

# 新能源汽车电池系统结构设计的安全性分析

吴 为

天津中电新能源研究院有限公司 天津 300381

**摘 要：**新能源汽车电池系统结构设计的安全性分析是确保电动汽车安全、可靠运行的关键。文章深入探讨电池单体与模组、电池包、电池管理系统（BMS）以及热管理系统等关键组件的结构设计对电池系统安全性的影响。通过分析各组件的材料选择、结构布局、热管理策略等方面，揭示优化设计在提升电池系统安全性方面的重要作用。本文的研究结果可为新能源汽车电池系统的安全性设计和优化提供有益的参考和借鉴。

**关键词：**新能源汽车；电池系统；结构设计；安全性分析

## 1 新能源汽车电池系统概述

新能源汽车电池系统是电动汽车的核心部件，它负责储存和提供车辆运行所需的电能。该系统主要由电池单体、电池模组、电池包、电池管理系统（BMS）以及热管理系统等关键组件构成。电池单体是电池系统的基本单元，通常由正极、负极、电解液和隔膜等组成，通过电化学反应产生电能。多个电池单体串联或并联组成电池模组，以提高电池系统的电压和容量。电池包则是将电池模组进行封装和集成，形成一个完整的电池系统，为电动汽车提供动力。电池管理系统（BMS）是电池系统的“大脑”，负责监控电池的状态、控制电池的充放电过程，并保护电池免受损害。它通过对电池电压、电流、温度等参数的实时监测，确保电池在安全、高效的范围内运行。热管理系统则负责调节电池的温度，确保电池在工作过程中能够保持适宜的温度范围，防止电池过热或过冷，从而延长电池的使用寿命。

## 2 新能源汽车电池系统结构设计的安全性挑战

### 2.1 内部因素

新能源汽车电池系统结构设计面临的内部安全性挑战主要源于电池本身的物理和化学特性，电池内部的电解液和电极材料在充放电过程中会发生化学反应，产生热量。如果电池系统的散热设计不当，热量无法有效散发，可能导致电池过热，进而引发热失控，甚至起火或爆炸。电池单体之间的连接和绝缘设计也至关重要。连接不良或绝缘失效可能导致电池短路，产生大电流，迅速消耗电池能量，同时产生大量热量，对电池系统的安全性构成严重威胁<sup>[1]</sup>。电池管理系统（BMS）的可靠性和精度也是内部安全性挑战的关键。BMS负责监测和控制电池的状态，如果其出现故障或精度不足，可能无法准确判断电池的状态，导致电池过充、过放或过热，从而引发安全事故。

### 2.2 外部因素

新能源汽车电池系统结构设计面临的外部安全性挑战主要包括碰撞、挤压、水浸、高温和低温等环境因素。碰撞和挤压可能导致电池外壳破裂、电芯变形或短路，从而引发火灾或爆炸。电池系统的外壳设计需要具备足够的强度和刚度，以抵抗外部冲击和挤压。水浸可能导致电池内部短路或电解液泄漏，对电池系统的安全性构成威胁。高温和低温环境也可能影响电池的性能和安全性，高温环境下，电池内部的化学反应会加速，产生更多的热量，增加热失控的风险；低温环境下，电池的活性会降低，可能导致充电困难、续航里程减少等问题。

### 2.3 潜在安全风险

新能源汽车电池系统结构设计面临的潜在安全风险主要包括热失控、短路、起火、爆炸和电磁辐射等。热失控是电池系统在高温或充电过程中产生的热量无法有效散发，导致电池内部温度迅速上升，进而引发火灾或爆炸。短路是电池单体之间或电池与外部电路之间的连接不良或绝缘失效，导致大电流通过，产生大量热量，对电池系统的安全性构成威胁。起火和爆炸是电池系统安全性问题的最严重后果，可能导致人员伤亡和财产损失。电磁辐射是电池系统在工作过程中产生的电磁场，可能对周围环境和人体健康造成潜在影响。

## 3 新能源汽车电池系统结构设计的安全性分析

### 3.1 电池单体与模组设计

新能源汽车电池系统的安全性，首先体现在电池单体与模组的设计上。电池单体作为电池系统的基本单元，其设计直接关系到整个电池系统的性能和安全性。在单体设计上，需考虑材料的稳定性、电化学性能以及机械强度。例如，采用高性能的正负极材料，可以提高电池的能量密度和循环寿命，同时减少热失控的风险。单体内部的电解液、隔膜等组件的选择也至关重要，它

们需要具备良好的化学稳定性和热稳定性，以防止在充放电过程中发生意外。模组设计方面，关键在于电池单体之间的排列、连接与保护。合理的模组设计可以确保电池单体之间的热传导均匀，避免局部过热。模组内部的连接件需要具备良好的导电性和机械强度，以防止因连接不良或松动导致的短路和断路。模组外部的保护结构也是必不可少的，它可以有效防止外部冲击和挤压对电池单体造成的损害，从而提高整个电池系统的安全性。

### 3.2 电池包设计

电池包作为电池系统的核心组件，其设计直接关系到电池系统的整体安全性和可靠性。在电池包设计上，需考虑结构的坚固性、密封性以及散热性能。坚固的电池包结构可以抵抗外部冲击和挤压，防止电池单体受损。密封性能则可以有效防止水分和灰尘进入电池包内部，避免电池短路和电解液泄漏等安全隐患。散热性能是电池包设计中的一个重要方面，由于电池在充放电过程中会产生大量热量，如果热量无法及时散发，将导致电池温度升高，进而引发热失控<sup>[2]</sup>。因此电池包内部需要设计合理的散热通道和散热材料，以确保电池在工作过程中能够保持适宜的温度。电池包还需要配备温度传感器和温度控制系统，实时监测电池温度，并在必要时启动散热机制，防止电池过热。

### 3.3 电池管理系统（BMS）设计

电池管理系统（BMS）是新能源汽车电池系统的“大脑”，它负责监控电池的状态、控制电池的充放电过程，并保护电池免受损害。在BMS设计上，需考虑其精度、可靠性和响应速度。精度高的BMS可以准确监测电池的电压、电流、温度等参数，及时发现电池异常情况。可靠性强的BMS可以在恶劣环境下稳定运行，确保电池系统的安全性。响应速度快的BMS可以在电池出现异常时迅速采取措施，防止事态扩大。BMS的设计还需要考虑其故障诊断和预警功能，通过实时监测电池的状态参数，BMS可以及时发现电池的故障迹象，并发出预警信号，提醒驾驶员或维修人员采取措施。BMS还需要具备电池均衡功能，以确保电池单体之间的电压和容量保持一致，延长电池的使用寿命。

### 3.4 热管理系统设计

热管理系统是新能源汽车电池系统的重要组成部分，它负责调节电池的温度，确保电池在工作过程中能够保持适宜的温度范围。在热管理系统设计上，需考虑其散热效率、能耗以及智能化程度。高效的散热系统可以迅速将电池产生的热量散发出去，防止电池过热。低能耗的热管理系统可以在保证散热效果的同时，减少能

源的浪费。智能化的热管理系统可以根据电池的实际温度和工作状态，自动调节散热策略，实现精准控温。热管理系统的设计还需要考虑其与其他系统的协同工作。

## 4 新能源汽车电池系统安全性评估与测试

### 4.1 安全性评估方法

新能源汽车电池系统的安全性评估是一个多维度、系统性的过程，旨在确保电池在各种使用条件下都能保持安全、稳定的运行状态。其评估方法主要包括几个方面：首先，进行电池电化安全性评估，这一评估主要关注电池的电化学性能参数，如电压、电流、内阻和容量等，通过检测这些参数来评估电池的安全性、可靠性和一致性。电化学阻抗谱、循环伏安法、恒流充放电测试等都是常用的电化安全性评估方法。这些方法可以获取电池的电化学性能参数，并对其安全性进行综合评估。其次，进行电池机械安全性评估，这一评估主要模拟实际使用中的各种机械应力，如振动、冲击和挤压等，来检测电池的结构完整性和功能性能。振动测试、冲击测试和挤压测试等都是电池机械安全性评估的常用方法。通过这些测试，可以确保电池在受到机械应力时能够保持正常工作状态，并且不会发生结构性损坏或功能失效<sup>[3]</sup>。另外，还需要进行电池热安全性评估，这一评估主要关注电池在高温或低温环境下的稳定性，以及在异常情况下是否能够安全地控制温度。热稳定性测试、热循环测试和热滥用测试等都是电池热安全性评估的常用方法。这些方法可以评估电池在不同温度下的充放电性能，以及电池在高温等异常情况下的安全性。

### 4.2 安全性测试

新能源汽车电池系统的安全性测试是确保电池系统安全性的重要手段。以下是一些常见的安全性测试：

（1）过充测试：过充测试是检验电池管理系统（BMS）过充电保护功能是否正常工作的关键测试项目。在测试中，电池组被充电至超过其额定容量的状态，以观察BMS是否能够及时切断充电电源，防止电池过充。据测试数据显示，一款优质的电池系统在过充测试中能够迅速响应，并在电池电压达到设定阈值时自动切断充电电源，有效避免电池过充带来的安全隐患。（2）短路测试：短路测试是模拟电池系统发生短路时的情况，以评估电池系统的安全性能。在测试中，电池系统的正负极被直接连接，以观察电池系统是否能够迅速切断短路电流，防止电池过热或爆炸。据测试数据显示，一款合格的电池系统在短路测试中能够在几毫秒内切断短路电流，有效保障电池系统的安全性。（3）挤压测试：挤压测试是模拟车辆发生碰撞事故时电池受到挤压的情况，

以检验电池组的结构强度和安全性。在测试中,电池组被置于专用的挤压装置中,并施加一定的压力以观察电池组是否能够保持结构完整和功能正常。据测试数据显示,一款高性能的电池组在挤压测试中能够承受较大的压力而不发生结构性损坏或功能失效。(4)火烧测试:火烧测试是检验电池组在火灾情况下是否容易燃烧和爆发的测试项目。在测试中,电池组被置于模拟车辆内部环境的燃烧室中,并用规定热源对电池进行加热以观察其燃烧特性和安全性。据测试数据显示,一款优质的电池组在燃烧测试中能够保持较好的耐高温性能,并且在高温下不会发生燃烧或爆炸等安全隐患。(5)热循环测试:热循环测试是评估电池在不同温度下的充放电性能以及热管理策略的有效性。在测试中,电池组被置于可控温度的环境中,并经历多个温度循环以观察其性能变化。据测试数据显示,一款高性能的电池组在热循环测试中能够保持较好的充放电性能和热稳定性,并且在不同温度下的性能变化较小。

## 5 新能源汽车电池系统安全性优化建议

### 5.1 技术创新

在新能源汽车电池系统安全性优化方面,技术创新是不可或缺的一环。应加大对电池材料研发的投入,探索更高能量密度、更稳定、更安全的电池材料。通过不断研发和优化固态电池技术,可以显著提升新能源汽车电池系统的安全性。电池管理系统(BMS)的智能化和精准化也是技术创新的重要方向,通过引入先进的传感器和算法,提高BMS对电池状态的监测精度和响应速度,可以实现对电池充放电过程的更精细控制,从而有效预防电池过热、过充、过放等安全隐患。热管理技术的创新也是提升电池系统安全性的关键,通过开发更高效、更智能的热管理系统,可以实现对电池温度的精准控制,确保电池在最佳工作温度范围内运行,降低热失控的风险。

### 5.2 结构设计优化

结构设计优化是提升新能源汽车电池系统安全性的另一重要途径,应优化电池单体和模组的排列方式,确保电池组内部的空间利用合理,同时减少电池单体之间的热耦合,提高散热效率。电池包的外壳设计应更加坚

固和耐用,以抵抗外部冲击和挤压<sup>[4]</sup>。电池包内部应设置多重防护结构,如防撞梁、缓冲层等,以进一步提升电池系统的安全性。还应优化电池系统的散热结构,如增加散热通道、采用高性能散热材料等,以提高电池系统的散热性能,降低热失控的风险。

### 5.3 标准与法规

制定和完善新能源汽车电池系统的安全标准和法规是保障其安全性的重要手段。首先,应建立严格的电池系统安全测试标准和认证体系,确保所有进入市场的电池系统都经过严格的安全测试和认证。其次,应加强对新能源汽车电池系统生产企业的监管,确保其生产过程符合安全标准和法规要求。对于违反安全标准和法规的企业,应依法进行处罚,并公开曝光,以儆效尤。还应加强对新能源汽车电池系统使用和维修的监管和指导,通过制定详细的使用和维护手册,指导用户正确使用和维护电池系统,避免因不当使用和维修导致的安全隐患。应建立电池系统安全监测和预警机制,及时发现和处理电池系统的安全隐患,确保新能源汽车的安全运行。

### 结束语

新能源汽车电池系统结构设计的安全性分析对于保障电动汽车的安全运行具有重要意义。通过优化电池单体与模组、电池包、BMS以及热管理系统的结构设计,可以显著提升电池系统的安全性和可靠性。未来,随着新能源汽车技术的不断发展,电池系统结构设计的安全性分析将更加注重智能化、精准化和高效化,为新能源汽车产业的持续健康发展提供有力支撑。

### 参考文献

- [1]张平.基于新能源汽车动力电池管理系统设计的分析[J].电子世界,2020,29(020):211-212.
- [2]永贵杨.志辉董.浅谈新能源汽车动力电池散热管理系统及软件优化设计研究[J].教育研究,2020,23(003):198-199.
- [3]孙晶.袁俊勇,罗世唯.基于新能源汽车动力电池管理系统设计的分析[J].2021,34(018):222-223.
- [4]李晓霖.王志强,李春鹏.新能源汽车用动力电池管理系统设计[J].时代汽车,2020(11):87-88.