

文章编号: 2095-2163(2019)05-0142-05

中图分类号: TH123+.3

文献标志码: A

# 基于UG的吸能盒结构优化设计与轻量化模拟分析

李鹏飞, 董万鹏, 陈秋平  
(上海工程技术大学, 上海 201620)

**摘要:** 基于近似模型技术和数值优化方法, 针对汽车吸能盒, 利用UG建立了蛋形结构的吸能盒受力仿真有限元模型。汽车CAE技术伴随计算机技术的发展得到了长足的进步, 利用UG中的MPA模块, 仿真模拟后得到吸能盒低速撞时的位移图和应力图, 对其研究后得到了优化设计的蛋形结构吸能盒模型, 并对吸能盒进行了轻量化设计。以改变吸能盒结构的思路进行了吸能盒的优化设计, 吸能效果较普通圆柱吸能盒大幅提升, 在质量方面相对普通圆柱形吸能盒实现质量减轻16.6%。为深入研究汽车吸能盒的碰撞特性和优化与轻量化设计具有一定的理论价值和工程意义。

**关键词:** UG建模; MPA模拟分析; 蛋形结构; 轻量化

## Structural optimization design and lightweight simulation analysis of energy-absorbing box based on UG

LI Pengfei, DONG Wanpeng, CHEN Qiuping  
(Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**[Abstract]** Based on the approximate model technique and numerical optimization method, the force simulation finite element model of egg structure energy absorbing box is established by using UG for automobile energy absorbing box. Automotive CAE technology has made great progress along with the development of computer technology. Using the MPA module simulation analysis in UG to study the characteristics of displacement and stress maps of the energy-absorbing box at low speed, the optimized design of the egg structure energy absorbing box is obtained. Lightweight design of the energy absorbing box is given out. The optimal design of the energy absorbing box is carried out by changing the structure of the energy absorbing box. The energy absorbing effect is greatly improved compared with the ordinary cylindrical energy absorbing box, and the quality of the ordinary cylindrical energy absorbing box is reduced by 16.6% in terms of quality. It has certain theoretical and engineering significance for further research on the collision characteristics and optimization design of automobile energy absorbing boxes.

**[Key words]** UG modeling; MPA simulation analysis; egg structure; lightweight

## 0 引言

中国汽车的保有量随着人民生活水平的提高和国内道路建设的加强在不断增加,同时,汽车的事故碰撞率也呈上升趋势<sup>[1-3]</sup>。随着中国汽车工业的蓬勃发展,道路交通安全的问题日益加剧。车辆的舒适性与安全性逐渐成为了消费者关注的首要问题,因此提高车辆的被动安全性成为汽车工业发展中一个关键性的研究课题。在这种行情下,当汽车在发生碰撞时对车内乘员及车体保护的重要性也就尤其突出。汽车发生碰撞时,吸能盒发挥着至关重要的作用。所以更新和优化汽车吸能盒势在必行。现代汽车设计中,汽车的被动安全性能是一个基础性的技术研发指标,在国内外汽车碰撞安全标准中,都将

碰撞变形后的汽车结构变形和乘员所受的伤害程度作为严格考核的对象,因此,作为车辆被动安全中一个重要结构的吸能盒,即已成为了研究重点。综合分析可知,吸能盒的整体优化分析对于提高车辆的被动安全性有重要的意义。本文基于近似模型方法,结合数值优化方法对某车型吸能盒进行多目标优化设计研究。

近些年来,国内外众多学者都对吸能盒进行了深入的研究,并取得了成果。郝亮等人<sup>[4]</sup>进行了基于诱导槽参数优化设计的吸能盒结构抗撞性多目标优化设计,严杰等人<sup>[5]</sup>进行了基于Ls-Dyna和Hyperstudy的汽车吸能盒优化分析的研究,雷刚等人<sup>[6]</sup>进行了汽车正面碰撞的汽车吸能盒设计及优化的研究,陈有松等人<sup>[7]</sup>进行了低速正碰的吸能盒

**基金项目:** 国家自然科学基金(31670956);上海工程技术大学研究生科研创新项目(18KY0506);克拉玛依市科技重大专项(2018ZD002B);科技援疆计划(2019E0235)。

**作者简介:** 李鹏飞(1992-),男,硕士研究生,主要研究方向:汽车车身结构件的模拟分析及轻量化设计和优化;董万鹏(1975-),男,博士,副教授,主要研究方向:金属材料塑性成形及数值模拟研究;陈秋平(1994-),男,硕士研究生,主要研究方向:材料成形及数值模拟。

收稿日期: 2019-07-15

式防撞梁吸能特性研究,但吸能盒的设计仍然存在着较多问题,如何科学引入诱导槽,如:槽的个数和形状,以及是否均匀分布和排布位置设计等,凭借工程经验,难以取得理想效果。

通过研读大量前人对吸能盒形状的研究论文,主要是以圆形截面、正方形截面、正六边形截面等规则正多边形截面为研究对象。已有的研究表明,截面几何形状对薄壁件的吸能会有一些影响<sup>[8]</sup>,进而指出:蛋壳属于薄壳结构,其母线是一种正高斯曲线,该结构不仅能给人一种艺术美学感,还能节约材料,再者蛋形结构还符合圆顶原理,能够很好地分散来自外在的均布载荷,使其能把力量平均分散,表面压强很小。所以本文拟对蛋形这种特殊形状进行研究,希望能为吸能盒的研究提供一个新的方向。同时,基于汽车轻量化的理念,本文在满足碰撞要求的同时又减轻吸能盒质量,因而在吸能盒体表增加诱导槽的同时并在适当区域进行打孔,以获得最佳的吸能盒模型。

## 1 吸能盒模型的建立

蛋形的特殊结构形状可以起到很好的分散力的作用,故本文选择不同形状(圆柱、六棱柱和鸡蛋形状的椭球)的薄壁结构作为研究对象。不同形状的绘制效果如图1所示。比较各种形状在正面相同压力简易模型中的吸能情况,确定吸能盒的形状。

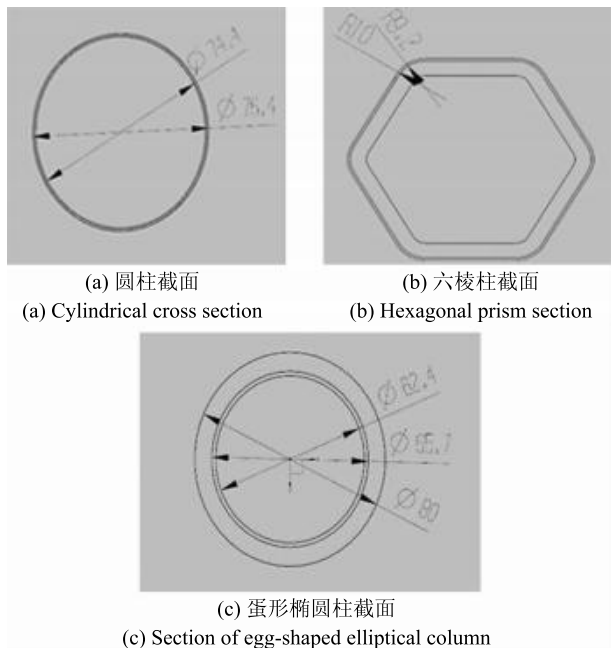


图1 不同形状绘制效果

Fig. 1 Drawing effect of different shapes

为了确定和蛋形状相似的椭圆,查阅有关的资

料可知<sup>[9]</sup>,鸡蛋属于典型的弹性薄壳结构。标准蛋的大头两条切线构成的夹角为 $60^\circ$ ,小头两条切线所构成的角应为 $51^\circ$ ,鸡蛋的两端不对称,但关于长轴对称。鸡蛋的截面椭圆方程为:

$$\frac{y^2}{(a + x \tan \xi)^2} + \frac{x^2}{b^2} = 1. \quad (1)$$

其中, $a, b$ 分别为截面椭圆的长短径; $x, y$ 分别为截面椭圆的横坐标和纵坐标; $\xi$ 为蛋形角。当 $\xi = 0$ 时,蛋形是标准的椭圆形。为简化模型,选 $\xi = 0$ 的标准椭圆,长短轴根据具体情况而定。本次研究对象见图2。

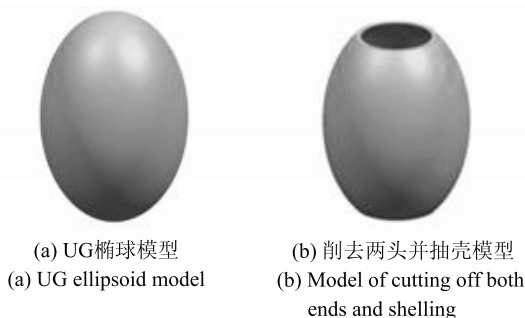


图2 蛋形结构的建模设计

Fig. 2 Modeling design of egg-shaped structure

## 2 吸能盒参数的确定

### 2.1 吸能盒材料确定

经过与高强度钢及其它几种合金在造价和效率方面的对比,本文选定铝作为材料。相对于低碳钢,铝表现出一定的优势<sup>[10]</sup>,对此可做阐释分述如下。

(1)密度小,约 $2.7 \text{ g/cm}^3$ ,质地较软,可制成各种铝合金,如硬铝、防锈铝、铸铝等。相比于钢制吸能盒,铝合金制吸能盒质量减少 $58\%$ ,并进一步提高了吸能盒的强度。因此铝在保证轻量化的同时也可以满足其它的要求。

(2)表面因有一层致密的氧化物保护膜,可以有效防止氧化腐蚀。

(3)铝的力学性能在低温状态下能保持不变。这一点有助于吸盒在恶劣的环境下也能正常发挥吸能作用,保证汽车的安全。

(4)废料可回收再利用,体现环保的思想。

为了减轻吸能盒的重量同时兼顾吸能盒的性能,本文通过研究材料特性结合文献<sup>[11]</sup>选取铝6061作为本次模拟的材料。同时,为使铝合金管件用料相同,取厚度以及长度都相同(质量相近),材料参数通过对厂家提供的样品进行材料试验获取,密度为 $2.7 \text{ g/cm}^3$ ,弹性模量为 $7.1 \times 10^4 \text{ MPa}$ ,泊松

比0.3,屈服强度为 181 MPa<sup>[12]</sup>。

## 2.2 吸能盒尺寸的确定

由于汽车碰撞过程是一个非常复杂的动力学过程,多数吸能盒为薄壁构件,而且在碰撞初始阶段的碰撞力是最大的,如果碰撞压缩变形不稳定,碰撞力过大,则会降低吸能盒的作用。结合许多学者的研究文献,确定吸能盒的尺寸范围以及所选材料的特性,确定吸能盒的高度为 100 mm<sup>[11]</sup>,壁厚为 2 mm,圆柱形状直径为 38.2 mm,正六棱柱形状边长 40 mm<sup>[13]</sup>,为确保尺寸的相近,本文取椭圆长轴 70 mm,短轴为 40 mm。

## 3 吸能盒的有限元分析

基于 UG10.0 的 CAE 模块来进行有限元模拟分析,根据文献[14]中对于网格尺寸研究所总结的公式  $r = 0.7 \times \sqrt[3]{c} \times \sqrt[3]{t^2}$  ( $c$  为截面宽度,  $t$  为梁壁的厚度),计算得知最合理的网格单元尺寸为 2 mm。当验证吸能盒的正面低速碰撞性能时,平均载荷约为 150 kN<sup>[15]</sup>,此处为简化设计模型,载荷施加采用恒

定力 150 kN。

## 4 吸能盒吸能效果的评定

应变能是指以应变和应力的形式贮存在物体中的势能,又称变形能。吸能盒垂直截面的碰撞模拟<sup>[16]</sup>中模型所受的应力和在载荷应力作用下发生的应变影响吸能的大小,所以用应变能来衡量吸能力的大小<sup>[17]</sup>,应变能的计算公式为:

$$U = W = \int_0^{\delta} P \, d\delta. \quad (2)$$

其中,  $P$  为变形过程中与伸长量  $\delta$  对应的载荷。在处理实际问题时,选用应变能的最大值来近似代表模型的应变能。

## 5 CAE 模拟仿真分析

研究可得,无诱导槽圆柱、六棱柱和椭球位移图和应力图具体如图 3 ~ 图 5 所示。同时也得到,有诱导槽圆柱、六棱柱和椭球位移图和应力图具体如图 6 ~ 图 8 所示。

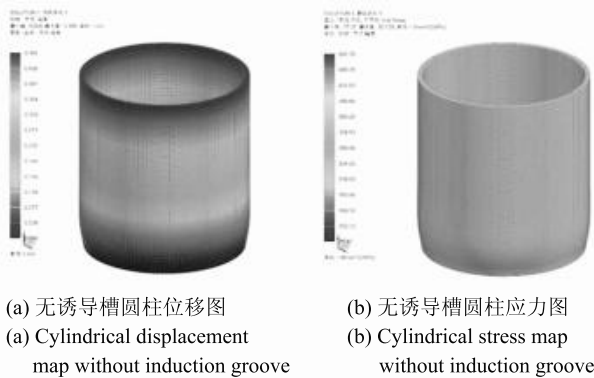


图3 无诱导槽圆柱仿真结果

Fig. 3 Cylindrical simulation results without induction groove

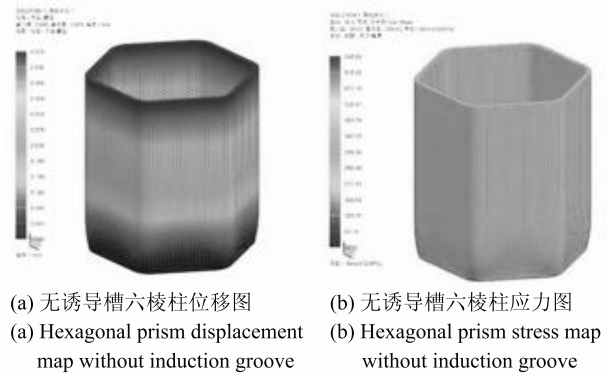


图4 无诱导槽六棱柱仿真结果

Fig. 4 Hexagonal prism simulation results without induction groove

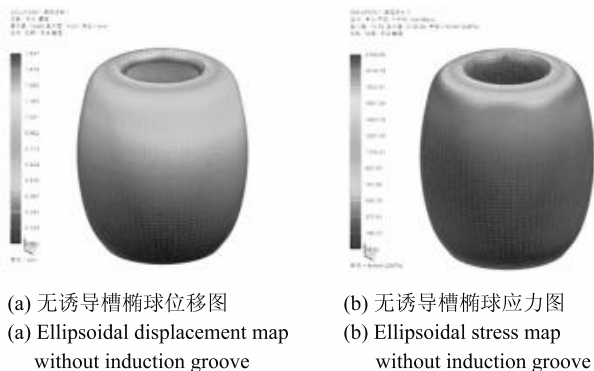


图5 无诱导槽椭球仿真结果

Fig. 5 Ellipsoidal simulation results without induction groove

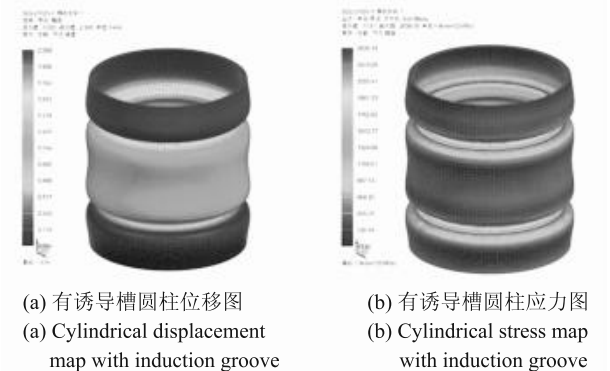


图6 有诱导槽圆柱仿真结果

Fig. 6 Cylindrical simulation results with induction groove

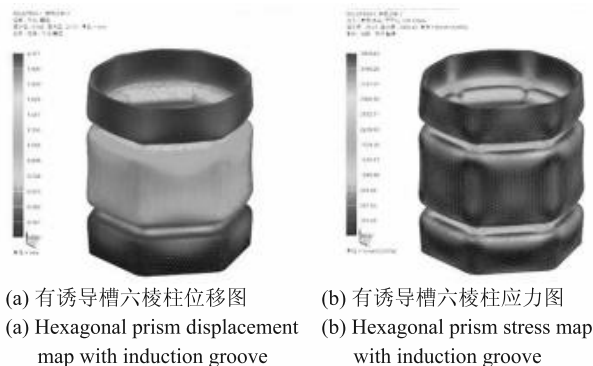


图7 有诱导槽六棱柱仿真结果

Fig. 7 Hexagonal prism simulation results with induction groove

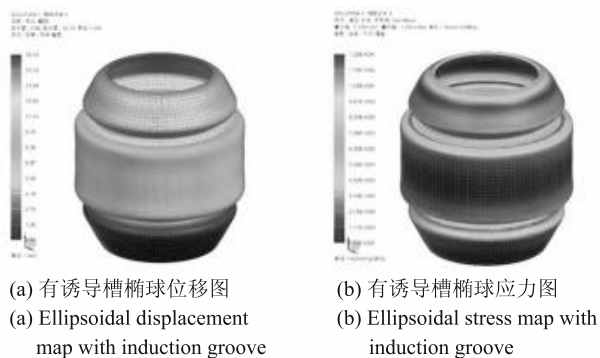


图8 有诱导槽椭球仿真结果

Fig. 8 Ellipsoidal simulation results with induction groove

进一步地,研究得到有诱导槽打孔椭球的仿真结果如图9所示。基于图9,整理模拟数据结果见表1。

分析表1可知,当高度、壁厚相同并且保证质量相近的前提下,垂直于横截面施加同样大小的载荷<sup>[18]</sup>,椭球形状的位移量和所能承受的应力都为最好,而且应变能也为最大,吸能效果非常明显,六棱柱和圆柱则依序次之。当增加诱导槽时,应力单元图中颜色明显地分成3部分,这是由于加了引导槽应力主要集中在诱导槽附近,吸收了大部分的能量,虽然三者的吸能能力都有了很大的提高,但从图和数据表格中可以看出依然是椭球的吸能能力最强,六棱柱和圆柱的吸能能力远小于椭球的吸能能力。其中,打孔椭球形吸能盒相对于无孔圆柱形吸能盒质量减轻16.6%,相对于无孔六棱柱吸能盒质量减轻14.9%,相对于无孔椭球形吸能盒质量减轻14.4%。而吸能能力相对提升依次为171.8%、252.2%、150.3%。

表1 各结构吸能盒吸能值与质量结果

Tab. 1 Energy absorption value and quality result of energy absorbing box with different structure

形状	有诱导槽		无诱导槽	
	应变能最大值/(N·mm)	质量/g	应变能最大值/(N·mm)	质量/g
圆柱	26.20	381.64	1.99	366.06
六棱柱	20.22	374.03	2.71	355.93
椭球	28.45	371.84	3.57	359.44
打孔椭球	71.21	318.36	-	-



图9 有诱导槽打孔椭球的仿真结果

Fig. 9 Punctured ellipsoidal simulation results with induction groove

### 6 结束语

通过分析椭球的位移图和应力可知,有些区域所受应力很小,这样的区域可以去掉,于是对模型进行了打孔处理,以减轻质量,同时孔的存在使得应变能显著提高,大幅提升了吸能能力。综上,认为椭球状加诱导槽并在适当地方打孔的模型既能够满足碰撞要求,同时又实现了吸能盒的轻量化,为最优模型。

### 参考文献

[1] 王翔,金政烽.我国道路交通事故发展趋势研究[J].交通科技与经济,2019,21(3):29-32,37.

[2] 程前,邵毅明,董兆福.汽车与电动自行车正面碰撞事故重建研究[J].公路与汽运,2019(1):6-10.

[3] 高鹏程.汽车薄壁吸能部件耐撞性及吸能特性设计研究[D].马鞍山:安徽工业大学,2016.