

V型诱导结构对薄壁梁件的耐撞性仿真研究*

邓召文¹, 张福兴¹, 高伟²

(1. 西南林学院 交通机械与土木工程学院, 云南 昆明 650224;
2. 湖南大学 汽车车身先进设计制造国家重点实验室, 湖南 长沙 410082)

摘要:按标准在双帽型薄壁梁件的前端设计了V型诱导结构,并根据非线性有限元法的基本理论,运用非线性有限元软件ANSYS/LS-DYNA,针对原双帽型薄壁梁件和已经设计了诱导结构的双帽型薄壁梁件,在受轴向冲击载荷状态下的耐撞性能进行了数值模拟对比,验证了典型薄壁梁件中诱导结构对提高耐撞性的重要性。

关键词:耐撞性;典型梁件;诱导结构;数值模拟

中图分类号:U461.91 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2007)02-0044-04

车辆在受到正面撞击时,主要依靠端部底架结构大变形来缓和冲击,吸收冲击动能,因此端部底架结构上的薄壁梁结构的吸能特性和变形模式,将决定着车体在撞击时的响应^[1]。据研究,良好的汽车前纵梁设计应该在正碰撞时吸收的能量是总吸收能量的50%以上,是最重要的吸能元件^[2]。所以加强对典型梁结构碰撞性能的研究是建立整个车身碰撞数值模拟的基础,具有特别重要的意义。同时,在汽车结构的耐撞性设计中,薄壁梁件的诱导结构是应力集中的地方,可以控制薄壁梁件的变形形式和褶皱时的峰值力。诱导结构不仅可以限制冲击载荷使乘员免受高冲击力,而且也降低了其它部件所受的冲击载荷^[3-4]。

文中采用的试件由两个帽形开口直梁件经点焊焊接而成,并按标准在试件的前端设计了V型槽结构。运用ANSYS/LS-DYNA有限元软件,针对原双帽型薄壁梁件和已经设计了诱导槽的双帽型薄壁梁件,在受轴向冲击载荷状态下的耐撞性能进行的数值模拟对比研究,验证了在典型薄壁梁件中诱导结构对提高耐撞性的重要性。

1 非线性有限元法的基本理论^[4-6]

汽车耐撞性解析是求解动态接触系统的响应

问题。设系统在时间 t 时刻占据空间域 Ω ,作用在接触系统内的体积力、边界力、接触力及内应力分别为 b 、 q 、 q_c 、 σ ,则系统的运动应满足下列基本方程(1):

$$\int_{\Omega} \sigma \delta \sigma d\Omega - \int_{\Omega} b \delta u d\Omega - \int_{\Gamma_f} q \delta u ds - \int_{\Gamma_c} q_c \delta u ds + \int_{\Omega} \rho u \delta u d\Omega + \int_{\Omega} c u^\circ \delta u d\Omega = 0 \quad (1)$$

式中: Γ_f —边界力作用边界; Γ_c —接触边界; δu —虚位移; ρ —密度; c —衰减系数; u° —加速度

系统满足上述方程外,还应满足给定的本构方程、初始条件、边界条件和接触条件。将域 Ω 用有限元单元离散,并引入虚位移场,则方程(1)为

$$MA = F + F_c - F_1 \quad (2)$$

式中 A —总体加速度向量; M —质量矩阵; F 、 F_c 、 F_1 —分别代表对应于外载、接触力和内应力的总体结点力。

对方程(2)采用中心差分法。这样,在求系统的加速度时,系统的位移为已知量,即内应力为已知。在方程(2)的求解过程中使用质量对角阵,并用罚函数法计算接触力。

* 收稿日期:2007-02-16

作者简介:邓召文(1979-),男,山东安丘人,硕士研究生,主要研究方向为汽车被动安全。

2 碰撞模拟方法和尺寸描述^[1]

薄壁梁后端固定,前端以质量 30 kg、速度 13.6 m/s 的质量块撞向薄壁梁。双帽型薄壁直梁的截面尺寸如图 1,梁的长度为 350 mm,厚度均为 1.5 mm。在距梁的前端 40 mm 处设计 V 形槽结构,槽高为整个梁件的高度,槽深为梁宽的 20%。原双帽型薄壁梁件和已经设计了 V 型槽的双帽型薄壁梁件的有限元模型如图 2。

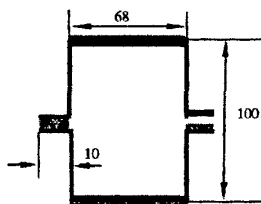


图 1 双帽型薄壁直梁的截面尺寸

Fig. 1 Section of the double-cap girder

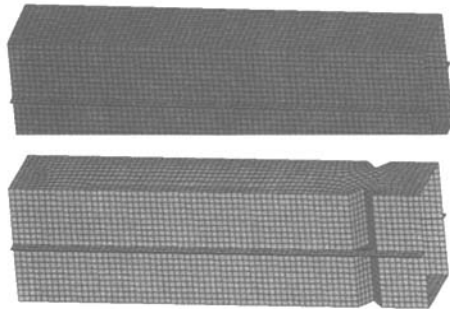


图 2 原试件和开诱导槽的双帽型梁试件模型

Fig. 2 Former girder and girder with abduction slot

3 两种薄壁梁件数值模拟参数的选取

薄壁梁件的材料采用双线性硬化模型^[7-8],与应变率相关,应变率用 Cowper-Symonds 模型来考虑^[3],硬化参数 β 取为 1。质量块定义为刚性材料,选用三维实体单元 solid164。

薄壁梁结构选用 shell163 薄壳单元划分网格,算法采用默认算法,剪切因子取 5/6,沿厚度方向积分点取为 5。在单元网格密度控制上,尽管较小的单元尺寸对变形描述准确但会造成计算时间大量增加,而较大的单元尺寸可能会引起较大的沙漏能,导致变形失真。双帽型截面薄壁梁的最佳单元尺寸可估计为^[6]:

$$l = 0.5\pi r \quad (3)$$

$$r = 0.72C^{1/3}d^{2/3}$$

式中, C 为截面宽; d 为板厚; r 为折叠半径,综合考虑计算时间后,这里的薄壁梁件的单元尺寸取

5 mm × 5 mm,质量块的单元尺寸取 20 mm × 20 mm。

质量块与薄壁梁件之间为自动节点-表面接触,薄壁结构自身为自动单面接触,引入摩擦系数 0.15 来考虑接触内部摩擦作用,碰撞时间为 25 ms,沙漏控制系数取 0.1^[6]。

4 两种薄壁梁件碰撞性能比较

在碰撞模拟过程中,沙漏能与内能比在 10% 以内,沙漏能对变形计算结果影响不明显^[6]。本文的仿真计算,沙漏能与内能之比都小于 10%,因此认为此网格密度是合适的,此仿真计算正确。对两种薄壁梁件的碰撞性能比较,可通过以下几个方面进行。

4.1 薄壁梁件的碰撞变形比较

两薄壁梁件碰撞变形过程如图 3 和图 4 所示。时刻分别取 4.5 ms、6 ms、8 ms、16 ms,从图中可以看出,两薄壁梁件均沿轴线产生在对称面

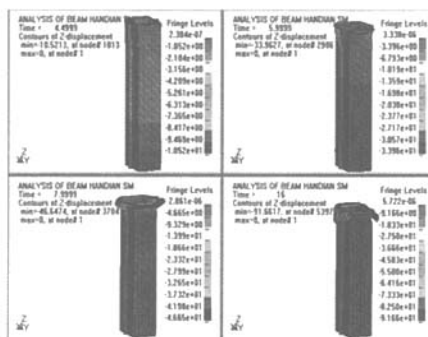


图 3 原双帽型薄壁梁件的碰撞变形过程

Fig. 3 Collision distortion map of the former girder

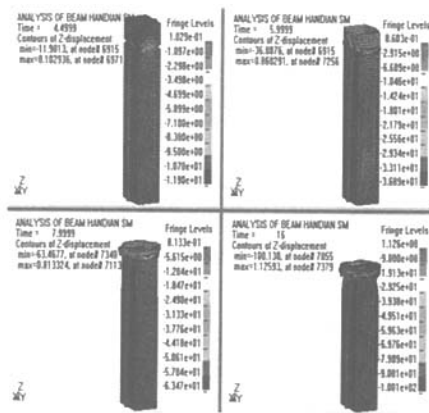


图 4 开诱导槽的双帽型薄壁梁件的碰撞变形过程

Fig. 4 Collision distortion map of girder with abduction slot

部受到冲击产生褶皱,褶皱继续被压缩,并同时在后部生成新的褶皱,两构件后端基本无变形。通过比较,可以看出带诱导槽的梁件变形较大,变形明显,变形首先从开有诱导槽的地方开始塌陷,整个变形过程保持从前向后逐渐塌陷的变形顺序,从最终的变形形式看,前纵梁的变形模式较好。

4.2 薄壁梁件的碰撞界面力比较

两薄壁梁件的 Z 向界面力对比曲线如图 5 所示:从界面力的对比曲线图可看出,原梁件在发生碰撞初期 4.5 ms 左右出现界面力的第一个峰值,其数值较大,约为 2.1 kN,而开 V 型槽的梁件在发生碰撞初期 6 ms 左右出现界面力的第一个峰值,其数值相对原梁件较小,约为 0.5 kN;两薄壁梁件的最大峰值界面力出现的时间也不一致,原梁件出现较早,且最大峰值界面力较大,约为 13.4 kN,开 V 型槽梁件的最大峰值界面力出现较晚,最大峰值界面力相对较小,大小约为 4.9 kN。即:开 V 型槽梁件的总体冲击力峰值较小,这是由于 V 型诱导槽的存在使双帽型薄壁梁件

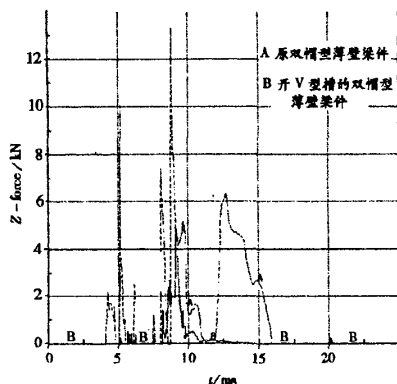


图 5 两薄壁梁件 Z 向界面力对比曲线图
Fig. 5 Interfacial force curves of the former girder and girder with abduction slot

沿轴线的纵向刚度变小的缘故。在相同的碰撞时间内,开 V 型槽梁件产生的塑性褶皱比原梁件要多,这同样是由于其纵向刚度较小,易被压溃而产生塑性褶皱变形。另外,开 V 型槽梁件的界面力相对原梁件变化较平稳,波动较少。

4.3 薄壁梁件的碰撞减速度比较

两薄壁梁件减速度-时间历程对比曲线如图 6 所示,从图中可以看出,在碰撞初期 4.5 ms 左右,两薄壁梁件几乎同时出现第一个减速度峰值(也是最大减速度峰值),原梁件的最大减速度峰值较大,大小约为 0.047 mm/ms^2 ,开 V 型槽梁件

的最大减速度峰值相对较小,大小约为 0.033 mm/ms^2 ;原梁件的碰撞时间较短,约为 15.9 ms,开 V 型槽梁件的碰撞时间相对变长,约为 18.4 ms;原梁件的碰撞减速度整体变化幅度较大,即梁件所承受的峰值载荷变化比较剧烈,而开 V 型槽后,梁件的碰撞减速度变化较均匀,波动相对平缓,梁件所承受的峰值载荷变化相对平稳,避免了反复波动对乘员造成震荡而带来二次伤害^[1]。

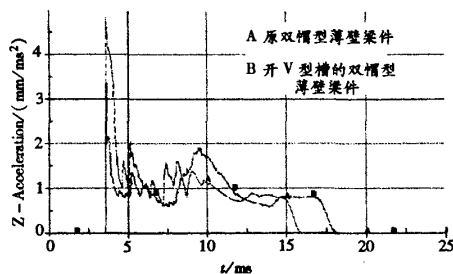


图 6 两薄壁梁件减速度-时间历程对比曲线
Fig. 6 Deceleration-time curves of the former girder and girder with abduction slot

高速碰撞中,碰撞过程中的平均加速度值是评价汽车碰撞性能好坏的重要指标^[1,4]。平均碰撞加速度反映了汽车在碰撞过程中的平均碰撞力大小,而平均加速度与碰撞时间有关,碰撞时间越长,平均加速度越低,车身平均载荷越小,碰撞安全性越好^[9]。另外,在高速碰撞过程中,总希望梁件的减速度具有较长的持续时间,较小的减速度峰值,以提高汽车在碰撞过程中的抗冲击性能。

4.4 薄壁梁件位移比较

两薄壁梁件(前部某节点)的位移-时间历程对比曲线如图 7 所示,从图中可以看出,和原梁件相比,梁件开 V 型槽后,其 Z 向最大位移相对增大,其位移的增大量约为 23 mm。由此说明,V 型诱导槽对薄壁梁件的变形位移特性起到了一定的缓冲作用。

4.5 薄壁梁件内能比较

两薄壁梁件的内能-时间历程对比曲线如图 8 所示,从图中可以看出,开 V 型槽薄壁梁件的吸能速度大于原梁件的吸能速度,且总体吸收的内能量相对较多。再结合薄壁梁件的位移时间历程对比曲线图 7,在梁件出现最大位移时,两薄壁梁件的单位位移吸能比分别为 $19.8 \text{ kN} \cdot \text{mm/mm}$ 、 $18.2 \text{ kN} \cdot \text{mm/mm}$,即开 V 型槽后梁件的单位位移吸能比下降,说明设计 V 型槽对双帽型薄壁梁件的单位位移吸能特性并没有根本性的影响^[1]。

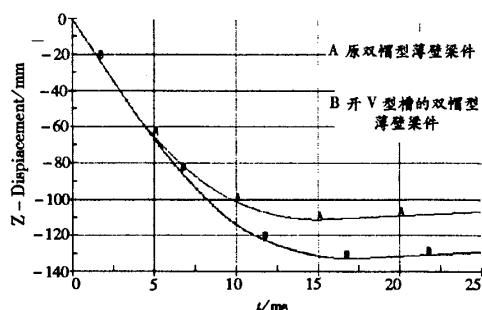


图7 两薄壁梁件的Z向位移-时间历程对比曲线

Fig. 7 Displacement-time curves of the former girder and girder with abduction slot

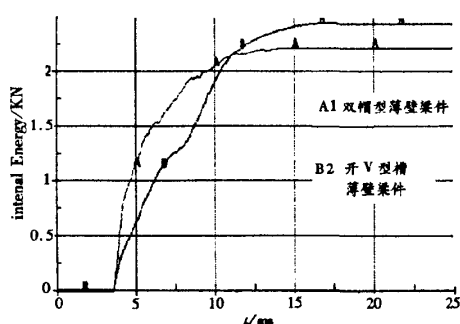


图8 两梁件的内能-时间历程对比曲线

Fig. 8 Internal energy-time curves of the former girder and girder with abduction slot

5 结论

综合上述分析,带V型诱导槽的双帽型薄壁梁件在动态碰撞中,变形较大,变形明显,变形模式较好;其最大峰值界面力出现较晚,相对变化比较平稳、均匀;减速度峰值较小,波动相对平缓,持

续时间较长;碰撞时间相对较长;梁件前部节点的位移量增大;吸能速度变快,且总体吸收的内能量相对较多。这些特性可以很好地限制冲击载荷,使乘员免受高冲击力。所以在薄壁梁件中设计诱导结构对提高耐撞性具有非常重要的意义。

参考文献:

- [1] 刘中华,程秀生. 薄壁直梁撞击时的变形及吸能特性[J]. 吉林大学学报,2006,36(1):26-28.
- [2] 朱西产,钟荣华. 薄壁直梁碰撞性能计算机仿真方法的研究[J]. 汽车工程,2000,22(2):86-89.
- [3] 胡玉梅,李晓红. 微型客车正面碰撞仿真技术[J]. 重庆大学学报,2003,26(9):64-68.
- [4] 钱立军,杨士钦,马恒永. 具有诱导结构的汽车薄壁杆件的耐撞性研究[J]. 汽车技术,2001(6):10-11.
- [5] 何文,钟之华. 显示有限元技术在车身薄梁结构数值模拟中的应用[J]. 长沙:湖南大学学报,2005,32(1):2-4.
- [6] 郝琪,吴胜军. 基于数值模拟的薄壁构件碰撞性能研究及焊接影响[J]. 湖北汽车工业学院学报,2006,20(1):6-8.
- [7] 尚晓红. ANSYS/LS-DYNA 动力分析方法与工程实例[M]. 中国水利水电出版社,2005.
- [8] 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):8-9.
- [9] 李平飞,巢凯年. 轿车保险杠系统低速正面碰撞性能的仿真研究[J]. 西华大学学报,2005,24(3):26-27.

Simulation Study on the Crashworthiness of Thin Girder with the Abduction Structures of V Slot

DENG Zhao-wen¹, ZHANG Fu-xing¹, GAO Wei²

1. College of Communication, Machinery and Civil Engineering, Southwest Forestry University, Yunnan Kunming 650224, China;
2. Advanced Technology for Vehicle Body Design & Manufacture Key Laboratory of State, Hunan University, Hunan Changsha 410082, China

Abstract: Abduction structures of V slot in the front of the double-cap girder have been designed according to the basic theory of non-linear finite element analysis method. By using the non-linear finite element software ANSYS/LS-DYNA, the crashworthiness of thin girder with the abduction structures of V slot and without the abduction structures under the condition of axial impact load are computed. Compared with each other, the abduction structure in type thin girder is very important which can effectively control the peak force.

Keywords: crashworthiness; type girder; abduction Structure; Numerical simulation