

Path optimization for frontal impact of micro electric car

Mengqi LI¹, Biqiang WANG²

¹Hebei University of Technology, Tianjin, China

²Chinese Automotive Technology Research Centre, Tianjin, China

Email: limengqi714@126.com

Abstract: Combined with the characteristics of micro electric vehicle safety development, the optimization of the path of micro electric cars is optimized by the simulation analysis method. Through the analysis of the deformation mode, energy transmission and absorption law, the specific amount of intrusion and acceleration curve of the key part, the body structure is optimized to improve the impact energy absorption and the way to reduce the weight of the passenger compartment and the battery pack. The results of this paper can provide a reference for the passive safety performance of other electric cars.

Keywords: automotive engineering, electric automotive, transmission path, structural optimization

微型电动汽车正面碰撞传力路径优化

李梦琦¹, 曹必强²

¹河北工业大学, 天津, 300130

²中国汽车技术研究中心工程研究院, 天津, 300399

Email: limengqi714@126.com

摘 要: 结合微型纯电动汽车安全开发特征, 通过仿真分析方法进行微型电动车正面碰撞传力路径优化工作。通过对整车结构变形模式、能量传达和吸收规律、具体入侵量和关键部位的加速度曲线进行分析, 对车身结构进行优化提高碰撞吸能效果、合理分散传力途径, 减小乘员舱和电池包的入侵量和碰撞加速度, 最大限度的保障了乘员舱和电池包的安全。本文研究结果可以为其他电动汽车的被动安全性能开发提供参考。

关键词: 车辆工程; 电动汽车; 传力路径; 结构优化

1 引言

安全与节能一直以来都是汽车行业发展的方向, 随着全球石油能源储量的不断减少, 汽车行业不断寻求可持续的生存和发展道路, 因此先后涌现了许多混合动力汽车、纯电动车等低能耗、低污染、环保型的新能源汽车。其中电动汽车凭借其绿色环保、能耗低的优势备受国家政策的扶持和各大车企的关注。从 2009 年开始, 我国出台了一系列新能源汽车发展的扶持政策, 极大程度的推动了我国新能源汽车的发展^[1]。

近两年来新能源汽车逐步进入了产业化的阶段, 随之而来的电动汽车碰撞安全性的问题也日益凸显, 其在微型电动车中表现尤为突出。一方面微型电动汽车本身的空间较小, 碰撞缓冲空间不足, 导致车身吸能效果不佳, 结构侵入量过大, 极大的影响了乘员舱和电池空间的完整性。另一方面由于电动汽车在底部安放了大质量的动力电池组, 使得车身整体的重心偏下, 采用传统燃油车设计理论得到的碰撞吸能结构不能满足电动汽车的安全需求。针对微型电动汽车车型小、质量大、重心低等特点, 结合汽车安全开发特征, 通过仿真分析方法进行微型电动车正面碰撞传力路径优化工作。对车身的结构进行优化提高碰撞吸能效果、合理分析传力路径、减小乘员舱和电池包的入侵量和碰撞加速度, 最大限度的保障了乘员舱和电池包的安全。本文研究结果可以为其他电动汽车的被动安全性能开发提供参考。

2 仿真模型建立

某微型电动车, 参照法规以及 C-NCAP 的要求, 应用 Hypermesh 和 LS-DYNA 软件建立了 50km/h 正面碰撞有限元模型。

2.1 碰撞仿真结果可信性分析

本次仿真模型在碰撞过程中的内能(Internal energy)、动能(Kinetic energy)、总能量 (Total energy)、沙漏能(Hourglass energy)的变化曲线如图 2.1 所示, 在计算过程中模型的总能量为 98KJ, 沙漏能为 0.95KJ, 沙漏能占总能量的比例为 0.9%, 远远小于规定的 5%, 因此本次模型是有效的。

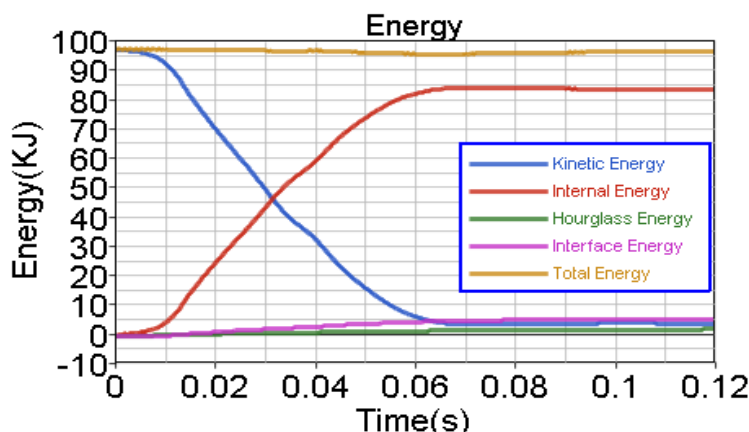
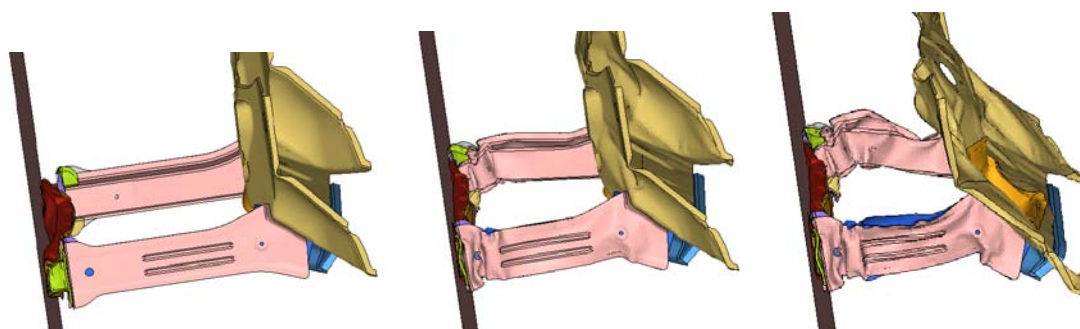


Figure 2.1. Curve: Collision energy change

图 2.1 碰撞过程能量变化曲线

2.2 正面碰撞结构分析

汽车发生正面碰撞时前端的防撞梁、吸能盒到前纵梁是最主要的传力路径, 同时也吸收并传递了大量的碰撞能量。如图 2.2 所示正面碰撞过程中变形情况时序图, 在碰撞发生过程中, 吸能盒首先被压溃, 吸收了大量的碰撞能量, 在 25ms 左右, 前纵梁的后端开始出现折弯变形, 在 45ms 左右, 前纵梁出现明显的折弯变形, 而前纵梁中部过早的折弯使得碰撞的能量更快更大的传递到了前围板, 使得乘员舱的入侵量增加, 这种变形模式将可能会对驾乘人员的安全造成不利的影响。



2 10ms 时刻② 25ms 时刻③ 45ms 时刻

Figure 2.2. Curve: Collision deformation sequence diagram

图 2.2 碰撞过程变形时序图

3 正面碰撞的传力路径分析

在发生正面碰撞时, 主要靠前部的吸能部件的压溃和塑性变形完成能量的耗散, 前部主要的吸能部件有防撞梁、吸能盒、前纵梁等^[2], 而在设计上传统汽车主要将车身划分为前、中、后 3 段结构来进行碰撞吸能和传力^[3]。前部的传力结构主要由防撞梁和吸能盒组成, 在发生碰撞的最初阶段, 大面积的防撞梁将碰撞的能量聚集并向后传递给吸能盒, 由于吸能盒普遍采用高韧性的吸能材料, 碰撞过程中发生塑性变形来吸收巨大的碰撞能量并沿左右分流向后传递; 中部的传力结构主要是前纵梁, 前纵梁在正面碰撞中具有一定的抗弯能力, 在碰撞

过程中有次序的从前向后发生变形，吸收大量的碰撞能量，是最主要的传力路径；后部的传力结构主要有前纵梁延伸板、门槛、A 柱，由前纵梁传递的力经 A 柱和门槛分别从车的上、下部分向后传递，以此来控制碰撞中前围板的入侵量，保证乘员舱的安全。

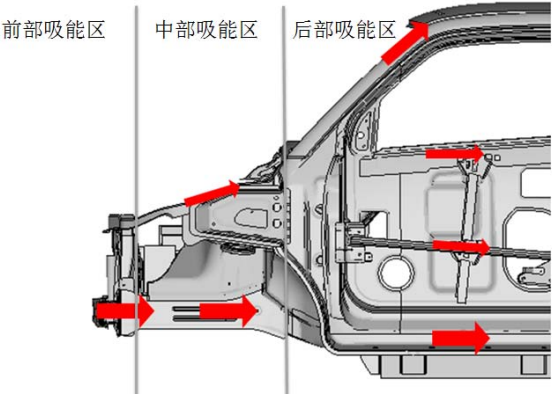


Figure 3.1. Curve: The traditional electric power transmission path

图 3.1 传统电动车传力路径

如图 3.1 所示为该车优化前的传力路径，由图可以看出车辆在正面碰撞时的传力路径主要是由防撞梁、吸能盒和前纵梁向车后方传递，防撞梁和吸能盒在碰撞过程中吸收了最初的碰撞能量并左右分流传递给前纵梁，前纵梁吸收了大量的能量，通过前纵梁延伸板将能量继续传递给门槛和中央通道等进行分散。其次从车身上部传递的能量经发动机舱的上梁、水箱横梁等零件进行吸收并向后方的 A 柱和车顶梁传递。

4 正面碰撞传力路径优化设计

车辆前舱载荷路径的设计主要依据是在和路径的加权高度和整车重心高度相似的原理【4】。由于电动车在底部安放了大质量的动力电池组，使得车身整体的重心偏下，所以采用传统燃油车设计理论得到的碰撞吸能结构不能满足电动汽车的安全需求，车辆承载结构的布置也需要相应的下移。同时为了分散前纵梁的在发生碰撞时传递的能量，减小前纵梁过早的出现折弯的可能，所以本车对车身前保部分进行优化，如图 4.1 所示在前纵梁下部加装副车架的结构，并做了相应的焊点连接。

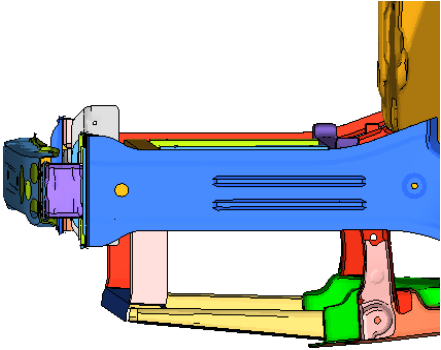


Figure 4.1. Curve: Optimized body structure

图 4.1 优化后的车身结构

由图 4.2 可以看出，优化后的车身在发生正面碰撞时主要的传递路径有以下 3 条：

- 1) 机舱上横梁-----A 柱-----车顶梁；
- 2) 前防撞梁、吸能盒-----前纵梁-----纵梁延伸件；
- 3) 副车架-----纵梁地板延伸-----门槛、中央通道；

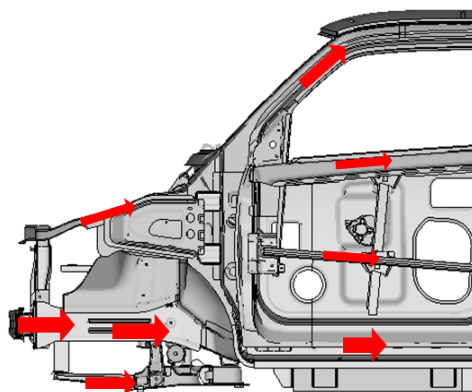


Figure 4.2. Curve: Optimized body load path

图 4.2 优化后的车身传力路径

根据优化后的模型，参照法规以及 C-NCAP 的要求，建立了 50km/h 全宽正面碰撞有限元模型，分别从前围板入侵量、碰撞加速度、能量吸收等方面对优化前后的模型进行对比分析。

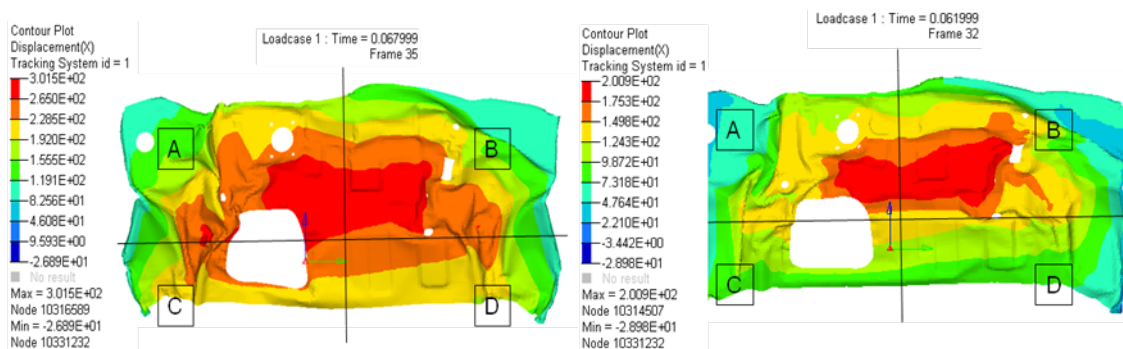


Figure 4.3. Curve: Before optimization and after optimization the dash board intrusion amountcontrast

图 4.3 优化前、后的前围板入侵量对比

如图 4.3 所示为优化前、后前围板的变形图，在优化前的模型中前围板的各区域的均有较大的变形，其中前围板入侵量最大值为 301.5mm，严重破坏了乘员舱和电池空间的完整性。经过优化的模型中前围板的变形有了明显的减弱，其中最大入侵量下降到 200.9mm，减小乘员舱和电池包的入侵量，最大限度的保障了乘员舱和电池包的安全。

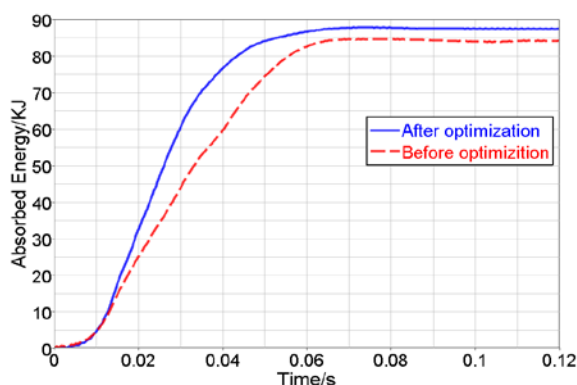


Figure 4.4. Curve: Before optimization and after optimization absorbingenergy contrast

图 4.4 优化前、后的吸能对比

如图 4.4 所示为优化前、后总吸能对比图，可以看出优化模型从碰撞开始阶段的结构吸能就要优于优化前的模型。其中优化前的结构总吸能量为 84.54KJ，而优化后的结构总吸能量为 88.1KJ，总的吸能量增加了 4.2%。

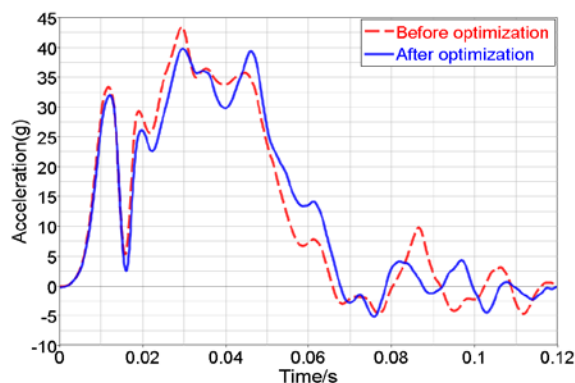


Figure 4.5. Curve: Before optimization and after optimization the lower left side B pillar acceleration contrast

图 4.5 优化前、后的左侧 B 柱下端加速度对比

如图 4.5 所示为优化前、后的左侧 B 柱下端加速度对比图,其中优化前左侧 B 柱下端的加速度峰值为 43.28g,而优化后的左侧 B 柱下端的加速度峰值为 40.88g,加速度峰值下降了 5.5%。

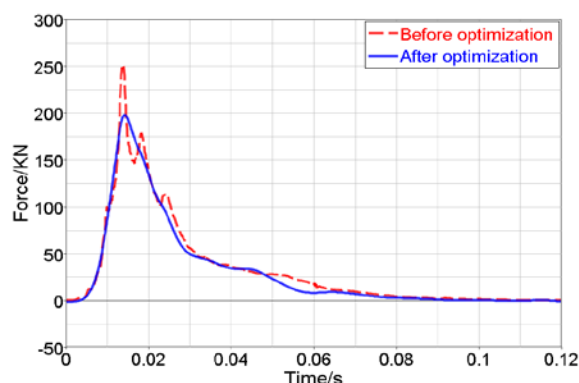


Figure 4.6. Curve: Before optimization and after optimization the front rail section forces contrast

图 4.6 优化前、后的前纵梁截面力对比

如图 4.6 所示为优化前、后的前纵梁截面力对比图,其中优化前的纵梁截面力峰值为 251.23kN,而优化后的纵梁截面力峰值为 198.96kN,截面力峰值下降了 20.8%。

5 结论

本文基于某微型电动汽车 CAE 碰撞模型对模型结构的传力路径进行分析,针对微型电动汽车前舱碰撞空间不足、整车质量大、重心低的特点,进行了结构优化设计。通过加装副车架的结构使得车辆发生正面碰撞时沿 3 条主要传力路径进行传递,和优化前传统电动车传力路径相比,优化后的模型主要有如下优点:

1. 副车架可以额外吸收碰撞能量并向后面的门槛等部件传递,使得更多的碰撞能量经由车身下部传递,传力途径更加靠近车辆的重心的高度,更有利于车辆碰撞时的稳定性。

2. 副车架吸能并分散了一部分前纵梁的碰撞能量,减小了前纵梁的吸能压力,同时也避免了前纵梁在设计方面的过于复杂。由于副车架的作用,也能够更好地控制前纵梁的变形趋势,使其在发生正面碰撞时尽量减小弯曲变形,尽可能多的在轴向上发生压溃从而吸收更多的碰撞能量。

3. 由于采用了新型的 3 层传力路径,合理分散了传力途径,经由车辆下部传递的碰撞能量更多,分散了部分前纵梁承受的碰撞能量,减小了前纵梁延伸板和前围板的吸能压力,使得前围板的变形量明显减小,更有利于乘员舱的安全性。

最后通过以上研究可知加装了副车架的车辆发生正面碰撞时传力路径更为合理,碰撞的吸能效果更佳,减小了车辆发生碰撞时的加速度峰值,同时减小了乘员舱的入侵量,最大限度的保障了乘员舱和电池包的安全。本文研究结果可以为其他电动汽车的被动安全性能开发提供参考。

参考文献

[1] ZHOU Xun, China's new energy vehicle development Situation and Analysis Strategies.

[1] 周逊 . 我国新能源汽车发展现状及分析对策.

[2] LI Wang, Former auto stringer Frontal Crash Simulation, and Optimization. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2015.

李旺 . 汽车前纵梁正面碰撞仿真及优化研究. 农业装备与车辆工程. 2015.

[3] YE Yongliang, *Body frontal collision load path Design*. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 21(4), 81-86.

叶永亮 . 车身正面碰撞传力路径设计探讨.

[4] Zhang, L., K. Yang, and A. King, *Mini electric car frontal crash structure crashworthiness design*. Automotive safety and energy conservation TECHNOLOGY, 2010.

[5] 王大志 . 微型电动汽车正面碰撞结构耐撞性设计. 汽车安全节能学报, 2010.