

文章编号: 1002-0268 (2004) 02-0119-04

轻型客车正面碰撞车架吸能结构优化设计

王大志, 孔凡忠, 黄世霖, 张金换
(清华大学汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 非承载式车身结构的轻型客车发生正面碰撞时, 车架是主要变形吸能结构。因此, 根据正面碰撞安全法规对某轻型客车的碰撞安全性改进设计中, 以车架改进为重点, 采用计算机模拟和试验相结合的方法优化设计了车架吸能结构, 控制了车架的刚度和变形, 为整车通过我国正面碰撞安全法规奠定了坚实的基础。项目进行过程中在国内首次将大规模网络集群并行计算技术应用于汽车领域, 同时开创性地进行了车架总成动态冲击试验。改进实践证明, 类似结构的车辆可以通过对车架吸能区结构的优化设计, 在短时间内以较低的代价显著提高碰撞安全性能。

关键词: 轻型客车; 碰撞; 车架; 动态冲击试验; 并行计算

中图分类号: U469.1 **文献标识码:** A

Improvement Design of Minibus' s Frame Structure in Frontal Impact

WANG Da-zhi, KONG Fan-zhong, HUANG Shi-lin, ZHANG Jin-huan
(State Key Lab of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In the frontal impact of a minibus, the most of crash energy is absorbed by the minibus' s frame structure. Some improving designs on a minibus according to the requirements of frontal impact regulation in China emphasize on it' s framework, retaining exterior shape and main structure unchanged. Through numerical analysis and frame dynamic slide tests, the frame structure is optimized, also its displacement and rigidness are completely controlled, which is the base of the passive safety performance of a complete vehicle. By this way, similar vehicles' passive safety can be improved evidently in a shorter term and at a lower cost.

Key words: Minibus; Impact; Frame; Dynamic impact test; Parallel Calculation

0 引言

轻型客车因其相对价格低廉和宽敞的乘员空间等特点在我国有广阔的市场。随着正面碰撞法规适用范围的扩大, 轻型客车也面临着通过安全法规的要求。因此对轻客的正面碰撞安全性改进成为非常迫切的课题。

我国轻客经过几年的发展已经形成了几家很具规模的厂家, 其生产模具一般还未到报废期限, 对整车碰撞安全性的改进要综合考虑工艺性以及改进成本。

1 改进车架提高整车碰撞安全性

目前我国轻型客车主要还是采用非承载式车身形

式, 保留比较明显的车架、车身结构。一般在这种结构的汽车发生正面碰撞时, 车架吸收的碰撞能量可以占到总碰撞能量的 $2/3$ 或者更多^[3]。

以这种结构的某轻型客车的碰撞安全性改进过程为例。改进前汽车按照我国正面碰撞法规试验车身减速度如图 1。该车结构整体刚度较大, 导致一系列的问题, 主要体现在乘员伤害指标上, 各项指标都大大超过法规限定值。

图 1 中车架冲击试验 (详细情况见 2.2 节) 减速度曲线与整车减速度曲线吻合情况较好, 说明发生正面碰撞时主要能量由车架吸收。通过车架冲击试验建立车架与整车减速度关系, 利用汽车前部空间, 通过

收稿日期: 2002-12-30
作者简介: 王大志 (1978-), 男, 上海人, 清华大学硕士研究生。

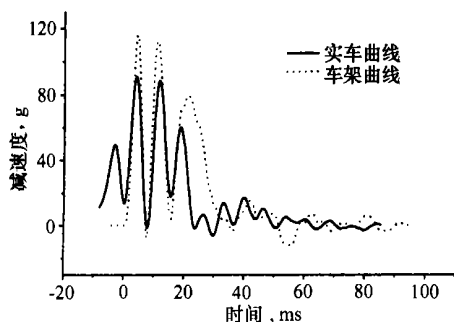


图 1 改进前正面碰撞车身减速度曲线

控制车架变形、减速度峰值,在不影响其他结构性能的情况下,充分利用车架变形吸收撞击能量,提高该车的耐撞性。

2 车架吸能区结构优化设计

2.1 计算机模拟计算分析

本试验室使用自建的 8CPU 网络并行集群计算系统,计算软件是 ANSYS 公司的 DYNA-3D 最新并行版本 (MPP960)。这套系统的计算速度可以达到同主频单机的 6.5~7.5 倍。计算速度大大提高使得模拟计算技术在车架优化设计上发挥了更大的作用。

车架结构改进目的是在空间允许范围内充分利用结构变形吸收足够的碰撞能量,为此首先建立车架有限元计算模型,车架各部件的连接方式、材料定义等均按照生产工艺卡定制。参考整车碰撞试验结果调整车架计算模型,并保证其准确有效。

改进前汽车碰撞试验车身减速度曲线峰值较高,而其波形脉宽较窄,其刚硬的车架结构是产生这种形式的减速度的主要原因。这种形式的减速度对乘员约束系统的要求过高,非常不利于乘员保护,另外也对油箱等其他零部件的选配安装造成不利影响。因此对车架的改进主要考虑以下几个方面:

(1) 为降低整车碰撞刚度,增加车架吸能区长度,同时降低车架原结构的刚度,将碰撞时车身减速度控制在较低的水平上,这样可以很大程度上缓解对乘员约束系统的压力。

(2) 车架刚度和变形量是一对矛盾,降低刚度必然导致变形量增大,因此在降低刚度的同时,需要综合控制车架吸能区长度、变形顺序,不能使变形侵入乘员空间。

(3) 兼顾工艺性、质量、改进成本等因素,要求采用结构改动最少的方案。

根据以上原则,设计了十多种不同改进方案,每种方案要选择数十种主要吸能结构参数。高速的网络集群并行计算系统的投入使用大大提高了计算速度。

对于约有 50 000 个单元,最小单元 8mm 的计算模型,改动设计参数以及方案后在半小时内可以得到计算结果,迅速分析各种改进方案的效果。在短时间内计算了一百多个不同方案、不同参数的车架改进模型,最终对车架前段结构进行了重新设计。计算改进前后车架前部变形情况、减速度波形对比如图 2、图 3。

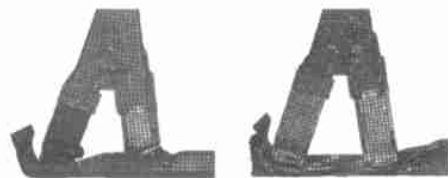


图 2 改进前后计算车架前部变形

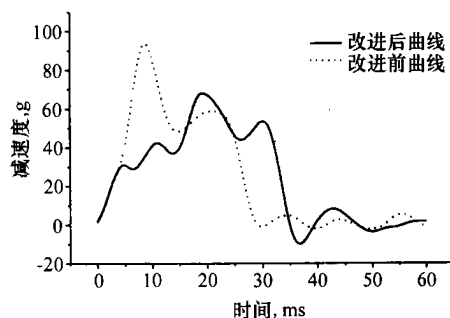


图 3 改进前后车架计算减速度曲线

最后确定的改进方案在车架前部增加了吸能区,对原车架前部结构作了必要的改动。从数值计算的结果来看,改进方案的效果非常显著,车架相对变形量由原来的 155mm 减为 130mm,减速度峰值比改进前降低近 $1/3$,前部的塑性变形能量吸收能力大幅度提高。

通过这样的改进控制了车架的变形方式、变形量以及车架减速度峰值,在理论上已经为乘员保护提供了比较好的平台。但仅仅依靠模拟计算手段不能最后确定改进方案,需要在实际中检验方案的有效性。因此,对改进后车架进行了冲击试验。

2.2 车架总成动态冲击试验

数值计算结果提供了大量的参考依据,但有限元方法是验算方法,在确定设计改进方案时可以帮助选择最佳方案。目前计算机虚拟试验技术不能完全代替实车碰撞试验,计算模型的建立离不开实际试验的结果参数,更重要的是模拟计算的结果需要用试验结果来检验。

车架动态冲击试验是一种新的试验方式,适用于非承载式车身结构汽车的碰撞安全结构改进。具体来说,车架动态冲击试验方法是將车架总成固定在台车上,使台车以整车的某一折算速度冲击固定障碍壁,测量车架的变形量和减速度。这种试验方法费用较

低，而且可以在短时间内进行多次试验，取得更多的试验数据，检验并确保数值计算结果的有效性。车架冲击试验实际情况如图 4、图 5。



图 4 车架冲击试验

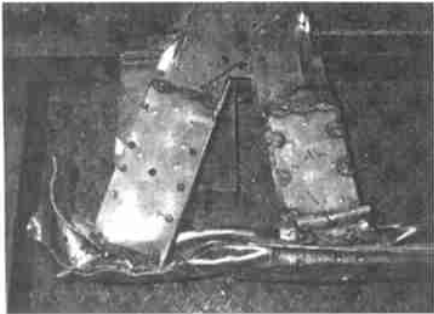


图 5 车架冲击试验前部变形

对改进前车架的冲击试验结果，验证了这种试验与整车试验具有一定的可比性。改进前车架冲击试验减速度与整车正面碰撞试验减速度对比见图 6。曲线对比表明车架冲击试验减速度与整车碰撞减速度吻合比较好，同时车架前部变形量相同，说明在该车的正面碰撞中车架起到了主要的吸能作用，车架可以在一定程度上表征整车碰撞性能，那么对车架的改进就能够提高整车的耐撞性。

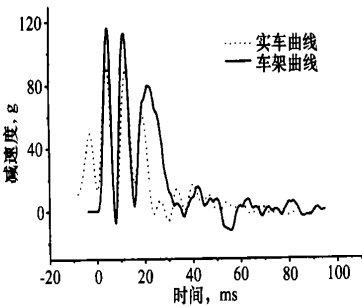


图 6 改进前车架冲击试验与原整车试验减速度对比

对改进车架进行动态冲击试验。试验减速度曲线如图 7、图 8。图中试验曲线与计算曲线在波形上走向趋势一致，但存在一定的差异，这是由试验方法决定的。车架冲击试验是将车架固定在滑车上冲击障碍壁的试验方法，使用同一滑车对不同改进车架总成进行多次试验，因此车架总成与滑车之间的连接必然存

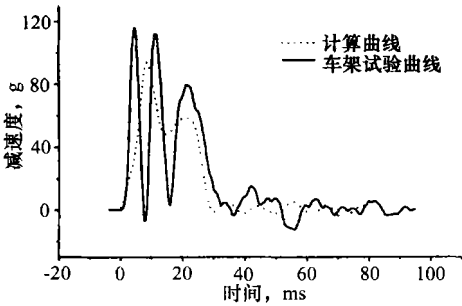


图 7 改进前车架冲击试验与计算减速度对比

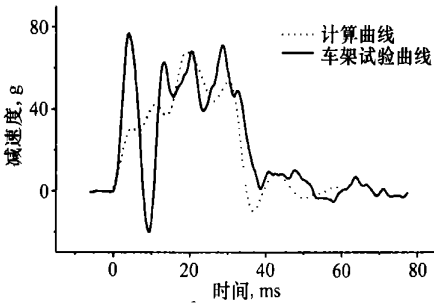


图 8 改进后车架冲击试验与计算减速度对比

在间隙。另外由于实际车架制作质量控制不完全一致，导致车架冲击试验结果减速度曲线有比较明显的波动。试验减速度曲线的第一峰一般偏高，是碰撞开始后车架与滑车间消除连接缝隙产生的。

改进后车架减速度峰值降低 30.8%，车架变形量也与模拟计算值符合。通过车架冲击试验，既验证了计算结果的准确可靠，也验证了改进方案实际可行性和有效性。车架冲击试验是承载式车身汽车的正面碰撞安全性改进的一个中间过程，以较低的资金和时间代价，直接检验了车架模拟计算方案的实际效果，是一种可以加快改进速度，节约成本的高效方法。

3 整车试验结果

车架变形区结构优化设计的同时，匹配整车乘员空间。乘员空间包含乘员约束系统，是联系车身与乘员的纽带。利用台车试验对乘员约束系统部件作全面检验改进后，按照改进设计方案加工样车，并对改进车按法规要求进行正面碰撞试验。

试验结果车身减速度与车架冲击试验减速度对比如图 9。车身减速度峰值比改进前降低近 35%，达到了车架结构改进目的。车架总变形量与车架冲击试验车架变形量相同，乘员空间保持完整；乘员各伤害指标都远低于法规要求的上限值。

4 结论

在该轻型客车改进过程中，短时间内通过模拟计

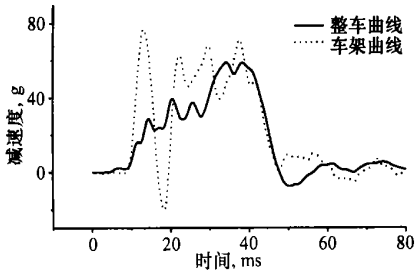


图 9 改进后整车碰撞减速度曲线

算辅助计算分析,优化设计了车架前部吸能区,进行了车架冲击试验验证,为该型车通过我国正面碰撞法规奠定了坚实基础。

针对非承载式车身结构的轻型客车的结构特点,对车架进行结构优化改进作为整车正面碰撞安全性能系统改进的基础,可以在很大程度上提高整车的结构耐撞性能。实践证明,采用模拟计算等辅助手段,有效地控制车架刚度和变形,在此基础上匹配乘员空间,非承载式车身的轻型客车能够在不改变外形,不

配备安全气囊的情况下通过正面碰撞安全法规。

目前随着我国越来越严格的安全法规的颁布,国内现有车型有一大部分需要重新考虑安全性能。对一些非承载式车体车架结构的改进,可以通过这种方法,在较短时间内,以较低成本显著提高被动安全性。

参考文献:

- [1] 黄世霖, 张金换, 等. 汽车碰撞与安全 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [2] 刘凤梧, 等. 微型客车针对正面碰撞法规的系统改进设计 [J]. 汽车技术, 2002 (9).
- [3] 龚剑. 利用数值模拟改进某微型客车的碰撞安全性 [D]. 清华大学硕士学位论文, 2001.
- [4] Axel Kaiser, Adam Opel AG. Some Example of Numerical Simulation in Vehicle Safety Development [R]. SAE Paper 921074
- [5] J G Thacker. Experiences During Development of a Dynamic Crash Response Automobile Model [J]. Finite Elements in Analysis and Design 30 (1998) 279—295.

(上接第 114 页) 应用于高速时情况, 同样可以取得良好的控制效果。



图 6

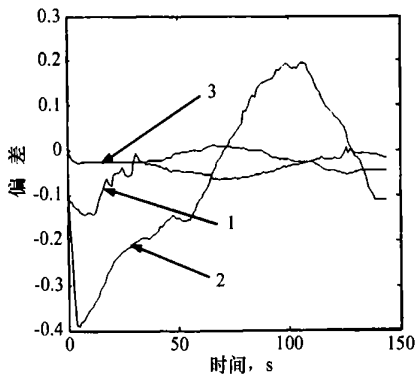


图 7

参考文献:

- [1] H Harada. Stability Criteria of Driver—vehicle System and Objective Evaluation of Vehicle Handling Performance [J]. Int. J. of Vehicle. Design, 1997, 18 (6).
- [2] P Martinet, C Thibaud. Automatic Guided Vehicles: Robust Controller Design in Image Space [J]. Autonomous Robots, 2000 (8).
- [3] K C Koh, H S Cho. A Smooth Path Tracking Algorithm for Wheeled Mobile Robots with Dynamic Constraints [J]. Journal of intelligent and Robotic Systems, 1999 (24).
- [4] 王荣本, 等. 基于视觉的智能车辆自主导航最优控制器设计 [J]. 汽车工程, 2001 (2).
- [5] 郭孔辉. 汽车操纵动力学 [M]. 吉林: 吉林科技出版社, 1991: 202—271.
- [6] 王志中, 等. 自动引导车辆转向系统的辨识建模 [J]. 农业工程学报, 1999 (2).
- [7] 方崇智, 等. 过程辨识 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1988: 133—175.
- [8] 田宏奇. 滑模控制理论及其应用 [M]. 湖北: 武汉出版社, 1995: 23—51.