

新能源汽车动力电池系统的集成化设计技术

时培成^{1*} 单子贤¹ 朱海龙¹ 海滨² 王磊² 陆发燕²

1.安徽工程大学机械与汽车工程学院,芜湖,241000

2.奇瑞汽车股份有限公司前瞻与预研技术中心,芜湖,241006

摘要:阐述了新能源汽车动力电池系统的集成化设计技术,通过分析无模组、电池底盘一体化和电池车身一体化等技术展现了它们在空间利用、续航里程、成本控制等方面的优势。其他典型电池技术通过结构创新、热管理优化和快充方案推动了汽车产业的发展。从智能集成、可持续性材料和标准化三个方面展望了动力电池系统集成化技术的发展方向。

关键词:动力电池系统集成化;新能源汽车;安全性;轻量化

中图分类号:U469.722

DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2025.07.024

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Integrated Design Technology for New Energy Vehicle Power Battery Systems

SHI Peicheng^{1*} SHAN Zixian¹ ZHU Hailong¹ HAI Bin² WANG Lei² LU Fayan²

1.School of Mechanical and Automotive Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu, Anhui, 241000

2.Foresight and Pre-research Technology Center, Chery New Energy Vehicle Co., Ltd., Wuhu, Anhui, 241006

Abstract: An integrated design technology of power battery systems for new energy vehicles was elaborated, and the advantages in space utilisation, range, and cost control were shown by analysing the technology such as moduleless, battery chassis integration and battery body integration. Other typical battery technology which promoted the development of automotive industry through structural innovation, thermal management optimisation and fast charging solutions were explored. The development directions of power battery system integration technology were outlooked in terms of intelligent integration, sustainable materials, and standardisation.

Key words: integration of power battery system; new energy vehicle; safety; lightweight

0 引言

近年来,新能源汽车在全球范围内快速发展,成为应对气候变化、减少石油依赖的重要手段。动力电池作为电动汽车(electric vehicle, EV)的核心组成部分,其性能、成本、安全性和寿命直接影响市场推广和用户接受度。传统电池系统存在诸多挑战,如质量大、续航能力受限、成本高、空间利用率低等。为克服这些障碍,研究人员和工程师将电池单元集成到汽车结构中,以减轻车重、提高能量密度、降低成本^[1-6]。

利用电池底盘一体化(cell to chassis, CTC)技术^[7]、电池车身一体化(cell to body, CTB)技术^[8]等动力电池系统集成化技术,可将电池单元或模块直接集成到汽车的底盘或车体结构中,这

将有助于优化空间利用、提高车辆的整体刚度,并可能改变未来的汽车设计和制造流程。一些企业已推出 CTC 概念车型。动力电池系统集成化技术目前仍面临电池安全性、结构稳定性、维修便利性等挑战,还需研究不同应用场景下的最优设计策略,以平衡续航、成本和安全性相互制约关系。

本文从基础理论、实现方法、应用案例、面临的挑战和未来的发展方向几个方面探讨了新能源汽车动力电池系统的集成化设计技术。

1 动力电池系统集成化技术的发展

燃油汽车使用过程中产生的有害气体加剧了环境污染和气候变暖,因此,减小交通领域的环境污染迫在眉睫^[9]。开发和推广节能环保的新能源汽车已成为汽车工业的一项重要举措。当前,电池系统的能量密度大大低于燃油,因此车辆为达到目标续航里程需要一个巨大而沉重的电池^[10-11]。纯电汽车(battery electric vehicle,

收稿日期:2024-05-14

基金项目:芜湖市“赤铸之光”重大科技项目(2022zd04);中央领导地方科技发展专项—长三角科技创新共同体联合攻关计划(2023CSJGG1600);安徽省自然科学基金(2208085MF173)

BEV)的电池包通常安装在车辆底板和车轴之间^[12]。根据电池包在车体上的装配空间和位置,大致可分为“工”字形电池包安装、“T”形电池包安装、“土”字形电池包安装、一体式(滑板式)电池包安装^[13-21]。

电池包安装位置低时,车辆重心较低,有利于提高整车的动态性能^[22]。较大电池包的质量影响车辆的能量分配,缩短续航里程^[23]。为提高纯电汽车的续航里程,有必要采用节省空间、减小质量的方式将电池集成到车体中。电池包的集成面临诸多挑战,需权衡结构强度、热管理、安全性、成本及制造工艺,但上述因素之间常存在矛盾,使系统优化变得复杂^[24-25]。

动力电池系统主要由电池单体或模组、电池管理系统(battery management system, BMS)、结构件(含箱体、安装件、导电金属件、密封件等)、高低压线束(含连接器、接插端子等)、热管理系统等部分组成,如图 1 所示^[26]。

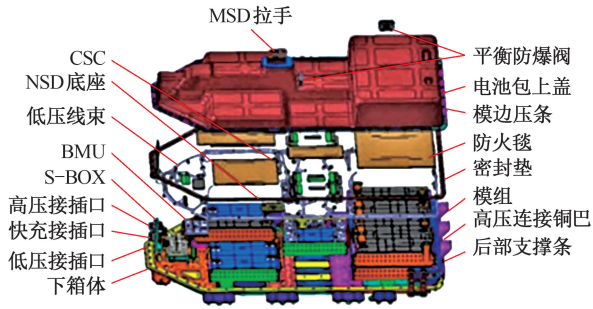


图 1 动力电池结构示意图^[26]

Fig.1 Schematic diagram of power battery structure^[26]

电池单体是电池系统的最小单位,其性能直接影响整个电池系统的性能。电池管理系统主要负责实时监控和管理电池的充放电状态、温度、电压等参数,保证电池在安全、可靠的状态下工作。电池箱是安装和保护电池组的重要结构,通常由高强度的工程塑料或金属制成。高低压线束是电力传输的通道,连接动力电池和驱动电机、DC/DC转换器、充电系统等高压部件,确保高压电的传输,驱动车辆或给辅助设备供电。目前,高压电气集成化推进的主要方向是子系统集成和零部件集成。典型的高压零部件集成包括高压连接巴片与电芯电压采样线集成、手动维护开关与熔断器集成、熔断器与继电器集成、高压连接器集成等。低压线束主要负责控制信号的传递、低压负载的电源供应。高低压线束的设计需考虑电磁兼容性,以减少对车辆内其他电子设备的干扰。为确保乘客和车辆的安全,高低压线束都配备多种保护措施,如过载保护、短路保护等,以防止故障导

致的电气火灾或其他安全事故。热管理系统主要用于调节电池的工作温度,保证电池在最佳的温度范围(一般在 20~30℃)内工作,以增加电池的充放电次数,延长电池使用寿命。

动力电池结构的演进路径如图 2 所示,从电芯到模组(cell to module, CTM)技术演进至从电芯到电池包(cell to pack, CTP)技术,再演进到 CTC 技术。CTC 方案将电池直接安装在车身结构上,使电池与车身完美融合,显著提高了空间利用率和电池装载量,集成化程度最高^[27]。

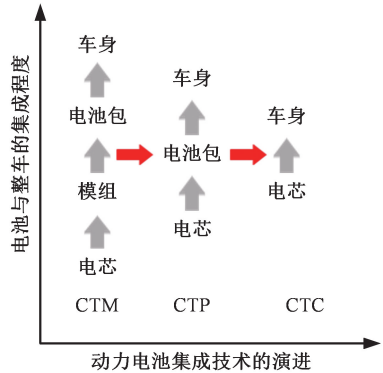


图 2 动力电池结构演进路径

Fig.2 Evolutionary path of power battery structure

如表 1 所示,CTM、CTP 和 CTC 在集成化程度及对电池性能影响等方面都是逐步递进的。

表 1 CTM、CTP、CTC 对比分析表

Tab.1 Comparative analysis of CTM, CTP and CTC

	CTM 技术	CTP 技术	CTC 技术
概念	电芯集成在模组上;电芯-模组-电池包-车身	电芯集成在电池包上;电芯-电池包-车身	电芯直接集成于底盘/车身;电芯-车身
集成方案	先集成电池,再安装到车身上	先集成电池,再安装到车身上	电池包有独立上盖(代替车身地板),如特斯拉新款 Model Y;电池包无独立上盖,车身地板作为电池上盖,如比亚迪“海豹”
优点	电池包开发简单;模组可单独更换,维修方便	与传统电池包相比,体积利用率提高 15%~20%;零件减少 40%;生产效率提高 50%;能量密度增加 200 W·h/kg 以上	高度集成和模块化;零跑汽车通过 CTC 技术,零部件减少 20%;结构成本降低 15%;整车刚度提高 25%
缺点	空间利用率低,零部件多,制造成本高	对电芯一致性要求高;维修便利性差,只能更换电池	电芯一致性要求高,维修便利性较差

2 CTM 技术

CTM 技术先按照标准尺寸将若干电芯组装成电池模组,再将多个电池模组连接到箱体,形成电池系统。每个模组具有端板、侧板、顶盖,独立封装,不同模组之间需要按照设计要求预留电气

间隙和装配间隙^[28]。

比亚迪“唐”^[29]采用的CTM技术具备高能密度、长寿命的优点,为车辆提供可靠的动力和出色的续航,其智能管理系统能有效优化电池的性能和寿命,并支持快速充电。如图3所示,电池包采用模块化设计,通过多层防护结构和温控系统实现高安全性与热管理效率的平衡,其量化材料的应用进一步提升了整车能效表现。

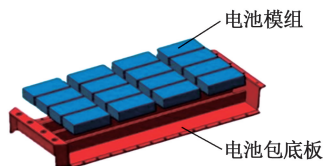


图3 CTM 电池结构示意图^[29]

Fig.3 Schematic diagram of CTM cell structure^[29]

2.1 模块化设计

CTM技术通过模组标准化实现规模经济与多车型适配,对电池规模、产品适应性和空间利用率产生影响。

1) 规模经济。通过标准化的模组设计,电池制造商可大规模生产统一的模组,降低成本,提高效率。CTM技术中,电芯组装成模组、模组组装成电池包的工艺需要更多的材料和制造步骤,增加了成本。传统的底壳加工为钢板折边焊接。随着技术的发展,现在多采用铸铝或挤铝的底壳,满足量产与正向设计的需要。

2) 产品统一化。模组化的设计使得电池包更容易适应不同模组对电池数量和排列方式的要求。

3) 空间利用率。CTM技术的空间利用率相对较低,大约为40%,但模组化的设计在某些情况下更利于散热和维修。

2.2 结构固定

CTM系统通过电芯模组化集成、独立水冷散热及多层防护设计满足功能需求,但其结构冗余且无法传递、分散和吸收外部载荷,需通过CTP等技术优化其结构效能与车身协同性。

1) 电芯组合。将一定数量的电芯组合成一个单体模组需要精确的设计与布局,以确保电芯之间的连接达到电气性能要求。

2) 模组连接。若干个模组使用串并联的方式形成一个完整的电池包,以满足不同电压和容量的需求。

3) 结构组件。除了电芯和模组,CTM结构还包括端板、水冷板、高压铜排等部件。由于模组的存在,散热系统需在相邻模组下放置单独的水冷板^[30],这样的设计相对复杂,但能有效冷却电池。

4) 电池包外壳。电池包外壳通常由底壳和

上盖组成,它们不仅提供物理保护,还有与车辆其他部分的接口。

5) 附加元件。为确保电池包的稳定运行,需利用密封胶、绝缘板等附加元件提高电池包的安全性能和耐用性。

6) 力传递考量。车身扭转刚度不足会导致轻微的变形。CTP和CTB通常采用电芯与底壳粘接的方式,有助于提高车辆的整体结构强度。

综上所述,CTM是新能源汽车电池集成的传统模式,为电池生产和维护提供了一定的便利,但也存在局限性。目前市场上的大多数在售车型(包括纯电汽车和插电式混动汽车)都采用CTM技术的动力电池^[28]。随着科技的不断发展,逐渐兴起的CTP、CTC、CTB可进一步提高电池包的能量密度和车辆的整体性能。

3 CTP 技术

CTP技术由宁德时代于2019年提出,比亚迪汽车、蜂巢能源也陆续发布了各自的CTP方案^[31]。CTP技术的关键是取消了电池模组,即先将电池单元直接集成到电池包中,再将电池包集成到车辆底板上(作为车辆结构的一部分)。与传统电池包结构相比,CTP技术提高了空间利用率,可安装更多的电池单元,模组的端板结构更少、重量更轻、续航里程更长。合创汽车800 km续航版Z03的电池包结构如图4所示^[32]。根据宁德时代发布的信息,CTP技术使电池包体积利用率提高20%,采用“掺硅补锂”的技术后,电池的能量密度达到220 W·h/kg。

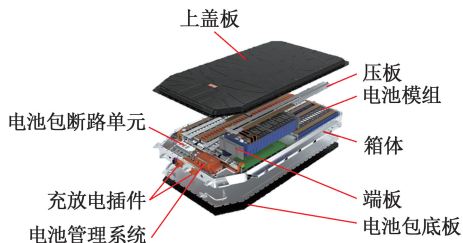
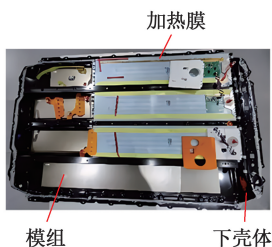


图4 CTP 电池结构示意图^[32]

Fig.4 Schematic diagram of CTP battery structure^[32]

宁德时代将更多的电池单元集成在一个大模组里^[33]。特斯拉标续版Model 3使用了宁德时代的4个大模组磷酸铁锂电池,如图5所示^[34]。

比亚迪的“刀片电池”采用无模组设计即加长电芯^[35-36]和电芯极柱侧出的方案,如图6所示^[37]。刀片电池可更好地适应车辆空间,提高了空间利用率。刀片电池的叠片方式有助于提高电池的稳定性和能量密度。比亚迪借鉴蜂窝铝板的原理,使用结构胶将电芯固定在两层铝板之间,不

图 5 Model 3 电池包外观^[34]Fig.5 Exterior of the Model 3 battery pack^[34]图 6 比亚迪“刀片电池”^[37]Fig.6 BYD “Blade Battery”^[37]

仅提高了电池的结构强度,还使电芯本身充当结构件,提高了整个电池包的刚性和安全性,实现了电池包的轻量化。

综上所述,CTP 技术减少了内部电缆和结构部件,确保了电池单元的安全性,提高了整个电池组的能量密度。

3.1 提高空间利用率

CTP 技术通过结构层级简化、系统集成度提高、多功能弹性夹层设计,并结合底部空间共享与零部件精简策略,显著提高了电池包的体积利用率与续航能力,减小了自重,提高了整车能效。

1) 结构简化。CTP 技术直接使用大电芯或大模组构成电池包,减少了结构加强件和模组,节省了空间。

2) 系统集成度提升。宁德时代的麒麟电池采用 CTP 技术实现了更高的系统集成度,体积利用率达 72%,比传统电池包显著提升。电池单元密集排列,因此 CTP 技术能使电池包存储更多的电能,增加电动汽车的续航里程。

3) 多功能集成设计。CTP 技术通过集成设计,将横纵梁、水冷板和隔热垫等独立部件整合为具有多功能的弹性夹层结构。

4) 底部空间共享方案。底部空间共享方案通过智能分布功能模块如结构防护、高压连接、热失控排气等进一步释放底盘空间,提高了整体的空间利用率。

5) 减少零部件。相比于传统的 590 模组,第一代 CTP 技术减少了 24% 的零部件。第二代 CTP 技术在此基础上进一步提高了组装效率和空间利用率,又减少了 22% 的零部件。省去一些结构件有助于减轻整车重量,对提高电动汽车的

能效和性能非常有益^[38]。

3.2 便于维护更换

CTP 技术通过模块化电池单元设计、标准化电池包兼容方案、电芯一致性精准调控、胶粘集成工艺,在保障系统可靠性的同时实现了高效维护,有效提高了电池组循环寿命与维修便捷性。

1) 模块化设计。虽然 CTP 技术取消了传统的模组结构,但它仍保持了电池单元的标准化和模块化。这意味着更换或维修时可对特定的电池单元进行操作而不必更换整个电池包。

2) 标准化设计。CTP 技术在设计时会考虑电池包与不同车型的兼容性。针对电池包接口尺寸不同的问题,CTP 技术通过电池包内部空间的标准化设计,实现了通用化接口与模块化结构,提高了维修时替换部件的适配效率。

3) 工艺控制。为降低故障率,CTP 技术通过严格的工艺控制来保证电芯的一致性。通过电压差与内阻差的精准调控,确保替换电芯与原有系统的动态均衡匹配,使电池组循环寿命大幅提高。

4) 胶粘结构。CTP 技术采用结构胶将电芯直接固定在电池包的下箱体中,简化了组装,也使电芯拆卸更方便。

3.3 安全性提升

CTP 技术通过简化电池包结构、优化散热性能和材料创新,提高电池包安全性的同时平衡能量密度、循环寿命及成本效益。

1) 提高电池包的安全性。CTP 技术通过减少电池包内部的结构组件,降低了故障出现的可能,提高了电池包的整体安全性。

2) 优化散热性能。CTP 电池包的散热优于传统的小模组电池包,有助于防止电池过热,提高电池的安全性能。

3) 与高镍电芯结合。宁德时代的 CTP 电池技术结合了 811 高镍电芯,使电池在保持结构稳定性的同时具有更高的能量密度和更长的循环寿命。同时,电池组仍采用方壳封装,以确保电池的稳定性与安全性。

4) 与磷酸铁锂材料结合,使电池在成本、安全和能量密度方面达到最优。CTP 技术的应用进一步提高了磷酸铁锂电池系统的安全性。

综上所述,CTP 技术不仅提高了电池的能量密度、车辆的续航能力和安全性能,还有助于降低成本、简化生产流程,拥有更广阔的应用空间。

4 CTC 技术

CTC 技术^[39]将电芯直接集成在汽车底盘,

以更高程度地实现车身、底盘的一体化。宁德时代提出的“以电池为中心”的滑板底盘设计理念是 CTC 技术应用的一种创新思路。该理念通过 CTC 能量舱^[40]来实现,其核心是将模块化的转向、制动、三电、悬架等系统集成在底盘结构,在纯电车领域有广阔前景^[41]。如图 7 所示,特斯拉取消了车身底板的横梁并将车身底板的结构完全集成在电池上盖中,使电池的外框直接充当底盘的骨架结构,实现了整体集成,是 CTC 技术的典型应用代表^[27]。这项技术融合电池系统、动力系统与底盘,精简了零部件,优化了内部空间,提高了车辆结构的整体性能,显著减轻了底盘的重量,可有效延长续航里程。



图 7 特斯拉底盘结构实图^[27]

Fig.7 Actual diagram of the Tesla chassis structure^[27]

特斯拉将电池组与车架结构进行融合,如图 8 所示,其中,上层为集成车身地板功能的电池上盖,直接承载车体结构载荷;下层为电池包底部防护壳体,内置热管理系统并强化抗冲击性能。特斯拉采用的整体式电池组为圆柱形锂离子电池单元(如 4680 电池)的组合。这些电池单元精密排列安置于车辆底盘,成为车辆底盘结构的一部分,不仅提供高效的电能存储解决方案,还降低了车辆的重心,增强了驾驶稳定性。

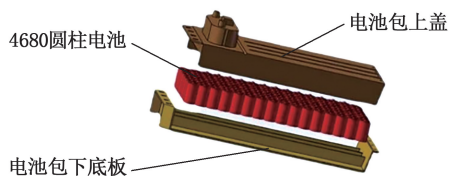


图 8 特斯拉 CTC 展示图

Fig.8 Display diagram of Tesla CTC

电池单元之间通过高导电连接件连接。软件实时监控每节电池的充放电状态、温度、电池健康状况。为应对锂电池的热失控问题,特斯拉电池组内置了先进的热管理系统,采用液体冷却板使电池组工作在最佳温度范围内。电池组设计考虑了极端情况下的安全防护,每个电池单元都配备保险丝,一旦检测到异常,可立即隔离故障电池,避免影响整个系统。电池组外部采用坚固的防护结构,即使发生碰撞,也能最大限度地保障乘客的

安全。为解决电池包内部的隔热问题,特斯拉采取注满胶工艺防止热量向车内传导。特斯拉在电池包靠近车门门槛两侧增加了更多、更厚的胶层,加固碰撞薄弱点,以提供更好的侧面碰撞保护,减轻对内部电池的冲击,如图 9 所示^[42]。



图 9 特斯拉底盘灌胶技术^[42]

Fig.9 Tesla chassis potting technology^[42]

如图 10 所示,零跑 C01 汽车 CTC 方案的实质为模组到底盘(module to chassis, MTC)技术。零跑汽车官方信息表示,该方案有效地提高了车辆的整体性能,减少 20% 的零部件,降低 15% 的结构件成本,整车刚度提高 25%,实现了高度集成和模块化。MTC 技术具有较强的扩展性,能与智能热管理系统兼容,未来可支持 800V 高压平台。



(a) 底盘电池布局俯视图

(b) 底盘侧面结构图

图 10 零跑汽车 C01 的 CTC 技术应用图示^[27]

Fig.10 Illustration of CTC for Leapmotor C01^[27]

综上所述,CTC 技术在集成度提升、系统优化、性能提升、技术发展和行业应用等方面都体现出显著的优势。

4.1 集成度提升

CTC 技术通过提高电池与底盘的集成度,实现了空间利用、重量减轻和模块化设计的优化,但带来了更高的结构承载要求和制造工艺挑战。

1) 空间利用。电池直接集成在底盘中,简化了设计结构,增加了整车的垂直空间和电池布置空间。零跑 C01 的电池容量空间比传统方案增加了 14.5%,为车内乘员提供了更多的垂直空间。

2) 重量减轻。取消了电池包的结构件,降低整个电池系统的重量,有益于提高电动汽车的能效和性能。

3) 模块化设计。CTC 技术支持高度集成和模块化的设计,有利于提高生产效率、降低制造成本。

4) 结构承载。CTC 技术中,电芯不仅是电

能存储单元,还是整车结构件的一部分,这意味着电芯需能承受一定的载荷,对电芯的设计和工艺提出更高的要求。

5) 工艺挑战。电池与底盘集成度的提高对制造工艺的要求也提高。制造缺陷可能导致整个电池系统报废,增加维护的难度和成本。

4.2 系统优化

CTC技术通过深入整合三电系统、减少零部件、降低成本、提高续航里程,显著优化了电动汽车的性能和生产效率。

1) 整合三电系统。CTC技术深入整合了三电系统的组成部分,通过电池管理系统的智能化实现了动力分配的精细优化,不仅提高了三电系统的整体性能,还有效降低了能耗,为电动汽车的高效运行和可持续发展奠定坚实基础。

2) 减少零部件。CTC技术通过取消模组结构,减少了传统电池的冗余零部件,如特斯拉通过CTC技术与一体化压铸技术减少370个零部件,为车身减重10%,每千瓦时的电池成本降低7%。这种集成化的设计思路不仅适用于特斯拉主推的4680电芯,未来也兼容其他尺寸的电芯,推动生产效率的提高。

3) 降低成本。零跑汽车在降低电池成本的同时实现了电动机、电机控制器与电池包等核心部件的优化整合。零跑汽车官方信息显示,零部件减少20%、结构件成本降低15%不仅源于电池模块与底盘结构的一体化集成(减少焊接和连接工序),还得益于三电系统的深度协同设计。提高了生产效率,减少了对自动化设备的需求,进一步降低制造成本。

4) 提高续航里程。减少结构件节省出来的空间可用于增加电池、提高续航里程。宁德时代的CTP3.0技术麒麟电池将原本独立的横纵梁、水冷板与隔热垫集成,构建出多功能弹性夹层,体积利用率超过72%,能量密度达到 $255 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ 。这种设计使电芯组成一体化能量单元,极大提高了电池系统的集成效率。

4.3 技术发展

CTC技术在短时间内实现了快速发展,展现出规模化应用、材料创新与系统集成并重、政策支持、技术演进的多重优势,推动了新能源汽车的进步。

1) 技术应用的规模化。2022年是CTP、CTC、CTB大规模用于汽车的关键一年,标志着这些技术从研究转向应用。

2) 材料创新与系统集成并重。当前,动力电

池技术发展呈现出材料创新与系统集成并重的特征;①材料技术层面,通过提高正负极材料、电解质、隔膜等核心材料的热力学稳定性与电化学性能实现突破;②系统集成层面,通过优化电池模组结构设计、热管理系统、生产工艺等手段提高整体性能。CTC技术通过改变电池单元与车辆底盘的集成方式来提高性能。

3) 政策支持。《新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)》强调了强化整车集成技术创新的重要性,并提出研发新一代模块化高性能整车平台的计划。

4) 技术演进。尽管CTC技术起步较晚,但其发展势头迅猛,具有两大发展方向:①摒弃独立电池包架构,实现电芯与车身的直接融合;②推进模组与底盘的深度一体化集成,进一步优化系统布局。

4.4 行业应用

1) 特斯拉的应用。2020年9月,特斯拉推出的CTC技术取消了电池包设计,将电芯或模组直接安装到车身上,不仅提高了空间利用率,还有助于降低制造成本。采用CTC技术可显著减少零部件,减轻车重,降低电池成本。

2) 市场预测。在特斯拉的带动下,CTC技术从2022年开始逐步应用。预计到2030年,该技术在电动汽车新增市场中的渗透率能达到60%,成为电动汽车制造的一个重要趋势。

综上所述,CTC技术通过提高集成度和优化车辆结构来提高电动汽车的性能、降低成本。随着技术的不断成熟和应用,CTC技术将会成为推动电动汽车发展的重要力量。

5 CTB技术

CTB技术是将电芯直接集成到车身底部的电池车身一体化技术,它取消了独立的电池包结构,将电池系统作为整车结构的一部分,与车身高度融合。CTB技术简化了电池组结构,增强了车身刚度,提高了空间利用率,以及车辆的操控性、安全性和舒适性,有助于增加续航里程、降低制造成本,是新能源汽车领域的一项重要技术创新。目前,比亚迪、小米、哪吒等众多车企加大了对CTB技术的研究。

比亚迪的电池车身一体化技术简化了车身结构(图11^[43])和生产工艺,搭载该技术的e平台3.0在安全性、操控性、高效性上取得显著进步,提高了整车性能。

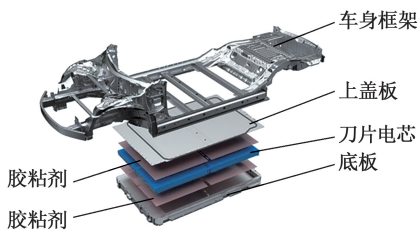


图 11 比亚迪 CTB 结构示意图^[43]

Fig.11 BYD's CTB structure schematic^[43]

小米 SU7 的 CTB 电池包改进为：①电芯倒置。如图 12 所示，小米 SU7 第一次将电芯、泄压阀同时倒置，可在电芯发生热失控时，通过排气通道从车底向下排出高温高压气体，避免对车内乘员造成伤害。②电池包内增加大面积的冷却板和一定量的隔热气溶胶，有效改善了电芯的热扩散。

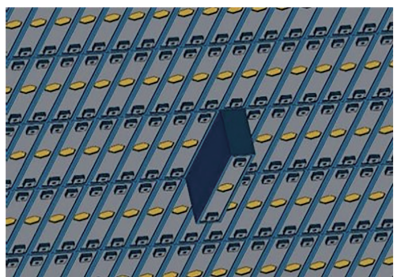


图 12 电芯倒置方案

Fig.12 Core inversion solution

综上所述，CTB 技术将电池融入车身架构，展现出独特的应用价值。

5.1 底盘结构优化设计

CTB 技术能提高车身性能、优化底盘设计，增强车辆整体表现。

1) 一体化架构。CTB 技术将电池上盖与车身地板整合，构建出整车三明治结构。比亚迪部分车型的电池兼具电能存储与结构支撑功能，大幅增大车身的扭转刚度，提高整车的操控性和行驶稳定性。

2) 底盘优化。CTB 技术使底盘设计更加简洁和紧凑，降低了风阻系数。比亚迪“海豹”的风

阻系数低至 0.219，可显著减少空气阻力产生的车辆能耗，进一步增加续航里程。

5.2 安全性能强化

CTB 技术在多个方面强化了动力电池系统的安全性。

1) 碰撞防护。碰撞事故中，电池作为车身结构一部分能有效分散冲击力。比亚迪“海豹”的双面侧柱碰试验显示，整车结构最大变形量比传统燃油车大幅减小，且碰撞后的电池包仍能正常工作。

2) 热失控管理。CTB 技术能更好监控电池温度，减小热失控风险。优化电池包内部的热传导路径与散热结构后，即便部分电芯出现异常发热，也能有效阻止热失控蔓延，确保车辆安全。

3) 结构完整性保障。无论是正面碰撞、侧面碰撞还是翻滚事故，CTB 技术都能更好维持车身结构的稳定，减少车身变形对乘客和关键部件的挤压伤害。

5.3 技术优势

CTB 技术将电池与车身结构深度融合，使车身刚性大幅提升，有效降低重心、增强操控性，同时增加电池布置空间，提高续航，优化车内空间布局。与传统电池包相比，CTB 技术减少了部分结构件及车身相关部件，降低了整车的制造成本，推动新能源汽车向更高品质、更高效能方向发展。

6 其余典型的动力电池技术

对于电池包的开发与应用，机械结构、电气性能、热管理、化学特性是核心技术。历经技术迭代，早期的铅酸电池如今已演进至固态电池^[44]。除了上述具有代表性的电池技术以外，近几年各大车企和电池生产商都加大了对动力电池的研究，如图 13 所示。当前，动力电池的研究方向有电池结构与技术创新、电池热管理与安全技术体系、快速充电技术方案。

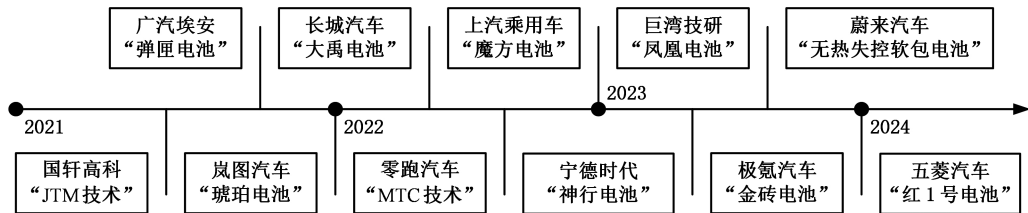


图 13 部分企业特色电池技术发布时间线

Fig.13 Timeline of featured battery technology releases from selected companies

6.1 电池结构与技术创新

创新的电池结构设计技术不断涌现，如国轩高科的卷芯到模组(jelly roll to module, JTM)一体化技术、零跑汽车的 MTC 技术等。这些技术

从多个方面大幅提高电池的空间利用率，显著优化了车辆的整体性能。

6.1.1 JTM 一体化技术

JTM 技术直接将卷芯整合进模组，减少了电

池、模组所需的零部件,缩短了生产周期。JTM 以磷酸铁锂材料体系为基础体系,展现出比高镍三元电池更高的能量密度。同时,模组成本可有效控制,实现了高能量密度与低成本的双重优势。JTM 技术凭借标准化规格和不同使用场景的适配能力,在储能、低速电动车等多个领域广泛应用。

6.1.2 MTC 一体化技术

零跑汽车的 MTC 技术通过优化电池与底盘的集成方式、增强结构设计、改进电池固定方案,实现轻量化与高效能目标。

1) 电池模组与底盘的直接集成。MTC 技术的核心在于将电池模组直接整合至车辆底盘,不仅减少了零部件,使底盘设计更加紧凑,还优化了车内空间分配,提高了整车的结构性能,有助于车辆的轻量化。

2) 双骨架环形梁式结构。电池托盘骨架结构与车身梁结构的结合形成坚固且轻量的整体,不仅提高了电池的安全性和稳定性,还利用车身的纵梁、横梁有效保障了电池的密封性。

3) 独特的电池安装方式。电池仓位于乘员舱下方,电池模组通过栓接、胶接等固定方式悬吊在电池仓内,电池包下护板通过螺栓固定于电池仓底部,与仓体结构共同构成密封防护层,在保障电池组抗冲击性能的同时实现舱内环境密闭。

6.1.3 躺式电芯与多维安全集成技术

如图 14 所示,“魔方电池”具备躺式电芯、CTP 无模组技术等多项先进技术,从空间利用、安全防护等多方面提升性能与适用性。

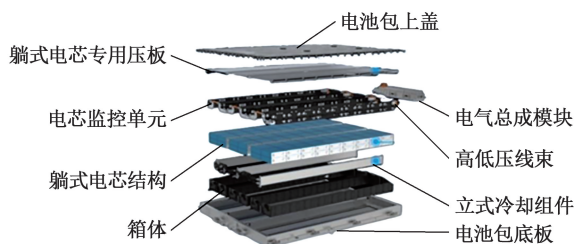


图 14 “魔方电池”系统结构示意图^[45]

Fig.14 Schematic diagram of the structure of the “one pack” system^[45]

1) 躺式电芯技术。电芯以平铺的方式布置于相对规整且更合理的区域,提高了空间利用率。这种布置方式有助于减小热失控时对周围电芯的影响,提高安全性。

2) CTP 无模组技术。该技术将电芯集成到电池包来大幅减少零部件,简化电池包的制造流程,实现轻量化设计。

3) 五重安全防护机制。全天候的安全监控系统、高效导热的水冷板、躺式电芯布局、电芯之

间的气凝胶阻燃材料、排气疏导机制协同构建安全屏障,大幅提高电池系统的热管理效能与安全稳定性。

4) 兼容不同材料的电池包。“魔方电池”可适配不同材料的电池包,如低密度体系的磷酸铁锂电池包、中密度体系的三元材料电池包,以及高密度体系的硅碳负极、半固态材料电池包。

5) 柔性结构件与结构胶的应用。“魔方电池”采用大量柔性结构件和结构胶替代刚性结构件,以自适应电芯的膨胀变形,显著提高了电池的可靠性和安全性。

6.2 电池热安全技术体系创新

众多具有独特设计理念和技术优势的电池技术不断涌现,如广汽埃安的弹匣电池技术、岚图汽车应用并优化的三元锂电池技术。这些技术不仅提高了电池的能量密度和安全性,还通过优化结构设计、热管理技术增强了电池的续航能力和整体性能。

6.2.1 弹匣电池多维热防护技术

如图 15 所示^[46],弹匣电池具备超高耐热稳定电芯、超强隔热安全舱、高效散热速冷系统等多重先进技术,全面提高了电池安全性与性能。

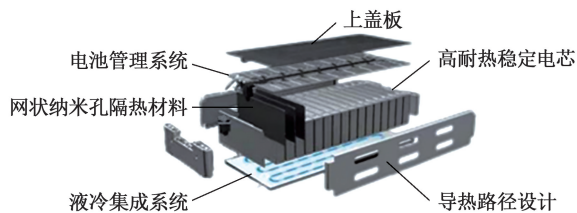


图 15 弹匣电池系统结构示意图^[46]

Fig.15 Schematic diagram of magazine battery system structure^[46]

1) 超高耐热稳定电芯。正极材料应用的纳米级包覆和掺杂技术、电解液的新型自修复添加剂构建了具有热响应特性的固体电解质界面(solid-electrolyte interface, SEI)膜,提高了电芯的耐热温度,增强了稳定性。

2) 超强隔热电池安全舱。利用网状纳米孔隔热材料构筑具有超强隔热性能的安全舱,为电池包提供保护;电池包上壳体采用耐温超过 1400℃ 的材料,有效保护电池包。

3) 高效散热的速冷系统。全贴合液冷集成系统能实现电池包的高效散热。高精度导热路径能将热量快速且有序地引导至散热通道,有效遏制热量在电池包内无序扩散,提高整体散热效能。

6.2.2 琥珀电池的多维安全防护体系

琥珀电池系统通过高分子隔热墙阻断热扩散、云端 BMS 实时监测预警、高强框架吸能防护,实现

热失控抑制与机械冲击防护的协同优化,保障电池系统的全工况安全稳定运行,如图 16 所示^[47]。

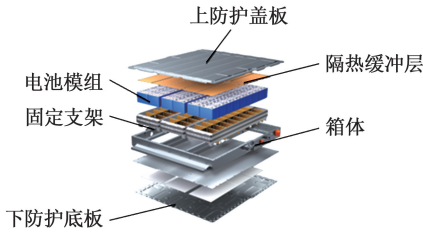


图 16 琥珀电池系统结构示意图^[47]

Fig.16 Diagram of the structure of the Amber battery system^[47]

1) “三维隔热墙”技术。采用高分子隔热阻燃材料包裹每个电芯,有效隔离热失控电芯释放的热量,避免对周围电芯的连锁影响,确保电池包系统整体安全。

2) 电池管理系统。过百万辆的车辆在线监测平台可实现毫秒级故障响应与 PB 级别(1PB=1024TB)数据存储。基于人工智能算法的电池健康评估模型可提前 2 小时预警热失控风险,提前 7 天预测内部短路等潜在故障。

3) 高安全性的电池包方案。通过定制化开发车身防护、高强框架、压力传递、形变吸能和电池双保险等,能在电池受到外力撞击时提供有效保护。

6.2.3 大禹电池的热失控疏导技术

长城汽车推出的“大禹电池”可实现更高级别的安全保障,如图 17 所示^[48]。该项技术通过“热源控制+定向疏导”的策略,显著提高了电池热失控的安全防护水平,其安全性远超 GB38031—2020《电动汽车用动力蓄电池安全要求》的规定^[49]。

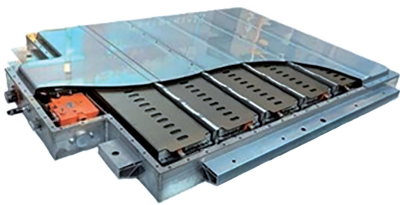


图 17 大禹电池系统结构示意图^[48]

Fig.17 Schematic diagram of Dayu battery system structure^[48]

1) 热源隔断技术。电芯间的双层复合材料具有良好的隔热性能,可有效阻隔热量传递,防止热量蔓延,提高电池组的安全性。

2) 双向换流技术。通过多维度的通道设计与动态仿真,实现高温气火流的定向疏导,避免相邻模组热冲击,有效防止热失控。

3) 热流分配技术。利用燃烧模型、热力学与流体力学仿真技术,对气火流进行有效的疏导,确

保热量和火焰的高效管理。

4) 定向排爆技术。该技术通过分流、导流、换流三级结构,将热失控产生的高温气火流引导至灭火通道,结合压力与流量调控,实现分层均匀流动,避免热量集中,确保安全排出。

5) 高温绝缘技术。对高压连接及高压安全区域进行专门的高温绝缘防护设计,有效防止高压起弧对金属箱体的损伤。

6) 自动灭火技术。通过尾部灭火盒将外溢烟雾的最高温度控制在安全范围内,避免对周围环境造成二次伤害。

7) 正压阻氧技术。使电池包的内部压力始终高于外界气压,有效避免氧气进入导致的二次燃烧风险。

8) 智能冷却技术。根据电芯和模组在热失控过程中的实时温度、温度变化速率等热状态参数,智能调节冷却系统的开闭时间、流速和流量等参数,确保电池系统的高效冷却。

6.2.4 无热失控软包电池系统技术

蔚来无热失控软包电池^[50]通过材料体系创新、结构设计优化和安全防护升级,实现了能量密度、安全性能与循环寿命的系统性突破。

1) 预锂化硅碳材料的使用。将预锂化硅碳作为负极材料不仅提高了电池的能量密度,还显著优化了电池的整体性能。

2) CTP 技术的应用。无热失控软包电池方案减少了模组,显著提高了电池的能量密度和体积利用率。

3) 安全性能的提升。该电池采用全灌封与全方位阻燃设计,有效遏制了热蔓延,确保了电池包的安全性。大面积水冷板构成的高效冷却系统实现了充放电的温度恒定,优化了电池性能。

6.2.5 红 1 号智能温控集成技术

五菱红 1 号电池^[51]是专为新能源商用车研发的电池,融合智能温控、长效电芯与轻薄结构三大核心技术。

1) 飞流超智能温控系统。充电过程中,飞流超智能温控系统实时监测电池温度变化,及时做出相应调整。

2) 问鼎超耐用电芯技术。该技术通过电芯快充、电芯抗衰、电芯安全技术来提高电芯的耐用度,采用陶瓷层涂覆技术有效防止热失控。

3) 超轻薄结构技术。采用独特的结构与紧凑的构造形式有效减小了电池体积,能最大限度释放货箱载货空间,提高装载效率。

6.3 快速充电技术解决方案

提高充电效率、缩短充电时间已成为电动汽

车的重要发展方向,为此,各大企业正积极探索新型充电技术,如宁德时代的神行超充电技术、巨湾技研的“凤凰电池”技术等。

6.3.1 神行电池技术体系

宁德时代神行全能电池运用多项先进技术,涵盖正负极、电解液及充电技术,提高充电性能、效率,兼顾快充与耐久性。

1)超电子网正极技术。神行电池使用超电子网正极技术,采用充分纳米化的正极材料,搭建了四通八达的超电子网,减小锂离子脱出阻力,使材料对充电信号快速响应。

2)第二代快离子环负极技术。对石墨负极表面进行改性处理,在石墨层间形成快离子环结构,使电池在充放电过程中表现出更高的效率。

3)超高导电液配方。选用高导体溶剂、添加剂等成分显著提高电解液的导电率和渗透率,确保电池的充电效率和使用性能。

4)高孔隙隔离膜。通过精确调控隔离膜的孔隙率,并优化孔道的形状、分布和连通性,提高锂离子的液相传输速率。

5)4C 超充技术。该技术通过将充电倍率提高至 4C(C 为电池的充电倍率,1C 对应 1h 充满标称容量),使电池可在 15min 内完成 0~80% 充电,同时通过自适应温控系统保障循环寿命,兼顾快充性能与耐久性。

6.3.2 凤凰电池系统的集成方案

图 18 所示的凤凰电池^[52]可解决高压平台在极速充电上的挑战。

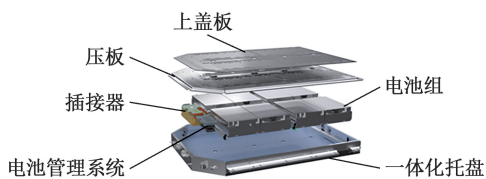


图 18 凤凰电池系统结构示意图^[52]

Fig.18 Schematic diagram of Phoenix battery system structure^[52]

1)总线电压升降开关矩阵技术。通过高度集成化的固态开关矩阵及智能化控制系统,使电池电压自由升降,确保整车在 300~1000V 电压平台下都可实现极速充电,实现更高效、更灵活的充电管理。

2)多合一弹仓式结构。采用超导热、加热、缓冲、隔热等材料构建多合一弹仓式结构,不仅改善了电池的热管理效果,还增强了电池的抗冲击、抗穿透能力。

3)高效能热管理技术。通过构建电池三维立体热管理系统,极限利用电芯换热面积,大幅提高

换热面积、提高控温速率。

6.3.3 金砖电池的创新架构

图 19 所示的金砖电池^[53]可提高电动汽车的充放电效率和使用寿命。

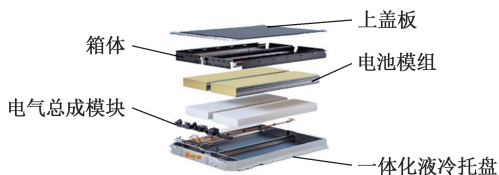


图 19 金砖电池系统结构示意图^[53]

Fig.19 Schematic diagram of the BRIC battery system structure^[53]

1)高效集成设计。通过结构优化,该电池不仅实现了较高的体积利用率,还显著减少了核心零部件,进一步降低了电池的整体成本和复杂性。

2)快充技术。引入纳米级磷酸铁锂颗粒和复合导电剂,采用超快解离电解液和三层复合多孔膜,并集成低焓变石墨负极材料与表面低阻抗 SEI 膜,实现了高电压、大电流下的稳定高效充电。

3)安全性能。该电池采用耐高压绝缘膜进行热安全防护。电池包内设置毫秒级紧急切断装置和具备异常特征监测功能的传感器预警系统,通过监测-预警-响应三级防护体系实现对电池安全的系统性保障。

6.4 电池车身集成化技术小结

电池车身集成化技术通过结构、空间、生产、热管理和安全等多种措施,取消模组组装,优化空间布局,简化生产流程,提高热管理效率,并增强碰撞安全性和电池防护,实现了性能与成本的双重优化,推动电动汽车技术发展。

6.4.1 结构一体化设计创新

1)取消模组与电池包组装环节。传统的电池安装方式是先将电芯组成模组,再将模组组合成电池包,最后将电池包安装在车身上。电池车身集成技术省去了模组及电池包的组装,直接将电芯集成于车身。

2)电池与车身结构集成。电池不仅作为能量存储装置,还具有车身结构的支撑与传力功能。零跑汽车的 CTC 方案将车舱横梁与电池包集成,形成一体化结构,同时座椅安装在电池包上盖,进一步提高车辆的操控性和安全性。

6.4.2 空间利用创新

1)提高空间利用率。电池车身集成技术通过减少电池包与车身之间的间隙来释放更多的车内空间,并根据车身形状和空间需求进行合理布局,充分利用车内空间。

2)增加电池容量。在车身尺寸既定的情况

下,集成技术通过优化空间布局减少空间浪费,为电池扩容创造条件。通过提高电芯的能量密度增强电池的储能能力,使得相同体积或重量的电池包能存储更多的电能,有效提高车辆的续航里程。

6.4.3 生产制造创新

1)简化生产流程。电池车身集成技术减少了零部件和生产工序,降低了生产的复杂性和成本。CTP 技术减少了模组和相关连接件、固定件。

2)精密制造要求。电池与车身的更高集成度对制造精度提出更高要求。电芯的尺寸精度、电池包的装配精度等都需要生产企业的严格把控,从而确保产品的质量稳定性。

6.4.4 热管理创新

1)优化热管理系统。集成设计使热管理系统更好地与电池和车身协同工作。在电池与车身之间合理布置冷却管道等热管理部件可有效控制电池的工作温度,提高电池的性能和寿命。

2)利用车身结构散热。车身结构也可作为散热的一部分,一些车型通过优化底盘的设计增大与空气的接触面积,显著提高了散热性能。

6.4.5 安全性能创新

1)增强碰撞安全性。电池车身集成设计改变了碰撞时的力传递路径,使电池在碰撞过程中能得到更好的保护,也为车身提供了额外的支撑,减小碰撞时的车身变形,保护车内乘员的安全。

2)提高电池安全防护。集成技术设置电池安全防护措施,如在电芯之间添加隔热、阻燃材料,配备先进的电池管理系统等,实时监控电池状态,及时发现并处理安全隐患,提高电池的安全性。

7 展望

动力电池包的质量约占整车质量的 30%~40%,也是整车生产成本比较高的部件之一,因此优化电池包结构设计对提高空间利用率和车辆的整体性能至关重要。CTP、CTC、CTB 是新能源汽车动力电池系统集成化设计目前采用的主要方式。CTP 直接将电池单元集成到电池包,减少了结构件和连接件,提高了能量密度;CTC 技术将电池单元集成到车辆底盘,进一步减少了组件和重量;CTB 将电池与车身深度融合,将电池上盖与车身地板合为一体,使电池成为车身结构一部分,为动力电池系统集成化设计的后续发展奠定了基础。

1)智能化集成设计。随着车辆向移动智能平台发展,运用大数据、人工智能和物联网技术构建智能电池管理与能量分配系统,提高电池性能、安

全性和寿命,优化车辆整体功能。

2)开发可持续性材料。开发可持续性材料是动力电池系统集成化设计的重要发展方向,包括使用生物基材料、回收材料和更易回收的电池组件。研究环保生产流程与材料加工方法以有效降低电动汽车碳足迹,推动行业向循环经济转型。

3)标准化和通用化。标准化和通用化是实现高效生产和全球供应链协同的关键因素。制定统一的设计和制造标准有助于降低成本、缩短产品开发周期,促进不同制造商产品的兼容。通用化的电池平台可满足不同车型和品牌的需求,提高电池的生产效率和规模经济效应。

综上所述,动力电池系统的集成化发展集中在智能化集成设计、开发可持续性材料、标准化和通用化上,有效推动新能源汽车动力电池系统在性能、环保和成本等多方面实现优化,为新能源汽车产业的持续健康发展提供坚实支撑。

参考文献:

- [1] TAUB A, de MOOR E, LUO Alan, et al. Materials for Automotive Lightweighting[J]. Annual Review of Materials Research, 2019, 49:327-359.
- [2] ROSENTHAL S, MAAB F, KAMALIEV M, et al. Lightweight in Automotive Components by Forming Technology[J]. Automotive Innovation, 2020, 3(3):195-209.
- [3] CECHEL S. Materials and Technologies for Lightweighting of Structural Parts for Automotive Applications[J]. SAE International Journal of Materials and Manufacturing, 2021, 14(1):81-98.
- [4] SUN Y K. Promising All-solid-state Batteries for Future Electric Vehicles[J]. ACS Energy Letters, 2020, 5(10):3221-3223.
- [5] WU Yingqiang, XIE Leqiong, MING Hai, et al. An Empirical Model for the Design of Batteries with High Energy Density [J]. ACS Energy Letters, 2020, 5(3):807-816.
- [6] PROPFE B, REDELBACH M, SANTINI D, et al. Cost Analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicles Including Maintenance & Repair Costs and Resale Values[J]. World Electric Vehicle Journal, 2012, 5(4):886-895.
- [7] JIN Changyong, SUN Yuedong, YAO Jian, et al. No Thermal Runaway Propagation Optimization Design of Battery Arrangement for Cell-to-chassis Technology[J]. eTransportation, 2022, 14:100199.
- [8] 比亚迪:搭载 CTB 技术的 e 平台 3.0 车型海豹开启预售,预售价格 21.28 万元起[J]. 中国质量万里行, 2022(6):39.

- [9] JIANG Yahong, WU Qunqi, LI Min, et al. What Is Affecting the Popularity of New Energy Vehicles? A Systematic Review Based on the Public Perspective[J]. *Sustainability*, 2023, 15(18):13471.
- [10] DENG Jie, BAE C, DENLINGER A, et al. Electric Vehicles Batteries: Requirements and Challenges[J]. *Joule*, 2020, 4(3):511-515.
- [11] SHARMA S, PANWAR A K, TRIPATHI M M. Storage Technologies for Electric Vehicles [J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2020, 7(3):340-361.
- [12] ARORA S, SHEN Weixiang, KAPOOR A. Review of Mechanical Design and Strategic Placement Technique of a Robust Battery Pack for Electric Vehicles[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 60:1319-1331.
- [13] ZHANG Ji, WANG Jianchang, LYU Xiangjie. Simulation Study on the Influence of the Shielding Mechanism of the Battery Pack Shell on the Vehicle Radiation Emission[EB/OL]. SAE Technical Paper, 2021 [2024-05-10]. <https://doi.org/10.4271/2021-01-0149>.
- [14] DOERR J, ARDEY N, MENDL G, et al. The New Full Electric Drivetrain of the Audi E-tron [M]// *Der Antrieb von Morgen 2019*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019:13-37.
- [15] NICOLETTI L, ROMANO A, KÖNIG A, et al. An Estimation of the Lightweight Potential of Battery Electric Vehicles [J]. *Energies*, 2021, 14(15):4655.
- [16] WASSILIADIS N, STEINSTRÄTER M, SCHREIBER M, et al. Quantifying the State of the Art of Electric Powertrains in Battery Electric Vehicles: Range, Efficiency, and Lifetime from Component to System Level of the Volkswagen ID. 3[J]. *eTransportation*, 2022, 12:100167.
- [17] XU Bin, ARJMANDZADEH Z. Parametric Study on Thermal Management System for the Range of Full (Tesla Model S)/ Compact-size (Tesla Model 3) Electric Vehicles[J]. *Energy Conversion and Management*, 2023, 278:116753.
- [18] LIU Jinming, ANWAR M, CHIANG P, et al. Design of the Chevrolet Bolt EV Propulsion System[J]. *SAE International Journal of Alternative Powertrains*, 2016, 5(1):79-86.
- [19] LOISELLE-LAPOINTE A, CONDE A J, RIBBERINK H. Chevrolet Volt On-road Test Programs in Canada Part 1: Effects of Drive Cycle, Ambient Temperature and Accessory Usage on Energy Consumption and All-electric Range[J]. *International Journal of Automotive Technology*, 2017, 18(1):103-115.
- [20] PHAM X M, BUI G V, PHAM H, et al. Design Process of Electric Vehicle Power System[J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2022, 907:101-114.
- [21] TROVÃO J P. Exploring Current Automotive Industry Trends [Automotive Electronics[J]. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 2023, 18(4):127-137.
- [22] PISTOIA G, LIAW B. Behaviour of Lithium-ion Batteries in Electric Vehicles[M]. Cham: Springer International Publishing, 2018.
- [23] ECKSTEIN L, SCHMITT F, HARTMANN B. Leichtbau Bei Elektrofahrzeugen[J]. *ATZ—Automobiltechnische Zeitschrift*, 2010, 112(11):788-795.
- [24] SANGUESA J A, TORRES-SANZ V, GARRIDO P, et al. A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges[J]. *Smart Cities*, 2021, 4(1):372-404.
- [25] DONG Qingyin, LIANG Shuang, LI Jinhui, et al. Cost, Energy, and Carbon Footprint Benefits of Second-life Electric Vehicle Battery Use [J]. *iScience*, 2023, 26(7):107195.
- [26] 邱伟. 新能源汽车动力电池结构及成组技术综述[J]. *时代汽车*, 2024(5):107-111.
- QIU Wei. A Review of the Structure and Grouping Technology of Power Batteries for New Energy Vehicles[J]. *Auto Time*, 2024(5):107-111.
- [27] 金奎, 何鹏申. 新能源汽车电池车身一体化技术及工艺[J]. *汽车制造业*, 2023(4):6-8.
- [28] 刘渺然, 翟旭亮, 吕宁, 等. 动力电池集成关键技术研究现状及展望[J]. *汽车文摘*, 2023(4):1-6.
- LIU Miaoran, ZHAI Xuliang, LYU Ning, et al. Research Status and Prospects on Key Technologies for Power Battery Integration[J]. *Automotive Digest*, 2023(4):1-6.
- [29] 朱龄. 新一代比亚迪唐的“一大步”能否成为新能源汽车向前的“一小步”? [J]. *汽车纵横*, 2018(7):68-69.
- ZHU Ling. A New Generation of BYD Don's "a Big Step" Can It Be a "Small Step" for New Energy Vehicles to Move Forward? [J]. *AutoReview*, 2018(7):68-69.
- [30] YE Ben, RUBEL M R H, LI Hongjun. Design and Optimization of Cooling Plate for Battery Module of an Electric Vehicle[J]. *Applied Sciences*, 2019, 9(4):754.
- [31] 赫炎. 从CTP、CTC、CTB浅谈电动汽车动力电池集成技术[J]. *世界汽车*, 2022(6):70-71.
- [32] 合创汽车打造全新CTP电池包 让出行不再焦虑 |

- 续航|CTP[EB/OL]. (2022-03-20)[2025-03-16]. <https://www.163.com/dy/article/H2U3MLAG05475FX9.html>.
- [33] LI Jun, DAMIR KUDRYAKOV F. Ningde Times Company to Enter the International Market Form [C]// The 2021 7th International Conference on Industrial and Business Engineering. Macau, 2021: 253-258.
- [34] 特斯拉 Model 3 三电系统拆解[EB/OL]. (2022-08-11)[2025-03-16]. http://www.360doc.com/content/22/0811/11/80174008_1043368363.shtml.
- [35] 朱小燕. 无模组技术在新能源汽车动力电池中的应用与研究[J]. 科技与创新, 2020(15):159-161. ZHU Xiaoyan. Application and Research of Moduleless Technology in New Energy Vehicle Power Battery[J]. Technology and Innovation, 2020(15): 159-161.
- [36] 陈南, 李兵兵. 电动汽车动力电池包结构设计分析研究进展[J]. 机械制造与自动化, 2022, 51(1): 1-6. CHEN Nan, LI Bingbing. Progress in Research and Analysis of Structural Design of Electric Vehicle Power Battery Pack[J]. Machine Building & Automation, 2022, 51(1):1-6.
- [37] 车家号, 发现车生活, 汽车之家. 刀片电池撑场, 备受瞩目的比亚迪汉, 能否成为老牌造车势力的反击[EB/OL]. (2023-06-01)[2025-03-16]. <https://chejiahao.autohome.com.cn/info/5845869/>.
- [38] ZHANG Wen, XU Jun. Advanced Lightweight Materials for Automobiles: a Review[J]. Materials & Design, 2022, 221:110994.
- [39] 魏一凡, 韩雪冰, 卢兰光, 等. 面向碳中和的新能源汽车与车网互动技术展望[J]. 汽车工程, 2022, 44(4):449-464. Wei Yifan, Han Xuebing, Lu Languang, et al. Carbon-neutral New Energy Vehicles and Vehicle-network Interaction Technologies[J]. Automotive Engineering, 2022, 44(4):449-464.
- [40] 李婷. 宁德时代智能滑板底盘预计明年量产续航里程突破 1000 公里[N]. 证券日报, 2023-12-01(B01).
- [41] 朱成明. 滑板底盘概述以及发展趋势[J]. 时代汽车, 2024(4):131-134. ZHU Chengming. An Overview of Skateboard Chassis and Development Trends[J]. Auto Time, 2024(4):131-134.
- [42] 森宁. 美国专业团队拆解特斯拉 Model Y 的 4680 电池包, 秘密全部揭晓! [EB/OL]. (2022-08-29)[2025-03-16]. <https://hxny.com/nd-76486-0-50.html>.
- [43] 挑战双面侧柱碰试验! 比亚迪 CTB 技术成功通过[EB/OL]. (2023-07-26)[2024-04-09]. <https://www.163.com/dy/article/IAJDL34H054777M8.html>.
- [44] 薛海波, 程晓燕, 徐洋. 我国固态电池产业化发展的 问题与进路[J]. 西南石油大学学报(社会科学版), 2024, 26(2):1-7. XUE Haibo, CHENG Xiaoyan, XU Yang. Problems in the Industrialization of Solid-state Battery in China and Solutions[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Social Sciences Edition), 2024, 26(2):1-7.
- [45] 揭秘上汽“魔方电池”[EB/OL]. (2022-08-11)[2024-04-18]. <http://www.evobserver.com/archives/6910>.
- [46] 燃擎技术课:销量不断突破的埃安,安全持续进化的弹匣电池[EB/OL]. (2023-07-10)[2025-03-16]. https://www.sohu.com/a/696310058_117438.
- [47] 岚图 FREE 318[EB/OL]. [2025-03-16]. <https://www.voyah.com.cn/free.html>.
- [48] 富兰克林. 永不起火, 永不爆炸”深度解析长城大禹电池技术[EB/OL]. (2023-05-20)[2025-03-16]. <https://www.xchuxing.com/article/38293>.
- [49] 蒋立琴, 王记磊, 邹兴华, 等. GB 38031—2020《电动汽车用动力蓄电池安全要求》解析[J]. 电池, 2020, 50(3):276-279. JIANG Liqin, WANG Jilei, ZOU Xinghua, et al. Analysis of GB 38031—2020 Safety Requirements of Traction Battery Used by Electric Road Vehicles[J]. Battery Bimonthly, 2020, 50(3):276-279.
- [50] 蔚来. 蔚来 ET7 智能电动行政轿车-NIO 蔚来官网[EB/OL]. [2025-03-16]. <https://www.nio.cn/et71>.
- [51] 赖达聪, 王雨. 专为人民创造财富研发 五菱红 1 号电池解析[EB/OL]. (2024-02-04)[2025-03-16]. <https://www.12365auto.com/parts/20240204/521831.shtml>.
- [52] 新能源情报分析网评测组. 从美国通用奥特能平台军用化, 研判动力电池系统主被动安全(下)[EB/OL]. (2024-02-27)[2025-03-16]. https://www.sohu.com/a/752182121_117833.
- [53] 治愈“电动爹”三大痛点, 详解极氪金砖电池[EB/OL]. (2023-12-25)[2025-03-16]. <https://www.163.com/dy/article/IMQJOPDT0527E3LS.html>.

(编辑 张 洋)

作者简介: 时培成*, 男, 1976 年生, 博士, 教授, 博士研究生导师。研究方向为新能源汽车、汽车动力学与底盘控制、智能网联汽车、环境感知技术。发表论文 66 篇。E-mail: shipeicheng@126.com。

本文引用格式:

时培成, 单子贤, 朱海龙, 等. 新能源汽车动力电池系统的集成化设计技术[J]. 中国机械工程, 2025, 36(7):1611-1623.

SHI Peicheng, SHAN Zixian, ZHU Hailong, et al. Integrated Design Technology for New Energy Vehicle Power Battery Systems[J]. China Mechanical Engineering, 2025, 36(7):1611-1623.