，需求年复合增长率上调至 30%。村田在该领域市占率过半，订单量超现有产能 2 倍。

**车规赛道：**1000V+高压、AEC-Q200 认证、耐高温系列需求爆发，适配 800 V 高压平台与碳化硅（SiC）功率器件，单车用量达 1.8-3 万颗，是传统燃油车的 6-10 倍。2030 年车规级 MLCC 营收占比将稳定在 38%-40%，成为行业基本盘。

2026 年节奏与风险

**Q1-Q2：**涨价全面落地，高端缺货风险加剧，交期持续拉长，下游客户集中备货锁定配额。

**Q3-Q4：**AI 服务器、新能源汽车需求旺季，价格或二次上调，国产替代加速放量，行业集中度进一步提升。

**需求端：**如 AI 服务器、新能源汽车需求不及预期，消费电子持续低迷，可能拖累整体需求。

**供给端：**原材料（银、稀土）价格波动超预期，日系厂商扩产节奏加快，缓解高端供需缺口。

**竞争端：**国产厂商技术突破加速，高端市场竞争加剧，挤压日系利润空间。

全球 MLCC 高端产能扩产周期长（18-24 个月），2026 年日系厂商新增产能以中低端为主，高端产能释放有限。全年高端供给维持紧平衡，供需缺口持续扩大。

# 村田追加投资约 800 亿日元增产 MLCC

村田制作所将追加投资约 800 亿日元用于增产多层陶瓷电容器（MLCC），此举旨在满足数据中心（DC）的强劲需求。计划在 2026 财年投资约 400 亿日元，2027 财年投资约 400 亿日元。预计投资后的生产能力将比当前水平提高 10%-15%。此次投资将主要集中在位于岛根县出云市的村田制作所工厂以及现有的 MLCC 生产基地。该公司计划主要生产小型化、高容量的 MLCC。

村田截至 2026 年 3 月财年（2025 年度）销售额为 18309 亿日元，同比增长 5%；营业利润为 2818 亿日元，较上期增长 0.8%；净利润为 2339 亿日元，与上年持平。电容器产品销售额为 9364 亿日元，同比增长 12.6%。

| | Millions of yen | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Year ended March 31, 2025 | | Year ended March 31, 2026 | | Change | |
| | | %*1 | | %*1 | | % |
| Revenue | 1,743,352 | 100.0 | 1,830,856 | 100.0 | 87,504 | 5.0 |
| Operating profit | 279,702 | 16.0 | 281,835 | 15.4 | 2,133 | 0.8 |
| Profit before tax | 304,404 | 17.5 | 308,643 | 16.9 | 4,239 | 1.4 |
| Profit attributable to owners of parent | 233,818 | 13.4 | 233,920 | 12.8 | 102 | 0.0 |
| Return on invested capital (ROIC)*2 (post-tax basis) | 10.0 | - | 9.7 | - | (0.3) | - |
| Average exchange rate (Yen/U.S. dollar) | 152.57 | - | 150.78 | - | (1.79) | - |

村田发布了 2026 年 4 月～2027 年 3 月（2026 年度）业绩预测：

智能手机：由于存储半导体供应受限，预计中低端机型的销量将比上一季度减少 4000 万部。高端机型受到的影响预计有限。

汽车：主要受中国电动汽车（xEV）增长的推动，预计销量将比上一季度增加约 80 万辆。

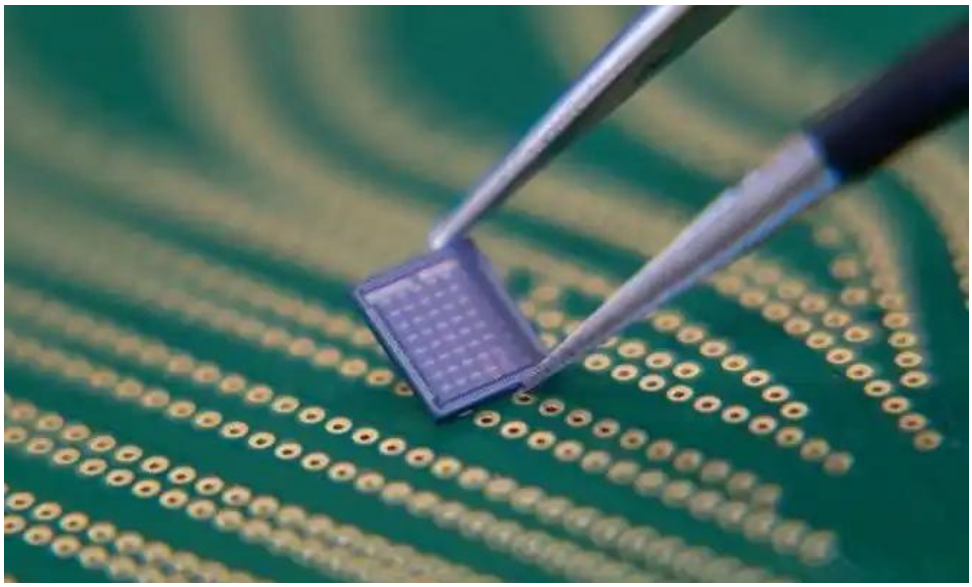
PC：由于存储半导体供应受限，预计销量将比上一季度减少 4000 万台。

村田预计 2026 年度营业收入达 19600 亿日元，同比增长 7.1%，营业利润为 3800 亿日元，较上期增长 34.8%。得益于数据中心相关产品（尤其是电容器）需求的增长，预计 2026 年度电容器营收达 10617 亿日元，同比增长 13.4%。

# 国产硅电容企业再获融资！主营高速硅电容

据悉，南京万熙微电子有限公司（以下简称“万熙微电子”）宣布完成新一轮千万元融资。本轮融资由毅达资本独家投资，资金将主要用于硅电容系列产品研发和量产交付。

万熙微电子成立于 2024 年 7 月，是一家专注于无晶圆厂（Fabless）模式的半导体分立器件芯片设计企业。公司主营高速硅电容芯片，涵盖垂直打线硅电容与平面贴片硅电容两大产品线，并同步布局 III-V 族化合物光电芯片。产品主要应用于高速光模块、航空航天、射频基站、激光雷达等高频滤波场景，以及部分高端消费电子领域，多款产品已实现规模化量产，累计出货量突破百万颗。



南京市创投集团投资五部总经理胡勇表示：“祝贺万熙微电子获得新一轮投资。硅电容作为新型被动元器件，国产替代趋势日益明确。随着 AI 算力中心建设、5G 通信普及、智能终端轻薄化需求提升及汽车电子化加速，被动元器件正朝着高精度、高频化、高集成方向迭代，硅电容市场份额有望持续增长。南京市创投集团 2024 年投资万熙微电子后，持续提供投后服务，推动其与产业链上下游企业深度合作。期待公司本轮融资后进一步丰富产品矩阵、拓展应用场景、巩固行业领先地位。”

# 六和电子（江西）有限公司

# 测试中心正式通过 VDE-TDAP Stage 2 认可实验室

2026 年 4 月，六和电子测试中心正式通过 VDE-TDAP Stage 2 认可，成为全球专业薄膜电容器厂家中首家获此资质的实验室。此举标志着六和电子在电子电气检测领域的专业能力已跻身世界先进水平。

至此，六和电子测试中心已具备以下三项项权威资质：

国家 CNAS 实验室认可（具备 AECQ-200 车规级可靠性测试能力）；

UL DAP WTDP 认可；

VDE-TDAP Stage 2 认可；



Zertifikat zur Anerkennung

*Certificate of acceptance*

von / *of*

Nistronics (Jiangxi) Co., Ltd.
No. 26 Chunfeng Road,
Yichun Economic-Technological Dev. Zone
336000 YICHUN
Jiangxi
China

durch die / *by the*

**VDE Prüf- und Zertifizierungsinstitut GmbH**

für das / *for the*

**Test Data Acceptance Program**

in der Stufe 2 / in the Stage 2

| | |
|---|---|
| ID Nummer<br>*ID number* | 40062012 |
| Gültig bis<br>Valid until | 2029-03-09 |
| Aktenzeichen<br>File number | 5031305-9501-0001/336615 |

Dieses Zertifikat ist nur gültig zusammen mit dem gültigen Dokument „TDAP SCOPE". Es berechtigt nicht zur Nutzung eines markenrechtlich geschützten Zeichens des VDE.
*This certificate is valid only in conjunction with the valid document „TDAP SCOPE". It does not authorize to use any of the legally protected VDE marks.*

**VDE Prüf- und Zertifizierungsinstitut GmbH**

Zertifizierung Produkte / *Certification Products*

2026-04-30 T. Stenger

Merianstrasse 28, 63069 Offenbach, Germany
phone +49 69 8306 0, fax: +49 69 8306 555
e-mail: vde-institut@vde.com, www.vde-institut.com
VDE Zertifikate sind nur gültig bei Veröffentlichung unter: www.vde.com/zertifikat
*VDE certificates are valid only when published on: www.vde.com/certificate*
Version 1, 2015-04-01

VDE INSTITUT

**关于 VDE-TDAP 的两个阶段：**Stage 1 为对实验室设备及管理体系的认可；Stage 2 在此基础上进一步考核测试人员的专业能力与技术判断水平。通过 Stage 2，意味着 VDE 不仅确认了六和电子的硬

件设施与流程规范，也直接认可了其工程师的技术判断能力。本次认可覆盖 IEC 61071、EN 61071、DIN EN 61071 三项标准的全部条款。

**长期投入实验室建设的根本逻辑：**可靠性是测出来的：六和电子深耕薄膜电容行业 20 余年，始终坚持以自主实验室建设驱动产品质量提升。企业认为：产品可不可靠，不是说出来的，而是测出来的。最终交付给客户的不是测试报告，而是产品本身。实验室能力越强，产品出现问题的概率越低，标准覆盖越全面，产品能够进入的市场就越广泛。正因如此，六和电子将每一项国际认可的资质都视为重构自身能力边界的契机，并将相关标准真正贯彻到每一天的产品开发和出货控制之中。

**未来持续深耕，为行业提供可信数据：**面向未来，六和电子团队将戒骄戒躁、砥砺前行，持续拓展测试中心的测试能力，致力于为客户提供真正值得被全球信任的测试数据，也为为中国电子元件行业的高质量发展贡献力量。

# 前沿技术

## 类反铁电高熵超顺电实现 MLCC 超高储能

随着电子设备和脉冲功率系统的快速发展，对具有高功率密度和快速放电能力的静电储能器件需求日益增长。然而，传统铁电体因固有滞回损耗导致能量效率低下，而反铁电体虽可实现近零剩余极化，但其电场驱动的相变通常伴随显著滞回损耗。

高熵设计通过引入多组元构型熵和晶格畸变，可创建高度无序的极化基体并细化晶粒，但如何在高熵体系中主动构筑功能性纳米畴结构而非被动破坏长程有序，仍是有待解决的关键科学问题。

近日，中国科学院上海硅酸盐研究所的刘振、王根水、澳大利亚国立大学 Teng Lu 在 Advanced Materials 发表了题为“Antiferroelectric-like High-entropy Superparaelectric Enables Ultrahigh Energy-storage in Multilayer Capacitors”的研究论文。

多层陶瓷电容器(MLCCs)因其高功率密度和快速放电能力，是先进电子系统小型化的有前景候选材料。然而，同时实现高能量密度和近零能量损耗仍然是长期存在的挑战，阻碍了其作为下一代储能器件的应用潜力。

该研究提出了一种在无序$(Sr_{0.2}Ca_{0.2}Pb_{0.2}Na_{0.2}La_{0.2})TiO_3$高熵陶瓷基体中的自下而上自组装策略来构建纳米畴构型。

高熵设计保证了具有完全降低偶极子翻转能垒的局部成分非均质平台，随后强极性 Bi 的有效取代促进了纳米畴组装的进程。晶格结构和各向异性畴结构的协同调控产生了弛豫类反铁电极化行为，同时实现了高极化强度和快速偶极子翻转。

因此，在类反铁电高熵超顺电 MLCCs 中同时实现了 24.7 J·$cm^{-3}$ 的高能量密度和 96.5%的超高效率的突破。该工作为操纵极化分布和设计高性能储能电介质建立了新的机遇。

图 1 展示了在无序高熵基体中通过自下而上自组装策略构建纳米畴的示意图，以及 Bi 掺杂对材料结构和性能的影响。随着 $Bi^{3+}$含量增加，XRD 显示晶体对称性降低，介电常数在室温下从 436 增至 940，同时出现向高温移动的介电峰。

极化测试表明，Bi 掺杂诱导了类反铁电的双电滞回线和四个电流峰，最大极化从 7 μC·$cm^{-2}$ 提升至 29.3 μC·$cm^{-2}$，而剩余极化保持低于 1.27 μC·$cm^{-2}$。在各自击穿场强下，HE-0.06Bi 组分实现了 12.8 J·$cm^{-3}$ 的能量密度和 91.5%的效率。

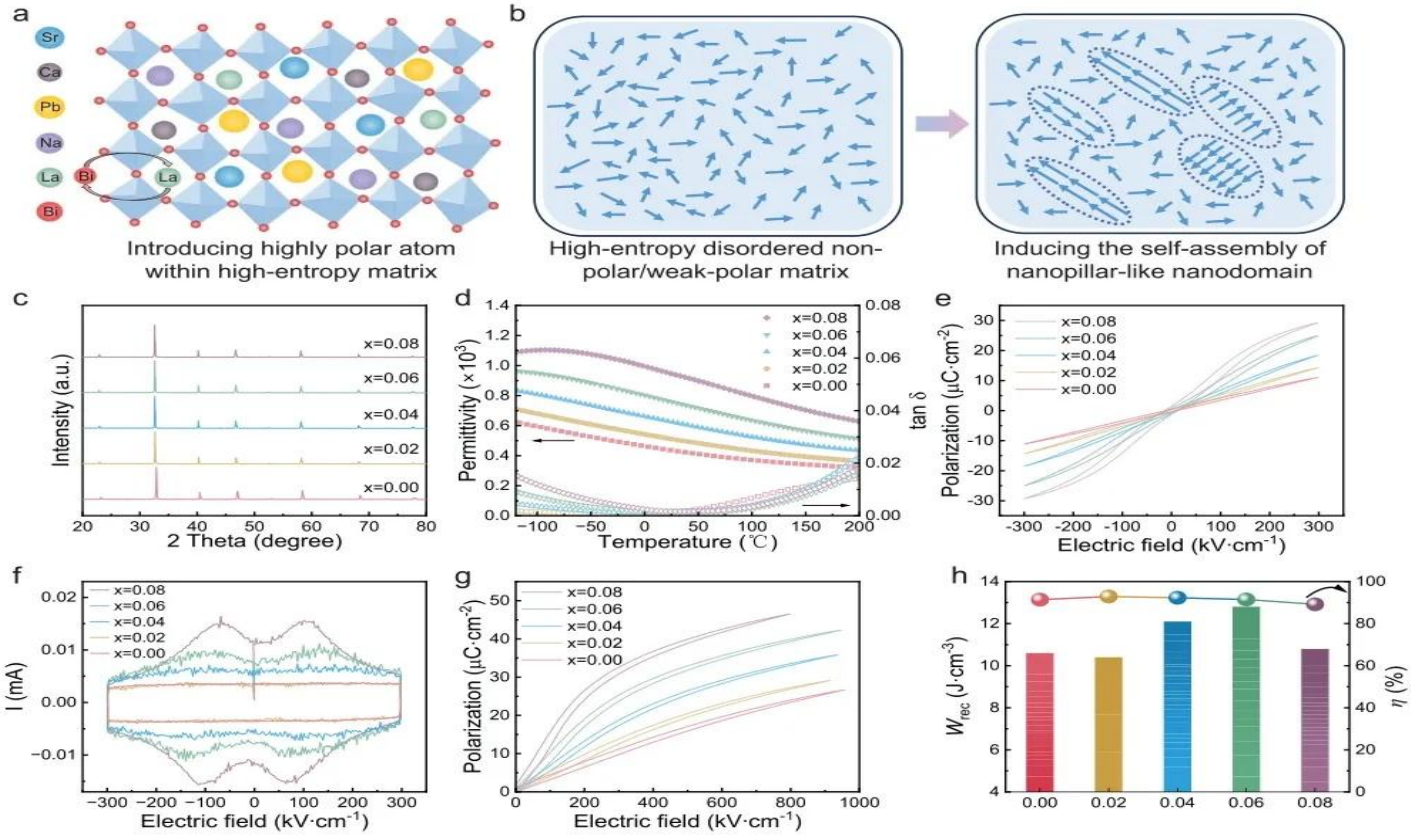



图 1　类反铁电高熵超顺电陶瓷的储能性能与结构演变

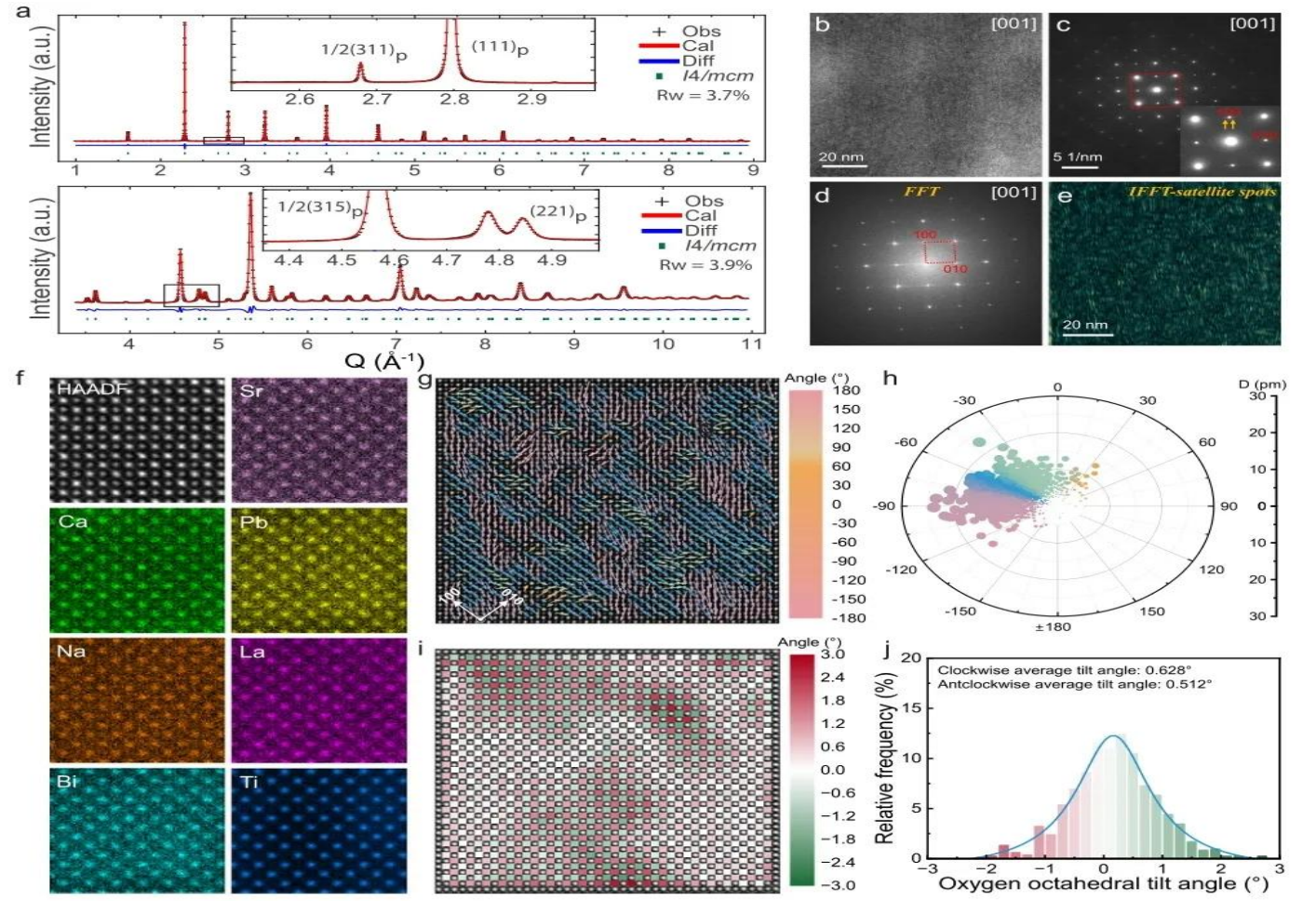



图 2　HE-0.06Bi 的平均晶体结构与纳米畴表征

通过中子和同步辐射 X 射线精修确认了 I4/mcm 空间群的低温四方反铁电结构。透射电镜观察显示无明显长程有序畴，但存在沿[100]方向排列的条纹状纳米畴，相干长度仅数纳米。

高角环形暗场像和原子级元素分布证实 A 位元素均匀分布无偏聚，极化矢量分析揭示无序取向的偶极子组装成条纹状畴结构。氧八面体倾角统计呈现对称正态分布，表明随机分布而非长程有序的特征，这种条纹畴与顺电纳米区域的共存赋予了材料类反铁电的极化响应。

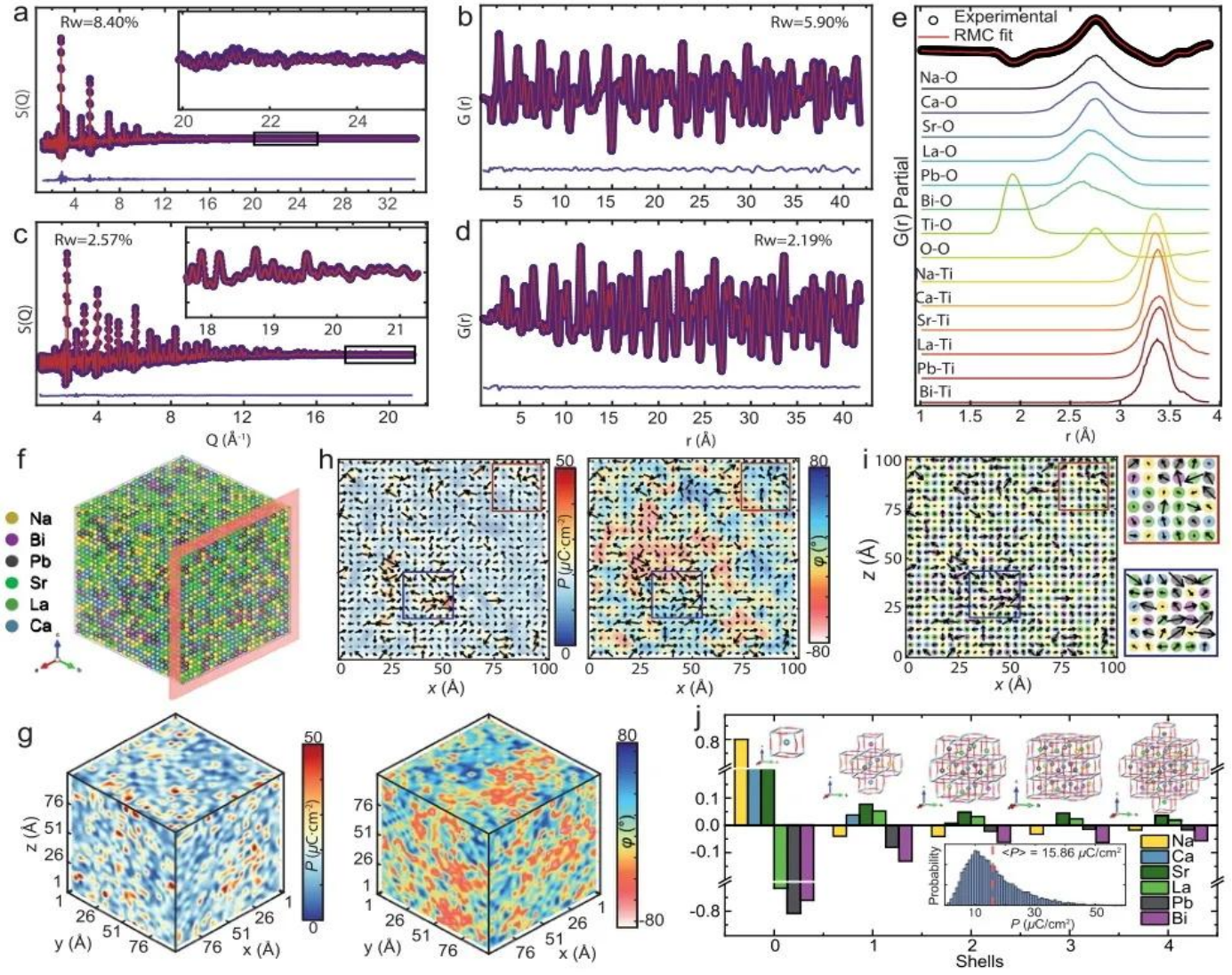



图 3　HE-0.06Bi 陶瓷的局部极性结构原子尺度解析

利用中子和同步辐射全散射技术结合对分布函数分析，揭示 Bi-O、Pb-O 和 La-O 峰呈现非对称宽化特征，表明这些元素创建高度扭曲的局部环境，而 Na、Ca、Sr 的氧配位相对对称。

通过大尺度逆向蒙特卡洛模拟构建的三维原子模型显示，极化在零场下随机分布，形成极性团簇和弱纳米柱畴结构，局部极化在 0-50 μC • cm$^{-2}$ 间大幅波动。

二维切片显示极化方向相似区域具有小于 7 个晶胞(约 3 nm)的相干长度，这种弱相关但高度极化的区域允许同时增强最大极化和降低剩余极化。

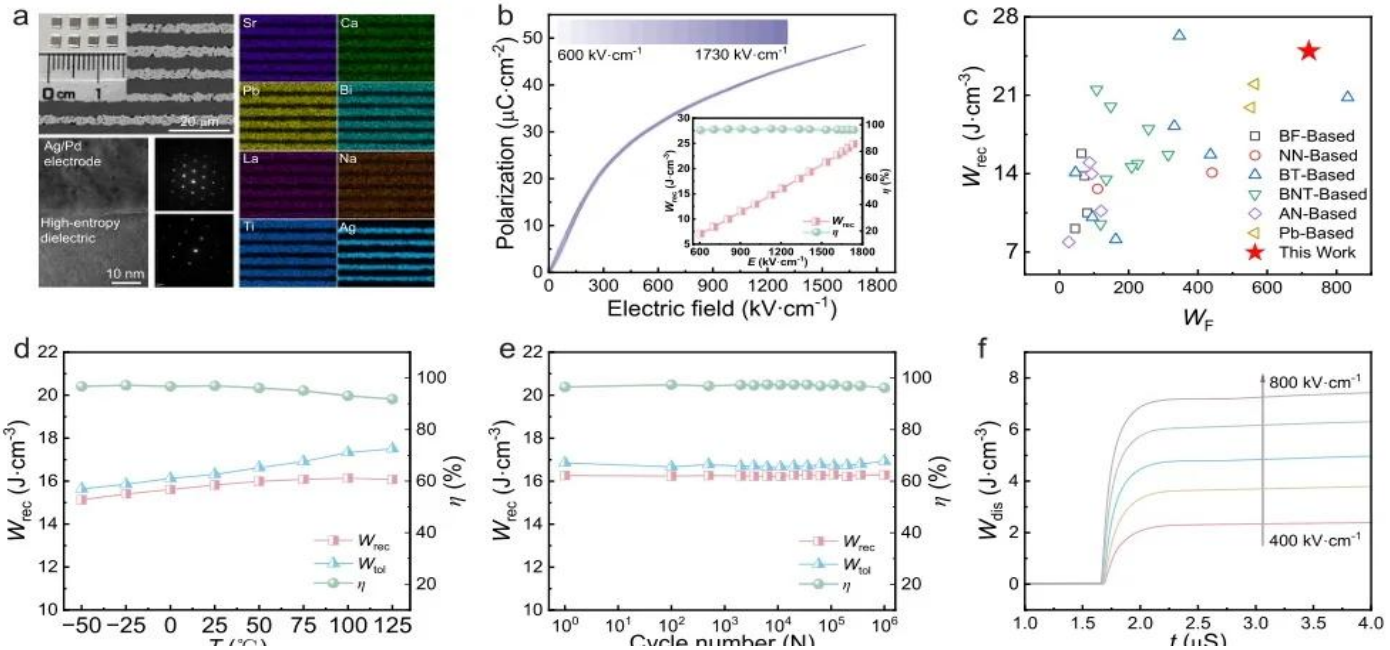



图 4　类反铁电高熵超顺电 MLCC 的储能性能与应用验证

展示了制备的多层陶瓷电容器实物照片、截面 SEM 和 TEM 形貌及元素分布，证实电极与陶瓷层良好界面结合。

在电场增加过程中，P-E 回线呈现低场准线性和高场弛豫特征的组合，实现了 19.2 J • $cm^{-3}$ 的体积能量密度和 96.5%的效率，远超现有商用 MLCC 水平。性能对比图显示该材料在能量密度和效率上均优于目前报道的先进 MLCC。

温度稳定性测试表明在-100 至 150℃范围内性能保持稳定，循环可靠性测试显示经过 $10^8$ 次充放电后性能无明显衰减，放电速度测试证实可在亚微秒级时间内释放能量。

## 总结

该研究成功开发了一种类反铁电高熵超顺电陶瓷材料，通过在高熵基体中实施自下而上的纳米畴自组装策略，协同调控晶格结构和畴构型，突破了传统弛豫铁电体和反铁电体在能量密度与效率之间的权衡限制。

高熵设计提供的局部成分非均质性和强极性 $Bi^{3+}$诱导的纳米畴组装，实现了高极化强度、快速偶极子翻转和低滞回损耗的协同优化。

基于该材料制备的多层陶瓷电容器展现出 24.7 J • $cm^{-3}$ 的超高能量密度和 96.5%的极高效率，并具备优异的温度稳定性和循环可靠性。

该工作不仅为理解高熵陶瓷中的极化机制提供了原子尺度的结构证据，也为下一代高性能脉冲功率储能器件的设计开辟了新途径。

# 超级电容储能在新型电力系统短时高频功率补充场景中的应用

近年来，我国电力系统的“高比例可再生能源接入与高比例电力电子设备应用”特性凸显，电力系统结构正在发生深刻变化。电源侧高比例新能源的随机性、间歇性、波动性，电网侧电力电子变换器的接入，以及负荷侧用电设备的随机性、自趋利性等特点，导致系统的功率和能量平衡等问题日益突出，多时间尺度（宽频带）动态、低惯量、低阻尼和弱电压支撑等特性明显，电力系统稳定性面临重大挑战，亟需新型储能技术参与维持电力系统稳定。

超级电容器作为典型的短时高频储能技术，具备高功率密度、长循环寿命、高安全性等特点，极其适用于新型电力系统短时高频功率补充场景，目前已经成为新型储能技术领域研究热点。但是，目前与超级电容相关的综述类文献数量较少，现有文献多聚焦于超级电容电极材料研发及特定场景应用技术研究两个方面，尚无文献系统性总结超级电容在新型电力系统短时高频功率补充场景中的重要作用和代表性应用。

鉴于此，本文首先分析超级电容储能技术的基本原理和特性；在此基础上从火电调频、电网惯量支撑、新能源场站出力波动抑制、车网互动 4 个方面对超级电容储能应用关键技术进行梳理和分析，深入剖析超级电容在具体应用场景的适用性与技术内涵；最后对超级电容储能在新型电力系统短时高频功率补充场景中的应用进行总结。

## 1　超级电容储能技术

### 1.1　超级电容器的定义与分类

超级电容器是一种新兴的电化学储能器件，其性能介于物理电容器和蓄电池之间，通过电极/电解液界面形成的双电层电容或电极表面快速氧化还原反应形成的赝电容进行储能，在恒流充放电过程中，时间-电压关系曲线通常近似为线性。

超级电容器根据储能机理可分为双电层超级电容器、赝电容超级电容器和混合型超级电容器。双电层超级电容器的电极材料主要由活性炭、石墨烯、碳纳米管等碳材料构成，通过静电力作用在电极/电解质界面形成双电层进行能量存储，即在充电过程中，阳离子和阴离子分别向负极和正极移动，

在电极表面形成的紧密吸附层和在溶液一侧形成的扩散层，即 Helmholtz 双电层，该双电层体系可等效为两个串联的平板电容器，通过物理吸附方式实现电荷的静电存储，双电层超级电容器的储能过程不涉及氧化还原反应或相变等化学变化，仅为离子的物理吸附与脱附过程。

双电层电容器的电容量最高可达 104 F 级，但是其能量密度较低，储能时长为 s 级。赝电容超级电容器的电极材料主要由金属氧化物和导电聚合物构成，通过电极材料表面及近表面发生的快速、可逆的法拉第氧化还原反应进行能量存储。与双电层电容器仅依靠离子物理吸附存储电荷不同，赝电容超级电容器在充放电过程中，电极活性物质与电解质中的离子发生化学反应，通过电子转移实现电荷存储。混合型超级电容器融合体相储能+表层储能新机制，一极为双电层，另一极为不完全双电层，兼具双电层超级电容器和电池的特性，在保证功率密度的同时，能量密度显著提升。上述分类所对应的应用场景见表 1。

**表 1　超级电容分类与应用场景**

| 种　类 | 时间尺度 | 应用场景 |
|---|---|---|
| 双电层超级电容器 | s 级 | 风电变桨、交通、能量回收、消费电子及功率波动抑制等 |
| 赝电容超级电容器 | | 尚未实现产业化 |
| 混合型超级电容器 | min 级 | 轨道交通及电力一次调频、二次调频等大容量储能场景 |

### 1.2 超级电容器的基本特性

超级电容器具有循环寿命长、功率密度高、充放电速度快、大电流充放电能力强、工作温度范围广、安全可靠等突出特点，具体分析如下。

1）循环寿命长。双电层超级电容器通过电解液中的正负离子移动在电极-电解液的界面形成两个双电层进行储能，不涉及氧化还原反应，是可逆的物理过程，具有非常好的充放电可逆性，无“记忆效应”，深度充放电循环使用次数可达 50 万次。混合型超级电容器中的锂离子电容器，循环寿命较双电层超级电容器低，但也可达 10 万次以上。

2）功率密度高。由于超级电容器的能量存储过程部分或全部发生在电极材料的表面，不受离子扩散速率的制约，因此可以实现能量的快速存储和释放，输出功率可达 10～106 W/kg。

3）充放电速度快。由于超级电容器充放电过程主要为表面物理过程，不受电化学动力学限制，通常 10 s～10 min 即可达到额定容量的 95%以上。

4）大电流充放电能力强。超级电容器大电流能量循环效率≥90%，特别适用于短时大功率充放电应用场景。

5）工作温度范围广。超级电容器可以在-40 ℃～85 ℃的环境温度中正常使用，具有非常优越的低温特性，可做到低污染和免维护。

### 1.3 超级电容器的典型应用场景

超级电容器在火电、新能源、交通等行业有着突出的应用优势，已形成完整的产业链，在电力领域的应用逐渐增多。超级电容器在电力行业中主要应用于短时高频的功率补充场景，典型应用与对应特性见表 2。

表 2 超级电容器典型应用与对应特性

| 应用领域 | 典型应用 | 时间尺度 | 共性 | 特性 |
|---|---|---|---|---|
| 火电调频 | 一次/二次调频 | s 级/min 级 | 高安全性、长寿命、高功率密度、充放电速度快、高低温特性好、免维护 | 经济性好 |
| 电网惯量支撑 | 静止同步调相机 | s 级 | | 功率密度高、短时支撑与过电流能力强 |
| 新能源场站 | 风机变桨 | min 级 | | 低温特性好、免维护 |
| | 新能源出力波动抑制 | s 级/min 级 | | 功率密度高 |
| 车网互动 | 轨道交通能量回收 | s 级 | | 循环寿命长 |
| | 电动汽车 V2G（vehicle-to-grid) | min 级 | | 循环寿命长 |
| 工业与军用电源 | 不间断电源 | ms 级/s 级 | | 充放电速度快 |
| | 军用脉冲性负载电源 | ms 级 | | 充放电速度快 |

## 2 超级电容储能在火电调频领域的应用

在“双碳”目标驱动下，我国新能源装机规模大幅增长。传统火电机组难以满足日益增长的调频需求，且机组频繁变换功率运行会加重机组设备疲劳和磨损，影响机组运行寿命。通过配置储能辅助火电机组调频，已成为提升火电机组综合电力调频性能的重要技术路径。

储能耦合火电机组调频技术是一种通过储能与火电机组协同出力实现灵活快速响应调频指令的技术。利用储能系统可快速调节输出功率的能力，通过灵活调整储能出力补充电网调频指令与机组输出功率之间的差值来维持电力系统频率稳定，从而在电网频率波动发生初期起到频率支撑作用，达到提升机组调频性能的目的。

传统储能辅助火电机组调频项目中，通常使用锂电池作为储能介质，但锂电池循环寿命较低，通常只有 3000～5000 次，在频繁充放电的调频场景下其运行寿命仅为 3 年左右，后期更换及安全维护成本较高。超级电容具有充放电速度快、寿命长、安全性高的特点，天然适合电力调频场景，且全寿命周期经济性好。

以辽宁某电厂 2 台 350 MW 超临界供热机组为例，配置 10MW/10MW •h 锂电池储能辅助调频系统和 10 MW×10 min 超级电容储能辅助调频系统的经济性对比见表 3。由表 3 可知，尽管超级电容

的初始投资高于锂电池，但由于其循环寿命长，具备一次调频能力，全寿命周期成本低，投资回收期较锂电池短，投资收益率较锂电池高，具有显著的经济优势，更适合火储调频场景。

**表 3　纯锂电池储能与纯超级电容储能辅助调频经济性对比**

| 项　　目 | 10 MW/10 MW •h 锂电池储能 | 10 MW×10 min 超级电容储能 |
|---|---|---|
| 综合调频性能 $K_p$ 参考值 | 2.275 | 2.275 |
| 设计功能 | 二次调频 | 一、二次调频 |
| 储能电芯更换周期/年 | 3 | 10 |
| 总设计年限/年 | 20 | 20 |
| 调节里程/MW | 3000 | 3000 |
| 设备购置费/万元 | 1671 | 1867 |
| 静态投资/万元 | 2300 | 2802 |
| 全寿命投资成本/万元 | 5900 | 3802 |
| 年损耗电量/(MW・h) | 3150 | 3150 |
| 辅助市场开放前两细则调频收益（免考核+调频收益）/万元 | 782 | 804 |
| 投资回收期（税前）/年 | 5.95 | 5.71 |
| 项目投资财务内部收益率（所得税前）/% | 16.82 | 18.95 |
| 辅助市场全部开放后调频收益/万元 | 900 | 900 |
| 投资回收期（税前）/年 | 5.15 | 5.08 |
| 项目投资财务内部收益率（所得税前）/% | 22.47 | 22.65 |

超级电容储能辅助火电机组调频工程呈现出由与锂电池构成混合储能系统的方式到纯超级电容替代锂电池的发展过程。目前，国内已建及在建超级电容辅助火电机组调频项目见表 4。其中，华能罗源电厂项目为全球首例超级电容混合储能辅助火电机组调频项目，华能伊敏电厂项目为全球容量最大的纯超级电容储能辅助火电机组调频项目。

**表 4　全国超级电容辅助火电机组调频项目**

| 项目名称 | 储能规模 | 设计功能 | 建设状态 |
|---|---|---|---|
| 华能罗源电厂 | 5 MW×4 min 超级电容+15 MW/7.5 MW・h 锂电池 | 二次调频 | 已投运 |
| 粤电金湾电厂 | 4 MW×10 min 超级电容+16 MW/8 MW・h 锂电池 | 二次调频 | 已投运 |
| 大唐鲁北电厂 | 4 MW×30 s 超级电容+5 MW/5 MW・h 磷酸铁锂电池 | 二次调频 | 已投运 |
| 华能左权电厂 | 10 MW×6 min 超级电容+10 MW/10 MW・h 锂电池 | 二次调频 | 已投运 |
| 华能阳逻电厂 | 6 MW×10 min 超级电容+14 MW/14 MW・h 锂电池 | 二次调频 | 已投运 |
| 华能伊敏电厂 | 16 MW×10 min 超级电容 | 二次调频 | 已投运 |
| 大唐沈东热电 | 10 MW×10 min 超级电容 | 二次调频 | 建设中 |
| 华能铜川电厂 | 5 MW×10 min 超级电容+15 MW/15 MW・h 锂电池 | 二次调频 | 已投运 |
| 大唐陕西富平电厂 | 5 MW/0.5 MW·h 超级电容+5 MW/15 MW・h 锂电池 | 二次调频 | 已立项 |
| 大唐秦岭电厂 | 10 MW×10 min 超级电容+10 MW/10 MW・h 锂电池 | 二次调频 | 已立项 |

由中国华能集团西安热工研究院自主研制并建设的华能罗源电厂超级电容混合储能辅助火电机组调频项目投运后效果良好，机组综合性能指标提升近 60%，在福建省全省火电、水电机组中处于领先水平，运行首年累计收益 1696.21 万元。

根据华能罗源电厂超级电容与锂电池的实际运行数据，结合表 3 中的超级电容储能与锂电池储能辅助调频经济性分析，可以得到超级电容储能和锂电池储能在火电调频场景的性能对比，见表 5。从表 5 可知，在火电调频场景中，超级电容储能的初始投资成本高于锂电池储能，但运行寿命和簇间运行温差显著优于锂电池储能，在长运行周期内的经济性和安全性更优。

**表 5　超级电容储能与锂电池储能在火电调频场景的性能对比**

| 项　　目 | 超级电容储能 | 锂电源储能 |
|---|---|---|
| 初始投资成本 | 较高 | 较低 |
| 调频性能 | 相近 | |
| 运行寿命/年 | 10 | 2～3 |
| 簇间运行温差/℃ | 最大 5 | 10 |
| 10 年运行周期净利润 | 较高 | 较低 |

## 3　超级电容储能在电网惯量支撑领域的应用

惯量响应是维持电力系统暂态稳定性的重要环节，响应时间尺度为 s 级。传统电力系统中的同步发电机具有惯量支撑的能力，能在频率瞬变时利用自身旋转惯量提供能量，维持电网频率稳定。随着发电侧新能源及高比例电力电子设备接入电网，传统同步发电机组占比逐渐降低，新型电力系统的低惯量特征日益显著，频率瞬变时系统有功支撑能力减弱，电压崩溃风险增大，暂态功角稳定性降低。

超级电容凭借自身充放电速度快、功率密度高、循环寿命长，以及短时支撑能力和短时过电流能力强的特性，相较于锂电池储能等能量型储能器件，更适用于 s 级惯量响应场景。经市场调研，双电层超级电容储能、混合型超级电容储能和锂电池储能（储能+储能变流器 PCS）的功率成本随储能时长的变化如图 1 所示，3 种储能技术路线的全寿命能量成本随储能时长的变化如图 2 所示。

从图中可以看出，在储能时长 8 s 内，双电层超级电容储能的功率成本及能量成本最低，锂电池储能成本最高；在储能时长 8 s～8 min，混合型超级电容储能的功率成本及能量成本最低。因此，在 s 级惯量支撑应用场景中，超级电容储能与锂电池储能相比优势明显。

静止同步调相机（static self-synchronous com- pensator, SSC）是一种以超级电容为储能介质，采用构网型（grid-forming, GFM）控制策略，具备独立电压源特性、自主惯量响应和频率调节功能的电力装备。SSC 采用构网型控制策略，借助控制算法模拟惯量环节，通过逆变器控制超级电容储存的能量的释放，等效为控制同步机惯量机械能或阻尼能量，该控制方法可以根据系统的不同需求灵活调整

SSC 的惯量、阻尼、调频调压系数、响应时间等，还可以实现灵活谐波补偿、灵活负序补偿、灵活抑制阻尼振荡等同步调相机无法实现的功能，可应用在弱联网系统，提高系统短路容量。

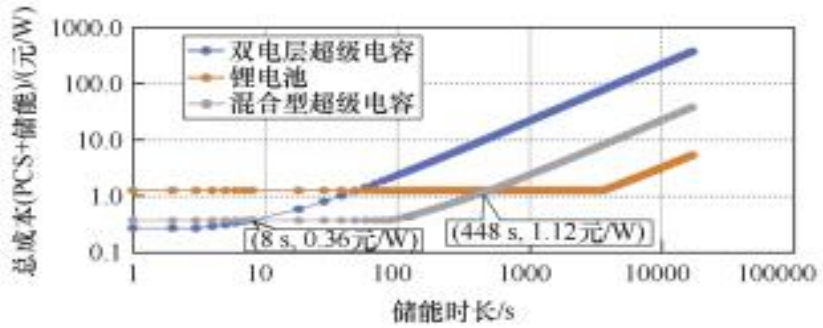



图 1　不同储能的功率成本随储能时长的变化

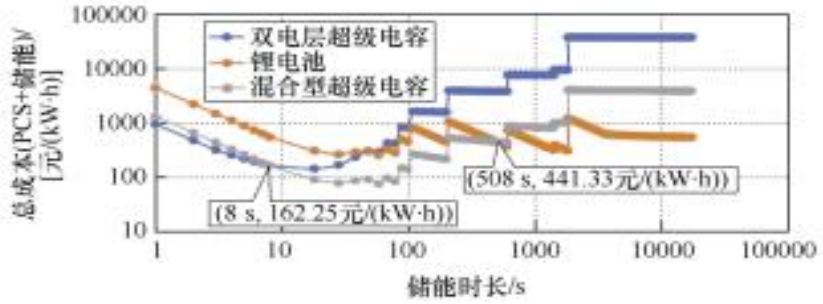



图 2　不同储能的全寿命能量成本随储能时长的变化

SSC 和传统同步调相机一样，均可在系统发生故障瞬间维持内电势恒定，为系统提供电压支撑，但是，二者时域特性等性能存在显著差异。从图 3 所示 SSC 与传统分布式调相机阶跃响应曲线和表 6 中阶跃响应关键参数可以看出，SSC 响应阶跃指令的上升时间显著优于传统分布式调相机；且传统分布式调相机峰值误差较大，存在明显超调，而 SSC 几乎无超调；此外，SSC 的恢复时间极短，而传统分布式调相机恢复时间较长。其中，$P_N$ 为额定功率。SSC 与传统分布式调相机的其他性能对比见表 7。

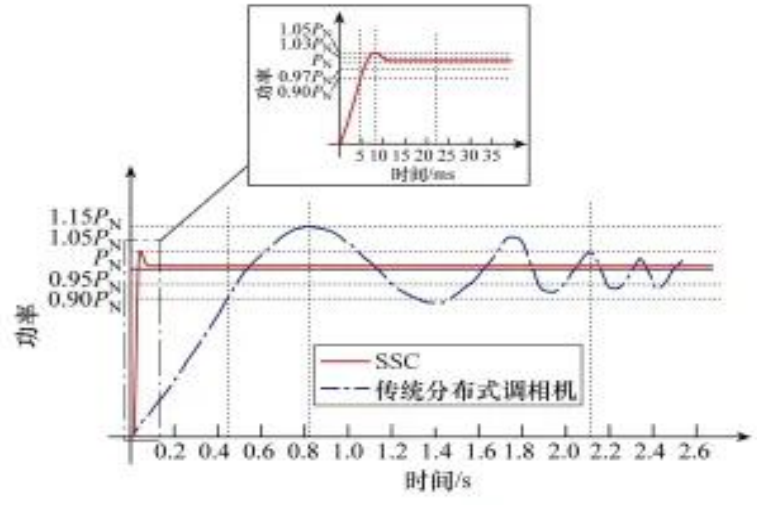



图 3　SSC 与传统分布调相机阶跃响应曲线

图 6　SSC 与传统分布式调相机阶跃响应关键参数

| 参　数 | 传统分布式调相机 | SSC |
|---|---|---|
| 上升时间/ms | 500～800 | 5 |
| 峰值误差 | 15%$P_N$ | 5%$P_N$ |
| 稳定时间 | s 级 | ms 级 |
| 稳定范围 | 在（1±5%）$P_N$ 的范围内波动 | 稳定于（1±3%）$P_N$ 附近 |

表 7　SSC 与传统分布式调相机的其他性能对比

| 项　目 | 传统分布式调相机 | SSC |
|---|---|---|
| 设备类型 | 旋转设备 | 静止设备 |
| 调频 | 有 | 高性能 |
| 调压 | 有 | 高性能 |
| 惯量 | 不可调 | 可调 |
| 阻尼 | 不可调 | 可调 |
| 调节时间 | s 级 | 10 ms 级 |
| 成本 | 高 | 低 |
| 运维难度 | 高 | 几乎无需维护 |

目前，主流的 SSC 拓扑结构方案有 2 种：一种是南瑞继保研发的 PCS9585，其拓扑结构如图 4 所示，采用超级电容直接并用直流电容的方案，系统结构简单；另一种是上海思源电气研发的双星形 SSC，其拓扑结构如图 5 所示，采用将超级电容连在两个静止无功发生器（static var generator, SVG）之间并网的方案，所需超级电容的数量减少，成本降低。

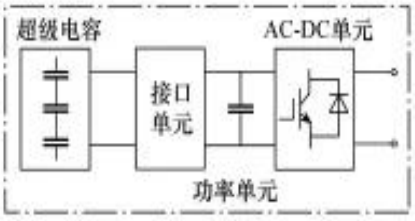



图 4　PCS9585 功率单元拓扑结构

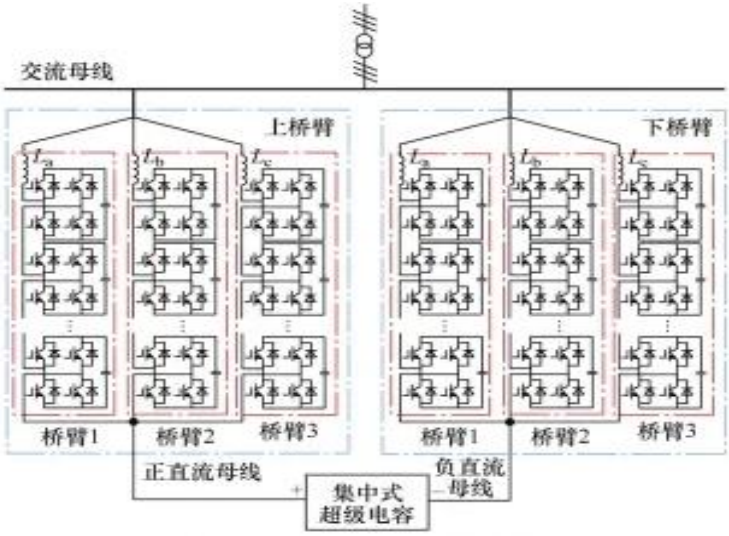



图 5　双星形 SSC 拓扑结构

目前，针对基于构网型储能技术的静止同步调相机的研究仍处于示范应用阶段。由南瑞继保生产的世界首套静止同步调相机于 2024 年 2 月在吉林华能八面风电场正式投运。该项目所进行的多层级全电磁暂态仿真和过载能力、惯量响应、实际电压小扰动等 19 项现场试验成功验证了静止同步调相机的实际性能，可以为电力系统提供故障瞬时保护和主动稳定支撑。

## 4 超级电容储能在新能源场站的应用

### 4.1 风电变桨后备电源

变桨距控制系统是大型并网风电机组的核心部件之一，对机组的安全稳定运行起着重要作用。变桨距控制系统位于风电轮毂中，其工作原理是根据不同风速和风向实时调整桨距角，从而改变气流对风机叶片的攻角，实现风机机械载荷最小化。

为了保证变桨过程的安全性，风机变桨系统均配备储能装置作为后备电源，风机正常运行时储能装置通过充电器浮充电至额定电压，当桨距角需要调整时由储能装置提供大电流，保证顺利变桨；当电网故障时由储能装置提供能量，防止风机转速跌落，保证风机维持一定转速至安全角度收桨，确保风机安全停运；此外，在并网点电压跌落时，储能后备电源还可以增强风电机组的低电压穿越能力。

传统的变桨控制系统后备电源多以铅酸蓄电池为主，成本较低，但由于风电场极端天气较多，最低温度可达-40℃，对后备电源的低温特性要求高，且风电场运行状况受环境因素影响较大，后备电源须频繁动作，对储能系统的循环寿命要求高。铅酸蓄电池在低温条件下容量大幅减少，性能显著下降，难以满足风电机组的变桨需求，且自身循环寿命短，在风电机组设计周期内需多次维护与更换，电池模块的初始投资和后续更换与维护费用占变桨系统总投资的 50%以上，对系统的经济性产生负面影响。

超级电容低温特性好，可以在-40℃的低温环境下正常使用，且循环寿命长、运行过程中免维护，虽然初始投资较蓄电池高，但考虑后期运维与更换成本，超级电容储能的全寿命周期成本更低，是一种理想的风机变桨后备电源。超级电容储能作为后备电源的风机变桨控制系统拓扑结构示意图如图 6 所示。

据统计，全球已有超过 30%的风力涡轮机安装了超级电容储能作为后备电源，首批系统由德国风能公司 Enercon 于 2006 年安装使用，Maxwell、Skeleton Technology、LICAP、UCAP Power 等公司推动了超级电容在风电变桨领域的全球性业务推广与应用。

其中，Maxwell 专门开发了包含被动平衡电路的针对风电桨距控制的超级电容模块 BOOSTCAP；

Skeleton Technology 与欧洲风力涡轮机服务商 Empower 4Wind 合作，将开发出的 SkelMod 17 V、171 V 超级电容模块应用于波罗的海沿岸和北欧地区的风电场站。根据预测，2027 年全球超级电容在

风力变桨领域应用的市场规模将达到 3.479 亿美元，复合年增长率 15.12%。

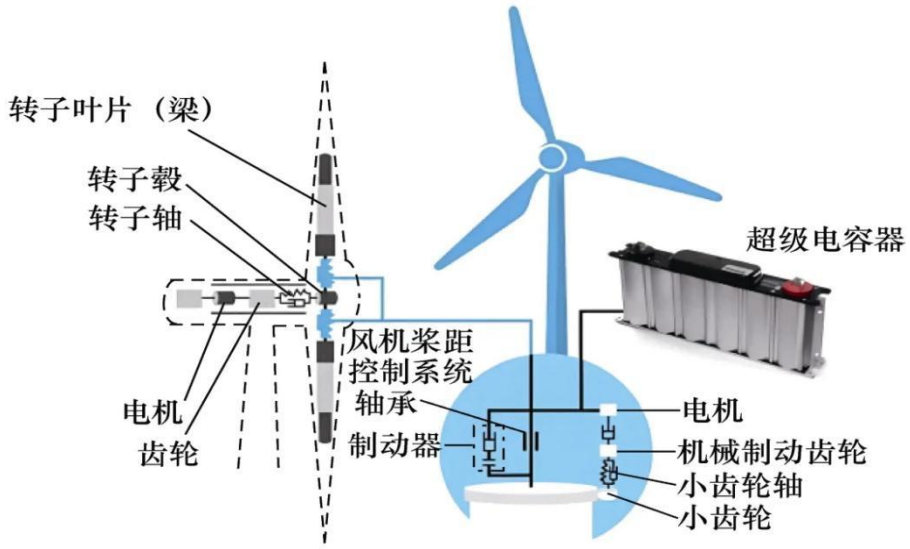



图 6　超级电容储能作为后备电源的风机变桨控制系统拓扑结构示意图

### 4.2　新能源出力波动平抑

新能源输出功率受天气条件变化等因素影响较大，具有随机性、间歇性、波动性等特点。以光伏发电为例，受云层变化影响，其输出功率有时会在 5 min 内出现 80%的波动，如果将其直接并入电网会对电网的稳定性造成极大影响。国家电网的统计数据显示，2019 年全国新能源日最大功率波动达 1.07 亿 kW，占总装机的 31%，新能源平抑与消纳问题亟待解决。储能可以补偿新能源出力波动，平滑新能源并网输出功率，还可以对用电峰谷进行调节，已成为辅助新能源发电的关键技术。

超级电容储能可以独立对短时间尺度下的波动进行平抑，也可以通过参与构成“能量型储能器件（电池）+功率型储能器件（超级电容）”混合储能系统的方式实现对多时间尺度下波动的平抑，延长电池的寿命。张步涵等提出一种利用串并联型超级电容储能系统平抑风电输出功率波动的方法，并联补偿用于平滑出力，串联补偿用于抑制电压暂降，保障电压稳定性。郑新昊等提出一种光伏直流微电网并网模式下超级电容对并网电流脉动补偿控制方案，提高电能质量。MASAKI M S 等利用南非某社区实际太阳辐照量数据进行仿真，验证了超级电容的加入可以在平滑光伏输出功率的同时延长电池储能系统的使用寿命。

2016 年，杜克能源公司在北卡莱罗纳州 Gaston 变电站部署了一套超级电容器与电池的混合储能系统，其中超级电容容量为 100 kW/300 kW・h。该混合储能系统采用 Maxwell 超级电容器，用来平抑短时快速的光伏出力波动。目前，在风电场中应用的超级电容储能规模均较小，通常在 1 MW 以下。2015 年 11 月正式投入示范运行的国电集团北镇风电场（1 MW×2 min）超级电容储能示范项目，是当前世界上规模最大的风电场超级电容储能系统。

## 5　超级电容储能在车网互动领域的应用

### 5.1　超级电容在轨道交通能量回收中的应用

地铁列车多采用接触网的方式运行，列车起动时从电网吸收能量并将其转化为自身动能，列车制动时将动能转化为电能回馈至接触网，实现能量交换。由于地铁列车站间间隔距离较短，列车制动、起动频繁，产生大量制动再生能量，不处理会导致接触网电压升高，影响正常起动、制动过程并造成大量能量浪费。通过超级电容储能设备吸收多余的制动能量，抑制直流电网电压升高，并在车辆加速时释放，减少列车起动时对电网牵引功率的需求，可在减小电网负荷的同时有效利用回收的能量，并为电网提供电压支撑。超级电容储能制动能量回收系统示意图如图 7 所示。

目前，超级电容已被广泛应用于地铁制动能量系统中，主流的制造商有 ABB、旁巴迪、西门子和 Adetel 等。ABB 公司的 Enviline EES 在墨尔本、华沙等城市的地铁中均有应用，其中华沙 3.3 MW/11.1 kW・h 超级电容储能装置是全球容量最大的超级电容能量回收系统，每天可节约 3000 kW・h。2014 年，ABB 将 Maxwell 的超级电容器用于美国费城地区东南宾夕法尼亚州交通局（Southeastern Pennsylvania Transportation Authority, SEPTA）的铁路能量回收项目，用于回收列车制动时的能量。实际运行数据表明，该超级电容器能量回收系统投运后，SEPTA 铁路车辆耗电量降低 20%左右，平均每天可以回收 1.5～2 MW・h 的能量。

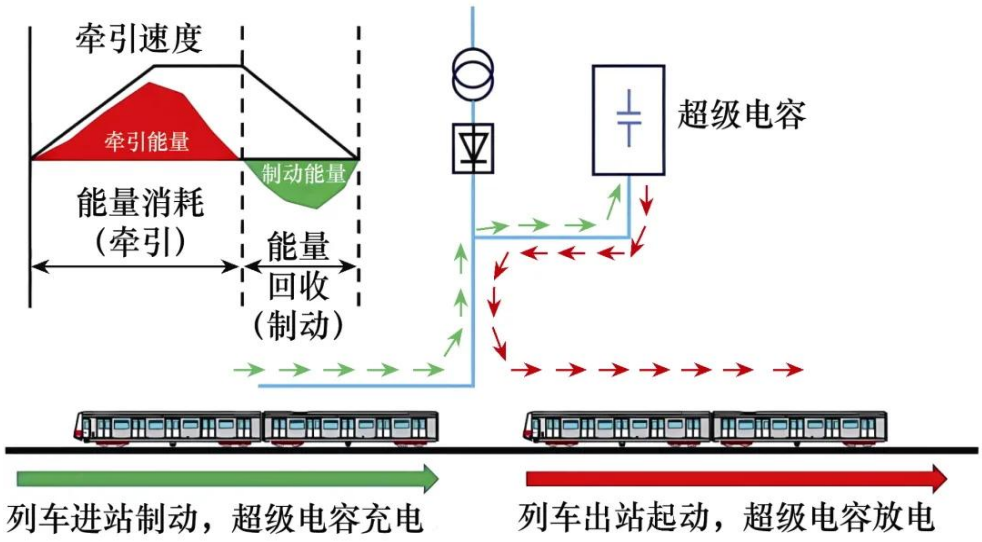



图 7　超级电容储能制动能量回收系统示意图

此外，该系统回收的多余能量还可以供给美国电力联营体，用于频率调节服务。2016 年，国内首套具有自主知识产权的 1500 V 地铁列车用超级电容器储能装置，在广州地铁 6 号线浔峰岗站正式挂网运行。广州地铁 6 号线接触网加装 DC 1500 V 线路超级电容储能装置后，日平均向接触网回馈电能 1500 kW・h，能量回送效率超过 90%，实现了对接触网电压的“削峰填谷”，有效维持了接触

网电压稳定。此外，还降低了系统产热，减小了冷却系统的压力和冷却系统工作用电消耗量。2020年，由北京交通大学自主研制的世界首套 MW 级城轨交通地面式超级电容/电池混合储能装置在北京地铁八通线梨园站挂网试验成功，工作日日均节能 1500 kW·h，节电率达 14.4%。

### 5.2 超级电容在电动汽车 V2G 中的应用

电动汽车 V2G 模式的基本原理是，将电动汽车视为并网储能装置，通过双向能量传输实现车网互联。传统电动汽车多采用锂电池作为自身动力源，当电动汽车处于 V2G 模式下时，频繁的充放电会导致电池寿命降低。有文献指出，电池的寿命损耗已成为 V2G 技术推广应用的一项重大技术挑战，在 30%～90%荷电状态（state of charge, SOC）范围内循环充放电为电网提供支撑，会导致车用锂电池寿命大幅降低。同时，当汽车所连接电网出现大规模短时功率波动时，由于锂电池功率密度低，难以进行超短时快速响应。将超级电容与锂电池组合构成兼具高能量密度和高功率密度的混合动力系统，可以提升 V2G 模式下电动汽车对电网需求的响应能力，延长车用锂电池的寿命。

目前，电动汽车 V2G 技术主要以家用微电网后备电源和负荷聚合商两种模式进行应用。在聚合商模式下，车用超级电容可以参与电网调峰调频服务，促进新能源消纳，提升电力系统稳定性。当前，相关技术与政策正处于发展阶段，尚未大规模应用。2024 年 3 月，广汽能源在广汽埃安 V2G 示范中心成功完成了全国首例 V2G 技术与虚拟电厂结合的二次调频实车试验，也是全国首个车-网调频互动示范案例。

## 6 结论

在新型电力系统建设的新挑战下，本文梳理了超级电容在多领域应用的关键技术与应用现状，剖析了超级电容在短时高频功率补充场景中发挥的优势特性，得出如下结论：

1）超级电容具备高功率密度、长循环寿命、宽工作温域、充放电速度快、短时支撑与过电流能力强等优势特性，适用于火电调频、电网惯量支撑、风力变桨、制动能量回收、新能源出力波动抑制等多种电力应用场景，保障新型电力系统安全稳定运行。

2）超级电容在火储调频领域展现出卓越的性能，可以显著提升机组调频性能，与锂电池相比，其运行温度低、温差小，安全性高；且全寿命周期成本低，投资回收期短，投资收益率高，未来有望实现全容量替代，应用前景广阔。

3）目前，对不同场景所应用的超级电容的类型尚未有明确的划分，未来需要对超级电容的选型、运行状态与安全性评估、成本效益等形成规范的评价体系，建立完善的电力储能用超级电容技术标准体系。

4）超级电容作为一种新型储能器件，在部分应用场景中仍处于示范应用阶段，但由于其自身性

能的优越性，目前已在新型电力系统短时高频应用场景中展现出显著优势。未来随着超级电容产业技术的发展和市场需求的增加，超级电容的成本将进一步下降，应用范围将进一步扩大，有望推动我国新型储能产业快速升级，促进我国新质生产力的高质量发展。

# 二氟卡宾接枝多孔碳用于高功率超级电容器

**【研究背景】**

超级电容器的性能核心在于电极材料的微观结构、电子状态与化学组成。多孔碳因其高比表面积和良好的结构稳定性，被视为理想的电极材料。

利用食品加工副产品——夏威夷果壳制备多孔碳，不仅实现了废弃生物质的高值化利用，也为可持续能源存储提供了新途径。然而，生物质衍生多孔碳常面临两大瓶颈：一是孔道结构不佳，缺乏合理的孔径分级，导致离子传输阻力大；二是表面化学特性复杂，残留的含氧官能团等会降低电子导电性，严重制约器件的功率密度。为突破上述瓶颈，研究者通常采用构建分级孔结构、实施石墨化处理或引入杂原子掺杂等策略，以协同优化材料性能。其中，氟（F）原子因具有最高的电负性，掺杂后可形成强极化的 C-F 键，在调控电荷分布、引入结构缺陷的同时，较好地保持原有孔隙结构，因而成为一种兼具双重功能的改性策略。

然而，现有的氟化方法（如等离子体氟化、气相氟化）虽能实现 F 元素的引入，却普遍存在反应条件苛刻、选择性差、易破坏碳骨架等不足，难以满足精准修饰的需求。因此，开发一种温和、可控且能实现对碳材料表面化学精准调控的氟化新方法，对于推动高性能超级电容器电极材料的发展具有重要意义。

**【工作简介】**

近日，西南交通大学杨维清教授团队道了一种二氟卡宾（:CF2）接枝策略，通过气-固反应路径对夏威夷果壳衍生多孔碳（MNSAC）的表面羰基进行氟化修饰。

该过程有效诱导碳骨架中电子密度的重新分布，同时重构微孔-介孔结构，由此产生的协同效应显著提升电荷传输效率与离子储存能力。优化后的氟化夏威夷果壳多孔碳（F-MNSAC）压实密度达 0.64 g • $cm^{-3}$，电导率为 3.34 S • $mm^{-1}$，总孔容为 1.213 $cm^3$ • $g^{-1}$。

基于 F-MNSAC 的超级电容器在 1 A • $g^{-1}$ 电流密度下的比容量为 33.63 F • $g^{-1}$，并具备卓越的倍率性能（50 A • $g^{-1}$ 下容量保持率为 86.6%），优于商业化碳材料 YP-50F。器件在 61.2 kW • $kg^{-1}$ 的高功率密度下，能量密度高达 24.1 Wh • $kg^{-1}$。本研究为高性能多孔碳材料的开发建立了新范式，并为下一代高功率超级电容器的发展奠定了坚实的技术基础。该文章发表在国际知名期刊 Journal of Energy Chemistry 上。西南交通大学杨维清教授、冯桂林博士为论文共同通讯作者，顾楷博士和陈珍玉硕士为论文共同第一作者。

**【内容表述】**

**1. 接枝策略概念设计**

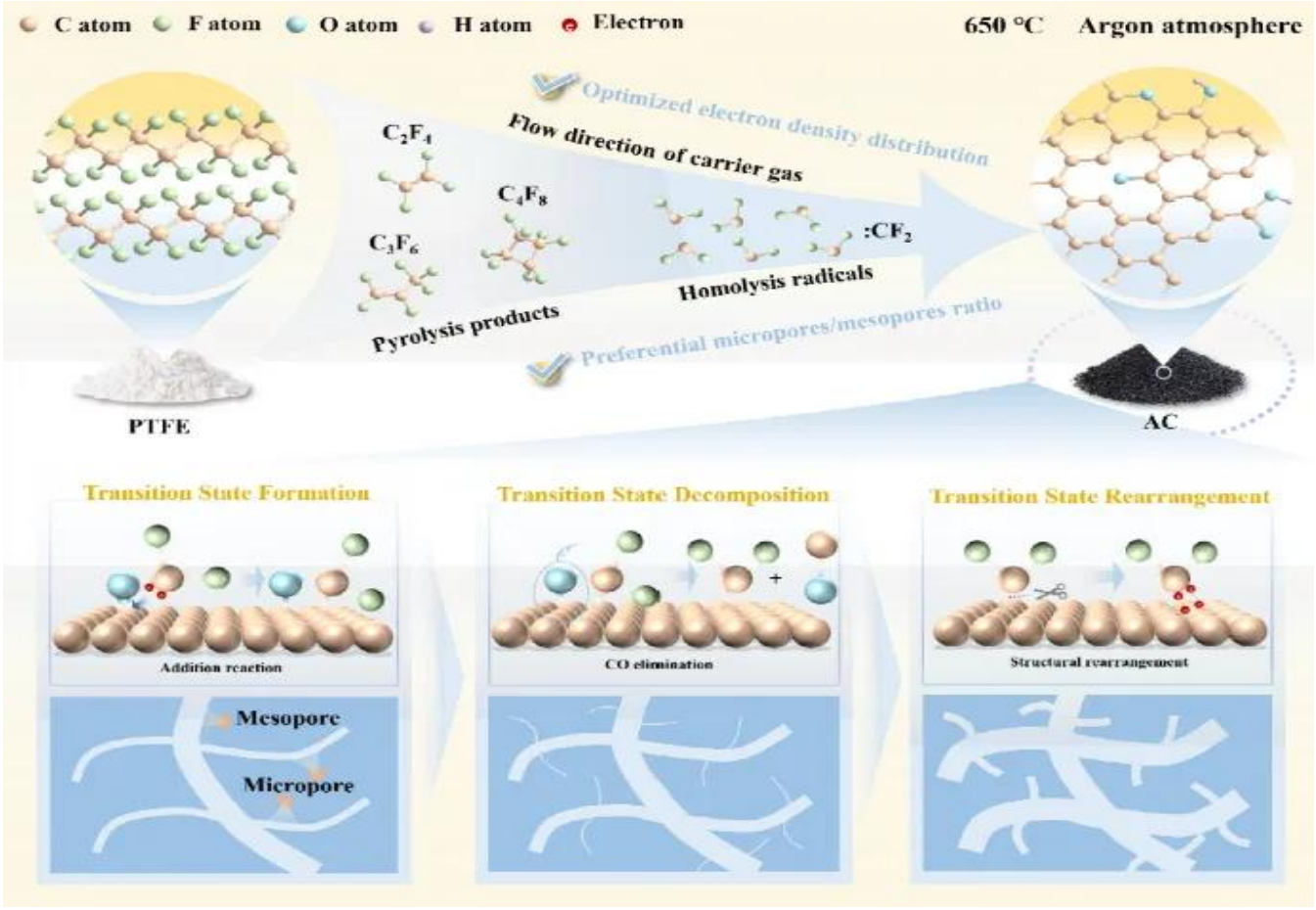



图 1　:$CF_2$ 接枝策略示意图

图 1 展示了:$CF_2$ 接枝策略的设计概念。聚四氟乙烯（PTFE）热解产生:$CF_2$，通过气-固反应主导的接枝机制将 F 原子引入碳网络。具体而言，在 650 ℃的氩气（Ar）气氛下，近载气入口的 PTFE

粉末近乎完全热解，生成四氟乙烯（$C_2F_4$）、六氟丙烯（$C_3F_6$）和八氟环丁烷（$C_4F_8$）等小分子氟碳化合物。高温下，这些化合物进一步均裂为高反应活性的:$CF_2$。:$CF_2$ 的分子尺寸紧凑（C-F 键长约 1.30 Å，F-C-F 键角约 104.86°），动力学直径约 2.5 Å，显著小于 Ar 分子（~3.4 Å），因此可在 Ar 气流中自由迁移并到达碳材料表面。更重要的是，:$CF_2$ 的动力学直径也小于评估微孔（< 2 nm）孔隙度的标准探针——氮气（N2）分子（3.64 Å），使其能够穿透微孔，甚至 $N_2$ 无法进入的超微孔，实现材料的整体体相氟化。:$CF_2$ 经载气传输吸附于近载气出口的多孔碳表面，启动接枝过程。接枝机制包含三个关键阶段：（i）过渡态形成：在强亲电-亲核相互作用下，:$CF_2$ 的碳原子与 C=O 的氧原子结合形成 C-O 键，同时与 C=O 的碳原子相互作用形成 C-C 键，共同构成不稳定的四元环状过渡态；（ii）过渡态分解：由于显著的环张力，该过渡态迅速分解并释放一氧化碳（CO）分子；（iii）重排：伴随 CO 释放，结构快速重排，将>C-$CF_2$ 部分整合到碳骨架中。需注意，在最终形成的>C-$CF_2$ 结构中，连接两个 F 原子的卡宾碳原子通过一个共价键与碳骨架结合，其第四价电子由共轭体系或相邻原子容纳，从而融入整体碳网络。

**2. 改性多孔碳的物化性质**

为深入探究接枝机理并验证F-MNSAC表面改性的成功，进行了一系列表征。对MNSAC与PTFE的混合物进行了热重-质谱（TG-MS）测试，温度范围为室温至650℃。

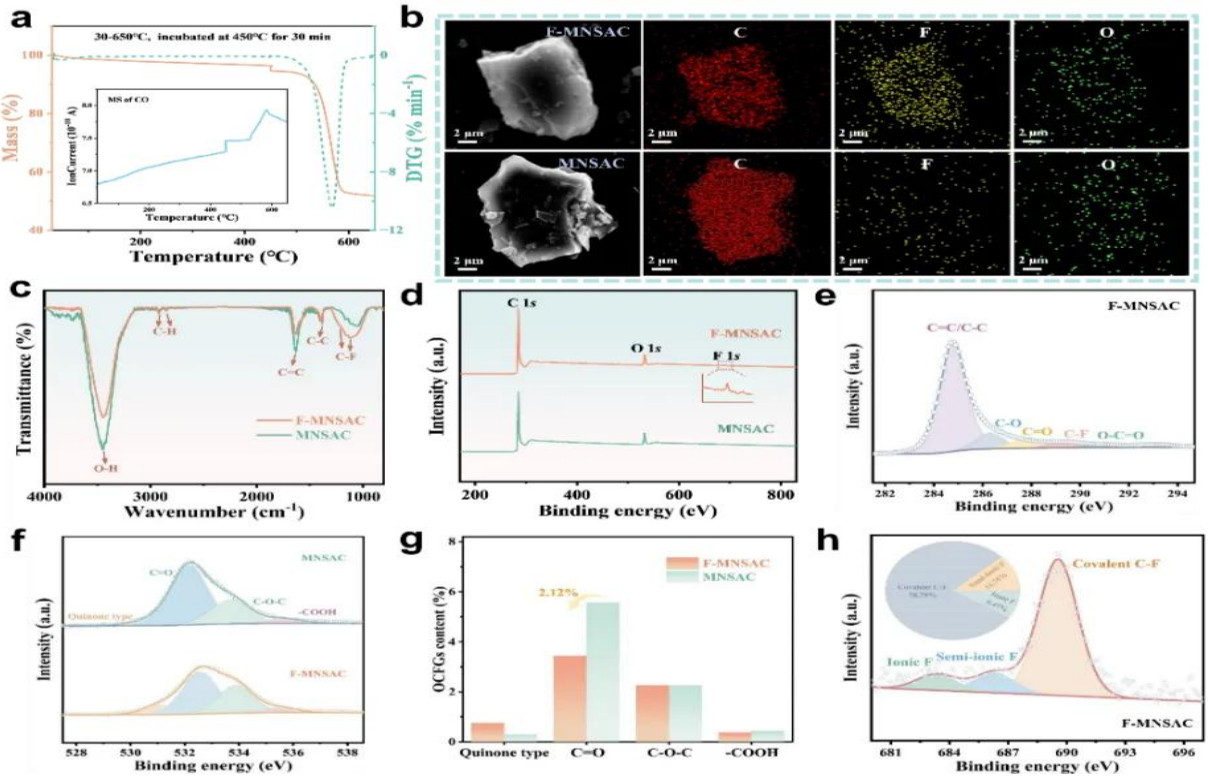



图 2 （a）MNSAC 与 PTFE 混合物的 TG-MS 分析；（b）EDS mapping 证实 F 的成功引入；F-MNSAC 和 MNSAC 的（c）FT-IR 图谱；（d）XPS 全谱；（e）高分辨 C1s 谱；（f）高分辨 O1s 谱；（g）氧官能团定量对比分析图；（h）高分辨 F1s 谱

质谱曲线表明混合物的气体分解产物中存在 $C_2F_4$、$C_3F_6$、$C_4F_8$ 以及 CO（图 2a）。能谱分析（EDS）显示，与 MNSAC 相比，F-MNSAC 表面可以观察到明显且密集分布的 F 元素信号，初步证明了 F 的引入（图 2b）。傅里叶变换红外光谱（FT-IR）中，F-MNSAC 在 1150 $cm^{-1}$ 处出现了一个明显且宽的 C-F 吸收峰，表明了 F 原子可能成功键合到碳骨架上（图 2c）。基于 F 原子极高的电负性及其与碳的成键特性，可以预期所形成的 C-F 键具有强极性且主要为共价键。XPS 全谱证实 F-MNSAC 中存在 C、O、F 元素，而 MNSAC 仅含 C 和 O 元素（图 2d）。值得注意的是，高分辨 C 1s 谱表明，明显的 C-F 组分仅出现在 F-MNSAC 中，相对含量为 4.30%（图 2e）。同时，高分辨 O 1s 谱进行进一步表明，氟化后 F-MNSAC 中 C=O 含量减少了 2.12%（图 2f-g）。令人惊讶的是，C-F 含量的增加与 C=O 含量的减少基本满足 2∶1 的比例，这与前文所述机制相吻合。这一定量关系与 TG-MS 证据共同表明，反应过程中:$CF_2$ 优先靶向 C=O 位点，通过取代 C=O 基团引入 F 原子。此外，高分辨 F 1s 谱的结果显示（图 2h），共价 C-F 键占主导，其强极性能够诱导显著的吸电子效应，有助于提高 F-MNSAC 的本征电导率。

已有研究表明，杂原子掺杂往往会破坏碳网络中的π-π共轭结构，降低本征电导率并阻碍离子传输。然而，四探针测试显示，在同等屈服强度下 F-MNSAC 具有 0.64 g • $cm^{-3}$ 的高压实密度（图 3a）和 3.34 S • $mm^{-1}$ 的优异电导率（图 3b）。

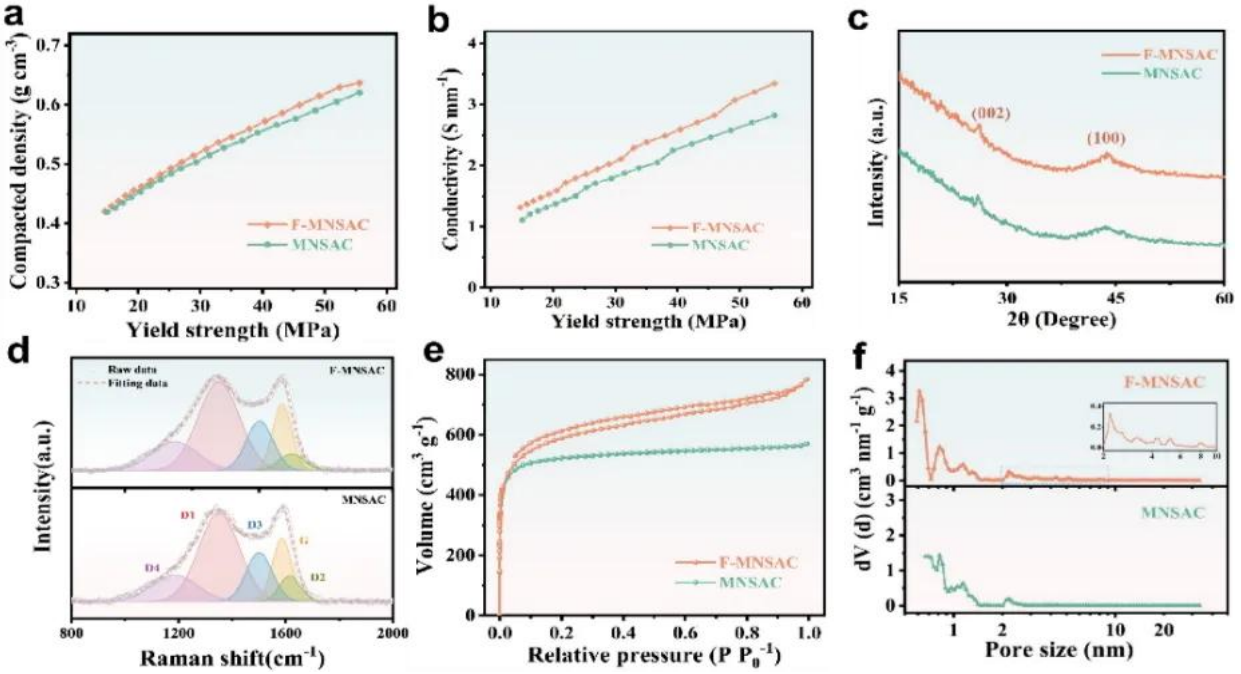



图 3　F-MNSAC 和 MNSAC 的结构及物理性质。（a）粉末压实密度随屈服强度的变化；（b）电导率随屈服强度的变化；（c）XRD 图；（d）Raman 光谱及分峰结果；（e）$N_2$ 吸附/脱附曲线；（f）孔径分布曲线

这一现象源于氟原子诱导的电位重分布，建立了有效的电子泄漏路径，从而保留了材料的优异电子传输能力。XRD 显示两种材料均在 26°和 44°附近出现宽衍射峰，对应石墨的（002）和（100）

晶面，表明以无定形结构为主（图 3c）。拉曼光谱进一步证实了缺陷与有序域共存的无定形碳特征（图 3d），F-MNSAC 的 ID/IG 比值（3.19）高于 MNSAC（2.99），说明:$CF_2$ 接枝引入了部分结构缺陷。D3 峰面积增大，表明 sp2-sp3 杂化结构增强，与接枝机制（每个消耗的 C=O 引入两个 C-F 键）一致。$N_2$ 吸脱附测试表明（图 3e），MNSAC 呈现 I 型等温线，微孔占总孔容的 88.0%。相比之下，F-MNSAC 呈现 IV 型等温线并伴有明显滞后环，表明介孔的成功引入（图 3f）。微-介孔分级结构的形成归因于两个协同机制：（i）KOH 活化阶段产生大量微孔，部分微孔扩展为介孔；（ii）接枝阶段，:$CF_2$ 选择性取代 C=O 并释放 CO，气体产生导致相邻微孔壁局部刻蚀或融合，将部分微孔转化为介孔。介孔作为离子传输通道和“桥梁”，与微孔协同优化了离子扩散效率。F-MNSAC 的总孔容（1.213 $cm^3 \cdot g^{-1}$）和比表面积（2179.8 $m^2 \cdot g^{-1}$）均高于 MNSAC，证明氟化过程和高压实密度并未损害内部孔隙结构，且提供了更丰富的离子吸附位点，预示更高的电荷存储能力。

**3. 电化学性能及行为**

为系统评估样品的电化学性能，我们以 F-MNSAC 和 MNSAC 为电极材料，在 1 M $Et_4NBF_4$/AN 有机电解液中构建了对称型扣式超级电容器。循环伏安（CV）测试表明，F-MNSAC 在 20-1000 mV $s^{-1}$ 的扫速下均保持准矩形形状，无显著氧化还原峰，说明 F 的引入未诱导明显的赝电容效应，储能机制仍以双电层物理吸附/脱附为主（图 4a-b）。

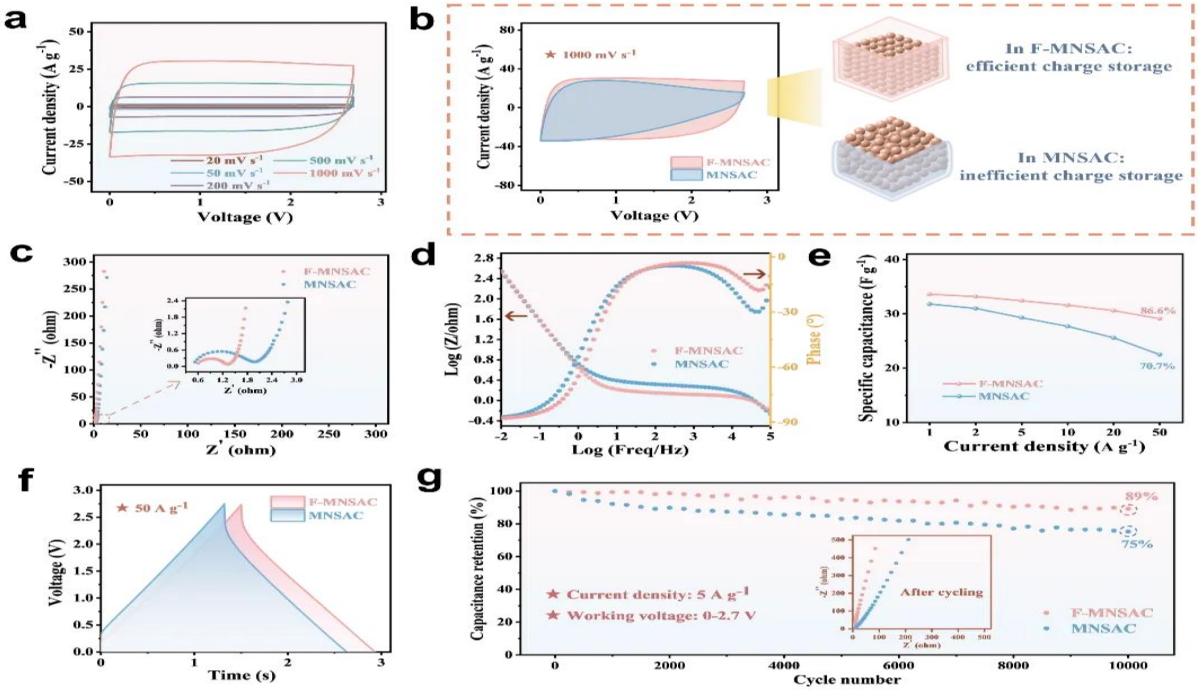



图 4　基于 F-MNSAC 和 MNSAC 电极的超级电容器电化学性能。（a）20-1000 mV • $s^{-1}$ 扫速下的 CV 曲线；（b）1000 mV • $s^{-1}$ 扫速下的 CV 曲线；（c）Nyquist 图；（d）Bode 图；（e）1-50 A • $g^{-1}$ 电流密度下的比电容；（f）50 A • $g^{-1}$ 电流密度下的 GCD 曲线；（g）5 A • $g^{-1}$ 电流密度下的循环性能

电化学阻抗谱（EIS）测试展示了 F-MNSAC 基超级电容器更小的电荷转移电阻（$R_{ct}$=0.67 Ω），

在 Nyquist 图中表现为更小的高频区半圆直径，与其更高的电导率一致。低频区更接近垂直的线段，表明其双电层响应特性更优（图 4c）。Bode 图分析反映了 F-MNSAC 更优的离子扩散能力和更快的电容响应，适合高倍率充放电场景（图 4d）。恒电流充放电（GCD）测试表明，F-MNSAC 在 1 A •$g^{-1}$ 时的比容量为 33.63 F • $g^{-1}$（图 4e），优于 MNSAC（31.83 F • $g^{-1}$）和商用 YP-50F（~27 F • $g^{-1}$）。在 50 A • $g^{-1}$ 高电流密度下，F-MNSAC 的容量保持率高达 86.6%，展现出卓越的倍率性能（图 4f）。相应地，F-MNSAC 实现了 33.9 Wh •$kg^{-1}$ 的能量密度和 1.3 kW •$kg^{-1}$ 的功率密度；即使在 61.2 kW •$kg^{-1}$ 的高功率密度下，其能量密度仍保持在 24.1 Wh • $kg^{-1}$。进一步地，在 5 A • $g^{-1}$ 下测试了 F-MNSAC 的循环稳定性（图 4g）。在循环 10000 次后，F-MNSAC 基超级电容器的容量衰减率仅为 11%，远低于 MNSAC 的 25%，展现出优异的稳定性。同时，循环后的 EIS 分析表明，F-MNSAC 的阻抗仍低于 MNSAC，这归因于 C-F 键的高键能增强了电极的抗降解能力，从而延缓老化过程，延长器件循环寿命。

**4. 理论计算及机制分析**

为揭示:$CF_2$ 接枝策略的协同优化机理，我们结合密度泛函理论（DFT）计算与原位 FT-IR 光谱进行了深入研究。DFT 计算表明，高电负性 F 原子的引入打破了碳骨架原有的电荷分布对称性，诱导电子密度重排（图 5a）。

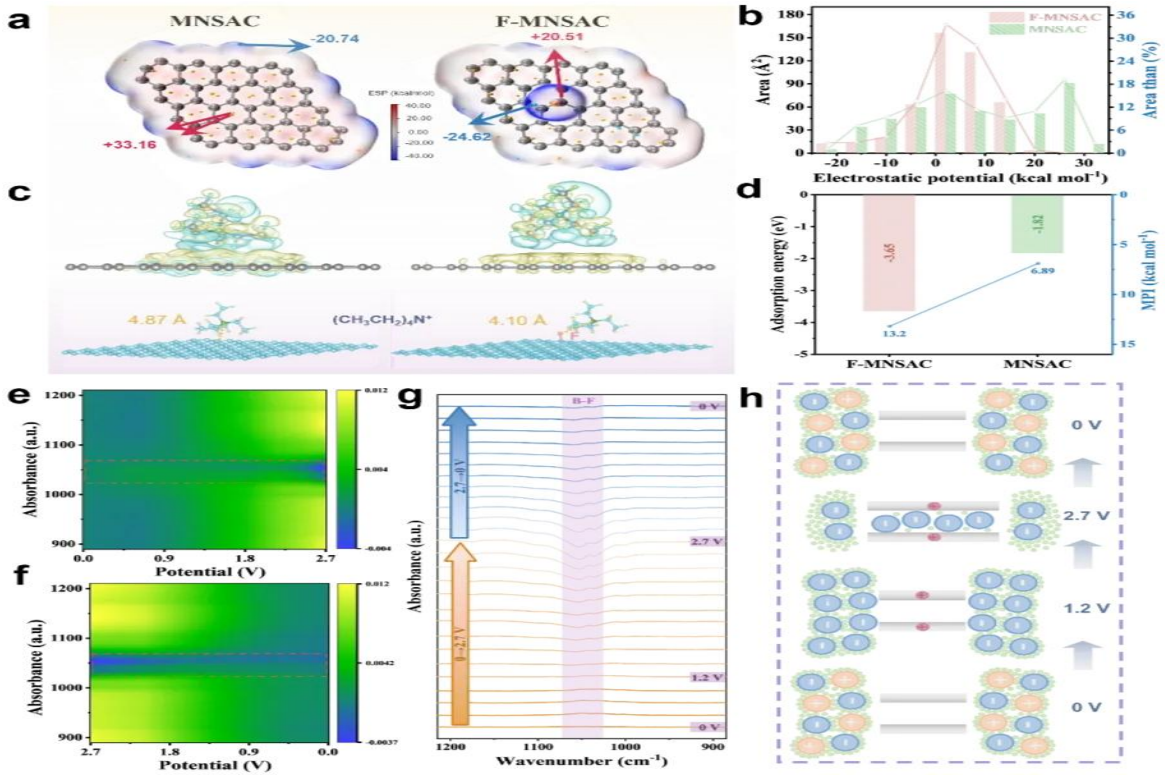



图 5　基于 F-MNSAC 和 MNSAC 材料 DFT 模型的（a）静电势图；（b）表面静电势分布；（c）电解质离子的吸附模型（上）和差分电荷密度图（下）；（d）吸附能值；基于 F-MNSAC 原位 FT-IR 的（e）充电阶段等高线图；（f）放电阶段等高线图；（g）不同电位下的原位 FT-IR 光谱图；（h）充放电过程中离子转移机制示意图

静电势分析显示，氟化后材料的表面电荷分布整体负移并集中于 0-10 kcal mol-1 范围，表面电荷特性得到优化（图 5b）。差分电荷密度图直观展示了氟化后材料的电子重分布（图 5c）。吸附能计算表明，F-MNSAC 对有机电解质离子 $(CH_3CH_2)_4N^+$ 的吸附能绝对值达 3.65 eV，显著高于 MNSAC 的 1.83 eV，证实 F 原子的修饰大幅增强了电极材料对电解质离子的吸附能力，从而提升电荷存储效率（图 5c-d）。共价 C-F 键在接枝位点附近产生局域晶格畸变与原子尺度应变，调控周边电荷密度分布，形成局域富电子/缺电子区，促进载流子迁移，这是提高掺杂体系电子电导率的有效机制。进一步地，我们采用原位 FT-IR 光谱研究了充放电过程中离子的迁移规律（图 e-h）。基于 B-F 特征峰强度变化，提出不同电压区的离子迁移机制（以充电为例）：（i）低压区（0-1.2 V）：溶剂化离子在介孔/大孔中聚集形成双电层，界面离子浓度高于体相；（ii）临界电压（~1.2 V）：离子获得足够能量克服溶剂化作用，发生去溶剂化并嵌入微孔，对应红外光谱由正峰向负峰的转变；（iii）高压区（1.2-2.7 V）：去溶剂化成为主导，更多离子进入微孔实现高密度储能，完整溶剂壳层的界面离子浓度快速下降。综上，F 元素的引入不仅优化了电子电导率，还通过强极性 C-F 键增强电解质离子吸附力，协同降低离子传输能垒，使材料在高倍率充放电下仍保持高效电荷存储能力。

**5. 最终核心结论**

总之，这项工作创新性地开发了一种用于修饰多孔碳的二氟卡宾接枝策略。我们系统阐明了材料物理化学特性与电化学性能之间的构效关系，建立了氟增强电解质离子吸附的理论模型。

高电负性的氟官能团接枝在碳骨架上，由于强烈的吸电子效应，多孔碳碳骨架内的电子密度发生显著重分布，扩展了载流子迁移域，显著提升了电导率。同时，接枝的氟原子在选择性取代 C=O 基团的过程中释放 CO，对碳骨架产生可控的刻蚀效应，促进部分微孔转化为介孔，从而合理调控孔隙层级以增强离子传输。这种定制化的孔隙结构显著加速了电解质离子的扩散，优化了微孔的电荷存储能力。优化后的 F-MNSAC 材料展现出高电导率（3.34 $S \cdot mm^{-1}$）和大孔容（1.213 $cm^3 \cdot g^{-1}$）。

凭借这些优异特性，基于 F-MNSAC 的超级电容器实现了卓越的电化学性能：在 1 $A \cdot g^{-1}$ 下比电容为 33.63 $F \cdot g^{-1}$，在 50 $A \cdot g^{-1}$ 下容量保持率高达 86.6%，功率密度和能量密度分别达到 61.2 $kW \cdot kg^{-1}$ 和 24.1 $Wh \cdot kg^{-1}$，优于许多已报道的多孔碳基超级电容器。通过理论计算和原位红外光谱验证了相关动力学机制，证实了氟原子在增强离子运输动力学中的作用。该工作成功展示了生物质衍生多孔碳表面化学与孔隙结构的协同设计策略，有力推动了高性能、高功率超级电容器的发展。

# 低温稳定高倍率聚吡咯/

# 氧化钒碳纤维结构超级电容器及其优异力-电协同性能

## 【研究背景】

随着无人机、电动飞行器及智能轻量化装备的快速发展，系统对能量密度与结构轻量化的协同需求日益增强。传统储能单元与结构部件相互独立，不仅增加了整体重量，还限制了空间利用效率，难以满足长续航与高载荷的应用需求。碳纤维结构超级电容器（CF-SSCs）通过将储能功能与承载结构一体化，为解决这一问题提供了新的思路。然而，碳纤维本身比表面积低、化学惰性强，导致电化学性能受限；同时，过渡金属氧化物虽能提供赝电容贡献，但存在导电性差和结构稳定性不足的问题。此外，CF-SSCs 在低温环境下的电化学行为尚缺乏系统研究，限制了其在复杂服役条件中的应用。因此，开发兼具高倍率性能、低温适应性及良好力学性能的结构超级电容器具有重要研究意义。

## 【工作简介】

该研究通过低温原位氧化聚合方法，在 $H_2V_3O_8$ 纳米棒表面构筑均匀的导电聚吡咯（PPy）涂层，成功制备了 $H_2V_3O_8$@PPy 复合电极，并构筑碳纤维结构超级电容器（$H_2V_3O_8$@PPy@CF-SSC）。系统研究了该器件的电化学性能、低温适应性以及力学性能。结果表明，所设计的器件不仅实现了高比电容与高能量密度，还在−10℃条件下保持良好的电容输出，展现出优异的低温可操作性。同时，该器件具备较高的拉伸强度与模量，体现出良好的力学-电化学协同性能。结合 DFT 计算，揭示了 PPy 导电涂层在促进界面电荷传输、增强赝电容贡献及稳定结构方面的关键作用。该研究为构筑兼具高倍率与低温性能的碳纤维结构储能器件提供了一种有效策略。该文章发表在国际顶级期刊 Advanced Energy Materials 上。硕士生周恒为本文第一作者。

## 【内容表述】

碳纤维本身具有良好的导电性和力学性能，但其比表面积较低、表面活性不足，通常需要引入过渡金属氧化物或导电聚合物等活性材料，以提升电荷存储能力。其中，$H_2V_3O_8$ 因具有多价态和较高

理论容量，被广泛用于赝电容电极；而聚吡咯则能够提供额外的赝电容贡献，构建连续导电网络并增强界面反应动力学。通过构建有机-无机复合结构，可实现电子与离子的协同传输，缓解充放电过程中的结构变化从而有效提升结构超级电容器的综合性能。

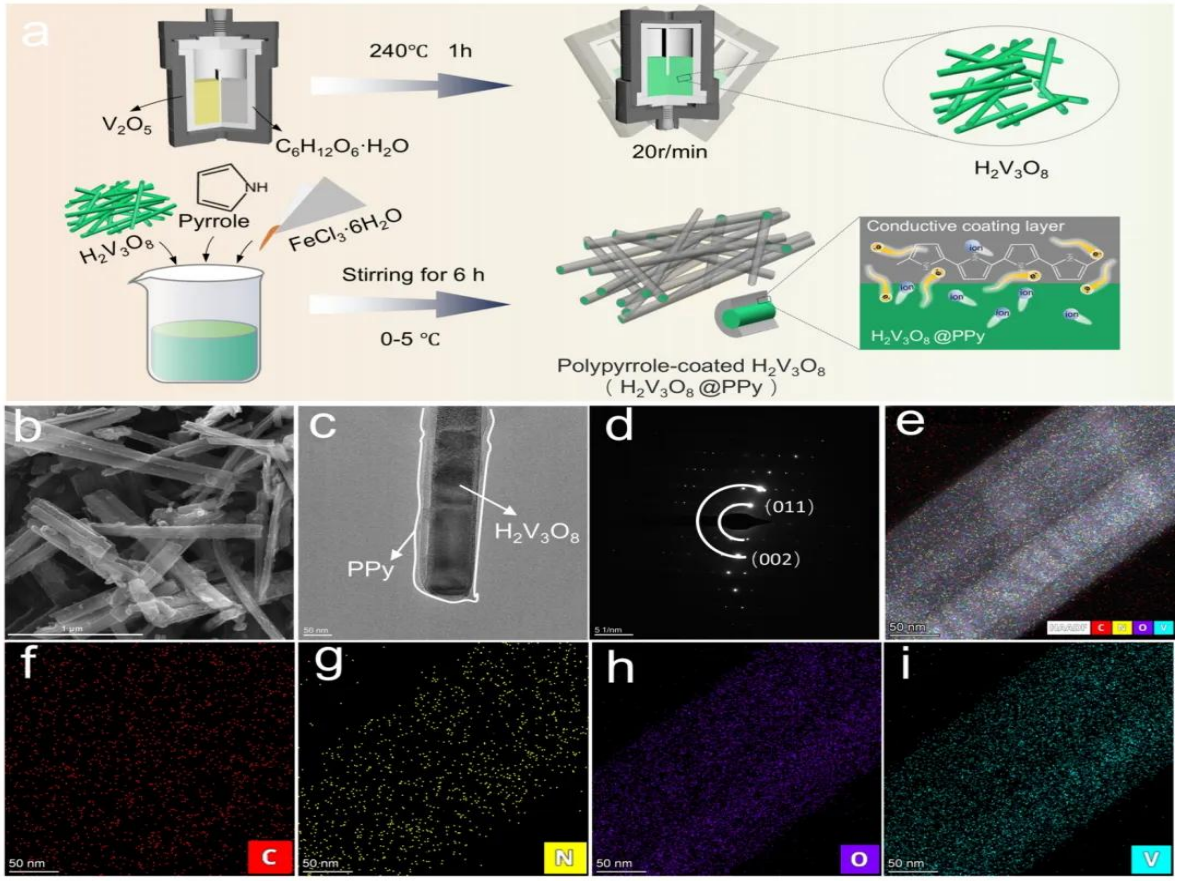



图 1　$H_2V_3O_8$@PPy 的形貌表征：a) $H_2V_3O_8$@PPy 的合成过程示意图；b) 场发射扫描电子显微镜（FE-SEM）图像；c) 透射电子显微镜（TEM）图像；d) $H_2V_3O_8$@PPy 的选区电子衍射（SAED）图谱；e) 高角环形暗场（HAADF）图像；f–i) 对应的能量色散 X 射线（EDX）元素分布图

如图 1 所示，对 $H_2V_3O_8$@PPy 复合材料的微观结构进行了表征。SEM 结果表明，材料仍保持一维纳米棒形貌，并相互交织形成疏松网络结构，有利于电子传输和电解液渗透。TEM 进一步证实，该材料呈现典型的“核－壳结构”。

这种结构不仅提升了整体导电性，还在充放电过程中缓冲体积变化，从而增强循环稳定性。SAED 结果显示 $H_2V_3O_8$ 具有良好的结晶性，而 PPy 主要为无定形结构，有助于提供额外的电荷传输通道，改善倍率性能。此外，元素分布分析表明 C、N 元素均匀覆盖在纳米棒表面，V、O 集中于内部，说明 PPy 成功包覆且界面结合紧密。这种结构有助于降低电荷传输阻抗，提升电化学反应动力学。

为探究 PPy 引入对材料结构的影响，对 $H_2V_3O_8$@PPy 复合材料进行了系统表征。XRD 结果表明，复合后材料的衍射峰位置与 $H_2V_3O_8$ 一致，说明低温原位聚合未破坏其晶体结构，有利于离子的可逆嵌入/脱出。TGA 与 XPS 结果进一步证实了 PPy 的成功引入，其中 N 1s 特征峰表明 PPy 保持良好的

共轭结构，可提升导电性并提供额外赝电容活性位点。

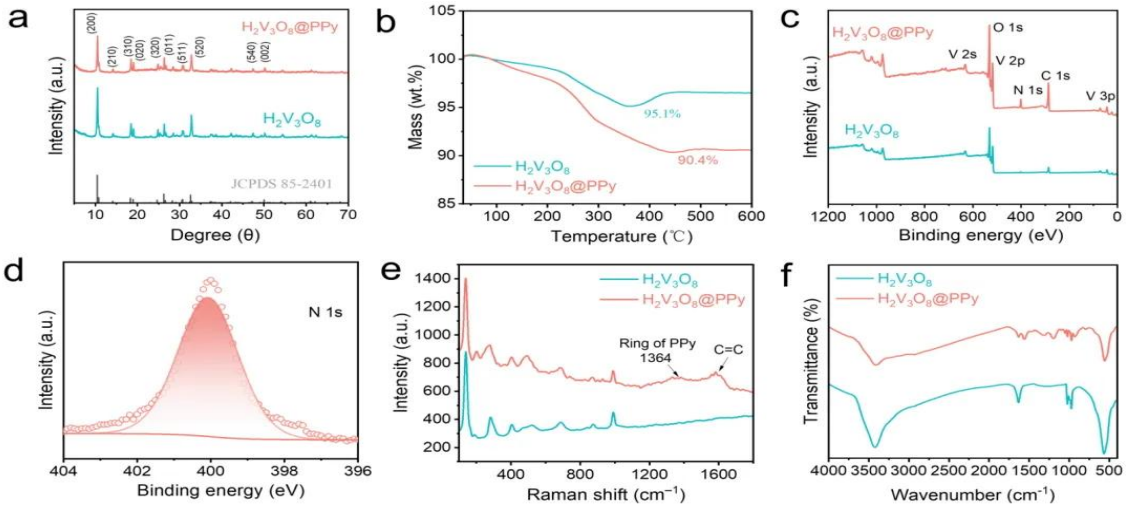



图 2　$H_2V_3O_8$@PPy 的结构表征：a) XRD 图谱；b) TGA 曲线；c) XPS 全谱；d) $H_2V_3O_8$@PPy 中 N 元素的高分辨 XPS 光谱；e) 拉曼光谱；f) 傅里叶变换红外（FTIR）光谱

同时，$V^{4+}/V^{5+}$的共存有助于促进氧化还原反应。Raman 与 FTIR 分析显示，PPy 与 $H_2V_3O_8$ 之间构建了稳定的有机-无机界面结构，从而有利于降低电荷传输阻抗并加快反应动力学。

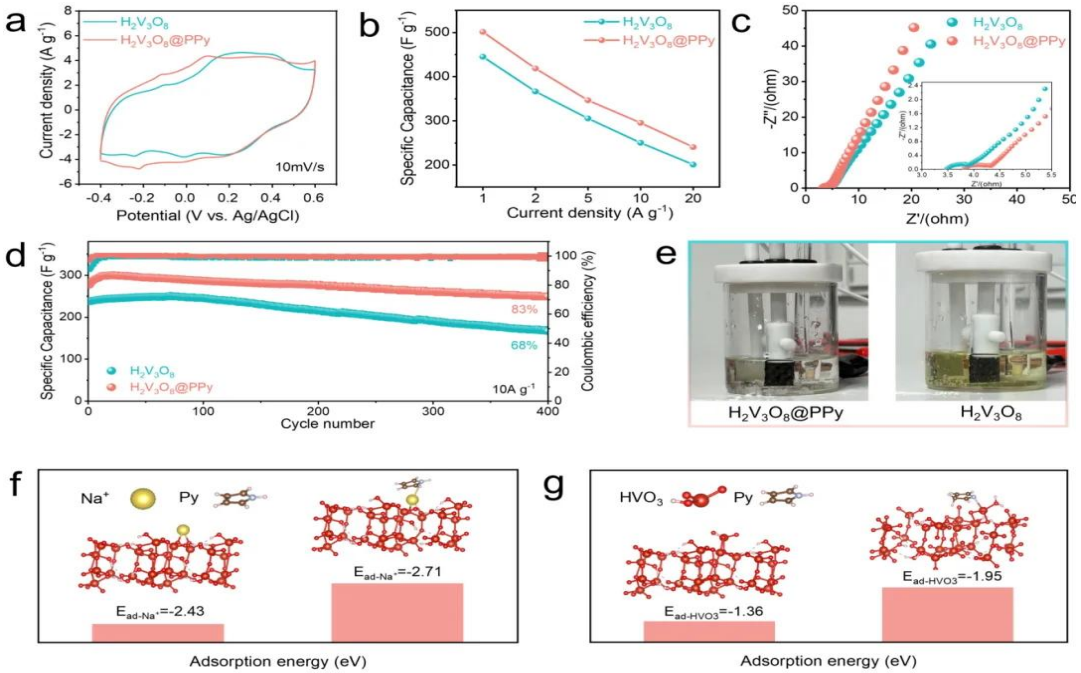



图 3　$H_2V_3O_8$@PPy@CF 三电极电化学性能：(a) 在 10 mV • s$^{-1}$ 电流下的循环伏安曲线；(b) 不同电流密度下的比电容；(c) EIS 曲线；(d) 循环稳定性测试；(e) 循环后电解液的照片；(f) $Na^+$和(g) $HVO_3^-$在 $H_2V_3O_8$ 和 $H_2V_3O_8$@PPy 表面的吸附构型及吸附能

在三电极体系（1 M $Na_2SO_4$，Ag/AgCl 参比）下，系统评估了 PPy 涂层对 $H_2V_3O_8$ 储能行为的影响。结果表明，$H_2V_3O_8$@PPy@CF 电极的 *CV* 面积显著增大，赝电容特征更为明显，说明电荷存储能力和反应可逆性均得到提升。同时，其在各电流密度下均表现出更高比电容。EIS 结果显示，PPy 涂层有效降低了欧姆电阻和电荷转移电阻，加快了电子与离子传输。循环性能方面，在 10 A • g$^{-1}$ 下循

环 400 次后仍保持 83%的容量，明显优于未修饰电极（68%）。此外，电解液对比实验表明 PPy 能够有效抑制钒溶解。结合 DFT 计算发现，PPy 涂层增强了对 $Na^+$和 $HVO_3^-$的吸附能力，有助于提升界面反应动力学并稳定活性物质，从而实现优异的倍率性能与循环稳定性。

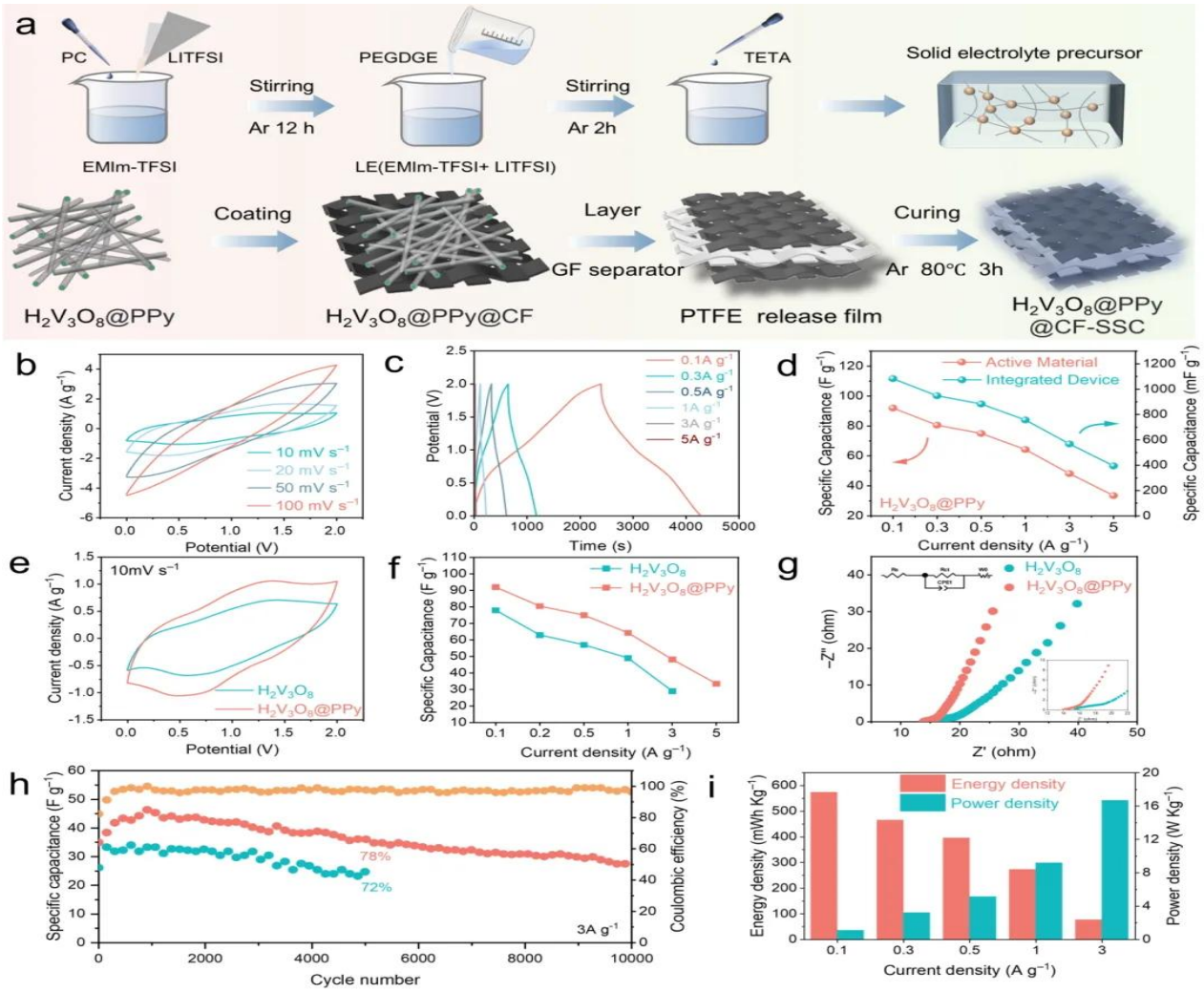



图 4　$H_2V_3O_8$@PPy@CF-SSC 的电化学储能性能：(a) 制备流程图；(b) 不同扫描速率下的 *CV* 曲线；(c) 不同电流密度下的 GCD 曲线；(d) 不同电流密度下的比电容值；(e) *CV* 曲线(10mV •$s^{-1}$)；(f) $H_2V_3O_8$@CF-SSC 和 $H_2V_3O_8$@PPy@CF-SSC 的比电容值；(g) 电化学阻抗谱图；(h) $H_2V_3O_8$@CF-SSC 和 $H_2V_3O_8$@PPy@CF-SSC 在 3 A • $g^{-1}$ 下的循环稳定性；(i) $H_2V_3O_8$@PPy@CF-SSC 的能量密度与功率密度

采用环氧树脂基固态电解质组装 $H_2V_3O_8$@PPy@CF-SSC 器件。CV 结果表明，器件在不同扫描速率下均保持良好形貌，高扫速下仍具较强电流响应，说明具有优异的倍率性能与快速电荷传输能力。GCD 曲线在 0.1–5 A •$g^{-1}$ 范围内表现出良好的线性与可逆性，在 0.1 A •$g^{-1}$ 时器件质量比电容达 1082.4 mF • $g^{-1}$。相比未改性体系，PPy 引入显著提升了 *CV* 面积和比电容，并使器件在 5 A • $g^{-1}$ 下仍可稳定工作。EIS 结果表明，PPy 有效降低界面电荷转移电阻和离子扩散阻力。循环测试显示，器件在 5000 次循环后仍保持 78%的容量，表现出优异的稳定性。此外，器件实现了最高 573.6 mWh • $kg^{-1}$ 的能量密度，兼具高能量与高功率输出能力。

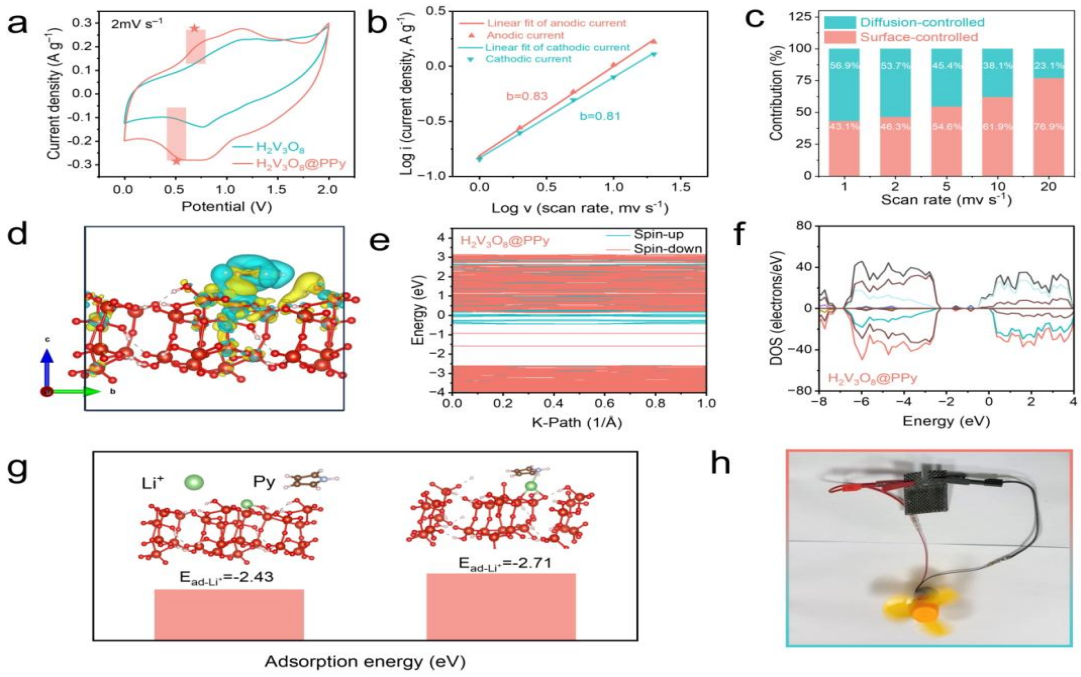



图 5　$H_2V_3O_8$@PPy@CF-SSC 中 $Li^+$的动力学分析：a) *CV* 曲线(10mV • $s^{-1}$)；b) 峰值电流与扫描速率的对数关系；c) 电容和扩散限制贡献比；d) 差分电荷密度；e)能带结构；f) 态密度；g) $Li^+$吸附构型和吸附能；h) 风机驱动演示示意图

对 $H_2V_3O_8$@PPy@CF-SSC 的反应动力学进行了系统分析。*CV* 结果表明，PPy 引入后电流响应增强、氧化还原峰更明显，说明其参与赝电容反应并加快界面动力学。幂律分析得到 b 值约为 0.81-0.83，表明以表面控制的赝电容行为为主。进一步计算显示，随扫描速率提高，电容贡献最高可达 76.9%，显著高于未改性电极，说明 PPy 有效促进电子传输和离子扩散。DFT 结果表明，PPy 与 $H_2V_3O_8$ 之间存在强界面耦合，可提高费米能级附近电子态密度并增强 $Li^+$吸附能力，从而加快电荷转移与反应动力学。整体来看，PPy 涂层通过优化界面结构与传输过程，实现了更快的储能响应与优异倍率性能。

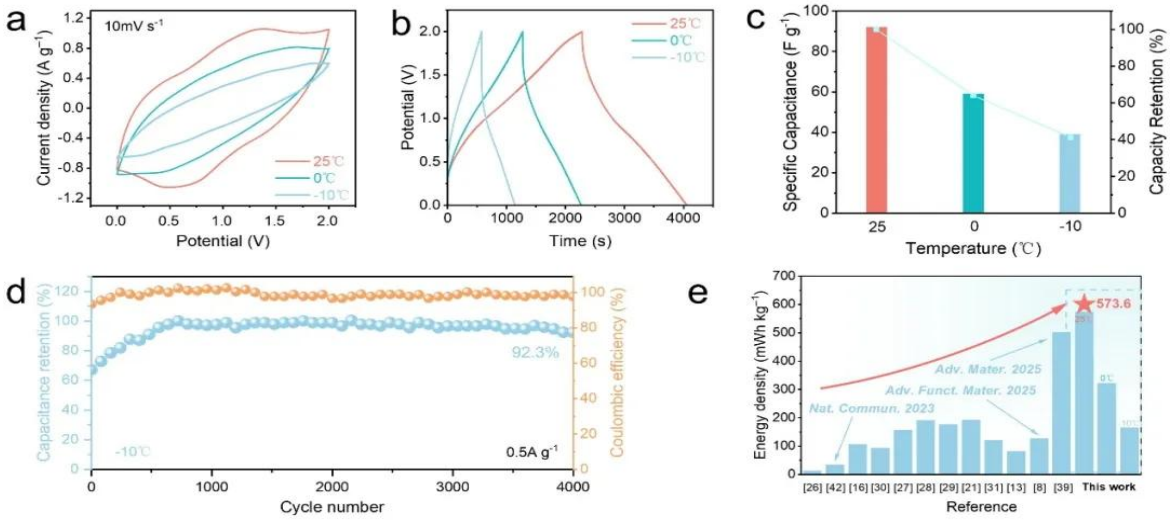



图 6　$H_2V_3O_8$@PPy@CF-SSC 低温电化学性能：(a) 在 25℃，0℃和-10℃时 *CV* 曲线; (b) 在不同温度下的 GCD 曲线；(c) 比电容和相应的电容保持率随温度的变化；(d) 0.5 A·$g^{-1}$ 电流密度下的循环稳定性测试；(e) 能量密度与先前报道的碳纤维结构超级电容器的比较

为评估器件低温性能，在 25℃、0℃和−10℃下进行了系统测试。结果表明，随着温度降低，*CV* 面积与电流响应有所下降，表明离子迁移与界面动力学受限，但在−10℃下仍保持良好可逆性，未发生失效。电容由室温的 92 F • $g^{-1}$ 下降至−10℃的 38.7 F • $g^{-1}$，对应保留率为 42.1%，显示出较好的低温可用性。循环测试表明，在−10℃下循环 4000 次后仍保持 92.3%的容量，体现出优异的低温稳定性。此外，器件在室温下能量密度达 573.6 mWh • $kg^{-1}$，在−10℃下仍可保持 165 mWh • $kg^{-1}$。上述结果表明，该器件在低温环境下仍具备良好的储能性能与应用潜力。

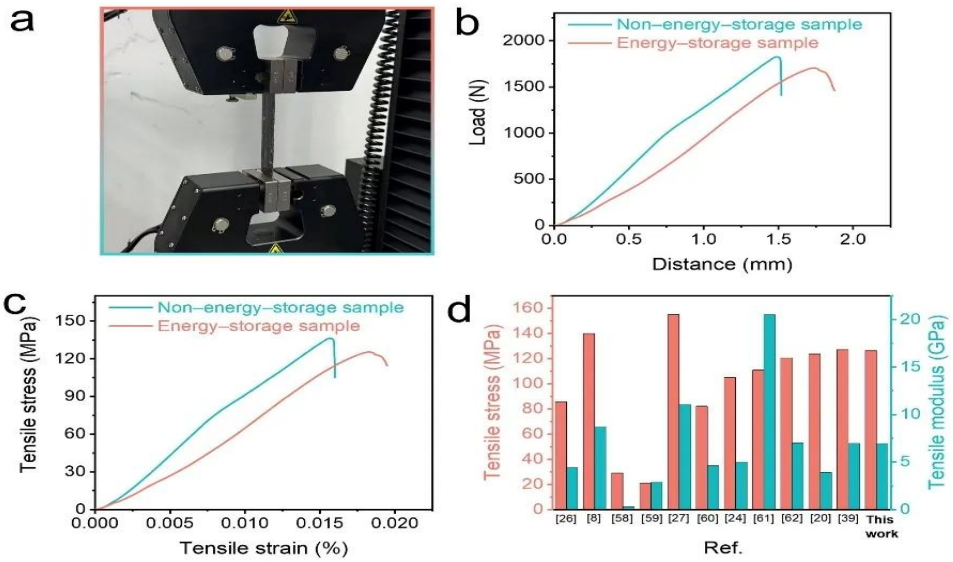



图 7　$H_2V_3O_8$@PPy@CF-SSC 的拉伸力学性能表征：(a) 单轴拉伸测试装置示意与测试实物图；(b) 能量存储样品与非储能样品的载荷-位移曲线；(c) 对应的拉伸应力-应变曲线；(d) 本工作与已报道结构储能器件在拉伸强度与拉伸模量方面的对比为评估

为评估引入储能功能对力学性能的影响，对储能样本与对照样本进行了拉伸测试。结果表明，两者在初始阶段均表现出良好的弹性响应，储能样本的最大载荷仅下降约 6.5%，且在失效前仍能持续承载，说明结构完整性保持良好。其拉伸模量为 6.92 GPa，较对照样本仅略有降低，拉伸强度为 126.5 MPa，体现出较高的力学性能。该轻微性能衰减主要源于层间界面引入及固化收缩差异带来的局部应力集中。与已有结构超级电容器相比，本工作在实现稳定储能输出的同时仍保持较高的强度与模量，表明该器件能够在较小力学代价下实现结构与储能功能的一体化。

## 【核心结论】

该研究通过低温原位氧化聚合法构筑了具有导电 PPy 涂层的赝电容复合电极，并将其作为电极涂层组装成 $H_2V_3O_8$@PPy@CF-SSC。该器件实现了 1082.4 mF • $g^{-1}$ 的高比电容和 573.6 mWh • $kg^{-1}$ 的高能量密度，并在高电流密度下保持稳定运行。动力学分析和 DFT 计算揭示了性能提升的内在机制。系统的低温测试表明，该器件在−10℃下仍可保持 42.1%的电容并输出有效能量。同时，在 0.5 A • $g^{-1}$

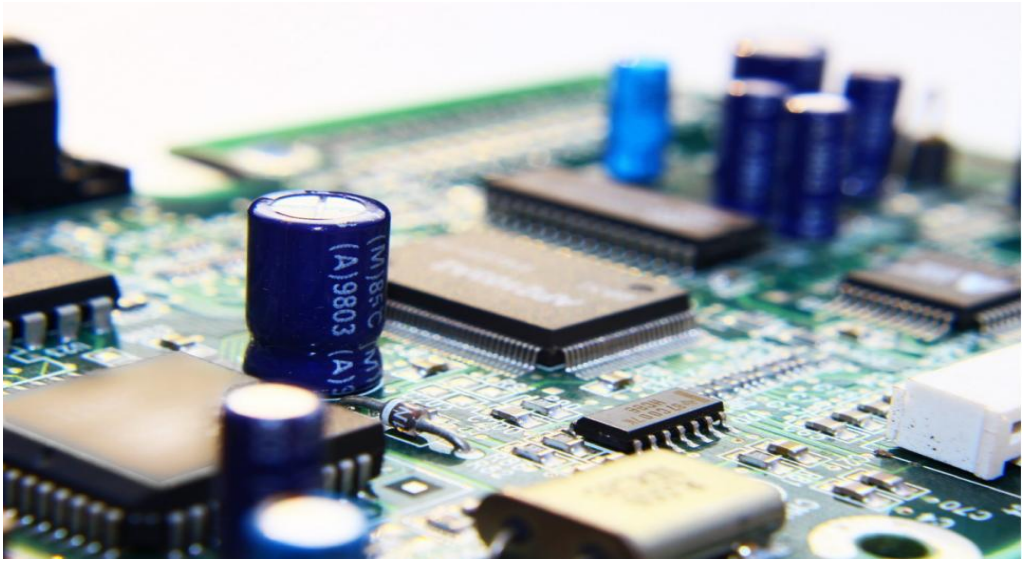
下循环 4000 次后仍具有 92.3%的容量保持率，表现出优异的循环稳定性。此外，该器件兼具良好的力学性能，拉伸强度达 126.5 MPa，拉伸模量为 6.92 GPa，体现了结构与储能功能的协同集成。本工作为利用导电聚合物调控钒基结构储能电极提供了一种有效策略，并为构筑兼具高倍率与低温性能的 CF-SSCs 提供了重要参考。

# 热点剖析

## 高端 MLCC 紧平衡下的材料突围与全产业链

全球云端算力竞赛进入白热化，一颗直径不足毫米的片式多层陶瓷电容器（MLCC），正从电子工业的“幕后配角”走向决定算力基建稳定性的战略核心元件。2026 年 5 月 19 日，TrendForce 发布权威判断：伴随云端服务商 ASIC 项目三季度末集中放量、高端 MLCC 供需持续紧平衡、全球产能向高附加值领域倾斜，2026 年下半年高端 MLCC 价格将由盘整步入温和上行通道。

这并非短期周期性波动，而是 AI 算力革命与汽车电子化双轮驱动下，全球被动元件产业的结构性重构。



### 一、底层逻辑：AI 算力重塑需求，高端 MLCC 进入结构性紧平衡

MLCC 素有“电子工业大米”之称，而高端 MLCC（高容、高压、宽温、小型化） 是 AI 服务器、车规级智能驾驶、先进封装的“刚性骨骼”，其供需变局的核心，源于需求端的指数级爆发与供给端的产能刚性错配。

#### 1. 需求端：算力与车规双引擎，催生不可逆转的刚需

AI 服务器成为核心拉动：单台高端 AI 服务器 MLCC 用量达 2.5-3 万颗，是传统服务器的 5-10 倍；NVIDIA GB300 整机柜用量更是突破 44 万颗，GPU、ASIC 芯片对高容、低 ESR、耐高温 MLCC

的需求呈几何级增长，交期从 4 周拉长至 20 周以上，部分型号直接断供。

云端 ASIC 集中放量：微软、AWS、Google、Meta 自研 ASIC 芯片三季度末批量落地，先进封装与电源管理复杂度翻倍，直接推高高端 MLCC 需求，成为本轮价格上行的核心催化剂。

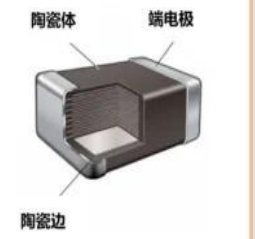
车规级需求刚性加持：高端智能电动车 MLCC 用量达 3 万颗，是燃油车的 10 倍，AEC-Q200 认证壁垒下，高压、宽温车规 MLCC 产能稀缺，进一步挤压通用产能空间。

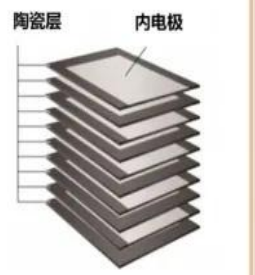
**2. 供给端：全球产能倾斜，供需缺口持续放大**

日韩头部厂商（村田、三星电机、太阳诱电）主动将产能向 AI、车规等高毛利领域集中，常规消费级 MLCC 产能被持续挤占，形成高端供不应求、中低端供给收缩的 K 型分化格局。高端 MLCC 扩产周期长达 18-24 个月，产能刚性无法短期匹配需求爆发，供需偏紧将成为 2026-2027 年行业常态。

此次价格上行，是产业从“消费电子驱动”向“AI 算力驱动”转型的必然结果，也是全球电子产业链对核心元件价值重估的关键节点。




MLCC不同介质的温度特性及适用场景

| 类别 | 介质 | 温度系数 | 工作温度范围 | 材质/特性/适用场景 |
|---|---|---|---|---|
| I 类 | NP0<br>C0G | 0±30ppm/℃ | -55~125℃ | ✓ 陶瓷非铁电体，材质为钛酸镁（$MgTiO_3$）、钛酸钙（$CaTiO_3$）、钛酸锶（$SrTiO_3$）。<br>✓ 介电常数较低，温度稳定性极高，容量随温度、电压和频率的变化极小，高频特性优异。<br>✓ 对信号完整性和稳定性要求极高的场景，如：航空航天、军工设备、射频电路。 |
| II 类 | X7R | ±15% | -55~125℃ | ➢ 陶瓷铁电体，采用高介电常数的钛酸钡（$BaTiO_3$）。<br>➢ 有极高的介电常数，兼具高电容与小型化，容量范围大，成本低于C0G/NPO，<br>➢ 消费电子与工业电子中最常见的类型，温度适应性较广，适合中高温环境。 |
| | X5R | ±15% | -55~85℃ | ✓ 陶瓷铁电体，采用高介电常数的钛酸钡（$BaTiO_3$）。<br>✓ 有极高的介电常数，兼具高电容与小型化的特点。<br>✓ 配方调整使其耐高温性略低于X7R。容量大，成本低于X7R。<br>✓ 消费电子与工业电子中最常见的类型，温度适应性较广，适合中高温环境。 |
| | X8R | ±15% | -55~150℃ | ➢ 高温陶瓷电介质，高温陶瓷材料。<br>➢ 容值波动范围为正偏差小、负偏差大。耐高温性强，成本低于X8L，但容值精度较低。<br>➢ 高温环境下对容值精度要求不高的场景（如高温滤波、储能） |
| | X7S | EIA:±22%<br>IEC:±20% | -55~125℃ | ✓ 陶瓷铁电体，铁电体材料，容值稳定性较X7R更低。<br>✓ 容量大，成本更低，但容值精度较低，对容值精度要求不高的储能、耦合。<br>✓ 适用于高温环境，但容值波动较大。 |
| | X6S | ±22% | -55~105℃ | ➢ 陶瓷铁电体，高容量密度,良好的高温稳定性。<br>➢ 在需要比X7R更大容量、又要求比Y5V更好稳定性的场合，X6S是性价比极高的选择。<br>➢ 为实现小型化、高可靠性。它在容量、体积、高温性能和成本之间取得了出色的平衡。 |
| | X8L | EIA:±15%,-40%<br>IEC:±20%,-30% | -55~150℃ | ✓ 高温陶瓷电介质，新型高温陶瓷材料（非传统铁电体，可能为改性钛酸钡或其他复合陶瓷）<br>✓ 耐高温性强（+150℃），容值稳定性接近X7R。<br>✓ 汽车电子（引擎舱等高温区域）、工业高温设备、航空航天高温环境。 |
| III 类 | Y5V | EIA:±22%,-82%<br>IEC:±30%,-80% | EIA:-30~85℃<br>IEC:-55~125℃ | ➢ 陶瓷铁电体，Y5V 是一种基于钛酸钡 的II类陶瓷介质，通过化学改性获得极高的介电常数。<br>➢ 在非常窄的温度范围，提供极高的标称容量，代价是灾难性的温度稳定性和直流偏压特性。<br>➢ 适用于对成本极度敏感，性能要求极低，且工作环境稳定在室温附近的场合。 |

## 二、产业影响：涨价传导与国产替代，打开产业链新空间

前端：价格上行传导，重塑行业盈利格局

高端 MLCC 温和涨价，将直接带动上游核心新材料→中游元件制造→下游终端应用的全链条盈利修复。高附加值产品毛利率普遍超 40%，价格上行将进一步拉开高端与中低端产品的利润差距，推

动行业向技术研发、材料创新集中。

后端：国产替代迎来黄金窗口，产业链安全战略凸显

海外龙头产能挤占常规品供给，为国内 MLCC 厂商创造两大机遇：

**1. 加速国产替代：**国内厂商承接中低端转移需求，同时向高端领域突破，缩小与日韩厂商的技术差距；

**2. 材料端同步受益：**海外龙头的国产原材料供应商，将直接受益于全球产能扩张，成为产业链自主可控的核心支撑。

这轮变局的核心，不在于元件价格的短期波动，而在于国内新材料企业从“配套跟随”向“核心供给”的身份转变，标志着中国电子产业链向上游核心材料环节的突围进入深水区。

## 三、全产业链核心公司精铸：从材料到终端，构筑国产替代钢铁长城

高端 MLCC 的技术壁垒，70%集中于上游核心新材料，介质粉体、电极材料、离型膜等关键耗材，直接决定元件的容值、耐压、可靠性与良率。

### （一）上游核心材料：隐形冠军集群，破解高端 MLCC 卡脖子难题

**1. 陶瓷粉体（MLCC 核心介质，成本占比 30%-40%）**

国瓷材料：国内唯一实现纳米级钛酸钡粉体大规模量产的企业，水热法核心技术打破日企数十年垄断，配方粉全球市占率超 20%（全球第二），国内市占率超 80%（绝对垄断）。产品已全面进入村田、三星电机、风华高科等国内外龙头供应链，支撑 0.5 μm 以下超薄介质层高端 MLCC 研发，是国产高端化的“材料基石”。

三环集团：国内 MLCC 制造龙头，陶瓷粉体 100%自给，成本优势显著（低 20%-30%）。自主研发的高纯度钛酸钡粉体适配高容、小型化 MLCC，支撑其 AI 服务器专用产品国产市占率稳居第一。

广州盛立新材：量产 50-150 nm 超细镍粉，匹配 0.5 μm 介质层高端 MLCC，填补国内超精细粉体空白。

凯普斯达新材料：专注 MLCC 用钛酸钡粉体研发，纳米级分散技术领先，产品进入风华高科、微容电子供应链。

**2. 内电极材料（纳米镍粉，成本占比 20%-30%）**

博迁新材：高端纳米镍粉全球龙头，国内唯一 PVD 物理气相冷凝法产业化企业，粒径控制 50nm 以下、纯度 99.9%+。全球市占率 18%（全球第二、国内第一），镍粉业务占营收 76%+，是三星电机第一大供应商，2025 年签 50 亿+长单，支撑小型化、高堆叠 MLCC 内电极材料国产替代。

贵研铂业：贵金属浆料龙头，研发的 MLCC 外电极银浆、铜浆适配车规级、高可靠 MLCC，进

入国内主流 MLCC 厂商供应链。

诺德股份：高端电解铜箔供应商，为 MLCC 外电极提供高导电性、高可靠性材料支撑。

**3. 制程关键耗材（离型膜、载带，成本占比 5%-10%）**

双星新材：国内唯一实现 MLCC 离型膜全产业链（基膜→涂布）量产的企业，攻克高平滑、低粗糙度、高洁净度核心技术，粗糙度控制比肩日本东丽、帝人。通用级离型膜国内市占率 18%，高平滑级市占率超 10%，批量供货三环、微容等国内 MLCC 龙头，规划 20 亿平方米 MLCC 离型膜项目，一期 5 亿平方米 2026 年全面投产。

洁美科技：全球 MLCC 封装耗材核心供应商，拥有 203 项专利，构建电子化学品、高分子材料、涂布三大技术平台。高端离型膜实现自制基膜切换，进入三星电机、村田、太阳诱电全球供应链，载带产品满产满销，是产业链国产替代的标杆企业。

东材科技：MLCC 用耐高温绝缘材料供应商，产品适配高可靠 MLCC 封装需求。

**4. 专用设备与检测**

博杰股份：MLCC 检测设备龙头，研发的高精度电容测试仪、外观检测设备打破国外垄断，为国内 MLCC 厂商提供良率保障。

田中精机：MLCC 叠层设备供应商，支撑国内厂商提升堆叠层数（突破 1000 层），适配高容 MLCC 生产。

新益昌：MLCC 分选设备龙头，分选精度达±0.1%，提升高端 MLCC 出货良率。

先导智能：MLCC 自动化生产线供应商，助力国内厂商提升生产效率与一致性。

**（二）中游 MLCC 制造：国产龙头崛起，高端突破提速**

**1. 鸿远电子**

技术壁垒：国内高可靠 MLCC 绝对龙头，军用市占率 45%+，航天级市占率 30%+，国内唯一宇航级 MLCC 供应商，产品耐温-55℃~200℃、抗辐射≥100krad、失效率<0.1ppm，适配神舟/天宫/嫦娥等国家重点工程。AI 高可靠领域实现突破，产品适配 GB200 级 GPU/电源/CPO，具备抗瞬时大电流、低 ESR、高频低损耗特性。

市场地位：全链条自研（瓷料国产化>95%），200+重点军工型号深度绑定，连续十三年荣登中国电子元器件行业骨干企业榜单。民用高端方面，AI 服务器高容 MLCC 已进入国内头部算力厂商供应链，商业航天领域快速拓展。

产能布局：2026 年新增 50 亿只/月高可靠 MLCC 产能，重点投向 AI 高可靠与商业航天领域，进一步巩固高端市场地位。

**2. 三环集团**

技术壁垒：具备从陶瓷粉体到成品的垂直一体化能力，AI 服务器高容 MLCC 已批量供货，良率达 92%+。

市场地位：高容 MLCC 国内龙头，产品覆盖 0201 至 2220 全尺寸，深度切入三星、英伟达等全球顶级供应链，AI 专用产品国产市占率第一。

产能布局：规划新增 1000 亿只/月高端 MLCC 产能，聚焦 AI、车规领域，2026-2027 年逐步释放。

**3. 风华高科**

技术壁垒：国内唯一具备全品类 MLCC 量产能力的平台型企业，车规级 MLCC 获 AEC-Q200 认证，AI 服务器 MLCC 进入英伟达供应链。

市场地位：国内 MLCC 绝对龙头，全球市占率约 8%，AI 服务器相关 MLCC 订单占比达 15%-20%，是国产替代核心玩家。

产能布局：投资 50 亿元建设高端 MLCC 基地，2026 年释放 200 亿只/月高端产能，重点供应 AI 与车规市场。

**4. 火炬电子**

技术壁垒：特种 MLCC 龙头，军工、航天级 MLCC 国内市占率第一，高可靠、抗辐射性能达国际先进水平。

市场地位：切入太空光伏、卫星通信等高端领域，为国产大科学装置提供核心元件支撑。

**5. 微容电子**

技术壁垒：专注超微型、高容量、车规级高端 MLCC，01005 尺寸高容产品良率达 90%+，打破日韩垄断。

市场地位：成立于 2017 年，快速成长为国内高端 MLCC 新锐，产品进入国内头部 AI 服务器厂商供应链。

**6. 宇阳科技**

技术壁垒：微型化 MLCC 国内龙头，008004 尺寸产品实现量产，打破日韩垄断，适配可穿戴设备、AIoT 等新兴领域。

市场地位：全球微型化 MLCC 重要供应商，国内市占率超 20%，产品进入苹果、华为等终端供应链。

**（三）下游终端应用：算力与车规双引擎，拉动需求爆发**

浪潮信息、紫光股份：国内 AI 服务器龙头，单台服务器 MLCC 用量达 2.5 万颗，推动国产 MLCC

进入高端供应链。

比亚迪、宁德时代：新能源汽车龙头，高端智能电动车 MLCC 用量达 3 万颗，带动车规级 MLCC 需求增长。

华为、中兴：通信设备龙头，5G 基站、光通信设备对高压、高可靠 MLCC 需求旺盛，加速国产替代进程。

英伟达、AMD：全球算力芯片龙头，GB300/GB200 等高端 GPU 对高容、低 ESR MLCC 需求激增，是本轮高端 MLCC 紧平衡的核心驱动。

特斯拉、蔚来：智能驾驶龙头，自动驾驶域控制器 MLCC 用量达 5000+颗，推动车规级高端 MLCC 需求增长。

商汤科技、寒武纪：国内 AI 芯片龙头，自研 ASIC 芯片对高可靠 MLCC 需求迫切，与国内 MLCC 厂商深度合作。

这些企业，没有炫目的概念炒作，却以新材料研发为刃，以精密制造为盾，撬开了全球高端 MLCC 产业链的大门，成为中国电子工业自立自强的静默脊梁。

## 四、产业升级：从“元件配角”到“战略核心”，研发驱动产业未来

高端 MLCC 的供需变局，本质是电子工业研发重心的转移：过去行业聚焦消费电子的小型化、低成本，如今转向 AI 算力所需的高可靠、高稳定、高性能，材料研发成为产业竞争的核心。

未来行业两大核心研发方向：

**1. 超薄化与高堆叠：**介质层厚度降至 1 微米以下，堆叠层数突破 1000 层，依赖高纯陶瓷粉体与电极材料的技术突破；

**2. 车规与算力兼容：**开发宽温（-55℃至 125℃）、高压（100V+）、抗辐射 MLCC 材料，适配太空算力、智能驾驶等极端场景，拓展产业边界。

国内企业正依托新材料研发优势，构建“材料研发→元件制造→终端应用”的全链条闭环，摆脱对海外技术与材料的依赖，推动中国从 MLCC 生产大国向研发强国转变。

## 五、新材社视角：微小元件，承载大国产业链的底气

在全球科技竞争的语境下，人们往往聚焦芯片、操作系统等核心技术，却忽略了 MLCC 这类基础元件与核心材料的战略价值。一颗高端 MLCC 的性能差距，背后是新材料研发、精密制造、工艺控制的全链条差距。

此次高端 MLCC 供需紧平衡，给行业带来深刻启示：

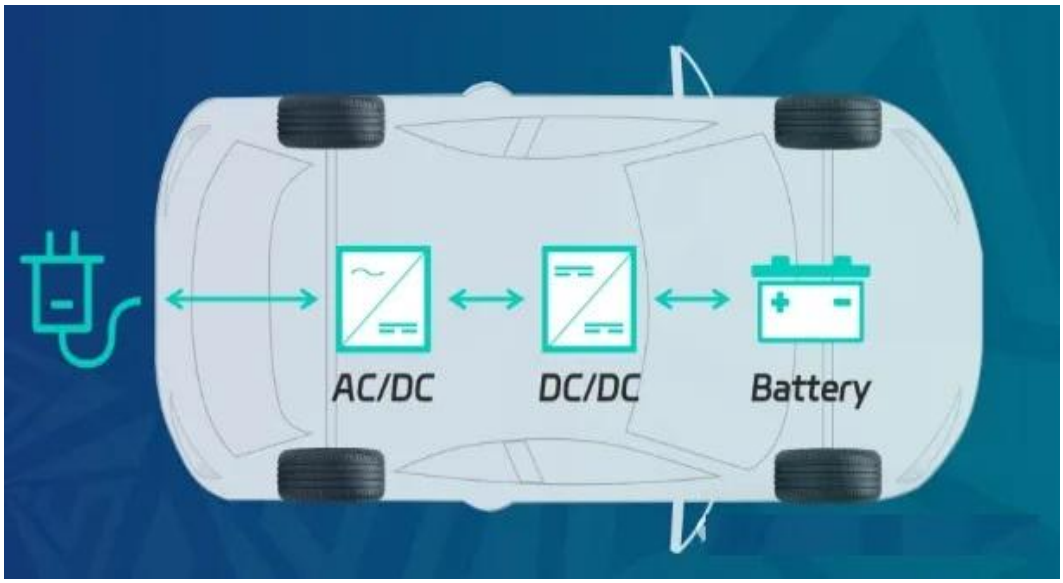
（1） 基础材料研发，是科技自立自强的终极底座，没有新材料的突破，就没有高端元件的自主可控；

（2） 产业升级，不是单点突破，而是全链条协同，隐形冠军与龙头企业同等重要；

（3） AI 时代的科技竞争，最终落脚于材料、工艺、基础元件的底层竞争，浮躁的概念炒作，终会回归硬核研发的本质。

# MLCC 在新能源汽车高压动力总成中的发展现状

在新能源汽车（BEV/PHEV）电动化与高压化浪潮下，车载充电机（OBC）、800 V 逆变器、DC-DC 等核心动力模块对被动元件提出高耐压、高稳定、高可靠、小型化的核心诉求。MLCC（多层陶瓷电容器）凭借体积、频率、寿命优势，正全面替代传统电解电容，成为高压动力系统的关键器件。结合 TDK、村田、三星电机等头部厂商技术布局与行业趋势，高压 MLCC 正迎来技术迭代与市场爆发的黄金期。



**核心技术趋势：高压化、高容化、高温稳、高可靠**

**1. 耐压等级跃迁：1000 V~1500 V 成主流，覆盖 800V 平台需求**

随着 800 V 高压架构普及、SiC 功率器件大规模应用，传统 630 V 以下 MLCC 已无法满足系统耐压冗余与安全要求。1000 V~1500 V 成为下一代 OBC（CLLC 谐振）、逆变器缓冲（Snubber）、高压滤波的标配规格。

- TDK：2025 年推出 3225（1210）尺寸 C0G 特性 1250 V/10 nF 产品，为同尺寸、压力下全球最高容值，适配 CLLC 谐振与缓冲电路，减少串联数量、提升功率密度 。

- 三星电机：2025 年底发布 1210 尺寸 C0G 1000 V/33 nF 产品，为全球首款面向 xEV CLLC 的 1 kV 高压高容 MLCC；2026 年进一步扩展 X8G（-55~150℃）系列，覆盖 1.2 nF~33 nF、1000~1500 V 全区间。

- 村田：3 kV 高压系列通过 AEC-Q200 Grade 0 认证，耐脉冲电压达 10 kV/μs，绝缘电阻＞1 TΩ，适用于电动汽车快充桩、氢燃料电池堆控制模块；车规 GCM 系列通过 ISO 26262 功能安全认证，支持 ASIL-D 级自动驾驶系统冗余电源设计。

**2. 容量与介质升级：C0G/X8G 主导，小体积实现高容量**

高压动力模块优先选择 C0G（NP0）与 X8G 介质：C0G 温度系数±30 ppm/℃，容量极稳，适配谐振、温度补偿场景；X8G 耐温达 150℃，满足逆变器高温工况。

- 技术路径：陶瓷粉体纳米化、单层介质薄型化（≤1 μm）、超精密叠层，实现 1210 尺寸下 1.2 nF~33 nF@1000~1500 V 的容量覆盖。

- 头部进展：三星完成 1210/1000 V/33 nF C0G 量产；TDK、村田同步扩展 C0G/X8G 高压阵列，匹配 22kW+ OBC 高功率密度需求 。

**3. 高温与可靠性：车规级标准+柔性电极，适配极端工况**

- 宽温覆盖：X8G（-55~150℃）逐步替代 X7R，适配逆变器舱 125~150℃高温；C0G 全温区容量零漂移，保障谐振频率稳定。

- 抗应力设计：普遍采用柔性端电极（Soft Termination），耐受 PCB 弯曲、振动冲击，避免陶瓷开裂，通过 AEC-Q200 3mm 弯曲测试。

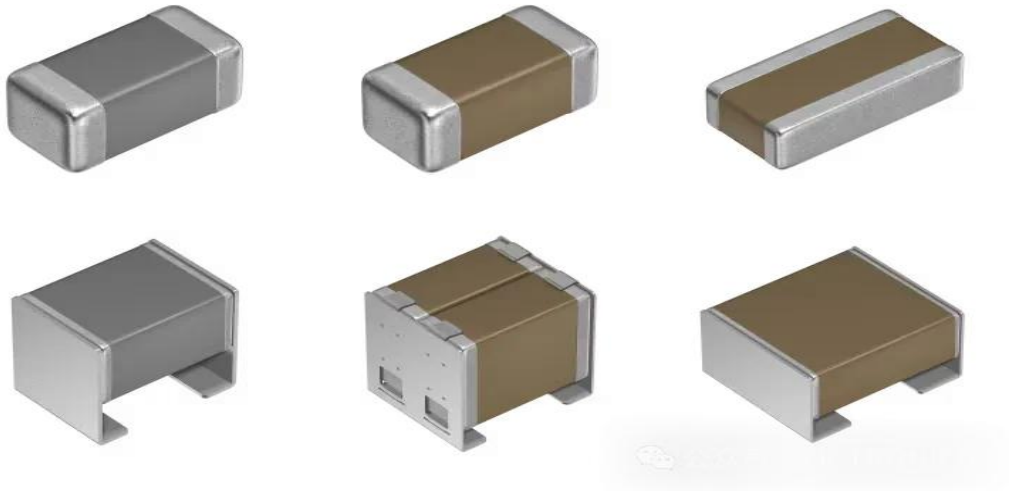
- 功能安全：村田 GCM 系列获 ISO 26262 ASIL-D 认证；TDK、三星产品均满足车规失效率＜0.1 FIT 。

**4. 高频低损耗：适配 SiC 高频化，抑制开关噪声**

SiC/GaN 开关频率达数十 kHz，要求 MLCC 低 ESR/ESL、高纹波电流承载。

- 三维电极、薄型化内电极设计，ESR 低至 1 mΩ、ESL＜0.2 nH，有效抑制逆变器开关噪声、保护功率模块 。

- 低损耗特性减少发热，提升 OBC、DC-DC 转换效率，支撑 22kW+高功率输出 。



**市场前景：需求爆发、国产替代、长期高增**

**1. 单车用量激增，市场规模快速扩容**

- 纯电/混动单车 MLCC 用量达 1w 颗以上，为燃油车数倍；高压动力模块（OBC、逆变器、DC-DC）占比超 40%。

- 2026 年全球车规 MLCC 市场超 60 亿美元，新能源汽车贡献超 60%增量；中国市场规模达 153.4 亿元，同比增 19.3%。

- 800 V 平台渗透率快速提升、OBC 功率升至 22~33 kW，直接拉动 1000 V+高压 MLCC 需求年增 25%+。

**2. 应用场景深化：三大核心模块刚需**

- OBC（车载充电机）：CLLC 谐振电路核心元件，高耐压 C0G MLCC 稳定谐振频率、提升效率、缩小体积 。

- 800 V 逆变器：作为 Snubber 电容，抑制 SiC 模块开关尖峰与 EMI，保障功率模块安全。

- 高压 DC-DC/滤波：替代铝电解电容，实现小型化、长寿命、高可靠。

**3. 竞争格局：日韩主导，国产加速突破**

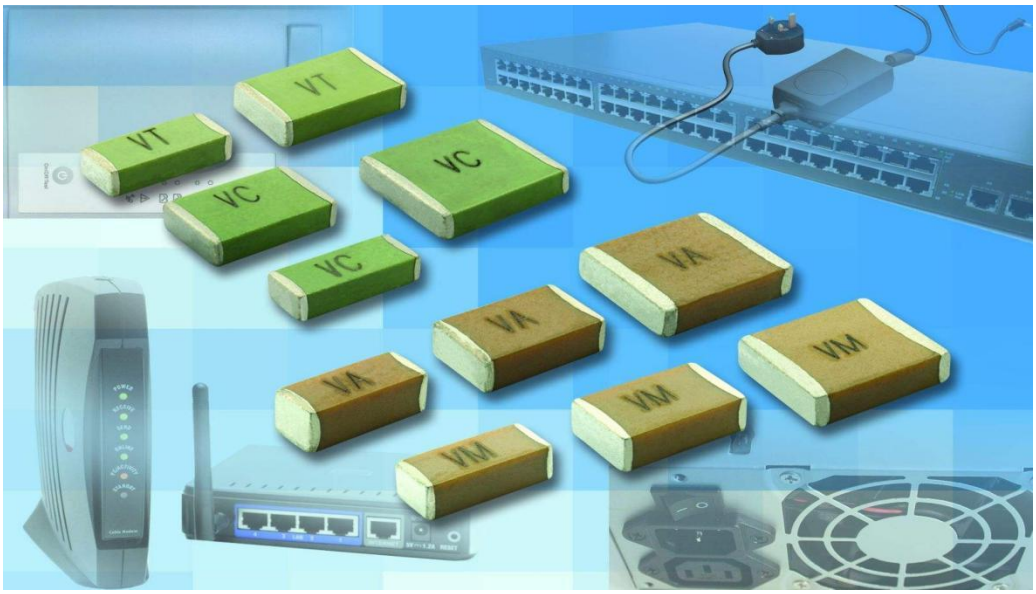
- 头部阵营：村田、TDK、三星电机占据车规高压 MLCC 70%+份额，技术领先、产能集中、车规认证完备。

- 村田：无锡车规月产能 110 亿只，聚焦高频高压、高可靠系列。

- TDK：CGA 车载系列全覆盖，1250 V C0G 行业标杆 。

- 三星：1210/1000 V~1500 V C0G/X8G 全系列量产，提供定制化与样品支持 。

- 国产趋势：三环、风华、鸿远电子等突破 1000 V 耐压、良率提升至 90%+，切入二级供应链，国产化率由 2022 年 28%升至 2025 年 45%。




**4. 长期驱动：电动化+高压化+高功率化**

- 2030 年新能源汽车渗透率超 50%，800 V 平台占比达 40%+，高压 MLCC 需求持续高增。

- 材料与工艺进步：陶瓷微粒化、超薄叠层、新型电极，推动 2000 V 更高耐压、更高容量产品落地。

- 定制化服务：头部厂商提供容量、耐压、温度特性定制，匹配车企差异化设计 。

新能源汽车高压动力模块 MLCC 已进入 1000 V~1500 V、C0G/X8G、小型化高容、车规高可靠的技术主线。TDK、村田、三星等持续领跑，推动产品从 630 V 向 1500 V 升级、容量覆盖 1.2 nF~33 nF，全面支撑 800 V 平台与 22 kW+ OBC 高功率密度化。

市场端，在电动化、高压化、高功率化三重驱动下，车规高压 MLCC 迎来 10 年高增长周期，供需持续紧张、价格稳中有升。同时，国产厂商技术突破加速，国产化率稳步提升。未来，随着 SiC 全面普及、电压平台进一步提升，高压 MLCC 将成为新能源汽车电力系统“刚需核心器件”，行业前景广阔、确定性强。

# 超级电容真正的机会，藏在这五个短时大功率场景里

超级电容真正的产业位置，并不是正面替代锂电池。它更像是在一系列锂电池“不舒服”的工况里，充当短时大功率、高频充放电、快速响应的补位者。换句话说，超级电容不是要把锂电池赶下牌桌，而是在锂电池之外，补上一块很关键的能力拼图。

这也是企业专利透露出来的一个重要变化：超级电容的竞争，已经不只是材料指标之争，而是在向具体应用场景下沉。企业真正关心的，是这个器件能不能做成稳定模组，能不能进入车辆、轨交、风电、电力、UPS、工业设备这些真实系统里，解决短时冲击、频繁启停、快速响应和长期可靠性问题。

## 锂电解决“存多少电”，超级电容解决“瞬间来多少功率”

要理解超级电容，首先要区分两类需求。一类是能量型需求，核心问题是：能存多少电，能供多久。锂电池在这方面优势明显，所以它适合新能源汽车续航、储能电站、消费电子等长时间供电场景。

另一类是功率型需求，核心问题不是能存多少，而是能不能在很短时间内快速吸收或释放大量功率。

超级电容的优势恰恰在这里。它充放电快，功率密度高，循环寿命长，适合频繁充放电，也更适合承受短时大电流冲击。它不是长跑型选手，而是爆发型选手；不是负责“跑完全程”，而是在关键瞬间“顶一下”。

所以，超级电容和锂电池不是简单替代关系，而是互补关系。

如果一个场景需要长时间续航，超级电容很难替代锂电池；但如果一个场景需要瞬间大功率、频繁启停、快速回收能量、短时不断电，超级电容就有了自己的位置。

企业不是在抽象地发明“一个更好的超级电容”，而是在反复解决一个问题：超级电容到底放在哪里用，怎么用，怎么长期稳定地用。

## 交通场景：车辆和轨交，看中的都是“吸得快、放得快”

交通场景是超级电容最容易发挥价值的方向之一。无论是汽车，还是轨道交通，本质上都有一个

共同特点：系统经常面对短时间内的大功率变化。



车辆启动、急加速、频繁启停、制动能量回收，这些都不是“长时间供电”的问题，而是“短时间功率冲击”的问题。

以制动能量回收为例，车辆刹车时会在很短时间内释放大量能量。如果完全依靠锂电池吸收，就会涉及充电倍率、温升、安全和寿命衰减等问题。超级电容因为充电速度快、循环寿命长，更适合先把这部分瞬时能量接住，然后再根据系统需要释放出去。

这就不是替代锂电池，而是替锂电池“挡一下”。它像一个功率缓冲器，把瞬间冲击先吸收掉，减少锂电池长期承受高倍率充放电的压力。对于整车系统来说，这种补位作用可能带来更好的能量回收效率、更平顺的功率响应，也可能帮助延长电池寿命。

轨道交通也是类似逻辑，只是场景更典型。列车进站制动时，会产生大量回馈能量；列车出站启动时，又需要短时间大功率输出。如果这部分能量不能有效利用，就会被浪费掉，甚至对电网形成冲击。超级电容正好可以在“快速吸收—快速释放”之间发挥作用。

它可以布置在车辆上，也可以布置在地面储能系统中。无论是哪种方式，核心都是利用它高功率、快充放、长循环的特点，去匹配轨交系统高频启停的运行工况。所以，在交通场景里，超级电容真正解决的不是“让车跑得更远”，而是让系统在频繁功率冲击下更稳定、更高效、更耐用。

这类场景下，真正有价值的专利，也不会只是“一个超级电容器”，而往往会落到更具体的系统问题上：超级电容如何接入车辆或轨交系统，如何与牵引系统、电源系统协同，如何控制充放电边界，如何处理高频循环下的模组安全和寿命衰减。换句话说，交通场景看中的不是单体参数，而是系统适配能力。

## 能源电力场景：风电和电网，看中的都是“关键时刻能顶上去”

如果说交通场景看重的是高频启停和能量回收，那么能源电力场景看重的就是快速响应和可靠支撑。风电变桨就是一个很典型的例子。风电机组运行过程中，变桨系统需要根据风速和运行状态调整叶片角度。一旦遇到电网故障、极端风况或紧急停机，变桨系统必须迅速动作，让叶片进入安全位置。这个时候，备用电源不是锦上添花，而是安全保障的一部分。



这个场景不需要长时间供电，但关键时刻必须可靠释放能量。超级电容的价值就在这里，它平时可以处于待命状态，一旦系统需要，就要立刻输出功率，推动变桨系统完成安全动作。难点在于，风机长期处在户外环境中，温度、湿度、震动和维护成本都会放大储能单元的不确定性。所以，在风电场景里，客户真正关心的不是某一次测试性能有多好，而是长期待机之后，关键时刻能不能可靠动作；系统能不能提前判断它的健康状态；维护成本能不能降下来。

这也解释了为什么企业专利里会出现不少检测、寿命预测、SOC、SOH、故障预警、充放电管理相关内容。因为超级电容一旦进入这种场景，就不是一个简单元器件，而是系统可靠性的一部分。

电网和电力电子场景也是相似逻辑。超级电容并不适合做长时大储能的主力方案，但它适合做快速响应工具。比如在电压暂降、瞬态功率波动、电力电子设备冲击、微网稳定、工业电源支撑等场景中，系统需要的不是储很多电，而是在短时间内快速吸收或释放功率，帮助系统渡过波动。它更像电力系统里的缓冲垫。当系统出现瞬时冲击时，它可以快速吸收；当系统需要短时支撑时，它又能快速释放。它不负责长时间供电，却可以帮助系统提高稳定性和响应速度。

这也是为什么电力系统相关主体对超级电容的布局值得重视。它们未必都是超级电容制造商，但它们代表了应用端的真实需求。它们关心的不是材料概念，而是这个东西能不能用于电力设备，能不能在复杂工况下长期运行，能不能和现有系统匹配，能不能通过工程验证。对超级电容企业来说，进

入能源电力场景，靠单体参数远远不够。必须拿出高压模组、串并联均衡、热管理、安全防护、状态监测、控制策略和系统接口适配能力。这里的竞争，本质上是工程可靠性竞争。

## 工业电源场景：UPS 和工业设备，看中的是“短时不断电”

再来看工业电源和 UPS 场景。很多工业设备并不一定需要长时间备用电源，但它们非常怕突然断电、瞬时电压波动或者电源切换失败。

对自动化产线、通信设备、电力控制系统、工业控制设备、精密制造装备来说，哪怕只是很短时间的掉电，也可能导致停机、数据丢失、控制异常，甚至设备损坏。



这类场景需要的不是“撑很久”，而是“关键几秒钟、几十秒钟不能掉链子”。

超级电容正好适合这种短时不断电需求。它响应快，可以高倍率充放电，循环寿命长，维护压力相对较小，适合频繁短时工作。它未必完全替代传统电池 UPS，但可以在一些高频动作、短时支撑、维护困难或者安全要求较高的场景中，成为一种更合适的功率支撑方案。

这类应用看起来没有新能源汽车那么热闹，但非常接近超级电容的能力边界。因为客户真正要的不是一个新概念，而是一套稳定工作的电源模块。它要能快速接入系统，要能在异常发生时马上响应，要能长期保持可用状态，还要尽量减少维护。

这就是为什么企业专利会密集落到模组结构、连接结构、充放电控制、安全保护、检测管理等方向。超级电容在工业电源里的价值，不在于讲一个宏大的储能故事，而在于解决一个很具体的问题：系统突然波动时，它能不能稳稳托住那一下。

## 混合储能：超级电容最现实的产业化路径

如果要判断超级电容未来更可能怎么产业化，混合储能是一个绕不开的方向。所谓混合储能，本

质上就是让不同储能器件各干各擅长的事。锂电池负责能量，超级电容负责功率；锂电池负责较长时间供电，超级电容负责短时冲击；锂电池承担基础续航，超级电容承担快速响应。

这套逻辑，比“超级电容替代锂电池”更现实。

在车辆、轨交、风电、电力、工业电源等场景中，很多需求本来就不是单一储能器件能完美解决的。系统既需要一定能量储备，又需要瞬间功率响应；既要考虑成本，又要考虑寿命和安全；既要满足正常工况，又要应对异常冲击。

这时候，超级电容最适合的角色，就是做功率缓冲和瞬态支撑。它可以分担锂电池不擅长的高倍率充放电任务，减少电池冲击；也可以在系统波动时快速吸收或释放能量，提高整体响应速度。



但混合储能不是简单把锂电池和超级电容接在一起。真正难的是控制。

什么时候由电池供电，什么时候由超级电容释放功率；什么时候吸收回馈能量，什么时候限制充放电边界；如何避免两套储能单元互相拖累；如何让系统成本、寿命、安全和性能达到平衡。

这些问题都不是单体材料能解决的，而是系统工程问题。所以，从专利角度看，如果一家超级电容企业已经开始围绕混合储能、能量管理、充放电控制、寿命预测和系统协同做布局，就说明它不再只是做器件，而是在往解决方案走。这可能是超级电容最现实、也最值得关注的一条产业路径。

**真正值得看的，是场景化解决方案**

利数据有一个好处：它不只告诉我们企业在宣传什么，更能告诉我们企业在反复解决什么问题。

从企业端专利看，超级电容企业反复解决的，已经不是一个单一材料问题，而是一组产业化问题。

材料当然重要。没有好的材料，性能上限就会受限。但材料不是终点。材料要做成电极，电极要做成单体，单体要做成模组，模组要接入系统，系统还要在客户现场长期稳定运行。

这中间每一步，都会产生新的技术问题，也会产生新的专利布局空间。单体封装、极片制造、集流体结构、壳体设计、泄压防爆、热管理、串并联均衡、高压模组、状态监测、寿命预测、故障诊断、充放电控制、系统接入，这些看起来没有材料名词那么炫，但更接近商业竞争。因为客户买的不是实验室数据，而是能跑在真实系统里的产品。

同样是超级电容，放在轨交、风电、UPS、车辆、电网里，要求完全不同。轨交关心高频启停和能量回收，风电关心关键时刻可靠变桨，UPS 关心短时不断电，车辆关心制动回收和启动辅助，电力系统关心瞬态支撑和系统稳定。

不同场景对应不同的产品结构、模组设计、控制策略和验证体系。谁能把这些场景吃透，谁就有可能把超级电容从“元器件”做成“解决方案”。

这也是为什么单纯材料型专利虽然重要，但并不能完整代表一家超级电容企业的竞争力。更准确地说：材料决定上限，工艺决定稳定性，模组决定可用性，场景决定商业价值。

## 看超级电容企业，不能只问能量密度

如果从投资、合作或者产业分析角度看一家超级电容企业，不能只问它的能量密度做到多少，也不能只看它有多少件专利。更关键的是看三件事：

它有没有明确场景。

超级电容不是万能储能器件。它必须落到具体场景里，才能体现价值。车辆、轨交、风电、电力、UPS、工业设备，每个场景的问题都不一样。如果企业说不清自己主要解决哪个场景中的哪个痛点，只讲通用性能，就要谨慎。

它解决的是不是短时大功率问题。

超级电容最擅长的是快速响应、高频充放电和瞬时功率支撑。如果一个场景本质上需要长时储能，那它未必是最优解。判断超级电容项目，要先看需求是不是和它的能力匹配。

它有没有把单体做成系统的能力。

单体只是开始。真正进入工业、电力、交通系统，必须有模组、高压、串并联、安全防护、热管理、状态监测和控制管理能力。没有这些，超级电容很难从器件走向产品，更难走向客户现场。

所以，企业专利如果只停留在材料和制备方法，却没有覆盖模组、安全、控制、寿命和场景接入，它的产业价值和排他能力都要打一个问号。

真正有价值的专利，不是把“超级电容”三个字写进去，而是要落在产品路径、应用工况和客户系统里。

**结语：超级电容的机会，不在替代锂电，而在找到自己的位置**

超级电容这些年没有像锂电池那样站到聚光灯中心，也没有成为大众讨论中的明星技术。但这不意味着它没有机会。

从企业专利信号看，超级电容正在从材料叙事走向工程场景。它真正的机会，不是喊出“替代锂电池”，而是在车辆、轨交、风电、电力、UPS、工业电源等场景中，解决锂电池不擅长、传统电源方案又不够理想的短时大功率问题。

它不是储能世界里的万能答案。但在一些关键工况下，它可能正好是那个最合适的补位者。

所以，理解超级电容，关键不是问它能不能成为下一个锂电池，而是问：在哪些场景里，系统真正需要一个快速响应、频繁充放电、寿命长、安全可靠的功率型储能单元？

# 电容“芯”革命：AI 逼出国产技术大爆发 超级电容直接成标配

2026 年，一场由 AI 算力爆发引发的“电容革命”正在悄然上演。从 AI 服务器电源里的 MLPC 叠层电容，到算力机柜标配的超级电容，曾经不起眼的被动元件一跃成为制约高端设备量产的关键瓶颈。国内电容企业抓住这一历史性机遇，在多个技术领域实现从“跟跑”到“并跑”甚至“领跑”的跨越，国产替代进程全面加速。



## 一、传统电容：AI 倒逼技术升级 国产厂商突破高端垄断

长期以来，全球高端电容市场被日本、韩国企业垄断。但随着 AI 服务器对电容性能提出 "更高耐压、更低阻抗、更小体积、更长寿命" 的极致要求，国内企业凭借全产业链优势和快速响应能力，在多个细分赛道实现重大突破。

### （一）MLPC 叠层电容：AI 服务器“换芯革命”国产三强突围

MLPC（叠层聚合物铝电解电容）是 AI 服务器电源的核心元件，能够有效解决高功率 GPU 带来的电流波动问题。此前全球市场被松下一家垄断，市占率超过 80%，英伟达、AMD 等头部厂商几乎全部依赖其供应。2026 年，这一格局被彻底打破：

**江海股份**

2024 年发布 N 型导电聚合物 MLPC，ESR 降至 2 mΩ以下，耐温 145℃，成为国内唯一通过浪潮认证并批量供货的企业，产品已适配英伟达 GB300 服务器方案。2026 年 MLPC 产能达 8.4 亿只/年，营收预计 5-7 亿元，同比增长 300%以上。

**艾华集团**

拥有 MLPC 相关专利 20 余项，已通过多家头部服务器厂商测试认证，依托其在铝电解电容领域的全球第二地位，客户资源优势明显。

**宏达电子**

布局军工+民品 MLPC，在高可靠、耐高温领域具备独特优势。

### （二）MLCC：单机用量翻倍 高容高压型号实现突破

AI 服务器对 MLCC 的需求呈现“量价齐升”的态势。单台 AI 服务器的 MLCC 用量从传统的约 6500 颗猛增至 12000 颗以上，部分高端机型甚至达到 2.5 万颗，且必须使用高容、高压、耐

高温的高端型号，普通电容装上去一秒就会击穿。国内企业在这一领域取得显著进展：

**风华高科**

已成功研发多款适用于 AI 服务器的中高压高温高容值 MLCC，并与国内头部 AI 服务器企业开展合作。



**三环集团**

MLCC 产品矩阵丰富，月产能正向 900 亿颗提升，同时在石墨烯聚酰亚胺复合介质材料方面取得突破，预计 2026 年实现量产，将大幅提升薄膜电容的耐压和耐温性能。

**国瓷材料**

作为国内 MLCC 介质粉体核心供应商，正聚焦 AI 服务器用高端粉体推进扩产，从上游支撑国产 MLCC 产业发展。

**（三）铝电解电容：材料与工艺双突破 打破日系技术壁垒**

铝电解电容凭借高容量、低成本、宽电压范围的优势，占据全球电容市场 40% 以上的份额。国内企业通过材料创新和工艺优化，在多个高端领域打破日系垄断：

**150℃超高温液态铝电解电容**

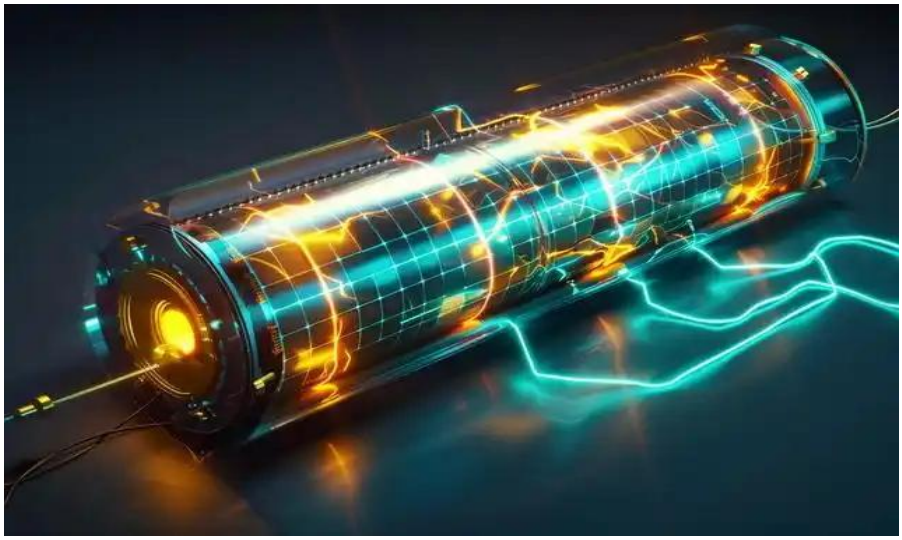
艾华集团成功研发出填补国内技术空白的 150℃超高温液态铝电解电容，过去这一产品只有日本厂商能够生产，主要应用于车规级、工业级等严苛环境。

**固液混合电容技术**

艾华集团通过液态电解液与固态导电聚合物的复合设计，在成本降低 40% 的同时将寿命提升至 3 万小时，在汽车电子领域的渗透率已达 35%。

**积层箔技术**

传统化成箔的比容已经接近物理天花板，难以满足 AI 服务器电源 “更高耐压 + 更小体积”的双重要求。东阳光等企业研发的积层箔比容比传统化成箔高20%-40%，在相同容量下体积缩小20%，正在打开高端电容的全新空间。



## 二、超级电容：从“配角”变“主角”国产技术领跑全球

超级电容凭借微秒级响应速度、百万次超长循环寿命、宽温域工作等独特优势，过去主要作为辅助电源使用。但随着 AI 算力爆发和新能源革命深入，超级电容正在从“配角”跃升为“主角”，成为 AI 服务器、新能源汽车、电网储能等领域的刚需元件。

### （一）AI 服务器全面标配 供需缺口超一倍

英伟达新一代 GB300 和 Rubin 算力平台设计中，全面标配超级电容稳压储能模组，彻底重构了算力机柜的供电架构。搭载超级电容的 AI 机柜可有效降低电网 30% 峰值负荷，大幅提升服务器运行稳定性，适配高密度算力集群建设需求。这一变化带来了超级电容需求的爆发式增长。2026 年全球 AI 服务器超级电容市场规模预计突破 7 亿美元，供需缺口超过一倍，海外厂商产能严重不足，为国内企业提供了历史性的补位机会。

### （二）国产技术多点突破 掌握全球话语权

国内超级电容产业已完成从材料到器件的全链路布局，在多个技术领域达到全球领先水平：

**江海股份**

国内少数同时掌握 EDLC（双电层电容器）和 LIC（锂离子电容器）双技术路线的企业，已通过代工厂商间接切入英伟达供应链获得批量订单。2025 年超级电容业务营收增幅超过 50%，2026 年产能从 300 万颗大幅扩张至 800 万颗。

**清研电子**

2026 年 5 月正式完成对 Maxwell 在中国超级电容器代工线的收购，注入自研 PIFs 核心工艺与车规级品控体系，建成年产 300 万只的全自动化超容产线，产品质量一致性显著提升，顺利切入全球高端核心供应链。

**厦门大学团队**

提出“电化学驱动溶剂化结构部分脱溶""新机制，制备的多孔碳负极比容量达 508 C/g，远超商业化超级电容电极材料。以此组装的混合钠离子电容器软包电芯，能量密度达到 40 Wh/kg，较当前商用超级电容器提升约 4 倍，并具备 70 秒极速充电、30000 次循环的长寿命特性。

**国际标准主导权**

2025 年，中国牵头的电力储能用超级电容国际标准正式立项，得到德国、日本、芬兰等国的全力支持，中国彻底掌握了超级电容领域的全球话语权。




**（三）应用场景持续拓展 市场空间万亿级**

除了 AI 数据中心，超级电容的应用场景正在快速拓展：

**电网储能**

超级电容凭借毫秒级平抑波动的能力，成为解决光伏、风电输出不稳定问题的理想方案，可有效提升新能源发电的并网安全性。

**新能源汽车**

超级电容可用于电动汽车的快充辅助和制动能量回收，大幅提升充电速度和电池寿命。

**轨道交通**

国内城市轨道交通已广泛采用超级电容作为储能装置，实现制动能量的高效回收利用。

据行业预测，全球超级电容市场规模将从 2026 年的 32.9 亿美元增长至 2034 年的 123.9 亿美元，年复合增长率超过 18%。随着能量密度的持续提升和成本的系统性下降，未来 3-5 年超级电容有望从 "辅助电源" 变成 "主力储能"，打开万亿级市场空间。

## 三、行业发展趋势与投资建议

当前电容行业正处于“AI + 新能源”双轮驱动的黄金发展期，国产替代进程全面加速，具备核心技术优势和客户资源的企业将充分享受行业增长红利。



### （一）行业发展趋势

#### 高端化

AI 服务器、新能源汽车等高端应用对电容性能的要求不断提升，高端电容的价值量是传统产品的 3-5 倍，成为行业增长的主要动力。

#### 一体化

全产业链布局成为企业的核心竞争力。从上游的电极箔、陶瓷粉体，到中游的电容器制造，垂直一体化企业能够更好地控制成本、保证质量、快速响应客户需求。

#### 全球化

国内电容企业正在加速出海，凭借成本优势和技术进步，逐步抢占全球市场份额，特别是在新兴市场和高端领域的突破值得期待。

### （二）投资建议

建议投资者围绕“技术突破 + 国产替代 + 业绩兑现”三大主线进行布局：

#### 传统电容领域

重点关注在 MLPC、高端 MLCC、车规级铝电解电容等领域实现技术突破并进入头部客户供应

链的企业，如江海股份、艾华集团、风华高科等。

**超级电容领域**

优先布局已切入 AI 服务器供应链、产能扩张明确的龙头企业，以及在核心材料和前沿技术方面具备优势的企业。

# 被日本垄断的 AI“隐形心脏”：中国硅电容，差了整整 10 倍

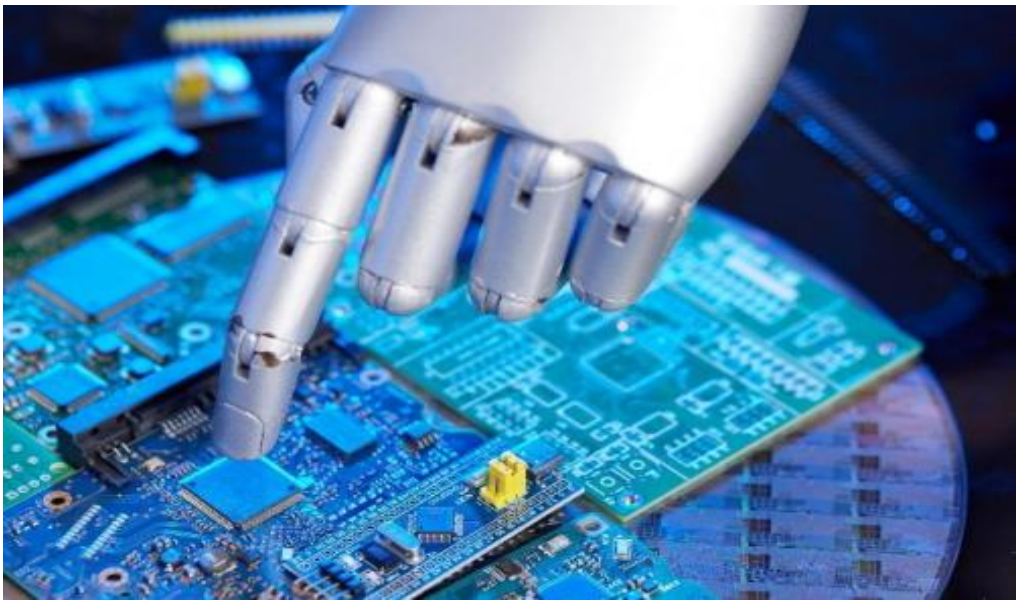
2026 年 5 月 20 日，一条不起眼的新闻炸了半导体圈：三星电机拿到了英伟达 1.5 万亿韩元（约 68 亿元）的硅电容大单，供货周期 2027-2028 年。

很多人可能不知道，这 68 亿买的不是 AI 芯片，不是 GPU，而是一块比指甲盖还小的元器件——硅电容。它没有光刻机那么耀眼，也没有 EDA 那么神秘，但它正在决定 AI 芯片的性能上限。更扎心的是，这个小小的器件，全球市场几乎被日本企业垄断，中国所有厂商加起来，份额还不到 2%。

一块不起眼的芯片，让英伟达抢破头。如果说 AI 芯片是大脑，那电容就是心脏的“起搏器”。我们都知道，AI 芯片运算速度越快，需要的电流就越大，电压波动也越剧烈。如果电压不稳，芯片轻则降频，重则直接死机。电容的作用，就是在芯片需要电的时候快速放电，不需要的时候储存电，保证电压始终稳定。

过去几十年，我们用的都是 MLCC（多层陶瓷电容）。但随着 AI 算力的爆发，MLCC 已经不够用了。举个最简单的例子：一块 H100 GPU，需要超过 1000 颗电容来供电。如果用传统 MLCC，不仅占空间，而且 ESL（等效串联电感）太高，根本跟不上芯片的运算速度。

这时候，硅电容就登场了。



硅电容是用半导体工艺做出来的电容，它的体积更小、ESL 更低、电容密度更高。同样大小的硅电容，容量是 MLCC 的 10 倍以上。更重要的是，它可以直接集成在芯片封装里，离 GPU 核心更近，供电效率更高。现在，AI 服务器单机硅电容用量已经是传统服务器的 10-20 倍。英伟达下一代 B100 芯片，对硅电容的需求还会再翻一番。这也是为什么英伟达愿意花 68 亿，提前锁定三星电机两年的产能。

日本三巨头的绝对垄断，中国厂商只能喝汤

全球硅电容市场，是一个典型的“寡头垄断”格局。日本村田、京瓷 AVX、罗姆三家，加起来拿走了全球近 70%的市场。剩下的 30%里，三星电机正在疯狂抢食，威世、TDK 等欧美厂商分食剩下的蛋糕。而中国厂商，几乎只能在军工这个小众市场里喝汤。

大概整理了一下目前全球主要硅电容厂商的情况：

村田：全球老大，深沟槽技术独步天下，产品覆盖从军工到消费电子的所有场景，英伟达、AMD、苹果都是它的客户。

京瓷 AVX：高容值硅电容领先，0402 封装能做到 47μF，是英特尔、博通的核心供应商。

罗姆：车规级硅电容霸主，AEC-Q100 认证最全，丰田、大众、博世都用它的产品。

三星电机：最大黑马，凭借 MLCC 工艺积累和三星集团的客户资源，2026 年市场份额已经冲到 8%，这次拿到英伟达大单后，2027 年有望突破 15%。

反观国内，目前真正能量产硅电容的企业，一只手就能数过来。鸿远电子和火炬电子，主要做军工级硅电容，给航天科技、中航工业供货，每年产能加起来也就 1 亿多只。风华高科和赛微电子，还在样品验证阶段，离大规模量产还有一段距离。更残酷的是，国内 90%以上的硅电容收入，都来自军

工领域。AI 服务器、车规电子这些最赚钱、增长最快的民用高端市场，我们几乎一片空白。

10 倍的技术差距，到底卡在哪？很多人会问，我们连 7nm 芯片都能造出来，为什么造不好一个小小的硅电容？

答案是：技术路线和产业链的全面差距。

目前硅电容有三条主流技术路线，难度从低到高分别是：2D 平面 MIM 电容、3D 堆叠 MIM 电容、深沟槽 MOS 电容。国内厂商现在能做到的，只有最基础的 2D 平面 MIM 电容。风华高科和赛微电子正在攻关 3D 堆叠 MIM 电容，而最先进的深沟槽技术，我们还停留在实验室阶段。

| 技术路线 | 代表厂商 | 电容密度 | 核心优势 | 应用场景 | 国内进展 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 深沟槽MOS电容(DTC) | 村田、英特尔 | 最高 | 单位面积电容最大，可靠性最高 | AI芯片封装、高频射频 | 只有实验室样品，无量产能力 |
| 3D堆叠MIM电容 | 京瓷AVX、三星电机 | 高 | 工艺相对简单，良率高 | 光模块、服务器主板 | 风华高科、赛微电子在做样品验证 |
| 2D平面MIM电容 | 国内所有厂商 | 低 | 技术门槛最低，成本低 | 军工、低端通信 | 鸿远电子、火炬电子实现小批量量产 |

这三条路线的差距有多大？用最直观的电容密度来说：

**1.** 2D 平面 MIM：最高约 10 nF/mm²

**2.** 3D 堆叠 MIM：最高约 50 nF/mm²

**3.** 深沟槽 MOS：最高超过 100 nF/mm²

也就是说，日本村田最先进的深沟槽硅电容，电容密度是国内量产产品的 10 倍。同样大小的空间里，日本厂商能装下 10 倍的电容，AI 芯片的算力自然就能跑得更快。除了技术路线，上游材料和设备才是真正的“命门”。硅电容的制造，需要高纯度的 $HfO_2$、$ZrO_2$ 等高 k 介质材料，这些几乎被日本信越、JSR 垄断。还有 ALD 沉积设备、深沟槽刻蚀设备，90%以上依赖进口。没有这些，我们连合格的硅电容都造不出来。

| 产业链环节 | 海外领先企业 | 国内企业 | 差距程度 | 核心瓶颈 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 高k介质材料 | 信越化学、JSR | 江丰电子、有研新材 | 大 | 纯度、均匀性、批次稳定性 |
| ALD沉积设备 | 应用材料、东京电子 | 北方华创、拓荆科技 | 较大 | 薄膜厚度控制精度(<0.1nm) |
| 深沟槽刻蚀设备 | 泛林半导体、东京电子 | 中微公司 | 大 | 深宽比(>20:1)刻蚀均匀性 |
| 晶圆代工 | 台积电、英特尔、格芯 | 中芯集成、赛微电子 | 中等 | 12英寸硅电容专用产线 |
| 封装测试 | 日月光、安靠 | 长电科技、通富微电 | 小 | 芯片级封装(CSP)技术 |

最近和一位半导体行业的朋友聊天，他说：“很多人觉得半导体就是光刻机、就是 EDA，但其实像硅电容这样的'小器件'，才是真正卡脖子的地方。它们技术门槛高、市场规模小、回报周期长，

没人愿意沉下心来做。”

国产替代的机会，真的来了？虽然差距很大，但我依然认为，未来 3-5 年是中国硅电容产业发展的关键窗口期。

首先是需求爆发。2025 年全球硅电容市场规模是 16.9 亿美元，2035 年将达到 35.5 亿美元。AI 服务器是最大的增长动力，2027 年全球硅电容需求将突破 100 亿只。这么大的市场，不可能全部被日本和韩国企业吃掉；其次是供应链安全。军工、通信等领域对国产替代的需求非常迫切，政策支持力度也很大。鸿远电子、火炬电子等企业，已经在军工领域实现了规模化替代，积累了宝贵的技术和经验；最后是技术协同。硅电容和 DRAM 电容技术高度同源，国内长鑫存储等 DRAM 厂商的技术积累，可以部分复用在硅电容上。中芯集成、赛微电子等 MEMS 晶圆代工厂，也能为硅电容提供流片服务。

但我们必须清醒地认识到，国产替代的路还很长。AI 和车规领域的客户认证周期长达 2-3 年，进入英伟达、特斯拉这样的顶级客户供应链，难度不亚于再造一个企业。一条 12 英寸硅电容产线投资超过 20 亿元，回报周期长达 5-10 年，这对任何一家企业来说，都是巨大的挑战。

写在最后：我们需要更多“慢公司”。

这几年，我们见过太多半导体行业的泡沫。很多公司打着“国产替代”的旗号炒概念、圈钱，真正沉下心来做技术的少之又少。硅电容不是一个能赚快钱的行业。它没有那么多光鲜亮丽的故事，也没有动辄百倍的估值。它需要的是十年如一日的技术积累，是对每一个工艺细节的极致追求。但正是这样的“慢行业”，才是中国半导体真正的短板。

不需要更多 PPT 造芯片的公司，需要像鸿远电子、风华高科这样，愿意在一个细分领域深耕几十年的企业。它们可能不会一夜暴富，但它们是中国半导体的脊梁。国产替代从来都不是一蹴而就的事情。它需要一代人甚至几代人的努力。但只要有人在走，就有希望。

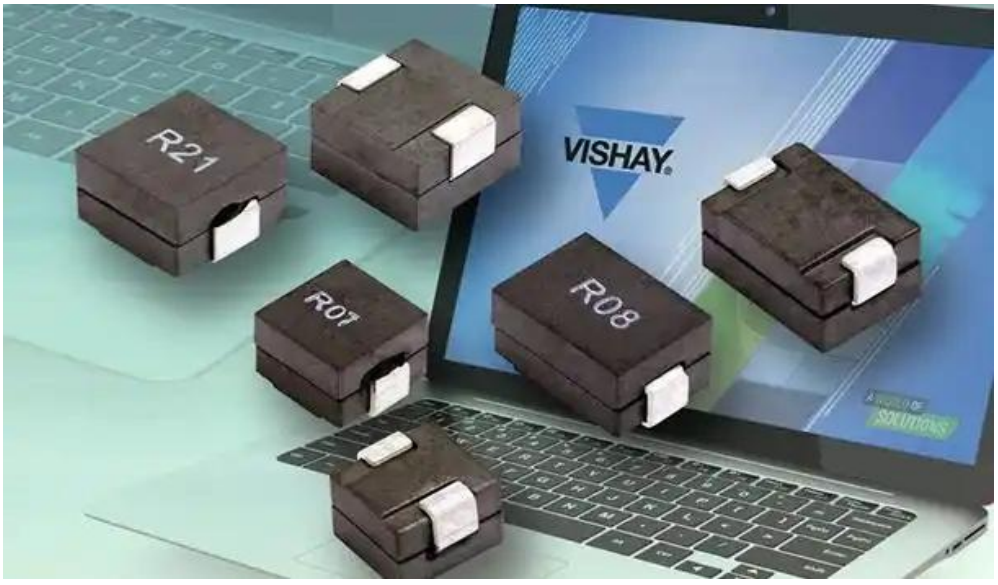
# 国产被动元器件技术突破加速，高端市场替代空间广阔

## 一、行业现状：从“跟跑”到“并跑”的关键跨越

被动元器件是电子产业的基石。一台智能手机需要超过 1000 颗 MLCC（多层陶瓷电容器），一辆新能源汽车的 MLCC 用量是传统燃油车的 6 倍，一台 AI 服务器单台需 44 万颗高端 MLCC。这些数字背后，是每年超过 1400 亿元的中国市场规模，以及长期被日系、韩系厂商垄断的高端供应链。

长期以来，全球被动元件市场呈典型的金字塔结构：村田、TDK、三星电机等日韩企业占据高端领域，在材料配方、精密工艺和客户认证上形成深厚壁垒。村田自主研发的陶瓷粉体占据全球高端市场 60%份额，其 01005 尺寸 MLCC 良率达 99.99%，车规级产品通过 AEC-Q200 认证的通过率高达 92%。但格局正在发生变化。

2024 年中国被动元件市场规模达 1423 亿元，占全球约 44%。大陆厂商的整体自给率已从 2020 年的约 12%提升至 2024 年的 22%以上，片式电感的自给率则超过 30%。这一变化不是简单的产能扩张，而是材料、工艺、产品三个维度的系统性突破。

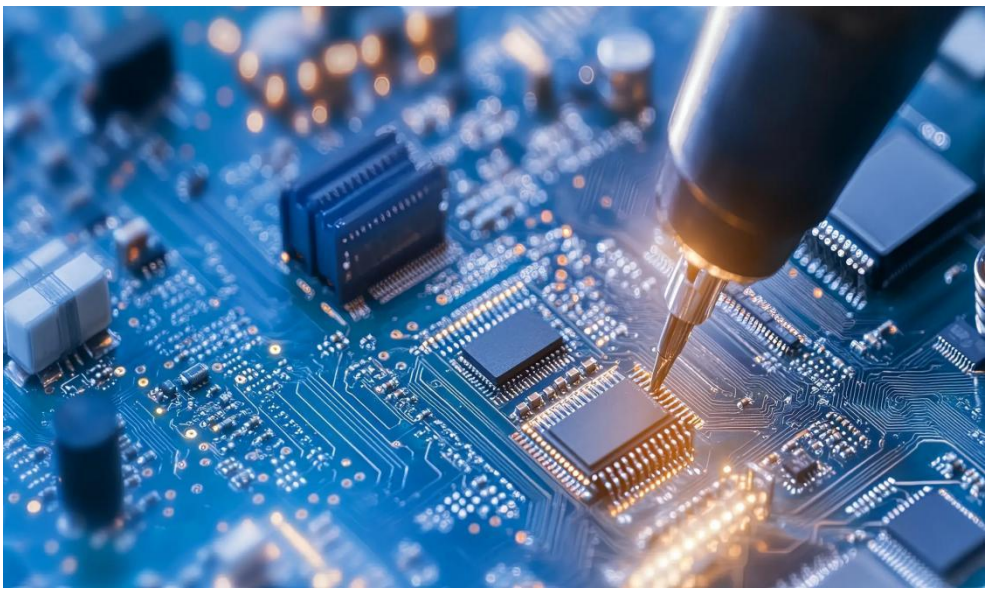



## 二、材料自主化：打破“卡脖子”的第一道关口

材料是被动元器件的核心竞争力，也是国产替代最难啃的骨头。

陶瓷粉体领域，三环集团通过水热法工艺优化，将中端陶瓷粉体自主化率提升至 50%，其氮化铝基板热导率达到 170W/(m·K)，性能比肩国际先进水平。更关键的是，三环实现了从粉体到烧结的垂直一体化，陶瓷粉体自给率达 100%，是国内唯一实现高端 MLCC 材料全自主的企业。风华高科在纳米晶瓷粉领域实现突破，成功自主供应极限高容用 MLCC 配方粉与高连续性辊印镍浆，逐步摆脱对日本 Sakai Chemical 等海外企业的依赖。

火炬电子则实现瓷粉全产业链自主可控，湿法分厂的钽粉自给率从 50%提升至 100%。电阻材料方面，振华科技突破抗硫化电阻核心配方，自主研发的高精度合金材料低温漂特性控制在±25 ppm/℃。宏达电子攻克高比容钽粉技术，为高分子钽电容的量产铺平道路。麦捷科技通过改进气雾化喷嘴技术，实现高性能铁硅、铁硅铝磁粉的产业化应用。这些突破的直接影响是成本可控性显著提升。三环集团 2025 年三季报毛利率达 42.49%，净利润率 30%，显著高于行业平均水平，核心支撑正是材料端的垂直整合能力。



## 三、工艺升级：对标国际先进水平的精密制造

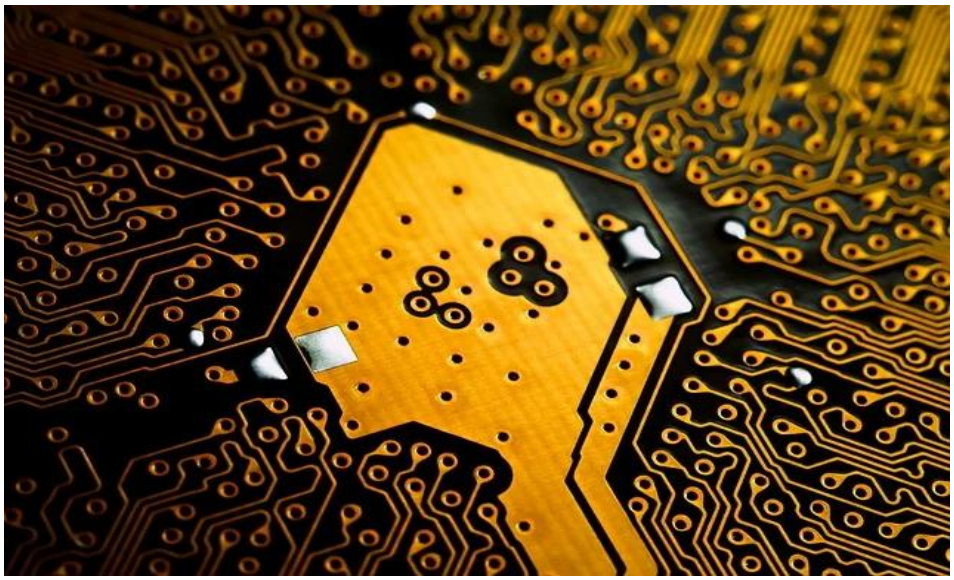
材料突破之后，工艺精度决定了产品能否进入高端客户的供应链。MLCC 薄膜化技术是衡量工艺水平的核心指标。

三环集团投入数千万元购置专业测试设备，重点攻克介质层薄膜化技术，目前已实现 1 微米膜厚的量产——这一厚度仅相当于头发丝的 1/40，同时 MLCC 堆叠层数突破 1000 层，产品规格的国产化覆盖比例达到 90%。超小尺寸电感领域，顺络电子实现 01005 尺寸（0.4 mm×0.2 mm）电感量产，整体工艺水平跻身全球第一梯队。该产品已成功进入英伟达 AI 服务器供应链，相关业务收入同比增长 73%。振华科技掌握贱金属厚膜电阻的精密氛围烧结技术与异质界面控制技术，在提升产品性能的同

时降低了高端电阻的生产成本。

火炬电子新建产线可生产 01005 超小尺寸、高容值（≥100 μF）的车规 MLCC，工艺标准对标国际一线厂商。泰晶科技突破 312.5MHz 超高基频差分输出工艺，有效降低了产品的相位噪声和抖动，适配 1.6T 光收发器需求。灿勤科技将 HTCC 工艺的精度推向新高度，实现单层厚 0.1 mm、线宽 50 μm 的极限精度。

工艺升级的直接成果是产品良率和一致性的提升。鸿远电子优化多层叠层与封装工艺，保障了航天级 MLCC 的高可靠性，军用 MLCC 市占率超过 30%。宏达电子精进高分子钽电容制造工艺，显著提升了产品良率与稳定性。



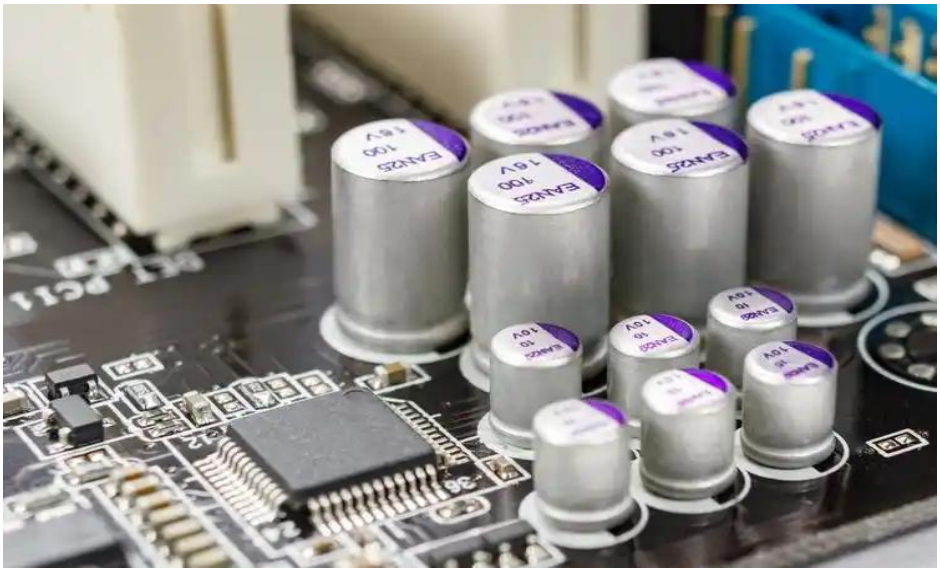
## 四、产品矩阵：从消费电子到车规、AI 的跨越

技术突破最终要落地为产品竞争力。国产被动元器件正在从消费电子的中低端市场，向车规级、AI 服务器、航空航天等高端领域渗透。车规级市场是最关键的突破口。

风华高科有 6 款车规 MLCC 通过 AEC-Q200 认证，顺利进入比亚迪、蔚来等车企供应链，车规业务收入占比提升至 22%。三环集团车规级产品通过 AEC-Q200 认证，在特斯拉供应链占比超 20%，比亚迪、理想占比超 30%。火炬电子的车规 MLCC 已小批量导入比亚迪、吉利，还与蔚来、理想签订 5 年战略协议，预计 2025 年车规 MLCC 出货量将达 10 亿只。AI 服务器领域是增长最快的赛道。顺络电子的 AI 服务器电感成功进入英伟达供应链，相关业务收入同比增长 73%。三环集团的 MLCC 产品覆盖 AI 服务器所需的 0603-226 小尺寸高容型号到 1210-107 大尺寸高容型号，全球市场份额已提升至 4.5%。

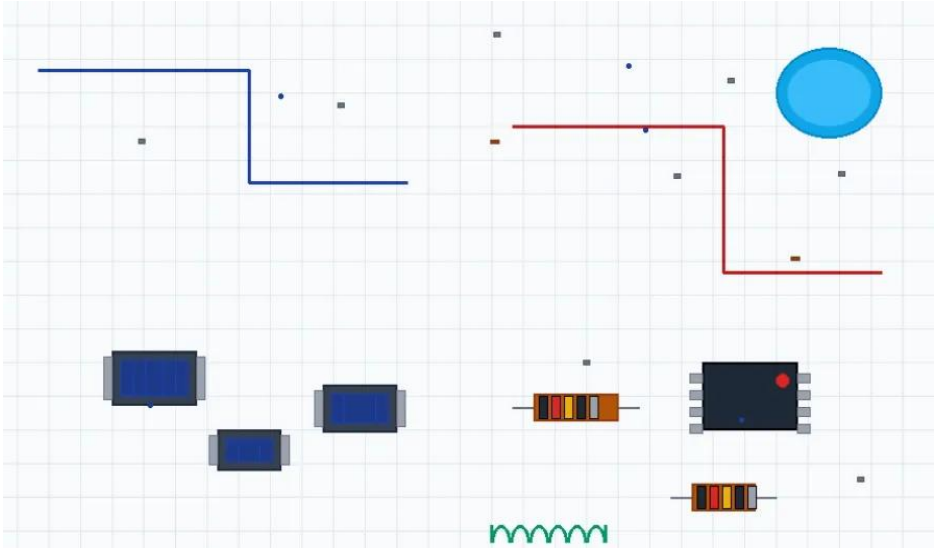
宏达电子的 AI 服务器用钽电容通过客户验证，单季订单量达 50 万片。军用与航天领域的壁垒最

高，但国产替代也最彻底。鸿远电子的军用 MLCC 市占率超过 30%，车规产品通过特斯拉认证，同时参与朱雀三号商业火箭项目。振华科技的高精度电阻打破日系厂商垄断，雷达系统用电阻实现进口替代。产能规模方面，头部企业正在快速扩张。风华高科投资 50 亿元建设祥和工业园，MLCC 月产能从 200 亿只提升至 600 亿只，电阻月产能达 1000 亿只以上。三环集团当前月产 900 亿颗，2026 年目标 1200 亿颗，全球市占率剑指 5%-8%。微容科技年产能达 6000 亿片，超微型 MLCC 市占率跃居全球第三。



## 五、涨价潮下的“黄金机遇”

2025 年下半年至 2026 年初，全球被动元件市场掀起涨价潮。国巨宣布电阻涨价 15%-20%，旗下基美品牌钽电容涨价 20%-30%。华新科、松下、三星电机、TDK、村田等国际大厂相继跟进，涨幅普遍在 10%-30%。国内市场同样跟进。风华高科 2025 年 11 月发布涨价函，多款产品涨幅 5%-30%。顺络电子 2025 年 12 月底再度涨价，2026 年 1 月 1 日起对多款电感、电阻产品调整价格。



涨价潮的背后是供需两端的双重驱动：

需求端：新能源汽车 MLCC 用量是传统燃油车的 6 倍，AI 服务器、AI PC 及 AI 手机的 MLCC 需求量分别增长约 100%、40%-60%和 20%。

供给端：海外厂商产能倾斜、交货延迟，高端高规格元件供不应求，而中低阶 MLCC 受消费电子需求疲软影响陷入价格战，产能稼动率仅 60%-70%。

这轮涨价潮对国产厂商是双重利好：一方面，原材料成本上涨可以通过调价传导；另一方面，海外厂商产能不足和交货延迟，迫使终端客户加速导入国产料号作为二供/三供，国产性价比优势凸显。

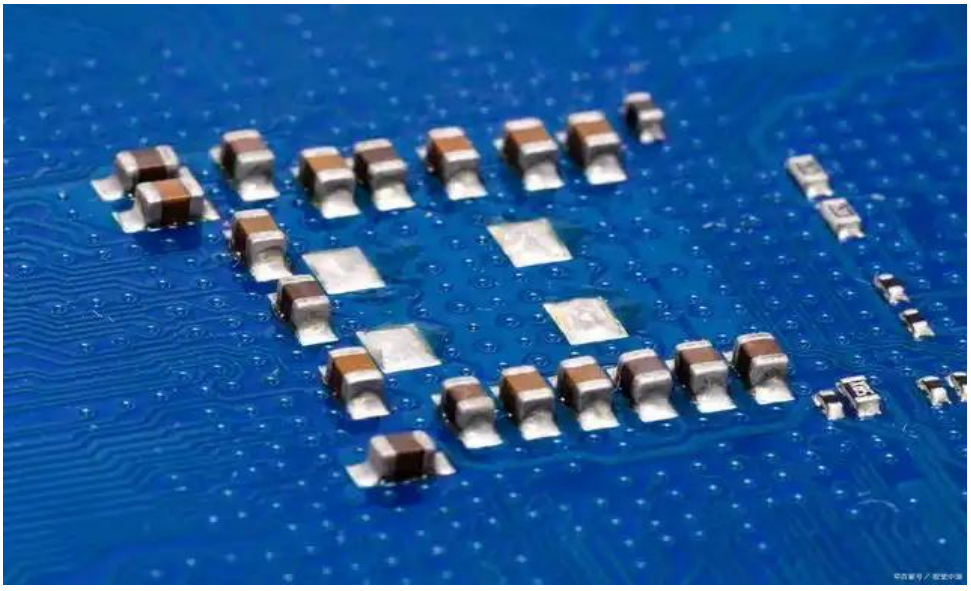
## 六、挑战与风险：替代之路仍有硬骨头

尽管进展显著，但国产被动元器件的高端化之路并非坦途。

第一，高端粉体和设备仍有进口依赖。风华高科部分高端粉体、电极材料仍依赖进口，受日本出口管制短期承压。在 01005 超微型 MLCC 和超高容（100 μF 以上）领域，日系企业的技术代差依然存在。

第二，车规认证周期长。AEC-Q200 认证通常需要 3-5 年周期，日系企业通过率达 92%，国内厂商虽然已有突破，但在产品一致性和长期可靠性数据积累上仍需时间。

第三，低端产能过剩风险。随着多家企业大规模扩产，中低端 MLCC 市场可能出现供过于求，价格战压力将挤压中小厂商的生存空间。2026 年一季度供应链已呈现"AI 热、消费冷"的结构性分化。第四，地缘政治的不确定性。尽管近期中美关税出现缓和，但技术封锁和出口管制的风险并未消除。国产替代的逻辑不仅是成本驱动，更是供应链安全的刚需，这一趋势不会因为短期政策波动而改变。



## 七、结语：从“量增”到“质升”的关键阶段

国产被动元器件行业正处在一个关键转折点。过去几年的主题是“量增”——通过扩产和性价比抢占中低端市场份额。而当前的主题正在转向“质升”——通过材料自主化、工艺精密化和产品高端化，切入车规、AI、军工等高附加值领域。三环集团从陶瓷插芯到 MLCC 的全产业链自主、顺络电子打入英伟达供应链、风华高科车规产品批量交付、微容科技超微型 MLCC 全球第三——这些标志性事件表明，国产被动元器件已完成从“跟跑”到“并跑”的跨越。但“领跑”的目标仍需时日。在超高容 MLCC、射频微波元件、高端磁性材料等领域，日韩企业数十年的技术积累不是短期内可以抹平的。国产厂商需要做的，是在已经突破的领域巩固优势，在尚未突破的领域持续投入，同时警惕低端产能过剩的陷阱。

2025 年至 2030 年，中国被动元件行业复合增速预计达 11.09%，2030 年市场规模将达 2583.59 亿元。这个增长空间的大部分，将属于那些在材料、工艺、产品上真正建立起技术壁垒的企业。国产替代不是终点，高端替代才是目标。

# 研会信息

## 风华高科承办中国电子元件行业协会电阻电位器分会

## 2026 年片式电阻器专业技术交流会

初夏时节，群英荟萃。2026 年 5 月 27 日，正值产业迭代、技术革新的关键阶段，中国电子元件行业协会电阻电位器分会 2026 年片式电阻器专业技术交流会在风华高科顺利举办。来自分会会员单位、行业骨干企业、产业链合作伙伴等 38 家单位的 63 名行业代表齐聚一堂，以片式电阻技术为纽带，共探发展趋势、共研技术难题、共商产业未来。




本次交流会围绕片式电阻器国产化替代、核心工艺自主攻坚、微型化与高可靠性技术突破等核心内容，聚焦应用场景的产业适配与标准协同，共谋行业高质量发展之路。会议由中国电子元件行业协会电阻电位器分会主办，风华高科作为协会本届轮值理事长单位、端华分公司作为分会第九届副理事长单位承办。分会秘书长辛钰，风华高科党委副书记、总裁杨晓平，党委委员、副总裁曹秀华，以及公司研究院、端华分公司相关负责人出席本次会议。

**求变突围，共绘发展蓝图**

杨晓平在致辞中以“蜕变、专精、共生”三大关键词，分享企业发展经验与行业协同共建思路，

引发全场代表广泛共鸣。变革求蜕变。面对复杂的市场环境与日趋激烈的行业竞争，风华高科主动变革求进、创新制胜。公司深入践行 FAITH 经营理念，围绕“1+2+4+4+N”改革发展思路与七大战略，以 11 项重点工作全面深化管理变革。

企业经营主题历经“改变、精益”“创新、精益”，升级至“开拓、精益”，完成从稳健变革到创新突破、再到开拓跃升的跨越。2025 年，公司营收、主营产品产销量均创下历史新高。匠心铸专精。坚守实业赛道，风华高科以专注与专业夯实行业发展根基。

端华分公司深耕片式电阻领域三十余载，搭建厚膜、薄膜、合金三大成熟技术平台，持续攻坚抗硫化、高精密等关键核心技术，薄膜电阻精度跻身行业顶尖行列，获评国家制造业单项冠军产品，为元器件国产化替代筑牢技术根基。携手促共生。当前片式电阻行业迎来国产化替代黄金机遇期，产业协同成为破局关键。风华高科充分发挥“链主”企业引领作用，倡导行业摒弃同质化竞争与无序内卷，聚力高端技术研发，推动上下游深度协作、产学研融合联动，打造技术共享、标准共建的良好产业生态。各方集中资源攻坚“卡脖子”技术，合力构建自主可控、安全可靠的电子元器件产业体系，护航我国电子信息产业稳步前行。




**实地观摩，彰显智造实力**

参会代表先后走进风华高科企业展厅、研究院及端华分公司生产车间，近距离观摩企业创新研发、智能制造、品质管控与精益管理成果。

从四十二年砥砺前行的发展历程，到前瞻布局的前沿技术体系，再到智能化升级的“灯塔工厂”产线，全方位展现出国产片式电阻器从跟跑、并跑迈向部分领域领跑的跨越式发展成果，让来访代表真切感受到龙头企业的智造底蕴与创新活力。

**思想碰撞，凝聚发展共识**

交流环节干货满满、研讨氛围热烈，业内专家与企业代表立足行业现状、着眼长远发展，分享观点、凝聚合力。

端华分公司总经理雷攀峰作《“十五五”规划下的片式电阻器行业发展机遇》主题分享。深度分析新兴赛道带来的市场增量，客观剖析原材料波动、高端产品国产化受阻等现实挑战，并从技术创新、品质升级、差异化布局、联合攻关等方面提出应对思路。他呼吁全行业抢抓机遇、携手同行，推动片式电阻产业朝着技术领先、绿色低碳、竞争力强劲的方向迈进。



端华分公司副总经理林瑞芬作《国产替代与核心工艺自主化技术》专题报告。全面梳理三大技术平台国产化发展现状。她提出，国产化替代的核心目标是让客户“能用、好用、敢用、愿意用”，而品质对标是实现突破的重中之重，倡议产业链上下游联合开展技术开发、共建行业标准、共享实验数据，打通材料、设备、工艺等关键壁垒。

研讨交流阶段，四川永星、振华云科、华创友晟、三环集团等多家产业链企业代表依次发言，围绕车规认证体系搭建、测试标准统一、公共实验平台建设、校企联合攻关等议题深入探讨、交换思路。大家一致认为，行业需杜绝低水平重复建设，以标准引领产品升级、以市场驱动技术创新，构建“标准-产品-市场” 三位一体的产业发展闭环。

此次专业技术交流会的圆满举办，进一步厘清了行业技术发展方向，凝聚了协同发展共识，搭建起互联互通、联合攻坚的优质平台，为后续行业深化合作、技术共享、抱团发展打下坚实基础。

后续，风华高科将继续坚守创新初心、深耕主业赛道，持续加快核心技术自主化步伐，推动产业向高端化、精益化、高质量方向迈进。同时，携手全体行业同仁，同心同行、聚力攻坚，共同推动中国片式电阻产业行稳致远、再攀高峰。

# 2026 年中国陶瓷电容器及材料大会暨中国 MLCC 行业年会在广州召开

2026 年 4 月 23-24 日，由广东省工业和信息化厅指导，中国电子元件行业协会主办，广州创天电子科技股份有限公司承办，中国电子元件行业协会科学技术委员会、中国电子元件行业协会电容器分会协办的“‘广货行天下’夏季行动陶瓷电容器产业链供需对接活动——2026 年中国陶瓷电容器及材料大会暨中国 MLCC 行业年会”在广东省广州市召开。





▶ 会议现场

广东省工业和信息化厅二级巡视员谭杰斌；广东省工业和信息化厅电子信息处副处长、二级调研员陈世胜；广州市黄埔区工业和信息化局副局长袁蝶影；中国电子元件行业协会常务副理事长古群；广东风华高新科技股份有限公司董事长李程；广州创天电子科技股份有限公司董事长吴浩；潮州三环（集团）股份有限公司副总裁刘德信；广东微容电子科技股份有限公司董事长黄卫钢；深圳市宇阳科技发展有限公司董事长周春华；合肥恒力装备有限公司董事长朱兵；工业和信息化部电子第五研究所高级副院长贺光辉；工业和信息化部电子信息司基础处干部孙哲；广州市黄埔区工业和信息化局电子信息与装备工业科博士李开先等领导出席了本次会议。

来自国内外陶瓷电容器重点骨干企业、陶瓷电容器上游材料设备企业、相关大专院校和科研院所、投融资机构、新闻媒体等单位的超 500 名代表参加会议，国内 MLCC 骨干企业几乎全体出席。

为开展广东省陶瓷电容器产业链供需对接，大会安排了 50 多家单位集中展示了从基础材料、核心元器件到智能装备的全产业链最新产品与技术。现场还安排了广东风华高新科技股份有限公司与工业和信息化部电子第五研究所、广东微容电子科技股份有限公司与深圳市金岷江智能装备股份有限公司、广州创天电子科技股份有限公司与广东宏华装备科技有限公司、广州新莱福新材料股份有限公司与合肥恒力装备有限公司签署了战略合作或采购协议。据主办方不完全统计，本次“广货行天下”夏季行动陶瓷电容器产业链供需对接活动，共达成广东省电子元器件领域的签约总金额约 6 亿元，有效促进了产学研用协同与产业链上下游的紧密合作，为推动我国及广东省高端电子元器件产业的高质量发展奠定了坚实基础。

大会伊始，中国电子元件行业协会常务副理事长古群致开幕词。古群常务副理事长指出，以 AI 服务器、电力储能为代表的新兴产业正驱动 MLCC（多层陶瓷电容器）需求爆发式增长，使其从基础元件升级为保障系统稳定的战略关键部件，为产业带来历史性机遇。




▶ 中国电子元件行业协会常务副理事长古群致开幕词

与此同时，行业也面临上游原材料价格上涨、低端领域价格战激烈、高端产品仍依赖进口以及核心材料与设备“卡脖子”等严峻挑战。为此，呼吁全行业避免恶性竞争，将资源聚焦于技术研发与高端突破，特别是加强在超薄层、高容值、车规级等高可靠性技术上的攻关。她特别强调，广东省已形成国内最集聚、最活跃的陶瓷电容器产业集群，正依托“广货行天下”品牌行动，推动产业链从区域优势走向全国乃至全球市场。最后，大会希望通过技术交流与产业对接，凝聚合力，共同推动中国陶瓷电容器产业迈向更高质量、可持续的未来。

广东省工业和信息化厅二级巡视员谭杰斌为大会致辞。他表示，广东省委、省政府高度重视陶瓷电容器产业发展，将其列为电子信息产业细分赛道重点培育，并安排省级专项资金支持高端 MLCC 研发与产业化，致力将广东打造成为国内领先、国际知名的陶瓷电容器产业高地。此次活动旨在围绕微笑曲线整合行业资源，搭建供需对接平台。华为等企业发布需求，相关单位开展产品推介，推动形成“粤产粤用、国货国用”的产业生态。广东省工业和信息化厅将持续完善政策、优化环境，支持企业把握广东及大湾区优势，共同为电子元器件产业创新发展作出更大贡献。




▶ 广东省工业和信息化厅二级巡视员谭杰斌为大会致辞

随后，广州创天电子科技股份有限公司董事长吴浩向大会致辞。他表示，MLCC 作为“电子工业大米”，正受益于 AI 算力、新能源汽车、5G/6G 通信等下游需求爆发，但高端市场仍由海外主导，关键材料、设备国产化率低，“卡脖子”问题亟待突破。

创天电子作为产业链上的一家企业，呼吁全行业加强产业链协作，聚焦技术攻关、标准制定与人才培养，共同助力中国 MLCC 产业走向高端自主与全球竞争。

广州市黄埔区工业和信息化局电子信息与装备工业科博士李开先为大家介绍了广州市黄埔区的发展情况，他表示，黄埔区正积极打造优越的产业生态，通过强有力的政策引导与全方位的服务支持，

为包括 MLCC 在内的电子信息产业提供关键支撑，致力于推动区域产业集群高质量发展，强化其在全球产业链中的竞争优势。




▶ 广州市黄埔区工业和信息化局电子信息与装备工业科博士李开先



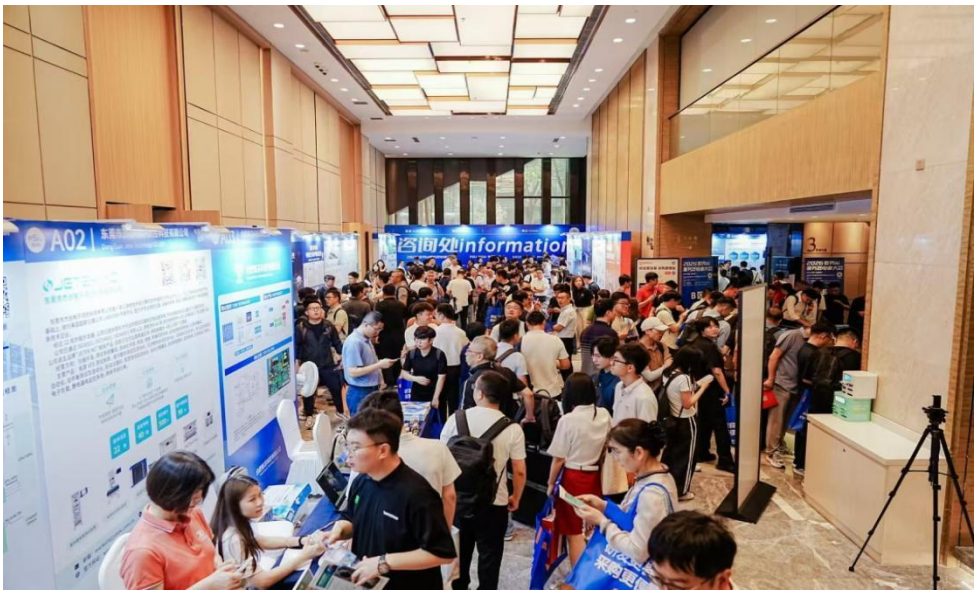

▶ 广东省电子元器件行业战略合作签约仪式

在专题报告环节，本届论坛邀请了来自陶瓷电容器及上下游企业、科研院所、高等院校的 20 位演讲嘉宾，为与会者介绍中国陶瓷电容器及材料技术产业现状及发展趋势。

本次大会的召开，深化了中国陶瓷电容器行业的沟通与交流，有效促进了全行业技术能力的整体进步，强化了上下游产业链的联动与发展，并推动了先进技术成果与经验的共享，为陶瓷电容器及材料产业的持续、健康、高质量发展奠定了坚实基础。

# 2026 年世界 AI 服务器电源大会，AI 电源头部电容厂商扎堆亮相！

2026 年 5 月 22 日，2026 世界 AI 服务器电源大会在深圳科兴科学园圆满落幕。本次大会由服务器电源网主办，电容世界作为核心协办单位深度参与大会组织、企业邀约与产业链对接工作，汇聚多家知名电容厂商齐聚现场，围绕 AI 服务器电源、数据中心高压工况、高频高密供电等应用场景，共探电容技术创新与产业发展趋势。




作为电容领域专业垂直平台，电容世界依托深厚行业资源与产业影响力，精准邀约高压电容、固态电容、安规电容、硅电容等优质厂商参会参展，为电容企业与服务器电源整机、方案商搭建技术交流、产品展示、商务对接的专业桥梁。

本次大会汇聚东佳集团、松田电子、浩田电子、精勤元件、超源科技、Empower 安普沃尔等专业电容企业现场亮相，带来适配 AI 服务器电源场景的重磅产品与技术方案。

Empower 安普沃尔主打高端硅电容 E-CAP，凭借超高容值密度、超低 ESL 优势，优化 AI 算力芯片高频供电链路，提升电源系统稳定性与瞬态响应能力。

东佳集团针对 AI 服务器 800VDC 高压应用，推出高压液态电容、牛角电容、高分子固态电容等系列产品，具备低阻抗、高纹波、长寿命特性，完美适配数据中心严苛工况。

松田电子深耕陶瓷电容、薄膜电容等品类，产品通过多项国际安规认证，可为 AI 服务器电源提供高可靠、一站式电容配套方案。浩田电子专注安规 Y 电容、X 电容、压敏电阻等产品，适配服务器电源滤波、抗干扰与电路保护需求。精勤元件主打贴片安规电容、压敏电阻、热敏电阻小体积器件，满足 AI 服务器高密度布局设计要求。






其余到场电容厂商也集中展出高压电容、固态电容、安规电容等主力产品，全面覆盖 AI 服务器电源滤波、储能、稳压等核心需求，吸引众多研发工程师、采购决策者现场交流选型、商务对接。

本次大会的成功举办，充分体现了电容世界在电容领域的产业聚合、资源链接与行业服务价值。通过全程协办与产业牵线，电容世界打通电容原厂与 AI 服务器电源、数据中心应用端的对接壁垒，加速高端电容产品在算力基础设施的落地应用。

SCIG 川投信产

# 成都宏明电子股份有限公司

CHENGDU HONGMING ELECTRONICS CO., LTD

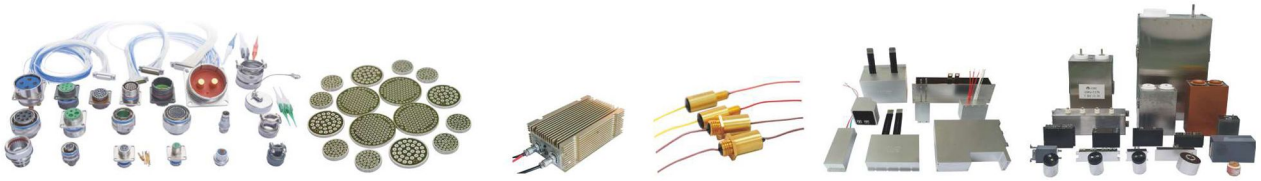


成都宏明电子股份有限公司成立于1958年，是国家“一五”时期156项重点工程之一，是川投集团全资子公司川投信产控股的全国最大、综合门类齐全的电子元器件制造企业，也是国家高新技术企业、国家技术创新示范企业、国务院科改示范行动标杆企业、中国电子元件骨干企业，主要从事热敏电阻器、有机薄膜电容器、多层陶瓷贴片电容器（MLCC）、位移传感器、抗电磁干扰滤波器、滤波连接器、精密零组件及相关电子功能材料的研发、生产、销售。

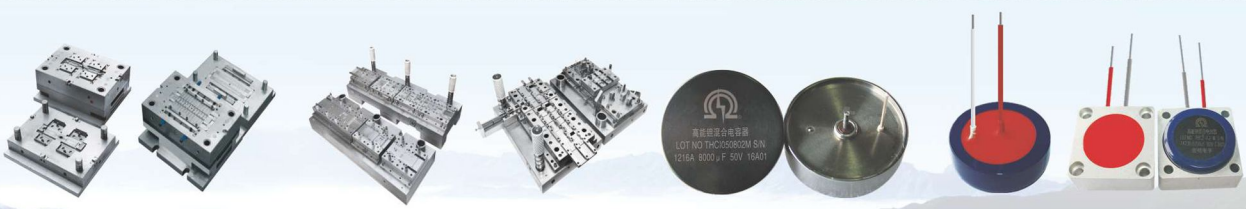
宏明电子下辖宏明宏科、宏明双新、宏明日望、宏明华瓷四家控股公司及公司本部共5个经营单元，拥有员工3600余人，主要为航天、航空、电子、船舶、兵器、核工业等十大军工企业以及新能源、通讯行业配套电子元器件。在军工细分领域，宏明电子技术水平领先、市场份额领先、行业地位领先。

2019年以来，宏明电子研发投入复合增长率超30%，拥有授权专利1000余项，形成国际先进和国内领先成果200余项；拥有1个国家企业技术中心、1个国家“863电子瓷料研发中心”、2个国家级实验中心、2个院士工作站、6个省级技术研发平台；入选四川省制造业“贡嘎培优”100户企业，获得四川省科学技术进步奖三等奖，四川省50家科技创新领军企业，连续六年获得四川企业百强和技术创新发展百强。

进入新的历史时期，宏明电子大力实施“一干多枝、枝繁叶茂”发展战略，主动融入国家现代化产业体系，坚持“军品领先发展、民品壮大发展、军民品融合发展”产业思路，重点在制造强国、质量强国、航天强国建设等重大国家战略和新一代信息技术、人工智能、新能源、新材料、高端装备、绿色环保等战略性新兴产业领域找定位、求突破，全面塑造未来发展新动能、新优势，提升全球竞争力。







宏明电子 宏明宏科 HOMIN 宏明双新 宏明日望 宏明华瓷

公司概况

Brief Introduction

创建日期：1958年10月

Creation date: in October 1958

股票代码：002484

Stock No：002484

主要产品：铝电解电容器、薄膜电容器、固体高分子电容器、超级电容器、轴向/皇冠式电容器

Main Products :Aluminum Electrolytic Capacitors、Film Capacitors、Polymer Capacitors、Super Capacitors、Axial/Crown Capacitors

地址：江苏南通市平潮镇通扬南路79号

Add:No.79 South Tong Yang Road,Pingchao Town ,Nantong,Jiangsu,P.R.China

Tel:0086-513-86726012/86726055/86726080/86571344

Fax:0086-513-86723859/86571812

E-mail:jh@jianghai.com

邮编：226361

Zip Code:226361.



江海股份能同时为电力电子和汽车电子领域提供铝电解电容器、薄膜电容器和超级电容器的研发、制造。

**It is a large-scale R&D and manufacturing corporation in the world which can provide aluminum electrolytic capacitors, film capacitors and super capacitors for power electronics and automotive electronics.**

# 南通江海电容器股份有限公司

# JIANGHAI CAPACITOR CO.,LTD.