# 适应新版标准的某客车双人座椅性能仿真与优化

罗 森[1]，何 洁[2]，孙西亮[2]
（1. 上海闵行职业技术学院，上海 201111；2. 上汽大通汽车有限公司，上海 200483）

**摘 要**：为使某 $M_2$ 客车座椅安全性能达到 GB 13057—2023 的要求，建立座椅仿真模型和设计变量矩阵，研究多排共用双人座椅强度及伤害性能与座椅设计变量之间的关系。结果表明，优化方案满足新版标准的要求，提升了客车的安全性能。

**关键词**：GB 13057—2023；双人座椅；强度；伤害；安全性设计
**中图分类号**：U469.1；U463.83⁺6 **文献标志码**：A **DOI**：10.15917/j.cnki.1006-3331.2025.02.009

## Performance Simulation and Optimization for a Coach Double-seat in Adapted to New Version Standard

LUO Miao[1], HE Jie[2], SUN Xiliang[2]
(1. Shanghai Minhang Polytechnic, Shanghai 201111, China;
2. SAIC MAXUS Automotive Co., Ltd., Shanghai 200483, China)

**Abstract**: To achieve the safety performance of the $M_2$ coach seat to meet the requirements of GB 13057—2023, this paper establishes a seat simulation model and the design variable matrix to investigate the relationship between the multi-row shared double-seat strength and injury performance with the seat design variables. The results show that the optimized scheme meets the requirements of the new version standard and improves the coach's safety performance.

**Key words**: GB 13057—2023; double-seat; strength; injury; safety design

GB 13057《客车座椅及其车辆固定件的强度》新版（2023 版）标准提高了客车座椅的动态安全性能要求[1-5]。本文采用仿真方法对某客车座椅进行新版标准的综合性分析，为客车座椅安全性提升提供一套完整的解决方案。

## 1 标准新旧版主要差异

GB 13057 的新版（2023 版）与旧版（2014 版）主要的差异见表 1。

表 1 GB 13057 新旧版主要差异

| 序号 | 项目 | 旧版（2014 版） | 新版（2023 版） |
|---|---|---|---|
| 1 | 适用的范围 | 折叠座椅不适用 | 折叠座椅适用 |
| 2 | 台车速度及加速度 | 速度 30～32 km/h<br>加速度峰值 8$g$～12$g$ | 速度（50±1）km/h<br>加速度峰值 20$g$ 以上，并至少持续 20 ms |
| 3 | 假人布置 | 仅后排放置假人 | 第一阶段：后排放置假人<br>第二阶段：前后排均放置假人 |

**收稿日期**：2024-08-08。

**第一作者**：罗 森（1982—），男，硕士，高级工程师，主要从事整车结构性能开发与轻量化设计工作。E-mail：luomiao@shmp.edu.cn。

表 1(续)

| 序号 | 项目 | 旧版(2014 版) | 新版(2023 版) |
|---|---|---|---|
| 4 | 伤害指标 | 头部伤害 HIC<500<br>胸部加速度 ThAC<30*g* | 头部伤害 HIC<1 000<br>胸部加速度 ThAC<60*g*<br>胸部压缩量 ThCC≤76 mm |
| 5 | 静态载荷 | (5 000±50) N/座位 | 第一阶段：(10 000±200) N/座位<br>第二阶段：(16 500±200) N/座位 |
| 6 | 假人模型 | 符合 Hybrid Ⅱ型或Ⅲ型要求的 50 百分位男性人体模型或 TNO 10 型人体模型 | 强度试验：Hybrid Ⅲ型或 TNO 10 型假人<br>乘员保护试验：Hybrid Ⅲ型假人 |

## 2　座椅原结构仿真分析

本文选取某 $M_2$ 类客车的双人靠背座椅为研究对象，其布置于第二、第三、第四排，结构完全相同。布置形式如图 1 所示。

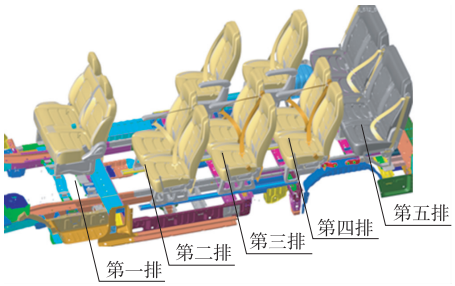



图 1　座椅布置形式

### 2.1　建立有限元仿真模型

为有效开展座椅的动态仿真分析，采用商用软件 Altair Hypermesh 建立包含白车身、座椅及其安全带的有限元仿真模型，并引入假人的有限元仿真模型。

1）导入车身及座椅的几何模型，在车身及座椅骨架的中面层生成网格，并利用质量检查工具调整网格尺寸及单元质量。为提高非线性计算效率，建模时对模型进行简化处理，如座椅头枕金属骨架及靠背钢丝采用 Beam 单元；对所建立座椅骨架赋予准确的料厚及材料属性，对坐垫靠背发泡件的网格赋予实体单元属性[6-7]。座椅发泡材料为聚氨酯泡沫，其材料卡片设置为 MAT_LOW_DENSITY_FOAM，以模拟发泡材料的高度可压缩低密度特性，密度 0.07 g/cm$^3$，弹性模量 4 MPa，并设置发泡材料受压过程的非线性应力-应变曲线。

2）引入某商业公司 Hybrid Ⅲ 男性 50%分位假人模型，该假人模型质量为 77.5 kg。按照标准[1]要求，在座椅模型中安放假人模型并调整其大腿、小腿、脚、上臂以及前臂的姿势和位置，使假人模型满足以下条件：①假人 H 点位置与座椅上设计位置在水平及垂直面的偏差应控制在±13 mm 以内。②头部传感器安装面水平，与整车水平面偏离角度在 2.5°以内。③上臂与座椅靠背及躯干两侧接触；大腿靠着坐垫，双腿膝部 U 型外表面之间的距离为(270±10) mm，双腿应分别处于纵向铅垂平面内。④双脚脚跟尽量靠前放置，脚掌平放在地板上，两脚的纵向中心线与座椅纵向中心线平行。

3）采用 seatbelt 模块设置安全带宽度、织带延伸率等参数，并沿着安全带约束假人路径布置安全带织带；定义安全带的力-位移曲线等材料参数；采用 slip-ring 模块设置上下挂点与安全带滑环。

4）在各零部件之间及其内部设置接触处理，保证零部件之间运动和力的有效传递：假人与座椅、假人与车身地板、假人与安全带、安全带与座椅、车身与座椅之间分别设置“surface to surface”接触类型；在假人、座椅、车身钣金、安全带等部件的内部零件之间设置“single surface”接触类型。

5）图 2 为动态强度工况仿真分析模型，用于考察试验中结构强度性能。模型包含 4 个 TNO-10 型假人，前、后排座椅和安全带，以及截取距离座椅前、后安装点各 500 mm 以上的部分车身。图 3 为动态损伤工况仿真分析模型，用于考察乘员损伤性能。模型包含 2 个 Hybrid Ⅲ 男性 50%分位假人模型，该假人模型内部布置了力、加速度、位移等信号传感器，通过采集碰撞过程的信号并分析波形，以获得假人伤害值

和假人的大腿压缩力。

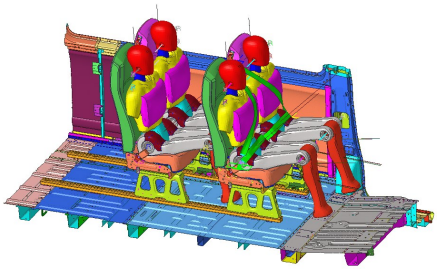


图 2 动态强度工况仿真分析模型

图 3 动态乘员保护工况仿真分析模型

### 2.2 定义载荷及约束设置

在集成了车身-座椅-假人的动态强度工况仿真和动态损伤工况仿真的有限元模型中,对部分车身钣金的断面边界设置三向位移自由度约束,在软件中设置竖直向下的重力加速度场,并设置水平方向加/减速度进行冲击加载,加载曲线如图 4 所示。

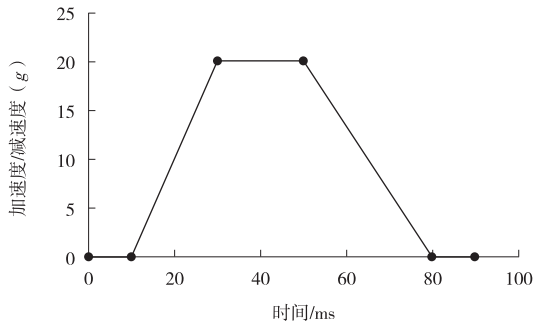



图 4 加速度/减速度加载曲线

### 2.3 性能状态

通过 LS-DYNA 求解器分析得出双人靠背座椅的强度性能与伤害性能,假人运动姿态分别如图 5 和图 6 所示,原结构性能指标见表 2。从表 2 可知,座椅钣金塑性应变超标,假人头部伤害值超标,不满足标准要求[1]。

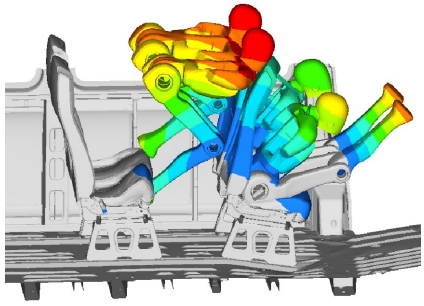


图 5 原结构强度工况仿真假人运动姿态

图 6 原结构损伤工况仿真假人运动姿态

表 2 原结构性能指标

| 项目 | 性能指标 | 目标值 | 状态值 |
|---|---|---|---|
| 强度 | 座椅钣金塑性应变/% | <20 | 34 |
| 损伤 | 头部伤害值 | <1 000 | 1 337 |
| | 胸部加速度(g) | <60 | 33.0 |
| | 胸部压缩量/mm | ≤76 | 24.0 |
| | 大腿压缩力/kN | <10 | 4.1 |

## 3 结构改进

### 3.1 改进思路

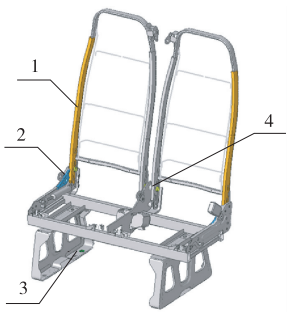
通过仿真分析得知,双人靠背座椅无法承受当前强度,导致座椅靠背发生垮塌,断裂区域出现在靠背骨架中部及其与坐盆连接处。而安全带为普通安全带,无预紧和限力功能,且织带延伸率(12%)较大,因此对假人的位移约束较弱。同时,坐垫坐盆支撑塑料件受到冲击后发生垮塌,导致假人位置前移幅度较大。在前后座椅间距小的状态下,使得假人与座椅靠背间距进一步缩小,多因素叠加导致假人伤害值变得更大。因此,当头部撞击靠背背部时,额头区域撞击到发泡件后触及钢丝,导致头部伤害值超出阈值。

为优化座椅结构,使其满足第二阶段要求[1],本

文采用分步优化思路：首先优化各座椅骨架以满足强度性能要求；在此基础上再优化各座椅非骨架结构、座椅发泡件、约束系统等配置类部件，以满足伤害指标要求。这样可最大程度保证第二至第四排结构的一致性，降低开发成本。

### 3.2　座椅骨架优化

分析前排座椅被冲击的变形动画，并识别大应变分布区域，判断[8-9]需加强结构的区域，制定如图 7 和表 3 所示的座椅骨架优化方案：①弯管增加加强套管，其材料型号为 T2.0mm/QSTE500；②增加边板加强件，其材料型号为 T2.0mm/QSTE500；③座椅椅腿后安装点左右各增加 1 颗螺栓，即安装螺栓由 4 颗增加到 6 颗；④靠背旋转轴螺栓由 M10/10.9 级提升到 M12/10.9 级。对优化后的座椅骨架进行强度工况仿真时，假人的运动姿态（后排两假人模型显示重叠）如图 8 所示。碰撞过程中，新座椅结构有效地阻止了后排假人的前向运动，最大座椅钣金塑性应变 16%，满足强度性能要求。




1—弯管加强套管；2—边板加强件；3—座椅椅腿后安装点；4—靠背旋转轴螺栓。

图 7　座椅骨架优化示意图

**表 3　强度优化方案**

| 方案 | 变量描述 | 初始设计 | 优化方案 |
|---|---|---|---|
| ① | 弯管套管加强板 | 无 | 新增 T2.0mm/QSTE500 |
| ② | 坐盆边板加强板 | 无 | 新增 T2.0mm/QSTE500 |
| ③ | 座椅安装螺栓个数 | 4 | 6 |
| ④ | 螺栓尺寸 | M10/10.9 级 | M12/10.9 级 |

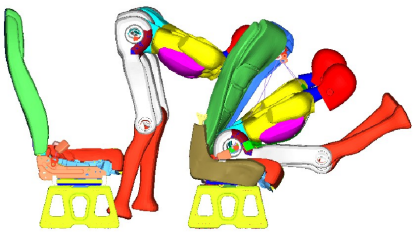


图 8　座椅骨架优化后强度工况仿真的假人运动姿态

### 3.3　配置类部件优化

从原结构的伤害性能看，头部伤害值超标严重，而胸部压缩量及加速度、大腿压缩力均有较大余量，因此制定以降低头部伤害为优化目标、其余性能验证确认的优化路径。提取头部伤害的各项影响因素，形成以下变量：变量①为前后排座椅间距，即在距离地面 620 mm 的基准水平面上测量座椅纵向中垂面与座椅靠背交点的最小距离，如图 9 所示；变量②为靠背发泡件 $X$ 向厚度；变量③为靠背钢丝直径；变量④为靠背钢丝材料牌号；变量⑤为靠背钢丝 $Z$ 向高度；变量⑥为安全带延伸率；变量⑦为靠背弯管料厚；变量⑧为坐盆边板料厚；变量⑨为座椅椅腿料厚。表 4 为优化变量①~⑨的上下限阈值表。

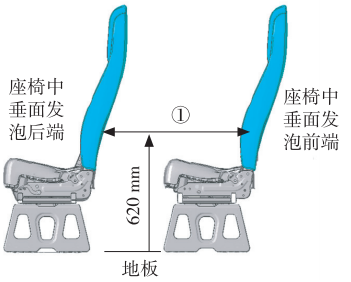



图 9　优化变量示意图

**表 4　优化变量的上下限阈值**

| 变量 | 变量描述 | 下限值 | 上限值 | 初始值 |
|---|---|---|---|---|
| ① | 座椅间距/mm | 650 | 750 | 700 |
| ② | 靠背发泡件厚度/mm | 45 | 85 | 65 |
| ③ | 靠背钢丝直径/mm | 4 | 8 | 6 |
| ④ | 靠背钢丝材料牌号 | Q195 | 35# | 20# |
| ⑤ | 靠背钢丝 $Z$ 向高度/mm | −20 | 20 | 0 |
| ⑥ | 安全带延伸率/% | 7 | 17 | 12 |
| ⑦ | 靠背弯管料厚/mm | 1 | 2 | 1.5 |
| ⑧ | 坐盆边板料厚/mm | 1.5 | 2.5 | 2.0 |
| ⑨ | 座椅椅腿料厚/mm | 1.5 | 2.5 | 2.0 |

实验设计是一种统计方法,用于计划和执行实验,以研究一个或多个自变量对一个或多个因变量的影响。其目的在于组合实验设计中使用的所有自变量和因变量,以最小的成本和最高的效率获取最大的收益[10-11]。

根据表 4 所列变量数和每个变量对应的水平数开展正交实验,采用部分因子法生成 128 个样本点,组合变量调整模型。根据表 4,依次逐个调整单一变量,仿真分析变量从下限值到上限值(其余变量为初始值)时,座椅系统设计对假人头部伤害值的变化情况(见表 5)。以表 5 中第一栏数据举例,其表示座椅间距从 650 mm 调到 750 mm 时,头部伤害值的变化量是-785,其他栏同理。由表 5 可知,对伤害值影响最大的 5 个变量是:①座椅间距增量;②靠背钢丝直径;③靠背钢丝材料牌号;④安全带延伸率;⑤靠背发泡件厚度。考虑布置空间及成本,最终优化方案如下:座椅间距由 700 mm 增加至 750 mm,靠背钢丝材料由 20#改为 Q195,同时钢丝直径由 6 mm 降低至 4 mm,前、后排靠背发泡件厚度由 65 mm 降低至 45 mm,做减薄处理。

**表 5 头部伤害值变化排序**

| 编号 | 变量描述 | 头部伤害值变化量(变量从下限值到上限值) |
|---|---|---|
| ① | 座椅间距/mm | -785 |
| ② | 靠背钢丝直径/mm | 101 |
| ③ | 靠背钢丝材料牌号 | 83 |
| ④ | 安全带延伸率/% | 66 |
| ⑤ | 靠背发泡件厚度/mm | 46 |
| ⑥ | 座椅椅腿料厚/mm | 41 |
| ⑦ | 靠背弯管料厚/mm | 35 |
| ⑧ | 靠背钢丝 Z 向高度/mm | 22 |
| ⑨ | 坐盆边板料厚/mm | 9 |

### 3.4 优化方案效果

仿真校验 3.2 节及 3.3 节综合优化方案的头部、胸部及大腿的伤害性能情况,均达到设计目标。将上述综合优化方案在实车上工程化体现,并进行实物测试,图 10 为乘员保护试验过程。图 11 为试验结果及仿真结果的假人头部合成加速度-时间曲线,可以看到,优化后假人头部峰值加速度显著降低。

图 10 乘员保护实际试验过程

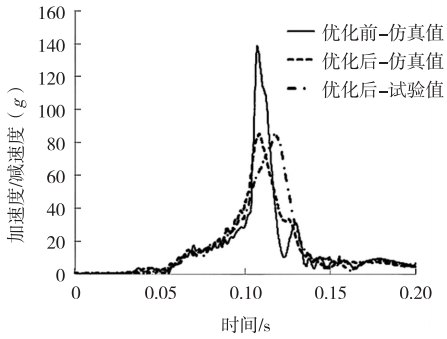



图 11 假人头部合成加速度-时间曲线

原始结构及综合优化方案的仿真值及试验值见表 6。

**表 6 优化前后结果对比**

| 项目 | 性能指标 | 初始值 | 优化仿真值 | 优化试验值 |
|---|---|---|---|---|
| 强度 | 座椅钣金塑性应变/% | 34 | 17 | / |
| 损伤 | 头部伤害值 | 1 337 | 850 | 897 |
| | 胸部加速度(g) | 33.0 | 32.4 | 31.9 |
| | 胸部压缩量/mm | 24.0 | 20.7 | 13.5 |
| | 大腿压缩力/kN | 4.1 | 5.6 | 6.3 |

分析表 6 可知:

1) 座椅结构强度方面。通过加强座椅骨架结构,提高了靠背骨架强度,避免了折弯,并降低了靠背与坐盆的折角变形,结构加强效果明显,仿真结果满足强度要求。

2) 假人伤害方面。座椅骨架结构加强及配置优化后,大腿压缩力略有增加,胸部加速度和压缩量均有降低,而头部伤害值的降低最为显著(降幅达到 32.9%)。伤害值满足标准要求。

## 4 结 论

本文介绍了 GB 13057—2023 版新标准二阶段对

客车与座椅性能的要求，对客车前后排常共用的双人靠背座椅进行分析及优化，最终实现强度及伤害性能均达标。本文主要研究成果如下：

1）针对座椅强度和头部伤害的初始性能均未达标的问题，提出了一种分步骤的优化方法，先使强度性能满足要求，然后调整配置类部件，以满足伤害性能要求，提高了解决问题的效率。

2）采用实验设计方法，有效地平衡了座椅结构弱化或加强的不利影响。系统性的研究方法不仅成功地提升了座椅性能，还有效降低了解决方案的成本。

该座椅优化方法具有代表性，可为类似座椅的改进提供参考，其工程应用价值较高。

**参考文献：**


[1] 中华人民共和国工业和信息化部. 客车座椅及其车辆固定件的强度：GB 13057—2023[S]. 北京：中国标准出版社，2023：3-6.

[2] 颜长征，王若璜，张科峰. 基于 GB 13057 的客车座椅结构对乘员伤害的分析[J]. 机械研究与应用，2020，33(2)：160-163.

[3] 曾锋，林标华. 基于 GB 13057 讨论稿的客车座椅安全性研究[J]. 客车技术与研究，2021，43(5)：53-56.

[4] 徐海澜，王若璜. GB 13057—2023《客车座椅及其车辆固定件的强度》修订解读[J]. 客车技术与研究，2023，45(6)：57-60.

[5] 徐海澜，王若璜，朱红岩. 客车座椅车辆固定件强度静态试验载荷确定方法研究[J]. 客车技术与研究，2023，45(5)：49-52.

[6] 童劭瑾，苏荣敏，汪俊，等. 汽车座椅安全带固定点强度分析[J]. 机械研究与应用，2016，29(6)：57-60.

[7] 朱宁宇. 不同人体正碰响应分析及基于中国人体的约束系统优化[D]. 长沙：湖南大学，2010.

[8] 彭旺，张雅鑫. 客车正面碰撞仿真分析及性能优化[J]. 客车技术与研究，2019，41(4)：9-11.

[9] 颜长征，王欣，赵东旭，等. 客车正面碰撞乘员保护分析[J]. 机械研究与应用，2017，30(3)：78-80.

[10] 罗森，康忠喜，任妍婷. 基于全参模型驱动的某皮卡车架性能带宽研究[J]. 农业装备与车辆工程，2024，62(4)：50-55.

[11] 陈祖兴，王运辉，程一明，等. 基于正面碰撞前防撞梁的 DOE 轻量化设计[J]. 机械工程师，2022(9)：88-92.


（上接第 15 页）


[2] 胡艳峰. GB/T 32960 标准分析及应用[J]. 汽车电器，2018(9)：49-52.

[3] 陈吉荣，乐嘉锦. 基于 Hadoop 生态系统的大数据解决方案综述[J]. 计算机工程与科学，2013，35(10)：25-35.

[4] 崔杰，李陶深，兰红星. 基于 Hadoop 的海量数据存储平台设计与开发[J]. 计算机研究与发展，2012，49(增刊 1)：12-18.

[5] ZHOU H T，YAO Y，TU F. Research on the construction of the "hive big data warehouse" experimental teaching environment[C]//Proceedings of 4th International Conference on Education，Knowledge and Information Management，2023：409-416.

[6] 代明竹，高嵩峰. 基于 Hadoop、Spark 及 Flink 大规模数据分析的性能评价[J]. 中国电子科学研究院学报，2018，13(2)：149-155.

[7] 刘魁刚，张瑜，毕鹏，等. 城市轨道交通工程建设安全数据融合路径及方法[J]. 数字通信世界，2024(1)：4-6.

[8] 陶浩然. DataX 在工程数据管理平台中的应用[J]. 中国新通信，2024，26(1)：85-88.

[9] KIM Y K，JEONG C S. Large Scale Image Processing in Real-Time Environments with Kafka[C]//Second International Conference on Computer Science，Information Technology and Applicationsy，2017：207-215.

[10] 王光，林国宇. 改进的自适应参数 DBSCAN 聚类算法[J]. 计算机工程与应用，2020，56(14)：45-51.