

一种新的客车侧翻试验仿真评价方法

葛 健,张维刚

湖南大学;汽车车身先进设计制造国家重点实验室,长沙 410082

摘要 依据有限元建模理论,建立整车车身骨架有限元模型,介绍并分析了在真实试验中和在仿真试验中对生存空间现有的评价方法,针对在仿真试验中现有生存空间评价方法的不足,提出了一种新的评价方法——穿透式生存空间评价方法。运用新的评价方法对有限元模型进行仿真试验,仿真试验结果表明:客车上部结构侵入到生存空间,该客车不满足法规要求。之后,针对该车上部结构强度的不足之处,对车体结构提出合理的改进方法,即将车体结构改成封闭环结构和在腰梁与地板横梁连接部位加入脚板,进一步的仿真试验验证了结构改进后的模型满足法规要求。从而验证了新的评价方法是一种简单实用、准确可靠的方法,也为国内客车生产厂家侧翻试验有限元分析提供借鉴和参考。

关键词 大客车;侧翻;有限元仿真;生存空间;评价方法

中图分类号 U461.91

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)13-0019-05

Simulation of a New Evaluation Method in the Coach Rollover Test

GE Jian, ZHANG Weigang

State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacture of Vehicle Body; Hunan University, Changsha 410082, China

Abstract A Finite Element (FE) model of the coach framework is established. Based on an analysis of the existing evaluation methods for residual space in real tests and simulations, especially their shortcomings, a new evaluation method of transmission-type residual space is proposed. Then the finite element model of the coach framework is used to simulate this new evaluation method. It is shown that the coach superstructure would be plunged into the residual space, as against the regulatory requirements. The strength of the coach superstructure is less than desirable, so a method is proposed to improve the coach body framework—a ring type structure and added foot beams to connect waist rails and floor beams. The simulation results show that the improved coach body framework is satisfactory and the new evaluation method is simple, practical, accurate and reliable.

Keywords coach; rollover; finite element simulation; residual space; evaluation method

0 引言

据历年道路交通事故统计分析,客车的碰撞、侧翻和坠落(坠崖、坠河)是造成群死群伤重大交通事故的主要原因^[1]。而侧翻事故死亡率远大于前后碰撞时的死亡率。为了减少侧翻事故中的伤亡,许多国家都已将大客车的翻滚试验作为强制性的认证试验。如:美国的 FMVSS 220、欧洲的 ECE R66、澳大利亚的 ADR 59/00、南非的 SANS 1563 等都对大客车上

部结构强度的试验性能作出了规定^[2]。现阶段,客车侧翻安全越来越受到人们重视,中国参照欧洲 ECE R66 法规,在国家标准中增加了对客车上部结构强度强制执行的要求^[3],且逐步进行修改和完善。

以破坏性的实车侧翻试验作为客车安全性的评价依据,费用昂贵、周期较长,不适用于客车的设计研发阶段。以动态显式非线性有限元技术为主的计算机仿真技术已成为研究

收稿日期:2010-01-20

基金项目:国家自然科学基金项目(50675062);湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室自主课题(60870001);教育部长江学者与创新团队发展计划项目(531105050037)

作者简介:葛健,硕士研究生,研究方向为汽车安全,电子信箱:bluestar840606@163.com;张维刚(通信作者),教授,研究方向为汽车安全,电子信箱:zwg3876@163.com

客车安全性的有效手段,并逐渐应用于客车安全性评价,且仿真精度高^[4]。基于此,本文建立了某客车车身骨架有限元模型,介绍了现有客车侧翻试验评价方法和仿真试验评价方法,提出了一种新型简便、直观、实用、准确可靠的乘员生存空间评价方法,最后用该评价方法对有限元模型进行仿真试验,并提出车身结构改进方案,取得较好效果。

1 有限元模型的建立

1.1 模型简化

由于大客车在侧翻时,主要的吸能元件是车身骨架,建模时略去蒙皮和一些非承载件,只保留主体承载骨架;忽略车载结构上的一些工艺孔、安装孔、突台和翻边等;结构之间的连接情况,如焊接、螺栓连接和铆钉连接等,采用节点耦合、刚性连接、点焊、片焊和固连接触等模拟;一些为方便使用和辅助承载而设置的构件,由于其对整车的变形和应力分布影响较小,建模时忽略。

1.2 单元类型

车身和底架由许多不同截面的矩形管焊接而成,属于典型的薄壁件,为了提高仿真精度,客车的车身和底架完全采用板壳单元构建。对于车载设备,选用质量单元 Mass 模拟。

1.3 材料

车身底架材料为 16Mn,其余车身骨架材料为低碳钢 Q235,弹性模量为 210GPa,泊松比为 0.29,密度为 7800kg/m³,由于碰撞时速度较高,低碳钢 Q235 对应变率较为敏感,考虑应变率对材料性能的影响,在 LS-DYNA 软件中采用线性各向同性材料进行模拟。

1.4 载荷处理

车身骨架上的车载质量,如发动机、变速箱和座椅等,以集中质量的形式,通过刚性连接施加到各部件与承载结构件的连接处。客车壁板、玻璃、蒙皮和内饰件等按均布载荷处理。调整整车质心位置。最终车身骨架有限元模型如图 1 所示,包含 47082 个节点,48983 个单元。

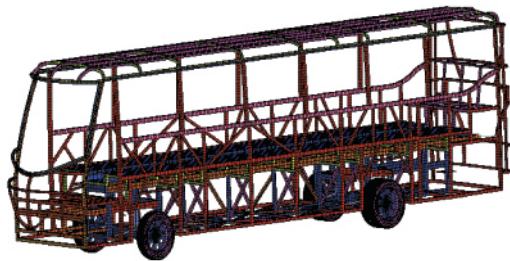


图 1 整车骨架有限元模型

Fig. 1 Finite element model of coach framework

2 侧翻试验仿真评价方法

2.1 评价指标——生存空间

按 ECE R66 法规要求确定的生存空间如图 2 所示,侧翻时,要求车身任何部分的位移都不允许侵入生存空间;生存

空间内的任何部分都不能突出至变形的车身结构外。该规定适用于客车上的所有结构零件、部件、板件以及所有凸出的刚性零件,如行李架、通风装置等,但不适用于车内的隔板、隔墙以及酒吧、厨房或洗手间等固定设施。

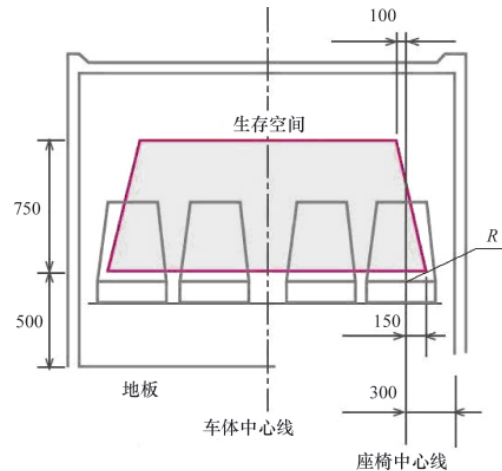


图 2 生存空间示意图(单位:mm)

Fig. 2 Residual space diagram (unit: mm)

2.2 现有试验评价方法

为了测量客车侧翻碰撞试验中生存空间受侵入量,通常采用两种方法:一是通过变形规的变形量对结果进行判断,如图 3 所示;另一种是通过在模拟变形空间的框架上涂颜料,根据侧翻试验后车身上是否沾染到颜料来判定,如图 4 所示。以上两种方法均只能测量车身的某一截面受入侵情况,并不能反映整车生存空间的被侵入情况。



图 3 变形规评定方法

Fig. 3 Evaluation method of deformation regulatory



图 4 颜料评定方法

Fig. 4 Evaluation method by colors

2.3 现有仿真评价方法

在客车侧翻碰撞计算机仿真中,将右侧围(试验中与地面接触一侧)与客车地板平面形成的夹角作为生存空间的评价指标——生存空间评估角 θ ,如图5所示。夹角变小表明生存空间有被侵入的趋势^[5]。此评价方法将侧围看成是绕地板与侧围的交点 O 转动,侧围各段相对不变形。在试验和仿真中,侧围各段变形情况不一致,一般是车窗处变形量大于侧围立柱处变形量,而生存空间为梯形,故生存空间评估角 θ 的变化难以准确反映生存空间受到入侵的情况。

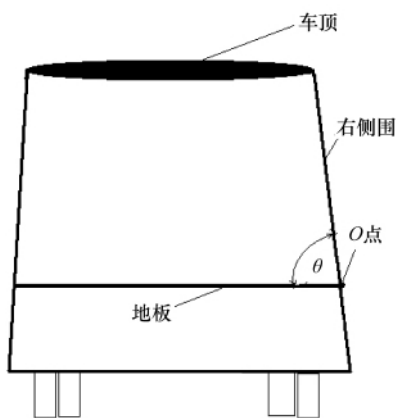


图5 生存空间评估角 θ

Fig. 5 Assessment of residual space angle θ

另一方法是将侧围某点的侵入量作为生存空间的评价指标。由于在侧翻试验中,侧围各部分变形不一致,测量点在3个方向都有位移,生存空间为梯形,故只以某一点或几点的侵入量为指标也难以准确地反映生存空间是否受到入侵。

第三种方法是根据生存空间位置尺寸,建立一系列刚性平面和弹性面模拟生存空间。在客车侧围内表面建立3个与立柱、横梁共节点的弹性平面,在侧翻过程中随其一起变形,如图6所示。根据生存空间与侧围弹性平面接触所产生的接

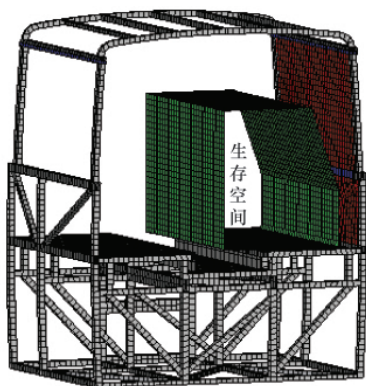


图6 接触力式生存空间有限元模型

Fig. 6 Finite element model of contact force-type residual space

触力判断出是否侵入生存空间,并可通过观察接触力曲线峰值大小,评价乘员生存空间被侵入的严重程度。但这种方法中的接触力是生存空间和侧围弹性平面的总接触力,只能从整体上判断生存空间被侵入的程度。

2.4 新仿真评价方法

根据生存空间的位置尺寸,建立刚性平面模拟生存空间,其与地板采用部件连接的方式固连在一起,随整车侧翻,如图7所示。模型中生存空间的质量及其大小,对整车质量不构成影响,不影响仿真精度。在侧翻仿真过程中,生存空间与侧围、地面之间均不设置接触,若生存空间被侵入,则生存空间将穿透侧围。采用逆向思维方式,生存空间穿透侧围内表面的部分即为生存空间被侵入空间,从而可在仿真中确定生存空间是否被侵入,且可测量出侧围任何一点侵入生存空间的距离,定量地分析生存空间受入侵的程度。

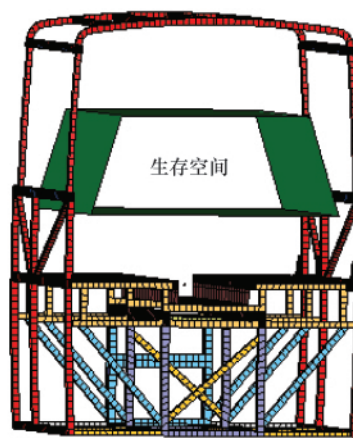


图7 穿透式生存空间有限元模型

Fig. 7 Finite element model of transmission-type residual space

3 新评价方法仿真验证及结构优化

3.1 仿真计算

ECE R66 法规中对客车侧翻安全性的试验考核方法有4种,即:①整车侧翻试验;②车身段侧翻试验;③车身段摆锤试验;④上部结构强度计算验证。上述4种方法中,第一种方法应用最广,最能直接表明客车上部结构强度是否满足要求,乘员是否安全。本文采用第一种方法进行仿真研究。

在侧翻仿真计算过程中,为防止不同部件之间相互穿透或自身穿透,除生存空间外所有部件采用单面自动接触定义,生存空间与其他部件间不定义接触。客车车身与地面的接触通过刚性墙接触模拟,地面的摩擦系数设为0.35。

客车台架侧翻试验是一个时间较长的过程,如图8所示。图中, $VLCP$ 为车辆纵向中心面, CG 为客车重心。客车随水平平台以不超过 0.087rad/s 的速度转动,直到客车脱离平台,自由落体撞击到垂直距离旋转平台 0.8m 的撞击面。

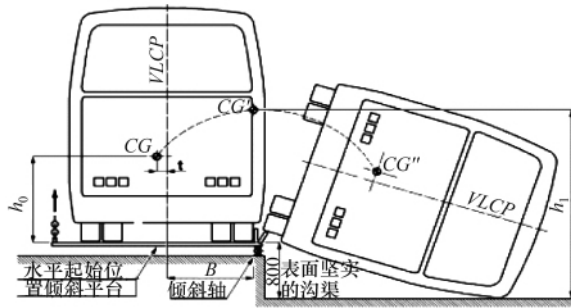


图 8 侧翻示意图
Fig. 8 Rollover diagram

如果整个过程全部在 LS-DYNA 3D 中模拟,需要相当长的计算时间。而现实中,客车车体接触地面前过程不是人们所关注的,故文中仿真计算从客车接触地面时刻开始模拟。客车的重心和旋转轴的连线与地面垂直时,为临界侧翻时刻。从临界侧翻时刻到接触地面的过程中,车体重心降低了 0.7m,根据能量守恒定理,可以计算出客车接触地面时刻的旋转角速度为 1.35rad/s,碰撞模拟时间为 200ms。

3.2 结果分析

依据新的评价方法对有限元模型进行侧翻仿真试验。图 9 为不同时刻车体变形情况,在 123ms 时生存空间开始受到入侵,在 180ms 时车体变形最大,车体侧围侵入生存空间最严重,侵入最大距离为 150mm,随后车体侧围立柱部分弹性变形逐渐恢复,车体沿着刚性地面水平滑动。

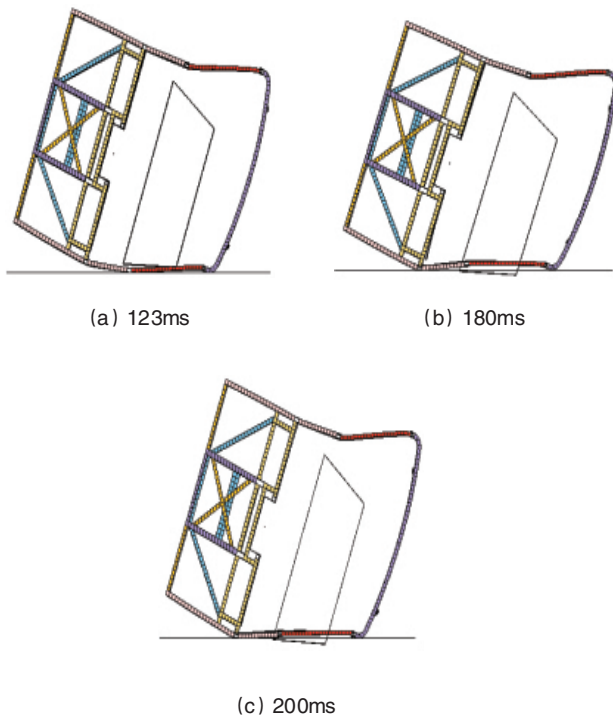


图 9 车体变形图
Fig. 9 Body deformation map

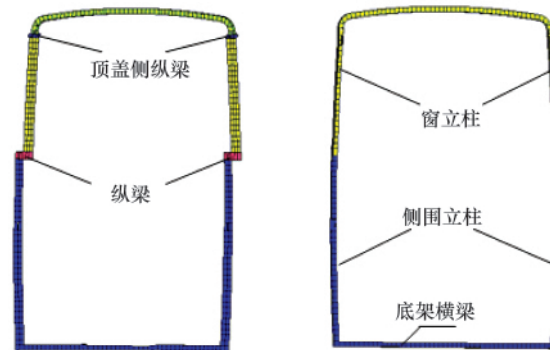
车身上部受到猛烈的冲击,冲击能量很大。在极短的时间内能量被迅速转化,形成瞬时极高的冲击力。侧围立柱整个过程未出现部件断裂或穿刺现象,同一侧的立柱变形一致,但立柱在此冲击力的作用下产生的应力超过材料的屈服应力而发生塑性变形,同时吸收大部分的能量,使整体的动能降低。由于车身底部受冲击小,其刚度又比立柱刚度大很多,所以车底架变形较小。

通过观察车体变形图得出结论,生存空间受到严重入侵,此客车不满足侧翻安全要求,需要对其结构进行改进。

3.3 结构优化

根据仿真试验结果分析可知,所有立柱都在腰梁处发生塑性变形,最大应力达到 362.8MPa,超过了骨架材料的屈服强度 235MPa。侧围立柱在腰梁部位发生弯折变形是导致车体发生较大变形的的主要原因。

因此,在车体结构改进中,如图 10(b)所示,将车顶横梁、窗立柱、侧围立柱、底架横梁对齐,形成骨架封闭环结构,保证力线的封闭,以提高整车骨架刚度。

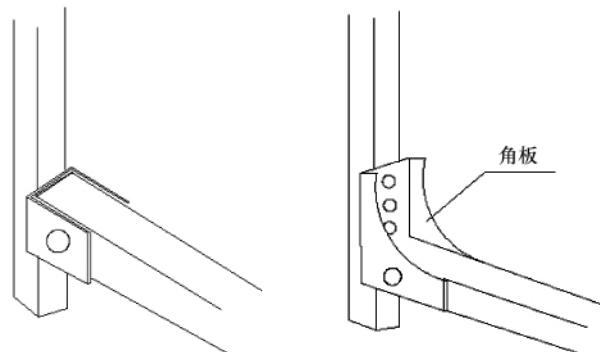


(a) 改进前 (a) Unimproved
(b) 改进后 (b) Improved

图 10 封闭环结构

Fig. 10 Structure of rolling-bar

针对侧围立柱在腰梁部位发生弯折情况,在腰梁与立柱连接处加入如图 11(b)中的脚板,以加强立柱在腰梁处的横



(a) 改进前 (a) Unimproved
(b) 改进后 (b) Improved

图 11 腰梁与立柱连接部位简化图

Fig. 11 Schematic diagram of waist beam and column joints

向刚度,减小侧围立柱在侧翻仿真过程中的变形,增大乘员生存空间。

图 12 为改进后的车体最大变形时刻图,结果表明,车体最大变形时刻发生在 155ms,乘员生存空间距离侧围立柱内表面最小距离为 22mm,侧围立柱没有侵入生存空间,改进后的客车满足侧翻安全法规要求。

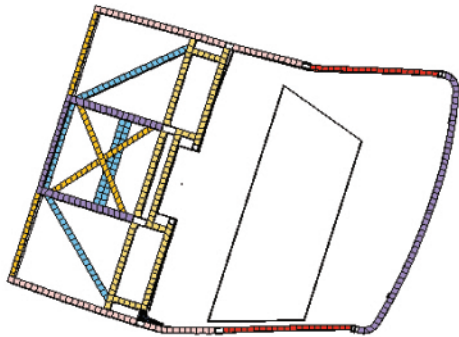


图 12 改进后的车体最大变形时刻图
Fig. 12 The maximum deformation map of the improved body

4 结论

本文从客车的车身骨架入手,建立了整车骨架有限元模型,提出了一种新的乘员生存空间仿真评价方法,该方法具有简便、直观、实用、准确可靠的优点;对该模型进行了结构

优化设计,将车顶横梁、窗立柱、侧围立柱、底架横梁对齐,形成骨架封闭环结构,并在腰梁与立柱连接部位加入角板,仿真结果表明改进后的客车满足侧翻安全要求,为进一步提高客车上部结构强度提供了有效的方法和理论依据。

参考文献 (References)

- [1] 中华人民共和国公安部. 关于 2008 年全国道路交通事故情况的通报 [EB/OL]. [2009-01-02]. <http://www.mps.gov.cn/n16/n85753/n85870/1970695.html>.
The Ministry of Public Security of the People's Republic of China. National road traffic accident on the 2008 briefing [EB/OL]. [2009-01-02]. <http://www.mps.gov.cn/n16/n85753/n85870/1970695.html>.
- [2] 高水德, 张绍理, 姚常青. 国外客车被动安全研究[J]. 客车技术与研究, 2006(3): 7-10.
Gao Shuide, Zhang Shaoli, Yao Changqing. *Bus Technology and Research*, 2006(3): 7-10.
- [3] 雷洪钧. 新版 GB《客车结构安全技术》标准实施在即 [J]. 城市车辆, 2008(1): 30-31.
Lei Hongjun. *Urban Vehicles*, 2008(1): 30-31.
- [4] Belingardi G, Chiandussi G, Gaviglio I, et al. Multi-point optimisation methodologies for enhancement of coach passive safety in rollover accidents [C]/VIII International Conference on Computational Plasticity. CIMNE, Barcelona, 2005.
- [5] 何汉桥, 张维刚. 高床大客车侧翻结构安全性仿真研究 [J]. 机械科学与技术, 2007, 26(7): 922-925, 930.
He Hanqiao, Zhang Weigang. *Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering*, 2007, 26(7): 922-925, 930.

(责任编辑 代丽)

·学术动态·



“2010年中华医学会肾脏病学术会议”征文

中华医学会将于 2010 年 11 月 3—7 日在杭州召开“2010 年中华医学会肾脏病学术会议”。

征文内容:

- 1) 肾脏发育、再生以及肾脏疾病相关基因克隆、表达以及蛋白质功能;肾脏固有细胞的生物学;肾脏生理、病理生理研究。
- 2) 各种原发性、继发性肾脏疾病的诊断和治疗的临床与基础研究;肾脏疾病诊断生物学标志、病理组织学诊断;肾脏疾病治疗的循证医学研究。
- 3) 血液透析、腹膜透析及 CRRT 等血液净化新技术、新方法,血液净化治疗效果及合并症防治等方面相关的临床与基础研究。
- 4) 与肾脏相关的交叉学科、边缘学科的跨学科临床与基础研究。

征文截止时间:2010 年 8 月 15 日。

联系电话:010-85158149;传真:010-65123754;电子信箱:catherineli@cma.org.cn。

会议网址:<http://www.accsn.org>。