

微型纯电动汽车电池包结构与碰撞安全性研究

吴自强

宁德时代新能源科技股份有限公司 福建宁德 215100

【摘要】随着新能源汽车的快速发展,微型纯电动汽车因其节能环保的特点逐渐受到市场青睐。电池包作为纯电动汽车的核心部件,其结构设计和碰撞安全性直接关系到车辆的整体性能和用户安全。本文通过对微型纯电动汽车电池包的结构设计进行详细分析,结合材料选择、热管理系统以及电气连接等方面的优化,探讨了提高电池包碰撞安全性的具体措施。研究结果表明,合理的结构设计和先进的材料应用可以显著提升电池包的碰撞耐受能力,从而提高整车的安全性和可靠性。本文的研究成果为微型纯电动汽车的设计和生提供了重要参考,并对新能源汽车产业的持续健康发展具有积极意义。

【关键词】微型纯电动汽车; 电池包; 结构设计; 碰撞安全性

Structural Design and Collision Safety Research of Micro Pure Electric Vehicle Battery Pack

Wu Ziqiang

Ningde Times New Energy Technology Co., Ltd. Ningde City, Fujian Province 215100

【Abstract】With the rapid development of new energy vehicles, micro pure electric vehicles have gradually gained market favor due to their energy-saving and environmentally friendly characteristics. As the core component of pure electric vehicles, the structural design and collision safety of battery packs are directly related to the overall performance of the vehicle and user safety. This article provides a detailed analysis of the structural design of micro pure electric vehicle battery packs, and explores specific measures to improve the collision safety of battery packs by optimizing material selection, thermal management systems, and electrical connections. The research results indicate that reasonable structural design and advanced material application can significantly improve the collision tolerance of battery packs, thereby enhancing the safety and reliability of the entire vehicle. The research results of this article provide important references for the design and production of micro pure electric vehicles, and have positive significance for the sustainable and healthy development of the new energy vehicle industry.

【Key words】micro pure electric vehicles; Battery pack; Structural design; Collision safety

引言

近年来,随着环保意识的增强和政府政策的推动,新能源汽车特别是纯电动汽车在市场上迅速普及。微型纯电动汽车因其轻便、灵活和经济性等优点,成为城市短途出行的重要选择。然而,电池包作为纯电动汽车的核心部件,其结构设计和安全性能直接关系到车辆的整体质量和用户的使用体验。因此,研究微型纯电动汽车电池包的结构设计与碰撞安全性具有重要的现实意义。

一、微型纯电动汽车电池包结构设计

(一) 电池包的基本组成

微型纯电动汽车的电池包是整个车辆的核心部件之一,其主要由电池单体、电池模块、结构框架和保护外壳组成。各部分之间紧密协作,共同保障电池包的安全性和高效运行。

1. 电池单体

组成部分: 电池单体是电池包的最基本单元,通常由正

极、负极、电解液和隔膜组成。正极材料一般为锂化合物,如钴酸锂、锰酸锂或磷酸铁锂;负极材料通常为石墨;电解液为有机溶剂电解液,隔膜则是微孔结构的聚合物薄膜。常用类型: 锂离子电池和磷酸铁锂电池是两种主要的电池单体类型。锂离子电池以其高能量密度而著称,但热稳定性稍逊;磷酸铁锂电池则具有优良的热稳定性和长寿命,适用于对安全性要求较高的应用场景。

2. 电池模块

组成方式: 多个电池单体通过串联和并联的方式组合成电池模块。串联增加电压,并联增加容量,模块化设计便于维护和更换。电气连接和结构固定: 模块内的电池单体通过金属导体实现电气连接,确保电流传输稳定。结构固定采用框架和粘合剂,保证单体在振动和冲击环境下不松动。

3. 结构框架

材料选择: 结构框架主要采用铝合金或高强度钢。铝合金具备轻量化和良好的加工性能;高强度钢则提供了更高的机械强度和抗冲击性能。功能: 结构框架的主要功能是支撑和保护电池模块,同时也要保证散热效率,防止热量积聚导致电池过热。

4. 保护外壳

材料选择: 保护外壳通常由高强度复合材料如聚碳酸酯、玻璃纤维增强塑料等制成, 这些材料具备防火、抗冲击和耐腐蚀性能。**功能:** 保护外壳主要用于防止外界物理损伤和环境因素(如水、尘土)的侵入, 确保电池包内部结构的完整性和安全性。

(二) 电池包材料选择

电池包材料的选择对于其性能和安全性至关重要。材料需要在轻量化、高强度和防火等方面进行综合考虑。

1. 轻量化材料应用

铝合金: 铝合金因其轻质高强度的特点, 成为电池包结构材料的首选。铝合金不仅可以减轻电池包的重量, 还具有良好的耐腐蚀性和可加工性, 能够满足电池包复杂形状的制造需求。**碳纤维复合材料:** 碳纤维复合材料具有极高的强度和刚性, 同时重量非常轻。它还具有良好的耐疲劳性能和耐腐蚀性能, 在高性能电池包中应用广泛。

2. 高强度材料应用

高强度钢: 在电池包的关键部位, 如结构框架和保护外壳, 采用高强度钢可以显著提高其抗冲击能力和刚性。高强度钢能够在碰撞中提供更好的机械保护, 防止电池包发生严重变形。**玻璃纤维增强塑料:** 这种材料具有良好的抗冲击性能和耐化学腐蚀性能, 同时重量较轻, 适合作为保护外壳的材料。

3. 防火材料应用

阻燃塑料: 电池包内外需要使用阻燃材料, 如阻燃塑料, 以防止电池热失控引发火灾。阻燃塑料在遇到高温或明火时能够延缓燃烧速度, 减少火灾的风险。**防火涂层:** 在电池包的外壳和内部结构上涂覆防火涂层, 可以提供额外的防火保护。防火涂层能够在火灾发生时形成保护层, 隔离火焰和电池单体, 防止火势蔓延。

(三) 电池包的热管理系统

热管理系统是确保电池包安全性和性能的关键组成部分。有效的热管理系统可以防止电池过热, 延长电池寿命, 提高车辆的安全性。

1. 主动冷却系统

液冷系统: 液冷系统通过冷却液在电池包内循环, 带走多余的热量。冷却液通常为水乙二醇溶液, 通过管道系统在电池模块之间流动, 带走电池产生的热量。液冷系统具有较高的冷却效率, 适合高功率电池包的热管理需求。**气冷系统:** 气冷系统通过风扇或压缩空气对电池包进行冷却。风扇将空气吹过电池模块表面, 带走热量; 压缩空气则通过喷嘴直接冷却电池单体。气冷系统结构简单, 维护方便, 但冷却效率相对较低。

2. 被动冷却系统

导热材料: 被动冷却系统依靠材料本身的导热性能和结构设计进行散热。常用的导热材料包括导热硅胶、石墨片等。这些材料具有良好的导热性能, 能够将电池产生的热量迅速传导到散热片或外壳上, 进行自然散热。**散热片:** 散热片通常由铝或铜制成, 安装在电池包外部或内部。散热片通过增加表面积, 增强热量的散发效率, 防止电池包过热。

3. 热管理材料选择

导热硅胶: 导热硅胶具有良好的导热性能和绝缘性能, 常用于电池模块之间或电池模块与冷却系统之间的界面材料。导热硅胶可以有效减少热阻, 提高热传导效率。**石墨片:** 石墨片具有极高的导热系数和良好的柔韧性, 适用于电池包内部的热管理。石墨片能够迅速均匀地传导热量, 防止局部过热。**相变材料:** 相变材料在一定温度下发生相变, 吸收或释放大量的热量。相变材料可以在电池包温度升高时吸收热量, 降低温度; 在温度下降时释放热量, 保持温度稳定。相变材料的应用可以显著提高电池包的热管理能力。



二、微型纯电动汽车电池包的碰撞安全性

(一) 碰撞安全性测试标准

为了确保电池包的安全性，需要进行严格的碰撞测试。这些测试标准包括国际和国内的相关法规和标准，确保电池包在各种碰撞情况下能够有效保护车辆和乘客的安全。

1. 国际标准

如联合国欧洲经济委员会（UNECE）制定的 ECE R100 法规，涵盖了电动汽车电池的性能和安全性测试要求。ECE R100 法规要求对电池包进行一系列测试，包括机械冲击、热扩散、振动测试等，以评估其在不同工况下的安全性和可靠性。这些测试确保电池包在车辆碰撞、火灾或其他紧急情况下能够保持稳定，不会发生爆炸或严重泄漏。

2. 国内标准

如中国的 GB/T 31467 标准，对电动汽车电池包的安全性和可靠性提出了具体的测试要求。GB/T 31467 标准包括环境试验、机械性能试验和电气性能试验等内容，特别强调了电池包在高温、低温、湿度等极端环境下的性能，以及在振动、冲击等机械应力下的安全性。

(二) 电池包的碰撞测试

为了评估电池包在实际碰撞中的表现，需要进行多种类型的碰撞测试，包括正面碰撞、侧面碰撞和后面碰撞测试。

1. 正面碰撞测试

模拟车辆在行驶过程中发生正面碰撞时，电池包的受力情况和安全性能。在测试中，车辆以一定速度撞击固定障碍物，记录电池包的变形和损坏情况。测试主要观察电池包是否会因撞击而发生破裂、短路或起火，从而评估其抗冲击能力和安全性。

2. 侧面碰撞测试

模拟车辆在侧面碰撞时，电池包的受力情况和安全性能。在侧面碰撞测试中，车辆以一定速度侧面撞击固定障碍物，或让移动障碍物撞击车辆侧面。测试中，重点评估电池包在侧面冲击下的结构完整性和电气安全性，确保不会发生电池泄漏或电气故障。

3. 后面碰撞测试

模拟车辆在后面碰撞时，电池包的受力情况和安全性能。测试过程中，车辆以一定速度撞击固定障碍物，或被移动障碍物撞击。此测试评估电池包在后碰撞情况下的变形和损坏情况，确保电池包能够承受后部冲击，不会导致电池单元破裂或起火。

(三) 提高碰撞安全性的设计措施

为了提高电池包的碰撞安全性，可以从结构设计、能量

吸收装置和材料选择等方面进行优化。

1. 结构强化

通过优化电池包的结构设计，如增加结构框架的强度和刚性，可以提高其在碰撞中的抗变形能力。采用优化的内部支撑结构，能够更好地分散和吸收碰撞能量，减少对电池单体的直接冲击，从而提高整体的碰撞耐受能力。

2. 能量吸收装置设计

在电池包周围安装能量吸收装置，如蜂窝结构或吸能材料，可以有效吸收碰撞时的能量，减少对电池包的冲击。蜂窝结构由于其特殊的几何形状，具有优异的吸能效果；吸能材料则通过自身变形吸收和消散能量，保护电池包内部结构不受严重损害。

3. 材料优化

选择高强度、耐冲击和阻燃的材料，如碳纤维复合材料和阻燃塑料，可以显著提高电池包的碰撞安全性。碳纤维复合材料具有极高的强度和刚性，同时重量较轻，非常适合作为电池包的结构材料；阻燃塑料则能在电池包受到撞击和高温时，防止火灾的发生，提高整体安全性。

三、微型纯电动汽车电池包设计案例分析

(一) 案例选择

为了进行全面的电池包设计和碰撞安全性分析，本文选择了三款代表性的微型纯电动汽车。这些车型在市场上具有一定的知名度和用户基础，分别在设计、性能和安全性方面有着显著特点。

1. 代表性车型介绍

A 车型：该车型以其轻便灵活的设计著称，主要用于城市短途通勤。其电池包采用铝合金结构和液冷系统，具有良好的散热性能和轻量化优势。B 车型：该车型以其高效的电池管理系统闻名，适合长距离出行。其电池包采用碳纤维复合材料和气冷系统，具有较高的强度和良好的冷却效果。C 车型：该车型因其卓越的安全性能备受关注，主要面向对安全性要求较高的用户。其电池包结合了多种材料和先进的热管理系统，在碰撞安全性和热管理方面表现出色。

2. 设计特点分析

A 车型电池包：采用铝合金结构，具有较轻的重量和良好的强度；液冷系统提供高效的热管理，确保电池在高温工作环境下的稳定性。B 车型电池包：采用碳纤维复合材料，具备极高的强度和抗冲击性能；气冷系统通过风扇或压缩空气进行冷却，有效防止电池过热。C 车型电池包：结合了铝合金、碳纤维和阻燃材料，提供全面的结构强度和防火性能；

先进的热管理系统结合主动和被动冷却技术,确保电池包的安全和高效运行。

(二) 设计优化过程

在设计过程中,通过对电池包的结构、材料和热管理系统进行优化,以提高其性能和安全性。

1. 结构优化

通过计算机仿真技术,模拟电池包在各种碰撞条件下的受力情况,优化结构设计。仿真结果显示,增加结构框架的强度和刚性可以显著提高电池包的抗变形能力。实验测试验证了仿真结果,进一步调整电池包的结构布局和支撑方式,确保其在碰撞中具有良好的稳定性和抗冲击能力。

2. 材料优化

选择高强度、轻量化和阻燃的材料是优化电池包设计的重要步骤。碳纤维复合材料因其高强度和低重量,成为理想的结构材料;铝合金提供了必要的刚性和良好的加工性能。阻燃材料如阻燃塑料和防火涂层的应用,能够有效防止电池在高温或碰撞时发生火灾,提高电池包的整体安全性。

3. 热管理系统优化

结合主动冷却和被动冷却系统,设计高效的热管理方案。主动冷却系统利用冷却液或压缩空气带走电池包内的热量;被动冷却系统则通过导热材料和散热片进行自然散热。选择导热性能良好且绝缘性能优越的材料,如导热硅胶和石墨片,可以显著提高电池包的热管理能力,防止电池过热和热失控。

(三) 碰撞测试结果与分析

为了评估优化后的电池包的安全性能,进行了多种类型的碰撞测试,包括正面碰撞、侧面碰撞和后面碰撞测试。

1. 测试结果概述

正面碰撞测试:测试结果显示,优化后的电池包在正面碰撞中表现出色,未发生严重变形或损坏。电池包的结构设计有效吸收了碰撞能量,保护了内部电池单体。侧面碰撞测试:在侧面碰撞测试中,电池包同样表现优异。高强度材料和能量吸收装置显著减少了冲击力的传递,电池包内部结构保持完整。后面碰撞测试:后面碰撞测试结果显示,电池包在后部冲击下没有发生破裂或起火。结构强化和阻燃材料的应用,有效提高了电池包的抗冲击能力和防火性能。

2. 安全性评价

通过对测试数据的分析,验证了电池包的结构设计和材料选择的合理性。优化后的电池包在正面、侧面和后面碰撞测试中均表现出色,未发生严重的结构损坏或电气故障。电池包的高强度结构、先进的热管理系统和高效的能量吸收装置,使其在各种碰撞情况下都能保持良好的安全性能。测试结果表明,优化后的电池包具有较高的碰撞耐受能力和防火性能,为微型纯电动汽车的安全性提供了有力保障。

结束语

本文通过对微型纯电动汽车电池包的结构设计和碰撞安全性进行深入研究,揭示了电池包在设计过程中面临的主要挑战及应对措施。研究表明,合理的结构设计、科学的材料选择以及高效的热管理系统是提升电池包安全性能的关键因素。在未来的发展中,应继续加强电池包的创新设计和安全性研究,以满足市场需求和用户期望。希望本文的研究成果能为相关企业和科研机构提供参考,为推动新能源汽车产业的健康发展贡献力量。

参考文献

- [1] 邵效保.微型纯电动汽车电池包结构与碰撞安全性研究[D].湖南大学[2024-07-12].
- [2] 王阳, 宁国宝, 郑辉.集中电机驱动纯电动汽车电池包设计[J].汽车技术, 2011(7): 5.DOI: 10.3969/j.issn.1000-3703.2011.07.008.
- [3] 扶原放.纯电动汽车动力电池包散热数值仿真研究[J].汽车电器, 2017(6): 4.DOI: CNKI: SUN: QCDQ.0.2017-06-003.
- [4] 胡兵.纯电动汽车电池包结构轻量化设计[J].林业机械与木工设备, 2022(050-007).
- [5] 周伟.某微型纯电动汽车动力系统匹配设计与性能研究[D].湖南大学, 2014.
- [6] 胡海涛, 李碧浩, 郭凤骏, 等.一种兼顾侧面碰撞防护的纯电动汽车动力电池包结构: CN201920914141.2[P].CN209912930U[2024-07-12].

作者简介: 吴自强, 1983年4月16日, 男, 江苏省苏州市, 汉族, 副总工程师, 本科, 新能源电池方向。