

基于平台化车身的正面 25% 偏置碰撞和侧面碰撞性能设计

蔺昭辉，柯留洋，范清林，孙晓燕，曾俊，向杰，黄洲
重庆长安汽车股份有限公司

【摘要】本文针对平台化背景下，汽车车身下车体基于平台化演化，可设计空间有限。因此，为了满足整车正面 25% 偏置碰撞与侧面碰撞的安全性能要求，需要对汽车车身其他主要安全骨架进行最优设计。运用 DFSS 方法和 TRIZ 发明工具，通过对汽车车身的 A 柱加强件总成和 B 柱加强件总成的设计优化与验证，采用结构优化、新技术等的应用，达到了项目碰撞安全设计目标，提升了汽车车身轻量化水平，满足汽车电动化、智能化的需求。本文的研究对汽车车身碰撞安全及车身相关新技术新工艺研究具有重要的参考价值和指导意义。

【关键词】平台化，正面 25% 偏置碰撞，侧面碰撞，热成型，高强钢

Design of 25% Frontal Offset Collision and Side Impact Performance Based on Platform Body

Lin Zhaohui, Ke Liuyang, Fan Qinglin, Sun Xiaoyan, Zeng Jun, Xiang Jie, Huang Zhou
Chongqing Changan Automobile Co., Ltd.

Abstract: In this paper, under the platform background, the design space of the car underbody is limited based on the platform. Therefore, in order to meet the safety performance requirements of 25% frontal offset collision and side collision, the other main safety frames of the vehicle body need to be designed optimally. By using DFSS method and TRIZ invention tool, through the design optimization and verification of the A-pillar stiffener assembly and B-pillar stiffener assembly of the automobile body, and the application of structural optimization and new technology, the collision safety design goal of the project has been achieved, the lightweight level of the automobile body has been improved, and the requirements of automobile electrification and intelligence have been met. The research of this paper has important reference value and guiding significance for the research of automobile body collision safety and new technology and process related to automobile body.

Key words: platformization, frontal 25% offset collision, side impact, hot forming, high strength steel

引言

近年来，随着汽车向电动化、智能化方向快速发展，电池和智能化等设备带来了整车重量的大幅度增加，既对车辆的动态性能带来影响，又对汽车车身的碰撞安全性能提出了严峻考验。同时，汽车的平台化设计开发模式、汽车车身的下车身基于平台化规划，可设计空间极其有限。因此，要实现整车的碰撞安全目标，尤其是车身乘员舱的碰撞安全，需要基于所选平台，对汽车上车身进行性能设计开发。在汽车的上车身系统中，A 柱加强件总成系统做为车辆发生正面 25% 偏置碰撞时的重要支撑部件，汽车车身的 B 柱加强件总成系统是决定整车侧面碰撞性能的重要部件，二者对车内乘员安全指数至关重要。

另外，以各 EV、REEV 等为代表的新能源车平台，为了弥补电池等带来的重量增加，很多采用铝合金或者复合材料增强（玻纤增强、碳纤增强等）的平台化下车体设计，以期望尽量降低整车的重量增加。而要提供同等比强度，铝合金的减重优势并不明显。同时，铝合金受限于其强度极限，复合增强材料（玻纤增强、碳纤增强等）受限于其韧性不足，均难以满足碰撞安全这种极限工况下的性能要求^[1-3]。

因此，平台化开发背景下，平台化下车体的门槛梁作为定量无法重新设计，车辆乘员舱的碰撞安全需要重点关注上车身的 A 柱加强件总成和 B 柱加强件总成作为可变量进行设计。

本文以某车型的 A 柱加强件总成系统和 B 柱加强件总成系统的碰撞安全设计为研究对象，通过热冲压钢（Press Hardened Steel, PHS）和先进高强钢（Advanced High Strength Steel, AHSS）材料的有机组合和结构的设计优化，利用试验结合仿真分析的验证方法，完成平台化背景下的车辆乘员舱碰撞安全最优设计，并得到建设性结论^[4-7]。

1 乘员舱重要碰撞安全指标

车辆乘员舱的碰撞安全评价，主要从三维空间的 X、Y、Z 三个方向进行定义。X 方向正面 25% 偏置碰撞作为最严苛的正面碰撞测试，其试验结果往往可以代表整车整体正面碰撞的性能，因此，X 方向正面 25% 偏置碰撞性能将作为重点研究对象之一。Y 方向的 AE-MDB 侧面碰撞性能作为评价侧面安全性能的主要指标，作为重点研究对象之一。Z 方向的顶压等安全指标，在 X 方向和 Y 方向安全指标满足前提下，比较易于达成，不作为本文研究对象。

乘员舱安全框架如图 1 所示，图示中底部的车辆门槛梁

作为平台化设计为定量不可变。前部的 A 柱加强件总成系统和后部的 B 柱加强件总成系统作为设计变量，具有一定的设计自由度，需精确设计以保障整车乘员舱的碰撞安全性能并且减少冗余等过度设计。

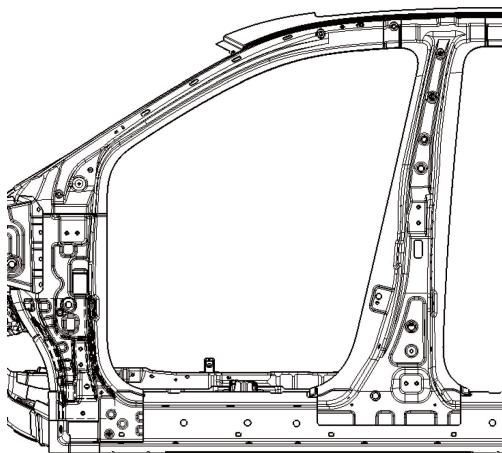


图 1 乘员舱安全框架

根据整车项目的碰撞安全性能指标分解，25% 偏置碰撞乘员舱 A 柱下部侵入量 $\leq 160\text{mm}$ ，乘员舱 A 柱上部侵入量 $\leq 75\text{mm}$ ，侧面碰撞 B 柱侵入量 $\leq 150\text{mm}$ 的碰撞安全目标要求，同时降低整车的重量。

2 识别确定关键功能需求的技术指标

通过收集统计内外部客户对本系统的关键功能需求 (Voice of Customer, VOC)，梳理关键功能需求建立 KANO 模型，如图 2 所示。



图 2 KANO 模型

使用成对比较法，对 VOC 进行分析比较，得到各 VOC 顺序及权重，排序如图 3 所示。

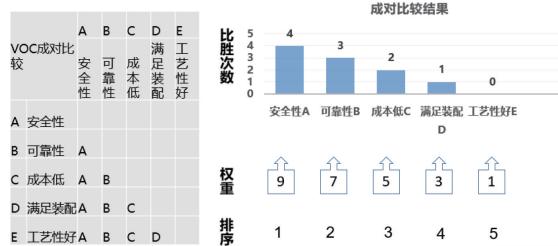


图 3 VOC 优先度

通过质量功能展开 (Quality、Function、Development, QFD) 进行产品定义，识别产品功能需求重要度，将 VOC 转化为设计需求规格，如表 1 所示。

表 1 设计需求规格

产品功能需求 (可测量的指标)						
望大、望小或望目	T	T	+	+	-	
客户需求：客户说了算	重要度	侵入量	布置间隙	耐腐蚀寿命	安装点刚强度	重量轻
安全性 A	9	9	0	1	0	3
可靠性 B	7	3	0	1	0	0
成本低 C	5	0	0	0	0	9
满足装配 D	3	0	3	0	9	0
工艺性好 E	1	0	0	0	0	0
技术指标得分	102	9	16	27	72	
相对重要性 (优先度)	45%	4%	7%	12%	32%	

3 产品设计

产品的设计主要通过对标、历史车型的借鉴、设计人员的思维开拓等手段实现，在方法论上尚欠缺一些工具和方法。本产品的设计引入利用 TRIZ 发明原理，应用“最终理想解 (Ideal Final Result, IFR)”的思路，提升设计效率，形成新的设计方案。

3.1 系统设计边界

通过对系统的边界分析图，确定设计结构边界，如图 4 所示。

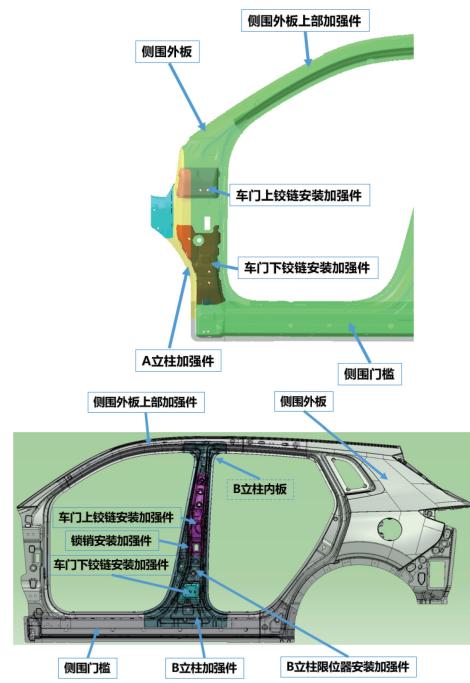


图 4 设计边界

本文中 A/B 柱加强件总成的腔体结构和 A/B 柱内板，依据上车身模块化架构方案，作为设计定量设计自由度受限，因此不在此进行研究。

3.2 系统功能分析

使用系统功能分析技术 (Functional Analysis System Technique, FAST)，将产品结构转换为具体功能需求，得到了 A/B 柱加强件总成开发所需的关键系统功能，如图 5 所示。

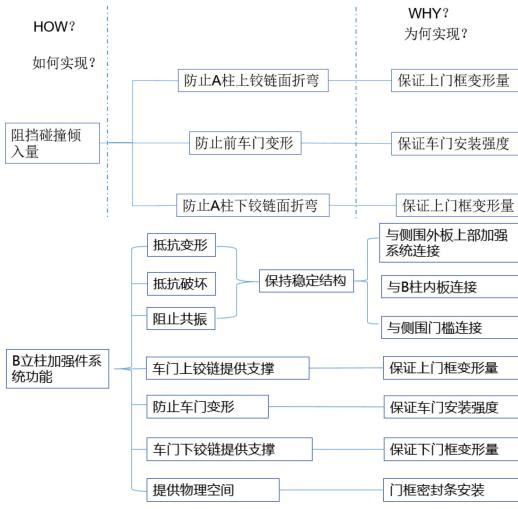


图 5 系统功能

3.3 系统结构设计

通过建立系统功能分析图，找出产品需求与系统功能及零部件关键参数之间的关系，确定零部件关键参数，如图6所示。

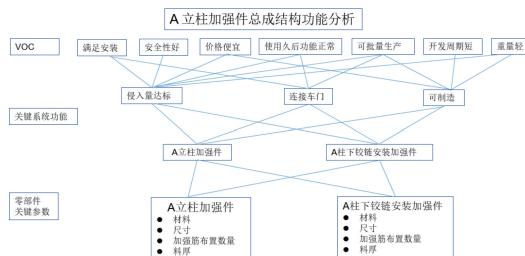


图 6 系统功能分析

3.4 概念设计

应用“最终理想解（Ideal Final Result, IFR）”的思路，形成设计概念。

- 1) 设计的最终目的：侵入量达标，重量轻。
 - 2) 理想的结果：不需要加强件即可侵入量达标。
 - 3) 障碍：加强件系统焊接结构复杂，零件多。

4) 出现障碍的后果：增加工装数量、增加成本，增加重量，工艺复杂。

5) 如何使障碍消失: 使用新技术方案实现功能、性能。

6) 什么资源可以使用? 将新技术应用于产品设计, 达成设计目的。

利用 TRIZ 发明原理，优化系统设计方案，如表 2 所示。

表 2 TRIZ 优化

发明原理	发明原理内容解释	本项目可采用的方案
5 组合、合并	合并空间上同类物体	合并 B 柱加强系统零件，减少零件数量
6 多用性原理	一个物体能实现多种功能，因此可以去掉其他部件	B 柱加强件实现加强和安装功能，一件两用，去掉加强板
1 分割原理	a 使物体分割成独立的部分 b 使物体成为可组合的部件	B 柱加强件系统以预焊补丁板技术进行组合

得到概念设计方案，如图 7 所示。

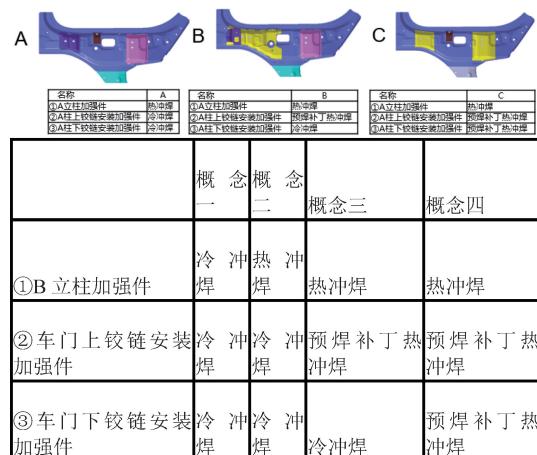


图 7 概念设计方案

3.5 使用 Pugh 矩阵进行概念方案决策

通过 Pugh 矩阵决策，确定最佳设计方案，如图 8 所示。

概念选择标准(VOC)	基准的权重	基准概念	概念		
			A	B	C
安全性高	9	0	-1	1	-1
价格便宜	8	0	0	0	1
使用后功能恢复正常	7	0	0	0	0
满足安装要求	4	0	0	0	0
可批量生产	4	0	0	0	0
开发周期短	1	0	0	0	1
重量轻	3	0	0	-1	1
比值次数:	-	0	1	2	1
优胜劣汰+:	-	0	0	1	3
相当次优0	-	0	6	5	3
相对优势分数	-	0	0	9	12
相对劣势分数	-	0	8	3	9
总分数	-	0	-8	6	3
概念选择标准(VOC)	基准的权重	基准概念	概念		
			概念一	概念二	概念三
安全性A	9	0	+	+	+
可靠性B	7	0	S	S	S
成本低C	5	0	-	-	+
满足装配D	3	0	S	S	S
工艺性E	1	0	S	+	S
比值次数:	-	0	1	1	0
优胜劣汰+:	-	0	1	2	2
相当次优0	-	0	3	2	3
相对优势分数	-	0	9	10	14
相对劣势分数	-	0	5	5	0
总分	-	0	4	5	14

图 8 最佳设计方案

(续)

3.6 设计方案的关键设计参数

将产品关键功能指标与产品技术参数通过质量功能展开(QFD)，确定关键产品设计技术参数，如表3所示。A柱加强件本体根据平台化车型已定方案，采用厚度1.4mm的1500HS热冲压钢，B柱加强件本体采用1500HS热冲压钢，厚度和结构全新设计。A/B柱上下铰链加强件作为关键因子进行全新设计。

表3 确定关键产品设计技术参数

设计内容	参数	备注
A柱下铰链安装加强件材料	280/440VK	铰链安装加强件材料目前主要有两种：340/590DP、280/440VK
A柱下铰链安装加强件尺寸(长度)	330	加强件尺寸(长度)：330mm~360mm
A柱下铰链安装加强件料厚	1.6	铰链安装加强件料厚规格：1.6mm、1.8mm、2.0mm

关键零件	关键设计参数	说明
B柱加强件	材料牌号，确定使用1500HS	根据材料通用化及概念筛选结果，现有长安热成型件全部选用1500HS
	厚度	需计算最佳厚度

表4 确定各因子设计参数

设计方案	a1: A柱下铰链安装加强件材料	a2: A柱下铰链安装加强件尺寸(长度)	a3: A柱下铰链安装加强件料厚	b1: B立柱厚度	b2: 上铰链安装加强件厚度	b3: 上铰链安装加强件结构	备注
响应优化结果	340/590DP	330mm	1.7533mm	1.250mm	1.2128mm	450mm	
确定设计参数	340/590DP	330mm	1.8mm	1.2mm	1.2mm	450mm	根据常用规格，确定使用1.2mm

3.8 制造工艺设计分析

设计钢板坯料的厚度公差，满足过程能力的要求。CAE仿真分析主要零部件的成型性，如图9所示，热冲压成型材料减薄率满足要求。

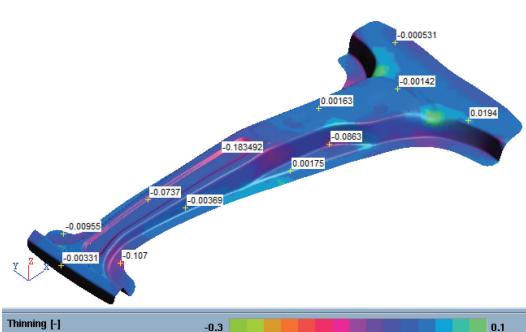


图9 仿真分析

4 碰撞仿真分析验证

根据确定的关键设计参数，进行零部件和系统详细结构设计，建立车身有限元数据碰撞模型，进行碰撞仿真模拟。重点考察A柱区域的侵入量和B柱区域的侵入速度和侵入量指标。

A柱区域变形模式如图10所示，整体结构保持完整，无脆断等结构破坏。

A柱区域侵入量如表5所示，满足设计目标。

表5 A柱区域侵入量

指标	设计目标	CAE仿真结果
乘员舱下部侵入量	≤160mm	159mm
乘员舱上部侵入量	≤75mm	73.5mm

B柱区域变形模式如图11所示，整体结构保持完整，无脆断等结构破坏。

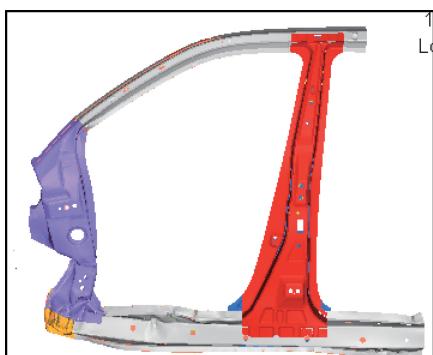


图 10 A 柱区域变形模式

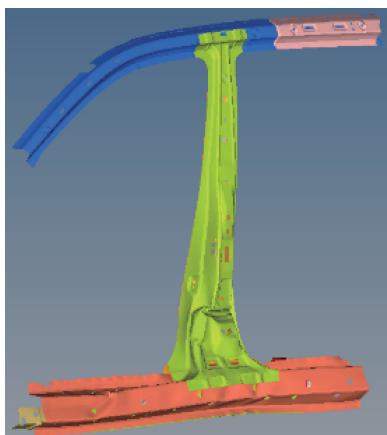


图 11 B 柱区域变形模式

B 柱区域上部侵入速度如图 12 所示，平均侵入速度为 6.3m/s 左右，B 柱整体侵入减小，满足设计目标。

B 柱区域下部侵入速度如图 13 所示，平均侵入速度为 7m/s 左右，B 柱整体侵入减小，满足设计目标。

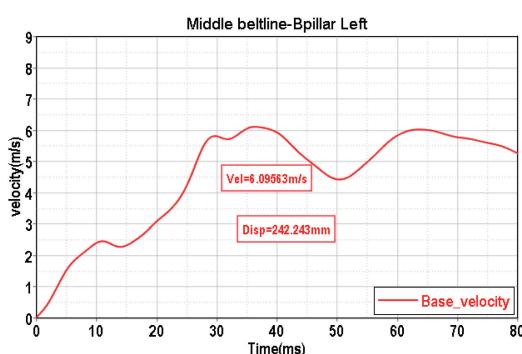


图 12 B 柱区域上部侵入速度

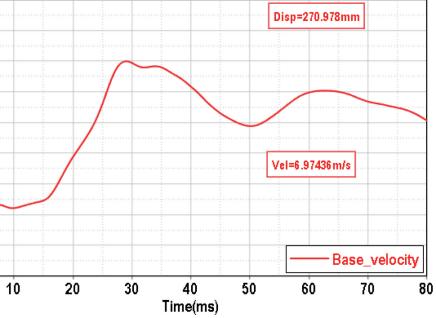
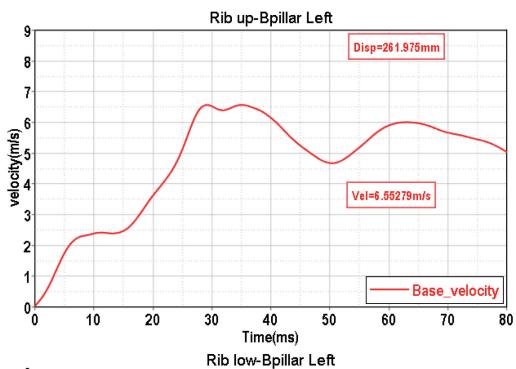


图 12 B 柱区域上部侵入速度（续）

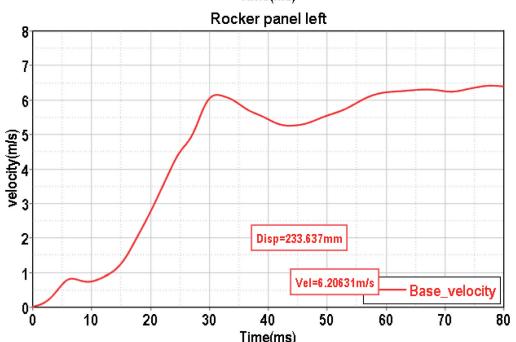
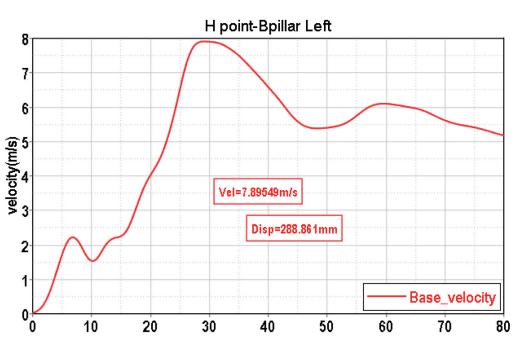
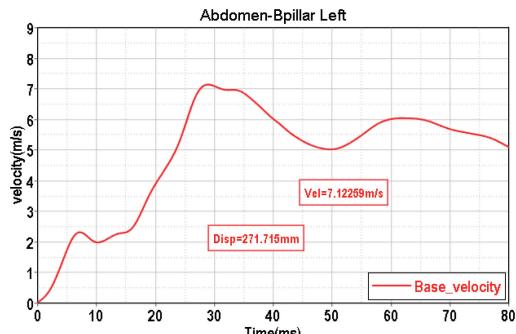


图 13 B 柱区域下部侵入速度

B 柱区域上部侵入量如图 14 所示，上部侵入量较小，满足设计目标。

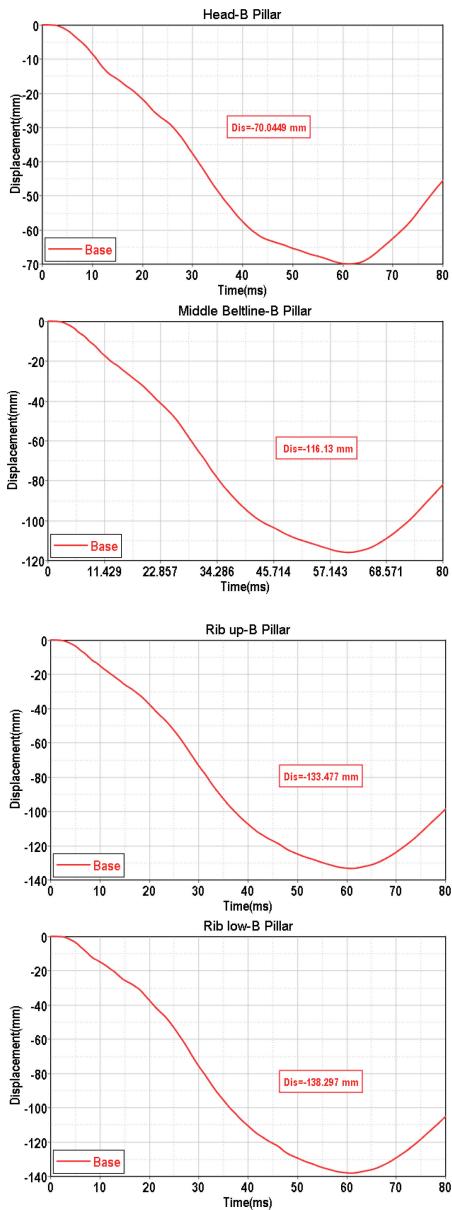


图 14 B 柱区域上部侵入量

B 柱区域下部侵入量如图 15 所示，下部最大侵入量 142.804mm，小于 150mm，满足设计目标。

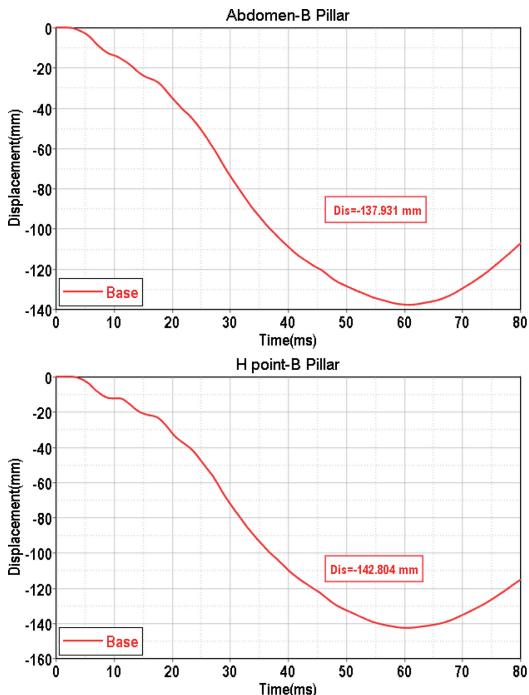


图 15 B 柱区域下部侵入量

5 结论

1) 对于平台化的下车身，采用 TRIZ 发明原理等工具方法，实现了满足车身 25% 正面偏置碰撞和侧面碰撞安全性能指标的 A 柱加强件总成和 B 柱加强件总成的精确设计。实践证明，通过此设计方法，可以提高设计开发效率。

2) 通过对复杂系统的关键技术参数进行重点设计，可以优化设计的复杂性，同时保证了系统整体目标水平的达成。

3) 超高强度钢、热冲压钢的综合力学性能特性，在碰撞安全等方面具有其他材料不可替代的作用。

4) 热冲压和冷冲压不同强度和延伸率材料零件的有机组合，有利于碰撞后结构的完整。

参 考 文 献

- [1] OBRADOVIC J, BORIA S, BELINGARDI G. Lightweight design and crash analysis of composite frontal impact energy absorbing structures [J]. Composite Structure, 2012, 94 (2): 423-430.
- [2] 唐洪斌, 张君媛, 刘国军. 正面碰撞等级预估方法 [J]. 汽车工程, 2022 (3): 3-4.
- [3] 崔营营, 衣本钢, 田洪生, 等. 基于 25% 小偏置碰撞的车身结构研究 [J]. 汽车技术, 2021 (9): 2.
- [4] AKSEL L, EFENDIOGLU S, YENI H, et al. Weight reduction study on BIW by using boron alloyed hot stamping solution of front frame rail instead conventional HSS or AHSS applications [J]. International Journal of Automotive Engineering and Technologies, 2016, 7 (1): 4-6.
- [5] 李炎粉, 崔丽华, 刘义付, 等. 考虑侧面碰撞分析电动车身 B 柱轻量化设计 [J]. 机械设计与制造, 2023 (1): 2-3.
- [6] 谢晖, 周诗琦, 王品健, 等. 基于侧碰工况的某电动汽车 B 柱多目标变截面优化设计 [J]. 塑性工程学报, 2020 (11): 3-5.
- [7] 娄臻亮, 曹广军, 谢旭海, 等. 基于 ADAMS 的车身碰撞简化模型研究 [J]. 汽车技术, 2021 (6): 2-3.