

纯电动汽车追尾碰撞安全性能优化研究

李小波 刘明 王国杰 杨伟芳

中国汽车工程研究院股份有限公司 重庆渝北 401122

摘要: 对于纯电动汽车的极端碰撞,后车身结构的安全性能设计应遵循渐进变形挤压原则,充分扩大变形吸能面积;对于刚性结构,纯电动汽车足够稳定,可以压碎载体。本文将结合实际,浅谈纯电动汽车追尾碰撞安全性能优化研究。

关键词: 纯电动汽车;追尾碰撞;安全性能优化;研究

Research on safety performance optimization of rear end collision of battery electric vehicles

Xiaobo Li, Ming Liu, Guojie Wang, Weifang Yang

China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd, Chongqing Yubei, 401122

Abstract: For the extreme crash of a battery electric vehicle, the safety performance design of the rear body structure should follow the principle of progressive deformation extrusion and fully expand the deformation energy absorption area. For rigid structures, BEVs are stable enough to crush the carrier. This paper will discuss the safety performance optimization research of pure electric vehicle rear-end collision based on the actual situation.

Keywords: battery electric vehicles; Rear end collision; Safety performance optimization; Research

引言:

高速追尾碰撞是指在动作时间之前与辅助臂或静止车辆发生高速的追尾碰撞。近年来,随着科学技术的发展,人们开始利用有限元技术模型来研究碰撞安全与安全系统对汽车整体安全的影响。以期能够改善最佳和最差的运行条件,获得最佳解决方案,优化安全系统,以达到保护乘客的目的。

据统计,追尾事故是我国城市交通事故的主要类型之一。因此,对安全的纯电动汽车进行研发是非常紧迫和重要的。目前,追尾碰撞安全的研究主要集中在纯电动汽车碰撞、提高碰撞保护、控制车辆和混合动力汽车的结构变形等方面。除了燃料系统的完整性和保护之外,关于最新纯电池纯电动汽车的碰撞安全性的碰撞和车身结构研究很少。本文结合后端纯电动汽车安全性的发展,制定了后端纯电动汽车的概念设计和形态。

1 追尾碰撞试验

1.1 试验工况

试验时,将车辆置于带刹车的桥上,将试验车后部撞击(100±20)kg的力传递给移动车辆,完成100%的

方向和撞击,车速为后车为(50±2)km/h。

1.2 追尾碰撞开发需求

在纯电动汽车中,必须检查包装机等高压机器的安全性。附加安全气囊装置不会失效,并且机器的明显位移不会使其侵入乘员的空间。参照GB/T31467-2015纯电动锂离子电池及安全系统要求,结合相关测试结果,以下纯电动汽车减震技术开发要求如下:

(1)冲击过程中,动力电池组安装支架最大纵向加速度小于25.2g。

(2)电池组在发生碰撞时的最大压力变形不得大于10mm,压缩变形不得大于5%,发动机没有明显的压碎发生。

(3)碰撞试验后,电池组的电源没有进入乘客舱,高压线束没有明显的割断。

(4)撞击后,电解液没有进入车辆内部,也未发生泄漏。

2 纯电动汽车追尾碰撞仿真模型

2.1 有限元求解的力学模型

现阶段,车辆碰撞安全分析主要采用有限元仿真分

析法。对于常规碰撞工况，有限元求解模型的力学模型为：

$$\int_0^A \sigma_1 \varepsilon_v dA - \int_0^S F_{cu} dS + \int_0^C F_{cu} dC + \int_0^A \rho a u_v dA = 0 \quad (1)$$

其中A是系统占用的基本空间； σ_1 为内应力； ε_v 是虚拟应变；S为施加于表面以消除摩擦接触力的外力；其中是虚拟位移，C是接触面积，摩擦力为接触力， u_v 为两个接触点的相对虚拟间距， ρ 为质量密度，a为接触系统的加速度。

采用有限离散法概念，将连续的三维几何划分为多边形或多面体的有限元，仅通过节点连接，简化了具有无限自由度的图元系统；具有有限自由度的系统。创建代数方程以迭代求解并获得数值解。

式(1)经有限元离散化后转化为式(2)；

$$Ma = Fe - Feb \quad (2)$$

式中：M是系统的质量矩阵，a是加速度矢量，Fe是外力，Feb为摩擦接触力矢量。

解方程(2)，求系统下一时刻的运动规律和能量变化规律的均值差，即结构与车辆碰撞响应关系的特征。

2.2 材料模型

纯电动汽车使用的车身材料通常是低碳钢。线性塑性材料模型用于有限元分析。材料型号24可用于输入Cowper Symonds成分。与设计相关的模型保留了以本构模型表示的材料效应的力量；

$$\sigma_y(\dot{\varepsilon}_{eff}^P, \dot{\varepsilon}_{eff}^P) = \sigma_y(\dot{\varepsilon}_{eff}^P) \left[1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}_{eff}^P}{C} \right)^P \right] \quad (3)$$

式中： $\dot{\varepsilon}_{eff}$ 为有效应变率，C、P为应变率系数，对于低碳钢，C=40.4，P=5，对机体金属材料可定义相同的应变率系数。

2.3 整车碰撞模型

根据有限元理论分析，车身、底盘、电池、发动机、板件等三维数据是封闭离散的，在5-8mm的范围内需要三维数据。根据GB20072-2006，针对纯电动汽车的追尾碰撞建立了图1所示的CAE分析模型。



图1 纯电动汽车追尾碰撞模型

3 纯电动汽车追尾碰撞安全性能优化

根据碰撞能量管理原理，将车身后部结构划分为整个发动机能量吸收区、变形过渡区和非变形区。不可变形区主要有发动机包的环境动力结构和单元空间两部分，

是极端碰撞中车身安全的基础和核心；吸力铝区主要有后防撞梁总成和后地板结构左右两侧这两个部分。这个区域和变形过渡区域被称为临界区，在后部碰撞中吸收能量^[1]。

3.1 基础模型碰撞结果分析

基于末端列车模型的计算仿真如图1所示，后车身冲击引起的变形如图2所示。从图2可以看出，碰撞中后车身强度结构的设计不足，逐渐变形。由于X方向的吸能舱较小，结构相对刚性，冲击变形程度较小。主要畸形是后躯体框架的重叠区域^[2]。车身后板纵板前后段有斜向变形，后地板后段没有有效消散和吸收能量，相应的球体前端稍有弯曲（如图2所示的圆圈）。

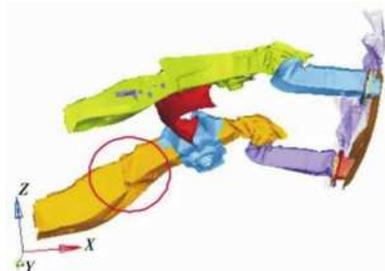


图2 优化前模型碰撞中后部车身骨架变形

因为后梁底部的后碰撞原因，碰撞载荷无法完全消散，车身的两个挂钩严重变形，这也导致了弹壳受力支架的挤压。案例中的最大距离为5.79%，无需恐惧。

如图3所示，中柱碰撞时左右下肢X方向加速度都没有超过25g，达到了开发要求。然而结合车身末端的变形过程，当开始碰撞时，侧面被前后四肢包围，后部和后部单元的碰撞几乎是同时发生的。在高加速度下，8-13ms内达到峰值，然后加速度迅速下降到38ms，车身加速度增加更慢。当时变形形态的能量吸收效率较低，在碰撞的中宽阶段，加速形成了一个相对稳定的区间，表明电池要在一段时间之内承受较高的加速度冲击^[3]。

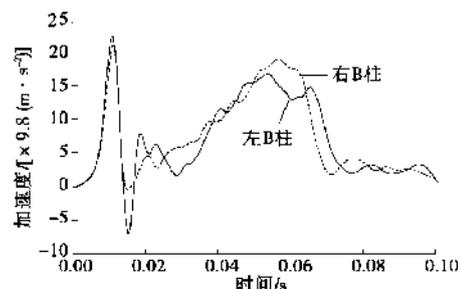


图3 优化前模型B柱下端X向加速度曲线

3.2 车身结构优化设计

在纯电动汽车的极端碰撞问题的基础上，根据渐进变形破入冲击理论和能量管理原理，形成优化车身结构的思路。

(1) 为提高防撞梁在追尾时的性能, 防撞梁材料升级为HC340/590DP级, 并生产了吸能箱。车辆X方向25mm。

(2) 为了使得车身结构在冲击后13-38ms内的吸能效率能够得到提高, 并且能够在冲击初期充分消散力, 因此对后部构件进行了改造, 实现了变形促进。并且在原槽中引入的凸肋已被去除。

(3) 为了能够使得后置电池动力重量的支撑得到加强, 因此将车辆后部车身支架的材质由HC250/450DP升级为HC340/590DP。

3.3 改善效果验证

修正后的方案通过碰撞模拟计算, 侧梁变形如图4所示。从图4可以看出, 优化后的后部使后纵梁充分变形, 并在冲击时吸收能量, 显示了轴向折叠和断裂的例子; 后肢前部和后部之间的髌关节根据球的包裹略微弯曲, 形状保存完好。

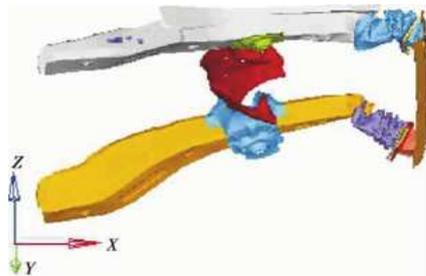


图4 优化后纵梁变形示意图

优化后整车在碰撞中因结构变形而产生的总力主要吸力部件为防撞、碰撞梁及后部的碰撞力, 后部的能量吸收比基础模型高, 占总能量吸收的27.67%。车辆备胎中的托盘吸能略有提高, 主体结构的吸能包含占整车总能量的61.74%。能量体结构的适当调整增加了变形能量吸收区域内零件的能量吸收效率, 大大降低了前后段的变形程度, 有效地实现了球动力结构的稳定性和一定的透视性^[4]。

优化使轴向模式更加复杂, 后梁后段的express模式可以有效降低碰撞中的车身加速度, 峰值加速度降低到14g, 中后段平均加速度碰撞过程在10g左右, 意味着碰撞过程中车身的振动和冲击更小。电池组的最大压缩变形和最大距离必须达到设计的整体要求。当产生撞击时, 电池组的外力并没有对载体电芯产生明显压缩, 确保撞击后电解液没有进入车用电芯, 从而排除了电解液泄漏的可能。

由于机体在不同的运行条件下具有不同的功能, 因此需要考虑机体各部位组的主要优势和机体不同部位的

最佳部位比例。特别是有些零件在吸收和抵抗变形能量方面非常重要。纯电动汽车在操作中起重要作用, 被称为非结构件。主要目的是将车身结构中影响整个车身碰撞的所有部位的结构和非结构部分分开。从这些可以看出, 主要部件是承重部件和最后一个附件, 改进的目的是减少干预工作, 有效增加使用寿命^[5]。在这项研究和分析中, 提出了任何变量对车身碰撞评估指标的影响都会发生变化, 为提高近期碰撞安全性、减少车辆运行时间提供了理论依据。

4 结论

综上所述, 追尾碰撞安全的研究主要集中在纯电动汽车碰撞、提高碰撞保护、控制车辆和混合动力汽车的结构变形等方面。结果表明, 对于纯电动汽车的极限碰撞, 后车身结构的安全性设计必须遵循渐进变形挤压原则, 充分增加变形能量吸收范围。本文旨在开发最终碰撞安全的纯电动汽车, 生成碰撞车辆的有限元模型, 并根据有限元结果的计算, 优化后碰撞体的设计。测试结果表明, 最佳车辆设计具有优化的防撞效果。主要结论如下:

(1) 在发生极端冲击时, 后车身结构应按照挤压变形逐渐吸收能量的原则设计, 主体结构以后防撞梁和后侧梁为主。源吸收60%以上的碰撞能量, 吸收碰撞能量高。

(2) 后防撞系统的飞行设计中, 车辆在碰撞中的峰值加速度值和电池组的固定支撑力应小于25g, 以减少电池电量在碰撞中的振动和冲击收敛过程。

(3) 利用有限元方法对汽车安全设计进行分析和优化, 可以降低性能成本, 缩短设计周期。

参考文献:

- [1]余业爱.纯电动汽车追尾碰撞安全性能优化研究[J].汽车博览, 2020(22): 72, 75.
- [2]施卢丹, 颜先华, 黄正军, 等.纯电动汽车追尾碰撞安全性能优化研究[J].公路与汽运, 2020(1): 6-10. DOI: 10.3969/j.issn.1671-2668.2020.01.002.
- [3]陈彦雷.一款纯电动汽车碰撞断电功能及碰撞后高压电安全测试[J].汽车电器, 2016(6): 18-20. DOI: 10.3969/j.issn.1003-8639.2016.06.006.
- [4]李孝平.某纯电动汽车实车碰撞安全性能的研究[J].内燃机与配件, 2019(10): 22-24. DOI: 10.3969/j.issn.1674-957X.2019.10.008.
- [5]张晓旭.纯电动汽车正面碰撞安全性分析[J].内燃机与配件, 2020(8): 38-39. DOI: 10.3969/j.issn.1674-957X.2020.08.016.