

Study of Electric Vehicle General Chassis based on the Vehicle Crash Safety

Rutao Zhao¹, Xichan Zhu², Wenquan Miao¹, Bin Wu¹,

¹Shanghai Motor Vehicle Inspection Certification & Tech Innovation Center Co., LTD, Shanghai, China, 201805

²Automobile School of Tongji University, Shanghai, China, 201804

Email: rtaoz@smvic.com.cn

Abstract: Micro-electric vehicle means the same chassis can be designed with different modules and body structures. Based on this concept, put forward the general chassis design principle, design the structure and parameters. The overall design of electric vehicle includes two modules: "Drive + Life" modules. Drive module is the general chassis, and Life module is the upper vehicle body, connected by bolt and glue. Safe module includes the assembly, like inversion tube, which is crucial to impact energy absorption. Build the electric vehicle finite element modeling, and completed 50km/h full-width frontal crash and rear-end collision crash simulations. The analysis is based on deformation of key components, electric car collision acceleration, impact forces transformation, the energy-absorbing case, proposed structure optimization. Simulation analysis shows that Safe module in this paper makes great contribution to the crash-worthiness of the general chassis.

Keywords: Electric Vehicle, General Chassis, Inversion Tube, Crash Safety

基于碰撞安全性的电动汽车通用底盘优化设计研究

赵汝涛¹, 朱西产², 缪文泉¹, 吴斌¹,

¹上海机动车检测认证技术研究中心有限公司, 上海, 中国, 201805

²同济大学汽车学院, 上海, 中国, 201804

Email: rtaoz@smvic.com.cn

摘要:微型电动汽车通用底盘是指同一底盘可按需更换部件模块及搭配不同车身结构。基于此理念, 首先提出通用底盘设计准则, 针对用户群体设计通用底盘参数和结构。提出电动汽车"Drive+Life"两大模块, Drive 模块为通用底盘, Life 模块为上车身, 两者间采用螺栓和结构胶的双重连接。将 Drive 模块中的碰撞安全部件组为 Safe 模块, 采用翻卷管作为主要吸能部件。进行通用底盘和电动汽车整车 50km/h 的正面碰撞和追尾碰撞工况仿真, 研究分析关键部件的变形情况、碰撞加速度、碰撞力传递和吸能情况, 验证 Safe 模块对于电动汽车碰撞吸能的贡献, 证明了本文设计的微型电动汽车通用底盘符合汽车碰撞安全性要求。

关键词:电动汽车; 通用底盘; 翻卷管; 碰撞安全

1 引言

微型电动汽车(低速电动车)作为一个新兴的产业, 正面临多重机遇和挑战^[1]。目前国内微型电动汽车在设计过程中技术研发稀缺, 产品不具备完善的碰撞安全性、操稳性等汽车性能; 加工工艺差, 小作坊式的加工手段无法保证产品质量; 车用动力电池形状大小不一, 无法形成产业化^[2,3]。为了符合未来多品种、小批量的生产趋势, 满足用户多样化的需求, 本文将微型电动汽车底盘与车身设计分离化, 提出微型电动汽车通用底盘概念。

通用底盘设计必要性包括: (1) 同一底盘搭载不同车身, 解决车辆多品种问题; (2) 底盘部件模块化, 满足不同尺寸车型需求; (3) 设计搭载标准电池, 两个行业相互促进发展; (4) 通用底盘可提高微型电动汽车行业产品性能。与传统燃油汽车相比, 电驱动布局更加灵活, 通用底盘设计的可行性更高。

国内外针对通用底盘概念的研究较少,2002年美国通用汽车研发的“电动滑板”概念车 *Autonomy*,是以燃料电池驱动系统为中心进行设计,可自由地对汽车外形进行构造^[4]。在这个滑板式的底盘上可以通过“插拔”连接配合不同的车身,变成不同的车型。同系列后续的 *Hy-wire* 和 *Sequel* 车型,通用公司延续了这一设计理念^[5,6]。2013年德国宝马汽车公司公布了新研制的 *BMW i3* 车型,首次提出“*Drive+Life*”模块结构,将车身与底盘设计分离化^[7]。2016年乐视汽车发布的最新款超跑纯电动概念车 *Faraday Future ZERO 1* 就是采用了“滑板车”的设计概念。

通用底盘的概念即车身与底盘设计分离化这一理念在高端电动汽车上应用较多,而针对未来发展趋势巨大的微型电动汽车,此方面的研究和将此理念的实际生产应用仍然十分紧缺。碰撞安全性对于电动车的广泛应用十分重要,本文将从正面全宽碰撞和追尾碰撞工况对通用底盘耐撞性进行结构设计。

2 电动汽车通用底盘参数设计

2.1 通用底盘设计准则

本文微型电动汽车通用底盘概念包含两个方面:

- (1) 底盘上的各组件模块化。针对不同需求进行模块更换或者调整,如由单排双座更换为双排四座的形式。
- (2) 同一底盘可搭配不同车身结构。整车可设计成轿车、皮卡、SUV 或者货车的结构形式。

在符合上述设计准则的基础上,设计的电动汽车通用底盘可满足的微型电动汽车关键参数如表 1。

Table 1. The design range of General chassis vehicle parameters

表 1. 通用底盘整车参数设计范围

性能参数	单位	数值范围
长度	mm	2700-3700
宽度	mm	1200-1500
高度	mm	1400-2500
轮距	mm	1000-1200
轴距	mm	1700-2800
续驶里程	km	等速工况: ≥80
整车整备质量	kg	350-650
最高车速	km/h	≤80
最大输出功率	KW	≤15

2.2 通用底盘结构设计

微型电动汽车设计分 2 个主模块: *Drive* 模块和 *Life* 模块。*Drive* 模块为电动汽车的通用底盘,也是设计的基础模块,它主要包括驱动模块、悬架模块、制动模块、转向模块和电池模块。*Life* 模块为上车身,考虑实际的成本控制和技术问题,微型电动汽车的车门将采用塑料非金属材料制作。*Drive* 模块中的碰撞吸能部件是本文设计的重点,因此将碰撞吸能部件组合称为 *Safe* 模块。*Safe* 模块是指本文在通用底盘上设计的碰撞安全部件,它们的主要作用就是在碰撞中吸收能量,与以往传统的矩形截面前纵梁不同,本文设计使用了圆形截面的前纵梁和翻卷管作为吸能装置,如图 1 所示。

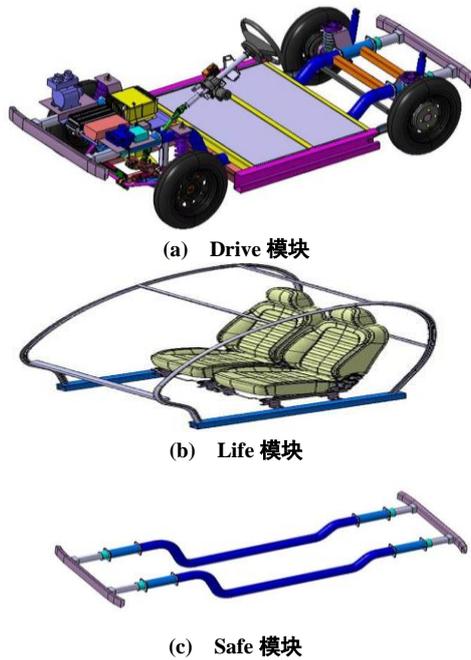


Figure 1. Electric car module diagram
图 1. 电动汽车模块示意图

2.2.1 Drive 模块设计

通用底盘 Drive 模块不仅起支撑作用连接车身，也是碰撞中的主要传力路径和吸能装置，因此设计时需要充分优化传力路径，将撞击力均匀地传递到车身上，避免应力集中。根据微型电动汽车底盘拓扑结构，将传力路径分为两层。图 3 中红色箭头代表中层传力路径、而绿色箭头代表下层传力路径。

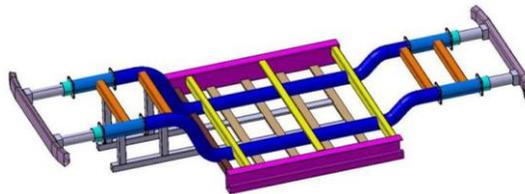


Figure 2. General chassis topological structure
图 2. 通用底盘拓扑结构

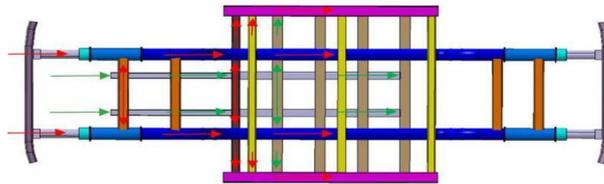


Figure 3. General chassis transmission path
图 3. 通用底盘传力路径

通用底盘模块有 5 个子系统模块构成：驱动系统、悬架系统、制动系统、转向系统和标准电池系统。驱动系统结构设计为前置前驱结构形式；悬架系统为前麦弗逊悬架、后拖曳臂悬架；制动系统前轮采用浮钳盘式制动器、后轮采用领从蹄式制动器；转向系统为机械式液压助力转向系统。标准电池系统是指微型电动汽车的电池动力模块均由标准电池包构成。电子电器部件包括电机控制器等关键性零部件。

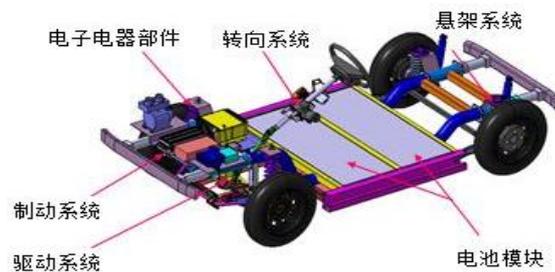


Figure 4. Introduction of general chassis subsystem

图 4. 通用底盘子系统介绍

标准电池包是指每个电池容量为 2 kWh 的固定尺寸大小的电池模块，可按需选择标准电池数量，其基本参数为表 2。标准电池设计生产的意义一方面是可以降低动力电池的生产成本、提高动力锂电池的阶梯利用，另一方面是标准电池行业的普及与微型电动汽车通用底盘的推广使用是相互促进的。

Table 2. Standard cell design parameters

表 2. 标准电池设计参数

标准电池参数	单位	数值
长度	mm	690
宽度	mm	300
高度	mm	85
电量	kWh	2
电压	V	60
容量	Ah	30
工作温度	°C	-20—45
重量	kg	22
通讯系统		CAN 总线

根据参数计算可以得到设计的微型电动汽车需要 8 kWh 电量，共 4 个标准电池包。为了避免标准电池包受到碰撞冲击，出现电池外壳穿刺、变形等危险情况，将其均匀地布局在整个底盘的中央，如图 5 所示。

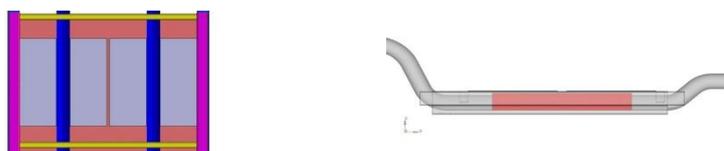


Figure 5. The top view and side view of standard cell layout

图 5. 标准电池布局的俯视图和侧视图

2.2.2 Life 模块设计

微型电动汽车多为骨架式车身结构，采用管梁和部分钣金件焊接而成，具有整体承载重量轻、成本低、工艺设备投入少的优点，设计简化的车身结构如图 1 (b) 中的 Life 模块。将车体结构采用模块化片状设计理念，片状结构之间通过“螺栓+结构胶”进行组装，解决了由于焊接变形带来的工艺问题，降低了组装难度。片状结构由专业的生产厂批量生产，由物流公司运输到整车厂进行片状结构的组装。整个车身体积是片状结构总体积的 8 倍，因此片状结构的设计还可以极大地降低物流成本。

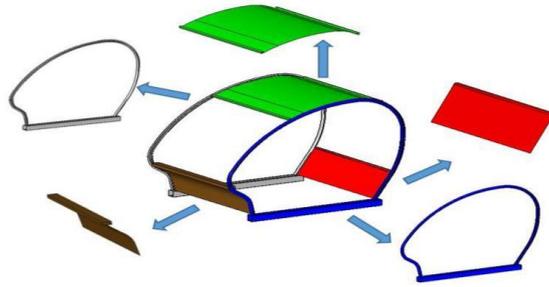


Figure 6. Body flake structure diagram
图 6. 车身片状结构图示

目前车身结构上应用较多的机械连接有铆接和螺栓连接方式两种，这两种连接方式都属于冷连接技术，因为操作方便，工艺简单而广受欢迎，但因为抗疲劳性比较差，同时受力特性影响明显。

考虑到本文设计的电动汽车通用底盘需要与不同款型的车身进行连接以及电动汽车品牌定位、技术要求和成本控制等因素，本文设计的电动汽车车身与通用底盘之间的连接方式选用了螺栓连接和胶接。图 7 部件 1 为 Life 模块的车身下纵梁，部件 2 为 Drive 模块的底盘门槛梁，它们的连接方式有 2 种：接触面 A 为螺栓连接，接触面 B 与 C 为胶接。同时部件 2 的结构可以对部件 1 起到卡槽作用，方便固定。在整车组装中，部件 2 先是安装到底盘上，其次再将部件 1 及其上面安装的半车身模块安装到部件 2 上，接触固定好后进行焊接连接。

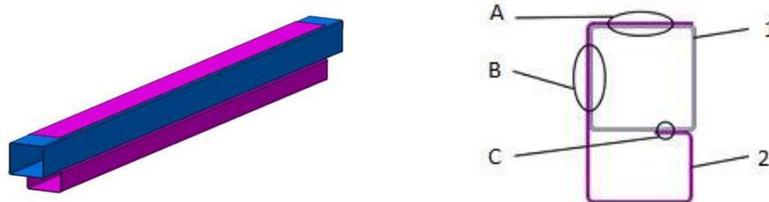


Figure 7. Connecting parts diagram of body and chassis
图 7 车身与底盘连接部件示意图

2.2.3 Safe 模块设计

通用底盘在正面碰撞和追尾碰撞中的传力路径主要是中层和下层传力路径。中层传力路径包含的主要部件为：保险杠、吸能盒、前纵梁。碰撞中，冲击力依次经过上述部件，再通过前纵梁上连接的横梁将冲击力传递到整个底盘。下层传力路径包含的主要部件为：底盘副车架、底盘第一横梁。主要吸能部件为保险杠、吸能盒和前纵梁。为了提高 Safe 模块的吸能比例，本文采用在碰撞吸能中具有恒定的溃缩载荷和较高比吸能特性的翻卷管。

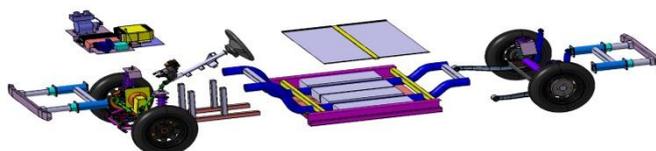


Figure 8. Safe module diagram
图 8. Safe 模块示意图

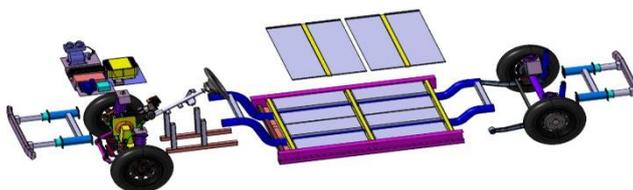
3 电动汽车通用底盘模型设计

3.1 底盘组件模块化概念

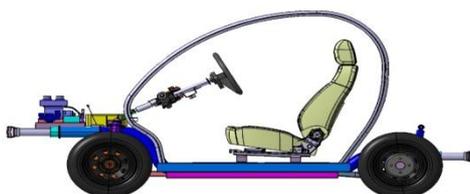
将通用底盘各部件按照功能进行模块划分，因此在满足不同性能要求、不同尺寸等车型的前提下，进行模块的更换，方便整车性能调整。本文设计的底盘组件模块包括前保模块、电子电器部件模块、前轮模块、副车架模块、底盘电池模块、后轮模块、后保模块。当把底盘由单排双座改为双排四座结构形式时，需将底盘电池模块进行更改设计，如图 9。



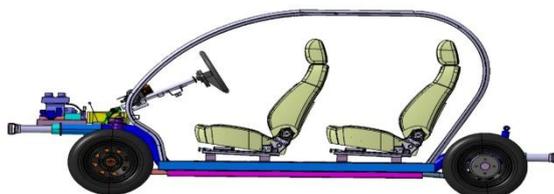
(a) 单排双座结构的通用底盘爆炸图



(b) 双排四座结构的通用底盘爆炸图



(c) 单排双座轿车结构图



(d) 双排四座轿车结构图

Figure 9. Module schematic of chassis components

图 9. 底盘组件模块示意图

3.2 底盘搭载不同车身概念

本文设计的通用底盘可搭载一定尺寸和重量范围内的不同车身，装配成为不同结构形式的微型电动汽车，这些电动汽车可以满足不同用户的多样化需求。对于整个微型电动汽车行业的多品种、小批量生产特点，生产

同一底盘更换不同车身实现多品种是一种极大的捷径，也为小批量生产特色提供了高效的解决办法。图 10 (a) (b) 是轿车结构形式的微型电动汽车，主要用于载客；图 10 (c) (d) 是皮卡车结构形式的微型电动汽车，集载客和载货功能于一体，可满足三、四线城市中用户短途购物、运输货物等需求。

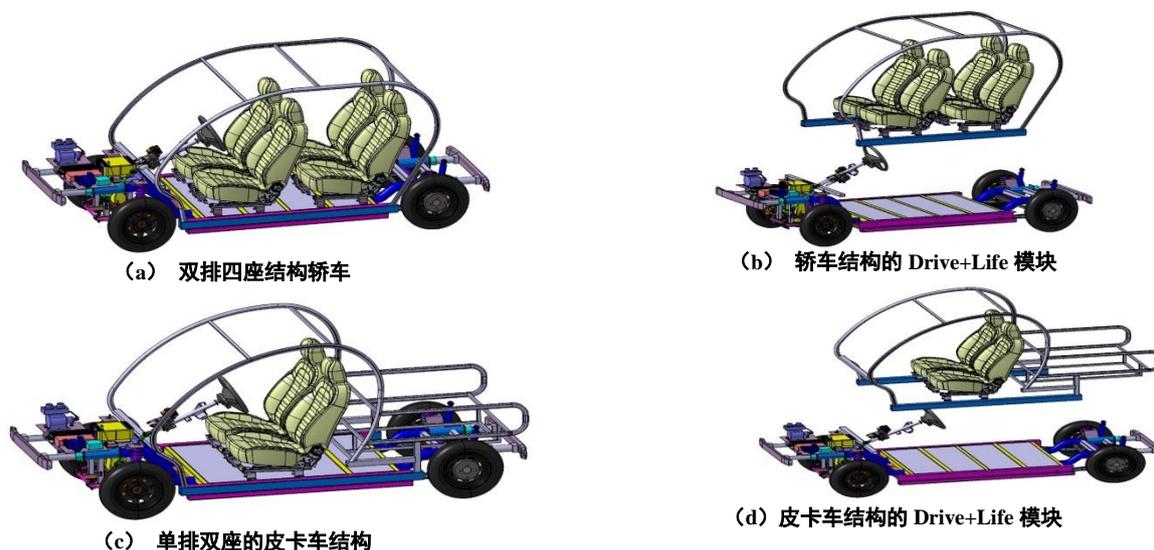


Figure 10. Diagram of chassis with different body
图 10. 底盘搭载不同车身示意图

4 电动汽车通用底盘碰撞仿真分析

电动汽车碰撞性能考核工况主要有 3 类：正面碰撞、侧面碰撞和追尾工况。正面碰撞和追尾工况下的电动汽车安全性能主要取决于底盘的耐撞性，侧面碰撞安全性能主要取决于车身结构的设计，因此本文设计的电动汽车通用底盘碰撞安全性考核工况选取正面碰撞和追尾碰撞。

4.1 有限元建模

本文有限元建模的软件选用 HyperMesh，求解器软件选用 LS-Dyna。再利用 HyperView 和 HyperGraph 对仿真结果进行分析，验证整个电动汽车通用底盘的碰撞安全部件的作用。对电动汽车进行有限元建模，先选用合适的单元、材料模型以及接触方法，再进行模型可靠性的验证。

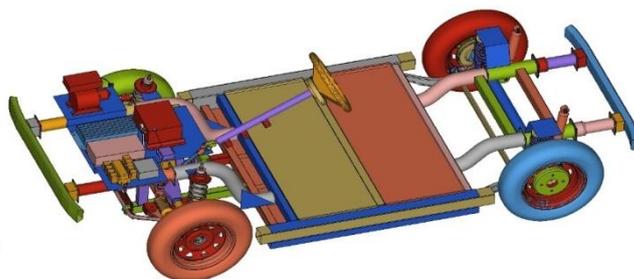


Figure 11. General chassis finite element modeling
图 11 通用底盘有限元建模

本文有限元模型节点个数为 310193，网格单元个数为 427810，其中三角形单元比例为 4.41%。

4.2 正碰工况仿真分析

正面全宽碰撞仿真工况的撞击速度为 50 km/h, 工况分析参考了 GB11551-2014《汽车正面碰撞的乘员保护》。电动汽车通用底盘模型处于大小为 1 g 的重力场中, 方向竖直向下, 仿真计算时间为 100 ms。

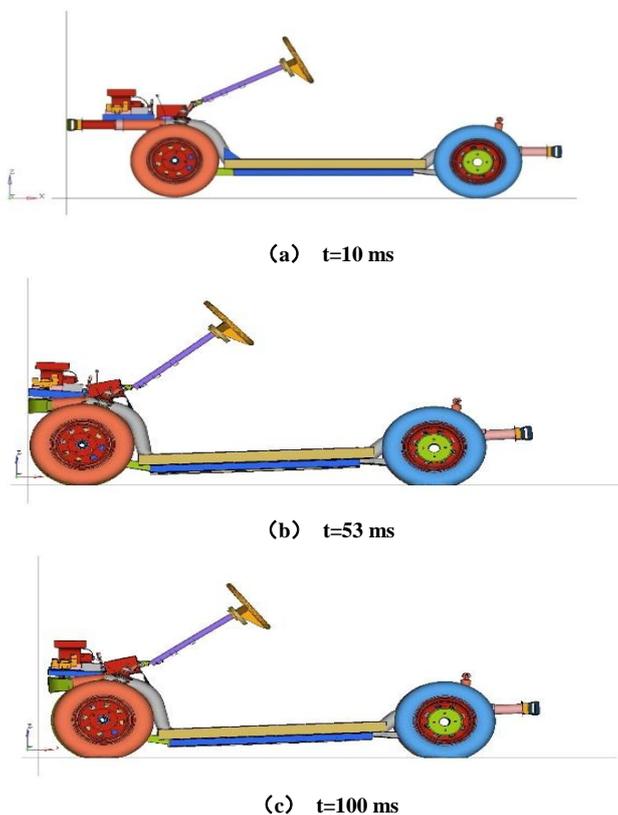


Figure 12. Simulation process diagram of front impact
图 12. 正面碰撞仿真过程图

4.2.1 关键部件变形情况

在碰撞的 53 ms 时刻, 通用底盘碰撞速度归零。此时整个底盘及关键部件的变形情况达到最为严重的状态。从变形趋势来看, 变形主要集中在通用底盘设计的 Safe 模块中的碰撞吸能部件。底盘中央的电池模块不存在明显变形。前保险杠和吸能盒在碰撞中发生变形吸能, 整个翻卷管发生自由翻转的距离为 87.8mm, 接近理想的 100mm 距离。对比两侧翻卷管的变形情况, 可以得知两侧翻卷管受力均匀, 整体变形模型是符合预期设计的。



Figure 13. Turnup pipe deformation contrast figure
图 13 翻卷管变形对比图

4.2.2 碰撞加速度曲线

本文设计的示例电动汽车车身框架中没有 B 柱, 所以加速度传感器设置在通用底盘中部非碰撞区域的车架

上。此碰撞加速度曲线比较符合理想的正面碰撞加速度曲线图。整体曲线比较光滑，分为不同的梯形阶段。同时峰值加速度为 44.6g，平均加速度为 30g。

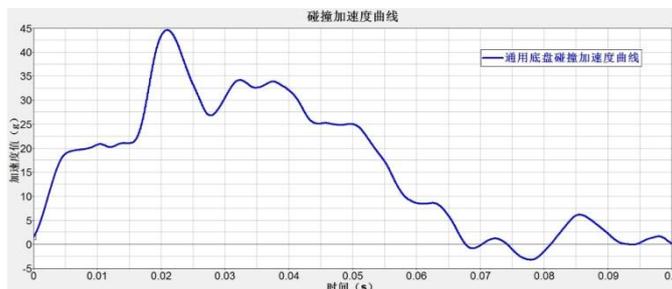


Figure 14. Body acceleration curve

图 14 车身加速度曲线

4.2.3 碰撞力传递情况

中层传力路径的关键部件为：保险杠、吸能盒、翻卷管、第一前纵梁、第二前纵梁、底盘第一横梁和底盘下边梁。具体传递过程如图 15 所示。

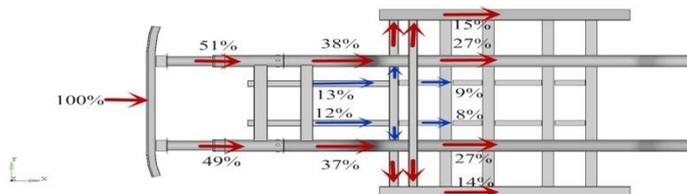


Figure 15. Middle power transmission path

图 15. 中层传力路径

分析碰撞力曲线可发现左侧翻卷管碰撞力、右侧翻卷管碰撞力、左侧前纵梁碰撞力、右侧前纵梁碰撞力，它们的峰值时刻趋势基本一致。各部件的峰值力如表所示。其中下边梁和横梁上的力曲线也代表碰撞力的传递路径是有效的。

Table 3. Collision force peak statistics

表 3. 碰撞力峰值统计

左侧碰撞力截面	传递力(%)	力峰值 (KN)	右侧碰撞力截面	传递力(%)	力峰值 (KN)
L-1	49	58.8	R-1	51	61.2
L-2	37	40.0	R-2	38	41.0
L-3	12	13.0	R-3	13	14.0
L-4	14	8.4	R-4	15	9.0
L-5	27	16.2	R-5	27	16.2
L-6	8	4.8	R-6	9	5.4

根据上述峰值力数值计算分析，中层传力路径与下层传力路径的对比如图 16。中层传力路径是最为主要的传力部件，下层传力路径主要作用于当副车架撞上刚性墙壁后，此时可对整车的碰撞力进行分流，避免应力集中，导致部件损坏变形严重。

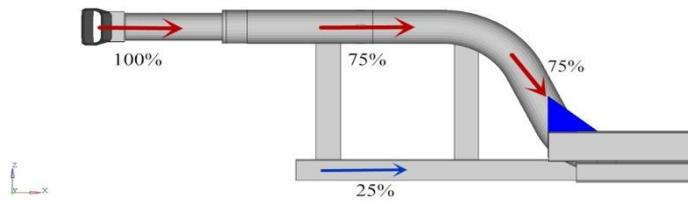


Figure 16. Middle power transmission path
图 16. 中层传力路径

4.2.4 关键部件吸能情况

各关键吸能部件的吸能曲线如图 17 所示，其中吸能最多的部件还是左右两侧的翻卷管，两侧翻卷管吸能量占碰撞总能量的 33.0%。Safe 模块的部件吸能量占总量能的 60.0%，这也表明通用底盘在碰撞中可以吸收电动汽车整车 60.0% 的能量，可以达到设计目的。

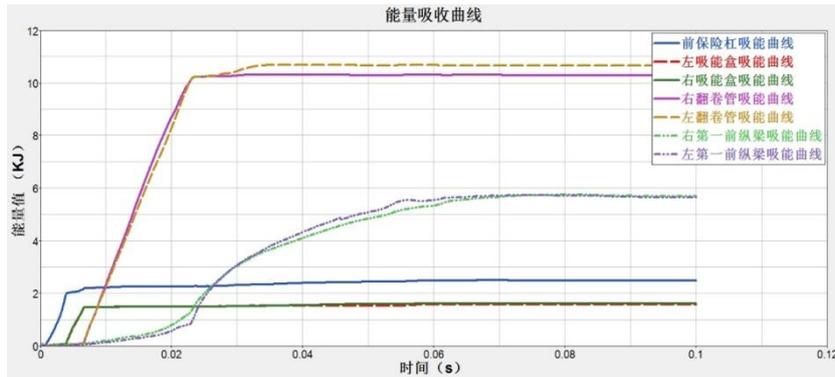


Figure 17 Key components impact energy absorption curve
图 17. 关键部件碰撞能量吸收曲线图

Table 4. Energy absorption analysis of key components
表 4. 关键部件能量吸收分析

左侧部件	吸收能量(KJ)	右侧部件	吸收能量(KJ)
前保险杠	2.497	-	-
吸能盒	1.578	吸能盒	1.576
翻卷管	10.671	翻卷管	10.309
第一前纵梁	5.733	第一前纵梁	5.752
吸能部件吸收的能量 (KJ)		38.166	
碰撞总能量 (KJ)		63.600	
吸能百分比		60.0%	

4.3 追尾工况仿真分析

通用底盘追尾工况参考 GB20072-2006《乘用车后碰燃油系统安全要求》的碰撞要求。碰撞速度为 50 km/h，移动车和碰撞装置的总质量为 1100 kg。有限元模型建模如图 18 所示。

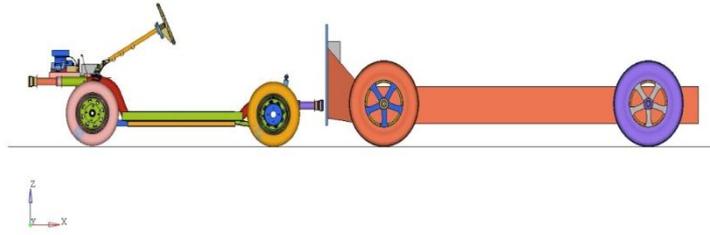


Figure 18. Rear-end collision simulation model of general chassis
图 18 通用底盘追尾工况仿真模型

4.3.1 关键部件变形情况

碰撞初始时刻，保险杠和吸能盒变形模式良好，比较完整地溃缩吸能。20-50 ms 时刻：移动壁障车与通用底盘纵梁碰撞接触，通用底盘加速度达到峰值，变形达到最大。

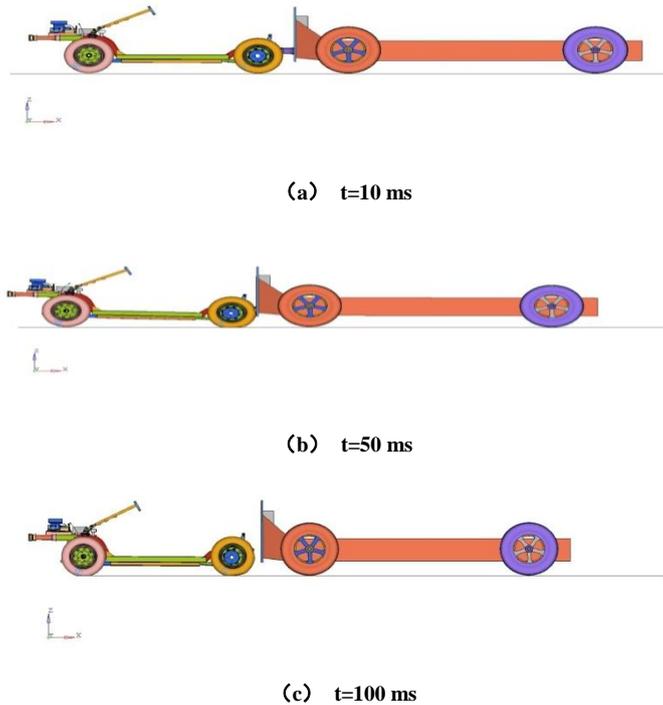


Figure 19. Simulation process diagram of rear-end collision
图 19 追尾碰撞仿真过程图

4.3.2 碰撞加速度曲线

根据加速度曲线：0-20 ms 时刻是后保险杠、吸能盒和翻卷管的溃缩吸能区间，此时可以看出翻卷管变形对应的加速度平均值是 27 g。20-40 ms 时刻后保险杠、吸能盒已经碰撞溃缩、吸能完毕，翻卷管的自由翻转过程已经结束。同时移动壁障车接触到通用底盘的后车轮，会推动底盘整体前移。此阶段，纵梁存在局部变形，底盘加速度达到最大值为 42.2 g。

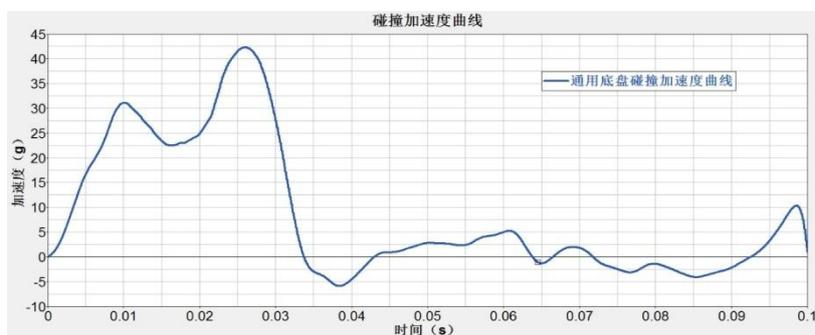


Figure 20. Body acceleration curve
图 20 车身加速度曲线

4.3.3 碰撞力传递情况

通用底盘的后保模块碰撞力传递路径较为单一，但因为其在追尾工况下面临的考验比正面全宽碰撞较小，所以单一的传力路径下，Safe 模块可以照样吸收主要的能量，起到保护作用。

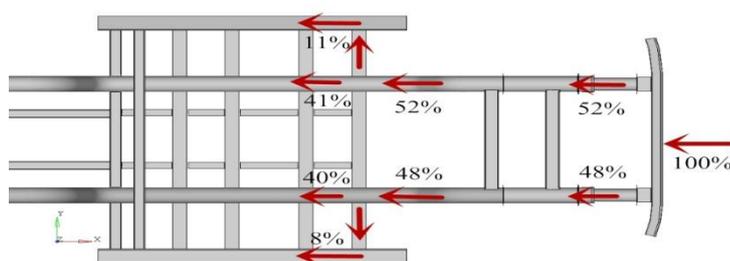


Figure 21. Force transfer path diagram
图 21 力传递路径示意图

Table 5. Statistics of collision force peak
表 5. 碰撞力峰值统计

左侧碰撞力截面	传递力(%)	力峰值 (KN)	右侧碰撞力截面	传递力(%)	力峰值 (KN)
RL-1	48	60.8	RR-1	52	65.9
RL-2	48	46.4	RR-2	52	50.3
RL-3	40	35.6	RR-3	41	36.5
RL-4	8	7.1	RR-4	11	9.8

4.3.4 关键部件吸能情况

追尾工况下通用底盘吸收的总内能为 37.2 KJ，仅为正面全宽碰撞工况总能量的 58.5%。观察各个关键部件的碰撞吸能曲线，其中翻卷管变形吸收的能量最大。Safe 模块在追尾工况下吸收能量达到 29.826 KJ，占总内能 80.1%，可以满足本文对微型电动汽车的安全性要求。

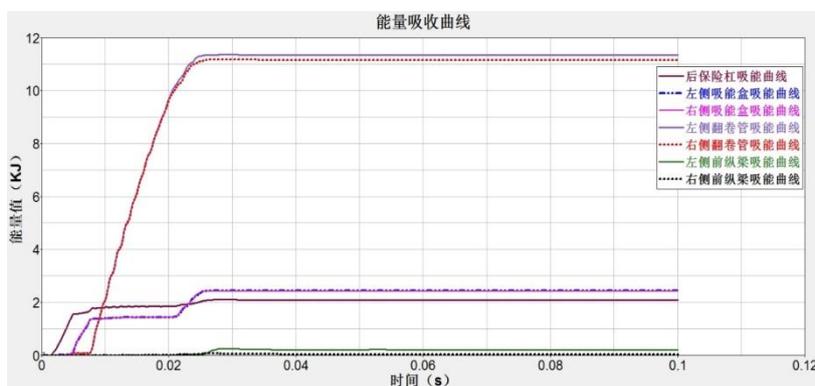


Figure 22. Key components impact energy absorption curve
图 22 关键部件碰撞能量吸收曲线图

Table 6. Energy absorption analysis of key components
表 6 关键部件能量吸收分析

左侧部件	吸收能量(KJ)	右侧部件	吸收能量(KJ)
后保险杠	2.107	-	-
吸能盒	2.446	吸能盒	2.416
翻卷管	11.344	翻卷管	11.167
前纵梁	0.256	前纵梁	0.0899
吸能部件吸收的能量 (KJ)		29.826	
底盘吸收的碰撞总内能 (KJ)		37.213	
吸能百分比		80.1%	

5 电动汽车整车碰撞对比分析

为了验证通用底盘的设计耐撞性确实有效，需要对比通用底盘和带有车身的电动汽车整车碰撞结果。进行电动汽车整车有限元模型进行正面碰撞和追尾碰撞工况，分析对比两者的耐撞性。



Figure 23. The electric car vehicle finite element model
图 23 电动汽车整车有限元模型

5.1 正碰工况对比分析

图 24 是电动汽车整车正面全宽碰撞结束时的整车状态，图 25 是加速度曲线的对比，整车碰撞与通用底盘碰撞的加速度曲线峰值时刻与峰值大小很相近。在通过碰撞加速度曲线、变形情况、关键部件吸能情况、碰撞力传递四方面对比后，发现主要区别是在于碰撞力的传递。

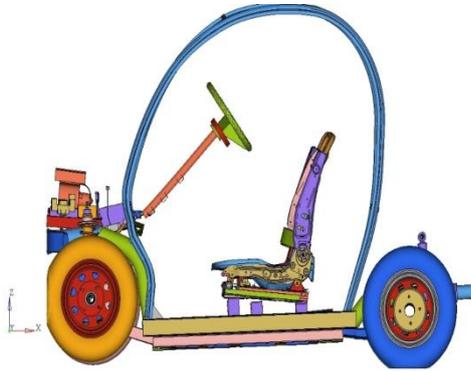


Figure 24. Vehicle frontal crash test
图 24 整车正面碰撞情况

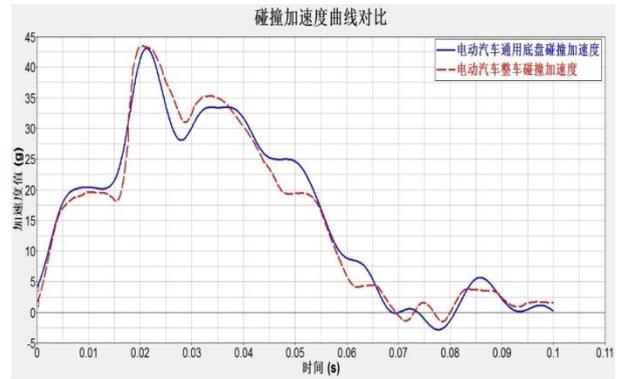


Figure 25. Contrast of crash acceleration curve
v 图 25 碰撞加速度曲线对比

对比图 26，可以发现整车与通用底盘的传递路径区别：通用底盘前纵梁鹅脖子处受力更大，弯折更明显，需要设置局部加强。其它部件一致，不需要加强，虽然通用底盘比整车有局部加强，但是质量增加很小，不会引起过多的多余设计。而通用底盘的普及推广使用后，必然会批量生产，批量生产引起的成本降低可以抵消掉因通用底盘比整车上的底盘局部加强件引起的成本微上升。质量增加对比分析如表 7 示。

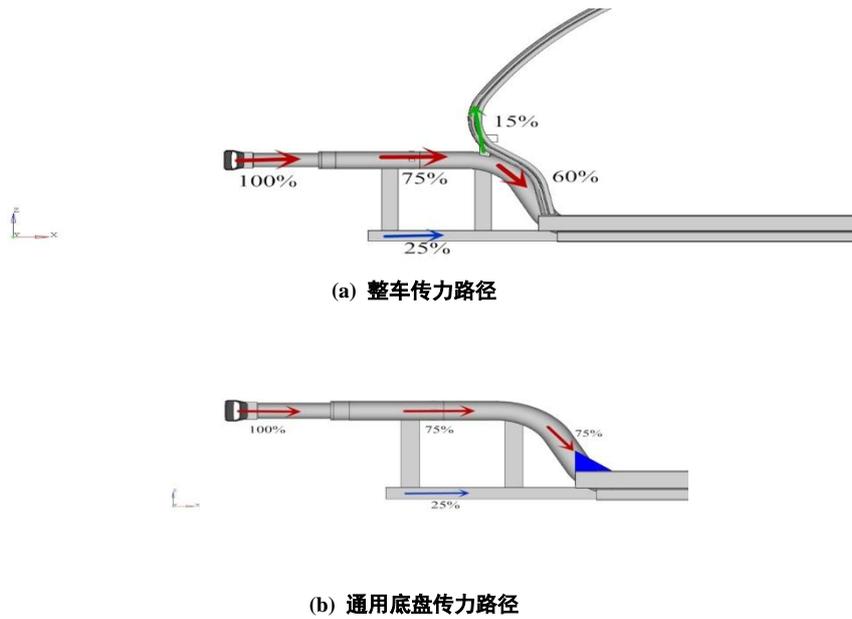


Figure 26. Contrastive analysis of force transferring path
图 26 传力路径对比分析

Table 7. quality comparison
表 7. 质量对比

车型	通用底盘	整车中的底盘	质量增加比例
质量 (kg)	375.9	372.4	0.94%

5.2 追尾工况对比分析

通用底盘的碰撞加速度曲线与电动汽车整车的碰撞加速度曲线对比如图 27 (b),其中电动汽车整车在追尾工况下的碰撞加速度曲线的峰值时刻与峰值加速度与通用底盘碰撞加速度曲线一致。碰撞力的传递路径变化情况不大,对整体电动汽车通用底盘的碰撞保护设计没有太大的影响和改变,具体传力路径百分比如图 27 (c) 所示。综上分析,本文通用底盘在追尾工况下的碰撞安全性符合设计要求。

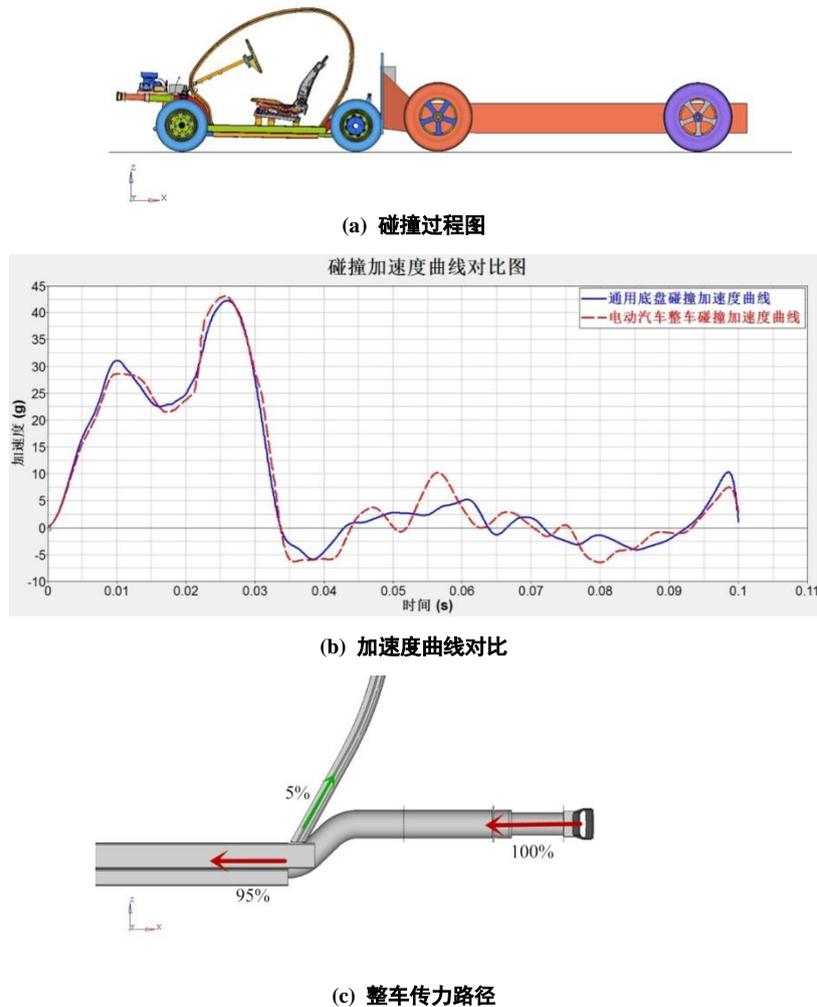


Figure 27. Contrastive analysis of rear-end collision
图 27 追尾工况对比分析

6 结论

本文主要工作内容围绕微型电动汽车通用底盘进行了设计和仿真分析,实现了通用底盘从无到有的初始设计。

1)、研究和设计了微型电动汽车通用底盘的设计准则,提出通用底盘和标准电池的基本概念,研究底盘模块组成,包括:驱动模块、悬架模块、制动模块、转向模块和标准电池包的结构设计、类型选择和关键参数设计。并以一款单排双座微型电动汽车为例进行了参数选择。

2)、将微型电动汽车设计为两大主模块,命名为 Drive+Life 模块。Drive 模块为通用底盘,Life 模块为上车身结构,因为碰撞安全部件是本文重要研究内容,所以将其组为 Safe 模块。建立不同尺寸和结构的电动汽车模型,详细阐述通用底盘的两层概念。

3)、设计的微型电动汽车通用底盘和整车分别进行 50 km/h 的正面全宽和追尾工况下的碰撞仿真。在正面全宽碰撞中,通用底盘可吸收 60.0%的总能量;在追尾碰撞中,可吸收 80.1%的能量。证明本文设计的 Safe 模块对于整个电动汽车碰撞安全性的作用,说明本文设计的微型电动汽车通用底盘结构符合碰撞安全性要求。

参考文献 (References)

- [1] Yun-hua hu, Song Ke and dong-xiao Yin, belt extender electric mini chassis design. Shanghai auto, 2011(11): 7-9.
胡云华, 宋珂与尹东晓, 带增程器的电动微型车底盘设计. 上海汽车, 2011(11): 7-9.
- [2] Mini electric vehicle chassis structure analysis and optimization, 2013, hebei united university.
微型电动汽车底盘结构分析及优化, 2013, 河北联合大学.
- [3] Zhu chi. New energy automobile chassis design direction. Shanghai auto, 2009,10,7:8-11
朱赤.新能源汽车底盘设计方向.上海汽车 ,2009,10,7:8-11
- [4] Tomas, Y.GM unveils Autonomy concept vehicle. Fuel Cells Bulletin No.41; February 2001:5.
- [5] Victorica,Li. GM Hy-wire is world's first drive-by-wire FCV. Fuel Cells Bulletin, 2002. 2002(10):2.
- [6] Alex Sander. GM's Sequel concept shows fuel cell vision is doable. Fuel Cells Bulletin ;February 2005:14
- [7] Sony, H. BMW i3 composite liftgate integrates multiple systems FRP bridge installed in record time.