

# 车辆电气化推动供应链演变

Ajay Sattu 博士, Amkor Technology, Inc. 汽车产品营销总监

若说近日结束的 CES® 2022 有任何启示,那就是汽车行业再度成为消费者和行业专家关注的焦点。无论是新电动车型的发布、变色技术,还是概念车,无一不显示汽车公司正缓慢从制造商向技术平台提供商转型。车辆电气化是目前已从新趋势转变为公认现实的大趋势之一。车辆的设计和新动力系统的选择受到环境、经济和社会多方面因素影响。而选择何种动力系统以及相应的元件设计和制造可能会推动供应链在未来数年不断演变。

## 市场趋势

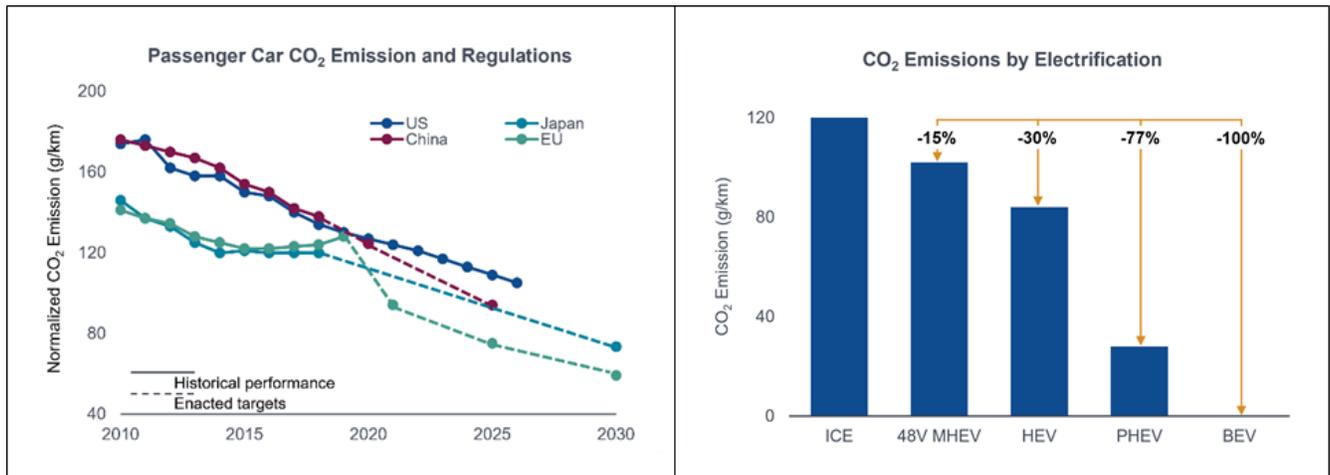


图 1: CO<sub>2</sub> 排放标准 and 车辆电气化 [4]。

监管机构制定的 CO<sub>2</sub> 排放令正在推动电动出行方式发展。例如在图 1 中,左图显示的是四个主要汽车市场的归一化 CO<sub>2</sub> 排放量,而右图则显示的是不同程度的电气化可减少的 CO<sub>2</sub> 排放比例。内燃机 (ICE) 的碳排放接近 100%。相比之下,轻度混合动力电动汽车 (MHEV) 使用小型电机辅助 ICE,可减少 15% 的排放。电池电动汽车 (BEV 或 EV) 仅使用直流电池和电机,因此不会产生碳排放。通过各种动力系统架构和扩散,未来 5 年内,新产车辆中电气化汽车的比例将接近达到 25%,到 2030 年底这一数字将增加到 50% 左右 [1]。如此大幅的增长得益于预期需求的增加、直流电池成本降低以及充电基础设施的预期增长。

因此, EV 动力系统用功率半导体有望大幅增长。为了更好地理解这种增长,我们来看一张简化的 EV 动力系统原理图 (图 2)。实现主要功能的关键模块包括车载充电器 (OBC)、直流-直流转换器和主逆变器。启动这些电路的关键元件是用作开关的功率器件。在系统级别,电动汽车设计人员的首要任务是最大限度提高相关电路的效率,以使电动汽车在一次电池充电后可行驶更长的里程。随着系统要求不断升级,对功率电子设备的成本 (\$/kW) 和功率密度 (kW/l) 的要求也逐渐加大。目前的目标成本约为 5 美元/kW,目标功率密度约为 12kW/l。到 2035 年,两项目标预计将分别达到 3 美元/kW 和 60kW/l [2]。为了实现目标,半导体供应商需提出更优的解决方案,包括碳化硅 (SiC) 和氮化镓 (GaN) 器件等新型功率技术,并使用更具成本效益的功率模块封装。

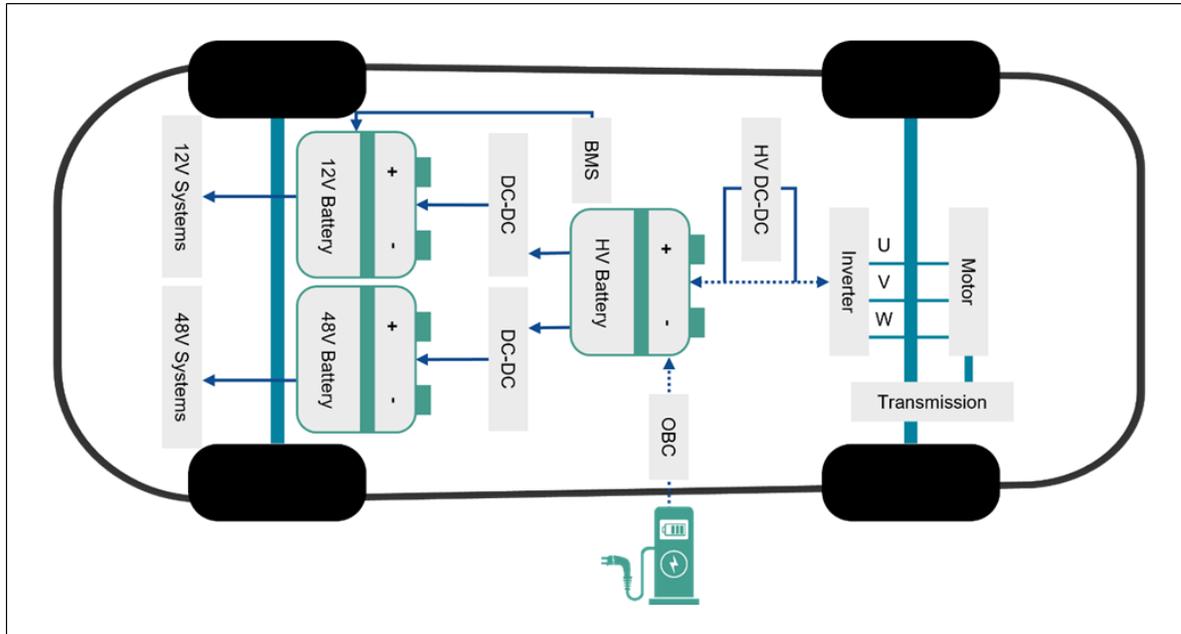


图 2: 简化 EV 动力系统的原理图。

## 功率模块封装

应用于主逆变器的功率模块须在热、电和机械的限制范围内达到性能和可靠性目标。大部分电气性能问题依靠半导体器件来解决，而在热和机械方面，功率模块封装起着至关重要的作用。然而，降低封装的寄生电阻 (R) 和杂散电感 (Ls) 也有助于提高电气性能。Ls 对于降低开关过程中的过冲电压尤为重要；功率模块的 Ls 由印刷电路板金属部件、焊线和引线框架/汇流条产生。使这些损耗最小化的方法之一是减小电流回路的几何长度和面积。陶瓷印刷电路板上的双面焊接和烧结等无焊线概念是降低 Ls 的更好解决方案。图 3a 所示的双面冷却 (DSC) 模塑模块就是一个例子，其中绝缘栅门双极晶体管 (IGBT) 开关的集电极和发射极之间的电流路径用烧结代替了焊线。DSC 模块结构不仅可减少电气寄生效应，还可通过印刷电路板去除封装顶部和底部的热量，从而提高热效率。

功率循环和较高的环境温度会使功率模块承受较大的温度偏移。因此，不增加系统设计复杂度，亦不增加成本的冷却系统变得越来越重要。一种解决方法是采用针翅片功率模块设计 (图 3b)，共享电机或发动机使用的冷却系统。要提高可靠性就必须有效地散热，这只有使用低热阻材料才能实现。氮化铝 (AlN) 和氮化硅 (Si3N4) 等导热系数较高的陶瓷以及具备直接冷却结构的铜 (Cu) 可用于降低整体热阻。无论是 DSC 模块等无基板解决方案还是针翅片功率模块，下一代功率模块需要封装行业考虑多种技术。其中包括最新的互连技术，例如厚规格 (>5 mil) 铜线、铜片、使用活性金属钎焊 (AMB) 的氮化硅等先进印刷电路板、使用银 (Ag) 或铜烧结的晶片附着和印刷电路板附着、铜或铝碳化硅基板，以及硅胶或环氧树脂密封。

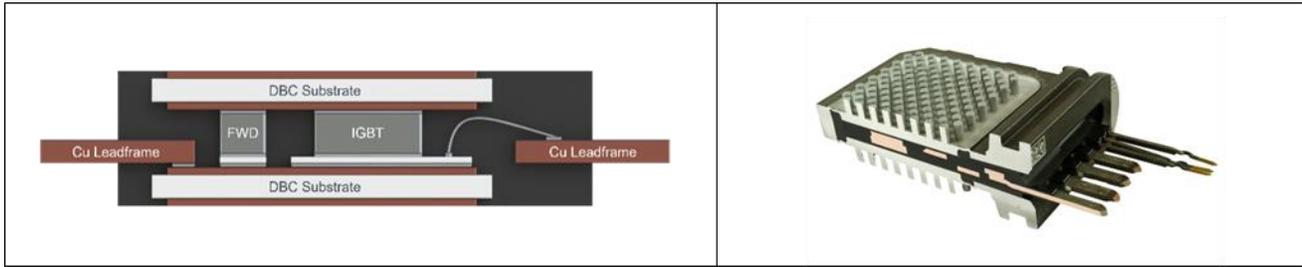


图 3a: 双面冷却模塑模块横截面。

图 3b: 可直接冷却的针翅片功率模块 [5]。

## 供应链演变

功率模块封装市场长期以来一直是一个分散且充满活力的市场。要了解这一细分市场的吸引力，让我们看一下图 4a 所示的模块成本分析。制造和原材料占总模块成本的近 55% [3]；在功率分离式元件封装中，相同元素占总成本的比重通常低于 20%。从历史上看，功率模块制造商一直供应相对“厚利少销”的细分市场，如工业、铁路和可再生能源。鉴于汽车电气化将推动功率模块市场增长（图 4b）[3]，模块供应链或将发生改变。例如，具备功率模块专业知识的非汽车供应商可以选择自行进军汽车市场，也可以选择与传统汽车供应商进行技术授权合作。在传统上存在封闭地域生态系统的情况下，一些供应商已开始对其业务或区域组合进行多样化布局。以利用印刷电路板、晶片附着和密封等封装技术为目的的地域扩张日益加剧。

汽车行业长期以来一直是一个“薄利多销”的竞技场。随着功率模块市场的增长，竞争将加剧，受价格压力影响，不少企业将寻求建立合作伙伴关系，以降低成本和快速进入市场。从积极的方面来说，这有利于市场充分理解模块技术，也令推出性能和可靠性出众的产品成为供应商的共识。对于外包半导体封装和测试（OSAT）供应商等非功率模块制造商来说，进入功率模块市场很有吸引力，因为他们可以轻松利用现有的专业知识，大批量生产可靠性经过验证、成本结构具吸引力的产品。OSAT 的最后一个有利因素是，汽车制造商越来越愿意深入到逆变器模块设计的供应链中，以区别于竞争对手并控制成本。

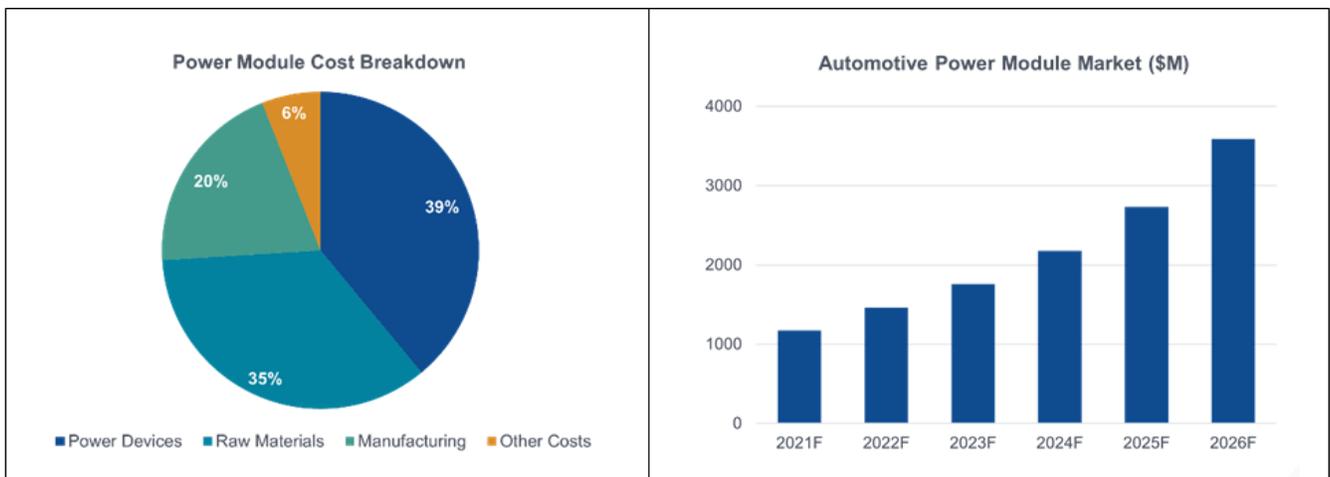


图 4a: 功率模块成本分析 [3]。

图 4b: 汽车功率模块市场（百万美元）[3]。

## 结论

在强劲的电动出行趋势支持下，预计汽车功率模块市场 2021 年至 2026 年的复合年增长率（CAGR）将达到 25% [3]。随着高性能和高可靠性半导体技术的普及，功率模块的设计和成本或可成为汽车制造商及其一级供应商的差异化因素。与此同时，汽车制造商和一级供应商亦强烈希望缩短供应链，实现供应链透明化。因此，这两个群体都应专注于直接与 OSAT 开展共同开发并建立伙伴关系，以加快上市并提供持续的盈利能力。

---

## 参考资料：

- [1]. 2021 年 3 月 22 日 Credit Suisse “Automotive Semis: Powering the EV Megatrend”。
- [2]. 2018 年 Automotive Council UK “The Roadmap Report | Towards 2040: A Guide to Automotive Propulsion Technologies”。
- [3]. 2021 年 11 月 Yole Développement “Status of the Power Module Packaging Industry Report YINTR21196”。
- [4]. 2021 年 11 月 Infineon Technologies AG “Company Presentation”。
- [5]. 2021 年 11 月 SystemPlus Consulting “Power Electronics Electronic Catalogue”。

© 2022, Amkor Technology, Inc. 保留所有权利。

## 作者简介



Ajay Sattu 是坐落在亚利桑那州坦佩市的 Amkor Technology, Inc. 汽车产品营销总监。他主要负责汽车电气化、ADAS 和信息娱乐产品营销和战略工作。在加入 Amkor 前，他曾就职于 Infineon，管理宽带隙半导体的技术与产品开发。他发表过多篇经同行评议的文章并在行业会议上做过演讲。Ajay 持有南卡罗莱纳州大学的电气工程博士学位，以及加州大学洛杉矶分校安德森商学院的 MBA 学位。他的电子邮件地址为：[Ajay.Sattu@amkor.com](mailto:Ajay.Sattu@amkor.com)