

Study on the 30° Oblique and 40% Offset Deformable Barrier Impact Crashworthiness of Minibus

ZHANG Junyuan¹, WEI Yifan¹, ZHANG Jianwei¹, LIN Yi²

¹Automobile College, Jilin University Changcun, 130025,

²Beijing University of Science and Technology

Abstract – Generally, as the crush zones of the minibus is rather small, passengers' injury indices would be higher owing to safety cab's severe deformations in 30 ° oblique and/or 40% offset impact tests. This paper studied a kind of minibus and its 30 ° oblique and/or 40% offset impact. Its FE model was built to perform crash numerical analysis. Compared with the original full scale frontal impact simulation results, the paper provides the reason of the minibus' worse crashworthiness, and it's improving direction and procedure. The improvements on both of the absorbing characteristic of front end structure and safety cab's stiffness have been studied. Also, we established a feasible scenario, whose numerical analysis results satisfied 30 ° oblique and/or 40% offset impact requirements on the whole.

Keywords: Oblique Impact, Offset Deformable Barrier Impact, Crashworthiness, Minibus

1 引言

正面碰撞的试验一般分为全宽碰撞、斜角碰撞和偏置碰撞三种碰撞形式，其中全宽碰撞能够模拟重叠率为 90%-100%的正面碰撞交通事故，斜角碰撞和偏置碰撞能够模拟其他形态的正面碰撞交通事故。据统计，在所有碰撞事故中，汽车发生各种形式正面碰撞的概率在 40%左右。而在各种正面碰撞形式中全宽碰撞所模拟的交通事故发生的概率占 41%，其他形式碰撞发生的概率占 59%^[1]。因此，进行汽车正面碰撞安全性的研究，包括对全宽碰撞、斜角碰撞和偏置碰撞的研究，对减轻交通事故中人员的伤害具有非常重要的意义。

为了提高我国汽车产品的安全性，1999 年颁布的 CMVDR 294 《关于正面碰撞乘员保护的设计规则》是以欧洲 ECE R94.00 版本为基础起草的。欧洲的正面碰撞试验法规 ECE R94.00 于 1995 年颁布实施，作为正面碰撞试验评价的过渡性实验方法采用了车速为 50km/h 的 30°斜角碰撞刚性墙试验方式（带防滑块）。1998 年欧洲新修订的 ECE R94.01 采用了车速为 56km/h 的 40%偏置变形壁障碰撞方式。美国法规 FMVSS 208 中则要求进行车速为 48.3km/h 的三种碰撞方式——全宽刚性墙碰撞、左右端分别先与刚性墙接触的 30°斜角碰撞。本文结合试验和仿真计算，分析了某微型客车的 30°斜角碰撞和 40%偏置碰撞的车体响应特性，提出了提高这两种碰撞形态抗撞性的结构方案。

2 碰撞系统有限元模型的建立

作者在文献[2]中建立了该微型客车正面碰撞的有限元模型（见图 1），并依据实车碰撞试验曲线进行了模型验证，误差在工程许可范围之内，证明了该微型客车车体模型的有效性。因为全宽碰撞、30°斜角碰撞和 40%偏置碰撞三类正面碰撞试验方式中车身的受力变形方式基本相同，且该微型客车全宽正面碰撞改型后的车体有限元模型较为完善和细致，所以基于该车体有限元模型而建立该微型客车的 30°斜角碰撞和 40%偏置碰撞的有限元模型，进行 30°斜角碰撞和 40%偏置碰撞抗撞性的分析是可行的。欧洲正面碰撞法规中所规定的 40%偏置可变形壁障碰撞试验与实际交通事故是最为接近的，与 30°斜角碰撞和全宽碰撞不同，40%偏置碰撞要求

建立偏置可变形壁障模型。变形壁障的刚度是按照欧洲车辆的平均刚度设定的,代表“平均车型”的前端刚度。本文按照法规要求建立了偏置可变形壁障模型,壁障模型的结构尺寸、材料及蜂窝障碍块和缓冲器构件的刚度特性严格按照 ECE R94.01 的要求定义。图 2 为本文所建立的偏置可变形壁障模型,整个模型包括 23019 个节点,26416 个单元(体单元 18409 个、壳单元 8007 个)。同时根据蜂窝障碍块和缓冲器构件实体块有限元模型的刚度曲线(图 3 和图 4)计算了主蜂窝障碍块和缓冲器构件的强度要求。(对于主蜂窝障碍块要求碰撞强度达到: $0.308\text{MPa} \leq S(n) \leq 0.342\text{MPa}$;对于缓冲器构件要求碰撞强度达到: $1.540\text{MPa} \leq S(n) \leq 1.711\text{MPa}$;其中 $S(n)=F(n)/A$,为各区域试验铝制蜂窝障碍块的碰撞力强度; $F(n)$ 为各区域($n=1、2、3$)试验铝制蜂窝障碍块所受到挤压力的均值, A 为试验铝制蜂窝障碍块受压表面的表面积)。证明该偏置可变形壁障模型是正确有效的。

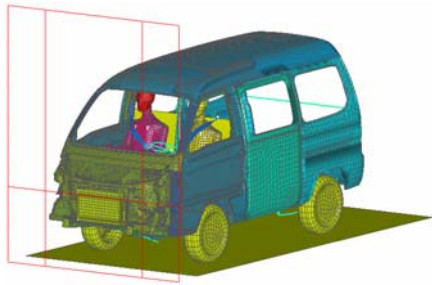


图 1 整车前碰撞有限元模型

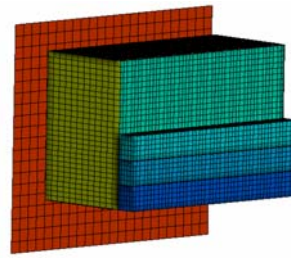


图 2 偏置碰撞障碍壁模型

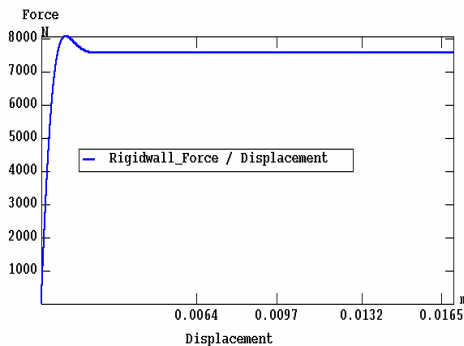


图 3 蜂窝障碍碰撞力与位移曲线

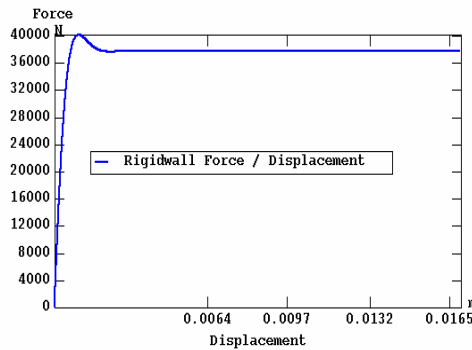


图 4 缓冲器构件碰撞力与位移曲线

3 30° 斜角和 40%偏置碰撞特性分析与评价

由于仿真计算很难确定碰撞过程中车门是否开启或碰撞结束后能否不使用工具打开车门。故本文对比全宽正面碰撞的各项数值,根据仪表板后移量($\Delta L_1=L_1-L_1'$,见图 5,下同)、转向盘上移量(ΔL_2)和后移量(ΔL_3)、制动踏板后移量(ΔL_4)在碰撞过程中的最大值,前门框变形(ΔL_5 、 ΔL_6 和 ΔL_7)在碰撞过程中的最终值来判断上述两项内容,并结合车身减速度(在驾驶员侧 B 柱下端测量)的最大值($a_{\max}$)来评价该微型客车 30° 斜角碰撞及 40%偏置碰撞的抗撞性能。

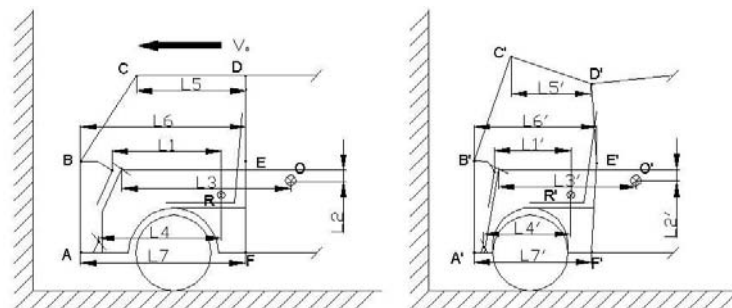


图 5 正面抗撞性的评价参数

该微型客车按照 FMVSS 208 进行 30°斜角碰撞的过程中,用于衡量乘员安全生存空间的指标包括仪表板、转向盘和制动踏板的后移量 ΔL_1 、 ΔL_3 和 ΔL_4 的最大值分别达到了 0.156m、0.096m 和 0.187m,在忽略座椅向前移动量(这个值一般很小)的情况下,碰撞过程中通过仪表板最后边投影线的横向平面、通过转向盘中心点的横向平面、通过制动踏板中心的横向平面与通过座椅 R 点的横向平面的最小距离分别为 0.391m、0.133m 和 0.607m。

在该微型客车按照 ECE R94.01 进行 40%偏置碰撞的过程中,用于衡量乘员安全生存空间的指标 ΔL_1 、 ΔL_3 和 ΔL_4 的最大值分别达到了 0.148m、0.087m 和 0.177m,在忽略座椅向前移动量的情况下,碰撞过程中通过仪表板最后边投影线的横向平面、通过转向盘中心点的横向平面、通过制动踏板中心的横向平面与通过座椅 R 点的横向平面的最小距离分别为 0.399m、0.149m 和 0.617m。

由于 30°斜角碰撞和 40%偏置碰撞均为车身单侧受力吸能,故 30°斜角碰撞和 40%偏置碰撞形态下前部结构的纵向刚度均小于全宽碰撞形态下前部结构的纵向刚度。在该微型客车 30°斜角碰撞和偏置碰撞过程中,乘员舱碰撞侧发生了严重的挤压变形,仪表板、转向盘和制动器踏板的后移量都很大,即乘员的生存空间被严重破坏,同时,碰撞侧的前门框也发生了严重的挤压变形(图 6、7 为仿真计算获得的两种碰撞形态最终结果)。因此,在实际碰撞过程中,碰撞侧车门变形导致其开启的可能性较大;碰撞过程中未开启的车门,碰撞后,使用工具打开碰撞侧车门的可能性较小。而非碰撞侧由于几乎未参加碰撞,挤压变形非常小。虽然 40%偏置碰撞抗撞性的各项评价指标均稍小于 30°斜角碰撞相应评价指标,也即该微型客车 40%偏置碰撞的抗撞性能稍优于 30°斜角碰撞的抗撞性能,但仍然不能满足乘员生存空间的要求。所以,该微型客车的 30°斜角及 40%偏置碰撞的抗撞性必须加强。

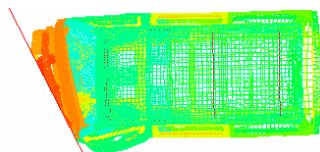


图 6 30°斜角碰撞车体变形情况

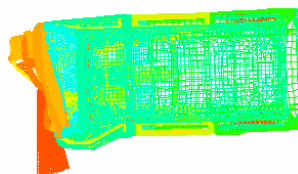


图 7 40%偏置碰撞车体变形情况

4 结构改进方案的确定及抗撞性评价

通过对底部结构及侧围结构刚度的研究,本文采用在侧围前部增加吸能构件,对前部碰撞力和能量进行分流的方案。由于吸能部件对后部支撑结构有较大的挤压作用,故还应应对 A 柱进行加强,同时要保证碰撞后车门能够开启,还应应对 B 柱进行加强,分别在 A、B 柱内加装 2mm 厚的加强板,加厚底部前纵梁,并在 A 柱前部增加吸能结构,为了方便与侧围后部部件的刚度匹配,采用等效梁代替实际结构,将实际吸能薄壁直梁的截面特性(可由有限元软件方便获得)

与刚度特性赋予该梁的方法，与实际结构具有等效效果^[3, 4, 5]，梁后端采用与 A 柱接触点节点约束模拟实际焊接情况。表 1 为最终确定模型相对于原模型的修改情况，图 8 为改进方案车体有限元模型。

表 1 最终模型更改部件

更改模型部位	厚度变化 (mm)	重量增加 (kg)
底部纵梁	增加底部纵梁加强板: 2.0	8.15
底部前纵梁	前纵梁: 原来厚度的 1.3 倍	1.72
侧围前吸能件	吸能梁: 0.7 倍厚度前纵梁	1.05
侧围框架	A 柱内加强板: 2.0 B 柱内加强板: 2.0 门内支撑杆直径 (3 个): 8.0	16.43



图 8 改进方案车体有限元模型

图 9 和图 10 为 30° 斜角碰撞和 40% 偏置碰撞改进后模型与原模型底部、侧围刚度曲线比较，改进后侧围、底部刚度特性较好。30° 斜角碰撞乘员舱变形由 0.179mm 减小到 0.036mm，40% 偏置碰撞乘员舱变形由 0.152mm 减小到 0.017mm，两种碰撞形态基本满足乘员舱变形要求。30° 斜角碰撞中侧围刚度曲线 F_p (刚度曲线第一峰值) 迅速增大到 163.9KN，侧围前吸能件吸能 10.55KJ，前部共吸能 45.68KJ，达到吸能参考目标要求；40% 偏置碰撞中，由于偏置壁障块结构特点，侧围前吸能件与壁障块接触较晚，且由于偏置壁障本身缓冲吸能作用，侧围刚度曲线 F_p 增大较少，侧围前吸能件吸能较少，前部共吸能 37.15KJ，小于 30° 斜角碰撞前部吸能。

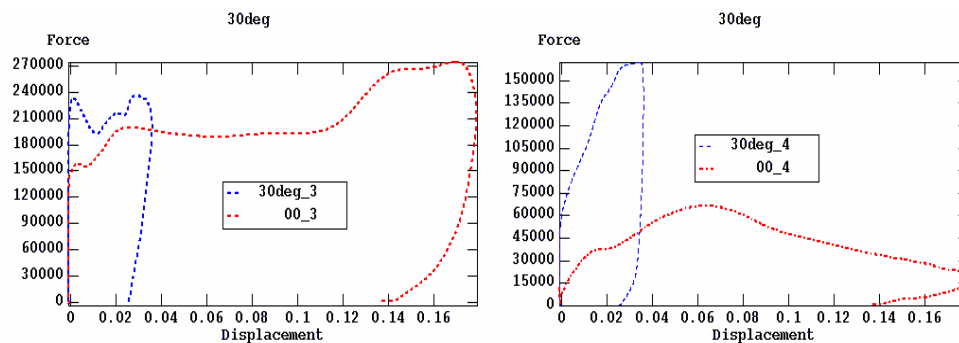


图 9 30° 斜角碰撞改进模型与原模型乘员舱底部和侧围部位刚度比较

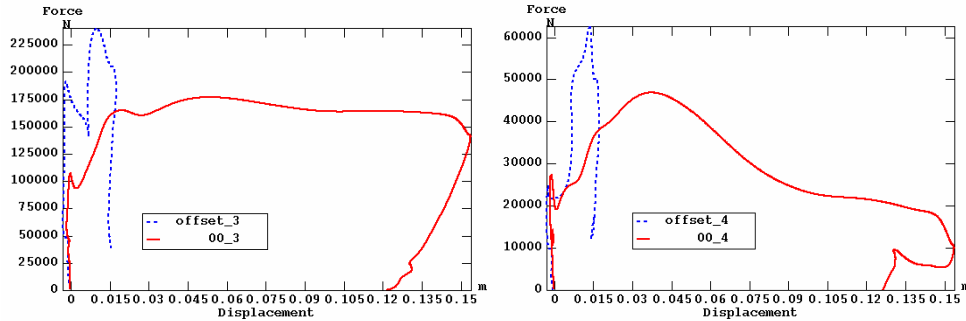


图 10 40%偏置碰撞改进模型与原模型乘员舱底部和侧围部位刚度比较

在 30° 斜角碰撞过程中, 用于衡量乘员安全生存空间的指标——仪表板、转向盘和制动踏板后移量 ΔL_1 、 ΔL_3 和 ΔL_4 的最大值分别为 0.059m、0.056m 和 0.095m, 而原微型客车的相应指标分别为 0.156m、0.096m 和 0.187m。在 40% 偏置碰撞过程中, ΔL_1 、 ΔL_3 和 ΔL_4 的最大值分别为 0.034m、0.044m 和 0.08m, 而原微型客车的相应指标分别为 0.148m、0.087m 和 0.177m。因此, 改进后, 30° 斜角碰撞及 40% 偏置碰撞中乘员生存空间得到了极大改善。30° 斜角碰撞及 40% 偏置碰撞结束后, 车门框均发生了一定的挤压变形, 但是很小, 因此, 在实际碰撞过程中, 由车门变形导致其开启的可能性较小; 碰撞过程中未开启的车门, 碰撞后, 使用工具打不开车门的可能性较小。

图 11 为结构改进后, 全宽碰撞、30° 斜角碰撞和 40% 偏置碰撞过程中在 B 柱下部测点处测得的车身减速度的时间历程曲线, 使用的滤波器为 CFC60。由于改进后增加了乘员舱及前部吸能结构的刚度, 全宽碰撞、30° 斜角碰撞及 40% 偏置碰撞车身减速度值有所增加, 其中全宽碰撞增加到 57.9 g, 经过与乘员约束系统匹配后计算乘员伤害值, 头部伤害指标驾驶员侧达到 978, 可以满足正面碰撞法规 CMVDR 294 的要求。因此, 对该微型客车的结构改进基本满足保持乘员生存空间的要求, 改进是合理可行的。

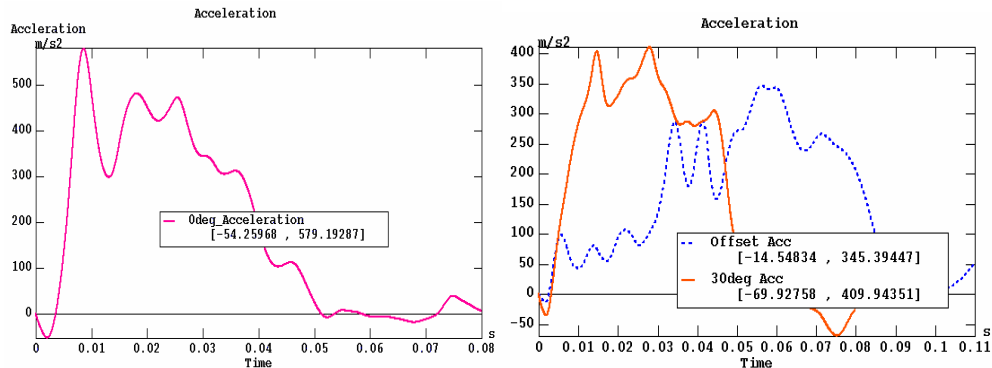


图 11 全宽碰撞、30° 斜角碰撞及 40% 偏置碰撞车身减速度曲线

5 结论:

本文通过对微型客车乘员舱刚度和乘员舱各部位刚度特性改善潜力分析, 根据对碰撞力及能量进行分流的思想, 在侧围前部增加吸能部件, 并提高吸能件后部侧围结构的刚度, 增加侧围结构在碰撞过程中对力和能量的传递作用, 配合底部结构达到吸能参考目标的要求, 提高车体的抗撞性能。本文未开展对如何依据车辆初始动能和约束系统匹配的要求确定对前部结构吸能特性和乘员舱刚度特性的要求的系统研究。对前部结构吸能参考目标的要求, 是结合工程经验和基于有限元模型的试算提出的初步要求。其最终改进结果可满足抗撞性要求, 对乘员约束

系统来说不一定最优。

6 参考文献

1. 王瑄, 李宏光, 赵航, 现代汽车安全, 人民交通出版社, 1997
2. 张建伟, 基于数值模拟技术提高微型客车正面抗撞性的研究, 博士学位论文, 吉林大学, 2003
3. 朱西产, 钟荣华, 薄壁直梁件碰撞吸能计算机仿真方法的研究, 汽车工程, 2000 年 02 期
4. Suk-jae Hahm, Yong-hee Won and Dong-seok Kim, Frontal Crash Feasibility Study Using MADYMO 3D Frame Model, SAE Paper 1999-01-0072
5. B. R. Deshpande, T. J. Gunasekar, V. Gupta and S. Jayaraman, Development of MADYMO Models of Passenger Vehicles for Simulating Side Impact Crashes, SAE Paper 1999-01-2885