

新能源汽车车身结构对碰撞安全性的影响及优化策略

蒋岱宏

赛力斯汽车 重庆市 401335

【摘要】：针对新能源汽车车身结构在正面偏置碰撞与侧面柱碰中的安全问题，以1款纯电动SUV为研究对象，分析前舱吸能结构、乘员舱承载环、电池包防护边界及多材料连接对碰撞载荷传递的影响。在此基础上，通过调整前纵梁板厚、增设压溃诱导槽、优化门槛梁腔体结构、加强B柱下端并缩小电池包边框连接点间距，提升车身承载路径连续性与电池包侧向防护能力。结果表明，优化后64 km/h正面偏置碰撞中前围板最大侵入量由82 mm降至61 mm，前舱结构吸能占比由41%提高至47%，乘员舱峰值加速度由36 g降至32 g；32 km/h侧面柱碰中B柱下端最大侵入量由146 mm降至112 mm，电池包侧边框最大变形量由28 mm降至17 mm。研究表明，基于多路径传力与刚度梯度控制的结构优化可有效提升新能源汽车碰撞安全性能。

【关键词】：新能源汽车；车身结构；碰撞安全；电池包防护；吸能优化

0 引言：

新能源汽车因电池包布置、前舱结构变化及轻量化材料应用，其车身碰撞安全设计与传统燃油车存在明显差异。底部电池包提高了下车体承载与防护要求，前舱取消发动机后也改变了正面碰撞载荷传递路径。同时，多材料混合车身容易产生局部刚度突变和连接失效风险。因此，有必要围绕前舱吸能、乘员舱保持和电池包防护开展结构安全分析，为新能源汽车车身优化设计提供依据。

1 新能源汽车车身结构特征与碰撞安全问题界定

本文选取1款纯电动SUV车身结构作为研究对象，其整备质量为1850 kg，电池包质量为420 kg，高强钢以及铝合金在白车身中的混合使用比例约为68%。从结构布置看，前舱吸能区承担正面碰撞初始压溃以及载荷分流功能，乘员舱承载环把A柱、B柱、门槛梁以及横梁组织为闭合受力单元，电池包下壳体则与门槛梁形成底部防护边界，两者之间的连接刚度会直接影响侧向载荷向地板横梁传递的过程。

相较传统燃油车，纯电动车底部大质量电池包使下车体承载需求明显提高，前舱取消发动机后，纵梁、副车架以及前围横梁需要重新承担吸能路径分配任务。轻量化材料的引入还会带来局部刚度突变以及吸能连续性不足等问题。本文围绕正面碰撞以及侧面柱碰工况展开分析，把乘员舱侵入量、电池包变形量、峰值加速度以及结构吸能量作为后续优化评价指标。

2 新能源汽车车身结构对碰撞安全性的影响机理分析

2.1 前舱吸能结构对正面碰撞载荷传递的影响

在64 km/h正面偏置碰撞工况下，案例车型前舱结构需要把初始冲击能量分散至前防撞梁、吸能盒、前纵梁以及副车架等连续构件。碰撞初期，前防撞梁承担横向载荷扩散作用，吸能盒依靠轴向压溃削减峰值冲击；随后前纵梁进入折叠变形阶段，并把剩余载荷引导至前围横梁以及副车架安装区域。由于

纯电动车前舱缺少发动机这一大质量阻挡单元，载荷传递更依赖前纵梁稳定压溃以及副车架下导向路径。若前纵梁截面厚度分布与折弯诱导槽布置不协调，压溃波会提前失稳，载荷可能越过前舱吸能区并向A柱、前围板集中。结合原始结构设定，前纵梁最大压溃量为235 mm，前围板最大侵入量为82 mm，前舱结构吸能占整车吸能比例约为41%，说明前舱吸能连续性仍是正面碰撞安全分析的关键约束。车辆碰撞初始能量可按动能关系进行估算，公式如下：

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

其中， E_k 表示碰撞前车辆动能，单位为J； m 表示车辆质量，单位为kg； v 表示碰撞速度，单位为m/s。

2.2 乘员舱与电池包耦合结构对侧面碰撞安全的影响

侧面柱碰具有接触面积小以及局部载荷集中的特性，32 km/h工况下的侧向冲击会直接作用于门槛梁外侧区域，并沿B柱下端、座椅横梁、电池包边框向车身底部扩散。对于纯电动SUV而言，电池包布置在地板下方后，门槛梁不再只是乘员舱防侵入构件，还承担电池包侧边界保护任务。原始结构中B柱下端最大侵入量为146 mm，电池包侧边框最大变形量为28 mm，已接近30 mm安全限值，表明门槛梁与电池包边框连接区域存在局部刚度不足，侧向载荷在下车体闭合环内扩散不充分。提升门槛梁截面闭合度、增设内加强板以及优化电池包边框连接点布置，可把集中冲击转化为沿地板横梁以及电池包边框的多路径传递，从而降低乘员舱侵入趋势。结构吸能能力可用力一位移积分描述，公式如下：

$$E_a = \int_0^s F(x)dx$$

其中， E_a 表示结构吸收能量，单位为J； $F(x)$ 表示压溃位移为 x 时的瞬时碰撞力，单位为N； s 表示结构有效变形位移，单位为m。

2.3 多材料连接与车身刚度分布对碰撞稳定性的影响

鉴于案例车型白车身运用高强钢、热成形钢以及铝合金混合结构,碰撞稳定性不仅取决于单一构件强度,还受材料强度梯度、连接工艺以及截面连续性的共同影响。门槛梁外板选用 1180 MPa 高强钢、内加强板选用 1500 MPa 热成形钢、电池包边框选用 6000 系铝合金时,不同材料弹塑性响应差异会使连接区域出现刚度突变。若点焊、铆接以及结构胶复合连接未形成平顺过渡,局部撕裂、剥离失效以及载荷传递中断风险会增加,侧碰载荷也难以稳定进入座椅横梁和地板横梁。见图 1,车身碰撞安全结构优化流程应把材料匹配、截面连续性、连接点密度以及关键节点加强纳入同一分析链路,使前舱压溃、乘员舱保持以及电池包防护之间形成协调关系。

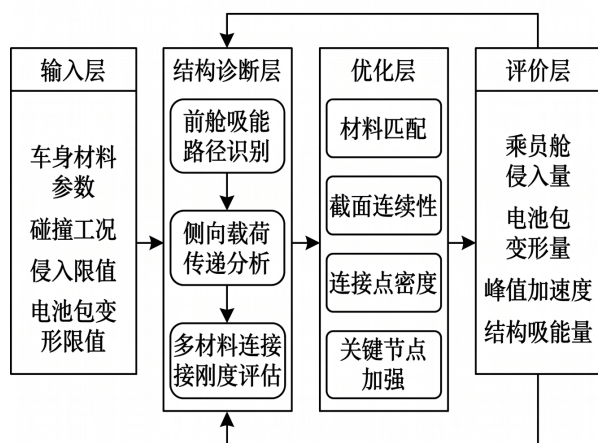


图1 新能源汽车车身碰撞安全结构优化流程图

3 新能源汽车车身结构碰撞安全优化策略与效果评估

3.1 关键承载路径与电池包防护结构优化策略

鉴于原始车型在正面偏置碰撞中存在前纵梁压溃稳定性不足以及前围板载荷集中问题,结构优化把前舱吸能区的顺序压

溃当作主要控制对象来开展。前纵梁前段板厚由 1.6 mm 调整为 1.8 mm,中后段仍保持 1.6 mm,使冲击初期具备较高起皱触发阻力,而后续折叠阶段仍保留必要变形行程。为避免板厚增加导致压溃位置后移,在前纵梁前段增设 2 道压溃诱导槽,借助几何弱化区引导折叠波逐级展开,把载荷更多限制在前防撞梁、吸能盒以及纵梁前段组成的非乘员舱吸能区域内。

侧面柱碰优化围绕门槛梁、电池包边框以及 B 柱下端的协同承载来开展。门槛梁内腔由三腔结构优化为四腔结构,以提高截面闭合度以及抗弯扭能力;B 柱下端增加 1.4 mm 热成形钢加强板,用于缓解柱碰载荷在下节点处形成的局部压陷;电池包侧边框连接点间距由 180 mm 缩小至 140 mm,使侧向冲击能够更连续地传递至地板横梁以及电池包边框。该方案并非单纯提高局部强度,而是借助刚度梯度控制降低结构突变,把碰撞能量引导至可控变形区域耗散,从而减小电池包侧向受挤压风险。

3.2 优化前后碰撞安全性能对比与效果评估

围绕前文确定的乘员舱侵入量、电池包变形量、峰值加速度以及结构吸能分配指标,本文对优化前后车身碰撞安全性能进行对比分析。正面偏置碰撞中,前围板最大侵入量由 82 mm 降至 61 mm,说明前纵梁板厚梯度以及诱导槽布置改善了前舱压溃连续性;前舱结构吸能占比由 41% 提高至 47%,表明更多碰撞能量在乘员舱前部完成耗散;乘员舱峰值加速度由 36 g 降至 32 g,冲击传递过程趋于平缓。

侧面柱碰工况下,B 柱下端最大侵入量由 146 mm 降至 112 mm,门槛梁四腔结构以及 B 柱下端加强板对侧向局部变形具有明显抑制作用。电池包侧边框最大变形量由 28 mm 降至 17 mm,低于 30 mm 安全限值,能够满足电池包不发生明显挤压变形的防护要求。优化后车身质量增加约 8.5 kg,增量主要来源于前纵梁板厚调整、门槛梁腔体加强以及 B 柱下端补强件,从工程应用角度看仍处于可接受范围内。

表1 优化前后车身碰撞安全性能结果对比表

碰撞工况	评价指标	优化前	优化后	变化情况
64 km/h正面偏置碰撞	前围板最大侵入量	82 mm	61 mm	降低21 mm
64 km/h正面偏置碰撞	前舱结构吸能占比	41%	47%	提高6个百分点
64 km/h正面偏置碰撞	乘员舱峰值加速度	36 g	32 g	降低4 g
32 km/h侧面柱碰	B柱下端最大侵入量	146 mm	112 mm	降低34 mm
32 km/h侧面柱碰	电池包侧边框最大变形量	28 mm	17 mm	降低11 mm
车身结构综合指标	车身质量增量	0 kg	8.5 kg	增加8.5 kg

4 结语

本文从载荷传递路径、结构吸能连续性和电池包防护协同角度,对纯电动 SUV 车身碰撞安全优化进行了分析。结果说明,单纯提高局部强度并不能充分改善碰撞响应,合理组织前纵梁、门槛梁、B 柱下端、地板横梁与电池包边框之间的协同承载关

系更为关键。优化方案在车身质量仅增加 8.5 kg 的情况下,明显降低了乘员舱侵入和电池包变形风险,具有较好的工程应用价值。



参考文献

- [1] 黄乐安. 新能源汽车车身电器实训装置积木化创新模式实践[J]. 汽车画刊, 2024, (12):29-31.
- [2] 杨蓉, 李世宇, 程天浩, 邹平, 陈思东, 田林雳. 侧面柱碰工况下考虑乘员和电池保护的电动微型商用车车身结构优化[J]. 科学技术与工程, 2025, 25(30):13139-13149.
- [3] 孟灵. 新能源汽车电池包轻量化结构设计优化研究[J]. 汽车测试报告, 2024, (24):68-70.
- [4] 刘付曙, 黄祥, 万里, 林韵, 安肇勇, 钟宇毅. 一体化压铸车身结构件的自冲铆接技术开发及应用[J]. 特种铸造及有色合金, 2025, 45(06):954-957.
- [5] 马骋浩, 庄梓傲, SHIN Jonghyeon, 邢伯斌, 夏勇, 周青. 数据驱动的动力电池包侧面柱碰撞安全性预测方法[J]. 爆炸与冲击, 2025, 45(02):139-149.
- [6] 何亚茹, 梁坤峰, 高春艳, 陈浩远, 李琳琳, 李硕鹏, 陈彬, 王林, 谈莹莹. 新能源汽车热管理系统协同优化策略[J]. 西安交通大学学报, 2026, 60(02):49-58.
- [7] 刘兰兰, 邱磊. 基于侧面碰撞安全性汽车B柱轻量化设计分析[J]. 机械设计与制造, 2025, (04):283-286+293.
- [8] 孙利, 张宇彤, 吴俭涛, 覃忠志, 晁佳媛. 新能源汽车轮毂造型感性意象预测研究[J]. 机械设计, 2025, 42(09):203-211.
- [9] 李梦霞, 上官郑伟, 黄鹏冲, 薛晓乐, 朱金瑶. 行人保护头型碰撞安全性能分析[J]. 汽车实用技术, 2024, 49(24):72-77.
- [10] 李春, 王立民, 王青贵. 新能源汽车碰撞后高压电压降策略研究分析[J]. 小型内燃机与车辆技术, 2024, 53(06):57-62.

作者简介: 蒋岱宏(1987—), 男, 汉族, 硕士, 研究方向为汽车设计。