

ODB optimization of hybrid vehicle on a plat-form

He he, Du Min, Yan Xianhua, Wu Xin, Hong Qiucai, Xu Zuowen

Zotye automobile, Hangzhou, Zhejiang, China, 310000

Email: he.he@zotye.com

Abstract: The frontal impact of the vehicle is one of the most important session in the development of safety performance during the automobile R&D process. Between different forms of frontal crash tests, the 64ODB test put extremely requirements on crashworthiness, and there will be huge costs to resolve the problems founded in actual vehicle test stage, so it's important to improve the crashworthiness based on CAE methods during the design stage. In the development of vehicle platform, hybrid vehicles are heavier than traditional models and there will be much more difficult in the hybrid vehicles' development of their frontal crash performance. The finite element model of traditional gasoline vehicle was established based on the Hypermesh and LS-DYNA, the simulation and actual ODB test were implemented according to the 2018 version C-NCAP, this paper compares and analyzes the acceleration pulses at the bottom of B pillar from both tests, the correctness and reliability of the vehicle model was verified, and based on the validated model, the crash performance of the hybrid vehicle from the same platform was optimized through CAE methods, its ODB impact test performance was improved..

Keywords: C- NCAP ODB;CAE; New energy vehicles;Hybrid;

某平台的混动车型偏置碰撞优化

何合、杜敏、颜先华、吴鑫、洪求才、徐作文

众泰汽车, 浙江杭州, 中国, 310000

Email: he.he@zotye.com

摘 要: 汽车研发过程中, 正面碰撞性能是车辆碰撞安全开发的重要方向, 在正面碰撞工况中, 64km/h 整车 40%偏置可变形壁障碰撞工况针对车身碰撞性能的考察比较严格, 而在试验阶段发现并改进问题需要付出更多的代价, 因此需要在车辆数据设计阶段运用 CAE 做好车身结构的正面碰撞性能, 尤其在平台开发中, 新能源车型往往比传统车型的质量更重, 正面碰撞的开发难度更大, 同平台的车身碰撞性能需要兼顾更为严苛的新能源车型, 本文用 Hypermesh 和 LS-DYNA 软件建立整车有限元模型, 按照 2018 版 C-NCAP 试验要求进行传统车整车 40%偏置碰撞仿真及整车碰撞试验验证, 通过仿真结果与试验结果 B 柱加速度曲线的对比分析, 验证整车模型的正确性和可靠性, 同时基于传统车的安全性能情况, 及时对同平台新研发的混动车型结构进行 CAE 仿真与优化, 优化后混动车型整车偏置碰撞性能得以提升。

关键词: C-NCAP 偏置碰撞; CAE; 优化设计; 新能源; 混动;

1 引言

汽车正面碰撞性能开发是车辆安全设计的重要方向, 在 2018 版 C-NCAP 中有 50km/h 整车 100%正面刚性壁碰撞、64km/h 整车 40%偏置可变形壁障碰撞两种试验工况^[1]。正面碰撞中乘员受到的伤害主要来自于乘员舱空间因为碰撞带来的挤压伤害, 以及人体与乘员舱内部之间的碰撞伤害, 从伤害形式上来看, 在车体正面耐撞性的车身结构设计中, 首先需要保证乘员舱前端的机舱结构能够吸收足够的碰撞能量, 降低乘员舱受到的碰撞冲击力, 并且提高乘员舱部位的刚度, 使碰撞中能够保持车内乘员的安全空间。在保证车身结构设计达合理的情况下, 后续再通过匹配乘员约束系统(安全带、气囊等)进一步降低人体与乘员舱内部之间的碰撞伤害^[2]。50km/h 整车 100%正面刚性壁碰撞中由于整个机舱前端均与刚性墙接触, 左右机舱纵梁能够同时受力, 因此车身变形程度往往比 64km/h 整车

40%偏置可变形壁障碰撞小，而车身加速度更大，后者只能通过机舱 40%宽度即单根纵梁来承载碰撞力，对车身碰撞设计的考察往往更严格^[3]。

在平台开发中，传统燃油车配置从碰撞安全空间、整车质量等方面来说，相对新能源车型占有一定优势^[4]，在平台开发中如果直接按照新能源车型的参数来进行平台车身设计，将会造成较大的过设计余量，因此在平台安全性能开发中，可以仍以传统燃油车为主，在平台后续进行新能源车型开发时，再针对局部薄弱点进行加强。在 2018 版 C-NCAP 中，已正式加入新能源车型的星级评价，因此提升新能源车型的碰撞安全性能，具有非常重要的意义^[5]。

本文研究为插电式混合动力车型，其同平台的传统燃油车在 64km/h 整车 40%正面偏置碰撞试验中表现比较理想，而该混动车型在燃油车型的基础上整车质量增加了 362kg，机舱压溃空间也进一步减小，在混动车型的 CAE 初步仿真中，暴露出车身乘员舱侵入量大，碰撞加速度偏高的问题，难以达到 CAE 目标^[6]，通过 CAE 仿真分析对混动车型车身结构薄弱点进行优化，在传统车型上进行局部加强，实际的提升了混动车型的整车偏置碰撞性能^[7]。

2 整车碰撞 CAE 模型建立

本文整车碰撞 CAE 模型采用 Hyperworks 进行模型前处理，有限元模型一般分四步进行建立（见图 1），第一步需要设计部门提供该车型的 CAD 数据，整车碰撞 CAE 模型建模范围包括：白车身、底盘、动力总成、IP 横梁、四门两盖、天窗系统、冷却系统等各部件，第二步导入 Hyperworks 的 hypermesh 中进行几何清理，第三步进行有限元网格建模，包括整车各关键零部件的网格划分，还有连接处理，比如点焊、二保焊、胶粘、结构胶、螺栓、铆接、铰链等，均用 CAE 的方式表达出来；第四步在完成整车网格装配的基础上，进行载荷、约束、边界条件等控制。完成这些之后可以运用 LS-DYNA 软件进行求解试算，通过试算结果进行可能出现的模型错误调整^[8]。

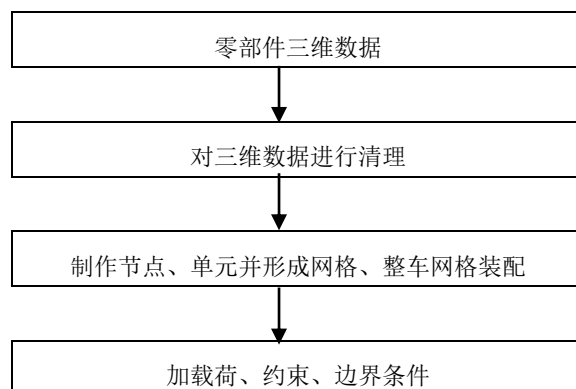


图 1. 整车碰撞基础 CAE 模型建立步骤

3 CAE 仿真模型的对标

在整车的样车试制完成之前，数据设计阶段主要依靠CAE模拟来进行评价，CAE模型需要通过多次的计算与调试，评估CAE模型的准确性，本文应用Hypermesh软件搭建完成整车碰撞模型，运用LS-DYNA软件进行求解计算，在基础的试算完成之后，根据2018版C-NCAP的64km/h整车40%正面偏置碰撞工况进行加载计算，提取出碰撞能量曲线（见图2），从分析模型动能、内能、总能量来看，该模型保持能量守恒，并且沙漏能仅占总能量的4.4%，模型质量增加百分比为2.4%，评估满足要求。

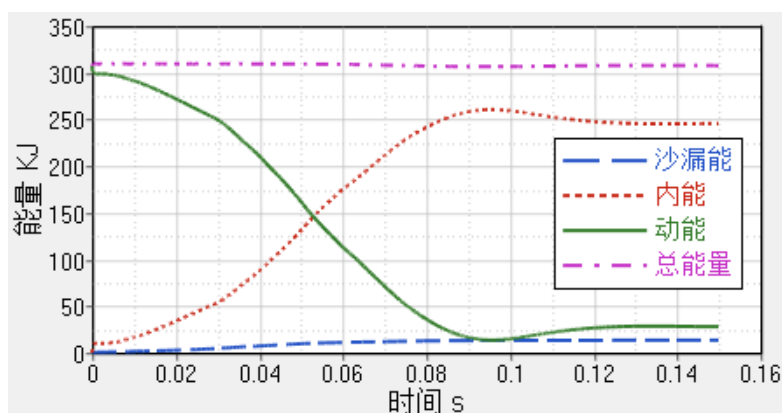


图 2. 碰撞能量曲线

在样车试验阶段，可对 CAE 模拟的准确性根据试验的实际情况进一步对标调整^[9]，保证 CAE 模拟与试验的情况更为接近。在 CAE 整车模型中，B 柱下端门槛位置布置了加速度传感器，在试验中同一位置也进行了加速度传感器布置，将 CAE 与试验的碰撞加速度进行对比，并调整 CAE 模型，最终从加速度对比波形可以看出，曲线各时间段波形峰值基本接近，波形的走势也趋于一致（见图 3），评估整车仿真模型准确性可靠，满足后续开发需求^[10]。

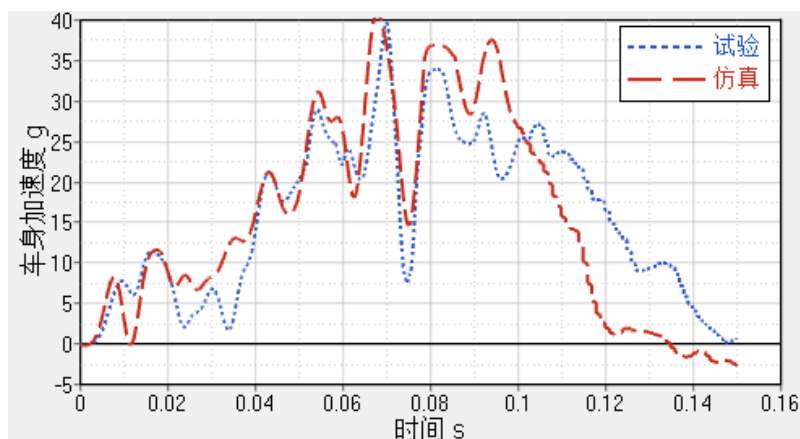


图 3. 碰撞试验与 CAE 车身加速度曲线

整车碰撞 CAE 与试验的对比中，对整车碰撞变形情况、A 柱位移情况、吸能盒及机舱纵梁等关键部位变形进行了对比分析，基本做到 CAE 与试验趋于一致。整体碰撞情况来看，碰撞变形部位集中在机舱位置，乘员舱安全空间保持完好（见图 4），A 柱无明显变形（见图 5），有利于降低假人伤害，并且碰撞后的车门能不借助工具人工开启，有利于碰撞后逃生或救援，吸能盒充分压溃吸收碰撞能量（见图 6），纵梁部位呈理想的“Z”字形折弯吸能（见图 7），综合来说车身结构满足要求^[11]。

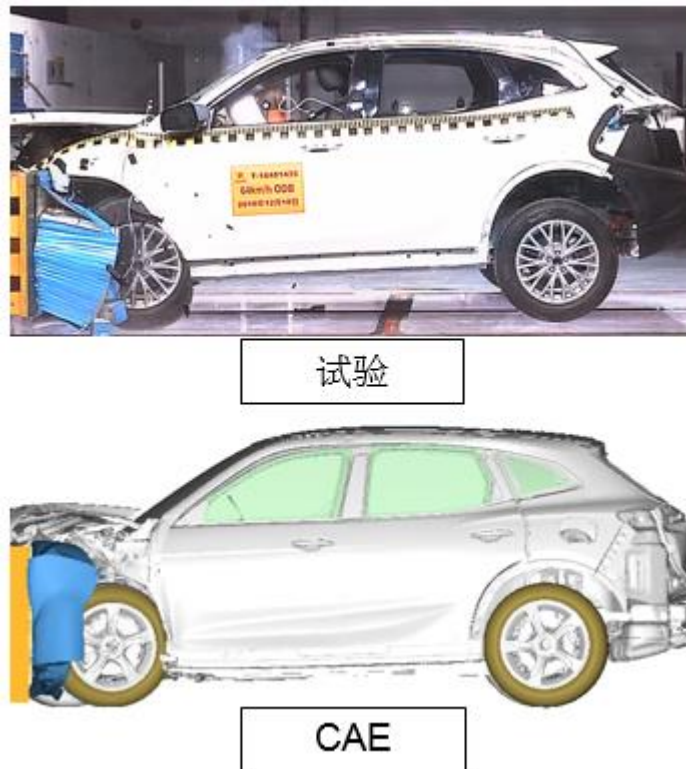


图 4. 整车碰撞试验与 CAE 对比（整车侧视图）



图 5. 试验与 CAE 对比图（A 柱）

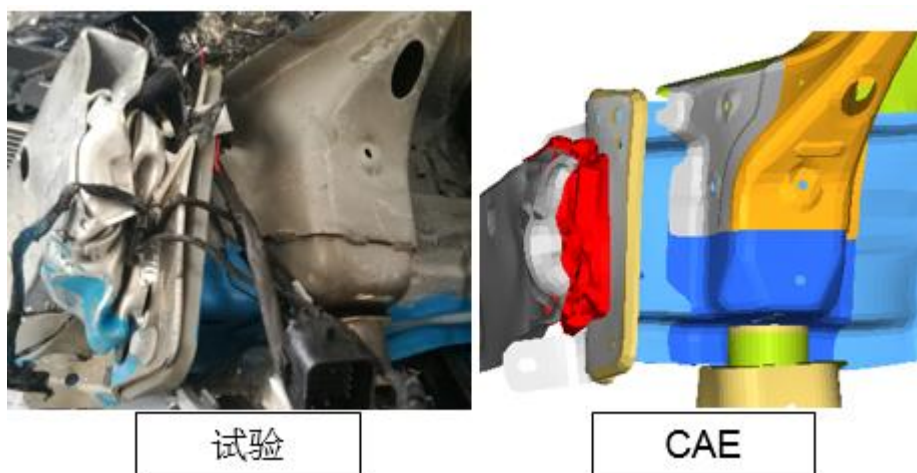
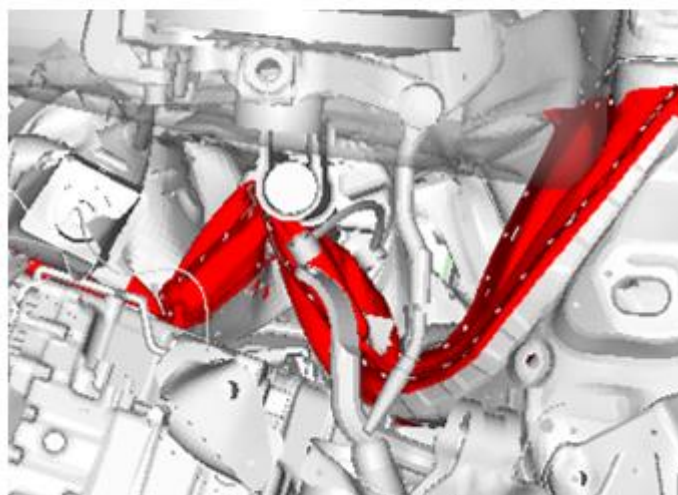


图 6. 试验与 CAE 对比图（吸能盒）



试验



CAE

图 7. 试验与 CAE 对比图（左纵梁）

4 混动车型偏置碰撞 CAE 分析与优化

4.1 混动车型模型差异

在平台传统车型基础上，混动车型需要增加三电装置等总成（见图 8），势必会对碰撞性能带来新的影响，由于该平台混动车型开发节点比传统车型晚，数据阶段暂无试验车资源，为保证平台混动车型的碰撞安全性能达标，在上文传统车型对标完成的 CAE 模型上，根据混动车型 CAD 数据的变动，进行局部 CAE 模型调整，主要包括机舱增加的电控装置（见图 9）、中通道下部增加的电池包部分、后副车架位置电机（见图 10）。根据设计参数对比，混动车型比传统车型重 362kg，整备质量达到 2085kg，碰撞难度大幅增加，针对 C-NCAP 的 64km/h 整车 40%偏置可变形壁障碰撞预测存在风险，在数据设计阶段必须开展 CAE 分析。

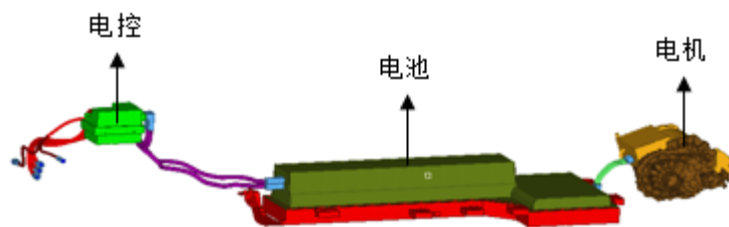


图 8. 混动车三电装置

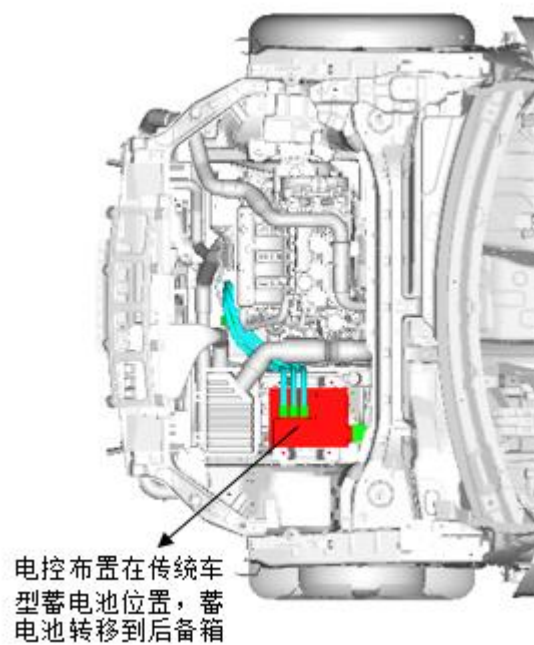


图 9. 布置主要差异（机舱俯视图）

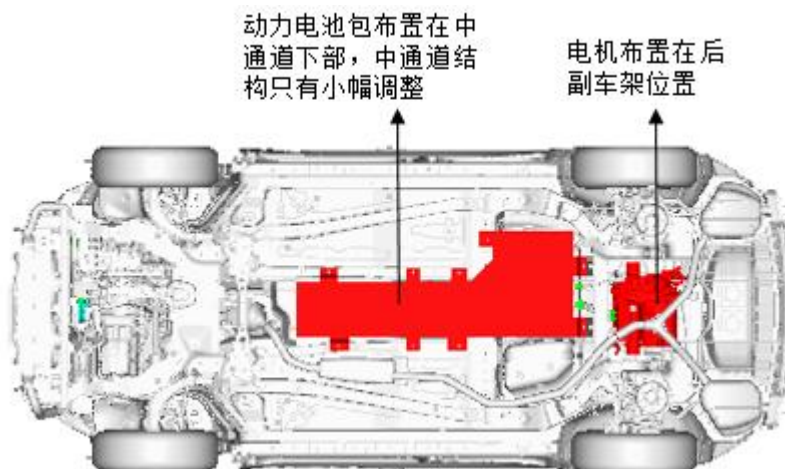


图 10. 布置主要差异（整车底部视图）

4.2 混动车型 CAE 分析及优化

按照2018版C-NCAP规程的要求，以64km/h速度与可变形壁障发生40%偏置碰撞，建立整车碰撞CAE模型。通过CAE计算，发现整车乘员舱变形较大，在A柱、门槛、前地板纵梁几个位置出现折弯变形（见图11），导致防火墙、转向管柱、三踏板的后移量超标，威胁到乘员生存的安全空间。

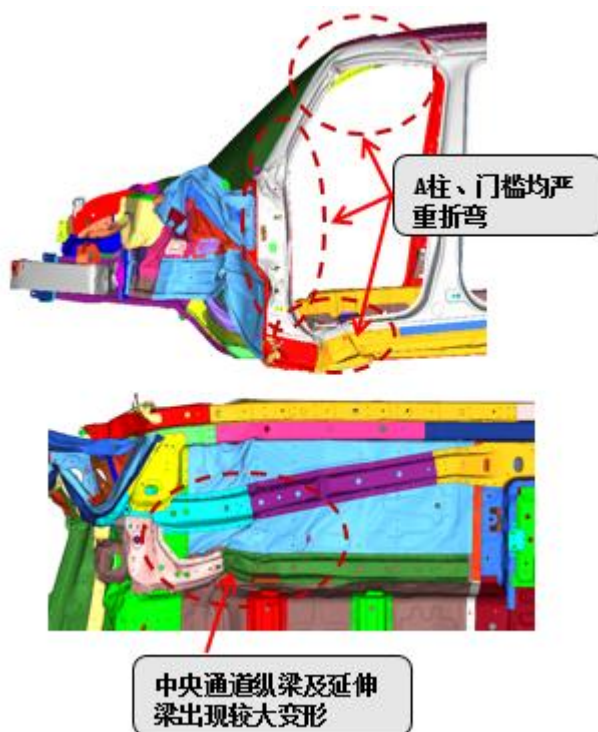


图11. 混动车CAE碰撞问题点

评估分析车身结构存在的不足，主要的优化思路为：一方面吸能盒以及纵梁前部变形吸能需要进一步提升，减小乘员舱的碰撞能量；另一方面A柱、门槛、地板纵梁等折弯位置，需要进行局部的支撑加强^[12]。经过CAE多次优化对比，并结合设计部门评估工艺可行性，在保持平台通用的情况下，进行局部加强^[13]，最后确定了以下方案可满足要求（见图12）：

- 1、吸能盒在前保险杠空间范围内，并考虑保持行人保护前横梁到前保的80mm缓冲空间的情况下，X向加长50mm，用于增加碰撞能量吸收^[14]；
- 2、前纵梁中部加强板料厚由1.2mm提升至1.8mm，增加纵梁抵抗变形的能力，保证前部吸能盒充分变形压溃；
- 3、A柱上边梁增加热成型加强板，材料牌号B1500HS，料厚1.5mm，增加A柱上部的抗弯能力；
- 4、A柱下部的下铰链位置，将加强板进行结构优化，由原来的“L”型加强板改为“几”字型加强板，增强A柱腔体结构；
- 5、门槛折弯位置增加局部加强板，材料牌号HC340/590DP，料厚1.2mm，增加门槛的抗弯能力；
- 6、地板纵梁折弯位置增加局部加强板，材料牌号HC420/780DP，料厚1.2mm。

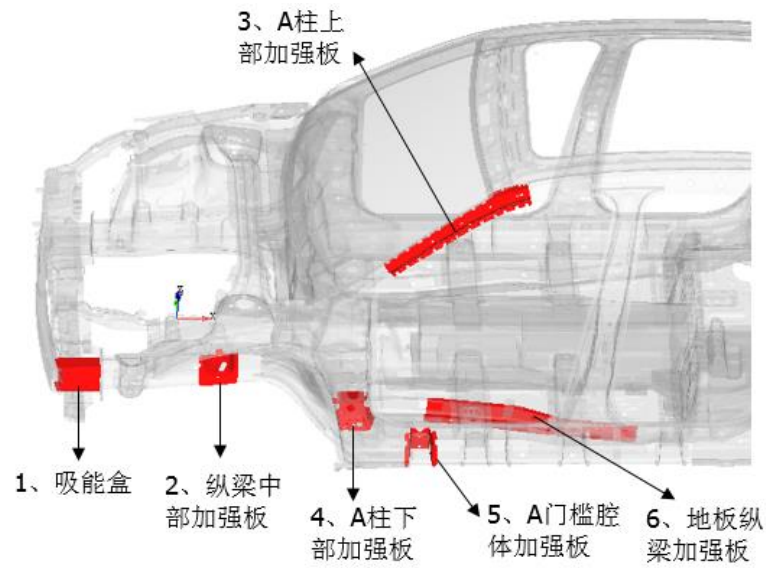


图 12. 优化方案位置图

通过该最终优化方案的CAE计算，可知优化后的整车碰撞各项性能指标得到有效提高。在主要指标中，优化前整车碰撞加速度为45.8g，防火墙动态最大侵入量达到301mm，左前车门框变形为155.6mm，这些都未满足开发需求；优化后前整车碰撞加速度为43.7g，防火墙动态最大侵入量减小到178mm，左前车门框最大变形为26mm，其他各项指标也均已达标（见表1），评估通过优化可满足C-NCAP 五星的后续开发需求^[15]。

表 1. 碰撞指标及结果

评价指标	目标值	基础模型结果	优化方案结果
峰值加速度	L<45g	45.8	43.7
	R<45g	35.6	37.2
反弹时刻（B柱）	L>100ms	106.0	100
防火墙最大侵入（动/静态）	<180/150mm	301/255	178/135
制动踏板侵入量	X<80mm	179.5	77.4
	Z<60mm	90.1	59.5
加速踏板侵入量	X<80mm	145.9	75.9
	Z<60mm	30.4	34.2
歇脚板侵入量	X<80mm	201.5	41.9
	Z<60mm	130.7	22.5
转向管柱侵入量	X<70mm	188.7	69
	Z<56mm	100.2	48.0
前车门框变形量	L<35mm	155.6	26
	R<35mm	9.3	5.6

从碰撞的白车身变形过程中可以看到（见图13），通过以上优化方案的应用，CAE中乘员舱变形过大的情况已得到有效改善，碰撞变形集中在前机舱部位，A柱及之后的乘员舱空间保持较好。

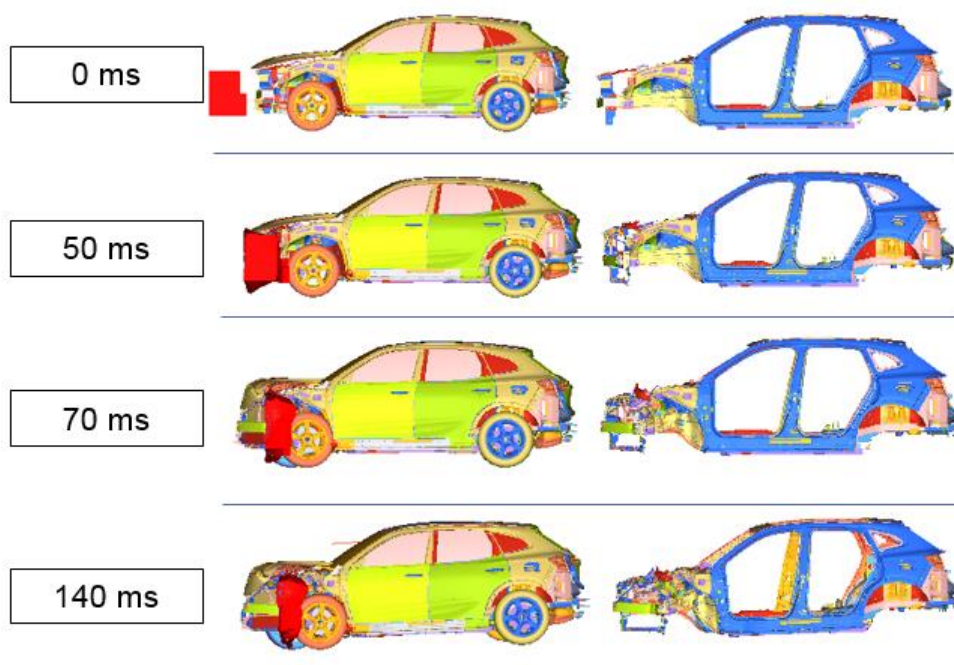
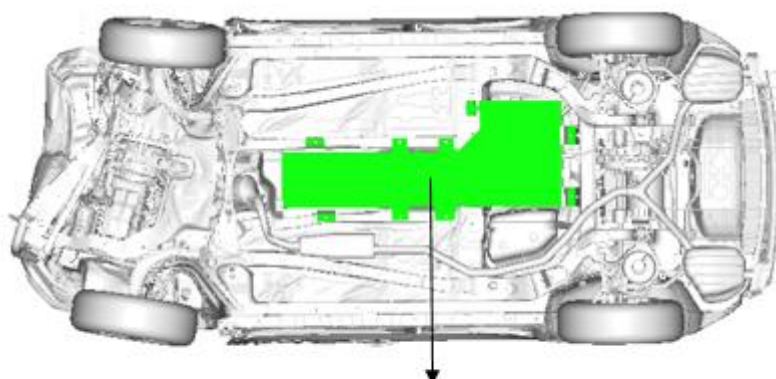


图13. CAE碰撞变形过程

混动车型属于新能源车型，其三电装置还需要满足C-NCAP相关要求，碰撞CAE中主要从电池包的安装空间是否受到挤压、高压电线、动力电池应变值是否超过失效极限等方面来评估安全性。通过优化前后的对比，动力电池包及高压电线最大应变值小于15%，无破损风险^[16]，并解决了动力电池包安装空间的挤压风险（见图14）。



优化方案的动力电池包，其
安装空间在碰撞中保持完好

图14. 碰撞后的电池包

文中仅对偏置碰撞进行介绍研究，在该混动车型开发中，基于 CAE 分析模型，还完整的进行了 C-NCAP、C-IASI、GB 法规其他工况的 CAE 分析计算，保证了混动车型车身结构的安全性能达标，后续还将对该混动车

型进行约束系统的仿真及滑台优化、整车碰撞试验验证^[17]。

5 结论

通过本次对平台传统车型及混动车型的 CAE 分析与研究，得出以下结论：

1、通过传统车型 64km/h 整车 40%偏置可变形壁障碰撞 CAE 分析与试验的对标，提升了 CAE 模型的准确性与可靠性，为后续混动车型的 CAE 打下基础；

2、在传统车型的平台上进行新能源车型的开发，由于重量的增加以及碰撞变形空间的减小，使得新能源车型在目标不变的情况下难度大幅提升，为保证车身结构的安全性能达标，需要对机舱吸能量及传力路径薄弱部位进行系统的优化，还需要监控三电装置是否存在安全风险；

3、通过 CAE 仿真技术，可在数据设计阶段提前发现与解决问题，并且能在合理时间内对大量优化方案完成分析对比，有效减少试验次数与实车阶段的问题更改量，达到节约成本与保障项目开发节点的目的。

致 谢 (Acknowledgement)

感谢曾经一路相伴我前行的同事们大力支持与厚爱！

参考文献 (References)

- [1] C-NCAP 管理规则 2018 年版 中国汽车技术研究中心
- [2] 邱少波 汽车碰撞安全工程[M] 北京理工大学出版社 2016.1
- [3] 简晓春、王 笑 正面和偏置碰撞的耐撞性仿真与车身结构改进 汽车安全与节能学报, 2011 年, 第 2 卷 第 3 期
- [4] 接桂利、朱西产、曹亦兴等 电动汽车碰撞电安全性风险及仿真分析 汽车技术期刊 2015 (3)
- [5] 张晓旭 新能源汽车正面碰撞安全分析 求知导刊 2019 (10)
- [6] 邓留名 车身结构前舱吸能空间需求的计算方法 上海市汽车工程学会 2012 学术年会
- [7] 邱国华 基于能量分配的车身正面碰撞吸能区计算方法研究 上海汽车 2016 (5)
- [8] 孔迪 某 SUV 正面 40%偏置碰撞车身结构安全性的仿真优化 2016
- [9] 魏志辉、李东阳、贺俊杰 某越野车偏置碰撞有限元分析与结构改进 - 制造业自动化 - 2015(11)
- [10] 朱航彬 刘学军 正面碰撞波形对乘员伤害值的影响 汽车工程 2008,30(11)
- [11] 房长江、王三琴、于海雷等 汽车安全车身研发与碰撞试验 汽车实用技术 2018 (15)
- [12] 马静、王元博、李斌等 某越野车型偏置碰撞性能优化研究 2014 中国汽车工程学会年会论文集
- [13] 崔淑娟、陈可明、曹友强等, 某电动车正面耐撞性优化分析 2014 第十一届 INFATS 国际汽车交通安全学术会议论文集
- [14] 郑何妍、卢耀辉、张德文 汽车正面耐碰撞性有限元仿真分析 重庆理工大学学报 (自然科学版) 2018,32 (2)
- [15] 孙乐、邓蒋 某车型电动车车身结构的改进设计 2013 中国汽车工程学会年会论文集
- [16] 钟志华、张维刚、曹立波等, 汽车碰撞安全技术[M] 北京:机械工业出版社 2003
- [17] 中国保险汽车安全指数管理办法 中国汽车工程研究院