

吸能盒式前防撞横梁系统的碰撞吸能特性研究*

RESEARCH ON THE COLLISION ENERGY ABSORPTION CHARACTERISTICS OF THE ENERGY-ABSORBING BOX FRONT ANTI-COLLISION BEAM SYSTEM

李洪涛** 张佳琦 宋庆松 纪运广*** 王楠

(河北科技大学机械工程学院, 石家庄 050018)

LI HongTao ZHANG JiaQi SONG QingSong JI YunGuang WANG Nan

(School of Mechanical Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China)

摘要 前防撞横梁系统是提高整车安全性的重要部件,其中,吸能盒和横梁的结构参数直接影响车体的耐撞性能。为得到吸能盒式前防撞横梁系统的优化方案,首先,从压溃形式、初始峰值力和比吸能3个角度,研究了吸能盒截面结构对耐撞性能影响;然后,从抗弯强度和吸能值两个维度,研究了横梁截面结构对耐撞性能的影响;最后,研究了正碰和偏碰情形下,优化后吸能盒式前防撞横梁系统的耐撞性能。研究表明,正六边形截面具有较好的吸能效果;“目”字形截面横梁抗弯强度高且吸能效果好;新型吸能盒式前防撞横梁系统相较于传统系统而言,在正碰和偏碰情形下,吸能值分别提高了11.5%和31.6%,侵入量分别降低了53.2%和38.4%。这为优化防撞梁系统安全性能的研究提供了支持。

关键词 汽车工程 防撞梁 吸能盒 碰撞安全

中图分类号 TH16 U463

Abstract The front anti-collision beam system is an important component to improve the safety of the whole vehicle. Among them, the structural parameters of the energy-absorbing box and the beam directly affect the crash resistance of the vehicle body. In order to obtain the optimization scheme of the energy-absorbing box-type front anti-collision beam system, firstly, from the three perspectives of crushing form, initial peak force and specific energy absorption, the impact of the cross-section structure of the energy-absorbing box on the crash-worthiness performance was studied. Then, the impact of the cross-section structure of the beam on the crash-worthiness performance was studied from the two dimensions of bending strength and energy absorption value. Finally, the crash-worthiness performance of the optimized energy-absorbing box-type front anti-collision beam system in the case of frontal collision and partial collision was studied. The results show that, the regular hexagonal section has a good energy absorption effect; the tripple channel beam has high flexural strength and good energy absorption effect; the new energy-absorbing box-type front anti-collision beam system compared to traditional systems, in the case of frontal collision and partial collision, the energy absorption values increase respectively by 11.5% and 31.6%, and the intrusion amount decreases respectively by 53.2% and 16.1%. The support for the research on the safety performance of the optimized anti-collision beam system is provided.

Key words Automotive engineering; Anti-collision beam; Energy-absorbing box; Collision safety

Corresponding author: JI YunGuang, E-mail: jiyg@hebust.edu.cn, Fax: +86-311-81668025

The project supported by the Key Project of Science and Technology Research of Colleges and Universities in Hebei Province (No.ZD2020115).

Manuscript received 20221229, in revised form 20230310.

0 引言

在车辆碰撞安全事故中,提高汽车保险杠系统的碰撞性能,既可以最大限度地降低车辆碰撞后的维修

成本,又能保障车辆乘员的安全^[1-3]。吸能盒作为汽车保险杠系统前纵梁前端重要的吸能元件之一,能够在碰撞过程中通过材料的塑性变形吸收碰撞动能,其吸能特性和变形模式决定了整车在碰撞过程中减速度

*20221229收到初稿,20230310收到修改稿。河北省高等学校科学技术研究重点项目(ZD2020115)资助。

**李洪涛,男,1975年生,河北定州人,汉族,河北科技大学副教授,博士,主要研究方向为结构强度优化技术。

***纪运广(通信作者),男,1972年生,河北景县人,汉族,河北科技大学副教授,博士,主要研究方向为流体机械与节能技术。

响应及力的传递途径。因此,优化吸能盒的结构对提高汽车的碰撞性能有着非常重要的现实意义^[4-6]。

针对吸能盒耐撞性能的优化研究主要集中在吸能盒结构和参数优化以及对新型材料的研究方面。蒋致禹等^[7]采用 Abaqus 对一种薄壁结构的冲击过程进行了仿真,结合径向基函数并根据耐撞性指标优化了某吸能盒结构截面;TANLAK N 等^[8]将吸能盒的横截面形状参数定义为设计变量,结合 Genetic 和 Nelder & Mead 算法进行优化,得到了最优的结构参数,使吸能盒的吸能特性得到显著改善;梁建术等^[9]采用代理模型及非支配排序遗传算法,对吸能盒结构参数进行了多目标优化设计;万鑫铭等^[10]对比分析多个截面形状铝合金吸能盒,得到符合要求的铝合金吸能盒截面形状,并对其结构参数进行了优化;刘影^[11]提出一种新型的泡沫铝填充式吸能盒,并对其截面形状及倾角进行分析后发现,改变诱导槽结构及数量能增加吸能盒的吸能值,并通过液压试验验证了泡沫填充式吸能盒的吸能效果优于传统结构的吸能盒。目前,吸能盒耐撞性方面研究中多以改善吸能盒结构参数为主,而未考虑整个防撞梁系统的综合性能。

针对上述缺陷,本文首先给出了碰撞有限元模型,通过试验验证了网格前处理软件 Hyper Mesh 和有限元软件求解器 Ls-Dyna 的仿真结果的合理性;然后,采用同样的仿真方法对某汽车的吸能盒进行碰撞仿真试验,从压溃形式、初始峰值力、比吸能3个方面研究了横截面形状对吸能盒吸能特性的影响;最后,将其性能较优者与“目”字形截面横梁组成新式防撞梁系统,并对新型防撞梁系统进行正碰和偏碰的仿真分析。研究结果以期为将来的汽车安全结构的设计提供支持。

1 碰撞分析有限元模型及验证

1.1 碰撞分析的有限元基本方程

车辆的碰撞过程涉及大位移和大变形及冲击载荷且具有几何和材料非线性等多重非线性,所以碰撞仿真计算大多数使用拉格朗日增量法^[12]。

设在0时刻的质点坐标为 x_α ($\alpha = 1, 2, 3$)。该质点经过 t 时刻移动,此时坐标为 x_i ($i = 1, 2, 3$),则运动方程为

$$x_i = x_i(x_\alpha, t) \quad (1)$$

在初始时刻 $t = 0$ 时存在条件如下:

$$x_i = x_i(x_\alpha, 0) = x_\alpha \quad (2)$$

$$x_i(x_\alpha, 0) = V_i(x_\alpha) \quad (3)$$

根据连续介质力学原理,系统须保持质量、动量守恒和能量守恒,得方程组为

$$\sigma_{ij} + \rho f_i = \rho \ddot{x}_i \quad (4)$$

$$\rho V = \rho_0 \quad (5)$$

$$\dot{E} = v s_{ij} \dot{\epsilon}_{ij} - (p + q) \dot{V} \quad (6)$$

式中, σ_{ij} 为柯西应力; f_i 为单位质量体积力; $\ddot{x}_i$ 为加速度; ρ 为当前质量密度; V 为相对体积; ρ_0 为初始质量密度; $\dot{E}$ 为当前结构能量; v 为比体积; $\dot{\epsilon}_{ij}$ 为应变率张量; s_{ij} 为偏应力张量; p 为压力; q 为体积黏性阻力; $\dot{V}$ 为相对体积变化速度。

1.2 数值模型的有效性验证

为验证计算方法的有效性,进行了高速落锤冲击试验。试验装置如图1所示,总试验台高度为7 m,通过提升后的重锤来撞击测试件,重锤底部呈半圆柱形,直径为130 mm,上部为圆柱形,长度为200 mm,重锤总质量为80 kg。对于重锤下落过程中与导轨及空气的摩擦消耗都是不计的,因此对于落锤的冲击试验速度可按照自由落体的式(7)来推导。

$$v_0 = \sqrt{2gh} \quad (7)$$

式中, v_0 为碰撞前初始速度,m/s; g 为重力加速度(取值为9.8 m/s²); h 为重锤底部与试件的距离,m。

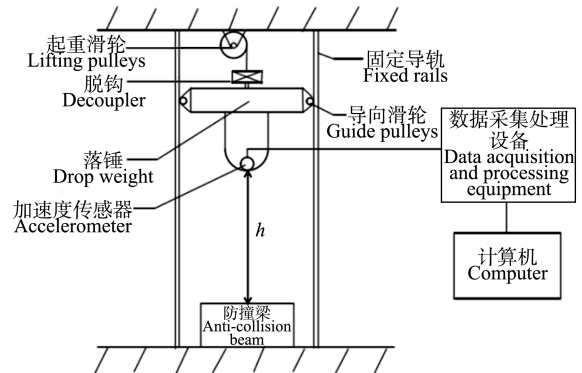


图1 落锤冲击试验工作原理

Fig. 1 Working principle of drop weight impact experiment

为了得到侵入量和碰撞量的实时监测,对试验装置装备了数据采集系统,测点采用了ENDEVCO的7264型加速度传感器,数据采集板卡为NI USB-6351,采样频率为20 kHz,侵入量及碰撞力的实时数据由式(9)和式(11)算得。

在初速度 v_0 、等时间间隔 Δt 下,测得加速度分别为 $a_1, a_2, \dots, a_n$,每个时刻的速度为

$$v_k = v_0 - \sum_{i=1}^k a_i \Delta t, k = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$s_k = kv_0 \Delta t - \sum_{i=1}^k (k - i + \frac{1}{2}) a_i \Delta t^2 \quad (9)$$

式中, v_k 为任意时刻速度,m/s; s_k 为瞬时侵入量,mm。

若忽略空气阻力以及摩擦阻力损耗,则重锤碰撞时的瞬时碰撞力由牛顿第二定律可得

$$F(t) = M(a_t + g) \quad (10)$$

式中, $F(t)$ 为瞬时碰撞力, kN; M 为重锤质量, kg; a_t 为加速度传感器采集到的重锤瞬时加速度, m/s^2 。

由于重力加速度远小于重锤瞬时加速度, $F(t)$ 可近似为

$$F(t) = Ma_t \quad (11)$$

根据式(7), 为保证重锤与试件接触时的速度为 8 m/s, 将重锤底部与试件的距离定为 3.3 m 并进行了冲击试验。采用 Hyper Mesh 软件对原防撞梁三维模型进行网格划分、设置零部件材料属性、连接及接触^[13], 对碰撞过程中的位移和受力情况进行仿真。本次落锤冲击试验与仿真的防撞梁变形如图 2 所示。由图 2 可以看出, 本次试验与仿真所展示出的变形形式基本相同, 具体表现为落锤冲击的部位发生弯曲变形, 产生明显的向内侵入。

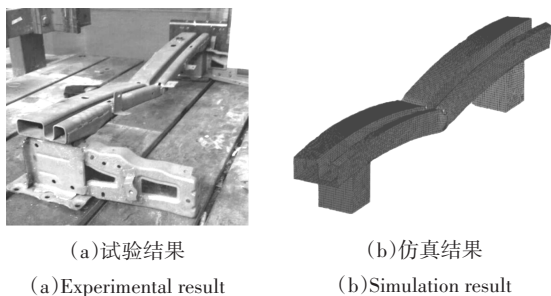


图 2 落锤冲击防撞梁试验与仿真结果

Fig. 2 Experimental and simulation results of drop weight impact anti-collision beam

图 3 为落锤侵入量-时间变化曲线图。由图 3 可以看出, 防撞梁侵入量的试验值与仿真值变化趋势基本一致。图 4 为落锤碰撞力-时间变化曲线图, 与侵入量-时间对比相似, 试验值均小于仿真值。这是因为在实际试验过程中, 落锤冲击试验装置中会产生滑动摩擦, 从而导致锤头接触防撞梁的瞬时冲击速度比仿真值小。碰撞试验与有限元分析计算结果比较吻合, 说明所建数值计算模型有效。

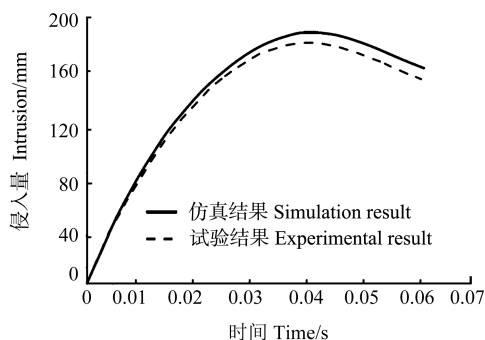


图 3 落锤侵入量-时间变化曲线

Fig. 3 Variation curve of drop weight intrusion-time

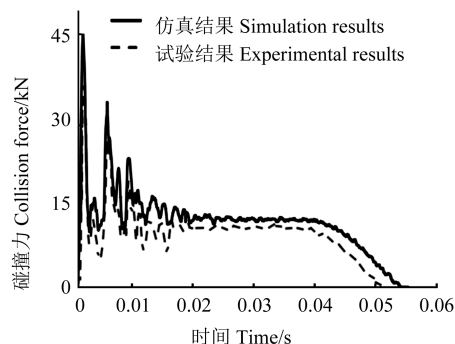


图 4 落锤碰撞力-时间变化曲线

Fig. 4 Variation curve of drop weight collision force-time

2 吸能盒模型建立及性能评价指标

2.1 吸能盒轴向压溃有限元模型

为研究不同截面对吸能特性的影响, 在试验标准的基础上建立原吸能盒实体单元有限元模型, 如图 5 所示。选用正四边形、正六边形、正八边形和圆形截面作为对比研究, 各个吸能盒截面几何尺寸如图 6 所示。所有吸能盒长度一致, 截面宽度 b 为 80 mm, 吸能盒厚度为 2.2 mm, 长度为 100 mm。

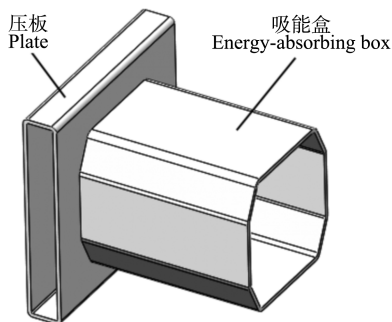


图 5 原吸能盒轴向压溃简化模型

Fig. 5 Simplified model of axial crushing of the original energy-absorbing box

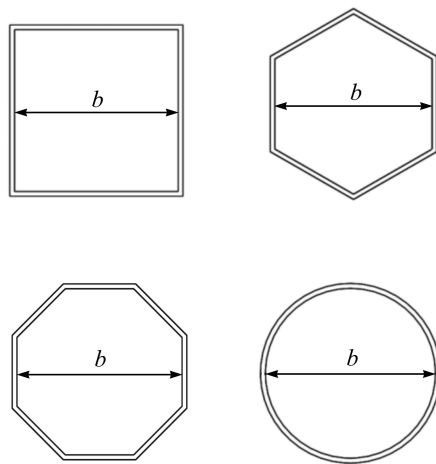


图 6 不同吸能盒截面

Fig. 6 Different cross-sections of energy-absorbing boxes

有限元计算结果的准确性依赖于材料模型参数的选取,因此在模拟过程中各个部件的材料模型参数应与实际材料本身的特性相符合^[14]。吸能盒采用铝合金材质,选用了 Hyper Mesh 软件中的 MAT24 号材料,该材料为弹塑性材料,详细的力学参数如表 1 所示。

表 1 吸能盒材料力学性能参数

Tab. 1 Mechanical performance parameters of energy-absorbing box

属性 Attribute	数值 Numeric value	单位 Unit
泊松比 Poisson's ratio	0.3	—
抗剪模量 Shear modulus	2.80×10^4	MPa
密度 Density	7.86×10^3	kg/m ³
弹性模量 Elastic modulus	2.10×10^5	MPa
张力强度 Tensile strength	1.80×10^4	MPa
屈服强度 Yield strength	7.58×10^2	MPa

吸能盒各个部件均为柔性体,之间通过焊点和焊缝进行连接,根据本试验情况将焊点大小设置为 5 mm 的六面体单元;设置压板为主面,吸能盒为从面,所有接触的动摩擦因数定义为 0.2,静摩擦因数定义为 0.1。吸能盒压溃过程中底部完全固定,因此约束底部节点处所有自由度;压板以 400 mm/s 恒定速度沿 Z 轴负方向运动,约束压板处 Z 方向上的所有自由度,设置计算时间为 0.2 s。

2.2 吸能盒吸能特性评价指标

对于吸能盒式防撞梁系统的设计,通常需要满足安全性能、架构布置、生产制造、维修方便性的要求^[15]。安全性能的评价指标主要有:

2.2.1 初始碰撞力峰值

碰撞力峰值表示在压溃过程中沿轴向产生的压溃载荷的最大值。在碰撞过程中,耐撞性指标中初始峰值力最重要,吸能盒产生的碰撞力越小,传递到纵梁以及乘员舱的力就越小,越有利于车身保护和乘员

安全。

在吸能盒的设计原则中,要求碰撞力峰值不能超过许用碰撞力峰值。

2.2.2 总吸能

总吸能量 E 是指吸能盒在压溃变形时吸收的总碰撞能量,其值与变形量和碰撞力有关, E 越大则说明吸能特性越好,其计算式为

$$E = \int_0^{\delta_c} F(s) ds \quad (12)$$

式中, $F(s)$ 为碰撞力; s 为压缩变形位移; δ_c 为最大变形量。

2.2.3 比吸能

吸能盒比吸能表示了吸能盒结构的能量吸收效率,即单位质量的能量吸收性能。在吸能盒设计时,希望吸能盒具有尽可能大的比吸能,其计算式为

$$A_{SE} = \frac{E}{m} \quad (13)$$

式中, E 为系统的总吸能量; m 为吸能结构件的总质量。

3 碰撞仿真结果分析

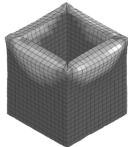
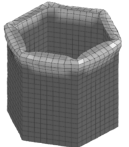
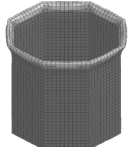
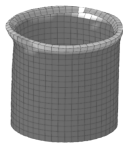
3.1 吸能盒碰撞数值模拟及仿真分析

3.1.1 吸能盒压溃变形分析

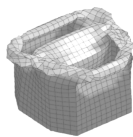
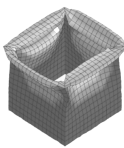
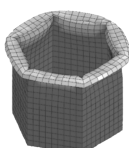
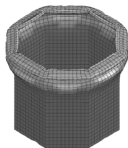
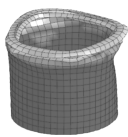
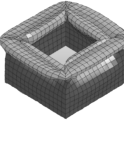
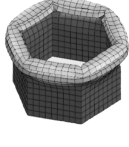
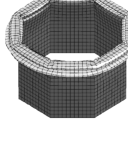
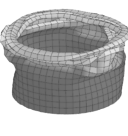
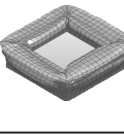
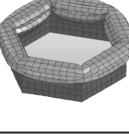
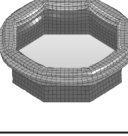
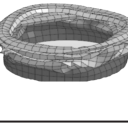
为能够对 5 种不同截面吸能盒的变形情况进行直观对比分析,截取 0.05、0.1、0.15、0.2 s 共 4 个关键时刻对吸能盒的变形情况进行分析(表 2)。由表 2 可以看出,压溃变形开始时,吸能盒上端没有肋板处,两面向外发生变形,与肋板连接的两侧变形相对较小。吸能盒的变形模式主要包括:对称叠缩模式、非对称叠缩模式和过渡模式^[16]。通过对比可看出,正六边形截面和正八边形截面吸能盒的压溃过程平稳,变形十分紧凑,是吸能盒理想的对称叠缩变形模式。圆形截面压溃过程不平稳,压溃变形不够规律,压溃变形模式比较差。这意味着,在同等质量下,正六边形截面和正八边形截面吸能盒可以通过这种理想的塑性变形模式吸收更多的冲击能量,从而能够更好地保护乘员的安全。

表 2 不同横截面吸能盒不同时刻变形云图

Tab. 2 Deformation nephogram of different cross-section energy-absorbing boxes at different times

时刻 Time	原截面 Original section	正四边形截面 Regular quadrilateral section	正六边形截面 Regular hexagon section	正八边形截面 Regular octagon section	圆形截面 Circular section
$t=0.05$ s					

续表

时刻 Time	原截面 Original section	正四边形截面 Regular quadrilateral section	正六边形截面 Regular hexagon section	正八边形截面 Regular octagon section	圆形截面 Circular section
$t=0.1\text{ s}$					
$t=0.15\text{ s}$					
$t=0.2\text{ s}$					

3. 1. 2 不同截面吸能盒初始峰值力对比分析

图7所示为原截面吸能盒的压溃力-时间曲线。原吸能盒整个碰撞力曲线大致可以分为3个阶段：0.02 s前，压板未与吸能盒接触，此时间段碰撞力为0；0.02 s时，压板与吸能盒接触，压板与吸能盒之间的碰撞力急剧上升，在0.033 s时刻达到最大值为337 kN，此时吸能盒处于临界屈服状态，之后碰撞力开始急速下降；0.04~0.2 s时间段内，压板和吸能盒之间的碰撞力呈较为规律的上下波动状态。

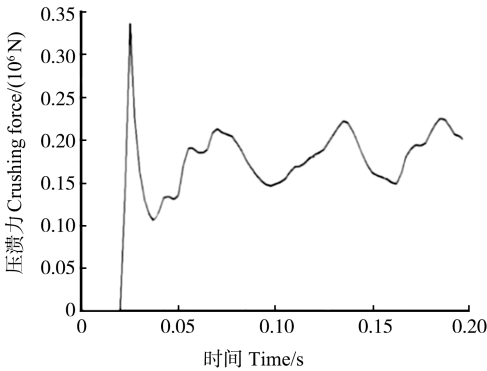
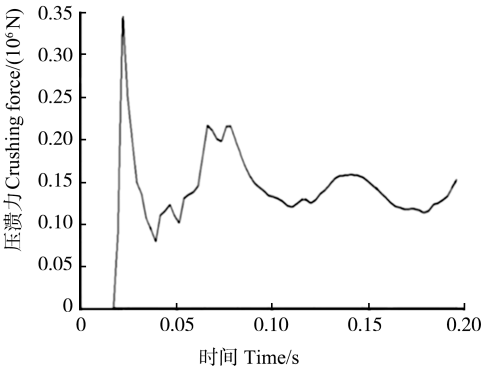


图7 原截面吸能盒压溃力-时间曲线

Fig. 7 Crushing force-time curve of the original section energy-absorbing box

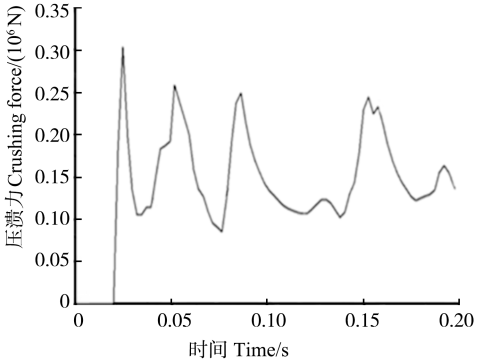
图8所示为4种不同截面吸能盒的压溃力-时间曲线。由图8可以看出，不同截面形状吸能盒的初始峰值力大小排序为：原截面>正四边形截面>正八边形截面>正六边形截面>圆形截面。通过吸能盒截面力对比分析可知，原吸能盒的初始峰值力远远高于设

计许用值，正六边形截面和圆形截面初始峰值较小，但其中圆形截面吸能盒的压溃力变化不规律，正六边形截面吸能盒的压溃力变化比较规律，经过峰值后压溃力在一定范围内上下波动。



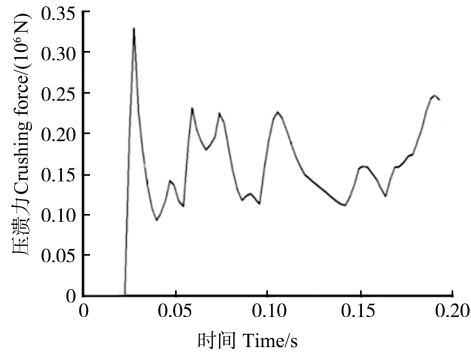
(a)正四边形截面吸能盒

(a)Regular quadrilateral section energy-absorbing box



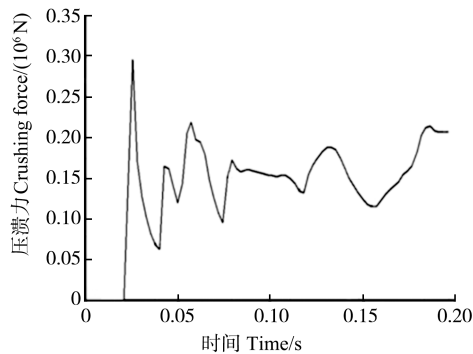
(b)正六边形截面吸能盒

(b)Regular hexagonal section energy-absorbing box



(c)正八边形截面吸能盒

(c)Regular octagonal section energy-absorbing box



(d)圆形截面吸能盒

(d)Circular section energy-absorbing box

图 8 不同截面吸能盒压溃力-时间曲线

Fig. 8 Crushing force-time curves of energy-absorption boxes with different sections

3.1.3 不同截面吸能盒比吸能对比分析

图 9 为不同截面吸能盒的吸能值-时间曲线图。通过比吸能大小来评价吸能盒的吸能特性更具有参考价值。各截面吸能盒吸能情况如下:初始截面吸能盒吸能值为 12.1 kJ,比吸能为 15.58 J/g;正四边形截面吸能盒吸能值为 10.75 kJ,比吸能为 14.82 J/g;正六边形截面吸能盒吸能值为 11.32 kJ,比吸能为 18.84 J/g;正八边形截面吸能盒吸能值为 11.17 kJ,比吸能为 17.68 J/g。

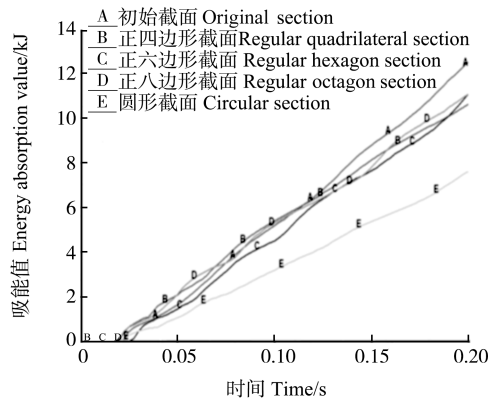


图 9 不同截面吸能盒吸能值-时间曲线

Fig. 9 Energy absorption value-time curves of energy-absorbing boxes with different sections

对上述 5 种不同截面吸能盒吸能特性参数统计(表 3),从压溃形式、初始峰值力、比吸能 3 个方面进行评价。原吸能盒的初始峰值力远远高于设计许用值,导致防撞梁系统在碰撞过程中吸能盒难以吸收碰撞导致的压溃能量,防撞梁碰撞力过高。正六边形和正八边形截面吸能盒压溃过程中变形模式最好,是理想的渐进叠缩式变形,但正六边形截面吸能盒具有较大的比吸能和较小的碰撞力峰值,综合考虑,正六边形截面吸能盒为最优解。

表 3 不同截面吸能盒吸能特性参数统计

Tab. 3 Statistics of energy absorption characteristics of energy-absorption boxes with different sections

截面形状 Section shape	压溃模式 Crush mode	初始碰撞力峰值 Initial peak collision force/kN	比吸能 Specific energy absorption/(J/g)
原截面 Original section	过渡 Transition	337	15.58
正四边形截面 Regular quadrilateral section	过渡 Transition	346	14.82
正六边形截面 Regular hexagon section	对称叠缩 Symmetrical stacking	308	18.84
正八边形截面 Regular octagon section	对称叠缩 Symmetrical stacking	324	17.68
圆形截面 Circular section	非对称叠缩 Asymmetric stacking	209	15.64

3.2 横梁碰撞数值模拟及仿真分析

建立原前防撞梁横梁、单层和双层肋板横梁的三点弯曲试验有限元模型,如图 10 所示。原横梁为半封闭式无肋板的“口”字横梁结构,断面中空,可变形的范围较大,后部受损概率大。考虑到原横梁的不足并参考现今常见的横梁结构,“日”字形和“目”字形横梁截面添加了一定弧度的肋板,使得横梁结构更加清晰,可保证更高的刚度,以抵抗碰撞过程中的过度变形。

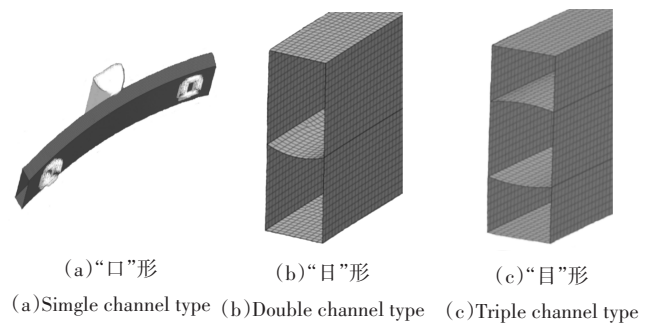


图 10 横梁三点弯曲有限元模型

Fig. 10 Diagram of the three-point bending finite element model of the beams

由图 11、图 12 可看出,3 种截面横梁碰撞过程中的内能变化趋势基本一致。原横梁的吸能值为 4 132 J,“日”字形截面梁的吸能值为 7 431 J,“目”字形截面梁的吸能值为 9 038 J。原横梁碰撞峰值力为 108 kN,“日”字形截面梁初始峰值力为 128.3 kN,“目”字形截面梁初始峰值力为 156.7 kN。通过对比数据可知,3 种截面梁的初始碰撞力峰值均大于设计许用值 75 kN,“目”字形截面横梁的初始碰撞力峰值大于原横梁初始碰撞力峰值,吸能值也高,证明其抗弯强度最高且吸能效果最好。因此,选择“目”字形截面横梁作为新防撞梁系统中的横梁结构。

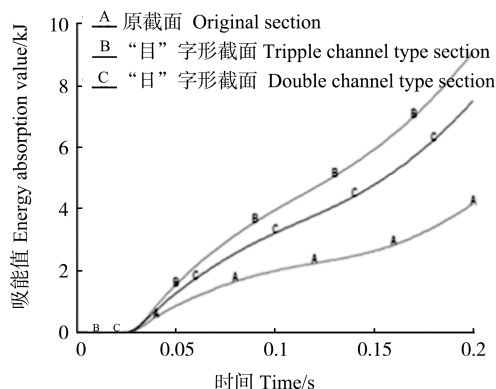


图 11 横梁内能-时间变化图

Fig. 11 Variation diagram of the internal energy-time of the beam

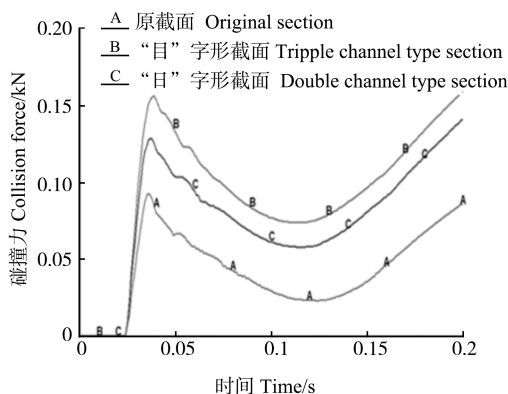


图 12 横梁碰撞力-时间变化图

Fig. 12 Variation diagram of collision force-time of the beam

3.3 新防撞梁系统有限元分析

经过优化横梁和吸能盒结构之后,两者的吸能特性都有了比较明显的提升,但由优化后的横梁与吸能盒匹配组成的新防撞梁系统膨胀安全性能还需要验证。故将正六边形截面吸能盒与“目”字形截面横梁进行结合,建立优化后的新防撞梁低速正碰结构模型,如图 13 所示。

对优化后新防撞梁系统正碰和偏碰两种工况进行有限元分析计算,侵入量峰值、碰撞力峰值以及总吸能值变化量如表 4 所示。由表 4 可以看出,在正面

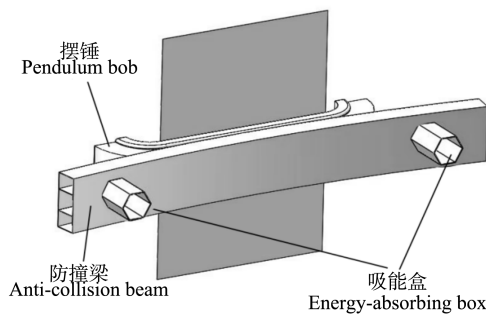


图 13 优化后防撞梁系统低速碰撞结构

Fig. 13 Low-speed collision structure of the anti-collision beam system after optimization

碰撞工况下,优化后的新防撞梁系统相比优化前的防撞梁系统,碰撞力峰值上升了 21.9%,侵入量明显下降,降低 53.2%,且防撞梁系统的总吸能值提高 11.5%,优化后防撞梁系统碰撞安全性能得到一定程度的改善。在偏置碰撞工况下,侵入量减小了 38.4%,碰撞力峰值上升了 16.1%,吸能值提高了 31.6%。由两种工况的分析可知,当碰撞力峰值增加时,防撞梁系统的吸能值均变大,而侵入量则出现明显下降,证明优化后防撞梁碰撞安全性能得到改善。综上所述,经过优化后的新防撞梁系统在碰撞安全性能上得到了显著提高,优化效果可观,为设计合理的特种防弹车前防撞梁提供重要依据和参考。

表 4 优化前后不同碰撞工况参数变化

Tab. 4 Variation of parameters under different collision conditions before and after optimization

碰撞工况 Collision condition	侵入量峰值 Peak ingress volume/mm	碰撞力峰值 Peak collision force/kN	总吸能值 Total energy absorption/J
8 km/h 正面碰撞 Head-on collision	优化前 Before	123.8	4 951
	优化后 After	57.9	5 520
2.5 km/h 偏置碰撞 Bias collision	变化量 Amount of change/%	-53.2	11.5
	优化前 Before	22.1	329
	优化后 After	13.6	433
	变化量 Amount of change/%	-38.4	31.6

4 结论

通过有限元分析的方法分别对吸能盒吸能特性及横梁抗弯性能进行了分析计算,根据其结果分别对

防撞梁吸能盒和横梁进行了结构优化并完成了防撞梁系统的对比验证。主要研究结论如下:

1)建立吸能盒的轴向压溃有限元模型,对吸能盒的吸能特性进行分析。通过对比不同截面形状吸能盒的吸能特性,确定了正六边形截面吸能盒为最优解。

2)在对横梁截面的研究中发现,“目”字形截面横梁抗弯强度高且吸能效果好。

3)将正六边形截面吸能盒与“目”字形截面横梁组合成新防撞梁系统,对该防撞梁进行了正面碰撞和偏置碰撞两种工况下的碰撞计算分析,相较于传统系统而言,吸能值分别提高了11.5%和31.6%;侵入量分别降低了53.2%和38.4%。结果表明,优化后防撞梁系统的碰撞安全性能得到了一定改善。

参考文献(References)

- [1] 汪永嘉,董红顺,张代胜,等. 保险杠前防撞梁材料结构一体化轻量化设计[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2022,36(7): 86-93.
WANG YongJia, DONG HongShun, ZHANG DaiSheng, et al. Material-structure integrated lightweight design of bumper front anti-collision beam[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2022, 36(7): 86-93(In Chinese).
- [2] 徐鸣涛,王丽娟,陈宗渝,等. 基于管件液压成形工艺的汽车吸能盒改进设计及成形分析[J]. 机械强度,2017,39(4):864-869.
XU MingTao, WANG LiJuan, CHEN ZongYu, et al. Automobile crash box improvement and forming analysis for tube hydroforming[J]. Journal of Mechanical Strength, 2017, 39(4): 864-869(In Chinese).
- [3] 杨鄂川,黄路,庞通,等. 铝制多胞吸能盒多目标优化设计[J]. 机械强度,2021,43(4): 834-840.
YANG EChuan, HUANG Lu, PANG Tong, et al. Multi-objective optimal design of aluminum cell[J]. Journal of Mechanical Strength, 2021, 43(4): 834-840(In Chinese).
- [4] 朱传敏,王灿,陈珂. 某铝合金前保险杠系统的结构设计与性能仿真[J]. 汽车安全与节能学报,2013,4(4): 356-360.
ZHU ChuanMin, WANG Can, CHEN Ke. Structural design and performance simulation of an aluminum alloy front bumper system[J]. Journal of Automotive Safety and Energy, 2013, 4(4): 356-360(In Chinese).
- [5] KIM H C, SHIN D K, LEE J J, et al. Crashworthiness of aluminum/CFRP square hollow section beam under axial impact loading for crash box application[J]. Composite Structures, 2014, 112: 1-10.
- [6] 张鹏,齐德兴,夏勇,等. 板状立方点阵超结构填充汽车吸能盒的抗冲击吸能特性[J]. 汽车安全与节能学报,2020,11(3): 287-295.
ZHANG Peng, QI DeXing, XIA Yong, et al. Impact energy-absorption performances of an automobile energy-absorbing-box with plate cubic-lattice core filled[J]. Journal of Automotive Safety and Energy, 2020, 11(3): 287-295(In Chinese).
- [7] 蒋致禹,顾敏童,赵永生. 一种薄壁吸能结构的设计优化[J]. 振动与冲击,2010,29(2):111-116.
JIANG ZhiYu, GU MinTong, ZHAO YongSheng. Design and optimization of an energy-absorbing thin-walled structure[J]. Journal of Vibration and Shock, 2010, 29(2): 111-116(In Chinese).
- [8] TANLAK N, SONMEZ F O, SENALTUN M. Shape optimization of bumper beams under high-velocity impact loads[J]. Engineering Structures, 2015, 95: 49-60.
- [9] 梁建术,师光耀,骆孟波. 汽车吸能盒的结构优化设计[J]. 机械设计与制造,2016,9(9):16-18.
LIANG JianShu, SHI GuangYao, LUO MengBo. Structure optimization design of energy-absorbing box for automobile[J]. Machinery Design & Manufacture, 2016, 9(9): 16-18(In Chinese).
- [10] 万鑫铭,徐小飞,徐中明,等. 汽车用铝合金吸能盒结构优化设计[J]. 汽车工程学报,2013,3(1):15-21.
WAN XinMing, XU XiaoFei, XU ZhongMing, et al. Structure optimization design of aluminum alloy energy-absorbing box for automobiles[J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2013, 3(1): 15-21(In Chinese).
- [11] 刘影. 泡沫铝填充吸能盒在汽车碰撞过程中的吸能特性研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学,2017:95.
LIU Ying. Study on energy absorption characteristics of aluminum foam filled crash box in the process of car crash[D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2017:95(In Chinese).
- [12] 张翼. 低速碰撞下汽车吸能盒结构优化设计[D]. 大连: 大连理工大学,2019:67.
ZHANG Yi. Structural optimization design of automobile crash box under low-speed collision[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2019:67(In Chinese).
- [13] 刘洋,邹天下,梁振业,等. 电动汽车座椅横梁辊冲成形仿真与试验研究[J]. 锻压技术,2022,47(9):51-57.
LIU Yang, ZOU TianXia, LIANG ZhenYe, et al. Simulation and experiment research on chain-die forming of EV seat beam[J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47(9): 51-57(In Chinese).
- [14] 唐洪斌. 乘用车正面抗撞性设计方法研究[D]. 长春: 吉林大学,2008:104.
TANG HongBin. Study on design procedures of frontal crash worthiness for passenger car[D]. Changchun: Jilin University, 2008:104(In Chinese).
- [15] 方永利,黄洁,张峰,等. 参数驱动的新能源汽车吸能盒结构优化设计[J]. 机械设计,2020,37(增刊2):181-186.
FANG YongLi, HUANG Jie, ZHANG Feng, et al. Parameter-driven optimization design of crash box structure for new energy vehicles[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37(Suppl. 2): 181-186(In Chinese).
- [16] 柳艳杰. 汽车低速碰撞吸能部件的抗撞性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学,2012:117.
LIU YanJie. Study on crashworthiness of energy-absorbing components in low-speed collision of automobiles[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2012:117(In Chinese).