

Comparison of Factors of Frontal Restraint System in Microbus and Sedan

WU Guangyao¹, WANG Hongyan², SANG Xinhao²

¹Chinesisch-Deutsche Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Shanghai, China, 201804

²School of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai, China, 201804

Abstract: There are differences in body structure, internal layout, performance and operational environment. It results that designs of restraint system in sedan and microbus must meet respective different requirements. To select appropriate factors of restraint system in microbus is the key point to promote its performance. In this paper a local microbus is selected as a prototype. Its restraint system is constructed as FE model in MADYMO. Setting WIC as the evaluating criteria, the optimization range of factors can be obtained from results of simulation. Optimizations of restraint system in microbus and sedan are compared, which can give a reference for development of restraint system in microbus.

Keywords: Automotive safety, Microbus, Sedan, Restraint system, Factor comparison, MADYMO

微型客车与轿车正面碰撞约束系统参数比较

吴光耀¹, 王宏雁², 桑新浩²

¹同济大学中德学院, 上海 201804;

²同济大学汽车学院, 上海 201804

摘要: 微型客车和轿车在车身结构、空间布置、自身性能及使用环境等方面存在差异, 使两者的约束系统在设计上必定存在不同要求。针对微型客车选择合适的约束系统参数是提升其效能的关键。本文以某款国产微型客车作为原型, 使用 MADYMO 建立它的约束系统模型。其中车体采用有限元模型。以 WIC 作为性能评价指标, 通过仿真分析, 得出微型客车约束系统参数的优化区间。对比轿车约束系统参数优化, 为微型客车约束系统开发提供参考。

关键字: 汽车安全; 微型客车; 轿车; 约束系统; 参数比较; MADYMO

1 引言

微型客车在我国具有非常广阔的市场, 不仅在现代化程度较高的城市地区, 在广大的城郊和欠发达地区的需求更是十分旺盛, 相应地微型客车安全问题也越来越引起人们的关注。尽管安全气囊在轿车上的应用已经达到全面普及的水平, 对它的研究趋于成熟, 所有的研究和调查数据也都显示, 这种安全系统的应用显著地提高了轿车的安全性能, 对于车内乘员的保护起到了重要的作用。但是微型客车与轿车在车身结构、空间布置、自身性能及使用环境的差异, 使得轿车的约束系统不可能完全适合微型客车的需求, 要想达到最佳保护效果, 微型客车的约束系统无法简单地照搬轿车的设计。目前国内对微型客车约束系统的研究大多围绕着改变方向盘结构、气囊折叠方式、分析约束系统各参数的灵敏度等方面。本文的研究选择采用有限元模型对车体建模, 便于真实地反应车内各部件的材料属性、假人与车体的接触, 提高仿真的准确性; 建立微型客车约束系统仿真分析模型, 研究微型客车约束系统各参数的优化区间, 并将其和轿车约束系统参数比较, 分析两者之间的差异。

2 模型建立

本文采用荷兰 TNO 公司的 MADYMO 多刚体动力学分析软件来建立微型客车乘员约束系统模型。该模型包括车体、安全带、气囊、假人、座椅等。模型依据某微型客车的实际尺寸建立, 按设计要求对内部各个子系统进行定位, 模型中使用的材料均来源于真实的材料参数。车体有限元模型的网格信息直接从整车有限元模型中截取导入 MADYMO 中, 并将每种材料的参数做相应的转化。

车体、气囊和部分安全带采用有限元模型，便于准确地模拟这些部件与人体之间的相互作用。未和人体接触的部分模型通过 Support 固定在车体上，各子模型之间不存在接触。将假人与约束系统的所有可能接触设为刚体与有限元接触（MB_FE）。气囊与方向盘的接触设为有限元与有限元接触（FE_FE）。座垫、靠背、头枕与座椅骨架之间也设置有限元与有限元接触。模型如图 1 所示。



Figure 1. Simulation model
图 1. 仿真模型

在仿真中将车体视为静止，加速度场直接作用在假人身上。由于加速度曲线峰值的大小和变化趋势都直接影响假人的动力学响应和伤害指标的值。故将 LS-DYNA 中仿真获取的减速度波形导入模型之前和实验曲线进行对标，如图 2 所示。通过比较仿真曲线和试验曲线的峰值、对应时刻和变化趋势，可以确定仿真曲线的精度符合要求。另外还从 LS-DYNA 中提取出各部件的变形曲线作为输入导入模型中。

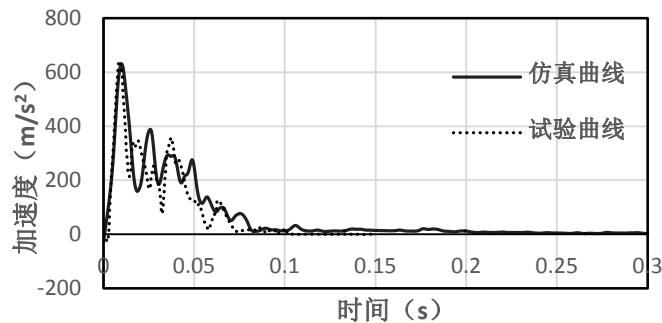


Figure 2. Acceleration curve
图 2. 减速度波形

在 MADYMO 中对模型进行多次调整和校正直到仿真得到的乘员伤情曲线和试验曲线基本吻合。所得各伤情指标与试验值相差都在 12%以内，如表 1 所示。仿真过程中乘员运动响应如图 3 所示。

Table 1. Occupant injury index and simulation error
表 1. 乘员伤害指标及仿真误差

	HIC ₃₆	C _{COMP} (mm)	C _{3MS} (m/s ²)
仿真	1170.35	55.5	500.47
试验	1052	59.6	550.8
误差	11.25%	6.8%	9.13%

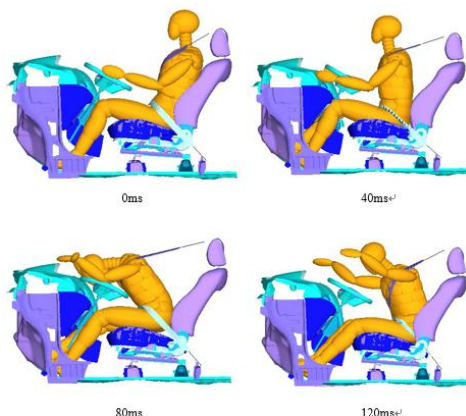


Figure 3. Occupant movement response
图 3. 乘员运动响应

3 参数分析

通过对微型客车事故特征分析发现，在实际微型客车与轿车碰撞事故中微型客车的速度变化量比轿车的更大，两者的接触碰撞时间相同，因此碰撞中微型客车的减速度更大，在微型客车中人体相对车体的运动响应更快，人体与气囊接触时间和接触速度可能也不相同。为了达到最佳的保护效果，需要重新调整气囊泄气阻尼、气囊展开时间、气囊充气时间。对应的气囊参数分别为气囊泄气率、气囊起始点爆时刻、气体质量流率。安全带的使用可以有效地限制乘员相对车体向前运动，为了使安全气囊和安全带保护作用相互匹配还选择安全带织带刚度作为优化参数。

通过对 A 级车及微型客车内部约束系统尺寸和相对位置的统计发现，两者内部约束系统的布置存在明显差别。两者座垫和安全带上挂点高度相差较大，座垫高度差距在 13cm 左右，安全带上挂点高度相差在 11cm 左右。考虑到座垫高度变化可能对乘员视野的影响，故仅选取安全带上挂点高度进行研究。

根据微型客车事故特征分析，结合约束系统的布置特点，参照以往轿车约束系统优化研究，最后选取 5 个约束系统参数进行优化，这 5 个参数包括气囊泄气率、气囊点爆起始时刻、气体质量流率、安全带刚度、安全带上挂点高度。分别以这 5 个参数作为变量，分析它们对乘员综合伤害评价指标 WIC 的影响，见图 4-8。

4 对比分析

4.1 泄气率

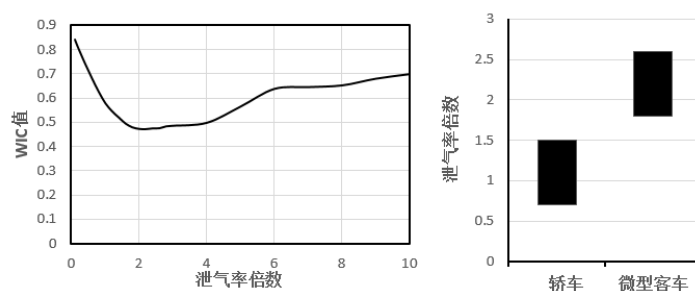


Figure 4. Analysis and comparison of the rate of air leakage
图 4. 泄气率分析及比较

微型客车约束系统的泄气率变化对综合伤情影响比较明显，如图 4。随着泄气率增大，WIC 先减小后增大，尤其是在区间[0, 2]和[4, 6]内 WIC 变化较大。当泄气率低于 2 倍时，气囊泄气太慢，无法充分吸收乘员身体动能。当泄气率超过 4 倍时，泄气太快，未对乘员起到良好的缓冲作用，WIC 上升明显。泄气率倍数在区间

[1.8, 2.6]之间时 WIC 最小。根据文献^[1]研究表明,轿车驾驶座正面气囊的泄气率限制一般在[0.7, 1.5]内。若比较微型客车和轿车在同样速度下的碰撞减速度曲线,微型客车的减速度峰值更高,内部乘员运动响应会更快,与气囊接触时速度更大,因此需要更高的泄气率来吸收乘员更大的动能。

4.2 起始点爆时刻

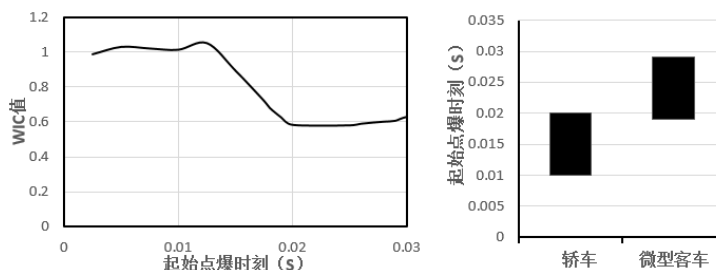


Figure 5. Analysis and comparison of starting point explosion time

图 5. 起始点爆时刻分析及比较

当微型客车正面气囊的起始点爆时刻早于 0.013s, 会导致气囊泄气时乘员才与气囊接触, WIC 较大。此后, 随着点爆时刻的推迟, WIC 显著下降。当起始点爆时刻在约 0.02s 时, WIC 下降至最小, 即当气囊完全展开时, 乘员刚好与气囊接触。在 0.02s 和 0.03s 之间, 气囊点爆时刻的推迟对 WIC 影响不大, 如图 5 所示。根据多次仿真结果, 微型客车的正面气囊起始点爆时刻应该控制在[0.019, 0.029]内。根据文献资料^[2]表明, 轿车正面气囊的起始点爆时刻优化区间是[0.01, 0.02]。两者产生差异的原因是微型客车中方向盘相对的座垫位置高度更低。乘员上半身要绕臀部运动更大的距离才能与气囊接触。

4.3 气体质量流率

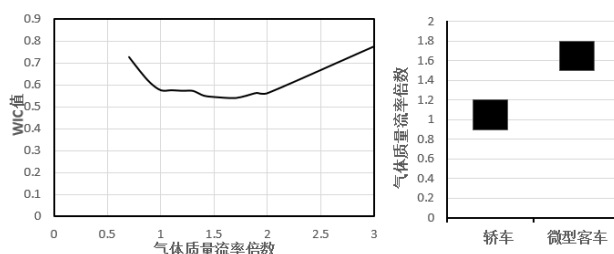


Figure 6. Analysis and comparison of gas mass flow rate

图 6. 气体质量流率分析及比较

从图 6 可以看出, 当微型客车正面气囊的气体质量流率减小到 1 倍以下时, WIC 显著升高, 是因为在这种情况下气囊未完全充满气即与乘员接触, 易对乘员造成二次伤害。当气体质量流率在 1-2 倍之间, WIC 较稳定, 变化幅度不大。但当气囊充气过快, 气体质量流率超过 2 倍时, WIC 又明显升高, 是因为此时气囊过早地展开, 乘员是与泄了气的气囊接触, 对乘员缓冲不足。根据多次仿真结果, 气体质量流率在[1.5, 1.8]内, WIC 最小。根据文献资料^[1]研究表明, 轿车的正面气囊气体质量流率应控制在[0.9, 1.2]内。微型客车正面气囊的气体质量流率较轿车的更高, 能够更迅速充满气囊, 减少气囊与人体接触之前的泄气, 增强气囊的缓冲效果。

4.4 安全带刚度

从图 7 可以看出, 随着安全带的刚度增加, 乘员受安全带的约束作用更强, WIC 有下降的趋势, 但是效果不明显。根据仿真结果分析, 安全带刚度在[1.6, 2.0]内乘员伤情最小。根据文献资料^[1]研究表明, 轿车的安全带刚度优化区间为[0.8, 1.2]。由于微型客车碰撞中减速度峰值更高, 因此为了更好地约束乘员运动, 微型客车中安全带的刚度较轿车应更大一些。

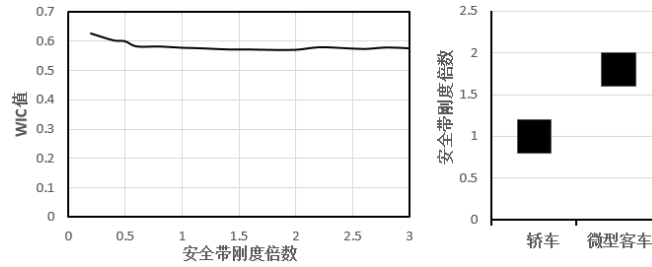


Figure 7. Analysis and comparison of safety belt stiffness
图 7. 安全带刚度分析及比较

4.5 安全带上挂点高度

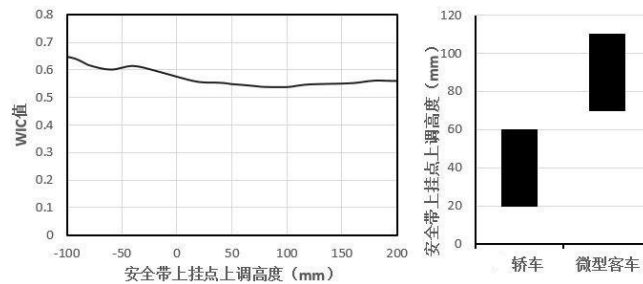


Figure 8. Analysis and comparison of safety belt hanging point
图 8. 安全带上挂点分析及比较

如图 8 所示当下调安全带上挂点高度时 WIC 上升。而上调安全带上挂点高度可以减小 WIC, 当上调至 100mm 时, WIC 最小, 继续上调则又会增大 WIC。经过多次仿真计算安全带上挂点的上调量应控制在 [70, 110] 内。根据文献资料^[3]表明, 轿车安全带上挂点的高度调节优化区间是 [20, 60]。这是由于微型客车中座垫高度较轿车中更高。

5 讨论

本文使用有限元方法建立车体模型, 根据各部件材料属性在 MADYMO 中选择合适的材料模型赋予真实材料参数, 实现准确建模。在模型对标后进行多次仿真, 根据仿真结果分析了微型客车约束系统参数变化对乘员综合伤情评价 WIC 的影响并确定了各参数优化区间, 最后将轿车与微型客车参数优化区间对比。将由此得出的结论与在同样的碰撞车速下的轿车的约束系统参数相比较, 有这样一些结论可供讨论:

- 1) 微型客车的减速度峰值更高, 内部乘员运动响应会更快, 与气囊接触时速度更大, 因此需要更高的泄气率来吸收微型客车乘员更大的动能, 更大刚度的安全带来约束乘员的运动。
- 2) 微型客车中方向盘相对座垫位置更低, 乘员上半身要绕臀部运动更大的距离才能与气囊接触, 微型客车正面气囊的最佳起始点爆时刻相比轿车的更迟。
- 3) 微型客车正面气囊气体质量流率相比轿车的更高可以保证在更短时间内使气囊完全充气, 减小气囊在与乘员接触前的泄气。
- 4) 微型客车中座垫相比轿车中更高, 这影响微型客车内安全带上挂点位置。

参考文献 (References)

- [1] 葛如海. 汽车正面碰撞乘员约束系统匹配研究[D]. 镇江: 江苏大学博士研究生论文, 2007
- [2] 李志刚, 张金焕等. 某微型轿车正面约束系统建模及影响因素分析, 2009 中国汽车安全技术国际研讨会
- [3] 胡玉梅, 何欢等. 微型轿车乘员约束系统设计参数与人体损伤研究[J]. 安全与环境学报, 2008