

文章编号:1671-6833(2013)02-0112-04

基于 ANSYS/LS-DYNA 的校车后防撞钢梁碰撞安全性能研究

张三川, 王家岭, 李霞

(郑州大学 机械工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 针对近年来我国校车追尾事故多发的现状, 利用 ANSYS/LS-DYNA 软件对某款校车防撞钢梁进行碰撞仿真分析, 研究在不同速度下追尾碰撞时防撞钢梁变形的规律和特点. 研究表明: 该校车在低速、中速和高速 3 种速度情况下发生追尾碰撞, 对车体乘员产生不同的冲击和影响, 横梁及支架吸收了不同的能量, 产生了不同程度的变形. 研究结果可为校车减少后防撞钢梁盲目设计和后续优化设计提供一定的理论依据.

关键词: 校车; 后防撞钢梁; ANSYS/LS-DYNA; 碰撞仿真分析

中图分类号: TH17 **文献标志码:** A doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2013.02.028

0 引言

近年来, 随着我国经济结构的调整和城镇化程度的提高, 校车进入公众视野并繁荣发展, 但校车事故也不断增加, 其中追尾事故占了相当一部分比例.

发生校车追尾碰撞时如何最大限度地使校车的变形和冲击小, 确保乘员安全是最为关键的因素^[1], 因此研究校车追尾碰撞后防撞钢梁的变形、应力、速度等参数变化对校车被动安全性能的影响, 提升校车后防撞钢梁的安全性具有重要的理论和现实意义.

利用计算机模拟方法进行结构碰撞性能的计算可以有效地提高新车型碰撞性能的可靠性, 在产品定型生产之前就能及时评价和改进车辆的碰撞性能^[2]. 笔者用 ANSYS/LS-DYNA 软件对碰撞系统进行仿真分析, 分析不同碰撞速度下防撞系统的响应特性.

1 建立校车碰撞模型

碰撞模型由两部分构成, 一是校车的后防撞钢梁, 另一个是碰撞模拟分析使用的刚性墙. 依据国内某款校车后防撞钢梁尺寸, 横梁由长度为

2 000 mm, 宽度为 150 mm, 厚度为 5 mm 的钢板冲压而成, 支架采用厚度 10 mm 的钢板与横梁焊为一体. 碰撞模型如图 1 所示.

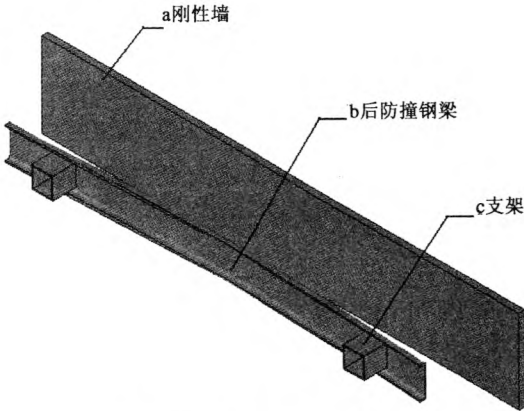


图 1 碰撞系统三维模型图

Fig. 1 Three-dimensional model for collision system

1.1 模型材料及其网格划分

后防撞钢梁的材料参数如表 1^[3].

表 1 后防撞钢梁的基本材料特性

Tab. 1 Main material properties of rear-bumper

密度/ ($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-3}$)	弹性模量/ GPa	屈服强度/ GPa	剪切模量/ GPa	泊松 比
7.85e-6	210	0.235	0.95	0.33

收稿日期:2012-10-03; 修订日期:2012-12-28

基金项目:河南省自然科学研究计划资助项目(2011B460014)

作者简介:张三川(1962-),男,郑州大学教授,博士,研究方向为车辆故障诊断与安全技术, E-mail:sc.zhang@zzu.edu.cn.

该模型在有限元网格划分中,横梁和支架采用 Shell163 壳单元,网格划分时长度为 1 mm,刚性墙采用 Solid164 实体单元类型,网格划分长度为 5 mm. 分析中防撞钢梁算法选用 Belytschko-Tsay,材料特性选用 C-S 随动塑性 Plastic-Kinematic 模型,屈服应力与应变率关系如式(1)所示^[4]

$$\sigma_y = \left[1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{P}} \right] (\sigma_0 + \beta E_p \epsilon_p). \quad (1)$$

式中: σ_0 为初始屈服应力; $\dot{\epsilon}$ 为应变率; C 、 P 为 Cowper-Symonds 应变率参数,在此次模拟中取 $C=40$, $P=5$; β 为硬化参数; E_p 为塑性硬化模量; ϵ_p 为有效塑性应变。

1.2 质量单元的添加和约束施加

刚性墙为追尾被碰撞校车的车辆简化模型,为使仿真效果真实,在刚性墙上加载质量为 1 300 kg 的 mass166 质量单元,对支架末端所有自由度施加约束.除刚性墙 z 方向平动自由度外,施加 x 、 y 方向上的所有自由度。

1.3 定义表面接触信息

该碰撞模型刚性墙和后防撞钢梁接触采用面与面自动接触类型,静摩擦因数和动摩擦因数都取 0.1。

1.4 碰撞速度

专用校车应安装符合 GB/T 24545 规定的限速钢梁,出厂时调定的最高车速应不大于 80 km/h^[5].我国不少地方也相应地出台政策规定校车最高时速不应超过 60 km/h。

在低速碰撞研究中,一般都以加拿大强制性法规要求的 8 km/h 作为碰撞速度进行研究^[6].中速碰撞指的是介于高速碰撞与低速碰撞之间,一般指 20 km/h 速度碰撞时为中速碰撞.美国强制性法规《FMVSS208》规定 48.3 km/h 为高速碰撞,日本安全标准《正面碰撞的安全标准》规定 50 km/h 为高速碰撞^[6]。

笔者以低速 8 km/h、中速 20 km/h、高速 50 km/h 为标准取不同速度进行研究,碰撞时间设定为 100 ms。

2 仿真分析结果

在校车追尾碰撞中,防撞系统的动力响应特性主要通过位移、速度、加速度等时间响应体现.碰撞过程中传递给乘员的最大减速度值一旦超过乘员的耐冲击阈值或由此引起的二次碰撞过分强烈,将直接危害乘员的生命安全,平稳的加速度曲线有利于保护乘员的生命^[7].碰撞系统中的关键

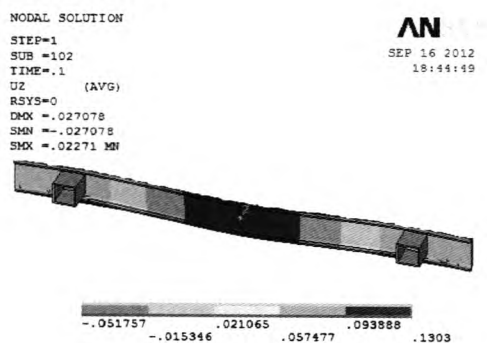
点具有普遍代表性,其变化情况在最大程度上能够反映系统的整体情况,笔者取横梁中间节点 9 186、架根部节点 4 846 为关键点,然后提取碰撞后的相关信息。

通过对防撞系统碰撞分析,提取在 2.2、8、15 m/s 3 种不同碰撞速度状态下的仿真结果。

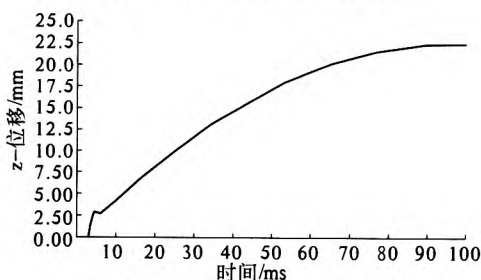
2.1 碰撞速度为 2.2 m/s 时的分析

速度为 2.2 m/s 时发生碰撞后参数如图 2 所示.由应力云图 2(a)知,碰撞从横梁中部开始,之后向其两侧扩展,应力也由横梁中部向两侧传递,最终传向支架。

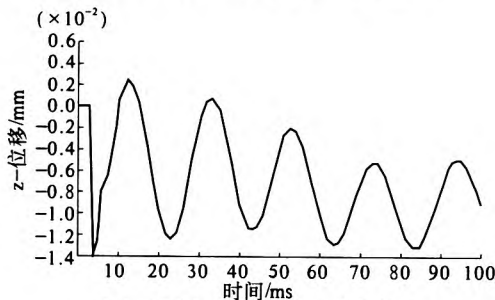
由图 2(b)、2(c)知,横梁节点 9 186 产生了变形,在前 60 ms 变形呈近似线性关系,之后随着时间增加,变形量逐渐变小,结束时变形值为 22.5 mm,该值在防撞钢梁的安全允许范围(100 mm)之内.在该碰撞中,支架部位节点 4 846 变形量为 0.009 mm,说明支架基本没有受到影响.即大部分动能通过横梁变形吸收,只有极少一部分能量被支架吸收。



(a) $t=100$ ms 时防撞钢梁应力云图



(b) 节点 9 186 的时间—位移图



(c) 节点 4 846 的时间—位移图

图 2 2.2 m/s 时碰撞后参数变化图

Fig. 2 Parameter variations with 2.2 m/s collision

碰撞力传递到车架、车身、座位,经过一系列传递、隔振的消减和能量吸收,在低速碰撞时该防撞钢梁能够起到了很好的吸能缓冲作用,确保了乘员及校车自身的安全.

2.2 碰撞速度为 8 m/s 时的分析

8 m/s 时碰撞后参数如图 3 所示. 碰撞前 3 ms 内节点 9 186 变形呈线性关系,变形斜率较大,在 3 ms 之后,节点 9 186 变形斜率相对减缓,并且在 0.1 s 时刻变形量达到最大值 125 mm,该值已经超过了防撞钢梁的安全允许范围(100 mm);由其变形情况,可以得知速度变化,在发生碰撞的前 3 ms,防撞钢梁的速度由 0 急剧跃升至 8.5 m/s,之后迅速降低,因此该时间段内速度变化剧烈,减速度波动很大,而后减速度跃减至 0. 但从图 3(c)得知,支架节点 4 846 变形量为 1 mm,变形很小.

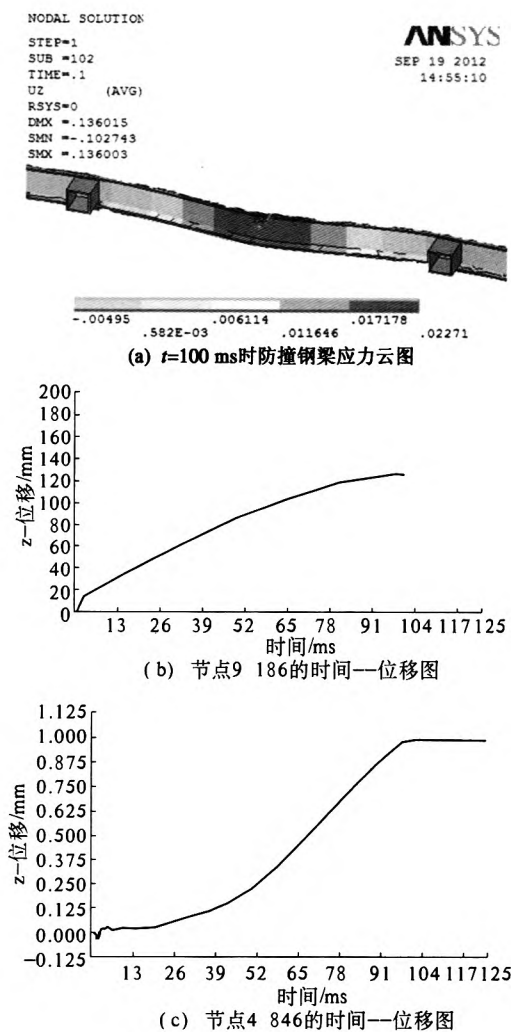


图 3 8 m/s 时碰撞后参数变化图

Fig. 3 Parameter variations with 8 m/s collision

在此碰撞速度下的能量主要被横梁变形吸收,在工程实际中,碰撞能量并非全部由横梁和支

架吸收,由于支架和校车车架相连,应力也会通过支架传递到车架、车身上,它们也吸收部分能量. 该速度下发生碰撞,横梁中部弹塑性变形量超过了防撞钢梁的安全许用范围,而支架并未发生大的变形,该校车的横梁和支架的参数设计不够合理,需对横梁和支架参数进行合理优化,以期达到横梁和支架与吸能、变形协调同步的效果.

该防撞钢梁在碰撞速度为 8 m/s 时碰撞,防撞系统起到了很好缓冲吸能作用,但在正面追尾碰撞中横梁的变形量已经超过了安全许用值,故防撞钢梁在该速度下碰撞已经被毁坏.

2.3 碰撞速度为 15 m/s 时的分析

15 m/s 时碰撞后参数如图 4 所示. 在速度为 15 m/s 时发生碰撞,防撞钢梁中部的应力最大,变形最严重,产生大塑性变形,横梁和支架被压溃,远远超过了安全许用范围.

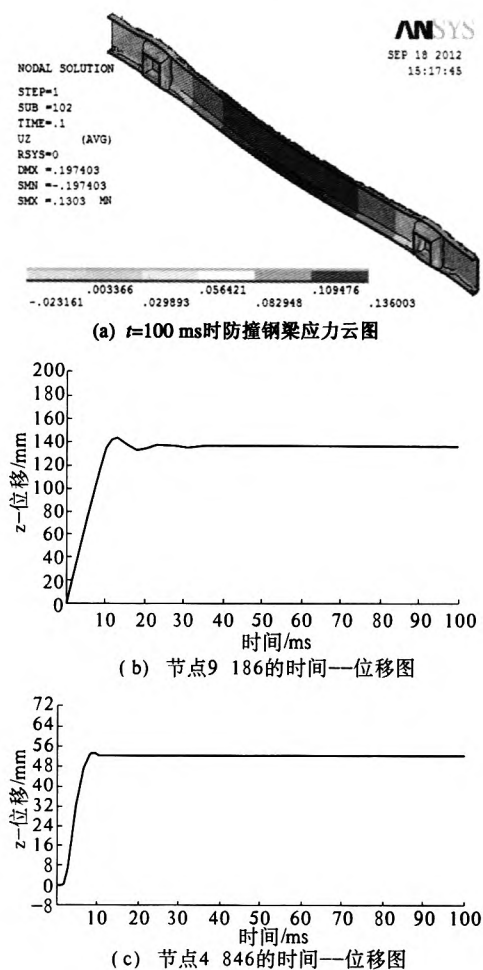


图 4 15 m/s 时碰撞后参数变化图

Fig. 4 Parameter variations with 15 m/s collision

从图 4(b)知,前 13 ms 防撞钢梁的变形呈明显线性关系,至 13 ms 时变形量达到最大值 142 mm,之后变形量稳定在 137 mm,这足以说明在短

时间内碰撞的剧烈程度。从图 4(c) 知,在 9 ms 时,支架节点 4 846 变形量已经达到最大值 54 mm,说明支架已经被压溃,防撞系统已经彻底毁坏,不能继续发挥作用。

4 结论

(1) 该校车防撞钢梁在低速时发生正面追尾碰撞,被追尾校车横梁和支架变形很小,变形在安全许用范围之内,防撞钢梁起到较好的缓冲吸能作用,该结果对于在低速碰撞后防撞钢梁能否进行修复进而继续使用提供有益的参考。

(2) 在碰撞速度为 8 m/s 发生正面追尾碰撞横梁和支架都产生了变形,横梁中间节点变形量超过了防撞钢梁的安全许用范围,此时虽然支架的变形量不大,但防撞钢梁已经毁坏失效,横梁和支架在该速度下发生变形程度不同,其参数匹配不够合理,需考虑进行参数优化。

(3) 在速度为 15 m/s 时发生追尾碰撞时,横梁和支架都发生了大的变形,支架已经被压溃,失去了缓冲吸能作用,碰撞动能将会使车体进一步变形进而危及乘员安全。

防撞钢梁在碰撞低速度时能够起到很好的缓冲吸能作用,随着碰撞速度的增加,防撞钢梁的变

形增大,横梁和支架出现变形不同步现象,需进一步对该款校车的横梁和支架的厚度、支架在横梁上的位置等参数进行匹配优化,更好地提高其被动安全性能。

参考文献:

- [1] 张维刚,钟志华. 汽车正撞吸能部件改进的计算机仿真[J]. 汽车工程,2002,24(1):6-9,36.
- [2] 贾宏波,黄金陵,郭孔辉,等. 汽车车身结构碰撞性能的计算机模拟,评价与改进[J]. 吉林工业大学学报,1998,28(2):6-11.
- [3] 栗荫帅. 车辆薄壁结构碰撞吸能特性分析与改进[D]. 大连理工大学能源与动力学院,2007.
- [4] 杨永生. 汽车保险杠系统低速碰撞性能研究[D]. 哈尔滨工程大学机电工程学院,2009.
- [5] 郑州宇通客车股份有限公司,中国汽车技术研究中心,中国公路学会客车分会,等. GB 24407—2012 专用校车安全技术条件[S]. 北京:中国标准出版社,2012.
- [6] 张海峰. 汽车保险杠系统抗撞性研究[D]. 北京交通大学机械与电子控制工程学院,2009.
- [7] 雷正保,钟志华,李岳林. 汽车碰撞过程中乘员冲击响应的分析方法及应用[J]. 中国公路学报,2001,14(2):115-119.

The Study of the Crush Safety of the Rear Anti-collision beam of the School Bus Based on ANSYS/LS-DYNA

ZHANG San-chuan, WANG Jia-ling, LI Xia

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In view of the frequent school bus rear-end collisions in recent years, this paper is intended to analyze the result of crash simulation test on anti-collision beam of one type of the school bus and study the rule and characteristic of the transformation of anti-collision beam in rear-end impact tests at different speeds based on the ANSYS/LS-DYNA system. The research shows that rear-end collisions between this type of school bus happening at different speeds (low speed, medium speed and high speed) will have different influences on the passengers on the bus and that because the cross beams and stands absorb different amounts of energy during rear-end collisions happening at different speeds, they will have different levels of deformation. The research result can provide theory basis for follow-up optimal design of rear anti-collision beam of school bus to some extent.

Key words: school bus; rear anti-collision beam; ANSYS/LS-DYNA; crash stimulation analysis