

## 汽车正面偏置碰撞中车身结构改进与驾驶员下肢损伤防护的研究

彭倩 杨济匡

湖南大学 汽车车身先进设计制造国家重点实验室

**摘要:** 本文建立了某款轿车正面偏置碰撞的有限元模型,研究了汽车正面偏置碰撞中车身结构对驾驶员下肢损伤的影响,通过改进汽车车身前部吸能结构,加强驾驶舱结构,延长副车架等措施,来减小乘员舱前围板及歇脚板的侵入量,从而达到降低驾驶员下肢损伤的目的。

**关键词:** 偏置碰撞 侵入量 下肢损伤 车身结构

### The research on injury prevention of driver lower extremity in the car frontal offset impacts

PENG Qian YANG Jikuang

State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacture for Vehicle Body

Hunan University, Changsha, 410082, China

**Abstract:** This paper built up finite element model of offset frontal collision of a certain car, and delved into the impact of body structure on driver's lower limbs in vehicle frontal offset crash. By means of improving energy-absorbing structure, strengthening driver's cabin and elongating the sub-frame, the paper has achieved the goal of reducing the intrusion of the dash panel and toeboard, to reduce the injury of driver's lower extremity.

**Key words:** Offset collision, Intrusion, Lower limbs injury, Body structure

## 1 前言

下肢损伤是交通事故损伤类型中较常见的一种损伤形式,长期以来给人们带来了巨大的痛苦。据评估分析,在非致命损伤类型中,下肢损伤排在第二位。在不发生翻滚的正面碰撞事故中,前排驾驶员和乘员因下肢损伤而造成的损失达到了 82 亿美元[1]。据交警事故数据统计,在美国,每年因交通事故死亡的人数中,因下肢损伤致死占 42%;而交通事故造成的经济损失中,下肢损伤造成的经济损失也占 17%[2]。

在正面偏置碰撞实验中,汽车与可变形壁障(ODB)发生相撞,其前部驾驶员侧 40%区域与 ODB 重叠。在欧洲,ECE R94.01 规定,汽车在 56km/h 的速度下与可变形壁障发生 40%的偏置碰撞;而 Euro-NCAP 以及 IIHS 偏置碰撞中,汽车的碰撞速度提高到了 64km/h。由于汽车前舱缓冲吸能区域只有部分参与碰撞吸能,其设定的吸能区域通常不足以吸收所有碰撞能量;因此常常造成前围板以及脚围板发生较大侵入,给驾驶员及假人的下肢造成直接的冲击,从而造成下肢严重损伤。因此,偏置碰撞对汽车的车身结构提出了极大的考验。构建完整的汽车车身结构,减少汽车前舱侵入量,是降低驾驶员下肢损伤的前提。

本文依据 Euro-NCAP 标准,建立了国外某车型的整车正面偏置碰撞有限元模型,在汽车驾驶舱放置 HybridIII 有限元假人模型。本文采用 LS-DYNA 作为求解器,研究在偏置碰撞中的结构改进以及假人下肢的响应。

## 2 有限元模型的建立与验证

### 2.1 ODB 的建立与验证

根据可变形壁障的规定[3],建立了可变形壁障的有限元模型,可变形壁障的元件和材料如图 1 所示。可变形壁障包括蜂窝铝主体、保险杠元件、背板、覆板、保险杠面板以及黏合剂。

蜂窝铝主体以及保险杠元件采用的材料都是蜂窝铝材料。材料的压溃强度分别为 0.342MPa 和 1.711Mpa,如图 2 所示。

验证用的蜂窝铝块大小为 150mm×150mm×50mm, 如图 3 所示,约束蜂窝铝块底端的节点各方位的自由度, 在蜂窝铝块的上表面平行悬置一面刚性墙, 该刚性墙以 7.6mm/min 的恒定速度向下压缩蜂窝铝块, 压缩距离为 17.73mm, 输出蜂窝率在压缩过程中的刚度曲线。

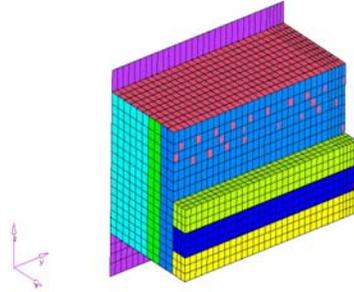


图 1 ODB 的有限元模型

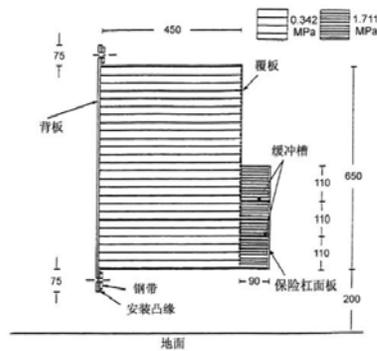


图 2 ODB 的结构

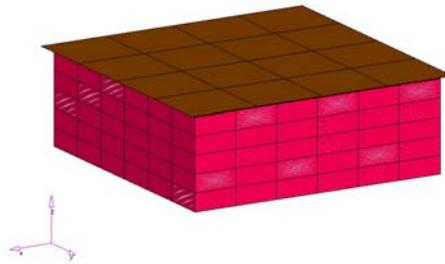


图 3 ODB 的验证

根据蜂窝铝主体和保险杠元件的刚度曲线 (图 4 和图 5 所示), 计算了蜂窝铝主体和保险杠元件的压溃强度。对于蜂窝铝主体要求压溃强度达到:  $0.308\text{Mpa} \leq S(n) \leq 0.342\text{Mpa}$ ; 对于保险杠元件要求压溃强度达到:  $1.540\text{Mpa} \leq S(n) \leq 1.711\text{Mpa}$ ; 其中,  $S(n)=F(n)/A$ , 为各区域实验蜂窝铝块的压溃强度,  $F(n)$ 为各区域 ( $n=1,2,3$ ) 实验蜂窝铝块所受压力的均值,  $A$  为实验蜂窝铝块受压表面的面积。而计算结果表明, 该可变形壁障是正确有效的。

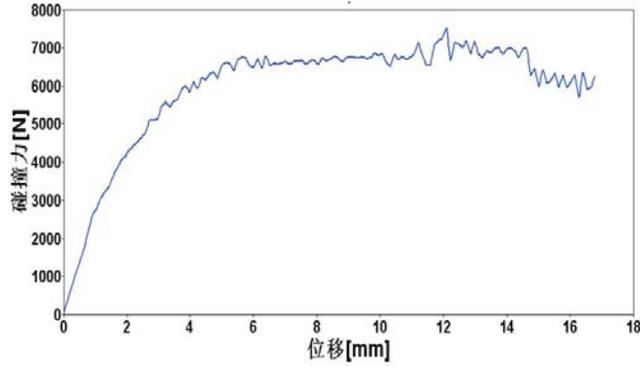


图4 蜂窝铝主体刚度曲线

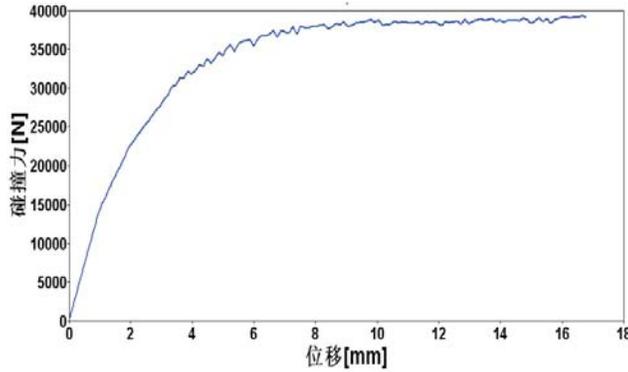


图5 保险杠元件刚度曲线

## 2.2 整车的建立与验证

汽车的原型车为国外生产的某款车型。建立的整车有限元模型的质量为 1220Kg,车宽为 1700mm。整车以 56km/h 的速度与刚性墙发生正面碰撞,输出 B 柱下端加速度曲线以及座椅下横梁的加速度曲线值,与实验曲线进行比较,实验曲线在文献[4]中给出。

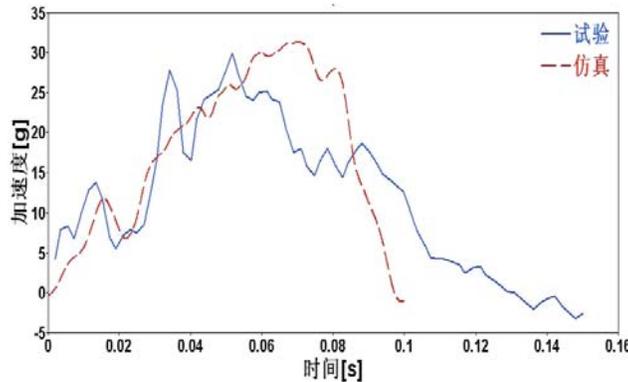


图6 B柱加速度曲线对比

如图6所示,整车有限元模型的B柱加速度曲线与实验测出的曲线非常一致,因此可以认为建立的整车有限元模型是可靠的。

## 2.3 Hybrid III 假人的建立与验证

本文研究使用 Hybrid III 50 百分位的男性假人模型,其身高 175mm,体重 78 公斤,该假人有限元模型是根据实际假人模型的几何结构、材料特性和假人的各关节特性来建立,然后设定

相应的单元形式、材料的本构关系、物理特性和边界条件等。对于碰撞过程中，假人与汽车内饰件，安全带，方向盘，座椅以及假人自身的相互作用，在模型中给假人定义了相关的接触。并输出假人下肢的大腿力,小腿力以及胫骨指数

该假人有限元模型的验证过程，在文献[5]中给出。

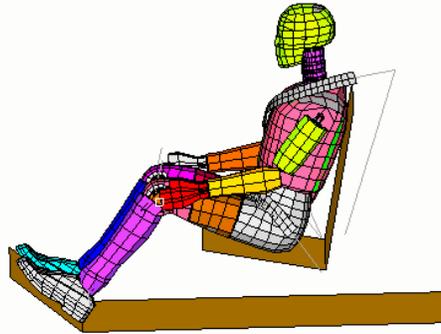


图7 Hybrid III 50%假人有限元模型

#### 2.4 ODB-整车-驾驶员模型的建立与验证

参照 Euro-NCAP 偏置碰撞标准,建立汽车与偏置可变形壁障 (ODB) 发生偏置碰撞的有限元模型，如图所示,整车模型的行驶方向与碰撞块的表面方向垂直,碰撞速度为 64km/h。

驾驶员位置放置由安全带约束的男性 50%HybridIII 假人，整车的前部靠近驾驶员的一侧与偏置碰撞障碍壁发生 40%重叠。假人的右脚踏在未踩下的加速踏板上，左脚踩在歇脚板上。驾驶舱后排安装的两名儿童假人以及实验中涉及到的仪器设备由集中质量单元固定在后排座椅上。

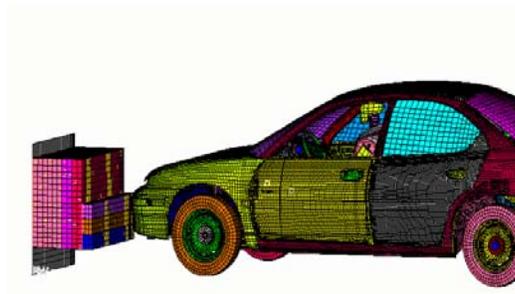


图8 ODB-整车-驾驶员有限元模型

在文献[6]中提到，该车在 64Km/h 的偏置碰撞实验中,测量的脚围板侵入量如表 1 所示，将仿真中得到的脚围板的侵入量与实验中的数据进行对比。

表1 脚围板的侵入量

	上部侵入量 (mm)		下部侵入量 (mm)	
	实验	仿真	实验	仿真
左侧	296	311	219	235
中部	282	293	215	207
右侧	212	203	148	151

在文献[7]中同时提到, Euro-NCAP 偏置碰撞实验中,假人受到的下肢损伤受力如表 2。

表 2 假人下肢的损伤受力

名称	左侧小腿受力 (N)	右侧小腿受力 (N)	左侧大腿受力 (N)	右侧大腿受力 (N)
仿真	5312	5116	6307	5287
实验	5667	5868	6896	4902

对表 1 和表 2 中的数据分析, 仿真中的脚围板侵入量和下肢损伤值与实验中的结果是基本一致的。建立的 ODB-整车-驾驶员有限元模型能够对正面偏置碰撞中脚围板的侵入量和驾驶员的下肢损伤进行较真实的仿真分析。

### 3 整车模型中存在的问题

对仿真过程中各部分吸能进行统计分析, 该偏置碰撞模型各部分吸收能量的比例如图 9 所示。

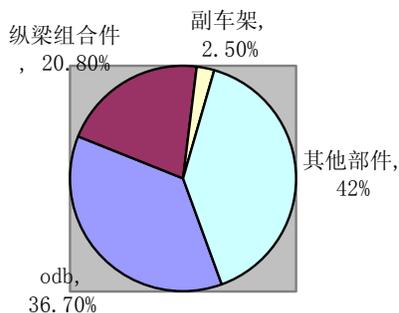


图 9 偏置碰撞吸能比例结构图

从上图 9 可以看出, 在偏置碰撞中, 纵梁组合件吸收的能量是有限的, 而地板, 前围板, 脚围板等部件参与吸收了较多的能量, 该模型的碰撞结果较差。如图 10 所示, 其车门, A 柱, 顶盖, 门槛等部件发生了严重变形, 汽车的乘员空间受到了极大的威胁。

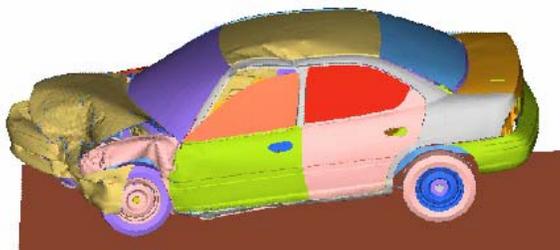


图 10 初始模型的偏置碰撞变形图

如图 11 所示, 汽车前纵梁末端与前围板连接的部分发生了很大的变形。汽车脚围板的侵入量较大, 同时也造成了假人严重的下肢受力结果。

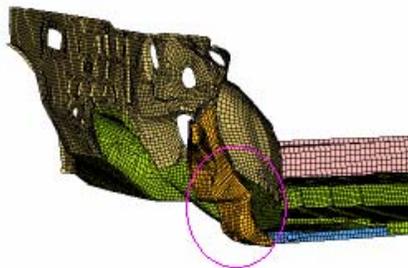


图 11 纵梁末端及前围侵入意图

#### 4 整车结构的改进

整车在偏置碰撞中驾驶舱的变形量偏大,为保证驾驶舱结构的稳固,对驾驶舱结构进行加强。如今,高强度材料越来越多地应用在汽车车身上,在初始模型的基础上,对如图 12 所示的部件,进行材料的修改。这些部件在初始模型中选用的材料主要是普通钢,将这些部件的材料更换为某种初始屈服应力为 450Mpa 的高强度钢。

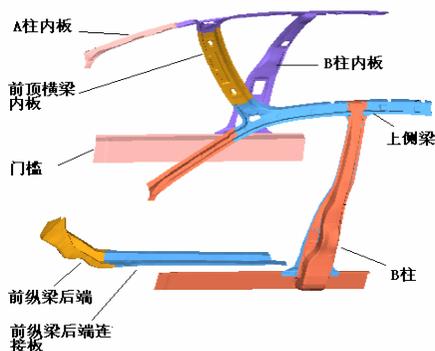


图 12 整车中强化的部件

初始模型中,纵梁末端的严重变形,而后端的变形对脚围板造成直接的冲击,在本文的研究中,在纵梁末端与纵梁的连接处,增加了一块加强板,通过增加连接处的强度来保证末端的抗变形能力。

在原模型中,整车的变形吸能能力较差,为了增强整车的吸能能力,对初始模型副车架进行了改进。由于常见的副车架(如图 13)呈“H”字形,在碰撞中很少参与吸收能量。将副车架的前部延长至与纵梁前部连接,形状呈“#”字型(如图 14)。当碰撞发生时,纵梁前部变形吸能,同时副车架前部也会发生变形,为了使副车架的前部有较好的溃缩变形而不是前部折断,对副车架的前部也进行局部弱化。

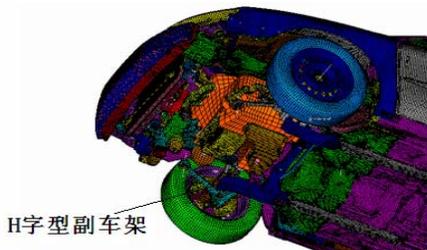


图 13 H 字型副车架

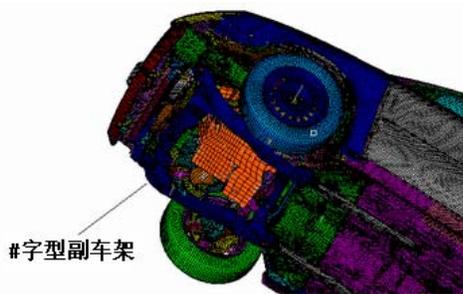


图 14 #字型副车架

### 5 仿真结果分析与对比

改进以后的整车模型吸收能量的分布有了较明显的改变，如图 15。纵梁组合件以及 ODB 吸能的比例基本维持不变，由于副车架加长以后，其加长的前端也发生了一部分的溃缩，因此，改进后的副车架吸收的能量从原先的 2.5% 增加到 11.2%，整车前部吸能的能力得到了显著提高。

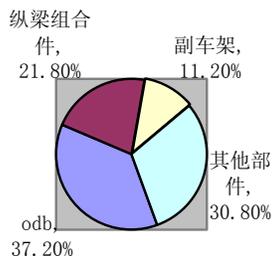


图 15 改进后的吸收能量分布

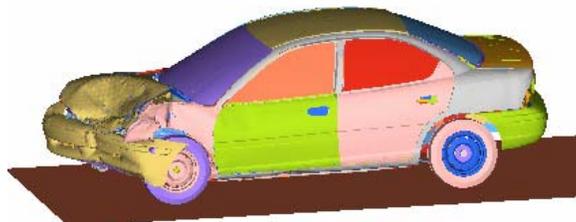


图 16 改进后的整车偏置碰撞变形图

改进后的车身结构完整性得到了很明显的提高，如图 16 所示。而在前围板以及脚围板处的侵入量有了明显的降低。其侵入量对比如表 3 所示。

表 3 初始模型与改进模型侵入量的对比

	上部侵入量(mm)		下部侵入量(mm)	
	初始模型	改进模型	初始模型	改进模型
左侧	311	162	235	145
中部	293	141	207	132
右侧	203	96	151	73

假人的下肢损伤响应也得到了明显的改善,如表4所示,假人左右两侧的大腿小腿受力显著下降,而左右两侧胫骨上下弯矩也明显降低。

表4 初始模型与改进模型假人损伤值的对比

	初始模型	改进模型
左侧大腿力(N)	6307	2486
右侧大腿力(N)	5287	2852
左侧小腿受力(N)	5312	1872
右侧小腿受力(N)	5116	2153
左侧上胫骨弯矩(Nm)	315	68
右侧上胫骨弯矩(Nm)	278	56
左侧下胫骨弯矩(Nm)	336	97
右侧下胫骨弯矩(Nm)	237	45

## 6 结束语

通过改进整车的结构,降低汽车前舱的侵入量,来降低驾驶员下肢的损伤风险,是一种行之有效的办法。脚围板侵入量的减少使得驾驶员的下肢受到的直接冲击载荷降低,从而有效保护了驾驶员的下肢。

对于驾驶员在偏置碰撞中的下肢保护,仅靠加强车身结构是不够的.增加汽车前舱碰撞吸能的能力是一个非常关键的因素,因此,对汽车前纵梁吸能能力的改进是一个重要考虑的环节。提高整车与ODB之间的兼容性,使得整车与ODB同时发挥自身最大的吸能能力,也是一个很重要的因素。同时,优化脚舱参数,增加膝部气囊等途径,也可以达到保护驾驶员下肢的目的。

## Acknowledgements:

This study is sponsored by the National High Technology Research and Development Program of China (863 Program), No. 2006AA110101.

## 参考文献

- [1] Luchter, S. "Long Term Consequence of Lower Extremity injuries", International Conference on Pelvic and Lower Extremity Injuries Proceedings, National Highway Traffic Administration, U.S. Department of Transportation, December 1995.
- [2] Miller, TR, Martin, PG., and Crandall, J.R. Cost of Limb injuries in Highway Crashes, International Conference on Pelvic and Lower Extremity Injuries Proceedings, National Highway Traffic Administration, U.S. Department of Transportation, December 1995.
- [3] 乘用车正面偏置碰撞的乘员保护(征求意见稿). 北京: 全国汽车标准化委员会, 2006.
- [4] Finite Element Model of Dodge Neon, Test No:2320, National Crash Analysis Center, The George Washington University.
- [5] 万鑫铭. 基于虚拟实验的汽车前碰撞安全气囊防护效率的研究[学位论文], 湖南大学, 2006.
- [6] Park, BT., Morgan, R., Hackney, JR., Lee, J. and Stucki SL. Frontal Offset Crash Test Study Ssing 50th Percentile Male and 5th Percentile Female Dummies.
- [7] Welbourne, E.R. Offset Frontal Crash Tests: Summary Results of a Programme to Validate the Proposed Test Protocol of EEEV Working Group 11, Technical Memorandum, Vehicle Systems Division, Transport Canada Road Safety, September 1996.