

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.04.014

汽车前纵梁薄壁结构碰撞仿真 及优化设计研究*

苏 建,王秋成*

(浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014)

摘要: 针对前纵梁现有结构吸能特性的不足,对其结构进行了改进,使前纵梁在正面碰撞过程中吸收更多能量。根据前纵梁板厚、焊点的间距及焊点大小等设计参数,建立了前纵梁正面碰撞的有限元模型。采用HyperMesh和LS-DYNA软件,对前纵梁碰撞过程进行了模拟仿真。通过加诱导槽及加加强板的方式,对前纵梁结构进行了优化。研究表明,优化后的前纵梁单位质量吸收的能量提高了63.3%。通过该方法使前纵梁提高了吸能特性,降低了车辆碰撞对乘客造成的损害。

关键词: 碰撞; 前纵梁; 结构优化; 仿真

中图分类号: TH113; U463.8 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2014)04-0470-04

Crash simulation and structure optimization of a thin-walled front longitudinal beam structure

SU Jian, WANG Qiu-cheng

(School of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at the shortage of energy absorption characteristic, the existing structure of the front longeron was improved so that more energy absorbed by a front longeron in the process of frontal crash. According to the design parameters of the front longeron, such as thickness, spot weld pitch and spot diameter, etc., the finite element model of the front longeron was established. The impact procession of front longeron was simulated by HyperMesh and LS-DYNA. The structure was improved by adding induced slot and adding reinforcement plate. The results indicate that, the optimized front longeron unit mass absorbed energy increased by 63.3%. Through this method, front longeron improves the energy absorption characteristics, thus reduces the damage caused by collision.

Key words: crash; front longitudinal beam; structure optimization; simulation

0 引 言

随着汽车工业的发展,汽车的碰撞安全性也需要不断提高。汽车的碰撞安全性的研究也是现代汽车工业的重要内容。

据研究表明,正面碰撞发生的概率是所有碰撞类型中最高的,对乘客造成的伤害也是最大的^[1]。因此,汽车前端结构的耐撞性对于汽车的碰撞安全性来说

是非常重要的。

在汽车正面碰撞过程中,能量的吸收主要是通过汽车的前端部件来吸收,其中前纵梁是最主要的前端吸能部件,有试验表明,汽车在初始速度为48 km/h的情况下,进行正面碰撞,得到的前纵梁吸能结果为:吸收了碰撞总能量的50%~70%^[2]。因此,在正面碰撞中,前纵梁的耐撞性最为重要。

作为传统、有效的吸能件即金属薄壁构件,在车

收稿日期: 2013-10-14

基金项目: 浙江省汽车安全技术实验室开放基金重点资助项目(LHY11090563)

作者简介: 苏 建(1988-),男,浙江衢州人,主要从事汽车前纵梁碰撞方面的研究。E-mail: sujianqq@126.com

通信联系人: 王秋成,男,教授,博士生导师。E-mail: wqc@zjut.edu.cn

身的吸能结构中已得到广泛的应用。汽车碰撞的能量通过前纵梁的变形来吸收,汽车碰撞的加速度由汽车前端吸能结构的平均压溃载荷来决定,而前纵梁薄壁结构在汽车压溃变形中起到主导作用,因此前纵梁的变形及吸能状况很大程度上决定了整车的耐撞性能好坏^[3]。

本研究通过对诱导槽的位置、大小、形状的研究,在前纵梁吸能部分加诱导槽,同时在前纵梁的后端添加加强板,来提高前纵梁的吸能特性。

1 前纵梁碰撞仿真

通过有限元法来进行碰撞仿真分析,首先要建立模型,这是求解基础。再对模型进行划分网格单元、添加约束条件、碰撞速度及边界条件等,然后进行计算并得出结果。

1.1 单元选择及网格划分

不同的有限元模型要求选用不同的单元类型。壳单元、实体单元和梁单元等是常用的单元类型。因为汽车中的部件大部分是金属钣金件,本研究在模拟仿真中的单元类型选用壳单元以描述出前纵梁正面碰撞过程的变形特性。

对于有限元分析,网格大小的选择也是很重要的。网格大小的不同对变形形式的描述也是不同的,网格大小对计算时间的要求也不同^[4]。网格越小,计算的时间越长,也计算得越精确,网格越大,计算时间越短。在网格大小的选择上,尽管越小的网格单元尺寸对变形描述越详尽,但是增加了计算的时间,而网格单元尺寸太大可能会产生较大沙漏能,会导致变形结果失真,所以要根据不同的情况选择不同的网格尺寸。

文献[5]认为方形的薄壁梁叠缩半径可以估计为:

$$r = 0.72 C^{\frac{1}{3}} t^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

式中: r —叠缩半径, C —截面宽, t —板厚。

对于截面为矩形的薄壁梁, C 可以取截面长或宽。从数值模拟角度来考虑,想要精确的描述薄壁梁碰撞过程中的叠缩变形过程,网格单元的大小最好小于叠缩圆弧长一半: 网格单元的边长 $l < 0.5 \pi r$ 。

综上所述,本研究根据具体的模型,对网格单元的大小作出以下选择: 前纵梁的前半部分单元尺寸取为 5 mm, 后半部分单元尺寸取为 10 mm。

1.2 材料特性及焊点布置

前纵梁是非常重要的吸能部件,当汽车发生正面碰撞时,前纵梁会通过自身的压溃式变形来吸收碰撞动能^[6]。本研究中,前纵梁材料根据普通低碳钢的应

力—应变将材料的特性设置为 MAT24, 即 24 号分段的线性材料。

焊点的质量以及分布方式对前纵梁的变形、能量的吸收以及加速度的变化等也会有影响^[7]。因此,在设计前纵梁时,也要考虑到有关焊点的一些参数。根据文献[8]的分析研究,本研究中焊点的设置间距为: 前半部分 10 mm~20 mm; 后半部分为 30 mm~40 mm。划分好网格之后,笔者使用 rigidlnk 模拟焊点将各构件进行焊接。

1.3 模型的建立及碰撞仿真分析

本研究采用前纵梁碰撞刚性墙的方式来模拟,前纵梁的质量为 500 kg, 速度为 10 m/s, 前纵梁速度方向为 X 轴方向,使其正面碰撞刚性墙。

前纵梁的模型如图 1 所示,图示左端为固定的刚性壁,右端为移动的前纵梁,本研究利用 LS-DYNA^[9-10] 软件对前纵梁的正面碰撞过程进行分析,能够较准确地模拟出前纵梁正面碰撞的变形过程,同时还能得出其加速度及吸收的能量等碰撞特性参数,加速度—时间曲线图如图 2 所示,能量—时间曲线图如图 3 所示。

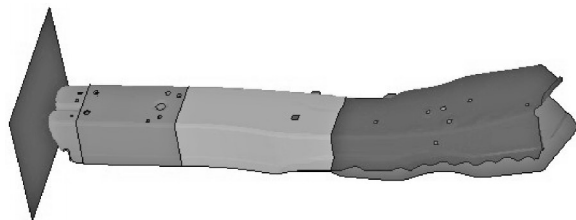


图1 前纵梁模型

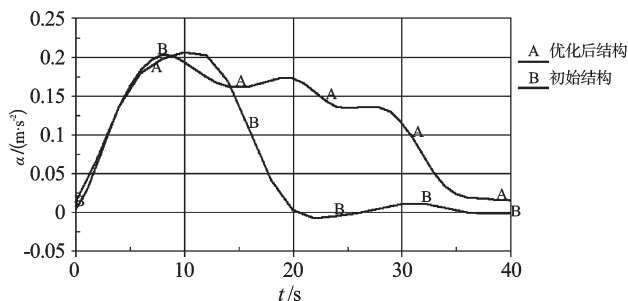


图2 前纵梁加速度—时间曲线

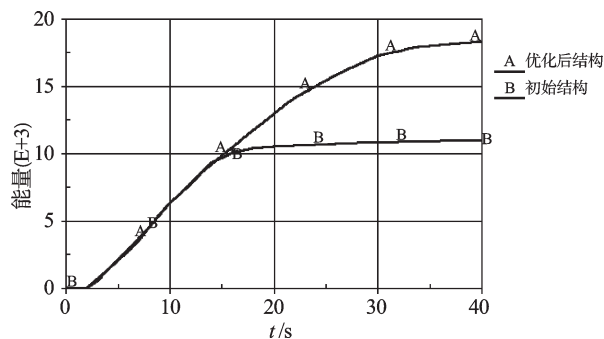


图3 前纵梁碰撞变形的吸能曲线

2 前纵梁的结构优化

前纵梁主要通过压溃变形来吸收碰撞能量,尽可能让碰撞动能在前纵梁发生叠缩变形的区域内被吸收,避免使车身其他的结构遭到破坏,从而可以通过更换损坏车辆前部的保护装置来进行维修,这不仅保护了乘员安全,又减少了汽车的维修费用,这种吸能形式是薄壁梁最理想的吸能形式。

通过采取在前纵梁前端吸能部分上加诱导槽以及在后部加加强板的方法可以提高前纵梁的吸能特性,优化后的前纵梁模型如图4所示。本研究对优化后的结构进行有限元分析,前纵梁在32 ms时的变形图如图5所示。

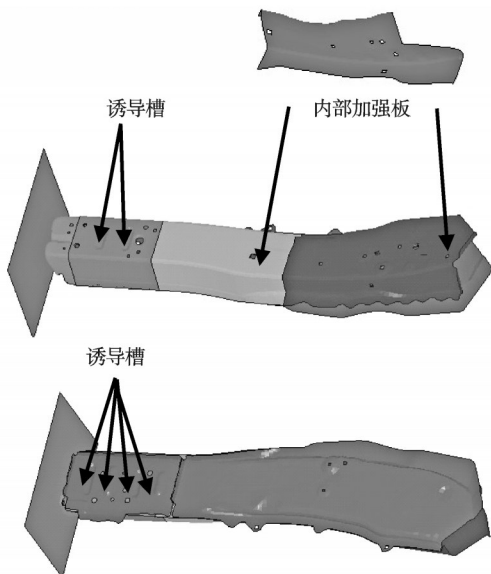


图4 优化后的前纵梁模型



图5 优化后的前纵梁变形图

加诱导槽的位置,以及槽的形状大小对前纵梁的吸能特性都有影响^[11]:

(1) 诱导槽所在的位置不同,前纵梁吸能特性也不同,诱导槽最佳位置是在吸能部分刚度最大的地方,在该部位加诱导槽能削弱该处的拉压刚度,来减

小前纵梁最大碰撞力,同时引导前纵梁发生渐进叠缩的变形。

(2) 诱导槽的大小也会影响它的诱导性能,尺寸偏小会造成诱导效果的不明显,尺寸偏大会使诱导槽的后端吸能部分出现较大的碰撞力。

(3) 诱导槽形状对前纵梁吸能特性的影响不大。

通过在前纵梁吸能区域加诱导槽,可以对刚度强的部位预先进行弱化,可以使前纵梁发生渐进叠缩的变形,同时有效地降低了碰撞力峰值。

通过在前纵梁的后端添加加强板,可以增加纵梁后端的刚度,使得前纵梁在碰撞变形时后端会向上拱起,从而减少了前纵梁向后的进给量,也减少了碰撞对乘客的伤害。加强板的位置、板厚、大小也会对吸能特性有影响^[12]。

为了清楚地描述前纵梁在正面碰撞过程中的吸能特性,本研究得出的前纵梁加速度-时间曲线如图2所示,能量-时间曲线如图3所示。

计算结果表明,优化后的前纵梁吸收的能量为18 kJ,优化前的前纵梁结构吸收的能量为11 kJ,优化后的前纵梁单位质量吸收能量提高了63.3%。从变形情况来看,优化后的前纵梁达到了到一个很好的变形模式,前端吸能部分以渐进叠缩的方式变形,后端加加强板的部分向上拱起,从而减小了对驾驶舱内人员的冲击。

3 结束语

本研究利用 HyperMesh 和 LS-DYNA 软件模拟了前纵梁正面碰撞过程,根据仿真的结果,可以进一步优化前纵梁结构,从而进一步提高汽车的安全性。

通过加诱导槽,使前纵梁达到渐进叠缩的变形形式,通过加加强板,增强了前纵梁后端的刚性,采用本研究提出的方法对前纵梁进行结构优化并进行比较,其研究表明:两种前纵梁以相同的速度碰撞刚性墙后,优化后的前纵梁的重量基本没变,吸收的碰撞能量增加了63.6%,单位质量吸收的能量增加了63.3%,优化后的前纵梁碰撞特性有了很大的提高。

本研究提出的前纵梁结构的优化方法有良好的实用价值,不仅适用于前纵梁结构,对于其他相类似的结构也有参考意义。

(下转第500页)

本文引用格式:

苏建,王秋成. 汽车前纵梁薄壁结构碰撞仿真及优化设计研究[J]. 机电工程,2014,31(4):470-472,500.

SU Jian, WANG Qiu-cheng. Crash simulation and structure optimization of a thin-walled front longitudinal beam structure[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(4): 470-472, 500.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

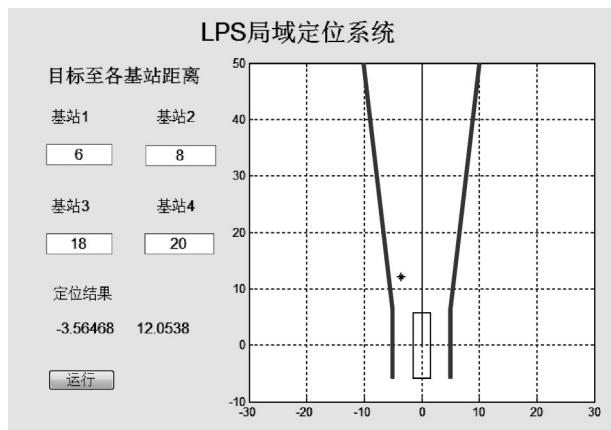


图10 定位软件主界面及演示

6 结束语

本研究提出了基于CSS无线通信技术的养路机械周围施工人员防碰撞技术,并对该技术中的人员定位、安全状态判断等重点问题进行了研究。针对人员定位问题,本研究在获得了目标到各基站的距离数据的情况下,提出了一种新的定位算法。依靠定位结果,还建立了一个判断人员状态的安全模型并演示了利用软件界面实现定位功能的过程。仿真实验结果表明,该防碰撞技术可以帮助司机实时了解周围人员动态,对避免养路作业时人员碰撞事故的发生具有实用价值。

本文引用格式:

唐玉青,李建勇,王 恒. 基于无线通信的养路机械施工人员防碰撞技术研究[J]. 机电工程,2014,31(4):495-500.

TANG Yu-qing, LI Jian-yong, WANG Heng. Anti-collision of maintenance machinery construction workers based on wireless communication technology [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(4): 495-500.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

参考文献(References):

- [1] 郑中立. 我国铁路大型养路机械发展回顾(连载之五)[J]. 铁道建筑, 2004(7): 3-6.
- [2] 王发灯. 配砟车避障系统的设计[J]. 铁道建筑, 2008(1): 28.
- [3] 谷 静, 毛永毅, 李明远. 无线定位技术[J]. 西安邮电学院学报, 2002, 7(3): 25-27.
- [4] 马 梁, 彭 保. 一种基于RSSI的无线传感网络安全定位算法[J]. 兵工自动化, 2012, 31(3): 44-46.
- [5] 赖春强, 陈利华. 基于FIR9G30无线通信系统的通信距离及速率估算[J]. 兵工自动化, 2013, 31(10): 57-59.
- [6] KIM J E, KANG J, KIM D, et al. IEEE 802. 15. 4a CSS-based localization system for wireless sensor networks [C]// Mobile Adhoc and Sensor Systems, 2007. MASS 2007. IEEE International Conference on. Pisa: [s.n.], 2007: 1-3.
- [7] 王中生, 曹 琦. 基于ZigBee技术的无线定位研究与实现[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(12): 189-192.
- [8] 陈 健. 面向3GPP-LTE终端无线定位的参数估计与定位解算研究[D]. 成都: 成都电子科技大学通信与信息工程学院, 2011.
- [9] 梁久祯. 无线定位系统[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013.
- [10] 曹昆山. SPZ-200型双向道床配碴整形车走行系统的匹配分析[J]. 铁道标准设计, 1998(5): 46-48.
- [11] 王益平, 王 皓, 吴 衡, 等. 基于到达时差的低功耗声音定位系统[J]. 机电工程, 2013, 30(8): 1015-1019.
- [12] 罗华飞. Matlab GUI设计学习手册[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009.

[编辑: 李 辉]

(上接第472页)

参考文献(References):

- [1] 陈吉清, 周鑫美, 饶建强, 等. 汽车前纵梁结构碰撞吸能特性及其优化的研究[J]. 汽车工程, 2010, 32(6): 486-492.
- [2] MCNAY I I, GENE H. Numerical Modeling of tube crash with experiment comparison [C]. SAE Passenger Car Meeting and Exposition America Detroit, 1988.
- [3] 吴广发, 赵希禄. 汽车前纵梁碰撞吸能特性的优化设计[J]. 机械设计与研究, 2011, 27(4): 118-120.
- [4] WEIRZBICKI T, ABRSMOWICZ W. Development and implementation of special element for crash analysis [J]. SAE, 1988, 95(8): 341-355.
- [5] 高 伟, 黎权波. 基于LS-DYNA的汽车前纵梁碰撞性能仿真研究[J]. 湖北汽车工业学院学报, 2010, 24(2): 21-26.
- [6] 李晓红, 胡玉梅. 汽车正面碰撞设计分析技术及应用研究

[D]. 重庆: 重庆大学机械工程学院, 2002.

- [7] 钟志华, 张维刚. 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.
- [8] 解跃青, 方瑞华, 雷玉成. 基于碰撞数值模拟的汽车纵梁焊点布置方法[J]. 焊接学报, 2003, 24(1): 73-76.
- [9] 白金泽. LS-DYNA3D [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [10] 栾文哲, 尉庆国. 某轿车侧门碰撞性能的安全性改进[J]. 机械, 2013, 40(2): 19-23.
- [11] 武和全, 胡宏伟, 辛 勇. 薄壁梁诱导槽结构抗撞性优化设计及应用[J]. 公路交通科技, 2011, 28(1): 120-126.
- [12] ZHANG C, SAIGAL A. Crash behavior of a 3D S-shape space frame structure [J]. Materials Processing Technology, 2007, 191(1-3): 256-259.

[编辑: 洪炜娜]