

新能源汽车动力系统集成技术的现状与发展趋势

王天宇 族青

江苏省徐州技师学院，江苏徐州，221000；

摘要：新能源汽车动力系统集成技术是本研究的聚焦点，通过梳理其核心构成、现状与趋势，剖析驱动电机、动力电池等关键组件的演进，并结合全球实践与案例揭示技术成就与挑战，从多学科视角分析系统复杂性、成本控制等难题，基于技术和市场需求探讨智能化、模块化等创新方向，从而为产业升级与可持续发展提供指导。

关键词：动力系统；动力电池；核心部件

DOI：10.69979/3041-0673.25.11.029

引言

全球气候危机和能源紧张带来压力，汽车产业正在变革，2023年全球新能源汽车销量超1400万辆且市场渗透率18%，我国产销量分别为958.7万辆和949.5万辆且连续九年排第一、占全球份额超60%，动力系统集成技术创新功不可没。

核心部件被该技术整合从而影响车辆性能等关键指标。产业竞争加剧且需求升级，传统技术已难以满足发展需求。在“双碳”目标下，新能源汽车产业须从规模扩张转变为技术引领，因此动力系统集成技术的突破相当关键。本研究想要剖析新能源汽车动力系统集成技术的现状以揭示其演进规律和行业痛点并预测发展趋势，从产业角度为车企研发和产品布局提供决策依据，从政策方面为政府完善扶持政策、健全标准体系提供参考，从学术层面填补系统性研究空白、推动学科融合创新，从而使我国新能源汽车产业从规模优势走向技术优势以提升全球竞争力。

1 新能源汽车动力系统集成技术的关键构成

1.1 驱动电机系统

1.1.1 电机类型与特性

新能源汽车驱动电机市场当下竞争多元，永磁同步电机（PMSM）有着高功率密度（3~5kW/kg）、超95%的高效率以及精准调速的优势，在新能源乘用车市场占主导且份额超90%，像特斯拉Model3、比亚迪汉等都采用这种电机，而交流异步电机（ACIM）结构简单、可靠性高，被应用于商用车领域，早期特斯拉Roadster和部分公交车就用的是它。

开关磁阻电机（SRM）成本不高且容错能力强，在低速电动车上适用但转矩脉动大，轴向磁通电机（AFM）

轴向尺寸紧凑且转矩密度能达到60N·m/kg，超跑和高端车型很喜欢它，法拉利SF90Stradale、蔚来ET7装上之后动力和空间利用率提升了好多。

1.1.2 关键技术发展

永磁材料创新：高性能钕铁硼永磁体中掺杂镝、铽等重稀土元素之后磁能积能够超过55MG0e且耐温可达到220℃，像中科三环的产品就已经被用于多个品牌的驱动电机了，并且非稀土永磁材料的研发速度在加快，日本TDK的铁氧体-钕铁硼复合磁体在降低成本的情况下还能保持性能以减少对进口稀土的依赖。

冷却技术突破：油冷技术由喷油升级成浸油冷却，特斯拉Model3油冷电机把绕组浸在绝缘冷却液里，这使得绕组温度下降20℃且功率密度提高15%，商用车大量运用液冷-风冷复合冷却系统，宇通电动客车的系统能根据负载来调节冷却方式以平衡效率与成本。

拓扑结构优化：多极多相电机（像五相、七相这种）在高可靠性场景下表现优异，能减小转矩脉动且提高容错能力，就拿由航空航天衍生出的电动商用车来说，七相电机哪怕有一相故障也能维持基本运行。

1.2 动力电池系统

1.2.1 电池类型与性能

在新能源汽车动力电池市场锂离子电池占主导地位，三元锂和磷酸铁锂竞争的局面就此形成，三元锂电池（NCM/NCA）能量密度高达200~300Wh/kg，在高端长续航车型里有优势，蔚来ES8搭载100kWh三元锂电池，续航里程在CLTC工况下可达580km，但是其高温稳定性差，有热失控风险。

CTP（无模组）、刀片电池等结构创新让磷酸铁锂电池有了技术突破，比亚迪刀片电池长条形电芯设计且无模组化结构，体积能量密度增加50%、成本比传统三

元锂电池低15%-20%、安全性提高许多，针刺试验时既无明火也无烟，像特斯拉Model3、宏光MINIEV这些畅销车型都用这电池。

在新兴电池技术里，固态电池的研发进程加快了，丰田打算在2025年把固态电池装上车，其实验室里的固态电池能量密度已经能达到450Wh/kg且固态电解质对锂枝晶生长能有效抑制、电池安全性也能得到提升。锂硫电池理论上能量密度特别高能到2600Wh/kg，但存在多硫化锂穿梭效应以及循环寿命短这些难题，现在还处在实验室研发阶段。

1.2.2 电池管理系统（BMS）

智能化BMS成了技术竞争焦点，宁德时代推出的AI-BMS系统靠机器学习算法预测电池健康状态（SOH），能把误差率控制在2%以内，并且可实时监测电池参数、优化充放电策略，使电池寿命得以延长。

Autopilot与特斯拉BMS深度融合，借助导航数据预测路况，提前调整电池预加热策略，使冬季充电效率提升了25%；BMS得益于边缘计算技术，响应速度达毫秒级，一旦电池异常就能迅速切断电源以避免热失控。

1.3 电控系统

1.3.1 电机控制器

功率半导体器件的变革正从硅基向宽禁带半导体推进，碳化硅（SiC）器件开关频率为IGBT的10倍且损耗能降低30%，凭借这些优势在800V高压平台车型里迅速普及，2023年SiC控制器装车量同比增长210%，比亚迪海豹、小鹏G9等车型用了SiC模块后电驱系统效率提高5%-8%且续航里程增加3%-5%。

氮化镓（GaN）器件因具有更高功率密度而在车载充电桩（OBC）领域有潜力可挖，英飞凌推出GaN基OBC模块，其体积能缩小30%、效率可提升到96%，这能让车载充电达到更高功率。

1.3.2 整车控制系统

整车电子电气系统正在被域控制器架构重塑，特斯拉ModelY使用中央计算单元（CCU）将动力、底盘、车身等域控制器集成，从而使线束长度减少1500米、成本下降10%，并且能量管理系统以模型预测控制（MPC）算法为基础能将制动能量回收率提升至45%，再结合V2G（车网互动）技术实现车辆与电网双向能量流动，优化能源利用效率。

2 新能源汽车动力系统集成技术的现状

2.1 集成化程度突破

新能源汽车动力系统集成步入“系统融合”阶段已不再是“部件集成”，2023年我国新能源乘用车的三合一电驱系统（电机、减速器、控制器）搭载量达到775.8万台、在市场占比达62%，华为DriveONE七合一电驱系统把多种部件集成起来使体积减小20%、重量降低15%从而车辆空间利用率和能量效率得以提升。

CTC（电池底盘一体化）技术正在加速推广，特斯拉把4680电池与车身底板集成之后整车刚度提升37%、续航增加14%，零跑汽车的CTC技术将电池包和底盘结构件集成后车身减重15%、续航提升10%。

2.2 能量效率提升路径

多技术创新显著提升能量效率。比亚迪e平台3.0依靠八合一电驱系统、热泵空调和宽温域电池热管理技术，使系统综合效率达89%，冬季续航提升20%；日产e-POWER增程式系统采用串联式混动架构，让发动机一直工作在高效区间，综合油耗低至2.6L/100km。

提升效率的关键还在于热管理系统的优化，蔚来汽车智能热管理系统运用五阀热管理架构，能对电池、电机、座舱热量协同管理，即便处于-30℃的环境，电池也能高效工作，冬季续航损失可减少15%。

2.3 市场格局与技术鸿沟

全球新能源汽车动力系统集成市场呈现“中美主导、欧洲追赶”的态势，在动力电池方面中国企业优势显著，宁德时代2023年全球市占率达37%，连续七年世界排名第一，电驱系统领域汇川技术出货量全球排第二，其产品在各类车型上广泛应用。

智能化集成和软件定义动力系统方面特斯拉领先，其Autopilot和动力系统深度融合从而实现了能耗优化和性能提升的平衡。欧洲车企靠收购初创企业来追赶，大众收购固态电池公司QuantumScape，奔驰和宁德时代、孚能科技合作开发下一代动力电池。

然而，行业内技术差距很明显，头部企业研发强度大多超10%而中小企业却不到3%，在高压平台、SiC器件、智能化控制等领域，中小企业跟头部企业的技术差距有5-8年之久，产业链协同和创新生态建设方面也存在这种差距。

3 新能源汽车动力系统集成技术面临的挑战

3.1 系统复杂性指数级增

多物理场耦合问题由高度集成化引发,八合一电驱系统里电机的电磁噪声、控制器的谐波干扰和减速器的机械振动互相影响,NVH要求使传统设计方法难以满足,某车企实测表明集成系统热负荷比分散式增加40%且液冷管路设计复杂度提高3倍,热管理系统设计优化面临更高要求。

智能化程度提升后动力系统和自动驾驶、车联网等系统的交互越发复杂,多系统协同控制需要更强算力支撑且算法要更高效优化才能确保系统稳定、响应快速。

3.2 成本控制的双重压力

高性能材料和先进工艺的应用使成本大幅增加,碳化硅(SiC)器件的单价为传统IGBT器件的3-5倍且高镍三元正极材料的价格比磷酸铁锂高出50%,制造工艺上叠片电池生产良率每提高1%设备投入就要增加2000万元,虽说动力电池成本十年间降低了89%但系统集成度的提升让零部件复杂程度增加使得降本效果被部分抵消。

新能源汽车市场竞争很激烈,企业利润空间被价格战压缩着,企业面临着关键挑战,就是要在确保性能的前提下把成本降下来。

3.3 安全与可靠性技术瓶颈

在动力电池领域,热失控依旧是重大安全隐患,我国2023年新能源汽车火灾事故中35%是电池热失控导致的且充电或者高温环境下发生的就占其中80%,电池热失控原因复杂现有防护技术想完全消除风险很难。

极端环境对电驱系统的可靠性构成挑战,在-30℃极寒与55℃高温交替工况下电机轴承寿命缩减30%且绝缘材料老化加快,高频、高压工况下功率半导体器件的可靠性问题也急需研究解决。

3.4 基础设施适配性矛盾

高压化技术发展和充电基础设施建设之间有“技术倒挂”现象,800V高压平台车型得匹配500kW大功率充电桩,可我国公共充电桩里功率 $\geq 180kW$ 的只占12%,而且充电标准不统一、兼容性差这些情况制约了高压化技术的推广应用。

无线充电技术在实验室里效率达到95%算是有了突破,可到商业化应用就有不少障碍,电磁辐射标准还没有,且成本又太高,传输功率和距离也都得再提高才能

符合实际使用需求。

4 新能源汽车动力系统集成技术的发展趋势

4.1 智能化深度融合

动力系统的设计与优化会广泛用到数字孪生技术,建立虚拟模型来跟物理系统实时交互能让研发周期缩短40%、成本降低30%,西门子的数字孪生平台在好多车企电驱系统开发中已经得到应用,显著提升了设计效率与产品质量。

AI驱动的自适应能量管理系统会成为主流,海量驾驶数据被学习后系统就能动态优化动力分配策略,使续航可提升8%-12%,且特斯拉FSD(完全自动驾驶)系统和动力系统深度融合,让智能化能量管理潜力得以展现。

4.2 模块化与标准化革新

产业协同发展会被统一接口标准推动,SAE国际标准组织正在制定电驱系统模块化接口规范,以后不同车企动力模块或许能互换,模块化设计能让研发成本降低30%且生产周期缩短25%,大众MEB平台拿3种电驱模块适配12款车型,研发效率和生产灵活性就这么显著提升了。

行业发展朝着电池标准化的方向前行,通用汽车和本田合作开发的Ultium电池平台电芯设计标准化且能兼容不同车型与技术路线,从而让研发与生产成本得以降低。

4.3 高压化与无线化突破

800V高压平台会朝着1200V演进从而让充电速度和系统效率进一步提升,保时捷TaycanTurboS配备的800V系统充电功率达270kW且10分钟就能补充400km续航里程,以后1200V高压平台和SiC器件相配合充电功率有望超过500kW达成“充电5分钟,续航500km”。

多线圈、动态充电会是无线充电技术的发展方向,高通Halo系统功率传输达到11kW且2026年打算用于高速公路动态充电,宝马、日产等车企也积极进行研发,商业化应用在未来5到10年有望实现。

4.4 能源融合创新

在重型卡车领域,氢-电混合动力系统有着巨大潜力,福田欧曼氢电混动重卡续航能达1000km,加氢只要15分钟,有效解决了纯电动重卡续航短充电慢的问题。

钙钛矿-硅叠层电池让太阳能车顶技术的光电转换

效率突破了 33%，日产 Leaf+ 太阳能版每年续航能补充 1800km，以后，太阳能技术有希望和动力电池、氢燃料电池等融合起来达成多能源协同供能的目标。

5 典型企业技术案例深度解析

5.1 特斯拉：软件定义动力系统

在动力系统集成领域，特斯拉持续创新，其采用 4680 电池并应用干电极工艺和 CTC 技术，使能量密度提升 16%、成本降低 14%，而且干电极工艺减少了粘合剂的使用，提高了电池生产效率与能量密度。

特斯拉的核心竞争力之一是 Autopilot 与 BMS 的深度融合，依靠导航数据对路况进行预测从而让系统能提前调整电池预加热策略，使冬季充电效率提高 25%，在电控系统这一块，碳化硅控制器被特斯拉率先使用且电机绕组设计也得到优化，ModelY 后驱电驱系统峰值效率达到 97.5%，在行业内处于领先水平。

5.2 比亚迪：全产业链垂直整合

全产业链垂直整合能力让比亚迪在动力系统集成领域独具优势，刀片电池靠 590 大模组设计和无模组化结构，体积能量密度提升 50% 且安全性大大提高，三元锂电池在能量密度上的垄断就被打破了。

八合一电驱系统被 e 平台 3.0 采用且 SiC 模块和扁线绕组集成其中，系统效率能达到 89%，而 DM-i 超级混动技术以双电机串并联架构为手段，实现亏电油耗 3.0 L/100km 且综合续航达 1200km，重新定义混动技术标准。

5.3 华为：跨界技术赋能

华为是跨界参与者，在 ICT 领域有技术积累能给新能源汽车动力系统集成带来创新方案，DriveONE 七合一电驱系统运用 Hair-pin 绕组与油冷技术，功率密度达到 4.4kW/kg 且和传统电驱系统相比体积能减少 20%。

6 结论

新能源汽车动力系统集成技术正处于变革创新的关键期，汽车的核心竞争力与全球能源转型跟其发展息息相关，从单一组件性能提升到多系统深度融合，技术一直在演进且在驱动电机、动力电池、电控系统等方面都取得了突破，当前行业在集成化和高效化方面进展明显，但系统复杂性增加导致成本不好控制，安全可靠性以及基础设施适配等问题仍然制约着产业的可持续发展。

参考文献

- [1] 阮先轸, 孙玲玲, 姚孟良, 等. 电动汽车热管理系统集成技术研究进展 [J]. 新能源进展, 2024 (3).
- [2] 谭元文, 沈博, 陈声斌, 等. 氢能源汽车动力系统集成研究 [J]. 北京汽车, 2019 (6): 3. DOI: 10.14175/j.issn.1002-4581.2019.04.010.
- [3] 肖亚玲, 钱良国, 机械科学研究院北京. 动力锂电池系统集成关键技术与产品研究 [J]. IFPST2008 第八届中国国际电源产业发展高峰论坛暨 2008 动力锂电池技术及产业发展国际论坛, 2011.