

# 乘用车车身一体式后地板设计与研究

张杏红, 康洁, 李仲奎, 王泽忠, 周力, 陈振飞, 盛敏, 谌胜  
东风汽车集团有限公司技术中心

**【摘要】**本文为了对一体式铸造车身进行研究应用, 对一体式压铸后地板白车身进行整体方案设计, 进一步研究一体式后地板详细结构性能优化及工艺设计相关细节, 并总结出乘用车车身一体式后地板车身模块化、成型优化、连接设计等应用策略, 为后续一体式车身设计提供指导。

**【关键词】**一体式压铸, 后地板, 模块化, 性能设计

## Design and Research of Large Pressure-casting Rear Floor for Passenger Car Body

Zhang Xinghong, Kang Jie, Li Zhongkui, Wang Zezhong, Zhou Li,  
Chen Zhenfei, Sheng Min, Shen Sheng  
Dongfeng Motor Corporation Technical Center

**Abstract:** In order to study the application of integrated casting body, carry out the overall design scheme of integrated casting die rear-floor adopted by the body-in-white, and further studies the detailed structural performance optimization and process design of the integrated floor. And then application strategies of floor body modularization, forming optimization and connection process design after vehicle integration are summarized. Provide guidance for subsequent integrated body design.

**Key words:** integrated casting die, rear-floor, modularization, performance design

## 引言

当前碳达峰、碳中和<sup>[1]</sup>的国家战略需要车身制造技术进一步优化, 纯电动汽车整车重量每降低 10%, 平均续航里程将增加 5%~8%, 车身轻量化诉求相较以往也更为迫切。近年来材料车身开发过程中, 轻量化材料中铝合金性价比最高, 国外铝合金高真空压铸件在汽车上的应用越来越广泛<sup>[2]</sup>, 且高压压铸进一步提升了铝合金制作效率<sup>[3]</sup>, 基于铝合金的高压压铸一体式车身技术应运而生<sup>[4]</sup>。特斯拉一体式压铸车身引发新一轮生产制造革命, 一体式压铸车身颠覆传统冲压和焊接工艺, 相比传统冲压和焊接工艺零部件数量减少, 成本大幅下降。而国内外主机厂都已出现成功应用案例<sup>[5]</sup>, 且总体产品研发增速快<sup>[6]</sup>。

本文基于一体式后地板, 着重论述其设计方案、性能研究及注意事项, 以提升一体式压铸件车身后地板使用的方便性并达成更优的性能, 期望这些总结能为乘用车车身一体式铸件开发提供参考。

## 1 一体式压铸

### 1.1 一体式压铸的定义和特点

一体式压铸是通过将原本设计中需要组装的多个独立的零件进行一体式设计, 并使用超大型压铸机一次压铸成型, 直接获得完整的单个部件, 以实现其原有功能。

采用一体式压铸技术降低汽车重量、提升车辆轻量化水平是增加续航里程的关键路径<sup>[7]</sup>。不仅如此, 引入一体式压铸技术还能带来生产效率的提升, 但是一体式压铸也伴随着设备投

入成本高、材料成本高、后期维护成本高等问题难点<sup>[8]</sup>。

### 1.2 一体式压铸使用部位分析

当前车身一体式铸件应用部位主要在后地板总成及前机舱总成, 也陆续有相关企业在研究整体一体式地板及一体式侧围, 随着集成度越来越高, 也有相关专利揭示了一体式白车身的想法。但是, 当前阶段一体式后地板的应用最为广泛, 多个国内外企业都有相应投入, 见表 1。

本文主要针对一体式后地板进行结构设计及对应研究。

表 1 国内外主机厂一体式铸件研究统计

国内外	主机厂	应用部位	
		一体式机舱	一体式后地板
国内	主机厂 1	✗	✓
	主机厂 2	✓	✓
	主机厂 3	✗	✓
	主机厂 4	✗	✓
	主机厂 5	✗	✓
	主机厂 6	✓	✓
	主机厂 7	✗	✓
	主机厂 8	✓	✓
	主机厂 9	✗	✓
国外	主机厂 a	✓	✓
	主机厂 b	✗	✓
	主机厂 c	✗	✓

## 2 车身一体式后地板结构设计

### 2.1 总体结构设计思路

基于竞品对比研究,确定一体式车体结构区域结合策略、环境件连接方式和主体结构细节设计思路。以某款燃油车车型为载体,进行一体式后地板替换设计。通过 SFE 及 SEC-AD 构建参数化白车身,进行车身综合性能及轻量化的优化设计,同时结合环境件边界条件,进行车身后地板总成一体式结构及连接设计。进而再通过性能仿真迭代验证,进行设计结构改善及连接方式优化,最终保证性能达成。

### 2.2 车身后地板接口及性能需求

结构设计的前期是要满足对应产品需求,车身后地板接口众多,也是整体白车身非常重要的一部分,对应乘用车车身后地板相关功能要求如下。

乘用车车身后地板接口较多,与很多环境件有安装关系。图 1 为后地板通用接口需求。

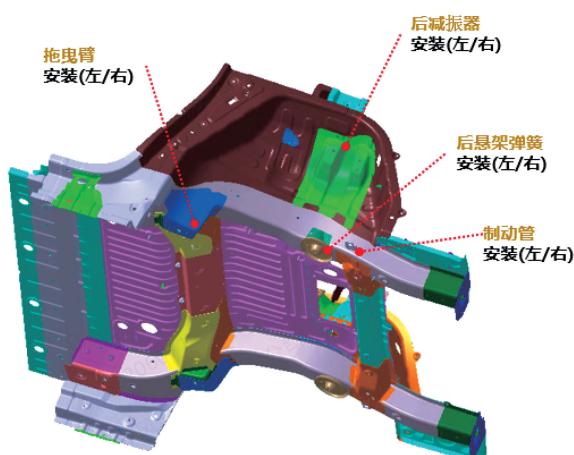
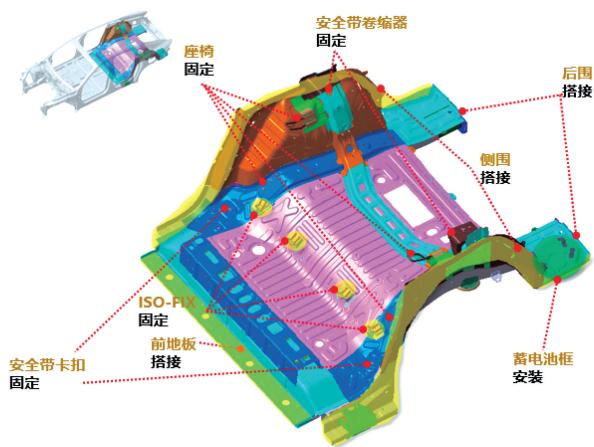


图 1 后地板通用接口需求

后地板性能需求主要分为两大类:一类是作为环境件接口需要满足的安装点性能需求,另一类是整体白车身的性能需求。图 2 为后地板通用性能需求。

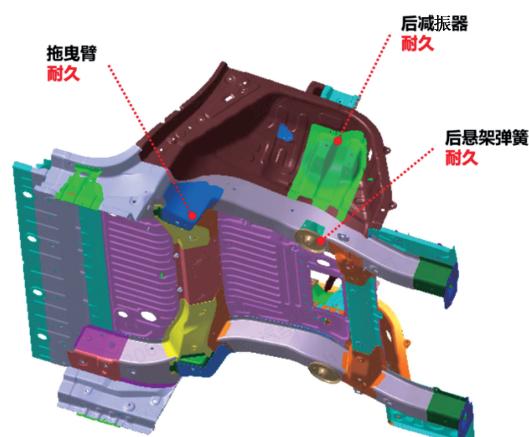
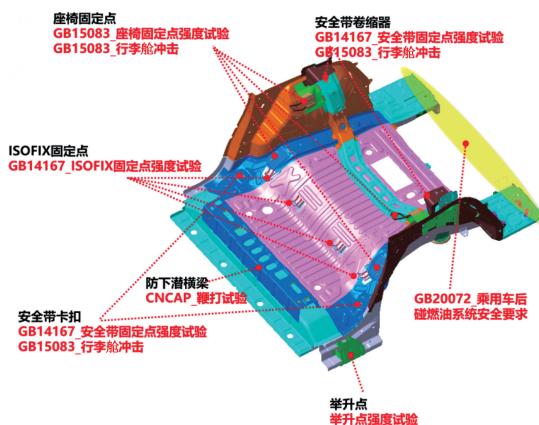


图 2 后地板通用性能要求

### 2.3 一体式后地板结构设计

根据当前主要竞品参考,一体式铸铝件后地板如图 3 考虑集成左右后纵梁、前横梁、中横梁、后横梁、左右侧轮罩内板等主要功能区域;梁与梁形成的口字腔进行开孔减重,并设计中地板和后地板进行连接。

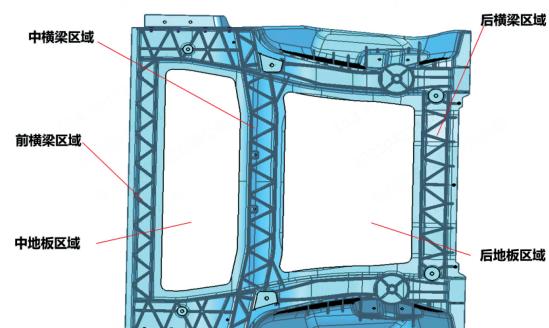
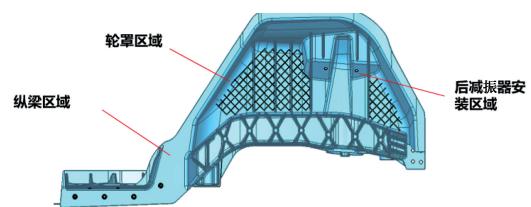


图 3 一体式后地板结构

在料厚与脱模设计上，根据零件形状确定零件的脱模方向，后地板一体式铸件脱模方向为 Y、Z 向。根据零件不同功能区域，设计不同的基础料厚，然后结合已经确定的脱模方向设计脱模斜度或者脱模角度见表 2。

表 2 料厚与脱模角设计

序号	区域	料厚	脱模角
1	前横梁前端	5mm	—
2	前横梁后端	5mm	1.5°
3	前横梁加强筋	3mm	1.5°
4	后地板大面	3mm	—
5	中横梁前端	5mm	1.5°
6	中横梁后端	5mm	1.5°
7	中横梁加强筋	3mm	1.5°
8	内轮罩大面（减振器区域）	4mm	—
9	内轮罩大面（其他位置）	3mm	—
10	内轮罩法兰	3mm	—
11	减振器安装面	5mm	—
12	减振器安装立面	5mm	—
13	减振器安装区域加强筋	3mm	1.5°
14	后横梁前端	5mm	1.5°
15	后横梁后端	5mm	1.5°
16	后横梁加强筋	3mm	1.5°
17	纵梁上表面	5mm	3°
18	纵梁下表面	5mm	3°
19	纵梁立面	5mm	3°
20	纵梁加强筋（安装点）	5mm	3°
21	纵梁加强筋（其他位置）	3mm	1.5°
22	其他位置	3mm	1.5°

后地板一体式压铸件，纵向载荷传递主要依靠近似的后地板边纵梁；横向载荷传递主要依靠近似的后地板三横梁。向上方传递路径借助于后轮罩里板的结构设计实现，如图 4 所示，图中：①后地板整体骨架采用喇叭多筋结构提高结构强度及动刚度性能；②后纵梁区域 Y 向开口设计 X 形筋，有利于后碰吸能及提高后纵梁上安装点动刚度吸能；③三横梁区域主要采用 Z 向开口，三角形筋设计，有利于横梁结构稳定性。

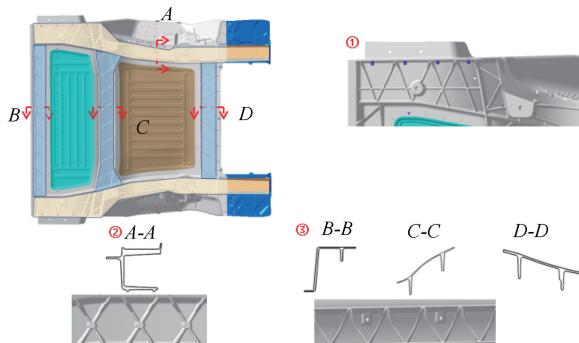


图 4 后地板一体式压铸件梁架设计

此外，车身上诸多安装点，为了保证固定点的强度、刚度及利于成型，应避免过于复杂的铸件结构。

## 2.4 模块化方案设计

为了提升一体式后地板整车模块通用性，采用图 5 模块化设计策略，通过更改前后地板连接板实现轴距变化，调整后悬架结构实现不同姿态，通过更改后地板后部及防撞梁吸能盒长度实现后悬变化。

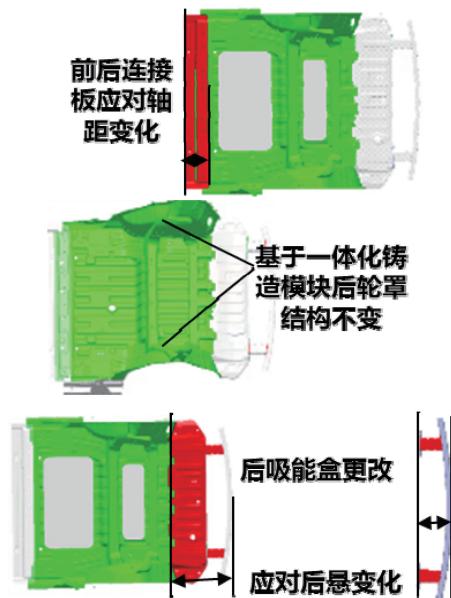


图 5 模块化方案

## 2.5 成型优化设计

在与工艺协同设计过程汇总明确主浇口布置在后侧，如图 6 所示。因此后侧壁厚设计较厚，提高内浇口面积，保证零件快速填充。

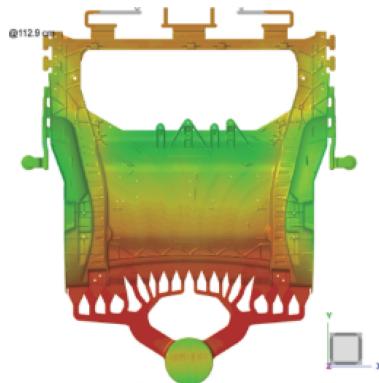


图 6 一体式铸件浇口布置示意图

为进一步优化铝水流动性，将地板横梁区域局部加厚到 4mm 以上，如图 7 所示。

而在梁、筋汇集处按照图 8 所示进行减薄处理，保证料厚均匀，减少应力集中和气孔等缺陷。

为了保证铸件被顶出时受力均匀，顶针位置尽量布置在加强筋相交的位置或者与脱模方向一致的立面上，同时顶针之间的距离通常要求 60~100mm。为了满足顶出需要，脱模

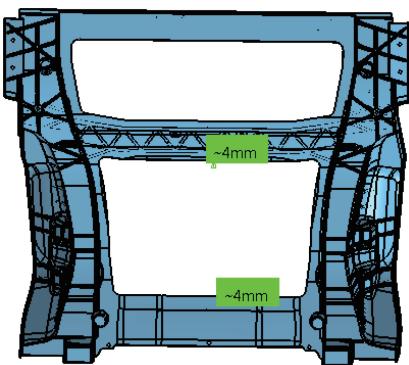


图 7 局部壁厚增厚示意图

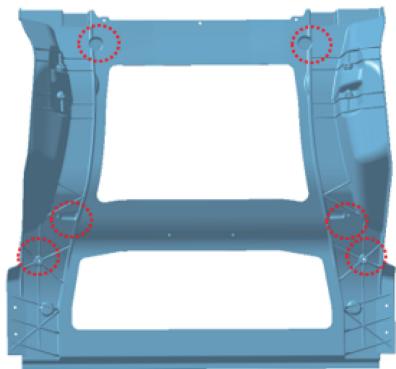


图 8 局部壁厚减薄示意图

斜度一般定义为  $1.5^\circ$ ，顶针的端部做成直径为  $12\sim20\text{mm}$  的圆面，顶针自身的高度尽量矮，保证脱模斜度传递之后尽可能减小重量。左右轮罩处设计脱模顶针如图 9 所示。

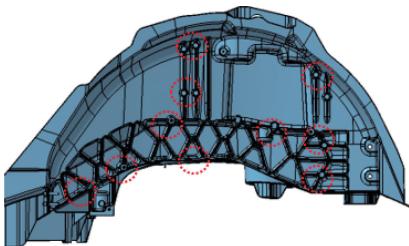


图 9 局部壁厚减薄示意图

最后，为了改善排气性能，且优化整体性能均匀一致性，左右轮罩处设计网状排气槽结构，如图 10 所示。

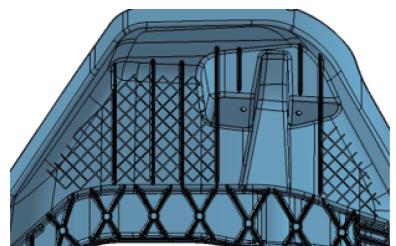


图 10 局部壁厚减薄示意图

结构明确后进行一体式后地板压铸仿真验证，结果表明一体式后地板总体具有工艺可行性，只需局部优化可实现实际制造，对应仿真结果及工艺方案如图 11 所示。

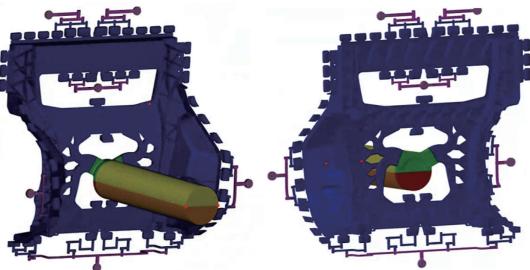


图 11 工艺可行性仿真

## 2.6 连接设计

连接设计主要原则如下，车身接头及骨骼连接处和车身受力较大处一般采用螺栓连接，其他区域可采用 SPR 及 FDS 连接。SPR 连接工艺为双侧连接（类似于点焊），需进行设备通过性验证。一般要求，薄板厚度大于板材总厚度的  $1/3$ ，铆接顺序由薄板向厚板，由软板向硬板铆接。而 FDS 为单边作业，搭接边宽度  $\geq 20\text{mm}$ ，螺钉间隙理论上可以挨在一起，不小于  $20\text{mm}$ ，适用铝板最大厚度  $5.5\sim6\text{mm}$ ，钢板最大厚度  $3\text{mm}$ ，可以用于  $2\sim4$  层板材的连接，为保证密封性，FDS 在搭接边处同时增加胶密封。根据上述原则，一体式后地板与车身连接如图 12 所示，一体式后地板与前地板通过 SPR 实现 Z 向连接；一体式后地板与门槛通过螺栓实现 Y 和 Z 向连接；一体式后地板与后轮罩外板通过 SPR 实现 Y 向连接；一体式后地板与后部铝型材通过螺栓实现 Y 向连接。

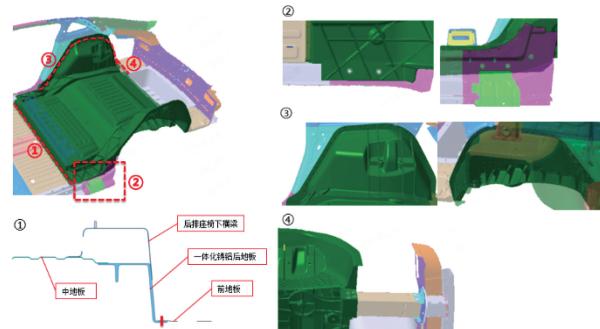


图 12 一体式后地板与车身连接示意图

## 2.7 一体式后地板总成方案

基于上述设计方案，最终形成一体式后地板结构设计方案，一体式后地板相较于原先钣金后地板总成减重效果在  $10\%$  左右，对应结构可以达到前期设计构想要求。基于该版数模，进一步评估工艺成型性及各项一体式后地板需求性能是否可以满足。表 3 为涉及参数信息，图 13 为某车型一体式压铸后地板总成示意图。

表 3 一体式后地板参数

说明	原先方案	一体式方案
结构图		
零件数量	81	3
材料	钢板	铝合金
重量	60.2kg	54kg

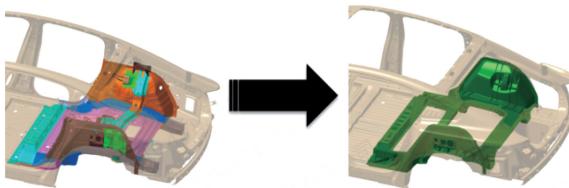


图 13 一体式压铸后地板总成

### 3 一体式后地板性能设计

#### 3.1 总体性能结果

针对一体式后地板性能强关联项，应用同等工况进行仿真，对应仿真结果见表 4，对应仿真结果表明一体式铸件车身整体性能水平高于钢制车身。

表 4 一体式后地板性能仿真结果

序号	性能指标		与钢制车身对比
1	刚度 模态	一阶整体弯曲模态 (Hz)	持平
2		一阶整体扭转模态 (Hz)	持平
3		弯曲刚度 (N·m/°)	提升 17%
4		扭转刚度 (N·m/°)	持平
5	强度	车顶抗压	持平
6		车门强度	持平
7		前排安全带固定点强度	持平
8		后排安全带固定点强度	持平
9		座椅固定点强度	持平
10		儿童座椅固定点强度	持平
12		座椅行李冲击强度	持平
13		拖车钩强度	持平
14		大扭转强度	持平
15		悬架固定点强度	持平
16	碰撞	FRB 正面碰撞	持平
17		MPDB 偏置碰撞	持平
18		后部碰撞	持平
20	N V H	安装点动刚度	优化
21		面刚度	优化
22		NTF	优化
23	耐久	VPG 耐久	持平

#### 3.2 各项性能详细设计

##### 3.2.1 整体刚度模态

如表 5 所示，一体式后地板方案白车身整体弯曲性能提升明显，但整体扭转刚度几乎和原始方案持平，主要是因为一体式后地板方案取消了 C 环以优化连接及简化工艺，而 C 环对于白车身整体扭转刚度至关重要，如图 14 所示。后续可通过连接区域优化及料厚、加强筋调整进一步提升扭转刚度。

表 5 整体弯曲扭转性能

	一体式白车身	原始白车身	优化百分比
整体弯曲/Hz	40.9	40.5	1%
整体扭转/Hz	37.6	38.8	-3%
弯曲刚度/(N/mm)	19608	16194	17%
扭转刚度/(N·m/°)	20997	20370	3%

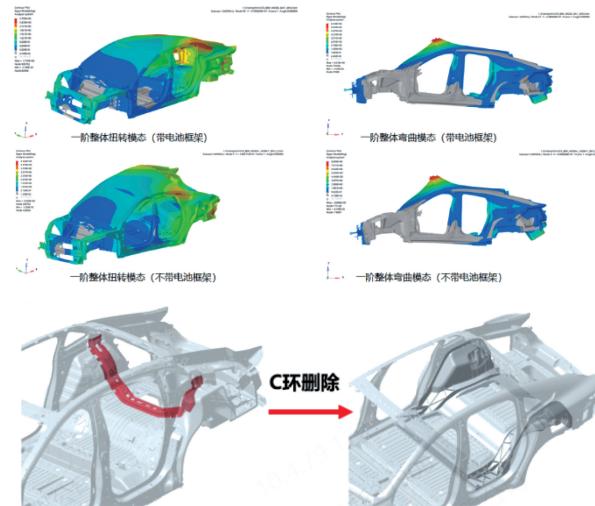


图 14 整体弯曲扭转性能

##### 3.2.2 强度

一体式后地板铸件本体强度极高，与四周连接钣金件强度差异大，造成连接过渡处强度变化急剧，易造成应力集中，如图 15 所示。因此一体式铸造白车身在铸件与环境件连接处强度风险很大，需格外关注，应采取必要措施保证连接处强度不失效。

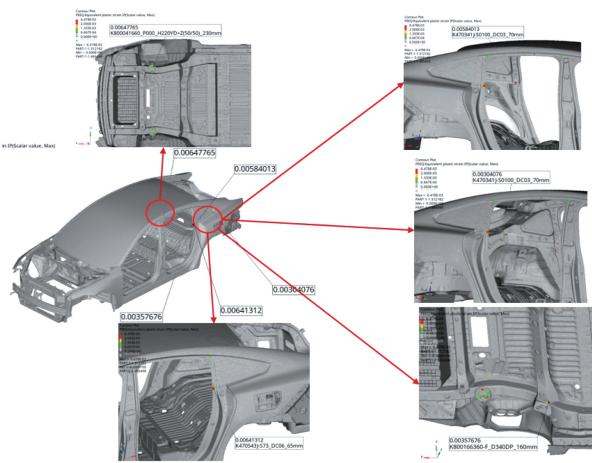


图 15 一体式白车身强度仿真

##### 3.2.3 碰撞设计

一体式后车体优化后整体高速碰撞可达到原始钣金车身五星同等水平，在后部碰撞过程中，后部整体侵入量与基础车方案相当，蓄电池不会从蓄电池框脱出，满足后碰法规要求，如图 16 所示。

而在维修经济性上，如图 17 所示，根据保持一体式后

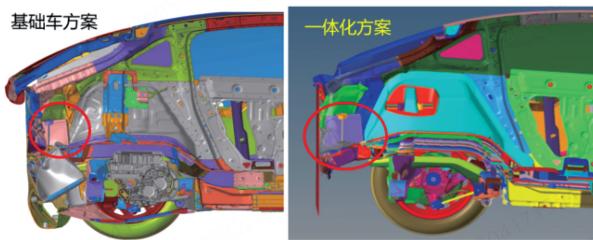


图 16 后碰仿真结果

地板本体不受破坏结构设计前提，后端 RCAR (15km/h 维修经济性) 白车身变形区域主要在后防撞梁、后吸能盒、后侧围，一体式车身最大应变 9%，且发生在纵梁连接点附近个别点，无明显变形，可接受。整体一体式铸件本体无明显变形，其他零件变形与基础车相当。

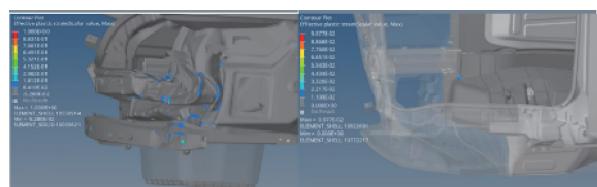


图 17 后碰与维修经济性

### 3.3 轻量化设计

对一体式后地板白车身整体进行敏感性分析及拓扑优化，结合性能需求，进行关键路径识别，对非关键路径进行弱化减重。对应灵敏度仿真结果如图 18 所示。

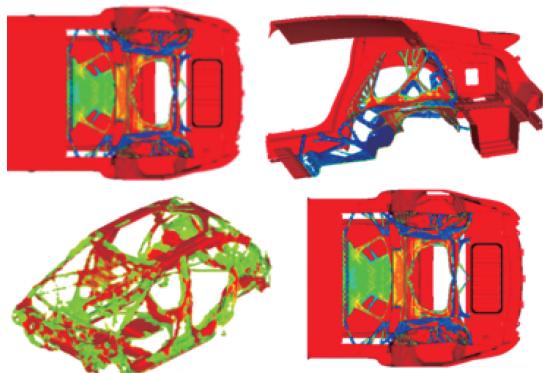


图 18 灵敏度分析及拓扑优化

另外也可采用变料厚设计及镂空设计进一步轻量化。如图 19 所示，在变料厚方面，后拖曳臂、弹簧、减振器等安装点处结构料厚设计为 5~8mm，以满足结构强度要求，但在一般区域如搭接边和加强筋处可减小料厚至 3~5mm。在镂空设计方面，面板类特征一般不集成在一体式后地板上，如果集成会导致面板厚度过厚，整体重量上升。

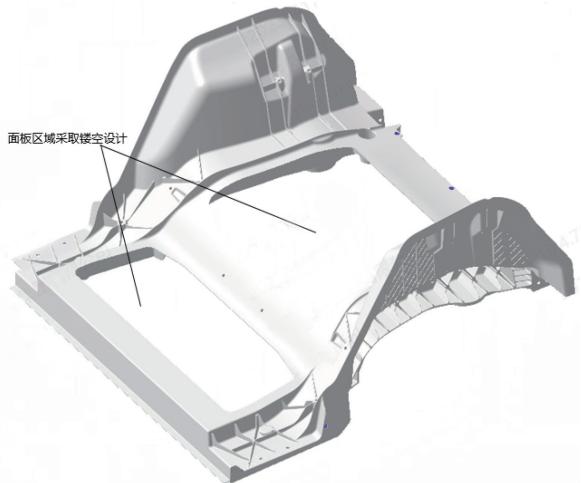


图 19 变料厚及镂空设计

## 4 结论

1) 由于一体式压铸车身应用投资较大，且维修经济性受到大众格外关注，在设计之初，我们就应做好一体式后地板结构细节设计，并注重与环境件的连接和整体性能达成策略，并着重考虑成型因素差异，提高一体式后地板设计的鲁棒性。模块化策略是确保一体式后地板应用效益的保证前提，只有提高一体式后地板的通用性，才能提高应用车型的绝对数量，以平摊固定投资获得绝对收益。

2) 在一体式后地板的结构设计过程中料厚及筋的分布结构是保证整体轻量化目标达成的有效途径，需要进一步研究优化。

## 参 考 文 献

- [1] 冯浩, 熊兆钦. “双碳”背景下新能源汽车产业机遇及发展战略思考 [J]. 决策与信息, 2022 (5): 68-76.
- [2] 张顺, 鲁后国, 阚洪贵. 高真空压铸铝合金车身应用部位推荐研究 [J]. 汽车实用技术, 2021 (1): 161-163.
- [3] 陶永亮, 张明怡, 向科军, 等. 一体化压铸促进铝合金材料创新与发展 [J]. 铸造设备与工艺, 2022 (4): 67-70.
- [4] 陶永亮, 娄梦妮. 新能源汽车销量促进压铸产业及一体化压铸发展 [J]. 铸造设备与工艺, 2022 (2): 52-55.
- [5] 一体化压铸成形工艺与装备列入国家重点研发计划 [J]. 特种铸造及有色合金, 2022 (4): 1-4.
- [6] 欧阳明高. 中国新能源汽车的研发及展望 [J]. 科技导报, 2016, 34 (6): 13-20.
- [7] 赵辉. 新能源汽车车身一体化压铸技术发展分析 [C]// 四川省第十六届汽车行业学术年会论文集. 成都: 四川省汽车工程学会, 2022.
- [8] 吴炳尧, 修毓平. 一体化压铸应稳慎徐图 [J]. 铸造工程, 2022 (6): 1-5.