

重型卡车动力电池技术发展趋势研究

常 训

陕西重型汽车有限公司 陕西 西安 710200

摘要：随着环保与能源转型需求的凸显，重型卡车电动化备受关注，而动力电池技术是关键所在。本文概述了重型卡车动力电池技术，着重探讨了动力电池发展趋势，涵盖能量密度提升、快充技术进步、安全性增强及循环寿命延长等方面。分析各趋势下的具体举措，展望其对重型卡车行业电动化、绿色化发展的推动作用，旨在为相关研究与产业实践提供参考。

关键词：重型卡车；动力电池；技术发展；趋势研究；快充技术

引言：在全球积极应对气候变化、谋求能源可持续发展的大背景下，交通运输领域的变革迫在眉睫，重型卡车的电动化转型成为重要方向。动力电池作为电动重型卡车的核心支撑，其技术水平直接影响车辆的性能、运营成本与市场接受度。然而，目前重型卡车动力电池技术面临诸多挑战与机遇，对其进行深入研究，明晰现状与发展趋势，对于推动重型卡车行业的绿色发展、提升能源利用效率意义重大，故本文展开相关探讨。

1 重型卡车动力电池技术概述

重型卡车动力电池技术是新能源重型卡车发展的核心驱动力。随着环保意识的提升和能源结构的转型，动力电池技术在重型卡车领域的应用日益广泛。目前，重型卡车动力电池类型采用磷酸铁锂电池和三元锂电池，其中磷酸铁锂电池在安全性、循环寿命和成本方面表现优异，成为重型卡车动力电池的首选。而三元锂电池则因其高能量密度，在一些需要长续航里程的重型卡车中也有应用。目前在动力电池技术方面，重型卡车还面临着充电速度、安全性、成本等多方面的挑战。为了提高充电速度，兆瓦级快充技术正在不断研发和应用。同时，电池管理系统和热管理系统的优化也在不断提升动力电池的安全性和稳定性。在降低成本方面，规模化生产和材料回收利用是未来的重要方向^[1]。

2 重型卡车动力电池技术现状

目前是重型卡车电动化采用锂离子电池有着诸多显著优势，能量密度相较于传统的铅酸电池和镍氢电池有了很大提升，这使得重型卡车能够依靠其储存的电能实现较长距离的续航，满足运输任务需求。同时，锂离子电池的功率输出能力较强，无论是车辆的加速超车还是应对复杂路况下的动力需求，都可以较好地应对。而且自放电率低，能减少电量的无端损耗。例如，磷酸铁锂电池热稳定性好、寿命长；三元锂离子电池能量

密度更高，分别适用于不同侧重需求的场景。但锂离子电池也面临着成本有待降低、快充速度仍需提高以及在极端工况下安全性需进一步加强等问题。

3 重型卡车动力电池技术发展趋势

重型卡车动力电池主要发展磷酸铁锂体系动力电池、高镍三元锂体系动力电池和固态金属锂动力电池3条技术路线。

磷酸铁锂体系动力电池，其最大的优点是原材料价格便宜，电池成本比三元锂要低20%以上。随着电池技术的进步，其能量密度较有很突破（预计2030年前能量密度提升到220Wh/kg左右），而且安全性更好，国内电动重卡几乎都是搭载磷酸铁锂电池。

高镍三元体系动力电池：最大优点是具有高能量密度（预计2030年前量能量密度提升到300Wh/kg左右），主要应用在高端重卡车型上。

固态电池：从技术潜力角度来看，磷酸铁锂及三元锂电池能量密度提升相对困难，固态电池能量密度提升，从理论上讲更具可行性。一是固态电池电压平台提升，固态电解质比有机电解液普遍具有更宽的电化学窗口，有利于进一步提升电池的能量密度；二是固态电解质能阻隔锂枝晶生长，材料应用体系范围大幅提升，为具有更高能量密度的新型技术奠定基础；三是当前能量密度约400Wh/kg，预估最大潜力值会突破900Wh/kg，有超过100%以上的提升空间。预计2030年前固态电池技术和制造或将进入成熟期，随着技术不断完善固态电池必将是未来的主流产品。

3.1 能量密度持续提升

3.1.1 新型正负极材料研发

动力电池系统的能量密度与整车续航里程直接挂钩，高能量密度是衡量电池性能的关键指标。从能量密度视角看，正负极选材是提升电芯能量密度的关键与核心。

磷酸铁锂体系正极，其能量密度已达到瓶颈，探索在磷酸铁锂基础上进行掺杂提升能量密度及安全性，弥补磷酸铁锂短板，是动力电池正极材料升级的方向之一。

高镍三元材料体系正极，其有着较高的比容量，能够在单位体积或质量下储存更多的电量，不过其稳定性等方面存在一定挑战，于是通过掺杂、包覆等改性手段，来增强其结构稳定性，降低可能出现的安全隐患，同时提升其能量密度表现。像富锂锰基正极材料也是研究热点之一，它具备超高的理论比容量，若能攻克实际应用中的循环寿命较短、电压衰减等难题，有望大幅提升电池能量密度。

硅基负极材料具有极高的理论比容量，远超传统的石墨负极，但在充放电过程中会出现较大的体积膨胀收缩问题，导致材料粉化，影响电池性能。目前通过纳米化、复合化等工艺，来缓解体积变化带来的不良影响，使得硅基负极在提升电池能量密度上能发挥更大的作用。总之，新型正负极材料研发的每一步进展，都为电池能量密度的持续提升奠定基础。电芯性能发展趋势指标参数（见表1）。

表1 电芯性能发展趋势指标参数

项目	2025年	2030年		2035年
	磷酸铁锂电芯	磷酸锰铁锂电芯	三元锂电芯	固态电池电芯
质量能量密度 (Wh/kg)	> 190	> 250	> 300	> 500
体积能量密度 (Wh/L)	> 380	> 500	> 600	> 1000

3.1.2 电池结构优化

电芯结构优化：通过改进极片的设计来提高空间利用率，在有限的电芯壳体内可以容纳更多的活性物质，从而增加电量存储量，进而提升能量密度。同时，合理调整极耳的位置和数量，能够改善电芯内部的电流分布情况，减少局部电阻过大带来的能量损耗，让电芯整体性能得到优化，助力能量密度上升。

成组技术优化：近年来在电池成组结构创新方面新技术层出不穷，推动了动力电池向高度集成化方向发展。从传统的电芯组成模组，再由模组组成电池包（Cell To Module, CTM）向高度集成的技术路线发展：如电芯直接集成电池包（Cell To Pack, CTP）、模组与电池框架集成（Module To Bracket, MTB）、电芯直接与电池框架集成（Cell To Bracket, CTB），通过结构创新充分利用布置空间，电池成组效率大幅度提升，电池包成组效率对比（见表2）。纯电动重卡的动力电池成组技术主要有CTP、MTB及CTB成组3种方式，其中MTB和CTB在成组

效率和整车布置空间方面具有优势，是纯电动重卡动力电池发展方向。

表2 电池包成组效率对比

成组方式	CTP	MTB	CTB
质量成组效率	< 80%	80%~85%	> 85%
体积成组效率	< 60%	60%~65%	> 65%

3.2 快充技术不断进步

3.2.1 高倍率快充电池材料研发

正极材料方面：研发人员致力于寻找能支持大电流快速充放电且结构稳定的材料。例如，对部分三元材料进行改性，使其离子扩散通道更加顺畅，这样在充电时锂离子能快速嵌入，实现快速充电的同时还能维持良好的循环性能。

负极材料方面：像硬碳材料等受到广泛关注。硬碳有着独特的微观结构，能为锂离子提供更多的嵌入位点，并且在高倍率充电下，其结构不易被破坏，保障了电池快速充电的安全性和稳定性。此外，一些新型的复合负极材料也在不断被探索，通过将不同特性的材料复合，取长补短，增强负极在高倍率充电时的适应性。

电解质方面：改善电芯使用寿命的主要方法是对电解质改性。电解质的优化能够更好地匹配高倍率快充的正负极材料，降低离子迁移阻力，提高导电性能，为电池实现高倍率快充提供有力的支撑，助力快充技术不断迈向新台阶。

3.2.2 充电设施与电池管理协同优化

从充电设施角度来看，在政策和市场双重驱动下，大功率快充设施逐渐普及，最高功率达到1200kW，其输出的高电压、大电流能够满足电池快速充电需求。充电设施与电网互动技术，通过V2G（Vehicle to Grid）实现电动车与电网的双向互动，既能为电动车充电，也能为电动汽车作为分布式储能单元接入网络，保障了不同设备间的兼容性，让充电过程更加顺畅高效。

电池管理技术的进步，先进的电池管理系统（BMS）发挥着重要作用。它能实时监测电池的温度、电压、电流等关键参数，在快充时，根据电池状态精准调控充电功率，避免电池出现过充、过热等异常情况，延长电池使用寿命。同时，BMS还能与充电设施进行智能交互，实现充电策略的动态调整，确保充电过程既快速又安全，共同推动快充技术的持续进步。

3.3 安全性进一步增强

3.3.1 热管理系统升级

动力电池作为能量载体，随能量密度的提高其安全隐患越发突出，因此防止动力电池系统热安全事故发

生、阻断或延缓热失控扩展研究工作尤为重要^[2]。传统的热管理系统在精准控温以及应对复杂工况方面存在一定局限。如今,热管理系统正朝着智能化、精细化方向迈进。一方面,通过增加更多的温度传感器,能够更精确地感知电池各个部位的实时温度,无论是电芯内部还是模组间的细微温差都能被及时捕捉,为后续的调控提供精准的数据支撑。另一方面,散热方式也在不断优化。例如,液冷散热技术得到了更广泛的应用,其利用冷却液在管道内循环流动,高效地带走电池产生的热量,相比风冷散热,散热效率大幅提升,尤其在高功率充放电等容易产生大量热量的场景下,能更好地维持电池处于适宜的工作温度区间。此外,制热功能也在完善,在低温环境中对电池进行预热,确保电池的活性,避免因低温导致的性能下降以及潜在的安全隐患,全方位提升电池的安全性与稳定性。

3.3.2 安全防护机制强化

在电池的物理防护层面,外壳的设计与材质选择更为考究。采用轻量化、高强度、耐高温且具备良好绝缘性的材料来制作外壳,即便遭遇外部的撞击、挤压等意外情况,也能有效保护内部电芯不受损坏,防止短路等危险状况发生。从电池内部的防护机制来看,过充保护、过放保护以及短路保护等功能越发完善。例如,过充保护电路能够实时监测电池的充电状态,一旦检测到充电电压超过安全阈值,便会立即切断充电回路,避免因过度充电引发的电池鼓包、起火甚至爆炸等严重后果。另外,针对电池在使用过程中可能出现的热失控问题,也设置了多重预警和应对措施。通过智能监测系统提前察觉热失控的迹象,然后启动诸如自动降温、释放灭火气体等措施,最大限度地降低安全风险,让电池在各种复杂环境下都能安全可靠地运行。

3.4 循环寿命延长

3.4.1 电池材料改性与界面优化

在材料改性方面,对于正极材料,像通过元素掺杂等方法来稳定其晶体结构,减少在反复充放电过程中晶格的畸变与坍塌,使其能够保持良好的电化学性能,从而耐受更多次的充放电循环。例如对三元正极材料进行特定金属元素的掺杂,提升了其结构稳定性和容量保持率。负极材料同样如此,以硅基负极为例,由于其充放电时体积变化大影响寿命,采用纳米化、复合化改性手段,让硅颗粒的尺寸更小且与其他稳定材料复合,缓冲

体积变化带来的应力,降低对自身结构的破坏,延长循环使用次数。界面优化也不容忽视,电极与电解液之间的界面状态直接影响电池性能。通过在电极表面形成稳定且导电性良好的界面膜,能有效抑制电解液对电极的腐蚀,减少副反应的发生,保障锂离子在充放电过程中顺畅迁移,进而提高电池整体的循环寿命,使其在长期使用中能持续稳定地发挥作用。

3.4.2 智能充放电策略制定

在充电策略上,不再采用传统的固定电流、固定电压充电模式,而是根据电池的实时状态动态调整充电参数。比如,在电池电量较低时,采用小电流预充电,先激活电池活性,避免大电流对电池造成冲击。随着电量上升,再合理增大电流,接近充满时,切换为涓流充电,防止过充对电池造成损害,这种分段式充电策略能更好地适配电池不同阶段的特性,减少充放电过程中的不可逆损伤。放电方面,也会依据电池剩余电量、温度以及负载等情况,智能控制放电电流大小,避免电池过度放电。同时,智能充放电策略还能结合电池的历史充放电数据进行分析,提前预判电池的健康状态,适时调整后续的充放电参数,最大程度地减少电池性能衰减,让电池循环寿命得以有效延长,提升其综合使用价值^[3]。

结束语

总而言之,重型卡车动力电池技术正处于蓬勃发展的关键阶段。从能量密度的持续提升,到高压快充技术的不断进步,再到安全性的进一步增强以及循环寿命的延长,各方面都展现出巨大潜力。然而,当下仍面临诸多挑战,需各方协同攻克技术难题、完善配套设施等。相信在科研人员不懈努力与产业界积极推动下,重型卡车动力电池技术必将不断革新,为重型卡车的电动化转型提供坚实支撑,助力交通运输行业迈向更绿色、高效的未来。

参考文献

- [1]洪吉超,梁峰伟,杨海旭,等.重型卡车动力电池技术发展趋势研究[J].汽车工程,2023(10):1845-1861,1907.
- [2]王震坡,袁昌贵,李晓宇.新能源汽车动力电池安全管理技术挑战与发展趋势分析[J].汽车工程,2020,42(12):1606-1620.
- [3]王震坡,李晓宇,袁昌贵,黎小慧.重型卡车动力电池技术发展趋势研究[J].机械工程学报,2021,57-58