

TRIZ 创新方法在解决 B 立柱系统中保研问题中的应用

曾俊，范清林，向杰，柯留洋，王建洪，孙晓燕，赖登烈，蔺昭辉，唐大欢
重庆长安汽车股份有限公司

【摘要】本文通过 TRIZ 方法的运用，采用功能建模、因果链分析、物理矛盾、基于工艺过程的功能分析、剪裁、物场模型、DOE，创新出系列结构及工艺突破，解决性能与造型、重量成本、工艺的矛盾，实现中保研 G 的达成，并实现单车减重降本，扭转传统方案用成本重量换取性能的局面，采用新工具方法解决问题具有指导意义。

【关键词】TRIZ，功能分析，因果链，物理矛盾，剪裁，物场模型，DOE，中保研

Application of TRIZ Innovation Method in Solving the Problem of CICR in B Pillar System

Zeng Jun, Fan Qinglin, Xiang Jie, Ke Liuyang, Wang Jianhong, Sun Xiaoyan, Lai Denglie,
Lin Zhaohui, Tang Dahuan
Chongqing Changan Automobile Co., Ltd.

Abstract: In this paper, through the application of TRIZ method, using functional analysis modeling, causal chain analysis, physical contradiction, functional analysis based on process, tailoring, material field model, DOE, to create a series of innovative structure and process breakthrough, solve the contradiction between performance and modeling, weight cost, process, to achieve the achievement of CICR's G level, and achieve weight and cost reduction on the car. It is instructive to change the situation that the traditional scheme trades cost weight for performance and adopt the new tool method to solve the problem.

Abstract: TRIZ, functional analysis, causal chain, physical contradiction, tailoring, material field model, DOE, CICR

引言

随着国家低碳减排政策的推行，对汽车轻量化设计要求越来越高，对零部件的精益设计要求越来越高，比如 B 立柱加强件系统，该区域还要承担抵抗侧面碰撞和顶压的要求，见图 1 和图 2，但传统方法的轻量化方法会导致性能的降低、成本的增加、工艺问题的产生。

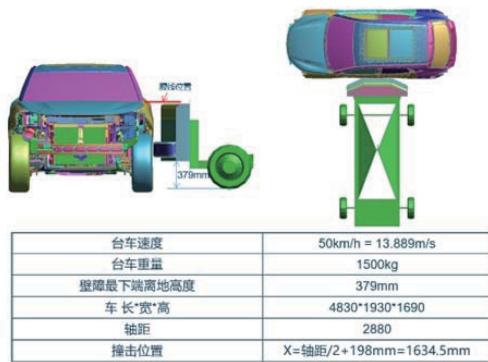


图 1 侧面碰撞示意图

针对以上问题，引入了发明问题解决理论，采用创新思路解决问题，即 TRIZ 工具。本文通过 TRIZ 工具方法的运用，采用客户需求识别，功能建模、因果链分析、物理矛盾、基于工艺过程的功能分析、剪裁、物场模型等创新出系列结构及工艺突破，解决性能与造型、重量成本、工艺的矛盾，实现中保研侧面碰撞及顶压碰撞 G 的达成，并实现单车减重，工艺过程降本，扭转传统方案用成本重量换取性能的局面。

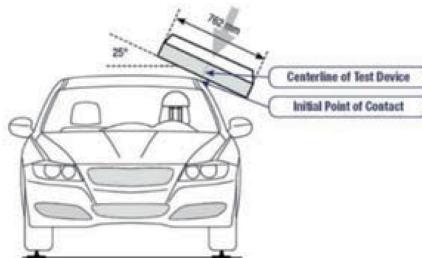


图 2 顶压示意图

1 目标识别

1.1 识别客户需求

收集内部客户及外部客户需求，找到设计出发点。客户需求为：碰撞性能好、重量轻、成本低、工艺问题少、造型无影响，见图 3。



图 3 客户需求

1.2 需求转化

将客户需求转化为设计要求，见表 1，碰撞性能好转化

为侧面碰撞及顶压要求，其余是重量和成本的设计要求，工艺问题作为设计限制项进行设计。

表 1 客户需求转化

		产品功能需求 (可测量的指标)				
望大、望小或望目		T	-	-	-	-
客户需求：客户说了算	重要度	侧碰	顶压	总布置不变	重量	成本
碰撞性能好 A	9	9	9	0	0	0
造型无影响 B	4	3	1	9	1	1
工艺问题少 C	4	3	3	1	1	1
成本低 D	3	1	1	1	9	9
重量轻 E	3	1	1	1	9	9
技术指标得分		111	103	46	62	62
相对重要性 (优先度)		28.91%	26.82%	11.98%	16.15%	16.15%

得到关键设计项为：顶压 G、侧碰 G、重量、成本要求，见表 2。

1.3 目标设定

将收集的客户需求转化为可测量的设计指标，顶压要求为重量载荷比 SWR 大于 4；侧面碰撞的要求为侵入速度：对应肋骨、腹部区域的平均侵入速度 $\leq 8.5 \text{mm/ms}$ @ 20~60ms，见表 3。

表 2 关键设计要素

关键设计要求	
1	顶压 G
2	侧碰 G
3	重量
4	成本

表 3 目标制定

序号	功能	技术指标 (可测量指标)	编号	备注
1	顶压 G	载荷质量比: $\text{SWR} \geq 4.00$	Y1	关键功能需求，项目目标
2	侧碰 G	侵入量: B 柱对应腹部及肋骨区位移动态最大值 $\leq 300 \text{mm}$ 侵入速度: 对应肋骨、腹部区域的平均侵入速度 $\leq 8.5 \text{mm/ms}$ @ 20~60ms	Y2	目前侵入量达成无风险，仅作为验证项，本项目对侵入速度进行研究
3	成本	新增成本 ≤ 0 元	Y3	根据新设计方案分析验证
4	总布置不变	总布置零件不新增设变	Y4	根据新设计方案分析验证
5	重量	重量减少 $\geq 0.5 \text{kg}$	Y5	根据新设计方案分析验证

2 开发

2.1 B 立柱系统边界 (识别出系统边界条件)

B 立柱系统需要满足碰撞性能及约束附件的功能，B 立柱系统内部与内饰板、安全气帘、卷收器、安全带总成匹配，外部与侧围外板和车门总成匹配，见图 4，因约束附件的功能作为限制条件进行输入，故后续围绕碰撞性能展开研究。

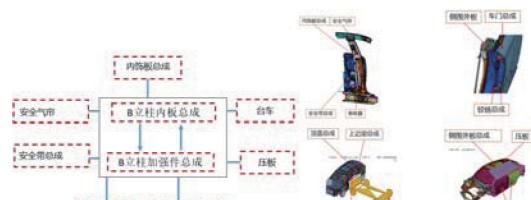


图 4 系统边界

2.2 系统功能分析及建模

针对碰撞性能的功能分析，明确各组件功能及性能水

平，对系统进行组件及并相互作用分析并建模，识别该区域的功能关系，见图 5。

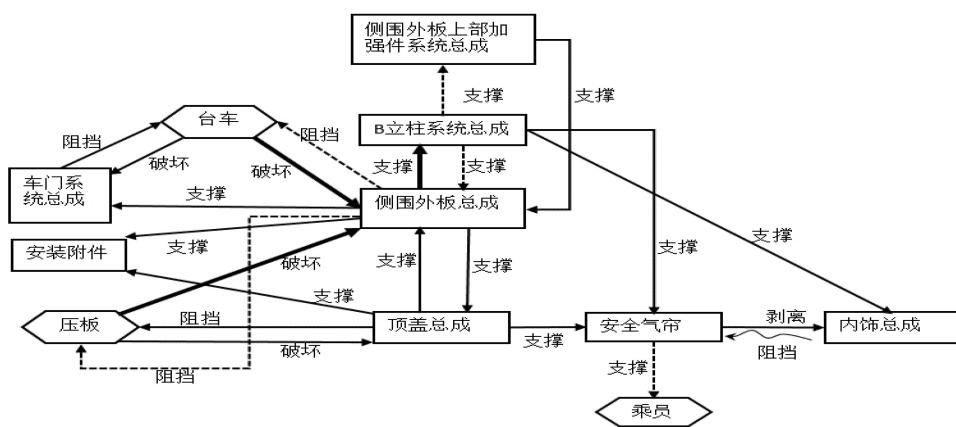


图 5 功能模型

2.3 功能建模

通过功能分析，系统存在三个优化方向：过量功能与不

足功能均追溯到 B 立柱系统支撑功能不足，导致碰撞性能不达标；有害功能追溯到内饰与气帘功能，见表 4。

表 4 模型问题

功能类型	组件	传送路径	是否优化	备注
过量功帽	台车对侧国外板总成功相	白车/压板创国外板总成-8 立柱系统	是	需因吴特进一步分析 立柱系统克津能力
不足功相	8 立柱系统对侧国外板总成支撑功能	8 立柱系统侧国外板总成一台车/压板		
有喜功帽	内饰阳招气帝功相	内饰总成气夺-要员	是	进一步物场模型分析

2.4 因果链分析

初始问题见图 6，采用因果链分析，将“碰撞性能不达标”设定为项目初始缺点，见图 7。

分析可能的解决方案是 B 柱增加腔体、增加料厚、提升牌号，见表 5，但同时带来造型、重量及工艺问题，后续逐一围绕这些问题进行解决。

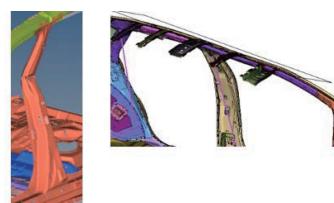


图 6 初始问题

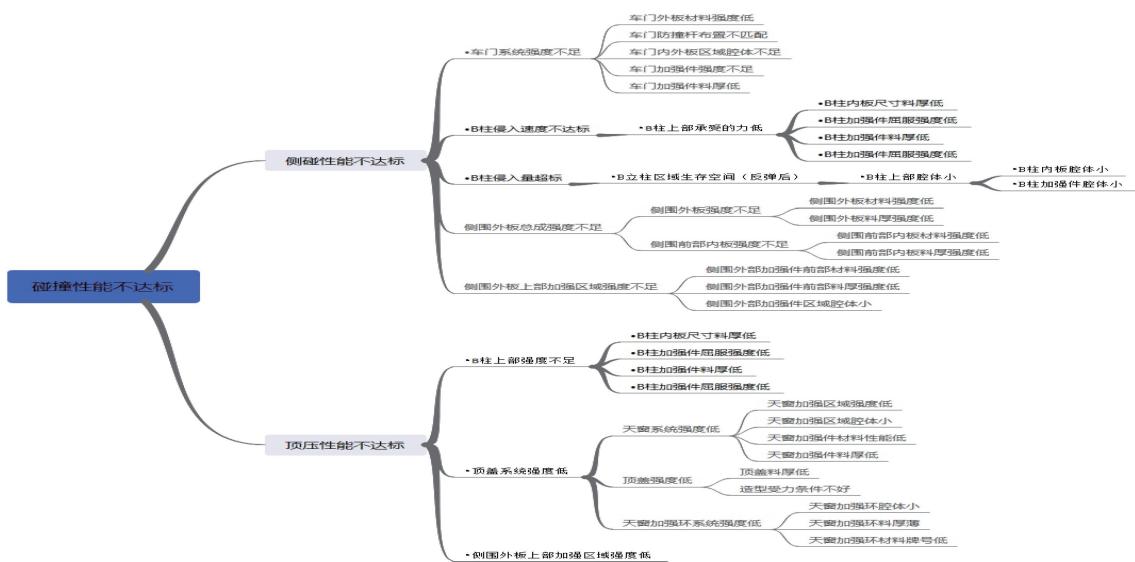


图 7 因果链分析

表 5 缺点分析

方案	关键缺点	关键问题	可能解决的方案	备注
1	B 柱上部腔体小	因为腔体小，所以变形大	增大 B 柱上部腔体	与造型存在矛盾
2	B 柱加强件厚度低	料厚低导致抗变形能力弱	增加料厚	与重量存在矛盾
3	B 柱内板料厚低	料厚低导致抗变形能力弱	增加料厚	成本、重量需要考虑
4	B 柱内板强度低	强度低导致抗变形能力弱	提升牌号	成本需要考虑
5	B 柱加强件强度低	强度低导致抗变形能力弱	增加零件+提升牌号	详细分析工艺过程

2.5 物理矛盾-造型矛盾解决

通过采用解决物理矛盾步骤方法，从专业分析及对应发明原理，生成对应方案。

步骤 1：描述关键问题。如果单纯增加腔体，又会带了新的问题：造型型面不适应造型。

步骤 2：写出物理矛盾。B 柱区域需要增加腔体，因为可以提升强度；但是，B 柱区域不需要增加腔体，因为会影响造型。

步骤 3：加入导向关键词（将物理矛盾进一步明确化）来描述物理矛盾。B 柱区域密封条以内位置，B 柱区域需要增加腔体，因为可以提升强度；但是 B 柱区域密封条以外位置，B 柱区域不需要增加腔体，因为会影响造型。

步骤 4：确定所使用的分离原理。该物理矛盾适用于空间分离。

步骤 5：选择对应的发明原理，见表 6, 7 号嵌套，2 号抽取，3 号局部质量。

表 6 发明原理

序号	发明原理
7	嵌套
2	抽取
3	局部质量

步骤 6：通用解转化为领域解。结合本项目实际情况，可以使用的发明原理及领域解为 3 号局部质量，见表 7，使组成物体的每一部分都最大限度地发挥作用。

表 7 发明原理解

原理	发明原理详解
3 局部质量	使组成物体的每一部分都最大限度地发挥作用

步骤 7：解决方案。通过原理生成概念方案，并对其进行筛选。

1) 受力分析：对碰撞变形趋势、受力需求进行分析。

① 窗台线以上区域：碰撞强度要求抵抗变形，而造型及布置边界导致上部 B 立柱加强件区域的腔体限制，加强件区域的腔体却是弱化的。

② 锁销及以下区域：碰撞要求为变形折弯区域，才能满足整体的变形需求；而 B 立柱下部加强件区域的腔体大，对变形不利，见表 8。

2) 解决方案：根据发明原理产生的方案是窗台线以上加强。

表 8 方案可行性

原理	概念方案	是否可行
3 局部质量	上部增加零件	待分析
	上部加强件增大腔体	不可行
	上部内板增加腔体	待分析（考虑碰撞侧面边界及高调器安装的前提下）

通过以上原理，生成方案：方案一见表 9；方案二见表 10。

表 9 方案一

方案一	方案编号	可生成的实施方案
上部增加零件	A	内板区域增加零件
	B	加强件区域增加零件
	C	内板及加强件区域均增加零件

表 10 方案二

方案二	方案编号	可生成的实施方案	是否可行
上部内板增加腔体	A	内板整体增加腔体	不可行
	B	内板区域增加单槽结构	可行
	C	内板区域增加双槽结构	可行

再在客户需求维度进行对比，最后选择方案一的 A 方案及方案二的 C 方案。

2.6 系统功能分析-工艺过程设计

针对工艺制造过程的功能分析：用于识别和区分过程中各操作的功能及问题，见图 8。



图 8 工艺过程建模

通过功能建模及功能分析，系统存在的优化方向为两条路径，即焊枪加热和模具成型环节，见表 11。

表 11 优化方向

功能类型	组件	传递路径
有害功能	焊枪加热	焊枪-B 柱加强板/B 柱上加强板/B 柱上铰链加强件

(续)

功能类型	组件	传递路径
不足功能	模具成型、夹具固定、B 柱加强板的固定	模具-零件，夹具-零件，零件-零件

通过采用“包含生产功能操作”的剪裁规则：被分析功能转移到前置或后置的操作中，此操作可以剪裁系统不足及有害功能。故生成方案为：将焊接加热及固定功能前置，再进行冲压成型功能，即将原先冲压再焊接的工艺进行了先焊接后成型的工艺突破，见图 9。



图 9 功能建模优化

2.7 物场分析

应用物场模型，解决台车撞击侧围系统、气帘弹开、内饰阻挡气帘的有害功能的问题，见图 10。



图 10 气帘问题

解题步骤如下：

物场模型类型确认，由系统可知构成物场模型的元素齐全，内饰 (S1)、气帘 (S2) 相互作用形成的机械场 (F1)，气帘 (S2)、乘员 (S3) 相互作用形成机械场 (F2) 模型见图 11；内饰 (S1) 通过机械场 (F2) 破坏气帘 (S2) 功能有害，导致气帘对乘员的支撑功能不足，该种类型属于有害的物场模型；两物场模型叠加属于链式物场模型。

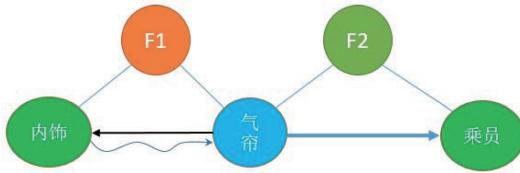


图 11 原始物场模型

参考物场模型的标准解，有害（过量）物场模型的标准解之一：在给定的两种物质之间引入第三种物质，经团队讨论引入物质导向结构 (S4)，即在内饰与气帘之间增加一个导向板作为气帘膨胀时的导向，防止气帘膨胀方向随机，从而定向支撑了头部，消除了有害功能，见图 12。

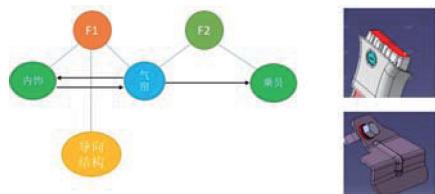


图 12 优化后物场模型

2.8 方案评价

通过问题模型的分析总结，汇总出五项可行方案，见表 12。

表 12 方案汇总

序号	问题模型	工具	概念方案名称	图片	是否可行	涉及零件
1	物理矛盾	矛盾矩阵+发明原理	方案一：上部内板增加结构补偿		可行	B 柱内板、B 柱内板上部加强板
2			方案二：加强件区域增加双槽结构		可行	B 柱内板
3		矛盾矩阵+发明原理	方案三：采用两种材料的激光拼焊的组合方案（单独绿带研究）		可行	B 柱内板
4	功能分析	剪裁	方案四：冲压工序落料为平板件时将焊接加热及固定功能前置		可行	B 柱上部加强件、B 柱下部铰链加强件、B 柱上部铰链加强件、B 柱加强件

(续)

序号	问题模型	工具	概念方案名称	图片	是否可行	涉及零件
5	物场模型	有害(不足)物场	方案五：增加导向结构		可行	

2.9 参数设计 (DOE)

通过质量功能展开，建立产品关键功能指标与产品技术

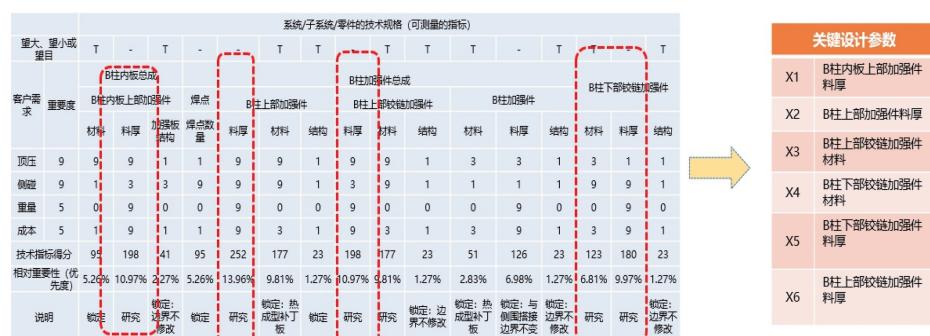


图 13 关键参数

试验因子>5个，按田口试验设计方法，制定试验计划，见图 14。



图 14 田口试验通

过分析田口设计结果的均值及信噪比，找到对性能和重量成本影响最大的因子为：X1、X2、X6，见图 15。

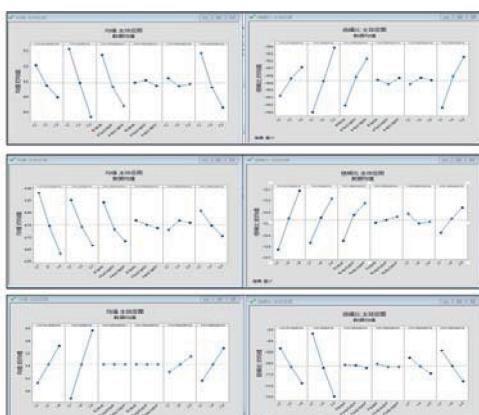


图 15 田口分析

2.10 DOE 试验（全因子试验）

根据试验结果进行因子分析，见图 16，从而得到侧面碰撞最终回归方程，见图 17，以及顶压的回归方程，见图 18、图 19。

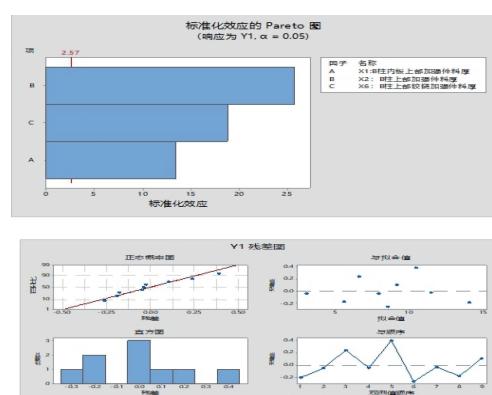


图 16 侧碰回归分析

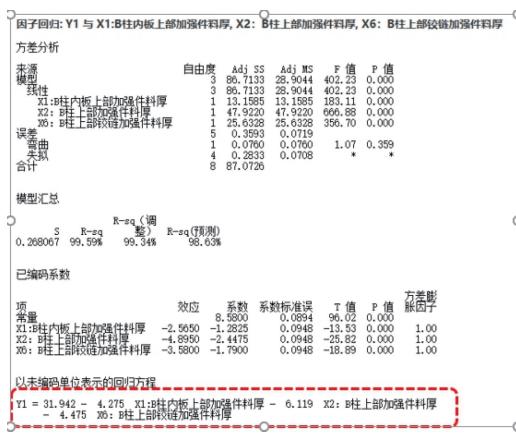


图 17 侧碰回归方程

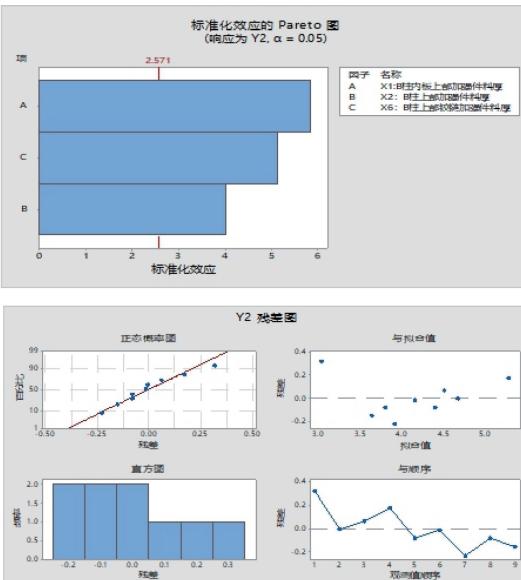


图 18 顶压回归分析

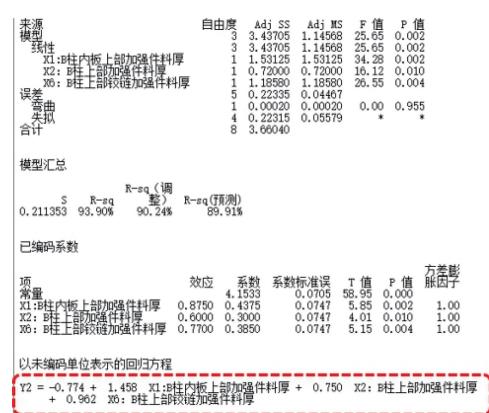


图 19 顶压回归方程

2.11 优化

运用 Minitab 响应优化器进行优化，从 Y1、Y2、Y3 的效应图来看，无论 X1、X2 还是 X3 高水平对应的性能必然最优，但也意味着重量成本的增加。故本次采用性能望目、

重量最小化方式，带入响应优化器进行计算，见图 20，反求得出设计参数最优解。

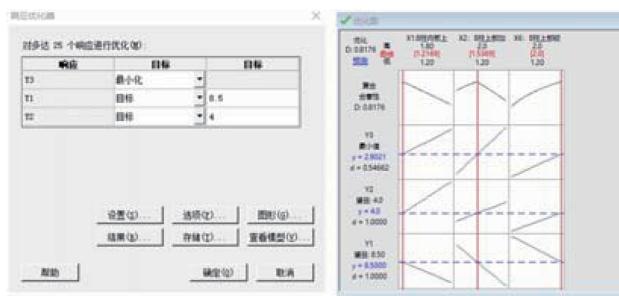


图 20 响应优化

基于响应优化结果，确定优化后的设计参数，并基于规格选择，B 柱内板上部加强件料厚选择 1.4mm（规格限制），B 柱上部加强件料厚选择 1.6mm（取整），B 柱上部铰链加强件料厚直接选择 2.0mm，见表 13。

表 13 优化参数结果

设计参数	最优水平	取整优化后	编号
B 柱内板上部加强件料厚	1.2169	1.4 (规格限制)	X1
B 柱上部加强件料厚	1.5369	1.6 (取整)	X2
B 柱上部铰链加强件料厚	2.0	2.0	X6

2.12 验证

(1) 性能验证

按照优化阶段的因子选择，通过碰撞对结果进行验证：仿真值与目标值满足目标值安全系数 3%，项目组评估模型预测的优化结果可靠，见图 21。

图 21 性能验算

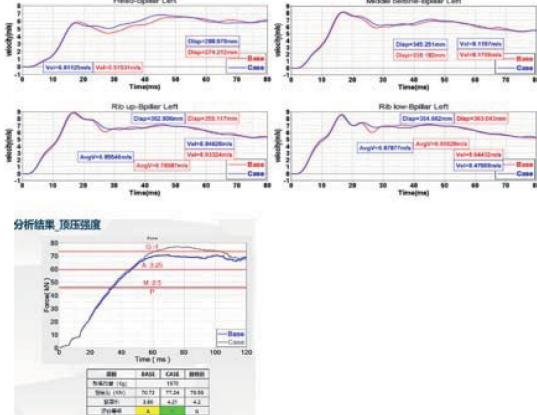


图 21 性能验算

(2) 重量验证

对优化后减重重量校核：

$$1.074 \times 2 + 0.580 \times 2 = 3.308 \text{kg}$$

(3) 公差验证

材料与结构不变，对钣金厚度公差、变薄率进行考虑，通

过蒙特卡洛分析, 得到 $PPK > 1.67$ (安全件要求), 见图 22, 过

程能力满足要求。



图 22 蒙特卡洛分析

(4) 实物验证

对比分析与试验, 中保研侧碰及顶压均达到预期结果, 均满足中保研 G 要求, 试验结果见图 23、图 24。



图 23 中保研侧面碰撞达标



图 24 中保研顶压碰撞达标

2.13 目标回顾

按照优化阶段的因子选择, 对设计目标进行验证, 项目的各设计目标均达成, 见表 14。

表 14 目标回归

序号	功能	技术指标 (可测量指标)	编号	结果
1	顶压 G	载荷质量比: $SWR \geq 4.00$	Y1	4.21
2	侧碰 G	侵入量: B 柱对应腹部及肋骨区位移动态最大值 $\leq 300\text{mm}$ 。 侵入速度: 对应肋骨、腹部区域的平均侵入速度 $\leq 8.5\text{mm/ms}$	Y2	侵入量: 210mm 侵入速度 8.172mm/ms
3	成本	新增成本 ≤ 0 元	Y3	原价核算满足要求
4	总布置不变	总布置零件不新增设变	Y4	总布置零件未设变
5	重量	重减少 $\geq 0.5\text{kg}$	Y5	3.308kg, 满足要求

3 结论

1) 从需求分析到最后方案产生, 每个环节均采用工具呈现, 系统问题识别采用功能分析, 功能建模, 问题分析采用因果链, 项目中的矛盾采用物理矛盾解决, 概念方案锁定完成后再通过 DOE 对参数进行精益设计。

位置和结构, 解决性能问题的同时降低重量。

3) 通过基于工艺过程的功能分析, 实现了工艺突破, 创新出先焊接再冲压工艺方案, 解决工艺瓶颈。

4) 通过 DOE 和响应优化器实现参数级的精益设计, 找到最佳参数匹配, 实现减重 3.308kg, 并实现中保研侧碰、顶压均为 G。

参 考 文 献

- [1] 李梅芳. TRIZ 创新思维与方法、理论及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.
- [2] 徐起贺. TRIZ 创新理论实用指南 [M]. 北京: 北理工大学出版社, 2011.
- [3] 潘承怡. TRIZ 实战 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [4] 黄天泽. 汽车车身结构与设计 [M]. 北京: 机械工业

- 出版社, 2011.
- [5] 杨清亮. 发明是这样诞生的: TRIZ 理论全接触 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [6] 熊伟. 质量机能展开 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [7] 杨清亮. 发明是这样诞生的: TRIZ 理论全接触 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [8] 杨朝盛. 测量系统分析、参考手册 [M]. 4 版. 北京: 机械工业出版社, 2020.